



ロボット活用ソサエティ5.0実現へ向けた 現場からのアプローチ – きめこまか量質転換改善集積活動 –

佐藤 知正*¹ · 松日楽 信人*²

An Approach from Genba(On-site) to realize the Robot Utilizing Society5.0 – Activity Accumulation which brings about Changes from Quantity to Quality –

Tomomasa SATO*¹ and Nobuto MATSUHIRA*²

Abstract– This paper proposes an approach to realize robot utilizing Society5.0 based on the integration of the fine improvement (Kaizen) activities that the Japanese are good at. In Japan, we have realized so far not only industrial robot utilization society so far but also unique useful convenience stores as well as accurate and reliable public railway networks equipped with shops in the station. Taking advantage of these experiences, the paper proposes that we should achieve “quality changed new value-added system utilizing robot” by accumulating onsite improvement activities, and that export it as a Robot Value Chain.

Keywords– Robot Utilizing Society5.0, Fine improvement activities, Exportation of Robot Value Chain

1. 緒論

(ソサエティ5.0) ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間(現実世界)とを融合させた取組により人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」[1](p.11)、狩猟農業工業情報につぐ第5段階の超スマート社会[2](p.3)が提唱され、その実現をめざして研究開発が開始されている。ソサエティ5.0は、アメリカ発のIoTやドイツ発のインダストリー4.0とともに重要な方向性であり、社会づくりを視野に入れた科学イノベーションの取り組みとして、戦略的に、世界と連携して推進することが求められる。

(量より質への転換を可能とするきめこまか改善集積活動)日本人は、現場改善の積み重ねによって、改善の量を、製品や工程サービスの質転換にまで高めるきめこまかな継続活動が得意である。日本車、コンビニエンス

ストア、駅なかをもつ公共交通網、宅急便など枚挙にいとまがない。この強みを、ソサエティ5.0実現に活かさないだろうか。

(ロボット活用ソサエティ5.0)超スマート社会実現においてロボットの活用は重要な手段である。言い方を変えると、ソサエティ5.0はロボット活用超スマート社会である。その実現には、ロボットの使いこなしがポイントとなる。ロボット活用に関して、日本はこれまで産業ロボット活用社会を世界に先駆けて構築した経験を有している。これは、自動車や電機を中心としたユーザー企業とロボットメーカーとが連携して、生産現場においてロボットを利用する工程改善を積み重ね、ロボットの有用性、信頼性、作業性を高めて、産業ロボット活用生産性社会、ロボット大国日本を実現した経験である。同様に、きめこまかな改善活動を継続集積することで、ソサエティ5.0実現に取り組むことは、有効であると考え

(ロボット活用ソサエティ5.0実現へ向けた現場からのアプローチ)そこで本稿では、ロボット学とソサエティ5.0について、“ロボット活用ソサエティ5.0実現へ向け

*¹ 東京大学名誉教授 千葉県我孫子市つくし野 2-16-7

*² 芝浦工業大学機械機能工学科 東京都江東区豊洲 3-7-5

*¹ The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

*² Shibaura Institute of Technology, 3-7-5 Toyosu, Koto-ku, Tokyo

Received: 8 January 2018, Accepted: 13 February 2018.

た現場からのアプローチ”と題して、日本人の得意とする、『きめこまか量質転換改善集積活動』の観点から、生産と生活の革新を目指したロボット活用ソサエティ5.0の実現に向けたアプローチについて述べる。第2章で産業ロボット大国日本へのこれまでの経験を整理し、第3章でそれをさらに発展させるための生産革新への現場からのアプローチを述べる。その一方で、第4章では生活の革新に関しての世界の状況を整理し、第5章でそれを踏まえた現場からのアプローチを述べる。第6章は結論である。

2. 産業ロボット大国日本の経験と科学技術イノベーション

2.1 産業ロボット大国への道

1962年は、産業ロボットがGMのダイカスト工程に導入されバーサトランが発売された年であった。そして1970年代以降、日本のロボットメーカーや自動車、電機会社はその将来性に着目し、国産化と活用に力を注ぎ、産業ロボット大国日本を築いた。経過を文献[3]から引用する。

(1970年代前半) ロボットメーカーが産業ロボットに着目した理由は、1) 安定受注のためには繰返し受注可能な装置の商品化が望まれる、2) 機械ものだけでは付加価値が少なく将来事業の魅力が少ない、3) 情報化の時代が来る、として電子機器応用製品が今後の方向である。ロボットメーカーは、ユーザー企業と連携をとりながら、産業ロボットの技術開発と実用化、商品化に力を注いだ。1970年に第1回産業ロボット展が開催され、自動車ボディのスポット溶接、パレタイジング作業、部品の工作機械へのロードアンロード作業などの適用事例をはじめ多くの可能性が展示された。このような産業ロボットの会社における商品化の努力と並行して、業界としての展開をはかるために、つまり産業ロボットの産業化に関して、1971年に産業ロボット懇談会(35社)を発足させ、それを母体として1972年には日本産業用ロボット工業会が設立された。その後、1974年にかけてRXプロジェクト(通産省からの補助4億円)でエンジン組立の研究が実施され、その後特に、国内各自動車会社でのスポット溶接適用、単車パイプフレームのアーキ溶接、塗装、NCとの協調作業、工作機械間の搬送、ガラスハンドリング、耐火れんがのパレタイズと、今日の主要適用の多くが手がけられた。ここまでを振り返ると、いくつかの注目点があることに気が付く。それは、1) 国産ロボットのスタートが、具体的な産業ニーズに答える工夫や社会的問題への解決志向ではなくてビジネス企画、商品企画の観点から行われたこと。2) 初期の段階で技術シーズが低いにもかかわらず、今日の産業ロボットの主たる適用

分野の多くが実用化されたこと。どちらかといえばシーズ型の開発であった。まさに、従来にない概念の生産機械に対する期待とそれに賭けたパイオニア達の気概が感じられる。

(1970年代後半以降) しかし、その後のロボットビジネスの道のりにはいくつかの困難があった。まず、1) シーズ型製品の常として用途開拓が必要だったこと、2) 商品の完成度が低く、用途別に機能開発・性能向上が必要だったこと、3) 信頼性が低く故障間隔の低減、耐久性向上に多大の労力と時間を必要としたこと、4) システムとして機能させるインフラがほとんどなく、ユーザーが大手に限定され、メーカーとともに一からの積み上げを必要としたことなどが上げられる。産業史観的に見れば、新しい生産機械が市場、顧客に浸透していく準備期間ともいべき時期であったが、メーカー側の開発者、ユーザー側の導入担当である生産技術者の切磋琢磨の蓄積、つまり、ロボットを活用したきめこまかな工程改善の積み重ねが、アメリカではなし得なかったロボットの使いこなしの質転換をもたらし、その後の日本をロボット大国に押し上げたエネルギーになったことは疑いがないことである。しかしながら1974年に起こったオイルショックは、産業界、特にロボットの最大ユーザーであった自動車産業を大きく揺さぶり、ロボットの導入は中断され、ロボットビジネスは危機に陥った。その一方で同時に生じたインフレ経済による賃金の上昇は、国際競争力が不可欠であった産業界を痛打し、その解決の一つとして、次なるロボットの活用に向かわせることになった。この時期を経て1980年代に入るや、ロボットは再び脚光を浴び、いわゆるロボット元年(1980年)を迎えることになる。日本ロボット学会が誕生するのは、まさに1983年のことである。以降、日本の産業ロボットの稼働台数は世界一を保っている。

