

我が国におけるロボット技術の戦略的開発 — サービスロボット技術の推進 —

長 江 庸 泰*

Abstract:

An analysis undertaken by NUPRI (Nihon University Population Research Institute) indicates that the number of Japanese households able to provide care for the elderly, that is, households containing a woman aged 40 to 59 and an elderly person, have been, since 2005, among the lowest in the world, and this trend is expected to continue for fifty years from 2022 onwards.

By reconsidering support technology for the physically weak, that is, the elderly, the ill, and children, it is possible, through cooperation among industry, academia, and government, to develop a new field of robot technology, a “life function support robot technology (i.e., service robot)”, that will provide all citizens with a basic level of security.

The two main points that will be examined are as follows.

1. Elemental Technologies of Service Robot Technology.
2. A cutting edge of Service Robot Technology.

キーワード：

ロボット技術（RT）、戦略的開発、サービスロボット、産学官連携、技術経営（MOT）

1. 研究の背景と問題の所在

中・長期的な成長分野としてのロボット技術 [RT: Robot Technology] を俯瞰した場合 (図 1、参照)、従来の産業用ロボットに加え、医療・介護、清掃、監視・警備、受付・案内のほか、原子炉など危険が伴う箇所では人間に代わって点検・検査を行う「サービスロボット」の成長が見込まれている。経済産業省の技術ロードマップによれば、「サービスロボット」は 2015 年以降、本格的に普及するものと予測している。

この市場分析に関し、¹⁾ 富士経済は、産業用およびサービスロボットの市場動向を

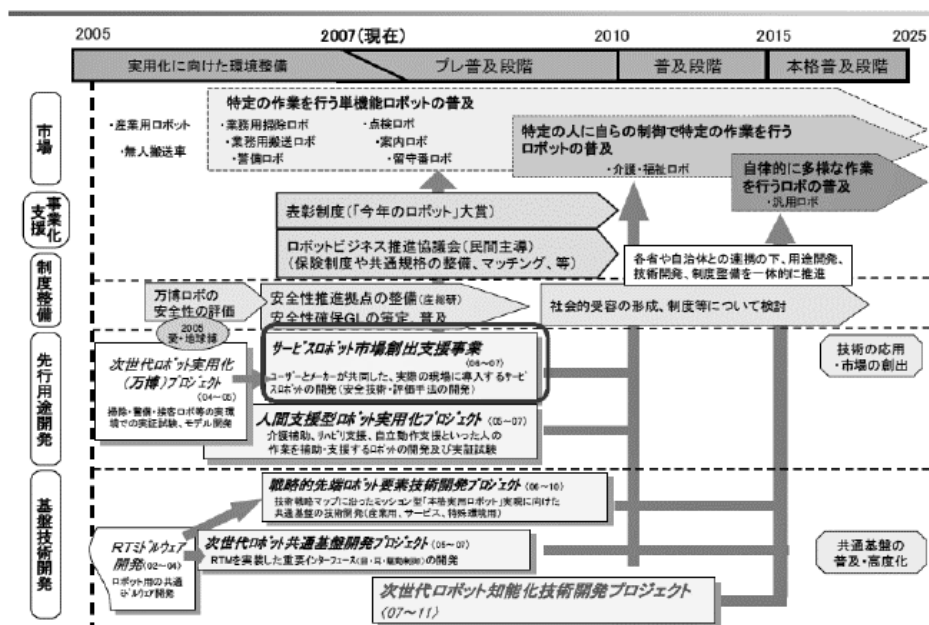
2011 年 2 月 7 日に発表¹⁾ し、産業用ロボット市場（世界市場）は、2010 年には対前年比 69.0% 増の 3,618 億円となり、2013 年には 2010 年比 1.4 倍となる 4,996 億円に拡大するものと予測しており、サービスロボット市場（国内市場）については、2010 年には同 1.7 倍の 113 億円、2020 年には同 5.8 倍となる 650 億円に拡大するものと予測している。

2005 年「愛地球博（サービスロボット元年）」で展示・実演されたロボットを中心に、サービスロボットのプロトタイプが生まれた。

このサービスロボットの技術的“強み”は、

*佐野短期大学 総合キャリア教育学科（旧経営情報科）

図1 ロボット分野の導入シナリオ



出所：経済産業省「技術戦略マップ2007」平成19年4月

従来の産業用ロボットの技術移転・応用が可能であり、産業用ロボット分野で先駆けている日本企業の“強み”として躍進が期待されている点である。

産業用ロボットを俯瞰した場合、世界シェアトップ（08年ベース）こそスイスのABB（シェア27%、以下同）に奪われたものの、2位安川電機²⁾（19%）、3位ファナック（18%）、5位川崎重工業（6%）と、日本企業の“強み”が「サービスロボット」分野でも注目されている。また、ロボット技術では、使用される要素技術の応用幅が広い点も特徴であり、例えば、人間の感覚に当たるセンサや、動きを制御する減速機・クラッチや空気圧機器、位置や速度を自動制御するサーボモータ、縦・横の直線運動を行うリニアガイド、動作手順をプログラミングするソフトウェアなどがキーテクノロジーとなり、この分野に特化したグローバル企業に注目すると日本企業の「ナブテスコ」や「ハーモニック・ドライブ・

システムズ」などが筆頭に挙げられ、世界のロボットメーカーにとって日本企業の存在が必要不可欠なものとなっている。

一方、以上の市場創出支援事業に関して、サービスロボット市場創出支援事業研究開発制度評価（事後）報告書（案）[平成21年3月産業構造審議会産業技術分科会評価小委員会第26回評価小委員会]³⁾によれば、今後の課題として、①実用化への課題、②安全上の課題、③標準化への課題、④制度整備上の課題、⑤その他の課題等の5点を提示している。

