

# 単純な知能を有したロボット群による 多品種変動生産対応型システムの構築

東京工業大学 星野 智史 関 宏也 仲 勇治

## Advanced Agile Manufacturing System using Multi-agent Robot with Simple Intelligence

Tokyo Institute of Technology Satoshi HOSHINO, Hiroya SEKI, and Yuji NAKA

**Abstract**— This paper addresses an advanced agile manufacturing system, which processes a large variety of products. These products have their own task information, such as a target workplace, processing time, and etc. Furthermore, the tasks are not given in advance. Consequently, system operating conditions vary with the changes in given tasks from hour to hour. This system that includes such unsteady situations might have a heavy workload in the system. Therefore, workload balancing is a challenge. For this issue, we focus on multi-agent robot with simple intelligence in a manufacturing system. In this paper, we first describe behavioral and cooperation mechanisms among robots. Thus, by sharing their information, robots are able to react to such unsteady situations adequately. Then, we develop an advanced manufacturing system with AGVs (Automated Guided Vehicles) and processing machines, which are operating as robots. Finally, the effectiveness of the system is demonstrated based on the careful comparison and evaluation.

**Key Words:** Agile Manufacturing System, Multi-agent Robot, Workload Balancing, Cooperation.

### 1. 序論

近年、顧客のニーズやそれにとも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生産 (Agile Manufacturing) 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。なお本研究では以降、本生産形態のことを、多品種変動生産と呼ぶこととする。ここで、多品種変動生産とは、製品の種類、仕様、量、そしてそれを顧客に提供する納期などに関する項目が複雑に関係し、かつこれらのニーズは時間の経過にともない変化をし続ける生産形態のことを指す。

従来、これら変化を遂げている生産形態に対して、(I) ベルトコンベアを用いた大量生産システム、(II) セル生産方式やホロンの概念を用いた多品種少量生産に柔軟に対応するためのシステム、などに関する研究がなされてきた<sup>1) 2) 3)</sup>。しかしながら、今日の生産形態に対して、“高効率かつ完全自動化された生産工場の実現”といった観点からは、これらの研究成果が十分であるとはいえない。この理由としては、以下の3つがあげられる。

- ベルトコンベア方式では、耐故障性や柔軟性といった観点からは多品種変動生産への対応が不十分
- 特に自己完結型のセル生産方式では、個々の作業者が受け持つ作業の複雑さから、ロボットなどの自動機械に任せることが困難
- ホロニック生産システムでは、柔軟性は高いものの、生産性が極めて低い

そこで本研究では、自己完結型のセル生産方式に要求されるような複雑な作業ではなく、各作業は単純でありながら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適用し、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システムを構築する。そして、当該システムの有効性を示す。

本研究では、ロボットが単純な作業を行うことを前提としている。そのため、各々のロボットは、自分の状態 (速度や自己位置など) や作業情報を把握し、かつこれらを他のロボットと共有しながら、この単純な作業を遂行する。ロボットがこの一連の行動をとる能力のことを、本研究では、単純な知能と定義する。また、多品目製品の生産オーダーが時間の経過にともない変化するため、当該システムの操作状況は時々刻々と変化する。このように、動的な環境下においてあらかじめ作業オーダーが把握できず、その結果、作業が滞ってしまう状況のことを、本研究では、非定常な状況あるいは状態と定義する。

### 2. 関連研究

太田は、動的に変動する環境下において、自律分散的に機能することが可能な群知能ロボットシステムの有効性について述べている<sup>4)</sup>。松田らは、実システムとしてライン生産システムに群知能ロボットを適用し、各ロボットが有する知識を互いに共有し、知識の均一化をはかることで各ロボットにかかるタスクの負荷を分散し、ロボット群が自律的に製造工程を再編成する方法論を提案している<sup>5) 6)</sup>。しかしながら、本製造ラインで扱う製品は、任意の工程数からなる単品種に限定されているため、本研究で対象とする多品種変動生産システムへの対応は十分でない。