2.2 科学技術イノベーション

科学技術イノベーション(STI)の必要性が声高に叫ばれている。本節で、科学技術イノベーションとソサエティ5.0の関係を整理しておきたい。イノベーションを技術革新と訳すのは誤訳である。この誤訳は、『科学技術イノベーションは、技術開発さえ実施すれば実現する』との誤解を生むからである。イノベーションは社会変革であり、科学技術イノベーションは、科学技術による社会変革である。ソサエティ5.0を実現することは、とりもなおさず、ICTに着目した科学技術イノベーションを実現することである。科学技術による社会変革を成し遂げるには、単に科学研究や技術開発を実施していれば事足りるものではない。技術づくりと社会づくりおよび人づくりの活動がともなって実現されると考える。科学技術イノベーションにおいては、次の8つのプロセスが、

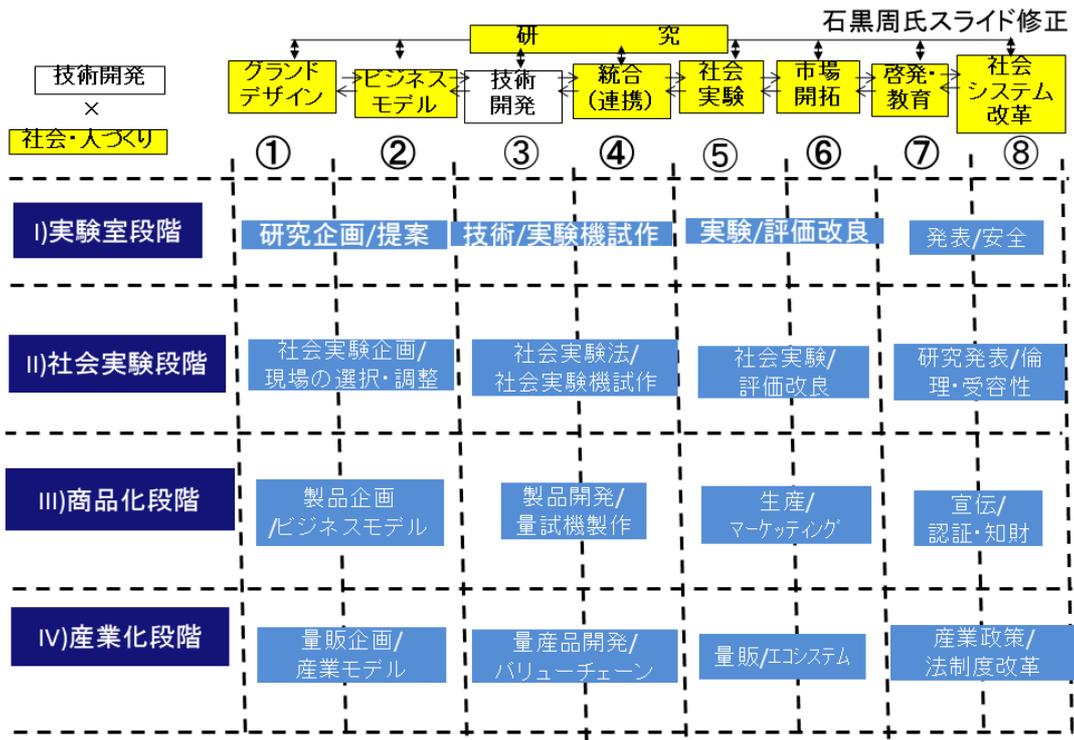


Fig. 1: 科学技術イノベーション (STI) に含まれる活動 (STI 4 × 8 マトリクス)

それぞれ研究と結びついて並行的に実施されることが必須要件である [4]. それらのプロセス群 (Fig. 1 の最上段) は, a) グランドデザイン構築プロセス: 社会変革には時間がかかるので, 確固たるグランドデザインがないと迷走してしまう. b) ビジネスモデル構築プロセス: 資本主義の世の中では, 活動がビジネスとして成立しないと継続性が保証されない. c) 技術開発プロセス: いうまでもなく技術開発は, 科学技術イノベーションを実現する有効な手段であり, 革新技術は, 科学技術イノベーションを加速する. d) 前述の a)~c) を統合する統合プロセスあるいは統合システム構築プロセス: 前述したグランドデザインとビジネスモデルや技術開発という異質なものを統合して製品や商品を開発し実現する必要がある. e) その社会実験プロセス: 製品や商品を社会に導入してみてその受容性や商品価値を確認し高める必要がある. f) 市場展開開拓プロセス: マーケティング活動である. g) 啓発教育プロセス: 新しいサービスを含む成否や商品を普及させるためには啓発活動や, 教育活動が求められる. 最後に, h) 関連社会ルール改革プロセス: 規制緩和や規制改革などの活動も科学技術イノベーション実現においては, 重要なファクターである.

さらに, 科学技術の展開は, ロボット分野では, いわゆる Toy World での実験室における研究から始まり, 実世界, 社会へと活動の場を広げてきた. そこに含まれる段階は, I) 実験室内で実施される実験室段階 (技術マネジメントが求められる), II) 研究者に好都合な限

定された社会 (社会実験マネジメントが求められる) で実施される社会実験段階, III) 一般の社会やコミュニティで実施される商品化段階 (ロボットの事業化などの社会実装マネジメントが求められる), IV) 広く社会に普及するために実施される産業化段階 (社会浸透や産業化マネジメントが求められる), に大別される. この8つのプロセスと4つの段階を横軸と縦軸に整理した4×8マトリクスとそれぞれの要素に含まれる活動を整理したものが Fig. 1 である. 科学技術イノベーションを現実のものとするためには, 少なくともこのマトリクスの各要素に記載された活動が実施され, 効果をあげることが必要要件であると考えられる.

