

## 板金加工における生産スケジューリングへの 情報システムモデルの適用

菅原光政<sup>†</sup> 柴木恒一<sup>††</sup> 宮崎正俊<sup>†</sup>

経営活動の計画立案では、将来の活動内容を決定するため、計画時点で使用される情報の確定されている割合が低く計画内容も抽象的である。これに対し、実施直前になるほど入手する情報の確定する割合が高まり、計画内容も具体化する。後者の場合は、新たな仕事の割込みや変更等への対応のため、そのつど、再計画を立案するための処理が必要となる。そのうえ、その処理には的確性はもとより緊急性も要求されるため、混乱が生じやすい。本研究では、この問題解決を図るための情報システムモデルを提案し、製造業の生産スケジューリング問題に適用している。ここでは、実装と実験による提案システムの有効性を検証している。

### Application of an Information System Model to Production Scheduling in Sheet Metal Processing

MITSUMASA SUGAWARA,<sup>†</sup> KOICHI SHIBAKI<sup>††</sup>  
and MASATOSHI MIYAZAKI<sup>†</sup>

Since management planning involves making decisions regarding future activities, estimates based on information available at the time of planning are not very reliable, and plans based on such estimations tend to be abstract. In contrast, estimations based on information acquired immediately before the implementation of a plan are more reliable, and plans based on such estimations are more concrete. In the latter case, the plans must be re-evaluated every time changes are made or unexpected tasks are added. Confusion is easily generated when plans are reviewed because of the dual necessities of urgency and accuracy. In the present study, an information system model designed to overcome this problem was developed and applied to production scheduling problems in the manufacturing industry. The effectiveness of the proposed system has been verified through testing and practical application.

#### 1. はじめに

経営等の活動の決定に対し、情報システムの果たす役割は大きく、さらにその比重は高まってきている。しかし、計画にかかわる決定では将来の活動の内容を決定するため、決定時点における情報の確定割合は低く不確かである。このような情報に基づいて全体計画を一度に決定しても、その後、情報の確定する割合が高まることにより再計画が頻繁に生じてしまう。したがって、計画決定時点と計画対象期間に応じた計画内容を決定しなければならない。そのための方法論

として、階層型の計画システム研究がなされてきている<sup>1)~5)</sup>。中でも活動直前での計画(指示)決定では、新たな仕事の割込みや環境変化等の情報が飛び込んでくるため、緊急な対応が要求される。これに対しては再計画の方法論が研究されてきた<sup>6)</sup>。

本研究ではこれらの問題解決のため、的確性はもとより、計画および再計画の立案に要する処理の迅速性と容易性といった実用面を重視した情報システムモデルを提案している。その構造は、最適化処理を効果的に行うための階層型とし、製造業の生産スケジューリング問題に適用している。この最適化処理に使用されている数理計画法は、処理に長時間を要するという課題を抱えているが、制約条件の緩和ができないような組合せ問題としての性質の強いスケジューリング問題に適している<sup>7)</sup>という特徴がある。本研究モデルでは、この特徴を生かし階層構造によって処理時間の短縮を図り、再計画を立案し直すために必要な処理の容

<sup>†</sup> 岩手県立大学ソフトウェア情報学部  
Faculty of Software and Information Science, Iwate  
Prefectural University

<sup>††</sup> 岩手県立大学宮古短期大学部経営情報学科  
Management Information Science, Miyako Prefectural  
College of Iwate

易性を見い出している。

以下、2章では情報システムの解法モデルと階層構造の考え方を示し、さらに3章で、FA化が急速に進展している板金加工へこのモデルを適用させている。ここでは、製品の多品種化にともなう材料、治工具の多様化に対する設備面の制約という問題を解決するための、生産スケジューリング方法を取り上げる。生産スケジューリングに必要となる処理を行うため、情報システムモデルに基づいた処理ロジックの考え方を4章で提案し、5章の実装による実験結果で、提案モデルの妥当性とその有効性を検証している。

## 2. 情報システムモデルの概念

### 2.1 情報システムの解法モデル

各種の活動に先だって立案される計画は、将来の活動についての内容や水準を決める意思決定活動である。そこでは決定のための評価基準を設定し、必要とされる情報収集が行われる。しかし、その情報も計画内容の決定時点では不完全な場合が多いため、計画立案に必要な処理に膨大な時間を要したり再計画に必要な処理が頻繁に発生する原因となる。そのため、決定を一括して一度に行うのではなく、様々な計画段階を設定し各段階で必要となる情報や決定内容が有機的に結合されて機能し、最終的な決定を行う方法がとられる。

このような計画全体の意思決定システムは、いくつかのサブ・システムに分割され階層構造として各サブ・システム間で情報伝達が行われる。その階層は、計画内容の詳細度に応じて2段階、3段階構造<sup>8),9)</sup>とする方法に関し研究報告が行われてきた。たとえば、計画対象としての製品をタイプ、ファミリー、アイテムの3段階とし(Hax, A.やMeal, H.の提案)、それぞれの階層に基づいた計画段階(期間計画、月次計画、日程計画等)が設定される。これに対し本研究では、生産スケジュールの立案に加工条件を取り入れるため、計画対象としての製品(ジョブ)を治工具(使用金型)と設備(NCT加工機のタレットディスク上のステーション)に関連付ける。さらに、その決定プロセスを分類、最適化、判断に分割した階層構造(図1)とし、分類と最適化の処理を支援する情報システムモデルを提案する。その設計目標は実用的な面から、次のように設定する。

- (a) 計画立案と加工に要する時間の短縮化
- (b) 計画内容的確性
- (c) 計画立案に必要な処理の容易性

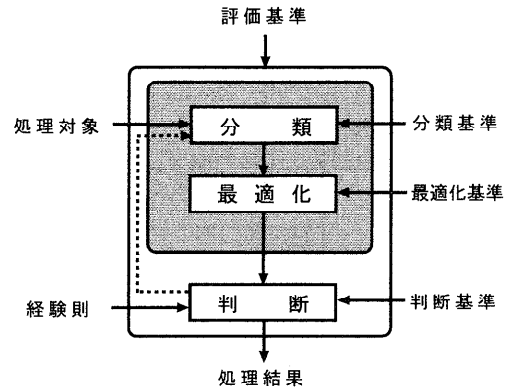


図1 解法モデル

Fig. 1 The model of decision process.

