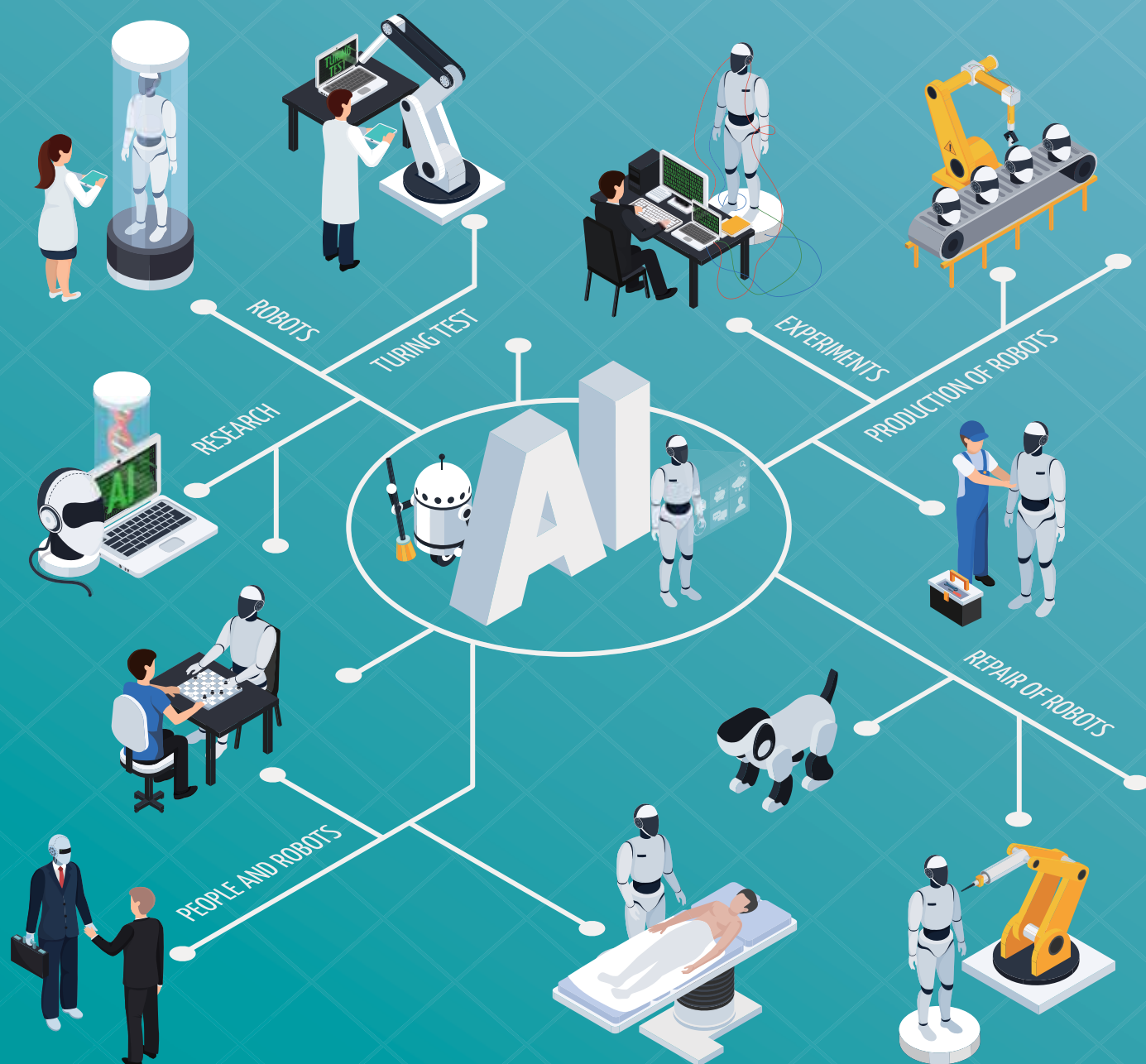


中国のロボット分野における 研究開発の現状と動向



目次

はじめに	1
第1章 中国におけるロボットの研究開発の現状と動向	3
1.1 中国のロボット研究開発の現状	3
1.1.1 はじめに	3
1.1.2 ロボット関連企業の急速な発展	3
1.1.3 ロボットからシステム統合へ	4
1.1.4 海外在住研究者の研究開発への参加	4
1.1.5 グローバル化が加速する中国	5
1.1.6 まとめ	6
1.2 未来工場汎用ロボットシステム開発について	7
1.2.1 未来工場におけるロボットシステム	8
(1) 未来工場のロボットに対する新たなニーズ	8
(2) 汎用型ロボットシステム	8
1.2.2 ロボットモジュール化技術	9
1.2.3 知能ロボット技術	11
(1) 知能ミッションプランニング技術	11
(2) モバイルマニピュレータ技術	12
(3) クローズマン・マシン・コラボレーション技術	13
1.2.4 ヒューマン・コンピュータインタラクション技術	14
1.2.5 ロボット技術に基づく未来工場デモンストレーションセンター	15
(1) 瀋陽工業オートメーション生産ラインモデル	15
(2) 上海交通大学「インテリジェントファクトリー経験センター」	15
1.2.6 まとめ	16
1.3 高齢社会に向けた健康ロボティクス研究開発について	17
1.3.1 はじめに	17
1.3.2 中国における健康産業振興の関連政策と行動計画	17
1.3.3 健康ロボティクスの研究開発と具体的な事例	18
1.3.4 健康ロボティクスの研究開発現状と課題、そして日中交流への期待	22
1.3.5 おわりに	24
1.4 医療用ロボットの研究開発の現状	24
1.4.1 はじめに	24
1.4.2 医療機器ロボット開発導入の流れ	25
1.4.3 ロボット産業政策のロードマップ	27
1.4.4 期待されるヘルスケアロボット像	28
1.4.5 医療ロボットの普及を阻害しているもの	30
1.4.6 他の先進各国などでは	30
1.4.7 日中共同研究の例	30
1.5 医工連携における取組	35
1.5.1 背景	35
1.5.2 現状と取り組み	36
(1) 全国的取り組み	36
(2) 大学における取組	36

(3) 出口戦略と産学連携	37
1.5.3 まとめ	40
1.6 義肢の研究開発の現状	40
1.6.1 義肢について	40
1.6.2 中国障害者の状況と義肢の需要	40
(1) 障害者に関する統計	40
(2) 義肢支給の状況	42
(3) 義肢装具の需要	42
1.6.3 義肢の研究開発の現状	42
(1) 概要	42
(2) 主な研究機関と研究事例	42
(3) 最近の研究動向	44
1.6.4 まとめ	44
1.7 中国の歩行ロボットの発展の現状	45
1.7.1 序論	45
1.7.2 四足ロボット	45
1.7.3 人型ロボット	49
1.7.4 まとめ	51
1.8 中国のマイクロナノロボット研究開発最前線	51
1.8.1 概要	51
1.8.2 マイクロナノロボットの技術分類	54
(1) アクチュエーション	54
(2) センシング	58
(3) マニピュレーション	59
(4) 微細作業	61
1.8.3 中国をリードするマイクロナノロボット研究機関	62
(1) 北京理工大学智能ロボット研究センター(BAICIRS:BeijingAdvancedInnovation)	62
(2) 蘇州大学機電学部, ロボットとマイクロシステム研究センター	63
(3) その他の機関	63
1.8.4 現在進行中の大型国家プロジェクト	63
(1) 医用生体工学を見据えたマイクロ操作ロボットシステム	63
(2) 重負荷対象のマイクロ変位及び微振動の高精度インテリジェント制御の研究、 及び染色体マイクロ切断・マイクロクローン装置並びにその中核技術の研究	65
1.8.5 まとめ	66
1.9 中国消防ロボット技術	67
1.9.1 はじめに	67
1.9.2 中国の消防ロボットの進展	67
1.9.3 中国の消防ロボット技術	68
1.9.4 日本の消防ロボット	72
1.9.5 むすび	74
第2章 中国の知識情報処理に関する研究開発の現状と動向	75
2.1 中国の人工知能開発の現状	75
2.1.1 人工知能	75
2.1.2 人工知能開発までの歩み	75
2.1.3 中国における人工知能利用分野の分析	76
(1) コンピュータビジョン分野の分析	76
(2) インテリジェントロボット分野の分析	76
(3) 音声/語義識別分野の分析	77

(4) スマートホーム分野の分析	77
(5) インテリジェント医療分野の分析	78
2.1.4 中国の人工知能産業	78
(1) 百度、テクノロジー主導のアプリケーションエコシステム	78
(2) テンセント、ユーザーシステムに基づいたソフト・ハードウェアサービスエコシステム	79
(3) アリババ、アリクラウドを基礎としたビジネスの青写真	79
(4) アイフライテック、音声システムに基づいた汎用ソリューション	80
(5) 各強豪企業間の対比	80
2.1.5 人工知能の利用状況	81
2.1.6 中国の人工知能業界の今後	82
2.2 活気のある中国の人工知能の研究開発とサービスロボットの牽引	83
2.2.1 aibo の逆襲と新たな市場創出	83
2.2.2 成長するサービスロボット市場への期待	83
2.2.3 中国の人工知能研究開発の躍進と要因	85
(1) AI の導入による産業形態のデジタル化への変革という産業界の強い要望	85
(2) 人工知能分野のハイレベル人材	86
(3) 巨大かつ魅力的なモバイルインターネット市場	86
(4) 高性能なコンピューティング技術	86
(5) 政府からの強い政策サポート	87
2.2.4 中国の人工知能市場は急速に成長し、多くの業界に影響を与える	87
2.2.5 潤沢な AI 研究資金及び投資	89
2.2.6 中国における人工知能の産業構成	91
2.2.7 サービスロボット市場創出の前夜、プレーヤーの蜂起	91
2.2.8 サービスロボットが急激に盛り上がる背景	95
2.2.9 日進月歩の分野、待ったなしの日本	95
2.3 防災、減災ロボットにおける研究開発の現状と動向	97
2.3.1 はじめに	97
2.3.2 災害調査無人飛行ロボット	97
(1) 回転翼無人飛行ロボット	98
(2) 固定翼無人飛行ロボット	100
(3) 無人飛行ロボットの課題	100
2.3.3 消防ロボット	100
(1) 放水機能をもつ消防ロボット	101
(2) 消防用無人飛行ロボット	102
(3) 消防ロボットの課題	102
2.3.4 陸上レスキューロボット	103
(1) 炭鉱レスキューロボット	103
(2) 爆発物処理ロボット	104
(3) 偵察用ロボット	105
2.3.5 おわりに	107
2.4 日中ディープラーニング研究と応用の比較	108
2.4.1 人工知能：時代の変曲点	108
2.4.2 ディープラーニングの歴史	108
2.4.3 ディープラーニングの急速な発展の歴史背景	109
2.4.4 ディープラーニング技術が人工知能のうねりを導くのはなぜか？	109
2.4.5 ディープラーニングの応用	110
(1) 音声認識	110
(2) 画像認識	110

(3) 検索エンジン	110
(4) 医療分野への適用	111
(5) ロボット工学分野	111
2.4.6 日中人工知能の研究状況	111
(1) 人工知能研究と論文発表成果	111
(2) 日中人工知能特許比較	112
2.4.7 要約	113
(1) バブル時代の後遺症	113
(2) IT企業のアウトソーシング濫用	113
(3) 政府の消極的な対応	113
(4) 少子化、人口高齢化の社会背景	113
2.5 日中ヒューマンインタフェース、インタラクティブロボットの事情	113
2.5.1 日中における研究スタンスの違い	113
(1) 論文に関する評価の違い	113
(2) Dr学生やポスドク研究者の立場の違い	114
(3) 軍事研究取り扱いの違い	115
(4) ボランティア学術活動の違い	115
2.5.2 日中のヒューマンインタフェース、インタラクティブロボット研究	115
(1) 1970年代まで	115
(2) 1980年代	116
(3) 1990年代	116
(4) 2000年代以後	116
(5) 今後の動向	116
2.6 中国のロボット分野の人材育成の現状と課題	117
2.6.1 ロボット産業の発展の現状と計画	117
(1) 産業規模の持続的な成長	118
(2) 技術水準の顕著な向上	118
(3) 基幹部品の重大なブレークスルーの達成	118
(4) 統合応用での顕著な成果の実現	118
(5) 課題の重点的な克服	118
2.6.2 人材養成の現状	118
(1) 養成目標	118
(2) 普通高等教育機関の人材教育の現状	119
(3) 職業教育	126
(4) 企業基地での養成	131
2.6.3 人材養成において存在する課題	132
(1) 応用型人材の不足	132
(2) 専攻建設の基礎条件が薄弱	132
(3) 求められる企業の主体的な役割	132
(4) 教師陣の全体的な能力向上が不可欠	133
(5) 卒業人材の非専攻就業問題	133
(6) 待たれる教育内容の合理化	133
資料編	134
1. 中国国内の関連教育機関	134
2. 中国国内のロボット関連研究所	137
3. ロボット工業団地	138
4. 中国のロボット協会連盟	141

はじめに

福田 敏 男

(名城大学理工学部メカトロニクス工学科教授、名古屋大学名誉教授、中国科学院院士)

2017年春に科学技術振興機構(JST)の米山春子さんから、「日本はロボット王国ですが、中国のロボット研究開発の状況はどうですか」と聞かれて、「10～20年前と比べて最近は大変進歩しており一部は日本より進んでいます」と答えました。それでは日本と中国のロボット研究と開発状況について、分野毎に比較しまとめてみたらどうかと声がかかったのが本書のきっかけです。そこで、日中のロボット研究開発に熟知した第一人者にそれぞれの分野について、日中を前提にロボット技術とその関連技術イノベーション(創新)や人材教育の状況と将来について概説していただくことにしました。ロボットのロードマップは日本の経済産業省が2004年に世界で初めて作成、公開し始めたものであり、各国がそれぞれの国の都合で合わせているので、参考にさせていただきました。¹

中国では、最近ではロボットの研究開発や事業化のイノベーションブームになっており、その勢いが止まるどころか、毎年加速しています。例えば、2015年から毎年、中国政府の肝いりで、Chinese Association of Science and Technology (CAST) と北京市、Institute of Electronics China (IEC) がWorld Robot Conference (WRC) をロボット展示と同時開催して内外の著名な研究者、開発者を招いて中国のロボット研究開発、事業化のイノベーションの道筋を示しています。華中理工大学のDen Han教授(中国科学院院士)が中心となって、Tri-Co Robotsの8年間研究開発プロジェクト(2017–2024年、200 Million RMB)も開始されました。このプロジェクトは、マルチモーダルなセンシング、柔軟でスマート技巧構造、分散協調制御の3点から構成されるものです。中国内外の研究者を入れ、研究開発だけでなく、中国発の国際会議やJournal発刊を目指しており、中国国家目標の2025年製造業ロボット化自動化達成と軌を一にしています。また、北京理工大学では黄強特別教授が主導する知能ロボット北京先端イノベーション研究センター(約100億円/5年間)が2017年に開所しています。その他、深圳、広州、仏山、杭州、上海、寧波、長沙等の各省や市レベルでのロボット研究開発は百花繚乱の趣です。

また、長沙のスーパーコンピュータ天河2号が世界一を更新しています。人工知能AIに関しても従来からソフト系が強いこともあり、清華大学をはじめとして各大学、研究所でいろいろな大きなプロジェクトが進められております。新松やUBtecのようなロボット会社やベンチャー企業も次第に育ってきております。中国はこのように抜き出た科学技術や資本が各所にあり、国家の支援政策もあり、押せ押せの状況でロボット研究開発事業化のつぼと化しております。

翻って、長らく日本は産業ロボットを含めヒューマノイドロボットやサービスロボットで世界一を誇っていましたが、米国やヨーロッパをはじめ世界中でロボット研究開発が進められてきた結果、最近これから10年間はロボット王国も怪しくなってきました。中国のロボット研究開発の台頭と急速な進歩を見るにつけ、日本のロボット研究開発も先頭を行くがための難しさはあるにしろ、さらに加速される必要があります。さらに頭を使っているいろいろな研究開発と事業化のスキームを作る良い機会であると思われます。社会制度の違いと実用化の考え方の違いもあり、日本ではベンチャーが比較的少ないのが気になります。日本のロボット研究は個々人の創意創発による、良きにつけオリジナルな研究が特徴ですが、昔のようなシステムティックな大型研究組合によるトップダウン型の特徴を活かした大型研究プロジェクトも望まれます。

本書の各論は以下のようにまとめてあります。まず、中国のロボット研究開発の現状について、研究開発とその産業化という観点から小菅一弘教授にまとめていただきました。医療ロボット分野では現在da Vinciロボットが商用化では群を抜いて圧倒しています。このロボットは低侵襲で腹腔手術や前立腺手術をマスタースレーブ方式で行うことができます。このロボットに対して、従来から日本で研究開発されてきた各種医療ロボットとヘルスケアロボットについて、この分野の第一人者の藤江正克教授に概説していただきました。日中共同研究や研究比較もさることながら、産業政策も重要なことがわかります。

1 「ロボット分野の技術戦略マップ(案)」
(www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g50120a10j.pdf)

義手義足ロボティクス関係では日中共同研究を推進しておられる横井浩史教授・姜銀来先生にまとめていただきました。日本と比較して、中国ではこのロボットのニーズが多数あり使われています。歩行ロボットでは明愛国教授と余張国先生に2足から4足までまとめていただきました。医工連携にかかわることは俞文偉教授に出口戦略も含めてまとめていただきました。高齢化対応の健康ロボティクスについては日中の共通課題でもあり、羅志偉教授に中国の健康産業振興政策、日中交流を含めてまとめていただきました。将来の産業ロボット、未来工場汎用ロボットシステムについては曹其新教授にロボットのモジュール化や知能ロボット等について経験を踏まえてまとめていただきました。マイクロ・ナノロボットについては、日中共同研究を行っておられる新井健生教授・林宇卿先生にパイオアプリケーションも含めてまとめていただきました。この辺りは日本の精密技術が活かせるところです。人工知能ロボットの分野では任福継教授にAIや視覚認識や音声認識、中国の百度、テンセント、アリババ等の人工知能を利用する産業界の現状とその将来も含めてまとめていただきました。防災・減災ロボットについては1995年の阪神大震災時のご自分の経験からレスキューロボットの研究開発を行っておられる松野文俊教授にドローン系や消防ロボットも含めてまとめていただきました。

ヒューマンインタフェースについては廣田薫教授に日中の研究を年代毎に比較し、今後の動向と、さらに日中の研究体制、スタンス、論文評価、学会研究活動等の相違等にも言及していただきました。人材育成については王田苗教授に中国のロボット産業、部品産業、システムインテグレーション等のロボット産業の現状と将来についてとそれに向けた人材教育の現状と将来課題についてまとめていただきました。深刻な火災爆発の発生などを受け、急速に需要が高まっている消防ロボットについては、姚建梁先生に中国の消防ロボット技術の現状を紹介いただきました。このほか、王志東教授には活気ある中国の人工知能の研究開発とサービスロボットの牽引について、余錦澤先生には日中ディープラーニング研究と応用の比較をテーマに解説いただきました。お忙しい先生方に執筆をお願いし、この様に短期間でまとめていただき厚く感謝いたします。また、気長に待っていただいたJST 米山春子さんにもお礼申し上げます。

第1章

中国におけるロボットの研究開発の
現状と動向

第1章

第2章

資料編

1.1 中国のロボット研究開発の現状

小 菅 一 弘

(東北大学大学院工学研究科ロボティクス専攻教授)

1.1.1 はじめに

中国におけるロボットの研究開発の現状について、研究開発とその産業化という観点から、筆者が日頃感じていることについて述べる。これまで幸いにも、複数の研究機関を訪問する機会を持つことができた。普段あまり語られることがない、中国における研究開発の状況について紹介したい。

諸外国同様、ロボットは重要な戦略的次世代産業の一つという認識のもと、中国では、多くのプロジェクトが、実に多くの組織によって、様々な地域で行われており、その全てを概観することは難しい。本節では、筆者がこれまで見てきた限られた情報に基づいてではあるが、中国におけるロボット開発やロボット産業の現状について述べる。

以下、本稿では、まず、中国国内のロボット関連企業がどのようにして、急速な発展を遂げてきたかについて、いくつかの事例を紹介する。次に、産業用ロボットの世界で起こりつつあるシステムインテグレーションの重要性について紹介する。さらに、海外に留学し、海外で成功している優秀な人材が、中国国内の研究開発にどのように貢献しているかについて紹介する。最後に中国では、当たり前になりつつあるビジネスや研究開発のグローバル化について紹介し、まとめとしたい。

1.1.2 ロボット関連企業の急速な発展

日本のあるロボットメーカーのコントローラの中国語化を請け負っていた会社が瀋陽にある。中国科学院瀋陽自動化研究所からスピンアウトしたSIASUN (新松机器人自动化股份有限公司)⁴である。SIASUNは、中国科学院瀋陽自動化研究所教授の曲道奎氏によって17年前に設立された。2004年に瀋陽で国際会議が開催され、その際のテクニカルツアーで、中国科学院瀋陽自動化研究所を訪問し

たが、同研究所で古くから行われている水中ロボットの研究施設に加えて、開発中の工場の自動化ラインを見学したことがある。記憶が間違っていないければ見学を案内してくれたのが曲道奎教授である。

SIASUNは、現在では、中国で最大規模の産業用ロボットメーカーとして、産業用ロボットや自律移動ロボットを開発・生産し、海外の自動車メーカーにも輸出が始まっている。特に、自動車の組み立てに用いられる自律移動ロボットは、その構造もユニークで、多くの自動車会社で採用されている⁵。また、現在は、事業を拡大し、ロボット以外の多くのビジネスも展開している。

曲道奎氏は、CEOとしてSIASUNの経営に関与しているが、現在も、中国科学院瀋陽自動化研究所に教授として在籍している。瀋陽自動化研究所にはState Key Laboratory of Robotics (机器人学国家重点实验室)⁶が設置され、1) 環境適応メカニズム、2) ロボット自律制御理論、バイオニックロボット制御理論、3) 人間とロボットの協調、4) マイクロ・ナノ・ロボティクス、5) アプリケーション指向のロボットシステムの統合・実証システム、国家安全保障のためのロボット技術とシステム、サービスロボットおよびシステムなど、広範囲なロボットの研究・開発が行われている。

研究タイトルからすると、基礎研究が中心の研究所に見えるが、多くのロボットを開発している。水中ロボットやUAV (Unmanned Aerial Vehicle) の研究開発でも有名で、実フィールド向けのロボットが研究開発されている。筆者が訪問した際には、海外の研究者と連携し、バイオ分野への応用を目的とした、マイクロ・ナノロボティクスの研究や、将来打ち上げが予定されている、中国宇宙ステーション用ロボットの開発なども行われていた。

また、ロボット関係の有名な研究機関に、ハルビン工業大学のロボティクス研究所がある。ハルビン工業大学は、人工衛星の開発でも知られている。ロボット関係の国家重点研究所 (National Key Laboratory of Robotics and System) に加えて、

1 <https://www.nikkei.com/article/DGKKZO07112960Q6A910C1TJC000/> (2018.1.5. 現在)

2 <http://www.ninebot.com/> (2018.1.5. 現在)

3 <https://prw.kyodonews.jp/opn/release/201801039528/> (2018.1.5. 現在)

4 <http://www.siasun.com/> (2018.1.5. 現在)

5 <http://www.siasun.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=117&id=616> (2018.1.5. 現在)

6 <http://rlab.sia.cas.cn/sysj/syysgk/> (2018.1.5. 現在)

様々な領域のNational Key Laboratoryも有しており、現在、合計10カ所のNational Key Laboratoryと4カ所のNational Engineering Research Centerが設置されている。

本大学は、ビジネスも活発に展開しており、ロボット分野では、HIT Robot Group (哈工大机器人集团)⁷ がよく知られている。HIT Robot Groupは、ロボティクスの研究成果をビジネスとして展開し、スマートファクトリー、産業ロボット、知能装置、インテリジェント・クラウド、エンタテインメント、医療・リハビリテーションロボット、特殊ロボット、サービスロボットなどの事業を展開している。研究開発には、同大学のNational Key Laboratory of Robotics and Systemだけではなく、前述した、中国科学院瀋陽自動化研究所のState Key Laboratory of Robotics (National Key Laboratoryと同じ意味、国家重点研究所) などとも協力関係にある。

2017年11月に上海で開催された、第十九回中国国際工業博覧会のロボットの展示会では、本グループから多数の展示がなされており、ロボットのみならず、減速器などロボットを構成するために必要なコンポーネントも展示されていた。尚、第十九回中国国際工業博覧会には、HIT Robot Group以外にも、多くの大学・研究機関がロボット関係の展示をしており、中国のロボット研究開発の裾野の大きさと、中国の研究機関から多くの企業が生まれ、それらが順調に発展している様子が伺えると思う。

1.1.3 ロボットからシステム統合へ

前述したSIASUNのもう一つの顔は、システムインテグレータ(SIer)である。創作者でCEOの曲道奎氏によると、海外から輸入しているロボット構成部品の価格が高く、そのままでは競争力がないので、システムとして工場に納入しているとのことで、最初から独自のロボットを開発する傍で、システムインテグレータとしてビジネスを展開してきた。客が海外メーカーのロボットを好めばそれを用いてシステムを組み上げている。もちろん自身の産業用ロボットも多数システムに統合し販売している。数年前にSIASUNを訪問した際には、日本製の産業用ロボットが多数用いられていたが、昨年訪問した際には、欧州製のロボットや自社製のロボットの数が増えていた。

なお、2017年11月に上海で開催された第十九回中国国際工業博覧会では、BOZHON等、ロボットを使った、大規模生産システムのインテグレータの展示も目立った。

図1-1-1 BOZHONによる大規模な展示
(第十九回中国国際工業博覧会)



1.1.4 海外在住研究者の研究開発への参加

ドローンで有名なDJI (大疆創新科技有限公司、Da-Jiang Innovations Science and Technology Co. Ltd.) は、香港科技大学の卒業生らによって設立された。香港科技大学では、米国カリフォルニア大学バークレー校で非線形制御理論を学び、博士課程を修了したZexiang Li教授が教鞭をとっていて、彼の研究室の出身学生によって設立された。

Zexiang Li教授は、ロボット分野の研究者として、米国から中国に最初に帰国した研究者の一人で、香港科技大学の卒業生と多くの会社を設立している。DJI以外にも、GoogolTech⁹、QKM Tech、ePropulsionなどの企業があり、どの企業も急速に発展している。Zexiang Li教授によると、Googol Techは、モータのモーションコントローラでは、中国国内の半分以上のシェアを握っているとのことである。QKM Tech (李群自动化)¹⁰は、ロボットやNC工作機械のコントローラを生産している。また、ePropulsionは、小型船舶の電動船外機を開発・製造し、その製品は、欧米に輸出されている。近年、DJIは、ビジネスで得た豊富な資金を活用して、ベンチャーキャピタルを創設し、ベンチャー企業のスタートアップを助ける事業も行っている。

Zexiang Li教授以外にも、香港や中国国外からの多くの研究者が、中国国内の大学・研究機関にて研究プロジェクトや、新しい会社の設立に関わっている。中国国外からの研究者は中国系の研

⁷ <http://www.hrgrobotics.cn/ch/> (2018.1.5.現在)

⁸ <http://rs.ciif-expo.com/show.php?itemid=392> (2018.1.5.現在)

⁹ <http://www.googoltech.com/web/eng/main.jsp>

¹⁰ <http://www.qkmttech.com/>

究者が多く、彼らは、米国やヨーロッパ、日本などで教育を受け、留学先で成功している研究者である。中国国内で行われているロボットの研究開発は、海外在住の研究者も積極的に巻き込んでおり、実は極めてグローバルな研究開発体制であり、その研究水準も高い。かなり前になるが、ドイツのある研究室を訪問した際に、当時中国の国家プロジェクトで開発されていたロボットがその研究室に設置されていた。プロジェクトには中国からの留学生が多数参加していた。実は、中国の初期の国家プロジェクトのロボットの一部は、海外で開発されていたようだ。当該研究室の教授は、現在、中国国内の研究所のディレクターも兼任しており、かなりの時間を中国で過ごしている。

昨年の12月に深圳で開催された、Greater Bay Area Summit (GBAS) on Robotics and Artificial Intelligence (大湾区机器人与人工智能大会)¹¹に参加する機会を得たが、中国の大型ロボットプロジェクトを率いている中国人研究者が、講演(英語)の最後に、彼のプロジェクトに参加する方法は、(1)中国の大学にポジションを見つけて就職するか、(2)中国国内に協力者を見つけ、協力者をPI (Principal Investigator) としてプロポーザルを出すかの2つの方法があると言っていたのが印象的であった。

GBASもそうであるが、中国国内で開催されるロボット関係のイベントで、海外からの著名な研究者が講演を行うと、その地域の投資家が講演者に集まり興味を示すので、中国語が堪能であれば、あるいは中国国内に中国人協力者がいれば、容易に新規事業を行える環境にある。海外に在住する著名な(特に中国人)研究者にとって、中国国内のプロジェクトに参加するのは容易であり、そのメリットは大きい。実際、あるUC Berkeleyの教授(非中国系)は、投資家からの出資を受け入れ、中国国内に企業を設立し、彼が開発したパワースーツの製造を行っている。

1.1.5 グローバル化が加速する中国

中国に美的集団(Midea Group)という家電メーカグループがあり、冷蔵庫、エアコンなどの家電製品を製造している。2016年6月に、東芝の白物家電事業を買収したのは記憶に新しい。美的集団は、株式会社安川電機と合併会社を2社設立している。株式会社安川電機社長によると¹⁾、1社は安川電機が51%を出資して2015年に設立した、産業用ロボット製造会社で、もう1社は美的集団が60%を出資して2016年春に設立した、介護・リハ

ビリ用ロボットの会社である。安川電機が51%出資した産業用ロボット会社は、全て美的集団向けの産業用ロボットを生産しているようだ。美的集団が60%を出資した介護・リハビリ用ロボットの会社では、安川電機が従来から開発していたリハビリ支援システムの中国向け開発のみならず、電動ベッドなどまで幅広く手がけておりビジネスのさらなる発展が予想される。

「1.2 未来工場汎用ロボットシステム開発について」に紹介されているように、2016年における、産業用ロボット企業の中国における国内シェアは8.1%となっている。統計上では、既に、FANUC (17.3%)、ABB (15.7%)、YASKAWA (12.9%)、KUKA (12.1%)に次ぐ規模のシェアである。

美的集団は、2016年末までにドイツのKUKAの株式の94.55%を取得し、実質的にKUKAを買収した。KUKAの上層部の人たちは、従来通りドイツで研究開発を続けており、KUKAとしては、従来と何も変わっていないと言っているが、噂では、買収後数年間の時限的な処置であるそうだ。KUKAが実質的に中国資本の会社であることを考えると、中国でのニーズが高い産業用ロボットは、実質的には発表されている以上に、中国資本が関係していることになる。2016年9月に開催された国際会議のイベントとして行われた美的集団へのテクニカルツアーの際に、見学者からのベンチャー企業買収の可能性についての質問に対して、ロボット事業担当者は、資金は潤沢にあるのでベンチャー企業は買う必要は無い、必要な場合には優良企業を買収すると言っていたのが記憶に新しい。

ロボット関係では、中国国内で、もう一つ良く知られている海外企業買収の例として、NinbotによるSEGWAY買収の事例がある。Ninbotは北京航空航天大学のある教員が中心になって設立した会社であり、最初はSEGWAYもどきのシステムを製造販売していたが、最終的にはSEGWAYを吸収して、社名を2018年1月1日よりNinbotからSegway-Ninbotに変更し、本家のSEGWAYというブランドも手に入れた。国内での類似製品の開発製造から始まって、ついにSEGWAYを手に入れ、本物のSEGWAYを製造するようになったという事例は、中国の大学の教員の間で、チャイニーズドリームの一例としてよく話題に上がる。

前述した、DJI (大疆創新科技有限公司、Da-Jiang Innovations Science and Technology Co. Ltd.) は、ドローン以外にも、ドローンを用いた高性能の空撮用カメラも開発・販売している。最新のものは性能が極めて高く日本製の高級一眼レフ

11 <http://www.cast.org.cn/n200715/n203048/c57775879/content.html>

カメラのセンサと同等の性能を有していると報告されている¹²。DJIは、その潤沢な資金を利用して、米国のアポロ計画の際に、宇宙飛行士が月面での写真撮影に用いたカメラを製造した、スウェーデンの高級カメラメーカー Hasselblad を買収した¹³。また、Hasselblad と共同で、世界初の1億画素の空撮用ドローンも開発している¹⁴。

中国市場の規模は極めて大きく、その中で、中国企業は高成長を続けている。国外に良い会社や技術があれば、提携や TOB で会社を買収し、技術を人材ごと吸収することができるというのは、中国の大きな市場を背景にした中国企業にしかできない世界戦略である。米国の Google などに代表されるように、グローバルに成功した企業が、潤沢な資金を用いて海外の企業を買収し、技術を手に入れて、さらなる発展を遂げるというサクセスストーリーは、これまでは米国企業だけの特権かと思われていた。中国企業の場合には、国内で成功すれば、グローバル企業と同様の戦略が取れるということを示している。

自動車にはすでにいくつかの事例があり、今後はロボット分野でも、同様の事例が出てくるものと思われる。実際、SIASUN は、何年か前に KUKA を獲得しようとし、株の過半数取得に成功したが、ドイツ政府の反対で実現しなかったそうだ。美的集団は、その失敗を教訓に、慎重に準備して株の大半の取得に成功、ドイツ政府も最終的には承認せざるを得なかったようである。EU 域内で、2007-2013 年に行われた Framework Programme 7 や、2014 年から 2020 年まで実施されている Horizon2020 などの大型ロボットプロジェクトに大きく関与している KUKA が、中国の企業に買収されたということが何を意味するかは自明であろう。研究開発の成果やノウハウを、それが行われた地域にとどめておくのは極めて難しいし、それは不自然であると考えべきであろう。研究開発は本質的にグローバルな活動である。

1.1.6 まとめ

本節では、中国におけるロボットの研究開発状況について述べた。中国のロボットプロジェクトは極めて周到に準備されており、ロボティクスの広大な研究開発分野が、バランスよくカバーされている。我が国では、次世代技術開発につながるであろう、サイエンスとしてのロボティクスの研

究に重点的に投資が行われる傾向にあるが、中国は莫大な研究資金を投入し、ビジネス志向の研究開発と、サイエンスとしてのロボティクスの研究がバランスよく行われている。

中国の研究開発そのものもグローバル化しており、優秀な中国国内の人材に加えて、海外からの研究者の参加を促すシステムも準備されている。国内だけで全ての研究開発を実施するという旧来の日本式の研究開発体制では、競争相手にもならない状況になりつつある。我が国の大学・研究機関、企業における研究開発が、中国の研究開発に対して競争力を維持するための唯一の方法は、真のグローバル化以外に無いと思われる。

先日、ヨーロッパのある大企業のロボットのイノベーション部門のヘッドに会う機会があったが、その企業では、世界最大のロボットの開発グループは中国国内に設置した研究開発センターの開発グループだそうである。また、2017 年 11 月に、あるヨーロッパの認証機関が上海で開催したワークショップに参加する機会を得た。その認証機関は、中国国内の企業を対象に Industry 4.0 に基づく生産システムの構築を手伝うコンサルタント事業を大規模に展開しており、中国での事業規模が拡大しているとの講演を行っていた。

ノウハウに基づいたものづくりは、日本が得意とするところであったが、IoT の急速な発展に伴い、サイエンスとしての解析が進み、アルゴリズム化され、ある程度のレベルまでは、製造ノウハウは対価を払えばすぐにも獲得できる状況にあるようである。極めて大きな市場を持つ中国でビジネスをするには、海外からの輸出では量的に賄えないので、最先端のものづくりの仕方を Industry 4.0 として教え、品質を確保して、中国国内で販売する製品は中国国内で製造するという考え方は、理にかなっているように思える。

中国の研究開発は、ともすると海外の模倣であると言われることが多いが、それはプロジェクトを表面的にしか見ていない間違っただけの捉え方である。中国で急速に進行しているのはグローバル化であり、それとともに、グローバルな企業が台頭しつつあり、研究開発体制も、米国のような、資本主義ベース（国家資本主義）のグローバルな研究開発体制に変わりつつある。文化大革命後の大学教育と大胆な政策が、中国国内の優秀な人材を背景に、ようやく開花しつつあるのではないかと思う。

12 <https://www.dxomark.com/dji-zenmuse-x7-sensor-review/>

13 <http://jp.techcrunch.com/2017/01/06/20170105dji-acquires-hasselblad-the-iconic-swedish-camera-company/>

14 <https://forum.dji.com/thread-94433-1-1.html>

15 https://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm

16 <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

1.2 未来工場汎用ロボットシステム開発について

曹 其新

(上海交通大学教授)

概要：「インダストリー4.0」時代到来に伴い、中国政府は「中国製造2025」プログラムを立ち上げ、製造業の大国として今までなかったチャレンジに立ち向かう。未来の工場では、知能化、フレキシブル程度の重要性が大きく高まり、従来大企業らが独占したロボティクス市場は打ち破られる。ロボットシステムの開放性と通用性は未来型工場に認められる。サービスロボット領域で提唱されてきた汎用ロボットシステムも同じく未来工場で大活躍できる。本論は知能化製造で応用された通用型ロボットシステムの事例を通じて実例汎用ロボットにとって肝心な技術研究を紹介し、中国の未来工場で通用するロボティクスの研究現状を把握する参考資料になることを期待する。

キーワード：未来工場、汎用ロボットシステム、ミッションプランニング、モバイルマニピュレータ、ヒューマン・マシン・コラボレーション

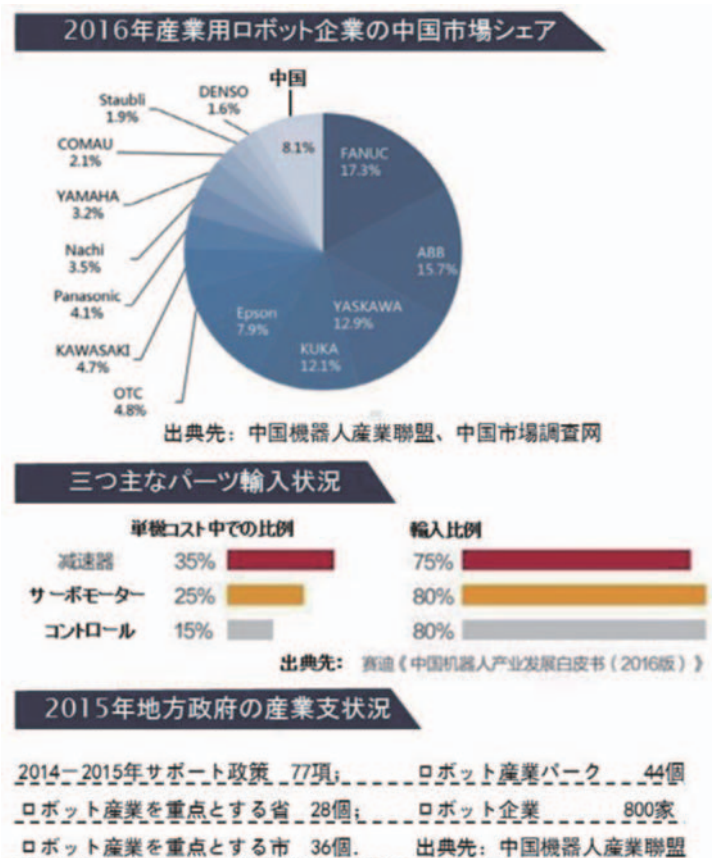
緒言

ドイツが発表した「インダストリー（工業）4.0計画」は、全世界の目を再び製造業に注がせることになった。急激な発展を経験し、伝統的な製造業はボトルネックに遭遇し、特に国際金融危機が発生した直後、多くの先進国では「工業化の後退」現象が深刻化している。このため、次々と「再工業化」の戦略を実施し、製造業の立ち直りをはかり、新しい競争で優位を確保し、新たな世界貿易構造の推進に力を入れている。いくつかの発展途上国も戦略を立ち上げて推進し、積極的に全世界の産業分担に参画し、産業と資本移転を受けて、国際市場を広範に開拓している。製造業の規模が世界一の中国としては、先進国とその他の発展途上国からの両面挾撃という厳しい挑戦に直面しており、ハイエンド製造業は欧米に逆流すると同時に、ローエンド製造業は労働力コストの更に低い国に移転している。さらに、中国が人口の優位性を失うのに伴い、労働力不足や労働力コストの急激な上昇、資源と環境の略奪的な使用方式、中国製造モデルの継続的発展の困難といった状況を招いている。こうしたことから、中国は

製造業の改革に直面している。

1950年代、最初の産業用ロボットが米国で誕生して以来、製造業の発展における大きな役割を果たしてきた。しかし、中国産業用ロボット技術のスタートアップは比較的遅れており、海外特に日本やヨーロッパ、アメリカ等の先進国に比べてまだ大きなギャップがある。中国国内のロボット市場（図1-2-1）に示されているように、中国の国内産業用ロボットブランドはまだ非常に小さなシェアしか占めていない。産業用ロボットの主な3つのコアコンポーネントはサーボモータ、減速機、コントローラーであり、総コストの約75%を占めるが、中国は技術力不足により、約80%を海外から輸入している。中国政府は、ロボット産業を強化するためにあらゆるレベルで努力を傾注した。工業団地、工場ロボットの確立、技術革新の促進、産業用ロボットの促進に加えて、図1-2-1に示すように産業用ロボットの開発をサポートしている。ハイテク企業ために特別資金を設立して提供するほか、研究機関や大学もロボット工学の主要技術のブレークスルーを達成するために研究を推進している。本論では、上海交通大学ロボット研究所が発表した「未来志向の汎用ロボットシステム技術」を基に、新たなケーススタディを加え、中国産業ロボットの現状を解説する。

図1-2-1 中国の産業用ロボットの全体状況



1.2.1 未来工場におけるロボットシステム

(1) 未来工場のロボットに対する新たなニーズ

「工業3.0」の時代では、製造業のビジネス目標は製品中心の概念に基づいて、生産の高効率、高品質、高精度、自動化を伸ばすために、ロボット技術と産業の発展を促進した。自動車業界では、電子機器製造の自動化、特に無人化工業がロボット産業の発展を促進した。この時点では、産業用ロボットは、次の特徴があった。すなわち、大量注文、10年以上組立生産ラインで固定されたプロセス、ダイレクトティーチング、産業用ロボットの作業環境が人と完全に隔離——ということである。現在中国の中小企業で実行中の人をロボットで置換するキャンペーンは、「工業3.0時代」の産業用ロボット技術を使用している。

「工業4.0」の登場に伴い、多様化、低ボリューム、パーソナライズされた、柔軟な製造が重視され、ロボット産業にとって新たな課題と機会を抱えた「ロボット2.0」時代に入った。新たな時代は、次の特徴を持つ。

- 1) 生産ラインは低化の組立ラインに発展し、電子製品の組立ラインのように数ヶ月ですぐ更新できる柔軟性が必要とされる。
- 2) 新興製造業を向上させるために加工パーソナライズやカスタマイズ化生産ラインが求められる。
- 3) ロボットと人間が同じ環境で働くために、人間とロボットとの間のコラボレーション技術が必要とされる。
- 4) 生産中で、原料供給および人間干渉による設定外事件発生の対応力が必要とされる。

その他、たとえば未来工場において1台の設備が知能性を備えネットワークに接続し人とインタラクシオンを行うことができる時、ある意味でこの設備

は1つの知能ロボットとみなすことができる。このため未来工場は、複雑で異色の構造のロボットを組みこんだ一つの知能製造システムとして考えられる。実際、サービスロボットの領域では、このような異色な構造のロボットを組み込んだシステムは、汎用型ロボットシステム¹⁷と称されている。このようなシステムは未来工場の産業用ロボットでも直接普及できると考えられる。

(2) 汎用型ロボットシステム

図1-2-2に示すように、典型的な汎用型ロボットシステムは、3つの主要な技術、すなわちコンポーネント技術、インテリジェントロボット技術、ヒューマン・マシンインタアクション技術である。コンポーネント技術については、ロボットのすべてのデバイスはコンポーネント化で開発され、汎用型ロボットシステムの基礎となっている。コンポーネント間で、ネットワーク経由でお互い情報を共有し、完全に統一されたデータが呼び出し可能となる。このコンポーネントベースのフレームワークは、管理、スケーラビリティ、異種ロボットのサポートを容易にするような多くの利点を有する。インテリジェントロボットは、複雑なタスクと変化する環境に対処できる、多くの先進ロボティクス技術（例えばミッションプランニング、ロコモーション技術、ヒューマン・マシンインタアクション）を搭載する汎用型ロボットシステムを意味している。人は汎用型ロボットシステムの中で最もインテリジェントな要素で、ヒューマン・マシンインタアクション技術でシステムは人からより多くの情報を得ることができると同時に、豊富な情報を人に明確なプレゼンテーションを提供し、そのおかげでロボットシステムにおけるより広範な開発と効率の向上が可能となる。

図1-2-2 汎用型ロボットシステムの概念図



17 Chibani, Y. Amirat, S. Mohammed, E. Matson, N. Hagita, and M. Barreto, "Ubiquitous robotics: recent challenges and future trends," Robotics and Autonomous Systems, vol. 61, no. 11, pp. 1162-1172, 2013.

汎用型ロボットシステムに基づいて、図1-2-3に示すように将来の工場モデルのイメージができる。ボトム層はモジュール化設備である。これらの設備は工場システムの中で「プラグ・アンド・プレイ」でき、そして製造プロセスによって繰り返し使用と再調整が可能となる。中間層では内部のクラウドサーバーが存在し、その上で機能モジュール開発を行う。例えばヒューマン・マシンインターフェイス、製品貨物倉庫管理システム、任務計画は、仮想製造、ビッグデータ収集などの機能が実行できる。トップ層では、いくつかのよりシステム化のモジュールであり、製造実行システムなど、販売管理システム及び設計支援システムなどとなる。

未来の工場の汎用型ロボットシステムは、モバイル性、柔軟性、自主性、無線接続、プラグ・アンド・プレイ（Plug-and-play）と協働などの特性を持つ。このうちのモバイル性について言えば、ロボットは工場ではもう固定位置や路面移動の形式ではなく、もっと大きい運動を持つ自由度を実現するために、より大きな作業スペースで、運動も必要に応じて変化に適應できる。柔軟性とは、通用型マニピュレータを搭載し、多変な部品または作業に対応可能であり、専用マニピュレータへの依存を減らす。自主性とは、ロボットや設備が作業対象の変化を感知し、自主的にプログラミング

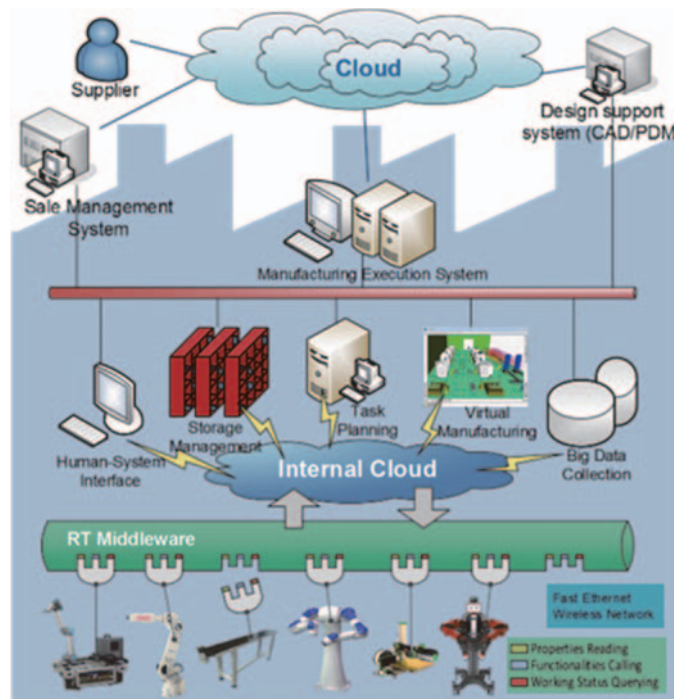
を実現して作業を完成することである。プラグ・アンド・プレイ（Plug-and-play）とは、未来の工場において各設備はモジュールの形で存在し、いつでも工場の全体システムと接続でき、いつでも離脱可能となり、そして工場全体のシステムが各モジュールの状況に合わせて自動的にミッション再プランニングを行い、全体のシステムが無事正常にオペレーションを行える状態を確保することである。人間とロボットのコラボレーション（協働）とは、ロボットを安全エリアに閉じ込めて人と別々にではなく、人の意図を理解して相互協力して共同で一つの任務を完成することである。

ロボットモジュール化及び中国での智能ロボット技術の研究の現状を以下に紹介する。

1.2.2 ロボットモジュール化技術

ロボットモジュール化は、分割統治の考えかたを参考に、大きなロボットシステムを若干の小さいモジュールに分けることにある。これらの部品はそれぞれ単独の設計に基づき製造されるが、厳密な標準化インターフェイス経由で相互接続し一つのロボットシステムとして機能する¹⁸。これは一つの複雑なロボットシステムを開発する有効な方法である。モジュール化技術によってロボットシステムの構造が明確化され、ロバスト性が強く、モジュールの分業は明確で、協力開発がしやすい。

図1-2-3 汎用型ロボット技術を基にした未来工場の構想図



18 Modular design. https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_design (11.26).

さらに、モジュール化システムはとても優れた尺度のズームング性がある、単独のロボットの内部システムの実現に用いることができるとともに、汎用型ロボットシステムの構築に用いることができ、そのため未来工場の建設の需要を満足させることができる。

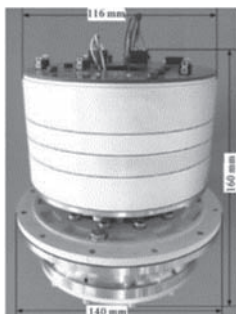
中国政府は、ロボットのモジュール化技術の研究に対して積極的なサポートを行っている。「第11次5ヵ年計画」と「第12次5ヵ年計画」期の国のハイテク発展のために設立した計画（863計画）において、先進製造技術の領域で重点プロジェクトとして認められ、ロボットのソフト・ハードウェアに対するモジュール化技術及び標準化の研究に出資、援助が行われている。そして2016年に公表されたロボットのモジュール化技術及び標準化関連の内容に関して、「工業ロボットモジュール化の設計規準」、「ロボットのソフトウェア機能のモジュール化設計規準」、「ロボットモジュール化のための高速通信の通用バス性能」が盛り込まれている。その他、多くの中国の高等教育研究機関や

企業もこうした技術に対して研究を展開しており、多くの成果を得ている。

ロボットのハードウェアのモジュール化の面では、主に関節のモジュール化に対して研究開発が行われている。モジュール化関節では、減速機、モーター、ドライバなどが1つのモジュールとして、できるだけ小さいサイズと重さに設計される。その他、標準化のハードウェアインターフェイスを通じて、作業変化に応じてすぐ調整して配置でき、モジュール化によって置換性もロボットの後期メンテナンスも便利となる。ハルビン工業大学とドイツ宇宙飛行センターは、小型スペースロボットアームのモジュール化関節を共同開発した。図の1-2-4 (a) のように、この関節の構造は丈夫で、力のモメントが大きくて同時に多くのセンサーが含まれている。図の1-2-4 (b) は博文ロボット会社の一体化の関節モジュール。図の1-2-4 (c) は瀋陽通用ロボット会社の一体化関節。これらは構造が簡単で、実用性が高い。

図 1-2-4 様々なモジュール化関節

(a) ハルビン工業大学のモジュール



(b) 博文ロボット会社の一体化の関節モジュール (c)



(c) 瀋陽通用ロボット会社の一体化関節



(d) 上海交通大学のモジュール

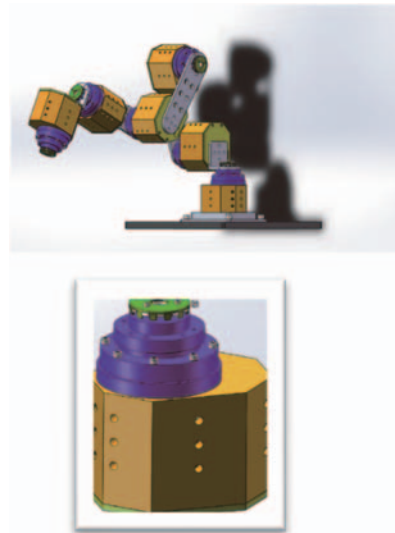


図1-2-5 知能製造システムの構成要素

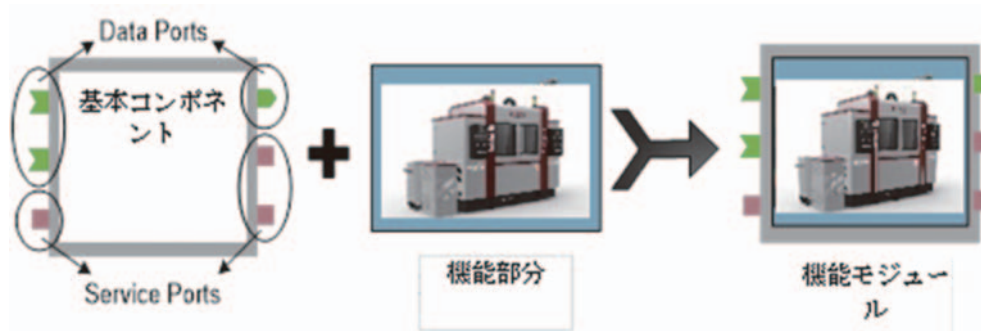


図1-2-5に示すように、ソフトウェアロボットの機能的構成要素は2つの部分で構成されている。インターフェイスと基本的な機能が含まれる。インターフェイスは、コンポーネント間の通信を達成するための基盤であり、通信モードの多様性を達成するために、双方向通信と単方向サービスインターフェイスを提供する。基本機能には、コンポーネントの初期化、終了、ログアウト、登録など、コンポーネントの動作状態を制御するために必要な共通機能の一部が含まれる。コンポーネントシステムの正常な動作を設定できる基本コンポーネントと機能拡張の基本コンポーネントの使用は、特定の機能システムの後に設定できる。上海交通大学 Zhang Zhen と CORBA ベースのコンポーネント通信技術に関する他の研究は、大規模な自動アセンブリシステム技術¹⁹を研究するペトリネットモデルと組み合わせ、より優れたリアルタイム通信を提案した。Wang Wen-shan ら²⁰は、コンポーネントシステムを実現するために RTM (Robot Technology Middleware) と ROS (Robot Operating System) システムを組み合わせることを提案した。北京航空宇宙学研究所の Huang Zhen ら²¹は、組み込みのリアルタイムオペレーティングシステムに基づくリアルタイムコンポーネントを研究したが、これは業界の要件を満たしている。

1.2.3 知能ロボット技術

将来のロボットは、複雑で多様なタスクと動的な操作環境に直面すると考えられ、従来の隔離、固定された位置、操作の教育と再生モードが適切

に動作しないため、ロボットはある程度の知性、モビリティ、コラボレーション能力を持つ。

(1) 知能ミッションプランニング技術

ミッションプランニングの主な目標は、「作業員 A の作業」、「組立作業員 B」、および「作業員 B」のような抽象的な指示に基づいて、「3D 印刷」などのタスクを直接実行できる一連のロボットコンポーネントを計画することにある。「現場環境におけるロボット部品」、「3D プリントワーク B」、「ステーション 1 からステーション 2 へのワーク A の受け渡し」、「組立ワーク A、B」などがある。汎用型ロボットシステムがサービスを提供する能力への影響や、従来のロボットのミッションプランニングと比較して、汎用型ロボットシステムには多数のコンポーネントがあるため、計画スペースが膨大であり、また各コンポーネントはシステムに動的に参加するか、タスクの実装のコンポーネントが間違っている可能性があり、システムの動的および非決定的な機能の失敗を無視することはできない。

現在、中国での作業計画や研究はまだ比較的少ない。浙江大学の研究者は、汎用ロボットのタスク構成と再構成のために意味ネットワークを使用している。研究の焦点は、センサー、アクチュエータまたはソフトウェアアルゴリズムをサービスに抽象化することであり、サービス構成はこれらのサービスまたはツリーによって構築され、サービス構成および再構成アルゴリズムを提示し、シミュレーション及び実際のロボットの実験結果を生み出す²²。上海交通大学の研究者は、ネット

19 Zheng Zhang, Moduling and control of component based system for guide robot [D]. Shanghai Jiao Tong University, 2011.

20 Wang W, Zhu X, Wang L, et al. Ubiquitous Robotic Technology for Smart Manufacturing System[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2016.

21 Liu Y, Yang J, Wu Z. Ubiquitous and cooperative network robot system within a service framework, International Journal of Humanoid Robotics, 2011, 8:147-167.

22 ZENG Wen-te, SU Jian-bo. A Networked Robot System Based on Distributed Intelligence, 机器人, 2009, 31:1-7.

ワークロボットシステム²³、プラグ・アンド・プレイインテリジェントノードとして環境カメラとモバイルロボットの抽象的なセンサーインテリジェントノードに基づいて分散インテリジェンスを達成するために、インテリジェントなインタラクションと共有のインテリジェンスを実現した。文献4では、タスクをモデル化するためにRMDP (Reduced Markov Decision Process) モデルが提案されている。タスクは、モデル内の変数の因果関係グラフを描画することによってサブタスクに階層化される。最後に、MDPの方法を解決する。この方法は、将来のプラント処理タスクの計画にも使用される。

(2) モバイルマニピュレータ技術

モバイルマニピュレータは、モバイルプラットフォームと、モバイルプラットフォームに搭載されたロボットアームで構成されている。一般に、移動プラットフォーム上に搭載されたロボットアームは移動アームである²⁴。移動ロボットアームは、固定ロボットアームよりも大きな作業空間と柔軟性を有し、アクチュエータをマニピュレータの端部に効果的に配置し、効率的な動作を行うことができる。移動マニピュレータの構造は、ロボットアームが無制限の作業空間と高い自由度を持つことを可能にすると同時に、移動と操作機能を備えているため、より短い時間でより良い位置で完了することができる。より大きなタスクの範囲は、伝統的なロボットや移動ロボットよりも優

れている²⁵。

中国のモバイルロボットに関する国内調査は遅れて始まったが、成熟した技術製品がいくつかある。まず、瀋陽工科大学のように特別な環境で使用されるいくつかの特別ロボットは、モデルの代表である移動車、武器、制御センターの本体であるトカゲシリーズの移動ロボット²⁶を開発した。「トカゲb」、「トカゲh」と「トカゲhw」の反テロ防爆ロボットは、主に移動車、腕とコントロールセンター、クローラ構造を持つモバイルプラットフォームで、本体、ロボットは自由度が6、荷重5kgである。2013年には「玉兔」月探査機が開発された²⁷。

産業ロボットでは、上海交通大学は図1-2-7のような移動ロボットを開発した。シャーシは、レーザ測位ナビゲーションシステムと深視覚システムを備えたUR ロボットアームと組み合わせた同種の移動プラットフォームである。ロボットにはマン・マシンオブジェクト伝達機能がある。

新松ロボット株式会社が開発した中国初の独立開発量産型複合ロボットは、軽負荷と重負荷ロボットに分かれ、重負荷ロボットの負荷力は50kgまで達する(図1-2-8)。このシリーズのロボットは、Mecanum Wheelでインテリジェントな移動が可能で、自由度7度のアーム、視覚的識別システムを搭載している。視差補償技術を用いて、移動精度が確保でき、運動の厳しい精度を求める企業の工場知能化要求に満たすことができる。

図1-2-6 特殊作業用モバイルマニピュレータロボット



23 Wang W, Cao Q, Zhu X., et al. An automatic switching approach of robotic components for improving robot localization reliability in complicated environment. *Industrial Robot: An International Journal*, 41(2): 135-144, 2014.

24 “曹宝石. 移动机械臂设计及其运动学参数标定的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学机电工程系, 2012”.

25 《杜滨. 全方位移动机械臂协调规划与控制[D]. 北京: 北京工业大学机械工程系, 2013》

26 刘美俊. 排爆机器人的研究与开发[M]. 电子工业出版社, 2010》

27 司马光. 灵活高效的玉兔号月球车[J]. 国际太空. 2013, 12: 15-19》

図 1-2-7 上海交通大学のモバイルマニピュレータロボットシステム



図 1-2-8 新松社の軽負荷（左）と重負荷（右）モバイルマニピュレータロボット



(3) クローズマン・マシン・コラボレーション技術

近距離のマン・マシンコラボレーションシステムでは、ロボットは隔離のための安全フェンスを使用せずに人間の従業員と並行して作業することができる。このようなシステムは、大型複雑生産ラインでは大きな利点があり、完全自動化生産ラインで人間とロボットの間のギャップを埋めることができる²⁸。人間とロボット間の物渡し、人間とロボット間の会話、マン・マシンのコラボレーション・アセンブリなど、低レベルから高レベルへの特定のアプリケーションの協力の程度に応じて、4種類のマン・マシンコラボレーションに分ける（1. Safety-rated monitored stop, 2. Hand guiding, 3. Speed and separation monitoring, 4. Power and force limiting）。従来のロボットは、適切な安全コントローラ/安全オプションを使用し

て1～3のコラボレーション機能を実現できる。最後の4つ目は、一般的に達成が難しい。海外ではUR、LBR iiwa、Sawye ロボットが最初の4つのアプリケーションを達成することができる。中国では、新松社の柔軟性のある多関節ロボットは、迅速な構成、牽引教示、視覚誘導、衝突検出及びその他の機能を備えた、初の7自由度のコラボレーションロボットであり、高負荷かつ低コストでユーザーに適合することができ、短期間での投資回収とロボット製品の安全性、柔軟性、マン・マシンコラボレーションのニーズを満たす。新松社のフレキシブル多関節ロボットは、精密組立、製品パッケージング、研削、試験、工作機械のロード、アンロードなどの産業操作のニーズを満たす、高精度なフレキシブル生産ラインに特に適している。

28 鉄隆正, (2015). 工業 4.0 環境下の人機協作机器人, 国内外机电一体化技术 (8), 26-27.

1.2.4 ヒューマン・コンピュータインタラクション技術

ヒューマン・コンピュータインタラクションは、主にコンピュータとユーザーとの間の情報交換を研究する。人間工学、バーチャルリアリティ技術、マルチメディア技術、認知心理学などと密接に関連している。人間とコンピュータの相互作用は2つの部分に分かれており、一つは人からコンピュータへのアクションであり、もう一つはコンピュータから人へのアクションである。マウス、マルチタッチ、体性感覚はヒューマン・コンピュータインタラクション技術の3つの革命である。次世代のヒューマン・コンピュータインタラクション技術開発は、以下の側面に焦点が当てられる。

- 1) 統合化：人間とコンピュータの相互作用は、多様化とマルチチャネルの相互作用の特徴を示す。声、ジェスチャー、顔の表情、目の動き、唇の動き、頭の動き、身体の姿勢などの相互作用の手段が統合され、自然で効率的なインタラクティブ技術の開発が新世代の方向性である。
- 2) ネットワーク化：人間とコンピュータの相互作用技術の新世代は、異なるデバイス、異なるネットワーク、シームレスな切り替えと拡張の間の異なるプラットフォームで、いつで

も、どこでも、人間とコンピュータの相互作用のための様々な単純で自然な方法を使用してサポートする必要がある複数のユーザーが協力してやりとりすることをサポートする。

- 3) インテリジェント化：人間とコンピュータのインタラクションでは、ジェスチャー、声や文脈などの情報をよりよく自動的に捕捉し、人々の意図を理解し、インタラクティブな活動の性質を改善するための適切なフィードバックや行動をとるため、自然と便利な人々と機械の相互作用の、コンピュータ科学者が新世代の対話型技術を積極的に模索している重要なコンテンツである。
- 4) 標準化：製品コストの削減、機器の互換性とスケーラビリティの向上などから、人間とコンピュータの相互作用基準の確立は、長く困難な作業であり、社会的ニーズの変化に応じて変化している。

中国では、指の動きを識別するため、手の動き認識システムが筋肉の点に基づいて開発された、上海交通大学のような人間とコンピュータのインタラクションの新しいアプリケーションがたくさんある。山東省では、万騰電子技術株式会社

図 1-2-9 上海交通大学の手動作識別システム

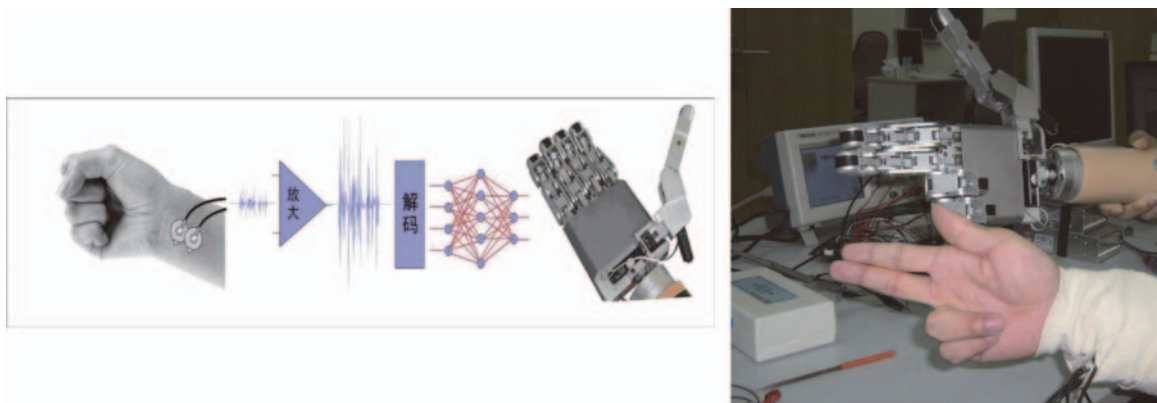


図 1-2-10 万騰電子技術株式会社 IAR ソリューション



(1) IAR 補助作業指導

(2) IAR 設備智能現場巡回検査

は「工業4.0」向け工業技術増強現実(IAR)補助ガイダンスシステムために独自開発した。IARオブジェクト認識アルゴリズムは、マシンビジョン、ディープラーニング、マルチセンサーフュージョン技術を用いて開発され、産業生産ライン機器のリアルタイム識別、ラッキングを実現し、データ情報のリアルタイムプッシュ、最適動作分析、補助決定機能を提供できる。オペレータは、着用可能なARメガネを使用して、リアルタイムデータ、履歴データ、暗示されたプロセス情報データ、および現実世界の他のリアルタイムオーバーレイ(ステーションや機器など)をプロセス中に提示し、最大のエラーを防ぐために前提の効率を高め、全体的なシステムの運用コストは20%減少し、効率は15%以上上がる。

1.2.5 ロボット技術に基づく未来工場デモンストレーションセンター

主なロボット技術の研究推進以外、中国はいくつかの典型的なプラットフォームの形で数多くのデモンストレーションセンターの建設を通じ、研究の実践の応用においてロボットシステムの将来においても積極的に活動している。

(1) 瀋陽工業オートメーション生産ラインモデル²⁹

中国科学アカデミーとSAP中国研究所は一年をかけ、2015年末に、瀋陽で自動化工業4.0デモンストレーションラインを完成し、外部に展示した。主な生産設備には、モデルの取り扱いと保管のための5つの新松社のロボットが含まれている。また、2つの自動誘導車両がパイプライン以外のステーション間の輸送を担当している。100台のWIA-FA産業用無線機器を用いて、工場内の安定した情報伝送ネットワークを構成した。

デモンストレーション・ラインは以下の特徴を持つ。

- 1) 豊富な産業用ソフトウェア・アプリケーション、統合されたERP、MES、大規模なデータ・プラットフォームHANAなどの主要機能がある。
- 2) システムは、情報の記憶、相互作用を達成するために、RFID二次元コードおよび他の情報媒体を最大限に活用する。工場のライフサイクル情報全体を記録、維持する。
- 3) 大規模なデータ収集とデータ分析。
- 4) VR仮想と現実の工場の組み合わせ。

(2) 上海交通大学「インテリジェントファクトリー経験センター」³⁰

上海交通大学と日本の安川電機は、2016年に科学研究や教育実証のための「インテリジェントファクトリー経験センター」を完成させた。図1-2-12に示すように、このスマートファクトリーは3D印刷原材料とカスタマーのパーソナライズ注文データが入力で、出力がオーダーメイド製品である。プラットフォームは、図1-2-13に示すように、人間とコンピュータのインタラクションコンポーネント、ミッションプランニングコンポーネント、3D印刷コンポーネント、無示教(without teaching)ポリッシュコンポーネント、アセンブリコンポーネント、パイプラインコンポーネント、モバイルグリッパコンポーネントなどが含まれている。現在、プラットフォームのテスト結果から、工場のインテリジェント化ために汎用型ロボティクス技術を応用して、将来的にはロボット技術における汎用的な使用可能性をある程度確認した。

図1-2-11 瀋陽自動化工業4.0デモンストレーション・ライン



29 国内首个“工业4.0-智能工厂实验室”在同济大学落成. <http://news.tongji.edu.cn/classid-8-newsid-44929-t-show.html>

30 程曼. SAP与沈自所开发中国首条工业4.0示范生产线. http://news.soo56.com/news/20160329/76416m1_0.html

図 1-2-12 インテリジェントファクトリーコンセプト図

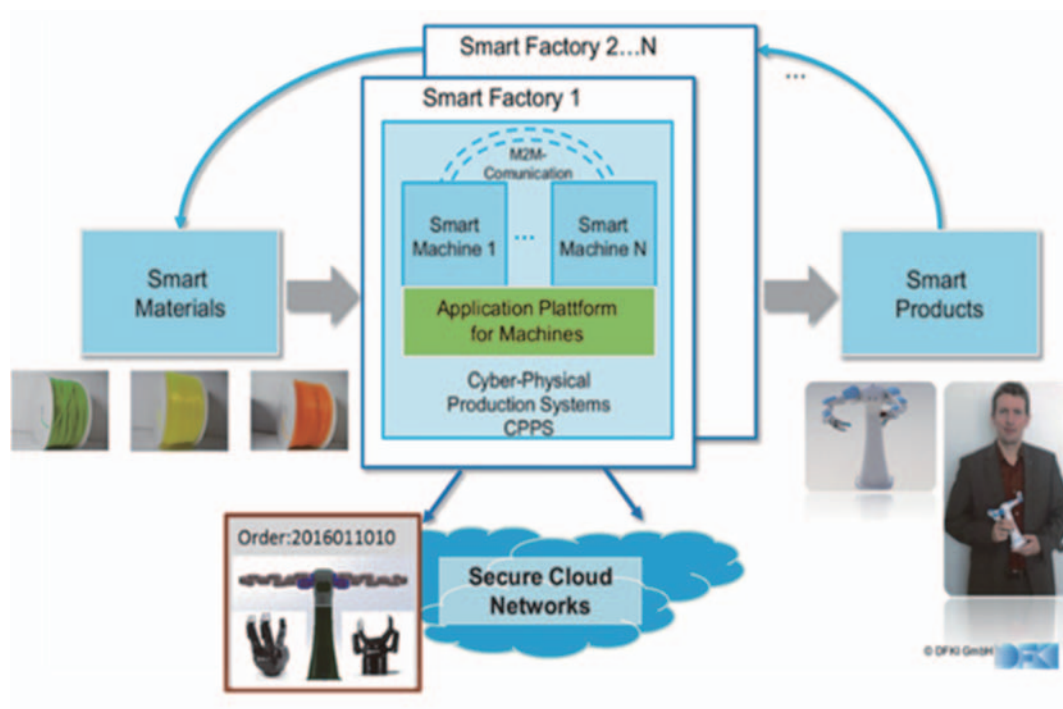
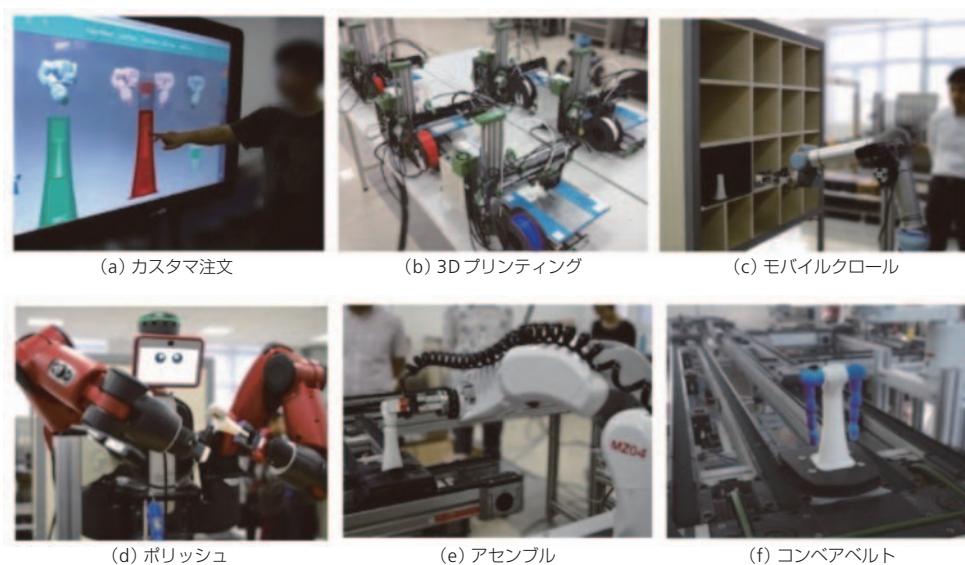


図 1-2-13 各ステーションビュー



1.2.6 まとめ

現在、工場オートメーションのロボットは、ABB、YASKAWA、FANUC、KUKA によって独占されており、互いに共通性はない。将来のプラントは、フレキシブル、ネットワーク、インテリジェント、モバイル、コンポーネント化されたものを製造する必要がある。本稿では、今後のプラントの特性を踏まえ、産業用ロボット（ロボット 2.0）へのアップグレードとしての普及型ロボット技術の実現可能性について検討した。汎用型ロボット制御システムは、大規模なデータおよびタスクベースの自律型ミッションプランニングの下

で、デバイス相互接続、インテリジェンスの問題を解決する。いくつかの代表的な事例を通して、こうしたシステムがインテリジェント製造に適用することができることを説明した。例えば、未来工場を支えるロボット技術で構築したデモンストラーションプラットフォームである。したがって、汎用型ロボット技術は、将来のプラントの汎用ロボット制御システムとして使用することができる。多数の研究者らの努力によって、こうしたシステム技術は将来、未来工場の一般的なロボット制御システムになると確信している。

1.3 高齢社会に向けた健康ロボティクス研究開発について

羅 志偉

(神戸大学大学院システム情報学研究科教授)

