

平成21年3月31日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760167

研究課題名（和文） 群知能ロボットによる多品種変動生産対応型システムの開発

研究課題名（英文） Development of an Agile Manufacturing System with Intelligent Robots

研究代表者

星野 智史（HOSHINO SATOSHI）

東京工業大学・資源化学研究所・助教

80431980

研究成果の概要：

本研究では、多種多様な製品を流れ系列的に処理するセル型生産システムを対象とする。そして、当該システムに単純な知能を有したロボット群を投入し、各ロボットが必要な情報を他のロボットと共有することで、変動するシステムの非定常な状況に対してリアクティブに行動を切替えながら作業を遂行する多品種変動生産対応型の群知能ロボットシステムを開発する。さらに、本ロボットシステムの具体的な適用例として、化学プロセス産業におけるパイプレスバッチプラントを題材にした応用研究を行い、その可能性を示す。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	450,000	3,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス

## 1. 研究開始当初の背景

近年、顧客のニーズやそれにとまなう製品の多様化により、生産現場における作業形態は様々に変化を遂げてきた。これにより、今日の主要な生産形態が多品種少量に加え変種変量、すなわち多品種変動生産形態へと変化しており、これに対する柔軟かつ頑健なシステム、あるいはそれらを実現するための方法論が必要とされている。そこで本研究では、当該生産設備で稼働している機械群の知能化、すなわちロボット化を行い、知能ロボット群による多品種変動生産（Agile

Manufacturing）対応型の生産システムの開発に注目した。

## 2. 研究の目的

本研究では、多種多様な製品を流れ系列的に処理する単純セル生産システムを対象とする。そして、当該システムに単純な知能を有したロボットを群として投入し、各ロボットが必要な情報を他のロボットと共有することで、変動するシステムの非定常な状況に対してリアクティブに行動を切替えながら

作業を遂行するシステム、すなわち、多品種変動生産対応型の群知能ロボットシステムを開発する。最終的には、本システムを実際の生産ラインあるいはプラントへ投入したいと考えている。

### 3. 研究の方法

本研究では、(1) 単純な知能を有する自律群ロボットシステムの開発、(2) 群知能ロボット型のロバストな生産システムの構築、(3) 群知能ロボット型生産システムの有効性の検証、(4) 実システムへの適用、の4項目をマイルストーンとし、以下に述べる方法によりアプローチする。

(1) 実システムへの適用を実現するためには、高度な知能を有したロボットではなく、Fig. 1に示す単純な知能でも処理が十分可能な情報を扱う自律ロボットが有効である。そして、本ロボットを複数台使用した、群知能ロボット型多品種生産システム(Fig. 2参照)を開発する。

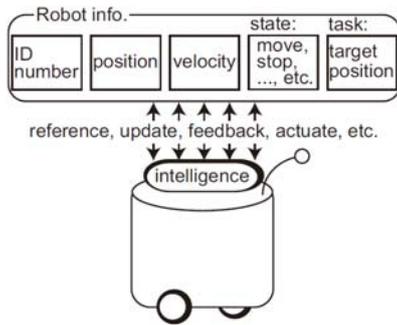


Fig. 1 自律行動のためロボットが有する単純な知能とそれが扱う情報

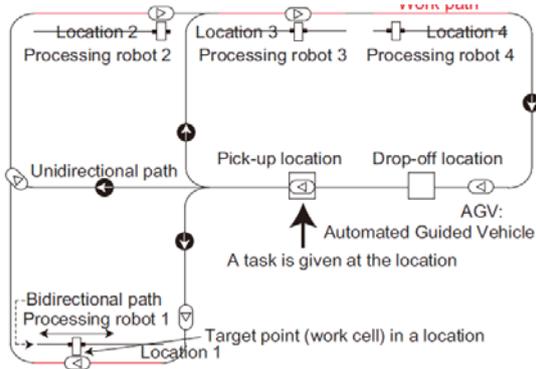


Fig. 2 群知能ロボット型生産システム

(2) ロバストなシステムとは、飛込み注文や、需要の増減など、状態の変動といった非定常な状況へ頑健に対応可能なシステムを意味する。このシステムを構築するためには、Fig. 3が示すように、ロボットが状況に応じてリアクティブにそれらに対処するた