群ロボットシステムを自動倉庫に適用し、製品を積荷・搬送するタスクのスケジューリングを行うための

方法論も提案されている<sup>7)</sup>。しかしながら、上述したように多品種変動生産システムでは、これらタスクのオーダーが一定ではないため、作業開始時に全タスクのスケジューリングを行うことは困難である。与えられたタスクのオーダーが作業途中に変更された際、これらの再スケジューリングを行う方法論も提案されている<sup>8)</sup>。しかしながら、この場合もタスクのオーダーが作業開始時には全て与えられていることが前提であるため、本研究で扱うシステムへの適用は困難である。

### 3. チャレンジングポイント

2. 章で述べた関連研究より、多品種変動生産対応型のシステムを構築するためには、以下のチャレンジングポイントを考慮し、解決する必要がある。

1. タスクの内容は製品によって異なり、変動する。
2. 全作業タスクをあらかじめ把握することはできない。
3. 1 および 2 が原因となり、システム内にボトルネックとして、ロボットに対する作業負荷が生じてしまう。

すなわち、処理する製品が一定であり、かつ事前にタスクのオーダーが与えられているといった定常状態ではなく、製品受注のばらつきならびに変動性あるいは不確定性を含んだ要素が原因となり、場合によってはシステムが非定常状態になってしまう。この場合、通常運転を行っているとは局所的に大きくなる作業負荷により、作業効率は悪化してしまうおそれがある。

浅間らは、インテリジェントデータキャリア (IDC) を通信の中間媒体として用いることにより、複数台の自律型ロボットの協調的作業分担決定手法の提案を行っている<sup>9)</sup>。しかしながら、このような記憶媒体を用いたシステムは、多数の記憶媒体の物理的情報、蓄積された情報の内容や更新状況を把握するための冗長な管理システムが必要となる<sup>6)</sup>。そこで本研究では、上述したチャレンジングポイントに対して、以下のアプローチにより多品種変動生産対応型のシステムを構築する。

- 各ロボットは、環境情報、他のロボットの持つ情報、タスクの情報など、作業の遂行に必要な情報を互いに共有することで、状況に応じた行動をリアクティブに決定・実行し、負荷分散を行う。

## 4. ロボットの知能構造と行動メカニズム

### 4.1 ロボットの有する知能構造

Fig.1 に、本研究で適用するロボットの知能構造を示す。ロボットは自分の情報として、識別番号、環境中における地図（位置あるいは経路）情報、速度情報、状態（移動中、停止中、など）情報、そして与えられたタスクの情報（目標位置、処理時間、など）などを有する。そして、各ロボットは知能を介すことによりこれらの情報を参照、更新、フィードバックし、自律的に行動する。これらの情報は、ロボットに要求される単純な作業を遂行する上で必要十分な情報であり、これによりロボットは変動するシステムヘリアクティブに対応することが可能となる。

なお、本研究では各ロボットが自分の情報や他のロボットの情報を基に、(a) 進路（位置、経路）、(b) 速

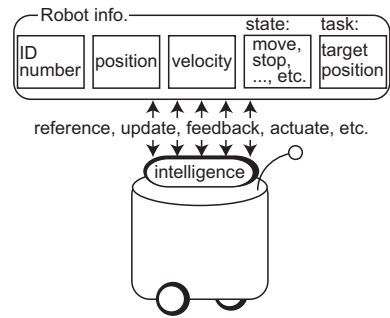


Fig.1 Structure of a robot intelligence

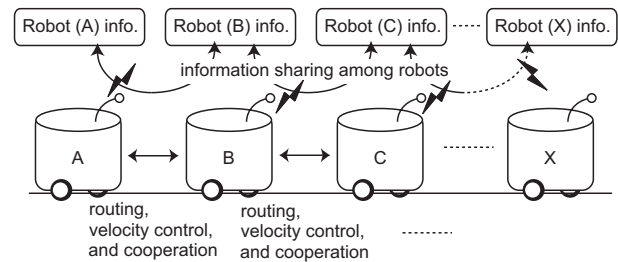


Fig.2 Information sharing among robots

度（加速、減速、一定速）、(c) 他のロボットとの協調作業および協調行動、などを主体的に決定することを、自律的な行動と定義する。ここで、協調作業とは、ある目的のため、2 台のロボットが協調して行う作業のことを、協調行動とは、非定常な状態に対して、ロボットがリアクティブに負荷分散を行う行動のことを意味する。

