

# 特集 新生産システムの開発におけるシミュレーション技術の適用\*

## Simulation Study to Develop New Production System

藤本美紀 日比 均 河村一明 中斎龍美 光行恵司 寺田宏幸  
 Miki FUJIMOTO Hitoshi HIBI Kazuaki KAWAMURA Tatsumi NAKASAI Keiji MITSUYUKI Hiroyuki TERADA

Recently, production volume and period are uncertain because of the diversification of consumer's demand and the shortening of product's lifecycle. For the uncertainty, the ability of the rapid configuration of a production system is extremely needed. This paper deals with decentralized autonomous automated production system, which were designed for adaptive production system (APS) as a rapidly configurable system. The concept of APS is based on human-based assembly line, which has the flexibility for production type, volume and period because of cooperative function of human. To install cooperative function of human into the APS, autonomous mobile robots were developed. But to achieve high productivity in a certain production condition, it is important to fit cooperative algorithm for the condition. The proposed fitting system using simulation technology for cooperative algorithm makes it possible, that the operators in the APS rapidly adjust cooperative algorithm according to the change of production condition.

**Key Words** : Adaptive production system, Automated production system, Mobile robot, Operation, Rapid transformation, Simulation study

### 1. はじめに

21世紀の到来を目前に控え、消費者行動の多様化やグローバルな規模での製品開発競争の激化などによって、生産システムは大きな転換期に立たされている。需要が右肩上がりであり安定的な伸びが確保された時代には、積極的な自動化により生産性向上に努めてきた。

しかし、右肩上がりの時代は終わりを迎え、一定の需要の中でシェアを競い合う厳しい時代となった。加えて地球環境問題や少子化など生産環境を取り巻く環境も多様化し、生産性に加えて様々な価値観にも対応した生産システムが求められている。とりわけ、需要が不確実、すなわち生産量や生産期間が予測し難い生産環境において高生産性を維持しつつ生産品目の変更や生産量の増減に迅速かつ柔軟に対応できる、新たな生産システムの構築は大きな課題となっている。

このニーズにこたえる生産システムとして、人の持つ柔軟性に着目した、セル型、一人生産方式などの手作業を中心とした新生産システムが現れており、パソコンなどの需要が不透明で生産期間も数ヶ月と短い製品では効果を発揮している<sup>1)</sup>。

しかし、生産量や生産期間の予測が難しいというもの、ある程度まとまった生産量が一定期間は確保されている自動車部品などの部品事業分野では、更なる経済性を追求するため手作業に勝る自動化生産システ

ムが期待されている。すなわち生産品目の変更や生産量の増減に対し、柔軟かつ迅速に対応できる自動化生産システムの構築が重要である。

その解決の糸口として、当社では移動ロボットを利用した新自動化生産システム Adaptive Production System (APS) を考案した<sup>2)</sup>。そして、そのAPSをいかなる生産環境の変化においても現場で高い生産性を維持し続けるため、シミュレーション技術を用いた“APS運用システム”を開発し、実生産システムに適用した。

以下、第2章で新自動化生産システムAPSについて、第3章でそのAPSを構成する移動ロボットの“自律協調作業モデル”について、第4章で開発した“APS運用システム”について、第5章でこの開発システムを実生産システムに適用した事例について述べ、最後に第6章で本稿のまとめを述べる。

### 2. 新自動化生産システム

当社では、生産性の高い全自動トランスファラインの特性を保持しつつ、手作業ラインの持つ生産量の変化への柔軟性を兼ね備える新生産システムとして、APSを開発した。APSに持たせている柔軟性の発想は、手作業ラインの作業者人数を変化させて様々な生産環境に対応しているところから得ている。

\* (社)日本機械学会の了解を得て、2000年度年次大会(2000.8.3)

