

# 生産システムのインテリジェント化に関する 調査・研究報告

1999年

3月

関口 博	横山 哲男
小森谷 廣子	宮田 弘
渋谷 康彦	小畑 剛志
大高 理秀	宮脇 和人
山田 充	強力 真一
木村 悦博	西村 信三

工業技術連絡会議機械金属連合部会機械分科会  
インテリジェント生産システム研究会

機械技術研究所資料

# 生産システムのインテリジェント化に関する調査・研究報告

## 目 次

まえがき	( 1 )
1. 調査研究の背景と目的	( 3 )
2. 生産システムのインテリジェント化とは	( 4 )
2.1 生産システムの変遷	( 4 )
2.2 インテリジェント化の必要性	( 5 )
2.3 生産システムにおけるインテリジェント化とは	( 6 )
2.4 必要機能とインテリジェント化項目	( 9 )
2.4.1 インテリジェント生産システムにおける必要機能	( 9 )
2.4.2 インテリジェント化項目	( 11 )
3. 生産システムのインテリジェント化について	( 13 )
3.1 生産製造計画	( 13 )
3.1.1 生産計画	( 13 )
3.1.2 設備計画の最適化	( 16 )
3.1.3 C I Mについて	( 18 )
3.2 設計工程	( 20 )
3.2.1 設計	( 21 )
3.2.2 機構・構造シミュレーション	( 25 )
3.2.3 設計・製造データの管理・検索	( 29 )
3.2.4 分解性・再利用性評価技術	( 33 )
3.2.5 製品寿命予測技術	( 36 )
3.3 加工モデルの作成	( 38 )
3.3.1 加工モデルの作成	( 39 )
3.3.2 図面入力	( 41 )
3.4 生産準備	( 42 )
3.4.1 工程設計	( 43 )
3.4.2 治具設計	( 46 )
3.4.3 作業設計	( 48 )
3.4.4 加工条件の決定	( 50 )
3.5 加工手順の検証，組立・計測手順の決定	( 51 )
3.5.1 加工手順の検証	( 52 )
3.5.2 組立手順の決定	( 53 )
3.5.3 計測手順の決定	( 59 )

3.6	スケジューリング・工具管理	( 61 )
3.6.1	オートスケジューリング	( 61 )
3.6.2	工具管理	( 65 )
3.7	製造監視システム	( 69 )
3.7.1	製造ラインの監視	( 71 )
3.7.2	加工状態の監視と制御	( 72 )
3.7.3	加工トラブルの検出・推論	( 74 )
3.7.4	オン・マシン計測	( 76 )
4.	生産システムのインテリジェント化企業事例	( 78 )
1)	金型見積もりシステム	( 79 )
2)	段ボール生産情報システム開発	( 81 )
3)	薄鉄板の自動選別装置に関する研究開発	( 82 )
4)	眼鏡枠生産スケジューリングに関する研究	( 83 )
5)	CAD/CAM・簡易LANによる図面データの一元化管理	( 84 )
6)	メリヤス用編針のCAD/CAM化	( 86 )
7)	自動車用ピストンの設計・解析工程の自動化	( 88 )
8)	工作機械群の集中モニタリングシステムの開発	( 89 )
9)	ケルダール窒素自動測定装置の開発	( 91 )
10)	送電線弛度曲線設計支援システムの開発	( 92 )
11)	2・5次元加工に対応したNCデータ生成機能の開発	( 93 )
12)	2次元CADによる回転体形状の体積計算機能の開発	( 94 )
5.	公設試験研究機関の生産システムに関する研究・研修インテリジェント化事例	( 95 )
1)	木材部材のための仕上げロボット制御技術	( 97 )
2)	加工条件データベース検索システム	( 99 )
3)	高機能コンピュータによる設計品質の高度化と効率的生産システムに関する研究	( 101 )
4)	知識ノウハウを用いた歩留向上システムの開発	( 102 )
5)	パソコンデータベースを用いた生産管理システム	( 103 )
6)	プレス金型製造技術の高度化システム	( 104 )
7)	中小企業向けFMS工場の構築	( 107 )
8)	高温物体のインプロセス熱画像計測装置の開発	( 109 )
9)	ブロー成型硝子製造工程における熟練作業の自動化	( 111 )
10)	作業現場向きヒューマンインターフェースの開発研究	( 114 )
11)	難防除微小害虫の高速無人計数装置の開発に関する研究	( 116 )
12)	特徴点注視と連想記憶によるマシンビジョンシステムの研究	( 117 )
13)	3次元形状モデラの研究	( 120 )
14)	バルブの強度解析について(平成5年度)	( 122 )
15)	バルブの強度解析について(平成6年度)	( 125 )
16)	CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(平成2年度~平成4年度)	( 127 )
17)	CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(平成5年度~平成6年度)	( 130 )

18)NC加工工場内ネットワークの構築	( 134 )
19)エキスパートシステムを利用した統合化CAD/CAMシステム	( 135 )
20)ハイブリッドCAEシステムの開発	( 138 )
21)工作機械主軸電動機の電圧電流検出による加工トルクの推定	( 140 )
22)トルク制御加工システムの開発	( 142 )
23)雑音補償AE検出装置の開発	( 144 )
24)「干渉線投影法」によるリバースエンジニアリング対応型 3次元CAD/CAMシステムの開発	( 146 )
25)CAMにおける加工条件支援システムの開発	( 148 )
26)Z-mapモデルによる3次元CAD/CAMシステムの開発	( 152 )
6. まとめ	( 153 )

## まえがき

本資料は生産システムのインテリジェント化についての調査研究の結果について述べたものである。ここではインテリジェント化の望ましい形態（理想システム）とその現状について述べ、その理想形態実現のための必要機能と問題点・課題について検討を行うとともに、その研究動向についても述べている。

さらに、公設試験研究機関におけるインテリジェント化に関する研究事例、および民間企業におけるインテリジェント化の実施事例についても述べている。

本調査研究は、工業技術院の工業技術連絡会議に属する機械金属連合部会・機械分科会の活動の一環として進められた。機械分科会の中のインテリジェント生産システム研究会は発足して7年余が経過した。当研究会はCAD/CAM/CAEを取り巻く技術や、研究に関する情報交換を主として活動しているが、さらに、生産システムに関するインテリジェント化についての知識を深めるためその現状と動向についての調査研究の活動を平成6年から開始した。

調査研究は機械産業を対象として、インテリジェント化の問題点とその課題を明確にする目的から、まず、望ましい形態（理想システム）とそこに要求される必要機能を明確にした後、現場の生産システムにおける現状と研究動向を調べ、その問題点と課題について調査を行った。

最後に本調査研究を推進し、執筆に参加した工業技術連絡会議機械金属連合部会機械分科会インテリジェント生産システム研究会のメンバーを以下に示す。なお、本報告の取りまとめに関しては、生産システムの各分野ごとにとりまとめの担当者を置き、その分野での調整を行うと共に、全体の構成、編集および最終の執筆については関東地区公設試と機械技術研究所からなる作業グループの責任において行った。

稲葉 昭夫<sup>17)</sup>      中村 正幸<sup>12)</sup>  
上原 忍<sup>22)</sup>      西村 信三<sup>3)</sup>  
大高 理秀<sup>4)</sup>      丹羽 義典<sup>18)</sup>