2.3 ロボット大国の経験とソサエティ5.0 への取組み

産業ロボット実用の初期段階で日本企業は, 産業ロボットの内製化, 工場での使いこなしを通じての有効性の追求とその商品化, さらに一企業の事業としてのみでなくロボット工業会設置などの活動を通じて国としての産業化に成功した. その活動全体を Fig. 2 に整理する. これらの活動は, 単なる産業ロボットの技術開発のみではなく, 溶接や塗装, 組み立てといったロボットを使いこなしサービスを実現し事業化するとともに, ロボット工業会を設立するなどの社会の制度づくりを含む社会活動による産業化をも, 工場現場での実践活動をベースとして実現するものであった【モノ+サービス+シクミづくり】. そこでは, 異質なステークホルダーが互いに刺激

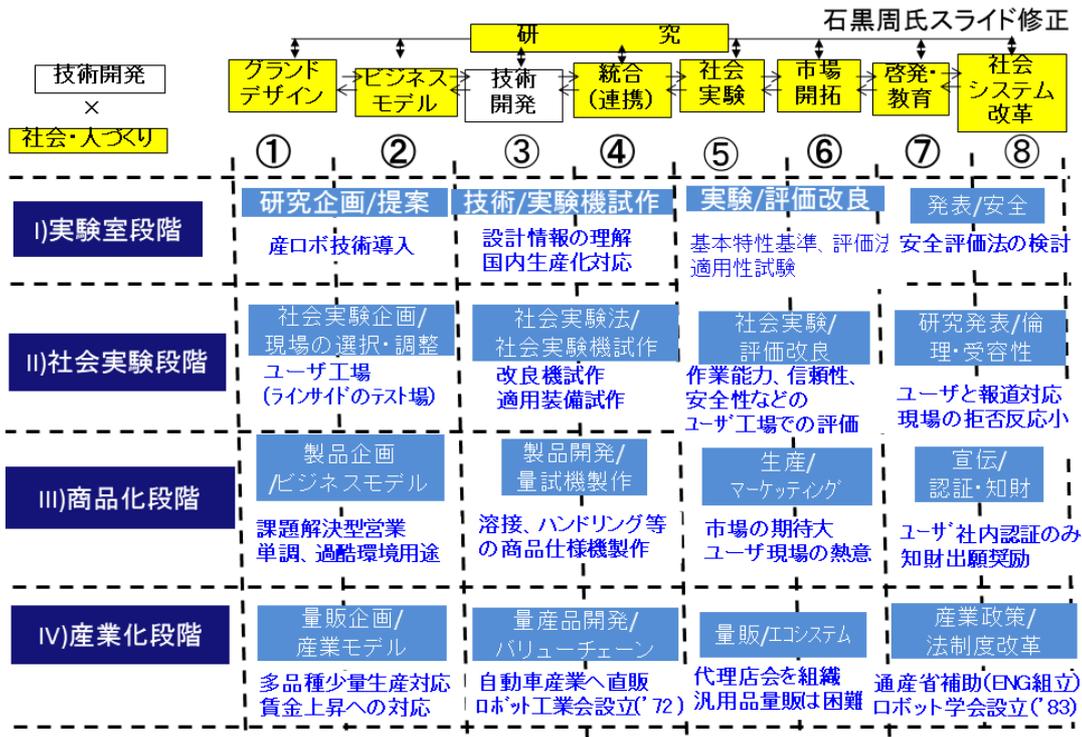


Fig. 2: 産業ロボットによる製造業の革新活動

しあいながらお互いの成果を利用しつつ、重層的に活動し、総体として産業ロボットの技術開発、実用化、商品化および産業化を成し遂げた【メーカーとユーザーを含む多くのステークホルダの現場を介した協調的改善活動とその体制づくり】。その展開は、必ずしもこれらの段階順にシーケンシャルに起きたものではなく、むしろ、重層的に発生し、実施されたものであった【4×8マトリクス要素プロセスの重層実施】。そこでの研究は、顧客現場での具体的な課題の解決に貢献するロボットの考案・商品化を目的としており、最終のできあがりに向かって持てる限りの知見と要素を動員してビルドアップしていくプロジェクトのようなものであった（以上文献[3]による）【社会実装アプローチ】。本稿では、このように研究開発と社会実装とを並列的にすすめるアプローチを、社会実装アプローチと呼ぶ。

ここまで概観してきたように日本は、産業ロボットを活用するという意味で革新的生産社会の構築に成功した。しかしながら、その当時は、ICTも未熟であり、現在その技術環境、経済環境は激変している。その状況を踏まえて科学技術基本計画[1]はp.19で、ものづくりコトづくりの競争力強化に関して、以下のように指摘している。『製造業は、我が国の経済を支える基幹産業であるが、安価な生産コストを武器とした新興国の追い上げや、飛躍的発展を遂げているICTを利用して国家イニシアチブを強力に進める欧米主要国のグローバル戦略

などにより、これまでの競争優位性が脅かされている。このような中で、新たな生産技術とICTとの融合により、多様化するユーザーニーズに柔軟に対応するものづくり技術や、ユーザーに満足や感動を与える新たなビジネスモデル（コトづくり）が求められている。このため、ICTを活用し、サプライチェーン全体にわたりネットワーク化を進めるとともに、顧客ニーズから、製品企画、設計、生産、物流、販売、保守に至る様々なデータを、ビッグデータ解析技術やAI技術を駆使して解析・活用し、顧客満足度の高い製品やサービスを提供できる新しいものづくり・コトづくりを推進する。その際、我が国のものづくりを支える中小企業の活力向上や素材産業の競争力強化も併せて実現する。これは、きめ細かな改善をさらに情報化した社会の中で活かすためには、ICT化、IoT化、AI化、ビッグデータの活用が必須で、前述した4×8マトリクスの実施においては、それらのコア技術と基盤が必要となることを意味している。

3. 産業ロボットによる生産の革新とソサエティ5.0

3.1 産業ロボットの展開

産業ロボットによる生産革命の新展開には、量的なスケールメリットが活かせる場合の完全自動化と、人との共存を活かせる場合の協働ロボット導入の2つの方向性

がある。完全自動化は主に大企業が、そして協働ロボット導入は中堅中小企業が主な展開分野である。

変種変量生産においても産業ロボットによる完全自動化が有効である。再度の産業ロボット活用の質転換を実現する方向性は、産業ロボットをさらに高度に使いこなす大企業の生産技術部が推進し、それを、意識の高い現場技術者が支える。具体的には、10台を超えるマルチロボットが、ロボット生産専用環境に密集配置され、オフラインティーチングを基本として、変種変量生産を可能とするものである。この汎用的な高品質作業技術は、完全全自動化によりものづくりの国内回帰をもたらす。また、One-off manufacturing として、後述する一品物（いっぴんもの）の個人機械や個別機械づくりを可能とする。

もう一方の中堅中小企業への協働ロボット導入の方向性は、生産ライン構築を生業とするシステムインテグレータ（SIer）の力を借りて人と混在する作業環境での産業ロボットである協働ロボットの導入を進めるものである。昨今の人手不足や働き方改革の政策が後押ししている。技術的には、ロボット活用生産ラインを容易に構築できる簡易型生産ライン構築ソフトウェア、協働ロボットのユーザーインターフェースや柔軟安全性がキーとなる。またその普及、産業化には、SIerのみならずユーザー育成や、ロングテール市場の掘り起こしがキーとなる。

3.2 協働ロボットの導入事例と価値創出

本節では、中堅、中小企業への協働ロボット導入の好事例として、相模原市の活動を紹介します。模原市では、同市の長を生かした産業政策の一環として、2014年度より産業ロボット導入事業を、ロボット導入に有効な Fig. 3 に示す体制を構築しつつ実施している。ここでは、ロボットメーカーがハードウェアロボットプラットフォームを提供し、ソフトウェアハウスがロボットのアプリケーションソフトウェアを提供、それに加えて金融機関などのサービス事業者がロボット導入の潜在ユーザーを掘り起すとともに投資を行い、それに大学などの研究教育啓発機関が SIer の育成、つまりロボット導入分野に進出したい自動機械の製造業者などを OJT により育てながら、産業ロボットの導入事業を推進している。現時点では、導入事例数は 25 であるが、これを自立的に持続展開可能となる 100 にすることを目標に、事業を展開している。そこに含まれているプロセスを Fig. 4 に示す。