### 4.2 ロボット間での情報の共有

Fig.2 に、ロボット間で情報を共有している図を示す。ロボットは、自分に与えられたタスク情報ならびに現在位置情報に基づき、目的位置情報を取得し、進路を決定する (a)。決定した進路にしたがって速度を決定する (b)。移動に際して、各ロボットはお互いの情報を共有し、進行方向に他のロボットが存在する場合は、他のロボットの位置情報に基づき、自分の速度を決定する (b)。さらに、ロボット間で互いの状態情報および遂行中のタスク情報を共有し、これらの情報を参照することで、他のロボットとの協調作業・行動を開始する (c)。

システム全体で、共有されている情報の整合性をとるために、ロボットは、後述する行動則に従い、各自の行動を決定する。

### 4.3 協調行動によるタスク負荷の分散

Fig.3 に、ロボット間における協調行動によるタスク負荷分散の例を示す。ここでは、製品を搬送するロボット (A, B, C) と製品に対して処理を行うロボット (1, 2) の 2 種類のロボットが稼動するシステムを例にする。

多品種変動生産では、顧客のニーズに合わせて取り扱う製品が変動し、処理時間も製品によって異なる。したがって、ある時刻において“処理時間のかかる製品が特定の作業ロケーションで処理を受ける”といったタスクが頻発した場合、当該作業ロケーションでの作

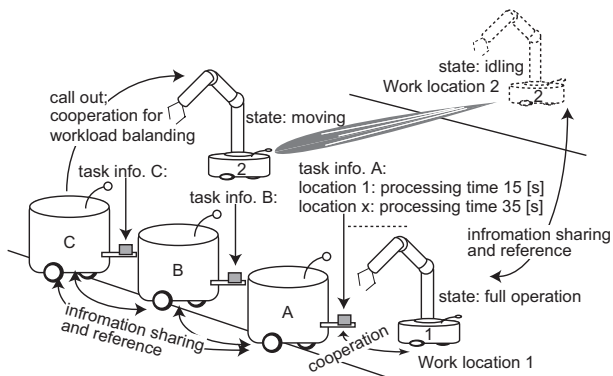


Fig.3 Robots cooperation for workload balancing

業負荷が大きくなり、その結果、システムは非定常状態となってしまうことがある。この状況に対し、Fig.3では、作業ロケーション1の作業負荷が高くなった場合、製品処理ロボット1と2の間で作業状態を共有し、お互いの情報を参照する。搬送ロボットは互いの保持する製品のタスク情報ならびに状態情報を共有し、作業の待ち状態を参照する。その結果、ある決定基準に基づきロボット2がロボットCの作業相手として選択され、作業ロケーション1へと呼び出される。作業を終えた搬送ロボットはそれぞれ次の作業ロケーションへと向う。一方、ロボット2は自分の持ち場である作業ロケーションに搬送ロボットがやってきた場合、当該ロボットと情報を共有し、自分の持ち場である作業ロケーション2へと戻り、作業を開始する。

このように、ロボット間で互いの情報を共有し、状況に応じてリアクティブに作業負荷の高くなっているロケーションに向かい、作業を協調的に補完することで、多品種変動生産システムに対しても柔軟に対応することができる。

## 5. 多品種変動生産対応型ロボットシステム

### 5.1 概要

多品種変動生産に対する本ロボットシステムの有効性を検証するため、Fig.4に示す自動生産システムを対象とする。

Fig.4において、AGV (Automated Guided Vehicle) は製品の搬送を担うロボットである。当該ロボットは、製品にタスクとして与えられている情報を基に、自律行動をとる。タスクには製品の搬送先(作業ロケーション1~4)、ロケーション上の作業セル、処理にかかる時間などが記述されている。AGVは製品を受け取った瞬間にはじめてタスクの内容を知る。AGVにより搬送された製品は、各ロケーションにて作業を行う移動式の製品処理ロボット(1~4)によりそれぞれ必要な処理を受ける。当該ロボットにはマネジュラが搭載されているものとする。処理ロボットが作業を行うロケーションは、それぞれ作業セルに分割されており、各セルには製品を処理するために必要な道具がおさめられている。各ロボットは通信により情報を共有するものとする。システムの外形は、幅45[m]、奥行き30[m]のレイアウトで、AGVの搬送経路は単方向のものにより構成されている。