本論は以上の課題解決に向けて、「産業化に向けたロードマップ」と「市場戦略の必要十分条件」を考察しつつ、「サービスロボット技術の推進」の検証として、「サービスロボット導入策の4つのアクションプラン」と「市場創成に向けた政策課題」の2点に論及するものである。

図2 技術経営の手法



2. 研究の方法と手続き

本論は、MITのスローン・スクール(Management of Technology program of the MIT Sloan School)に端を発する技術経営(MOT: Management of Technology)⁴⁾の手法(図2、参照)を活用することにより、米国“Innovation America [2004]⁵⁾”の重点戦略をベンチマーキング(benchmarking)として、課題解決を①「サービスロボット技術における要素技術」と②「サービスロボット技術の先端事例」の2点に焦点を絞りつつ、「サービスロボット技術の推進」の検証を試みるものである。

3. 結果

(1) サービスロボット技術における要素技術

ロボット技術における要素技術の製品化は、以下の7つの技術的「目的・必要機能」と8要素に集約される技術分類の組み合わせから達成される。

以下、そのポイントを概括する。

①目的・必要機能の7ポイント

A<環境構造化・標準化>

- ・ロボット用コンテンツサービス
- ・他のRT機器と通信できる
- ・情報家電と通信できる

- ・他のロボット要素と互換性がとれる
- ・迅速な開発ができる
- ・再利用性を高める
- ・他標準規格と連携する(e.g., 医療情報交換規約)
- ・施工情報連携(設計、施工対象、施工結果等)
- ・施工工程間の施工情報交換

B<コミュニケーション>

- ・話者の方向を向く
- ・対話できる
- ・ジェスチャを理解できる
- ・データベース情報を提供できる
- ・人の状況が理解できる
- ・人の意図が理解できる
- ・人について学習し、適応できる
- ・人にとって好ましいインターフェイス
- ・メディアとして働く
- ・オペレータ操作の補助、補完
- ・オペレータ操作への情報提示
- ・作業対象物の状況提示(視覚、力覚等)
- ・複雑な作業装置(アーム等)の簡便な操作系
- ・タスク的な作業指示

C <マニピュレーション>

- ・複数のアーム等でいろいろな形状のものを掴める
- ・安全な軽量化
- ・組立分解作業ができる
- ・道具を使って作業ができる。
- ・多様な形状のものを迅速かつ高精度・高信頼度でハンドリングできる
- ・人間の動作をスケールアップした作業装置（大きさ、力等）
- ・重い（大きい）対象物を安全に思い通りにハンドリングできる
- ・土などのように性質の変化にも安定した掘削に思い通りにハンドリングできる

D <移動>

- ・障害物の識別
- ・オープンエリアでの測位
- ・人の動きの検出
- ・動的歩行・走行・跳躍動作
- ・環境認識と把握
- ・衝突の回避
- ・行動の学習と計画
- ・自分の位置が解る
- ・必要に応じて高精度で停止できる
- ・ラフロード・ラフロード，瓦礫上での安定な姿勢での作業、瓦礫上での効率よい移動

E <エネルギー源・パワーマネジメント>

- ・長寿命・省電力
- ・電源コードが不要
- ・重量物可搬なアクチュエータ
- ・重量物可搬な動力系

F <安全技術>

- ・衝突や挟圧時の本質安全技術
- ・健全性診断、及び修復技術
- ・人検知機能に基づく自律回避と制動
- ・リスク評価を反映した安全方策

- ・安全防護階層構造の適用
- ・事故事例 D B
- ・確実なインタロック制御
- ・ソフトウェアによる機能安全技術
- ・環境支援による安全システム技術

G <運用技術>

- ・リスクアセスメントに基づく運用
- ・マンマシン I F（安全情報提示）
- ・保守点検計画の策定。

②技術分類の8要素

<システム化技術 1)>：前述、「目的・必要機能」の A,B,C,D,E,F,G に対応、以下同。

- ・総合デザイン技術
- ・インテグレーション技術（耐環境性、小型軽量）

・サービス科学

<システム化技術 2)>：A に対応。

- ・RT プロセッサ

<環境構造化>：A, G に対応。

- ・ユビキタスセンサ
- ・個人対応サービス
- ・ロボット同士の連携
- ・機器シンプル化
- ・外部情報連携（施工情報）
- ・移動体高速通信インフラ
- ・アドホック通信と UWB 通信インフラ

<認識処理>：B に対応。

- ・音声処理、対話処理
- ・ジェスチャ、姿勢確認
- ・状況・意図推定／理解
- ・学習／適応技術
- ・作業対象物状態認識
- ・作業指示理解
- ・最適情報指示
- ・対話、動作の学習・生成

図3 サービスロボット技術(要素技術)の応用例



出所：経済産業省「技術戦略マップ2007」平成19年4月

- ・脳活動状態センシング
 <センシング1> : B に対応。
- ・話者方向センサ
- ・ビジョンセンサ
 <センシング2> : C に対応。
- ・触覚センサ
- ・ビジョンセンサ
- ・大型構造物姿勢位置センシング
- ・作業対象性質(土質)センシング
- ・センサの小型化
 <センシング3> : D に対応。
- ・ビジョンセンサ
- ・測位センサ
- ・環境認識センサ
- ・挙動検出センサ
 <制御1> : C に対応。
- ・マニピュレータ制御
- ・大型重量マニプレータ制御
- ・作業計画
 <制御2> : D に対応。
- ・経路計画
- ・自律移動制御
- ・全天候自律移動
- ・多数ロボットの協調制御
- ・人とロボットのハイブリッド制御
 <制御3> : E,G に対応。
- ・自己エネルギー管理
 <制御4> : F に対応。
- ・安全予測制御
- ・接触安全制御
- ・機能安全技術
- ・環境安全技術
 <機構1> : C に対応。
- ・アーム ・ハンド

