

解 説

人間・ロボット協調型セル生産組立システムの開発

A New Cell Production Assembly System with Human-robot Cooperation

森 岡 昌 宏* *ファナック株式会社
Masahiro Morioka* *FANUC LTD

1. は じ め に

本稿では、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において、2006年度から5年間プロジェクトとしてスタートした戦略的先端要素技術開発プロジェクト「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」について概説する。本プロジェクトでは、東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻新井研究室とともに、前半3年間で、プロトタイプロボットの製作、人間・ロボット協調型セル生産組立のデモシステムを構築し、生産性などシステム導入効果の基本評価を実施した。

以下に、人間・ロボット協調型セル生産組立システムの意義、システム構成、要素技術、導入効果、まとめ・展望を順に述べる。

2. 人間・ロボット協調型セル生産組立システムの意義

セル生産組立は製造業において重要な役割を果たしている。このセル生産組立において高い生産性を確保しつつ、かつ多品種少量生産に対応するため、人間が担う作業を効果的に支援する様々な形態のセル生産組立システムがこれまで提案されている。

人間の支援を目的として自動機械や計算機をセル生産組立に導入し実用化されている事例としては、いわゆる「デジタル屋台」がある。このデジタル屋台は、現在の組立工程に必要な部品やその組付方法に関する情報を作業者にディスプレイを通じて提示する情報支援システムだといえる。しかしながら、部品取り出しや部品配膳は、組立作業者自身または部品配膳に特化した作業者が行っており、物理的な支援は行われていない。

高賃金国において十分な国際競争力を維持するためには、人間は人間でなければできない高付加価値な作業に専念し、それ以外の付帯的な作業はロボットなどにより自動化することが望ましい。これは必然的に、人間とロボットが協働

する局面を含み、安全管理技術が重要となる。同時に、少子高齢化社会においては熟練作業者数の増加は期待できないため、作業初心者であっても頻繁に変更される作業内容に対して短時間で習熟でき、かつ信頼性の高い作業を行わせる支援技術の確立が望まれる。

そこで本プロジェクトでは、作業者とロボットが効果的に協働するセル生産組立システムの構築を目標として、ロボットが作業者を物理的・情動的に支援することで、高い生産性を有し、かつ多品種少量生産に適するコスト競争力を持ったシステムの実現を目指す。

3. システム構成

本プロジェクトで開発した人間・ロボット協調型セル生産組立システムの外観を図1に、システム構成を図2に示す。本システムは、ロボットが部品配膳・供給を行う（1）供給ステーションと、作業者が実際に組立を行う（2）組立ステーションで構成される。前者では、実際の組立作業と比較して、作業難易度が低く、付帯的作業に位置付けられる部品配膳や部品支持などをマニピュレーション機能と移動機能を有するロボット（移動配膳協調ロボット）により自動化する。また、後者では、情報提示機器を通じて作業者に対して情報支援を行うことで、作業者に高難易度の組立作業に専念させることを可能にする。

また、本システムでは、作業者とロボットの協調作業によりその動作領域を共有するため、この両ステーション間の連携を安全に行う（3）安全管理技術により作業者の安全を保証する。

4. 要素技術

上述のとおり、供給ステーションでは移動配膳協調ロボットを中心とした作業支援技術で、組立ステーションでは作業者に対する情報支援を中心とした作業支援技術で構築されている。安全管理技術と合わせてこれら三つの要素技術について以下に詳述する。

4.1 作業支援技術

セル生産組立の利点の一つは、大量生産型ライン生産と比較して生産品種や生産量の変動に合わせて柔軟にレイア

原稿受付 2009年7月31日

キーワード：Cell Production, Human-robot Cooperation, Assembly Support, Safety Management

*〒401-0597 山梨県忍野村

*Oshino-mura, Yamanashi

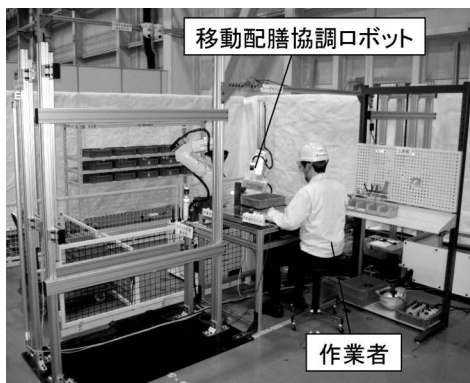
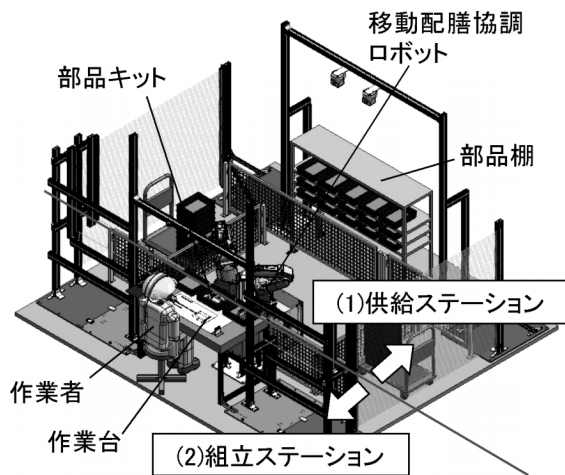


