

自動化システムの最近の動向と今後の展開

村上弘記*

* (株) IHI 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1

* IHI Corporation, 1, Shin-nakahara-cho, Isogo-ku, Yokohama, Kanagawa, Japan

* E-mail: hiroki_murakami@ihi.co.jp

キーワード：自動化システム (automated system), 産業用ロボット (industrial robot), サービスロボット (service robot), 無人化システム (unmanned system), 知能化システム (intelligent system).

IL 0012/15/5412-0889 ©2015 SICE

1. はじめに

1980年代に産業用ロボットが広く普及するとともに、マイクロプロセッサの発達、電動サーボモータの性能向上などから、数値制御 (NC) 加工機械も広く普及することになり、生産現場の自動化が大きく進んだ。また、自動車製造現場での多数のロボットの導入から電機産業、半導体製造などに自動化技術が広く普及していった。これらは、大量生産の効率化を図るものが多く、自動化に対応した製品設計、周辺治具の整備などにより実現されて、多くの製品の低価格化を実現してきた。ロボットを活用した溶接工程、塗装工程などは、産業用ロボットが複雑な手先軌道をティーチングで実現するとともに繰り返し再現性の良さを最大限に活用して、広く自動化されてきた。また、部品加工工程では、マシニングセンタとロボットによるマテリアルハンドリングの組合せ、CAD/CAMの発達による加工情報のデジタル化などにより、フレキシブル生産システム (FMS) の代表例となり、複雑な加工部品を自動的に加工するシステム¹⁾が構築されている。

20 世紀末期の 1990 年代では、研究開発での成果を生産現場から屋外作業までさまざまな作業の自動化システムへの適用が試みられ、ビルの自動建設²⁾の開発などにも取り組まれてきた。これらの試みで、生産効率の向上には、自動化のための段取り作業（部品供給作業など）の効率化が必要なことが明らかになった。1990 年代後半になると、経済の低迷により設備投資意欲が冷え込むとともに、ユーザニーズに対応するために多品種少量生産が求められるようになり、自動化の開発が低迷した。

21 世紀を迎え少量多品種に対応する生産システムとして自動化よりも作業者の能力を活用するセル生産システムの適用が広がるとともに、JIT (Just in Time) 生産方式など経済性の追求した生産システムがさまざまな分野に展開されてきた。一方で、各種センサ、コンピュータ等のデバイスの低価格化と高性能化に伴い、先端ロボット技術の実用化レベルでの適用が進み、生産現場への適用が広がりつつある。加えて少子高齢化による労働力不足の問題が顕在化しつつあり、生産現場に加えサービス分野での自動化の期待が高まってきている。このような動きについて、実用化事例を示しながら動向と今後の展開について述べる。

2. 近年の自動化システム周辺の概要

21 世紀に入り，インターネットが本格的に普及したこともありパーソナルコンピュータが一般的なユーザの手に届くようになった．半導体産業での標準化と自動化の技術向上により，マイクロプロセッサをはじめとする電子デバイスの高性能化は著しく発展し，低価格化が進んだ．加えて通信ネットワークの拡充が進み，近年では無線通信技術の発展が著しい．これらの技術革新に伴い，自動化システムを取り巻く環境は大きく進展してきている．

また、1996年に人型ロボットであるホンダ P2が発表された³⁾ことで、ロボットが広く生活の場へ広がる期待が高まった。このような状況から「人間協調・共存型ロボットシステム (HRP)」プロジェクトが立ち上がり、生活環境を含めたさまざまな環境へのロボットの活用の期待が高まった。

その後、2000年代前半になるとサービスロボット関連のプロジェクトが立ち上がり、さまざまな作業の自動化を目指した開発がすすめられた。これらの成果は、2005年に愛知県で開催された日本国際博覧会（愛称：愛・地球博）の実証実験⁴⁾で公開された。この取り組みは、一般環境の中でロボットを実際に利用する試みであり、社会制度上の問題が明らかになった。その後、ロボットビジネスを推進するためのロボットビジネス推進協議会⁵⁾が発足してビジネス化するためのさまざまな問題の検討を進められてきた。また、主に生活支援を対象とする各種プロジェクトで技術的課題の解決、安全認証に関する研

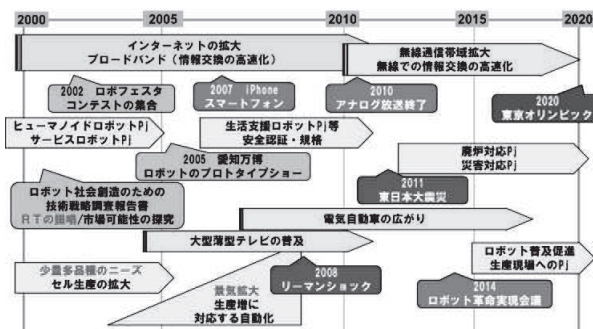


図1 自動化システムに関するトピックス

21 世紀に入ってから自動化システムに関連する世の中の動向と主なロボット関連プロジェクトの概要.