1.3.1 はじめに

中国の著しい経済発展に伴い、社会の高齢化も近年急速に進展してきている。2017年2月に中国の国家統計局が発表した最新の「中華人民共和国2016年国民経済と社会発展統計公報」³¹によると、60歳以上の高齢者人口総数は2億3000万人を超え、中国の全人口の16.7%となっている。これは、アジアにおける高齢者総数の約50%、欧州の高齢者人口の総和、そして、世界の高齢者人口の5分の1に相当し、2050年には、さらに5億人に近づく予想されている。

数千年にわたる中華文明の歴史で脈々と伝えられてきた儒教思想にある「養子防老」や「家の老人は宝である」などの伝統文化は、まさに歴史的に大きな試練を迎える局面に差し掛かるようになってきている。近代社会づくりでの年金制度や、社会福祉と国民健康保険などの政策や法整備を手厚く施されてきた日本をはじめとする先進諸国とは違って、中国は、今日世界第二の経済大国として急成長してきたといっても、「未富先老」や「貧富格差」、沿海地域と内陸、そして都市部と農村部との厳しい「地域格差」など数多くの深刻な問題を抱えている。また、生活レベルの改善によって今日平均寿命は大幅に伸びてきているが、何らかの疾患を有する高齢者のパーセンテージは高く、高齢者全体の健康状態は低いレベルに留まり、社会における医療と介護への負担は増大する一方となってきた。特に、70年代から30年あまり実施されてきた「1人っ子政策」などの影響により、今日多くの高齢者の家庭構成は、「4・2・1構成」、すなわち、夫婦2人で4人の高齢者と1人の子供を養育する必要がある家族となり、都市部や一部の農村では独居老人が増えつつけている状況にある。

こうした社会高齢化に向けて、中国では、社会保障システムの整備や歴史的な敬老文化の高揚を提唱するとともに、高齢社会に関する社会科学、経済学、法律、人口学、老化に関する科学研究など、全方位からの科学研究を展開し、そして高齢社会を強く意識した各種産業とサービスの開発と市場開拓に力を入れ始めている。その中の一つとして、本稿が取り上げている「健康ロボティクス」

技術の研究開発が挙げられ、健康産業の核心技術として位置づけられるようになってきている。

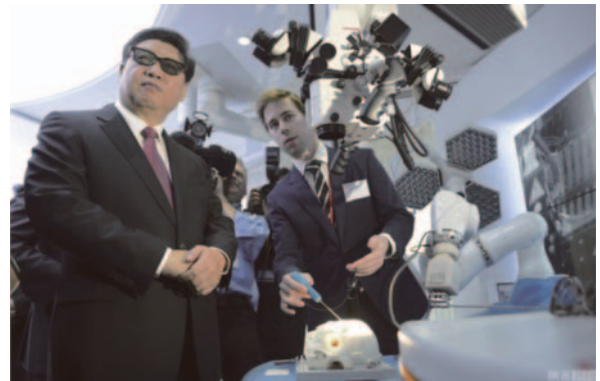
以下、本稿では、中国における最近の「健康ロボティクス」の研究開発を焦点に、これに関連する中央政府と地方の各種政策と行動計画を概述しながら、健康関連ロボティクスの研究開発の具体的な事例を紹介するとともに今後の展開の可能性と課題について考察し、そして高齢社会研究に関する日中交流促進の重要性を強調する。

1.3.2 中国における健康産業振興の関連政策と行動計画

図1-3-1は、2015年10月に中国の習近平国家主席がイギリスのインペリアル・カレッジ・ロンドンを訪問し、同大学の手術ロボットの研究開発に関する説明を熱心に受け体験した際の写真である。その1年前の2014年6月、習主席は、中国科学院第17回院士大会、中国工程院第12回院士大会に出席して演説を行い、ロボット革命とも言われているロボット技術の研究開発を積極的に推進させる重要性について力説した。以来、中国におけるロボット技術の研究開発と実応用はまさに「黄金時代」とも言うべき時期を迎え、国の各関連省庁をはじめとして、各種の振興政策が公表され、国中の経済開発団地でロボット技術開発に対する優遇策が次々と打ち出されるなど、国を挙げてロボット技術のイノベーションを展開し始めている。

2016年8月、中共中央政治局会議で「健康中国2030」綱要が承認され、世界的に注目されている「一帯一路」政策以来の重大国策として、これから15年にわたる健康中国建設の行動綱領となっている³²。また、2017年2月に、中国の工業・情報化部、民政部、国家衛生計画生育委員会の3省庁は、合同で「スマート健康養老産業発展行動計画（2017

図1-3-1 手術ロボットに関する説明を熱心に受ける習近平国家主席



31 中華人民共和国国家統計局 「中華人民共和国2016年国民経済と社会発展統計公報」

32 中華人民共和国国务院 「健康中国2030規画綱要」

－2020)」を公表し、高齢化社会における多様化、個別化の健康需要に対応できるよう、下記の研究開発を推進するとした。

- ①サービスロボット技術、
- ②スマート介護モニタリング技術、
- ③自助式健康検査技術、
- ④携帯型健康監視設備技術
- ⑤ウェアラブル健康管理技術

これとともに、各種健康サービスの開拓や健康サービスプラットフォームの構築、そして関連技術の標準化に取り組むことが提唱されている。さらに、モデルケースとして、100企業、500のモデル地域の構築が掲げられている³³。

こうした国レベルの政策誘導と行動計画の旗振りのもと、地方各省・市では「健康」をテーマにした産業団地が雨後の筍の如く、数多く企画・整備されるようになり、大規模資金援助などの優遇策により関連する企業やハイテク技術開発センターを誘致するだけでなく、健康管理、健康旅行、健康文化など、様々なサービスも同時に地域内で展開するようになってきている。

これまで中国におけるロボット技術研究の主力は大学にあったが、ここへ来て、まさに官・地方行政・産・学の大連合が形成されつつあり、産業用ロボットでは、日本や先進諸国に遅れを取ってきたが、サービスロボットや健康ロボットでは、巨大な社会ニーズを背景に巻き返して先取りを争う機運を見せ始めている。

1.3.3 健康ロボティクスの研究開発と具体的な事例

この節では、中国における健康ロボティクス技術の研究開発に焦点を当て、各地における代表的

な開発事例を具体的に取り上げながら紹介する。

健康ロボティクスの研究開発について、北京市では、民政部主導で「国家リハビリ福祉用具研究センター」をいち早く補足し、様々な福祉用具の研究開発を行ってきた。ここでは、生体信号分析実験室、ヒューマン・マシンミメティック実験室、生体力学実験室、知能制御実験室、福祉用具デザイン実験室、新材料実験室を立上げて基礎研究開発を行うと同時に、評価センターや臨床研究も整備し、電気安全性、機械性能、構造強度、疲労試験、環境計測と材料成分分析などの測定と分析を可能にしている³⁴。また、北京市人民政府は、地方行政による大規模な出資で北京理工大学内において「高精尖イノベーションセンター」を立上げ、福田敏男教授、黄強教授の指導の下、多数の国際的に著名な研究者との国際規模での連携によって活発な研究開発を行い、ブレン・マシンインターフェイス (BMI) の研究や車椅子型の下肢運動訓練用ロボット、飲み込み型のカプセル内視鏡、知能化電動義肢など、最新の健康医療用ロボット技術の開発を進めている。

天津市では、天津大学を中心に国産の外科手術用ロボット「妙手S」の研究開発に成功し、その臨床試験を実施する段階に入ることとなった。このロボットシステムは、裸眼3Dハイビジョンモニターを装備し、7自由度のアームを有しており、医師は座って操作することができる。2014年4月、中南大学の湘雅三病院にて3名の患者に対して手術を施し成功を収めた。また、脳梗塞や脳出血、そして肝臓の血管における欠損などを意識して、天津理工大学の劉軍教授らは、図1-3-3に示すように、血管の各種構造的な特徴に着目して複雑な血管内血流シミュレーションを行っている³⁵。

図 1-3-2 天津大学で開発した国産の外科手術用ロボット「妙手S」とそれを用いた臨床試験³⁵

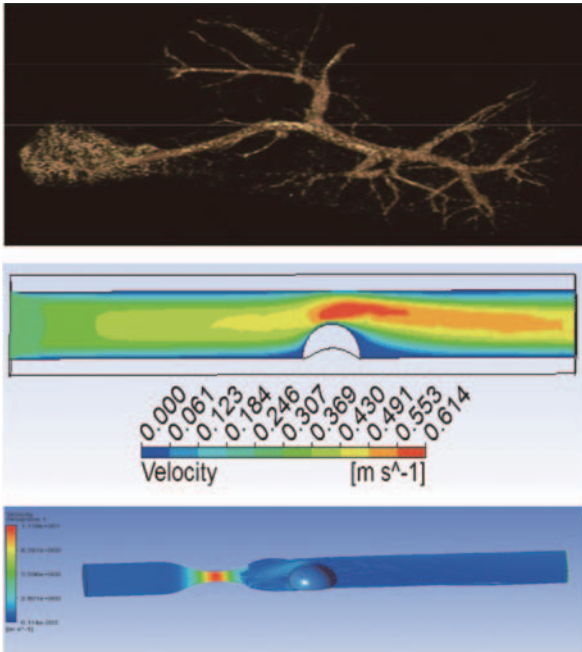


33 中華人民共和国工業和信息化部、民政部、国家衛生と計画生育委員会 「スマート健康養老産業発展行動計画（2017-2020年）」

34 中華人民共和国民政部 国家リハビリ福祉用具研究センターのHP <http://kffj.mca.gov.cn/index.shtml>

35 天津大学 手術ロボット「妙手S」の臨床試験に関する新聞発表のHP
http://www.tju.edu.cn/mobile/m_news/m_jxky/201404/t20140408_224438.htm

図 1-3-3 天津理工大学劉軍教授による血管の各種構造に着目した複雑な血管内血流シミュレーション



上海市では、美容・健康産業基地として「東方美谷」という大規模な国際健康医療団地を整備し、開発設計、生産、販売などを一本化した全産業チェーンが基本的に構築されている。ここでは、特定の産業団地（中国では、「園區」と称している）を建設するのではなく、同区全体で、美容と健康をコンセプトにした製品、サービスと産業の3大軸からなる「三次元立体産業体系」を構築することが計画されている。北京市と同じく、上海市には中国トップレベルの大学や国の研究機関があり、健康ロボティクスについて活発に研究開発を行っている。

具体的な研究開発例として、図1-3-4と図1-3-5に示すように、上海交通大学の自律ロボット実験室は、陳衛東教授の指導のもとで、脳波などを利用したスマート義肢のインターフェイス技術や、心臓低侵襲手術用ソフトロボット技術など幅広い研究開発を進めている。図1-3-4は、脳波識別による人間の動作意図を認識し、ジュースを飲ませる実験の様子であり、図1-3-5は、心臓低侵襲手術用ソフトロボットによる心臓手術の実験である。

図 1-3-4 上海交通大学陳衛東教授の自律ロボット実験室における脳波識別による人間の動作意図を認識し、ジュースを飲ませる実験³⁶



図 1-3-5 上海交通大学自律ロボット実験室での臓低侵襲手術用ソフトロボットによる心臓手術の実験³⁶



36 上海交通大学 自律ロボット実験室のHP <http://robotics.sjtu.edu.cn/index.php?r=Article/list&id=fields>

一方、湖北省の武漢市では、華中科学技術大学自動化学院で歩行支援用ロボティクスの研究や多指ハンドの運動リハビリロボットの研究開発、デジタルファンクショナルMRIの研究と製品化を展開している。図1-3-6は、同大学の黄剣教授のグループが開発した下肢歩行運動リハビリテーション用ロボットシステムである。被験者に順応して運動するとともに、マルチセンサーフュージョンによって歩行者の動作意図を推定し、また、カルマンフィルタで前後左右三方向における被験者の転倒の可能性とパターンを計測し、判別することでロボットによる転倒防止する制御メカニズムを実現している。この技術を発展して、黄教授らはさらに転倒防止用知能化杖を開発し、2016年スイスで開催された第44回発明展示会の銀賞を受賞した(図1-3-7)。

また、広東省では、大学での研究や中国科学院の分院などの機関はもちろんのこと、GYENNOという技術開発会社も主体となって、身体障害者、特にパーキンソン患者の日常生活支援を目的に、手の振れを軽減できる食事補助用具の開発と商品化に成功し、米国で開催される世界最大規模の展示会CESなど、国内外の展示会で大いに注目されるようになってきている。パーキンソン患者は、大脳基底核におけるドーパミン分泌の異変で生じる病変で、中国だけで現在は300万人を超える患者がいる。手足の震顫により、本人の意のまま身体運動ができず、歩行や食事など、日常生活を営む上でいろいろと大変な困難となっている。こうした手足の震顫は人によって、生活の時間帯によって、また、薬物使用量と効果によって異なり、個人差や、それぞれの場面への対応が必要である。

図 1-3-6 華中科学技術大学の黄剣教授のグループが開発した下肢歩行運動リハビリテーション用ロボットシステム³⁷



図 1-3-7 黄教授らが開発した転倒防止用知能化杖は、2016年スイスで開催された第44回発明展で銀賞受賞³⁸



37 XU Wen-Xia, HUANG Jian, YAN Qing-Yang, WANG Yong-Ji, TAO Chun-Jing: Research on Walking-aid Robot Motion Control with Both Compliance and Safety. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(12): 1859-1873

38 華中科学技術大学 黄教授らがスイスで開催された第44回発明展で銀賞獲得の新聞記事のHP
<http://auto.hust.edu.cn/index.php?a=shows&catid=115&id=790>

図1-3-8は、GYENNOの任康理事長らが開発した食事補助用具であり、超小型モーター2台と加速度センサーをコンパクトに装備し、患者の手の振動を計測して、二自由度の機構で減衰させることで、持っている用具の先端に手の振動を伝えず、自主で楽に食事が可能となる。GYENNOでは、さらに、パーキンソン患者が歩行するときに突然発生する下肢のこわばり（固縮）症状（FOG）に着目し、こうしたこわばり（固縮）症状の発生をいち早く特定できるよう、ウェアラブルな身体運動計測と人工知能による動作パターン推定を行う技術を開発し、臨床試験を実施し始めている。街で歩いているとき、もし突然歩行のこわばりが生じ、道の真ん中で止まってしまう場合、周囲の交通に影響し、場合によっては大きな危険が伴うことになるので、パーキンソン患者の社会参加にとって大きな障害となっている。こうしたこわばりをいち早く検出し、円滑な歩行を支援できれば、生活の安心安全にとって大変役に立つ。

GYENNOは、中国国内で唯一とも言われている全国規模のパーキンソン患者の生活支援ネットワークを構築し、上海、北京、杭州、広州など全国各地の著名な専門医師などと連携を図り、関連する基礎研究の国家プロジェクトに参画して、患者の日常生活における各種の運動データを、このような補助用具を利用して即時に採集し、無線通信でインターネットを介して専門医に伝え、日常生活における患者の様子を医師に把握させ、病院からの薬処方の加減や効果確認が可能となるよう研究活動を展開している。GYENNOが活動拠点を置く広東省深圳市は電子産業が発達しており、ロボットの計測制御に関わる各種サイズの制御基板やセンサー処理回路基板の設計、試作、調整などを、低コストかつ短い製作周期で完成でき、ロボット産業にとって有利な環境が整っている。

さらに、浙江省杭州市にある浙江大学は、高度な人工知能による画像診断技術でパーキンソン疾患の早期発見・早期診断技術や、各種スマート

図1-3-8 GYENNOの任康らが開発した食事補助用具と使用の様子、米国CESでの展示の様子³⁹



39 有限会社GYENNO（任康総裁）のHP <http://www.gyenno.com/>

な生体情報センシング技術、そして、スマート医療・健康情報システムの開発と臨床応用を試みている。また、人工筋肉を活用したソフトロボットの研究開発にも着手している。特に、浙江省寧波市では、現地民間資本による大規模な支援を受け米国カリフォルニア工科大学のカゼルーニ教授が研究開発した外骨格型ロボットの量産を開始した(図1-3-9)。

図1-3-9 浙江省寧波市で量産が開始された米国カリフォルニア工科大学カゼルーニ教授が研究開発した外骨格型ロボットによる建築作業支援の様子



以上のように、医療、リハビリ、生活支援など、ここで挙げられている健康への応用を目指したロボット技術は、近年中国は世界の先頭を走りつつある人工知能やビッグデータに関わるデータサイエンス、ICT、IoTなどのネットワーク技術やサービスと融合する方向に発展してきており、音声認識と会話技術、画像認識技術をヒューマン・マシンインターフェイスに取り入れて、人間により親和性を有するロボットの創出や、スマート住環境の構築、スマート健康医療サービスの実現など、基礎研究から生活支援への応用に至るまで、幅広く研究開発を展開するようになってきている。

1.3.4 健康ロボティクスの研究開発現状と課題、そして日中交流への期待

前節で、中国で行われている医療、リハビリ、生活支援など、健康への応用を目指したロボット技術の研究開発について、具体的な事例を取り上げて紹介した。ここでは、以下のことが明らかになった。

- ①巨大規模の高齢者を抱える高齢社会を目前にして、中国における国民の健康意識はますます高まってきていること；
- ②中国の数多くのロボット研究者は、工学技術応用だけに留まらず、健康に役に立つような最先端の技術の研究開発に注目し始め、実験室レベル、臨床試験レベル、個人による実応用レベル、企業活動レベル、そして社会応用レベルへと、各レベルにおけるイノベーションを着々と展開

しつつあること；

- ③中国の医療界が、こうした新しい工学技術の研究開発の流れに積極的に協力し、臨床試験に大胆に参画していること；
 - ④中国における制御技術、人工知能技術、IoT 技術などの強みを持ちつつ、日本を始めとする世界各国の研究者と活発な研究交流を強く求めていること；そして、何よりも、
 - ⑤中国政府は、健康についての重要性を強く認識し、積極的に推進政策を打ち出して、関連する国、地方行政と莫大な民間資本が強力に参入していること
- などは高く評価できる。

一方、中国では、現状として研究開発から臨床試験、評価・認証、製品化、そして、特にメンテナンス、リスク管理、保険制度設計に至るまで、まだまだ多くの課題を抱えていることも事実であろう。日本でも同じかもしれないが、主な問題として、健康に関する新しい技術について、技術の開発者の視点だけでなく、その使用者である業者や個人への効果やコスト、リスクなど、安全性や有効性など新技術の信用に関わる問題をサイエンスとして客観的かつ冷静に分析し、評価できる技術と評価・認証体制の確立が急務となっているのではないと思われる。こうした人々の健康に関わる工学技術とこれからの産業化の振興を安定に保障するためには、関連する法律の整備や運用制度、保険制度などの整備も必要不可欠のように思われる。また、ロボットの専門家でない一般の利用者のことを考えると、こうしたロボット技術の取り扱いに関する国家資格認証制度の確立や、そのための技術サポートとメンテナンスなどを含めた人材育成も今後の極めて重要な課題ではないかと推測できる。日本では、技術開発だけでなく、福祉国家作りの一貫として、社会福祉士、理学療法士、作業療法士等々、各種の国家資格を前から設けて、専門性を有する人材の育成を行ってきた。中国においては、高度な研究人材の国内招聘とともに、このような草の根のような人材育成制度も、国の事情が違うとは言え重要なことであり、日本の貴重な経験が参考になるのではないと思われる、日中間の幅広い学術交流により、両国そして世界の高齢社会の幸せと発展に寄与することを期待したい。

日本では、65歳以上の高齢者が国民全人口の26.7%を占める超少子高齢社会に突入しており、脳卒中や心臓疾患、糖尿病、生活習慣病、身体運動障害に加えて、認知症患者が劇的に増えて、400万人を超える勢いとなっている。このような認知症

対策に関わるロボット技術の研究開発について、著者をはじめ、日本では既に数多くの研究開発が進められているが、一方、中国では、このことについてまだロボット技術者・研究者における認知が低く、関連する研究開発はあまり見当たらない。今後における研究展開は重要ではないかと思われる。

また、日本では、今までの人口ピラミッド構造の逆転現象や、老老介護、認知介護などの特徴に加えて、新たな現象として、特に都市部における高齢化率が急激的に増加する「都市型高齢化」現象が現れ、地方行政の福祉政策や各種サービス業、そして土地や不動産業に深刻な影響が生じると警鐘が鳴らされている。厚生労働省の報告書によれば、例として、秋田県では、2005年時点の高齢者は31万人で、2015年には34万人と見込まれ、増加率は11%であるのに対して、首都圏の埼玉県では、2005年時点での高齢者人口が116万人、2015年には179万人で、増加率55%、また千葉県では、2005年時点では高齢者人口が106万人であったが、2015年には160万人、増加率は50%というように、急速に高齢化が進むと予測されている。これに対して中国では、現在全国規模で急速な都市化が進んでおり、既存の大都市である上海や北京、そして深圳市などでは、地価の高騰により若者による新たな参入がますます困難となっており、日本と同じような都市型高齢化現象が生じる可能性もあり、こうした都市型高齢化を緩和できるようなロボット技術の研究開発は、日本と中国との共通課題になるのではないかと考えられる。

特に、日本では75歳以上の高齢者が2008年では全人口の10.4%であったのに対して、2015年には13.1%、2025年に18.2%、そして2055年には26.5%という4人に1人という割合に達すると見込まれている。65歳以上の高齢者のうち、上にも述べてきたような認知症の高齢者も増加し、日常生活自立度ⅡとⅢ以上の認知症患者合計は、2002年では230万人であったのに対して、2015年には385万人、そして2045年には586万人となる。世帯主が65歳以上の世帯のうち、単独世帯や夫婦のみの世帯も2015年には64.4%になると予想されている。一方、介護サービスの受給者数を見ると、2000年から2010年までの10年間に149万人から170%も増加し、403万人となってきている。特に居宅在位の介護サービスの受給者数はこの10年間で203%と、2倍に膨らんできている。これに伴って、介護保険の総費用（介護保険に係る事務コストや人件費などは含まない）も、この10年間で3.6兆円から2倍以上に膨らみ、7.7兆円まで増加してきている。介護保険費だけでなく、高齢者医療費も厳

しい状態にあり、2025年における75歳以上の高齢者の医療給付費（医療保険分）は、全費用の52.4%になってしまうとの見通しもある。したがって、新しい技術開発と市場導入は、国の各種健康保険制度、社会福祉制度に照らして国の経済状況から見て実行可能かどうか、しっかりと検証する必要がある。

実際、超高齢社会における健康ロボット技術の役割を考える場合、その評価指標として、

- ①既存の健康保険制度に照らして、新しい技術がもたらしてくれる社会への経済効果はどうなるのか？
- ②介護支援となっているのか？それとも、逆に高齢者の意欲・各種身体機能を退化させてしまうのか？あるいは、より健康でないままの長寿化を助長しているのか？
- ③在宅医療・在宅介護環境、公正的な法整備などを視野に入れているのか？

——など、社会全体を見渡して俯瞰的且つ総合的に見極める必要がある。中国としても、日本の現存する健康保険制度とそれに伴って生じた社会経済負担についての経験を十分に学べるのではないかと認識している。

また、健康ロボットの開発について実用化を目指すためには、ロボットそのものの技術開発に加えて、

- ①規格・基準の策定と統一化
- ②ロボットの各種機能を計測して評価する技術の開発
- ③ロボットの利用環境の整備、改善
- ④現場でのロボットの応用のサービス方式の確立と各職種の連携体制整備
- ⑤介護者や要介護者といったロボットの利用者に対する教育
- ⑥定期的な保守点検制度、リスクマネジメント

——など、全方位的な対策を整備し、用意することが必要不可欠である。

例えば、国際規格であるISOでは、今まで福祉用具に対して工学的な評価指標を定めていて、用具の①機能試験、②強度試験、③衝撃試験、④耐久性試験——が行われるように、各種試験用機器や性能計測機器が用意されている。特に用途の多い車椅子については試験技術と試験体制が整備されている。ただし、利用者を含めた臨床評価技術と評価システムが日本でも未だに構築されているとは言い難い。これに対して、前節に紹介したような新しく開発されつつある各種ロボットシステムについては、全くといっていいほど、何の試験技術も臨床評価システムも整備されておらず、今

後、ロボット開発と共に急いで整備できることを期待したい。このような評価環境がなければ、社会におけるロボットの実用化にとって大きな障害となってしまう恐れがあると強調したい。これについて、国際交流や大学などの公的機関のリーダーシップに大いに期待したいところである。

具体的なロボット技術の評価について、

- ①導入や設置、そして利用における利便性、対象者による受け入れの受容性評価
- ②ロボットシステムによる支援によって対象者の生活改善や身体機能改善、そして介護作業改善から見た有効性や効果に対する評価
- ③ロボットシステムの安全性や信頼性、事故防止、機械依存症や機械による身体機能退化の恐れに対する評価

——が挙げられ、利用者の主観感覚に加えて、総合的かつ客観的な評価技術が必要となる。

福祉用具の利用現状から見れば、日本では、以下のような用具に係わる各種の職種があることがわかる。

- ①工学的側面を理解しユーザービリティ評価ができる工学技術者
- ②運動機能や生活機能の観点から評価ができる作業療法士・理学療法士
- ③在宅における利用者の用具に対する適合経験が相談できる担当者
- ④障害当事者（あらゆる障害に精通したエキスパートユーザー）

また、施設や病院ではなく、今後におけるロボットの在宅利用、個人利用も視野に入れて考えると、各レベルにおけるロボット利用の教育、あるいは特殊資格を用意した研修や資格認定もきわめて重要となる。さらに、利用者にとって便利で有効に使えるようにするためには、利用者の感覚とニーズをロボット技術開発に迅速に反映できるようにする仕組みが必要となり、この面でも日中交流による利点が大いにあることは明らかである。

1.3.5 おわりに

世界で最も人口の多い国、中国。世界の高齢者の5分の1を占める「超大型高齢社会」の到来を目前に、「健康中国」建設を目標として、数千年にわたる歴史文化を変貌する勢いで社会全体による「健康振興列車」がすでに始動した。健康サービス産業の年間市場規模として、2020年は8兆元（日本円で約130兆円）、そして、2030年には16兆元（日

本円で約260兆円）に達すると予想されている。これは、現在における世界第三の経済大国日本の1年の国内総生産（GDP）の50パーセントを超える規模に匹敵するものである。また、高齢者の養老産業（日本の介護に相当する）は2050年22兆元に近づき、年平均増加率は11%を超えると予測される。

高齢社会の到来は、「健康ロボティクス」のイノベーションを核心とするあらゆる「健康産業」の振興にとって必然的な推進力となり、経済発展にとって新たなチャンスとなることに異議申し立ての余地はない。この産業自身の健全な発展、そして社会や人々の幸せな生活への着実な還元を切に期待したい。そして、環境問題や食品安全など、日本にとって直接に影響を与える日中間の課題に加え、高齢社会における健康・医療サービス、健康文化、健康社会づくりなど、「健康ロボティクス」を手がかりとして、日中間のより一層の交流促進を期待する。

1.4 医療用ロボットの研究開発の現状

藤江 正 克

（早稲田大学名誉教授、次世代ロボット研究機構顧問）

1.4.1 はじめに

パーソナルロボット・マイロボットなどは永らく実用化が期待されながらその期待に応えられなかった。このような状況が長く続いたのには二つの理由があったと考えられる。まず、実現出来るロボットに対して社会ニーズは有ったが、マーケットが無かったのであろう。次に、ロボットが活躍するには周辺技術や社会インフラ整備が不十分であった。ロボットが人間のパートナーとして有効に働けるためには社会システムの一部に上手く組み込まれなければならない。21世紀になってこの二つの準備が整ってきたこともあり、あらゆる分野から人間のさらなる良きパートナーとしての“本当のロボット”が強く求められている。日本の人口は2015年国連データに基づき2016年10月時点 IMF が推計したデータ⁴⁰で1億2680万人、中国は13億7898万人である。さらに、中国養老金融発展報告によると、『中国の65歳以上の高齢者人口推移については、2030年に2.8億人に上昇し、総人口に占める割合は20.2%、2055年にはピークの4億人、27.2%となると推計されている。その中で、2040年までは高齢化が最も急速な時期であり、年平均上昇率が0.5%を上回るようになる。多くの先進国が人口高齢化の課題に直面しているが、

40 IMF - World Economic Outlook Databases (2016年10月版) 資料: GLOBAL NOTE、出典: 国連 <http://www.globalnote.jp/post-1555.html> 国連 (United Nations Population Division)

中国にとって最大の違いは、先進国になる前に高齢化社会に入ってしまう』⁴¹ということが予測されていることである。我々は日本の高齢化は大変なことと思っていたが、中国はもっともっと大変である。高齢者の増加というのは介助者人口の相対的な減少を意味しており高齢者や障害者の自立生活を支援するための機器開発が急務となっている。このため、寝たきりの人や車椅子使用者、さらにその可能性のある者も含め、できる限り他人に頼らず自立した生き甲斐のある人生が送れ、その結果として活力ある21世紀の社会を実現することが求められる。高齢者や障害者の自立や社会参加を促進する福祉機器や健康な人生を全うすることを支援するヘルスケア機器を開発することが重要なのである。そこで超高齢社会では「健康寿命」を実現するための産業が有望と考えられている。高齢者の増加というマーケットにより、21世紀医療ロボットとして社会から求められ始めた。

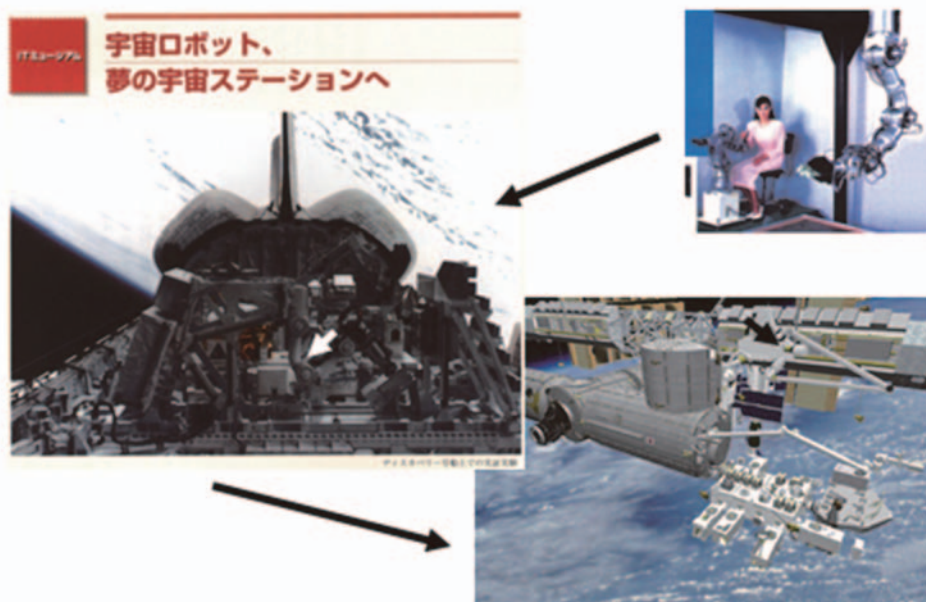
一方、ロボット側は30年近い年月を要して、オオカミ少年と言われ続けてきたが、やっとそのニーズの一部に対応できるシーズが揃いつつある。図1-4-1に示す例の様に、1980年代前半に開発したスマートマニピュレータ実験機は15年ほど経て製品となり1997年に続いて2000年にはスペースシャトル・ディスカバリーに搭載され若田宇宙飛行士が操縦した宇宙マニピュレータで有名になった。これは2006年の国際宇宙ステーション日本モジュール「きぼう」にも搭載され、スペースシャトル退役後の「このとり」計画でも活躍している（図1-4-1）⁴²。機能開

発から実用化性能を得るまでの所要時間が想像できる例である。また、最近はエンタテインメント分野でのロボットの製品化についての話題がマスコミを賑わすことも多い。現在実用化が始まっているロボットの基本機能は1985年代迄に研究開発が行われてきたものである。高齢化が急速に進む先進各国の最大関心事は「健康・安心」であり「健康・安心」を実現するための産業が有望と考えられ、競争も始まっている。現在最も有望なロボットとして社会から注目されているヘルスケアロボット（従来の医療・福祉ロボットなどの総称）は、この宇宙用のマニピュレータと同様に人間とロボットが高度な信頼関係で協調して働くシステムでなければならない。すなわち、いずれも人間が主役でロボットが人間の行動や気持ちに合わせながら人間を支援できるようにするのである。この様なロボットには本質安全のための技術・社会制度を用意する必要がある、この視点からの展望も重要である。

1.4.2 医療機器ロボット開発導入の流れ

医療ロボットは前世紀末からの三十数年間で飛躍的發展を遂げてきた。中でも超高齢社会を迎えた先進各国での十年間の進歩は目を見張るものがある。その流れを強く牽引したのはIntuitive Surgical社のda Vinciサージカルシステムであった。2000年7月11日に消化器系対象として米FDAの認可に引き続き、胸腔鏡（胸部）手術、補助切開部からの心臓手術、泌尿器科、婦人科、小児外科、経口アプローチによる耳鼻咽喉科へと認可

図1-4-1 地上実験機からシャトルおよび宇宙ステーションへ



41 中国養老金融發展報告（2016年）

42 日立評論2001年1月号

範囲を拡大し、2009年の販売以降2016年9月末日迄に全世界3803台で日本に237台が設置されている⁴³。(米国2501台・欧州644台、アジア476台・他182台—中国全国で37台(2016-04-08)が稼動⁴⁴)図1-4-2は最新のda Vinci Xi⁴⁵である。中国ではさらに、国が天津大、南開大、天津医科大の共同プロジェクトとして認めたda Vinciに近い「妙手A」⁴⁶(図1-4-3)という国産内視鏡手術用ロボットを2010年7月6日に天津市科学技術委員会が承認したが臨床での普及には至っていない。日本でのda Vinci普及は2012年に前立腺がん、2016年1月20日に腎臓がんへの保険収載されたことに負うところが大きい。これらの、混合診療・保険外併用・

薬事制度などの進展、悪性肝腫瘍に対する2004年4月の経皮的ラジオ波焼灼療法(RFA 穿刺治療)への保険収載なども加わって多くの企業がロボットなどの医療機器の製造に参入意欲を示してきた。機械工学全般による支援が本分野に必須と捉えた機械学会では各部門に働き掛けて体制作りを始め、2008年4月より会長主導で部門横断組織「医工学テクノロジー分科会」を設置、2010年4月より関連部門参加の「推進会議」とした。この組織を核に他の工学会、さらには医学界との連携活動も開始し2009年からは新設された「(一社)医工ものづくりコモンズ」の工学サイドの中核として中小企業との連携を始めているのも特記すべきことである。

図1-4-2 da Vinciの最新機種Xi



図1-4-3 内視鏡ロボット妙手A



43 日本ロボット外科学会HP (<http://j-robo.or.jp/>)

44 <http://bizpresso.net/news/20725.html>。【第一財經日報2016年2月21日】中国ビジネスニュース

45 “da Vinci” Intuitive Surgical (<https://www.intuitivesurgical.com/jp/>)

46 Record China 配信日時：2010年7月7日(水) 21時47分

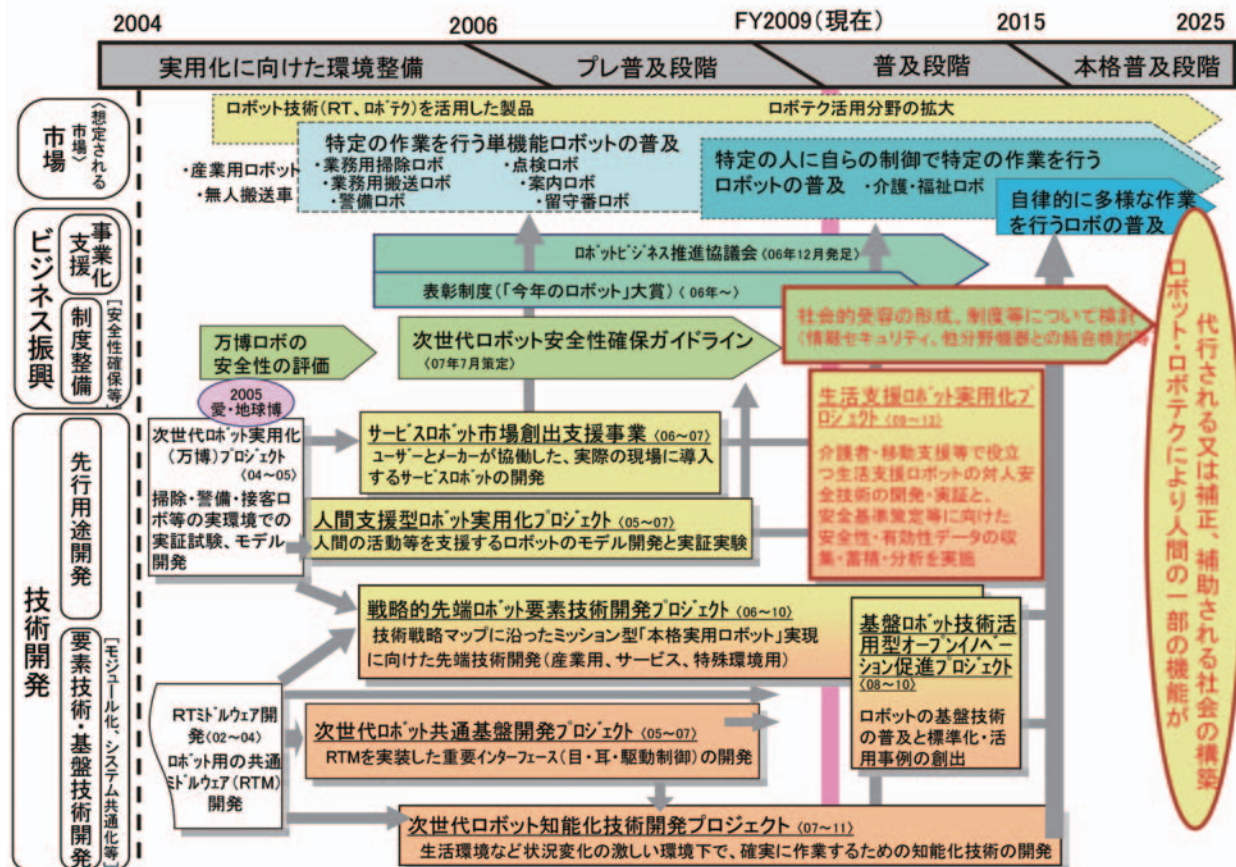
1.4.3 ロボット産業政策のロードマップ

1990年代末には、「高齢者・障害者に快適な社会のための参加支援工学に関する研究(96-98)」が文科省・科学技術振興調整費で地道な取り組みとして開始され、そこで議論されてきたことが「人間支援型ロボット実用化プロジェクト(05-07 経産省・NEDO)」となり、それをコアとして経産省のロボットロードマップ47(図1-4-4)となった。このプロジェクトでは、ロボットを作る人・導入する人・使う人がチームを形成していなければ参加資格が得られず、プロジェクトの費用で保険を使うことや、安全倫理審査の実施が初めて義務化され、以降の研究開発では当たり前となった。またロボットの実用化には複数の省庁の協力も必要であることも広く認識され、内閣府の取り纏めで総合科学技術会議が科学技術連携施策群「次世代ロボット」(2006)や社会還元加速PJ(2009-2010-2011-2012):「在宅医療・介護」などのタスクフォースを実施し、高齢者・有病者・障害者への先進的な在宅医療・介護の実現を目指すこととなった。その後も知能電動車椅子、食事搬送ロボット、その他様々のリハビリロボットなどが厚労省(テク

ノエイド協会、シルバーサービス協会)や経産省(NEDO、技術研究組合医療福祉機器開発研究所)などの諸施策で研究開発されてきたが、現状は必ずしも十分な普及に至っているとは言えない状況であり、AMEDの新設などにより、(ロボット介護機器開発・導入促進事業<基準策定・評価事業>)さらに強力な取り組みが始まっている。

現在のロボット技術は、資金と労力さえあれば大抵の物(機能)は実現可能である。歩行訓練ロボット、上肢・下肢リハビリロボット、食事支援ロボット、外出支援ロボット、パワーアシスタントロボット等、次々と役に立つロボット達が登場してきている。車椅子に取り付けるだけで電動になるインホイールモータも日本発の技術であり、後で述べるようにヨーロッパでは目覚ましい普及をしている。日本での貧弱な普及状況との比較をすることにより、日本における福祉ロボットの問題点がいくらかでも明らかになるのでは無いだろうか。最も大きな課題は社会的制度・導入へのコンセンサスを作り出すことである。高齢者・障害者のステータスがロボットになるのである。さらに進むと、白黒テレビからカラーテレビが普通に

図1-4-4 ロボット産業政策のロードマップ



47 2009年度 経済産業省・NEDO 事業報告書2009「ロボット産業政策のロードマップ」

なる過程で、まずカラーテレビの有る家には赤いアンテナが立ち、カラーテレビが当たり前になると普通のアンテナに戻ったのであった。

補助事業は本当の普及を阻害するとの指摘も多いが、社会的コンセンサスを得るまでの普及にはやはり制度としての社会的補助も不可欠と考えられる。

欧米では、高齢者・障害者も出来る限り自立をすることが社会人としての誇りであるという長年の社会文化が根付いている。これはまた、周囲も高齢者・障害者をシステムも個人も支援することが当たり前という文化と両輪の関係が成り立っている社会の中である。ヨーロッパでは、日本で普及していないインホイールモータ電動駆動の車椅子を極めて多く目にする。高度最先端技術とともにモノの面でも日本の先端技術が大いに活用されているのである。

国立身体障害者リハビリセンター病院の木村哲彦先生が1986年に欧州視察の折に乗馬療法に出会い、手軽に自宅の乗馬ロボットで実現を目指して松下電工（現PANASONIC）・高知工大（王碩玉先生）・高知大病院（石田健司）らと1998年、乗馬の動きを忠実に再現した6本足ロボットをリハビリ医療機器として完成（2000万円）した。その後、松下電工は家庭用医療器具「ジョーバ」⁴⁸（図1-4-5）として1999年秋に27万円で発売開始したが販売実績も反響も芳しくなく、2003年「リハビリ」を謳わない価格15万円の家庭用健康機器とした。一方、別の企業がフィットネスマシンとして2万9,800円の「ロデオボーイ」（大東電機工業開発、中国製）⁴⁹（図1-4-6）の発売を開始し爆発的な売れ行きで大きな市場を作り出した。松下電工と高知大学の臨

床研究で「ジョーバ」の医学的使用効果の定量データが得られたことから、「ロデオボーイ」が創った市場が「ジョーバ」の受皿となった。この例は、先端技術が定量評価・市場展開を経て普及に至る日中間での一つの成功モデルのような気がする。

1.4.4 期待されるヘルスケアロボット像

様々な肉体的能力が低下することにより「寝たきり」の生活となって、自立した日常生活が送れなくなった高齢者には介護が必要となる。これまで介護の三点セットはベッドとトイレと風呂と言われていた。これらの機器は介護する者の立場で市場に導入されており、現在迄にロボット技術が有効に生かされていない分野である。人間に物理的に優しく対応することがロボット技術として実現が難しく、色々な研究開発の試みに終わっている。

また、高齢者の関節の硬直に対するリハビリロボットに関するフィールド評価も始まり効果を上げている。さらに、一人暮らしの高齢者のコミュニケーションを支援することを目的としたエンタテインメント系のロボットも、家電メーカーによる全国の色々な市町村で試験的導入の試みが始まっている。

介護ロボットについては、色々な試みが開始された状況であるが、コストと効果・リスクの定量的評価、導入における社会的支援策で苦戦している。このような状況の中で、リハビリテーション、スポーツの分野でのロボットの活躍（図1-4-7）が注目されている。米国MITメディアラボのヒュー・ハー教授⁵⁰は、10代で登山事故により両足切断したが自分の開発した義足で今では登山もしている。教授は両足義足のスーパーアスリー

図1-4-5 JOBA



図1-4-6 Rodeo Boy III



48 <http://panasonic.jp/p-db/category/fitness/joba-fitness/lineup-old.html> : ジョウバ

49 <https://www.youtube.com/watch?v=K6XFZu-zNAY> : ロデオボーイ

50 MIT-メディアラボ ヒュー・ハー HP (TED 2048 × 1365-matome-naver.jp)

トである南アのオスカー・ピトリウス選手⁵¹の支援もしている。ピトリウス選手は2008年北京・パラリンピックで陸上100m・200m・400mで3冠を成し遂げ、2012年ロンドン・オリンピック陸上1600mリレーで準決勝まで進出して2012年ロンドン・パラリンピック200mで銀メダルを獲得した。この流れは昨年のリオ・オリンピックにも引き継がれてドーピング問題とともに世界中に議論を巻き起こしている。ドイツのマルクス・レーム選手⁵²は2003年夏にウェイクボードの練習中の事故で右足の膝下を切断。しかし、08年からTSVバイエル04レバークーゼンに所属し09年のIWASジュニア世界大会走り幅跳びで優勝。翌年は同大会で走り幅跳びと100m・200mの3冠を達成し、2012年ロンドン・パラリンピック走り幅跳びで金、400mリレーで銅。2015年10月カタル・ドーハ・障害者陸上世界選手権で自身の走り幅跳び世界記録(8.29m)を大きく更新して(8.40m)優勝した。この記録はロンドン・オリンピック金(英国グレッグ・ラザフォード選手8.31m)を超えており、リオ・オリンピックへの出場を希望したが国際陸上競技連盟のセバスチャン・コー男爵の裁定は「時期尚早」であった。リオ・オリンピックの金メダル(米国ジェフ・ヘンダーソン選手8.38m)よりも

良い記録であった。(世界記録は1991年8月30日に米国マイク・パウエル選手が記録した8.95mが長く破られていない)。レームは義肢装具士のマイスター資格も持っている。2016年7月20日放映のNHKスペシャル「義足のジャンパーマルクス・レーム」(国立スポーツセンタ主催者)で光トポグラフィなどを駆使した色々な評価実験が報告されていたが、番組の最後に中澤公孝東大教授(元国リハ研究所室長)は「レームの義足はレームに身体化出来ている」と締め括っていた。一方2014年8月にサンパウロで開かれたIEEE BioRob14の発表の大半がニューロリハビリに関する内容で、殆どが光トポグラフィによる脳活動評価であった。この光トポグラフィというのは1992年から経産省・厚労省で組織された「技術研究組合医療福祉機器研究所」⁵³のプロジェクトで、光トモグラフィー(島津)とともに開発(日立、図1-4-7)されて製品化されたものであり、日本発の先端技術がこの分野の強力な武器となっている。日本でも最近、「再生医療とリハビリテーション研究会」という学術集会が盛り上がり、その会議でも光トポグラフィは大いに議論されている。自動車の運転支援にも大いに寄与している状況にあり、今後のロボット開発における有力武器と考えられている。

図1-4-7 研究者自身やスーパーアスリートとFNIRS
(MIT-ヒューバー・オスカーピトリウス・マルクスレーム)



TED 2048 × 1365-matome-naver.jp



<http://www.newsdigest.de/newsde/features/7522-markus-rehm.html>



640 × 449-jp.ibtimes.com



日立 光トポグラフィー ETG-7100

51 オスカー・ピトリウス HP (640 × 449-jp.ibtimes.com)

52 マルクス・レーム HP (www.markus-rehm-88.de)

(<http://www.newsdigest.de/newsde/features/7522-markus-rehm.html>)

53 技術研究組合医療福祉機器研究所「医福研ニュース」

1.4.5 医療ロボットの普及を阻害しているもの

これらのロボットを今後発展普及させて市場に導入するためには、使う人間とロボットを使った効果を定量的に評価する必要がある。さらに高齢者のモチベーションと効果の医学的評価など、研究課題は多いが、1.4.4の上記の技術は医療ロボットの普及をしっかりと支えるものである。

1.4.6 他の先進各国などでは

米国ではリタイアした在郷軍人の会が極めて強い政治力を持っており、福祉ロボットの研究・開発・普及に手厚い支援がなされている。しかし米国も最初からこのような状況が存在した訳では無い。ここに至るまで20年以上にわたって多くの人々の努力がなされて来た。国の研究費としてはDARPA予算が圧倒的である。

日本には日本特有の風土に根ざした文化とともに、世界をリードするロボット工学・産業のポテンシャルを持っていることが特徴としてある。中国は数千年に亘る歴史と文化技術がある。これらを融合することにより独自の解が得られると期待される。少子高齢化社会の到来を後ろ向きに捉えるのではなく、新文化・新産業の創生に対して絶好のチャンスが今目前に有るのだと考えるのが正しい方向・施策を打ち出すことになるであろう。

EUの先端技術開発はHorizon 2020計画に纏められている。Health care分野ではMinimal-invasive Surgeryが、Home care分野ではAssisting Elderly & Disabled Peopleを二本柱として取り組まれているが、域外からの参加は従来に比べ額が大幅に減少している。

中国国務院は2016年8月26日付けで「健康中国2030計画概要」を発表した⁵⁴。「健康中国2030計画」は「協力・共有、全国民の健康」を基本方針とし、ロボットについてはこれまでの生産中心だけではなく、医療保険、食品安全、レジャー・スポーツ、医療保険、養老、環境保護といった幅広い分野にわたっている。「健康中国2030」では、今後の健康関連の重点産業として、旧来の①医療機関を中心とする医療産業、②薬品、医療機器、医療消耗品を中心とする医薬産業、③「绿色食品」、サプリメントを中心とする健康食品産業、④健康診断、

健康コンサルティング、リハビリを中心とする健康管理サービス業、⑤養老産業——の5産業に加え、⑥健康分野におけるビッグデータの活用、⑦スポーツ産業の発展も国民健康水準向上の一環として挙げられている。現段階の中国経済では、投資が伸び悩む中、消費がより多くの役割を果たすことが期待されているようである。

1.4.7 日中共同研究の例

ロボットは医療・福祉の仕組みをどう変えるのか?の題目は、工学の領域から社会・経済・政治・文化など多くの視点で議論しなければならない問題である。先進各国の少子高齢化の問題は既に社会の色々な面にその影響を示し始めている。年金・保険・産業構造等は相互に深く関連しており、ロボットが救世主になれる千載一遇の機会である。

日本の大学でロボット研究が始まったのは1960年代からで、義手義足から人工の手足へと急速に広がった。その先駆的役割を果たしておられた早稲田大学の故加藤一郎教授(1994年6月19日逝去)は早くから特に上海交通大学との交流を図り、同大の自動化研究所名誉教授も務められていた。(加藤先生は生前、西安の兵馬俑の発掘現場を特別仕立ての列車で案内された最初の外国人であったことを大層自慢にしておられた。)

筆者は、本報告の手術支援ロボットに関して2011年3月10日より南方医科大の招聘教授として、華南理工大と某企業との共同研究を開始した。その後、上海交通大(曹其新教授)と早稲田大学との共同研究に着手し(2013年7月16日より上海交通大の招聘教授)、さらに2015年からは北京理工大黄強センター長教授(“知能ロボットとシステムイノベーションセンター”、早稲田大学で上述の故加藤一郎教授の指導で学位取得)との共同研究を開始した(2016年より北京理工大の招聘教授)。上海交通大とは単孔式内視鏡ロボット⁵⁵(図1-4-8 Single Port)、北京理工大とは穿刺ロボット⁵⁶(図1-4-9 Robotic needle insertion manipulator)と小型知能ロボット⁵⁷(図1-4-10 Smart surgical robotic system)について、下記①～④についての研究開発をその中身としている。

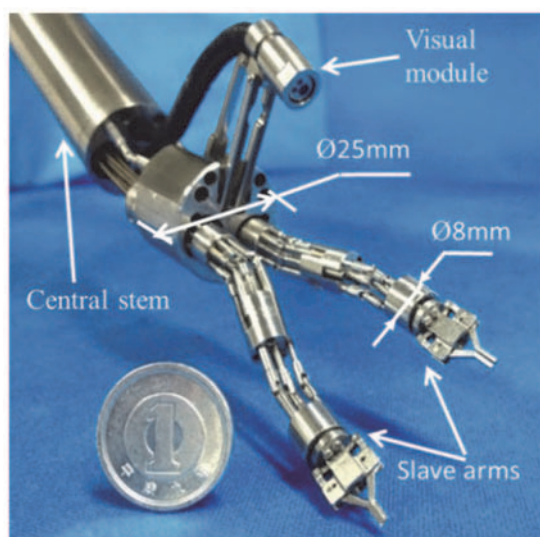
54 BTMU (China) 経済週報：2016年11月10日第324期 MUFG 中国投資銀行部中国調査室

55 Quanquan Liu, Yo Kobayashi, Bo Zhang, Makoto Hashizume, Masakatsu G. Fujie, "Development of a Dexterous Manipulator for Single Port Access Surgery", Computer Aided Surgery, ISBN 978-4-431-55808-8, pp.37-56

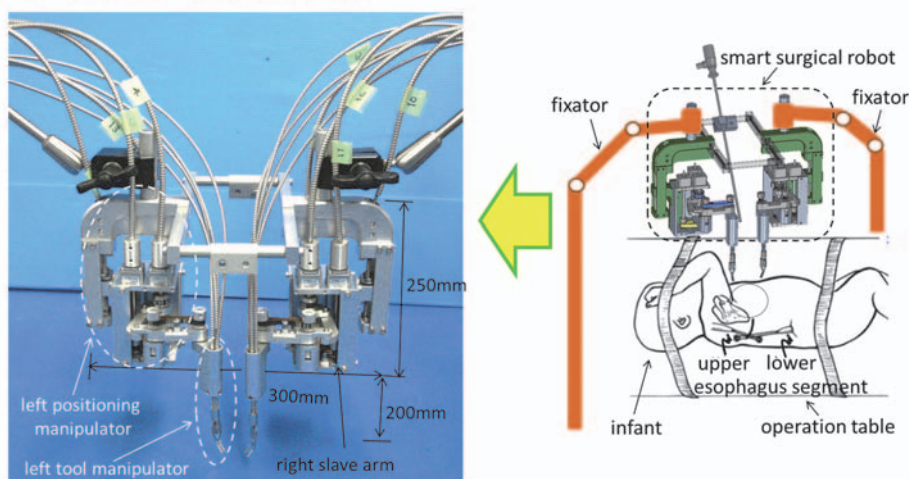
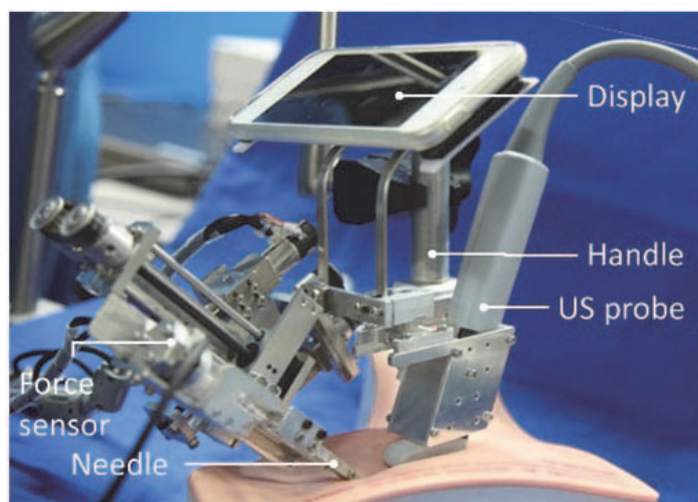
56 一柳健、張博、藤江正克、橋爪誠、"Development of a Needle Insertion Manipulator for Central Venous Catheterization", Medical Science Digest 10月号「ロボット支援技術の進歩」, 2014

57 Quanquan Liu, Yo Kobayashi, Bo Zhang, Masakatsu G. Fujie, "A Novel Smart Surgical Robotic System with Eye-hand Coordination for Surgical Assistance", Proceeding of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2014), pp.1175-1180 2014

図1-4-8 Single Port (単孔) ロボット

図1-4-9 Smart surgical robotic system
小児手術支援用ロボット

□ 小型ロボットの外観

図1-4-10 Robotic needle insertion manipulator
中心静脈穿刺ロボット

①手術ロボットの実現に向けて

—人間の体の物理特性の定量化—

機械力学では体内にそっと入れられる小さなロボットの研究が盛んだが、これらのロボットの知識は『人と物理的インタラクション』のための力学情報の獲得とその制御技術の構築である。それらの知識の基礎となるのは機械力学、材料力学、熱力学、流体力学、すなわち「四力学」と個人差に対応できる「制御」工学になる。これらが工学的手法⁵⁸で獲得できることが明らかになりつつあるので本稿で簡単に紹介する。ロボットが働く場は、人種、年齢、性別、疾患の程度に拘らず全身を対象として、ナビゲーション・ガイダンスの助けで的確に診断され、患部にアタックして的確な処置をすることが求められている。ここで課題となるのが「プリプリ」「ネバネバ」「ザラザラ」「コリコリ」などの擬音表現される量を生体数値モデルで定量的に表現することである。モデルによって再現した仮想的な手術環境においての手術シミュレーションにより、術中に生じる臓器組織の変形を術前に予測する。具体的には、術前の画像診断装置から得られた患者の肝臓の形状データから、有限要素法などの構造解析手法を用いて、生体の変形モデルを構築する。この際、生体モデルの各パラメータは、最初は若くて元気で健康な動物臓器から着手し、さらにさまざまな患者のパラメータが蓄えられているデータベースからの統計処理等を利用して決定していく。また、診断画像から画像解析等を用いることにより境界条件を特定し、モデルの境界条件として設定する。このような手法は機械学習とかディープラーニングと呼ばれている。構築したモデルを用いてシミュレーションを行うことで、最適な刺入位置・刺入角度を探索することができる。変形を予測する精度が治療の精度向上に直結するため、変形を正確に予測することが可能な生体モデルを材料力学の理論に基づいて構築することが重要となる。多くの研究グループにより、穿刺のプランニングに関する研究が実施されているが、評価の際にはシリコンやゼラチンなどの特性が単純な物質で作られたファントムを用いて実証している例が多い。しかしモデル化の対象となる臓器は生体材料であり、

ばねとダンパー記述できる粘弾性特性や応力と歪の非線形特性などを示す複雑な特性となることも分かって来た。近年大切開を必要とせず、患者への肉体的・精神的負担を低減できる肝臓がん治療などで広く使われてきている。がん針を刺し(穿刺)、熱を加えるラジオ波焼灼療法(RFA)という手技があるが、肝臓などの軟部組織に穿刺すると、がんの位置が変化し穿刺精度に影響を与えてしまう。また、熱でがんを焼灼するとき、周辺の血管の状況次第で熱の伝わり方や温度の上がり方が複雑で、定量的に焼灼範囲を把握することが難しく、がんを取り残す可能性もある。これらの研究結果から、実際の生体材料を用いたデータ取得や検証実験が必要となる。

②生体組織の変形モデルと加熱焼灼モデル

比較的単純な臓器組織として扱えることを仮定して、まず材料力学を武器に脳腫瘍の数値モデル化に着手する。その結果、上記で述べたような解が得られる見込みが立てば肝臓がんを対象に広い範囲での研究が展開できる。それから10年、乳房⁵⁹(図1-4-11、図1-4-12)、前立腺、肺臓、心臓、関節、血管、リンパ管、子宮内や生まれて間もない乳幼児の中など様々な挑戦が始まっている。中でも体表からの触診で診断することも多い女性の乳がんは、柔らかい乳房が穿刺時に形状がより変化しやすく、結果は医師の経験・技能に左右されると言われている。女性患者の身体・美容面や精神的負担を軽減するための、高度な診断システムと局所的な治療技術の確立が望まれている重要な課題である。一方加熱焼灼における熱力学・流体力学モデルの構築は、現在医師が既に治療を始めている保険対象の肝臓がんを対象とするのが望ましいと考えられる。RFA穿刺針で治療するのはがん細胞のみを加熱焼灼して壊死させることが重要であり、臓器に加える熱量の正確な供給が必須となる。加える熱エネルギーとがん細胞に吸収させるエネルギーの関係も前記の臓器変形モデルの材料力学により構築したのと同様に、熱力学の理論に基づいて理論的モデル式が求められるが、加える熱エネルギーと血流により奪われる熱エネルギーが熱となってがん細胞の温度を左右することから流体力学の理論も非常に重要となる。

58 Yo Kobayashi, H Watanabe, T Hoshi, K Kawamura, M G. Fujie, "Viscoelastic and Nonlinear Liver Modeling for Needle Insertion Simulation", Soft Tissue Biomechanical Modeling for Computer Assisted Surgery, Studies in Mechanobiology, Tissue Engineering and Biomaterials, Vol.11, 2012, pp 41-67

59 M. Tsukune, Y. Kobayashi, T. Miyashita, and M. G. Fujie, "Breast tumor phantom utilizing heat coagulation to mimic nonlinear elasticity", 27th International congress and exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery, PO12-00050.

図 1-4-11 Robotic needle insertion manipulator
針穿刺ラジオ波焼灼乳がん診断手術ロボット

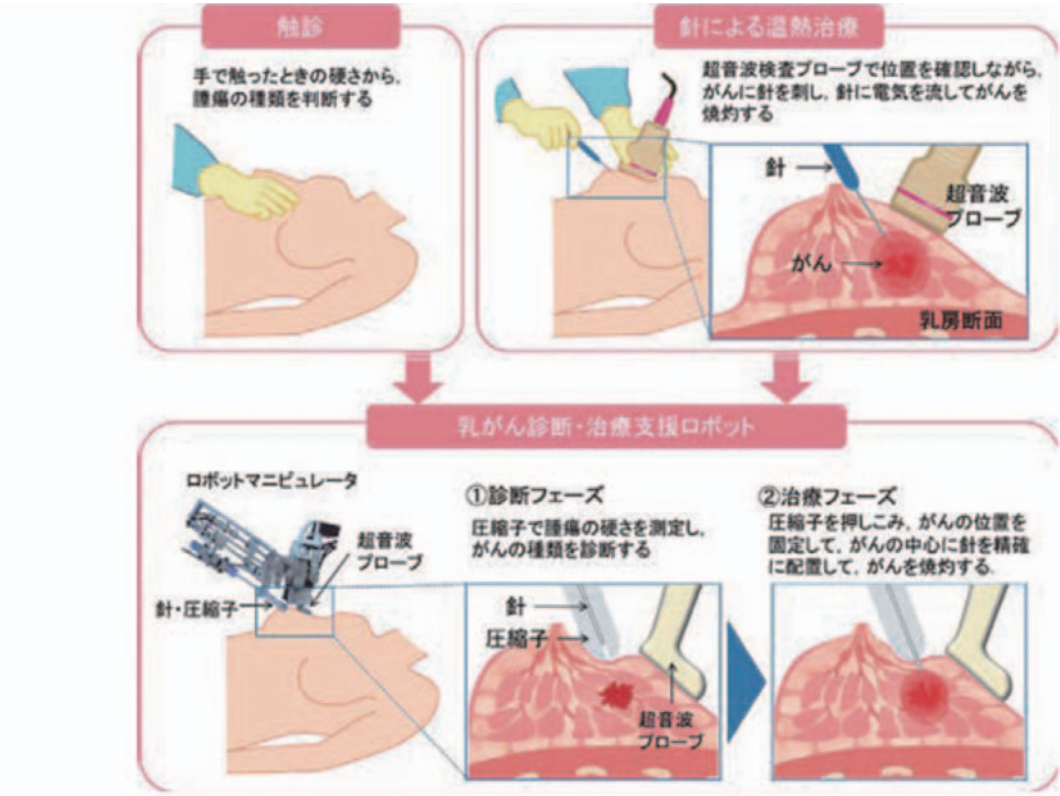
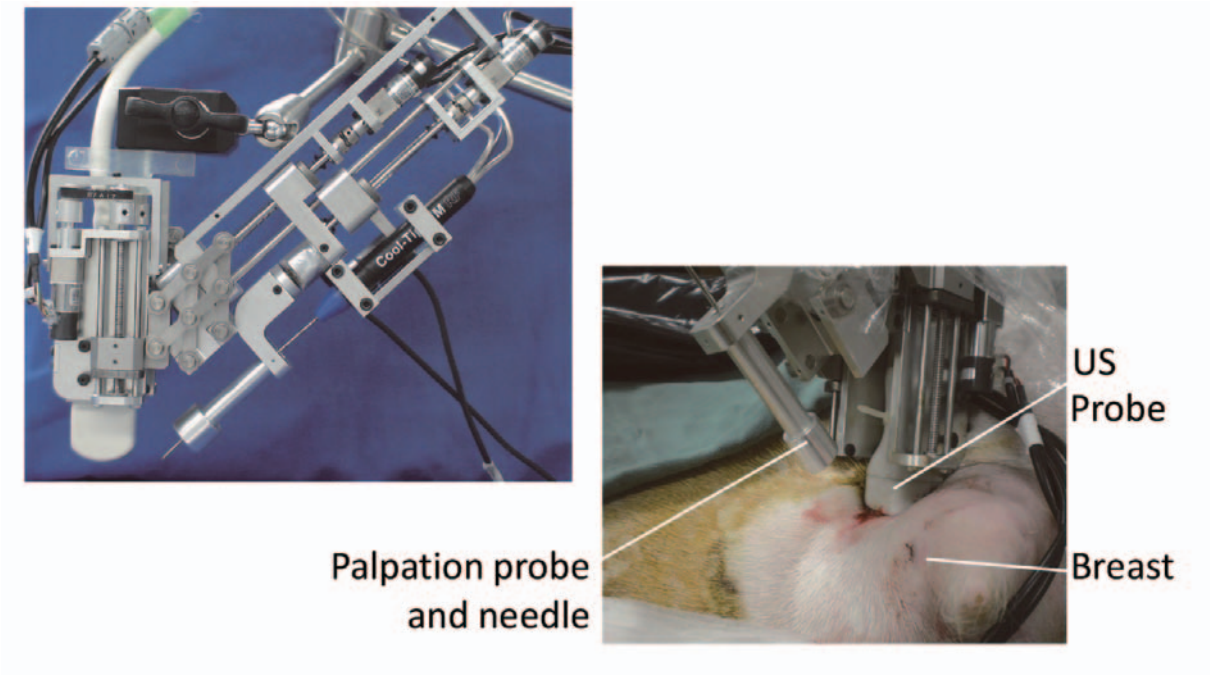


図 1-4-12 針穿刺ラジオ波焼灼乳がん手術
実験装置と動物臨床評価 (山羊)



③個人差対応制御手法

臓器物性モデルを規範の針術前軌道生成、針術中刺入角度、位置の術中修正臓器の硬さなどの基礎特性は、患者の年齢、性別、病歴、日常環境といった要素に関連して、肝臓の硬さ、境界条件等に非常に大きい個人差があり、それらは術前に計画をたてる段階では特定することができない。これら患者の個人差等に起因して、術前計画で立てた生体モデルにはモデル化誤差が存在し、術前計画による臓器の挙動と実際臓器の挙動との間には隔たりが生じる。そこで、医師は術中に得た情報と経験により獲得した臓器特性に関する知識を照らし合わせ、術中に計画を修正しながら治療を行っている。たとえば穿刺の際には、医師は触覚

により肝臓に与える力を認識し、臓器の硬さを術中に推定しながら穿刺を行っている。そこで、患者の個体差などに起因するモデル化誤差に対応するために、レベルの高い上記スキルのプロセスを術中に得られる力などの情報をコンピュータが高速演算で解析することで、生体モデルのパラメータや境界条件を修正する手法を構築することにした。さらに、同定したパラメータおよび境界条件を用いて、術前段階で決定した針の刺入角度・刺入位置を術中に時々刻々修正する手法⁶⁰ (図1-4-13)を構築して動物実験で効果を出すことが出来た。この手法は臓器に対する手術支援に係わらず、ロボットによるリハビリ支援 (図1-4-14) にも全く同じアプローチが可能である⁶¹。

図 1-4-13 患者個人差対応制御

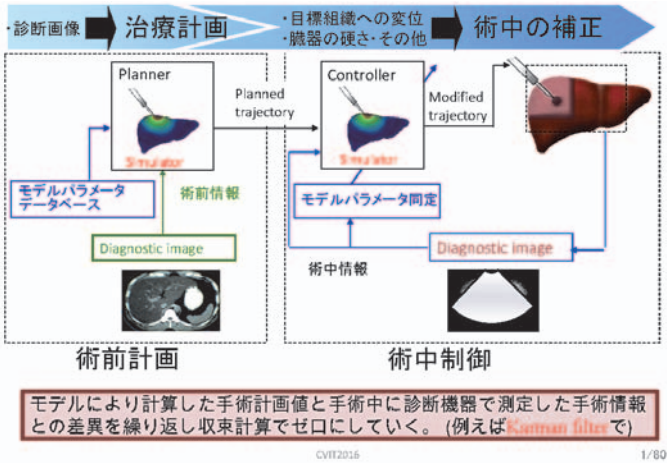
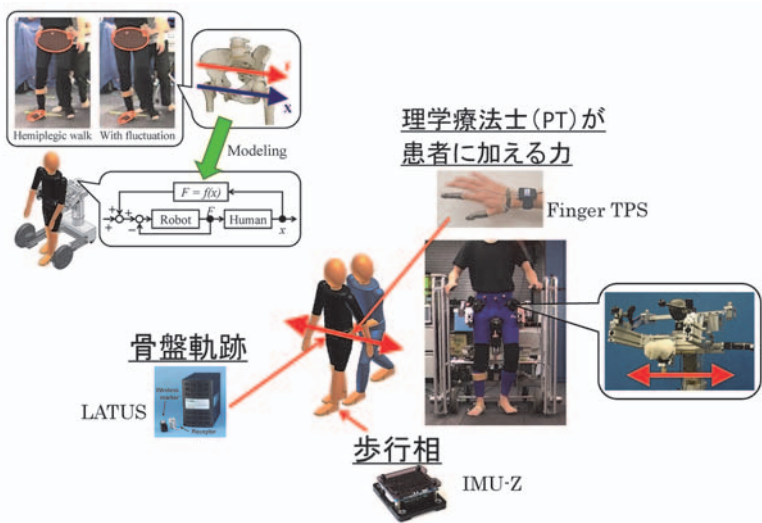


図 1-4-14 歩行リハビリ支援ロボット



60 M. Tsukune, Y. Kobayashi, T. Miyashita, and M. G. Fujie, "Breast tumor phantom utilizing heat coagulation to mimic nonlinear elasticity", 27th International congress and exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery, PO12-00050. 21. Takeharu Hoshi, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura and Masakatsu G. Fujie, "Developing an Intraoperative Methodology Using the Finite Element Method and the Extended Kalman Filter to Identify the Material Parameters of an Organ Model", in Proceeding of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp469-474, 2007

61 小峯悠司, 渡邊峰生, 井上淳, 中島康貴, 川村和也, 貴嶋芳文, 豊永勇樹, 手島健夫, 東祐二, 湯地忠彦, 藤元登四郎, 藤江正克, "片麻痺患者の骨盤動作アシストを行う歩行訓練ロボットの開発", 生活生命支援医療福祉工学系連合大会 LIFE 2012 講演前刷, 2012年11月

④今後の展望

一東洋医学と患者の「痛み」「痒み」の定量化へー

体内に簡単に入れられる小さなハードウェアとして東洋医学の鍼灸治療がある。東洋医学が長い実績をもっているとして一般に考えられていたのが最近覆された。NHKスペシャル「完全解凍！アイスマン～5000年前の男は語る～」(2013年3月24日)では、紀元前3300年頃の遺体がスイスアルプスで発見され腰椎すべり症があったこと、さらに背中などに残された跡と胃脘・三焦脘など腰痛に効果のあるツボが一致していることが放映された。患部にピンポイントでアタックして的確な処置をするロボット技術以外は、すでに人類は鍼治療で手に入れており、日本でも針穿刺に肝臓がんのRFA治療はすでに保険収載により広く普及していることは既に述べた通りである。2015年バルセロナで開かれたコンピュータ支援画像治療の国際会議(CARS 15)では多くの肺臓がんに対する臨床例の発表があり、ロボットの登場への期待が強く感じられた。

同じように乳がん⁵⁹、肺臓がんでも穿刺治療が注目されている。乳がんは体表からの触診で診断すること多いが、柔らかい乳房は穿刺時に形状がより変化しやすく、結果は医師の経験・技能に左右される。この問題解決を目的に我々は乳がんの診断・治療支援ロボットの開発、実証実験に力を入れている。女性患者の身体・美容面や精神的負担を軽減するための、高度な診断システムと局所的な治療技術の確立が望まれている。

1.5 医工連携における取組

俞 文偉

(千葉大学フロンティア医工学センター教授)

1.5.1 背景

中国における医工連携の始まりは、1977年、中国協和医科大学の生体医工学(Biomedical Engineering、中国語：生物医工学工程)専攻の創立だと考えられている。1979年、理工系有力校の清華大学は生体医工学部を設立し⁶²、同じ年に、上海交通大学は上海第一医学院と共同で、生体医学(電子学)デバイス専攻(中国語：生物医学(電子学)儀器專業)を立ち上げた⁶³。そして、1980年に、

全国生体医工学会⁶⁴が設立され、以降、生体医工学組織が各機構内医工連携のプラットフォームの役割を果たしてきた。

初期でありながら、活発な医工連携活動が行われていた。例えば、上海民政局の調整のもと、上海交通大学、上海義肢製作所(中国語：上海假肢厂)、上海第一医院、上海師範学院(生物系)からなる上海義肢科学研究協力グループが設置され、前腕義手の共同研究開発が積極的に行われた。その中、上海交通大学の生体医学(電子学)デバイス専攻は、研究開発のかなめであった。そのグループの努力によって、1982年、臨床応用できる3自由度筋電制御前腕義手が開発できた⁶⁵。

2000年ごろから、中国教育部(注：日本の文部科学省相当)と各地方政府の協力で、有力重点大学と独立の医学院・校、あるいは病院との大規模合併：強-強合併が行われ、北京大学、上海交通大学、浙江大学、復旦大学、中山大学、四川大学、中南大学、華南科技大学などは強力な医学院を持ち、名実とも総合大学となった⁶⁶。その動きによって、大学における医工連携活動が新たなステージに入ったとも言える。

近年、少子高齢化の急速な進展で、医学の役割が一層重要になっている。医学と医学以外の学問分野との有機的連携により、新しい医療の展開と発展を図ることが時代の要請となっている。その中、政府、研究機関、企業は、医工連携の重要性を認識し、様々な取り組みがなされている。一方、医用ロボットは、手術支援、リハビリテーション、機能回復、介護のために開発され、活用され始めている。センシング機能を持つ診断、治療、ヘルスケア機器・デバイスは、医用ロボットの範疇に含む場合があるため、医用ロボットは、医工連携の一つの重要な研究開発テーマ、あるいは成果物であると考えられる。次節から、2005年以降、その広義的医療ロボットと関係するいくつかの医工連携の取り組みを紹介する。

なお、中国語では、医工連携に近い意味を持つ言葉は、医工交叉、医工合作、医工結合など複数あるが、特に明白な違いがないため、本文では、参考文献として引用する中国語資料にそれらの異なる表現が用いられても、医工連携の言葉を使用して表現する。

62 <http://www.med.tsinghua.edu.cn/Person?method=101¶m=124>

63 <http://bme.sjtu.edu.cn/Web/content?w=36&p=1>

64 <http://www.csme.org/main/index.htm>

65 Si Yang, Hu Tian-pei, Gao Zhong-hua, Chen Zhong-wei, Rehabilitation Engineering in Shanghai Jiaotong University, International Symposium on Rehabilitation and Clinical Rehabilitation 2002.