図1 システム外観

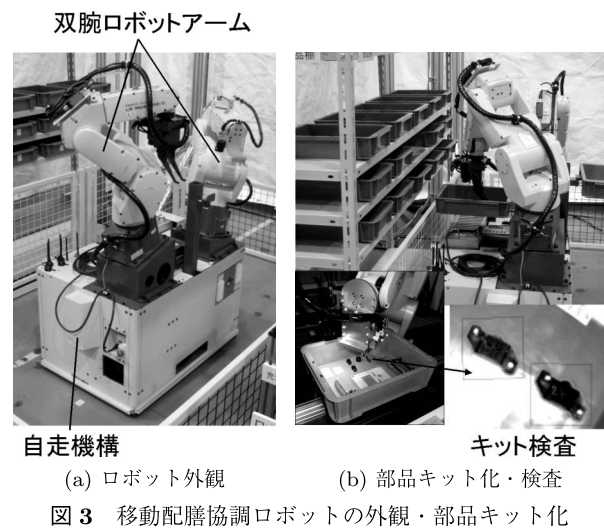


図3 移動配膳協調ロボットの外観・部品キット化

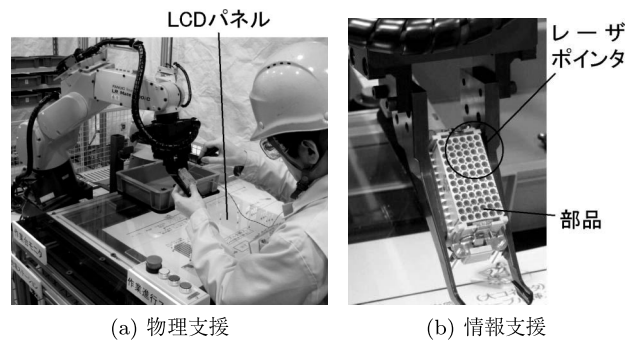


図4 ロボットによる物理支援・情報支援

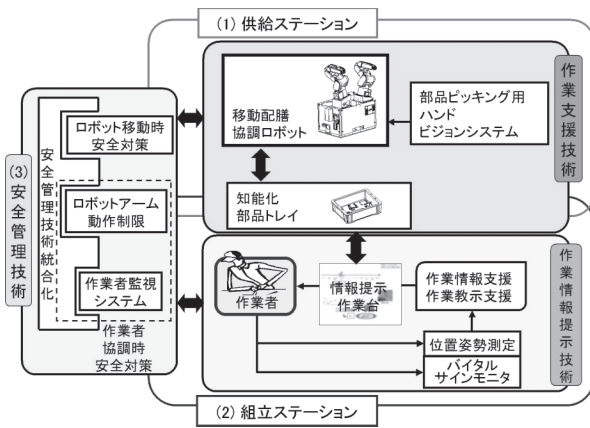


図2 システム構成

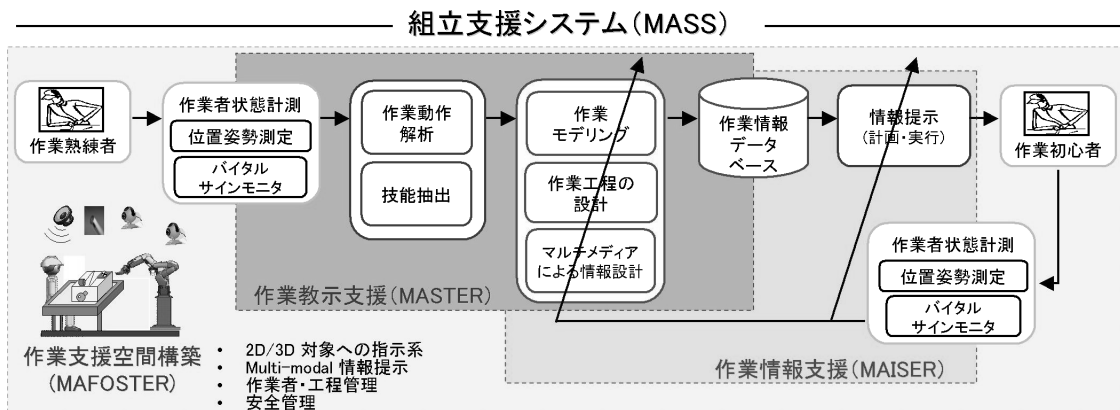
ウト変更が可能な点にあり、人間・ロボット協調型セル生産においてもその特徴を兼ね備える必要がある。このレイアウト変更柔軟に対応するため、部品配膳を行うロボットとして、前後左右・回転移動が自在な自走機構を有し、高速な部品ピッキングを可能とする人腕大の双腕ロボットアームを搭載した移動配膳協調ロボットを開発した。移動配膳協調ロボットの外観を図3(a)に示す。

本ロボットは、自走機構部に搭載したバッテリーにて駆動

し、無線通信、走行時の位置・姿勢誤差を補正するビジョンシステムを搭載している。また、図3(b)に示すように、供給ステーション内に設置された部品棚から、組立部品がバラ積みされている部品コンテナを一方のロボットアームにより取り出し、他方のロボットアームに搭載されたビジョンでその部品を検出・ピッキングすることで、必要な部品一式を配膳用トレイにキット化する。このキット化された配膳用トレイは、必要部品の過不足がないことをビジョンで検査され、移動配膳協調ロボットにより組立ステーションにいる作業員まで配膳される。

また、本ロボットは、この部品配膳に加えて、ロボットアームで必要な部品を把持し、作業員に供給する部品固定のための治具となる物理支援(図4(a))や、レーザーポインタと協働して部品の組み付け位置を指示する情報支援(図4(b))を行う。これにより、前者にて作業員による治具段取り替えを削減することで作業効率を向上させ、また後者により作業初心者でも作業間違いを完全に排除可能となる。

この移動配膳協調ロボットは、教示修正のみで様々なレイアウトのセル生産組立システムに対応可能である。また、従来人間が行っている多種部品のキット化・配膳作業を完全に自動化し、24時間稼働により部品配膳の高い生産性を



確保可能な点で、生産現場での高い実用性が見込める。

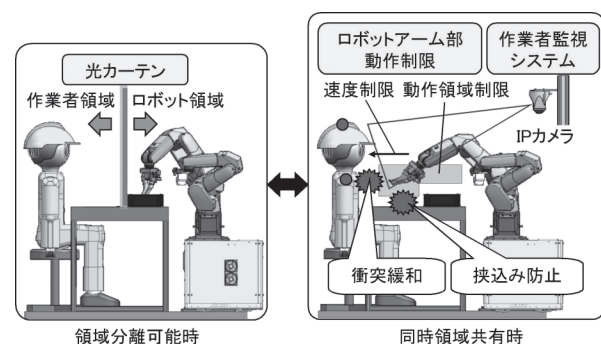
4.2 作業情報提示技術

今後の少子高齢化社会では、セル生産組立において作業初心者が頻繁に変更される作業内容を短時間で習熟し、信頼性の高い作業を行わせる支援技術の確立が重要となる。本プロジェクトでは、作業者の組立作業に対する情報支援を目的として組立支援システム MASS (Multi-modal Assembly Support System) を開発した [1]。システム構成を図 5 に示す。

