



中国 環境産業技術の 発展状況

序言	1
一 中国の水处理技術の発展状況	2
1 排水処理技術の概況	2
1.1 標準的な水处理技術	4
1.2 先進的な水处理技術	5
1.2.1 膜分離法水处理技術	5
1.2.2 促進酸化水处理技術	7
1.2.3 電気化学水处理技術	8
1.2.4 超音波酸化技術	8
2 飲用水処理技術の発展状況	8
2.1 各地の飲用水普及状況	8
2.1.1 国内水使用量及びインフラ普及率	9
2.1.2 各地区水の使用量及び普及率	11
2.1.3 家庭用浄水器の普及状況	11
2.2 関連政策、法律法規及び関連技術基準	12
2.2.1 関連法律と行政法規	12
2.2.2 飲用水水質基準	13
2.2.3 飲用水関連投資	13
2.3 飲用水処理技術の発展状況	14
2.3.1 第一世代飲用水浄化技術	14
2.3.2 第二世代飲用水浄化技術	14
2.3.3 第三世代飲用水浄化技術	15
2.3.4 今後の展望	16
2.4 水サービス市場の発展	16
2.4.1 水サービス企業とその競合市場	17
2.4.2 家庭用浄水器の発展状況	18
3 生活污水处理技術の発展状況	19
3.1 各地区の生活污水排出量及び処理の現状	20
3.1.1 各地の生活污水排出量	20
3.1.2 各地の生活污水処理の現状	21
3.1.3 生活污水处理市場の展望と需要予測	23
3.2 国家政策と関連する法律法規及び技術基準	24

3.2.1 法律と行政法規	24
3.2.2 汚水排出基準	24
3.2.3 技術規範と今後の計画	25
3.2.4 汚染処理産業への関連投資	26
3.3 生活排水処理技術の発展状況	26
3.3.1 一般的な生活排水処理技術	27
3.3.2 工程比較	27
3.3.3 水処理技術市場の現状	29
3.4 生活污水处理市場の発展状況	30
3.4.1 生活污水处理市場の特長	30
3.4.2 生活污水处理企業の状況分析	31
4 工業废水处理技術の発展状況	32
4.1 各地区の工業廃水の排出状況とその処理状況	32
4.1.1 工業廃水の排出状況とその処理状況	32
4.1.2 各地区における工業廃水の排出状況と処理状況	35
4.2 国家政策、法律法規及び関連する技術基準	41
4.2.1 工業廃水関連の法律、行政法規	41
4.2.2 工業廃水の排出と処理関連法規	42
4.2.3 工業廃水処理関連政策	43
4.3 工業废水处理技術の発展	44
4.3.1 工業廃水の主な処理技術と適用状況	44
4.3.2 特定業界における工業廃水処理の現状	46
4.3.3 工業廃水処理技術の発展状況及び海外との比較、今後の展望	57
4.4 工業废水处理技術市場の分析	58
4.4.1 工業廃水処理の発展状況	58
4.4.2 工業廃水処理業界の代表的企業の紹介	59
4.5 水サービス市場発展の現状	62
4.5.1 水サービス市場の現状	62
4.5.2 水サービス市場の競争分析	64
4.5.3 水サービス業界主要企業の紹介	66
付録	73
1. 中国水サービス業十大影響力企業	73
2. 政府が推進する水汚染管理に関する環境保護技術委託先機関	74

二 中国の大気汚染物質除去技術の発展状況	75
1 大気汚染管理の概略	75
1.1 汚染物質の排出状況	78
1.2 大気汚染管理の概況	79
2 脱硫技術の発展状況	81
2.1 重点業界における SO ₂ 排出状況	81
2.1.1 電力・熱力生産供給業（電力業界）	82
2.1.2 黑色金属製錬及び圧延加工業（鉄鋼業）	84
2.1.3 非金属鉱物製品業（セメント工業）	86
2.2 政府関連政策、法律法規及び関連技術基準	87
2.3 脱硫技術の適用状況	91
2.3.1 火力発電所脱硫技術の適用状況	91
2.3.2 鉄鋼業向け脱硫技術の適用状況	95
2.3.3 セメント産業における脱硫技術の利用状況	98
2.3.4 有色金属製錬業における脱硫技術の利用状況	99
2.4 脱硫・脱硝市場の発展と予測	99
2.4.1 中国脱硫主要企業及び他の代表工程の紹介	101
2.4.2 中国脱硫市場分布状況	105
2.4.3 未来技術の需要と市場予測	108
3 脱硝技術の発展状況	110
3.1 重点産業における窒素酸化物（NO _x ）排出状況	110
3.1.1 電力・熱力生産供給業（電力産業）	110
3.1.2 非金属鉱業（セメント産業）	112
3.1.3 黑色金属製錬及び圧延加工業（鉄鋼業）	113
3.2 関連政策、法律・法規及び関連技術基準	114
3.3 脱硝技術の利用状況	117
3.3.1 火力発電所向け脱硝技術の利用状況	117
3.3.2 セメント産業における脱硝技術の利用状況	119
3.3.3 鉄鋼業における脱硝技術の利用状況	120
3.3.4 SCR 触媒の利用	120
3.4 脱硝産業市場の発展	122
3.4.1 脱硝技術を扱う主要企業、及び代表的技術の紹介	122
3.4.2 脱硝産業の市場状況	122
3.4.3 国内外の主要な触媒取り扱い企業	126
3.4.4 今後の技術的需要と市場動向の分析	127

4 集塵技術の発展状況	131
4.1 重点産業における煤・粉塵排出状況及び処理状況	131
4.1.1 煤・粉塵の排出状況	131
4.1.2 重点産業における煤・粉塵排出量と処理状況	132
4.2 関連政策、法律・法規及び関連技術基準	137
4.2.1 集塵関連法律、行政法規	137
4.2.2 煤・粉塵排出及び処理基準	138
4.2.3 集塵産業の関連政策	139
4.3 集塵技術の発展状況	140
4.3.1 主な集塵技術及び利用状況	140
4.3.2 バグフィルター式集塵装置	141
4.3.3 電気集塵装置	143
4.3.4 電気・バグフィルター複合式集塵装置	144
4.4 集塵処理技術の市場分析	145
4.4.1 集塵産業の発展状況の概要	145
4.4.2 集塵における重点企業の分析	145
5 揮発性有機化合物処理技術の発展状況	149
5.1 国家の関連政策、法律・法規及び関連技術基準	150
5.1.1 揮発性有機化合物処理に関連した法律と行政法規	150
5.1.2 揮発性有機化合物排出基準	150
5.1.3 政策に関連した揮発性有機化合物処理の発展	152
5.2 揮発性有機化合物処理技術の発展状況	152
5.2.1 回収技術	153
5.2.2 焼却技術	154
5.2.3 様々な技術の比較	157
5.3 重点産業における揮発性有機化合物排出、処理技術及び装置	157
5.3.1 工業における VOCs 排出状況	157
5.3.2 石油化学工業における VOCs 処理技術及び装置	159
5.3.3 包装・印刷業における VOCs 処理技術及び装置	163
5.3.4 塗料産業における VOCs 処理技術と装置	166
5.4 主要な関連企業及びその経営状況	167
5.4.1 VOC 処理産業の状況	167
5.4.2 VOC 処理産業市場	168
5.4.3 揮発性有機化合物処理における重点企業の分析	169
5.5 排ガス抑制技術の今後と市場規模の分析	173
5.5.1 国が奨励する技術	173
5.5.2 VOC 処理産業における市場分析	175

三 中国の環境産業投資の展望	179
1 中国の環境産業の投資の現状	179
1.1 エコ文明政策の推進による環境産業の促進	180
1.2 環境産業投融資の急速な成長	180
1.3 環境産業の投融資ルートの増加	180
2 中国の環境産業投資の展望	182
3 中日環境産業協力におけるポテンシャル分野	183
3.1 室内空気浄化分野	183
3.2 家庭用水浄化分野	184
3.3 揮発性有機化合物の処理・監視測定分野	185
4 中日の環境産業投融資協力モデルの分析	186
4.1 中国の環境産業投融資モデルの評価・分析	186
4.2 中日環境産業投融資の協力モデル	187
付録1：環境産業の定義と分類	189
付録2：中国の環境産業政策	190
編集者一覧	193
報告書レビュー専門家一覧	195

序言

中国の工業化・都市化プロセスの進展に伴い、深刻化した環境汚染は、中国社会の幅広い関心を呼んでいる。中国政府は環境保護をかつてないレベルで重視し始めている。2014年まで、環境産業の従事団体は2万5710社、従業員は328万人、営業収入は3兆9800億元に達した。国家計画によれば、中国政府は、省エネ・環境産業に対し、年平均15%以上の生産額増加を求めている。環境産業はすでに、国民経済の新たな支柱産業となっている。中国の生態保護政策は、環境産業の急速な発展を力強く支えており、国内の各環境保護政策の出現も環境産業の発展を加速させている。

本報告は、環境産業の現状から出発し、中国の水処理技術と大気汚染対策技術の発展に焦点を当て、各種環境技術の関連政策や普及状況、発展レベル、技術マーケットなど多様な観点から、定性研究・定量研究を行った。とりわけ、技術レベルに関する比較研究や実証分析手法も用い、中国の汚水処理と大気汚染対策産業の現状を検討し、中国と日本の関連環境産業の投資環境や今後の展望について分析した。また、中日環境産業において潜在力を備えた産業と協力モデルについても論じた。

本研究は次の3つの内容によって構成される。

(1) 中国水処理技術の発展現状の分析。ここでは、中国で採用されている飲用水・生活污水・工業排水の処理技術、関連政策・法律法規、関連技術基準について整理し、水処理技術のマーケットの発展状況についても検討した。

(2) 中国大気汚染物質除去技術の発展現状の分析。ここでは、中国で採用されている脱硫・脱硝・除塵・揮発性有機化合物の処理技術、関連政策・法律法規、関連技術基準について整理し、大気汚染対策技術のマーケットの発展状況についても検討した。

(3) 中日環境産業において潜在力を備えた産業と協力モデルの分析。ここでは、中国の環境産業の発展が直面する問題とその原因について検討し、今後における環境産業市場の展望や中日環境産業において潜在力を備えた産業と協力モデルについて言及した。

中国の水処理技術の 発展状況

1 排水処理技術の概況

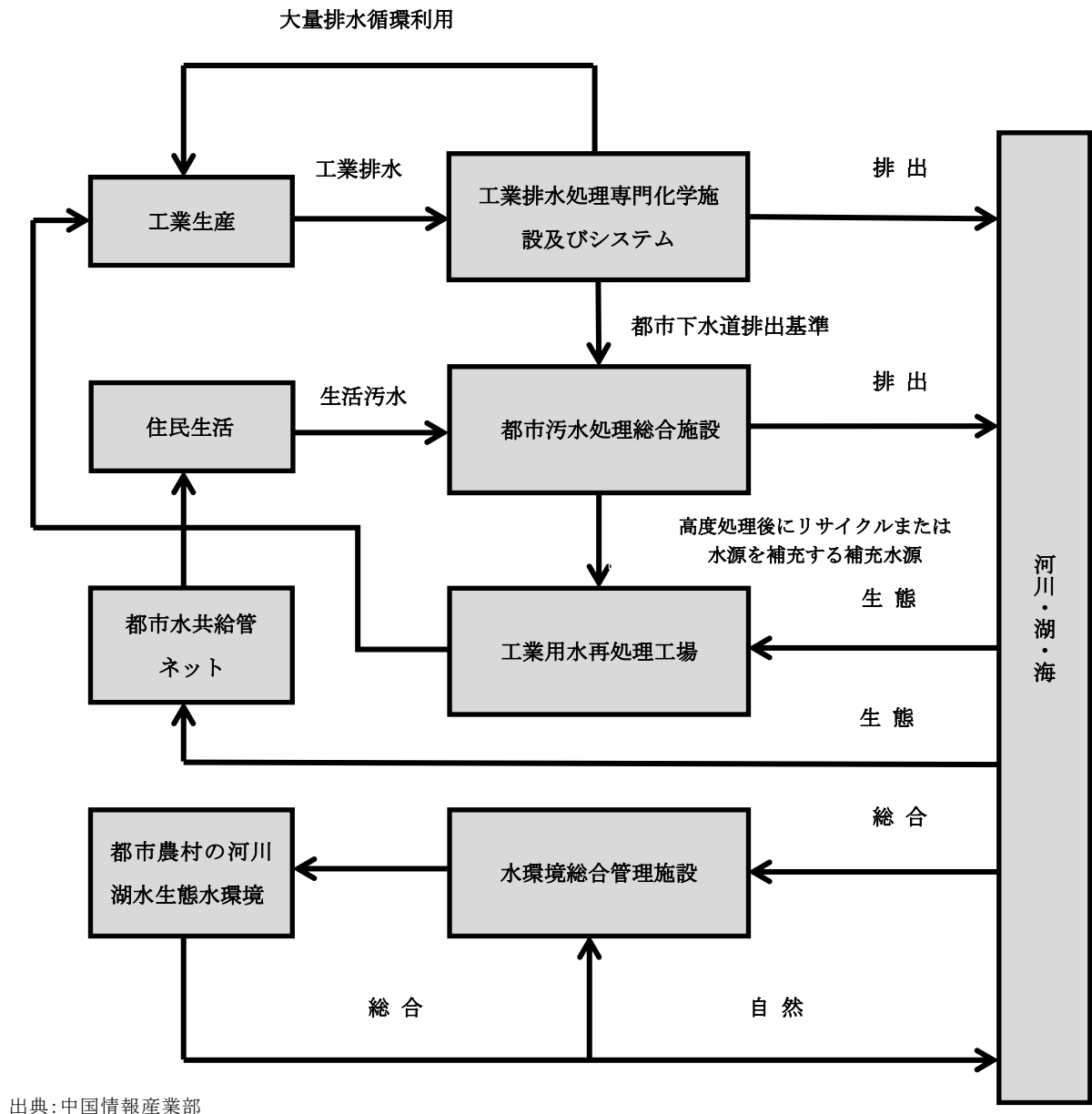
社会経済の急激な発展や人々の生活水準の向上、人口の増加に伴い水資源の不足は全地球規模の問題となってきた。中でも、中国は水資源が乏しい国であり、年間一人当たりの水資源量は世界平均の約四分の一程度である。2004年、2009年、2011年には年間一人当たりの水資源量は1,750m³と、国連持続可能な開発委員会の定める《水ストレス》状況1,700m³のぎりぎりのラインにある。国連環境計画では、年間一人当たりの水資源量が2,000m³を下回り1,000m³を上回る状況を《水ストレス》レベル、1,000m³を下回り500m³を上回る状況を《水不足》レベル、500m³を下回る状況を《絶対的な水不足》レベルと分類している。図表1は2000～2014年の中国の水資源の状況である。その表からもわかるように、2000年からの一人当たりの水資源量はおよそ2,000m³前後で推移しており、総じて《水ストレス》レベルにある。まさに、「危機」という二文字で表現される。また、水資源の分布は地域不均衡が鮮明で、人口や産業の実態と合致していないため水不足の問題を悪化させており、水質汚染問題がさらに拍車をかけている。国家統計局によると、2014年、中国の污水排出量は既に695.4億トンに達している。こうした水資源欠乏の厳しい状況を打開すべく、多くの企業が環境保護技術を採用し排水の削減に可能な限り取り組んでいる。先進的な排水処理技術の研究を進め、確実に習得し、水汚染問題を解決することは、水資源を合理的に活用するための有効な手段なのである

図表1 2000～2014年 中国の水資源の状況

年	水資源(億 m ³)				降水量 (億 m ³)	一人当たり の水資源量 (m ³ /人)
	総量	地表水資源量	地下水資源量	地表と地下 水重複量		
2000	27,701	26,562	8,502	7,363	60,092	2,194
2001	26,868	25,933	8,390	7,456	58,122	2,113
2002	28,261	27,243	8,697	7,679	62,610	2,207
2003	27,460	26,251	8,299	7,090	60,416	2,131
2004	24,130	23,126	7,436	6,433	56,876	1,856
2005	28,053	26,982	8,091	7,020	61,010	2,152
2006	25,330	24,358	7,643	6,671	57,840	1,932
2007	25,255	24,242	7,617	6,604	57,763	1,916
2008	27,434	26,377	8,122	7,065	62,000	2,071
2009	24,180	23,125	7,267	6,212	55,959	1,816
2010	30,906	29,798	8,417	7,308	65,850	2,310
2011	23,257	22,214	7,214	6,171	55,133	1,730
2012	29,529	28,373	8,296	7,141	65,150	2,186
2013	27,958	26,839	8,081	6,963	62,674	2,060
2014	27,266	26,264	7,745	6,746	60,324	1,983

出典：中国国家統計局

排水処理技術とは様々な処置を講じることで、汚水中の汚染物質を分離または転化させ、排水を公共に被害を与えないために浄化する技術である。排水処理には工場排水処理と生活排水処理、水環境総合管理対策がある。図表2では水の出所及び污水处理工程を示している。



図表2 水の出所及び污水处理工程

排水処理技術の起源は比較的早く、中国の文献によると、飲用水の水処理技術はミョウバン浄水から始まったとされ、1882年に創設された上海楊浦水処理場が中国では最古の水処理場となる。その後、水処理技術は沈殿物を低速回転させたろ紙で分離する方法が主流となる。20世紀の60年代になると、都市給水の普及に伴い、処理システムも規範化されていった。具体的には凝集技術の普及、水処理薬剤の削減、凝集効果の向上などを挙げることができる。また表層沈下理論により横流式沈殿池を改善するとともに、20世紀80年代には改革開放に伴い、海外の先進的な給水処理技術と設備が導入され、水処理技術は進化していった。

経済の急激な発展や人々の生活様式の多様化はより複雑な污水成分を生み出す一方で、人々の水需要と水質に対する要求はますます高まっていった。水資源不足と水汚染の深刻な問題に直面したことで、中国では水道整備事業への投資が増加している。例えば、環境保護部は環境保護「十三五」計画を策定し、大気十条、水十条、土十条を公布している。これには6兆元という巨額が投資されており、中でも、水処理事業への投資額が一番高い。環境保護部環境計画院副院長 王金南氏は、水汚染処理への投資は4.6兆元にのぼるとしており、こうしたことから水処理技術の向上を加速したいという姿勢がうかがえる。

1.1 標準的な水処理技術

標準的な水処理技術は物理処理法、化学処理法、生物処理法に分けることができる。

物理法は主に比重差を利用し汚水中の汚染物質や浮遊物を分離する方法であり、固液分離や蒸留、熱交換を基本とした処理方法がある。化学法は、たとえば重合反応など化学反応を利用するものを指す。汚染水中の汚染物質の分離、転化に用いられ、化学処理、イオン交換処理、活性炭吸着処理などに分類される。生物法は微生物の生存と増殖で代謝、資化される作用を利用したもので、汚水中の有機物質を分類、沈殿させる。主要な技術の長所と短所及び普及状況を図表3に示す。

図表3 標準的な水処理技術の長所と短所

項目		長所	短所	適用状況
物理法	固液分離	処理方法によっては費用を抑えられる。大規模な適用が可能な処理方法である。	処理方法によっては費用が高く、効率が悪い。また、長い滞留時間が必要である。処理方法によっては効果が出にくい。	機械による固液分離は通常単体では使用できないが、他の処理方法と連携して使用できる。
	蒸留	水とミネラルを効率よく分離できる。有害生物体、細菌、ウイルスなどを効率よく除去できる。	操作費用が非常に高い。メンテナンス費用が高い。蒸留水による二次汚染が発生しやすい。油と水の混合物は効率よく分離できない。リサイクル利用はできない。	蒸留は常に他の水処理技術と連携して使用する。例えば濾過器、化学処理、イオン交換など。二次蒸留は殺菌効率を高めるが、蒸留は水処理の中で一番費用が高いため、徐々に新しい技術に取って代わっている。
化学法	化学処理にはオゾン化物、凝固、凝集、光分解、脱ハロゲン、化学沈殿法などが含まれる。	処理費用は比較的安い。	処理効率が悪い。全ての汚水で使用する化学処理ではない。反応で生じる副産物が環境に影響を与える可能性がある。イオン交換は効率よく質の良い水を取り出せるわけではない。特に大規模での使用時には顕著である。	凝固は通常の水処理方法の一つであり飲用水処理に幅広く使われている。採用率は90%に達している。
	イオン交換処理	処理費用は比較的安く、汚水の種類及び適用方法によって選択する。水中のミネラルを効率よく除き去る。	処理費用が高くつく。当該処理方法で使用する樹脂処理容量に制限がある。また特定化学試薬を使用してリサイクルする必要がある。	イオン交換は主にクロム、亜鉛などの排水処理に用いられる。
	活性炭吸着	多くの異なる化学物質と臭いを吸収できる。比較的、安価である。	細菌とウイルスは除去できない。徹底的な洗浄は難しい。化学物質の吸着効率はすぐに低下する。処置が不当だと環境に危害を与える。	広範囲に応用できる。常に他の処理技術と連携して使用する。
生物法	生物処理	汚水または油性汚物の処理に対して高い効果が得られる。微生物は通常、環境に無害であり汚染物を消費すると自然に死亡する。	処理工程における滞留時間が長い。汚水が異なれば使用する微生物も異なる。特定の環境においてのみ最大の処理効果を発揮することができる。微生物による環境汚染が発生する可能性がある。微生物が変異する可能性がある。処理費用が高額になると考えられる。	徐々に新しい生物処理技術に取って代わっている。

1.2 先進的な水処理技術

汚染物の多様性、残留性と汚染源の未確定性を特長とし、環境持続性を損なう現代の複合汚染問題は、世界の水質環境規制の主要なテーマであり研究の焦点となっている。

環境保護部発表の環境状況公報に基づき、最近の中国河川、湖沼、地下水と都市部を含む全国地級市の集中式飲用水源地の水質状況を以下に記す。

- 1) 河川:2014年、長江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、遼河の七大流域と浙江省と福建省の河川、西北諸河、西南諸河など国がコントロールする観測点中、Ⅰ類水質は2.8%を占め、前年同期と比べ1.0%上昇。Ⅱ類は36.9%を占め、0.8%低下、そしてⅢ類は31.5%を占め、0.7%低下、Ⅳ類は15.0%を占め、0.5%上昇している。さらにⅤ類は4.8%、劣Ⅴ類は9.0%を占めており、前年同期とほぼ変わらない。ちなみに、Ⅰ～Ⅲ類は飲用として利用可能、Ⅳ類は軽度汚染、Ⅴ類は中度汚染、劣Ⅴ類は重度汚染のレベルである。主要な汚染指標は、化学的酸素要求量、全リン、及び過マンガン酸塩指数である。
- 2) 湖沼:2014年の水質状況は、全国62カ所の重点湖沼(ダム)中、7カ所の湖沼(ダム)の水質がⅠ類、11カ所がⅡ類、20カ所がⅢ類、15カ所がⅣ類、4カ所がⅤ類となっており、前年同期と比べ、ほとんど変化がない。全リン、化学的酸素要求量、過マンガン酸塩指数を指標としている。
- 3) 地下水:2014年、全国202カ所の都市や町で地下水の水質調査が実施された。観測地点は合計4,896カ所に及び、そのうち重点観測地点は1,000カ所となる。水質が優良とされる観測点の比率は10.8%、良好とされる観測点は25.9%、比較的良好とされるのは1.8%、比較悪いとされるのは45.4%、非常に悪いとされたのも16.1%に昇った。基準を超過した主要な汚染物質は硬度、溶解性総固体、鉄、マンガン、「三室素」(亜硝酸性窒素、硝酸塩窒素、アンモニア態窒素)、フッ化物、硫酸塩などであり、一部の観測点では砒素、鉛、六価クロム、カドミウムなどの重金属(類)が基準を上回っていた。
- 4) 全国の都市や町の集中式飲用水源地:2014年、全国329カ所の都市や町の集中式飲用水源地の取水総量は332.55億トンであり、取水人口は3.26億人であった。そのうち基準を満たした取水量は319.89億トンであり、達成率は96.2%であった。地表水源地では全リン、マンガン、鉄が、地下水水源地では鉄、マンガン、アンモニア態窒素が主要な基準超過汚染物質であった。

水中からは既に800種類ほどの有機物が検出されており、定性のものは218種類、定量のものは51種類となっている。その中で「三致」(発がん性、催奇形性、変異原性)物質と言われるクロロホルム、ヘキサクロロベンゼン、ポリ塩化ビフェニル、フェナトレン、アントラセン、ピレンなどは基準値を超えている。標準的な水処理技術は飲用水の水質を保証する点で重要な役割を果たしているが、水源中に存在する微量な溶解性有機汚染物を効率よく除去することはできない。また、塩素消毒の技術工程においては副産物として多量のハロゲン元素が発生するため、飲用水の安全が脅かされている。人々の水質に対する要求が高まり続ける中、もはやこれまでの標準的な方法では国際水質検測標準を満たすことはできず、先進的な水処理技術を開発し適用するという新たな課題に直面している。

1.2.1 膜分離法水処理技術

膜分離法とは様々な種類の中から選定した膜を分離の媒体とし、両側から推進力が加わった時に原水の成分がその膜を通過し、分離または除去されることを目的としている。膜分離は新型の高効率精密分離技術であり、効率よく分離できるだけでなく、簡単な設備で常温での操作が可能、省エネ性にも優れ無汚染などの利点がある。統計によると、全世界での膜売上高は毎年14～30%の伸び率で増加している。膜分離法は水処理技術の中でも幅広い分野で適用が拡大しつつあり、中心的な排水処理技術として前途の見通しは明るい。

水処理は、現在、電位差と圧力差を推進力として利用している。圧力差を利用する膜分離法には逆浸透膜(RO)、ナノ濾過膜(NF)、精密濾過膜(MF)がある。電位差を利用する膜分離法には電気透析膜(ED)がある。浸透、ナノ濾過、限外濾過、精密濾過は工業排水に適用し海水の淡水化や無機塩の分離などを行なうだけであったが、現在では濁度、色度、臭気、消毒副産物前駆体、微生物、溶解性有機物などを除去するなど幅広く利用されている。

図表4 主要な膜の種類

膜の種類	口径	除去物質	適用範囲
逆浸透膜	nm 級まで	ほとんど全ての溶解性物質を高効率で除去できる。	都市汚水の高度処理、特に汚水処理場二級排水リサイクル及び再生水リサイクルなどに適用される。高度処理に役立つ。
精密濾過膜	0.1～1 μm	粒子状の物質を効率よく除去できる、消毒による副産物を減少できる。	使用範囲は比較的広い。異なる水質量にも十分に適用できる。
限外濾過膜	0.05～1 nm	粒子状の物質を効率よく除去できる。	使用範囲は比較的広い。
ナノ濾過膜	1～2 nm	イオン選択性を有し、二価イオンに対する除去率が高い(95%以上)	河川及び地下水中のトリハロンメタン前駆体。低分子有機物、農薬、異臭、硝酸塩、硫酸塩、フッ素、ホウ素、砒素などの有害物質の除去。飲用水調整と高度浄化における最初の技術。

膜分離技術は最も将来性のある浄化技術である。その最大の価値は、汚水中に存在する汚染されていない成分を再利用できるという点にある。例えば油、化学物質、数種の栄養物質などがある。これは環境に無害であるだけでなく、再利用と収益拡大を真の意味で成し遂げているといえる。適切な水処理膜を組み合わせる技術を最適化すれば、高度な浄化処理を実現でき、原水処理においても飲用水としての可能な水質レベルを達成できる。

また膜分離法は、飲用水の水処理に適用されるだけでなく、汚水処理においても省エネ高効率技術として、数多くの新規プロジェクトで適用が開始されている。例えば、山西古交電所は国内最大規模の中鉱山元火力発電所であるが、亜臨界圧ボイラーでOMEX全膜分離法グリーンプロセスを採用した。具体的なプロセスは、原水-精密濾過-二級逆浸透-EDI-ボイラー補給水となる。さらに、浙江欧美環境工程会社では、「限外濾過膜+逆浸透膜」の技術を組み合わせ、全ての排水または排水の一部に対し膜技術による高度処理を施し、排水のリサイクルを実現している。これは財政面で企業に大きく寄与するだけでなく、すべての排水とリサイクル装置の排水をまとめて排出できるため、排出量をコントロールすることにもつながる。

これ以外にも、海水淡水化技術においても膜分離法の優位性が明らかになっており、海水淡水化のコストを引き下げている。大唐王灘発電所は中国で最初に限外濾過技術を採用した海水淡水化システムの操業を開始し、3万 m³/日の水量を確保、精製された淡水を発電所のボイラー用補給水とした。同時に発電所周辺の生活用水も確保でき、淡水化のコストは1トン当たり約4元であった。

現在、膜技術を先導するのは日本の東レ株式会社である。東レ株式会社は膜事業を展開する代表的な企業であり、1926年に設立された。資本金は約147億円で、東証一部上場企業である。世界で最も早く逆浸透技術の開発に従事した企業の一つであり、世界で唯一RO、NF、UF、MF、繊維濾布系列の膜技術研究開発を行ない市場に向けて全系列の膜製品を商品化している。中国の主要な膜企業は北京碧水源科学技術股份有限公司である。当該企業は自社開発のPVDF増強型/限外濾過膜とDF膜を有しており、「膜材料の研究開発、膜分離設備の製造、膜技術の応用」といった三つの課題攻略にも成功している。そしてこれらの技術に関しては知的財産権を有する世界でも数少ない企業である。

しかし標準的な水処理技術と比較すると、膜分離法はその技術工程により圧力下における栓塞、汚染、断線を避けることができないため、定期的な調整や、洗浄、検査が必要となる。また、後期運営コストは比較的高く二次

汚染を引き起こしやすい。そのうえ、膜処理技術による水処理コストは比較的高いとされており、このことが大きな課題となっている。

1.2.2 促進酸化水処理技術

促進酸化技術はオゾンや過酸化水素、紫外線などを併用して、水中の汚染物質を分解、除去する先進的技術である。現在、その処理には、オゾン処理、光触媒酸化、湿式酸化処理、促進酸化処理などがある。図表5は代表的な処理方法とそれぞれの長所と短所を示している。

図表5 促進酸化技術の主要処理別長所と短所

分類	長所	欠点	適用範囲
オゾン酸化法	有機物との反応が速い 二次汚染がない 汚水処理において効果的に色素、有機物を除去し、化学的酸素要求量を低下させることができる 飲用水の分野でもオゾン消毒は効果的であり、総トリハロメタンを発生しない	汚水処理のコストが高いため適用に関しては制限がある THMs の除去分野においてはオゾン酸化法は不安定であり、容易に分解され、消毒能力も失われる	飲用水消毒処理及び工業、製紙、捺染などの排水処理
Fenton 及び Fenton 類による酸化法	高温高压を必要としない 活性しやすく、速度は速い 反応条件は穏やかである 簡単な設備ですむ	排水には大量の Fe^{2+} が含まれるので、二次汚染を引き起こしやすい H_2O_2 の消耗が激しい pH 値の範囲が狭い	工業排水処理と低濃度少量排水処理に適用できる
触媒湿式酸化法	滞留時間が短い 酸化反応速度が速く、処理効率も高い 占有面積が小さい 二次汚染がない	耐高温高压、耐腐食の設備が必要なため、処理コストは生化学処理と比較して高い	高濃度の少量工業排水処理に適用できる
光触媒酸化技術	汚染物の選択性はない 反応条件は穏やかで、高温高压などの条件を必要としない 太陽光をエネルギーとして利用するため、無毒安全で安定している 触媒活性が高い 何度も使用できる	触媒剤の活性は失われやすく回収が難しい	現段階では触媒剤により光触媒酸化効率は低く、十分に太陽エネルギーを利用できないため工業化が難しい 光反応器の設計は工業生化学に適していない

近年、促進酸化技術は急激に発展しており、既に工業分野では多くの実績をあげている。次は、その具体的な適用例である。浦東では水企業が2001年から周家渡浄水場で黄浦江上流の原水にオゾン+活性炭素処理技術を採用し、高度な水処理技術で水質の改善に取り組んでいる。この組み合わせ技術は通常の技術よりも細かい汚染物を除去することができるため、より安全な飲用水を提供できる。2005年5月、雲南ハイテクノロジー環境保護会社は湿式触媒酸化技術処理を石油、ソーダ油滓の排水に適用し、CODを95%以上、揮発フェノールを99%以上除去することに成功した。処理工程におけるシステム運用は安全性も高く、周辺環境に汚染は発生しなかった。当該技術は国家環境保護総局、中国環境保護産業協会による審査で、国家重点環境保護実用技術として認定されている。武漢の方元環境科学技術股份有限公司は「マイクロ波無極紫外線光触媒酸化+吸着触媒酸化」技術を発表し、この技術の適用を開始した。結果、漂白工程での排水のリサイクル率が60%となり、染色後の温水による洗浄工程では再加熱によるエネルギー消費を削減できた。結果、汚水処理と汚水排出費用で約60元/トンのコスト削減が見込まれており、この技術を採用する企業にとっては明らかに収益改善につながることが証明された。

中国で代表的な促進酸化技術を持つ企業といえば、遼寧省の来徳環境工学会社であり、電気化学酸化促進技術、湿地酸化技術、光触媒酸化技術、オゾン触媒酸化技術、UV重合過程酸化技術、促進生物酸化技術など、工業分野での有機性排水処理、製薬会社での抗生物質汚染水処理、シアンを含む排水処理及び他の脱酸素

水処理工程での応用を実現している。主な具体例としては、純水、注射用水、高純水、超純水及び工業排水や生活排水からの再生水、クロールアルカリ脱硝、海水淡水化などの製品設計工程があげられる。

1.2.3 電気化学水処理技術

電気化学水処理技術は主に屋外の発電所において、電気化学工程、物理工程を通して大量の活性酸素を発生させ、活性酸素の強酸化性を利用し排水の汚染物質を分解する技術である。電気化学法は一般的に化学剤を添加する必要がないため二次汚染を避けることができる。占有面積は小さく、操作は簡単で汚泥も少ない。欠点としては反応工程が複雑なため、電気材料の消耗が激しく、処理効率が低いことが挙げられる。

電極反応の発生方式に基づき、電気透析、電気凝集、電気触媒酸化の三種類に分けられる。電気透析技術は大規模な化学工業地区において発展しており、膜分離分野においては重要な位置を占めている。最適なイオン交換膜の出現に伴い、電気透析技術の将来性は高く、より広範囲に広がっていくと考えられる。電気凝集は通電時に溶出する電極金属イオンの運用を成熟させたものであり、電源技術に新型電極材を結合させることでさらに改善され、エネルギー消費と材料の消耗を抑えることができる。電気触媒酸化処理は生物分解では難しい有機物排水に対する研究領域として注目が集まっている。まだ工業化はされていないが、高効率な触媒性電気エネルギーの開発に伴い、徐々に適用できる技術として評価も高まりつつある。

電気化学処理技術は特に捺染排水の排水質を高めることができる。例えば、上海の大規模捺染企業では、一日当たり混合汚水が約3,500m³、その汚染度はBOD₅が約400mg/L、COD_{Cr}約1700mg/L、色度700倍、固体浮遊物濃度が約500mg/Lであった。そこでマイクロ電解嫌気性及び二級活性汚泥処理工程を採用したところ、BOD₅が24mg/L、COD_{Cr}96mg/L、色度40倍、固体浮遊物濃度が約59mg/Lとなり、良好な処理効果を得ることができた。

1.2.4 超音波酸化技術

超音波技術とは、音波キャビテーションという現象を利用してエネルギー密度を高めたあと、気泡爆発に伴う極小のスペースにエネルギーを放出し、高温高圧場「ホットスポット」を形成する技術である。これにより化学反応が促進される。超音波技術を利用した水中の化学汚染物質の分解(特に分解しにくい有機汚染物)は、近年、注目される先進的な水処理技術である。この技術は除去効率が高く、反応時間が短く、簡単な設備で実施できるという特長を有している。ただ今後、成熟した技術として応用、発展させるためには多くの課題を解決する必要がある。例えば超音波反応器設計の最適化、超音波キャビテーション効果の増大とOH活性酸素発生率の向上、分解中に生産される物質の鑑定及び反応工程の定量化描写などである。

経済発展に伴い人々の生活水準は向上し、人々の環境保護意識、中でも水質に対する要求は高まり続けている。このため、水処理技術、特に先進的な水処理技術は未来社会において広範にわたる将来性を有しており、近い将来、給水企業の主要な研究テーマとなるはずである。

2 飲用水処理技術の発展状況

飲用水の水質と人々の生活水準及び健康とは密接な関係がある。中国経済の急激な発展や生活水準の向上は飲用水の水源汚染と地表水源の水質悪化をもたらし、特に飲用水中の汚染物の種類を複雑で多様なものにしてきた。このため、人々の飲用水に対する要求は高まり、飲用水の技術基準や水処理技術は発展を続けている。

2.1 各地の飲用水普及状況

水道は住民生活や商工業の企業経営にとって必要不可欠な設備であり、都市建設と発展の基盤である。そのため、政府は次々と民営化政策に着手し、水道などの水事業の独占を打破すべく市場化改革を推し進めてきた。

特に党の十六期三中全会では、市場参入の緩和を促し、非公共資本には干渉しない旨の法律法規を整え、非公共経済の発展を積極的に推進し、水道事業の民営化を進めていった。

これにより都市給水能力は高まり、水質水量ともに大幅に改善され、農村への水道設備建設も迅速に進んだのである。

2.1.1 国内水使用量及びインフラ普及率

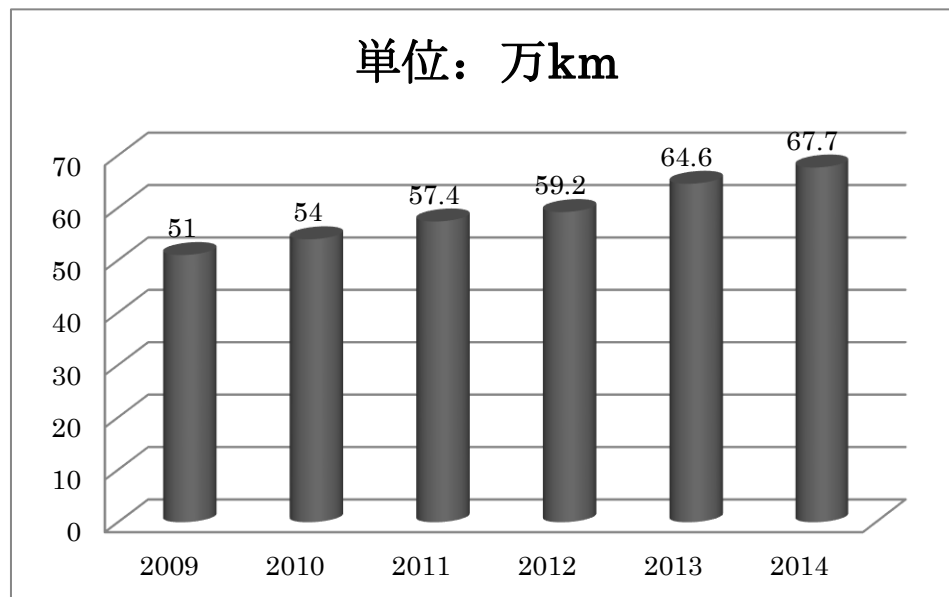
水道水の供給は主に都市部農村部に対して行われ、水道水利用者の高まるニーズに応えようとしている。図表6は2000～2014年の国内の供給量と使用水量である。表からもわかるように、供給と使用水量の総量は緩やかに増加している。中でも、住民生活における使用水量は2000年の575億 m^3 が、2014年には768億 m^3 へと増えている。年平均増加率は2.3%である。2014年の総供給水量は6,095億 m^3 であり、そのうち生活用水が12.6%を占め、工業用水は22.2%、農業用水は63.5%、生態環境補給水(人口措置により都市農村に供給される使用水と河川、湖水、湿地の水も含む)は1.7%であった。

図表6 2000～2014年 国内供給水量と使用水量の推移

年	供給状況(億 m^3)				使用状況(億 m^3)				
	総量	地表水	地下水	その他	総量	農業	工業	生活	生態
2000	5,530	4,440	1,069	21	5,498	3,784	1,139	575	
2001	5,567	4,451	1,095	22	5,567	3,826	1,142	600	
2002	5,497	4,404	1,072	21	5,497	3,736	1,145	619	
2003	5,320	4,286	1,018	16	5,320	3,433	1,177	631	80
2004	5,547	4,504	1,026	17	5,548	3,586	1,229	651	82
2005	5,633	4,572	1,039	22	5,633	3,580	1,285	675	93
2006	5,795	4,707	1,066	23	5,795	3,664	1,344	694	93
2007	5,818	4,724	1,069	26	5,819	3,600	1,403	710	106
2008	5,910	4,796	1,085	29	5,910	3,664	1,391	729	120
2009	5,965	4,840	1,095	31	5,965	3,723	1,391	748	103
2010	6,022	4,882	1,107	33	6,022	3,689	1,447	766	120
2011	6,107	4,953	1,109	45	6,107	3,744	1,462	790	112
2012	6,142	4,963	1,134	45	6,142	3,880	1,424	729	109
2013	6,183	5,007	1,126	50	6,183	3,922	1,406	750	105
2014	6,095	4,921	1,118	57	6,095	3,870	1,353	768	104

出典:中国統計局

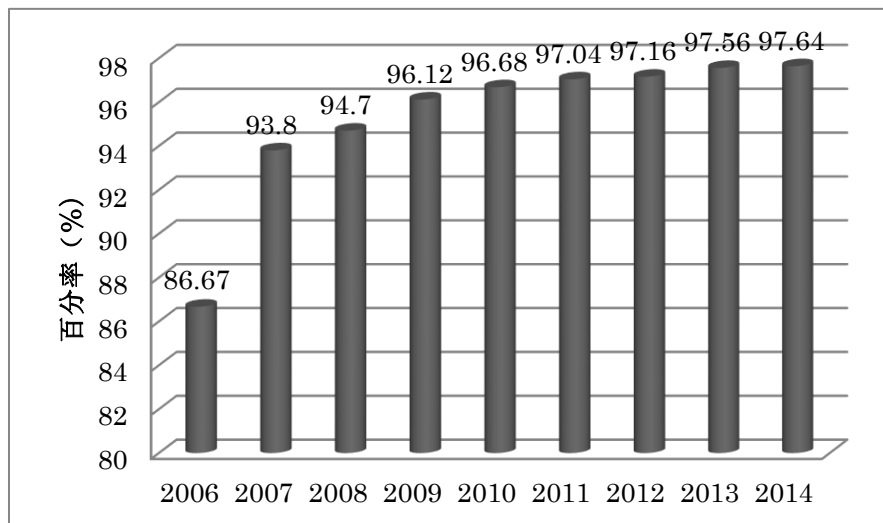
水道管ネットワークの建設に伴い、国内における給水サービスのカバーエリアが拡大を続けている。(図表7 2009～2014年 国内における水道管の長さ)。国家統計局の資料によると、2014年末時点の水道管の長さは67.7万kmであり、2009年と比べ大幅に長くなっている。これは年平均6.55%の伸びを示しており、供給能力は2.72億 m^3 /日で、2000年以降の年平均増加率は1.86%になる。



出典：中国統計局

図表7 2009～2014年 国内における水道管の長さ

生活用水の普及率も、年々上昇している。(図表8を参照)2014年末には658都市、1,613県、20,117鎮でそれぞれ97.6%、88.1%、81.7%の普及率であった。一方、公共給水普及率は都市が91.7%、県が82.5%であり、これは公共給水管ネットワークの漏出率が都市で15.5%、県で13.6%と、比較的高いことによる。今後、人口の増加に伴い都市化がますます進み、生活水準も高まることから、生活用水の需要と普及率は長期的に上昇を続けることが予想される。



出典：中国統計局

図表8 2006～2014中国国内の生活用水普及率推移

2.1.2 各地区水の使用量及び普及率

図表9は2013年国内各地区における生活用水の使用水量と普及率の状況である。国内の生活用水普及率は97.5%に達し、すべての都市において普及率は90%以上に及ぶ。しかし、人口の増加や経済状況の違いにより、各地区における使用水量と生活用水には大きな差がある。2013年、南方4区の使用水量は3,363.7億 m^3 であり、全体の54.4%を占めている。そのうち生活用水が占める割合は66.2%である。北方6区の使用水量は2,819.6億 m^3 であり、全体の45.6%、そのうち生活用水が占める割合は33.8%である。東部、中部、西部各地区の使用水量はそれぞれ2,226.0億 m^3 、1,960.1億 m^3 、1,997.2億 m^3 であり、全体の36.0%、31.7%、32.3%にあたり、生活用水量は東部で高く、中部と西部では低い。

図表9 2013年 中国各地区の生活用水使用量と普及率

地区	水使用人口(万人)	一人当たりの生活用水量(L)	普及率(%)
全 国	42,261.4	173.5	97.5
北 京	1,825.1	196.9	100
天 津	663.7	142.3	100
河 北	1,606.3	125.8	99.9
山 西	1,037.8	111.2	98.1
内モンゴル	851.2	97.5	96.2
遼 寧	2,295	128.7	98.8
吉 林	1,058.2	119.3	93.8
黒竜江	1,299.4	119.3	95.5
上 海	2,415.2	192	100
江 蘇	2,875.2	209.8	99.7
浙 江	1,997.4	192.3	100
安 徽	1,358.5	166.2	98.4
福 建	1,098.4	180.9	99.4
江 西	938.1	174	97.7
山 東	2,940.8	134.9	99.9
河 南	2,138.6	105.4	92.2
湖 北	1,807.3	214.8	98.2
湖 南	1,385.3	215	96.9
広 東	4822	242	97.5
広 西	903.4	239.9	95.9
海 南	242.1	222.9	98.4
重 慶	1,090.5	154	96.3
四 川	1,711.8	193.5	91.8
貴 州	578.2	152.4	92.9
雲 南	789.1	130	97.9
チベット	59.8	330	97
陝 西	831.6	179.5	96.5
甘 肅	531.9	142.2	93.7
青 海	162.2	179.6	99.1
寧 夏	254.7	144.7	96.5
新 疆	693	168.7	98.1

出典：中国統計局（2013年までの各地区使用水量の統計）

2.1.3 家庭用浄水器の普及状況

近年、水質汚染や空気汚染などの環境問題が日々深刻となり、人々の健康を脅かしている。今や、飲用水の水質は憂慮すべき状況にある。資料によると、中国では25.5%の飲用不適格な水があるとされる。2,800人近い人々が高硬質の水を飲用し、5,000万人が高フッ化水質の水を飲用している。これに加えて自然水と地下水には

重度の汚染が見られるため、不衛生な水を飲用する人々が引きも切らない。飲用水の安全は無視できない状況となっており、浄水器産業が発展したのである。

国務院が公布した《水質汚染防止行動計画》を受け、浄水器業界はこの二年間でブランド数と市場において「飛躍的な進歩」を遂げている。中国の水ネットワーク調査によると、諸外国での浄水器の普及率は70%から90%に達しているのに対し、中国国内での浄水器の普及率は5%、一級都市での普及率は上海で18%、広州で10%、深圳で8.5%である。このことから、国内の浄水器産業は今後大きな成長が見込まれており、市場の将来性は明るい。2015年の販売量は789万台であり、販売額は192億元に達した。それに比べて、ウォーターサーバーの販売額は徐々に減少しており、浄水器の販売額のわずか10%である。これは「水を飲む」から「水を浄水する」に向かっていることを意味しており、市場のポテンシャルは巨大である。

2.2 関連政策、法律法規及び関連技術基準

2.2.1 関連法律と行政法規

現在、中国で公布されている水資源の保護と排水処理関連の法律法規を以下に記す。その中の《環境保護法》と《水質汚染防止処理法》は水資源保護と排水処理の根幹を成す法律であり、水質汚染防止処理の原則、関係する部門及び各級政府の水質汚染防止処理の職責及び総合的な水質汚染防止措置を規定している。また《飲用水水源保護区汚染防止管理規定》は《水質汚染防止処理法》に基づいており、より詳細に地表の水源と地下水源の汚染防止処理条例を制定している。例えば、「異なる水質基準と保護要求に基づいて飲用水の保護区を設置し、一級保護区と二級保護区に分類する」、「本規定保護を執行する飲用水水源の単位を明確にする」などがある。2010年9月には、飲用水の水源環境保護をより強化するため、《分散式飲用水水源環境保護指南（試行）》を制定するとともに実施を開始した。同時に《全国都市集中式飲用水水源環境保護計画（2008～2020年）》を着実に推進し、飲用水の安全保障水準を引き上げてきた。また環境保護部は2012年3月に《集中式飲用水水源環境保護指南（試行）》を公布し、水質を高めるため飲用水水源の保護を強化した。

図表10 中国水資源保護に関する法律法規

番号	法律、行政法規の名称	公布部門	公布、施行日
1	中華人民共和国環境保護法	全国人民代表大会	2014.4.24 公布、2015.1.1 施行
2	中華人民共和国水汚染防止処置法	全国人民代表大会常務委員会	2008.2.28 改訂、2008.6.1 施行
3	中華人民共和国水法	全国人民代表大会	2002.10.1 施行
4	中華人民共和国水汚染防止処置法実施細則	国務院	2000.3.20 公布施行
5	中華人民共和国海洋環境保護法	全国人民代表大会	1999.12.25 改訂通過、2000.4.1 から施行
6	準河流域水汚染防止処置暫定条例	国務院	1995.8.8 施行
7	飲用水水源保護区汚染防止処置管理規定	国家環境保護総局	1989.7.10 施行、2010.12.22 改訂
8	都市農村排水と汚水処理条例	国務院	2013.9.18 通過、2014.1.1 施行

2.2.2 飲用水水質基準

《地面水環境品質基準》(GB3838-83)は1983年に公布され、1988年、1999年、2002年と3回改訂された。1999年の改訂では法令名が変わり《地表水環境品質基準》となった。1988年に公布された《地面水環境品質基準》(GB3838-83)には30の通常検査項目が含まれており、1999年のGB3838-83の基礎となっている。検査項目は通常検査項目と特別検査項目の2つに分けることができ、この時の改訂では、通常検査項目は31項目であった。同時に4項目からなる湖水ダム特別検査項目規準が公布され、地表水Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ類水域では有機化学物質40につき特別検査項目基準値を制定、全ての有機化合物と農薬に適用されるようになった。2002年4月28日には国家環境保護局と国家質量監督試験検疫総局が《地表水環境品質基準》を連合公布し、2002年6月1日から(GB3838-2002)が実施されている。当該基準には合計109の項目があり、そのうち地表水環境品質基準項目は24項目である。集中式生活飲用地表水源地補足項目は5つ、集中式生活飲用地表水源地特別検査項目は80ある。その多くは、《生活飲用水衛生規範》(衛生部2001年度公布)における通常検査項目(非常検測項目を含む)であり、その基準値は基本的に同じである。このことから、政府が飲用水水源の水質を重視していたことがわかる。

中国衛生部は2001年9月1日に《生活飲用水衛生規範》を公布、施行している。85年に公布された水質基準と比較すると、この《規範》は生活飲用水水質基準について多くの改訂を実施していることが分かる。酸素要求量の有機汚染物質総合指標を増やし、カドミウム、鉛、四塩化炭素の制限要求を高めた。また濁度を改訂し、関係する農薬や消毒副産物などの有毒有害物質を増やし、生活飲用水の水質を向上させ、国際飲用水水質基準に合わせた基準を設けた。2005年に建設部が公布した都市農村建設規準《都市供給水質規準》(CJ/T2006-2005)には、合計93項目の指標がある。そのうち通常検査項目が42、特定検査項目は51である。衛生部の《規範》と比較すると、この《基準》は国際給水水質基準を既に踏襲しており、より高い水質要求を提供しているといえる。現在、中国の生活飲用水の水質基準は6回の改訂が加えられており、下の表はそれを示している。現在執行されている飲用水基準は《生活飲用水水質基準》(GB 5749-2006)であり、2006年12月29日に国家標準化管理委員会と衛生部が共同で公布し、2007年7月1日から実施されている。この基準は国際的なものであり各国の水質基準をベースにしている。検査項目は合計106項目にわたり、そのうち通常検査項目は42項目、特別検査項目は64項目ある。

図表11 中国における生活飲用水の衛生標準

項目	1950	1955	1956	1976	1985	2006
感覚器官及び化学指標	11	9	11	12	15	20
毒性物指標	2	4	4	8	15	78
細菌学指標	3	3	3	3	3	6
放射性指標	-	-	-	-	2	2
指標総数	16	16	18	23	35	106

出典:《生活飲用水衛生規範》

2.2.3 飲用水関連投資

2014年11月、国務院は《創新重点分野である投融資機構に関する社会投資指導意見》の中で明確に「積極的に社会資本を促し市政基盤の構築と建設運営に参加させ、特許経営、投資補助、政府購買サービスなどの様々な方法で、社会資本を都市農村への給水、熱供給、ガス供給、汚水ゴミ処理、建築ゴミの資源化利用と処理、都市総合整備、公園一体化サービス、公共交通、停車設備など市政の基盤となるプロジェクトへ投資していく。そのために、政府は法に基づき要求に適う経営者を選ぶ」と述べている。また「政府は委託経営、譲渡-経営-譲渡(TOT)などの方法を採用し、社会資本を市政基盤となるプロジェクトの運営管理に回す。」としており、官民が

連携し公共サービスを提供する(PPP)方式を推進するとしている。積極的に社会資本を投入し、官民で協力し合うことを明確に打ち出しているため、公共サービスの生産供給能力もさらに強化されていくであろう。

2.3 飲用水処理技術の発展状況

飲用水処理の方法は水源の水質と利用者の水質に対する要求レベルに応じて決まってくる。飲用水の水質汚染やその危険が理解されるにつれ、長期的な飲用水処理技術の研究と適用が進められてきた。1879年には旅順から水を引き入れ、1883年には中国で初めての水道水場が上海楊樹浦水場として建設され操業が始まった。1949年には全国72の都市で約900万人に水道水が提供されており、一日当たりの給水能力は240.6万 m^3 、水道管の長さは6,589kmであった。特に改革開放以降、中国給水事業は飛躍的に発展し国際水準と近代化に向かって進み始め、2014年には都市の給水能力は2.72億 m^3 /日となり、水道管の長さは67.7万kmとなった。飲用水の処理技術の向上に伴い、給水事業も急速な発展を遂げたのである。

2.3.1 第一世代飲用水浄化技術

19世紀末から20世紀初頭にかけて現在の通常処理工程とされる、浄水、凝固、沈殿、砂濾過、塩素消毒などの標準的水処理技術が確立された。こうした処理工程は現在に至るまで世界の大多数の国で採用されており、水中の濁度、浮遊物、コロイド、色度、微生物などを除去することを目的としているが、沈殿水質、水中病原菌の除去に対しても十分な効果を発揮する。また、伝染病の流行を抑制することもでき、第一世代進化工程といわれている。

この工程は水質合格水源を基準としており、濁度と細菌の除去が主な目的である。ただ有機物、特に溶解性有機物の除去能力は低く(20%~30%)、新しい病原微生物である微小な微胞子虫(1~5 μm)は通常濾過技術では除去することが難しい。さらに、凝固沈殿は溶解状態の無機イオンを十分に除去することができず、アンモニア態窒素の除去効率も通常のわずか10%程度である。また、塩素消毒については強い抗生物質があり、有機汚染物を含む水を塩素消毒すると有機ハロゲン化物などの「三致」物質を発生すると言われている。

現在、この工程は中国でも90%以上の水処理場で採用されており、使用する消毒剤は一般的に塩素、漂白剤、二酸化塩素、次亜鉛素ナトリウムなどである。

2.3.2 第二世代飲用水浄化技術

通常処理工程により浄化技術も進化した、飲用水の水質も改善されたが、水源水質の悪化に伴い水中の有機物量は年々増加し、微量の汚染物質の種類も増え続けており、もはや通常処理工程だけでは能力の限界を迎えていた。そこで、この問題を解決するために第一世代工程にオゾン処理や粒状活性炭吸着処理などの方法が加えられ、これを第二世代工程と呼んでいる。

海外ではこの方法は通常の処理工程と考えられており、中国でもこの種の方法を推進している。第二世代工程は粒状活性炭を使用して水中の有毒な有機物質や消毒の副産物として生み出された有機物、例えば、過マンガン酸カリウム、二酸化塩素、酸化剤にもなり得る過酸化水素などを効果的に除去することができる。桐郷市果園橋水処理場では通常水処理工程を採用しているが、水質汚染は日に日にひどくなっているため、処理水の水質を《生活飲用水衛生規範》要求に合わせるため、オゾン+生物活性炭処理工程を加えている。結果、今は水質がIVからV種の間を限界点として排出を行っている。

2.3.3 第三世代飲用水浄化技術

20世紀末、水環境汚染が深刻な状態となり、水中には新たな病原動物のヤツヒゲハラムシや微胞子虫が出現し藻類に大量繁殖した。これらの動物の毒素は藻類や水生生物、微生物の生態系に重大な問題を引き起こしたのである。こうした現象は、第一世代工程と第二世代工程では十分な解決と制御には至らず、有機物質と有害化学物質を除去できる「飲用水高度処理」技術が重視されるようになり、第三世代飲用水浄化工程が生まれることとなった。

膨大な研究成果の観点から考えれば、現時点では、飲用水については高度処理を施した膜分離技術が有効な手段といえる。膜分離技術は20世紀70年代から注目を浴びるようになり、90年代には飛躍的に発展した技術である。この技術は現在最もポテンシャルが高い高度な水処理技術といえる。異なる膜孔径により、精密濾過膜(MF)、限外濾過(UF)、ナノ濾過(NF)、逆浸透(RO)の4種類(下表を参照)に分類することができる。特に、限外濾過は膜分離水処理技術の中では注目度が高い。

図表12 代表的な膜分離技術

項目	精密濾過	限外濾過	ナノ濾過	逆浸透
膜孔径	0.02~1.0 μm	5~20nm	2~5nm	<2nm
純粋透過流速 (L/(m^2h))	500~10,000	100~2,000	20~200	10~100
膜構造	均質、非対称	非対称	非対称、複合政策方法	非対称、複合
膜生産法	相転換法、伸張	相転換法、伸張法、焼結法	相転換法(表面処理)	相転換法(表面処理)
膜構成形式	中空糸式、管式、平判式、ロール管式、巻式			
処理対象	微粒子、細菌、ウイルス、藻類など	微粒子、細菌、ウイルス、藻類、腐食酸など	微粒子、細菌、ウイルス、藻類、腐食酸、フルボ酸、アンモニア態窒素、消毒副産物など	微粒子、細菌、ウイルス、藻類、腐食酸、フルボ酸、有機塩、消毒副産物など
濾過圧力(kPa)	20~200	50~500	500~3,000	2,000~1,0000
運行エネルギー消費 (kWh/m^3)	0.03~0.3	0.05~0.5	0.5~3.0	1.0~7.0

限外濾過膜は、基本的には水中の全ての微生物を遮って除去することができるため水の安全性は高まるが、物理的な技術を施すため、溶解性のものや小分子物質に対する効果は低いといえる。つまり、微生物を除去する点では有効であるが、いくつかの有毒性の溶解物質に対しては明確な効果は見込めないのである。新たな世代となるこの工程は、限外濾過を技術の核とし、粒子と細菌を効率よく除去するとともに、有機物及び他の有毒物質に対しても優れた抑制作用を発揮するものであり、国際ニーズにも対応できるものとして期待されている。

頻繁に利用される組み合わせとしては、微凝集-直接限外濾過、混合-凝集-限外過程、混合-凝集-沈殿-限外濾過及び通常処理-オゾン活性炭-限外濾過などの工程が挙げられる。大規模工程での応用分野では、2010年末、無錫中橋水処理場において、限界濾過膜を基本とする「凝固-沈殿-砂濾過-消毒」を施した結果、15万トン/日の水量を60万トン/日にまで増量させることに成功した。今や、無錫は優良で安全な給水ができる水処理場の1つとなっている。美得華股份有限公司では20kg/hのオゾン発生器3台を設置し、そのうちの2台を使用、1台を予備としている。オゾンの最大投与量は2.0mg/Lである。中橋水処理場の運行期間におけるオゾン投与量は約0.5-2mg/L、液体窒素の平均消費が14g/ m^3 であることから、コストは0.010元/ m^3 増加した。さらに、液体窒素缶のレンタル料は8000元/月、コストは0.001元/ m^3 増加。活性炭費用は、28カ所の生物炭フィルターボックスの総炭量を3,000トン、活性炭の使用期限を3年として計算すると単価は10,000元/トンとなり、コストが0.057元/ m^3 増加した。中橋水処理場のオゾン生物活性炭処理システムのコストは約0.228元/ m^3 の増加となったが、排水水質は《生活飲用水衛生基準》の要求を満たすことができた。

2.3.4 今後の展望

改革開放以降、国内では都市化と工業化が急速に進み、同時に飲用水水源の深刻な汚染が進んだ。それにより飲用水中に病原微生物が発生し、化学成分の量も増加した。飲用水に対する通常処理方法（凝固、沈殿、濾過、消毒など）は主に水中の浮遊物と細菌を除去するものであり、各種溶解性化学物質の除去には効果が薄いため、水汚染のもたらす危害を完全に除き去ることはできなかった。長距離輸送や高層冷蔵庫による二次汚染の懸念もある中、日に日に高まる飲用水の高レベル要求に呼応することができず、もはや安全で衛生的な飲用水とはいえない状態となっている。そのため、各種有機物と有害化学物質を除去する「飲用水高度処理」技術に注目が集まっていった。

今や、飲用水の高度処理技術は十分な進歩を遂げ、実用処理技術として徐々に広範域で適用されつつある。中でも、広く適用されているものとして、膜分離技術、活性炭吸着技術、生物処理技術、光酸化技術、超音波キャビテーション技術などが挙げられる。

いずれの高度処理方法も単独で採用する場合は、飲用水の水質を十分に高められないという欠点がある。このため、近年では物理、化学、生物などの処理方法を組み合わせた高度処理技術が採用されている。例えばオゾン-生物活性炭やオゾン-限外濾過工程などの組み合わせである。中でも、オゾン-生物活性炭の組み合わせ技術は、20世紀の70年代初めに欧州から伝わり発展したもので、オゾン酸化、オゾン滅菌消毒、生物分解と活性炭吸着の4つの方法を連携させた技術である。この技術は欧州で成熟し発展したが、今や各国の汚染水と飲用水中の有機物の処理工程に適用されており、中国でも北京田村山水処理場、上海周家渡水処理場、大慶石化総工場などで採用され徐々にその広がりを見せている。

2.4 水サービス市場の発展

水サービス事業は市場化が著しく遅れている。それは、水は正式な商品とはみなされていない上に、水の価格は浄水コストよりも安いいため、給水を担う機関は長期にわたり欠損を出し続けることになるからである。水価格の設定にあたっては、浄水コストだけでなく、排水管ネットワークの建設と汚水処理コストも考慮しなければならない。さらに、市場への供給とコストの増減を把握し適切に価格を調整する機関が設立されていないため、恒常的に給水価格は低くなり、深刻な欠損を招くこととなる。このため、水サービスを提供する企業はその経営が「安い水価格＋欠損金＋財政補助金」で成り立つこととなり、経営効率は決して高くなく、低い利潤を辛うじて維持できる程度の状況である。

国民経済の順調な発展と都市農村の生活水準が向上するにつれ、都市農村用水、特に住民の生活用水が着実に増加しており、それに伴い、水サービス産業は長い年月を経て徐々に成熟へと向かい、「便利時代」、「健康時代」を経て「エコ時代」へと突入した。「便利時代」では、消費者は基本的に飲用水の安全に対する健康認識は低く、消費のニーズはとにかく多くの飲料水を購入することであった。「健康時代」になると、消費者の飲用水に対する安心、安全の要求も高まり健康意識も向上していった。水サービス産業は、家電、設備、処理技術など様々な分野に広がり、自ずとその技術と製品に優位性が生まれていくようになる。健康をめぐり、省エネ、環境保護、栄養、公共サービスなどの総合的な需要が形成されていき、産業は消費者を取り巻く飲用水とエコ環境に集約され発展を遂げ、技術と製品に革新性をもたらした。同時に製品の機能向上や課題解決にあたる新市場も形成され、飲用水をめぐる産業は発展最高段階の「エコ時代」に突入、新たな産業が発展する好機が再び訪れたのである。

一方、水価格は水資源の供給と深く関わりがあるため、水資源の合理的な利用促進と経済社会の発展が水価格を左右する大きな要因となる。したがって、水価格をコントロールするには社会資本をいかに適切に投入し、継続的な利潤を生み出す余地を作り出すかが重要になる。近年、政府は水価格改革を推進するため、「水利工事水供給価格管理法」と「水価格改革促進のための用水保護水資源通知」を相次いで公布した。国内の多くの都市では、水価格の調整機関の設立費用、合理的に都市へ給水するための設備や水利工事費用、汚水処理費用などを捻出するための具体的なプラン作りが計画されている。

このほかにも、水サービス事業の運営の見直し、管理レベルの向上、人的資源の最適配置に取り組んでいる。新技術を採用することで、処理工程や設備管理を効率よく進め、コスト削減を実現、投資に見合う収益をもたらす可能性があることから水サービス産業には大きな発展余地があるといえる。

2.4.1 水サービス企業とその競合市場

中国の水サービス業界には多くの企業が存在するが、水サービス、特に給水サービスに関しては行政の独占状態にあり、民間の参入は大きな制限を受けていた。それが2002年以降、政府が投資を奨励したことで、多くの外資と民間企業が給水事業に参入してきた。現在、都市の水サービス事業の資金調達には4つの手段がある。政府からの融資、民間主導による市場からの資金調達、合弁、項目融資（PPP/BOT/TOTなど）であり、さらに新型融資方式（ABS、環境産業基金、宝くじ）もある。このうち合弁及び項目融資について取り上げる。

2.4.1.1 合弁方式

現在、国内に存在する合弁会社は、国内企業と海外企業の相互が出資し、事業を運営するケースが多く様々な事業体が参入している。合弁には主に2つの形式がある。

一つは共同会社を新たに設立する形式である。外資を取り込み、新しい水会社を設立する。これはフランチャイズの権利を獲得しインフラを整備できるが、水の販売権はない。また契約期間満了後は、共同会社は固定資産を中国側に返却する。最も有名な例はヴィヴェンディ上海浦東水サービス会社である。フランスのヴィヴェンディ水サービス会社は2001年と2002年に約21億元で上海水道水浦東会社の株50%を購入した。上海市水サービス会社はフランス水サービス会社から水道水浦東会社の株50%を譲渡する契約を締結しフランスのヴィヴェンディは23億元を投資、水サービス業界では初めてとなる中国と外国企業との共同出資、共同経営、リスク分担、経営コスト分担で固定収益を生み出す水サービス会社が誕生した。

もう一つの形式は合併である。これは株権を介しての戦略投資形式である。最も有名なのは2002年から2003年にかけて、首創威水とフランスのヴェオリア水サービス会社が共同出費で深圳市水サービス団体の株を45%獲得した例である。これは今日に至るまで国内最大の水サービス合併事案となっている。深圳市政府とフランスヴェオリア団体及び首創威水投資会社は深圳水サービス団体の株45%を譲渡する契約を結び、4億ドルの資金を投入しヴェオリア環境団体の持ち株5%、ヴェオリア環境と首創の合併による首創威水投資会社の持ち株を40%とした。深圳市と再建された深圳水サービス団体はフランチャイズ経営に合意し契約を交わした。

2.4.1.2 項目融資方式（またはフランチャイズ経営形式、または PPP 形式と呼ぶこともできる）

2004年5月1日に公布された《市政府公共事業フランチャイズ経営管理法》第二条規定によると、市政府経協事業フランチャイズ経営とは政府の関係する法律や法規規定に基づき、市場競争を通して市政府公共事業入札者や経営者が、明確に定められた一定の期間と範囲内において市政府公共事業製品、またはサービスを提供する制度を指す。とある。

BOT形式

代表的な例は2つある。一つは成都第六水処理場BOTプロジェクト、もう一つは三亜海南天涯水サービス会社と中法水サービス投資会社の30年間の協力経営プロジェクトである。現在、都市水サービス業界においてはBOTが主流となっている。

成都水道水六工場B工場プロジェクト投資総額は1,065億ドルであり、株式資本は3,200万ドル、プロジェクト貸付金は7,450万ドル、アジアの銀行と欧州投資銀行が共同で融資している。本プロジェクトのフランチャイズ期間は18年であり、フランスの水サービス団体-日本の丸紅株式会社連合体が入札し、プロジェクトの構築、運営を担ってきた。そして2003年には全資産を成都市政府に移管し、現在は成都市水道水会社が維持管理している。

BOTから様々な形態が誕生している。その中に「準BOT」というものがある。正確には国際間の融資に関わるBOTとは異なるが、形式上「建設-運営-移行」の工程を経ており、償還請求に制限がないため、中小プロジェクトに適した形態と言える。政府がプロジェクト運営会社の筆頭株主として存在し、資金と土地を投入するため、場合によっては、プロジェクト貸付金が筆頭株主への貸付金となることから、正式なプロジェクト融資とは言い切れない側面を持つ。

この方面での成功事例として、北京経済技術開発污水处理工場を挙げることができる。2000年に北京経済技術開発地区管理委員会と北京経済技術投資開発総合会社とアメリカオークランド集团有限公司が協力して北京金源経済開発污水处理会社を設立した。開発地区の土地使用権を条件とし設立された共同会社であるが、無償使用ではなく、比率に基づき利潤を分配してきた。20年のフランチャイズ経営期間終了後は、污水处理場は無償で開発地区に移管されている。

TOT形式

《移管-経営-移管》で、政府部門か国有企業が建設したプロジェクトの財産権や経営権を有償で一定期間、投資家に譲渡する形態である。受託側は運営管理を行い、契約満了後に政府部門か元の企業に返却する。

TOTが水サービス業界で成功した事例としては、2004年、経営権を移管された江蘇省常州市城北污水处理場プロジェクトがある。深圳市の水サービス会社から落札し、正式に常州城北汚染污水处理場が運営管理を受託した。譲渡額は1.68億元、譲渡期間は20年、政府にとってこの1.68億元は短期融資に相当する。

O&M形式

Operation and Maintenanceとは運営とメンテナンスの外部委託、またはレンタルであり、政府部門と民間会社が合意契約し、政府の水サービス施設の運営とメンテナンスを民間会社に委託する形態である。民間会社の収益は一定期間保証されるが、投資とリスクを担うことはない。政府は民間会社にサービス料と委託管理料を支払う必要がある。

中国の広西西朗污水处理場と深圳草埔污水处理場ではこの形式が採用されている。2000年、北京都市排水集団責任会社は競争入札を通して広州市西朗污水处理場の17年間の運営とメンテナンスの契約を獲得した。また広州には広州市京水水サービス会社が設立され、細浪污水处理場及び40kmにわたる污水管と4カ所のポンプ場の運営とメンテナンスを担っている。

2.4.2 家庭用浄水器の発展状況

2011年以降、国内の浄水器産業は発展を続けている。2011年は順調に推移し、2013年には参入企業が増加、2014年には前年を上回る活況を呈し浄水器市場は著しい発展を遂げた。《2015年浄水業界白書》によると、2015年、中国国内の浄水器市場の市場規模は192億元とされており、将来の展望は非常に明るい。

今後、浄水器市場は1,000億元を超えるとの予想もあり、主に新たな機器の購入と部品交換という2つの市場が考えられる。まず新しい機器の取付け市場に注目する。第六回全国人口調査結果によると、国内の31の省と市で40,152万世帯が生活しているとされ、仮に30%の地域で水質状況が悪いということになれば、およそ12,000万世帯が浄水器を設置する必要に迫られる。そのうち仮に50%ほどの世帯に普及したと考えれば、1台2,000元として、1,200億元規模の市場になる。次に部品交換市場を試算してみると、仮に逆浸透膜フィルタなどを中心に部品を2-3年周期で交換していくと、価格は1回の交換で200元、活性炭とPP綿フィルタの交換周期は6-12カ月で、1回あたり100元である。これらを合わせると、毎年180元前後の交換費用が生じることになる。毎年6,000万台の浄水器で部品の交換が必要だと考えると、その市場は108億元に達する。こうしたことから、中国の浄水器市場は発展段階にあり、将来の市場は1,000億を超えるとみられ、浄水器市場は巨大な発展潜在力を有しているといえる。

浄水業界は「爆発的」に拡大しており、投資熱にも火が付いている。業界内での競争はより激しさを増し、確実な統計ではないが、現在、国内の浄水器市場には3,000にも及ぶブランドがあるとされ、凄まじい競争状態にあ

る。白書には2014、2015年に市場に登場した新ブランドが多数紹介されており、当面はQINYUAN、Midea、Angelなどのブランドが主力となりつつも、Haier、GREEなどの家電ブランドも市場投入を強化している。海外ブランドではA.O.Smith、Unilever、3Mなどが激しく争っている。フランチャイズ形式のアムウェイ、無限局、完美なども市場に参入してきている。中小企業も参入し、業績を伸ばしているため、市場争いはますます激しくなっている。図表13は2015年の浄水器業界における優良企業である。

図表13 2015年 浄水器業界優良企業

受賞形式	受賞機関
2015 消費者最高信頼ブランド賞	アメリカ A.O.Smith 会社
	浙江 QINYUAN 水处理科学技术股份有限公司
	飛利浦(中国)投資股份有限公司
2015 最も消費者に好まれた製品賞	アメリカ A.O.Smith 会社
	Maide グループ温水器事業部
	Haier 日日順家水設備股份有限公司
	Angel 飲用水産業グループ
2015 条水業種創新製品賞	Kevlar 環境科学技术股份有限公司
	珠海 GREE 電器股份有限公司
	碧水源科学技术股份有限公司

出典：《2015インターネット+スマート浄水器産業フォーラム》

この中では、アメリカのA.O.Smith会社が業界のリーダーである。中国の浄水器市場を順調に発展させるため、市場ニーズに応えることを最優先にする一方で、新たな応用技術の開発を推し進め、逆浸透膜浄水器、第二代逆浸透膜浄水器などの技術を開発し、業界の発展に尽力したのである。

データが示す通り、浄水器市場では逆浸透膜技術の市場占有率が2014年1月の25.4%から12月には52.7%まで上昇し、年度累計ではその占有率は46.7%に達したのである。2015年にはさらに60.9%にまで伸び、緩やかな上昇を続けている。逆浸透膜浄水器の核となる部品は逆浸透膜(RO膜)であり、濾過孔径は0.0001ミクロン、頭髮の百分の一である。限外濾過膜は物質だけでなくウイルス、細菌などのより微小な金属イオンのほか、水中の鉛、水銀、クロム、カドミウムなどの重金属イオンも除去することができる。濾過された水はピュアウォーターの水準にまで達しており、日常の飲用水として問題なく使用することができる。

浄水器業界は順調に発展しているが、無視することができない問題も抱えている。「爆発的」な普及を背景に、品質の低下と、そこから派生する設置後の様々な問題の早期解決が急務となっているのである。適切に設置されない浄水器は、「漏水器」に、フィルタの交換サインが表示されない浄水器は「汚水器」に、運行工程を管理コントロールしない浄水器は「危険器」にそれぞれ変化してしまう。

上述から、浄水器産業の発展のためには、業界特有の課題を探求し続けなければならない。ただその一方で、浄水器業界の見通しは明るく、目標も明確である。浄水器産業は絶えず進歩を続け、環境保護水準や汚染物質の含有量だけでなく、製品そのものも高水準に向かっていく過渡期である

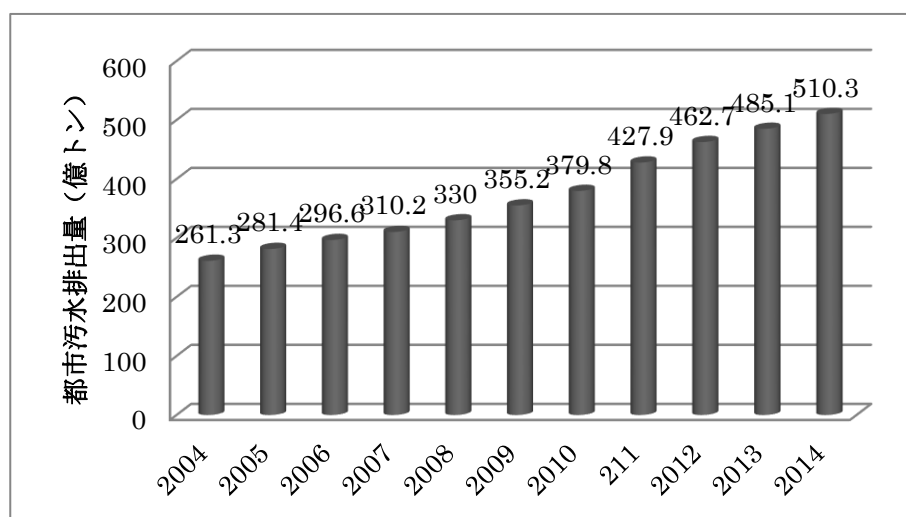
3 生活污水处理技術の発展状況

生活污水には住宅排水(台所、洗面所、浴室、洗濯など)、公共施設排水(ホテル、旅館、映画館、体育館、施設、学校、デパートなど)と工場排水(厨房、浴室、トイレ、洗濯室、ボイラー室など)がある。生活污水中の有機物質の含有量は高く、タンパク質、脂肪、洗剤、糞便などに含まれる細菌、ウイルス、微生物などが主要な構成成分となっている。中には無機物も含まれる。生活污水は生化学反応を起こしやすいので比較的処理に手間はかからないが、人口増加や経済の急速な発展、都市化の加速などにより生活用水量は急速に増大し、それに伴い、生活污水の排出量も著しく増加している。

3.1 各地区の生活污水排出量及び処理の現状

3.1.1 各地の生活污水排出量

下の図は2004～2014年の都市農村地区の污水排出量を示している。生活污水排出量は2004年の261.3億トンから2014年には510.3億トンへと、この10年間で年々増加しており、年平均伸長率は9.52%に相当する。



出典：中国環境保護部

図表14 2004～2014中国生活污水排出量の推移

下の表は2013年の中国各地区の生活污水排出量である。全国の生活污水排出量は485.1億トンであり、前年と比べ4.8%増加している。これは総排出量の69.8%にあたり、前年と比べ2.2%増加している。また污水处理工場は1,736カ所と、同様に3.95%増えている。総排出量が30億トンを上回っている省は、多い順に広東、江蘇、山東、浙江、河南、河北、四川、湖南と続き、8つの省の総排出量は370.9億トンに昇る。これは全国の57.6%を占めている。また上位3位の広東、江蘇、山東の都市生活污水排出量はそれぞれ全国の14.3%、7.7%、6.5%に相当し、東部、中部、西部と東北部の都市生活污水排出量はそれぞれ239.5、112.9、1、33.6億トンとなり、全国の49.37%、23.27%、20.42%、6.94%にあたる。

図表15 2013年中国各地区生活污水排出量

地区	排水排出量（万吨）		污水处理工場
	総量	都市生活污水排出量	
全国	6,954,433	4,851,058	1736
北京	144,580	134,991	42
天津	842,10	65,469	39
河北	310,921	200,953	73
山西	138,030	90,203	32
内モンゴル	106,920	69,900	38
遼寧	234,508	156,106	86
吉林	117,703	74,980	38
黒竜江	153,090	105,244	49
上海	222,963	177,210	49
江蘇	594,359	373,526	190
浙江	419,120	254,972	74
安徽	266,234	195,091	60

福建	259,098	154,258	49
江西	207,138	138,617	33
山東	494,570	313,124	145
河南	412,582	281,650	64
湖北	294,054	208,836	74
湖南	307,227	214,510	56
広東	862,471	691,295	211
広西	225,303	135,641	32
海南	36,156	29,374	20
重慶	142,535	108,937	41
四川	307,648	242,574	73
貴州	930,85	70,112	28
雲南	156,583	114,635	31
チベット	5,005	4,604	1
陝西	132,169	97,166	31
甘肅	64,969	44,769	22
青海	21,953	13,550	8
寧夏	38,528	22,810	10
新疆	100,720	65,949	37

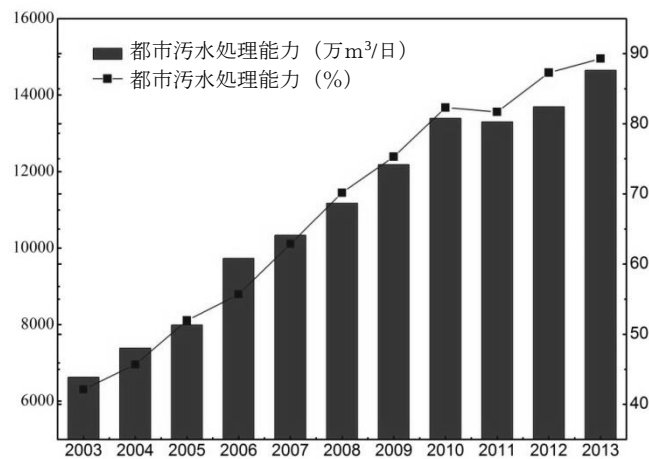
出典：中国統計局

人口の増加により、都市化も進み人々の生活水準も向上する。それと並行し、都市生活污水排出量は今後も右肩上がり増大すると考えられ、新たな汚水源が発生することが予想される。このことは将来にわたり、中国における污水处理業界の重要なテーマとなり続けるであろう。

3.1.2 各地の生活污水处理の現状

経済の発展に伴い、都市の使用水量と污水排出量は増え続け、水汚染問題と水資源不足は日に日に厳しさを増している。大都市では污水防止処置の強化と、水資源不足の緩和が急務であったが、污水处理業界の発展は一時、停滞しており、近年、政府は業界の発展に注力するとともに、都市に対して污水集中処理施設の建設を義務づけたのである。そしてさらに、国家「十一五」計画と「十二五」計画において、明確な都市污水处理基準を打ち出した。2012年4月、国務院が《「十二五」全国都市污水处理及び再生利用施設建設計画》を公布したことで、2015年には、全国すべての都市と県に污水集中処理施設が整えられ、都市污水处理率の平均は85%、県污水处理率は70%、鎮污水处理率は30%に達した。また、2013年9月に国務院は第24期常務会議を召集し、《都市農村排水と污水处理条例》を公布、2014年1月1日より第三条規定を施行させている。これにより県級以上の政府は、率先して、都市農村排水と污水处理業務を国民経済と社会発展計画に組み入れなければならなくなった。

国の政策が推進される中、近年中国では投資を進め、污水处理施設の建設のスピードを加速させており、その処理能力を向上させている。国家統計局のデータによると、都市污水处理能力は2003年末に6,626.4万 m^3 /日であったものが、2013年末には14,652.7万 m^3 /日まで達し、年平均増加率は10.1%（下図参照）、污水处理率は42.12%から89.3%まで上昇した。全国の污水处理工場は1,736カ所となり、前年より66カ所増加している。污水处理工場の一当たりの処理能力は12,454.2万 m^3 であり、同じく6.1%増大。排水管の長さは46.5万kmで5.9%増大、都市の年間污水处理総量は381.9億 m^3 、その処理率は89.34%で、前の年より2.04%増加した。全国の県の污水处理工場は1,504カ所となり、前年より88カ所増加した。污水处理能力は2,691万 m^3 であり2.6%増大、排水管の長さは14.9万キロとなり8.8%増大した。県の昨年の污水处理総量は69.1億 m^3 、その処理率は78.47%であり3.23%増加した。表からもわかるように、前述の污水处理量が上位3位の広東、江蘇、山東ではそれぞれ生活污水排出量が12.01%、10.96%、5.95%であり、処理率の順位は山東、河北、重慶と続き、それぞれ94.1%、94.1%、92.9%である。最低のチベットと青海はそれぞれ0.1%と61.6%である。



出典:中国統計局

図表16 2003～2013年 中国都市污水处理状況

図表17 2013年中国各地区の污水处理状況

地区	污水处理状況		
	総能力 (万m³/日)	総量 (万吨)	都市農村污水处理率 (%)
全国	14,652.7	3,818,948	89.3
北京	401	131,405	82.9
天津	261.6	70,852	89.2
河北	516.8	141,270	94.1
山西	179.8	55,988	85.9
内モンゴル	171.4	46,563	88.2
遼寧	825.1	203,287	86.8
吉林	262.1	70,979	83.5
黒竜江	676.2	90,654	61.8
上海	784.6	203,523	87.1
江蘇	1,606.5	362,536	75.9
浙江	802.6	210,529	86
安徽	600.2	130,229	88.4
福建	461.5	991,45	83.5
江西	230.4	65,024	81.9
山東	872.2	266,888	94.1
河南	537.8	152,373	89.3
湖北	581.9	162,407	87.3
湖南	499.2	134,310	78.3
広東	1,760.5	586,519	92
広西	642.2	107,570	59.3
海南	86.4	20,381	75
重慶	253.8	77,968	92.9
四川	444	137,238	74.4
貴州	188.5	39,453	91.1
雲南	233.7	64,415	90.3
チベット	5	6	0.1
陝西	250.2	69,007	89
甘肅	166.5	32,440	70.1
青海	34.2	10,600	61.6
寧夏	83.5	24,331	80.6
新疆	233.3	51,058	86.7

出典:中国統計局

3.1.3 生活污水处理市場の展望と需要予測

中国は2000年以降、都市の污水处理を非常に重要視したことで、この十数年で市場は大きな発展を遂げ、政府が講じた対策は隅々まで浸透しつつあり、都市や農村においては基盤となる施設が着実に建設され、污水处理が実現している。

2008年、国務院は第一期農村環境会議を開催し、2015までの《水污染防治計画》を打ち出した。その後、政策はより詳細で具体的なものへと改善を重ね、2015年4月16日、国務院は《水污染防治行動計画》を公布した。10条35項目の措置からなる当該計画では、政府、企業、国民が一丸となり水汚染に立ち向かうことを宣言しており、将来にわたる重点課題となるであろう。

江蘇を例に挙げると、2013年の末には省内の28,653の村において、生活污水管理による受益率が80%に昇る村が3,527カ所となり、全体の12.31%を占めるようになった。すでに生活污水管理が実施されているものの受益率が80%以下の村は12,707カ所あり、全体の44.35%である。いまだ生活污水管理が発展していない村は8,571カ所であり、全体の29%に相当する。受益農家の総数は約310万戸であり、全戸数の32.72%にあたる。

現在、中国には6.22億人の農村人口がおり、265万の村、約53.68万の行政村、3.29万の郷と鎮が存在する。郷と鎮の污水处理率は約30%である。農村では近年污水处理を実施している行政村の数が飛躍的に上昇しており、2013年には48,851カ所に達した。処理率は9.10%である。一方、村は行政村を下回っている。しかしながら、図表18からもわかるように、農村全体の処理率は10%足らずであり、総体的にみると、人々の生活水準の向上と環境保護に対する意識の強化及び国による強力なサポートが揃えば、郷と鎮、特に農村には巨大な市場があることは間違いない。

図表18 2015年都市、県、郷と鎮、農村における污水排出量と未処理量

種類	年排出量(億トン)	污水处理率	未処理量 (億トン/年)
都市	299	85%	44.85
県	88	78%	18.94
鎮編成	98	30%	68.60
農村	162	10%	145.80

出典：中国情報産業ネットワーク

3.2 国家政策と関連する法律法規及び技術基準

3.2.1 法律と行政法規

現在、中国が公布している水資源保護と排水処理関連の法律法規を図表19に記す。その中の《環境保護法》と《水污染防治処理法》は水資源保護と污染防治処理の根幹を成す法律であり、水污染防治処理の原則、関係する部門及び各級政府の職責など全般にわたり詳細に規定されている。都市の水汚染の改善を目指し、汚水処理施設の建設及び関連する産業の発展を促進するため、《水污染防治処理法》《都市計画法》《環境保全にかかる諸問題に関する国務院決定》に基づき、《下水処理及び污染防治技術政策》が制定された。本技術政策は都市の汚水処理施設に適用され、汚水処理工程とそれに関連する適切な技術を指導するものであり、水の環境をコントロールする技術の基準となっている。

図表19 中国における水資源に関する法律法規

番号	法律、行政法規の名称	公布部門	公布、実施日時
1	中華人民共和国環境保護法	全国人民代表 大会	2014.4.24 公布、2015.1.1 施行
2	中華人民共和国水污染防治処理法	全国人民代表 大会常務委員会	2008.2.28 改訂、2008.6.1 施行
3	中華人民共和国水污染防治処理法実施細則	国務院	2000.3.20 公布施行
4	中華人民共和国海洋環境保護法	全国人民代表大会	1999.12.25 改訂、2000.4.1 から施行
5	準河流域水污染防治処理暫定条例	国務院	1995.8.8 施行
6	飲用水水源保護区污染防治処理管理規定	国家環境保護総局	1989.7.10 施行、2010.12.22 改訂
7	都市と町排水と汚水処理場条例	国務院	2013.9.18 通過、2014.1.1 施行
8	汚水総合排出標準	国家環境保護総局	1996.10.4 改訂、1998.1.1 施行

3.2.2 汚水排出基準

中国では、処理後の生活污水が定められた基準値に収まるよう、関連する政策や法律法規及び技術基準を定めており、まずは厳格に国が求める排出基準に従わなければならない。国の排出基準は環境保護行政主管部門が定めており、全国と特定の区域内で適用される基準がある。例えば《汚水照合排出基準》(GB8978-2002)は全国で適用されており、図表20にあるように、都市汚水処理工場から排出される汚染物質の基準値が示されている。

さらに、地方政府が独自に制定する地方排出基準があり、省、自治区、直轄市などの政府の認可を経て公布され、特定行政区で適用されている。例えば《上海市汚水総合排出基準》(DB31/199-1997)は上海で適用される。《環境保護法》第10条規定には「省、自治区、直轄地の地方政府は国が定める汚染物質排出基準にはない項目を加え、独自に地方汚染物質排出基準を制定することができる。また国の汚染物質排出基準に既にある項目に関しては、国の規定より厳しくした基準を制定することができる」と述べられている。ひとつの項目に対しふたつの基準が存在するならば地方基準を優先する。例えば、現在、都市の汚水処理工場の排出に関しては《汚水処理場汚染物排出基準》(GB18918-2002)が国の目標として規定されているが、北京市が規定する《都市と町汚水処理場水汚染物排出基準》と比較した場合、基本的な検査項目のうち12項目の一般汚染物については、国の基準に比べ、CODを50～60 mg/Lから20～30mg/Lへ、アンモニア態窒素を5～8mg/Lから1.0～1.5mg/Lへと上げている。前提とする指標はⅣ類以上の水質としており、7項目の重金属については国の基準と比べてもかなり厳しい。

抽出された検査項目数を比較しても、北京市の規定のほうが11項目多く、全体的にはGB18918-2002より厳格なものとなっている。

図表20 都市と町の污水处理工場汚染物質排出基準

番号	基本項目		一級基準		二級基準	三級基準
			A 基準	B 基準		
1	化学的酸素要求量(COD)		50	60	100	120
2	生化学的酸素要求量(BOD ₅)		10	20	30	60
3	浮遊物(SS)		10	20	30	50
4	動植物油		1	3	5	20
5	石油類		1	3	5	15
6	マイナスイオン表面活性剤		0.5	1	2	5
7	総窒素		15	20		
8	アンモニア態窒素		5(8)	8(15)	25(30)	
9	全リン	05年12月31日前に制定	1	1.5	3	5
		06年1月1日から制定	0.5	1	3	5
10	色度		30	30	40	50
11	pH 値		6~9			
12	糞便性大腸菌群/(個/L)		10 ³	10 ⁴	10 ⁴	

出典:《都市と町の污水处理工場汚染物質排出基準》

3.2.3 技術規範と今後の計画

生物接触酸化や嫌気性生物膜法などの技術を適用し、環境保護や人々の健康維持を目指すため、《生物接触酸化法下水処理工程技術規範(HJ2009-2011)》と《生物膜法污水处理工程技術規範(HJ2010-2011)》が制定され、2012年1月1日から施行されている。この標準規定は污水处理工程の過程を指導しており、主要な工程設備や材料、検測、工程管理、施工、検収、運用、保全などの技術要求が定められている。

環境保護のための先進汚染防止技術のリスト化、応用、普及を加速させるために、国家環境保護部は関係する機関から先進の水汚染管理技術を取り入れ、2015年に《国家先進汚染防止モデル技術模範リスト(水汚染管理分野)》と《国家奨励発展的環境保護技術目録(水汚染管理領域)》を公布した。《国家先進汚染防止技術リスト(水汚染管理分野)》に列挙されている技術は先進的で、その管理効果は極めて高い。基本的に応用工程水準を満たしており、価値ある工程モデルといえる。《国家奨励発展的環境保護技術目録(水汚染管理領域)》に列挙されている技術は既に実践でその効果が証明されており成熟している。安定した効果が得られ、経済面でも合理的な運営が可能な推奨技術である。