めの行動則の開発が必要となる。そこで本研究では、ロボット間通信により、各ロボットは他のロボットの情報を共有し、これに基づき、あるロボットが作業負荷を抱えている場合には、他のロボットでこのロボットの作業を支援する行動をリアクティブにとるための行動則を開発し、ロボット群に実装する。

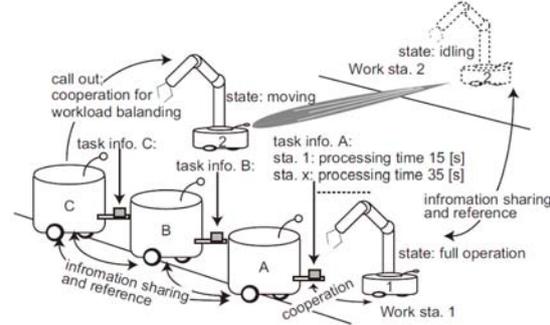


Fig. 3 例：作業負荷にリアクティブに対処する移動式のハンドロボット2

(3) (2)で提案した非定常状況へリアクティブに対応するロボット行動則の有効性を検証するため、Fig. 2が示すヘテロジニアスな群知能ロボット型生産システムを計算機シミュレーション上で構築し、タスクの変動に対して、異種ロボット間での協調行動の有効性を示す。

(4) 群知能ロボットシステムの産業応用、すなわち、実システムへの適用を考慮し、化学プロセス産業における、パイプスペースプラント(Fig. 4参照)を想定する。そして、容器搬送機械ならびにプロセス装置群の知能化、作業遂行のための効率的な行動則の開発と実装、シミュレーション実験による有効性の検証を行う。

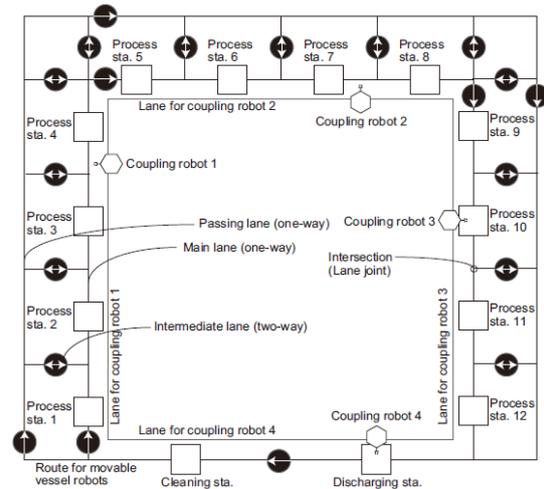


Fig. 4 パイプスペースプラントの概要

### 4. 研究成果

本研究では、(1)～(3)のマイルストーンに対して、まず、単純な知能を有したロボット (Fig. 1 参照) を複数投入した生産システム (Fig. 2 参照) を、シミュレータ上で構築した。Fig. 5 が示す群知能ロボット型生産システムシミュレータ上では、知能化された製品・部品搬送ロボットと、移動式の生産・加工ロボットが作業を行っている。環境変動にロバストなシステムを実現するため、システムの知能化、ならびにロボット群によるリアクティブ行動則の実装が容易に行え、シミュレーション実験を通じて、提案行動則やシステムの有効性を検証することができる。

