中国の科学技術の現状と動向 2019



はじめに

改革開放以来、科学技術の急速な発展とシステム改革の深化に伴い、中国は各時点において適切に科学技術イノベーション政策を策定・実施してきた。特に21世紀に入ってから、新しい政策を集中的に打ち出している。具体的には2006年に、「国家中長期科学技術発展規画綱要(2006-2020年)」の決定に合わせ、政府の各部門はこれを実現させるため70件以上の実施方策を策定している。さらに2016年5月、「国家イノベーション駆動発展戦略要綱」の決定に合わせ、政府の各部門や地方自治体は2,000件近くの実施方策を策定している。

これらの政策を受け、中国の科学技術イノベーション能力は著しく向上し、科学技術イノベーションの構造は大きく転換している。主要なイノベーション指標は世界のトップクラス位置している。中国は、世界第二位の研究開発費を投入しており、そのアウトプットも第二位の科学技術大国となった。2018年で見ると、中国全体のR&D支出がGDPに占める割合は2.18%であった。研究者技術者の総数は418万人に達すると想定され、世界一である。国際的な科学技術論文の総量と引用回数は世界第二位となり、特許出願件数と登録件数は世界第一位となった。ハイテク企業は18.1万社に達し、科学技術型中小企業は13万社を突破し、全国の技術契約の成約額は1.78兆元である。科学技術の進歩貢献率は58.5%を超える見込みで、国家の総合イノベーション能力は世界17位にランクされている。

中国では、これらの状況を反映して重大な科学技術イノベーションの成果が絶えず公表されている。主なニュースとして、有人宇宙飛行と月探査プロジェクト、自主的にチップを開発したスパコン・システム「神威・太湖の光」、国産初の大型飛行機 C919、有人深海探査艇、自主開発による原子力技術、天然ガス探査開発、新世代高速鉄道、人工知能などの業績が世界で注目されている。さらに、量子通信、量子コンピュータ、高温超伝導、ニュートリノ振動、幹細胞、合成生物学、構造生物学、ナノ触媒、極地研究などの分野で数多くのオリジナルの成果をあげ、国際的な影響力が大幅に高まった。

以上のような状況を受けて本報告書は取りまとめられた。

10章からなる本報告は、大きく二つの部分に分けられる。

第一編では、中国の科学技術イノベーション政策の沿革と最新動向として、第13次5ヵ年計画、国家イノベーション駆動発展戦略網要、中国製造2025に焦点をあて、各政策の理論と実践を述べた。

第二編では、科学技術イノベーションの具体的な分野を取り上げ、宇宙開発、原子力開発、海 洋開発、交通港湾設備、新エネルギー開発、先端生命分野の最新動向を述べた。

2019年3月

はじめに

第一編	中国科学	₹技術イノベーション政策の沿革と動向	3
第 1	章中国]科学技術政策の進展と成果	5
	第1節	中国科学技術イノベーション政策の概況	5
	第2節	中国科学技術政策システムの変遷と現状	
	第3節	中国の科学技術政策の成果	10
第 2	章 中国]「十三五」科学技術発展計画	
	第1節	計画の概要	14
	第2節	基本的な考え方	
	第3節	枠組みと主要内容	
	第4節	関連政策~基礎研究	
第3	章 国家	ミイノベーション駆動発展戦略綱要	
	第1節	戦略の背景	
	第2節	戦略要請	
	第3節	戦略的配置	_
	第4節	戦略ミッション	
	第5節	実施のための保障	
	第6節	実施	
第 4	章中国	I製造 2025(Made in China 2025) ······	
	第1節	背景と意義	
	第2節	原則・目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	
	第3節	主要内容	
	第4節	指標	
	第5節	計画を実現するための措置	
	第6節	国際的な連携と評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	38
第二編		技術主要分野の現状と動向	
第 1		ĭ開発技術·····	
	第1節	人工衛星の打ち上げ	
	第2節	ロケット――長征系ロケットの開発	
	第3節	月面探查——嫦娥系列月面探查機	49
		有人宇宙開発	
第 2		- カエネルギー開発	
	第1節	原子力発電所	
	第2節	新型原子炉	
	第3節	核燃料後処理	
	•		
第3	章 海洋	開発	
	第1節	深海有人調査船	
		深海石油採掘——海洋石油 982 号	
	まとめ…		71

第4章 交通流	巷湾設備······73
第1節	大型飛行機研究開発73
第2節 草	軌道交通技術――高速鉄道自動運転、超伝導リニアモーター76
第3節 清	高速道路――浙江省杭紹甬スマート高速道路建設79
第4節 洋	巷湾建設——上海洋山港無人埠頭80
= -	82
	ネルギー開発83
第1節	太陽光発電83
	風力発電、水力発電、地熱発電、バイオマス発電84
	新エネルギー自動車——EV、PHEV88
	91
第6章 先端生	生命科学技術92
	植物遺伝子編集——中国科学院上海植物逆境生物学研究中心92
第2節 I	ONA 解析——華大基因(B G I) ······97
第3節 中	中国科学院神経科学研究所――体細胞クローン猿技術 100
	中国科学院遺伝・発育生物学研究所——水稲分子育種 104
まとめ…	
【参考文献】	

第一編

中国科学技術 イノベーション政策の 沿革と動向

第1章

中国科学技術政策の進展と成果

第1節 中国科学技術イノベーション政策の概況

21世紀に入り、世界の科学技術は日々進展しており、経済社会の発展における主導的な力となっている。先進国は、次々と科学技術の進歩およびイノベーション推進を国家戦略とし、国際的な競争の中で主導権を勝ち取ろうとしている。

中国政府も他の先進諸国と同様に、経済社会発展における科学技術イノベーションの役割を極めて重視してきた。それぞれの時代の特徴をしっかりと把握し、異なる段階の国家発展需要に応じ、自主イノベーション路線およびイノベーション駆動発展戦略を打ち出すことで、明確な方向性を示した。2006年、自主イノベーション能力こそ国家競争力の核心であるとして、『国家中長期科学技術発展規画綱要(2006~2020年)』を発表した。この規画綱要の実施をめぐり、70あまりの関連政策および実施細則を策定し、初めてより完備した科学技術イノベーション政策体系を形成した。

現在、世界は新たな科学技術革命と産業変革の重大な局面にある。また中国の経済発展も「新常態」へと突入しており、今後は新たな道のりを探し、新たな活力を呼び起こす必要がある。2016年に公表された『国家イノベーション駆動発展戦略綱要』においても、科学技術イノベーションを核心とすることが確認された。中国政府は、イノベーション駆動発展戦略を、必ず実施すべき戦略の一つとして位置づけた。中国の科学技術は、建国以来数十年を経て、基礎科学、工業技術、農業科学技術、情報技術など多くの分野で進歩を遂げた。2017年において、中国全体の研究開発(R&D)支出は1.75兆元で、GDPに占める比率は2.12%に達し、国際的な科学技術論文総数および引用数は世界第二位となり、特許出願件数と登録件数は世界第一位となった。

しかし一方、中国の科学技術の基盤は依然として 弱く、科学技術イノベーション能力、特にオリジナルなイノベーション能力の強化が待たれる。具体的 には第一に、重要な鍵となる技術を獲得するための 基礎研究を強化するとともに、国家重大科学技術プロジェクトを展開し、鍵となる共通技術、最先端技術、現代工程技術などを強化する必要がある。第二に、イノベーションシステム構築を強化し、科学技術体制の改革を深化させ、国家実験室を建設・配置し、重大な科学技術インフラを建設する必要があ る。また、科学技術イノベーションを国際化し、企業の主体的地位を強化し、生態環境のイノベーションを最適化することも重要である。第三に、供給側の構造改革を深化させ、産業技術体系にイノベーションをもたらすことや、技術イノベーション、管理イノベーション、ビジネスモデルイノベーションを融合させ、イノベーション起業を奨励することが必要である。第四に、文化的イノベーションを推奨し、イノベーション型人材の育成、戦略的科学技術人材の育成、科学技術をリードする人材の育成、青年科学技術人材の育成、ハイレベルなイノベーションチームの育成を行う必要がある。

第2節 中国科学技術政策システムの変遷と現状

中華人民共和国が成立以来、国は科学技術の進展を極めて重視してきた。国際競争発展の情勢、国家 戦略目標および重点、科学技術発展の状況に基づ き、それぞれの時期に対応して、科学技術政策が決 定され一連の措置が打ち出されたことで、科学技術 の発展が有効に推し進められた。

(一) 中国科学技術政策システムの発展段階

新中国の建国以来の科学技術政策の進展は、次のとおりである。

一科学に向かって行進(1949~1965年)。中華人民共和国成立後、政府は科学技術の仕事を極めて重視してきた。1950年、『生産に関する発明、技術改良、合理化の奨励についての政務院決定』が策定・公表され、科学・技術者が積極的に研究開発を行い、多くの成果を上げるよう奨励された。1956年、知識人に関する会議が開かれ、「科学に向かって邁進」のスローガンが発せられた。この会議の後、国務院は全国400名以上の科学者を集め、中国初の科学技術発展計画、すなわち『十二年科学計画』を策定した。1958年には国家科学委員会(現在の科学技術部)が正式に発足し、1963年には新たな『十年科学計画』を策定した。

――深刻な被害を受けた十年(1966~1976年)。文化大革命の期間中、中国の科学技術は極めて大きな被害を受けた。建国以来策定された重要な科学技術政策は中断し、一部の研究機関は解体され、科学・

技術者を含む知識人は深刻な打撃を受けた。1971年 以降には、ある程度回復したものの、正常化される ことはなかった。

一科学の春(1978~1985年)。文革終了後、中国の科学技術は重要な転換期を迎えた。1978年に開催された全国科学技術大会において、鄧小平は演説の中で「四つの現代化」について重ねて述べ、「その鍵は科学技術の現代化」にあるとし、「科学技術は第一の生産力なり」、「知識人も労働者階級の一部である」と表明した。科学技術政策における主な任務は、知識人の社会的地位を回復させ、制度を再構築することにあった。『発明奨励条例』、『自然科学奨励条例』、『技術改良奨励条例』、『科学技術進歩奨励条例』、『特許条例』が相次いで実施された。1982年には、科学技術の難点突破計画を定め、経済社会の発展の鍵となる技術的な課題を解決するプロジェクトをスタートした。

一寄り添いながら高みを狙う(1985~1995年)。 1985年、『科学技術体制改革に関する決定』が発表され、「経済の発展は科学技術に頼らねばならず、科学技術は経済に向き合わなければならない」とする方針が打ち出され、改革の核心として科学技術と経済の融合が強調された。1988年に鄧小平は、「科学技術は第一の生産力なり」と表明した。国により、研究機関による企業設立が奨励され、「技術、工業、貿易の一体化」が実行された。1986年にはハイテク研究発展計画(863計画)が開始され、国家自然科学基金(NSFC)が設立された。またハイテク産業の拡大を加速させるため、1988年にタイマツ計画が実施されるとともに、1991年に第一期のハイテク産業開発区の設置が認可された。

一科学・教育興国 (1995~2005年)。1995年に『技術の進歩加速に関する決定』が策定され、「科学・教育興国」戦略が打ち出された。1997年、重点基礎研究発展計画 (973計画) が開始された。1998年、高等教育を21世紀に向けて発展させる「211」プロジェクトならびに世界一流大学を建設する「985」プロジェクトが開始された。1999年、中国共産党中央と国務院は『技術イノベーション、ハイテクの発展、産業化実現に関する決定』を発表し、研究機関を分類して改革を実施し、科学技術資源配置を最適化することを打ち出した。

――自主イノベーション、イノベーション型国家建設 (2006~2013年)。2006年に国務院は、『国家中長

期科学技術発展規画綱要(2006-2020年)』を発表し、イノベーション型国家建設という目標を明確化した。関連の施策として、財政、税収などの経済手段も総合的に運用し、企業の技術イノベーションに対する強化策を具体化した。

一イノベーション駆動発展戦略の実施(2013年~ 現在に至る)。2013年以来、政府は科学技術イノベーションを社会と国の総合力を高める核心と位置づけ、イノベーション駆動発展戦略を強化し、一連の改革措置を展開した。2016年には『国家イノベーション駆動発展戦略網要』を公表し、中国におけるイノベーション駆動発展の2050年までの目標、方向、重点任務を明確にした。

(二) 現在の科学技術イノベーション政策

以下に、現在の中国の科学技術イノベーション政 策の具体的内容を述べる。

1. 科学技術イノベーション主体

科学技術イノベーションに係る、大学や研究機関などの主体に対する主な政策は、次のとおりである。

第一に、大学における科学技術イノベーションを 奨励する。「985プロジェクト」を実施し、ハイレベ ル研究型大学を建設し、大学のイノベーションプ ラットフォーム構築、人材募集、学科建設をサポー トする。

第二に、国の研究機関の発展をサポートする。重点研究機関に対し基本的な研究業務費を拡大し、研究機関における分類改革を実施する。中国科学院において知識イノベーションプロジェクトを実施する。

第三に、企業のイノベーション能力を強化する。 企業に国家重点(工程)実験室を構築するとともに、 研究開発機器設備の減価償却を加速する。

第四に、科学技術人材の育成を強化する。千人計画、万人計画、イノベーション人材推進計画などの重要な人材プロジェクトを実施し、ハイレベルの人材を育成・導入していく。国家自然科学基金は国家傑出青年科学基金を設置する。

2. 科学技術イノベーション活動の促進

科学技術イノベーションの具体的な活動に対する政策は、次のとおりである。

第一に、国家科学技術計画、基礎先端研究、戦略 ハイテク研究、社会公益技術研究などをサポートす る。

第二に、ハイテク産業開発区を設立し、科学技術

企業インキュベーターおよび大学サイエンスパーク が起業する企業にサービスを提供するよう奨励す る。

第三に、企業の研究開発費の控除政策を実施し、 企業の研究開発への投入を増やすよう誘導する。ハ イテク企業、ソフトウェアおよび集積回路企業、技 術先進サービス型企業に対し、税金優遇措置を実施 する。科学技術型中小企業イノベーション基金を設 立し、科学技術型中小企業に対して貸付、無償資金 援助、資本金投入などの方式でサポートを行う。

3. イノベーション主体のインタラクティブ促進

科学技術イノベーション主体のインタラクティブ促進に対する政策は、次のとおりである。

第一に、技術移転・転化を促進し、技術移転に対して税金優遇措置を実施する。科学技術成果移転の技術者に奨励、持ち株、配当権を激励として与える。 財政科学技術プロジェクトの知的財産権にプロジェクト実施機関の名称を授与する。

第二に、産業界、大学、研究機関が共同で国家科学技術計画プロジェクトを負担するよう奨励するとともに、産業技術イノベーション連盟を共同で構築するよう奨励する。「高等教育機関(大学など)イノベーション能力向上計画 | (2011計画)を実施する。

4. 科学技術の公共サービス

科学技術イノベーションの公共サービスに対す る政策は、次のとおりである。

第一に、科学技術の基礎条件プラットフォームを 構築し、科学技術資源の開放・共有を実行する。地 域の中小企業に向けてサービスを展開する一定数の 業界技術イノベーションサービスプラットフォーム を構築する。

第二に、科学技術の普及を強化し、大型科学普及 活動の展開を組織する。

5. 市場環境の構築

科学技術イノベーションの市場環境の構築に対 する政策は、次のとおりである。

第一に、科学技術イノベーションに対する金融の サポートを奨励する。政府は起業投資マスターファ ンドを設立し、中央財政は中小企業信用保証資金を 設立し、ベンチャー企業に税収優遇を与え、銀行業 金融機関の科学技術支店設立を奨励する。起業ボー ド、場外取引市場を創設し、科学技術型企業に融資 サポートを提供する。

第二に、国家知的財産権戦略を実施し、企業が知 的財産権の創造と運用の主体となるよう推進する。 第三は産業科学技術イノベーションである。三十年余りの高度成長を経て、中国はすでに世界第二の経済大国かつ中所得国となった。同時に、中国の産業発展は生産能力から技術追跡への転換を経験し、産業技術の進歩は模倣製造、技術導入から技術導入プラス消化吸収と自主研究開発との結合へと変化している。

今世紀に入って以来、中国の科学技術への投入は 持続的かつ急速に伸び、産業技術の進歩も加速して いる。ここ十年来、中国の特許権数年間増加率は 30%前後、2002年には驚異の54%にまで達してい る。2011年、中国第三者特許権数の年間成長率は 21.88%で、アメリカ、日本に次ぐ1万7678.6件に達 した。企業のイノベーション能力は徐々に強化さ れ、すでに産業技術イノベーション投入における主 力となっている。2002~2012年、企業が実施した研 究開発支出の社会全体に占める割合は61%から74% へと増加した。全体的に見ると、中国の大部分の産 業は依然として技術追跡の段階にあり、一部の産業 技術分野は模倣追跡者から同業者へと昇格し、うち 少数は世界のトップレベルにまで上り詰めた。一部 の業界がミドル・ローエンドの製造からミドル・ハ イエンドの製造へと転換するにつれて国際競争が激 化し、技術の導入も難しくなり、産業技術のレベル アップはより多くの自主イノベーションに頼ること となった。

産業技術の進歩は政府政策のサポートから切り離せない。産業イノベーション政策とは通常、政府が産業技術イノベーションを促進し、商品化を早期実現させるため、財政、金融、貿易などの政策ツールを活用して形成された制度体系のことを指す。最もよく見られる分類には二つの種類がある。一つ目は普適性産業イノベーション政策、特定項目性産業イノベーション政策に分けられる。二つ目は作用の対象により、供給系列政策、需要系列政策、環境系列政策に分けられる。

具体的な実践から見ると、中国の経済に天地を覆すような変化が生じるにつれ、産業イノベーション政策も絶えず変化してきている。1980年代から90年代前半まで、技術導入と技術改造は産業イノベーション政策の重点であった。90年代後半には、技術商業化政策と技術移転政策が重点となる。21世紀に入り、特に2000年前後には、中国の産業イノベーション政策の公布・実施は加速的な成長傾向を示し、2006年の『国家中長期科学技術発展規画綱要(2006~2020年)』では中国新時代の産業イノベーション政策の方針と要点を体系的に打ち出した。その実施細則から見ると、供給面、需要面、環境面の政策は

全て関連しており、そこには供給面の科学技術投入、金融支援、需要面の政府調達政策、環境面の知的財産権の創造・保護などが含まれている。現在中国ではすでに比較的完備された産業イノベーション政策が形成され、各種政策ツールは基本的にすべて登場している。

第四に、地域の科学技術イノベーションである。 国家科学技術計画と重大科学技術イノベーション基 地の建設を積極的に計画し、中央政府と地方政府の 協議メカニズムを模索し、中央と地方の科学技術資 源を集積し、地方がイノベーション駆動発展戦略を 実施するよう支持する。また、国家ハイテクパーク、 国家自主イノベーション示範区、イノベーション型 産業クラスター建設などの作業推進を通じ、イノ ベーション型省(都市)建設を推進し、中部台頭、 西部大開発、東北老工業基地振興などの国家区域発 展戦略を全力でサポートし、全方位にわたる地域科 学技術協力を誘導・支援する。新時代の国家地域発 展戦略を全面的に貫徹して行き届かせ、科学技術イ ノベーションを「一帯一路」、京津冀地域(北京市・ 天津市・河北省地域)の共同発展、長江経済ベルト などの発展戦略におけるサポートとリードの役割を 十分に発揮し、共同イノベーションをめぐって、科 学技術資源にさらに焦点を合わせ、いくつかの重要 な政策措置をしっかりと実施する。

第五に、農業と農村の科学技術イノベーションで ある。2013~2015年の三年間における「第一号文書」 はいずれも現代農業の発展をテーマとしており、農 業・農村経済転換型発展に対する国の高い関心が明 確になっている。現代農業を発展させる核心は、科 学技術のイノベーションに頼ることである「四化同 時進行|およびイノベーション駆動発展戦略をめぐ り、現代農業を発展させ、都市と農村を統一的に計 画推進し、農業・農村経済の発展を推進し、農業・ 農村科学技術イノベーション作業を統括する。政策 措置において、国は現代農業の発展を推進する一連 の科学技術イノベーション政策を打ち出した。そこ には主に以下のものが含まれる。①国の食糧安全を 保障するため、食糧生産量の多い科学技術プロジェ クト、渤海穀物倉庫科学技術模範プロジェクトなど の大型食糧科学技術イノベーションプロジェクトを 全面的に推進し続け、種子産業の科学技術イノベー ション体系構築を積極的に促進する。②農業科学技 術の成果転化および産業化を促進するため、農村の 第一、第二、第三次産業の融合を促進し、国家農業 科学技術パークの建設を積極的に推し進める。③現 代農業のイノベーション発展により良いサービスを 提供するため、新型農業社会化サービス体系を積極 的に構築し、科学技術特派員制度構築の整備と推進 を行う。

第六に、民生と社会発展の科学技術イノベーションである。科学技術イノベーションの究極の目標は人民の生活水準および品質の向上である。民生と社会発展の分野で、科学技術はますます人民の生活水準を高め、社会発展を促進する重要な駆動力になっている。医療、環境保護、人口と健康、交通運輸、情報産業および現代サービス業、都市計画と発展、公共安全、災害予防などの分野の発展は、いずれも現代社会における人民の生活水準向上の重要な内容であり、科学技術イノベーションの応用と普及によるものである。

新常態の下、科学技術起業者の行動は社会発展の 領域における科学技術イノベーションといった新し い思想、新しい措置を推進するため、『規画綱要』 では、エネルギー、水資源、環境保護技術の発展を 優先的位置に置き、経済社会の発展を制約する重大 なボトルネックの問題を解決するよう打ち出してい る。2013年より、二度にわたって批准された計22の 国家臨床医学研究センター建設作業が開始された。 2014年、科学技術部、国家衛生計生委員会(当時)、 総後勤部衛生部は共同で『国家臨床医学研究セン ター管理方法』を策定し、国家臨床医学研究センター と共同研究ネットワークを構築し、医学科学技術発 展イノベーションチェーンの戦略的重点を体系的に 改善した。公共の安全を保障し、経済発展に新たな 空間を提供するため、2014年には『応急産業発展の 加速に関する国務院辨公庁の意見』を発表し、警報 監視、予防保護、救援処置、応急サービスの四つの 重点発展方向を打ち出した。また、鍵となる技術お よび装備の研究開発加速、産業構造の最適化、産業 集積の発展推進、企業の発展サポート、応急製品と 応急サービスの普及、国際交流協力の強化といった 六項目の主要任務を打ち出した。三十年余りの実践 を経て、国の持続可能な発展実験区は、その発展戦 略実施推進のために、積極的かつ有益な試みを提供 し、同時に『中国21世紀の議題』推進のために、重 要な経験を蓄積した。

(三) 国際協力

現在、中国が科学技術イノベーション協力に向けて積極的なステップを踏み出した歴史的なタイミングであり、中国と科学技術協力関係にある国は158カ国に達し、政府間協力協定の調印は113件、国際組織および多国間機構への参加は200を超えており、中国の存在は世界の科学技術ノベーションにおいて日々重要なものとなっている。

1990年代、中国の科学者が「人類ゲノム計画 (HGP)」に参加したことで、中国はこの計画に参加した6カ国のうちの一つとなった。中国は「人工太陽」の国際熱核融合実験炉(ITER)計画、宇宙ダークマター探査計画「アルファ・磁気分光計(AMS)」、三大陸にまたがる天文観測設備「平方キロメートル・アレイ電波望遠鏡(SKA)」計画などに、参画している。中国はまた積極的に国際的なビッグサイエンス計画およびプロジェクトの実施計画を牽引しており、世界の科学技術の進歩のため、多くの国際的責任を負っている。

2017年5月中旬に開催された「一帯一路」国際協力サミットフォーラムで、中国は「一帯一路」科学技術イノベーション行動計画の起動を宣言し、科学技術人文交流、共同実験室の建設、サイエンスパーク地区での協力、技術移転の4つの行動を展開し、今後五年間で2500人の青年科学者を中国に招聘して短期科学研究活動に従事させ、のべ5000人の技術者と管理者を育成し、50の共同実験室を投入・稼働することを約束した。

以上のような状況を踏まえ、中国における科学技術イノベーションをめぐる国際協力の基本的な政策は次のとおりである。

1. グローバルな課題への対応

中国はエコ、持続可能、環境保護などの新興技術に対する投入を継続し、国際的な責任を重視している。国連の報告によると、中国の再生可能エネルギーへの投資は急速に伸びており、2017年の投資総額は1260億米ドルに達し、世界のエコエネルギー投資の45%を占め、過去最高の数字を記録した。これは2004年の42倍となる。中国は依然として再生可能エネルギー技術の主要生産国および輸出国であり、世界の約三分の二の太陽光パネルを供給し、世界の風力発電機の半分近くを生産しており、世界のエコ発展に卓越した貢献を果たしている。また、『イギリス石油会社・世界エネルギー統計年鑑』によると、2016年、中国は世界最大の再生可能エネルギー生産および消費国となり、世界の再生可能エネルギー生産量増加の40%以上に貢献した。

2. 先進国との協力

中国は、先進国との科学技術イノベーション協力を重視している。

世界の科学技術・経済のグローバル化が深く発展し、イノベーション要素の流動と開放性が強くなることで、世界各国の科学技術協力は相互に依存し、相互に促進し合うようになった。国際科学技術

協力はすでに国の科学技術交流強化、優位性補完を 実現する重要な手段となっている。国際科学技術協 力の範囲、領域、規模はいずれも絶えず拡張・深化 している。政府間、民間の国際科学技術協力は絶え ず強化され、国際ビッグサイエンス・プロジェクト の実施、科学技術研究開発担体の共同構築、科学技 術者の交流、技術貿易など多種の国際科学技術協力 形式が形成されている。先進国は世界の科学技術発 展の中で依然としてリード・優位性を備えており、 アメリカは全面的なトップの地位を長期的に維持し ている。ドイツ、日本、イギリスなどはハイテク分 野で突出した優位性を形成し、イスラエル、韓国な どは比較的強いイノベーション活力を示している。 ここ十年の間、アメリカは全世界の研究開発投入総 量のうち約30%の割合を占めており、EU は約22% と、巨大な科学技術の底力を形成している。先進国 との科学技術協力を強化することは、中国に先進国 の先端技術を吸収させ、科学技術イノベーションレ ベルを提供する上で、重要な意義を持っている。

中国は、先進国との科学技術協力を強力に展開し、イノベーション対話メカニズムを構築し、国家国際科学技術協力基地を建設することとしている。イノベーション対話は、すでに中国と先進国とが重要な地域経済体との相互信頼の増進、相違の削減、共通認識と協力の促進において、徐々に重要な依存メカニズムとなってきており、良好な国際協力環境と世論の雰囲気を構築する重要な手段となっ環境と世論の雰囲気を構築する重要な手段となっている。すなわち、国際イノベーションパーク、国際連合研究センター、国際技術移転センター、示範型国際科学技術協力基地という四つの異なるタイプの国合基地に対し、異なる条件と手続きによって認定することとなっている。

3. 発展途上国との協力

発展途上国との科学技術イノベーション協力も 重要である。

発展途上国は生態環境、人口と健康、新たな疾病、食糧安全、資源不足などの共通問題に直面しており、科学技術イノベーションを通じて解決する必要に迫られている。しかし大多数の発展途上国は、経済力不足、優秀な人材不足、イノベーション能力の相対的低さなどの問題に直面しており、国際科学技術協力の強化が必要となっている。

中国は半世紀余りの発展を経て、特に改革開放以 来、科学技術を経済発展と社会調和を促進する核心 駆動力であり第一の生産力として拡大させ、世界中 から注目される成果を上げた。この過程において、 中国は大量の先端的実用技術を獲得し、豊富な経験 を蓄積し、一連の有効な政策体系を形成してきた。 これは得難い財産である。発展途上国の一員とし て、中国は発展途上国との科学技術協力を通じて、 中国の適用技術、発展経験、政策体系を普及させる 義務と責任がある。そうすることで、その他多くの 発展途上国と共にウィンウィン、共同繁栄という新 たな道を歩み、各国人民に幸福をもたらせるのであ

発展途上国に対し、中国は科学技術パートナー計 画を実施しており、そこには中国~アセアン科学技 術パートナー計画、中国~南アジア科学技術協力 パートナー計画が含まれている。2015年、国家発展 改革委員会、外交部、商務部は共同で『シルクロー ド経済ベルトおよび21世紀海上シルクロードの共同 構築推進のビジョンと行動』を発表した。2016年に は、科学技術部、国家発展改革委員会、外交部、商 務部が共同で『「一帯一路」建設科学技術イノベー ション協力特別プロジェクト計画』を発表している。

4. 多国間協力

多国間や国際機関を通じた協力も重要である。 中国は、アジア太平洋経済協力機構 (APEC)、 BRICS 国家指導者会議及び主要経済体エネルギー と気候フォーラムなどの枠組みの下に構築された多 国間科学技術イノベーション協力機関および各種国 際科学技術組織に積極的に参加し、国際ルールの調 整および新ルールの制定にも積極参与し、中国の科 学技術発展における国際影響力と発言権を絶えず引 き上げている。

第3節 中国の科学技術政策の成果

(一) 科学技術イノベーション能力の向上

中国は、「イノベーションは発展を牽引する第一 の動力」という考えを鮮明に打ち出し、イノベーショ ン駆動発展戦略を提起した。そして、「国家イノベー ション駆動発展戦略綱要|を発表し、科学技術イノ ベーションに対して戦略的、大局的、長期的な方策 を打ち出し、科学技術事業発展の新局面を開拓し た。中国の科学技術イノベーション全体の能力は著 しく向上し、科学技術イノベーションの枠組みにも 歴史的な転換が生じた。具体的な成果としては、次 のような点がある。

①科学技術の発展レベルは追従を主としていた ものから、追従と並走または前駆が併存する新 たな段階へと突入した。これは歴史における重 大な変化であり、中国科学技術の発展が全く新 しい地点に立ったことを意味している。

- ②イノベーション能力を量的な蓄積から質的な 飛躍へ、点の突破からシステム能力向上へと転 換しており、現在より多くの優位性を発揮して 牽引型発展、強力なエネルギーの蓄積を目指し ている。
- ③中国では、科学技術イノベーションと経済社会 の関係が「向き合い、依存」する段階から「深 く融合、支えてリード」する段階へと転換して おり、グローバル産業価値チェーンの中で高み に上り詰めようとしている。
- ④イノベーション主体を研究者という一部の人 間から大衆イノベーション・起業へと転換さ せる段階に到達しつつあり、科学技術イノベー ションと「双創(創新と創業)」の融合を共に 進め、イノベーション発展の勢いを結集しよう としている。
- ⑤世界の科学技術イノベーションの枠組みにお ける中国の地位は、受身の追従から積極的統 合、あるいはグローバルイノベーションの新た なネットワークを主体的に配置できるまでに 転換し、重要な国際的影響力を持つ科学技術大 国となっている。

以上のような状況を受け、主な科学技術イノベー ション指標は世界のトップクラスに入り、科学技術 イノベーションのシステム能力も著しく向上した。

中国はすでに世界第二位の研究開発費投入国で あり、第二位の知識産出国となった。2018年、中国 全体の R&D 支出が GDP に占める割合は2.18%で あった。研究開発者の数は418万人に達すると予想 され、これは世界一となる。国際科学技術論文総数 および引用された回数は世界第二位、特許出願件数 と登録件数は世界第一位となった。ハイテク企業は 18.1万社に達し、科学技術型中小企業は13万社を突 破、全国の技術契約の成約額は1.78兆元となってい る。国家総合イノベーション能力は世界17位にラン クされている。

また中国は、量子通信、量子コンピュータ、高温 超伝導、ニュートリノ振動、幹細胞、合成生物学、 構造生物学、ナノ触媒、極地研究などの分野で数多 くのオリジナルの成果をあげ、初めてノーベル医学 生理学賞、国際超伝導大会のマティアス賞、国際量 子通信賞などの国際的権威を持つ賞を受賞し、基礎 研究分野における国際的な影響力が大幅に高まっ た。戦略的ハイテクに関しては、有人宇宙飛行と月 探査プロジェクト、自主研究開発チップを用いた スーパーコンピュータシステム「神威・太湖の光」、

国産初の大型飛行機 C919、「蛟龍号」有人深海潜水艇、自主研究開発した原子力エネルギー技術、新世代高速鉄道、クラウド計算、人工知能などの業績は世界中の注目を浴びた。

中国はすでに全世界の科学技術イノベーション の中でますます重要な一極となっている。「一帯一 路」科学技術イノベーションの実施をスタートさ せ、アメリカや欧州連合などの主要イノベーション 型経済ブロックとイノベーション対話メカニズムを 構築した。「科学技術パートナー計画」は発展途上 国に対する世界的なカバーをほぼ実現した。「クリー ンエネルギー・イノベーション使命サミット」と第 一回 G20科学技術イノベーション大臣会議が開催さ れ、中国のリーダーシップと主導的役割は強化され ている。「一帯一路」国際科学組織連盟が設立され、 関係国の青年科学者約700人が中国に来て短期研究 を展開したり、初の「一帯一路」共同実験室の建設 も計画されている。外国人材就労許可証制度ならび に外国人材ビザ制度が全面的に改訂され、人材就業 許可証の発行は累計33.6万部、人材ビザの発給は 3000近くとなっている。政府が「科学技術の恩恵と 民生」という考え方を打ち出したことで、一連のハ イテクが医療、教育、交通などの分野にも応用され、 人民の生活水準を大きく高めることとなった。

(二) イノベーション型経済構造の形成

科学技術イノベーションが応用面での飛躍を加速させたため、新たなエネルギーの持続的成長が推進され、伝統的エネルギーの効率が向上し、エネルギー供給側の構造改革が著しく強化された。集積回路製造技術、移動通信、高温ガス冷却炉、第三世代原発「華龍一号」、高速鉄道、新エネルギー自動車、超高圧送電技術、風力エネルギーなどの部品および設計製造技術、「デジタル制御世代」応用工程など、伝統産業のモデルチェンジ、アップグレードが推進された。

科学技術イノベーションの水準が向上するにつれ、中国の産業の実力も強化され、一部の産業はすでに高い水準と国際競争力を備えた。現在中国の産業は、技術の複雑化、高度情報化、スマート化、サービス化の方向に向かって発展している。中国のハイテク製品の輸出貿易額はアメリカ、ドイツ、フランス、日本の四カ国の合計に相当する。高速鉄道、水道・電気設備、特殊高圧送電、ハイブリッド米、4G移動通信、対地上観測衛星、測地衛星システム北斗、電気自動車などの重大な科学技術成果の産業化は飛躍を遂げ、一部の製品と技術は世界へと進出している。情報の安全、ネットワークの安全、生物

の安全、テロ対策、秘密保護などの技術も飛躍を遂 げ、科学技術イノベーションが国家の安全を保障す る役割は日増しに重要となっている。中国のハイテ ク製品とサービス輸出規模は絶えず拡大している。 2000年から2016年にかけて、中国のハイテク製品の 輸出額は417.4億米ドルから4960億米ドルにまで伸 び、10倍以上に拡大した。世界のハイテク製品の輸 出総額に占める比重は4%から26%前後まで引き上 げられ、世界一のハイテク製品輸出国となった。輸 出規模は2位から4位のドイツ、アメリカ、シンガ ポール 3 カ国の合計に相当する。2000年から2016年 にかけて、中国の ICT サービス輸出額は93.6億米ド ルから833.9億米ドルへと増加し、8倍近くの伸び となった。年平均伸び率は14.6%に達し、インドと ともに、ICT サービス輸出の伸びが新世紀以来最 も大きい国となった。

科学技術イノベーションは、民生・福祉を改善するための有力な手段を提供している。農業の鍵となる技術では重大な発展が見られ、食糧生産増加工程ならびに渤海穀物倉庫工程では明確な成果が示された。自主研究開発した3.0T超伝導磁気共鳴システム、世界初の突発型遺伝子エボラワクチン、アパチニブ抗腫瘍新薬などは民生改善のための手段を提供した。貧困対策の効果は顕著で、科学技術イノベーションが貧困脱却という厳しい戦いに勝つための手助けをしてくれる。

地域イノベーションセンターを構築すること で、地域経済の急速な成長が促された。北京、上海 では、世界的な影響力を持つ科学技術イノベーショ ンセンターの建設が加速しており、京津冀ではイノ ベーション共同体の建設が進み、長江経済ベルトは モデルチェンジとイノベーション発展が加速してい る。また、各省や各都市による地域イノベーション 改革実験が全面的にスタートしている。国家自主イ ノベーションモデル区およびハイテク区は、地域イ ノベーション発展、産業転換・アップグレードの重 要なエンジンとなった。中国は、2030年に向けての 持続可能な発展という目標に向け、イノベーション モデル区建設を進め、北京中関村と貴州ビッグデー タ試験区などで協力を推進している。国家ハイテク パークは三十年の発展を経て、168カ所にまで達し、 中国の新経済発展、新エネルギー育成、ハイテク産 業発展における重要な担い手となった。156の国家 ハイテク区では、2017年で総生産額9.52兆元を実現 し、GDP 比で11.5%、前年同期比7.5%の伸びを達 成している。さらに2018年には、168のハイテク区 で営業収入33兆元、輸出総額3.3兆元、純利益2兆 元、実質納税額1.7兆元、新登録企業40万社超えを

実現しようとしている。国家ハイテク区は中国の40%近いハイテク企業を集め、ファーウェイ、アリババ、シャオミーなどを代表とする世界的影響力のあるハイテク企業が誕生した。彼らのイノベーション技術と製品は、中国ひいては世界中の消費者の生活形態と理念を変えようとしている。

大衆イノベーション、起業は発展著しく、社会全体のイノベーション、起業意欲は空前の高まりを見せている。政府は、学技術イノベーションを通じて大衆起業、万人イノベーションをリードし、大手企業、中小企業、科学研究所、大学、イノベーターなど、多方面と協力し、専門的な大衆創造スペースならびにイノベーションプラットフォームを構築しようとしている。全国には4200余りの大衆創造スペース、3600余りの科学技術起業インキュベーター、400余りの起業加速センターがあり、起業サービスチームおよび初起業企業は40万近く、関連就業人口は200万人を超える。新技術、新業態、新産業、新モデルの経済発展への貢献は日増しに強化され、イノベーション型経済構造は徐々に形成されつつある。

(三) 科学技術システムの改革

科学技術イノベーション管理体系は、完備されつつある。国家科学技術諮問委員会の設立が促進され、国家技術予測メカニズムも健全化し、国家イノベーション調査制度が充実した。科学技術イノベーションに係る政策法規体系が改善され、院士制度が改革され、役職制度の改革などで重要な進展があった。

政府の科学技術イノベーション体系は全面的に 再構築され、科学技術管理プラットフォームも再構 築され、科学技術資源の統一的配置が強化された。

企業におけるイノベーションの主体的地位と主導的な役割は著しく強化され、企業はすでにイノベーション・起業の主力となった。中国全体において、企業の研究開発投資、研究者、発明特許が占める割合はいずれも平均70%を超えている。『科学技術成果転化促進法』は2015年に改正され、科学技術成果の使用権、処分権、収益権をめぐって改革が行われた。政府の研究機関や大学の科学技術成果を民間に開放することは、科学技術の成果転化を加速させ、科学・研究者は成果からより多くの収益を得ることができる。政府は公共研究開発プラットフォームの構築をサポートし、企業の科学技術成果の実用化における役割を強化し、実用化促進のための資金の多元化を推進している。

イノベーション奨励政策の効果は明らかとなっ

ている。国有の科学技術型企業の中で株権と配当に よる奨励政策を推進し、株権奨励と技術シェアに対 して繰延税金などの優遇政策を実行したが、これは イノベーションを激励する中長期分配メカニズムの 初期段階確立に有利であった。中関村の先行試行政 策は全国展開へと普及していき、研究開発費用の加 算控除、ハイテク企業の認定政策を改訂・整備して きている。知的価値の増加を目指す分配政策を実施 し、研究プロジェクトの資金管理改革を推進してい る。

デュアルユースの科学技術では、共同イノベーション体系の創設が加速された。「第13次5カ年計画」では、科学技術軍民融合特別項目が制定され、全要素、多領域、高収益の軍民科学技術イノベーション融合発展の枠組みが形成されている。また、深海、深地、深空、深藍などの領域をめぐり戦略的ハイテク配備を行い、軍民融合の重要科学技術プロジェクトと重点特別項目を展開し、軍民共用技術プロジェクトー体化論証および合同実施メカニズムが整備されている。

(四) イノベーション資源の集約

基礎研究における「キャッチアップ、併走、リードする」という戦略が加速され、中国におけるオリジナルなイノベーション能力が著しく強化された。中国はすでにアメリカに次ぐ世界第二位の高品質科学技術論文産出国となった。中国の科学技術者はイノベーションへの自信を深め、科学の最高峰に到達し、例えば世界で初めて量子異常ホール効果の実験による観測や、初の宇宙と地上間での量子通信実験などが実施された。中国の科学者による科学最前線や人類の知識創造に対する貢献は、国際学術界から高く認められている。

中国政府は、科学技術イノベーションのための研究開発重点基地および重大科学技術インフラを形成し、科学技術イノベーションにおける中心的な組織を構築した。国家戦略科学技術力の構築に着目し、国家実験室の建設を開始した。北京懐柔、上海張江、安徽合肥に3つの総合的な国家科学センターの建設をサポートし、すでに建設された483の国家重点実験室、346の国家工程技術研究センターを活用して、世界の科学技術最前線と未来の競争における高みを狙う研究開発を実施した。重要な科学技術インフラ建設推進を加速した。

技術イノベーションプロジェクトを着実に実施 し、企業のイノベーション能力を新たな段階へと引 き上げた。企業におけるイノベーションの主体的地 位と主導的役割を強化し、企業が国家の重要な科学 技術任務を牽引していくことを奨励した。また、国 家技術イノベーションセンターの建設をスタートさ せ、イノベーション企業トップ100プロジェクトの 試行をスタートさせ、中央企業審査方法の改革を推 し進め、中小企業の協同イノベーション展開を奨励 した。産業技術イノベーション連盟の育成推進を加 速し、開放協力プラットフォームを構築した。ファー ウェイ、レノボ、中国中車、中国電科など一群のイ ノベーション型企業が世界企業トップ500にランク 入りした。高速鉄道、スマート端末などの分野で、 中国では世界的な影響を持つ一群のイノベーション 型企業が台頭してきた。2018年、世界研究開発支出 トップ1000社の企業のうち、中国企業は145社がラ ンクインした。

科学技術イノベーション人材の育成・集積は加 速し、多くのハイレベル人材の形成が加速してい る。重大な科学技術任務の設定や、科学研究基地・ 科学技術インフラなどの発展は、イノベーション人 材において「サイフォン効果」を発揮した。「千人 計画」、「万人計画」などの重要な人材プロジェクト が実施され、中央、地方、各部門が連動することに よって、各種科学技術人材の拡充が統一的に推進さ れ、新中国成立以来最大規模の留学人材「帰国ブー ム」がもたらされた。各分野をすべて網羅し、合理 的な段階管理がなされ、人格的に優れたイノベー ション人材は、世界科学技術強国建設という新たな 道のりの中で、集結し、大きく発展する動きを加速 している。



中国「十三五」科学技術発展計画

第1節 計画の概要

2016年8月、国務院は「国家科学技術イノベーション第13次五カ年規画綱要」を公表し、科学技術イノベーションの全体的な構想、発展目標、主要な任務と重大な措置を明確にした。

「国家科学技術イノベーション第13次五カ年規 画綱要」は国務院が決定した22の国家重点特別計画 の一つで、「中華人民共和国国民経済と社会発展第 13次5カ年規画要綱」(以下、「国家第13次5カ年計 画要綱」という)、「国家イノベーション駆動発展戦 略要綱」と「国家中長期戦略綱要」に基づいている。

2006年に策定された「国家科学技術発展計画要綱(2006~2020年)は、2016年から2020年までの科学技術イノベーションの全体的な構想、発展目標、主要任務と重大な措置を明確にしたものと位置づけられる。

中国政府は過去に、科学技術に関する複数の計画 を発表しているが、「国家科学技術イノベーション 第13次五カ年規画綱要 は、中国が初めて「科学技 術イノベーション」を一つの全体として策定した計 画である。以下これを「13.5規画綱要」と略称する が、同規画は理念の上でイノベーションを発展の第 一動力とし、重大な戦略任務を明確にし、世界にお ける新しい科学技術と産業変革の情勢を的確に把握 し、新興産業技術のボトルネックを突破し、破壊的 な技術のイノベーションを推進し、産業の新たな チェーンを構築し、新興産業と業態の発展を促進す ることを目指すものである。全面的なイノベーショ ンは、大衆の創業、多数大衆のイノベーションを促 進し、新興産業を開拓し、新エネルギーを育成し、 新経済成長を推進するための手段を提供する。「13.5 規画」の最も著しい特徴は、科学技術研究そのもの の改革と発展だけではなく、全体的な国民経済や科 学技術の最前線を念頭に、国家の重要な戦略ニーズ を明確化し、全面的なイノベーションを展開するこ とを目指している。

なおこの「13.5規画」は、すでに述べたように「国家第13次5カ年計画要綱」と「国家イノベーション駆動発展戦略要綱」の実施計画的な位置づけにあるが、この「国家第13次5カ年計画要綱」と「国家イノベーション駆動発展戦略要綱」からさらに、「中国製造2025」、「インターネット+」、「宇宙強国」などの国家戦略がその後策定されている。

第2節 基本的な考え方

(一) 計画の位置づけ

「国家科学技術イノベーション第13次五カ年規画綱要」では、目標や任務において中国政府全体の計画である「中華人民共和国国民経済と社会発展第13次5カ年計画要綱」を十分に踏まえ、カバーされる時期(2016年~2020年)の特徴を明らかにしている。そして、科学技術と経済の結合、発展と改革を重視した科学技術イノベーション計画を作成し、科学技術イノベーション能力を強化し、科学技術イノベーションに係るシステムの改革を深化させ、効率的なイノベーション体系の建設を目指している。主要部門や重点業界を巻き込み、部門をまたいで科学技術イノベーションを実施する。実用的な計画を作成し、ミッション目標に係る指標を決定し、重要な任務と重大なプロジェクト実施の指導的文書となっている。

(二) 国際的な情勢

国際情勢から見ると、世界の科学技術と産業の変革は加速度的であり、研究開発分野の融合や新技術の出現が明らかになり、破壊的なイノベーションが絶えず現れ、人類の生産方式、生活方式、思考方式に未曾有の影響が生じている。世界の主要国は未来に向けたイノベーション戦略を前倒しして展開しており、イノベーションの国際競争が日増しに明らかになってきた。アメリカの3つのイノベーション戦略、ドイツのインダストリー4.0、韓国の創造経済行動計画、インドの10年間イノベーション路線図などは、いずれもこのような状況に対応しようとするものである。中国としても、これらの計画の背景にある産業変革の趨勢と国際競争態勢を把握し、科学技術イノベーション促進を強化しなければならない

中国の経済情勢から見ると、この計画でカバーされる時期(2016年~2020年)に、経済発展の「新常態」となっており、中所得の罠を越える挑戦に直面している。資源のボトルネックの突破、新型工業の促進、情報化の促進、新型の都市化や農業の現代化、グリーン化などを推進し、国民の高齢化に対応し、貧困を解消し、国家の安全を保障し維持するためには、これまで発展させてきた科学技術イノベーション能力をさらに強化し、国家発展の新たな原動力を

作り上げる必要がある。

科学技術の発展から見て、長年の持続的な蓄積を 経て、中国の科学技術の実力は急速に上昇して、科 学技術の発展レベルは追跡を主にして追跡とリード が共存する新しい段階に入っている。このような状 況を踏まえ、どのような道程を選んで、スピードを 速めるのかがとりわけ重要である。同時に、中国の 科学技術イノベーションはまだ多くの欠点と問題が ある。科学技術の基礎はまだ弱く、特にオリジナル な科学技術イノベーション能力はまだ弱い。すでに 習得した科学技術においても、肝心な核心的な技術 は他の国に支配されているもののある。イノベー ション発展を制約する考えやシステムの障害は依然 として残存している。トップクラスのリーダーシッ プを持つ人材や高い技能を持つ人材は、非常に不足 している。こういった環境を早急に改善し、イノベー ションを奨励する環境に変えるための措置の実行に 力を入れる必要がある。中国の科学技術の発展の新 しい特徴に基づいて、情勢の変化に順応し、社会の 期待に応え、科学技術の改革とイノベーション発展 のテンポを速めなければならない。

中国の科学技術イノベーションは大きな戦略的機会にあるが、他方、他の主要国との格差がさらに拡大するリスクにも直面している。チャンスをしっかりと把握し、イノベーションへの自信を深め、積極的に困難を克服し、時代の流れに順応し、先導し、科学技術事業全体を最適化し、イノベーションを国家と社会の共同事業にし、イノベーション発展の新たな局面を切り開かなければならない。

(三) 指導思想と基本原則

科学技術イノベーションの指導思想は、イノベーションを経済社会の発展の第一動力として堅持することにある。イノベーション駆動発展戦略を十分に実施し、サプライサイドの構造的改革、科学技術体制の全面的な改革、自主的なイノベーション能力の増強、イノベーション型人材の育成、科学技術の開放的な協力の拡大、大衆起業家のイノベーション推進などを進める必要がる。

この計画における基本原則を以下のとおりである。

- ①国の重要な任務を支えることを堅持する。
- ②追いつくことを加速し、リードすることを発展 の重点として堅持する。
- ③科学技術を人民のために実施することを基本 目的として堅持する。
- ④改革の深化を強大な動力とすることを堅持する。

- ⑤人材駆動を本質的な要求とすることを堅持する。
- ⑥グローバル化視野を持つ。

(四) 目標とそれを表す指標

本計画の全体目標は、「国の科学技術力とイノベーション力を大きく飛躍させ、イノベーション主導型発展の顕著な効果を出し、国の総合的イノベーション力を世界ランキング15位以内とし、イノベーション型国家の仲間入りをし、小康社会(ややゆとりのある社会)の全面的を建設進める」とするものである。この全体目標を踏まえ、次の5つの具体的な目標が示されている。

- ①自主イノベーション力の向上:基礎研究と戦略的ハイテク研究で大きな飛躍をし、オリジナリティのあるイノベーション力と国際競争力を向上させ、全体レベルを追走から併走、先導へと転換させる。研究経費のGDP比を2.5%にし、研究開発費全体に占める基礎研究への投入比率を大幅に引き上げる。一定規模以上の企業の研究開発支出を主業務収入の1.1%に引き上げる。国際的科学技術論文の被引用回数を世界第2位とする。人口1万人あたりの発明特許所有数を12件とし、「特許協力条約(PCT)」による特許申請数を2015年の2倍にする。
- ②科学技術イノベーションの経済への展開:科学技術イノベーションを経済の重点とし、バランスがとれ包括的で持続可能な経済発展における役割を強化し、科学技術進歩の寄与率を60%にする。ハイテク企業の営業収入を34兆元、知識集約型サービス業の付加価値がGDPに占める割合を20%、技術契約成約額を2兆元にする。世界をリードするイノベーション型企業、ブランド、標準を多数育て、世界イノベーションカトップ100に入る企業をいくつか育成し、強い影響力・けん引力をもつ地域のイノベーション型成長の極を作り、新たな産業、新たな経済を国民の財産と質の高い就業機会を創出する原動力とする。
- ③イノベーション型人材の育成:高度で質の高いイノベーション型科学技術人材を、多く育成する。戦略的科学技術の人材、科学技術のリーダー、イノベーション型企業家と高い技能を持った人材を輩出し、青年層の科学技術人材群を一段と拡大し、人的資源構造と就業構造を顕著に改善し、就業者1万人あたりの研究開発者を60人・年にする。人材の評価、流動、インセンティブ制度を整備し、各種の人材のイノベー

ション力を刺激する。

- ④イノベーションに役立つシステムの整備:科学技術イノベーションの基礎的な政策体系を形成し、イノベーション管理の法制度を整備し、イノベーション管理能力を育成する。企業を主体とし、市場志向型のイノベーション体系をさらに整備し、高等教育機関や科学研究機関の管理やシステムを合理化し、軍民融合のイノベーション体制を整備し、イノベーション体系全体の効率を大きく向上させる。
- ⑤イノベーション型起業の環境の高度化: 科学 技術イノベーション政策に関する法律を整備

し、知的財産権を効果的に保護する。科学技術と金融との結びつきを強め、イノベーション型起業へのサービスをより効果的でスピーディにする。人材、技術、資本などイノベーションの新たな要素の流動をスムーズにし、科学技術イノベーションの全面的な開放の枠組みを形成する。科学的精神を発揚し、イノベーション型起業の文化的雰囲気を高め、全社会の科学に対する素養を高め、科学的素養を持った国民の割合を10%以上にする。

以上の具体的な目標に関する12の指標を取りま とめたのが、次の表2-1である。

	指標	2015年指標値	2020年目標値
1	国家総合イノベーション力世界ランキング (位)	18	15
2	科学技術進歩の寄与率 (%)	55.3	60
3	研究・試験経費の投入比率 (%)	2.1	2.5
4	就業者1万人あたりの研究開発者数(人年)	48.5	60
5	ハイテク技術企業営業収入(兆元)	22.2	34
6	知識集約型サービス業の付加価値が GDP に占める割合 (%)	15.6	20
7	一定規模以上の工業企業の研究開発費が主業務収入に占める割合 (%)	0.9	1.1
8	国際科学技術論文の被引用回数世界ランキング	4	2
9	PCT 特許申請数(万件)	3.05	2倍
10	人口1万人あたり発明特許所有数(件)	6.3	12
11	全国技術契約成約額(億元)	9835	20000
12	科学の素養を持つ国民の割合 (%)	6.2	10

表2-1. 「十三五」科学技術発展計画の主な指標

第3節 枠組みと主要内容

計画の全文は全部で8編27章に分かれている。

(一) イノベーション型国家

第一篇(第1-3章)は、イノベーション型国家に中国がなるということである。小康社会を建設し、イノベーション型国家に入る段階であり、イノベーション駆動発展戦略を実施し、科学技術体制の改革を深化させる時期である。世界の大局を把握し、経済発展の新常態を認識し、国内外の科学技術イノベーションの新たな趨勢を正確に把握し、イノベーション発展の新たな局面を切り開く必要がある。

本篇は、この時期に中国が直面する新しい情勢、 基本的な要求、発展目標、国家イノベーション体系 などの全体的な配置と効率化の考え方を含む。イノ ベーション駆動発展戦略を実施し、供給側の構造的 改革を支持し、イノベーション型国家への目標を確立し、活力に満ちたイノベーション主体を育成し、 高レベルイノベーション基地を構築し、高いレベル のリーダーによるイノベーションへの成長極を構築 し、イノベーションネットワークを構築し、効率的 な協同イノベーションシステムを構築するための要 求が提起されている。

(二)先発優位性国家

第二篇(第4-7章)は、先発優位性国家を構築することである。産業競争力を高め、民生を改善し、国家の安全を保障する戦略的ニーズをめぐって、重点分野のシステム配置を強化し、より多くのイノベーション駆動に依存し、先発優勢を発揮するリード型発展を作り上げることを目指す。具体的に次の

4点が提起されている。

- ①国家全体と長期に関わる重要な科学技術プロジェクトを実施する。重大な科学技術プロジェクトは国家戦略目標、科学技術リソースの集積、重点分野の発展を実現することである。「第13次5か年」期間において、国家の科学技術の重大な特定項目を実施し、2030年に国家戦略の意図を具現する重大な科学技術プロジェクトを展開し、社会主義市場経済条件の下で科学技術イノベーションの挙国体制を模索し、重大なプロジェクト組織モデルを充実させ、産業発展の新しい方向を切り開き、新たな経済成長を育成し、生産力を飛躍させる国家の総合競争力を高め、国家の安全を保障することを目指す。
- ②国際競争力をもつ近代的産業技術を構築する。世界の科学技術革命と産業変革の新たな趨勢を把握し、中国産業の国際競争力向上を求めて、重点分野のキーポイントとなる重要な技術開発を強化し、産業転換と新興国産業育成の技術ボトルネックを突破し、合理的な構造、先進的な管理、開放的な互換性、自主的に制御できる技術体系を構築し、中国産業の世界価値チェーンの中で高い水準に向上させることを目指す。
- ③生活改善支援と持続可能な経済発展を目指す。民生の改善と持続可能な発展を促進するため、資源環境、健康、新型都市化、公共安全などの分野で核心となる技術の難関突破と応用展開力を強め、グリーン発展とライフスタイルを形成し、人民の生活品質を全面的に向上させ、技術サポートを提供することを目指す。
- ④国の安全と戦略的利益を保障する技術を発展する。国家と人類の長期的な発展ニーズをめぐって、海洋、宇宙及び深地層・極地開発における技術突破を強化し、戦略空間探査、開発と利用能力を向上させ、人類共通の資源の有効利用と国家安全保障を目指す。

(三) イノベーション能力

第三篇(第8-10章)は、オリジナルなイノベーション能力を強化することである。イノベーションの供給源を増やすため、基礎研究を引き続き強化し、科学技術イノベーション基地を配置し、イノベーション型の科学技術人材育成を強化し、より多くの分野で世界の最先端科学を牽引し、人類科学技術の進歩により多くの貢献をする。

①基礎研究を継続的に強化する。国の重要なニーズと世界の科学の最先端に対して、自由な模索

- と目標追求を融合し、重要な科学研究を強化 し、基礎研究体制を整備し、基礎研究の不足を 補い、イノベーションへのモチベーションを高 め、中国の科学における地位と世界への影響力 を大きく向上させる。
- ②ハイレベルな科学技術イノベーション基地を 建設する。国家戦略のニーズに合わせ、研究開 発をけん引する科学技術イノベーション基地 建設を推進し、基地の最適化と統合、運営メカ ニズムの刷新を強化し、科学技術資源の開放と 共有を促進する。
- ③イノベーション型人材の育成を強化する。人材 は経済発展の第一の資源であり、イノベーショ ンの根本である。優先的に人材育成戦略を実施 し、人材の資源開発を科学技術イノベーション の最優先の位置に置き、人材構造を最適化し、 開放的で効率的な運用の人材システムを確立 し、国際競争力を持つイノベーション型科学技 術人材制度を形成し、大規模で合理的で質の高 いイノベーション型人材群の育成に取り組 み、人材強国建設を目指す。

(四) イノベーション発展空間

第四篇(第11-14章)は、イノベーション発展空間の開拓である。国内と国際を統一的に計画し、イノベーション資源の集中と流動を促進する。地域イノベーションの発展全体レベルを向上させ、世界のイノベーションネットワークに溶け込ませ、配置し、技術イノベーションの国際化レベルを引き上げる。

- ①ハイレベルなイノベーション地域を確立する。イノベーションにおける地域の主体的役割を発揮させるため、発展の地域分布を最適化し、体制を刷新し、優位性をもつイノベーション資源を集積し、地域のイノベーションレベルの飛躍をけん引する。
- ②地域を越える協調的イノベーションの発展を 向上させる。地域を越えた協調的イノベーショ ンメカニズムを整備し、イノベーション要素の 集積と流動をけん引し、地域の貧困対策の対応 力を拡大し、地域のイノベーションへの活力を 刺激する。
- ③「一帯一路」イノベーション共同体を構築する。科学技術イノベーション協力の「一帯一路」に対するけん引力を発揮し、一帯一路関係国のイノベーション協力のニーズを踏まえて、発展の理念が共通し、要素の流動がスムーズで、イノベーションチェーンがつながり、人

の交流が活発なイノベーション共同体を確立 する。

④世界イノベーションネットワークに参入する。地球的視野でイノベーションを推進し、世界のイノベーションネットワークへ主体的かつ積極的に参加し、イノベーション資源の相互開放と流動を促進し、科学技術イノベーションの国際レベルを全面的に引き上げる。

(五) 大衆創業イノベーション

第五篇(第15-17章)は、大衆創業イノベーションの推進である。大衆の創業、大衆のイノベーションの新しい趨勢に応じて、科学技術イノベーション創業の過程を支えるサービスネットワークを構築し、大衆の創造活力を奮い立たせ、経済発展の新たなエネルギーを増強する。

- ①科学技術サービスのレベルを向上させる。科学技術イノベーションのニーズに応えイノベーション型起業の促進を目指し、完備された科学技術サービス体系を構築し、科学技術サービス業の専門化、ネットワーク化、大規模化、国際化レベルを向上させる。
- ②インキュベーション体系を確立する。専門的で ハイレベルなイノベーション型起業の担い手 育成を強化し、起業サービス機能を整備し、高 効率でスピーディなインキュベーション体系 を形成する。
- ③起業に係る金融システムを整備する。イノベーション起業に対する金融支援を強化するため、イノベーションのニーズに合った金融製品やサービスを開発し、ベンチャーキャピタルなどを発展させ、科学技術と金融の連携体制を整備し、直接融資の割合を高め、各種金融ツールの融合した金融環境を形成する。

(六) 科学技術体制の改革

第六篇(第18-21章)は、科学技術体制の改革を全面的に深化させることである。科学技術と経済社会の深度融合の促進をめぐって、重点改革措置の実施力を強化し、科学技術体制の改革と他の分野の改革との協調を促進し、イノベーション主体能力を強化し、効率的な協同イノベーションネットワークを構築し、科学技術の第一生産力、イノベーションの第一動力の巨大な潜在力を最大限に引き出す。

①科学技術管理体制改革の深化。政府の職能を研究開発管理からイノベーションサービスへと 転換し、科学技術計画の管理改革を進め、科学 技術イノベーションの管理基礎制度建設を強 化し、イノベーションサービス能力とレベルを 全面的に高める。