### 2.2 情報システムモデルの位置付け

前記の解法モデルを製造業における加工工程に適用し、加工による物の流れとそれに必要な情報の流れを示したのが図2である。加工するために必要な機械、設備等の加工装置に対し、材料、部品、治工具等が投入され、製品や組立部品として産出される。一方、これらの物の流れをコントロールするための情報が必要である。その種類として、加工手続き(NCマシンであればNCプログラムが相当)とその生産スケジュールがある。

本論文では後者を対象に、次のような制約条件に基づき、ジョブの投入順序付けの決定プロセスに対して情報システムの解法モデルを適用させる。

- (1) 製品の多様化にともない、その形状決定に直接影響を与える治工具数や材料種類数が増加している(無限に増大する投入物)。
- (2) 加工のための機械、設備において、装着可能な治工具や材料の数には制限がある(装着部分が有限個の設備)。

これら(1)、(2)の条件により必然的に治工具や材料の取り替え(段取り替え)が生じる。たとえば次のような例があげられる。

- (a) 治工具である金型の膨大な数に対し、それを装着する限られたステーション数
- (b) 多くの種類の材料に対し、それを格納し自動供給するストッカーの限られた棚数
- (c) 多くの種類の組立部品に対し、それを格納しベンディングロボットへ自動供給するラックの限られた櫛歯数

本論文では、この中の(a)を取り上げて記述している。

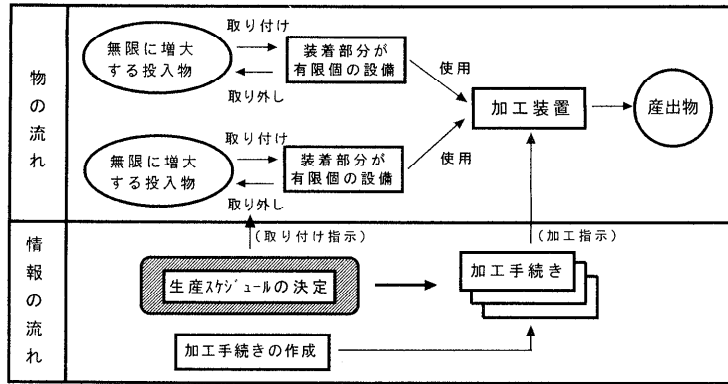


図 2 情報システムモデルの位置付け  
Fig. 2 The situation of information system model.

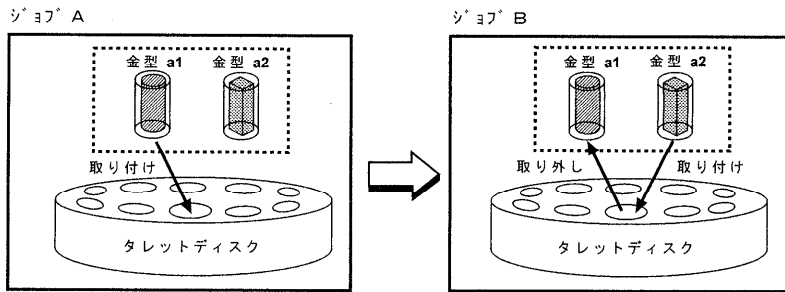


図 3 金型段取り替えの概念  
Fig. 3 Concept of metal die exchange.

2.3 階層構造の考え方

NC タレットパンチプレス (NCT: Numerically Controlled Turret punch) を使用した板金加工において、金型とそれを装着するステーションの関係を示したのが図3である。このNCT加工機によって連続的に生産するロットを1つのジョブとする。図3では、ジョブ A 加工からジョブ B 加工への遷移によって必要となる金型の段取り替えの概念を示している。ここでは、金型 a<sub>1</sub> と a<sub>2</sub> を同一ステーション位置に装着するものとする。

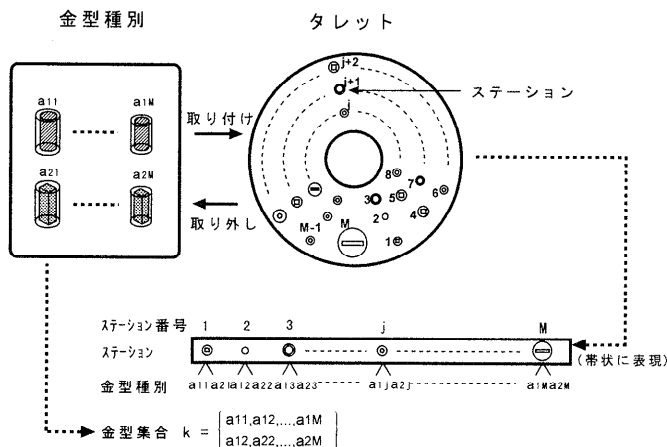
- (a) ジョブ A で必要な金型 a<sub>1</sub> をタレットディスクの所定のステーションに装着する。
- (b) ジョブが終了した時点で金型 a<sub>1</sub> を取り外す。
- (c) ジョブ B で必要な金型 a<sub>2</sub> を同一のステーション位置に装着する。

以上のようにジョブ A の加工終了時点からジョブ B の加工開始時点までの間に、(b) および (c) の金型の段取り替えが発生する。これには、NCT 加工機を停止しジョブ A の加工に必要なタレットディスク上の金型 (Male, Female) を取り外し、ジョブ B の加工に必要な金型を選択して取り付け、加工精度の調整

を行う作業等がともなう。段取り替え作業には多大な労力や時間を要するため、この作業を極力少なくする必要がある。そのためには、できるだけ同一の金型を連続して使用するか、異なるステーションを使用するようにして、段取り替えが最少となるジョブ投入順序を決定する必要がある。その場合、ジョブの総当たりによって解を求めていく処理では、スケジュール作成に長時間を要し現実的ではない。そこで、緊急性を要する製造現場での再スケジューリングへ迅速に対応するため、“分類”と“最適化”の処理に必要となるタレットディスク上のステーションと金型種別の関連を明確にする (図4) (関係式は4.1節(1)の(a)~(c)で定義)。

(1) 分類

生産スケジュールの作成では、最適なジョブ投入順序を決定する。その場合、ジョブ数の増加にともないその組合せ数も急激に増加するため、処理に膨大な時間を要することになる。したがって、これを抑制するため、段取り替えが発生しないようにジョブを分類し、最適化処理の対象となるジョブを絞り込む。その方法として、同一ステーションで異なる金型を使用す



※ ステーションjに装着可能な金型を a1j、a2jとし、a1jから a2j、a2jから a1jへの金型段取り替えが必要となる。

図4 ステーションと金型の関係

Fig. 4 Relationship between station and metal die.