整備された水処理技術と国務院が公布した污水管理計画により、污水处理技術はさらに明確なものとなった。2012年4月19日、国務院は《「十二五」全国都市污水处理及び再生利用施設建設計画》を公布し、一部の地域で建設されている污水处理施設に対しさらなる改善を施し、主要な汚染物の除去処理能力を強化した。そして2015年4月2日には、国務院は《水質汚染防止行動計画》(国内(2015)17日公布)を公布したのである。その計画には次のように述べられている。「都市と町の污水处理施設の建設と改善を加速させるために、各地域の土地の特長に則した措置を講じ、進めていく。そして2020年末には相応の排出基準をクリアするか、再生利用のニーズに応えられるようにする。環境敏感地域(重点湖水、重点ダム、海域沿岸水域)の都市と町の污水处理施設は2017年末までに全てで一級A排出目標を満たせるようにする。都市化が進むエリアで地表水の水質がⅣ類以上に達していないエリアでは、新たに污水处理施設を建設し一級A排出目標を実現させる。政府が発表した国家新型都市化計画に基づき、2020年までに全国の全ての県と都市で污水处理能力を完備し県、都市の污水处理率

をそれぞれ85%、95%くらいにまでに高める。特に、京津冀、長三角、珠三角などの地域では他のエリアより一年早く完成させる。」

3.2.4 汚染処理産業への関連投資

中国の生活污水業界はかつてない市場解放を行っており、2002年12月、建設部は《公共事業市場化の加速に関する意見》を公布した。この文書では明確に「海外企業による単独資本や合併による共同出資など様々な資本形態により民間資本を獲得し、公共施設の建設に参加する多様な枠組みを形成する。そして入札価格に基づき、水道、ガス、電気、汚水処理、ゴミ処理などの公共サービスを提供する事業者を選択したうえで社会に公開すべきである。」と述べている。

2014年11月、国務院が公布した《重点分野の投融資制度の革新による民間投資奨励に関する指導意見》では、明確に「民間資本活用を進めることで、汚水ゴミ処理、建築ゴミの処理と再利用、都市環境整備、公園整備サービス、公共交通、駐車場施設などの公共インフラの整備を推進する。」「政府と民間が連携する官民連携（PPP）を普及させていく」と述べている。

この2つの文書では、汚水処理業界有数の実行力、実績を伴う企業の参入を促し、民間資本の導入を強化するとともに、生活污水の処理能力の強化を図っている。

3.3 生活排水処理技術の発展状況

生活污水とはトイレの使用、シャワーや入浴、洗濯や炊事など日々の生活で排出されるものを指す。その主な特長としては、構成成分が複雑で、浮遊物濃度が高いが有機物濃度は低く、水質は一般的に弱アルカリ性であり、汚水中には人糞尿成分が多く含まれているという点が挙げられる。窒素とリン、特にリンの含有量が高い。使用済みの生活用水には変化が起きており、水中には有機物、浮遊物、病原菌が増加している。通常、生活污水の水質は生物化学的酸素要求量（BOD₅）が100～400mg/Lであり、化学的酸素要求量（COD_{Cr}）は250～1,000mg/L、浮遊物（SS）は100～350mg/L、pH値は6～9である。

生活污水は一般的には汚水処理場で集中処理される。中国の水源は日常的に不足しているため、多くの生活污水が処理後、再利用されており、そのためには高度処理を施す必要がある。河川、湖水、景観用水などの環境管理分野における水処理技術への主なニーズは、処理水量が多いこと、浄化速度が速いこと、運行コストが安いことであり、浮遊物、リン、化学的酸素要求量などの富栄養化現象を引き起こす主要汚染物に対する浄化効率が高く、持続的なクリーン保証能力を有している点にある。

生活排水処理技術は現在、既に円熟した技術段階に達しており、その中心技術は活性汚泥法技術である。標準的な活性汚泥法技術（または生物膜分離法）の改善及び発展が、様々な生活排水の処理を担ってきた。この技術は中小規模都市では余り活用されなくなったが、汚水の量、水質、排水基準及び現地の実態を踏まえ、合理的な水処理技術を選択し採用し、汚水処理を正常運行させることが、処理に関わる費用の正常化に大きく寄与することになる。

標準的で確立された生活污水处理技術。

污水—前処理—生物化学法—二層沈殿池—排水

前処理は事前処理技術とも呼ばれ、一般的にはグレーティングやガードがある調整池、沈砂池、最初沈殿池などが使用される。生物学的処理が生活污水处理の中心となるため、特に水処理技術のこの工程を指し、接触酸化法、SBR法、A/O法などと呼ぶことがある。生物化学法（嫌気性と好気性が含まれる）による処理は現在最も経済的で、最も広く応用できる水処理技術である。生活污水の水量、水質及び現場の条件により、様々な水処理技術の中から最適技術を選択することが、投資コストと運用コストを大きく左右することになる。以下に、一般的に採用される水処理技術を簡単に紹介する。

3.3.1 一般的な生活排水処理技術

都市における水処理技術は「七五」より科学技術の発展に伴い、徐々に研究が進められている。「七五」、「八五」「九五」と、国内の水処理技術は大きな成果を収めており、改革開放を契機に、海外の先進的技術が導入されてきた。したがって、技術についていえば、世界との距離は縮まってきているといえる。現在、水汚染管理技術としては、標準活性汚泥法技術では吸着再生法が、新型活性汚泥法ではSBR、酸化溝技術、A/O法とA2/O法に関する技術などが挙げられる。これらの工程は基本的に多くの都市污水管理要求に応えることができるものである。ここでは、標準活性汚泥法については省略するが、ここ数年で国内では一般的な技術となった工程を紹介する。

- 1) A/O法は嫌気性—好気性水処理技術であり、一般的な工程は以下の通りである。污水—前処理—嫌気加水分解池—生物接触酸化池—沈殿池—濾過池—排水。A/O法を改良したものにA2/O、A3/O技術があるが、原理は似ている。
- 2) A2/O法は嫌気性—無酸素—好気性法であり、一般的な污水处理工程である。二級処理水、または三級処理水を再利用することにより、窒素とリンの同時除去が期待できる。20世紀70年代にアメリカの污水处理専門家が嫌気性—無酸素—好気性法による窒素の除去工程をベースに、Wuhrmann工程、改良Ludzack-Ettinger工程、Bardenpho工程、Phoredox工程などを加え、幾つもの段階を経て開発したものである。国内では20世紀80年代の初めにA2/O法による窒素、リンの同時除去を目的とした工程の研究が開始された。80年代末には污水处理の適用に成功し、現在では成功経験が豊富に積み上げられている。
- 3) SBR法は逐次バッチ式活性汚泥法であり、一連の活性汚泥法より優れた特長を有している。現在、標準的な污水处理工程で適用されている。周期循環間欠曝気過程(CASS)はSBRを基礎として発展しており、生物選択区を一つ増設し、連続流入、間けつ流入を実現させることで糸状菌類の成長と繁殖を効果的に抑制することができる。また汚泥膨張問題が解決されるので、システム運行の安定性も高まる。
- 4) 酸化溝は活性汚泥法が変化したものである。酸化溝には様々な構造型式があり、一般的なものとしてA:カルーセル型、B:オーバル型、C:交代作業式酸化溝、D:曝気—沈殿一体化酸化溝が挙げられる。酸化溝の技術は既に大中規模都市の污水处理場で広く適用されており、その規模は数百m³から数万m³に及ぶ。日増しにその技術は向上しており、その構造型式もますます多くなっている。
- 5) 生物膜技術は微生物を不活性濾材で凝集し、膜上に生物汚泥を吸着、污水を効果的に分解する生物処理方法である。一般的な技術としては、生物接触酸化法、生物流層技術、生物膜反応器(MBR)、曝気生物濾過池(BAF)などがある。その中でMBRは再生水利用において広範囲に適用されている。

3.3.2 工程比較

中国では水処理工程技術の改善に伴い、A/O、A2O、MBRなどの比較的処理コストの安い技術が広まっている。投資と運用コストを下げるためには、各地域や土地の実態に則したプラン(主要なものは生物処理プラン)を採用することが重要であり、投資費用、運用費用、占有地面積、排水水量など多様な項目で検証を重ね、保全管理システムなどの比較を行い、最適な選択をする必要がある。

- 1) 占有地面積:酸化溝と伝統的活性汚泥法の場合、その占有地は広い。A2/OとA/O工程の場合は比較的小さく、MBRがいちばん小さい。(通常は水処理工程で占める面積は60%)
- 2) 投資費用:比較すると、酸化溝は投資コストがいちばん低く、A2/OとA/Oは比較的低い方である。MBRの投資コストは高いが、膜の違いにより価格に大きな差(国産の膜の採用で総投資額は通常の工程より40%ほど高く、輸入膜の採用では80%ほど高くなる)が生じる。

3) 運用及び管理コスト: 酸化溝の場合は自動化の程度が低いため、運用コストは高い。減価償却を含めず、人件費、電気代、薬剤費を毎日の運用費用として試算すると、MBRが最も低く1日当たり0.35元、A/Oが0.50元ほどである。減価償却を含めるとMBRはメンテナンス及び交換費用が高く、運用コストがA/Oより高くなる。

4) 排水水質: MBR、A/OとA2/O工程では排水水質は比較的良好で再利用水基準を満たしており、耐衝撃負荷能力も高いため運用は安定している。

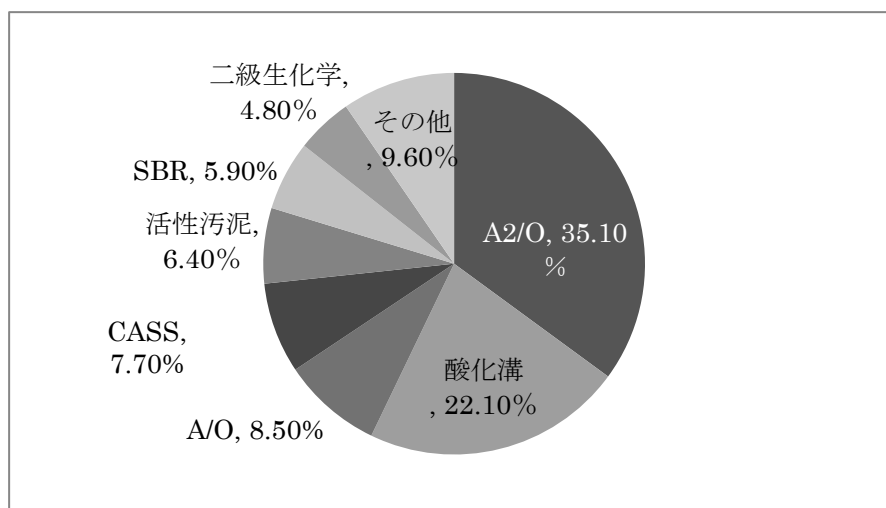
各工程技術にはメリット、特長、使用条件、デメリットがあるため、ひとつの工程が他の工程を補うことは不可能であり、したがって、現場状況に則した適切な技術を選択しなければならない。(一般的水処理技術の比較については図表を参照)

図表21 水処理技術の比較

工程	長所	短所	適用状況
伝統的活性汚泥法	汚水処理の効果が高く BOD ₅ の除去率が 90% 以上に達する。 高い浄化能力と安定性を求める場合に適している。	曝気池の容積が大きい、占有面積が大きく、建設費用も高い。 水質、水量変化による適用能力が低い。 窒素、リンの除去効果は低い。運用費用が高く、管理難度も高い。	国内で幅広く適用されており、技術も成熟している。
SBR 法	多くのケースにおいて、調整池を設置する必要がない。 SVI 値が低く、占有地面積が小さい。 一般的な状況下では、余剰汚泥が発生しない。または少しで済む。 運用形態の調整次第で一つの曝気池で窒素、リンの除去が成し遂げられる。	自動化のレベルが高いため、管理者にも高い資質が求められる。 投資費用が高い。 運用費用が高く、管理難度が高い。	新たに建設される污水工場では、その採用比率が高まっている。
A2/O 法	有機物除去と同時に、窒素、リンの除去が可能である。 SVI は一般的に 100 より低く、汚泥膨張が発生しない。 汚泥にはリンが多く含まれるので、肥料としての効果が高い。 運用費用は安い。	窒素、リンの除去効果を現状より高めることは難しい。 汚泥発生量の増加には一定の限界があるものの、低く抑えることが難しく、P/BOD 値が高い場合はその傾向が顕著である。	新しく建設される污水工場では、その採用比率が高まっている。
A/O 法	連続流入、連続排水ができ、運用コントロールが容易である。池容積の使用効率も高い。 耐衝撃負荷がある。 余剰汚泥発生量が低い。	曝気池の容積は大きく、建設費用も高い。 活性汚泥が膨張現象を容易に引き起こす。 運用費用が高く、管理難度も高い。	適用範囲は広く、国内水処理場の 10% 以上を占める。
酸化溝	処理効率が高く、効果も安定している。水温、水質、水量の変動に対し、高い適用能力がある。 汚泥寿命が長く、増殖速度が遅い微生物の生存、繁殖時間が長い。 汚泥発生率は低く、安定している。	占有地面積が大きく、建設費用も高い。 運用費用が高く、管理難度も高いため、複数管理者を置く必要がある。	国内での適用範囲は広く、成熟した技術といえる。
MBR	固体と液体の分離効率が高い。耐衝撃負荷性能が高い。 余剰汚泥が発生しない。 自動化コントロールが容易である。 占有地面積が小さい。	膜汚染を形成しやすい。 コストが高い。 運用費用が高い。	生活污水、石油排水、捺染排水、病院排水、ゴミ濾過処理などの分野で徐々に広がっている。

3.3.3 水処理技術市場の現状

下図は、2013年、中国の都市と町における水処理場の各処理技術の占有率を表したものである。酸化溝法、嫌気性―無酸素―好気性(A2/O)が現在の主流技術となっているが、近年、占有地面積が小さく、排水水質が高く、余剰汚泥が少ないなどの特長をもつ膜処理法が政府推奨の技術となっている。污水处理場の能力向上、改善及び再生水利用の点において膜処理法には優位性があり、膜応用分野の可能性は大きい。



出典：中国ネットワーク情報センター

図表22 2013年 污水处理場の処理技術別占有率

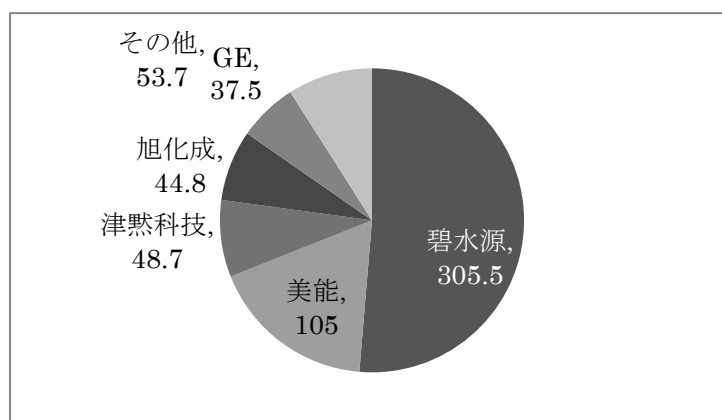
中国膜工業協会は現在《中国膜業界「十三五」戦略発展計画》を作成しており、膜生産額の倍増計画を策定、膜製品は今後も発展を続けるとの見通しを持っている。2020年までに膜生産額は2,500億元を突破し、年平均成長率は20%に昇るといわれており、この間に年間の販売額が50億元から100億元を超える企業は5社ほどあると見込まれている。最新の統計データによると、国内の膜技術市場は年率20%の速度で急速に拡大しており、これは世界平均を大幅に上回る。2008年、国内の膜技術の市場規模は16億元であったが、2013年には100億元にまで拡大し污水处理市場の8%を占めた。さらに2015年には300億元に達し、污水处理市場の27%に昇った。こうして膜技術は従来の技術に代わり、污水处理技術の主流工程となっている。

実は中国は、この分野では他国の後塵を拝していたが、ここ10年の発展は目覚ましく、膜技術の特許申請率は既にアメリカを超え世界第1位となっている。中国の膜技術市場は世界全体の37%を超えており、そのあとをアメリカが14%の占有率で追いかけて、韓国、日本、オーストラリア、カナダ、インドなどが後に続くが、これらの国々が占める割合はどれも10%以下である。

膜産業は既に国家が奨励する戦略的新興産業として位置付けられており、急速な勢いで発展を続け、今まさにさらなる成長段階への好機を迎えている。そして、膜産業チェーンは膜材料を適正に選択し、組み合わせ、適用させるという工程から、完成形に近づいた膜製品を生産しサービスを提供するという企業間の競争へと変わりつつある。

膜技術ではMBR市場の占有率がトップであり、この20年でMBRは都市污水と工業排水の処理能力を徐々に高め、生活污水、石油排水、擦染排水、病院排水、ゴミ濾過液処理などの分野で実績を積み上げてきた。MBR市場は今でもその成長を加速しており、検査項目数と処理規模は常に拡大を続けている。2006年、MBR技術の適用を開始した当時の污水处理規模は10万トン/日であったが、その後、MBRの普及率が向上すると、2013年には233万トン/日となり、都市の污水处理能力は急速に拡大した。年平均56.8%にも及ぶ増加率である。これは、同時期の他の技術工程による污水处理能力6%を大きく上回る。A株の津科学技術、碧水源などの上場企業は水处理膜に関する事業に注力し利益を上げている。2014年4月、主要なMBR関連企業を調査したところ、138万トン

を超える処理能力を持つ企業が13あり、中でも北京碧水源科学技術股份有限公司の処理能力は300万トン以上、これは当該業界のリーディングカンパニーGEを超えている。



出典: 中国商業情報ネットワーク

図表23 2014年 万トン級以上の処理能力を持つMBR企業

3.4 生活污水处理市場の発展状況

3.4.1 生活污水处理市場の特長

国内の生活污水处理産業の発展には一定の地域性が見られ、全国押し並べてバランス良く発展した訳ではない。例えば、東部沿岸など経済が発展している区域では地方政府の財政基盤が盤石な上に、人口も多く、都市化水準も向上するため、自ずと環境保護意識が高まる。そのため、適切な規模での污水处理施設の建設と運営が必要となる。つまり、東部沿岸などの経済発展地区における污水处理施設は整備されており、污水处理産業の発展も加速する。一方、中西部の経済基盤が弱い地区及び農村地区では、財政面での限界と人口の分散などが要因となり、污水处理建設が十分に進まない。国内の都市化の加速に伴い、環境保護と水汚染処理対策が急務の中、すべての地域で污水管理体系を確立する必要がある、中西部の経済力が弱い地域及び農村では污水处理産業の発展余地は大きい。

また、生活污水处理産業の発展には地域性以外にも技術的な特長がある。

- (1) 成熟して安定した水处理技術こそが施設の建設を決断させる。顧客は長期的に安定した運用、信頼性、安全性が担保されてはじめて、投資と運用コストを試算する。国内外の生活污水处理場を見ても、そのほとんどが成熟して安定した技術を採用しており、結果的に污水处理システムの長期安定運用が確保されているのである。
- (2) 数多くの単体技術を統合して成り立つ生活污水处理システムでは、絶えず新たな技術が生まれており、その質を高めコストを下げる努力が続けられている。しかし単体の技術がシステム全体に影響を与えることは難しく限界もあるため、適用範囲を十分に広げるまでには至っていない。先進的な運営管理をベースに、核となる技術を集結することにより、システム全体の高効率化と低コスト運行を実現することができれば、将来的には生活污水处理システム全体の作業効果を高めることにつながる。

以上をまとめると、国内の污水处理産業は、都市と町、また農村においても、その長期的な需要が産業そのものを発展させる原動力となっている。そのため、その処理方法や技術は今後とも向上、改善を進める必要があり、今後とも大きな発展余地があるといえる。

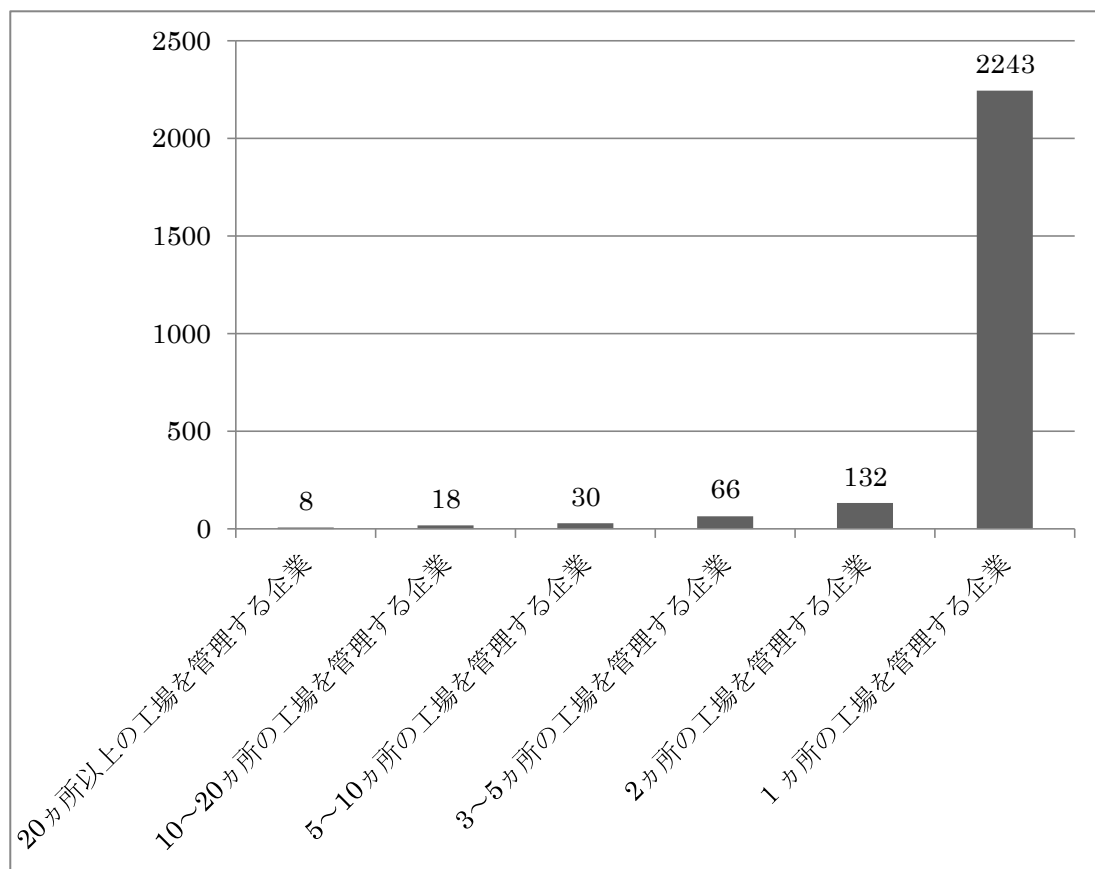
3.4.2 生活污水处理企業の状況分析

污水处理市場への投資額は増しているが、一方で、回収期間が長いという特長がある。通常、一日当たりの処理能力が5万トンという污水处理場には1億元近い投資が必要となるが、それを回収するには10年にかかる。こうした現状を解決するために、近年、政府は関連する政策措置を講じ、積極的に各種民間資本を取り込むなど、投融资戦略を多様化している。国内の約40%の都市と町の污水处理施設ではBOT、BT、TOTなど様々な投融资形態(PPP)で民間資本を投入し、施設の建設と運営に参加させている。その効果は良好であり、污水处理産業の発展を促している。

污水处理産業の主要な競合主体は民間企業、国有企業、合弁企業、外資企業に分けることができる。

現状では、合弁企業の台頭や多方面からの民間資本の参入により、現有の国有企業が事業主体として独占経営するという状況は転換点にきたと言える。加えて、従来、水サービス関連企業は地域ごとの独占経営が一般的であったため、お互い競合にはなり得なかったが、その状況も昨今、変化しつつある。さらに当該産業に参入する者は増え、エリア攻略も進めたため、次第に開拓余地は狭められ、その結果、合弁、外資企業は利潤を追求することを余儀なくされた。そのことが返って、管理運用レベルを引き上げることとなり、競争力も強化され、国有企業と競合する立場に変わっていった。こうして、企業間の競争は激化したのである。

しかし、長い期間にわたり、政府は特定企業に独占させ、企業が乱立することをコントロールしてきたため、国内の水処理産業の市場化と参入企業数は依然として低い状況にある。統計によると、2013年末時点で、全国3,000の都市には污水处理工場を運営管理する企業は2,497社あり、平均すると、1企業あたり1.4の污水处理工場を管理していることになる。そのうち、2,243社が1ヶ所、132社が2ヶ所、66社が3～5ヶ所(5を含む)、18社が10～20ヶ所(10を含む)、8社が20ヶ所以上の污水处理工場を運営管理している。都市における污水处理工場を運営管理する企業の分布状況を下図に示す。



出典：中国水ネットワーク

図表24 都市における污水处理工場運営管理状況

2013年末時点で、20ヶ所以上の汚水処理工場を運営、管理する企業には、江西洪城水業股份有限公司、北控水サービス集団会社、重慶市水サービス会社、広東省水サービス会社、桑德集団会社、天津創業環境保護股份有限公司、北京首創股份有限公司、安徽国禎環境保護省エネ科学技術股份有限公司などがある。

各企業の財務状況も全体事業の中で汚水処理事業が占める割合もまちまちであるが、図表の2012年 汚水処理業界主要企業の売上げ一覧からもわかるように、その利益率はますますである。今後も民間資本のさらなる投入も見込まれており、汚水処理価格も上昇するため、汚水処理業界にはまだまだ収益の積み上げが可能である。

図表25 2012年汚水処理業界の主要企業売上げ一覧

順位	上場企業	主要事業	汚水処理売上 (万元)	売上比率 (%)	汚水処理利益 (万元)	利益率 (%)
1	重慶水務	汚水処理工場運営	221,000	61.66	150,000	82.24
2	碧水源	汚水処理膜材料科学技術プラン	140,000	78.95	68,100	90.06
3	首創股份	汚水処理工場運営	127,000	38.53	57,500	40.65
4	創業環保	汚水処理及び汚水処理工場建設	124,000	80.56	52,200	80.31
5	洪城水業	汚水処理工場運営	51,200	50.17	21,500	58.55
6	陽晨 B 股	汚水処理工場運営	45,100	100.00	15,100	100.00
7	興蓉投資	汚水処理工場運営	36,600	31.64	21,200	35.91
8	津膜科技	汚水処理膜工程及び膜材料	29,064	100.00	11,271	100.00
9	桑德環境	汚水処理工場運営	20,300	9.68	7,057	8.80
10	国中水務	汚水処理工場運営	18,200	51.61	8,630	49.35
11	中原環保	汚水処理工場運営	17,700	42.42	9,062	69.45
12	南海発展	汚水処理工場運営	17,300	20.11	6,783	19.28
13	大衆公用	汚水処理工場運営	11,000	3.02	5,273	14.97
14	中山公用	汚水、廃液処理	10,200	13.08	4,139	16.75
15	力合股份	汚水処理工場運営	4,125	20.98	2,252	35.91
16	武漢控股	汚水処理工場運営	3,449	13.48	779	11.90
17	漳州発展	汚水処理工場運営	2,516	0.95	1,834	6.30

出典：中国商業情報ネットワーク

4 工業廃水処理技術の発展状況

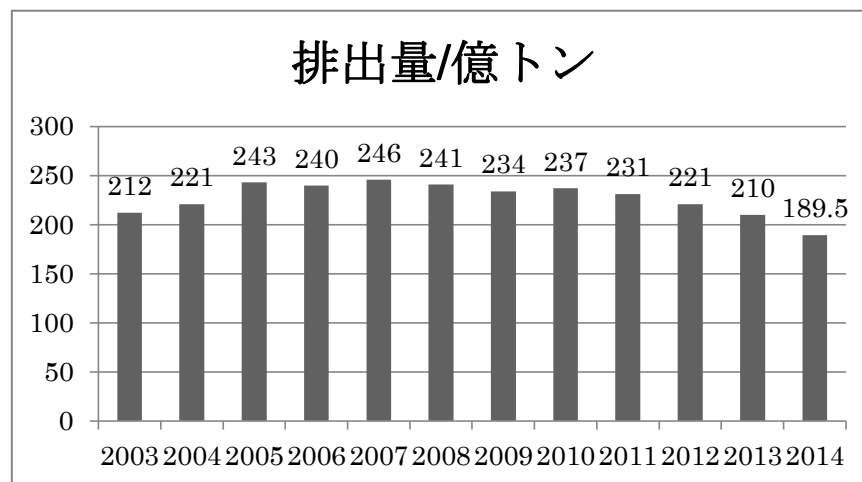
工業廃水とは生産過程で排出される生産排水と廃液を指し、流失した生産素材、中間産物、副産物及び生産工程における汚染物が含まれる。工業の急速な発展により排水の構成成分とその量は大幅に増加し、水質汚染が日に日に深刻なものとなり広がっている。工業廃水に含まれる主なものは、有機性物質、毒物系廃液、無機系廃液、重金属系廃液、クロム酸廃液、アルカリ性廃液、植物富栄養化系廃液、病原体汚染物質などである。多くの汚染物には強烈な悪臭がり、泡が生じやすい。また工業廃水は独特の色をしており、見た目にも不快で、広範囲にわたり汚染を引き起こすため、人々の生命と健康を直接脅かしている。環境保護の観点からいえば、工業廃水の処理は都市汚水の処理よりも重要課題であるといえる。

4.1 各地区の工業廃水の排出状況とその処理状況

4.1.1 工業廃水の排出状況とその処理状況

近年、中国では工業分野の生産能力の淘汰目標を発表し、産業の構造調整を積極的に促進している。省エネと汚水排出削減政策の推進、また企業が断続的に生産効率を上昇させたことが奏功し、工業廃水の排出量は2007年をピークに緩やかに下降線をたどっている。しかしその下降幅はまだ小さく、排出量は依然として非常に多

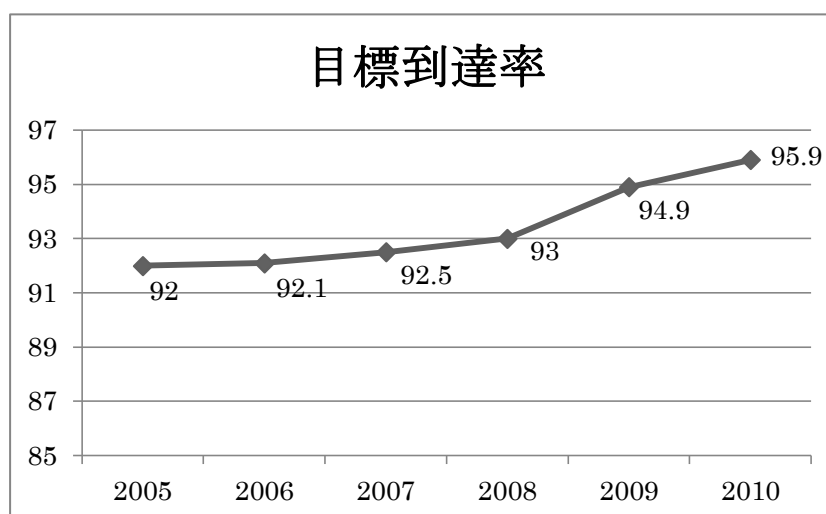
い。国家環境保護局が発表した2014年の《全国環境統計年報》によると、2013年の全国污水排出総量は695億トンであり、そのうち工業廃水は210億トン、全体の30.2%を占めている。2014年にはいくらか減少して189.5億トンとなり、工業廃水が占める比率は下降傾向にあるといえる。中国では工業化の発展は今なお加速しており、工業の総体規模と使用水量の増加を考えれば、将来的にもこの工業廃水排出量の変動は小さいことが予想される。



出典: 国家統計局

図表26 2003～2014年 中国年度別工業廃水排出総量

国家統計局のデータからも分かる通り、前期(5年前)の投資と規制基準で厳格にコントロールしたことで、国内の工業廃水処理率は既に高いレベルに達している。例えば、2005年に92%であった処理率が、2010年には95.9%まで向上しており、近い将来、100%を実現できるのではないかと考えられている。



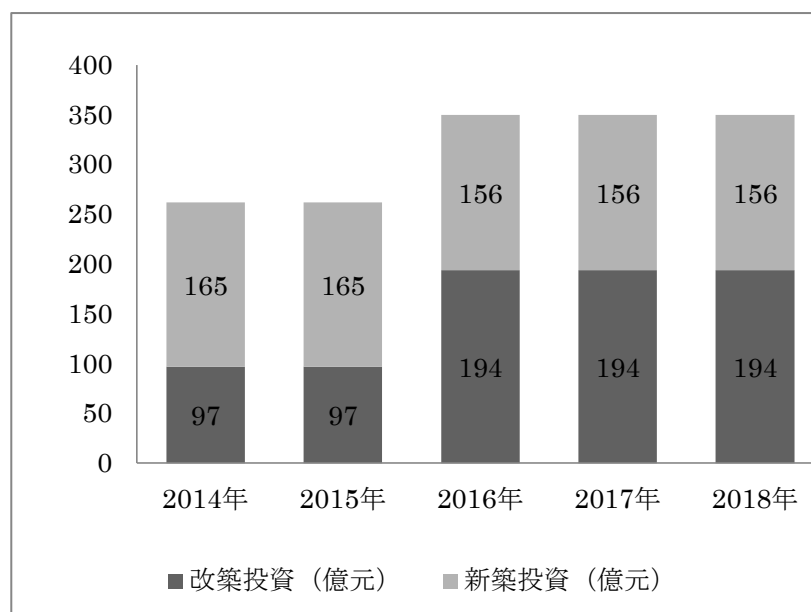
出典: 国家統計局 (2010年後の未統計項目)

図表27 2005～2010年中国工業廃水処理率

その後も、工業廃水処理率は上昇傾向にあるが、環境統計年報で示される中国の水汚染は依然として深刻な状態にあり、環境改善にはほど遠い状況である。また別の権威ある調査を見ても、廃水処理施設の多くが正常運行に至っておらず、認められてない汚水を排出したり、またそれを隠蔽したりと、規則、基準が遵守されていない実態が多く、相当ひどい地域もあり、工業廃水の運営管理体制は不健全と言わざるを得ない。監督管理が行き届

いていないことにより特定地域では問題が生じており、実態は目標到達率データより低いといえる。このほかにも、2012年、中国の工業廃水の再利用率は85.7%との統計があるが、DOWが同時期発表した《中国の水資源不足調査》によると、工業廃水の再利用率はわずか25%であった。

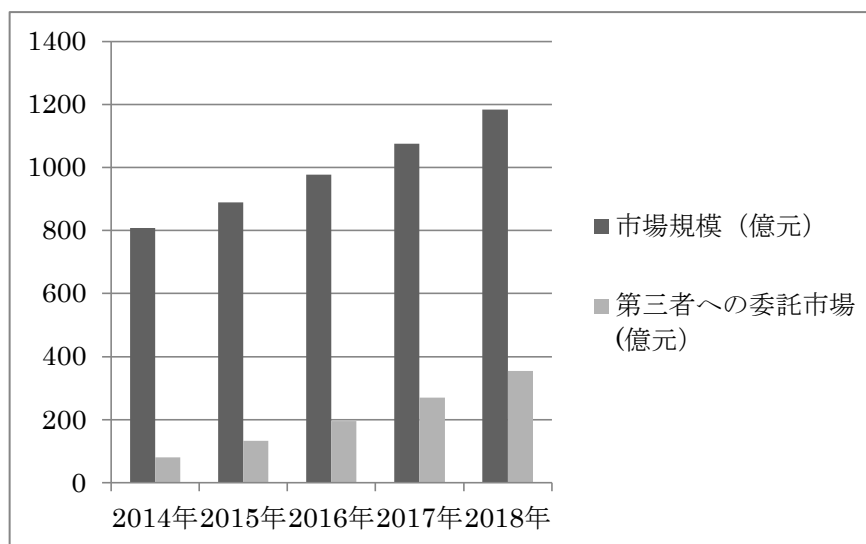
中国産業研究ネットワークによる《工業廃水処理産業調査及び将来市場予測（2015～2021年）》には、工業廃水の管理に関する「水十条」の内容とその政策を推し進めるための行動計画が示されており、廃水処理基準を厳しく定めている。その予測によると、2014～2018年の廃水処理施設再構築に向けての完成比率は各年度で10%、20%、40%、60%、80%となっており、5年間にわたる投資金額は777億元、特に、2014～2015年、この2年間の投資額は194億元となっている。「三同時」制度により、新たな建設プロジェクトでは本体工事と同時に、環境保護施設を建設する必要がある、廃水処理施設市場の需要の恩恵を受ける業界は非常に多い。しかしながら、現実には、産業の構造調整と省エネ排出削減基準が背景にあり、大部分の業界では新たな生産能力に対応できないでいる。投資額が増加傾向にあるのは、発電所（火力と原子力を含む）、石油、石炭化学工業、製鉄などの業界であり、2014～2018年における工業廃水の処理事業に関連する需要はそれぞれ、436億元、210億元、120億元、30億元と合計で約796億元、年平均159億元であった。



出典：中国産業調査研究ネットワーク

図表28 2014～2018年中国工業廃水処理事業投資需要予測

工業廃水処理事業の2014～2018年の潜在市場規模は4,932億元と言われており、うち2014～2015年の市場規模は1,697億元である。2004～2012年にかけては工業廃水管理運営費用は245億元から668億元にまで増加しており、年平均で13.4%の伸びとなっている。第三者委託先への運営コストを含めると、2014～2018年の工業廃水運営管理市場の潜在規模は4,932億元、市場の伸び率は10%。2014年と2015年はそれぞれ808億元と889億元である。現在のところ、2014～2018年の第三者委託比率は年々5%の伸びを示してり、市場規模は合計1,033億元に達すると見込まれている。



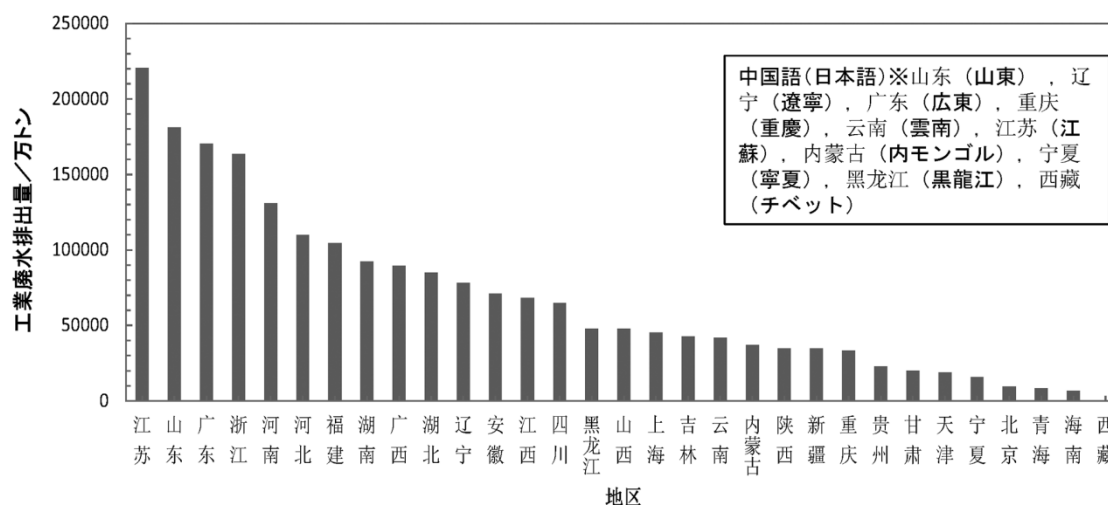
出典:中国産業調査研究ネットワーク

図表29 2014～2018年 中国工業廃水市場規模予測

4.1.2 各地区における工業廃水の排出状況と処理状況

4.1.2.1 各地区における工業廃水排出状況

2014年の中国環境統計年間データによると、2013年に廃水排出量が30億トンを超えた省は8つあり、広東、江蘇、山東、浙江、河南、河北、四川、湖南である。8つの省の廃水排出総量は370.9億トンであり、全国廃水排出量の57.6%を占めている。工業廃水排出量の上位1～3位は江蘇、山東、広東で、それぞれ全国の10.5%、8.6%、8.1%にあたる。

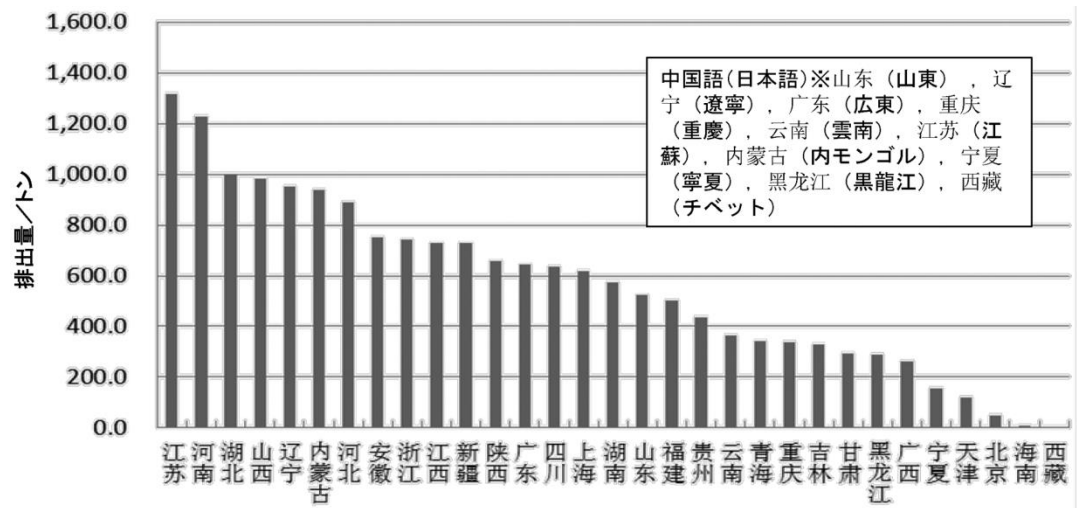


出典:2013中国環境統計年報

図表30 2013年各省工業汚水排出量

工業廃水排出量の差は大きく、各賞の工業廃水における主要な汚染物も大きな差がある。以下に工業廃水における主要な汚染物の排出状況を紹介する。

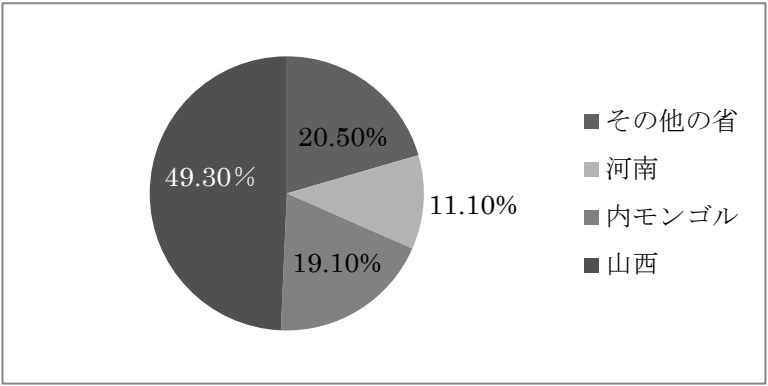
工業廃水における石油類の排出量が700トンを超えている省は11ある。江蘇、河南、湖北、山西、遼寧、内モンゴル、河北、安徽、浙江、江西、新疆である。これら11の省の石油類の排出量は10,251.9トンであり、全国の59.0%を占めている。



出典: 2013中国環境統計年報

図表31 各地区石油工業類污水排出状況

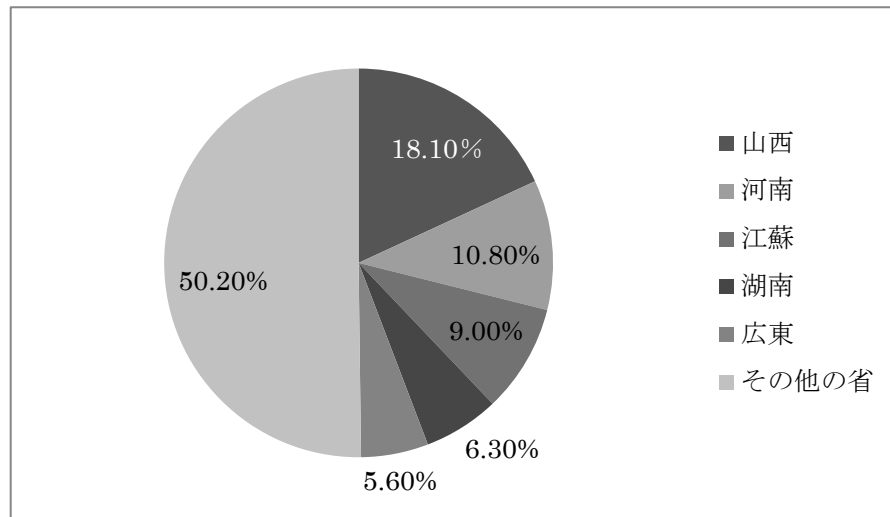
工業廃水中の揮発フェノールの排出量が100トンを超えている省は3つある。山西、内モンゴル、河南の3省であり、揮発フェノールの排出量は1,000.5トン、全国の79.5%を占めている。



出典: 中国環境統計年報

図表32 各地区の工業排水揮発フェノール排出状況

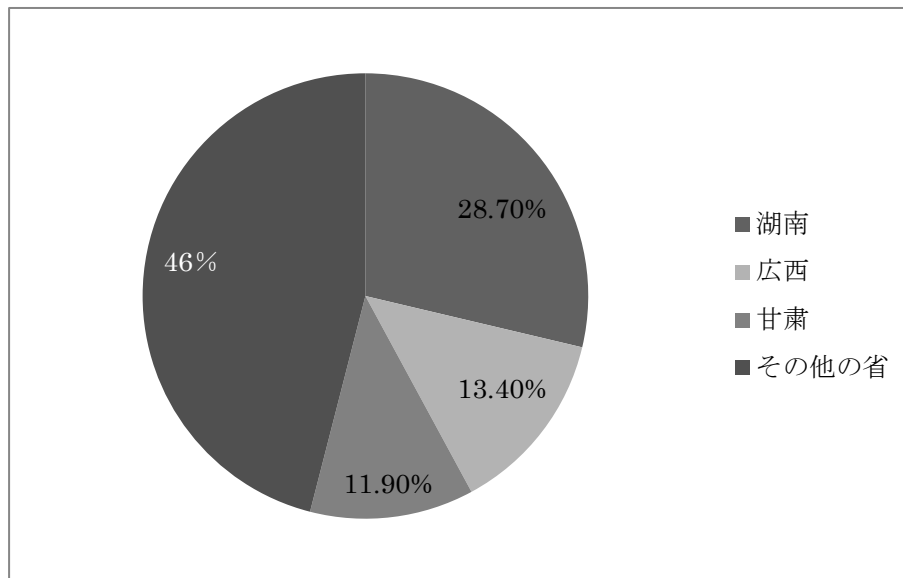
工業排水中のシアン化物の排出量が10トンを超える省は5つあり、山西、河南、江蘇、湖南、広東である。5つの省のシアン化物の排出量は80.6トン、全国の49.8%を占めている。



出典: 中国環境統計年報

図表33 各地区の工業廃水シアン化物排出状況

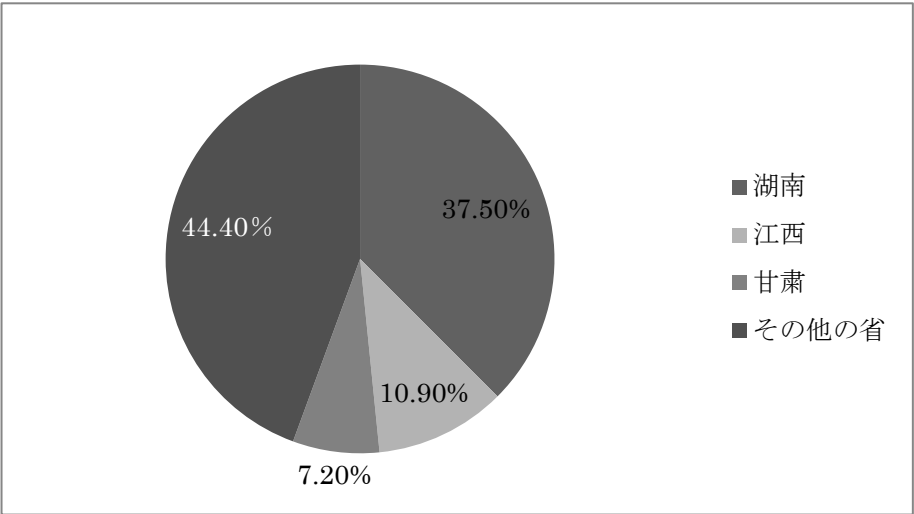
各地区の重金属排出状況: 水銀排出量が多い上位3位は湖南、広西、甘粛の3省であり、排出量は0.4トン、全国の54.0%にあたる。



出典: 中国環境統計年報

図表34 各地区の工業廃水重金属排出状況

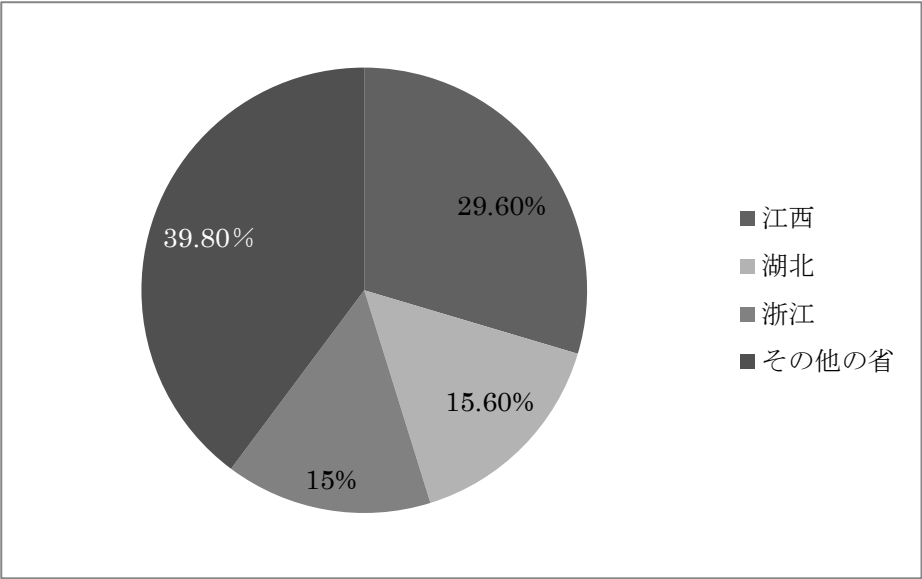
カドミウムの排出量が多い上位3位は、湖南、江西、甘粛の3つの省であり、放出量は9.9トン、これは全国の55.6%を占めている。



出典: 中国環境統計年報

図表35 各地区の工業廃水カドミウム排出状況

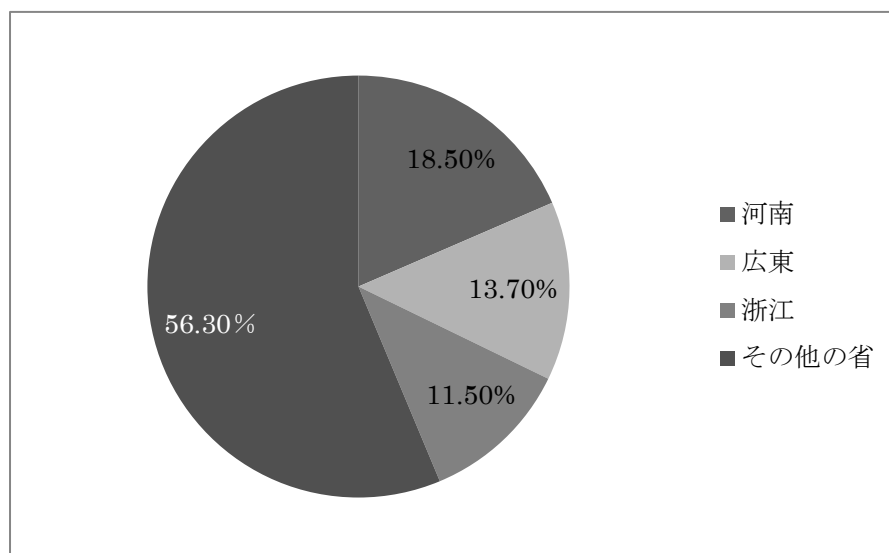
六価クロムの排出量の上位3位は江西、湖北、浙江の3省である。排出量は35.0トン、全国の60.2%を占めている。



出典: 中国環境統計年報

図表36 各地区の工業廃水六価クロム排出状況

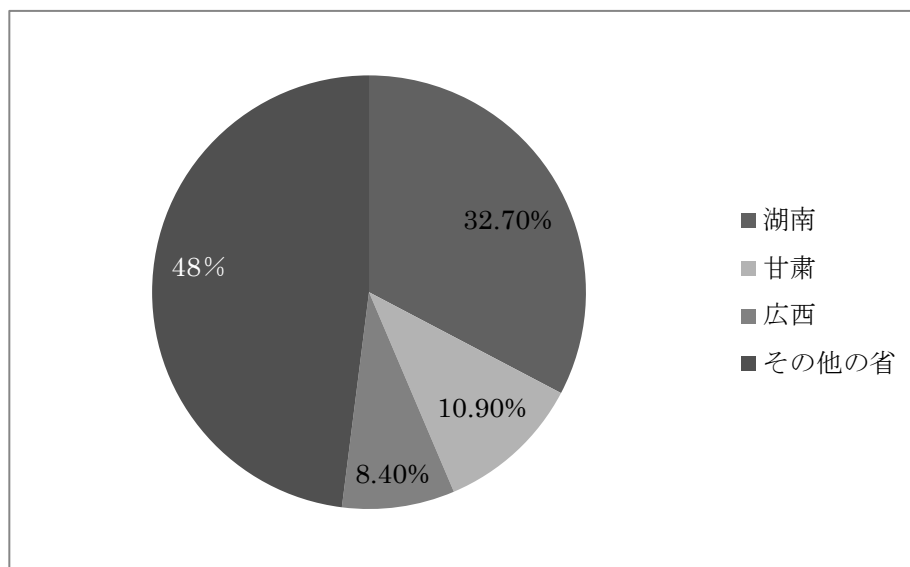
総クロム排出量の上位3位は河南、広東、浙江の3省である。排出量は70.7トン、全国の43.7%を占めている。



出典: 中国環境統計年表

図表37 各地区の工業廃水総クロム排出状況

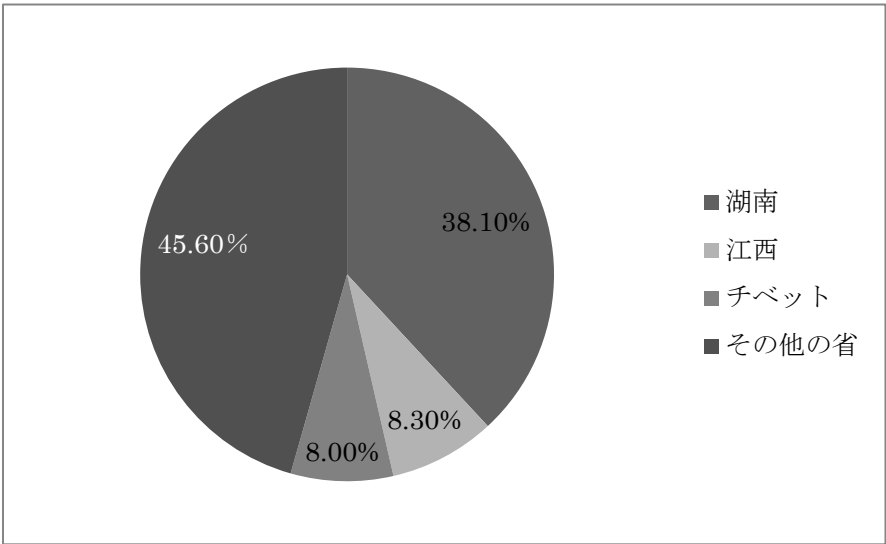
鉛排出量の上位3位は湖南、甘粛、広西の3省である。排出量は38.5トン、全国の52.0%を占めている。



出典: 中国環境統計年報

図表38 各地区工業廃水鉛排出状況

砒素排出量の上位3位は湖南、江西、チベットの3地域である。砒素排出量は60.8トン、全国の54.4%を占めている。

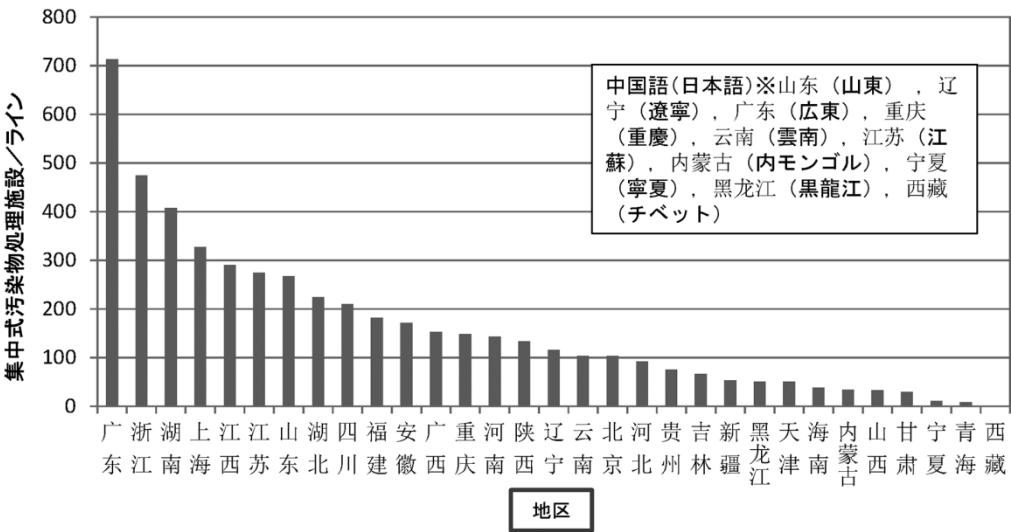


出典: 中国環境統計年報

図表39 各地区の工業廃水砒素排出状況

4.1.2.2 各地区の工業廃水処理の現状

2013年の統計データによると、全国の集中式汚染処理施設は4,977あり、中でも広東、浙江、湖南の占める比率が高く、それぞれ713、474、404カ所となっている。ただし、汚水処理施設数と汚水排出量及び工業廃水の排出目標到達率とは直接関係性がないという点が注目に値する。この施設数は「十二五」計画の建設計画を基本としており、建設プロジェクト構想と建築コスト面は考慮されているが、廃水処理状況まで反映することはできていない。

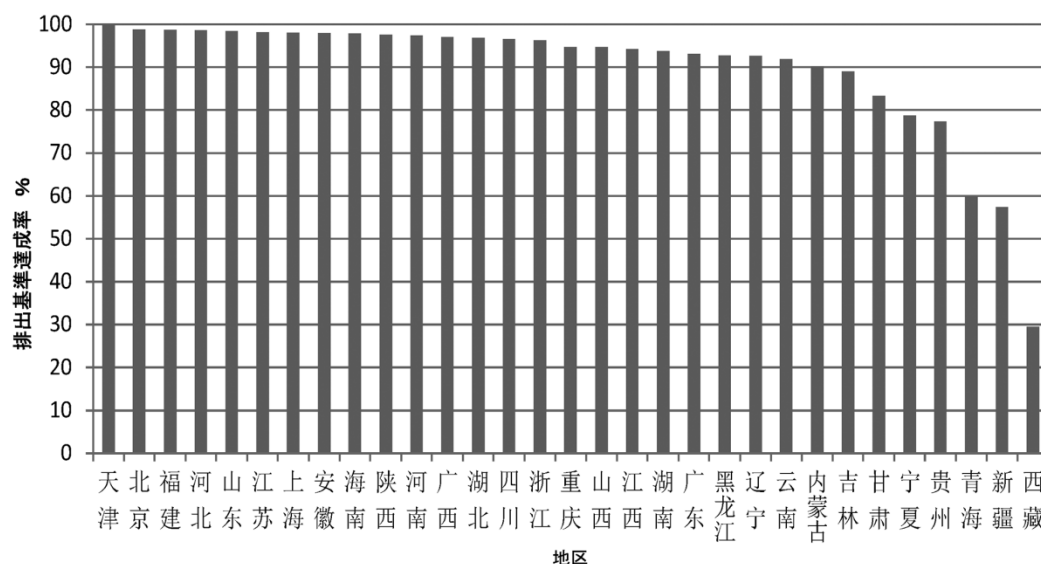


出典: 2013中国環境統計年報

図表40 2013年各省集中式汚染処理施設数

2010年以降は、廃水の排出到達目標が記載されていないため、各省の最新の到達目標値を知ることができない状況にある。2010年末には工業廃水処理率は95.32%に達しているため、計画通り進めば、近い将来、その数値は100%に届くはずである。下の表は、2010年の各省別の工業廃水排出目標到達状況である。多くの省で工

業廃水処理率は90%以上であり、平均を超えている省は15、北京、天津、福建などの7省では工業廃水の到達目標率は98%以上となっている。しかし、チベット、新疆、青海省などの到達目標率は60%であり、特にチベットでは29.5%である。全体的に見ると、経済が発達している東部地域では工業廃水の到達目標率は中西部よりはるかに高いものの、1998年からの10年間で、その地域差は縮まってきている。これは、経済の発展と環境保護とは表裏一体のものであるとの考え方が浸透し、政府が「十一五」発表以降、排出削減が各省や市の最重要テーマとなり、年々目標値を上げてきたことに大きく影響を受けている。加えて、各地方政府が環境保護のための資金を投入し工業技術の改良を進めてきたことにも起因している。



出典:2013中国環境統計年報

図表41 2010年各工業污水排出基準達成率

4.2 国家政策、法律法規及び関連する技術基準

4.2.1 工業廃水関連の法律、行政法規

下の表には現在、中国が公布している水資源保護と廃水処理に関する法律法規が列挙されている。これらの法規の中で最も重要なものが《環境保護法》、《水質汚染防止処理法》及びその実施細則などの総括的な法律である。この2つの法律は水資源保護と汚染防止処理の根幹を成す法律であり、水質汚染防止処理の原則に則り、関係する部門及び各地方政府の職責、防止処理措置などを厳格に規定している。そして、これらの法律は工業廃水に適用するだけでなく、あらゆる水質汚染に有効である。大幅に改正され、2015年1月1日より施行されている《環境保護法》は、史上、最も厳しい《環境法》といわれており、監督管理部門を明確に規定している。「県級以上の政府の環境保護主管部門及び委託先の環境監察機関、環境保護監督管理職責部門は、汚染物を排出する企業、ならびに経営者に対し、立入り検査を実施する。」「環境保護目標の達成状況の責任制と審査評価制度を構築し、他の審査評価の重要な根拠とする。」こうした一連の内容が、環境監督管理をより強固なものとし、職責を担う者まで十分に浸透している。《水質汚染防止処理法》では、水質汚染をいかに防ぐかに重点が置かれており、防止と処理を連結させ、総合的な防止処理という原則に則り、水汚染物質排出の総量コントロール制度と排出污水の許可制度を確立している。そして、水汚染の基準と計画、監督と防止処理措置などの分野で重要な規定を定めており、国内における水質汚染防止処理の根幹をなす法律となっている。

図表42 中国の水資源保護と廃水処理に関連する法規

番号	法律、行政法規名称	公布部門	公布、実施日
1	中華人民共和國環境保護法	全国人民代表 大会	2014.4.24 公布、2015.1.1 施行
2	中華人民共和國水汚染防止 処理法	全国人民代表 大会常務委員会	2008.2.28 改訂、2008.6.1 施行
3	中華人民共和國水汚染防止 処理法実施細則	国務院	2000.3.20 公布施行
4	中華人民共和國海洋環境 保護法	全国人民代表 大会	1999.12.25 改訂通過、2000.4.1 から施行
5	準河流域水汚染防止処理暫定条例	国務院	1995.8.8 施行
6	飲用水水源保護区汚染防止 処理管理規定	国家環境総局	1989.7.10 施行、2010.12.22 改訂
7	都市と町における廃水と汚水 処理条例	国務院	2013.9.18 通過、2014.1.1 施行

4.2.2 工業廃水の排出と処理関連法規

関係する法律や行政法規のほかに、各種排出基準も工業廃水処理に関わる重要な指標となっており、国家総合排出基準(GB8978-1996、まだ更新されていない)、地方総合排出基準、国家業種別排出基準がある。下の表には中国の工業廃水排出に関する各種基準が列挙されている。《中華人民共和國環境保護法》第10条では「省、自治区、直轄市の政府は国家汚染物排出基準に明記されていない項目については、地方政府が独自に排出基準を制定することができる。国家総合排出基準で規定されている項目については、国が制定したものよりも高いレベルで地方排出基準を制定することができる」と述べられている。2つの基準が共存する場合は地方の基準を優先し執行する。地方総合排出基準は国家のそれよりも厳格な基準であり、現行の地方総合排出基準の適用範囲は、国家制定の基準をすべて網羅しているため、地方総合排出基準を執行するべきであるといえる。

国家総合排出基準と国家業種別排出基準は重複して執行することはできない。現在、中国では紙工業、船舶工業、海洋石油開発工業、織物染物工業、肉類加工工業、鋼鉄業、合成アンモニア工業、兵器工業、リン酸肥料工業、苛性ソーダ、ポリ塩化ビニル工業など12の業種は国家総合排出基準ではなく、相応の業種別基準を適用することが認められている。

このほかにも、配管合流部やポンプ場など処理施設の安全や円滑運行、配管技術基準などを維持するため、都市下水や合流汚水の水質コントロール基準が設けられている。例えば、建設部が1999年に制定した《都市部下水道に排出する汚水の水質基準》(CJ3082-1999)では、都市下水道に排出する汚水の中に含まれる35種類の有害物質の最高許容濃度が規定されている。上海市建設委員会が1999年に承認し運用している《排水する汚水を合流させる場合の水質基準》(DBJ08-904-1998)では、合流汚水の基準を定めている。これは生活污水と産業排水及び降水のすべてを含んでおり、合流部に排出される汚水に含まれる30種類の有害物質の最高許容濃度を規定している。その他の項目については国家業種別と地方排出基準を遵守している。特定の業界については、業種別排出基準と合わせ、この合流部の規定を適用しなければならない。

2008年から2013年の5年間は、汚染物の排出基準の改訂は頻繁に行われており、製紙、繊維、製鉄、医薬、染物などの合計41項目の汚染物に対し、改訂更新/公布が繰り返されてきた。一部の基準については、排出限界値が追加され、排出コントロールに新たな基準が定められたことで、その他の基準をさらに強化する必要も生じている。2015年には合成樹脂、石油精製、アルミニウム、鉛、亜鉛銅などの再生、無機化学製品などの工業分野で新たな規定が公布されている

図表43 工業廃水排出に関する各種基準

基準	法律、法規名称
総合基準	污水総合排出基準
地方基準	a) 北京市水汚染排出基準(DB11/307-2005) b) 天津市污水総合排出基準(DB12/356-2008) c) 上海市污水総合排出基準(DB31/199-2009) d) 遼寧省污水総合排出基準(DB21/1627-2008) e) 広東省污水総合排出基準(DB 44/26-2001) f) 浙江省汚染排出基準限界値(DB33/887-2013)
業種別基準	a) パルプ製紙工業水汚染物排出基準(GB3544-2008) b) 船舶工業汚染物排出基準(GB4286-84) c) 海洋石油開発工業油污水総合排出基準(GB4914-2008) d) 織物染物工業汚水物排出基準(GB4287-2012) e) 肉類加工汚水物排出基準(GB13457-92) f) 合成アンモニア工業水汚染物排出基準(GB13458-2013) g) 製鉄工業水汚染物排出基準(GB13456-2012) h) 宇宙飛行噴出剤水汚染物排出基準(GB14374-93) i) 兵器工業水汚染物排出基準(GB14470.1~14470.3-93 和 GB4274~4279-84) j) リン酸肥料工業水汚染物排出基準(GB15580-2011) k) 苛性ソーダ、ポリ塩化ビニル工業汚染物排出基準(GB15581-95) l) 船舶汚染物排出基準(GB3552-83) m) 合成樹脂工業汚染物排出基準(GB31572-2015) n) 石油精製工業汚染物排出基準(GB31570-2015) o) 再生銅、アルミニウム、鉛、亜鉛工業汚染物排出基準(GB31574-2015) p) 無機化学工業汚染物排出基準(GB31572-2015)

4.2.3 工業廃水処理関連政策

省エネ関連産業が国家戦略として次々と誕生する中、污水处理産業は依然、有力である。中央から地方政府に至るまで、産業の発展に伴い政策や制度が整備され、各種法律も頻繁に公布されている。さらに、公衆が参加し環境保護の監督管理を実施したり、排出に対する課金制度を設けたり、新たな形態での公共サービスの提供も普及し、污水業界に向けられる視線はますます厳しく、基準もより高いものが求められるようになった。第三者による監督管理は今後も広がると思われ、当該市場の競争は激化するばかりである。

新たな《環境保護法》の施行に伴い、国務院は《環境監督管理と法執行強化に関する通知》(以下略して《通知》とする)を公布した。この《通知》では明確に環境監督管理に関する法令法規を整備し、各種の環境違法行為に「ゼロ容認」及び監督管理責任への追及を強化している。「十一五」、「十二五」計画は全て経済発展のための計画であり、建設プロジェクトの構想や資金の捻出計画が組まれていた。それに対し、新《環境保護法》は公衆の環境監督権も明示しており、政府や汚染物質排出企業に対する監督を強化した。例えば、河川のCOD指標が計画通りに基準値に達しているかどうかなど、公衆が水質を直接調べることができる。公衆による管理が行われることで、政府は環境管理を計画指標から徐々に効率指標へと変えていき、住民が直接環境の改善効果を実感できるようにし、污水处理は効果重視の時代に突入した。

《水污染防治行動計画》(以下《水十条》と略す)は污水处理市場に重大な影響を与えており、効果の最大化を目指す意味で重大な意義を持つ。市場予測に基づき、この政策には2兆元以上を投資し、污水处理産業への適用範囲を広げている。

《新型都市化計画(2014~2020年)》と《「十二五」全国都市污水处理及び再生利用施設建設計画》では、地域の実態に合わせ、集中型排水処理施設や分散型排水処理施設を建設し、全ての県と重点地区(町)に污水处理能力を備えさせ、污水处理率を県で85%、重点地区(町)で70%を実現するための計画が示されている。2014年に公布された《都市と町の排水と污水处理条例》は重要な意義を持つが、「十二五」計画での污水处理計画と

現実にはギャップがあり、2015年までに新たに増設された污水处理施設は計画の68.79%に留まったのである。とはいえ、2015年以降も県における污水处理施設の需要は依然として高く、将来発展は非常に明るいといえる。

《最も厳しい水資源管理制度実行に関する意見》では、国内の産業構造調整や工業生産技術の改良及び汚水の再利用に広範な適用を促しており、厳格な污水排出基準が示され、処理業務量も増えている。

《全国重要河川湖水機能区画(2011～2030年)》は国内主要地区の地下水污染防治処理という原則に則り、地下水と地表水を同時にコントロールするための充実した堅実な考え方が示されている。

《「十二五」省エネ、環境保護産業発展計画》では技術の発展や整備拡大に重点が置かれており、環境保護の詳細にわたり有益な技術を提供している。そして、環境整備サービス産業の盤石な発展を支援するために、更なる環境保護整備産業の発展を促し、「十二五」の期間に環境保護整備製造業産業水準を全面的に高め、重要な政策保障を提供している。

図表44 近年の中国における工業廃水処理に関する重要政策

時間	政策名称	公布部門
2015.4	水污染防治處理行動計画(水十条)	国務院
2014.11	環境監督管理執行強化に関する通知	国務院事務局
2014.3	国家新型都市化計画(2014～2020年)	国務院
2012.4	「十二五」全国の都市と町における污水处理及び再生利用施設の建設計画	環境保護部
2012.4	最も厳しい水資源管理制度に関する意見	国務院
2012.4	全国重要河川湖水効用地区(2011～2030年)	国務院
2012.3	環境保護整備「十二五」発展計画	工信部、財政部

環境保護政策を集中的に打ち出すことは、政府が汚染と真正面から取り組むこと意思の表れであり、今後も関連する政策が次から次へと発表され、工業廃水処理がさらに進むことが予想される。そして、環境保護の長期にわたる改善をもたらすための監督管理機関と排出権の有償化による新たな取り組みが政府と公衆の共同努力により徐々に整いつつある。

4.3 工業廃水処理技術の発展

4.3.1 工業廃水の主な処理技術と適用状況

4.3.1.1. 工業廃水の特長と主な処理技術

工業廃水の汚染物成分とその特長を都市生活污水と比較すると著しい差がみられる。以下にその特長をまとめる。

- 1) 汚染物質は複雑であり差異も大きい。業種が異なると工業廃水の成分とその特長にも大きな違いがみられ、特筆すべきは、同一業種でも企業や工場により廃水の成分に大きな違いが見られるという点である。さらに、同一企業、工場であっても、生産工程が異なれば廃水成分に大きな差異が見られる。
- 2) 汚染物質濃度の数値の振れ幅は広く、その変動も大きい。工業廃水中の汚染物質濃度は、低ければ数mg/L、高ければ数十万mg/Lとなるため、処理工程の設計と日常の運行管理の難度が高く、処理した水質の安定性を保つことも難しい。
- 3) 分解しにくい汚染物質や毒性のある汚染物の種類が多く、濃度も高い。工業廃水には多種類、高濃度の分解しにくい汚染物、毒性物質などが含まれているため、単体の処理技術だけでは水質を安全に保つことが

難しい。処理技術を複合的に組み合わせ、複数の処理機関で連携する必要があるため、都市生活污水より複雑な処理工程が求められる。

- 4) 処理目的は多様であり、それにより水質基準も異なる。工業廃水を処理したあとの排水は、工程内、工場内、または地域間で再利用したり、排水管網に排出、あるいは直接、川や海へ排出したりと、その流れる先はさまざまである。流れる先が違えば、水質の基準も異なり、自ずと処理工程の選択も必要になる。

工業廃水の特長を知れば、生活污水の処理工程を真似たり、同業種の企業や工場の廃水処理工程と運行管理を真似るだけでは、その処理が不完全であることがわかる。このため、工業廃水の特長を熟知した上で、処理工程を選択する必要がある。これが工業廃水の処理工程を複雑化させている要因である。とは言え、基本的には工業廃水の処理方法は物理処理、化学処理、生物処理の3種類である。

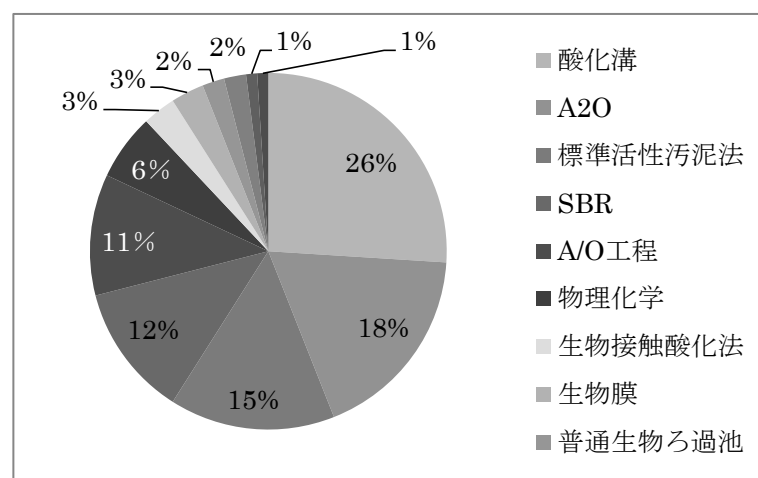
物理的処理は物理作用を通して分離を行い、廃水中の不溶解浮遊汚染物（油膜とスクリーンかすを含む）を回収する廃水処理法であり、沈殿、浮上分離、電気分解、ろ過などが代表的技術である。熱交換原理を基礎とする処理法とも言える。

化学的処理は化学反応と物質移動の作用を通して分離する方法であり、廃水における溶解、コロイド状態の汚染物の除去、または無害物質へ転化するために行う。薬剤による化学反応を基盤とし処理する方法であり、抽出、蒸留、ストリッピング、吸着、イオン交換及び電気透析、逆浸透などがあり、後者2つの技術は膜分離技術とも呼ばれている。また、物質移動作用を利用する際に、化学作用だけでなく物理作用も活用する技術は、化学的処理と組合わせた方法として物理化学法と呼ばれる。

生物的処理は微生物の特性を活用する方法で、好気性分解と嫌気性分解がある。広範に使用されているのは従来からある好気性分解であり、その方法には活性汚泥法と生物膜法がある。活性汚泥法には複数の運用工程があり、表面曝気活性汚泥法と高濃度活性汚泥法である。生物膜法で処理を行う設備には生物濾過池、生物回転盤、生物接触酸化池や最近普及した生物流動床などがある。嫌気性分解は生物還元処理法とも呼ばれ、高濃度有機性排水と汚泥処理に使われ、主な処理設備は消化池である。

4.3.1.2 工業廃水処理技術の適用範囲

2011年以降、世界的に、また中国でも水処理技術は飛躍的な発展を遂げ、いくつもの新技術が次々と誕生している。その中の酸化溝法、嫌気性—無酸素—好気性法（A2/O）、活性汚泥法（SBR）は、新しく建設される水処理場で採用されるケースが多くなっており、現在、中国では污水处理における三大標準工程技術となっている。



出典：中国水ネットワーク

図表45 国内の污水处理技術分布

しかしながら、実際には工業廃水が持つ個々の特質により、膜分離法、イオン交換樹脂法、生物分解法、凝固沈殿法など多様な技術が採用されている。工業廃水処理において、膜分離技術はさまざまな廃水に広範に適用できる技術である。限外濾過膜を使い油分を含む廃水を処理すると、油脂除去率が97%～100%にも達する。また耐水素イオン濃度無機膜を使用し製紙業でのアルカリ性黒液を処理するとpH値の調整をする必要がなくなる。異なる孔径の膜により繊維素、木質素などの有用成分を回収すると、処理後の水質はパルプ製造に利用できる水準にまで達するため、製紙廃水の再利用が可能になる。なめし革廃水には、泥膜を使用した混合処理を施すとCOD_{Cr}、S²⁻、Cr⁶⁺それぞれの除去率は86.1%、88.4%、54.5%となる。このほか、膜技術は厨房廃水、医薬化学工業廃水、染物廃水などにも使用することができる。生物分解法は捺染と製紙廃水処理など広範囲に適用できる。イオン交換樹脂法は重金属と稀少金属を主に回収する。有毒物資を浄化し、廃水中の酸性アルカリ性有機物質、例えばフェノール、酸、アミンなどを除去することができるため、すでに複数の大規模企業で採用されており、その将来性は明るい。凝固沈殿は鉱坑廃水、油田、油廃水、捺染廃水、製紙廃水、精製廃水、電気メッキ廃水などに広く採用されている。下の表は国内における主な工業廃水処理方法を比較したものである。

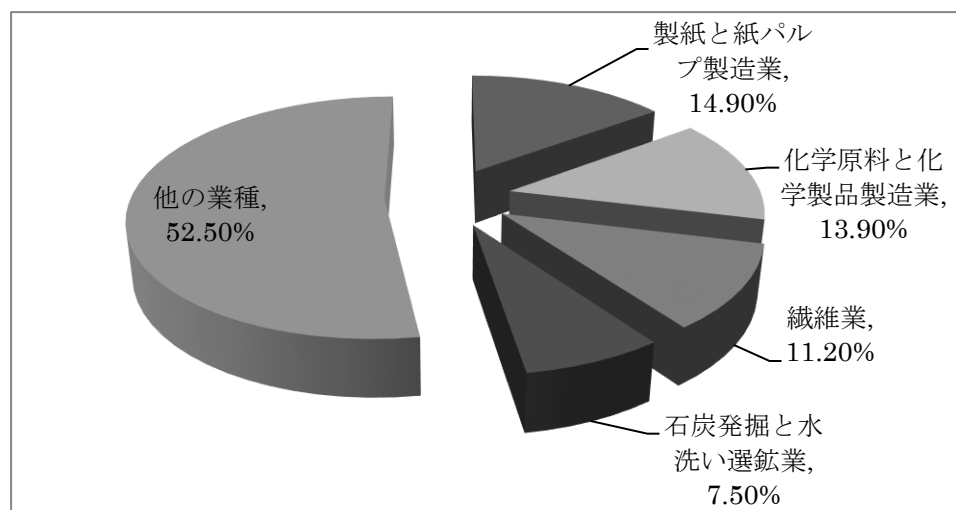
図表46 一般的な工業廃水処理方法の比較

処理方法	長所	欠点	適用状況
凝固沈殿法	操作が簡単であり、運用コストが低く、技術要求も低い。	薬剤の投入により汚泥が生じる。占有面積が広く、汚泥処理コストが高い。	適用範囲は広い。
膜分離技術	排水水質は高く、省エネである。排水水質は安定しており、占有面積も小さい。	圧力がかかると膜は詰まっていまい、汚染を引き起こすため、詰まり除去、洗浄が定期的に必要な。後期運営コストが高く、二次汚染を引き起こしやすい。	中国が力を入れている技術であり、普及速度は速い。
生物分解法	汚染物に前処理を施す必要がなく、他の微生物に対する拮抗作用がある。重度の汚染、毒性が強い汚染物も処理できる。分解物には広域スペクトル性がある。	取水には一定の基準が必要になる。前処理が必要であり、占有面積も広い。	中国では広く適用されている。
イオン交換樹脂法	樹脂は再生することができ、操作は簡単で工程は成熟しており、期間も短い。	1.多量の再生廃液を生み出す 2.周期が長い 3.塩の消費が多い 4.有機物がイオン交換樹脂を汚染する	現在いくつかの大企業で採用されている。将来性は明るい。
吸着法	操作は簡単で、効果も高い。	吸着飽和になると効果が下がる。吸着飽和後は解析が必要となり、解析廃液は処理が難しい。	適用範囲は広い

現在、政府が重点的に奨励している水処理技術は、膜技術、排水膜蒸留技術、新型生物脱窒素、除リン工程技术、高効率省エネ曝気技術であり、これらの技術は将来、中国の中心的な工業廃水技術になると思われる。

4.3.2 特定業界における工業廃水処理の現状

2014年の中国環境統計年報によると、2013年に工業分野の41の業種で調査を実施したところ、廃水排出量の多い上位4業種は製紙、化学工業、繊維業、石炭採掘業と石炭洗浄であった。これらの業種の廃水排出量は90.8億トンで、工業分野全体の47.5%を占めている。業種が違えば、廃水の成分、特長も異なるため、工業廃水の分析工程における業種の分類には大きな意味がある。代表的な業種とその汚水処理状況を以下に記す。



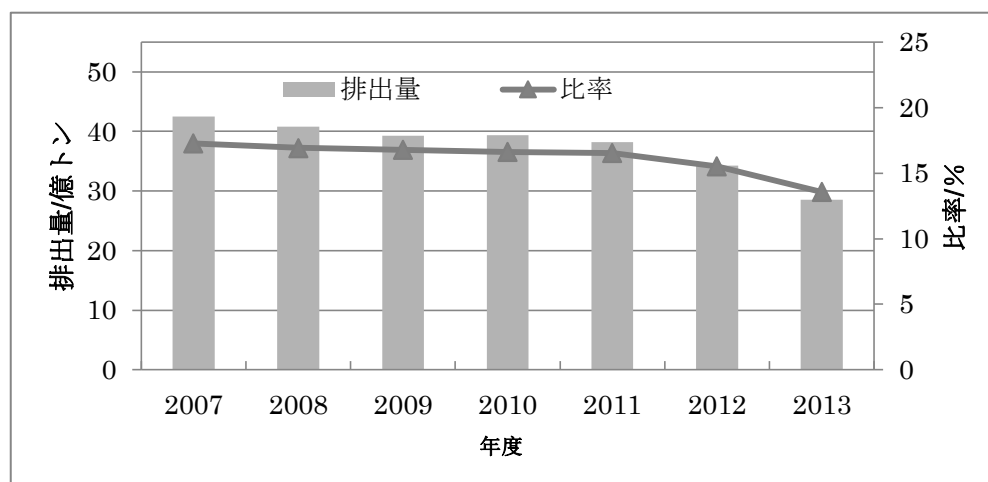
出典: 2013中国環境統計年報

図表47 2013年 特定業種の廃水排出状況

4.3.2.1 製紙と紙パルプ製造業の污水处理の現状

1) 製紙と紙パルプ製造業界の污水处理状況

国内の製紙業界の廃水排出量は、以前から全業界の排出量の上位を占めており、その割合は13%を超えている。政府が省エネ、汚染物質排出削減を推し進めたことで、その処理能力を高める政策が次々と打ち出され、污水排出基準に適合できない製紙工場は次第に閉鎖されていった。結果的に、製紙業単体で見れば、2007年以降、污水排出量は低下しており、全国の排出総量に占める割合も減少した。しかしながら短期間でみれば、製紙業界は国内の工業分野の中で依然として多くの廃水を排出しており、その汚染も深刻である。



出典: 国家統計局

図表48 2007～2013年 製紙業界の污水排出量及び排出量の比率

2) 製紙と紙パルプ製造業界の污水の特長

製紙業界の廃水は主に紙パルプ製造と紙すきの2工程で大量の廃水が生じる。紙パルプ製造で生じる廃水は汚染濃度が非常に高く、特にパルプ洗浄時の廃水は黒褐色であり、黒水と呼ばれる。黒水の汚染物濃度は高くBODが5～40g/Lを超え、大量の遊離塩素、亜硫酸塩を含み、漂白工程で排出される廃水には大量の水素イオ

ン高濃度物質が含まれている。また、紙すき機が排出する廃水は白水と呼ばれ、その中には大量の繊維と生産工程で添加された充填剤、サイジング剤が含まれる。

図表49 一般的なパルプ製紙廃水の水質分析

廃水の種類	水質指標							
	pH 値	SS mg/L	COD _{cr} mg/L	BOD ₅ mg/L	AOX mg/L	総窒素 ⁽³⁾ mg/L	アンモニア 態窒素 ⁽³⁾ mg/L	全リン mg/L
化学パルプ ⁽⁴⁾	5-10	250-1,500	1,200-2,500	350-800	2-26	4-20	2-5	0.5-2
化学機械パルプ ⁽¹⁾⁽⁵⁾	6-9	1,800-3,800	6,000-16,000	1,800-4,000	0-3	5-10	3-5	1-3
機械パルプ ⁽¹⁾	6-9	850-2,000	3,200-8,000	1,200-2,800	0-1	4-8	2-5	0.5-1.5
廃紙パルプ ⁽²⁾	6-9	800-1,800	1,500-5,000	550-1,500	0-1	5-20	4-15	0.5-1
脱墨廃紙パルプ ⁽²⁾	6-9	450-3000	1,200-6,500	350-2,000	0-1	3-10	2-6	0.5-1.5
製紙廃水 ⁽²⁾	6-9	250-1,300	500-1,800	180-800	0-1	2-4	1-3	0.5-1

説明: (1) pH を除き、製紙用パルプの値は低く、非製紙パルプの値は高い。(2) pH を除き、国産小型抄紙機の値は低く、輸入抄紙機の値は高い。(3) アンモニア法化学パルプアンモニア態窒素と総窒素の指標はそれぞれ 55~150mg/L と 60~160mg/L である。(4) 化学パルプの水質指標は化学品によりパルプ製造廃液、または資源回収後の指標である。(5) 化学機械パルプ水質指標は高濃度パルプ廃水を蒸発燃焼処理する際の指標である。

出典: パルプ製紙廃水管理工程技術規範 HJ 2011-1012

製紙業は汚染物質排出重点業種であると同時に、エネルギー多消費型産業でもある。そのため中国では中長期を見据え、非木材を製紙原料とする製紙業に注目し、当該業界については規模を縮小し、設備の簡素化を図ってきた。そのため廃水の汚染管理の面では出遅れ、世界水準からは大きくかけ離れることとなり、製紙産業の発展が污水处理業界に多大な影響をもたらすこととなった。製紙業界の污水排出量は多く汚染もひどいため、政府は1992年、製紙工業を対象に《製紙工業水質汚染物質排出基準(GB3544-92)》を制定し、2001年(GB3544-2001)、2008年(GB3544-2008)と改訂し施行している。新たな基準では、従来からのパルプ製紙企業と最近設立された製紙企業とに分類し、2008年8月1日、2011年7月1日とそれぞれ水質汚染物質排出限界値規定を公布している。

図表50 製紙業界汚染物質排出限界値

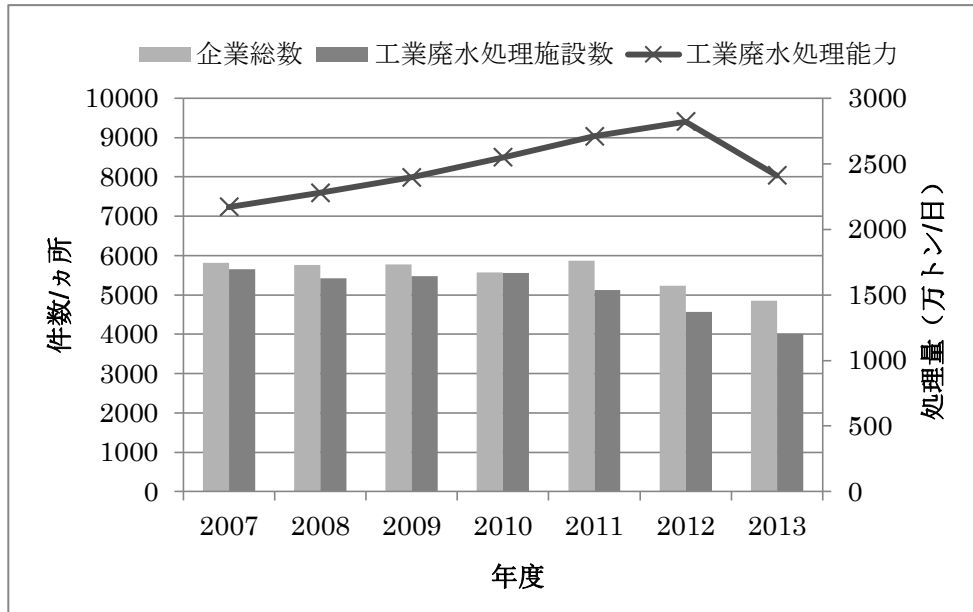
汚染物質			パルプ製紙業	パルプ製造と 製紙連合企業	製紙業	汚染物質排出 コントロール位置
排出 限界 値	1	PH 値	6~9	6~9	6~9	企業廃水総排出口
	2	色度(希釈倍率)	50	50	50	企業廃水総排出口
	3	浮遊物(mg/L)	50	30	30	企業廃水総排出口
	4	五日間の化学的要求酸素量 (BOD ₅ , mg/L)	20	20	20	企業廃水総排出口
	5	化学的要求酸素量(COD _{Cr} , mg/L)	100	90	80	企業廃水総排出口
	6	アンモニア態窒素(mg/L)	12	8	8	企業廃水総排出口
	7	総窒素(mg/L)	15	12	12	企業廃水総排出口
	8	全リン(mg/L)	0.8	0.8	0.8	企業廃水総排出口
	9	吸着できるハロゲン(AOX, mg/L)	12	12	12	現場、または生産施設排出口
単体製品の基準排出量、トン/トン数 (パルプ)			30	30	30	排水量計量位置および汚水中 の排出観測位置は一致

説明:
1、吸着できるハロゲン(AOX)とダイオキシンの指標は塩素漂白過程を含む状況にも適用される。
2、パルプ製造量は乾燥パルプで計算される。
3、パルプ製造と製紙連合生産企業の排出量は、企業パルプ製紙生産量と外部購入の総和が根拠になっている。
4、企業から生じる廃止パルプ量は総企業パルプ紙総量の80%を超えている。単体製品の基準排出量は20トン/トン数(パルプ)である。
5、企業漂白非パルプ生産量は企業パルプ紙総量の60%を超えている。単体製品の基準排水量は60トン/トン数(パルプ)である。

出典: 製紙工業水汚染物排出標準(GB3544-2008)

3) 製紙と紙パルプ業界の污水处理状況

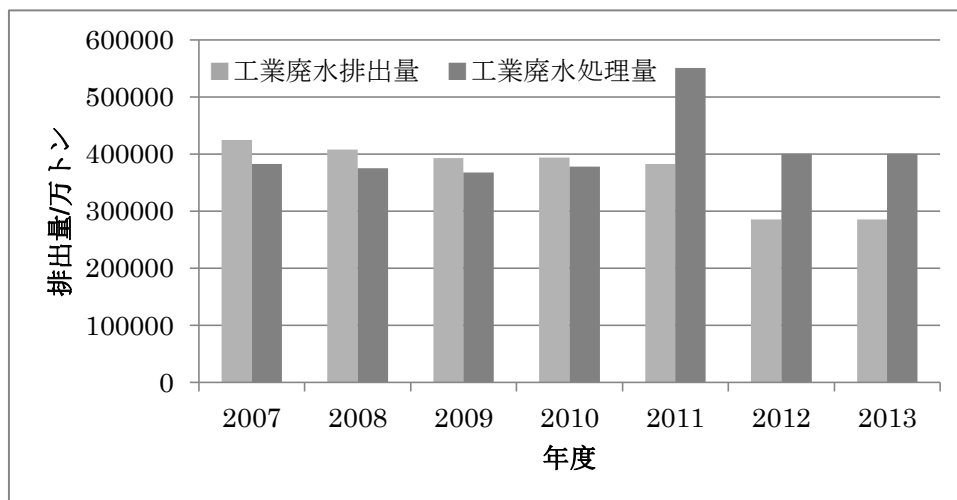
国家統計局のデータが示す通り、2007年以降、製紙と紙パルプ業界の企業数は減少傾向にあり、廃水処理施設も同様に減っている。総体的に見れば、廃水処理施設は企業数よりも少ないため、当該業界においては恒常的に廃水処理施設が不足している状況にあると言える。しかし、それらの減少傾向は異なるため、2012年までは污水处理能力は高まっている。