- ②企業のイノベーション主体としての地位とけん引力強化。中国国家技術イノベーションプロジェクトを実施し、企業を主体とした技術イノベーション体系建設を加速する。企業のイノベーション力向上を中心とし、各種のイノベーション要素を企業に集め、企業のイノベーション要素を企業に集め、企業のイノベーションに対する原動力・活力・実力を強化し、イノベーションの実用化を実際的な産業活動とし、イノベーション型リーダー企業がトップを占め、科学技術型中小・マイクロ企業が各地に分布する発展の枠組みを構築する。
- ③効率の高い研究開発組織体系の確立。科学研究 組織の体系改革を進め、大学のイノベーション 能力を高め、特色あるハイレベルな科学研究所 の建設を加速し、市場に向けた新型研究開発機 関を育成し、科学研究の運営管理メカニズムを 整備し、効率の高い研究開発組織体系を形成する。
- ④科学技術成果の移転・実用化メカニズムの整備。科学技術の成果移転・実用化を実施し、科学技術成果の移転・実用化を制約する体制的障害を打破し、関連措置を整備し、技術移転メカニズム建設を強化し、科学技術成果の権益管理改革を強化し、科学研究者のイノベーション型起業の活力を刺激する。

(七) 科学普及とイノベーション文化

第七篇 (第22-24章) は、科学普及とイノベーション文化建設を強化することである。市民の科学的素質を全面的に向上させ、科学的精神とイノベーション文化の伝播を加速させ、公衆に科学技術・イノベーションをよりよく理解させる。

- ①中国国民の科学的素養の全面的向上。青少年、農業従事者、都市労働者、指導幹部、公務員などを重点とし、国民の科学的素養基準に基づき、2020年までに科学的素養を持った国民の割合を10%以上とすることを目標に、科学技術教育、伝達と普及を行い、国民の科学的素質のレベルを向上させる。
- ②中国の科学普及能力建設の強化。科学普及インフラを整備し、科学普及の情報化を進め、科学普及産業を発展させ、科学普及サービスの能力とレベルを向上させる。
- ③イノベーションの社会文化的雰囲気の構築と 奨励。イノベーションを尊重する文化的環境を 構築し、科学的精神のイノベーション価値の伝

達を加速し、社会全体が科学技術イノベーションを理解し、参加するようにする。失敗に寛容で、人材や創造を尊重する雰囲気を作り、科学研究の信義、倫理の確立と社会からの監督を強化し、卓越を追求するイノベーション文化を育成する。

(八) 計画実施の保障

第八篇(第25-27章)は、本計画の実施の保障である。各政府部門の本計画実施における職責を強化し、科学技術界と社会各界の積極性と創造性を十分に引き出し、政策法規、資源配置、監督評価などの面から任務実行メカニズムを充実させ、計画実施が著しい成果を収めることを確保する。

- ①イノベーションの政策法規の実施・整備。良好なイノベーション環境の構築に関して、イノベーションの法的保障を強化し、包括的政策を徹底し、イノベーションチェーンの各段階の政策協調と連携を強化し、イノベーションの発展に有利な政策による指導を行う。
- ②科学技術イノベーション投入メカニズムの整備。財政の科学技術への投入によるインセンティブ作用と市場でのイノベーション要素配置によるけん引力を発揮し、イノベーション資源の配置を最適化し、社会資源のイノベーションへの投入を促し、財政資金、金融資本、社会資本など多方面からの投入の新たな枠組みを構築する。
- ③計画実施と管理の強化。組織的指導を強化し、 分業責任を明確にし、計画実施における協調的 管理を強化し、計画実施の相乗効果と制度保障 を行う。

第4節 関連政策~基礎研究

「十三五」科学技術発展計画に関連した政策の中で、基礎研究に係る政策を取り上げる。国の重要なニーズと世界の科学の最先端に対して、自由な模索と目標追求を融合し、科学問題の研究を強化し、基礎研究体制を整備し、基礎研究の不足を補い、イノベーションのモチベーションを高め、中国の科学における地位と世界への影響力を大きく向上させることを目指すものである。

(一) 自由な模索と学科の体系建設強化

基礎の先端に対して、科学的規律を遵守し、好奇 心主導の基礎研究に対するサポート力を強化し、科 学者が学術的興味と国の目標をマッチさせるよう指 導し、科学者が重要な科学研究へ向かうこと、最先 端の難題に向かうことを奨励し、多くの独自理論を 提出し、オリジナリティのある発見をする。共通認 識のない、イノベーション的なイノベーション研究 へのサポートを強め、伝統に疑問を持ち、権威に挑 戦することを奨励し、重要な科学と工学の概念の再 構築、パラダイムと新たな学科・分野の創出をする 研究を促す。

学科体系建設を強化する。数学、物理学、化学、 天文学、地学、生命科学などの基礎学科を重視し、 学科の持続的発展を推進する。情報、生物、ナノな どの新たな学科の建設を強化し、学際分野の研究を 奨励し、学科の交流と融合を促進する。産業の高度 化と構造調整のために解決が求められる中核的問題 を重視し、環境科学、海洋科学、材料科学、建設科 学、臨床医学などの応用学科の発展を推進する。各 学科の論文数と被引用数をさらに増やし、一部の学 科の影響力を世界のトップに押し上げる。

(二) 目標を目指す基礎研究と先端技術研究の強化

中国の経済発展のカギとなる科学の問題、世界の 科学研究の最先端分野、将来変革の可能性がある技 術の基礎を対象に優位性のある科学研究者群、国家 科学研究基地、重大科学技術インフラを整備し、先 行投資によって目標に向かう基礎研究と先端技術研 究を強化する。

国の重大戦略事業実施の基礎研究に焦点を当てる。国の重要ニーズ、国民経済の主戦場に向かって、 国家計画や民生、産業のコア競争力に関わる重大な 事業を対象に、現代農業、健康、資源環境と生態保 護、産業の転換・高度化、省エネ環境保護と新エネ ルギー、新型都市化などの分野の重要問題を検討 し、基礎研究と経済発展のニーズと関連付け、イノ ベーション主導型発展の原動力を供給する。

世界の科学の最先端と将来の科学技術の趨勢に対して、イノベーション力のけん引作用を高め、基礎研究と人材が比較的整っている戦略的先見性のある重大な科学問題を選択し、オリジナリティのあるイノベーションと系統的配置を特徴とした大科学研究組織モデルを強化し、基礎研究の重点項目を実施し、重大な科学でのブレイクスルーを実現して世界の科学発展の高地を占める。

重点的科学技術分野の戦略で先んずることを目標に、将来人類の生活や工業生産に導入され飛躍的発展を遂げる可能性のある先端分野に向かい、イノベーション的技術の基礎育成メカニズムを確立し、ゲノム編集、材料欠陥、神経チップ、メタマテリアル、正確なメゾスコピック領域測量などの基礎研究と先行探求を強化し、科学研究のイノベーションと

ブレイクスルーによるイノベーション的技術の出現 や発展をけん引し、将来の中国の産業イノベーショ ンと経済の持続可能な発展に科学的蓄積を提供す る。

(三) 国際的科学計画と科学プロジェクトの実施

基礎研究領域と重大な地球規模の問題に対し て、中国の発展戦略のニーズ、現実的な基礎と優位 性を組み合わせ、積極的に世界の大科学計画と大科 学プロジェクトに参加する。トップレベルの設計、 長期計画、チャンスをとらえた配置を強化し、数理 天文学、生命科学、地球環境科学、エネルギーと総 合科学など中国が比較的優位性を持つ分野を重点と し、今後5~10年に中国がスタートできる大規模な 国際的科学計画と科学プロジェクトの提案を検討す る。国際的資源と力を導入し、事前に十分基礎を研 究した上で、いくつかの新しい国際科学計画と科学 プロジェクトを提案し、世界経済に貢献する。

(四) 国家重大科学技術施設の建設強化

エネルギー、生命、粒子物理と核物理、宇宙と天 文、海洋、地球システムと環境等の分野に焦点を当 て、イノベーション力向上と重大なブレイクスルー のサポートを目標とし、大学、研究所を利用して重 大な科学技術インフラを建設し、重大科学技術イン フラによって科学の最先端問題の研究をサポートす る。運営管理を強化し、大科学装置などの重大イン フラと国家ラボラトリなどの連携を推進し、大科学 装置など国家の重大科学技術インフラの業績評価を 強化し、開放・共有を促進する。生態系保障、現代 農業、気候変動、災害予防などの国のニーズについ て、野外科学観測研究ステーションを建設し、国家 野外観測ステーション体系を整備し、野外科学観測 ステーションの多機能化、標準化、規範化、ネット ワーク化を推進し、オンライン観測と共同イノベー ションを促進する。

(五) 重大科学観測と調査実施

重要な科学問題、農業の持続可能な発展、生態回 復と再生、自然災害への防災・減災、国家権益の保 護と重大戦略のニーズに向け、学科・分野・地域を 越えた重大な科学観測と調査を行い、基礎的で公益 性があり、システマティックで権威ある科学技術資 源を獲得する。中国の重要な地域、生態環境の典型 地域、国際経済協力の道、極地・大洋などの重点・

特殊・空白地域において、科学観測と調査を行い、 自然のバックグラウンドと動態的変化の状況を明ら かにし、イノベーション、重大プロジェクト建設、 国家の意思決定にサポートを提供する。

(六)基礎研究の協力保障の強化

基礎研究への投入メカニズムを整備し、基礎研究 の投入が全社会研究開発に占める割合を高め、国家 の基礎研究投入に対する主体的役割を発揮し、中央 財政の基礎研究に対する支援を拡大し、基礎学科、 基礎研究基地、基礎科学の重要施設の安定的サポー トを拡大する。政策環境、体制メカニズム、科学研 究の配置、評価誘導などのシステム設計を強化し、 様々な措置で基礎研究を支援する。地方政府、企業、 社会の力を動員して基礎研究への投入を拡大し、社 会が基礎研究を重視・支持する力を形成する。

トップレベルの設計と全体配置を強化し、国の基 礎研究管理部門間のコミュニケーションメカニズム を整備し、新たな国家科学技術計画体系によって基 礎研究に系統的な支持と支援を行う。国家自然科学 基金による独自のイノベーション支援の役割を発揮 し、科学者の学術的感性を尊重し、共通認識のない 研究を包容・支持し、寛容な学術環境を構築する。 国の重点研究開発計画と基地・人材専門プロジェク トにより目標に向かう基礎研究と共同イノベーショ ンの支援を強化し、国の目標に基づいて基礎研究の 重点業務を集めた効果的メカニズムを構築し、長期 的で安定した支援を行う。

科学教育の融合を推進し、世界の一流研究機関、 一流大学、一流学科と協力して、大学や科学研究機 関が自主的に基礎研究を行うことを支持し、大学と 科学研究機関の学術的自主権と個人のテーマ選択権 を拡大し、ハイレベルな大学と科学研究所が学科を 越え、総合的に交差する科学研究チームを作ること を支持し、大学と科学研究所の基礎研究への参加を 促進し、基礎研究の全面的・協調的・持続可能な発 展を推進する。

学術環境を改善し、基礎研究の特徴と規律に合っ た評価メカニズムを確立する。自由に模索する基礎 研究の長期的評価体制を採用し、世界の同分野の評 価を行い、主に研究のオリジナリティと学術的貢献 を評価する。目標達成型基礎研究は目標の達成度を 重視し、主に重大科学問題解決の効果を評価する。 イノベーションの質と学術貢献を中心とした評価方 針を確立する。

第3章

国家イノベーション駆動発展戦略綱要

2012年に中国政府は、科学技術イノベーションは 社会生産力と総合国力を高めるために戦略的な重要 性を有し、国の全体的発展の核心位置に置かなけれ ばならないと強調した。中国がグローバルに向か い、世界全体を牽引する国家への重要な発展戦略で ある。この考え方を踏まえ、2016年5月中国共産党 中央と国務院は、「国家イノベーション駆動発展戦 略要綱 | を公表した。

第1節 戦略の背景

イノベーション駆動とは、イノベーションが経済 社会の発展を牽引する第一の動力となり、科学技術 のイノベーションと制度のイノベーション、管理イ ノベーション、ビジネスモデルのイノベーション、 業態のイノベーションと文化のイノベーションが結 合し、発展方式を推進して持続的な知識蓄積、技術 進歩と労働力の素質の向上に転じることであり、経 済の向上、分業の更に精密で、構造の更に合理的な 段階に発展することを促進する。

イノベーション駆動は世界の大勢の赴くところである。世界の科学技術革命、産業変革と軍事変革は発展を加速させ、科学的な探査は微視的から巨視的な各段階まで開拓された。知能、緑色、ユビキタスを特徴とする技術革命は国際産業分業の重大な調整を引き起こしている。破壊的イノベーションは絶えず出現し、世界の競争パターンを再構築し、国家力の状況を変えている。中国は、またとない歴史的チャンスに直面しているだけでなく、格差拡大の厳しい挑戦に直面している。

中国の経済発展は新常態に入り、伝統的な発展動力は弱まり、粗放型の成長方式は継続できなくなりつつある。イノベーションによって新たなエンジンを開発し、中国の経済発展の質と効果を持続的に向上させ、発展の新たな空間を開拓し、高度成長と産業の国際競争力強化を実現しなければならない。

長年の努力を経て、中国の科学技術イノベーションの発展は、現在量の増加から質の向上に向けての 躍進期に入っている。科学研究システムは日増しに 完備され、人材チームは絶えず強大になり、科学、 技術、産業の自主的創造イノベーション能力は急速 に向上している。経済の転換と向上、民生の持続的 な改善と国防の現代化は、イノベーションに対する 巨大な需要を生み出している。巨大な市場規模、完 備した産業体系、多様な消費ニーズとインターネッ ト時代の効率の向上を結びつくことにより、イノ ベーションのための広い空間が出現している。しか し、中国の多くの産業は依然として世界的な価値 チェーンの中の低レベルにあり、一部の核心技術は 他国に依存している。先進国は科学の最前線とハイ テクの分野で依然として明らかな優位を占めてお り、中国は産業の高度化を進展させ、未来の発展を 牽引する科学技術イノベーションを早急に強化させ るべきである。また中国では、企業のイノベーショ ン力が不足しており、イノベーション体系全体の効 率性は高くない。経済発展はまだ本当にイノベー ションに頼る軌道に転じていない。科学技術人材 チームも強くない。イノベーションを奨励する市場 環境と社会雰囲気はさらに育成し、最適化する必要 がある。

中国は、常にイノベーション強化を堅持しなければならない。発展を図り、イノベーションを図ることは未来を切り開くことであり、イノベーションを国家の意志と全社会の共同行動にさせ、人材を強化し、科学技術を強化し、産業を強化し、経済を強化し、中国の未来のために、新たな成長サイクルを創造する必要がある。

第2節 戦略要請

科学技術イノベーションを核心にして全面的なイノベーションを推進し、体制メカニズム改革により活力を呼び起こし、高効率で高レベルのイノベーションシステムを支え、経済社会の根本的な転換を推進する。

(一) 基本原則

世界の科学技術の最前線に向かって、国家の重要な課題に向かって、国民の経済の主な戦場に向かって、中国のイノベーション的な発展の方向を明確にして、重要な分野でできるだけ早く突破を実現して、競争の優位を形成することを目指す。

科学技術体制の改革と経済社会の改革を堅持し、科学技術と経済の連携を強化し、社会主義市場経済の法則と科学技術イノベーションの法則に従い、イノベーションを制約するすべての障害と制度の垣根を打ち破り、イノベーション駆動発展を支える良好な環境を構築する。

イノベーション駆動の本質を堅持するのは人材であり、人間本位で、イノベーション創造の価値を尊重し、各種類の人材の積極性と創造性を引き出し、規模が広大で、構造が合理的で、素質が優れたイノベーション型の人材チームの育成を加速する。

全世界の視野で計画を立て、イノベーションを推 進することを堅持し、全世界のイノベーション資源 を最大限に活用し、世界のイノベーションにおける 中国の位置を向上させ、いくつかの重要な分野の リーダーと重要なルール制定の参画者となることを 目指す。

(二) 戦略目標

三つのステップを戦略目標とする。

1. ステップ1

2020年までにイノベーション型国家の仲間入りをし、中国の特色ある国家イノベーション体系を建設し、小康社会の全面的な実現を力強くサポートする。具体的には、

- ①イノベーション的な経済構造は、すでに初歩的に形成される。いくつかの重点産業はグローバル価値チェーンの中でハイエンドの位置にあり、国際競争力を持つイノベーション型企業と産業クラスタを成長させる。科学技術の進歩貢献率は60%以上に上がり、知識集約型サービス業の増加値は国内総生産の20%を占めることを目指す。
- ②自主イノベーション能力を大幅に向上させる。未来に向けて発展し、科学技術革命を迎え、産業変革を促進するイノベーション的な布石を形成し、経済社会の発展と国家の安全を制約する一連の重大なボトルネック問題を突破し、鍵となる核心技術を発展させ、いくつかの戦略分野で優位を形成し、国家の発展のために戦略的蓄積と戦略的空間を開拓する。研究・試験発展(R&D)経費の国内総生産比率は2.5%に達することを目指す。
- ③イノベーション体系が連携して効率的となる。科学技術と経済の融合は更に順調で、イノベーション主体は活力に満ちている状況を目指す。
- ④環境イノベーションを最適化する。イノベーションを奨励する政策法規を健全化し、知的財産権保護はより厳格で、イノベーション創業を尊び、勇敢な創業を激励する価値志向と文化雰囲気を形成することを目指す。

2. ステップ2

2030年までに、イノベーション型の国家の前列に入り、発展の駆動力の根本的な転換を実現し、経済社会の発展レベルと国際競争力を大幅に上昇させ、経済強国で豊かな社会を作り上げるため、堅固な基礎を打ち立てる。具体的には、

- ①主要産業が、グローバルな価値チェーンの中で ハイエンドに入る。新技術と新製品、新モデル と新業態、新需要と新市場を絶えず創造し、よ り持続可能な発展、より高い品質の就業、より 高いレベルの収入、より高い品質の生活を実現 する。
- ②全体的に科学技術イノベーションを転換し、追跡を主とする。いくつかの戦略分野で世界の主要国と並行し、世界の学術発展を牽引し、世界の科学技術の発展と人類文明の進歩に重要な影響を及ぼすオリジナルの成果を作り出す。研究開発(R&D)経費の国内総生産比率は2.8%を目指す。
- ③国家イノベーションシステムをより完備する。科学技術と経済の融合、相互促進を実現する。
- ④イノベーション的な文化雰囲気が強く、法治保障が強く、社会全体が創造的な活力を形成し、イノベーション的な源泉が絶えず流入している生き生きとした局面を目指す。

3. ステップ3

2050年までに、世界の科学技術イノベーション強国を建設し、世界の主要科学センターとイノベーション高地となり、中国の社会文明と調和の取れた国家を建設し、中華民族の偉大な復興(中国の夢)を実現する。具体的には、

- ①科学技術と人材は国力の強大な最も重要な戦 略資源となり、イノベーションは政策と制度の 核心的な要素となる。
- ②労働生産性や社会生産力の向上が、科学技術の 進歩と全面的なイノベーションに依存し、経済 発展の質が高く、エネルギー資源の消費が低 く、産業の核心競争力が強い社会となる。国防 科学技術は世界のトップレベルに達する。
- ③世界一流の科学研究機関、研究型大学とイノベーション型企業を擁して、数多くの重要なオリジナル科学成果を生み出し、国際トップレベルの科学者が現れ、世界のイノベーション創業の重要な集積地となる。
- ④イノベーションの制度環境、市場環境と文化環境がより最適化され、知識を尊重し、イノベー

ションを尊び、財産権を保護し、多元を包容す る社会になる

第3節 戦略的配置

イノベーション駆動を実現することはシステム 的な変革であり、「二輪駆動を堅持し、一つの体系 を構築し、六大転換を推進する」というレイアウト に基づいて、新たな発展動力システムを構築する。

二輪駆動とは、科学技術イノベーションと体制イ ノベーションの二つの車輪が互いに協調し、持続的 に力を出すことである。イノベーションをするに は、まず科学技術イノベーションをつかむ必要があ る。科学的発見は技術進歩に対して決定的な牽引作 用があり、技術進歩は科学的法則の発見を力強く推 進する。発展の方向と重点を明確に支持し、科学的 探索と技術的難関を強化し、持続的にイノベーショ ン的なシステム能力を形成する。一方、体制メカニ ズムのイノベーションは、イノベーション駆動に適 応していないすべての生産関係を調整し、科学技 術、経済、政府管理などの三方面の体制体制改革を 統合的に推進し、イノベーションの活力を最大限に 解放する。

一つの体系とは、国家イノベーション体系を建設 することである。各種のイノベーション主体が相互 作用とイノベーション要素にスムーズに協力し、効 率的に配置されたシステムを建設し、イノベーショ ン駆動発展の実践的な主体、制度配置と環境保障を 形成する。企業、科学研究機関、大学、社会組織な どの各種のイノベーション主体の機能と位置づけを 明確にし、開放的で効率的なイノベーションネット ワークを構築し、軍民融合の国防科学技術協同イノ ベーションプラットフォームを建設する。政府と市 場の分業を明確にし、イノベーション資源を配置す るメカニズムを構築する。イノベーション的な社会 環境を奨励し、社会全体のイノベーションの活力を 呼び起こす。

六大転換とは、規模や拡張を主導とする粗放的な 成長から、質や効率を主導とする持続可能な発展へ の転換である。伝統的な要素による主導からイノ ベーション主導へと転換し、産業は世界的な価値 チェーンの中でローエンドからハイエンドへと転換 し、イノベーション能力は「追跡、並行、リード」 と並存し、「フォロー」は主に「並行」へと転換し、 「リード」はさらに強化する。資源配置は、主に産 業チェーン、イノベーションチェーン、資金チェー ンで統合的に配置・転換する。イノベーションは、 科学技術者主体から大衆とイノベーション創業のイ ンタラクティブに転換する。

第4節 戦略ミッション

経済競争力の向上の核心的な鍵、社会発展の需 要、国家安全への課題をしっかりと見据え、差別化 戦略と非対称対応により、重点分野を強化する。

(一) 産業イノベーションを推進する

工業化と情報化の融合を加速し、デジタル化、 ネットワーク化、インテリジェント化、グリーン化 を産業競争力を高める技術の基点とし、各分野の新 興技術のクロスボーダーイノベーションを推進し、 構造的で合理的、先進的な管理、開放的な互換性、 自主的に制御できる国際競争力のある現代産業技術 体系を構築し、新興産業を牽引する。

1. 情報ネットワーク技術

次世代情報ネットワーク技術を発展させ、経済・ 社会発展の情報化基礎を強化する。種類の人の知 能、自然インタラクションと仮想現実、マイクロエ レクトロニクスと光電子などの技術研究を強化し、 ブロードバンドモバイルインターネット、クラウド コンピューティング、モノのインターネット、ビッ グデータ、高性能計算、モバイル知能端末などの技 術開発と総合応用を推進し、集積回路、工業制御制 などの自主的なソフトハードウェア製品とネット ワークセキュリティ技術の難関と普及力を増大さ せ、中国経済の転換のために国家ネットワークの安 全保障をアップグレードし、維持する。

2. 製造技術

インテリジェントグリーン製造技術を発展さ せ、製造業の価値チェーンのハイエンドへの上昇を 促進する。製造業の技術体系、生産モデル、産業形 態と価値チェーンを再構築し、製造業の大から強へ の転換を推進する。知能製造設備などの技術を発展 させ、ネット化製造技術、クラウド計算、ビッグデー タなどの製造業における深さ応用を加速させ、製造 業の自動化、インテリジェント化、サービス化への 転換を推進する。伝統的な製造業に対して全面的に 緑色の改造を行い、粗放型の製造から集約型の製造 に転換する。産業技術の基礎能力と試験プラット フォームの建設を強化し、基礎材料、基礎部品、基 礎技術、基礎ソフトなどの共通性のあるキー技術レ ベルを向上させる。大飛行機、航空エンジン、原子 力発電、高速鉄道、海洋工事装備とハイテク船舶、 特に高圧送電などのハイエンドの装備と製品を発展 させる。

3. 農業技術

高効率でグリーンかつ安全な現代農業技術を発 展させ、食糧の安全と食品の安全を確保する。農業 自主の実現を核に、農業の発展方式を転換し、多く の人が水不足のボトルネックの制約を突破し、効率 的、製品の安全、資源の節約、環境にやさしい現代 農業発展の道を歩む。システムは動植物育成とハイ エンド農業装備の研究開発を強化し、食糧の豊富な 生産、中低産田の改造などの技術を広く普及させ、 節水農業、循環農業、有機農業、生物肥料などの技 術研究開発を深化させ、標準化、規模化された現代 養殖技術を開発し、農業の向上効果と持続可能な発 展を促進する。農業の源汚染と重金属汚染防止の低 コスト技術とモードを普及させ、全産業チェーンの 食品安全保障技術、品質安全制御技術と安全遡源技 術を発展させ、安全環境、クリーン生産、生態貯蔵 輸送のすべてをカバーする食品安全技術体系を建設 する。農業を一、二、三産業の融合に推し進め、全 チェーンへの付加価値とブランド化への転換を実現 する。

4. エネルギー技術

安全でクリーンで効率的な現代エネルギー技術 を発展させ、エネルギー生産と消費革命を推進す る。エネルギー構造を最適化し、エネルギー利用効 率を向上させることを重点とし、エネルギー応用を クリーン、低炭素へ転換させる。石炭・石油・天然 ガスなどの化石エネルギーのクリーンかつ効率的な 利用技術のボトルネックを突破し、深海・深海など の複雑な条件下での石油・ガス鉱産資源の探査・採 掘技術を開発し、シェールガスなどの石油ガス探査 開発総合技術のモデルを展開する。原子力、太陽エ ネルギー、風力エネルギー、バイオマスエネルギー などのクリーンエネルギーと新エネルギー技術の開 発、大規模な応用を加速し、大規模な需給インタラ クティブ、エネルギー貯蔵とネットワークを統合す る技術を攻略する。省エネ新技術と省エネ新製品を 普及させ、鉄鋼、石油化学、建材、非鉄金属など高 エネルギー業界の省エネ技術による改造を加速さ せ、新エネルギー自動車、スマートグリッドなどの 研究開発応用を推進する。

5. 資源利用と環境保護

資源の効率的な利用とエコ技術を発展させ、資源 節約型で環境にやさしい社会を建設する。システム 化の技術と産業化のルートを採用し、汚染対策と資 源循環利用の技術と産業を発展させる。大気汚染気 象警報分析技術体系を確立し、高精度監視予測技術 を発展させる。近代的な水資源総合利用システムを 構築し、地球深部の鉱物資源探査開発と総合利用を 展開し、緑色の製造と資源循環利用産業を発展さ せ、都市生活ゴミ資源化利用、再生資源回収利用、 工業固体廃棄物総合利用などの技術体系を構築す る。環境技術管理システムを充実させ、水、大気と 土壌汚染防止と危険廃棄物処理、環境検査と環境応 急技術の研究開発応用を強化し、環境負荷能力を向 上させる。

6. 海洋と宇宙空間

海洋と宇宙の先進的な適用技術を発展させ、海洋経済と宇宙経済を育成する。海洋資源の効率的で持続可能な応用技術を開発し、海洋プロジェクト装備の発展を加速し、立体的に同期した海洋観測システムを構築し、中国海洋戦略の実施と海洋経済の発展を推進する。宇宙進出、利用の技術能力を向上させ、宇宙インフラを完備させ、衛星リモートセンシング、衛星通信、ナビゲーション、位置サービスなどの技術開発応用を推進し、衛星応用イノベーションチェーンと産業チェーンを完備させる。

7. スマート都市、交通、電力など

スマート都市とデジタル社会技術を発展させ、人間本位の新しい都市化を推進する。新技術と管理イノベーションによって、新型の都市化、現代都市の発展と公共サービスを支え、社会治安総合管理情報化プロセスを加速し、安全な中国の建設を推進する。交通、電力、通信、地下管網などの市政インフラの標準化、デジタル化、インテリジェント化技術を発展させ、グリーン建築、知恵都市、生態都市などの分野で重要な技術の大規模な応用を推進する。重大災害、公共安全などの緊急避難分野の重要な技術と製品の通関を強化する。

8. 健康技術

先進的で効果的、安全で便利な健康技術を発展させ、重大な疾病と高齢化の挑戦に対応する。生命科学、漢方・西洋医薬、生物工学などの多分野の技術の融合を促進し、重大な疾病予防と抑制、公共衛生などを向上させる。創新薬、新型ワクチン、先進医療装備と生物治療技術を開発する。中華伝統医薬の現代化を推進する。コホート研究と健康医療のビックデータ研究を促進し、精密医療を発展させ、慢性病に対する遺伝子ふるい検査技術を開発し、心脳血管疾患、悪性腫瘍、慢性呼吸性疾患、糖尿病などの重大な病気の診療技術レベルを高める。デジタル医療、遠隔医療技術を開発し、予防、医療、リハビリ、

保健、養老などの社会サービスのネットワーク化、 定着化を推進し、一体化健康サービスの新モデルを 発展させ、人口健康保障能力を著しく向上させ、健 康中国建設をサポートする。

9. サービス技術

ビジネスモデルのイノベーションを支えるサービス技術を発展させ、経済の高度化を実現する。新世代の情報とネットワーク技術によりサービス業のインフラを発展させ、デジタル消費、電子商取引、現代物流、インターネット金融、ネット教育などの新興サービス業を開拓し、技術イノベーションとビジネスモデルのイノベーションと融合を促進する。工業設計、文化創意及び関連産業の融合発展を加速し、中国の重点産業のイノベーション設計能力を向上させる。

10. 破壊的な技術

産業の変革を先導する破壊的な技術を発展させ、新しい産業を生み出し、新たな雇用を創出する。技術への高い関心は、既存の投資、人材、技術、産業、規則の「ゼロに戻す」という破壊的な技術を生み出し、新興国産業の先端技術研究開発を展開する。モバイルインターネット技術、量子情報技術、宇宙技術を開発し、電子材料製造装置、知能ロボット、無人運転自動車などの発展を推進し、ゲノム、幹細胞、合成生物、再生医学などの技術が生命科学、生物育種、工業生物分野に影響を与え、水素エネルギー、燃料電池などの新世代エネルギー技術を開発し、ナノ、黒鉛などの技術を発揮する。グラフェンなどの技術が新材料産業の発展を牽引する役割を果たす。

(二) オリジナルイノベーションを強化する

国家戦略の需要と科学的探索の目標を統合させ、科学に対する研究開発力を強化し、創造力を増強する。中国における科学的発見、技術発明及び産業イノベーションのレベルを向上させ、産業変革と国家安全をサポートする。

1. 基礎的、先端的な技術開発強化

国家戦略ニーズに向けた基礎的、先端的で、高い技術研究を強化する。長期的な発展と国家の安全に関わる課題をめぐって、基礎研究を強化し、宇宙、海洋、ネットワーク、原子力、材料、エネルギー、情報、生命などの分野における戦略的なハイテク攻略力を強化し、核心技術の安全、自主、制御可能性を実現する。段階的目標を明確にし、分野にまたが

る優位力を集め、重点突破を加速し、産業技術の進 歩のためにオリジナル資源を蓄積する。

2. 自由探索の基礎研究

自由探索の基礎研究を強力にサポートする。科学の先端に向かってイノベーションを強化し、より多くの分野で世界科学研究の方向をリードし、中国の科学探査への貢献を向上させることを目指す。重大な技術の突破を目指し、変革的研究を進め、新思想、新発見、新知識、新原理、新方法を積極的に取り入れる。科学の各分野における均衡と発展を促進し、分野間の交流と融合を強化し、新興分野と特色分野を育成する。

3. 研究のインフラ整備

高レベルのイノベーションを支えるインフラと プラットフォームを建設する。ビックサイエンス時 代のイノベーション活動の特徴と国家の重要な戦略 的ニーズに対応して、国際レベルでイノベーション 的な国家実験室を建設する。大型共用実験装置、デー 夕資源、生物資源、知識、特許情報サービスなどの プラットフォームの建設を加速する。ハイエンドの 科学研究設備を研究開発し、科学研究設備の自給レベルを高める。スパコンセンターやクラウドコン ピューティングプラットフォームなどのデジタル化 インフラを建設し、ビッグデータに基づく先進的な 情報ネットワークサポートシステムを形成する。

(三) 地域イノベーション

地域の発展戦略に合わせ、イノベーション要素の 集中と流入により産業の合理的な分業を促進し、地 域イノベーション能力と競争力全体の向上を推進す る。

1. 発展パターンの構築

特色のある地域イノベーションの発展パターンを構築する。東部地区は原始イノベーションと統合イノベーション能力の向上を重視し、イノベーション駆動への転換を全面的に加速し、国際競争力のある産業クラスターと地域経済を育成する。中西部地区は差異化と飛躍的発展の道を歩み、柔軟にイノベーション資源を集め、先進的な適用技術の普及と応用を加速し、重点分野でイノベーション牽引を実現し、地域の特色ある経済と新興産業を育成する。

2. イノベーション資源の統合

地域をまたいでイノベーション資源を統合する。 地域間のイノベーション的なネットワークを構 築し、地域間の共同設計とイノベーション的な議題、相互接続のイノベーション的な要素、共同組織技術の難関を推進する。京津冀、長江経済帯などの国家戦略区域の科学技術イノベーション能力を向上させ、地域共同創新共同体を構築し、地域一体化の発展を計画案配し、リードする。北京、上海などの優位地域を推進し、世界的な影響力を持つ科学技術イノベーションセンターを建設する。

3. モデルの構築

地域イノベーションモデルを構築する。国家の自主的創造イノベーションモデル区の配置を最適化し、国家高新区がハイテクを発展させ、新産業を育成する方向に転換し、昇格させることを推進し、地域の全面的なイノベーション改革試験を展開し、イノベーション型の省とイノベーション型の都市を建設し、新興産業の成長極を育成し、イノベーション発展の放射線誘導機能を増強する。

(四) 軍民融合イノベーション

軍民の融合発展戦略の要請に基づき、国防科学技術のイノベーションの重要な役割を確認し、軍民融合のイノベーション体系の構築と健全化を加速させ、全要素、多領域、高効率の軍民科学技術の深度融合発展の新しい構造を形成する。

1. 統合メカニズムの健全化

マクロ統合メカニズムを健全化する。経済建設と 国防建設の法則に従い、統一指導、ドッキング、資 源共有の軍民融合管理体制を構築し、軍民科学技術 戦略計画、方針政策、資源条件、成果応用を統一的 に調整し、軍民科学技術の協調発展、バランスの取 れた発展、互換性のある発展を推進する。

2. 協同イノベーション

軍民の協同イノベーションを展開する。軍民融合の重要な科学研究任務形成メカニズムを確立し、基礎研究から肝心な技術研究開発、統合応用などのイノベーションチェーン一体化設計まで、軍民共用技術プロジェクトの共同論証と実施モデルを構築し、産学研を結合した軍民科学技術イノベーション体系を確立する。

3. 基礎要素の融合

軍民科学技術の基礎要素の融合を推進する。軍民 基礎の共通技術の一体化、基礎原材料と部品の共通 化を推進する。海洋、宇宙、ネットなど新型分野で の軍と民の融合が深まりつつある。軍民共通標準の 制定と統合を展開し、軍民標準の双方向転換を推進 し、軍民標準体系の融合を促進する。軍事民が共有 する重要な科学研究基地とインフラの整備を統括的 に計画し、双方向の開放、情報の相互作用、資源の 共有を推進する。

4. 双方向転換

軍民技術の双方向転換を促進する。先進的民生技術の軍事分野での応用を推進し、国防知的財産権制度を健全化し、国防知的財産権帰属と利益分配メカニズムを完備させ、国防科学技術の成果を民間に転化させることを積極的に誘導する。国防科学技術分野の市場参入を緩和し、軍事品の研究開発とサービス市場の開放競争を拡大し、優位の民間企業を軍事研究生産と補修分野に参入させる。軍民両用物項と技術輸出入管制機構を完備させる。

(五) イノベーション主体の強化

各種類のイノベーション主体の位置づけを明確にし、主体の活力を刺激し、各主体のイノベーション能力を向上させ、イノベーション発展の基礎をしっかりと固める。

1. イノベーション型企業の育成

世界一流のイノベーション型企業を育成する。業界のリーダー企業が高レベルの研究開発機構を構築することを奨励し、完備した研究開発組織体系を形成し、ハイエンドのイノベーション人材を集める。リーダー企業が中小企業と科学研究機関のシステム配置イノベーションチェーンを連携させ、産業技術イノベーション全体の解決方案を提供する。いくつかの核心技術能力を育成し、イノベーション力が強く、重要な産業の発展を牽引するイノベーション型企業を育成し、数多くの企業が世界百強のイノベーション型企業に進出することを目指す。

2. 大学と学科の整備

世界一流大学と一流学科を建設する。中国の特色ある大学制度の整備を加速し、管理、運営、評価の分離を推進し、学校の自主権を拡大し、学校内部の管理構造を改善する。大学の基礎研究を強化し、学術の卓越性を追求し、学科にまたがり、総合的に交差する研究チームを創立し、いくつかの優位性のある学科のクラスターと高いレベルの科学技術イノベーション基地を形成し、イノベーション能力評価に基づくパフォーマンス資金調達制度を確立し、システムは人材育成、学科建設、科学技術研究開発の三位一体のイノベーション水準を向上させる。オリ

第3章

ジナルのイノベーション能力とサービス経済社会の 発展能力を強化し、高レベルの大学と学科を世界の 前列に進める。

3. 研究機関の整備

世界一流の研究機関を建設する。国内の科学研究 機関の機能や位置づけを明確にし、基礎先端と業界 共通性の肝心な技術の研究開発における指導体制を 強化する。現在の科学研究機関の制度を健全化し、 イノベーション法則に適合し、分野の特色を体現 し、分類管理を実施する法人統治構造を形成する。 国家の重要な任務をめぐって、優位な科学研究資源 を効果的に整合し、総合的かつ高レベルの国際化科 学技術イノベーション基地を建設し、いくつかの優 位分野で鮮明な特色を持つ世界級科学研究センター を形成する。

4. 新型研究機関

市場に対応する新型研究機関を発展させる。地域性、業界性の重要な技術ニーズをめぐって、多元化投資、多様化モデル、市場化運営を実施し、多様な形式の先進技術研究開発、成果転化と産業孵化機構を発展させる。

5. 技術移転サービス

専門的な技術移転サービス体系を構築する。研究開発設計、インキュベーター、検査・測定認証、知的財産権など各種の科学技術サービスを発展させる。全国技術取引市場体系を完備させ、規範化、専門化、市場化、ネットワーク化の技術と知的財産権取引プラットフォームを発展させる。科学研究院と大学は専門化技術移転機構と職業化技術移転チームを設立し、技術移転ルートを開通させる。

(六) 重要科学技術プロジェクト

国家の安全と長期的発展に係る重点分野において、いくつかの重要な科学技術プロジェクトを展開する。

2020年に向けて、これまでに展開された国家科学技術の重大特別項目を、目標に焦点を合わせ重点を強調して引き続き実施・加速し、ハイエンド汎用IC チップ、高級 NC 制御工作機械、IC 製造設備、ブロードバンド移動通信、石油ガス田探査、原子力発電所、水汚染対策、遺伝子組み換え生物、創薬、伝染病予防などの方面の重要な核心技術を攻略し、いくつかの戦略的技術を形成する。新産業を育成する。

2030年に向けて、航空エンジンとガスタービンの

重要プロジェクトをスタートさせ、量子通信、情報ネットワーク、知能製造とロボット、宇宙深海探査、 重点新材料と新エネルギー、脳科学、健康医療など の分野において、方向を明確にし、国家戦略の意図 を具現する重要な科学技術を再配置する。

2020年に向けた重要な特定項目と2030年に向けた重大な科学技術プロジェクトとプロジェクトは、国際科学技術発展の新たな進展と中国経済社会発展の新たな需要に基づき、速やかに調整と最適化を行う。社会主義市場経済の条件の下での新型の挙国体制の優位を発揮し、力を集中し、協力して関係を攻撃し、持久的な発展力を発揮し、長い間功として、重要な核心技術を突破し、重大な戦略的製品を開発し、国家戦略優先分野で率先して実現する。

(七) 高レベル人材チーム

科学技術イノベーションのリーダーと技能の高 い人材チームの建設を加速する。重要な学科分野と イノベーション方向をめぐって世界レベルの科学 者、科学技術指導者、技術者、ハイレベルイノベー ションチームを育成し、第一線のイノベーション人 材と青年科学技術人材の育成を重視し、青年人材に 対して特別なサポートルートを開拓し、大学、科学 研究機関、企業が世界に向けて人材を募集すること をサポートする。技能を尊び、磨きをかける職業精 神を提唱し、各業種で高級技術者、技術労働者など の高技能人材を大規模に育成する。人材の成長環境 を最適化し、より積極的なイノベーション起業家の 人材激励と誘致政策を実施し、科学技術の成果処理 収益と株式オプションインセンティブ制度を推進 し、各種類の主体、異なる職位のイノベーション人 材が科学技術成果産業化の過程で合理的なリターン を得ることができるようにする。

企業家のイノベーション創業における重要な役割を発揮し、企業家精神を積極的に提唱し、イノベーションの栄光、イノベーションによる富をもたらす社会的方向性を確立し、法により企業家のイノベーション収益と財産権を保護し、多くの勇敢なイノベーション、勇気ある冒険的なイノベーション型企業家を育成し、専門化、市場化、国際化した職業マネージャーチームを建設する。

教育イノベーションを推進し、人材育成モデルを 改革し、科学精神、イノベーション思惟、創造能力 と社会責任感の育成を教育全体の過程を貫いてい る。ハイエンドのイノベーション人材と産業技能人 材の「二元サポート」の人材育成システムを充実さ せ、一般教育と職業教育のつながりを強化する。

(八) イノベーション創業

イノベーション創業の担体を建設し、完備させ、 創客経済を発展させ、大衆創業、万大衆イノベーショ ンの生き生きとした局面を形成する。

1. 衆創空間

衆創空間を発展させる。モバイルインターネット、ビッグデータ、クラウドコンピューティングなどの現代情報技術に頼って、新規の創業サービスモデルを発展させ、低コスト、便利化、開放的な大衆創造空間とバーチャルイノベーションコミュニティを構築し、多様な形の孵化機構を建設し、「孵化+創投」の創業モデルを構築し、起業家に仕事空間、ネット空間、社交空間、共有空間を提供し、大きなスペースを低減する。みんなはイノベーション創業のコストと敷居に参与する。

2. ベンチャー型中小企業

孵化育成イノベーション型中小企業を育成発展させる。小型化、インテリジェント化、専門化された産業組織の新しい特徴に適応し、分散型、ネットワーク化のイノベーションを推進し、企業のビジネスモデルのイノベーションを奨励し、社会資本を中小企業向けの社会化技術イノベーション公共サービスプラットフォームの建設に参加させ、中小企業の「専用精鋭新」への発展を推進し、多くのイノベーション力旺盛な中小企業が絶えず出現させる。

3. イノベーション文化

人々のイノベーションを奨励する。イノベーション文化が学校教育に入ることを推進し、イノベーション創業課程を設立し、ブランド性創客活動を展開し、学生がイノベーションに着手し、実践し、創業することを奨励する。企業の従業員が技術の改善と製品の設計に参加することを支持して、すべての有益な微イノベーション、微創業と小発明、小改善を励まして、奇想天外な発想、イノベーション的なアイデアを実際の創業活動に転化させる。

第5節 実施のための保障

イノベーション駆動発展戦略を実施するには、体 制改革、環境整備、資源投入、開放拡大などの面か ら保障が必要である。

(一) イノベーション管理体系の改革

イノベーション主体の多元化、活動の多様性、経路の変化に応じた新しい趨勢に順応し、政府のイノベーション管理体系の改革を推進し、多元的な関与

や、共同で効率的なイノベーション・ガバナンスの 構成を形成する。

国家の政策決定メカニズムを確立し、定期的に国内外の科学技術イノベーションの動態を把握し、重要な政策提案を行う。政府のイノベーション管理機能を改善し、政府と市場の機能を合理的に位置づける。政府の戦略計画、政策制定、環境整備、公共サービス、監督評価、重大な任務実施などの機能を強化する。競争性の新しい技術、新製品、新業態の開発は市場と企業に任せる。イノベーション・ガバナンスの社会参加メカニズムを確立し、各種業界協会、基金会、科学技術団体などがイノベーション駆動の発展を推進する中での役割を発揮する。

中央各部門の役割分担を合理的に確定し、業界主管部門がイノベーション需要の凝集、任務組織の実施、成果の普及応用などの面での役割を発揮する。科学的に中央と地方の科学技術の管理権限を区分して、中央政府の役割は全体の局面性、基礎性、長期的な仕事を重視して、地方政府の役割は技術の開発と転化の応用を推進することに重点を置く。

国家科学技術管理基礎制度を構築する。科学技術計画管理体系を再構築し、国家科学技術計画管理プロセスを改善し、最適化し、国家科学技術計画管理情報システムを建設し、全過程をカバーする監督と評価制度を構築する。国家科学技術報告制度を充実させ、国家重大科学研究インフラと科学技術基礎条件プラットフォームの開放共有制度を確立し、科学技術資源の各種イノベーション主体への開放を推進する。国家イノベーション調査制度を確立し、各地にイノベーション発展の方向を確立するように導く。

(二) 多ルートでイノベーション投入の増加

基礎性、戦略性、公益性に対する研究の安定的な支持力を確実に増大させ、安定的な支持と競争的な支持の協調のメカニズムを完備させる。中央財政科学技術計画と資金管理を改革し、資金の使用効率を高める。企業の研究開発を促す普遍的な政策を充実させ、企業を技術イノベーションの投入主体にするように導く。

中国の国情に合った、科学技術創業の発展に適した金融サービスの構築を実施する。銀行・金融機関が金融商品を開発し、多段階資本市場を開拓し、イノベーションをサポートする機能を積極的に発展させ、エンジェル投資を拡大し、起業家投資規模を拡大し、インターネット金融を利用してイノベーションをサポートする。科学技術の成果の転化、中小企業のイノベーション、新興産業の育成などの方面の

基金の作用を十分に発揮して、社会資本のイノベーションに投入するように導く。

(三) オープンイノベーションの全面推進

グローバルイノベーション資源の流動化と中国 経済の地位の上昇を加速させる歴史的チャンスを捉 え、中国のイノベーション資源の能力を高める。企 業がグローバルレイアウトイノベーションネット ワークに向けて、海外研究開発センターの設立を奨 励し、国際ルールに従って買収、合弁、外資イノベーション型企業と研究開発機構を設立し、海外知的財 産権の運営能力を高める。衛星、高速鉄道、原子力、 スーパーコンピューターなどを中心に、中国の先進 技術と装備の海外進出を推進する。外国投資家が戦 略的新興産業、ハイテク産業、現代サービス業に投 資することを奨励し、多国籍企業が中国に研究開発 センターを設立することを支持し、資金誘致、知恵 誘致、技術提携を実現する。

全世界の科学技術イノベーションに深く関与し、世界的なイノベーションの課題を積極的に検討し、重大な国際科学技術協力計画に積極的に参加し、食糧安全、エネルギー安全、環境汚染、気候変動及び公共衛生などの世界的な挑戦に共同で対処する。イノベーション的な対話を豊かにし、深化させ、「一帯一路」の戦略構想をめぐって、沿線国家に向けた科学技術イノベーション基地を共同で建設する。国際的なビックサイエンス計画やプロジェクトに積極的に参加し、主導し、対外開放レベルを高める。

(四) イノベーション志向の評価制度の充実

異なるイノベーション活動の法則と特徴に基づ いて、科学分類のイノベーション的評価制度体系を 確立し、健全化する。大学と科学研究院の分類評価 を推進し、業績評価を実施し、技術移転と研究成果 の経済社会への影響を評価指標に組み入れ、評価結 果を財政科学技術経費支援の重要な根拠とする。人 材評価制度を充実させ、職名評価制度をさらに改革 し、雇用単位の自主権評価を増やす。第三者の評価 を推し進め、政府、社会組織、公衆などの多方面に わたる評価メカニズムの構築を模索し、社会化、専 門化、国際化の評価ルートを開拓する。国家科学技 術奨励制度を改革し、構造を最適化し、数量を減ら し、品質を向上させ、申告制から指名制に変更し、 人への激励を強化する。ブランドと公信力を持つ社 会賞を発展させる。国民経済計算システムを充実さ せ、イノベーション活動を反映した研究開発支出を 投資統計に組み入れ、無形資産の経済への貢献を反 映し、イノベーション活動の投入と効果を強調する。国有企業の評価メカニズムを改革し、改善し、研究開発の投入とイノベーションの成果を重要な審査指標とする。

(五) 知的財産権、標準、品質とブランド戦略の実 施

知的財産強国の建設を急ぐ。知的財産権分野の改革を深化させ、知的財産権戦略行動計画を深く実施し、知的財産権の創造、運用、保護と管理能力を高める。市場主体の知的財産権の創造と運用をサポートし、知的財産権の利益共有メカニズムを紐帯とし、イノベーション成果の知的財産権化を促進するよう誘導する。知的財産権の司法保護の主導的役割を十分に発揮し、全国民の知的財産権保護意識を強め、知的財産権制度のイノベーションに対する基本的な保障作用を強化する。知的財産権の濫用を防止する独占禁止審査制度を健全化し、知的財産権侵害国際調査と海外権利擁護メカニズムを確立する。

中国の産業技術水準を引き上げる。基礎通用基準の開発を強化し、技術イノベーション、特許保護と標準化の相互サポートメカニズムを健全化し、適時に先進技術を標準に転換する。中国産業の国際先進基準の採用を推進し、強制基準の制定と実施を強化し、産業のグレードアップを支える基準群を形成し、業界技術基準と産業参入水準を全面的に向上させる。中国企業、連盟と社会団体が国際標準の研究開発に参加したり、主導したりすることを支持して、中国の優位な技術と標準が国際標準になることを推進する。

品質の強国と中国ブランドの建設を推進する。品質と信用システムを充実させ、ブランドイメージの突出、サービスプラットフォームの完備、品質レベルの一流の優位企業と産業クラスターを形成する。ブランド評価の国際基準を制定し、国際的に相互認識するブランド評価システムを構築し、中国の優良ブランドの国際化を推進する。

(六) イノベーションの起こしやすい社会環境の育成

イノベーション的な法治環境を健全化する。弱い 分野の立法プロセスを加速し、イノベーション志向 に合わない法規文書を修正し、イノベーションを制 約する制度規定を廃止し、総合的に組み合わせて精 密化した法治保障体系を構築する。

公平な市場環境を育成する。業界の独占と市場の 分割を突破することを加速する。需要側のイノベー ション政策の誘導作用を強化し、国際ルールに適合

した政府調達制度を確立し、企業のイノベーション コストを低減し、新製品とサービスの市場空間を拡 大する。要素価格形成メカニズムの市場化改革を推 進し、エネルギー資源、生態環境などの面での剛性 制約を強化し、科学技術と人材などのイノベーショ ン要素の製品価格における重みを高め、新しいもの を作ることに長じて、より大きな競争優位を獲得す

創造イノベーションを尊ぶ文化環境を造営す る。広範な科学技術従事者の愛国的奉献、勇敢にピー クに達する感動的事績と崇高な精神を広く宣伝し、 全社会で創造を奨励し、卓越したイノベーション文 化を追求し、イノベーションを推し進め、民族精神 の重要な内包となる。百家争鳴を提唱し、科学者の 個性を尊重する学術文化を提唱し、大胆に人とな り、勇敢に突進し、大胆に質疑するイノベーション 的な自信を高める。試行錯誤の研究価値を重視し、 イノベーションを奨励し、失敗を許容する誤り訂正 メカニズムを確立する。緩やかな科学研究の雰囲気 を作り、科学技術者の学術的自由を保障する。科学 研究の誠実と信用の建設を強化し、広範な科学技術 従事者が学術道徳を遵守し、社会的責任を守るよう 誘導する。科学教育を強化し、科学教育の内容と形 式を豊かにし、青少年の科学技術興味を刺激する。 科学技術の普及を強化し、国民全体の科学素養を高 め、社会全体で科学的理性精神を形成する。

第6節 実施

国家科学技術体制の改革とイノベーション体系 建設指導チームは、本要綱の具体的な組織の実施に 責任を負い、イノベーション駆動発展の重要な戦略 問題に対する研究と審議を強化し、大綱の実施を指 導する。

国務院と軍隊の各関係機関、各省(自治区、直轄 市) は本綱に基づき具体的な実施案を制定し、大局 意識、責任意識を強化し、協力を強化し、協力を形 成する。

役割分担と進捗スケジュールを明確にし、年度と 段階的実施計画を制定する。重大な改革任務と重点 政策措置に対しては、具体的な方案を制定し、試行 を展開する。

イノベーション的な発展を指向とする審査メカ ニズムを充実させ、イノベーション的な発展効果を 重要な審査指標とし、広範な幹部が正しい実績観を 確立するよう指導する。イノベーション調査を強化 し、定期的なモニタリング評価とローリング調整メ カニズムを確立する。

世論の官伝をしっかりと行い、イノベーションが 発展を駆動する新たな進展、新効果をタイムリーに 宣伝し、イノベーション駆動発展の理念を全社会共 通認識にし、全社会の参加とイノベーションの積極 性を引き出す。

第4章 中国製造2025 (Made in China 2025)

2015年5月、国務院は正式に「中国製造2025」を 発表している。

第1節 背景と意義

製造業は国民経済の基盤であり、国家存立と国家 振興の根本であり、強国になる基礎である。産業文 明が18世紀半ばに始まって以来、世界の強国の興亡 の歴史は、「強い製造業なしには国家と民族の繁栄 もない」ことを物語っている。国際競争力のある製 造業を作り出すことは、中国の総合的な国力を高 め、国の安全を保障し、世界における強国を打ち立 てるために避けては通れない道である。

中華人民共和国の建国以来、とりわけ改革開放以 来、中国の製造業の持続的な成長によって、あらゆ る分野に独自の産業体系が形成され、産業化・近代 化が進展した。中国の総合的国力は高まり、世界の 大国としての中国の地位が固められてきた。だが世 界の最先端と比べれば、中国の製造業はまだ「規模 が大きいしものの「強い」とは言えず、自主的イノ ベーション能力や資源利用効率、産業構造、情報化 の度合い、品質や生産効率などで大きく後れを取っ ており、生産方式の転換が迫られている。

中国では現在、科学技術革命と産業革命の新たな 波が、中国経済システムの転換の加速と同時に押し 寄せている。世界の産業は、この歴史的な時期に分 業と再編が起こっている。この重要な歴史的チャン スをしっかりとつかみ、「4つの全面」(「小康社会 の全面的建設」、「改革の全面的深化」、「徹底した法 による全面的な国家統治」、「全面的な厳しい党内統 制」)という戦略に基づき、製造強国への展開を進 め、計画と予測の能力を強化し、今後3度にわたる 10カ年計画を経て、建国100年を迎える2049年まで に、中国を世界の製造業の発展を率いる製造強国へ と発展させ、中華民族の偉大な復興という「チャイ ナ・ドリーム (ChinaDream)」実現に向けた土台 を固めなければならない。

第2節 原則・目標

(一) 原則

市場の自立性を担保しつつと政府の誘導により 改革を全面的に深め、市場の役割を十分に発揮さ せ、企業の主体としての地位を強め、企業の活力と 創造力をさらに引き出す。政府の役割を積極的に転 換し、発展戦略と計画・誘導の機能を強化し、支援 策を整え、企業の発展に良好な環境を創る。

現状に立脚し、長期的視野を維持する。製造業の 発展を制約するボトルネックと弱点をターゲットと し、転換・アップグレードと品質・効率の向上を加 速し、製造業の核心的競争力と持続可能発展能力を 適切に高める。今後の科学技術イノベーションの動 向とと産業変革の動向を的確に捉え、計画と予測を 踏まえた資源配置を強化し、基礎を固め、未来の競 争に有利なポジションを獲得する。

全体を推進すると同時に、特定の分野に重点を置 いた措置も進める。製造業発展の全国的な状況把握 と類別の指導とを結びつけ、統一的に計画し、合理 的な資源配置を進め、イノベーションの方向を明ら かにし、軍事と民生の融合のさらに進め、製造業全 体のレベルの向上を推進する。経済社会発展と国家 安全のニーズに合致するように資源を統合し、重点 を際立たせ、複数の重大プロジェクトを実施し、先 駆けとなる進展を実現する。

自立的な発展を図りながら、国際協力も進める。 国家経済と国民生活、産業の安全にかかわる基礎 的・戦略的・全局的分野において、カギとなるコア 技術の把握に努め、産業チェーンを整え、自主発展 能力を形成する。開放拡大を継続し、世界中の資源 と市場を積極的に利用し、産業のグローバル展開と 国際的な交流・協力を強化し、新たな競争優位を形 成するため、製造業の開放発展のレベルを高める。

(二) 目標

「イノベーション駆動、品質優先、グリーン発 展、構造最適化、人材本位」の基本方針を堅持し、 「市場主導、政府指導」を堅持し、現状を的確に把 握し、長期的な目標に立脚し、全体を調和的に推進 し、特定分野を重点的に突破し、自主的に発展し、 開放的な国際協力を実施する」との基本原則を堅持 し、次の3つステップで製造強国という目標の実現 を図る。

ステップ1:2025年までの10年間で、世界の製造 強国の仲間入りをする。

2020年までに、産業化を基本的に完了し、製造大 国としての地位を固め、製造業の情報化レベルを高 める。重点分野のカギとなるいくつかのコア技術を 把握し、競争優位分野の競争力を強化し、品質を高

める。製造業のデジタル化・ネットワーク化・イン テリジェント化の進展を実現する。重点産業におい て、エネルギー消費・原料消費・汚染物排出量を、 単位工業付加価値に対して大幅減少させる。

2025年までに、製造業全体のレベルを高め、イノベーション能力を増強し、労働生産性を高め、「両化」(産業化・情報化)融合を新たな段階に進める。重点産業のエネルギー消費・原料消費・汚染物排出を世界の先進国レベルに高める。国際競争力のある複数のグローバル企業と産業クラスターを形成し、世界の産業分業とバリューチェーンにおける地位を高める。

ステップ2:2035年までに、全体として世界の製造強国の中等レベルに到達させる。

イノベーション能力を強化し、重点分野の発展で ブレークスルーを実現し、全体的競争力を向上さ せ、強い産業で世界のイノベーションをリードする 能力を形成し、産業化を全面的に実現する。

ステップ3:2049年までに、世界の製造強国の先 頭グループに入る。

中国建国100周年(2049年)までに、製造業大国としての地位を一層固め、総合的な実力で製造強国の先頭グループに入る。製造業の主要分野でイノベーションをリードする能力と明確な競争優位を確立し、世界をリードする技術体系と産業体系を構築する。

第3節 主要内容

(一) 全体構造

この中国製造2025の構造を、「一二三五五十」と 略称することがある。

「一」とは、製造業大国から製造業強国に転換するということである。

「二」とは、情報化と工業化の二つの融合を通じて発展させるということである。

「三」とは、上記の2049年までの三つのステップ のことである。

「四」とは、四つの原則を示しており、第一の原則は市場の主導、政府の指導、第二の原則は当面に立脚するだけでなく長期にも目を向けること、第三の原則は全面的に推進し、重点的に突破すること、第四の原則は自主的発展と国際協力である。

「五」の一つ目は、イノベーション駆動、品質優先、グリーン発展、構造最適化、人材本位の5つの基本方針である。

「五」の二つ目は、五大工程のことであり、次項 (二) に詳述する。

「十」とは、この政策においてターゲットとなる

十の産業分野のことであり、これも次項(三)に詳述する。

(二) 五大工程

製造業イノベーションセンター(産業技術研究 拠点)建設計画

重点産業の転換・アップグレードと次世代情報 技術、インテリジェント製造、3D プリンティング、 新材料、バイオ医薬などの分野のイノベーション発 展の基盤となる重大なニーズを視野に、幾つかの製 造業イノベーションセンター(産業技術研究拠点) を形成し、産業の基礎と基盤となるキー技術の研究 開発や成果の産業化、人材育成などの事業を重点と して展開する。製造業イノベーションセンターの選 出・審査・管理の基準とプログラムを制定・整備す る。

2020年までに15カ所程度の製造業イノベーションセンター(産業技術研究拠点)を重点として形成し、2025年までに40カ所程度の製造業イノベーションセンター(産業技術研究拠点)を形成することを目指す。

2. インテリジェント製造計画

重点製造分野のカギとなる要素をめぐって、次世 代情報技術と製造設備の融合した統合イノベーショ ンと工学的応用を展開する。「政産学研連携」によ る難関突破を支援し、スマート製品と自主制御可能 なインテリジェント設備を開発し、産業化を実現す る。優れた企業を拠り所とし、カギとなる工程のイ ンテリジェント化やカギとなる部署のロボットによ る代替、生産プロセスの知能化最適制御、サプライ チェーンの最適化などを通じて、重点分野における インテリジェント工場やデジタル作業場の建設を進 める。基礎的な条件が整い、急迫した需要のある重 点地区、産業及び企業では、フロー生産や個別生産、 インテリジェント設備・製品、新業態・新モデル、 インテリジェント化管理、インテリジェント化サー ビスなどのモデル事業の試行や応用・普及を分類実 施する。インテリジェント製造基準体系と情報安全 保障システムを構築し、インテリジェント製造ネッ トワークシステムのプラットフォームを形成する。

2020年までに製造業の重点分野におけるインテリジェント化のレベルを大きく高め、試行モデル事業の運営コストを30%引き下げ、製品の生産サイクルを30%短縮し、不良品率を30%引き下げる。2025年までに製造業の重点分野においてインテリジェント化を全面的に実現し、試行モデル事業の運営コストを50%引き下げ、製品の生産サイクルを50%短縮

