

特集 量変動対応型自動化生産システムの開発*

Development of Automated Production System to Production Volume Fluctuation

寺田 宏幸 土屋 総二郎 日比 均 中齋 龍美
 Hiroyuki TERADA Sojiro TSUCHIYA Hitoshi HIBI Tatsumi NAKASAI

Previously, in the sector where production volume and period were uncertain, automated production system was hard to achieve and, therefore, merit of increase in productivity through automation could not be enjoyed. Recently, having directed our attention to the response of manual operation system to the uncertainties, we had created an idea on a new automated production system, APS (Adaptive Production System) in which each machine is put in or out according to the change in volume and developed mobile robot that have functions autonomy/cooperation/succession. We applied APS to an automotive starters assembly line. As a result, we have put to practical use an epoch-making automated production system which enables change in volume between 4,700 and 61,000 units/month through rapid transformation of system structure in spite of having the same automation rate as the conventional transfer line used in the sector where production volume and period are certainly fixed.

Key words : adaptive production system, automated production system, human-social function, autonomy, cooperation, succession, rapid transformation, assembly line

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。Fig. 1に自動車部品を製造する当社の生産システムの変遷を示す。需要が右肩上がりで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、バブルの崩壊と共に右肩上がりの時代は終りを迎え、一定の需要の中でシェアを競い合う厳しい時代となり、加えて、地球環境問題、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。しかし、自動車部品などの部品事業分野では、生産量や生産期間の予測が難しいとは言うものの、手作業生産システムでは自動化生産システムには経済性でかなわない生産量が一定の期間は確保されており、自動化生産システムで、生産品目および生産量の変化に迅速かつ柔軟に対応できる次世代の生産システムの実用化が強く求められていた。

そこで、今回、その糸口として、需要の変化に迅速かつ柔軟に対応し、経済性も確保できる自律分散を指向した新たな自動化生産システムを考案し、自動車用スタータ組立ラインにて実用化した。以下、その概要について述べる。

2. 新生産システム開発の必要性

まず、次世代生産システムが解決すべき課題を、Fig.

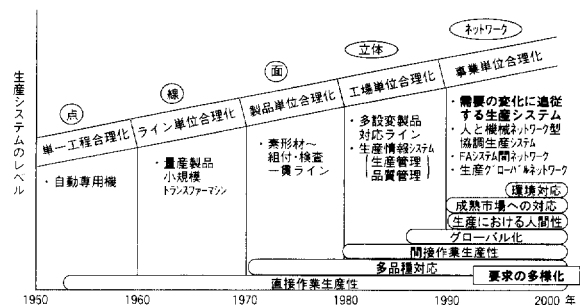


Fig. 1 History of Production System in DENSO

* 1999年4月15日原稿受理

2に示すように従来の生産システムを経済性(高生産性)と生産量の変化への対応(順応性)に着目して抽出する。

トランスファライン(自動化生産システム)は特定の生産量に合わせて生産システムの構造を最適化するためにミニマムコストを実現できる反面、生産量の変化に対してコスト変化の感度が高く、今後予想される需要のふれに対してはコストが大きく変化する。一方、手作業ラインは生産量の変化に応じて作業者を増減させることで需要の変化に追従させる順応性に優れた形態であり、その結果、需要のふれに対してコストは大きく変化しないが、特定の生産量の範囲での経済性ではトランスファラインには及ばないことが分かる。

この経済性の高いトランスファラインに手作業ラインの順応性を統合させることが、課題を解決する方策と考え、手作業ラインの順応性を分析し、この結果をトランスファラインに積極的に反映させる要件として、これを実現する技術開発を行い、目指す特性を具備する生産システムの開発を行った。