出典: 国家統計局

図表51 2007～2013年 製紙業界廃水処理施設と処理能力の推移

下の図は当該業種の廃水排出量と処理量を示している。廃水処理施設数は減少しているものの、污水处理産業の技術の向上により、廃水処理量は増加しており現状では問題がないと言える。2012年、廃水処理量は大きく減少したが、製紙とパルプ業界の排出量はすでに飽和状態にあるため、今後の増長スピードは緩やかだと予測できる。



出典: 国家統計局

図表52 2007年-2013年 製紙業界の廃水排出量と処理量の推移

5) 製紙と紙パルプ業界の廃水処理技術

製紙業の廃水の特長はSS、CODが高いことである。CODでは、非溶解性CODの割合が高く約60%を占めており、残りは部分溶解性CODと生物分解が難しい物質とで構成されている。生物分解が難しいパルプ製造業の廃水には、嫌気性(加水分解)―好気性連合処理がよく採用され、生物分解が容易な廃水には生物処理が採用される。色度を除去する方法としては、一般的には化学方法が用いられる。規模が大きく、処理水準が高い工場では、電解、化学凝集、オゾン酸化などの方法が採用されている。このほかにも、浮選法があり、白水中の繊維性固体物質を回収することができ回収率が95%を超えるため、水の再生利用が可能となる。また燃焼法では、黒水中の水酸化ナトリウム、硫化ナトリウム、硫酸ナトリウムやこれら有機物が結合してできるナトリウム塩を回収することができる。中和法は廃水のpH値を調整できる。凝固沈殿法は廃水中の浮遊固体物質を除去できる。化学沈殿法は脱色ができる。生物処理法はBODを除去することができるため、牛草紙の廃水に有効である。湿式酸化法は亜硫酸パルプ紙の廃水に有効である。これ以外にも国内外には逆浸透、限外濾過、電気改正などの処理方法がある。

図表 53 一般的な廃水管理工業の単体処理効率

廃水の種類	水質指標							
	pH 値	SS mg/L	COD _{cr} mg/L	BOD ₅ mg/L	AOX mg/L	総窒素 ⁽³⁾ mg/L	アンモニア 態窒素 ⁽³⁾ mg/L	全リン mg/L
化学パルプ ⁽¹⁾⁽⁴⁾	5-10	250-1,500	1,200-2,500	350-800	2-26	4-20	2-5	0.5-2
化学機械パルプ ⁽¹⁾⁽⁵⁾	6-9	1,800-3,800	6,000-16,000	1,800-4,000	0-3	5-10	3-5	1-3
機械パルプ ⁽¹⁾	6-9	850-2,000	3,200-8,000	1,200-2,800	0-1	4-8	2-5	0.5-1.5
廃紙パルプ ⁽²⁾	6-9	800-1,800	1,500-5,000	550-1,500	0-1	5-20	4-15	0.5-1
脱墨廃紙パルプ ⁽²⁾	6-9	450-3,000	1,200-6,500	350-2,000	0-1	3-10	2-6	0.5-1.5
製紙廃水 ⁽²⁾	6-9	250-1,300	500-1,800	180-800	0-1	2-4	1-3	0.5-1
説明: (1) pH を除き、製紙用パルプの値は低く、非製紙パルプの値は高い。(2) pH を除き、国産小型抄紙機の値は低く、輸入抄紙機の値は高い。(3) アンモニア法化学パルプアンモニア態窒素と総窒素の指標はそれぞれ 55~150mg/L と 60~160mg/L である。(4) 化学パルプの水質指標は化学品によりパルプ製造廃液、または資源回収後の指標である。(5) 化学機械パルプ水質指標は高濃度パルプ廃水を蒸発燃焼処理する際の指標である。								

出典: パルプ製紙の廃水管理工程技術規範 HJ 2011-1012

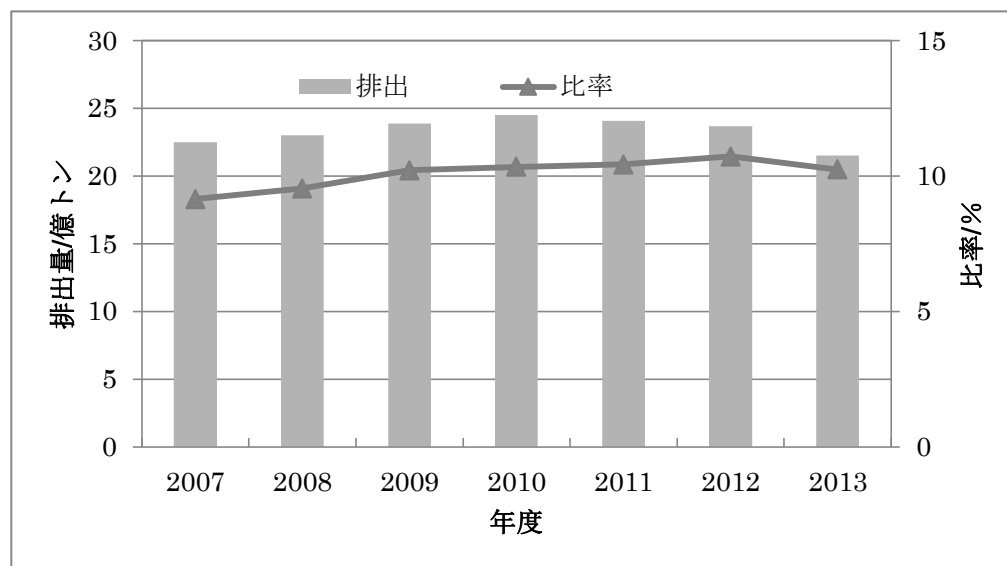
全体を見ると、全ての方法に長所と短所がある。物理化学法は適用性が強く、操作が簡単で、反応条件をコントロールしやすい。少ない投資で効果を見込める点は長所である。しかし短所も多い。例えば、凝固法は多量の薬剤を投入するため、汚泥の発生も多く、吸着剤は費用が非常に高く再生が難しい。電気化学法は大量の電気エネルギーを必要とするので運行コストが高い。高効率酸化法は設備と操作条件についてその要求が高い。膜分離法は海外では広く採用されているが、国内では非木材を原料とした製紙業の割合が高く、短期間で木材パルプ製造に切り替えることは現実的には難しいため広範囲での適用ができない。高効率凝固剤と凝固設備の研究を進め、低コストで、なおかつ容易に再生できる吸着剤を開発し、酸化反応器の高効率化を実現することが今後の物理化学法の重要なテーマといえる。

4.3.2.2 繊維業の廃水処理状況

1) 繊維業の廃水排出状況

中国の繊維製品生産量は世界一位であり、今もなお発展を続けている。しかし、繊維産業の発展は環境に深刻な影響を及ぼしている。下の図は国家统计局のデータであるが、2007～2013年の繊維業界の廃水排出量は工業分野全体の10%ほどであり、2013年の排出量は21.5億トンである。総体的にみると、2010年以降、繊維産業

の規模が拡大し、生産量も増加している中で、廃水の排出総量は下降傾向にある。しかし、工業分野全体に占める繊維業の廃水比率に目立った変化は見られない。



出典: 国家統計局

図表54 2007～2013年 繊維業廃水排出量及び総排出量に占める比率

2) 繊維業廃水の特長

繊維業界の廃水には、捺染排水、化学繊維生産廃水、洗毛廃水、麻膠質除去廃水、化学繊維溶解パルプ廃水などがある。捺染排水は繊維業の主要汚染源の80%を占めており、重度汚染に属し処理難度は非常に高い。さらに、廃水処理後のリサイクル率はわずか7%であり、全工業分野の中で最低の数値である。捺染企業が排出する廃水には微細繊維が含まれているだけでなく、加工工程におけるサイジング剤、油剤、染料、化学助剤なども含まれており、以下はその特長である。

- (1) COD値は数値の振れ幅が広く、高い場合で2000～3000mg/L、BOD値も600～900mg/Lにまで達する。
- (2) pHは高い。例えば硫化染料と染料原体ではpHは10以上、シルケット、炭酸ソーダーでは14に達する。
- (3) 色度は高く、有機物の量も多い。大量の染料が含まれ、助剤及びサイジング剤の粘度が高い。
- (4) 水温水量変化が大きく、加工品や生産量により水温が40℃以上になると、廃水の生物処理効果に影響がでる。

このほかにも、従来からの捺染加工工程では有毒な廃水が発生し、加工後廃水中の有毒染料、または加工助剤が繊維に付着し、人体の健康に影響を与えることがある。たとえばアゾ染料、ホルムアルデヒド、蛍光増白剤、柔軟剤などは感作性を引き起こす可能性がある。ポリビニルアルコールとポリプロピレン類のサイジング剤は分解しにくく、塩素系漂白剤による刺激がきつい。数種の芳香アミンには発がん性がある。一部染料には有害な重金属も含まれている。ホルムアルデヒドなどの各種仕上げ剤や捺染助剤は人体に有害な作用がある。このような廃水が処理されずに、または処理後の排水が基準に達していない状態で排出されれば、人体に危害が及ぶだけでなく、水、土壌、生態体系をも破壊してしまう。

繊維業が排出する汚水の毒性は強く汚染度も高い。現在、中国では繊維業を対象とした《織物染物工業水質汚染物質排出基準》(GB/T4287-2012)を制定し、毎年、織物染物工業水質汚染物質の廃水濃度限界値と排出量限界値を定めている。具体的な値は図表55の通りである。

図表55 繊維業の汚染物質排出限界値及び製品別基準排水量

単位:mg/L (pH値、色度除外)

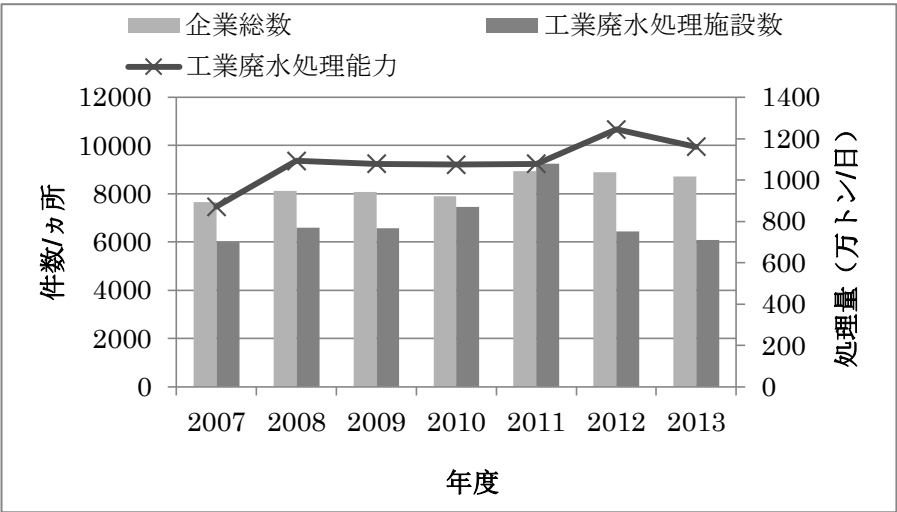
番号	汚染物質	限界値		汚染物排出コントロール位置
		直接排出	間接排出	
1	pH 値	6～9	6～9	企業廃水総排出口
2	化学的酸素要求量（COD _{cr} ）	80	200	
3	五日間の化学的酸素要求量	20	50	
4	浮遊物	50	100	
5	色度	50	80	
6	脱窒素	10 15 ⁽¹⁾	20 30 ⁽¹⁾	
7	総窒素	15 25 ⁽¹⁾	30 50 ⁽¹⁾	
8	全リン	0.5	1.5	
9	二酸化塩素	0.5	0.5	
10	吸着性有機ハロゲン化合物(AOX)	12	12	
11	硫化物	0.5	0.5	
12	アニリン類	不検出	不検出	
13	六価クロム	不検出		
製品の基準排水量 (m ³ /トン標準品) 2)	綿、麻、化学繊維及び混紡織物	140		廃水量計量位置と 汚染物排出監督制御位置
	純絹織物(純白を含む)	300		
	紡績糸、ニット物	85		
	コーミング織物	560		
	カージング織物	575		

注:(1)ろう染め業種もこの限界値を執行する。
(2)製品が異なる時は、FZ/T 01002-2010 に基づいて計算する。

出典:織物染物工業水汚染物排出基準(GB/T4287-2012)

3) 繊維業廃水処理状況

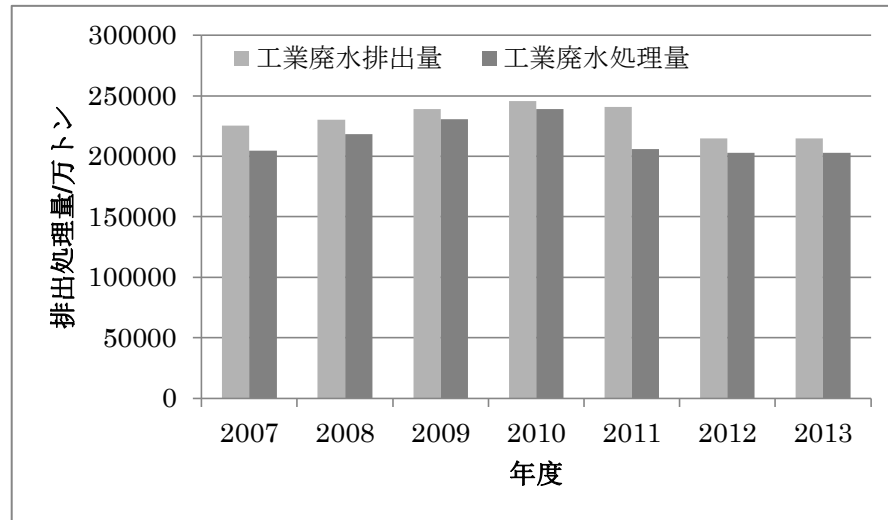
下の国家統計局のデータを見ると、2007年以降、繊維業界の企業数は増加後、減少に転じ、汚水処理施設も同様の傾向を示している。全体的に見れば、汚水処理施設の数企業数よりも少なく、一定して不足状態にある。一方で、汚水処理能力は2007年以降、増加傾向にある。



出典:国家統計局

図表56 2007～2013年繊維業廃水処理施設数と処理能力推移

下の図は繊維業界の廃水処理量と排出量の推移である。廃水処理量は上昇したあと下降しているが、排出量よりも少ないため、廃水処理にはまだ一定の余地があると言える。現在の処理量は94％程度であるが、理想的とはいえない状態であり、「水十条」の公布と執行力の強化に伴い、繊維業における廃水処理は新たな發展段階を迎えており、処理率は更に上昇していくと思われる。



出典：国家統計局

図表57 2007～2013年繊維業の工業廃水排出量と処理量の推移

4) 繊維業の廃水処理技術

捺染廃水はBOD5、CODcr、色度、pH値、SS、NH₂-N、硫化物などで汚染の度合いを判断する。捺染廃水の成分は複雑で処理難度が高いため、複数の処理工程を組み合わせ採用する。捺染の廃水は主に有機汚染であるため、通常、生物処理を採用し、物理化学処理を補助的に活用し運行費用を抑えている。生物処理は嫌気性加水分解酸化と好気性生物処理法を組み合わせた処理工程である。物理化学処理技術には凝固沈殿、凝固溶解空気浮上法、化学酸化脱色などの方法がある。

具体的にいえば、生分解性が良いとされる捺染廃水には、一級、二級の生物処理工程を採用する。生分解性が良いとまでは言えない廃水には、嫌気性処理と好気性生物処理を組み合わせた工程を採用する。また、好気性生物処理と物理化学法を連結させた工程を採用する場合もある。また、複数の微生物には毒性を持つもの、廃水処理を抑制する作用を持つものがある。下の表は各方法におけるCODcr、BOD5、色度の除去率を示している。そのひとつ、生物膜法には接触酸化法、生物曝気濾過、生物流化床がある。生物濾過法は除濁能力と生物処理能力を兼ね備えているが、占有面積が大きく、耐衝突負荷性能も低いため、現在使用は限られている。一方、接触酸化法はコストは高くつくが、廃水処理の管理レベルが低い企業にも適用でき、用地が狭いなど難しい状況にも対処できるため、その適用範囲は広がっている。中小水量の捺染廃水処理に特に適しているといえる。活性汚泥法には連続式活性汚泥法、表面曝気式などがある。表面曝気式では短流が発生しやすく、酸素濃度と環流量の調整が難しい。界面活性剤が多い時には泡沫が発生し水面を覆い、酸素供給量などに弊害が生じるため、近年はあまり採用されない。連続式活性汚泥法は規模が大きい工業廃水処理場で広く適用されている。

図表58 各処理方法における除去率(%)

処理単元項目	加水分解酸化	好気性生物処理		凝固沈殿、または 凝固溶解空気浮上法 (生化学前)	凝固沈殿、または 凝固溶解空気浮上法 (生化学後)
		活性汚泥法	生物膜法		
COD _{cr}	15～35	60～75	55～70	30～60	10～20
BOD ₅	10～30	90～95	85～95	15～40	10～20
色度	30～80	35～50	35～50	40～50	20～40

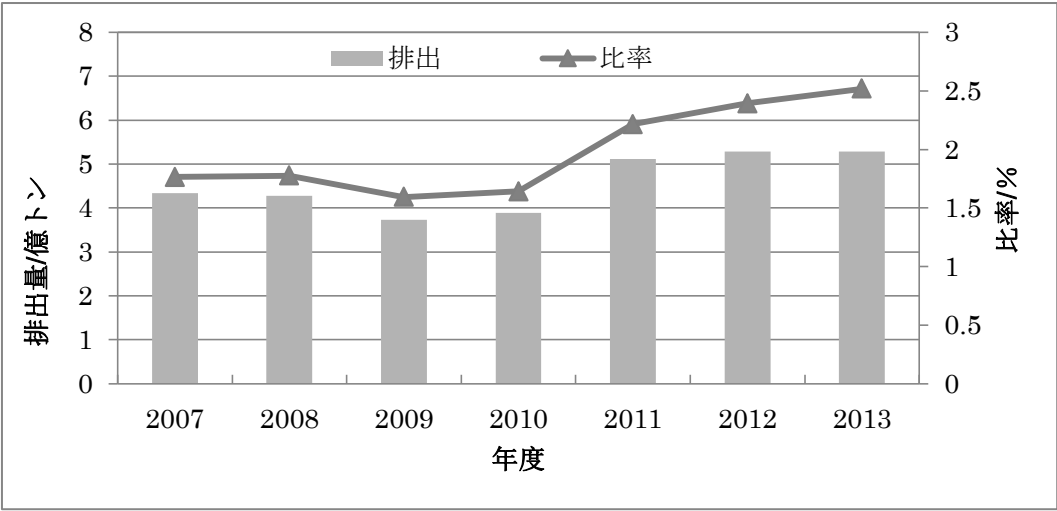
出典:繊維工業廃水管理工程技術規範

国内の繊維捺染産業は労働集約型産業であり、資源とエネルギーを大量に消費する産業でもある。大多数の企業が浙江、江蘇、広州などの地区に集中しており、工場廃水は工場内での処理と污水处理施設での処理を組み合わせた方法を採用している。中国の繊維捺染産業では廃水の再利用が十分に行われていないため、海外の同産業と比較すると、使用水量では2倍以上、廃水汚水総量では1.2～1.8倍以上とされる。捺染業が比較的集中している地区についていえば、その汚染水管理対策は急務となっており、より高度な污水处理技術と設備が求められる。このことから必然的に、污水处理企業の処理技術は向上し、污水处理のための高度設備の需要も増大している。

4.3.2.3 有色金属精製業と圧延加工業の廃水処理の現状

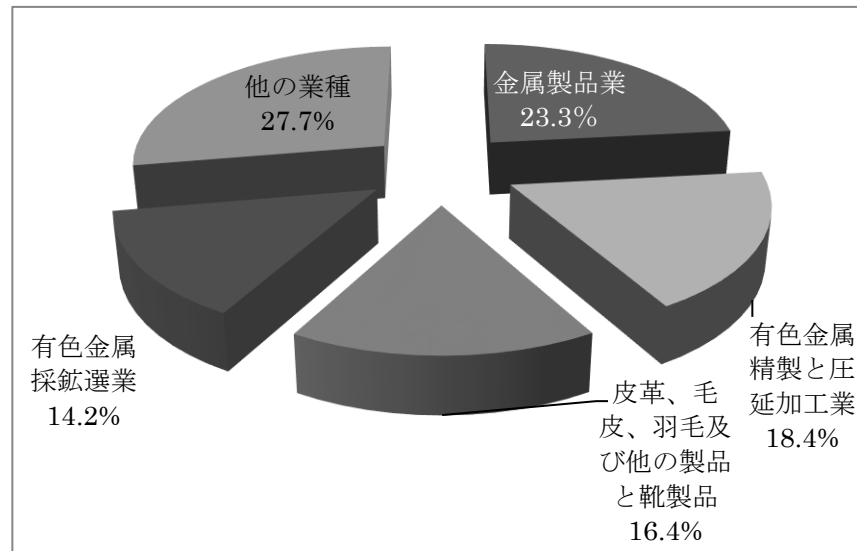
1) 有色金属精製業と圧延加工業の廃水排出状況

政府環境保護部発表の2014年中国環境統計年報によると、ここ数年は、有色金属精製と圧延加工業の廃水排出量は全国工業廃水排出総量の2～2.5%であった。政府が省エネ・排出削減政策を推進したことで繊維、製紙業では生産能力が低い企業が淘汰され、両業界の污水排出量は減少してきたが、下の図からもわかるように、2010年以降、有色金属精製と圧延加工業の廃水量は増え続けている。全国の排出総量に占める比率も増加傾向にあり、これらの業界の廃水排出量はさらに増加すると考えられる。



出典:国家統計局

図表59 2007～2013年 有色金属精製と圧延加工業の廃水排出量及び総排出量に占める割合



出典:2014年中国環境統計年鑑

図表60 2013年 業種別重金属排出状況

下表が示すように、有色金属精製と圧延加工業の廃水中のカドミウム、鉛、水銀などの金属排出状況は突出しており、それぞれ全体の69.5%、43.7%、28.8%を占める。

図表61 2013年 重金属汚染物排出状況

汚染物	排出量(トン)	重金属排出業種とその割合	排出量の多い地区とその割合
水銀	0.8	有色金属採鉱選鉱で 32.4%、有色精製と圧延加工業で 28.8%、化学原料と化学製品製造業で 27.9%を占める。	湖南28.7%、広西13.4%、甘肅11.9%
カドミウム	17.9	有色金属精製と圧延加工業で 69.5%、有色金属採鉱選鉱で 12.6%、化学原料と化学製品製造業で 9.3%を占める。	湖南37.5%、江西 10.9%、甘肅7.2%
鉛	74.1	有色金属精製と圧延加工業で 43.7%、有色金属採鉱選鉱で 34.18%、化学原料と化学製品製造業で 11.4%を占める。	湖南32.7%、甘肅10.9%、広西8.4%
砒素	111.6	化学原料と化学製品製造業で 34.4%、有色金属採鉱選鉱で 28.2%、有色金属精製と圧延加工業で 22.7%を占める。	湖南 38.1%、江西8.3%、チベット8.0%
六価クロム	58.1	金属製品業で 63.0%、自動車製造業で 14.3%、有色金属精製と圧延加工業で 4.6%を占める。	江西29.6%、湖南15.6%、浙江 15.1%
クロム	161.9	皮革、毛皮、羽毛及び他の製品と靴製造業で 41.2%、金属製品業で 37.6%、自動車製造業で 5.6%を占める。	河南18.6%、広東 13.7%、浙江 11.5%

出典:2014年中国環境統計年鑑

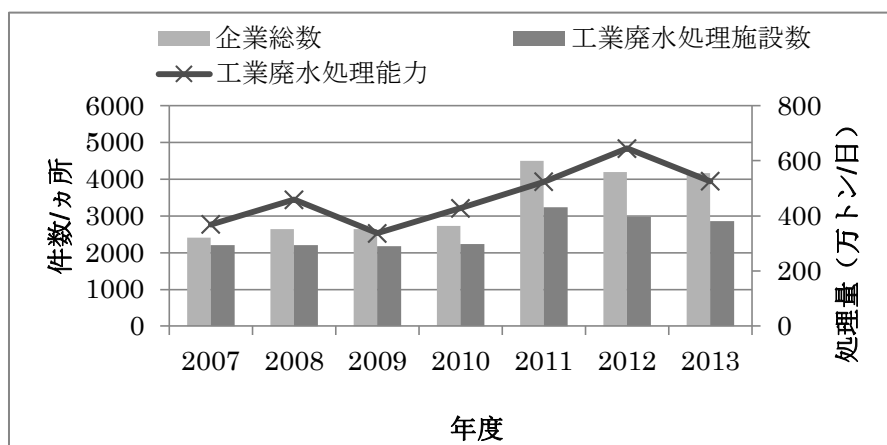
2) 有色金属精製と圧延加工業の廃水の特長

有色金属精製は一般的に高汚染工程であり、有色金属精製と圧延加工業の廃水には多量の重金属が含まれる。重金属を含む廃水は毒性、持久性、非分解性が強いなどの特長がある。こうした金属が排出されれば、土壌、農作物、水生生物など生態環境に深刻な影響が及び、人々の健康に重大な被害が生じる。また、これらの廃水は金属、建造物、産業機械などを腐食させるため生産活動にとっても脅威となっている。

有色金属精製と圧延加工業の廃水の水質水量の変動は大きく、その構成成分も複雑で、砒素、銅、亜鉛など多種類重金属の含有量の高さ、毒性の強さなどの特長が廃水処理にあたっての難題となっている。有色金属及び鉱石の持っている特長により、廃水には一般的に砒素、銅、亜鉛などの多種類重金属が含まれる。

3) 有色金属精製と圧延加工業の廃水処理状況

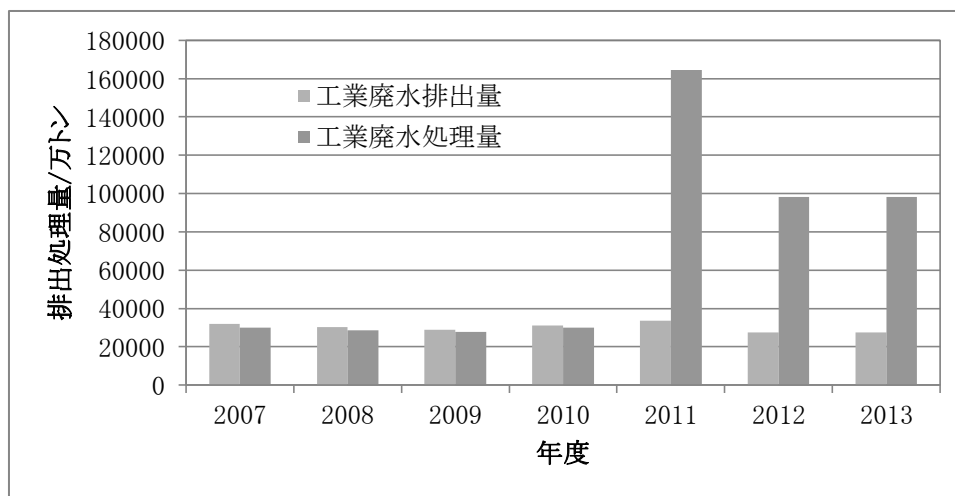
下の図が示す通り、2007年以降、有色金属精製と圧延加工業の企業数は増加傾向にあり、污水管理施設の数も増加している。全体的に見ると、污水管理施設の数企業数より少ないため、これらの業界においては污水処理施設は常に不足しているといえるが、企業数と污水処理施設数の減少推移に違いがあることで、2007年以降の污水処理能力は大幅に向上している。



出典: 国家統計局

図表62 2007～2013年 有色金属廃水処理施設数と処理能力の推移

下図の廃水排出量と処理量の推移をみると、廃水処理量は2011年以降急激に増えており、有色金属精製と圧延加工業では現状、廃水処理は十分に行われていることがわかる。



出典: 国家統計局

図表63 2007～2013年 有色金属廃水排出量と処理量の推移

4) 有色金属精製と圧延加工業の廃水処理技術

重金属を分解破壊することは難しく、その存在を移動させるか、化学変化をおこさせることしかできない。そのため、重金属の廃水処理には一般的に2つの方法がある。1つは廃水中の溶解状態の重金属を不溶性の金属化合物や元素に転化し、沈殿により浮遊物を除去する方法である。もう一つは、廃水中の重金属が化学変化を起こさない条件下で濃縮と分離を行なう方法である。これらの方法は廃水の水質、水量などの状況にあわせ、単独使用か、組み合わせて使用するのが決められている。具体的には、現段階では重金属を含む廃水の無害化処理には3つの方法がある。膜分離法、吸着法、溶剤抽出法、イオン交換法、蒸発濃縮法などの物理法、化学沈殿法、電気化学法などの化学法、生物凝集法、生物吸着法などの生物法である。

有色金属精製と圧延加工業の廃水を単独工程で処理する場合、一般的には電解還元法やイオン交換法などが採用される。イオン交換樹脂は構造が複雑でコストが高く、再生剤を大量に使用する必要があるため、精製の廃水処理に適用する場合いくつもの制限がかかる。生物処理技術は一定の限界性があるが、植物であっても微生物であっても選択した上で、1種類、または数種類の金属だけを吸収、吸着することができる。ただし、特定の金属は重金属濃度が高い場合には中毒を引き起こすため、その適用には制限がある。化学沈殿法の重金属廃水処理工程は複雑でなく、除去範囲も広く、経済的であるなどの特長を有している。このため、この方法は、現在の中国で最も広く適用されている重金属廃水処理方法である。

4.3.3 工業廃水処理技術の発展状況及び海外との比較、今後の展望

中国の污水处理技術は海外の先進技術、設備、経験を参考にしており、研究開発の新たな発展ルートを引き込むことに成功している。現有の污水处理工場では標準活性汚泥処理法、酸化溝、嫌気性－無酸素－好気性(A2/O)、逐次バッチ活性汚泥法(SBR)を主に採用している。中でも酸化溝、嫌気性－無酸素－好気性(A2/O)、逐次バッチ活性汚泥法(SBR)は、新しく建築される污水处理工場で採用される比率が高くなっており、現在、中国の污水处理三大工程技術となっている。また、海外で人気があるMBR技術も中国の污水处理業界は注目している。

現在、国内の工業廃水処理率は拡張を続けており、成熟期への過渡期と言える。国内の各業界がまだ成熟の域には達しておらず、海外と比較するとその差は大きい。要因としては、以下の点が考えられる。

- 1、海外の廃水処理設備は国内のものより高水準である。
- 2、海外企業は環境保護及び関連する処理技術の向上と研究開発を重視している。
- 3、国内の自主技術は少なく、海外には高度な技術が多くある。
- 4、国内企業の研究技術分野への投資は少なく、人材も不足している。

廃水処理業界の技術向上が、污水处理工程に与える影響は明白である。

このほかにも、海外の廃水処理産業は一般的に技術力が高く、工程設備も優れている。検測手段や先進的な生産設備も整っており、生産能力も高い。海外の有数の企業と比べると、設備、装備、工程などすべてにおいてその水準は遅れを取っている。このことが、処理後の精度と水質が海外標準に及ばない主な理由である。海外企業との生産設備の差は、機械製造業の水準の差を反映しているともいえる。ドイツ、アメリカなどの機械製造業は十分に発達しており、技術水準は世界でもトップクラスである。中国は急速に発展を続けているものの、まだその域には及ばない。

国内の污水处理設備も、海外のものと比較すると顕著な差がある。その主な問題点は以下の通りである。1、生産と需要に矛盾が生じている。つまり、污水处理設備の生産が需要に追いつかないのである。2、製品群が少なく、開発能力も弱いため、品質の低下がみられる。標準的な設備機械や初期段階の設備機械が占める比率が高く、最新の機能や基準を満たす設備が少ない。3、技術レベルが低い。35%～40%の設備が20世紀6、70年代頃の世界基準のものであり、現行の污水处理設備の約1/5が生産中止か耐用年数が過ぎているもの、約2/5が改良を必要とする製品である。4、設備の輸出が安定していない。污水处理設備は輸出してものの、その技術の低さや対象となる製品や地域が限定されていることで、海外市場での競争力は弱い。污水处理工程と設備製造を一体化

して請負える企業は少なく、大多数の企業が開発、製造、生産、販売などそれぞれの分野に特化して携わっていることがその背景にある。

現在、海外の先進的な国々の汚水処理設備の水準が先端技術に達していることを考えれば、中国の今後の発展余力はまだ十分にあると言える。具体的な点を以下に挙げる。

一、生活污水や工業廃水を処理する設備の標準化、定型化、系列化、一体化は既に実現できているため、汚水処理設備分野の全カテゴリーをカバーした商品化が可能である。

二、汚水処理を行う単体設備、例えば、沈殿、濾過、抽出、精密濾過、電気解析などに対応する設備は、その設計や生産、製品群は専門性が高く、品質も性能も安定しており十分に適用できる。

三、工業廃水の処理設備は各工程技術の成熟に伴い、専門化、一体化しつつある。

四、汚水処理設備と同じく、送風機、ポンプ、バルブなどの設備も徐々に専門性を高め、組織的な生産も行なわれており、特殊な需要を満たしている。

五、嫌気性処理技術が再び重要視され、嫌気性処理設備の高濃度有機物質排水処理への適用が促進された。

4.4 工業廃水処理技術市場の分析

4.4.1 工業廃水処理の発展状況

国家環境保護省環境計画院の予測では、「十三五」期には廃水処理管理に1.39兆元を投入するとしている。そのうち、工業廃水だけで4,355億元に達するとしており、引き続き、急速な発展が見込まれる。設備製造と技術工程の分野を合わせた2014～2016年の市場規模は約1,200億元とし、年平均17%の伸びである。その対象は、主に繊維、石油業界である、その維持管理分野での市場規模は200億元、年平均伸長率は26%である。工業廃水処理市場は、これまで専門性が高く市場化が遅れていたが、維持管理、運行効率が高く、政策支援も奏功し、市場開放はさらに進んでいくと考えられる。

1) 汚水処理技術が適用される分野では、その技術の向上の度合いが緩やかであることと、政府の汚水処理に対する水質要求が高まっていることにより、汚水処理産業には発展の好機が到来している。このため、高効率な水処理技術が、徐々に従来からの技術に取って代わろうとしている。

生物法は汚水処理の主流工程として多くの分野に採用されており、活性汚泥法が基盤となるため、その能力を強化することができ、様々な方法が技術路線上に生まれている。汚水処理後の水質の向上がこうした技術の発展の機動力となっており注目が集まっている。

曝気生物濾過技術は処理後の水質基準が高く、コストが一定の割合で下がり続けている。そのため、汚泥処理コストを継続的に抑えられる点で注目が集まり、急速に発展している。

膜生物法は処理後の水質基準に優位性はあるが、処理コストが高いため、政府の政策支援に頼っている状況である。この分野では、膜技術を中心とするMBR技術の市場が成長傾向にある。この技術を、これまでの従来技術と比較すると、脱窒素と徐リン効率が高く、占有面積も小さく、余剰汚泥は少ない。また、操作性は簡単でコストパフォーマンスが高いなど多くの優位性がある。現在、廃水処理分野での適用は50プロジェクトを超えており、急速に発展している。

「十二五」期、汚水の処理基準、ならびに排出基準は厳しくなり水準が上がっている。そのため、汚水処理施設の改築、改善に向けた投資額は最盛期を迎え、発展余地が大きく見込める膜市場では、近い将来、MBRが国家一級A、またはそれ以上の重点プロジェクトや占有地が狭い場所での新築や改築プロジェクト、汚水再生利用プロジェクト、工業廃水処理などの分野で主導権を握り、主流工程になると予想される。

2) 膜式処理では、分散処理型が集中処理型に取って代わると考えられる。排出水質が基準に達している企業の多くは分散処理型方式を採用している。企業の大小にかかわらず各企業が汚水処理施設を設けることで、

廃水の排水水質が国が規定する環境標準に達するのである。一方、江蘇省、浙江省、遼寧省のいくつかの都市では分散と集中処理を結合した方法を採用している。これは、まず企業が工場内で廃水の部分処理を行ない、都市の排水管ネットワークへ排出する基準（三級排出基準）を満たすと排出が許される。この場合、企業は排出汚染物の総量を排出汚染費用として国に納めなければならない。

工業廃水の汚染処理の工程をみると、分散処理には多くの矛盾点が存在する。1つ目として、建設コストと維持管理コストの合計は、分散と集中処理を結合した方式より20%以上高いという点である。2つ目として、環境上、悪影響を及ぼしかねないという点である。企業（主に中小企業）の中には、利益を上げるために維持管理コストを下げる必要が生じるが、現存の汚水処理施設では対応することができず、結果的に、違法排出をする企業が存在する。またいくつかの企業では管理が悪いため、基準値を越えた汚水を常に排出している。3つ目として、維持管理が難しいという点である。管理者が管理する項目が非常に多いため、企業の中には、管理者が点検、検査をしている時には施設を運行し、管理者が不在になると、施設の運行を停止してしまうという状況が散見される。恒常的に設備が運行できていないのである。

分散と集中処理の結合方式を採用すれば、基本的に上述の問題は解決される。なぜなら企業からの廃水はすでに三級排出基準に達しているため、工場内で再度処理をする必要はなく、廃水を直接都市排水管ネットワークへ排出できる。この方式は、経済的負担が軽くなる利点があり、企業は真摯に取り組んでいる。また、建設コストと運行コストの削減だけでなく、廃水を処理するための占有地も狭くて済むため、汚水処理施設の管理負担を大幅に減らすことにもつながる。

4.4.2 工業廃水処理業界の代表的企業の紹介

現在、中国では廃水処理産業の主要企業はその形態により、国有企業、合弁企業、外資企業に分けられる。中でも、国有企業が市場の大部分を占めており、その多くが政府のフランチャイズ企業である。これは、政府よりフランチャイズ権利を獲得し、廃水処理サービスを提供するものである。サービスを提供する先の多くは政府であり、政府から受注することで利益が確保できる。したがって、地域住民へ直接サービスを提供することはあまりない。また大規模企業は買収合併、BOT、委託運営など様々な方法で事業の拡張を図っている。

図表64は、水ネットワーク連合E20研究院、業界に精通している専門家、市場に対し影響力を持つ機関投資家、及び業界に特化したメディアが協力し評価選考した2014年、国内の工業廃水関連のトップ企業である。ランキングリストに登場した企業名とその順位が、毎回めまぐるしく変動する点が生活汚水処理産業とは異なる特長であり、さほど規模の大きくない企業に一定の優位性が認められることも特長と言える。次に、代表的な企業を簡単に紹介する。

図表64 2014年 中国工業及び工業団地水処理のトップ企業

番号	企業名	トップ分野
1	麦王環境技術股份有限公司	工業廃水処理ゼロ排出年度模範企業
2	勝科水処理サービス股份有限公司	工業団地区水処理年度トップ企業
3	北京万邦達環境保護技術股份有限公司	石炭化学工業水処理年度リード企業
4	広東新大禹環境工程股份有限公司	重金属廃水処理年度リード企業
5	湖南湘牛環境保護実業股份有限公司	コーキング廃水処理年度リード企業
6	湖北君集水処理股份有限公司	捺染廃水処理年度リード企業
7	中海天華環境科学技術集团股份有限公司	工業団地区水処理年度成長企業
8	北京曉清環境保護工程股份有限公司	工業団地区水処理サービス《型式》創新年度模範企業
9	北京賽諾膜技術股份有限公司	国産膜技術国際化創新年度リード企業
10	金科水サービス工程(北京)股份有限公司	膜過程技術年度模範企業

1) 勝科水处理サービス股份有限公司

勝科工業の水資源供給はトップクラスであり、その水处理サービスと海事プロジェクトは六大陸に及んでいる。勝科の污水处理能力は900万 m^3 /日を超えるため、工業界と政府へ十分なエネルギーと水サービスを提供することができる。勝科工業の総売上は695億元(140億シンガポールドル)、世界各地で働く従業員は10,000人に及ぶ。勝科はシンガポール証券取引所に上場しており、Singapore Strait Times Index及びMorgan Stanley Capital International IndexとFTSE Indexの株を保有している。

勝科グループは中国で20年近くの投資経験を持つ。国内では給水サービスと污水处理市場のリーダー的存在であり、そのサービス範囲は16省に及び、271万人に給水サービスを提供している。また、勝科は「再生水」分野でも確かな実力を有している。江蘇張家港保税港区には20,000 m^3 /日の汚水を処理し、再生水を供給する污水处理工場があり、シンガポールと中国政府は共同で高濃度の汚水を処理し水を循環利用するためのプロジェクトを立ち上げ、100を超える海外企業と国内企業にサービスを提供している。

勝科は国際化を背景に発展する工業団地の水处理企業のモデルとなっており、優れた技術を集約し優勢を維持している。その良好な施設は化学的酸素要求量19,000 mg/L の高度有機工業廃水や塩分50,000 mg/L の高塩分濃度の廃水を処理することができる。勝科は緻密で強力な維持管理を徹底しており、高水準な運営サービスで国内11の省級に及ぶ23の水サービスプロジェクトを担当した。

2014年、勝科の水サービス事業における営業収入は55.44億元、純利益は4.9億元に達している。2015年には160万 m^3 /日を超える污水处理能力を持つ施設の操業がはじまり、その中には南京工業水サービス工場、荊門工業废水处理工場などが含まれる。

2) 麦王環境技術股份有限公司

麦王は世界規模の環境保護エネルギー企業であり、アメリカを基盤としているが、中国の環境保護分野でも存在感を示している。麦王の中国における主要な業務は給水、污水处理、再生水、ゼロ廃水、污泥処理、油あか処理などの環境保護プロジェクトの設計、請負、取付け及び運行管理、投融資サービスなどであり、世界最先端技術の污水处理、污泥処理工程とその設備を提供している。

麦王は経験、実績ともに豊富であり、訓練された質の高い専門家がプロジェクトマネージャーを務め、エンジニアとチームを組み計画を推進する。顧客には、すべての工程や要素にわたり技術とサービスを提供でき、今まで国内で数百に及びプロジェクトを完成させてきた。その実績は石油化学工業、石炭化学工業、製鉄、自治体、製薬、食品飲料、自動車など広範な業界に及ぶ。麦王が手掛ける主な工業废水处理は、生化学処理では困難とされる廃水やゼロ排水技術に集中している。2013年には、事業戦略の見直しを行い、自社が優位に立つ技術力を活かし、石炭化学工業、製鉄、食品飲料業界などで設計、調達、建設を含むEPC契約で8プロジェクトを請け負った。工業废水プロジェクトは500を超えており、2015年8月、麦王は国禎環境保護を買収した。

3) 北京万邦環境保護技術股份有限公司

北京万邦環境保護技術股份有限公司は国内で石油化学や石炭化学業界、電力業界で多くのプロジェクトを手掛ける専門企業であり、プロジェクト構築に関わる一連のサービスを提供する環境保護事業を展開している。その業務には技術研究開発から設計、調達、現場監督、施工、運行調整、プロジェクト管理、運営サービスなどが含まれる。この会社は1998年、北京で設立された。その経営方針は、独立、革新、専門性をモットーに顧客に水处理システムソリューションを提供し、顧客のニーズを満足させることにある。

万邦は長い間、水資源の利用と水处理技術の研究開発に注力し、この10年間で卓越した設計力とプロジェクト構築サービスを提供する工業废水处理サービス企業として良く知られるようになった。

また、国内外でも著名な水处理企業と連携し設計を行い、高い技術力に支えられた製品と優秀な人材を生み出してきた。国内では工業废水のリサイクルのほか、工業废水处理、循環冷却処理、浄水処理、脱塩処理、維持管理、資源の再生利用など大小100以上のプロジェクトを成功させ、環境保護企業として水处理システムの向上に大きく貢献している。

今や、万邦は工業廃水処理の技術研究開発や設備提供、その統合において国際的な先進企業である。特に、石油化学や石炭化学業界では吉林石油精製工場廃水処理改善プロジェクト、撫順石油化学工業80万トンのエチレン処理システムプロジェクト、慶陽石油化学工業廃水処理施設プロジェクト、神華集団寧夏石炭業ジメチルエーテル並びにオレフィン汚水処理及びリサイクルプロジェクトなど10数件のプロジェクトを請け負っている。

2014年には昊天より省エネルギー事業を買収し、省エネルギー環境保護分野にまで事業を拡大した。保温配管の部品や石油ガスの防腐保温管などの製品の販売まで手掛ける。2015年にはウランチャブ市と官民連携プロジェクトを立ち上げた。

2015年上半期、国内の経済成長が緩やかになる中、万邦の発表によれば売上げは88,781.4万元、その増加率は166.68%となっている。営業利益は19,294.38万元に達し、増加率は184.37%、実現利潤は16,863.82万元、増加率は185.67%である。

4) 広東新大禹環境工程股份有限公司

広東新大禹環境工程股份有限公司の社は広東省広州にある。十数年にわたり着実に事業を拡大し、技術やプロジェクト建設、並びにプロジェクトの一体運営を提供する専門性の高い総合環境会社である。環境保護プロジェクト一級設計と環境保護施設運営証書を取得しており、さらにISO9001:2000品質システム認証も得ている。

実績としては、国家重点環境保護実用技術模範プロジェクト3件、広東省環境保護優秀模範プロジェクト6件、広東省環境保護十佳プロジェクト1件がある。また、プリント配線板排水管理、電気メッキ廃水管理、捺染廃水処理、食品などの高濃度有機廃水処理、生活汚水処理などの分野でその工程が成熟しており、排水基準をクリアする安定した処理を実現している。

工業団地への適用を進めるために、近年、当該地区で水処理集中式廃水処理システムの建設にリソースを投入、特に廃水回収と自動コントロールシステムの開発に注力している。自動コントロールシステムは集中式廃水処理を成功させるカギと言われている。中山工業区の高平織物染物廃水集中処理や電気メッキ廃水集中処理を請け負い、顧客の信頼を得ている。中でも高平工業区の織物染物では「2005年国家重点環境保護実用技術模範プロジェクト」に認定されている。

近年、広東新大禹環境工程股份有限公司は300を超える環境保護管理プロジェクトを請け負い、技術力、運行の安定性とその効果、自動化の面で強い競争優位性を保っている。

5) 湖南湘牛環境保護実業股份有限公司

湖南湘牛環境保護実業股份有限公司は2005年5月に設立され、工業廃水処理の総合環境サービスを主に提供する企業である。設計(D&A)、プロジェクト投資(BOT)、建設(DBO)、一括請負(EPC)、集合設備(EI)、運行管理(O&M)などの技術、ノウハウを蓄積しており、湖南省で唯一、膜技術プロジェクトを運用する企業でもある。また、中国環境産業協会の常務理事、湖南省環境産業協会副会長を務め、中国環境保護団体の中心的企業であり、国内トップの環境総合サービス試験地区支援企業でもある。各種の資格証書を取得しており、現在湖南省で最も多くの認証取得を持つ最強の企業である。

長年、国内の環境市場の変化に対応し、常にソリューションを模索し、環境プロジェクトを総合的に請負える体制を整え、排水をリサイクルする技術の適用と環境保護施設の委託管理運営を両翼として事業を発展させてきた。国家先進汚染防止模範技術、国家重点環境保護実用技術模範プロジェクト、国家重点環境保護実用模範技術を有しており、特に「塗装廃水処理及びリサイクル技術」は国家先進汚染防止技術として、また「製紙白水及び中間廃水管理プロジェクト」は国家重点環境保護実用技術模範プロジェクトとして認可されている。湖南省の重点化学技術専門プロジェクトの課題は、高度処理技術とされる製紙排水中の難分解性CODの低減であり、湖南湘牛はすでに独自の「分子活性化分解+膜」技術を構築している。

湖南湘牛は環境総合サービスの先進的な理念に裏打ちされた事業の拡大に注力している。「分子活性化分解+膜」を中心とした技術を基盤とし、5～10年以内に国際的にも有数の環境総合サービスを提供できる企業へと発展すると考えられる。

湖南省の膜技術適用企業より、コーキング廃水高度処理環境保護プロジェクトを総合的に請け負い、コーキング廃水、製鉄廃水などの処理施設を第三者に運営委託、2014年の売上げは約15,000万元、工業廃水新規プロジェクトは13件となっている。全てのプロジェクトを含めた処理能力は7万トン/日近くなる。特にコーキング廃水処理に関しては2014年の筆頭企業となっている。

6) 湖北君集水处理股份有限公司

湖北君集水处理股份有限公司は污水处理高度技術の開発とその適用において確かな実力を有しており、工業廃水処理技術開発に携わる総合サービス企業である。

捺染廃水処理を中心に、河川道の修復及び管理、生活廃水管理の支援などを行っている。自社で開発した「活性炭による水生産技術」及び「炭リサイクル技術」を提供しており、中には、水質分析、プロジェクト設計、委託管理運営、アフター技術サポートなど総合的なサービスも含まれている。現在、污水高度処理に関する多くのプロジェクトが進んでいる。湖北君集は污水高度処理業務に関連する系列の技術と専門施設を有しており、オリジナルの粉末活性炭再生利用及び活性炭炭水混合物固体液体分離工程は、污水高度処理分野における最新の基準を満たしている。

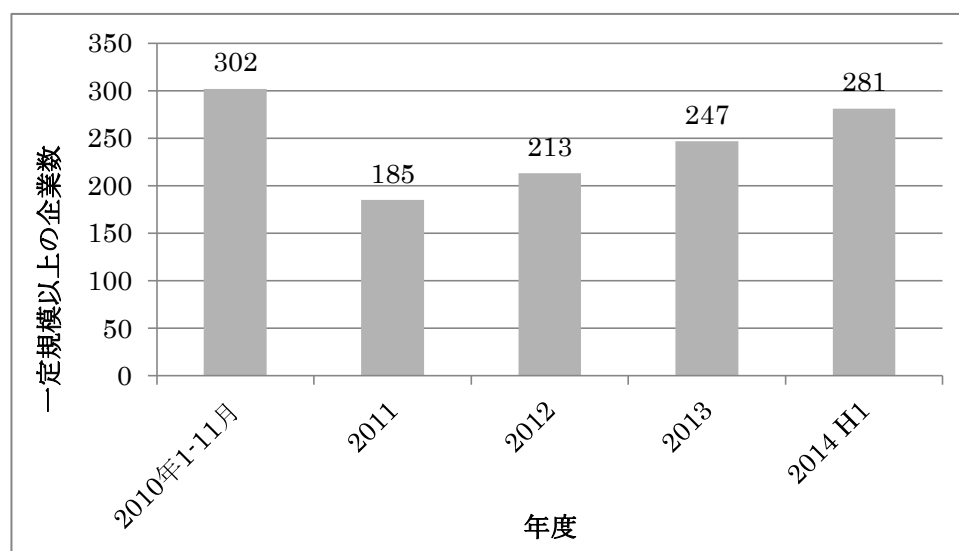
湖北君集処理会社は国内で唯一、再生粉末活性炭污水高度処理工程技術を掌握している企業であり、この技術は浙江省の嵊新に建てられた污水处理工場(15万トン/日)に適用され、色度成分除去問題を解決したことで、国内水処理分野のトップクラスの技術として専門家団体より認定を受けた。2015年3月には、「2014年度中国水サービス業及び工業地区水処理分野のリーダー企業—捺染廃水処理の年度リーダー企業」として認定されている。

4.5 水サービス市場発展の現状

国内水サービス業界の一定規模以上の企業は、一般的に飲用水の提供、生活污水处理、工業廃水処理を業務とする。ここでは国内の水サービス業界の全体状況と主要企業を紹介する。

4.5.1 水サービス市場の現状

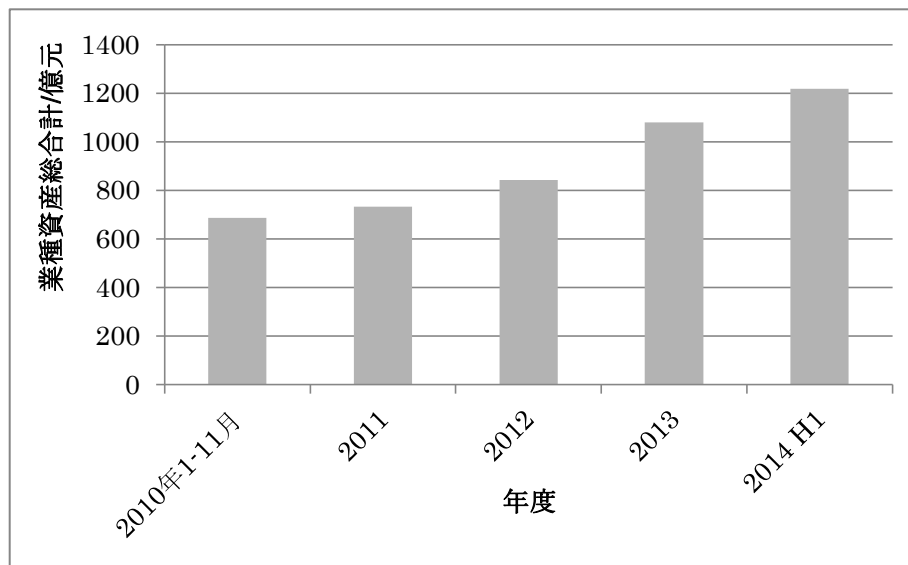
国家統計局のデータによると、2014年上半期の污水处理業界の企業数は281であり、2011年から増加を続けている。年平均増加率は14%ほどである。このうち57の企業に欠損が生じており、欠損企業の欠損総額は3.84億元となる。



出典: 国家統計局

図表65 2010～2014年 上半期の一定規模以上の中国污水处理業界企業数

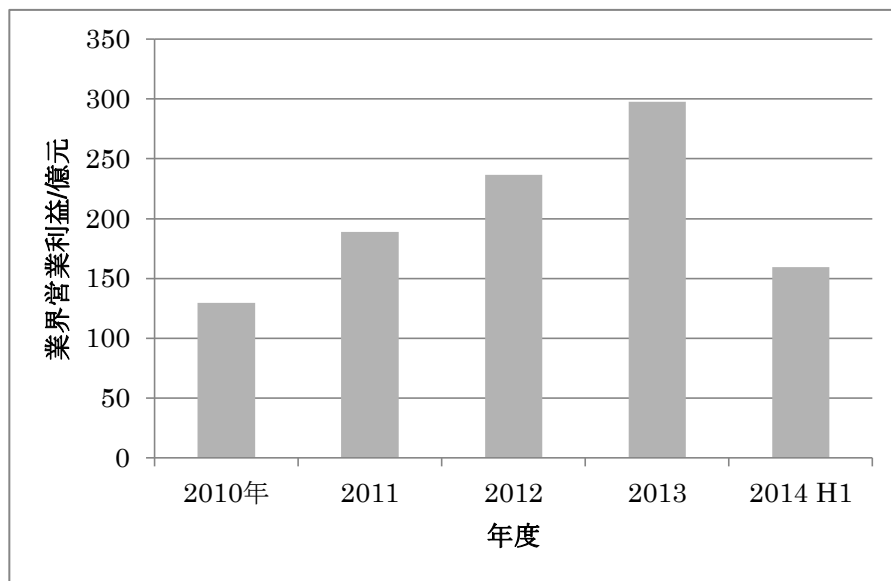
2010年以降、污水处理業界の資産総額は増加を続け、2014年には1219.51億元に達した。2013年の同時期と比較し、11.9%増加している。これは2010年の二倍近くに当たり、污水处理業界は急速に発展した。



出典: 国家統計局

図表66 2010～2014年 中国污水处理業界資産合計

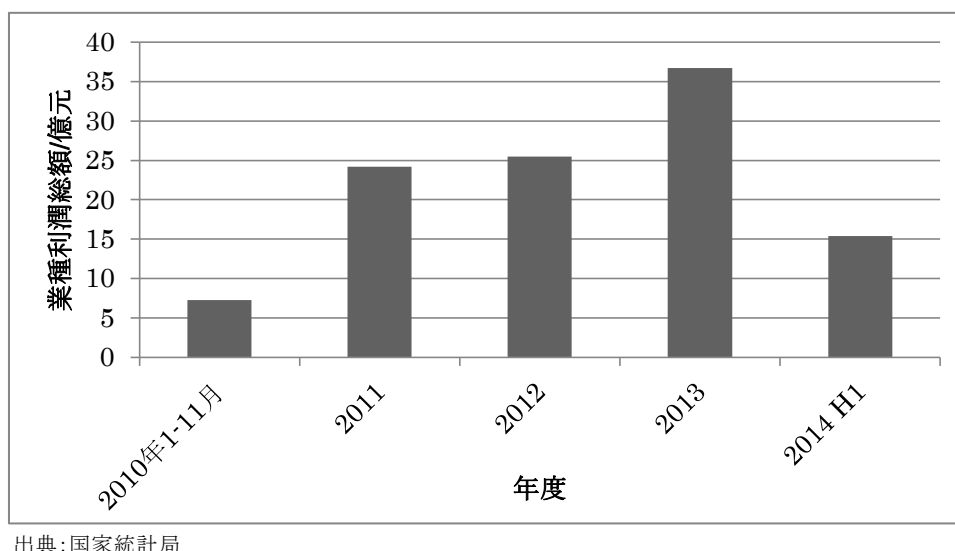
污水处理業界の総売上げは2010年以降増加を続け、2014年上半期には159.61億元、増加率は9.6%となった。



出典: 国家統計局

図表67 2010～2014年 污水处理業界営業利益の推移

業界全企業の利益は2010年以降増え続け、2014年上半期には15.37億元、増加率は3.0%となった。



図表68 2010～2014 中国污水处理業界利益の推移

4.5.2 水サービス市場の競争分析

長い間、給水、污水处理の水サービス業界は政府によるコントロールと管理を受けており非市場化の状態が続いてきた。主要な污水处理工場は各地方政府の監督下にある市政部門や水道会社の管理に属しており、20世紀90年代、政府は公共事業に関する規定を公布している。

改革開放政策により市場が解放され、投資ルートの多元化が進み民間資本などの参入が認可されると、国内では污水处理業界の市場化が始まった。この時にヴェオリアグループ、フランスのスエズ、イギリスのテムズ、ドイツのベルリンなど有数の水サービスブランドが直接投資、株の取得、資本参加など様々な形態で中国の污水处理市場に参入し、市場の先導者となっていった。その後、政府建設部門が2002年に《都市污水、ゴミ処理の産業化発展推進に関する意見》、2004年に《市政公共事業フランチャイズ経営管理弁法》を公布し、フランチャイズ経営を水サービス市場改革の中心に据え、市場化を発展させた。そして、北控水サービス、首創株式、興蓉投資、創業環境保護などの代表的な大規模国有上場企業が豊富な資金と豊富な社会資源を基盤に発展していき、全国で積極的に市場開拓を進めたのである。業務規模は同業界の大多数の企業と比較してもかなり大きく、海外の水サービス企業の強力なライバルとなっている。近年、政府はさらに民間資本の市政公共事業分野への参入を奨励しているため、桑德集団、国禎環境保護、鵬鵠環境保護などの代表的な民間企業が技術革新などで急速に発展し、発展余地のある有力な勢力となっている。

全体的に見ると、水サービス市場は、市場に資金を投入するケースと融資を主体とするケースの2方向に向かっている。2011年までの民間資本投資プロジェクトは309であり、投資総額は82億ドルに達する。それぞれ世界の58%と23%を占めており、中低規模の財源を有する政府の民間投資と比較すると、その比率は高い。これまで中国の水サービス市場は完全に政府の単独投資に頼っていたが、投資ルートの多元化で様々な主体が連携して市場化の発展に参加するようになり、2003年にはフランチャイズ経営制度が水業界の市場化改革の中核として確立された。フランチャイズ経営は政府と民間部門が協力して枠組みを構成し、民間資本を水サービス業界に組み込む方法であり、BOTが圧倒的な主流となっている。

現在、水サービス業界の主要な競争主体はその企業特性により、国有企業と非国有企業に分かれる。

- (1) 国有公共事業の主なものには都市建設局、水道会社、排水会社などがあり、一定の資源と独占優位性があり、政府部門との公共関係性も強い。このため、地元市場においては他の企業が後塵を拝することになる。代表的な会社には重慶水サービス株式(集団)会社、紹興市水サービス集団会社など多くの上場企業が挙げられる。

(2)非国有企業、主なものは外資企業、投資型水サービス会社、民間企業などである。これらの会社は確かな実力と長年にわたる運営経験に基づき、合併、買収合併などの方法で国内市政水サービス市場に積極的に参入し、市政プロジェクト建設の中堅として成長している。具体的にいえば、

A、外資企業：現在、ヴェオリアとスエズが中国市場では代表的な外資系水サービス企業である。ヴェオリアは中国で既に21プロジェクトに投資しており、給水人口は3,000万人を超えている。スエズグループは国内に22の拠点をもち合併企業であり、給水人口は1,400万に達する。処理能力は551.75万トン/日である。

B、投資型水サービス企業：この種の企業の大多数は上場会社であり、総合的なサービスを提供し、大中規模都市ではすでに相当な投資規模で確立されている。例えば重慶水サービス、創業環境保護、江南水サービス、中山公共などが挙げられる。

C、民間企業：水サービスは国の経済と住民の生活に大きな影響を与えるため、国の経済安定が大きなカギとなる。このため、この業界の民間企業は比較的少なく、市場に占める割合にも限界がある。代表的な企業には金州環境と桑徳環境がある。

図表69 各種水サービス企業の競争状況分析

	国有地域水サービス会社	外資水サービス会社	国内環境保護上場会社	民間運営企業
定位	地元水サービスプロジェクト	大型水道工場	大中型水道工場	新築水サービスを主としている。全国規模である。
市場営業技術標準管理	地元資源の優位性	外資、政府の資金導入	入札競争、交渉	入札競争、交渉
技術標準管理	通用型	先進的	主流技術、通用型	通用型、改良型
管理	国家企業改正	先進的	リストラ、コストコントロール	リストラ、コストコントロール
戦略	地元項目の取得、資源優勢による利得	大型水道工場への投資、品質重視、	市場占領、量重視	市場占領努力
資金運用	融資	円滑経路	投資、融資	投資、融資
ブランド	地元有名型	国外イメージ	上場企業、強い実力	年月累積
総合実力	かなり強い	最強	強い	強い

出典：中国商業情報ネットワーク

海外の大規模水サービス企業と国内の大規模国有水サービス集団（主要なものとして、都市建設局、水道会社、排水会社など、また改正を経て国有公共事業社となったいくつかの企業）は水サービス業界における最も強力な競争相手である。このため、資本力が弱い国内の民間企業は地方の中小規模都市の水サービス産業プロジェクトに限定し投資を開始している。

2012年当時、水サービス業界では国有企業が最大比率を占め、企業数は551、占有率は47.26%、資産規模は3,813.53億元、その占有率は60.38%であった。合併企業は最も少なく、2012年の企業総数は2、その占有率は0.17%、資産規模は2.60億元、その占有率は0.04%であった。特に注目に値するのは、外資及び香港、マカオ、台湾の投資企業である。その数が125、占有率は10.72%。資産規模は997.12億元、その占有率は15.79%であった。資産総額は第2位となる。

図表70 2012年 水サービス業種企業の企業形態(単位:個、万元、%)

企業性質	企業数(個)	占有率(%)	資産合計(万元)	比例率(%)
国有企業	551	47.26	38,135,250.60	60.38
団体企業	89	7.63	1,200,263.40	1.90
合併企業	2	0.17	25,974.40	0.04
株式企業	31	2.66	2,420,127.80	3.83
民間運営企業	102	8.75	1,721,412.50	2.73
外資及び香港、マカオ、台湾の投資企業	125	10.72	9,971,191.50	15.79
他の企業	266	22.81	9,685,537.20	15.33

出典:産業予測研究院

4.5.3 水サービス業界主要企業の紹介

以下は水サービス業界を代表する企業である。首創株式は中国水サービス業界の筆頭企業である。碧水源は中国膜法水処理の代表的な企業であり、重慶水サービスは大量の給水業務と汚水処理分野で代表的な国有企業である。桑德環境は率先し、町や村に排水と水サービスをトータルで提供してきた企業である。これから、この4つの企業について詳しく紹介する。このほか、中国水ネットワーク連合E20研究院、業界に精通する専門家、史上への影響力を持つ機関投資家、及び業界に特化したメディアらが共同でまとめた、水サービスに重大な影響力を持つとされる企業と、政府が推進している水汚染管理に関する環境保護技術を提供する機関を参考に記す。

1) 首創股份

北京首創股份有限公司は1999年に設立され、2004年4月に上海証券取引所に上場した。筆頭株主は北京首都創業集団公司である。設立以来、国有の上場会社として公共インフラ産業市場化の発展に尽力し、基盤となる施設への投資及び運営管理に携わってきた。水サービスの提供、産業廃棄物処理、環境整備を中心とした環境産業分野で世界的にも影響力を持つ国内のエコ環境総合サービス企業である。

北京首創は明確な戦略と柔軟な経営理念に基づき、十数年もの間、資金運用を続けながら、投資、運営、人材などの分野で競争優位性を保ってきた。プロジェクト設計、総合請負、設備製造、管理オペレーションなど整備された産業バリューチェーンを有しているため、国内の水サービス業界においてリーダー的な存在であり、12年連続で「中国水サービス業十大影響力企業」の評価を受けている。

2014年には売上げ558,938.32万元を実現し、成長率は32.12%であった。一方、利益総額は61,023.24万元、20.27%減少している。親会社の純利益は61,023.24万元、1.49%の伸びであった。2015年6月30日時点の保有株数は24.10億株であり、総資産は334.63億元、純資産は96.90億元である。会社の純利益を以下に記す。

図表71 首創股份純利益の推移

時間	2015	2014	2013	2012
第一季度	4,649 万	3,793 万	5,213 万	5,469 万
第二季度	1.62 億	9,167 万	7,260 万	1.02 億
第三季度		9,097 万	8,966 万	8,504 万
第四季度		3.90 億	3.83 億	3.39 億

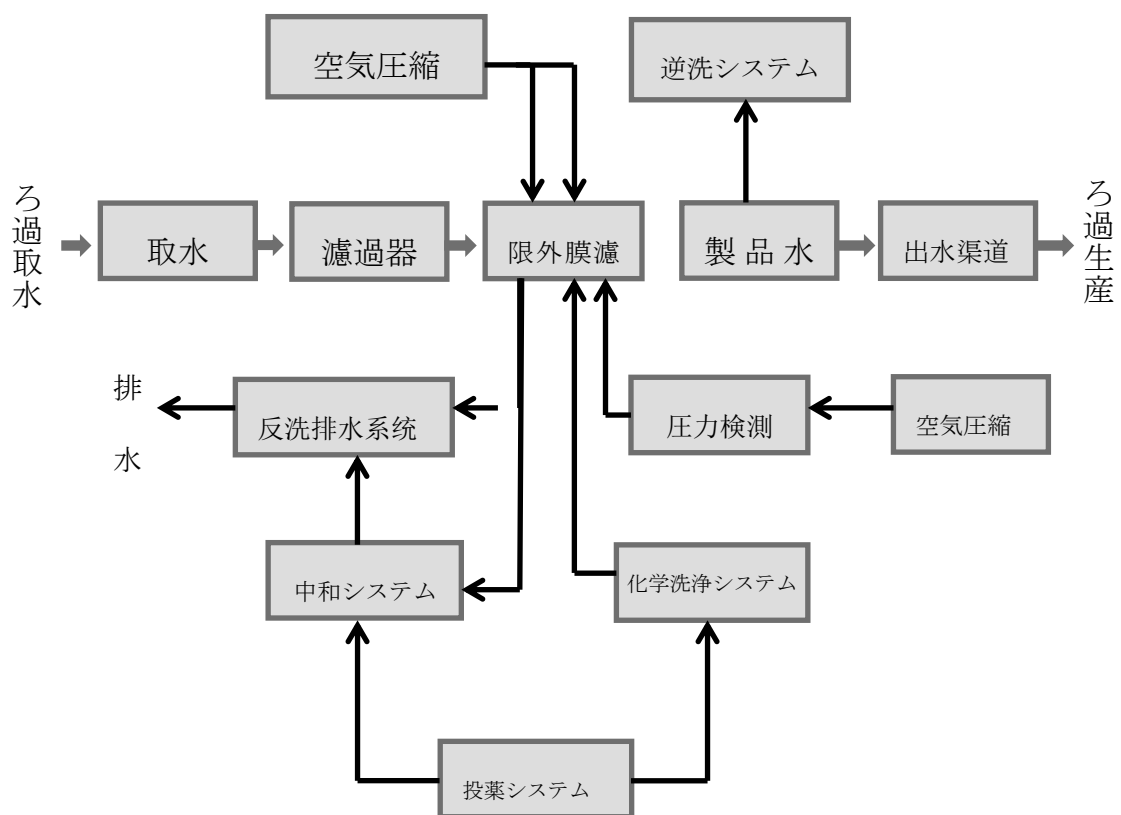
国内水サービス業界の筆頭企業として、首創股份は戦略、市場競争力、融資力において優位性を持つ。北京、湖南、安徽、深圳などの省と市では、現在、首創股份は豊富な資金力で27のプロジェクトに参加しており、合計1000万トン/日の水処理能力を有し、給水人口は1900万人を超えている。首創股份は内モンゴル、湖南、深圳などで新たなプロジェクトを積極的に推進しており、数年間投資を続けても安定した収益が見込めるとしている。現在、首創股份の水サービス業務は都市から町や村へと拡大を続けている。北京、湖南、山東、山西、広東などの17の省、ならびに市、自治区における54の都市では上場会社による水処理プロジェクトへの参入が進んだため、

水処理能力は1650万トン/日、給水人口は3500万人を超えている。例えば、首創株式とフフホト市政府はフフホト市の污水処理工場を共同で整備し、当該污水処理工場と建設予定の辛辛板污水処理工場、公主府污水処理工場、章覆営污水処理工場、如意白塔污水処理工場4つの污水処理工場を管理する計画を立てている。辛辛板污水処理工場は2002年に第一期運用を開始した。第一期の処理能力は15万トン/日であった。現在は第二期拡張プロジェクトが進んでおり、5万トン/日の一級処理施設を二級処理施設へと改良し、新たに15万トン/日の污水処理施設を建設するというものである。再生水(高度処理)の生産は3万トン/日であり、2008年末には試運転が行われている。また章覆営污水処理工場のプロジェクトは、新たに6万トン/日の污水処理工場を建設し、再生水(高度処理)の生産を5万トン/日にするというものである。2009年上半期には試運転が行われた。

2) 北京碧水源科学技術股份有限公司

北京碧水源科学技術股份有限公司は、2001年、中関村で創設された国家自主革新模範地区高科学技術企業である。会社の資本金は107,036億元、純利益は50億元を超え、全国各地に40の子会社を持つ。2010年4月21日に深圳証券取引所に上場(簡略名称:碧水源)した政府による第一期高度新技術企業である。第三期革新型企業と第一期中関村国家自主革新模範地区企業が、自主研究開発により、先進的な膜技術を用いて「污水、水不足、飲用水の危険」という水環境問題を解決した。そして、膜法水処理による技術と課題解決のためのプロジェクト設計により、全業務領域をカバーした水サービス産業チェーンが提供されるようになった。そこには膜技術の研究開発及び膜設備の製造、市政污水と工業廃水の処理、固形汚泥処理、水道設備、海水の淡水化、水サービスのほか、投融資、民間用、商業用浄水器の設置などが含まれる。

碧水原は研究開発により、PVDF増強型精密/限外濾過膜、DF膜及び、膜生物反応器(MBR)技術を開発、知的財産権を取得し、「膜材料研究開発、膜設備製造、膜工程の応用」という3大国際技術課題を克服した。世界でも上記3技術の知的財産権を有する数少ない企業の一つである。今もなお膜技術の研究開発に力を注ぎ、中でも新型膜材料開発の最適化、設備製造及び応用技術、エコ生産という3大分野に取組み、この業界におけるリーダー的存在である。



図表72 CMF過程工程図

下の表は、新型膜材料の最適化を目指す2014年の主な適用技術をまとめたものである。碧水源は200余りの専門技術を有するため、様々な国内の需要に応えることができる。そのため、国家科学技術進歩賞二等賞、教育部化学技術進歩賞一等賞などの栄誉を受け、第一期国家自主革新製品、国家重点新製品など多くの優秀製品を開発している。清華大学と連携し、国際的にも評判の高い「清華—緑水源環境膜技術研究開発センター」も建設している。さらに、国家環境保護膜生物反応器や污水資源化学工程技術センターの建設も請け負い、碧水源は政府や各業界で広い認知を得ている。

特に、CMFとCMF-S工程は都市飲用水の高度処理とリサイクルに適用されている。CMFとは加圧型精密ろ過膜装置で、北京碧水源化学股份有限公司が開発した最新膜濾過技術である。これは膜の濾過作用により固体と液体が分離し、水中の不純物が取り除かれる技術であり、高い回収率、ハイスループット、良好な排水質を確保でき、占有面積は小さく、エネルギー消費も少ないという利点がある。その工程を以下に記す。CMF-Sとは浸漬型精密ろ過装置で、北京碧水源科学技術股份有限公司がCMF工程をベースに更に発展させた膜濾過技術である。当該工程技術は既に水道標準工程として適用されており、飲用水の安全性を高めている。

図表73 2014年 主要な新型膜材料開発における設備製造及び適用技術

技術	目的	完成状況
浄水用 RO 膜	筆頭商品、浄水の需要を満たすこと	膜生産、家庭用逆浸透膜を実現させ、製品系列を全てカバーしている。
DF 膜	小分子有機物、硬度、重金属の除去率が高く、地表三類水を一級 A に転化すること	翠湖再生水工場のモデル工程:DF 膜を適用して地表三類水を一級 A へと転化できるため、中国の水源地を開拓に新技術を提供している。
	飲用水と高濃度難分解有機廃水への処理	西北地区の飲用水項目:DF 膜は西北地区地表水硫酸塩及び他の標準超過物質による、飲用水安全の問題を解決できる。 有機廃水処理:DF 膜は有機物質のリサイクル及び污水資源の問題を解決できる。
	浄水に必要な DF 膜	浄水 DF 膜の生産を実現している。
KF 膜	EF 膜向上	コストを上昇させずに、性能を向上させている。
RO と DF 膜パーツ	新型 DF 膜パーツ結合の開発	標準膜パーツの製造と加工
	膜パーツ材料の最適化及び開発	逆浸透の国産化を実現させ、コストが低下している。
RO と DF 膜パーツ過程の最適化	二重膜過程	翠湖模範工程で適用している。 DF 膜パーツが脱塩高効率回収工程試験を展開している。
浄水膜の開発	異なる材料によるカバー膜、様々な地区に適用できる給水处理の開発	高強度 PES と PAN のカバー限外膜開発し、給水膜の使用寿命を延長している。
膜モジュール器	更なる性能向上と運行エネルギーの減少	モジュール器製品の製造コストは更に低下しており、運行エネルギーが 40%以上低下している。

2014年の会社の売上げは3,449,157,893.32元で、伸び率は10.08%、利益総額は1,174,851,077.09元、伸び率は12.97%であった。利益と純利益の伸びは売上げの伸びよりも速く、主に粗利益を多く得られる水サービス事業が順調に推移したことがその要因となった。粗利益が薄い市政からの業務は減少しており、業績は比較的良好である。

3) 重慶水サービス集団股份有限公司

重慶水サービス集団股份有限公司は重慶市最大の給排水会社である。重慶市政府から給排水フランチャイズ経営権を与えられており、フランチャイズ経営期間は30年になる。フランチャイズ経営権を持つ地域では給排水サービスの独占状態にある。当該会社の前身は重慶市水サービス持株(集団)会社であり、2001年1月11日に設立された。その系列には重慶市政府からの全額出資による国有企業として、重慶市水道会社、重慶市排水会社、

重慶市公共事業基礎建設会社、重慶紅葉事業建設請負会社、重慶公共事業投資開発会社などがある。これらは国が出資し設立された国有独資責任会社である。

2007年6月には、重慶市国有資産監督管理委員会が国有株式を重慶市水サービス(集団)会社と国有独資責任会社に移管した。当該会社が設立する前の、重慶市水サービス(集団)会社の株主は(1)重慶市水サービス資産経営会社、株の保有率85%、(2)重慶蘇渝実業発展会社、株の保有率15%であった。

当該会社は給排水の一体化、広範囲のネットワーク、産業チェーンの完備といった特長を持つ。現在、そのサービス範囲は中国西部地区から全国にまで広がっており、給排水一体化経営分野における先駆けとなっている。生産工程は成熟しており、給水と污水处理能力は向上を続けている。給排水の水質は標準の基準を満たしており、主要設備の完備率は100%と設備の信頼性と稼働率も高まっている。また、海外にも機関投資家や株主を抱えており、投資家の支援を受け、重慶中国フランス環境保護研究開発センターも設立した。これにより海外の同業者との良好なコミュニケーションが可能となり、先進的な技術と設備を取り入れることに成功している。

2014年には、経済団体や各機関との共同で、給排水を主なサービスとし、その発展と安定、さらに水質の安全に力を注いだ。これにより売上げは安定して伸びていった。2014年の売上げは413,658.20万元に達し、2013年の399,957.54万元と比較して13,700.66万元の増加、増加率は3.43%となった。下の表からも分かるように、水道水の販売収入は94,342.12万元、増加率は6.05%である。2014年12月31日時点で、33の水システム(水処理場)を有しており、その生産能力は193.30万m³/日である。排水企業が運行操業する污水处理場は44カ所あり、污水处理能力は208.33万m³である。中でも、重慶市水道会社は当該会社の全額出資子会社であるが、登録資本金と払込資本金は56,336.56万元、経常利益は224,562.93万元(少数株主権益)、営業総収入121,182.73万元、利益は3,063.31万元(少数株主損益を含む)である。

図表74 2014年における収事業別収益

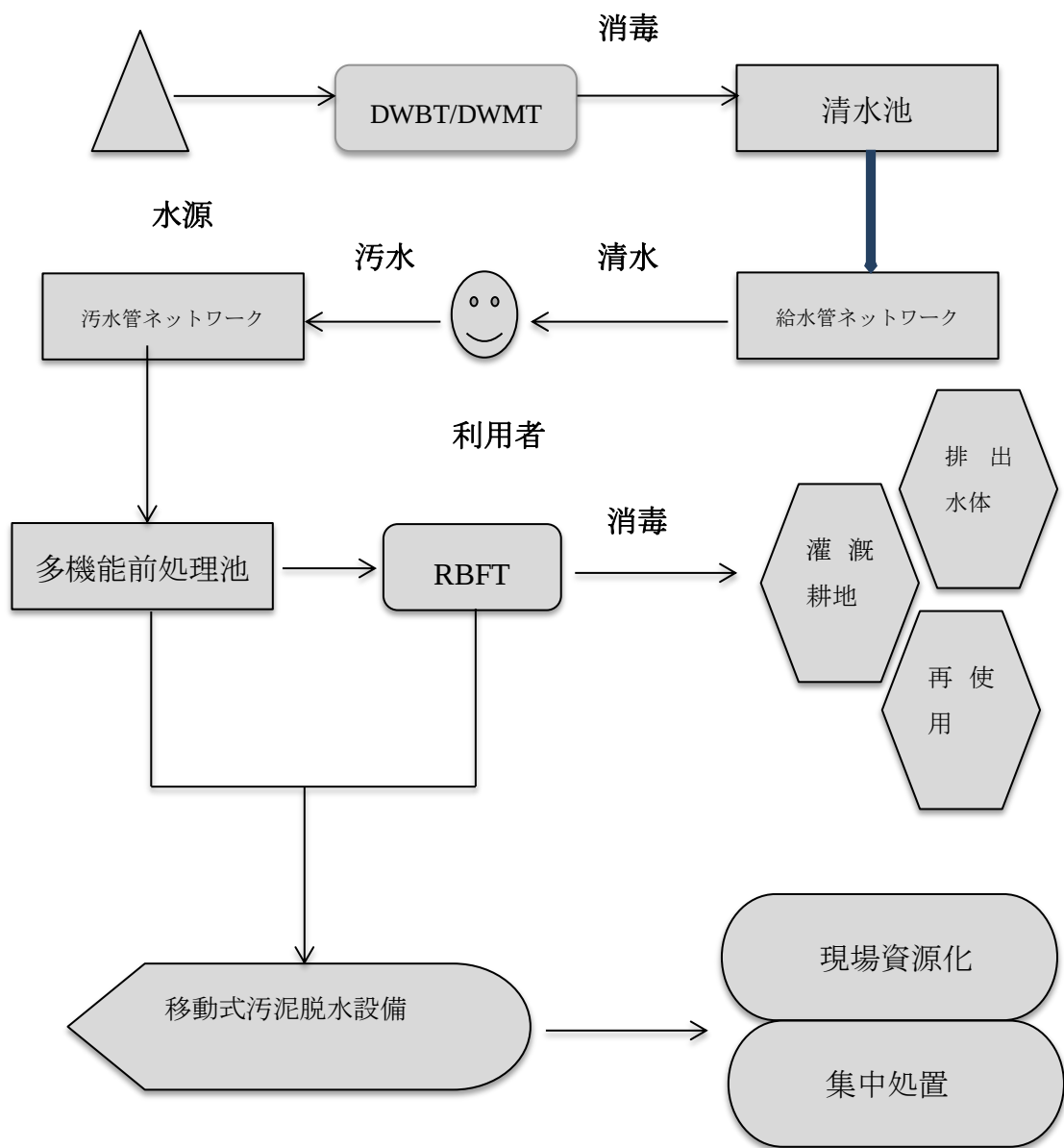
事業	売上	営業コスト	粗利益率 (%)	売上 前年同期比(%)	営業コスト 前年同期比(%)	粗利益 前年同期比(%)
水道水販売	943,421,175.93	724,840,522.81	23.17	6.05	9.68	-2.54%
污水处理	2,146,922,809.76	783,474,359.93	63.51	-8.21	5.19	-4.64%
工程施工	487,835,113.65	421,358,142.69	13.63	109.04	123.32	-5.52%
他の事業	71,473,021.84	32,463,333.42	54.58	-26.99	-49.61	20.40%
合計	3, 649, 652, 121.18	1, 962, 136, 358.85	46.24	2.52	18.28	-7.16%

4) 桑德環境資源股份有限公司

桑德環境資源股份有限公司は深圳メインボード上場会社であり、長期間にわたり廃棄物の資源化による環境保護、改善に取り組んできた。その業務は、固形廃棄物の処置システムの開発、環境保護設備の研究開発と販売、都市環境衛生の一体化、再生資源の回収とその利用及び特定地域での給水、污水处理プロジェクトへの投資及び運営など多岐にわたる。また連続して「固形廃棄物処理業界十大影響力企業」「上場会社中国成長百強」「金牛会社百強」などの荣誉称号を取得している。清華股份有限公司と戦略提携しており、第一、二位を占める株主でもある。また、その確かな実力により、将来発展への基礎固めが着実に進められており、湖北合加環境設備会社、北京桑德新環境衛生投資会社、北京新易資源化学技術会社などを傘下に置き管理している。桑德が所有する企業技術センターとポストドク作業ステーションでは、良好な成果と技術転化がみられ、最先端やオリジナルの技術開発、適用型技術理論に対する研究、新技術工程の適用能力と再創造の強化などが進められている。取得した科学研究成果は100件ほどあり、連携技術として特許申請した環境保護部実用技術は130件ほどに昇る。例えば、2014年、桑德は町と村の飲用水の課題に対し「町と村における一体化した給排水サービスシステムプランSMART」を率先して推進し、環境生態保護も見据え全面的なサービスを提供した。

現在、全国の600を超える町や村に、当該サービスが導入されており、都市化と環境保護が同時に進んでいる。

この給排水サービスシステムプランSMARTは、その小型化、モジュール化、多機能化、実用化、経済性の原則に立ち、一カ所に一セットと一つの池という設計理念が提示されており、「各工場で分散処理し、地域ネットワークの運営管理を実現、本部の情報システムで管理監督を行う」という運営管理のネットワーク化プラットフォームにより、集約した専門運営管理が行われている。これにより、蓄積された情報の共有、設備運行、工場区の監督コントロール、地域管理のリアルタイム記録と調査、スマート管理が可能となり、専門員が不在でも水処理が安定して保証される水処理場が実現した。桑徳の理念は町や村のニーズに合致し、桑徳SMARTの「一カ所式」サービスは、経済面でも有益な新たな給排水管理水処理解決プランとして構築されていった。町や村の污水处理分野では、通常処理（Smart-DWMT）と膜処理（Smart-HRBC）があり、水源、水質状況、財政面、モジュール化処理のニーズに基づき選択される。例えば凝固沈殿、濾過、膜モジュールなどがある。町や村ではSmart-HRBC工程を中核的な技術としており、多機能前処理池、高効率生物転盤（HRBC）、精密処理を中心とするRBFT装置、紫外線消毒装置、移動式汚泥脱水設備で構成されている。多機能前処理池は水質水量と沈殿機能を一体化させたものである。高効率生物転盤は微動力生物膜法でCODとアンモニア態窒素を除去でき、反硝化脱窒素機能も備えている。精密濾過は浮遊物と濁度を除去することができる。移動式汚泥脱水設備は巡回式汚泥脱水を可能にしている。



図表75 桑徳の村と鎮水サービス一体化工程

現在、給水設計能力は123万 m³/日であり、給水人口は100万を超えている、給水水質は国家规定の水質基準を上回っている。2013年から給水総合業務を展開しており、その業務は末端にまで広がっている。1) 取水、水生産、送水から最終利用者にまで至るサービスがあり、全産業チェーンが確立されている。給水能力は123万 m³、給水範囲は広東省佛山市南海区の全域をカバーしている。広東省レベルの水質観測点も有しており、180項目を超える検測認証機能がある。水処理場の排水と管ネットワークの水質は国家基準よりも優れている。整備された管ネットワーク資産を有しており、給水管ネットワークは環状につながっているため、広範囲に安全な水を届けることができ、緊急時にも迅速に処理できる。2) 直接給水と第三者給水サービスの経験を持つ。給水形式は、直接給水(当該会社がメーターを利用者と地域に設置し、直接水道費を受領する)と第三者給水(当該会社が他の町や村の水道会社に給水、その水道会社から水道費を受領し、水道会社が各利用者に給水する)に分けられる。3) 給水管ネットワークはマイクロ型である。断水の影響や管道移動の影響を想定し、都市給水管理計画や広範囲断水プランの参考情報を提供し、緊急時の給水及び運営管理能力を高めている。

2014年の売上は4,374,296,818.21 元に達し、前年同期比 62.99% の増加率であった。営業利益は 925,639,682.78 元となり、前年同期比 38.08% の増加、純利益は 795,333,407.50 元、親会社を含むグループ全体の純利益は 803,953,286.32 元であった。これは前年同期と比較し 7.46% の伸び(詳細は下の表を参照)である。給水業務は安定しており、給水量と販売水量は増加している。桂城水処理場から移転した新桂城水処理場、新桂城水処理場専門送水管道、桂城増圧ポンプ場の三大プロジェクトは安定して進んでおり、その完成率は 92% となっている。新桂城水処理場は既に水生産能力があり、桂城増圧ポンプ場の清水池も完成しており、取水機能が備わっている。2013年と2014年の売上は下の表から知ることができる。

図表 76 2013年と2014年の桑德環境資源股份有限公司の収益

事業	2014 年(元)	2013 年(元)	前年同期比(%)
污水处理業務	225,495,861.56	222,138,607.16	1.51
水道業務	115,288,804.85	107,282,244.86	7.46
固形廃棄物処理業務	404,338,722.24	14,045,398.90	2778.80
環境設備取付け及び技術情報提供サービス	459,213,734.88	315,940,263.26	45.35
市政設備	3,107,258,754.93	2,018,495,392.47	45.35
環境衛生サービス業務	55,413,487.03		
主要営業収入合計	4,367,009,365.49	2,677,901,906.65	63.08

出典:フィルター

参考文献(水部分)

1. 韓佳園・朱志(2013)「水処理技術現状及応用」『安徽電気工程職業技術学院学報』, 2, 121-125.
2. 中華人民共和国住宅・都市農村建設部(2015)「2014年城郷建設統計公報」
3. 中華人民共和国環境保護部(2015)「2014年環境統計年報」
4. 中華人民共和国環境保護部(2014)「2013年環境統計年報」
5. 中華人民共和国環境保護部(2013)「2012年環境統計年報」
6. 中華人民共和国環境保護部(2012)「2011年環境統計年報」
7. 中華人民共和国環境保護部(2011)「2010年環境統計年報」
8. 中華人民共和国環境保護部(2010)「2009年環境統計年報」
9. 中華人民共和国環境保護部(2009)「2008年環境統計年報」
10. 中華人民共和国環境保護部(2008)「2007年環境統計年報」

11. 中華人民共和國環境保護部(2007)「2006年環境統計年報」
12. 中華人民共和國環境保護部(2006)「2010年環境統計年報」
13. 徐麗娜・朱孟艷(2015)「水处理技術及水处理裝備發展分析」『山東工業技術』, 22, 20.
14. 江伝春・肖蓉蓉・楊平(2011)「高級氧化技術在水处理中的研究進展」『水处理技術』, 37, 12-16.
15. 張萱・郭幸麗・凌晞(2013)「高級氧化技術在水处理中的研究進展」『天津化工』, 27, 11-12.
16. 劉建明・丁凝・孫峰(2014)「高級氧化技術在废水处理中的応用」, 28, 7-10.
17. 王慧・曹雪英・孫中興(2011)「臭氧-活性炭工藝在某水廠的応用效果觀察」, 23, 433-434.
18. 戰勝良(2011)「臭氧在城市供水深度处理工程中的応用」『材料応用』, 10, 86.
19. 金政華・趙萌(2011)「活性炭技術在飲用水深度处理中的応用研究進展」『化学与生物工程』, 10, 16-20.
20. 宋均軻・錢斌(2011)「電絮凝技術在水处理中的応用」『広州化工』, 39, 40-41.
21. 楊醜偉(2014)「電化学水处理応用技術在化工生産過程中応用研究進展」『化工間体』, 06, 14-17.
22. 劉勇・賈瑞宝(2010)「UV/H₂O₂高級氧化技術在飲用水深度处理中的応用研究進展」『工業用水与廢水』, 41, 1-5.
23. 尹延梅・席雪潔・戴海平等(2014)「飲用水的深度处理組合工藝技術」『天津工業大学学報』, 33, 19-21.
24. 王波寧(2011)「中国飲用水深度处理技術研究綜述」, 38, 240-242.
25. 賴日明・黃劍明・葉挺進等(2012)「飲用水处理技術現状及研究進展」『給水排水』, 38, 213-217.
26. 趙暉・王如華(2012)「臭氧活性炭与膜過濾聯用技術在清泰水廠工藝升級改造中的応用」『浄水技術』, 31, (4), 7-12.
27. 魏娜・張雁秋・李秀玲(2009)「飲用水深度浄化技術的發展現状与応用趨勢」『環境与健康』, 26, 652-654.
28. 楊海東(2014)「飲用水高級氧化处理技術的生物有効性研究」
29. 楊紅曉(2012)「三種電化学水处理技術的研究」
30. 白翠萍(2012)「類Fenton高級氧化技術处理染料廢水的研究」
31. 耿英傑・袁亜傑・邢美蘭(2014)「城市生活水处理技術現状及發展趨勢研究」『科技信息』, 3, 245-246.
32. 吳礼光・趙海洋・張林(2014)「膜技術在飲用水深度处理中的応用現状」, 16, 106-111.
33. 張韜(2013)「生活飲用水处理技術的發展」『中国高新企業』, 23, 6-8.
34. 李江榮・尹華強・郭家秀(2011)「飲用水处理技術簡述」『化学工程与裝備』, 2, 146-147.
35. 陳超・何勇・陳鵬(2014)「飲用水深度浄化材料研究進展」『材料開發与応用』, 29, 87-91.
36. 石柳青(2011)「超濾在飲用水浄化和城市污水深度处理中的応用研究」
37. 郭倩(2014)「城市生活水处理的技術及發展趨勢」『能源環境』, 07, 150.
38. 田嬌・王玉軍・梁小萌(2010)「農村水处理技術现状及發展前景」『環境科学与管理』, 35, 83-85.
39. 蔡円円・劉二中(2012)「中国污水处理行業技術發展和創新能力分析」『産業發展』, 7-9.
40. 中華人民共和國国家環境保護總局・国家發展和改革委員會(2010)『国家環境保護「十二五」規劃』
41. 趙雪蓮・張煜・趙旭東(2010)「北京市新農村水处理技術现状及存在問題」『北京水務』, 1, 38-40.
42. 李麗・劉占孟・聶發揮(2014)「過硫酸塩活化高級氧化技術在污水处理中的応用」『華東交通大学学報』, 31, 114-118.
43. 何安吉・黃勇(2010)「農村生活水处理技術研究進展及改進設想」『環境科技』, 23, 68-71.
44. 薛媛・武福平・李開明(2011)「農村生活水处理技術応用現状」『現代化農業』, 4, 41-44.
45. 馬琳・賀鋒(2014)「中国農村生活污水組合处理技術研究進展」『水处理技術』, 40, 1-5.
46. 符東・王成端・万霞(2015)「分散式生活水处理技術進展」『安徽農業科学』, (25), 269-270.
47. 劉載文・蘇震・王小藝(2010)「生物流化床水处理技術進展与展望」『化工自動化及儀表』, 37(2), 1-6.
48. 鄒新・欧麗・任小鴻・孫燕・李曉燕・胡勇(2015)「江西省城鎮生活污水处理廠污泥处理処置可行技術探討」『江西科学』, 33, 611-614.
49. 劉宇(2014)「高級氧化-生物活性炭-膜濾優化組合除有機物中試研究」
50. 聶文書(2011)「水处理行業上市公司投資価値分析」
51. 何星海・馬世豪・羅孜(2013)「北京市《城鎮污水处理廠水污染物排放標準》解読」『給水排水』, 39, 123-127.
52. 瀚藍環境股份有限公司年報(2013)
53. 韋新東・于婧(2015)「汚染負荷对人工湿地处理生活污水效果影響研究」『遼寧化工』, 44, 121-124.
54. 周光東(2015)「城市生活污水处理模式分析」『企業改革与管理』, 186-187.
55. 王旭東・馬亜斌・王磊(2015)「倒置A₂/O-MBR組合工藝处理生活污水效能及膜汚染特性」『環境科学』, 36, 3743-3748.