し、不良品率を50%引き下げる。

3. 産業基礎強化計画

モデル応用事業 (デモストレーション) を展開 し、奨励とリスク補償のメカニズムを構築し、核心 となる基礎部品や先進的な基礎工程、カギとなる基 礎材料の応用の初期段階、または分野をまたいだ応 用を支援する。重大プロジェクトと重点設備のカギ となる技術と製品という需要に対して、優れた企業 による政産学研用の共同研究開発を通じて、カギと なる基礎材料や核心的な基礎部品の工学的応用や産 業化を制約するボトルネックを打破する。プラット フォームによるサポートを強化し、基礎のための研 究センターを設立し、公共サービスプラットフォー ムを構築し、重点産業技術向けの基礎的サービスシ ステムを整備する。

2020年までに、核心基礎部品とカギとなる基礎材 料の40%の自給率を実現し、他国の制限を受けてい た局面を緩和する。宇宙用設備や通信設備、発電・ 送電・変電設備、建設機械、軌道交通設備、家電な どの産業ですぐに必要となる核心基礎部品とカギと なる基礎材料の先進製造工程の普及・応用を実現す る。2025年までに、核心基礎部品とカギとなる基礎 材料の70%の自給を実現し、80種の特定の先進工程 の普及・応用を実現し、一部では世界トップレベル に達し、整った産業技術向けの基礎的サービスシス テムを構築し、完成品による牽引と基礎部品からの 支えにより、協調的な産業発展の局面を形成する。

4. グリーン製造計画

従来型製造業のエネルギー効率向上やクリーン 生産、節水、汚染対策、循環利用などの特別技術改 良事業を実施する。省エネ・環境保護や資源の総合 利用、再製造、低炭素技術の重大産業化モデル事業 (デモストレーション) を展開する。重点地域・流 域・産業におけるクリーン生産レベルの向上計画を 実施し、大気・水・土壌汚染の抜本対策を推進す る。グリーン製品・グリーン工場・グリーンパー ク・グリーン企業の基準体系を構築し、グリーン評 価を行う。

2020年までに、グリーンモデル工場1000カ所、グ リーンモデルパーク100カ所を形成する。一部の重 化学産業分野のエネルギー資源の消費を減少に転換 し、重点産業の主要汚染物の排出率を20%引き下げ る。2025年までに、製造業のグリーン発展と主要製 品の原料消費量を世界の先進レベルに到達させ、グ リーン製造体系の構築をほぼ完成させる。

5. ハイエンド設備イノベーション計画

大型航空機、航空エンジン、ガスタービン、民間 用宇宙事業、スマート環境型列車、省エネ・新エネ ルギー自動車、海洋建設機械、ハイテク船舶、スマー トグリッド総合設備、先端デジタル制御工作機械、 原子力発電設備、先端診療設備などでイノベーショ ンを起こし、産業化、重大プロジェクトを実施する。 代表的で、波及効果が大きい重点製品と重大設備を 開発し、自主的設計のレベルとシステム統合能力を 高め、カギとなる基盤技術と工学的応用、産業化の ボトルネックを突破し、応用の試行事業とモデル事 業を展開し、イノベーション能力と国際競争力を高 め、競争に有利なポジションを勝ち取る。

2020年までにこれらの分野で自主開発と応用を 実現する。2025年までに独自の知的財産権を持った ハイエンド設備の市場シェアを大きく拡大し、コア 技術の対外依存度を引き下げ、国内製品によるサ ポート能力を高める。重要分野の設備を、世界をリー ドするレベルに到達させる。

(三) 十大領域

1. 次世代 IT 技術産業

集積回路と専用設備。集積回路の設計レベルを高 め、IP コア(IntellectualPropertyCore)と設計ツー ルを豊富に用意し、国家情報とネットワークセキュ リティおよび電子機械産業の発展に関わるコア汎用 チップに関連する技術的な難問を突破し、国産チッ プの応用適合性を高める。高密度パッケージングと 三次元(3D)マイクロ組立技術を把握し、パッケー ジング産業と試験測定の自主的な発展力を高める。 コア製造設備の供給力を確立する。

情報通信設備。新型コンピューティング、高速通 信、先端メモリ、体系化の安全保障などのコア技術 を把握し、第5代移動通信(5G)技術、コアルー ト交換技術、超高速で大容量のインテリジェント光 ファイバー伝送技術、「フューチャーネットワーク ス」のコア技術と体系構造課題を解決し、量子コン ピューティング、ニューラルネットワークなどを積 極的に推進する。ハイエンドサーバー、大容量メモ リ、新型ルート交換、新型インテリジェント端末、 次世代基地局、ネットワークセキュリティなどの設 備開発を展開し、コア情報通信設備の体系的な発展 と大規模な応用を推進する。

操作システムと工業用ソフトウェア。セキュリ ティ分野の操作システムなどの工業基礎ソフトウェ アを開発する。インテリジェント設計とシミュレー ションおよびその関連ツール、製造分野におけるモ ノのインターネットとサービス、工業ビッグデータ 処理などの先端工業に対応するソフトウェアのコア 技術に関連する難問を突破し、自主的にコントロー ルできる先端工業のためのプラットフォームソフト と重点分野のためのアプリケーションソフトウェア を開発し、工業ソフトウェアのインテグレーション 規格とセキュリティ測定・評価体系を構築・改善す る。自主型工業ソフトウェアの体系的な発展と産業 化応用を推進する。

2. 高級 NC 旋盤とロボット

高級 NC 旋盤。一連の高精密、高速、高効率、フレキシブルな NC 旋盤と基礎製造設備および統合生産システムを開発する。高級 NC 旋盤、付加製造などの最先端技術と設備の研究開発を加速する。信頼性、精度の維持性を高めることに重点を置き、ハイエンドデジタル制御システム、サーボモーター、軸受、光回折格子などの主要機能部品およびコアアプリケーションソフトを開発し、その産業化を加速させる。ユーザーとの工法実証能力の建設を強化する。

3. ロボット

自動車、機械、電子、危険品製造、国防軍需産業、 化学工業、軽工業などの工業ロボット、特殊な目的 のロボット、および医療・健康、家庭サービス、エ デュテインメントなどのサービスロボット応用の需 要をめぐり、新しい製品の研究・開発を積極的に進 め、ロボットの標準化とモジュール化を促進し、市 場における応用規模を拡大する。ロボット本体、減 速機、サーボモーター、コントローラ、センサーと 駆動器などのコア部品およびシステムインテグレー ション設計と製造などの技術的難問を突破する。

4. 航空産業

大型飛行機の研究開発と製造を加速させ、適時に ワイドボディ機の研究開発と製造に取り組み、国際 協力および重量型へリコプターの研究開発とその製 造を促す。基幹・支線飛行機、ヘリコプター、ドロー ンと汎用飛行機の産業化を推進する。高推力重量 比、先進的なターボプロップ(シャフト)エンジン および高バイパス比のターボファンエンジンの技術 的難問を突破し、エンジンの自主的な発展工業体系 を構築する。先進的な航空機搭載設備とシステムを 開発し、自主的で整備された航空産業チェーンを形 成する。

5. 宇宙産業

次世代のキャリアロケット、重量型ローンチ・ ヴィークルを発展させ、宇宙開発力を高める。国家 民用宇宙施設建設を加速させ、新型衛星などの宇宙プラットフォームと実負荷、宇宙 - 空 - 地上間のブロードバンドインターネットシステムを発展させ、長期間持続可能な安定性を有する衛星リモートセンシング、通信、ナビゲーションなどの宇宙情報サービス能力を確立する。有人宇宙飛行、月面探査プロジェクトを推進し、宇宙空間探査を適切に発展させる。宇宙技術の応用と産業化を推進する。

6. 省エネルギー・新エネルギー自動車産業

電気自動車、燃料電池自動車産業の継続的な発展を支持し、自動車の低炭素化、情報化、インテリジェント化に関するコア技術を把握し、駆動用バッテリー、駆動モーター、高効率の内燃機関、先進的な変速機、軽量化材料、インテリジェントコントロールなどのコア技術の工程化と産業化レベルを高め、コア部品から完成車に至るまでの整備された工業体系とイノベーション体系を確立し、国際的な先進レベルに並ぶ自主ブランドの省エネ・新エネルギー自動車産業を推進する。

7. エネルギー・電力産業

大型・高効率の超低排出型の火力発電ユニットの産業化と応用を推進し、超大容量の水力発電ユニット、原子力発電ユニット、重量型ガスタービンの製造レベルを高める。新エネルギーと再生可能エネルギー設備、先進的なエネルギー貯蔵装置、インテリジェント電力網用配変電およびユーザー側の端末設備を発展させる。高出力の電力電子機器、高温・超伝導材料などのコア部品と材料の製造および応用技術に関連する難問を突破し、その産業化を実現する。

8. 農業機械

食糧、綿、油、糖などの量産穀物と戦略作物の育種、耕地、種まき、管理、収穫、運送、貯蔵などの主要生産過程で使用される先進的な農業機械を重点的に発展させ、大型トラクタと多機能型農業器具、大型高効率のコンバインハーベスターなどの先端農業機械とコア部品を発展させる。農業機械関連の情報収集、インテリジェント決定と精密作業力を高め、農業生産活動のための情報化統合ソリューションサービスを推進する。

9. 新素材産業

特殊金属製の機能性材料、高性能の構造材料、機能性の高分子材料、特殊の無機・非金属材料と先進的な複合材料を重点的に発展させ、先進的な精錬、

凝固成型、蒸着、型材加工、高効率合成などの新し い材料の調製におけるコア技術と設備の研究開発を 加速させ、基礎研究と体系構築を強化し、調製加工 の産業化を実現するための難問を突破する。軍民共 用の特殊な新しい材料を積極的に発展させ、技術の 両方向(軍民)移転と転換を加速させ、新しい材料 の産業における軍民需要の融合的な発展を促進す る。画期的な新しい材料の伝統的な材料に対する影 響に注目し、超伝導材料、ナノ材料、グラフェン、 バイオ材料などの戦略的で最先端の材料の事前配置 と研究・製造に取り組む。基礎材料のアップグレー ドを加速させる。

10. 生物医薬と高性能医療機器

重大疾患のための化学医薬品、漢方薬、生物医薬 品などの新しい製品を発展させ、主には新しい作用 メカニズムと新しい標的に対応する化学医薬品、抗 生物質医薬品、抗体薬物複合体(ADC)、最新構造 タンパク質およびポリペプチド製剤、新型ワクチ ン、臨床上顕著な優位性のある創製漢方薬とオー ダーメイド治療用薬品が含まれる。医療機器のイノ ベーション能力と産業化レベルを高め、画像装置、 医療用ロボットなどの高性能診療設備、完全生分解 性の血管内ステントなどの高額医用消耗品、装着可 能、遠隔診療などのモバイル医療製品を重点的に発 展させる。3Dバイオプリンティング、人工多能性 幹細胞などの新しい技術的な突破とその応用を実現 する。

(四) モデル都市

「中国製造2025」の政策を実施するため、モデル 都市が設置されている。モデル都市を展開すること により、地方を動員して積極性と創造性を実施し、 新常態下の経済における中国の製造業を変換し、モ デルの普及を通じて他の地区に製造業の品質向上効 果をもたらすことを意図している。

「中国製造2025」のモデル都市として承認された のは、広東省広州市、浙江省寧波市、湖州市、四川 省成都市、湖北省武漢市、福建省泉州市、吉林省長 春市、遼寧省瀋陽市、山東省青島市、寧夏回族自治 区呉忠市、安徽省合肥市、江西省カン州市である。 また、江蘇南都市群(鎮江、南京、常州、無錫、蘇 州)、珠江西岸都市群(佛山(順徳)、中山、珠海、 江門、陽江、肇慶)、湖南省長株潭衡都市群(長沙、 株洲、湘潭)、河南省鄭洛新(鄭州、洛陽、新郷) は「中国製造2025」のモデル都市群となっている。

第4節 指標

(一) 全体的な考え

「中国製造2025」の指標の決定は、以下の点が総 合的に考慮されている。

第一に、製造業の強さを反映する必要がある。指 標は、十分な産業規模、最適化された産業構造、良 好な品質効果、持続的な発展能力などの製造強国の 主要な特徴を反映するとともに、海外の評価指標を 参考にして、国際との比較性のある指標体系を形成 している。

第二に、新型工業の根本的な要求を反映する必要 がある。指標は、イノベーション駆動、資源節約、 環境友好、品質効果、二化深度融合の根本的な要求 を十分に反映している。

第三に、指標データは入手可能で比較可能でなけ ればならない。指標は、製造業の増価、労働生産性、 R&D の投入、特許、エネルギー消費などのデータ の入手可能性と定量化性を考慮しており、過去の データとの対比や海外の発展状況との比較を可能と

第四に、システムと全体の状況を把握する必要が ある。指標は、システムの評価と製造強国のニーズ を満足させるとともに、製造業の現在の発展状況、 国際競争力、発展潜在力などの各方面の総合実力を 反映し、システムと全体の状況を反映している。

上記の要因を総合的に考慮し、「中国製造2025」 はイノベーション能力、品質効果、情報化、グリー ン発展の4分野の計12項目の指標を採用した。

(二) 個別の指標

1. イノベーション力

自主的創造イノベーション能力を強化すること は工業大国から工業強国に転換する核心を実現する ことであり、中国の価値チェーンのローエンドから ハイエンドへの躍進を実現し、成長動力のイノベー ション駆動への転換を加速させる重要な措置であ る。「中国製造2025」は2020年までに、いくつかの 重点分野の核心技術を把握し、優位分野の競争力を さらに強化し、2025年までにイノベーション能力が 著しく増強され、全世界の産業分業と価値チェーン における地位が明らかに向上した。二つの目標を定 めている。

第一に、一定規模以上の製造業において、研究開 発経費が業務収入に占める割合である。国際との比 較可能性を持つため、OECD の統計データを使用 する。具体的な目標値としては、2020年と2025年に、 それぞれ1.26% と1.68% とする。

第二に、一定規模以上の製造業において、1億元

の業務収入に対する発明特許数である。統計によると、2006-2013年、中国の規模以上の製造業は1億元の主要業務収入に対して有効な発明特許数が0.16件から0.36件に増加している。この過去の伸びと、今後の中国の経済成長の予測から、2020年と2025年の指標はそれぞれ0.70件と1.10件とする。

2. 品質効果

工業発展の品質効果指標は主に製造業の品質競争力指数、製造業の増加率と全従業員の労働生産性の増加率の3つの指標を含む。

一つ目は製造業の品質競争力指数である。この指標は国内の独創的なもので、中国の製造業の品質全体の水準を反映した経済技術総合指標で、品質水準と発展能力の両面で6次元12項目の具体的な指標から算出される。今後10年、国際市場の需要不足の局面が根本的に改善することが難しいと予想され、伝統的な低産業の競争力が弱まることは避けられない。品質競争力は引き続き中・低成長速度を維持し、そのために年平均0.19点(2010-2013年平均成長0.19点)を計算し、2020年と2025年はそれぞれ84.5点と85.5点を指標としている。

二つ目は、製造業の増加率である。世界金融と経済危機の影響を受けて、中国の製造業の増価率は2008-2011年の下落が比較的大きかった。2012年の状況から見ると、先進国は35%以上で、アメリカ、ドイツ、日本は45%を超えた。中国はその半分ぐらいである。今後10年間、中国の製造業の構造調整と産業レベルアップのペースが加速し、重工業と加工貿易の比重が低下し、製造業は徐々に価値チェーンのハイエンドに上昇し、「第13次5カ年」期間の製造業の増価率は谷底の状況を抜け出すと想定される。このため製造業の増加率として、2020年は2015年より2ポイント上昇し、2025年までに金融危機前の水準に戻り、2015年より4ポイント上昇するとし

ている。

第三に、製造業の全員の労働生産性である。中国の製造業の労働生産性は先進国と大きな差があるが、成長率は0.5%から2%の米、日、ドイツなどよりずっと高い。今後10年間、中国の経済が新常態に入るにつれて、製造業の増加速度は徐々に遅くなる。他方、製造業の就業人口規模は比較的安定し、構造の最適化が顕著になる。この両方の状況を勘案して、「第13次5か年」と「第14次5か年」の間、製造業の全従業員の労働生産性の年平均伸び率はそれぞれ7.5%と6.5%としている。

3. 情報化

今後10年間、製造業の情報化レベルが大幅に向上 し、製造業のデジタルネットワーク化のスマート化 が顕著に進展し、ブロードバンドの基礎施設がより 完備され、デジタル化研究開発設計ツール、肝心な 工程の製造装備デジタル化が企業に広く適用され る。

この分野の指標として、まずブロードバンドユー ザー数を取り上げている。「第13次5か年 期間中、 国務院が公布した「ブロードバンド中国」戦略の発 展目標に基づき、2020年に中国の固定ブロードバン ド接続ユーザーは4億戸に達し、その中に家庭ブ ロードバンド加入者は約3.3億戸で、固定ブロード バンド家庭普及率は70%を超える。「第14次5か年」 期間中、中国の固定ブロードバンドの発展は緩やか な飽和段階に入り、ブロードバンドユーザーの年間 純増加規模は1100万人と見込まれている。そこで、 指標として2025年に中国の固定ブロードバンド接続 ユーザーは4.8億戸とし、その中でのホームブロー ドバンドユーザーは3.9億戸とし、固定ブロードバ ンド世帯普及率は82%としている。これにより、 中国は先進国の現在の平均発展水準に達する見込み である。

表4-1. 主要国のブロードバンド普及率

	2010	2011	2012	2013	2014
アメリカ	26.50%	27.45%	28.44%	29.25%	-
イギリス	30.83%	32.95%	34.51%	35.76%	-
フランス	33.74%	35.78%	37.51%	38.79%	-
ドイツ	31.43%	32.80%	33.70%	34.56%	-
日本	26.77%	28.03%	28.39%	28.90%	-
韓国	35.48%	36.65%	37.25%	38.04%	-
インド	0.91%	1.06%	1.17%	1.16%	-
 ブラジル	6.80%	8.56%	9.15%	10.08%	-
OECD 諸国平均	23.5%	24.6%	25.7%	26.6%	27.5%
—————————————————————————————————————	4.2%	4.9%	5.4%	5.8%	6.1%
世界平均	7.6%	8.4%	9.0%	9.4%	9.8%
中国	9.4%	11.6%	12.9%	13.9%	14.7%

出典:ITU が発表した統計データによると、2014年のデータはITU が公表した予測数。

二つ目の指標は、デジタル化研究開発設計ツールの普及率である。2011-2012年のデジタル化研究開発設計ツールの普及率は年間平均3.1ポイント増加している。2015年では58.2%に達しており、現在は60%を超えていると想定される。60%を超えると

増加率が減速するという普遍的な法則を念頭に将来を予測して、「第13次5か年」期間中デジタル化研究開発設計ツールの普及率は年平均2.7ポイント増加し2020年に72%、「第14次5か年」期間中は年平均2.4ポイント増加し2025年に84%としている。

表4-2. デジタル化研究開発設計ツールの普及率とその増加状況

指標	2011	2012	2013	2014	2015	2020予定	2025予定
デジタル化研究開発 設計ツールの普及率	45.9%	48.8%	51.9%	55.1%	58.2%	72%	84%
前年同期に比べて 増加 (%)		2.9	3.1	3.2	3.1	2.7 五年平均	2.4 五年平均

三つ目の指標は、重要な工程の数値制御化率である。2011-2012年の主要工程の数値制御化率の増加傾向を参考にして、「第13次5か年」期間の指標は年平均3.3%増加すると予想した。さらに、「第14次

5か年」期間中は、増加率が低下し年平均2.8ポイント増となると予想した。この予想の下で、2020年は50%、2025年には64%を指標としている。

表4-3. 主な工程の数値制御化率とその増加状況

指標	2011	2012	2013	2014	2015	2020予定	2025予定
主な工程の 数値制御化率	22.3%	24.6%	27.0%	30.1%	33.3%	50%	64%
前年同期に比べて 増加 (%)		2.3	2.4	3.1	3.2	3.3 五年平均	2.8 五年平均

4. グリーン発展

中国では、持続可能な発展を実現する重点は工業にあり、難点も工業にある。現在、中国の工業のエネルギー消費は、全社会のエネルギー消費の70%以上を占めており、工業の排出汚染は中国の汚染の主要な源である。「中国製造2025」では、2025年までに重点工業分野においてエネルギー消費、物質消費及び汚染物質排出が世界先進水準に達するよう求めている。「中国製造2025」で、4つの指標を定めている。即ち、一定規模以上の工業のエネルギー消費量を2020年と2025年にそれぞれ「第12次5か年」の末より18%と34%減少させること、二酸化炭素排出量はそれぞれ22%と40%減少させること、増水量をそれぞれ23%と41%減少させること、工業用廃棄物の再利用率を「第12次5か年」の末の65%からそれぞれ73%と79%に上げることである。

第5節 計画を実現するための措置

「中国製造2025」は計画期間が長く、かつ世界の製造業の構造が重大な調整に直面しており、中国経済も急速な発展後の転換期にあり、不確実性がさらに拡大していることにかんがみ、「中国製造2025」の目標の実現を促進するため、政策支援を強化し、モニタリング・評価・調整を強化している。具体的には次のとおりである。

第一は、組織・実施メカニズムの整備である。国家製造強国建設指導グループを設立して、「中国製造2025」の各戦略任務を統括的に推進する。製造強国建設戦略諮問委員会を設立し、計画実施のために持続的かつ高レベルの意思決定コンサルティングを提供する

第二は、政策支援システムの整備である。計画は、体質メカニズムの改革を深化させ、公正競争市場環境を構築し、金融支援政策を充実させ、財政・租税の支持力を強め、多段階人材育成システムを健全化し、製造業の対外開放などの保障措置を拡大し、部門分業を制定することによって、責任を強化し、検査を促すことにより、計画の各政策・措置を着実に実施する。

第三は、モニタリングと評価の強化である。「中国製造2025」の第三者評価メカニズムを確立し、社会のシンクタンク、企業のシンクタンクなどの第三者機関を利用して、定期的に「中国製造2025」の実施進捗を発表し、市民の広範な参加と監督を促進し、計画目標が順調に実現されるようにする。

第6節 国際的な連携と評価

(一) ドイツのインダストリー4.0との連携

2015年12月、国務院は「中徳(瀋陽)ハイエンド 装備製造産業園建設方案」を発表し、中国製造2025 とドイツインダストリー4.0の戦略的協力を進める こととした。瀋陽の中徳産業パークは、中徳ハイエ ンド装備製造産業協力をテーマとした中国最初の戦 略プラットフォームとなっている。

知能製造は中徳ハイエンド装備製造産業園建設のハイライトである。知能シミュレーションとセンシングによって、企業はより指向的に個性的な生産に従事させる。知能製造は工業化と自動化だけのものではなく、お客様に高付加価値のサービスを提供する。

ドイツの製造企業の首席専門家 Golan Kwok 氏によると、中徳企業はインダストリー4.0の到来を利用して、製造業の知能製造への転換を推進している。瀋陽工作機械集団ヨーロッパクラスタ総裁の張天君氏は、伝統的な製造はインターネットを利用して新しい工業革命を実現することが、インテリジェントアップグレードの重要な段階であると考えている。

中徳ハイエンド装備製造産業園は東北装備製造業密集区瀋陽鉄西区に位置し、ここの規模以上の企業は482社で、多国籍企業は100社を超え、世界500強企業は50社を超えている。ドイツは瀋陽で投資したBMW、バスフなど22の企業がここに集中的に立地している。BMWはここに、世界最先端の完成車工場、エンジン工場及び本土以外の唯一の研究開発センターを設置した。中国製造2025の代表的な企業である瀋陽工作機械なども、ここに立地している。国家戦略としては、中徳ハイエンド装備製造産業園は中徳両国の製造業の深度協力を受け、情報化と工業化の深度融合を実現し、新型工業化道路模範区を歩く使命を担い、世界レベルの装備製造業集積区とすることを目指している。

全体の計画面積は48平方キロメートル、コアエリアは20平方キロメートルであり、ドイツ企業が集まる産業回廊が形成される。現在まで、園区はすでに中国とドイツの間で13回の紹介活動を行っており、国内外からの団体訪問を受け付けており、ドイツ国際協力機構、ドイツ商会、ドイツ中小企業連合会、徳勤公司などの商会協会及び仲介機構と提携関係を結んだ。現在、園区はすでに各種類のプロジェクト35個を建設し、プロジェクト74個を重点的に推進している。そのうち知能製造プロジェクトは10件、先進機械製造項目は14件、自動車製造項目は30件、工業サービス項目は14件である。

(二) 国際的な評価

中国の経済転換とアップグレードの重要な推進 力として、「中国製造2025」はますます世界から注 目されている。アメリカの「フォーブス」誌のウェ ブサイトは、中国は製造業のイノベーションを強化 し、産業のアップグレードや世代交代を実現するこ とを目指していると報じた。これは中国の製造業に とって国際競争力を維持する上で重要である。

2017年6月、国連貿易と発展会議のグローバル化 と発展戦略部主任と経済事務官が共同で「中国の工 業戦略に学ぶ」という文章を発表した。すなわち、 中国は「中国製造2025」の戦略により、先進的な製 造業、生産性サービス業、サービス型製造業とグリー ン技術を重点的に構築し、完全な工業化を目指して おり、「早すぎる工業化」を避けるものであるとし ている。

第二編

中国科学技術主要分野の 現状と動向

第1章

宇宙開発技術

2018年の中国宇宙開発は多くの成果を残した。今年、中国宇宙開発における打ち上げ回数は、私企業による打ち上げも含めれば、初めて(打ち上げ回数)世界単独一位を記録した。中国におけるスペースインフラ建設の面では、地上に対するリモートセンシング衛星がますます成熟する形で応用へと向かっている。スペース科学の面では「張衡一号」が打ち上げに成功したが、中国は国際協力の面で諸外国との提携を強化し、より多くの協力プロジェクトを実現させた。宇宙開発ビジネスの面では、宇宙開発私企業がすでに軌道打ち上げサービス分野に進出し始めている。2018年、有人宇宙開発の面では、ドッキング技術を用いた「天宮一号」が締めくくった。

2018年から2019年にかけ、年度を跨いで人々の注 目を集めたのは嫦娥四号の任務である。月の裏側へ 人類初の軟着陸を試み、月面探査分野において最も 大きな注目を集めた。それ以外の面では、北斗シス テムもより多くの衛星をさらに補充してグローバル 測位衛星システムを構築し、その時間と測位の精度 にも更なる向上と改善が見られた。将来中国は、宇 宙開発規模を維持するだけでなく、中国全体の宇宙 開発活動における技術レベルをより引き上げていか なければならず、そこには有人宇宙開発、深宇宙探 査が含まれる。また通信、リモートセンシング、ナ ビゲーション等、国民生活へサービスを提供する技 術分野が含まれるほか、未来における宇宙科学、宇 宙探査などでもより多くの成果を上げていくべきで あり、有人宇宙開発の面でも宇宙ステーション建設 の更なる展開が期待される。

第1節 人工衛星の打ち上げ

2018年、中国は39度にわたる打ち上げ任務を完了したが、これは昨年の18度に比べほぼ二倍となった。中国航天科技集団公司(中国宇宙開発科技グループ)が今年打ち上げた長征シリーズのロケット数の累計は37度となっており、そこには長征二号丙の6度、長征二号丁の8度、長征三号甲の14度、長征四号の6度、長征十一号の3度が含まれている。中国航天科工集団公司は今年九月に、快舟一号甲の固体搭載ロケット打ち上げを完了させており、民間宇宙開発企業である北京藍箭空間科技公司もロケット打ち上げを一度行なっている。ただし当該公司の「朱雀一号」ロケットは衛星を予定軌道まで届けること

が出来ず、打ち上げは失敗に終わっている。2018年 全体における中国の宇宙ロケット打ち上げ任務の失 敗は、この一度限りとなっている。

(一) 測位衛星

2000年10月31日と12月21日、中国は一番目と二番 目の測位試験衛星の打ち上げに相次いで成功した。 これは同時に、中国が第一世代衛星ナビ測位システ ム「北斗ナビシステム」を独自に構築しようとして いることを意味する。2018年11月19日、中国は42番 目、43番目の北斗ナビ衛星の打ち上げに成功した が、これは同時に北斗システムにおける18番目と19 番目のグローバルネット衛星でもあり、中国が北斗 三号における基本システム衛星配置を成功裏に完成 させたことを意味する。システムのサービスは、す でに地域から全世界へと広がったのである。2018 年、中国は一年で10度のロケットおよび18衛星の打 ち上げという成果を上げ、任務を完了させた。現在 のところ、北斗ナビシステムはアメリカのグローバ ル衛星測位システム (GPS)、ヨーロッパのガリレ オ・システム、ロシアのグロナス・システムと並 び、世界四大ナビ衛星システムと定められている。

2018年5月18日、中国衛星ナビ測位協会が主編した『2018中国衛星ナビ・位置サービス産業発展白書(以下「白書」と略す)』が北京にて発表された。白書は、現在までの中国衛星ナビ・位置サービス産業がすでに2,550億元の売上高に達していることを示しており、これは同期比20.4%増となる。そのうち、中国衛星ナビ・位置サービス産業の売上高における北斗の貢献率はすでに80%にまで達している。

中国北斗衛星ナビシステムの構築完了化および応用開発に伴い、関連上場企業も十分に発展し、産業チェーンも日増しに完成し、産業規模も引き続き拡大し、産業融合は明確になっている。2018年1月までに、衛星ナビおよび北斗応用関連上場企業の総数は58社に上り、衛星ナビ・位置サービス分野における企業・事業社数は1.4万社前後を保っており、関連従業員数は50万人を超えている。中国国内における衛星ナビ設備売上総規模はグローバル市場に匹敵するものであり、そのシェアは年ごとに高まっている。都市インフラおよび公共事業分野においてはデジタル管理の需要が高まる一方であり、これらは北斗の正確な応用における重要な市場となり、関連

業界分野の市場総規模は1.500億元を超えるものと なった。

北斗衛星ナビシステムは、中国国家戦略における 重要な実践分野であり、新時代において重点的に発 展を推進するハイテク新興産業なのである。北斗衛 星ナビシステムの構築は、地域から全世界へと踏み 出し、その応用も不断な深化・発展を遂げている。 北斗の電波は全世界におけるほぼ全ての衛星ナビ チップの型と一致しているため、北斗の応用範囲と 規模は大きく広がっている。「北斗+」はより多く の応用新モデル、例えば携帯型設備、小売新形態、 無人運転、総合安全予防、スマートシティ建設等の 応用分野を生み出しており、その市場には巨大な潜 在能力がある。それ以外に、中国国内のチップ研究 開発企業は、独自の北斗チップ開放プラットフォー ムを打ち出す予定で、チップの鍵となる核心的技術 の壁を突破し、国産化北斗チップの応用・普及およ び産業化規模の拡大を促進することとなる。

簡単に北斗の概要を述べると、北斗は中国が現在 独自に建設中の衛星ナビシステムのことであり、そ の基本機能は天候に左右されず終日にわたって高精 度の測位・ナビ・タイムサービスを、地上もしくは 地上付近にいるユーザーへと提供することである。 2018年、北斗衛星ナビ測位システムはすでにグロー バルネットモデルを開通させ、応用も加速化され、 産業チェーンは新たな発展の契機を迎えており、こ れは業界市場・大衆市場・特殊市場およびスマート シティ等新興分野の発展に効果的な影響を与えてい る。衛星ナビ・位置サービス産業の核心生産高にお ける北斗の貢献率はすでに80%に達している。2017 年、中国衛星ナビ・位置サービス産業の総生産はす でに2550億元にまで達したが、これは2016年に比べ 20.4%の増加となっている。そのうち衛星ナビ技術 に直接関連するチップ、器材、計算方法、ソフト、 ナビデータ、端末設備等を含む産業核心生産高が占 める比率は35.4%、902億元に達しており、北斗の 産業核心生産高に占める貢献率は80%となっている のである。

中国北斗産業技術イノベーション西虹橋基地 は、2013年12月に正式な起動となり、目下基地には 100社以上の企業が集まっている。2016年9月、基 地を主体として発起され、基地に落ち着くことと なった「上海北斗導航創新研究院(上海北斗ナビ・ イノベーション研究院) がスタートした。研究院 は「シンクタンク構築、前衛性技術配置、共通性核 心技術研究、ハイレベル人材養成、電波・実験環境 および総合応用試験区 | 等の方向を巡り、上海北斗 における機能性公共サービスプラットフォームを打

ち出した。楊浦区には「北斗高精度位置サービス」 を特色とした湾谷科技園、嘉定区には「高精度を備 えた北斗核心製品およびスマート操縦」を特色とし た司南北斗産業園、閔行区には「国家北斗ナビ応用 上海産業基地」、現在建設中の「ナビ衛星研究開発・ 製造」基地と「衛星ナビ検査・測定技術と検査設備」 研究開発・生産基地と、絶え間ない推進・発展を遂 げている。

上海交通大学「北斗ナビ・位置サービス重点実験 室」では、遠距離高精度光ファイバー周波伝達、低 コスト高精度慣性視覚融合定位、複数プラット フォームによる高効率視覚定位製図、実在風景の高 精度ナビ・シミュレーション実験の鍵となる技術に おいて研究を展開し、前向きな成果を上げている。 構築中の「通導一体融合位置サービス開発実験プ ラットフォーム」は、ネットワーク融合および多元 的融合定位技術における室内外一体化の時空シーム レス融合といった位置サービスを提供し、検証プ ラットフォームを開発する。

上海司南衛星導航技術股份有限公司(以下、司南 導航と略す)は、中国初の北斗高精度多周波多モデ ル GNSS マザーボードの研究・開発に成功し、か つ大量の応用を実現させた。当該公司は、高精度 SoC チップならびに一般モデルの研究・開発および 大量生産を更に実現させるため、力を尽くしてい る。2017年10月、司南導航は、全国初のスマート運 転分野 GNSS 高精度量産乗用車部品におけるサブ ライヤーに合格し、市場参入の資格を得た。上海復 控華龍微系統技術有限公司が開発した北斗多モデル 多周波基盤チップは、全国専用チップ市場における シェア一位を引き続き維持している。

上海迦美信芯通訊技術有限公司が設計・生産し た GNSS 無線周波チップはすでに大量生産・供給 されている。当該公司が研究・開発した高精度ブ ロードバンド GNSS 無線周波チップは、すでにシ ステム認証を通過して間もなく量産体制に入ろうと しており、当該公司のこの領域における特許の数は トップクラスである。辰芯科技有限公司は、現在中 国で唯一、たった一枚のチップで北斗ナビ、衛星移 動通信、無線移動通信を実現・並列処理できる集積 回路設計企業である。目下のところ、すでに数十社 の企業が辰芯科技有限公司によるソフト無線電通導 一体化チップ・プラットフォームを利用した応用開 発を行なっており、これは将来極めて可視的な市場 規模になると予測されている。

これ以外に、中国は軍民融合を大きく推進してお り、軍技民用の理念は声高に提唱され、軍事技術と 民間技術との相互浸透、北斗ナビもまた関連する衛 星ナビシステムとの融合が実施され、その他の国・ 地域とも連絡を展開し、北斗システムを利用しての 人類に対するより良いサービスが行なわれている。 民用衛星ナビ応用の面では、主に業界応用と大衆応 用といった内容に体現されている。主要な自動車消 費国である現在の中国において、カーナビ製品には 極めて巨大な応用空間が残されており、車載測位や 道路計画等といった内容はすでに自動車における基 本配備となっており、中国の多くのトラックがすで に北斗ナビ測位システムを装備している。スマート フォンの測位もまた衛星ナビなしには語れない。ス マートフォンの大規模普及に伴い、北斗ナビによる 自転車シェア、老人・子供安全カード等の北斗製品 は、今後ますます重要な役割を発揮すると見込まれ ている。また業界の内容における応用では、電力・ 水利ネットシステムの構築、データサービスセン ターの成立において、相応する技術面での支持が欠 かせない。GPS の内容と比較すると、北斗のチッ プコストは比較的高く、消耗と体積が比較的大きい ため、その価格や技術内容で優勢を占めているわけ ではない。

中国が民用衛星ナビを発展させる過程において は、突破しなければならない課題が存在している。 (A) 全体のユーザー数が比較的少ないこと。民用 市場において、北斗ナビが短期間のうちに民間向け ナビ売上高を有効に上げていくことは難しい。業界 内部提供の関連データによれば、ネット上の北斗ナ ビ製品の種類は百種以上に上っているものの、その 売上は引き続きボトルネック状態に置かれており、 着実かつ有効な上昇傾向が見られないことが表れて いる。GPSユーザー数と比較すると、北斗ナビ製 品との間には大きな差、すなわちユーザー基本数の 差が存在しており、GPSユーザー数を増やし続け ることで産業化の目的を果たさざるを得なくなって いる。目下のところ、国も北斗ナビ製品に対する関 連補助政策を打ち出し、一部の製品の業績には若干 の改善が見られるものの、真の普及を目指すには引 き続き比較的長い期間が必要なのである。(B) メ カニズムにおける競争力の欠如。北斗ナビ製品では 相応の競争力が欠けており、鍵となる技術の面でそ の発言権が欠如しており、これもまたその発展に一 定の限界があるという側面を引き起こしているので ある。(C)核心的技術に向上の余地あり。北斗ナ ビ製品の核心的構成であるチップの価格は、現在主 流の GPS に比べて若干高く、かつナビチップ核心 部の製作技術に関しては、ほとんどが外国の会社に 独占されており、これにより中国衛星ナビ産業の発 展は制約されているのである。この問題を具体的に

分析してみると、一方で前期の研究開発コストが高 すぎること、もう一方で関連産業チェーンが健全化 されていないことが分かる。この二つの内容におけ る制約が、北斗チップ市場規模と GPS との間に何 十倍もの差を引き起こしているのである。

(二)気象衛星

現在、中国の風雲気象衛星はすでに同類の衛星で 先端レベルにまで達しており、世界気象機構によっ て国際気象業務衛星の列に加えられ、グローバル総 合気象観測システムにおける重要なメンバーとなっ ている。同時に宇宙・重大災害国際憲章機構におけ る当番衛星でもあり、現在世界80ヶ国以上の国と地 域、中国2.500以上のユーザーに衛星資料および製 品を提供している。習近平総書記は2018年の時点 で、中国が風雲気象衛星を利用して「一帯一路」沿 線国やアフリカ等に気象サービスを喜んで提供する 旨を何度も提唱している。

風雲衛星は静止・極軌道系列が共にレベルアッ プ・代替わりに成功しており、その基礎の下、極軌 道衛星は「午前・午後星業務グループ観測ネット ワーク」を実現させ、静止気象衛星は「多星観測、 軌道内バックアップ、適宜暗号化」といった業務配 置を実現させ、観測範囲および探査能力において、 先代衛星に比べて比較的大きな飛躍を遂げたのであ る。現在のところ、全部で8つの風雲衛星が軌道を 運行している。そのうち5つが静止軌道気象衛星で あり、それぞれ東経79°(FY-2H)、東経86.5°(FY-2E)、東経99.5°(FY-2G)、東経104.7°(FY-4A)、 東経112°(FY-2F)に定点を置いている。極軌道気 象衛星は3つあり、それぞれFY-3B(午後星)、 FY-3C (午前星)、FY-3D (午後星) となっている。

風雲三号 D 星(FY-3D)は、中国の第二世代極 軌道気象衛星における四番目の衛星である。2017年 11月15日に打ち上げ成功し、目下のところ、中国で スペクトル解像度が最も高い極軌道対地上観測衛星 であり、極軌道気象衛星における多スペクトル探査 から高スペクトル探査への進化を実現させた。2018 年11月30日、風雲二号 H 星および風雲三号 D 星は 正式な引き渡しを行う。風雲二号 H 星は2018年6 月5日に打ち上げに成功した中国初代静止軌道気象 衛星における最後の作品である。定点は東経79°の 位置に置かれ、E星との間で業務引き継ぎを実現し た上で西に向けた配置となっており、風雲衛星の軌 道配置において、中国天気システムの上流地区およ び「一帯一路」沿線の国家・地区をより良く網羅で きるようになっている。この二つの衛星の引き渡し は、中国気象衛星における総合観測能力および応用

サービス能力をより一層高めることとなる。

風雲三号 D 星には10台の先端リモートセンサー が搭載されており、マイクロ波温度計、マイクロ波 湿度計、マイクロ波イメージャ、空間環境モニタリ ング機器セット、グローバルナビ衛星掩蔽探測器等 5台の継承性機器以外に、赤外高スペクトル大気探 測器、近赤外高スペクトル温室気体モニタリング 器、広角オーロライメージャ、電離圏光度計はすべ て新たに研究開発され、初めて衛星に搭載されたも のである。核心機器のうち、解像度スペクトルイメー ジャには大幅なレベルアップ・改造が加えられ、性 能は明らかに向上した。250m解像度通路は6つに 増え、そこには二つの250m赤外分裂窓通路が含ま れており、生態環境モニタリングサービスにおいて 重要な役割を発揮することが可能となった。赤外高 スペクトル大気垂直探測器は、世界最先端のフーリ エ干渉探測技術を用いており、大気の温度と湿度の プロファイル反転精度を2倍以上に引き上げること が可能となり、中国天気予報における中長期的数値 を支える力を大幅に上昇させた。広角オーロライ メージャは FY-3D に新たな技能——両極のオーロ ラ強度と範囲に対してモニタリングを行う技能をも たらした。オーロラは電場、磁場と密接に関わって おり、オーロラ活動を観測することにより、高度大 気における高エネルギー粒子、電場、磁場の変化情 況を理解することができる。電離圏光度計は、すな わち電離圏電場状態のモニタリングに重きを置いて おり、高度大気における電子濃度の垂直分布を反転 させ、酸素原子と窒素分子の極端紫外線段階にある 大気光の輻射強度を計測することができる。

「一帯一路」沿線国の気象資料は不足しており、 自然災害も深刻である。世界気象機構およびアジア 太平洋空間協力機構は、中国が新たに打ち上げる風 雲二号 H 星(FY-2H)の定点位置を西側に向けて 配置し、より広範な加盟国が恩恵を受けられるよう 希望した。2018年4月23日、中国気象局、国防科工 局、アジア太平洋空間協力機構は、風雲気象衛星応 用協力意向書に署名し、FY-2H の定点位置を本来 の東経86.5°から東経79°へと移動させ、中国静止軌 道気象衛星観測範囲を東経4°付近まで西へ拡大さ せることを確定した。モニタリング範囲には、アジ ア50ヶ国、アフリカ41ヶ国、ヨーロッパ39ヶ国、オ セアニア9ヶ国、「一帯一路」沿線64ヶ国が含まれ ている。衛星 FY-2H は打ち上げに成功し、7月28 日には東経79°の赤道上空へと順調に到達し、7月 30日から当該地区の画像伝送を開始した。画像の質 は以前の風雲二号気象衛星に比べて大幅な向上が見 られた。軌道内試験完了後、FY-2H は正式に業務 遂行へと投入され、最も早い時には30分に一度というフルディスク観測を実現させ、一日28回にわたる「一帯一路」地区観測の実現に成功し、「一帯一路」地区に焦点を当てた洗練されたサービス製品となったのである。また、その他の風雲二号気象衛星の運行モードも次第に成熟してきており、FY-2EとFY-2G は双星観測モードを運行している。すなわち、FY-2Gが一時間毎にすべての観測点においてフルディスク観測データを集め、FY-2Eが30分ずれる形で同様に一時間毎のフルディスク観測データを収集している。FY-2Fの運行は必要な地域に対するスキャンモードであり、ユーザーの需要に応じ、指定された区域に対し最速6秒間隔で実施している。

2018年6月5日、風雲二号気象衛星最後の衛星業務がスタートした。40年にわたる発展を経て、風雲気象衛星は二世代四タイプ、高低軌道二系列、全部で17個の衛星の研究製造および打ち上げに成功した。また合計8個の衛星が軌道を安定運行しており、100種類近い業務化定量製品を形成し、海洋、農業、林業、水利、環境、交通、航空、宇宙開発等多くの分野において広範な応用が行なわれている。12月9日、風雲系列気象衛星は中国工業大賞を受賞した。

(三) 地球観測衛星

2018年、中国の地球観測リモートセンシング衛星 は、打ち上げのピークを迎え、次から次へと宇宙に 向かって打ち上げらた。ここ数年、リモートセンシ ング衛星の観測技術は、気象、海洋、地図作成、環 境モニタリング等の分野に広く応用され、気候変化 と自然災害を予報・評価する際の便利な道具となっ た。中国のリモートセンシング技術は、生態文明、 「一帯一路」建設、軍民融合発展、科学的防災・減 災等の分野で幅広く応用され、国家発展のために戦 略的な支えを提供している。現在のところ、中国衛 星リモートセンシングデータは各部門に分散してお り、目下情報における相互交流の壁を取り払う努力 をしているところである。多星多源多種のリモート センシングデータの融合・共有を実現させて「最強 の頭脳 | を構築し、リモートセンシング技術が更に 深く応用できるようにし、衛星「天眼」に更なる能 力を持たせ、「天眼」により大きな役割を発揮させ る。リモートセンシングデータの融合は発展の流れ である。

2018年、中国は絶えまぬイノベーションと技術的 突破を通じ、リモートセンシングデータ源が極めて 豊富となり、衛星画像処理等の技術でも飛躍を見

た。中国光学リモートセンシング衛星は、すでに国 内外の地図作成、土地調査、変化モニタリング、国 家災害緊急・国防安全等の大きな需要を完全に満た せるようになり、衛星画像の国産化率もすでに十数 年前の10%から、現在の70%以上にまで引き上げら れている。1月には高景一号03・04星、吉林一号 07・08星が、3月には高分一号02・03・04星が、4 月には珠海一号02組の合計5衛星が、5月から7月 にかけては高分05・06・11号がそれぞれ打ち上げら れている。それ以外に、リモートセンシング衛星の 種類も拡大し続けている。中国は気象、海洋、高分、 資源、環境等のリモートセンシング観測衛星系列を すでに形成しており、商業リモートセンシング衛星 系列もまた発展が極めて早い。中国国内市場におけ る外国衛星データ価格は大幅に下落し、解像度が2 m以下の衛星データは基本的に市場から撤退した。 核心となる元の器材が外国による制約を受けていた ため、中国リモートセンシング衛星測位精度は、か つて長期にわたり300m前後に留まっていた。この 20年にわたる発展を経て、現在画像の空間解像度は すでに1mから0.5mにまで達している。しかし、 地上制御なしの状況では、高精度化の課題を解決し ておらず、300mまでしか出来ない。地上制御があ る状態の精度も、今のところ外国と差がある。

(四) 量子衛星——子号

量子測位システム(QPS)は、量子力学理論と量 子情報論の基礎の下、ここ数年で発展してきた新世 代ナビ測位技術である。当該システムにおいては、 情報の産出、測量、伝達にはすべて量子が参与して おり、そこに量子もつれ、量子圧縮等の現象が備わっ ているため、情報伝達の機密性、安全性、測量精度 等の面で独自の優勢を誇り、多くの面で伝統的ナビ システムに存在していた問題を解決することができ るのである。量子ナビは提起されると欧米各国から 重視されるようになる。測位方式の違いにより、衛 星有源ナビシステムと慣性無源ナビシステムという 基礎の下、それぞれ量子有源および無源測位システ ムが発展していった。目下、研究員たちはこの二つ の方向において一定の研究成果を収めている。量子 理論と技術の更なる成熟に伴い、量子ナビは光量子 通信と測位タイム領域において、ますます重要な役 割を果たしていくこととなる。

2011年、量子衛星プロジェクトが正式にスタート し、五年の研究・製造を経て、2016年に打ち上げ・ 引き渡しとなった。「墨子号」は、量子もつれ、衛 星と地上での量子パスワードキー分発、衛星と地上 での量子ステルス伝態という三大科学任務を順調に

完了させた。2017年6月、「墨子号」衛星は、もつ れ光量子をそれぞれ徳令哈と麗江に発した。この二 つの地上ステーションの間は1200kmあり、その後地 上ステーションにてベル測定が実施され、そのもつ れ効果とベル不等式が検証された。これは一つ目の 大科学任務である「量子もつれ分発」の完成を意味 している。関連結果については『Science』誌に表 紙を飾る形で発表され、世界の科学界を驚かせた。 2017年8月、研究チームは世界で初めて、量子パス ワードキー分発および量子ステルス伝態の実現に成 功した。高速量子パスワードキーの分発――衛星が 量子信号を発射し、地上でそれを受け取ることは、 すなわち「下向きリンク」である。地星量子ステル ス伝態――地面からもつれ光量子を発射し、衛星が 宇宙でそれを受け取ることは、すなわち「上向きリ ンク」である。この二つの任務は実際の応用におい て相互に補完し合うものであり、共に量子通信を構 成する二つの側面でもある。

中国が現在研究政策中のマイクロナノ衛星は、量 子衛星以外に普通の人が携帯電話で衛星を制御でき るというソフト定義星を含んでいる。2018年9月30 日、centispace グローバルナビ増強システムが打ち 上げられたが、これは低コストかつ高性能のマイク ロナノプラットフォームであり、高精度軌道制定、 衛生間通信、ハイパワーでのエネルギー獲得、ダブ ル耐衝撃推進モジュール等を実現させ、かつ今後 120個の低軌道グローバルナビ星基を構築して衛 星、例えば重力波を探る GECAM 衛星等を増強し ていく。

グローバル機密通信実現のため、中国の科研チー ムはマイクロナノ量子衛星の構築を計画している。 ネットを構成するすべてのマイクロナノ量子衛星の 重量はわずか130kgしかなく、重さ630kgの「墨子号」 と比べ、衛星一つあたりのコスト制御は容易であ り、コストを大幅に抑えることに成功した。それ以 外に、「墨子号」ではパスワードキー分発実験の複 数回実施もしくは年間を通した集中分発が実現でき なかったが、マイクロナノ量子衛星は、毎年5000回 におよぶパスワードキー分発が可能となり、しかも 直接コードとして発射できる。マイクロナノ量子衛 星の目標は、量子パスワードキー通信の応用場面を 広げていき、グローバル化された量子機密通信を実 現させ、情報が一体化された量子通信ネットワーク を構築することにある。

第2節 ロケット――長征系ロケットの開発

2018年11月に行われた第12回珠海航空展覧会に おいて、中国航天科技集団有限公司が新世代積載ロ ケットファミリー(「長征」五号、「長征」五号 B、「長征」六号、「長征」六号、「長征」六号、「長征」七号、「長征」七号、「長征」七号 A、「長征」八号、「長征」九号、「長征」十一号、模型 1:10)を展示した。これは中国新世代積載ロケットファミリーを初めて公衆の面前に展示したものであった。

「長征」五号 B 積載ロケットは、宇宙ステーションキャビンへの打ち上げ任務を目標として設計された大型低軌道液体積載ロケットであり、当該タイプのロケットは「長征」五号積載ロケットを基礎として改造・研究がなされた。「一般化、組み合わせ化、系列化」の要求に基づき、技術共用と製品化設計の原則を遵守し、「長征」五号積載ロケット研究製造の基礎と経験を十分に引き継ぎ、頼りになる設計へと更なる向上を図った。ロケットは、液体ブースターを四つ束ね、直径は5 m、全長約54m、離陸時の質量は約850トン、離陸時の推力は約1078トン、低軌道積載能力は22トンより大きい。

「長征」七号Aロケットは、「長征」三号A系 列ロケットの三つのステージと組み合わせて形成さ れた新世代中型高軌道三ステージ液体括り式積載ロ ケットである。ロケットの全長は60.13m、ファー ストステージ、セカンドステージの直径は3.35m、 サードステージの芯直径は3m、ブースターの直径 は2.25mで、ロケット離陸時の質量は約573トンで ある。当該ロケットの製造は、スペースシャトルの 発射需要を満たすことができ、軌道に5.5~7トン を積載可能能力を持ち、中国積載ロケットの全面的 更新・代替わりをもたらし、中国宇宙運輸装備体系 を完成させるものである。中国積載ロケット技術研 究院「長征」七号積載ロケット総指揮を執る王小軍 は、「『長征』八号は太陽と同じ軌道の3~4.5トン 積載能力の中国における空白を補う可能性があり、 かつ近地球軌道および地球と同じ回転軌道の発射能 力を兼ね備えている。打ち上げコストも適当で、発 射周期もより短く、多くのスペースシャトルの打ち 上げ場条件の特徴に適応し、比較的高い国際競争力 を備えているため、商業衛星打ち上げ市場の見通し は明るい」と述べている。

「長征」八号新世代積載ロケットの長さは50.3 m、ファーストステージの直径は3.35m、セカンドステージ直径3 m、ブースターの直径は2.25m、ロケット離陸時の質量は約356トン、ファーストステージでは液体酸素 / ケロシンを推進剤とし、二台の120トン級推力を持つ YF-100エンジンを用いている。セカンドステージでは液体水素 / 液体酸素を推進剤とし、二台の8トン級推力を持つ YF-75エンジンを用い、二次起動能力を備えている。二つの直径

2.25m液体ブースターを括り、液体酸素 / ケロシンを推進剤とし、120トン級推力を持つ YF-100発動機各一台を用いる。ロケットは文昌スペースシャトル打ち上げセンターと酒泉衛星打ち上げセンターから打ち上げが可能であり、主に近地球軌道もしくは太陽と同じ軌道の有効荷重を用いて打ち上げ、5トンの有効荷重を700kmで太陽と同じ軌道に送り込むことができる。報告によれば、「長征」八号新世代積載ロケットは2020年に初飛行実験を完了させる予定である。

「長征」十一号は、固体積載ロケットで、中国新 世代積載ロケットの中で唯一固体タイプのものであ る。ロケットの全長は20.8m、離陸時の質量は約 57.6トン、ロケットの最大直径2mで、打ち上げ周 期は24時間となっており、低地球軌道、太陽同期軌 道等の軌道打ち上げ任務を迅速に完了することがで きる。700kmの太陽同期軌道の積載能力は350kg、 200kmの低地球軌道の積載能力は700kgである。構造 が簡単で、打ち上げも速く簡便等の特徴を持ち、主 に1000km以下の太陽同期軌道および近地球軌道の中 小型シャトルで単星・多星を組み合わせて打ち上げ るのに用いる。「長征」十一号ロケットの海上打ち 上げにおける鍵となる技術はすでにクリアし、具体 的な実施方案も完成した。予定では2019年に打ち上 げを行う予定で、ますます多くの低傾斜軌道衛星の 打ち上げ需要を満たし、ロケット残骸の落下地選択 の柔軟性および航空区域の安全性を高め、長征系列 ロケットにおける任務の適応性を大幅に向上させ

「長征」九号は今回のロケット展示における「巨 人」と呼ばれ、外界から最も注目を浴びた積載ロケッ トのタイプである。「長征」九号積載ロケットは将 来の有人月面探査、深宇宙探査等の任務のために研 究されたもので、中国が現在研究している中で積載 能力が最も大きいロケットのタイプである。ロケッ トの直径は10m級、四つの直径5mブースターを括 り、それぞれのブースターには2台の4800kN 推力 液体酸素ケロシンエンジンが設置されている。 ファーストステージには 4 台の4800kN 推力の液体 酸素ケロシンエンジンが設置され、セカンドステー ジには2台の2200kN 真空推力の水・酸素エンジン が設置され、サードステージには4台の250kN 真 空推力の水・酸素エンジンが取り付けられている。 ブースター数量に対する調整、およびファーストス テージの適応性で4800kN 推力液体酸素ケロシンエ ンジンを一台増やすことを通じ、低地軌道積載能力 50~140トン、月への転移軌道積載能力15~50トン、 火星への転移軌道積載能力12~44トンの系列化スペ

クトルを構築することが可能である。「長征」九号 積載ロケットの機体直径は9.5m、ロケット全長は 100m近くにおよび、積載能力は現有の中国ロケッ ト最大積載能力の5倍超となっている。「長征」九 号積載ロケットの研究はすでに段階的に成果を上げ ており、 500トン級液体酸素ケロシンミサイルは、 すでにガス発生器とタービンポンプとの連携試験の 完成に成功している。2019年6月には初の組立完了 エンジンが完成する予定で、短距離テストの条件を 備えている。大口径タンクは部品組立における研究 の鍵となる部分を基本的に解決し、2つのキャビン 間における溶接も完了し、トランジションリングも すでに三段階目の試験を完了し、全過程の装飾も検 証を終えた。2019年には大口径タンクおよび集中パ ワーシェル部分の研究製造が完了する。

現役ロケットの第二世代から第四世代までの積 載ロケットコストを下げることは、中国のロケット 打ち上げ分野における競争力にとって当座の急務で あり、すでに打ち上げ応用に投入したこれら数代の ロケットは、どれも全体、電気、動力等の面から低 コスト改造を展開し、中国長征系列ロケットの国際 競争力を一層向上させた。

一つ目は全体における最適化設計の展開であ る。全体を各専門がそれぞれ行なってつなげていく 伝統的な設計から、各専門が協力して同時設計をし ていく形へと変え、主モデルの総体共同設計を基に 展開し、各専門間におけるデータ窓口を規範化し た。また一方で、飛行結果を結合させ、パラメータ 識別を展開した。パラメータ識別と総体共同設計を 結び付けることで、各専門間における設計上の不必 要な誤差を出来るだけなくし、ロケット荷重を減ら し、構造効率を一層高め、積載ロケット総合機能を 向上させた。

二つ目は、低コスト電気系統設計の展開である。 必ずしも必要がない余分な設備を取り除き、同様に 不要なリモートセンシングデータおよび測量設備を 排除した。電気系統製品の一部には民間製品を採用 し、工業レベルの電子原材料購買および選択制御方 法を研究・形成した。また電気系統一体化設計を展 開し、各系統のモジュール集成および最適化を実現 し、重要モジュールと単独機器において冗長性と再 構成を実現させ、コスト削減と同時にシステムの信 頼性を保証した。

三つ目は、低コスト動力系統設計の展開である。 加圧システム設計の面で、自主加圧方案を採用し、 ロケットのシリンダー数減少に成功した。また YF-100を代表とする発動機の推力向上、ポンプ組立後 の改良、構造における重量削減および使用保護過程 における簡素化の研究、タービンポンプ最適化改良 方案製品の冷却試験検証、フロー調節器改良方案冷 却試験研究を展開し、発動機の機能を高め、使用保 護過程を簡素化させた。

第3節 月面探查——嫦娥系列月面探查機

古来より、中華民族は月に対し、無限の思いと美 しい夢を寄せていた。2000年11月に公表された宇宙 開発白書では、中国が「月面探査を主とした深宇宙 探査を展開する」とする目標が打ち出された。2006 年2月に公表された『国家中長期科学技術発展規画 綱要(2006~2020年)』では、「有人宇宙開発と月面 探査プロジェクト | を「16の重大特別項目 | に明確 に組み込んだ。現在のところ、中国はすでに「嫦娥 一号、二号、三号、四号」月面探査任務および「嫦 娥五号」飛行試験機任務を成功裏に実施しており、 月面探査工程一期の月周回および二期の月面着陸任 務を完了し、月面到達・月面着陸といった基本能力 を備えた。

2018年は嫦娥系列月面探査機工程にとって、再び 新たなマイルストーンを迎えた一年でもあった。 2018年5月、嫦娥四号の中継衛星「鵲橋」号が打ち 上げに成功し、嫦娥四号の着陸機と月面車に対し、 地球~月間の中継通信サポートを提供した。2018年 12月8日、西昌衛星打ち上げセンターから、長征三 号乙積載ロケットにより嫦娥四号探査機が打ち上げ に成功した。2019年1月3日、嫦娥四号は月の裏側 にある南極-アイトケン盆地のフォン・カルマンク レーターにある予定着陸地に無事着陸し、月面車「玉 兎二号」が月面へ下りて巡回探索を開始した。2019 年1月11日、嫦娥四号着陸機と玉兎二号巡回機は互 いの姿を撮影することに成功し、これにより同プロ ジェクトにおける既定目標を達成し、嫦娥四号の任 務は円満な成功を収めた。2019年2月11日、嫦娥四 号着陸機、玉兎二号月面車は第二の月夜休眠モード へと突入した。

「嫦娥四号」探査機は、人類スペースシャトル初 の月裏側への軟着陸を実現させ、地球~月間のラグ ランジュ L2地点中継通信を初めて展開した。着陸 機は着陸過程において落下カメラを使用して下降過 程の動画撮影に成功し、着陸後は監視カメラを通じ て人類探査機による月裏側初の近距離撮影写真を獲 得した。また地形カメラを通し、着陸地点の周囲に 対し360°のイメージングを行い、月裏側に対する人 類初の詳細観察に成功した。着陸機は携帯していた 低周波ラジオスペクトラムアナライザ、月面中性 子・輻射剤量探査機を、巡回機は携帯していた赤外 線イメージング分光計、中性原子探査機、月測定レー

ダー等の有効荷重設備をそれぞれオンに切り替えて 作業に入り、月裏側の科学的探査データの取得を開始し、生物科学普及荷重においてはすでに綿花の苗 が芽を出した。今後、月夜における低空層の月面温 度に対して現地探査を行い、データを蓄積し続け、 月に対するより深い認識のために直接的な証拠を提 供していく。

月の裏側はその特殊な空間的位置により、月の表側が備えていない特徴を有している。一方でそれは、地球からの各種無線電波を遮断するが、これは宇宙電磁波スペクトル探査の最良地点でもある。もう一方で、月は最大、最深かつ最古の盆地である南極-アイトケン(SPA)盆地を有しているため、早期における月の情報を保存しており、したがって嫦娥四号がこれに対して低周波天文観測と研究を行い、月と地・月系の初期歴史および変化、深層部における構造と成分研究を実施することは、重要な意義を有しているのである。