<機構2> : D に対応。

- ・ 2足～多足 ・ 脚車輪
- ・ 不整地、段差、狹隘地、狹窄空間でのモビリティ

<アクチュエータ> A,C,D,E,F に対応。

- ・ ロボット適合アクチュエータ
- ・ 過負荷適合制御
- ・ 重量物可搬アクチュエータ、動力系

<標準化1> : A に対応。

- ・ 要素互換性 ・ 標準規格互換

<標準化2> : E に対応。

- ・ エネルギー供給

<標準化3> : F,G に対応。

- ・ 事故原因解析

以上の7つの技術的「目的・必要機能」と8要素に集約される「技術分類」の組み合わせ (i.e., 製品化) を視覚化したものが図3である。

(2) サービスロボット技術の先端事例

サービスロボット技術に足跡を残した先端

事例を列挙すると、食事支援ロボット「マイ Spoon [運営:セコム]」⁶⁾、遠隔介護ロボットシステムの「コンパニオンシステム」⁷⁾、介護支援ロボット「レジーナ (Regina)」⁸⁾などが挙げられなか、キヤノンがデジカメ技術を活用し、介護ロボット事業に参入⁹⁾するなど新規参入の動きが活発化している。

本論では、サービスロボット技術の先端事例を①会話で高齢者をサポートする、NECの小型ロボット「PaPeRo (パペロ)」、②「人支援技術産業」を目指す筑波大学の挑戦、③生活支援ロボット安全検証センター (国際標準化を狙う世界初の安全検証センター)、の3点から以下、概括する。

①会話で高齢者をサポートする、NECの小型ロボット「PaPeRo (パペロ)」(図4参照)

国立障害者リハビリテーションセンター研究所は2010年9月24日、認知症者の自立行動を促す情報支援ロボットを開発したと発表¹⁰⁾し、実証実験において、NECの小型ロボット「PaPeRo (パペロ)」が認知症者の自立行動を支援したことが確認された。

図4 NECの小型ロボット「PaPeRo (パペロ)」



国立障害者リハビリテーションセンター研究所が認知症者の自立行動を促す情報支援ロボットを開発した(9月24日、厚生労働省)

出所：厚生労働省

この認知症者向けの自立支援ロボットは、日本電気の音声認識型コミュニケーションロボット「PaPeRo（パペロ）」を基に、認知症者の低下した注意機能や認知機能を補完する情報伝達システムとして開発され、情報伝達システムは、国立リハ研、独立行政法人産業技術総合研究所、日本電気、東大が共同開発し、実証実験に関しては、国立リハ研、東大、生活科学運営が共同で実施した。

実証実験は、ロボットが「外出前にトイレに行きましたか？」などと注意喚起することで、認知症者が自立した日常生活を過ごせるかを軽度認知症の97歳の女性で24日間検証し、注意喚起への反応率や情報取得率が90%を超えたことを報告し、2015年をめどに商用化を進めている。

一方、パペロの開発に取り組んできたNECの大中慎一マネージャーは「ロボットと認知機能の衰えた人がコミュニケーションできたことに驚いた。生活を支援していける可能性が見えてきた」¹¹⁾と期待を語りつつ、その課題として、ロボットの話し方が高齢者には聞き取りにくいというデメリットがあり、会話のタイミングや話す内容を、相手に応じて個別に変える必要もあると述べている。

今後、NECでは引き続き上記の改良に取り組む、研究チームは一人暮らしの高齢者を

対象にした大規模実証試験に臨む予定であり、新型のPaPeRo R500をレンタル期間3年間契約（有料）で介護・福祉分野、教育分野、大学・研究機関、科学館・イベント、受付、テレコミュニケーションの分野を対象にレンタル事業¹²⁾として戦略展開を進めている。

②「人支援技術産業」を目指す筑波大学の挑戦

体の機能を補助する装着型ロボット「ロボットスーツHAL」の開発¹³⁾で知られている筑波大学 山海嘉之教授の研究グループは、身体機能の補助技術や脳とコンピューターをつなぐシステムの開発や体の状態を見守る装置などの研究を進めている。いずれも健康長寿社会に向けたイノベーションであり、最終的には「人支援技術産業」という新しい産業の創出を目指す挑戦となる。

今回新開発された「ヘッドマウント型ブレインインターフェース」(図5参照)は、脳内の血流の検出結果を従来型のコンピュータ画面への表示ではなく、頭部に表示される点が特徴であり、脳の活動が刻々と変化していく様子が可視化できる点が“強み”である。この活用例として、感情の変化をとらえ、数値データで評価するなど、人間の感性に合わ

図5 ヘッドマウント型ブレインインターフェース



出所：筑波大学山海研究室
山海教授（左）とヘッドマウント型ブレインインターフェース（右）

図6 身体機能の補助、拡張研究



出所：筑波大学山海研究室
ロボットスーツHAL（左）と体の動きなどの表示（奥）

せた製品開発の応用を目論んでいる。

また、装着型ロボット「ロボットスーツHAL」をベースにした身体機能を補助、拡張する研究も進めている。HALを装着して体を動かすと、筋肉などの動きを検出し、3次元CGで表示するシステムも開発し、体の動きを詳しく解析しながら新たなロボット技術の開発を目指している（図6参照）。

人支援技術は、人を機械に完全に置き換えるのではなく、あくまでも人が主役という点が技術的特色であり、例えば介護をする人が高齢者を持ち上げる負担で腰痛になるのをHALの技術で防ぐなど、様々な支援が可能であり、「電機や自動車と同じように、人支援技術産業を開拓することが最終的にやるべき仕事」¹⁴⁾であると山海教授は意欲をみせている。