Fig. 4 の潜在ユーザー掘り起しに金融機関が重要な役割を果たす理由は以下のとおりである。つまり、地方銀行や信用金庫にとって地域の中小企業は、日頃より密な関係を保っており、どの企業がどの程度人手不足で、どの程度の技術力があり、経済状態や投資効果などを熟

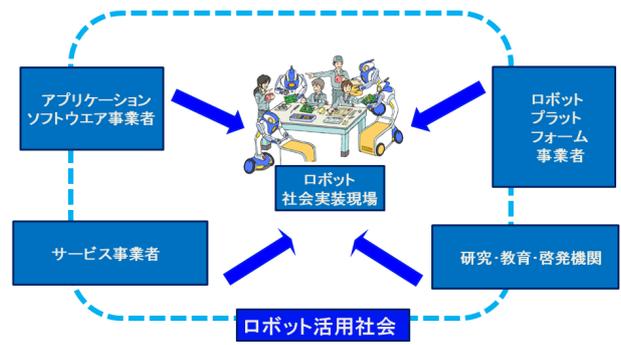


Fig. 3: ロボット活用社会構築に有効な体制

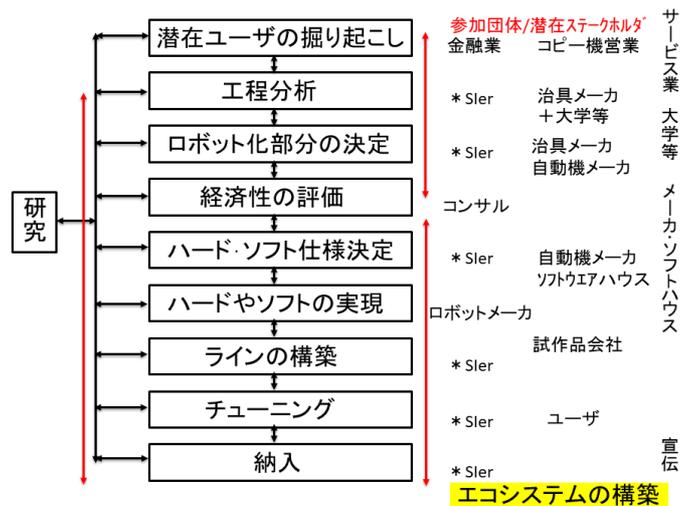


Fig. 4: 協働ロボット導入プロセス

知しているからである。また、相模原市には、大規模な SIer は存在しなかったが、例えば治具や自動機を製造している自動機メーカーの中には、ロボットの将来性に着目してロボットの SIer として活動の場を広げようとしている会社が存在している。そのような会社が、市や市が雇用したコーディネーターと連携しつつロボット導入を希望する事業所に産業ロボットを導入する産業ロボット導入支援事業に参画することで、その経験を活かしながら SIer として事例を増やしつつある。このように、産業ロボット分野では、いわゆる潜在ステークホルダーが少なからず存在している。また、相模原市が開催した、SIer のネットワーク構築のための産業ロボット SIer 活用フォーラムが活況を呈したり、国レベルでも、SIer 事業者による協会設立のための“FA・ロボットシステムインテグレータ協会設立準備会”が機械振興会館で盛況に実施されるなど、1980年代の大企業への産業ロボット導入勃興期の状況が、協働ロボットの中堅中小企業導入分野で起きている。

以上のような事業を同市が推進することで、次のこ

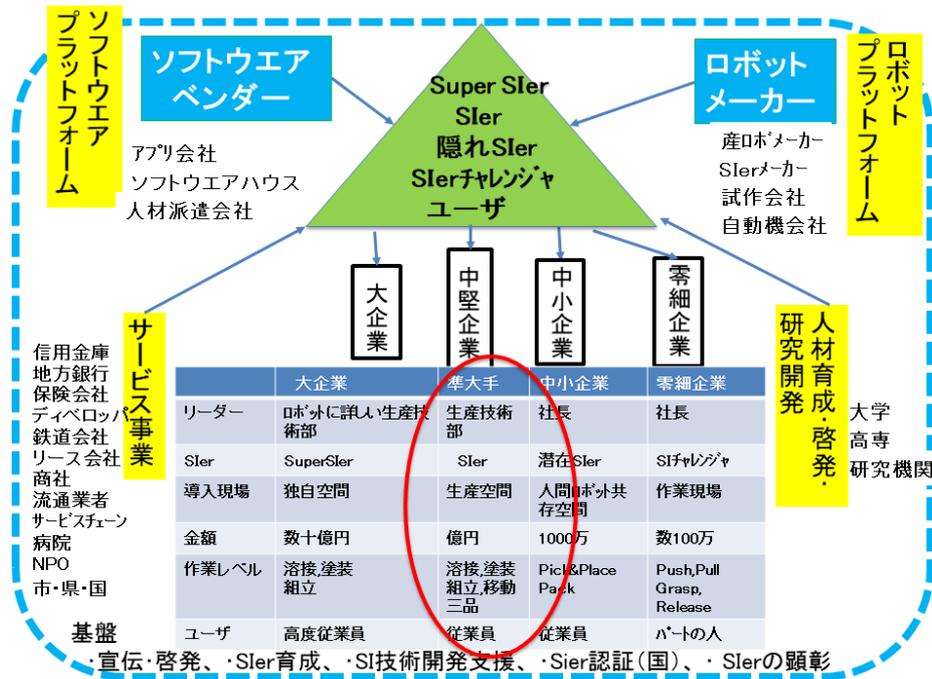


Fig. 5: 協働ロボットが構成するロボットバリューチェーン

とがわかってきた。1) 中堅企業でも、まして中小企業になるとロボット導入に関しては初心者である。言い換えると、中堅や中小企業の生産技術部では、ロボットに熟知した人は多くはなく Sler が不可欠である。2) 産業ロボットの導入には、その効果の見極めがミソであるが、協働ロボット導入を考える事業者には、その判断ができる程度に成熟した業者が多い。3) 人手不足対策、高付加価値化の決断がその決め手となるのが最近の傾向である。このようなことが可能になる理由は、以下のように整理される。a) 相模原地域には、自動車・電機・機械・金属等、雑多な産業が集積していること。b) 市内及び周辺の大手企業に鍛えられた、技術力の高い器用貧乏な設備会社が多く存在する。つまり、相模原市には専用機メーカーが多数存在するため、専用機の前後工程をロボットを活用して自動化し、これをパッケージ販売することも可能にできる。c) ロボットメーカー空白地帯であるため、特定ロボットメーカーの影響を受けずに、省力化、高付加価値化を可能とするロボット化の担い手である Sler を育成するのに有利なこと。d) 大都市東京（都心）の周辺地域であり、都心が必要とするモノ、機能の供給基地である。以上の帰結として、ロボット導入は中堅中小企業にとって大きなビジネスチャンスであり、きめこまかな仕事の仕方の改善蓄積が新たな好機となっていることで、協働ロボットの現場からの導入の事例が増加しているのである。