56. 帥卿・劉顯剛(2015)「簡析城鎮生活污水配套管網建設管理存在的問題及对策」『江西科学』, 33, 905-909.
57. 「GB3544-2008製漿造紙工業水污染物排放標準」(2008)
58. 楊学富(2001)「実用水処理技術叢書製漿造紙工業废水处理」化学工業出版社
59. 環境保護部(2012)「製漿造紙廢水治理工程技術規範」
60. 「HJ471-2009紡織染整工業廢水治理工程技術規」(2009)
61. 閔岩・ト凡竜(2014)「国内工業水処理行業的觀察与展望」『山東化工』, 43, (5), 59-60.
62. 環境保護部(2012)「紡織染整工業水污染物排放標準GB4287-2012」
63. 劉繼鳳・劉繼永・朱進勇(2008)「浅談工業廢水中難降解有機污染物处理技術及發展方向」『環境科学与管理』, 33, (4), 120-2.
64. 韓冰(2012)「中国工業廢水集中处理制度的構建研究」蘇州大学
65. 向桃(2014)「中国工業廢水集中处理法律制度研究」西南大学
66. 胡洪宮・趙文玉・吳乾元(2010)「工業廢水污染治理途径与技術研究發展需求」『環境科学研究』, 23, (7), 861-8.
67. 尤晟・高健偉(2013)「工業水處理行業的市場研究」『中国集体經濟』, 33, 24-5.
68. 周本省・竜荷雲・葉涛(2009)「工業水處理技術」『化学工業出版社』
69. 黄英・王利(2005)「水處理中膜分離技術的応用」『工業水處理』, 04, 8-11.
70. 範胤禎(2014)「工業水處理中膜分離技術的応用研究」『化工管理』, 12, 84.
71. 陸剛(2014)「典型工業廢水处理技術特点分析」『水資源研究』, 03, 8-12.
72. 王勝平・李磊・王方明(2013)「对中国工業廢水处理的現狀和存在的問題探討」『城市建築』, 10, 144.
73. 宋万召・楊雲軍(2012)「膜生物反応器在中国工業廢水处理中的發展進程」『北方環境』, 01, 72-73.
74. 聶文書(2010)「水處理行業上市公司投資價值分析」北京交通大学
75. 国家統計局・環境保護部(2015)「中国環境統計年鑑(2014)」北京, 中国統計出版社
76. 国家統計局・環境保護部(2014)「中国環境統計年鑑(2013)」北京, 中国統計出版社
77. 国家統計局・環境保護部(2013)「中国環境統計年鑑(2012)」北京, 中国統計出版社
78. 国家統計局・環境保護部(2012)「中国環境統計年鑑(2011)」北京, 中国統計出版社
79. 国家統計局・環境保護部(2011)「中国環境統計年鑑(2010)」北京, 中国統計出版社
80. 国家統計局・環境保護部(2010)「中国環境統計年鑑(2009)」北京, 中国統計出版社
81. 国家統計局・環境保護部(2009)「中国環境統計年鑑(2008)」北京, 中国統計出版社
82. 阮慧芬(2015)「環保型水處理技術与發展趨勢探究」『産業与科技論壇』, 12, 66-67.

付録

1. 中国水サービス業十大影響力企業

番号	企業名	選ばれた理由
1	北控水サービス集团股份有限公司	優位性があり、今日に至るまで先駆け企業として存在している
2	北京首創股份有限公司	勤勉企業、健全發展、融資創新
3	桑德集团股份有限公司	水サービス業界における民間企業第一ブランド
4	北京碧水源化学技術股份有限公司	膜技術ブランドで代表する企業
5	中法水サービス投資股份有限公司	水サービス企業の代表的な企業
6	中国環境保護水サービス投資股份有限公司	水サービス企業の代表的な企業
7	中国水サービス投資股份有限公司	水企業フラッグシップ企業
8	広東粤海水サービス股份有限公司	国際的にも実力を有する模範企業
9	ヴェオリア中国	水サービス業界国際ブランド企業
10	天津創業環境保護集团股份有限公司	安定發展した上場会社の代表企業

注: 中国水ネットワーク連合E20研究院、業界に精通した専門家、機関投資家及び著名な研究機構、業界に特化したメディアによる共同評価

2. 政府が推進する水汚染管理に関する環境保護技術委託先機関

1		北京碧水源化学技術股份有限公司
2	膜生物反応器	江蘇金山環境保護工程集团股份有限公司 & 江蘇金山環境保護化学技術股份有限公司
3		江西金到萊環境保護研究開発センター股份有限公司
4		婁底市裕德科学技術股份有限公司
5		北京水怡環境工程股份有限公司
6	都市と町における汚水の脱窒素、除リン、高度処理設備	江蘇垂太水处理工程股份有限公司
7		江蘇天雨環境保護集团股份有限公司
8		江蘇環境開発環境保護設備股份有限公司
9		蘇州嘉淨環境保護科学研究股份有限公司
10		凌志環境保護股份有限公司
11		広東鑫都環境保護実業股份有限公司
12		西安陝西推進動力股份有限公司
13		常州浩瀚新材料科学技術股份有限公司
14	浸透式膜濾過水处理設備	北京碧水源科学技術股份有限公司
15		アモイ緑邦膜技術股份有限公司
16		山東中水源膜技術股份有限公司
17	浮遊式移動汚染除去機	江蘇匯通環境保護設備股份有限公司
18	高濃度難分解遊離排水処理設備	大連履行大学環境工程設計研究院股份有限公司
19		許統連華国際環境工程株式責任会社
20		北京塞伯斯流体設備股份有限公司
21		重慶耐德工業株式股份有限公司
22	酸性エッジング液電解再生リサイクルシステム	広州市二輕工業科学技術研究所
23		深圳潔馳科学技術股份有限公司
24	高濃度難分解化学工業废水处理技術設備	大連理工大学環境工程設計研究院股份有限公司
25		天津榮翔正達環境保護科学技術株式責任会社
26		広州市浩藍環境保護工程股份有限公司
27		沈陽化学工業研究設計工程股份有限公司
28	コーキング廃水照合処理技術と装備	大連理工大学環境工程設計研究院股份有限公司
29		許継連華国際環境工程株式責任会社
30		四川環境能力徳美科学股份有限公司
31		西安陝西推進動力股份有限公司
32	ゴミ沈殿液処理設備	長沙華時捷環境保護科学研究發展股份有限公司
33		天津榮翔正達環境保護科学研究株式責任会社
34		婁底市裕德科学技術股份有限公司
35	排水膜蒸留技術及び他の設備	条件に適合する機関はない
36	海水淡水化設備	大連理工大学
37		天津市蓬拓科学技術股份有限公司

注: 中国環境保護部公布

二

中国の大気汚染物質除去技術の 発展状況

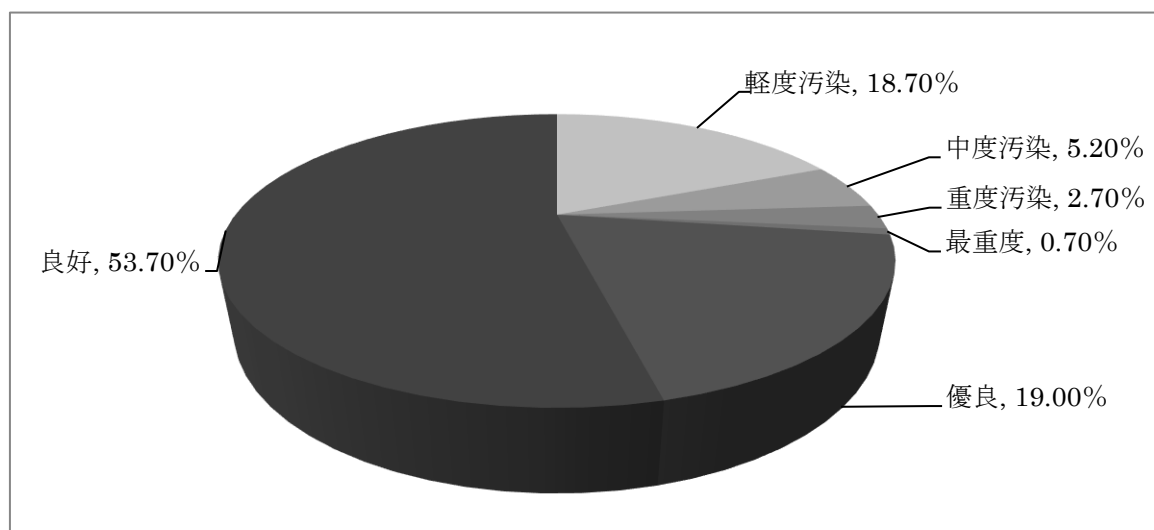
1 大気汚染管理の概略

大気は人類生存のための基本的な環境要素であり、環境システムを構成するいち要素である。その状態変化は時や場所を選ばず、常に人類の活動と生存に影響を与えるが、大気汚染の原因は、一般的に自然要因と人的要因に分けられる。人的要因には工場の排気、化石燃料の燃焼、自動車の排気ガス、核爆発の煙や粉塵などが挙げられる。経済活動と産業の急速な発展により大量のエネルギーが消費され、それと共に大量の排気と煙塵が大気に入り込み、大気の質に重大な影響を与えている。特に人口が密集している都市と工業地域はその傾向が顕著である。大気汚染を引き起こす主な物質には、一酸化炭素CO、二酸化硫黄SO₂、一酸化窒素NO、オゾンO₃、煙塵などがある。経済の急激な発展は、大量のエネルギー需要をもたらしており、大気汚染の抑制こそが科学技術に求められる大きな問題である。

現在、国内の大気汚染の実態は深刻で、その主な汚染源は煙塵である。都市の大気中の環境における浮遊物の濃度は標準をはるかに超えている。二酸化硫黄による汚染が顕著で、エンジン排気ガス汚染物質排出総量は急速に増加している。窒素酸化物による汚染も広がっており、華中、西南、華東、華南などの地域では酸性雨が多く、特に華中では深刻である。中国は世界でも数少ない重大大気汚染国家の一つとして知られている。その管理は非常に難しく、まだまだ長い道のりは続く。

前世紀70年代から、中国政府は環境保護政策に力を注いでおり、大気汚染政策や管理措置、大気汚染基準を採用し、コントロールをしている。具体的には、高効率エネルギーの採用、汚染物排出企業の移転や改築、エコ化を見据えた都市計画、自動車汚染物排出量のコントロールである。しかし、全体的に見ると、中国の大部分の都市で大気の水質は合格基準に達しておらず、環境汚染と環境破壊をコントロールすることができていない。特に2013年の平均スモッグ日数はここ数年でいちばん多く、環境保護に対する社会の関心度は年々高まっている。

環境保護部の《2015年上半期全国環境品質状況》調査によると、全国338カ所の地域に1,436カ所の国有観測地点が設けられ、大気の水質指数の観測が行われている。その結果、基準値に達した日数は5.5%から100%と、観測地点によりかなりばらつきがあり、全地点の平均は72.7%、平均基準到達日数は27.3%であった。図表73で示すように、軽度の汚染比率は18.7%、中度の汚染は5.2%、重度の汚染は2.7%、最重度の汚染は0.7%であった。馬爾康市、麗江、シャングリラ、塔城、山南、阿里、林芝など7つの都市では基準到達率が100%であり、125の都市では80~100%の間であった。162の都市においては基準到達率は50%であった。主要汚染物はPM_{2.5}、PM₁₀、O₃であり、338の都市ではこれらの汚染物は、前年同期と比較しそれぞれ8.5%、14.7%、6.1%と下がっている。



出典:環境保護部

図表77 2015年上半期地級及びそれ以上の都市における大気の質別比率

第一段階として大気の質新基準は、京津冀、長三角、珠三角地域及び直轄市、省都市、74の計画都市（以下簡略し74都市）で適用され、基準到達比率は21.1%～98.9%の間であり、その平均は68.0%、平均超過基準日数は32.0%であった。そのうち、軽度汚染の比率は21.6%、中度汚染は6.4%、重度汚染は3.4%、最重度汚染は0.6%であった。主要汚染物はPM_{2.5}であり、O₃とPM₁₀がそれに続く。前年同期と比較すると、74都市の大気の質は全体的に改善されており、平均基準到達日数は61.1%から68.0%まで上昇した。6.9%も上昇したのである。PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂とCOなどの汚染物濃度はすべて低下したが、O₃濃度のみ上昇した。京津冀地域の大気の質は大幅に改善され、当該エリアの13都市では前年同期と比較し基準到達日数が10.0%上昇。長三角地域でも6.8%の上昇。珠三角地域では7.0%の上昇であった。

2015年上半期、環境保護部は各省、自治区、直轄市に対し主要汚染物総量の実態調査を行った。国内の化学的酸素要求量の排出総量は、989.1万トンで2.90%減少した。アンモニア態窒素の排出総量は118.6万トン、3.18%の減少。二酸化硫黄の排出総量は989.1万トン、4.63%の減少、窒素酸化物の排出総量は1,002.8万トン、8.80%の減少と、4項目の汚染物は総じて大幅に減少したといえる。また、2015年上半期には国内で5,980万kwの容量を持つ火力発電脱硝ユニットが操業を開始し、脱硝最大出力累計は7.5億kw、全火力発電最大出力の87%を占めている。6,400万kw容量の火力発電ユニットの新たな建設、または脱硫装置を設置することにより、脱硫ユニットは全国石炭発電最大出力の96%まで達する。また、1.1万m²の製鉄焼結機が非煙脱硫装置を新たに設置することにより、火力発電総最大出力は累計7.5億kwとなり、脱硫焼結の面積は13.4万m²、焼結総面積の88%になる。9,200万トンのセメントクリンカーに、新型乾式生産ライン脱硝装置を新たに設置することにより、脱硝板ガラスの生産能力は累計7.5万トン/日となり、これは国内総生産能力の43%にあたる。こうして石炭大気改善工程が導入されることで、石炭の代替として170万トンが使用されている。

図表78 2015年上半期の各省自治区直轄市における主要な汚染物排出量(単位:万トン)

省		二酸化硫黄排出量			アンモニア態窒素化合物排出量		
		2014 年 上半期	2015 年 上半期	同期の上昇、また は下降率(%)	2014 年 上半期	2015 年 上半期	同期の上昇、また は下降率(%)
北京		3.83	3.16	-17.45	7.89	7.04	-10.73
天津		10.4	9.44	-9.24	14.42	12.15	-15.72
河北		62.55	59.15	-5.43	79.69	73.17	-8.19
山西		64.57	61.65	-4.52	55.58	50.94	-8.36
内モンゴル		70.29	66.55	-5.31	70.82	63.87	-9.82
遼寧		50.39	48.71	-3.33	44.29	40.34	-8.92
吉林		18.25	17.56	-3.79	28.42	26.16	-7.95
黒竜江		22.81	21.91	-3.95	37.32	33.77	-9.51
上海		9.06	8.24	-9.04	18.39	16.4	-10.78
江蘇		49.41	47.01	-4.85	68.77	62.64	-8.92
浙江		29.41	28.03	-4.69	37.48	34.19	-8.78
安徽		25.98	25.36	-2.4	44.9	41.81	-6.89
福建		19.1	18.34	-3.99	23.54	21.7	-7.81
江西		26.8	26.39	-1.53	27.87	26.33	-5.52
山東		86.78	83.65	-3.6	85.08	76.86	-9.67
河南		63.93	60.93	-4.68	73.36	66.76	-9
湖北		31.32	30.13	-3.78	29.17	26.38	-9.56
湖南		33.77	33.57	-0.58	27.7	25.25	-8.86
広東		38.52	37.36	-3.02	60.81	57.81	-4.93
広西		21.56	21.4	-0.74	22.38	20.74	-7.33
海南		1.873	1.869	-0.2	4.59	4.29	-6.43
重慶		27.69	26.6	-3.93	18.37	16.54	-9.96
四川		40.06	36.92	-7.84	32.57	29.98	-7.94
貴州		50.59	45.53	-10	26.28	23.14	-11.94
雲南		31.98	28.43	-11.1	24.49	22.33	-8.83
チベット		0.23	0.26	13.04	1.96	2.6	32.65
陝西		42.47	40.63	-4.33	36.51	32.98	-9.68
甘肅		32.48	31.56	-2.81	21.43	19.99	-6.73
青海		7.7	7.62	-1.07	6.73	6.07	-9.84
寧夏		20.49	20.02	-2.26	20.02	18.04	-9.9
新疆	自治区	36.35	35.6	-2.06	39.99	36.11	-9.71
	兵团	6.54	5.54	-15.26	8.67	6.39	-26.32
全国		1037.2	989.1	-4.63	1099.5	1002.8	-8.8

注:公報には香港特別行政区、マカオ特別行政区、台湾は含まれない。

出典:環境保護部

この10年間で、二酸化硫黄、アンモニア態窒素化合物の総量は確実にコントロールされ、既にピークを脱し下降傾向に入ったといえる。国務院の資源と環境政策の関連研究によると、中国の二酸化硫黄とアンモニア態窒素の排出量は、それぞれ2006年と2011年が最高値であるとし、揮発性有機化合物の排出は2020年までに最高値に達すると予測している。電力、金属、非金属鉱の三大重点業界の過去3年の調査研究データによると、煙塵、粉塵の排出が増加を続けていることがわかる。環境保護「十三五」計画の重大分野は大気、水、土壌の汚染防止処

理であり、環境管理と改善がカギとなる。既に公布された《大気十条》によると、「十三五」は大気汚染に対峙した重要な転換点となったとある。二酸化硫黄とアンモニア態窒素の排出総量をコントロールする以外に、煙粉とVOCなどの汚染物を新たに規定し、削減目標を10%に定め、京津冀、長三角、珠三角などの重点地域でさらに強化している。

国内の大気汚染の現状分析や最近のスモッグ事案により、国民の大気汚染管理産業に対する関心が高まっており、当該業界は今や飛ぶ鳥を落とす勢いである。また、政府の政策を率先し遵守することで先の見通しも明るい。その理由は2つある。1つは国と地方が公布された関連政策を奨励し、大気汚染管理を積極的に推進するという点である。つまり、政策による利益が得られる。もう1つは、国が大量の資金を投入し大気汚染管理を推進しているという点である。これには関係する設備の改良投資も含まれるため、業界全体の発展と創業の機会が増え、強大な投資チャンスが生み出される。

このように「十三五」期による大気汚染管理の関連投資は数兆元にまで達しており、広範で確実な将来性が見込まれている。

1.1 汚染物質の排出状況

2013年、国内の工場排気排出総量は669,361億 m^3 (標準状態)に達し、前年度から5.3%増加した。そのうち、国内の二酸化硫黄排出総量は2,043.9万トンであり、前年度から3.5%減少している。その内訳をみると、工場からの排出量は1,835.2万トンで、これは二酸化硫黄排出総量の89.8%にあたり、前年度から4.0%減少した。都市と町の生活源からの排出量は208.5万トンで全体の10.2%、前年比1.4%の増加である。集中式汚染管理施設からの排出量は0.2万トンであった。

図表79 国内二酸化硫黄排出量と排出源別比較 単位: 万トン

年度 \ 排出源	合計	工場源	都市と町の生活源	集中式
2011	2217.9	2017.2	200.4	0.3
2012	2117.6	1911.7	205.7	0.3
2013	2043.9	1835.2	208.5	0.2
変化率(%)	-3.5	-4.0	1.4	-33.3

注: 集中四季汚染管理施設には生活ゴミ処理所(工場)と危険廃棄物(医療廃棄物)集中処理(所) 工場での焼却において排出する汚染物。

出典: 環境保護部

2013年、全国アンモニア態窒素の総排出量は2,227.4万トンであり、前年比4.7%の減少であった。このうち、工場からの排出量は1,545.6万トン、前年比6.8%の減少。全国の排出総量に占める割合は69.4%であった。都市と町の生活源から排出されるアンモニア態窒素の排出量は40.7万トン、前年比3.6%の増加。全国の排出総量に占める割合は1.8%であった。自動車からの排出量は640.6万トン、前年比0.1%の増加。全国の排出総量に占める割合は28.8%であった。集中式汚染管理施設からの排出量は0.4トンである。

図表80 国内アンモニア態窒素の排出量と排出源別比較 単位: 万トン

年度 \ 排出源	合計	工場源	都市と町の生活源	自動車排出	集中式
2011	2404.3	1729.7	36.6	637.6	0.3
2012	2337.8	1658.1	39.3	640.0	0.4
2013	2227.4	1545.6	40.7	640.6	0.4
変化率(%)	-4.7	-6.8	3.6	0.1	-

注: 2011年からの自動車排気汚染物排出状況と生活源の単独統計。

出典: 環境保護部

2013年、国内煙(粉)塵排出総量は1278.1万トンであり、前年度より3.5%上昇した。そのうち、工場からの煙(粉)塵排出量は1,094.6万トン、前年比6.3%の上昇。全国の煙(粉)塵排出総量の85.6%を占めている。都市と町からの煙塵排出量は123.9万トン、前年比13.2%の減少。全国の9.7%を占めている。自動車からの排出量は59.4万トン、前年比4.3%の減少。全国の4.6%を占めている。集中式汚染管理施設からの煙(粉)塵の排出量は0.2万トンである。

図表81 国内の煙(粉)塵排出量と排出源別比較 単位:万トン

排出源 年度	合計	工場源	都市と町の生活 源	集中式
2011	2217.9	2017.2	200.4	0.3
2012	2117.6	1911.7	205.7	0.3
2013	2043.9	1835.2	208.5	0.2
変化率(%)	-3.5	-4.0	1.4	-33.3

注:1. 2011年から煙塵と粉塵の単独統計は行われていない。統一煙(粉)塵として統計されている。2. 自動車煙(粉)塵排出量は自動車粒子物排出量が含まれる。

データ:環境保護部

近年、揮発性有機化合物(VOCs)が日に日に社会の注目を集めており、VOCsを効率良く抑制することが大気環境分野での中心テーマとなっている。しかし、現在、存在するデータは正確とは言えない。現有の調査によると、2010年の国内の工業源とするVOCsの排出量は1,335万トンであり、1980年の115.1万トンの11倍となっている。当然、ここには生活源と交通源から排出されるものも含まれる。国内の工場からのVOCs排出総量は1980～2010年にわたり上昇を続けており、特に2003年からは飛躍的に増加し、前年度までの緩やかな傾向とは異なっている。21世紀に入り、経済体制の改革や世界貿易組織への加入で、多くの外資企業が国内に投資し工場を建設するようになった。これにより、塗料、インクなどの生産能力が引き上げられていき、それに含まれるVOCs原料の消費も増加したのである。こうしてVOCsの排出は加速していき、当該期間のVOCs排出総量の年平均増加率は11～12%になった。国内のVOCs汚染状況は非常に深刻である。

1.2 大気汚染管理の概況

大気汚染管理産業の三大重要分野は脱硫、脱硝、集塵である。電機連合の提供するデータによると、「十二五」期の火力発電脱硝市場規模は860億元であり、超低排出改造市場規模は1000億元、超提出改造市場規模(東部のみ)は516億元である。さらに、「十二五」の末期には国内大気汚染管理産業の総規模は2987億元に達すると考えられている。そのうち、脱硫産業の市場規模は244億元、脱硝産業は1,200億元、集塵産業は374億元、VOCs市場は815億元、脱水銀市場は1,200億元である。集塵産業は374億元、脱水銀産業は150億元に達しているとされている。

現在、工業業界に対する排出物の排気管理こそが、国内大気汚染をコントロールするための主要な手段と措置といえる。脱硫市場には一定の投資チャンスが存在しており、この投資チャンスが脱硫設備の性能、機能を更に高めていくと考えられる。最新の業界基準要求に基づき、石炭燃焼電力工場の「超洗浄排出」(ゼロに近い排出)、アンモニア態窒素化合物を50 mg/m³以下に、二酸化硫黄を35 mg/m³以下に、煙塵を5 mg/m³以下とする汚染物排出「50355」の達成、そのほか、火力発電超洗浄排出の強化、適用範囲の拡大、進展の加速、政策の強化など、関連する発表を3年以内にリリースできると考えられている。

2015年には超洗浄排出改造の全工程の進捗が予測を超え、現在、全国の石炭燃焼発電所では既に当該改造の完成が8,400万kwを超えており、全国の石炭燃焼発電所の最大出力の約1/10を占める。そして更に8,100万kwを超える改造が実施されている。地区別にみると、江蘇、浙江、山東などの経済が発展している地区では進

展が速い。もう一つの重点改造はスモッグ除去器である。乾式脱硫技術の将来見通しは明るい。従来の湿式脱硫技術と比較すると、乾式脱硫は運営コストが低く、運行の安定性も高い。

脱硫市場の投資対象は触媒である。一般的に触媒は1, 2年で交換する必要がある。そのため、脱硫業界には比較的安定した需要が見込める。脱硫脱硝業界全体的には成熟安定期に入っており、短期的にも長期的にも大規模な増大はないが、安定した状態で需要が増していくと考えられる。

近年、政府は集塵分野の管理に注力している。例えば、大気汚染防止処理基準10条の措置では明確に、製鉄、セメントなどの業界に対する集塵改善の要求を高めている。さらに《「十二五」計画》の中では、2015年には重点区域に対し、粉塵排出量を指標から10%下げるように要求している。こうして環境保護政策が日に日に強化されることにより、集塵設備市場は潤っており、市場の需要は高まり続け、2, 3年後には20億元規模に成長すると見込まれている。現在、火力発電ユニットの90%以上が電気集塵を使用しているが、将来的には袋式集塵機に切り替えていく必要があり、集塵設備の更新は不可欠なため、当該市場は巨大な潜在力を有している。

2010年5月に政府が公布した《推奨大気汚染防止連合防止制御作業と改善区域大気の質指導意見通知》では、まず最初にVOCs、SOx、NOxの粒子物を大気環境汚染物防止制御の重点項目としている。2011年には環境保護部が「十二五」計画において「揮発性有機汚染物と有毒排気制御」を発表した。そして2013年には《揮発性有機物(VOCs)汚染防止処理技術政策》を公布し、初めてVOCs汚染防止施策と方法に関し指導的な意見を述べ、2014年には国務院と環境保護部が続けてVOCs汚染制御と管理に関係する政策を打ち出した。「十三五」計画には、汚染物総量制御範囲が拡大されたことが発表されている。「十二五」期では、総量制御汚染物4項目には二酸化硫黄、アンモニア態窒素化合物、化学的酸素要求量、アンモニア態窒素が挙げられていた。これをベースに、「十三五」ではVOCsを制御指標に加えている。十三五計画が実施され、VOCsの市場は従来の汚染物市場の規模を超える新しい分野となり、十三五の期間に、政府は石油、有機化学工業、表面塗装、包装、印刷などの業界にVOCs総合管理を展開していく予定である。中でも、石油業界の検測漏洩と修復作業が重要とされ、このほかにも政府は水性塗料、低コスト溶剤、低毒揮発性溶剤を推奨している。

2014年、エネルギー局が《石炭燃焼発電所減排向上と改裝行動計画(2010~2020年)》規定を公布し、2020年末には東部地区の超洗浄排出改造を完成させる予定であるとした。2014年時点で、火力発電所の最大出力は約44%完成している。2015年12月2日、李克強総理が国務院常務委員会会議で石炭燃焼発電所の低排出改造の全面的な実施と《石炭燃焼発電所エネルギー減排向上と改裝計画(2014~2020年)》計画を決定した。これにより総量が14年提出時の5倍以上となり、2015~2020年に必要な改造総最大出力は8億kwと試算され、その改造費用は100~180元/kwであるとした。全十三五期には超洗浄排出の新たな設置と改造市場の総規模は800~1,440億元に達すると考えられており、市場の見通しは非常に明るい。

ゼロ排出市場の推奨に伴い技術研究開発の優位性が高まると、企業の収益は上がり競争は激化した。大気汚染減排業界は新規参入者が非常に多く、この2年間、業界は絶えず再編を繰り返してきた。また、ゼロ排出市場が開かれてから、脱硫脱硝市場の競争力の中心は工程発注から徐々に技術能力へと移行してきたため、技術研究開発を推進する企業と創新の企業が収益を得ている状況にある。一方で、競争激化の中、工程の発注金額は下がり続けている。調査研究によると、14年末にはますます多くの企業がゼロ排出改造の競争に参入してくるため、工程発注金額は120~100元/kmから急速に70~80元/kmまで低下しており、今やこれが標準となっている。

李克強総理は2020年までに、全国の石炭燃焼発電所ユニットが超低排出を実現し、国家発展改革委員会、環境部、エネルギー局の三部委員会が連合で公布した石炭燃焼発電所排出電気料金支持に関する政策を通知し、超排出要求を満たす企業が提示した電気料金を支持する旨を表明した。16年1月1日以前のネットワークユニットでは1分単位で電気料金が加算されるが、16年1月1日以降のネットワーク新ユニットでは0.5分単位で電気料金が加算される。また、18年以降は助成金を支給し、電気料金の統一と調整を図るため、市場予測を上回る成果が期待されている。さらに、同時期、脱硫と脱硝についても、脱硫施設と脱硝施設の建造コスト、それぞれ150~200元/kw、80~120元/kwに対し、電力1.5分、0.8分を標準として助成金が支給される。超洗浄排出業界では通常、投資コストは75元/kwのため、この政府による電気料金支持は非常に大きな規模で電力企業の超洗浄排出改造を後押しすると考えられる。そして、「超洗浄排出」は重点地域から全国へとその歩みを広げている。

このほか《大気汚染防止処理行動計画》は、石油、有機化学工業、包装印刷などの業界で発生する揮発性有機物に対する総合管理を推進している。国内全域でボイラーを整備し、重点業界の脱硫と集塵工程を加速している。このような政策背景により、この3年で脱硫、脱硝、集塵市場にはそれぞれ608億元、550億元、482億元の需要余地があると考えられている。

政府は、環境保護貢献推計モデルと各業界ごとの収益をベースに国家統計データを分析し、以下の結論に至っている。《行動計画》の公布は国内に約17,474億元の巨額投資をもたらすこととなった。そして最大投資先は工業分野における企業の汚染管理への投資であり、おおよそ36.7%を占めている。その投資は主に脱硫、脱硝などの大気汚染管理の施設建設に使われ、多くの経済効果をもたらし、GDPは20,570億元に達し、260万の雇用を生み出した。

2 脱硫技術の発展状況

2.1 重点業界における SO₂ 排出状況

国内重点地域の大気汚染管理「十二五」計画では、脱硫適用範囲は主に火力発電所、非電力工業、石炭熱供給の3分野であるとしている。長い間、脱硫は大気汚染防止処理の重点課題であり、火力発電所、製鉄、有色金属などの分野では脱硫装置の比重を徐々に高めてきた。例えば2005年から2010年まで、国内の脱硫火力発電所の最大出力比率は12%から82%へと大幅に上昇した。現在、脱硫業界は建設のピークを迎えており、成熟段階に入っているともいえる。しかし一方で、ピーク期が急に訪れたことにより、工程に多くの危険が潜んでいることもわかっており、いまだ要求基準に到達できていない現実もある。当該業界には潜在的な市場が広がっている。現在、国内の脱硫ユニットは合計4,659台あり、総最大出力は7.18億kwに達している。そのうち、半分の脱硫施設は今後、改造が必要とあるため、仮に60万kwだとすると、平均改造コストは215億元となる。市場の潜在力は大きく、現在の市場が100億元規模とすると、その2倍に増えると考えられている。

2013年、国内の二酸化硫黄の排出総量は2,043.9万トンであり、前年比3.5%の減少であった。そのうち、工場からの二酸化硫黄の排出量は1,835.2万トン、前年比4.0%の減少で、全国の排出総量の89.8%を占めた。調査対象は41が工業分野の業界であり、二酸化硫黄の排出量の1～3位はエネルギー生産と供給業、黑色金属精製及び圧延加工業（製鉄業界）、非金属鉱物製品業であった。3業種合計の二酸化硫黄排出量は1,151.8万トンで、重点工業分野企業の二酸化硫黄排出総量の68.2%を占めた。

2014年、国内の排気中の二酸化硫黄排出量は1,974.4万トンであり、2013年より3.40%減少した。そのうち、工場からの二酸化硫黄排出量は1,740.4万トンであり、都市と町的生活源からは233.9万トンである。全国統計によると、工業分野の企業数は154,633社であり、そのうち火力発電業界は3,288社、二酸化硫黄排出量は683.4万トンである。アンモニア態窒素化合物は783.1万トン、煙粉塵は235.5万トンであった。一方、独立火力発電所は1,908あり、4,983台のユニットが存在する。脱硫施設は3,796、脱硝施設は2,027、集塵施設は5,301であり、二酸化硫黄排出量は525.3万トン、アンモニア態窒素化合物は670.8万トン、煙（粉）塵は195.8万トンである。自家発電火力発電所は1,380あり、2,895台のユニットが存在する。二酸化硫黄排出量は158.1万トン、アンモニア態窒素化合物は112.3万トン、煙粉塵は39.7万トンである。さらに、セメント製造企業は3,535社ある。

そのうちクリンカ生産のセメント企業は1,793社あり、脱硝施設は920、集塵施設は50,727、アンモニア態窒素化合物は191.7万トン、煙（粉）塵は95.8万トンとなっている。黑色金属製鉄と圧延加工企業は3,880社となっている。そのうち焼結機、または球状工程設備を有する製鉄企業は683社あり、合計1,191台の焼結機と552の球状工程設備が存在する。脱硫施設は995あり、脱硝施設は39、集塵施設は16,162である。排気の合計は二酸化硫黄が180.7万トン、アンモニア態窒素化合物が56.6万トン、煙（粉）塵は101.5万トンとなっている。

環境保護部《2013年環境統計年報》によると、2013年の工場排気管理施設は234,316台となっている。運行費用は1,497.8億元であり、汚染管理施設総運行費の56.2%を占めている。そのうち、脱硫施設と脱硝施設の運行

費用はそれぞれ611.8億元と145.5億元であり、排気管理施設総運行費用の40.8%と9.7%にあたる。2010年と比較すると、工場排気管理施設の運行費用は42.0%増加している。

「十三五」期、電力業界は火力発電所脱硫の新設、現有の火力発電所の脱硫改造、製鉄焼結脱硫などの脱硫業務を主要な事業としたことで、石炭化学工業、セメント、有色金属製鉄、製紙などの業界に脱硫排煙が徐々に増加しつつある。

図表82 重点業種の二酸化硫黄の排出状況：万吨

業種 年度	合計	エネルギー生産と 供給業	黒色金属製鉄及び 圧延加工業	非金属鉱物 製造業
2011	1354.3	901.2	251.4	201.7
2012	1237.4	797.0	240.6	199.8
2013	1151.8	720.6	235.1	196.0
変化率(%)	-6.9	-9.6	-2.3	-1.9

出典：環境保護部

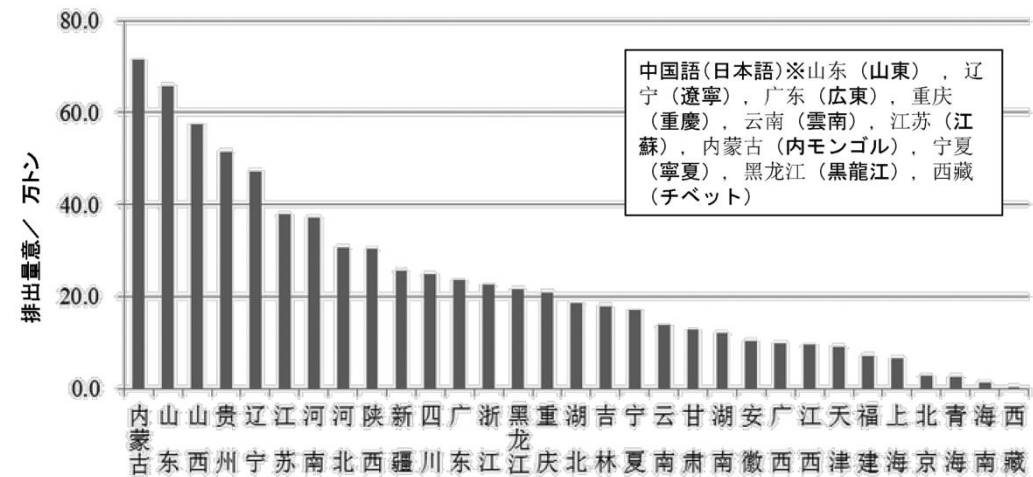
2.1.1 電力・熱力生産供給業（電力業界）

2.1.1.1 エネルギー生産と供給業における排出及び処理状況

2013年時点で、エネルギー生産と供給業における重点工業企業は5,830社あり、重点工業企業全体の3.9%を占めている。年間の工場排気排出量は225,446.6億m³（生態標準）であり、重点工業企業排気排出量の33.7%である。二酸化硫黄の排気量は720.6万吨、重点工業企業の42.7%を占めている。

エネルギー生産と供給業の排気脱硫施設は5,916であり、重点工業企業全体の27.3%を占めている。二酸化硫黄の除去量は2620.1万吨、除去率は78.4%で、重点工業企業の平均（72.2%）を6.2%上回っている。

また、当該業界における二酸化硫黄排出量の1位～4位は内モンゴル、山東、山西、貴州であり、業界総排出量の34.2%を占めている。



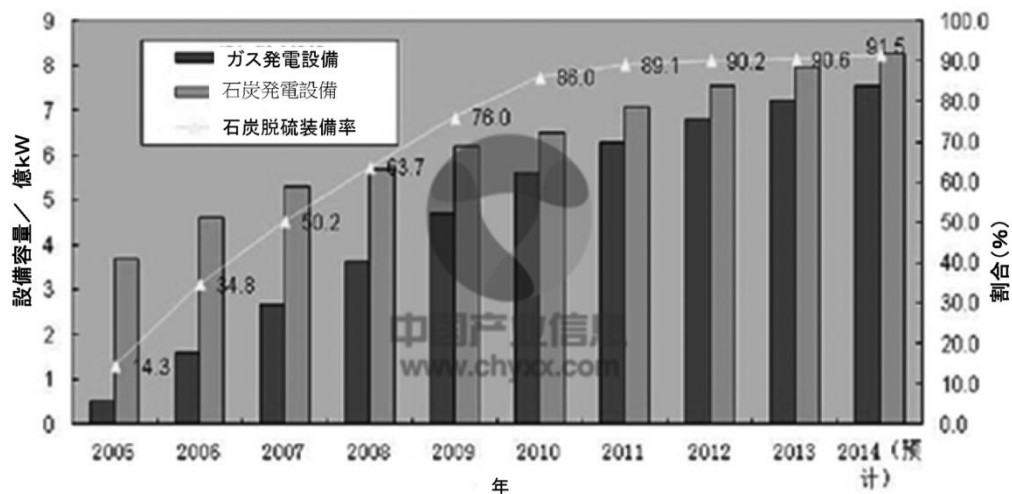
出典：2010年各工業汚水排出基準達成率

図表83 各地区電力、熱生産・供給業における二酸化硫黄の排出量

2.1.1.2 火力発電所 SO₂ の排出と管理状況

電力業界は排煙脱硫の主要市場であるため、排煙脱硫設備を有している企業が多い。長年にわたり、エネルギー生産と供給業は国内では二酸化硫黄排出の主体となっており、全国排出総量の50%以上を占めてきた。このため、当該業界は二酸化硫黄排出の重点企業となっており、中でも火力発電所には注力している。

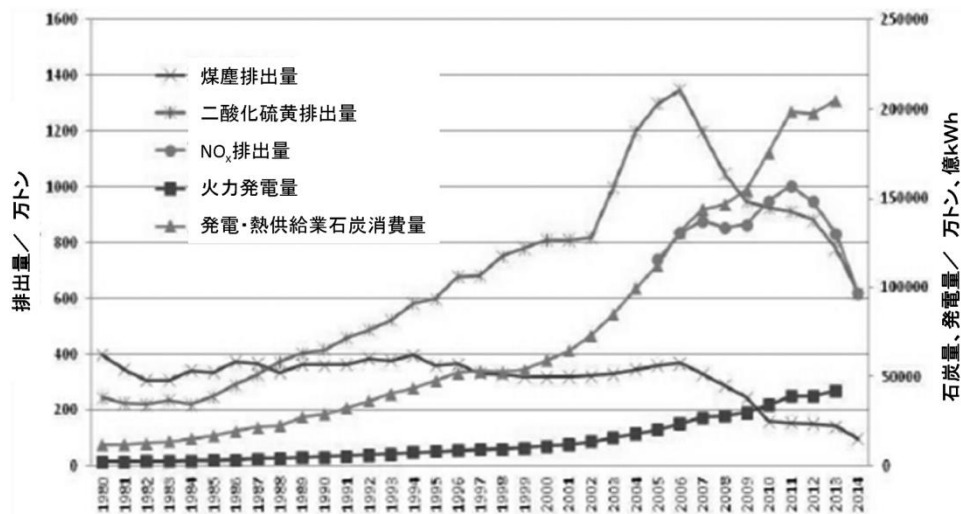
火力発電所の大気汚染物の排出については法令法規が公布され、2014年末までには調査対象エリア内の全ての石炭燃焼発電ユニットに脱硫設備が取り付けられた。排気脱硫機ユニット容量は7.55億kwであり、国内の石炭発電機ユニットの91.5%を占めている。2005年よりも77% 上昇し、2011年当時のアメリカと比較しても31%高い。また、そのほかの主なユニットとしては、炉内脱硫能力を有する循環硫化流動床ボイラーがある。



出典: 中電聯

図表84 2005-2014年全国排煙脱硫装置運転状況

現在の火力発電所ユニットは2014年7月1日に施行された《火力発電大気汚染物排気基準》(GB13223-2011)に基づいている。現有のユニットの改造は進み、2014年には大気汚染物排出量が大幅に減少した。電力企業連合体の分析によると、煙塵、二酸化硫黄、アンモニア態窒素化合物の排出量はそれぞれおよそ98万トン、620万トン、620万トン減少し、2013年と比較すると約31.0%、20.5%、25.7%下がっているとした。さらに、二酸化硫黄の排出量(2013年実現)とアンモニア態窒素化合物排出量(2014年実現)は、《省エネ減排「十二五」計画》規定の二酸化硫黄800万トン、アンモニア態窒素化合物750万トンの減排目標(最終データは環境保護部の公布)を達成することができた。SO₂の排出も、2006年の排出ピーク時と比較すると54.1%減少しており、NO_xも2011年の排出ピーク時に比べ38.2%減少しているがわかった。一方で、脱硫石膏の生産量は2005年の500万トンから2013年の7,550万トンにまで増加し、総合利用量も50万トンから5,400万トンへ、総合利用率は72%となっている。



出典: 中電聯

図表85 1980～2014年火力発電量、発電量石炭消費量および汚染物質排出状況

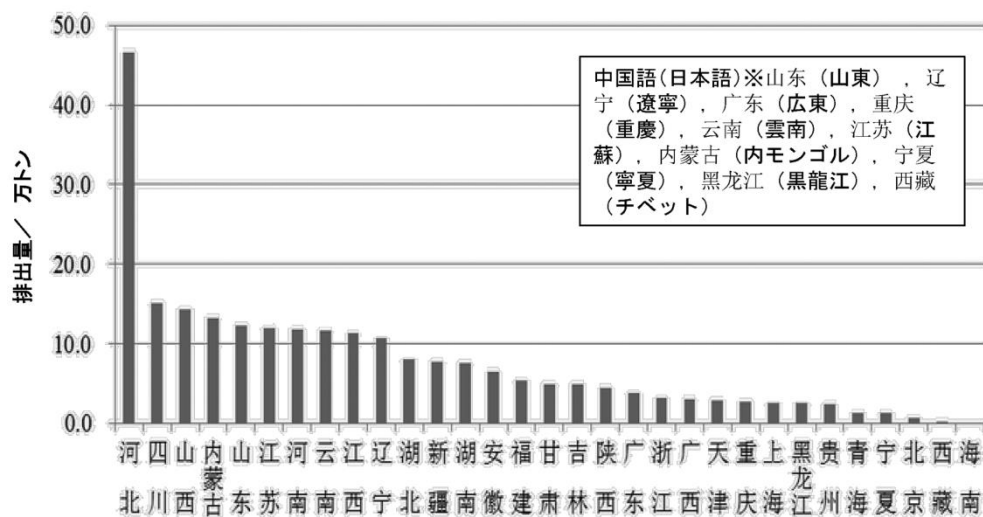
2.1.2 黑色金属製錬及び圧延加工業(鉄鋼業)

2.1.2.1 黑色金属製鉄及び圧延加工業における排出と処理状況

2013年、黑色金属製鉄及び圧延加工業の重点工業企業総数は4,202社であり、重点工業企業全体の2.8%を占めている。年間の工場排気総排出量は173,002.5億 m^3 (生態標準)であり、重点工業企業全体の25.8%を占めている。二氧化硫黄は235.1万吨、全体の13.9%にあたる。

黑色金属製鉄及び圧延加工業が有する排気管理施設は17,017である。これは重点工業企業全体の7.3%を占めており、脱硫施設が894、全体の4.1%にあたる。二氧化硫黄の除去量は107.7万吨であり、除去率は31.4%である。

当該業界の二氧化硫黄排出量の1～4位は河北、視線、山西、内モンゴルであり、業界全体の38.0%を占めている。



出典: 環境保護部

図表86 各地区鉄金属製錬と圧延加工業による二氧化硫黄排出状況

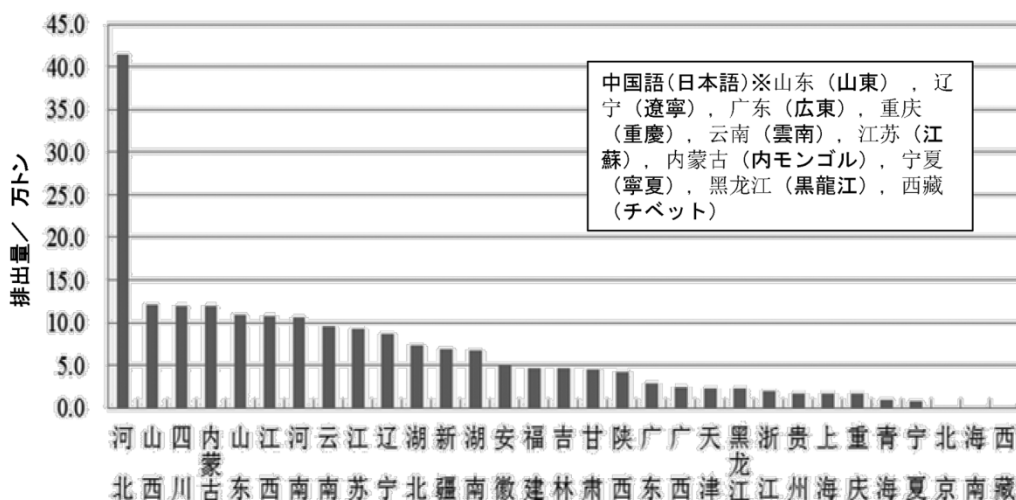
2.1.2.2 製鉄業界における SO₂の排出と処理技術

製鉄業界は火力発電業界に次ぐ大きな汚染業界であり、製鉄生産過程において大量の二酸化硫黄(SO₂)が生産される。環境保護部の統計によると、2013年の製鉄業界のSO₂排出量は200万トンであり、工場源とする総排出量の10.5%を占め、火力発電所に次ぐ排出量となっている。

製鉄生産過程における焼結、球状化工程は、異なる成分と粒子の鉄硬粉が集塊することで鉄の基準を満たすことになる。焼結、球状化工程では、鉄鋼石から大量の硫黄、リンなどの有害物を取り除く際に、燃料中の硫化物が高温の環境下で大量の二酸化硫黄排気ガスを生成する。そのため、焼結工程は汚染物発生の主要源となっており、排出されるSO₂は排出総量の70%以上を占めるため、製鉄企業は大気汚染管理の要と言われている。

2013年に重点調査対象に加わった焼結機、または球状化工程設備を有する製鉄企業は740存在し、重点調査工業企業総数の0.5%を占めている。焼結機は合計1,258台あり、そのうちの447は脱硫施設である。球状化工程設備は598あり、うち52は脱硫施設である。

製鉄製錬企業の二酸化硫黄排出量は199.3万トンで昨年より0.4%減少しており、重点調査工業企業全体の11.8%、黑色金属製鉄及び圧延加工業排出量の84.8%を占めている。二酸化硫黄の除去量は75.8万トンで、除去率は27.6%であるため、重点調査工業企業平均より44.6%も低い。製鉄製錬企業の二酸化硫黄排出量の1～4位は河北、山西、四川、内モンゴルであり、全国製鉄企業排出量の38.8%を占めている。



出典:環境保護部

図表87 各地区鉄鋼製錬と干延加工業による二酸化硫黄排出／処理状況

製鉄業界は、排出制御水準の点で電力業界に後れを取っており、現在、大気汚染物排出総量における製鉄業界の比率が増している。その原因は多岐にわたる。1つ目として、製鉄企業は環境保護基準において重度とされる二級に分類されており、製鉄一トン当たりの排出量は先進企業の10倍以上にのぼるという点があげられる。2つ目として、現有の煙粉塵パラメータの設定が遅れているため、半分以上の集塵器が新しい基準要求を満たしていないという点である。加えて、煙粉塵の排出機能の精度が低いため、実際の排出量は数値よりも高い。3つ目に集結脱硫施設の品質の低下があり、メンテナンスができていないという点である。

製鉄業界における大気汚染防止管理の重要課題は排出基数が不透明ということである。「十二五」期において、環境保護部は製鉄業界の二酸化硫黄排出総量を全国規模で算出し、各装置ごとの数値とその実行を促し、二酸化硫黄排出総量を見極め、具体的な減排手段を提示した。

2012年10月1日より《製鉄焼結、球状化工程の大気汚染排出基準》、《製鉄工業大気汚染物排出基準》など業界基準を施行したため、製鉄業界は脱硫業界にとって新たなターゲットとなっている。今後10年以内に、電力、製

鉄など6大業界の汚染管理水準は高まっていくと予測され、汚染減排はますますその実行性が難しくなるであろう。

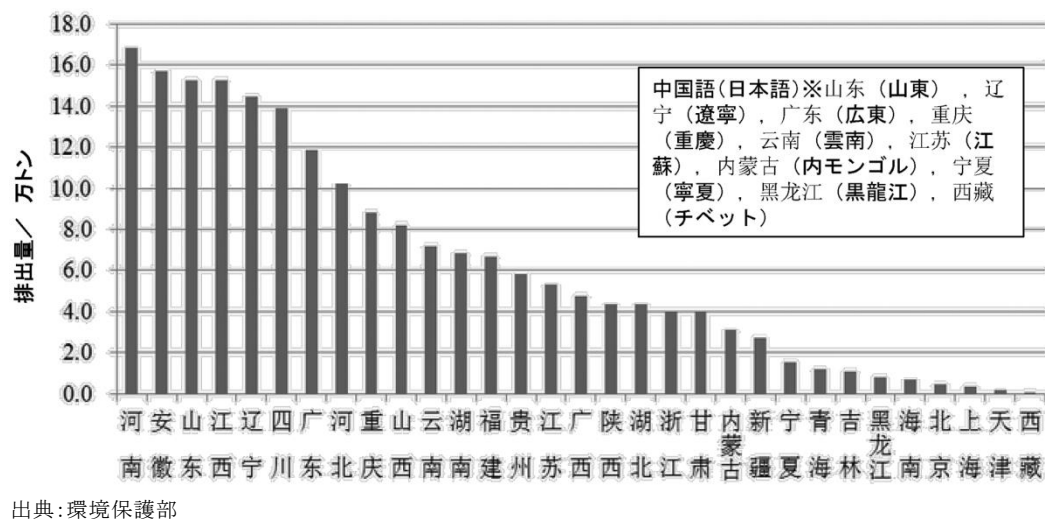
2.1.3 非金属鉱物製品業(セメント工業)

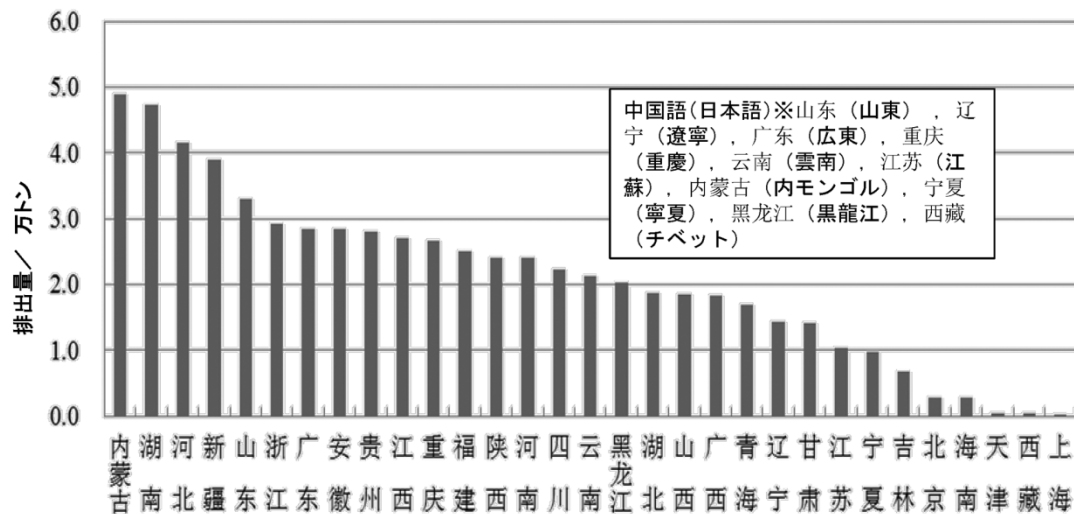
2.1.3.1 非金属鉱物製品業の排出状況

2013年には非金属鉱物製品業重点調査工業企業数は32,532社存在し、重点調査企業総数の22.0%を占めている。年間の工場排気総排出量は120,337.2m³(生態標準)であり、重点調査企業全体の18.0%を占めている。二酸化硫黄の排出量は196.0万トンで同じく全体の11.6%を占めている。

非金属鉱物製品業は66,461の排気管理施設を有しており、重点調査企業全体の28.4%を占めている。そのうち脱硫施設数は2,051あり、二酸化硫黄の除去量は34.1万トン、除去率は14.8%である。

非金属鉱物製品業における二酸化硫黄排出量の1～4位は河南省、安徽省、山東省、山西省であり、二酸化硫黄の排出量は当該業界排出量の32.2%を占める。





出典:環境保護部

図表89 各地区セメント業による二酸化硫黄排出／処理状況

GB4915-2004《セメント工業大気汚染物排気排出基準》規定に基づき、2010年1月1日より、現有のセメントキルン及び窯業一体化SO₂の最高排出濃度限界値は200mg/m³であり、製品排出量は0.6kg/トンを超えてはならない。多くの国内セメント企業は毎年SO₂排出処理費用に数百万円をかけているのが実情である。

2.2 政府関連政策、法律法規及び関連技術基準

近年、国内の大気汚染の程度はますます悪化しており、現在では環境管理だけではなく、水質汚染や固形廃棄物管理の市場にも大きな影響を与えている。大気汚染管理は天気の影響を受けやすく、地域ごとに差異も生じるため、政府の大気汚染管理に対する意識は低く、市場も貧弱であった。

しかし、近年、華北地区に大量のスモッグが発生したことで、大気汚染に関する関心が急速に高まることとなった。スモッグの範囲は拡大し、その程度も深刻だったため、政府の大気汚染に対する関心も強くなった。数年前から、大気汚染防止管理に対する政策を展開し始め、2002年以降に公布された法律法規では省エネ減排が強化されている。例えば、2002年1月30日、《石炭燃焼二酸化硫黄排出汚染防止処理技術基準》を公布し、エネルギーの合理的な利用、石炭生産加工と供給、石炭の燃焼、排気脱硫、二次汚染防止などの分野において詳細な規定を定めた。近年では、2012年8月に《省エネ減排「十二五」計画》を公布し、電力と非電力の業界に対し脱硫脱硝効率に対する政策を実施し、具体的な発展目標を掲げた。これらの省エネ減排政策により、大気汚染防止処理に一定の推進作用がもたらされたのである。

大気汚染管理業界には、脱硫、脱硝、集塵の三大分野が存在する。ここ数年で、自動車の使用が急激に増えたため、自動車排気ガスが大気に及ぼす影響がますます高まっている。排気ガス防止処理は大気汚染管理業界において重要な位置を占めているのである。主な大気汚染管理産業チェーンには脱硫、集塵、脱硝、排気ガス汚染管理の各分野における設備と素材・原料産業があるが、そのほかの関連産業は遅れをとっている。「十一五」計画、「十二五」計画期において、大気汚染管理は脱硫、脱硝分野に重点を置き、電力脱硝設備を発展させた。市場は一定の飽和状態に達し、今後の脱硫脱硝分野は、現有の火力発電所の脱硫ユニットの改造や、超洗浄排出標準や火力発電ユニットの再建が中心となり、「建設—経営—譲渡」形式(BOT形式)が発展すると思われる。脱硝設備の必要性は増大しており、脱硝市場は工程販売と設備販売を主な事業とし、フランチャイズ経営形式が適用されたEPC+CやEPC+フランチャイズ経営の商業形態が出現している。

現在、火力発電所の集塵分野は標準改造の時期を迎えており、政府の火力発電粉塵の排出標準5mg/m³に基づき運行している発電所は、新たな要求に届かないため、迅速な改造が急務となっている。また、火力発電所

の集塵(湿式電気集塵)は、標準改造により「噴出」式への必要性も高まっている。商業形態では、技術競争の優位性が徐々に現れるため、集塵設備は日に日に複雑になっており、EPC(工程総請負)形式からBOT(建設—経営—譲渡)、またはDBO(設計—建造—運営)形式へと移りつつある。

火力発電所の超低排出により市場の景気周期はさらに伸びることとなった。国内の環境基準は日増しに厳しくなっているため、2014年以降、各地では火力発電ユニット低排出改造のブームが巻き起こっている。脱硫塔設備、脱硝触媒剤の需要も増大している。このほか、石炭燃焼発電ユニット低排出改造の動きもあり、集塵器市場も活況を呈している。

第三者への管理委託形式も黄金期を迎えている、大気管理力の向上、監督管理の強化、地域の環境管理、環境の情報提供、環境サービスなど業務の内容は多岐にわたり、第三者による管理サービスの発展も見込まれている。

新たな環境保護法が公布され、「エコ化」の理念が中国「十三五」計画に加わり、外資企業が深く関わるようになった。そのため、環境保護技術の応用という新分野にチャンスが訪れている。環境保護部の予測によると、「十三五」期では、環境産業への投資は17兆元に達するといわれており、巨大市場の潜在力が多くの海外企業を引き込んでいる。現在、海外の多くの環境情報提供会社が、欧米の発達した国々の経験値を中国政府と関係する企業に提供している。このことは、中国の環境保護技術を更に進展させただけでなく、政府と関係する企業に環境保護技術を、土壌、大気、水の管理全般において適用するよう促している。

1) 関係する法律法規

《中華人民共和国環境保護法》、
《中華人民共和国大気汚染防止処理法》

2) 関連する基準

《大気汚染物総合排出標準》GB16297-1996
《石炭燃焼排気脱硫設備》GB/T19229-2003
《環境大気品質基準》GB3095-2012
《大気汚染管理工程技術指針》HJ2000-2010
《環境空気二酸化硫黄の測定ホルムアルデヒド吸収-パラローザニリンアミン分光光度法》HJ482-2009
《環境空気二酸化硫黄の測定テトラクロロ第二水銀塩類-パラローザニリンアミン分光光度法》HJ483-2009
《固定汚染源排気における二酸化硫黄の測定ヨウ素滴定法》HJ/T56-2000
《固定汚染源排気における二酸化硫黄の測定定電位電解法》HJ/T57-2000

3) 関係する政策

《大気汚染防止処理行動計画》(国公布[2013]37号)
《大気汚染国十条》
《省エネ減排「十二五」計画》
《重点区域大気汚染防処理「十二五」計画》
《石炭燃焼発電ユニット環境保護電気料金及び環境保護施設運行監督管理方法》(公布改善価格[2014]536号)
《石炭燃焼電力省エネ減排向上と改造行動計画(2014～2020年)年》

4) 業種基準

(1) 電力業界

- 《火力発電所大気汚染物排出基準》GB13223-2011
- 《火力発電所排気脱硫工程技術規範海水法》HJ2046-2014
- 《火力発電所排気脱硫工程技術規範アンモニア法》HJ2001-2010
- 《火力発電所排気脱硫工程技術規範石灰石石膏法》HJ/T179-2005
- 《火力発電所排気脱硫工程技術規範排気循環硫化床法》HJ/T178-2005
- 《火力発電所脱硫装置技術監督指針》DL/T1477-2015
- 《排煙湿法脱硫用石灰石粉反応速率の測定》DL/T943-2015
- 《湿法排気脱硫過程エネルギー効率検測技術規範》DL/T986-2005
- 《火力発電所排気脱硫設計技術規程》DL/T5196-2004
- 《火力発電所石灰石/石灰-石膏湿法排気脱硫システム運行指針DL/T1149-2010
- 《火力発電所石灰石/石灰-石膏湿法排気脱硫装置点検修理指針》DL/T341-2010
- 《火力発電所排気脱硫装置検収技術規範》DL/T1150--2012
- 《火力発電所排気脱硫装置信頼性評価指針》DL/T1158--2012
- 《火力発電所排気脱硫経済性評価指針》DL/T1159--2012

(2) 製鉄業界

- 《圧延工業大気汚染物排出基準》GB28665-2012
- 《製鉄工業大気汚染物排出基準》GB28664-2012
- 《製鉄工業大気汚染物排出基準》GB28663-2012
- 《製鉄焼結、球状化工程工業大気汚染物排出基準》GB28662-2012
- 《鉄鋼採用選択工業汚染物排出基準》GB28661-2012
- 《鉄合金工業汚染物排出基準》GB28666-2012
- 《製鉄業種焼結排気脱硫実施法案》(工信部[2009]340号)

(3) 有色金属工業

- 《冶金焼結球状化工程排気アンモニア法脱硫設計規範》GB50965-2014
- 《銅、コバルト、ニッケル工業汚染源排出基準》GB25467-2010
- 《マグネシウム、チタン工業汚染物排出基準》GB25468-2010
- 《レアアース工業汚染物排出基準》GB26451-2011
- 《工業ボイラー及び産業炉湿法排気脱硫工程技術規範》HJ462-2009

(4) 化学原料工業

- 《コーキング化学工業汚染物排出基準》GB16171-2012
- 《硫酸工業汚染物排出基準》GB26132-2010

(5) 建材工業

- 《セメント工業大気汚染物排出基準》GB4915-2013
- 《建築材料における排気脱硫石膏》DB31/T514-2010

5)簡易分析

二酸化硫黄の排出は中国の大気環境汚染及び酸性雨を激化させている主要な要因である。「十二五」期の初期に、政府は一連の環境保護全体計画措置を公布した。例えば《国家環境保護「十二五」計画》、《省エネ減排「十二五」計画》は、全国の二酸化硫黄総量とアンモニア態窒素化合物などの大気汚染物質に対する減排指標を提示しており、二酸化硫黄排出総量は2010年から8%減少した。このことから、電力業界の脱硫脱硝は効果が出ていることがわかる。新設の石炭燃焼ユニットにはすべてに脱硫脱硝が備えられ、排出基準を達成することができている。脱硫施設が備えられていない石炭燃焼ユニットには排気脱硫施設を加え、安定した排出基準を達成できるよう改造を実施した。また、非電力業界の脱硫脱硝も強化されている。製鉄焼結機排気脱硫も整備され、2015年までに全ての焼結機と都市建設区の球状化工程設備の排気脱硫効率は95%以上に達した。有色金属や製鉄業界の排気中の二酸化硫黄の含有量は3.5%を超えているため、製鉄設備には硫黄回収のための装置を設置する必要がある。石油精製業界で新たに建設された接触分解装置には、排気脱硫施設が備えられ、現有の硫黄回収装置の硫黄回収率は99%に達している。建材業界では陶磁器建築規模が70万m³/年を超え、燃料中の硫黄含有率が0.5%を超える工業炉には脱硫施設を取り付けるか、クリーンエネルギーを使用できるように改造を加える必要がある。また、フロートガラス生産ラインにも排気脱硫設備を取り付けるか、天然ガスを使用できるように改造を加える必要がある。コーキング業界のコークス炉における原料ガス硫化水素の除去率は95%に達している。石炭燃焼ボイラーの蒸気量が35トン/時間で二酸化硫黄の排出が基準を超える場合は、排気脱硫改造を実施する必要がある。改造後の脱硫率は70%を超える必要がある。

地域連合防止制御計画では、国家発展改革委員会などの委員会が連合で《重点地区大気汚染防止処理「十二五」計画》を公布し、重点制御区域内における火力発電所、製鉄、セメント、化学工業などの重汚染項目と工業ボイラーは、大気汚染物質排出基準の特別排出限界値要求を満たす必要があることを明確にした。これにより、2015年までに、重点地域内の全ての石炭燃焼機ユニットに脱硫施設が取り付けられ、石炭燃焼発電所の脱硫効率は90%以上に達している。全ての焼結機と都市で建設された球状化工程生産設備には脱硫施設が取り付けられており、総合脱硫効率は70%以上に達している。新築、改築、拡張建設のセメント生産ラインでは総合脱硝効率は60%を下回ることがなく、環境保護模範工程に対しては1.5兆元が投資されている。中には、電力業界の脱硫脱硝、製鉄焼結機脱硫脱硝、他の非電力重点業種脱硫、セメント業界と工業ボイラー脱硫など重点工程8項目の主要汚染物減排工程が含まれている。

図表90 「十二五」期重点業種の主要減排指標

指標(万吨)	2010 年	2015 年	変化幅/変化率(%)
火力発電所業種二酸化硫黄排出量	956	800	-16
製鉄業種二酸化硫黄排出量	248	180	-27

2012年1月1日、政府は《火力発電所待機汚染物排出基準》(GB13223-2011)を公布し、火力発電所が排出する二酸化硫黄汚染物の限界値基準を高めた。新設の火力発電所プロジェクトでは二酸化硫黄の排出量は100mg/m³とした。2012年10月1日、政府は《製鉄焼結、球状化工程工業汚染物質排出基準》(GB28662-2012)を公布し、製鉄工場焼結工程で排出される二酸化硫黄などの主要汚染物の限界値基準を高めた。新設企業は2012年10月1日から二酸化硫黄排出限界値が200mg/m³となる。焼結排気部分の排出濃度以外に、環境部は製鉄工程に対してそれぞれ《製鉄工業大気汚染物質排出基準》(GB28663-2012)、《圧延工業大気汚染物質排出基準》(GB28664-2012)、《製鋼工業大気汚染物質排出基準》(GB28665-2012)を公布し、製鉄、製鋼、圧延などの工程における二酸化硫黄の排出を厳しく抑制している。最も顕著なのは圧延工程で生産される二酸化硫黄排出制限を250mg/m³から150 mg/m³に引き上げたことである。

《石炭燃焼発電ユニット環境保護電気料金及び環境保護施設運行監督管理方法》(価格変更[2014]536号)では、石炭燃焼発電ユニットに脱硫環境保護施設を取り付けることが明確に述べられている。これは、現在のイン

ターネット価格をベースに、脱硫料金などが加算された電気料金施策である。現在、脱硫電気料金の標準は毎kw時間1.5分である。

《国务院による大気汚染防止処理行動計画の通知》(国発行[2013]37号)では重点業界に対し脱硫、脱硝、集塵改造工程建設の迅速な対応が述べられている。これには、全ての石炭燃焼火力発電所、製鉄企業の焼結機と球状化工程生産設備、石油精製企業の接触分解企業装置、有色金属精製企業への脱硫施設の取り付けが含まれる。

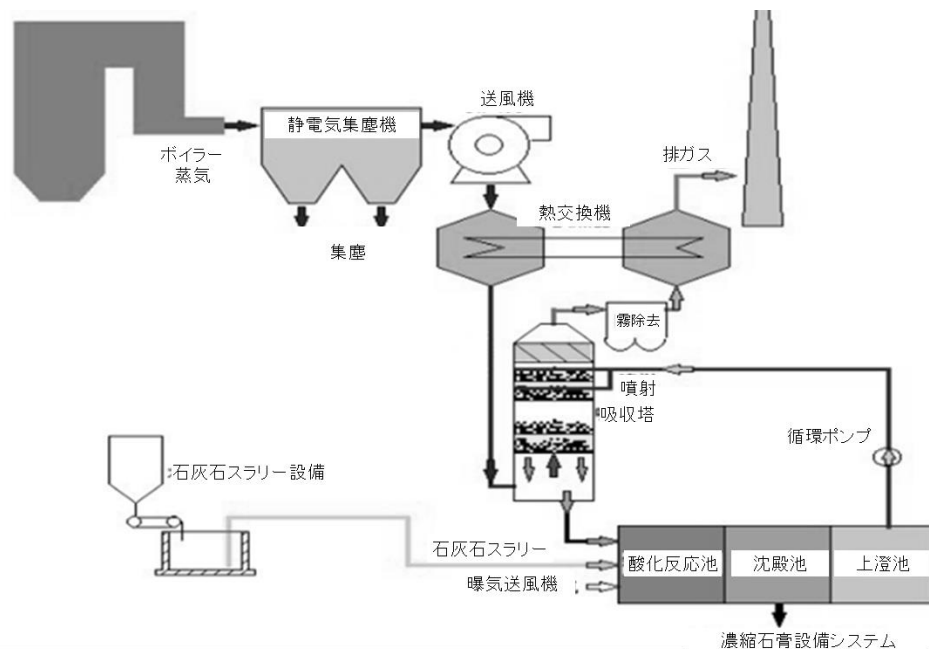
2.3 脱硫技術の適用状況

2.3.1 火力発電所脱硫技術の適用状況

排気脱硫技術は脱硫剤の形態により、湿法、半乾法、乾法に分けられる。

湿法排気脱硫(WFGD)は液体吸収剤やアルカリ性溶液などを使用し排気を洗浄しSO₂を除去する方法である。現在、湿法は実際に適用されている範囲が一番広く、世界の排気脱硫装置の約85%で使用されている。湿法排気脱硫技術の主な方法は(1)石灰/石灰石-石膏法、(2)海水脱硫技術、(3)アンモニア吸収法である。

(1)石灰/石灰石-石膏法は脱硫では世界で最も成熟している方法であり、最も広く適用されている脱硫技術でもある。湿法排気脱硫法の約70%を占めており、日本、ドイツ、アメリカの火力発電所の排気脱硫装置の約90%で採用されている。石灰/石灰石-石膏法は石灰や石灰石漿液を利用して排気中のSO₂を吸収するという基本原理で成り立っている。先にCaSO₃を生成し、CaSO₃を酸化してCaSO₄に変化させ、副産物の石膏で回収する。



図表91 湿式石灰/石灰石-石膏法排気脱硫技術システム図

原理は以下の通りである。

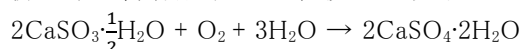
1) 吸収工程は吸収塔内で行われ、主な反応は以下の通りである。

石灰漿液による吸収剤 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

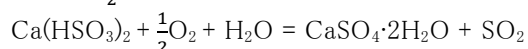
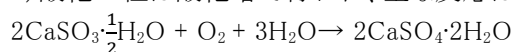
石灰石漿液吸収剤 $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

$\text{CaSO}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$

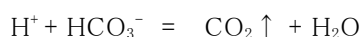
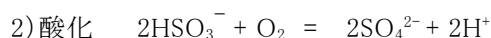
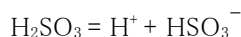
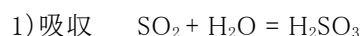
排気中の含有酸素による副反応は以下の通りである。



2) 酸化工程は酸化塔で行われ、主な反応は以下の通りである。



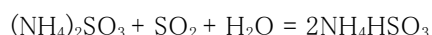
(2) 海水脱硫技術は海水の天然アルカリ度を利用し、排気中の SO_2 を除去する方法である。他の化学吸収剤を添加するかどうかで、2種類に分類される。純海水を吸収剤とする化学物質を添加しないFlake-Hydro工程による方法と、海水に石灰、石灰石、石灰混合物を添加するBechtel工程による方法である。



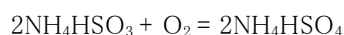
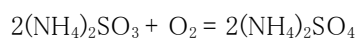
一種の湿式除去法脱硫工程として技術が成熟しており、工程そのものは簡単である。システム運行は信頼でき、脱硫効率も高く、運行費用も安いという特長がある。特に沿海の低硫黄石炭の発電所に適している。

(3) アンモニア吸収法はアンモニアを利用して SO_2 を吸収する方法であり、他のアルカリ法と比較して、脱硫費用が安く、アンモニアが製品内に留まるため、窒素肥料として使用できるという利点がある。しかしアンモニアは気化しやすいため、吸収剤の消費量を増大させることになる。アンモニア吸収法は吸収液再生方式に基づき、アンモニア—酸法、アンモニア—亜硫酸アンモニア法とアンモニア硫化アンモニア法などに分けられる。アンモニア—酸法の工程は成熟しており、簡単な設備と操作で済み、肥料を生産できるという利点がある。原理は以下の通りである。

1) 吸収



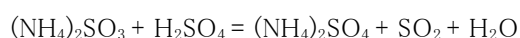
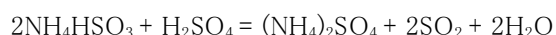
排気ガスにおける O_2 と CO_2 、吸収工程における副反応は以下の通りである。



吸収液にアンモニアを補充し、 NH_4HSO_3 を $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ へ変化させ、吸収液の吸収能力を維持する



2) 分解



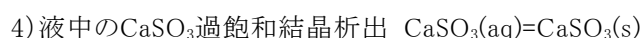
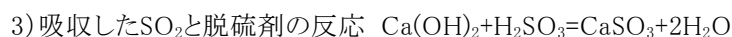
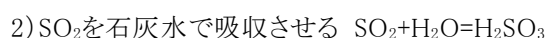
3) 中和



経済的には、回収法排気脱硫技術が最も良い。しかし、石炭燃焼排気脱硫分野におけるアンモニア法の発展は非常に遅く、大量の粉塵を含むため、脱硫製品は集塵、脱硫工程が必要になる。その工程を経て初めて基準に達することになる。

ii. 半乾法排気脱硫技術には(1) 旋回噴霧乾燥法、(2) 炉内カルシウム噴霧—炉後湿活性化がある。

(1) 旋回噴霧乾燥法はアンモニア性吸収剤の浮遊物液を利用し、または高速旋回噴霧器により溶液を霧状にしたものを吸収塔に噴霧する方法である。塔内の気流分布器を経て熱排気と接触させた水蒸気とアルカリ性吸収液に乾湿両方の状態で SO_2 反応を起こさせ、乾燥生産物気液後に集塵器で除去する方法である。原理は以下のとおりである。



5) 部分 $\text{CaSO}_3(\text{液})$ を溶解させた液中の酸素による酸化 $\text{CaSO}_3(\text{aq}) + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CaSO}_4(\text{aq})$

6) CaSO_4 飽和結晶析出 $\text{CaSO}_4(\text{aq}) = \text{CaSO}_4(\text{s})$

噴霧乾燥法工程は簡単な方法であり、占有面積は小さく、運行費用は安い。脱硫産物は乾燥状態のため処理がしやすく、廃水排出がない。技術要求も低く、メンテナンスもしやすい。しかし、反応生成物は極小であるため、集塵は難しく、腐食の問題がある技術である。噴霧乾燥法は小型発電所と燃料に適用されており、低硫黄石炭のFGD市場で第二位を占めている。

(2) 炉内カルシウム噴射端部増湿活性化は炉内カルシウム噴霧を基礎として発展しており、ボイラー内の予熱器と集塵器の間に活性化反応器を取り付け、噴水することで増湿を促し、脱硫効率を70%にまで到達させる方法である。

反応原理 $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$

$\text{CaO} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{CaSO}_4$

$\text{CaO} + \text{SO}_3 = \text{CaSO}_4$

活性器内の炉床で未反応の CaO と填入した水で反応生成された $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 SO_2 、生成された $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、快高速反応で生成された CaSO_3 を反応させ、部分的に酸化された CaSO_4 を生成する。

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

$\text{CaSO}_3 + \text{O}_2 = \text{CaSO}_4$

現在、典型的な炉内カルシウム噴霧端部増湿脱硫技術には、アメリカの炉内カルシウム噴射多級燃焼器(LIMB)技術、オランダの炉内石灰石噴霧及び酸化カルシウム活性化反応(LIFAC)技術、オーストリア循環活性化(ARA)技術などが挙げられる。そのうちのLIFAC技術は循環硫化床技術を排気脱硫に加えたものである。その革新的な技術により、現在脱硫率が90%以上に達しており、すでにドイツとオーストリアの発電所商業運行において実現されている。LIFAC技術に適している燃料は、低石炭硫黄である。その投資及び運行費用には優位性があるため、強い競争力を有している。しかし、ボイラーの改造が必要になるため、ボイラー運行に一定の影響が生じてしまう。中国南京下関発電所125MWユニットはこの脱硫技術を導入しており、現在、脱硫設備の運行は良好である。

iii. 乾法排気脱硫技術の主要なものは、(1) 電子線放射法、(2) 循環硫化床脱硫技術である。

(1) 電子ビーム法は回収法の一つで、物理的手法と化学的手法を結合した先進技術である。その特長は、

- ① 乾式技術であるため廃水や固体廃棄物が生じない。
- ② 脱硫・脱硝が同時に可能であり、90%以上の脱硫率と80%以上の脱硝率を達成できる。
- ③ システムが簡略であり操作がしやすい。工程の制御も容易である。
- ④ 様々な排気量及び排ガスユニットに対し柔軟に適用できる。
- ⑤ 副産物である硫酸アンモニウムと硝酸アンモニウムは肥料として使用できる。

基本原理は以下の通りである。

1) 石炭燃焼排ガスは、一般的に N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O などの主要成分及び SO_2 、 NO_x などの副成分で構成されている。

電子ビーム法で生成された高エネルギーで排ガスを処理する場合、高エネルギー電子のエネルギーは O_2 、 H_2O などの分子に吸収されるため、大量の強い反応を持った活性酸素を生み出す。

2) SO_2 及び NO_x は活性酸素によって反応、 SO_2 は SO_3 となり硫酸が生成され、 NO は NO_2 となり硝酸が生成される。

3) 硫酸(H_2SO_4)、硝酸(HNO_3)、アンモニア(NH_3)が反応し硫化アンモニウム(NH_4) $_2\text{SO}_4$ と硝酸アンモニウム NH_4NO_3 が生成される。

流動床式脱硫技術は、その優位性から近年急速に発展してきた。この技術は排ガスを脱硫剤のある流動床へ通し、排ガスと脱硫剤を床内で反応させるという原理で成り立っている。石灰石と苦灰石を主要な脱硫剤として使用している。

流動床には下記のような特長がある。流動床の独特な設計と運行条件により、反応塔内で何度も脱硫剤が循環するので排ガスと脱硫剤を十分に接触させることができる。これにより脱硫剤の利用率が大幅に向上する。また、流動床の排煙脱硫技術は反応塔の温度制御により最適な脱硫温度が維持されるため、脱硫剤を最大限利用することができ

る。燃料に対する適用範囲が広いため、高灰分、高水分、低熱値、低灰融点という質の悪い燃料にも使用できる。脱硫率も高く90%に達する。

流動床式技術は、初期投資額、運行費ともに安価である。脱硫率も高く噴霧乾燥法の水準も高いため、近年注目を集めている。この方法は国内の旧型発電ユニットの改造に適している。

以上が石炭火力発電所で現在採用されている脱硫の主要な技術と特長である。それぞれの技術の比較表は図表92の通りである。

図表92 排煙脱硫技術比較

技術名	石灰石膏法	噴霧乾燥法	炉内カルシウム 噴霧増湿	海水吸収法	流動床式脱硫法	電子ビーム法
技術工程	簡単で主流となっている。パルピング部分は複雑	パルピング部分は複雑	比較的簡単	簡単	簡単	比較的簡単
技術指標	脱硫率>95% Ca/S=1.1	脱硫率 80% Ca/S=1.5	脱硫率 70% Ca/S=2	脱硫率 90%	脱硫率 90% Ca/S=1.2	脱硫率>90% 脱氮率 80%
適用推進展望	石炭の硫黄含有度高、中	石炭の硫黄含有度高、中、低	石炭の硫黄含有度高、中	石炭の硫黄含有度中、低 沿海地区	石炭の硫黄含有度高、中、低	石炭の硫黄含有度高、中 アンモニア源
消費電力発電容量費(%)	1.5~2	1	0.5	1~1.5	0.5	2
排煙再熱	要	不要	不要	要	不要	要
カルシウム硫黄比	1.1	1.5	2~2.5		1.2	
技術成熟度	商業科	実証	実証	商業科	実証	実証

火力発電所の排煙脱硫技術は経済状況、安全、資源節約、综合利用を総合的に考慮し、最適な方法が選択される。さらに、排出標準を満たすために以下の原則に基づき技術工程が選択される。

(一) 硫黄含有量が1%以上の石炭で、設備容量が200MW以上のユニットには排煙脱硫装置を建設し、石灰石膏法を採用しなければならない。

(二) 硫黄含有量が1%未満で石炭で、設備容量200MW未満のユニット、または寿命が10年もない旧式ユニットおよび一定の条件下にある発電所で、吸収剤と副産物の処理が確実に実施されている排煙脱硫設備には、乾式、半乾式、または他の設備投資が一過性である成熟した技術を選択することができる。

(三) 200MW及びそれ以上のユニットで採用する乾式、半乾式及び他の技術は十分な論証が得られていなければならない。また、国内外での同規模かそれ以上の容量を有する排煙脱硫設備における成功実績が必要である。

(四) 硫黄含有量が1%より小さい石炭を燃料として使用する沿岸部の発電所は、海水アルカリ度を満たす工程が必要となる。海域環境影響評価は国家関連部門の審査を経て、全ての技術を経済比較した後、海水法排煙脱硫技術の使用可否を考慮することができる。

(五) 吸収剤及び副産物の販売が確実になされているという前提で、国家関連部門の技術評定を経ており、明確な適用規模が決まっている、または国内外の同規模かそれ以上の容量を有する脱硫設備における成功実績があれば、他の脱硫技術の採用を検討することができる。

(2) 電力産業向け脱硫市場分析

電力産業における既存脱硫設備の改造と脱硫設備新設市場は巨大である。

電力産業向け脱硫設備の主な需要は既存設備の改造と新設である。2011年7月29日に環境保護部と国家品質管理総局が《火力発電所大気汚染物質排出基準》を公布し、火力発電所の大気汚染物質排出基準を大幅に引き上げた。これにより、既存脱硫設備のうち80%以上が新たな排出基準を達成するために改造が必要になると予想された。

国内経済の成長はエネルギー源である燃料の供給の上に成り立っている。《豊富な石炭、少ない石油、天然ガス欠乏》という燃料の状況により、石炭火力発電所の運行時間は長くなり、国内の主要エネルギー源ともなっている。

予測によると2015年に全国の電力消費は6.02～6.61兆kWに到達し、「十二五」期間の年平均より8.8%上昇すると見られている。「十二五」、「十三五」期間に建設された国内の石炭火力発電所の発電量は、それぞれ3億kW、2.6億kWであり、2015年、2020年までに石炭火力発電所の最大発電量はそれぞれ9.3億kW、11.6億kWとなると予測されている。「十二五」期間の火力発電所の市場投資は9,230億元に達する見込みである。石炭火力発電所の新設は同時に脱硫装置親切の需要を生み出すため、電力産業向け脱硫といった環境保護産業は引き続き発展していくと考えられる。

これ以外に《省エネ・排出削減「十二五」計画》では、既存の石炭火力発電ユニットへ脱硫装置の増設を求め、また、既に脱硫装置が設置されている施設に対しても、排出基準に対応できない場合には脱硫装置改造を実施し、2015年までに石炭火力発電所における脱硫率を95%に到達させるよう要求した。新設と改造の需要により、「十二五」期間中に中国の火力発電業向け脱硫市場の投資額は500億元以上になると予測されている。また環境保護部は、「十三五」期間における環境産業に対する投資額は毎年2万元ほど増加しており、「十三五」期間の投資総額は17兆元を超すと予測している。「十三五」期間の省エネ・環境保護分野における投資は「十二五」期間の二倍以上になるといわれている。

2.3.2 鉄鋼業向け脱硫技術の適用状況

電力産業における石炭火力発電ユニットの排気とは異なり、製鉄所の焼結機排ガスの排出量は不安定であり温度も高い。水分と酸素量の変化も大きく、煤・粉塵内に多くの粒子状物質が含まれるため摩擦力が強い。SO₂の含有量も変動が大きく、他の有毒性汚染成分も含まれるという特長がある。焼結機排ガス中のSO₂除去のためにはそれらの状況を考慮する必要があるため、火力発電所で採用されているような成熟した技術の適用は難しく、より高度な技術工程が求められている。

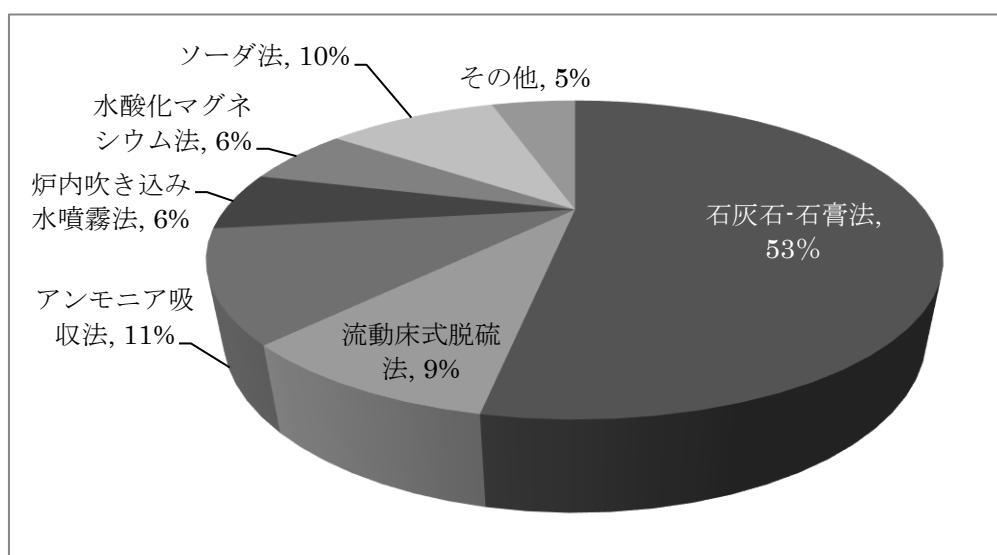
図表93 焼結機向け排煙脱硫技術

技術	吸収材	入口濃度 (mg/m ³)	出口濃度 (mg/m ³)	脱硫率 (%)	排ガス排出量 (万 m ³ /h)	初期投資 (万元)	適用実績	設備規模 (m ³)
湿式石灰石-石膏法	石灰石	1,500	70	95	70	5,800	梅鋼	180
流動床式	CaO 粉末	5,000	400	92	53	3,000	三鋼	180
アンモニア吸収法	高純度アンモニア水	810	25	97	91	9,500	柳鋼	265+100
炉内吹き込み水噴霧法	CaO 粉末	1,200	200	83	102	7,000	泰鋼	180
湿式水酸化マグネシウム法	Mg(OH) ₂ 溶液	1,000	80	2	40	—	韶鋼	105
ソーダ法	炭酸ソーダ	812	189	77	19.8	—	広鋼	35
精密干渉脱硫塔法	熟成石灰粉	1,200	100	91	111	—	唐鋼	360
活性炭吸着法	活性炭	639	32	95	144	3,300	太鋼	450
ENS 法	Ca(OH) ₂	473	90	81	196	—	宝鋼	180
イオン液体技術	有機アミン	3,600	45	98	55	9,570	攀鋼	173
有機アミン技術	有機アミン	1,300	100	92	42	9,893	萊鋼	265
NID 技術	CaO 粉末	1,500	100	93	50	5,600	武鋼	360
ROS 技術	Ca(OH) ₂	1,050	100	90	52	12,600	馬鋼	300

図表94 脱硫技術別設置面積、コスト及び投資額推計

技術	設置面積(m ²)	コスト(元)	単位面積当たりの投資額 (万元)	投資総額 (億元)
石灰石-石膏法	29,578	7.5	20.12	59.51
流動床式	8,806	6.8	17.42	15.34
アンモニア吸収法	8,100	7	28.29	22.92
炉内吹き込み水噴霧法	6,621	6	20.14	13.33
酸化マグネシウム法	3,899	4.6	14.17	5.525
ソーダ法	3,113	11	12	3.8
精密干涉脱硫塔法	1,516	6.85	17.15	2.600
活性炭吸着法	900	21	66.67	6.000
ENS 法	875	10	34	2.975
イオン液体技術	534	18	55.10	2.942
有機アミン技術	530	8.9	37.33	1.978
NID 乾式脱硫法	360	6.5	15.55	0.56
スラグ脱硫法	338	4.2	15.65	0.529
MEROS 法	300	9	42	1.26
合計	65,470	—	—	139.269

《2014～2019年中国大気汚染防止処理産業調査研究及び投資趨勢研究報告》によると、焼結機排ガスの特殊性により、現在運行している焼結機排煙脱硫装置と建設中の脱硫装置で採用されている脱硫技術の種類は非常に多いが、高効率で成熟した最適と呼べる方法は未だないのが現状である。脱硫剤及び脱硫工程で生成される副産物に基づき、市場ではこれらの脱硫技術を乾式、半乾式、湿式の3種類に分けている。既存の製鉄所焼結機向け脱硫装置の運行状況を見てみると、湿式は乾式(半乾式を含む)より高効率であると言える。湿式においては石灰石-石膏法の占める割合が最大である。



出典: 北極星省エネ環境保護ネットワーク

図表95 焼結機向け脱硫技術の市場占有状況

長期間にわたり、鉄鋼業に対する具体的な基準は規定されていなかった。特に焼結工程における排ガス排出には厳格でなく、製鉄所向け排煙脱硫の発展が遅れた要因となっている。2009年7月に《鉄鋼業焼結機排煙脱硫実施計画》が公布され、製鉄所焼結機向け脱硫市場が動き始めた。しかし、本計画ではSO₂排出濃度が具体的に定められていなかった。2011年8月に国務院は《「十二五」省エネ・排出削減総合施策法案》を公布し、鉄鋼業における全面的な焼結機排煙脱硫が実施されることとなり、焼結機への脱硫・脱硝装置の増設が進められた。2012年に《鉄鋼焼結・ペレット鉱業大気汚染物質排出基準》が公布され、主要汚染物質排出濃度の制限値が定められ、排ガス中の排出基準が大幅に引き下げられた。また、2015年1月1日より、既存焼結機ならびにペレット製造工程設備の二酸化硫黄の排出濃度の制限値は、200mg/m³となった。新たな基準の達成期限が近づくにつれ、製鉄企業に対する排出削減への圧力が増大していったため、製鉄所焼結機向け排煙脱硫市場は急速な発展を遂げた。