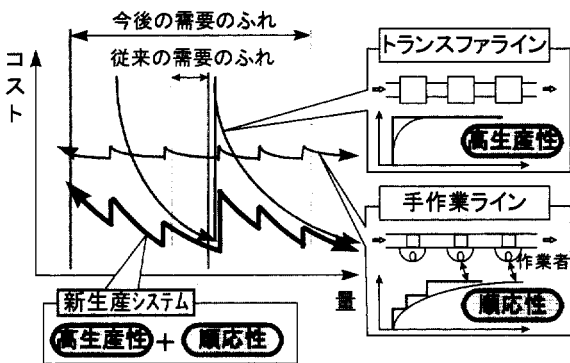


Fig. 2 Direction of New Production System Development

3. 新生産システムの概要

3.1 新生産システム

生産性の高いトランスファラインの形態を維持しつつ、手作業ラインの生産量の変化に対する柔軟性を兼ね備えた新たな概念の自動化生産システム——アダプティブ生産システム(Adaptive Production System 以下、APSと略す)——を開発した。Fig. 3にAPSの基本構成を示す。

APSは、システム内に分散的に配置された移動機能を有する自律協調型ロボットART (Associate RoboT)、付帯要素として部品を搬送するコンベア、部品供給ユニット、加工ユニットなどから構成され、生

産量の変化に応じてART台数を増減させることによって最も経済的なシステム構造を維持し続ける、新たな概念の自動化生産システムである。

APSの生産システムとしての基本的な特性は以下となる。

- ① APSは、生産量の変化に対してARTを1台単位で迅速に増減し、小刻みに生産能力を変更する。
- ② ARTは、互いに自発的にコミュニケーションしながら、工程の持ち範囲を自律的に決定する。これにより、ARTの台数増減時の工程の持ち範囲の協調的な変更や、多忙なARTを周囲の他のARTが助けるなどの効率的な生産を実現する。
- ③ ARTは、任意の作業ステーションへ移動しながら、多様な作業を高精度に行う。これにより、工程の持ち範囲の変更に柔軟に対応する。
- ④ ARTは、互いの作業技能やノウハウを継承し合う。これにより新たな作業も迅速に習得する。

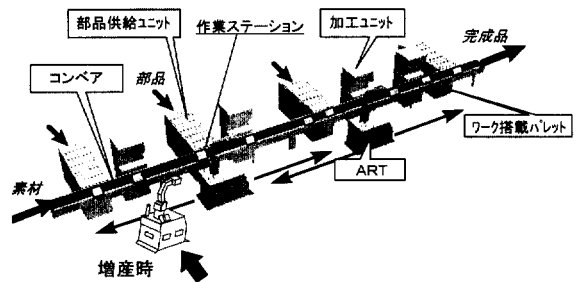


Fig. 3 Basic Structure of APS

3.2 自律協調ロボットART

APSの中核となる構成要素が、移動機能を有する自律協調型ロボットARTである。Fig. 4にARTの概観、

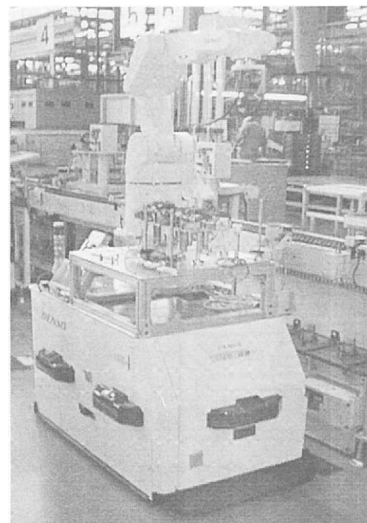


Fig. 4 ART (Associate RoboT)

Table 1 に諸元を示す。

ART は作業機能として、6 自由度、長さ 900 mm、可搬重量 5 kg のアームを有しており、多様な組付け作業が可能である。また、移動機能として、積載重量 80 kg、走行速度 40 m/min、磁気誘導の能力を有しており、組付け作業に必要な治具を搭載して、作業ステーション間を自由に動く。さらに、認識機能として、組付け部品の位置を高精度に認識するビジョンシステム、作業者の接近を検知し ART の作業を一時的に自動停止する赤外線センサシステムを有している。これらの機能により、ART は自律的な作業の遂行が可能である。以下、特徴的な技術について次章で説明する。

Table 1 Specification of ART

作業	制御軸数	6 軸
	リーチ長	900mm
	可搬重量	5kg
移動	積載重量	80kg
	走行速度	40m/min
	誘導方式	磁気式
認識	ワーク認識	ビジョンシステム
	オペレータ	赤外線システム