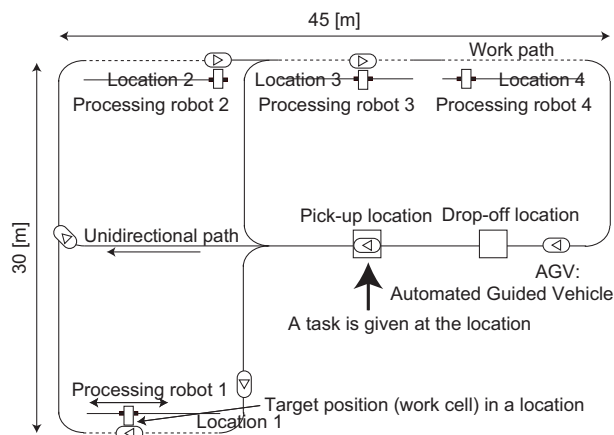


Fig.4 Advanced manufacturing system with AGVs and processing robots

### 5.2 システム設定

#### 5.2.1 ロボットの投入台数

AGVの投入台数を1~10台まで変更した際、作業完了までに要した時間でシステムの有効性を評価する。このとき、製品処理ロボットは各作業ロケーションに1台ずつ投入され、合計で4台が固定台数として作業を行っているものとする。

#### 5.2.2 ロボットの行動則

AGVは単方向経路上を一方方向に進む。経路の交差・合流点には制御ゾーンが設けられており、当該ゾーンに先に進入したAGVが優先される。AGV同士の衝突回避のため、各AGVは自分の速度に応じた停止距離内に他のAGVが存在した場合、当該AGVが停止距離に入らないよう減速する。一方、停止距離内に他のAGVが存在しない場合、最高速度に達するまで加速する。処理ロボットと製品処理のために協調作業を行う際には、AGVは目的位置到着後ではなく、作業経路進入後、処理ロボット間でお互いの情報を共有し、処理ロボットが作業待ち状態の場合、AGVはタスク情報におさめられている目的作業位置情報を当該処理ロボットへ与え、呼び出す<sup>10)</sup>。AGVの目的作業セルと呼び出された処理ロボットの存在する作業セルの位置が同じになったら、協調作業を開始する。

処理ロボットは、システムが定常時においては、各自が担当するロケーション上でAGVと協調作業を行うが、非定常時にはリアクティブな協調行動により負荷分散を行うために、他のロケーションへと移動する。ただし、各処理ロボットが担当するロケーションに隣接する作業経路に、1台でも協調作業を行おうとしているAGVが存在する場合、処理ロボットは協調行動はとらず、協調作業を優先する。また、協調行動中あるいは後に、処理ロボットが存在しないロケーションにてAGVが協調作業を待機している場合、当該処理ロボットは、このAGVとの協調作業を優先し、自分の担当するロケーションへと戻る。本研究では後に処理ロボットの稼働率の観点からシステムの評価を行うため、Fig.4に示されたロボット2~4は作業負荷に応じて協調行動をとる、ロボット1は終始作業ロケーショ



Table 1 Specifications of the operating robots

AGV		
Max. traveling velocity	[m/s]	1.0
Max. cornering velocity	[m/s]	0.32
Acceleration	[m/s <sup>2</sup> ]	0.17
Processing robot		
Max. traveling velocity	[m/s]	0.52
Acceleration	[m/s <sup>2</sup> ]	0.019