現在、焼結機排煙脱硫において未熟な技術、不透明な効果、脱硫装置の高額さ、脱硫副産物二次利用の複雑さなどが問題とされている。原材料価格の高騰に伴い脱硫コストも上昇しており、経済収益の不透明さが加わることで市場規模の拡大に歯止めがかかっている。2012年の焼結機の台数は1,230台であり、総面積は14.6万m²以上である。その中で重点調査対象の製鉄企業が520台を占めており、総面積は約9.6万m²である。環境保護部のデータによると、2013年の焼結機排煙脱硫装置の面積は累計8.7万m²である。このことから2014～2015年に、4.4万m²の焼結機に脱硫装置を増設する必要があることが分かる（期間内に廃棄される焼結機の面積は1.5万m²といわれている）。

焼結機へ脱硫装置を増設していない製鉄企業のSO₂排出濃度は一般的に600mg/m³以上であり、環境保護部の排出量調査の結果、既に脱硫装置を設置した製鉄企業と比較して脱硫率が50%不足していることが明らかになっている。新標準では排出制限値が200mg/m³とされているため、脱硫装置を既に運行している企業においても改善が必要となっている。必要比率は50%であり、改造が必要な焼結機の面積は4.35万m²である。焼結機1m²当たりの初期投資額と改造費は、それぞれ25万元と12万元と予測されている。2014～2015年期間での市場における焼結機排煙脱硫投資需要額は162億元である。仮に2014～2018年までの期間、焼結機面積を年間0.5万m²増やすとすると、市場投資需要額は13億元にまで増大する。これからの5年間で脱硫市場への投資は約227億元必要となり、2014～2015の投資額は188億元となる。

図表96 近年の焼結機脱硫施設操業状況

設備規模	「十五」期間		「十一五」期間		2011～2013 年	
	数量 (台)	面積 (m ²)	数量 (台)	面積 (m ²)	数量 (台)	面積 (m ²)
>300 m ²	1	400	17	6416	36	14,012
180～300 m ²	1	180	22	5482	45	10,536
90～180 m ²	2	222	71	9161	83	11,008
<90 m ²	3	105	68	4481	48	3,607
合計	7	907	178	25540	212	39,163

出典：中国脱硫・脱硝業種2013年発展概要

現在、鉄鋼業における多数の脱硫技術は火力発電所などの脱硫の粗悪な模倣に留まっている状態と言えるため、まずは鉄鋼業の生産工程そのものを分析し、焼結機排ガスの特長と結合させた政策を打ち出すことが必要である。鉄鋼業における脱硫難という現状を打破する長い道のりは始まったばかりと言える。

2.3.3 セメント産業における脱硫技術の利用状況

セメント工場のSO₂排出源は原料と燃料の2つであり、主に原料と燃料に含まれる無機硫黄と有機硫黄から生成される。原料及び燃料に含まれる硫化物の大部分はロータリーキルンとの連結部と焼成炉においてアルカリと結合をして硝酸塩となる。結合しなかった部分がSO₂としなり分解炉に入る。分解炉内は脱硫に最適な温度となっており、炉内に存在する大量のCaOが焼成炉で生成されたSO₂を吸収するのである。正常な状況下では、燃料中の硫黄がSO₂排出濃度に影響を与えることはほとんどないが、以下のような状況下では、SO₂排出濃度を上昇させる可能性がある。

- (1) 燃料の燃焼が原状で実施される。
- (2) 原料が燃えにくく、焼成炉の温度が高くなる。
- (3) 硫黄のアルカリ性が高い。

現在、セメント産業において採用されている脱硫技術には、乾式反応剤ジェット法、熱原料ジェット法、スプレードライ法、湿式脱硫法などが含まれる。

乾式反応剤ジェット法は、消石灰を予熱器に噴き入れる方法である。記録によると、消石灰に含まれるカルシウムと硫黄の比率が2.5:4の状況下において、脱硫率は50%~70%に達するとされている。外国企業の報告によると、消石灰Ca(OH)₂を予熱器への連結管及び排気管に噴き入れたところ、脱硫率は55%~65%となったという。試験的に消石灰を原料粉砕機に噴入したところ、脱硫率が最高で80%以上になったという報告もある。

熱原料ジェット法は旋風式集塵装置で分解した原料噴霧する方法である。旋風式集塵装置は旋風塔の連結管付近に取り付けられている。分解炉から排出された排ガスの一部が旋風式集塵装置で分解された後、旋風筒間の排気管に噴き入れられる。分解された熱原料にはCaOが大量に含まれている。アメリカのFuller社のDe-Sox旋風システムはこのタイプの脱硫システムである。これ以外に、イギリスのRMCセメント社も同様のものを試用している。

スプレードライ法は湿式と乾式を合わせた脱硫技術である。消石灰スラリーを反応器に噴霧することによりSO₂を除去する技術で、脱硫率は50~90%に達する。RMC公司では消石灰スラリーを増湿塔に噴霧している。増湿塔への噴霧口は消石灰スラリーと冷却水の二種類に分けられている。噴霧された液体がSO₂と化学反応を起こし、排ガス中のSO₂を除去する。この脱硫システムには2つの調整回路が存在する。一つは増湿塔から出る気体の温度を抑制し、もう一つは煙突から排出されるSO₂濃度を抑制している。消石灰スラリー注には3~10 μm程度の微細なCa(OH)₂粒子が多数存在する。SO₂は液体に溶けやすく反応もしやすいのと同時にスラリー中の水分が排ガスの熱で蒸発するため、脱硫率は90%を超える。集められた硫化物は原料粉砕機へ入れられるため、廃棄物処理の問題もない。

現在、外国のセメント工場は湿式脱硫法を採用している。Fuller社の湿法脱硫設備は集塵器の後方に取り付けられており正圧で稼働する。排ガスの進入口は吸収塔の下部にあり、噴霧口は頂部に取り付けられている。消石灰と水の比率が2:8の溶解槽から生成された消石灰スラリーが吸収塔底部の沈殿槽に入り、ポンプノズルに到達、消石灰スラリーが吸収塔へ下降する過程で排ガスと接触しSO₂が除去される。生成されたCaSO₃は沈殿槽へ入り、沈殿槽底部に送りこまれた空気によって石膏へと転化する。生成された石膏は遠心分離機によって含水率10~15%の石膏となり、その一部はセメント原料として再利用することができる。分離した水は再びに溶解槽に戻る。

脱硫技術のうち、乾反応剤ジェット法は脱硫率が高いが必要とする消石灰の量が多いため脱硫コストが高い。スプレードライ法は、増湿塔の改造を安価に実現でき、脱硫率は高く脱硫副産物の処理問題ない。しかし、消石灰スラリーを噴霧する工程において、パイプ、バルブ、ノズル、予熱器、送風機に対する付着や詰まりがひどいため、個体含有量が13%を超えるスラリーを噴霧することは難しく、点検・メンテナンスにも時間がかかる。湿式脱硫法は脱硫率が80~95%と高く、スラリーの個体含有量が30%に達しても、付着や詰まりが発生しにくい。しかし、設備投資、運行費用、技術要求が高いため、国内に流通するのは難しい。これ以外に脱硫工程で生成される石膏には大量の不純物が含まれおり、再利用が難しく最終的に廃棄処分せざるを得ない。比較してみると、熱原料

ジェット法はDe-Sox旋風システムのように初期投資額を節約できるため、国内のセメント産業にも適していると言えるだろう。

2.3.4 有色金属製錬業における脱硫技術の利用状況

有色金属は、鉄、マンガン、クロム以外の全ての金属の総称である。有色金属の多くは硫化鉱物で硫黄を含有しており、有色金属の原料の多くは硫化物の形態で存在している。有色金属製錬業では、一般的に乾式冶金と湿式冶金という二種類の製錬工程が存在するが、現在は乾式冶金が多用されている。乾式冶金では硫化鉱物を高温焼成することで硫黄と金属を分離させ、硫黄をSO₂に転換して製錬排ガスとともに排出する。国内の主要金属、例えば銅、鉛、亜鉛、ニッケル、コバルト、貴金属、金などは、乾式冶金工程において大量のSO₂を含む排ガスを発生させるため、大気汚染の主要な汚染源の一つとなっている。有色金属製錬業の発展から考えると、今後も乾式冶金が有色金属製錬において主流の手法となることは明らかであり、有色金属製錬業における排ガス処理、特に低濃度SO₂の処理が引き続き課題となると言える。

SO₂含有量が3%より低い排ガスに対しては、外国産排煙脱硫技術か中小ボイラーの簡易集塵脱硫方式を採用して排煙脱硫を実施している。具体的には乾式と湿式という二種類が挙げられる。

(1) 乾式脱硫装置は簡略な装置である。反応工程で腐食は発生しにくく、廃水、廃棄物も生じないため、見通しの明るい技術である。しかし、まだ成熟しているとは言えず、脱硫効果も高くない。また、広い面積に適用することができないため、現段階では主に活性炭吸着法、静電気型脱硫法、スラグ脱硫法で使用されている。活性炭吸着法は活性炭の特性を利用し触媒として利用する方法である。静電気型脱硫法では帯電した石灰粉末を排ガスに噴射し、SO₂を除去する方法である。スラグ法は電気化学酸化反応によって脱硫する方法である。

(2) 湿式脱硫技術は反応が速くSO₂除去率も高い方法である。工業で実際に適用されている主要な方法として石灰石-石膏法、酸化亜鉛吸着法、花崗岩水膜集塵脱硫技術などがあり、排煙脱硫市場の80%以上を占めている。石灰石-石膏法はアルカリ成分である石灰のスラリーを噴霧することでSO₂を除去する方法で、酸化亜鉛吸着法は酸化亜鉛溶液の化学的性質を利用している。花崗岩水膜集塵脱硫技術は硫黄含有量が少ない排ガスに有効な方法である。湿式脱硫技術には設備の腐食が激しい、二次汚染がある、維持・運行費用が高いことなどの欠点がある。

2.4 脱硫・脱硝市場の発展と予測

汚染物質排出に対する国家政策が強化されることにより、脱硫・脱硝技術も強化されてきた。特に《新環境保護法》、《大気十条》、《新大気汚染防止法》は脱硫・脱硝事業者に対して大きな影響を与える政策であり、産業の発展にも貢献してきた。

今後の柱となる産業の一つとして、中国環境保護設備の需要は年平均20%以上の増加率を維持しており、2016年には7,000億元に到達する見込みである。そのため市場の見通しは非常に明るい。このように脱硫・脱硝設備改造市場の発展には「広大な」余地がある。

国内の脱硫市場は以下の3種類に分けられる。一つ目は大手電力企業のグループ企業である。火力発電業全体として設備の導入、改造がまだ進んでいないため、市場規模は非常に大きいと言える。二つ目は脱硫設備専門の企業である。三つ目は火力発電所向け脱硫設備を製造している発電所関連設備業者である。

排煙脱硫・脱硝技術発展の歩みは電力系企業との関連、または脱硝技術の運行経験の有無と密接に関係している。「十二五」における電力企業向け排煙脱硝に関する政策は新たな市場を創出、発展させてきたが、まず電力系企業の関連企業、次いで脱硝技術の運行経験がある企業を優先的に支援した。現在の政策的背景を見ても、国家が施行した新たな排出基準により、今後3年の間に脱硫・脱硝産業は大幅に成長することが見込まれ、関連企業にも大きな利益をもたらすと考えられている。大幅な発展が見込まれるがために、今後、大企業が新規

参入することも考えられる。しかし、新規参入企業にとって核心的な技術を有している既存企業に対抗し得るだけの技術を備えることは困難であり、各社の経営に打撃を与えるほどの影響力はないと言える。

火力発電所向け排煙脱硫・脱硝産業における競争は激しさを増している。その中で市場集中度の高さと市場競争が公平ではないという二つの目立った特長がある。火力発電所からの発注は同一グループ企業である脱硫・脱硝企業に偏る傾向にある。電力企業グループに属していない脱硫企業からすると、市場開拓における強力な推進力が他企業との競争における唯一の強みになると言えるだろう。

脱硫・脱硝設備建設のピークは既に過ぎているため、今後市場はフランチャイズ経営に移っていくと考えられている。火力発電向け脱硫・脱硝設備の運営には個人とフランチャイズの2種類が存在する。2007年7月4日に国家発展改革委員会と環境保護部が共同で《火力発電所向け排煙脱硫設備のフランチャイズ経営に関する試験作業通知》を公布したため、五大電力企業は火力発電所向け排煙脱硫設備運用のフランチャイズ経営を試験的に展開した。結果が良好だったため、フランチャイズ経営は政府も推奨するところとなった。それにより、フランチャイズ経営の規模は拡大しており、国家と地方政府の環境保護管理の強化にもつながっている。政府や各発電企業は脱硫設備運用のフランチャイズ経営によって環境保護設備の専門化を実現し、設備の運用水準を向上させることが大気汚染物質排出を削減する重要な手段となると考えている。環境保護部は検討を重ね、脱硫・脱硝フランチャイズ経営と脱硫・脱硝CEMS統一委託管理方法を発表している。火力発電企業には脱硫・脱硝フランチャイズ経営産業プラットフォームが設立されており、さらに、既に多くの発電企業と脱硫・脱硝専門企業の間で既存・新規双方の設備においてフランチャイズ経営協定が結ばれている。排煙脱硫・脱硝のフランチャイズ経営は専門的管理を基盤とし、既に国内の大部分の地域において試験的に展開されており、将来的に中国全土で実施されると考えられている。

中国企業連合会は、「2015年(第二期)中国排煙脱硫・脱硝・集塵項目入札購入評価推薦活動」にて、入札・購入の実績に基づき排煙脱硫・脱硝・集塵に対する総合的な商業評価を実施、入札企業の資本金、純利益、総資産、経営年数、財務状況、専門家人員、管理体制、特許技術、落札状況、業績、事業主評価、社会評価など12項目の評価を提出した。

(1)2015 年 中国で排煙脱硫を落札できる企業トップ 20

1北京国電龍源環境保護工程有限公司、2中電投遠達環保(集团)股份有限公司、3福建龍淨環保股份有限公司、4大唐科技産業集団有限公司、5 同法環境股份有限公司、6浙江浙大網新機電工程有限公司、7浙江菲達環保科技股份有限公司、8北京博奇電力科技有限公司、9武漢凱迪電力股份有限公司、10北京北科欧遠科技有限公司、11武漢東湖高新集团股份有限公司、12南京科遠自動化集团股份有限公司、13天壕節能科術股份有限公司、14山東山大華特別科技股份有限公司、15安徽盛遠環保(集团)股份有限公司、16北京三集環保新材料股份有限公司、17天津曉沃環保工程股份会社、18北京濟元紫能能源科技有限責任公司、19許繼連華國際環境工程有限責任公司、20北京正実同創環境工程科技有限公司。

(2)2015 年 中国で排煙脱硫を落札できる 20 強

1ハルビン鍋炉廠有限責任公司、2北京国電龍源環保工程有限公司、3中電投遠到環保工程有限公司、4福建龍淨環保股份有限公司、5大唐科技産業集団有限公司、6同方環境股份有限公司、7浙江菲達環保科技股份有限公司、8中国華電工程(集团)有限公司、9北京北科欧遠科技有限公司、10北京濟元紫能能源科技有限責任公司、11北京博奇電力科技有限公司、12中鋼集団天澄環保股份有限公司、13科林環保裝備股份有限公司、14北京国電龍高科学環境工程技術有限公司、15山東山大華特別科技股份有限公司、16徐州燃料控科技有限公司、17許繼連華國際環境工程有限責任公司、18凱天環保科技股份有限公司、19北京正実同創環境工程科技有限公司、20山東聖傑能源環境工程有限公司。

(3)2015 年 中国冶金産業排ガス浄化優秀企業

1天津天鋼連合特別鋼有限公司、2天潔集团有限公司、3無錫華光新動力環保科技股份有限公司、4科林環保裝備股份有限公司、5北京中冶隆生環保科技發展有限公司

(4)2015 年 中国ガラス産業排ガス浄化優秀企業

1山東天榮環保科技有限公司、2江蘇科行學環保科技有限公司、3華北中科玻璃鋼有限公司、4湖南麓南脫硫脫硝科技有限公司、5北京濟元紫能能源科技有限責任公司

(5)2015 年 中国鉄鋼業排ガス浄化優秀企業

1科林環境裝備股份有限公司、2北京正実同創環境工程科技有限公司、3天潔集团有限公司、4山東天榮環保科技有限公司、5中鋼集團天澄環保科技股份有限公司

(6)2015 年 中国ボイラー産業排ガス浄化優秀企業

1ハルビン鍋炉廠工場有限責任会社、2上海鍋炉廠有限公司、3煙台三烽燃氣節能科技有限公司、4黒竜江省牡丹江林業鍋炉廠、5上海申川環保科技有限公司

(7)2015 年 中国セメント(建材)産業排ガス浄化優秀企業

1南京西普水泥工程集团有限公司、2成都建築材料工業設計研究院有限公司、3北京濟元紫能能源科技有限責任公司、4江蘇科行環保科技有限公司、5西南水泥有限公司

(8)2015 年 中国火力発電業排ガス浄化優秀企業

1浙江菲達環保科技股份有限公司、2中電投遠達環保(集團)股份有限公司、3中国華電工程(集團)有限公司、4大唐科技産業集团有限公司、5武漢凱迪電力股份有限公司、6北京国電龍源環保工程有限公司、7浙江浙大網新機電工程有限公司、8北京博奇電力科學技術有限公司、9許繼連華國際環境工程有限責任会社、10北京国電龍高科環境工程技術有限公司

(9)2015 年 排ガス浄化 BOT 項目有朱投資人

1中電投遠達環保(集團)股份有限公司、2浙江浙大網新機電工程有限公司、3北京北科歐遠科技有限公司、4山東天榮環保科技有限公司

(10)2015 年 排ガス浄化 EPC 項目優秀総請負人

1ハルビン鍋炉廠有限責任公司、2北京濟元紫能能源科技有限責任公司、3北京国電龍高科環境工程技術有限公司、4湖南麓南脫硫脫硝科技有限公司

2.4.1 中国脱硫主要企業及び他の代表工程の紹介

(1)国電科環

国電科技環保集团有限公司(以下科環集團と省略)は2004年11月26日に設立された。主要株主は中国国電集团公司であり、中国国電集團は高度科學技術産業に属する企業として組織された団体である。会社の株主は中国国電集團会社、国電電力發展股份有限公司、龍源電力集团公司である。

脱硫工程契約容量は累計1億kW以上であり、そのうちフランチャイズ経営契約は2,200万kWを超えている。2010年12月31日及び2011年6月30日に累計最大出力を記録した中国最大のEPCサービス事業者であり、フランチャイズ経営企業である。電力産業において広範に使用、推奨されている湿式脱硫技術、海水法排煙脱硫技術、

石灰石-石膏法が評価され、2005年度中国電力科学技術二等賞を獲得した。また、アンモニア吸着法、有機アミン脱硫技術、副産物の化学肥料化などの技術も有している。

同社は北京国電龍源環保工程有限公司（以下龍源環保と省略）の全額出資子会社であり、環境保護分野では大型石炭火力発電所ボイラーの脱硫、脱硝の筆頭企業である。現在、江蘇徳克、江蘇催化剤、江蘇膜技術の3社の製品を製造しており、南京龍源、北京龍源という2つの総合環境企業を有している。また、大同、蚌埠、榆次、庄河、石嘴山、羊州、宿移、長治、霍州などで10数件のフランチャイズ経営がなされており、ゴミ処理を含む環境企業ならびに瀋陽水サービス会社として専門登録されている。

同社は1998年にいち早くドイツのFBEから先進的技術である石灰石-石膏法を導入し、FBEと共同で北京一熱、浙江半山発電所、重慶発電所の3カ所に湿式排煙脱硫装置を導入を成功させ、同技術のモデルケースとなった。200MWならびに300MWの脱硫装置が設置されることに伴い、国家科学技術部は「863」計画、「大型石炭火力発電所ボイラー排煙脱硫技術及び設備工程化」を公布した。多項目に及ぶ研究成果を挙げ、龍源湿式排煙脱硫集成技術が完成した。この技術の知的財産権は同社に帰属する。同社保有の技術のうち14項目が国家特許を取得しており、その全てが国内基準あるいは世界基準を超えている。2014年末時点の脱硫・脱硝運行業績は、それぞれ99,930MW、94,102.5MWとなっている。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法、海水法、煤気流動床式
- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）、無選択触媒還元法（SNCR）

(2) 北京博奇

博奇は2種類の先進的な石灰石湿式脱硫技術を有している。川崎スプレー塔式脱硫技術と千代田CT-121JBR吸収塔技術である。同社は日本の川崎重工業株式会社と千代田化工建設株式会社との間で技術移転契約を締結しており、上記の2種類の技術についても永久使用権を保有している。契約後の数年間、同社はこの2種類の技術に対して国内での専用使用権を得ていた。同時に川崎重工と千代田化工建設の脱硫技術研究開発における最新情報と成果を共有しており、3社の脱硫技術の発展は足並みを揃えたものとなった。これにより、最適なタイミングで世界でも先進的と言える脱硫技術を国内発電業に導入することができている。

同社が請け負い建設した広東台山発電所1号機の脱硫装置は2004年11月18日に正式に運転を開始した。同発電所には、国内初となる600MWの石灰石-石膏法式排煙脱硫装置が設置されている。2号機の脱硫装置は2005年3月31日に運転が開始した。2005年8月には広東台山発電所1号機、2号機の脱硫装置が国内で初めて国家権威機構による性能審査試験を通過した。これにより同社の技術は工程設計、建設品質、設備、システム性能だけでなく、管理能力についても強力な信頼を得たと言える。

同社が請け負い建設した河北定洲発電所1号機、2号機の脱硫装置は、それぞれ2004年12月27日と2005年2月3日に運転が開始された。同発電所には国内初となる600MWのスプレー塔式脱硫装置が導入されている。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法、川崎スプレー塔技術、千代田CT-121JBR吸収塔技術
- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）

(3) 凱迪電力

凱迪電力は世界最大となる30万機以上の乾式排煙脱硫技術と60万機以上の湿式排煙脱硫技術が搭載された脱硫設備を保有しており、市場占有率は50%以上を占めている。国家规定に基づき、新設火力発電所への排煙脱硫装置設置が義務化されたこともあり脱硫産業の発展が継続しているため、今後10年間は毎年約70億元の市場需要があると見込まれている。同社は国内の火力発電所の80%の排煙脱硫項目に入札しており、その落札率は70%に達している。統計によると、今まで34項目の脱硫工程を完了させており、契約金額は総額56億元に到達しているという。会社は武漢電力環保の株式を20%保有しており、CCMPの戦略協力に出資を行い収益を得ている。また、国際投資と管理分野においても経験がある。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法、乾式脱硫法、増湿石灰循環法、半乾式旋回噴霧法
- ・脱硝過程：選択接触還元法（SCR）

(4) 龍淨環保

福建の龍淨環保有限公司は環境産業界のリーダー的企業であり、大気環境保護設備を研究製造している世界最大の企業である。大気汚染抑制分野において環境保護製品の研究、開発、設計、製造、設置、調整、運営に専門的に携わっている。同社は他社に先立ちアメリカ、ドイツ、オーストラリアなどの最先端の環境保護技術を導入、その後、集塵、脱硫、脱硝、環境保護物資輸送、電力制御設備の五大製品の開発と製造に力を注いできた。これにより、工業排ガス汚染物質管理を一元化したプランとBOT形式による経営の提供が可能となった。同社の製品は電力、冶金、建材、軽工業、化学工業という幅広い範囲で採用されており、生産販売量は国内の同産業間で8年連続1位を記録している。

同社は、ドイツLLBの乾式、湿式脱硫技術を導入しており、その技術水準は国内でもトップクラスである。製品は国内の関連メーカーから厚い信頼を得ており、絶え間ない発注を受けている。また、同社の集塵においても非常に高い技術を有しており、今後、環境保護分野において巨額の収益を得ていく可能性がある。

同社の乾式脱硫装置は国内外でトップクラスにある。ユニットは66万KWを突破し、冶金業への乾式脱硫装置の導入にも成功した。同社の脱硫事業は急速に成長していると言える。また、同社は科学技術部より国内初となる「国際科学技術協力基地」に認定され、「乾式脱硫」「バグフィルター式集塵」の成果において国家環境保護局2007年科学技術進歩第2等賞を獲得している。そのうち「大型石炭火力発電所向け乾式脱硫技術開発」は国家863重大科学研究項目計画に組み込まれ、政府より資金援助を受けている。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法、流動床式乾式排煙脱硫
- ・脱硝技術：SCR/SNCR混合法（デンマークHaldor Topsoe A/S）

(5) 九龍電力

投資股份遠達集団は排煙脱硫技術及び装置の産業化を主要な業務としている。排煙脱硫技術工程設計、技術導入、設備開発と製造、設置、メンテナンス、人材育成を一体化した企業であり、日本の三菱重工のFGD技術を模倣し全ての脱硫技術及び装置の国産化を三期に分けて段階的に実現させてきた。国産化によって300MWの火力発電所向け脱硫装置の価格を輸入品の3～4億元から1.4億元まで引き下げることに成功している。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法（液注塔－日本三菱重工）、（噴霧機-AEE）、YD-BSP（独自開発）
- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）（イタリアTKC）

(6) 菲達環保

浙江菲達環保科技股份有限公司は国内大気汚染管理業者の筆頭企業である。同社は国連の援助により電気集塵装置研究所及びバグフィルター式集塵装置研究所を設立している。また、排煙脱硫・脱硝研究所、ゴミ焼却排ガス処理研究所、空気コンベア研究所、電気制御研究所ならびに集塵、脱硫、脱硝という3大製品の試験センターを設立し、長江の南北に2つの基地と8つの持株子会社を有している。

同社は中国の環境保護設備科学技術研究開発企業であり、環境産業において国家重大技術装備を国産化している唯一の企業でもある。国内で最も早く大気汚染防止処理産業に参入した企業の一つでもあり、その発電所向け設備と電気集塵器は市場の25%を占めている。その中の300MWの電気集塵器は市場の33.65%を占めており、600MW、1000MWなど大型の電気集塵器は市場の75%を占めている。2006年には同社が生産した菲達ブランドの電気集塵器は「中国ブランド製品」の称号を得ている。同社は集塵、脱臭、脱硫という三大製品を全て提供できる国内で唯一の企業であり、総請負も可能である。持株の66.44%は持株子会社である中電投遠環保有限公司が保有している。

- ・脱硫技術：増湿石灰循環法、石灰石-石膏法
- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）、無触媒選択還元法（SNCR）

(7) 北京国電清新環境技術股份有限公司

国電清新は、大型石炭火力発電所向け脱硫・脱硝設備の投資、研究開発、設計、建設、運営を主要な事業とした業績優秀な高度科学技術電力産業向け環境保護総合サービス企業である。国電清新は独自研究開発による湿式脱硫技術において知的財産権を保有している。その技術は「旋回整合脱硫装置」として国家特許を取得している。

- ・脱硫技術：旋回整合湿式脱硫（独自研究開発）、活性炭吸着法（ドイツWKV）、活性炭乾式排煙集成浄化技術（脱硫・脱硝一体化CSCR技術）

- ・脱硝技術：SCR/SNCR混合法（主流製品ではない）

(8) 萊鋼股份

萊鋼股份は炭化したアンモニアを含んだ廃水（またはアンモニア水）を利用し、ボイラー（75トン/h）の排ガスに含まれる二酸化硫黄を脱硫する技術を有している。この技術より、同社ボイラーの排ガスは二酸化硫黄のゼロ排出を実現し、二酸化硫黄による汚染制御を実現していくにあたってのモデルケースとなっている。二酸化硫黄の排出量は毎年1,300トン減少しており、SO₂除去に必要な炭化したアンモニアを含む廃水は4.5万m³に及ぶ。煤・粉塵と脱硫副産物はボイラーに戻り焼却処理されるので、二次汚染を避けることができる。

営業利益は77.38万元/年を超えている。この技術は国内で開発されたものであり、国際先端基準に達している。

(9) 浙江浙大網新機電工程有限公司

主要な業務は発電所、排煙脱硫、脱硝システムEPC工程の総請負である。

- ・脱硫技術：石灰石-石膏法（WFGD）/乾式（SDA）

- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）

(10) 大唐科技産業有限公司（元中国大唐集团科技工程有限公司）

- ・脱硫技術：石灰-石膏（オーストリア）

- ・脱硝技術：選択接触還元法（SCR）

(11) 中環中国工程有限公司

元は江蘇蘇原環境工程股份有限公司と呼ばれており、2003年1月20日に正式に事業者登録された。資本金は5,000万元である。主要な業務は大気汚染抑制、水処理、クリーンエネルギーなどの分野における研究開発、情報提供、工程設計、工程総請負、プロジェクト運営などである。電力工程、環境工程設計から総請負までの甲級、化学工学工程設計から総請負までの乙級、環境保護施設運営の甲級を取得している。コンサルティングと対外工程総請負などにも定評がある。

- ・脱硫技術：湿式：石灰石-石膏法、アンモニア法

- ・脱硝技術：SCR/SNCR混合法

- ・その他：排煙脱水銀

(12) 湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司

2001年に設立され、業務範囲は脱硫、脱硝、集塵、汚水処理及び他の環境汚染防止処理設備設計、製造、設置などに及ぶ。また、環境保護システム工程の設計、設置、運営も行っている。

- ・脱硫技術：湿式：石灰石-石膏法、二重アンモニア法、半乾式：流動床式

- ・脱硝技術：SCR/SNCR混合法

2.4.2 中国脱硫市場分布状況

脱硫市場における競争は激しく、市場集中度も高い。排煙脱硫市場は急激に拡大しており、2003年以来、脱硫工程請負業者の数は増加し続けている。現在では50社を超えており、そのうち民間企業が90%以上を占めている。その中で大規模かつブランド効果を有するメーカーが約20社ある。メーカーの数が多く競争が激化したため、近年、脱硫設備の単価は下降の一途をたどっている。2000年の800～1,300元/kWから、現在は80～100元/kWにまで落ち込んでいる。2009年末までの累計契約容量20位以内の脱硫企業の脱硫工程契約総容量は5.33億kWであり、全国の脱硫工程契約総容量の90%を占めている。累計運転容量20位以内の脱硫装置の容量は3.94億kWであり、全国の総容量の83.3%を占めている。2009年の運転容量20位以内の脱硫企業の運転容量は0.88億kWであり、全国の総容量の91%を占めている。

図表97 市場占有率とその親会社・団体

会社名称	市場占有率	親会社・団体
国電科環	16.24%	中国国電集団
北京博奇	9.93%	中国神華
凱迪電力	8.59%	陽関凱迪新能源団体
龍淨環保	8.44%	龍岩市国資委
九龍電力	8.15%	中国電力投資集団
衆合機電	7.26%	浙大網新
華電工程	5.69%	中国華電集団
大唐科技	3.33%	中国大唐集団
国電清新	2.41%	北京世紀地和控股
永清環保	1.46%	湖南永清投資集団
菲達環保	1.31%	菲達集団

出典：大気汚染管理業種研究

上の表から分かるように、市場占有率においては国電科環が表中の企業の中で絶対的な優位性を保っており、占有率は16.24%である。2位の北京博奇の占有率は9.93%である。凱迪電力傘下の凱迪電力環保、龍淨環保、九龍電力傘下の中電投遠達環保工程、衆合機電傘下の浙江浙大網新機電と華電工程がその後に続き、それぞれ占有率は8.59%、8.44%、7.26%、5.69%である。他の上場企業、国電清新、永清環保、菲達環保、粵首環保の市場占有率はそれぞれ2.41%、1.46%、1.31%、0.31%である。全体的に見ると、脱硫市場は少数の企業による独占状態であると言える。

脱硫産業には一定の技術的な壁が存在する。排煙脱硫装置を例に挙げると、火力発電所における非常に重要な補助システムであるが、一種のオプションであるため具体的な工場の地域、排ガス排出状況、石炭、水などに関係する要因などにに基づき複雑に設計されているため、定型化は難しい。また、装置一式で設計するため脱硫に関する技術だけでなく集塵、自動制御、防腐・防摩など多岐にわたる技術が必要となるため、技術色の濃い工程となってしまう。

2014年に新設された火力発電所向け排煙脱硫装置の容量は約0.36kWである。2014年末までに全国で運行されている火力発電所向け排煙脱硫装置の容量は7.6億kWであり、全国の火力発電ユニットの83.0%を占めており、全国の石炭火力発電ユニットの92.1%を占めている。

2014年度に火力発電所環境産業登録している会社の中で、2014年に新設され運転を開始した排煙脱硫装置の容量については表91、2014年末までに運行中の排煙脱硫装置の累計容量は表92をそれぞれ参照のこと。

図表98 2014年に新設され運転を開始した排煙脱硫装置の容量
2014年に新設され運転を開始した排煙脱硫装置の容量ランキングに基づく

順位	企業名	2014 年の運転容量 (MW)	採用された脱硫方法及び割合 (%)
1	浙江浙大網新機電工程有限公司	6,660	石灰石-石膏法 100
2	山東三融環保工程有限公司	4,020	石灰石-石膏法 100
3	江蘇新世紀江南環保股份有限公司	3,855	アンモニア吸収法 100
4	北京博奇電力科技有限公司	3,790	石灰石-石膏法 100
5	中国華電工程(集团)有限公司	2,230	石灰石-石膏法 100
6	浙江菲达環保科技股份有限公司	2,120	石灰石-石膏法 92.45 半乾式 7.55
7	浙江天地環保工程有限公司	2,060	石灰石-石膏法 100
8	中電投遠達環保工程有限公司	1,450	石灰石-石膏法 100
9	福建龍净環保股份有限公司	1,250	石灰石-石膏法 52 流動床式半乾式 48
10	浙江藍天求是環保股份有限公司	1,000	石灰石-石膏法 100
11	大唐科技産業集团有限公司	660	石灰石-石膏法 100
12	江蘇科行環保科技有限公司	605	石灰石-石膏法/90.08 半干式 8.26 干式 1.66
13	北京国能中電節能環保技術有限責任公司	430	石灰石-石膏法 100
14	湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司	285	石灰石-石膏法 100
15	浙江德創環保科技股份有限公司	135	石灰石-石膏法 100
16	永清環保股份有限公司	100	石灰石-石膏法 100
17	中鋼集团天澄環保科技股份有限公司	15	石灰石-石膏法 100

出典:中国電力企業連合会

図表99 2014年末までに運行中の排煙脱硫装置の累計容量
2014年末までに運行中の排煙脱硫装置の累計容量ランキングに基づく

順位	脱硫企业名称	2014 年末の累計操業容量(MW)	採用脱硫方法及び比率(%)
1	北京国電龍源環保工程有限公司	99930	石灰石-石膏法 88.32 海水法 10.69 有機アミン法 0.60 アンモニア吸収法 0.27 煤気流動床式 0.12
2	北京博奇電力科技有限公司	56236	石灰石-石膏法 100
3	福建龍淨環保股份有限公司	52034	石灰石-石膏法 81.18 煤気流動床式 18.82
4	中電投達環保工程有限公司	47838	石灰石-石膏法 97.70 煤気流動床式 0.96 乾式 1.34
5	浙江浙大网新机电工程有限公司	47005	石灰石-石膏法 100
6	武漢凱迪電力環保有限公司	43970	石灰石-石膏法 90.36 アンモニア吸収法 0.94 半乾式 0.94 煤気流動床式 7.76
7	中国華電工程(集团)有限公司	38,382	石灰石-石膏法 100
8	山東三融環保工程有限公司	31,470	石灰石-石膏法 97.00 煤気流動床式 3.00
9	浙江天地環保工程有限公司	27,070	石灰石-石膏法 99.40 海水法/0.60
10	同方環境股份有限公司	26,512	石灰石-石膏法 100
11	大唐科技産業集团有限公司	17,720	石灰石-石膏法 100
12	北京清新環境技術股份有限公司 (元北京国電清新環保技術股份有限公司)	13,330	石灰石-石膏法 100
13	浙江菲遠達環保科技股份有限公司	11,618	石灰石-石膏法 75.43 半干法/24.57 煤気流動床式 0.44
14	浙江藍天求是環保股份有限公司	8,905	石灰石-石膏法 87.42 煤気流動床式 12.58
15	永清環保股份有限公司	7,585	石灰石-石膏法 100
16	江蘇新世紀江南環保股份有限公司	6,631	氨法/100
17	広州市天賜三和環保工程有限公司	5,228	石灰石-石膏法 47.93 双碱法/26.40 噴霧干燥法/22.36 氧化マグネシウム法/3.31
18	湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司	2,251	石灰石-石膏法 94.31 双碱法/5.69
19	中鋼集团天澄環保科技股份有限公司	1,285	石灰石-石膏法 100
20	江蘇新中環保股份有限公司	1,012	石灰石-石膏法 76.29 煤気流動床式 12.25 氧化マグネシウム法/11.46
21	江蘇科行環保科技有限公司	605	石灰石-石膏法 90.08 煤気流動床式 9.92
22	浙江德創環保科技股份有限公司	135	石灰石-石膏法 100

出典:中国電力企業連合会

表91でわかるように、2014年末時点で、科学環境団体に属する北京国電龍源環境保護工程股份有限公司は、累計操業脱硫ユニット9,993万kwで国内最大の環境会社である。操業脱硫最大出力は既に「ランキングリスト」上位に存在している。龍淨環境保護、遠達環境保護、武漢凱迪電力環境保護股份有限公司（以下「凱迪環境保護」）の操業脱硫最大出力はそれぞれ5203.4万kw、4783.8万kw、4397万kwで6位以内に並んでいる。現在、多くの環境保護会社が石灰石-石膏湿式脱硫を主に採用しており、部分的に他の技術と併せ採用する場合もある。

2014年に新設操業した火力発電所排煙脱硫ユニットの容量は約0.36億kwである。2014年末までに、国内で操業した火力発電所排煙脱硫ユニットの容量は7.6億kwであり、全国の83.0%を占めており、さらに石炭燃焼発電ユニット容量の92.1%を占めている。現在、大部分の環境保護会社が石灰石-石膏湿式脱硫技術を主に採用し、部分的に他の技術と併せ採用している。例えば、清新環境と永清環境保護は石灰石-石膏法だけを採用している。一方、国電龍源は脱硫項目として石灰石-石膏法が88.32%を占めており、海水法は10.69%、有機アミン法0.60%、アンモニア法0.27%、排煙循環流化床が0.12%となっている。

2.4.3 未来技術の需要と市場予測

「十三五」期において、電力業界は発電所脱硫を新設する一方で、現有の発電所における脱硫設備の改造はピークを過ぎたため、非火力発電分野も徐々に脱硫重点先とみなされ、石炭化学工業、セメント、有色金属精錬、製紙などの業界では排煙脱硫も徐々に増加してきた。鋼鉄、セメント、有色冶金などの工業業界は大気汚染物質の主要な排出源となり、今や、全国の工業ボイラー数は40万台を超えている。汚染物質排出量は火力発電業界ほどではないものの、火力発電排煙管理とみなされている。非電力業種に対する政策、基準、機構などは全て不十分であり、管理技術、管理経験も成熟していない。処理率も著しく低い。そのため、大気汚染防止処理力が徐々に高まっている趨勢から考えると、巨大なビジネスチャンスが眠っているといえる。製鉄業界を例に挙げると、新環境保護法が施行された後の環境保護設備への投資需要は数百億元を超えており、長期運行費用は更にかかると考えられる。製鉄、セメント、有色冶金業界や各種工業の石炭燃焼ボイラー排煙汚染管理の需要は将来徐々に拡大すると予想できるため、排煙汚染管理業界には利益を生み出す新しい力があるといえる。

(1) 電力脱硫市場: 新規には限界があり、改造項目が多数ある。

日に日にスモッグ対策が強化されていく中、政府は石炭クリーン利用に本腰を入れ、明確な計画を打ち出した。2015年12月2日、国務院常務委員会会議が招集され、2020年より前に全面的に石炭燃焼発電所低排出と省エネルギー改造を実施し、発電所の石炭消費と汚染の排出を大幅に削減するという意見が提出された。さらに、中央地方では優待信用貸付融資を実施し、財政専門項目資金を省エネ減排効果が高い省に充てていくということも提出された。多項目研究により、石炭による汚染と工業排出がスモッグの主要な元凶となっていることが分かってきた。そのため中国ではエネルギー消費の結合において、一次エネルギーを石炭とし、電力生産は火力発電を主要なものとし長期的に存在させる考えを持っている。中国は経済成長と同時に減排の約束もしているため、石炭のクリーン化利用が問題解決の重要なカギとなる。

仮に集塵改造に50万/kw、脱硫改造に120万/kw、「低窒素燃焼+SCR」脱硝改造に100万/kw単位の投資で計算すると、「2020年までに1.5億kwのユニット改造を完成させる」必要があり、集塵75億元、脱硫180億元、脱硝150億元で合計405億元の改造市場となる。国務院常務委員会会議では2020年より前に石炭燃焼ユニットに対する全面的な超低排出省エネ改造を実施していく意見を提出している。言い換えれば、改造市場規模を大幅に拡大していくという意味である。

2016年石炭燃焼発電低排出改造市場はピークを迎えた。中国石炭燃焼発電所最大出力は「十三五」の期間に10～11億kwに到達し、遅れている石炭燃焼ユニットは操業停止になり、近年は新しいユニットが設立されている。改造市場の規模は1000億元を超えている。

2014年以前に国内火力発電脱硫改造は基本的に完成しているため、2014年以降の脱硫項目は超洗浄排出脱硫が改造項目として主要なものに挙げられている。脱硫市場には一定の投資機会が存在し、この投資機会は

脱硫設備を基礎としており、将来の交換や改造が含まれている。既に操業している脱硫システム設計と施行は不備があるため、石炭の含有硫黄量は絶えず増加している。このため国家の減排標準は更に高くなり、脱硫施設の改造需要は日々高まっているといえる。改造市場は利益を生み出す新しい脱硫業種の力となっている。

排煙脱硫分野では、知的財産権を有する大型火力発電ユニット脱硫工程技術が不足しているため、部分的に輸入品に頼っている。国産化が今後の中国排煙脱硫の発展方向である。

今後の汚染物質の制御及び検測技術の発展。

1) 超低排出の火力発電所を実現させ、設備を拡大する(例えば脱硫塔や噴霧層の増加)。新たな設備(湿式電気集塵器の採用)を増加する方法がいくつも存在するため、開発費用に当てられる費用が少ない。2) CEMS観測データが正しい低排出濃度を反映しているかどうか科学論証が必要となっている。3) 「超標準」排出が新常态となっており、短時間の排出でも頻繁とみなされる。企業が超標準排出を何度も超えてしまう。近年では政府が第三者に環境観測を任せるように勧めているため、地方では環境観測サービス試験所を購入し、政府による監督管理を行うことにより不足を補っている。

(2) 鋼鉄脱硫市場の構成分析

鋼鉄終結脱硫市場は現在初步の発展期にあるといえる。競争構成から見ると、群雄割拠の初步的発展段階である。いくつかの業界は早い段階から分布し、技術標準が高い企業が顕著な業績をあげているが、当該市場は初步の発展期に入ったばかりのため、際立った優位性を持つ筆頭企業はまだ形成されていない。

鋼鉄脱硫市場の規模は火力発電脱硫市場の約1/10で市場規模は小さい。大型国有企業の参入は制限されているため、民間企業には大きな発展余地がある。しかし、いくつかの大きな電力団体に属する脱硫会社が民間企業に対して一定の競争圧力をかけている。

現在、いくつかの電力団体の傘下にある脱硫会社以外の鋼鉄焼結脱硫分野で活躍している企業は2種類に分けられる。一つは中冶金システム工程会社であり、主なものに武漢都市環境保護工程技術股份有限公司、中冶北方方院、山東冶金設計院股份有限公司、宝鋼設計院などがある。もう一つは長期的に鋼鉄業界の環境保護業務に携わっている会社である。例えば、大連緑諾環境工程科学技術股份有限公司、北京北科環境工程股份有限公司、中省エネ六号天融環境保護科学技術股份有限公司などである。

鋼鉄焼結脱硫業界は、現在初步の発展期である。比較的早くから操業業績を上げている企業を以下にいくつかあげる。福建龍浄環境保護股份有限公司、湖南永清環境保護股份有限公司、中省エネ六号天融環境保護科学技術股份有限公司、大連緑諾環境工程科学技術股份有限公司などである。

鋼鉄工業協会は「十二五」期間において、中国焼結鉄鉱の生産能力は徐々に増大していくため、焼結脱硫市場の容量も高まっていくと予測している。現在、焼結排煙二酸化硫黄管理工程を実施している主要な鋼鉄企業の焼結排煙脱硫率は2%不足しているため、巨大な市場容量が存在している。国内焼結排煙脱硫市場は今後数年間で出される模範項目に伴い、3～5年内で大中型焼結機に対する大規模な適用が実施されていく。「十二五」期間において、中国鋼鉄業界の脱硫設備の装着率は75%に達する。平均して一台の焼結機に脱硫コストが5000万元かかると考えられている。

現在、重点企業が実施している焼結脱硫項目から考えると、180m²及びそれ以上の焼結機脱硫項目の実施には5000万～8000万元かかり、「十二五」後期に脱硫設備がまだ備えられていない鋼工場の焼結機に対応する市場容量は360億元に到達すると予測されている。現役の焼結機脱硫設備を新しいものに交換する市場容量は13.5億元であり、合計約373.5億元となり、2013～2015年の中国鋼鉄焼結排煙脱硫市場の各年度の容量は124.5億元となった。

3 脱硝技術の発展状況

3.1 重点産業における窒素酸化物(NO_x)排出状況

2013年の全国の窒素酸化物(NO_x)排出量は2,227.4万トンで、前年より4.7%減少した。工業分野における窒素酸化物(NO_x)排出量は1,545.6万トンで、前年より6.8%減少したが、これは全国の窒素酸化物(NO_x)排出量の69.4%を占める数字となっている。統計調査によると、工業分野における窒素酸化物(NO_x)排出量で上位を占めるのは電力・熱力生産供給業、非金属鉱業、黑色金属製錬及び圧延加工業の3つの産業であり、これらの窒素酸化物(NO_x)排出量は合計1,268.3万トン、重点調査対象工業企業全体の86.6%を占めている。

図表100 重点産業における窒素酸化物(NO_x)排出状況(単位:万トン)

産業 年表	合計	電力・熱力生産供給業	非金属鉱業	黑色金属製錬 及び圧延加工業
2011	1,471.3	1,106.8	269.4	95.1
2012	1,390.1	1,018.7	274.2	97.2
2013	1,268.3	896.9	271.6	99.7
変化率(%)	-8.8	-12.0	-1.0	2.6

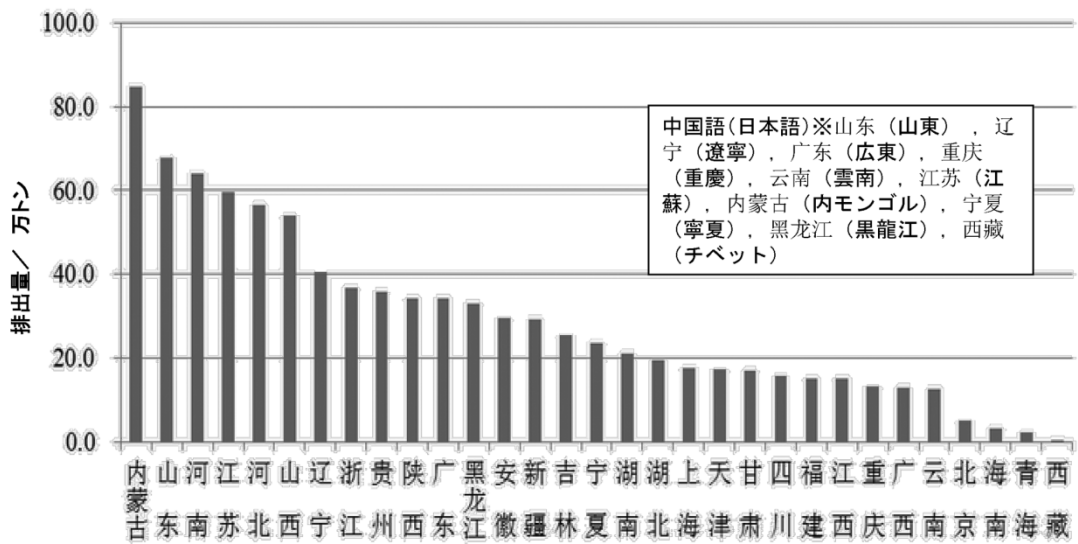
出典:環境保護部

3.1.1 電力・熱力生産供給業（電力産業）

3.1.1.1 電力・熱力生産供給業における窒素酸化物排出及び処理状況

2013年の電力・熱力生産供給業における重点調査対象工業企業は5,830社で、重点調査対象工業企業全体の3.9%を占めている。年間の工業排ガス排出量は225,446.6億m³で、重点調査対象工業企業全体の排出量の33.7%を占めている。窒素酸化物(NO_x)排出量は896.9万トンで、重点調査対象工業企業全体の61.2%を占めている。

電力・熱力生産供給業が保有する排ガス処理設備は23,852基であり、重点調査対象工業企業全体の10.2%を占めている。そのうち脱硝設備は1,168基であり、重点調査対象企業全体の54.3%を占めている。それらの窒素酸化物(NO_x)除去量は301.8万トン、除去率は25.2%となっており、重点調査対象工業企業全体の平均(19.2%)を6%上回っている。電力・熱力生産供給業のうち、窒素酸化物(NO_x)排出量で上位を占めるのは内モンゴル自治区、山東省、河南省、江蘇省で、その排出量は電力・熱力生産供給業における総排出量の30.8%を占めている。環境保護部は、窒素酸化物(NO_x)除去のため、2015年までに現在改造中または新設する機器の総設備容量約8.17億kW、推定1,950億元の設備投資、ならびに年間約612億元の運行費用が発生するとしている。2013年末に至るまで、中国大唐、中電投集団、中国国電、中国華能、中国華電の五大電力企業が保有する火力発電所における脱硝率はそれぞれ69.2%、61.3%、67.1%、68.4%、54.8%であり、国内でもトップレベルの脱硝率を示している。また、中国電力企業連合会の統計データによると、2013年に操業を開始した火力発電所の排煙脱硝装置の設備容量は約2億kWで、前年の2倍となっている。2013年末までに稼働している火力発電所の排煙脱硝装置の設備容量は4.3億kWを超えており、現在稼働中の脱硝装置の50%を占めている。

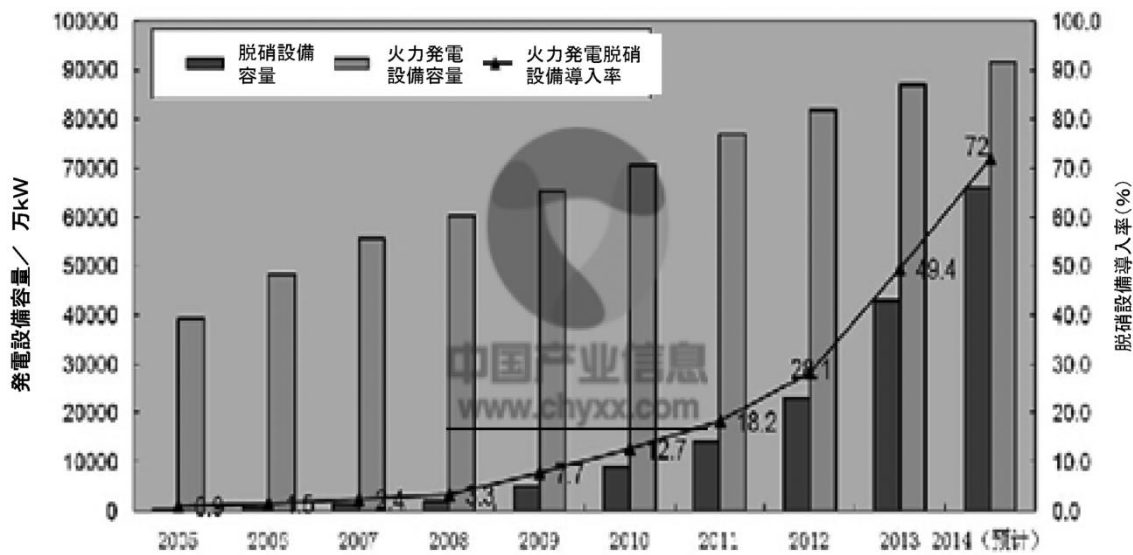


出典:環境保護部

図表101 各地区電力・熱生産業におけるNO_x排出／処理状況

3.1.1.2 火力発電所における窒素酸化物(NO_x)排出及び処理状況

火力発電所における窒素酸化物(NO_x)排出の抑制について、中国電力企業連合会が実施した統計分析の結果は下記の通りである。2014年末までの排煙脱硝装置の設備容量は約6.6億kWで、中国国内における石炭火力発電所の設備容量の約80%を占めており、2013年より22%向上した。これは、アメリカの2011年における排煙脱硝装置の設備容量を30%上回っており、火力発電所向け排煙脱硝装置の設備容量の目標値である72%を達成した。



中国語(日本語)※山东(山東), 辽宁(遼寧), 广东(広東), 重庆(重慶), 云南(雲南), 江苏(江蘇), 内蒙古(内モンゴル), 宁夏(寧夏), 黑龙江(黒龍江), 西藏(チベット)

出典:中電聯

図表102 2005-2013年全国火力発電所脱硝装置導入量／運転率

2014年、環境保護部は石炭火力発電事業に従事する企業に対し積極的な資金調達を行い、環境保護のための大規模設備改善を実施した。中国電力企業連合会の推計によると、2014年だけで脱硫・脱硝・集塵設備の整備・改善費用は500億元を上回り、石炭火力発電所における環境保護設備の運行費用は毎年800億元を上回っている。

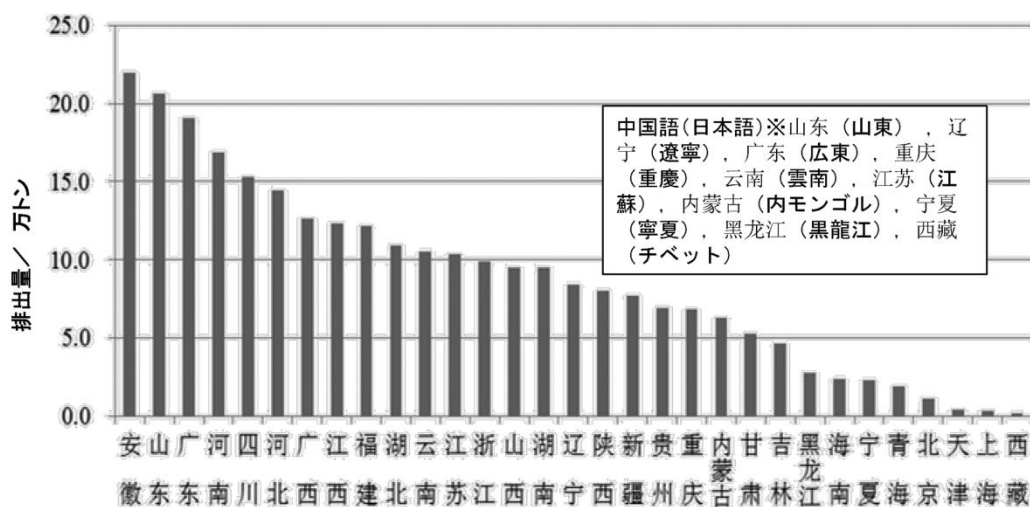
3.1.2 非金属鉱業(セメント産業)

3.1.2.1 非金属国業における窒素酸化物(NO_x)排出及び処理状況

2013年の非金属鉱業における重点調査対象企業は32,532社で、重点調査対象企業全体の22%を占めている。これらの企業の年間排ガス排出量は120,337.2億 m^3 で、重点調査対象企業全体の18%を占めている。窒素酸化物(NO_x)排出量は271.6万トンで、重点調査対象企業全体の18.5%を占めている。

非金属鉱業が保有する排ガス処理設備は66461基であり、重点調査対象企業全体の28.4%を占めている。そのうち、脱硝設備は568基で重点調査対象企業全体の26.4%を占めており、その窒素酸化物(NO_x)除去量は29.4万トン、除去率は9.8%である。

非金属鉱業における窒素酸化物(NO_x)排出量の上位を占めるのは、安徽省、山東省、広東省、河南省で、その窒素酸化物(NO_x)排出量は非金属鉱業全体の28.9%を占めている。



出典:環境保護部

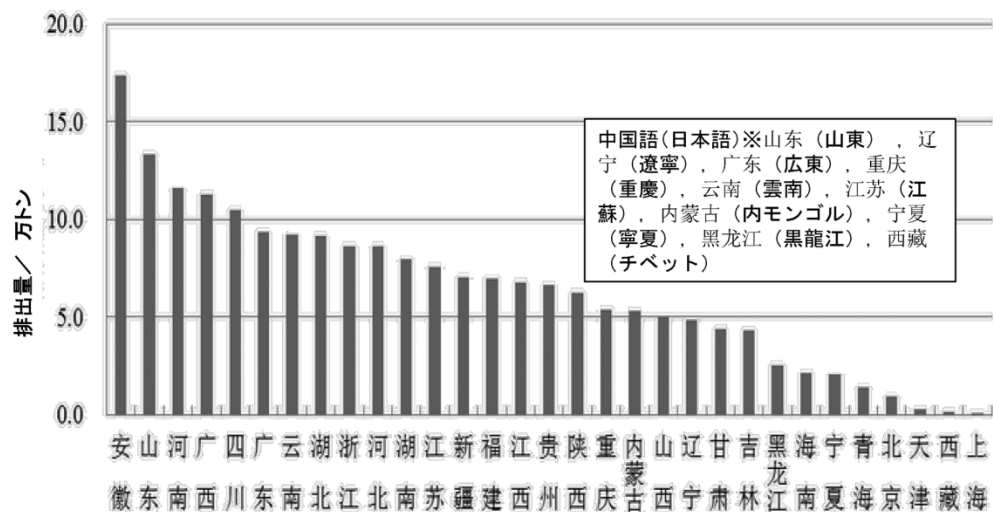
図表103 各地区非金属鉱物製造業における NO_x 排出状況

3.1.2.2 セメント産業における窒素酸化物(NO_x)排出及び処理状況

セメントは建設材料の中でも最も用途が多く、都市や不動産の建設、交通、エネルギー産業などで幅広く用いられている。近年の都市化推進、インフラ整備への投資の増加によって、中国のセメント産業は急速な発展を遂げている。

2013年の重点調査対象工業企業のうち、セメント製造業は3,679社で、重点調査対象工業企業全体の2.5%を占めている。セメント製造業の窒素酸化物(NO_x)排出量は196.9万トンで前年より0.5%減少したが、重点調査対象工業企業全体の排出量の13.4%を占めており、非金属鉱業全体では72.5%に及んでいる。また、保有する脱硝設備は528基で前年より454基増加しており、重点調査対象工業企業全体の25.0%を占めている。窒素酸化物(NO_x)除去量は25.7万トン、除去率は11.5%で、前年を9.6%上回っているが、重点調査対象企業全体の平均を7.7%下回る結果となっている。

セメント製造業における窒素酸化物排出量の上位を占めるのは安徽省、山東省、河南省、広西省で、セメント製造業全体の排出量の27.2%を占めている。



出典:環境保護部

図表104 2013年各地区セメント業におけるNO_x排出量および処理状況

3.1.3 黑色金属製錬及び圧延加工業(鉄鋼業)

3.1.3.1 黑色金属製錬及び圧延加工業における窒素酸化物(NO_x)排出及び処理状況

2013年の黑色金属製錬及び圧延加工業における重点調査対象工業企業は4,202社で、重点調査対象工業企業全体の2.8%を占めている。年間の排ガス排出量は173,002.5億m³で、重点調査対象工業企業全体の25.8%を占めている。窒素酸化物(NO_x)排出量は99.7万トンで、重点調査対象工業企業全体の6.8%を占めている。

黑色金属製錬及び圧延加工業が保有する排ガス処理設備は17,017基であり、重点調査対象企業全体の7.3%を占めている。そのうち、脱硝設備は49基で重点調査対象企業全体の2.3%を占めており、窒素酸化物除去量は7.4万トン、除去率は6.8%である。

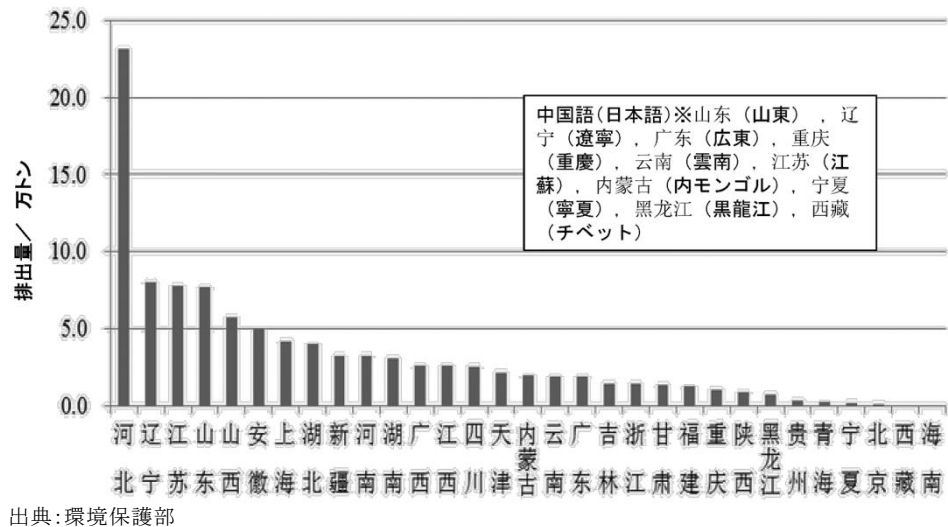
黑色金属製錬及び圧延加工業における窒素酸化物排出量の上位を占めるのは河北省、遼寧省、江蘇省、山東省で、黑色金属製錬及び圧延加工業全体の排出量の46.7%を占めている。

3.1.3.2 鉄鋼業における窒素酸化物(NO_x)排出及び処理状況

鉄鋼業は、火力発電業に次いで大きな汚染の原因とされている産業である。特に、焼結では大量の窒素酸化物(NO_x)が発生する。その排出量は鉄鋼業全体の40%以上を占めており、鉄鋼業における大気汚染防止のために重要な工程であると言える。

《第十二次五ヶ年計画(十二五)》以前は、窒素酸化物(NO_x)排出削減の重点産業として注目されていたのは火力発電業であり、鉄鋼業における焼結機排ガス中の窒素酸化物(NO_x)は排出削減の対象とみなされていなかった。加えて、焼結機排ガス中の窒素酸化物(NO_x)に対する厳密な排出基準はなく、焼結機排ガス向け脱硝装置も市場へ投入されたばかりであった。2011年に発表された《環境保護「十二五」計画》において、主要汚染物質排出削減目標を定めた《排出削減「十二五」計画》が公布され、焼結機への脱硫・脱硝装置の設置が義務付けられた。同時に公布された《鉄鋼焼結・ペレット鉱業大気汚染物質排出基準》によって、2015年1月1日より窒素酸化物(NO_x)排出濃度を300mg/m³までとするよう定められ、これにより焼結機排ガス向け脱硝装置の市場は大きく成長することとなった。

2013年度の鉄鋼業における窒素酸化物(NO_x)排出量は55.5万トンで前年より2.2%増加し、重点調査対象工業企業全体の3.8%、黑色金属製錬及び圧延加工業全体では55.6%を占めている。窒素酸化物(NO_x)除去量は5.5万トン、除去率は9.1%であり、重点調査対象工業企業全体の平均を10.1%下回っている。鋼鉄業における窒素酸化物(NO_x)排出量の上位を占めるのは河北省、遼寧省、江蘇省、山東省で、鉄鋼業全体の排出量の52.9%を占めている。



図表105 2013年各地区鉄金属製錬および圧延加工業における NO_x 排出状況

鉄鋼業において大気汚染防止を進めるために最も大きな問題は、大気汚染物質の排出量が明確化されていないことであった。「十二五」の期間中、環境保護部は鉄鋼業に従事する企業に対し、全口径算出法を用いた窒素酸化物排出量の算出を求め、個々の装置の分析を実施、産業全体における窒素酸化物排出量を整理することで、排出量の具体的な削減を実施できるようにした。また「十三五」の期間中にも同様の方法を用い、全ての企業に対し窒素酸化物などの汚染物質の処理状況と排出量の調査を実施した。

3.2 関連政策、法律・法規及び関連技術基準

《環境保護「十二五」計画》、《省エネ・排出削減「十二五」計画》では、全国の二酸化硫黄や窒素酸化物などの大気汚染物質の削減目標が定められており、窒素酸化物においては総排出量を10%削減するよう求められている。《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》では、2015年までに重点地域(京津冀、長三角、珠三角など19の行政区)の窒素酸化物排出量を2010年比で13%、二酸化窒素濃度を年間で7%削減することを目標としている。なお「十二五」計画期間における重点産業の窒素酸化物排出削減目標、ならびに窒素酸化物汚理項目は、以下の表の通りである。

図表106 「十二五」期間における重点産業の窒素酸化物排出削減目標

目標(万トン)	2010 年	2015 年	変化幅/変化率(%)
工業における窒素酸化物排出量	1,637	1,391	-15
火力発電業における窒素酸化物排出量	1,055	750	-29
セメント産業における窒素酸化物排出量	170	150	-12

出典:《環境保護「十二五」計画》、《省エネ・排出削減「十二五」計画》

図表107 窒素酸化物処理項目

番号	項目名	項目数	企業名	期間
1	電力産業窒素酸化物処理項目	531	天津国投津能発電有限公司、華能国際電力股份有限公司 上安発電所など 198 社	2013 年～2015 年
2	セメント業窒素酸化物処理項目	204	北京太行前景水泥有限公司、鹿泉市金隅鼎鑫水泥有限公司など 163 社	2013 年～2014 年
3	鉄鋼業排ガス脱硝モデル項目	20	鞍鋼公司 製鉄所、済鋼集团有限公司など 5 社	2013 年～2015 年
合計		755	投資総額 530 億元	

《火力発電所大気汚染物質排出基準》は2012年に公布され、2014年までに全国の火力発電所において概ね達成された。特に、燃焼制御、設備工事、触媒の3つの市場において際立った成果が認められた。現在、脱硝産業の市場規模は1,800億に至り、市場の急激な成長は納まったと言える。2014年9月、国家発展改革委員会は、環境保護部及びエネルギー局の指導の下《石炭火力発電における省エネ・排出削減のアップグレード及び行動改造計画(2014～2020年)》を宇夫、省エネ・排出削減の区分を明確化し双方に具体的な目標を定め、排ガス浄化を正式に推し進めることとした。2015年より排ガス浄化改革を実施、その成果は期待を上回るものとなっている。地方自治体も積極的な姿勢を見せており、補助金制度、発電時間の奨励など政府の積極的な措置により着々と改革が進められている。関連データによれば、全国の石炭火力発電業において、すでに8,400万kWを超える削減に成功している。また、現在全国の約1/10を占める石炭火力発電所の8,100万kWを超える削減が進められている。地域別の進捗状況を見ると、江蘇省、浙江省、山東省など、比較的経済の発展している地域において、より早い改善がなされている。

2012年10月1日、政府は《鋼鉄焼結・ペレット工業大気汚染物質排出基準》(GB28662-2012)を公布した。製鉄所の焼結工程で排出される窒素酸化物に対し厳しい制限を定め、新設企業に対し2012年10月1日より窒素酸化物排出制限値を300mg/m³とした。焼結排ガス濃度を厳しく制限したほか、環境保護部は製鉄の過程に応じてそれぞれ《製鉄工業大気汚染物質排出基準》(GB28663-2012)、《圧延工業大気汚染物質排出基準》(GB28664-2012)、《製鋼工業大気汚染物質排出基準》(GB28665-2012)を公布し、製鉄、製鋼、圧延等の工程においても、二酸化硫黄、窒素酸化物及び粒子状物質に対する厳しい規制を実施している。

2013年12月27日、環境保護部は従来の基準(GB4915-2004)に代わり《セメント産業大気汚染物質排出基準》(GB4915-2013)を公布し、セメント産業における窒素酸化物排出値を厳しく制限した。排出制限値を定め、2015年6月3日までに既存企業は従来通り800mg/m³、新設企業は400mg/m³を達成するものとした。新基準は2014年3月1日より正式に施行された。

図表 108 石炭火力発電所向け脱硝装置の電力補助金政策を全面的に実施

石炭火力発電所向け脱硝装置の電力補助金政策を全面的に実施	
事案	環境保護部と国家発展改革委員会は《石炭火力発電所向け脱硝装置設置の加速化及び電力補助金政策に関する通知》を公布した。環境保護部の担当者によると、2013年1月1日より、脱硝装置に対する電力補助金政策は14の省でモデルケースとして実施されており、それを筆頭に全省に拡大しているとのことである。
影響	2012 年末までに、全国で建設された石炭火力発電所向け脱硝装置の設備容量は 2.25 億 kW で、電気使用量 1kWh につき 0.008 元という基準にあてはめると、年間 100 億元を超える。電力補助金政策の全面的実施は、全国の窒素酸化物排出削減を大きな推進であろう。

「十二五」の期間に、火力発電所では脱硝装置設置の義務化に伴い事業形態もEPC方式、フランチャイズ方式、委託運営方式など様々な発展を見せた。しかしながら、フランチャイズ経営には、例えば窒素酸化物排出と安全管理、廃棄触媒処理等の問題が含まれており、契約約款等による一層の配慮が必要となる。

脱硝事業のさらなる発展にむけ、火力発電所向け排煙脱硫・脱硝技術のフランチャイズ経営管理に関する条例の制定や税制上の優遇政策の実施が期待されている。特に、フランチャイズ経営産業の規範化・管理の実現で、フランチャイズ経営産業への担当機関参入の条件設定、発電所ならびに担当機関の責任・権利・利益の明確化、脱硫・脱硝に対する電力補助金の決算方法の明確化が必要とされている。

1) 関連法律・法規

《中華人民共和国環境保護法》
《中華人民共和国大気汚染防止法》

2) 関連基準

《大気汚染物質総合排出基準》GB16297-1996
《環境大気質基準》GB3095-2012
《大気汚染対策エンジニアリング技術導則》HJ2000-2010

3) 関連政策

《大気汚染防止行動計画》(国発(2013)37番)
《排煙脱硝触媒の管理強化に関する通知》
《大気汚染防止10カ条》
《排出削減「十二五」計画》
《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》
《石炭火力発電所における環境保護電力補助金及び環境保護設備の運行管理方法》
(発改価格[2014]536号)

4) 産業基準

(1) 電力産業

《火力発電所大気汚染物質排出基準》GB13223-2011
《火力発電所排煙脱硝工事技術規範選択式触媒還元法》HJ562-2010
《火力発電所排煙脱硝工事技術規範選択式無触媒還元法》HJ563-2010
《火力発電所排煙脱硝技術導則》DLT296-2011
《火力発電所排煙脱硝(SCR)系統運行技術規範》DLT335-2010
《火力発電所排煙脱硝(SCR)装置点検修理規定》DLT322-2010
《石炭火力発電所排煙脱硝装置性能検収試験規範》DL/T260-2012

(2) 鉄鋼業

《圧延工業大気汚染物質排出基準》GB28665-2012
《製鋼工業大気汚染物質排出基準》GB28664-2012
《製鉄工業大気汚染物質排出基準》GB28663-2012
《鉄鋼焼結・ペレット工業大気汚染物質排出基準》GB28662-2012
《鉄鉱採掘選鉱工業汚染物質排出基準》GB28661-2012
《鉄合金工業大気汚染物質排出基準》GB28666-2012

(3) 建築材料

《セメント工業大気汚染物質排出基準》GB4915-2013
《セメント工場脱硝工事技術規範》GB51045-2014
《セメント焼成系統脱硝技術規制規範》(意見募集稿)

(4) 非鉄金属産業

《銅・ニッケル・コバルト工業汚染物質排出基準》GB25467-2010
《マグネシウム、チタン工業汚染物質排出基準》GB25468-2010
《レアアース工業汚染物質排出基準》GB26451-2011

3.3 脱硝技術の利用状況

3.3.1 火力発電所向け脱硝技術の利用状況

燃料を燃焼する際に発生する窒素酸化物(NO_x)を抑制する主な方法として、以下の3つが挙げられる。

- ①窒素含有分の少ない燃料への転換
- ②燃焼方法改善による発生量の抑制
- ③排煙脱硝

燃焼中の窒素酸化物発生量を抑制する方法では、低NO_x型燃焼技術が主流となっている。また、排煙脱硝の方法では選択接触還元法(SCR)と無触媒選択還元法(SNCR)が主流となっている。

(1)低NO_x型燃焼技術とは、燃料の燃焼に伴う窒素酸化物(NO_x)の発生を抑制するための技術である。窒素酸化物には、空気中の窒素が基となり生成されるものと、燃料中の窒素が基となって生成するものがあり、それらの生成原理に基づいた新しい脱硝技術である。この技術は燃料と空気の注入量や燃焼時間を制御するもので、主に低NO_xバーナー(LNB)、二段燃焼、排ガス再循環などの方法がある。

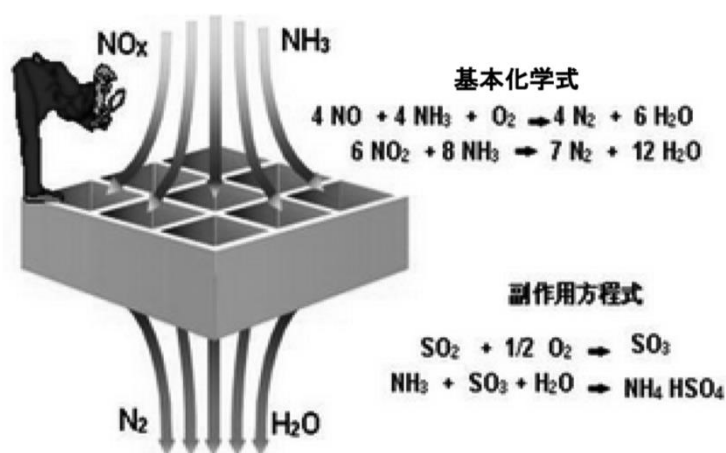
図表109 低NO_x型燃焼技術の種類別NO_x除去率

低 NO _x 型燃焼技術種類	NO _x 除去率(%)
二段延焼	10～35
排ガス再循環	3～5
排ガス再循環＋二段燃焼	10～60
水/水蒸気注入法/空気予熱温度低下	3～5
希薄燃焼法	5～10

(2)排煙脱硝技術

近年、窒素酸化物の排出規制は日増しに厳しくなっており、それに伴い窒素酸化物排出抑制技術の研究もかつてないほどの発展を遂げている。中でも選択接触還元法(SCR)は特に高い窒素酸化物除去率を誇っている。初期投資額、運行費用、共に高額ではあるが、現在の脱硝技術の中で厳格な窒素酸化物排出基準を満たすことができるのは唯一選択接触還元法のみであるため、最も広く採用されるに至っている。1980年代以降、この技術はガス、石油、石炭などの燃料を使う発電用ボイラー、工業用ボイラー、ゴミ焼却炉、製油工場、製鉄所、硝酸工場、ガラス製造工場など、広範にわたって採用され、窒素酸化物排出削減に大きく貢献している

排煙脱硝における選択接触還元法とは、アンモニア(NH₃)が窒素化合物(NO_x)と化学反応することで窒素(N₂)と水(H₂O)に還元されることを応用したものである。



図表110 選択接触還元法(SCR)の基本原理

様々な種類の触媒がありそれぞれ適する温度が異なるため、選択接触還元法は高温(345～590℃)、中温(260～380℃)、低温(80～300℃)の3つに分けられる。SCR触媒には主にハニカム型、板型、波型(コルゲート型)の3種類の形状がある。燃料成分、排ガス成分、また排出物質の組成の違いに基づき、最も適した触媒を選ぶ必要がある。

選択接触還元法には以下の特長がある。

- ①90%以上の脱硝率を見込むことができる。
- ②脱硝反応器から排出されるアンモニアは3ppm以下である。
- ③SO₂からSO₃への転換率は1%未満である。
- ④触媒が反応する適応温度内であれば、ボイラー内の負荷及び触媒の変化に適応することができる。
- ⑤還元剤として無水アンモニア、尿素、アンモニア水の3種類が選択可能である。
- ⑥中・大型ユニット及び窒素化合物排出基準が高い地域のボイラーにも対応可能である。

無触媒選択還元法(SNCR)は、高温(850～1,100℃)の焼却炉内に還元剤として尿素やアンモニアなどを吹き込み、触媒を用いずに窒素酸化物を選択的に反応させて窒素(N₂)と水(H₂O)に還元することで排出される窒素酸化物を削減する方法である。

この技術には以下の特長がある。

- ①脱硝率は一般的に40～70%で、最高で80%以上である。
- ②還元剤と排ガス中の窒素酸化物は焼却炉内で直接反応するため、触媒が不要である。
- ③SO₂からSO₃へは転換しない。
- ④二次汚染物質が排出されない。
- ⑤還元剤として無水アンモニア、尿素、アンモニア水の3種類が選択可能である。
- ⑥初期投資額、運行費用が安く、設備面積も小さいため短期間で設置ができる。

(3) SNCR/SCR混合法は、選択接触還元法(SCR)の脱硝率の高さと無触媒選択還元法(SNCR)の低コストという特長を融合させた技術である。焼却炉(850～1,100℃)内にアンモニアなどの還元剤を吹き込む第1段階と、SCR反応器(280～420℃)内に少量の触媒を加える第2段階に分け、排ガス内の窒素酸化物に化学反応を起こし基準値内の濃度に制御した上で排ガスを排出する。

この技術には以下の特長がある。

- ①90%以上の高い脱硝率を誇る。

②入口の窒素酸化物濃度が同じ条件下であれば、触媒の使用量を減らすことができ、運行費用を抑えることができる。

③アンモニア水と尿素水の供給インフラを共有でき、設備を簡略化することができる。

④システム運行費を抑えられ、費用対効果が改善できる。

⑤SO₂からSO₃への転換率が低く、錆による腐食や詰まりといった設備への影響を軽減できる。

⑥アンモニア水または尿素を還元剤として用いることができるため安全性が高い。

2013年末までの統計によれば、無触媒選択還元法は火力発電所向け脱硝装置の設備容量全体の3.29%を占めるに過ぎず、SNCR/SCR混合法は2012年の0.41%から0.24%に減少している。

図表111 常用されている脱硝技術の比較

技術	選択接触還元法 (SCR)	SNCR/SCR 混合法	無触媒選択還元法 (SNCR)
還元剤	アンモニア (NH ₃) (主流)、尿素	尿素、アンモニア水	尿素、アンモニア水
反応温度 (°C)	300～400	第1段階: 800～1,250 第2段階: 320～400	800～1,250
触媒	TiO ₂ 、V ₂ O ₅ 、WO ₃ を主成分とするフルサイズの触媒	第2段階において少量の触媒を使用。SCRで用いる触媒の約1/3～1/2の容量。	なし
脱硝率 (%)	80～90	50～90	25～50
反応剤噴射位置	通常エコマイザーとSCR反応器の間にあるダクト内。	ボイラーの負荷率によって異なる。通常は一次過熱器、もしくは二次過熱器通過後。	通常焼却炉内へ噴射する。メーカーとの連携が必要。
SO ₂ からSO ₃ への転換	転換する。SO ₃ 濃度は一般的に2～4倍増加する。	転換率はSCRに比べ低い。SO ₃ 濃度は触媒の体積に比例して増加する。	転換しない
NH ₃ 濃度	3～5ppm	5～10ppm	10～15ppm
空気予熱器への影響	NH ₃ とSO ₃ がNH ₄ HSO ₄ を生成し、詰まりや腐食を引き起こす	SO ₂ からSO ₃ への転換率が低いいため、詰まりや腐食が起きる頻度も少ない	SO ₂ からSO ₃ へ転換しないため、詰まりや腐食が起きる可能性は低い
圧力損失	触媒を用いるため、圧力損失が大きくなる	触媒を用いる量が少いため、圧力損失も相対的に低くなる	圧力損失はない
ボイラー負荷変化への影響	負荷変化への追従は非常に困難	一般的に負荷変化へ追従する	一般的に負荷変化へ追従する

3.3.2 セメント産業における脱硝技術の利用状況

セメント産業における主な脱硝技術は、セメントキルン(回転窯)内で窒素酸化物が生成されるメカニズムに基づいたものであり、窒素酸化物排出削減技術は生産工程での処理と排出端での処理の大きく二つに分類される。

生産工程での処理とは、煅焼中の窒素酸化物生成を抑制することである。この技術は低炭素型焼却機に採用されており、分解炉とパイプ内での二段燃焼によって燃焼温度を抑制する方法や、原料配分方式の変更、鉱化剤の使用などによってクリンカー焼成温度を低下する方法がある。

排出端での処理とは、排ガス中の窒素酸化物を抑制することである。この技術には無触媒選択還元法(SNCR)、選択接触還元法(SCR)がある。無触媒選択還元法については、現在国内で《二段燃焼+SNCR》というモデルケースを導入している。選択接触還元法は欧州で3件の実験が行われているのみであり、SNCR/SCR混合法においてはセメント産業向け排煙脱硝では未だ成功例がない。生物脱硝に至っては未だ研究開発の段階である。

それぞれの技術の有効性という点を考慮すると、新しい窒素酸化物排出基準を達成するためには必然的に無触媒選択還元法を採用することとなる。無触媒選択還元法の主要コストであるアンモニア水が大量に生産されて

いること、セメント産業向け排煙脱硝によるアンモニア水の需要拡大はゆるやかであると見込まれること、またアンモニアは価格変動がほとんどなく脱硝のための費用捻出が容易であることなどから、無触媒選択還元法が優位であると言える。

3.3.3 鉄鋼業における脱硝技術の利用状況

現在主流となっている脱硝技術は、選択接触還元法(SCR)と無触媒選択還元法(SNCR)である。前者は火力発電所で広く用いられている方法であり、脱硝率は90%以上である。後者はセメント工場で広く用いられており、脱硝率は一般的に30～40%である。しかし無触媒選択還元法の反応温度は非常に高温(850～1,100℃)で、製鉄の焼結工程で発生する排ガスを脱硝するには適していない。一方、選択接触還元法の反応温度は320～450℃であるが、通常の製鉄の焼結工程で発生する排ガスの温度は通常150℃前後と低く、選択接触還元法を実行するためには必要以上の燃料を消費することとなり運行費用が高くなるという問題がある。また、製鉄所で選択接触還元法を用いる際には脱硫ラインも考慮する必要があり、システム設計の複雑性が増しそれに伴い初期投資額も増加するといった問題もある。

さらに、鉄鋼業において多く用いられている湿式排煙脱硝技術は、脱硝率の低さが問題となっており、製鉄の焼結工程で発生する窒素化合物の処理において経済的で効果の高い脱硝技術の開発が急がれている。

3.3.4 SCR 触媒の利用

選択接触還元法(SCR)は国内で主流となっている脱硝技術である。触媒は選択接触還元法の中核であり、脱硝装置に関わるコストの約25～30%を占めている。脱硝触媒生産は主に外国が中心となっているが、国内へ触媒生産技術が導入されて以降は急速な広まりを見せている。国内の脱硝触媒生産網はすでに大きな第一歩を踏み出しており、全国で70社近い企業が脱硝触媒生産に従事、そのための施設建設を進めており、さらに約10社の企業が脱硝触媒生産への新規参入に向けて動き出している。今後、国内での脱硝触媒生産量は大幅に増加すると見込まれている。

しかしながら、以下に挙げるような脱硝触媒生産、ならびに脱硝設備関連技術は主に輸入に頼っているのが現状である。

- ①選択接触還元法に関連する総合的な技術、鍵となる工業技術と設備
- ②旧式ユニットに対する低NO_x改造技術
- ③新設ユニットにおける無煙を用いた低NO_x化技術
- ④触媒生産技術の導入と産業化
- ⑤最先端の脱硝技術

SCR触媒は、触媒成分、構造、性能、用途などを基に分類することができる。触媒成分では、主に以下の3種類に分類される。

- 1) 貴金属触媒
- 2) 金属酸化物触媒
- 3) ゼオライト触媒

現在、国際的に主流となっているのは金属酸化物触媒である。この触媒は酸化チタンを担体として用いており、五酸化バナジウム、三酸化タングステンのような卑金属酸化物を活性触媒成分としている。

構造上では、現在市場で扱われているSCR触媒は以下の3種類に分類される。

(1) ハニカム型触媒

系統:セラミックの担体や基質でコーティングした均質なセラミックなどで成形され、触媒活性成分が担持されている。

特長:表面積が大きく、高い触媒活性を示す。触媒体積は小さい。触媒活性物質は他の型より50～70%多い。また、触媒再生後も選択性は維持される。

実用範囲: 粉塵濃度が高い環境下、低い環境下、双方で実用可能。

市場状況: 既存ユニットで運用されている選択接触還元法のうち、70%はハニカム型触媒が使用されており、新設ユニットにおいてハニカム型触媒が採用される割合も同程度である。

(2) 板型触媒

系統: セラミックの担体や基質をコーティングした均質なセラミックなどで成形され、触媒活性成分が担持されている。

特長: 表面積はハニカム型に比べ小さく、重量も軽い。活性物質はハニカム型より約70%少なく、詰まりや汚れへの耐性が低い。

実用範囲: 粉塵濃度が高い環境下、低い環境下、双方で実用可能。

市場状況: 市場シェアは低い。

(3) 波型 (コルゲート型) 触媒

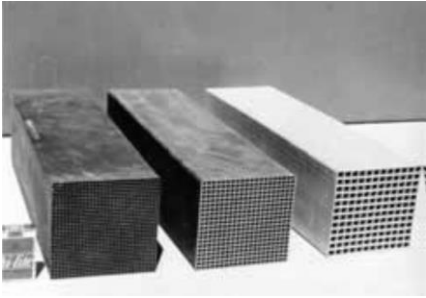
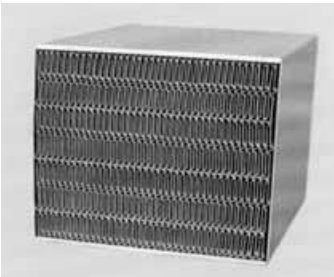
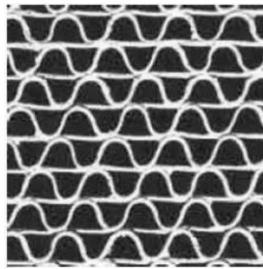
系統: 波型ファイバーを担体とし、触媒活性成分がコーティングされている。

特長: 表面積が小さく、触媒体積が大きい。活性物質はハニカム型に比べ50%少ない。通気性は良いが、詰まりが生じやすい。

実用範囲: 主に粉塵濃度の低い環境下で用いられる。

市場状況: 市場シェアは低い。

図表112 常用されているSCR触媒

番号	名称	材質	実用可能な粉塵濃度(G/NM³)	主要メーカー	写真
1	ハニカム型触媒 Honeycomb	押出成形	<50	Cormetech 触媒化成工業 Agillon SK	
2	板型触媒 Plate	ステンレス網	<80	日立 Agillon	
3	波型 (コルゲート型) 触媒 Corrugated, Fibre Reinforced	ファイバー	<15	Topsoe 日立造船	

触媒の型を選定する際には、主に下記の要素を考慮する必要がある。

☆ ハニカム型触媒は塊状であり、板型触媒と波型触媒は単板状に分けることができる。

☆ ハニカム型触媒は型鍛造成形であり、板型触媒と波型触媒は圧延もしくは浸泡乾燥成形である。

☆ ハニカム型触媒は均質で骨格となる素材がない。板型触媒はステンレス網を、波型触媒はグラスファイバーを骨格としている。

3.4 脱硝産業市場の発展

3.4.1 脱硝技術を扱う主要企業、及び代表的技術の紹介

脱硝技術を扱う主な企業と脱硫技術を扱う主な企業は、基本的に同一である。《2.5.1 脱硫・脱硝技術を扱う主要企業、及び代表的技術の紹介》の項で紹介したものと重複するため、本項では省略することとする。

3.4.2 脱硝産業の市場状況

排煙脱硝技術発展の歩みは電力系企業との関連、または脱硝技術の運行経験の有無と密接に関係している。「十二五」における電力企業向け排煙脱硝に関する政策は新たな市場を創出、発展させてきたが、まず電力系企業の関連企業、次いで脱硝技術の運行経験がある企業を優先的に支援した。現在の政策的背景を見ても、国家が施行した窒素酸化物排出基準が脱硝事業に多大な利益をもたらしていることは疑いようのない事実である。政策方針が大きく変更されない限り、今後3年の間に脱硝事業は大幅に成長することが見込まれ、脱硝事業を取り扱う企業にも大きな利益をもたらすと考えられている。例えば、九龍電力と龍浄環保の二社は脱硝事業をリードする企業であり脱硝技術の未来を担う存在であるが、現時点においても人材力、ブランド力双方で目覚ましい成果を上げている。大幅な発展が見込まれるがために、今後、大企業が新規参入することも考えられる。しかし、新規参入企業にとって核心的な技術を有している既存企業に対抗し得るだけの技術を備えることは困難であり、各社の経営に打撃を与えるほどの影響力はないと言える。例えば、国電清新は乾式脱硝技術の特許を保有しており、企業間競争によって受ける打撃は少ない。

2014年の一年間に運転を開始した火力発電所向け脱硝装置の設備容量は2.57億kW、2014年末までの運転容量は累計で約6.87億kWで、これは全国の火力発電ユニットの設備容量の75.0%、全国の石炭火力発電ユニットの設備容量の83.2%に及ぶ数値である。

2014年度に火力発電所環境保護産業に登録している企業のうち、2014年に新たに契約された火力発電所向け排煙脱硝装置の設備容量については図表97、2014年時点で運転中の火力発電所向け排煙脱硝装置の運転容量については図表98、2014年末までの火力発電所向け排煙脱硝装置の運転容量累計については図表99をそれぞれ参照のこと。

図表113 2014年に新たに契約された火力発電所向け排煙脱硝装置の設備容量
(2014年に新たに契約された火力発電所向け排煙脱硝装置設備容量ランキングに基づく)

順位	企業名	契約容量 (MW)	採用された脱硝方法及び 全体に占める割合(%)
1	上海鍋炉有限公司/上海電気电站環保工程有限公司	27,750	SCR 91.71 SNCR 8.29
2	東方電気集団東方鍋炉股份有限公司	23,750	SCR 82.69 SNCR 17.10 SNCR/SCR 0.21
3	北京国電龍源環保工程有限公司	14,285	SCR 87.82 SNCR 12.18

順位	企業名	契約容量 (MW)	採用された脱硝方法及び 全体に占める割合(%)
4	中電投遠達環保工程有限公司	11,320	SCR 90.10 SNCR 9.90
5	江蘇科行環保科技有限公司	10,835	SCR 90.22 SNCR 6.46 SNCR/SCR 3.32
6	大唐科技産業集團有限公司	10,590	SCR 92.63 SNCR 7.37
7	中国華電工程(集团)有限公司	9,940	SCR 95.98 SNCR 4.02
8	浙江天地環保工程有限公司	9,840	SCR 100
9	西安西熱鍋炉環保工程有限公司	4,680	SCR 67.95 SNCR 6.41 SNCR/SCR 26.64
10	無錫華光鍋股份有限公司	3,830	SCR 80.24 SNCR 14.02 SNCR/SCR 5.74
11	同方環境股份有限公司	3,303.5	SCR 76.54 SNCR 23.46
12	福建龍净環保股份有限公司	3,156	SCR 100
13	湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司	2,025	SCR 28.40 SNCR 71.60
14	北京博奇電力科技有限公司	1,990	SCR 100
15	浙江菲達環保科技股份有限公司	1,912	SCR 82.12 SNCR 17.88
16	山東三融環保工程有限公司	1,770	SCR 77.4 SNCR 22.6
17	永清環保股份有限公司	1,755	SCR 100
18	江蘇峰業科技環保集团股份有限公司	1,500	SCR 100
19	江蘇新世紀江南環保股份有限公司	870	SCR 68.97 SNCR 31.03
20	広州市天賜三和環保工程有限公司	505	SCR 80.20 SNCR 19.80
21	北京龍電宏泰環保科技有限公司	450	SNCR 88.89 SNCR/SCR 11.11
22	武漢凱迪電力環保有限公司	270	SNCR 100
23	浙江浙大網新機電工程有限公司	250	SCR 100
24	江蘇新中環保股份有限公司	224	SNCR 22.32 SNCR/SCR 77.68
25	浙江德創環保科技有限公司	210	SCR 100
26	浙江藍天求是環保股份有限公司	135	SCR 100
27	中鋼集团天澄環保科技股份有限公司	100	SCR 100
28	北京国能中電節能環保技術有限責任公司	75	SCR 40 SNCR 60

出典:中国電力企業連合会

図表114 2014年時点で運転中の火力発電所向け排煙脱硝装置の運転容量
(2014年時点で運転中の排煙脱硝装置の運転容量ランキングに基づく)