加藤 勝<sup>3)</sup>      野中 智博<sup>29)</sup>  
北村 欣也<sup>1)</sup>      長谷部健二<sup>29)</sup>  
木村 悦博<sup>28)</sup>      樋口 英司<sup>21)</sup>  
木村 豊恒<sup>23)</sup>      廣崎 憲一<sup>19)</sup>  
黒部 文仁<sup>16)</sup>      藤井 要<sup>19)</sup>  
河野 裕<sup>13)</sup>      堀江 昭次<sup>5)</sup>  
小畑 剛志<sup>6)</sup>      宮田 弘<sup>8)</sup>  
小森谷廣子<sup>10)</sup>      宮脇 和人<sup>3)</sup>  
強力 真一<sup>20)</sup>      望月 紀寿<sup>15)</sup>  
坂下 勝則<sup>24)</sup>      森山 芳生<sup>30)</sup>  
坂元 康泰<sup>26)</sup>      山岸 光<sup>11)</sup>  
渋谷 康彦<sup>7)</sup>      山田 充<sup>25)</sup>  
鈴木 敬明<sup>14)</sup>      横山 哲男<sup>9)</sup>  
関口 博<sup>33)</sup>      若槻 正明<sup>2)</sup>  
高橋 孝誠<sup>30)</sup>      渡辺 顕久<sup>32)</sup>  
外山 真也<sup>31)</sup>      坂谷 勝明<sup>19)</sup>  
古谷 薫<sup>27)</sup>      鍋田 芳達<sup>30)</sup>  
光井 輝彰<sup>18)</sup>      永山 則之<sup>25)</sup>  
小松 利安<sup>13)</sup>      堀川 邦男<sup>32)</sup>  
橘田 鉄雄<sup>13)</sup>

### 試験研究機関

- 1) 北海道立工業試験場
- 2) 岩手県工業技術センター
- 3) 秋田県工業技術センター
- 4) 茨城県工業技術センター
- 5) 栃木県県南工業指導所
- 6) 群馬県工業試験場
- 7) 埼玉県工業技術センター
- 8) 千葉県機械金属試験場
- 9) 東京都立産業技術研究所
- 10) 神奈川県産業技術総合研究所
- 11) 長野県精密工業試験場
- 12) 長野県情報技術試験場
- 13) 山梨県工業技術センター
- 14) 静岡県静岡工業技術センター
- 15) 静岡県沼津工業技術センター
- 16) 名古屋市工業研究所
- 17) 岐阜県金属試験場

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 18) 岐阜県工業技術センター    | 27) 広島市工業技術センター |
| 19) 石川県工業試験場       | 28) 山口県工業技術センター |
| 20) 福井県工業技術センター    | 29) 福岡県工業技術センター |
| 21) 滋賀県東北部工業技術センター | 機械電子研究所         |
| 22) 京都府中小企業総合センター  | 30) 熊本県工業技術センター |
| 23) 奈良県工業技術センター    | 31) 宮崎県工業技術センター |
| 24) 和歌山県工業技術センター   | 32) 旭川市工芸センター   |
| 25) 岡山県工業技術センター    | 33) 機械技術研究所     |
| 26) 広島県立西部工業技術センター |                 |

# 1. 調査研究の背景と目的

近年のコンピュータと通信技術の急激な発展は機械工業の生産システムに対して大きな影響を与え、ローカルあるいは広域ネットワークを利用したCIM化、FA化、そしてコンカレント化が進められてきた。これらのシステム化において、中心的な役割を担ってきたのが広い意味の生産技術に関するソフトウェア技術、センシング技術および解析・シミュレーション技術などである。そして、これらの技術の結合をはかり、より有効に活用する技術としてのインテリジェント化技術であった。もちろん、中小企業や下請け零細企業においてもその生存競争の必要性から、何らかの生産システムの自動化による生産の高度化が強く求められ、その対策が進められてきた。

このような傾向は、中小企業の指導や相談と密接に関係している中小企業庁の施策や各都道府県・市およびそこに設置されている公設試験研究機関の研究課題に大きく影響を与えてきた。すなわち、センサとセンシング技術の開発およびCAD/CAM/CAEシステムによる生産システムのインテリジェント化は公設試験研究機関の大きな技術開発課題となっている。

公設試験研究機関の活動は中小企業を中心とする地場産業の技術の育成・発展のためであり、また、図 1.1 に示すような工業技術連絡会議を通産省工業技術院と構成している。これまでもその時代に重要なテーマについて共同研究や調査などを担当研究者間の連携で行ってきた。上述のような背景のもとに平成4年秋にインテリジェント生産システム研究会が設立された。以降年2回の総会を開催し、常に25以上の機関から30名以上が参加して、各機関における関連業務の発表・検討、研究発表などを行うとともに、「生産システムのインテリジェント化とは何か」についての議論を重ね、また、「その理想形態はどうあるべきか」についての検討を行ってきた。

その議論・検討を踏まえ、生産システムのイ

ンテリジェント化についての問題点と今後の課題を明確にすることを目的として、インテリジェント化の現状と動向についての調査を行うこととした。なお、本研究会に参加している公設試験研究機関担当者の専門分野が機械加工および生産ソフトウェア関連であることから、調査研究は機械加工の生産システムを対象として行った。

## (1) 調査対象の範囲について

内容は、公設試験研究機関における開発研究、業務の中で接触した企業の現状をもとにしている。また文献は、日本の学会誌、商用雑誌を対象としており、サーチは90-97年を対象としている。

## (2) 切り分けについて

各節の切り分けは、設計、加工準備、加工工程と時系列的な分類を行っている。これからのコンカレントエンジニアリングの進展においても、生産のそれぞれの工程に必要なインテリジェント化、利用する情報の要件を明確にすることが、重要であると判断した。しかし、特に情報の共通化については、内容が重複している部分があることも了承していただきたい。

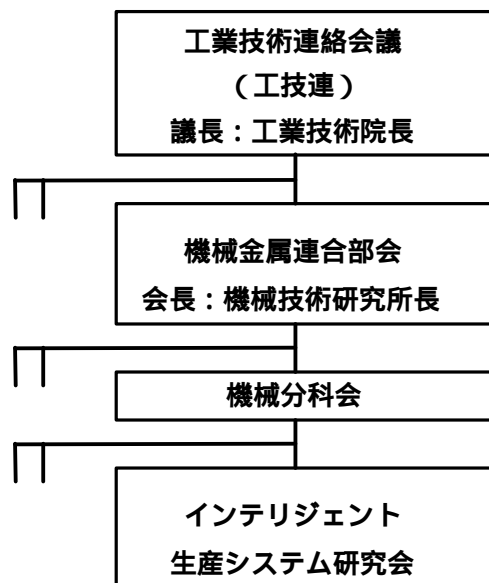


図 1.1 工業技術連絡会議インテリジェント生産システム研究会関連の組織



## 2. 生産システムのインテリジェント化とは

### 2.1 生産システムの変遷

製造業における生産システムは、当初工作機械の機種ごとにグループを構成し、熟練技能者である現場の職長が加工図を基に加工工程を考え、その加工工程に基づいて加工物を各機種グループに流していた。1930年代になるとGT（Group Technology = 類似形状分類法）手法が開発され、その類似形状部品群の加工に必要な工作機械類ごとにグループ化した生産システムが構築された。このGTに基づいた生産システムは、類似加工部品をグループ化し、見かけのロット数を大きくすることによって、その生産性を上げようとするものであった。

