

# 鑄造工場における 生産スケジューリングシステム

梶田 賢作, 渋谷 宏明, 神川 正博

## 1. はじめに

かつて小品種大量生産の代名詞であった自動車産業も今や変種変量生産へと生産方式を変革するべく、さまざまな努力をつづけている。

FA<sup>1)</sup>による自動化/無人化の推進に代表される、製造直接費(原材料費と直接工数)低減, および設定品質の確保の努力は、これまで多くの成果をもたらし、現在も継続されている。

さらに、CIM<sup>2)</sup>という概念のもとに、コンピュータと通信ネットワークの力を借りた、生産のリードタイム削減, 在庫削減, 稼働率向上, 間接工数削減等の間接費削減の努力が行なわれている。

この間接費削減活動は、CIMによって統合化された情報を的確に活用する科学的な管理によって成果を得ようとするものであり、「管理による利益」の発掘ともいえる。

マツダでは、オーダー変更対応と納期短縮をめざした生販統合システム「JUMP<sup>3)</sup>」を1990年1月から稼働させた。

「JUMP」によって、営業部門から車両組立部門までは、本格的な変種変量生産に対応する体制を整えた。しかし部品製造部門(素材生産工場, 機械加工工場)ではロット生産方式での変種変量生産に対応する過程にあるため、次に示すような新たな問題点に直面している。

- 多品種の各工程をみながらの工程計画が困難になり、仕掛在庫が増加し、また工程待ち等で機械の稼働率が低下する。
- 工程間の同期をとることが難しくなり、同期調整用バッファとしての仕掛在庫が増加する。
- 品種ごとのタクトバランスをきめ細かく調整できず、ネック工程が発生する。

かじた けんさく, しぶぎ ひろあき, かみかわ まさひろ

マツダ(株) 〒730-91広島県安芸郡府中町新地3-1

- 段取り時間が増加し、機械・ラインの稼働率が低下する。

- ロット切り替えが頻発し、歩留まり率が低下する。

これらの問題は、大量生産時代の管理体制のままに変種変量生産を実施した場合に発生するものであり、放置すれば製造接費のみならず製造間接費をも増加させる。いいかえれば、「管理による利益」の宝庫である。

そこで、変種変量生産時代にマッチした生産管理体制へと変革させることを狙いとして、部品製造部門の生産管理システムの強化拡充を計画した。

ここでは、その強化拡充計画の中でクローズアップされた生産計画問題への具体的対応策に焦点を当て、その一例として鑄造計画<sup>4)</sup>立案エキスパートシステム(以下ESと略す)について紹介する。

## 2. 鑄造工場の生産システム

自動車生産における鑄造工場の位置づけを図1に示す。

中心となる工程は、車体部品のプレス, 車体組立, 塗装, 車両組立である。車両組立工程には、購入部品に加えて、重要部品であるエンジン, トランスミッション(トランスアクスル), アクスルが社内の部品組立工場から供給される。

これらの工程では、車両組立工程の完了(ラインオフ)を起点として、車両組立, 塗装, 車体組立, エンジン等の部品組立工程の生産計画が作成され、自動車1台ごとに各工程が同期する形で生産指示が行なわれる。

一方、社内の鑄造・鍛造・アルミダイキャスト工場等の素材生産工場で生産された素材は、機械加工工場で切削・研削等の加工を施され、エンジン, トランスミッション, アクスルを組み立てる部品組立工場に供給される。

これらの素材生産・機械加工工程は、ロット生産が基本となるため、組立工程とは完全には同期しない。生産計画は、組立工程の1個造りの生産計画をロットに組替えて、工場ごとに立案される。

次に、鑄造工場の生産工程を説明する。

E Sの対象とした鑄造工場は、生砂型鑄造によって、主としてナックルアーム、ブレーキディスクなどの自動車の足廻り部品を生産しており、生産部品は約120点、溶解重量が6500トン/月の工場である。