66 <http://www.shsmu.edu.cn/default.php?mod=c&s=ssb1b1ba4>

1.5.2 現状と取り組み

本節では、政府主導、あるいは、大学が政府の協力を得て行う医工連携の取り組み、および出口戦略を意識した医工連携の取り組みを概説する。

(1) 全国的取り組み

2000年ごろから行われた理工系大学と独立医学院・校の強－強合併の動きは近年も続いており、理工系大学が医科院・校、あるいは病院を吸収合併し、さらに、医学院を設立する企画が複数なされている。大学規模の拡大と入学学生の質的向上が主要目的とされているが、大学における医工連携を促進する一つの要因にもなっている。

2005年以降、政府が急速に進んでいる少子高齢化の対策として、健康、福祉、リハビリテーションシステムの新規研究開発にさらに力をいれ、医工連携関連の研究開発環境の整備に積極的にのりだしている。一例としては、国立リハビリテーション・補助器具研究センター(National Research Center of Rehabilitation and Technical Aids、中国語：国家康復輔具研究中心)の設立である。同センターの前身は、1979年5月に設立された中国民政部義肢科学研究所である。中国国务院(注：日本の内閣に相当)が有識者(11名の中国科学院・工程院院士)の共同提案を受け入れ、トップダウンでその義肢科学研究所の規模拡大、格上げを決定づけ、2006年3月にその研究開発施設が開所された。初期投資は3億人民元に達し、国立リハビリテーション・補助器具品質監督検査センター(国家康復輔具質量監督検査中心)、附属リハビリテーション医院(中国語：附属康復医院)、および多くの重点実験室が併設されている。従来の義肢、義装具の研究開発から、臨床研究、臨床応用を前提とするリハビリテーション機器システム全般の研究開発に大きく展開した⁶⁷。

また、中国国务院直属の障害者ワーキンググループ(中国語：国务院残疾人工作委员会)管轄の中国障害者联合会(China Disabled Persons' Federation、中国語：中国残疾人联合会)も、様々な研究開発機関に協力して、リハビリテーション・補助機器システムの使用や管理人材の育成を行っている⁶⁸。

さらに、中国科学院も地方行政とともに、複数の生体医工学研究センターを立ちあげている。例えば、2006年2月に設立された中国科学院深圳

先進科学院(ShenZhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Science、中国語：中国科学院深圳先進技術研究院)⁶⁹は、すでに多くのヘルスケア・健康関係の国家プロジェクトを引き受け、研究成果を出している。また、中国科学院寧波工研院慈溪生物医学工程研究所：(Cixi Institute of Biomedical Engineering, CNITECH, Chinese Academy of Science、中国語：中国科学院寧波工研院生物研究所)は、2013年10月に設立された⁷⁰。

(2) 大学における取組

各総合大学における生体医工学院(部)、医学院(部)の設立は、医工連携のきっかけにはなったが、必ずしも医工連携の実質的展開、さらに、質の高い医工学研究開発を保証するものではない。この点については、越えなければならない学問間の垣根と、臨床評価、臨床応用に耐えられる研究開発水準に到達するための困難に起因すると思われる。

医工連携は、医学、特に臨床医学の進歩にとって、欠かせないとの認識のもと、各大学は、医工連携を促進する仕組みづくりに取り組んでいた。仕組みの一つは、教授サロンであり、医と工の研究者が一堂に会して、それぞれの分野の紹介、議論を行うことで、問題意識の共有や、ニーズとシーズのマッチングを図る。後に、そのような会は、「医工お見合い」とも呼ばれるようになった。

もう一つの仕組みは、数校が打ち出している学内向けの医工連携基金(中国語：医工交叉基金)である。臨床応用にとって意義があり、独自性と市場進出の可能性が高いキーテクノロジー、および製品の開発を目指す医と理工系の研究者チームを重点的に支援するものである。支援のカテゴリーは、大学にもよるが、一般的に、重点項目、一般項目(中国語：面上項目)、若手項目(青年項目)および産業化項目(中国語：産業化項目)が設けられる。精密医療研究(中国語：精准医学研究)、医療診療デバイスと設備の研究開発(中国語：医学診療儀器与設備研發)、生体医用材料研究開発及び組織器官修復代替(中国語：生物医用材料研發与組織器官修復替代)、デジタル医療(中国語：数字化医療)、環境と公共健康(中国語：環境与公共健康)、臨床中医薬イノベーション研究(中国語：臨床中医薬創新研究)など、その時代の先端医学、工学融合的テーマが支援の対象となる。

67 National Research Center for Rehabilitation Technical Aids: <http://kffj.mca.gov.cn/>

68 China Disabled Persons' Federation: <http://www.cdprf.org.cn/>

69 中国科学院深圳先進科学院 http://www.siat.ac.cn/xshd2016/201706/t20170605_4807720.html

70 中国科学院寧波工研院慈溪生物医学工程研究所：Cixi Institute of BioMedical Engineering, CNITECH, CAS: <http://cibe.nimte.ac.cn/about.html>

もう一つの重要な仕組みは、医工連携拠点の創設である。典型例としては、上海交通大学のMed-X学院である。上海交通大学は2005年、上海第二医科大学との強－強合併以降、医工、医理の学際分野の発展を戦略目標の一つとして見据えてきている。2007年11月に、その戦略的目標を実現する重要な施策として、学際的研究、トランスレーショナル研究のイノベーション拠点として、Med-X 研究院が創立された⁷¹。

中国教育部、上海市、そして学内各組織の協力で、上海Med-X 重大疾病検査設備工学技術研究センター(上海市科学委員会と共同企画、中国語：上海Med-X 重大疾病検測設備工程技術研究中心)、上海交通大学教育部デジタル医工学研究センター(中国教育部共同企画、中国語：上海交通大学教育部数字医学工程研究中心)、生体医学デバイス研究所(中国語：生物医学儀器研究所)、上海交通大学リハビリテーション工学研究センター(中国語：上海交大康復工程研究中心)、上海交通大学ナノ生物医学研究センター(中国語：上海交大納米生物医学研究中心)など、多くの研究開発センターが設置された。さらに、Med-X 研究院は、大学の附属病院である瑞金医院、仁済医院、上海市第六人民医院、上海市精神衛生センターと、共同研究センターを立ちあげている。なお、これらの病院は、上海交通大学の附属病院になる前、すでに知名度の高い病院であった。これらの病院は、共同研究センターのMed-X－瑞金医院小動物PET/CTセンター、Med-X－仁済医院幹細胞研究センター、Med-X－上海市第六人民医院代謝性疾病多組織学研究センター、Med-X－上海精神衛生センター神経精神画像センターの設立で、特定の医学研究分野において、より高い研究開発のポテンシャルを持つようになった。Med-Xにとっても、臨床研究の現場との連携関係が一層確固たるものとなった。このように、研究開発の基盤を整えたことで、多様な人材を多く引き付けることもできた。中国の人材導入最上位プログラム(千人計画、長江学者など)レベルの人材が国内外からMed-X 研究院に集まり、専任職員として、各センターにおいて展開される国際レベルの研究プロジェクトをけん引することとなっている。さらに多くの国内外の著名研究者が兼任研究員として、共同研究に参加している⁷¹。

2011年4月8日、国際的トップ水準の医工学教育・研究組織を目指し、Med-X 学院は、同大学の元生体医工学院と統合した。統合後の新しい生体医工

学院は、Med-Xで構築された医工連携研究チームにおいて、医工学研究分野で国際的に活躍できる若手人材を育成し、継続的發展を実現する。近年の研究成果としては、競争的資金獲得数、高インパクトファクター国際ジャーナル誌掲載論文数の増加のほか、複数医療診断、治療技術の実用化、企業とのリハビリテーションロボット共同実験室の創立があげられる⁷¹。

医工連携拠点形成の動きは、まだ続いている。最近の例では、北京航空航天大学(以下北航)、中関村サイエンスパーク開発グループ(Zhongguancun Development Group Limited by Share Ltd、中国語：中関村發展集団)、北京市房山区政府の共同で、2015年10月に創立した北航医工連携イノベーション研究院(北航医工交叉創新研究院)である⁷²。同研究院は、北京航空航天大学理工系の高いポテンシャル、北京市内国内トップレベルの病院などの医療資源、および北京市の地域的優位性を活かして、先端科学技術領域の開拓、メガサイエンスプラットフォームの創設、研究成果の実用化・トランスレーショナル研究の極力促進を目指したものである⁷²。設立時、既存の北航ビッグデータと脳機能ハイテクノロジーイノベーションセンター(中国語：大数据科学与脑机智能高精尖创新中心)、北航生物医学工程ハイテクノロジーイノベーションセンター(中国語：生物医学工程高精尖创新中心)、および北航－首都医科大学ビッグデータ精密医療ハイテクノロジーイノベーションセンター(中国語：大数据精准医療高精尖创新中心)を統合し、さらに国際的に活躍している若手研究者を多く募集し、北京市政府から、毎年億元単位の予算支援を受け、人員、設備、施設を大きく拡充した。

(3) 出口戦略と産学連携

中国における医工連携は、最初から官民一体で常に出口戦略を意識しているのが特徴である。以下に、基礎研究の成果を臨床現場への円滑な橋渡しを主な目的とするトランスレーショナルリサーチに関わる取り組みと、製品化を加速させるための産学官連携を紹介する。

① トランスレーショナルリサーチ

トランスレーショナルリサーチ(中国語：転化医学)のコンセプトは、2003年、NIHのロードマップにおいて系統的に述べられ、以降、急速に医学界に浸透してきた。基礎科学の研究成果を迅

71 上海交通大学Med-X 研究院：<http://bme.sjtu.edu.cn/Web/teacher?w=47&p=3>

72 北京航空航天大学医工学研究センター：<http://gj.buaa.edu.cn/info/1052/1184.htm>

速に臨床応用可能な技術に転化させると同時に、臨床で収集したデータ、臨床のニーズを基礎研究にフィードバックし、研究の深化、臨床問題の解決に貢献することが期待される⁷³。医学と工学の有機的融合の促進は、基礎研究と臨床応用、産業と学術研究間の橋渡しにとって不可欠であり、トランスレーショナルリサーチの重要な内容である。

中国国内では2007年、北京協和医院が国内初のトランスレーショナルリサーチ会議「第一回国際トランスレーショナル医学大会（中国語：第一屆國際轉化醫學大會）」を開催した。2007年11月、上海交通大学がトランスレーショナル医学研究センターを設立した。以降、国内の主要大学、研究機構、病院などが多くのトランスレーショナル医学リサーチセンターを立ちあげ、正確な数値データはないが、その総数は、100以上にも上っていると思われる⁷⁴。

2012年5月10日、中国－ハーバード大学医学院トランスレーショナル医学共同研究センター（中国語：中国-哈佛医学院轉化醫學聯合中心）が創設された。ハーバード大学医学院は、トランスレーショナル医学の先駆機関であり、2008年にNIHの巨額予算（1.175億米ドル）を獲得し、戦略的に展開して、すでに多くの関連成果を収めていた⁷⁴。同共同研究センターの設立は、中国トランスレーショナル医学研究と当該分野の国際基準に照準を定め、強い国際連携ができたことを意味する。設立後、ハーバード大学医学院、中国医学科学院北京協和医学院、上海交通大学医学院、復旦大学医学院の研究者による、多国、多機関、多分野の共同研究開発チームが組織され、糖尿病、がん、免疫疾患の発病メカニズムの理解、診断、治療、予防のための研究が行われている。

また、上海国立トランスレーショナル医学センター（中国語：上海國家轉化醫學中心）は、政府から10億元の投資を受け、2014年に上海交通大学瑞金医院において着工し、2017年に完成する予定となっている。これは、中国科学技術発展のための選択と集中方針が反映されるものと思われる。その方針とは、政府が「第12次5ヵ年」計画期間（中国語：“十二五”時期）において、ニーズが高くかつ比較的国際的競争において優位に立つことが可能な16分野を選択し、集中的に支援する方策であ

る。トランスレーショナル医学もその16分野のうちの一つに選ばれている。センターは、脳卒中、代謝性疾患およびがんの診断治療をターゲットとし、各領域のトップ研究者を募集し始めている。実験室のほか、トランスレーショナル医学のための病棟（300床）も計画されている⁷⁴。

②企業や投資会社の参入

a) 京東方技術グループと北航の協力

企業も積極的に、医工連携の産業化に参入しようとしている。2017年5月に、IoT技術・商品・サービス提供大手の京東方技術グループ（<http://www.boe.com/>）と前述の北京航空航天大学（以下北航と呼ぶ）間で戦略的協力協定が結ばれ、両組織は力を合わせて国際影響力があり、サイエンスパークと都市機能が融合した国際医工学イノベーション拠点「中国医工シリコンバレー」の形成を目指す。具体的には、国際トップレベルの戦略的パートナーにも参加を呼びかけ、それらの戦略的パートナーとともに、それぞれの技術ポテンシャルを活かし、モバイル医学、再生医学、人工知能、生物材料、遺伝子工学などの産業を中心に、国際的一流の医工連携研究教育イノベーション拠点を構築し、健康医療イノベーション産業エコロジーを確立することで、臨床医学、医学全般の発展に貢献する⁷⁵。

b) 国家発展投資健康産業投資有限公司と国立リハビリテーション・補助器具センターとの協力

国家発展投資健康産業投資有限公司（国投健康産業投資有限公司）は、国有企業国家開発投資会社（State Development & Investment Corp.）が高齢者ケアおよび健康産業を促進するために創立した投資会社である。

2017年7月13日、前述した国立リハビリテーション・補助器具センターと戦略的パートナーとなった。両組織が、高齢者ケア産業、医療健康とリハビリテーション補助機器産業などにおいて全面的に協力し、国家レベルの高齢者ケアと健康産業プラットフォームの構築を目指す⁷⁶。協力の内容はリハビリテーション・補助機器システムの研究開発、イノベーションにとどまらず、科学技術研究成果のインキュベーションおよび産業化、品質

73 CUI Zhi-Wen, XIA Ye, SUN Xiao-Juan, CAI Zhi-Ming, Domestic and foreign development process and the prospect of translational medicine, Chinese Bulletin of Life Sciences, pp. 316-320, Vol. 24, No. 4, 2012, in Chinese.

74 TIAN Yue, ZHAO Zhi-gang, The Development of Translational Medicine and Translational Medical Research Institutions, pp. 15-18, 薬品評価, Vol. 12, No.2, 2015, in Chinese

75 Boeと北京航空航天大学との協力協定に関するNews: <http://www.boe.com/portal/xinwenzhongxin/gongsixinwen/xinwenxiangqing/dynamic/pxgxd2704.html>

76 国立リハビリテーションと補助器具センターニュース <http://kffj.mca.gov.cn/article/gzdt/201707/20170700892011.shtml>

検査機構の設立、人材育成、補助器具金融と情報プラットフォームの構築などにも及ぶ。

協力の最初のランディングプロジェクトは、国立リハビリテーションセンター秦皇島医療・ケア・リハビリテーションセンター、および国立リハビリテーションセンター病院秦皇島プラントである。狙いは、全国範囲内で普及できる秦皇島モデルの創出である。

c) 産業技術イノベーション聯盟

2013年12月、上海リハビリテーション補助器具、および高齢福祉産業技術イノベーション聯盟が創設された。この聯盟は、コンソーシアムに近いコンセプトではないかと思われる。初期の聯盟は、上海交通大学、上海交通大学附属第九人民医院、華山医院、新華医院、華東医院、陽光リハビリテーションセンターなど13の研究機構、および7つの企業からなる⁷⁷。主旨としては、利益とリスクの共有という大原則のもと、企業、大学、研究機関、病院間の戦略的パートナーシップを実現し、共同研究開発において、互いの技術ポテンシャルを活かすことで、リハビリテーション補助器具、および高齢福祉機器研究開発におけるボトルネックを打ち破り、産業を高速に発展させることである。数年の発展によって、現在中国国内、アメリカ、日本、韓国から計70以上の企業、研究機関が新たに参入することとなった。

この間、科学技術イノベーションのアイデア、臨床ニーズ、そして、企業技術ニーズを聯盟内に広く募集し、厳選した結果、「ダブルモード車いす先頭部」、「上肢外骨格神経リハビリテーションロボットの開発」⁷⁸、「上肢下肢連動リハビリテーションロボットの研究開発」、「ケア看護ベッドと同伴ロボットシステム」などの8件の共同インキュベーションプロジェクトを立ち上げた。担当メンバー機関によって、研究開発を進めているところである。さらに第二回のニーズ募集も行っているところである。さらなる発展を目指して、聯盟規模の拡大に伴い、以下の分科会：教育拠点専門委員会、産業拠点専門委員会、医療拠点専門委員会、3Dプリンティングリハビリテーション補助器具専門委員会、デジタル出版専門委員会が立ち上げられ、それらの分科会は、それぞれの専門の視点

から、聯盟の医療、教育、研究、産業に助言を行う。

同時に、学術影響力を拡大するために、聯盟は、積極的に教育部承認の国際リハビリテーション医学と工学大会 (CRME)、および国際リハビリテーション医学と工学フロンティア技術の橋渡しに関する会議 (RTR) を主催し、福祉・リハビリテーション分野の研究者、企業家、産業関係者間の交流、相互理解、資源共有、共同発展のためのプラットフォームの構築に努めた。国内外リハビリテーション・福祉関係専門家の講演会や技能講習会は、全国各地から参加者を引き寄せ、国際学術交流と研究協力に新たな機会をもたらした。当面は、早急に利益共同体となることで、聯盟のコンセプトと展開方法を確立する段階にあると思われる。

d) 低侵襲医療器械社 (中国名：微创医療器械公司) によるイノベーション聯盟

民間企業の微创医療器械社は1998年、アメリカからの帰国学者によって創立された会社である⁷⁹。同社は2010年、上海理工大学、上海長海医院、上海長征医院、上海瑞金医院、および数社に呼び掛けて、上海市「低侵襲介入とインプラント医療器械産業技術イノベーション戦略聯盟」を結成した⁸⁰。

同聯盟の狙いは、上海市内医療機器産業リソースの統合、国家戦略産業と地域主力産業の両方からくる技術イノベーションのニーズとマーケットの需要に従い、企業を主体とする産学連携と産業技術革新メカニズムを模索し、確立することである。コア産業の競争力、生体医薬産業技術のイノベーションチェーンの最適化、生体医薬産業技術業界全体レベルの向上を目指す。

同社は、大学と共同先端手術機器システムの研究開発を行うと同時に、病院などと臨床研究を実施し、さらに新製品の普及活動も推進している。具体的には、上海交通大学と「介入医療器械材料研究開発センター」を設立し、国家重点課題を引き受け、問題解決の過程で、将来の製品開発のための基礎研究の成果を蓄える。さらに、上海交通大学において、奨学金を設立し、低侵襲介入医療機器および材料分野の人材育成にも尽力する。上海理工大学とも、人材育成計画を展開している。

同時に同社は、低侵襲機器を用いる治療の上位

77 上海リハビリテーション・補助器具と老年福祉産業技術イノベーション戦略聯盟 (中国語：上海康復輔具与老年福祉産業技術創新戰略聯盟)：
<http://news.sjtu.edu.cn/info/1022/170630.htm>

78 Lin Liu, Le Xie, Yun-Yong Shi and Bing-Chen An, Generation of a Movement Scheme for Positive Training, Biomechanics: Harmonizing Mechatronic Systems with Human Beings, Front. Neurosci. doi: 10.3389/fnins.2017.00096

79 Micro Port: <http://www.microport.com.cn/cn/index.php>

80 低侵襲とインプラント医療器械産業技術イノベーション聯盟 (中国語：上海成立微创介入与植入医療器械産業技術創新戰略聯盟), Chinese Journal of Medical Instrumentation, p. 269, Vol. 34, No. 4, 2010, in Chinese

医療機構である上海中山医院、上海長海医院、および、北京阜外心血管病医院と戦略パートナーとなり、それらの機構で、低侵襲機器の臨床実験を行うことで、新製品の中国市場への進出を加速させる。

ほかにも、企業が主導する上海電気生理・リハビリテーション聯盟⁸¹、上海ビックデータ産業イノベーション戦略聯盟⁸²がある。

1.5.3 まとめ

中国の医工連携は、中央政府、地方政府、各大学、企業が各種方策を打ち出して、着実に進めてきた。生体医工学院・部を中心とした初期の連携から、医工学拠点形成による有機的融合に展開している。若手医工学研究者の育成にも力を入れるようになった。さらに、出口戦略として、国の重点支援戦略分野にも選ばれたトランレーショナル医学研究、産業化に関連した取り組みも多くなされ、これから医用ロボット、および医用機器システムの臨床応用や産業化の成果が多くあげられるであろう。

1.6 義肢の研究開発の現状

横井 浩史

(電気通信大学脳科学ライフサポート研究センター教授)

姜 銀来

(電気通信大学脳科学ライフサポート研究センター准教授)

1.6.1 義肢について

義肢は、失った身体機能を補助・代替するものである。障害者が、義肢を自身の身体の一部として受け入れ、自己の残存機能と融合させることでQOL (Quality of Life、生活の質) を向上させられるような仕組みを構築することが義肢の研究開発の目的である。そのため、義肢の研究開発はロボット技術の範囲を超え、生体医工学、生理学、神経科学、心理学など複数の分野に跨がる学際的な分野になる。義肢の研究開発能力は、ある程度国の科学技術の発展状況を反映するものともいえる。また、障害者は一般的に貧困に陥りやすく、社会全体において弱者と位置づけられるため、義肢の需要や使用状況は経済発展のレベルや社会福祉制度に強く依存する。そのため、義肢の普及状況及び普及している義肢の機能は、社会全体の経済状況と福祉制度の健全性を反映するものとなる。

中国の義肢の研究開発は、アメリカ、ドイツ、日本などの先進国より遅れているが、社会全体が豊

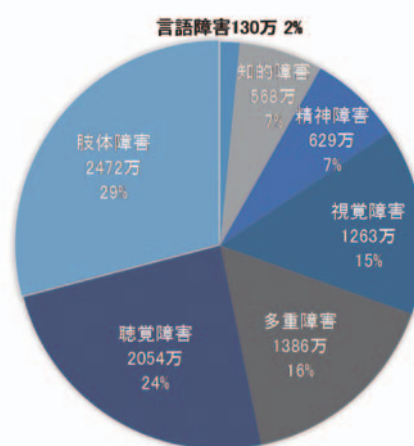
かになるにつれ、膨大な人口に比例した障害者の需要を背景に、近年目覚ましい進展を遂げている。特に2000年以降、中国経済の著しい発展に恵まれ、科学技術への投資や人材育成、海外研究機関との共同研究の推進、外国専門家の招聘、在外中国研究者の帰国の促進などの政策を通して、世界最先端との差が小さくなりつつあり、特定の領域においては世界トップレベルに達しているといえる。

1.6.2 中国障害者の状況と義肢の需要

(1) 障害者に関する統計

中国の障害者状況に関する調査は1987年と2006年の計2回行われ、2006年の調査により推定された障害者の人数は8296万人で、このうち肢体障害者は2412万であるとされる (http://www.cdpf.org.cn/sjzx/cjrgk/200804/t20080407_387580.shtml)。同じ2006年に関して日本の厚生労働省が発表した日本の統計によると日本の障害者数は348.3万人で、このうち肢体障害者は176万人であるとされ、中国の障害者の人口比率が日本より高いことがわかる。一方、2010年の中国国勢調査により推定された障害者の人数は8502万人となっており、これは主に人口の高齢化に起因した生体機能の減弱、怪我、認知機能障害による増加と考えられている。種類別の障害人数を図1-6-1に示す。肢体障害者が最も多く、2472万人で、全体の約3割を占めている(中国残疾人(障害者)連合会 = http://www.cdpf.org.cn/sjzx/cjrgk/201206/t20120626_387581.shtml)。

図1-6-1 種類別の障害者数と割合

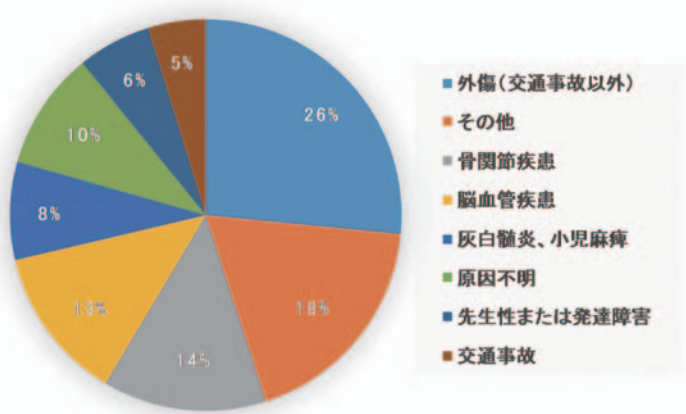


出典：中国残疾人(障害者)連合会

81 上海ビックデータ産業技術(中国語:上海大数据産業技術)イノベーション戦略聯盟正式にスタート Software Industry and Engineering, 産業要聞欄, No. 6, 2013, in Chinese

82 GE Jiahui, 上海電生理与康復技術創新戰略聯盟:民非企業運作方式的全新探索, 華東科技, pp. 34-35, Vol 307, 2011, in Chinese

図 1-6-2 障害者証を持つ障害者の原因別割合



出典：全国残疾人人口基礎データベースデータ分析、残疾人研究、vol.3, pp.76-79, 2013
(全国障害者人口基礎データベースによるデータ分析、障害者研究、vol.3, pp.76-79,2013)

中国で、肢体障害とは、人の四肢の欠損と切断、身体麻痺、変形などによる身体の運動系の機能喪失または機能障害と定義され、具体的に下記が含まれる。

- ①外傷、病変による上肢または下肢の切断と先天性欠損。
- ②外傷、病変、発達異常による上肢または下肢

の機能障害と畸形。

- ③外傷、病変、発達異常による脊髄の畸形と機能障害。
- ④中枢、末梢神経の外傷、病変、発達異常による肢体と四肢の機能障害。

運動系の障害部位と障害の程度による肢体障害の等級及び各等級の人数は表1-6-1に示す。

表 1-6-1 肢体障害の等級及び人数

障害等級	人数 (割合 %)	定 義
一級	450.6万 (5.3)	日常生活活動を自立して行えず、かつ下記の障害の一つを持つ。 a) 四肢切断・麻痺：四肢運動能力の喪失； b) 下肢切断・麻痺：両下肢運動能力の喪失； c) 片切断・麻痺：片側肢体運動機能の喪失； d) 片側上肢と両側下肢切断； e) 片側下肢と両側前腕切断； f) 両側上肢と片側大腿（または下腿）切断； g) 両側上肢または両側下肢切断； h) 上肢両側 MP 関節と下肢両側足根中足関節以上の切断； i) 上肢両側の極めて重度な障害または三肢の重度な障害。
二級	1649.4万 (19.4)	日常生活活動は、ほぼ不可能で、かつ下記の障害の一つを持つ。： a) 片麻痺または切断、残存機能が少しある（自立歩行ができない）； b) 両側上腕または両側前腕切断； c) 両側大腿切断； d) 片側上肢と片側大腿切断； e) 片側下肢と片側上腕切断； f) 三肢が MP 関節か足根中足関節以上の切断（一級の状況を除く）； g) 上肢両側の重度な障害または三肢の中程度の障害。
三級	2746.1万 (32.3)	日常生活活動の一部を自力で行うことができ、かつ下記の障害の一つを持つ： a) 両下腿切断； b) 片側前腕以上の切断； c) 片側大腿以上の切断； d) 両手の拇指または拇指以外の4指切断； e) 二肢が MP 関節か足根中足関節以上の切断（二級の状況を除く）； f) 一肢の重度な障害または二肢の中程度の障害
四級	3655.7万 (43.0)	基本的に日常生活活動を自力で行うことができ、かつ下記の障害の一つを持つ： a) 片側下腿切断； b) 両下肢の長さに 50 mm 以上の差がある； c) 脊髄硬直； d) 脊髄変形、後ろに 70 度以上のまたは片側に 45 度以上の凸起； e) 拇指以外の4指切断； f) 片側拇指切断； g) 片足足根中足関節以上の切断； h) 両足指すべて切断または機能喪失； i) 小人症（身長 1300 mm 以下の成人）； j) 一肢の中程度の障害または両肢の軽度の障害； k) 以上と似ているほかの肢体機能障害。

出典：中国残疾人（障害者）連合会

障害者の年齢構成については、0－14歳の障害者は387万人（4.66％）、15－59歳3493万人（42.10％）、60歳以上4416万人（53.24％）、65歳以上は3755万人（45.26％）となっており、加齢による障害が多い。経済発展が遅れている農村に住む障害者は6225万人で、全体の75.04％を占めている。学歴については、大学卒業以上は94万人、高校程度は406万人で、中卒程度は1248万人、小卒程度は2642万人（以上の数字には在校生も含む）。15歳以上の実質文盲率は43.29％（3591万人）である。

全体的に、人口の総数に比例して肢体障害者は多く、義肢の需要は高いが、障害者の貧困率が高く、高機能で高価になる義肢の普及は難しい状況にある。

(2) 義肢支給の状況

前節で述べたように、肢体障害を持つ人の生活は経済的に厳しいが、近年の中国の著しい経済発展に後押しされ、義肢装具の支給制度が定着しつつある。中国残疾人（障害者）連合会が発表した義肢の支給数を表1-6-2に示す。2011年から宝くじ事業による支援が始まり、この事業により支給された義肢は、毎年総数の半分以上を占めている。しかし、装飾用の物や、単純な動作しか実現できない物がほとんどで、ロボット技術発展の恩恵はまだ受けられていない。

(3) 義肢装具の需要

障害者に対するアンケートの結果、肢体障害者のうち23.2％が自立生活のために義肢がほしいと答えている。需要の対象となっているのは、杖、歩行器、車いすなどの移動支援器具が50.5％、臥位・座位・立位の姿勢保持のための補助具が7.1％、排せつ用具が6.5％、義肢は3.9％、整形器具は1.8％、その他補助具は30.5％。義肢の比率はほかの装具・補助具と比べて低いが、人口数に比例して、大きな市場が存在している。

2006年の中国残疾人（障害者）連合会の調査に

よると、切断者226万のうちの150万人は、義肢の使用に適しているとされている。その中で緊急に義肢が必要なのは63万人で、このうち下肢義肢は44万人、上肢義肢は19万人。義肢は身体の一部を代替する不可欠なものとされ、故障や機能改良のため数年間に一回交換される。経済発展により生活水準が高くなり障害者自身の支払い能力が高まる一方、社会保障制度の支援も充実しているので、最新のロボット技術を結集した高機能義肢への需要が益々高まる傾向にある。

1.6.3 義肢の研究開発の現状

(1) 概要

近年、中国経済が目覚ましい進展を遂げていることに伴い、科学研究に投じられる予算も著しく増えて来ている。政府主導の貧困対策により、障害者の経済状況も改善され、義肢の需要が高機能化・高度化する傾向にある。義肢の研究開発においても、そうした高い需要を見据え国家の重点研究プロジェクトが実施され、高機能の義肢開発は世界トップレベルに迫り付いて来ている。最近、ロボティクス分野全体の研究開発と実用化に社会的関心が高くなり、身体の一部になるロボット義肢も日々進化している。特に最近、海外にいる優秀な中国人研究者を呼び戻す「千人計画」、「若手千人計画」、著名な外国人研究者を招聘する「外国専門家千人計画」などの政策が次々と打ち出され、義肢を含めたロボティクス分野において、世界最先端との差が急速に縮まっている。

(2) 主な研究機関と研究事例

義肢の研究開発にかかわる主な研究機関と研究事例について、下記に紹介する。

①国立リハビリテーション・義肢装具研究センター(元民政部義肢科学研究所)

1979年に設立された、義肢研究の分野で中国唯一の国立機構である。中国唯一の義肢装具品質検査機関でありながら、義肢装具の研究開発と実

表 1-6-2 義肢の支給状況 (台)

年度	義肢の 支給数	宝くじ事業の支援 による支給数	宝くじ事業の支援による支給の内訳					
			大腿切断	下腿切断	膝離断	股関節離断	能動義手	装飾義手
2015	31588	17194	5958	7562	1005	505	686	1478
2014	28644	15203	5724	6773	703	414	473	1116
2013	29447	21285	7810	9949	764	481	786	1495
2012	38961	27032	10629	12497	901	678	965	1362
2011	30539	21244	8459	9903	683	509	756	934

出典：中国残疾人（障害者）連合会

用化、中国国内の標準規格の作成、義肢装具士の教育などの機能を担っている。義肢装具の研究開発において、国家ハイテク研究発展計画（「863計画」）、国家自然科学基金などの国の予算の支援の下、大学との共同研究を通して、世界トップ機能の義肢装具の国産化を行いながら、独自の製品も開発している。義肢ソケットのCAD・CAMシステム、四節リンク機構を持った膝継手などは、世界水準に達しており、義肢装具やその材料のコストパフォーマンスが高く、中国国内のみならず他の発展途上国でも広く受け入れられている。

②中国リハビリテーション研究センター

中国残疾人（障害者）連合会が直轄する研究機関であり、義肢装具の臨床試験をメインに行っている。その附属病院である北京博愛医院は、中国で年間義肢支給数が最も多い病院の一つである。首都医科大学と共同で学部から博士後期課程までの学生教育と実習を行っている。

③上海交通大学

上海交通大学ロボット研究所では、国家重点基礎研究発展計画（「973計画」）「生体運動機能再建のための生体・機械・電子を一体化する基礎研究」の支援を受けて、手の運動機能と感覚機能の再建を目指して、高機能義手の研究開発を行っている。義手としてのロボットハンドは、触覚フィードバック付きの劣駆動機構を使っている。義手を制御するため筋電と近赤外分光法をハイブリッドしたユーザーインターフェイスを開発した。義肢の訓練のために、電気刺激フィードバックを利用した閉ループ訓練システムを開発した。その成果は、産学連携を通じて丹陽義肢製作所によって商品化され、2-6自由度の義手が製品化された。中国の障害者リハビリテーション機構で普及されるとともに、ブラジルや南アフリカにも輸出されている。以上の業績を受けて、開発された義手は2016年度中国国家技術発明二等賞を受賞した。脳波（EEG）と皮質脳波（ECoG）を利用したブレインマシンインターフェイスによる義肢の制御についても研究している。

④ハルビン工業大学

ハルビン工業大学（HIT）機械工程学院では、ドイツ航空宇宙センター（DLR）との共同研究で、多自由度ロボットハンドを開発している。DLR-HIT Hand I（4指で12自由度）とDLR-HIT Hand II（5指で15自由度）と呼ばれているロボットハンドは、モータと制御回路をすべて手指と掌部の中に内蔵

した世界で最も集積度の高いロボットハンドであり、それぞれ IF-Design-Award 2007 と IF-Design-Award 2009 を受賞した。

⑤清華大学

清華大学機械工程系では、インテリジェント義肢、バイオニック義手、リハビリテーションロボット、外骨格ロボットを研究開発している。国立リハビリテーション・義肢装具研究センターと河北工業大学との共同研究で、4節リンク機構と気圧シリンダーをハイブリッドした膝継手の開発に成功した。利用者の歩容をセンサーで計測し、走行速度により義足のスウィング速度を調整し、中国初のインテリジェント膝継手となった。また、義手の筋電制御に関する研究は、ハルビン工業大学（ロボットハンド開発を担当）と東北大学（脳波を用いた制御を担当）と共同で実施した。

⑥中国科学院深圳先進技術研究院

中国科学院深圳先進技術研究院先進集積技術研究所では、TMR（Targeted Muscle Reinnervation：標的化筋肉再神経分布）と TNFR（Targeted Nerve Function Replacement：標的化神経機能代替）技術を用いて、筋電で義肢を制御することが難しい上腕切断者を対象として、手、手首、肘の運動意図を反映する筋電信号を上腕で発生させる研究を行っている。アジアで初めて TMR-TNFR 手術を行い、肘より前の運動意図の識別率を 90% 以上達成した。

⑦北京大学

北京大学工学院では、下腿切断者用知能化義肢が研究開発されている。足指と足首の剛性が調整可能な義足 PANTOE は、直列弾性アクチュエータ（series-elastic actuator）で駆動する足首関節と足指関節を有し、衝撃の緩和と消費エネルギーの低減を実現した。地形情報に合わせて制御する義足 PKU-RoboTPro は、ダンピング制御を用いて、平地、階段上り・階段下り、斜面上がり・斜面下りにおける義肢の歩容を健側に合わせることで、歩容の対称性と歩行の安定性を向上させることができた。

⑧東北大学

東北大学情報科学・工程学院では、下肢義肢の開発と制御が行われている。磁性流体を封入したダンパを使った4節リンク機構の最適化設計を行い、歩容検知システムに計測された歩行のフェーズに応じてダンパの減衰係数を調整することで、

最適な歩容を生成する制御法を開発した。筋電信号と脳波信号を用いた義肢の制御についても研究されている。

⑨北京航空航天大学

北京航空航天大学ロボット研究所では、多自由度ロボットハンドの研究を行い、これまでBH-1、BH-2、BH-3、BH-4、BH-985などが発表された。BH-985は5指11自由度を持ち、動力伝達機構には、歯車、ワイヤ、リンクの三種類を使っており、握力把握、精密把握、側面把握など日常生活でよく使う手の動きを実現した。

⑩上海理工大学

上海理工大学リハビリテーション工学技術研究所では、義手と義足の研究開発と、産学連携を通じた実用化が行われている。義足の研究においては、小脳の制御モデルを用いて健側の膝関節角から義足の膝関節角を制御する方法が開発された。開発した筋電義手は、丹陽義肢製作所との連携ですでに市販されている。

⑪河北工業大学

河北工業大学制御科学・工程学院は、国立リハビリテーション・義肢装具研究センターと清華大学との共同研究で、四節リンク機構と気圧シリンダーをハイブリッドした膝継手の開発に成功した。さらに、気圧シリンダーの減衰係数が調整可能な義足を開発し、膝関節と足首関節の協調制御を可能にした。開発した義肢の臨床試験を行っている。その他、ソケットの設計・製造技術や、義足の筋電制御なども研究している。

⑫北京理工大学

北京理工大学知能ロボットイノベーション研究センターは、日本の電気通信大学と共同で多自由度義手とその筋電制御法の開発を行っている。情報通信技術を用いた義手の高機能化や神経インターフェイスによる義手の直感的操作などについて研究している。

⑬上海科生義肢製作所

1963年中国科学院により設立された中国最初の義肢装具メーカーで、義肢分野で中国唯一のハイテク企業である。海外の製品を国内で代理販売するほか、独自の製品開発も行われている。中国で初めて筋電で制御する前腕義手、上腕義手、肩義手の開発に成功した。2011年に中国国内で最初に実用化した5指独立運動の義手KS-Bionic Handを

発表した。

⑭江蘇丹陽義肢製作所

1980年に設立した上肢義肢の製作所である。上海交通大学、上海理工大学、東南大学などの大学と連携し、能動義手や、筋電、音声などで制御する筋電義手の研究開発を行っている。

上記のほか、華中科技大学機械科学・工程学院の多自由度ロボットハンド、東南大学計器科学・工程学院の肩義手、中南大学情報科学・工程学院の膝継手、南開大学の義手の筋電制御などがよく知られている。

(3) 最近の研究動向

中国の義肢の研究開発は1960年代から始まり、1980年代から各大学、研究機関で要素技術の研究が徐々に盛んになり、近年国の大型研究予算のサポートの下で、複数の研究機関の連携により、義肢の設計、製作、制御、臨床試験、実用化が促進され、国産の高機能義肢が市場に出始めている。上肢義肢に関して、前腕切断のための義手の研究開発は、肘離断、上腕切断、肩離断のための義手より進んでおり、日米欧に追い付きつつある。下肢義肢に関して、足首と足指関節機構の研究開発は進んでいるが、膝関節機構の研究開発はやや遅れている。

膨大な人口の高齢化による需要と経済発展を背景に、近年、上腕義手、肩義手、膝関節機構の研究開発に力を入れている。特に、高機能義肢の国産化によりコストを抑えてより多くの障害者に提供することを目指している。ロボット研究開発のブームに後押しされて、科技部と民政部の国の研究予算と、地方政府の研究予算が高い率で増えている中、ロボット技術の象徴の一つである義肢の研究開発も日進月歩で進歩している。

1.6.4 まとめ

中国では人口に比例して切断者が多く、人口高齢化の進行につれ、義肢の需要が高くなる傾向にある。現状提供されている義肢は、装飾性の物や簡易的な物がほとんどであるが、経済発展と社会福祉制度の充実により、失った肢体の機能を最大限に代替できる高機能義肢への需要は高くなると予想される。近年、潤沢な研究予算に支えられながら、ロボット技術全般の進歩の記しとして、多自由度で高機能の義肢の研究開発が急速に進んでいる。

市販されている中国国産の義肢は、まだ日米欧

の義肢と比べられないところがあるが、市場ニーズに駆動される国産化による低価格化と競争力強化に加えて、実用化によるフィードバックを通じた技術進化を目的として、要素技術の研究開発と臨床試験などが盛んに行われている。近年、国策として欧米や日本にいる優秀な中国人研究者の帰国事業と外国研究者の招聘事業が実施され、中国と世界トップレベルとの差が急速に縮まっている。近い将来、義肢を含めてロボットの研究開発は、研究面でも応用面でも先進国と遜色ないレベルまで上がると予想される。

1.7 中国の歩行ロボットの発展の現状

明 愛国

(電気通信大学大学院情報理工学研究科教授)

余 張国

(北京理工大学智能ロボット研究センター准教授)

1.7.1 序論

中国の習近平国家主席は2014年、両院(中国科学院、中国工程院)院士大会で、ロボットは科学技術革新の重要な突破口であると語った。「ロボット革命」は、「第三次産業革命」の打開策であると同時に重要な成長源となり、世界の製造業の体制に影響すると考えられる。中国はまた、世界最大のロボット市場になると見られる。中国国務院は2015年、「中国製造2025」(「中国制造2025」)を公表し、特殊ロボットや医療健康・家庭サービス・教育娯楽などのサービスロボットの応用需要をめぐって、新製品の積極的な開発や、ロボットの標準化・モジュール化発展の促進、市場応用の拡大を打ち出した。さらにロボット本体や減速機、サーボモーター、コントローラー、センサー、アクチュエーターなどの基幹部品とシステム統合設計・製造などの技術的なブレークスルーを実現する。中国政府による各種政策と科学技術特別プロジェクトの支援のもと、数年の発展を経て、中国はロボットの分野で巨大な進歩を実現し、四足と二足を代表とする歩行ロボットの分野でも顕著な進展を成し遂げた。現在、多くの大学や研究機関、企業が、それぞれの歩行ロボットを発表している。

1.7.2 四足ロボット

中国では現在、多くの機関で四足ロボットの研究開発が行われている。その主な目標は、セキュリティや災害救助などで応用することにある。多くの大学は、四足ロボット本体の設計や運動制御、環境感知などの面での研究を進め、複雑な環境下でのロボットのスピーディーで臨機応変、安定した動的運動特性の実現をはかっている。

北方車輛研究所が開発した四足ロボット(図1-7-1)は、重量130kg、積載能力50kgで、平面の舗装路面での最大走行速度は6km/h、克服可能な斜面勾配は30度で、ガソリンエンジンを採用し、航続能力は2時間である。複雑な衛星グローバル測位システムや光学レーダー、双眼立体式観測設備、姿勢検知設備により、自らの運動姿勢を判断し、障害物を回避し、自身の平衡の保持を前提として前進する。平衡を失った時には自己修正することができ、再び立ち上がって引き続き前進する能力も持つ。ロボットの足は、複雑な駆動・減震装置を備えており、複雑な環境劣悪地区での物資の搭載や輸送、セキュリティなどに使用することができる。また道路施設の破壊が深刻な災害現場でも救援機能を果たすことができる⁸³⁻⁸⁴。

図1-7-1 北方車輛研究所の四足ロボット



山東大学は2008年、油圧駆動の四足生物模倣ロボットの研究を中国で率先的に展開し、高出力密度一体化油圧駆動技術やダイナミックスタビリティコントロール法、動的歩容計画・協調制御方法などの問題を解決した。2010年には、初の油圧駆動四足生物模倣ロボット実験機を開発した。同実験機の積載能力は80kgを超え、運動速度は1.8m/sに達

【1-6 参考出典】

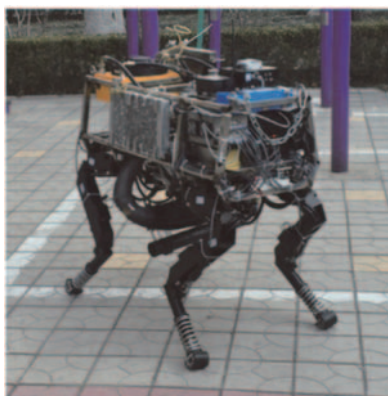
1. 中国残疾人(障害者)連合会, China Disabled Person's Federation, ウェブサイト: <http://www.cdprf.org.cn>
2. 国立リハビリテーション・義肢装具研究センター, National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, ウェブサイト: <http://kffj.mca.gov.cn/>
3. 中国障害者義肢装具センター China Assistive Devices and Technology Center for Persons with Disabilities ウェブサイト: <http://www.cjfi.org/>
4. 中国リハビリテーション・補助器具協会(元中国義肢装具協会) China Association of Assistive Products (originally titled as China Prosthesis and Orthosis Association) ウェブサイト: <http://www.crda.com.cn/>

83 http://bbs.tiexue.net/post_8290289_1.html

84 <http://news.qq.com/a/20160921/012944.htm>

した⁸⁵⁻⁸⁷。これを土台として、四足生物模倣ロボットの先端技術に関して、四足動物と環境間の相互作用メカニズムと歩行状態の研究、さらには突発的な状況下での緊急対応制御方法の研究を行い、四足ロボットの生物模倣歩行計画方法や動的安定性の判断方法、外界からの強制介入による自己適応・安定回復方法を確立した。非線形制御方法を利用して、ロボットの油圧シリンダーの作動力の激しい変化や電気油圧式サーボ弁のデッドゾーンという特性を克服するとともにロボットのアンチジャミングサーボ制御を実現し、ロボットの運動の安定を確保し、複雑な地形環境における四足生物模倣ロボットの安定制御を実現した。開発された最新の四足ロボット（図1-7-2）は、人を搭載し、穴の開いた土道や薄氷の張った道、雪道を走行でき、横から蹴るなどの衝撃にも耐えることができる。

図1-7-2 北方車輛研究所の四足ロボット



上海交通大学は、原子力発電所での災害救援や危険度の高い複雑な状況下での作業を実現するため、パラレルリンク式四足ロボットを開発した（図1-7-3）。足型ロボットの設計理念を採用し、マン・マシンインタラクション遠隔制御の方式で作業を行う。ロボットの身長は1.2m、幅は0.5m、高さは約1m、体重は130kgである。ロボットには動力源が搭載され、動力ケーブルや通信ケーブルを外からつなぐ必要がない。走行速度は時速4km程度で、最大負荷は100kgである。脚部には伸縮型設計が採用され、折りたたみ式の平行機構の採用により、坂を上ったり階段を昇降したりする際に一定の優位性を持つ。脚部機構は12の自由度を備え、足1本ごとに3つの油圧シリンダーによる制御

がなされている。3つのシリンダーはそれぞれ、ロボットの運動方向に対して平行方向と垂直方向、脚部伸縮の制御に対応している。油圧シリンダーの最大伸長は257mm、最小伸長は207mmである。ロボットの足上げの最大高さ480mmに達し、ロボットの最大の長さ800mmに対する足上げの高さは比較的高く、障害を乗り越える際に大きな強みを持つ⁸⁸⁻⁹⁰。

図1-7-3 上海交通大学の四足ロボット



ハルビン（哈爾濱）工業大学の開発した四足ロボット（図1-7-4）は、動的歩容に基づいて平坦な路面での速い独立走行を実現し、さらに静的歩容や軌跡計画方式に基づいて簡単な段差障害を乗り越えることもできるようになっている。同時に四足ロボットに視覚・レーザー・位置・パワーなどのセンサーを搭載し、未知の複雑な環境に対するロボットの適応能力を高めた⁹¹。同時にロボットの運動性能を高めるため、ハルビン工業大学は、非干渉プロファイル高速関節を有する脚を設計した。大腿の長さは400mm、下腿の長さは300mm、機体の高さは540mmで、構造上から水平方向と垂直方向の非干渉駆動を実現した。平行四辺形のリンク機構と相似三角形のリンク機構の協同作用を採用し、アクチュエーターの連結点の運動プロファイルをロボットの足底へとスケールし、ロボットのアクティブコンプライアンス制御におけるマルチアクチュエーターの干渉による制御精度の低さという問題を克服するとともに、アクティブインピーダンスの制御方法における難度を引き下げた。ロボットは、1回のステップで約400mmの距離を進み、1.8m/sの速度で進むことができる⁹²。

85 榮学文, SCalf 液圧四足機器人機構設計與運動分析[D], 山東大学博士論文, 2013(04)

86 王春蘭, 液圧駆動的四足機器人關節控制[D], 山東大学, 2010:5-6.

87 柴匯, 液圧駆動四足機器人柔順及力控制方法的研究與實現[D], 山東大学, 2016.

88 何笑寒, 核電站救災機器人軌迹規劃與跟踪[D] 上海交通大学 2015

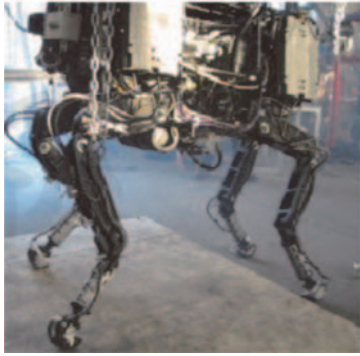
89 胡楠, 李少遠, 黃丹等, 高負載四足機器人的步態規劃與控制[J], 系統仿真學報, 2015,27(3):529-533.

90 田興華, 高峰, 陳先宝等, 四足仿生機器人混聯腿構型設計及比較[J], 機械工程學報, 2013,49(6):81-88.DOE:10.3901/JME.2013.06.081.

91 黃品, 面向四足機器人的地形識別與運動規劃方法研究[D], 哈爾濱工業大学, 2014

92 鄒振山, 面向高速奔跑足式機器人關節腿結構與變阻抗控制研究[D], 2015

図1-7-4 ハルビン工業大学の四足ロボット



上海大学は、四足ロボットの運動特性と製造コストのバランスをはかるため、小型 X-dog 四足ロボットを開発した(図1-7-5)。高さは約40cm、長さは約45cmで、普通のペット犬の大きさに相当する。それぞれの足には、交流永久磁石同期モーターによって直接駆動される低制動トルク制御関節が3つあり、さらにそれぞれの脚には、バネエネルギー蓄積機構がある。このロボットの4本の足は、1分間に100回の弯曲・伸長が可能で、X-dogの四肢関節部位にはロボットに常用される減速機がなく、直接駆動する。X-dogは、平地では毎秒2メートルの速度で自由に走行できる。さらに4本または2本の足で跳躍することもできる。このロボットは、機械構造が簡単で騒音が非常に低く、動的にもバランスがとれており、コストが低いなどの長所がある⁹³⁻⁹⁴。

図1-7-5 ハルビン工業大学の四足ロボット



北京理工大学は2012年、第1世代生物模倣爬行油圧ロボット(図1-7-6)を開発した。山地などの非整備地形における物資の輸送を主な応用の場とし、運動速度が高く積載能力が大きいなどの特徴を持つ。具体的には、①16の能動自由度を備え

る、②脚部構造には油圧駆動ユニットを採用、③サイズは1200mm×500mm×1000mm、④動力源は自己搭載、⑤重量122kg(燃料満タン時)、⑥外から接続される動力ケーブルや通信ケーブルがない——などの特徴を有する。このロボットは、負荷70kgの状況で良好な運動性と安定性を備え、さまざまなパターンの運動を行うことができる。このうち歩行周波数 $\geq 2\text{Hz}$ の対角歩容では、コンクリート地面で40分連続での足踏みができる。コンクリート路面での直線対角の小走りでは、60mの平均所要時間は64秒である。硬土路面での勾配10度の10メートルの坂では、上りに16秒、下りに22秒を要する。静止・不動時に側面から衝撃(撃力 $50\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 、衝撃ポイントは腰部の中心)を受けても、安定した立ち姿勢を保持できる⁹⁵。北京理工大学は、ロボットの運動過程で地面への接触の衝撃力が大きすぎるという問題を解決するために、足先にかかる力のフィードバックに基づき、アクティブ・パッシブの動コンプライアンス制御方法を考案し、関節油圧アクチュエーターの非線形・非対称性について自動外乱抑制制御(ADRC)技術を採用して制御精度を高めた⁹⁶⁻⁹⁷。

図1-7-6 北京理工大学の四足ロボット



国防科技大学の設計した四足ロボット(図1-7-7)は、それぞれの足が3つの関節を備え、脚関節の配置は、内膝肘式関節配置形式を採る。総重量は120Kg、長さ・幅・高さは1m×0.36m×1m、自由度は20で、油圧駆動を採用し、最大積載は53kg。走行・対角小走り・爬行・方向転換などができる。ロボットの運動範囲を拡大するため冗長自由度を一つ増やしたことにより、単足の冗長自由度の多解性、関節の非可積分性、計算のリアルタイム性、関節速度の最適化、四足ロボット全体

93 賈文川, 王興興, 一種電駆動小型仿生四足機器人, 上海大学, 201520345226.5

94 <https://sanwen8.cn/p/1e9XA9T.html>

95 Z.Xu, J.Gao, X.Tu, H.Lu and C.Liu, "Real-time projection and dynamics analysis of quadruped robot," 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Zhuhai, 2015, pp. 1084-1089.

96 王立鵬, 王軍政, 汪首坤, 何玉東, 基于足端軌迹規劃算法的液壓四足機器人步態控制策略[J], 機械工程學報, 2013, (01):39-44.

97 柯賢鋒, 液壓四足機器人柔順性控制[D], 北京理工大学, 2016

のエネルギー消費の最適化等の問題を解決した。さらに冗長自由度を通じて初期姿勢を最適化し、エネルギー消費を引き下げ、四足ロボットのエネルギー利用率をさらに高めた。制御ストラテジーの面では、その特性を通じてさまざまな凹凸地形にスピーディーに対応し、本体の姿勢に対する影響を最大限減少させた。さらに四足同時支持相の導入によって、四足ロボットは、歩行周期と歩行タイミングを変えずにさまざまな凹凸地形に対応できるようになり、制御システムには広範囲の適応性が備わり、複雑な不整地での歩行速度は0.1m/sに達した⁹⁸⁻¹⁰⁰。

図 1-7-7 国防科技大学の四足ロボット



四足ロボットの運動過程におけるエネルギー利用効率を高めるため、ハルビン（哈爾濱）工程大学が設計した四足ロボットには、バネを備えた関節型脚構造が採用された。オープンループの脚構造の運動のスピードや柔軟性、高い障害乗り越え能力、大きな積載能力などに加えて、バネ式脚部構造の緩衝や防振、安定性増加などの長所も備える。ロボットの胴体は、前胴部と後胴部の二つに分かれ、前後の胴部の中間には、脊柱に似た回転関節

があり、ロボットの柔軟な姿勢を確保させている。ハルビン工程大学は同時に、四足ロボットの跳躍の研究も進め、双関節で弾性要素のない足型跳躍ロボットを開発した。典型的な跳躍生物の運動メカニズムの分析後、ロボット機構の運動模型を構築し、速度方向の可操作度を指標として跳躍ロボットの跳躍方向上の運動能力を評価するとともに、選んだ指標と各部分の構造パラメータとの間の関係を分析し、最終的にこの指標を目標関数として採用して構造パラメータの最適化を完了したうえで試作機の製作と実験を行った。¹⁰¹⁻¹⁰²

中国科学院自動化研究所も自らの四足ロボットを発表し、このロボットを研究プラットフォームとして、運動制御理論に基づき、パラメータを非干渉化した四足ロボット運動コントローラーを設計するとともに、四足ロボットの歩容制御アルゴリズムとその実現などについて研究を実施した¹⁰³⁻¹⁰⁵。

中国科学技術大学が開発した四足ロボットは、四足・車輪式の複合移動プラットフォームで、脚部にはサーボモーターとボールねじ軸駆動装置を採用した。この方式では、差動歯車式機構が機体の腹部に設置され、足と車輪との運動空間の干渉が回避されている。この新型複合移動機構は、不整地での四足走行モード、平坦な地面での差動車輪式ローリングモード、複雑な地形環境下での四足・歯車複合協調乗り越えモードなど、さまざまな運動モードを備えている¹⁰⁶⁻¹⁰⁷。

以上の四足ロボットのほか、中国国内では、四足ロボットの理論研究と四足ロボットのプラットフォームの研究は、浙江大学¹⁰⁸、西北工業大学¹⁰⁹、吉林大学¹¹⁰、華中科技大学¹¹¹、河北工業大学¹¹²、北京交通大学¹¹³、北京航空航天大学¹¹⁴⁻¹¹⁵などで幅広く実施されている。

98 蔡潤斌. 四足機器人運動規劃及協調控制 [D]. 国防科技大学, 2013

99 戴俊傑. 基于運動約束的四足機器人生物運動規劃方法 [D]. 国防科学技術大学, 2013.

100 郎琳, 許佳奇, 張獻鵬, 王劍, 馬宏緒, 韋慶. 液壓驅動型四足機器人对角小跑步態本体水平位置控制方法 [J]. 国防科技大学学报, 2017, (01):142-147.

101 董立涛. 脊柱關節四足機器人生成結構設計及跳躍運動做真研究 [D]. 哈爾濱工. 程大学, 2013.

102 魏禹. 腿型跳躍機器人跳躍過程運動分析及做真研究 [D]. 哈爾濱工程大学, 2013.

103 李遜. 四足機器人步態控制理論與實驗研究 [D]. 中国科学院自動化研究所, 2010

104 Wu X., Shao X., Wang W. Stable quadruped walking with the adjustment of the center of gravity[C]. Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 2013:1123-1128

105 Shao X., Yang Y., Zhang Y., et al. Trajectory planning and posture adjustment of a quadruped robot for obstacle striding[C]. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2011:1924-1929

106 陸冬平. 做生四足-輪複合移動機構設計與多運動模式步態規劃研究 [D] 中国科学技術大学 2010

107 馬國威. 做生機器人足端與地面相互作用機制及實驗研究 [D]. 中国科学技術大学, 2015

108 浙江大学. 一種四足機器人生成彈性脊柱機構: 中国, CN201210177805.4[P]. 2012-9-19.

109 張雪峰, 秦現生, 馮華山, 趙文涛, 李軍, 譚小群. 面向奔跑運動的剛-柔複合四足機器人單腿設計與實驗研究 [J]. 機器人, 2013, (05):582-588.

110 田為軍. 德國牧羊犬運動特性及其運動模型研究 [D]. 吉林大学, 2011.

111 鍾建鋒. 四足機器人液壓驅動系統設計與控制研究 [D]. 華中科技大学, 2014.

112 趙慧云. 基于柔性做生關節的四足機器人單腿機構設計與分析 [D]. 河北工業大学, 2015.

113 龔加慶. 頭尾調節裝置對四足機器人動態運動性能的影響研究 [D]. 北京交通大学, 2015.

114 韓曉建, 商李隱, 楊涌. 四足機器人啓動步態設計及穩定性分析 [J]. 機械科学與技術, 2016, (08):1169-1175.

115 王思遠, 唐玲, 王耀兵, 陳佳偉, 徐坤, 丁希命. 一種腿臂融合四足機器人設計與分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 1-11.

1.7.3 人型ロボット

中国の二足人型ロボットの研究は、主に本体設計やシステム制御、安定走行、移動作業、環境感知などに集中している。このうち北京理工大学や浙江大学などの二足人型ロボットは、すでに安定走行や複雑な動作のデモンストレーションなどの任務を実現できる代表的なロボットとなっている。

国家ハイテク研究発展計画（863計画）や国家自然科学基金などの支援を受け、北京理工大学は2000年から人型ロボット「匯童」の開発を始め、現在すでに、5代目の人型ロボット「匯童」が開発されている。高速ビジュアルサーボに基づく巧みな動作制御や全身協調自己反応などの基幹技術を用いてブレークスルーが達成された。ロボットの身長は165cm前後、体重は60kg以下で、自由度配置は最低でも28、外からの電力ケーブルの接続なしに前進、しゃがむ、後退、横歩きなどの簡単な動作ができるほか、太極拳や剣術、舞踊などの複雑な動作もできる。さらに音声の識別と合成機能も搭載されている。5代目の「匯童」人型ロボット（図1-7-8）は、最高200回を超える卓球の打ち合いを実現し、人型ロボットの高度な感知と運動制御能力を実証した¹¹⁶⁻¹¹⁷。

浙江大学の開発した人型ロボット「悟空」（図1-7-9）は、身長約1.6m、体重約55kgで、全身の自由度は30、脚部の自由度は12、腰部の自由度は2、頭部の自由度は2、腕の自由度は14である。6軸の力・トルクセンサー2つが足とかかと関節の間に設置され、足底の力とトルクの情報はかるのに用いられており、イーサネット（Ethernet）リアルタイム制御技術を使って、より速いロボットの反応速度が実現されている。このロボットは同時に、正確な識別や位置予測、運動モデリング、平衡保持の能力が高く、卓球の打ち合いを実現できると同時に、卓球の打ち合いでラケットを振る際に生み出される大きな加速度の下でも、良好な安定性を保持することができる¹¹⁸。

国防科技大学とハルビン工業大学、清華大学も、中国で比較的早期に人型ロボットの研究を始めた大学であり、本体設計や運動計画、インテリジェント制御の面で大きな進展を実現している。

このうち国防科技大学は、中国で最も早期に人型ロボット試作機「先行者」を開発した。このロボットの身長は1.4m、体重は20kgで、人の外観の特徴を備えており、人の基本的な動作や行動を模

図1-7-8 北京理工大学のBHR人型ロボット



図1-7-9 浙江大学の「悟空」人型ロボット



116 許威. 人体歩態分析與做人機器人歩行動作設計[D]. 北京理工大学, 2012.

117 孟非. 做人機器人快速作業的關節驅動與動作規劃及其匹配研究[D]. 北京理工大学, 2016.

118 張大松. 做人機器人快速動態作業平衡算法研究[D]. 浙江大学, 2014.

倣できるほか、一定の言語機能を備え、偏差の小さい不確定環境での走行が可能である。その後に開発された「Blackman」(図1-7-10)は、身長1.55m、自由度36、重量63.5kgで、36の自由度の配置は、足に各6、腕に各6、手に各5、頸部に2となっている。腰の部分には自由度はなく、上体の姿勢は寛骨にあたる部分によって決定され、下肢の調整を通じて地面の変化に適応する。これより前に開発された「先行者」と比べると、性能は大きく上がり、ロボットの方向転換や不整地での走行などについても綿密な研究が行われた¹¹⁹。

図1-7-10 国防科技大学の人型ロボット



清華大学も、人型ロボット「THBIPシリーズ」を複数の代にわたって開発してきた¹²⁰⁻¹²¹。このうち「THBIP-I」は身長1.80m、総重量130kgで、幾何学的寸法と質量分布はいずれも中国の成年のパラメーターを参考として設計され、自由度は32である。ロボット踝関節の側面には「遊星減速機＋4リンク式伝動」という独特な構造を採用し、人体の踝関節の側面の非線形駆動力の特性が再現された。自己調整ファジィ制御アルゴリズムを提案し、関節の軌跡を追跡し、分散ロボスタ制御の研究を行った。「THBIP-II」型ロボットは動的走行を実現できるが、そのねらいは人型ロボットの柔軟で変化の多い動作の実現と複雑な人類の生活環境における応用を研究することにある。

ハルビン工業大学は、1985年から人型ロボットの開発事業を開始し、多様なスタイルの人型ロボット「HITシリーズ」を開発してきた¹²¹⁻¹²²。

ニューラルネットワークでシステム逆動力学模型を近似して、RBFニューラルネットワークフィードフォワード制御に基づくトルク補償制御方法を採用し、動的な走行を実現した。踝関節は、2つのモーターの交差構造を採用し、2つの自由度を備えている。また、脚部構造には円筒形構造を採用し、静的歩行と動的歩行を実現し、前進・後退、横歩き、回転、階段の昇り降り、坂昇りなどの動作を行うことができる。

大学などの研究機関のほか、民間資本の参入の下、中国でも、二足人型ロボットの研究・生産を進める多くの企業が現れており、社会における応用を主な目的とした研究が進められている。このうち北京鋼鉄俠科技有限公司と優必選公司是、代表的な企業と言える。北京鋼鉄俠科技有限公司は、大型二足人型ロボットの開発と普及に専門的に従事する中国の科学技術企業である。同社は、大型二足人型ロボットとロボットの「運動脳」を重点的に研究開発し、ロボットの重要な部品を自主開発してきた。同社が開発した大型人型ロボットは、研究や教育、インテリジェントサービス、ロボットアスリート、危険環境下での作業などに用いることができる。同社が開発した2代目の人型ロボット(図1-7-11)は、片方の足に6つの自由度、両足で12の自由度を備え、踝関節には2つの自由度、股関節には3つの自由度を持つことによって人の姿勢に似た走行姿勢が実現されている。ロボット内部には、インテルのプロセッサ2台が備えられ、このうち1台はロボットの運動制御、もう1台は主に人間の大脳のようなもので意思決定の面でのマクロな計画を担っている¹²³。

図1-7-11 ART人型ロボット



119 繩涛, 馬宏緒, 王越. 做人機器人未知地面行走控制方法研究[J]. 華中科技大學學報(自然科學版), 32, 2004.

120 伊強, 陳懇等. 小型做人機器人 THBIP-II 的研製與開發[J]. 機器人, 31(6), 2009.

121 http://www.360doc.com/content/10/0218/10/617416_16059702.shtml

122 紀軍紅. HIT-III 双足步行機器人步態規劃研究[D]. 哈爾濱工業大學, 2000.

123 http://www.store.ubtrobot.com/product/detail_3_type1.html?s=%u7EA2%u8272

優必選公司の生産する「アルファ」(Alpha) ロボット(図1-7-12)は、高さ438mm、幅218mm、厚さ122mmである。また、アルミ合金構造でポリカーボネート+ABS樹脂シェルを採用し、全身の自由度は20となっている。内部には「Exynos 5260」6コアプロセッサが搭載され、デュアルモードBluetooth3.0/4.0とBLE+EDR制御方式が採用され、リチウム電池ユニットによる給電が行われている。IOS/Android/PCシステムと互換性があり、音声チャットや同時通訳、音声検索、音声リピート、音声指令などの機能を持つ¹²⁴。

図1-7-12 アルファ(Alpha) ロボット



人型ロボットに関しては、これ以外にも、多数の機関が二足人型ロボットプラットフォームの開発や人型プラットフォームに基づくロボットの歩容計画・移動作業、インテリジェントインタラクションの研究を行っている。例えば、上海交通大学¹²⁵、天津大学¹²⁶、吉林大学¹²⁷、中国科学技術大学¹²⁸、西北工業大学¹²⁹、燕山大学¹³⁰、上海大学¹³¹などの研究が挙げられる。

1.7.4 まとめ

中国の歩行ロボットの研究は近年、中国政府の強力な支援の下、急速に発展し、特色ある成果が得られ、全体水準は世界の先進レベルに入りつつある。四足ロボットに関しては、多くの大学や研究機関が、複雑な環境下での物資輸送や緊急対応・救援での応用を目的に据え、四足ロボットの高効率生物模倣脚の設計や動的運動制御などの基幹技

術でのブレークスルーを達成するとともに、各種地面や歩容の下での安定的で高速な運動能力を実現するなど、それぞれ特色を持った四足ロボットプラットフォームを発表している。二足人型ロボットについては、動的作業と歩行、転倒保護、爬行などを代表とする環境適応技術を研究し、二足人型ロボットの運動計画、協調作業、環境感知、統合制御などの基幹技術でのブレークスルーを達成するなど、発信力のある二足ロボットプラットフォームを発表している。今後、中国政府による国家科学技術計画「科学技術イノベーション2030 重大プロジェクト」(「科技创新2030 重大項目」)や「中国製造2025」(「中国制造2025」)の特別な支援のもと、歩行ロボットの基礎理論や技術、産業化の面での一層のブレークスルーが達成されるものと考えられる。

1.8 中国のマイクロナノロボット研究開発最前線

新井 健生

(電気通信大学客員教授、大阪大学名誉教授)

林 宇卿

(北京理工大学)

1.8.1 概要

昨今の中国では、ロボット技術が様々な分野で注目を集めている。特に工業分野における産業構造の大きな改革により、製造業では労働集約型から知識集約型への転換が急速に進み、ロボットの研究開発とその利用が重要な役割を果たしつつある。2008年の世界的金融危機における試練を経て、技術革新と工業生産との適切な融合が促進されることとなった。

国際的に目を向けると、米国の前政権が提案した先進製造業の優位性を維持する政策により、ロボット技術は航空、医療、精密工業、軍事等の分野で注目を集めている。日本も含めて、精密プロセス技術の絶え間ない革新により、ロボット自身のサイズ、生産プロセス及びその用途も次第に小型化が進み、マイクロナノサイズのロボット技術に注目が集まっている。米国はロボット言語及びインテリジェント技術の研究開発や応用を特に重視しており、視覚、触覚等のセンシングを含めた

124 http://www.artrobot.com/h-nd-20-2_367.html

125 戚開誠, 劉偉, 張建軍, 高峰. 做人機器人SJTU-HR1 及其運動分析[J]. 機械科学與技術, 32(6), 2013.

126 胡鴻, 李岩, 張進, 李偉. 基于高頻穩態視覺誘發電位的做人機器人導航[J]. 信息與控制, 2016,(05):513-520.

127 張穎. 基于DSP 的做人機器人步態控制系統的設計與研究[D]. 吉林大学, 2016.

128 h杜爽, 尚偉偉, 劉坤, 王智靈. 基于双向RRT 算法的做人機器人抓取操作[J]. 中国科学技術大学学报, 2016,(01):12-20.

129 李学思, 史豪斌, 張書閣, 陳汶文, 王聰. 基于改進遺傳算法的做人機器人步態規劃研究[J]. 計算機工程, 2016,(05):297-303.

130 馬春麗. 基于Vision-SLAM 的做人機器人自主行走的研究[D]. 燕山大学, 2016.

131 信繼忠, 柯顯信, 楊陽, 盧孔筆. 做人機器人頭頸協調系統的設計[J]. 機械科学與技術, 2017,(01):29-33.