1950年代に入るとNC工作機械が開発され、それに伴い制御用カッターパスの自動作成プログラミングシステムAPTが開発された。このNC工作機械とAPTの開発は、コンピュータの発展と相伴って近代生産システムの自動化、

省力化の幕開けとなった。表 2.1 は、生産システムとその関連分野の変遷を示したものである。

1960年代になるとDNCシステムが開発され、複数のNC工作機械をコンピュータを用いて運転管理する群管理システムも開発された。

自動プログラミングシステムにおいては熟練作業者の持つ加工知識や加工ノウハウをコンピュータ上に表現し、使用工具の自動選択や加工条件の自動決定など、加工技術処理機能を備えるようになってきた。すなわちCAMのインテリジェント化の始まりである。また、GT手法を用いた工程設計システムの開発も始まった。

1970年代になると、コンピュータの発展に伴ってNC装置もCNC化が始まり、CAMではミニコンピュータを用いた自動プログラミングシステム装置が開発・普及され始めた。CADに関してはターンキーシステムが開発され、

表 2.1 生産システムとその関連分野の変遷

	1950	1960	1970	1980	1990	2000
生産システム	GT 生産システム	・DNC システム開発 (群管理システム)	・FMC, FMS の開発	・CIM ・広域ネットワークの利用	・コンカレント	・FA化
工作機械	・NCの開発 汎用工作機械主流	NC工作機械の 実用化と導入期 ・MC出展	・NC機 の普及 ・CNC化始る	・自動プロ 組込みNC機	・加工工程の 密閉化 ・計測装置組込みNC機	・加工工程の 密閉化 ・パソコンNC
切削工具		・スローアウェイ化, 標準化	・ATC開発			
CAD/CAMシステム	・ATP開発	・EXAPT開発 ・図形入力 CRT開発	・自動プロ装置 ・CADター キーシステム	・AIの利用 ・CAE本格的利用 ・パソコンCAD		・CAD/CAMの統合化 ・三次元CAD

作図作業を中心とした設計工程の自動化が始まり、やがてCAD/CAMシステムの統合化も始まった。また生産システムに関してはFMSが開発されている。

1980年代に入ると、CADシステムの普及が始まると共に、生産システムでは産業ロボットの普及とFMSの普及が始まった。この製造工程の自動化に関しては、その準備作業であるCAMに関してAI手法の利用が始まり、また、CAEシステムの利用が本格的に始まり、設計段階での各種シミュレーションによって設計結果の評価が可能となった。その後半にはCAD/CAM/CAEシステムの利用が本格化すると共に、通信技術の発展に伴い、生産システムのCIM化や広域ネットワークの利用が始まっている。また、パソコンCADも実用化され、設計データの電子化による情報流通が始って

る。

1990年代になると、コンピュータの著しい発達に伴ってパソコンCAEが実用化され、また、パソコンNCも実用化されつつある。生産システムに関しては、設計から生産への立ち上げの短縮を目標とするラピッドマニファクチャリングあるいはコンカレントエンジニアリングシステムの開発が始まっている。

## 2.2 インテリジェント化の必要性

生産システムにおける製造工程の自動化は、工作機械の機械的な自動化から始まり、NC化、CNC化と発展し、更には搬送、マテリアルハンドリングの自動化、産業ロボットの導入などによって進められてきた。しかし、これらの自動化では決められた作業状態に対しては有効であるものの、トラブルの発生や、状態の最適化

表2.2 生産システムの自動化と技能ノウハウの変遷

		1950	1960	1970	1980	1990	2000
自動化		・NC工作機械の開発	・DNCシステム開発 ・MC開発		・FMC, FMS開発 ・CAD/CAMシステム	・FA化 ・CIMの構築	・コンカレント ・広域ネットワークの利用
ワーク 取付け	技能	締め付け力の制御		油圧, 空圧			
	ノウハウ	締め付け具の選択・設計 締め付け位置の決定		組立ジグ		対話型取付設計	
加工手順	技能						
	ノウハウ	工具経路の決定 加工手順	APT	自動決定(自動プロ)	デシジョンテーブル(自動プロ)	CAD/CAM統合化 AI手法の利用	
工 具	技能	再研削	スローアウェイ化				
	ノウハウ	最適形状の設定	標準化 (最適工具選択)	デシジョンテーブル (自動プロ)		AI手法の利用	
機械操作	技能	送りハンドル操作 (位置決め)	NC化	DNC化			
	ノウハウ	加工条件の設定 加工条件の変更	体系化・ 標準化	自動プロ (自動決定)	特殊形状の加工		
加工状態 の 監視	技能	異常検知(切削力, 音, 視覚)		各種センサ			
	ノウハウ	工具摩耗, チッピングの検知(力, 音, 切屑) 仕上げ面粗さの検知(視覚) ビビリの検知(切屑音, 視覚) 切刃溶着の検知(切屑状態, 視覚) 切削条件の適否(切屑状態, 視覚)		適応制御工作機械		加工工程の密閉化	



生産システムにおける熟練作業者は、各作業工程ごとに設計技術者、生産管理技術者、および加工技能者とに分けられ、これらの熟練作業者は各作業工程に必要な技能とノウハウを兼ね備えている。

しかし、兼ね備えている技能やノウハウの内容は作業の自動化に伴って変化してきている。表 2.2 は、自動化の流れと技能、ノウハウの変遷を示したものである。

NC 工作機械の普及する前は、図 2.1 に示すように、機械作業員自身がワークの取り付けから、加工手順の決定や使用工具選択、その加工条件の設定などを行い、機械のハンドル操作によって形状の創出作業を行っていた。その機械操作に当たっては加工力、加工音、加工面の観察などから、加工状態の把握と最適加工状態への制御を行うとともに、工具の再研削なども行っていた。

それが、NC 機械の普及、工具の標準化とスローアウェイ化、そして自動プログラミングシステムの普及などによって、図 2.2 に示すように機械操作は自動化され、加工状態の把握と最

適化制御あるいはトラブル対策などは、各種センサの導入とその信号処理による制御が行われるようになった。最近では、作業の安全性から加工工程の密閉化が進み、工具に関しても、工具の再研削能力の必要性がなくなっている。

また、NC 自動プログラミングやコンピュータ技術の進歩によって加工法やその順序の決定、使用機械、工具選択、加工条件などがデシジョンテーブルとしてコンピュータ化され、自動決定されるようになってきた。これらのコンピュータ化されているデータの多くは、単純な作業を中心としたもので、体系化されにくい複雑作業や、ワークの取り付けなどに関しては、熟練作業員の加工ノウハウが今持って必要とされている。

しかし、これからは自動化の進展と加工工程の密閉化などによって、加工経験豊かな作業員の育成とノウハウの蓄積には適した環境とは言えず、現在存在する加工ノウハウの保存と伝承のための対策が早急かつ重要な課題となっている。