Fig. 5 は、このようにして構築されつつあるバリューチェーンを示したものである。

(実世界での価値創出) 工場においては Fig. 6 に示すように様々な作業が実施されている。大企業の工場では図中赤円枠で示したように、レベル1の“組み立て”，レベル2の“溶接”，レベル3の“塗装”の各作業にかかわるロボットが、すでに活躍している。一方、中小企業では、4と5レベルの“盛り付け”や“つめる”のような柔軟物をふくむ三品（食品、薬品、化粧品）のハンドリングが試みられている。将来的には、図中青枠で示した6レベルの“Pick”や“Place”の作業ロボットや、ひいては“Move”のような基本的で単純な動作でも、人の介在、補完を許容する協働ロボットならば三ちゃん工場で、有効に利用されるようになるであろう（図中の青丸枠）。このようなロボットやIoT機器の利用は、Fig. 6 に示した作業プロセスの改善集積活動を通じてプロセスの革新をもたらす。科学技術イノベーションというと、スマートフォンのようなプロダクトイノベーションを想起するが Fig. 6 に示した作業のプロセスイノベーションも忘れてはならない。この一覧表の動詞群のなかには、丸枠がついてないもの、つまり、まだロボット分野では取り組まれていないものも多く、将来性のある分野であるといえる。

(サイバー世界での価値創出) 生産現場に深く根ざし、改善を集積し、それを生産の革新と結びつける過程においてのみ、そこから価値あるデータや知識が集積される。このようにして得られた価値あるビッグデータが、次のようなサイバー世界での価値創出を可能にする。現時点では、ビッグデータのコンテンツとしての資産化、



Fig. 6: ロボットによる作業プロセスイノベーション世界

つまりデータからノウハウや知識を抽出して価値を創出することが行われているが、将来的には、ビッグデータからプロセスモデルを構築あるいは学習し、そのプロセスモデルを工場の運用財として利用することで価値創造することになる。

現場 (中小企業+あるいは大企業のロボット未導入現場) での、最近+近未来のロボットとビッグデータの活用による改善活動の集積は、人を、これまでの道具を使う人からロボットという道具と共に働く人に変える。これがロボットによるプロセスイノベーションの有する本質的な意義である。そうなった場合、当然 Fig. 5, Fig. 6は、書き替えられることになる。

3.3 生産現場からのロボット活用ソサエティ5.0

科学技術基本計画 [1] の p.19 には、ものづくりコトづくりの競争力強化に関して 2.3 節に引用した文章に続いて『具体的には、我が国の強みである生産技術の更なる高度化に加え、製品・サービスを融合した商品企画、潜在的ニーズを先取りした新たな設計手法、ニーズに柔軟に対応可能な新たな加工、組立て等の生産技術、さらにはそれらを相互に連携させるプラットフォーム等の開発を推進する。』と記述している。Fig. 6 に示した作業プロセスのイノベーションが、ここでいう生産技術やプラットフォームから生まれてくることが望まれる。さらに基本計画の文章は、次のように続く。『加えて、中堅・中小企業の活力向上のため、サプライチェーン上の様々なデータの利活用、熟練技術者の匠の技の活用、ロボッ

ト・工作機械の知能化等を推進する』。このような方向性は、Fig. 5 のバリューチェーンの構築を支援するもので、3.1 節や 3.2 節で述べた生産現場からのアプローチにより追及してゆくことが、日本の得意分野を活かしたやり方として有効である。

4. 欧米におけるサービスロボット活用社会

ここまで生産の革新について述べてきたが、以降 4, 5 章では、生活の革新の観点から、サービスロボットについて記述する。

4.1 米国におけるサービスロボット活用社会

(ロボット・スタートアップが多数生まれ成長する社会) シリコンバレーでは、次に示すようなロボット活用社会が実現しつつある [5,6]。米国では、The Robot Report というウェブサイトが世界中のスタートアップの情報を集めており、このサイトによると、シリコンバレーやボストン、ピッツバーグ、アトランタに多くのスタートアップが存在する。中でも、シリコンバレー周辺には、ロボット開発に取組むスタートアップが多い。その数は、100 社とも 1,000 社とも言われている。現在は、①自走技術、②ビジョンテクノロジー (対象物を三次元で認識するための技術)、③インターフェース (スマートフォンのように簡単にロボットを操作するための技術) の 3 つが、シリコンバレーにおけるロボット技術のキーワードと言

われている。そして、最初に倉庫やホテル、病院、老人ホーム、学校等、想定される各用途におけるニーズを掘り起こし、ビジネスとして成り立つ見込みのある用途に特化して製品開発する手法をとっている。日本は、こういったニーズ・ファインディングや市場の絞り込みの面でアメリカに劣っている。投資側であるベンチャーキャピタルについても、従来のソフトウェア開発だけではなくハードウェア開発にも関心を持ち始めており、米国では近年、ロボット開発企業への投資も盛んになってきている。さらに、後述するハードウェア・アクセラレーターやクラウドファンディングによる投資も加わり、ロボット開発企業への投資額は急激な増加傾向にある。シリコンバレーのスタートアップには、生活支援ロボットや医療ロボットを開発する企業が多く、実用化されている商品も多い。

(人的ネットワーク) ハードウェア・アクセラレーターとはスタートアップの事業化を支援する事業者である。ハードウェアの開発では、ソフトウェア開発に比べ多くの資金が必要であることや、試作を経て製造まで結びつける必要があること等、事業化に多くの課題があるため、その課題解決をサポートするハードウェア・アクセラレーターという事業者の存在は重要である。ハードウェア・アクセラレーターでは、一般的に、10~15社の技術者が入る仕事場を提供され約3か月にわたって専門教育を受けることができ、設計、マーケティング、法律、広報等、事業化のために必要な多くのことについて約100人いる専門家に相談することができる。また、未公開株7%程度と引き換えに10万~15万ドルの資金提供を受けることができ、3か月の教育プログラムの終了後には、投資家に対して約10分間でビジネス、製品、技術力等についてプレゼンをする場が設けられ、投資を受けるチャンスが与えられる。シリコンバレーのロボット活用社会の特徴の一つとして、シリコンバレーロボティクスというNPOが開催するミーティング、セミナー、パーティー等、地元の交流会が盛んであることが挙げられる。ロボットに限らずアメリカ人は交流会の開催を好む傾向があり、中学生からNASAの研究者まで多くの人が展示、参加している。人的ネットワークの集積地域としてのメリットは大きい。