順位	企業名	運転容量(MW)	採用されている脱硝方法及び全体に占める割合(%)
1	中国華電工程(集団)有限公司	23,720	SCR 94.22 SNCR 2.95 SNCR/SCR 2.83
2	大唐科技産業集团有限公司	18,265	SCR 97.66 SNCR 2.34
3	中電投遠達環保工程有限公司	17,130	SCR 95.91 SNCR 4.09
4	西安西熱鍋炉環保工程有限公司	12,260	SCR 97.55 SNCR 2.45
5	江蘇科行環保科技有限公司	8,715	SCR 77.62 SNCR/SCR 22.38
6	浙江天地環保工程有限公司	8,240	SCR 100
7	同方環境股份有限公司	5,588.5	SCR 92.40 SNCR 7.60
8	北京国電龍源環保工程有限公司	5,130	SCR 99.25 SNCR 0.75
9	山東三融環保工程有限公司	3,900	SCR 100
10	北京博奇電力科技有限公司	3,690	SCR 100
11	北京国能中電節能環保技術有限責任公司	3,655	SCR 98.50 SNCR 0.82 SNCR/SCR 0.68
12	浙江菲達環保科技股份有限公司	2,704	SCR 90.08 SNCR 9.92
13	福建龍淨環保股份有限公司	2,440	SCR 96.47 SNCR 1.36 COA 0.09 SNCR/COA 2.08
14	永清環保股份有限公司	2,350	SCR 100
15	浙江藍天求是環保股份有限公司	2,290	SCR 100
16	浙江浙大網新機電工程有限公司	1,250	SCR 100
17	江蘇峰業科技環保集团股份有限公司	700	SCR 100
18	東方電氣集團東方鍋炉股份有限公司	650	SCR 100
19	江蘇新世紀江南環保股份有限公司	345	SCR 14.36 SNCR 79.90 SNCR/SCR 5.74
20	浙江德創環保科技股份有限公司	330	SCR 100
21	北京龍電宏泰環保科技有限公司	250	SNCR 80 SNCR/SCR 20
22	江蘇新中環保股份有限公司	150	SNCR 66.67 SNCR/SCR 33.33
23	中鋼集團天澄環保科技股份有限公司	100	SCR 100
23	広州市天賜三和環保工程有限公司	100	SNCR/SCR 100

出典: 中国電力企業連合会

図表115 2014年末までの火力発電所向け排煙脱硝装置の累計運転容量
(2014年末までの火力発電所向け排煙脱硝装置の累計運転容量ランキングに基づく)

順位	企業名	2014 年末までの運転容量累計(MW)	採用されている脱硝方法及び全体に占める割合(%)
1	北京国電龍源環保工程有限公司	94,102.5	SCR96.26 SNCR3.42 SNCR+SCR0.32
2	中国華電工程(集团)有限公司	59,800	SCR97.04 SNCR1.84 SNCR+SCR1.12
3	大唐科技産業集团有限公司	48,415	SCR96.21 SNCR3.79
4	中電投遠達環保工程有限公司	37,180	SCR 97.12 SNCR 2.88
5	浙江天地環保工程有限公司	29,545	SCR 100
6	東方電氣集团東方鍋炉股份有限公司	26,258	SCR 97.71 SNCR 2.29
7	江蘇科行環保科技有限公司	22,135	SCR 86.17 SNCR 3.05 SNCR/SCR 10.78
8	福建龍净環保股份有限公司	20,670	SCR 100
9	同方環境股份有限公司	20,294.5	SCR 95.72 SNCR 4.16 SNCR/SCR 0.12
10	西安西熱鍋炉環保工程有限公司	12,260	SCR 97.55 SNCR 2.45
11	北京博奇電力科技有限公司	11,520	SCR 100
12	山東三融環保工程有限公司	9,330	SCR 100
13	浙江浙大網新機電工程有限公司	7,725	SCR 100
14	浙江藍天求是環保股份有限公司	6,590	SCR 100
15	浙江菲達環保科技股份有限公司	3,837	SCR 90.83 SNCR 9.17
16	北京国能中電節能環保技術有限責任公司	3,655	SCR 98.50 SNCR 0.82 SNCR/SCR 0.68
17	北京清新環境技術股份有限公司 (元北京国電清新環保技術股份有限公司)	3,300	SCR 69.70 SNCR 30.30
18	北京龍電宏泰環保科技有限公司	1,280	SCR 49.22 SNCR 46.88 SNCR/SCR 3.90
19	江蘇峰業科技環保集团股份有限公司	700	SCR 100
19	広州市天賜三和環保工程有限公司	700	SCR 85.71 SNCR/SCR 14.29
21	武漢凱迪電力環保有限公司	600	SCR 100
22	中鋼集团天澄環保科技股份有限公司	540	SCR 100
23	江蘇新世紀江南環保股份有限公司	345	SCR 52.17 SNCR 47.83
24	浙江德創環保科技股份有限公司	330	SCR 100
25	湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司	250	SNCR 100
26	江蘇新中環保股份有限公司	200	SNCR 100

出典:中国電力企業連合会

「十二五」において、火力発電所向け脱硝産業は他の脱硫産業よりもはるかに重要な役割を担っている。例えば2014年に運転された火力発電所向け脱硝装置の設備容量は2.57億kWなのに対し、新たに運転が開始された火力発電所向け脱硫装置の設備容量はわずか0.36億kWにとどまっている。企業の業績もこれらに反映されており、例えば2014年に大唐科技が担った脱硝改善項目の火力発電ユニットの設備容量は他の脱硫項目よりもはるかに大きく、脱硝装置運行の契約を締結した火力発電ユニットの設備容量は1,059万kWであった。既存の脱硝装置の設備容量は1,826.5万kWなのに対し、新設の脱硫装置の設備容量はわずかに66万kWであった。

中国電力企業連合会の統計データによると、昨年度の契約に基づく火力発電所向け脱硝装置の設備容量の上位を占めるのは、以下の4社である。

- (1) 上海鍋炉有限公司/上海電気电站環保工程有限公司(脱硝装置契約容量2,775万kW)
- (2) 東方電気集団東方鍋炉股份有限公司(脱硝装置契約容量2,375万kW)
- (3) 国電龍源(脱硝装置契約容量1,428.5万kW)
- (4) 遠達環保(脱硝装置契約容量1,132万kW)

また、現在運転中の脱硝装置の設備容量においては、華電工程(集団)有限公司(以下《華電工程》)が2,372万kWで首位となり、その後に大唐科技、遠達環保が続いている。

その他、2014年度末までの脱硝装置の運転容量累計では、龍源環保が9,410.25万kWと2位以下を大きく引き離し首位となった。2位は華電工程、3位は大唐科技、4位は遠達環保であった。

脱硝産業市場において採用されている主要な脱硝方法は、選択接触還元法(SCR)である。無触媒選択還元法(SNCR)やSNCR/SCR混合法が占める割合は、現在のところ比較的少ない状況となっている。

例を挙げると、永清環保は選択接触還元法を100%採用している。また、華電工程は選択接触還元法94.22%、無触媒選択還元法2.95%、SNCR/SCR混合法2.83%の割合で採用している。

火力発電所向け排煙脱硫・脱硝産業における競争は激しさを増している。その中で目立った特長が二つある。一つ目は市場集中度の高さである。中国電力企業連合会が発表した2012年の統計データによると、火力発電所向け脱硝産業市場において、トップ5社が占める割合は52.6%に及んでいる。トップ10社では65.65%、トップ20社では73.04%もの割合を占めることとなる。二つ目は市場競争が公平とは言えない点である。火力発電所からの発注は同一グループ企業である脱硫・脱硝企業に偏る傾向にある。中国電力企業連合会が発表した2012年の統計によれば、電力企業グループ傘下の脱硝企業が市場に占める割合は44%にも及んでおり、その内四大電力企業グループ傘下の脱硝企業が33%、その他の電力企業グループ傘下の脱硝企業が11%を占めるに至っている。電力企業グループに属していない排煙脱硝企業からすると、市場開拓における強力な推進力が他企業との競争における唯一の強みになると言えるだろう。

3.4.3 国内外の主要な触媒取り扱い企業

現在、脱硝産業において最も多く採用されている触媒は酸化チタン触媒である。市場で主流のSCR触媒にはハニカム型、板型、波型(コルゲード型)の三つの形状がある。中国の脱硝触媒取り扱い企業が公布した2014年度末までの生産能力の統計を見ると、中国の火力発電所向け脱硝触媒生産メーカー中、ハニカム型触媒が占める割合は50.8%、板型触媒が占める割合は49.2%であった。

脱硝触媒の需要と供給には比較的ゆとりがあり、無毒触媒は新たな人気商品となっている。新たな排ガス排出基準の公布により2014年7月1日以降、火力発電所はより厳しい基準を達成しなくてはならなくなった。そのため、触媒産業は超過供給の状態から脱却することができた。また、脱硝触媒生産技術には障害となるような状況が比較的少なく、生産周期も短く、生産量も融通が利く。なお、2014年度に産業登録している触媒工場・生産メーカーは9社であり、年間の生産能力は合計27.564万 m^3 である。(2013年度は17.1万 m^3 、2012年度は8.9万 m^3)

2014年度末時点において、中国電力企業連合会の脱硝触媒産業に加盟している企業は9社である。それぞれの生産能力は下記の表の通りである。ハニカム型触媒生産の上位は、天河(保定)環境工程有限公司、北京国電龍源環保工程有限公司、江蘇峰業科技環保集团股份有限公司の3社が占めている。また、板型触媒生産の

上位は、大唐科技産業グループ有限公司、天河（保定）環境工程有限公司、江蘇峰業科技環保集團股份有限公司の3社が占めている。

図表116 火力発電所向け排煙脱硝触媒生産メーカーの生産能力
(2014年の触媒生産メーカーの触媒生産能力ランキングに基づく)

順位	触媒生産メーカー名	触媒生産能力(m ³ /年)	ハニカム型	板型
1	天河(保定)環境工程有限公司	56,000	26,000	30,000
2	大唐科技産業集團有限公司	40,000		40,000
2	江蘇峰業科技環保集團股份有限公司	40,000	20,000	20,000
4	北京国電龍源環保工程有限公司	24,700	24,700	
5	浙江德創環保科技股份有限公司	18,000	10,000	8,000
6	重慶煙達催化劑制造有限公司	12,000	12,000	
7	中国華電工程(集团)有限公司	10,000	10,000	
8	北京源深節能技術有限責任公司	8,000		8,000
9	山東冠通催化劑有限公司	6,694	6,694	

出典:中国電力企業連合会

3.4.4 今後の技術的需要と市場動向の分析

中国における脱硫・脱硝設備の建設は最盛期を過ぎ、関連企業は脱硫・脱硝技術のフランチャイズ経営、脱硝触媒生産等の長期的かつ安定的な収益に多くの期待を寄せている。脱硝産業においては、主に火力発電所向け選択接触還元法(SCR)のさらなる効率化や改善にニーズを見出している。火力発電所向け脱硝設備の建設事業はこれまで長期にわたり市場の中心を担っていたが、発電業以外における脱硝産業の市場規模も年々拡大している。

(1) 電力産業向け脱硝産業

石炭火力発電における汚染物質排出削減のコストはますます上昇している。現在稼動しているユニットの省エネ対策は既に充分なされており、継続的なコスト削減の余地がほとんどないため、再び大きな改革に取り組む必要がある。汚染物質排出を抑制するためのコストは現状非常に高額である。汚染物質排出量を1,000kg引き下げるためのコストは12～60元となり、1,000kgの煤・粉塵を除去するためのコストは100元以上となる。さらに社会的費用として約2元が加算される。

汚染物質の排出抑制及び計測技術に関しては、今後下記のような発展が必要とされる。

- 1) 発電所の超低排出の実現、設備容量の拡大(触媒の量を増やすため)、新たな設備の増設(湿式電気集塵機の採用など)、新技術開発費用の削減。
- 2) CEMSによる計測データにおいて排出濃度低下を実証するために、更なる科学的根拠が必要。
- 3)《基準値越え》排出が恒常化しているため、改善が必要。

(2)セメント産業向け脱硝産業

セメント産業は大気汚染物質、特に窒素酸化物と煤・粉塵の排出の主要な排出源とされている。現在、セメント産業向け脱硝設備はコストの低い無触媒選択還元法(SNCR)が主流だが、今後重点的な設備改善が予定されている。「十二五」では、セメントキルンにおける低NO_x型燃焼技術と無触媒選択還元法等を合わせた脱硝を実施するよう求められている。中国には新型乾式セメント生産ラインがすでに約1,600基あるが、環境保護部の統計によると無触媒選択還元法等の排煙脱硝装置が設置されているものはわずか148基である。

環境保護部は2013年末に《セメント工業汚染物質排出基準》を公布し、現在稼働中の工場、ならびに新設工場に対し、窒素酸化物の排出量を400mg/m³に抑えるよう求めた。また、同基準では窒素酸化物の排出を既存企業では450mg/m³、新設企業では320mg/m³に抑えるよう求められている。これは以前の基準であった800mg/m³よりも大幅に低い数値である。既存工場に対してより厳格かつ従来より大幅に低い基準を設けたことから見ても、環境保護への取り組みはかつてないほど重要視されていると言える。新基準は欧州の多くの国々の基準よりも厳しいものであり、日本やドイツ等高い排出基準を定めている国々により近いものである。

電力業向け脱硝産業市場が発展してきたのと同様に、十分な時間をかけてセメント産業向け脱硝産業市場を発展させることにより、新たな排出基準を達成させることができると考えられる。政府が一時的な環境汚染の改善を目的としているのであれば、ただ単に中小企業の工場を停止させセメントの生産量を大幅に削減させればいいのだが、その可能性は限りなくゼロに近い。また、セメントの過剰生産防止という点を考慮すると、セメント企業の脱硝装置導入に対し大規模な補助を行う可能性も低い。いずれにせよ、セメント産業向け脱硝産業の発展度合いは政府の采配次第と言えるだろう。

選択接触還元法は工業において最も広く採用されている脱硝技術である。その窒素酸化物除去率は80%以上と理想的であり、排ガス内へ噴出されるアンモニアのほぼ全てが窒素酸化物と反応するという、現在最も安定している技術である。電力産業では窒素酸化物排出量50mg/Nm³という基準が定められているが、選択接触還元法の導入により排出基準を満たすことができている。しかしながら、セメント産業では選択接触還元法はあまり採用されていない。セメント生産の複雑な工程、高額な投資が必要となること、高額な運行費用が発生することなど、多くの要因がセメント産業における選択接触還元法導入の障壁となっている。現在、環境保護のための汚染物質排出基準は次々と厳格化されており、セメント産業で広く採用されている低NO_x型燃焼+SNCRが今後より厳しくなるであろう排出基準を満たすことは難しいと思われる。そのため、継続的な技術の進歩とセメント産業への選択接触還元法導入が徐々に進められていくと考えられる。

現在稼働中のセメント工場は5,000棟あり、生産ラインは1,714基ある。2012年以前のセメント生産ラインは脱硝率の低い低NO_x型燃焼技術と一般的な集塵装置が設置されているのみのものであった。現在、環境保護部は環境汚染防止のための政策を次々と施行しており、セメント産業では生産能力の整理の他、基準を満たしていない生産ラインを停止させる可能性もある。統計によると、2012年までに排煙脱硝装置が設置されている生産ラインはわずか144基で、主に無触媒選択還元法が用いられていた。また、2012年末時点では脱硝装置の備わった生産ルート145基が運行しており、セメントの年間生産量は2.66億トンであった。通常、1トンのセメントを生産するのに0.64トンのクリンカーを消費するのだが、クリンカーの汚染物質排出係数(1.584kgNO_x/トン)に基づくと、運行中の脱硝装置全体の脱硝率が60%以上ならば、約17.23万トンの窒素酸化物を削減することが可能ということになる。2013年に新たに運転を開始、あるいは新設されたセメント産業向け脱硝装置は185基で、年間のセメント生産量を2億トンとした場合、新たに20.27万トンの窒素酸化物削減が見込まれる。

2013年末までに、セメント産業向け脱硝装置は800～850基の生産ラインで建設が完了し、セメント産業の生産ライン全体の47～50%を占めるに至った。この2年間で大幅な発展を遂げてはいるものの、セメント生産ライン全体からすれば、依然としてゆるやかな増加に過ぎないと言える。2015年までに窒素酸化物排出量を150万トンにするという目標を達成するのは、毎年10%というセメント産業向け脱硝装置の増加率から考えても、セメント業界全体への負担は大きいと言えるだろう。

実際の導入事例を見てみると、クリンカー消費量4,000トン/日である生産ラインの低NO_x型燃焼器への初期投資額は約100万元、SNCR脱硝装置建設への初期投資額は1台につき200万～300万元である。低NO_x型燃焼

+SNCRを採用したクリンカー消費量4,000トン/日の新型乾式セメント生産ラインでは、脱硝率60%達成時で脱硝装置運行費用はクリンカー消費量1トンあたり約4元となる。現在、セメント産業向け脱硝装置の改善に約13.16億元が投資されており、年間の運行費用は約15.35億元で、セメント産業向け脱硝装置の建設と運行は今後も大きな市場となると考えられる。

(3) 鉄鋼業向け脱硝産業

中国では、鉄鋼業の焼結機面積2.36万 m^2 に対して脱硝装置がすでに設置されており、2014年にはさらに1.5万 m^2 増加した。現在、焼結機面積約10.7万 m^2 には脱硝装置が設置されておらず(2014年に設置が完了した1.5万 m^2 は除く)、今後新設される焼結機面積が25万元/ m^2 とした場合、その全てに脱硝装置を設置するには約270億元の投資が必要となる。その他、2015～2018年の脱硝産業市場への投資需要は年間約13億元拡大すると見込まれており、脱硝産業市場への2014～2018年の投資需要は合計335億元、その内2014～2015年の投資需要は約152億元と見込まれている。

(4) 脱硝触媒産業

触媒はSCR脱硝装置の核の一つであり、触媒への投資額は脱硝装置への投資額全体の約25～30%を占めている。電力産業における脱硝触媒の需要は、発電所新設時の新規導入、既設ユニットへの設置、また稼働中ユニットへの追加設置あるいは交換の三種類に分けることができる。政府による省エネ・排ガス削減政策の影響と火力発電所大気汚染排出基準の推進を受け、脱硝装置の建設は2012年の開始以来急速に進められ、2013年には20.5万 m^2 に達し、翌2014年にはピークを迎えた。しかし2015年、脱硝産業の市場拡大は収束の兆しを見せ始め、需要が減少し始めた。2015年以降は需要は更に減少すると見られている。例えば国電電力は2014年9月末までに20万kW以上の火力発電所向け脱硝装置の設置を終えている。今後の電力産業向け脱硝産業の市場ニーズは、触媒の交換と再生に集中することが見込まれている。

中国におけるSCR触媒は、以下のような発展を見せると考えられている。

- ①コスト削減を目的とした触媒の寿命(使用可能期間)延長を実現させる。
- ②環境保全型触媒の研究と開発を加速し、新型の非バナジウム触媒を設計する。
- ③触媒の再生。石炭火力発電所向け排煙脱硝装置の急激な増加に伴い、脱硝触媒の市場ニーズと流通量も爆発的に増加した。脱硝触媒が使用できなくなるのは、 V_2O_5 、 WO_3 、 MoO_3 、 TiO_2 などの金属、また使用過程で溜まっていくヒ素、鉛、水銀など毒性の強い重金属が原因とされている。2014年8月に環境保護部が公布した《排煙脱硝触媒における危険廃棄物の経営許可証審査マニュアル》では、排煙脱硝触媒(チタン・バナジウム系)を危険廃棄物として挙げ、これらの収集、保管、運搬、再生、処理に必要な経営機構、技術者数、廃棄物運搬、梱包と保管、施設及び設備システム、技術、制度と施策など各方面に関連した審査基準を取り上げている。

また、今後脱硝触媒産業市場は三極化すると見られている。

第一極は電力系大手企業のグループ企業である触媒取り扱い企業である。これらの企業は大手グループ企業からの受注があるため、ある程度の収益が保証されていると言える。例えば五大電力企業及び地方電力企業グループ傘下の触媒取り扱い企業は、相対的独占状態にある電力企業向け脱硝産業市場において、長期間にわたり主導的な立場を保持し続けている。しかし、今後競争が激化するに伴い触媒製品価格が下落していくことが予想される。たとえグループ企業内の受注取引であっても価格下落の影響を免れることはできず、これらの触媒取り扱い企業にとっての大きな課題となると考えられる。

第二極は実力のある民間の触媒取り扱い企業である。これらの企業は自身の強みを活かし、脱硝触媒産業市場において徐々に頭角を現し成長を続けてきた。例えば浙江海亮、三融環保、保定天河、鄭州康寧特、江蘇万徳などがある。これらの企業はそれぞれの企業規模、技術、費用対効果などの強みを活かし、引き続き市場開拓を続けている。

第三極は多くの中小企業である。これらの企業が触媒産業市場に参入した時期は比較的遅い上、ある企業はOEM生産に頼っていたり、またある企業は小ロットでの発注に頼っているのが現状である。今後の市場競争の激

化に伴い、OEM生産や小ロットでの発注は徐々に減少すると見られており、他社との差別化を図るなど発展の機会を見出さない限り、中小の触媒取り扱い企業への市場における圧力は大きくなるばかりと言える。

2015年以降、旧式ユニットの脱硝改造と新設以外の需要として、触媒は3～5年で交換する必要があるため、2012年以降に設置された排煙脱硝装置の触媒交換の需要が生じてくることが予想される。これにより、脱硝触媒産業市場は引き続き活性化すると考えられる。

容量市場を長期的に見ると、脱硝触媒の耐用時間は約16,000～24,000時間、火力発電所の年間稼働時間を5,000時間とするならば、触媒は3～5年前後で交換が必要となる。もし火力発電所で使用する石炭の品質が悪ければ、触媒の交換頻度もより高くなる。2015年以前、主要な市場ニーズは新設（旧式ユニットの改造、新設ユニットへの脱硝装置設置を含む）であった。2015年以降、大部分の発電企業において発電ユニットへの脱硝装置設置が完了したことに伴い、今後の触媒産業市場のニーズは新設と交換（既設の脱硝装置の触媒交換）となるであろう。

現在、国際的に成功している脱硝触媒再生専門企業は少ない。その中でも比較的有名なのはアメリカのCoalogixとドイツのEbinger-Katである。国内の龍浄環保はアメリカのCoalogixと共同出資契約を結び、外国でSCR触媒再生の最新技術を支えている企業と国内最大手企業の連携を実現し、触媒再生の最新技術の開発と実現を推し進めている。そのほか、重慶遠達、江蘇肯創、江蘇万徳、広東清遠恒徳などの企業が触媒再生技術開発への参入を表明している。また山東西格盟国際及び江蘇中建材研究院は、韓国の凱希環保とオーストリアの富藍徳と事業提携し、SCR触媒再生市場参入の準備を進めている。

現在、脱硝触媒再生には二つの方法がある。一つは現場再生、もう一つは工場再生である。ヨーロッパやアメリカでも同様の再生方法が採用されている。アメリカでは2005年以降、すでに現場再生は採用されなくなったが、その理由として現場再生はとても危険であること、また現場の環境と水質を汚染してしまうこと、さらにコストが非常に高く、現場再生した触媒は品質、性能、共に排煙脱硝に求められる基準を満たすことができないことが挙げられる。

図表117 脱硝触媒の現場再生と工場再生の簡易比較

	現場再生	工場再生
脱硝活性	50～60%	95～105%
SO ₂ からSO ₃ への転換率	上がる	変わらない
再生後の廃水処理	無	有
破損した触媒の入替と補充	不可	即時可能
品質及び研究室の技術支援	無	有
熱処理システム	無	有

出典：北極星省エネ環境保護網

4 集塵技術の発展状況

空気中の煤・粉塵の排出源は主に工業企業によるものとされている。工業大国である中国は、セメント生産量、石炭生産量、発電量が世界でも上位を占めている。国内の発電所の多くが旧式の生産ラインや技術を用いているため煤・粉塵の処理は不十分である場合がほとんどで、煤・粉塵が大量に排出されているのが現状である。中国における煤・粉塵対策は未だ深刻な状況にあると言える。

集塵とは、排気中の煤・粉塵の粒子を気体から分離し、排出量を削減させる技術である。煤・粉塵を含む工業排ガスや固体材料の粉碎、サイジング加工、運搬、爆破などの様々な工程、また燃焼、融解、化学反応などにより、多くの粒子状物質が生成されている。煤・粉塵には、もとの固体と化学成分が同じ場合や、粒度が小さくなる場合、また化学的性質によってもとの固体とは異なる性質となる場合など様々あり、集塵は大気汚染対策における必要不可欠な技術である。

現在すでに発電、水利、鉄鋼、化学工業など多くの産業で集塵装置が採用されており、煤・粉塵排出量削減に積極的な姿勢が見られる。しかし、中国の大気汚染問題は依然として突出しており、全国的により厳格な排出削減の推進が引き続き必要な状況であることには変わりはない。

4.1 重点産業における煤・粉塵排出状況及び処理状況

4.1.1 煤・粉塵の排出状況

2014年の国内における煤・粉塵排出量は1,740.8万トンで、前年より13.6%増加した。工業分野における煤・粉塵排出量は1,156.1万トンで、前年より13.3%増加、国内の煤・粉塵総排出量の83.7%を占めている。都市生活による煤・粉塵排出量は227.1万トンで、前年より84.6%増加、国内の煤・粉塵総排出量の13.0%を占めている。自動車による粒子状物質排出量は54.7万トンで、前年より3.3%減少、国内の煤・粉塵総排出量の3.3%を占めている。

図表118 2011～2014年の全国の煤・粉塵排出量

単位: 万トン

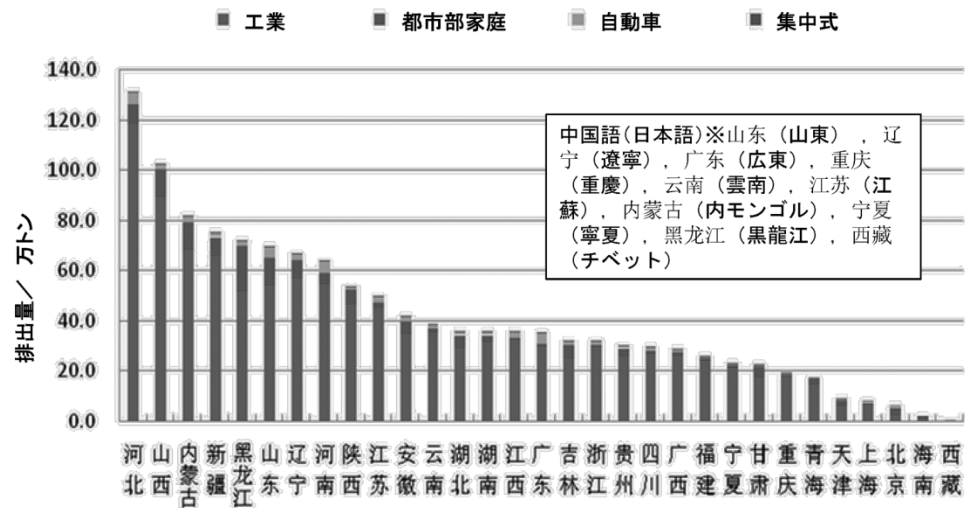
年 \ 排出源	合計	工業	都市生活	自動車	集中型汚染処理施設
2011	1,278.8	1,100.9	114.8	62.9	0.2
2012	1,234.3	1,029.3	142.7	62.1	0.2
2013	1,278.1	1,094.6	123.9	59.4	0.2
2014	1,740.8	1,456.1	227.1	57.4	---

注: 1. 2011年から煙塵と粉塵の単独統計は行われていない。統一煙(粉)塵として統計されている。

2. 自動車煙(粉)塵排出量は自動車粒子物排出量が含まれる。

出典: 全国環境統計年鑑 2013年版、2014年全国環境統計公報

2014年の全国環境統計年鑑は未だ発行されていないため、正確な排出量を知ることはできない。しかし、2013年の全国環境統計年鑑によれば2013年の煤・粉塵排出量が50万トンを超えている行政区は、河北省、山西省、内モンゴル自治区、新疆ウイグル自治区、黒竜江省、山東省、遼寧省、河南省、陝西省、江蘇省で、これら10の行政区の煤・粉塵排出量は国内の総排出量の60.1%を占めている。それぞれの行政区のうち、工業による煤・粉塵排出量が最も多いのは河北省、都市生活による煤・粉塵排出量が最も多いのは黒竜江省、自動車による粒子状物質排出量が最も多いのは河南省、集中型汚染処理施設による煤・粉塵排出量が最も多いのは広東省である。



出典:環境保護部

図表119 2013年各地区粉(煤)塵排出状況

4.1.2 重点産業における煤・粉塵排出量と処理状況

2013年の統計調査によると、煤・粉塵排出量の上位を占める産業は電力・熱力生産供給業、非金属鉱業、黒色金属製錬及び圧延加工業の3つで、これらの産業による煤・粉塵排出量は合計722.6万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の70.7%を占めている。中でも、発電業、鉄鋼業、セメント産業は主要な排出源となっている。続いて、これら3つの産業の集塵処理実施状況を紹介する。

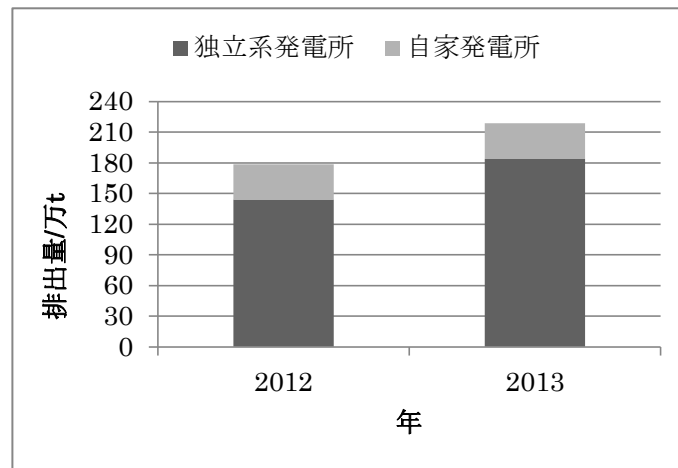
図表120 2013年の重点産業における煤・粉塵排出状況

産業 年	合計	電力・熱力生産 供給業	非金属鉱業	黒色金属製錬及び圧 延加工業
2011	700.9	215.6	279.1	206.2
2012	659.3	222.8	255.	181.3
2013	722.6	270.3	258.8	193.5
変化率	9.6	21.3	1.4	6.7

出典:全国環境統計年鑑 2013年版

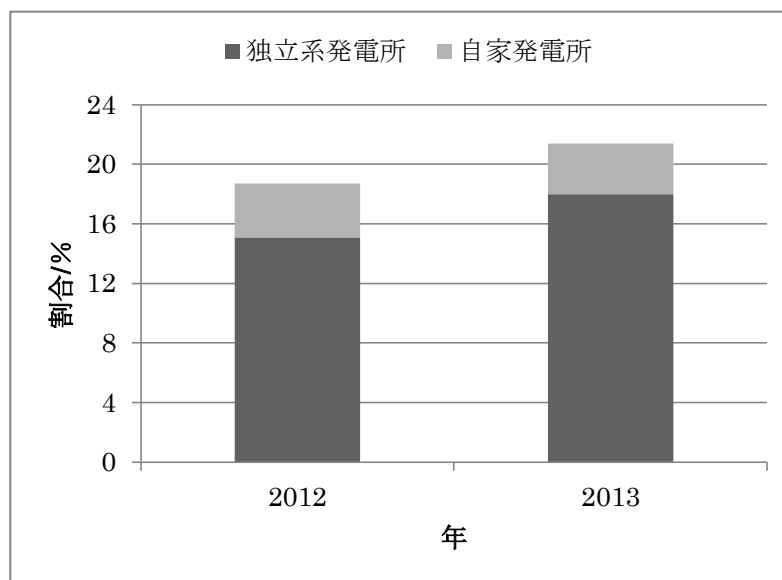
4.1.2.1 火力発電業における煤・粉塵排出量

環境保護部の統計データによると、2012年の独立系発電所の煤・粉塵排出量は144.2万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の15.1%を占めており、煤・粉塵除去量は3.6万トンである。自家発電所の煤・粉塵排出量は34.1万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の3.6%を占めている。2013年の独立系発電所の煤・粉塵排出量は183.9万トンで、前年より27.5%増加、重点調査対象工業企業の排出量全体の18.0%を占め、電力・熱力生産供給業の総排出量の68%を占めている。自家発電所の煤・粉塵排出量は34.9万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の3.4%を占めている。全体的に見て、電力産業における煤・粉塵排出量は増加傾向にある。



出典:《全国環境統計年鑑 2012年版、2013年版》をもとに整理

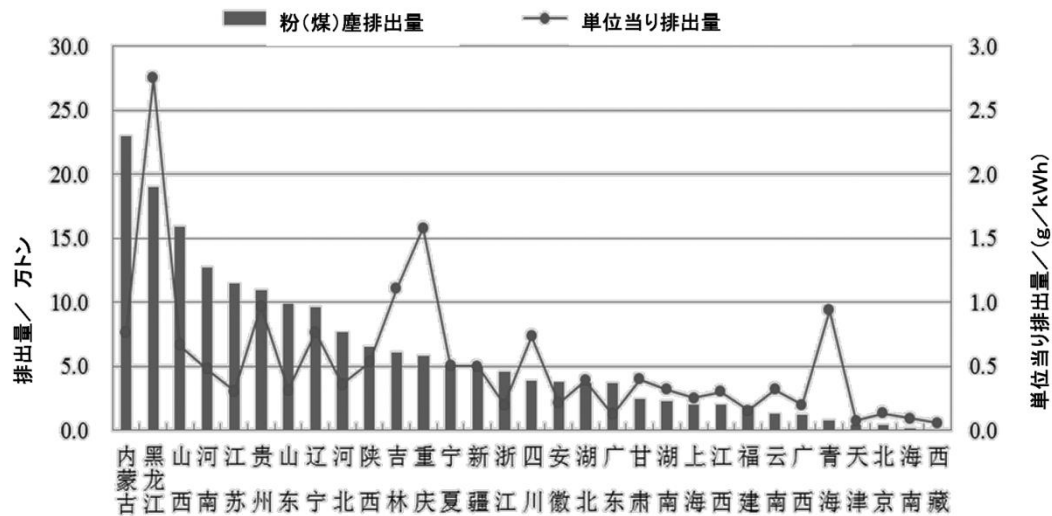
図表121 2012～2013年の独立系発電所と自家発電所の煤・粉塵排出量



出典:《全国環境統計年鑑 2012年版、2013年版》をもとに整理

図表122 2012～2013年の独立系発電所と自家発電所の煤・粉排出量の割合

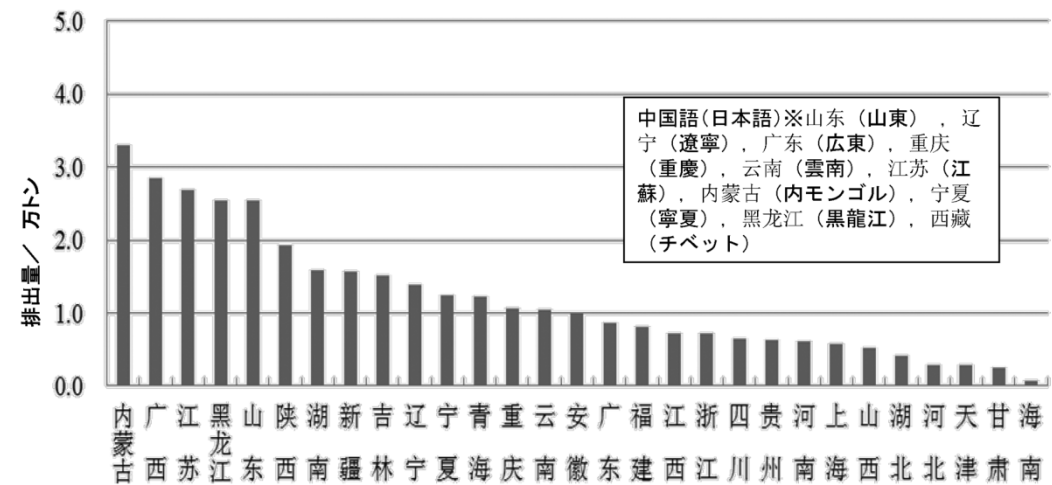
行政区ごとで見ると、2013年の独立系発電所の煤・粉塵排出量の上位を占めるのは、内モンゴル自治区、黒竜江省、山西省、河南省の4つで、これら4つの行政区の排出量は独立系発電所の総排出量の38.5%を占めている。独立系発電所の発電量における煤・粉塵排出量は平均0.5g/MWhで、前年を25.0%上回った。そのうち黒竜江省、重慶市、吉林省は排出量が多く1.0/MWhとなっている。自家発電所の煤・粉塵排出量の上位は内モンゴル自治区、広西チワン族自治区、江蘇省、黒竜江省の4つで、これらの煤・粉塵排出量は自家発電所の総排出量の32.7%を占めている。



出典：環境保護部

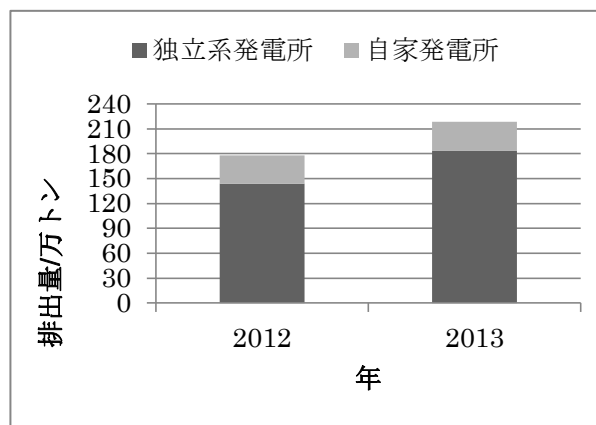
図表123 2013年各地区火力発電事業における粉(煤)塵排出状況

全体的に見て、火力発電業の煤・粉塵除去率は2012年から2013年の間で大きく増加してはいない。2012年の独立系発電所の煤・粉塵除去率は99.6%で前年と同じ水準を保っているが、重点調査対象工業企業の平均を0.9%上回っている。重点調査対象となっている自家発電所の煤・粉塵除去量は2,777.0万トン、煤・粉塵除去率は98.8%で、前年を0.1%上回っている。これは、重点調査対象工業企業の平均を0.1%上回っているが、独立系発電所の平均を0.8%下回っている。2013年の独立系発電所の煤・粉塵除去量は3.6億トン、除去率は99.5%で、前年を0.1%下回っており、重点調査対象工業企業の平均を0.9%上回っている。重点調査対象の自家発電所の煤・粉塵除去量は2,893.8万トン、除去率は98.8%で前年と同じ水準を保っている。これは、重点調査対象工業企業の平均を0.2%上回っているが、独立系発電所の平均を0.7%下回っている。自家発電所における除去率は、さらなる向上の余地がある。



出典：環境保護部

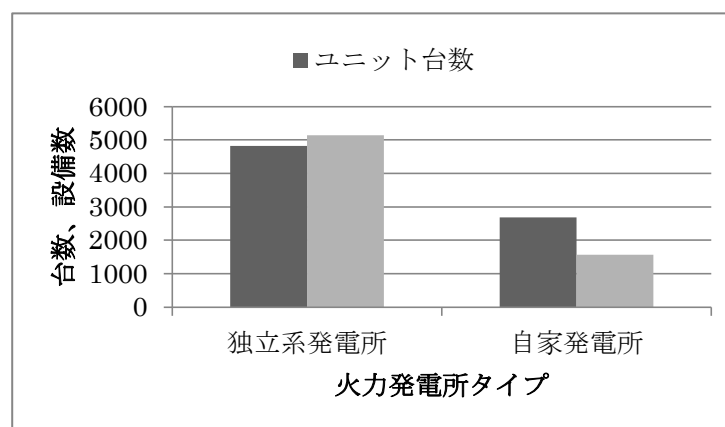
図表124 2013年各地区火力発電事業における粉(煤)塵排出状況



出典:《全国環境統計年報 2012年版、2013年版》をもとに整理

図表125 2012～2013年の独立系発電所と自家発電所の煤・粉塵除去達成率

2012年の重点調査対象となっている火力発電所は3,127ヶ所で、重点調査対象工業企業全体の2.1%を占めている。そのうち、独立系発電所が1,824ヶ所で、4,625台のユニットがあり、合計5,171基の集塵設備を備えている。自家発電所は1,303ヶ所で、2,517台のユニットがあり、そのうち1,539台は集塵設備を備えている。2013年の重点調査対象となっている火力発電所は3,102ヶ所で、重点調査対象工業企業全体の2.1%を占めている。そのうち、独立系発電所は1,853ヶ所で、4,825台のユニットがあり、合計5,140基の集塵設備を備えている。自家発電所は1,249ヶ所で、2,690台のユニットがあり、そのうち1,569台は集塵設備を備えている。データを見ると、独立系発電所ならびに自家発電所のユニット台数と集塵設備数は増加の傾向にあるが、自家発電所の集塵設備数はユニット台数よりはるかに少ないのが現状である。



出典:《全国環境統計年鑑 2012年版、2013年版》をもとに整理

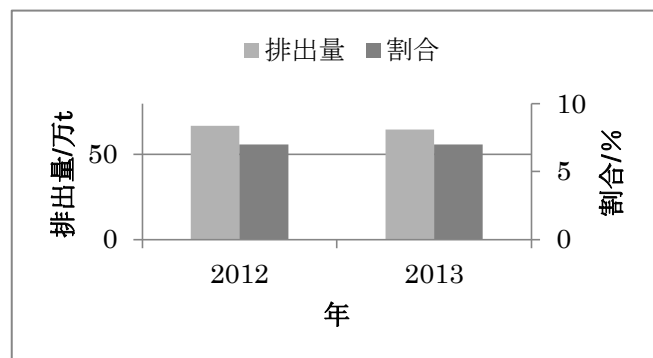
図表126 2012～2013年の火力発電ユニット台数と集塵設備数

4.1.2.2 セメント産業における煤・粉塵排出及び処理状況

環境保護部のデータによると、2012年のセメント産業における煤・粉塵排出量は67.1万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の7.0%を占めている。集塵設備数は48,339基で、前年より3,597基増加し、重点調査対象工業企業全体の27.2%を占めている。煤・粉塵除去量は18,182.6万トン、煤・粉塵除去率は99.6%で、前年を0.2%上回り、重点調査対象工業企業の平均を0.9%上回っている。

2013年のセメント産業における煤・粉塵排出量は64.9万トンで、前年より3.3%減少し、重点調査対象工業企業の総排出量の7.0%を占めている。集塵設備数は46,592基で、前年より1,747基減少し、重点調査対象企業全体

の25.9%を占めている。煤・粉塵除去量は17,906.1万トン、煤・粉塵除去率は99.6%で、2012年と同じ水準を保っており、重点調査対象工業企業の平均を1.0%上回っている。2012年と比較すると、セメント産業の煤・粉塵排出量と集塵設備数は比例して減少している。

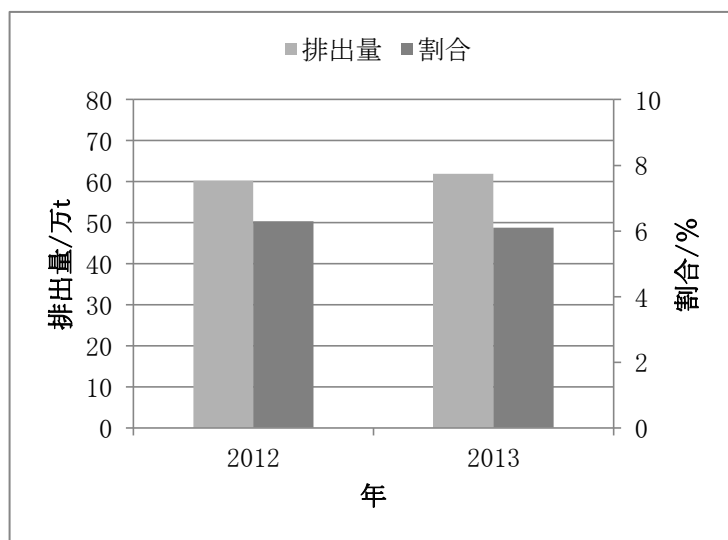


出典:《全国環境統計年鑑 2012年版、2013年版》をもとに整理

図表127 2012～2013年のセメント産業における煤・粉塵排出量

4.1.2.3 鉄鋼業における煤・粉塵排出及び処理状況

環境保護部の統計データによると、2012年の鉄鋼業における煤・粉塵排出量は60.1万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の6.3%を占めている。煤・粉塵除去量は2,206.4万トン、除去率は97.3%で、前年を0.4%上回っており、重点調査対象工業企業の平均を1.4%下回っている。2013年の鉄鋼業の煤・粉塵排出量は61.9万トンで、重点調査対象工業企業の総排出量の6.1%を占めている。煤・粉塵除去量は2,222.0万トン、煤・粉塵除去率は97.3%で、2012年と同じ水準を保っており、重点調査対象工業企業の平均を1.3%下回っている。

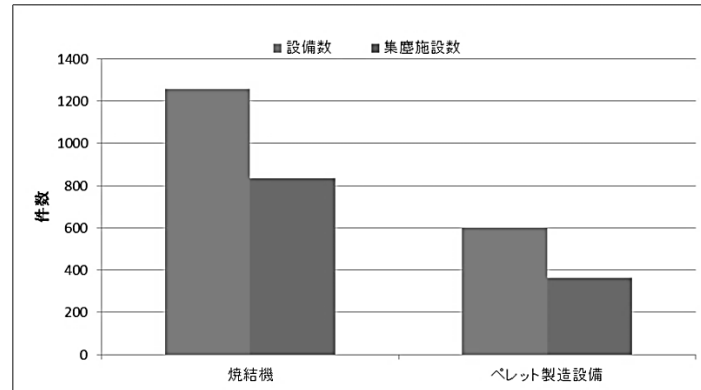


出典:《全国環境統計年鑑 2012年版、2013年版》をもとに整理

図表128 2012～2013年の鉄鋼業における煤・粉塵排出量

2012年の重点調査対象となっている鉄鋼企業のうち、焼結機もしくはペレット製造設備を保有する企業は1,180社で、重点調査対象工業企業全体の0.8%を占めている。焼結機の台数は合計1,127台で、そのうち749台は集塵設備を備えている。ペレット製造設備数は657基で、そのうち386基は集塵設備を備えている。2013年の重点調

査対象となっている鉄鋼企業のうち、焼結機もしくはペレット製造設備を保有する企業は740社で、重点調査対象工業企業全体の0.5%を占めている。焼結機台数は1,258台、そのうち837台は集塵設備を備えている。ペレット設備数は598基で、そのうち365基は集塵設備を備えている。これらのデータから見て、鉄鋼業の集塵設備数はまだ十分とは言えず、全体の除去率も低いため、集塵産業市場は今後まだ発展の余地があると言える。



出典:《全国環境統計年鑑 2013年版》をもとに整理

図表129 2013年の鉄鋼業における設備数及び集塵設備数

4.2 関連政策、法律・法規及び関連技術基準

4.2.1 集塵関連法律、行政法規

下記の表は、現在までに政府が公布した集塵に関連した法律・法規である。これらの法規のうち、《環境保護法》と《大気污染防治法》(及びそれに付随する細則)は環境保護全体に関する法律である。この二つの法律は、環境保護と大気污染防治の根幹となる法律であり、大気污染防治対策についての原則を定め、関連部門、及び各政府機関の大気污染防治対策に関する責任を明確化し、また、総合的な大気污染防治に関する措置を示している。これらの法律は集塵に対し具体的に規定しているわけではなく、粒子状物質、二酸化硫黄、窒素酸化物、揮発性有機化合物、アンモニアなどの大気汚染物質と温室効果ガスなど総合的な内容となっている。しかし、煤・粉塵排出と除去に関連する規定も含まれている。例えば、2015年に改訂が行われ2016年1月より施行されている《大気污染防治法》がある。総則や法律的責任に付随した規則以外で、改訂後の《大気污染防治法》8章129条では、大気污染防治のための汚染物質処理基準と達成目標時期、汚染物質処理の監督・管理、必要手続き、大気污染防治対策の重点地域、重汚染天気への対応などが定められている。また、2013年に公布された《大気污染防治行動計画》では、2017年までに地級以上の都市においてPM10濃度を10%以上低下させ、汚染の少ない良好な天気の日数を年々増やすとしている。PM_{2.5}濃度に関しては京津冀地区(北京市、天津市、河北省)で25%、長江デルタ都市群(上海を中心とし、南京、杭州、蘇州などの30都市を含む)では20%、珠江デルタ都市群(広州、深圳を中心とし、珠海、東莞などの10数都市を含む)で15%低下することを目標とし、中でも北京市のPM_{2.5}の年平均濃度を1m³あたり約60μgに抑制するとしている。

図表130 政府が公布した集塵に関連する法律・法規

番号	法律・法規名	公布部門	公布、施行日
1	中華人民共和國環境保護法	全国人民代表大会	2014.4.24 公布、2015.1.1 施行
2	中華人民共和國大気汚染防止法	全国人民代表大会常務委員会	2015.8.29 改定、2016.1.1 施行
3	国務院による大気汚染防止法に基づく取り締まり検査の分析結果、各部門および地方政府の取り組みに関する報告	国務院	2015 年 6 月公布、施行
4	自動車排出ガス監督管理方法	国家環境保護部等	1990.8.15 公布、2010.12.22 改定
5	国務院事務庁による大気汚染防止行動計画の実施状況検査方法(試行)に関する通知	国務院	2014 年 4 月公布、施行
6	国務院による大気汚染防止行動計画に関する通知	国務院	2013 年 9 月公布、施行

4.2.2 煤・粉塵排出及び処理基準

関連する法律や行政法規以外に、下記の各種排出基準も大気汚染防止及び排ガス処理の重要な指針となっている。

1. 大気汚染物質総合排出基準(GB16297-1996)
2. 地方大気総合排出基準
3. 産業排出基準

表131は国内の煤・粉塵排出に関する各種基準を示している。表中の総合排出基準以外でも、比較的数値の大きい地方排出基準も存在する。《中華人民共和國環境保護法》第10条では《省、自治区、直轄市の人民政府は、国家汚染物質排出基準に規定していない項目に対して、地方汚染物質排出基準を定めることができ、また、国家汚染物質排出基準に規定している項目に対して、国家汚染物質排出基準より厳しい地方汚染物質排出基準を定めることができる》と規定されている。このように二つの排出基準の共存が認められているが、地方総合排出基準は国家排出基準より厳しいことが多く、地方総合排出基準に国家排出基準が含まれているかのようであり、実際に地方総合排出基準が国家基準のように扱われているのが現状である。なお、大気汚染物質総合排出基準と国家産業別排出基準が混在した状況で施行されることはない。

図表131 中国の大気汚染防止に関連する各種基準

基準種類	基準名
総合基準	《大気汚染物質総合排出基準》GB16297-1996
地方基準	《広東省地方標準大気排出基準》DB44/27-2001 《北京市大気汚染物質総合排出基準》DB11/501-2007 《山東省区域性大気汚染物質総合排出基準》DB37/2376-2013 《上海市大気汚染物質総合排出基準》DB31/933-2015 《アモイ市大気汚染物質排出基準》DB35/323-2011
産業基準	《ボイラー大気汚染物排出基準》GB13271-2001 《工業用炉大気汚染物排出基準》GB9078-1996 《火力発電所大気汚染物排出基準》GB13223-2011 《セメント工業の大気汚染物排出基準》GB4915-2004 《レンガ工業大気汚染物質排出基準》GB 29620-2013 《自動車大気汚染物質排出基準》GB14761.1~14761.7-93 《オートバイ排気ガス汚染物質排出基準》GB14621-93 《煉瓦工業大気汚染物質排出基準》GB 29620-2013 《電子ガラス工業大気汚染物質排出基準》GB 29495-2013 《圧延工業大気汚染物質排出基準》GB 28665-2012 《製鋼工業大気汚染物質排出基準》GB 28664-2012 《製鉄工業大気汚染物質排出基準》GB 28663-2012 《鉄鋼焼結・ペレット工業大気汚染物質排出基準》GB 28662-2012

スモッグがしきりに発生することにより国民生活だけでなく経済発展にも影響が及んだこともあり、大気汚染問題は重大な社会問題となった。そのため、政府は以前にも増して大気汚染問題に力を入れるようになった。中国は、2011年より大気汚染物質排出基準の集中的な改訂を開始した。2013年までに火力発電所、レンガ鉱業、電子ガラス工業、圧延工業、製鋼工業、鉄鋼焼結・ペレット工業など、大気汚染物質の主要排出源となっている産業を含めた大部分の工業に対する排出基準の改訂・更新が行われた。新たな基準は大気汚染物質排出の上限を厳しく規制しており、今後、大気汚染物質の処理基準がさらに大きく引き上げられることをも示唆している。

4.2.3 集塵産業の関連政策

集塵産業は、国家の省エネ・環境事業における戦略的新興産業として多くの恩恵を受けてきた。中央政府から各地方自治体まで、また産業発展計画から産業環境規制強化に至るまで、これまで様々な政策が頻繁に実施されてきた。中国の集塵産業の市場全体を見てみると、急速な政策や基準の厳格化、政府主導の市場整備と効果・コストを考慮した環境産業という構想の下、政府による公共事業が占める割合は徐々に減少し、民間企業による事業の割合が徐々に増加している状況である。

2012年に公布された《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》は排ガス排出濃度が基準に達していない火力発電ユニット(通常地域で $30\text{mg}/\text{m}^3$ 、重点地域で $20\text{mg}/\text{m}^3$)に対し高効率の集塵を実施すること、また2015年までに重点地域の工業において煤・粉塵排出量を10%引き下げること、さらに《三区十群》と呼ばれる13の大気汚染防止重点地域を定め $\text{PM}_{2.5}$ の年平均濃度を10%から5%まで引き下げていくよう求めた。

2013年2月27日、環境保護部は《大気汚染物質排出特定規制値の実行に関する公告》を公布、《重点地域大気汚染防止『十二五』計画》に含まれる重点規制地域、火力発電、鉄鋼、石油、セメント、非鉄金属、化学の六大産業及び石炭ボイラーに対して大気汚染物質排出の特定規制値を定めた。

政府は《『十二五』省エネ・排出削減総合事業計画》の中で、《十二五》期間に電力、鉄鋼、製紙、印刷の4つの産業に対し、汚染物質排出量の抑制を実施するよう定めた。

2013年6月13日、李克強首相は国務院常務会議を開催し、《大気汚染防止10カ条》を発表した。その中で特に強調されたのは《重点産業における脱硫・脱硝・集塵改革の加速》《人口密集地域と重点大都市の $\text{PM}_{2.5}$ 対策の強化》である。この行動計画により、政府は汚染抑制に対する態度と決意を明らかにし、大気汚染は深刻な状況であり対策が必須であることを示した。

国家政策では環境産業設備に関する支援についても明言しており、国家発展改革委員会及び環境保護部が2014年4月に公布した《当面国家が発展を奨励する環境産業設備(製品)目録(2010年版)》では、電気・バグフィルター複合式集塵装置、焼結機向け低圧パルスジェット方式集塵装置、工業キルン向けバグフィルター式集塵装置、パルスジェット式バグフィルター等が取り上げられている。工業情報化部、科学技術部が2011年1月に公布した《国家が発展を奨励する重大環境保護技術装備目録(2011年版)》では《大型高温パルスジェット式バグフィルター集塵装置》、《汚染処理システム運営管理サービス及び長期診断型管理システム》といったバグフィルター式集塵に関連した装置やサービスが取り上げられている。その他にも政府は財政、税収、及び金融方面の政策支援を強化し、集塵装置製造産業に対し多額の投資を行った。政府は、国内における集塵装置製造産業を引き続き発展させ、産業規模1,000億元突破を目指し投資の方向性を指導していくと見られている。

《環境産業設備『十二五』発展計画》は、重点的に発展を奨励する技術及び装置、環境保護サービスなど細分化する環境保護関連事業のために技術支援を行い、発展のための基盤を整備することにより急速な発展を促し、《十二五》期間中に集塵装置製造産業の水準を押し上げるなど、重要政策として保証することを明らかにしている。

4.3 集塵技術の発展状況

燃料やその他の物質の燃焼過程により生成される煤・粉塵、固体材料の粉碎、サイジング加工、運搬など様々な製造工程で生成される煤・粉塵は、いずれも固体あるいは液体粒子の状態で排ガス中に存在している。集塵は、煤・粉塵などの粒子を気体から分離する技術である。集塵を行う装置を集塵装置もしくは集塵機という。集塵技術は種類が非常に多く、性能もそれぞれ異なっている。したがって、煤・粉塵排出の特長や煤・粉塵そのものの特長に基づき、最適な技術を採用した装置を選択する必要がある。

4.3.1 主な集塵技術及び利用状況

集塵装置は種類が非常に多く、煤・粉塵の分離・捕集手段の違いによって乾式集塵装置と湿式集塵装置に分けられる。また、集塵の基本原理の違いによって機械式集塵装置、湿式集塵装置(湿式洗浄塔)、ろ過式集塵装置、電気集塵装置、音波集塵装置に分けられる。

図表132 各種集塵装置の基本性能

種類	方式	圧力損失/PA	効率/%	設備費(割合)
機械式集塵装置	重力式集塵装置	50～150	40～60	1.0
	慣性力集塵装置	100～500	50～70	/
	サイクロン式集塵装置	400～1 300	70～92	1.0～4.0
	噴霧式洗浄機	100～300	75～95	2.5～5.0
湿式集塵装置	ベンチュリー式集塵装置	5 000～20 000	90～98	1.5～16
	パルスジェット式集塵装置	800～2 000	85～98	1.0～2.4
	洗浄集塵装置	500～1 500	85～98	/
深層ろ過式集塵装置	バグフィルター式集塵装置	800～2 000	85～99.9	3.0～6.0
	顆粒層集塵装置	800～2 000	85～99	3.0～6.0
電気集塵装置	乾式静電気集塵装置	100～200	85～99	2.5～8
	湿式電機集塵装置	125～500	90～98	/

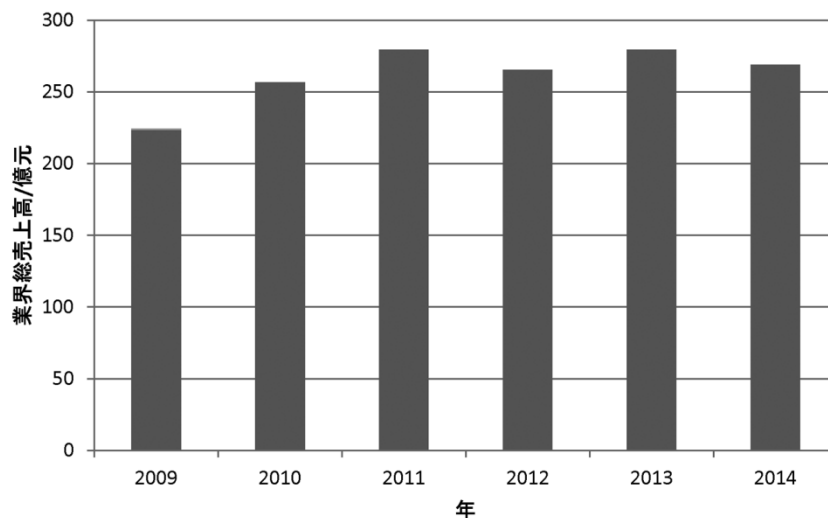
これらの集塵装置のうち、電気集塵装置及びバグフィルター式集塵装置は時間をかけて開発されているため技術的にも優れており、工業の中でも応用範囲が最も広い集塵装置である。さらに、新たに開発された電気・バグフィルター複合式集塵装置もその利点により次第に市場に占める割合が増加している。これら3種類の集塵装置の生産額は集塵装置製造産業の96%以上を占めており、今後の集塵装置開発において注力すべき方式と言える。

図表133 主要3種類の集塵装置の技術比較

種類	バグフィルター式集塵装置	電気集塵機	電気・バグフィルター複合式集塵装置
集塵効果	30～10 mg/m ³	100 mg/m ³ 、新基準を満たすように湿式を改良	30 mg/m ³ 以下
設備投資	初期投資額は電気集塵装置より高額	初期投資額は最も低い	初期投資額はバグフィルター式と電気の間、改造費用は低い
電力消費	比較的少ない	比較的多い	バグフィルター式と電気の間
メンテナンス	運転中のメンテナンスが可能	メンテナンス時、一時的に高圧電場の停止が必要	バグフィルター部分のメンテナンスは運転中でも可能

集塵装置にはサイクロン式等他の方式もあるが、市場占有率は極めて低く統計が困難である。また電気集塵装置とバグフィルター式集塵装置の市場で占める割合が96%を超えることを考えると、電気集塵装置とバグフィルター式集塵装置の総生産額が集塵装置産業全体の総生産額とほぼ同等であるといえる。2009年から

2011年にかけて中国の集塵装置生産額は年々増加した。2012年、中国の電気集塵装置とバグフィルター式集塵装置の総生産額は265億3,200万元で、前年よりも約8%減少した。政策による市場の活性化が十分でなく、国内の火力発電業における需要がなかったことが原因の一つと考えられる。さらに、電気集塵装置の主な輸出相手国であるインド、トルコ等への輸出が景気の影響を受けて減少したことにより、輸出額が減少した。また、バグフィルター式集塵装置は小企業の競争の激化により、粗利が低減したことも影響した。しかし、2012年末から2013年下半期にかけ関連政策が次々と公布され、項目ごとの基準が厳格化されたため、集塵装置の需用が大きく伸び、今後2年間で急速な発展が見込まれている。なお、2014年には生産能力過剰のため、総生産額は若干減少した。



出典：中国環境保護産業協会バグフィルター式集塵委員会統計数値

図表134 2009－2014年中国集塵設備マーケット売上高

4.3.2 バグフィルター式集塵装置

バグフィルター式集塵装置は深層ろ過式集塵装置の一種であり、袋状のフィルター(bag filter)を用いてろ過をする装置である。通常、排ガスはバグフィルター式集塵機のフィルターを通過して排出され、フィルターの繊維によって一定の大きさ以上の粒子状物質をろ過することにより集塵を行う。また、ある程度の期間運転することで、大きい粒子状物質はフィルター表面に堆積しろ過層を形成する。その後はより小さい粒子状物質も捕捉することができ、二次的に集塵を行うことが可能となる。もちろんフィルターの材質を変えることにより、ろ過する粒子の大きさを調整することが可能である。

バグフィルターの品質は、バグフィルター式集塵装置の集塵効率に直接的な影響を及ぼす。バグフィルターを選択する際は、フィルターの繊維径、堆積した粒子の貯蔵能力、捕集した粒子の飛散防止能力、フィルターのメンテナンス・再生の可否、特定の状況下で使用した場合の寿命、高温・高圧などの環境に対応可能かなど、多くの点を考慮する必要がある。バグフィルターには様々な材質が用いられており、材質によって性能や価格が異なるため、どの産業で、どの材質のバグフィルターを用いるかの違いによって、その成果に大きな差異が生じる可能性がある。

バグフィルターの価格は材質の性能を基に決められる。バグフィルター式集塵装置の初期投資額の10～20%前後はバグフィルターの費用と考えられる。バグフィルターは消耗品であり、約2～4年前後の周期で交換が必要となる。交換周期は処理する排ガスの種類や処理環境などによって変動する。

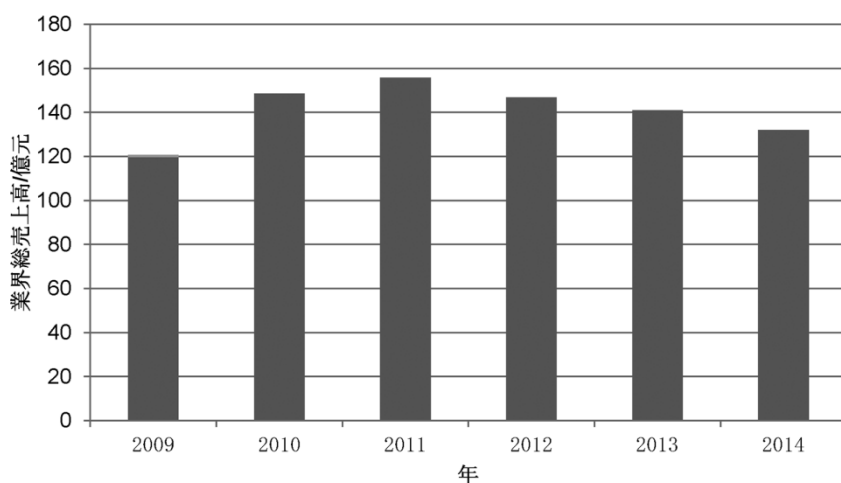
国家による汚染物質排出基準が厳格化していることにより、集塵装置産業市場は大幅な発展が見込まれている。集塵技術は世界共通の煤・粉塵除去技術となっており、煤・粉塵などに対し最も有効な手段と見なされている。

中でもバグフィルター式集塵装置は非常に高効率であり、集塵関連産業という大規模な市場において大きく発展すると見込まれている。

高性能を誇る集塵技術の中で、バグフィルター式、電気、電気・バグフィルター複合式の集塵装置は現在多くの産業で使用されている。全体から見れば、バグフィルター式集塵装置は集塵効率の高さを最も広く認められており、集塵産業の市場に占める割合は60%前後に及び、鉄鋼業においては約90%以上採用されている。装置の核となるバグフィルターの性能も日増しに進歩しており、価格も低下してきているため、近い将来、バグフィルター式集塵装置は市場規模・市場シェア共により拡大することが期待されている。

火力発電業を例に挙げると、国内の火力発電業では従来は電気集塵装置が主流となっていた。しかし、排出基準の厳格化に伴い、バグフィルター式集塵装置が高い確率で採用されている。とりわけ新設の大型火力発電所においてバグフィルター式集塵装置が採用される機会が急増している。また、従来の火力発電ユニットで用いられていた電気集塵装置のバグフィルター式への改造も需要が増加しており、バグフィルター式集塵装置は火力発電業向け集塵技術の主流となると見込まれている。さらに、国内の火力発電業におけるバグフィルター式集塵装置の採用率は30%未満なのに対し、先進諸国（ヨーロッパ諸国、オーストラリア等）の火力発電業におけるバグフィルター式集塵装置の採用率はすでに50%を超えていることから、火力発電業におけるバグフィルター式集塵装置の市場ポテンシャルは高いと言えるだろう。

しかし、2014年のバグフィルター式集塵装置（電気・バグフィルター複合式集塵装置を含む）の総生産額は132.67億元、利益は11.87億元であり、前年に比べ共に減少しているのが現状である。その中でもメインユニット生産企業と総合建設企業の営業販売額は大幅に減少しており、二年連続で赤字を記録している。鉄鋼、セメント、アルミニウム等、多くの産業で大幅な過剰生産が見られ、全体の利益も減少していること、国家経済体制の調整、集塵産業における過剰生産、市場競争の激化、各企業における新たな動向やイニシアティブの不足などが原因となっていると考えられる。2014年、多くの企業において売上の減少は明確であり、生産量が増えても売り上げが増加しないというのが2014年度のバグフィルター式集塵装置産業の状況であり、ほとんどの企業で経営状況は悪化している。



出典：中国環境保護産業協会バグフィルター式集塵委員会統計数値

図表135 2009－2014年中国バグフィルター式集塵マーケット売上高

しかしながら、明るい兆しも見られる。ここ数年の状況を分析すると、バグフィルター式集塵装置産業の業績は、メインユニット、フィルター、附属設備などで比較的大企業に集中している。バグフィルター式集塵装置産業が繊維工業などへの支援と育成、特にアラミド繊維、ポリイミド樹脂、PPS、PTFE、グラスファイバー等の技術支援に注力することにより、国産繊維の使用量が増加し輸入繊維に取って変わる動きを見せている。国産繊維の性能は、フィルターの材質に求められる基準を概ね満たしており、また、輸入・国産共に繊維（PPS繊維を除く）の価格は高

幅に低下しており、繊維産業全体に一定の利益をもたらしてきたと言える。現在、国産のPPS、PTFE、アラミド繊維、ポリイミド樹脂は国内の市場ニーズを十分に満たしており、価格も大幅な低下が見られる。これにより、フィルター生産企業の利益増加が期待できる。

それ以外に、国内のバグフィルター式集塵装置は大型化という方面で比較的發展を見せている。これまでバグフィルター式集塵装置の風量は十数万 m^3/h 程度だったが、現在100万 m^3/h まで引き上げることに成功している。ろ過面積は2,000～2万 m^2 程度だったものから5万～6万 m^2 に拡大するに至っている。その中でも電力産業におけるバグフィルター式集塵装置の1台あたりが処理可能な排ガス量は最大で500万 m^3/h を超え、ろ過面積は8万 m^2 に達している。バグフィルター式集塵装置が大型化する過程において圧力損失も大幅に低下した。これにより、以前は1,500～1,800Paだった数値を1,200Paひいては1,000Pa以下まで引き下げることに成功した。ろ過効率の安定性と有効性が上昇し、煤・粉塵の排出濃度は10 mg/Nm^3 以下に達している。

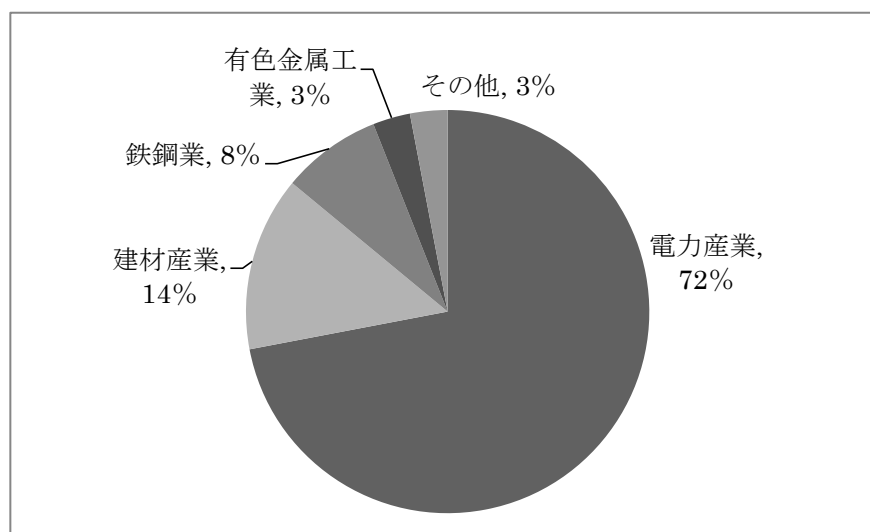
4.3.3 電気集塵装置

電気集塵装置は、クロウンの法則の原理に基づいた技術を用い、集塵する装置である。

電気集塵装置は高圧電場を用いることによって集塵を行っている。排ガス中に含まれる煤・粉塵の粒子は高圧電場を通過する際に帯電する。帯電した粒子は異なる極性を持った電極（集塵極）に引き寄せられ付着する。このような仕組みで煤・粉塵を排ガス中から除去し、空気を浄化するという技術である。電気集塵装置の発展の歴史は比較的長く、技術的にも成熟しており、多くの煤・粉塵を除去することができる上、運行費用を抑えられるというメリットもあるため、常用するに適した集塵方式であると言える。

電気集塵装置の分野において、中国は生産量・使用量ともに世界トップであり、関連する科学技術分野においても世界で上位に位置しており、まさに電気集塵装置大国であると言える。国産の電気集塵装置は国内の市場ニーズを満たしているだけでなく、数十カ国の国や地域に輸出されている。世界市場が金融危機の影響を受けているにもかかわらず、ここ数年の輸出量は依然として15億元から30億元にも上り、中国の環境産業において電気集塵装置産業は外国メーカーに匹敵する競争力を備えた産業であると言える。

電気集塵技術は国内の環境産業製品の中でも特に成熟度が高い。工業分野、電力、建材、鉄鋼など、一定量の煤・粉塵を排出する産業において主に利用されている。特に国内の火力発電所向け集塵装置の70%以上で、電気集塵装置が採用されている。



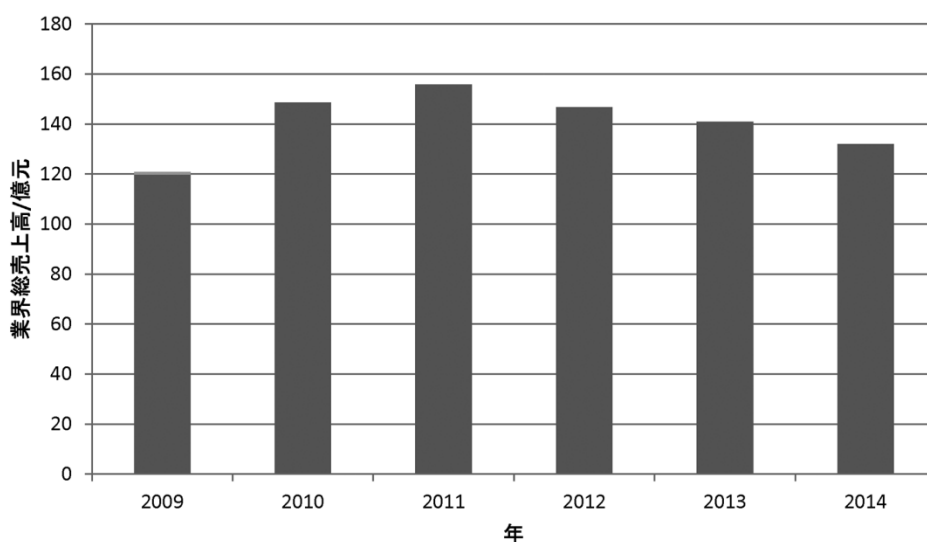
出典：尚普諮詢調研の調査結果をもとに整理

図表136 中国の電気集塵事業の利用状況

2014年以降の調査結果を見ると、電気集塵装置の市場でのニーズは再び増加傾向を示している。主な要因は以下の通りである。

- 1) 環境保護を求める声が日増しに高まるのと同時に国家の環境保護に対する取り組みも強化されており、電気集塵装置の市場ニーズもそれらに比例して増加している。
- 2) 低温電気集塵装置、湿式電気集塵装置、移動電極型電気式集塵装置、高効率電源など、新たな技術により市場が活性化している。
- 3) 世界市場におけるニーズも増加しており、電気集塵装置の販売シェアが高まっている。

中国は世界の電気集塵装置大国として確固たる地位を築いており、台数だけではなく技術水準でも最先端を行っている。中国の電気集塵技術は、本体の設置からコンピューターによる高低圧電源制御、および絶縁部品、付着した塵の払い落とし、電極板・電極線に至るまで、全てが国産化されており、かつ各種製品や部品は30以上の国や地域に輸出されている。



出典：中国環境保護産業協会バグフィルター式集塵委員会統計数値

図表137 2009－2014年中国電気・バグフィルター式複合集塵マーケット売上高

4.3.4 電気・バグフィルター複合式集塵装置

電気・バグフィルター複合式集塵装置は新たなタイプの集塵装置である。この集塵装置は、一般的に電気集塵装置を改造することにより製造される。電気集塵装置の高圧電場を残した状態でその後部にバグフィルターを設置、排ガスを電場とフィルターの両方を通過させることによって煤・粉塵を除去する方法である。この集塵装置の特長は、電気集塵装置の力により短時間で多くの煤・粉塵を処理することができる点、またその後バグフィルターを通過させることにより二段階の集塵が可能な点にある。つまり、排ガス中の極めて微細な粒子も処理することが可能であり、一歩進んだ集塵方式であると言える。

電気・バグフィルター複合式集塵装置は、上記に挙げたような他の集塵装置にはない特長を活かし、近年急速に発展を遂げてきた。特に火力発電業において目覚ましい成果を見せている。多くの火力発電所で用いられていた電気集塵装置では新たな国際基準を達成することができないため、大規模な改造が行われている。中国電力企業連合会のデータによれば、現在火力発電業において使用されている集塵装置は電気・バグフィルター複合式集塵装置がバグフィルター式集塵装置を上回っている。2014年度末までに火力発電所に設置されているバグフィルター式集塵装置、電気・バグフィルター複合式集塵装置の設備容量は1.89億kWを超え、全国の石炭火

力発電ユニットの設備容量の22.9%を占めている。その中で、バグフィルター式集塵装置の設備容量は約0.75億kWで9.1%を占めており、電気・バグフィルター複合式集塵装置の設備容量は1.14億kWで13.8%を占めている。

4.4 集塵処理技術の市場分析

4.4.1 集塵産業の発展状況の概要

大気汚染防止のため、政府は環境保護により力を注いでいる。環境保護産業への投資は年々増加し、それに伴いGDPに占める投資額の割合も増加を続けている。大気汚染防止の主流な設備である集塵装置利用の見通しは明るい。現在、中国における集塵装置製造産業市場への参入は容易ではあるが、基準が統一されていないため参入企業の質は様々であり、市場の発展に歯止めをかけることとなっている。しかし、近年の集塵装置の市場規模は、各項目で基準値を維持しつつ毎年30%以上の割合で成長を続けており、集塵装置製造産業への投資は今後も増加が見込まれる。政府は財政、税収、金融などの分野でも政策支援を行っているため、集塵装置製造産業への投資機会は増大している。集塵装置製造産業の急速な発展に伴い成長し、市場規模は1,000億元を突破すると見込まれており、環境保護産業における重要な投資市場となっている。

集塵産業の市場集中度は今後も高まっていくことが予想されている。当面の国家政策によって、大気汚染物質排出基準は年々厳格化されている。そのため、電力産業、セメント産業などでは集塵効果のより優れた装置が必要とされている。市場における絶え間ない競争と発展により、高度な技術を持たない低水準の企業は徐々に淘汰されている。同時に、高度な技術を有する優良企業は、徐々に独自の集塵装置と市場での地位を形成している。

不完全な統計によるものだが、電気集塵技術の研究、設計、生産及び設置工事を行っている企業は200社を超えていると言われている。電気集塵装置製造の基盤は既に整っていることもあり、中国は短期間で電気集塵装置製造大国と言われるに至った。関連する科学技術分野においても世界で上位に位置している。国産の電気集塵装置は国内需要のみならず外国からの需要も多く、数十の国と地域に輸出している。浙江菲達環保科技股份有限公司と福建龍淨環保股份有限公司は中国の電気集塵産業をリードする企業であり、その実力は業界内でも突出している。

バグフィルター式集塵装置の市場における民間企業が占める割合は90%以上に及んでいる。小規模事業者が多数を占めており、市場集中度は低い。現在、バグフィルター式集塵装置製造産業において有力な企業は以下の通りである。江蘇科林、天澄環保、江蘇瑞帆、上海凌橋は主に鉄鋼業向け集塵装置を扱っている。江蘇新中環、浙江菲達、浙江潔達、福建龍淨、武漢凱迪、清華同方は主に電力産業向け集塵装置を扱っている。合肥水泥院、天津仕名、河南中材、浙江潔華は主にセメント産業向け集塵装置を扱っている。上記に挙げた企業の年間生産額は1億元以上に達しており、企業規模はすでに中堅企業の域に達している。そのうち龍淨、菲達、科林環保、三維絲、安徽盛運、際華集団はすでに上場を果たしている。

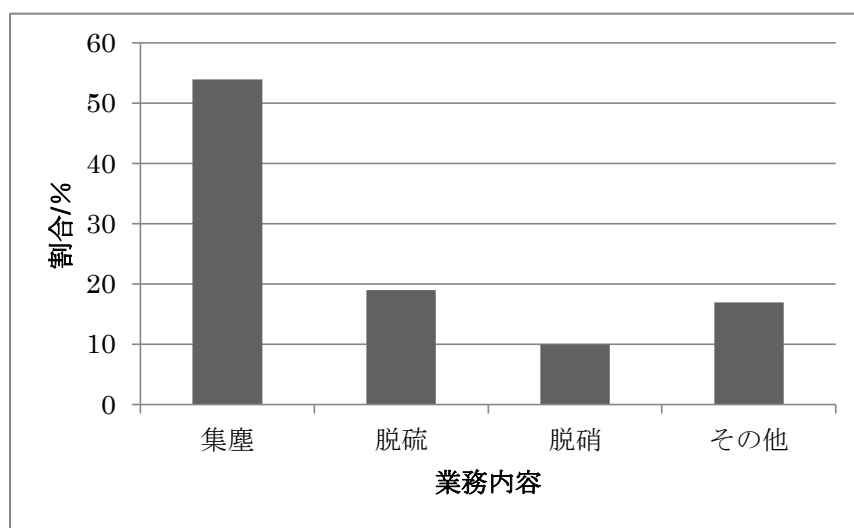
4.4.2 集塵における重点企業の分析

1) 龍淨環保

龍淨環保股份有限公司の前身である龍岩無線火力発電所は1971年4月に設立された。組織変更や構造改革を経て、2000年12月に龍淨環保として上海証券取引所に上場した。現在、同社は環境設備の研究開発、製造において世界最大規模の企業の一つとなっている。主な業務は大気汚染防止設備の製造・販売（開発、設置、運用等を含む）である。主にアメリカ、ドイツ、オーストラリアなど諸外国の最新環境保護技術を導入し、それをもとに独自の技術開発を行っている。

同社は国内集塵装置製造産業においてトップに立つ上場企業であり、電気式、バグフィルター式、電気・バグフィルター複合式といった集塵装置の主要技術を有している。業務範囲は集塵だけでなく脱硫、脱硝などにも及んでおり、主要製品は電力、金属製錬、建材など様々な産業に販売されている。

同社は各種汚染物質除去技術を総合的に発展させることに成功しており、あらゆる大気汚染物質除去に対応できるだけでなく、それぞれの技術水準は全てトップクラスにある。そのため、工業排ガスの排出源（火力発電業、セメント産業、鉄鋼業など）に対し複数の汚染物（煤・粉塵、硫黄酸化物、窒素酸化物など）を並行して処理することが可能である。



出展：公司年報

図表138 龍淨環保股份有限公司の業務比率

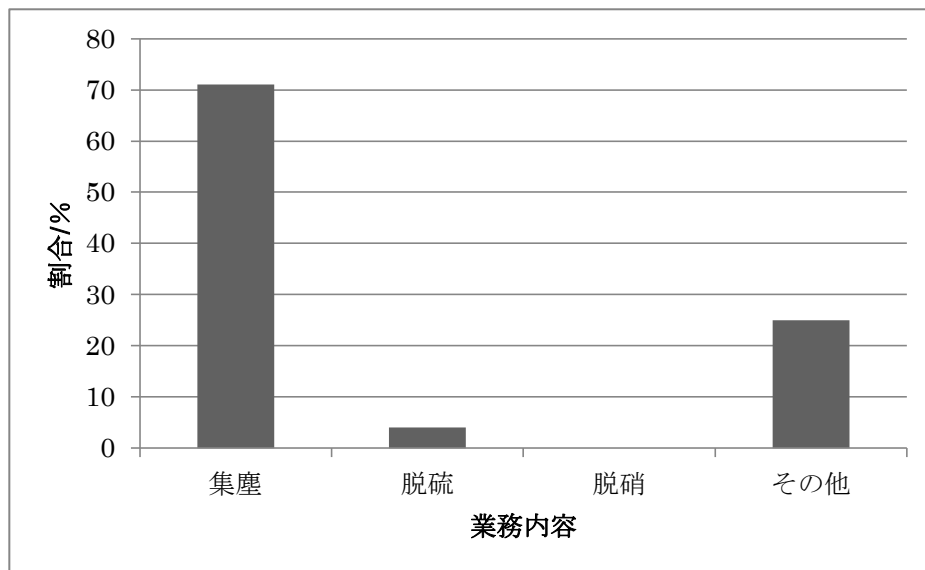
龍淨環保が独自開発したEF型電気・バグフィルター複合式集塵装置は、世界でもトップレベルの技術を備えており、知的財産権は龍淨環保に帰属する。2012年3月、同社が開発した世界最大の電気・バグフィルター複合式集塵装置は河南新密発電所の二期工程第3炉への導入に成功し、国内外における技術的空白を埋めることとなった。今後は湿式電気集塵装置の重点的な発展を目標としている。既に同社は三菱重工の技術を導入することにより、湿式電気集塵装置の国産化を実現している。同時にドイツのルルギ式低圧パルス式バグフィルター技術およびアメリカのエネルギー&環境リサーチ・センター（EERC）の組み込み式電気・バグフィルター複合式集塵技術を導入した。同社の電気・バグフィルター複合式集塵技術は世界でもトップレベルであり、特に気流分布、大口径パルスジェット、長尺ろ布採用低圧パルス式バグフィルター、多品種混紡フィルター、排煙診断とフィルターの選択配合などの大型化技術において世界をけん引するに至っている。

同社は大気汚染防止産業で最も早く上場した企業の一つで、長期にわたり国内の集塵産業をリードしてきた。集塵装置製造産業市場において、8年連続で市場シェア第1位を記録している。2013年までに同社の電気・バグフィルター複合式集塵装置は累計で約300台を売り上げ、契約総額は累計45億元を超えている。さらに、新規契約は毎年約10億元の増加を見せている。電気・バグフィルター複合式集塵装置の年間販売量は全国の集塵装置製造産業において第1位を記録しており、市場占有率は50%以上を占めている。600MW以上の大型電気・バグフィルター複合式集塵装置の市場占有率は70%以上を超えている。世界最大規模の1,000MWの電気・バグフィルター複合式集塵装置を4台保有しており、既に2台の運用に成功している。

2) 菲達環保

菲達環保は2002年に上海証券取引所に上場を果たした。敷地面積86.7万 m^2 、資本金14,000万元、総資産額16.2億元である。2014年の同社の営業利益は27.8億元、売上総利益は7,805.46万元で、それぞれ前年より42.01%、41.60%増加した。また、2014年度の輸出額は前年を41.24%上回った。

同社は1995年に他社に先駆けてISO認証ならびに《大気汚染防止プロジェクト設計甲級》を取得、これにより企業の実力・主要製品の販売量ともに国内集塵装置製造産業の上位に食い込むまでの成長を果たした。また、大型石炭火力発電所における過熱器から煙突間での集塵、脱硫といった環境設備のシステム設計から設置工事までを行う技術を有している。同社では、国家認定を受けた企業技術センター、国家級ポスドク科学研究所、専門研究所7ヶ所を設立、またアメリカのセントルイス、上海、杭州に研究センターを設立し、国内外で技術開発を行っている。科学技術活動に携わる社員は合計368人、研究及び試験を行う社員が197人おり、そのうち国家特別専門家3人、教授6人、博士6人を擁しているが、それぞれが様々な分野をけん引するリーダー的存在である。現在までに同社では国家級の科学技術発展計画多項目（ハイテク研究発展計画（863計画）2項目、重要設備及び科学技術の難関攻略計画と重要設備研究製作計画を21項目、タイムツ計画を1項目、スパーク計画を1項目）、省部級の科学技術難関攻略計画を40項目以上担っている。また、60項目以上の省部級科学技術難関攻略計画において成果を挙げており、29項目の省部級以上の科学技術進歩賞を受賞している（国家級科学技術進歩二等賞1項目、省部級科学技術進歩一等賞4項目を含む）。特許保有件数は49件、主体となり制定した国家及び産業基準は38項目である。同社は核心技術の知的財産権を所有しており、その技術は国内の有名ブランドとして国際的な競争力を有している。企業の経営状況は順調であり、独自開発をした製品は売上利益の75%以上を占めている。



出展：公司年報

図表139 菲達環保の業務比率

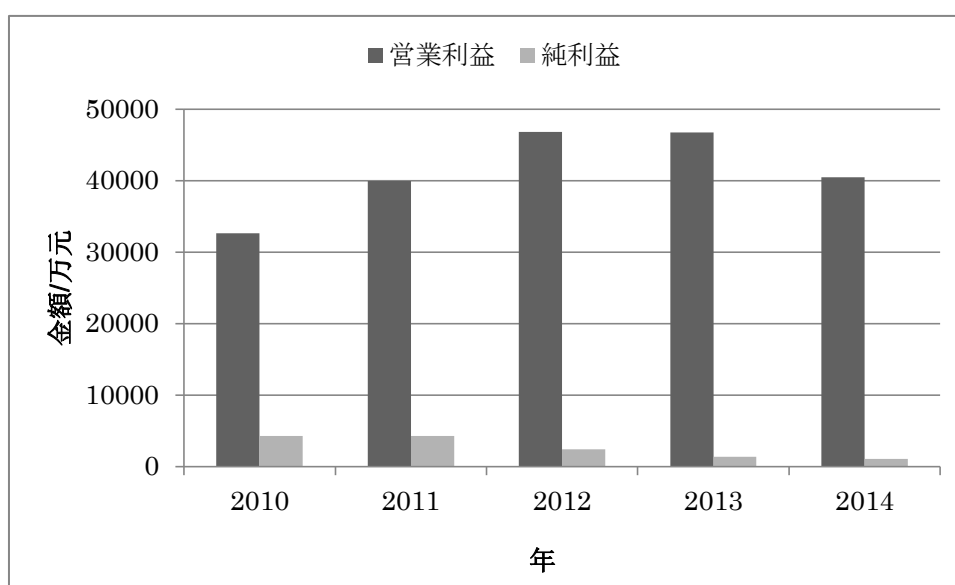
電気集塵装置の市場における菲達環保の市場占有率は25%を占めている。そのうち600MWなどの大型電気集塵装置の市場占有率は約35%を占めており、1000MW規模の電気集塵装置の市場占有率は70%に及ぼうとしており、世界的な石炭火力発電所向け電気集塵装置のメーカーとして優位性が非常に高い事が分かる。

3) 科林環保

科林環保はバグフィルター式集塵装置の研究開発、設計、製造、販売、運用管理を行う科学技術株式企業である。1979年に設立され、現在の従業員数は約400人、敷地面積18万 m^2 、建築面積は12万 m^2 である。設計から

製造までを手掛ける集塵装置はろ過面積にして年間約50万m²で、使用される鉄鋼の量は年間1.8万トン以上である。コンプライアンスにおいても全国的に信頼のある企業であり、環境産業の中心企業、中国環境保護産業協合理事会副会長、江蘇省高技術企業としても知られている。また、バグフィルター集塵装置事業においていち早くISO90001とISO14001を取得した企業でもある。2006年9月には自社ブランドである《宝帯》集塵機が初めて《中国ブランド製品》に認定された。2008年には企業ポストドク科学研究所を設立し、2010年には《科林KELIN》が中国で著名商標認定された。

同社の2014年の営業利益は40462.58万元で、前年より13.43%減少した。純利益は1076.07万元であり、前年より19.68%減少している。主な収入源はバグフィルター式集塵装置の販売によるものであり、売り上げの83.97%を占めている。2014年、世界経済は複雑な変化を見せ、国内経済も大きな圧力受け集塵装置の市場も厳しい状況が続いた。科学技術研究分野への投資は増大したが、金属製錬工業の集塵装置販売量は減少を見た。近年、製造コスト及び人件費は急速に上昇しており、価格競争も激化している。世界為替相場の変動も同社の輸出事業による売上利益に影響を及ぼしている。



出典：公司年報

図表140 科林環保の2010年～2014年の営業利益と純利益

(1) 科林環境保護裝備股份有限公司の現有の中心製品と技術

大中型高炉ガス乾式集塵装置、パルス式バグフィルター式集塵装置 (LCM/M)、主要技術指標、圧力損失<1800Pa、排出濃度<10mg/Nm³

石炭火力発電所向け高温パルス式バグフィルター式集塵機 (LGM/KE)、主要技術指標、排煙温度<260℃、圧力損失<1500Pa

長尺ろ布採用オフラインパルス式集塵装置 (LCMDG)、主要技術指標、圧力損失<1800Pa、排出濃度<10mg/Nm³

食品産業向けバグフィルター式集塵装置、圧力損失<1800Pa、排出濃度<10mg/Nm³、電気式からバグフィルター式への改造、電気・バグフィルター複合式集塵技術、圧力損失<1000Pa、排出濃度<20mg/Nm³

(2) 「十二五」計画で開発された集塵技術及び焼結機向け排煙脱硫技術

転炉ガス乾式バグフィルター式集塵技術を開発。高温、高湿度に耐性があり腐食に強いタイプのバグフィルター式集塵技術。

超長尺ろ布採用パルス式バグフィルター式集塵技術、ろ布長さ $\geq 12\text{m}$ 、圧力損失 $< 1500\text{Pa}$ 、入口濃度 $\leq 50\text{g}/\text{Nm}^3$ 、排出濃度 $< 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

湿式バグフィルター式集塵技術、煤・粉塵を含む高温の排ガス処理に対応、主要技術指標、圧力損失 $< 1800\text{Pa}$ 、排出濃度 $< 10\text{mg}/\text{Nm}^3$

4) アモイ三維絲環保

アモイ三維絲環保股份有限公司は、国内唯一の創業板(新興企業向け市場)に上場したろ材取り扱い企業である。バグフィルター式集塵事業における核となる重点企業であり、ろ材・ろ布の生産で有名である。同社の主要製品はろ材生産において高度な技術を要する高温ろ過用ニードルパンチフェルトである。この製品にはポリフェニレンサルファイド樹脂(PPS)、ポリイミド樹脂(PI)、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、部分芳香族ポリアミド(MX)などが含まれる。長年にわたる努力により、同社のろ材における技術水準と市場占有率はトップクラスであり、国内の石炭火力発電所向け排煙処理設備用ろ材の市場においてもトップクラスのシェアを占めている。同社は外資企業に対抗し得るろ材メーカーの一つとして、国内で初めて600MW石炭火力発電所ユニットでの運用を成功させた実績を持つ。