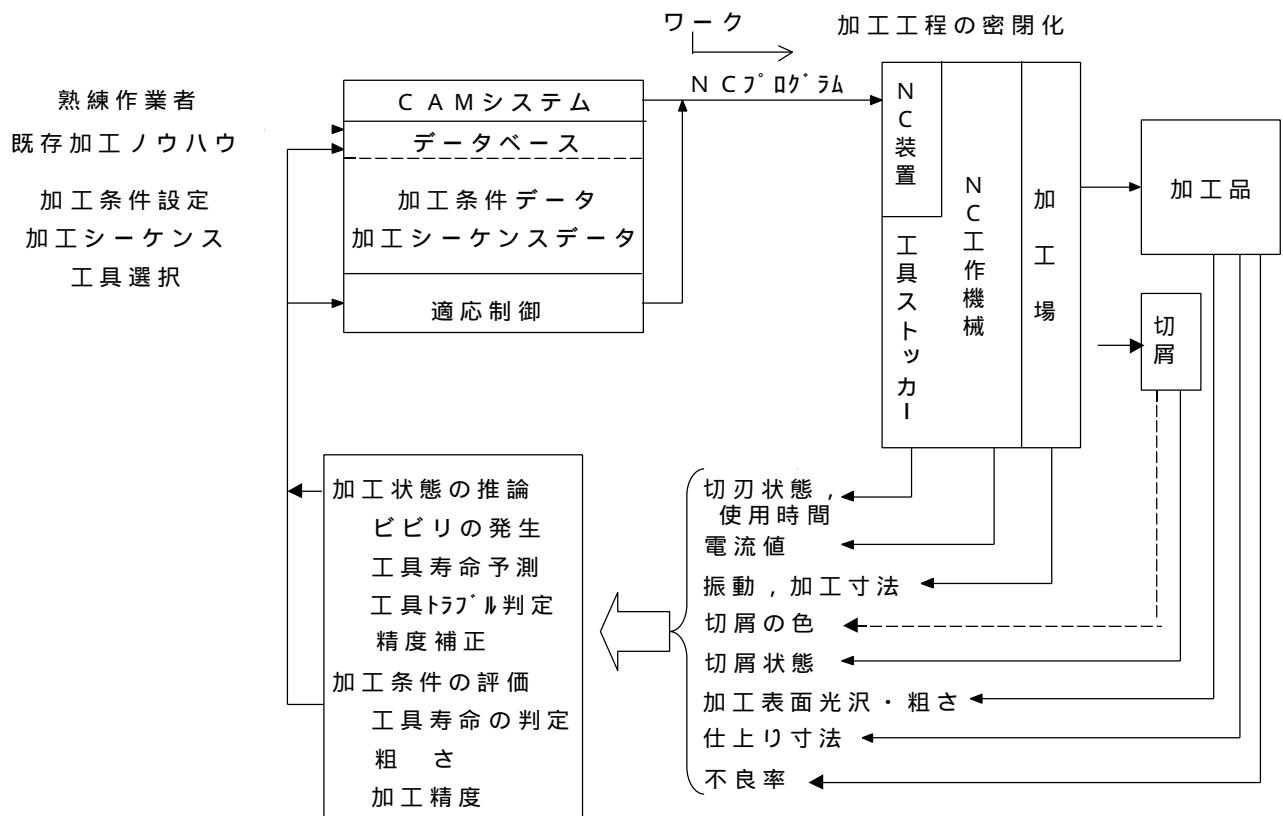


図 2.2 インテリジェントな加工工程

熟練作業者の持つノウハウとは何か .例えば ,加工ノウハウについては以下のように定義することができる .

【作業者が加工経験により感覚的に会得した知識で ,まだ体系化されていない加工の各種因子に対して ,適応した方法 ,条件 ,対策を設定 ,選択する知識】

また加工ノウハウの内容としては :加工法の選択 ,使用機械の選択 ,加工順序の設定 ,ワークの取り付け方法 ,工具の選択 ,切削油剤の選択 ,加工条件の設定 ,および加工状態をより良く改善できるように適応加工条件への変更や ,トラブル発生に対して適切に対処できる知識である .

この熟練作業者のノウハウを組み込んだ生産システムのインテリジェント化について定義すると ,以下のように定義することが出来る .

- 1) 熟練技能者の持つ知識やノウハウをコンピュータ上に知識ベース化し ,そのコンピュータの支援の基に生産活動が行える .
- 2) コンピュータ支援の基に ,生産プロセスの最適シミュレーションを行うと共に ,知識処理によってその事前評価が行えること .
- 3) センシング機能を備え ,そのセンサ情報の評価から状態の把握を行い ,必要な対策を講じることが出来ると共に ,学習機能を備えて ,データの自動蓄積 ,保守機能を備えている .

更に ,最近のコンピュータ技術 ,通信技術の進歩に伴ってネットワーク化が進み ,それにつれて ,生産システムにおける情報の共有化なども大きな要素と考えられるようになってきている .

表2.3 インテリジェント生産システムにおけるソフト的な必要機能

		企 業 レ ベ ル			
		企画・計画	工 場	製造ライン	機械・装置
作 業 レ ベ ル	生産計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・生産計画</li> <li>・コスト管理(見積)</li> <li>・設備計画</li> <li>・顧客とのネットワーク化</li> <li>・生産計画データベース</li> </ul>			
	設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製品設計(CAD)</li> <li>・シミュレーション(CAE)</li> <li>・図面管理</li> <li>・CADデータベース</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加工図作成(CAD)</li> <li>・図面管理</li> <li>・図面データ入力</li> <li>・CADデータベース</li> </ul>		
	生産技術		<ul style="list-style-type: none"> <li>・生産技術データベース</li> <li>・工程設計</li> <li>・ジグ設計</li> <li>・工具選択</li> <li>・加工条件決定</li> <li>・NCプログラム作成</li> <li>・加工コスト見積り</li> <li>・加工シミュレーション</li> <li>・取付けシミュレーション</li> <li>・組立手順条件作成</li> <li>・計測条件作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トラブル検出</li> <li>・稼働状態検出</li> <li>・加工工程の最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・加工の最適化</li> <li>・トラブル検出</li> <li>・稼働状態検出</li> <li>・オンマシン計測</li> </ul>
	製造管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造コスト管理</li> <li>・スケジュール管理</li> <li>・外注管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造管理データベース</li> <li>・工程進捗管理</li> <li>・在庫管理</li> <li>・稼働状況管理</li> <li>・スケジュール管理</li> <li>・ジグ・工具管理</li> <li>・品質管理</li> <li>・トラブル対策</li> <li>・製造コスト管理</li> <li>・保全管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スケジュール管理</li> <li>・工程進捗管理</li> <li>・稼働状況管理</li> <li>・トラブル対策(代替)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スケジュール運転</li> <li>・加工状態</li> <li>・トラブル対策</li> <li>・工具管理</li> </ul>

## 2.4 インテリジェント化項目と必要機能

生産システムにおけるインテリジェント化は、生産システム全体を対象としたものではなく、関連する各作業分野の各作業項目ごとにインテリジェント化が行われているのが現状である。コンカレント生産システムあるいはインバースエンジニアリングなど新しい生産システムへの指向も行われている。本調査研究では従来からのシーケンシャルな生産システムを対象に行った。すなわち、機械工業における企業の構成を本社の企画・計画、工場、製造ライン、および機械・装置の4段階に分類するとともに、生産システムについては生産計画、設計工程、生産技術および製造管理の4段階の作業レベルに分類した。その各企業レベルにおいて、インテリジェント生産システムとして必要な機能と、必要な装置を各作業レベルごとに整理するとともに、それらの機能におけるインテリジェント化項目について明確にした。