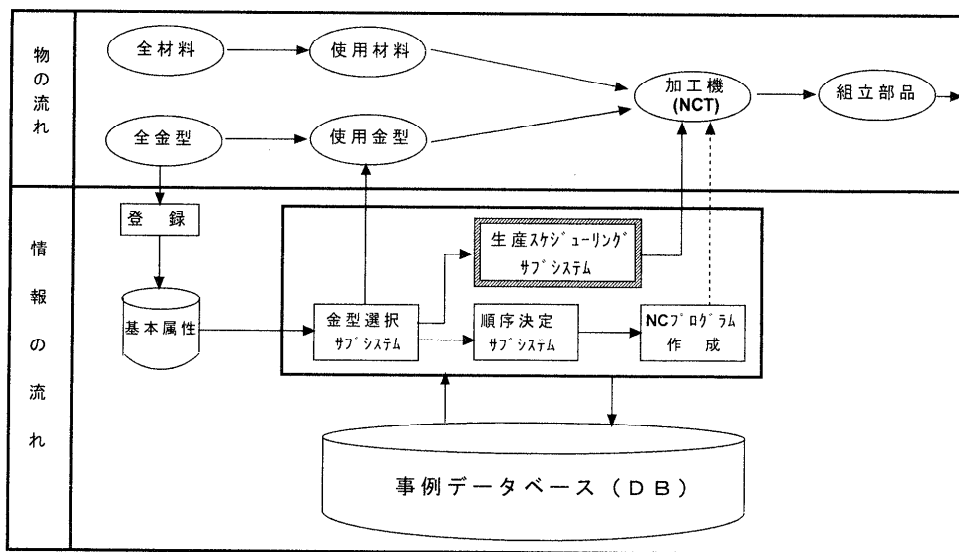


図5 生産スケジューリングシステムの位置付け

Fig. 5 The situation of production scheduling system.

るジョブを組み合わせるときに段取り替えが発生することに着目する。同一ステーションが複数のジョブで共用するかどうかの度合いを基準として分類するため、1からMまでのステーション番号を付与する。

(2) 最適化

使用するステーションの共用度合いが高いジョブグループ内で、段取り替えが最少となるジョブ投入順序を見つける。したがって、最適化基準は金型段取り回数であり各ステーションに装着可能な金型をステーション番号に対応させ、金型集合を行列によって表現する。なお、ここでは1つのステーション番号に対し

2つの金型を装着可能とする。

3. 板金加工への適用方式

3.1 情報システムモデルの適用

NCT加工工程に投入される物とそれをコントロールするための情報の流れを、図2に基づき具体化したのが図5である。板金加工における一連の工程設計では、加工手順を最終的にはNCプログラムで表現し、そのジョブ順序を生産スケジュールとして決定する。この生産スケジュールに基づきNCT加工機への加工指示が行われる。これらの活動は情報システム<sup>10),11)</sup>

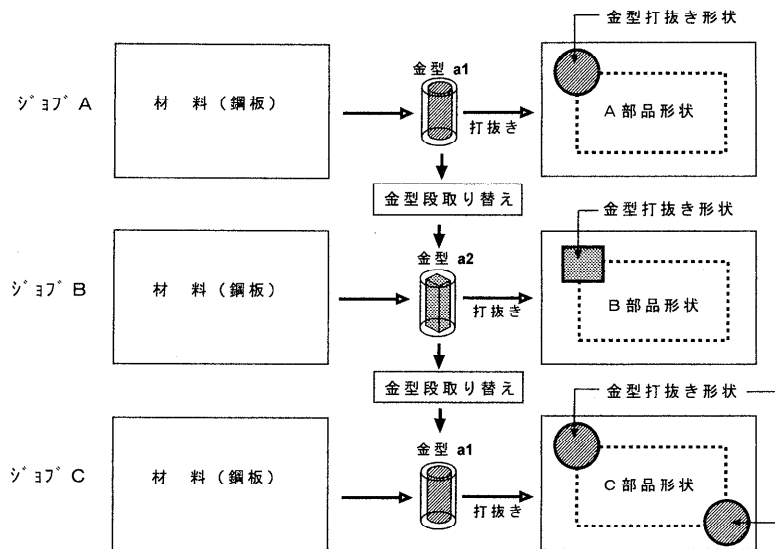


図 6 金型段取り替えの例

Fig. 6 An example of metal die exchange.

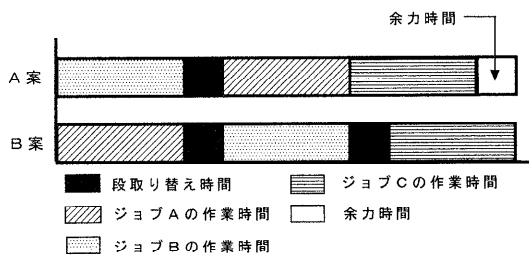


図 7 加工時間の比較

Fig. 7 Comparison of processing time.