人工知能技術は宇宙航空、軍事、自動車工業などの分野で幅広く応用されている。米国が2010年に開始した「先進製造パートナーシップ (AMP、Advanced Manufacturing Partnership)」計画ではロボット技術の発展に重点を置き、ネットワーク情報技術の優位性を生かして、新世代のインテリジェントロボットを開発することを明言している。

中国政府も米国のこのような政策に大いに関心を持つこととなった。中国は従来型のロボット開発応用においては出遅れており、産業用ロボットの市場では、海外の四大メーカーである安川電機、ABB、ファナック、KUKA (2016年中国美的集団に買収) にそのシェアを譲ってきた。しかし、金融危機後、中国経済の急成長が追い風となり、従来型ロボットの応用例及びその産業応用も大いに拡大し、同時にマイクロナノロボットの研究開発も強化されている。

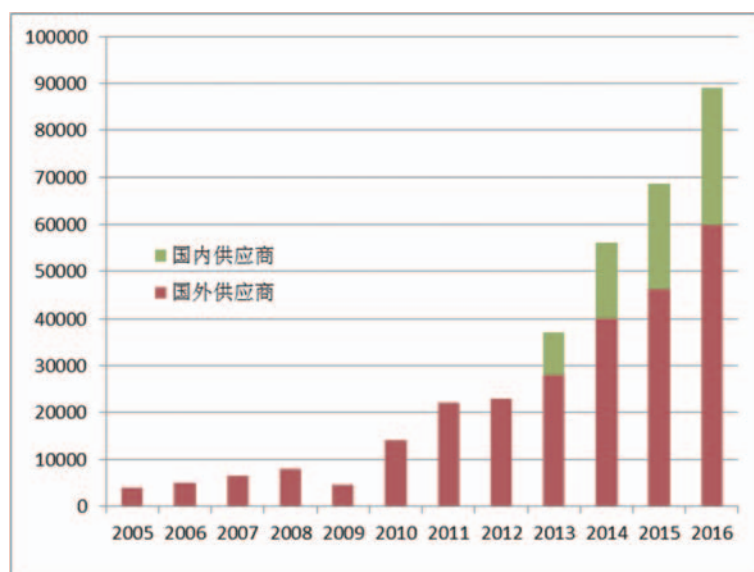
中国では産業用ロボットの利用は図1-8-1に示す通り常に進歩し続けており、2012年には日本に次ぐ世界第二位のロボット市場となり、現在は世界第一位の産業用ロボット市場となった。そして市場のニーズと中国国内の供給の間には大きなギャップがあり、成長の余地は巨大であり、販売量はほぼ倍増している。さらに、すでに市場で優位を占める輸入サプライヤーの販売量と比べても、ゼロから始まった国内のロボットサプライヤーの販売量の急伸は目覚ましい。また、欧米や日本等の先進国の企業との提携や競争の中で、中国のマイクロナノロボットの研究開発のレベルも長足の進歩を遂げ、国家の同分野へ投じる予算や

関連する政策も拡大している。

金融危機以前の中国のマイクロナノロボットの研究は初期の蓄積段階であり、研究開発の成果が大量に世に出ることはなかった。しかし、金融危機以後、特にこの数年で大量の研究資金や専門人材の投入により、高度な研究開発の一連の成果が国際的な専門誌で報告されるようになった。図1-8-2に、筆者らがまとめた時系列で見る中国のマイクロナノロボット研究開発事例を示す。この図から、2008年以降に発表された研究成果の密度は以前より高いことがわかる。

先進的製造技術の蓄積と進歩に伴って、マイクロメカトロニクスシステムとマイクロナノ先端プロセスの適用により、ロボット技術は微小スケールでの進展が加速している。マイクロナノロボットの微小スケールでの応用には、主に二つの方向性がある。第一の方向性は、ロボット自身のスケールに着目する点である。ロボットのサイズは概ね1mm以下を目標としており、これを生かして血管や消化器など人体の器官に入ることが可能となり、医学検査をロボットが直接行い、さらに手術や治療の補助手段とすることもできる点である。この種のロボットの応用は、医療診断装置の分野で大きな反響を引き起こすことになる。さらに、微小サイズのロボットはその隠匿性と可動性が高いため、軍事偵察活動での利用価値も高い。第二の方向性は、操作性や精度の面でマイクロナノロボットの微小なサイズを具現化することであり、ロボット自身の容量は微小スケールではないが、そのエンドエフェクタの操作精度はナノ

図1-8-1 2005-2016年における中国の工業用ロボットの販売量¹³²



132 <http://cria.mei.net.cn> (In Chinese)

レベルである。このタイプのマイクロナノロボットはマイクロエレクトロニクス産業、及びバイオ・医療産業において広範囲に応用されている。すなわち、このロボットの作業対象は大規模集積回路、MEMS、NEMS、ナノセンサー、さらに、細胞、DNA、染色体等のマイクロメートルからサブマイクロメートルの大きさの生体組織に及んでいる。エンドエフェクタに力学、熱学及び化学的センサー等を搭載して、ターゲット情報を記録することによりナノプロセスや薬剤開発に有用な情報を提供することを可能にしている。

マイクロナノロボットが多くの科学分野を融合させたものであるという背景と、先端技術開発の戦略的意義の重要性や、マイクロエレクトロニクス、機械、医薬、材料、電気機械、軍事等の分野での大きな可能性に鑑みて、各国政府、研究機関及び企業はこの方面に力を注いでいる。1990年にはすでに米国と日本が、この方面での研究と産業化に向けた国家プロジェクトなどを推進した。米国では集積回路マイクロエレクトロニクス技術を主なマイクロナノロボットの適用方向に定め、NSFやDARPAのサポートによる優先的プロジェクトとして、カリフォルニア大学バークレー校のような主要大学、技術力に優れたIBMやルーセント社のような企業に委託し、研究の初期段階で産業化に成功した。日本は研究の重点を精密加工技術に

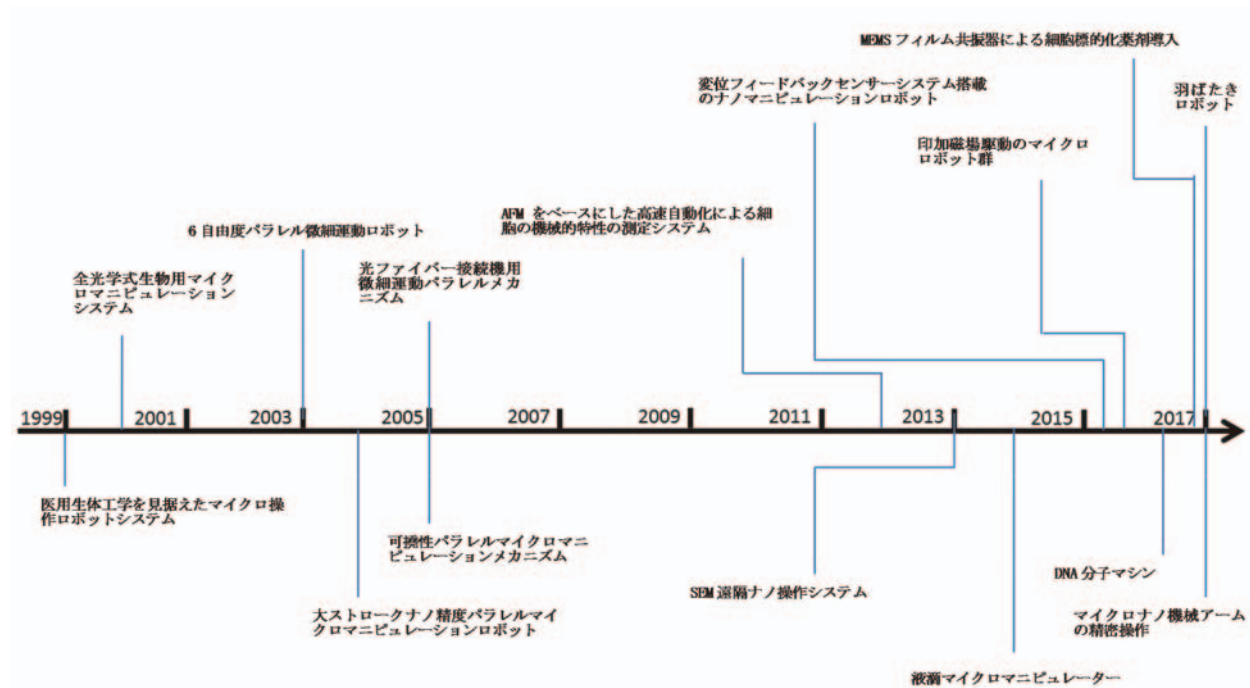
置き、1991年に経産省（当時通産省）の大型研究プロジェクトである「マイクロマシン技術研究開発プロジェクト」を開始し、約250億円を投入した¹³³。

中国のマイクロナノロボット分野への着手はやや遅く、90年代後期に国家「863計画」が主導して、主に高等教育機関及び科学研究機関によって組織的に研究開発が行われ、研究の初期段階では企業の参加は比較的少なかった。しかし、研究者の努力と後発の優位性により、中国のマイクロナノロボット研究開発は比較的多岐にわたり、マイクロエレクトロニクス技術、センサー製造、機械精密加工、生物医学技術等の分野でいずれも成果が見られた。開発したマイクロナノロボットのタイプは、ロボット自身の体積が小さいマイクロスケールロボットや、エンドエフェクタの操作精度が高いマイクロナノ操作ロボットがある。

高等教育機関、及び科学研究機関が達成した代表的な成果に次のようなものがある。

南開大学のバイオテクノロジーマイクロ操作ロボット研究チームは、1997年から自動的に生体の顕微実験を行うマイクロ操作ロボットシステムの試作機開発を開始し、直径十数 μm 、厚さ5 μm 未満の動物細胞への組み換え遺伝子の注入に成功し、70%の正常な発現率を実現した。この成果により、本年にはこのロボットの応用によりクローン豚を実現した。

図 1-8-2 中国におけるマイクロロボティクスの経緯



133 S. Lining, Z. Zhaoying, and G. Zhenbang, "MEMS development and review of Chinese MEMS development strategy," Robotic technology and application, pp. 2-4, 2002. (In Chinese)

中国農業科学院の育種チームは、このロボットを用いて植物細胞の染色体の微細切断を実現し、農作物栽培における遺伝子改変と遺伝子編集の応用開発を推進した。北京航空航天大学が研究開発したマイクロナノロボットシステムは、閉ループフィードバックシステムを適用して、圧電セラミック駆動とフレキシブルヒンジを組み合わせた機構により、マウス卵細胞の顕微操作に成功した。

中国科学技術大学は研究開発の重点を光学的エンドエフェクタに置き、光ピンセット、光切断等の技術によってマイクロナノスケールの顕微操作を実現している。細胞や細胞内物質の捕集、移動、融合を実現して、農作物の遺伝子組み換え実験で成功を収めた。ハルビン工業大学のマイクロナノロボットチームは、25mmの直線運動ストロークに対して $2\mu\text{m}$ から5nmの運動分解能を有し、かつ回転運動ストロークが180度であり、nmレベルの精度で操作が可能なロボットプラットフォームを開発した。マイクロエレクトロニクス製造、MEMS・NEMSセンサーの製造、及び検査のためにプラットフォームを提供している。

中国科学院長春工学精密機械物理研究所と大連理工大学がMEMS・NEMS技術を利用して構築したマイクロ操作ロボットアームは、その視覚追跡システムによって顕微立体撮像を可能とし、システムプラットフォームの機能を向上させた。

十数年の進歩を経て、中国のマイクロナノロボット研究は中国の経済発展という追い風の下、続々と投入される研究開発費の恩恵を受け、さらに中国の工業及び科学技術研究の全体的なレベルの向上により、市場や企業のニーズと研究開発が顕著に増加し、目覚ましい成果をあげている。この過程において、政府による指導はマイクロナノロボットの発展プロセスで大きな役割を果たした。現段階での政策においては、マイクロナノロボットの研究課題を技術力のある重点高等教育機関及び研究所で行い、複数の施設が重複して研究を行うことを避け、課題を分散させることが必要とされている。同時にイノベーション機構が産業界と結びつき、事業化に向けた運営と研究成果の産業化を強化し、実用から逸脱しないことが求められている。科学研究の人材に関しては、政策的優位性と政府の支援を利用して、マイクロナノロボットに関わる中国内外の専門家の誘致や協力を奨励し、国際的連携を推進している。

1.8.2 マイクロナノロボットの技術分類

本節では、サーベイを行った近年中国のマイクロナノロボット研究開発の成果を、アクチュエーション（駆動系）、センシング（センサー系）、マニピュレーション、微細作業に分類して以下に紹介する。

(1) アクチュエーション

① 6自由度パラレル微細運動ロボット

2003年、北京航空航天大学の張建軍氏などが、座標変換法を利用して新規の6自由度パラレル微細運動ロボットの微細運動モデルを確立し、さらに運動の非干渉化の解析を行った。異なる初期駆動変位量と駆動方式を適用して、有限要素法によりロボットの機構解析を行い、微細運動における非干渉化に関して検討を重ねた。最終的に開発した微細運動ロボットプロトタイプの運動非干渉化検証実験の結果、この新型パラレル微細運動ロボットの運動非干渉化が証明された。図1-8-3にロボットの原理図を示す¹³⁴。

② 大ストロークナノ精度パラレルマイクロマニピュレーションロボット

2004年、ハルビン工業大学のDong氏などが、6自由度で大ストロークナノ精度パラレルマイクロマニピュレーションロボットを設計。図1-8-4に示されるとおりである¹³⁵。従来型可撓性ヒンジに代わり新型可撓性ヒンジを採用し、ロボットの末端は立方センチメートルの作業空間に達することが可能であり、更に6つの大ストロークのイスラエル製HR8圧電モーター及び6つのマイクロ圧電素子を用いて駆動し、圧電モーターの精度は100nm前後であり、理論的にはストロークを十分大きく取ることが可能である。圧電素子は高い精度の動作を実現する必要がある、ドイツ製のPSt150/7/40VS12が採用されており、精度は1nmを達成している。現在、原子力工学試験の精密な位置決めへの応用に成功している。

③ 微細運動パラレルメカニズム

2005年、北京航空航天大学のCHAO氏などが光ファイバー接続のための微細運動パラレルメカニズムを提案し、3-RRRパラレルメカニズムをベースとして、上部に3-RPSパラレルメカニズムを実装し、アクチュエーターの6自由度運動を可能にするも

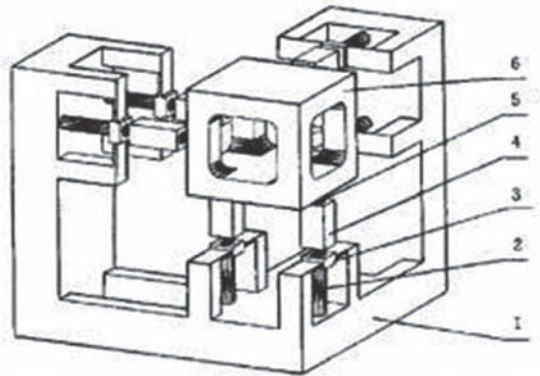
134 Z. Jianjun, G. Feng, L. Weimin, and J. Zhenlin, "Micro-kinematics and its movement decoupling analysis of a new typed six-DOF parallel micro-moving robot," JOURNAL OF MACHINE DESIGN, vol. 20, pp. 22-25, 2003 (In Chinese)

135 W. Dong, L. N. Sun, and Z. J. Du, "Design of a precision compliant parallel positioner driven by dual piezoelectric actuators," Sensors and Actuators A: Physical, vol. 135, pp. 250-256, 2007

のである。ここで、Rは回転関節、Pは直動関節、Sは球関節を表している。図1-8-5にその外観を示す。底部の3-RRRメカニズムの作業空間は $120\mu\text{m} \times$

$130\mu\text{m} \times 18\text{mrad}$ であり、精度は $50\text{nm} \times 50\text{nm} \times 5\text{mrad}$ である。

図1-8-3 6自由度平行微細運動ロボットの原理図



(1.ベース、2.圧電素子、3.弾性ヒンジ、4.弾性体、5.ボールジョイント、6.可動プラットフォーム)

図1-8-4 ナノ精度平行マイクロマニピュレーションロボットの外観

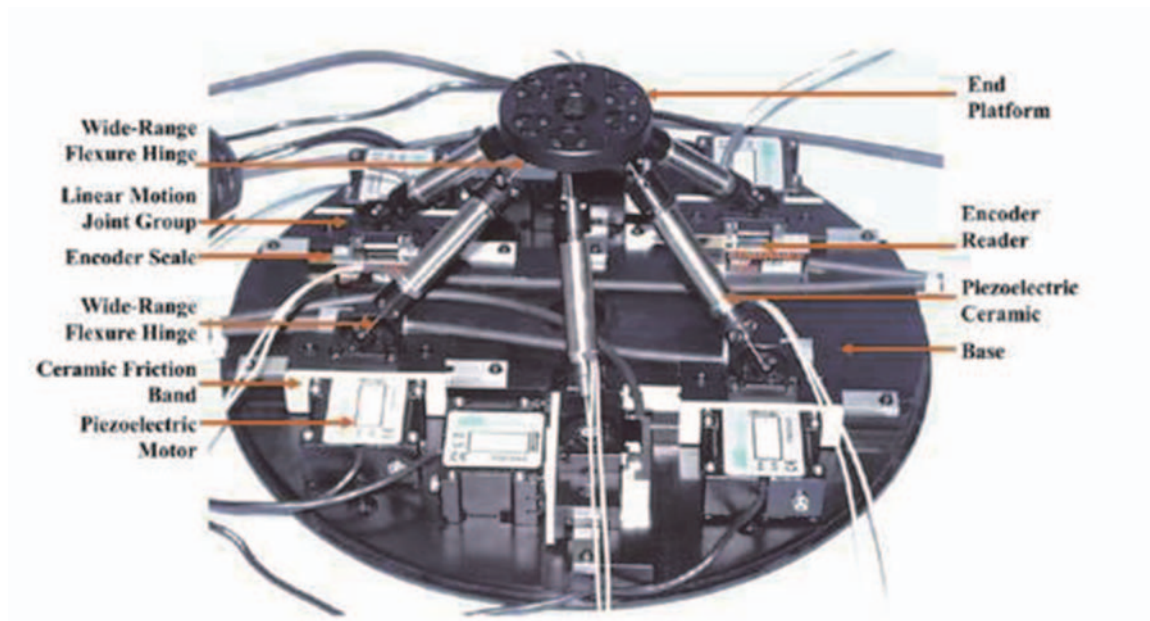
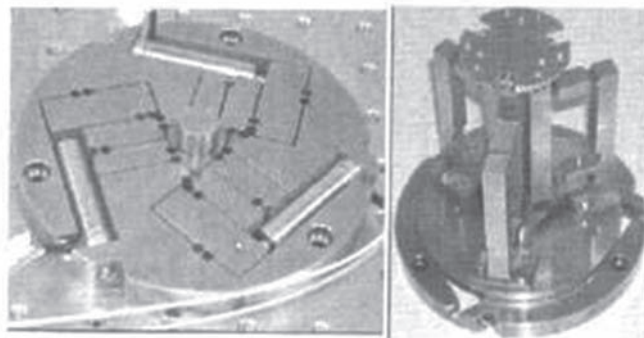


図1-8-5 光ファイバー接続のための微細運動平行メカニズムの外観



④パラレルマイクロマニピュレーションメカニズム

2005年、マカオ大学はパラレルマイクロマニピュレーションメカニズムの研究を開始し、Li氏らによって図1-8-6に示される2自由度の可撓性マイクロマニピュレーションロボットが提案された¹³⁶。擬似剛体モデル法に基づいて数学モデルを確立し、メカニズムの作業空間及び運動特性に関する解析と最適化を行った。このメカニズムは $180\mu\text{m} \times 180\mu\text{m}$ の作業空間を有し、稼働プラットフォームは数nmの精度を有している。

⑤DNA分子マシン

近日、中国科学院上海応用物理研究所と華東師範大学の提携により、DNA分子マシンの分野で新しい進展が得られた。エキソヌクレアーゼで駆動する高性能のDNA走行ロボットが開発されている¹³⁷。細胞内の複数の機能を実現させることや、マクロ世界における機器作動という異なる種類の技術がそれぞれ十分に機能し、これら自然界由来の分子マシンは数億年の進化により生成された生体高分

子を活用している。また、試験管内のモデル細胞の動態には規則性があるため、人工的分子マシンの構築は研究者の関心を集めることになり、2016年のノーベル化学賞も「分子マシンの設計と合成」であった。DNA分子は強力なシーケンシャルプログラミング能力と分子識別能力があり、分子マシンの重要素子と考えられている。高性能のDNA分子マシンの設計・構築は、ドラッグデリバリー、DNA並列計算、及びバイオセンサー検査などの分野で利用可能性が高い。これまでに合成されたDNA分子マシンでは持続的に運用する能力が低いことが多かったが、この技術的な課題に対して、物理生物学研究室内の樊春海研究員と華東師範大学の裴昊教授などが協力して、エキソヌクレアーゼで駆動する高性能のDNA走行ロボットを構築した。この研究チームはDNA分子の金ナノ粒子表面での構造、密度及び方向を制御することにより、酵素分子とDNA間の相互作用の力を顕著に変えることができることを発見し、これをベースにして、ナノ界面上のDNA分子の空間配列を調整し、

図1-8-6 2自由度可撓性マイクロマニピュレーションロボットの原理図

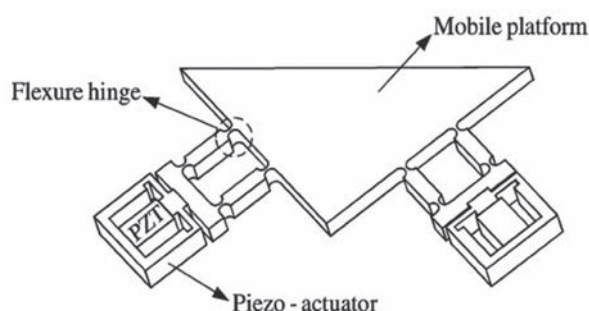
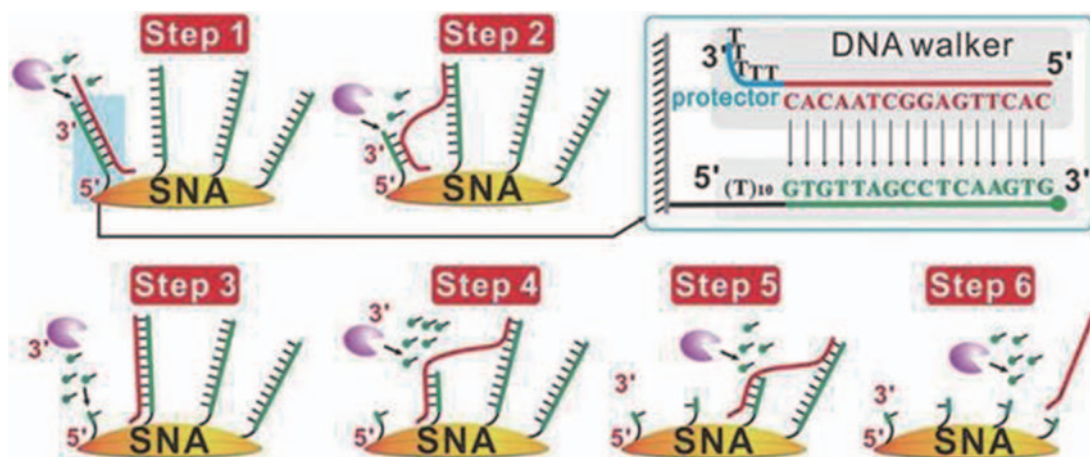


図1-8-7 DNA歩行ロボットの原理



136 Y. Li and Q. Xu, "A novel design and analysis of a 2-DOF compliant parallel micromanipulator for nanomanipulation," IEEE Transactions on Automation Science & Engineering, vol. 3, pp. 247-254, 2006.

137 X. Qu, D. Zhu, G. Yao, S. Su, J. Chao, H. Liu, et al., "An Exonuclease III-Powered, On-Particle Stochastic DNA Walker," Angewandte Chemie International Edition, vol. 56, pp. 1855-1858, 2017.

DNA 分子が金ナノ粒子表面で自発的に移動できることを可能にする分子マシンを設計した。この原理を図1-8-7に示す。この分子マシンの動作は発生シグナルの増幅に応用でき、DNA ハイブリダイゼーションプロセスの高感度検査を実現することが可能である。この研究は新規のインテリジェント診療機器及び分子コンピュータの設計に向けて新たな原理と方策を提供するものである。

⑥マイクロロボット群制御

2016年、香港中文大学は印加磁場でマイクロロボット群の方向を制御する方法を報告した¹³⁸。この方法は動的な外部磁界の利用により、マイクロロボット群の動作方向及び速度を制御するものである。外部磁界制御コイルは三軸のヘルムホルツコイルと増幅器で構成され、さらに観察用の顕微鏡とCCDカメラを搭載したものである。磁場の方向の変更はコイルの指向性を変えることによって可能となる。マイクロロボット自身に移動及びナビゲーション機能がない代わりに、マイクロ

ロボット群全体の動作状態は完全に外部磁場で制御される。磁場の駆動と外部制御によるナビゲーションの下、マイクロロボット群は任意形状の経路を通過して指定の位置に到達する。図1-8-8に制御の様子を示す。従来の内部駆動方式は大量のロボット群に遭遇した場合に適用できないが、外部駆動はより効果的にこの問題に対応できる。この実験において、外部磁界の強度は10mTであり、マイクロロボットのサイズは数百ナノメートル前後である。大量のマイクロロボットが集結した後は流路の背後に色差が生成されるため、顕微鏡観察が行いやすい。

⑦昆虫型飛翔ロボット

2017年、上海交通大学マイクロエレクトロニクス学部のYangZou氏などが、MEMS技術を用いて、重さ100ミリグラム未満の昆虫型飛翔ロボットを開発した。このロボットは、図1-8-9に示すように圧電素子で駆動し、羽ばたきを実現している¹³⁹。

図1-8-8 マイクロロボットの群制御の様子

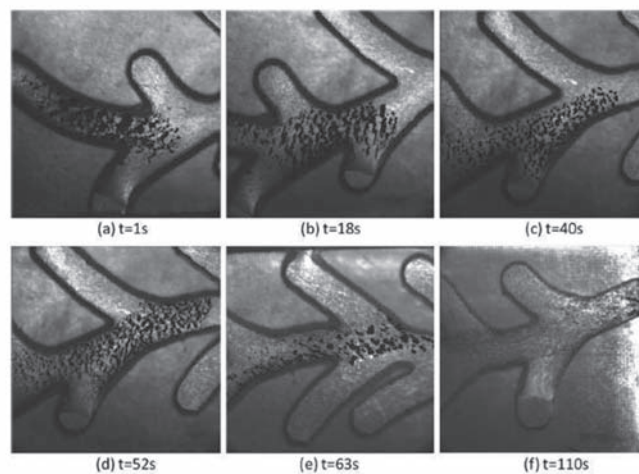
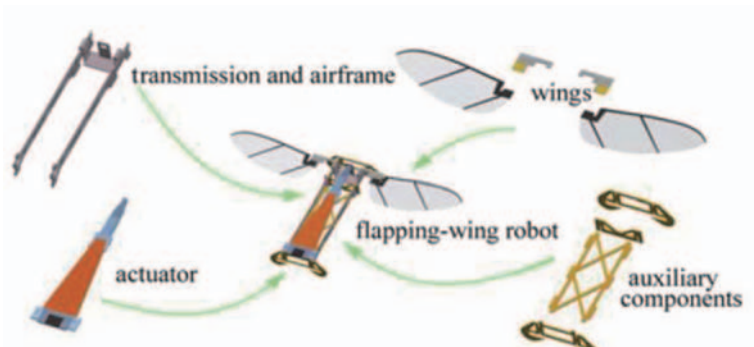


図1-8-9 昆虫型飛翔ロボットの原理図



138 Q. Chao, J. Yu, C. Dai, T. Xu, L. Zhang, C. C. L. Wang, et al., "Steering micro-robotic swarm by dynamic actuating fields," in IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5230-5235, 2016

139 Y. Zou, W. Zhang, X. Ke, X. Lou, and S. Zhou, "The design and microfabrication of a sub 100 mg insect-scale flapping-wing robot," Micro & Nano Letters, vol. 12, pp. 297-300, 2017.

(2) センシング

①高速細胞機械特性測定システム

2012年、瀋陽理工大学の王智博氏は、原子間力顕微鏡を用いて細胞機械的特性の高速自動測定システムを提案した。この方法は細胞の機械的特性を利用して無標識のバイオマーカーとし、原子間力顕微鏡のプロープを用いて測定を行うと同時に、画像処理技術を用いて細胞を識別することによって、従来方法の手作業のモデルにおける時間の浪費、低効率、生物学的統計分析において大量のサンプルを検査するための要件を満たさないという問題を克服する。部分スキャンを利用してAFMチップと細胞の相対位置の精密な較正を実現することによって、AFM結像を必要とせず細胞の機械的特性の連続的な測定が可能となり、プログラム制御を組み合わせた移動運搬プラットフォームは、広範囲の領域内における細胞の機械的特性の大規模測定を高速で自動的に完成させることができる。実験結果により、このシステムは細胞の機械的特性の測定の効率を27倍に向上させることによって、Label-freeバイオマーカーの大量の検査に対し技術的サポートを提供できることが示された¹⁴⁰。

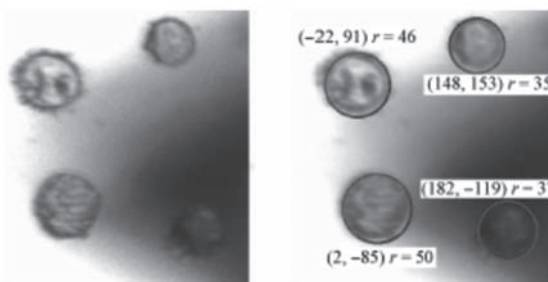
②SEM遠隔ナノ操作システム

2013年、ハルビン工業大学のロボット技術及びシステム国家重点実験室は、バーチャル3D視覚及び力覚インタラクションに基づいたSEM遠隔ナノ操作システムを提案した¹⁴¹。これはバーチャルリアリティ技術を結合し、力覚フィードバック装置によってバーチャル3D視覚フィードバックとバーチャル力覚フィードバックに基づいた遠隔ナノ操作プラットフォームを構築するものである。バーチャル環境を現実世界のナノ操作環境に正確に反映させるため、バーチャルモデルの衝突実験及び力覚レンダリングに対して綿密な設計

を行っている。同時に、力覚フィードバック装置とバーチャル環境の間にバーチャルマルチリンクを導入して力覚インターフェースの安定性を確保し、マスター端制御モジュールの協調性を増強した。正確なナノマニピュレーションを実現するため、対象領域の画像の特徴に基づいた方法を用いてプロープ深度情報を抽出し、像のぼやけとプロープの基底までの距離との関係を迅速に構築し、プロープに対する閉ループ制御を可能にしている。このシステムプラットフォームを利用して、単一のZnOナノワイヤーの移動試験を実施している。構築したマスター・スレーブリモート・ナノマニピュレーションプラットフォームは次のような仕様となっている。実験プラットフォームは主にSEM (KYKY-EM3200)、スレーブ端SEM制御PC、ナノポジショナー Autocube (SEMサンプル空洞内に取り付ける)、圧電コントローラ (ANC150)、力覚フィードバック装置 (Omega3)、マスター端制御PC及びオペレーターを含む。図1-8-11aに外観を示す。

プロープ深度情報取得スキームを検証する場合、まず手動の方式によってANC150を操作してナノポジショナーを制御し、プロープを基底に移動させ、次いで鮮明な画像を得よう手動でSEMを調節する。この際、プロープのゼロ点校正を行い、100ステップの間隔でプロープを上方に移動させる。シングルステップの動作での距離は $0.5\mu\text{m}$ で、キーポイントxs、tはプロープの先端を画像の開始位置に設定する。対象領域pは 100×150 ピクセルの領域であり、100ステップ移動するたびにSEMの画像を取得して、A及び|A|に基づいて画像コントラストを算出する。曲線適合により、プロープが最も鮮明な原点（基底平面）から上に向かって移動する過程において、関数曲線が単調減少の性質を表し、深度判定の条件を満たすことがわかる。

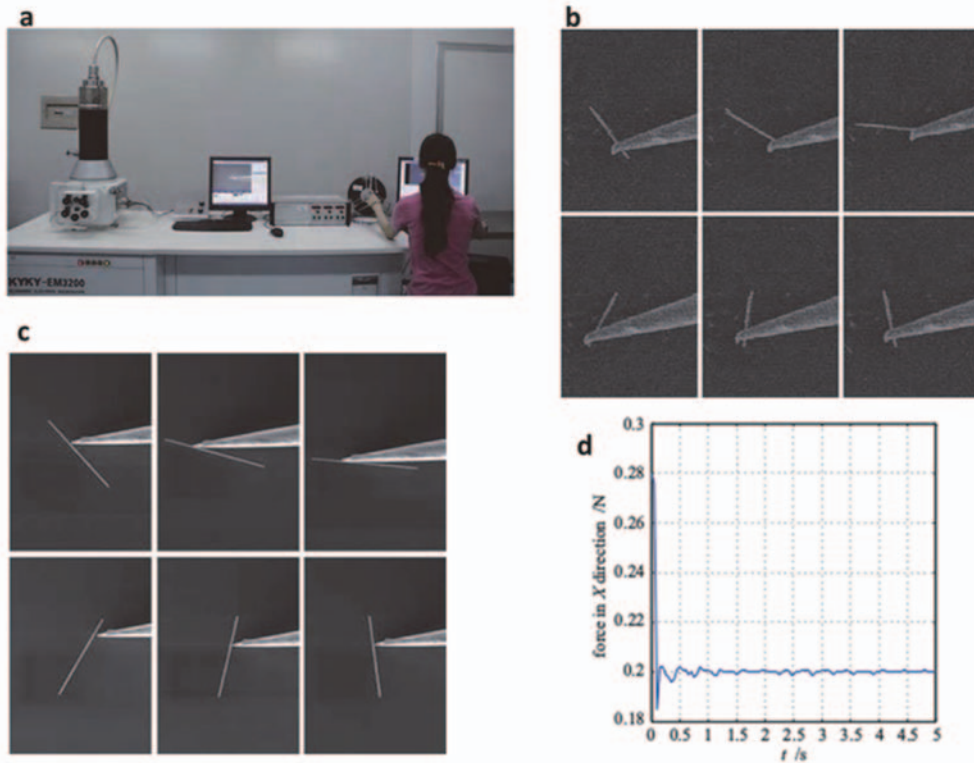
図 1-8-10 前後の識別と較正



140 W. Zhi-Bo, L. Lian-Qing, W. Yue-Chao, X. Ning, D. Zai-Li, and H. Shu-Tao, "A High-speed Automatic System for Measuring the Mechanical Properties of Cells," ACTA AUTOMATICA SINICA, vol. 38, pp. 1639-1645, 2012. (In Chinese)

141 L. Dongjie, R. Weibin, S. Lining, X. Wanzhe, and Z. Yu, "SEM-based Tele-nanomanipulation System with Virtual 3D Visual and Force Interaction," Robot, vol. 35, pp. 52-59, 2013. (In Chinese)

図1-8-11 遠隔ナノ操作システム概要



a. 装置外観、b. ZnO ナノワイヤーの移動実験1 (リアルタイム画像)、c. ZnO ナノワイヤーの移動実験2 (同期撮影)、
d. バーチャル環境で取得したプローブ先端のX方向の応力曲線

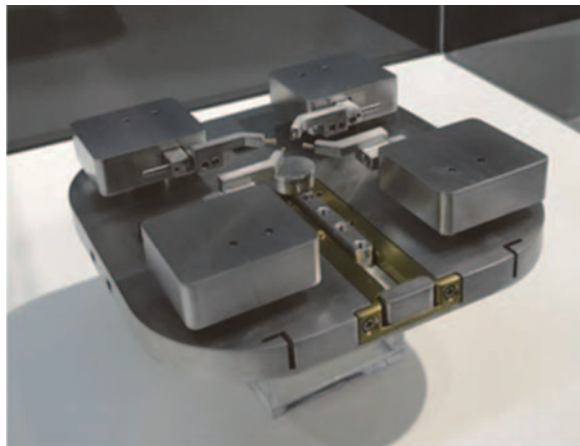
(3) マニピュレーション

① ナノマニピュレーションロボット

2016年の世界ロボット大会で、ハルビン工業大学(HRG)は世界初の変位フィードバックセンサーシステム搭載のナノマニピュレーションロボットをリリースした¹⁴²。ナノマニピュレーションロボットは、研究者によるナノレベルの観測、特性評価及び操作を補助することができる。変位フィードバックセンサーシステム搭載のナノマニピュレーションロボットは、操作の精度を向

上させ、センチメートルを超える動作範囲においても1ナノメートル以下の位置決め精度を保証している。現在、ナノマイクロマニピュレーションロボットの用途は、主にバイオテクノロジーと医学実験、マイクロナノ開発研究の教育分野である。例えば、ナノマイクロマニピュレーションロボットは細胞のDNA抽出作業を行うことができる。ナノマニピュレーション技術を用いて製造したマイクロロボットはまた、直接人体の血管内に入って疾病治療などを行うことを目指している。

図1-8-12 ナノマニピュレーションロボットの外観



142 <http://www.donews.com/net/201610/2941122.shtml> (In Chinese)

②生物医工学用マイクロマニピュレーションシステム

南開大学の研究開発による「生物医工学用マイクロマニピュレーションシステム」は、倒立顕微鏡を主体として、左右に把持可能な工具で空間3自由度の動作を行う機械アーム、平面2自由度制御が可能なプラットフォーム、及びオートフォーカスシステムを設置している¹⁴³。システムは顕微視鏡の誘導の下、コンピュータで制御され、両アームを協調させ機械的に自動又は半自動の操作を行うことができる。その機能は生物医工学の主な操作、例えば染色体切断、細胞トランスジェン注入などをカバーしている。このシステムはごく狭い操作空間内で、操作器具を制御してマイクロメートルレベルの精度の動作を行うことが可能であり、細胞レベルでの切断、注射、微電圧測定などの典型的な生物医学的操作に適している。

③全光学式生物用マイクロマニピュレーションシステム

中国科技大学が研究開発した光ピンセットを用いた「全光学的生物用マイクロマニピュレーションシステム」は、植物のトランスジェニックに成功し

た¹⁴⁴。この実験は馬鈴薯の解毒、及びポピュラストメントサ（中国産ポプラの一種）で行い、50W パルスレーザーでDNA 溶液内に浸した子葉の局部に対して、個別に細胞貫通孔を開けるものである。蛍光染色により、レーザーで穴をあけた部位は紺碧色を呈し、トランスジェニックを行うためのGUS 遺伝子がすでに葉肉細胞に入ったことが示され、これによって上記植物のトランスジェニックが成功したことが証明された。光学マイクロマニピュレーションによるマイクロ加工は従来の機械的加工システムとは異なり、生物細胞、細胞器官及びその他の微細粒子に対するマイクロ加工が光学によって可能となり、いかなる機械的接触もない。レーザー光ピンセットは簡便に三次元空間で微粒子を捕捉し、空間上で正確な位置決めを行うことができ、これによって粒子（あるいは細胞）の選別に用いることが可能で、それらを互いに接触させることによって、その相互作用を観察することもできる。レーザーメスはレーザー光ピンセットに挟まれた「被加工物」の穿孔、トランスジェニック、細胞器官切断、溶接などの加工が可能である。

図 1-8-13 生物医学工学用マイクロマニピュレーションシステム外観

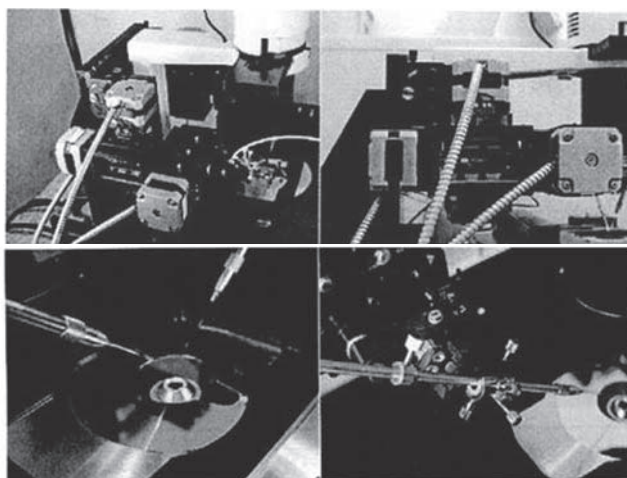
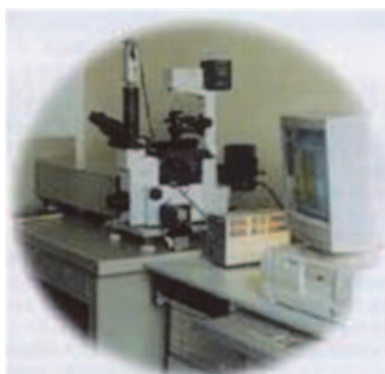


図 1-8-14 全光学式生物用マイクロマニピュレーションシステム



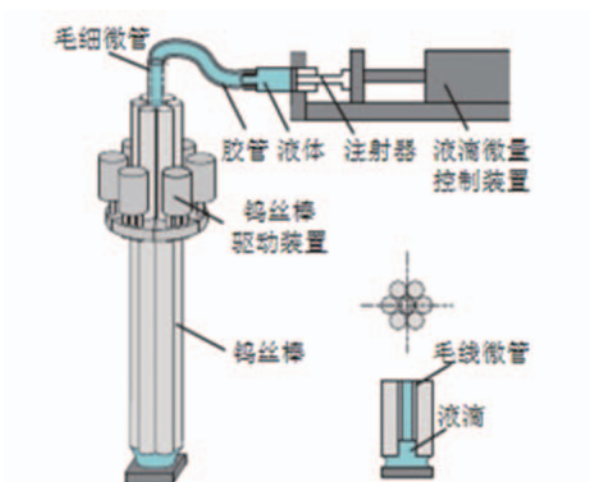
143 <http://www.docin.com/p-122097891.html> (In Chinese)

144 <http://www.kepu.net.cn/gb/technology/robot/advance/adv205.html> (In Chinese)

④液滴マイクロマニピュレーター

2014年、華南理工大学は液滴マイクロマニピュレーターのメカニズム解析、及び実験についての報告を行った¹⁴⁵。液滴マイクロマニピュレーターは1本の毛管とその周りの6本のタングステンマイクロロッドにより構成され、微小管内に注入された液体は、マニピュレーター末端に液滴を形成する。液滴の表面張力に基づいて微小な物体を吸い取り、液架橋の形態を制御することによって液架橋力を制御し、微小な物体の姿勢制御や放出等の操作が可能となる。タングステンマイクロロッドは中心微小管の周囲に緊密に配置され、液体は注射器を通過して微小管内に注入され、6本のタングステンマイクロロッドで囲まれた領域を経て、マニピュレーター末端で液滴を形成する。注入する液体の量は液滴微量制御装置で制御する。液滴微量制御装置はコンピュータを介してステップングモーターを制御し、マイクロロッドの伝動で微量注射器の定量推進を実現し、それによって注射の分量の制御を実現する。6本のタングステンマイクロロッドはそれぞれマイクロステップングモーターによって独立して制御される。各タングステンマイクロロッドの上下の移動量の制御によって、マニピュレーター端部に形成される液滴の形態を変える。表面張力により液滴に付着させたマイクロ部品の姿勢は、液滴の形態変化に従って制御される。マイクロマニピュレーター先端のサイズは1.25mmであり、タングステンマイクロロッドを駆動するマイクロステップングモーターは0.24 $\mu\text{m}/\text{pulse}$ である。

図1-8-15 液滴マイクロマニピュレーターの構造



(4) 微細作業

①細胞手術ロボット

天津大学精密機器・光電子工学学部のマイクロ技術研究チームは、細胞標的化薬剤の導入の分野において大きな進展を見せた。国際的に初めてMEMSによるフィルム共振器で極超音波（ギガヘルツ）を照射して細胞標的化薬剤の導入を行う新技術を提案した。同チームは細胞に「手術」を行い、多種の分子を細胞に正確に挿入することを可能にして、従来の細胞標的化薬剤の導入技術に全く新しい方法を提供するものであり、マイクロマシンシステム技術をライフサイエンスに利用する道を切り開いた。研究に関連する成果は、近日、ネット上のマイクロナノ技術分野において世界的権威の学術誌《Small》で発表される¹⁴⁶。

標的薬剤分子、治療遺伝子、及びタンパクなどの外因性分子の細胞への正確で効果的な導入は、現代の精密医療と細胞分子生物学研究において重要な技術である。従来の細胞への導入は化学薬品又は電気的刺激に依存しており、例えば我々のよく知る「化学療法」は、選択的薬剤導入ができないだけでなく、使用中に「細胞性免疫応答」を引き起こして、健康な細胞まで破壊し、深刻な副作用が生じる。一方、マイクロナノ装置は体積が小さく、電力消費が少ないという利点を有し、人体内で選択的細胞薬剤導入を可能にするものであり、マイクロナノ技術によって単細胞薬剤を導入することはすでに現代の分子生物学研究の焦点となっている。

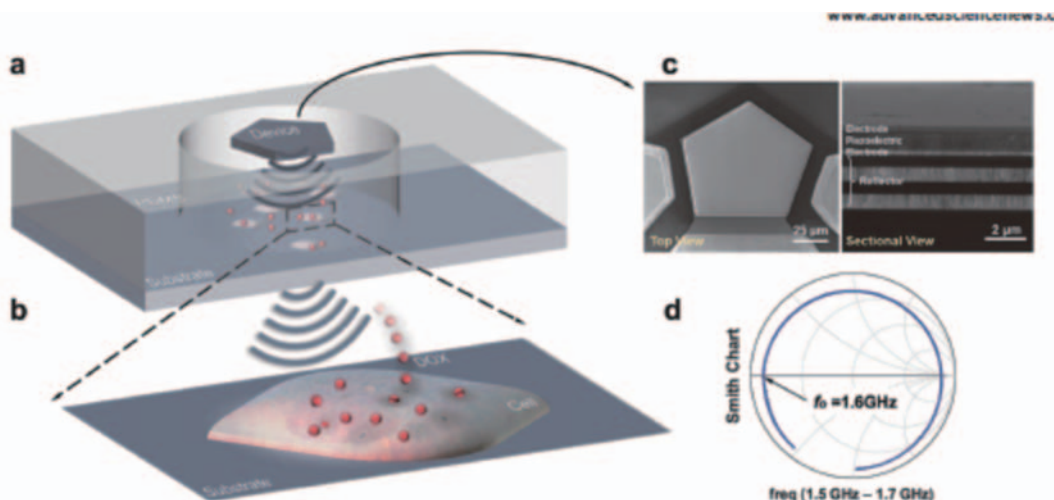
MEMSとは、サイズが0.5～500マイクロメートルの可動素子で構成されたシステムのことである。天津大学マイクロ技術研究チームは、龐慰教授や段学欣教授、及び王艷艷副教授などのメンバーの共同研究によって、大量の微小電気機械共振器、センサー、アクチュエーターの研究開発を行い、ライフサイエンスなどの分野に手を伸ばし、独自の知的財産権を具えた高いレベルの研究成果を得ている。

この新技術では、共振器を利用して「極超音波」を励起生成し、この極超音波の振動を用いて効果的且つ安定的に細胞膜上に小孔を形成し、標的薬剤又は遺伝子分子などの外因性物質を誘導して細胞に入れるものである。極超音波の細胞に対する振動圧力は、通常の超音波の約60倍であり、より均一に細胞膜に応力を生じさせることができる。

145 Z. Qin, G. Yuming, H. Weijun, and A. Hisayuki, "Mechanism Analysis and Experiments of Liquid-drop Micromanipulator," Robot, vol. 36, pp. 430-435, 445, 2014 (In Chinese)

146 Z. Zhang, Y. Wang, H. Zhang, Z. Tang, W. Liu, Y. Lu, et al., "Hypersonic Poration: A New Versatile Cell Poration Method to Enhance Cellular Uptake Using a Piezoelectric Nano-Electromechanical Device," Small, vol. 13, p. 1602962, 2017

図 1-8-16 全光学式生物用マイクロマニピュレーションシステム



a. b. 装置の簡略図、c. 装置のSEM 写真、d. 共振装置のスミスチャート

これにより、外因性物質を正確に細胞、あるいは細胞核に導入することが可能になり、さらにそれ自体は細胞に毒性副作用をもたらさない。

この研究チームは数学、及び物理モデルを用いて、高周波音波の液体内における細胞に対する作用について理論的シミュレーションを行い、それがもたらす細胞膜の結合変化の物理的メカニズムを解明している。さらに、実験室で異なる濃度、サイズ、タイプの外因性物質を細胞内へ導入する実験を展開した。その結果、このシステムは効率的で、電力消費が少なく、多様で導入位置が制御可能であることが証明され、さらに複数標的化、位置決め、単細胞への薬剤導入を可能にし、従来の薬剤導入技術とは比べものにならない利点を有することが明らかになった。

1.8.3 中国をリードするマイクロナノロボット研究機関

(1) 北京理工大学智能ロボット研究センター

(BAICIRS: Beijing Advanced Innovation Center for Intelligent Robots and Systems, Beijing Institute of Technology)

北京市政府は特に支援する21の研究センターを設立しており、その中でも最初に設立されたセンターである。センターは北京理工大学の自動化学部を中心に組織され、海外からの招へい研究者も含め8名のシニアPIと7名のPIで構成されている。センターの設置期間は当初5年計画であり、予算規模は年間170,000USD（16億円）で、中国国内ではロボットに関する最大規模の研究機関である。研究開発は次の4つの分野が定められている。

- ①基礎研究：先進革新的な分野で、新たな科学的知見、理論、方法論を目指す。
- ②ロボットプラットフォーム：国内外で共通に利用できる先進的研究プラットフォームであり、ロボットの基盤技術の解決や広範囲な応用、効果的なデモなどが期待できるものを目指す。
- ③ロボット製品：知的財産を取得し、確実な市場と自律的かつ持続的な開発ができる製品作りを目指す。
- ④国が定める主要な応用分野への対応：ロボットに関する国家最重要戦略や国家基盤技術開発プロジェクトなどへの対応を目指す。

このようなスキームの中で、マイクロロボティクスに関する研究は主にそのバイオ応用を目指して研究が進められている。人工3次元細胞システムの構築や、マイクロ・ナノレベルでの刺激応答計測による細胞・組織の新たな生理現象の解明を図るためのバイオ応用プラットフォーム構築などが行われており、世界のマイクロロボティクス研究の中心となるであろう。また、センターの看板研究の一つにヒューマノイドの研究がある。北京理工大では元々 Prof. Qing Huang (BAICIRS センター長) が2000年よりヒューマノイドの研究に着手し、BHR1から最新のBHR6までがこれまで開発されており、BHR5は人と卓球ができることで大きな話題となっている。BHR6は本センターで開発中であり、転倒したり転んでもロバスタな対応ができるヒューマノイドである。

(2) 蘇州大学機電学部、ロボットとマイクロシステム研究センター¹⁶

・研究開発の方向1：先端技術ロボットメカニズム及び動作制御の基礎理論

先端技術ロボットメカニズムの革新及び最適化設計ロボットの高速化、高精度化、積載能力向上、軽量化、集積化に向けた開発及びマイクロ型生体模倣ロボットの先端技術、高度な動作、高精度化、集積化などに向けた高性能なロボットメカニズムの研究、生体模倣原理、マイクロナノ技術のロボット革新的メカニズムに基づいた原理及び集積方法、メカニズム型総合的原理及び数学的記述などの基礎理論、並びに最適化設計などの研究が行われている。

・研究開発の方向2：先端技術ロボットの知覚及びインテリジェンスの理論と方法

ロボットのインテリジェント化に向けた動向及び支援ロボットへの需要に対して、複雑構造化、非構造化及び静態、動態での未知環境における知覚、モデル化、再構成理論及び自動位置特定、ナビゲーション、タスク及びルート設定、並びに判定などのインテリジェント制御方法、ロボットの生体感知及び行為の生体模倣理論、並びに生体模倣制御技術、複数のロボットインテリジェント技術理論及び方法の研究が行われている。

(3) その他の機関

マイクロナノロボットの分野では、各高等教育機関及び研究機関の専門分野が異なり、それぞれの機関の間では研究内容が重複することもあるが、分業して連携することもあり、開発への取り組みは健全なものとなっている。そのうち、先進的プロセスとしてMEMSやNEMSの製造という面で突出しているのが、「上海交通大学マイクロエレクトロニクス学部 (School of Micro-Electronics, Shanghai Jiao Tong University, <http://mnfab.sjtu.edu.cn/CN/Default.aspx>)」、及び「蘇州大学機電学部 (School of ME and EE, Soochow University, <http://jdxxy.suda.edu.cn/index.aspx?id=1>)」の2機関である。

マイクロナノロボットの生物医療への応用面で特徴的な研究を行っているのが、香港城市大学医用生体工学部の孫東氏 (<http://www.cityu.edu.hk/mbe/medsun/>)、北京航空航天大学ロボット学部 (Institute of Robots, Beihang University, <http://robot.buaa.edu.cn/index.htm>)、北京理工大学インテリジェントロボット学部 (Institute of

Intelligent Robots, School of Mechatronics, BIT, <http://baicirs.bit.edu.cn>)、及び中国科学院瀋陽自動化研究所 (Shenyang Institute of Automation, CAS, <http://www.sia.cas.cn>) であり、そのうち瀋陽自動化研究所のマイクロナノプロジェクトチームはロボット学国家重点実験室を設立し、実験室の劉連慶氏のプロジェクトチームのハイドロゲル微細加工、及び藻類マイクロ駆動ロボットという研究成果が国際的な定期刊行物の誌上で発表された。 (<http://nanolab.sia.cn/default.aspx>)

ナノレベルの駆動精度の研究分野で顕著な成果をあげたのはハルビン工業大学ロボット研究所 (National lab of Robotics, HIT, <http://robot.hit.edu.cn/main.htm>)、及び中国科学院自動化研究所 (Institute of Automation, CAS, <http://www.ia.cas.cn>) である。

外部駆動のマイクロロボット分野で貢献したのは、香港中文大学天石ロボット研究所 (CUHKT Stone Robotics Institute, Chinese University of Hong Kong, <http://www.cuhk.edu.hk/ri/>) である。

1.8.4 現在進行中の大型国家プロジェクト

上記のとおり、中国のマイクロナノロボット研究開発は未だに政府の基金プロジェクトが主導し、高等教育機関と研究所が主体となって進められている。これらのプロジェクトの資金投入量は莫大で長期的であり、研究の継続性も好ましい。助成の対象機関は、研究の実績が豊富で、研究員も充実している研究団体が多く、同時に求められる課題目標も高く、傑出した成果をあげることが求められている。さらに、他の研究活動にプラットフォームを提供し、模範的であり先導者としての役割を有していなければならない。これらのプロジェクトに投入される資金は一般的に1000万元以上で、大きなプロジェクトが複数の課題に分けられ、各課題の間は関連性が緊密である。プロジェクトの研究チームもそれぞれの課題に取り組む複数のチームで構成される。ここで南開大学及び上海交通大学が担当している重大プロジェクトを例に、国家重点プロジェクトの状況についての紹介を行う。

(1) 医用生体工学を見据えたマイクロ操作ロボットシステム

「ロボット操作による体細胞クローン豚」の研究は、南開大学ロボット・情報自動化研究所の趙新教授が率いる学際的研究チームによるもので、天

津市牧畜獣医学研究所が主な連携機関である。南開大学ロボット・情報自動化研究所が長年にわたり研究開発してきた「医用生体工学を見据えたマイクロ操作ロボットシステム」は、2002年度国家技術発明二等賞を獲得したことがある。今回のクローン豚の誕生は、この技術が15年の年月を経て重大な進展を見せたということである。110日間の妊娠期間を経て、4月26日と29日に、それぞれ二頭の通常の代理母豚から13頭の健康な純ランドケース種の子豚が生まれた。従来の手作業によるクローン技術と比べて、今回のロボットによるオートメーション操作は、労力が少なく、細胞への損傷が少なく、さらに精度の高い操作によって、体細胞クローン技術の成功のためのキー指標である「胚盤胞率」は10%から20%に向上するとみられている。図1-8-17にシステムの外観と詳細部を示す。

体細胞クローン技術のカギとなる部分は、卵母細胞内の遺伝物質を抽出して、育成する体細胞の遺伝物質を注入することである。人手による操作の力、角度、損傷程度等は細胞の回転、位置決め、抽出、注射等の過程でいずれも異なり、育成後期に困難をもたらして成功率を低下させるものであった。しかし、ロボットによる操作が可能になってからは、まったく様相が一変した。操作者はマクロ操作ツールと細胞の接触過程での細胞の応力状況を分析してから、最小の力に基づいた細胞の抜き取り抽出をそれぞれ実現し、細胞核移植過程での最低限の細胞応力を保証している。手作業に

よる細胞の抜き取りでは、細胞は最大で $30\mu\text{m}$ から $40\mu\text{m}$ 変形するが、演算後のロボットによる操作では、変形を最大で $10\mu\text{m}$ から $15\mu\text{m}$ に抑えられる。このマイクロ操作システムは平衡圧モデルに基づいた操作を行い、また細胞抽出の過程もより良く操作可能となっている。図1-8-18に最小限の力に基づくロボット化体細胞核移植の各種データを示す。

報告によると、このプロジェクトは国家重大科学研究機器研究開発特別プロジェクト、「863」計画先進製造分野、天津市インテリジェントロボット重大科学技術特別プロジェクトの支持を得ている。趙新氏のチームは国家重大特別プロジェクトを担当してから15年の努力を経て、この進歩を実現させた。南開大学が開発した「医用生体工学を見据えたマイクロ操作ロボットシステム」は倒立顕微鏡を主体とし、左右両方に把持可能なツールが3自由度運動を行う機械アーム、平面2自由度可制御性プラットフォーム及びオートフォーカスシステムを配置しており、システムは顕微鏡視覚の誘導の下、コンピュータ制御で、両アームが協働して機械的全自動又は半自動で操作する。このシステムの機能は医用生体工学の主要な操作（例えば染色体の切断、細胞トランスジェン注射）を網羅している。また、微小な操作空間で、操作ツールのナノメートルレベルの精度での動作を制御し、細胞レベルでの切断、注射、微小な電位測定等の典型的な医用生体工学的な操作に適するものである¹⁴⁸。

図1-8-17 NK-MR601 マイクロ操作システム

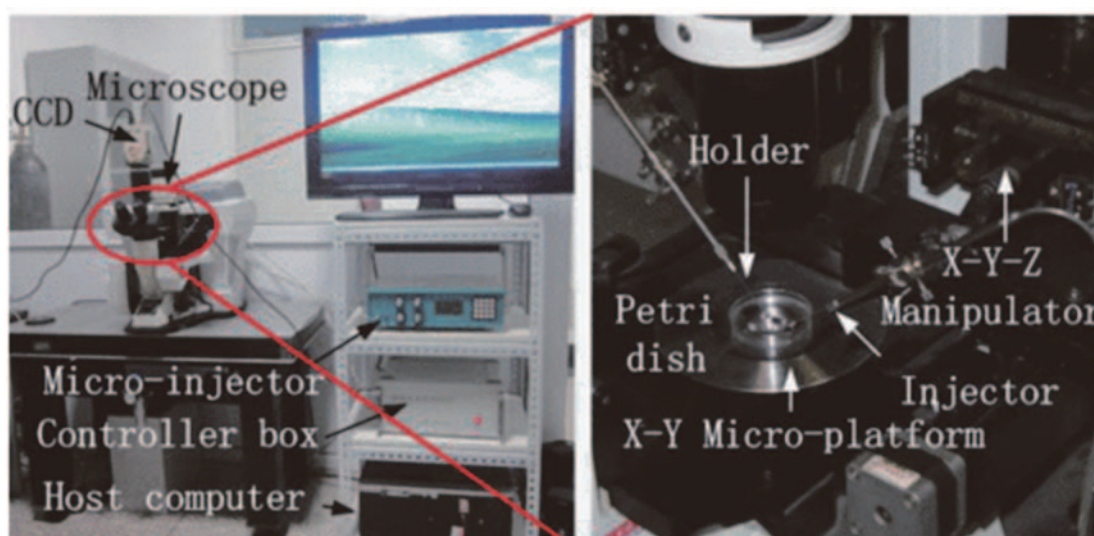
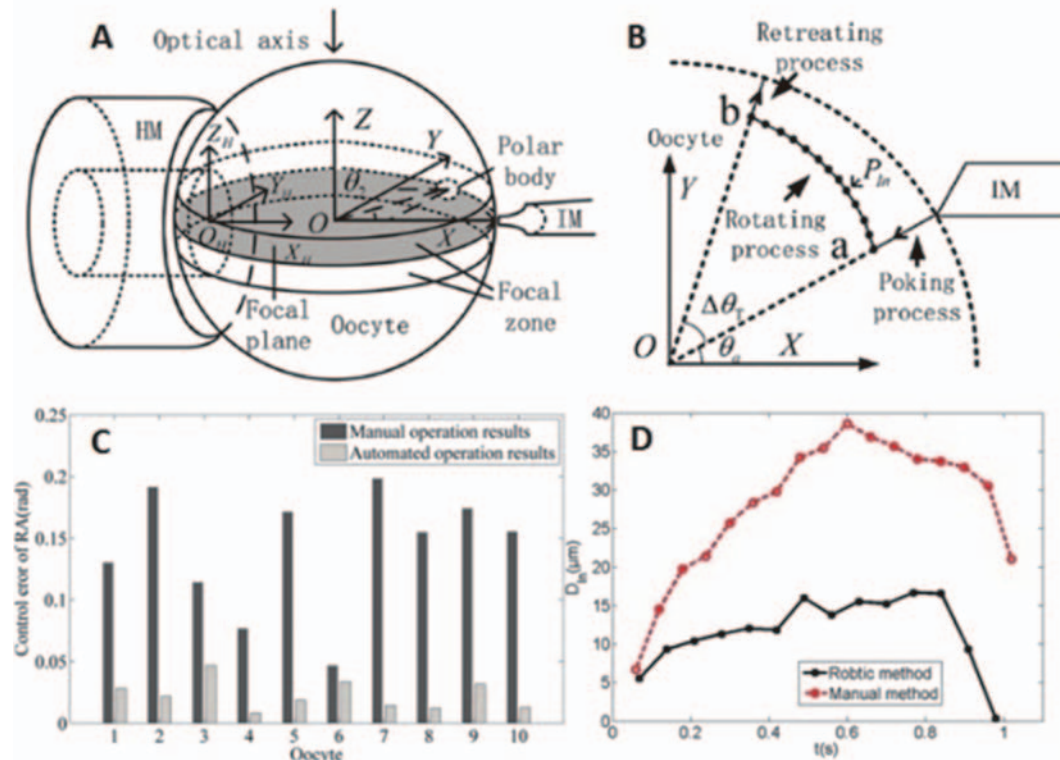


図 1-8-18 最小限の力に基づくロボット化体細胞核移植の各種データ



A. 卵母細胞応力の分析、B. 卵母細胞の抜き取りの軌跡プランの結果、C. 自動細胞抜き取りと手作業抜き取りの制御誤差の対比、D. 自動細胞抜き取りと手作業抜き取りの細胞差し込み深度の対比

(2) 重負荷対象のマイクロ変位及び微振動の高精度インテリジェント制御の研究、及び染色体マイクロ切断・マイクロクローン装置並びにその中核技術の研究

上海交通大学の高峰教授が率いるマイクロナノ操作ロボットチームは、染色体の操作、切断、特定の染色体フラグメントのノックアウト及びターゲット染色体の抽出を実現した。このプロジェクトは国家自然科学基金委員特別プロジェクト及び重点プロジェクトの支援を得て、チームが長年研究してきた6自由度平行機構の設計、マクロ動作及びマイクロ動作を一体化したロボットをベースに、広範囲の6軸マクロ動作及び狭い範囲の精密なナノマイクロ動作を同時に行う能力を実証した¹⁴⁹。

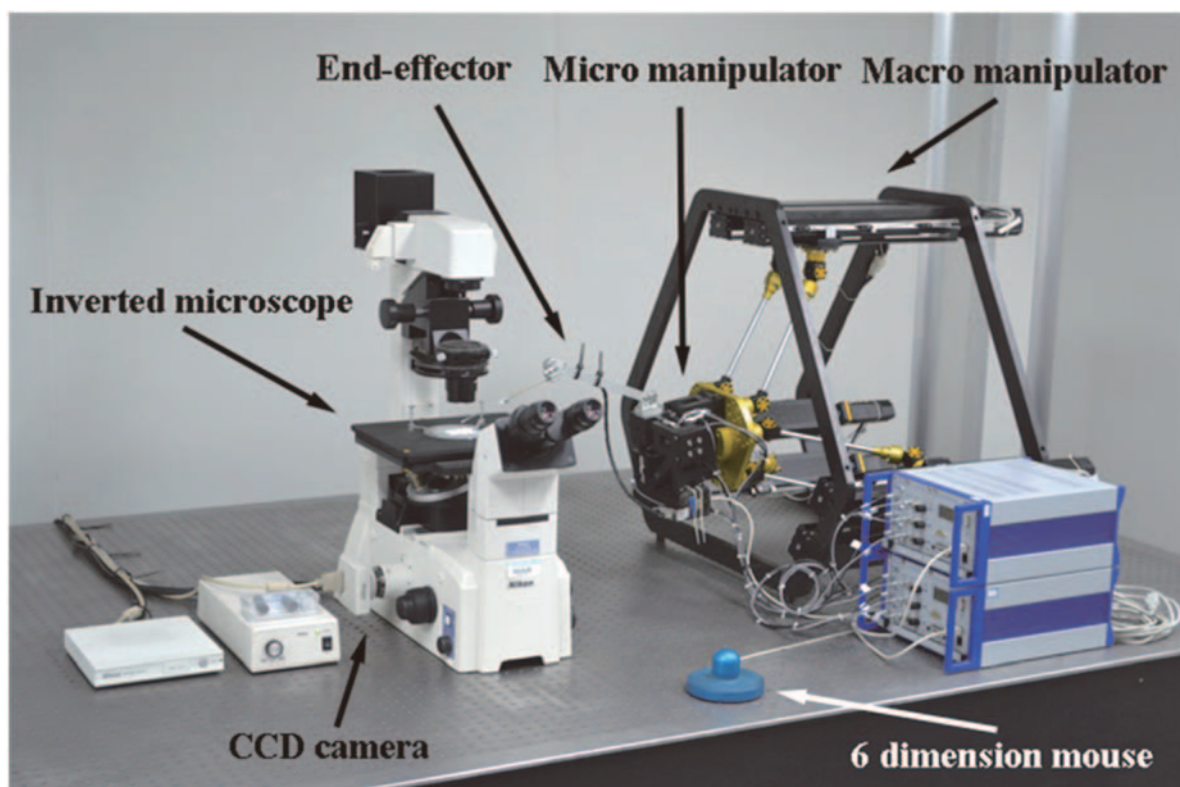
この移動プラットフォームは平行メカニズムを採用し、可動部が低慣性モーメントを有するため高い移動効率と精度を有している。プラットフォームはACサーボで駆動され、位置決め精度は $3\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ 、デューティ比が大きく、構造はコンパクトで狭い空間での使用に適する。これと組み合わせた6軸力トルクセンサーは、その応力の大きさと方向及び作用点を測定し、ロボット

の精密加工組立での使用に適している。これと連動したマン・マシンインターフェースとして、6軸マウス（3つの並進自由度及び回転自由度）はディスプレイ上の3次元モデリングの直接的なモニタと操作が十分可能であり、マイクロナノロボットシステムの操作性を大いに向上させている。

マイクロ動作プラットフォームはマクロ動作プラットフォーム上に構築され、隙間のない可撓性ヒンジで連結され、全体が一体化構造ではない6自由度6-SPS平行メカニズム微動ステージとして設計されている。圧電セラミック駆動を用いており、6軸ナノマイクロサーボ動作制御を実現している。マイクロ動作プラットフォームの駆動は6軸力覚センサーで制御し、顕微鏡の視覚モニタリングの下、6軸マウスによって操作を行う。マイクロ動作プラットフォームの位置決め精度は 30nm に達する。このプラットフォームは染色体の操作実験で成功を収めただけでなく、エンドエフェクタを改装することにより、臨床顕微鏡による外科手術での操作、細胞やタンパク質のマイクロ操作、及び先進的プロセスにおけるナノマイクロ加工組み立てに用いることができる。図1-8-19にプラットフォームの外観を示す。

149 <http://gf.sjtu.edu.cn/Default.aspx> (In Chinese)

図 1-8-19 染色体切断マイクロプラットフォームの外観



1.8.5 まとめ

中国マイクロナノロボットの研究開発の成果は用途に従って言えば、主に駆動系、センサー系、マイクロマニピュレーション系、マイクロ組み立て系、及び手術系に分けられる。各項目の用途は現在の精密工業及びライフサイエンスの主な用途をカバーし、あらゆる分野にわたっている。一方、海外の研究開発の成果と比較すると、駆動系及びマイクロマニピュレーション系の成果は豊富だが、センサー系は比較的乏しい。しかし、中国政府の大規模な支援の下、上海交通大学マイクロエレクトロニクス学部、中国科学院瀋陽自動化研究所、北京航空航天大学ロボット学部、北京理工大学インテリジェントロボットセンター、ハルビン工業大学ロボット学部など、国際水準レベルのマイクロナノロボット研究開発機構が台頭している。

産業用ロボットの商業的活況と異なり、現段階及び予想されうる将来においても、マイクロナノロボットの研究開発と応用は政府の科学技術政策が主導して、国家重点プロジェクトの牽引及び国家自然科学基金等の研究開発費の助成により、委託された高等教育機関及び研究所によって行われるであろう。中国国内の産業用ロボットの商業化プロセスは既に第一段階の成功をおさめ、市場占有率も年々上昇しているが、マイクロナノロボットはその技術的ハードルの高さとハイテク技術志向の応用カテゴリーであるため、いまだに中国の

産業界において革新的な成果は少ない。ロボット研究開発力が高い高等教育機関と研究所が、研究開発費獲得の面で、また研究成果においてもリードし続けている。

マイクロナノロボット自身の持つ高い精密度によって、バイオテクノロジー、精密医療機器、マイクロエレクトロニクス製造、ナノ先進的半導体製造プロセス等の分野で大きな利用可能性がある。これらの分野応用に焦点を定めた研究開発の方向性は、絶えず縮小するサイズによってマイクロナノロボットのニーズを促進すると同時に、これらの研究の方向自体の進歩もまたマイクロナノロボットに先進的な製造技術を提供することとなる。このような研究開発状況の下、蘇州大学のような先進的MEMS・NEMS製造技術においてリードする立場の高等教育機関は、南開大学のようなバイオ技術において先行している高等教育機関と連携し、マイクロナノロボットの開発という分野において従来のロボット研究重点高等教育機関を凌駕するような成果を得ており、中国のマイクロナノロボット研究の多様性と研究能力を促進している。

引き続き中国のマイクロナノロボットの進歩は、基礎研究、技術的難関への取り組み、製造技術及び装置、応用システム等の各方面で目覚ましい成果をあげ、独自の知的財産権を有するマイクロナノロボット製造技術と設計法を確立することとなる。さらに、駆動、移動制御からセンシングや

末端プローブまでも自主開発できる人材が育成され、マイクロナノロボットの革新システムを整え、るとともに、マイクロナノロボット製造に必要なツール及び機器の研究開発と国産化が強化され、中国のマイクロナノロボットの進歩を支えてゆくことになるであろう。同時に産学連携のメカニズムを強化して、企業の参加を促進し、産業化可能なマイクロナノロボットを発展させ、生物医療産業、及びマイクロエレクトロニクス製造産業に重点を置き、米国や日本に見られる研究開発と産業化を共に重視するモデルを追求してゆくこととなろう。こうした中国の研究開発へのより大きな尽力とその膨大な国内需要によって、中国のマイクロナノロボットの発達は今後より一層、世界の先進技術との差を縮めてゆくであろう。

最後に、本稿をまとめるにあたり、資料収集にご協力を頂いた北京理工大学修士学生 Shengnan Dong氏、Junnan Chen氏、博士学生 Xiaoming Liu氏に謝意を表します。

1.9 中国消防ロボット技術

姚 建 梁

(浙江西科機器人技術有限公司研究院副院長、消防機器人技術總監)

戴 文 明

(浙江西科機器人技術有限公司)

王 忠 民

(浙江西科機器人技術有限公司)

黄 民

(北京信息科技大学)

许 宝 杰

(北京信息科技大学)

1.9.1 はじめに

中国では近年、火災事故による消防士の死傷者が急増している。2015年8月12日23時、天津港で深刻な火災爆発が発生し、80名の消防士が犠牲になった。消防士の命を守るために、何かできることはないか。

自動化技術が成熟する中で、インテリジェントな技術を応用した消火ロボットやドローン偵察機をはじめとした高度な機器を利用して、消防士の代わりをすることができるようになった。消火ロボットは特殊なロボットであり、階段の昇降、障害物の乗り越え、温度・熱放射、雨に対する耐性、防爆、防錆、抗ノイズ、自己防衛、リモートコントロール歩行などの機能を備えている。消防士の安全を守るために、過酷な環境下で、有害化学物質の検出、消火、冷却、物品の移動、消火、火災状況の偵察を消防士に代わって実施し、災害救援能力

を向上させる。消防において重要なことは、「迅速に動き、初期消火で済ませる」ことである。しかし、場所によっては消防隊が近寄ることができず、初期消火が遅れてしまう。2011年3月、東日本大震災の発生当日に起きた千葉県市原市の石油コンビナートの大火災もこれに該当する。石油に引火した炎の熱により消防隊が近寄れず、鎮火に8日も要した。今後、大規模火災を想定した消防ロボットの開発は、遠隔操作から、自ら現場の状況を判断し消火活動を行う、まさに自律するAI消防ロボットという方向になる。

1.9.2 中国の消防ロボットの進展

2016年4月、中国工業・情報化部、国家発展改革委員会、財政部は共同で「ロボット産業発展計画(2016-2020年)」(「机器人産業発展規劃(2016-2020年)」)を公表した。ロボット産業は、産業用と民生・サービス用に大別されるが、製造技術と情報技術が融合した最先端産業であり、次世代を代表する産業である。中国の人工知能は現在、「インターネット・プラス」行動計画や「中国製造2025」計画を通じて、開発、応用されており、中国のロボット産業の発展の可能性は極めて大きい。2015年5月、国務院は製造力の強化を促進するために、包括的な戦略として「中国製造2025」計画を公表した。それによると、飛躍的発展を推進する10の重点分野が指定されており、その1つが、「高度なデジタル制御の工作機械とロボット」である。こうしたなかで、中国の消防ロボット業界は、国の政策だけでなく人々の関心も集め、市場成長の傾向をますます強めるものと考えられる。消防ロボットは年間数十億元の市場需要を有する。同時に、災害救助の経済効果から、火災ロボットは数十億元という潜在的な価値をもたらすことが期待されている。政策支援に加えて、市場での需要によって、中国国内の消防ロボット産業の急速な発展が促進される。消防ロボットは、高温、危険、毒性、酸欠といった作業雰囲気はもちろん、煙やその他の複雑な環境下で消防隊員の代わりに消防、救助、搜索救助活動を行う、消防隊員の安全を守るための効果的なソリューションである。また、火災のデータ収集にも貢献し、消火と救助の効率を向上させる。

消防ロボットは機械技術、コンピュータ技術、電子技術、制御理論と人工知能技術などを一体化している。その開発は三つの段階を経ている。すなわち、シーケンサー制御プログラムの第一世代、感覚機能を有する第二世代、インテリジェントな消防ロボットの第三世代である。

消防ロボットのコア技術は下記の5つである。

①走行キャリア及び制御技術

走行性能のメリットモビリティは、消火時のロボットの走行速度、バリア踏破性能、運動状態及び制御機能に関係している。

②センシング技術

消防ロボットは、周囲の障害物の位置を決定し、危険が隠された場所の潜在的なリスクを確認し、迅速に火元を検出する。現在、超音波距離センサ、レーザ距離センサ、赤外線距離センサが広く用いられている。

③通信技術

火災救助現場では、地形と建物の高さが通信の質に影響を与える。消防ロボットは、無線及び有線通信の2つの方法を使用してリアルタイム伝送が確保できれば、消防士は災害の状況を正確に把握し、最適な消防計画を作成できる。

④消火装置

消火装置は放水銃、排煙ファン、タービンなどで構成される。火災により異なる消火装置は、効果も全く異なる。製造コストは消火装置の複雑さに伴い大幅に増加する。

⑤保護システム

保護システムには、ロボットの防爆と冷却装置が含まれる。消防ロボットの汎用技術基準に応じて適切な保護レベルを選択するとともに本体に冷却を施し、動作時間を延ばして安定性を確保することができる。

1.9.3 中国の消防ロボット技術

グローバルな視点に立つと、ロボットによる消火は目新しいものではない。東京消防庁は1986年

に無人放水ロボット「レインボー5」を初めて使用したが、その後、消防ロボットが広く消防や救助のために使用されるようになった。消防ロボットの開発は急速に進んでいる。海外災害救助では、さまざまな種類の消防ロボットがある。

中国では2002年6月、上海公安消防研究所、上海交通大学、上海市消防局が共同で国のプロジェクトとして「クローラと車輪付き消防ロボット」の開発に成功した。

下記が、中国の主な消防ロボットメーカーである。

- ・浙江西科機器人技術有限公司
- ・中信重工开誠智能装备有限公司
- ・上海格拉曼国际消防装备有限公司
- ・安徽沪宁智能科技有限公司
- ・扬州市虹安消防装备有限公司
- ・上海務進消防安全設備有限公司
- ・江苏安奇正消防設備有限公司
- ・上海强师消防装备有限公司