究などに取り組み、技術蓄積や各種検討による環境が整ってきた。

2014年にロボット革命実現会議が開催されロボット新戦略⁶⁾が発表された。さまざまな分野でロボットを適用することで新たな産業革命を起こすという方針が示され、これまで蓄積されてきた技術と通信技術を組み合わせた新しい自動化が推進される期待が高まってきている(図1)。

3. 厳しい環境下の作業の自動化

作業にとって厳しい作業環境や、重筋作業など厳しい作業に対する自動化の要求は高く、代表的な建設現場でも数多くの開発と実用化が進められてきた⁷⁾。近年では、技術的には実現可能だが高度な技術や装置が求められてコスト的な課題の残るものの自動化が残されている。具体的には対象物の設置精度が悪い、荷重が非常に大きい、環境が悪いといった条件が多く安定した自動化システムの構築が難しい。そこで作業者が介在する作業機械に留まることが多いが、その中でも近年の事例をいくつか以下に示す。

3.1 シールド工法におけるセグメント組立ロボット

都市の地下トンネルの施工法であるシールド工法は、セグメントと呼ばれるコンクリートのブロックをリング状に組立てトンネルを構築していく工法である。セグメント供給から組立までの一連の作業の自動化を図ったセグメント組立ロボットは、1980年代後半に実用化⁸⁾されて発展してきた。1990年代後半の東京湾横断道路の工事は、14m級のトンネルでセグメントが約10t、11ピースで1リングを構成するという大規模な工事で、8工区に6社のセグメント組立ロボット^{9)~11)}が投入された。セグメント組立では、トンネルの真円度が求められるとともに、ボルトでセグメントを締結するために数mm以下の高精度が求められる。また、コンクリートセグメントは表面が壊れやすいため、衝撃的を与える組立ては許されない。このため、複雑な機構とセンサを組み込んだ自動組立システム(図2)となるが、セグメント供給、組立の高速化、安定運用などの技術がこの工事を通して確立された。中小口径(4m程度)の自動化では、六角形型のハニカムセグメントを力制御による組立システム¹²⁾(図3)も実施工に使用された。しかし、中小口径では作業者が介在しても工事時間があまり変わらず、高所作業にならないことから半自動のシステムが主流となった。

大口径のシステムでは、工場での自動化の手法と同様に、組立対象のセグメントの締結方法の簡素化、自動的に倣う機構の開発などにより、組立システムの安定的な運用が進められている。

3.2 建設現場での無人化技術

1990年代に発生した長崎県雲仙普賢岳の噴火活動から大火砕流に至った災害に対して、1993年の除石工事に当時の建設省が無人化施工の「試験フィールド制度」を適

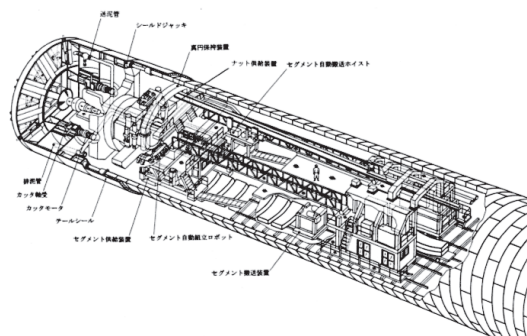


図2 セグメント自動組立システム¹⁰⁾
(文献10) 図2を転用)