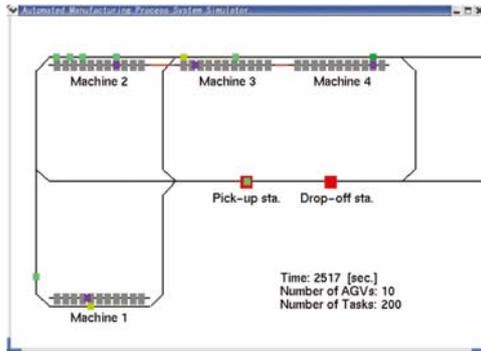


Fig. 5 群知能ロボット型生産システムシミュレータ

Fig. 6 に、従来の知能を持たず、集中管理により制御されたビークル型生産システムと、提案した群知能ロボット型生産システムとの、ビークルあるいはロボットの投入台数に対するシステムの操業時間の比較結果を示す。提案システムでは、単純な知能でもロボットに実装することで、各ロボットは分散管理により自律的に行動し、従来の集中管理によるビークルよりも柔軟な搬送作業が実現、操業時間も短くなる結果となった。

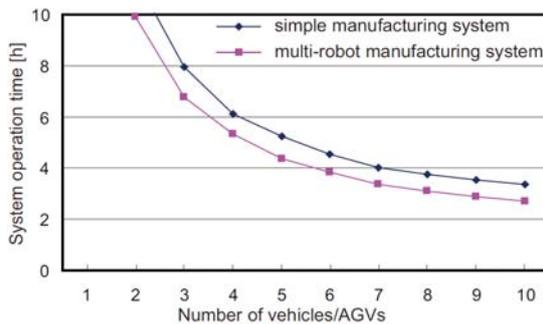


Fig. 6 従来システムと提案システムとの比較

Fig. 7 は、提案システム内で稼働する作業ロボット群に対して、ロバストな作業遂行実現のため、局所的な作業負荷により搬送ロボット (AGV) の渋滞が発生した際、通信により移動式の生産・加工 (作業) ロボット間で

リアクティブな協調行動を取り、負荷分散を行った結果を示している。この結果から、リアクティブな行動則を適用することにより、協調行動→作業負荷 (AGV 渋滞) の緩和、そして作業の効率化が図られ、ロバストなシステムが実現されたことが確認できる。

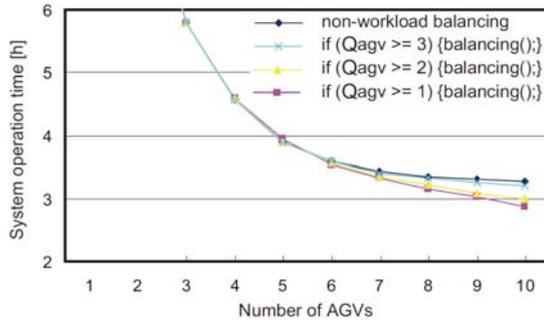


Fig. 7 リアクティブロボット行動則の有効性

Fig. 8 は、リアクティブ行動則による、ロボットの制御を行った際の、各生産・加工 (作業) ロボットの稼働率を示している。ただし、作業ロボット 1 には、提案行動則は実装されていない。作業ロボット 1 と 2～4 の稼働率を比較すると、製品搬送ロボット (AGV) が増加するのに対して、2～4 の作業ロボットの稼働率も増加している。このことは、システムの操業状況に変動があっても、2～4 の作業ロボットはそれに対応し、稼働量を自ら制御していることを示している。一方、作業ロボット 1 の稼働率は、AGV の増加に対してもおおむね一定となっており、これは、リアクティブ行動則が実装されていないため、変動に対応できていないことを示している。したがって、この結果から、リアクティブなロボット行動則の非定常状況に対するロバスト性が示された。

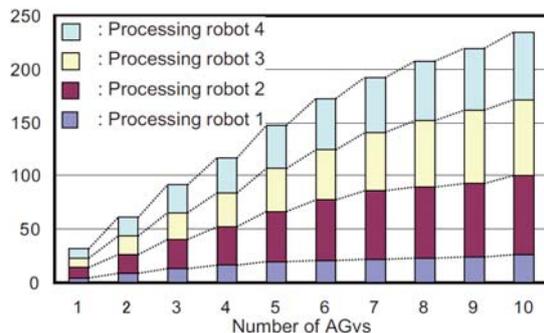


Fig. 8 リアクティブロボット行動則のロバスト性

Fig. 9 は、実システムへの適用を目指し、Fig. 4 が示すパイプレスバッチプラントへ、本研究成果を実装したシミュレーションの様子を示している。本システム内には、化学製品の (原) 材料を搬送するロボットと、搬