FA部門S44No.3616の前刷集より加筆転載

Fig. 1で示すように、生産量が増加した場合、手作業ラインで作業者人数を増やすように、APSでは移動ロボット台数を追加して対応する。また、生産量が減少した場合には、手作業ラインで作業者人数を減らすのと同様、APSでも移動ロボット台数を減らすことにより対応するのである。すなわちAPSは、生産環境の変化に合わせてシステムを構成する移動ロボットの台数を増減させることによって生産能力を調節し、常にもっとも経済的かつ効率的なシステム構造を取ることが可能な生産システムといえる。

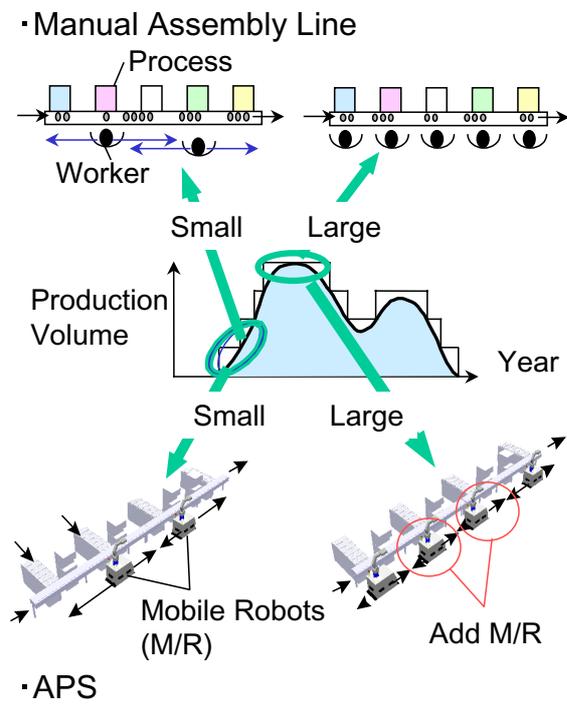


Fig. 1 Configuration change of APS

### 3. 自律協調作業モデル

このAPS実用のための重要な機能のひとつとして、移動ロボットがお互いに作業領域をカバーしあいながらシステム全体としての生産能力を維持しつづける“自律協調作業”機能が挙げられる。この“自律協調作業”を自動化するため、作業者一人ひとりが周囲の状況判断をし、隣り同士で助け合いながら作業する様子をモデル化して移動ロボットに移植している。

作業者の助け合いというのは、Fig. 2のように作業中の工程にワークが来ない場合は作業すべきワークが滞留している工程に移動したり、また後工程でワークがつかまっている場合は後工程へ移動したりしながら作業していく様子である。

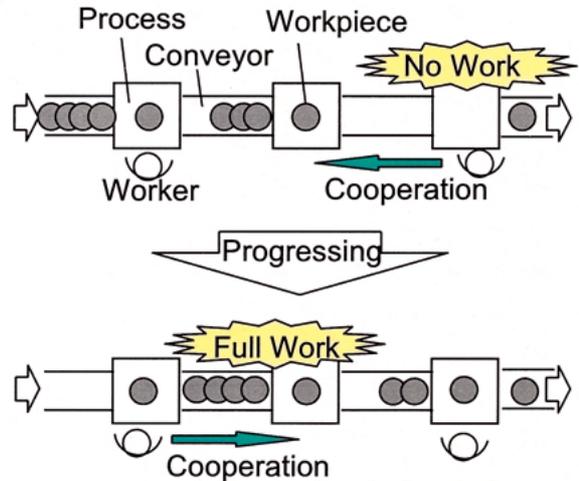
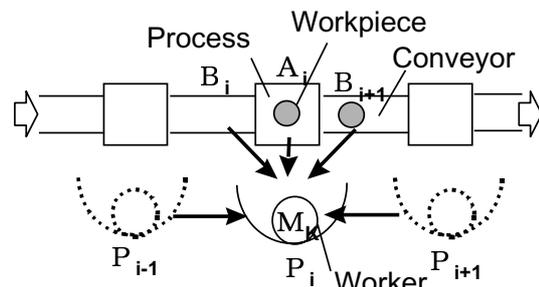