本システムは、セグメントの搬送から組立、ボルト締結までの一貫した自動化システムである。

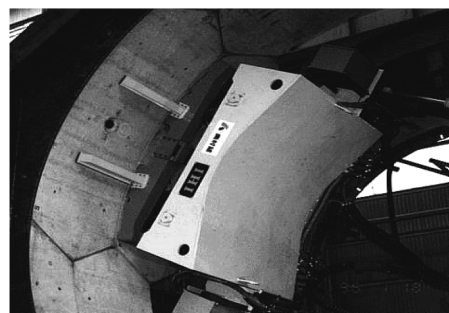


図3 ハニカムセグメント自動組立システム

本システムは力制御機能を持たせ、ガイドバーを用いて既設のトンネル内面に倣ってセグメントを位置決めする。

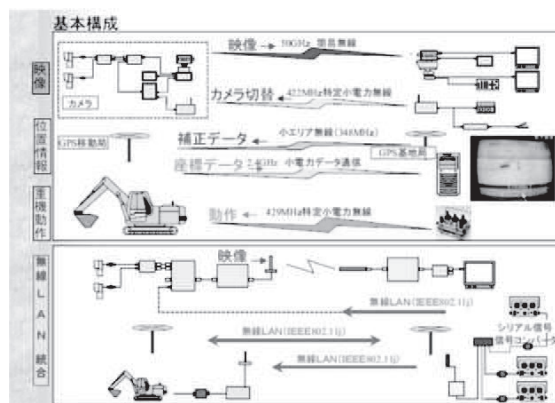


図4 無人化施工の無線の基本構成¹⁴⁾
(建設無人化施工組合 HP から転用)

用したことを契機に、飛躍的に発展してきた。建設機械を安全な遠隔地から操作することを目的としており、建設機械を操作する無線操縦システムと、作業に必要な建設機械近傍の画像を伝送する画像伝送無線システムで構成されている(図4)。本システムでは、無人で工事を遂行することに主眼が置かれて開発されてきたため、自動化技術よりも操作者介在でいかに効率よく作業遂行できるかに注力されて発展してきた¹³⁾。また、2000年には建設無人化施工協会¹⁴⁾が発足し、実際の工事の安全性確保

と技術の発展を維持推進してきた。継続してさまざまな現場での作業を重ねてきたことで、実用的な技術が開発、維持されており、東日本大震災での福島第一原子力発電所での活用にもつながっている。

3.3 クリーンルームにおける自動化技術

液晶・半導体製造工場では、微細な加工などを安定して製造するため、クリーン環境下での製造となる。クリーン環境を維持するため、作業者はクリーンウェアを着用することになるが、製造現場と一般環境の出入りが制約されたり、作業性に制約があったり、環境的には人工的な明かりの中での作業だったりとして作業する上では作業にとって厳しい環境となっている。また、製造の微細化が進むとともに、クリーン環境の管理レベルを高める必要があり、汚染源となる作業者を少なくして、環境の安定化するために自動化が進んだ分野である。

半導体製造では、クリーン度を高く維持するために局所的にクリーン環境を作る製造が標準化されて、安定した製造が実現している。また、半導体材料であるウエハはSEMI¹⁵⁾により規格化されている。2000年以降に300mmウエハが標準的に使用される段階では、搬送用のカセット「FOUP: Front Opening Unified Pod」が標準化され、ミニエンバイロメント¹⁶⁾の実現と搬送の自動化が一段と発展して現在に至っている。標準化では、搬送装置とプロセス装置の受け渡しの位置の標準化など製造ラインを構成するために必要なインターフェースが標準化されたことで、OHT (Overhead Hoist Transfer) などの搬送装置も標準化され、自動化が進んでいる。加えて製造プロセス情報の取り扱いに関する標準化も進み、製造プロセスの管理も情報化されて、工場全体を管理するシステムと自動化の融合したものとなっている。

一方、液晶ディスプレイの製造工程も、基本的な製造プロセスが半導体製造に類似していることから、半導体製造と同様の標準化がすすめられている。半導体では集積度が上がることでウエハ1枚当たりのデバイス量が増えることになり、量産効果による製造コストの低減を図ることができる。ディスプレイは、完成品が大型化することに価値がある商品であることから、液晶テレビの普及に向けての量産効果を出すために材料の大型化が進んだ。2000年頃は、第4世代の730mm×920mm×t0.7mmのマザーガラスで製造されるようになったが、すでに作業員でのハンドリングが難しい大きさになってきていた。本格的な大型テレビ向け製造では、2004年頃に第6世代の1.5m×1.8m×t0.7mmとなり自動搬送装置抜きでは製造ラインが構成できなくなってきた。このため、大型の専用ロボット(図5)¹⁷⁾の開発がすすめられた。また、ディスプレイ製造では、ガラス面の傷を嫌うことからできるだけ接触せずにハンドリングすることが求められることから、空気浮上式の搬送システム(図6)¹⁸⁾も開発され、自動化が進んだ。プロセス装置だけでなく、周