嫦娥四号は人類初の月裏側軟着陸および巡回観察を実現させ、初めて地月L2地点より、衛星から地球、月への計測制御、デジタル伝送中継を行なった。こうした工程における技術的難点の突破は、月および深宇宙探査における中国の技術レベルをより一層高め、地球外の天体に踏み込み、到達し、探査する能力を向上させたのである。

嫦娥四号の任務は二度の打ち上げに分けられ、打 ち上げ時間の間隔は約半年ほどであった。一回目 は、中継星が長征四号丙積載ロケットを用い、西昌 衛星打ち上げセンターから発射したものである。積 載ロケットは近地点高度200km、遠地点高度約39万 kmの地・月転移軌道へ送り込まれた。地・月転移過 程において、1~3度の途中修正を組み込んでお き、およそ5日後には月付近へ到達した。月表面か ら100kmの高度において月接近制御を実施し、その 後飛行力に任せて地・月L2ポイントまで飛んでい き、途中修正の必要性に応じ、飛行約4日後、地・ 月 L2ポイント付近に到達する。その後、3 度にわ たる軌道捕捉制御および相応の修正を加えた後、 L2ポイントを取り巻いて運行する Z 方向の振幅 13000kmの南が Halo に面した使命軌道へと突入す る。使命軌道運行期間中は、定期的に軌道の安定を 図る。中継衛星はすでに2018年5月21日の時点で打 ち上げに成功しており、衛星プラットフォームと有 効荷重の軌道内試験および中継アンテナ指向校正を 完了させており、着陸機と巡回機に中継通信サービ スを提供する能力を備えていた。

二回目は、着陸機が巡回機を載せ、長征三号乙改 良Ⅱ型積載ロケットを用い、西昌衛星打ち上げセン ターから発射された。積載ロケットを近地点高度20km、遠地点高度約42万kmの地月転移軌道へと送り込んだ。ロケット分離後、地上計測制御による支持の下、途中修正を加えながら飛行約5日後に、月に近い点にてブレーキ制御を実施し、月の捕捉を実現させ、高度100kmの月円軌道へと突入した。月円軌道運行期間中は、中継星との中継リンクの軌道内テストを展開した。機を見て軌道操縦を行い、100km×15kmの楕円軌道へと突入し、その後機を見て月から近い点へ軟着陸動力下降を実施した。メイン減速段階を完了させた後、態勢を整えて下降段階、ホバー段階、低速下降段階、着陸緩衝段階等の過程を経て、月裏側への軟着陸を実現させた。月面着陸後、中継星の支持の下、二機の分離が完了し、その後、着陸機と巡回機がそれぞれ科学探査を展開していった。

探査機のシステム設計は主に以下のいくつかの方面に分かれる。(A)複雑な月面地形条件下の安全着陸設計。(B)中継通信任務設計(C)月夜温度採集設計(D)有効荷重設計。嫦娥四号の任務実施は、今後、月基低周波天文観測、月裏側低層構造研究、月裏側の鉱物および成分研究等の面でオリジナルの科学的成果が望め、人類の月および惑星科学研究のために貴重な探査データを提供するものであり、人類の月探査における道のりに新たなマイルストーンを打ち立てるものであった。

第4節 有人宇宙開発

中国政府は1990年代より、有人宇宙開発プロジェクトで「3ステップ」の発展戦略を確立していた。この二十数年間で、合計11名(のべ14名)の宇宙飛行士を宇宙へと送り込み、有人飛行における宇宙との往復、宇宙での外部活動、宇宙でのドッキング等、有人宇宙飛行の基本的技術を掌握し、貨物輸送と推進剤の軌道内補充、宇宙飛行士の中期滞在等の鍵となる技術を検証し、中国有人宇宙飛行プロジェクトは宇宙ステーション時代へと突入していった。

(一) 神舟系列

「神舟」宇宙船は中国空間技術研究院が主体となって開発・製作され、多くの新技術を採用し、そのうちいくつかの鍵となる技術は国際先端レベルに達している。今後、「神舟」宇宙船は、宇宙実験室および宇宙ステーションから地上までの往復輸送機となっていく。当該宇宙船は、構造と機構、環境制御と生命保障、熱制御、制御ナビと制御、推進、計測制御と通信、データ管理、電源、帰還着陸、救命脱出、機器と照明、有効荷重、乗組員という計13のサブシステムから構成されている。宇宙船は、軌道

キャビン、帰還キャビン、推進キャビンが組み合わさったものである。そのうち人を載せる軌道キャビンと帰還キャビンは密閉式キャビンであり、宇宙飛行士の生活と作業環境を保証することができる。帰還キャビンは宇宙飛行士が宇宙船運行における発射、帰還、制御を行う場所である。軌道キャビンは宇宙飛行士が生活と実験を行う場所である。

海外における宇宙船の発展と比べ、「神舟」シリーズ宇宙船には少なからぬ傑出した長所がある。まず、中国第一世代有人宇宙船として、そのスタート地点は高く、一人乗り宇宙船、二人乗り宇宙船を飛び越し、直接三キャビン式宇宙船を研究・製作し、2~3名の宇宙飛行士を乗り込めるようにした点である。

次に、「神舟」宇宙船は「一つの船で多用な用途」 を可能とした点である。国外の宇宙船は帰還の後、 その軌道キャビンは通常軌道の上に廃棄されるが、 「神舟」宇宙船の軌道キャビンは「軌道に残って利 用」できる機能が備わっている。キャビン内の機器 設備は、無人状態の状況下で、科学衛星と同じよう に自ら半年ほどの作業ができるようになっている。

第三に、「神舟」 宇宙船は機能が先端的かつスマート化のレベルも比較的高い点である。例えば、自動化制御、案内とナビからデータ管理に至るまで、また故障への対応における冗長デザインから液晶表示装置に至るまで、情報技術の最新成果を採用している。

第四に、「神舟」宇宙船における耐熱技術は世界 先端レベルに達した点である。「神舟」帰還キャビ ンの最大直径は2.5m、表面積は22.4㎡で、目下使用 されている耐熱材料総重量は約500kgとなってい る。ロシアソユーズ号宇宙船の帰還キャビンは直径 約2.2m、表面積は17㎡であるが、その耐熱材料重 量は700kgに達している。

第五に、「神舟」宇宙船の落下傘は、世界的に回収能力の高い落下傘の一つであり、面積は1200㎡となっている点である。落下傘システムは、誘導傘、減速傘、メイン傘、傘カバーから構成されている。誘導傘の任務は、減速傘を引き出し、引き伸ばすことである。減速傘は帰還キャビンの速度を200m/sから80m/s前後へと減速させた後、メイン傘から分離する。メイン傘が開いた後は、帰還キャビンの速度を6m/sまで落とすことができる。傘のてっぺんから測ると、パラシュートは30m以上の長さとなり、さらに傘ロープを加えれば、一つの落下傘が80m近い長さとなるのである。パラシュート全体を地上に置くと、サッカー場半分より少し小さい程度の大きさとなるものの、重量はわずか90kgちょっと

となっている。仮に通常の航空落下傘の材料でこのような大きさの傘を作った場合、体積も重量も3倍 以上に増やさなければならない。

2003年10月15日に打ち上げられた神舟五号は、中 国初の宇宙飛行士である楊利偉を宇宙へと送り込 み、中国宇宙飛行の新時代を築いた。有人飛行を実 現させるには、宇宙飛行士の安全確保がポイントと なる。宇宙飛行士の安全問題に対し、神舟五号設計 の際には一つの原則があった。すなわち、宇宙船に おけるすべてのシステムが「故障一度で正常飛行、 故障二度で安全帰還」を徹底させることであった。 言い換えれば、あるシステムに初めての故障が見ら れた場合は正常に宇宙船を運行させるが、二度目の 故障が発生した場合、宇宙飛行士を安全に帰還させ る保証をしなければならないということであった。 神舟四号と比べ、神舟五号宇宙船では39ヶ所にわた る信頼性を高める改良と20ヶ所にわたる安全性を高 める改良が行なわれ、さらに56項目の信頼性実験お よび9項目の安全性実験が準備された。

2005年10月12日 9時00分、世界が注目する中、中 国二番目の有人宇宙船である神舟六号が費俊龍、聶 海勝の2名の宇宙飛行士を宇宙へと送り出し、宇宙 飛行五日後の10月17日4時33分、安全に地上へと帰 還した。神舟六号宇宙船は主に三大任務を完成させ た。一つは、有人宇宙飛行における基本的技術、例 えば複数人・複数日数における宇宙飛行技術の難問 を突破し続けることであった。二つ目は、宇宙科学 実験を引き続き行うこと、とりわけ中国初の人間が 参加しての宇宙科学実験を実施することであった。 三つ目は、工程における各システムの機能を引き続 きチェック・完成化させることであった。そこから 不足の部分が見つかれば、各システム機能をより完 成化させる任務を負い、それらをより成熟させ、今 後の神舟七号、八号の成功を確保するために準備を 行なった。

2008年9月25日、中国三番目の有人宇宙船である神舟七号は、翟志剛、劉伯明、景海鵬の3名の宇宙飛行士を宇宙へと送り出した。また翟志剛は中国の宇宙飛行士として初めての宇宙遊泳を実現させた。彼らは多くの宇宙飛行任務を成功裏に終えた後、9月28日17時36分、安全に地上への帰還を果たし、正確な軌道入り、正常な運行、船外活動の成功、健康での帰還という四つの目標を実現させた。神舟七号はこの航行にて中国宇宙飛行士初の船外活動の実施に成功し、船外活動技術における突破口を開いた。自主研究製作されたエアロックキャビンおよび船外宇宙服という二つの鍵となる技術が、実践の試練を受けた。翟志剛がキャビンを出て、船外の固体潤滑

材料等を船内に戻した後、それらは地上に戻され、 宇宙環境がこうしたサンプルに対して与える影響に ついて科学者たちが研究し、そこからより踏み込ん だ材料機能および寿命を高める方法を探し出すので あった。神舟七号宇宙船は、飛行中に40kgの小衛星 を一つ放出し、宇宙飛行士が地上へ戻った後、その 小衛星に軌道キャビンを回りながらの同行飛行をさ せた。これは宇宙開発機器が別の宇宙開発機器を放 つという中国初のものであり、これにより軌道内放 出技術を検証し、同時に、放たれた後に軌道キャビ ンの同行衛星となり、よりよい宇宙船観測ができる かどうかの試験でもあった。

2011年11月1日と2012年6月1日、中国は神舟八 号無人宇宙船と神舟九号有人宇宙船を前後して打ち 上げ、それらは天宮一号とのドッキングを次々と実 現させた。神舟八号、九号宇宙船の重要な使命は、 一つに宇宙ドッキング技術の突破であり、二つ目は 有人飛行船の定型実現であった。異なる段階におけ る任務の変化に適応するため、「神舟」系列宇宙船 は、前後三種類の技術的状態を有している。一種類 目は初期技術実験状態であり、神舟一号~六号がこ の状態を採用した。その特徴は、軌道キャビンが衛 星として軌道に残り、半年間利用できる点にある。 二種類目は船外活動技術試験状態であり、神舟七号 がこの状態を採用した。その特徴は、軌道キャビン がエアロックキャビンとして宇宙飛行士の出入りを 可能にさせたことであり、軌道キャビンの軌道残留 利用は取り止めた。三種類目は天地往復輸送機技術 状態であり、神舟八号と九号がこの三種類目の技術 状態を採用した。その特徴は、軌道キャビンの先端 にドッキングに用いる測量・運動制御等の設備およ びドッキングに用いる構造を設置し、同じく軌道 キャビンの軌道残留利用を取り止め、宇宙船を天地 往復輸送機に切り替えた。今後の「神舟」系列有人 宇宙船は、すべてこの技術状態を採用していく。

2013年6月11日17時38分、神舟十号が酒泉衛星打ち上げセンター「921ステーション」から、長征二号F改良型積載ロケット(遥十)「神箭」によって打ち上げに成功した。軌道内飛行は15日間で、中国宇宙飛行士による初めての宇宙授業活動が展開された。乗組員は男性宇宙飛行士の聶海勝、張暁光、そして女性宇宙飛行士の王亜平から成り、聶海勝が司令官を担当した。2013年6月26日、神舟十号有人宇宙船帰還キャビンは地上へと帰還した。神舟十号宇宙船は、中国有人宇宙飛行二期工程第三次ドッキング飛行を行なった。神舟九号が初めて有人ドッキング飛行を行なった。神舟九号が初めて有人ドッキング任務を順調に成功させてから半年後、神舟十号は再び3名の宇宙飛行士を載せたまま天宮一号とドッ

キングを果たす。その主な使命および任務は以下の 四項目となる。①天宮一号軌道内稼働のために、人 員および物資の天地往復輸送任務を提供し、ドッキ ングおよび有人天地往復輸送システムの性能および 機能への更なる評価を行う。②合体キャビンにおけ る宇宙飛行士の生活、作業、健康保障能力に対し、 更なる評価を行う。③宇宙開発機器の軌道内修理等 の実験および科学普及教育活動を展開する。④飛行 任務執行における性能、機能、システム間の協調性 に対して更なる評価を行い、改良措置の有効性につ いて検証する。今回の任務における主要目的の一つ 目は、天宮一号に対して人員および物資の天地往復 輸送サービス提供を軌道内で行い、ドッキングおよ び有人天地往復輸送システムの性能と機能を更に評 価すること。二つ目は、合体キャビンにおける宇宙 飛行士の生活、作業、健康への保障能力、および字 宙飛行士の飛行任務執行能力への更なる評価を行う こと。三つ目は、宇宙飛行士のスペース環境適応性、 スペース操作人間工学研究を行い、スペース科学実 験、宇宙開発機器の軌道内修理実験および宇宙ス テーション等の鍵となる技術検証実験を展開するこ と。また青少年に向けた宇宙科学講演科学普及教育 活動等を初めて展開すること。四つ目は、工程各シ ステムの飛行任務執行における性能、機能、システ ム間の協調性を更に評価することであった。

神舟十一号宇宙船は、2016年10月17日7時30分に 中国の酒泉衛星打ち上げセンターから、長征二号 FY11積載ロケットによって発射された有人宇宙船 であり、その目的は宇宙ドッキング技術をよりよく 掌握し、地球観測および宇宙地球系統科学、空間応 用新技術、空間技術および宇宙医学等の分野におけ る応用と実験を展開することであった。飛行乗組員 は2名の男性宇宙飛行士、すなわち景海鵬と陳冬か ら構成されており、景海鵬が司令官を担当した。神 舟十一号宇宙船は、中国空間技術研究院が総合研 究・製作したものであり、宇宙船は軌道に入った 後、二日間にわたる独立飛行を完成させて天宮二号 宇宙実験室と自動ドッキングを行い、合体キャビン を形成する。神舟十一号は中国有人宇宙飛行工程三 段階のうちの第二段階から第三段階へと移る過渡期 であり、中国の有人宇宙ステーションを建築するた めの準備を行う。神舟十一号飛行任務は中国六番目 の有人飛行任務であり、同時に持続時間が最も長い 有人飛行任務でもある。その総飛行時間は33日間の 長きにわたった。宇宙ステーションにおける長期・ 多数の宇宙~地球間有人往復需要に適応するため、 神舟十一号宇宙船は、神舟十号宇宙船の基礎の下、 多くの技術改良を完成させた。例えば、元々使用し

ていた電荷結合機器(CCD)イメージ感応器を、 目標識別感度がより高いキャビティリングダウンス ペクトル (CRDS) 光学感度イメージセンサーへと 変えた。キャビン内における配置の最適化により、 更に多くの食物、飲用水を蓄えられるようになり、 長期駐留の需要を満たすことが可能となった。熱制 御最適化改良により、連続偏航によって引き起こさ れる帰還キャビンセットの低温化、設備の結露と いったリスクを解消することができた。太陽光発電 システムにおける太陽エネルギー電池を用いた翼の 構造材料に関しては、元々使用していたものが輸入 品の炭素繊維複合材料であったが、W 炭素繊維複 合材料が禁輸となったため、国産化技術の突破・向 上を展開していった。力学、真空熱実験等、多くの 鑑定実験を前後して行い、三年の時間をかけ、有人 宇宙船の硬質基板にふさわしいものを研究・製作 し、将来の宇宙ステーションおよび有人宇宙船太陽 エネルギー電池によってもたらされる材料仕入れ先 問題を完全に解決した。

(二) 宇宙ステーション——天宮一号、天宮二号

1992年より、中国は宇宙ステーションの建設を目標とした宇宙開発計画を確立させていた。第一段階は有人宇宙飛行段階で、目標は宇宙飛行士を宇宙へと送り届け、数日間の正常な運行を行なった後、成功裏に帰還することであった。第二段階は宇宙実験室段階で、この段階では組み立て、ドッキング、補給、循環利用等の四大技術を解決する必要があった。第三段階は宇宙ステーションの建設で、比較的大規模かつ長期的に人が管理するための真空応用問題を解決する必要があった。

2011年9月、中国は「天宮一号」の打ち上げに成功する。天宮一号は第二段階計画におけるドッキング問題を解決するために打ち上げられた目標宇宙船であり、同時に宇宙実験室の試作バージョンでもあった。天宮一号は宇宙へ送り届けられた後、ドッキングを通じて、人が管理する短期の宇宙実験室へと改造された。2011年11月3日、天宮一号は神州八号宇宙船とのドッキング任務を実現させる。2012年6月18日には神舟九号とのドッキングにも成功している。神舟十号宇宙船もまた2013年6月13日に、天宮一号との自動ドッキングを完了させている。

2016年9月15日、「天宮二号」が打ち上げに成功する。天宮二号は天宮一号の基礎の下に作られた真の意味における初の宇宙実験室であり、宇宙ドッキング技術の一層の検証および一連の宇宙実験実施に用いられる。注目に値するのは、天宮二号のシステム設計がモジュール化されているため、何か問題が

起きた場合でも迅速な交換や軌道内修正をすること が可能であり、これは国内宇宙分野において初の快 挙であった。将来、宇宙実験室の体積増加、信頼性 の向上に伴い、天宮二号は徐々に宇宙ステーション における核心キャビンもしくは実験キャビンへと発 展していき、宇宙実験プロジェクトおよび種類を増 加させ、宇宙ステーション建設のための基礎を築き 上げる。2016年10月19日、神舟十一号宇宙船は天宮 二号と自動ドッキングに成功している。宇宙飛行士 の景海鵬と陳冬は天宮二号の中へ乗り込み、30日に わたる宇宙作業および生活を行い、11月18日に帰還 した。計画によれば、中国有人宇宙ステーション工 程は、宇宙実験室を第一歩かつ接続とし、宇宙実験 室と宇宙ステーションという二つの段階に基づいて 実施していく。2016年より前に、二つの宇宙実験室 を研究製作かつ打ち上げ、宇宙飛行士の中期滞在等 における宇宙ステーションの鍵となる技術を掌握し た。天宮二号の成功は、この段階が順調に完了した ことを表している。

2018年は中国有人スペースシャトル工程第三段 階任務において鍵となる年である。宇宙ステーショ ン任務のために改造研究・製造された長征五号B 積載ロケットは、3月にサンプル段階へと突入し、 その後打ち上げ時の練習および初飛行任務前の準備 作業を展開した。宇宙ステーション核心キャビンに おける設備整備とキャビン全体の装飾が完了し、関 連する大型地上連合実験も徐々に展開されていっ た。宇宙ステーションの任務需要を満たすため、上 半期には第三次宇宙飛行士予備員の選抜作業が組 織・展開されたが、そこにはシャトル操縦士が含ま れ、同時に宇宙開発エンジニアも含まれていた。応 用システム関連の荷重も段階性研究製造作業を完了 させ、有人宇宙船と貨物宇宙船が計画に基づいて 次々と生産されていった。2018年9月20日、天宮二 号宇宙実験室運営管理委員会会議による研究に基づ き、天宮二号は2019年7月まで軌道内飛行を行い、 その後軌道を離れる制御を受ける旨が決定された。

計画によれば、中国は2019年6月前後に長征五号 B積載ロケット初飛行任務を実施し、その後立て続けに宇宙ステーションの核心キャビンおよび実験 キャビンを発射し、宇宙ステーションの軌道内組立 建造を行う予定である。2020年以前には初期段階の 宇宙ステーション建設が完了し、核心キャビンと実験キャビンの研究製造および打ち上げが行なわれ、 60トン級の有人宇宙ステーションが軌道内にて組み立てられる。これは近地ステーション組み合わせにおける建造と運営技術、近地空間長期有人飛行技術の突破と掌握であり、比較的大規模な空間応用が展 開されていく。

まとめ

「見事だ」――これは国連宇宙局の上級職員シル ヴィス・ラヴァンが、ここ数年の中国宇宙開発発展 を形容する際に用いた言葉である。「中国は絶えず 努力し続け、宇宙開発事業を前方へと推進し続けて おり、かつ人類の未来における発展のために重要な 貢献をしている」。中国有人スペースシャトル工程 および月面探査工程は、目下のところ「三ステップ」 計画を実施中である。中国宇宙ステーション[天宮 | 計画は2022年に完成し、 393 ± 10kmの高度軌道にて 運行され、建築完了後の使用寿命は十年以上となっ ている。「天宮」は機能、応用メリット、建造技術、 物資補給等、重要な指標の面で、全面的に旧ソ連の 「ミール」ステーションを上回っており、国際ステー ションレベルへと接近している。

将来中国は、軍民融合発展戦略を全面的に貫徹・ 徹底させるという指導思想の下、衛星およびその応 用を代表とする商業宇宙開発の急速な発展をもっ て、空間情報とビッグデータ、クラウド計算、物流 ネット等の高等技術を深く融合させ、「インターネッ ト+衛星応用」といった戦略的新興産業を発展させ ていく。宇宙開発はすでに経済社会発展へサービス を提供するための有効な道のりなのである。統計に よると、現在中国衛星応用および戦略的新興産業規 模は、年平均で20%を超える増加率となっている。 「中国製造2025」を指導思想とし、宇宙開発におけ る軍民融合を深く推し進め、技術の成果の普及を強 化していく。また、衛星、積載ロケット、地上施設 等の商業化発展への意見および奨励政策を研究・制 定し、宇宙開発製造業および産業転換のレベルアッ プを加速させていく。

第2章

原子力エネルギー開発

21世紀に入って以来、中国原子力業界は急速な発展の道へと突入し、原子力発電量は加速的に増加する勢いで、かつ大量化・規模化の発展へと向かっている。中国原子力は2018年の年間発電量完了情況および2019年発電計画を発表した。2018年12月31日までの中国原子力年間累計商業稼働発電量は1178.47億キロワット時であり、同期比16.97%増となっている(そのうち原子力エネルギー発電は1177.88億キロワット時、同期比16.98%増)。2019年中国原子力発電年間発電量の目標は1400億キロワット時である。

第1節 原子力発電所

2018年は原子力にとって収穫の一年であった。田 湾原発3号機と4号機、陽江原発5号機、三門原発 1号機と2号機、海陽原発1号機、台山原発1号機 が次々と完成・投入され、原子力発電設備容量は 884.5万キロワットの増加となった。そのうち三門 原発1号機と2号機、海陽原発1号機、台山原発1 号機は国際ブランドである第三世代原子力発電技術 を採用したが、これは世界最先端の原子力発電技術 であり、設計寿命は60年、利用可能率は90%以上と なる。同時に部品交換周期延長、原発の容量増加、 原発設備国産化率向上、建造コストの低下等の措置 を通じ、製造コストおよび稼働費用を下げたこと で、環境コスト参入後の火力発電の電気料金と比べ て潜在的な競争力を有しており、国の補助が必要な 太陽光エネルギーや風力発電等、再生可能エネル ギーの公開電気料金よりも低くなっている。安全性 の面では、高圧炉心メルトダウンの確率を先代の1 /10以下まで下げ、原子炉に炉心収集機を設けるこ とで炉心メルトダウンの際に溶けた物質を収集し、 その他の安全および深刻な事故緩和設備を設置し、 必要な介入措置を操作員が講じられる十分な時間を 与えた。安全シェルには湿式圧力除去フィルター排 出システムを設置し、安全シェルの過圧による損傷 防止および残りのリスクの排除を行なった。した がって、仮に日本の福島第一原発のような原子力事 故が発生した場合でも、付近に住む大部分の住民は 避難をする必要がなく、食物の核汚染を心配する必 要もなく、ただ短期間の密閉が必要なだけとなる。 それ以外に、第三世代原子力発電所は環境および生 態に対する長期的影響もほんのわずかなものとなっ

ている。国産第三世代原発技術の代表である「国和一号(CAP1400)」は、山東栄成石島湾の国家原子力モデル発電所における一期工程のものであり、2018年に正式承認されている。

2018年、中国は7機の原発を新たに生産投入し、 新たに増えた設備容量は884万キロワットとなり、 世界初の AP1000および EPR 炉が完成・投入され た。2019年1月20日までの中国における現役稼働発 電施設は45機に上り、総発電容量は4590万キロワッ トで世界三位に位置している。中国電気連合の統計 によると、2018年における中国原発の発電量は約 2944億キロワット時、同期比18.6%の伸びとなって おり、全国総発電量の4.2%を占めている。これは、 0.9億トン基準の石炭消費を減らし、二酸化炭素排 出を2.8億トン減らすことに相当している。2018年、 中国における稼働中の原発機は引き続き安定した稼 働を持続させており、1級もしくはそれ以上の稼働 事故は未だ発生していない。稼働技術指標は主に国 際先例を維持しており、建設中の原発工程における 安全性も監督・制御下に置かれている。

国際協力の面では、6月初めに中口間で200億におよぶ原発大型契約を結んだ。田湾原発7号機と8号機、徐大堡原発3号機と4号機の計4機は、いずれもロシアの原子力エネルギー会社の VVER-1200第三世代原発技術を採用しており、さらに霞浦示範高速原子炉工程も含まれている。また、フランスの大統領と首相が半年間の間に相次いで中国を訪問し、中仏両国における原子力エネルギー協力を引き続き推進することとした。

2016年9月および2020年末において建設された電子力発電所の容量は、それぞれ2050万キロワットと3000万キロワット(予測)となっているため、平均値に基づいて計算すれば、「十三五」期間中に建設された平均容量は約2525万キロワットとなる。中国原子力発電所の建設周期を5~6年(5.5にて計算)とするならば、2016~2020年には毎年平均で原発機460万キロワットに達している。中長期的視野から未来の電気需要量、エネルギー構造の調整、原子力発電の優位性、国家原子力発電中長期発展計画を考えた場合、恐らく2030年の原発機容量は1.5億キロワット、すなわち2020~2030年までは毎年平均で原発830万キロワットに達することとなる。

(一) 稼働中の原発

2018年末の時点で、中国における稼働中原発の容 量は約3800万キロワットであった。2017年、原子力 発電が総発電量に占めた割合は4%であり、すべて 南東沿岸に分布している。恐らく2018年には新たに 600万キロワット分の増加が予測され、そこには田 湾原発3号機(VVER)、陽江原発5号機(第二世 代の改良型)、三門原発1号機(AP1000)、海陽原 発1号機 (AP1000)、台山原発1号機 (EPR) が含 まれる。2018年1~6月、中国商業稼働原発の累計 発電量は1299.94億キロワット時となり、全国累計 総発電量の約4.07%を占めたが、これは2017年同期 比で12.5%の伸びとなっている。原発設備の平均利 用時間は3546.59時間となり、設備平均利用率は 81.64%に達した。 $1 \sim 6$ 月の環境モニタリング結 果を見ると、各商業稼働原発工場から出される放射 性流出物の排出量は国家基準の上限をいずれも下 回っており、環境・空気吸収剤量率は、当地の輻射 レベルの正常な範囲内にあることを表している。

(二) 建設中の原発

2018年末時点で建設中の原発は17機あり、設備容量は約2000万キロワットとなる。そのうち第三世代原発が10機あり、4機のAP1000、2機のEPR、また4機の華龍一号を含んでいる。華龍一号は自主設計された第三世代原発技術であり、炉心、能動と非能動を結合させた177の安全システムを用いており、独立炉の配置となっている。大型飛行機による衝突にも耐えられるようになっており、ほぼ完全な深刻事故予防および緩和能力を備えている。福清と防城港にある各2機の華龍一号機工程建設の進展は全体的に順調である。福清華龍一号原子炉工程のメインパイプはすでに取り付けられており、現在は原子炉内の部品取り付け段階に入っている。

台山原発:広東省台山市赤渓鎮に位置する。台山原発一期工程は、中仏両国のエネルギー分野における最大の協力プロジェクトで、中国広核集団、フランス電力グループ(EDF)、粤電集団による共同投資で建設されたものであり、台山核電合営有限公司が建設・稼働の責任者となっている。採用されたEPRは、ドイツとフランスが長年にわたる原子炉稼働の経験に基づき、共同で研究開発した第三世代原子力エネルギー原子炉であり、容量は第二世代原子炉より大きく、発電効率も更に高いものとなっており、より多くの安全保護システムを有している。その1号機と2号機における単機容量は175万キロワットであり、これは現在のところ単機容量世界最大の原発となっている。1号機は2018年6月29日17

時59分に発電を行い、発電に成功した世界初のEPR原発となった。2018年12月13日17時に168時間モデル稼働を完成させ、商業稼働条件を備えたのであった。2号機は2019年完成予定である。

石島湾原発:2018年11月2日、「国和一号(CAP1400)」示範プロジェクトー期工程が国務院常務会議により正式に批准され、「十三五」期間において初めて批准された第三世代原発プロジェクトとなり、同時に2015年に国務院常務会議が批准した防城港二期、田湾三期に次ぎ、再び新たな量産型機器投入となった。「国和一号」は、AP1000の技術的基盤を消化吸収し、中国の自主知的財産権を有した、パワーのより大きな非能動大型先端加圧水型原子炉の原発機である。示範原発は山東威海市栄成石島湾に位置しており、国家核電技術公司と華能核電開発有限公司が75%と25%の出資比率で設立した国核示範電駅有限責任公司により建設・管理・運営されており、2機のCAP1400型加圧水型原子炉原発を建設し、単機容量は140万キロワットとなっている。

福清原発:2018年1月28日、「華龍一号」が世界 で初めて、中核集団福清原発5号機原子炉圧力容器 の中へと順調に吊るし入れられた。2018年3月、中 核集団中国核動力研究設計院によって研究・製作さ れ、上海第一工作機械工場によって製造された「華 龍一号」世界初原子炉示範工程——福清5号原発機 は、原子炉内部品の検証を終え、正式に国産原発お よび鍵となる設備の研究・製作という舞台に登場し たのであった。2018年11月15日、中核集団「華龍一 号」総設計師である邢継は、「現在中国が建設中の『華 龍一号』示範工程は、すべて当初の予定通りに推進 されており、工程の安全および質もきちんとコント ロールされている。そのうち福清原発5号機は2020 年の完成に期待がもてる」と表明した。仮に計画通 りに生産投入となれば、これは世界の原発において 史上初の工期通りに生産投入された新研究開発プロ ジェクトの原子炉となる。「華龍一号」原発技術は、 中国二大原発企業である中核集団と中国広核集団が 共同で研究・開発・設計を行なった百万キロワット 級加圧水型原発技術であり、同時に「中国が自主研 究開発した第三世代原発技術路線」とも呼ばれてい る。目下のところ、中国国内の計二つの工場にて4 台の「華龍一号」機製作作業が始まっている。中核 集団福建福清5号機、6号機と中広核広西防城港3 号機、4号機である。国内モデル工程の進み具合は、 国外で言えば、パキスタンのカラチ原発2号機、3 号機の進展具合に相当する。2018年末までに中国で 稼働中の原発機は46機に達し、総発電容量は4280万

キロワットと、世界三位につけている。中国が建設中の原発は計11機、総容量は1098万キロワットと、建設予定規模で引き続き世界一を維持している。

第2節 新型原子炉

2018年、未臨界原子力施設による未臨界システム駆動、トリウム系溶融塩原子炉、高温ガス冷却炉等を含めた第四世代原子炉技術の建設は順調に進展した。ただし国際環境の影響を受け、改良型軽水炉の開発は一定の阻害を受けた。代表的な第三世代原子炉 AP1000(APとは advanced passive、 1000とは100万キロワット級を指す)と EPR(evolutionary power reactor)は、どちらも2018年以内の建設完了および発電となっており、初の APR1400原子炉工程も正式に建設が許可された。また一部の原発では寿命が近付く、あるいは寿命に達したことに伴い、核施設廃止後処理問題も議題に上っており、関連した研究が現在進行中である。全体的に言えば、核エネルギーの本年度における成果およびプロジェクト建設の進展は顕著であった。

(一) 高速増殖炉

2017年12月29日、中国示範高速炉工程が福建省霞浦県にてその土木工事を開始した。2023年に完成し、生産投入される予定である。これは中国における2017年初の原発プロジェクト起工であり、2015年以来となる。中核集団の王寿君理事長は起工式の席上、「示範高速炉工程は国家重大核エネルギー科学技術特別プロジェクトであり、核燃料の密閉式循環を実現し、中国核エネルギーの持続可能な発展を促すことは、地方経済建設推進にとって重要な意義がある」と述べた。

2018年6月8日、中核グループとロシア国家原子 力エネルギーグループは枠組合意に署名したが、そ こには『中国示範高速炉設備およびサービス供給購 買枠組合意書』も含まれていた。ロシア国家原子力 エネルギーグループは、中国側が CFR-600高速中 性子示範原子炉を生産し、ウラン・プルトニウム核 燃料を用いる手助けを行う。中国原子能科学研究院 の李淞等はクリギング法を用い、高速炉燃料構成に 対する設計パラメータを研究し、高速炉を構成する バンドルにおける流動と熱交換という二方面の要素 が構成要素の熱流動特性に与える影響について詳細 な研究を行なった。核工業研究生部の張松梅等は、 独自の知的財産権を有したナトリウム低温高速炉の 炉心サブチャンネル分析プログラムである SSC-FR を開発し、中国実験高速炉(CEFR)の全炉心への 定常状態解析、サブチャンネル定常状態解析、全炉 心への瞬間状態解析を実施し、その分析結果から CEFR 運行と設計値に対する比較を行なった。

高速炉は第四世代先端核エネルギーシステムの主力型原子炉と言われており、天然ウランの資源利用率を現在の約1%から60%以上へ引き上げることが可能とされ、かつ放射性廃棄物の最小化を実現し、ウラン鉱山資源枯渇、核材料利用率の低さ、核廃棄物処理の困難等の問題を一挙に解決することができる。中国は世界で八番目に高速炉技術を有する国となった。

(二) トリウム系溶融塩原子炉

トリウム系核エネルギーは中性子増殖性能がよく、生産性が高く、廃棄物が少なく、埋蔵量が豊富である等の特徴を有している。トリウム塩原子炉は第四世代先端原子炉の六つの候補のうちの一つであり、高効率利用、高温下の水素制御、無水冷却、小型モジュール化設計をしやすい等の優位性および潜在能力を備えている。トリウム系溶融塩原子炉を発展させることは、中国における核エネルギー戦略発展にとって重要な意義を有しており、中国のエネルギーと環境という二重の挑戦を解決するのに今後役立っていく。

2011年1月、中国科学院は、戦略的先導科技特別 プロジェクト――トリウム系溶融塩原子炉核エネル ギーシステム (TMSR) を起動させ、液体トリウム 塩原子炉と固体トリウム塩原子炉という二つの原子 炉タイプの研究開発を決めた。同時配備と継続的発 展といった技術路線を採用し、溶融塩原子炉に基づ いたトリウム資源の高効率利用ならびに核エネル ギー総合利用の実現に力を入れ、中国核エネルギー 発展のための先手を打ったのであった。国のエネル ギー安全および持続可能な発展といった需要をめぐ り、中国科学院は「未来の先端核分裂エネルギー」 戦略的先導科技特別プロジェクトを立ち上げ、トリ ウム系溶融塩原子炉核エネルギーシステム (Thorium Molten Salt Reactor、TMSR) を二大 配備内容の一つとし、20年ほどの時間をかけ、第四 世代先端分裂原子炉核エネルギーシステムの研究開 発に力を入れ、核燃料の多元化、核拡散防止、核廃 棄物最小化等の戦略目標実現を計画した。

TMSR 核エネルギー特別プロジェクトは、トリウム資源利用および核エネルギー総合利用という二種類の大きな需要を兼ね、固体溶融塩原子炉および液体溶融塩原子炉という二種類の原子炉タイプの研究開発を同時に手配し、段階的に発展させる技術路線を採っており、最終的に核エネルギーの総合利用、乾燥地帯へのエネルギー供給、トリウム系核燃

料の高効率利用を実現させ、中国核エネルギー発展のための先手を打ち、国のエネルギー安全およびエネルギー節約・排出削減促進へ実用的な解決方案を提供しているのである。予定では2020年に完成された研究プラットフォーム体系を確立し、すでにある技術を学習・掌握し、鍵となる科学技術問題の研究を展開していく。また2030年前後には、「固体溶融塩原子炉」と「液体溶融塩原子炉」を含めた中間試験システムを建設し、国際的な TMSR システム検証および応用の実現を率先して目指していく。関連する科学的問題および技術的問題を解決し、関連する核心的技術の発展・掌握を行い、2050年までの商業化を実現させる。

TMSR 先導特別プロジェクトが実施されて七 年、ほぼゼロからのスタートであったが、建設能力、 科学技術研究開発等の面で飛躍的な進展を遂げ、全 体的に国際先端レベルへと到達した。中国科学院上 海応用物理研究所の依頼を受け、中国科学院内外に ある十以上の研究機関および核工業機関による参 与・協力の下、専門性を備え、経験豊富かつ頼もし いトリウム系溶融塩原子炉科学研究チームが職場の 枠を超えて発足した。サポート設備の整った(冷却) 実験研究基地を建設し、広範かつ極めて効果的な国 際協力を展開し、二種類の溶融塩原子炉において概 念設計、検証実験台の設置および実験検証・理論方 法研究等の面で国際的にも影響力のある重要な進展 を得た。フッ素塩化冷却剤と構造材料等の鍵となる 材料の研究製作および設備研究開発の面で飛躍的な 進展を遂げ、実験原子炉建設のための堅実な科学技 術の基礎を築いた。

現在までに、TMSR核エネルギー特別プロジェクトは、すでに溶融塩原子炉原型システムおよび鍵となる技術研究開発の面で一連の重要な成果を上げている。将来、専門プロジェクト研究チームは、眼前の課題に立脚し、長期的視野を考慮に入れ、イノベーションを開拓し、共同で難関を突破し、専門プロジェクトの順調な実施を引き続き高効率に推進していく。またトリウム系溶融塩原子炉実験装置を建設し、鍵となる材料および設備の産業化を実現させ、未来の発展を支える若干の技術研究開発能力を形成し、将来の工業示範原子炉建設のために堅実な科学および技術の基盤を築いていく。

(三)高温ガス炉

2012年12月、世界初のペブルベッドモジュール式 高温ガス冷却炉原発示範工程(High Temperature gascooled Reactor Pebble-bed Module、 略 称 HTRPM)が山東栄成にて建造起工となった。 HTRPM は『国家中長期科学技術発展規画綱要(2006~2020年)』で確立された国家科技重大専門プロジェクトであり、独自の知的財産権を有し、世界で初めて第四世代核エネルギーシステムの安全特性を備えた原発機であり、清華大学核エネルギー・新エネルギー技術研究院が研究開発した20万キロワット級のモジュール式高温ガス冷却炉である。そこでは二つの核蒸気提供システムが一台の蒸気タービン発電機を動かす技術方案が採用されているが、その主な技術的特徴は以下の通りである。

オールセラミック被覆粒子球形燃料要素 オールセラミック構造炉心 ヘリウム冷却 ダブルシャットダウンシステム ノーシャットダウン燃料交換

通風式低耐圧性安全シェル

目下のところ、この高温ガス冷却炉示範工程建設 作業はほぼ完成し、現在工程は設置・調節の鍵とな る時期にあり、2019年には発電を行う。高温ガス冷 却炉は国際核エネルギー界により、発展の潜在能力 を最も秘めた先端原子炉型の一つと認められてい る。第三世代原発が採用した加圧水型原子炉の技術 と違い、高温ガス冷却炉原発は良好な固有安全性を 備え、いかなる事故の下でも原子炉の炉心メルトダ ウンおよび放射性大量放出が発生しないよう保証す ることが可能で、第四世代核エネルギーシステム原 子力安全目標を満たしている。システムは伝統的な 蒸気循環を採用し、発電効率は40%以上に達するこ とができ、これは目下発電効率の最も高い原子炉で ある。20万キロワット高温ガス冷却炉示範工程の後 続プロジェクトとして、60万キロワット高温ガス冷 却炉商業原発もまた現在研究開発段階である。その 時が来たら、高温ガス冷却炉は加圧水型原子炉原発 の補充として、環境的に敏感な地区の石炭およびガ ス発電に取って代わることが可能となる。

2018年10月31日、哈爾浜電気有限公司(哈電集団)が製造し、国の第四世代原発自主化の助けとなる「大国の重器」――世界初の高温ガス冷却炉蒸気発生器が哈電集団(秦皇島)重型装備公司の最終チェックを順調に通過した。間もなく高温ガス冷却炉原発示範工程華能石島湾原発へと運ばれる。この蒸気発生器は、国家科技重大特別プロジェクトかつ世界初の試みであり、完全な自主知的財産権を有したものである。

清華大学の朱光宇等は、高温ガス冷却炉非能動冷却システムの数学モデルを構築し、冷却過程において鍵となる設備の熱および物質移動プロセスに対し、動的数値シミュレーションを行なった。動的分

析は、新方案が冷~熱の衝突を成功裏に避け、安全 性を大幅に向上させ、冷却時間も受け入れ可能な範 囲内であることを表明した。

(四) 進行波原子炉

核エネルギーの発展促進のため、一種の新型原子 炉——進行波原子炉の概念が提起された。マイクロ ソフト創業者であるビル・ゲイツは当該技術につい て理解した後、アメリカのタイラー・エネルギー会 社が研究展開するのを支援し、自ら中国、日本まで 赴き、進行波原子炉科学研究のためのパートナー探 しを行なった。2015年、中国核工業集団がビル・ゲ イツと進行波原子炉を共同開発する合作備忘録に調 印し、将来は中国と共に進行波原子炉を共同研究開 発していくこととなった。それは更に有効なウラン 利用が可能で、これまでの原子炉より安全であると 言われた。進行波原子炉は、ナトリウム冷高速中性 子炉に属し、設計の上では第四世代原発技術に属す る。天然ウランではわずか約0.7%の同位体しか直 接利用することが出来ないが、進行波原子炉技術を 利用すれば、ウラン資源の30~40%、ひいては60~ 70%までの最大限活用が可能となるのである。紹介 によれば、タイラー・エネルギー会社は十年以内に 進行波原子炉示範工程を建設し、十五年以内に商業 化構築を実現させるとした。

しかし、入ってきた最新情報によれば、進行波原子炉の責任を持つ会社の管理人はインタビューを受けた際、「アメリカによる制限という背景の下、進行波協力プロジェクトは暗礁に乗り上げており、彼らは会社と中国核工業集団有限公司との間の既定協議をあきらめざるを得なくなっている。現在その技術の早期実験のために新たな提携パートナーを探しているところだ」と表明している。

第3節 核燃料後処理

21世紀初め、中国の核燃料後処理は未だかなり遅れた状態に置かれており、核大国の地位とは極めて不釣り合いであった。特に後処理工学設備、自動制御、遠隔修理等の面においては、国際先端レベルとの差が歴然としていた。

中国原子能科学研究院による核燃料後処理実験施設の展開が遅く、中国後処理中間試験工場の進展延期等の問題に直面し、2007年、中国は『原発中長期発展計画(2005~2020)』を制定し、原発建設を積極的に推進する発展方針を明確に打ち出した。また熱中性子原子炉~高速中性子原子炉~制御核融合炉の「三ステップ」発展戦略に基づき、核燃料選択密閉式循環の技術路線を確定させた。国の核エネル

ギー発展戦略により、中国は核燃料後処理の道を進まねばならないこととなり、ウラン資源を十分に利用することで核廃棄物最少化を実現させ、核エネルギーの持続可能な発展を確保していくこととなった。アメリカ核燃料循環政策の重大な転換は、中国およびその他多くの原発保有国が核燃料の密閉式循環を実施していることが正しい選択であることを証明したのである。

核燃料後処理工学技術は複雑で、工程建設の周期も長く、投資には大きな不確定要素が存在しており、将来原発による電気料金に直接影響する恐れがある。核燃料密閉式循環あるいは一回で循環させる技術路線を選択すれば、どちらも深層部における地下倉庫の建設が必要となる。したがって、中国は現在深層部における地下倉庫の研究、場所の選択、実験検証等の作業を完成させようとしているところである。

また、中国が核大国という地位にふさわしくなり、中国核エネルギーにおける持続可能な発展の需要を満たすため、特に現在の中国は原発の発展に大きく力を入れていき、2030年までには原発機容量の総発電量比率を現在の2%に満たないものから7%前後へと高めることが予測されている。

中国はフランスと2008年より核燃料後処理工場プロジェクト起動に関する交渉を開始しており、2018年初頭にはマクロン大統領が訪中する前、業界では後処理工場プロジェクトが飛躍的進展を遂げるのではないかと誰もが予測したものの結局契約調印には至らず、両国は後処理工場をめぐって引き続き交渉を行なっている。こうした状況に直面し、中国の朱永濬院士等の科学者は、中国国内にて核燃料後処理をめぐる長期奔走と呼びかけを行い、今後中国政府がより踏み込んだ後処理技術研究開発に力を入れ、後処理大工場建設の歩みを加速させるよう予測した。

(一) 核燃料加工

核燃料加工とは、アスファルト・ウラン鉱山もしくはその他ウラン鉱石を含むものからウランを抽出して濃縮ウランを生産し、ウラン金属に対する製錬、加工、生産を行い、その他放射性元素、同位体標記、原子炉燃料要素を製造することを指す。ここには核廃棄物の処理活動も含まれる。

核燃料要素産業の発展は、まさに中国の改革開放、世界への融合の縮図なのである。1991年、中国はフランスから AFA2G 核燃料要素製造技術を導入した。1998年にはフランスの AFA3G 核燃料要素製造技術とカナダの CANDU-6核燃料要素製造技術を

導入する。2003年には全M5AFA3G核燃料要素製造技術を導入し、2007年になるとロシアのVVER核燃料要素製造技術とアメリカ・ウェスティングハウス AP1000核燃料要素製造技術を導入した。導入、消化、吸収を通じ、中国核燃料要素製造技術はすでに国際先端レベルへと到達し、生産能力も世界一の規模へと突入している。「華龍一号」CF3燃料要素の研究製造の成功と、中国初の自主先端核レベル・ジルコニウム合金材料であるN36工業化生産規模の実現、および世界初の工業規模高温ガス冷却炉燃料要素生産ラインの生産投入・生産は、大きな意義を有している。これは中国核燃料要素産業が、全体的に見れば、すでに後続集団段階から上位あるいは先頭集団段階へと突入したことを意味している。

2017年12月22日、中国初の AP1000原発燃料要素 生産ラインが三門原発第一炉における交換燃料要素 生産を円満に完了させ、国家原子力宝チタンとの間 で海陽原発の後続交換燃料に国産 Zirlo ジルコニウ ム合金ケース等のジルコニウム材を使用するとの契 約に調印した。この点は他の国が核燃料技術を導入 するのとは異なり、AP1000は原発燃料要素 A技術 導入と同時に、ジルコニウム合金の全生産ラインを も導入したのである。AP1000原発燃料要素生産ラインを も導入したのである。AP1000原発燃料要素生産ラインを もず、アメリカの原発燃料要素生産技術を掌握し たことを意味している。これは世界に二つとないこ とであり、後発の優位性は明確である。

2018年11月20日、中核集団によって自主研究製造され、自主知的財産権を有する中国初の全サイズ加圧水型原子炉リング型燃料要素試験品が成功裏に完成した。11月26日、中国は世界初のリング型燃料ゼロパワー物理実験に成功し、世界のトップを走ることとなる。今後中国は、当該分野において引き続き絶えまぬサポートを提供し、トップの地位を守っていくと考えられる。

(二) ウラン濃縮

ウランは自然界に存在する極めて稀少な化学元素であり、放射性を有している。天然の鉱石の中で、三種類のウラン同位体は共生しており、そのうちウラン-235の含有量は非常に低く、わずか0.7%しかない。核兵器や原子力エネルギーの需要を満たすため、いくつかの国はウラン濃縮工場を作った。ここでは天然ウラン鉱を原料とし、同位体分離法(拡散法、遠心法、レーザー法等)を運用することで天然ウランの三種の同位体を分離させ、ウラン-235の濃度を高め、濃縮ウランに仕上げるというものである。

2018年11月、中核グループが研究開発し、完全な自主知的財産権を有する新世代ウラン濃縮遠心機大型商用示範工程が、中核陝西ウラン濃縮有限公司にて国の竣工最終審査を無事に通過した。これは中国ウラン濃縮遠心機がアップグレードおよび代替わりを実現させ、大規模な商用条件を備え、ウラン濃縮における全体の技術レベルと経済性が一層向上し、国際先端レベルに達したことを意味している。新世代ウラン濃縮遠心機の開発研究と工業化は、中国の国際ウラン濃縮分野における地位と競争力を一層高めた。これは中国の原子力エネルギー発展における燃料供給の重要な保障であり、中国原子力発電の国際競争力を高める上でも極めて重要なことなのである。

CF3の燃料セットは、中国が研究開発した先端加圧水型原子炉の燃料セットである。自主知的財産権を有しており、「華龍一号」自主第三世代加圧水型原子炉原発に使用される。CF3燃料セットは、現在の国際先端燃料セットの材質と同レベルであり、総合機能は国際先端レベルに達している。CF3A 先導セットは、CF3の基礎の下、更なる国際先端定位枠組を開発・採用し、より優秀な熱流体力学機能を持ち合わせ、原材料すべての国産化を基本的に実現させた。

(三) 核廃棄物 (使用済み燃料) 処理

1972年のストックホルム会議において放射性排気および核廃棄物処理問題が討論され、登録制を用いた放射性廃棄物排気問題管理の採用が打ち出され、核廃棄物処理方面において国際協力が行なわれることとなった。その後中国は次第に、核廃棄物の大量堆積は極めて大きな危険を秘めており、しかもその処理技術が遅れていると認識するようになる。

これに基づき、中国は1970年代から発電用原子炉 使用済み燃料の後処理技術研究を開始し、長年の実 践と模索を経た後、後処理技術および鍵となる設備 製造技術を掌握した。21世紀に入ってから、使用済 み燃料に対し、中国は一連の措置を講じている。 2008年、商業後処理工場の技術研究開発が国家原子 力発電科技重大プロジェクトに列せられ、初期研究 がスタートする。2010年末、後処理試験工場は熱試 運転を完了させる。そのうち使用済み燃料プールは 2003年から大亜湾原発の使用済み燃料受け入れを開始しており、現在に至るまで15年間の運行に成功し ている。2010年11月、中国核工業集団はフランスの アレバ社との業務提携に署名し、中国西北のある地 に年処理規模800トンに達する使用済み燃料後処理 基地を建設した。核燃料後処理および放射化学実験 施設は2014年9月に完成している。

現有の原発発展計画に基づいて試算すると、中国 使用済み燃料の累積量は2020年には1万トン前後に 達する。ここまでの規模の使用済み燃料は、後処理 能力の構築に対し、空前のチャレンジとなる。ここ 数年にわたる広範な討論を経て、業界では後処理の 産業化過程推進を早めていくことがすでに共通認識 となっており、その代表的な件には以下のものがあ る。①2016年3月、国家発展改革委員会と国家エネ ルギー局は『エネルギー技術革命イノベーション行 動計画(2016~2030年)』を共同出版し、「使用済み 燃料後処理と高放射性廃棄物安全処理処置技術イノ ベーション | を原子力エネルギー業界技術二大イノ ベーションにおける重点の一つとした。②2017年2 月、国防科学技術工業局の王毅韌副局長は 『「十三五」核工業発展計画』の紹介イベントの中 で、「中国は核燃料循環後端ショートパネルを補い 揃え、核燃料閉合循環の道を切り開く」と表明した。 こうした現象はすべて、後処理技術の研究開発拡大 がすでに国家戦略の高みにまで引き上げられている ことを示している。

後処理工場の建設において、中国は自らのイノ ベーションに頼らなければならない。中国は後処理 技術において一定の基盤を備えており、国もまた使 用済み燃料後処理基金を設立し、後処理工場科研特 別プロジェクト(国家投資50~60億)にて商用後処 理工場において鍵となる一部の技術の難関突破を試 みている。中間試験工場は将来200トンへと拡大さ れる予定で、より多くの運行経験が蓄積されてい き、後処理工場運営のための準備をすることが可能 である。

次に、自主イノベーションもまた国際協力に参加 しなければならない。国際諮問や交流などのやり方 を通じ、いくつかの鍵となる技術を導入する。海外 から技術導入した使用済み燃料後処理工場は、不確 定要素が強く、外国側も「破格の値段」を要求して くるため、導入の道は比較的長い。たとえ技術を導 入できたとしても、現在の交渉速度から見れば、 2040年にようやく年処理量800トンの大工場を建て られることになる。したがって、自主イノベーショ ンを主軸に据え、自主イノベーションによって技術 導入の尺度を上げていかなければならない。

それ以外に、国務院新聞辨公室は2016年1月、中 国の原子力分野に関わる初めての白書、すなわち『中 国の原子力応急』白書を発表した。この白書は中国 の原子力分野にとって大きな意義を有している。そ のうち、法制建設の強化が重視・強調され、『原子 力エネルギー法』と『核安全法』の立法過程を積極 的かつ安定した推進が求められると同時に、これも また「十三五」期間の中国原子力応急作業における 主要任務でもあった。中国が採用する立法モデル は、原子力エネルギー法と核安全法の併用を意味 し、これもまた現在の世界では、核安全法と原子力 エネルギー法を処理するという核エネルギー大国に おける比較的普遍的なやり方なのである。現在で は、『原子力エネルギー法』もすでに国務院が緊急 に研究する立法計画の中に組み入れられ、国防科学 工業局を主体に推進されている。『核安全法』では 第二章の核施設において、すでに退役に関する内容 をほぼ完全な形で制定している。第三章の核材料と 放射性廃棄物の安全および第四章の核事故応急で は、処置と応急準備に関して比較的細かく制定して いる。

世界中の大多数の原子炉にとって使用済み燃料 は、後処理もしくは地質処置をせず、長期保存をす るしかない。原発工場の正常かつ有効な運行を確保 し、かつ安全・有効に使用済み燃料を処理するた め、使用済み燃料後処理工場の場所を選び、中間貯 蔵および第一、第二、第三、第四世代後処理技術の 研究作業を行うことが、使用済み燃料の行き先を解 決する鍵となるのである。中国の使用済み燃料後処 理に関しては、先端的後処理技術に対する理論的な 探索研究を行うと同時に、理論技術のサポートを利 用して、逆に後処理工場の工芸的発展を改良してい く。乾燥プロセスと水プロセスは独立して行う技術 ではなく、両者は互いに補完し合っているのであ る。異なる環境下においてふさわしい技術を用い る、もしくは同時に二つの技術を用いることは、後 処理に対し、より有効な作用を引き起こす。中国の 原発は急速に発展しており、世界的範囲で見られる 問題と結合させれば、将来使用済み燃料の処理問題 もまた我が国に登場するはずである。国情および中 国の現状から出発し、核燃料循環産業計画をしっか りと作り、後処理メカニズムを完成化させ、後処理 の研究に大きく力を入れていく。使用済み燃料後処 理における世界の経験・教訓を十分に吸収し、原子 力エネルギー発展における使用済み燃料の役割を十 分に発揮させることができる。

現在の中国は、放射性廃棄物管理および廃棄物最 小化の面で一定の成績ならびに経験を収めてはいる ものの、依然としていくつかの問題が存在している。

A. 廃棄物産出部門ないしは一部の係員が、廃棄 物最小化が含む意味を完全には理解してお らず、廃棄物管理制度も引き続き「生産した 分だけ処理する」との概念で、廃棄物収集の 執行に不備があること。

- B. 放射性と非放射性廃棄物との境が曖昧で、一部の非放射性廃棄物まで放射性廃棄物に入れられて管理が行なわれており、そこから放射性固体廃棄物総量の膨張を引き起こし、管理コストを増加させていること。
- C. 圧縮減容方式を採用して一部の放射性廃棄物 を処理することで、体積は減ったものの、総 量は必ずしも減少しておらず、その後の処置 が不明確なこと。
- D. ここ数年、科学研究や技術改良などのやり方を通じ、何度も改良を加え、廃液と廃棄ゴミの産出量を減少させたものの、イノベーションへの依存をより増やし、一層の最適化工芸を行う必要があること。

以上の問題に際し、管理と技術などのレベルから 解決を目指していく必要がある。

まとめ

2019年1月24日、中国原発2019年度作業会議で は、新時代が与える新たなチャンスが強調された。 原発産業は国にも国民にもメリットとなる戦略産業 であり、中国核工業が産業チェーンを完全化する骨 格および重要な経済的サポート、物質的基礎なので ある。中国が建設中の原発規模は世界をリードして おり、工程プロジェクトは整然と推進され、2018年 末までに、中国の建設中原発機は計11機、建設規模 は引き続き世界一位を維持している。そのうち、半 分以上が第三世代原発技術を採用している。華龍一 号、CAP1400に代表される第三世代原発技術は、 比較的高い自主研究開発能力を備えている。華龍一 号を例にとると、その燃料部品、蒸気発生器、DCS 機器制御システム等の鍵となる設備は、すべて中国 の自主設計および製造を実現し、設備国産化率は 87%以上に達した。また CAP1400では大型鍛造品、 原子力級ジルコニウム材、原子力級ケーブル、安全 シェル鋼板等、鍵となる材料の研究製作において成功を収め、国外の技術独占を打ち破った。同時に、 高温ガス冷却炉示範工程がゆっくりと進展中であり、小型原子炉研究開発および示範工程準備作業も 現在積極的に推進中である。

中国はその他原子力エネルギーに関連する立法 作業を引き続き推進し、原子力エネルギー法規基準 体系を更に完全化し、原子力安全管理・監督を強化 し、原発建設全過程における安全管理と品質保証を 改良・最適化し、原子力事故応急対策および対応レ ベルを向上させる。原発業界はクリーンな発展、美 しい中国建設を推進する重要な選択として、この国 の低炭素エネルギー体系において、より鍵となる役 割を演じることとなる。

『中国原子力エネルギー発展報告 (2018)』ブルー ブックによると、原発発電量は世界の発電量の 10.6%を占めているものの、中国では化石エネル ギーへの依存度が高すぎ、原発発電量は総発電量の 3.94%でしかない。『電力発展「十三五計画」』では、 2020年までに中国原発運行および建設中機器は8800 万キロワットに達すると提起している。目下の中国 の状況を見ると、この計画目標を実現させたけれ ば、将来数年のうちに中国は毎年6~8機の100万 キロワット原発機を新たに建設することとなる。中 国は加圧水型原子炉~高速炉~融合炉の三ステップ 戦略を採用し、2035年より前に、第三世代自主加圧 水型原子炉技術が中国で新たに建設される原発にお ける原子炉の主力型となっていき、華龍一号、 CAP1000/1400は中国国内での規模化を実現させて いく。2035年より後になると中国原子力エネルギー の生産方式は、加圧水型原子炉と高速炉を含む先端 原子力エネルギーシステムとを組み合わせた発展へ と方向転換していく。2050年には、融合示範原子炉 の開発において実質的な進展が見られると期待され ている。

第3章

海洋開発

海洋資源は中国国家戦略資源における重要な構成要素である。海洋資源の開発と利用は、国民経済および社会の発展に対し、重要な物質的基盤を提供している。海洋資源開発能力を高めることは、「2020年までの全面的な小康社会構築」目標における必然的要求なのである。

中国政府は海洋事業を極めて重視しており、長期 にわたる理論的思考および実践的模索過程を通じ、 海洋強国建設における重要な一連の論述を行なって おり、これもまた習近平新時代における中国の特色 ある社会主義思想の重要な構成要素なのである。中 国共産党第十八回全国代表大会の報告では、「海洋 資源開発能力を高め、海洋経済を発展させ、海洋生 態環境を守り、国の海洋権益を徹底的に保護し、海 洋強国を建設する。そのためには、海洋に関心を持 ち、海洋を知り、海洋を攻略しなければならない。 すなわち、グローバルな視野に立脚し、沿岸および 近海資源利用における開発と最適化を結集させ、公 海および国際海底区域資源の開発利用を強化し、か つ深海大洋および南北両極に対する科学的認識を深 め続けていくことである」と明確に指摘している。 2016年9月、『国土資源「第十三次五か年計画」に おける科学技術イノベーション発展計画』は、全く 新たな戦略――「三深一土」科学技術イノベーショ ン戦略を打ち出す。その後開かれた全国国土資源シ ステム科学技術イノベーション大会の席上、姜大明 部長(大臣)は「海洋、とりわけ深海は、戦略的空 間ならびに戦略的資源であり、国家安全および発展 の中に占めるその戦略的地位は日増しに突出してき ている。深海探査は海洋強国建設における戦略的需 要なのである」と、深海へ進出することの重要な意 義について重ねて表明している。

近年、中国海洋科学技術における大きな成果は、主に以下の四つの面に体現されている。一つ目は、海洋環境モニタリング技術体系構築が初期段階を迎え、すでに近海環境モニタリング能力を備えたことである。レーダー探査技術、定点観測技術プラットフォーム、海洋リモートセンサー技術などの面で国際的先進レベルへと近づいている。二つ目は、深海における核心的技術が大きな成果を上げたことである。初期段階として4500m深海探測作業能力を備え、有人潜水艇「蛟龍号」、4500m級リモートセンサー潜水艇「海馬号」、深海グライダー「海燕号」など、