によって支援され、物の動きと連動して情報の蓄積と活動間の情報伝達が行われ、一連の製造指示がなされる。

生産スケジューリングでは、各ジョブの加工手順を複数集約し、ジョブ単位の投入順序を決定する。ここでは、納期と全体の生産効率を考慮し時間軸上にジョブを割り付ける。その決定情報は作業設計者に伝達され、金型準備と加工の指示情報として活用される。

### 3.2 評価方法の例示

ジョブ A、ジョブ B、ジョブ C の順序で生産スケジューリングを立案した場合の使用金型例を図 6 に示してある。図における段取り回数は 2 回となるが、A 部品と C 部品の隅の加工に使用される丸型の金型は同一であり、ジョブ A とジョブ C を連続的に実施することにより、金型段取り回数が 1 回で済むことになる。その案を時間経過で対比したのが図 7 である。B 案はジョブ A、ジョブ B、ジョブ C の投入順序を示している。これに対し A 案はジョブ B、ジョブ A、ジョ

ブ C の投入順序であり、B 案に比べ空白で示した余力が生じ、製造所要時間の短縮が図られる。この例では、次の条件を前提として示している。

前提条件

- 納期を満たす期間内での順序変更とする。
- 材料と治具は準備されているものとする。
- 最初のジョブに必要な金型の段取り替えは考慮しないこととする。

このように、板金加工においては NCT 加工機に装着する金型が直接、加工形状に影響を与えるため、その種類数も製品種類数に比例して増加する。一方、ステーションに同時に装着できる金型の個数には制約がある。たとえば、通常の NCT 加工機のステーション数は、50 から 70 個であるのに対し、中堅企業で保有している金型は数千種類を数える。したがって、ジョブ投入順序の決め方が製造所要時間に大きな影響を与える。

本研究では、この製造所要時間の短縮に寄与する金型段取り回数の最少化を評価基準として設定し、情報システムモデルを実装により具体化し、実験結果によってその有効性を評価する。

### 3.3 分類処理

生産スケジューリングにおけるジョブの投入順序付けでは、ジョブの順序を決めることによって起こる、金型の段取り替え数を最少にするようなジョブの順序を選択する。その場合、最適ジョブ投入順序を見つけるための計算量はジョブ数の増加にともないその階乗に比例し膨大となる。一方、製造現場におけるジョブ

ジョブ名		ステーション番号																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	j	j+1	j+2	...	M				
ジョブ群 A	ジョブ J1										○	○	○						
	ジョブ J2										○	○	○						
	ジョブ J3										○	○		○					
	ジョブ J4									○	○	○							
ジョブ群 B	ジョブ J5	○	○																○
	ジョブ J6			○														○	
	ジョブ J7			○													○		○

図 8 ジョブの分類例  
Fig. 8 An example of job classification.

の投入順序付け処理は、次のような原因から頻繁に要求される。

- (a) 顧客からの追加オーダーが生じる。
- (b) 納期, 受注ロット数, 製品仕様等の変更が生じる。
- (c) 製造上のトラブルによる再生産や追加生産が生じる。

これら様々な変動要因に対し、再スケジューリングの処理を行って生産可能性を見極め、正確な納期回答と生産指示を迅速に行う必要がある。頻繁に出される再処理要求に対し、そのつど、長時間を要していたのでは、実用的な面から問題が生じる。したがって、製造現場においても容易にしかも迅速に処理できることが情報システムに強く求められる。それに対応するには、ジョブ組合せ数の増加を抑制しなければならない。前述したように、金型段取り替えの発生は同一ステーションにおいて異なる金型が使用される場合に生じるので、生産スケジュール作成ではまずステーションの共用するジョブの分類を行っておく。その基準として、各ジョブで使用されるステーションの共用度 (4.1 節で定義) を用いる。

図 8 は、共用度の高いジョブ群 A と低いジョブ群 B に分類した例を示している。すなわち、ジョブ J1 から J4 はステーション j, j+1, j+2 を共用するため同一グループに属し、ジョブ J5 から J7 は共用するステーションがまったくないので別グループとする。この例では、共用性があるかないかで分類しているが、実現した情報システムでは処理対象となるジョブ数、ステーション数をふまえて処理時間 (5.1 節の実験例) と計画の精緻化 (5.2 節 (2) 実験結果) との兼ね合いを人間が判断し、その値 (共用度) を設定することが可能である。この分類処理により、あらかじめ次の最適化処理の対象となるジョブと金型数を選択しておく。

ステーション番号		j		j+1		j+2	
金型種別		a <sub>j11</sub>	a <sub>j21</sub>	a <sub>j12</sub>	a <sub>j22</sub>	a <sub>j13</sub>	a <sub>j23</sub>
金型種別初期値		○		○		○	
A 案	ジョブ J1	○		○		○	
	ジョブ J2	○		○		○	
	ジョブ J3	○		○		○	
	ジョブ J4	○		○		○	
B 案	ジョブ J2	○		○		○	
	ジョブ J4	○		○		○	
	ジョブ J3			○		○	
	ジョブ J1			○		○	

図 9 ジョブ投入順序例  
Fig. 9 An example of job entry sequence.

### 3.4 最適化処理

分類処理で求められたステーションの共用度が高いジョブを対象に、その投入順序付け処理を行う。この処理では、金型段取り替えの回数が最少となることを目的とし、次の条件に基づきジョブ投入順序を算出する。

- (a) 各ステーションに装着可能な金型種別を設定する。
- (b) ジョブの開始直前の金型状態 (初期値) を把握する。
- (c) 金型初期値を前提に、共用するステーションの範囲で各ジョブの使用金型種別を比較し、段取り替えの有無を判断する。

図 9 は、前記図 8 で使用されるステーション j, j+1, j+2 における金型種別の比較例を示している (矢印は金型段取り替えを示す)。

- (a) ジョブ J1, J2, J3, J4 の順に加工する場合の金型段取り回数は 10 回となる (A 案)。

- (b) ジョブ J2, J4, J3, J1 の順に加工する場合の金型段取り回数は3回となる (B案).
- (c) 以下同様に, すべてのジョブ順序における金型段取り回数を算出し, 最も少ないジョブ順序を求める.

#### 4. 生産スケジューリングロジックの考え方

生産スケジューリングの決定プロセス全体を分類と最適化の階層構造とした, 情報システムの解法モデル (図1) を板金加工に適用 (図2) させるうえでの定式化を行う. それぞれの階層では, 次の処理を行う.

- (1) 使用するステーションの共用度によりジョブを分類しジョブグループを編成する.
- (2) 分類されたジョブグループごとに, 金型の段取り替え回数が最少となるスケジュールの作成 (ジョブ投入順序の最適化) を行う.

##### 4.1 ジョブグループの分類

各ジョブに使用されるステーションの集合を, 共用度の観点から例示したのが図10である. この図では, ステーションを共用するジョブ J1, J2, J3, J4 と, 共用しないジョブ JN-1, JN に分類している.