このようにサービスロボットの社会実装においては、ある特定地域において、その特色を活かしたロボット活用先進地域を創出することが重要である。

4.2 デンマークにおけるサービスロボット活用社会の構築

福祉国家であるデンマークにおけるサービスロボット活用社会を概観する。高齢化による労働者不足の解消と福祉におけるサービス品質の向上の二つがロボット活用

の理由である。オーデンセ市の具体例をみてみよう [5, 7]。オーデンセ市では高齢化に加えて、高い失業率、厳しい財務環境、増加する慢性疾患患者などの福祉行政課題が顕在化し、これら課題に対し、福祉サービレベルを下げるか、あるいは新しいサービスモデルを創出するかの選択を迫られた。社会保障先進国としてのあり方を議会で議論した結果、「新技術を活用し、新たな価値を創出し、福祉サービスのリストラを行い、新しいアプローチを導入する」改革を実行する方針を打ち出し、2008年から政府が具体的なアクションを採り始めた。その結果、高度なロボット技術を国外から導入するべく、盛んに実証実験などに取り組む結果となったのである。

具体的には、同市では、技術開発の初期段階からユーザー、自治体、作業療法士など様々な立場の人々に実証実験に立ち合ってもらい、意見を取り入れる体制を実現し、自宅、福祉施設、病院、かかりつけ医など異なる環境におけるロボット利用の評価を互いに関連させながら一度に行うことができるシステムを構築している。つまり、オーデンセ市と協力関係にある日本企業にとっては、病院、大学、行政機関等と広くつながることができ、ユーザーニーズが分かること、新しいアイデアを助言してもらえること、利便性をテストできること、大規模なテストができること、社会実装の評価と支援をもらえることなどのメリットが得られる。例えば、ウォシュレットを導入した場合に、プライバシー保護、感染症予防や労働環境改善になるだけでなく、福祉提供者の作業時間を2分間/回削減することができトータルの労働力削減効果が5,100万円と算出された例や、業務管理の最適化や遠隔医療を行った場合に、2013年~2016年の4年間の労働力削減効2億5,000万円と算出された例などがある。このような定量的な評価による、問題の絞込みは重要な工程であるが、長期間を要したり、その手法が確立していないなどの困難性を伴うものであるが、費用と効果のバランスを自治体レベルで常にチェックする体制が整っていることが、デンマークが事業化にほとんど失敗しない理由と考えられる。サービスロボットとくに医療福祉ロボットの社会実装に不可欠なアプローチである。

5. サービスロボットによる生活の革新とソサエティ5.0

サービスロボットは、産業ロボットと比較すると技術的にも、産業的にも未熟であるし、その歴史も浅い。欧米、中国、日本がまさにこれから実用化、産業化しようと努力中の分野である。各々の強みを整理する。

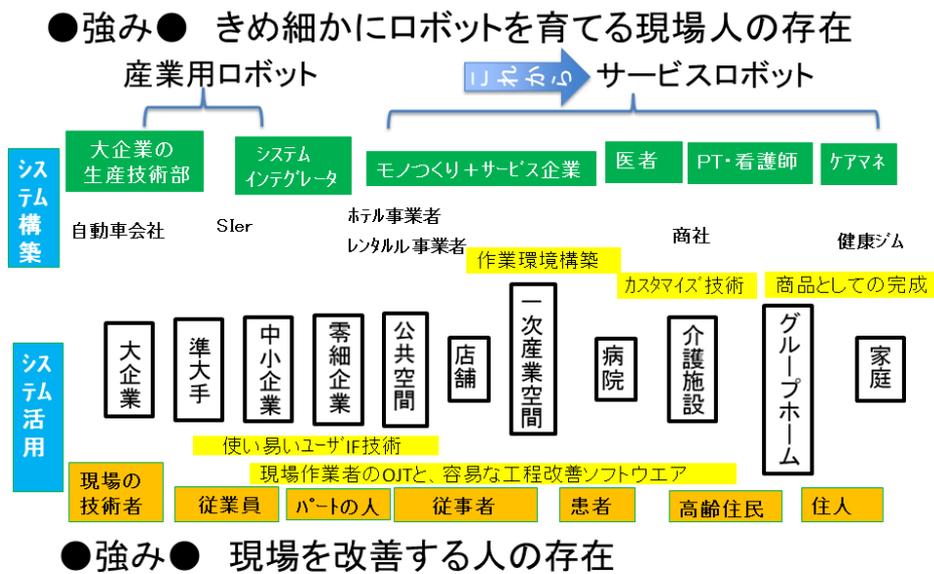


Fig. 7: きめこまか量質転換改善集積活動の分野と担い手

5.1 欧米、中国の強み

米国は、情報戦略など戦略的優位性で群を抜く。これは、実学を重んじる大学を中心に、先進的な科学技術研究が推進され、それが、若い人の旺盛なスタートアップ活動を刺激し、アメリカンドリームの情報分野における成功者の存在とスタートアップを支える潤沢なベンチャーキャピタルに支えられている。サービスロボットにおいても、科学技術イノベーションを戦略的に牽引している。

欧州では、産業革命発祥の地としての科学技術への信頼と永続的活動がこれまで継続的に実施され、科学技術の社会実装を着実に進めている。また、多数の国から成り立つ巨大なEU共同体を背景に、標準化戦略にも優位性を有する。それに加え、前章で述べたような北欧にみられる高福祉社会を実現した実績を有する点に欧州のサービスロボットにおける強みがある。

中国は社会主義市場経済で解放された人々の力と、13.5億人の市場の国家資本主義が発揮する国家戦略とサービスロボットも含めた市場の大きさに圧倒的優位性を有する。

5.2 日本の強み

生産現場における産業ロボットの使い方に関して、きめ細かな現場の改善の積み重ねによって、産業ロボットの利用法やロボット活用製造ラインの質を転換したことが寄与し、かつてのロボット大国日本を可能にしたことは前述した。看板方式として知られているトヨタ生産方式においても、改善の集積が、品質向上に重要な要素であったことは、元トヨタ自動車副社長楠兼敬氏への

インタビューに次のように記されている [8].

『新しい生産技術を採用入れたラインを作っても、同時に生産方式や現場の改善がないと、新しい設備も有効に機能しない。』

『作業者にラインストップの権限を与えることによって、生産性、人間性、生産管理などあらゆることが良い方向に向かい、ラインが止まることによって問題が顕在化し、改善を重ねて、最終的には止めることのない体質の強いラインを作り上げることができた。また、出荷前の手直しが減り、出荷する車の品質も徐々に向上していった。』

“モノやサービスの質的变化を引き起こすまで現場改善の積み重ねを可能とする永続活動”の出来ることが、日本の強みである。コンビニエンスストアも、米国からそのコンセプトは輸入したものであったが、その改善により、米国になかったきめ細かなサービスとそれを支える体制を構築した。駅なかを有する鉄道網は、正確無比さ信頼性の高さと、その利便性において世界をリードするものである。さらに、宅配便は、近年はその見直しが行われようとしているが、それも含め外国にも輸出できるきめ細かなサービスシステムである。このような分野に、きめ細かなサービスロボットを導入して生産性を向上させるとともに、サービスロボットの高機能化を図れば、日本の強みを活かしたことになる。

5.3 ロボット使いこなしによる質転換革新サービス

日本の強みを活かし、さまざまな分野に適したロボットを実現し、現場導入し、その使いこなしに関してきめこまか量質転換改善集積活動を実施する場合の分野、その担い手、必要技術開発を示したのが Fig. 7 である。