Fig. 2 Cooperation between worker

作業者は、周囲の情報(現在の工程のワークの有無と、その前後の工程間在庫の有無、および前後の工程の作業者の有無)を入力として、3パターンの動作(前工程に移動する、留まる、後工程に移動する)のうちひとつを自己決定している。この作業者の相互助け合いの動作をモデル化するとFig. 3のように表すことができ、以降これを“自律協調作業モデル”と呼ぶ。



- $M_k$  : Moving Pattern of Worker
- $P_i$  : Check Flag of Worker
- $A_i$  : Check Workpiece
- $B_i$  : Check Buffer

Fig. 3 Autonomous cooperation model

この“自律協調作業モデル”での動作決定は次のような式(1)で表される。

$$M_k(P_i) = f(A_i, B_i, B_{i+1}, P_{i-1}, P_{i+1})$$

(1)

このように“自律協調作業モデル”を定義すると、作業者は、生産量、生産品目、作業人数、工程数などの様々な生産環境の変化に対応して自ら関数fを適切に変化させて、その関数fにしたがって周囲の状況を

判断し、次にとるべき動作を決定しているといえる。

この“自律協調作業モデル”を新生産システムAPSの移動ロボットに移植することで、作業者の自律協調作業の自動化を可能としている。しかし、いかなる生産環境の変化においても常に高い生産性を維持できるように“自律協調作業モデル”の関数 $f$ を逐次決定し、迅速に実生産システムに反映できるしくみを構築する必要があると考えた。

#### 4. APS運用システム

今回、移動ロボットの“自律協調作業モデル”の関数 $f$ を逐次適切に決定し、実システムに反映するしくみとして、Fig. 4のようにシミュレーション技術を活用した“APS運用システム”を開発した。

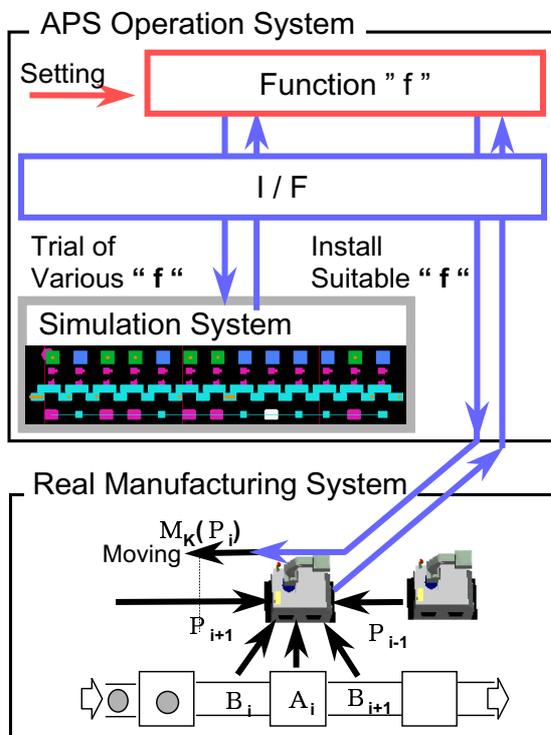


Fig. 4 APS operation system

この“APS運用システム”は、下記3つの構成要素から成っている。それは、移動ロボットの“自律協調作業モデル”の関数 $f$ 設定部、コンピュータ上で様々な関数 $f$ を設定し試行錯誤するためのシミュレーションシステム部<sup>\*</sup>、関数 $f$ をシミュレーションシステムと移動ロボット実機の双方の制御プログラムに変換する関数インタフェース部である。