下記に、浙江西科機器人技術有限公司（機器人＝ロボット）を紹介する。同社は消防ロボットの専門会社で、開発は日本やアメリカの大学院で博士号を取得した技術者が担当している。

西科消防ロボットは80L/S消防ロボットの放水銃を装備している。偵察と消防情報探偵が一体化されている。大容量の電池で24時間以上の連続作業ができる。

消防ロボットは本体にクリスティー式サスペンションと4輪マチルダを採用しており、走行の安定性が高い。また、振動が少なく、障害物の踏破性にも優れている。(図1-9-2)

放水銃は国産を使っている。(図1-9-3)

図1-9-1 西科消防ロボット

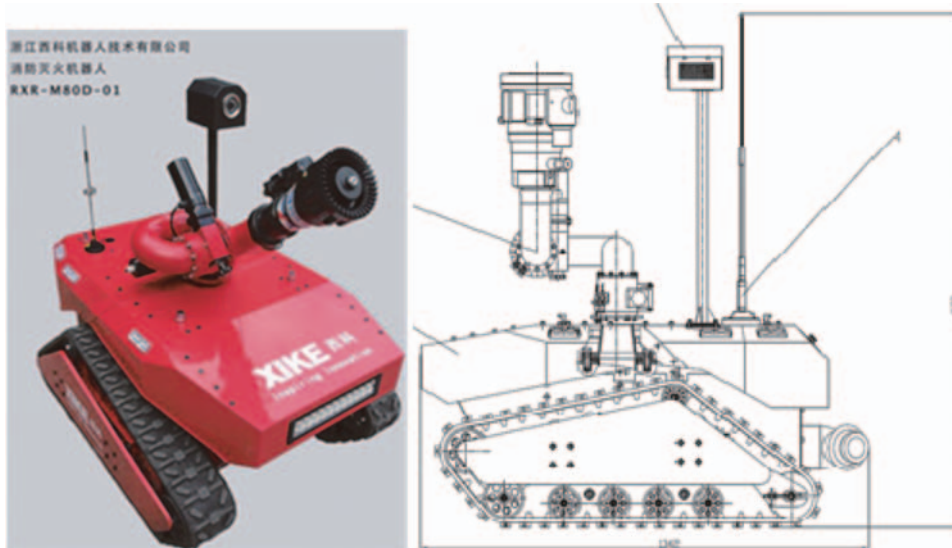


表 1-9-1 西科消防ロボット基本仕様

No.	基本パラメータ		
1	ウォーキングパフォーマンス	直線速度 (m/s)	1.12
2		直線偏差 (%)	2.7
3		回転直径 (mm)	1500
4		回転直径/自身長さ	1.09
5		クライミング能力 (%)	44.5
6		バリアー高さ (mm)	200
7		最小地上距離 (mm)	185
8		障害物クリアランス/地上クリアランス	1.08
9		側転覆安定角 (°)	25
10		制動距離 (m)	0.16
11	放水銃性能	圧力 (MPa)	1.15
12		放射距離 (m)	80.2
13		流量 (L/s)	79.80
14		最大噴霧角度 (°)	100
15		俯角 (°)	-10
16		仰角 (°)	90
17	外形寸法	長さ (mm)	1370
18		幅 (mm)	920
19		高さ (mm)	1160
20	重量 (kg)		286
21	牽引力 (kN)		2.2
22	モータ容量		1200W*2
23	通信距離 (M)		280 以上
24	バッテリー仕様		48V--80AH
25	有害気体検知		CO2、CH4、SO2

図 1-9-2

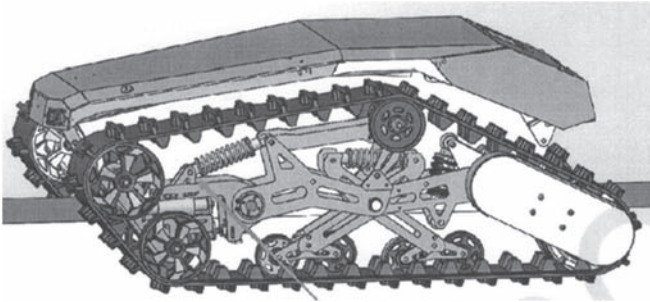
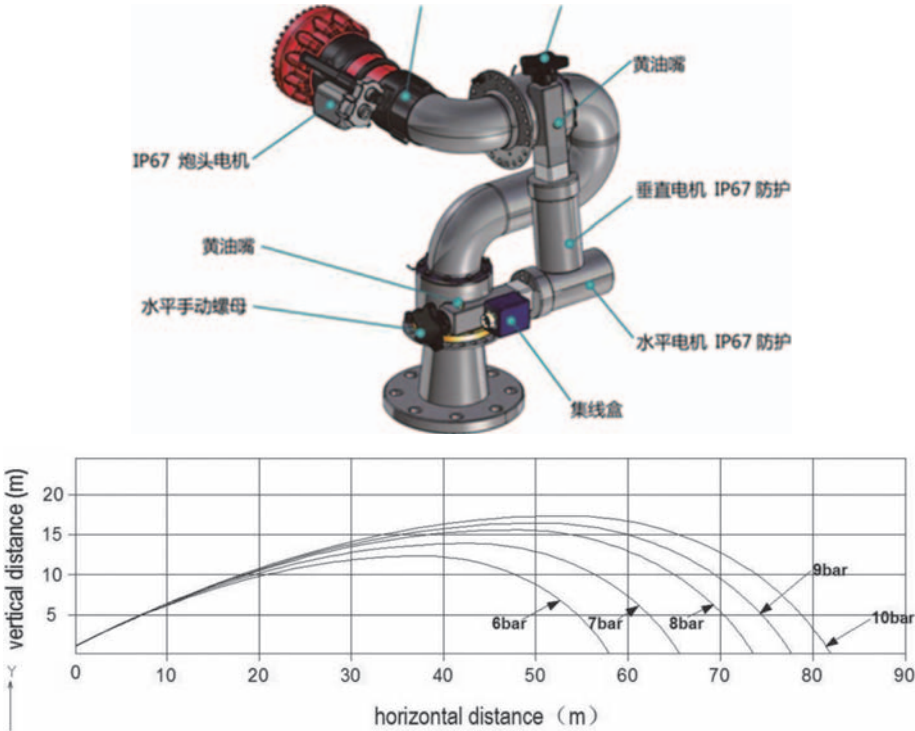


図 1-9-3



消防の現場は、非常に危険な現場が多い。そのため、ドローンを有効に活用することは、人が行けないような危険な場所への潜入や、大規模災害時の被害状況を迅速に確認する上で非常に効果的

となる。ドローンは、災害時にも使用できるようにカメラやガス検知器を備えている。ドローン型ロボットが火災の状況を把握し、火災現場までの最短距離を割り出す。

図1-9-4 ドローン型ロボット



表1-9-2 ドローン型ロボット基本仕様

No.	類 別	項 目	数値
1	ドローン	連続巡行時間 (min)	15
2		電池 (w)	800
3		飛行速度 (km / h)	30
4		飛行高度 (m)	500
5		遠隔操作距離 (m)	600
6		リモコン	9 チャンネル
7		飛行保護	自動サスペンション、停電量戻り
8		運転温度 (℃)	0 ～ 60
9	地面感知システム	防水性能	収納時 IP67、使用中 IP56
10		運転温度 (℃)	0 ～ 60
11		電池持ち時間 (h)	5
12		気体検知	CO、SO2、NH3 メタンガス

「ChinaFire2017 展示会」では最新の製品が展示された。中国では2017年の購入台数が200～250

ユニット、購入金額は3～4億元に達したと推測されている。一部の製品を以下に紹介する。

図1-9-5







1.9.4 日本の消防ロボット

日本の各社の資料と東京消防庁、消防防災科学センター、新聞記事、大学のホームページをもと（転載、引用）に日本の消防ロボットを紹介する。

「レインボー5」は、日本初の消防ロボットである。有線ケーブルを使用し、100 m離れた場所から遠隔操作ができる。また、特定小電力型無線を使うことにより、30 mまでの遠隔操作ができる。

図 1-9-6 「レインボー5」



日刊工業新聞の報道によると、4台連携で自律移動でき、大規模火災・災害に対応できる消火ロボットが2018年に開発される。三菱重工業と三菱電機特機システム（東京都品川区）、ヒロボー（広島県府中市）、深田工業（名古屋市北区）、東北大学、消防研が共同で開発した。現場に駆け付けると、まず耐熱性ドローンが上空から火災の状況を把握し、地上走行型の偵察ロボが石油タンクの周囲を調査する。放水ロボがタンクに近づくルートと給水ホースをはわせる空間が確保できると、放水ロ

ボとホース敷設ロボが現場に投入されて消火にあたる。

ドローンは熱画像カメラや燃焼ガスセンサーを搭載。上空から炎の広がりや放水の軌跡をとらえる。地上偵察ロボも、燃えているタンクや周囲の温度を計測し、高温による内圧爆発を監視する。放水ロボが放水位置に着くと、ホース敷設ロボが来たルートを戻りながらホースを敷設する。後方で消防隊員が消防ポンプ車とホースを接続し給水する。

図 1-9-7



「放水砲ロボット」は、放水または泡放射を行うノズルを備え、1分間に4,000リットル、圧力1.0メガパスカル（MPa）で放射することができる。「ホース延長ロボット」は内径150mm（呼び径150A）の消防用ホースを最長300m搭載可能で、曲がり角を含む目的の経路上に、硬くて重い（2kg/m）同ホースを適切に敷設できるよう、ロボットの走行に合わせて自動でホースの送り出しと巻き取りを実現している。

放水砲ロボットの主な仕様

寸法（外形）	長さ：2,000mm、幅：1,400mm、高さ：2,200mm
質 量	1,600kg
移動方式	4 輪駆動前輪操舵方式
移動速度	7.2km／h（2m／sec）
搭載センサー	RTK-GPS、LRF、IMU、オドメトリ
機能性能	地図上の指定位置まで自律で走行、20kW／m ² の輻射熱環境での活動を想定した設計 消火冷却のための水および泡放射（4,000L／minを1MPaの圧力で）

ホース延長ロボットの主な仕様

寸法（外形）	長さ：2,400mm、幅：1,800mm、高さ：2,200mm
質 量	2,800kg
移動方式	4 輪駆動前輪操舵方式
移動速度	7.2km／h（2m／sec）
搭載センサー	RTK-GPS、LRF、IMU、オドメトリ
機能性能	150A ホース延長敷設300m、地図上の指定位置まで自律で走行

千葉工業大学のロボットは低重心化により、がれきの多い現場での優れた走破性能を実現した。福島第一原子力発電所事故対応用に改造された「Quince」は2011年7月、線量測定、写真撮影、ダストサンプルの採取に成功。「Quince」が福島第一原子力発電所3号機の冷却系バルブのダメージ具

合を撮影した画像が決め手となり、注水可能との判断が下された。(図1-9-8)

NEDOプロジェクトで開発された「Kenaf」と「Quince」をベースに、原子力発電所内での探査を行うことに特化した「Rosemary (ローズマリー)」と「Sakura (サクラ)」が開発された。(図1-9-9)

図1-9-8 「Quince」

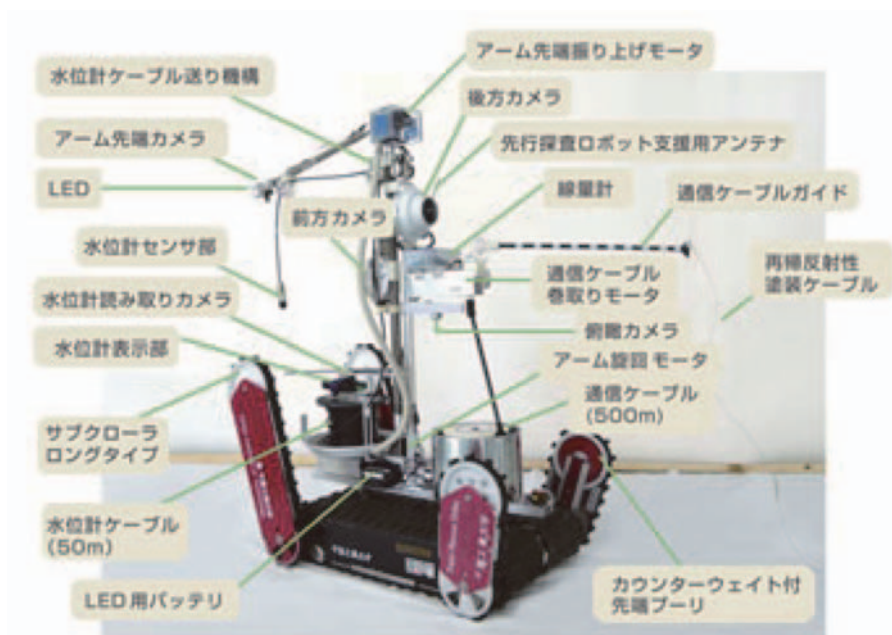


図1-9-9 「Quince」の原発対応の知見を活かして開発された「Rosemary」(左)と「Sakura」(右)



1.9.5 むすび

日本で最初に消防ロボットが配備されたのは東京消防庁の「レインボー5」であるが、1986年であり、その後20年以上が経過しているにもかかわらず、実際に配備運用されているロボットは充分とはいえない。アメリカやドイツ、イタリア、ロシアでも実用化は進んでいないが、中国ではすでに十数社が参入して、実用化が急速に発展している。人命救助の一翼を担う消防防災ロボット開発の重要度は、とくに火災現場では高く、その促進に向けての活動が期待されている。消防ロボットシス

テムは、飛行型偵察、走行型偵察、放水砲、ホース延長の4タイプのロボットと指令装置で構成されている。また、コンテナにそれら全てのシステムを収容し搬送する。まず、飛行型偵察ロボットと走行型偵察ロボットが自律的に飛行あるいは走行し、上空及び地上から偵察、放水監視等の情報収集を行う。これからは人工知能(AI)を駆使した、より一層スマートな消防ロボットに期待が高まっている。中国では産官学連携により、次世代のスマート消防システムの構築が進んでいる。

第2章

中国の知識情報処理に関する研究開発の
現状と動向

2.1 中国の人工知能開発の現状

任 福 継
(徳島大学教授)

2.1.1 人工知能

人工知能 (Artificial Intelligence) とは、英語で短縮すると AI である。人工知能とはコンピュータにヒトのある種の思考プロセス及びインテリジェントなふるまい (例えば学習、推理、思考、計画など) を模倣させる研究であって、人為的な手段による模倣で人類のインテリジェントなふるまいを行わせることが可能な人造の知能であり、これらインテリジェントなふるまいとは人類が脳で問題を考えたり創造したりすることである。人工知能はコンピュータサイエンスから派生したもので、その近年の主な目標は装置によってヒトの脳で行うある種のインテリジェントな機能を模倣して実行し、且つ関連する理論及び技術を開発することである。人工知能には未だ統一された定義がなく、様々な分野をバックボーンとする学者が様々な理解をしているが、人工知能はコンピュータサイエンス、心理学、哲学及び言語学などの学問に関係するものであり、自然科学や人文科学といったあらゆる学問に及ぶと言ってもよく、その範囲はコンピュータサイエンスの範囲を大きく超え、人工知能と純粋知性科学の関係は実践と理論の関係で、人工知能は純粋知性科学の技術的应用段階であり、その応用面での分岐である。思考という観点から見て、人工知能はロジカルな思考のみならず、イメージ的思考、インスピレーション的思考にまで踏み込んでこそ人工知能は大きな進歩に至ることができる。また、数学は一般的に様々な学問の基礎的な科学であるとみなされるが、数学もまた言語、思考の領域にまで踏み込んでおり、人工知能分野も数学的ツールの力を借りる必要がある。数学は標準論理やファジー数学などの範囲でその力を発揮するだけでなく、人工知能の分野にまで入り込めば、その二つの分野は互いに補い合って更に進歩を加速させることであろう。

これより、以下の文章において、中国の人工知能研究と開発の現状を紹介する。

2.1.2 人工知能開発までの歩み

人工知能の研究は1960年代に始まった。1956年、国際計算機学会は「人工知能」という言葉を提案し、これ以後、人工知能の研究は三つの異なる方向に沿って三つの異なる学派に発展した。まず一つ目が、ニューウェル、サイモン及びウィルソンなどに代表されるシンボリズムであり、その主な成果がニューウェル及びサイモンなどが開発した「ロジック・セオリスト」という数学定理を検証するプログラムのLT及び以後に出現する各種エキスパートシステムである。二つ目は、マカロック、ピッツ、ローゼンブラット、ホップフィールドなどに代表されるコネクショニズムであり、その主な成果はMPモデル、パーセプトロン、Hopfieldネットワーク、BPアルゴリズムなどである。三つ目は、ウィーナー、ブルックスなどに代表される行動主義の学派であり、その主な成果はブルックスが開発した「ジンギス」である。

1936年、弱冠24歳のイギリスの数学者チューリングはその論文「計算可能な数について」の中で、有名なチューリングマシンのモデルを提案し、1945年更に電子計算機的设计思想を論述し、1950年再び「機械は思考をするのか?」という文章の中で機械が思考可能であるという論述を行って、人工知能に対し傑出した貢献をした。1938年ドイツの若きエンジニアZuseは世界初の自由にプログラム可能なコンピュータのZ-1を開発し、それはその後更なる改良が行われた。他に、1946年アメリカの科学者モークリーなどは世界初の電子計算機(コンピュータ)ENIACを開発した。更に同じ時代のアメリカの数学者ウィーナーが考案したサイバネティックス、アメリカの数学者シャノンが考案した情報理論、イギリスの医学者W.R.Ashbyの「頭脳への設計」など、これら全ては人工知能の誕生のための理論及び実験ツールとして非常に大きな役割を果たした。

中国は1978年からようやく人工知能を課題とした研究を始め、主に定理証明、中国語の自然言語理解、ロボット及びエキスパートシステムの方面を課題として、初歩的な成果をいくつか挙げた。中国では前後して中国人工知能学会、中国コンピュータ学会人工知能及びパターン認識専門委員会及び中国自動化学会パターン認識と機器イン

テリジェント化専門委員会などの学術団体が設立され、その分野での学術交流を展開した。更に政府は複数の人工知能研究に関連する国家重点実験室を開設し、これらはいずれも中国の人工知能の研究を促進し、この分野の発展に大きく貢献した。また、国家的プロジェクトに組み込まれた「スマートアナログ」の研究の始まりは1978年からである。1984年、インテリジェントコンピュータ及びそのシステムの全国学術討論会が開催された。1981年から、相次いで中国人工知能学会（CAAI）などの学術団体が設立された。1986年からインテリジェントコンピュータシステム、インテリジェントロボット及びインテリジェント情報処理（パターン認識を含む）などの重大なプロジェクトが国家ハイテク研究発展計画に組み入れられた。1993年から、更にインテリジェントコントロール及びインテリジェントオートメーションなどのプロジェクトが国家科学技術攀登計画に組み込まれた。21世紀に入って、更に多くの人工知能やインテリジェントシステムの研究が各種の基金プロジェクトの支持を獲得した。

人工知能理論の研究に関し、中国の学者による海外の三大人工知能学派の理論を踏襲しているものの以外の代表的な研究は、中国の人工知能学の基礎を打ち立てた功労者であり、中国人工知能学会の主要な創設者の一人である涂序彦氏の提案したマクロ人工知能（GAI）、北京郵電大学教授の鐘義信氏の提案したメカニズム主義理論、北京師範大学教授の劉曉力氏の提唱する「認識はアルゴリズムで完全にならない」という理念を基礎とした研究原則などがある。現在、中国には非常に多くの技術者及び大学の研究者が様々なレベルでの人工知能の研究や学習を行っている。同時に、中国では百度、ファーウェイ、テンセントなどのような数多くの人工知能関連企業がより躍進している。

2.1.3 中国における人工知能利用分野の分析

(1) コンピュータビジョン分野の分析

① コンピュータビジョン関連企業の分析

中国マシンビジョン産業連盟（CMVU）の統計によると、中国に進出している国際的マシンビジョンのブランドはおおよそ200社以上、中国国内のマシンビジョンのブランドはおおよそ100社以上、マシンビジョン関連の各種製品の製品代理店業者は300社を超え、専門のマシンビジョンシステム統合の関連企業もおおよそ100社以上である。

② コンピュータビジョンの市場競争

現在、動的検出と認識は技術的条件に制限があるため、静的画像認識と顔認識の研究においては一時的に先導する位置にある。そのなかにはテンセント、螞蟻金融服務集団、百度及び搜狗のようなソーシャルネットワーク、ビッグデータを統合して検索するインターネットの企業があり、サムスン中国技術科学院、マイクロソフト・アジアラボ、Intel中国研究院のような従来型のハードウェアやテクニカルサービスの企業もある。同時に、Face++ 及びFaceIDのような先端技術の企業も各自の専門技術及び認識精度の面で大きな成果を得ている。

(2) インテリジェントロボット分野の分析

① インテリジェントロボットの機能分析

ロボット（Robot）とは自動的に作業を行う装置のことである。ロボットはヒトの指示を受けることもあるし、あらかじめプログラミングされたとおりに動作することもあれば、人工知能技術によって決められた原則に基づいて行動することもできる。ロボットの動作は人手を代替もしくは補助するものであって、それは製造業、建築業、又は危険を伴う作業に及ぶものであり、サイバネティックス、電子機器、コンピュータ、材料及び生

表2-1-1 中国におけるコンピュータビジョン市場の競争勢力の状況

競争分野	主要企業
画像認識の代表企業	百度、搜狗、サムスン中国技術科学院、マイクロソフト・アジアラボ、Intel 中国研究院など
顔認識の代表企業	暁視科技、テンセント優図、螞蟻金融服務集団、FaceID、漢王科技、サムスン中国技術科学院、マイクロソフト・アジアラボ、中科奧森、深圳科葩、Linkface、Sence Time など
動的視覚検出の代表企業	格靈深瞳、東風網力、Video++ など

表2-1-2 中国におけるロボット市場の勢力

競争分野	主要企業
家庭用ロボット	優必選、Rokid、公子小白ロボット、北冥星眸 GalaxyEye、A.I.Nemo、極思維智能科技など
インテリジェントアシスタント	百度、小iロボット、チューリングロボット、優必選、北冥星眸 GalaxyEye、蘿ト科技など
工業・サービス	新松ロボット、博実股份、優愛宝ロボット及びSlamtec など

体工学の高度な統合による産物である。現在、工業、医学及び軍事などの分野においてもその用途は重要である。

②インテリジェントロボット市場の競争

現状では、工業及び企業が提供するサービス用ロボットの開発は政策や市場のニーズを追い風に高度な発達段階にあり、代表的なものは中国科学院瀋陽自動化研究所に所属する新松ロボット、オートフォーカス医療分野の博実股份、及びDJI、優愛宝ロボット、Slamtecのような工業生産や企業サービスに特化したインテリジェントロボット企業である。現在、家事支援ロボットやインテリジェントアシスタント関連企業の数が顕著に増加している。

(3) 音声/語義識別分野の分析

音声認識のカギとなるものは大量のサンプルデータに基づいた認識処理であるため、多くの音声認識技術の関連企業はプラットフォーム化の方向に舵を切っており、様々なプラットフォーム及びソフト・ハード両面でのデータ及び技術の蓄積によって認識精度の向上が望まれる。

汎用の認識率については、各企業とも基本的に95%を維持しているが、真の意味での差別化は特化した分野でのカスタム化にある。

百度、アイフライテックのような上場企業はその並外れた技術、データの蓄積を背景に市場での優位性を確立し、更にソフト・ハード両面でのサービスを通して自社のサービスを向上させ続けている。他に、アイフライテックより後発である中国第二位の「音声認識公衆クラウド」企業である雲知声は様々な汎用音声サービスの提供において少なからぬシェアを有している。

アイフライテック以外では、中国科学院自動化研究所傘下の紫冬鋭意、納象立法及び国際的に評

価されている蘇州思必馳は教育分野の音声認識においてリードする地位を占めている。

注目すべきは、多くのロボット及び汎用ハードウェア製造企業が音声、語義認識において好ましい進歩を遂げていることである。例えば智臻智能がリリースした小iロボットの語義認識、チューリングロボットのカスタマイズ音声アシスタントロボット及びその関連サービス、Googleの投資を得たモブボイのソフト・ハードウェアサービスである。

(4) スマートホーム分野の分析

家庭用ロボットと異なり、スマートホーム及びマシンツーマシン企業が着目するのはインテリジェント機器及びインテリジェント中央制御の二つである。そのなかで、ハイアール及びミデアをはじめとする従来型の家電企業は自身のルート、技術及び付属商品といった優位を生かして、実体化したスマートホーム関連製品チェーンを作り上げている。

一方、アリババ、テンセント、京東、シャオミ及び楽視などのインターネット企業も各自のプラットフォームや端末リソースを介してそれぞれソフト・ハードウェアサービスを提供している。

注目すべきは、エコバックス、broadlink、感居物聯、風向標科技、欧瑞博、物聯伝感及びファーウェイなどのテクニカルソリューション企業は汎用ハードウェア及び技術、システムレベルでの技術的解決において、多くのスマートホーム及びマンツーマシン企業の提携パートナーとなっている。

総合的に俯瞰して、スマートホーム及びマンツーマシン企業は市場での分類、技術分野及びデータ蓄積の違いによって、それぞれ異なる差別化された技術的解決案を提案しており、既定の市場において、淘汰を目的とした競争はなく、各企業の協力関係は比較的強固である。

表2-1-3 中国における音声/語義認識市場の勢力

競合分野	主要企業
音声認識	アイフライテック、百度、モブボイ、智齒客服、思必馳、雲知声、助理来也、京東JIMI 智能客服、普強科技、捷通華声、紫冬鋭意、納象立法など
語義認識	アイフライテック、百度、テンセント、智臻智能、智齒客服、助理来也、京東JIMI 智能客服など

表2-1-4 中国におけるスマートホーム市場の勢力

競合分野	主要企業
従来型家電企業	ハイアールU+、ミデアM-Smart など
インターネット企業	03、QQ 物聯、京東微聯、シャオミ、楽視樂居家など
テクニカルソリューション企業	エコバックス、broadlink、感居物聯、風向標科技、欧瑞博、物聯伝感、ファーウェイなど

表2-1-5 中国における医療市場の勢力

競 合 分 野	主 要 企 業
医療用ロボットの代表企業	新松ロボット、博実股份、妙手ロボット、璟和技創など
メディカルソリューションの代表企業	テンセント、アリババ、百度、アイフライテックなど
ライフサイエンスの代表企業	華大基因、碳雲智能、貝瑞和康、安諾優達、聯合基因、北科生物など

(5) インテリジェント医療分野の分析

現在、中国のインテリジェント医療分野の研究は、主に医療用ロボット、メディカルソリューション及びライフサイエンス分野に集中している。比較的後発で技術的障壁があるため、医療用ロボットの研究レベル及び普及率は世界の最先端には未だ達しておらず、関連企業も手術用ロボット及びリハビリ補助用ロボットの二つに集中している。代表的なものは新松ロボット、博実股份、妙手ロボット、璟和技創である。

メディカルソリューションの方面では、テンセント、アリババ、百度及びアイフライテックをはじめとした企業が政府や医療機関と協力して、脳科学、疾病予防及び医療情報データなどの領域でインテリジェントな技術的解決案を提供している。

ライフサイエンスの分野においては、研究の着眼点は遺伝子や細胞検査をはじめとした最先端の領域であり、代表企業は華大基因、碳雲智能及び貝瑞和康などである。

総合的に見て、人工知能産業チェーンの基礎技術チェーンはすでに成熟し、人工知能技術及び用途は顔認識及び画像識別、音声アシスタント、インテリジェントライフなど専門分野でのコンテキスト・アウェア・コンピューティングの技術的解決策に集中している。こうした情勢から、将来の人工知能の差別化競争及び発達は主に人工知能関連技術の成果及びアプリケーションシナリオのバージョンアップの二つに集中するものと思われる。

2.1.4 中国の人工知能産業

中国の人工知能産業チェーンにおいて、80%の企業がシリーズBラウンド又はシリーズBラウンド以前のスタートアップ企業であるが、注目すべきは、カギとなる勢力は自身の技術力、資金及びデータといった条件によって中国国内の人工知能産業で有利なポジションを形成している。その中にはBAT（百度、アリババ、テンセントの中国三大ネット企業）をはじめとした従来型の巨大企業もあれば、アイフライテックのような細分化分野での巨大企業もある。日々充実する製品ラインからプラットフォーム構築まで、これらの企業は中

国人工知能産業の中心となる力量を具え、カギとなる勢力を形成している。

(1) 百度、テクノロジー主導のアプリケーションエコシステム

百度は人工知能分野の布石においてアプリケーションエコシステムにより重きを置いている。BATの中で、百度は専用アプリから汎用アプリへの変遷に最も近づいている企業である。

現在、百度は三つの主要なラボを有し、それぞれ北米シリコンバレーラボ、北京ディープラーニングラボ及び北京ビッグデータラボであり、すでに画像認識、画像検索、音声認識、自然言語処理、インテリジェント語義、機械翻訳及びパーソナライズド広告などの方面で顕著な進展（500件超の国際特許を取得し、そのうち270件超の神経言語プログラミング分野の特許及び120件超のディープラーニングの特許を含む）があった。

検索エンジンにより成長した百度は強力なデータ収集及びマイニングの能力があるため、ビッグデータの保存、分析及びマイニング技術を提供して、医療、交通など多くの分野での具体的な運用を推進し、更に複数の分野で自社の人工知能エコシステムを公開して様々なタイプのアプリケーション製品を発表している。

① 音声認識

音声認識の方面において、呉恩達氏をはじめとした研究チームは新しい音声認識方法を発明した。このディープラーニングに基づいたタイプの音声認識システムは雑音が絶えない環境下で81%近い認識精度を可能とした。この音声認識システムはディープラーニング・アルゴリズムによって従来のモデルにとって代わり、再帰型ニューラルネットワーク又はニューロンアレイを模倣して訓練を行い、音声認識システムをよりシンプルにしたものである。

② 画像認識

画像認識の方面において、百度もまたディープラーニング技術を利用して画像認識精度を向上させ続けている。2014年9月、百度雲は百度ディー

プラーニング研究院が提供した顔識別と検索技術を結合して、クラウド画像認識機能をリリースした。11月、百度はニューロンネットワークの模倣に基づいた「インテリジェント読影」を発表。これはヒトの脳による思考に類似した方法で、画像内の物体などを識別して検索するものである。

③ディープラーニング

ディープラーニングの演算及びストレージへのニーズを満たすために、百度は中国国内の十数か所にクラウドコンピューティングセンターを設立し40ギガビットスイッチを使用している。更に、百度は世界で初めてGPUを人工知能やディープラーニング分野に用い、商業用ARMサーバーを大規模化した企業となった。

これらの百度が形成した強力なストレージ・演算能力を統合することによって、多様な並列計算を可能とし、異なる用途及びシーンでのネットワーク構成の生成、設定をサポートし、人工知能に頼もしいハードウェアサポートを提供している。そのうち最も代表的な「百度ブレイン」はディープラーニングによってヒトの脳のニューロンを模倣し、パラメータの規模が100億クラスに達する世界最大規模のディープニューラルネットワークを構成した。百度ブレインはディープラーニング・アルゴリズム、データモデリング、大規模GPU並列化プラットフォームなどの技術を融合して、リアルタイムでの学習及び進歩を可能とするものであり、200億のパラメータを有し、巨大なディープニューラルネットワークを構築している。

(2) テンセント、ユーザーシステムに基づいたソフト・ハードウェアサービスエコシステム

テクノロジー指向の百度の人工知能エコシステムと比較して、高周波アプリケーション及び膨大なユーザー群を背景とするテンセントの人工知能分野への一手は主にユーザーシステムに基づいたソフト・ハードウェアサービスエコシステムに焦点を当てることである。

技術及びアプリケーション環境の充実（モバイル機器の普及、ユーザーの習熟度と認知度の向上、クラウドサービスソフトウェア形態の充実）に従い、顔識別や画像認識産業全体が新興産業に属するものとなった。そして中国のネット業界で最大のユーザー数を誇るテンセントも顔識別や画像認識分野への進出を選択し、これもテンセント人工知能エコシステム全体の最も調和のとれた競争力となった。

この分野の研究開発と着実な活用において、テンセントはいずれも世界をリードしている。FDDDB顔認証、LFW顔認識、PASVALVOC2012画像認識大会において、テンセント優図チームは認識精度の国際的な記録を塗り替えた。

テンセント内部の完成されたエコシステムを背景に、テンセント優図の顔認識技術はすでに金融、セキュリティ及び身分認証などの分野を結合したものとなっている。そのなかで、テンセント征信、微衆銀行及び財付通、QQ、広点通などの内部業務との提携を含め、関連機構の信用評価及び公安部のデータにおける全国民の身分証番号の検索業務にも関わっている。内外との提携において、関連技術も業務の中で着実に閉ループを形成し、膨大な業務データの長期にわたる実際の検証、継続的なフィードバックによってアルゴリズムを最適化した。

一方、テンセント・インテリジェントコンピューティング及びサーチ実験室の成立後、ウィチャットも香港科技大学と共同で人工知能実験室を設立し、主に音声認識、画像認識、語義理解などの方面を研究し、基礎研究の一部（音声転換文字など）はすでにウィチャットの機能に集積されている。

注目すべきは、専用アプリケーションの分野においてもテンセントはある程度のチャレンジを行っていることである。テンセント財経が研究開発した自動筆記ロボット「Dreamwriter」又はハードウェア分野でリリースしたインテリジェントボール型ロボット「微宝」はいずれもテンセントが将来の細分化された分野においてサービス用製品をリリースするという理念を反映したものである。

将来、TencentOSの活用及びQQ微信物聯の更なる実用化に従って、テンセントの生活レベルでのインテリジェントなハードウェア製品の研究開発もまた非常に注目すべき分野である。

(3) アリババ、アリクラウドを基礎としたビジネスの青写真

テンセントや百度と異なり、アリババの人工知能分野への布局は専門分野の汎用アプリケーションやスマートホームの二つの方面に集中している。そしてこれらはいずれもアリクラウドを基礎とする大規模分散型クラウドコンピューティング及びGPUクラスターと切り離すことができない。

2015年より、アリババは人工知能分野で力を発揮し始めた。このうち最も代表的なものは初の可視化人工知能プラットフォームDTPAIであり、これはアリババのコアアルゴリズムライブラリーを集積したものであって、特徴エンジニアリング、

大規模機械学習、ディープラーニングなどを含む。これを基礎にして、アリババは人工知能カスタマーサービス「小密」及びニューラルネットワーク、ソーシャルコンピューティング、感情認識などの原理に基づいたインテリジェントプログラム「小Ai」をリリースした。

2015年6月、アリババはソフトバンク傘下のロボット企業SBRHに145億円の戦略的資本注入を行った。ロボット製造と比較して、アリババの強みはクラウドコンピューティングとビッグデータ分野にあり、これもアリババのロボット製造分野において差別化のための競争障壁となるであろう。

一方、SBRHへの投資によって、アリババはロボット産業への道を開き、且つマシンビジョン、音声解析、家事インテリジェント制御、インテリジェントネットワークセキュリティなどの方面でSBRHと研究提携と交流チャンネルを確立し、そのスマートホーム方面の基礎技術の蓄積及び拡大に役立たせている。

インテリジェントマンツーマシン分野において、アリババはグループ傘下の天猫電器モール、アリババスマートクラウド、淘宝衆筹の三つの事業を統合、内部の優れたリソースを調整してインテリジェント製品の推進をサポートしてインテリジェントハードウェアのインキュベーションを加速させることを決めた。2015年4月には、アリババグループはスマートライフ事業部門創設を宣言し、全面的にスマートライフ分野への進出を開始した。

(4) アイフライテック、音声システムに基づいた汎用ソリューション

自社技術、ユーザー及び基礎的サービスをめぐって差別化を行った人工知能の競合エコシステムを構築したBATと異なり、アイフライテックは音声認識という分野でのみ突破口を見出すことを選択し、これをめぐり音声システムに基づいた汎用ソリューションプラットフォームを構築した。

中国語音声の合成、音声認識、会話評価など多くの部門での技術開発と成果を背景にして、アイフライテックは専門分野でのテクニカルソリューションを皮切りに、それぞれスマートホーム、インダストリアルセキュリティ、教育現場での試験に関するソリューション、インテリジェントハードウェアの音声認識ソリューションなど専門分野の製品の研究開発において中国国内で最も全面的な音声技術プラットフォームを構築し、音声分野で最も広範囲に使われるソリューションを実現した。

これに基づいて、アイフライテックも人工知能専門テクニカルソリューション企業から汎用技術アプリケーションプラットフォームへと役割を変えつつある。現在アイフライテックがリリースする大型の電気通信クラスのアプリケーションから小型の埋め込み式アプリケーションまで、電気通信、金融などの業界から企業や家庭ユーザー及びPCから携帯電話など各種モバイル機器まで見渡すと、アイフライテックはすでにあらゆるアプリケーション環境の製品に適應する能力を有しているのがわかる。

一方、現在の中国国内の音声認識市場では、アイフライテックが研究開発した音声合成製品は市場で70%以上のシェアを占め、電気通信、金融、電力、社会保険など主要産業でのシェアは80%以上であり、開発のためのパートナーは1万社を超え、アイフライテックを中心とする中国語音声産業チェーンがすでに一応の規模で形成されている。

(5) 各強豪企業間の対比

以上から、百度、テンセント及びアリババの三大巨大企業は自社技術、ユーザー及び基礎的サービスをめぐって差別化を行った人工知能の競合エコシステムを構築していることがわかる。このうち、百度及びテンセントはより画像、音声及びスマートライフシーンでのソリューションにウェイトを置き、一方のアリババはその方面に関わってはいないものの、主に重心をデータと技術を結合させたサービス型人工知能ソリューションの提供に置いている。

BATをはじめとした大規模で全面的なエコシステムの構築とは違い、アイフライテック市場における圧倒的シェアと長年にわたり築き上げた技術的な敷居によって音声認識のソリューション分野で独自の市場競争力を形成しており、これは中国国内の他のスタートアップ企業の将来の飛躍にとって好ましい見本でもある。

予測可能な事実として、人工知能製品ラインがより完全な百度は更に速い速度で専門分野から汎用分野の人工知能に変化し、テンセントのビジュアル的及びライフシーンのソリューションも実用化への余地がより多く、アリババは基礎技術の提供及び総合的ソリューションにおいて自社の競争障壁を形成するであろう。また、アイフライテックをはじめとする専門分野のテクニカルソリューション企業から専門プラットフォームに変遷するモデルも成長のための手本とするスタートアップ型人工知能企業が出てくることであろう。

2.1.5 人工知能の利用状況

数十年の進歩を経て、人工知能の研究分野はすでに自然言語処理、パターン認識、画像認識、データマイニング、機械学習、インテリジェントインターフェイス技術、インテリジェント情報処理などに拡大した。このうち、データマイニング、パターン認識、機械学習及び情報処理は構成のための基盤技術であり、情報の収集、分析、処理及びフィードバックなどの機能を実現している。

①人工知能のコンピュータサイエンス分野での活用

人工知能の発達と進歩は、コンピュータサイエンスの発達にも貢献している。例えば、もともとAI実験室で研究されている時間配分、各種関数プログラム、記号プログラムなどはいずれもコンピュータサイエンスが広範囲で用いられている。

②人工知能の工業分野での活用

2006年、合肥工業大学の研究者は熱変形工程パラメータのTi21523合金のミクロ組織及び成形荷重に対する影響を詳細に分析した上で、変形温度、変形レベル及び変形速度など熱変形工程パラメータを設計変数として、ミクロ組織と成形力の好適な複合を目標に、この合金の熱可塑性成形工程パラメータの多目的最適化数学的モデルを構築した。ミクロ組織パラメータと成形力の人工ニューラルネットワーク予測モデルを最適化アルゴリズムの知識源として、人工ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを結合させて、合金の熱可塑性成形工程パラメータの最適化を成功させた。

中国鉱業大学の研究者はニューラルネットワーク(ANN)技術をファジィ理論と結合させてシャフト周囲の裂け目密度の分布状況の研究を行い、裂け目認識のプロセスにおいて物理検層のデータ(中性子孔隙率、体積密度、音波時差、深度別側面抵抗、自然ガンマ線スペクトル)を総合的に組み合わせ、ANNネットワークの入力パラメータとして、イメージング検層解釈及び岩石コア記載を利用した裂け目密度を出力パラメータとし、BPアルゴリズム及びアクティビティ関数を応用してトレーニングモデルを構築することにより、単一坑井の裂け目認識を可能とし、領域内における垂直方向裂け目の分布を特徴づける人工知能システムの開発に成功した。

③人工知能の医療装置での活用

人工知能技術は病院、医薬品用の装置などの分野でも広く利用されており、例えば100年前まで、

中国の医療は熟練した漢方医による4つの診断方法(見る・嗅ぐ・問う・手で触る)に依存し、手に負えない骨折や隠れた神経性の問題を発見することは難しかった。しかし、技術の発展によって、現在の多くの病院で先進的な機器を使用して臨床主治医の診断を補助している。例えばインテリジェント撮影装置による人体の神経や骨格のネットワークの検査、心電図装置による患者の心臓脈拍数の測定などである。

④人工知能のカスタマーサービスでの活用

消費者保護意識の高まりに従って、多くの企業がカスタマーサービスモデルの構築に意欲的になりつつある。例えばおなじみタオバオの購買プラットフォームは、アリシャオミ上のサービスセンターをリリースし、これはユーザーの問題を音声で認知し、ナレッジベースから自動的に回答を抽出するものであり、多くのカスタマー電話受付センターの自動音声サービスによってこの人工知能技術が使われている。

⑤人工知能の教育、娯楽活動での活用

日常の娯楽活動において、人工知能の活用は実際にどこにでも存在する。人工知能の幼児教育での利用は比較的広範囲であって、例えばスマート早期教育用機器である。また、多くの娯楽施設、ゲームセンターでスマートゲームシステムが使用されつつある。マン・マシン結合型のゲームの分野においては、一台の装置によってシミュレーションされたゲームの世界に人々を引き込み、人体の活動状況を録画、検知することが可能であって、例えばXBOXゲーム機がその代表である。

2014年1月6日から9日、第40回香港玩具&ゲーム・フェアにおいてスマート玩具がその一角を占めた。以前のデジタル玩具とは異なり、スマート玩具は精巧な設計や華美な外見のみならず、更にその搭載する各種機能アプリケーションは子供の好奇心を十分に満たすものであって、インテリジェント技術の活用は子供一人ひとりにカスタマイズされた玩具を持たせることになる。そして少なからぬスマート玩具は特別な機能を有しており、例えばそれは治療型の玩具であって、その主な目的は子供やお年寄りが感じる圧力を緩和し、又はその他の関連する問題を解決するものである。多くの従来型の玩具にとっても、Appとインテリジェント装置との一体化によるインテリジェント技術の子供用玩具への応用は、将来への発展の道筋であるといえる。

⑥人工知能の交通分野での活用

上海交通大学の研究者は人工知能の感知-計画-動作に基づいたagent構成を用いて、ITS自動運転において発生した多くの問題を解決した。それは自動運転のナレッジベースの構築及び知識の導出によって、自動運転のために方策決定の根拠を提供し動的に車両のルート設定を行うものである。

⑦人工知能の環境保護分野での活用

内モンゴル農業大学水資源・水利土壌工学研究所の研究者は、地域の水環境モニタリングと評価に対する必要性に応じて、人工知能コンピューティング技術に基づいたBPニューラルネットワークモデルを用いて二次元領域土壌水の塩分環境の動向に対するモニタリングを成功させた。

浙江大学の研究者はパイピング現象発生の過程及びパイピング現象に影響する要因を分析して、パイピング現象発生の可能性を予測して判定するメカニズムモデルを提出した。メカニズムモデルに基づいて堤防やフィルダムのパイピング現象に影響する多くの要因の中から測定や観測がしやすく、パイピング現象に影響する複数の明らかな要因を選択してシステムに入力し、理論的メカニズムモデルと改良したBP人工ニューラルネットワークモデルを結合して、堤防やフィルダムのパイピング現象発生を予測して判定するインテリジェントな方法を確立し、パイピング現象を発生させる可能性のある要因に対して予測を行う。更にデータベース機能を介して、トレーニングサンプルの規模を拡大し続け、ニューラルネットワークがより全面的な知識を学習できるようにしている。

⑧人工知能の日常生活での活用

人工知能技術の日常生活での活用はより一般的であって、それは現在誰もが手放すことができないスマートフォンである。スマートフォンによって家庭内のテレビ、浴室設備を遠隔操作でき、スマートフォンのBluetooth機能で直接電話を取ることができる。また、弱い人工知能で家電に利用されているものとして、お掃除ロボット、スマート炊飯器がある。

2.1.6 中国の人工知能業界の今後

中国政府や企業は、人工知能の進歩に向けた道にはまだ克服しなければならない課題が山積していることを認識しており、将来の人工知能業界に常識を覆すような用途や、人類の生活スタイルを一変させるものの出現や、ヒトと機械が共存し合える世界を目指している。中央政府及び地方政府

は人工知能のための大型基金を設立する計画であり、例えば、2017年6月30日に天津で開催された第1回世界スマート大会の会期中、天津市滨海新区人民政府、中国交通建設集团有限公司などが共同で総額300億元規模のインテリジェント技術産業のためのマザーファンドを設立した。これは迅速に世界中からインテリジェント工業のための資源を集中させ、インテリジェント技術分野でのイニシアティブを握って、「インテリジェント技術発信港・天津」の建設を目標に掲げるものである。このマザーファンドは資金運用によって、世界中のインテリジェント技術を導入した工学技術センターとして、中独「インダストリー4.0」インテリジェント工業センター、集積回路センター、カーエレクトロニクス及び無人運転センター、スマート輸送センターなどを含む複数のインテリジェント産業の工業集積団地を建設し、世界の先端技術を天津に集めて、産業と企業のアップグレードに役立てて中国最先端の工業研究開発基地建設を推進しようとするものである。もちろん、AI企業も十分準備して機会を待っている。

そして、以下は2017年7月5日の百度AI開発者会議を例に、中国の人工知能業界の発展を展望するものである。

2017年7月5日、百度AI開発者会議が北京で開催され、4000人を超える人々が参加した。これは百度創設以来最もレベルの高い人工知能についての大会であり、午前のスピーチでは、百度創設者の李彦宏氏、総裁兼最高執行責任者の陸奇氏、度秘（Duer）事業部門取締役の景鯤氏、及びインテル副社長のAmir Khosrowshahi氏がそれぞれ講演を行った。午後は6つのサブフォーラムが行われ、テーマはそれぞれ、AI技術とプラットフォーム、自動運転、音声インタラクティブ、ビッグデータ、クラウドコンピューティング、Webエコシステムであった。

今回の会議では、百度のDuerOS関係の音声インタラクティブプラットフォーム、Apollo自動運転プラットフォーム、及び百度ブレイン+インテリジェントクラウドといった重大な展開が新しく発表された。他に、百度はシアトルの企業KIT AIを買収して、DuerOSのウェイクアップワードの構築を目指し、且つDuerOSのソフト/ハードウェア開発者用ツールキットと一体化ソリューションを提供することや、Apollo自動運転プラットフォーム1.0のオープンソース化が発表され、更にApolloエコシステムの50社以上の開発パートナー企業が紹介された。最後に百度ブレイン+インテリジェントクラウドとエヌビディア、インテルと

の緊密なパートナーシップ、AI Star 開発者支援計画が発表され、第13回百度の星大会（プログラミングコンテスト）が開催された。そして、エコシステムチェーンの拡大を推進するための DuerOS 基金と Apollo 基金がリリースされた。

2.2 活気のある中国の人工知能の研究開発とサービスロボットの牽引

王 志 東
(千葉工業大学教授)

2.2.1 aibo の逆襲と新たな市場創出

2017 年 11 月 1 日に SONY が発表した新型 aibo が初回分の予約が即完売となり、11 月 11 日にも同様な結果になった。熱烈なファンから喝采が出た一方、1999 年の発表時のように、業界への衝撃にはならなかったと言える。海外メディアが“Reborn”で表現しているように、小文字に名前を変えた新型 aibo はある意味、時間とともに成長し、12 年前に放棄した市場を取り戻せるのではと信じている。



aibo (SONY)¹

しかし筆者の心の中には、20 世紀の最後の年にロボットの斬新な形態によって研究者から一般消費者までを驚かすとともに、それまで存在しなかった市場を創出できたくらいの前作と同様なインパクトを SONY がもたらすのではないかとの期待が大きかった分、やはり失望の気持ちがあるのも事実である。現在多くの製品に搭載・使用されている AI 機能の実装、進化したが不気味な谷に落ちたとも批評されたデザインとスムーズな動きは、確かに AIBO から前進しているが、その一歩が小さすぎて、人間を認識するカメラと AI スピーカに装着した玩具ロボットの高級版とも誤解されてしまう。市場創出の観点からすると、人間との相互作用がいままでの AIBO の範疇で、サービスロボットのアイコン的な存在と確立している 2014 年の Softbank の Pepper のほうが一枚上との考えもある。そうした点からも、SONY の次の製品に

大いに期待し、より斬新な SONY らしい製品で市場を席卷し、猛追している中国のサービスロボットでは達することのできない領域の市場を創出してほしい。



Pepper (Softbank)²

2.2.2 成長するサービスロボット市場への期待

日本が豊かになるには、海外からの利益還流が不可欠であるが、中国や韓国ならびに他の新興国の技術発展とともに、海外マーケットでは日本が強い分野で競争力が低下している傾向が強く、今後とも楽観できない状況にある。

日本のモノづくりの代表格として、生産効率向上と円安で史上最高益になったトヨタなど自動車業界でも前途が明るいとは限らない。海外で韓国勢に多くの市場を取られた事実を認識すると、自動運転や EV への移行で後手に回ったトヨタや他の自動車メーカーにとって、エンジンもトランスミッションもない新しい自動車で中国をはじめとした新興国の躍進に対して今現在の市場をキープできるかどうか楽観はできない。

そして、B-to-C において、国内では巨大企業が分割した産業形態を取っていたテレビや家電、パソコンでは国内市場をキープしたものの、海外では競争力に劣った。この十年間に形成されたスマートフォン市場は、米国ブランドや韓国の大手ブランドに比べると製品の競争力が低下し、今や中国の HuaWei の後塵を拝する状況となっている。海外ブランドが技術的には優位にあるものの、日本企業は部品供給で不可欠な存在となり、スマイル曲線の利益が少ない方に追い込まれてしまったという現状は無視できない。

バブル崩壊後、日本の企業は国際的な競争を勝ち抜くため、産業における生産性向上の名目で、技術革新による在庫の極端な削減、生産プロセスの合理化でより高い生産体制を築いた後、人員コストの削減、顧客の要望に応じたりスクの小さい技術開発の“効率化”を進めざる得ない状況になっていた。技術開発の不足により、過去 15 年間は、B-to-C の日本発のヒット商品及びビジネスモデルの創造において、数と市場規模の両面から 80 年代～90 年代の最盛期とは比べようもなく、諸外国に

¹ <https://aibo.sony.jp/>

² <https://www.softbank.jp/robot/special/pepper/>

対して引け目を感じている有識者が多く存在している。象徴的なのは、Teslaのような技術優先を追求する新しい自動車ベンチャー企業、GoogleやFacebookのような新しいビジネス領域を創出した大手IT企業が日本で生まれなかったことである。

産業ロボットや機械製造機器、精密機器などの分野では日本が優位にあり、B-to-Bの品質からベアリング減速機の性能までドイツに並びトップに位置すると内外から評価され、市場を確保できている。しかし、デフレに加えて、納入先の大手企業からの要望により、国内では低価格にせざるを得ない状況となっている。海外では、国内より利益が出るような価格設定で展開したものの、中国を含む各国の製品品質の向上によって市場が侵食されていった。産業ロボットの4強の2つが日本を拠点とし、また安川電機が中国で月産1500台に増産するといったニュースがある中で、技術の優位性をセールスポイントに産業ロボットの市場拡大を目指している。しかし、4強の一角のドイツのKUKAが中国の美的集団に買収されるといった状況が象徴しているように、市場再編で技術の躍進を目指す勢力と、瀋陽新松のように技術開発への大量投入で猛追し中国国内産業ロボット大手に成長している勢力が無視できない状況にある。

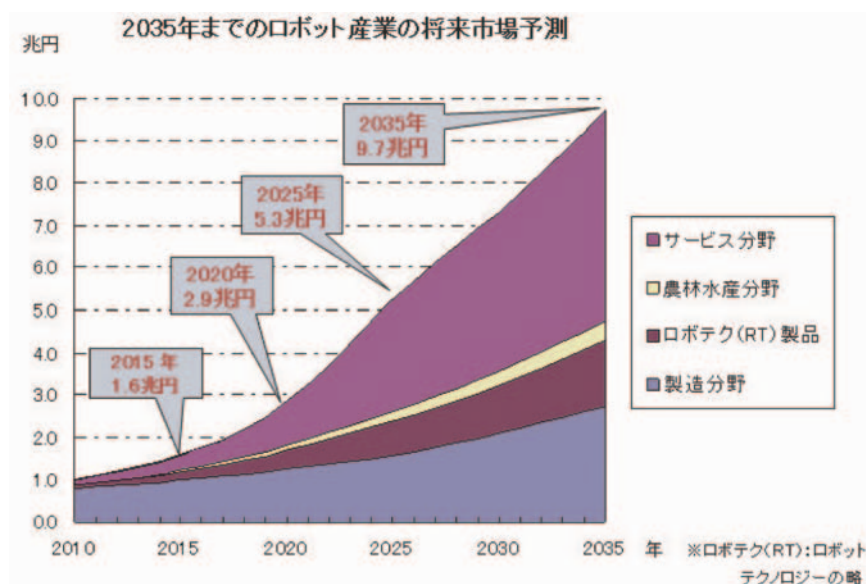
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が2010年に発表した「2035年に向けたロボット産業の将来市場予測」では、サービス分野を始めとした新たな分野へのロボットの普及により、2035年に9.7兆円まで市場が拡大し得ると予測した。予測を発表してから7年後の現在、AIや自動走行の成熟とともに更なる可能性

が出てきていることを踏まえ、各民間会社が市場予想を上方修正しており、2025年にはロボット分野全体で10兆円が期待できるまでになっている。サービスロボットの市場においては、B-to-C分野でも大きな成長が期待できることを考えると、日本の市場だけではなく、世界の多くの市場を見据えて戦略を立てる必要がある。

産業ロボットの基本要件が作業性能であるのに対して、サービスロボットは、性能とともに人間とのインタラクションの質も重要視すべき要素で、製品として成功する鍵を握っている。人間とのインタラクションに関連する人工知能や人間に関わる画像処理の分野においては、日本が研究開発の面でも製品への転換の面でも有利な立場にないことは事実であり、諸外国がなぜその分野で躍進できているかについて紹介する。しかし、長年にわたって築かれてきた日本のロボット技術に加えて、サービスの質とその質を追求する社会性が、高品質なサービスロボットの技術開発において諸外国に比べると有利な点とも言え、これが成功に導く大きな要因になると筆者は考えている。

当然、米国や欧州、中国も同様にこうした市場を重要視し、関連の技術開発を全力で進めている。いままで米国や欧州の有名大学や研究機関、IT企業は、世界中のトップレベルの人材を集め、車の自動運転や人工知能の深層学習などサービスロボットのコア技術分野に投入し目覚ましい成果をあげてきた。中国は近年、ソフトウェア分野のOpen Source潮流の恩恵を受け、豊かな資金に合わせて、日本が対抗できない人口ファクターを存分に利用し、この数年間研究開発のレベルを急激に押し上

図2-2-1 2035年までのロボット産業の将来市場予測



出典: http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_0095A.html

げること成功した。人工知能のソフトの面のみではなく、シェア自転車に代表される「直近未来」の新しいビジネスモデルを模索する中で、やがて確実に到来するシェア自動車というビジネスのノウハウに繋がる前段階のビジネスにチャレンジし、無視できない成功を収めている。以下、躍進する中国の人工知能研究の成功の要因を議論するとともに、中国でのサービスロボットの現状を紹介し、日本が今後有利にサービスロボット市場を形成・確保するにあたっての研究開発戦略を立案するうえでの材料を提供する。

2.2.3 中国の人工知能研究開発の躍進と要因

深層学習 (Deep Learning) が起爆剤となる人工知能の研究開発において音声認識、自然言語理解、顔画像などの画像分類・認識などの分野は、この数年間に大きく前進し、関連分野のビジネス展開にも多大な影響を及ぼした。これらの分野で活発化している Open Source 化の潮流と WeChat などのハイレベルな IT サービスに伴う人口ファクターの恩恵を受け、中国の人工知能関連のソフトの開発レベルが大きく躍進し、世界のトップレベルに達している。「科大迅飛」の自然言語の音声認識レベルが各種テストの成績で人間の平均値を超えており、業界でも技術レベルが認知されている。1 年前から、関連製品がナビゲーションアプリでの行先入力ツールとしてほとんどのタクシードライバーに愛用され、認識精度に心配もないことから満足度も高い。今年の世界トップレベルの画像認識技術の技術チャレンジ大会 “Large Scale Visual Recognition Challenge 2017 (ILSVRC2017)” の画像分類 6 カテゴリーにおいて、複数の中国のチームが 2 種目でトップスコア、他の 4 種目で 2 位という優秀な成績を収め、シンガポールチームと世界のトップを二分した。人工知能の研究論文の発表数と引用数ともトップに達している。また、百度やテンセント (Tencent)、その他主要なインターネット企業は、中国国内はもちろん海外でも、優秀な人材を集めて AI や機械学習を研究する大規模チームをつくることに多額の費用を投じ、業界ではその発展に熱い視線を注いでいる。

イスラエル系のベンチャーキャピタル Vertex Ventures (<http://www.vertexventures.co.il/>) が 2017 年 7 月に発表した「Global AI Hub? The V Factors Powering China's Rise」³ は、中国の急激な成長の要因として非常に興味深い以下の 5 つの適切な分析を発表した。具体的には、(1) AI の

導入による産業形態のデジタル化への変革という産業界の強い要望；(2) 人工知能のハイレベル人材；(3) モバイルインターネットの巨大かつ魅力的な市場；(4) 高性能な計算技術；(5) 政府からの強い政策サポート——である。このうち、最初の 2 つ要素が一番重要で、中国が世界の AI の中心となる特徴的なアドバンテージであると、同報告は強調している。

(1) AI の導入による産業形態のデジタル化への変革という産業界の強い要望

中国の多くの製造業、特に非 AI 系の会社が一定の規模に発展した後、近年の人件費高騰や製品価格における過当競争に直面する中で、産業形態の変革が模索されており、AI を利用して会社の技術レベルアップをすることが強く望まれている。しかし、近年発展してきた既存の中国の製造業の多くでは、先進的な技術の導入の面で欧米や日本の企業に比べて遅れていることを産業界のリーダーや経営者がしっかりと理解している。そして、顧客のデータと投資力を持つ会社は、AI の専門家を雇用し AI の技術導入によって更なる発展の機会を得るとともに大幅なコストダウンを希望しており、AI 分野への投資と実用化を積極的に進めている。製造業以外の分野でも、例えば伝統的な金融や通信、農業分野の国営企業を含め、AI 技術の需要がある産業は非常に多いと予測されている。それ以外の分野 (例えば教育産業) でも、AI 技術によって巨大な収益が得られる可能性がある。

もう 1 つ強調しなければならないことは、AI を戦略的なチャレンジとして、中国の技術大手が AI レースを競っているということである。Baidu は車の自動走行システムを開発し、1300 名の専門家を有する AI チームを抱える。アリババは、クラウドコンピューティングの学習プラットフォーム PAI を通して企業のデータ解析に AI のサービスを提供している。テンセントは、250 名の科学者・技術者から成る専門チームを設置し、中国のヘルス産業のスタートアップ iCarbonX に投資している。

マッキンゼーの調査によると、中国は過去の十年間に人口ボーナスから巨大な収益を獲得したが、こうしたアドバンテージは人口の高齢化によって今後も続くことはない。しかし、AI やその他の自動化技術が中国の経済にエネルギーを与え、それらの技術の利用速度によって、AI 技術が中国の GDP の 0.8～1.4% に寄与しうる。

3 Global AI Hub? The V Factors Powering China's Rise, Vertex Ventures, July 2017

(2) 人工知能分野のハイレベル人材

近年、人工知能の極めて急激な発展からの刺激と Open Source 技術の流れの恩恵を受けて、中国の学者やハングリーで優秀な大学院生は積極的に AI 研究に身を投じ、幅広く AI の新しい応用分野に熱心に取り組んでいる。こうしたことが、中国の AI 関連の研究開発レベルを大きく押し上げているのは事実である。

経験豊かなトップ級の AI 人材は中国でもまだ数が少ない。LinkedIn における AI 専門家 25 万人のうち、10 年の経験を有する専門家の約半分はアメリカが占め、中国の割合は 25 % に及ばない。今後、中国はさらに多くの AI の専門家を養成し、且つ企業のリーダーと中間管理者にも AI を勉強させ、AI 技術への理解と応用力を高める必要がある。しかし、経験年数を問わなければ、中国はすでに大量かつハイレベルな AI 人材を抱えており、このことが AI 応用の発展にとって最も重要であると考えられる。

中国の多くの企業は、柔軟な方式及び政策を通じて、アメリカからトップクラスの AI 専門家を採用している。代表的なケースは、Baidu が 2014 年から 2017 年 3 月にかけて AI 分野の重鎮の 1 人として知られる Stanford 大学の Andrew Ng 先生を Big Data と AI の研究機関のトップに招いたことは、強力な研究部隊の育成に寄与した。さらに、トランプ大統領が推進する移民政策の影響により、中国企業はシリコンバレーから多くの AI 人材を招聘する好機を得た。アメリカでは約 1/4 の AI のハイテク企業は移民によって設立されている。AI 業界の一部従業員の給与は非常に高く、多くの専門家は大手企業を離れ AI 分野で創業している。

応用レベルにおいては、中国の計算アルゴリズムの発展は他の国と甲乙付けがたい。特に多数の中国の科学者は、AI の中でもコンピュータビジョンや音声認識などの専門分野に集中している。しかし、基礎研究の方面では、中国は依然としてその他の国家に後れをとっているのも事実である。

(3) 巨大かつ魅力的なモバイルインターネット市場

まず、中国のモバイルインターネット市場が巨大であることは周知の事実である。2017 年 1 月、中国インターネット情報センターの報告によると、中国は 7.31 億人のインターネットユーザーを持つ。各カテゴリーの増加率は 30 % に達している。巨大なインターネット市場による、大量のデータの流れが大きな魅力である。中国のインターネットユーザーは、莫大なユーザーデータを中国の技術企業に原材料として提供した。Baidu、滴滴

(DiDi)、テンセントなどの大手企業は、自前のユーザーの全データを収集し、自身の AI 研究 Lab に保管・利用している。

さらに、App (アプリケーションソフト) ベースの AI 応用に積極的な取組がなされており、実質的な研究開発成果がこうした市場を魅力的なものへと導いている。いったん AI がより高い質で応用できるようになれば、中国の検索エンジン Baidu やオンライン支払いの支付宝 (Alipay)、移動通信サービスの微信 (WeChat)、中国語入力システムの搜狐 (Sougou) などが所有している App (アプリケーションソフト) を、AI 技術と融合し、各自のサービスをより強力化することが容易に想像できる。

もう 1 つ強調すべき点は、参入障壁である。中国のインターネット企業は、Google や Facebook などの海外企業に課せられた制限が少なく、中国政府の考え方を熟知し効果的に利用して市場の発展につなげてきた。また、データの規制が緩い現在、ユーザーデータに多数アクセスし、新しい市場を形成する手法のテストも諸外国よりは容易に進められることが、技術開発が活発化している要因でもあり、今後中国系企業の強みになることにも貢献している。

(4) 高性能なコンピューティング技術

ハードウェア技術において、中国の IT 企業は近年、この分野での挑戦的なテーマに果敢にチャレンジするため継続的に投資し、努力している。一例としては、深圳では、今後 AI のハードウェアの高性能化に不可欠な産業体系 (Ecosystem) の構築やグラフィックス処理ユニットなど、AI の大規模計算にとって重要な要素技術の開発を精力的に進めている。また、急速に進化する超大規模計算のためのスパコンや高性能な並列処理の計算機システムの開発にも多くの投資と技術の革新によって欧米より高性能なシステムを構築し、世界を震撼させている。さらに、半導体 IC デバイスの製造力に関しては、歴史的に見ると海外製品に大きく依存してきたが、近年の技術開発の進展に加えて、2015 年から始まった米国による米ブランド (Intel と Nvidia) ハイテク製品の中国への輸出制限を受け、自国での IC デバイス製造に重点が移ってきている。中国政府は、1500 億ドルの予算を 10 年かけて投入することを発表。これにより、中国のチップ製造能力が向上すると考えられる。

しかし、基礎研究から応用のためのハードウェア開発、生産までの AI 関連の各要素は、グローバルでの協力が不可欠であり、グローバルな AI バ

リユーチェーンを構築する必要がある。自国のデータの産業体系やデータ科学の人材に加えて、基礎となる半導体産業の各方面でOpen System化する必要があり、中国もその方向に行くと考えられる。こうしたなかで、AIのソフト関連において、Baiduの画像認識のOpen Source Platformが2017年11月に発表され、GitHubの中国初のパッケージ数が無視できないものとなり、今後は、ハードウェアやデバイス開発にも波及していくと推測できる。

(5) 政府からの強い政策サポート

政府の政策と発展計画の中では、AI分野の技術開発に対して政策的なサポートを行うことによってこれを促進しようという努力が見受けられる。習近平国家主席は中国科学院において、2014年の科学技術の創造への談話に触れるとともに、2015年に発表した国の5ヵ年発展計画や、2016年のロボット産業発展計画、インターネットと人工知能の発展計画に言及した。2017年の中国政府報告にもAI関連の技術発展が盛り込まれていることを紹介し、政府がAI産業を重要視していることを示唆した。また、中国がAI分野での躍進と成功は、政府から大学への科学研究投資も貢献している。過去十年間、研究投資は毎年二桁の伸びを記録している。なお国家発展改革委員会（NDRC）は、深層学習の基礎研究及び応用の国家実験室を設立し、予算を確保。Baiduが同実験室のリーダーの役目を果たしている。

政策面で無視できない点は、中国政府が外国企業の中国市場への参入に一定のハードルを設置していることである。新しいAIの課題において不可欠な国内企業やプロバイダを育成するというビジョンを持ち、Data Friendly Ecosystemの開発など、今後の横断的なデータ利用における標準の制定など、舞台裏での各種の努力が不可欠である。政府のデータベースを開放し、国内企業のイノベーションを促進しているが、当然そのデータは外部には開放されない。国境を越えたデータ流出の制限は、AIにおける国際的な研究協力にとって好ましくないが、中国政府の政策は、国内的にはかなりオープンであり研究開発にとっては有利な状況となっている。“Made in China 2025”（中国製造2025）が代表するように、中国政府は様々な対策を講じて集積回路産業の発展を推進する中で、200億ドルの投資を計画・実行している。長い目で見て、これらの研究開発の促進策は、いずれ私営企業にも波及し、産業の進展に寄与することになる。

2.2.4 中国の人工知能市場は急速に成長し、多くの業界に影響を与える

現在、中国のインターネット技術大手Baiduやアリババ、テンセントは、人工知能市場で中国をリードしている。さらに、100社を超える国内ベンチャー企業は人工知能の各分野で新技術を探求し、新しいサービスを創出している。現在、音声と画像認識は、国内の人工知能市場で主流をなしており、それぞれ60%と12%の市場を占める。一方、製造業も積極的に人工知能を導入し、運営コストの低下に向けて動き始めている。iResearchの調査報告によると、中国の人工知能市場は2020年には91億ドルの規模に達し、今後数年間で毎年増加率が50%に達すると予測している。

人工知能のイノベーションのもとで、新しい産業分野（例えば無人機と知能ロボット）、伝統産業（例えば家電、自動車や玩具）も大きく産業転換をするとみられる。世界最大の自動車市場（2016年の国内の自動車販売台数2803万台）、最大の家電生産国、そして最大の無人機生産国（大疆（DJI）が70%のグローバル商用無人機市場シェアを有する）として、中国は人工知能ベンチャー企業にとって世界で最も魅力的な産業発展環境を形成し続けている。

人工知能の影響により、産業構造に劇的な変革が起きる主要な業界としては以下が考えられる：

- 自動車：先進ドライバー支援システム（ADAS）。市場の予想は2020年には370億ドルの規模で、自動運転の自動車市場は2030年前後に870億ドルに達する。
- 製造業：中国における製造業の市場規模は2100億ドルで、IHSの予測では、2020年までに中国は7億台のスマート家電を輸出する。
- ロボット：2014年の家庭サービスロボットは、ロボットの世界市場350億ドルのうちの16.7%のシェアを占めた。
- 無人機：世界的には、2020年までに無人機の市場が120億ドルに達すると予想されている。
- 玩具：2015年の世界における玩具市場の規模は約800億ドルで、このうちの30%（260億ドル）をスマート玩具が占める。
- AR/VR：ゴールドマン・サックスの予測によると、将来、世界のAR/VR市場は800億ドルに達し、このうちハードウェア製品が450億ドルを占める。

潤沢な研究資金と情熱を持つ研究者の下で、中国における人工知能研究は目覚ましいスピードで発展している。2016年にアメリカのホワイトハウスが発表した研究報告によると、中国が発表した

深層学習の研究論文の数はアメリカを超えた。中国における人工知能研究は、純粋な引用数で世界トップとなり、論文の影響度の尺度（H-Index）では世界3位になっている。最近の『Nikkei Asian Review』の調査によると、中国の2010～2014年における人工知能の分野での特許出願数は8410件となり、2005～2009年に比べて186%増加した。

すでにいくつかの人工知能分野の新たなイノベーションを見ると、最初は中国で発明・開発され、その後世界の他の地域に伝わっていった。深層学習の分野では、中国の研究レベルはすでに第一線に達しており、技術大手が投資を続けることによって、この傾向は将来的にも継続することになる。

図 2-2-2 深層学習或は深層ニューラルネットワークの雑誌・論文掲載と特許の取得数

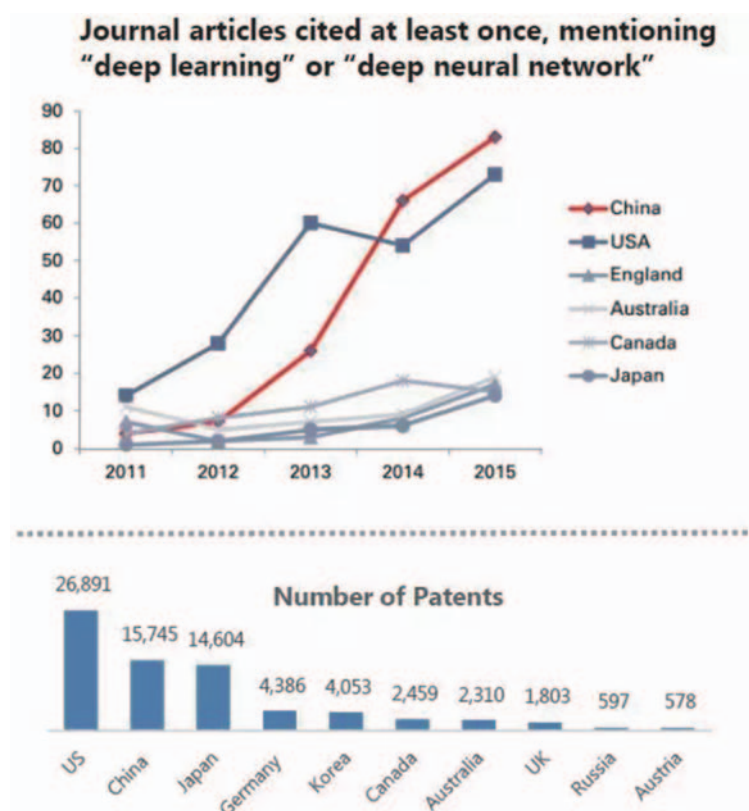


図 2-2-3 深層学習或は深層ニューラルネットワークの雑誌・論文掲載と特許の取得数

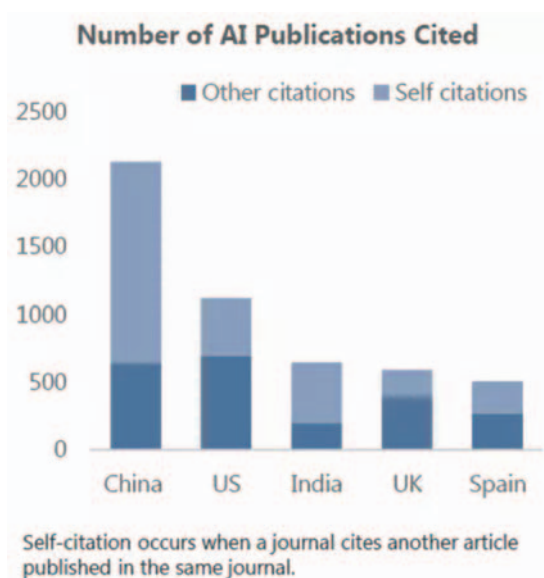
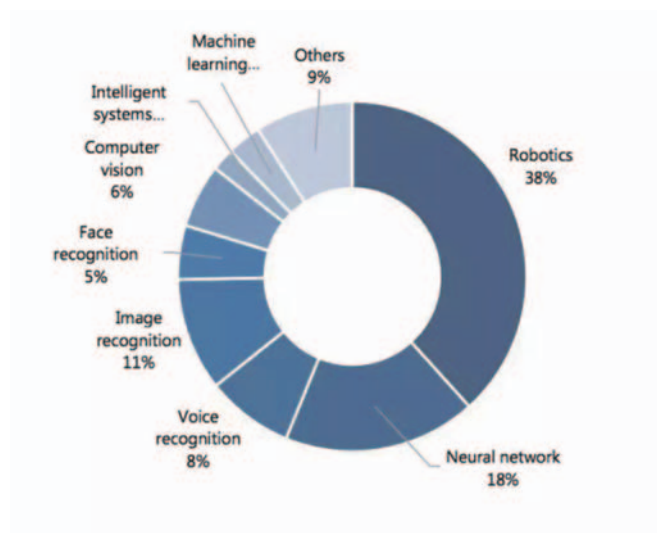


図2-2-4 H-index：発表した論文の影響力のランキング



図2-2-5 特許の分野別に見た割合



上の図に示したようにロボット、ニューラルネットワーク、音声と画像認識が特許数の大部分を占める。中国は2011年から知的所有権を重要視する方針を打ち出していることから、ロボット、コンピュータビジョンの特許を応用するプロセスが急速な発展を遂げた。これは、今後AI分野の技術開発の長期的な原動力ともいえる。

