循環産業創成を目指した

自律型セル生産ロボットシステム

少子高齢化・就業人口減少が進む今後の日本でも存続しうる生産方式として、セル生産方式をロボット化することが検討されている。ここでは新エネルギー・産業技術総合開発機構（ＮＥＤＯ）の次世代ロボット知能化開発プロジェクトの一環として開発中である自律型セル生産ロボットシステムを紹介する。システムの稼働率を上げるために、生産機種切り替えの迅速化と長時間無人運転を可能とするさまざまな技術が取り入れられている。最後に今後の展望を述べる。

神戸大学大学院工学研究科
教授　横小路　泰義

モノづくり日本にとっての２０１１年

今年からちょうど50年前の１９６１年の春、米国ユニメーションのユニメートが世界初の産業用ロボットとして実際の工場に導入された。その意味で２０１１年はロボット工学が誕生してから50年目の記念すべき年である。今年８月には、産業用ロボットの基本原理の発明者であり、ジョセフ・エンゲルバーガー氏とともにユニメーションを創設したジョージ・デボル氏が99歳の生涯を終えている。彼の歴史的な特許「プログラム可能な物品搬送装置」は54年に申請されユニメートが世に出たのと同じ61年に認可されている。ユニメートはその後日本に技術導入され、国産初の産業用ロボットとなったのは周知の通りである。

また今年はいうまでもなく東日本大震災が発生した年でもある。この震災で多くの尊い命が失われ、甚大な被害が生じた上に原発事故に起因する諸問題は長期化の様相を呈している。モノづくりの観点からは、在庫を持たない前提でのサプライチェーンの脆弱（ぜいじゃく）さや原発依存の電力供給の問題が明らかになった。円高に加え震災の被害は生産拠点の海外流出をさらに加速させたと言われているが、一方で10月にタイ国内最大の工業地帯を襲った洪水被害は海外進出にも冷や水を浴びせたように思える。11年は産業用ロボットにとって節目の年となっただけでなく、日本の製造業にとって試練の年ともなったようである。

「次世代ロボット知能化開発プロジェクト」の一環として、三菱電機、京都大学、ＩＤＥＣと共同でロボットセル生産システムの研究開発を行っている。同プロジェクトはロボット用ミドルウエア（ＲＴミドルウエア）を基盤として再利用可能な知能モジュール（ソフトウエア）を開発し、それらの組み合わせによってさまざまな目的に応じた知能ロボットシステムを柔軟に構築できる技術体系の開発を目的としているが、我々はその中で生産分野における作業知能の開発を担当している。

図１は同プロジェクトにおいて三菱電機と京都大学（当時筆者所属）が共同で開発した自律型セル生産ロボットシステムであり、３次元ビジョンセンサー、直観的な教示支援技術、自律的動作習熟技術によって迅速な生産機種切り替えを実現し、事前のエラー要因分析によるエラー回避技術とセンサー情報から動作中のエラーを自動的に検知してリカバーする技術によって長時間無人運転を可能としている。

図２はＩＤＥＣが同プロジェクトで開発したマルチロボットハンドと知能モジュールの有効性を検証したデモシステムである。「千手観音モデル」で知られる同社の汎用ハンドにカメラを埋め込むことで、ハンドで部品をつかむ直前に部品供給トレーに並ぶ部品の状況を撮影し、不具合のある部品や位置ズレした部品をつかみにいかないようにすることで、生産タクトタイムに影響を与えずにエラーを自動的に回避できる。

また同社が開発した知能ソフトウエアモジュールは汎用機能とデバイス依存の２層構造となっており、機種切り替えの際でもソフトウエアが再利用可能となっている。これら以外にも同プロジェクトでは迅速な機種切り替えと長時間の連続無人運転を可能とするさまざまな方法について研究開発を行っている。

次世代ロボット知能化開発プロジェクト

デボル氏の特許で今も色あせないのは、プログラム可能な搬送機械という考え方と教示再生という動作原理であり、産業用ロボットの基本概念といってよい。現在稼働している産業用ロボット（アーム型）のほとんどがこの教示再生方式で動作していることからも、ロボットを用いて実際の作業環境で教示するがゆえの直感性と、「現物合わせ」による正確性を有するデボル氏のアイデアがいかに普遍的なものであったかが分かる。

ただし、この教示再生方式も組立作業のように対象物との物理的接触を伴う作業においては僅かな位置ズレによっても作業の失敗を招くことから、治具などによる対象物の正確な位置決めが必要であり、ロボットの教示にも多大な時間を要する。ロボットがいくら高い繰り返し精度を有していたとしても、作業環境側の不確定要因を完全に消し去ることは難しく、作業中の一時的なエラーが原因で作業が停止するいわゆる「チョコ停」が発生して、作業員の介入による復帰操作を必要としてしまう。