③生活支援ロボット安全検証センター：

国際標準化を狙う世界初の安全検証センター

介護や家事など暮らしを手助けするロボットの安全性を試験する施設「生活支援ロボット安全検証センター」が茨城県つくば市にオープンした。生活支援ロボット用の試験拠

点は世界でも初めてであり、日本主導の国際標準化に向けた拠点として世界の注目を集めている。

機能安全の国際規格に適合したロボットの安全規格を定めるため、ロボットの安全性を試験・評価する技術開発拠点を整備し、人と共生する安全なロボット技術の確立により超高齢化社会への対応に貢献することを目的に設立された同センターは、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」の一環として建設された。また、運営・設備面に関しては、産業技術総合研究所や日本自動車研究所などが運営を行い、延べ床面積は約3600平方メートル、建物だけで約6億円を投じるなど、18種類の試験装置・設備を誇っている。

国際標準化を狙う世界初の安全検証センターとなる同センターの技術的特色として、以下の2点を挙げることができる。

1) 移動ロボット衝突回避試験：

障害物接近再現装置が歩行者の代役を務めてロボットとすれ違い、試験エリアを取り囲むカメラ12台の3次元動作解析装置で詳しく調べ、衝突安全性試験機ではロ

ロボットが万一、人にぶつかってしまった時の衝撃などを計測できる。人体ダミーはもともと自動車の衝突試験用であったが、ロボット用に改造しながら試験を進めている。

2) 電波暗室試験：

通常に比べてアンテナの出力が大きく、電波の帯域が広いなどロボット向けに設計された電波暗室では、ロボットに強力な電波を照射して電子制御が誤動作しないかなど影響の分析・検証に特化した設備となっている。

一方、ここで述べられている生活支援ロボットとは、富士重工業などの清掃ロボットや総合警備保障などの警備ロボットのみならず、トヨタ自動車の一人乗り 電動 2 輪車「Winglet (ウィングレット)」、パナソニックの介護用の「ロボティックベッド」、サイバードイン(つくば市)の装着型の「ロボットスーツHAL」などロボット技術の応用まで幅広く捉えており、家庭や街中で働くロボットという観点から厳しい安全性が求められているのである。

この生活支援ロボットの課題として、同プロジェクトリーダーを務める産総研の比留川博久・知能システム研究部門長は「国内メーカーで製品の開発が非常に急ピッチで進んでいる。だが、それを世の中に出すための社会インフラを同時に進めないと、新しい産業ができない」と指摘¹⁵⁾する。

この課題を一言で表せば「公的機関が安全性を認証する仕組みづくり」がポイントであり、社会インフラへと定着させるためには、公的機関が安全性を認証する“国際的なお墨付き”が不可欠であり、生活支援ロボットの普及には、安全性評価の標準規格と認証問題の確立が日本の国家戦略にとって重点課題となっている。

世界初となる同センターでは、様々なロボットの試験を通じて、安全性を評価する手法の研究開発やデータの蓄積を進め、国際標準化に向けた日本主導型の規格提案を戦略に掲げ、競争の激化が予想される欧米認証機関との主導権争いに力を傾注している。

今後、同センターでは、①技術・ノウハウの蓄積による安全認証に適合した生活支援ロボットの開発を支援する、②センターの運営を通じて、若手研究者の育成と世界トップクラスの人材を輩出する、③評価方法の国際標準への提案と安全認証スキームの構築を進める、④海外認証機関などとの連携を推進する、という4つのアクションプランを展開する予定である。

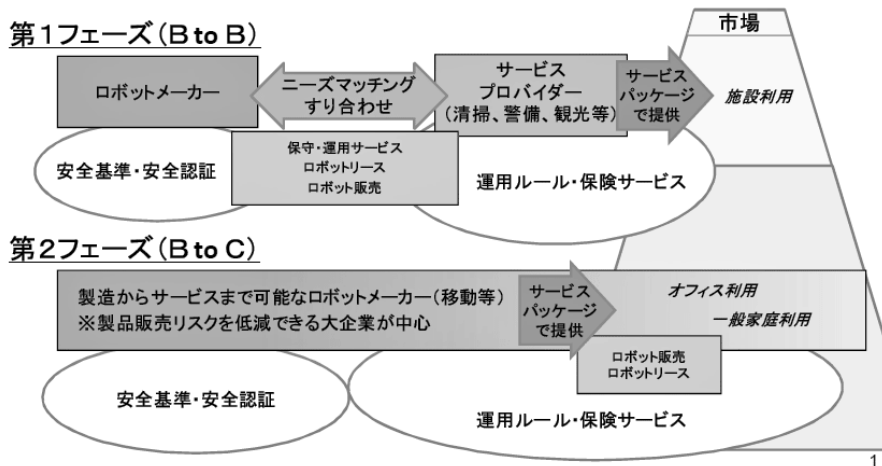
4. 考察及び結論

以下、「産業化に向けたロードマップ」と「市場戦略の必要十分条件」の2点から課題解決を考察し、その結論として「サービスロボット導入策の4つのアクションプラン」と「市場創成に向けた政策課題」の2点を提示する。

今、サービスロボット関連の実用化プロジェクトの進捗状況に注目すると、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO 技術開発機構」という)は、「生活支援ロボット実用化プロジェクト」(事業期間：平成 21 年度～平成 25 年度)¹⁶⁾に係る委託先を平成 21 年 3 月 27 日から平成 21 年 5 月 11 日に公募した実績を残している。

次に産業化へのロードマップに注目すると、産業化には、①ニーズ主導によるサービス提供のための産産連携・バリューチェーンの創成、②安全の基準やルール等への製造・運用・使用の適合、③大量生産による普及価格を実現する製品販売リスク管理、の3つのボトルネックが存在し、その戦略的展開には、メーカーとユーザーのすり合わせを可能とする戦略展開のために上記①～③を円滑に展開しやすい B to B 分野から始め、次に B to C

図7 産業化に向けた2つのフェーズ



出典：第2回ロボット産業政策研究会（平成20年11月13日）

分野へと拡大する戦略を提示¹⁷⁾している（図7参照）。

ここでサービスロボットの市場戦略の課題に焦点を当てた場合、必要条件としての「ニーズへの対応課題」は、以下の3点である。

- 労働集約的な作業（e.g., 介護支援）、重筋作業、高度な技能が必要とされる作業において、絶対的に人材が不足しており、労働力の代替や技能の補助としてのロボット需要にどのように対応して行くか、その戦略的課題。
- 生活支援、家庭内の定型作業支援にも対応して行く課題。
- 屋内外でセンサ・ネットワーク等のインフラ整備が進展しており、この技術トレンドをどのようにサービスロボットに応用して行くか。