ン1上にて作業を行うものとする。このとき、処理ロボット(2~4)は互いに同一経路上において交差可能であるものとする。

AGVが搬送した製品は、作業経路(Fig.4に点線で示された経路)に進入してきたAGVの先頭から順に、処理ロボットとの協調作業によって処理される。

### 5.2.3 ロボットの作業仕様

AGVと処理ロボットは、それぞれTable1に示された仕様に基づき、作業を実行する。

### 5.2.4 作業タスクの詳細情報

タスク情報には、Pick-upならびにDrop-offロケーションの位置、どの作業ロケーションのどの作業セルに向うか、などといった製品の作業目的位置、さらに、目的位置における製品の荷役、およびAGVと処理ロボットによる製品処理のための協調作業に要する時間に関する情報などが含まれている。なお、本研究では、これら目的作業位置ならびに処理時間に関して、目的作業ロケーションおよびその作業セル、そこで要する処理時間は、ある確率の下ランダムに決定する。

### 5.3 作業プロセス

Fig.4のシステム内を、AGVは製品をPick-upロケーションからそれぞれ所定の作業セルまで搬送し、処理ロボットにより処理された製品はAGVによりDrop-offロケーションまで搬送される。

1. Pick-upロケーションにてAGVへ製品が荷役される。このとき、製品の作業タスクとして各情報がAGVへと与えられる。
2. タスク情報に基づき、AGVは作業目的位置までの搬送経路を計画する。
3. 他のAGVの情報を共有・参照しながら速度制御を自律的に行い、目的の作業位置へと向う。
4. 処理ロボットとの協調作業を行う経路に進入後、AGVが処理ロボットとの情報を共有・参照し、目的作業セルへと呼び出す<sup>10)</sup>。
5. AGVと処理ロボット間で情報を共有・参照し、製品処理のための協調作業を開始する。
6. AGVはタスク情報を参照し、次の作業目的位置への搬送タスクの有無を確認する(タスクがあればプロセス2へ戻る)。なければDrop-offロケーションへの経路を計画し、戻る。
7. Drop-offロケーションに戻ったAGVから製品が荷役される。作業を終えたAGVは製品の搬送タスクの有無を確認し、あればPick-upロケーショ

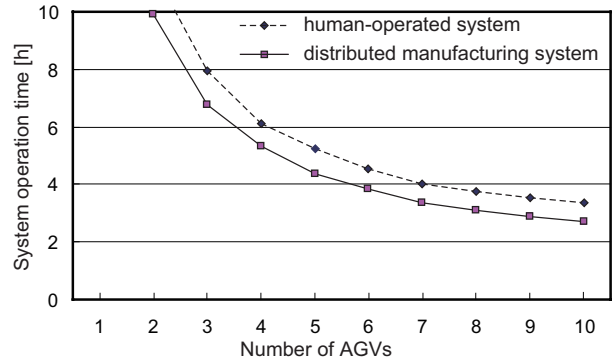


Fig.5 Comparison of human-operated and distributed manufacturing systems based on the system operation time

ンへと向う(プロセス1へ戻る)。なければ作業を終了する。

## 6. シミュレーション実験

### 6.1 従来システムとの比較

本節ではそれぞれ、1. 従来の人手によるシステム、2. 自律分散型生産システム、の比較を行う。さらに次節以降では、3. 自律分散・多品種変動生産対応型システム、として非定常状態に対する当該システムの有効性に関する考察を行う。

1のシステムでは、AGVではなく有人式の搬送車が製品にかかわらず、全て一定の経路を通り目的位置まで搬送を行う。処理機械は搬送車が目的位置に到着後、オペレータにより製品処理のため移動を開始する。2のシステムでは、AGVは互いの情報を共有しながら作業を行うため、目的位置に対して最短経路を計画し、搬送を行う。

作業タスクは、5.2.4項で述べたとおり、どの作業ロケーション上のどの作業セルになるかは一様にランダムに決定される。また作業時間に関しては、Pick-upおよびDrop-offロケーションにおける製品の荷役に要する時間はそれぞれ15秒で一定とした。ただし、処理ロボットによる製品処理にかかる時間は10秒から50秒の間で一様にランダムに決定されるものとする。なお、本研究ではシステムに要求されるタスク数を200とした。すなわち、200個の製品を当該システムにて扱う。

Fig.5に、1と2のシステムに対して、それぞれAGVを1~10台まで投入した際のシステムの作業時間の比較結果を示す。この結果から、従来システムに比べ、AGVと処理ロボットがそれぞれ自他の情報を共有・参照しながら、自律的に行動を決定し、作業を遂行することの有効性が示された。