- (1) 各ジョブで共通に使用されるステーション番号の抽出
  - (a) ジョブの集合とジョブ Ji に必要な金型の集合を次のように定義する.

ジョブの集合:  $\{J1, J2, \dots, JN\}$

金型の集合:

$$X_i = \begin{bmatrix} X_{11}(i) & X_{12}(i) & \dots & X_{1M}(i) \\ X_{21}(i) & X_{22}(i) & \dots & X_{2M}(i) \end{bmatrix}$$

$(i = 1, 2, \dots, N)$

- (b) 金型が使用されている状態を1, 使用されていない状態を0とし, 金型が同一ステーションに2つ同時に装着されることはないので,

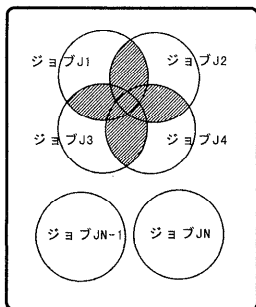


図10 ステーションの集合例

Fig. 10 An example of station sets.

各ステーションにおける金型装着状態を次のように表す.

$$\begin{bmatrix} X_{1ij}(i) \\ X_{2j}(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$(j = 1, 2, \dots, M; i = 1, 2, \dots, N)$

- (c) ジョブ Ji で必要とする金型が装着されるステーションが1で, それ以外を0とする行列を次のように表す.

$$r(X_i) = (X_{11}(i) + X_{21}(i), \dots, X_{1j}(i) + X_{2j}(i), \dots, X_{1M}(i) + X_{2M}(i))$$

- (d) ステーション j の共用度  $u_j$  を次のように定める.

$$u_j = \left( \sum_{i=1}^N r(X_i) \text{ の } j \text{ 成分} \right)$$

複数ジョブで使用されるステーション, すなわち共用度が2以上のステーション集合 (図10の斜線部分) は次のようになる.

$$\{j | u_j \geq 2, 1 \leq j \leq M\}$$

- (2) 使用するステーションの共用度によるジョブの分類
 

前記 (d) で求めた共用度に基づき, そのジョブを分類する.

- (a) 各ステーションを使用するジョブを識別する.
 
$$n_j = \{i | r(X_i) \text{ の } j \text{ 成分} = 1\}$$
- (b) ステーションの共用度によりジョブの分類基準  $k (k \geq 2)$  を設定する.

$$N_j = \begin{cases} \emptyset & \#n_j \leq k-1 \\ n_j & \#n_j \geq k \end{cases}$$

ステーションを共用するジョブとしないジョブ (図の例では,  $k=2$ ) の分類例:

$$N_j = \begin{cases} \emptyset & \#n_j \leq 1 \\ n_j & \#n_j \geq 2 \end{cases}$$

- (c) 分類基準で分類したジョブの集合を求める.

分類基準  $k$  に基づき集められた

$$\text{ジョブの集合: } \bigcup_{j=1}^M N_j$$

$$\text{それ以外のジョブの集合: } J - \bigcup_{j=1}^M N_j$$

##### 4.2 ジョブ投入順序の最適化

金型段取り回数の最少化を目的とした, プログラムロジックのための定式化を示す. ここでは, すべてのステーションに装着される金型の初期状態から  $N$  個のジョブの順序を並べ替え, すべてのジョブを実行し

表 1 ジョブ順序と金型状態

Table 1 Relationship between job sequence and metal die state.

金型装着状態	初期状態 ( $P_0'$ )	.....	$J_i(u-1)$ の使用状態 ( $P'$ )	段取り替え	$J_i(u)$ の使用状態 ( $Q'$ )
ジョブの進行	-----○	→○	→ $J_i(u-1)$	→○	→ $J_i(u)$

た結果、段取り回数が最少となるジョブ順序を求める問題の定式化を行う。

(1) 金型装着状態の定式化

(a) ジョブ順序と金型装着状態の概念

左から次のようなジョブ順序で実行するものとする。

$$J_i(1) \rightarrow J_i(2) \rightarrow \dots \rightarrow J_i(N)$$

$$(\{i(1), i(2), \dots, i(N)\} = \{1, 2, \dots, N\})$$

ジョブ  $J_i(u-1)$  から  $J_i(u)$  への進行における金型装着状態は表 1 のようになる。

(b) タレットの金型装着の初期状態

すべてのステーションに金型が装着された状態を次の式で表す。

$$P_0' = \begin{bmatrix} p_{11}(0) & p_{12}(0) & \dots & p_{1M}(0) \\ p_{21}(0) & p_{22}(0) & \dots & p_{2M}(0) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} p_{1j}(0) \\ p_{2j}(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$(j = 1, 2, \dots, M)$$

(c) ジョブの金型装着状態

ジョブ  $J_i(u-1)$  の終了時の金型装着状態 ( $P'$ ) とジョブ  $J_i(u)$  の終了時の金型装着状態 ( $Q'$ ) を次のように示す。

$$P' = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1M} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2M} \end{bmatrix}$$

$$Q' = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1M} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2M} \end{bmatrix}$$

(ただし  $u = 1$  のとき、 $P' = P_0'$  でジョブ  $J_i(0)$  は考慮しない)

(2) 金型段取り回数の最少化問題の定式化

(a) 金型段取り替えの定式化

金型装着状態  $P'$  から  $Q'$  への段取り替えでは、まず  $X_i(u)$  を参照し各ステーションに対して装着可能な 2 つの金型のうち、どちらか一方が必要か両方とも必要でないかを判断する。

- どちらか一方が必要な場合、 $X_i(u)$  の値に従

い金型の取り替えを行う。

- 両方とも必要でない場合、 $P'$  の対応するステーションの状態を  $Q'$  に継続する。

このようにして新たに得られた  $Q'$  の列成分を  $P'$  と  $X_i(u)$  の列成分で表すと次のようになる。

$$\begin{bmatrix} q_{1j} \\ q_{2j} \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_{1j}(i(u)) \\ x_{2j}(i(u)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1j}(i(u)) \\ x_{2j}(i(u)) \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} p_{1j} \\ p_{2j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1j}(i(u)) \\ x_{2j}(i(u)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{cases}$$

$$(j = 1, 2, \dots, M)$$

(b) 金型段取り回数の定式化

金型の初期状態の条件により、すべてのステーション  $j$  に関して  $p_{ij}$ ,  $q_{ij}$  は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} p_{1j} \\ p_{2j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} q_{1j} \\ q_{2j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$Q'$  は  $P'$  と  $X_i(u)$  によって生成されるので  $P' * X_i(u)$  と表し、 $P'$  から  $P' * X_i(u)$  への金型段取り替えの回数は、各ステーション  $j$  に対し次のようになる。