次に十分条件としての「市場拡大戦略」を考察した場合、以下の2点に要約される。

- 要素技術・基盤技術のモジュール化戦略の展開：ロボットの製造コストを抑え、容易にシステム化が可能であり、スマート化された屋内外のインフラを積極的に活用することにより、ロボットの「高い信頼性の確保」が可能となる。
- ロボット分野の国際標準化戦略の展開：今後、ロボットと人間との共存に関する国際的なルールづくりがポイントとなる。

以上の課題解決として、まず、その結論としてのサービスロボット導入策の4つのアクションプランを提示する。

- 従来にない新しい具体ロボットのための安全性試験施設を有するロボット安全検証拠点の整備、各種法令におけるロボットの位置付けや制度的課題を共有・検討する関係者参加型の検証環境の整備が急務である。
- 国際競争力を確保するためには、サービスロボット分野の開発成果を活かし、実証データの収集・蓄積によりロボッ

ト分野のISO規格を検討・提案することが日本の国家戦略として不可欠である。

- 複数のロボットメーカーの製品を組み合わせ、「人間とロボットとの共存社会」実現のために、システムインテグレーター及びエンジニアリング企業への支援が不可欠であり、ここでの戦略的ポイントは、技術や人的資源の継承・蓄積の支援である。
- 先進的なニッチ市場における事業を成立させるために、売上目標が大企業ほど厳しくはないベンチャー及び中小企業へのインキュベーション活動を支援し、メーカーとユーザーの円滑な戦略展開を可能とするビジネスマッチングが重点課題となる。

最後に市場創成に向けた政策課題解決として、以下の4つのポイントを提示し、本論を結ぶことにする。

- 市場発展のシナリオを見据えた技術の高度化と実用化のスパイラルアップと、その成果を活かした各種ロボットの安全の基準やルール等の策定¹⁸⁾(例：サービスロボットの国際規格、移動系ロボットのエレベーターや公道における移動ルール、自律型ロボットの事故時の責任分担、個人情報への対応、設計上の安全対策に加えた教習・運用・保険など)。
- ロボット普及のための支援策(例：介護・福祉分野のロボットの導入補助やロボットサービスの保険対象化など)。
- 国及び地方自治体の積極的なサービスロボットの導入。
- サービスプロセスにおける人間とロボットの分業システム化がはかられる人材の育成問題。

注

1) 以下参照。

(<http://www.robonable.jp/news/2011/02/07fujikeizai.html>)

今回の調査は、産ロボは「溶接・組立系」・「組立・搬送系」・「アクチュエータ系」・「クリーン搬送系」の4分野、計16品目を、サービスロボは「家事／生活支援」・「医療・介護・福祉」・「業務」・「農業」の4分野、計14品目を対象に実施した。産ロボ市場にはロボット用ケーブルやサーボモータなどの「構成部材」も含まれる。

産ロボ市場は、2009年の不況の影響により2008年比で40%以上縮小したが、2010年は一転して前年比69.0%増の3,618億円に回復。2008年並みの水準に戻った。自動車関連およびエレクトロニクス関連分野で設備投資が再開されたことと、中国市場で人件費の高騰を背景に、ロボットによる自動化が急速に進展したことを要因に挙げている。

2013年には、日本や欧米市場の緩やかな回復とアジア市場のさらなる成長を見込み、2010年比1.4倍となる4,996億円になると予測した。

個別のロボットで見ると、アーク溶接ロボットは、2010年は対前年比2.2倍の633億円、2013年は2010年比1.3倍の813億円に拡大すると予測。安川電機の双腕ロボット「MOTOMAN-SDA」シリーズを含む垂直多関節ロボットは、2010年は同1.4倍の41億円、2013年は同3.1倍の129億円、パラレルリンクロボットは、2010年は同1.6倍の64億円、2013年は同2.7倍の172億円に拡大すると予測した。

サービスロボ市場は、掃除ロボットを含む家事／生活支援が牽引し、2010年は対前年比73.8%増の113億円に拡大した。内訳は、家事／生活支援が59%、医療・介護・福祉が30%、業務が11%となった。医療・介護・福祉では手術ロボットが市場を牽引。2009

年11月28日にジョンソン・エンド・ジョンソンの日本法人が薬事法の承認を得た（日本地区の販売総代理店はアダチ）ことから、対前年比8.9倍の25億円で急拡大し、掃除ロボットに次ぐ市場規模となった。2020年にはサービスロボ市場全体で、2010年比5.8倍の650億円になると予測した。

個別のロボットで見ると、手術ロボットは、2010年は上述の通り対前年比8.9倍の25億円、2020年には2010年比9.6倍の240億円で、パワーアシスト・増幅スーツは同1.5倍の7.7億円、2020年は同22.7倍の175億円で拡大すると予測した。

手術ロボットについては将来的な保険適用により患者負担が軽減され、さらなる需要が見込まれることを、パワーアシスト・増幅スーツについては介護福祉やリハビリ用途に加え、重量物の搬送や工事および災害現場など様々な場面での潜在需要が高く、研究段階のシステムが実用化されることで市場拡大が見込まれることを理由に挙げた。

なお農業ロボットについては、特に収穫ロボットは2015年頃から市場が顕在化すると予測した。

●産業用／サービスロボット市場（2010年、2013年予測）

(2010年) (2013年予測)

産業用ロボット世界市場：3,618億円（対前年比1.7倍） 4,996億円（2010年比1.4倍）

サービスロボット国内市場：113億円（対前年比1.7倍） 650億円（2010年比5.8倍）

●調査対象分野と品目

《産業用ロボット》

- ・溶接・塗装系：アーク溶接ロボット、スポット溶接ロボット、塗装ロボット、バリ取りロボット
- ・組立・搬送系：スカラロボット、小型垂直多関節ロボット、垂直多関節ロボット（スリム・高速・双腕タイプ）、パラレルリンクロボット、卓上型ロボット、パレタイジ

ングロボット、取り出しロボット

- ・アクチュエータ系：単軸ロボット、直交ロボット、電動スライダ
- ・クリーン搬送系：ガラス基板搬送ロボット、ウエハ搬送ロボット
- ・構成部材：ロボット用ケーブル、精密制御減速機、ロボット用サーボモータ

《サービスロボット》

- ・家事／生活支援：掃除ロボット、セキュリティロボット、ホビーロボット
- ・医療・介護・福祉：パワーアシスト・増幅スーツ、セラピーロボット、手術ロボット
- ・業務：荷役・搬送ロボット、水中作業ロボット、受付・案内ロボット、ヒューマノイドロボット、施設点検ロボット、レスキューロボット、業務用セキュリティロボット
- ・農業：収穫ロボット

2) 以下参照。

(<http://www.yaskawa.co.jp/technology/column.html>)

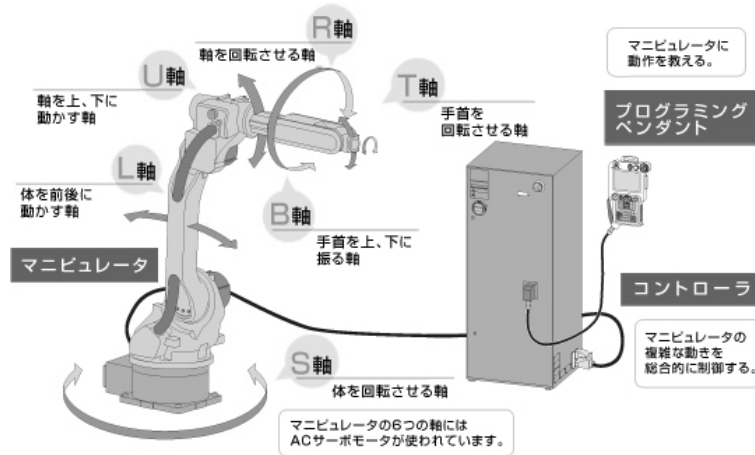
産業用ロボットは、動作・作業を行う「マニピュレータ」、マニピュレータを動かし、制御する「コントローラ」、マニピュレータに動作を教える「プログラミングペンダント」の3点で構成されており、安川電機ではこれら重要なコンポーネントを全て自社で開発・生産している（次図、参照）。

3) 以下参照。

(www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90324f18j.pdf)

①実用化への課題

- 1) 産業用ロボットでは、大スポンサーがロボットメーカーを育ててきたが、サービスロボットでも、このようなスポンサーが必要である（自動車業界、住宅業界等）。
- 2) 国や自治体がその役割を果たすことも必要：「サービスロボット市場創出支援事業」に対しては、特に事後のフォローアップが必要であり、国によるスパイ



ラル的な継続支援が必要である。

- 3) 「サービスロボット」という範疇に特権（例えば税制面での優遇措置等）を与えれば、普及の一助となるかもしれない。例えば、マイ Spoonには補助制度がある。
- 4) 技術的には、いきなりすべてを新技術で構成するやり方に対して、従来技術の一部を RT 技術で少しずつ置き換えていくというやり方がある（富士重工業の成功例）。
- 5) ウェブのブラウザのようなイメージで、ロボット技術を統合（integration）する技術も必要である。

②安全上の課題

- 1) 安全の問題は、いきなり普遍的なルールをつくることはできないので、個々の分野ごとに考えていく必要がある。
- 2) ロボットの導入には様々な危険性が伴うが、社会にそれを受け入れる風土があれば、ロボットは普及すると思う。（例：自動車）
- 3) ロボットの安全性の問題については、ロボットビジネス推進協議会の安全対策検討部会や保険部会で議論しているほか、（独）労働安全衛生総合研究所の

取り組みもある。

- 4) ロボットの安全問題については、ロボットビジネス推進協議会で議論している。

③標準化への課題

- 1) 今のところサービスロボットは、その定義も明確ではないが、いずれはサービスロボットの国際規格（ISO）ができるであろう。それに向けて我が国がリーダーシップをとることは意義があると思う。
- 2) サービスロボットの国際規格化に向けて我が国がリーダーシップをとることにモチベーションを持てるかどうかはやや疑問。

④制度整備上の課題

- 1) サービスロボットの中には、例えば案内ロボットや監視ロボットのように、個人情報扱うことになるロボットもあり、これから法体系の整備が求められるものもある。
- 2) 「医療・福祉」の分野は、多大な社会投資の必要性が明確にあるが、現在のところ、保険制度の中に位置づけられないという問題がある。
- 3) 医療・福祉・介護の分野には大きな潜在的ニーズがあるが、この分野へのロ

ロボット導入には様々な障壁がある。米国の手術用ロボット“da Vinci”も日本ではまだ審議中である。

⑤その他の課題等

- 1) 日本ロボット工業会の統計による産業用ロボットの市場規模 6,500 億円には AGV (Automated Guided Vehicle) 等が含まれていない。これらを入れると 7,500 億円位にはなる。サービスロボットの市場規模は、現在のところ産業用ロボットの 1 割にも満たない。
 - 2) 「産業用ロボット」という表現も、より正確には「製造業用ロボット」であろう。
 - 3) 機械産業記念財団の「少子高齢化社会における次世代ロボットの導入がもたらす社会経済効果」の作成に携わったが、ここではロボットが導入されそうな分野について、人手不足や労働力減少が必ず機械に置き換わると仮定した算定を行った。
 - 4) 産業用ロボット企業でも、安川電機等がサービスロボットに進出している。
 - 5) 医療ロボットの分野では、オリンパスやペンタックスが内視鏡や MRI を手がけているが、ここはシーメンスが大きなシェアを持っている。
 - 6) ロボットの開発に関して、海外では韓国が積極的な動きを見せている。
- 4) 以下参照。
- Wilson, B. (1990). *Systems: Concepts, Methodologies and Applications* (2nd ed.). John Wiley.
- Burgelman, R., A., C., M., Christensen, and S.C., *Wheelwright* (2004). *Strategic Management of Technology and Innovation*, McGraw-Hill Irwin.
- 松井憲一 (2005) 「ビズテック講座 1—製品が優れているだけではベンチャーに勝ち目