### 6.2 非定常状態における作業タスクの負荷分散

3の自律分散・多品種変動生産対応型のシステムでは、6.1節にて一様にランダムに与えられていたタスクに負荷をかける。すなわち、定常状態のシステムを、製品の変動性を考慮した上で、非定常状態に変化させる。このときのシステムの作業時間を2のシステムと比較することで、本システムの有効性を示す。

Table 2 Task generation chart with probability

Tasks	Location 1	Location 2	Location 3	Location 4
1~50	0.5	0.5	0.5	0.5
51~100	0.1	1	0.1	0.1
101~150	0.1	0.1	1	0.1
151~200	0.1	0.1	0.1	1

Table2 に 200 タスク生成する際の、その確率変動を示す。50 タスクまではどの作業ロケーションも一様の確率でランダムに、目的ロケーションとして決定される。50 タスク以降、たとえば作業ロケーション 2 に注目すると、100 タスクまでは確率 1、すなわち全ての製品が搬送され、それら処理をする必要があり、100 タスク以降は確率 0.1、すなわち 10 製品に 1 つほどの頻度で処理をする必要がある。ただし、ロケーション上の目的セルは一樣かつランダムに決定される。その他については、6.1 節と同様の条件に設定した。

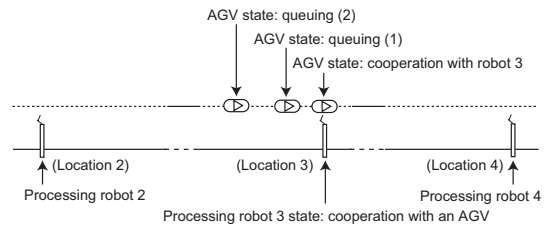
Fig.4 におけるロケーション 2~4 ならびにそれらに隣接する経路を基に、Fig.6 にタスク負荷分散のための協調行動手順を示す。本研究では、協調行動を行う基準として、作業経路上における AGV の滞在量、すなわち作業待ち状態にある AGV の台数に注目する。ここでは、説明のため待機状態にある AGV が 2 台以上になった場合、2 台目以降の AGV が先頭から順に他の処理ロボットと協調行動を行う場合を例にする。

同一作業経路を目的作業経路とする AGV が同時に 3 台当該経路上に存在する場合 (Fig.6(a) 参照)、先頭の AGV は処理ロボット 3 と製品処理のための協調作業を開始する。2 台目の AGV は待ち行列 1 台目、3 台目の AGV は待ち行列 2 台目の AGV となる。このとき、3 台目の AGV は負荷分散のための協調行動を行う相手として、処理ロボット 2 ならびに 4 と互いの情報について共有・参照し (Fig.6(b) 参照)、作業待ち状態にあるロボットを選択する。このとき、2 台の処理ロボットとも作業待ちの状態にある場合、AGV はランダムにいずれかの処理ロボットを選択する。選択された処理ロボットは、当該作業ロケーションまで移動し、呼び出した AGV との協調作業を開始する (Fig.6(c) 参照)。

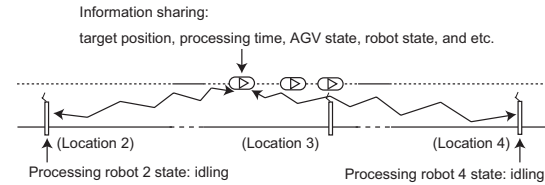
### 6.3 ロボット群によるタスク負荷分散の有効性

Fig.7 に AGV を 10 台まで増加させたとき、タスクの負荷分散を行わないシステム、待ち AGV 台数がそれぞれ 1~3 台のときに、ロボット間でタスクの負荷分散のための協調行動を実行するシステム、の合計 4 つのシステムによる作業時間の比較結果を示す。この結果より、作業タスクが変動し、システムが定常状態から非定常状態になり作業負荷が生じる場合には、負荷分散のためにロボット間で情報を共有し、リアクティブに協調行動を行うことの有効性が示された。