生砂型鑄造では、鑄物の外側形状を形成する上下の主型を、所定性状に混練した型砂を使用して造型する。

また、生産する鑄物が内部に空間を有する場合は、その内部形状を形成する中子が必要であり、主型に中子を組み込んで鑄型が完成する。

鑄型に注入する溶湯は、まず目的とする材質が得られる化学成分になるように地金類を配合し、これをキュボラ等で溶解した後、化学分析により所定の化学成分範囲にあることを確認した上で鑄型に注湯される。

注入された高熱の溶湯は、鑄型空間を充満した後、鑄型に熱を奪われて数分以内に凝固するが、そのまま鑄型で冷却するのを待って鑄型をばらし、鑄物を取り出す。

使用済の型砂は再使用のため砂処理工程に戻され、取り出された鑄物の湯口、湯道等の不要部分は分解して溶解工程に戻し、次の溶解に配合される。

鑄物の製品部分は、ショットブラストにかけられて、周囲に付着している砂や内部空間に残留している砂を除去した後、型分割面の鑄バリなどをグラインダで削り取る仕上げを行なって、指定の検査を経た上で、製品として出庫される。

こうした鑄造工程の概略を図2に示す。

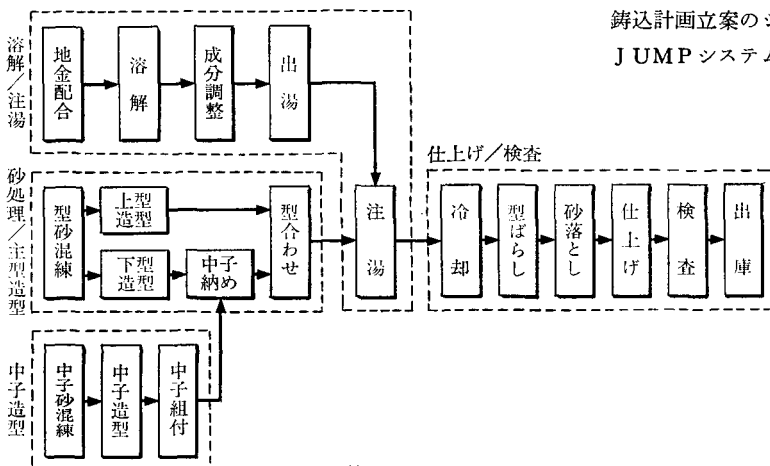


図2 鑄造工程の概略

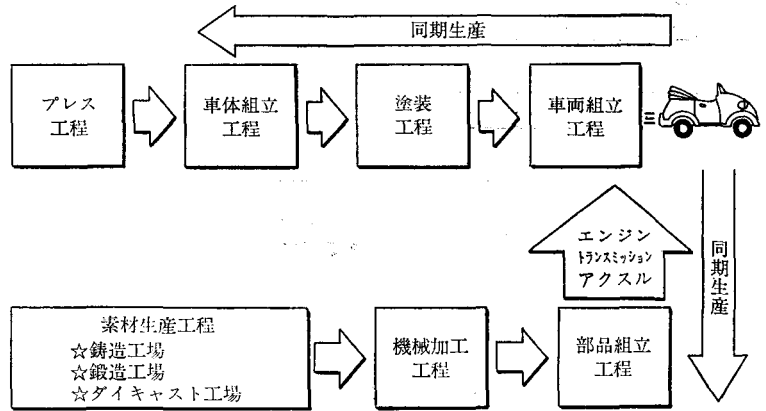


図1 自動車生産における鑄造工場の位置づけ

### 3. 鑄込計画立案の課題

#### 3.1 鑄込計画の概要

鑄込計画立案時の課題を中心に、システムの概要を説明する。

従来、鑄込計画は月1回の月間計画立案を基本としていたが、前述のように生産品種の増加ならびにJUMPによる直近でのオーダー変動の拡大によって、人手での対応が困難になっている。その結果、後工程の欠品、仕掛在庫の増加などの問題が発生している。

今回の鑄込計画立案E Sでは、これらの問題を解決すべく、

- 欠品ゼロと仕掛在庫極小を実現する。
- 計画の見直しサイクルを月から週へと短縮することにより、オーダー変動に柔軟に対応する。
- 計画立案工数の削減と立案作業の素人化を推進する。などを目標としてシステム開発を開始した。