はない」松井憲一、日経ビズテック No. 005-MOT (Management Of Technology) を極める技術経営戦略誌、pp. 148-153.

- 松井憲一 (2006) 「技術系ベンチャーのイノベーション評価法」著、ダイヤモンド社刊
- 5) 米国 “Innovation America” [2004] の重点戦略 (1) 人材：イノベーションにとって最も重要な要素 [①多様性に富み革新的で熟練した労働力の創出のために国家的イノベーション教育の戦略を構築する、②次世代のイノベーターを育成する、③グローバルな競争にさらされる労働者支援策を構築する]。
- 重点戦略 (2) 投資：①先進的・分野横断的な研究を活性化させる、②アントレプレナーシップのある経済主体を増加させる、③リスクを積極的にとった長期的投資を強化する。
- 重点戦略 (3) インフラストラクチャー：①イノベーションを通じた成長戦略について国家的なコンセンサスを醸成する、②知的財産権に関する制度を整備する、③規格の統一等米国の生産能力強化のインフラを整備する、④医療分野をモデルとしてイノベーションのためのインフラ整備をケーススタディとして実施する。
- 6) マイスプーン [運営：セコム] 以下参照。
(<http://www.secom.co.jp/service/medical/myspoon.html>)
- セコムが開発した食事動作を介助するロボット「マイスプーン」。頸椎損傷など自力で食事動作をとれない人に対して、介助者なしでも自分で食事をとることができるようにした食事支援ロボット。
- 7) InTouch Health [運営：米国企業] 以下参照。
(<http://www.intouchhealth.com/>)
- 遠隔操作技術を核としてロボット介護サービスの分野にいち早く参入した米国企業。遠隔介護ロボットシステムの「コンパニオンシステム」は、遠隔操作されるロボット

- のカメラとディスプレイを通じて、ヘルパーや医師が遠隔地にいる被介護者とのコミュニケーションが可能。
- 8) レジーナ (Regina) [運営:(株)日本ロジックマシン] 以下参照。
(http://www.nsknet.or.jp/~morix_am/)
介護支援ロボット「レジーナ」。レジーナの操作はヘルパーが行うが、もっともヘルパーに体力負担のかかる力仕事(入浴介助など)をロボットが代行してくれる。
- 9) 以下参照。
(<http://www.yomiuri.co.jp/atmoney/news/20100920-OYT1T00822.htm>)
精密機器大手のキヤノンが、人工知能を備えた医療・介護向けの高機能ロボットの開発に参入することが20日、明らかになった。同社はすでに、デジタルカメラなどの自社生産ライン向けに、製品を組み立てる産業用ロボットを開発し、実用化している。こうした技術を応用し、ロボット事業を新たな収益源に育てる考えだ。自社にない技術が必要な場合は、M&A(企業の合併・買収)も活用する。キヤノンは、細かな部品をセンサで識別し、製品を組み立てる産業用ロボットの分野では世界最高水準の技術を持つとされる。2015年までに産業用ロボットを企業などに販売することを目指す。医療や介護向けのロボットはその延長線上で実用化を図る。
- 10) 以下参照。
(<http://www.cabrain.net/news/article/newsId/29837.html>)
- 11) 以下参照。
(<http://www.nikkei.com/tech/trend/article/g=96958A9C93819595E2E3E2E3848DE2E0E2EBE0E2E3E2E2E2E2E2E2;p=9694E3E7E3E0E0E2E2EBE0E2E3E2>)
- 12) 以下参照。
(<http://www.nec.co.jp/products/robot/trial/index.html>)
- 13) 以下開発に関する遡及データ参照。
①筑波大発ベンチャー2社、ロボットスーツ共同開発
[2011/1/14 6:03 ニュースソース 日本経済新聞 電子版 (<http://www.nikkei.com/>)]、以下同
筑波大学発ベンチャーのサイバーダイン(茨城県つくば市、山海嘉之社長)は高齢者らの歩行を助けるロボットスーツHALの新マニュアルを開発した。同じ筑波大発VBとの共同開発事業で、3次元CG(コンピュータグラフィックス)を活用し、利用者が3次元画像をパソコン上で動かして操作法を学べるのが特徴。同じ大学発ベンチャーが共同事業を進めるのは全国的にも珍しいという。
- ②キシヤ、「ロボスーツ」取次店にレンタル、医療機関を開拓 [2010/12/18 2:55]
医療資材商社のキシヤ(福岡市、楠田幸次郎社長)は筑波大学発ベンチャーのサイバーダイン(茨城県つくば市、山海嘉之社長)と歩行支援ロボット「ロボットスーツHAL」のレンタルを取り次ぐ契約を結んだ。キシヤは診療所から大病院まで幅広い医療機関を取引先に持っており、需要が見込めるとみた。2011年3月までに13件の利用をめざす。
- ③神奈川県、介護ロボを福祉施設に貸与12月まで無償で [2010/9/29 5:41]
神奈川県は介護向けのロボットのモデル事業を実施する。体の不自由な高齢者の歩行を補助するロボットなど4種類を借り、県内の特別養護老人ホームなど7施設に12月まで無償で貸し出す。来年3月までに介護施設のニーズなどを分析する。福祉分野でのロボット産業の育成につなげる狙いだ。貸し出すのはサイバーダイン(茨城県つくば市)が開発した「ロボットスーツHAL」のほか、パラマウントベッド(東京・江東)の「眠りSCAN」、知能システム