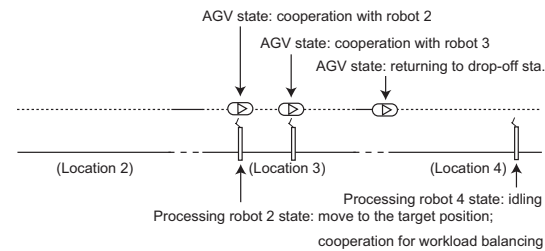
Fig.7 の結果に基づき、負荷分散を行わないシステムと各決定基準 (待ち行列 AGV 台数) に基づき協調行動を行うシステムを比較し、作業時間の減少量を Fig.8 に示す。また、各棒グラフの上には、200 タスク実行中に行った負荷分散の実行回数を示している。この結果



(a) Three AGVs are on the same working path



(b) The third AGV shares the information with processing robots 2 and 3



(c) The selected robot 2 moves to the target position (work cell) for workload balancing

Fig.6 Cooperation among robots for workload balancing (if there are two or more queuing AGVs)

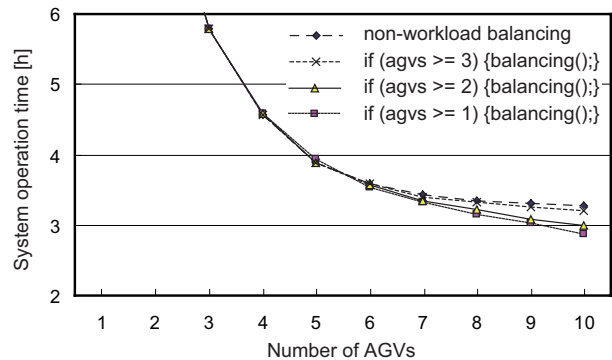


Fig.7 Comparison of system operation time

より、待ち行列 AGV 台数が 1 台の場合に、負荷分散のための協調行動を実行するのが最も効率的であることがわかる。すなわち、作業負荷が生じた際には、各ロボットが迅速かつ数多くの協調行動を実行することで、システムの作業効率を高効率に保てることがわかった。

Fig.9 は作業負荷に対して、負荷分散のための協調行動を行わないシステム (Fig.9(a) 参照) と AGV の作業

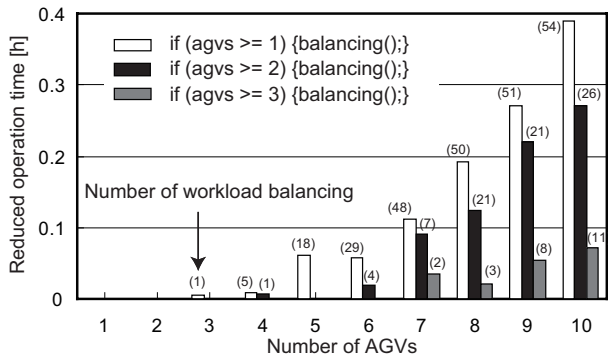
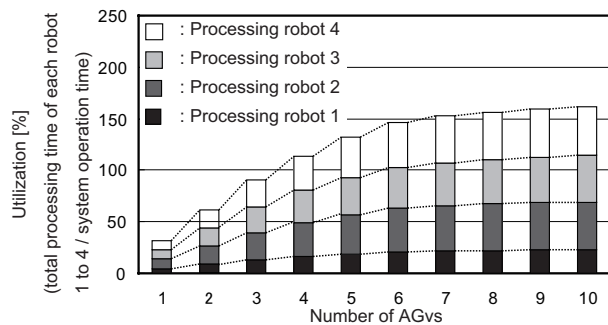
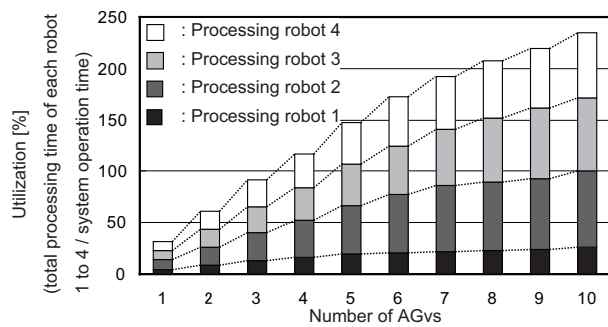