一連の大きな成果を上げている。三つ目は、海洋資源の面で、すでに近海の開発および利用を実現させ、初期段階として深水石油・ガス作業能力を備えたことである。「海洋石油981」など、一連の大きな成果を上げている。四つ目は、海洋科学研究基地プラットフォーム、人材グループ体系が基本的に構築され、初期段階として海洋高度新技術自主イノベーション能力を備えたことである。以下、深海技術研究において中国が上げたいくつかの重要な成果について、一つずつ紹介していく。

第1節 深海有人調査船

習近平総書記は、「海洋強国を建設するためには、必ず海洋高度新技術を大きく発展させなければならない」と、2013年の中国共産党中央政治局集団勉強会の際、厳かに強調している。荒波を征服し続けたければ、深海のまだ認知・開発されていない宝を探すことであり、世界の深海という舞台をしっかりと踏みしめていく。壮大な海上科技装備に至っては完成形などなく、常に進行形なのである。この五年間、中国海洋調査船部隊および探査用装備は絶え間なく拡大を続け「蛟龍号」、「張謇号」といった深海有人調査船が次々と投入された。

(一)「蛟龍号」

2012年、中国自主設計の集大成である「蛟龍」号有人潜水艇が7000mの潜水到達に成功した。これにより中国は、アメリカ、フランス、ロシア、日本に継ぎ、世界で五番目に有人深海潜水技術を掌握した国となったのである。2013~2017年、「蛟龍」号は五年にわたる実験的応用を完了させ、中国の南海、太平洋北東部、太平洋北西部、インド洋南西部、インド洋北西部などの海域において4度にわたる航行、11のエリアにおける500日近い潜水作業を務をして行なった。合計101回にわたる潜水作業任務を完了し、のべ70人近くの科学者を乗せての深海現場での作業を実施し、大量の海底サンプルおよび資料を獲得し、海洋地質、海洋生物などの分野において世界を驚かせる科学的な視察成果を上げている。

「蛟龍号」は、長さ、幅、高さがそれぞれ8.2m、3.0m、3.4m、機体外側の重さは22トンを超えず、最大積載量は240kg、最高速度は25海里/時間、巡航は一時間1海里であり、目下の最深潜水記録は

7062.68m、作業設計の最大深度は7000mとなって いる。その理論上の作業範囲は全世界における 99.8%の海洋区域を網羅することができるとしてお り、中国が深海の資源を開発・利用する上で、重要 な意義を有している。世界の有人潜水艇において、 「蛟龍号」はトップレベルのグループに属する。現 在のところ全世界で投入・使用されている各種有人 潜水艇は約90艘あり、そのうち潜水深度が1000mを 超えるものはわずか12艘しかなく、更に深く潜れる 潜水艇はごくわずかしかない。現在深度6000m以上 の有人潜水艇を有する国は、中国、アメリカ、日本、 フランス、ロシアのみである。中国以外の4ヶ国に おける作業型有人潜水艇の中で、作業深度が最も大 きいのは日本の潜水艇による6527mである。「蛟龍 号」有人潜水艇は、西太平洋のマリアナ海溝におい て7020mの海底にまで到達することに成功し、作業 型有人潜水艇における新たな世界記録を樹立したの である。

「蛟龍号」は深海探鉱、海底高精度地形測量、疑 似物探測および捕獲、深海生物視察などの機能を有 しており、これらは以下の展開が可能である。①多 金属構造資源に対する調査を実施し、小範囲の地 形・地質に対して細かい測量を行うことができる。 定点にて構造サンプル、水サンプル、沈殿物サンプ ル、生物サンプルを採取することが可能で、映像・ 画像を通して多金属構造カバー率、豊富さなどに対 して評価を行うことなどができる。②多金属硫化物 熱水噴口に対して温度計測を行い、熱水噴口周辺の 水サンプルを採集し、かつ熱水サンプルなどを忠実 に保存することができる。③コバルト地殻資源の探 査は、水中掘削を利用してドリルコアサンプリング 操作を実施し、コバルト地殻鉱床の覆蓋率や厚さな どを測量する。④水中設備定点敷設、海底ケーブル とパイプの検査・測定を実施することができ、その 他深海探査や引き上げ作業など各種複雑な作業を完 成させる。海底附近自動航行とホバー測位、高速水 声通信、油入銀亜鉛電池容量が、「蛟龍号」の技術 における三大飛躍と称えられている。

第一に、しっかりと「固定」できることである。 もし車の運転と同じように、操縦士が足を常にアク セルの上に置いていれば、疲労感が出てくるのは否 めない。「蛟龍号」の操縦士は幸運で、「蛟龍号」は 自動航行機能を備えており、操縦士は方向設定を完 了した後、安心して観察と科学研究に取り組むこと ができる。「蛟龍号」は三種類の自動航行を可能と した。①自動方向設定航行は、乗組員が方向を設定 後、「蛟龍号」による自動航行が可能となり、航路 がそれる心配もない。②自動高度設定航行機能は、

潜水艇が海底から一定の高度を保てるようにし、海 底に突起した山型の地形があっても、そうした複雑 な環境をものともせず、複雑な環境の中、「蛟龍号」 に楽々と航行させることを可能とし、衝突が起きる のを避けるようになっている。③自動深度設定機能 は、「蛟龍号」が海面から一定の距離を保てるよう になっている。

第二に、ホバー測位である。海底にて一旦目標を 発見した場合、「蛟龍号」は外国のほとんどの潜水 艇のように海底に腰を降ろして作業する必要がな く、操縦士が相応の位置まで操縦し、位置を「固定 | して目標との間に一定の距離を保つことで、ロボッ トハンドの操作実施を簡便にする。海底の海流など で「蛟龍号」が揺れて安定しない場合、ロボットハ ンド運動が潜水艇全体を制御し、揺れなど内外の干 渉下にあっても正確な「ホバー」が可能となり、こ れは称賛に価する。すでに公開されている情報で は、外国の潜水艇に似たような機能が備わっている ものは未だにない。

第三に、深海通信は「音声」に頼っていること。 陸上通信は主に電磁波に頼っており、速度は光速に まで達することができる。しかしこうした利器も、 水中では全く役に立たず、電磁波は海の中で数メー トルしか届かない。「蛟龍号」は深海数千メートル まで潜航するが、母船と連絡を保つため、科学者た ちは世界でも先端レベルを有した高速水中音声通信 技術を開発し、ソナー通信を採用している。この技 術では多くの難題を解決しなければならない。例え ば、水中の音声伝播速度は毎秒1500m程度にしかな らず、仮に深度7000mであれば、一言言葉を交わす のに10秒近くを要すこととなり、音声の遅れは深刻 である。音声学における伝送の幅も極めて限定的と なり、伝送速度も遅い。それ以外に、不均衡の物体 における音声の伝播効果も理想的ではない。例えば 海水の密度は大小様々で、温度の高低も異なり、海 底からのエコー条件も一定ではない。それに加え、 母船と潜水艇による騒音が、複雑な環境の中でいか に有効に電波を得るかという点を一層難しくしてい るのである。

蛟龍号有人潜水艇の開発および海事実験の成功 は、深度の大きな有人潜水艇における設計、建造、 実験技術を中国が系統的に掌握し、単純な模倣段階 から自主集成、自主イノベーションへの転換を実現 させ、有人深海潜水における世界先端国家の列に加 わったことを意味している。蛟龍号は最終検査をク リアした後、科学技術部863計画海洋技術領域から、 そのユーザーである中国大洋鉱産資源勘探開発協会 へと正式に引き渡され、将来の深海鉱物資源探査な

らびに深海科学研究において開拓者の役割を果たす こととなる。

しかしながら、蛟龍の潜水深度は前世期における 「トリエステ」などの潜水艇にも及んでいないと考 える向きもある。ただ、こうした言い方は探査型潜 水艇と作業型潜水艇の特徴とを混同したものであ る。「トリエステ」にしても、「ディープシーチャレ ンジャー」にしても、どちらも探査型潜水艇で、そ の特徴は一度きりの使い捨てであり、空間は狭く深 海作業能力も有しておらず、当然深海科学研究を行 うなどは言うまでもなく不可能である。こうした探 査型潜水艇における唯一の役割は、ただ数字の上で の「記録」に到達することのみであり、それ以外に は何の意義もない。そうした探査型潜水艇とは異な り、中国の蛟龍号深海探測艇は、単純に深度という 数字を追い求めるのではなく、その主要任務は深海 科学研究および作業にある。当然、中国の潜水研究 は国外に比べて50年遅れているが、蛟龍号はすでに 比較的立派な成績を残している。ただし、それもま た30~40年前の他国の技術と比べた場合であり、優 位性も明確とは言い難い。蛟龍号もただ深海実験を 行なったに過ぎず、しかも初進水ということで技術 も不完全であり、水中滞在時間および安定性への試 練という点には大きな開発の余地が残されている。 したがって、中国潜水艇研究に関する責任は重く、 その道のりは遠いのである。

(二) 「張謇号」

張謇号は、海溝深淵の科学調査のため専門に設計 された中国国内初の船舶であり、上海彩虹魚科考船 科技服務有限公司の単独投資、上海航盛船舶設計有 限公司による設計で、浙江天時造船有限公司が製造 したものである。これは民間企業の完全出資によっ て造られた初めての科学調査船であり、2016年より 引き渡し・使用となった。張謇は中国近代における 著名な筆頭実業家、教育家、また上海海洋大学の創 立者でもある。中国の一万メートル級有人深淵艇科 学調査母船に「張謇」号と名付けたのは、張謇氏の 「実業を母とし、教育を父とする」としたハードワー クと繁栄の理念を発揚し、中国が一日も早く世界海 洋強国となれるよう願ってのことであった。

2013年4月、上海海洋大学が元「蛟龍」号全体お よび集成プロジェクト責任者で、第一副総設計師で あった崔維成教授を招聘したのを皮切りに、中国の 大学において初の深淵科学および技術研究センター が設立され、全深海有人深淵艇の研究・製作が正式 に呼びかけられ、深淵極限プロジェクトに挑戦する こととなる。2015年4月、正式に着工し、建造経費

は2.2億元を計上した。2016年3月2日、張謇号は 完成し、3月24日、正式進水となった。船体の長さ は97m、幅17.8m、設計排水量は約4800トン、设计 吃水5.65米,巡航速度12ノット、継続航行能力 15000海里、定員60人、自給能力60日である。「張謇」 の船上には、11000m有人潜水艇1台、11000m無人 潜水艇1台、11000m着陸艇3台が配備される。デュ アルマシン単独パドル、シャフト発電機、横押し推 進方式を採用し、船内にはさらに乾燥・湿潤通用実 験室、重力・磁気実験室、資料処理室、ネットワー ク情報センターなどを配備した。さらに全深海マル チビームシステム、浅型プロファイラー、ADCP などの音響設備、そしてA型ハンガー、伸縮折り たたみアームクレーン、深海ウインチなどの先端科 学調査設備を取り付ける。

張謇号は、マリアナ海峡にて「彩虹魚」のために 11000m有人潜水による科学調査を提供するサービ スを行なっているが、それ以外にも一般性深海海洋 科学調査、海洋事故救援および引き上げ、海底探検、 海底考古、深海映画撮影などを実施するための多種 機能を備えている。1万m級無人潜水艇1台および 着陸艇1台はすでに製造が完了しており、近々4000 mの深海にて海事実験を行う予定である。この船舶 の設計建造を担当した上海彩虹魚科考船科技服務有 限公司の廬雲軍会長は、以下のように紹介してい る。張謇号の特徴の一つ目は、全海域・全深海にお ける作業型有人潜水艇、無人潜水艇、着陸艇を配備 した世界で唯一の科学調査船であること。二つ目 は、世界で最も短い時間で建造された科学調査船で あること。2013年9月に母船探しを始めてから、 2016年6月に完成・投入・服役するまでに使われた 時間は3年かからなかった。三つ目は国内初の多機 能科学調査母船であること。海洋科学調査に使われ る以外に、「張謇」号は深海救援・引揚、海洋工程 設備の取付、検査と修理、水中考古、映画撮影、深 海探検と観光などに用いることができる。四つ目は 国内初の、完全な民間資本によって建造された科学 考査調査船であること。張謇は科学調査船であり、 排水量4800トン以上、デュアルマシン単独パドル配 備であり、DP1測位能力に基づき、 680キロワット のサイドスラストの配置を求める必要がある。これ らの条件の積み重ねにより、船体ライン開発と最適 化がこの船の難点および重点を決定したのである。 この船の船体ラインの開発と最適化は主に以下の点 に考慮している。

第一に、サイドスラストの配置である。この船は シングル船尾シャフトであるため、サイドスラスト は船尾シャフトの上方か下方に設置せざるを得な い。①仮に船尾シャフトの上方に設置した場合、サイドスラスト装備は水面から比較的近い距離となり、空気を吸い込みやすくなり、サイドスラスト効果に影響が生じる。②仮に船尾シャフトの下方に設置した場合、船尾を一定の高度まで持ち上げなければならなくなり、工事の難度もより大きくなる。同時にメイン機と歯車ボックスの設置場所にも影響を及ぼす。③サイドスラストの位置が前になればなるほど、船尾部分での水流に有利となるが、必要なパワーが大きくなるほど、サイドスラストの筒直径は大きくなる。④後ろになればなるほど、動力測位には角利となるが、船尾部分の水流の均一性にとっては比較的大きな負の影響が生じる。結局、総合的に判断した後、サイドトラストは船尾シャフトの下方FR19地点に置くこととなった。

第二に、音声設備の配置である。この船には、全深海マルチビームシステム、浅型プロファイラー、音響ドップラー流速プロファイラー(ADCP)などの音響設備が配備され、そのうちマルチビームシステムは嵌め込み式取付を採用、すなわち船底と同じ高さとなり、その取付を保証するという前提の下、平底区域の面積をなるべく減らすことで、船首部分のライン最適化に有利となった。

第三に耐波性と安定性である。科学調査船の船体 ライン開発は、耐波性と安定性という要求を兼ね備 えていなければならない。この船は耐波性と安定性 の間の矛盾を調和するために、船底の半径を適度に 減らすことで浮力の中心を下方へと移動させた。同 時にドラフト設計を適度に下方調節し、水平面領域 を増やした上で排水量は変わらぬよう維持すること で、この船の初動安定性を急速に下降させた。耐波 性で最も重要な指標は横揺れ周期の増加であり、同 時に大角度の安定性がやや上がり、安定性に余裕が 出た。船首部分の船体ラインが上下運動に与える影 響は比較的大きい。耐波性を改善するため、前傾船 首マストを使用し、水線がまっすぐに近づくよう設 計し、水線から上は適度に外へ流すことで、縦揺れ、 揺れや波の中での失速を減らすことに有利となっ た。

第四に、ソフトウェア計算および船舶モデル実験 証明である。この船は船体ライン最適化過程において SHIPFLOW ソフトを使用し、流体力学 (CFD) 抵抗計算を何度も行い、ソフトウェアの計算結果に 基づき、船首部分と船尾部分のラインを最適化し、 そこから最終的に本船の船体ラインを確定させたの であった。船舶モデル実験証明を経て、本船最適化 後の船体ラインは快速性における関連要求を満たす ものとなった。 一方で、フローティング状態制御はこの船の全体設計における難点の一つでもあった。この船の上層建築は船首部分に設けられたため、船の重心が前方に偏っている。しかし、実際に船が航行する際はある程度船尾側に傾ける必要がある。したがって、フローティング状態の調整では主に以下の面から着手している。

第一に、船体ラインを設計する際、耐波性と安定性を兼ね備えるという前提の下、フローティングの 重心を適度に前方へ移動させる。

第二に、キャビンの区画分けの際、消耗液タンク (燃油タンクと淡水タンク) をできるだけ船首と船 尾に対称となるよう配置し、油・水用タンク全体の 重心位置を船の真ん中付近に保つ。こうすること で、港到着や作業時の油・水消耗前後におけるフローティング状態に大きな変化を生じさせず、同時にトリムの調整にも便利となる。船尾部分には比較 的大きな船尾バラスト水用タンクを設置し、船首側に大きく傾くのを防ぐ。

第三に、各専用設備をできるだけ後ろ側に配置する。

第四に、この船は水の取り込みと安定性の要求を 満たすため、数百トンのバラスト水を搭載する必要 があり、これにより合理的なバラスト水調節プラン を通じ、いつでも有効に船全体のフローティング状 態を調整することができる。この船の完全安定性 は、MSC.267 (85) が採用する『2008完全安定性規 則 (2008IS CODE)』および国際海事機構 (IMO) の『国際特殊用途船舶安全規則』、現行の『船舶と 海上施設法定検査規則』およびその改正通知による 無限航路区特殊用途船への要求を満たしているので ある。破損キャビン安定性も『1974年国際海上人命 安全条約』および MSC.266 (84) が決議した関連 基準の要求を満たしている。この船の主な積載量 は、オイル、淡水、フローティング状態の安定性の 要求を満たすためのバラスト水から来ており、船全 体に数十もの液体タンクを備えている。安定性指標 を高めるため、キャビン区画分けの際は、液体タン クをできるだけ下に寄せて配置し、船全体の重心を 下げる。

張謇号は遠洋科学調査船として、2019年には11000mのマリアナ海溝極限への挑戦に出発する。その特殊な測位および機能需要により、全体の配置、安定性、風抵抗能力、動力測位能力などの面でそれぞれ特殊な要求がある。同時に快速性、運営経済性などの指標も兼ね備える必要があり、これらはすべて船全体の設計に大きな挑戦をもたらすのである。この船は設計過程において、関連分野の専門家

や研究所の意見、提案を十分に聞き入れ、各項目の 機能指標も比較的良好なバランスを保っている。現 在この船のメイン船体建造作業は基本的に完了し、 関連機能指標は今後の実践テストおよび使用過程の 中で一層の検証を受けることとなる。

第2節 深海石油採掘——海洋石油982号

中国が自主投資して建設した第六世代深水半潜 水式油井掘削プラットフォームである「海洋石油 982」プラットフォームは、中国南海、西アフリカ、 ラテンアメリカなどに設置された中深水海域および その他非寒帯海域の多くの地域において、海上石 油、天然ガス探索、作業用深水半潜水式ボーリング・ プラットフォームの開発に従事している。このプ ラットフォームは全長104.5m、幅70.5mと、サッカー スタジアム一つ分の面積に相当し、プラットフォー ム底部に設置されたフロートは38階建ての高さにな る。自動航行速度は10ノットを下回らず、可変荷重 は作業/自己保存状態において5000トンを下回らな い。船舶重量約2万6000トン、定員180人となって いる。中海油船舶装備命名規則によれば、「9」は 「ボーリング・プラットフォーム」を、「8」は「深 水」を、「2」は「二艘目」をそれぞれ意味しており、 まとめると「二艘目の深水ボーリング・プラット フォーム」となる。ちなみに一艘目はかの有名な「海 洋石油981」である。中国初の自主設計・建造によ る第六世代深水半潜水式ボーリング・プラット フォームであり、中国海洋石油総公司が全額投資し て作った「海洋石油981」は、 2008年4月28日に建 造着工されたが、南海の劣悪な海況に対応した世界 初の設計となっている。このプラットフォームは DP3動力定位システムを使用、水深1500mにおける 錨泊測位となっており、世界一流設計理念および一 流装備とを整合させたものである。

(一) 技術体系

このプラットフォームの建設は、海洋工程装備分 野において、中国がすでに自主研究開発能力および 国際競争力を備えたことを意味している。その技術 レベルは以下のポイントを備えている。

初めに、作業能力が大幅に向上したこと。「海洋 石油982」の最大作業水深は1500m (5000インチ)、 ボーリング深度は9144m (30000インチ) にも達す る。水中設備 / 石油回収クリスマスツリーの操作と サービス能力を備え、このために先端的設備を配備 し、完全機械化、オートメーション化操作の実現が 可能となった。このプラットフォームには先端の DP3測位システムが備わっており、かつ「DP 閉鎖」

作業モードも兼ね備えており、その底部にある6つ のプロペラが衛生測位およびコンピューターシステ ムからの誘導の下、プロペラの方向を調整すること で生まれる逆抵抗が海流と風力の生み出す干渉に抵 抗することを通じ、正確な測位によりプラット フォームを安定させる役割を果たすのである。

次に、中国南海の劣悪な海況、高温多湿といった 環境を特に考慮し、「海洋石油982」の船体構造が最 適化されていること。「海洋石油982」プラットフォー ムの船体構造設計では、風速抵抗が16級レベルの台 風に相当する最大設計52.1m/秒、波の高さは6階 建てのビルに相当する最大の高さ15.9mとなってお り、中国南海における台風の要素が考慮されてい る。同時に、プラットフォームは船室における除湿・ 冷房能力を強化しており、フロート内のプロペラ 室、ポンプ室、配電盤室には除湿空調が配備され、 海上における海風、多湿といった空気環境が設備に 及ぼす影響を有効に減らし、設備の寿命および作業 の安全性を高めた。最適な配備という面で、「海洋 石油982」は第三者からの設備もうまく設計の中に 取り込むよう工夫している。セメントポンプ室と泥 モジュールを合併させ、システムのインターフェー スを簡素化し、セメントの効率およびデッキ利用率 を引き上げた。また、ドリルフロア構造の設計を最 適化させることで、操作をより簡単にし、掘削室と デリックの足場を上げることを通じ、掘削デッキの ためにより広いスペースを節約した。多くの設備や システムに対し、「海洋石油982」では高度に集積さ れスマート化された制御法を用いている。内部制御 システム (ICS) には多くのシステムが集積されて おり、そのうち関連する監視ポイントだけでも1万 以上となっており、各種ケーブルの長さは全部で70 万mを超えている。

更に、操作効率、作業のしやすさ、安全保障の面 において、「海洋石油982」ではこれまでのプラット フォームに比べ、比較的大きな改善が見られたこと である。それらは主に、設備の機能向上、掘削デッ キにおける工具体型の小型化、速度の向上、操作安 全性の向上、能力拡大(1.2トンまで到達可能)に 体現されている。デリックサイズの拡大、掘削設備 の合理的な配置を含む設備の配置も向上した。特に アイアンドリル位置の最適化、ダブルマウスホール 設計は、オフライン作業能力を高め、作業効率を大 幅に高めた。10トンのウインチを使い、重い掘削工 具と材料をより安全かつ簡単に処理しているため、 掘削作業の際、掘削効率を有効に高めることができ る。ムーンプールデッキには2台の作業かごを配備 し、ムーンプール区域における作業効率を更に向上

させた。またドリルパイプ格納用のルートボックスの能力に向上が見られ、一度に最大の掘削作業を行うという需要を満たすことが可能となり、掘削効率を大幅に引き上げたのである。

最後は、環境保護グリーンエネルギー面である。 「海洋石油982」は「ゼロ排出」設計を採用し、主 機の排出は国際海事組織(IMO)TIER IIの要求を 満たしており、窒素酸化物の排出量は15%~22%引 き下げることが可能である。同時に、このプラット フォームでは環境保護材料ならびに技術を採用して おり、アスベストおよびその他有害物質の使用を根 絶し、すべての使用済みオイル、汚水、泥に対して 分類収集処理を施し、消毒して国際基準に達した後 に海へと放出し、国家海洋環境を守っている。その ため、このプラットフォームはCLEAN 船級の称 号を得ている。

(二) 中国におけるこれまでの深水ボーリング・プラットフォームとの比較

第一に、中国が「海洋石油982プラットフォーム」 を建設したことの逼迫性である。中国南海における 石油・ガス資源は豊富で、中国全体の石油・ガス総 資源量の1/3を占めているものの、こうした石 油・ガスの70%は深海深くに眠ったままである。こ うした深海の石油・ガスを開発するには、深水ボー リング装備が必要不可欠である。「世界的な範囲で 見れば、全世界の海洋石油・ガス資源も同様に豊富 である。石油界では深さによって、海域をそれぞれ 浅海(水深500m以下)、深水(水深500m以上)、超 深水(水深1500m以上)に分け、浅海から深水に向 かっていくのが、海洋石油・ガス探査開発の流れで ある」。したがって2006年より、中国国内にある百 余りの海洋石油 団体は、研究、設計、建造、調整、 運営を一体化させた団体を組織し、中国初の超深水 半潜水式掘削プラットフォームである「海洋石油 981」を成功裏に建造させたのであった。その後の 数年で中国海洋石油は、新築・購買・賃貸等の方式 を通じ、深水ボーリング設備の能力を強化してお り、現在すでに7つの深水半潜水式ボーリング・プ ラットフォームを有している。そのうち「海洋石油 981」の作業水深は3000m、「興旺」号と「南海九号」 の作業水深は1500m、「南海八号」、「先鋒」号、「進 取」号、「創新」号の作業水深は750mに達する。「近 年、『海洋強国建設』戦略ならびに『一帯一路』提 唱に積極的に応えるため、中国海洋石油は中国の特 色を持った国際的かつ一流のエネルギー会社建設を 今まさに大きく推進している。これには深水ボーリ ング高度装備部隊の更なる完備を行い、南海深水石

油・ガス資源開発能力を高め、世界の石油・ガス探査開発領域における競争力を備える必要がある。これに基づき、2013年、中国海油の傘下にある中海油服と大船重工が契約を結び、『海洋石油982』を建造したのである。

第二に、「海洋石油982プラットフォーム」とその 他のプラットフォームにおける基礎データを比べた ものである。比較して言えば、「海洋石油981」、「海 洋石油982」、「興旺」号などの深水半潜水式ボーリ ング・プラットフォームにはそれぞれ特徴と長所が ある。しかし全体的に見れば、現在の最新型を選択 したため、「海洋石油982」の方がより経済的かつ人 間的なのである。基本パラメータから見れば、「海 洋石油982」は「海洋石油981」より体積が小さい。 「海洋石油981」は、船体の長さ114.07m、幅78.68m、 デリックの高さ137m、デッキ可変荷重9000トンと なっている。一方、「海洋石油982」は、船体の長さ 104.5m、幅70.5m、デリックの高さ105.8m、デッ キ可変荷重5000トンとなっている。体積が小さいた め、「海洋石油982」の建造コストは「海洋石油 981」より 1/3 少なく、そのため後期設備におけ る減価償却費も相対的に少なくて済み、作業コスト を抑えるのに有利となっている。船の型が同じた め、「海洋石油982」と「興旺」号の体積は同じであ る。操作性能から見れば、「海洋石油982」の最大作 業水深は1500m、最大ボーリング深度は9144mであ る。一方、「海洋石油981」の最大作業水深は3000m、 最大ボーリング深度は10000mであり、「興旺」号の 最大作業水深は1500m、最大ボーリング深度は7500 mとなっている。ただし「興旺」号は、ノルウェー、 北海の寒帯作業用設計を採用しているため、システ ム全体に加熱保温システムが働き、デリックも風除 け設計となっている。したがって、ノルウェー、北 海などの寒冷地区での作業により適している。「海 洋石油981」と「海洋石油982」の作業区域は主に南 海である。

第三に、「海洋石油982プラットフォーム」とその他プラットフォームとの技術比較である。機器容量から見れば、「海洋石油982」の機器総容量の方が、「興旺」号など同類型プラットフォームに比べて20%以上の増加となっており、ほぼ大部分の掘削工具および材料を携帯することができ、少なくとも一つの油井を掘削する作業におけるすべての物資的需要を満たしている。「海洋石油982」は目下世界最先端の第六世代掘削プラットフォームの一つと言われており、世界最先端の深水水中噴出防止装置を配備している。電気と液圧による複合制御モデルを用い、電源が緊急で切断された場合、水中噴出防止器

を有効にする緊急解除機能の先端技術を運用し、水 中坑口をより安全で信頼性のあるものとする。また 強大な発電所と推進システムを配置し、最先端の閉 ループ電力システムと DP3動力測位システムを用 いている。最も言及に価するのは、「海洋石油982 | の測位システムと発電所である。測位システムの面 では、「海洋石油981」でも「海洋石油982」でも「興 旺」号でも、いずれもがダブル測位機能、すなわち DP3測位システムと錨泊測位システムを備えてい る。ちなみに「南海七号」、「南海八号」、「南海九号」 は錨泊測位システムのみである。DP3測位システム は、風や波などの環境パラメータを自動的に採集 し、自動計算を行なって推力を制御し、グラスに入っ た水がこぼれない状態を船舶に保たせる。自動測位 の効率はよく、掘削プラットフォームを既定の位置 まで運び、GPS を利用して位置入力の指令を行なっ た後、すぐに掘削作業を始めることができる。ちな みに1000mの水深における錨泊測位の場合、3日か ら5日前後の時間をかけてようやく測位を完了する ことができる。発電所の面で、「海洋石油982」は閉 ループ電力網設計を採用しており、荷重を共有する ことができ、したがって「海洋石油981」に比べて 15~45%の電力を節約することが可能となる。海上 掘削プラットフォームの電力はいずれも燃油発電で あるため、掘削作業時に「海洋石油982」が消耗す る一日のオイルは少なく、作業コストを抑えるのに 有利である。

(三) 深海有人ステーション——深海3000mの 「三銃士」

2015年3月6日、中国海洋石油における二艘の 3000m級深水多機能工程船「海洋石油286」と「海 洋石油291」が服役の隊列に加わった。この二艘の 工程船と昨年投入運用された「海洋石油289」とで、 中国海洋石油深海海底工程船チームの「三銃士」を 構成しており、中国深海水中施工装備における空白 を埋め、世界海洋工程総請負分野における中国海洋 石油の地位を高めた。「海洋石油286」は中国自主建 造による初めての深水多機能工程船であり、 400ト ンの大型伸縮補償式クレーン、大型ケーブル敷設装 備、3000m級水中ロボットなど世界先端作業装備を 配備し、総合作業能力は世界の同類船舶の中でも トップレベルにある。「海洋石油291」は中国初のプ ラウトレンチ船として、深海大型石油採掘プラット フォームにおけるアンカーシステムの設置と海底パ イプライン掘削作業に重点を置いている。「海洋石 油286 など深水多機能工程船が隊列に加わったの に伴い、深海工程艦隊の系列化、サポート化建設は

徐々に形が見え始め、海油工程公司は深海大型石油 採掘プラットフォームクレーン、水中構造物の正確 な設置、海底パイプラインおよびケーブル敷設など の作業能力を備えることとなった。装備能力に限っ て言えば、現在世界で最も難度が高い深海油田開発 水中工程プロジェクトを完成させることが可能と

「286」は専門的に設計され、ほぼすべての気候 状況下での作業を可能とし、かつ極めて良好な操作 性、耐波性を備えた、オールスチール製、ダブルボ トムダブルシェルの先進的な多機能水中工程船 (MPV) であり、世界最先端の動力測位システム を有している。この船の体積は巨大であるが、深海 作業が大きな風浪に遭遇した場合でも、自動制御シ ステムに則り、船を作業地点にしっかりと停泊させ ることができ、その変位誤差は0.5m以内となって いる。深海工程「空母」として、この船は強大な「搭 載」能力を備えている。400トンの大型「伸縮補償式」 クレーン、大型ケーブル敷設装備、3000m級深海作 業「ロボット」など世界先端の作業装備を配備し、 深海海域水中大型石油採掘施設の正確な設置、海底 ケーブル敷設など10項目余りの機能を備えており、 これは深海油田開発が備えておかなければならない 「神器」なのである。「ROV」と呼ばれる深海水中 作業ロボットは、広く関心を集めている。深海海底 の圧力は大気圧数百分に相当するため、ダイバーが 潜ることは不可能である。深海「ロボット」はダイ バーに代わって水中生産システムの設置、試験調 整、保護などの作業を行うことができる。陸上ロボッ トに比べれば、水中ロボットの技術的難度はより高 く、そのうち機械アーム、推進器、伸縮補償システ ムは技術的核心である。その鍵となる技術は、エネ ルギー、正確な測位、視界ゼロでのナビ、高強度か つ軽質および耐腐食構造材料と浮力材料技術、作業 技術、音響技術、回収技術などに及んでおり、専門 チームによる設備操作・制御を必要としている。

「291」は海油工程が国外から導入した3000m級 の深海多機能工程船であり、海洋石油286の機能と 似ている。「291」は深海大型石油採掘プラットフォー ムのアンカー設置と海底パイプラインの「溝掘り」 作業に重点を置いている。この船は大型の「プラウ トレンチャー」を搭載し、中国における高効率「プ ラウトレンチ船」の空白を埋めた。伝統的な高圧水 「洗掘式」トレンチ方式に比べ、トレンチ効率が大 幅に上昇し、硬質海床および深海トレンチ作業に適 している。「291」は中国東海と南海深水海底パイプ ラインのトレンチ、係留設備の工程における要求を 満たすことができ、深水開発作業船部隊におけるサ

ポート能力を急速に形成し、かつ中国がこの種の船舶を長期的海外リースに頼っていたという受動的局面を逆転させたのである。また、主に深水水中設備の取付、フレキシブルパイプラインの敷設に用いられる「289」は、融資租借モデルを使用しており、これもまた中国海油装備の発展において新たな道を切り開いたのである。

「海洋石油286」を例にとると、その全体機能設計は以下の通りとなる。

〇主な寸法

長さ:140.75m 幅:29.00m

垂線間の長さ:127.85m メインデッキの高さ:12.80m 夏季負荷線ドラフト:8.50m

リブの距離: 0.70m デッキ面積: 1900㎡

〇乗員

乗員は合計150名。そのうち一人部屋28室、二人 部屋39室、四人部屋11室となっており、すべての部 屋はトイレ付きである。

○航行速度

船底が汚れておらず、海況が穏やかな状況の下、風力<ビューフォートレベル2、平面フロートのドラフト6.0m、推進電動機のパワーが MCR(最大持続パワー)の場合、航行速度は14ノットに達することができる。

○主要機能

- ①深水大型構造物クレーンと海底設置。
- ②深水臍帯 / フレキシブルパイプ、ケーブルの敷 設。
- ③飽和潜水サポート(取り外し可能システム)。
- ④ IMR 作業と深水係留処理など。

○船舶全体の配置

「海洋石油286」は全溶接式スチール船体であり、二組のコンジット付き全回転舵プロペラ装置を採用し、前傾式船首には初めてボールノーズ船首を配した。船首には初めて二つのパイプ式スラスタやには作業用ムーンプールを設けた。船尾には船尾ローラーを設置し、マスト楼後方のメインデッキにはデッキ貨物作業エリアを設けた。三級動力測位能力を有しているため、エンジン室を含むいかな引きをが火災もしくは浸水によってシステム故障を引き起こした場合でもこれに耐えることが可能で、引き続き船舶位置を維持する能力を備えている。したがって、関連設備の敷設要求では、A-60級防火隔離が求められなければならず、海面以下の設備隔離

においては、発電機セット、配電盤、動力測位制御 ルームなどの敷設を含み、水密分離の要求を満たす 必要がある。

〇操作性

この船には二つの相互独立したエンジン室が敷設され、6台のメインディーゼル発電機セットが設けられ、船尾部分には2台の導流パイプ付き固定ピッチ全回転ステアリングパドルが設置され、船首部分には1台の伸縮式全回転推進器と2台のトンネル式推進器が配され、三級動力測位能力を備えている。そのため、航行中、作業中、回転、港寄せのいずれの状況の場合でも、良好な操作性能を有しているのである。オランダ MARIN プール操作性試験の結果を経て、この装置には安定性を有効に改善することができ、海上試運転の際、安定して直径を回転するのに船の長さの二倍しか必要ないことが証明された。

〇耐波性

この船には組み合わせ式の縦揺れ/横揺れ軽減システムが配されており、圧縮空気を利用し、バラスト水を片側から反対側へと移動させることができる。クレーンを用いて作業をする際、このシステムは傾斜防止システムを自動的に働かせる。また通常の作業の場合、このシステムは人工制御によって揺れ軽減システムとなる。オランダ MARIN プールが提供する耐波性試験の報告結果では、六級レベルの海況の下、揺れ軽減率は60~70%に達することが可能であると分析されている。

〇完全な安定性

この船には全部で4つの円筒形アンカーチェー ンコンパートメントが設けられ、左右対称に敷設さ れている。係留処理作業を行い、アンカーチェーン コンパートメントを使用する場合、海水がコンパー トメント内に入り込む恐れがある。劣悪な天候の 下、とりわけ船後方からの風浪を受けた場合、上述 の状況が発生する可能性は高まる。こうした状況の 下、船舶の状態および縦と横の傾き具合の継続モニ タリングに特に注意しなければならない。この時、 船は船首側への傾きを保っておくことで、海水がア ンカーチェーンコンパートメントに浸入する可能性 を減らすべきである。浸水後に恐らく発生するであ ろう縦と横への傾き以外に、アンカーチェーンコン パートメント内の海水が移動して起こる自由液面も また、GM 値(初期安定性の高さ)にとっては不利 な影響を引き起こす。したがって、アンカーチェー ンコンパートメントの片側注水状況における安定性 の確認を行う必要があり、かつコンパートメント内 の自由液面の影響も考慮し、計算結果が安定性バラ

ンスのすべての要求を満たせるようにしなければならない。しかしながら、アンカーチェーンコンパートメント内はできるだけ海水が入らないよう維持すべきで、仮に海水が入ったと認識した場合は、アンカーチェーンコンパートメントとつながっている船底水ポンプが正常に作動するよう保証しなければならない。仮に海水がアンカーチェーンコンパートメントの船底システムが処理できないほどのスピードでコンパートメント内に流れ込んできた場合、コンパートメントのハッチカバーは閉鎖状態を保たなければならない。

この船のメインデッキ下にはコイル状キャビン が設けられ、2500トンのフレキシブルパイプを保管 することができ、フレキシブルパイプ敷設機能を満 足させることができる。このコイル状キャビンはメ インデッキの上にあり、平らで取り外し可能な防水 ハッチカバーとなっている。『国際負荷線条約』の 要求に基づき、このハッチカバーの敷設は、いかな る海況下にあっても密封性の維持を保証するもので なければならない。正常な海上航行とフレキシブル パイプ敷設作業以外のその他の作業状況において、 このハッチカバーは閉じておかなければならない。 しかし、海上でフレキシブルパイプの敷設作業をす る場合は、このハッチカバーは必ず開けておかねば ならず、さもなければ作業を完成することはできな いのである。そのため、船尾部分の作業デッキでは 波の水量に対して計算を行い、たとえデッキの上の 波の水がすべてコイル状キャビンを通ってキャビン 内に流れ込んだとしても、船底水ポンプの能力によ り、入り込んできたキャビン内の海水を有効に排出 できるよう考慮しなければならない。それ以外に、 ハッチカバーが閉じていないことにより、コイル状 キャビン部分への浸水をもたらす件については、安 定性に関するチェックを行う必要がある。

○キャビン破損時の安定性

この船は法定積載数150名となっており、 60名以上(ただし240名を超えてはならない)という条件に合致し、R 値は線形補間により0.9R と決められている。分室指数を高め、キャビン破損時の安定性の要求を満たすため、以下の措置を講じている。

- ①合理的分室。できるだけ船舶破損後に水が均等 に浸水するよう、平衡角を減らしている。
- ②装備搭載を最適化し、できるだけ重心の高さを下にする。
- ③水密分離を適度に増やし、破損時の浸水量を減らし、そこから生存の確率を高める。
- ④フローティング状態を調節し、比較的大きなトリム積載状態が発生するのをできるだけ避ける。通

常の状況で搭載装備を配置する場合、すべての運営条件におけるトリム値を<0.5% Ls(Lsとは分室の長さ)にできるだけ制御するよう保証する。仮に通常の状況でのトリムが>0.5% Lsとなった場合、ドラフト満載および部分的ドラフトが0.5%Lsトリム下におけるキャビン破損安定性について加算する必要がある。この時、初期条件のGM値が変化しないという状況の下、得られた分室指数が減少する場合、計算結果に不利な影響をもたらす。

⑤サイドキャビン設計を最適化し、左右でつながった7組のU字型空キャビンを敷設した。船舶が破損した後、この種のキャビンの重心位置は比較的低く、かつ左右につながっているため、船舶の重心を下げてGM値を上げると同時に、サイドキャビン破損がウローティング状態に与える不利な影響を減らし、船舶がバランスを調節するという目的を達成することができる。しかし設計の際は、接続部分の面積をできるだけ広くし、中間部分が浸水する計算について考慮することは避けるべきである。

○動力測位能力

この船には三級動力測位システムが配備されており、ノルウェー船級社と中国船級社による三級動力測位船級の称号を獲得している。風、波、海流がある状況の下、アンカーシステムの助けを借りる必要なく、自らの推力システムを利用し、船舶を予定の位置、舳先もしくは予定された航路への運動を保ち、船舶が劣悪な海況下で作業をする際の信頼性、安全性、精密性を大きく高めた。動力測位能力の計算によると、この船は H1/3=3 m、流速2kn、7級レベルの強風という環境条件下でも360°測位能力を実現させることが可能である。

まとめ

近年、中国政府による力強い推進の下、中国海洋経済は穏やかな発展の勢いを保ち、総合力も引き続き上昇しており、国民経済発展を引っ張る有力なエンジンとなっている。初期的計算によれば、2017年中国海洋総生産は7兆7611億元と昨年比で6.9%増加しており、海洋総生産が中国国内総生産に占める割合は9.4%となっている。2018年、全国海洋総生産は3兆8000億元となり、引き続き6.9%の増加率を保っている。中国国家海洋局が発布した『全国海洋経済発展「十三五」計画』によれば、第十三次五か年計画期間中、海洋総生産は年平均7%の増加が見込まれ、中国国内総生産に占める割合も9.5%へと上昇する。中国は引き続き、海洋経済発展のスペースを開拓していくのである。政府レベルで見れば、中国は海洋資源開発装備産業の発展を極めて重視し

ており、かつ一連の支持政策を打ち出した。『中華 人民共和国国民経済と社会発展における第十三次五 か年規画綱要』の中では、ブルー経済空間の開拓、 海洋経済の発展、海洋資源の科学的開発について明 確に提起している。『中国製2025』の中では、新興 エネルギー装備製造業が比較的優勢かつ完全な産業 体系を形成し、全体的に比較的高い国際競争力を備 えることになると打ち出している。『全国海洋経済 発展"十三五"計画』は、海島および近隣海域にお ける保護の度合いを強化し、重要な海島を合理的に 開発し、深遠海区域への配置を推進し、ブルー経済 空間開拓の速度を早め、海洋経済グローバル配備の

新たな枠組み形成を提起している。『「十三五」海洋 領域科技イノベーション専門計画』は、①海洋資源 開発と利用の研究を展開し、1500mから3000mまで の深水石油・ガス資源自主開発能力を形成する。② 正確な探査および掘削実験技術および装備を研究製 作し、海底天然ガスハイドレート採掘実験能力を形 成する。③1000mの深海における集中採鉱・輸送な どの技術における海上実験を完成させる。④海水淡 水化資源開発利用の鍵となる技術と装備を研究開発 し、海水淡水化利用の技術基準体系を構築する。⑤ 海洋エネルギー技術と装備を研究開発し、海洋エネ ルギー海島応用モデルを実現するとなっている。

第4章

交通港湾設備

中国は世界最大の発展途上国であるが、改革開放 40年以来、世界中が目を見張るような経済成長を実 現させてきた。根本的に見れば、中国の成功はかな りの部分において、インフラ建設の実質的向上に由 来しており、ここから経済発展との間の相互促進と いう良好な関係の形成に成功したのである。「豊か になりたければ、まずは道路の修理を」は、中国各 級政府における共通認識となり、インフラ投資と建 設を注視し続けた。続いて物流および関連交易コス トを絶え間なく下げ、統一性大市場を日増しに拡張 させ、効率を高め、そこから工業化と都市化を迅速 に推進してきた。これが中国経済成長と発展におけ る基本的道のりである。中国は急速な経済発展を実 現する過程において、力を結集して大きな仕事に取 り組める社会主義経済体制の長所を通じ、大型飛行 機、軌道交通(高速鉄道)、港、高速道路等の大型 プロジェクトに対し、持続的かつ将来性ある投資と 開発を重点的に行なったのである。

第1節 大型飛行機研究開発

2016年8月19日、中国工業および信息化部など、四部門の委員会が五大工程の実施方針を発表したが、これは「中国製造2025」を形にした最初の文書であり、最も核心的なサポート方案でもある。方針では段階によって五大工程に細かい目標を設置し、実施の道のりと重点を明確にした。この五大工程の実施方針は、工業信息部など四部門の委員会が共同で発表したものであり、高速鉄道、原子力発電に続き、未来の大型飛行機、民用航空、新エネルギー自動車、高性能医療機器などの分野において、中国製という「新たな名刺」が出現することを願ったものであった。

「大型飛行機(Big Aircraft)」とは学術的専門用語でもなければ、国際的に通用する名称でもない。「大型飛行機」という言葉は、中国人の中国航空工業に対する大きな期待を込めて生み出された専門用語だと言ってよい。2003年、科技部は国務院からの委託を受けて「大型飛行機プロジェクト論証チーム」を組織したが、その後この言葉が中国国内で普遍的に使用されるようになった。「大型飛行機」の一般的定義は、離陸時の重量が100トンを超える輸送類飛行機のことで、軍用大型輸送機と民用大型輸送機、150席レベル以上の幹線飛行機を含んでいる。

中国の民用旅客機「運-10」、大型軍用輸送機「運-20」、投入されたばかりの民用旅客機 C919は、いずれもこの範疇に属している。

(一) C919大型旅客機

C919という名称は、字面の上から以下のように 説明できる。CはChinaの頭文字であり、中国商用 飛行機有限責任公司の英文略称であるCOMACの 頭文字でもある。同時に隠れた意味も含まれてい る。すなわち我々の努力目標は国際大型旅客機市場 に躍り出て、エアバス(Airbus)やボーイング (Boeing)と並び、国際大型旅客機製造業におけ るABC鼎立の局面を形成することである。919に ついて、一つ目の「9」の意味は天長地久(末永く)、 そして「19」は中国初の大型旅客機の最大積載が 190席であることに由来している。

人が C919の技術構造解析ならびに技術部品の供 給元を掘り起こそうとする時、比較的敏感な問題 は、C919の各部品が世界144のサプライヤーから供 給されているという点を置いて他にない。そのうち 飛行機の鍵となる部品、例えばエンジンはフランス のサフラン・グループ (Safran Aircraft Engines) とアメリカの GE グループとが共同出資した CFM 国際グループが提供しており、エンジン排気システ ム、発電と配電系統、タービン、ブレーキなどの箇 所もまた、それぞれ欧米のネクセル (Nexcelle)、 ハニーウェル (Honeywell Aerospacel) などから、 また飛行機前部の機体の一部、中部・後部の機体の 一部、中央の翼、副翼部分、後部機体の前部は、す べて中国航空工業グループ傘下にある多数の会社か らの提供となっている。確かに「C919大型飛行機 に限ってみれば、中国はたかだか外側の殻を製造し たに過ぎず、実際には買ってきた部品を組み立てた だけではないか」と考える声が外界には存在してい る。しかしこうした観点は、中国がこのプロジェク トにおいて行なってきた努力とイノベーション、少 なくとも三つの面で体現された自主イノベーション について見落としているのは明らかである。中国は 自らの研究開発グループを有して飛行機の知的財産 権を保有し、すべての設計・開発・組立は中国が独 立して完成させたものである。C919の空気圧特性 という鍵となる技術は、中国自主イノベーションに 属しており、高速巡航飛行に適応でき、かつ比較的

高い空気圧効率を維持出来る「超臨界の翼」を設計 すると同時に、中国の開発スタッフは飛行機とエン ジンの一体化設計、電気伝導飛行制御システム制御 律、主体制御技術、全機精密化有限元模型分析など を含む100以上の核心的技術における突破に成功し た。したがって多くが機体外側の殻であるという議 論はあるものの、初めて第三世代アルミ・リチウム 合金材料を採用したなどの実績も上げたのである。 更に複雑な問題としては、世界中の主要な部品サプ ライヤーからの製品を一機の飛行機において有効に 整合させなければならないことであり、これは中国 商業飛行機のグローバル価値チェーン管理能力に とって極めて大きな試練であったばかりでなく、技 術的データを理解し尽くし、製品精度を磨き上げて いく面における正確さという点で極めて大きなチャ レンジでもあった。これには、実験の繰り返しと長 期間にわたる努力が必要なことは明らかである。

2017年5月5日、C919は初飛行を行なった。11月10日、C919の一号機が上海浦東空港第四滑走路から飛び立ち、初の長距離都市間飛行を実施した。飛行機の飛行高度は7800m、巡航速度は最高マッハ0.74に達した。途中、江蘇省、安徽省、河南省、陝西省などの四省一市を通過し、飛行距離は1300kmを超えた。中国商業飛行機の業界関係者は、今回の都市間飛行によりC919航空機に都市間航路飛行能力が備わっており、性能が設計の要求を満たせることがひとまず確認でき、予期された安定運行状態に達したことを意味していると述べている。

C919の国際航空適性認証については、目下のところ、欧州航空安全局(EASA)による航空適性審査を受けているところである。順調に行けば、試験飛行完了の際にも EASA による型認証が得られる見込みとなっている。中国民用航空局とアメリカ連邦航空局の『航空適性実施プログラム』は、米中双方がそれぞれ2017年9月28日と2017年10月17日に署名した後、2017年10月17日より正式に発効している。現在試験飛行中のC919は、2021年前後に航空適性認証を取得できる見込みで、その後顧客への引き渡しとなる。しかし中国国内における航空適性認証はまた別問題であり、欧米航空適性許可取得の難度は極めて高く、これは技術的問題のみならず政治的要素も影響するためである。

2018年5月20日、中国航発商用航空発動機公司が自主開発した大型発動実験機 CJ-1000AX の一号機が上海において点火に成功し、開発時間節約において重要な突破を見たが、これもまた中国のエンジニアたちの臥薪嘗胆、「首根っこを押さえる」技術を克服した重要な成果なのであった。この C919のた

めに開発されたエンジンが成熟化・応用されるにはさらに長い時間を必要としており、その際は最先端レベルの型ではなくなっている恐れがあるものの、輸入品に取って代わろうとする戦略的価値は言うまでもないところである。続いて6月2日、中国商飛と海南航空グループは戦略的協力枠組協定に調印し、海南航空は100機のARJ21新支線旅客機、200機のC919大型旅客機を導入・運営すると約束した。仮にこの協定が最終的に実施されれば、これは中国商飛にとって、その発注数が一挙に1000機を突破するものなのである。

C919の技術を消化すると同時に中国はロシアと 共同開発を行い、ボーイング787に直接照準を合わ せ、未来の先端複合材料技術ならびにスマート化技 術を大量に採用した CR929大型旅客機プロジェク トでは、機体全体の設計およびその他系統における 入札作業が現在計画に基づいて進行中であり、7社 のエンジンメーカーが CR929のエンジン・サプラ イヤーとなるべく入札に参加する意向を示した。本 当の大型飛行機と言える長距離大型幹線旅客機 CR929が克服しなければならない困難は、更に多 い。中口双方の計画によれば、双方は生産分野にお いてそれぞれ50%ずつの責任を負うことになってい る。今のところの分業案では、ロシアが翼と中央の 翼収納庫を生産し、中国が機体と水平尾翼を生産 し、最終装備基地を上海に設けている。客観的に言 えば、飛行機開発の底力ならびに実際の製造能力が どちらも有限的な中口双方にとって、この飛行機は 複合材料使用の面においてかなり大きな技術的飛躍 を必要としており、エンジンの配置もまた重要な変 数なのであった。周知のごとく、C919における複 合材料の使用率はわずか12%であったが、CR929の 複合材料使用率は51%へ上昇する見込みであり、そ うなればエアバス A350XWB とボーイング787に匹 敵するレベルとなるため、これは明らかに大きな技 術的挑戦なのであった。もう一つは、航空エンジン 開発メカニズムならびに発展周期に詳しい人なら 知っていることであるが、この分野で成功を収めた ければ、十分な財力投入と技術的修練以外に、卓越 した忍耐力と失敗を恐れぬ超越した意志が必要とな る。 楽観的な予測では、CI-1000AX は最も早くて 2022年に C919に装備される。また大型旅客機であ る CR929に適用される国産エンジン CJ-2000は恐ら く2025~2030年の間に航空適性認証が完了し、その 後装備されての運営となる予定である。言い換えれ ば、今後5~15年の間に、すべて自主技術開発であ る真の中国産大飛行機が生産されるのである。

(二) 運-20軍用大型輸送機

2007年2月、国務院は大型飛行機開発重大科学技 術専門プロジェクトの正式な立ち上げを批准した。 同年3月、中国は大飛行機工程のスタートを宣言す る。同年6月20日、大型輸送機プロジェクト(すな わち運-20) が正式に立ち上がる。6年以上の設計 と製造期間を経て、運-20は2013年1月26日、初飛 行に成功する。運-20は中国航空工業集団公司第一 飛機設計研究院が設計し、西安飛機工業集団が主に 製造したものである。他に瀋飛、成飛、哈飛、上飛 なども部品の製造に参与した。運-20の国産化の度 合いは高く、現在のところ中国最大タイプの自主開 発軍用飛行機である。サイズが大きく、トン数も重 く、機体は広く、貨物エリアも大きい。機体の全長 は約47m、翼幅は45mで、ボーイング767-200型旅 客機と似ている。離陸時の重量は220トン、最大有 効積載量は66トンで、主力戦車などの重装備を搭載 することが可能である。最大飛行距離は7800kmを超 え、満載航程4400kmと、満載の状況にあっても中国 国内のすべての航路を網羅することが可能で、ガソ リン満タンの状況では大陸間航行能力も備えてい る。

運-20の成功は、中国航空工業が世界最先端の隊 列に加わったもう一つの象徴であるだけでなく、中 国空軍が世界トップクラスの空軍へ躍り出たという マイルストーン的装備であるという意味合いの方が 強いのである。これは大型軍用輸送機が、戦略機動 の前提、機敏な反応の条件、特殊プラットフォーム の基盤、勤務支援の手段だからである。大型軍用輸 送機は、一国の空軍が戦術的空軍から戦略的空軍へ の転換を遂げた印でもあり、二流の空軍が一流の空 軍へと昇格したシンボルでもある。大型軍用輸送機 を持たない、あるいは不足している国は、一流の軍 事強国ではない。そうした理由から中国では、多く の人が運-20を「大運」と呼んでいるが、その意は 「大運、大国の運」なのである。運-20が服役して すぐ、中国軍の多様化軍事任務および非戦争軍事任 務遂行能力は大きく向上した。例えば汶川大地震の 救助活動、オーストラリア海域におけるマレーシア 航空 MH370機の捜索活動では、大型輸送機による 支持が欠かせなかった。まさに大型軍事輸送機の一 国における重要性から、運-20は「鯤鵬」とも命名 されている。

(三) 大型飛行機プロジェクトに関する科学研究

中国大型飛行機プロジェクトが徐々に展開する につれ、関連する基礎研究もまた次々と議題に組み 込まれていった。とりわけ材料学、空気動力学の方 面にわたる研究は、かつて中国の大型飛行機プロジェクトを制約するものであったが、中国政府は各方面の科学と技術力の結集を通じ、先進国の国際的技術の壁を打ち破ろうと図った。

2016年、華東理工大学華昌聚合物有限公司が担当 する科学技術難関突破計画プロジェクト――「炭素 繊維複合材料が高性能エポキシ樹脂および炭素繊維 プリプレグを用いた際の鍵となる技術突破プロジェ クト」が最終チェックを通過した。このプロジェク トは中国大型飛行機における原材料の国産化を推進 し、上海ハイテク産業の発展を推し進めるためにも 重要な経済的・社会的意義を備えていた。現在、プ ロジェクトが研究・製造した T300 炭素繊維ファブ リックおよび MERICAN3768液体成型エポキシ樹 脂は、すでに炭素繊維複合材料操縦桿の壁の製作に 成功している。生成された操縦桿の壁面は硬化が完 壁で、表面の光沢度も高く、すでに中国商用飛行機 有限責任公司による非破壊検査を通過した。中国商 用飛行機有限責任公司は総合的な対比分析を行い、 プロジェクトチームが研究・製造した「炭素繊維お よびファブリック、液体成型エポキシ樹脂、T800 炭素繊維プリプレグ」の技術的指標は、国外の対照 サンプルとの同等条件下における実測結果に到達し ていると考えた。

航空タイヤは飛行機の離着陸において安全を司 る部品である。中国大型飛行機の発展はすでに大き な成果を上げているが、大型飛行機の国産化は高性 能航空子午線タイヤ発展の必要性を迫っている。現 在のところ中国には、民間航空大型飛行機子午線タ イヤにおける自主技術および製品は未だなく、完全 に輸入に頼っている状態である。国家自然科学基金 委員会は、『国家自然科学基金"十三五"発展計画』 における優先発展分野と戦略配置に基づき、最先端 科学ならびに国家経済・社会・科学技術発展および 国家安全に向けた大きな需要における重要な科学的 問題について正確に位置付けることで、中国航空子 午線タイヤの発展を助け、2017年度には「大型飛行 機子午線タイヤ先端複合材料および構造における設 計と製造基礎研究」重要プロジェクト資金援助を立 ち上げた。下部プロジェクトとして、「高頻・高負 荷・広範囲温度領域におけるタイヤゴム複合材料の 尺度超越模擬・設計方法」、「厳しい動態条件下にお けるゴム複合材料のミクロ構造変化と非直線性粘 度・弾力メカニズム」、「瞬間的高速・高衝撃負荷に おけるゴム複合材料の摩擦および燃焼・腐食老化メ カニズム」、「大型飛行機子午線タイヤ多材料多層界 面制御および加工製造方法 など、四つの課題を設 置している。

中鋁西南鋁は航空新型アルミ合金材料の需要に目を付け、国産大型飛行機プロジェクトが起動するとすぐにその材料開発に参加した。中鋁西南鋁は、技術、設備、人材面における優位性を生かして自主研究開発に力を入れ、7050合金超大型規格インゴット成形の冶金品質管理、強制変形ローリング、靭性熱処理などの鍵となる技術的難題をついに突破し、中国国内における空白を埋めた。イノベーション駆動に頼り、西南鋁が生産した7050アルミ合金プレストレッチスラブは、国産大型飛行機に無事取り付けられ、外国の技術的独占を打ち破り、中国が先端アルミ合金材料を長期的に輸入に頼り続けてきたという受動的局面を完全に転換させたのである。

中国は「運-20」輸送機開発の際、ロシアの D-30KP2エンジンを採用していたが、国産型の研究 作業をあきらめていたわけではなく、逆に WS-18 と WS-20という二つのターボプロペラエンジンの プロジェクトを一度に立ち上げた。目下のところ、 WS-18ターボプロペラエンジンはすでに装着を終え ている。WS-18はD-30と結合させて開発されたも のであるため、その長所の一部を備えており、かつ より低燃費、より小型化されている。目下のデータ が示すところによれば、現在すでに服役中の運-20 は30機前後に上り、生産性が一旦高まれば2020年に は40機に達してもおかしくない。2018年5月8日、 運-20大型輸送機は、初めて落下傘部隊と合同で落 下・空中投機訓練を展開したが、これは中国空軍戦 略投機・輸送能力、遠隔落下作戦能力構築における 大きな飛躍であった。中国関連の専門家は、運-20 の性能はロシアのイリューシン-76を上回ってお り、最新改造型イリューシン -476の性能に匹敵する とし、積載能力の面ではアメリカの C-17にやや劣 るものの、日本の C-2およびヨーロッパの A-400M 輸送機よりは大幅にリードしていると考えた。

要するに、航空工業は百年の発展の歴史を経て、すでに典型的なグローバル市場、グローバル協力体制、国際基準のグローバル化産業となっており、業界参入が遅れるほどその壁は高いものとなるのであった。欧米の先進国と比べ、中国大型飛行機開発の出発は遅く、技術的蓄積は不足し、産業基盤も薄く、基準の規範化も未熟であり、航空適性審査、国際協力、市場競争など、多くの挑戦に直面していた。中国は国際的な経験を参考に、自らの航空工業における特徴と結び付け、重大科学技術専門プロジェクトの名の下、社会主義市場経済条件下での挙国体制という長所を存分に発揮し、「自主イノベーション、核心的突破、発展の支え、産業を率いる」という発展方針ならびに「中国による設計、システムの集大

成、入札のグローバル化により徐々に国産化へと引き上げていく」発展原則を確立させ、「自主開発、国際協力、国際基準」といった技術路線を堅持している。民用大型旅客機プロジェクトは国際共通の「メインメーカー~サプライヤー」モデルを採用しており、顧客に安全、経済、快適、環境にやさしい民用飛行機を提供することに努めている。軍用大型輸送機が採用しているのは「協力」モデルであり、ロシアとの協力を通じ、「吸収~消化~研究開発」という飛躍的発展の道を進んでいる。

第2節 軌道交通技術――高速鉄道自動運転、 超伝導リニアモーター

「第十二次五か年計画」期間、中国鉄道の固定資 産総投資額(インフラ投資、鉄道車両購買投資、改 造更新投資を含む) は実質3.47兆元に達した。2015 年末、中国鉄道運営総距離は12.1万kmの世界第二位 となった。そこには1.9万㎞に達した高速鉄道運営 総距離も含まれているが、これは世界高速鉄道総距 離における55%を占め、世界一となっている。中国 は国際先端レベルを備えた一群の軌道交通設備製造 基地を建設し、産業規模も世界トップレベルに位置 している。2010年、全国軌道交通設備は工業販売総 生産2477.3億元を実現させ、「十一五」期間におけ る販売総生産の年平均伸び率は31.9%にも達した。 2012年には販売総生産3540億元を実現させ、同期伸 び率16.3%を記録した。『軌道交通設備産業"十二五" 計画』によれば、軌道交通設備産業販売総生産は 2020年までに6500億元を突破する予定である。

2014年、中国高速鉄道「出て行こう(輸出)」戦 略の実施に伴い、現在中国はアメリカ、ロシア、ブ ラジル、タイを含めた28ヶ国との間で高速鉄道協力 プロジェクトについて交渉中である。2.2軌道交通 装備産業の枠組が急速に形成された2016年、中国中 車股份有限公司のメイン事業収入は2600億元を超え た。軌道交通インフラ領域において、中国中鉄は 6241億元の収入を実現させ、中国鉄建は6005億元の 収入を実現させたが、そのうち約30%が鉄道建設で あった。統計による予測では、2018年に全国軌道交 通装備産業の総生産は1.5兆元に達し、寡占市場の 枠組が徐々に形成された。中車の傘下にある長春軌 道客車股份有限公司は、現在すでに中国最大の鉄道 客車および都市軌道車両の研究開発・製造の輸出基 地となっている。四方車両有限公司は、鉄道機関車 車両の研究開発・製造・サービスに終始力を入れて きた。その専門設備配備は全国ないし世界をリード する位置にまで来ている。大連機関車車両有限公司 は主に各種ディーゼル機関車、電力機関車、都市軌

道車両、鉄道車両、およびディーゼルエンジンと各種機関車車両部品製品を製造し、現在の中国国内における先端レベルの都市快速軌道交通車両を有している。株洲電力機車有限公司は、世界最大の電力機関車生産能力を有しており、ヨーロッパ基準でも通じる都市交通装備研究開発製造能力を備え、顧客のいる街ですぐに対応できる修理基地を分布させている。

近年、とりわけ「十二五」以来、軌道交通設備産 業は国家政策による保護を受けており、巨大政策に よる恩恵を受けている。『中国製2025』による全体 戦略配置、『中華人民共和国国民経済と社会発展第 十三次五か年計画企画綱要』、『"十三五"国家戦略 的新興産業発展計画』、『国家中長期科学技術発展規 画綱要(2006~2020)』などでは、一様に新型製造 体系構築について提起しており、軌道交通設備製造 を以って実力ある市の目標とし、開発製造能力が高 く、産業チェーンの価値においてハイレベルを占 め、他への影響が明確な全国先端製造開発基地を構 築するとした。2015年、国務院が発表した『国際生 産能力および装備製造協力推進に関する指導意見』 では、軌道交通装備企業が「出ていく」ことを奨励 した。国際市場を大きく開拓し、国家指導者が海外 訪問をした際には中国高速鉄道を積極的に推薦し た。資金の面では、国も軌道交通産業の発展を大き く支持しており、各大型特別プロジェクト基金では 先端軌道交通産業へのサポートが年を追うごとに増 加している。2017年、国は「先端軌道交通」重点特 別プロジェクトの重点研究開発計画における9つの 重点領域に対して資金援助を行い、その援助総額は 4.81億元に達した。2018年、「先端軌道交通」重点 特別プロジェクトは国庫から経費を調達することと なり、概算で総額1.125億元に達した。プロジェク ト関連経費と国家経費総額との割合は3:1より低 くしないとされた。2020年までには、国の現代化軌 道交通産業への投資は8兆元に到達する見込みであ る。

(一) 高速鉄道自動運転

中国列車運行制御システムCTCS (Chinese Train Control System) には二つのサブシステムがある。すなわち車載サブシステムと地上サブシステムである。CTCS は機能要求ならびに構成図に基づき応用等級(それぞれ0~4級)に分けているが、そのうち現在の中国高速鉄道建設は一律にCTCS-2級もしくはCTCS-3級の列車制御システムを採用しており、これは運行の安全を確保する基礎的設備となっている。動車組(従来の新幹線)上に備えられ

ている CTCS-2/3級列車制御車載サブシステム設備 ATP (Automatic Train Protection 列車自動保護) の場合、超速保護や運行安全保障といった役割を果たすことは可能であるものの、列車の正常な運転は 引き続き運転手に委ねられている。運転手は車載 ATP における DMI (Driver Machine Interface ドライバー・マシン・インターフェイス) ディスプレイ、動車組状態ディスプレイ、進行方向前方の線路 情況をリアルタイム観測しておかなければならず、労働負荷が大きく人的事故の発生を招きやすくなる。

列車自動運行/運転(Automatic Train Operation) システムは、都市軌道交通列車自動制御 ATC (Automatic Train Control) システムにおけるサ ブシステムの一つである。ATO は ATP による監 視の下、自動制御列車運行を行うことができ、これ は目下高速鉄道における重要な発展の方向にもなっ ている。ATO システムの実施は、運転手の労働的 負担を減らし、全寿命における周期コストを抑え、 列車制御システム全体の性能を高めることができ る。したがって、運転手の疲労、操作ミス、突発的 疾病などの人為的要素によって引き起こされる安全 リスクを有効に減らすことが可能となる。高速鉄道 自動運転 (ATO) 技術は、中国高速鉄道技術発展 および中国高速鉄道の技術レベル全体における国際 的地位の確立に必要なだけでなく、スマート高速鉄 道システムにおいて鍵となる核心的技術の一つでも ある。中国は2016年、珠デルタ都市間鉄道である莞 恵線 (東莞~恵州)、佛肇線 (佛山~肇慶) におい て CTCS-2+ATO システムを実施・運営して今日に 至っており、自動運転技術運用による時速200km/h 等級鉄道を初めて実現させた。しかしながら時速 300~350km/h 高速鉄道自動運転技術の応用は未だ 空白の状態となっている。2018年、京瀋(北京~瀋 陽) 高速鉄道が時速350km/hの高速鉄道自動運転 システム (CTCS-3+ATO) による試験走行を実施 したが、これは中国スマート高速鉄道自動運転にお ける核心技術の研究開発が重要段階における成果を 上げたことを意味している。北京から張家口、北京 から雄安新区といった都市間鉄道におけるスマート 高速鉄道建設計画では京瀋高速鉄道自動運転試験走 行の成果を取り入れている。京張(北京~張家口) 高速鉄道は2019年に全面開通して中国初の「スマー ト鉄道」となる。使用されるスマート動車組は2018 年末に試作品が完成して組み立てられ、2019年上半 期には調整および試験走行による最終点検を行う予 定である。京張高速鉄道では、身分証のみでの改札 通過、顔認証による安全検査を実現させる。また沿

線の高速鉄道駅内には各種スマートロボットを配備 し、手荷物運搬やナビサービスを可能とする。中国 高速鉄道自動運転を担当する企業は、主に中国通号 公司となっており、この企業は北京において、シミュ レーション規模が世界最大の軌道交通列車制御シス テム総合実験室を建設した。ここでは2000kmの高速 鉄道、1000kmの都市間鉄道、100kmの地下鉄、5つ の鉄道大型貨物編制駅における総合シミュレーショ ン実験の同時展開が可能となっている。また北斗ナ ビに基づいた次世代列車制御システム、スマート総 合運輸システム、時速400km/h以上の高速鉄道列 車制御システムなどの展開のため、業界における統 率性、将来性のある研究開発に対する試験ならびに 測定プラットフォームの提供を可能とさせている。 中国高速鉄道自動運転技術が大きな飛躍を遂げたの に伴い、列車運行制御技術に保護された運転の下、 中国高速鉄道はスマート化運営を実現させ、中国都 市間鉄道、地下鉄、中低速リニアモーターカー、貨 物ヤード駅などの軌道交通は、やがて全面的な自動 運転時代へと突入していくのである。

それに加え、次世代通信技術、北斗衛星ナビ、ク ラウド計算、ビッグデータ、人工知能など、新技術 のより一層の発展ならびに応用が見られ、高速鉄道 無人運転機能の技術向上実現に向け、中国はまさに 努力しているところなのである。初めに、高速鉄道 無人運転機能の実現は、その実施範囲を高速鉄道正 式区間から動車運用区間(場所)へと拡大する。す なわち現在の高速鉄道自動運転機能は、高速鉄道正 式区間のみに限られるものではないのである。高速 鉄道 ATO システムは京瀋高速鉄道での試走および 将来的に京張高速鉄道自動運転機能に応用される が、その範囲には動車区間(場所)は含まれていな い。そのため、動車区間(場所)における自動運転 技術の研究作業を始める必要がある。成熟したシス テム設備には、科学研究プロジェクト立ち上げ、科 学研究成果の転化、現場試走、試験運行などの段階 を通すことが必要なのである。次に、高度集積化、 情報化された総合大型システムにより、運転手が行 うべき各項作業を完成させるが、これには関連する 多くのメインシステム、例えば信号、動車、通信、 動車運用区間(場所)などのグレードアップ方案を 通じて実現させていく必要がある。中国は信号、通 信、ホームドアなどの面で無人運転機能が必要とす るシステム性、総合性技術のグレードアップ実現に 重点を置いていく。

(二) 高温超伝導リニアモーター

統計によると、2017年末、中国高速鉄道運行距離

は25000kmを突破した。しかしながら、車輪とレー ル間の粘着作用およびその摩擦損失問題により、車 輪レール高速鉄道技術は、更なるスピードを実現さ せることが難しくなり、より速い運行速度を求める 現代社会の要求を満たすのが難しくなってきた。更 なるスピードという需要に直面したが、リニアモー ターカーであれば車輪とレール間の粘着作用を取り 除き、電磁力を利用して列車とレールの間で無接触 の浮上および方向誘導を実現できる。リニアモー ターが引き起こす電磁力を再利用して列車の運行を 牽引する。これは運行速度の速さ、坂道への強さ、 カーブでの半径の小ささ、エネルギー消費の少な さ、騒音の少なさ、振動の小ささ、安全などの長所 を備えている。現在、全世界には三種類の典型的な 磁気浮上技術がある。一つはドイツが発明した電磁 気浮上技術であり、上海リニアモーターカーや長沙 と北京で建設中のリニアモーターカーはすべてこの 技術を応用したものである。二つ目は、日本が発明 した低温超伝導磁気浮上技術であり、例えば日本が 建設中の中央リニア新幹線である。三つ目は高温超 伝導磁気浮上で、これは中国が今後研究と発展を重 点的に強化していく方向でもある。低温超伝導や常 温超伝導と比べ、高温超伝導にはある最大の特徴が ある。それは自己安定性があること、言い換えれば、 高温超伝導体を永久磁石軌道の上に置くと、浮上も 出来れば引っ掛けることもでき、運動中だろうが静 止していようが常に浮くことができるのである。さ らに永久磁石軌道の上で、高温超伝導体は安定した 誘導力と浮力を提供してくれる。すなわち、上下左 右に揺れることがなく、釘を打ち込んだかのように しっかりと永久磁石軌道の上にいるのである。

2018年3月、時速600km/hの次世代リニアモー ターカーが現在研究・製造されていることを中国工 程院の丁栄軍院士が明かしたが、同時に、中国がい ずれ時速1000km/hの高温超伝導リニアモーター カーを研究・製造するという情報も出てきた。中国 の高温超伝導磁気浮上領域における研究開始時期は 比較的早く、理論研究および模型製作の面では非凡 な成績を収めている。そのうち、20世紀末に西南交 通大学が研究・製造に成功した世界初の有人高温超 伝導リニアモーターカー「世紀号」は、本領域にお ける歴史的な出来事となった。それ以外に、リニア モーターカーの運行速度が500km/hに達した時、 すべての抵抗力の中で空気抵抗が92%の割合に達す る。この技術的問題に対し、西南交通大学では真空 管超伝導リニアモーターカーの基礎研究を展開し、 2011年と2014年にそれぞれ最初と二番目の真空管超 伝導リニアモーターカー模型セットを完成させた。

無搭載の模型車両では速度が50km/hから82km/h へと上昇した。理論分析によれば、真空管高温超伝 導リニアモーターカーの速度は600~1000km/h に 達する可能性があり、高速交通における重要な構成 要素になることを表明した。西南交通大学率いる動 力国家重点実験室では実験研究を行い、世界初の真 空管超高速リニアモーターカーの環状試験ラインプ ラットフォームを作ったが、これは中国初の有人高 温超伝導リニアモーターカー試験基地となった。理 論上、このスーパー高速鉄道の速度は1000km/h 以 上に達することが可能であり、ドバイのハイパー ループの速度とほぼ同じとなる。現在中国はすで に、世界で最も時速の速い真空高温超伝導リニア モーターカー直線試験ラインを成都に建設し、工程 化測定試験への投入を行なった。試験時速は最高 400km/h に到達することが可能で、マスクによる これまでのハイパーループ試験速度(最高時速 355km/h) を上回った。

高温超伝導磁気浮上技術における応用の面で、アジア五輪都市軌道交通示範ライン工程がすでに実行前草案が完成間近、もしくは軌道交通が密集する銭塘江南に、杭州初の軌道交通環状ラインを迎えることとなり、これは中国初の高温超伝導磁気浮上鉄道となる。報告によると、プロジェクト路線総距離は11.258km、二期に分けて建設され、設置駅は9つ、駅間の平均距離は1.407km、車両区間を1ヶ所設ける。

中国の学界は理論と実験から、高温超伝導リニア モーターカーの最高運行速度は1000km/h を超える ことも期待でき、かつ異なるマーケットの測位およ び需要により、高温超伝導磁気浮上に低速、中速、 高速、ないしは超高速といった複数の発展方向を制 定すべきと考えた。一つ目は時速200km/hで、空 港から市中心地までの距離時間を0.5時間以内に短 縮させることができる。高温超伝導磁気浮上は製造 コストが低く、カーブの半径を小さく抑え、上り坂 走行能力が高く、騒音なし、汚染なしなどの長所を 十分に発揮することができ、乗客に利便性をもたら すと同時に、省エネ・環境保護的でもある。二つ目 は時速600km/hであり、高速鉄道(時速300km/h) と飛行機 (時速800km/h) の間の速度的空白を埋め る。人類の生活習慣では一日を三つの作業時間帯(午 前、午後、夜の各4時間) に分ける。600km/hの 走行時速に基づけば、北京から上海、武漢、成都、 蘭州などのエリア中心都市までの旅行が、すべて一 作業時間帯以内に完了可能となる。三つ目は時速 1000km /h (真空管高温超伝導リニアモーターカー) であり、大都市間(例えば北京から上海、成都から

北京)に専用路線を設ければ、運行コストが低く、 運行周期が短く、騒音なし、汚染なし、駅を市中心 地に設置できるという長所を十分に発揮し、民間航 空輸送のプレッシャーを軽減させることが可能とな る。

新しく、性能のより優れた超伝導材料を探すた め、科学技術部は『「十三五」材料分野科学技術イ ノベーション特別プロジェクト計画』を発表し、高 温超伝導材料を重点内容の一つへと明確に組み入れ た。室温超伝導体、すなわち室温の下で電気抵抗が ゼロとなる導電体を探し出すことは、中国の科学者 を含む世界中の科学者が共に努力する方向でもあっ た。こうした超伝導体は、社会生産と生活における 多くの領域に根本的な変革をもたらす。長年にわた り、中国超伝導科学技術従事者は高みへの挑戦を続 け、世界超伝導科学技術競争の中で優秀な成績を収 めてきた。まさに『科学』雑誌にある一篇の「新超 伝導体を中国物理学者が最前線へと送り出す」と題 する文章の中で語られているように、「まるで洪水 のように不断に溢れ出る研究結果は、凝縮系物理領 域において、中国がすでに強国となったことを示し ている」のである。

第3節 高速道路——浙江省杭紹甬スマート高 速道路建設

浙江省が全国初のスーパー高速を建設しようとしているとする噂を、このほど浙江省は公式に認めた。浙江省が建設するこのスーパー高速は、すでに部分的に許可の下りた杭甬複線高速道路——杭紹甬高速道路で、この高速道路は全長159kmとなっている。そのうち寧波区間一期は56kmで、総投資約181億元、2021年の完成を見込んでいる。杭紹区間および寧波区間二期は新たに103kmを建設し、総投資約367億元、2022年の完成予定となっている。

大通りを建設する際の要求に基づき、浙江省は杭 紹甬スマート高速道路を高い基準で建設していく。 旅客貨物輸送ネットワーク、センサー通信ネットワーク、グリーンエネルギーネットワークの「三ネットワークを一つに合わせた」スマートインフラを通じ、スマートクラウド制御プラットフォーム構築と 結び付け、人と車と道路が協力したスマート化道路 交通環境を形成する。また、グリーンエネルギーを 全面的に応用し、道路ネットワークの安全を最大限 に高め、通行効率とサービスレベルを引き上げ、自動運転、新エネルギー充電および無線充電技術を全面的にサポートしていく。これは浙江省スマートを 通発展における実験プロジェクトであり、大湾区イノベーション発展を支える象徴的プロジェクトでも

ある。この道路は「スマート、快速、グリーン、安全」の四大要素を備えることとなる。

スマート: 道路ネットワーク総合運行モニタリング警告システムを構築し、人、車、道路が共同で総合的に感知し合うシステムを作り出す。最終的には自動車ネットワークシステム構築を実現させ、自動運転を全面的にサポートする。

快速:運行効率を全体的に引き上げ、快速を実現する。ドイツの高速道路における制限速度なし、あるいはイタリアの最高速度150km/h という技術基準を参考に、杭紹甬高速道路で120km/h を突破できるように、設計速度において土木技術指標に余力を残しておく。

グリーン:車両電動化という発展方向へ全面的に適応する。サービスエリア、料金所に充電杭を設置し、電気自動車に充電サービスを提供する。究極の目標は無線充電技術を構築し、走りながら無線での充電を実現させることにある。

安全:スマート化、フォールトトレラント設計を通じ、システムの安全性を高め、事故危害の程度を最低限に抑える。高精度測位に基づく長期的視野、車と道路の共生、無人運転などを総合的にシステムに組み入れ、重大死傷事故ゼロを実現させる。

高速道路にはこれまでずっと様々な問題が存在 しており、渋滞、安全運転などを含む高速道路管理 問題をもたらしてきた。浙江省のこのスーパー高速 道路が運用する管理システムでは、ビッグデータ駆 動プラットフォームを構築し、スマートシステムを 通じて車両の管理制御を行い、高速道路運行速度を 有効に引き上げ、車両あたり平均20~30%のスピー ドアップを行なわせ、その安全性能もより大きく引 き上げられることとなる。このスーパー道路は将来 さらに無人運転技術を受け入れ、世界初の無人運転 技術を運用開発した高速道路となる。現在の無人運 転技術は長年の研究開発により、日々成熟してきて いるものの、安全性については向上が待たれ、とり わけ高速道路のような極めて高速で運行される道路 においては、その安全把握における正確度はより難 しくなる。浙江省がこのスーパー高速を建設するこ とは、将来中国が無人運転領域において実験と開発 を展開する上で、非常によい実験プラットフォーム となり、中国が今後無人運転技術で世界のトップレ ベルへ躍り出る上で重要な影響を与えるものなので

浙江は交通データの整合研究の面で研究を始めたのが比較的早く、省交通グループは浙江スマート高速情報工程技術有限公司を設立した。その傘下のスマート高速クラウド研究院は、主にスマート高速

などのプロジェクト製品におけるソフト・ハードウェア研究開発およびビッグデータ分析・運営作業を担っている。現在この会社はすでに高速情報・高速道路管理機関と共に実験をスタートさせており、物流ネットワーク、クラウド計算、ビッグデータを借り、杭徽高速道路の上にシグナル採集地点を設け、リアルタイムでデータ情報が獲得できるようにした。渋滞が発生した場合は、警報を発する。将来の「杭紹甬高速道路」には、道路データの採集地点設置、ネットワーク構築、データ分析、ビジュアル表示などの段階が欠かせなくなる。

アリババグループもこのスマート高速道路の建 設に参加し、車と道路の共有するスマートシステム を開発している。①スマート感知基地を建て、元々 の単純な車を主としていたスマートから、人、車、 道路、クラウドによる共同スマートを目指す。②ク ラウド制御プラットフォームを構築し、クラウド端 末にある脳と車両単体とを全体スマート結合させ る。③共同計算システムを開発し、AliOS が責任を 持って完成させる。アリの無人車はすでに車と道路 の共同技術を応用し、杭州の開放道路区間において 何度も実験を行なっている。将来、この新技術もま た高速道路に応用され、最初の試験畑が杭紹甬高速 なのである。アリクラウドはすでに浙江省交通運輸 庁との間に戦略提携を結び、スマート高速道路建設 を共同で推進していく。アリババの構想に基づけ ば、スマート高速道路はやがて普通機能車、インター ネット自動車、自動運転車を全面的にサポートし、 運転手に「千里眼」と「全治の耳」を付与していく。

第4節 港湾建設——上海洋山港無人埠頭

オートメーション化埠頭の建設は、港のモデルチェンジおよびアップグレードを実現し、核心競争力を高め、港のイメージもアップさせる重要な道のりである。中国沿海における主要コンテナ港、例えばアモイ港、上海港、青島港、天津港などは、次々とオートメーションコンテナ埠頭の建設を始めている。洋山港四期はオールオートメーション化埠頭として建設される。総合的対比分析を通じ、技術の比較的成熟している「ダブルカーショアブリッジ+無人搬送車(AGV)+オートメーション化軌道クレーン(ARMG)」といったオールオートメーション化工芸モデルを選択した。

(一) 洋山港四期工程の状況

四期工程は顆珠山汊道の西、東海大橋のハーバーブリッジ連結区間より南の水域であり、埠頭の海岸線は2350m、5万~7万トン級の停泊位置を七つ建

設する。埠頭の構造は、15万トン級コンテナ船舶が 停泊できるよう設計され、年通過能力は630万 TEU に設計されている。この工程は、中国国内外のオー トメーション化コンテナ埠頭と比較すると、全体配 置において以下の特徴が見られる。①複数停泊の連 続敷設で、一度に完成。四期工程はすでに建設され た港エリアとの間にある顆珠山汊道を分割してでき た相対的に独立した港エリアである。エリアには七 つの大型コンテナ船停泊位置が連続して設置され、 一度にオートメーション化埠頭の建設を完了させ る。長さは2350mである。オートメーション化コン テナ埠頭の各機能エリアは合理的に分布され、作業 効率の保障および安全使用などへの要求は高くなっ ている。②港エリアの陸上区域は縦に細長くなって おり、能力を通じた要求は高くなっている。四期工 程の陸上区域平面形態は細長い長方形で、縦に約 200~640m、年通過能力の目標設計は630万 TEU となっている。陸上区域の不足は埠頭前方作業帯の 敷設、オートメーション化ヤードレイアウト、スタッ キング容量の手配などの形成を制約するため、全体 設計では統轄的な考慮が要求される。③水-水トラ ンジットボックスの比率が高い。洋山深水港エリア の水-水トランジットの比率は50%の高さとなって おり、港エリアの荷役作業においてヤード作業が比 較的集中するという特徴を呈している停止。オート メーション化コンテナ埠頭の総合地図の配置におい て、この種のコンテナの荷役効率および複数停泊位 置の連続敷設マッチング問題を解決しなければなら ない。④オートメーション化程度の要求が高い。四 期工程の建設は世界最先端のオールオートメーショ ン化コンテナ埠頭となり、七つの大型停泊位置を連 続して敷設し、一度に建設して全体運営をしてい く。主に荷役段階能力の高効率マッチングを行い、 無人化操作を実現し、オートメーション化レベルを 引き上げ、荷役の安全と人的コストの低下、排気減 少などを要求している。

(二) 洋山港四期工程全体敷設イノベーション

第一に、「ダブルカーショアブリッジ+無人搬送 車+オートメーション化軌道クレーン」のオール オートメーション化工芸モデルに基づき、埠頭前方 の作業地帯における人工作業エリアは、ショアブ リッジ陸側軌道前方エリアに配置する。またオート メーション化作業エリアは、ショアブリッジ陸側軌 道後方エリアに配置し、両者の作業が相互の妨げと なるのを防ぐ。すなわち、オートメーション化閉鎖 作業の安全要求に適応すると同時に、港エリアの円 滑な交通整理、作業効率を上げ、それらが打ち出す

敷設方式に類似した工程設計をする際の参考とする ことができる。

第二に、大型コンテナハブ港における水-水トラ ンジット比率の高さ、ドライブランチライン船舶の 混合作業、海側陸側作業量の不均衡などの要素に対 し、オートメーション化コンテナヤードにおけるカ ンチレバーなし、あるいは片持ちカンチレバーオー トメーション化軌道クレーンという混合レイアウト モデルを設計する。このモデルは外国の典型的な オートメーション化ヤードが採用する単一軌道ク レーンヤードレイアウトモデルと比べると、水-水 トランジット比率に基づき、二種類の形式の軌道ク レーンが異なる比率で合理的に混合レイアウトされ ており、ヤード海陸側軌道クレーンにおける作業量 の不均衡、海側荷役システム効率が船舶大型化への 適応性に欠けるなどの問題を解決した。このレイア ウトモデルは、各方式の軌道クレーンを通じて比率 を調整することができ、異なる特徴を持つオール オートメーション化コンテナ埠頭に応用し、広範に 普及できる前途を備えている。特に、複数停泊位置 連続敷設、水-水トランジット比率の高さ、ドライ ブランチライン船舶の混合作業、海側陸側作業量の 不均衡などのオートメーション化コンテナ埠頭にお けるヤードレイアウトに適している。

第三に、陸エリアと港外交通条件とを結合させ、 「東から入って西から出る」分離方式のゲート敷設 を打ち出し、港外トラックの港内行程を減らし、港 内の集積トラックの流れを一致させ、交通の手配を 簡単、スムーズにして、使用要地も節約した。オー ルオートメーション化コンテナ埠頭の作業では外来 車両の情報に対する質への要求が高い。オートメー ション化ヤードにおける駐車能力は低いという特徴 に基づき、「予備検査、分流、リリース」という三 段階入港スマートゲートという新たなモデル敷設を 設計する。さらに分流ゲートとリリースゲートとの 間に車両上部調整、ボックス調整、重量測定、冷蔵 ボックス予備検査などの機能を有した港外トラック 緩衝駐車場を設置し、入港車両の管理を強化し、港 内交通のプレッシャーを大きく解消し、港エリアの 対外サービスにおける質と作業効率を高めた。

第四に、無人運転の AGV に関するオートメー ション化運行エリア、修理エリア、試験エリアにお いて運行方式が異なるという特徴に基づき、この三 つのエリアが接する位置に「相互交流エリア」を設 けることを通じ、AGV 試験エリア、修理エリア、 機械修理エリアという連続した敷設を実現し、人と 機械の混合作業、自動と非自動運行モデルにおける 転換といった安全問題を解決し、安全管理制御面の

要求をより満足させられるようになった。大型オー トメーション化コンテナ埠頭 AGV 電池交換ステー ションの交通量が集中するという特徴に対し、超越 式 AGV 電池交換ステーションの敷設モデルが設計 され、AGV の列に並ぶ待ち時間が大幅に減少され、 AGV の電池交換効率を高め、埠頭前方作業地帯に 対する交通の影響を減らした。

第五に、オートメーション化ヤード内に位置する 冷蔵ボックスエリアの敷設に対し、軌道クレーンを 内側の配列を跨ぐ方向で冷蔵ボックスと通常ボック スとの混合敷設形式に設計したことである。これは 敷設が相対的に集中し、海・陸側作業効率を兼ね備 え、補助作業員の出入りを便利にするといった特徴 を有しており、特に、複数停泊位置連続敷設に適し ており、オートメーション化の程度、作業安全、管 理効率、交通手配などの問題を有効に解決すること ができる。

まとめ

「一帯一路」という重要路線の提起は、中国交通 および港湾建設における商業マップの更なる拡張に 希望をもたらした。世界地図から見れば、「一帯一 路|はアジア太平洋経済圏とヨーロッパ経済圏とを 結んでおり、「世界で最も長く、最も潜在能力を有 する経済大回廊である」と考えられている。この千 年続く「シルクロード経済ベルト」をもう一度復活 させるため、「一帯一路」は中国軌道交通の先行を 通じ、アジア、ヨーロッパ、アフリカ大陸および周 囲の海洋における相互連絡推進を呼びかけている。 これは中国鉄道、道路、港、空港など、インフラの 建設および輸出にとって新たなチャンスとなる。と りわけ発展途上国経済が急速な伸びを見せる時期、 鉄道建設における市場需要の空間は極めて大きい。 中国は「一帯一路」沿線の発展途上国、特にアジア・ 太平洋、ラテンアメリカ、アフリカなどの発展途上 国が比較的集中している地域を、対外投資の主要目 的地としているのである。

第5章

新エネルギー開発

目下、中国の経済的基盤が日々固まってくるにつれ、生態環境はすでに政府が最も重視しなければならない問題となった。現在の新エネルギー発展が、まさにこのテーマに呼応したものであり、新エネルギー発展戦略をいかに有効に制定するかが極めて重要となっている。現在中国社会は新エネルギーの発展に十分な関心を持っており、そうした理由からも巨大なプレッシャーを背負っているのである。目下の中国社会および市場変化の動態、新旧エネルギーの交換をいかに調整していくかを理解することは、中国の未来における新エネルギー戦略実施分析の準備をすることとなる。資源状況と技術発展水準に基づき、中国は太陽エネルギーを核心とし、原子力エネルギーと風力エネルギーに重点を置いた発展方向を確立しようとしているのである。

第1節 太陽光発電

中国の太陽光発電は始まりが比較的遅く、1980年 代以前はほとんど何の動きもなく、海外から遅れる こと数十年といった状態であった。1980年代以降、 関連政府は太陽光発電の優れた点に注目し始め、太 陽光発電業務を大きく支持するようになる。2002 年、政府は「光明プロジェクト」を立ち上げ、太陽 光発電を研究項目に列し、集中的な技術的突破を行 なった。その後、関連工程プロジェクトが次々と推 進され、2009年には再び、いくつかの太陽光発電に 関するプロジェクトが引き続き推進された。統計に よると、21世紀に入ってから、中国の太陽光発電は 用量が上がり続ける一方で、対象エリアも拡大され 続け、引き続き増加の傾向を保っているのである。 2002年から2009年までに、太陽光発電設備容量は 20.3MW から500MW まで増え、伸び率は23.6倍と なった。その後も引き続き大幅な増加を続け、2012 年末にはアメリカを一挙に抜き、太陽光発電量で世 界第三位の国となった。関連する大型プロジェクト も建設され続け、重要な省や市は次第に網羅されて いったものの、中国の主な太陽光発電工程は西部の 辺鄙な地区に集中しており、そうしたところでは人 も煙もまばらで、太陽からの光も十分に当たること となる。したがって、中国の太陽エネルギーについ ては中国の社会・経済の発展との間に、明らかな構 造的矛盾が存在しているのである。

「十二五」期間中、中国の太陽光発電産業体系は

改善され続け、技術も明らかに向上し、太陽光発電 製造および応用規模は世界トップクラスとなった。 太陽エネルギー熱発電技術の研究開発および装備製 造は比較的大きな進展を遂げ、すでに商業化実験発 電所が建てられ、規模化発展の条件の第一段階をク リアした。2016年12月16日、中国国家エネルギー局 が対外発表した『太陽エネルギー発展"十三五"計 画』は、中国が「イノベーション駆動、産業アップ グレード、コスト削減、市場拡大、システム改善」 という全体思想に基づき、太陽光発電多元化の応用 を大きく推進していった。2020年末までに、中国太 陽エネルギー発電装置は1.1億キロワット以上とな り、そのうち太陽光発電装置は1.05億キロワット以 上となる。明確な計画では①2020年までに、太陽エ ネルギーの年間利用量を1.4億トン以上の石炭に相 当させる。②2030年までに、中国の太陽エネルギー 発電量を50億トンの石炭燃焼熱量にまで到達させ、 徐々に再生不可能エネルギーに取って代わるという 目的を実現させる。③2050年までに、中国の再生可 能資源が生産するエネルギーは、総量の40%以上を 占める必要がある。電力の面では、再生可能資源が 60%を占める。太陽エネルギー発電量について言え ば、10億キロワットを受け入れる必要があるとし た。「十三五」期間中、太陽光発電のコストは下が り続けている。2020年までに、太陽光発電の電気料 金水準は2015年を基準として50%以上の下げ幅と なった。太陽エネルギー熱発電のコストは0.8元/ キロワット時より低い。太陽エネルギーは床暖房、 工業暖房で市場競争力を備えている。

現在、中国の大型地上発電所は、太陽光発電装置総量の80%以上を占めているが、近年、中国の政策は太陽光発電所の建設を奨励するのと同時に、太陽光発電の応用を別の産業へ浸透させようと積極的に促進し続けており、太陽光発電の応用モデルはこれにより多様化し始めたのである。現段階における中国太陽光発電所の開発は、農業、養殖業、鉱業、生態コントロールと融合して多元化発展を見せる勢いにあり、各種産業と太陽光発電業界とを結び付けた応用新モデルを切り開いた。太陽光発電ウォーターポンプ、太陽光発電街灯、太陽光発電樹、太陽光発電指になど太陽光発電応用製品のタイプは次第に多様化してきている。

第一に、屋根分布式太陽光発電を大きく推進する

ことである。

「十三五」期間中、国は分布式太陽光発電応用示 範区の建設を引き続き展開し、 2020年までに100の 分布式太陽光発電応用示範区を建設し、パーク内 80%の新築建築の屋上、およびすでに建設されてい る50%の建築物の屋根に太陽光発電を設置してい く。開発条件を備えた工業園区、経済開発区、大型 工業鉱業企業、デパート・学校・病院などの公共施 設は、「政府が誘導、企業の自由、金融はサポート、 社会は参与」とする方式を採用し、屋根太陽光発電 プロジェクトの実施を統一して計画・手配した。太 陽エネルギー資源が豊かで、ネットワーク接続消費 条件のいい農村地区や小さな町で、住宅用屋根太陽 光発電プロジェクトを推進し、新型小都市構築、旧 市街改装、新農村構築、域外移転などと結び付け、 屋根太陽光発電プロジェクトの建設における統一計 画を行い、いくつかの太陽光発電小都市、太陽光発 電新農村を形成する。

第二に、「太陽光発電+」総合利用プロジェクト を開拓・展開することである。国は、荒山・荒地、 沿海ビーチ、炭鉱地盤沈下地域などの廃棄土地コン トロール、施設農業、漁業養殖などを総合利用する 方式と結び付けるよう奨励している。現地の状況に 適応した各種「太陽光発電+ | 応用プロジェクトを 展開して太陽光発電とその他産業の有機的融合を促 進し、太陽光発電を通じて土地利用価値を増やし、 新たな道のりを開拓していく。また、各種農業的メ リットの上がる太陽光発電農業融合発展モデルを模 索し、現代高効率農業施設と太陽光発電所建設との 結合を奨励する。水産養殖条件のよい地区では、池 の水面を利用した漁・光一体の太陽光発電所建設を 奨励する。林業管理規範に符合するという前提の 下、植林に適した地、灌木林、まばらな森林に林・ 光相互補完太陽光発電所を合理的に敷設する。漢方 薬剤の植栽、植物保護、生態コントロール工程と結 び付け、太陽光発電所を合理的に建設・配置する。

第三に、分布式太陽光発電応用モデルのイノベーションである。国は電力システム改革と結び付け、 分布式太陽光発電市場化取引を展開し、太陽光発電 プロジェクトが電力負荷建設に近づき、中低圧配電 ネットワークに組み込まれ、近隣での電力消費が実 現するよう奨励した。各種配電ネットワーク企業 は、分布式太陽光発電が電力ネットワーク運営に組 み入れられるようサービスを提供し、分布式太陽光 発電量を優先的に消費していく。また分布式発電グ リッド運行技術を支えるシステムを構築し、分布式 電力の取引を手配していく。分布式太陽光発電プロ ジェクトを電力ユーザー市場化購買モデルへと推し 進め、電気ネットワーク企業に納める送配電価格は、分布式太陽光発電の近隣での消費促進の原則に基づき、合理的に確定する。したがって、太陽エネルギー発電市場における応用は分野を広げ、多様化する勢いを呈し、各種需要に応じた太陽光発電製品が頻繁に世に出てくるのに適応していく。また、大型グリッド太陽光発電所以外に、建築物と結びついた太陽光発電システム、小型太陽光発電システム、オフライン太陽光発電システムなども急速に立ち上がってきている。太陽光発電は幅広い将来性を有し、かつ最終的には重要な戦略的地位を占めることとなるのである。

ここ数年、中国の太陽光発電モジュールの生産能 力は拡張し続けているが、それは主に二つの原因に 基づいている。一つは、国家エネルギー局が太陽光 発電装置の容量計画を大幅に引き上げ続けているた めである。2017年7月、中国エネルギー局が発表し た『再生可能エネルギー発展の"十三五"計画実施 に関する指導意見』は、2017~2020年における太陽 光発電所装置容量を合計86.5GW (年間21.6GW) と 定めた。2016年12月に発表された『太陽エネルギー 発展"十三五"計画』における2016~2020年の計画 合計67GW(年間13.4GW)と比べると、装置容量 の計画が61%上昇しており、将来の業界生産能力が 拡大を迎えるよう希望している。二つ目は、太陽光 発電技術が急速な反復期に突入したためであり、モ ジュールの面でも多くの新技術応用、例えばハーフ チップ技術、ラミネート技術、ダブルガラスモジュー ルなどの出現である。中国太陽光発電生産能力の拡 張は、主に単結晶シリコン太陽エネルギー電池生産 能力の構築、および PERC、ブラックシリコン、N 型電池技術の産業化である。

第2節 風力発電、水力発電、地熱発電、バイ オマス発電

(一) 風力発電

中国は「第十三次五か年計画」において、2020年までに石炭消費総量の比率を60%前後に、2030年までには50%前後にまで下げることを第一歩として打ち出している。2030年以降は新たな火力発電を建設しないものとし、2050年までに中国エネルギー構造において、石炭発電を主とするものから非化石エネルギー発電を主とするものへの転換を実現する。2050年までに、各業界における二酸化炭素排出累計を少なくとも7500億トン減らす予定である。そのうち、40%の排出削減目標は電力業界において実現させる必要がある。また電力業界のうち60%の排出量削減は、再生可能エネルギーを以って実現させなけ

ればならない。再生可能エネルギーのうち、風力発 電と光ファイバーには最も大きな商業的発展の可能 性があり、22%の排出量削減任務を受け持っている。

2017年上半期、中国では新たに風力発電装置容量 601万キロワットが増設されたが、これは同期比で 27万キロワットの増産となる。6月末、全国グリッ ド風力発電装置容量は1.54億キロワットに達し、同 期比で12.0%の増加となった。全国6000キロワット および以上の発電所におけるグリッド風力発電量は 1490億キロワット時で、同期比21.0%の伸びとな り、装置容量増設の速度を明らかに上回った。風力 発電発展「十三五」計画は総量の目標を打ち出して いる。2020年末までに、風力発電累計グリッド装置 容量において2.1億キロワット以上に到達するよう 保証すること。そのうち海上風力発電グリッド装置 容量は500万キロワット以上に達すること。また、 風力発電年間発電量が4200億キロワット時に到達す るよう保証すること。これは全国総発電量の約6% を占める。消費利用目標は、2020年までに放棄され た風力発電の問題を解決し、「三北」地区において 最低保障買収利用時間数の要求を全面的に達成する ようにすること。

初めに、2018年は風力発電業界の復活が始まった 年でもある。2018年末までに、中国風力発電、太陽 光発電装置は3.6億キロワットに達し、装置全体に おいて20%近い比率を占めた。風力発電、太陽光発 電の年間発電量は6000億キロワット時となり、全発 電量のうち9%近くを占めたが、このうち風力発電 量は3660億キロワットで、同期比20%の伸びとなっ た。2017年に生産投入された風力発電、太陽光発電 所の平均建設コストは2012年と比べ、それぞれ20% と45%の削減となった。現在、資源条件が良好で、 建設コストも低く、投資と市場条件のよい地区にお いて、風力発電の発電コストはすでに石炭燃焼標準 グリッド価格水準に達しており、国からの庶民価格 グリッド補助金を必要としない条件を備えたのであ る。2017年、業界で新たに増設された装置は15GW 前後となり、設置量は予測を下回った。しかし、 2018年以前に批准・納入された前年度財政補助金規 模管理の陸上風力発電プロジェクトがあるため、 2019年末より前に起工建設を始めなければ、2018年 より前の比較的高いグリッド標準電気料金を執行で きないのであった。したがって、2018、2019年の装 置需要は大幅に増加する。

ある機関が「2018年中国風力発電全機メーカーに おける新装置容量増加ランキング | を発表したが、 2018年に中国で新たに設置された分は21GWで、同 期比17%の伸びとなった。トップの五大大手企業に

よる市場集中度は高まり、そのうち金風科技の新装 置増加分は6.7GW (海上風力機0.4GW を含む)と、 市場の32%を占めている。2019年、風力発電批准未 建設プロジェクトは加速化されることが期待されて おり、新たに増やされる装置は、引き続き三北へと 送り返され、海上風力発電も高度発展期へと突入す る。2019年、業界は引き続き復活の状態を保つ見込 みで、年間装置は25~28GW、20%前後の加速率が 予測されている。

次に、消費者側から見ると、庶民価格グリッド補 助金のない風力発電、太陽光発電による電力はユー ザー価格を更に下げ、クリーンエネルギーがエネル ギー消費総量に占める比重をさらに引き上げるのに 有利となる。生産側から見ると、庶民価格グリッド 補助金なしの政策は、風力発電、太陽光発電所の建 設推進を加速させるのに役立ち、クリーンエネル ギー供給規模を拡大させ、発電企業における生産技 術の絶えまぬ改良促進にも役立つ。ここから、風力 発電、太陽光発電などのクリーンエネルギー発電コ ストが下がり続け、良好な循環が実現するのを一層 促進する。加えて、2017年に国が出した多くの風力 発電消費政策保障は、風力発電放棄の改善および UHV チャンネルの完成に伴い、風力発電における 消費メカニズムは一層改善されることとなった。

1月9日、国家発展改革委員会、エネルギー局は 『通知』を通達し、庶民価格グリッド風力発電、太 陽光発電プロジェクト建設の推進を要求し、一連の サポート政策措置を打ち出した。プロジェクト建設 のコストを下げ、新エネルギー消費の継続が好転す る中、『通知』の明確な各項政策は、庶民価格グリッ ドの進行を加速させ、庶民価格プロジェクトの増加 を率いることであった。『通知』は一連のサポート 措置を打ち出したが、まとめると、重点は「四つの 保障」を行うことにあった。一つ目はネット接続の 保障である。プロジェクト計画段階において、省レ ベルエネルギー主管部門は、電力会社がネット接続 工程建設を加速させるよう督促し、プロジェクトの ネット接続方案ならびに消費条件などの論証作業を しっかりと行い、プロジェクト建設後、すぐにグリッ ド運行ができるよう保障する。二つ目は契約の保障 である。庶民価格ネット接続プロジェクトは、電力 企業により、プロジェクトが批准した際に国が規定 した当地の燃料標準ネット接続電気料金に基づき、 風力発電、太陽光発電プロジェクト機関と20年以上 に及ぶ長期固定電気料金購買契約を結ぶ。庶民価格 ネット接続プロジェクトと低価格ネット接続プロ ジェクトは、どちらも電力会社により優先発電と全 額保障性買収をしっかりと保障し、同時に庶民価格

ネット接続プロジェクトがグリーン証取引を通じて 合理的収入が得られるよう奨励し、最寄りの消費に おける配送電気料金政策をサポート、改善する。三 つ目は消費の保障である。省レベル電力会社は電気 量購買責任を負い、庶民価格(低価格)ネット接続 プロジェクトの消費を保障する。四つ目は環境の保 障である。全国エネルギー消費「ダブル制御」目標 達成の条件を確保し、各地区において計画超過と なった一部の再生可能エネルギー消費量を、そのエ ネルギー消費総量と強度という「ダブル制御」試験 に組み込まないようにする。

(二) 水力発電

2019年中国水力発電発展フォーラム兼水力発電 科学技術賞表彰大会の席上、中国水力発電工程学会 の張野理事長は、2018年末までの中国水力発電装置 総容量は約3.5億キロワット、年間発電量は1.2兆キ ロワット時で、二項目とも引き続き世界一の座を 守ったと打ち明けている。張野はさらに次のように 表明した。①世界一の高アーチダムである錦屏一級 水力発電所が、フィディック工程プロジェクト傑出 成就賞を受賞し、中国水力発電ダム工程技術が引き 続き世界をリードしている。②三峡発電所の年間発 電量が初めて1000億キロワット時を突破し、瀾滄江 大華橋、黄登、里底水力発電所は初の機器を次々と 生産投入した。青海は9日間連続で、水・風・光な どのオールクリーンエネルギーによる電力供給を行 い、龍羊峡水力発電所は建設30年で初めて貯水が正 常貯水位に達した。水力発電は、エネルギー生産と 消費革命を推進し、省エネや排出削減を促進し、水 資源などの総合公益を高効率に調節し開発利用し続 ける流れを明確にした。2018年末までに、中国大陸 はすでに5万キロワットかそれ以上の大・中型水力 発電所約640ヶ所を建設し、総装備は約2.7億キロ ワットとなっている。③中国企業が参与している建 設済みもしくは建設中の海外水力発電プロジェクト は約320ヶ所、総装備8100万キロワット以上となっ

2018年、中国水力発電分野ではいくつかの注目に値する発展が見られた。

(A) 雅礱江錦屏一級水力発電所が、フィディック2018年工程プロジェクト傑出成就賞を受賞。錦屏一級水力発電所は、305mの世界最高コンクリート製ダブルアーチダムを有しており、建設過程においては、極度に高いアーチダム、高洪水流量、高山渓谷地形、急斜面、高地ストレス、深い亀裂などの工程技術的課題に直面したが、建設者全体で科学技術難関突破を力強く展開し、ハイクオリティの錦屏一

級水力発電所を建設し、多くの項目での世界一を達成した。

- (B) 瀾滄江大華橋、黄登、里底の三つの大型水 力発電所で初の機器が次々と生産投入され、イノ ベーション駆動スマート建造が重要な役割を発揮し た。6月9日、7月5日、10月29日、華能瀾滄江公 司は、大華橋、黄登、里底水力発電所にてそれぞれ 初の機器正式生産投入発電を行なった。大華橋水力 発電所の総装置容量は92万キロワット、年間発電量 は39.18億キロワット時に達した。黄登水力発電所 の総装置容量は190万キロワット、年間発電量は 85.7億キロワット時となった。里底水力発電所の総 装置容量は42万キロワットで、発電量は17.53億キ ロワット時であった。華能瀾滄江公司は、イノベー ション駆動を力強く実施し、黄登水力発電所では 203mという世界最高の粉砕コンクリート重力ダム 建設の施工過程において、スマート粉砕新技術と粉 砕コンクリート重力ダムコアリングの世界新記録を 作った。
- (C)中国・パキスタン経済ベルト初の水力発電プロジェクトであるカロット水力発電所の河川閉鎖を実現させた。9月22日、中国・パキスタン経済ベルト初の水力発電所であるカロット水力発電所では順調に河川閉鎖が実現したが、これは完全に中国の技術と中国基準で建設するパキスタン初の水力発電プロジェクトが全面的施工段階に突入したことを意味し、同時に「一帯一路」沿線国家の水力発電所建設が新たな突破を実現させたことを示していた。カロット水力発電所はパキスタンのジラム川に位置し、装置容量72万キロワット、年間発電量は32億キロワット時、総投資は約17.4億米ドルとなっている。
- (D) 揚水発電所は大きな発展の契機を迎えており、海南、深圳揚水発電所はすべて完成、生産投入となった。2018年、中国の非化石エネルギー発展は世界をリードし、発電装置が占める割合もすでに38.1%に達した。容量が最大で、技術が最も成熟したエネルギー貯蔵施設である揚水発電所の建設は大きな発展を迎えている。2018年末までに、中国揚水発電所の装置はすでに3000万キロワットを超えており、建設済みおよび建設中の装置容量はどちらも世界一となっている。
- (E)中国国内初の100万キロワット級 EPC 建築である楊房溝水力発電ダムは、初のコンクリート注入建築となった。楊房溝水力発電所は、水力発電第七局と華東院が共同で建設したもので、発電所装置は150万キロワット、ダムの主体部分にはコンクリートダブルアーチダムを採用しており、ダムの最大高度は155mである。これは中国初の100万キロワット

級 EPC 水力発電プロジェクトであり、大型水力発電工程 EPC 建設管理の探索と実践における先駆けとなった。

(三) 地熱発電

国家統計局のデータによると、2017年末までの全 国発電装置容量は17億7703万キロワットと、前年末 比で7.6%の伸びとなった。内訳は、①火力発電装 置容量11億0604万キロワット、増加率4.3%、②水 力発電装置容量3億4119万キロワット、増加率 2.7%、③原子力発電装置容量3582万キロワット、 増加率6.5%、④グリッド風力発電装置容量1億 6367万キロワット、増加率10.5%、⑤グリッド太陽 光発電装置容量1億3025万キロワット、増加率 68.7%であった。地熱発電が占める割合は小さく、 単独でランクされているわけでもない。『地熱エネ ルギー開発利用"十三五"計画』の要求に基づき、「第 十三次五カ年計画」期間中、新たに増設された地熱 発電装置容量は500メガワット、2020年までには地 熱発電装置容量はおよそ530メガワットに達する。 チベット、四川西などの高温地熱資源エリアに高温 地熱発電プロジェクトを建設する。また華北、江蘇、 福建、広東などのエリアに若干の中低温地熱発電プ ロジェクトを建設する。

2018年、中国地熱技術発展の面で注目に値するの は、地熱エネルギー探査開発利用装備の発展が比較 的早かったことである。中国が地熱エネルギー探査 を使って開発した地球物理学、掘削、ヒートポンプ、 熱伝達など一連の鍵となる装備は日増しに成熟して きている。地球物理学探査の面で、中国は世界でも 先端の二次地震、 3D 地震、時間周波電磁気、大地 電磁気、重電磁気などの装備を有している。掘削工 程の面で、中国はすでに1万m掘削機の研究・製造 に成功しており、石油掘削は8000m以上を見込んで おり、フルボアコアリングの大陸科学掘削ドリルは 7018mまで達する見込みで、こうした掘削機はすべ て地熱エネルギー掘削工程に用いることができる。 2018年、中国大陸科学掘削探査松科二号井戸では高 温水性泥水の耐熱性242℃到達を完成させ、井戸底 の動力スクリュードリル耐熱性180℃までの到達を 実施し、スクリュードリルに取って代われるタービ ンドリルの耐熱性は240℃を突破した。ヒートポン プ装備の面で、現在中国はすでに地熱ヒートポンプ 生産および消費大国であり、国産セット設備の生産 レベルも日増しに向上しており、国産設備は中国市 場の大部分を占めている。

(四) バイオマス発電

中国『バイオマスエネルギー開発利用"十三五"計画』に基づき、2020年には中国バイオマス発電装置総容量を1500万キロワット、年間発電量を900億キロワット時に到達させる。そのうち農林バイオマス直接燃焼発電は700万キロワット、都市生活ゴミ燃焼は発電750万キロワット、バイオガス発電は60万キロワットとなっており、分散型コージェネレーションが主要な発展サポート方向となっている。中国は現在、グリーン証購買形式によるグリーン電気指標を推進しており、国家新エネルギー補助資金源が不足しているため、社会化の方式を通じて運用し、バイオマス発電産業をサポートしていく。中国のバイオマス発電業界の未来における発展情勢は日増しに明確化しつつある。

2016年末までに、中国バイオマス発電グリッド装 置容量は1214万キロワット(自前の電力工場は含ま ない)と、全国電力装置容量の0.7%、再生可能工 ネルギー発電装置容量の2.1%、非水再生可能エネ ルギー発電装置容量の5.1%をそれぞれ占めてい る。2016年、全国バイオマス発電量は647億キロワッ ト時で、全国総発電量の1.1%、再生可能エネルギー 発電量の4.2%、非水再生可能エネルギー発電量の 17.4%をそれぞれ占めた。2016年末、中国は全部で 23の省(区、市)で254の農林バイオマス発電プロジェ クトに生産投入し、装置容量は636万キロワット、 再生可能エネルギー発電装置容量の1.1%、非水再 生可能エネルギー発電装置容量の2.7%をそれぞれ 占めた。年発電量は333億キロワット時、再生可能 エネルギー発電量の2.1%、非水再生可能エネルギー 発電量の9.0%をそれぞれ占め、年間平均利用時間 数は5835時間となった。データが示すように、2016 年末までに、中国バイオマス発電プロジェクトは 665に達し、 2016年の一年間だけを見ても66のプロ ジェクトが新たに加わり、投資分野における新たな お気に入りとなっている。

2017年、中国の再生可能エネルギー発電量は1.7 兆キロワット時、発電量全体の26.4%を占めた。そのうちバイオマス発電は794億キロワット時と、同期比で22.7%の伸びとなった。2017年末、中国の再生可能エネルギー発電装置は6.5億キロワットに達し、電力装置全体の36.6%を占めた。そのうち、バイオマス発電装置は1488万キロワットで、同期比22.6%の伸びとなった。

2018年6月末、中国バイオマス発電装置は1634万キロワットとなる。上半期、バイオマス発電装置全体で1634万キロワットに到達し、同期比25.7%の伸びとなった。そのうち1~6月に新規増設されたバ

イオマス発電装置は158万キロワットで、 $1\sim6$ 月の発電量は436億キロワット時、同期比18.8%増となり、引き続き安定した増加傾向を保っている。バイオマス装置累計ランキングトップ4の省は、山東(241万キロワット)、浙江(165万キロワット)、江蘇(157万キロワット)、安徽(145万キロワット)となっている。

現在、中国バイオマス発電の発展を制約する主な 要素は以下の通りである。一つ目は、燃料コストで ある。バイオマス発電では比較的高い燃料コストの 投入が必要であり、総発電コストの約三分の二を占 める。補助金後の0.75元ネット接続電気料金で計算 すると、燃料購入価格の損益分岐点は300元/トン 前後に達する。しかし燃料購入価格は市場変化の影 響を大きく受けやすく、極めて容易にバイオマス発 電企業に損失をもたらすのである。二つ目は過度な 競争である。バイオマス発電は燃料供給および輸送 コストの影響を受ける上、強い地域的特性を有して いる。一旦照射範囲内で地方保護的な重複投資もし くは原料の悪性競争が起これば、バイオマス発電企 業は続けるのが難しくなる。近年、全国各地にバイ オマス発電プロジェクト建設ブームが起こり、プロ ジェクトに乗っかろうとすることで、プロジェクト 分布が密集し過ぎる現象が出現している。ここには 悪性競争のリスクが埋まっており、国や地方政府が 早急によい計画を作り、競争と保護のバランス関係 を保つべきである。三つ目は技術の研究開発であ る。中国は石炭火力技術の核心装備発展において比 較的大きな成果を上げており、重要な核心装備はす でに自主研究・自主生産をほぼ実現させることが可 能である。しかし、バイオマス発電技術の面で西側 先進国と比べると、未だに少なからぬ差が存在して いる。とりわけ、バイオマス燃料の採集、輸送、加 工、保存など専用補助機械装備の面ではその差が比 較的明確である。

「十三五」計画は「2020年までに新エネルギー装置比率を15%に引き上げる」という発展目標を明確にした。同時に二つ目の重点任務において「新エネルギーを大きく発展させ、開発の分布調整を最適化」しなければならないと打ち出し、新エネルギーが将来五年間でエネルギー生産と消費革命を促進するという重要性を際立たせた。同時に任務は、新エネルギー生産の多元化利用および統一生産と消費などの重点原則についても強調し、政府の「十三五」新エネルギー政策における主導思想を反映させている。一つ目は、風力発電プロジェクト敷設の均衡性を最適化することである。二つ目は、太陽光発電プロジェクトに対しては「両手でつかむこと」とし、

片手で太陽光発電所の「分散開発、近隣消費を主とする」ようつかみ、もう一つの手で分布式太陽光発電をつかむ。三つ目は、新エネルギーの省を跨いだ輸送能力を高め、道路の配置における新エネルギー めと率を高めることを通し、「三北」地区における新エネルギー越省消費を推進する。ただし、外から送られてくる新エネルギーに関しては在庫を優先的に考慮する。ここから、向こう五年間における新エネルギー市場の枠組の方向性が判断できるのである。それは風力発電の主戦場は中・東部地区であり、太陽光発電の大市場は分布式太陽光発電に属しているという点である。

第3節 新エネルギー自動車——EV、PHEV

新エネルギー自動車の発展を積極的に推進するため、中国政府はトップデザインから全体への推進までの政策体系や補助金制度確立・完備などを含めた一連の重要な措置を推進し、新エネルギー自動車業界の急速な発展を奨励している。

①2012年6月、国務院は『省エネと新エネルギー 自動車産業発展計画(2012~2020年) | を発表した。 ②2015年3月、交通運輸部が発表した『新エネルギー 自動車の急速な推進を交通運輸業界において普及・ 応用することに関する実施意見』の中で、新エネル ギー自動車運営政策の完備について指摘した。③ 2015年11月、国家発展改革委員会が発表した『電気 自動車充電インフラ発展指南(2015~2020年)』の 中で、2020年までに全国で集中式充電スタンドを1.2 万ヶ所、分散式充電柱を480万個新たに増加し、全 国500万台の電気自動車における充電の要求を満た すよう指摘した。④2016年4月、財政部、科学技術 部、工業・情報化部、国家発展改革委員会は共同で 『2016~2020年新エネルギー自動車普及応用財政支 持政策に関する通知』を発表し、2016~2020年の間、 新エネルギー自動車普及応用補助政策を引き続き実 施していくとした。2016年の新エネルギー自動車各 車型普及応用補助基準を規定し、2017年から2020年 までの補助金削減の幅を二年ごとに20%ずつ下げて いくと確定した。中国自動車工業協会の統計による と、2017年新エネルギー自動車の販売市場は比較的 速い増加傾向を引き続き保っており、年間累計販売 数は77.7万台と、 2016年に比べ27.0万台の増加とな り、増加速度は53.3%であった。中国新エネルギー 自動車の年間生産量はすでに世界一となっている。

2018年は新エネルギー自動車元年として、ガソリン自動車販売停止が地球規模での潮流となり、国内でもポイント二倍制度と補助金削減という二大政策により、新エネルギー自動車の急速な発展を刺激し

た。それにより、新エネルギー自動車を近年避けて通れない熱い話題とさせたのである。2018年、新エネルギー自動車の生産・販売台数はそれぞれ127万台と125.6万台であり、同期比で59.9%と61.7%の伸びとなった。そのうち純電気自動車の生産・販売台数はそれぞれ98.6万台と98.4万台となっており、同期比でそれぞれ47.9%、50.8%の伸びを記録している。充電式ハイブリッド自動車の生産・販売台数はそれぞれ28.3万台と27.1万台となっており、同期比で122%、118%の伸びを見せた。燃料電池自動車の生産・販売台数はどちらも1527台を記録している。

2018年全国両会の際、工業・情報化部が新エネルギー自動車の比率を2019年には8%に、2020年には10%に引き上げることを確定したことを明かした。中国自動車における目下の生産・販売データと結びつけて計算すれば、新エネルギー自動車の2019年の目標は220万台、2020年の目標は290万台となる。

(一) 純電気自動車 (EV)

純電気自動車産業面においては、ある国もしくは ある多国籍企業が一人で完全な独占を形成する局面 は未だ見られないことに鑑みれば、どこかの国ある いはどこかの企業が圧倒的な技術および特許面での 優勢を備えているわけではない。そこで、中国は純 電気自動車産業の発展を積極的に推進していく。こ れは技術的配置を事前にしっかりと行い、急速な発 展を勝ち取り、自らの技術的土塁を形成し、常に技 術の高みを奪うチャンスをつかめるよう希望し、 こから純電気自動車産業において将来中国が発言権 を持てるよう実現し、外国企業の技術独占と抑制を 回避し、「カーブで追い越す」戦略的布石を実施し ていくのである。

中国の国産ブランド自動車メーカーは、著名電器会社との技術支持および研究開発協力といった相互補完に欠けているため、目下のところ電池、エネルギー管理、モーター制御などの鍵となる技術分野の全体的な研究製造能力は比較的弱い恐れがある。(BYD 以外。なぜならこの会社は電池技術に関する力が強いためである。)

純電気自動車は充電した電池を完全な動力とする自動車であり、したがって連続走行時間が発展のボトルネックであった。純電気自動車は燃油には全く関係がないため、環境に優しく、発展性についても幅広く注目されている。中国の新エネルギー自動車計画は、純電気自動車の発展を主としている。2018年、純電気自動車の生産・販売はそれぞれ98.6万台と98.4万台を実現させ、同期比で59.9%と56.9%増となった。新エネルギー自動車総量に占める生

産・販売は約四分の三となる。目下の中国新エネルギー自動車市場においては、純電気車型の生産・販売の伸びが、新エネルギー自動車の主な駆動力となっている。

2018年、中国純電気自動車業界のハイライトは、 電動バスの販売量が急激に伸びたことであった。5 月、中国国内純電動バス市場の生産量は1万を突破 し、月間新記録を達成した。2018年5月、純電動バ ス市場が生産した各種車型は累計1.43万台となり、 前の月から117%の伸び、去年の同期比では782%増 と爆発的に伸びた。また、1~5月の純電動バス市 場累計生産は2.72万台に達し、同期比899%増となっ た。国と地方政策によるサポートの度合いが高ま り、充電柱やパワートレインなどの核心的技術が競 争力を高め続けるにつれて、未来の純電動バス市場 発展の見通しは明るいことが予測される。第一に、 新エネルギー公共バスは広範な購入が行なわれる。 新エネルギー自動車の発展は、省エネ・排出削減と いった重要な措置を実現させる。現在の産業環境お よび政策環境はすでに新エネルギー自動車普及の条 件を備えており、加えて公共交通分野では新エネル ギー自動車を急速に発展させなければならない。し たがって、「省エネ・排出削減」から生まれた新工 ネルギー自動車は、民生の要求により合致している のである。この目標を実現するため、国はまさに全 力で新エネルギー自動車商業化過程を推進してお り、公共バスは疑いもなく新エネルギー自動車商業 化における急先鋒なのである。新エネルギーバスの 商業化問題を最も先に解決した者が、未来の公共バ ス市場において主導的地位を占めることとなるので ある。また、国が充電インフラを完備させるにつれ、 純電動バスはその環境保護機能とエネルギー節約面 での優位性に基づき、国の主要普及路線となってい くのである。第二に、国が公共バスの安全により注 目するようになったことである。国の JT/T325-2010が出され、実施されるにつれ、公共バスに対す る細分化管理が行なわれるようになった。JT/ T325-2010は営業中のバス類タイプに区分けを行 う。そのうち、公共バスは独立させ、かつその長さ の区分けは、国の標準公共バス等級技術要求と配置 (校正送り、討論稿) に基づいて規定されなければ ならない。また、公共バス小型車の長さは6 m≥ L>4.5mに調整し、 13.7mの二階建てバスを特大型 公共バスに組み入れた。関連の専門家は公共バスの 安全技術問題に関して明確な要求を打ち出してい る。要求は技術、基準の両面から公共バスの安全性 を一層高め、それを公共バス優先の発展戦略の中に 徹底させるとした。第三に、二線・三線都市の需要