出所：出典：HAL の動作原理
(<http://www.daiwahouse.co.jp/robot/mechanism.html>)

(富山県南砺市) の「パロ」、ダブル技研の(神奈川県藤沢市) の「りーだぶる」の 4 種類。月内に計 24 台を 7 施設に貸し出す。

14) 以下参照。

(<http://www.nikkei.com/tech/ssbiz/article/g=96958A9C93819696E0EAE2959F8DE0EAE2E0E0E2E3E3E2E2E2E2E2;p=9694E0E5E2E3E0E2E3E2E1EAE4E2>)

15) 以下参照。

(<http://www.nikkei.com/tech/trend/article/g=96958A9C93819595E3E1E2E3E78DE3EAE2E3E0E2E3E3E2E2E2E2E2;p=9694E3E7E3E0E0E2E2EBE0E2E3E2>) [2011/1/24 7:00 ニュースソース 日本経済新聞 電子版]

16) 以下参照。

「生活支援ロボット実用化プロジェクト」に係る委託先の決定について [平成 21 年 6 月 29 日]

(<https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/koubo/EP/nedokoubo.2009-06-23.1448646217/>)

事業概要：

我が国では、少子高齢化が急速に進展しており、労働力の不足が懸念される。このため、ロボット技術は産業分野だけでなく、介護・福祉、家事、安全・安心等の生活分

野への適用が期待されている。しかしながら、生活支援ロボットの安全性技術に関する国内外の規格等が未整備であるために、民間企業の独自の取組では技術開発も産業化も加速されないことから、安全性基準に関する国際標準等の整備が求められている。

本プロジェクトは 5 つの研究開発より構成され、生活支援ロボットとして産業化が期待されるロボットを対象にプロジェクト参加メンバーが密接に連携しながら本質安全・機能安全に係る試験を行い、得られた安全性等のデータを蓄積・分析して具体的な安全性検証手法の研究開発を実施し、さらに国際標準化を目指すものである。期間は平成 21 年度から平成 25 年度までの 5 年間、事業費は総額約 76 億円(予定)である。

17) 以下参照：第 2 回ロボット産業政策研究会(平成 20 年 11 月 13 日)資料。

18) 以下参照：安全性確保に向けた制度設計案

○フーズ 1

- ・ISO12100 に沿ったリスクアセスメントによる危険源リストアップと本質設計安全の導入。
- ・安全性ガイドラインの策定。

○フーズ 2

- ・製品化するための課題を解決。
- フーズ 3
- ・リスクアセスメントの取りこぼしを検証し、運用や保険によってリスクを軽減する戦略展開。

参考文献

ジョージ・A. ベーキー [George A. Bekey]
(2007) 自律ロボット概論, 松田 晃一 (翻訳), 毎日コミュニケーションズ。
一般社団法人日本ロボット学会(2011) ロボットテクノロジー、オーム社。
科学技術振興機構研究開発戦略センター
(2009) 21世紀の科学技術イノベーション—日本の進むべき道、丸善プラネット。
梶田 秀司 (2005) ヒューマノイドロボット、オーム社。
長江庸泰 (2008a) 「日本型イノベーション戦略の変遷」、韓国日本近代学会『日本近代学研究』、vol.19. , pp 293-302.
長江庸泰 (2008b) 「日本型イノベーション戦略の探究 — 産学官連携の推進 —」、韓国日本近代学会『日本近代学研究』、vol.21. , pp 269-281.
長江庸泰 (2009) 「日本型イノベーション戦略の探究 — 大学発ベンチャー・ビジネス —」、韓国日本近代学会『日本近代学研究』、vol.25. , pp 249-262.
長江庸泰 (2010) 「日本型イノベーション戦略の探究 — 持続可能な社会構築への科学政策 —」、韓国日本近代学会『日本近代学研究』、vol.30. , pp 359-375.
Burgelman, R., A., C., M., Christensen, and S.C., Wheelwright (2004) . Strategic Management of Technology and Innovation, McGraw-Hill Irwin.
Henry W. Chesbrough, (2003) . Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology, Harvard Business School

Press.
Katz, Michael L., Shapiro, Carl, (1987).
“R&D rivalry with licensing or imitation,” American Economic Review 77 (3) , p402-420.
Kline S, and Nathan Rosenberg, (1986) . The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth, National Academy Press, Washington, DC.
Kline S, (1991) . Japanese /American Technological Innovation, Elsevier, New York.
Schumpeter, J. A. (1926) Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung, 2. Aufl.
Schumpeter, Joseph, 1934. The Theory of Economic Development, Harvard University Press, Cambridge.
Reinganum, Jennifer F., (1983) . “Uncertain innovation and the persistence of monopoly,” American Economic Review 73 (4) , p741-748.
Reinganum, Jennifer F., (1985) . “Innovation and industry evolution,” Quarterly Journal of Economics 100(1), p81-99.
Richard Schonberger and Edward Knod, (1994) Operations Management, Boston: Irwin.
Robert S. Kaplan and David P. Norton, (2000) . The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment, Harvard Business School Press.
Robert S. Kaplan and David P. Norton, (2004) . Strategy MAPS, Harvard Business School Press.
Toyama, D. and Niwa. K., (2001) . “Evaluating Japanese National R&D Projects Using A Lifecycle Model,”

PICMET' 01 Proceeding, CD-ROM.

Watts, R.J. and Porter, A.L. (1997) .

“Innovation forecasting,”
Technological Forecasting and Social
Change, v56 p25-47.

Wilson, B. (1990) .Systems: Concepts,
Methodologies and Applications (2nd
ed.) . John Wiley.