4. 開発技術

4.1 ART の自律機能

ART は任意の場所への移動を前提とするために、工場内のオープンな環境下でも使用できる視覚システムが必要となる。しかしながら、従来の視覚システムは、センシングする CCD (Charge Coupled Device) のダイナミックレンジが狭いため、Fig. 5 に示すように周囲を遮蔽板などで囲った固定した環境で用いられているものがほとんどであった。そこで今回、明るさ変動のある環境下でも、安定した高精度認識作業が行える

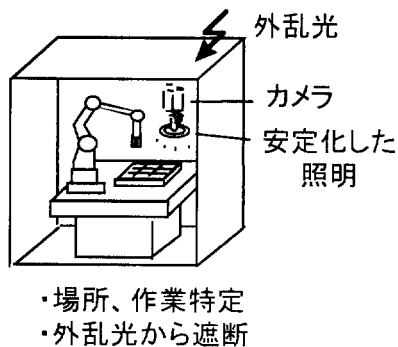


Fig. 5 Conventional Vision System

ロボストビジョンを開発した。

Fig. 6 にロボストビジョンの概要を示す。今回は、周囲環境の明るさをパラメータとしてカメラからの入力情報を制御し、画像処理装置のダイナミックレンジ範囲内で処理可能な状態に自動的に変換している。この結果、ART は周囲環境の明るさに応じて高精度に画像認識することが可能となり、昼夜の明るさが変動する工場環境で視覚認識による多様な作業を実現した。

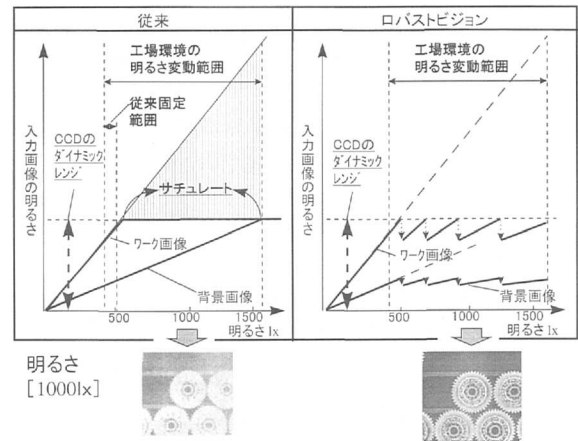


Fig. 6 Robust Vision

4.2 ART 間の協調機能

ART 同士は、互いに協調し作業を補完し合うことで、効率的に作業を行うことができる。個々の ART は非常にシンプルな意思決定基準に基づき、自律的に自己の挙動を決定することで、ART 同士の協調機能を実現した。

Fig. 7 に ART 間協調の基本的なモデルを示す。この考え方は、手作業ラインで作業者が相互に助け合う協調方法を基本としている。協調のための基本的な入力情報は、現在の作業ステーションのワーク (被組付部品) の有無と、その前後のバッファのワーク有無、および前後の作業ステーションの他の ART の有無である。Fig. 7 のモデルは、次式で表される。

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

M_k は ART の行き先パターン (“留まる”, “前の作業ステーションへ移動する”, “後の作業ステーションへ移動する”), P_i は作業ステーションにおける ART の有無, A_i は作業ステーションのワークの有無, B_i はバッファのワークの有無である。

この関数 f は、ART の行き先を決定するシンプルな関数であり、ART は作業終了後、 A_i, \dots, P_{i+1} の状態を認知し、得られた状態のパターンによって、“そこに

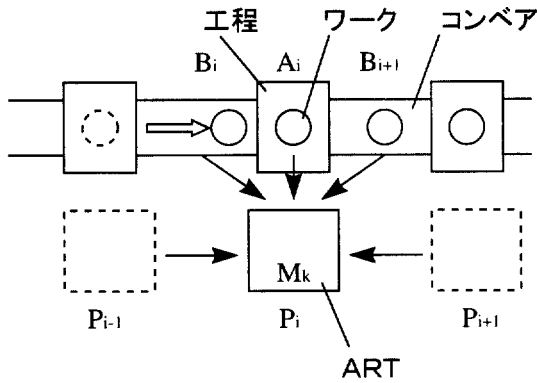


Fig. 7 Autonomous Cooperation Model

留まって作業する”か，“前の作業ステーションに移動して作業する”か、あるいは“後の作業ステーションに移動して作業する”かの3動作のうち1動作をART自身で決定し、次作業に向けての行動に移る。例えば、後工程が多忙であれば、前工程のARTがその状態を認知し、後工程の作業を手伝いに行くお助け機能もこの協調モデルによって実現されている。