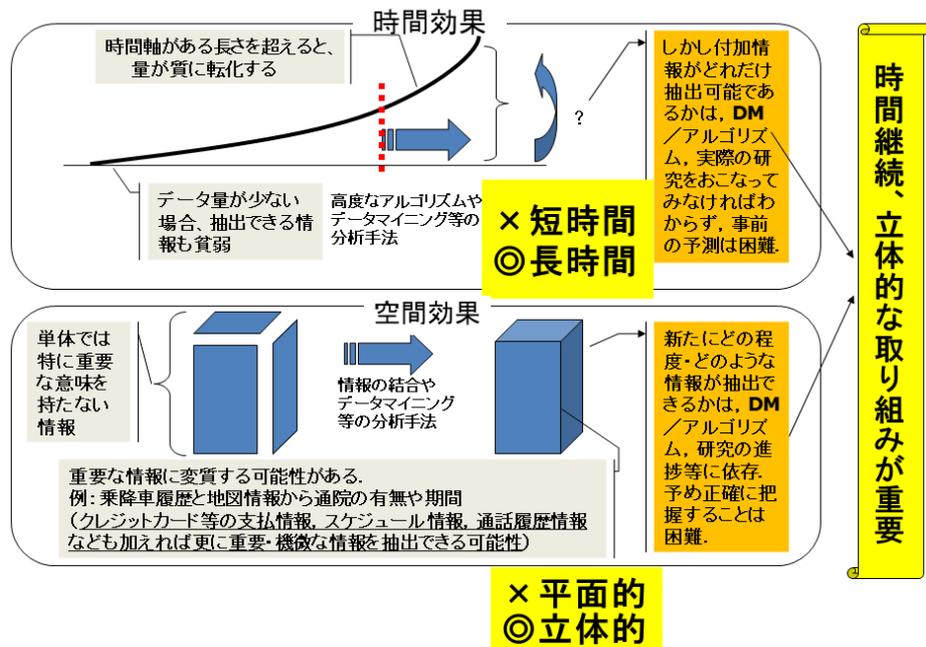


Fig. 8: ビッグデータからの新価値創出2つの側面

サービスロボットの社会導入に関しては、現時点では、ホテルや空港事業者、あるいは医療従事者（医者など）や福祉事業者（介護事業者など）などのリーディングユーザが、ロボットを製作している事業者はそのロボットを現場に設置させて、現場導入（システムインテグレーション）とその改良を試みている段階である。

(実世界) 介護施設では被介護者の状況は一人一人異なるし、同じ人でも時期によって異なる。個人個人に適したメカニズムとソフトウェアをもつ機械（個人機械）としての福祉ロボットが求められる。このように、これからのサービスロボット分野では、ロボットを個人や個別事情に適合した状況で活用できるようにする、産業ロボットでいうと Sier のような役割を果たす人が求められている。このような Sier が容易に使えるロボット使いこなすソフトウェア（ロボットシステム構築ソフトウェア）とカスタマイズソフトウェアの実現も課題である。さらに現場で働く人へのロボット活用法の OJT と、現場の方が発想する工程改善工夫をも、実際の改善に結び付けられるユーザーインターフェースと使いやすい工程改善提案ソフトウェアの実現も求められる。ユーザーインターフェースは、ロボットに触れて直接教示する手法やゲームコントローラやスマートフォンを利用したタッチパネル操作インターフェースなどとともに、音声認識や画像認識を利用したインターフェースを、それぞれをモード切替えてではなく、いつでも使えるようにしたい。

(サイバー世界) このような現場から得られるビッグデータが、Fig. 8 に示すような、時間効果と空間効果に

より革新価値を生み出す。時間効果とは、ビッグデータの蓄積時間が、ある閾値を超えて長くなることで、短期間では見えなかった変化が見えてくる効果である。例えば自宅での活動データが 10 年を超えると、高齢者の場合は長期的活動度の低下がどの時点から始まり、どの程度にまで落ちてきたのかが定量的に知ることができ、予防介護に有効な手がかりを提供できるようになる。その一方で、例えば自動車の運転データと買物情報を組み合わせると、新たなサービスが可能になるなど、情報を立体的に組み合わせることが新たな価値を創出する（空間効果）。このような効果が発揮されるのは、現場から価値あるデータが収集され、それをビッグデータとして処理することで初めて可能となる。現場に密着することが必須要件である。

5.4 生活現場からのロボット活用ソサエティ5.0

Fig. 9 に、ロボット活用ソサエティ5.0 へ向けた生活現場からのアプローチを示す。この図には、生活とともに生産の革新社会をも構成するステークホルダとそれらの役割を現場を中心に描いている。生活と生産の革新によるロボットバリエーションチェーンの図にもなっている。

Fig. 9 では、ロボットハードウェアを提供するプラットフォーム事業者が図の右上に、アプリケーションを提供するソフトウェア事業者が、左上に配置されている。また、ロボットサービスを提供するサービス事業者が左下に、そしてロボット活用社会の啓発教育研究を担う学校や団体が右下に配置されており、図の中央部にある縦線は、さまざまなロボット活用現場を表している。現場