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} q_{1j} \\ q_{2j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{1j} \\ p_{2j} \end{bmatrix} & \text{ならば 0 回} \\ \begin{bmatrix} q_{1j} \\ q_{2j} \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} p_{1j} \\ p_{2j} \end{bmatrix} & \text{ならば 1 回} \end{cases}$$

したがって、一対のジョブ間での金型段取りの総数 ( $P'$  から  $P' * X_i(u)$  へ) は次のように表すことができる。

$$\frac{1}{2} H(P', P' * X_i(u))$$

ただし  $H$  は、



$$H \left( \begin{matrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1M} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{M1} & p_{M2} & \dots & p_{MM} \end{matrix} \right),$$

$$= \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^2 h(p_{kj}, q_{kj}),$$

$$h(p_{kj}, q_{kj}) = \begin{cases} 1 & (p_{kj} \neq q_{kj}) \\ 0 & (p_{kj} = q_{kj}) \end{cases}$$

(c) 全ジョブの金型段取り回数の最少化

ジョブを  $Ji(1)$  から  $Ji(N)$  の順に実行したときの段取り回数  $Z(i(1), i(2), \dots, i(N))$  は前記 (b) の関数  $H$  を用いて次のように計算できる。

$$Z(i(1), i(2), \dots, i(N)) = \frac{1}{2} \{ H(P_0', P_0' * Xi(1)) + H(P_0' * Xi(1), P_0' * Xi(1) * Xi(2)) + \dots + H(P_0' * Xi(1) * \dots * Xi(N-1), P_0' * Xi(1) * \dots * Xi(N-1) * Xi(N)) \}$$

したがって、金型段取り回数の最少化問題は次のように定式化される。

$$\min Z(i(1), i(2), \dots, i(N))$$

(( $i(1), i(2), \dots, i(N)$ ) は 1 から  $N$  までの順列を動く)

### 5. 実験結果

2章で示した情報システムモデルを3章の方式で板金加工に適用し、4章で記述したロジックの考え方に基づき実装を行った。さらにこの情報システムモデルの有効性を、処理時間と最適性の2つの観点から以下の実験によって検証を試みた。

#### 5.1 分類による処理時間の短縮

この実験では、分類処理で最適化処理対象を絞り込むことが、処理時間の短縮化に対しどのような効果を与えるかを検証する。

##### (1) 実験の概要

- (a) ジョブ数を20個と30個とし、それぞれ総ステーション数70の中で平均5個のステーションをランダムに選択し、その使用状態を疑似乱数の発生で設定する。
- (b) 各ジョブ数につき、前記4.1節(2)(b)で述べた分類基準  $k$  を2と3にし100回の試行により、次のような4通りの分類実験を試みた(表2)。

##### (2) 実験結果

実験結果をグラフで示したのが図11である。

表2 実験の概要  
Table 2 A summary of experimentation.

記号	ジョブ数	ステーション数	試行回数	分類基準
A2005	20	5	100	2
B2005	20	5	100	3
A3005	30	5	100	2
B3005	30	5	100	3

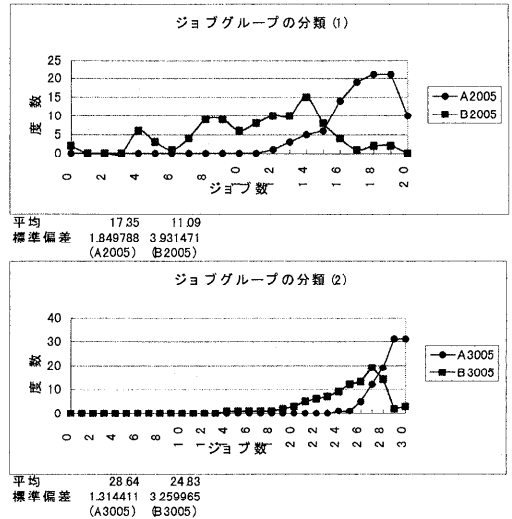


図11 ジョブ分類の結果

Fig. 11 Result of job classification.

- (a) ジョブグループの分類(1)は、ジョブ数20個で分類した結果である。ここでは、分類基準を2にした場合、共用するジョブ数の平均は約17個で残りの3個が共用しないことを示している。同様に、分類基準を3にすれば、共用するジョブ数の平均は約11個で残りの9個が共用しないことを示している。
- (b) ジョブグループの分類(2)は、ジョブ数30個で分類した結果である。分類基準を2にした場合、共用するジョブ数の平均は約29個で、残りの1個が共用しないことを示している。同様に、分類基準を3にすれば共用するジョブ数の平均は約25個で残りの5個が共用しないことを示している。
- (c) 上記の結果、ステーションの共用度によるジョブの分類(2分類)が可能であることが確認された。

このようなジョブグループの分類により、グループ単位の投入順序が判断できるため、顧客への概略納期回答や製造現場への準備指示が早期に可能となる。したがって、最適化処理による最終スケジュールの決定

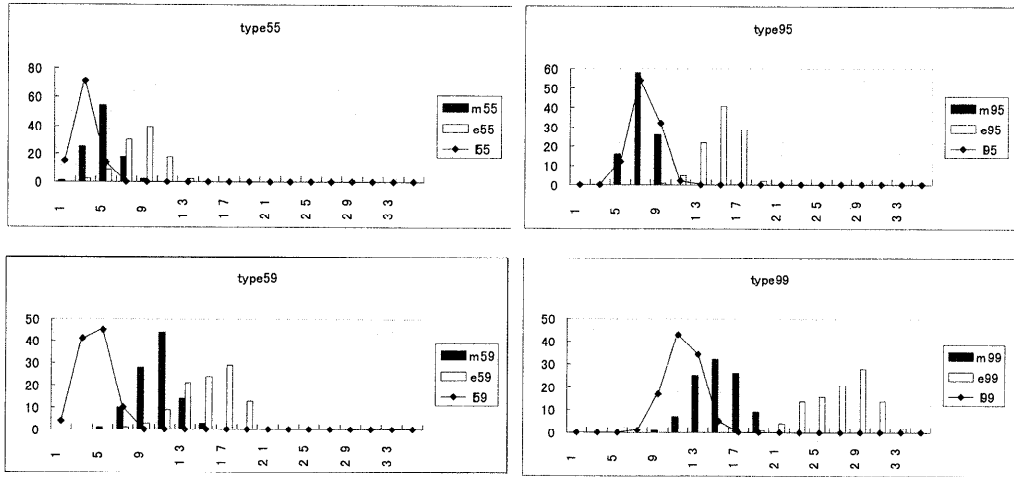


図 12 金型段取り回数の比較

Fig. 12 Comparison of the number of metal die exchanges.

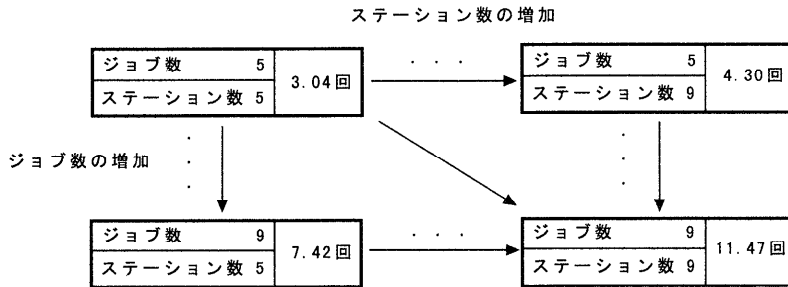


図 13 金型段取り回数の結果

Fig. 13 Result of the number of metal die exchanges.

前の分類処理にも有効性が見い出され、再スケジューリング処理の容易性が促進される。

また、分類処理で最適化処理対象を絞り込むことにより、計算回数の減少数は次のようになる。

Y；ジョブ数

X；分類結果の最適化処理対象ジョブ数

$$\text{計算回数の減少数} = Y! - (X! + (Y - X)!)$$

これに実験結果の数値を代入し、具体的な計算回数の減少数を求めると次のようになる。

実験例：ジョブ数が 20 で、分類基準を 3 にした場合の共用するジョブ数の平均は 11 だから最適化処理対象ジョブ数を 11 と見なして次の結果を得る。

$$\begin{aligned} \text{計算回数の減少数} &= 20! - (11! + (20 - 11)!) \\ &= 20! - 11! - 9! \\ &\approx 2.43 \times 10^{18} \end{aligned}$$

このような処理時間の短縮により、オーダの追加、変更分も含めたスケジューリングの再処理が製造現場においても容易となる。

### 5.2 最適化による誤差の減少

この実験では、段取り回数の最少値と平均値の差がジョブ数とステーション数を増加させることにより、どのような傾向を示すかを分析し、最適化処理の効果とジョブ数、ステーション数のかかわりを検証する。

#### (1) 実験の概要

- (a) ジョブ数を 5 から 9、ステーション数を 5 から 9 までを組み合わせた 25 通りの実験を行う。
- (b) 各組（たとえばジョブ数 5、ステーション数 5）ごとに、以下で述べる試行を 100 回行う。試行；最初のジョブから最後のジョブまでの各ジョブで必要とする金型の集合を疑似乱数を用いて生成する。
- (c) (b) で行った各々の試行について、すべてのジョブ投入順序の段取り回数を求め、それらの最少値  $m$  と平均値  $e$  およびその差  $e - m$  を求める。
- (d) (c) で計算された最少値、平均値、差の度数を各々求める。

## (2) 実験結果

実験結果の一部をグラフ表示したのが図 12 で、ここで使用されている記号内容は以下のとおりである。

$m_{NM}$  ; ジョブ数  $N$ , ステーション数  $M$  における最少段取り回数を値にとる変数

$e_{NM}$  ; ジョブ数  $N$ , ステーション数  $M$  における平均段取り回数を値にとる変数

$1_{NM}$  ; ジョブ数  $N$ , ステーション数  $M$  の 1 サンプルにおける, 上記 2 つの数値の差を値にとる変数

図 12 の  $1_{NM}$  の結果をまとめると図 13 のようになる。

- (a) ジョブ数とステーション数のどちらか一方を増加させても、段取り回数の平均と最少の差は増加する。
- (b) ジョブ数とステーション数を増加させるに従い、段取り回数の平均と最少の差は増加する。
- (c) ステーション数の増加よりジョブ数の増加のほうが、段取り回数の平均と最少の差の増加に影響を与える。

以上から、ジョブの投入順序を決定するうえで最適化処理は不可欠であり、その効果は段取り回数の平均値と最少値の差で明らかである。しかも、ジョブ数が増加するに従い、その効果はさらに増す。一方、ジョブ数の増加は処理時間に多大な影響を与え、そのジョブ数と情報処理環境によっては製造現場での使用に耐えかねる場合が想定される。したがって、提案システムのように、あらかじめ分類処理で最適化処理対象を選択し、組合せジョブ数の増加を抑制し最適化処理を効果的に活用することが重要となる。

## 6. おわりに

活動の直前で決定される計画や指示情報の提供には、緊急的な対応が要求される。したがって、その情報システムには、的確性ととも処理の迅速性や再処理の容易性といった実用面が重視される。この問題に対応するため、階層型の生産スケジューリングの決定プロセスを提案し、板金加工の問題に適用させ決定支援を行う情報システムの実現と実験を試みた。

まず、情報システムモデルを適用させるうえでの次の方式を提案した。

- (1) 限定された数の装置に対し、種類数が増加する投入物との関係の定式化。
- (2) 上記で必然的に発生する、取り替え状態とその回数の算出方式の定式化。

- (3) ジョブの投入順序によって変化する取り替え回数の最適化問題としての処理方式。

- (4) ジョブの増加に対し、処理回数を抑制するための処理方式。

これらの考え方に基づいた実装による実験結果、次の点で有効性が確認された。

- (1) 階層的な情報システム構造による処理対象の絞り込みの可能性。
- (2) 最適化処理による段取り回数の最少化。
- (3) 処理対象を絞り込むことによる処理時間の短縮化。