Fig. 8 に協調機能によるAPSの挙動(シミュレーション)を示す。ARTが協調し合い、効率的に作業している状況が分かる。これによってART群の状態を常時監視し、各ARTへ作業指示する管理・制御機能が不要となり、システムの簡素化が大幅に増している。例えば、生産量の増減に対しても、ARTの制御ソフトを変更せずに迅速にARTの台数変更を行うことができる。

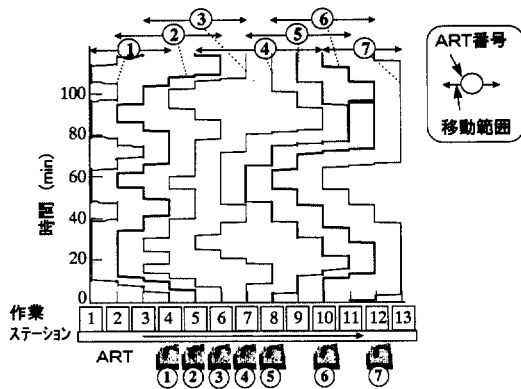


Fig. 8 Behaviors of ARTs

5. 組立自動化ラインへのAPSの適用結果

本APSを自動車用スタータの組立ラインに適用した。

Fig. 9 に開発したスタータAPSの概観図を示す。本組立ラインは、ハウジング、クラッチ、アーマチャなど計17点の部品を対象とした自動組立ラインである。

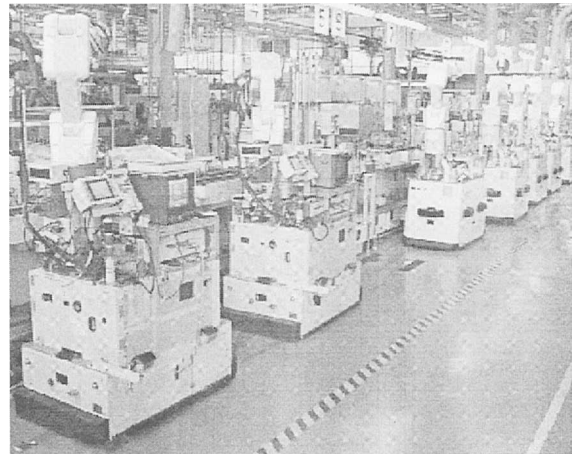


Fig. 9 APS for Starter Assembly Line

本組立APSは、97年春より少量生産にて実ラインとして稼働し始め、現在、ARTは7台に達し、月産約33,000台の生産能力に成長している。本システムの開発結果をまとめるとTable 2となる。

本システムは、ART台数を1台単位で増減させることで、月産4,700台~61,000台の間を4,700台単位での生産能力変更を可能とした。自動化率は従来のトランスファラインと同様の80%である。また、転用率は、ARTを中心とした汎用設備で構成されるため、従来の10%以下から70%へと大幅に向上した。

Table 2 Development Results

	従来トランスファライン	スタータ組立APS
生産能力	固定 (60,000台/月)	可変 (4,700~61,000台/月)
自動化率	80%	80%
転用性	10%	70%

6. 結 び

製品の需要予測がますます困難になりつつある21世紀に向け、不確かさへの順応性と高生産性を両立させる新たな生産システム概念——アダプティブ生産システム(APS)——と、これを実現するための移動機能を有する自律協調型ロボットARTを開発し、自動車用スタータ組立ラインにて実証した。今後は、さらなるARTの機能開発によって、APSの展開を行っていく計画である。



〈著 者〉



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



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



土屋 総二郎
(つちや そうじろう)
デバイス事業部
表示デバイスの開発・設計・生産に従事



中斎 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