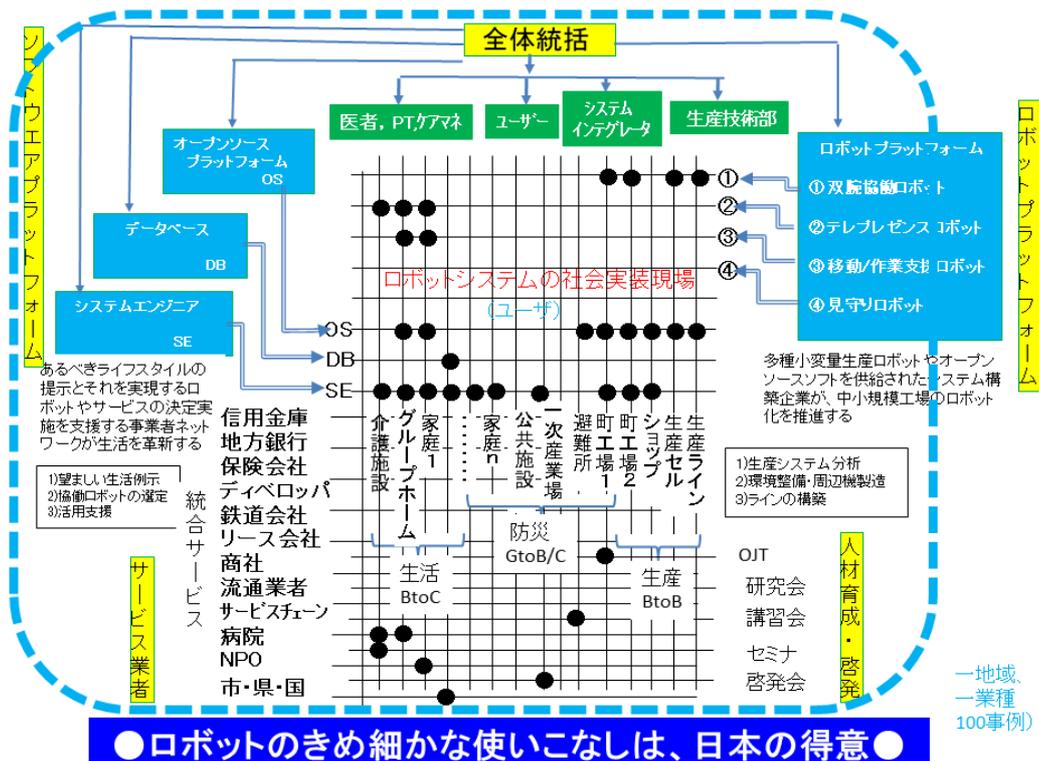


Fig. 9: ロボット活用ソサエティ5.0 への生活現場からのアプローチ

としては、産業ロボット分野や生活支援分野の現場の代表例を描いている。これらの現場において関与するステークホルダーが「●」印で示されている。これらの連携を主導する主体が、産業ロボット分野においてはSIerであり、生活支援分野では医者、PT、ケアマネージャー等として整理されている。この図で示した体制で、ロボット活用コミュニティを形成し、エコシステムを構築し、ロボットバリューチェーンとして定着させることが、ロボットを活用したソサエティ5.0を実現することにつながる。

科学技術基本計画 [1] の p.11 に、ソサエティ5.0 実現に必要な取り組みに関して、以下の記述がある。『超スマート社会の実現には、様々な「もの」がネットワークを介してつながり、それらが高度にシステム化されるとともに、複数の異なるシステムを連携協調させることが必要である。それにより、多種多様なデータを収集・解析し、連携協調したシステム間で横断的に活用できるようになることで、新しい価値やサービスが次々と生まれてくる』。Fig. 9 のようなステークホルダーが連携するネットワークから得られた価値ある現場ビッグデータが、Fig. 8 のような効果により、革新的価値を生み出すと考えている。

6. 結論

本稿では、日本の得意である『現場改善の積み重ねで量から質への転換社会を実現する』視点から、生産と生活の革新をめざすロボット活用ソサエティ5.0 実現へ向けた現場からのアプローチについて述べた。ロボット大国日本は、1980 年をロボット元年とし、自動車や電機、半導体工場で活用できる産業ロボットメーカーと、きめこまかな使いこなしに関して厳しい改善要求をしながらそれを克服していったロボットユーザの継続的な連携努力によって実現されたものであった。このように、きめこまかな改善を積み重ね、質を転換させる活動は、日本人の得意とするところである。コンビニや駅なかを有する公共鉄道網などその列挙はたやすい。

このような生産や生活、交通といった物理世界を対象とする事業に、サイバー空間と物理空間の融合体であるロボットを導入することで、その価値を高めることが、ロボット活用ソサエティ5.0の実現につながる。その際に重要なことは、物理世界は、形と動きを有する対象を扱うことである。そこでは、『コンピュータに頼り過ぎ、モノをみたり、モノに触れたりしないで、データだけで判断する人』は許されない。『現地現物主義、「Go and See」は、いつも真理です [8]』は、傾聴に値する。

人は、一人では生存できない。人は、人と連携することで生存を確保している。筆者は、ロボットを人や生物

に近い形と動きをもった機械であると定義している。ロボットが、“ひととき”に“ふるまえる”ようになると、人は無意識的に、また、特に日本人は、ロボットを仲間として扱う。ロボット活用ソサエティ5.0におけるロボット、“仲間が欲しい人”の観点から、“人のように作業ができるロボット”を、人との繋がりを重視しつつ、人への思いやり、ひいては人へのおもてなしまでも考慮に入れて、現場改善から継続的に追及実現する活動から生まれてくると考えている。

ロボット活用ソサエティ5.0を実現すること、そして、1980年代のメカトロニクス製品輸出の時代、2010年代からの社会インフラ輸出時代の次の時代として、2030年代からのロボットバリューチェーン輸出の時代をつくるのが、今希求されている。そのためには、優れたロボット創りときめこまなかロボット活用とその社会体制づくりを統合し重層的に実施するプロジェクトを企画し実行に移すことが有効であろう。ロボット活用ソサエティ5.0の実現とそのロボットバリューチェーン輸出により、新しいロボット大国日本として再度世界貢献することを祈念しつつ本稿を終えたい。

謝辞: 本稿の日本の産業用ロボットの歴史とそれから学ぶべき事項の記述にあたっては、その当時川崎重工業(株)でその任務にあられた藺田顕和様に寄稿原稿[3]をいただくとともに、様々な貴重な議論をさせていただきました。ここに、心より感謝を述べさせていただきます。その過程で、『改善は改革の助走路』、『改善活動が深化してくると、日常業務での所掌範囲を超えた思考つまり“企画マインド”、“経営マインド”を持つようになる』という指摘が心に残ったことをここに記しておきたい。

参考文献

- [1] 平成 28 年度から 5 か年の科学技術基本計画, 平成 28 年 1 月 22 日閣議決定.
- [2] Society5.0 実現による日本再興～未来社会創造に向けた行動計画～, 2017 年 2 月 14 日, 日本経済団体連合会.
- [3] 藺田顕和: “展望: ロボットビジネスとロボット研究について”, 日本ロボット学会誌, 23 巻 2 号, 2005 年 3 月, pp.155-158.
- [4] 佐藤知正, 萩田紀博: “3-4-1 ロボティクスと社会”, 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 研究開発の俯瞰報告書情報科学技術分野 (2017 年度), pp.283 - 300 (2017).
- [5] 佐藤知正, 萩田紀博: “ロボティクスと社会”, 科学技術振興協会編, 研究開発の俯瞰報告書システム・情報科学技術分野 (2017).
- [6] 瀧口範子: シリコンバレーにおけるロボット新規事業立ち上げのためのエコシステム, 神奈川県産業技術センター 第 5 回エコシステム研究部会, 2016 年 11 月 24 日.
- [7] 中島健祐: デンマークにおける先進福祉技術導入の取組みについて, 神奈川県産業技術センター 第 1 回エコシステム研究部会, 2016 年 5 月 26 日.
- [8] 池淵浩介: “生産技術開発とトヨタ生産方式の確立”, 自動車技術会, 自動車技術を築いたリーディングエンジニア, 元トヨタ自動車副社長楠兼敬氏インタビュー, 1997 年. <http://www.jsae.or.jp/interview/>

佐藤 知正



1948 年 9 月 22 日生. 73 年東京大学産業機械工学科卒業, 76 年同博士課程修了. 電子技術総合研究所, 東京大学先端科学技術研究センター, 東京大学大学院工学系研究科を経て, 現在東京大学名誉教授. 知的遠隔操縦ロボット, 環境型ロボット, 地域ロボットなど知能ロボットの研究に従事. 元日本ロボット学会会長, 日本ロボット学会, IEEE 会員.

松日楽 信人



1982 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程機械物理学専攻修了. 同年, (株)東芝入社. 2011 年同社研究開発センター技監を経て芝浦工業大学機械機能工学科教授. 人間共存ロボットシステムの研究に従事. 工学博士. 日本機械学会, 計測自動制御学会, 日本ロボット学会のフェロー, IEEE 会員. 現日本ロボット学会副会長.