同社の前身はアモイ三維絲環保工業有限公司であり、早くからろ材の販売代行、各種規格の気体ろ過フィルター、液体ろ過フィルターの加工及び販売に携わってきた。2003年には最新のろ材生産ラインを導入、精密検測機器を配備し、高品質のニードルパンチろ材の生産を開始した。同社は積極的に研究開発を行い、異なるろ材に化学的処理を施し各種産業に適用できるろ材を開発していった。同社製品の適用範囲は広く、鉄鋼、精錬、ゴミ焼却、発電所用ボイラー、工業用ボイラー、セメント、食品、タバコ、鉱業、石材加工、陶磁器など様々な産業で利用できる。2005年、同社はISO90001:2000認証と高新技術企業認定を取得した。長年にわたるPTEE繊維の研究により、国内で初めてPTEE100%のニードルパンチフェルトの製造に成功した。同社の年間ろ材生産量は400万 m^2 であり、国内ろ材製造企業の中で唯一製造設備と計測機器、最先端技術を揃えている企業であるといえる。主要製品は《普耐®》ブランドで、ポリフェニレンサルファイド樹脂(PPS)、ポリイミドP84、ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)、部分芳香族ポリアミド(MX)などの高度な技術を要するろ材が含まれる。電力、セメント、鉄鋼、精錬、ゴミ焼却などの産業において採用されている。

同社の核となっている技術は、主に高性能な高温向けろ材の開発、生産、適用技術などがある。開発・生産技術にはろ材の構造設計、配合設計、ニードルパンチ製造、艶出し、化学的処理などの技術が含まれており、適用技術には実際の環境や顧客の具体的な要求に基づいたろ材の設計、提案濾料、総合性能評価・分析が含まれる。

同社は、現在では国内火力発電所向け高温用ろ材の市場において三本の指に入る企業となっており、ブランド力も備えている。火力発電所向け高温用ろ材の市場占有率は三維絲より20%以上高く、第1位となっている。長期にわたり火力発電所などへの高温用ろ材供給が主流となっていたが、セメント、鉄鋼製錬、ゴミ焼却などの積極的に市場開拓を進めている。

2014年の営業利益は45452.86万元に達し、前年より4.74%増加した。純利益は6518.67万元で、前年より27.6%増加している。現在、生産量は500万 m^2 に達しており、2014年の生産量は497.6万 m^2 、販売量は496万 m^2 であった。

5 揮発性有機化合物処理技術の発展状況

揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds, VOCs)とは、常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化学物質の総称のことである。一般的に飽和蒸気圧は高く、沸点は低く、分子量が小さい。C2~C12の非メタン炭化水素化合物、C10~C20の炭化水素化合物、C1~C10の酸素を含む有機化合物、ハロゲン化炭化水素、硫化窒素を含む化合物などに大きく分けられる。VOCsは対流圏大気化学反応にとって非常に重要な役割を果たしている。また、光化学スモッグ、二次有機汚染、大気の酸性化などの環境問題にも大きな影響を及ぼしている。対流

圏大気中のオゾン、二次汚染物質、例えばオゾン、過氧化物、アルデヒド、ペルオキシアシルナイトレート、二次生成有機エアロゾルなどの主要な二次汚染物質の生成とVOCsは密接に関係している。さらに、それ以外にもVOCsは人体に影響を及ぼす可能性がある。例えば、ホルムアルデヒド、ベンゼン、1,3-ブタジエン、ポリ塩化ビニルなどは、既に国際がん研究機関により発がん性物質とされている。また、近年の研究により芳香族炭化水素（トルエン、キシレンなど）は呼吸器系や脳の機能を損傷する可能性があることが明らかになっている。

VOCsは大気だけでなく人体へも悪影響を及ぼす物質であるため、排出抑制は必須とされている。特に工業生産過程で排出されるVOCsに対し、吸着、ろ過、浄化などの処理を施すことによって、空気質の改善や人体への影響を和らげるための対策が推し進められている。

5.1 国家の関連政策、法律・法規及び関連技術基準

5.1.1 揮発性有機化合物処理に関連した法律と行政法規

2010年に国務院は《大気汚染合同防止・合同管理事業を推進して地域の空気質を改善することに関する指導意見》を公布した。揮発性有機化合物（VOCs）、粒子状物質、二酸化硫黄（SO₂）、窒素酸化物（NO_x）は排出を抑制すべき主要な大気汚染物質とみなされ、VOCs排出抑制処理は大気汚染防止の重要な項目となった。これにより「十二五」計画の大気汚染防止計画にも、揮発性有機化合物に関する対策案が盛り込まれ、各方面で共同して排出防止に取り組むこととなった。2012年、《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》において揮発性有機化合物の全面的な排出防止、また重点地域において揮発性有機化合物排出抑制に関する目標が明確に定められた。2013年9月、国務院が公布した《大気汚染防止行動計画》では、VOCs汚染防止に関わる幾つかの具体的な要求が記されている。

- (1) 主要産業の排出基準を改定し、《イノベーション》を基準とした産業の効率化とレベルアップを目指す。
- (2) 汚染に関わる企業については、強制的に情報公開する。
- (3) 揮発性有機化合物による汚染対策を促進するため、石油化学工業、有機化学工業、塗装業、印刷業などの産業に対し、揮発性有機化合物に関する総合的かつ厳格な管理規制を実施する。
- (4) リサイクルを意識したクリーン生産を推進する。塗料、印刷インキ、接着剤などの商品に対し揮発性有機化合物の基準値を定め、水性塗料、水性インキ、水性接着剤などの生産と販売、毒性の低い素材、揮発性有機化合物の少ない溶剤の使用を奨励する。
- (5) 法律に基づき、揮発性有機化合物を汚染物質排出費の徴収対象に加え、汚染物質排出費の基準を引き上げる。

5.1.2 揮発性有機化合物排出基準

『重点地域大気汚染防止「十二五」計画』と《大気汚染防止行動計画》の要求に応えるため、国家と地方政府は重点産業における揮発性有機化合物（VOCs排出基準の制定に向け、全面的な取り組みを開始した。VOCs排出抑制の対象となる重点産業の数は多いに関わらず、従来の国家基準ではVOCsに関わる項目はわずか11項目（下記の表を参照）であったため、新たなVOCs排出目標に全く達することができない状況であった。そのため、近年重点産業における組織的な排出基準制定の動きが活発化している。現在も多くの基準が作成中の段階であるが、いくつかの新たな基準が既に完成している。この他にも、重点地域の中には地域独自の排出基準制定に向け取り組んでいる地域もある。中には国家排出基準より先んじて公布、施行をした地域もあり、各地のVOCs対策のモデルケースとなっている。

図表141 VOCsに関連した国家排出基準

種類	基準名(基準番号)
公布済み ¹	大気汚染物質総合排出基準(GB 16297-1996)
	悪臭汚染物質排出基準(GB 14554-1993)
	飲食業油煙排出基準(試行)(GB 18483-2001)
	石油貯蔵大気汚染物質の排出基準(GB 20950-2007)
	ガソリン車の空気汚染物質の排出基準(GB 20951-2007)
	ガソリン充填所大気汚染物質の排出基準(GB 20952-2007)
	合成皮革、人工皮革産業の排出基準(GB 21902-2008)
	ゴム製品工業汚染物質排出基準(GB 27632-2011)
	コーキング科学工業汚染物質排出基準(GB 16171-2012)
	圧延工業大気汚染物質排出基準(GB 28665-2012)
	電池工業汚染物質排出基準(GB 30484-2013)
	石油精製工業汚染物質排出基準(GB 31570-2015)
	石油化学工業汚染物質排出基準(GB 31571-2015)
	合成樹脂工業汚染物質排出基準(GB 31572-2015)
制定中	石油・天然ガス開発工業汚染物質排出基準
	クロル・アルカリ工業汚染物質排出基準
	農薬工業大気汚染物質排出基準
	製薬工業大気汚染物質排出基準
	染料工業大気汚染物質排出基準
	塗料・印刷インキ・接着剤工業大気汚染物質排出基準
	VOCs 無組織逸散通用制御基準
	工業塗料大気汚染物質排出基準
	船舶工業汚染物質排出基準
	鑄造工業汚染物質排出基準
	電子工業汚染物質排出基準
	集成材工業汚染物質排出基準
	家具製造業汚染物質排出基準
	ガラス繊維工業汚染物質排出基準
	皮革製品工業汚染物質排出基準
	紡織工業汚染物質排出基準

¹ 2014年末までに11項目、2015年に3項目を公布

図表142 公布済みVOCs地方排出基準

地区	基準名(基準番号)
北京	石油貯蔵施設石油ガス排出抑制と制限値(DB 11/206-2010)
	タンクローリー石油ガス排出抑制と制限値(DB 11/207-2010)
	ガソリンスタンド石油ガス排出抑制と制限値(DB 11/208-2010)
	石油精製・石油化学工業大気汚染物質排出基準(DB 11/447-2007)
	大気汚染物質総合排出基準(DB 11/501-2007)
	製鉄工業大気汚染物質排出基準(DB 11/914-2012)
	防水コイル材産業大気汚染物質排出基準(DB 11/1055-2013)
上海	生物製薬産業汚染物質排出基準(DB 31/373-2010)
	半導体産業汚染物質排出基準(DB 31/374-2006)
	自動車製造業(塗装)大気汚染物質排出基準(DB 31/859-2014)
	印刷業大気汚染物質排出基準(DB 31/872-2015)
	塗料・印刷インキ及び類似商品製造工業大気汚染物質排出基準(DB 31/881-2015)
広東	家具製造業揮発性有機化合物排出基準(DB 44/814-2010)
	包装・印刷業揮発性有機化合物排出基準(DB 44/815-2010)
	塗装業(自動車製造業)揮発性有機化合物排出基準(DB 44/816-2010)
	靴産業揮発性有機化合物排出基準(DB 44/817-2010)
天津	工業企業揮発性有機化合物排出抑制基準(DB 12/524-2014)

5.1.3 政策に関連した揮発性有機化合物処理の発展

周知の通り、中国においてVOCs排出抑制対策への取り組みが開始されたのは比較的遅く、VOCs排出抑制対策に関連した政策法規や管理体制も健全とは言えず、VOCs汚染処理産業は厳しい制約を受けている状況であった。しかし上述した国家政策、また法案の公布と実施は、VOCs汚染処理産業に契機をもたらし急速な発展を牽引している。

《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》と《大気汚染防止行動計画》が掲げた基準に基づき、2014年、国家・地方政府はVOCs排出防止に関する政策、法規等の充実と管理体制の強化をさらに推進した。第一にVOCs排出費徴収制度の制定である。この制度は多くの汚染物質排出企業の関心を集め、VOCs排出抑制を強く後押しすることとなった。第二に国家・地方政府の重点産業におけるVOCs排出基準の全面的な制定である。第三に関連政策や法規がVOCs処理技術の発展を推し進めた点が挙げられる。2013年に公布された《吸着法による工業有機廃棄物処理工程技術規範》と《触媒燃焼法による工業有機排気物処理工程技術規範》を基に、2014年《蓄熱燃焼法(RTO)による工業有機廃棄物処理工程技術規範》制定への取り組みを開始した。この規範には、各企業が環境保全工程の設計と運営・維持を行うための支援、環境保護部門が汚染物質排出管理を行うための技術提供、環境保全工程建设市場の整備、汚染物質処理工程の品質保証、排出基準を満たすために必要な技術保障の提供が含まれる。

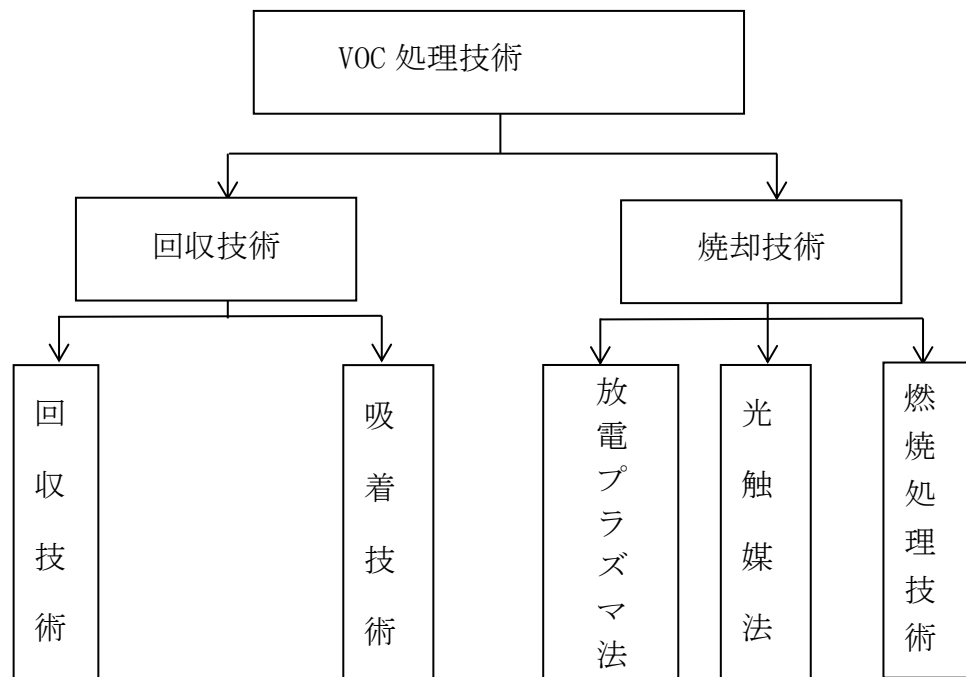
2013年9月に公布された《大気汚染防止行動計画》は各地の企業に多大な影響を与え、VOCs排出抑制を大きく発展させてきた。京津冀地区では相次いで重点汚染源であるVOCs処理を奨励する政策(補助金制度)が公布された。補助金額は処理費用の30～50%にも上り、この地区のVOCs排出抑制を強力に支援することとなった。

2009年以降、一部の外国企業は直接、もしくは代理店を通して中国のVOC処理産業市場に参入し、大型VOC処理プロジェクトへの入札を開始した。外国企業の強みは技術水準の高さと多くの実績、豊富な経験を有している点にあるが、提携企業の不足、すなわち国内代理店企業、関連事業部門、設計部門との連携、技術面を支援するスポンサーなどとの関係が希薄であるなど課題もある。しかし、客観的に見れば外国企業の参入は国内企業との市場競争を生み出し、VOC処理技術の向上、国内企業の発展の促進、国内企業における管理水準の強化など良い影響をもたらすと言えるだろう。

5.2 揮発性有機化合物処理技術の発展状況

VOCsが生成される原理とVOCsの性質を基に、排出を抑制する技術は大きく二つに分けることができる。一つは生成過程における処理技術であるが、これはVOCs生成の原理に基づきVOCs生成量を減少させる方法である。一般的には技術の向上、技術改善と漏洩抑制などによって実現させる。もう一つは排出端における処理技術であるが、これはVOCsの化学的性質を利用し燃焼や分解などの手法によってVOCs排出を制御する方法である。本項では主にVOCsの排出端における処理技術をまとめることとする。現在、VOCs処理市場の排出端における処理技術は、主に回収と焼却の二つに分けることができる。

回収技術は物理的手法であり、温度の変化、圧力、また選択吸着性と逆浸透膜ろ過(RO)などを用い、VOCsを濃縮分離する方法である。主に吸着、吸収、圧縮深冷凝縮、膜分離などがある。回収溶剤は直接、もしくは簡単な洗浄を行った後に再利用することができる。コスト削減になると共に、有機溶剤の品質の高さを求められない生産工程での活用、また分離・精製の際などにも用いることができる。焼却技術は主に化学反応、もしくは生物化学を利用した技術であり、熱、光、触媒、微生物などを用い、有機化合物を二酸化炭素や水など無害な、もしくは毒性の低い無機化合物に変換する方法である。主な処理技術として直接燃焼、蓄熱式直接燃焼、触媒燃焼、蓄熱式触媒燃焼、生物処理、光触媒、放電プラズマなどがある



図表143 VOC処理技術

5.2.1 回収技術

(1) 圧縮深冷凝縮方式

圧縮深冷凝縮方式とは、高濃度のVOCsの温度を凝結器によって沸点以下まで下げて液体に戻し、重力を利用してタンクに貯蔵、その後タンク内よりVOCsを抽出し、回収・再利用するという方式である。この方式は、一般に体積流量600～120,000m³/h、濃度5000-12000×10⁻⁶ ml/m³のVOCsの処理に適しており、除去率は50%～90%である。増大するVOCsと溶剤の吸収率、また接触面積が広い、この方式は一般的に添加剤が備えられている吸収塔の中で行われる。これは高濃度のVOCにとってかなりの経済効果がある。しかし、高い回収率を得るために常に高圧力かつ低温度の環境を保つ必要があり、さらに凝結システムと圧縮システムを結合して使用するため設備費用と運行費用が高額になるという問題点がある。この方式は、単独ではなく吸着、吸収、膜分離法など他の技術と組み合わせて使用するのが一般的である。

(2) 吸着法

吸着法は、多孔質で有害成分を吸着、除去することが可能な活性炭、シリカ、ゼオライト、活性アルミナなどを吸着材として用いたVOC処理技術である。現在、広く用いられている吸着材はの孔はマイクロ孔（孔直径2nm以下）と、メソ孔（孔直径2～50nm）で、最もよく使われているのは活性炭と活性炭繊維である。それらを用いた装置がバルブ切り替え型移動床吸着器である。蒸留塔では主に吸着、脱着、蒸留の3つの工程が行われる。吸着が飽和状態に達した場合、水蒸気を用いて脱着し、再生した活性炭を循環使用することが可能だ。

この技術は各濃度、また溶剤のVOCsに対する経済効果が顕著であり、除去率は90%～95%に及ぶ。吸着法の長所は除去率の高さ、エネルギー消費の低さ、技術がすでに成熟している点、脱着後の溶剤が回収可能といった点にある。短所としては装置の規模が大きいために工程が複雑であること、導入後の運行費用が高額である点が挙げられる。さらに活性炭吸着中、もしくは活性炭再生中に生成される冷却凝結液が、VOCs回収後に排出され二次汚染をもたらす恐れがあるため、廃液処理対策が必要である。

国内関係機関は、2008年より活性炭を用いたVOCs循環脱着分流回収吸着浄化技術の工程を発表、また多くの工程に継続的改善を実施し、すでに加熱気体の循環と冷却回収の間で生じる問題、脱着過程の安全性、脱着過程におけるエネルギー源の総合利用などの方面における課題を解決し、循環脱着分流回収吸着浄化技術と設備システムの構築を確立。活性炭を用いたVOCs循環脱着分流回収吸着浄化技術のVOC回収率は90%を上回り、95%以上に及ぼうとしている。機関投資はおよそ9～24万元/千(m³/h)、回収コストはおよそ700～3000元/トン、投資回収期間は2～5年である。この技術は5年の開発期間を通して、現在すでに成熟、安定しており、自動運転も実現している。しかしVOCs処理装置安全設備の配置要求が高いなどの要因により、投資費用が一般的な環境浄化装置よりも高くなっている。この技術は石油、化学工業及び製薬工業、塗装、印刷、染色、エナメル線、金属、食品、タバコ、精油工業、及びその他の有機溶剤が使用される生産過程、或いはC4-C12石油炭化水素工業過程において使用されている。

5.2.2 焼却技術

(1) 燃焼技術

直接燃焼(下写真左)と触媒燃焼(下写真右)の総称を燃焼技術といい、その分解メカニズムは燃焼による酸化分解である。そのうち、直接燃焼のVOCs分解率は比較的高く、一般の状況下で99%に達する。触媒燃焼とは、触媒の作用により温度が低い状況下でもVOCsの化学反応速度を速め、それによってVOCsを分解するものである。

直接燃焼法で必要となる燃焼温度は比較的高く、排ガスの予熱過程において大量のエネルギーを消費し、省エネという観点では不利であり、運行費用も非常に高い。VOCs燃焼時に発生した熱を蓄熱し再利用する蓄熱式直接燃焼法(RTO)は、直接燃焼法を基盤として発展した。この技術のポイントとなるのは、熱回収率95%以上を達成できる適切な蓄熱材の選択である。また、バルブの切り替え周期と、燃焼反応器の温度調整を適切なタイミングで制御することも重要なポイントである。この技術は、70年代にはすでにVOCsを含む排ガスの浄化に用いられており、当時は陶磁器を蓄熱材として採用し熱効率は80～85%であった。90年代中期、欧米諸国においてRTOは広く用いられ、数十年の発展を経て技術は成熟し、分解効率は95%以上に達した。熱効率、VOCs分解率がともに高いという長所を持った技術である。

国内におけるRTO技術の発展は非常に速く、技術の導入及び独自の研究開発により、蓄熱材、バルブなど主要構成要素において大幅に進んでおり、国内の多くの企業が既にRTO技術を採用している。艾瑟爾新能源環保公司等が代表的である。輸入された中核を成す部品を用い製造したRTOシステムは温度調節が極めて正確で、温度を一定に保つことができ、装置の密閉性も優れており、安全性も高いなどの長所がある。特に自動車の塗装、印刷、製鋼、化学工業などで広く用いられている。例えば、年間3万トンの無水マレイン酸生産工場では、大量の一酸化炭素、ベンゼン、有機酸などの汚染物質を排出していたが、RTO技術を採用した結果、VOCs処理率は99.9%にまで達し国家基準を完全に満たすことに成功した。

触媒燃焼法とは、触媒を利用して有機物の酸化に必要なエネルギーを低下させ、かつ反応速度を上げることで、300～500℃の低温域で有機物を分解する技術である。この技術の発展は比較的に早く、また成熟している。初期の触媒燃焼法は気体の加熱と温度上昇過程において大量の熱エネルギーが必要であり、運行費用も高かったため、近年、蓄熱式触媒燃焼法(RCO)が発展を見せている。RCOは触媒燃焼法を基盤とし、触媒分解過程で生産された熱エネルギーを蓄熱材に蓄熱し、その熱を利用し排ガスを処理する技術である。汚染物質の分解を行うと同時に省エネも実現している。

国内におけるRCO技術の研究は70年代に始まり、当時触媒燃焼法はエナメル焼き付け乾燥炉の排ガス処理に用いられていた。その後40年以上にわたる独自研究開発、ならびに結合技術導入により、国内のRCO技術は発展を続け一定の成果を挙げるに至っている。先進国との格差は未だあるものの、各工業におけるVOCs排ガス処理に広く用いられている。例えば、天津のある印刷包装資材企業では、以前は生産過程において大量のVOCsを排出していた。排ガスはメチルエチルケトン、酢酸エチル、トルエンなどの汚染物質を含み、濃度はそれ

ぞれ $77.6\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $180.5\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $415\text{mg}/\text{m}^3$ に及んでいた。《吸着/脱着—触媒燃焼》混合技術による排ガス処理システムを導入した結果、ベンゼン、トルエン、キシレン、臭気、それぞれの除去率96%、98%、99%、92%以上を達成した。

全体的に見て、燃焼技術は風量が少なく高濃度の排ガス処理、また排ガスを連続放出するという場面に最適である。この技術は設備がシンプルで投資が少なく、操作が簡単であり、占有面積が小さく、さらに熱エネルギーの再生利用も可能な上、排ガスをまんべんなく浄化することが出来る。しかし、燃焼技術には次のような欠点もある。触媒燃焼に比べ、直接燃焼法は爆発の危険性があり、かつ大量の燃料を消費する上、溶剤の回収ができない。また、触媒燃焼に求められる初期温度は低く、ほとんどの有機物と一酸化炭素は $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ ですぐに反応し、補助燃料の消費は少ない。しかし、触媒の寿命と分解率への影響を防ぐために、排ガス中の塵や水滴を事前に処理する必要がある。また、触媒劣化を引き起こす触媒毒の混入も避ける必要がある。そのため、触媒燃焼法による排ガス処理が実施される以前の段階で、別の処理を加える手間が発生する。



図表144 直接燃焼法式脱臭装置(左)と触媒燃焼式脱臭装置(右)

(2) 放電プラズマ法

放電プラズマ法は、放電により産み出された大量の高エネルギー粒子を利用し、VOCs分子をイオン化、酸化分解し、無毒無害な物質へと分解する技術である。近年この技術は国内外の注目を集めている。現在、比較的前例のある放電プラズマ技術はコロナ放電技術である。その基本原理は狭いパルス幅(ns級)の高圧パルスコロナ放電を通し、常温・常圧の状況下でプラズマを発生させ、大量の高エネルギー電子とO、OHなどの活性粒子とVOCsを接触させることで酸化分解し、最終的に無害な物質に転換させるというものである。コロナ放電はVOCs処理に高い効果があり、応用範囲も広く、基本的にあらゆるVOCsを有効に処理することができる。特に低濃度のVOCs処理の効果は著しく、運用技術も簡単で維持しやすく、省エネも可能であり、既存技術より経済的と言える。

国内外の科学技術研究員は低温プラズマに焦点を当てVOCs分解の研究実験を数多く行ってきた。実験結果によると、VOCsの分解過程においていくつかの副産物が生成されはするが、総合的に見ても分解率は非常に高い。実際の工程で試験使用した低温プラズマ技術も良いパフォーマンスを見せている。

蘇州新区のある電子設備メーカーは粉碎、印刷、焼成などの製造過程で、大量のトルエン、エタノール、ポリエチレンテレフタレート、ポリビニルブチラールなどを含む排ガスを発生させていた。これらの排ガスは濃度が比較的低く、VOCsは $15\text{mg}/\text{L}$ 以下であった。放電プラズマ法を排ガス処理に採用した結果、排出されるVOCs濃度は1800から100まで下がり、分解率は94.4%にまで達した。処理後の排ガスは国家基準を満たすことができている。山東省のある製薬会社の調整池や培養池などからメタンチオール、ジメチルスルフィド、硫化水素、非メタン炭化水素などの汚染物質を排出していた。排出量は $3500\text{m}^3/\text{h}$ であった。放電プラズマ法を排ガス処理に採用した結果、分解率は94.2%をマークし、かつ反応速度も速く、省エネも達成している。

(3) その他の技術

光触媒法とは、光触媒作用を利用しVOCsを酸化分解する技術である。光触媒に紫外線を照射すると、酸化力の非常に強い正孔が生成されVOCsをCO₂とH₂Oにまんべんなく分解することができる。伝統的な処理技術と比較すると、光触媒法には以下の4つの特長がある。

- ・光触媒法はVOCsを単純に吸着するのではなく、分子レベルで分解するため、まんべんなく分解することが可能。
- ・低濃度で比較的処理が難しいVOCsに対しても、光触媒法は同様の効果を発揮することが可能。
- ・光触媒法は常温の状況下で実現可能であり、吸収法もしくは吸着法のように飽和状態に陥ることやフィルターの交換なども不要なため、経済的かつ実用的であると言える。
- ・光触媒法は高い電圧が必要なく、最終的に生成されるのはCO₂とH₂Oのみであるため人体にも無害であり、騒音という問題もない。

一方、光触媒法の欠点は、適切な光触媒活性物質の選択が難しいことである。現在一般的に利用されている光触媒活性物質は硫化カドミウム、酸化亜鉛、酸化チタンである。硫化カドミウムと酸化亜鉛はともに化学的性質が不安定であり、光触媒作用と同時に光溶解が起き有害金属イオンが溶出することにより一定の生態毒性を有することがある。酸化チタンは化学的性質も安定しており、無毒無害かつ低価格という利点がある。多くの光触媒に共通する問題として、光触媒のほとんどは紫外線領域でのみ働くため、太陽エネルギーを最大限に利用できない点が挙げられる。複合させることにより可視光線でも反応させることができるが、効率が未だ低く、VOCs処理における光触媒法の実用は比較的少ないのが現状である。

生物処理法は、微生物の代謝活動を利用したものであり、VOCsを二酸化炭素や水などの無機化合物に変化させることができる技術である。この技術は、風量が少なく低濃度あるいは特殊な臭気を伴うVOCs処理に最適である。生物処理は比較的早くから排ガス処理に用いられており、すでに広く定着している技術である。加えて設置が簡単で運行費用も安く、二次汚染も少ないといった特長があり、VOCs処理の主流となっている。しかし、生物処理法は装置が大型で、処理速度が遅い。また、排ガスの滞留時間が長く、低濃度のVOCs処理を少量しか行えないため、VOCs濃度が高い場合に排出基準を満たすのは難しい。

VOCs処理の難しさは、構成成分が極めて複雑であり、化合物の種類によって性質もそれぞれ異なるという点にある。また、多くの産業において発生するVOCsは他の汚染物質が混在した状態で排出される。そのためVOCs単独の処理技術を採用しても、常に適切な効果を発揮させるのが難しく経済的にも合理的でない。通常の場合では、いくつかの技術を合わせた複合処理技術を実施する必要がある。近年では、吸着法＋触媒燃焼法、吸着法＋直接燃焼法、吸着法＋吸収法、低温プラズマ法＋吸収法、低温プラズマ法＋触媒燃焼法などのような様々な複合処理技術が急速に発展している。吸着法であっても、活性炭＋ゼオライト＋圧縮深冷凝縮のように、いくつかの異なる吸着剤を用いた複合法を採用することもある。複合処理技術の採用により、高効率かつ低価格の汚染物質処理を実現することが可能である。

5.2.3 様々な技術の比較

下記の表はいくつかの処理技術のメリットとデメリットを比較したものである。このように対比することにより、各技術の適応範囲や、不十分な点、また優劣などを知ることができる。

図表145 様々な処理技術の比較

技術		高濃度		低濃度		最終的な生成物	適用範囲	デメリット
		効率	費用	効率	費用			
回収技術	吸着	中	中	高	高	有機物	低濃度 広範囲	吸着財の再生処理 が必要
	吸収	高	高	中	高	有機物	高濃度 特定範囲	吸収材選択が困難
	圧縮深冷凝縮	中	低	中	高	有機物	高濃度 単一 ユニット	高濃度の特定ユニ ットのみ使用可能
	膜	高	低	中	中	有機物	高濃度 広範囲	凝縮前に事前処理 が必要
焼却技術	燃焼	高	高	高	高	CO ₂ H ₂ O	高濃度 広範囲	有毒な中間体が生 成される
	光触媒	高	中	中	中	CO ₂ H ₂ O	高濃度 広範囲	触媒の固定が困 難、不活性化
	生物	低	低	高	低	CO ₂ H ₂ O	低濃度 広範囲	温度・湿度の変化 に敏感
	プラズマ	中	中	高	低	CO ₂ H ₂ O	低濃度 広範囲	電源要求が高い、 有毒物質が生成さ れる

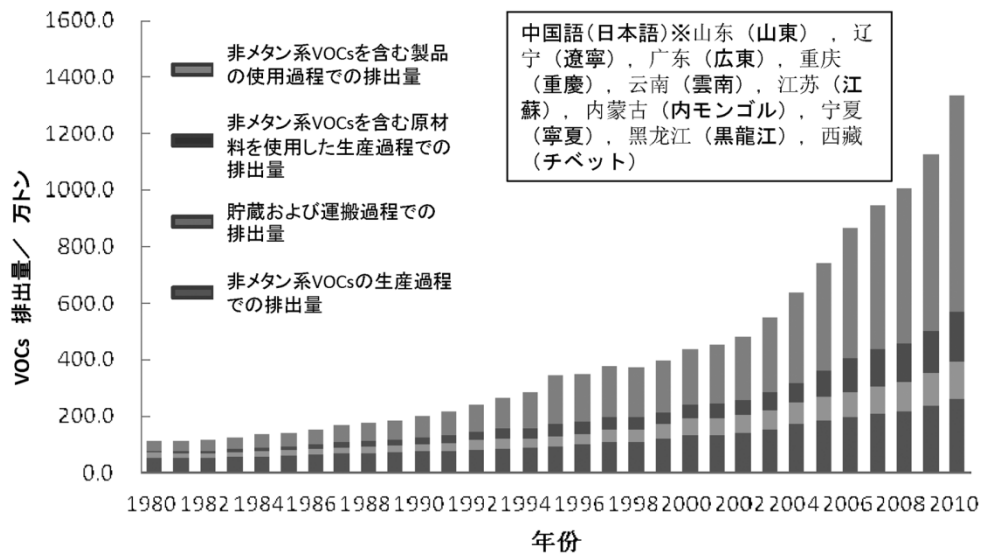
5.3 重点産業における揮発性有機化合物排出、処理技術及び装置

5.3.1 工業における VOCs 排出状況

現在、国内のVOCs排出に関する公式な統計はなく、わずかな文献や学位論文を参考にするのみである。これらのデータの大半は活動量と排出係数を基に算定VOCsの排出量である。華南理工大学の楊利嫻等が計算した、1980年～2010年の30年にわたる工業発生源によるVOCs排出量は以下の表の通りである。現在、工業を発生源とするVOCsの総排出量は増加傾向にある。これらのデータを分析すると、工業を発生源とするVOCs排出量の変化は大きく2つの段階に分けることができる。

(1)安定的増加段階:1980年～2000年の間は、改革開放に伴い工業部門が徐々に発展したため、VOCs排出量も年間4～5%という割合で増加を見せている。

(2)急速増加段階:2001年以降、中国は経済体制改革を経験しさらに世界貿易機関にも加わったため、多くの外資系企業による国内への建設投資が盛んになり、塗料、インキ、接着剤などの関連企業は大きな影響を受けた。同時に、社会経済発展と国民の生活水準の高まりが塗料、インキ、繊維助剤などVOCs含有原料の消費を促進したため、VOCs排出量は急速に増加し、この期間にVOCs総排出量は年間11～12%も増加した。我々はシナリオ分析の手法を用い、2010年～2020年の10年間にわたる工業を発生源とするVOCs排出の発展・動向を予測した。この分析によれば、2020年のVOCs排出量は2394.4万トンに達する見込みである。



出典:楊利綱. 我国工業源 VOCs 排放时空分布特征与控制策略研究. 华南理工大学, 2012、等論文に基づいて整理
(統計数字が少ないため、2010年以降のデータは欠如)

図表146 1980-2010年中国工業由来VOCs排出傾向

VOCs排出に関わる工業企業は石油化学、精密化学、塗装、包装・印刷、医薬品及び農薬製造、半導体及び電子製品製造、集成材及び木製家具製造、皮革、エナメル線、製靴、塗料、インキ、接着剤、金属鑄造などである。関連する産業は多く、各産業の中で生じるVOCsの種類も多様で構成も複雑である。よく見られる構成成分は炭化水素類、ベンゼン、アルコール類、ケトン類、フェノール類、アルデヒド類、エステル類、アミン類、ニトリル類などである。下記の表は2010年のVOCs排出量が20万トンを超えている重点産業をまとめたものである。これら20の産業の排出量合計は1246.0万トンに達し、国内の総排出量1335.6万トンのうち93.3%を占める。そのうち石油精製、建築装飾、機械装置及び印刷は排出量の上位を占める四大産業で、排出量は20の産業全体の51.8%を占め、国内のVOCs総排出量に占める割合は48.3%に及ぶ。そのため、これらの産業に対するVOCs排出抑制は工業を排出源とするVOCsの排出抑制対策の中でも、特に重要である。

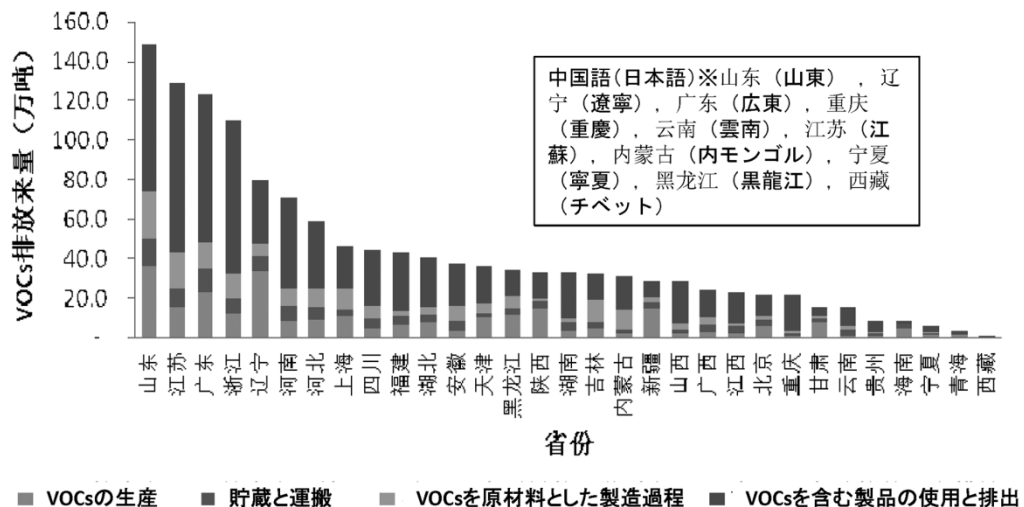
図表147 2010年 VOCs排出量20万トンを超える主要産業(単位:万トン)

番号	産業	排出量	番号	産業	排出量
1	石油精製	213	11	交通設備製造	40
2	建築装飾	198	12	覆銅版生産	40
3	機械装置製造	140	13	ガソリン貯運	37
4	印刷	93	14	ビニール製品	34
5	固定燃焼源	52	15	原油貯運	34
6	食品飲料生産	52	16	家具製造	31
7	合成材料生産	50	17	化学原料	25
8	その他石油製品輸送	44	18	制鞋	24
9	コークス生産	49	19	合成アンモニア製造	23
10	木材加工	43	20	タイヤ生産	22

出典:すでに発表されている論文を基に整理

VOCs排出の時空間分布について言えば、工業部門における主要なVOCs排出源が集中しているのは東部、南部及び北部地域で西部地域は少ない。上の図から分かるように、山東省、江蘇省、広東省、浙江省の4つの省の工業によるVOCs排出量は100～150万トンの間で合計排出量は全国の38.3%を占める。遼寧省、河南省、河北省、上海、四川省、湖北省、福建省の7つの省と市の排出量は40～80万トンの間で合計排出量は全国の

28.7%を占める。新疆ウイグル自治区、山西省、内モンゴル自治区、広西チワン族自治区、北京、チベット自治区等20の行政区の排出量は0.3～40万トンの中で、全国の排出量に占める割合は33%である。各行政区における排出源を分析したところ、石油精製産業がVOCs排出の主な原因となっている。VOCsの発生源となっている技術過程については、合成材料生産、ゴム製造、食品飲料生産が主に挙げられる。VOCsが含まれる製品の使用と排出については、包装・印刷、建築装飾、機械装置製造、交通装置製造等が主な排出源となっている。



出典: 楊利娟. 我国工业源 VOCs 排放时空分布特征与控制策略研究. 华南理工大学, 2012. 既存論文に基づいて整理

図表148 2010年中国31省における工業VOCs排出量

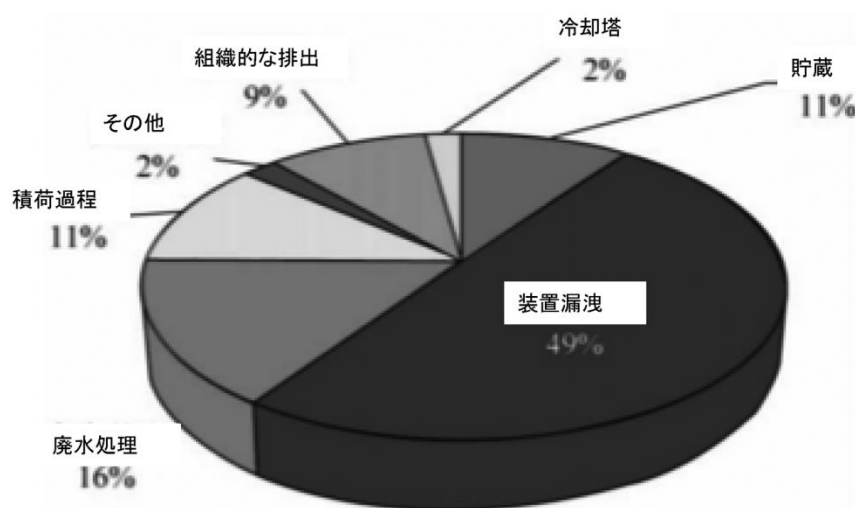
企業のVOCs排出削減の促進、VOCs排出抑制技術の向上、生活と生態環境の質の改善を図るため、《中華人民共和国大気污染防治法》、《排污費徴収・使用管理条例》、国務院による《大気污染防治行動計画についての通知》が公布されているが、石油化学工業及び包装・印刷業、これら二つの重点産業では上記法案を基にVOCs排污費徴収制度をすでに実施している。本章の以下の段落では石油化学工業及び包装・印刷業という重点産業のVOCs排出及び処理状況の概略を述べる。

5.3.2 石油化学工業における VOCs 処理技術及び装置

石油化学工業企業には原油、重油などの原料から生成されるガソリン、軽油留分、燃料油、灯油、石油ピッチ、潤滑油及び石油化学工業の原料等を精製する石油精製企業、そして石油留分、天然ガスを原料として生産される有機化学品、合成樹脂原料、合成繊維原料、合成ゴム原料等の石油化学企業が含まれる。

石油化学工業企業のVOCに含まれる汚染物質の種類は多く、排出量分布も広い計測が非常に難しいという特長がある。国内の石油化学工業企業のVOC排出の研究は始まったばかりである。各企業の生産技術や工程及び施設の状況は様々だが、これらのVOC排出源は主に三つに分けることができる。一つ目は石油精製工程において精製装置が排出する排ガスである。主に精製装置から排出される排ガス、脱硫アルコールから排出される排ガス、スウィートニングプロセスにより排出される排ガス、作業停止点検、修理により排出される排ガス、バルブ漏洩により漏出した液体が消失する際に発生する排ガス、減圧バルブ・サンプリングバルブ・非密閉污水池等からの排ガス、フレアガス、コークス場から排出される排ガス等が含まれる。二つ目は石油製品貯蔵及び運搬過程において生み出される排ガスである。例えば酸性水タンク、汚染油タンク、石油精製品中間タンク、石油精製品貯蔵タンク、高温重質油貯蔵タンク、石油精製品輸送車・輸送船等から排出される排ガス等が含まれる。三つ目は廃水の収集運搬及び冷却塔から排出される排ガスである。

石油化学工業企業により排出されるVOCsは主に原材料と補助材料及び製品からの排出であり、種類は多く複雑である。VOCs逸散排出は様々な発生ポイントがあり、さらには非常に強い拡散性と化学反応が起きやすいという特長があり、一定の条件下で複雑な化学反応を起こし変化する。そのため、VOCsの排出量を正確に割り出すことは難しい。石油化学工業企業による揮発性有機化合物排出量の推計方法によると、国内の一千万トン級の精油企業、百万トン級石油化学工業企業の実状を加味するならば、石油化学工業の異なるVOC排出源の分布状況は下図のように推計できる。国内外のVOCの総排出量から見れば、設備漏洩は国外に比べ排出量の多い排出源の一つとなっており、設備漏洩の対策強化はVOC排出削減の重要な要素と言える。



出典:既存論文に基づいて整理

図表149 某石油精製大手のVOCs排出源

環境保護部は2015年初頭に《石油化学産業揮発性有機化合物総合整備計画》を公布し、石油化学工業のVOCs排出対策の総合整備を全面的に実施し、石油化学工業のVOCs排出の大幅削減、大気質の改善を進めるよう求めた。生産工程における排ガス排出、生産装置からの漏洩、貯蔵タンク及び運搬過程における揮発損失、廃水・廃液・固形廃棄物貯蔵システムからの逸散、及び非常事態における稼働状況での汚染物質排出を厳しく抑制するとしている。生産工程の改善実施を通して、生産装置及び廃水・廃液・固形廃棄物貯蔵システムの密閉性が改良され、設備漏洩検知・修理(LDAR)、タンクの型式及び運搬方式の改良などにより、抜本的なVOCs漏洩排出削減対策を講じることとした。また、回収価値のある生産工程で排出される排ガスにおいては、特に貯蔵タンク通気管と運搬の際に排出される排ガスに対し回収利用を実施した。さらに、回収利用の難しい排ガスにおいては、関連基準に基づいて処理を実施することとした。2017年までに国内の石油化学工業は基本的なVOCs総合整備プロジェクトを完了し、VOCs計測制御システムを整えVOCs総排出量を2014年より30%以上削減している。

石油化学工業は2003年に精油企業重点汚染源管理プロジェクトを開始し、2006年には石油精製企業に対して悪臭物質及びVOCsの現状調査研究、構成分析、管理技術の開発を開始するよう求めた。2011年には石油精製装置及び施設から排出される排ガスに対して特別な処理を開始し、石油化学工業企業の悪臭物質除去、石油ガスの損失による排出量削減を行った。こうした取り組みを経て、石油精製企業は重要な悪臭発生源を消滅させ、ほとんどのアルカン類の回収に成功した。

国家基準及び地方基準が次々と厳格化されるに従い、石油化学工業のうち対策が十分でない汚染物質排出源に対し、より強固な対策を講じること、また排出源となっている企業の特長や処理技術の経済性及び効率化を考慮する必要がある。現行の処理技術では石油化学企業に対する排出基準を達成するのは難しく、処理計画及

び技術開発をより簡略化し、さらに経済的な処理技術も必要とされている。現在、石油化学工業におけるVOCs処理技術は主に回収技術、焼却技術、ニアゼロ（排ガスがほぼゼロの）処理技術の三つである。

(1)回収技術

回収技術とは主にガソリン、ナフサ、ジェット燃料など軽質油の貯蔵及び積み卸しの過程で消失する炭化水素類の回収技術である。そのうち、低温留出油吸収技術は撫順石油化工研究院が開発した技術であり、その原理は石油ガス中の炭化水素類の構成成分を《臨界温度》の軽油ガソリンの中で適切な溶解度にし、石油ガスと悪臭物質の吸収を促すと共に軽油の揮発性と気相濃度を下げ、石油ガス回収率を高める、というものである。この技術は製油工場に適しており、公共事業など比較的整備が整っている場所への導入が容易である。主に酸性水タンク、中間タンク、汚染油タンク、アルカリ油滓タンク、高温パラフィン及びピッチタンク、輸送車・輸送船、脱硫による排ガスなど、製油工場から排出される悪臭物質、VOCsの処理に用いられている。製油工場から排出される排ガスにこの技術を活用した場合、処理された浄化ガス中の非メタン炭化水素濃度 $\leq 25\text{g/m}^3$ 、また H_2S ・有機硫化物の回収率はほぼ100%という成果を収めている。この技術はすでに30余りの製油工場で用いられている。下記の4枚の写真がモデルケースである。この作業工程の後にさらに焼却処理を施した場合、排ガス中のVOCs濃度は 10mg/m^3 に下がり、VOCs浄化率はより100%に近くなり、現存の排出基準全てを完全に満たすことが可能となる。



図表150 悪臭物質及びVOCs回収装置のモデルケース

吸着＋吸収技術とは、これまで使われてきた吸着法によるオイルガス回収技術に類似した技術である。その原理はVOCsと空気の混合ガスに対して、活性炭、シリカゲルまたは活性炭繊維等の吸着剤あるいは専用の脱硝剤などを用いてオイルガスと空気を分離させる。吸着剤は活性炭、改良シリカゲル、活性炭繊維、改良活性炭、酸化亜鉛、酸化鉄、合成ゼオライトなどがあり、最も多く使用されているのは活性炭である。再生方式としては、水蒸気加熱再生、空気或いは窒素による熱再生、真空再生などの方式がある。ガソリン分解によるオイルガスの回収には主に真空再生を採用しており、ガソリン構成成分からオイルガスを回収する場面によく用いられる。圧縮深冷凝縮法は常温吸収技術の後に発展した回収技術であり、国家基準を満たすためには石油ガスを -110°C にまで冷却する必要がある。そのため、現在一般的に用いられているのは圧縮深冷凝縮＋吸着技術である。この技術ではまず冷却装置で石油ガスをおよそ -75°C に冷却、凝縮した後に吸着法を用いるため、排出基準を満たすことができる。吸収＋膜分離技術とはこれまで活用されてきた膜分離法による石油ガス回収技術に類似した技術であり、通常は常温留出油吸収＋膜分離技術の混合技術が採用される。国内の膜分離装置は基本的に外国製の分離膜及び関連設備を採用しており、投資コスト及び運行費用共に高額である。以上の様々な技術はそれぞれ適す

る環境が異なるため、容易に比較することはできない。しかしながら、硫黄を多く含むVOCs排ガスに対しては、低温留油吸収技術が適していることは明らかである。単純な単一ガソリン構成成分のVOCsに対しては、上記の様々な技術を用いることが可能である。

(2) 焼却技術

VOCsの焼却技術は主に触媒燃焼技術、蓄熱式燃焼技術(RTO)、生物処理、熱力焼却、低温プラズマが含まれる。触媒燃焼技術は石油化学工業により排出されるVOCsを含んだ有機排ガス、炭化水素、アルデヒド、ケトン、アルコール、酸などに適している。現在、石油化学工業企業の污水处理場から排出される排ガス、ベンゼン貯蔵タンクから漏洩した排ガス、PO/SM法による排ガス、ゴム排ガス、ポリエーテル排ガス、化学薬品輸送船による排ガス、HP/PO排ガス、ニトロベンゼンからアニリンを生成する際に排出される排ガスなどの浄化処理に当技術は用いられており、20余りの石油化学工業企業で使用されている。



a) 污水处理場漏出消失排ガス処理装置 b) 芳香族炭化水素タンク地区排ガス処理装置

図表151 触媒燃焼装置

蓄熱式燃焼技術によるVOCs処理後の非メタン炭化水素除去率は99%以上、排ガス中の非メタン炭化水素はわずか20mg/m³であり、高い排出基準を満たすことに成功している。同時に酸化反応に利用した熱の回收利用が可能で、蒸気の発生及び冷却、発電に再利用することが出来る。

生物処理法は、石油精製企業において主に污水处理場曝気槽より排出される排ガス及びVOCsの処理に用いられる。石油化学工業における主な処理対象は、製油工場、あるいは石油化学工場の施設から漏洩、消失する低濃度石油ガスであり、回収価値の無い悪臭物質、例えば悪臭硫化水素を含む排ガス、ベンゼン系化合物、アンモニアなどのVOCs排ガスである。この技術は、低濃度の単一構成成分の汚染物質を処理するのに適しており、操作温度は低く、消費エネルギーも低い。また操作の安全性も確立されており二次汚染はない。高濃度で複雑な構成成分のVOCsにはこの生物処理法は適していない。なお、この技術は《石油精製工業汚染物質排出基準》(GB 31570-2011)及び《石油化学工業汚染物質排出基準》(GB 31571-2015)中で定められているベンゼン系化合物の排出濃度の制限値を満たしていない。しかし、污水处理による排ガスにおいて触媒燃焼、蓄熱式燃焼、熱力焼却と連携すれば基準値を満たすことができる。

熱力焼却とは、まず特別に設計された燃焼器を用い高濃度の排ガスをあらかじめ設定された温度まで加熱する。そして回転時に排ガスを燃焼室へ送り込み直接燃焼しVOCsの分解を行う。燃焼器はVOCs及び有害大気汚染物質を無害な物質(二酸化炭素と水)と放出熱に分解する。分解後の気体は熱回収システムで再利用できるため、省エネを実現することもできる。この技術は焼却炉で直接燃焼を行うことによって、99%の炭化水素を分解、除去することが可能でVOCsは20mg/m³を下回る。この方法は工程が簡略であり、処理一回あたりの運行費用も安く、VOCs濃度も比較的抑えることができ、政府が定めた最も厳しい環境保護基準を満たすことができる。しかし、熱力焼却炉には大きな排ガス容量と濃度の安定性が求められる。その他にもVOCs処理には大量の補助燃料が必要なため運行費用が高額になるという問題もある。以上の要因により熱力焼却の使用には限界がある。現在、

製油企業内で多く採用されている装置として、排ガス焼却炉、加熱炉、フレアスタックなどがあり、比較的成熟している技術でもある。

比較的高い電場エネルギー下では、排ガスによって大量の自由電子が発生する。高速運動下でVOCsの分子構造を破壊し、最終的にCO₂、H₂O、CO、NO₂を生成する。この技術にはコロナ放電が多く利用されている。しかし、この技術は高濃度VOCsや構成成分が複雑なものには適しておらず、二次汚染が発生する。この技術の石油化学工業企業の汚水処理場における利用例は少ないが、排ガスの悪臭濃度を低下させるのに有効な手段である。しかし各種VOCsの汚染物質濃度の新基準を満たすのは難しいのが現状である。

(3)ニアゼロ排出処理技術

撫順石油化工研究所ではVOCsに適合した高度な処理技術が開発されている。すでに低温留出油吸収+燃焼技術を採用し、製油工場における実用化試験を行っている。製油工場の硫化水素VOCsを含む排ガスは、低温留出油吸収装置によりVOCs回収を行う。処理後の排ガスは再び焼却炉または加熱炉に送られた後、安全かつ安定した制御システムを通して処理されるため、排ガス筒から排出されるVOCs濃度は10mg/m³を下回る。この技術はコストが低く、国家及び地方の排出基準を完全に満たすことができる。

石油化学工業におけるVOCの総合処理事業は専門的な技術が必要であり、既存の環境保護企業による市場参入はかなり難しいと言える。企業間競争の状況から見ると、海湾環境科技(北京)股份有限公司は市場においても技術においても優位な立場を保持している。中国石油、中国石化、中国海洋石油などの大型国有企業と良好な提携関係を築き、石油化学工業における環境保護とクリーン生産分野の柱とも言える技術機構である。下記の5.4.2の中で、海湾環境についてより詳しく説明する。

5.3.3 包装・印刷業における VOCs 処理技術及び装置

近年、包装・印刷業は安定した成長率を維持しており、米国、日本、EU連合に続く世界第四位となる包装・印刷大市場を有し、中国経済の急速な発展に大きく貢献している。同時に、印刷インキ、接着剤、洗浄剤など有機溶剤を多く含む原料が大量に消費されており、生産過程で多くのVOCsが排出されている。

中国には約11万の印刷企業があり、包装・印刷企業は約4万で、生産額は印刷業生産総額の30%を占めている。包装・印刷業のVOCs排出量は印刷業における総排出量のおよそ80%にも及んでいる。この状況には国家環境保護部も注目しており、公布された大気汚染処理政策・法規の中でも、包装・印刷業が重点産業であることが繰り返し記されている。

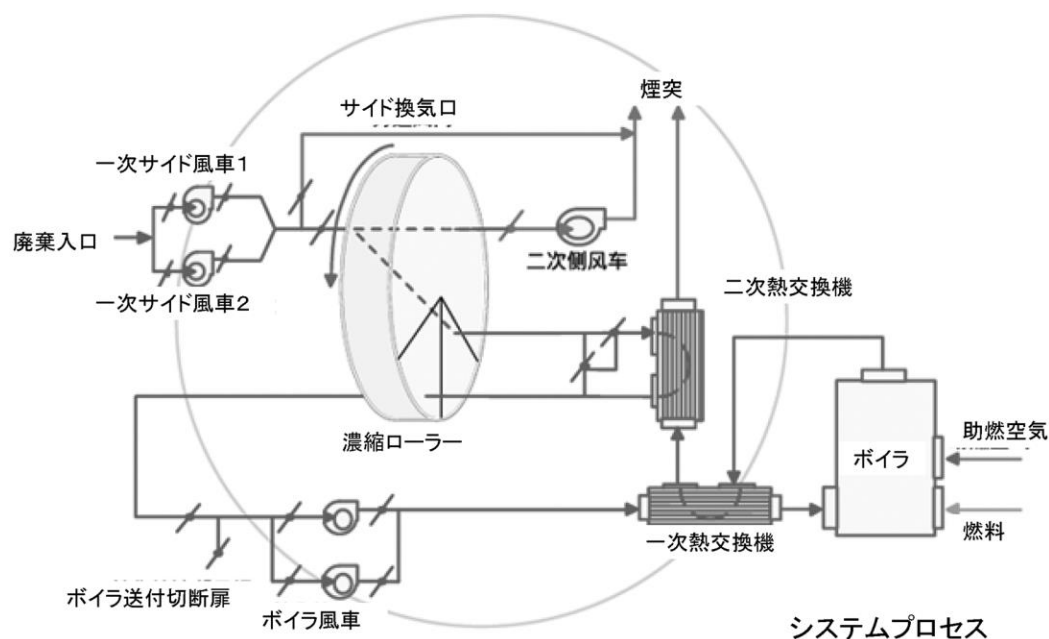
VOC排出量の算出に際し、国内外の研究者は主にEU或いは米国の排出係数を採用している。各種印刷工程の排出係数は300～800 kg/トンの中で、推計結果によれば国内の印刷工程において排出されるVOCは毎年約10万トンにも上ることを示している。魏巍らは各種印刷工程において主に用いられているインキのVOC含有量と、対応する製品の構成比率の調査研究を通して、VOC含有量と製品構成比率の加重平均値を各種インキのVOC排出係数とし、各種インキの消費量を考慮して推計を行った。その結果によれば、2005年の印刷業におけるインク使用工程でのVOC排出量は38.8万トンとなった。外国の排出係数を使用したものと比べて、この研究結果の信ぴょう性は高いと言えるだろう。

魏巍らの研究手法を参考にした上で、インキ、希釈剤、接着剤など各種消耗剤のVOC含有量、製品構成比率及び各種消耗剤の消費量を収集した結果、2009年のVOC排出量は約89.5万トンと推計された(印刷業におけるVOC排出基準は考慮せずに計算)。

包装・印刷業の生産工程のうち、VOCsの排出源となっているのはインキ、接着剤、希釈剤の揮発、さらに原材料と補助材料の貯蔵工程、また故障あるいは印版の交換時に使用する洗浄剤の揮発などである。包装・印刷業において、様々な工程で排出される排ガスはそれぞれ種類が異なるため、処理技術もそれに対応した技術を採用する必要がある。下記では主にVOCs排出量の比較的多い凹版印刷工程、乾式複合工程、回転式オフセット工程に関連した処理技術を論ずる。

(1) 凸版印刷工程による排ガス

上海環境保護局は2013年7月に《上海市工業固定源揮発性有機化合物処理技術指針》を公布し、凹版印刷工程で発生する有機排ガス処理において再生式固定床式粒状活性炭吸着濃縮器、活性炭繊維吸着濃縮器あるいはゼオライトローター吸着濃縮器の使用と有機溶剤回収浄化処理を行うことを推奨した。そのうちゼオライトローター吸着濃縮器は、セラミックウールを基材としたハニカム式回転円盤濃縮器でローターの表面を疎水性ゼオライトでコーティングした吸着剤を使用している。ゼオライトローター吸着濃縮器(図表のように)は主に排ガスを前処理するシステムで、分子スクリーローター濃縮吸着システム、脱離システム、冷却乾燥システム、自動制御システムなどで構成される。ローターの後には通常、後処理システムが配置される。ローター本体は吸着剤を備えた回転式ローターで、吸着ゾーン、再生ゾーン、冷却ゾーンの3つの区画に分けられている。有機排ガスはファンに吸い寄せられ吸着ゾーン引き込まれる。そこで有機汚染物質が吸着され、浄化されたガスが排出される。その後吸着剤は再生ゾーンに移動し、高温の空気を利用しVOCsが脱着されると同時に吸着剤の再生が行われる。再生された吸着剤は冷却ゾーンを通過して冷却された後、吸着ゾーンに戻され再び吸着を行う。ローターの移動により吸着剤は周期的に吸着、脱着、冷却を行い有機排ガスの浄化を実現する。これらローター式吸着濃縮器は、吸着、脱着の効率が高く、電力エネルギー消費率は低く、運行費用も安価である。また狭い空間でも使用することが可能で、システムの自動制御、起動の速さ、操作の簡略さなど多くのメリットがある。



出典:株式会社ACTIVC <http://www.atei8.com/cn/environment/environment.php?sn=4>

図表152 ゼオライトローラー吸着濃縮装置

(2) 乾式複合工程による排ガス

乾式複合工程により排出される有機排ガスには、再生式固定床式粒状活性炭吸着器が使用される(下図を参照)。また溶剤回収処理によって回収した有機溶剤は直接再利用が可能のため、経済効率が高いのも特長だ。



図表153 某カラー印刷工場の再生式固定床式粒状活性炭吸着装置

(3) 回転式オフセット工程による排ガス

回転式オフセット工程で利用されるインキによるVOC排出には燃焼装置による燃焼技術が採用されている。中濃度あるいは低濃度(1000mg/m³以下)のVOCには、一定の技術で分解を行う焼却技術がより良い処理方法である。下記の図は蓄熱式直接燃焼炉を用いた浄化処理方法によって回転式オフセット工程による排ガスを処理している状況を示す。



図表154 某雑誌印刷工場の蓄熱式直接燃焼炉浄化装置

包装・印刷業の急速な発展に伴い、凹版印刷機、複合機、コーティング装置などから排出される有機化合物の排出量はますます増加している。印刷機、複合機、コーティング装置、油性塗料など排ガス中の有機化合物をいかに効率的に処理するかは包装・印刷業において早急な解決が求められる問題となっている。上海安居樂廃氣處理公司が生産したRTO燃焼装置は、コーティングライン、当納利印刷ライン、自動車塗装ライン、外資製薬化学工業生産ライン、ドイツエナメル線生産ラインなどに設置されている。安居樂の技術員は外国の先進技術を習得し、外国の設備の全体的な模倣を通して独自研究によるRTOを開発した。排出される有機排ガスのVOC濃度が高い場合、RTOの部分熱量は印刷コーティングの箱型乾燥機において再利用でき、さらにRTO処理後の排ガスは、熱交換器を通して余熱後のガスを再び乾燥機に送り込むことによって、箱型乾燥機の消費エネルギーを大きく節約し、経費削減と共に排ガス削減を実現している。今後普及する可能性のある技術であると言えるだろう。

上海安居樂公司は最新の光触媒技術を採用し、常温下で有機排ガスをCO₂とH₂Oに変換することに成功している。この技術は印刷工程で発生するベンゼン類、エステル類、ケトン類、非メタン炭化水素、VOCなどの有機排

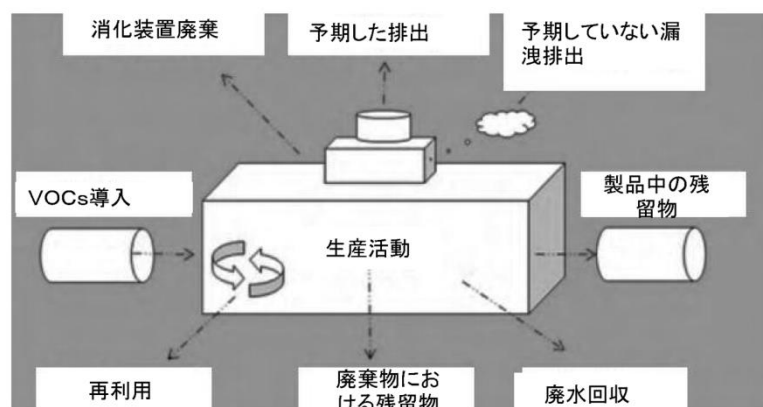
ガスを有効的に除去することが可能である。コストは安価で安全な上、二次汚染もない。同社は印刷工場の排ガス、VOC処理技術において多数の実績がある。世界トップ500に入る富士康(煙台市)では印刷工場のインキによる悪臭を浄化し、宜賓五糧液公司では印刷インキによる排ガスを浄化し、韓国の世一電子では印刷工場の排ガス処理、汕頭壯麗集団では印刷工程による排ガス処理及びインキによる排ガス処理、上場会社で国内最大のポリオレフィンフィルムでは印刷工場の排ガス処理、寧波激智では印刷工場の排ガス処理及びインキによる排ガス処理、世界トップ500に入る三星集団ではPCB回路基板生産により発生した有機排ガス処理などを行っている。同社は包装・印刷業におけるVOC分解技術をリードする企業である。

5.3.4 塗料産業における VOCs 処理技術と装置

塗料産業はVOC排出に関連する主要産業の一つであり、長期間にわたり注目されてきた。塗料産業企業はそれぞれの状況に応じて改善を行っているが、塗料産業におけるVOC排出抑制はコストが高く、施工が難しく、具体的な状況が不明確であるなどの問題により長い間試行錯誤が続いており、改善は非常に難しいのが現状である。現在、国家各部・委員会が塗料産業及び塗装業のVOC排出に対し、多くの政策・法規を打ち出し管理・規制を行っている。さらに塗料工業協会及び大型塗料製造企業、塗装企業との話し合いも頻繁に行われており、より厳格かつより実用的な政策・法規が研究されている。今後数年のうちに、政府は塗料産業に向けて公布したVOC排出関連政策・法規をさらに発展させ、大気環境保全事業に尽力する姿勢を示している。

2010年の塗料生産量は966万トンで、VOC排出量は490万トン以上に及んだ。2012年には塗料生産量は1272万トンに上り、VOC排出量は591万トンであった。さらに2014年には塗料生産量は1648万トンに達し、VOC排出量もさらに増加した。溶剤系塗料は生産工程中で大量の揮発性有機溶剤や補助薬剤を加えるため、塗装工程で約50%のVOCが大気中に排出される。ベンゼン、トルエン、キシレン、クロロベンゼン、ブチルアルコール、シクロヘキサノン、シクロヘキサン、酢酸ブチルなど、排ガスには多くの有毒有害物質が含まれているが、これらは人の臓器に対し有毒で発ガン性がある物質である。さらに光化学反応を起こしやすいVOCが大気中に排出されると、NO_xなどの気体と複雑な化学反応を起こし光化学作用によりオゾン、光化学スモッグなどを形成し、最終的に人類の健康と地球の生態環境に大きな危害を及ぼしているというのが現状である。

塗料産業のVOC構成成分は複雑で、排出ポイントも影響する要素も多い。塗装業はVOCも複雑さを帯びており、国民の生活に関連した様々な産業に深く浸透している上、企業数も多く、大型企業は調査が可能だが郊外や農村の小規模生産企業の統計は不可能であり、現状で有効な手段は存在しない。また塗装企業の環境は企業ごとに様々で、装置や技術の水準にもかなりの差があり、さらに後処理施設及び方式にも大きな差があるため、排出される汚染物質の構成成分も千差万別という状況である。



出典：齊祥昭、魯文輝、牛長睿。塗料行业VOC污染控制政策法规研究。中国塗料工业协会产业发展部，2015年

図表155 塗料業におけるVOCs汚染源および排出状況

塗料産業でよく用いられる排出抑制技術は主に燃焼技術と吸着技術の2つである。燃焼技術は、主に乾燥室から排出されるVOCを含む排ガス処理に用いられる。吸着技術は表面塗装ブースから排出される低濃度排出ガスを処理するのに採用されている。各産業における表面処理工程におけるVOC抑制技術は下記の表の通りである。

図表156 表面処理工業におけるVOC処理技術

表面処理工業	採用されている技術
自動車及び小型トラック表面処理	乾燥室: 燃焼技術 (主に直接燃焼、蓄熱式直接燃焼、蓄熱式触媒燃焼) 塗装ブース: 吸着濃縮+触媒燃焼技術
大型家電表面処理	燃焼技術 活性炭吸着技術
金属家具表面処理	活性炭吸着技術、燃焼技術
その他金属部品和及びプラスチック部品表面処理	活性炭吸着技術、燃焼技術

現在塗料産業におけるVOC処理で国内で成果を挙げている環境保全企業は上海安居樂環境保護科技有限公司で、すでに礼拝塗料建設プロジェクトの請負に成功し、世界トップ500に入る中国海洋石油の大亜湾アクリル樹脂工場のVOC処理、世界トップ500に入る華潤樹脂のVOC処理、国内最大の不飽和ポリエステル樹脂工場を持つ常州天馬樹脂、月季塗料、華科樹脂、国内最大の建築塗料原料を販売する巴德富塗料などのVOC処理実績を上げている。VOC処理をリードする存在である。

5.4 主要な関連企業及びその経営状況

5.4.1 VOC 処理産業の状況

国内の工業は、米国、日本、欧州など他の先進国と比べるとVOCs処理に着手したのが比較的遅かった。さらに原薬製造、人工皮革(PU合成皮革)、農薬製造、柔軟材包装・印刷、電子端末製品製造、集成材、繊維板、木製家具製造、化学繊維(レーヨン)製造、造船、コンテナ製造、石炭工業(コークス工業)などのVOCs排出における重点工業の大部分は国内に集中しているため、VOCs排出抑制への早急な対策が必要とされている。欧米諸国では1980～1990年代、既に重点工業におけるVOCs処理の基盤が完成していた。中国では1990年代に《悪臭汚染物質排出基準》(GB14554-1993)、《大気汚染物質総合排出基準》(GB16297-1996)が公布・施行され、重点産業におけるVOCs処理も部分的に発展してはいたが、主な処理技術は集塵、脱硫、脱硝でありVOCs処理については重視されていなかった。事実上、重点工業におけるVOCs処理は「十二五」計画期間中に《環境保護関連部門による大気汚染防止抑制計画改善推進地域の大气質向上指導意見についての通知》(2010)、《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》(2012)、《大気汚染防止行動計画》(2013)が公布されることにより、遅ればせながら取り組みが開始されることとなった。そのため、欧米諸国に比べ、全体的に少なくとも20年の遅れがあると言える。現在、VOC処理は重大かつ急を要する事案であり、市場ニーズは巨大である。

現在のVOCs処理産業の状況

- (1) 2013年下半期の《大気汚染防止行動計画》公布以降、各地のVOCs処理事業は明らかに強化され、2014年には全国の有機排ガス処理産業は著しい発展を遂げた。各重点産業において次々と排出基準が公布・施行され、さらにVOCs排污費徴収制度の制定により、VOCs処理産業の急速な発展が始まり2015年には更なる発展が見込まれている。

- (2)《製造大国》となったために、国内にはVOCs排出に関連する産業が多数存在する。VOCs排出の重点産業の生産量は世界でも大きな割合を占めており、加えてクリーン生産の水準が全国的に低いため、VOCs総排出量の急激な増加を引き起こした。そのため、近年中にVOCs処理事業の市場も同様に巨大化することが見込まれ、他国の発展過程では見られなかったような状況となることが予想される。
- (3)VOCs処理推進の方向性から見ると、揮発性有機化合物VOCsの排出削減と抑制のためには、まず重点産業から取りかかり、その後も引き続き産業排ガス削減の道を歩み続ける必要がある。現在、各政府部門では《産業排出削減》と《少量排出》の理念が推奨され、重点産業ならびに重点汚染源から各段階に分け、徐々に削減をしていくことを推進している。さらに各地の石油化学工業、有機化学工業、塗料産業、包装・印刷業などの重点産業は、《大気汚染防止行動計画》に基づき排出処理プロジェクトを進めている。また、現在国内では様々なタイプの製造工業地区・企業高度集中地区が建設されているが、汚染物質排出源もそれらの地区に集中している。そのため、これらの地区に総合的な処理を実施することにより、VOCs汚染総合防止プロジェクトはより良い成果を得ることができるだろう。つまり、現在各地の排出処理プロジェクトが特に注力すべきなのは、工業地区のVOCs処理だと言える。例えば石油化学工業地区、製薬工業地区、化学工業地区などである。
- (4)《重点地域大気汚染防止「十二五」計画》に基づき、現時点での処理重点地域は《三区十群》と呼ばれる13の大気汚染防止重点地域である。中でも津冀地区(天津市、河北省)の大気汚染は最も深刻であるため、近年の京津冀一体化推進計画に従って、VOCs排出抑制も真っ先に実施され、排出基準値計測システムと管理システムも最も早く導入された。続いて長三角地区でも同様のシステムが導入された。
- (5)《悪臭》物質の処理は、悪臭成分の濃度は一般的に低いこともありVOCs排出量削減への貢献度が大きいとは言えないが、人々の暮らしや安定した社会への影響、また多くの産業にも影響を及ぼす点を考慮に入れると、市場ニーズは非常に大きいと言える。実際、政府は悪臭物質排出に関連する企業に対し、真っ先に対策を講じている。近年、悪臭物質処理に関する市場ニーズは急激に増加しており、関連する処理項目も多くなっている状況である。
- (6)近年、VOCs処理は大気汚染処理の中で最も注目を集める分野となり、各種社会資本、特に投資会社が当産業の発展を見込み、次々とVOCs処理産業市場へ参入してきている。確かな技術と実績を持つ将来性のある企業が、融資・出資を受け大きな成長を遂げており、また大企業が特殊な技術を有する中小企業を買収するなどし、企業間の合併・再編なども進行している。各企業が常に発展を求め実力と競争力を高め続けているというのが、現在のVOCs処理企業発展の顕著な動向である。
- (7)VOCs処理施設の運用・維持・管理サービスの重要性はすでに明らかになりつつある。VOCs処理施設は専門性が高いため、オーナー企業は通常運用・維持・管理のための人材を有していない。処理施設が良好な状態で稼働しないと浄化効果を保証することは難しくなるため、近年、処理企業の中には処理施設完成以降も引き続き運用・維持・管理の業務を請け負い、オーナー企業へ一貫したサービスを提供するというビジネススタイルを取り入れており、これらはすでに発展しつつある。特にある産業地区では、特定の企業が処理を実施、溶剤に対しても一貫した収集・精製を行い、必要に応じ処理企業が組織的に全工程を完成させる。このようなスタイルが現在では一般的になってきており、応用事例を数多く見出すことが出来る。

5.4.2 VOC 処理産業市場

揮発性有機化合物による排ガス汚染の状況は複雑で、複合型や地域性などの特長、また都市地域や産業汚染源などと関連している。VOCs排出量の多い主要な地域は、長江三角州(長江デルタ地区)、珠江三角州(珠江デルタ、中国珠江河口の広州、香港、深セン市、東莞市、マカオを結ぶ三角地帯を中心とする地域)、京津地

区(北京、天津)、東南沿岸など工業発達地区などに集中している。工業発生源のVOCs排出に関連した産業が多いが、主に石油化学工業、有機化学工業、医薬品化学工業、塗料産業・塗装業、溶剤を使用する工業、貯油運搬業など多岐にわたり、汚染物質排出削減と排ガス処理市場の潜在能力は大きい。特長として揮発性有機化合物(VOCs)の種類がとて多いこと、排出に関連する産業が多いこと、排出源の規模は小さいが分散していることなどが挙げられる。ごく一部の産業を除けば、単独汚染源の処理規模は一般的に小さく、生産額が低い(十数万から数百万とまちまちであり、額の大きいものは数千万を超えるが、その数は比較的少ない)。それ以外に、VOCs処理技術工程は複雑で、十数種類の工学技術が関連している。一般的に一つの処理企業で一種類から数種類の技術を把握するだけで手一杯である。それゆえ集塵、脱硫、脱硝処理工程に携わる企業に比べ、VOCs処理に携わる企業の規模は小さくなるのが一般的である。

近年のVOCs処理産業の発展状況として以下のいくつかの顕著な動向が見られる。

1つ目は新たに設立された大型専門企業がVOCs処理に携わるパターンである。

2つ目はこれまで集塵、脱硫、脱硝の処理に従事していた企業が、段階的にVOCs処理分野に参入してくるパターンである。これらの企業は資金が豊富で、技術の向上、発展も比較的速いのが特長だ。

3つ目は業界外の企業が技術力を生かしてVOCs処理市場に参入するパターンである。これらの企業は技術レベルが高く、大型処理工程の設計経験も豊富にあるため発展速度が速く、既存企業との激しい競争が繰り返されている。

4つ目は環境保護部のVOCs排出企業に対する監視管理体制が強化されるに従い、VOCs検査測定市場も急速に発展し、VOCs検査・測定機器、サービスに携わる企業も勢い良く発展するパターンである。

5つ目は社会資本がVOCs処理市場に参入し、技術力のある企業が融資や出資などを受け企業力を高めることにより、市場の競争力を拡大させ進歩させるパターンである。

これまでの企業状況から見ると、全国のVOCs処理に携わる企業は200~300社程であり、その中でも約半分の企業はわずか3年の間に新たに設立された企業、あるいは集塵、脱硫、脱硝などの処理産業からVOCs処理産業に参入してきた企業(一部の業界外企業(単独設立、合資会社)、または業界外企業の代行業者も含む)である。各社の経営状況であるが、これらの企業は一般的に企業規模が小さく、また各地に分散しているため、具体的な企業の経営状況の統計を取るのが非常に困難というのが実情である。総体的に言うならば、2014年のこれらの企業の経営業績は2013年に比べ目覚ましい進歩を遂げていると言える。80以上の企業調査統計に基づくデータによれば、2014年に生産額が一億元以上の企業は8~9社ほど、5000万元~一億元の企業は30社前後である。その他の大部分の企業は年間生産額5000万元以下であり、2000万元以下の企業も存在する。このデータから推測するに、2014年の全国VOCs処理産業の生産総額は70億元以上、利益率は一般的に10~15%前後であり、わずかに集塵、脱硫、脱硝産業を上回っている。

5.4.3 揮発性有機化合物処理における重点企業の分析

国内の製造業は主に沿岸の経済発展地区に集中しているため、VOCs処理企業も主に江蘇、浙江、広東、山東、上海、福建、天津、北京を中心とする東部の沿岸地区に集中している。

VOCs排出量は多く、範囲も広いため、大部分の汚染源は細かく分散している。VOCs処理事業は一般的に規模が小さく契約金額も安価なため、VOCs処理に従事する企業の規模を大きくすることは難しい。しかし市場全体の需要が高まったため、「十二五」計画期間に入って以降、国内の中心企業は急速な発展を遂げた。技術の種類に基づくならば、VOCs処理の主要企業は以下の通りである

(1)燃焼技術:カナダCOMENCO(杭州)環保設備公司、恩国環保企業公司、上海東華環保公司、揚州恒通環保公司、蘇州蘇淨環保工程公司など。

(2)吸着+燃焼技術:嘉園環保工程公司、北京綠創環保工程公司、中機工程(西安)啓源工程公司、広州怡森環保設備会社、中弘環保工程(北京)公司、広州朗潔環保公司、上海申榕環保設備公司など。

(3)吸着回収技術:海灣環境科技公司、中節能天辰環保公司、広州黒馬科技公司、福建立邦環境工程公司、

泉州天龍環保公司、河北中環環保設備公司、武漢旭日華科技公司、石家庄天龍環保科技公司、清本環保工程(杭州)公司、広州恒晨環保科技公司など。

(4)放電プラズマ技術:山東派力迪環保公司、寧波興達環保設備廠、安徽中維環保科技公司など。

(5)その他の技術:浙江工業大学環境工程研究センター、青島金海盛環保設備公司、凱天環保科技公司などもバイオテクノロジーをVOCs処理に試験的に応用している。他にも寧夏華輝活性炭公司、景德鎮佳奕新材料公司、江蘇蘇通炭纖維公司、淄博正軒稀土功能材料技術公司等は、機能性資源(触媒、炭資源、合成ゼオライト)のVOCs処理への応用を研究している。いくつかの企業は新技術と科学技術研究開発に携わり良い成果を収めている。例えば、広州黒馬の《合成ゼオライト回転式吸着回収DMAc技術》、山東派力迪公司の《大風量で利用可能な誘電体バリア放電低温プラズマ技術》などである。

1) 上海安居樂環保科技有限公司

上海安居樂環保科技有限公司は工業大気汚染処理、PM_{2.5}処理、揮発性有機化合物VOC処理、非メタン炭化水素を含む排ガス処理、悪臭の脱臭・殺菌・浄化工程設計、製造、設置、試験調整など総合的コンサルティングに従事している。安居樂は中国大陸唯一の2008年北京オリンピック・競艇競技における塗料の排ガス処理、2010年上海万国博覧会における大気浄化プロジェクトを請け負った事業者であり、オリンピック、万国博覧会を成功させたという実績をブランドとし、業界内の技術をリードする実力を有している。同社は世界トップ500社に入る中国石油化学のエチレンの排ガス処理、中国海洋石油のアクリル酸排ガス処理、中糧集団の殺菌消毒の集塵・脱臭・浄化、世界トップ500社に入る富士康(太原、廊坊、成都、鄭州、鶴壁、濟源、深セン、晋城)の塗装排ガス処理、富士康煙台印刷工場の排ガス処理、富士康成都のpH有機排ガス処理、ネスレ食品の排ガス処理、上汽通用集団の塗装排ガス処理、旭硝子の粉塵・悪臭処理、ドイツ・シーメンスの室内空気浄化、韓国のLGの溶接煤塵の排ガス浄化、華潤樹脂(常州)の排ガス処理、華為中央のエアコン殺菌・消毒・浄化、日本ペイントの塗料化学工業の脱臭、中央企業・節能集団煙台上市公司の精密化学工業排ガス処理、中央企業・華能集団の車間空気浄化器、国家電網の制御室集塵・脱臭・浄化、安川(上海)の塗装排ガス処理、福耀玻璃の印刷工場の脱臭、天馬集団のスチレン樹脂・粉塵気ガス処理と污水排ガス処理、五糧液集団印刷工場の排ガス浄化、上場企業である浙江衆成股份有限公司の包装・印刷排ガス処理、有名ブランドBYD比亞迪汽車の排ガス処理、上場企業である玖龍紙業の污水工場脱臭・浄化、上場企業である百潤香精香料の排ガス脱臭、国際的有名ブランドであるSymrise徳之馨の香料排ガス脱臭、新日電動車の塗装排ガス処理、上場企業ある博騰製薬の化学工場の排ガス処理、煙台只楚薬業の排ガス処理などを請け負うなど、多数の実績を上げている。以上のデータからも分かる通り、同社は国内において世界トップ500社と有名ブランドの排ガス処理を最も多く請け負っている環境保全企業である。また業界内で唯一国家重点建設プロジェクトを請け負っている企業でもあり、西昌衛生発射センターの空気浄化、上海航空機製造、海軍潜水艇基地、国家航天局、国防科学工業大学などのプロジェクトに携わっている。オリンピック、万国博覧会を成功させたというブランド、また世界トップ500社の評価からも分かる通り、同社は間違いなく有機排ガス処理産業を牽引するリーダー的存在と言えるだろう。

2) カナダ COMENCO(杭州)環保設備公司

カナダCOMENCO(杭州)環保設備公司是1997年に設立された。本社はカナダにあり、主に環境保護、熱力供給、省エネ等の設備及びその工程に従事している。同社の技術は主に北米の先進技術とプロジェクト実践経験から来ており、まさに世界の最新科学技術を有している。同社の主な業務は排ガス処理工程、固体廃棄物焼却炉、加熱炉、焙炉、塗膜装置などである。経験がある分野は、以下の通りである。

- ・自動車、オートバイ、自転車、印刷、鉄板印刷、製缶、船舶、家電、建材、製靴、玩具、電子金属製品及びプラスチック製品の塗装、焙煎など各種有機排ガス処理。
- ・化学工業、樹脂、医薬品産業の各種有機排ガス処理。
- ・悪臭、塩素、NO_x、アスファルトなどの排ガス処理。

排ガス処理技術において、同社は独自のスタイルを有している。北米の先進技術とプロジェクト実践経験、精密な

科学技術、迅速なサービスなどを武器に、業界内で高い名声を得ており、業績範囲は北米、南米、アジア及びヨーロッパ各地にまで及んでいる。

同社の排ガス処理装置には蓄熱式熱力燃焼炉(RTO)、蓄熱式触媒燃焼炉(RCO)、触媒燃焼炉(PAC)、熱回収式熱力焼却炉(PAI)、回転式濃縮吸着焼却装置(RCW)、流動床吸着式濃縮焼却装置(FBC)、選択触媒還元脱硝装置(SCR)、悪臭ガス噴射吸収装置(OSA)などがある。また、加熱装置には乾燥室排ガス処理集中熱力供給装置(PAI(TNV))、間接加熱炉-乾燥室間接熱力供給装置、直接加熱炉-乾燥室直接熱力供給装置、除湿加熱炉-閃乾区除湿熱力供給装置、強制冷却装置-乾燥室新風冷却装置、熱水炉-洗浄純水加熱装置、風道炉-パイプ内加熱風力供給装置、燃焼器-燃焼システム及び燃焼制御などがある。

3) 北京緑創環保設備股份有限公司

北京緑創環保設備股份有限公司は1998年に設立された。中関村サイエンスパークに登録、現在の登録資本は10006.74万元である。北京緑創環保集団のグループ企業であり、主に大気汚染防止に携わる中心的企業である。同社は主に以下の業務に従事している。

- ・自動車排気システムユニット組立、現行車の排気削減改造、自動車整備NVH改良。
- ・ディーゼルエンジンアフターケアシステムSCR\PDF\DOC\POCの研究開発、設計、製造及び販売。
- ・揮発性有機化合物(VOCs)の浄化と回収。
- ・工業煤・粉塵浄化。

同社は国家建設部が交付する環境工程設計1級資質証書を取得しており、TS16949品質システム認証(職業健康安全、品質、環境の3つの基準を一体化した認証)を受けている。また多くの国、産業及び地方基準の編成にも携わっている。

同社は大気環境の改善と浄化に尽力しており、国内で最も優秀な大気浄化処理設計・製造に携わる専門チームを有する。また触媒燃焼、吸着回収など多くの特許技術を保有しており、総合的大気汚染処理プロジェクトを請け負う実力を備え、顧客に対し合理的な科学技術ラインからプロジェクト検査システムにまで及ぶコンサルティングを提供することが出来る。船舶、石油化学、製薬、塗装、自動車、印刷、蓄電池、冶金、建材、電力、軍需工業など、多岐にわたる産業で成功を収めている。

4) 中節能天辰環保公司

中節能天辰(北京)環保科技有限公司は中国節能環保集団のグループ企業であり、2006年に設立された。登録資本は4150万元。環境保全、クリーン生産、資源総合利用などを開発・推進する先進技術型の環境保全会社である。優秀な人材、豊富な経験と確かな先進技術を有している。集合VOCs吸着回収処理、VOCs焼却処理、工業煤・粉塵排ガス集塵処理、設備漏洩検知・修理(LDAR)、フーリエ変換赤外分光光度計(FIR)、炭化水素(油)水分離、排ガス脱硫・脱硝相乗技術、各種企業への技術提供とコンサルティング、プランニング、設備システム製作、運用管理などサービスは多岐にわたる。同社は国家基準《吸着法工業有機排ガス処理工程技術規範》と《触媒燃焼法工業有機排ガス処理工程技術規範》の編集に参加している。また焼却技術は蓄熱式燃焼、直接燃焼、触媒燃焼を含む。同社は《十一五》計画、《863》課題の新型吸着材の研究開発に携わっており、当社開発の合成ゼオライト濃縮-RTO蓄熱式燃焼技術は大風量、低濃度有機排ガスの処理に適している。この技術は国内最先端の水準と国家排ガス排出基準を満たしており、高い通用性を有し、安全性も高く、多種多様な有機排ガスを処理することが可能である。

5) 山東派力迪環保公司

山東派力迪環保工程有限公司は環境保護技術の開発と実用に尽力している企業である。各種環境汚染処理工程を引き受け、プラント加工の先進技術を有している。工業排ガス処理においては業界トップレベルの評価を受けており、さらに十年に及ぶ水処理環境保護工程の経験を持ち、国内で唯一環境保護院士・専門家ワークステーションと省プラズマ排ガス処理研究開発センターを同時に設立している。環境保護工程開発研究の中心的存在とも言える企業である。登録資本は5000万元である。環境保護工程設計乙級資格(廃水、排ガス)、環境保

護設置運営及び建築工程請負資格などを有し、さらにISO9001、ISO14001、職業健康安全HSE(職業健康、安全、環境保護)管理システムなど多くの認証を得ている。

同社は復旦大学環境科学研究所唯一の科学研究転化センターであり、工業悪臭・異臭処理、共通施設加工、污水处理を専攻している。また復旦大学と共同で《復旦-派力迪汚染抑制工程研究センター》を設立、2011年国内で唯一国家認定を受けたプラズマ排ガス処理研究センターとなった。同社は主に工業排ガス処理設備の研究開発、プラント加工、工程設計、技術コンサルタント、工業廃水処理及び市政工程建设といった分野を扱っており、国内最大の工業排ガス処理設備加工センターとなっている。

自社開発であるDDBD技術を採用した双誘電体バリア放電方式によるプラズマ生産技術の特許を有し、それにより生産されるプラズマ密度は他の技術が生産するプラズマ密度の1500倍に相当する。当該技術は同社と復旦大学の共同研究により開発され、工業悪臭、異臭、有毒有害气体処理に適している。同社はDDBD技術の大規模工業化にすでに着手している。当該技術は省エネ、環境保護など広範な利用が可能で、工業悪臭・異臭気体浄化のための有効的手段を提供している。

同社はその強力な研究開発網を活用し、国外の最新排ガス浄化理念を取り入れている。例えば独自研究開発のTT膜技術、米国より導入した光量子技術、ドイツの磁電機械設備設計院の強大気体浄化技術、設置メリット、開発能力、技術開発主導、低コストの先進科学技術排ガス浄化製品、TT系列超低排ガス浄化装置などがある。この系列の製品はガス水比を一般の洗浄塔の数倍に高めることができ、排ガス浄化装置の処理効率もアップさせることが可能である。米国光波公司より導入した光量子技術は10000時間も有効に運用することが可能であり、光に敏感に反応する汚染物質に対し有効な技術である。同社は当該製品を扱う国内で唯一の代理店である。また悪臭汚染制御研究分野で唯一、国家認定を受けている国家環境保護悪臭汚染抑制実験室と提携しており、悪臭汚染処理技術と、測定器の長期的研究開発・導入に取り組んでいる。

同社は工業異臭気体処理分野のトップ企業であり、《DDBD低温プラズマ異臭気体処理》、《特殊光量子悪臭気体処理》、《高効率微粒化吸収酸化異臭気体処理》、《高効率バイオテクノロジー排ガス処理》など、20ほどの実用・発明特許を有している。現在でも引き続き新技術の研究開発、導入に励んでおり、確かな技術、最良のプランニング、精密な設置加工能力、専門的な施工部門、周到なアフターサービス、化学工業企業排ガス汚染問題のためのコンサルティングなど、質の高いサービスを提供すると同時に、工業異臭気体処理分野では業界をリードする存在となっている。同社の扱う企業生産標準工業排ガス処理設備は16のラインナップと150のブランドがあり、さらに一般生産ライン以外の設備加工も請け負っている。また独自研究開発の工業排ガス処理テクノロジー特許を20以上保有している。

6) 海灣環境科技(北京)股份有限公司

石油化学工業におけるVOC総合処理技術は専門性が極めて高く、伝統的な環境保全企業による市場への新規参入は現状、非常に困難である。海灣環境科技(北京)股份有限公司は工業を排出源とする揮発性有機化合物(VOCs)、石油ガス回収、ボイラー低炭素燃焼とPM_{2.5}汚染処理を専門としており、中国のエネルギー資源石油化学企業と工業企業に総合的なプランニングを提供している。主に石油精製工場・工業地区におけるVOCs総合処理、コンビナート、ガソリンスタンド、石油タンクのVOCs処理、工業ボイラーNO_x処理などを扱っている。同社は国際的でハイレベルな処理技術チームを有し、また多くの国家工程院院士を担当顧問として招聘している。さらに米国の技術を導入すると共に、独自研究開発にも力を入れており、30以上の知的財産権の特許を有する国家ハイレベル先進技術企業である。全体的な企業間競争の面から見れば、同社は市場においても技術においても多くの優位性を有している。例えば中国石油、中国石油化工、中国海洋石油など、大型国有企業と良好な提携関係を築いている上に、技術、工程経験、共に顧客からの信頼を勝ち得ている。同社はオリンピック、万国博覧会、アジア競技大会における大気環境保護プロジェクトに携わり、都市石油ガス、VOCs、PM_{2.5}の減少に成功し、中国都市部の住民に良質できれいな空気を提供した。2014年時点で稼働中の同社のVOCs処理システムは300基余りに上り、Forbes誌に《中国における石油ガス回収技術分野においてリーダー的存在》と評価され、PM_{2.5}排出抑制、大気環境改善において重要な役割を担っ

ている。同社は石油、化学工業環境保護とクリーン生産の柱とも言える技術機構であり、2015年7月、環境保護部より国家環境保護石油化学工業揮発性有機化合物汚染抑制工業技術センター設立の許可を得た。

同社は石油化学工業におけるVOCs処理以外にも、工業におけるVOCsの焼却技術、石油・化学製品コンビナートにおける石油ガス回収などにおいても豊富な経験を有している。さらに同社はゴム工業、石油精製業、化学工業、製薬業、ペンキ塗装・コーティング業、印刷業、電子・半導体産業、及びその他の産業におけるVOCs排出に関しても、アルカン、ポリオレフィン、芳香族炭化水素化合物、アルコール類、ケトン類、フェノール類、アルデヒド類、エステル類、アミン類、ハロゲン系炭化水素などの揮発性有機化合物排ガス成分に対し、直接燃焼システム、触媒燃焼システム、蓄熱式触媒燃焼システム、有機廃水-排ガス同時酸化焼却システムなどを使用し酸化処理を行っている。なお処理後の排気はGB16297-1996《大気汚染物質総合排出基準》を満たす値で排出が可能である。