この“APS運用システム”では、シミュレーションシステムを活用して、関数 $f$ の事前検証を行い、コ

ンピュータ上の試行錯誤によって決定した関数 $f$ の満足解を移動ロボット実機に移植可能としている。これにより、生産環境にマッチした移動ロボットの“自律協調作業”を決定することができ、APSの生産性を常に高く維持することが可能となる。

“APS運用システム”において関数 $f$ 決定の手順をFig. 5に示す。

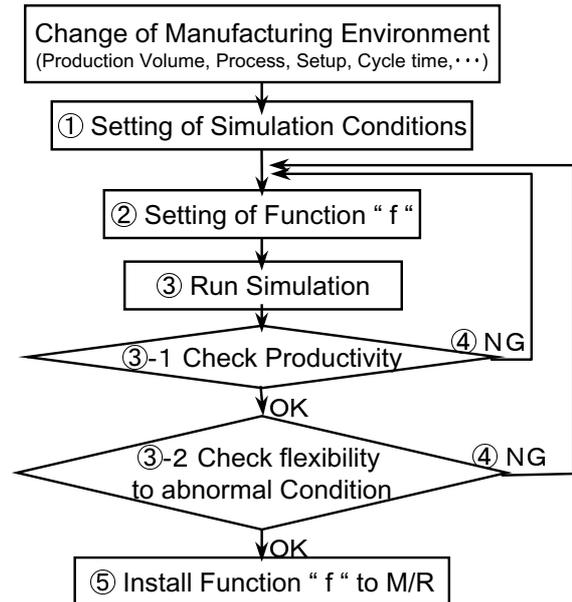


Fig. 5 Flowchart to decide function "f"

生産量や種類などの生産環境の変動が予想された時点で、まず、シミュレータ上の仮想APSにその生産環境の変化をシミュレーション条件として反映させる。次に、シミュレーション上に“自律協調作業モデル”の関数 $f$ を設定し、シミュレーション実行する。そのシミュレーション結果より、-1 定常状態で生産能力が目標値に達しているか、-2 異常事態がおきた場合にも、各移動ロボットが柔軟に対応し、生産能力がある程度安定的に確保されるかを確認する。そして、-1, -2が満足しなければ、関数 $f$ の設定へ戻り、満足解が得られるまで関数 $f$ を変化させ、確認を行う。ここで得た関数 $f$ の満足解を、移動ロボットの実機に移植する。

#### 5. “APS運用システム”適用事例

この“APS運用システム”を当社のAPSである自動車用スタータ組立ラインFig. 6にて適用した。



Fig. 6 Automotive starters assembly line

工程数13，移動ロボット7台のとき，より生産性の高い“自律協調作業モデル”の関数fを事前検証し，実生産システムに反映することができた．前述した“APS運用システム”による関数f決定の手順にしたがって迅速に自律協調作業を移動ロボット実機に反映した事例を以下に示す．

(1) 生産能力の確認 (Fig. 5の -1)

APSが定常状態の時，Fig. 7のように関数fを複数案作成し，生産能力のもっとも高い案の関数fを選択する．

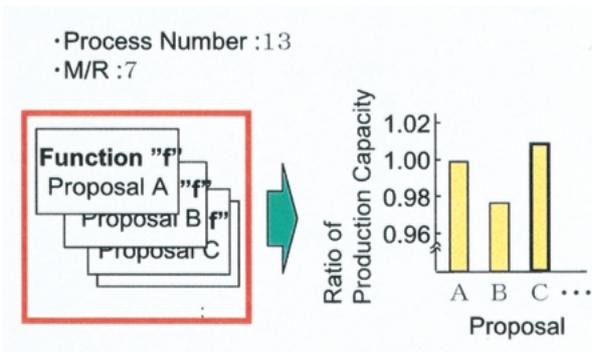


Fig. 7 Suitable configuration of function "f" normal condition

(2) 異常対応の確認 (Fig. 5の -2)