がより一層高まったことである。目下のところ、多くの地方県政府は現在小さな町周辺の村を、移設安置などのやり方を用いて町の中に組み込もうとしている。こうした行動の結果、小さな町の人口規模は拡大し、人工流動を引き起こす。したがって、県域バスは将来のバス市場において必ず成長点なるはずである。現在の状況から見れば、浙江、広東、山東、江蘇などの省で、県域バスの発展においてすでに大量のバス需要が生じている。

(二) プラグインハイブリッド車 (PHEV)

プラグインハイブリッドカーとは、内燃機関+ モーター駆動の新型動力混合自動車を指す。伝統的 燃油自動車と純電気自動車の間に位置するのがプラ グインハイブリッドカーで、連続運転距離に対する 消費者の不安を取り除き、ガソリン節約効果が突出 していることもあり、新エネルギー自動車の消費者 にとってお気に入りとなっている。逆にこれを伝統 的なガソリン車として直接使用している自動車所有 者も少なくない。2018年1~11月、プラグインハイ ブリッドカーの生産・販売は、それぞれ24.66万台 と23.86万台で、同期比130.27%および127.58%増と なり、強い成長傾向を見せた。2018年6月、国家発 展改革委員会による『自動車産業投資管理規定(意 見募集稿)』が明かされ、プラグインハイブリッド カーが恐らく新エネルギー自動車の列から外される のではとされた。政策が徹底されず、純電動技術が 革新的進歩を見ていなかったこともあり、プラグイ ンハイブリッドカーの生産・販売は引き続き高めの 増加水準を保っていたのである。

中国が自主研究開発したプラグインハイブリッドカーは主に、モーターをギアボックス、エンジンの間にあるクラッチの後ろに設置するか、モーターを変速機出力軸に設置するなど2種類の技術路線を採用している。長年の発展を経て、競争における優位性はすでに形成され、中国国内市場におけるシェアも高めとなっている。

(A)広汽伝祺 GS4 2017モデル1.5L PHEV スマート享受版プラグインハイブリッドカーは、 1.5L 自然吸気 4 気筒ガソリンエンジンおよび永久磁石同期モーターから構成され、電気自動車シングルスピードギアボックスを搭載している。電池は三元リチウム電池で、電池容量は12kW·h となっている。モーターの最大出力と最大トルクはそれぞれ130kW と300N·m である。エンジンの最大出力と最大トルクはそれぞれ71kW (5500r/min) と120N·m (1200~5000r/min)である。作業中の総合燃費は1.8L/100kmで、最高時速180km/h、純電気モードにおける連続

走行距離は58kmとなっている。

- (B) 上汽栄威 eRX5 1.5TGI プレミアムフラッ グシップ版プラグインハイブリッドカーは、 1.5L のターボチャージャー付き 4 気筒ガソリンエンジン および永久磁石同期モーターから構成され、2速 オートマチック・ギアボックスを搭載している。電 池は三元リチウム電池で、電気容量は12kW·hとなっ ている。急速充電方式を採用しており、充電完了ま で3時間しかかからない。モーターの最大出力と最 大トルクはそれぞれ56kW と318N·m である。エン ジンの最大出力と最大トルクはそれぞれ124kW (5600r/min) と250N·m (1700~4400r/min) であ り、総合トルクは704N·m、総合燃費は1.6L/100km となる。0~100km/h の加速時間は7.8秒、最高時 速は200km/h、純電気モードにおける連続走行距離 は60kmで、混合駆動モデルでの連続走行距離は 650~800km となる。
- (C) BYD 唐2017モデル2.0T 唐100プラグイン ハイブリッドカーは、 2.0L のターボチャージャー 付き4気筒ガソリンエンジン一台および永久磁石同 期モーター二台から構成され、6 速デュアルクラッ チ・ギアボックスを搭載している。三元リチウム (ニッケルコバルトマンガン酸リチウム電池) の容 量は23kW·h となっている。低速充電方式を採用し ており、充電完了まで6.9時間かかる。エンジンの 最大出力と最大トルクはそれぞれ151kW (5500~ 6000r/min) と320N·m (1750~4500r/min) である。 二台のモーターを前後に設置する。それぞれのモー ターの最大出力と最大トルクはそれぞれ110kW と 250N·m で、モーター全体の最大出力と最大トルク はそれぞれ220kW と500N·m である。作業中の総合 燃費は1.8L/100km、最高時速180km/h、0~ 100km/h の加速時間は4.9秒、純電気モードにおけ る連続走行距離は100km となる。
- (D) 吉利帝豪 PHEV 2017モデル1.5L E-CVT アグレッシブ版プラグインハイブリッドカーは、1.5L 自然吸気 4 気筒ガソリンエンジン、永久磁石同期モーター、エンジンから構成され、E-CVT 無断変速機を搭載している。エンジンの最大出力は76kWで、モーターの最大出力と最大トルクはそれぞれ114kWと339N·mである。三元リチウム電池セットを採用し、電池セット容量は11kW·hとなっている。交流式公共充電柱あるいは家庭用壁掛け式交流充電ボックス(最大充電出力3.3kW)で電池セットに充電を行なった場合、充電完了までに3.5時間かかる。仮に、車を買うと付いてくる220Vの応急充電コード(三相プラグ)を使って充電を行なった場合、最大充電出力は1.8kWにしかならず、充電完了までに

6.7時間前後を必要とする。作業中の総合燃費は 1.5L/100km で、最高時速175km/h、純電気モード における連続走行距離は61kmとなる。

中国新エネルギー自動車業界は2018年、「補助金 後時代 | へと突入しようとしている。これには新た な思想と新たな措置が急務となるだけでなく、整然 かつ連続性ある政策の実現が必要であり、一定期間 における安定性、連続性、予期可能性を保つ必要が ある。全体的に見れば、中国の新エネルギー自動車 産業はまさに導入期から過渡期への鍵となる段階に 置かれている。新エネルギー自動車産業の補助金政 策にも大きな変化が生じた。しかし、こうした政策 は業界全体のハイクオリティな発展を促進し、生 産・販売における更なる合理化を促進した。この業 界は今まさに、政策駆動から消費駆動へゆっくりと 方向転換をしているところなのである。補助金の削 減に伴い、企業は直接プレッシャーを感じるように なった。中国の自動車企業は更なる市場化への道を 歩み、顧客の需要により密着し、新たな技術方法を 採用し、新たな技術手段によってハイクオリティな 製品を生産し、顧客の需要を満たすようにせざるを 得なくなったのである。

まとめ

中国共産党第十八回大会以来、中国エネルギー構 造の調整は歩みを加速させ、グリーン生産方式が形

成されてきており、中国の特色あるエネルギー発展 の道は明るい未来の様相を呈している。水力発電、 風力発電、太陽光発電装置の規模はすべて世界第一 位に位置しており、低炭素グリーン戦略の方向性を 堅持し、中国の国情に立脚しながら国際エネルギー 技術革命の新たな波についていく。また、グリーン・ 低炭素を方向性とし、技術イノベーション、産業イ ノベーション、商業モデルイノベーションを分類・ 推進していく。

新エネルギー産業の発展は、目下のところ産業構 造を調整し、経済の持続可能なバランス成長を実現 させる重要な措置であり、グローバル経済成長が弱 まる中、重要な意義を有しているのである。新エネ ルギーの開発と利用は、時代の発展需要に応じ、エ ネルギー安全問題を解決する重要な措置である。中 国はここ数年、すでに新エネルギー産業への投入の 度合いを次第に高めてきており、一連の政策を出し てサポートを行なっている。しかし、新エネルギー 発展の過程においては、いくつかの解決が待たれる 問題が存在している。未来の新エネルギー産業の発 展は、より多くの資金投入、専門人材の育成、産業 チェーン発展の完備といったものを引き付けるべき である。今後、新エネルギーは商業化を全面的に実 施し、伝統的な石化エネルギーに取って代わり、新 エネルギーの持続可能な発展を促進していくのであ る。

第6章

先端生命科学技術

近年、現代生命科学と生物技術では、一連の重要 な進展および大きな飛躍が見られ、現在は応用分野 への浸透を加速させているところであり、人類の発 展が直面する環境、資源、健康等の大きな問題を解 決するため、幅広い応用への見通しを示している。 ビッグデータの急速な発展に伴い、生命科学研究は データに基づく科学的発見パラダイムへとシフトし ているのである。物理学、材料学、コンピューター 科学など、多数の学科と生命科学との学際的融合は 絶えまぬ発展を続けており、生物イメージ、遺伝子 編集技術、単細胞技術、生命ゲノミクスなどの技術 は革新され続け、人類の認知および生命解析能力を 大幅に引き上げ、生命科学研究が精密、定量化、可 視化の方向へ更なる発展を遂げるのを推進してい る。生命科学は成熟した方向へと向かい、次第にデ ジタル化、プラットフォーム化、工程化へと発展し ている。遺伝子編集、再生医学、 3D プリント、合 成生物学、ブレーン・マシン・インターフェイスな どの技術は急速に発展し、医学、工業、農業などの 分野における生物技術応用の深さと広さを一層強め

習近平中国国家主席、李克強首相はこれまで何度 も重要な指示を出し、生命科学が21世紀の重要な総 合学科領域であり、人類の生存、健康、持続可能な 発展に関係してくると指摘した。中国政府は現在イ ノベーションで発展を駆動させる戦略の実施をすみ ずみまで展開しており、「健康中国2030」計画綱要 を徹底させ、科技イノベーションを通じて生命科学 分野の研究および関連産業の急速な発展を有力に推 し進めている。それは人民の健康と生活レベルの向 上、環境面での質改善に対し、ますます重要かつ明 確な役割を発揮するようになっている。中国の科学 者、企業家、各国の同業者を積極的に動かし、生命 科学の大きな需要を見極め、交流と協力を一層強 め、互いの経験を参考に、より多くの科学的躍進と イノベーションを以って、人類の生存発展が直面す る共通の挑戦に対して積極的に対応し、新たな生産力を形成し、世界経済ならびに社会の持続可能な発展を推し進めていく。

第1節 植物遺伝子編集——中国科学院上海植物逆境生物学研究中心

中国科学院上海植物逆境生物学研究中心(以下、研究センターと略す)は、風光明媚な上海辰山植物園内に位置している。アメリカ科学アカデミー会員の朱健康教授が率い、中国科学院、上海市、国家関連部門委員会が連名でサポートする中、中国科学院上海生命科学研究院の研究プラットフォームに頼り、上海市と共に中国科学院直属の国立研究機関を設立している。2012年4月28日、中央組織部、国家関連部門委員会、中国科学院、上海市が連名で逆境センター予定地にて除幕セレモニーを行なっている。

研究センターの建設は、中国政府の植物学および 生物技術等、関連分野発展における大きな戦略的配 置の一つである。研究センターでは、グローバルな 管理および運営メカニズムを採用しており、「人材 特区」政策を実行し、人事、財務、管理、評価といっ た面で柔軟な政策を実施して、科学者のために一流 のイノベーション環境を作り出している。研究セン ターでは、植物学の先端領域および生物技術におけ る大きな戦略的科学問題を集め、一流の研究チーム を招集し、知的イノベーションを土台とし、国家の 重大な戦略科技問題の解決を目標としている。ま た、植物学先端領域ならびに生物技術オリジナルイ ノベーションの源、ハイレベル・イノベーション人 材育成基地、新型科研体制メカニズム探索の実験場 となった。研究センターは植物学先端ならびに生物 技術領域における世界一流の科学研究、学術交流、 人材育成、産業促進センターに照準を当て建設され たものである。

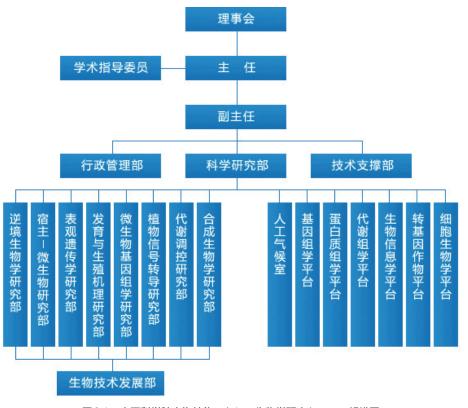


図6-1. 中国科学院上海植物ストレス生物学研究センター組織図

(一) 植物ストレス生物学研究チーム(朱健康研究員)

環境の擾乱に対する検査と対応をすることは、す べての生物にとって重要なことである。植物を区別 する最も重要な特徴の一つは、それらがハンドルを 持っていないことである。したがって環境からの挑 戦に耐えなければならない。本実験室では、植物に おける土壌塩分、干ばつ、低温等の劣悪な環境下の 反応、分子メカニズムに興味を持っている。それ以 外に、彼らは遺伝子組み換え時の沈黙のメカニズム および遺伝子の調節のストレス適応における役割の 表れにも興味を抱いている。彼らは遺伝、生物化学、 遺伝子ゲノミクス、蛋白質ゲノミクスといった方法 を結合させ、異なるレベルにおける遺伝子調節(染 色体レベル / 表れ、遺伝、組み換え、組み換え後の 蛋白質との活性)を分析し、ストレスシグナルの伝 達およびストレスへの耐久について理解する。本研 究グループの長期目標は、植物が環境からの圧力に 対応しようとする際に使用するシグナルの伝達経路 を明らかにし、作物を環境圧力から変えようと反応 する鍵となる遺伝子を確定させることである。

(二) 植物細菌研究グループ (アルベルト・マッチョ研究員)

本研究室の主な目標は、T3Es機能研究を突破口

とし、細菌病原体が植物を侵食・汚染する分子メカ ニズム、植物の応答メカニズムおよび関連する植物 のシグナル経路を解読することである。近年の研究 で分かったことは、病原体が植物の抵抗シグナルを 操縦して侵食・汚染を完成させるという点である。 細菌が病を引き起こし、植物シグナル・メカニズム を理解するには関連分野の研究にとって絶好の機会 である。その作業は、主に二種類の細菌病原体 Pseudomonas syringae (葉媒介病原体) と R. solanacearum (土壌媒介病原体、 70種を超える T3Es が植物細胞に入って分泌し、植物の根、茎、 葉等、異なる器官に大量繁殖)の研究に集中してい る。モデル植物ではシロイヌナズナ、タバコ、トマ トを研究対象とし、複数の生物学手段を整合した。 特異性を組織する方式を通じ、植物各過程に対して 分類を行い、特定の細菌の異なる植物器官および異 なる侵食・汚染段階における毒の因子について研究 した。研究グループの主な研究目標は、(A) T3Es を植物細胞に注入後の活性化メカニズムの研究 (B) ホスト細胞内の T3Es によって引き起こされ た生物学過程を鑑定(C)異なるホスト植物の中の T3Es における毒性およびそこから引き起こされる 抵抗シグナル経路の描写となっている。

(三) 植物根圏促進細菌研究グループ (張恵明研究 員)

活きた生物体が環境シグナルと固有の発育プログラムとを結び付け、遺伝子制御・ネット調節をし、生存最適化を図る。組み換えの可能性は、クロマチン内のDNA配列のアクセシビリティによって決定される。クロマチンは個体もしくは組み合わせを通じ、遺伝修飾がひしめいた状態から接近しやすい状態、およびサブ組み換えへと調整可能である。植物は多くの異なる土壌微生物の中で自然に生活しており、その中で最も豊富なのは細菌である。ある有益な土壌微生物は、微生物の揮発性放出を通じ、植物の生長あるいはストレス反応に影響を与える。研究グループでは、微生物の揮発性媒介における植物生長調節分子メカニズムおよび植物と微生物の相互作用の役割を担う遺伝子調節ネットの外観遺伝メカニズムに興味を持っている。

(四) 生物分子構造および設計研究グループ (邢維 満研究員)

植物ストレスおよび植物生長発育過程において 重要な膜蛋白である結晶構造の研究、および小分子 リガンド結合の植物性蛋白質の構造と機能研究。

(五) 耐性の極めて高い生物と表現遺伝学研究グループ (張衡研究院員)

耐性の極めて高い植物:耐性の極めて高い植物 とは、大多数の植物が生存不可能な過酷な外界環境 の下、正常に生長する植物のことである。研究グルー プは一連の手段を使い、これらの種の進化と極端な 耐性の遺伝的基盤を研究している。これらの植物種 が応答を迫られた際の様子、遺伝調整メカニズムに も強い興味を持っている。

RNA 媒介の DNA メチル化: RNA 媒介の DNA メチル化は、植物の中に構築された全く新しい DNA メチル化が必要とするものである。RNA ポリメラーゼ IV と V が生み出すノンコーディング RNA は、全く新しい DNA メチル化発生の位置を 明確にしたが、これらノンコーディング RNA 自身がいかに調節をしているのかは未だ不明である。本グループは調節に参与可能なこうしたノンコーディング RNA 組み換えの因子およびそれらが役割を果たす具体的メカニズムを研究する。

(六) 光合成作用と強制シグナル研究グループ (チャンホン・キム研究員)

光合成作用と強制シグナル:色素体遺伝子から ホスト遺伝子へとグループ内共生転移を行なった 後、色素体の発育・維持・代謝活性は、かなりの程度においてホストと内部共生体との間の遺伝子表現間の調整に依存しており、たとえそれらが物理および生物化学上異なるものであってもである。光合成と光呼吸の重要代謝過程およびアミノ酸、二次代謝物、脂肪酸、化学エネルギー、植物ホルモンなど複数の分子の発生が、すべて色素体の中で起こるため、核に向けた逆行シグナルを色素体が形成することは必須である。こうした逆行通信は色素体の生物発生にとって極めて重要なだけでなく、大量の環境シグナルを植物発育幇助のために微調整する反応がって、こうした通信を通せば、色素体の体内バランスにおける急速な調整は可能なのであり、これは最終的に植物が環境に適応する際の鍵となる。

(七) 植物カルシウムシグナルとストレス生物学研究グループ (趙楊研究員)

本実験室では主に、浸透・強制の応答を迫られた 植物のシグナル伝達メカニズムを研究しており、浸 透・強制の感知および応答の分子メカニズムおよび 脅迫ホルモン ABA のシグナル調節ネットについて 重点的に研究している。

現在彼らはすでに、最適化された Ca2+ 共鳴フィルタシステムを構築し、植物の感知と浸透・強制を伝達する分子メカニズムの研究を展開している。研究グループは冷凍 CCD を使用して Ca2+ プローブ 蛍光シグナルの変化を測定し、浸透・強制を誘導する Ca2+ 水平異常な突然変異体をフィルタにかける。現在すでに若干の Ca2+ シグナルが明らかに減弱 された突然変異体 reduced hyperosmolality-induced[Ca2+] cyt increase (roca) に、および Ca2+ シグナルが明らかに増強された突然変異体 enhanced hyperosmolality-induced[Ca2+] cyt increase (eoca) が得られた。関連する遺伝子のクローンおよび機能分析を通し、浸透・強制におけるシグナル伝達の分子メカニズムを明らかにしたい。

(八) 植物ストレス抵抗表層遺伝学研究グループ (段成国研究員)

表層遺伝メカニズムは真核生物において極めて保守的な一種の遺伝子表現調整経路であり、主にDNAメチル化、ヒストン修飾、ノンコーディングRNAとクロマチン再構成など、DNA配列に依存しない転写調節メカニズムについて研究している。表層遺伝調節は、反応が迅速で、可逆的などの特徴を有しており、動植物の重要な生物学過程すべてに参与している。本研究グループはモデル植物をシロ

イヌナズナ、主要農作物を研究材料とし、遺伝学、 分子生物学、生物化学、生物情報学を主要研究手段 とし、植物表層遺伝調節における新たなメカニズム を探る。同時に、植物の生長・発育における表層遺 伝経路の有効な調節、植物の病原免疫力形成、植物 - 病原相互作用における調節メカニズムについて解 析する。

(九) 果実発育および表層遺伝学研究グループ (郎 曌博研究員)

トマトを研究対象とし、遺伝学、生物情報学、分 子生物学など複数の研究手段を結合させ、DNA メ チル化の果実成熟に対する調節メカニズムを研究す る。最もよく用いられるモデル植物のシロイヌナズ ナと比較すると、トマトの中で DNA 脱メチル化が 行われるメカニズムを研究することはその優位性お よび独自性を有している。これまでの研究では、 DNA 脱メチル化がシロイヌナズナの中で胚胎に遺 伝子の刻印を押すことが極めて重要であるとされて いるが、しかしながら成熟した植物の体内では、 DNA 脱メチル化が主に作用するのはトランスポゾ ンと遺伝子の間の区域であり、コーディング遺伝子 の表現に影響することは少ない。トマトの果実の中 ですでに証拠が示しているように、DNA 脱メチル 化は恐らく大量の果実成熟と関連する遺伝子表現に 関わっている。したがって、トマトを研究対象とし、 DNA 脱メチル化が植物遺伝子の表現と生長発育に 対して重要な機能を持っていることを示すことがで きる。

(十) 植物金属ストレス生物学研究グループ (黄朝 鋒研究員)

植物におけるアルミニウム毒性耐性メカニズム の研究:酸性土壌は世界の耕地の30%以上を占めて いる。過度で頻繁な耕作および窒素肥料の過度な使 用に伴い、土壌酸化の勢いは更に進んでいる。アル ミニウムは地殻の中で最も豊富な金属元素であり、 約7%を占めているが、実は酸性土壌における三価 アルミニウムイオン(Al3+)のみが、溶かされて 植物の根系生長を害し、そこから作物の生長・発育 に影響を与え、最終的に作物の減産を引き起こして いるのである。したがって、アルミニウム毒性は、 干ばつの脅威に次ぐ二番目に大きな非生物ストレス と考えられている。酸性土壌におけるアルミニウム 被害に対応するため、植物は有機酸の分泌、細胞壁 組み換え、アルミニウムの液胞への隔離などを含む 一連のアルミニウム毒性耐性メカニズムを進化させ た。アルミニウム毒性耐性メカニズムの研究ではす

でに大きな進展が見られるものの、アルミニウム毒 性受容体、アルミニウム毒性の細胞内におけるシグ ナル転送過程、アルミニウム毒性耐性転写因子 STOP1/ART1の転写後調節メカニズムなどを含 む、未だに多くの未知なるメカニズムが学術界によ る解析を待っている。このグループでは、モデル植 物をシロイヌナズナ、モデル作物を水稲として研究 対象とし、遺伝フィルタ策略正対法を用い、耐アル ミニウム毒性の新遺伝子を鑑定する。現在のとこ ろ、彼らはすでにフィルタで一連のアルミニウム毒 性敏感もしくは抗アルミニウム突然変異体を獲得 し、若干の耐アルミニウム毒性新遺伝子のクローン 化を行なった。今後、遺伝、ゲノム学、細胞生物学、 生理生化など各種技術手段を用いていく。研究目的 は遺伝子の機能とし、植物における耐アルミニウム 毒性新メカニズムを明らかにしていく。

植物におけるマンガン利用メカニズムの研究: マンガンは植物光合成、酵素レドックス、脂類合成 などの過程に参与しており、これは植物が摂らなけ ればならない鉱質栄養元素なのである。アルカリ土 壌においては、マンガンの生物有効性が低下するた め、植物はマンガン不足の症状に陥りやすくなる。 目下のところ、マンガンの吸収と転送メカニズム方 面の研究に関しては比較的大きな進展があるもの の、マンガンの細胞内における分配と利用メカニズ ム、とりわけ葉緑体におけるマンガンの転送と利用 メカニズムに関してはまだあまり理解されていな い。研究グループのフィルタ作業では、葉緑体の中 でマンガンに影響を与えて利用する一連の突然変異 体が得られた。今後、クローンおよび機能解析目的 遺伝子を通じ、マンガンの葉緑体における輸送と利 用メカニズムについて明らかにする予定である。

(十一) 植物分子栄養研究グループ(雷明光研究員)

リンは植物の生長と発育に必要な大量元素の一 つであり、細胞の基本構造成分であるだけでなく、 植物の代謝およびシグナル転送を調節している。植 物は固定されて生長し、土から水と鉱質栄養を吸収 している。大部分の土壌においては、直接吸収・利 用できるリンの含有量が低いため、植物はしばしば 低リンを強いられる不利な環境へと置かれ、生長も 抑制される。低リンという条件下において、植物は 一連の形態発育および生理生化上の対応(根の形態 再構成、アントシアニンの蓄積、酸性ホスファター ゼと有機酸の分泌等)を行い、リン吸収および利用 効率を高め、不利な環境に適応しようとする。しか し、植物が低リンのシグナルをいかに感知し、下流 成分の分子メカニズムまでいかにシグナルを伝達し

ているのかは不明である。当該研究グループは、主にシロイヌナズナをモデル植物とし、遺伝学、表層遺伝学、生物化学、プロテオミクス等の方法を通じ、植物の低リン・シグナル感受メカニズム、シグナル転送および調節ネットについて研究し、リンの高効率吸収・利用の農作物育成のために理論的根拠を提供するものである。

(十二) シグナル転送および免疫研究グループ (河野洋治研究員)

免疫、osracl、r 蛋白シグナルのメイン調節器: 抵抗(R)蛋白は、重要な細胞内受容体であり、昆 虫の攻撃および各種病原体(真菌、細菌、病毒を含 む)の侵入を探知することができる。しかしながら、 仲介R蛋白誘導免疫反応のシグナル分子について は依然はっきりと分かっていない。本研究グループ のこれまでの成果では、細胞内スイッチ、小 GTPase osraclについてすでに証明しており、それ は水稲免疫を制御するメイン調節器である (Kawano など、2010b、Kawano、Shimamoto、 2013)。しかしながら、osraclが免疫受容体から受 けるシグナルと活性化されるメカニズムについては 依然として不明である。したがって本グループは、 Osracl結合蛋白について研究し、R 蛋白ピットを 鑑定したが、これはいもち病に対する一種の免疫受 容体である。いもち病は一種の明確な水稲微生物疾 病である。各種分析を通じ、本グループは osracl が一種の分子スイッチとして、ROS の生産と PIT 下流の超敏細胞死亡を制御していることを証明し た。それ以外に、本グループでは棕櫚のアシル化を 通じて PIT を質膜に固定し、PIT 誘導の質膜に対 して Osracl活性化という一種の脂質組み換えを行 なった。

(十三)植物病毒研究グループ(ローザ・ロザーノ・ デュラン研究員、Rosa Lozano-Duran)

研究の主な目標は、①双生病毒と植物蛋白の相互複合体鑑定②双生病毒複製の細胞種群分析:表層遺伝学、ゲノム転写学、ゲノム翻訳学、プロテオミクス、メタボロミクス③双生病毒と植物 Rubylation/ユビキチン化通路との間の相互関連研究④双生病毒浸染と表層遺伝学変化との間の相互作用研究である。

(十四) プロテインキナーゼとストレス生物学研究 グループ (王鵬程研究員)

植物非生物ストレスの圧迫応答に参与するプロ テインキナーゼを研究対象とし、先端のリン酸化プ ロテオミクス技術を利用し、プロテオーム・レベルにおいて参与する植物非生物圧迫応答過程におけるプロテインキナーゼの基板を鑑定し、非生物ストレス応答過程に参与するプロテインキナーゼ――基板調節ネットワークを構築し、プロテインキナーゼ参与における下流生物学過程を解析する。一部の重要なプロテインキナーゼ――基板組み合わせに対し、深く研究を行い、遺伝学、生物化学、細胞生物学の研究方法を通じ、プロテインキナーゼが蛋白機能を調節する分子メカニズムを解析する。同時に干ばつ、浸透、塩分など非生物ストレス応答に参与する新たな早期シグナルの組み合わせを篩にかけて鑑定し、植物の感受および非生物ストレスに適応する分子メカニズムを研究する。

また、植物ストレス生物学研究センターの先進的なプロテオミクス研究プラットフォームを利用し、植物蛋白学研究の新たな方法を模索していく。

(十五) 植物環境表層遺伝学研究グループ(何躍輝 研究員)

本グループ研究の重点は、植物花期(flowering time) の環境要素受容制御における分子および表層 遺伝調節メカニズムである。花期とは、植物が栄養 生長を生殖生長に切り替える時期のことを指し、多 くの内在(例えば、発育期およびホルモン)および 外的環境因子(例えば、季節の変化、温度、ストレ ス) の調節・制御を受ける。これらの要素は、多く の遺伝的経路、例えば光周期経路、春化経路、熱敏 経路などを通じ、花期遺伝子における表現を調節 し、植物の開花を誘導する。本研究グループは現在 のところ、主なモデル開花植物としてシロイヌナズ ナを使用し、その鍵となる花期遺伝子FLC (Flowering Locus C) および開花ホルモン (florigen) 遺伝子 FT (Flowering Locus T) に焦 点を当て、花期の分子・表層遺伝調節メカニズムを 明らかにする。この十年来、本実験室ではすでに多 種染色質組み換え因子と蛋白の複合体、例えば COMPASS-Like (H3K4メチラーゼ複合体)、AFR-HDAC (ヒストンデアセチラーゼ複合体)、EMF1c (PcG 複合体) などが、花期調節において鍵とな る役割を果たしていることを発見している。彼ら は、分子、生化、遺伝、ゲノミクスといった手段を 用い、植物(作物)の花期における環境呼応メカニ ズムを引き続き研究し、季節の変化(光周期および 生長温度)と非生物的環境ストレス(塩分、干ばつ、 低温など)が花期を調節する分子・表層遺伝基盤を 明らかにした。

(十六)蛋白質および代謝グループ(陶緯国研究員)

研究の重点は、植物細胞と組織の中から取り出した蛋白質(すなわちプロテオーム)の大規模な鑑定および定量化である。とりわけ、リン酸化、グリコシル化、ユビキチン化、アセチル化を通して行なった翻訳後に修飾した蛋白質である。こうした分析は蛋白質三次元構造を測位する修飾であり、それらの植物酵素の活性、安定性、分解、立体配置に対する影響を確定し、かつ植物代謝、生長、発育に関連する調節作用を確定する助けとなる。蛋白質と蛋白質の相互作用研究を通じ、当該グループは定量のプロテオミクス戦略を制定し、以ってホスト細胞における病毒感染、増殖、相互作用、免疫のシグナル経路を解決し、そこから最終的に疾病に対して高度な耐性を持つ植物品種を開発していく。

第2節 DNA解析——華大基因(BGI)

華大基因科技有限公司(以下、「華大」と略す)は、 1999年に成立した世界をリードする生命科学先端機 関である。「遺伝子科学技術で人類に幸福をもたら す」という使命を背負い、「健康で美しく、生命時 代を作る牽引者」という願いを胸に抱き、華大は「産 学研」一体化の発展モデルにより遺伝子ゲノミクス のイノベーション発展をリードしている。世界100 以上の国と地域に分布する下部機構を通じ、産業 チェーンの各方面と広範な協力関係を構築し、先端 的マルチ学科研究成果を医学・健康、資源保存、司 法サービスなどの分野に応用している。同時に、精 密医療、精密健康など民生の実質的需要に関わるも のに対し、自主制御の可能な先端設備、技術保障、 解決方案を提供する。「自己実践、民生問題から、 科学研究の展開、産業の拡大化、人材の成長」といっ た新型発展路線を一貫して歩み、五方面リンケー ジ、ステップバイステップ、遺伝子科学技術成果の 着実な転化推進を成し遂げ、遺伝子科学技術による 人類幸福を実現させた。

(一) 華大生命科学研究院

華大生命科学研究院(旧「華大基因研究院」)では、生命科学、生物技術、医療応用分野におけるマルチグループ研究開発に力を入れている非営利機構であり、下部に生物化学技術研究所、生物スマート技術研究所、精密健康研究所、デジタル地球研究所、スーパー細胞研究所といった五つの研究所を設けている。

1. スーパー細胞研究所

スーパー細胞研究所は、吸収細胞の「読み」、「書

き」、「保存」に関する核心的技術の開発と牽引に力を入れ、世界一流のハイスループット単細胞マルチグループ学習プラットフォーム、細胞工程プラットフォーム、新型細胞保存技術プラットフォームを構築した。細胞の「読み」、「書き」、「保存」技術プラットフォームの探索と設計は、「生と死の染色体」およびアンチエイジングなど重大戦略の方向におけるマイルストーン的な研究成果(アルバム)と産業応用示範および国際・国内業界基準を示し、「読み」、「書き」、「保存」に関連する重要な技術を送り出し、大型の産業的価値を作り出した。

2. デジタル地球研究所

デジタル地球研究所の主旨は、地球上の多くの真核生物ゲノムを解読し、地球全体の生物情報を全面的に理解する。そこから地球の生命の起源、相互の種の間の関係と進化規律をよりよく理解し、生態システムにおける生物多様性を可能な限り保存、保護、回復させる。こうして地球生態システムが人類社会へ最大限のフィードバックを行うようにし、農業、医薬、生態システムサービスに対して新たな遺伝子資源を提供し、人類の生物多様性に対する理解、利用、保護意識が新たなスタート地点に立てるようにすることにある。

デジタル地球研究所は、地球生物ゲノム計画 (EBP) の呼びかけに参加し、かつ一万種の植物遺伝子ゲノム計画 (10KP)、一万種の鳥類ゲノム計画 (B10K) など多数の国際協力計画を主に担当している。本研究所の重点研究領域は、動植物ゲノミクス、進化生物学、発育ゲノミクスなど、生物進化と発育に関連するシステム生物ゲノミクス研究である。

3. 精密健康研究所

精密健康研究所は、グループの「生死を決める染色体」戦略サポートおよび人類疾病と健康研究資源および技術のシェアを強化することを旨とし、グループの「トライアングル連動」戦略構想と遺伝子ビッグデータと疾病予防制御ビッグ科学プロジェクトを実現させた。下部には、母子健康研究センター、癌研究センター、病原ゲノミクス研究センター、メタゲノム研究センターを設けており、母子の健康、癌、伝染病、複雑な疾病と共生微生物など関連する学科能力の建設、基礎研究と技術開発に責任を負っている。

母子健康研究センターは、人類の生命起源を探索 することに力を入れることを主とし、重要な遺伝・ 発育欠陥メカニズムを明らかにし、基礎科学研究か ら産業化応用に至る急速な転化・応用普及モデルを 実現させる。また業界基準および指南の形成推進を 主導し、中国生殖疾病および出生欠陥予防制御科学 技術レベルを全面的に向上させる。

癌研究センターは、がん予防治療の新規範における精密化の研究を方向とし、生命ゲノミクスおよび癌医学に関連した先端科学技術を探索・整合し、癌のメカニズムを深く解析し、癌予測・癌予防、早期発見、精密診断、有効治療、精密モニタリングを実現させるため、科学理論、技術実現、データ解読、知識向上、製品転化など、将来性ある研究を展開する。

病原ゲノミクス研究センターはイノベーション・ゲノミクス技術を応用し、病毒、細菌、寄生虫に関連する感染性疾病の基礎メカニズムを研究し、診断と治療の方法を模索し、科学の大発見ならびに技術の大きな飛躍を獲得した。現段階では以下の方面に焦点を当てている。①病原体毒性、薬の耐性、進化と免疫逃避のゲノミクス基板、②合成生物学に基づく感染病イノベーション治療、③病原体とホスト、ホスト微生物間の相互作用、④感染病伝播における分子基盤。

メタゲノム研究センターは、直接環境の中から得たすべての微生物における遺伝物質の総和を研究対象とし、メタゲノムを核心とするマルチゲノミクス技術開発に力を尽くし、人体共生微生物と疾病・健康との秘密を探索し、人体共生微生物が人体の健康に与える影響の研究について大きく展開していく。

4. 生物スマート技術研究所

生物スマート技術研究所の目標は、機器、ソフ ト、計算方法の研究開発を通じ、大量の生物分子お よびその相互作用を探索し、複雑な生物システム問 題の理解を助け、予測と関与の方法を探るための手 がかりを提供することである。多くの技術と多くの 尺度における応用の方法を通じ、この研究所では、 異なる探査プラットフォームを研究開発して集積 し、デジタル生命のリアルタイム、全周期モニタリ ングおよび管理を実現した。現有研究分野には、生 物情報学計算法、異種計算、ビッグデータ科学、半 導体生物集積、単分子生物センシング、光学検査、 実験室オートメーション化、マイクロ流体制御など が含まれる。研究内容には、高効率生物情報分析技 術、画像処理技術、データ圧縮技術、イノベーショ ン性 DNA 測定技術、DNA 合成技術、オートメー ション化機器、低温オートメーション化技術などが 含まれる。

5. 生物化学技術研究所

生物化学技術研究所では、遺伝子の「読み」、「書き」、「保存」分野をめぐり、新世代測定技術、人工知能に基づく蛋白設計、新型蛍光染料開発、合成生物学技術、天然産物生物製造などの新興分野における探索を展開し、未来の農業、医療、健康分野の発展において、華大基因のために土台を築き、遺伝子科学による人類幸福を実現した。

(二) 国家遺伝子バンクおよび生物サンプル資源ライブラリー

2011年1月、国家発展改革委員会は、華大生命科学研究院(旧華大基因研究院)に委託した深圳国家遺伝子バンクの建設を批准した。同年10月、深圳国家遺伝子バンク建設方案は、国家発展改革委員会、財政部、工業・情報化部、衛生健康委員会(旧衛生部)の四省庁からの批准を得た。深圳国家遺伝子バンクは、国家戦略のサービスを行う国家級公益性イノベーション科学研究および産業インフラ建設プロジェクトであり、同時に中国で初めて建設許可が下りた国家級遺伝子バンクでもある。今後、大量の生物資源における「保存」、「読み」、「書き」能力を土台に、遺伝子資源発掘の公益性、開放性、サポート性、リード性サービスプラットフォームを構築し、中国生命科学および生物経済発展を率いる戦略的科学技術力となれるよう建設を進めていく。

生物サンプル資源ライブラリーは、世界をリード、最先端理念、巨大規模、高通信量、低コスト、全自動の生物サンプルライブラリーの構築に力を入れている。現在すでに、2500万管以上の、高品質で可逆源生物資源サンプルのマルチ温度保存能力を実現し、生物サンプルの採集、保存、管理における関連基準と技術規範を研究・制定し、中国デジタル健康管理、臨床検査、疾病予防、高効率農業、種の多様性保護など生命経済の各分野へのサービスを支えている。

(三) 科学研究論文

1999年以来、華大が発表した論文は2586篇、SCI に収録されたものは2146篇、SCI における被引用回数は合計14万0466回、そのうち華大が第一著者の文章は1276篇、華大報道文章は1094篇、華大が第一著者でもある報道文章は940篇、第一著者の序列一位もしくは報道著者の最後の一人の機関発表論文は928篇となっている。GCNNS に発表された文章は合計382篇(Giga Science に91篇、Nature および系列雑誌239篇、Science および系列雑誌38篇、Cell系列12篇、New Engl J Med に 2 篇)であり、SCI

の被引用回数は合計 9 万1817回であった。そのうち 華大が第一著者である文章は224篇、華大の報道文章は207篇、華大が第一著者でもある報道文章は181 篇、第一著者の序列一位もしくは報道著者の最後の 一人の機関発表論文は134篇となっている。

2007年の華大深圳南下後に、華大が発表した論文は2341篇、SCI 収録は2021篇、そのうち第一著者の序列一位もしくは報道著者の最後の一人の機関発表論文は784篇であった。GCNNS に発表された文章は合計366篇(Giga Science に91篇、Nature および系列雑誌228篇、Science および系列雑誌35篇、Cell系列11篇、New Engl J Med に 1 篇)で、そのうち

華大が第一著者である文章は219篇、華大の報道文章は201篇、華大が第一著者でもある報道文章は177篇、第一著者の序列一位もしくは報道著者の最後の一人の機関発表論文は129篇となっている。(統計は2018年9月3日までのもの)

(四) 大型科学プロジェクト

華大は1999年の設立以来、国際先端レベルにある 複数のゲノム科学研究作業を次々と完成させ、 Nature、Science など世界的な一流雑誌に多数の論 文を発表し、世界における中国ゲノム科学の優位な 地位を固めた。

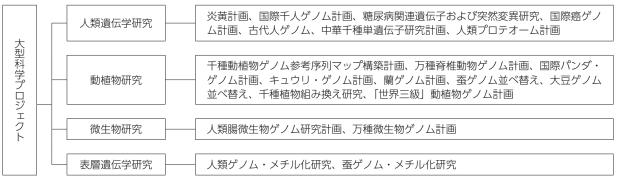


図6-2. 華大・大型科学プロジェクト構造図

(五) 研究プラットフォーム

華大の生命科学研究は、華大グループの①先端測定・検査技術、②高効率の情報分析能力、③質量分析プラットフォーム、ビッグデータセンター、技術センター、映像センターなどの強力な多技術プラットフォーム、④深圳国家遺伝子バンクによる「保存」、「読み」、「書き」公共サービスによるバックアップに依存し、科学研究大型プラットフォームを構築し、中心法則から構造・機能までの一貫研究を実現させた。この科学研究大型プラットフォームは、華大科学研究の重要な構成要素として、生物領域における大型科学プロジェクトの企画と実施をサポートし、生命科学、生物技術、医療健康分野といったマルチ研究開発を助け、基礎研究における重大な技術的飛躍ならびに最先端技術の開発を促進する。

(六) 科学技術サービス

華大は世界一流のハイスループットシーケンス能力を有しており、DNA、RNA、表層、蛋白、代謝など各レベルの技術を利用し、疾病研究、動植物、微生物などの研究分野において顧客に全方位的なシーケンスサービスを行うことができる。

1. 疾病研究

2001年の人類ゲノム計画完成に続き、「国際ハプロタイプ(Hap Map)計画」と「千人ゲノム計画」が相次いで展開され、大量の遺伝子変異データを蓄積した。特に2008年にスタートした「千人ゲノム計画」は、これまでで最も詳細かつ最も応用価値のある人類ゲノム遺伝多型マップを描き出した。これらの遺伝変異データは、種族の間、個体の間における遺伝子の違いを更に深いレベルで理解でき、各種疾病の関連分析に対し、詳細な基礎データを提供し、群体遺伝学、人類疾病研究、比較ゲノミクス、薬物ゲノミクスなどの研究を大きく推進するのである。人類ゲノミクスのマップ作製に重点を置く人類遺伝学の研究成果と各種先端的技術手段は、まさに生命科学全体の飛躍的な発展を力強く推進しているのである。

人類遺伝学がより深く研究されるにつれ、科学者 たちは遺伝子や遺伝が必ずしもすべての型もしくは 疾病の発生、例えばⅡ型糖尿病、癌、心血管疾患等 を説明できるわけではなく、こうした疾病が通常は 遺伝と環境の相互作用の下で発生することを発見し た。例えば肺癌と喫煙の間には切っても切れない関 係があり、肥満もまた恐らく腸内微生物の影響なの である。これにより、人類遺伝学の研究範囲は大き く広げられ、人類移動、進化、疾病、薬物、発育、 環境、腸内微生物等の領域を広く網羅することとな

華大は複数プラットフォームのシーケンス技術 を通じ、DNA レベル、RNA レベル、表層遺伝学 レベル、メタゲノムレベルにおいて、疾病に対する 全方位的な研究を展開し、かつ質量分析と結合さ せ、プロテオームレベルの研究を展開する。ひいて は、各ゲノミクス・プラットフォームを利用して徹 底した研究を実施し、ここから大量のデータを獲得 して表現型と関係のある各種情報(置かれている環 境、年齢、疾病治療史、家族史、アレルギーなど) と結合させ、人類遺伝学メカニズムを全面的に明ら かにするための重要な土台を築こうとしている。こ れ以外に、華大基因は新技術、新たな研究流行分野 にも参加しており、例えば、単細胞研究、免疫学ラ イブラリー研究、液体生検などである。

2. 動植物研究

華大は多種プラットフォームを有しており、 DNA レベル、RNA レベル、表層遺伝学などの各 レベルにおいて、動植物の各種興味を持った表現型 形質に対して全方位的な研究を実施し、かつ質量分 析と結び付けてプロテオームレベルでの研究を展開 することが可能である。また、ゲノミクスを徹底利 用して動植物界における科学的問題を深く分析し、 人類と深く関わっている農業形質関連遺伝子を検 査・測定し、動植物の進化、抗病、抗ストレス、生 殖発育などの生理メカニズムを研究し、育種のため に多様性ある遺伝資源を発掘し、動植物育種過程を 高めるための確かな理論的土台を構築する。具体的 なサービス内容は以下の通りである。華大は、ゲノ ムをトップシーケンスから、再配列シーケンス、簡 素化ゲノムシーケンス、トランスクリプトシーケン ス、メチル化研究、ヒストン修飾、タンパク質定量、 定性の研究などのサービス能力を備えている。

3. 微生物研究

微生物研究の方向は、人類の生産生活のあらゆる 面に及んでおり、医学分野では、病原菌、薬剤耐性 菌、腸内細菌叢の研究がある。農業分野では、動植 物を病気に至らす菌や薬剤耐性菌と、農業生産方面 との研究がある。工業分野では、工業微生物もしく は工業菌、工業生産環境などの微生物群落研究があ る。研究対象には、個体から群落までの研究が含ま れ、製品はゲノム、トランスクリプト、蛋白の各レ

ベルに及び、そこには細菌・真菌の denovo シーケ ンス、再配列シーケンス、 16S/18S/ITS アンプリ コンシーケンス、メタゲノム研究、および微生物と 関連する蛋白方面の研究なども含まれる。

華大は微生物分野における研究を得意としてお り、多くの大型微生物研究計画に起動もしくは参与 しており、それには万種微生物ゲノム計画、人体腸 内微生物メタゲノム研究計画(MetaHIT)、百万微 生態ゲノム計画および地球環境微生物計画 (EMP) が含まれる。現在のところ、すでに10万件を超える サンプルが完成し、累積発表論文は350数篇、累積 影響因子は2000を超えた。華大が提供できる製品に は細菌denovo、細菌再配列シーケンス、真菌 denovo、真菌再配列シーケンス、メタゲノム調査、 16S/18S/ITS アンプリコンシーケンスなどが含ま れている。

4. RNA 類 (通用シーケンス)

トランスクリプトミクスは、細胞の中のすべての 遺伝子転写および転写調節規律を全体のレベルにお いて研究する学科である。トランスクリプトミクス の研究対象には、mRNA とノンコーディング RNA などが含まれる。新世代ハイスループットシーケン ス技術は、特定細胞あるいは組織をある状態の中か ら、ほぼすべての転写本における配列情報と表現情 報を急速かつ全面的に獲得し、そこから遺伝子表現 の差異、遺伝子構造の変異、選択分子標記(SNPs) など生命科学の重要な問題を正しく分析することが できるのである。華大の科学技術は、全面的なトラ ンスクリプトシーケンスサービス、シーケンスデー タに基づいた専門的かつカスタム化された生物情報 学分析サービスを顧客に提供することができる。現 在のところ、華大の科学技術は複数のトランスクリ プトミクス研究製品とサービスを提供することが可 能である。

第3節 中国科学院神経科学研究所— —体細胞 クローン猿技術

2017年11月27日、世界初の体細胞クローン猿「中 中」が中国科学院神経科学研究所、脳科学およびス マート技術卓越イノベーションセンターの非人類霊 長類プラットフォームにて誕生した。12月5日には 二匹目のクローン猿「華華」が誕生している。二匹 のクローン猿はどちらもメスである。現在までのと ころ、二匹の小猿の各身体的指標はいずれも正常で あり、発育状態は良好である。

2018年1月25日午後、中国科学院神経科学研究所 の孫強研究員チームは北京にて、チームが五年間に

わたる絶えまぬ努力の結果、体細胞クローン猿とい う世界的難題をクリアし、世界初の体細胞クローン 猿の飼育に成功したと宣言した。これは中国が世界 に先駆けて、アカゲザルを実験動物模型とする時代 の扉を開けたことを意味している。この成果は1月 25日、生物学のトップ学術刊行誌『Cell』の表紙を 飾る文章としてオンライン発表された。

1997年、「羊のドリー」が体細胞クローンに成功 した後、多くの哺乳動物の体細胞クローンも次々と 成功していった。しかし、人類と近いところにある 霊長類動物(アカゲザル)の体細胞クローンは、常 にその難題を解決できずにいた。クローン猿がいな ければ、人類疾病の動物模型シミュレーションを構 築することは難しい。中国科学院神経研究所の孫強 研究員率いる劉真 (ポスドク) を中心としたチーム は、五年間の絶えまぬ努力を経て、この生物学の先 端にある難題を突破することに成功した。これは中 国がアカゲザルを実験動物模型とする時代の扉を、 真っ先に開けることに成功したことを意味してお り、これからスタートさせる霊長類全脳メソスコ ピック神経接続マップという国際大型科学計画にお ける中国人科学者の主導的地位を一層固めたのであ

体細胞クローン猿の重要性は、一年以内に遺伝背 景が同じ模型猿を大量に産出できるところにある。 体細胞を使い、体外にて有効に遺伝子書き換えを行 い、遺伝子の型が同じ体細胞を正しくふるい分け る。その後、核移植の方法を用いて遺伝子の型が全 く同じ大量の胚胎を産出する。そして母猿担体を用 いて懐妊させ、遺伝子編集と遺伝子背景が全く同じ 猿群を生ませるのである。これは脳科学研究と人類 疾病動物模型を製作するのに鍵となる技術である。 国からの重要な要求に直面し、脳疾病模型猿を製作 することは、脳疾病のメカニズム研究、介入、治療

にとって、これまでになかった明るい将来性をもた らすものである。現在絶対的多数の脳疾病において 有効な治療が行なえないのは、主な原因の一つに薬 の研究開発に通常用いられるマウス模型と人類との 差が激しく、研究開発された薬が人体で測定してみ ると、ほとんどが無効もしくは副作用があるためで ある。体細胞クローン猿の成功は、中国が非人類霊 長類疾病動物模型を基にした全く新たな医薬研究開 発産業チェーンの発展を率い、アルツハイマー病、 自閉症などの脳疾病、および免疫不全、腫瘍、代謝 性疾病における新薬研究開発過程の促進を推進する のである。中国人科学者が、霊長類全脳マップ計画 の実施と霊長類脳科学の先端研究を主導していくこ ととなる。

(一) 霊長類研究プラットフォーム (蘇州)

神経研究所の非人類霊長類蘇州研究プラット フォームは2009年8月に設立され、カニクイザルと アカゲザルおよびげっ歯類の大小マウスを基礎モデ ル生物として、遺伝子組み換えモデル動物構築と関 連技術研究を展開する。アカゲザル属のアカゲザル とカニクイザルは、使用が最も多い非人類霊長類実 験動物であり、生命科学と生物医薬研究分野におい て非常に重要な地位を有している。猿の補助生殖技 術構築および慢性病毒担体感染と標的リボザイム (ZFN,TALEN,CRISPR/Cas9) などの遺伝子操作 技術の出現により、科学者たちはすでに、外因性遺 伝子過剰発現の遺伝子組み換え猿および目的遺伝子 定点切除の遺伝子組み換え猿を獲得するのに成功し ている。この実験室では、非人類霊長類遺伝子修飾 模型の構築および関連する生殖生理、補助生殖、遺 伝子組み換え、遺伝子修飾、幹細胞技術研究と開発 に力を入れている。

表6-1. 中国科学院神経科学研究所霊長類研究プラットフォーム (蘇州) の人員構成

	姓名	学歴	職務、専攻		姓名	学歴	職務、専攻	
1	孫強	博士	研究員、動物実験、遺伝子組み換え動物		劉佳	高専	技術員、修理	
2	劉真	博士	ポスドク、遺伝子組み換え動物		高長山	中専	実験員、飼育管理	
3	蔡毅君	修士	上級実験師、動物模型構築		許玉婷	学士	実験師助手、胚胎操作、胚胎冷凍	
4	王燕	学士	上級実験師、獣医外科		王占洋	修士	研究員助手、分子生化実験	
5	聶艶紅	高専	実験師助手、獣医手術		張暁彤	学士	技術員、飼育、手術	
6	陸勇	学士	実験師助手、飼育管理		李玉琢	学士	助理研究員、動物模型構築	
7	劉騏明	学士	実験師助手、飼育管理		黄剣濤	学士	実験師助手、飼育管理	
8	張体葵	学士	実験師、飼育管理					

主な研究分野には以下のものが含まれる。

1. 非人類霊長類生殖・生理・繁殖加速研究

アカゲザルとカニクイザルは生殖・生理の点で 人類と極めて似ており、月経周期を持つ単胎繁殖動 物である。生殖技術の補助は、非人類霊長類の遺伝 子組み換えモデルを構築する上で土台かつ鍵となる ものである。2008年、プラットフォームでは高効率 のサル胚胎構築および胚胎移植技術を打ち立て、国 内初の試験管カニクイザルの誕生を見た。こうした 土台を基に、本実験は上海第九人民病因生殖補助セ ンターなどの機関と協力し、霊長類生殖における神 経と内分泌調節メカニズム研究を通じ、非人類霊長 類と不妊症患者における排卵促進策、胚胎の質向 上、妊娠結果の最適化に力を入れた。

模型動物応用としての非人類霊長類で大きな障 害となるものは、その繁殖周期が長すぎることであ り、通常使われるアカゲザルとカニクイザルの性成 熟期間はどちらも四年以上となっている。前期の作 業において、プラットフォームでは精巣移植をした 精子の加速成熟技術構築を基に、カニクイザルの代 替わり期間を4.5年以上から2.5年への短縮に成功 し、かつ健康なカニクイザルの子孫を得た。プラッ トフォームでは今後、霊長類生殖神経内分泌調節メ カニズムを深く研究した上で、サルの成熟加速技術 における一層の最適化を目指していく。

2. 霊長類遺伝子組み換え・遺伝子編集模型構築お よび技術研究開発

プラットフォームでは、すでに慢性病毒に基づく 遺伝子組み換え猿構築技術と標的リボザイム (TALEN および CRISPR/Cas9) に基づく遺伝子 編集猿構築技術を、前後して打ち立て、かつ MeCP2、Prrt2、Fmr1、Bmallなど複数の遺伝子編 集構築初の猿を獲得するのに成功している。しかし こうして初めて構築された遺伝子編集猿の多くは、 キメラ整合もしくは突然変異なのである。この問題 を解決するため、プラットフォームでは複数の sgRNA を組み合わせて用いることを通じ、全変異 体キメラ初構築の Prrt2と Bmall猿を得ることに成 功した。すでにある研究基盤の上で、プラットフォー ムは引き続き、遺伝子組み換えおよび遺伝子編集猿 構築技術を最適化していき、かつ研究所内における 複数の課題チームと緊密な協力を行い、神経発育お よび神経疾病に関わる遺伝子が標的となって、遺伝 子組み換えおよび遺伝子ノックアウト非人類霊長類 模型構築と技術研究開発を行うようにしている。

3. 非人類霊長類遺伝子修飾模型構築新技術研究

マウスの遺伝子修飾模型構築における方法の中 では、慢性病毒感染と標的リボザイム以外に、胚胎 幹細胞胞胚注射、精原幹細胞、体細胞核移植、ハプ ロタイプ幹細胞仲介といった遺伝子組み換え、遺伝 子編集技術がある。こうした技術は CRISPR/Cas9 を代表とする標的リボザイムほど簡単で容易な操作 とはいかないものの、キメラ現象がなく、複雑に修 飾された遺伝子の動物模型に対するノックアウトと ノックインを直接得られるという優位性を持ち合わ せている。前期の作業において、プラットフォーム ではカニクイザル単為雌ハプロタイプ幹細胞株の試 作および構築を行い、同時にアカゲザルとカニクイ ザルの胚胎幹細胞をそれぞれ獲得した。プラット フォームではこの土台の上に、猿幹細胞全能性およ び半クローン、クローン猿の関連研究を展開してい

(二) 体細胞クローン猿の技術展開過程

クローン過程の流れを説明するのは言葉では簡 単であるが、実際には難しい。1997年に羊のドリー が誕生し、その後ネズミや豚のクローンも成功し た。2005年にはクローン犬の誕生にも成功し、非人 類霊長類体細胞クローンの研究は2002年から始まっ ていた。文献報道を行う実験室も多く、アメリカ、 ドイツ、日本、また中国も含めた実験室が研究に打 ち込んだ。しかし2017年になるまで、非人類霊長類 体細胞クローン動物が生まれたとの報道はなかっ

その原因は、一つに猿の繁殖能力は低く、代替わ りの時間が長いことである。猿の妊娠期間は160日 間であり、小猿が誕生してから成熟して子供を産め るようになるまで4~6年の時間がかかる。二つ目 は遺伝背景が複雑なことである。猿の父母が異なれ ば、その遺伝子の源も異なり、遺伝背景も違ってく るため、実験の妨害要素が深刻となる。これが原因 で、世界各国の科研スタッフたちはあらゆる方法を 使い、この難題を突破しようと努力し続けていたの である。

孫強の体細胞クローン技術には以下いくつかの 鍵となるポイントがある。100万の精子のうち、1 匹の精子を最終的に卵子に入れ受精卵を形成する。 同時に卵子を活性化させるが、この活性化過程が重 要なのである。したがって、発育生物学では「精子 のキスが、深く眠っていた美女を目覚めさせた」と いうたとえがよく使われる。

体細胞クローンという過程胚胎は自然受精では なく、顕微鏡操作技術を通じ、細胞核を取り除いて

から注射によって一つに融合させなければならな い。胚胎は発育から胞胚期にかけて着床を始め、着 床すると人工的干渉はできなくなる。したがって鍵 となるステップは、いかに活性化させるかというこ とになる。人間を含めた霊長類の場合、四細胞段階 で活性化シグナルさえ出ていれば、細胞は分裂を起 こす。しかし、四細胞の後では、正常な核ゲノムが 起動していなければ、その後の発育を完了させるこ とはできない。つまり、胚胎細胞が1つの細胞から 順番に、2つ、4つ、8つの細胞に分裂する過程が 最も鍵となる部分なのである。核ゲノム起動前に、 体細胞核は早期胚胎核状態に戻る過程を経験する が、これは遺伝子再編成と呼ばれる。仮にこの過程 をしっかりコントロールできれば、体細胞胚胎にお ける発育率を高めることができるのである。

体細胞増殖をまとめると、四つのステップが出て くる。一つ目は1つの体細胞から構成される胚胎、 二つ目は胚胎を活性化できること、三つ目は核ゲノ ムを起動させられること、最後のステップは胚胎を 子宮の排卵管の中に入れ、着床・発育して個体とな らせることである。最後のステップはコントロール が効かないのを除き、孫強チームでは前の三ステッ プに何とか介入しようと考えた。

卵細胞の核除去操作は、マウスの実験から始め た。まずマウスの卵細胞を固定し、細い針で核を取 り除く。この作業は比較的簡単な操作となる。しか し猿の卵細胞に置き換えてみると、これはそう簡単 にはいかない。猿の細胞は不透明なため、顕微鏡で 見ても細胞核が見えず、偏光を通じて、ようやく細 胞核がはっきり表れるのである。長期にわたる訓練 を経て、チームのメンバーである劉真博士は、すで に10秒以内に猿の卵細胞核一つを取り出せるように なった。この過程全体で速さと正確さが要求される が、それはこの過程が卵細胞に与える損傷が大きい ためである。仮に細胞に傷がつけば、その後の作業 はできなくなるのである。

すばやい核除去という要求以外に、細胞注入に関 しても極めて手早く行わなければならない。孫強 チームのメンバーは15秒以内に体細胞を注入する操 作を実現することができるが、正確な技術がなけれ ば卵細胞の損傷を最小に抑える保証はできず、体外 時間が短ければ損傷も少なくて済むのである。

体細胞クローンの過程におけるもう一つの難点 は、クローン体の胞胚発育状態があまりよくなく、 マウスやブタに比べ、猿の胞胚発育率は比較的低い ことである。良質な胚胎でなければ個体に発育する ことはできず、内部細胞塊の発育のよいもののみが 良質な胚胎となれるのである。孫強チームでも、ク ローン胚胎内に内部細胞塊が見当たらないという状 況に遭遇したことがある。では彼らはいかにしてこ の問題を解決したのか?