送されてきた材料を化学的に処理するロボットがそれぞれ複数台稼働している。いずれのロボットも既述した単純な知能を有しており、他のロボットとの情報の共有ならびに自律して効率的な行動をとることが可能である。そして、シミュレーション実験を通じて、Fig. 6~8の結果と同様、群知能ロボットシステムの産業応用への有効性を確認した。この結果は、ロボットによる最先端自動化技術に対して大きな影響を及ぼすものと考えられる。

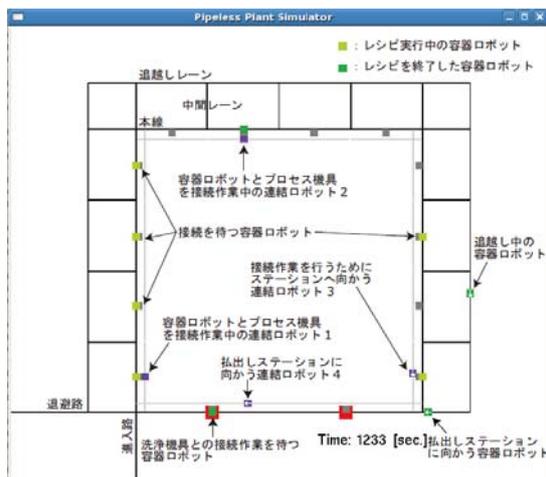


Fig. 9 群知能ロボット型パイプレスバッチプラントシステムシミュレータ

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① S. Hoshino, et al., Pipeless Batch Plant with Operating Robots for a Multiproduct Production System, Distributed Autonomous Robotic Systems, in press.

[学会発表] (計 8 件)

・ 査読有り国際会議論文

① S. Hoshino et al., Reactive Robot Control with Hybrid Operational Models in a Seaport Container Terminal Considering System Reliability, Proc. of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS' 08), pp. 143-148, 2008. 9. 28, フランス, ニース, Acropolis Convention Center

② S. Hoshino et al., Integrated Scheduling for Gasoline Blending Considering Storage Tanks and Pipe Network, Proc. of the 4th Annual IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, pp. 784-789, 2008. 8. 26, アメリカ合衆国, ワシントン DC

③ S. Hoshino et al., Development of a Flexible and Agile Multi-Robot Manufacturing System, 17th IFAC World Congress, pp. 15786-15791, 2008. 7. 11, 大韓民国, ソウル, The Convention and Exhibition Center (COEX)

④ S. Hoshino et al., Improvement of Operating Procedures through the Reconfiguration of a Plant Structure, 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE 18), pp. 241-246, 2008. 6. 2, フランス, リヨン, Centre des Congrès de Lyon

・ 査読なし国内学会発表論文

⑤ 関宏也, 星野智史, 仲勇治, 連続プラントのスタートアップ操作手順の構造化, 化学工学会 第 39 回秋季大会, 東北大学, H123, 2008. 9. 24

⑥ 古古典義, 星野智史, 関宏也, タンクと配管網を考慮したガソリンブレンドのスケジューリング, スケジューリング・シンポジウム, pp. 51-56, 2008. 9. 19, 青山学院大学青山キャンパス

⑦ 星野智史, 関宏也, 仲勇治, 情報の統合化による群ロボット型生産管理システムの開発, 化学工学会 第 39 回秋季大会, 北海道大学, C205, 2008. 9. 14

⑧ 星野智史, 関宏也, 仲勇治, 多品種生産システムのためのパイプレスバッチプラント, 第 26 回 日本ロボット学会学術講演会, 神戸大学, RSJ2008AC303-02, 2008. 9. 11

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

星野 智史 (HOSHINO SATOSHI)  
東京工業大学・資源化学研究所・助教  
研究者番号: 80431980

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし