自動車生産における部品(エンジン)工場生産管理システム

内藤 正，脇山 春通，山本 浩史，玉田 秀一

1．はじめに

近年，製造業を取り巻く環境は，激しく変化し，自動車産業においても，市場ニーズの多様化，労働環境の変化，グローバル対応等，課題が山積みされている．中でも，お客様の欲しいものをタイムリーにお届けすることは，今まで以上に重要なものとなっており，この課題を満足させるためには，商品開発，国内外の物流体制の充実はもちろんのこと，生産そのものと，それを支える生産情報システムを充実させることが，必要不可欠な条件となっている．

2．エンジン工場の概要

ユニット部品を生産する工場のうち，中心となるのは，車の心臓でもあるエンジンを生産するエンジン工場である．(一例として，あるエンジン工場の組付ラインを紹介すると，まず，約100の前工程から，約800種類の部品を受け入れる．その後，約100種類の製品を完成させ，約10の後工程に対し出荷を行っている．)この工場の大きな特徴としては，まず工場を取り巻く物流経路の複雑さがあげられる．図1に，エンジン工場における物流経路を示す．国内外のお客様（引き）を起点に，多数の経路が存在し，エンジン工場の生産活動は，極めて複雑な物流体系の上で実施されていることが分かる．

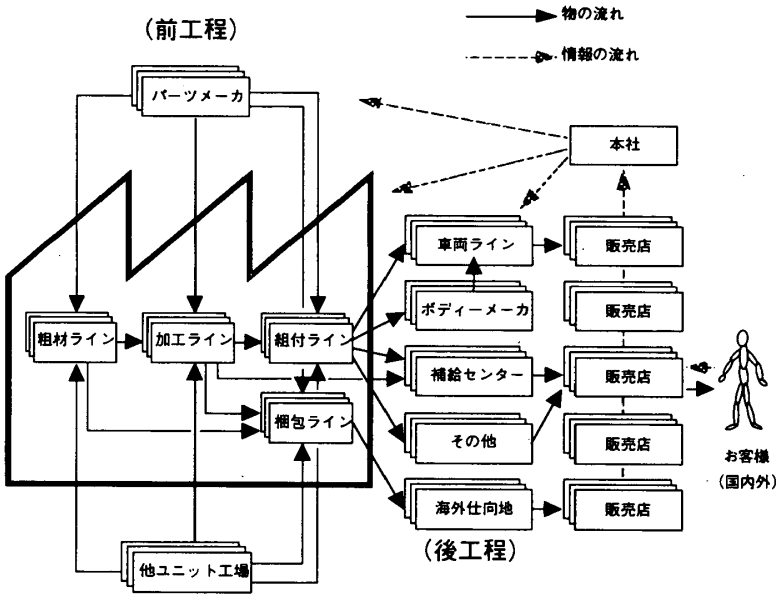

図1 エンジン工場における物流経路

2.1 エンジン工場生産情報システムのコンセプト

我々は，前述した課題解決のため，1982年より，ユニット工場を中心に生産情報システムの導入を進めてきたが，そのためのコンセプトは，トヨタの生産思想の1つの柱でもある，ジャストインタイムの実現であった．具体的には，工場，ライン，工程が各々自律し，なおかつ後補充，平準化という，基本的考えに則った生産を可能とするシステムの構築，導入である．後補充平準化生産のイメージを図2に示す．図2から分かるように，各ライン，工程ではその最終地点に，出店（でみせ）と呼ばれる仕分け棚を持ち，後工程は必要な時に，必要な物を，必要な分だけ引き取りに来る．自工程では，引き取られた種類の物を，引き取られた量だけ生産するのだが，この時，工程内の作業負荷，部品使用間隔の平準化が考慮される．ここでのポイントは，いかに欠品を発生させず，出店の間口と在庫量を少なくするか，またそのために生産の指示をどのように与えていくかである．

ないとう ただし，わきやま はるみち，
やまもと ひろし，たまだ ひでかず
トヨタ自動車㈱ IT&E部情報システム室
〒471 豊田市トヨタ町1

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

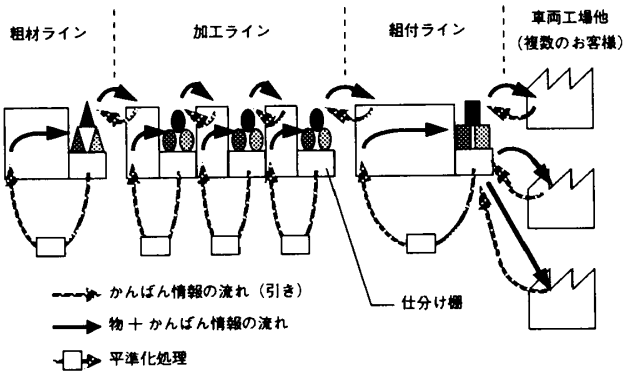

図2 後補充平準化生産のイメージ

2.2 自律分散システム構築の必要性

車両工場においては，すでに，車両の生産順序を計画し，組立ラインに対し，生産指示を与えるコンピュータシステムが構築されていた．このシステムが持つ車両の生産順序と同期をとって，エンジンを生産することは，前述したとおり，エンジン工場と車両工場の関係が一対一ではないことから，非常に困難なものとなっていた．また，エンジン工場から見た後工程，すなわちお客様は，車両工場だけとは限らず，これらのことから，エンジン工場として，複数のお客様の要求に対し，欠品，過剰在庫を発生させず，かつ工程内の平準化を維持することが可能な，自律した生産計画の立案ならびに生産指示機能を持つシステムの構築が求められていた．

3．自律分散システム構築事例

我々は，上記ニーズに対処するため，まずエンジン工場において全体像を描き，お客様との接点となる，組付ラインをターゲットにシステムを開発し，導入を実施した．さらに，加工ライン，粗材ラインへと，その前工程にさかのぼる形で順次システムを開発し，最終的にエンジン工場全体の生産管理を可能とした．これらを含めた，ユニット工場における自律分散UALC（Units Assembly Line Control）システムの関連図を図3に，また同じく開発の経緯を図4に示す．

当社の生産ラインは，その製品種類と生産量が安定している量産ラインと，これらが大きく変化することを前提としたFMSラインとに分けることができる．本節では上記の内，エンジン工場における，量産ラインの生産指示システムを，組付ライン，加工ラインを例にとり，紹介していく．