図5 第10世代液晶ガラス基板搬送ロボット
MOTOMAN-CDL3000D¹⁸⁾
(ロボット大賞ガイドブックより転用)



図6 浮上搬送装置外観¹⁹⁾(文献19)より転用)

本システムはユニット上面を加工用に開孔したノズルから空気を吹き出す独自の構造をもつ浮上ユニットで構成。

辺の搬送装置の発展とともに、2008年には第10世代の2.85m×3.05m×t0.7mmというマザーガラスが開発されている。

4. 工場内での自動化技術の動向

工場内での組立工程では、特に小型の製品での少量多品種の要求から、セル生産システムが取り入れられて作業員の能力を最大限に引き出すことで効率化を図ってきた。作業員の効率を向上させるための補助的な機器・道具や情報提示による作業のガイダンスシステムなどが開発されてきた。しかし、セル生産システムは作業員の人数で生産量が制約されることから、近年はさまざまな形で自動化が進められてきている。

4.1 セル生産工程における自動化

セル生産工程に対してさまざまな形でのロボットを導入した自動化システムの実用化が進んできている。ひとつは、ロボットによる組立セルを構成するというアプローチである。3次元ビジョンセンサや力制御可能なロボットアーム、複数アームによる作業をセルにまとめて、ロボットセル内で一連の組み立て作業を実現するというアプローチである。複数のアームを使用することから干渉回避、協調制御などのロボット研究で取り組まれてきた技術を組み込むとともに、ハンドにツールを工夫することによって、サーマルリレーの組立作業を実現(図7)している²⁰⁾。



図7 知能化組立ロボット「F シリーズ」²¹⁾
(ロボット大賞ガイドブックより転用)

複数のロボットアームによる複雑な組み立てを実現するセルで、視覚認識・力制御・干渉回避機能をもつ。



図8 「NEXTAGE」を用いたフレキシブル生産ライン²⁴⁾
(ロボット大賞ガイドブックより転用)

ビジョンシステムを用いることにより貨幣処理機の組立工程へ適用し、作業員1人分をロボット1台で代替している。

また、別のアプローチとしては、従来のセル生産システムで使われている自動機を活用し、作業員が担当していた組立作業をロボット化するものである²²⁾。このシステムでも画像処理や力制御技術を組み込み精度良い組立作業を実現している。このシステムの特徴は、作業員をロボットに置き換えるというコンセプトで、組立ロボットを一体化したことにある。トラブル時はロボットの代わりに作業員がそのまま組立できるというコンセプトで実用化した。

このような考え方を一層進めた方法として、上半身の人型ロボットの適用事例²³⁾がある(図8)。大きさが人間とおおむね同じであることから、従来のラインに作業員の代わりに導入するというシステムである。ビジョンシステムを活用することで、フレキシブルな組立作業を実現している。また、低出力モータを使用して、作業員との共存するラインを構築することを目指している。

小型部品の組立作業は、軽作業で複雑であるが高い技能をそれほど必要としないため作業員のコストがそれほど高くないことから、設備導入の経済的効果を見出すのがまだまだ難しい分野である。

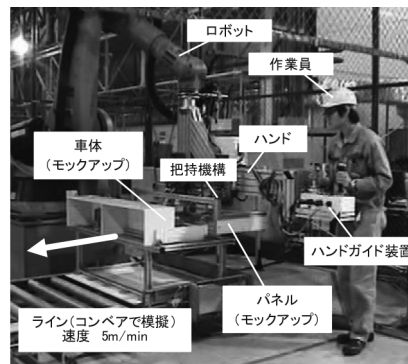


図9 ハンドガイドロボットシステム

コンベアライン上に流れる本体への組付けを想定した試作システム。部品供給はロボットによる自動で行い、組付けは作業員の補助で実現することを想定したものである。

4.2 人との協働による組立作業の実現

大型の部品の組み立てには、ハンドクレーンと呼ばれる重力をバランスする装置が活用されている。重量物を早く動かすと慣性力が働くため、2人作業で協調して組立てることが多い。また、ワークが大きい場合、自動化に必要となるセンサを配置することが難しいことや、組立対象の位置決めも治具が大型化するなど、自動化が困難なことが多い。そこで、一人作業での大型の部品組立てを制御機能により支援するシステムが開発されている。作業員の動作を読み取って組立作業を補助する自動車ウィンドウの組付けシステム²⁵⁾が実用されている。