本システムは、作業教示支援 MASTER (Multi-modal Assembly Skill TransFER) と作業情報支援 MAISER (Multi-modal Assembly Information SupportER) で構成される。MASTER は、作業者に装着したカラーマークを IP カメラにて検出することで作業者の位置と姿勢を測定するシステムと、様々な生理指標を活用して作業者の心的負担を検出するバイタルサインモニタで構成される。これにより計測されたデータから作業動作を解析し、熟練作業者の作業のやり方の抽出を行う。また、このバイタルサインモニタによる情報支援手法の検証実験により、紙や音声ガイドよりも視覚による情報支援が作業者の心的負担が少ないことなどが明らかとなっている。

一方、MAISER では、取得した解析データから作業分析・作業情報データベースに格納し、動画・静止画・テキスト・音声などマルチメディアを用いて作業者に分かりやすい形で情報提示を行う。さらに、図 4(a) のような作業台の下面に設置した液晶ディスプレイから作業情報を提示するハード構成としたことで、作業者は作業から視線を離すことなく作業理解が可能となり、作業効率の向上が期待できる。

この組立支援システムにより、組立作業に必要な情報に加え、熟練者の組立作業におけるカンやコツなどを作業初心者に容易に継承することが可能となる。本システムは短期間での世界同時立ち上げの支援ツールとして活用可能であり、作業間違いの少ない機種変更に強いセル生産組立シス



テムの構築が可能となる。また、製造現場だけでなく、サービス業のバックヤード作業や事務作業など幅広い分野への適用が有効である。

4.3 安全管理技術

組立ステーションでは、ロボットが把持する部品に作業者が別の部品を組み付けるといったロボットと作業者が動作領域を同時に共有する協調作業が存在する。そのため動作領域を安全柵で囲うといったこれまでの産業用ロボットとは異なる安全対策が必要となる。

そこで本プロジェクトでは、作業者とロボットの動作領域が分離可能な場合には、光カーテンにより両者の動作領域を分離し、両者が領域を同時に共有する協調作業の場合は、光カーテンを無効化する代わりにロボットアーム部の動作制限および IP カメラによる作業監視により安全を確保する多重系の機能安全対策を開発した (図 6)。ロボットアーム部の動作制限は、二つの CPU を有するロボット制御装置・ソフトウェアにて動作速度と動作領域を二重監視して制限する信頼性の高い安全対策となっている。

上記を含めシステム全般の安全対策の評価として、合理的に予見される誤使用も含めて 168 項目の危険源を同定し、ISO12100 によるリスクアセスメント手法 “Three Step Method” (本質安全設計・安全防護の採用・残留リスクの通知) に従いリスク低減策を検討している。

5. 導入効果

人間とロボットの協調作業が効果的なアプリケーションとして、簡易的なケーブルハーネスの製造を作業対象とした。これはケーブル線材をコネクタに挿入する作業であり、作業難易度が高く、現状ロボットによる完全自動化には至っていない。構築したシステムにてこのケーブルハーネス製造を行い、人間のみで実施する従来方式のセル生産組立と組立に要する所要時間の比較を行った。検証の結果、作業初心者では製造立ち上げ当初にて従来方式よりも組立所要時間が最大約1/2にまで短縮され、本システムにより生産性が向上可能であることが確認できた。また、作業初心者・中級者ともに製造立ち上げ当初からはほぼ同等の作業所要時間となり、本システムにより作業熟練度に依存することなく安定した作業品質を確保した組立作業が可能であることを実証した。

6. まとめ・展望

本プロジェクトでは、人間・ロボット協調型セル生産組立システムの要素技術を開発し、人間のみの従来方式セル

生産組立よりも高生産性でコスト競争力を持ったシステム確立への目処を示した。今後2年間の研究開発を経て、安全管理技術の信頼性向上や多品種混流生産への対応能力を強化し、人間・ロボット協調型セル生産組立システムのモデルケースとしての確立・生産現場への本格導入を目指す。

謝 辞 本プロジェクトは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の戦略的先端要素技術開発プロジェクトの一環として実施されている。支援いただいている関係者の方々に深く感謝する。

参 考 文 献

- [1] J.T.C. Tan, F. Duan, Y. Zhang, K. Watanabe, N. Pongthanya and T. Arai: "Assembly information support system for operational support in cell production," The 41st CIRP conference on manufacturing system, pp.209-212, 2008.



森岡昌宏 (Masahiro Morioka)

ファナック株式会社基礎研究所森岡研究室室長。1999年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程修了。同年ファナック株式会社入社、第一ロボット研究所にて産業用ロボット機構部の開発に従事、2009年より現職。