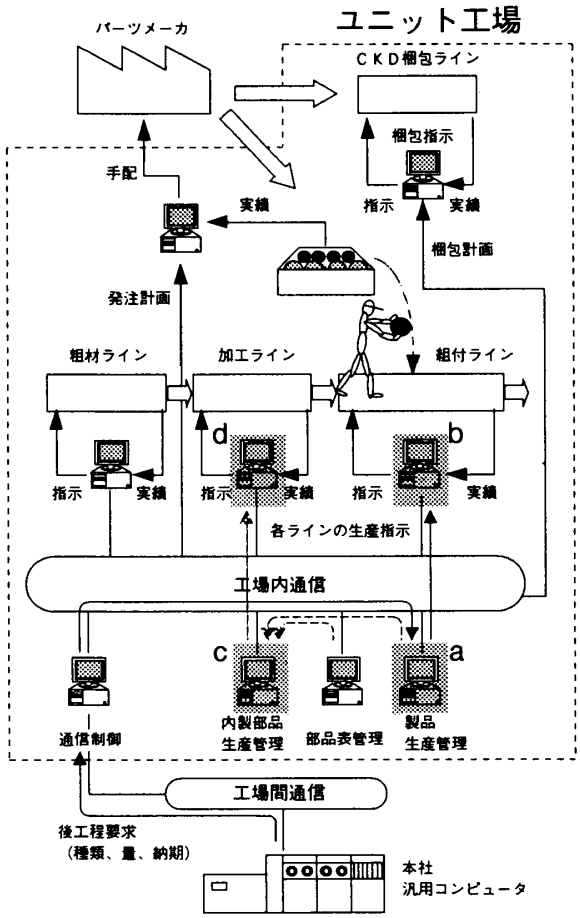

図3 自律分散UALCシステムの関連図

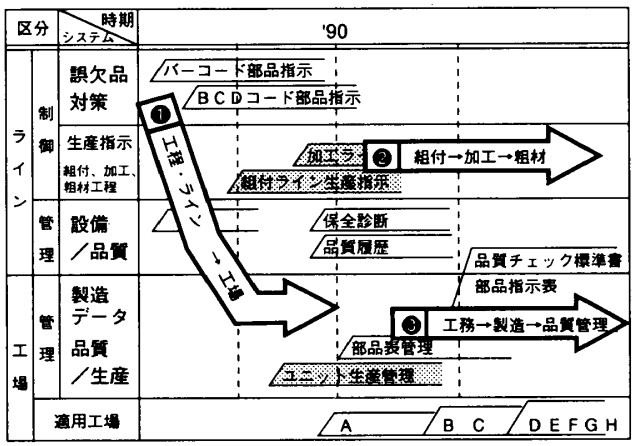

図4 自律分散UALCシステムの開発・導入の経緯

3.1 製品生産管理システムとエンジン組付ライン生産指示システム

3.1.1 開発の目的

前述したシステムの必要性，すなわち，エンジン工場における，生産管理業務の難しさ，問題点を解決し，当社の生産方式をさらに充実させるべく，組付ラインをターゲットに開発したシステムは，以下を具体的な目的とした．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

・生産計画立案アルゴリズムを研究し，ジャストインタイムを追求し在庫低減をはかるとともに，部品の使用間隔，組付作業負荷の平準化を向上させる．
・コンピュータの持つ処理スピードの速さを活用し，車両計画受付から，エンジン生産までのリードタイムを短縮する．
・生産状況をリアルタイムに把握し，異常や，モデルチェンジ等のラインの状況変化に迅速に対応する．

3.1.2 システム構成

開発システムは，信頼性を確保するためシンプルな構成とし，さらに異常時，故障時においては人によるバックアップが可能となるよう，判りやすいシステム構成とした．具体的には

・トータルリンクシステム図 [1] の活用による企画段階で判りやすいシステム作り
・生産指示工程をラインの先頭のみとし，ここに，バックアップ用の生産順序表リストを常備する．
・ソフトウェアを，バッチ処理系とリアルタイム処理系にわけ，複雑な処理はバッチ処理系の機能とし，リアルタイム処理系は，ファイルに対する情報の読み，書きのみという単純処理に限定し，前者機能を製品生産管理システム，後者機能をエンジン組付ライン生産指示システムとする．

以上の方針に基づき開発したシステムを図3中のaおよびbに示す．図3が示すように，後工程，すなわち車両工場で必要な物品の量と納期が，本社から，工場間通信ネットワークを通して知らされると，工場内の製品生産管理システムにより，後工程の納期を守り，かつ，自工程の生産条件を満足するよう製品の生産計画が決められ，これが，工場内通信ネットワークを通して，各組付ラインの生産指示システムに知らされる．各組付ラインの生産指示システムは，この計画に，仕分け棚の在庫量と基準在庫とを比べた結果，さらには生産ラインから時々刻々知らされる実績情報を加味し，指示する製品種類を最終決定した後，1台ずつ生産を指示していく．上記処理の流れにおいて，最も重要なポイントは，受信した車両計画をもとに，エンジン工場としての，日々の生産台数を決定すること，またその決定された情報をもとに，平準化を考え日々の生産順序を決定することの二点である．我々は前者を日程計画立案，後者を順序計画立案処理とし，アルゴリズムの開発を実施した．この内，順序計画立案アルゴリズムについては，参考文献 [2] にてすでに報告済みであるため，以下では日程計画立案アルゴリズムについて紹介する．