もう一段進めて、ロボットを活用することで、部品の供給作業を自動で行い、難しい最終組み立て作業を人と協働するハンドガイドシステムの挑戦(図9)²⁶⁾も行われている。

産業用ロボットのための安全要求事項を定める国際規格(ISO10218-1 および ISO10218-2)が制定・改定され、作業員とロボットが共存する規格が制定されたことから、自動化されていないこのような大物組立作業などに対して、人と協働するシステム開発が進むものと思われる。

4.3 高度技能作業の自動化の取り組み

ロボットの高速あるいは繰り返し精度の高さを利用することで作業員よりも高い能力を実現するシステムの実用化も取り組まれている。

外観検査工程の自動化システムとして、ロボットにカメラをもたせ、多機種で、検査部位が三次元的に分布する製品に対応でき、かつ高速に検査が可能な新しい検査システム(図10)が開発され実用化²⁷⁾されている。動作と撮像の制御により非常に高速な外観検査を実現し、データが残ることによるトレーサビリティも得られる新しい価値を生み出すシステムとなっている。

力制御技術の実用化に伴い、高度な技能が必要な作業の自動化も進んできている。機械加工の最終仕上げ工程のように、技能で実現されている工程の自動化もロボッ



図 10 高速検査ロボットシステム²⁸⁾
(ロボット大賞ガイドブックより転用)

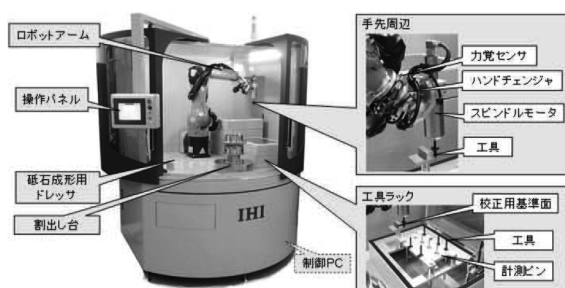


図 11 精密仕上げロボットシステム

精密な力制御と仕上げツールに組合せにより精密仕上げを実用化したシステムである。

トを使うことで実現している。高精度な仕上げを求められる航空エンジン用のギヤの最終仕上げを複数の工具の組合せと力制御などにより実現した仕上げロボットシステム²⁹⁾が実用化されている(図 11)。

高度な技能が必要な工程は、作業者の育成に時間がかかる上に付加価値が高いので、自動化システムが求められてくると思われる。

5. サービス分野での自動化の展開

サービス分野では、石川県にある和倉温泉加賀屋が約 30 年前に施設を拡張するために建設した新棟「雪月花」に配膳の自動搬送システムを導入した例がある³⁰⁾。この自動搬送システムは、厨房から各フロアへ料理を運搬する天井走行台車を利用したもので、現在でも活用されている。また、国立国会図書館関西館では、資料を収蔵する閉架式書庫に物流で蓄積されてきた保管搬送技術を応用し、国内最大規模の自動書庫と資料の書庫からの出し入れ用無人搬送車自動化システムが導入されている³¹⁾。このようなバックヤード作業の自動化に物流搬送技術を適用する事例がいくつか実用化されている。

作業のロボット化では、大規模ビルの掃除ロボットが開発され、空港などへの利用が広がった。清掃作業が夜間であることから作業員確保が難しい点や、照明がいらないことなどによる経済効果がある新しいビジネスモデ

ルを構築した新しいシステム³²⁾である。

このようなサービスロボットの期待から、2005 年に愛知県で開催された日本国際博覧会(愛称:愛・地球博)で、次世代ロボット実用化プロジェクトの実証実験が実施された。実用化の近いシステムの実証として、「実用システム化推進事業」の 5 タイプ 8 種類のロボットシステムが、運用実証実験として開期中(2005/3/25~9/25)会場内で運用された。また、開発途上のロボットシステムの実用化を目指した「プロトタイプ開発支援事業」の 63 テーマ(65 台)が、「プロトタイプロボット展」としてさまざまな運用場面を想定したデモンストレーションを「ロボット週間」(2005/6/9~6/19 の 11 日間)に実施した。これらの実証試験では、技術開発だけでなく、人と共存する一般環境でロボットを動作させる試験的デモンストレーションを安全に実施するかについても研究された。運用場面を想定したリスクアセスメントの実施をすることにより、この段階でのシステムでは安全監視員の配置などいくつかの制約条件の中でのデモンストレーションとなった。