鑄込計画立案のシステム関連図を図3に示す。

JUMPシステムから送られる部品所要量と、後工程となる機械工場からの引き取りオーダーが生産月の前月の下旬に示される。これをもとに、在庫、生産能力や種々の制約条件などを考慮して、与えられた納期を守った上で仕掛りを最小にする計画立案を行なう。計画のサイクルとしては、まず1カ月全体で大まかな計画を立案する月間計画を立案し、これを日々の確定計画に落としていく。月間の計画は、JUMPの

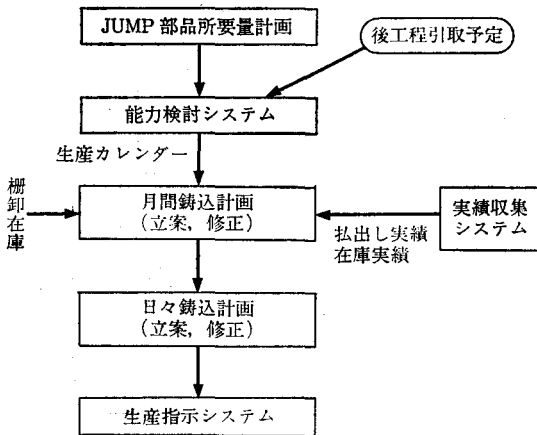


図 3 システム関連図

変動を吸収するために1週間毎に見直しをかけている。

以下では、計画のメインとなる月間計画立案について述べる。

鑄込計画の立案は、従来専門家(熟練した計画立案者)の手作業で行なわれてきたが、立案作業には経験とノウハウが要求され、月間計画の立案で丸3日間かかる難易度の高い作業である。立案作業を困難にしている要因としては、制約条件の多さと部品点数の多さ(120種類)があげられる。

### 3.2 主要な制約条件

- ロットサイズ制約  
ロットサイズには、設備上の制約から上限値と下限値がある。また、月間を通してなるべく標準化することが望ましい。
- 在庫制約  
在庫切れをさけるため、一定量の在庫を確保する。
- 段替え回数制約  
段替えは1ラインあたり1日10回以内におさえる。
- 順序づけ制約  
形状が似ているため、混同しやすい部品など、同一日には生産したくない部品の組合せがある。
- 時間帯制約  
1日の生産の初めの溶湯成分が安定していない時間帯には、生産可能な部品が限定される。また、食事時間には作業者が交代で操業をつづけるため、作業負荷の低い部品の生産に限定される。
- 材質制約  
2種類の材質があり、材質の切替え日時が限定される。以上は主なものであるが、抽出した制約条件は15種類

となっている。

## 4. ESによる鑄込計画立案

### 4.1 ESの採用理由

鑄込計画の特徴をまとめると、

- 制約条件が多く、しかも相反するものが含まれる
- 計画の評価基準が曖昧で、定式化が困難である
- すべての制約条件を満たすことは通常不可能で、計画のたびに総合判断による対応が必要とされる
- 将来的に制約条件や評価基準が変化することが想定される

など、相反する条件、曖昧さ、柔軟さを同時に解決する必要があることがわかった。これを、数式モデルにより最適解を求めようとする、モデル自体の構築もきわめて難しく、また、たとえできたとしても、実用時間内に解くことが困難であり、モデル変更も容易でない。以上の点から、従来手法によるアプローチは困難であると判断し、ESによるアプローチを採用した。

ESでは、専門家のヒューリスティック(経験則)による探索空間の絞り込みができるため、実用時間内に解を得ることが可能である。また、知識がルールの形で明示的に記述できるため、モデル変更が容易であるといった利点がある。逆に最適解を得ることは困難となるが、今回のようなモデルの構築自体が困難な問題に対しては有力な手段となると考えている。

### 4.2 システムモデル

システムの構築にあたっては、専門家へのインタビューを繰り返し、知識の整理を行なった。整理した知識はルールの形で定式化を行なっている。システムのモデルは専門家の計画立案手順をなるべくそのまま反映したものとなっている。ただし、大量の仮説生成<sup>9)</sup>やバックトラック<sup>9)</sup>を避けるためと、全体の解を生成してみないと評価が困難な点もあり、図4のような構造となっている。すなわち仮説を生成した時点では、生成時の局所的な評価しか行わず、初期の解を生成した時点で、全体評価を行ない、解を部分的に改良していくといった2段階の評価を行なっている。