### 2.4.1 インテリジェント生産システムにおける必要機能

インテリジェント生産システムにおける必要機能としてソフト的機能およびネットワークなどに関連した機能に分けて整理を行った。

#### (1) ソフト的な必要機能

本社での企画・計画段階の生産計画レベルで必要とする機能は生産計画、コスト管理（見積もり）、設備計画などの機能および顧客とのネットワーク化や生産計画用DBの整備などである。設計工程レベルにおいては、製品設計（CAD）、各種シミュレーション、図面管理などの機能とCAD用DBの整備などがある。また、製造管理レベルにおいては製造コスト管理、スケジュール管理および外注管理の機能などがある。

工場段階においては、生産計画レベルで必要とする機能として製造計画機能が必要であり、設計工程レベルでは加工図作成（CAD）、図面管理、図面データ入力の機能とCAD用DB

表2.4 インテリジェント生産システムにおけるネットワークなど関連した必要装置

		企業レベル			
		企画・計画	工場	製造ライン	機械・装置
作業レベル	生産計画	・シミュレータ装置 ・VAN ・中央管理装置	・LAN	・LAN	・DNC
	設計工程	・CAD ・CAE	・CAD		
	生産技術		・CAM ・CAP	・CAT	
	製造管理		・工程管理装置 ・スケジュール管理装置	・センサ ・品質管理装置	・NC工作機械 ・作業ロボット ・搬送装置 ・自動倉庫 ・計測装置 ・組立装置 ・各種センサ

の整備などがある。

また、生産技術レベルに関しては工程設計、ジグ設計、工具選択、加工条件決定、NCプログラム作成、加工コスト見積り、ワーク取り付けシミュレーション、加工シミュレーション、組立手順条件作成、計測条件の作成などの製造準備に関する機能とそれらの機能で使用される生産技術DBの整備があり、製造管理レベルにおいては工程進捗管理、在庫管理、稼働状況管理、スケジュール管理、ジグ・工具管理、品質管理、トラブル対策、製造コスト管理および設備の保全管理などの機能と、それらの機能で使用される製造管理DBの整備が必要となる。

製造ライン段階においては、生産技術レベルでのトラブル検出、稼働状態の検出、および加工工程の最適化機能があり、製造管理レベルにおいてはスケジュール管理、行程進捗管理、稼働状況管理、およびトラブル対策などの機能が必要となる。

機械・装置段階の生産技術レベルにおいては加工の最適化、トラブルの検出、稼働状況検出およびオンマシン計測などの機能が必要であり、製造管理レベルにおいてはスケジュール運転、加工状態の監視、加工トラブル対策および工具管理などの機能が必要となる。

これらの機能についてまとめたのが表 2.3 である。

## (2) ネットワークなど関連する必要機能

本社での企画・計画段階の生産計画レベルにおいては、ネットワークなど関連する必要機能としてVAN ( Value Aided Network ) の設備および中央管理装置や生産計画のためのシミュレータ装置などがあり、設計工程レベルにおいては、CADおよびCAE装置を備える必要がある。

工場段階の生産計画レベルにおいては、LAN ( Local Area Network ) の設備が、設計工程レベルではCAD装置が必要となる。また、

表2.5 生産システムにおけるインテリジェント化項目

		企業レベル			
		企画・計画	工場	製造ライン	機械・装置
作業レベル	生産計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>生産計画</li> <li>設備計画の最適化</li> <li>CIM</li> </ul>			
	設計工程	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計 (加工を考慮した設計手法)</li> <li>構造解析シミュレーション (最適メッシング法, 製品の構造解析)</li> <li>機能シミュレーション</li> <li>設計データの管理・検索</li> <li>分解性評価</li> <li>再利用性評価</li> <li>製品寿命予測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工モデル作成 (公差・粗さ設定)</li> <li>図面入力</li> <li>加工データ管理・検索</li> </ul>		
	生産技術		<ul style="list-style-type: none"> <li>工程設計 (最適加工法のデータベース化, 素材形状設計)</li> <li>ジグ設計 (変形・ヒビリシミュレーション・ジグのデータベース化)</li> <li>加工シーケンスと工具選択 (加工ワーク・工具・工具選択基準のデータベース化)</li> <li>加工条件の決定 (加工条件・加工条件設定基準のデータベース化)</li> <li>加工シミュレーション (干渉チェック・加工精度シミュレーション)</li> <li>加工時間見積もり</li> <li>組立手順・条件の決定 (組立シミュレーション)</li> <li>計測条件の決定 (計測シミュレーション・干渉チェック)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造ラインの監視</li> <li>品質管理技術 (計測技術) (品質評価方法)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工状態の監視</li> <li>稼働状態の監視</li> <li>オンマシン計測</li> <li>適応制御技術</li> <li>加工トラブル検出・対策</li> <li>加工条件の評価</li> </ul>
	製造管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>オートスケジューリング</li> <li>工具管理 (寿命予測, 工具履歴管理)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>トラブル対策 (代替え対策)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加工トラブル検出</li> <li>工具寿命管理</li> </ul>

生産技術レベルにおいてはC A P PおよびC A Mの装置が必要であり，製造管理レベルにおいては工程管理装置およびスケジュール管理装置が必要となる．

製造ライン段階の生産計画レベルにおいては，L A Nの設備が必要であり，生産技術レベルにおいてはC A T装置(Computer Aided Testing)が，また製造管理レベルにおいては品質管理装置および製造ライン保守管理のための各種センサ装置が必要となる．

機械・装置段階においては，本社の企画・計画レベルにおいてD N C装置が，また，製造管理レベルにおいてはN C工作機械，作業用ロボット，搬送装置，自動倉庫，計測装置，組立装置およびそれらの機械・装置類の制御・管理のための各種センサ装置が必要となる．

これらのネットワークなど関連した必要機能についてまとめたのが表 2.4 である．

#### 2.4.2 インテリジェント化項目

本社での企画・計画段階における対象作業として，生産計画と製品の設計工程レベルでの作業がある．生産計画レベルにおけるインテリジェント化の対象としては生産計画と，設備計画の最適化があり，設計工程レベルにおいては設計手法と構造・機能解析の項目についてなどがある．

工場段階においては，設計工程，生産技術および製造管理の各レベルでの作業が対象となる．その設計工程レベルでのインテリジェント化項目としては，加工図作成やその管理などがある．

また，生産技術レベルにおいては，工程設計，ジグ設計，加工シーケンスと工具選択，加工条件の決定，加工シミュレーションと加工時間の見積り，組立・計測の手順と条件の決定などについての項目と，製造管理レベルにおけるスケジュールリングと工具管理についての項目がある．

製造ライン段階においては，生産技術と製造管理の作業レベルが対象となり，生産技術レベルにおいては，製造ラインの監視と品質管理について，また，製造管理レベルにおいては，代

替えライン対策を含めたトラブル対策がインテリジェント化項目として考えられる．

機械・装置段階においては対象作業レベルとしては生産技術と製造管理がある．

その生産技術レベルにおけるインテリジェント化項目には，加工状態の監視，稼働状態の監視，オンマシン計測，適応制御技術，加工トラブルの検出と対策および加工条件の評価などの項目がある．製造管理レベルにおいては，加工トラブル検出や工具寿命管理などの項目が上げられる．

これらのインテリジェント化項目をまとめたのが表 2.5 である．

また，在るべきインテリジェント生産システムの模式図を示したのが図 2.3 である．同図に示すように，生産に関わる全ての作業はネットワークにつながり，そこで使用される全ての情報は各作業において共有しながら生産活動が行われ，新たに発生した情報はデータベースに更新・蓄積され，データベースの保守管理が自動的に行われる必要がある．