この経験から、サービスロボットの安全規格、認証の必要性が認識され、2009 年からの「生活支援ロボット実用化プロジェクト」³³⁾の成果の一部として、試験機関の活動場所であると共に、日本の生活支援ロボットの認証のしくみの中心的拠点となる役割を果たす生活支援ロボット安全検証センター³⁴⁾が 2010 年に開設された。生活支援ロボットを中心とした安全認証の仕組みの一つとして試験技術やデータの蓄積の場として期待されている。また、プロジェクトの成果を反映して、サービスロボットの安全に関する ISO13482³⁵⁾が 2014 年に発行された。

このようにサービスロボットの実用化の環境が整備されてきていることから、メインスタッフをロボット(受付ロボット、ポータロボットなど)にした「変なホテル」³⁶⁾が運営されるなど、サービスの自動化も実用化レベルに近づいている。

6. おわりに

これまで述べてきたように、危険な土木現場や災害現場などの環境や対象が不確定な作業については、操作者が介在する無人化技術の発展が進んでいる。完全な自動化ではなく、人の判断などを活用するシステム化が進んでいくものと思われる。

画像センサや力制御技術が実用的になってきたことから、高付加価値な熟練作業や高速の検査作業などは、加速されるものと思われる。セル生産などの組立工程では、生産工程間の情報管理による新しい価値創造の可能性が期待される。大型部品組立などで、作業者と産業用ロボットの協働作業も規格が整備されてきていることから今後発展するものと思われる。

サービス分野の自動化については、安全規格、認証の仕組みや保険制度などが充実しつつあり、実運用するた

めの環境が整ってきた。経済性としてはまだ手探りの状況であるが、デモ的、試験的運用などにより発展していくものと思われる。

前述のロボット革命実現会議に端を発してロボット革命イニシアチブ³⁷⁾が設立され、ロボットを活用した産業革命を目指す政策が本格化していることや、IoT(Internet of Things)の期待からさまざまな装置がネットワークに接続されることになるといわれている。2020年のオリンピックイヤーで日本がショールームとなるという政策も示されていることから、自動化システムの発展が加速されるものと予想される。

(2015年11月4日受付)

参考文献

- 1) 伊東 諒：フレキシブル生産システム(FMS)に適合する工作機械の開発状況，精密機械，**48**-6，794/800(1982)
- 2) 汐川 孝，大川輝夫，森 哲郎：全自動ビル建設システムの開発，大林組技術研究技報，**49**，1/6(1994)
- 3) 本田技研工業株式会社ホームページ：<http://www.honda.co.jp/ASIMO/kids/iam/ayumi/p2/>
- 4) 愛・地球博 プロトタイプロボット展ホームページ：<http://www.expo2005.or.jp/jp/C0/C3/C3.8/C3.8.2/C3.8.2.6/>
- 5) ロボットビジネス推進協議会ホームページ：<http://www.roboness.jp/>
- 6) ロボット新戦略ホームページ：<http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150123004/20150123004.html>
- 7) 国土交通省ホームページ建設ロボット技術に関する懇談会資料：<http://www.mlit.go.jp/common/000228337.pdf>
- 8) 勝田 進，貝沼憲男，原田光男，大塚隆三郎，柳 嘉男：シールド工事用セグメント自動組立ロボットの開発，日本機械学会誌，**89**，478/479(1986)
- 9) 増田 隆，若月 豊，岡崎雅好，四方弘章：東京湾横断道路におけるシールド工事の施工報告 - 川崎トンネル浮島南工事，トンネル工学研究論文・報告集，**7**，447/452(1997)
- 10) 増田 隆，若月 豊，岡崎雅好，鈴木俊夫，桑原紘一郎：セグメント自動組立システムの特徴と実績—東京湾横断道路川崎トンネル浮島南工事—，トンネル工学研究論文・報告集，**7**，267/272(1997)
- 11) 東京湾横断道路トンネル用シールド掘削機自動エレクトラ装置，三菱重工技報，**31**-6，444(1984)
- 12) 北山仁志，富松宏明，村上弘記，畑山栄一：ハニカムセグメント用自動組立ロボットの開発，第6回建設ロボットシンポジウム論文集，175/180(1997)
- 13) 酒向信一，久保裕之，金山裕章，川上高弘，甲田 信，和田 洋：土木工事における自動化・ロボット化と安全対策の展望(人と機械の協調を目指して)，第6回建設ロボットシンポジウム論文集，303/310(1997)
- 14) 無人化施工協会ホームページ：<http://www.kenmukyou.gr.jp/>
- 15) SEMI Homepage：<http://www.semi.org/en/>
- 16) 角南英夫，鈴木道夫：次世代集積回路と製造ライン—今後のデバイス展望と300mmウエハ製造ラインの動向—，エアロゾル研究，**14**-1，11/18(1999)
- 17) 末吉 智：第10世代対応大型ガラス基板搬送用クリーンロボットMOTOMAN-CDL3000D，日本ロボット学会誌，**27**-3，301/303(2005)
- 18) ロボット大賞ガイドブック：<http://www.robotaward.jp/archive/2008/prize/robot06.pdf>