同社は港湾安全システム(DSU)、石油ガス運搬システム(VBU)、精密脱硫予備処理ユニット(回収した原油オイルガスを使用)、石油ガス回収システム(VRU)などを用い原油コンビナート、石油製品コンビナート、液体化学工業品コンビナートの石油ガス回収を行っている。その他にも、同社は最新大型貯油施設向け炭素吸着石油ガス回収技術の導入により、顧客ニーズに最適な石油ガス回収システムの開發生産に成功し、国内において幅広い実績を上げている。

5.5 排ガス抑制技術の今後と市場規模の分析

5.5.1 国が奨励する技術

科学技術部、環境保護部が2014年に公布した《大気汚染防止先端技術集》によれば、有毒有害工業排ガス浄化技術のモデルケースとして、揮発性有機化合物(VOCs)循環脱着分流回収吸着浄化技術、活性炭吸着VOCs回収技術などが挙げられている。具体的な技術原理と適応産業は以下の表の通りである。

図表157 国家が奨励するVOCs排出抑制技術

技術名	技術原理	適用産業
揮発性有機化合物(VOCs)循環脱着分流回収吸着浄化浄化技術	活性炭を吸着剤として採用、また揮発性有機化合物に対し慣性気体循環過熱脱着分流凝縮回収技術を用い、浄化と回収を行う。回収された液体を精製処理することにより、有機物の循環利用が可能になる。当該技術の浄化・回収効率は一般的に90%を上回り、95%以上に達することも可能。投資コストは9~24万元/千(m ³ h ⁻¹)。有機物回収のコストはおおよそ700~3000元/トン。	石油化学工業、製薬業、印刷業、表面処理業、コーティング業等
高効率吸着-脱着-(蓄熱式)触媒燃焼VOCs処理技術	高吸着能の活性炭繊維、顆粒炭、ハニカム炭、耐高温高湿式合成ゼオライトなどの固形吸着材を利用し、排ガスVOCsへの作用を強化する。吸着飽和となった吸着材には強化脱着処理を行う。脱着処理後のVOCsには高効率触媒層による触媒燃焼、もしくは蓄熱式触媒燃焼処理を用い、更なる分解処理を施す。当該技術のVOCs除去率は一般的に95%を上回り、98%以上に達することも可能。	石油業、化学工業、電子工業、機械工業、塗装業など
活性炭吸着VOCs回収技術	吸着剤に吸着・解析能が特に優れた活性炭(顆粒炭、活性炭繊維、ハニカム型活性炭)を採用し、工程中に生成される有機排ガスを吸着し、その回収した有機溶剤を再利用する技術である。クリーン生産と排ガスの資源化・再利用を実現することが可能。排ガス風量:800~40000 m ³ /h、排ガス濃度:3~150 g/m ³ 。	包装・印刷業、石油業、化学工業、化学薬品業、原薬製造業、コーティング業、紡織業、コンテナ塗装業、合成樹脂産業など
高効率VOCs触媒燃焼技術	VOCsを含む固定発生源排ガスを、熱交換器による熱交換と加熱器の熱を用いて触媒活性化開始温度(~250℃)まで加熱、その後加熱された排ガスを反応器へ送り込むと、触媒の酸化作用によりVOCsはH ₂ OとCO ₂ に酸化される。また、同時に大量の熱を放出する。酸化反応後の高温排ガスは予熱を利用した後、煙突より排出される。	VOCsを含む固定発生源排ガス
中高濃度VOCs蓄熱式触媒燃焼(RCO)浄化技術	回転式蓄熱触媒燃焼炉の中で重晶石とムル石の持つ蓄熱・放熱性質を利用し、未反応の有機排ガスを加熱、蓄熱材の上で触媒により酸化反応を発生させ、気体中の揮発性有機化合物を二酸化炭素と水に転換させる。同時に反応熱が発生するので、反応後の気体熱量を蓄熱材へ蓄熱し温度が20~30℃程度になったら排出する。当該技術の熱回収率は90%に達する事が可能。有機物浄化率は95%以上。適応可能な有機物濃度は500 mg/m ³ 以上、二次汚染物質の排出もない。投資コストはおおよそ50~100万元/10000m。	中高濃度有機排ガス、特に乾式排ガス各種に有効

蓄熱式直接燃焼炉（RTO）及び余熱利用技術	ハニカム型陶磁器を蓄熱材とする蓄熱式直接燃焼炉において、《蓄熱－放熱－浄化》という工程を経て工業生産工程中に排出される揮発性有機化合物VOCsの無害化燃焼を実現、VOCs排出基準を満たすことができる。また、燃焼により生成される余熱を、余熱ボイラーやタービン発電システムで活用、あるいは蒸気や熱水を直接生成するために利用し、省エネと環境保護を共に実現することができる。VOCs除去率は95%を上回り、エネルギー回収率は90%以上。	石油業、化学工業、製薬など
低濃度多成分工業排ガス生物処理技術	高効率で複合的な効能を有する分解菌と培養技術を利用した、生物処理を強化した技術である。異なる種類の排ガスに対応できる新型生物処理技術（設備）であり、排ガス生物処理の物質移動工程を強化している。表面積の大きく微生物の固着力が高い充填材を使用することにより、微生物固着が安定しにくく運用が不安定になる問題を解決。当該技術の適用範囲は広く、運用管理も簡単であり、二次汚染も少ない。H ₂ Sの除去率は95%以上、VOCsの除去率は80～90%に達する。	低濃度多成分工業排ガスの排出抑制に適している
変温吸着有機排ガス処理及び溶剤改修技術	活性炭と炭繊維を吸着材として採用、吸着器内で排ガス中の有機成分を分解することにより、排出基準を満たすことができる。同時に、空気熱と水蒸気を用い有機排ガスを脱着分解後、冷却し回収、再利用する。複数の吸着器を設置し、切り替えながら循環使用することにより、装置の連続自動運行を実現している。当該技術の有機化合物浄化率は一般的に90%以上、最高で99.99%に達する；非メタン炭化水素排出濃度は一般的に120 mg/m ³ を下回り、最低で2 mg/m ³ 以下に及ぶ。投資コストは150～800万元、運用コストは通常0.8～1.5元/kgである。	石油化学工業、有機化学工業、コーティング業、印刷業、製薬業、皮革産業など
圧縮深冷凝縮並びに変圧吸着連続処理技術	複数段階の圧縮深冷凝縮技術を採用、排ガス中の有機成分を正常圧力で凝縮、液体化させ析出する。続いて浄化した排ガスを活性炭吸着器へ送り込み有害物質を捕捉し、排出基準に沿った濃度での排出を可能にする。吸着飽和状態になったら、負圧脱着方式を用い高濃度の排ガスを取り出し、さらにその先の凝縮器へ送り返す。圧縮深冷凝縮及び変圧吸着連続処理技術は基準値排出を保証できる方法である。当該技術の有機化合物浄化率は一般的に98%に上り、99%以上に達する事もある。非メタン炭化水素排出濃度は一般的に120 mg/m ³ を下回る。投資コストはおおよそ0.4～0.8万/m ³ 、1時間あたりの運用通常は0.08～0.2元/m ³ である。	石油化学工業、有機化学工業、石油ガス貯蔵・運搬など
ロータリー式蓄熱燃焼有機排ガス連続処理技術	高濃縮合成ゼオライトを吸着材とするローターを採用し排ガスを10～15倍に濃縮後、排ガスを蓄熱式燃焼炉へ送り込み燃焼処理を施しCO ₂ とH ₂ Oにまんべんなく分解する。反応後の高温排気を特殊構造の陶磁蓄熱材へ蓄熱させる。95%の排気熱量を蓄熱させ、排気温度を蓄熱機へ送り込んだ時点の温度まで下げる。それぞれ異なる蓄熱材を切替バルブかロータリー装置を用いて一定時間ごとに切り替えることにより、吸熱と放熱を分けて行うことができる。この方法により熱量の有効回収利用が可能になり、熱回収率は95%以上、処理率は95～99%に達することが可能で。	有機化学工業、電子工業、半導体産業、塗装業、コーティング業、印刷業など
石炭化学工業の酸性気体浄化に適合した硫黄回収技術	クラウド法硫黄回収技術、または純酸素による硫黄処理＋多種類排ガス処理を結合した技術を採用、良質な硫黄を生成し、排ガスの排出基準を満たす。装置規模もそれぞれ異なり、様々な排気処理技術を配置するため、装置の投資回収期も異なってくる。	石炭化学工業、化学肥料工業など
石油化学工業、化学工業の酸性気体浄化クラウド法硫黄回収及び排ガス水素還元吸収技術	原料となる酸性気体にクラウド法硫黄回収技術＋排ガス水素還元吸収技術を採用、良質な硫黄を生成し、排ガスの排出基準を満たす。装置の総硫黄回収率≥99.9%である。	石油化学工業、化学工業など
生活系廃棄物及び有害産業廃棄物焼却排ガス浄化技術	《活性炭吸着＋乾式脱酸＋バグフィルター式集塵装置＋湿式脱酸＋白煙除去》技術を基盤として採用。乾式脱酸技術とは、アルカリ性反応物を乾燥粉末にし反応器の中へ噴射、中和反応による生成物を固形の状態で回収する技術。排ガスはバグフィルター集塵装置へ送り込み煤・粉塵を除去後、再び湿式脱酸器へ送り込み二次脱酸を行う。白煙浄化技術は主に白煙（水蒸気）の除去を目的としている。実測値は欧州2000基準の排出基準を満たしている。	生活系廃棄物、有害産業廃棄物焼却炉など
低温プラズマ共同浄化ユニットによる複雑有毒有害工業排ガス処理技術	高圧電場を利用し有毒有害工業排ガスの大気エアロゾル粒子構成成分を分解する。低温プラズマ浄化、あるいは複雑有毒有害工業排ガスの気体汚染物質構成成分の反応（修飾）を利用する。生物処理、触媒、吸収、吸着などの浄化メカニズム、また低温プラズマによる汚染物質構成成分の反応（修飾）を利用する。今後克服しなければならない問題点として、低温プラズマ技術特有の二次汚染とエネルギー消費の高さ、生物処理では汚染物質を高効率で分解出来ない点、複雑有機排ガスによる触媒毒への対策、吸収作用面で水溶性が低い汚染物質構成成分を高効率で脱着することができない点などが挙げられる。	大気エアロゾル粒子汚染物質と各種気体汚染物質と共存する複雑有毒有害工業排ガス

5.5.2 VOC 処理産業における市場分析

近年、重度の大気汚染問題が多く国民に注目を集めた。大気質がだんだんと重視されてきている中、VOCは大気汚染の主要汚染物質の一つであり重点処理対象でもある。《第13次五カ年計画(十三五)》では、まず初めにエコ文明建設が組み入れられている。これは政府がさらに力を入れて環境保護に取り組む姿勢を示したということ、つまりVOC処理産業にとって今後市場が大きく発展する余地が見出されたということを意味する。

VOC処理が「十三五」計画により全面的に管理されると見込んだ場合、VOC処理産業の市場規模はこれまでの汚染物質処理産業の市場規模をはるかに超えることが予想される。国内のVOCの定義は外国とは異なり広範に及ぶ。すなわち《大気光化学反応による有機物質は等しくVOCと呼ぶ》と定義されている。環境保護部環境計画院の研究結果によると、現在のVOC排出量は約3100万トンであり、VOCによる排污費徴収基準(北京の排污費徴収基準は比較的高く、20～40元/kgである)、はこれまでの大気汚染物質の徴収基準を大きく上回ると考えられる。現在の国内VOC排出量は、米国のVOC排出量の2.5～3.5倍にあたる。だからこそ我々は「十三五」計画期間中、VOC処理が国家が全面的、かつ重点的に管理する対象となると見込んでいるのである。

「十三五」計画において《総合整備＋石油ガス回収＋汚染源制御》はVOC排出抑制の重要手段である。「十三五」計画期間中、国家は石油化学工業、有機化学工業、表面処理業、包装・印刷業、印刷業などのVOC排出総合整備を開始するとしている。その中でも石油化学工業の設備漏洩検査・修理は最重要とされており、米国におけるLDAR措置を参考にすることができるだろう。さらに政府は将来的に原油、石油コンビナート、ガソリンスタンド、タンクローリーに対し石油ガス回収処理を開始するとしている。その他にも水性塗料、ベンゼン、低毒・低揮発性溶剤の使用を推奨していく予定だ。

VOC排污費制度の範囲はさらなる拡大が見込まれ、懲罰的な排污費徴収制度が北京などですでに導入されている。現在、汚染物質排污費徴収基準には3～4種類の揮発性有機物質が挙げられている。しかしVOCの種類は非常に多いので、国務院が公布した大気汚染防止行動計画(大気十条)でもVOC排污費制度の範囲を拡大する必要があるとしている。VOC排出における懲罰的な排污費制度の実行は、企業の排ガス削減を促進するだろう。現在の排污費制度の基準においては、地方政府が国家基準より高い基準を制定する場合がある。例えば北京市、天津市などで、北京市のVOC排污費の増加率は高く、状況により異なるが20～40元/kgである。さらに排出基準をどれくらい超えるかに従い、金額も高くなっている。また、《企業申告＋監督管理査定》を《企業申告査定＋監督管理抜き打ち検査》方式へ変更するなど、審査方式を改変する必要がある。《費改税》(費用徴収制度を税制に変革すること)改革はすでに避けようのない状況にあると言える。例えば、ある石油化学企業に対し20～30人の専門家を派遣し、すべての装置のVOC漏洩を検査する場合、算定に半年程度の時間が必要となる。現実問題として、環境保護部門には時間、検査人員、共に十分な余力がない。そのため、企業自身による算定と申告に頼らざるを得ない状況にある。企業からの申告後、環境保護部は審査を行うが記入漏れや不十分な部分がないかをチェックする程度になってしまう。我々は《費改税》改革を2015年末までに国務院を通過させ、全国人民代表大会に提出し法律制定手続きを行う方針だ。VOC排污費徴収試験プロジェクト及び《費改税》の両者は同時に進めることができる。つまり、法律制定手続きをしながらモデル地区の試験を実施することが可能ということだ。基本的な法律の成立後、政府はその時点でモデル地区から得られるデータなどを活かし、現行のVOC排污費制度を《費改税》へと移行させることができるのである。

国家が環境保護法、またVOC排污費基準を厳しくするに従い、VOC処理産業市場では更なる投資が見込まれ、VOC処理装置やそれに伴う環境産業は、更に大きな商機を獲得していくことになるだろう。

参考文献(大気部分)

1. 中華人民共和国環境保護部(2015)「2015年上半年全国環境質量狀況」
2. 中華人民共和国環境保護部(2015)「2015年上半年各省自治区直轄市主要污染物排放量」
3. 国家能源局(2014)「煤電節能減排升級与改造行動計劃(2014-2020年)」
4. 国務院(2013)「大氣污染防治行動計劃」
5. 發展改革委員会・環境保護部(2014)「燃煤發電机組環保電価及環保設施運行監管弁法」
6. 曾東瑜・陳凡植・郭潔茹・李麗(2014)「国産化是中国未来煙氣脱硫的發展方向」『広東電力』, 17, (1).
7. 中国環境保護産業協会脱硫脱硝委員会(2014)「中国脱硫脱硝行業2013年發展綜述」『中国環境産業』, 09-0004-12.
8. 国務院(2012)「十二五節能環境産業發展規劃」
9. 国務院(2011)「十二五節能減排綜合性工作方案」
10. 中電聯(2010)「電力工業「十二五」規劃研究報告」
11. 發展改革委員会(2007)「關於開展火電廠煙氣脱硫特許經營試点工作的通知」
12. 發展改革委員会・環境保護部(2010)「關於推進大氣污染聯防聯控工作改善区域空氣質量的指導意見」
13. 環境保護部(2011)「火電廠大氣污染物排放標準(GB13223-2011)」
14. 梁東東等(2015)「中国煙氣脱硫工藝技術發展現狀和趨勢」『有色金属:冶煉部分』, (04), 69-73.
15. 畢艷輝(2015)「火電廠脱硫脱硝技術探討」『黑竜江科学』, 6, 32-33.
16. 徐才仁(2012)「中国有色金属冶煉煙氣脱硫技術綜述」『河南科技』6, 79-80.
17. 郝繼鋒・汪莉・宋存義(2015)「鋼鉄廠燒結煙氣脱硫技術的探討」『太原理工大学学報』, 36, (4), 491-494.
18. 王青・許艷梅(2010)「鋼鉄行業燒結煙氣脱硫現狀及發展」『冶金設備』, (S1).
19. 趙欣・索林生・吳娟(2011)「中国燒結煙氣脱硫現狀分析」『邯鄲職業技術学院学報』, 24, 41-43.
20. 李志光(2014)「火力電廠脱硫技術問題及解決方案」『能源与節能』, (8), 164-165.
21. 林曉芬・張軍・尹艷山・盛昌棟(2014)「煙氣脱硫脱氮技術綜述」『能源環境保護』, 28, (01), 1-4.
22. 夏広鋒(2014)「煙氣脱硝技術応用現狀与進展」『資源節約与環保』, (4), 14-14.
23. 戴逸明・陳舒舒(2013)「国内火電廠煙氣脱硝技術發展与産業分析」『海峡科技与産業』, (3), 79-82.
24. 尤振豐・丁明・方文倉・解鵬洋(2013)「水泥行業煙氣脱硝技術綜述及展望」『広東建材』, 29, (5), 29-33.
25. 潘嘉航・沈利傑・徐斌(2014)「水泥炉窯用SNCR脱硝技術分析及市場展望」『中国環境産業』, (04), 44-46.
26. 魏淑娟・王爽・周然(2014)「中国燒結煙氣脱硫現狀及脱硝技術研究」『環境工程』, (2), 95
27. 于樹斌・崔鈞・陳勝等(2012)「燒結煙氣脱硝技術的探討」『節能環保』, 11, 1-4.
28. 龚俊傑・郁文飛(2013)「有関燒結煙氣聯合脱硫脱硝工藝的比較与探討」『科技風』, (3), 34-34.
29. 周立栄・高春波・楊石坡(2014)「鋼鉄廠燒結煙氣SCR脱硝技術応用探討」『中国環境産業』, (6), 33-36.
30. 尹海濱(2012)「浅談工業窯炉煙氣脱硝工藝技術的応用」『水泥工業節能減排及清潔生産控制技術高峰論壇暨水泥工業脱硝、脱硫及除塵專題会』
31. 劉大鈞・魏有權・楊麗琴(2012)「中国鋼鉄生産企業氮氧化物減排形勢研究」『環境工程』, 30, (05), 118-123.
32. 郝永利・劉安陽・胡華竜(2014)「煙氣脱硝催化劑現場再生与工廠化再生比較」『中国環境産業』, (6), 40-41.
33. 李春雨(2014)「SCR脱硝催化劑研究及産業現狀分析」『源工程』, (1), 60-64.
34. 李德波・廖永進・徐齊勝・楊青山(2014)「燃煤電站SCR脱硝催化劑更換策略研究」『中国電力』, 47, (03), 155-159.
35. 中国電力企業聯合会(2015)「中電聯發布2014年度火電廠環境産業信息」
36. 李奎中・莫建松(2013)「火電廠電除塵器応用現狀及新技術探討」『環境工程技術学報』, 03, 231-9.
37. 王慧澄(2014)「大氣污染防治的法律对策研究」河南大学
38. 陳青祥(2015)「中国大氣污染防治法律制度研究」山西財經大学
39. 劉鴻雁(2014)「中国大氣污染防治法律与制度研究」華東政法大学
40. 曹雷(2014)「大氣污染治理行業研究」西南財經大学
41. 中国環境保護産業協会袋式除塵委員会(2014)「中国袋式除塵技術的進步与發展」『中国環境産業』, 07, 9-12.
42. 陳国忠・肖衛芳・金建国(2015)「中国袋式除塵器製造技術的發展」『中国環境産業』, 01, 22-6.

43. 中国環境保護産業協会電除塵委員会(2015)「電除塵行業2014年發展綜述」『中国環境産業』, 07, 6-15.
44. 中国環境保護産業協会電除塵委員会(2014)「中国電除塵行業2013年發展綜述」『中国環境産業』, 11, 4-16.
45. 中国環境保護産業協会電除塵委員会(2013)「中国電除塵行業2012年發展綜述」『中国環境産業』, 06, 8-14.
46. 中国環境保護産業協会電除塵委員会(2012)「中国電除塵行業2011年發展綜述」『中国環境産業』, 07, 14-20.
47. 中国環境保護産業協会袋式除塵委員会(2015)「袋式除塵行業2014年發展綜述」『中国環境産業』, 11, 4-14.
48. 中国環境保護産業協会袋式除塵委員会(2014)「中国袋式除塵行業2013年發展綜述」『中国環境産業』, 09, 16-26.
49. 中国環境保護産業協会袋式除塵委員会(2013)「中国袋式除塵行業2012年發展綜述」『中国環境産業』, 05, 6-20.
50. 中国環境保護産業協会袋式除塵委員会(2012)「中国袋式除塵行業2011年發展綜述」『中国環境産業』, 08, 13-26.
51. 景嘯(2014)「除塵器行業研究」西南財經大学
52. 程良峰(2014)「大气污染防治設備製造業行業分析」西南財經大学
53. 中華人民共和國環境保護部(2012)「2011年環境統計年報」
54. 中華人民共和國環境保護部(2013)「2012年環境統計年報」
55. 中華人民共和國環境保護部(2014)「2013年環境統計年報」
56. 国家統計局・環境保護部(2012)「中国環境統計年鑑(2011)」北京, 中国統計出版社
57. 国家統計局・環境保護部(2013)「中国環境統計年鑑(2012)」北京, 中国統計出版社
58. 国家統計局・環境保護部(2014)「中国環境統計年鑑(2013)」北京, 中国統計出版社
59. 環境保護部(2015)「2014年環境統計年報」
60. 国家統計局・環境保護部(2015)「中国環境統計年鑑(2014)」北京, 中国統計出版社
61. 国家統計局・環境保護部(2011)「中国環境統計年鑑(2010)」北京, 中国統計出版社
62. 国家統計局・環境保護部(2008)「中国環境統計年鑑(2009)」北京, 中国統計出版社
63. 国家統計局・環境保護部(2007)「中国環境統計年鑑(2008)」北京, 中国統計出版社
64. 上海市環境保護局(2013)「上海市工業固定源揮發性有機物治理技術指引」
65. 中国環境産業協会廢氣淨化委員会(2014)「中国有機廢氣治理行業2014年發展綜述」
66. 環境保護部(2014)「石化行業揮發性有機物綜合整治方案」
67. 席勁瑛・武俊良・胡洪宮等(2012)「工業VOCs氣體處理技術應用狀況調查分析」『中国環境科学』, 11, 1955-1960.
68. 環境保護部(2013)「催化燃燒法工業有機廢氣治理工程技術規範」
69. 中国清潔空氣聯盟(2015)「VOCs 治理行業投資報告」
70. 科技部・環境保護部(2014)「大气污染防治先進技術匯編」
71. 楊利嫻(2012)「中国工業源VOCs排放時空分布特征与控制策略研究」華南理工大学
72. 廣東省環境保護庁(2013)「廣東省印刷行業揮發性有機化合物廢氣治理技術指南」
73. 曾婉昀(2014)「重污染行業有機廢氣来源及淨化技術」浙江大学
74. 齊祥昭・魯文輝・牛長叡(2015)「塗料行業VOC污染控制政策法規研究」『中国塗料』, 30, 9-13.
75. 王鵬(2013)「石化企業揮發性有機物排放源及排放量估算探討」『石油化工安全環保技術』, 29, 59-63.
76. 魏巍(2009)「中国人為源揮發性有機化合物的排放現狀及未來趨勢」清華大学
77. 環境保護部(2013)「吸附法工業有機廢氣治理工程技術規範」
78. 財政部, 国家發展改革委・環境保護部(2015)「揮發性有機物排污收費試點弁法」
79. 中国環境産業協会廢氣淨化委員会(2013)「中国有機廢氣治理行業2013年發展綜述」
80. 環境保護部(2013)「揮發性有機物(VOCs)污染防治技術政策」
81. 劉楊(2009)「印刷行業中有機廢氣治理技術」『科技創新導報』, 29, 86.
82. 楊淵德(2014)「塗料塗裝行業VOC減排淺析」『中国塗料』, 29.
83. 趙建国・楊利嫻・陳曉珊等(2012)「美国塗料行業 VOC 污染控制政策与技術研究」『塗料工業』, 42, 44-49.
84. 黃向科(2015)「包裝印刷行業VOC廢氣治理技術」『中国科技博覽』, 44, 91.
85. 楊利嫻・黃萍・趙建国等(2012)「中国印刷業VOCs污染狀況与控制对策」『包裝工程』, 33, 125-131.
86. 赫潔(2012)「大气污染防治区域聯防聯控中VOCs的控制研究」河北工業大学

87. 吳剛・張峰(2015)「工業有機廢氣污染治理技術的応用和發展研究」『環境与發展』, 27, 69-70.
88. 高宗江・李成・鄭君瑜等(2015)「工業源 VOCs 治理技術效果実測評估」『環境科学研究』, 28, 994-1000.
89. 陳哲銘・夏友超・邵小林(2015)「揮発性有機廢氣治理技術進展分析」『資源節約与保護』, 4, 112-113.
90. 陳穎(2011)「中国工業源VOCs行業排放特征及未来趨勢研究」華南理工大学
91. 陳穎・葉代啓・劉秀珍等(2012)「中国工業源 VOCs 排放的源頭追蹤和行業特征研究」『中国環境科学』, 32, 48-55.
92. 周春何・彭飛燕(2015)「有機廢氣的净化治理与回收探究」『資源節約与環保』, 3, 203-204.

三

中国の環境産業投資の 展望

中国では、環境産業を21世紀の「朝陽産業」（発展の見通しの高い産業）、戦略的新興産業とみなされている。世界的に見ても、近年、環境産業は急速に発展し、成長率は同期の経済成長率を大きく上回っている。特に中国の環境産業の成長は著しい。「十一五」計画（第11次5カ年計画、2006-2010）の実施以来、中国の環境保護投資は年々増加し、汚染対策施設の設置・運営、その他環境産業関連投資は、1兆5400億元に達し、GDP成長、雇用などを牽引する大きな役割を果たした。「十二五」計画（第12次5カ年計画、2011-2015）の実施期間における環境保護目標（指標）を実現するためには、各環境保護プロジェクトを積極的に実施しなければならないという戦略のもと、「主要汚染物排出削減プロジェクト」など8つの環境保護重点プロジェクトの優先の実施が決まった。「環境保護装備『十二五』発展計画」（工信部聯規〔2011〕622 号）は、「十二五」計画期間における環境保護設備産業の総生産額を年平均20%で成長させ、2015年までに5000億元規模に達するとの目標を決め、特に、大気汚染対策設備への投資が重点対策となった。また、環境保護設備の輸出額の拡大目標として、年平均30%以上での成長を目指し、2015年まで、100億元を超える目標も確立している。

環境汚染対策の投資分野として、「旧工業汚染源対策」分野、『3つの同時』対策分野（工場・設備の計画・建設・創業の段階において予期さえる汚染に対応するための設備の設計・装備・運用を同時に行うこと）、「都市環境インフラ建設」分野の3つが含まれる。2014年の中国の環境汚染対策投資総額は9575億5千万元で、国内総生産（GDP）に占める割合は1.50%だった。そのうち「都市環境インフラ建設」への投資は5463億9千万元、「旧工業汚染源対策」への投資は997億7千万元、「プロジェクト建設の『3つの同時』」への投資は3113億9千万元で、それぞれ環境汚染対策投資総額の57.06%、10.42%、32.52%を占めた。下表では、中国環境汚染対策産業の近年の投資総額とGDPに占める割合を示した。

年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
投資総額(億元)	7612.2	7114.0	8253.5	9516.5	9575.5
GDP に占める割合	1.63%	1.25%	1.55%	1.54%	1.50%

以上のほか、『十二五』省エネ・環境産業発展計画は、計画期間において、省エネ・環境産業の生産額を年平均15%以上で成長させ、2015年までに省エネ・環境産業の総生産額を4兆5千億元に到達させることを求めている。しかし、環境保護製品は「準公共財」であり、純粋な市場条件下ではその供給は必ずしも十分とはいえない。環境産業の健全な発展には、政府の政策的バックアップや科学的な市場メカニズムの設計が不可欠となる。環境問題が深刻化している中国において、環境産業が果たす役割への期待がますます高まっている。しかし、現実において、中国の環境産業の発展は、資金不足によって大きく制約されている。根本的な問題は、投融資メカニズムが十分機能しておらず、巨大な民間資金をうまく活用していない点にある。

1 中国の環境産業の投資の現状

近年、中国の環境産業の投融資規模は年々拡大し、投融資モデルと緑色（グリーン）金融改革の分野において積極的な探索が行われ、一定の進展が見られた。特に、国家のエコ文明政策の推進に伴い、中国の環境産業は戦略的な発展を遂げる良い局面を迎えており、環境産業投融資の規模やそのメカニズムの整備は今後も、新たなブレークスルーを達成していくものと見られる。

1.1 エコ文明政策の推進による環境産業の促進

環境産業は政策への依存度の高い産業である。中国の環境資源保護分野は、長期にわたって法整備やその執行における課題に悩まされている。また、環境保護投融资と環境産業関連法制度が本来果たすべき役割を十分果たすことができなかったこともあり、制度の実施には種々の弊害が生じていた。「エコ文明政策」の提出はこうした状況を根底から覆そうとするものである。2012年の党の第18回大会報告は、エコ文明政策を経済政策、政治政策、文化政策、社会福祉政策などに並ぶ重要政策（「五位一体」）として位置づけ、資源節約の促進、生態環境の保護を中心に、様々な制度を導入した。2013年に公布した「改革の全面的深化における若干の重要な問題に関する中共中央の決定」では、「エコ文明制度整備の加速」という独立した章が設けられ、充実したエコ文明制度体系を構築し、いままで最も厳しい環境規制制度・損害賠償請求・責任追及制度の導入、充実した環境対策・生態修復制度の整備を根幹とする政策方針を打ち出した。これは、長期にわたって環境産業の発展を阻んできた制度的な障害を取り除き、環境産業の持続的かつ健全な発展につながる大きな一歩となった。

2014年4月24日、第12期全国人民代表大会常務委員会第8回会議で、新たに修正された「環境保護法」が審議・採択され、2015年1月1日から施行されることとなった。「環境保護法」は環境分野における基本法である。新「環境保護法」は、理念・制度・罰則措置などの面でいずれも大きな改善が見られ、関連法律・法規の枠組の再構築を大きく後押しするものであった。また、新「環境保護法」では、市場メカニズムや資本活用を重視した観点から、財政・租税・価格・生態補償・環境保護税・環境汚染責任保険・重汚染企業撤退奨励メカニズムなどのほか、緑色（グリーン）貸付の土台となる企業環境保護信用制度も導入した。新「環境保護法」は、企業の環境投入の拡大に向けた強烈的なシグナルとなり、環境産業と環境サービス企業に絶好のビジネスチャンスを与えるものとなった。

エコ文明および「美しい中国」の政策スローガンをめぐって、国家は近年、一連の環境保護政策を打ち出しており、環境産業の投融资は今後、爆発的に成長していくものと見られる。2014年の政府活動報告は、生態環境の保護を強化し、大気・水・土壌の「三大環境保護行動計画」の実施を徹底するという方針が重ねて明言された。「大気汚染防止・処理行動計画」はすでに公布され、「水汚染防止・処理行動計画」と「土壌環境保護・汚染対策行動計画」もまもなく公布される。専門家によると、この3つの行動計画にかかわる環境保護投資は6兆元を超える見通しだ。

1.2 環境産業投融资の急速な成長

中国の現在の統計基準によると、環境保護投資には主に、都市環境インフラ建設投資と旧工業汚染源対策投資、建設プロジェクトの「3つの同時」（工場・設備の計画・建設・創業の段階において予期さえる汚染に対応するための設備の設計・装備・運用を同時に行うこと）環境保護投資の3つが含まれる。

近年の環境汚染対策投資の構成を見ると、往々にして、都市環境インフラ建設投資が60%を超え、建設プロジェクトの「3つの同時」環境保護投資は30%に満たず、工業汚染源対策投資の比率は10%以下と少ない。仮にこの3種類の投資を「末端」（インフラ）と「生産過程」（工業）、「汚染源対策」（「3つの同時」）に分けることができるとすれば、現在の中国の環境汚染対策はインフラ投資に偏っており、汚染源と生産過程への投資が不足していることが伺える。このような投資バランスの欠いた状況の長期化は、喫緊の政策課題の一つでもある。しかし、近年、課題解決に向けた以下ような取組みが行われ、一定の成果を上げている。

1.3 環境産業の投融资ルートの増加

中国の環境保護投融资は、財政支出と銀行貸付以外の投融资ルートが増加しつつあり、環境産業の資金調達の可能性と実現可能性が高まっている。官民連携のPPPモデル（BOT、BT、TOTなど）や環境金融（グリーン貸

付、グリーン証券、グリーン保険など)、環境産業基金、環境財産権取引などの新たな融資仕組みが立て続けに導入され、政府と市場資本が結合した多くの投融資ルートが生まれた。

(1) 環境産業 PPP モデルが普及・応用段階に

制度整備の進展に伴い、民間資本や外資などの各種の社会資本が、汚水やゴミ処理、供水などの分野に大量に進出し始めた。中国政府は2014年、環境保護の公共インフラ建設分野での社会資本の参加(PPPモデル)を大いに促進する方針を打ち出し、関連政策による支援を強化した。2014年12月4日、国家发展改革委員会は、「政府と社会[民間]資本の協力展開に関する指導意見」(发改投資[2014]2724号)を公布したが、この中には「政府・社会資本協力プロジェクト汎用契約指南」も含まれていた。財政部はウェブサイトで同日、「政府・社会資本協力モデル操作指南(試行)」を發布したほか、「政府・社会資本協力モデルプロジェクトの実施にかかわる問題に関する通知」を發布し、30件のPPPモデルプロジェクトを確定した。プロジェクトの総投資規模は約1800億元に達した。このうち汚水処理や供水、環境対策などのプロジェクトは15件に及んだ。大まかな統計によると、各省がすでに明らかにしている2015年の環境保護PPPプロジェクトの投資計画の総額は1兆元を超えている。

(2) グリーン貸付の規模が拡大、「銀政投」計画も実施開始

「グリーン貸付」とは、環境保護に積極的に取り組む企業の融資案件について、銀行が優遇的な金利やその他の条件をもって支援するとともに、環境基準違反企業をの貸付を制限する制度を指す。2012年、銀行業监督管理委员会は中国銀行業によるグリーン貸付の実行の綱領的な文書「グリーン貸付ガイド」を通達し、銀行業金融機構によるグリーン貸付の実施や省エネ・排出削減(汚染物質の削減)と環境保護の促進に関する明確な指針を提示した。2014年6月末までに、省エネ・環境保護のプロジェクトとサービスに対する主要銀行機構21社の貸付総額は4.16兆元にのぼり、貸付全体の6.43%にのぼった。このうち工業省エネ・節水プロジェクトの貸付総額は3470.1億元、省エネサービスの貸付総額は349.3億元、建築省エネ・グリーン建築の貸付総額は565.4億元、グリーン交通運輸プロジェクトの貸付残高は1.98兆元に達した。2015年1月19日、銀行業监督管理委员会と国家发展改革委員会は「グリーン貸付ガイド」の發布に継いで、「エネルギー効率貸付ガイド」を共同發布し、グリーン貸付の発展の歩みを示す出来事となった。エネルギー効率貸付は、エネルギー消費企業によるエネルギー利用率の向上とエネルギー消費量の引き下げを支援するために銀行が提供する貸付融資方式であり、グリーン貸付の重点分野となる。国家は現在、地方による「銀政投」グリーン貸付計画の始動を推進している。同計画は、国家開発銀行と地方政府、ベンチャー投資機構が共同出資し、資金プールを形成し、中小の環境保護企業に優遇的な貸付を提供し、環境保護分野の企業の融資難問題の解決をはかるものである。「銀政投」計画では、政府資金は無利子の方式で注入かつ循環使用され、資金使用の効率と効果が大幅に高められると同時に、企業の融資コストも引き下げられることとなる。同計画はすでに、海南や山東などの地で試行が展開されている。

(3) グリーン証券が一定規模に発展

2014年末までに、上海・深センの両株式市場で上場した環境保護を主要業務とする企業は77社に達した。このうち時価総額200億元以上は8社、100億~200億元は14社、100億元以下は55社だった。時価総額100億元以上の環境保護上場企業22社のうち、国有企業は11社、民営企業は11社で、民営の環境保護企業が資本市場にますます受け入れられ、地位を高めていることが伺える。

(4) グリーン保険制度がモデル事業の段階から正式制度へ

グリーン保険は、環境汚染賠償責任に基づく一種の商業保険で、環境汚染責任保険制度とも呼ばれる。企業が引き起こした汚染事故が第三者に損害を及ぼした際、法令上の損害賠償責任をカバーすることを目的とした保険である。2007年、環境リスクマネジメントにおける持続的なメカニズムを構築し、深刻な環境リスクを軽減を目的に、環境汚染強制責任保険制度が試行的に全国で展開された。2013年1月、環境保護部と中国保険監督管

理委員会は共同で、重金属企業や石油化工など環境リスクの高い業界における環境汚染強制責任保険制度を15の省での実験的に実施するとの政策文書を発表し、その中で「強制」という概念を初めて用いた。2007年からこれまでに、保険加入企業は延べ2万5千社を超え、保険会社が提供したリスク保障金の累計額は600億元を越えた。2014年、環境汚染責任保険に加入した企業は全国22省（自治区・直轄市含む）の5000社近くに及び、関連業界は重金属・石油化学・危険化学品・危険廃棄物処置・医薬品・染色印刷など多岐に及んだ。

(5) 環境産業基金が次々と設立され、より多くの投融資の新プラットフォームを企業に提供

データによると、環境保護を主目的とした既存の基金（金融商品）は約15種類ほどあり、このうち指数型基金は3種類、能動的に管理される金融商品は12種類（8種類は一般株式投資基金、4種類は混合型基金）ある。このうち「鵬華環境産業」、「銀河美麗優萃」、「申万菱信中证環境保護」、「華宝興業生態中国」は2014年に発売となった。このほか重慶市政府は、規模10億元の環境産業株式投資基金の設立を認可している。

(6) 環境財産権取引市場の整備が環境産業投融資の新たな天地を開拓

「改革の全面的深化における若干の重要な問題に関する中共中央の決定」は、環境保護市場を發展させ、省エネ量・炭素排出権・汚染物質排出権・水利権の4種の環境財産権取引制度を推進する方針を打ち出した。中国はこれまで、主に、汚染物質排出権取引と炭素排出権取引に関するモデル事業を展開してきた。2007年以来、中国政府は、江蘇・浙江・湖南・湖北・河南・河北・山西・陝西・内蒙古・天津の10省（区・市）において汚染物質排出権の有償使用・取引モデル事業を展開した。2014年8月、国務院は、「汚染物質排出権の有償使用・取引のモデル事業のさらなる推進に関する指導意見」を公布した。意見は、モデル地域内における汚染物質排出企業の排出権の査定を2015年末までに全面的に完成させ、汚染物質排出権の有償使用・取引制度を2017年末までに開始するという目標を打ち出した。

中国は、北京・上海・広東・天津・湖北・深セン・重慶の7省市での炭素取引権モデル事業の展開を決定している。2014年10月末までに、全国7カ所の一級・二級炭素排出権取引市場には排出枠割当企業2000社余りが参入している。年間割当額は約12億トンにのぼり、合計2896万トンが取引され、取引総額は12億8千万元に達した。世界銀行の推算によると、2017年、中国が国レベルの排出権取引制度を導入した場合、中国は世界最大の排出権取引市場となり、また、中国の提供し得るクリーン開発メカニズム（CDM）プロジェクトは世界の総需要の50%以上を占めるとの結果が発表されている。

2 中国の環境産業投資の展望

2015年、中国中央電視台（CCTV）元有名アナウンサーの柴静氏は、中国空気汚染問題に関するドキュメンタリー番組「穹頂之下」が大きな反響を呼んだ。この番組は、ちょうど中国の「两会」（人民代表大会、政治協商会議）の直前の時期に発表したため、環境保護部の陳吉寧部長の就任の次の日と重なった。同年の两会（全国人民代表大会および中国人民政治協商会議）では、大気汚染対策が最も頻繁に話される話題の一つとなった。李克強総理は3月5日の政府活動報告で、省エネ環境産業を新興支柱産業として發展させる方針を改めて打ち出した。

同年、環境保護産業は、「十二五」期の国家重点發展対象の7大新興産業の筆頭に掲げられたが、それまでの3年間は、制度整備と環境投資の不十分さが集中的に是正された時期となった。しかしながら、環境産業は、今後より厳しいチャレンジに立ち向かわなければならない。環境保護部の陳部長の就任発言にあった「鉄腕での取り締まり」、「汚染対策メカニズムの改革」にみるように、環境産業の改革はさまざまな利益集団の抵抗に直面することが想定され、その実現の道は容易ではない。

中国の環境産業の中短期目標は依然として「三廃」（廃気、廃水、固体廃棄物）対策である。そのうち最も緊迫性の高いのが大気汚染対策であり、企業活動への影響が最も大きい分野となる。大気汚染対策では、火力発電設備に対する環境保護設備の導入が最終段階に入っている。同年4月には「水十条（水対策に関する十の方策）」

も打ち出された。2015年に着任した環境保護部の部長が水環境の専門家であることもあり、市場では水汚染対策の全面的展開に対する期待が高まった。だが水処理政策の発表が予期よりも遅かったため、政策によるマーケット需要促進効果には限りがあるとも見られている。また、仮に水処理政策が打ち出されたとしても、政策の本格的な施行、企業への設備発注に至るまでにはプロセスが長く、経済的な即効性は比較的に弱い。

中国の環境産業の長期目標とエネルギー構造調整の目標とは切り離すことはできない。中国の実際のエネルギー消費構造から考えると、天然ガスや水力、原子力、風力、太陽エネルギー、バイオマスエネルギーなどのクリーンエネルギーを最大に利用したとしても、数十億トンの石炭利用規模と比べれば、補完的な産業としかならない。近年、中国において、石炭の効率・クリーン利用は、必然的な流れとなっている。現在、多くが大型石炭企業は、こうした石炭利用技術のアップグレードを進められているが、信頼できる環境技術サービスを提供できる企業が著しく欠けている。石炭のクリーン化は、技術路線やコスト均衡、応用普及の面でまだまだ長い道のりを歩む必要がある。

そのほか、細分化された業種の一つになるのが、環境データ監視・測定分野も注目に値する。監視・測定技術は、制度の実施や評価の実効性を確保するための重要なポイントとなる。各級地方政府が汚染物排出源の解析事業を始動している中、今後、排ガス、水質、重金属、土壌、VOCなどに関する監視・測定設備・技術の需要は持続的に成長していく見通しだ。環境監視・測定事業は、産業サプライチェーンの中において、政策的特殊性を持つことから、今後、確実に伸びる環境産業分野とも言える。

3 中日環境産業協力におけるポテンシャル分野

30年余りの改革開放の発展を経て、今日の中国は、省エネ・環境保護に関連する巨大な市場を整備するに至った。日本は、省エネ・環境保護技術と関連する研究開発水準は世界先端水準にある。日中両国は、双方の企業と研究機構による技術協力の展開や成果の共有、関連研究の奨励などにおいて、幅広い協力可能性を持っている。中国の環境保護市場の規模の強みと日本の優れた技術を結合すれば、更なるWin-Win関係を実現することもできる。推算によると、十三五(第13次5カ年計画、2016-2020)期間、中国の省エネ・環境産業投資は17兆元に達する。中日両国の企業にとっては、巨大な発展のチャンスと言える。中国の環境保護市場は、日本経済にとっても新たな成長分野として位置づけることも可能である。

中日環境産業におけるポテンシャル産業として、室内空気浄化分野、家庭用水浄化分野、揮発性有機化合物処理・監視・測定分野の3分野が特に注目に値する。

3.1 室内空気浄化分野

2013年、中国では、広い範囲で大気汚染が頻発し、多くの地方ではPM_{2.5}計測器が測定不能に落ちるほど、大気質が悪化した。大気環境汚染はすでに、人類の生存を脅かす重大な問題となり、研究者や市民の幅広い関心を呼んでいる。大気環境汚染の問題は一朝一夕で解決できるものではなく、その対策には長期の努力が必要となる。これと比べると、限られた空間の室内空気環境の抑制と対策は比較的に実現しやすく、短期間で効果を得ることができる。各種の室内環境浄化対策製品はこうした状況の下で生まれ、関連製品を開発・生産する企業が多く出現した。過去十数年の産業蓄積もあり、室内環境対策産業は、一躍、新興産業の一つとして成長した。関連製品の販売額は中国で毎年、前年比28%増の速度で成長している。

中国企業のほか、欧米や日韓など外国のブランドもすでに、国内の家庭用空気浄化器市場に積極的に参入している。国内の主要ブランドとしては「亜都」や「美的」、欧米の主要ブランドとしては「ブルーエア」や「エレクトロラックス」、日韓ブランドとしてはパナソニックやシャープ、日立などが挙げられる。国内ブランドの製品と国外ブランドが国内で生産している製品は現在、ミドルローエンド市場のものが中心で、ミドルハイエンド市場は輸入製品が占

めている。中国の室内浄化器企業の数200社余りだが、そのうち64%は中小企業が占め、これらの企業の多くは年間売上高が1000万元を下回っている。

家庭空気清浄器のシェアで見た場合、米国で27%、日本では17%を占めている。中国の場合、オフィスと都市家庭での空気清浄機の利用が始まったばかりであり、市場はまだ導入段階にある。

小規模室内空間の空気浄化市場も高い成長ポテンシャルを持っている。自動車環境汚染状況調査によると、測定を受けた1175台の自動車のうち、車内の空気がすべての検査項目で基準に達した車両は全体のわずか6.18%の52台にすぎなかった。こうした小規模室内空間の空気浄化の問題にはできるだけ早い解決が求められている。

日本の家庭用空気清浄器技術は進んでおり、市場も成熟している。中国は、室内空気浄化の分野で広大な発展の余地を持っている。室内空気浄化分野は、中日環境保護協力で発展の大きな潜在力と見通しを備えた分野と言える。

3.2 家庭用水浄化分野

経済の急速な発展による環境汚染は日増しに深刻化している。人々は社会進歩を享受すると同時に、水質汚染と水道管による再汚染による飲用水の健康問題に悩まされている。世界保健機関の発表によると、発展途上国の農村人口の4分の3、都市人口の3分の1は安全で衛生的な飲用水を利用することができていない。統計によると、人類における80%の疾病と3分の1の死亡は汚染された水の飲用と不可分な関係にある。水道水の末端ユーザーである家庭で深いレベルの処理を行うことは、用水問題を有効に解決する重要な手段となる。

浄水器の認知度を調べた統計資料によると、中国で浄水器を知っている消費者は75%、購買意欲を持つ消費者は30%に達している。家庭用浄水器の普及拡大に伴い、技術の成熟度も日増しに高まっている。ボトル詰めの水を使ったサーバーと比べ、浄水器は、飲用水の製造過程をユーザーが直接見ることができ、信頼性が高い上、装備が簡単である。長期的に見れば価格面でも優位性を備えている。家庭用浄水器の発展の見通しは広大であると言える。

(1) 中国の水道水における主要健康リスク

a) 飲用水の基準とその問題

都市供水分野において、人体の健康に脅威をもたらす主要な汚染物の一つは、人類自身が合成した有機物である。この種の汚染物の種類は多い。含有量は少ないが、通常の検査測定設備で正確に分析することはできない。現在、中国の水質基準は、総合指標体系を導入しているが、ヒトインターフェロン類汚染物のように極少量でも人体への深刻な毒物学的効果をもたらす物質は、総合指標で捕捉することはできない。

厳格に言えば、中国の現行の生活飲用水の水質基準を満たす水を直接飲用する場合、飲用の安全を完全に保証することはできない。沸騰させた水の飲用は、飲用水の安全性を高める有効な措置となっている。

b) 水道水の直接飲用における主な問題

現在、都市供水インフラで供給される水道水を飲用水とすることには少なくとも以下のようなリスクがある

第一に、水中の有機物が人体に与える直接的な健康被害と、水中有機物によって引き起こされる微生物繁殖などの問題がある。とりわけ工業生産によって合成される自然界には存在しない化学物質(主に有機物)は、水源に進入すると、現在の浄水場では有効に除去できない。水道水に残留した部分は、人体の健康に対して潜在的な危害を持っている。

第二に、浄水場における塩素消毒処理の過程で同時に形成されるハロゲン化炭化水素の二次汚染物は発がん物質であり、人体の健康に損害をもたらす。

第三に、水道水に含まれているコロイド粒子や有機物などによって発生する混濁や色、カビ臭は、飲用者に感覚上の不快さを与える。とりわけ重視すべきなのは、近年水中で発見されたヒトインターフェロンが健康に与える影

響である。この物質は、人間の内分泌失調を引き起こし、様々な慢性病を誘発する。現在、男性の精子量減少や受精能力低下、女性化傾向の重要な原因の一つとなっている。

様々な原因から、都市における多くの用地の水質は、中国の現行の生活飲用水の衛生基準に達しておらず、飲用水とするには不安なものとなっている。

(2) 中国の直接飲用水の浄水処理技術の発展

安全・安心な飲用水を作ることは、直接飲用水の浄化技術の発展が追求する目標である。健康的な飲用水であるためには、健康に影響を及ぼす物質を除去し、逆に、健康に有利な物質をバランスよく含む必要がある。そのため、水浄化プロセスにおいて次の2点に留意する必要がある。

a) 複合ろ過と消毒技術を組み合わせ、有毒・有害物質を除去する

紫外線などによる殺菌、触媒儀技術や複合ろ材による有害物の捕捉、酸化作用などを利用し、水中の細菌の非活性化や除去を行い、消毒の目的を達成する。複合ろ過には、天然合成の弾性繊維や修飾カーボン、パームチット、麦飯石、活性酸化アルミニウムなどの様々なろ材が使われている。仕組みは、水質基準に基づき、特殊加工を加えろ材を合理的に組み合わせ、マルチレベルのろ層を人工的に作り出し、最終処理を施した後、水処理専用のフィルタ素子ユニットとなる。

b) 水質の強化と成分の調和を通じ、より良質な飲み水として生成

水質成分をより自然なバランス状態に近付けるため、二次水質調整の強化を図る。ろ材は主に、麦飯石、天然の真珠・貝類を用いる。ろ材は同様に、特殊加工、複合組み合わせ、最終処理の3段階の主要処理を経て、専用のフィルタ素子を作る。

中国の家庭用水浄化分野には、広大な市場空間がある。日本は、飲用水浄化分野で進んだ技術を持っており、家庭用水浄化分野は、中日環境保護協力分野において大きなポテンシャルがあると言える。

3.3 揮発性有機化合物の処理・監視測定分野

中国のVOCs(揮発性有機化合物)の汚染防止・処理事業のスタートが比較的遅かったことと、VOCsの汚染防止・処理事業に関連する政策法規と管理制度体系が不十分であったことが、VOCs汚染対策産業の発展が遅れをとった原因の一つである。しかし、近年、以下に取り上げたように、様々な制度や政策文書を発表した影響を受け、VOCs対策関連産業は急速な発展を遂げている。

「重点地域の大气汚染防止・処理『十二五』計画」と「大气汚染防止・処理行動計画」の公布を受け、2014年より、国と地方政府はVOCs汚染防止・処理の政策法規と管理制度体系の構築作業に着手した。第一に、VOCsの排出汚染費徴収制度の立案プロセスを始動し、関連企業の注目を呼び、選考投資を呼ぶきっかけにもなった。第二に、国家と地方政府は、重点産業のVOCs排出基準の制定作業を全面的に開始した。第三に、VOCs対策技術の発展に関連する政策法規も整備されつつある。2013年に発布された「吸着法工業有機廃気対策プロジェクト技術規範」と「触媒燃焼法工業有機廃気対策プロジェクト技術規範」を日切りに、2014年には、「蓄熱燃焼法工業有機廃気対策プロジェクト技術規範(RTO)」が公布された。これらの政策文書は、企業による対策関連先行投資の計画、実施、事後評価、そして、環境保護部門による汚染物排出管理などに技術的な根拠を提供しだけでなく、関連産業の市場の規範化にも貢献している。

2013年9月の「大气汚染防止・処理行動計画」の公布を受け、各地方政府レベルにおいても、VOCs汚染対策の強化が図られた。京津冀(北京・天津・河北)などの地区では、重点汚染源に対するVOCs対策奨励政策(対策補助)が次々と打ち出され、補助幅は対策費用の30~50%までに達し、地区内の対策を大きく推進した。2014年から、国が指定した重点産業ならび重点汚染源における対策事業は全面に展開された。

中国政府は、揮発性有機化合物の処理・監視測定分野にいつそう力を入れている。日本は、揮発性有機化合物対策分野で比較的進んだ技術を持っている。揮発性有機化合物の処理・監視測定分野も、有力な日中環境協力分野である。

4 中日の環境産業投融資協力モデルの分析

4.1 中国の環境産業投融資モデルの評価・分析

中国の環境産業投融資ルートは、発展初期の財政支出と銀行貸付を中心とした投融資モデルから、多元的な投資モデルへと発展している。財政支出と銀行貸付以外に、比較的成熟している投融資モデルとして、BOT融資モデルと株式・債券融資モデル、環境保護基金融資モデル、国際融資モデル、ABS融資モデルなどがある。多元的な投融資モデルの形成は、地方政府と環境保護企業による資金調達の実現性を高め、環境産業の良好かつ急速な発展に欠かせない資金面での支えを提供している。

中国の環境産業の発展初期における、主要な資金源は、財政支出と銀行貸付だった。資金は主に、重大環境保護インフラの建設に運用された。現在、この二種の投融資モデルの融資額が全体環境産業融資総額に占める割合はすでに低下しつつある。財政支出は、生態保護や重大環境保護インフラの建設、新エネの開発など、民間資本の参入が厳しかった分野に主に投資されていた。銀行貸付はすでに政策性投融資の範疇から離れ、市場化運営モデルを形成しつつある。環境保護企業の債券・株式融資と環境産業基金投融資は「十五」（2001-2005）および「十一五」（2006-2010）計画期間において急速に発展し、成熟度を高めた。その対象範囲は広く、新エネや新材料、省エネ・排出削減、技術開発、設備製造、プロジェクト建設、汚染防止・処理、技術コンサルティング・サービスなどの各分野に及んだ。最も注目すべき融資モデルは、BOT、TOT、ABSモデルである。これらモデルは、すでに国内外において確立したものであり、モデル自体が成熟し、実用性も高く、現在も中国環境産業の投資資金の重要な出所となっている。中国環境産業の主要な投融資モデルは下表の通り。

投融資モデル	投融資過程	モデル評価・分析	典型事例
財政移転支出	国家財政が環境保護プロジェクト建設に直接投資するか、補助・租税減免などの形式で企業の環境保護プロジェクトへの投資を奨励する。資金源は主に、租税収入・国債・環境保護税・汚染排出費などである。	財政支出は、中国の重大環境保護プロジェクトの融資の重要な資金源であり、成熟したモデルと言える。短所は、投資範囲が狭く、投資の規模が財政収支の制約を受けることにある。	浙江省は2008年、域内の8大水系の主流を保護するため、「保護した人が利益を得る」財政支出制度を打ち出した。
銀行貸付	企業が貸付の形式で政策性銀行や商業銀行から環境保護プロジェクトの投資資金を獲得する。	銀行貸付は、企業が環境保護プロジェクトの投資資金を獲得する重要な資金源であり、幅広く運用され、成熟したモデルを形成している。環境保護プロジェクトの投資収益には大きな不確実性が存在するため、環境保護プロジェクトに対する銀行の投資の積極性は高くない。	国家開発銀行は2006年、武漢都市環境保護会社が建設を請け負った残基発電所と、天澄環境保護会社のろ過膜の技術開発、華麗環境保護会社のプラスチック材料プロジェクトに貸付を提供した。
株式、債権	企業が資本市場を通じて株式や債券を発行し、発展資金を募集する。	株式・債券投融資モデルは、融資コストが低く、投資リスクを分散できるなどの長所がある。短所は、企業規模や経営状況、財務状況、投資プロジェクトなどに対するハードルが高いことにある。	2001年から2011年まで中国では環境保護企業37社が総計46回にわたって株式融資を獲得した。2000年から2011年までに中国環境保護企業のIPOは24件にのぼり、235億8千万元の融資を実現してきた。
国際融資	政府または企業が国際金融市場を通じて環境保護プロジェクト投資資金を調達する。融資方式には、国際債券融資や国際株式融資、海外投資基金融資、国際プロジェクト融資、外国政府による貸付、国際金融組織による貸付などがある。	国際融資は、融資コストを引き下げ、投資リスクを分散させ、融資ルートを拡大するなどの長所がある。短所は、投資プロジェクトや企業規模、経営状況、財務状況などに対するハードルが高いことにある。	比亞迪株式有限公司は2008年、パークシャー・ハサウェイ社の子会社「Mid American」から総計18億香港ドルの株式申込み投資を受けた。

環境産業基金	環境産業基金の投資主体には政府や金融機構、企業、社会団体、個人などが含まれ、基金は、貸付やベンチャー投資、企業の株式・債券の購入申込みなどの方式で企業に発展資金を提供する。	環境産業基金は、投資額が大きく、投資リスクが低く、モデルが成熟しているなどの長所がある。短所は、企業の経営状況や財務状況、投資プロジェクトの予想収益率などに対するハードルが高いことにある。	2010 年、政府の5000万元の誘導基金と49億5千万元の民間資金によって、「広東グリーン産業投資基金」が設立された。基金は主に、エネルギー性能契約管理モデルを運用した省エネ・排出削減プロジェクト投資に向けられた。
BOTモデル	環境保護プロジェクトに投資する企業または個人が一定期間、特定のプロジェクトの融資・建設・経営の独占権を持つ。プロジェクト投資のコストは企業または個人が回収し、一定の投資収益を得た後は、プロジェクトの所有権を政府またはそれが指定する機構に譲渡する。BOTモデルの運用プロセスには、特別許可・建設・運営・引き渡しの4段階がある。	BOTモデルは、プロジェクトのリスクの分散や移転、政府の財政負担の軽減に有利で、投融資モデルも成熟しており、大型環境保護施設の建設に幅広く運用されている。短所は、運営の各段階に一定の不確実性があり、信用リスクや市場リスク、競争リスク、プロジェクト建設リスク、運営保全リスク、環境リスクが比較的高いことにある。	2005年、重慶同興大型ゴミ焼却発電所プロジェクトが竣工し、運用開始となった。同プロジェクトは、BOTモデルで運用された中国発のゴミ焼却発電プロジェクトとなった。
TOTモデル	TOT投融資モデルは、政府部門または国有企業が、建設したプロジェクトの一定期間の財産権または経営権を有償で投資者に譲渡し、投資者が運営管理を担う融資モデルである。投資者は、定められた期間内に経営を通じて全投資を回収し、合理的なリターンを得る。双方の契約期間の満了後、投資者は再び、該当プロジェクトを政府部門または元の企業に返還する。	TOTモデルの長所は、融資リスクが低く、成功率が高く、財政負担が軽減でき、民間資本が吸収できるなどの点にある。短所は、プロジェクト建設初期の資金負担が重く、譲渡における資産価値流失リスクや委託代理リスクがある点などが挙げられる。	2003年、深セン市竜崗区横崗污水处理場が運営開始となった。同プロジェクトの運営にはTOTモデルが採択された。プロジェクトの契約譲渡価格は1億2千万元、企業の特別経営許可権の年限は20年、投資リターン率は9.08%と定められた。
ABSモデル	ABSモデルは、プロジェクト所属の資産を支えとした証券化融資方式である。プロジェクトが保有する資産を土台として、プロジェクト資産がもたらす予想収益を担保とし、資本市場で債券を発行し、資金を募集する。	ABSモデルは、企業の融資コストや投資リスクを引き下げるといふ長所がある。短所は、投資プロジェクトに求められる収益率が高いこと、プロジェクト信用ランクがAAA級に達していなければならないこと、融資プロセスが複雑であることなどが挙げられる。	恒源発電有限公司は1997年、ABS融資モデルを利用して、米国の資本市場で債券を発行し、融資を調達した。

4.2 中日環境産業投融資の協力モデル

中国ですでに形成されている各投融資モデルは、投資規模や投融資効率、投資プロジェクト、投融資条件などでそれぞれ異なる。投融資モデルを選択する際には、投融資の対象となるプロジェクトとの合理的な組み合わせを考えなければならない。非合理的なモデルを選択すれば、融資コストが高くなったり、融資が困難になったり、融資効率が低くなるなどの問題がある。下表は、中国環境産業の投融資体系の発展方向と各投融資モデルの特徴を分析し、「十二五」(第12次5カ年計画、2011-2015)期における中国環境産業の投融資モデルと対象プロジェクトとの最良の組み合わせをまとめたものである。

投融資モデル	投資方向
財政移転支出	公益性プロジェクト、市場参加の足りない分野。投資プロジェクト: 重大環境保護インフラ建設、生態保護、環境汚染対策、新エネルギー開発など。
銀行貸付	経営状況の良好な環境保護企業、収益性の高い環境保護プロジェクト。投資プロジェクト: 技術開発、設備製造、技術サービス、新エネルギー、新材料、汚染防止・処理、環境保護設備など。
株式、債権	一定規模を備え、経営状況の良好な環境保護企業。投資プロジェクト: 技術開発、設備製造、新エネルギー、新材料など。
国際融資	公益性プロジェクト、高収益性プロジェクト。投資プロジェクト: 環境保護インフラ建設、生態保護、環境汚染対策、新エネルギー、新材料、技術開発など。
環境産業基金	大規模で経営状況の良好な環境保護企業、高い収益が見込まれる環境保護プロジェクト。投資プロジェクト: 技術開発、設備製造、省エネ・排出削減、汚染防止・処理、新エネルギー、新材料、環境保護など。
BOT モデル	公共環境保護インフラ建設
TOT モデル	公共環境保護インフラ建設
ABS モデル	収益率の高いプロジェクト。投資プロジェクト: 環境保護インフラ建設、設備製造、技術開発、新材料、新エネルギーなど。

中日環境産業投融資協力モデルは、BOTプロジェクト融資モデルとTOTプロジェクト融資モデルを柔軟に運用することが望ましい。BOTモデルは中国環境産業の発展において幅広く運用され、成熟したモデルである上に、財政負担軽減や投資リスク分散にも有利である。BOTモデルに比べ、TOTモデルは中国の環境産業発展における運用は比較的少ないが、以下のような長所がある。第一に、TOT融資モデルは、建設済のプロジェクトの経営権譲渡にかかわるもので、財産権や株式の譲渡は問題にならず、投資リスクが小さい。第二に、中国政府にとっては財政負担が軽いというメリットがある。第三に、TOT融資は、ほかの融資モデルよりも投資リスクが少なく、融資の成功率はほかの融資モデルよりも高い。第四に、TOT融資モデルには投資資格に対する制約が比較的少なく、民間資本と外資の資本参入のハードルが低い。

また、各投融資モデルの相互補完性を高めることも重要となる。投融資モデルのターゲットの不明確や融資プロジェクトと投融資モデルのミスマッチは、投資における選択肢の範囲を狭め、場合によっては融資の困難を招き、または、融資コストが高くなるなどの問題を引き起こす。この問題を解決するためには、融資プロジェクトと投融資モデルの合理的に組み合わせると同時に、各投融資モデルの投資のターゲットを明確に定める必要がある。

今後における望ましい投融資モデルの運用として、▽財政支出と国際融資は、重大環境保護施設の建設や生態保護、環境汚染対策、新エネルギー開発などの分野に投資を集中させる、▽銀行貸付と環境産業基金は、規模が比較的大きく経営状況の良好な環境保護企業と収益性の高い環境保護プロジェクト、技術開発や設備製造などに重点投資する、▽融資条件の高い株式・債権融資モデルは、一定規模を備えた経営状況の良好な環境保護企業への応用に適し、環境保護技術開発や環境保護技術支援などのプロジェクトに融資する、▽BOT・TOT・ABSの3種のプロジェクト投融資モデルはより柔軟で、成熟したモデルであるため、公共環境保護プロジェクトの建設における更なる運用が期待できる、▽環境保護企業の信用担保投融資モデルを構築し、中小企業の環境保護技術支援・サービスなどの分野に投資する——などが考えられる。

参考文献(産業投資展望分析部分):

1. 方虹・姚鵬・方惠・何琦(2014.9)「環保産業投融資模式選択与効率研究」北京航空航天大学論文
2. 丁軍(2007.3.1)「環境産業融資研究」同濟大学博士論文
3. 孫紅梅・王雪(2014.10)「我国環保投入財稅政策現狀及啓示」『中国環保産業』
4. 岳文飛(2014.4)「中国環保産業投融資机制及効応研究」『财会研究』
5. 郭朝先・劉艷紅・楊曉琰・王宏霞(2015.8)「中国環保産業投融資問題与机制創新」『中国人口資源与環境』
6. 王世汶(2015.2)「中国環保上市公司發展現狀及趨勢分析」『交流与探討』
7. 李冰・董昊(2014.9)「浅析家用淨水器的營銷策略」『營銷策略』
8. 蔡士強・任淑萍・劉麗娟(2014.12)「浅析我国家用淨水器發展方向与戰略」『城市建設理論研究』
9. 楊海(2013.3)「室内空氣淨化現狀及主要問題」『北方環境』
10. 「揮發性有機物污染防治技術政策」(2012.8)

付録 1: 環境産業の定義と分類

中国の環境産業は1970年代初期に始まった。1990年代から、環境産業の発展を支援・誘導するため、政府による環境保護事業と資金投入が絶えず強化されてきた。中国の環境産業はすでに一定の規模を備え、国家のGDPに占める環境投入の割合も毎年、増加の傾向にある。現在の中国は、急速な工業化と都市化の流れを受け、経済成長方式の転換や産業構造の最適化・アップグレードが強く求められている。一方、以前から抱えてきた環境問題は依然として深刻である。環境産業のさらなる発展と国が定めた環境保護目標の実現は、実効性のある環境対策の策定および実施にかかる。環境産業の発展が環境対策の実効性に大きく依存している点が、中国らしい特徴とも言える。

(1) 環境産業の定義

環境産業 (Environmental Industry) の概念には、国によって表現が異なる。米国では「環境産業」 (Environmental Industry) と呼ばれ、日本では「エコ産業」 (Eco-industry) または「エコビジネス」 (Eco-business) と呼ばれる。「緑色産業」 (Green Industry) と呼ぶ国もある。中国の学术界・経済界では「環保 (環境保護) 産業」という用語がよく使われる。しかし国際的に見た場合、「環境保護産業」 (Environmental protection industry) という用語は、発展の初期または特定の産業のみについて使われている。国際的に使用されている術語は「環境産業」である。「環境産業」は通常、「ユーザーの環境需要を満たし、それによって経済価値を生む産業」と定義される。「環境保護」と「環境産業」の違いに着目した場合、前者は、環境破壊の防止によってユーザーの環境需要を満たすのに対し、後者は、環境破壊の防止だけでなく、環境資源を積極的に活用することを含む。より正確に言うなら、「環境産業」の概念において環境は「資源」とみなされ、それを保護の対象としているだけでなく、開発と利用の対象としてとらえる。「環境保護産業」という語では、「環境産業」の内容を完全には反映できない。

環境産業には狭義と広義の定義がある。

狭義の環境産業: 狭義の環境産業とは、汚染抑制や排出削減、汚染除去、廃棄物処理などで設備・サービスを提供する産業部門を指し、産業の核心を示す概念ともいえる。環境産業は、汚染の末端における処理または抑制に従事する産業部門であり、工業汚染問題を主なターゲットとしている。

広義の環境産業: 広義の環境産業とは、人々の環境需要を満たすと同時に、経済的価値を生む産業であり、大きく4つに分かれる。Ⅰ. 末端における汚染抑制の産業。サプライチェーンの末端における環境破壊への対策・抑制を主眼とする。Ⅱ. クリーン技術産業。生産過程における環境破壊の減少と除去を主眼とする。Ⅲ. クリーン製品産業。生産過程では資源を効率的に利用し、環境への負荷を回避するか、最小限にする。資源の使用過程において、ユーザーや環境に危害を与えず、廃棄した後も環境に危害を与えないのが目的。Ⅳ. エコシステム産業。環境資源の利用において、エコシステムの機能を活用したサービスを人々に提供することを主眼とする。エコ観光やエコレジャー、フィットネス、生活・生産現場の環境景観の設計や建設が含まれる。上記4産業のうち、狭義の環境産業には産業Ⅰと産業Ⅱ、及び産業Ⅲの一部のみが含まれる。

(2) 環境産業の分類

環境産業には次の3分野がある。第一に、環境保護設備 (製品) の生産と開発、販売等。水汚染対策設備や大気汚染対策設備、固体廃棄物処理処置設備、騒音抑制設備、放射性・電磁波汚染防護設備、環境保護監視測定分析機器、環境保護薬剤などの生産等が中心となる。第二に、資源の総合利用。廃棄資源から回収された各種製品の利用、固体廃棄物の総合利用、廃液 (水) の総合利用、排気の総合利用、廃棄物資の回収利用等は含まれる。第三に、環境サービス。技術・管理・プロジェクト設計・施工などへの各種環境サービスの提供が含まれる。

付録 2: 中国の環境産業政策

2001年以来、中国環境産業は急速に発展し、「三廃」(排気、排水、固体廃棄物)対策を中心とした初期産業構造から、環境保護製品や環境インフラ建設、環境サービス、環境低負荷製品、資源循環利用などの多くの分野を含む総合産業体系へと発展した。産業分野は拡大を続け、産業構造や技術、製品種類や質もレベルアップを続けている。

中国のここ数年の環境産業関連政策を次のようにまとめた。

(1) 2013 年に打ち出された中国の環境産業関連政策

1月7日、国務院弁公庁「『水資源管理制度審査方法』に関する通知」発布。

1月28日、国務院弁公庁「『今後の土壤環境保護・総合対策事業の手配』に関する通知」発布。

2月16日、国務院「『循環経済発展戦略と今後の行動計画』に関する通知」発布。

4月27日、国家発展改革委員会「炭素の回収・利用・貯留試験デモンストレーションの推進に関する通知」発布。

5月14日、発展改革委員会・農業部・環境部の3部門「農作物残茎の総合利用・焼却禁止事業の強化に関する通知」の共同発布。

8月12日、国務院「省エネ・環境産業の発展加速に関する意見」の発布。

8月30日、発展改革委員会「再生可能エネルギー電力価格付加標準・環境保護電力価格関連事項の調整に関する通知」の発布。

9月12日、国務院「大気汚染防止・対策行動計画に関する通知」の発布。

10月17日、国務院「都市排水・汚水処理条例」発布。

11月1日、発展改革委員会「『初期10業界における企業温室ガス排出算定方法・報告指南』に関する通知」発布。

11月4日、発展改革委員会・エネルギー局「天然ガス源とガス供給契約の現実化と石炭の天然ガスへの転換の秩序ある実施に関する緊急通知」の発布。

11月26日、国務院「家畜・家禽大規模飼育汚染防止処理条件」の発布。

11月28日、発展改革委員会・エネルギー局「石炭の天然ガスへの転換と天然ガスの需給状況の調査に関する通知」の発布。

12月10日、中央組織部「地方党・政府指導グループと指導幹部の政治業績審査事業の改善に関する通知」の発布。

上記の「改革の全面的深化における若干の重要な問題に関する中共中央の決定」は、生態(エコ)文明の建設にあたって、体系的かつ充実したエコ文明制度を構築し、史上最も厳しい資源保護制度・損害賠償制度・責任追及制度を実行すると同時に、環境対策・生態修復制度を整備し、制度による生態環境保護を進めなければならないと明記した。

上記の例に見るように、中国指導部は環境対策にかなり力を入れていることがわかる。また、国家政府は環境保護立法の強化を通じ、汚染源に対する取締を強化している。

(2) 2014 年に打ち出された中国の環境産業関連政策

2013年9月に国務院が通達した「大気汚染防止・処理行動計画」は、工業分野の大気汚染の防止・処理事業を強化すべく、地域の大気環境質の改善を促進し、総合対策を強化するとともに、多種の汚染物の排出を減少させるための具体策を明打ち出した。また工業・情報化部は、京津冀(けいしんき、北京・天津・河北)と周辺地区の大気汚染の総合防止・改善事業の推進を加速し、地域の大気環境の質の持続的な改善を促進するため、「京津冀・周辺地区の重点工業企業のクリーン生産水準向上計画に関する通知」および「京津冀・周辺地区の大気汚染防止・処理行動計画実施細則」を制定し、2017年までの数値目標の達成を求めた。また、京津冀地域や長江デルタ地域は大気汚染防止・改善に関する広域協力メカニズムを構築し、国務院と各省級政府は目標責任書を締結し、年度審査を実施するとともに厳格な責任追及する制度も合わせて整備した。また、具体的な目標値として、▽2017年までに、全国の地級以上の都市でPM₁₀濃度を2012年比で10%以上引き下げ、大気質が「優良」基

準をクリアした日数を毎年増加させる、▽京津冀・長江デルタ・珠江デルタの各地域におけるPM_{2.5}の濃度をそれぞれ25%、20%、15%前後下げ、このうち北京市のPM_{2.5}の年平均濃度を60Mg/m³前後に抑える——などの指標が定められた。

同じく、この年において、石炭火力発電基地の地区をまたいだ送電による資源の最適配置が焦点となった。現在の石炭を中心としたエネルギー構造は、中国の中東部や京津冀などの重点地域のスモッグの持続的な出現の重要な原因となっている。全国70%以上のクリーンエネルギーは西部や北部の地区に集中している。中東部地区は、地元の電力供給が不足し、周辺の電力では支援ができず、遠距離輸送がスムーズでないなどの困難を抱えている。このために中東部では電力が不足し、西部・北部ではエネルギー基地の発電が過剰となるという状況が生まれている。電力産業の石炭事業の石炭基地への集中を加速し、石炭発電の一体化産業を発展させ、特別高圧送電網(1000kV以上)を建設し、西部・北部のエネルギー資源の集約開発とエネルギー利用効率の向上を促進することで、中東部のエネルギーの安全と電力供給能力を増強し、火力発電の規模と石炭燃焼汚染物の排出を抑制し、中東部地区の大気環境を大きく改善すると同時に、経済社会の発展のための電力需要を満たす必要がある。

国家環境保護部は「西部大開発戦略環境評価」において、西部の石炭基地の採掘と関連産業の開発による水資源の消耗と破壊の問題を重点とした総合評価を行った。国家发展改革委員会を先頭として、2012年の「最も厳格な水資源管理制度の実行に関する国務院の意見」を根拠とし、「量水而行、以水定産」(水状況をはかつて供給を決め、水状況に応じて産量を調整する)を原則として、自然環境の破壊や水資源の安全の深刻な脅威をもたらす石炭エネルギー基地計画や大型プロジェクト建設に対してはただちに修正や調整を行い、政策決定の根本から社会経済と環境の持続可能発展を保証することが求められる。

(3) 2015年に打ち出された中国の環境産業関連政策

2015年1月1日、新たな環境保護法が正式に施行された。「環境保護法修訂案」は2014年4月24日、第12期全国人民代表大会常務委員会第8回会議で議決され、2015年1月1日に施行となった。新たな環境保護法には「按日計罰」(罰金の日数計算)制度が付け加えられ、罰金の限度額も設けられずに企業による汚染行為の是正が強く促されたものとなった。新環境保護法は執行力の高い「長牙齒(歯の生えた)」法律、史上最も厳しい環境保護法とも呼ばれ、中国の環境保護事業の新たな章を開くものとなった。

2015年2月5日、環境保護部は「環境監視測定サービスの社会化の推進に関する指導意見」を印刷配布した。同意見は、サービス性監視測定市場を全面的に開放し、公益性・監督性監視測定分野を秩序を保ちながら開放するとの方針を打ち出した。これは、環境保護部が国務院弁公庁に出した「社会(民間)勢力からの政府のサービス調達に関する指導意見」を環境監視測定分野に適用した細分化措置となった。各級政府はこれに続いて次々とこの試みを始め、中国の環境監視測定分野の第三者による運営事業の発展の歩みが速まった。

2015年4月16日、国務院は、「水污染防治・処理行動計画」を通知した。計画は、全国の水環境の質の段階的改善を2020年までに実現し、2030年までにその総体的改善を実現し、水生生態系機能の初期的回復を実現することを求めた。

2015年4月19日、国務院弁公庁は、『「十二五」全国都市生活ゴミ無害化処理施設建設計画』と『「十二五」全国都市污水处理・再生利用施設建設計画』を印刷配布した。「十二五」期の全国の都市生活ゴミの無害化処理施設の建設総投資は約2636億元、污水处理・再生利用施設の建設計画投資は4300億元近くと見込まれた。合計約7000億元にのぼる資金は、地方が中心となって投入し、国家は指導と適切な支持のみを行うこととした。

2015年5月19日、工業・情報化部は、「鉄鋼業界規範条件(2015年修訂)」を發布した。鉄鋼企業には、汚染物対策のための付帯施設の建設やオンラインの自動監視制御システムの導入のほか、地方の環境保護部門とのネット連結が求められた。企業には、環境保護監視測定を受け入れ、定期的に監視測定報告を作成することが求められた。

2015年7月26日、国務院弁公庁は、「生態環境監視測定ネットワーク建設方案」(国弁発[2015]56号)を印刷配布した。同方案は、2020年までの目標として、▽全国生態環境監視測定ネットワークによる環境の質と重点汚

染源、生態状況の監視測定の全面カバーをほぼ実現する、▽各級・各類の監視測定データ系統の相互連結と共有を実現する、▽監視測定による予知・警報と情報化の能力・保障水準を向上させる、▽監視測定と監視管理の共同・連携を実現する、▽陸海の統一調整と宇宙・地上の一体化、上下の共同、情報の共有を実現した生態環境監視測定ネットワークを初期的に完成させる、▽生態環境の監視測定能力とエコ文明建設の要求とを相応させる——などを掲げた。

2015年8月18日、中共中央弁公庁と国務院弁公庁は、「党政指導幹部生態環境損害責任追及方法（試行）」を印刷配布した。党の第18回大会と第18期中央委員会第3回・第4回全体会議の精神の実現を貫徹し、エコ文明建設の推進を加速し、エコ文明の制度体系を整備し、党・政府の指導幹部の生態環境と資源保護の職責を強化するため、関連する党内法規と国家の法律法規に基づき、党・政府の指導幹部の生態環境損害の責任追及を実行することが求められた。堅持すべき原則として、法律・法規との合致や客観・公正、科学的認定、権限と責任の一致、終身責任追及が挙げられた。

2015年8月29日、「中華人民共和國大気汚染防止・処理法」が、中華人民共和國第12期全国人民代表大会常務委員会第16回会議で修正の上、採択され、2016年1月1日に施行されることとなった。大気環境の質の改善を目標と定め、根本からの対策と計画・先行の重視を堅持し、経済発展方式の転換や産業構造・局面の最適化、エネルギー構造をはかる措置となった。

2015年9月5日、国務院は、「ビッグデータ発展行動促進綱要の印刷配布に関する国務院の通知」を公開で発布した。「綱要」は、中国の国情と現実の需要に基づき、今後5年から10年で、ビッグデータの発展と応用で次の目標を実現していく方針を打ち出した。▽正確なガバナンスと多方面の協力を特徴とする社会ガバナンスの新モデルを構築する、▽安定・安全・高効率を特徴とする経済運営の新たなメカニズムを構築する、▽人間を基本とし（「以人为本」）全国民に利益をもたらす国民生活サービスの新たな体系を構築する、▽「大衆による起業、万人による革新」を実現した革新駆動の新たな局面を切り開く、▽ハイエンドやインテリジェント化、新興分野の興隆を特徴とした産業発展の新たな生態を育てる——。

2015年9月11日に招集された中共中央政治局会議では、「エコ文明体制改革総体方案」が審議・採択された。方案は、エコ文明建設の推進加速に向け、「6つの理念」「6つの原則」「8つの制度」を打ち出した。

2015年10月29日、中国共産党第18期中央委員会第5回全体会議で、「国民経済・社会発展第13次5カ年計画の制定に関する建議」が採択された。

参考文献(付録1、2 部分)：

1. 王素霞(2007.3.30)「中国環境産業発展問題探討」山西財經大學修士學位論文
2. 謝漢夫(2012)「中国環境産業發展現狀、問題及对策」『産業与科技論壇』, 11, (12).
3. 王素霞(2011)「浅談中国環境産業的基本狀況及發展前景」『經濟師』, (2).
4. 「2015年熱点環保政策盤点」環保網
<http://huanbao.3158.cn/20151216/n4217105202757.html>
5. 「2010-2015年中国污染治理行業投資總額狀況回顧統計」中国大氣網
<http://www.chndaqi.com/news/233739.html>
6. 「2014年中国環保行業相關政策及環境分析」中国報告大庁
<http://www.chinabgao.com/k/huanbao/13355.html>

編集者一覧

No.	内容	編者	機関	役職
1	序 言 三 中国の環境産業投資の展望(付録1、付録2)	王 道 張小丹	北京工業大学-環境・エネルギー工学学院 中環聯合認証センター	教授 研究員
編者紹介: 王道 教授 1) 北京大学修士。1978-1981、北京工業大学 環境汚染対策における触媒作用の応用に関する研究に長期に渡り従事。レアアース・灰チタン石触媒およびその自動車排ガス浄化に関する研究。高出力レーザーガス浄化用触媒の研究。半導体ガスセンサーと室内空気触媒浄化技術の研究。現在は、窒素酸化物の選択的触媒還元の研究に従事。受賞歴:北京市と電子工業部の科学技術進歩賞をそれぞれ受賞。91年に国家教育委員会と中共中央から「80年代優秀大学卒業生」の称号を授与。97年に北京市優秀教師に選出。98年に「北京市跨世紀優秀人材プロジェクト」に入選。 2) 張小丹 研究員 中環聯合(北京)認証センター有限公司総経理、研究員。環境管理体系、環境ラベル製品、有機製品、低炭素製品の認証業務を担当。中国環境ラベル製品政府グリーン調達政策、中国環境ラベル「エコ住宅」、「グリーン内装工事プロジェクト」など、国家環境保護基準の研究と制定に携わる。中国環境ラベル国際協力を展開し、世界環境ラベル国際相互承認証書を取得。2009年に中国初となるUNFCCCグリーン開発メカニズム指定運営組織を設立し、温室効果ガス、炭素排出、エネルギー節約量、エネルギー管理契約、カーボンフットプリントなどの査定、検査、認証業務を担当。国連環境計画(UNEP)専門家、中国の環境と開発に関する国際協力委員会(CCICED)専門家として、マラケシュ・持続可能な公共調達、政府グリーン調達、持続可能な消費と生産、発展途上国の環境ラベル能力建設、グリーンサプライチェーン管理、持続可能な消費とグリーン発展、中国グリーン発展における企業の社会的責任など、国際協力プロジェクトの研究業務を展開。				
2	一 中国の水処理技術の発展状況	姜 宏 張志遠 劉清芝	環境保護部科学技術標準局 中国科学院生態環境研究センター 中環聯合認証センター	調査研究員 研究員 総監
1) 姜宏、調査研究員 環境保護部科学技術標準局、調査研究員。環境基準の研究と制定業務に長期的に携わる。中国の水、大気、土壌環境対策関連基準の制定業務に参加。持続可能な生産と消費、環境友好型社会の建設分野で豊富な研究成果を持つ。 2) 張志遠、研究員 2009.6中南大学を卒業、工学学士学位を取得。2009.9~2012.6南開大学の工学修士課程で学ぶ。2012.9~2015.6中国科学院生態環境研究センターの工学博士課程で学ぶ。2015.7~現在 中国科学院生態環境研究センターで研究に携わる。 3) 劉清芝、総監 1997年に総装防化研究院を卒業。修士学位を取得。発電、送電網、鉄鋼、化学工業、電解アルミニウム、板ガラス、セメント、セラミックス、サービス業などの分野における環境保護と気候変動の研究に長期的に携わる。国連環境計画(UNEP)とアジア開発銀行(ADB)の専門家として、中国皮革業界の環境影響分析、皮革と湘潭市の環境保護・低炭素能力建設などのプロジェクトに参加。環境保護部の環境ラベル研究専門家として、建材業界や印刷業界の水処理環境・成果分析などのプロジェクトに参加。				
3	二 大気汚染対策関連技術の発展状況(1、2、3)	李金良 韋志洪	国家林業局 清華大学 エネルギー学院	処長 教授
1) 李金良 チーフエンジニア 北京林業大学博士。中国グリーン炭素吸収源基金会 チーフエンジニア。中国グリーン炭素吸収源基金会は国務院の承認を受けて2010年7月19日に民政部に登録された、吸収源の増加と排出削減、気候変動への対応を主な目標とする中国初の全国的な公募基金。国家林業局が業務を主管する。李金良チーフエンジニアは林業生態学、林業と大気汚染の相乗効果、林業保護、林業の炭素吸収源といった分野の研究に長期的に従事し、北京林業大学で森林資源と環境の入門クラスを開設した経験を持つ。中国の林業と大気汚染対策分野の知識を兼ねそろえる専門家で、国内外で20編あまりの論文を発表している。				

2) 韋志洪 教授 清華大学エネルギー学院教授。1968年2月に清華大学工学物理学部を卒業。1975～2006年にかけて清華大学で業務に従事、現在は清華大学原子力エネルギー・新エネルギー技術研究院教授を務める。1980年代の終わりから現在にいたるまで、発電業界の環境対策、温室効果ガス排出削減、排出削減戦略など、エネルギー・環境・経済と世界の気候変動に関わる研究に力を入れてきた。「第8次五カ年計画」から「第11次五カ年計画」にかけての国家科学技術部の気候変動対応に関する科学技術難関攻 略プロジェクトおよび中国、米国、EU、世界銀行、アジア開発銀行などによる二国間および多国間の気候変動・環境成果研究課 題など、気候変動と環境に関する数多くの研究プロジェクトに参加。				
4	二 中国の大気汚染物質除去技術の発展状況 (4)	王天民	北京航空航天大学 材料学院	教授
		周才華	中環聯合認証センター	副部長
1) 王天民 教授 北京航空航天大学教授、理学院常務副院長兼材料物理・化学研究センター長。 2003.3～現在 北京航空航天大学教授、凝縮系物理学・材料物理研究センター長、材料・環境研究センター長。 (1981.6～1983.6 日本東京大学工学部材料科学学科に留学(客員研究員)。1987年1月に東京大学工学博士学位を取得。指導 教官はM.Doyama教授。) 現在は蘭州大学、蘭州理工大学、雲南大学の非常勤教授、西北工業大学、青島大学の客員教授、内モンゴル科学技術大学 の名誉教授、中国科学院蘭州化学物理研究所と東京大学生産技術研究所の客員教授を務める。 中国科学院蘭州化学物理研究所(固体潤滑国家重点実験室)、蘭州物理研究所(表面工学国家重点実験室)、北京高エネ ルギー物理研究所(核技術応用国家重点実験室)学術委員会委員。				
2) 周才華 副部長 中環聯合(北京)認証センター有限公司の炭素排出削減基準開発、企業炭素排出第三者検査技術責任者。 CDM/VCS/GS/WCDプロジェクト主任査定員、CCER主任査定員、企業炭素検査主任査定員、エネルギー節約量高級査定員、 環境ラベル製品認証査定員。主にクリーン開発メカニズム、国内外の炭素排出取引検査、炭素インベントリ、カーボンフットプリ ント、環境ラベル製品認証などの技術研究と応用に従事。国家「第11次五カ年計画」と「第12次五カ年計画」の国家科学技術支 援計画重点プロジェクト、国家ソフトサイエンス研究計画課題、環境保護部環境保護公益プロジェクト、循環経済メカニズム推進 プロジェクト、国家発展改革委員会の気候変動対応特別課題、国連環境計画(UNEP)プロジェクト、低炭素製品認証協力プロジ ェクトなど、国内外20あまりの科学研究課題に参加。環境ラベルと低炭素認証関連の専門書2冊の編纂に参加。環境ラベル製 品技術に必要な10あまりの国家環境保護業界基準の制定作業に参加。50あまりのCDMプロジェクトの査定と認証、80あまりの プロジェクトの国内温室効果ガス排出削減(CCER)プロジェクトの査定と認証、100あまりの試行省市企業の炭素検査プロジェク ト、50あまりの国内炭素インベントリ・エネルギー節約量審査、エネルギー管理契約プロジェクトの審査業務に参加。関連分野に は、火力発電、水力発電、風力発電、太陽光発電、バイオマス、セメント、熱生産、化学工業、林業炭素吸収源などが含まれる。				
5	三 中国の環境産業投資の展望	鮑強	中国環境科学学会	研究員
		崔曉冬	中環聯合認証センター	副部長
1) 鮑強 中国環境科学学会前秘書長、研究員。環境経済学研究に長期的に従事。「中国環境科学学会史」編集主幹。全国環境管理、 経済・法学会委員。中国工業企業環境保護審査指標体系の確立、中国環境投資効果の審査指標体系と計算方法の研究、 経済特区の環境建設管理政策研究などに参加。				
2) 崔曉冬 副部長 2009年3月～現在 中環聯合(北京)認証センター有限公司に在籍。主に、中国の環境ラベル、グリーンサプライチェーン、温室 効果ガス排出量計算、クリーン開発メカニズム、炭素排出取引、炭素市場検査、低炭素製品認証、カーボンフットプリント、エネ ルギー節約量、エネルギー管理契約メカニズム、電力需要側管理などの技術研究と応用業務に従事。国家発展改革委員会の 気候変動対応特別課題、国連環境計画(UNEP)の持続可能な消費プロジェクト、北京発展改革委員会の気候変動対応課題、 国家気候変動対応戦略センターの炭素検査基準など、10あまりの国内外の科学研究課題に参加。北京市、上海市、天津市、 広東省の炭素市場検査業務に参加。				

報告書レビュー専門家一覧

No.	氏名	機関	役職	レビュー範囲
1	王明良	環境保護部水専項弁公室	主任	全文
王明良、男、環境保護部水専項（水質汚染防止・対策科学技術重大特別プロジェクト）弁公室主任。主に水専項分野の政策研究、計画制定、基準制定、関連の管理業務に従事。中国の水専項戦略と政策研究、水専項「第十三次五カ年計画」発展戦略の制定、水専項・太湖流域「第十三次五カ年計画」戦略計画の制定、水専項・巢湖流域「第十三次五カ年計画」戦略計画の制定、水質汚染防止・対策科学技術重大特別プロジェクト研究などを実施。				
2	董 亮	環境保護部残留性有機汚染物質弁公室	主任	全文
董亮 博士、研究員、国家環境分析測定センターPOPs研究室主任、中国残留性有機汚染物質専門家委員会委員。環境における大気中の吸入性粒子状物質、VOCs、残留性有機汚染物質の研究に長年携わり、国家および環境保護部の残留性有機汚染物質(POPs)課題を複数実施。				
3	李玉武	環境保護部環境分析測定センター	研究室主任	全文
李玉武、国家環境分析測定センター分析測定技術研究室主任、理学博士、研究員。武漢大学化学学部・分析化学専攻を卒業。実験室の品質管理に長期的に携わり、分析化学データ処理と測定不確実性の評価の研究に関する一連の論文を発表。				
4	董旭輝	環境保護部環境発展センター	チーフエンジニア	全文
董旭輝、男、漢族、1964年3月生まれ。1987年7月より仕事に従事。中共黨員、研究員。現在は環境保護部環境発展センター（中日友好環境保護センター）チーフエンジニアを務める。北京工業大学環境モニタリング専攻を卒業し、学士学位を取得。2000年3月に日本埼玉大学環境制御システムコース論文博士学位を取得。これまでに、国家環境分析測定センター技術開発室室長、中日友好環境保護センター人事処処長、中日友好環境保護センター環境アセスメントセンター長を歴任。				
5	劉愛民	環境保護部ダイオキシン弁公室	主任	全文
劉愛民、国家環境分析測定センター環境保護部ダイオキシン弁公室主任、中国残留性有機汚染物質専門家。大気中のダイオキシン類汚染物の抑制と有害廃棄物焼却施設のダイオキシン類排出物の特徴に関する研究に長期的に従事。				
6	田春秀	環境保護部環境政策研究センター	研究室主任	全文
田春秀、研究員。環境保護部環境・経済政策研究センター研究室主任。気候変動、地球温暖化、環境政策、シェールガス、環境と気候リスク、グリーン・低炭素などの分野の研究に長期的に従事。2013年度環境保護科学技術賞受賞者。				

[企画・総括]

広瀬 研吉 国立研究開発法人 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター 副センター長
金 振 国立研究開発法人 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター フェロー
中島 幸 国立研究開発法人 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター

中国環境産業技術の発展状況

2016年3月

編集 国立研究開発法人科学技術振興機構
中国総合研究交流センター
〒102-8666
東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ
Tel.03-5214-7556 (代表) Fax.03-5214-8445

I S B N 9 7 8 - 4 - 8 8 8 9 0 - 5 0 5 - 3

2016 Printed in Japan