そのインテリジェント生産システムにおけるデータベースに要求される機能としては以下の通りである．

- 1)多様な形のデータを取り扱え．
- 2)多様な構造のデータベース管理．
- 3)検索，計算，推論など，多様な機能．
- 4)データベースの更新，蓄積などの保守管理．

すなわち，インテリジェント生産システムで取り扱うデータには，一般法則，規格データ，実験データ，事象データなど，多様なデータがあり，それに伴って，データ構造も階層型，ネットワーク型，関係型，オブジェクト指向および意味データモデルなど，多様な構造のデータベースを管理する必要がある．

また，データベース機能としては，検索機能だけではなく，近似データの検索，確率，統計処理，シミュレーションなどの数値計算，ファジィ推論，ニューラルネットワーク，事象ベース推論などの推論機能なども備えている必要がある．



### 3 . 生産システムのインテリジェント化について

#### 3 . 1 生産製造計画

生産製造計画は生産システムの最も上流にあり、その良否は生産効率に大きく影響を及ぼす。このような生産製造計画のインテリジェント化は、コンピュータを用いたシミュレーションが中心となっている。そのシミュレーションの内容は、ロット数に応じた機械稼働率など製造工程を評価する生産計画と、工場のレイアウトなど設備計画の最適化を対象とするものに分けられる。これらが、大規模なシステムを対象とした場合C I Mとして位置付けされる。

生産計画に関しては、3.1.1 節においてラインシミュレーションと生産スケジューリングの機能について述べる。設備計画の最適化に関しては、3.1.2 節において生産状況が把握でき、工程変更にも適切に対応できるフレキシブルなシステム構成と、それを実現するためのネットワーク化、データベース化について述べる。C I Mに関しては、3.1.3 節において様々なデータがネットワークにより統合され、自動搬送システム、N C 工作機械、産業ロボットなど、各部門を有機的に結ぶシステムとしてのC I Mについて述べる。

##### 3.1.1 生産計画

###### ( 1 ) 望ましい形態 ( 理想システム )

シミュレーションを用いることによって工場の機能・性能を数式・数値によりモデル化し、

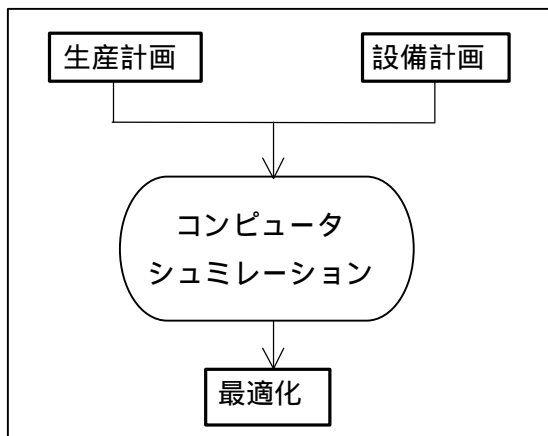


図 3.1.1 生産計画の望ましい形態

コンピュータを用いて生産システムのロボット稼働率や工作機械待ち時間の最適設計、機械停止時間や中間在庫容量の適性評価を行うことができる。生産計画のインテリジェント化により製品開発及び生産のリードタイム短縮、投資リスクの低減も可能とするもので、望ましい形態とは、図 3.1.1 に示すようにコンピュータを利用した、シミュレーションなどに基づいて、設備計画及び生産計画の最適化を実施していくことである。

###### ( 2 ) 実現のための必要機能

生産計画のインテリジェント化における必要機能としては2つに大別することができる。一つは、生産に必要な設備とその製造ライン設計のためのラインシミュレーション機能。二つ目は生産スケジューリング機能である。

###### 1) ラインシミュレーション

ラインシミュレーションとは、工場の新しいラインを構築したり既存のラインを再構築する場合に生産設備の配置や加工部品の投入順序、稼働率を瞬時にシミュレーションするものである。具体的には、機械加工工程におけるマシニングセンター、N C 旋盤、研磨機等の稼働率、処理個数、段取りの最適化、その他、組立工程におけるA G V ( 無人搬送車 ) の台数決定や自動倉庫入出庫システムの能力評価のシミュレーションを行う<sup>1)</sup>。

製造ライン設計におけるラインシミュレーションの必要機能は下記のとおりである。

###### ユーザインタフェースの向上

モデリング機能に関してラインモデルや機器モデルの作成が容易であること。これはアイコン化されたメニューとポップアップメニュー等のユーザインターフェイスの向上が必要である。

###### データフォーマット変換機能

I G E S や D X F 変換フォーマットを用いて汎用C A D / C A M からデータを取り込み既存のラインモデルを利用することも可能であること。

### インタラクティブ機能

シミュレーション機能においてはパラメータがインタラクティブに変更でき、様々な案を次々に検討できる機能が必要である。

### 表示機能

解析結果は自動レポート/統計グラフ表示機能により各種データをただちに図表化する必要がある。

### 解析機能

解析内容は、コスト計算として人件費、投資額、ランニングコスト、加工費、搬送経費等である。タイムスタディーとして、搬送時間、ローディング・アンローディング時間、加工時間などである。

### 2) 生産スケジューリング

生産スケジューリングとは、生産工程の日程計画を管理することが目的である。製品の受注から製造、出荷までをどのような順序で製造するかという作業計画を作成することにより納期の厳守と効率的な設備の稼働、在庫の削減が可能となる。図 3.1.2 は、生産スケジューリングの位置付けを示したもので、生産スケジューリングの役割は資材所要量計画からの生産情報を P O P (Point Of Production: 生産実績情報) を用いて生産ラインの加工機器にどのような順番で製品を投入するかを決定するものである<sup>2)</sup>。

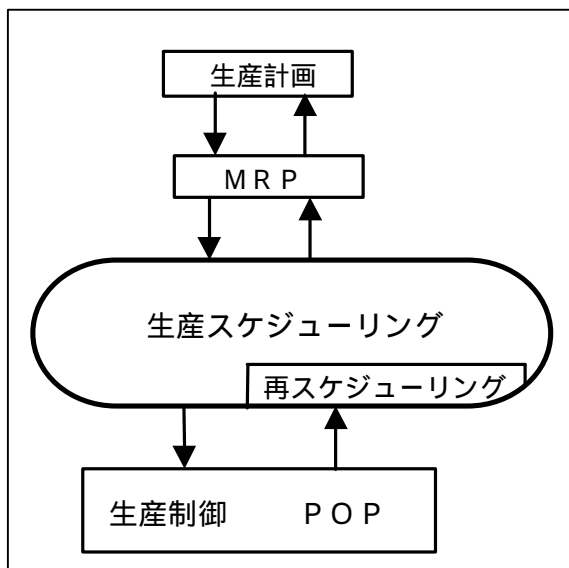


図 3.1.2 生産スケジューリングの位置付け

生産計画のための生産スケジューリングでの必要な機能は下記に示した通りである。

スケジューリング機能

再スケジューリング機能

原価管理機能

資材・在庫管理機能

P O P 機能

現実の生産ラインを想定した場合、スケジューリングの後、必ず特急品や設備故障により生産スケジューリングの変更を余儀なくされる。そのときの再スケジューリング機能が必要である。これは、最初に作成したスケジュールに近似するよう再スケジュールをする方法と、生産の効率が最適になるよう新しく再スケジュールする方法が考えられる。この他、生産スケジューリングのソフトには原価管理機能、資材・在庫管理機能、P O P 機能が必要である。このような結果はガントチャートと呼ばれる方法で出力される。このガントチャートとは縦軸に機械を配置し横軸に時間をとり機械ごとに何時どの加工をするかを割り付けた表示方法でこれを用いて全体のスケジュールを立てる。進捗状況を表示する資源ガントチャート、製造工程や製造設備をロットごとに把握するロットガントチャートがある。