ルールの動作イメージを図5に示す。

制約の処理については、次のような優先順位づけを基本とした方式を採用した。

- 制約条件に優先度づけを行なう。条件には絶対条件と希望条件がある。
- 最初にすべての制約を満足する割当てを試す。

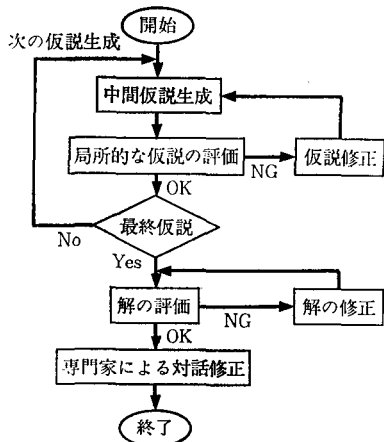


図 4 システムモデル

- 割当て場所がない場合、優先度の低い制約条件から条件をゆるめていき、再度割当てを試す。
- 絶対条件を満足できなくなった場合、絶対条件を満足する位置に強制的に割当てを行なう。この場合、他の以前に割当てられたロットが制約を満足できなくなるが、後の仮説修正または、解評価ルールで処理する。

この方式は単純ではあるが、実行時間があまりかからず、ルール化も容易になるという利点がある。また初期の解における精度が悪い場合でも、解評価ルールによる改良の余地が残っているため、極端に悪い解を避けることができる。

なお、本システムでは、問題の難しさから見て、完全な実用解を得ることは不可能に近く、現場の状況により例外的な操業を行なう場合が多いことから、専門家による部分的な修正を加えて、最終的な計画としている。

#### 4.3 システム構成

システム構成を図 6 に示す。

推論エンジンには、DEC 社での実績が豊富な ES 構築ツールである OPS 5 を用い、マンマシンインタフェースには、コンピュータにあまり慣れていない工場のスタッフが使用することから、Dec Windows を用いた対話型のウィンドウインタフェースを作成し、簡単なマウス操作だけで操作できるようにしている。

最終解を出すまでの実行時間は、月間計画で約 10 分、日々計画で約 3 分であり、十分に実用に耐えうるものと

#### 中間仮説生成

仮説生成ルールにより、制約を満足する位置にロットを割当てる

| 日付 | 1   | 2   | 3 |
|----|-----|-----|---|
| 部品 |     |     |   |
| A  | 200 |     |   |
| B  |     | 300 |   |
| C  | 100 |     |   |

部品 C に対し、1 日にロット 100 を割当て、2 日目以降は割当て不可。

#### 仮説評価

仮説評価ルールにより、新たな制約発生のチェックを行なう

| 日付 | 1   | 2   | 3 |
|----|-----|-----|---|
| 部品 |     |     |   |
| A  | 200 |     |   |
| B  |     | 300 |   |
| C  | 100 |     |   |

部品 A と部品 C は同一日に生産できない

#### 仮説修正

| 日付 | 1   | 2   | 3 |
|----|-----|-----|---|
| 部品 |     |     |   |
| A  |     | 200 |   |
| B  |     | 300 |   |
| C  | 100 |     |   |

部品 A のロットを 2 日に移動

#### 解の評価

| 日付 | 1   | 2   | 3   |
|----|-----|-----|-----|
| 部品 |     |     |     |
| A  |     | 200 | 400 |
| B  |     | 300 |     |
| C  | 100 |     | 100 |

部品 A のロットは平準化可能

#### 解の修正

| 日付 | 1   | 2   | 3   |
|----|-----|-----|-----|
| 部品 |     |     |     |
| A  |     | 300 | 300 |
| B  |     | 300 |     |
| C  | 100 |     | 100 |