2.2.5 潤沢なAI研究資金及び投資

近年、中国市場は人工知能への投資ブームの様相を呈している。「網易」の報道によると、2016年に人工知能のベンチャー企業202社が合計10億ドルの資金を調達した。KPMGの研究によると、

2016年にベンチャー投資機関による投資がビッグデータからAI産業へシフトし、こうした勢いは将来的にも続くと予想した。WuZhen研究所の報告によると、2016年の国内のAI産業への投資総額は26億ドルに達した。同時期におけるアメリカは179億ドルで世界のトップであった。

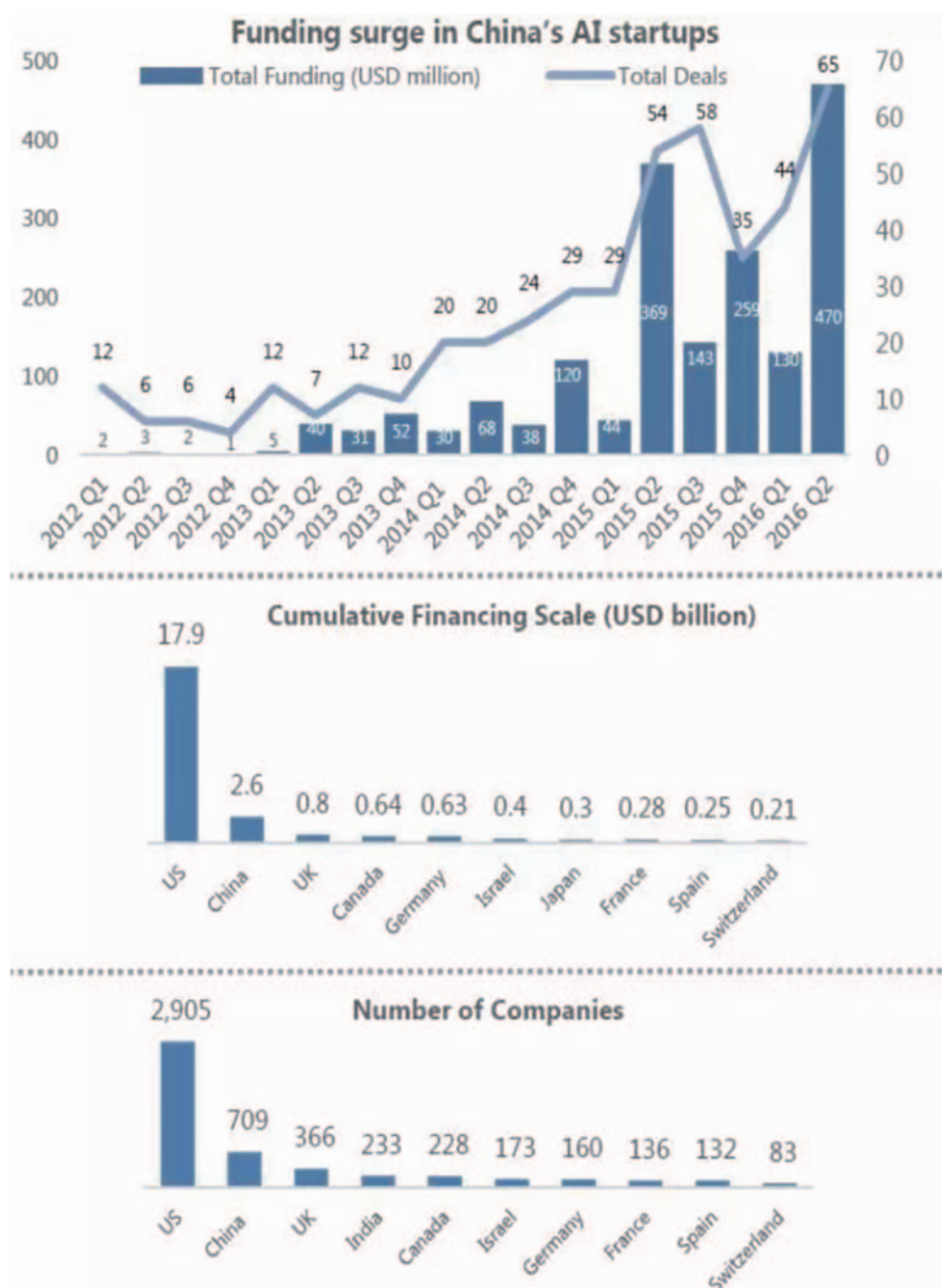
研究予算に注目すると、北米とヨーロッパが縮小傾向であるのに対して、中国では増大している。報道によると、研究者たちが受けている研究費を見ると、中国がヨーロッパ/北米の6倍にも達しており、研究アシスタントと技術者ともに多くの博士学生で構成された強力な人工知能研究室が構築されている。

中国では、人工知能のベンチャー企業のほとんどが北京市や広東省、長江三角洲の経済区域に集中しており、全国の85%を占めている。しかし、上記の三地域とともに、多くの地域の地方政府も、人工知能産業の発展を積極的に支持している。例えば、湖南省湘潭市はロボットと人工知能の産業発展を支援するため、20億ドルの投資を約束した。蘇州では、人工知能企業が80万ドルの補助金を得ることができ、その支部機関の設立に充てられる。また深圳に研究機関を設立する人工知能企業に対

して100万ドルの奨励金が提供された。四川省の成都市も安定な生活と不動産価格の優位性を活かして、ソフトウェア産業の最も発展した都市となり、人工知能分野のベンチャーも数多く成長している。

現在、ほとんどの資金がエンジェル投資やA Round投資として人工知能ベンチャーについており、2016年度にはこの数字が90%を超えていた。現在の業界の発展速度は速すぎて、バブルの懸念を生むこととなった。

図2-2-6 中国の人工知能におけるベンチャーの発展のトレンド



2.2.6 中国における人工知能の産業構成

中国の人工知能の産業構成には大手IT企業と新興企業が含まれ、産業システムとしては以下のように応用層面、技術層面、基礎研究開発層面の3つのカテゴリーに分類できる。(図2-2-7)

応用層面として中国の代表的なAI関連企業は、応用分野で区分すると下記ようになる。

- ロボット：Geek+, Rokid, 图灵机器人, 优必选
- 自動走行：百度、天瞳威视、地平线机器人、驭势科技
- 無人機：大疆、亿航、Hover Camera、零度智控
- 音声補助：百度、出门问问
- 商業知能：永洪科技、Data KM
- サービス業：AiKF
- 産業応用：碳云智能、Maxent、今日头条、学霸君

技術層面として代表的なAI関連企業は、技術分野で分類できる。

- 音声認識と言語処理：思必驰、百度、科大讯飞、出门问问、捷通华生、腾讯、三角兽、云知声
- マシン学習と深層学習：深鉴科技、中科视拓
- 人工知能のプラットフォーム：达闼科技、第四范式
- コンピュータビジョン：依图科技、格灵深瞳、旷视科技、商汤科技

基礎研究開発層面として代表的なAI関連企業は、以下の技術分野で分類できる。

- センサー：ICE DRINK、LeiShen、SLAMTEC、北醒光子
- AI半導体チップ：寒武纪科技、地平线机器人
- データ：DataDouDou、数据堂
- コンピューティング：阿里巴巴、百度

優秀な理工系の人材確保、政府の強力な支持と技術企業の大規模投資にともない、中国の人工知能は今後数年のうちに黄金時代に入るとみられ、世界的に見て中国が人工知能の分野で重要な役割を發揮する。大手IT企業にとって、深層学習などの人工知能技術が特定分野で参入レベルを押し上げることによって、技術をリードする企業は大きな利益を獲得できる。今後10年間に、「インテリジェントシステム」を構築する企業に新たな機会が到来する。さらに、この1～2年に多くのベンチャー企業が出現し、失敗を恐れないイノベーションの精神が、新しいAI技術を核とする新しいサービスと市場を創出することに繋がる。

2.2.7 サービスロボット市場創出の前夜、プレイヤーの蜂起

ソフトバンクのPepperの衝撃も関係していると考えられるが、3年前から中国ではサービスロボット市場が熱気を帯び始め、プレイヤーも増えている。2016年から、深層学習がコア技術となって発生し

図2-2-7



た人工知能の旋風に巻き込まれ、2017年はまさに爆発の前夜となった気配を感じさせる。そうしたプレーヤー蜂起の状況は、2017年8月23日から27日まで北京で開催された世界ロボット大会 (World Robot Conference 2017, WRC)⁴に集合した多くのサービスロボットの製品とデモから一見できた。

WRC大会は、中国でも最大の政府系研究開発社団法人の1つである中国電子協会が主催し2015年から始まったもので、IEEE Robotics Automation Societyをはじめ、日本や欧州などのロボット関連の学協会団体のリーダーと著名な研究者が招待され、ロボット技術に関する講演のほかロボット関連企業の展示も行われる、一般市民も参加できる一大ロボットイベントである。3回目となる本大会では、中国国内及び海外から、大手から中小企業まで含めたロボット企業150社が集まり新製品のロボットのデビューの場となった。大会は、亦荘という北京の街からかなり遠い郊外の展示場で開催され、市場への期待と関心度の高さから、業界関係者の多数の参加とともに、有料にも関わらず学生や一般の家族連れが多数参加し、中には車いすで見学する方も見られた。子供の科学技術教育とともに、自分の将来への生活ぶりをいち早く体験してみたいという熱気に溢れていた。ある意味で、サービスロボットの市場へのプロデュースの成功への第一歩を踏み出したと言えるのではないか。

本大会に展示されたロボットは、大きく産業ロボット、商用サービスロボット、家庭用サービスロボットの3つに分類される。一般消費者に最も身近なのは、商用サービスロボットと家庭用ロボットである。本大会での展示からの印象は、2年前には家庭用サービスロボットが盛り上りを見せたのとはすこし違い、商用サービスロボットが主役に躍進したことである。空港やホテル、家の近くの銀行で活躍するまでにはもう2～3年が必要になるとみられるものの、彼らの姿を見るのもそう遠くはないだろう。会場は、A、B両館に分かれ、A館は工業用ロボットを、またB館では各種のサービスロボットが競うようにデモを行い、ざっと見ても少なくとも数十社が独自の製品を展示・デモしていた。ここでその中の一部のロボットについて簡単に説明する。ソフトバンクのPepper、中国国内メーカーの优必选のCruzrなど、私たちに馴染みの製品は達成度やデザインの洗練さから比較的高さを感じられた。ほかに、Pepperなどの概念を模倣、改良した製品がある一方で、人工知能の関連技術をいち早く取り込んだスタートアッ

プ企業の斬新な要素を含む製品もあった。

注目すべきサービスロボット

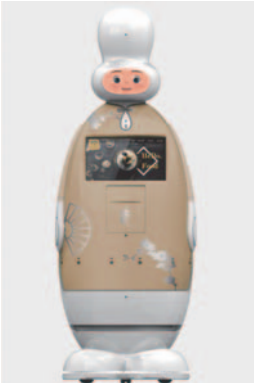
1. **Pepper (ソフトバンク)** 身長約1.3m、案内・ガイドロボット。すでに銀行、不動産などに導入され、2017年後半に中国で販売開始の予定。中国での販売価格は約20万元。
2. **Cruzr (优必选)** 身長約1.21m、案内・ガイドロボット。すでに広州広雲空港や小売り、政府機関などに導入。2017年後期から5000台の量産を予定、価格は十数万元。
3. **旺宝3 (科沃斯)** 身長約1.1m、案内・ガイドロボット。今年後期に新製品を発表の予定。
4. **「晓曼」、「晓医」等 (科大讯飞)** 身長約1.5m、案内・ガイドロボット。会話機能に優れ、内蔵しているソフトウェアシステムは銀行や病院、商店に適用。
5. **木爺ロボット、酷奇 (Cooky) (木爺)** 身長は約1.65m。前者は、銀行/金融専用で、銀行の伝票の印刷や身分証明書のスキャン機能を有する。Cookyが医療・病院、セキュリティのために開発され、量産されている。
6. **三宝ロボット (旗瀚科技)** 2種類あり、身長約0.9mと1.45m。案内・ガイドロボットで、すでに珠海税関、深茂空港、病院、3W コーヒー、アウディのディーラーなどに導入されている。
7. **小民 (GQY)** 約1.5m。銀行/金融サービス専用
8. **FARNESE (ROOBO)** 約1.5m。書店の営業サービス向け。
9. **落花生誘導広告/レストラン運搬ロボット (擎朗)** 約1.5m。誘導、広告、レストランの配膳サービス向け。
10. **「爱丽丝」、「艾米」(穿山甲ロボット)** それぞれ1.55m、1.5m。ガイド、接待等のサービス向け。
11. **小笨智能サービスロボット (小笨智能)** 1.52m。銀行用サービスロボット。
12. **健康管理ロボット (深圳天益智网)** 1.15m。健康管理、高齢者介護等のサービス、住宅や産業用のセキュリティ分野の応用も視野。
13. **欣奕华商用ロボット (北京欣奕华)** 1.55m。博物館等のガイド、説明サービス向け。
14. **ガイドロボット (江苏东方金钰智能)** 1.49m。ガイド、説明サービス向け。
15. **「派宝」ロボットシリーズ (広州映博智能)** 価額を抑え、中小商店をターゲットにしている。顔面識別、自動誘導、音声コミュニケーション等の機能を備える。

4 <http://www.worldrobotconference.com/en/Home/index.html>

WRC2017で展示・デモが行われたロボットが代表するように、サービスロボットの外形設計は大きく2つに分けられる。1つは準ヒューマンノイド型で、お馴染みのPepperのように上半身を人間型もしくは類似のデザインにし、脚構造ではなく移動モバイルプラットフォームを用いて構成したシステムである。このタイプのロボットは、人間に対してある程度の親和性を有することで、人間と

のインタラクションの際に、機能において完璧でない点があったとしても人間には受け入れやすい側面があり、多くの企業がチャレンジしている。もう1つは、移動インテリジェント会話端末型であり、ディスプレイと移動プラットフォームで構成され、利用者との会話と案内が基本機能となる。これらのサービスロボットの一般的な「身長」は1m～1.5mの間にあり、洗練された設計を有するものもある。

準ヒューマンノイド型

 1. Pepper (ソフトバンク)²	 2. Cruzr (优必选)⁵	 3. 旺宝3 (科沃斯)⁶
 4. 「晓曼」「晓医」(科大迅飞)⁷	 5. 酷奇 (Cooky) (木爺)⁸	 6a. 三宝 (旗瀚科技)⁹
 6b. 三宝金刚 (旗瀚科技)⁹	 7. 小民 (GQY)¹⁰	 8. FARNESE (ROOBO)¹¹

5 <https://www.ubtrobot.com/>

6 <http://www.ecovacs.cn/>

7 <http://www.iflytek.com/>

8 <http://www.clever-m.com/>

9 <http://www.qihan.cn/>

10 <http://www.gqy.com.cn/>

11 <http://farnese.roobo.com/>

 9. 落花生誘導広告/レストラン運搬ロボット (擎朗)¹²	 10. 爱丽丝、艾米 (穿山甲ロボット)¹³	 11. 小笨智能サービスロボット (小笨智能)¹⁴
---	--	---

移動インテリジェント会話端末型

 12. 健康管理ロボット (深圳天益智网)¹⁵	 13. 欣奕华商用ロボット (北京欣奕华)¹⁶	 14. ガイドロボット (江苏东方金钰智能)¹⁷
 15. 「派宝」ロボットシリーズ (広州映博智能)¹⁸		

12 <http://www.gbot.cn/>

13 <http://www.csjbot.com/>

14 <http://www.ibenrobot.com/>

15 <http://www.skyee.com.cn/>

16 <http://www.sineva.com/>

17 <http://www.jiangsurobot.com/>

18 <http://www.padbot.cn/>

基本機能として、自律的な巡航/障害物回避と音声インタラクションの機能が、多少技術内容に差があるものの、ほとんどのサービスロボットで標準装備となる。特記すべきは、音声認識において、ほとんどのロボットが科大讯飛のソリューションを利用していることである。障害物回避の実装において、各メーカーがレーザーレーダーや赤外線、超音波センサなど異なるセンサで構成し、自律移動ナビゲーションにも力をいれて Visual-SLAM を実装しているものも出てきた。センサ及び制御システムの違いが大きく価格に影響している。価格については、各ロボットの設定が明らかに二極化している。ロボットの定価が18～20万元(3万ドル前後)に近いものがある一方で、2万元(3000ドル前後)程度のものもある。

2014年にソフトバンクのPepperが初めて世界中の人々にその魅力を見せつけてから3年が経ち、サービスロボットの市場の機運が高まり、プレーヤーも徐々に増え、ついに2017年に来て爆発の前夜を感じさせ、大量のロボットが現れてきた。当然、これらのすべてのロボットが3年もしくは5年後にまだ主要舞台にいるとは考えていないが、5分の1から4分の1の企業は、独自のビジョンと技術を武器にして競争に勝ち抜き、成長していきだろう。

2.2.8 サービスロボットが急激に盛り上がる背景

中国においてサービスロボットが急速に盛り上がっている原因としては少なくとも以下の4点が挙げられる。

1. 一般消費者、そして銀行や空港などのビジネスユーザーのロボットに対する認知度と期待はますます高まっており、スマートフォンに続く魅力的な成長市場の代表であると産業界に認識されている。
2. サービスロボットのコア要素としての音声認識及び画像センシングによるインタラクション技術、クラウドデータ処理と深層学習に寄与したAI機能の成熟によって、サービスロボットは単なるコンセプト機ではなく、掃除のような機能機種から大きく進化し、多様なタスクを解決できる製品の見通しが出てきた。
3. 中国では多くの製造企業において、下請けから技術型への構造転換の需要が高まってきていることに加えて、中国の金融市場では不動産以外の有望産業への投資意欲が強いことから、サービスロボットの技術開発を強く後押

ししている。また、産業ロボットが契機となり、更なるニーズを見込んで市場での技術転換の追求が強まっている。

4. 若い技術者のレベルアップと創業精神の旺盛さが、もう一つの重要な要因である。現在の若い技術者は、継続的に成長している中国の市場で過去の10数年に創業に失敗した者と成功した者からの刺激やシリコンバレーの成功モデルからの影響を直接受けている。若者の上位数パーセントは、世界の最新の技術を貪欲に勉強し、自身のビジョンに自信を持ち、夢を追い、絶えずチャレンジすることが、サービスロボットビジネスベンチャーの強い原動力となる。

もちろん、現在のサービスロボット分野の課題も明らかである。具体的には、人間とロボットとの間のインタラクションの機能を進化することが必要である。また、コストと販売価格が依然として高いことが、サービスロボット企業が急いで解決しなければならない課題である。さらに、安定かつ継続的に進化するオープンプラットフォームを確立・公開し、早急に“サービスロボット App (アプリケーションソフトウェア)”産業を育成することである。

2.2.9 日進月歩の分野、待ったなしの日本

原稿を書き終えようとしたところ、現在のトレンドを表す興味深いニュースがいくつか飛び込んできた。

まず、前にも紹介した科大迅飛 (iFLYTEK) の医療ロボットシステムが中国の臨床医師の筆記試験に優秀な成績で合格したことである。コンピュータが将棋と囲碁の世界チャンピオンに勝利したような人工知能分野の Milestone と言えるかどうかとなると異論があるかもしれないが、模倣する技術開発ではなく、意欲的な人材と豊かな研究資金が原動力となり、世界のトップの一員として、AI分野を牽引するまでに成長していることは疑う余地がないだろう。MIT Technology Review が発表している世界のハイテク企業ランキングの 50 Smartest Companies¹⁹ で、科大迅飛は Intel、Apple、Facebook を抑えて 6 位 (中国勢のトップ)。テンセントは 8 位、Face++ は 11 位、DJI は 25 位) になったことが、それを物語っている。そうした背景には、音声合成の Blizzard Challenge 大会で、2006 年から 2017 年まで 12 年連続トップの成績を維持している²⁰ ことや、画像理解において

19 <https://www.technologyreview.com/lists/companies/2017/>

20 https://synsig.org/index.php/Blizzard_Challenge_2017

CITYSCAPESDataset の自動運転形式分割理解のタスクに81.4%のスコアで2017年10月時点でのトップ、12月現在で2位の成績を収めたことがある²¹。そして、文書理解の分野においてStanford Question Answering Dataset (SQuAD) においてHITの合同チームが2017年7月時点でトップの成績を収め、12月時点では、4位²²という好成績を達成した。

医療サービスロボットが中国医師国家試験の筆記試験にチャレンジしたのは、一般向けの音声認識、随時機械通訳という分野のほかに、AI・ロボットを教育と医療分野での市場を作り出すという企業戦略があったからである。この分野で躍進している同社の技術を駆使しても、いまずぐに教師や医者を完全に代替できないことは、企業トップが十分に理解している。しかし、開発している技術の成熟を待つという方針ではなく、「今すぐ市場へ」というのは、日本から見れば、現代中国の「性急」とも言える国柄である。同社が出した「性急」な方策は、まず遠隔の山岳地帯や農村部における経験豊かな医者や教師の不足という問題に着目し、新米医者や教師のパフォーマンスを向上させるシステムを構築するという実現性の高いサービスロボット・AIのビジネスモデルによって、政府及びベンチャーキャピタルの賛同を得ることに成功した。いずれ、ここで築きあげた技術を都市部等における健康と教育の二大成長分野でビジネス展開していくであろう。賢明なビジネスビジョンである。

次に、2017年11月上旬の中国の産業ロボット展では、中国の産業ロボット最大手のSIASUN（新松機器人）²³が、自社製のロボットとセンシングシステムにおける卓球のデモを公開した。ロボットの運動制御性能を示せるため、高速卓球のロボットデモが近年多く見られるが、去年発表されたOMRON卓球ロボットのように、多くのデモでは、高速運動性能を特徴としたパラレルマニピュレータが用いられていた。筆者が強い印象を受けたのは、2014年にKUKAが公開した世界トッププレイヤーのTimo BollとKUKAロボットが対戦するビデオで、高速センシングとともにシリアルタイプの産業ロボットの運動性能を存分に示していた。今回の新松のロボット卓球デモは、KUKAに続く中型6自由度シリアルマニピュレータでのもので

ある。卓球の動作は、マニピュレータが1自由度の直動ベースの上で装着して行ったものであり、スイングの度にスムーズな直動ベースと多自由マニピュレータの運動の協調制御技術がアピールポイントである。技術責任者の話によると、中国の卓球ナショナルチームの選手と200回のラリーを実現できており、自社の製品技術が基本性能及び安定性において世界のトップレベルに追い付いただけではなく一歩前を行ったことに自信を示している。当然ながら、新松ロボットは、産業マニピュレータや移動プラットフォームの国内トップシェアに満足しておらず、サービスロボット部門も数年前に設立され、会話や案内、配膳、医療補助方面の製品²⁴の開発も精力的に進めている。そうした意味では、中国の国産大手の技術進歩による影響は無視できない。

日本とは比べものにならない豊富な資金量をバックに6000メートルを実現している中国の有人深海ロボットの開発や宇宙ロボットの開発状況を見ると、将来市場の規模からしても、日本がこれらの莫大な資金を要する特殊ロボットの開発において競争すべきであるかどうかは熟慮する必要がある。しかし、今後の我々の生活に強くインパクトを与えるサービスロボットの世界的な市場において、日本が主導力を発揮する立場を確立していく努力・チャレンジをしないと、日本の立場は失われていくであろう。少なくとも中国という巨大市場に入ることは極めて困難であろう。過去15年間の技術政策を踏襲するようなことがあれば、15年前よりははるかにグローバル化された世界においては、過去15年間の失敗を味わう確率は極めて高い。アベノミクスの恩恵を思う存分受け、史上最大の利益を得ているトヨタやSONYが代表する日本の技術企業がリードして、失敗を恐れず真剣にサービスロボット分野へチャレンジし、過去のように世界を席巻する技術大国になるよう邁進する役目を担う、また政府や産業界が失敗を前提とする技術ベンチャーに投資し、B-to-Cの技術力のリードを10年後も有するように推進していくことは、待ったなしと言える。

2017年12月12日、富士通とユニロボットのロボット「unibo」が連携して人間と自然的なコミュニケーションを行うロボットAIプラットフォームの発表²⁵があった。新聞報道の内容からすると、

21 <https://www.cityscapes-dataset.com/benchmarks/>

22 <https://rajpurkar.github.io/SQuAD-explorer/>

23 <http://www.siasun-in.com/en/>

24 <http://www.siasun-in.com/plus/list.php?tid=73>

25 <http://pr.fujitsu.com/jp/news/2017/12/12.html>

本文に述べたいいくつかのサービスロボットと同様なトレンドとの印象を受けた。中国のロボット製品と異なるのは、初期的な市場でもあり、機能や人間とのインタラクションの面の質の違いをどのように見せ、AI スピーカを超えた新たなサービスがユーザーに愛用されるロボットに成長しているかは、楽しみでもある。aibo も同様である。

【2017年12月18日】

2.3 防災、減災ロボットにおける研究開発の現状と動向

松野 文俊

(京都大学教授)

2.3.1 はじめに

中国では2008年5月12日に四川汶川8.0級地震が発生したが、地震などの自然災害直後に用いる災害対応ロボットより、災害調査や公共安全等に用いられるレスキューロボットの方がよく知られている。開発されているレスキューロボットは災害調査無人飛行ロボット、消防ロボット、陸上レスキューロボット(炭鉱レスキューロボット、爆発物処理ロボット、偵察ロボット)に分類される。開発は研究所や大学が中心となって、一部は商品化されている。中国のレスキューロボットの研究開発の現状を表2-3-1に示す。

中国でのレスキューロボット開発は大学と国の研究機関が共同で進めているケースが多い。瀋陽自動化研究所、上海交通大学、ハルビン工業大学、北京航空航天大学、北京理工大学などが有名である。また、大学の研究をベースに起業して、大きな会社に成長したDJIなどもある。

瀋陽自動化研究所(Shenyang Institute of Automation Chinese Academy of Sciences)は中

国科学院により1958年11月に設立された遼寧電子技術所を起源としている。1960年4月には、中国科学院遼寧支部自動化研究所と命名され、1972年には機関を変更し、中国科学院瀋陽自動化研究所として現在に至っている。2014年末には、1000人以上の従業員がロボット、産業用オートメーションと電気光学情報処理技術を開発研究している。中国ロボットの発祥地として、中国のロボットの歴史で20以上のTop 1の実績を有しており、中国のロボット技術開発の中心として知られている。

DJI(大疆創新科技有限公司、Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd.)は中国広東省深圳にある会社で、民生用ドローン(マルチコプター)およびその関連機器の製造会社である。商用ドローン業界最大手であり、世界シェアの70%を占めている。米国、ドイツ、オランダ、日本、北京、香港にオフィスを設立している。ドローン: Phantomシリーズ(精灵)、Inspireシリーズ(悟)、Mavic Pro(御)、撮影用: Osmoシリーズ、Roninシリーズ、作業用: MG-1 農業、Spreading Wings S(斤斗云Sシリーズ)、開発者用システム: MATRICE 100(经纬 M100)、MATRICE 600(经纬 M600)などを販売している。

2.3.2 災害調査無人飛行ロボット

中国では図2-3-1に示すような土砂崩れや洪水などが主な災害である。このような広域災害における大域的情報収集には、無人飛行ロボットが有用である。災害の発生の予見は困難で、発災後の救済活動は緊急を要する。災害による現場環境は激変し、その環境条件は劣悪である。被災状況の把握、災害現場へのアクセス手段として無人飛行ロボットは有用である²⁶。無人飛行ロボットは高度数kmの飛行から数mの低空飛行までが可能で

表2-3-1 中国のレスキューロボットおよび商品化の状況

分野	ロボット	開発組織	公開年	商品化
広域災害調査	UAV Mavic Pro	DJI	2016	○
	UAV F1000	FEIMA Robotics	2016	○
消 防	SJU 無人走行放水ロボット	上海交通大学	2013	△
	HRG 消防ロボット	ハルビン工業大学	2016	○
	ファイアーサーチ F50	AEE Technology	2013	○
爆発物処理	HRG シャーシ検査ロボット	ハルビン工業大学	2016	○
	RIB 壁面移動ロボット	北京航空航天大学	2012	△
	HW ロボット	瀋陽自動化研究所	2006	△
炭鉱レスキュー	炭鉱事故対応ロボット	北京理工大学	2016	△

(○: 商品 △: プロジェクト・プロトタイプ)

26 F. Zhang, W. Tong, L. Zhou and A. Liu, Application and development of unmanned aerial vehicle in the rescue, Chinese Journal of Disaster Medicine, vol. 11, pp.641-645, 2015 (in Chinese)

図2-3-1 中国における典型的な自然災害



出典：(http://www.bbc.com/zhongwen/simp/china/2015/12/151221_china_shenzhen_landslide_geologist
<http://cd.qq.com/a/20100821/000978.htm>)

あり、空港を必要としない。また、無人であるためパイロットの安全に対するリスクを考慮する必要がなく、さらに製作費が低いなどのメリットがある。近年では、自律飛行など無人飛行ロボット技術の高度化に伴って、その用途は広範になってきている。軍用のほか洪水、地震などの災害対応や日常生活支援への適用も視野に入れた開発が行われている。

中国の無人飛行ロボット開発は、軍事用と民間用とに分けることができる。軍事用の無人航空機は偵察機と戦闘機に分けることができる。偵察用の無人航空機は主に、情報収集、通信の中継、物資の輸送などのタスクでの運用が想定されている。軍事用途の他に農業、植物保護、野生動物の観察、荷物の運送、災害救援、測量と地図作成、ニュース情報の収集、電力施設の巡回検査、被災者救済、映画やテレビ映像の撮影など民間用途に適用することを想定して開発がなされている。

①災害直後の調査

大規模地震などの自然災害直後には、被災地では大きな被害を受けてライフライン・交通網・情報通信網などが寸断される。このような状況でも、無人航空機は直ちに被災地区の空域にアクセスし、上空から被災状況についての情報を収集することが可能である。

図2-3-2 解放軍無人機通信中継のプラットフォーム



出典：(http://mil.huanqiu.com/photo_china/2014-09/2746348.html)

②通信中継

大規模災害における適切な初動は迅速で正確な情報収集が必須であり、無人航空機の役割は重要である。図2-3-2に解放軍無人機通信中継のプラットフォームを示す。大規模災害直後には通信網が寸断され、被災地は情報的に孤立するので、テンポラリに必要な最小限の通信網を確保することが重要である²⁷。無人航空機を通信の中継ノードとして利用することにより、アドホックネットワークを構築し暫定的にでも通信網を確保する。無人航空機(中継局)の位置を通信の状態により適応的に制御することによって、状態変動にロバストな通信網を実現できる。現状では、無人航空機の適用は主に軍事用途であり、民間の応用例は比較的少ない。

(1) 回転翼無人飛行ロボット

DJI²⁸は現在、中国で無人航空機、特に回転翼航空機(無人ヘリコプター)を製作販売する最も有名な会社で、全世界の無人ヘリコプター市場の占有率は70%程度に達している。同社では無人ヘリコプターの機体とコントロール・システムを研究開発している。DJI社のMavicPro(図2-3-3参照)²⁹は最新の製品で、飛行時間は27分程度、画像伝送と飛行管制は約7kmの距離まで可能であり、

図2-3-3 DJI MavicPro



出典：(http://zhongce.sina.com.cn/activity/view/113/?_t_t_t=0.8324235295653055)

²⁷ P. Wu, W. Tang and F. Sha, A new application of UAV in emergency communication after earthquakes, China Academic Journal Electronic Publishing House, vol. 4, pp. 48-50, 2015 (in Chinese)

²⁸ <http://www.dji.com/>

²⁹ http://www.360doc.com/content/16/1001/20/11180739_595161171.shtml

表2-3-2 Mavic Pro のスペック

機 体		ビジョンシステム	
対角寸法（プロペラを含まず）	335mm	ビジョンシステム	前方ビジョンシステム 下方ビジョンシステム
最大速度	64.8km/h （無風時）	障害物検知範囲	高精度測定範囲：0.7-15m 検知範囲：15-30m
最大飛行距離	7km	動作環境	地表の様子が明瞭で、明るさが適切な状態
最大ホバリング時間	24 分	対応速度	高度2m で36km/h
運用限界高度	5km	対応高度	0.3～13m
ホバリング精度	垂直：+/-0.1m（ビジョンポジショニングを使用時）または+/-0.5m（非使用時） 水平：+/-0.3m（ビジョンポジショニング使用時）または+/-1.5m（非使用時）	カメラ	
		センサー	有効画素数：1,235万画素
		レンズ	視野角：78.8°、28mm（35mm 判換算）f/2.2ディストーション<1.5％ 焦点 0.5m～無限遠
		ジンバル	
		操作可能範囲	ピッチ：-90～+30° ロール：0°または90° （水平または垂直）
		機 構	3軸（ロール、ピッチ、ヨー）

出典：（<http://www.dji.com/jp/mavic/info>）

出典：(<http://www.dji.com/jp/mavic/info>)

ビジョンシステムによる障害物の検知、人工知能によるナビゲーションシステムを搭載している。MavicProのスペックを表2-3-2に示す。

画像伝送

無線伝送される画像の品質は、無人飛行ロボット適用の重要な評価項目の一つである。Mavicは機体の小型化を実現するとともに、新しいDJI OcuSync ハイビジョン画像の伝送技術を開発し、7kmの伝送距離を達成した。

障害物回避機能

遠距離を飛行する場合、障害物を自動的に回避する機能が重要である。MavicProはDJIステレオビジョン技術を採用して、リアルタイムで飛行の前方の30mの環境の状況を検知することができ、15m範囲内の障害物回避を実現し、大幅に飛行の安全性を高めた。

ホバリング機能

高い建築物や森林などの環境のようにGPS信号が得られない屋外環境やGPS信号が全く得られな

い屋内環境において、MavicProはステレオカメラを用いた形状認識機能に基づいてランドマークを認識し、高い位置精度のホバリングを実現している。**地形追従・人追跡機能**

MavicProは自律的に地面との相対的高度を維持し、地形追跡飛行が可能である。起伏のある未知の山岳地帯や森林地帯の上空での飛行において、MavicProの地形追従機能を用いれば自動的に高さを調整して、安全な飛行が可能である。また、図2-3-4に示すように、カメラで人を検出し自動的に追跡する機能を有している。

自動着陸機能

MavicProは、オペレータからの帰還指令を受けた場合やバッテリー残量の不足の場合には自律的に帰還し、自動的に着陸する機能を有する。離陸時にステレオカメラで環境を撮影し、SLAM技術と画像マッチング技術の融合技術により着陸地点を認識し、自律的なターゲット地点への着陸を実現する。

図2-3-4 人体の識別と追跡



出典：(<https://www.youtube.com/watch?v=XiAL8hMccdc>)

(2) 固定翼無人飛行ロボット

FEIMARobotics 社³⁰では主に固定翼の無人飛行ロボットを開発している。固定翼の航空機はホバリングが困難ではあるが、回転翼に比べて動力損失が小さく、飛行時間が長いという優位性がある。FEIMARobotics 社の F1000 固定翼航空機は最大巡航速度 60 キロ/時、飛行時間 1.5 時間、最高高度 5000 m、最大飛行距離 10km である。図 2-3-5 に示す F1000 にはカメラやリモートセンシング・マッピングセンサーなど様々なセンサーを搭載することが可能である。詳細なスペックを表 2-3-3 に示す。

FEIMA F1000 は水害における災害現場での情報収集に適用された数多くの実績を有している。調査が可能な面積はおおよそ 27km² で、被災地の上空から得られる環境データは地上における 8cm の解像度で収集することができる。このデータは小領域であるので、これらをジグソーパズルのように繋ぎ合わせることによって上空からの俯瞰的な情報を生成している (図 2-3-6 参照)。このデータは被災地の状況を把握するうえで貴重情報であり、行政の災害対応方針や策の策定に活かされている。特に、中国では頻繁に発生する洪水災害への適用が期待されている。

(3) 無人飛行ロボットの課題

①広域での情報収集に無人飛行ロボットが有用であるのは明確である。しかし、定点観測の要求には固定翼は難しく、回転翼はホバリングが可

能ではあるが、航続時間が 30 分程度と限られている。

- ②広域での運用を考えた場合、森林や山岳地帯など無線通信が妨げられかつ GPS 信号が受信できない環境での飛行が課題である。
- ③暴風雨など極めて悪い天気の下でのロバスタな飛行は課題である。
- ④飛行に障害となる高い建築物や森林などを自動的に認識して回避する知的な障害物回避機能は今後の重要な課題である。

2.3.3 消防ロボット

消防が使用することを目的としているロボットを消防ロボットと呼ぶ。消防ロボットは火災現場での消火活動・情報収集活動支援に重要な役割を果たしている。産業振興による石油化学プラントの増加、ライフラインや交通網の整備による社会インフラの増大に伴い、石油ガスなどの漏れ・爆発、トンネルや橋の崩壊などのリスクも増加している。消防ロボットは救助隊員の代わりに、危険物を保管する倉庫、地下空間、崩壊しやすい建物、石油化学ゾーンなど、酸素濃度が低く、可燃性および爆発性ガス・煙が充満した災害現場に入り、画像・データ・音声等の情報を取得・処理し、情報を無線伝送することができる。それによって、消防ロボットは災害現場での救助隊員の安全の確保および活動時間の短縮、広域空間のデータ収集および時間短縮を実現し、これらの情報をリアルタイムフィードバックすることを可能とする³²。

図 2-3-5 FEIMA F1000



表 2-3-3 F1000 のスペック

機体のサイズ		飛行スペック	
離陸の重量	3kg	最大速度	60km/h
長さ	1.1m	最大飛行時間	1.5h
幅	1.6m	最大飛行距離	10km
		運用限界高度	5km

出典：(http://www.feimarobotics.com/F1000/paras.php)

図 2-3-6 統合化された俯瞰的被災情報³¹



30 <http://www.feimarobotics.com/>
31 <https://sanwen8.cn/p/23fcpG1.html>
32 B. Hu, Fire Detection Robot, Robotics and Application, vol. 6, pp. 19-22, 2005

(1) 放水機能をもつ消防ロボット

中国の消防部隊に消防ロボットが徐々に導入されてきている。2015年天津滨海新区倉庫爆発事故³³後、中国政府は火災現場で使用されるロボット開発を本格化させた。近年、中国の多くの都市では消防ロボットが導入されている。

温州市に導入された消防ロボットを図2-3-7に示す³⁴。

このロボットの駆動部はクローラで、ロボット先端には放水器が装備されており、遠隔操作で制御する。火災時における、希釈、冷却などの機能を有する。なお、災害現場での簡単な救助活動も想定されており、排気機能を有する。このロボットは主には大規模な石油化学プラントなどの広域火災の対応支援とトンネル、地下貯蔵室などの閉鎖環境での救援作業が想定されている。

泉州市が導入した消防ロボットを図2-3-8に示す³⁵。

ロボットの先頭の下部にシャベルを上部にサーチライトとカメラを搭載している。また、このロボットの特徴である、樽型「水大砲」が装備されて

おり、高速で大量の水を噴射できる。このロボットは地下鉄、高速道路、鉄道、トンネル、地下貯蔵室、デパート、石油化学精製所およびガソリンスタンドの火災対応支援を行う。ガス漏れ、煙、爆発事故などで、消防士が入ることができない場合に、情報収集、ビデオ監視、危険物の輸送および障害物の除去などの作業に適用される。

上海交通大学が開発した消防ロボットを図2-3-9に示す³⁶。

主な技術的な特徴を以下に示す。

- (a) 耐圧防爆設計：ロボット本体が正圧防爆仕様として設計されており、ドライバおよびロボット内臓センサーは防爆または本質安全設計が行われている。
- (b) シール設計：シャフト、接触面、ケーブル、充電器、緊急ボタンボックスコネクタを気密にする設計がなされている。
- (c) 装着センサーの防爆：消防ロボットに装着する有毒ガスセンサー、カメラ、サーチライトが防爆性能を有している。搭載されている電子回路基板などは本質安全設計がなされている。

図2-3-7 温州市に導入された消防ロボット



図2-3-8 泉州市に導入された消防ロボット



図2-3-9 上海交通大学が開発した消防ロボット



33 http://english.gov.cn/news/top_news/2016/02/05/content_281475284781471.htm/, "Tianjin blast probe suggests action against 123 people". Xinhua. Feb. 5th 2016.

34 <http://www.ecns.cn/visual/hd/2015/04-10/63139.shtml/>, "Firefighting robot on display in Wenzhou". Ecns.cn. Apr.10th 2015.

35 <http://www.robot-china.com/news/201412/11/16240.html>

36 <http://arobot.sjtu.edu.cn/menu/research/fire-robot/fire-robot.html>

図 2-3-10 ハルビン工業大学が開発した消防ロボット



ハルビン工業大学が開発した消防ロボットを図 2-3-10 に示す³⁷⁾。
このロボットのスペックを表 2-3-4 に示す。様々な災害現場に適用することができ、全天候環境で動作する能力を持っている。バッテリーにより 8 時間程度の作業が可能であり、都市消防、災害救助などの分野で使用する事ができる。

(2) 消防用無人飛行ロボット

図 2-3-11 に重慶市が導入した消防用無人飛行ロボット（ドローン）を示す。このドローンは中国の AEE 株式会社（一電テクノロジー）が製造する軍用ドローン・ファイアーサーチ F50 (<https://m.youtube.com/watch?v=RxXKzn3cuLY>) である³⁸⁾。最大飛行高度が 1500 メートル、航続時間が 60 分で、ビューフォート風力階級 6 レベル (10.8～13.8m/s) の暴風下での飛行が可能である。このドローンは空中から、3G ネットワークを通じて、地上の操作

図 2-3-11 重慶市が導入した消防ロボット



表 2-3-4 ハルビン工業大学が開発した消防ロボットのスペック

名 称	仕 様
駆動パワーサプライ	DC48V
制御パワーサプライ	DC24v
サイズ	912 × 462 × 334mm
重 さ	< 80kg
速 度	0 ～ 1.8m/s；機械的な可変速機能付き
登坂能力	< 35°
段差踏破能力 (最大ステップ高さ)	15cm
通信可能距離	500m

ステーションへのリアルタイムの画像伝送を実現している。この伝送機能により適切な情報を得ることができ、適切な消火活動のために利用される。また、このドローンは火災現場面積の推定機能を有している。さらに、火災の位置測位機能だけでなく、遠赤外線熱画像による夜間の活動も可能としており、この機能を用いると、災害現場だけでなく森林や山岳地帯での要救助者の発見も可能である。

(3) 消防ロボットの課題

現在、中国の消防ロボットが直面する主な問題を以下に示す。
移動性能の不足は消防ロボットの実用化にとって重要な課題である。消防ロボットの対地適応性が低く、障害物を踏破する能力が不足していると、現場へのアクセスが困難となり、消防ロボットの機能を活かすことができない。ロボットの走破性は大きな課題である。また、トンネル事故などでガスが充満した環境や石油化学プラントなどプラント災害では、消防ロボットには防爆機能が要求される。さらに、コストの問題は実用化にとって非常に大きな課題である。現在、中国の消防ロボットのコアコンポーネントは、輸入に依存している。したがって、価格が高いだけではなく、メンテナンスにも時間がかかってしまう。中国製のロボットは海外のロボットの数倍の価格であるので、消防部隊には大量に配備することは困難である。消防ロボットの技術を中国国内で確立し、大量生産することにより、価格を削減することの必要性が叫ばれている³⁹⁾。

37 http://www.hitrobotgroup.com/en/product/prolist_show/30/, "Emergency robot", HIT Robot Group
38 <http://en.aee.com/UAV/Inform.aspx?id=10000120/>, "F50", AEE Technology.
39 <http://www.robot-china.com/news/201611/03/36844.html/>, "Development and Application of Fire Robot", CITIC Heavy Industry Kaifeng Intelligent Equipment Co., Ltd. Nov.3rd. 2016

2.3.4 陸上レスキューロボット

陸上のレスキューロボットとして、鉱山での事故を想定したレスキューロボット、テロなどを想定した爆発物処理ロボット、偵察用の壁面移動ロボットなどが開発されている。

(1) 炭鉱レスキューロボット

鉱山事故を想定したレスキューロボットは、北京理工大学、中国鉱業大学、中国科学院瀋陽自動化研究所が共同で開発した。2016年に山東省の塔山炭鉱において開発したロボットの実証実験が実施された。

炭鉱でのガス爆発後の坑内は高熱で、煙や有毒ガスが充満している可能性があり、人間が入れない環境を想定して、災害現場の環境情報を災害対策本部の指揮センターまで転送し、災害対応や人命救助に有用な情報収集を目的として開発研究が進められている。ロボットが収集可能なデータは各種ガス濃度、酸素濃度、温度、風速、生命情報、環境映像などである。ロボットは、防水、耐高温、防爆などの機能が要求されている。環境には石炭の欠片が散乱し、電線、鉄道のレールなどの障害物がある状況を想定している。

開発された2種類のロボットの外観を図2-3-12に示す。ロボット群は3台で構成されており、図2-3-12 (a) は先頭ロボット、(b) は支援ロボットである⁴⁰。先頭ロボットはロボットアームを持っ

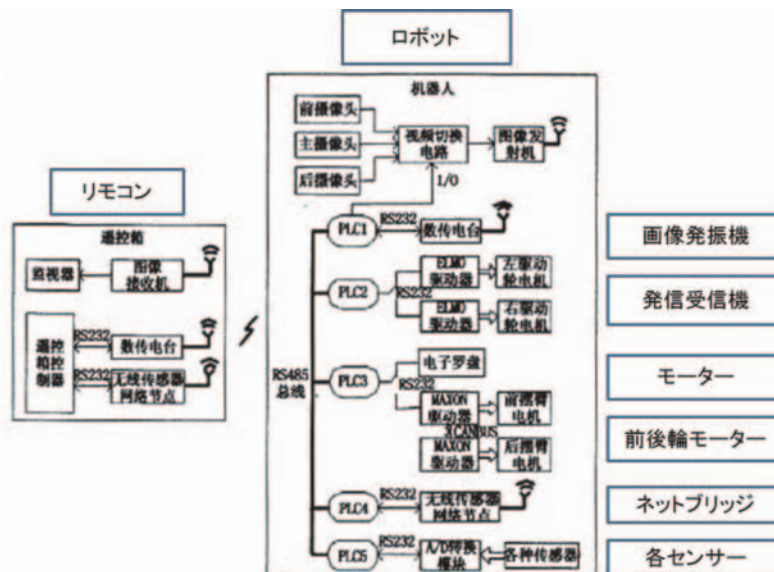
て、探索や消火等の能力を持っており、遠隔操作される。後方の2台のロボットは環境情報収集と通信支援することができる。後方の2台のロボットは遠隔操作、もしくは、先頭ロボットの経路を追従して動く。ロボットの動力源は蓄電池とDCモーターである。ロボット本体はクローラ2個と左右のクローラアーム4個の合計6個のクローラを装備している。前後左右のクローラアームを用いて、障害物の乗り越えを実現している。

ロボットシステムのブロック図を図2-3-13に示す⁴¹。ロボットの5つのコンポーネントはそれぞれPLCコントローラーにより制御されている。各PLCコントローラー間はRS485バスで通信され、故障時には互いにバックアップするシステム設計がなされている。運動系の計算機はロボット本体の奥にあるが、センサー系の計算機は本体外部に実装されているので耐環境性は高くない。

図2-3-12 炭鉱レスキューロボット (a) 先頭ロボット、(b) 支援ロボット⁴⁰



図2-3-13 ロボットシステムのブロック図⁴²



40 QIAN Shanhua, GE Shirong, WANG Yongsheng, WANG Yong, LIU Changqing, "Research Status of the Disaster Rescue Robot and Its Applications to the Mine Rescue", ROBOT, Vol28, No.3, pp.350-354, May, 2006 (in Chinese)

41 Zhu Jianguo, Li Kejie, Gao Bijing, Gao Xueshan, Wu Qianyi, Ren Peijie, "Design of Distributed Control System for Coal Mine Detect and Rescue Robot", Computer Measurement and Control, Vol19, No.11, pp.2688-2692, Nov, 2011 (in Chinese)

42 Han Jianda, Wu Zhenwei, Lang Zhiming, Zhong Hua, A Design of Coal Mine Detect and Rescue Robot, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, The intellectual property office of the People's Republic of China, ZL200820014688.9, date of application, 2008.8.8 (in Chinese)

PCL1は発信受信機能を制御している。ロボットのリモコン情報を受信し、PCL5からのカメラなど各環境センサー情報を発信する。PCL2は運動機能を制御している。PCL1あるいはPCL4からの指令によりロボットのモーターを制御する。距離センサーを用いた追従機能も実装されている。PCL3は障害物回避機能を制御しており、距離センサーの情報より、低い障害物を探知し、前輪と後輪を制御し、障害物の踏破機能を実現する。同時に、IMUセンサーからの姿勢情報に基づき、運動の安定性を保証し、ロボットの転倒回避を実現する。PCL4はネットブリッジ機能を制御している。PCL1の補助機能であり、PCL1もしくは他のシステムの直線受信が切断された場合、PCL1の代わりに動作する。PCL5は全ての外部センサーの情報をRS485バスを用いて伝送し、各環境センサー機能を制御する。

(2) 爆発物処理ロボット

①車両検査ロボット

図2-3-14にハルビン工業大学 HIT Robot Group (HRG)、北京航空航天大学 Robot Institute of BUAA (RIB) などが開発した全方向移動可能な爆発物処理ロボットを示す。本ロボットは車両の底面の状況を検査するために遠隔操作で車両のボディの下

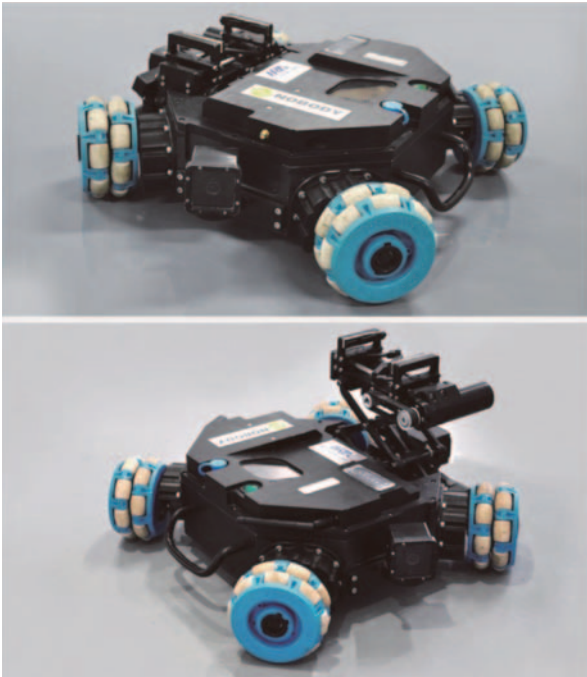
に入り込み、取得した画像を送信する。また、ロボットに搭載されたアームで不審物を取り外すことも可能である。表2-3-5にHRG車両検査ロボットのスペックを示す。

このロボットは軍用規格によって設計されており、信頼性が高く、機械構造がモジュラー構成になっている。2016年から、深圳税関に同ロボットが配備されている。操作端末からロボットを遠隔操作し、検査しながら動画を保存していく。人間の検査に比べて安全であり、かつ25%の時間短縮を実現している。RIBはファジィ制御に基づく軌道修正アルゴリズムを提案している⁴³。そのアルゴリズムはReal-time embedded multitask control systemとして実装されており、ロボットの走行中に目標軌道からの偏差とエラー蓄積の問題を解決している。他の大学でも全方向移動可能な車両検査ロボットに関する研究がなされている。

②EOD処理ロボット

EOD (Explosive Ordnance Disposal) 処理ロボットとは、遠隔操作で爆発物进行处理するためのロボットである。ハルビン工業大学 HIT Robot Groupと瀋陽自動化研究所が中国のEOD処理ロボット開発の中心的機関である。その他にも多くの中小企業が大学と協力して開発を進めている⁴⁴。

図2-3-14 HRG車両検査ロボット



(http://www.hitrobotgroup.com/product/pro_list/4)

表2-3-5 HRG車両検査ロボットのスペック

部分	項目	スペック
本体	重量	12 kg
	サイズ	480*480*120mm
	ラジカル半径	0
	最大のインパクト	50G
	速度	0.5m/s
	連続使用時間	2-10時間
	無線通信距離	150m
	拡張インターフェイス	CAN、RS232、電源
アーム	アームの全長	150mm
	重量	3kg
	最大荷重	3kg
	カメラ	4つの低照度カラーカメラ (ズーム可能)
	自由度	2
操作端末	画面	4つカメラ映像を同時に表示
	モニター画面	10インチLCD
	操作方法	遠隔操作
	連続使用時間	3時間

43 Zou Dan, Wang Tianmiao, Chen Diansheng, "Research on Navigation Control of Chassis Checking Robot," Computer Engineering and Applications, vol. 11, pp. 1-3, 2005. (in Chinese)
44 L. Bo, Z. Jin, L. Guodong "Design of Mechanical Arm Control System for EOD Robot," Electrical and Mechanical Engineering, vol. 08, pp. 1110-1114, p. 1150, 2015. (in Chinese)

図2-3-15にCAS瀋陽自動化研究所(CASSIA)が開発した中国の代表的なEOD処理ロボットLINGXI-HWを示す。このロボットの駆動部は三段式クローラであり、43度の階段とスロープを踏破することができ、高さ1メートルの障害物を乗り越えられる。状況に応じて機能を変更できるようにコンポーネントがモジュール化されている。表2-3-6にEOD処理ロボットのLINGXI-HWのスペックを示す。

欧米諸国のEOD処理ロボットに比べて、中国のEOD処理ロボットは安価である。例えば、LINGXI-HWの価格は欧米の類似品の3分の1である。さらに、中国ではEOD処理ロボットは軍事ロボットとして転用される。図2-3-16に示したハルビン工業大学HIT Robot Group (HRG)のEOD処理ロボットは、軍用ロボットと同じシャーシを用いている。中国で開発されているEOD処理ロボットは人民解放軍と政府公衆安全部門に配備されている。

(3) 偵察用ロボット

偵察ロボットは主に軍事用として開発されている。人民解放軍には情報収集ロボット、化学兵器の偵察ロボット、核放射線偵察ロボットがある。偵察ロボットには様々なセンサーが搭載可能で、軍事用だけでなく災害による被災地域の情報収集、環境アセスメントに利用できる。状況に応じて様々な偵察ロボットが必要となるので、多くの研究機関で研究開発が行われている。例えば、偵察ロボットの視覚ナビゲーション⁴⁵、機械構造設計、伝送制御、監視システム、投擲型、特殊な応用環境、インターフェイス⁴⁶に関する研究がある。

① 壁面移動ロボット

壁面移動ロボットとは壁面吸着や壁面走行の機能を持ち、垂直壁や天井面を走行できるロボットである。中国の主流な壁面移動ロボット研究機関はハルビン工業大学HIT RobotGroup (HRG)と北京航空航天大学Robot Institute of BUAA (RIB)である。また、中国科学技術大学(USTC)では粗い非磁性の表面を持つ壁面を対象とした生物模倣クローラ型壁登りロボットについての研究を行っている。

図2-3-15 EOD処理ロボットLINGXI-HW



(<http://eod.sia.cn/product1>)

表2-3-6 EOD処理ロボットのLINGXI-HWのスペック

項 目	スペック
外形寸法(折り畳んだ状態) (長さ/幅/高さ)	1200×760×450mm (PTZなし)
重量	225kg
最高速度	40m/min
最大作業時間(バッテリー駆動)	2-7時間
遊脚スイング範囲	±80°
踏破可能な障害物の高さ	≤450mm
踏破可能な溝幅	≤680mm
階段登坂能力	≤40°
スロープ登坂能力	≤43°
コントロール	無線および有線
無線伝送(コントロール)	デジタル
無線伝送(動画):	アナログモード
無線伝送範囲	300m
ケーブル長(有線モード)	100m

図2-3-16 HRGのEOD処理ロボット



(http://www.hitrobotgroup.com/product/pro_list/4)

45 B. Jiatong, S. Aiguo, T. Hongru, X. Pengwen, "Navigation Method of Reconnaissance Robot Based on Visual Target Tracking," Journal of Southeast University, vol. 42-3, pp. 399-405, 2012-5 (in Chinese)

46 T. Hongru, S. Aiguo, Z. Xiaobing "Research on Human - Computer Interaction of Semi - autonomous Reconnaissance," Measurement and Control Technology, vol. 07, pp. 66-69, p. 76, 2006. (in Chinese)

ハルビン工業大学はスライディング吸盤を用いたクローラ駆動と車輪駆動の壁面移動ロボット（図2-3-17参照）の開発研究を実施している⁴⁷。一般的な吸着方法は負圧吸着や永久磁石吸着である。負圧吸着とは吸盤で滑らかな壁面を吸着して、壁面材料の制限は受けない。永久磁石吸着は永久磁石で磁性材料壁面を吸着する。また、このロボットには放射線センサー、ガスセンサー、赤外線セン

サーなど様々なセンサーを搭載できる。壁面移動ロボットは石油化学プラントのパイプや高層建築物の点検や清掃などへの適用が想定されている。2012年から北京特殊警察SWATはHRGの壁面移動ロボットを配備し、部屋の外から部屋の中の状況を偵察する用途に利用している⁴⁸。表2-3-7にHRG壁面移動ロボットのスペックを示す。

図2-3-17 HRG 壁面移動ロボット（上：クローラタイプ、下：車輪タイプ）



(http://www.hitrobotgroup.com/product/pro_list/4)

表2-3-7 HRG 壁面移動ロボットのスペック

部 分	項 目	スペック	
本 体		クローラ	ホイール
	重量	8.25kg	3.75kg
	サイズ	450*320*90mm	310*225*86mm
	速度	0.25m/s	0.8m/s
	最大荷重	7kg	2kg
	連続使用時間	2時間	
	無線通信	2.4GHz, 50m	
	拡張インタフェース	CAN, RS485, RS232	
	運転温度	-20～55℃	
	最大運転湿度	90%	
	カメラ	150° 広角レンズ	
操作端末	画面	三つカメラ映像を同時に表示	
	モニター画面	7インチ	
	操作方法	遠隔操作	
	連続使用時間	2時間	

47 Xinwanbao, “HIT climbing wall robots equipped with Beijing special police for anti-terrorism reconnaissance,” 29 2 2012. [オンライン]. Available: http://news.xinhuanet.com/mil/2012-02/29/c_122772060.htm. (in Chinese)

48 L. Zhizhai, F. Yili, W. Shuguo, “Study on the Dynamics of Four-wheel Drive Sliding Sucker Wall-climbing Robot,” Robot, vol. 05, pp. 601-607, 2010. (in Chinese)

また、RIBの生物模倣壁面移動ロボットプロジェクトはNSFC (National Natural Science Foundation of China) により支援されている (No.50605001 No.51075015 No.5147501)。主要な研究内容は、低消費エネルギーのための軽量化、生物模倣の壁登り歩容、壁登りと滑空運動の融合である。図2-3-18にRIBの生物模倣壁面移動ロボットを示す。

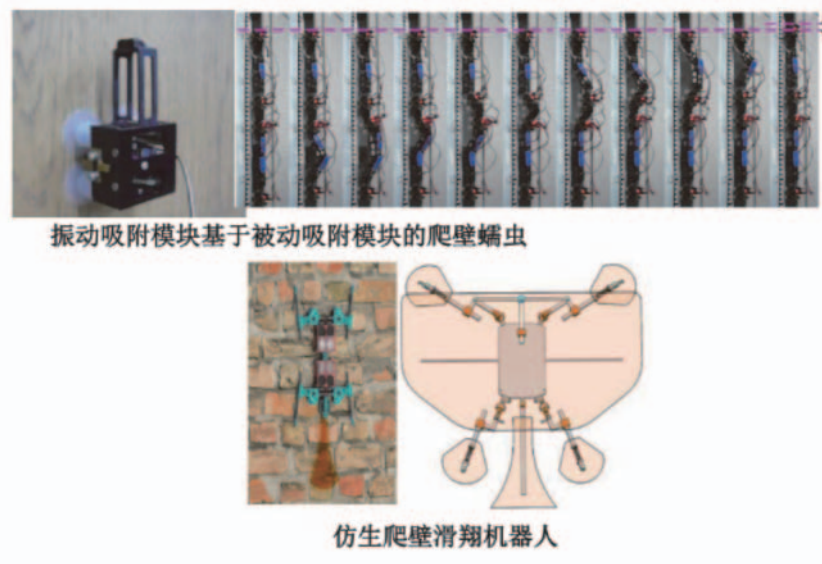
②投擲用ロボット

図2-3-19に示す北京航空航天大学Robot Institute of BUAA (RIB) が開発した手投げ型偵察ロボットは、一人で持ち運ぶことができ、6メートルの落下に耐えることができる。

2.3.5 おわりに

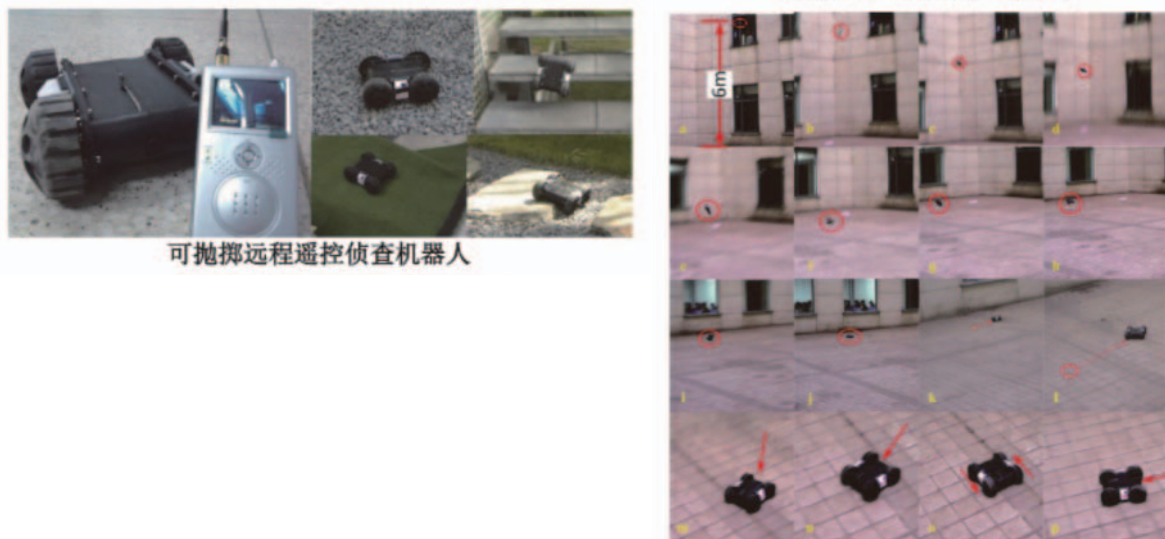
本報告は、中華人民共和国の政府、会社、研究機関等が公表したレスキューロボットに関する情報を収集・整理したものである。特に、災害調査無人飛行ロボット、消防ロボット、陸上レスキューロボット (炭鉱レスキューロボット、爆発物処理ロボット、偵察ロボット) に関して調査した結果を報告した。調査に関しては、京都大学工学研究科機械理工学専攻松野研究室の大学院生である、王鉄華君、王曉禹君、王璽尋君、温天宇君、張海越君の全面的な協力を得た。ここに、深く謝意を表する。

図2-3-18 RIBの生物模倣壁面移動ロボット (上: 尺取虫型ロボットのクロールの様子、下: 滑空型壁面移動ロボット)



(<http://robot.buaa.edu.cn/yjcg/yjgk/rjhhjz1/84455.htm>)

図2-3-19 RIB手投げ型偵察ロボット



(<http://robot.buaa.edu.cn/yjcg/yjgk/rjhhjz1/84457.htm>)

2.4 日中ディープラーニング研究と応用の比較

余 錦 澤

(人工知能次世代ロボティクス株式会社 MUJIN ビジョンエンジニア)

2.4.1 人工知能：時代の変曲点

人工知能は、人間の意識と思考プロセスをシミュレートする新しい規律である。あつという間に人工知能は不思議な考えから現実的なものになったようである。コンピュータ科学の研究者は、機械学習とディープラーニングにおいて大きな飛躍を遂げ、機械に認識と予測能力を与えた。現実の世界には、このようなシステムとアプリケーションは珍しくないと思われる。

人工知能とは、機械が人間の脳の認知機能をシミュレートすることを意味する。この概念は、ファンタジーやSF小説のみに長期で存在していた。1950～60年代までは、人工知能の初期理論が形成した後で、第1回のうねりが広範囲に高まった。しかし、人工知能における技術のブレークスルーを達成できなかったために望ましい結果を達成することができず沈黙期間に陥った。その後数十年間に、いくつかの成功事例があった（例えばIBMのスーパーコンピュータ「Deep Blue」がチェスチャンピオンのGarry Kasparovを破った）。しかし、現実世界では人工知能成功事例が少ないことから、大規模な商業化のサポートは不十分になっていた。

21世紀には、データ収集や照合、アルゴリズム、高性能コンピューティングなどの分野で、人工知能が革命的な進歩をもたらした。例えば、過去に機械が勝つことができなかった囲碁試合でAlphaGoが人間世界のチャンピオン李氏を破り、人工知能発展の道に歴史的な意義を与えたと思われる。

次世代の超人工知能のバイオニア、機械学習技術を応用するためのさまざまな分析ツールが次から次へと登場。金融、医療、製造等の産業用のアプリケーションが急速に発展している。人工知能分野におけるベンチャーキャピタル投資は、2012年の5億8900万ドルから2017年には70億ドル以上まで増えた。マッキンゼーによると、人工知能アプリケーションの市場価値は1270億ドルに達すると思われる。

日本経済新聞によると、世界的に競争が激化している人工知能の分野で米国と中国がトップ2カ国の地位を占め。日本の文部科学省所属の科学技術・学術政策研究所の分析に基づき主要な国際会議の論文の発表結果をみると、中国と米国が圧倒的優位を占めている。両国の共同研究報告も近年増加している。日本政府は人工知能を国の成長

戦略の柱と位置づけているが、基礎研究の進展が遅れている。日本としても、人工知能産業をやり直すなら、適切でアグレッシブな対応策が必要になるかもしれない。人工知能の研究といえば、以前はMITやカリフォルニア大学、スタンフォード大学などアメリカの大学が基礎研究で世界をリードしていたが、最近ではGoogleやFacebook、MicrosoftなどのIT企業による研究も進んでいる。同時に、中国の大学や企業の研究能力も高まってきている。日本では、NTTやNEC、楽天などの著名大手企業が人工知能の研究および製品とアプリケーションの事業を推進している。Preferred NetworkやMUJINなどの新興企業も積極的に人工知能技術の高度化を図り、独自の強みを活かし市場シェアを着実に伸ばしている。大学や研究機関の例としては、東京大学や国立情報学研究所(NII)などの研究機関も関連分野の研究開発に巨額の経費支援を行っている。

2.4.2 ディープラーニングの歴史

人工知能の歴史は、人工ニューラルネットワーク研究の進展とほぼ連動している。人工知能流行の新しいうねりを引き起こしたディープラーニングは、その名称における「ディープ」がある意味で人工ニューラルネットワークにおける層の数を指している。ディープラーニングは、本質的に多層の人工ニューラルネットワークに基づく機械学習アルゴリズムである。

人間の脳の情報活動と現在のコンピュータと比較すると3つの特徴がある。第一に、大規模な並列性とフォールトトレランスがある。人間の脳には約1000億個のニューロンがあり、ニューロン間には数十億のシナプスが結合し、迷路のようなネットワーク接続を形成している。多数のニューロン情報活動が同時に行われることは現在のコンピュータが指示の命令に一つずつ従うこととは違う。加えて、人間の脳の巨大な並行性により、優れた耐故障性が実現できると思われる。

第二に、情報処理ユニットとストレージユニットが組み合わされている。現在のコンピュータは、一般的にJohn Von Neumannのアーキテクチャを使い、メモリとプロセッサを分離し、バスを介してデータを渡して使用することと定義される。処理されるデータ量が大幅に増加するにつれ、バスの限られるデータレートは、「Von Neumann Bottleneck」として知られている。それはコンピュータの計算効率と消費電力に大きな影響を与えている。人間の脳が情報処理ユニットとストレージユニットが結合されると、非常に低い電力

消費になると思われる(約20W程度)。

第三に、自己組織化と自己学習機能がある。脳は外界と相互作用するにつれて学び、変化すると考えられる。それは現在のコンピュータが予め設定されたアルゴリズムに従い、固定的なパスおよび分岐により動作することとは違う。

上記3つの相違点に基づき、我々はアルゴリズムを設計するために脳のニューロンの情報メカニズムを模倣しようとしてきた。すなわち、シグナルがシナプスを介して神経細胞に入り、神経細胞が樹状突起から来るすべてのシグナルを組み合わせ、合計値が特定の閾値を超えたら、興奮状態を励起する。その時点で、シナプスを介して他の神経細胞にシグナルを送る。シグナルの合計が閾値に達していなかったら、神経細胞は励起されず、シグナルを通過しないことになる。

単純な人工ニューロンの数学的モデルといえ、各シグナル加重和をニューロンに入力し、合計が設定された閾値を超える場合、出力「1」になり、超えない場合に「0」を出力する。このようにして、いくつかの最も単純なニューロンの入力と出力が接続されると、複雑な人工ニューラルネットワークを構成できる。

トレーニングを通じて、人工ニューラルネットワークは基本的な分類機能を実現することができる。犬の画像分類を例とする。入力犬の画像信号で、コンピュータの出力が「1」になれば犬であることを示し、「0」になれば犬ではないことを示すことを記号化する。ネットワークを学習させる時、まず、「1」のラベル付き犬の画像を人工ニューラルネットワーク入力し、トレーニングさせる。出力結果が「0」であれば、出力が「1」になるように、ニューラルネットワーク各入力シグナルの重みなどのパラメータを調整させる。これで多数のラベリングされた犬の画像データで学習した後、人工ニューラルネットワークは犬の特徴を認識できるようになり、そして犬を認識するモデルの一般化能力も持つようになった。これまでに一度も見ることがない犬の画像を入力しても、犬であることを認識でき、出力「1」になるであろう。

2.4.3 ディープラーニングの急速な発展の歴史背景

人工神経回路アルゴリズムは1960年代に不況に陥った。当時、有名な人工知能の専門家Minskyは、人工ニューラルネットワークの2つの限界を提案した。第一に、単層人工ニューラルネットワークでさえ、最も単純なXOR演算を達成することはできない。第二に、マルチレイヤーの複雑な人工ニューラルネットワークを計算する能力はサポートされな

かった。

1990年代から、プロセッサの処理能力が飛躍的な発展を遂げたことに加えてクラウドコンピューティング技術の普及により、多数のコンピュータ並列コンピューティングが可能になった。大規模な人工ニューラルネットワークの計算能力の制限が徐々に解消されるようになった。それでも、主流の機械学習コミュニティは人工ニューラルネットワークに興味を示さなかった。人工ニューラルネットワークの研究に従事する機械学習分野の権威者であるGeoffrey Hintonトロント大学教授は、研究者達が人工神経ネットワークに対して長期にわたって示してきた否定的態度を変えることを狙い、名称をディープラーニングに変更した。彼が多層抽象データ学習プロセスは、人間の視覚メカニズムをある程度引き出すようである。

2006年、Geoffrey Hinton教授と彼の学生Ruslan Salakhutdinovが国際ジャーナル「Science」に掲載した論文は、ディープラーニングのブレークスルーにおける重要な論文であったと考えられる。この論文の要旨は、ディープラーニングがデータを記述する性質に関して広範に応用されるということであった。もう一つは、多層深層ニューラルネットワークのための良いトレーニング方法を与えるということである。この論文は、他の研究者に対して、ディープラーニングの大規模なアプリケーション時代が始まることを知らせることになった。そして、学界や産業界におけるディープラーニングの応用を触発した。その後、Geoffrey Hinton教授と彼の研究室DNNResearchはGoogleに買収された。

Googleでは、ディープラーニングはいくつかの製品グループでの応用から始まった。非常に大きなブレークスルーを達成した(音声認識に初めて適用された時でも誤り率は30%減った)。このため、より多くの研究チームがディープラーニング・アルゴリズムを採用し始めた。現在のところ、Googleのディープラーニング製品には、Android、アプリ、創業、Gmail、画像理解、Google地図、自然言語処理、画像、ロボット、音声翻訳などがある。世界的に有名なGoogleのDeepMindは、本的にGoogleのさまざまなビジネスの知的支援のために実装する大規模な人工ニューラルネットワークである。

2.4.4 ディープラーニング技術が人工知能のうねりを導くのはなぜか?