### (3) 現状

現状の生産計画においては、多くのシステムが市販され実用に供されている。ラインシミュレータでは、WITNESS(CRC 総合研究所)、QUEST(テネンジャパコ)、FACTORE/AIM(構造計画研究所)、PC Model(新日鐵情報通信システム)等があげられ、生産スケジューリングソフトウェアでは、TOPS-DIRECTOR(システムトップス)、Friends(CHIYODA)、差出小僧(マイアック)、スケジューリング孔明(東洋エンジニアリング)、ASPROVA(スケジューリング研究所等が代表的である)。

生産スケジューリングに使用されている基本アルゴリズムは O R (Operations Research) 的手法、A I 的手法、シミュレーション的手法の 3 手法があるが複雑な実際の問題に対して汎用

的に最適解を得る方法は確立されていない。OR的手法とは制約条件を満たすように多元連立1次方程式を解き最適解を得る数理計画法やもっとも短い処理時間に注目し着手順序を決定するヒューリスティックなどの最適化手法と、PERT ( Program Evaluation and Review Technique ) などがある。AI的手法は熟練した生産技術者が過去の経験で得た知識や経験に基づいて人間の曖昧な意志決定方法をコンピュータで再現するものであり、ニューラルネットワークやファジィ理論が利用されている。シミュレーション的手法は現在の生産システムをコンピュータでモデル化し、生産システムを時系列的に模擬・再現することによりスケジューリングの良否判定する手法である<sup>3)</sup>。

適合する工程としては、生産に着手する日を優先するフォワード型、納期を優先するバックワード型がある。スケジューリングに当たっての処理機能として午前と午後を区切るジョブ編集機能、同じ工程のものをまとめて作るロット分割機能、制約条件における設備稼働時間の属性変更に対応する(試作品などの名目で予約した属性を途中で特急品などに変更)再スケジューリング機能、生産実績情報・進捗情報の把握と計画の見直しが可能なPOP機能等様々な機能などが使用されている。

#### (4) 課題・問題点

生産計画における課題・問題点としては以下のことが上げられる。

- 1) ユーザニーズによる製品の多様化への対応。
- 2) 短納期化への対応
- 3) 就労者の高齢化

生産システムが複雑になるとシミュレータの扱えるモデルに限度があり、可能としてもモデル入力作業等を含めた検討作業時間の増加となる。また、シミュレーションソフトの操作方法が多機能なためそれを使いこなせる技術者が限られてくる。例えば、生産ラインを基本設計する技術者とラインシミュレーションを扱える技術者が異なるため生産ラインの把握に時間がかかり効率が悪い。シミュレーションによって得

られた結果が正しいかどうかを検証する方法がない。したがって技術者にシミュレーション結果を判断する知識が必要になる。以上のように今後の課題として「与えられたスケジューリング問題の複雑度をどのように認識するか」を検討する必要がある<sup>4)</sup>。

また、就労者の高齢化を念頭に置いた生産計画の立案が必要になる。例えば機械加工ラインにおいて作業者が高齢者の場合は、加工ワークの軽量化、マンマシンインターフェイスの充実、作業環境の向上を検討しなければならない。

#### (5) 研究動向

従来はワークステーション(WS)でしかできなかった生産シミュレーションがパソコン(PC)の性能向上でPC用のソフトが増えてきた。

例えば佐藤<sup>5)</sup><sup>6)</sup>は中小製造業の企業における適正規模・適正仕様の生産管理システム構築支援を目的に、パソコンデータベースを用いた生産管理システムの開発を行った。各企業におけるカスタマイズを前提とし、業務のモデル化と必要機能のモジュール化、カスタマイズが容易な開発環境を開発指針としている。

佐々木、佐藤<sup>7)</sup><sup>8)</sup>は設計・計画型の問題領域への対応が可能でかつ移植性に優れた設計支援型のエキスパートシステム構築ツールの開発を行った。専門家自身による知識ベースの保守を目的に「知識 Customer」、画一的な体系化された操作性と既存システムとの融合を目的に「UI(ユーザインターフェイス) Customer」、問題領域に固有な特化した推論機構の構築に「ハイブリット型推論エンジン」を提案している。このエキスパートシステムの研究開発と個別企業の要望に基づき佐藤<sup>9)</sup>は「組み合わせ問題」をターゲットにして「知識ノウハウを用いた歩留まり向上システムの開発」を行っている。

森<sup>10)</sup>らは部品加工ラインにおける加工日程計画業務を対象としたスケジューリング問題をロット編成問題(加工ロットサイズと加工順序の決定問題)として取り扱い、その解法として

ヒューリスティックスとシュミレーテッド・アーニング法を組み合わせたアルゴリズムを提案した。

本間<sup>11)</sup>は多数の稼働率に関するシュミレーションによる結果を整理し、稼働率のばらつきは、平均稼働率、ラインのステーション数およびバッファ容量と平均回復時間の比から近似的に与えられることを示している。

## 参考文献

- 1) バーチャルファクトリーの実体探る, 日経メカニカル, 1. 8, (1996) pp32\_69
- 2) 生産能力を無駄なく使うスケジューリングソフト, 日経メカニカル, 2. 20, (1995) pp38\_51
- 3) 精密工学会編: 生産システム便覧, コロナ社, (1997) pp330\_336
- 4) 上野信行: 生産スケジューリングは役にたったか?, 精密工学会誌, Vol.60, No.40 (1994) pp502\_507
- 5) 佐藤明: パソコンデータベースを用いた生産システムの開発, 秋田県工業技術センター業務年報, (平成7年度) pp53\_56
- 6) 佐藤明: パソコンデータベース・ネットワークを用いた生産管理システムの開発, 秋田県工業技術センター業務年報, (平成8年度) pp47\_52
- 7) 佐々木卓男: 高機能コンピュータによる設計品質の高度化と効率的生産システムに関する研究(～第5報), 秋田県工業技術センター業務年報, 昭和63年度～平成4年度
- 8) 佐藤和人: エキスパートシステム構築ツール(KBC/COSMO)の普及型技術開発, 秋田県工業技術センター業務年報, (平成5年度) pp49\_60
- 9) 佐藤明: 知識ノウハウを用いた歩留向上システムの開発, 秋田県工業技術センター業務年報, (平成7年度) pp49\_52
- 10) 森直宏: 機械加工ラインにおける生産スケジューリングシステムの開発, システム

制御情報学会論文誌,

Vol.10, No.3 (1997) pp137\_143

- 11) 本間義彦: 生産ラインの稼働率ばらつき推定法, 精密工学会誌, Vol61, No12 (1995) pp1686\_1689

## 3.1.2 設備計画の最適化

### (1) 望ましい形態(理想システム)

工場の拡張や新機種への更新など、生産設備の導入では巨額な費用を伴う。その選定には、消費者のニーズ、市場の動向、製造設備の陳腐化など考慮すべき点は多い。このため、生産計画や生産工程を考慮してラインシミュレーションにより製造ラインの最適化を行う必要がある。