部品供給においても、人間であればバラ積みの状態から取り出せるところを、ロボットのためには事前に適当に部品を整列させておく必要があり、この作業を人間が行うことも多い。つまり現状では教示再生方式の限界によるさまざまなしわ寄せを人間が負っているのである。

従来の産業用ロボットは前述のような問題を持つものの、長期間にわたって同じ品種を大量に製造する場合には威力を発揮していた。しかし需要変動に応じて変種変量の生産が求められる場合にはもはや最適な解とは言えず、ロボットに代わって一人もしくは少人数の人間が複数の作業を行うセル生産方式が一つの有効な手段となっている。

しかしながら、少子高齢化による就業人口の減少、生産拠点の海外流出などわが国を取り巻く環境がますます厳しくなる中、日本のモノづくり産業を維持発展させるためには、これまでの人によるセル生産方式からロボットによる次世代セル生産への移行を目指すべきであろう。そのためには従来の産業用ロボットの限界を打破して、迅速な機種切り替えを可能とし、人間の介入なしに長時間安定に動作させることで、高い稼働率を実現しなければならない。

現在筆者らは07年度―11年度のＮＥＤＯによる「次世代ロボット知能化開発プロジェクト」では主にソフトウエアの再利用性に重点を置いているが、生産分野においては生産システムの再利用性が重要である。すなわち**図３**に示すように製品の製造、解体、材料のリサイクルといった製品を軸とした循環だけでなく、生産システムの循環さらには生産情報やユーザーの使用履歴など製品にまつわる情報の循環も重要であり、これによって迅速な生産システムの構築・変更や、解体作業の効率化、設計・生産へのフィードバックが可能になる。筆者を含む三菱電機、京都大学、神戸大学の共同研究グループはこのような将来構想を見据え、計測自動制御学会のシステムインテグレーション部門の学術講演会で「循環産業創成を目指した自律型セル生産ロボットシステム」と題するオーガナイズドセッションを08年から毎年企画し、学術面と実用面との研究開発連携を推進している。

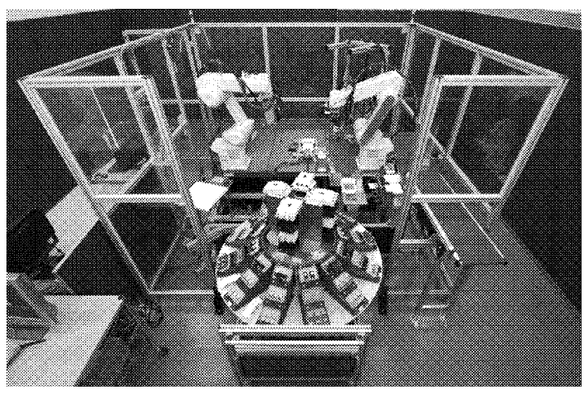

図１　三菱電機・京都大学共同開発の実証用セル生産ロボットシステム

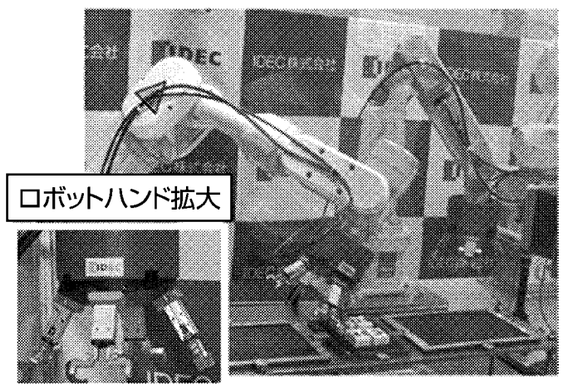

図２　ＩＤＥＣのマルチロボットハンドを用いたデモシステム

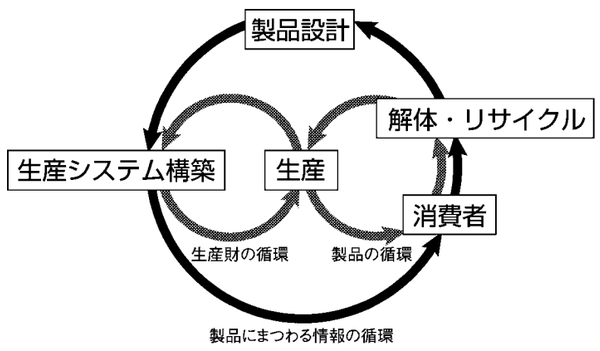

図３　ゼロエミッション循環システム

循環産業創成を目指して

産業用ロボットは当初「プログラマブルな汎用機械」として開発されたが、現状では一旦教示し終えたらそのままで使い続ける「専用機」に近い存在になってしまっている。ここで紹介した研究開発を通して「プログラマブルな汎用機械」たるロボットを中心とした再利用可能な生産システムを実現し、ゼロエミッションな循環産業創成を目指して「モノづくり日本」の新時代の開拓に貢献したいと考えている。