Fig. 8 Reduced system operation time caused by reactive cooperation for workload balancing



(a) Non-cooperation for workload balancing



(b) Cooperation for workload balancing (if queuing AGVs  $\geq 1$ )

Fig. 9 Comparison and evaluation of processing robots utilizations

待ち台数が1台以上になったときに協調行動を実行したシステム (Fig. 9(b) 参照) における, 処理ロボット (1~4) の稼働率を示している. 稼働率とは, “ロボットが AGV により呼び出され作業を終了するまでの時間を合計した値を, システムが 200 タスク実行するのにかった時間で割った値” のことである.

Fig. 9(a) より, 負荷分散のための協調行動を行わないシステムでは, 作業負荷が局所的に大きくなって, 各処理ロボットは持ち場にてのみ作業を行うため, AGV の投入台数の増加に対して, 稼働率が伸びていないこ

とがわかる. 一方, Fig. 9(b) より, 処理ロボット 1 以外のロボット (2~4) は, それぞれ作業負荷に対してリアクティブに対応し協調行動をとったため, AGV の投入台数に対して稼働率も増加していることがわかる. 最終的に AGV が 10 台投入された場合では, 3 台のロボットの稼働率は 60~75 [%] まで達する結果となった. このことは, システムのリソースとして処理ロボットが有効利用され, その結果, 非正常状態における作業負荷の発生に対しても, 当該システムが柔軟に対応できていることを示している.

以上, Fig. 7, Fig. 8, および Fig. 9 より, 多品種変動生産に対応するため, 非正常時にはロボット群が各自の情報を適切に共有し, リアクティブに行動しながら作業タスクの負荷分散を行う本システムの有効性が示された.

## 7. 結論

本研究では, 多品種変動生産の自動化に対応するため, 単純な知能を有したロボット群による柔軟な生産システムの構築を行った. ここでは, ロボットが自律行動を行うため, ロボット間での必要十分な情報を共有するための仕組みについて述べた. そして, AGV と処理ロボットを適用した自律分散・多品種変動生産対応型システムを構築し, 当該システムにおける各ロボットが, リアクティブに負荷分散を行うことの有効性を示した.

## 参考文献

- 1) M. Sugi *et al.*: Motion Control of Self-Moving Trays for Human Supporting Production Cell "Attentive Workbench", Proc. of the 2005 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2005), pp. 4091 - 4096 (2005)
- 2) M. Sugi *et al.*: Human Supporting Production Cell "Attentive Workbench," T. Arai *et al.* eds., Intelligent Autonomous Systems 9 (IAS-9), IOS Press, pp. 740 - 747 (2006)
- 3) M. Sugi *et al.*: A Holonic Architecture for Easy Reconfiguration of Robotic Assembly Systems, IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 19, No. 3, pp. 457 - 464 (2003)
- 4) J. Ota: Multi-agent Robot Systems as Distributed Autonomous Systems, Advanced Engineering Informatics, Vol. 20, No. 1, pp. 59 - 70 (2006)
- 5) K. Matsuda *et al.*: Knowledge Based Evolutional Multiple Robot Systems, Proc. of IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 1139 - 1144 (2005)
- 6) 松田圭司, 他: 群知能エージェントシステムにおける知識の最適配置に関する研究, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 3D22 (2006)
- 7) J.I.U. Rubrico *et al.*: Scheduling Multiple Agents for Picking Products in a Warehouse, Proc. 2006 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1438 - 1443 (2006)
- 8) M. Cheng *et al.*: Online Rescheduling in Semiconductor Manufacturing, Proc. Int. Symposium on Scheduling, pp. 64 - 68 (2006)
- 9) 浅間 一, 他: 通信を用いた分散管理に基づく複数の自律型ロボットの協調的作業分担決定手法, 日本ロボット学会誌, Vol. 10, No. 7, pp. 955 - 963 (1992)
- 10) 星野智史, 他: 自動コンテナターミナルにおける運用を考慮した AGV 搬送システムの設計, 計測自動制御学会産業論文集, Vol. 4, No. 14, pp. 98 - 108 (2005)