胚胎再構成からクローン胚胎まででは、その第一 歩で活性化しなければならず、これは活性化条件お よび培養条件に関わってくる。孫強チームはイオノ マイシン +6-DMAP という活性化条件を選び使用 したが、クローン体胞胚率は13%であったが、良質 な胞胚は一つもなく、良質率はゼロであることを発 見した。

孫強チームは、マウスの体にある一種のヒストン アセチラーゼ抑制剤 TSA が、ヒストンの表層遺伝 状態を調節できるのを発見した。ヒストンアセチ ラーゼ抑制剤の処理後、胞胚率は16%まで高まり、 良質胚胎も増加するが、まだあまり理想的ではな い。2014年、H3K9me3を用いてメチラーゼ Kdm4 を処理後、子犬に素晴らしい効果があったとの文章 報道があった。彼らはこの方法を試してみたとこ ろ、効果があることを発見した。肺胞率は45%まで 高まり、良質胚胎率も29%まで上昇したのである。

作業はここまで来て明確な進展を見せた。すなわ ち、この時から、実験の連続性を保っておかなけれ ばならないということである。

表6-2. 体細胞クローン猿の誕生過程

ドナー細胞	ドナー 猿数	卵細胞	再構築 胚胎	胚胎移植	移植 受容体	懐妊 受容体	出生個体	生存個体
胎児猿繊維胞	6	127	109	79	21	6	2	2

猿の実験は比較的特殊で、月経の周期に基づき、 月経の三日前から連続十数日間の注射を行う必要が ある。孫強チームは127個の卵細胞を用い、109の再 構築胚胎を作り、21体の猿受容体に対して移植を実 施し、6匹の受容体が妊娠し、最終的に2匹の個体 が順調に生まれたのである。しかし、ドナー6匹と いう数と2匹の生きた個体という数から比較すれ ば、孫強チームの技術成功率およそ30%というの

は、霊長類の繁殖成功率が5%前後であることか ら、大きく飛躍したわけである。

最後に、2匹のクローン猿「中中」と「華華」が DNA 親子鑑定を行ない、 27のマイクロ衛星測位を 通して分析した結果、核ゲノム情報とドナー体細胞 が完全に一致していることが証明された。

体細胞クローン猿技術が課題克服に成功した 後、孫強チームの次なる重要な作業は、クローン猿 の成功率を高めることを通じ、全く同じ遺伝子を備 えた大量の猿群を構築することである。これは脳科 学研究と人類疾病動物模型製作において鍵となる技 術となる。体細胞クローン猿誕生に成功したこと は、生命科学研究と人類疾病研究において急務とな る非人類霊長類動物模型製作の鍵となる技術への突 破であり、比較的短い時間(一年)内に遺伝背景が 高度に一致した非人類霊長類実験動物と疾病動物模 型の大量生産を実現させたのである。これは今後必 ず、生命科学の基礎研究ならびにトランスレーショ ナル医学の発展研究を大きく促進するはずである。

第4節 中国科学院遺伝・発育生物学研究所 -水稲分子育種

中国科学院遺伝・発育生物学研究所(略称:遺伝 発育所)は、最も早い時期では1959年に設立された。 2001~2003年、旧中国科学院遺伝研究所、旧発育生 物学研究所、旧石家荘農業現代化研究所が合併して 現在に至る。目下のところ、計82の研究グループが あり、職員は501名。そのうち院士(アカデミー会員) が3名、国家「千人計画」3名、「青年千人計画」 5名、中国科学院「百人計画」42名、「973」等国家 重大プロジェクト首席科学者21名、「国家傑出青年 科学基金」獲得者30名、国家基金委員会「イノベー ション研究グループ」4つとなっている。遺伝学、 発育生物学、細胞生物学、植物栄養学、生態学、生 物情報学の6つの理学専攻修士、博士学位育成地 点、植物栄養学と作物遺伝育種の2つの農学専攻の 修士学位育成地点、生物工程の専門学位修士育成地 点、およびポスドク流動ステーションを設けてい る。現在、在学院生は680名で、そのうち博士生が 490名、修士生190名、在留ポスドク122名となって

遺伝発育所は、中国農業および人々の健康といっ た大型戦略需要および生命科学の先端と向き合い、 ゲノム構造と調節規律、細胞発育分化分子メカニズ ム、重要な農芸性状分子解析、農業生態の持続可能 な発展、先端科学学際領域の研究を重点的に展開 し、水稲や小麦などのゲノムが表す調節規律、細胞 分化の分子メカニズム解説、新たな品種設計理論お

よび技術体系の構築を明らかにし、遺伝と発育の生 物学領域における重要な科学および技術問題解決に 貢献する。

研究所は下部組織として、ゲノム生物学、分子農 業生物学、発育生物学、分子系統生物学、農業資源 からなる5つの研究センターを設けている。植物ゲ ノミクス、植物細胞と染色体工程、分子発育生物学 の3つの国家重点実験室、中国科学院農業水資源お よび河北省節水農業という2つの院省レベル重点実 験室を有している。他に河北欒城農田生態系統国家 野外観測試験場は、国家植物遺伝子研究センター(北 京)の嘱託機関であり、欒城農業生態システム試験 場、南皮生態農業試験場、太行山山地生態試験場、 海南陵水南繁育種基地が設けられている。

この研究所の近年における水稲機能ゲノミクス 基礎研究と水稲分子設計育種などの研究状況は以下 の通りである。

(一) 水稲における胚軸と胚芽鞘調節メカニズムの

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の張勁松研 究グループと陳受宜研究グループは、中国農科院作 物所の黎志康研究チームと協力し、腰高突然変異体 gaovaol (GY1) の遺伝分析を通じ、調節の中で胚 軸と胚芽鞘を伸ばす遺伝子を鑑定した。更に、自然 群体の中で、この遺伝子の優秀等位変異である GY1376Tを鑑定した。研究では、GY1が葉緑体を 定めるホスホリパーゼ A1蛋白であり、ジャスミン 酸生物合成の第一歩に作用することが表明された。 それはジャスミン酸の合成促進を通じ、そこから制 御の中で胚軸と胚芽鞘を伸ばすのである。機能研究 および遺伝分析は、OsEIN2と OsEIL2が仲介する エチレンシグナル経路を、GY1およびその他のジャ スミン酸合成抑制途上の遺伝子表現を通じて、ジャ スミン酸の含有量を下方修正して細胞の伸長を促進 し、そこから水稲における胚軸と胚芽鞘の長さを調 節することを表している。3000の水稲ゲノムにおけ る GY1遺伝子の突然変異状況を深く分析した結 果、GY1突然変異スポットとは異なる優れた優秀等 位変異である GY1376T を発見した。GY1376T の 存在は成長中の胚軸と密接な関係にある(図1)。 生物化学の分析は、GY1376T が対照の GY1より低 いが、突然変異体 GY1蛋白より高いホスホリパー ゼA活性を有していることを表明した。対照品種 である日本晴の GY1376G を、成長中の胚軸と生え た胚芽鞘を有する Kasalath 品種 (等位変異 GY1376T を含んでいる) の中に転化すると、ジャ スミン酸の合成を促進し、制御の中で胚軸と胚芽鞘

を伸ばすことが可能となるのである。この研究は、 水稲種萌芽出土過程において、エチレンがジャスミ ン酸合成を抑えることを通じ、そこから促進の中で 胚軸と胚芽鞘を伸ばす新たなメカニズムを示したの である。等位変異 GY1376T が中国水稲品種に存在 する頻度が比較的低いことに鑑み、したがって、優 秀等位変異 GY1376T を異なる主な品種の中に導入 していけば、新型ドライ直播き水稲品種を育てられ

る可能性があり、これは農業生産にとって重要な意 義を有しているのである。

この研究成果は、2017年5月2日にPlant Cell 誌にてオンライン発表された(DOI: 10.1105/ tpc.16.00981)。研究グループの熊青博士、馬彪副研 究員、陸翔博士がこの論文の共同第一著者で、馬彪 博士は共同報告著者でもある。



図6-3. GY1遺伝子の等位変異 GY1376T と成長中胚軸との関連

(左側:日本晴品種と対照したもの。GY1376Gとの対照を含み、短・中の胚軸と胚芽鞘を有し、 青色蛍光は細胞が比較的短いことを示している。右側:Kasalath 品種。優秀等位変異 GY1376T を含み、長・中の胚軸と胚芽鞘を有し、青色蛍光は細胞が比較的長いことを示している。)

(二) 分子設計の水稲新品種

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の姚善国研 究グループは、主に東北ジャポニカ米の多遺伝子ア センブリ設計育種研究に力を入れている。歴代栽培 面積が最大の品種である空育131を基盤とし、全ゲ ノムを深くシーケンスすることを通じ、この品種に おけるいもち病、品質、傾き、生産量など主要農芸 性状等位遺伝子型を系統的に分析する。空育131の いもち病耐性が極めて低く、香味がないなどの突出 した問題に対し、研究グループは一連の関連する性 状優良等位変異を発掘した。連続多世代戻し交配結 合分子標記選択を通じ、空育131背景下にある各優 良等位変異単分子モジュール基礎材料を構築した。

異なる単分子モジュール材料の初期組み立てを 通じ、研究グループは生産量、品質、いもち病耐性 を調和的に引き上げた分子モジュールで組み立てた 新品種「中科902」を栽培した。この品種は空育131 の耐寒性、良質、分岐の多さなど優良性状を保つと 同時に、二つのいもち病レベル耐性遺伝子 Pb1と pi21、さらに香味等位遺伝子 badh2を携帯してい る。中科902のご飯はいい香りがし、米粒の延性も

よく、味の品質は82点から86点であり、現在黒竜江 省唯一の円型香り米品種となっている。

(三)遺伝発育所水稲ゲノム編集研究

水稲突然変異体は、水稲機能ゲノミクス基礎研究 ならびに水稲分子設計育種を実施するのに重要な材 料である。通常の水稲突然変異体は、自発突然変異 もしくは化学、物理、生物的変異誘発から来ており、 大きなランダム性と局限性を有しており、大規模な 水稲機能ゲノミクス研究と水稲分子設計育種におけ る需要を満たすことができない。高効率で便利な CRISPR/Cas9ゲノム編集技術とハイスループット のオリゴヌクレオチド・チップ合成技術を利用すれ ば、水稲全ゲノムに対して大規模な編集を実施し、 水稲突然変異体におけるハイスループット構築と機 能選択を実現することが可能となる。この研究はア グロバクテリウム媒介による水稲遺伝転化法を通 じ、水稲中花11を受容体材料とし、水稲茎基部と穂 部における高表現12802遺伝子に対し、ハイスルー プットのゲノム編集を行い、 14000余りの独立した TO代株系を得たのである。さらに、それらの子孫

に対して部分的表現型と遺伝子型の分析鑑定を実施 した。これらの研究は、CRISPR/Cas9ゲノム編集 技術を利用して、大規模な水稲突然変異体バンクを 構築して機能選択をすることが、水稲の重要な突然 変異体の高効率かつ簡便な獲得ならびに対応遺伝子 への素早いクローン作製への有効な方法であり、同 時に水稲分子設計育種にも重要なドナー材料を提供 することができることを表している。

この研究成果は2017年6月21日に Molecular Plant 誌にオンライン発表された (DOI:10.1016/ j.molp.2017.06.006)。中国科学院遺伝・発育生物学 研究所の李家洋研究グループの孟祥兵研究員助手と 余泓副研究員がこの論文の共同第一著者で、李家洋 研究員と高彩霞研究員が共同報告著者となる。

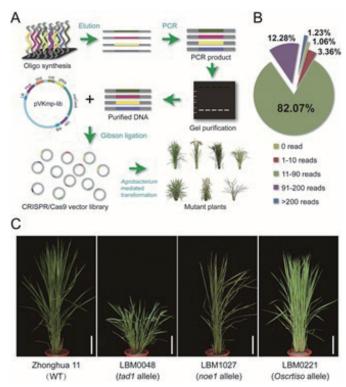


図6-4. ハイスループットで構築した水稲 CRISPR/Cas9突然変異体バンク

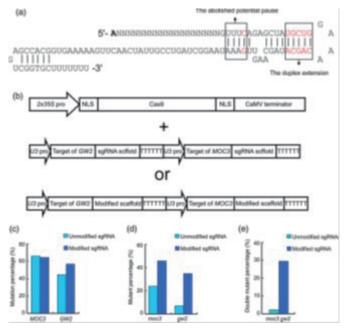


図6-5. 高効率な CRISPR-Cas9-VQR ゲノム編集系統

(四) 水稲種子サイズ調節研究

水稲は最も重要な食用作物の一つとして、全世界という範囲の中で半分を超える人口が水稲を主な食物源としている。また水稲種子のサイズおよび形状と水稲の生産量および品質の間には密接な関係がある。近年、すでに水稲種子サイズを制御する鍵となる遺伝子のクローン化に成功したとは言うものの、その作用の分子メカニズムに対する理解は未だ足りないのである。

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の李雲海研究グループと、浙江省農業科学院作物・種技術利用研究所の汪得凱課題グループとが協力し、水稲の粒の厚さと幅を制御する鍵となる遺伝子WTG1(WIDE AND THICK GRAIN 1)を発見した。wtgl-1突然変異体の粒の幅、厚さ、千粒の重さ、主穂の穂粒数はどれも増加し、粒の長さは短くなっ

た。また表現が過度なものでは、水稲の粒の幅、厚さは低下し、粒の長さを増加させたのである。WTG1は主に殻細胞の拡張に影響を与えることを通じ、そこから水稲の粒の大きさと形状をコントロールするのである。WTG1に人類の中にあるOTUB1と同源のOtubain-likeプロテアーゼをコーディングすると、更に踏み込んだ生化実験の結果、WTG1は脱ユビキチン化酵素の機能を備えていることが明らかになる。この研究は、WTG1による水稲の粒の大きさ、形状、生産量の改良を一層利用する上で極めて重要な意義を有している。

この研究成果は、2017年6月16日に The Plant Journal にてオンライン発表された(DOI:10.1111/tpj.13613)。李雲海研究グループの黄科、段朋根、浙江省農業科学院の汪得凱がこの文章の共同第一著者である。

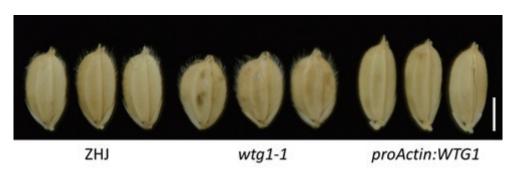


図6-6. WTG1が粒の度合い、顆粒の形状、顆粒の重量を調節する

(五) 水稲二次壁形成調節メカニズム研究

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の周奕華研 究グループは CRISPR/Cas9遺伝子編集技術を利用 してiip4突然変異体を新たに作り出した。その突然 変異体の二次壁の厚さは明らかに増加し、繊維素と 木質素の含有量も若干上昇したことが分かったが、 これは IIP4が水稲二次壁の合成にマイナスの調節 をしたことを示している。大量の生化・分子生物学 の研究により、IIP4が二次壁合成を行う鍵となる トップ調節因子は NAC29/NAC31の相互作用であ り、その下流で調節した遺伝子、例えば MYB61、 CESA4、CESA7、CESA9の表現を抑制することで、 そこから二次壁の合成を邪魔することが分かった。 また ILA1によってリン酸化された IIP4亜細胞測位 に変化が発生し、核の中から細胞質へて転移するこ とで、細胞核の中にある相互作用蛋白 NAC29/ NAC31が解き放たれる現象を引き起こし、それに より下流遺伝子の表現および二次壁合成を促進する

のである。IIP4の配列を分析したところ、そこには 規律の重複を有する非典型 CCCH 基本配列(C-X4-C-X10-C-X2-H)が発見された。IIP4同源蛋白は、 植物において広範に存在し、かつ高度な保守性を 持っており、その機能の重要性を暗示している。 IIP4における二次壁合成の調節作用は、改良作物の 傾き耐性に使用することも可能である。この研究は ILA1-IIP のシグナル転送経路を解析し、水稲二次 壁形成における分子メカニズムおよび作物高収良質 分子設計育種を明らかにするために、重要な根拠を 提供してくれたのである。

上述の研究成果は2017年11月21日に Molecular Plant 誌 に おいてオンライン発表された (DOI:10.1016/j.molp.2017.11.004)。文章の報告著者は周奕華研究員と張保才副研究員で、第一著者は周奕華研究グループの博士卒業生である張冬梅で、突然変異体を作り出す中で高彩霞研究グループが重要な手助けを行なっている。

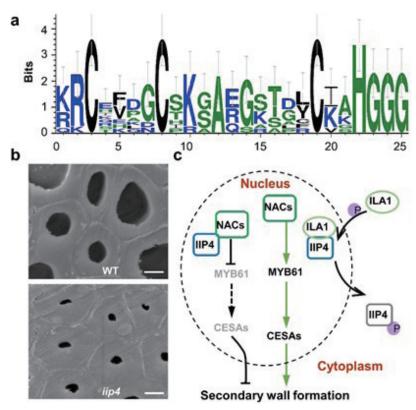


図6-7. IIP4蛋白が二次壁形成において因子をマイナス調節し、水稲茎の強度を調節

(六) 水稲体内 mRNA 二級構造ゲノム

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の曹暁風研 究グループは英国ジョン・イネス・センターの丁一 惊研究グループと協力し、硫酸ジメチル (dimethyl sulfate、略称 DMS) を利用した体内への mRNA 二級構造標記の方法に対し、初めて構造ゲノミクス の角度から水稲 mRNA 二級構造の特徴および潜在 的生物学機能について深く検討を加えた。研究では 以下の点を発見した。①可変剪断、翻訳の初まりと 終わりの過程において、RNA は極めて保守的な二 級構造を備えている。②6-メチルアデニン修飾 (m6A) の位置スポットおよびその付近のセクショ ンは、一本チェーンの RNA 構造になりやすい傾向 を有しており、この趨勢は m6A 修飾を豊富に含ん だ3'UTR セクションにおいてはより明確となる。 水稲体内 RNA 二級構造ゲノムと熱力学的予測の結 果は一致しておらず、RNA二級構造における熱安 定レベルと RNA における生物学機能との間には一 定の関係がある。それ以外に、シロイヌナズナ mRNA 二級構造ゲノムのデータと結合させ、初め て水稲とシロイヌナズナの同源遺伝子である CDS 配列および RNA 二級構造配列の間で対比を行い、CDS 配列一致性と RNA 二級構造との相似性の間には明らかな相関性があるわけではないことを発見した。したがって、RNA 配列と RNA 二級構造の保守性および多様性が、異なる RNA に異なる生物学機能を付与し、二者が相互に助け合いながら、同時に互いから独立し、生物体に基本的生長発育過程における安定性を維持させるという条件の下、異なる生長環境における可塑性への適応を備えていると推測される。この研究は、更なる研究および重要な農芸性状に関わる遺伝子に、全く新たな認知的側面を提供したのである。

この研究の成果は2018年2月1日に、Molecular Plantでオンライン発表された。中国科学院 - 英国ジョン・イネス・センター植物および微生物科学連合研究センター(CAS-JIC Centre of Excellence for Plant and Microbial Science, CEPAMS)による共同養成博士研究生である鄧洪婧がこの論文の第一著者であり、丁一惊研究員と曹暁風研究員が共同報告著者となる。

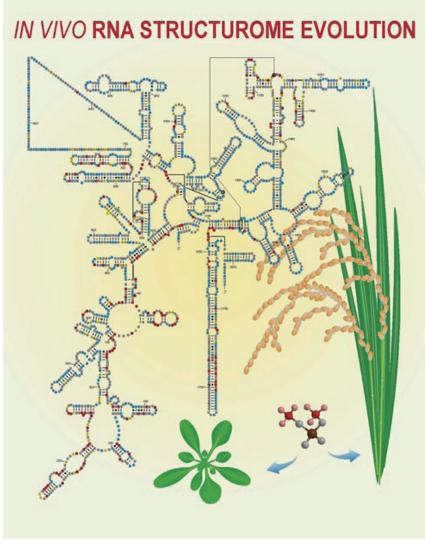


図6-8. RNA 二級構造グループの進化研究

(七) 水稲の葉の平坦度における長鎖ノンコーディ ング RNA の作用

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の朱立煌研 究グループは、水稲の葉の平坦度に影響する長鎖ノ ンコーディング RNA 遺伝子である TWISTED LEAF (TL) を特定した。RNAi を利用して TL の 表現量を低下させ、水稲の葉に螺旋状のねじれ表現 を引き起こす。IncRNA 遺伝子 TL のアンチセンス 鎖コードの一つの典型は、R2R3-MYB 転写因子、 OsMYB60である。この二つの遺伝子における転写 本には1091のヌクレオチドが相互に補完・ペアに なっており、一対の典型的なセンス~アンチセンス 転写ペア (sense-antisense transcript pair) を形成 しているのである。この二つの遺伝子は水稲の多種 組織機関において均しく表現を行うが、TLの表現 量は結局 OsMYB60より高くなる。TL-RNAi 遺伝 子組み換え植物の中で、OsMYB60の表現量は明ら

かに上昇し、TLは恐らくそのアンチセンス鎖であ る MYB 遺伝子の表現を調節することが可能である ことを暗示している。両者は典型的な正 - 反 (sense-antisense) 遺伝子ペアであるが、目下の実 験および生物情報学の分析からは、未だ関連する small RNA の存在は測定されておらず、TL が恐ら く長鎖 RNA の形式でその機能を行使するのだと推 測される。研究は、長鎖ノンコーディング RNA TLがアンチセンスの鎖である OsMYB60遺伝子の クロマチンヒストンの修飾レベルを調節することを 通じ、その表現を調節できることを示している。さ らに、OsMYB60が C2H2転写因子 OsZFP7と結合 して複合体を形成し、葉の平坦度を共同で調節する ことができるのを発見した。この研究は、水稲長鎖 ノンコーディング RNA の、葉の発育における鍵と なる作用を明らかにし、植物が葉の平坦度を維持す る複雑な分子調節メカニズムの存在を示したので

あった。

この研究成果は2018年2月7日にNew Phytologist 誌 にオンライン発表された (DOI:10.1111/nph.15023)。劉雪博士と李大勇博士 が論文の第一著者である。文章の報告著者はそれぞれ中国科学院遺伝発育所の朱立煌研究員、李大勇博士、中国科学院北京ゲノム研究所の胡松年研究員となっている。

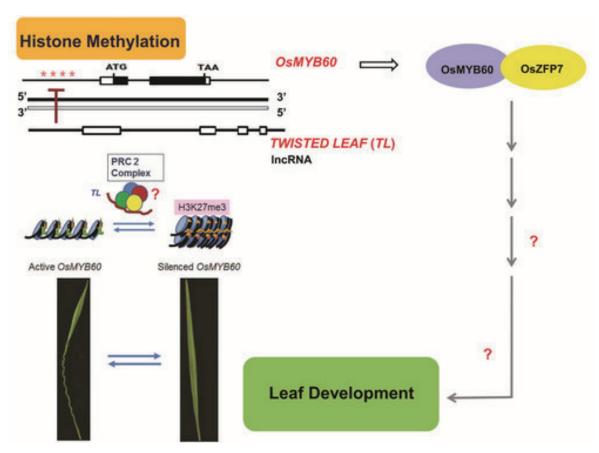


図6-9. 長鎖ノンコーディング RNA、TWISTED LEAF が、稲の葉の平坦度を保つ際の作用メカニズム

(八) G 蛋白が米の品質と生産量を調節する分子 メカニズム

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の傳向東研究グループは、水稲の良質かつ高収性状を同時に改良する研究の中で、重要な進展を見た。長粒型のアメリカ・ジャポニカ米品種 L204の中から、米の生産量と品質を制御して同時に高める重要な遺伝子 LGY3を分離させ、クローン化することに成功したのである。この遺伝子コードは MIKC 型 MADSbox 家族蛋白 OsMADS1である。研究により、OsMADS1転写因子は直接 G蛋白 γ 亜基 DEP1と GS3蛋白を相互に作ることができ、共に下流の標的遺伝子を制御するという表現が発見された。目下のところ、人々の植物細胞 G蛋白シグナル転送経路に対する認識は極めて有限的であるが、この研究では、G蛋白が MADS 転写因子との相互作用を通した全く新しい分子調節メカニズムを明らかにし、G

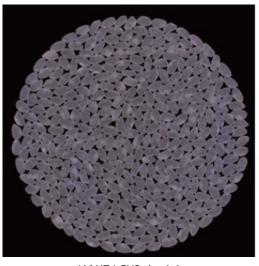
蛋白シグナル転送経路の分子基盤を深く研究する上 で新たな切り口を提供した。

水稲種質資源シーケンスの分析を通した結果、ニワラ野生稲と熱帯ジャポニカ米の中に一種の新たな変異型の存在していることが発見された。コードはC末端切断型蛋白OsMADS1lgy3である。研究ではさらに、この等位変異が米を更に細長く変化させ、粉っぽさと粉面積を効果的に減らし、米の外観、食感などの面の品質を明らかに向上させることを示した。しかしながら、中国で大規模に栽培されている高収率水稲品種の中には、こうした自然変異型が含まれていないのである。等位遺伝子OsMADS1lgy3を中国現有の高収率ハイブリッド水稲に引き入れてみると、米の品質が明確に向上するという基盤の上で、さらに7%以上の生産量増加が可能となった。この等位遺伝子OsMADS1lgy3と高収率遺伝子deP1を集めて、通常の稲育種の中に応用してみる

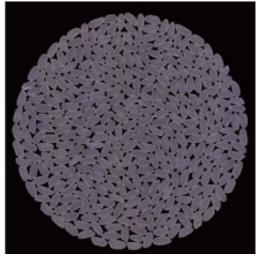
と、米の品質が明らかに向上するだけでなく、水稲の生産量をさらに10%以上増加させることができる。DEP1-GS3-OsMADS1分子モジュールの発見と応用は、水稲の高収率と良質との間の矛盾を解決し、将来、「スーパー稲」新品種の栽培を用いて、

おいしいと同時に高収率な米を獲得できる可能性が あるのである。

この研究成果は2018年2月27日にNature Communications にオンライン発表された (DOI:10.1038/s41467-018-03047-9)。



WYJ7-LGY3-dep1-1



WYJ7-lgy3-dep1-1

図6-10. lgy3と dep1-1が位置スポット集合後、水稲生産量と品質を同時に引き上げる。

(九) 水稲窒素高効率、高生産と早熟の鍵となる遺 伝子制御

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の儲成才研 究グループの研究は、インディカ米品種が硝酸塩の 能力を利用するケースが、ジャポニカ米品種よりも 明らかに高いことが分かり、コード硝酸塩転送蛋白 遺伝子である OsNRT1.1B の一塩基変異がジャポニ カ米とインディカ米との間に、窒素肥料利用効率の 差異を引き起こす重要な原因であることを証明し た (Hu et al., Nature Genetics, 2015)。OsNRT1.1B はシロイヌナズナの中の硝酸塩センサー (transceptor) AtNRT1.1と共に保守的な生物学機 能を備えている。面白いことに、水稲ゲノムの中に 存在する三つの AtNRT1.1同源蛋白は、配列の相似 性が高いものから順に OsNRT1.1A、OsNRT1.1B、 OsNRT1.1Cと命名されていることである。亜細胞 測位分析が示しているのは、OsNRT1.1Bが主に細 胞膜を測位し、OsNRT1.1Aが主に液胞膜を測位 しているという点で、OsNRT1.1A と OsNRT1.1B には明確な機能分化が存在していることを表して いる。更に面白いのは、OsNRT1.1Bは硝酸塩の 誘導を受け、OsNRT1.1A はアンモニウム塩の誘 導を受けることである。更なる機能研究により、 OsNRT1.1B は主に水稲の外界硝酸塩刺激に対する

初級応答反応に参与することが分かった。一方、OsNRT1.1A は水稲が胞内硝酸塩およびアンモニウム塩の利用に応対する基礎代謝機能の調節に参与することが示された。植物が窒素源を利用するのは、主に硝酸態窒素とアンモニウム態窒素の二つの形式がある。水稲は水生植物として、アンモニウム態窒素が主な利用方式であり、OsNRT1.1A のこの機能分化は、水稲に対するその環境適応性が極めて重要であることを意味している。

水稲の中に存在する数十の硝酸塩転送蛋白は、その存在に相当する程度の機能冗長性を引き起こし、ほとんどのコード硝酸塩転送蛋白の突然変異体には、どれも明確な表現型差異がない。しかしながら、OsNRT1.1A の突然変異は水稲株の矮化を引き起こし、開花期が延長され、生産量が低下する。また過度の表現をしたOsNRT1.1A は、異なる水稲品種および異なる窒素肥料の条件の下、いずれも水稲生物量および生産量が明確に上昇し、さらに水稲成熟時間を大幅に短縮できたのである。北京、長沙、海南などで長年、様々な場所で行なってきた田んぼ実験は、OsNRT1.1A 過度表現株が高窒素と低窒素の条件下では、どちらも明確な増産効果を示していることが分かった。とりわけ低窒素条件下では、OsNRT1.1A 過度表現株系列の小エリアにおいて生

産量が上昇し、窒素利用効率は最高で60%にまで引き上がる。その上、高窒素条件下では、対照品種と比較した結果、開花を2週間以上早めることができ、そこから水稲成熟時間を効果的に短縮することが可能となる。シロイヌナズナにおけるOsNRT1.1Aの過量表現もまた、シロイヌナズナの開花を大幅に繰り上げることができ、シロイヌナズナの生物量と種子量を明らかに増やせるのである。こうした結果は、この研究成果が高収率と早熟を兼

ね備えた水稲品種を育成するには、農業生産における高肥料が引き起こす「与えすぎると成熟が遅れる」という問題の克服に解決方案を提供し、これが恐らく他の作物品種にも延長でき、巨大な応用潜在力を備えていることを証明したのである。

この研究成果は2018年2月23日にPlant Cell 誌 (doi: 10.1105/tpc.17.00809) に発表された。王威博士と胡斌副研究員が論文の共同第一著者である。



図6-11. NRT1.1A の表現が過ぎると植物には生物量と生産量の増加が見られ、生育期間も短くなる
① NRT1.1A の過度表現は水稲の生産量増加および生育期の早まりを引き起こす(A)、②稲穂が増大する(B)、③(B)WT を対照とすると、OEnp-3、OEa-6、OEnp-4は NRT1.1A の過度表現株となる。

(十) 水稲リボソーム RNA 生物合成およびその苗 期低温ストレスに対応した分子メカニズム

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の曹曉風研究グループは、水稲 rRNA 前体加工成熟過程における鍵となる剪断位置スポットを系統的に特定した。水稲の中に二つの可変的 rRNA 前体加工経路が存在していることを発見したのである。P-A3前体を代表とする「5′ETS-first」経路および32Sと27S-A2前体を代表とする「ITS1-first」経路である。これにより、初めて水稲 rRNA 前体加工マップが詳細に描かれ、今後の水稲リボソーム生物合成の関連研究のために詳細な資料性蓄積を提供したのである。

水稲の起源は熱帯および亜熱帯地区で、低温異常には敏感である。中国における多数の稲作地区では、どこも低温による冷害が発生しており、水稲の生産量に深刻な影響を与えている。この課題グループは深く研究し、低温ストレスが水稲 rRNA 前体における転写後の加工過程を急速に抑制し、P-A3と27S-A2前体の豊富さが下方修正され、初級転写本45S rRNA の蓄積が現われたのを発見した。これは水稲が短時間の低温ストレスに直面した際に、転

写後の加工レベルにおいて、リボソーム生物合成という高エネルギープロセスを急速に下降させることを通じ、そこから水稲がよりよく低温ストレスに適応できるよう手助けしていることを示している。しかし長時間の低温ストレスがもたらす翻訳系統の低下は、細胞全体の代謝能力を抑制し、これが恐らく水稲が苗期に冷害によって死亡に至る原因の一つである。

この研究では、初めて水稲 rRNA 前体の可変加工経路に触れ、水稲リボソーム生物合成が rRNA の転写後、加工層面が低温ストレスに迅速に対応できることを発見した。また、作物リボソーム生物合成のために環境に適応する作用の中で、新たな手がかりと調節メカニズムを提供し、これもまた分子モジュールが水稲耐低温新品種を設計育成するのに土台を築いたのである。

この研究成果は、2018年3月19日にPlant Physiologyでオンライン発表された(DOI: 10.1104/pp.17.01714)。曹曉風研究グループの杭潤来博士(深圳大学と中国科学院遺伝発育所による連合育成ポスドク)がこの論文の第一著者で、曹暁風研究員が報告作者である。

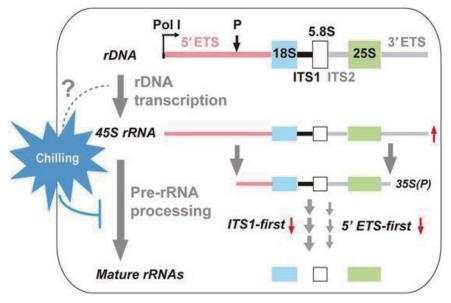


図6-12. 水稲 rRNA 生物合成およびその低温応答に対するモデル

(十一) 水稲種子サイズ調節の重要なメカニズム

MAPK シグナル経路は多くの植物生長発育過程 を仲介している。MAPK 経路の基本的組み合わせ には、MAPKキナーゼキナーゼ (MKKK)、 MAPK キナーゼ (MKK)、MAPK が含まれる。植 物はシグナルを感じた後、この三種のキナーゼが順 番に活性化されて下流遺伝子の表現を調節し、そこ から生物体の生長発育および環境に対する対応など を調節するのである。李雲海グループは前期の研究 において、OsMKK4が機能を失うと、突然変異体 (smgl) の種子が小さくなるのを発見した (Duan et al., Plant Journal 2014)。 最近の研究では、 OsMKK4の機能が突然変異体 large11-1D を得た場 合、大きな種子を生み出すことが特定された。同時 に、smg1表現型と似ている突然変異体 smg2は、 SMG2が水稲 OsMKKK10をコーディングすること も特定された。表現の過ぎる持続活性化中の OsMKKK10では種子を大きくすることができる。 生化分析では、OsMKKK10がOsMKK4と一つの MAPK (OsMAPK6) を順番に活性化できることが 示された。更なる分析では、OsMAPK6の活性強化 が水稲種子を大きくし、活性が弱まれば種子の小型 化が引き起こされることが示された。遺伝分析で は、OsMKKK10、OsMKK4、OsMAPK6の作用が 同じ遺伝経路にて種子の大きさ調節をしていること が示された。したがって、こうした研究は、 OsMKKK10、OsMKK4、OsMAPK6がシグナルカ スケード通路として、水稲種子の大きさにおける分 子遺伝メカニズムを調節していることを明らかにし たのである。

この研究結果は、 2018年 4 月24日に Molecular Plant 誌でオンライン発表された(DOI: 10.1016/ j.molp.2018.04.004)。李雲海研究グループの徐冉博 士、段朋根博士、修士生の于海躍がこの論文の共同 第一著者である。

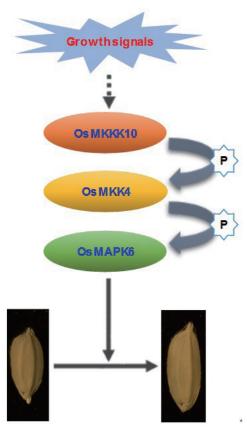


図6-13. MAPK シグナルが水稲の種子サイズを 経路調節する分子メカニズム

(十二) 砂糖シグナルと ABA シグナル

中国科学院遺伝・発育生物学研究所植物ゲノミ クス国家重点実験室の儲成才チームは、水稲穂発芽 分子メカニズムの研究にひたすら力を尽くしてき た。大規模な突発変異体の系統的選択を通じ、水稲 穂発芽に影響のある一連の突然変異体を獲得し、か つ植物ホルモン脱落酸(ABA)合成途上における 遺伝子の突然変異体(phslから phs7まで)が穂発 芽の表現型をすべて表している (Fang et al., 2008; Fang and Chu 2008) ことについてすでに報告して いる。この一連の突然変異体の中に、糖化胚乳の穂 発芽突然変異体 phs8がある。マップクローンは PHS8コード一つの水稲イソアミラーゼ(ISA1)を 表明しており、研究結果は、PHS8の突然変異が胚 乳における小分子糖の蓄積を引き起こし、そこから ABA シグナル経路を抑制するもののうち、二つの 重要な転写因子 OsABI3と OsABI5の表現が、穂発 芽表現型を引き起こすことを表している。過度表現 の OsABI3もしくは OsABI5は、phs8突然変異体穂発芽表現型の一部を回復させることができる。この研究は胚乳における糖シグナル分子が ABA シグナルの伝導に影響を与えることを通じ、種子の休眠と萌芽を調節するという重要な作用を表しているのである。

更に面白いのは、ISA1がすでに報道された水稲種子の休眠と穂発芽を制御するQTL区間に位置し、同時に1529個の水稲品種に対する群体遺伝学分析を通し、ISA1の位置スポットはインディカ米の中で選択され、ISA1が水稲穂発芽改良の中で重要な役割を備えていると暗示しているのを発見した。

この研究成果は、 2018年 5 月18日に The Plant Journal 誌にオンライン発表された(DOI:10.1111/tpj.13970)。 儲成才研究グループですでに卒業した博士生の杜琳、徐凡、方軍が論文の共同第一著者である。

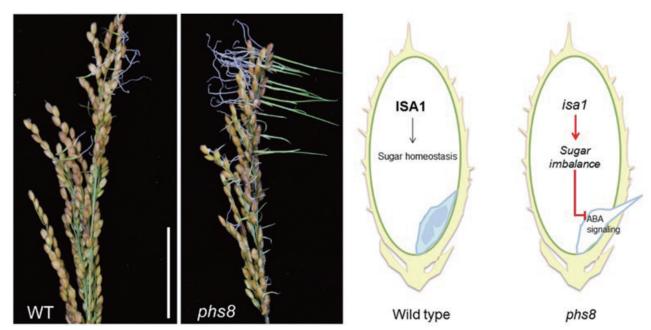


図6-14. phs8突然変異体穂発芽表現型(左)およびそのISA1が影響する穂発芽の調節メカニズム(右)

(十三) 水稲の粒サイズ調節制御

マイトジェン活性化プロテインキナーゼ (MAPK) 経路は、シグナル伝達において重要な 役割を果たす。MAPK ホスファターゼ (MKP) は、活性化された MAPK にあるリン酸基を特異性を 持って取り除き、それによって不活性化することが 可能となる。MAPK シグナルは植物の生長・発育における多方面に関与している。中国科学院遺伝・発育生物学研究所の李雲海研究グループは以前の研

究で、OsMKKK10-OsMKK4-OsMAPK6レベル連合シグナル通路が、水稲の粒の大きさを調節する上で重要な役割を発揮していることを発見した(Xu et al., Molecular Plant 2018; Duan et al., Plant Journal 2014)。近日、李雲海研究グループは、浙江省農科院の王俊敏研究グループおよび中国科学院大学の柴団耀チームと提携し、OsMKP1が水稲の粒の大きさを調節する際の役割を明らかにした。OsMKP1が機能を失った場合、大粒が形成され、OsMKP1の表現

が過度に過ぎれば、小粒化を引き起こす。さらなる 分析では、OsMKP1がOsMAPK6と相互作用を行 い、脱リン酸化 OsMAPK6が、その不活性化を引 き起こすことが示されている。したがって、この研 究は OsMKP1が MAPK シグナル経路を抑制するこ とを通じ、粒の大きさを決定する重要なメカニズム を提示したのである。

この研究結果は2018年5月18日にThe Plant Journal 誌にオンライン発表された(DOI:10.1111/ tpj.13971)。李雲海研究グループの徐冉博士、修士 生の于海躍、浙江省農科院の王俊敏博士、李雲海研 究グループの段朋根博士がこの論文の共同第一著者 となっている。

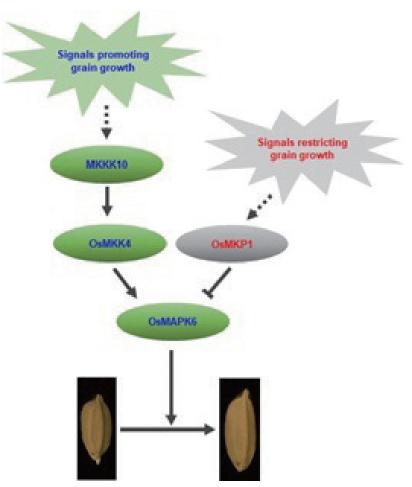


図6-15. OsMAPK6の可逆リン酸化が水稲の粒の大きさを調節

(十四) 水稲分岐角度調節の分子メカニズム解析

研究は、水稲分岐角度の形成が重力反応と密接 に関わっていることを表明した。中国科学院遺伝・ 発育生物学研究所の王永紅チームは李家洋チームと 協力し、重力反応を切り口として、RNA-seg 技術 と生物情報学の方法を結合させた。水稲茎の重力反 応過程における動態トランスクリプトーム変化の研 究を通じ、水稲分岐角度調節を掘り起こす遺伝子 および調節経路の有効な道のりを見つけ出し、こ の分野の研究に新たな思考回路を提供したのであ る。この研究の中で、水稲茎の重力反応過程にお ける高解像度動態トランスクリプトーム変化に基

づき、水稲分岐角度調節における一本の核心的な 道のりを示した(図)。そのうち、HEAT STRESS TRANSCRIPTIONAL FACTOR 2D (HSFA2D) は、重力反応早期に反応する遺伝子であり、この遺 伝子が LAZY1遺伝子 (Li et al., 2007) の表面調節 生長素に影響を与える茎基部の非対称分布を通し、 そこから WUSCHEL RELATED HOMEOBOX6 (WOX6) と WOX11が水稲茎基部において非対称 表現を示すよう誘導する。研究は、水稲 WOX6と WOX11が恐らく、分岐角度調節途中における核心 的転写因子であることを示している。この研究は重 力反応、生長素、水稲分岐角度の間に直接的分子関

係を構築しただけでなく、同時に水稲分岐角度の調 節ネットワークを系統的に解析し、ここから利用価 値のある遺伝子を掘り出すのに重要な情報を提供し ているのである。

この研究結果は2018年6月18日に The Plant

Cell 誌にオンライン発表された (DOI:10.1105/ tpc.18.00063)。王永紅研究グループの博士生張寧、 ポスドクの余皓、李家洋研究グループの余泓副研究 員がこの論文の共同第一著者であり、王永紅研究員 が報告著者となっている。

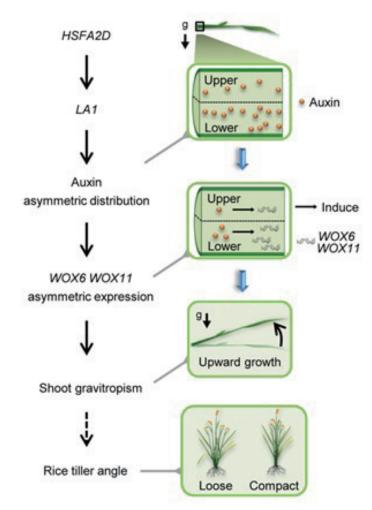


図6-16. 水稲分岐角度調節の核心経路

(十五) ジャポニカ米の低温ストレスに適応するメ カニズム

転写因子が重要な農芸性状を調節する中で鍵と なる作用、とりわけ bZIP 転写因子に低温耐性の作 用があることに鑑み、儲成才課題チームの劉次桃博 士らは、水稲のマイクロコア遺伝資源群に対して低 温耐性鑑定を行い、かつ低温耐性と91の bZIP 転写 因子におけるアミノ酸配列に対する関連分析を行う ことを通じ、群体遺伝学と進化生物学の方法を結合 させ、関連位置スポットに対してジャポニカ米分化 と進化の選択分析を実施し、苗期低温耐性と関連 し、かつ進化の中で強い選択を受けるジャポニカ米 耐低温遺伝子である bZIP73を発見した。bZIP73遺 伝子コードエリア第511位置にある一塩基多型 (SNP) (+511 bp, G>A; +171 aa, Glu>Lys) が、 そのジャポニカ米の分化および低温に対する耐性差 異を決定するのであった。遺伝子組み換えおよび同 質遺伝子系統に近い実験により、ジャポニカ米の bZIP73Ind は低温に敏感であることが証明された。 さらに研究は、bZIP73Japが別のbZIP蛋白 (bZIP71) との相互作用を通して水稲体内植物ホ ルモン脱落酸(ABA)と活性酸素種(ROS)のレ ベルを調節し、そこから水稲の低温に対する耐性を 高めていることを表明している。

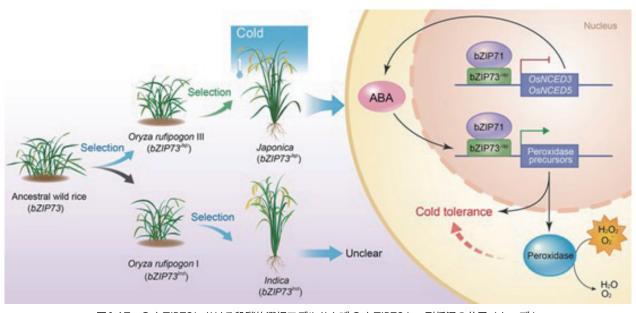


図6-17. OsbZIP73における段階的選択モデルおよび OsbZIP73Jap 耐低温の分子メカニズム

区樹俊は、野生稲群のゲノム配列を更に分析し、 bZIP73が恐らく水稲の祖先の段階で早くから人工 的選択を受け、かつ耐寒型等位遺伝子(bZIP73Jap) 頻度がジャポニカ米の中で急速に高まったことを発 見した。これは耐寒型等位遺伝子がジャポニカ米栽 培化の中で好まれたこと(図四-15)を説明してい る。こうした野生稲分布地区を結びつけ、当該チー ムは中国南方野生稲資源の中にもジャポニカ型 bZIP73Jap (G) が存在していることを発見した。 またインド、バングラデシュ、中南半島より西の地

帯にある野生稲の中にもジャポニカ型とインディカ 型 bZIP73が同時に存在していた。最も面白いのは、 1960~1990年の30年間の平均地表温度データを結合 させて分析した結果、野生稲群の中でインディカ型 bZIP73Ind (A) 個体主要分布地区が明らかに地表 温度と関係があることが分かり、これはジャポニカ 型 bZIP73Jap とジャポニカの北への移動に明らか な相関性があることを説明しているのである。(図 6-17)

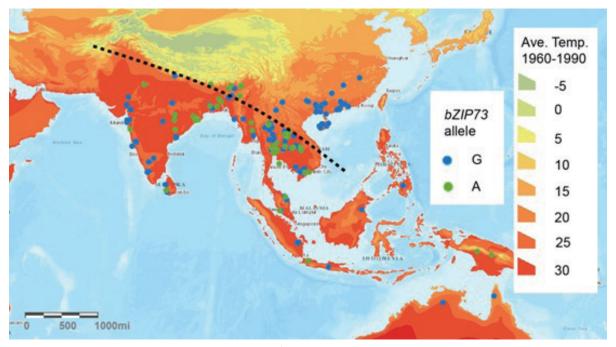


図6-18. 二種類の異なる類型 bZIP73が普通の野生稲(O.rufipogon)に存在する地理分布

青と緑の丸い点は、それぞれジャポニカ米型 bZIP73Jap(G)を含んだものとインディカ米型 bZIP73Ind(A)を含んだものの野生稲分布地区を代表している。暑さの表示は1960年~1990年までの 30年間の地表平均温度($\mathbb C$)を示している。インディカ米型 bZIP73Ind(A)を含む野生稲の主な分布地区は点線で区切られており、地表温度と関係があることが分かる。これはジャポニカ米型 bZIP73Japとジャポニカの北への移動に明確な関連性があることを示している。

(十六) OsOAT 媒介窒素の再利用と水稲の粒発育

中国科学院遺伝・発育生物学研究所の程祝寛研究グループによる最近の研究結果は、 OsOAT が窒素再利用の過程において、重要な役割を発揮することを示している。 OsOAT は、水稲の中のオルニチン d- アミノトランスフェラーゼの同源蛋白である。オルニチンと a- ケトグルタル酸が触媒反応し

て、グルタミン酸とグルタミン酸 g-セミアルデヒドを生成し、そこから植物体内のオルニチン濃度を低下させ、オルニチンのアルギナーゼに対する抑制作用を解除する。OsOAT はアルギナーゼ活性の調節作用に対し、アルギナーゼの正常な分解代謝を保証している。Osoat 突然変異体におけるアルギナーゼ活性が過度に蓄積されたオルニチン抑制を受けた場合、アルギニンの形式で貯めていた窒素源を再利用することが不可能となり、結局突然変異体は結実率が低下し、粒型が異常な表現型となる。そこで尿素を多く加えると突然変異体の表現型を回復させることができる。関連研究は、窒素再利用効率を高めるのに理論的土台を提供した。

この論文は2018年8月25日にThe Plant Journal 誌にオンライン発表された(DOI:10.1111/tpj.14072)。程祝寛研究グループの博士生である劉長振、ポスドクの薛治慧がこの文章の共同第一著者で、程祝寛研究員がこの文章の報告著者である。

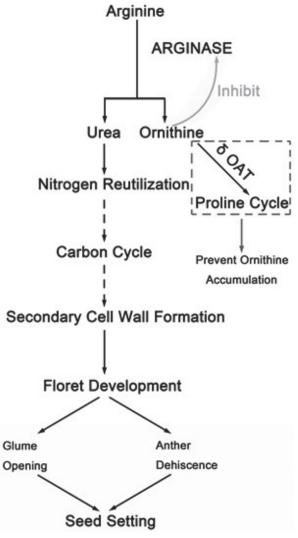


図6-19. OsOAT 媒介窒素再利用が水稲の粒発育を調節

(十七) 水稲理想株型遺伝子 IPA1高収率・耐病性の分子メカニズム

伝統的な視点では、植物耐病と生産量との間には 互いに相殺し合う関係が存在しており、例えば魚と 熊の手を両方一緒に持てないのと同じであると考え る。最近、理想株型水稲高収率および耐病共同調節 メカニズムの研究において飛躍的進展があり、 IPA1が水稲生産量を高めることもでき、同時にい もち病に対する抵抗性も強めることができるという 調節新メカニズムを提示した。研究では、IPA1の リン酸化修飾が生産量と耐性とのバランスを保つ鍵 となる調節ハブの役割を果たしていることが分かっ た。通常の場合、IPA1は DEP1などの穂発育関連 遺伝子の起動子と結びつき、その表現を促進し、水 稲理想株型の構築と水稲生産量を調節するのであ る。いもち病菌による誘導を受けた後、IPA1には リン酸化修飾およびその DNA 配列との結合特性の 変化が発生し、それにより IPA1を耐病に関係する 遺伝子 WRKY45の起動子と結びつけさせ、その表 現を促進して免疫反応を強め、耐病性を高めるので ある。このメカニズムは IPA1を含む機能が性遺伝

子型を獲得した水稲において、生産量といもち病耐性を同時に高めさせるのである。この研究では初めて IPA1が作物の生産量を増やすと同時に耐性も高める一つの遺伝子であることを発見した。一つの遺伝子が同時に増産と耐病を実現させることは不可能だとする伝統的観点を打ち破り、高収率・高耐性育種のために重要な理論的基盤と実践的応用の新たな道のりを提供したのである。

この研究の成果は2018年9月7日に、Science 誌にてオンライン発表され(DOI: 10.1126/science.aat7675)、研究論文テーマは「A single transcription factor promotes both yield and immunity in rice」であった。四川農業大学副研究員の王静、修士生の周練、石輝、米デービス分校博士のMawsheng Chern、中国科学院遺伝・発育生物学研究所副研究員の余泓がこの論文の第一著者である。陳学偉研究員(四川農業大学)、李家洋研究員(中国科学院遺伝・発育生物学研究所)、王静副研究員(四川農業大学)が、論文の報告著者となる。このプロジェクトは国家自然科学基金委員会、教育部、科学技術部などの経費援助を受けている。

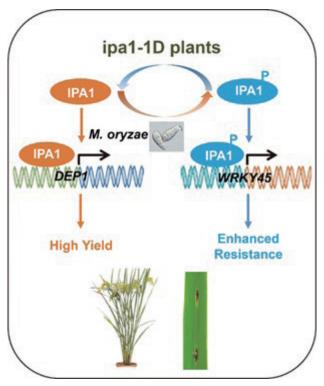


図6-20. 水稲転写因子 IPA1による高収率促進と耐病性向上のモデル

中科804と中科発シリーズの水稲新品種は、中国 科学院遺伝・発育生物学研究所の李家洋チームが、 「水稲高収率良質性状形成の分子メカニズムおよび

品種設計」理念基盤と品種設計理念を成功裏に利用 して育成されたシンボル的品種であり、高収率良質 複数耐性水稲の高効率育成を実現させたのであっ た。「水稲高収率良質性状形成の分子メカニズムお よび品種設計」研究の成果は、2017年に国家自然科 学賞一等賞を受賞しており、「中科804」は科学理論 から生産実践までの典型的範例として、品種設計育 種研究分野に新たな啓発を与え、作物の伝統育種を 高効率、精密、方向性を定めた分子設計育種転換へ と大きく推進したのである。これは中国科学院A類 戦略性先導科学技術特別プロジェクト「分子モ ジュール設計育種イノベーション体系」プロジェク トの支持の下に生まれた重要な成果なのである。

李家洋院士は「『分子モジュール設計』とは、ま るで一台のパソコンを組み立てるようなものだ」、 「人々が欲しがる水稲について、育種専門家は関連 する水稲遺伝子モジュールを組み合わせることで、 需要を満たせる種子を育てられるのだ。これは工場 の中で生産されている工業製品と同じように便利な のだ」と分かりやすく説明している。通常の育種技 術と比較すると、「分子モジュール設計」技術は、 関連品種に対して正確な改良を行い、複数の優良遺 伝子(性状)を集め、苗期には遺伝子型測定を行う ことが可能となり、品種選抜の時間を大きく短縮し て効率を高めた。現在、中科804などの品種におけ る大規模モデル普及作業が行なわれている最中であ る。2018年、この品種モデルは合計15000ムー以上 で、黒竜江、吉林、遼寧、寧夏、内モンゴル、新疆 など全部で50以上の100ムー以上モデルエリアを敷 設した。そのうち、稲花香主産区の核心区域には 3000ムーのモデルエリアを設けた。それと同時に、 李家洋チームは2016年および2017年に、江蘇省沐陽 において「分子モジュール育種」理念を利用して育 てられた「嘉優中科」シリーズ良質高収率水稲新品 種の1万ムー示範工程を成功裏に挙行した。モデル 効果は顕著で、2018年には普及面積が50万ムー以上 となり、2019年には予期普及面積が100万ムーを超 える予定となっている。

まとめ

中国生命科学における重大な進展は、科学の先端 方面を率いていく上で、引き続き大きな飛躍を遂 げ、国民経済と科学がもたらす恩恵に焦点を当てな がら、学科によっては比較的強い国際競争力を有し た先端的かつ優位性あるチームを形成し、生命科学 分野における将来性ある重要な科学研究の飛躍的発 展を推し進めた。

重要な研究進展:中国は生命科学研究分野にお いて急速な発展を見せており、ゲノムシーケンスお よび関連分析、構造生物学、幹細胞などの分野では 一定の優勢を占めており、免疫学、神経生物学、表 層遺伝学などの分野では特色を持った一連の飛躍的 成果を収めている。中国人科学者は代謝性疾病隔世 遺伝、腫瘍免疫治療、自閉症非人類霊長類模型方面 で重要な成果を上げており、ある種の疾病治療およ び薬物研究開発のための土台を築いた。

技術的進歩:①中国生命科学領域における生物 サンプルデジタル化資源とデータ駆動エンジンは引 き続き開放されている。②新興技術手段は医学の発 展を助け、安全倫理面で広く注目を集めている。③ これまでのやり方を覆すイノベーション技術が次々 と湧き出してきた。④自ら研究開発した医薬品が国 際的独占を打ち破り、応用における幅広い将来性を 有した。

【参考文献】

第一部

第一章

- 1. 中国科学技術発展戦略研究院研究グループ . 『改 革開放における成長――中国の科学技術進歩 が世界に対する貢献と世界科学技術イノベー ション管理の提案』青書 [EB/OL].http://www. casted.org.cn/channel/newsinfo/7131.2019-2-8.
- 2. 王志剛、イノベーション型の国家と世界科学技 術強国の建設を加速する [N]. 学習時報 ,2019-1-28. 第1版.
- 3. 中国共産党科学技術部党組.18大以来、中国の 科学技術イノベーションの主な進展と成果 [EB/ OL].http://theory.people.com.cn/n1/2017/0601/ c40531-29310840.html.2017-6-1.
- 4.万鍋,馬建堂.国家科学技術イノベーション政策 読本 [M]. 国家行政学院出版社 ,2016-1.
- 5. プワ永道思略特研究グループ .2018年のグロー バルイノベーション1000強研究:高効率イノ ベーション者の制勝の道 [EB/OL].https://www. strategy-business.com/media/file/sb-What the Top_Innovators_Get_Right-cn.pdf.2018-11-1.
- 6. 国家統計局 .2017年全国科学技術経費投入統計公 報 .http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201810/ t20181009_1626716.html.2018-10-9.
- 7. 薛瀾等.中国の科学技術の発展と政策(1978-2018) [M]. 北京: 社会科学文献出版社,2018.

第二部

第三章

- 1. 高翔、孫超、丁忠軍、宋宏、趙晟婭、祝普強.「『蛟 龍』号載人潜水器運行与保障信息管理系統設計 与応用(「蛟龍」号有人潜水艇運行ならびに情 報管理システム設計と応用の保障)」、『海洋開 発与管理(海洋開発と管理)』,2018年第11期.
- 2. 于盛斉、于怡、宗楽、于凱本「浅談東亜載人深 潜国際合作与交流平台建設(東アジア有人潜水 における国際協力と交流プラットフォーム建設 について)」、『海洋開発与管理』、2018年第11期.
- 3. 王昊「"張謇号"科考船振動分析」、『噪声与振 動控制(騒音と振動制御)』2018年4月.
- 4. 文勇等「万米級潜水器科考母船"張謇"号設 計研究(一万メートル級潜水艇科学調査母船 "張謇"号の設計研究)」、『海洋工程装備与技

- 術』,2015年第4期.
- 5. 胥苗苗「為大国重器護航(大国の重器のための 護送)」、『中国船検』2018年第5期.
- 6. 張光明、朱明、于爽「深水新星 縁何堪称最先進? (なぜ最先端と呼ばれるのか?) ――実地探訪 深水鉆井(掘削)装備"海洋石油982"」、『機電 設備』,2017年第5期.
- 7. 牟雪江、李天中、孫羽「挺進深水"三劍客"— 一中国海油深水多功能工程船 "286"、"291"、"入 列服役"意義深遠」、『中国石油企業』2015年第 3期.
- 8. 羅良、桂満海、魏静. 「"海洋石油286"総体性 能設計」、『船舶与海洋工程』,2016年第1期.

第四章

- 1. 章玉貴「国産大飛機亟待実現体系性戦略突破」、 『証券時報』,2018年6月7日.
- 2. 「華東理工大学一項炭繊維項目通過験収 大飛 機国産化更近一歩(華東理工大学の炭素繊維プ ロジェクトが最終チェックを通過 大型飛行機 国産化へ更に一歩近づく)」、『中国化工』,2016 年第4期.
- 3.「"大飛機子午線輪胎先進複合材料及結構的設 計与製造基礎研究"項目啓動("大型飛行機子 午線タイヤにおける先端複合材料および枠組の 設計と製造基礎研究"プロジェクト起動)」、『輪 胎工業』、2018年第1期.
- 4. 「中鋁西南鋁成為国産大飛機国内唯一鋁材供応 商(中鋁西南鋁が国産大型飛行機における国内 唯一のアルミ材サプライヤーとなる)」、『西南 汽車信息』、2018年第4期.
- 5. 李紅侠、「我国智能高鉄自動駕駛技術応用進展(我 が国におけるスマート高速鉄道自動運転技術応 用の進展)」、『鉄道標準設計』、2019年第6期.
- 6. 葉新羽. 「高温超導磁懸浮在軌道交通中的研究 和応用(高温超伝導リニアモーターカーの軌道 交通における研究と応用)」、『電工材料』,2018 年第4期.
- 7. 鄧自剛. 「高温超導磁懸浮車(高温超伝導リ ニアモーターカー)研究進展」、『中国材料進 展』.2018年第5期.
- 8. 程沢坤、劉広紅、何継紅、「洋山港四期全自動 化集装箱碼頭総体布置創新(オールオートメー

ション化コンテナ埠頭全体敷設イノベーショ ン)」、『中国港湾建設』,2016年第10期.

第五章

- 1. 中国国家エネルギー局サイト: http://www. nea.gov.cn/2019-01/09/c_137730736.htm 再生能源司、中国科学院科技戦略諮訊研究院、 国務院発展研究中心資源与環境政策研究所によ る共同編集『中国地熱発展報告(2018)』.
- 2. 黄忠友. 「試析生物質発電発展現状及前景」、『科 技風』,2019年第1期.
- 3. 工業・情報化部『2018年自動車工業経済運

- 営状況』.http://www.miit.gov.cn/n1146312/ n1146904/n1648362/n1648363/c6600517/content.html
- 4. 邱先文. 「挿電式混合動力汽車技術及研発状況 分析(プラグインハイブリッドカー技術およ び研究開発状況分析)」、『小型内燃機与車両技 術』, 2018年第3期.
- 5. 楊国淵. 「中国新能源産業発展存在的問題与対 策研究(中国新エネルギー産業発展に存在する 問題と対策研究)」、『中国戦略新興産業』、2018 年第44期.

あとがき

本報告書は、国立研究開発法人科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンターが 平成30年度に公益社団法人科学技術国際交流センターに委託した「中国の科学技術の現状と動向 2019」の成果をまとめたものです。また、今回の報告書の執筆にあたり、科学技術振興機構研究 開発戦略センター林幸秀上席フェローからのご指導を頂いたことをここで感謝を申し上げます。

[企画・総括]

米山 春子(科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター 副センター長)

箕輪 大(科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター 副調査役)

周 少丹(科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター フェロー)

石川 晶 (科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター フェロー)

曹 暉 (科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター フェロー)

柳 珺(科学技術振興機構中国総合研究・さくらサイエンスセンター フェロー)

中国の科学技術の現状と動向 2019

2019年3月発行

編 集 国立研究開発法人 科学技術振興機構

中国総合研究・さくらサイエンスセンター

₹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 Fax. 03-5214-8445

URL: https://spc.jst.go.jp/

I S B N 978 - 4 - 88890 - 643 - 2 2019 Printed in Japan

ISBN: 978-4-88890-643-2