3.1.3 日程計画立案アルゴリズム

車両計画をもとに，エンジン組付ラインにおける日当たり生産台数計画を立案する，このための処理を，日程計画立案処理と呼ぶ．この分野の従来理論として，資材所要量計画法があるが，本アルゴリズムは，引きの生産計画をもとに先行，遅れ生産のための補正と，仕分け棚の在庫量と基準在庫との比較で生産指示をする点が特徴となっている．本アルゴリズムの概念を図5に示す．図5において，車両計画が車両ラインの稼働時刻上a点で与えられると，エンジンの出荷計画は，エンジンラインの稼働時刻上a点を輸送時間だけ過去方向にずらしたb点となり，生産開始，すなわち仕掛計画は，b点をさらに生産リードタイムだけ過去方向にずらしたc点となる．この考えを，エンジン1台単位で，すべての種類，すべての後工程に対して実施することにより，エンジン組付ラインにおける日当たり生産台数が求められ，円滑な生産の流れ，大幅な在庫の低減が期待できる．また，車両工場ならびに自エンジン工場の都合で，先行生産，遅れ生産等の必要が生じた場合の生産変動補正は，図6の手順で実施する．

先行，遅れ生産変動補正の具体例なイメージを図7に示す．エンジン組付ラインにおける，エンジン A_i（i は種類または種類の集合）の先行，遅れ生産変動補正は，S から C の総稼働時間を T_x，S から C の生産計画数を m とした場合，S から C までの間の k 番目

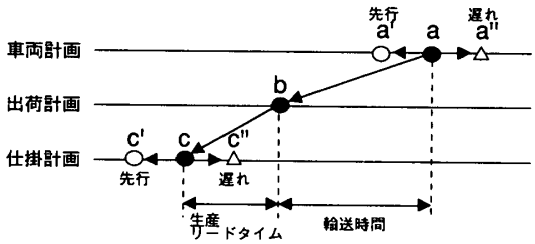

図5 日程計画立案アルゴリズム

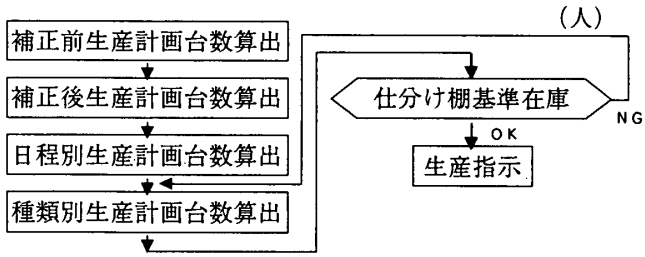

図6 生産変動補正アルゴリズム

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

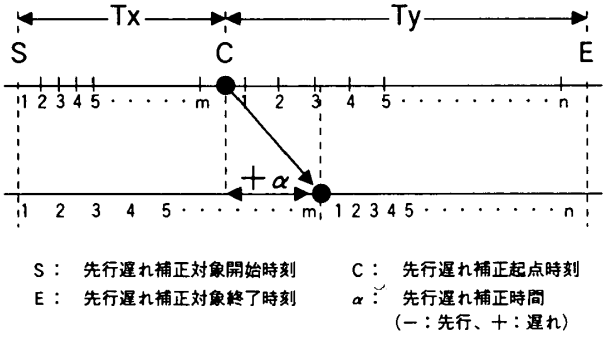

図7 先行遅れ補正のイメージ

の製品の生産相対時刻は(1)で得ることができ，さらに生産相対時刻を S を起点に稼働時刻ベースに修正して，k 番目の製品の生産時刻 T'_{xk} を求める．同様に，C から E の総稼働時間を T_y，C から E の生産計画数を n とした場合，C から E までの間の k 番目の製品の生産相対時刻は(2)で得ることができ，生産相対時刻を C を起点に稼働時刻ベースに修正して，k 番目の製品の生産時刻 T'_{yk} を求める．以上で求めたすべての結果を，日単位で加算した結果が，補正後の日程別生産計画台数となり，さらにその中味をエンジン種類別でまとめたものが，種類別生産計画台数となる．

$$T_{xk}=(k-1)\frac{T_x+\alpha}{m} \quad (k=1,2\cdots,m) \tag{1}$$

$$T_{yk}=(k-1)\frac{T_y-\alpha}{n}+\alpha \quad (k=1,2\cdots,n) \tag{2}$$

3.1.4 システムの効果

システムの総合効果として，システム導入前に比べて車両計画受付から，ラインに生産指示を与えるまでのリードタイムが50%，生産管理業務の作業量が30%，製品在庫量が30%低減されていることを確認した．