第一に、ディープラーニングが一般的な基本機能モジュールに直接適用できる。すなわち、音声、

テキスト、検索用語、写真、ビデオ、ラベル、フレーズ、オーディオ機能など、多くの分野での汎用性がある。

第二に、ディープラーニングは従来の機械学習アルゴリズムとは異なり、データの特徴を人為的に抽出する必要がない。非常に単純な「端末から端末まで」のトレーニング機能を備えており、迅速に多くの応用領域に遷移することができる。このため、広い範囲のアプリケーションの適用性がある。

第三に、データ駆動型の機械学習アルゴリズムとしてのディープラーニングは、トレーニング効果がデータ量の増加に伴って大幅に増加する可能性がある。ビッグデータの時代には大きな役割を果たすと考えられる。

実際に、人間は学習経験を通して知能とスキルを蓄積している（大量なデータでのトレーニングのプロセスを通して抽象化することができる）。そして人間が学習したものが他の領域に適用される可能性が高い（他の種類の入力データを処理する時、モデルが汎用できる）。人間のこの特徴はディープラーニングの基本機能と非常に似ている。したがって、ディープラーニングの一層の改善により、人間の多くの経験蓄積の能力が必要な仕事を徐々にディープラーニングに頼ることができると思われる。

2.4.5 ディープラーニングの応用

(1) 音声認識

中国のIFLYTEKはディープラーニングを導入し、音声認識の誤り率が大幅に低下した。その誤り率は世界トップの一つとして知られている。日本の音声認識の分野における研究はやや遅れているはずである。しかし、最近では音声認識技術に関するスタートアップ企業がどんどん現れている。例えば、NeuroVoice 会社は Google の Wavenet ディープラーニングモデルを活かして、面白い音声処理のサービスを提供し始めた。研究機関でも音声認識の研究にディープラーニング技術を導入し始めた。

(2) 画像認識

Image Net Image Library にはコンピュータビジョンの分野で最大の画像ライブラリとして1億枚以上の写真がある。その中に1000種類のカテゴリがあり、各カテゴリには1000枚の写真が保存されている。ディープラーニングを使用する以前は、最高の認識エラー率の記録は26%だったが、2014年にGoogleがディープラーニングを使って

エラー率を6.66%に落としてチャンピオンシップに勝った。そのエラー率はさらに2015年に3.46%に低下したが、これは人間の誤り率（24時間の訓練後の人間の誤り率は5.1%）よりも低い。しかも、過去2年間でほぼ2%のエラー率が達成された。

画像認識の技術において、現在、一番重要な2つの応用がある。

顔認識領域：ディープラーニング技術が駆動した上で、任意のオクルージョンおよび任意のパスpekティブ条件でリアルタイムでの顔認識が可能になった。そしていくつかの顔検出の問題を克服できた。すなわち、側面、半オクルージョン、ぼやけた顔の検出問題である。様々な現実の状況での顔検出の性能を大幅に強化した。同時に、性別、年齢、表情及び顔面の生理機能の多様性を識別することができ、写真の中での人物の性別と年齢を正確に識別できるだけでなく、メガネ、メイク、口紅、帽子、髪の色、ひげのスタイル等40種類以上の属性を表現でき、90%以上の平均正確度になった。そうした技術として現在、中国にはFace++とSensetimeがあるが、日本にはまだそんな高い正確度を達成できる企業はないが、顔認識技術が強い企業もいくつかあるはずである。例えば、オムロン、キーエンス、NEC中央研究所などはその領域の先駆者だと思われる。

ビデオ監視領域：ディープラーニングに基づく歩行者検出アルゴリズムは、あらゆる種類のオクルージョンの条件で歩行者の位置を正確に把握することができ、歩行者の姿勢や行動をさらに分析できるようになる。運転と交通監視の場合にさまざまな角度から車両を検出できる。そして、ナンバープレートや車のブランド、モデル、色、及びその他の物理的特性もある程度わかる。交通監視、運転支援、自動運転などの難しい研究領域に広範に適用できると思われる。この領域において、中国の代表的な企業は少なくないが、有名な企業といえば、Baidu、ディディチューシン、Sensetime等は、関連する分野に大量の経費を投入している。日本の代表的な企業はデンソー（人工知能）である。そして、関連する分野のベンチャーも徐々に増えている。

(3) 検索エンジン

Baiduは、世界で初めて検索エンジンにディープラーニングを導入し、検索エンジンを使うユーザーの満足度を大幅に向上させた。これは、自然言語の領域でディープラーニングが最も成功した例である。同時に、Baidu フェニックスネストシステムも初めて広告システムにディープラーニング

を導入し、広告のクリック率を大幅に向上させた。

Googleは2015年10月に正式にディープラーニング・アルゴリズムを導入する人工知能検索エンジンRankBrainを発表した。RankBrainは検索順番を決める時の重要な指標となり、ランキングする際、他の何百ものインジケータよりも優先順位が高くなった。RankBrainはディープラーニングに基づいており、回答を検索する際、ほぼ「直感的な」正確さを持っている。Google内部で以下のような実験があった。すなわち、アルゴリズムを研究するエンジニアに検索アルゴリズムが結果としてどのページを選択するかを推測させたが、彼の精度率は70%になった。RankBrainは同じことを行い、80%の精度を得た。

日本では、検索エンジンに関する最も有名な会社はヤフーだと思われる。2016年から、ヤフーはAIラボを作って、ディープラーニングを導入して検索エンジンの革新事業を展開し始めた。しかし、日本の人工知能の人材は不足しており、中国の企業と比べると発展のペースは遅い。

(4) 医療分野への適用

医療業界では、データの多様性と複雑さが急速に拡大している。1人の癌患者のゲノムは、TBの半分のデータに相当し、このようなデータの処理能力はどの医師にとっても達成できないだろう。遺伝子配列に基づく膨大なデータ、そして大量の臨床試験、治療法によって生み出されたデータは、人間での情報処理能力をはるかに超えている。人工知能の自己適応と学習能力、人間の自然言語を扱う能力、ソリューションを提案と評価する能力は、医療分野で必須なものである。

医療画像は業界最大のデータセットであり、ディープラーニングには最も重要なトレーニング「原材料」である。2015年8月7日、IBMは医療画像ソフトウェア会社Merge Healthcareを10億ドルで買収し、Watsonとデータ分析部門に最大の医療画像データセットを提供している。多数の医療画像データでディープラーニングシステムを学習させ、Watsonが医療画像に含まれている病気の情報の知的診断を引き続き強化させている。

日本のベンチャー企業LPixelは、この分野で有名な企業の一つと思われる。LPixelの研究者とエンジニアは、ディープラーニングを活かして、人間の正確度を超えるような医療画像分析用のシステムを開発することを目指している。国内の大きな病院や研究機関と連携して共同研究を行っており、幅広い医療画像の人工知能事業を展開している。

(5) ロボット工学分野

日本はロボット製造国として長い実績を持つ。ハードウェアに関しては、豊富な技術的な蓄積がある。しかし、日本のロボット人工知能アルゴリズムは他の国に比べて遅れている。

日本の産業用ロボットメーカー、Appleのサプライヤー、ファナック (Fanuc) は最近、Preferred Networkの少数株を保有し、最良の装置を組み立てる方法を自動的に見つけ出すことができ、さらには他のロボットを修理することができる知能機械を開発する計画である。

Preferred Networkは、ロボット知能分野において世界で最も先進的な技術を持つことを目標として掲げている。トヨタ自動車と共同で、自律運転技術の開発に取り組んでいる。また、パナソニックと共同で監視カメラや家電製品についての研究開発も開始した。マイクロソフトが1980年代にオペレーティングシステムを搭載したエンタープライズPC革命のコアに参入したのと同じように、Preferred Networkも企業シーンにおけるディープラーニングのアプリケーションの中心領域に自社ブランドを構築することを目指している。最近、ディープラーニングオペレーティングシステム「Chainer」を開発した。「Chainer」でサードパーティのエンジニアが人工知能機能を備えるプログラムを書く際に非常に役立つと思われる。

中国のロボット工学分野は日本より後れてスタートしたが、研究開発の速度が数倍も速くなっている。代表的な企業といえば、SIASUN、EFORTがある。国家政策によると、ロボット工学分野は国が最もサポートする産業の一つである。

2.4.6 日中人工知能の研究状況

(1) 人工知能研究と論文発表成果

アメリカの人工知能学会の中で最も権威ある学会の論文発表結果を統計すると、米国と中国の実績は過去3年間に急速に上昇した。2017年の米国の大学と企業による学会での発表件数は326件で(総数の48.4%)、中国は138件(20.5%)であった。両国で全体の約70%を占めていた。日本はわずか20件(3%)で第8位であった。6年間では、米国の学会発表の実績のうち74.6%は他国との共同研究である。特に中国との共同研究は80件に達した。一方、日本と行われた共同研究を見ると、米国との共同研究は6件、中国とは5件である。明らかに中国と米国との共同研究は活発ではない。

また、重要な国家課題として、中国政府は人工知能研究を促進する計画を進めている。自律運転やロボット工学だけでなく、物流や農業などの分

野で人工知能を幅広く利用することを奨励している。米国の北京における研究拠点であるマイクロソフト研究センターは、アジア第一とみられている。検索エンジン大手のBaiduは2014年にシリコンバレー研究所を設立した。当時、ディープラーニング研究の第一人者と考えられる Andrew Ng を採用し、積極的に人工知能研究を展開している。さらに、コミュニケーション装置の大手Huaweiもカリフォルニア大学バークレイ校と基礎研究分野で協力することになった。

一方、ノーベル賞受賞者の総数を見ても、先進国としての日本の科学的な強さは明らかである。日本は人工知能の分野でも長い間、投資を行ってきた。1980年代には、エキスパートシステムの台頭により、人工知能がうねりのように盛り上がりを見せた。日本政府は人間と会話をしたり、通訳をしたり、画像を解釈したり、人間と同じように推理できるロボットの開発を目指し、「第五世代コンピュータプロジェクト」に巨額の投資をした。

当時の技術の限界のため、日本の「第五世代コンピュータプロジェクト」は最後は失敗したが、人工知能の分野におけるリーダーとして世界中に注目された。また、NECを含む日本企業が中国に開設した研究機関も、中国の初期の人工知能人材を育成するにあたって貢献した。

新しい世紀に入り、大量のデータ、斬新なGPU、ディープラーニング・アルゴリズムに影響され、人工知能の3回目の大きなうねりをもたらした。AlphaGOが李氏に勝利した人工知能時代には状況が逆転し始めた。多くの専門家は、今の人工知能時代は中国とアメリカの間の競争の時代であると確信しており、日本ははるかに遅れてしまった。これはいろんな場面で反映されている。

日本政府は人工知能発展のトレンドに対応するために2017年予算で人工知能関連研究に924億円を計上した。これは、2016年予算の9倍になった。企業との連携も強化し始めた。そして人工知能に基づく新薬開発プログラムを始めるため、日本を代表する理化学研究所は人工知能研究所である「革新知能統合研究センター」(AIP)を東京の中心(日本橋)に設立した。

2017年、IJCAI(人工知能分野のトップ会議)がオーストラリアのメルボルンで開催された。テセントテクノロジーによると、中国は475の論文が入選し、全体の入選論文数の34%を占めた。米国は255件の入選論文があり、論文総数の18%を占めた。特に注目したいのは、入選したアメリカの論文の一部の著者は華僑であるということである。一方、日本の入選した論文は3件で、全体のわ

ずか3%にしか過ぎなかった。

実際、IJCAI学会だけでなく、他の主要人工知能学会でもこのような傾向が示されており、中国の研究者の論文数が急速に増えている。もちろん、数量は必ずしも高い質を意味するものではないが、一連のデータから、中国の学者の論文は質も着実に向上していることが示されている。昨年リリースされたホワイトハウスの人工知能に関するレポートでは、ディープラーニング関連の中国の学者の論文数は2013年から爆発的に増加している。2013年にはアメリカの論文実績を超えて世界一になった。論文の引用数も、2015年に初めて米国を凌駕し、世界一位となった。

最近、日本の経済ニュースと学術出版の巨人Elsevierが、世界の人工知能に関する論文の動向を分析した。その結果、人工知能に関連する論文引用数は、ランクのトップが音声認識などのディープラーニング技術を持っている米国のマイクロソフト。第2位は、シンガポールの南洋理工大学で、第3位には、中国科学技術大学が入った。中国の清華大学は9位になった。世界トップ10のうち米国が30、中国が15を占めたが、日本は64位に入った東京大学だけであった。

2017年9月、マサチューセッツ州アマースト大学のEmery Berger教授が、世界のアカデミーのコンピュータ科学ランキングである「CS Rankings」を発表した。このランキングは、大学教員がコンピュータ科学の学会で投稿した出版物の件数に基づいて作成したものである。主な分野は4つある。すなわち、人工知能、コンピュータシステム、理論コンピュータ科学、学際領域の研究である。人工知能の分野では、米国の大学が絶対的なトップの地位にあるが、中国の北京大学と清華大学がトップ10に入り、それぞれ3位と8位を占めた。しかし、日本はトップ10のランキングに入らなかった大学は一つもなかった。

(2) 日中人工知能特許比較

特許保有に関しては、中国の企業や研究機関が追い込みをかけている。マーケティング研究調査機関の統計によると、世界の人工知能に関する特許出願件数は、米国、中国、日本が上位3位にランキングされており、3ヵ国で全体の73.85%を占めている。第4位のドイツの人工知能の特許は中国の27.8%に過ぎない。

総合的に見ると、中国の特許出願件数は米国に比べると少ないが、伸び率では米国をはるかに上回っている。日本の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平井成興氏は、「中国は

ディープラーニング等の最先端の研究分野で大きな進歩を遂げている。特許出願件数だけでなく、質的にも優れている」と指摘している。一方、日本の特許庁が受理した特許出願件数は同時期に2134件から2071件に減少した。

2.4.7 要約

人工知能の発展のトレンドから見ると、日本と中国も積極的に人工知能の研究と開発を行っているが、日本の発展のペースは中国より明らかに遅れている。理由は、日本は成熟した社会に入ってしまった、重要な研究と開発の政策決定が遅く、新しいものを試す積極性が不足しているからではないか。一方、中国は、成長が目覚ましい途上国であると同時に、新しい技術に対して非常に高い関心を示す国の一つであるため、新しいものを受け入れることに対してきわめてオープンである。おそらく、日本社会には、下記のような技術革新の道を塞ぐ障害が4つある。

(1) バブル時代の後遺症

日本のバブル崩壊後の1993年からの2005年の間、卒業生は経済不況のために自分の国で満足できる仕事を見つけることが難しかった。コンピュータ科学や通信科学は、他の分野ほど魅力的ではなかった。才能ある人材は、米国や中国にビジネスチャンスを探しに行ってしまった。関連分野で多くの専門人材の損失が起こった。最終的に、大企業をはじめとして、人工知能開発分野で主導的な役割を果たす人材を見つけることが困難になった。

(2) IT企業のアウトソーシング濫用

IT業界の全体的な不況のために、日本の企業は、ソニー、日立のような大企業でさえ、他のところから注文を受けた後で中小企業のアウトソーシングソリューションを見つけるようになっている。中小企業は、利益の一部を控除した後、再び他のところにアウトソーシングするだろう。多層にわたる複雑なアウトソーシングのために、企業の技術管理に混乱を招いた。そうしたなかで、企業が技術における問題解決能力を維持することを困難にさせている。人工知能に関連した非常に重要なデータを蓄積することもできないであろう。

(3) 政府の消極的な対応

人工知能などの日本の技術産業は、政策面での支援があまりない。投資環境の悪化や税負担の増大は、外国企業や新興企業を悩ませ、新興産業の

倒産を何度も引き起こした。政府の科学技術予算は、間接的に人工知能産業のサプライチェーンにも否定的な影響を及ぼしている。

(4) 少子化、人口高齢化の社会背景

日本は高福祉社会に属し、高齢化社会の社会的ニーズは高まっている。しかも、出生率低下のため労働力不足が再び拡大している。社会資源によって、こうした問題に対処しなくてはならない。人工知能の研究開発と人工知能人材を育成するための資源が、徐々に不足していくものと考えられる。

2.5 日中ヒューマンインタフェース、インタラクティブロボットの事情

廣田 薫

(東京工業大学名誉教授、日本学術振興会北京研究連絡センター長、北京理工大学海外千人特別招聘教授)

2.5.1 日中における研究スタンスの違い

筆者は、長年、東京工業大学で、計算知能(Computational Intelligence)特にファジィシステムという観点から、本節表題のヒューマンインタフェース(インタラクティブロボットを含む)の研究を行ってきた。その間、海外28カ国から100名以上の学生や研究者を受け入れている。中でも中国からは30名で一番多い。その後、軸足を中国(北京)に置くようになって約2年が経つ。北京では、日本学術振興会(JSPS)の北京研究連絡センター長、および北京理工大学(BIT)で海外千人特別招聘教授として勤務して、早いもので約2年になる。JSPSの仕事では、中国各地の大学研究所などの研究機関を廻ってJSPSの事業紹介を行う傍ら、現在の中国の研究機関における研究状況を直接見聞きする機会に恵まれている。また、BITでは、自分の研究室を持って学生(大学院生)などの研究指導や若手研究者と研究グループを結成して、ヒューマンインタフェースの研究や論文執筆、さらには関連国際会議の開催などを行っている。ということで、日本と中国の間の研究への取り組み方の違いなどを、身をもって体験している。必ずしも、表題の研究分野に限定したものではないかもしれないが、本項では、日中の研究への取り組み方の違いをいくつか紹介したい。

(1) 論文に関する評価の違い

ヒューマンインタフェースのコア技術の一つでもあるファジィシステムの出発点は、1965年のInformation and Control誌でUC BerkeleyのL.A.Zadehが発表した”Fuzzy Sets”という論文で

ある。この論文は、ファジィシステムの原点でもあり、毎年、被引用数が1万件を超えるというすばらしい被引用数を誇る論文である。ところが、この論文自身の引用文献はわずか3件で、しかもその3件は数学の教科書である。ということで、私の東工大勤務時代には学生達に「他人の論文を沢山読んでそこから自分の研究を進めるのではなく、まず自分の頭で考えて研究を進め、ある程度まとまってきたら関連研究が過去にあったかを検索して、引用すべき論文は正しく引用するという態度が肝要である。Zadeh先生の論文のように、自分の執筆した論文では引用は無く、つまり全てがオリジナル、そして出版後に極めて多くの研究者に引用されるような、独創的な研究を行うことが理想的である。」と、研究の独創性 (originality) を強調して指導してきた。このような考え方は、日本では標準的なものであろう。ところが、中国では、ちょっと異なるようである。私の勤務するBITは、中国にある2千数百の大学のうちで、トップ1%に入るような大学である(海外千人特別招聘教授が配置されるような大学は大体そのレベルの大学である)。私の研究チームの先生方に頼まれて、Dr学生のジャーナル投稿論文を校閲することを何度もやらされている。そこで、気がついたのが、やたらと引用論文数が多い(数十件から中には100件を超えるものもある)のである。つまり、「他人の論文を沢山読んで、それらを統合して少し新しいアイデアを新たに論文としてまとめている」というサーベイレポートに近いような「論文」が多いのである。そしてその引用論文には、中国人の研究仲間の論文が漏れなく挙げられている。よって、「中国人研究者は、お互いに論文を引用し合って、お互いの論文引用数を上げている」というような指摘も、あながち間違っていない。論文の善し悪しの指標に被引用数だけではなく、その論文の引用数も考慮すべきかと(例えば、被引用数を引用数で割るなど)思う。日本では、翻訳書の出版やサーベイレポート、解説記事は、研究者としての学術業績にはカウントしない傾向があるが、中国ではカウントされるようである。翻訳やサーベイレポート執筆には大きな労力を要するが、日本人研究者はあまり好まない傾向があるのに対して、中国人研究者は、若い頃からそのトレーニングをしっかり積んでいるようである。

(2) Dr学生やポストドク研究者の立場の違い

東工大勤務時代、学部から修士課程へは100%近くが進学していたが、日本人学生で修士課程から博士課程に進学する人は極めて少なく、博士課

程学生の多くは、外国人留学生や社会人学生に依存していた。専攻全体の定員充足をするために、他の先生の博士学生枠を流用させてもらって、沢山の博士学生を研究室に受け入れることも良くやっていた。しかし、BITの研究室では、博士進学希望の(中国人)学生が多く他の先生の枠をもらってというわけにはいかない。また、修士課程は修了後就職で修論も必要ない2年コースと、修了後博士進学を予定されていて修論も必要な3年コースの2種類がある。私の修士学生は全員3年コースである。日本で、日本人学生が博士課程に進学しないのは、修了後の職が見つけないことも大きな理由である。任期の無い助手のポジションはどんどん減らされているし、3-5年任期のポストドクも、その後が保障されていない場合が多い。このような事情を説明して、ある日、BITでのゼミの後「日本では、Dr進学者が極めて少ないのに、あなたたちは何故進学したいのですか?」と質問してみた。「先生のもとで、人間ロボットインタラクションの研究を進め、将来はその分野の研究者になりたいから」などと答えてくれた。半分外交辞令と思いながらも、続けて「学位を取得すると、地方出身者でも北京の市民権がもらえることも理由ですか?」と打算的な質問をしてみた(Dr修了者にはそのようなインセンティブが用意されているのである)。それに対して「私は必ずしも北京にこだわってはおらず、海外や自分の出身地も含めて、この分野で立派な研究者になりたいのです」と、目を輝かせて答えてくれ、馬鹿な質問をしてしまった自分を恥じた。なお、Dr修了後は、ポストドクのポジションが大体の大学で用意されている(BITで私の研究室では、毎年2名のポストドク採用枠が与えられている)。なお、日本(および欧米)では、ポストドクは、ややもすると緊急避難的な一時的ポジションと考えられがちだが、中国では全ての若手研究者の登竜門という位置づけである。中国のポストドク制度は、1984年の鄧小平氏と李政道コロンビア大学教授(1957年ノーベル物理学賞受賞)の対談がきっかけで発足し、政府の人力資源和社会保障部(Ministry of Human Resources and Social Security)の全国博士后管理委員会(China National Postdoctoral Council)で一元管理されている。待遇は、標準給与が年間30万元(うち20万元は委員会で、10万元は該当大学で負担)ということなので、現在の換算レートで510万円程度、しかも2年任期の後には、審査の結果もう1期延長、あるいはその大学の講師職に昇格可能とのことで、日本と比べるとずいぶん魅力的な制度である。更に、その後、青年千人計画研究者に選ばれ

たりすれば、教授職より遙かに恵まれた環境で研究が継続できるなど、素晴らしい人材育成制度が用意されている。

(3) 軍事研究取り扱いの違い

日本では（最近、若干緩和の傾向が見られるが）軍事研究はしてはいけないことになっている。ところが、中国ではそれが認められていて、例えば、大学が軍事関係の研究成果を写真入りで外部に報告したり、中国軍事委員会主催の技術シンポジウムに大学の研究者が出かけて行って堂々と発表したりしている。その影響か、私が編集長をしている日本発の論文雑誌にも、中国の大学から「ミサイル誘導のためのヒューマンインタフェース」というような類いの論文がミサイルの誘導実験の写真と共に投稿され、その処理に困ってしまったという経験が何回かある。実際、ヒューマンインタフェースやロボット関連技術は、実質的に軍事転用が可能な場合が多く、本音と建て前の使い分けだけでは拉致があかない場合も多くなっている。

(4) ボランティア学術活動の違い

もう1つだけ日中の違いを述べよう。昨年、計算知能とその産業応用に関する国際シンポジウムを開催した（海外千人特別招聘教授の契約 to do list には、このような国際会議を毎年開催することが盛り込まれている）。準備の最初の段階で、集まってもらった我が研究グループの若手研究者達に協力要請をお願いしたとき、「面白そうですね。わかりました。」という返事をもらった後で「ところで、報酬はどのくらいですか？」という質問を受けた。日本でも多数の国際会議を開催してきたが、組織構成員の殆どはボランティア活動である。余談になるが、東工大勤務時代に、JSPSの本部主要事業である科研費の審査もいろんな形で参加してきたが、いずれもボランティア活動であったし、各種学術論文誌や国際会議の投稿論文査読もボランティア活動（無報酬）が殆どであった。ので、その質問には面食らってしまった。同じ事が、JSPS北京センターで、いくつかのプログラム審査を中国の大学の先生にお願いするときなどにも生じているようである。中国では、学術活動はボランティアで金銭問題の聖域とは、必ずしも言えないようである。ちょっと打算的な内容なので、本件についてはこれ以上述べることは控えるが、やはり、常識というものは、住む社会が異なるとカスタマイズし直さないといけないということだろう。

2.5.2 日中のヒューマンインタフェース、インタラクティブロボット研究

本節の主題（キーワード）は日中のロボット研究とAI研究についてということなので、その観点から歴史的経緯に沿って、筆者の分担であるヒューマンインタフェース、インタラクティブロボット研究を論じてみよう。

(1) 1970年代まで

ロボットの起源は1921年のKarel/Josef ČapekによるR.U.R.（Rossumovi univerzální roboti）で robota というコンセプトが提案されたこと、そして、人工知能（AI：Artificial Intelligence）の起源は、1956年の（7月から8月にかけてダートマス大学で開催された）ダートマス会議でJohn McCarthy等によって提唱された事は言うまでも無い。

ロボットは、その後日本で1951年の鉄腕アトム、あるいは1969年のドラエモンの登場などで研究開発のモチベーション形成が進んだ。そして1970年代の日本の高度成長の時期には、工場の自動化とともに産業用ロボットの導入が進んで日本はロボット大国になった。その背景には、欧米では、産業用ロボットの導入による人員削減（レイオフ）がネックになったが、当時の日本では終身雇用が堅持されていて、その心配も無いことが導入を加速させる要因になったとも言われている。そして産業用ロボットで工場の自動化が進んだが、プレイバック制御などが中心で、自動化率は95%、残りの5%はベテランの人間に依存せざるを得ず、知識情報処理技術の導入が必要と指摘された。

他方で、AIについては、ダートマス会議などで、英語で話しかけるとロシア語が発話される自動翻訳機械が近い将来実現できるはず、というような具体例が挙げられ、東西冷戦時代を背景に、DARPAなどから多額の研究資金が供給され、第1次AIブームが起こった。しかし、1966年に、当時の計算機技術ではそれはとうてい無理（例えば主記憶容量がMBやっというレベルなのに、基本辞書の記憶だけでも最低20MBくらいは必要）というALPACレポートが発表され、AI研究は冷え込んで（Pierceショック）冬の時代を迎えることになった。その後1970年代に入るとICなど計算機の基礎技術も進み、エキスパートシステムを中心に、1973年頃から米国で、1974年頃から日本で2回目のAIブームが起こった。

他方、中国では、文化大革命（1966年から1976年）の影響で、研究者知識人が冷遇されたこともあり、世界水準から見れば未熟な時期であった。

(2) 1980年代

この時期、日本では、高度成長が続き、ロボット技術では世界のトップ、AI技術でも世界のトップレベルをキープしていた。第2次AIブームは1985年のロサンゼルスでのAI国際会議に5000人の出席者を集めた頃がピークとなった。この頃のAI応用は、ロボットも含まれてはいたが、主流はエキスパートシステムで、エキスパートシステムの父とも言われるEdward A. Feigenbaumによると、全世界で4500ほどの実用化エキスパートシステムが稼働しており、1/3は米国、1/3は先進ヨーロッパ各国、そして1/3は日本と報告されている。そのアプローチ法は、プロダクションルールと呼ばれるIf Then形式のルール集合で現場の知識を記述し、計算機上で推論と呼ばれる演算を行うことによってシステムを稼働させるという手法が主なもので、プロジェクトをスタートさせても実用化まで到達する成功率は10%程度であった。つまり比較的簡単なものはうまくいくが、人間の知識処理はそんなに単純なものではないということが判明すると、第2次AIブームも次第に萎んでいった。論理をベースとする当時のAI技術では不十分ということで、ファジィ、ニューラルネット、GA（遺伝的アルゴリズム）あるいはEC（新価計算）など、新たな応用技術が開発されそれぞれブームになっていった。このうち特にファジィ技術は、主に制御応用を中心に、日本から世界に向けて発信し、1987年にプロセス制御を中心に第1次ファジィブーム、そして1991年には家電製品や車などの民生品に導入されて第2次ファジィブームを迎えることになった。

(3) 1990年代

第2次AIブームでは、論理を基本的技術としていたが、もう少し人間の脳などの生物学的知見の導入が必要ということでニューラルネット、GA/EC、脳科学などを含んでBI（Biological Intelligence）という言葉も産まれた。そしてさらにAI、BIを融合発展させてCI（Computational Intelligence、計算知能、余談だがこの日本語は筆者が提唱）という言葉が全世界に数十万人の会員を有するIEEEによって提唱され、第1回のWCCI（World Congress on Computational Intelligence）が、1994年にフロリダで開催されている。しかし、日本ではこのころから、いわゆるバブル経済の崩壊が始まり、知識情報処理の分野だけでは無く全ての分野での、特に企業での研究がトーンダウンしていく結果となった。一方で中国では、経済の急速な発展が見込まれるようになり、海外に頭脳

流出した人材を好待遇で自国に迎え入れて、自国の研究開発促進の即戦力にしようという動きが始まっている。そのトリガーは、中国科学院（CAS）が1994年に始めた「百人計画」で20世紀末までに、都合100名の優秀な人材を呼び戻す計画であった。

(4) 2000年代以後

日本では、経済的発展が足踏みするのに合わせるように、研究開発も鈍化する傾向の中、中国では急速な経済発展の影響もあって、帰国に躊躇していた優秀な人材も次第に自国の研究機関への帰還が目立つようになった。中国科学院の百人計画を更に発展させ、2008年には中国共産党中央組織部が主導して千人計画が始まり、国籍を問わずに優秀な人材を好待遇でスカウトするようになった。千人計画も年と共に少しずつ変遷がみられ、現在では、海外で博士学位を取得して5年以上の実務経験を有する者を対象にした「創業」、海外一流大学で学位取得をして一流大学で准教授以上の勤務経験を有する者を対象にする「創新」、40歳以下の海外での優秀な研究実績を持つ「青年」、退職間近の優秀な外国人教授を主なターゲットとする「海外特聘教授」等、いくつか存在する。いずれも、認知度がかなり上がっており、例えば昨年度の「創新」では、海外から5000名程が応募し、書類選考面接などを経て、80名強の優秀な人材が採用内定しているようである。また、筆者が先日訪問した地方大学のAIロボット関連の若手研究者（32歳）は、米国留学で学位取得して大学勤務後、青年千人計画で帰国して2年目とのことであったが、200㎡ほどの実験室に、提供される年間3000万円ほどの資金を投入して設備も整備され、Dr、Msの学生10名ほどの指導を行っていた。それだけ好待遇で魅力的な人材獲得手法が政府主導で浸透し、中国の研究レベルには一層の磨きがかかっている。

(5) 今後の動向

このような背景のもとで、昨今の中国でのヒューマンインタフェース、インタラクティブロボット研究は、世界のトップレベルに着々と近づきつつあることを実感している。そして、2017年4月から中国政府は、在留外国人をA、B、Cとランク分けをして、Cランクの外国人は就労を認めない方針を打ち出している。つまり、高度な技術や研究成果を持つ人以外の外国人は、自国民の労働機会を確保するために、締め出しにかかっているとも受け取れるような方向に移ってきている。それだけ、自国の進化に自信を持っているのである。こ

のような背景下で、本節の最後に、日中におけるヒューマンインタフェース分野の、今後期待される研究動向を述べる。

第3次AIブーム

ここ数年再びAIがブームになっている。筆者に言わせれば、第3次AIブームである。第2次と比べて進化した技術背景としては、基本的な計算機能力の大幅な向上とインターネット技術の普及（第2次の頃は、電子メールでさえ一部の人にしか使われていなかった）である。ニューラルネットや学習理論の応用でDeep Learningの手法などが開発され、Big Dataの知的処理も可能になった。具体的には、囲碁のゲームで、人間のプロの棋士を打ち負かすことも可能になり、あるいは自動車の自動運転なども、一般からの注目を集めている。ゲームは、勝ち負けという結果によって優劣がわかりやすいという理由で、AIの一つの応用事例として良く取り上げられてきており、初期の頃から現在まで、計算機ハード／ソフトの進化につれて、Tic Tac Toe（三目並べ）、オセロ、チェス、将棋、囲碁とレベルアップしてきた。このように問題を特化した応用は、比較的アプローチし易いのであるが、人間の能力全てを網羅した技術の確立には、まだまだ距離があり、今後の研究課題が多数存在する。

表層的／深層的感情理解

人間対人間あるいは人間対ロボットなど、1対1のコミュニケーションでは、相手の感情を理解することが重要である。ロボットが人間の感情を理解するためには、画像による表情理解、音声認識、ジェスチャー理解などの要素技術が、古くから多数研究されてきた。入力情報の取得には、カメラ、マイク、Kinectなどが利用される。ただ、これらの表層的感情理解だけでは、相手の真の感情の理解は難しく、相手に関する特化された知識（customized knowledge）を用いた知識情報処理技術による深層的感情理解の研究も近年進んでいる。

具体的応用事例としては、例えば、高齢化社会における介護の現場で、日本で開発されて、全世界で20年以上の実績を持つ産総研のアザラシ型自律ロボットParoや、ATRの遠隔操作型のテレノイドなどの実用化が進んでいる。中国でも日本より少し遅れてやってくる、高齢化社会におけるヒューマンインタフェース関連の研究に注目が集まってきている。

マルチエージェントスマート社会における雰囲気場の研究

多数のエージェント（人間やロボット（機械））がインターネットで結ばれたスマート社会では、1対1から多対多のヒューマンインタフェースを考慮することになる。そこでは、個々のエージェントの感情だけでなく、その社会全体の雰囲気を理解することが必要になる。そのようなマルチエージェントスマート社会における、感性工学的手法を導入したヒューマンインタフェース関連の研究が、新たなテーマとして、日中双方で進んでおり、今後の進展が期待される。

2.6 中国のロボット分野の人材育成の現状と課題

王 田 苗

（北京航空航天大学ロボット研究所名誉所長）

2.6.1 ロボット産業の発展の現状と計画

中国のロボットの研究開発は1970年代にスタートした。ここ数年、一連の政策支援と市場ニーズに引っ張られ、中国のロボット産業は急速に発展してきた。2015年の自主ブランドの産業用ロボットの販売台数は2万1000台に達し、前年比で39%増加した。サービスロボットは、科学観測や医療・リハビリテーション、教育・娯楽、ホームサービスなどの分野ですでに、一連の代表的な製品が開発され、応用を実現している。

中国は2013年から、世界最大の産業用ロボット応用市場となり、2015年の販売台数は前年比56%増の6万5000台に達し、世界の販売台数の1/4を占めるようになり、ロボット密度（労働者1万人あたりのロボット使用台数）は5年前の11%から36%に上昇した。

また財政部が公示したインテリジェント製造設備プロジェクト支援予定機構リストには、合計64プロジェクトがエントリーしているが、このうちロボット関連の上場企業のプロジェクトは9件となっている。この中には、潍柴動力のWP517シリーズエンジンフレキシブルオートメーション組立生産ライン、軟控股份と賽輪股份のタイヤ産業用ロボットの産業化、宝信軟件の開放式標準バスに基づく大型自動制御システム、海立股份の空調コンプレッサーフレキシブルオートメーション組立生産ライン、三一重工の無人搬送車（AGV）システム工学機械製品加工応用、海大集団の梱包物流分野に向けた運搬ロボット、天地科技のハイエンド油圧サポートスマート溶接加工工場、振華重工の海上掘削プラットフォーム設備製造スマート化溶接工場——などが含まれる。国の政策は、ロボットと産業オートメーションの発展を大いに

支援するものとなっている。

中国のロボット産業発展の現状と課題に基づき、工業・情報化部と国家発展改革委員会、財政部は2016年3月21日、「ロボット産業発展計画（2016-2020年）」（「機器人産業発展規劃（2016-2020年）」）を共同で発布した。

それによると、国内外のロボット産業の現状と未来の発展の趨勢を総合的に考慮し、ロボットの全産業チェーン上のネックと問題に焦点を定め、中国のロボット産業の第13次5ヵ年計画期間（2016～20年）における全体発展目標として、「比較的整ったロボット産業体系を形成するとともに技術革新能力と国際競争能力を顕著に増強し、製品の性能と品質を同類製品の国際的な水準に到達させ、基幹部品で重大なブレイクスルーを実現し、市場のニーズを基本的に満たす」方針を打ち出した。さらに「産業規模の持続的な成長、技術水準の顕著な向上、基幹部品での重大なブレイクスルーの実現、統合応用での顕著な成果の実現」という4つの面から具体的な目標を掲げた。計画の目標は、計画の実施を誘導・促進する重要な手段であり、計画の実現を推進する重要な方向性を与えるものとなる。

発展計画は主に、次の5つの内容を盛り込んでいる。

（1）産業規模の持続的な成長

自主ブランドの産業用ロボットの年間生産台数は10万台に達し、6軸以上の産業用ロボットの年間生産台数は5万台以上に達する。サービスロボットの年間販売収入は300億元を超え、高齢者・障害者補助や医療リハビリテーションなどの分野では少量の生産と応用を実現する。国際的な競争力を備えたリーダー格の企業を3社以上育て、5つ以上のロボット周辺産業クラスターを構築する。

（2）技術水準の顕著な向上

産業用ロボットの速度や荷重、精度、自重比などの主要な技術指標は国外の同類製品の水準に達し、平均故障間隔（MTBF）は8万時間に達する。医療健康やホームサービス、テロ・暴力事件対策、災害救助、科学研究などの分野のサービスロボットの技術水準は国際水準に近づく。次世代ロボット技術でブレイクスルーを達成し、インテリジェントロボットで革新応用を実現する。

（3）基幹部品の重大なブレイクスルーの達成

ロボット用精密減速機やサーボモーター、アクチュエータ、コントローラの性能や精度、信頼性

は国外の同類製品の水準に達し、6軸及以上の産業用ロボットで大量の応用を実現し、市場シェアは50%以上に達する。

（4）統合応用での顕著な成果の実現

30以上の典型分野でのロボットの総合応用解決策を完成させ、相応の標準と規範を形成し、重点産業でのロボットの大規模応用を実現し、ロボット密度は150以上に達する。

（5）課題の重点的な克服

人工知能や感知・識別、機構・駆動、制御・インタラクションなどを重点として、カギとなる基礎・基盤技術の研究を展開し、ハイエンド製造業や災害緊急措置、医療リハビリテーション、高齢者・障害者補助などの分野での先端的な基礎研究と応用基礎研究をさらに展開する。また、科学技術の成果の移転・拡散と商業的応用を推進し、基盤技術のサポートとサービスを企業に提供するとともに、国際交流・協力を強化し、ロボット専門の研究開発・設計人材を養成する。

2.6.2 人材養成の現状

中国には現在、ロボットの研究開発と応用に従事する組織が200以上あり、このうち産業用ロボットの研究と応用に従事する組織は80を超える。マニピュレータの設計製造技術や制御システムのハードウェア・ソフトウェア設計技術、運動学・軌道計画技術をほぼ把握し、アーク溶接やスポット溶接、組立、運搬などのロボットを開発し、現在生産されている各種の産業用ロボットのうち90%以上は生産に用いられている。

現在、教育組織の多くも、産業用ロボット応用人材の教育に目を向け、中国のハイエンド製造業と産業用ロボット応用の発展への貢献をはかっている。現在の人材育成体系は、普通高等教育機関の専門教育、職業教育、企業の人材育成などのルートを通じて実現されている。

（1）養成目標

産業用ロボットの応用と整備の専門的な基礎理論知識と操作技能を把握し、大型電機設備と産業用ロボットの設置やプログラミング、デバッグ、メンテナンス、運用、管理などの面でのミッションを単独で遂行できるようにする。良好な実践経験を持ち、生産管理を行うことができ、革新精神とサービス精神を備え、ロボットシステムの整備とメンテナンスを行うことができ、ロボットのワークステーションでの設置やデバッグ、メンテナンス、

運用管理の現場が必要とする高技能人材を育てる。
一連の基礎教育と実践教育の結合を通じて、4段階のエンジニアの養成目標を一步步実現する。

❖ ロボットシステムエンジニア

システム統合開発能力を持ち、ロボットオートメーションラインを単独で設計開発する。

❖ 高級応用エンジニア

ロボットの視覚システムと QT/GUI マンマシンインターフェースの開発。

❖ 中級応用エンジニア

立体メカニズムの設計とシミュレーション。実装設計、PLC 技術、通信設定。

❖ ロボット応用エンジニア

産業用ロボットの設置やプログラミング、デバッグ、現場でのプログラミング。

こうした人材養成目標を実現するためには、理論と実践の教育が結合した教育理念と、産学研（産業、大学、研究所）が一体となった協力方式が必要となる。

現在は、高等教育機関を中心として、職業学校と企業教育基地を補助とした教育モデルの下、理論教育の推進がはかられている。

❖ 『産業用ロボット応用基礎』

産業用ロボットの座標系とその変換、ロボット運動学、ロボット力学、ロボット制御、ロボット経路計画、ロボットの構成、ロボットシステム、典型的な応用、ロボットの未来の発展。

❖ 『産業用ロボットの現場プログラミングとデバッグ』

産業用ロボットの応用システムや基本構造、電気系統、座標系設置、プログラム管理、マニュアル指示、自動運転、ゼロ復帰、ドキュメントのバックアップとロードなど。ロボットシステムの電気図を取り上げ、専門ツールによる零位調整、ツール座標系の設定方法。産業用ロボットシステムの簡単な動作を行う指示プログラミングとSPS論理プログラミング、産業用ロボット設備の電気メンテナンスとプログラム修正。

❖ 『産業用ロボットのオフラインプログラミングとシミュレーション』

主に、流行産業用ロボットのオフラインプログラミングソフトウェア、オフラインソフトウェアのインストール方法、オフラインソフトウェアの基本メニュー機能、オフラインソフトウェアによる産業用ロボットのフレキシブルシステムのオフラインプログラミングシミュレーションの実施、オフラインソフトウェアによるロボットワークステーション設計の基本方法。

❖ 「産業用ロボットのシステムインストールのデバッグと整備」

具体的な産業用ロボットシステムと結びつけ、その機械本体部分を対象とし、これに関連する機械の知識。主な内容には、ロボットに関連する各関節の構成部分や歯車機構、ベルト・チェーン駆動、リンクなどが含まれる。さらに典型的な産業用ロボットの機械部分をターゲットとして分解と機械デバッグを行い、電気システムのデバッグと設備保養の訓練を行った。

❖ 「産業用ロボットシステムの統合と応用」

制御システムの基本概念と性能指標。制御システムの構造図、数理モデルとその特徴、典型的な要素とその特性。制御システムの動的性能分析、静的性能分析、安定性分析、システム訂正方法。主に、産業用ロボット（溶接）ワークステーションシステムの構成。産業用ロボットのモデル選択、周辺システムの構築、ロボットと周辺システムのインターフェイス技術の応用。産業用ロボットの典型ワークステーションの設計作業の完成を補助することができる（アーク溶接、スポット溶接、接着剤塗布、運搬、組立）。

このほか、職業教育と企業基地教育でも、以下のいくつかの面から、実践教育の教育モデルを積極的に探った。

❖ プログラミング能力養成：産業用ロボット指示。プログラミングと上位コンピュータのソフトウェアプログラミングを重視。

❖ ソフト・ハードウェアプラットフォーム应用能力：周辺設備との通信連結、視覚システムの配置、データ収集、遠距離監視能力。

❖ プロジェクト開発能力：製品の製造方法のプロセスに基づき、IE知識と結合し、オートメーションの解決策を提出し、実施を展開。

❖ 主要技術問題の解決能力：企業のニーズに基づき、オートメーションラインと設備を改造・グレードアップ。

(2) 普通高等教育機関の人材教育の現状

教育部は2017年6月9日、全国25大学によるロボット工学の学部専攻開設を認可した。全国ではこれまでに、89大学がロボット工学のカリキュラムを開設している。

今回の決定でロボット教育専攻を新設した主な大学には、西安文理学院や西安航空学院、武漢商学院、重慶文理学院など、北西部や南西部などの遠く離れた地区の大学も含まれている。これは、ロボット産業をさらに発展させようという国家戦

略とも合致している。

だが教育内容や教師陣の実力はそれぞれ異なる。現在中国でロボット研究を率いるポジションにあると広く認められているのは北京航空航天大学であり、中国のロボット大会で何度も優勝している。また次に挙げるいくつかの大学の實力も業界内で広く認められており、国内のロボット教育専攻でトップ10の大学と考えられている。

ハルビン工業大学、北京理工大学、吉林大学、浙江大學、武漢理工大学、同濟大學、西安交通大学、華南理工大学、大連理工大学、天津大學。

①北京航空航天大学

主にロボット研究所を通じて高等教育を実現している。

1987年に張啓先院士が創設したロボット研究所は、教育と研究、開発を一体化した研究組織である。近代構造学とロボット技術の面での理論研究と技術開発に主に従事している。研究所には現在、教授12人（博士課程指導教員13人）、准教授8人、講師6人がいる。このうち長江学者特別招聘教授は2人、国家傑出青年基金獲得者は2人、教育部新（跨）世紀優秀人材は3人、北京市科学技術新星は6人である。教師のうち博士学位を持つ人員が90%以上を占める。ポストドクステーションに在籍する博士研究員は8人で、博士・修士課程の大学院生は合計180人余りである。研究所は、北京航空航天大学の全国重点学科「機械設計及び理論」の主要な拠り所となっている。「機械設計及び理論」と「機械電子工学」の2つの博士学位授与学科を持ち、「機械工学」のポストドクター流動ステーションを設立している。現在、「仮想現実の技術とシステム」国家重点実験室（共同建設）、「飛行器組立ロボット設備」北京市重点実験室、中国機械工業聯合会「機械工業サービスロボット技術」重点実験室、「ハイエンド設備製造に向けたロボット技術」北京市国際科学技術協力基地を有している。長期的な学科建設と「211プロジェクト」「985プロジェクト」の重点援助を経て、ロボット研究所は、近代構造学やロボット学、サービスロボットの面での研究で国内をリードする水準を持ち、国際的にも一定の影響を持っている。

近年、ロボット研究所は、国家自然科学基金重大国際協力プロジェクトや国家傑出青年科学基金プロジェクト、国家自然科学基金一般プロジェクト、国家「863計画」重大（重点）プロジェクト、国家科学技術サポートプロジェクト、国防重大基礎科学研究プロジェクト、国家973プロジェクト、北京市重大科学技術プロジェクトなど多くの重要な

科学研究任務を担い、多くのハイレベルな学術研究成果をあげ、国家科学技術進歩二等賞1件、各種省部級科学技術賞18件を相次いで獲得し、發明特許100件余りの権限授与を獲得し、各種著作30編余りを出版している。

現職指導者：

名誉所長：王田苗

所長：陳殿生

書記：王巍

実験室主任：王党校

所長補佐：徐穎

図2-6-1 北京航空航天大学ロボット研究所（北航新本館A棟）



図2-6-2 博士課程の大学院生を指導する北航ロボット研究所名誉所長の王田苗教授（本稿著者）



②ハルビン工業大学

2007年に設立された「ロボットの技術とシステム」国家重点実験室は、中国で最も早期にロボット技術研究を展開した機関の一つであり、その主体となった前身は、1986年に設立されたハルビン工業大学ロボット研究所である。1980年代にはすでに、中国最初のアーク溶接ロボットと最初のスポット溶接ロボットを開発した。重点実験室は現在、国家「863計画」インテリジェントロボット機構開放実験室、国家「863計画」成果産業化基地、黒竜江省ロボット技術重点実験室、黒竜江省ロボット技術工学センター、中独宇宙ロボット技術共同実験室、航空宇宙機構・制御技術国防科学技術工業委員会重点学科実験室などを持っている。

同実験室は、高い能力を持った教育・科学研究チームを備え、長年の発展を経て、院士や傑出青年、長江学者、ベテラン教授などを学術リーダー

とした学術グループを形成している。1年に修士課程の大学院生200人余りと博士課程の大学院生100人余りを受け入れ、ポストドクステーションにはポストドクター20人余りを受け入れる人材養成能力を有している。これまでに、米国やドイツ、日本、英国、フランス、イタリア、ロシア、オーストラリア、シンガポールなどの国・地域と相次いで学術交流・協力関係を構築してきた。

同実験室は、国家重大プロジェクトと国家重大科学技術計画、国家安全・国防建設などのニーズを踏まえ、国民経済の主戦場と国民生活にかかわる科学技術をターゲットとして、国際的なロボット技術分野の未来の発展の趨勢とも合致した、「産、学、研」が三位一体となった科学研究体系を形成するなど、多くの研究分野で国内をリードするポジションにある。また、科学研究経費年間6000万元余りを担い、科学技術産業の生産額が4億元以上に達する科学研究・産業を実現している。近年、有人宇宙飛行や神光Ⅲ（レーザー装置）、月探査などの国家重大プロジェクト、ICやNC、「核高基」（重要電子機器、ハイエンドチップ、基礎ソフト商品）などの国家科学技術重大特定プロジェクト、各種の国家科学技術計画、軍事工業・国民経済重大産業プロジェクトなど200件余りを担当し、大量の研究成果を取得し、国家自然科学二等賞1件、国家技術発明二等賞2件、国家科学技術進歩二等賞3件、軍隊・省部級一等賞6件、二等賞5件を獲得した。発表した科学技術論文は900本余りで、このうちSCI・EIの収録論文は500本余りであった。専門書の出版は10編、国家発明特許の権限授与は270件余りであった。

図2-6-3 ハルビン工業大学ロボット研究所博士課程大学院生の内部課題研究



③吉林大学

吉林大学ロボット研究チームは、吉林大学コンピュータ科学・技術学院に所属する。人員構成は合理的で、吉林大学のコンピュータや数学、物理、

機械などの専攻の教師と学生からなる。研究内容は、産業発展の趨勢にしたがい、インテリジェントソフトウェア及び設備の研究に従事し、これにはマシビジョンやロボットナビゲーション、地球物理データ分析・処理、パターン認識、機械学習の分野の研究が含まれる。研究開発条件に優れ、基礎研究開発のための200平方メートルの用地、大規模試験・測定のための200平方メートルの用地を持ち、共有された基礎部品の加工・生産工場を備えている。設備は一流で、高性能クラスター、高性能ワークステーション、ロボット研究開発パッケージ、センサーなどの設備を有している。4輪駆動の全地形ロボットスマートカー、6輪駆動の全地形ロボットスマートカー、低コストの6自由度ロボットアーム、低コストの4自由度ロボットアーム、単眼高精度視覚識別システム、双眼視覚距離測定システムの研究開発をすでに完成している。現在、教育ロボットプラットフォームERP（Educational robot platform）、インテリジェント制御プラットフォーム（Everyone Can Control Robotics）、視覚ロボットアーム、視覚ナビゲーション、3次元レーザーレーダーの研究開発を進めている。

責任者は、吉林大学コンピュータ科学・技術学院の准教授で博士の王剛氏が務める。王剛氏は中国航空学会会員で、機械学習やパターン認識研究に長期にわたって従事し、2013年には吉林大学ロボット研究チームを設立した。発表した論文は35編で、このうちSCI検索対象の論文は15編、EI検索対象の論文は20編である。

図2-6-4 吉林大学コンピュータ科学・技術学院ロボット研究課題事務所



④浙江大学

浙江大学玉泉キャンパスにある浙江大学知能システム・制御研究所は、1999年12月に創設された浙江大学先進制御研究所を前身とする。現在、正高級研究員19人、副高級研究員16人、ポストドクター及びその他の各種研究員20人余り、在籍中の

大学院生200人近くとなっている。研究所は、国家の重大戦略ニーズに目を向けるという発展理念を掲げており、学科の先端をターゲットに据え、学科の交差を積極的に推進している。

研究所は、科学研究と人材養成の基礎条件を構築することを重視している。現在、「プロセス制御・最適化」、「ロボット技術」、「バイオセンサー」、「インテリジェント工場」、「燃料電池車両」、「工業制御システム安全」、「技術移転センター」などの研究室と研究センターを設け、多くの先進的な科学研究設備を所有している。

研究所は、基礎研究とハイテク開発をとくに重視している。2004年と2007年に国家自然科学基金委員会の革新研究グループ基金の援助を連続して獲得したのに続き、2016年にも再び、革新グループとしての認定を取得した。近年は、国家自然科学基金や863ハイテク研究プロジェクトなどの重大プロジェクトを担当した。研究成果としては、国家技術発明二等賞や国家科学技術進歩二・三等賞、浙江省科学技術進歩一等賞などを受賞した。

研究所は、研究成果の移転も非常に重視している。近年は、数十件の企業協力プロジェクトと応用推進プロジェクトを担った。中心となって制定した「工業測量と制御システムに用いるEPAシステム構造と通信規格」は、独自の知的財産権を持ち、国際標準化機構から承認・公表された中国初の工業オートメーション標準である。浙江大学は

図2-6-5 浙江大学知能システム・制御研究所の正門



図2-6-6 「863」重点課題「人型ロボット」実験



2017年4月24日、余姚市人民政府と紫金港キャンパスで枠組協定に署名し、浙江大学機器人（ロボット）研究院を共同で設立した。余姚市政府は浙江大学に120万元を寄付し、陽明学研究及びその他の関連学科の建設に当てた。

⑤武漢理工大学

機電工程（機械電気工学）学院は、武漢理工大学馬房山キャンパスにある。「機械工学」は、武漢理工大学が優位性を持つ学部の一つである。一級学科の博士学位授予権（機械製造及びそのオートメーション、機械電子工学、機械設計及び理論、工業工程の4つの二級学科博士学位授与学科を含む）を持ち、ポストドクター科学研究活動流動ステーションを設けている。「機械工学」（「機械製造及びそのオートメーション」、「機械電子工学」、「機械設計及び理論」、「工業工学」の4つの二級学科を含む）と「計器科学・技術」の2つの一級学科修士学位授与学科を持つ。「機械製造及びそのオートメーション」は国家級重点学科、「機械設計及び理論」は部級重点学科である。「機械製造及びそのオートメーション」は湖北省特色学科、「機械工学」と「計器科学・技術」は湖北省一級重点学科である。学院は、「デジタル製造湖北省重点実験室」、「武漢理工大学-バーミンガム大学知能機械共同重点実験室」、「国家級実験教育モデルセンター」、「国家級工学実践教育センター」などの科学研究・教育基地を持つ。特殊機械設備・物流技術は「十五」（第10次5ヵ年計画、2001-2005）期間の「211」建設プロジェクト、高性能機械設備のデジタル化動的モニタリング技術は「十一五」（第11次5ヵ年計画、2006-2010）期間の「211」建設プロジェクトである。

学院には現在、教職員が262人おり、このうち教授は42人、准教授は79人である。学院全体の学部生は3062人、修士課程大学院生は616人、博士課程大学院生は89人である。

学院は、「機械工学」「測定制御技術・計器」、「プロセス設備・制御工学」、「パッケージ工学」、「工業工学」の5学部専攻を持ち、このうち「機械工学」、「測定制御技術・計器」、「プロセス設備・制御工学」、「パッケージ工学」の4専攻は、教育部「卓越計画」の試行専攻となっている。2016年には、「測定制御技術・計器」、「工業工学」、「パッケージ工学」の各専攻で学生を募集している。「機械工学」、「プロセス設備・制御工学」は、「機械類（機械・電力設備）」の大枠で学生を募集した。学生は、大学1年の後期に、希望に応じた申請と審査を結合した方式で専攻を選択する。

図2-6-7 武漢理工大学機電工程学院



⑥同濟大学

同済大学ロボット実験室は、電子・信息工程（電子・情報工学）学院に属する。

学院は、豊富な教師陣を抱えている。現在、教授（研究員）71人、准教授（副研究員、高級エンジニア）99人、博士課程指導教員69人、修士課程指導教員160人である。学院は、973プロジェクト首席科学者2人、国家千人計画獲得者9人、国家青年千人計画獲得者5人、上海千人計画獲得者4人、長江学者特別招聘教授2人、教育部新世紀優秀人材11人、教育部「長江学者・革新チーム発展計画」科学研究チーム1組、国家級教学名師（高名教師）1人、上海市教学名師1人、国家級教育チーム1組、上海統率人材「地方隊」養成計画1人、上海市優秀學術リーダー4人、上海市曙光学者10人、上海市「科学技術啓明星」8人、上海における大学特別招聘教授（東方学者）4人、同済大学特別招聘教授3人——を擁する。

人材養成の構造は合理的で、国際的な学校経営の特色が際立っている。現在、全学院に在籍する博士課程大学院生は227人、全日制の修士課程大学院生は1067人、非全日制の工学修士は610人、学部生は2241人である。

国家高性能コンピュータ工学技術研究センター同済支所、コンピュータ・情報技術国家級教育実験モデルセンター、国家集積回路人材養成基地、国家Linuxソフトウェア人材技術研修・推進センターを設けている。「組み込みシステム・サービスコンピューティング」教育部重点実験室、「企業デジタル化技術」教育部工学研究センターを擁している。グリッド技術研究センター、基礎ソフトウェア工学センター、ネットワーク化システム研究所、情報安全技術研究センターなどの研究組織を設けている。このほか学院は、MicrosoftやIBM、Nokia、Apple、三菱電機、フリースケール、米国ザイリンクスなどの多くの国際的に著名なハイテク

企業と全面的な協力を展開し、多くの国際協力組織や実験室、クラブを設立している。

図2-6-8 同済大学電電子・信息工程学院



図2-6-9 同済大学ロボット実験室



⑦西安交通大学

人工知能・ロボット研究所（人工智能・機器人研究所）は1986年に設立され、自動制御専攻コンピュータ制御教育研究室を前身とする。同研究所は、「視覚情報処理・応用国家工学実験室」のサポート機関であり、教育部と国家外国人専門家局の「高等学校学科革新人材導入計画」の支持の下、世界の著名な学者と協力して「認知科学・工学国際研究センター」を設立している。研究所は、「パターン認識・知能システム」を国家重点学科として有し、「制御科学・工学」一級学科で博士課程の大学院生を受け入れている。オートメーション学科ポストドクター流動ステーションの構成機関でもあり、鄭南寧院士の指導の下、2000年には国家自然科学基金委員会「革新研究グループ科学基金」の最初の援助を獲得している。

研究所には現在、24人の教師と5人の実験技術員、2人の行政事務員がおり、修士・博士課程を学ぶ大学院生は毎年約110人余りで、西安交通大学のハイレベル人材養成の重要基地となっている。

科学研究の面では、学術リーダーであり所長の鄭南寧院士の主宰の下、主に、コンピュータビジョンとパターン認識を土台とした知能情報処理と学科発展の先端とを結合させ、①視覚信号統

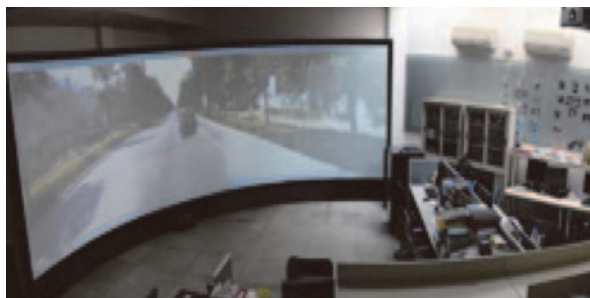
計の特性や初期的視覚モデル、コンピュータグラフィックス、マシンビジョン情報計算モデル、②知能システムの数理メカニズムの探求とモデル化、③映像の計算と画像・映像処理向けの超大規模専用集積回路の設計、④画像情報に基づく知能制御・識別システムと各種の画像処理方法・技術——の研究を重点的に行っている。人工知能・ロボット研究所は、視覚情報処理研究の分野で長期的な技術を蓄積するとともに、合理的な構造の人材チームを抱える。国家級科学技術プロジェクト51件、省部級プロジェクト21件、企業委託プロジェクト30件、その他の重要科学研究プロジェクト2件を相次いで担った。発明特許82件を出願し、すでに56件の権限授与を受けている（国際特許3件を含む）。ソフトウェア著作権29件を獲得し、集積回路レイアウト設計保護4件を獲得している。国家自然科学賞二等賞1件と国家技術発明賞二等賞1件、国家科学技術進歩賞二等賞2件を受賞している。省部級科学技術奨励一等賞の受賞は3件、中国青年科学技術賞を2人が受賞している。

同研究所の延床面積は5500平方メートルで、の中には西安交通大学メインキャンパス内の工学ワークショップ、科学館3階（陝西省西安市咸寧西路28号）、曲江キャンパスサイエンスパーク西4棟3階（陝西省西安市雁翔路99号）が含まれる。このうち工学ワークショップの延床面積は約1000平方メートル、科学館の延床面積は約1500平方メートル、曲江キャンパスサイエンスパーク西4棟部分の延床面積は約3000平方メートルである。

図2-6-10 西安交通大学人工知能・ロボット研究所



図2-6-11 西安交通大学人工知能・ロボット研究所TSD-max



⑧華南理工大学

ロボット実験室は、華南理工大学大学院の西側に位置し、オートメーション・工学（自動化・工程）学院2棟220室にある。同実験室は、自主システム・ネットワーク制御教育部重点実験室や華南理工大学985プロジェクト・211プロジェクト実験室などを拠り所とし、多くの国家級・省部級の重点プロジェクトを完成させてきた。実験室チームは主に、人工知能や交通制御、検査測定技術、パターン認識、ロボット技術などの分野の研究活動に従事している。

実験室では現在、バイオニックスロボットの研究に尽力している。現在進行中の主要なプロジェクトは、蛇形ロボットと六足バイオニックスロボットの研究である。蛇形ロボットの研究は主に、蛇行運動、横向き運動、棒登りなどの蛇形ロボットバイオニックスの各種の運動を実現し、橋梁の検査測定・整備や水中状況の検査測定などの複雑な環境下での作業に応用することにある。課題は、自動制御やパターン認識、機械設計、電力システム、組み込みシステム、通信技術、ソフトウェアシステムなどの多くの分野の技術にかかわっており、高い理論的意義と応用の見通しを持っている。

六足ロボットは、歩容が柔軟で、多用で複雑な運動ポジションを実現することができる。障害物の乗り越えや爬行平面の切り換え、自由な回転ができ、運動プロセスにおける移動方向の微調整に有利で、大きな角度の回転をする時（例えば90度の回転）、胴体を回転することなく、足部の調整によってその場で運動方向の切り換えを直接行うことができる。六足ロボットの応用の見通しは幅広い。

図2-6-12 華南理工大学ロボット実験室



図2-6-13 華南理工大学ロボット実験室内部



⑨大連理工大学

ロボット学国家重点実験室 (State Key Laboratory of Robotics) は、中国科学院瀋陽自動化研究所を拠り所とし、中国科学院ロボット学開放実験室を前身とする。同実験室は、中国のロボット学分野で最も早期に設立された部門重点実験室であり、中国のロボット学分野での著名科学者の蒋新松院士が1989年から1997年まで実験室主任を務めた。実験室はここ20年にわたって、ロボット学の基礎理論と方法の研究面で、世界の先進水準に肩を並べて発展し、ロボット技術の先端の探求やモデル応用などの面で、重要な影響を持つ多くの科学研究成果を取得するとともに、国家の重大科学技術問題を解決する能力を持つことを十分に示した。現在、同実験室のロボット学研究の全体的な水準は、国内の関連分野において中心となり、リーダーとなるポジションに位置し、国内外で重要な影響力を持つロボット学研究基地となっている。

ロボット学国家重点実験室の位置付けは、中国の経済・社会の発展や国家安全、重大科学プロジェクトに必要なロボット技術・システムを提供し、ロボット学の基礎理論と方法、実行可能な技術とプラットフォームとなるプロトタイプシステムを発展させ、ロボット学研究に従事するハイレベルな人材を養成・集積し、中国の先端ロボット技術・システムの持続可能発展を推進することにある。主に、感知・思考・動作能力を持つ先端ロボットシステムの発展を注視しており、ロボット学の基礎理論方法や基幹技術、ロボットシステム統合技術、ロボット応用技術を研究している。

同実験室は対外開放を堅持し、国内外の専門家・

学者を招き入れ、交流と協力研究を展開している。実験室は基金課題の設立を通じて、国内でロボット研究に従事する30近くの大学や研究所、企業と関係を築いているが、この中には国内でロボット学の研究に従事するほとんどすべての機関が含まれる。同実験室はここ数年、独自の発展方向を踏まえた上で、国内外の著名な研究チームと目的をもった協力関係を構築している。こうした協力は、同実験室の学科建設の強化や国家のニーズの理解、モデル検証システムの構築に重要な役割を發揮している。

⑩天津大学ロボット研究所

天津大学電気・自動化工程学院は2011年、認可を得て「天津大学ロボット・自主システム研究所」(天津大学機器人・自主系統研究所)を設立した。同研究所は、電気・自動化工程学院検測技術・自動化装置国家重点学科を拠り所とし、天津大学電気・自動化工程学院に所属している。研究所には現在、12人の研究員が在籍し、内訳は高級顧問1人、教授4人(天津市「千人計画」入選教授2人、教育部「新世紀優秀人材」サポート計画入選教授2人を含む)、准教授4人、講師3人である。

研究所は現在、次の5研究室で構成されている。

- ・マシン嗅覚研究室 (責任者: 孟慶浩教授)
- ・無人機ナビゲーション制御研究室
(責任者: 鮮斌教授)
- ・意念(マインド)制御研究室 (責任者: 李偉教授)
- ・複雑フレキシブルロボット研究室
(責任者: 馬書根教授)
- ・マシンビジョン研究室 (曾明准教授)

図2-6-14 大連理工大学ロボット学国家重点実験室教育棟



図2-6-15 大連理工大学ロボット学国家重点実験室内部



図2-6-16 天津大学ロボット研究所の入るビル



図2-6-17 天津大学ロボット研究所実験室内部



(3) 職業教育

①能力に対する要求

ロボット専攻の職業教育はその他の専攻と同様、ロボットの整備やメンテナンス、設置、デバッグ、管理、普及などの面での応用型技能を一層強調したもので、学生には、基本的な理論知識を掌握した上で、実際に手を動かして操作できる育成プラットフォーム上での訓練が求められる。

このため基本的な理論教育のほか、職業教育において力を入れなくてはならないのは、以下の実際の操作能力となる。

- a) ロボット応用システムの構造設置図と電気原理図を読みとり、産業用ロボットの応用案の設計の考え方を整理できる。
- b) 簡単な機械部品の製図を行い、部品図と組立図を作成し、非標準的な部品の加工を行い、組立作業を完成させる。
- c) 産業用ロボット応用システム設備の整備とメンテナンスができ、簡単な電気と機械の故障を排除できる。
- d) 自動化生産ラインの作業の要求に基づき、産業用ロボット制御プログラムの編制と調整ができる。
- e) 産業用ロボット応用案の要求に基づき、産業用ロボットと応用システムの設置とデバッグができる。
- f) マニピュレータやコントローラ、サーボ駆動システム、検査測定センサー装置を応用し、論理演算プログラムを作成できる。
- g) 産業用ロボットの応用技術の資料を収集・閲読し、完了した作業に対する規範的な記録と保存ができる。
- h) ロボット応用システムの新たな操作員に対する訓練ができる。
- i) 設備の整備やメンテナンスを行い、簡単な電気・機械の故障を排除できる。

②教育の現状

近年、国家の産業発展を背景として、職業教育が急速に発展している。2015年、教育部の高等職業教育専攻リストでは、「産業用ロボット技術」専攻（コード：560309）を明文化した。最新統計によると、全国ではすでに300カ所を超える教育機関が、産業用ロボット技術専攻の開設申請を行い、すでに正式に学生募集を始めている。経済の発達した長江デルタの浙江省や周辺の上海や江蘇では、3分の1の工科職業教育機関がすでに、ロボット教育専攻を開設している。

このほか社会資源を統合し、大学と企業の協力

を展開し、中国の産業用ロボットの職業教育の実戦水準と応用能力を共同で推進するため、教育部は2016年12月、華航唯実やABB、新時達、中国職業技術教育学会職業教育設備専門委員会（略称「職教装備委員会」）と協力して、「産業用ロボット分野の職業教育協力備忘録」に調印し、職業教育分野での大学・企業協力のさらなる推進とプロジェクト建設の展開をはかった。

【プロジェクト目標】

産業と教育とを深く融合させ、企業と大学の優位性を十分に活かし、実地研修基地や専攻科目設置、カリキュラム開発、人材養成、学生の就業前研修をカバーする、大学と企業の新たな協力モデルを切り開いた。

【プロジェクト計画】

(一) 建設規模：100カ所程度の中等・高等職業学校と協力して、10カ所程度の産業用ロボット開放式公共実地研修基地、90カ所程度の産業用ロボット応用人材養成センターを完成させる計画である。

産業用ロボット開放式公共実地研修基地は、当該地域の大学や企業へのサービス提供を目標としており、生産と教育が融合した実地研修に特色を持つ。また、教師の技能水準を高めるとともに大学と企業の資源共有を促進し、学生の就業前研修を強化することをねらった、公益性・社会化・産学研協力を一体化した教育訓練・科学技術革新サービスプラットフォームである。

産業用ロボット応用人材養成センターは、専門人材の養成と就業ポストのニーズのマッチングの推進を目標としており、最新の職業標準や産業標準、就業ポストの規範、就業ポストの実際の業務プロセスとの連携をはかり、大学と企業が共同で人材育成を実現するものである。

(二) 建設周期：3年以内に完成させる。1年目と2年目は、実地研修場所の建設とカリキュラム作成、教師陣の育成を展開し、3年目は、学生の就業前研修と技能認証を展開する。

(三) 寄贈規模：設備やカリキュラム、ソフトウェア、研修、サービスなど総価値約3億元。

【プロジェクト内容】

教育部職業教育・成人教育司の指導の下、職業教育設備委員会と華航唯実、ABB、新時達は、次の事業の展開を計画する。

(一) 産業用ロボット開放式公共実地研修基地

それぞれの産業用ロボット開放式公共実地研修基地に、約500万元の実地研修設備と教育資源、ソフトウェアプラットフォーム、教師研修サービスを寄贈する。具体的には次が含まれる。

1. 産業用ロボット実地研修設備

産業用ロボット・マン・マシン協力ワークステーション1セット(ABB YUMI 産業用ロボット1台、教育補助用具、作業台含む)。

産業用ロボット機械認知ワークステーション1セット(新時達産業用ロボット1台、教育補助用具、作業台含む)。

産業用ロボット電気認知ワークステーション1セット(新時達産業用ロボット1台、教育補助用具、作業台含む)。

産業用ロボットオフラインプログラミングシミュレーション教育ソフトウェアネットワーク権限授与版の50ノードのRobotArtと50ノードのRobotStudio。

産業用ロボット人材養成クラウドプラットフォーム「学徒宝」1セット(ネットワーク権限授与ユーザー160件含む)。

2. 産業用ロボット専攻のカリキュラム設置と教育資源の共同構築

産業用ロボットの人材養成を柱とし、業界の職業標準と結びつけ、教育機関の実際の教育ニーズと教育方法に基づき、人材養成体系の制定と専攻のカリキュラム設置に参加する。教育資源開発チームを組織し、華航唯実は、4セットの産業用ロボット応用技術核心カリキュラム及び資源を提供し、実地研修教材やPPT、映像、マイクロラーニング、3次元仮想シミュレーション動画などの教育資源を協力教育機関と共同で開発し、オンライン教育クラウドプラットフォーム「学徒宝」を拠り所として、協力教育機関に持続的な技術サービスを提供する。

3. 職業教育機関の専門教師の訓練

各協力教育機関はそれぞれ4人の優秀な教師を推薦し、同プロジェクトの2段階・4週間からなる基礎操作と工業統合、ソフトウェア応用、教育方法無料研修(研修費用免除、交通・食事・宿泊統一用意、費用自己負担、地点はABBロボット学院、新時達研修学院、華航唯実ロボット研修学院)に参加させる。研修試験の合格者は、産業用ロボット大学・企業協力ABB講師資格認証書と新時達講師資格認証書、華航唯実/設備委員会研修証書を受け取ることができる。

4. 学生の就業前研修と就業推薦

協力教育機関の優秀な卒業生は、審査・合格

の手続きを経て、華航唯実とABB、新時達によって優先的に採用される。その他の学生は、華航唯実とABB、新時達がカバーする全国2万社の協力企業での実習と就業の推薦を受けることができる。

5. ABB/新時達産業用ロボット研究開発応用センターの認可・設立

産業用ロボットの研究開発や生産、統合応用などの面でのABBと新時達の優れた資源を拠り所として、契約基地の所在地域の産業特性を踏まえ、ABB/新時達産業用ロボット研究開発応用センターを認可・設立し、以下の面での支持を提供する。

- ・契約基地による産業用ロボット技術マッチング会の定期的な開催を支援し、応用技術研究開発のサポートを企業に提供する。
- ・契約基地による産業用ロボット応用技術サミットフォーラムの定期的な開催を支援し、地域内の対象学校間の交流と協力を定期的に展開する。
- ・ABB/新時達産業用ロボット産業応用技術コンサルティングとオンラインの技術サポート。
- ・科学研究成果の移転の支持。基地において研究開発された産業用ロボット関連製品を、ABBや新時達の販売ルートを通じて全国で優先的に普及・販売する。
- ・契約基地が所在地域で産業用ロボット産業・教育連盟を設立することを支持し、産業と教育の融合をはかり、産業用ロボット専攻の建設を推進する。

(二) 産業用ロボット応用人材養成センター

それぞれの産業用ロボット応用人材養成センターに、約500万元相当の実地研修設備と教育資源、ソフトウェアプラットフォーム、教師研修サービスを寄贈する。具体的には次が含まれる。

1. 産業用ロボット実地研修室設備

産業用ロボット・マン・マシンインタラクティブワークステーション1セット(新時達産業用ロボット1台、教育補助用具、作業台含む)。

産業用ロボット機械認知ワークステーション1セット(新時達産業用ロボット1台、教育補助用具、作業台含む)。

産業用ロボットオフラインプログラミングシミュレーション教育ソフトウェアネットワーク権限授与版の30ノードのRobotArtと30ノードのRobotStudio。

産業用ロボット人材養成クラウドプラットフォーム「学徒宝」1セット(ネットワーク権限

授与ユーザー 80 件含む)。

2. 産業用ロボット専攻のカリキュラム設置と教育資源の共同構築

産業用ロボットの人材養成を柱とし、業界の職業標準との一体化をはかり、教育機関の実際の教育ニーズと教育方法に基づき、人材養成体系の制定と専攻のカリキュラム設置に参加する。華航唯実、教育資源開発チームを組織し、3セットの産業用ロボット応用技術核心カリキュラム及び資源を提供し、実地研修教材やPPT、映像、マイクロラーニング、3次元仮想シミュレーション動画などの教育資源を協力教育機関と共同で開発し、オンライン教育クラウドプラットフォーム「学徒宝」を拠り所として、協力教育機関に持続的な技術サービスを提供する。

3. 職業教育機関の専門教師の訓練

各協力教育機構はそれぞれ2人の優秀な教師を推薦し、同プロジェクトの2段階・4週間からなる基礎操作と工業統合、ソフトウェア応用、教育方法無料研修(研修費用免除、交通・食事・宿泊統一用意、費用自己負担、地点は華航唯実ロボット研修学院、ABBロボット学院、新時達培訓学院)に参加させる。研修試験の合格者は、産業用ロボット大学・企業協力 ABB 講師資格認証書と新時達講師資格認証書、華航唯実/設備委員会研修証書を受け取ることができる。

4. 学生の就業前研修と就業推薦

協力教育機関の優秀な卒業生は、審査・合格

を経て、華航唯実と ABB、新時達によって優先的に採用され、その他の学生は、華航唯実と ABB、新時達がカバーする全国2万社の協力企業での実習と就業の推薦を受けることができる。

【プロジェクト保障体系】

(一) 保障措施

教育部職業教育・成人教育司の指導の下、プロジェクト協力を段階的に展開しプロジェクト実施を着実に推進する。

1. 協力特別ワーキンググループの設立

職業教育設備委員会と華航唯実、ABB、新時達によって設立された協力特別ワーキンググループは、プロジェクト全体の計画、協力教育機関のプロジェクトの推進や日常の意思疎通、実施、管理を担当し、教育部職業教育・成人教育司に段階的な進展状況を報告する。