したがって、本提案モデルにより、製造現場等で数多く見受けられる次のような条件の複合問題の解決に有効である。

- (1) 有限個の装置と無限に増大する投入物との関連で発生する段取り回数の最少化問題。
- (2) 生産スケジューリングでのジョブ数等、増加する要素による組合せ問題。

以上により、緊急的な処理や再処理への現実的な対応が可能となる。さらに今後は、“段取り替えや加工における時間的なバラツキ度合いが総加工時間にどのような影響を与え”それによって“どのような方法を採用すべきか”を追究し、提案方法の汎用性を検証していくとともに、人間の経験則から出される判断も取り入れられるよう、拡張していくことが課題である。

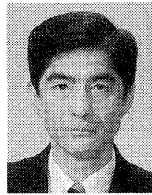
## 参 考 文 献

- 1) 坪根 斉, 田中孝男: 階層型生産計画システムのための分析的研究, 日本経営工学会誌, Vol.40, No.6, pp.384-389 (1990).
- 2) 森 一之, 樂山 誠, 福田豊生: 階層型意志決定システムによるFMSのオンラインスケジューリング法, 電気学会論文誌, Vol.113-D, No.9, pp.1054-1060 (1993).
- 3) 下社貞夫, 前田和彦, 石井正克: 階層型スケジューリング・システムにおける投入コントロール, 日本OR学会, 生産スケジューリング・シンポジウム'94 講演, pp.59-62 (1994).
- 4) Tsubone, H. and Sugawara, M.: A Hierarchical Production Planning and Scheduling System, *OMEGA (International Journal of Management Science)*, Vol.15, No.2 (1986).
- 5) Tsubone, H., Tanaka, T. and Sugawara, M.: Hierarchical Integration of Aggregate and Detailed Production Planning System, *Production Research*, Taylor & Francis (1991).
- 6) 古田博久, 長森康英, 坪根 斉, 松浦春樹: 再計画法のタイミングに関する研究, 日本経営工学会誌, Vol.47, No.1, pp.1-8 (1996).

- 7) 黒田 充:生産スケジューリングの方法, 経営システム (日本経営工学会), Vol.5, No.1, pp.5-14 (1995).
- 8) Bitran, G., Hass, E. and Hax, A.: Hierarchical Production Planning: A two-stage system., *Operations Research*, Vol.30, No.2, pp.232-251 (1982).
- 9) Hax, A. and Meal, H.: Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling, *TIMES studies in Management Science*, Logistics. Chap.1, pp.53-69 (1975).
- 10) Sugawara, M. and Miyazaki, M. : Decision Support System for Routing of Sheet Metal Processing Using Metal Die, *Conference on Agile and Intelligent Manufacturing Systems*, N.Y. USA (1996).
- 11) Sugawara, M. and Miyazaki, M.: Decision Support System for Process Designing of Sheet Metal Processing Using Metal Die, *The 3rd International Symposium on Logistics*, University of Padua, Italy, pp.449-454 (1997).
- 12) 金井秀明, 若林伸和, 本多中二: 設計の上流工程支援を考慮した設計・製造プロセス統合支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.8, pp.1926-1937 (1995).
- 13) 大久保仁志, 狩野 均, 西原清一: 曲げ加工機能を有する板金図面生成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No.8, pp.1619-1625 (1996).
- 14) 白瀬敬一, 平尾政利, 安井武司, 河端 裕, 藤村善雄: NC 旋盤の生産性向上に関する研究 (第1報), 精密工学会誌, Vol.60, No.2, pp.235-239 (1994).
- 15) 白瀬敬一, 平尾政利, 安井武司, 河端 裕, 藤村善雄: NC 旋盤の生産性向上に関する研究 (第2報), 精密工学会誌, Vol.60, No.4, pp.576-580 (1994).
- 16) Mantyla, M., Nau, D. and Shah, J.: Challenges in Feature-Based Manufacturing Research, *Comm. ACM*, Vol.39, No.2, pp.77-85 (1996).
- 17) 岩田一明, 福田好朗: 極少量生産のための動的工程設計の提案, 精密工学会誌, Vol.54, No.12, p.2340 (1988).
- 18) 福田好朗: 生産情報の知能化, 精密工学会誌, Vol.59, No.11, pp.1784-1790 (1993).

(平成 9 年 4 月 3 日受付)

(平成 10 年 2 月 2 日採録)



菅原 光政 (正会員)

1949年生. 1973年法政大学工学部経営工学科卒業. 1998年東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了. 1987年大阪短期大学経営情報学科助教授, 1992年岩手県立宮古短期大学経営情報学科教授を経て, 1998年4月より岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授. 博士(情報科学). 経営情報システム, 生産情報システムの研究に従事. 経営情報学会, 電子情報通信学会, 日本経営工学会各会員. 著書に,「経営情報システム」(共立出版, 共著),「生産管理システム演習」(工学図書)等.



柴木 恒一 (正会員)

1961年生. 1986年上智大学大学院理工学研究科数学専攻修士課程修了. 1992年金沢大学大学院理学研究科数学専攻修士課程修了. 同年, 千葉大学自然科学研究科数理科学専攻博士課程入学. 1993年博士課程中退の後, 岩手県立宮古短期大学経営情報学科助手. 1996年同短期大学講師. 1998年4月岩手県立大学宮古短期大学部講師. 経営科学の研究に従事. 日本数学会, 情報文化学会各会員.



宮崎 正俊 (正会員)

1938年生. 1962年東北大学工学部電気工学科卒業. 同大学大型計算機センター講師, 同助教授, 同大学教養部教授, 同大学大学院情報科学研究科教授を経て, 1998年4月より岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授, 同学部長. 工学博士. 1972年マサチューセッツ工科大学の客員研究員として Multics を調査研究. 基本ソフトウェア, 情報システムの構成法, ユーザインタフェース, データベースシステム, 分散処理, 分散環境におけるコミュニケーション等の研究に従事. 情報教育や地域情報化にも関心を持つ. ACM, 電子情報通信学会, 日本ME学会, 日本教育工学会, 教育システム情報学会各会員. 著書に,「UNIX 使い方入門」(日刊工業新聞社)等ほか多数.