3.2 内製部品生産管理システムとエンジン加工ライン生産指示システム

3.2.1 加工ラインの生産方式

組付ラインに対し部品を供給する，シリンダブロック，シリンダヘッド等の加工ラインは，組付ラインと比較して生産リードタイムが長く，ライン内で多くの分岐，合流を繰り返している．このために，生産変動，各種異常（設備異常，ワーク不良）への対策として，図8に示すように，粗材仕分け棚から完成品仕分け棚の間，数箇所に中間仕分け棚を配置し，各仕分け棚間

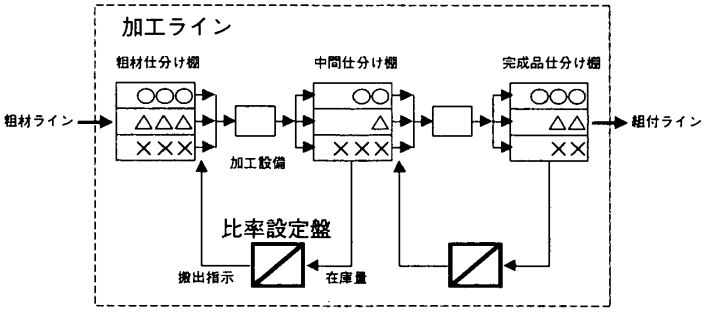

図8 加工ラインの生産方式

には，生産を指示する比率設定盤と呼ばれる装置を配置して，比率生産を行っている．比率生産とは，月，旬，日の生産計画をもとに算出した，ワーク種類毎の生産比率に従って，生産を指示する方法であり，加工ラインにおいて実際の制御すなわち前工程の仕分け棚から，ワークの搬出を指示する装置が比率設定盤である．ただし，制御にあたり，後工程仕分け棚の特定種類ワークに過剰在庫を検知した場合は，自動的に生産比率を変更し，生産を指示する仕組みになっている．

3.2.2 開発の目的

前述した加工ラインの生産方式において，従来よりかかえる問題点は以下の通りであった．

- 生産比率を算出する際の，生産計画精度が悪い
- 比率設定盤へ入力する情報は，作業者自身の手で作成されている．このため，近年の多種化，装置数の増加に伴い，膨大な工数が必要になるとともに精度が悪化している
- 比率設定盤への情報入力も手作業で実施されている．このため，膨大な工数が必要になるとともに生産計画の変更に合わせた，タイムリーな変更ができない．

我々は，上記問題に対処するため，システム開発の目的を以下の内容とした．

- 生産比率を算出する際の生産計画情報として，直近の後工程である組付ラインの日々の生産計画情報を採用する．また情報入手先は，すでに開発済みの製品生産管理システムとし，これにCKD (Complete Knock Down)，補給部品の必要数を考慮することにより生産比率算出結果の精度向上を図る．
- コンピュータおよび工場内通信ネットワークを活用し，上記情報の入手，ならびに比率計算における工数の低減を図る．
- 開発するシステムと，ライン数十箇所に設置され