部品 A のロットを 300 に平準化

図 5 ルールの動作イメージ

なっている。

以下にシステム規模を示す。C 言語の割合が大きいが、大半はマンマシンインタフェースとデータベースアクセスのために使用している。

- 月間鑄込計画
  - ルール部 (OPS 5) — 130 ルール (2.3K ステップ)
  - 手続き部 (C 言語) — 10K ステップ
- 日々鑄込計画
  - ルール部 (OPS 5) — 40 ルール (0.8K ステップ)
  - 手続き部 (C 言語) — 6.5K ステップ

## 5. 評価と今後の展開

### 5.1 システムの評価

現場の実データを使用して、数カ月間にわたって、テストを行なった。その過程で専門家が立案する計画との相違点を中心に調査を行ない、当初、曖昧であった知識の再整理を行ない、ルールの変更を繰り返すことにより、

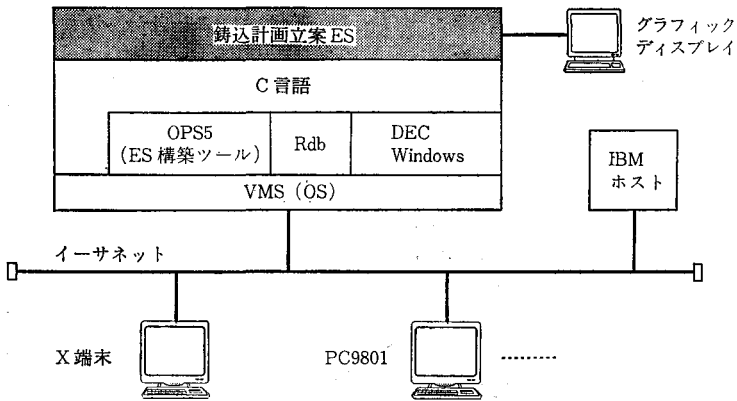


図 6 システム構成

実用レベルの計画を得ることができた。ただし、専門家に置き代わるレベルまでは達しておらず、専門家による一部の手直しが必要となっている。

専門家の計画と、ESでの計画との、主な相違点を述べると、

- 専門家は安全のため、ロットのサイズを大きく取り、仕掛りを多めにもつ傾向があるが、ESではロットのサイズを小さめにして仕掛りの低減を可能にしている。
- ロットの平準化の点では専門家が優れており、ESでは十分な平準化が達成されていない。この条件は仕掛りの極小化と相反する条件であり、ある程度はやむをえないと考えている。

計画精度にはまだ改善の余地が残されているが、従来3日間かかっていた作業が、データ入力やESの計画の手直しの時間を含めても数時間で可能となり、計画の見直しが週単位で可能となったことは、現場でも評価されている。

## 5.2 今後の展開

本システムの開発がほぼ終了した時点で、現場に新しいラインが導入され、現在新ラインに対応するため、システムの手直しに着手している。

今後の計画として、

- 新ラインに対応した铸造計画立案ESの早期開発・運用を行なう。
- ルールの見直しによる計画精度のさらなる向上とマンマシンインタフェースの改善を行なう。
- 本ESモデルをベースとして、他のスケジューリング、計画問題への適用を計る。特に素材工場、機械加工工場における生産計画立案は、ESの適用によって、シ

ステム化が広がると考えている。

## 6. おわりに

製造業における生産計画問題は、OR的アプローチのみではなかなか現実解が得難く、勘と経験が幅をきかしてきた領域である。

本文中で述べた铸造計画立案ESは、推論機構の基礎技術を応用して勘と経験を科学しようとするものであり、科学的管理への1つのアプローチといえよう。

## 参考文献

- [1] 山口俊之：CIM時代のPOPシステム入門，株式会社オーム社，1999年
- [2] 自動車工学全書編集委員会編：自動車工学全書19巻 自動車製造法，山海堂，1980年

## 注

- 1) FA : Factory Automation
- 2) CIM : Computer Integrated Manufacturing
- 3) JUMP: Joining User and Mazda Program
- 4) 铸造計画: 铸造工場の生産計画。铸造工程の計画であるところから铸造計画と呼ぶ。
- 5) 仮説 : 推論過程で生成される、可能性のある問題解決案
- 6) バックトラック: 仮説が間違っていた場合に前の選択点に戻って、別の可能性を試みる探索手続き