異常状態が発生した場合のシミュレーション結果の例をFig. 8に示す．このグラフは，7台の移動ロボットの自律協調作業の様子を表している．横軸をシミュレーションの時間経過，縦軸を組立工程ステーションの番号としている．また，グラフ内の線の色分けは，各移動ロボットの番号を表している．

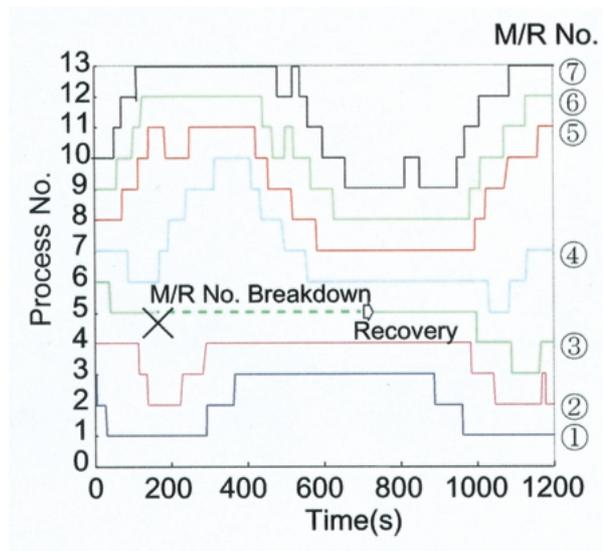


Fig. 8 Fail recovery behaviors for the mobile robots

この事例では，移動ロボットNo.3がある時点から200秒経過したところで故障停止している．その結果，No.4～7は新たなワークが流れてこないため，現存ワークを極力排出させてしまうように作業し，復旧時に備えNo.3の後ろに待機している．No.1,2は，No.3の前の作業を行い，ワークをためる．その後No.3が復旧するとNo.3周辺で全体が集中して作業した後，各々通常の動きに戻っている．すなわち，このような異常停止に関しては設定された関数fで比較的効率的な生産を続けることが可能だということが確認できる．

この例のように，想定されるすべての異常事態を“APS運用システム”で事前検証し，最終的に生産能力を満足し，かつ異常事態にロバスタな移動ロボットの“自律協調作業モデル”の関数fの設定を行うことができた．

また，この自動車用スタータ組立ラインでは，今後の生産環境の変化に対しても“APS運用システム”を継続的に活用し，常に生産性の高いシステムとして維持していく予定である．

6. おわりに

シミュレーション技術を活用した“APS運用システム”の開発により，生産品目の変更や生産量の増減に応じて，的確に移動ロボットの“自律協調作業モデル”の関数fを事前決定でき，その関数を実システムに迅速に反映できるようになった．

その結果，APSをより高い生産能力で維持し続けることが容易にできるようになった。

<参考文献>

- 1) 篠原司：コンベア撤去の衝撃走る1人完結の「セル生産」日経メカニカルNo.459，20-38(1995)
  - 2) 花井他：市場の不確実性に順応する生産システム(APS)の開発精密工学会誌vol.65,No.81087-1091(1999)
- \* )このシミュレーションシステム部には，トヨタ自動車(株)，(株)豊田自動織機製作所，関東自動車工業(株)，愛知製鋼(株)，(株)豊田中央研究所，(株)デンソーの共同開発によるGAROPSを使用している。



<著者>



藤本 美紀  
(ふじもと みき)

生産技術部  
生産システム要素技術の開発に従事。



日比 均  
(ひび ひとし)

産業機器技術3部  
生産システム用ロボットの開発に従事。



河村 一明  
(かわむら かずあき)

電機製造1部  
生産システムの開発および生産に従事。



中齋 龍美  
(なかさい たつみ)

生産技術部  
生産システムの開発および要素技術の開発に従事。



光行 恵司  
(みつゆき けいじ)

生産技術部  
生産システムの開発および要素技術の開発に従事。



寺田 宏幸  
(てらだ ひろゆき)

生産技術部  
生産システムの開発および要素技術の開発に従事。