2. プロジェクト専門家チームの設立

協力教育機関と関連産業、企業専門家からなるプロジェクト専門家チームを設立し、専門の指導とプロジェクトの評価を担当させる。

3. 技術保障チームの設立

華航唯実、北京・上海・広東の3大サービスセンター、多くの分支組織と事務所を拠り所とし、プロジェクト実施プロセスにある各職業教育機関に迅速で整備された技術保障サービスを提供する。

表 2-6-1 産業用ロボット分野の職業教育プロジェクト協力学校リスト

番 号	地 区	機構名称	備 考
1	北京	北京工業職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
2	天津	天津機電職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
3	上海	上海工商情報学校	開放式公共実習訓練基地
4	江蘇	南京工業職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
5		泰州職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
6		鎮江高等職業技術学校	開放式公共実習訓練基地
7	浙江	寧波職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
8		浙江機電職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
9		杭州職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
10	山東	德州職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
11		日照市科技中等專業学校	開放式公共実習訓練基地
12		威海職業学院	開放式公共実習訓練基地
13	広東	深圳情報職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
14	広西	柳州職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
15	四川	四川工程職業技術学院	開放式公共実習訓練基地
16	天津	天津輕工職業技術学院	応用人材養成センター
17	河北	滄州工貿学校	応用人材養成センター
18		河北工業職業技術学院	応用人材養成センター
19		秦皇島職業技術学院	応用人材養成センター

番 号	地 区	機構名称	備 考
20	山西	山西機電職業技術学院	応用人材養成センター
21	内蒙古	内蒙古機電職業技術学院	応用人材養成センター
22	遼寧	大連職業技術学院	応用人材養成センター
23	吉林	吉林機械工業学校	応用人材養成センター
24		長春自動車工業高等専科学校	応用人材養成センター
25		長春市機械工業学校	応用人材養成センター
26		長春職業技術学院	応用人材養成センター
27	黒竜江	ハルビン職業技術学院	応用人材養成センター
28		黒竜江農業工程職業学院	応用人材養成センター
29	江蘇	常州劉国均高等職業技術学校	応用人材養成センター
30		常州轻工職業技術学院	応用人材養成センター
31		淮安情報職業技術学院	応用人材養成センター
32		江蘇省高淳中等專業学校	応用人材養成センター
33		江蘇情報職業技術学院	応用人材養成センター
34		南京江寧高等職業学校	応用人材養成センター
35		蘇州工業職業技術学院	応用人材養成センター
36		無錫機電高等職業技術学校	応用人材養成センター
37		無錫科技職業学院	応用人材養成センター
38		徐州工業職業技術学院	応用人材養成センター
39		鎮江市高等専科学校	応用人材養成センター
40	浙江	慈溪職業高級中学	応用人材養成センター
41		湖州職業技術学院	応用人材養成センター
42		金華市第一中等職業学校	応用人材養成センター
43		金華職業技術学院	応用人材養成センター
44		浙江紡織服装職業技術学院	応用人材養成センター
45		浙江工業職業技術学院	応用人材養成センター
46		浙江科技工程学校	応用人材養成センター
47	安徽	安徽機電職業技術学院	応用人材養成センター
48		安徽科技貿易学校	応用人材養成センター
49		安徽省自動車工業学校	応用人材養成センター
50		安徽職業技術学院	応用人材養成センター
51		合肥市経貿旅游学校	応用人材養成センター
52		蕪湖職業技術学院	応用人材養成センター
53	福建	福建船政交通職業学院	応用人材養成センター
54		福建情報職業技術学院	応用人材養成センター
55		黎明職業大学	応用人材養成センター
56		泉州轻工職業学院	応用人材養成センター
57		廈門市集美職業技術学校	応用人材養成センター
58		ショウ州職業技術学院	応用人材養成センター
59	江西	江西工業工程職業技術学院	応用人材養成センター
60		江西工業貿易職業技術学院	応用人材養成センター
61		江西環境工程職業学院	応用人材養成センター
62		江西応用技術職業学院	応用人材養成センター
63	山東	安丘市職業中等專業学校	応用人材養成センター
64		済南職業学院	応用人材養成センター
65		青島経済技術開発区職業中等專業学校	応用人材養成センター
66		青島職業技術学院	応用人材養成センター
67		日照職業技術学院	応用人材養成センター

番 号	地 区	機構名称	備 考
68	山東	山東交通職業学院	応用人材養成センター
69		山東省シ博市工業学校	応用人材養成センター
70		イ坊職業学院	応用人材養成センター
71		煙台自動車工程職業学院	応用人材養成センター
72		煙台職業学院	応用人材養成センター
73		シ博職業学院	応用人材養成センター
74	河南	黄河水利職業技術学院	応用人材養成センター
75		平頂山工業職業技術学院	応用人材養成センター
76	湖北	黄冈職業技術学院	応用人材養成センター
77		武漢船舶職業技術学院	応用人材養成センター
78		襄陽職業技術学院	応用人材養成センター
79	湖南	湖南財經工業職業技術学院	応用人材養成センター
80		湖南理工職業技術学院	応用人材養成センター
81		湖南鉄道職業技術学院	応用人材養成センター
82		祁陽県職業中等專業学校	応用人材養成センター
83		長沙高新技術工程学校	応用人材養成センター
84		長沙民政職業技術学院	応用人材養成センター
85	広東	東莞理工学校	応用人材養成センター
86		東莞職業技術学院	応用人材養成センター
87		仏山市順徳区梁キュウキョ職業技術学校	応用人材養成センター
88		広東工貿職業技術学院	応用人材養成センター
89		広東科学技術職業学院	応用人材養成センター
90		広州工程技術職業学院	応用人材養成センター
91		広州市轻工職業学校	応用人材養成センター
92		惠州都市職業学院	応用人材養成センター
93		順徳職業技術学院	応用人材養成センター
94	広西	広西都市職業学院	応用人材養成センター
95		広西電力職業技術学院	応用人材養成センター
96	重慶	重慶工商職業学院	応用人材養成センター
97		重慶工業職業技術学院	応用人材養成センター
98		重慶市銅梁職業教育中心	応用人材養成センター
99	四川	成都紡織高等专科学校	応用人材養成センター
100		成都航空職業技術学院	応用人材養成センター
101		広安職業技術学院	応用人材養成センター
102		自貢職業技術学校	応用人材養成センター
103	貴州	貴陽職業技術学院	応用人材養成センター
104		貴州轻工職業技術学院	応用人材養成センター
105	雲南	昆明工業職業技術学院	応用人材養成センター
106		雲南機電職業技術学院	応用人材養成センター
107	陝西	陝西工業職業技術学院	応用人材養成センター
108		陝西国防工業職業技術学院	応用人材養成センター
109		西安航空職業技術学院	応用人材養成センター
110	甘肅	白銀冶冶職業技術学院	応用人材養成センター
111		甘肅機電職業技術学院	応用人材養成センター
112		蘭州資源環境職業技術学院	応用人材養成センター
113	青海	青海省工業職業技術学校	応用人材養成センター
114	寧夏	寧夏職業技術学院	応用人材養成センター
115	新疆	新疆交通職業技術学院	応用人材養成センター

(4) 企業基地での養成

ロボット企業が必要とする博士人材は、少なくともプログラミング言語とシミュレーション設計、ニューラルネットワーク、ファジィ制御などのよく用いられる制御アルゴリズムに精通し、職員を指導するレベルに達している必要がある。これを土台として、実際の状況に基づき、アルゴリズムを自主研究しなければならない。さらに大型の機械・電気一体化設備の研究開発を率いることができ、一定の管理能力を備えていることが望ましい。

こうした企業の要求を満たすため、各地のロボット産業パークは、入園企業と積極的に協力し、普通高等教育と職業教育のほか、ロボット産業人材養成の第3の方法を展開している。

具体的には、入園企業の現場を主な教育基地とし、基礎教育を土台として、企業群のためのパーク内の人材基地を特別に計画するというものである。人材基地研修の主な内容は、システム統合と販売、アフターサービス、プロジェクト全体の管理を中心とする。

現在、企業と協力して園内に人材養成基地を設けている産業パークとして、以下のものがある。

①上海産業パーク

上海はすでに、中国でも産業規模が最大のロボット産業集積エリアとなっており、外資企業と中国企業、本土企業と国内のその他の企業が競って発展する体制が整備されている。具体的には、ロボットの研究開発や生産、応用などの比較的整った産業チェーンが形成され、多くの本体・機能部品メーカーやシステム統合企業、関連大学、研究所が集合している。上海でロボット関連事業に従事する企業は多く、国際的なロボット大手企業の支社や合併会社、設計や統合、販売、総合サービスに従事する多数の中小企業、ロボット全体の自主開発に取り組む本土企業などがある。2020年の市場規模は、600億元から800億元に達する見通しである。

②東莞松山湖

松山湖で重点的に開発が進められている「4+1」主導産業の一つであるロボット産業は、2016年9月末までに156社の関連企業を集め、核心部品からシステム統合までをカバーしたロボット産業チェーンを初期的に形成している。このうちハイテク企業は、2016年に新たに17社増え、合計40社に達し、園内のロボット企業の総数の25%を占めるようになった。つまり、ロボット企業4社のうち

の1社がハイテク企業である計算になる。

③安徽蕪湖

蕪湖国家級ロボット産業集積エリアには現在、ロボット・知能設備産業企業79社が集積している。2016年には生産額84億7000万元、32.7%の成長を達成し、核心部品の国産化を全国に先駆けて実現した。ロボット本体は国際的な一流水準に全面的に近づき、全産業チェーンの発展においてロボットのシステム統合はますます成熟度を高め、全産業の共同発展という態勢がすでに構築されている。リーダー格の企業である埃夫特知能設備公司の国産ロボット出荷台数はトップで、国産ロボット企業の総合ランキングで2位につけている。2016年には生産額11億2000万元を達成し、成長率は88%を記録した。

④江蘇常州

常州市は、製造業で名高い長江デルタ地域の都市であり、「蘇南近代化建設モデルエリア計画」において、全国で重要なインテリジェント製造設備基地を建設するとの方針が明確に示されている。ここ数年のロボット産業の発展に伴い、常州にはすでに、日本の安川電機、銘鏘、泉工、快克、金石、速駿電子などの国内外の著名なロボット企業数十社が進出している。国内で生産されるロボットの4台に1台は「メイド・イン・常州」である。

⑤湖南長沙

雨花経済開発区は2014年、産業モデルの転換と高度化の発展のチャンスをつかみ、インテリジェントロボット産業の発展を急ぐという戦略構想を提示した。2014年3月、湖南省政府の認可を受け、雨花経済開発区は、湖南省唯一のロボット産業集中エリアを設立した。計画面積は100ヘクタールに及び、ロボット全産業チェーンの関連企業の導入が重点的にはかれる。

2017年2月8日までにすでに進出したロボット企業は134社で、研究開発から生産、販売、研修までをカバーするに至った。2017年の同区の重点事業は、プロジェクト建設を着実に進め、発展に向けた生産能力を発揮し、ロボット及びインテリジェント製造産業の規模を200億元に伸ばすとともに3年以内に500億元超えを目指すことである。

2017年以降、衆為興や大族レーザーなどの企業がすでに同区と契約を交わし、販売研究開発センターを設立するとしており、上海交通大学や航天科技集団九院十三所なども園内への研究開発プラットフォームの設立に意欲を示している。この

ほか同区が建設に尽力している湖南連碩インテリジェント製造人材基地がこのほど正式に設立され、製造ロボットを中心としたインテリジェント製造人材の養成を全国に向けて行っている。

⑥重慶両江

現在、両江新区水土ハイテクパークはすでに、敷地面積2万平方キロのロボット産業パークの計画を打ち出し、研究開発や製造、検査測定、研修、金融支援などを一体化したロボット産業チェーンを構築した。

重慶市による10大戦略性新興産業発展に照らして、両江新区は「革新」と「市場」を原動力とし、「1区5プラットフォーム」の産業発展環境の構築を通じて、ハイエンド・ロボットブランド、とくに研究開発製造段階の両江水土パークにおける集中を推進した。現在すでに、ファナックやクカ・ライス、ABB、川崎、華数などの30社近くのロボット企業がパークに集積している。

2020年までに両江新区は、産業用ロボット年産1万台以上、サービスロボット・特殊ロボット年産5万台以上を実現し、ロボット・インテリジェント製造の年間生産額は200億元に達し、総組み立て、部品、ソフトウェア開発、後続サービスの一体化した整ったロボット産業チェーンを形成することを計画している。

⑦青島

青島は、ロボットを戦略新興産業と位置付け、ハイテク産業開発区で産業用ロボット専門パークを計画、建設した。国内最初の「国家ロボットハイテク産業化基地」である青島ハイテク区は、「インダストリー4.0」と国家による「両化融合」（情報化と工業化の融合）の推進という戦略的機会を捉え、ハイエンドインテリジェント製造をめぐる、国内でロボット産業の発展を率先的に布陣し、中国北方における最大のロボット産業基地を構築した。ロボット産業パークは現在、ロボットプロジェクト60件余りを誘致し、総投資は126億5000万元を超え、世界のロボット4大メーカーはすべてハイテク区に集積した。製品は、ピックアップやパッケージング、ローダー・アンローダー、機械加工、スタッキングなどの工業分野、リハビリテーションや水中、清掃などのサービス分野の応用にかかわっている。青島市のロボット産業は、2020年までに総生産額を100億元まで拡大し、国内で影響力と競争力を持った国家級ロボット産業基地になることを目指している。

2.6.3 人材養成において存在する課題

(1) 応用型人材の不足

1台の産業用ロボット（機械アーム）を生産に投入でき、大きな効果を発揮させることができるかは、生産技術の複雑性、製品の多様性、周辺施設の整備にかかっている。こうした問題の解決には、操作や整備、統合応用を行う3人から5人の人材が必要となる。現在、自動車製造以外の一般工業分野におけるロボットの応用ニーズは急速に拡大しており、適切な人材確保は質・量ともに不足している。

国内の高等職業学校には、まだ産業用ロボット応用に対応した専攻がなく、産業用ロボットの現場プログラミングやロボットのオートメーションラインの整備、産業用ロボットの設置・デバッグなどの職に従事する人員は、主に電気オートメーション技術や機電一体化などの専攻の卒業生を訓練した人員であり、短期の訓練では持ち場の要求に達することはなかなかできない。

このほか産業用ロボットの応用（システム統合）は、多数の学科が交差・融合した典型的な産業であり、目下の急務と言えるのは、ロボットシステムの知識を把握し、各業界の技術的要求との連結が可能な応用工学人材を大量に養成し、ロボットの応用におけるユーザーの実際問題を解決し、実際の効果を上げ、ロボット市場を開拓することである。人員募集の要求からは、ロボット操作技術人員が現在、企業で最も不足している技術労働者である。企業は、産業用ロボットを購入した後、標準的なロボットを生産に投入できる専用のオートメーション設備に変えようとする。これには、ロボット応用エンジニアが、生産技術と加工品のタイプと結びつけ、マニュアル教示プログラミングを通じ、周辺の補助施設とも結合させることによって初めて、ロボットに特定の任務を遂行させることができる。

(2) 専攻建設の基礎条件が薄弱

ロボットは、複雑な機電一体化設備であり、機械設計やサーボ制御、軌道計画、制御アルゴリズム、センサー技術などが一体化したものである。教育計器が損壊しやすいため、多くの教育機関の教師は往々にして、学生が指定された段取りで操作することを求め、学習効果を大きく引き下げている。教育設備は比較的高価であり、学校は大量に購入することができず、保守・点検などについても具合が悪い。

(3) 求められる企業の主体的な役割

ロボット人材の発展において、企業の主体的な役割が十分に発揮されておらず、人材養成への参

加の自発性と積極性が高くない。また、従業員の訓練は統一的な計画を欠き、訓練への参加拡大が待たれている。産学研の協力と工業パークによる牽引によって短期的には改善が見られても、長期的な発展に基づいて投入される企業の資本力はまだ足りない。

(4) 教師陣の全体的な能力向上が不可欠

大学においてロボット分野の教育と研究に従事するトップレベルの専門家はほぼ45歳から55歳の間で、多くは機械学科の出身である。彼らが大学時代に学んだのは、機械学科と機械産業が比較的不景気だった頃で、機械学科全体の知識構造も古かった。現在、新たな知識と新たな発想を持った多くの若い学者はまだ成長段階にあり、中国の専門家がIROS (Intelligent Robots and Systems、世界トップ級のロボット会議) で発表した論文の数は2014年にはわずか16本で、2015年には42本、2016年には46本にとどまった。

(5) 卒業人材の非専攻就業問題

卒業生に対する北京航空航天大学の追跡調査によると、2010年から2015年までのロボット専攻の卒業生のうち29%は事業機関を含む政府機関に就職し、30%は大学に残り、26%が企業に就職した。企業に就職した学生もすべてがロボット企業に入るわけではなく、ロボット企業への入社は約15%にとどまっている。これはロボット研究を行う高度人材が学んだことをすぐに使っているわけではないということを示している。こうした状況は2016年から好転した。「ロボット」熱の社会における高まりを受け、ロボット関連分野の大学院生がロボット業界に留まるケースが増えてきた。2016年には50%余りの大学院生がロボット分野に戻ってきている。

(6) 待たれる教育内容の合理化

国内の大学のロボット関連専攻の教育は、プログラム設定やデバイス組立、設備デバッグ、故障診断などの分野に偏っていた。学院の機械加工や電子電気、知能制御、3Dプリント技術などの分野の教師の陣容をさらにまとめ、ロボットの本体と部品の設計・製作を学生が学ぶのをリードすることができれば、ロボット関連専攻の教育・科学研究をさらに一歩進めることができる。同時に、企業と協力し、企業のニーズと市場要素の指導の下、これまで系統的でなかった訓練を行うことができれば、企業の全体的な設計能力を高めることができる。

資料編

任 福 繼
(徳島大学教授)

1. 中国国内の関連教育機関

中国の大学には2016年以前、単独のロボット専門の学科がなく、各大学はすべてその他の関連する専門分野から派生した形で研究を進めてきた。例えば、インテリジェント科学・技術の専門分野がそうだが、現在、全国の多くの大学が専門のロボット研究所を有している。2016年には、東南大学がロボット学科を開設した。

下記の大学がロボット関連学科を開設している。

- ・ 清華大学
- ・ 北京理工大学
- ・ 吉林大学
- ・ 浙江大学
- ・ 武漢理工大学
- ・ 同済大学
- ・ 華南理工大学
- ・ 西安交通大学
- ・ 大連理工大学
- ・ 天津大学
- ・ ハルビン工業大学
- ・ 上海交通大学
- ・ 中南大学
- ・ 浙江大学
- ・ 東南大学
- ・ 北京航空航天大学
- ・ 西北工業大学
- ・ 南京航空航天大学
- ・ 北京大学
- ・ 華中科技大学
- ・ 中国科学技術大学
- ・ 国防科学技術大学
- ・ 東北大学
- ・ 西安交通大学

(1) 北京航空航天大学「インテリジェント技術及びロボット共同研究センター」(「智能技術与機器人聯合研究中心」) 設立 (2014年)

同大学の先進工業技術研究院院長の蔡茂林教授は、長年にわたる機械学部の産学共同研究の努力

と実践を評価したうえで、これを契機にして、中国科学院やその他の関連産業基地との提携をより深め、ロボットの先進性、戦略性、先導性を足掛かりとし、インテリジェント化、エコロジー化、産業化をロボット技術発展の目標とする考えを表明した。また、技術革新システム及び重慶製造業刷新地区の革新的システムと緊密に結びつき、ロボット技術と産業の発展を促進するとともにロボット技術のイノベーション能力を強化し、中国のロボット技術発展のために積極的に貢献したいと強調した。

同大学の党委員会書記の胡凌雲教授と中国科学院・重慶エコロジーインテリジェント技術研究院(「重慶綠色智能技術研究院」)院長の袁家虎氏は共同で「インテリジェント技術及びロボット共同研究センター」を創設し、王田苗教授、王仲勲所長が双方を代表して提携合意書にサインした。今後、双方は共同で研究を行い、工業ロボット産業の基盤技術、三峡ダム水中探査ロボット、スマート無人車両のプラットフォーム等のロボット先進技術のイノベーション、集積技術の革新を重点的に発展させる。さらに「官産学共同研究」のために緊密に連携して、工業ロボットの自動化生産ライン等のインテリジェント製造装置事業化及び研究成果の実用化を推し進めることになる。

(2) 東北大学、「985プロジェクト」初のロボット科学・工学部設立 (2015年)

東北大学、中国科学院瀋陽自動化研究所、瀋陽新松機器人自動化股份有限公司は2015年9月22日、中国国内の「985プロジェクト」の対象となっている大学の中で初めてロボット科学・工学部の設立に合意し、東北大学国際学術交流センターで式典を行った。これは東北大学に産学共同研究という体制のロボット学部が誕生したことを示す。合意書によると、東北大学、中国科学院瀋陽自動化研究所及び瀋陽新松機器人自動化股份有限公司は各自の強みを生かし、共同でロボットやその関連技術分野における優秀な人材の選抜育成を目指す。具体的には、同分野で革新的技術を開発し、瀋陽

を世界的なロボット産業拠点とすべく、技術と人材基盤を確立する。各組織は、それぞれが強みとするリソースを結集し、国際基準の先進技術に適應して国家の戦略的發展に寄与するとともに社会や産業の發展に貢献する、国際的な規範やルールを熟知した、ロボット技術の基礎理論や専門知識に精通するチャレンジ精神とイノベーション能力を備えた総合型の人材を共同で育成する。このため、共同で指導者や研究員を招き、協力して教育や人材育成にあたる。また、ロボット分野と関連分野を融合させて、サロンやフォーラムの形式により定期的にマンツーマンで学術・技術交流を行い、重要な技術的問題を話し合うことになる。そして、国家的・国際的プロジェクトを分担して申請・担当するほか、国際的な学術会議を開催して、国家及び省レベルの重点的科学技术の拠点を構築することを目指す。東北大学、中国科学院瀋陽自動化研究所及び瀋陽新松機器人自動化股份有限公司の三者は、技術的リソースやイマジネーション能力を結集し、革新的研究を展開するセンターとしての教育機関の建設によって、産学結合という特色を生かしたロボット学科の建設をサポートする。

(3) 復旦大学ロボットインテリジェント実験室 （「機器人智能実験室」）「中医1号」を開発 （2015年）

復旦大学はプレスに対して、同大学の研究チームが上海中医薬大学と協力して漢方医人工知能ロボットを開発中であると発表した。このロボットは元来漢方医の主観的判断にのみ頼っていた診断技術の精度を向上させるだけでなく、ディープラーニング能力を利用して名漢方医が蓄積した経験を情報として分析し、漢方医学の知識の宝庫をハイテクの現代においてよりよく継承させようとするものである。上海数学センター首席専門家で復旦大学数学科学部特別招聘教授の馮建峰氏によると、計画では2016年3、4月期に「中医1号」をリリースする。これは漢方医の診断方法である「望・聞・問・切」の精度をより向上させている。「望・聞・問・切」による処方、疾病治療に対する妥当性が高いという。馮建峰氏はまた、復旦大学では複数の研究チームがサービス型ロボットの研究をすでに10年以上行っており、「中医1号」もこのサービス型ロボットの一種であって、これまでに多くの漢方医が「中医1号」の開発に参加してきたと述べた。このロボットは、手足を持ったヒトのような外観に製作することもできるという。

(4) 四川大学錦城学院機械エンジニアリング学科 ロボット研究所設立（2015年）

同大学のロボット研究所の研究方向は主として、ヒト型ロボットとサービスロボットのマン・マシンインタラクション実験、MCS 51に基づいたインテリジェントライン追跡カー、BEAM（太陽エネルギー及びバイオニクス）ロボットの初歩的研究である。研究所の指導担当者である王一舒氏と蔣冬清氏らの豊富な経験と専門的指導、学生たちの情熱によって、この研究所の前途は極めて明るい。

(5) 東華大学機械エンジニアリング学部ロボット 研究所設立（2015年）

機械学部党総支部書記の朱英氏が除幕式を主宰、機械学部学部長の陳革氏と同大学の特別招聘教授の張丹教授が共同でロボット研究所の除幕を行い、陳革氏が張丹教授にロボット研究所所長の辞令を授与した。張丹教授は東華大学の特別招聘教授、海外ハイレベル人材招致の「千人計画」専門家、中国政府が取り組む海外人材呼び戻し政策に応じた「長江学者」であり、カナダのロボット・自動化分野の第一人者として、長期にわたってロボット・自動化、先進製造技術、新型高性能ロボットの応用研究を行ってきた。教授はこれまでロボット技術を工作機械、医療設備、MEMS、バフ研磨等の分野に応用して大きな成果をあげてきたが、今後はロボット研究所の建設を担い、人材の導入で重要な役割を果たすことになる。

(6) 北京聯合大学ロボット学部設立（2016年）

北京聯合大学は2016年5月19日、全国に先駆けてロボット学部を設立した。同学部は全国でも初めてのロボット専門の全日制の学部である。2016年、同学部はソフトウェア工学、電子情報工学及び自動化の3つの専門課程で学生100人を募集、募集枠は北京で30人、北京以外で70人である。

(7) 湖南大学にロボット産業のための初の国家工 程実験室開設（2016年）

ロボットの視覚感知と制御技術のための国家工程実験室が湖南大学に正式に設立されたが、同実験室は中国における4番目のロボット分野の国家級科学研究基地であり、ロボット業界のニーズに対応して設立されたものである。

ロボットの視覚感知と制御技術の国家工程実験室の主任は、湖南大学エレクトロニクス・情報工学部学部長の王耀南教授が務める。同実験室はインテリジェント工業ロボットの状況目標視覚

情報の自動取得と知能的な理解、ロボットの視覚ガイド及び高速動作の制御、高速精密モーター及びサーバー制御、スマート動作機構のデジタル化設計等の基盤技術や装置の研究開発の支援に重点を置いている。同実験室の設立によって中国のロボット産業のイノベーション能力や競争力の向上にあたっての技術支援と保障が確保され、関連企業は政府の科学技術関連機関からのインテリジェント工業ロボット関連の技術的コンサルタント、市場分析、プロジェクトの評価、政策的サポート等の提供を受けることができる。

これまで、中国にはロボット分野の国家級の科学研究基地が3カ所あった。具体的には、ロボット技術国家工程研究センター、ロボット工学国家重点実験室、ロボット技術・システム国家重点実験室であるが、全て東北地方にあった。しかし、産業技術の進歩の推進を任務とする国家工程実験室の設立は初めてであり、同実験室の設立は従来の科学研究システムと互いに補完し合うものになると期待されている。

(8) 復旦大学「復旦-南商インテリジェントロボット共同研究センター」(「復旦-南商智能機器人聯合研究中心」) 設立 (2016年)

復旦大学学長事務会議は2016年9月5日、「復旦-南商インテリジェントロボット共同研究センター」設立を審議、可決した。同センターの主任は張文強氏が就任し、副主任は重慶南商集団の邱克勇氏が務める。

重慶南商機器人科技有限公司は重慶市の33の有力な民営企業が共同出資して設立された大型民営投資グループである南商集団の全額出資子会社で、豊富な資金力があり、工業ロボットとサービス用ロボットを主力製品としている。共同研究センターという産学提携の拠点によって、双方の強みを十分発揮し、インテリジェントロボットの基盤技術において大きな成果をあげていくと期待されている。

(9) アモイ大学嘉庚学院と微柏ロボットがイノベーション実験室を設立 (2016年)

クモのような機械が50センチほどの長さの「手」を伸ばし、器用にサイコロを1個1個拾い上げる。さらに不思議なことに、この「手」はサイコロの色の違いを認識して並べることができる。アモイ大学嘉庚学院と泉州微柏工業機器人研究院有限公司が共同で建設したイノベーション実験室がこのほど落成した。同実験室では高度に智能化された並列ロボットが見学者たちを驚かせている。同実験室は、この並列ロボットの他に、溶接ロボットやスタックロボット、水平多関節ロボット、AVGロボット(またの名を自動物流車)を有している。ソフト面では、ロボット制御システム、プラットフォームサポートソフト及びモニタリングソフト等を有する。ソフトとハードを組み合わせ、実験室全体でインテリジェント生産ラインへの転換を可能にして、原料供給、生産、包装から入庫までの流れのオートメーション化操作を実現できる。現在、同実験室を拠点として研究開発された生産ラインを購入した企業があり、すべての装置のテストが終わってから製造現場に投入される予定である。

同実験室の面積は約250平方メートル、設備の総額は約200万元である。実験室完成後、嘉庚学院は工業ロボットの研究チームを立ち上げて、企業に対してさらに多くの技術的サポートを行うことになる。同大学はこの実験室での技術力を背景に、ロボット大会のチームを組織し、学生たちを大会に参加させるとともに、これを実践的教育として、イノベーション型人材育成の重要拠点となることを目指している。

【1. 中国国内の関連教育機関 参考出典】

<https://sanwen8.cn/p/21dezHR.html>

<http://yjby.com/jiuyezhidao/news/1420693.html>

<http://www.gxso.net/gaokao/1/87.html>

<http://www.gaokao.com/e/20170315/58c8ef41158ba.shtml>

http://robot.ofweek.com/2015-06/ART-8321202-8420-28969513_3.html

https://zhidao.baidu.com/question/404839863.html?qb=relate_question_2&word=%BB%FA%C6%F7%C8%CB%20%CF%E0%B9%D8%B8%DF%D0%A3

<http://www.scujcc.com.cn/contents/179/9841.html>

<http://hn.rednet.cn/c/2016/03/30/3947253.htm>

<http://www.cs.fudan.edu.cn/?p=19646>

http://news.xinhuanet.com/local/2016-03/23/c_128825040.htm

2. 中国国内のロボット関連研究所

(1) 瀋陽自動化研究所

中国科学院瀋陽自動化研究所は、1958年11月に設立された。1962年までは瀋陽電子技術研究所、1962年から1972年までは東北工業自動化研究所、そして1972年に正式に中国科学院瀋陽自動化研究所となった。現所長は于海斌氏である。

同研究所には、ロボット工学重点実験室と先進製造技術重点実験室がある。研究室は、工業制御システム研究室、オプトエレクトロニクス情報研究室、自動化装備研究室が設置されている。また、研究センターとして、水中ロボット研究センターがあり、科学研究情報、文献、ネット等のサポートサービスを行う。

(2) 上海交通大学ロボット研究所

上海交通大学ロボット研究所は1985年に設立された（その前身は1979年に設立されたロボット研究室）、中国でも最初のロボット技術の研究開発を行う専門機関の一つである。1992年に国家「863計画」（国家ハイテク研究発展計画）のロボット分野におけるフレキシブル機器システムの研究拠点である実験室を設立。同ロボット研究所は機械電子工学科の修士及び博士の学位を授与しており、現在人員は29名、このうち「長江学者」特別招聘教授2名、教授8名、准教授及び高級エンジニア（一定の基準を満たしたエンジニア）15名、博士課程生50名余り、修士課程生60名余りである。

(3) ハルビン工業大学ロボット研究所

ハルビン工業大学ロボット研究所は1986年に設立され、中国国内でも最も早い時期に作られたロボット技術分野の研究機関の一つである。1986年に中国で最初のスポット溶接ロボットの研究開発に成功して以来、急速に技術レベルを向上させ、国家「863計画」におけるインテリジェントロボットの機構研究拠点として開放実験室を設けた。

(4) 中国科学院自動化研究所

中国科学院自動化研究所は1956年10月に設立され、前世代の傑出した科学者の銭偉長氏、銭鐘韓氏、沈尚賢氏らが手塩にかけて作り上げた中国最初の国立の自動化研究機関である。50年以上の何世代にもわたる努力の結果、すでに基礎研究を集積して一体化する応用開発を行うなど、全く新しい研究開発機関になっている。

(5) 西安交通大学人工知能・ロボット研究所

西安交通大学人工知能・ロボット研究所は「パターン認識とインテリジェントシステム」のための国家重点学科であり、制御科学・工学の一級学科（特定学術分野の対象範囲の広い学科分類）の博士課程生募集によって、自動化学科のポストドクター科学研究センターとなっている。研究所は専任の科学研究機関であり、教員と研究生は約90名で、西安交通大学のハイレベル人材育成のための重要拠点である。責任者は日本留学の経験者で中国工程院院士の鄭南寧氏が務める。

(6) 北京航空航天大学ロボット研究所

北京航空航天大学ロボット研究所は1987年に設立された、教育、研究、開発を一体化した研究組織である。主に機械工学及びロボット技術分野の理論研究及び技術開発を行う。同研究所は中国工程院院士1名、教授9名を抱え、このうち長江学者の特別招聘教授1名、博士課程生指導員7名、指導員は博士が80%を占める。ポストドクター4名、博士、修士課程生合わせて約140名に達する。同研究所は北京航空航天大学の「機械設計及び理論」国家重点学科が主要な支持組織であり、「機械設計及び理論」と「機械電子工学」の博士号を授与する権限を持ち、「機械工学」のポストドクター科学研究センターを設立し、政府から「211プロジェクト」及び「教育振興計画」の重点学科建設プロジェクトの支持を得ている。

(7) 北京理工大学インテリジェントロボット研究所

北京理工大学インテリジェントロボット研究所は、教育、研究、開発を一体化した研究組織であり、「バイオニクス技術」と「機械電子工学」の博士号を授与する権限を持ち、「機械工学」のポストドクター科学研究センターを設立。政府から2つの「211プロジェクト」第二期学科重点プロジェクト建設、重点実験室拡大向上建設、「995」条件保障建設、「985プロジェクト」第一期重点学科建設、「985プロジェクト」第二期重大革新的拠点建設等の支持を受け、国家「111計画」建設革新的導入基地の支持も受けた。2010年末には「バイオニクスロボット・システム技術」の教育部重点実験室という評価を得た。

(8) 北京機械工業自動化研究所

北京機械工業自動化研究所は1954年に設立された。前身は機械工業部（当時、中国政府の省庁名）直属の総合開発機関であり、1999年に中央直属の大型科学技術企業に転換し、現在は機械科学研究

総院の管轄下にある。同研究所はこれまで、製造業分野の自動化、情報化、集積化技術の革新、研究、開発及び応用に尽力し、顧客に対して開発、設計、製造、組み立てからサービスの全体的な解決案まで提供していることに加えて、メーカーには集積化機器及びシステムのための最適な技術的解決案を提供している。

(9) 南京ロボット研究院

南京ロボット研究院は比較的新しく、2013年に正式に設立された。『工作意見』の報告によると、3年以内には南京市のロボット工業団地は整備された産業システムを構築し、中国国内における新しいロボット産業基地の一つになり、年間売り上げ規模は350億元に達するとしている。さらに2020年までには、国家級ロボット協同イノベーションセンターと産学研連盟を形成し、南京を「中国の

ロボット産業先進基地」に作り上げ、年間売り上げ規模1000億元を達成することを目標として掲げている。

(10) 宇宙ロボット技術教育部工程研究センター

ロボット技術研究センターは、中国共産党第18期全国代表大会で提出されたイノベーション駆動発展戦略の実施を踏まえ、新型高性能インテリジェント工業、商業、家庭用ロボットの分野で、ロボットの基盤技術の研究開発を展開している。同センターはインテリジェントセンサー、インテリジェント制御、ロボット検査技術の研究を中心に、市場のニーズに応え、ロボットの設計・検査の分野において最も影響力のある研究センターとなっている。同センターには研究員が25名おり、このうち技術レベルが高級とみなされる研究員が5名で、中級が8名である。

【2. 中国国内のロボット関連研究所 参考出典】

<http://www.gxso.net/gaokao/1/87.html>

<https://www.douban.com/note/360757702/>

3. ロボット工業団地

最も潜在力を有する中国10大ロボット工業団地を以下に紹介する。

(1) 上海

上海における2012年のロボット産業の規模は60-70億元に達し、中国国内最大のロボット産業地区である。ABB、ファナック、クーカ、安川電機等のロボットのメジャー企業も上海に本部や拠点を設けており、中国ロボット業界のリーディングカンパニーである瀋陽新松も上海に子会社を置き、地元企業の上海沃迪自動化設備股份有限公司もロボットパレタイザー分野では中国国内をリードしている。同時に、上海交通大学、上海大学、上海電気中央研究院等も関連の研究を行い、産業の発展に向けて実力を蓄えている。

(2) 昆山

昆山の重点的発展のための十大特色産業基地の一つであり、2012年に国家タイムツ計画の特色産業基地の承認を得た。2012年までに、ロボット産業基地は華恒、吉陽、柯昆、REIS、澳昆、高晟等内外のロボット分野のハイテク25社を集め、投資総額は15億元超、売上は2011年35億元、2012年41億元であった。2013年には生産高が70億元となり、生産高が1億元を超えた企業は5社に達した。

2015年には工業ロボットとインテリジェントロボットの二大製品の産業チェーンが整備されるとともに、省レベルの研究開発機構と工学技術センターが20ヵ所建設され、年間生産高は200億元を記録した。

(3) 徐州

徐州経済技術開発区ロボット工業団地は初期型の溶接ロボット、包装ロボット、高所作業ロボットなどの多数のシリーズ製品の製造体制を初歩的に確立し、拠点を構えるロボット関連企業は20社以上、販売収益10億元以上を達成した。徐州経済技術開発区ロボット工業団地の発展計画によると、開発区のロボット産業は工業ロボットをベースにして、サービス用ロボットという新しい分野にまで発展を遂げた。また、3年から5年の間に、全地区の産業規模を50億元前後に引き上げるとともに、10年以内に200～300億元に増加させることを目指している。開発区のロボット産業の発展を推進するために、開発区は毎年500万元の政府主導の基金、所得税の面での優遇、産学合同研究及びモデル事業等8つの面での産業支援政策を実施している。

(4) 常州

5003ムー(1ムーは1/15ヘクタール)の広さを誇る武進のハイテク産業開発区のロボット・イン

テリジェント機器工業団地は、科学研究の成果を実用技術に転換するための拠点とインテリジェント機器の製造拠点到に分けられる。工業ロボット、NC工作機械、インテリジェント紡績機等を重点的に発展させ、銘賽機器人、遠量機器人、漢迪機器人、新瑞機械、カールマイヤー、五洋紡績機械、常砭起重機械等43社の企業が集中している。2012年、ロボット及びインテリジェント機器工業団地の収益は255億元を超え、年間総合増加率は40%を超えた。

常州ロボット・インテリジェント機器工業団地の発展計画によると、2015年までに同団地は生産高50億元超の企業を1社、10億元超の企業を4社以上育成することに加えて、国際水準に達した技術革新とサービスの拠点を構築して、中国の「工業化と情報化の融合」モデル拠点を形成し、産業規模を238億元以上にすることを目標にしている。

(5) 唐山

ロボット産業は、河北省唐山市の国家ハイテク産業開発区を重点的に発展させるための戦略的新興産業であり、唐山松下、開元等を含む大手企業を育成した。唐山ハイテク産業開発区の溶接ロボットの国内市場占有率は30%を超え、鉗山用救助ロボットは中国国内の空白を埋め、量産を可能にした。現在の産業規模は20億元に達し、主要な技術指標はいずれも中国国内トップレベルである。2015年までに、年間生産高100億元以上の規模の企業が1社、10億元以上の企業が2社、1億元以上の企業が5社、1000万元以上の企業が20社となり、中国でもユニークな「ロボット産業基地」を作り上げている。

(6) 天津

2012年、滨海新区の年間工業総生産高は1兆4000億元を突破、このうち工業オートメーション化の比率は20%前後を占めた。この比率は、先進国のオートメーション化産業の8%前後を大きく超えるものである。NC及びオートメーション化技術は滨海新区の宇宙航空、石油化学工業、機械加工、精密機器、電子情報、バイオ医薬、自動車製造、農業水産等の基幹産業に及んでいる。

「天津市電子情報産業発展『第12次5ヵ年』計画」では、天津市は「第12次5ヵ年」期間に、IoT、情報セキュリティ、人工知能、光エレクトロニクスといった4つの戦略的新興分野での発展を目指すとしていた。また、工業ロボット、警備用ロボット、セキュリティロボット、鉗山用ロボット、水中ロボット、医療低侵襲手術用ロボットの研究開発

及び産業化を支援し、2015年までに各種ロボットの年間生産能力を5000台、産業規模を200億元にするとの目標を掲げた。

(7) ハルビン

2013年以来、ハルビン経済技術開発区はロボット工業団地の建設を積極的に行い、現在、哈南工業新城計画によって3平方キロメートルのロボット工業団地を開発し、第一期として15万平方メートルの開始地区の建設が行われており、入居用の標準的な工業設備、事務所、居住地区及びその他のサービスを提供する施設が利用可能となる。現在この地区では10社余りの国内外のロボットメーカーが提携に合意している。哈南工業新城では、ロボット工業団地の発展に関して、企業を主体とする産官学共同研究のための革新機構を積極的に構築する。具体的には、ロボットの産業化及び試験的適用という二つの段階を基礎に、工業ロボット、サービス用ロボット、オートフォーカスロボット本体、精密減速機、サーボドライバ及びモーター、コントローラ等のロボットの基盤部位、ロボットのシステム集積等を重点に置き、同工業団地を中国北部最大の産業ロボット拠点はもちろん、ロボット基盤技術研究センター、先端加工センター、サービス及びアプリケーションセンターにすることを指す。

(8) 重慶

2013年4月、重慶市ロボット・インテリジェント機器産業発展連盟は璧山で正式に設立が宣言された。同連盟は重慶市が推奨する産業チェーン構築に加えて、政府と企業が提携するための重要な拠点となることを目指しており、初期の段階で53社の企業を誘致した。重慶市は、ロボット産業を重要な戦略的産業として位置付け、中国で最も重要なロボット生産基地にすることを努力目標として掲げており、2020年までに重慶のロボット産業の規模を1500億元に拡大することを目指している。

現在、璧山県はすでに重慶市によって特殊ロボットの生産基地に指定されている。計画では、3年間で「第12次5ヵ年」期末までに璧山県のインテリジェントロボット産業を一定の規模まで引き上げるとともに、インテリジェントロボット産業の技術レベルを最先端に引き上げる。また、2020年までに、最先端の技術によって、産業的特色が明確な国内でも著名なインテリジェントロボットの製造拠点となることを目指す。

(9) 青島

青島国際ロボット工業団地は、青島国家ハイテク産業開発区先進機器製造地区内に位置し、工業団地は1000ムー（1ムーは1/15ヘクタール）を占め、日本、韓国、欧米及び中国国内の高度なロボット製造・組み立て企業を重点的に誘致して入居させている。2013年5月、青島ハイテク産業開発区はそれぞれ5つのロボット関連プロジェクトに合意し、安川電機、ハイアールグループ、橡膠谷公司、雷霆重工、碩泰科技等がロボット産業の重点プロジェクトのために工業団地に拠点を構えた。青島国際ロボット工業団地は中国北部最大の工業ロボット産業拠点を作り上げることに努力を傾注している。2012年、ハイテク産業開発区の先進的インテリジェント機器産業の生産高は24.7億元に達し、このうちロボット産業の生産高は1.5億元である。

2023年末までに、工業団地は山東ないし環渤海地域でも重要なロボットモデル地区に発展し、研究開発や設計、アプリケーションサービスの特徴としてすべての産業チェーンをカバーすることになるとみられている。

- 第1段階（2013年-2015年）：ロボット関連企業（主に工業ロボット）誘致数30社。主に完成品のアプリケーションサービスの研究開発、製造企業とする。
- 第2段階（2015年-2018年）：誘致企業数40社。産業区内の企業育成に重点を置き、完成品の生産、アプリケーションサービス及び研究開発を行う企業のうち、規模が1億元クラスの企業1社、5000万元クラスの企業2-3社を誕生させる。
- 第3段階（2018年-2023年）：企業数規模50社超、3億元以上の規模の企業1～2社、1億元以上の

2015年の工業団地の分布状況

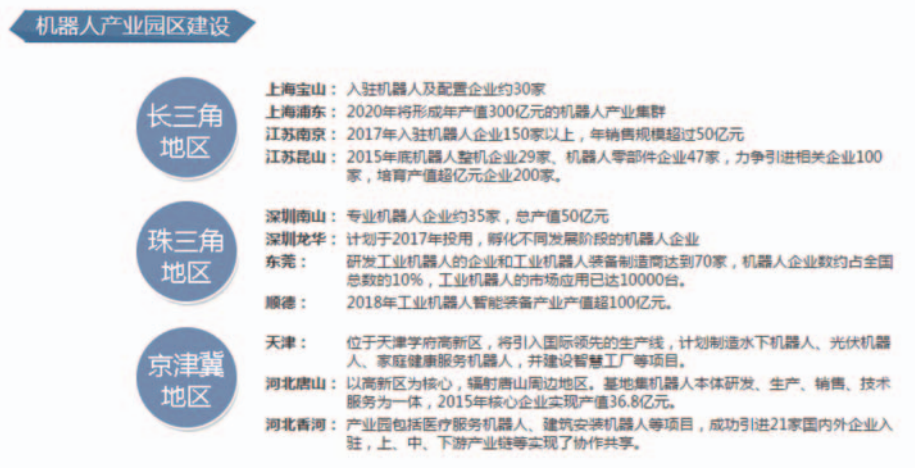


規模の企業3～4社、上場企業2社を誕生させ、全産業チェーンをカバーし、研究開発及びアプリケーションサービスに重点を置く企業が主体となる。

(10) 瀋撫新城

すでに計画では5平方キロメートルが瀋撫新城ロボット産業基地の建設用地となっており、その位置づけはロボット及びインテリジェント機器産業の重点的發展である。基地ではロボット及びインテリジェント機器産業のための建設プロジェクトが3つあり、投資総額は42億元。それぞれ罕王微谷、省電子研究設計院、申江万国データベースによるものである。調整中及び推進中のプロジェクトが12件あり、投資総額は120億元で、この中には金地緑利機器人工業団地、香港紐克瑞森集团自動

碼垛機器人、自動包裝機器人、成都佳士科技溶接機器人、アモイ思爾特機器人、馬丁路德機器人、凱爾達数控切割、香港マンローランドと美程がオンラインで提携したロボットスマート印刷プロジェクト等がある。計画では2017年末までに、瀋撫新城は5平方キロメートルの団地全体を完成させる。具体的には、基幹企業を中心とする初期型のロボット産業基地を形成し、国家級ロボット科学研究所や企業の技術センターを誘致するとともに、瀋撫新城の機器製造企業の技術革新やグレードアップをけん引し、生産高1億元クラスの企業を50社育成して、ロボット産業の生産高として年間500億元を達成する。5年間で、瀋撫新城を中国国内のロボット産業の技術開発、生産の重点地区に作り替え、2030年には中国でも最大の国際的に影響力を持ったロボット産業基地にすることを目指す。



【3. ロボット工業団地 参考出典】

<http://www.robot-china.com/news/201509/28/25538.html>
<http://www.ocn.com.cn/zt/jiqiren.shtml#block2>
https://baijia.baidu.com/s?old_id=124409
http://robot.ofweek.com/2013-12/ART-8321202-8500-28752226_4.html

4. 中国のロボット協会連盟

(1) 中国ロボット産業連盟（「中国機器人産業聯盟」、中国機械工業連合会が設立を主導）

2013年4月21日、中国機械工業連合会の主導により「中国ロボット産業連盟」（「中国機器人産業聯盟」）が北京科技会堂で設立された。同連盟は、中国の工業ロボット産業の發展を推進し、国内の企業を指導して、業界の進歩を促進することを目指している。現在、中国ロボット産業連盟には140社余りが加盟している。この中には、国内の工業

ロボット産業チェーンの各段階のトップ企業、例えば工業ロボット製品専門の瀋陽新松、工業ロボット及びオートメーション化を主力とする広州数控、ハイテク精密減速機の企業である蘇州綠的等が含まれるが、いずれも中国の工業ロボット産業を代表するトップ企業である。中国ロボット産業連盟は積極的に産業交流の拠点を設け、プロジェクト重複のような悪影響を及ぼす競争を避けて工業ロボット産業の發展を見守ってゆく方針である。

(2) ロボット産業技術イノベーション戦略連盟 （「機器人産業技術創新戰略聯盟」、瀋陽新松機 器人自動化股份有限公司が瀋陽で設立）

2014年9月2日、瀋陽新松機器人自動化股份有限公司を理事長企業とするロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「機器人産業技術創新戰略聯盟」）が瀋陽で正式に設立された。同連盟の目的は、新しい拠点を設けて、技術の結集と知的財産権の保護のためのシステムを作ることにより、中国のロボット企業の市場競争力と生存能力を向上させることを狙っている。

(3) 国際ロボット・インテリジェント設備産業連盟 （「國際機器人及智能裝備產業聯盟」）

2013年3月16日午後、重慶製造業協会、瀋陽新松機器人自動化股份有限公司、広州数控設備有限公司、安徽埃夫特智能機器有限公司、ハルビン工業大学、北京航空航天大学、南開大学、清華大学、東北大学、瀋陽工業大学、大連理工学院、北京機械自動化研究所、昆山華恒溶接股份公司、常州銘賽機器人有限公司等40以上の権威のある科学研究団体やロボット企業が共同で立ち上げた中国ロボット産業イノベーション連盟（「中国機器人産業創新聯盟」）が北京で正式に設立され、連盟の主席には瀋陽新松機器人自動化股份公司総裁で、ロボット国家工程副主任の曲道奎氏が推挙された。なお、国際ロボット・インテリジェント機器産業連盟（「國際機器人及智能裝備產業聯盟」）への名称変更で合意している。

同連盟は海外の先進ロボット企業との提携を推し進め、世界ロボット産業イノベーション大会を開催し、中国独自のロボット産業の発展への道を探るとともに、ロボット産業のイノベーションのための総本部、ロボット産業革新のための研究所及び工業団地を建設する工業都市を選択し、高い基準と出発点から中国のロボット及びインテリジェント機器産業の発展を目指す。

(4) 北京インテリジェントロボット産業技術イノ ベーション連盟（「北京智能機器人産業技術創 新聯盟」）

2014年9月25日、北京インテリジェントロボット産業技術イノベーション連盟（「北京智能機器人産業技術創新聯盟」）が設立された。同連盟は、北京市科学技術委員会の指導の下、中国科学院自動化研究所、北京機械工業自動化研究所、北京航空航天大学、北京大学、北京理工大学、北京信息科技大学、北京中電華強溶接工程技術有限公司、安川首钢機器人有限公司、北京博創興盛科技有限公司、

北京紫光優藍機器人技術有限公司、北京工道風行智能技術有限公司、北京天智航医療科技股份有限公司、機科發展科技股份有限公司、北京北一法康生産線有限公司、北京生産力促進センター等30社の企業及び団体によって立ち上げられた、業界提携のための開放型イノベーション組織であり、北京インテリジェントロボット業界の技術革新及び成果の実用への転換を推進するための非営利組織である。同連盟は機科發展科技股份有限公司が理事長を務める。連盟加盟団体の構成は、現在北京市のロボット産業チェーンの基幹企業や主要な研究所をカバーしており、北京市のロボット産業の発展レベルを示すと同時に北京市のロボット産業の中核をなすものである。

(5) 上海ロボット産業技術イノベーション連盟 （「上海機器人産業技術創新聯盟」）

2012年10月19日、上海ロボット産業技術イノベーション戦略連盟が設立された。同連盟は、上海の科学技術リソースを整理統合したうえで、上海ロボット産業の発展を推進し、経済のモデルチェンジを加速させることを目的としている。同連盟は科技部、財政部等の6部・委員会による「産業技術イノベーション戦略連盟構築の推進に関する指導的意見」に基づき、上海市科学技術委員会の指導の下、牽引団体である上海未来夥伴機器人有限公司と多くの産学研究機関によって共同で設立された。設立大会では「上海ロボット産業技術イノベーション戦略連盟規程」が採択され、牽引団体である上海未来夥伴機器人有限公司が第一理事会理事長組織となり、上海大学、上海工程技術大学、上海宇宙航空システム工学研究所、中国電子科技集团公司第21研究所が副理事長団体となった。連盟専門家委員会は蔡鶴皋院士が名誉顧問に、上海交通大学の席裕庚教授、863ロボット専門家チームのリーダーの趙傑教授、上海大学の方明倫教授が技術顧問に、上海大学の龔振邦教授が首席専門家を務めることになった。

(6) 上海市ロボット産業協会（「上海市機器人行業 協会」）

上海東浩国際服務貿易（集団）有限公司及び上海ロボット工業団地が主導して、上海電気集団股份有限公司、上海ABB工程有限公司、上海ファナックロボット有限公司、クーカロボット（上海）有限公司、上海新松集团有限公司等の企業団体が立ち上げた上海市ロボット産業協会（「上海市機器人行業協会」）は、1年近い準備期間を経て、2013年9月に業務主管部門である上海市経済情報化委

員会の「上海市ロボット産業協会設立準備に関する承認」を得たのに続き、同10月30日には上海市社会团体管理局の「社会团体設立準備を許可する決定書」の承認を得た。2013年11月5日、第15回中国国際工業博覧会で協会の設立大会が開かれた。協会には企業や団体など72組織が加盟。また、合計53社が大会に参加して協会の第一期理事会が成立し、上海市ロボット産業協会第一期理事会は21社の理事団体で組織されることが決まった。同日、協会の第一期理事会会議が開かれ、投票によって協会会長、常務副会長、副会長等が決まった。上海電気集团股份有限公司の董事長である徐建氏が会長に選ばれ、上海東浩国際服務貿易（集団）有限公司の副総裁である唐貴発氏が常務副会長に選ばれた。

(7) 江蘇省ロボット・インテリジェント装備産業技術イノベーション戦略連盟（「江蘇省機器人・智能装備産業技術創新戰略聯盟」）

2011年5月17日、先進製造所が運営する江蘇省ロボット・インテリジェント装備産業技術イノベーション戦略連盟（「江蘇省機器人・智能装備産業技術創新戰略聯盟」）の設立大会が常州科教城で開かれ、清華大学の張鉞院士、江蘇省科技厅高新處處長の蔣洪氏、常州市副市長の王成斌氏、常州先進製造技術研究所常務副所長の駱敏舟氏、常州市生産力促進センター主任の朱一兵氏及び連盟全体の加盟団体の代表等合わせて100人以上が大会に出席し、常州市科学技術局副局長の周永強氏が会議の司会を務めた。

会議では「江蘇省ロボット・インテリジェント装備産業技術イノベーション戦略連盟規程」及び連盟の第1回理事会のメンバーが決定され、理事長、副理事長及び事務局長が推薦され、第一期理事会理事長には先進製造技術研究所常務副所長の駱敏舟氏が決定した。会議ではさらに連盟技術委員会主任、副主任、委員が決定し、清華大学の張鉞院士が連盟技術委員会主任に、また趙傑教授、張憲民教授、樓佩煌教授が副主任に推薦された。

(8) 江蘇省工業ロボット専門委員会（「江蘇省工業機器人專業委員會」）

2014年9月18日、経済と時代の進歩に順応するために誕生した江蘇省工業ロボット専門委員会（「江蘇省工業機器人專業委員會」）の設立大会が南京で開催された。

現在、同委員会には合わせて36機関が加盟しており、第1期・第1回会議において、南京埃斯顿機器人工程有限公司が理事長団体に選ばれ、他に5

社の企業が副理事長団体に選ばれた。

(9) 広東ロボット産業技術イノベーション連盟（「広東機器人産業技術創新聯盟」）

2012年4月10日、広東ロボット産業技術イノベーション連盟（「広東機器人産業技術創新聯盟」）の設立大会が中国科学院深圳先進技術研究院で開催された。同連盟は、中国科学院深圳先進技術研究院が複数の団体を先導して共同で2010年3月期から設立準備を進めていたもので、2010年11月16日、第12期中国国際ハイテク成果交易会で戦略的提携協定が締結され、深圳市科学技術革新委及び中国科学院広州分院の推薦を経て、2012年3月に広東省科学技術庁の承認を得て設立された。

同連盟は広東地区の大学、科学研究機関及び企業の連携を強化し、広東地区企業の経済構造転換を促進し、企業と大学、研究機関の間の長期的安定的な産学提携関係を支援して、様々な方式でイノベーション活動を展開する。具体的には、実験室の建設、新製品の共同開発、基盤技術の共同研究、人材の共同育成、重大プロジェクトの共同推進等によって、上流・下流と製品の間の連携を密にして、産業の発展のための戦略や計画、政策を策定する。また、広東省の科学技術リソースを整理、統合したうえで、協働による発展を目指す。設立大会において、参加した代表の評決によって「広東ロボット産業技術イノベーション連盟規程」と、深圳先進技術研究院が第1期理事会理事長組織になることが決まり、中国工程院会員で中国科学院深圳先進技術研究院副院長の徐揚生院士が理事長、広東省ロボット専門家委員会主任の劉奕華氏が副理事長、深圳先進技術研究院院長補佐の畢重雷氏が事務局長に就任した。

(10) 広州工業ロボット製造・応用産業連盟（「広州工業機器人制造和応用産業聯盟」）

2013年9月22日、広州工業ロボット製造・応用産業連盟（「広州工業機器人制造和応用産業聯盟」）の設立大会が広東迎賓館で盛大に開催された。同連盟は、広州万宝集团有限公司、広州数控設備有限公司、広州市敏嘉製造技術有限公司、広州汽車集团股份有限公司、広州電気装備集团有限公司が理事長団体を務め、広州機械科学研究院中央所所長補佐の葛光軍氏が連盟事務局長を務めることになった。同連盟は、広州市経済貿易委員会の指導の下、広州数控、広州機械院、広州汽車集団、広州万宝集団等の12の企業や団体が発起人となって設立されたものであり、広州地域において共同で工業ロボット及び関連部品の研究開発、製造、集積

化や応用、技術サービス等を行う。設立の目的は、工業ロボットの製造、基盤技術の応用及び装置の研究開発・革新の成果を広めることにより、生産に応用する企業が主体となって、組み立て企業、高等教育機関、研究機関等が共同で広州地域の技術開発、生産、集積化、市場開拓の面で提携し、工業ロボット利用の普及を推進することである。

(11) 深圳市ロボット協会（「深圳市機器人協会」）

深圳市ロボット協会（「深圳市機器人協会」）は2009年3月に設立され、中国科学院深圳先進技術研究院を理事長団体として、中国工程院会員で、中国科学院深圳先進技術研究院副院長の徐揚生教授が理事長を務める、深圳市のロボット産業が組織した非営利団体である。協会のメンバーは深圳市及びその周辺の影響力の大きい企業及び公的機関で構成。工業ロボット、教育用ロボット、娯楽用ロボット、特殊ロボット等の企業80社以上が加盟しており、さらに加盟の動きが拡大している。

同協会は、中国国際ハイテク成果交易会ロボット展を主催し、積極的に深圳の産学各界を組織して産業発展のための戦略的研究、産学研究団体による重大な特別プロジェクトに参加し、ビジネスインキュベータを作り上げ、従来の産業をロボット産業の領域に導いている。また、先進的ロボット技術及び製品の宣伝、プロモート及び発展に尽力し、メーカーと中国科学院の交流と相互学習の場を構築するとともに、企業と政府の架け橋となり、ロボット分野での人材の育成を行っている。

(12) 東莞市ロボット産業協会（「東莞市機器人産業協会」）

2014年10月16日、東莞市ロボット産業協会（「東莞市機器人産業協会」）が松山湖で設立された。同協会の会長には固高自動化技術有限公司テクニカルディレクターの蔣仕龍氏が就任した。協会設立後は、自身の力で業界のリソースを整理統合し、東莞市のロボット産業の包括的な発展を目指す。統計によると、東莞のロボット産業関連企業は200社以上あり、このうち70社以上が知的財産権を有している。

(13) 東莞市ロボット技術協会（「東莞市機器人技術協会」）

2014年7月8日、東莞市ロボット技術協会（「東莞市機器人技術協会」）設立大会が東莞会展国際ホテルで盛大に開催され、東莞、深圳、仏山、中山等から50社近いロボット開発・製造業者、貿易業者が結集、加盟した。また、東莞、深圳、仏山、惠州か

らの政府高官、専門家、企業代表約80人が「ロボット産業政策、マーケティング、技術開発の動向」及び「インテリジェント工業及び産業の発展」等をテーマに討論を行った。

(14) 山東省工業ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「山東省工業機器人産業技術創新戰略聯盟」）

2014年11月29日、山東省工業ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「山東省工業機器人産業技術創新戰略聯盟」）の設立大会が諸城で盛大に開催された。同連盟は、理事長団体でハイテク企業の邁騰機器人自動化股份有限公司が設立を提唱したもので、開放的な組織であり、理事会の決議に基づいて技術力、資金力、装置や製品の生産力のある企業を定期的に加盟させる方針。第1期には23社の企業や研究機関が加盟した。同連盟は、工業ロボット市場の技術面でのニーズや加盟団体・企業の研究成果を結合することを前提に、5年以内の重点的目標として基盤部品、低コストの6自由度汎用ロボット、4自由度以下の専用ロボット及び自由にプログラム可能な自動化装置の開発と量産を決定した。また、工業ロボット産業の共通性、基盤技術を重点として、工業ロボット産業の自主イノベーション能力を向上させ、サーボシステム、コントローラ、コアアルゴリズム、精密減速機及び応用・集積技術のネックとなっている問題を解決し、業界に重大な影響を与えている共通の技術的問題に取り組み、自前の知的財産権取得を目指す。連盟の設立により山東省のロボット産業が技術革新、産業集約、成果を共有するための高度な拠点が構築された。

(15) 山東省ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「山東省機器人産業技術創新戰略聯盟」）

2012年12月22日、山東省ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「山東省機器人産業技術創新戰略聯盟」）が済南で設立された。山東省のロボット産業を整理統合するとともに、産業、学術、研究、実用を一体化し、リソースのシェア、相互扶助、共同イノベーション、ウィン・ウィンの進歩に向けた技術的提携のための拠点となる。

同連盟は、山東省科学院自動化研究所が主導し、山東省科学院、山東大学、山東科技大学、山東建築大学及び山東魯能智能技術有限公司等の山東省のロボット技術革新のための研究機関及び産業界の20社近い企業や団体を結集させたものである。

同連盟は、ロボット技術及び産業の発展の動向に基づき、国と山東省のロボット業界発展に向け

た探求を緊密に結びつけ、連盟加盟組織の既存の重点実験室や工程技術研究センター、企業技術センター等の高いレベルの技術革新拠点を活用する。また、加盟団体の共同イノベーション、戦略の統一、資源の共有、技術移転、人材育成、製品実現等での提携を通じて、ロボット分野における共用の基盤・最先端技術を開発して重要な産業技術標準を形成し、山東省のロボット産業の革新と発展をサポートして関連装置製造業の振興を推進する。さらに、連盟内部で知的財産権の保護、使用許可及び実用化した場合の利益分配のための仕組みを構築し、知的財産権の共有を目指す。同連盟は、ロボット産業発展の情勢に基づき山東省全体のロボット産業が発展の過程で直面する根本的で顕著な問題を即時に調査研究するとともに、関連技術標準や規範を立案し、産業の発展を促進するための建設的な意見を提案する。

(16) 重慶市ロボット・インテリジェント装備産業発展連盟（「重慶市機器人与智能装備産業発展聯盟」）

2013年4月28日、重慶市ロボット・インテリジェント装備産業発展連盟（「重慶市機器人与智能装備産業発展聯盟」）が正式に発足した。同連盟は中国科学院重慶研究院が理事長機関になり、重慶長安工業（集団）有限責任公司、重慶齒輪箱有限責任公司、重慶兩江開發投資（集団）有限公司等53社が加盟した。他に、同連盟は、国家「863計画」のロボット分野での専門家を招聘し、上海交通大学教授の劉成良氏及び北京航空航天大学教授の陶永氏を高級顧問に任命した。

(17) 浙江省ロボット産業技術連盟（「浙江省機器人産業技術聯盟」）

2014年12月6日、浙江省ロボット産業技術連盟（「浙江省機器人産業技術聯盟」）の設立大会が杭州で盛大に開催された。同連盟は、浙江大学ロボット研究センター、杭州自動化技術研究院、杭州新松機器人自動化有限公司、中国紹興黃酒集團、浙江錢江摩托股份有限公司、浙江万豊科技有限公司、浙江德馬科技股份有限公司、麗水市ロボット産業連盟等38の企業や団体が共同で設立を提唱したものである。加盟団体は主にロボット及び自動化機器の研究開発・製造関連の企業、大学、研究機関及びロボット・自動化技術のためのアプリケーション企業、仲介サービス機関等である。同連盟の主管部門は浙江省経済情報化委員会、支援団体は浙江大学ロボット研究センター、杭州自動化技術研究院である。連盟本部は杭州西湖の西湖区西

湖サイエンス・エコノミーパークに構え、第1期常務理事会はロボット連盟発起団体が協議して組織した。常務理事会は投票で朱世強氏を連盟理事長に、徐赤氏を連盟常務副理事長に選出した。副理事長団体は杭州新松機器人自動化有限公司、浙江国自機器人技術有限公司、杭州通靈自動化股份有限公司、浙江工業大学、娃哈哈集团有限公司、浙江万豊科技有限公司（紹興）、中国紹興黃酒集團（紹興）、浙江德馬科技股份有限公司（湖州）、浙江錢江摩托股份有限公司（台州）、麗水市ロボット産業連盟（麗水）、嘉興瑞宏精密機械有限公司（嘉興）、今躍機械科技開發有限公司（金華）、浙江恒豊泰公司（温州）等、13の企業や団体を含む。また、常務理事会は王国耀氏を連盟事務局長に、張学群氏を副事務局長に任命した。

(18) 杭州市ヒト代替ロボット・ロボット技術産業発展連盟（「杭州市“機器換人”与機器人技術産業発展聯盟」）

2013年5月9日、杭州市ヒト代替ロボット・ロボット技術産業発展連盟（「杭州市“機器換人”与機器人技術産業発展聯盟」）が中国（杭州）国際興業博覧会期間中に設立された。同連盟は杭州市経済情報化委員会及び11社のロボット・自動化開発、応用関連企業が共同で設立を提唱したものである。同連盟は5年以内に「2811プロジェクト」の実施を目指している。具体的には、連盟加盟団体を中心にロボット分野の省級重点実験室及び国家級工程センター等の重点的技術支援拠点を構築し、連盟全体の力によって杭州市及び浙江省の8分野の基幹産業における「ヒト代替ロボット化」に関与することを目指す。そして、100社以上の企業で「ヒト代替ロボット化」を実施して、10社以上のロボットの基盤部品及び完成品の基幹企業を育成し、ロボット技術をより広範囲に従来型製造業に組み込み、杭州のロボット産業の発展を推進する。

(19) 浙江省麗水市ロボット産業連盟（「浙江省麗水市機器人産業聯盟」）

2014年6月27日、浙江省麗水市ロボット産業連盟（「浙江省麗水市機器人産業聯盟」）の設立大会及びロボットプロジェクトの集中的な調印式典が開催された。10項目のプロジェクト参加団体が麗水経済開発区に入居した。これは麗水経済開発区のロボット産業が複合的な発展を遂げたことを示すものである。同連盟は、ロボット分野の産業、学術、研究、実用を一体化して業界が共同で開発を行う拠点として、研究開発、生産、アプリケーションサービスを集約した非営利組織である。中

国のロボット産業の現状、発展の動向及び課題・問題点を研究して、加盟団体の技術、市場、知的財産権等の分野での交流を推進するとともにロボット産業チェーンの秩序ある発展を促進し、ロボット技術・製品の各業界での普及を加速させる。

(20) 黒竜江省ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「黒竜江省機器人産業技術創新戦略聯盟」）

2014年11月25日、黒竜江省ロボット産業技術革新戦略連盟（「黒竜江省機器人産業技術創新戦略聯盟」）が省科技ビル内に設立された。ハルビン工業大学、ハルビン博実自動化股份有限公司等36の省内の大学及び企業が協働して革新を担うとともに、共同でのロボット産業基盤技術の開発、ロボット技術の産業化を推進し、ロボット産業を黒竜江省の新しい成長分野にすることを目指す。

同連盟は、ロボット産業基盤技術を開発し、核心となる競争力を集中させることを目標に据え、企業や大学を戦略的且つ効果的に組み合わせ、共同開発、相互補完により、共同でロボット産業の成長を加速させる。同連盟としては、多様で多層的な自主研究開発と開放的な提携によるイノベーションを組み合わせるうえで、ロボット産業の技術革新チェーンの最適化については、市場メカニズムを運用したイノベーションのためのリソースの集約、ロボット産業の産官学による研究と実用化を組み合わせるためのメカニズムの創造、人材育成と国際的提携の拠点構築、産業構造の最適なグレードアップの推進によって、ロボット産業の基盤競争力向上を目指す。また、市場ニーズにしたがいロボットサービス支援の拠点を設け、ロボット、デジタル加工、システム開発サービス、製品のプロモートを一体化した初歩的な産業チェーンを構築し、連盟の技術、人材、設備や情報等のリソースを集め、知的財産権の共有、技術移転及び普及、研究成果の実用化を可能にして、市場のニーズに応えるために、先進技術、生産工程及び製品を提供し続けることを目標に掲げている。

(21) 天津ロボット産業技術イノベーション連盟（「天津機器人産業技術創新聯盟」）

天津ロボット産業技術イノベーション連盟（「天津機器人産業技術創新聯盟」）が2014年5月30日に武清で正式に設立された。同連盟は、中国工程院院士の蔡鶴皋氏、中国科学院院士の張鉞氏を顧問に任命した。また、ロボット産業の発展拠点を作り上げ、工業団地に5年以内に100社の関連企業

を誘致することを計画しており、国際的知名度の高いハイテクインテリジェント機器産業群の構築を目指す。

(22) 安徽省ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「安徽省機器人産業技術創新戦略聯盟」）

2014年4月30日、安徽省ロボット産業技術イノベーション戦略連盟（「安徽省機器人産業技術創新戦略聯盟」）の設立大会が蕪湖で開かれた。同連盟は、安徽埃夫特智能機器有限公司が主導して提唱し、ハルビン工業大学、合肥工業大学、安徽工業大学、安徽工程大学、安徽瑞祥工業有限公司、安徽巨一自動化裝備有限公司、合肥雄鷹自動化工程科技有限公司、安徽驚天液壓智控股份有限公司、蕪湖浜智能裝備産業發展有限公司、馬鞍山方宏自動化科技有限公司、蕪湖陀曼精機科技有限公司、中安重工自動化裝備有限公司、蕪湖金三氏数控科技有限公司等、14の大学や企業が参加した。

同連盟は、企業が主体となって、多様で多層的な提携による開発、自主開発と開放的な提携による革新という方式を組み合わせ、産業の革新的な競争力を形成することを目標に掲げており、共同でロボット技術革新及び産業発展の技術的ネットワークを解決して、ロボット産業チェーンの健全な発展を加速させることを目指している。

(23) 河南省ロボット産業連盟（「河南省機器人産業聯盟」）

2014年10月29日、河南省のロボット分野の産業、学術、研究、実用を一体化して業界が共同で開発を行う拠点として、河南省ロボット産業連盟（「河南省機器人産業聯盟」）が鄭州で正式に発足した。同連盟は、省の工信庁、鄭州機械研究所、河南森茂機械有限公司、鄭州科慧科技股份有限公司、洛陽市工業情報化局、洛陽沃德福工程技術有限公司、洛陽中重自動化工程有限公司、河南科技大学、洛陽世必愛特殊軸承有限公司等、20余りの企業や団体が共同で提唱して設立された。

同連盟は、近い将来の達成目標を明確に設定している。2020年までに1000億元超の規模の工業ロボットを中心としたインテリジェント機器産業群の育成を目指すとしているが、具体的には、①工業ロボット完成品及びインテリジェント機器の生産規模を年産10万台（セット）まで拡大する、②3-5社の自前の知的財産権及び自主ブランドを有する100億元規模の工業機器大手企業及び5-10社の関連付属品の基幹企業を育成する、③3カ所の工業ロボット工業団地を造成して、全省の80%以上の製造業者が工業ロボット及びインテリジェント

機器を利用する、④河南が中国のインテリジェント機器製造業の先進地として中部地区（山西省、河南省、湖北省、湖南省、安徽省、江西省を指す）における工業ロボット生産、アプリケーション、サービスの中核となる地区にする、⑤中国で最も大規模で競争力のある工業ロボット及びインテリジェント機器産業拠点の1つにする——ことが含まれる。

【4. 中国のロボット協会連盟 参考出典】

<http://www.robot-china.com/news/201412/12/16293.html>

あとがき

【企画・総括】

- 米山春子（国立研究開発法人科学技術振興機構中国総合研究交流センター 参事役）
单 谷（国立研究開発法人科学技術振興機構中国総合研究交流センター 調査役）
柳 珺（国立研究開発法人科学技術振興機構中国総合研究交流センター フェロー）

【執筆】

- 福田敏男（名城大学理工学部メカトロニクス工学科教授、名古屋大学名誉教授、中国科学院院士）
小菅一弘（東北大学大学院工学研究科ロボティクス専攻教授）
曹 其新（上海交通大学教授）
羅 志偉（神戸大学大学院システム情報学研究科教授）
藤江正克（早稲田大学名誉教授、次世代ロボット研究機構顧問）
俞 文偉（千葉大学フロンティア医工学センター教授）
横井浩史（電気通信大学脳科学ライフサポート研究センター教授）
姜 銀来（電気通信大学脳科学ライフサポート研究センター准教授）
明 愛国（電気通信大学大学院情報理工学研究科教授）
余 張国（北京理工大学智能ロボット研究センター准教授）
新井健生（電気通信大学客員教授、大阪大学名誉教授）
林 宇卿（北京理工大学）
姚 建梁（浙江西科機器人技術有限公司研究院副院長、消防機器人技術總監）
戴 文明（浙江西科機器人技術有限公司）
王 忠民（浙江西科機器人技術有限公司）
黄 民（北京信息科技大学）
许 宝杰（北京信息科技大学）
任 福継（徳島大学教授）
王 志東（千葉工業大学教授）
松野文俊（京都大学教授）
余 錦澤（人工知能次世代ロボティクス株式会社 MUJIN ビジョンエンジニア）
廣田 薫（東京工業大学名誉教授、日本学術振興会北京研究連絡センター長、北京理工大学海外千人特別招聘教授）
王 田苗（北京航空航天大学ロボット研究所名誉所長）

中国のロボット分野における研究開発の現状と動向

2018年3月発行

編 集 国立研究開発法人 科学技術振興機構
中国総合研究交流センター
〒102-8666
東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ
Tel. 03-5214-7556 Fax. 03-5214-8445
URL: <http://www.spc.jst.go.jp>

I S B N 9 7 8 - 4 - 8 8 8 9 0 - 5 9 4 - 7

2018 Printed in Japan

中国のロボット分野における研究開発の現状と動向

国立研究開発法人 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター

ISBN 978-4-88890-594-7