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

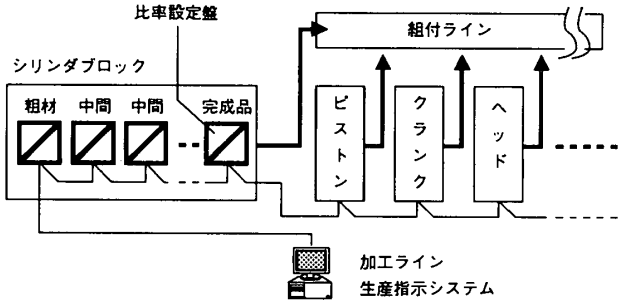

図9 加工ライン生産指示システムと比率設定盤

る比率設定盤の間で，ネットワークを構成し，入力情報の自動転送を実現させ，工数の低減を図る．

3.2.3 システム構成

開発システムの構成を図3中のc，dおよび，図9に示す．図9は加工ラインの生産指示システムと比率設定盤の関連を示している．図3に示すように，加工ラインにとっての後工程，すなわち組付ラインにおける日々の生産計画が，製品生産管理システムより工場内通信ネットワークを通して，内製部品管理システムに知らされる．内製部品管理システムは，工場データベースの一つである部品表管理システムが持つ，製品とその構成部品情報を参照し，シリンダブロック，シリンダヘッド等，各加工品単位に生産計画を再作成した後，工場内通信ネットワークを通して，加工ラインの生産指示システムへ通知する．さらに，加工ライン生産指示システムは，比率設定盤単位に生産比率計算を実施し，ラインの生産進捗に合わせ，比率設定盤1台毎に，情報のダウンロードを実施する．

上記処理の流れにおいて，最も重要なポイントは，算出した生産比率情報を，予め設定されたタイミングで比率設定盤に伝えることであり，この結果として，ライン内中間在庫量の低減ができ，ひいては後工程である組付ラインに対し，ジャストインタイムに物を供給できる生産が可能となる．

3.2.4 自動比率変更処理

各比率設定盤に対し，生産比率情報を自動的にダウンロードする処理を，自動比率変更処理と呼ぶ．加工ラインの生産比率を変更する場合は，在庫仕分け棚の余剰，欠品を発生させないため，ライン先頭のエリアを制御する比率設定盤より，組付ラインに向かって順次，新生産比率に変更していく必要がある．組付ラインの±10%以上の生産計画変更タイミングは予め通知されることから，各加工ラインでは，その生産リードタイム分だけ前出しし，先頭エリアを制御する比率設定盤に対し，新生産比率情報を転送すればよいことになる．また第2エリア以降の比率設定盤に対しては，その前エリア先頭の仕分け棚から，前エリア内に溜まるワーク数分ワークが搬出されたタイミングで変更してやれば最適といえる．

3.2.5 システムの効果

システムの総合効果として，システム導入前に比べて，ライン内中間在庫量が30%，生産比率変更工数が約98%低減されていることを確認した．

4．おわりに

当社の生産における出発点は，システムコンセプトでも述べたように，すべて後工程の引きを基準に物事が回転するしくみになっている．後工程は，必要な時に，必要な物を，必要な分だけ引き取っていく．これに対し自工程は，「引かれた物を作る」ジャストインタイムの考えをベースに，自工程内の平準化，ならびに各種生産条件を満足させるため，自己の意志を反映した生産制御が可能な，自律的生産を行っている．当社の生産情報システムは，この基本的考えをサポートする目的で開発され，本稿で述べた二システムもこの例外ではない．また，組付，加工ラインに加え，粗材ラインにおいても，従来のかんばん運用が浸透しており，いずれもジャストインタイム生産はもちろん，後補充平準化生産の考え方である「後工程の引きに対し，自工程の基準在庫量を確実に守り，作り過ぎのムダを省く」ための支援ツールとして運用されている．また現在では，仕入先パーツメーカとの間でも同様に活動が展開されている．

今後においては，「お客様第一」の考えに立ち，受注～生産～納車に至るトータルリードタイム短縮に向けた生産・販売情報システムを構築する中で，部品工場の生産情報システムとしても，主体的に取り組んでいく．

参考文献

[1] 宮谷，内藤，鈴木他：生産システム企画，設計ツール，日本機械学会，'94

[2] 内藤，金子他：エンジン組付ライン生産管理システムの開発，自動車技術会 Vol. 144，No. 5，'90

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．