- 19) 日本機械振興協会ホームページ：<http://www.jspmi.or.jp/system/file/3/898/n06-3.pdf> 平田賢輔，上田 渉，村山 晋：大型ガラス基板用浮上搬送技術の開発，第6回新機械振興賞受賞者業績概要集，9/12(2008)
- 20) 寺田大祐：サーマルリレー組立ロボットセル，ロボット，**205**，19/23(2012)
- 21) ロボット大賞ガイドブック：<http://www.robotaward.jp/archive/2012/robot03.pdf>
- 22) 柴崎暢宏：精密組み立てロボットシステムの最新事例，ロボット，**205**，11/14(2012)
- 23) 金平徳之：産業用双腕ロボット「NEXTAGE」への取り組み，ロボット，**205**，28/31(2012)
- 24) ロボット大賞ガイドブック：<http://www.robotaward.jp/archive/2012/robot04.pdf>
- 25) 村山英之，武居直行，松本邦保，鴻巣仁司，藤本英雄：自動車組立ラインのウィンドウ搭載支援ロボット，日本ロボット学会誌，**28**-5，624/630(2010)
- 26) Yu Ogura, Masakazu Fujii, Kazuyuki Nishijima, Hiroki Murakami, and Mitsuharu Sonehara: Applicability of Hand-Guided Robot for Assembly-Line Work, *Journal of Robotics and Mechatronics*, **24**-3, 547/552(2012)
- 27) 木村博志，松岡 博，森 芳弘，近藤慎樹，榊原 聡：他機種の製品に適用可能な高速検査ロボットシステムの開発，デンソーテクニカルレビュー，**5**-1，100/108(2004)
- 28) ロボット大賞ガイドブック：<http://www.robotaward.jp/archive/2006/prize/robot05.pdf>
- 29) 林浩一郎，上野 光，村上弘記：精密仕上げロボットシステムの開発，計測自動制御学会論文集，**51**-1，32/40(2015)
- 30) 内藤 耕：サービス産業の生産システム，精密工学会誌，**78**-8，192/195(2012)
- 31) 国立国会図書館関西館ホームページ：<http://www.ndl.go.jp/jp/service/kansai/index.html>
- 32) 田島茂樹，青山 元，関鉄太郎，石川和良，横田和隆，尾崎功一，山本純雄：ロボットによる高層ビルの清掃システムの開発，日本ロボット学会誌，**22**-6，595/602(2004)
- 33) NEDO 生活支援ロボット実用化プロジェクトホームページ：http://www.nedo.go.jp/activities/EP_00270.html
- 34) 生活支援ロボット安全検証センターホームページ：<http://robotsafety.jp/wordpress/>
- 35) 日本品質保証機構ホームページ：https://www.jqa.jp/service_list/fs/service/13482/
- 36) 変なホテルホームページ：<http://www.h-n-h.jp/>
- 37) ロボット革命イニシアチブホームページ：<https://www.jmfrri.gr.jp/>

[著者紹介]

むら 上 弘 記 君(正会員，フェロー)



1995年京都大学工学部精密工学科卒，97年京都大学大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了，同年石川島播磨重工業(株)(現(株)IHI)入社，現在に至る。ロボットマニピュレータの制御，ロボット技術応用の各種システム開発に従事。日本機械学会フェロー，日本ロボット学会，システム制御情報学会，感性工学会の会員。