また、高価な設備を有効に利用するためには、設備保全や工具状態の把握など最適に行う必要がある。

設備を最適に稼働させるためには、CIMやFAに代表されるように生産活動にコンピュータを用い、更に設計の変更や生産工程の変化に短時間で対応できるようフレキシブルなシステムを導入しなければならない。

設備導入時にはネットワークに接続できる省力化・自動化の進んだフレキシブルな設備を選び、設備稼働後はLANやインターネットの活用によりリアルタイムで機器の稼働状態、生産状況、工具状態などを逐次把握し、不具合発生時、品種変更時あるいは工程変更時などに適切な処置ができるシステムが望ましい。

### (2) 実現のための必要機能

既存設備に対してはその有効な活用と新システムへの柔軟な対応が必要である。ネットワークを利用した生産システムでは、様々な機種に対応できるようPC(プログラマブルコントローラ)やCNC制御装置などのコントローラはオープン化されていなければならない。

また、情報の共有化には、CADデータをはじめとして情報のデジタル化を行い、データベース化できる環境を整え、更にこれらのデータを機種に関係なく利用できるよう標準化する必要がある。

### (3) 現状

従来は比較的容易に機種選定を行い製造ラインを設計してきた。しかし、消費者の好みの多様化が進み、製品のライフサイクルが短縮化された今日においては、市場の変化を長期的に予測することは容易でない。

全ての工程を自動化することが困難なため、自動化しにくく作業者の関与することの多い一部の工程に関しては、人件費の安い海外へシフトする事も行われている。フレキシブルな生産システムを構築している工程でも、人手を必要としている部分も多い。

現在レイアウトの基本方式には図 3.1.3 のような2つの方式がある<sup>1)</sup>。

(a) 工程系列による配置方式

(b) 機械の機能中心の配置方式

(a) は生産工程の順序に機械を配列する方法で、少品種多量生産に採用されている。特徴として生産期間の短縮ができる反面、設計変更や品種変更時に多くの時間と費用を要する。1台の装置の故障でもラインがストップするなどの欠点もある。

(b) は多品種少量生産に用いられ、稼働率が高く製品や工程変更にも対応しやすいが、仕掛

品が多く工程管理がしにくいなどの欠点がある。

### (4) 課題・問題点

課題として、生産システムのオープン化があげられる。工作機器メーカーや制御機器メーカーでは、これまで蓄積した固有の技術が多く、完全なオープン化には至っていない。システムのオープン化に関しては言語の統一や標準化など解決すべき問題も多い。CADデータの有効利用に関しては異機種間でのデータ交換に不十分さが残っている。

また、これからは環境や省エネにも対応したシステムの開発を行う必要がある。

### (5) 研究動向

FA制御装置のオープン化に関しては、欧州 ESPRIT - OSACAプロジェクトによる研究、米国GMのOMACの提唱、日本においてはOSE協議会による研究などが知られおり、これらの活動が目指しているものは以下の3点に集約される<sup>2)</sup>。

(a) NC装置とその外部との接続方式のオープン化。

(b) NC装置内部機能のモジュール化。

(c) 各種接続機器制御の自律分散化

最適化の手法に関しては白井らが遺伝的アルゴリズム(GA)とシミュレーティッド・アニーリング(SA)を取り上げ数値実験に基づいて両者の比較検討を行っている。<sup>3)</sup>

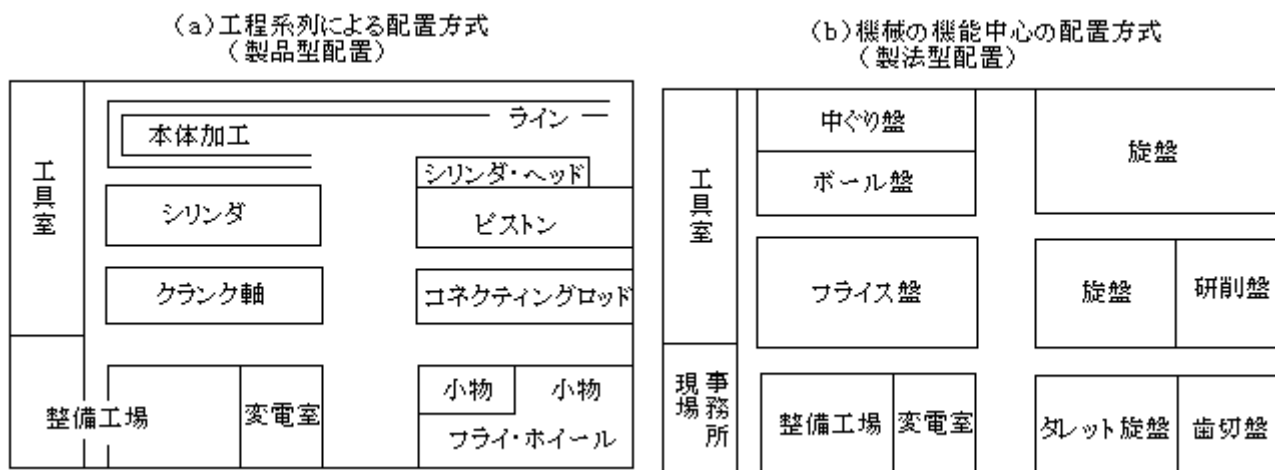


図 3.1.3 レイアウトの基本配置方式

**参考文献**

- 1) 西塚宏：連載新生産管理技法実践ノウハウ 17, 工場管理, Vol.144, No.1(1998) pp69\_79
- 2) 高田祥三：ネットワーク時代のF Aシステム, 精密工学会誌, Vol.64, No.1 (1998) pp23\_26
- 3) 白井裕他：組合せ最適化法に基づく異サイズ・ブロック配置解法と性能評価, 日本機械学会全国大会講演論文集, Vol.14(1995) pp395\_396

**3.1.3 CIMについて**

**(1) 望ましい形態(理想システム)**

"コンピュータによる統合生産"と訳されるCIM (Computer Integrated Manufacturing) は、各製造企業によりその捉え方はまちまちである。「企業の生産に関するあらゆる活動をコンピュータ技術を利用して統合化する」という概念に基づくならば、市場で求められている製品を早く、安く供給するために情報の流れ、モノ

の流れを素早く行い、それに沿って最も適した生産活動を行う事ができるシステムと言える。

図 3.1.4<sup>1)</sup> に生産を取り巻く諸活動を示す。図に示してあるように、各部門の間では様々な情報とモノが行き来している。このような状況に対してCIMを導入し、ネットワークによるデータの統合化が行われ、モノに関しては自動搬送システム、NC工作機械、産業ロボットなど、各部門が有機的に結ばれたシステム構成が望ましい形態と言える。

**(2) 実現のための必要機能**

CIMの構築を推進するために必要な構成要素としてコンピュータとネットワークがあげられる。

インターネットの急速な普及は、製造業においてもその生産活動に大きな効果をもたらしている。このように異なるコンピュータ、異なるシステム間でも問題なく情報交換を行うことができる通信機能はあらゆる情報を統合化するために必要である。

コンピュータ技術を用いて統合化するCIM

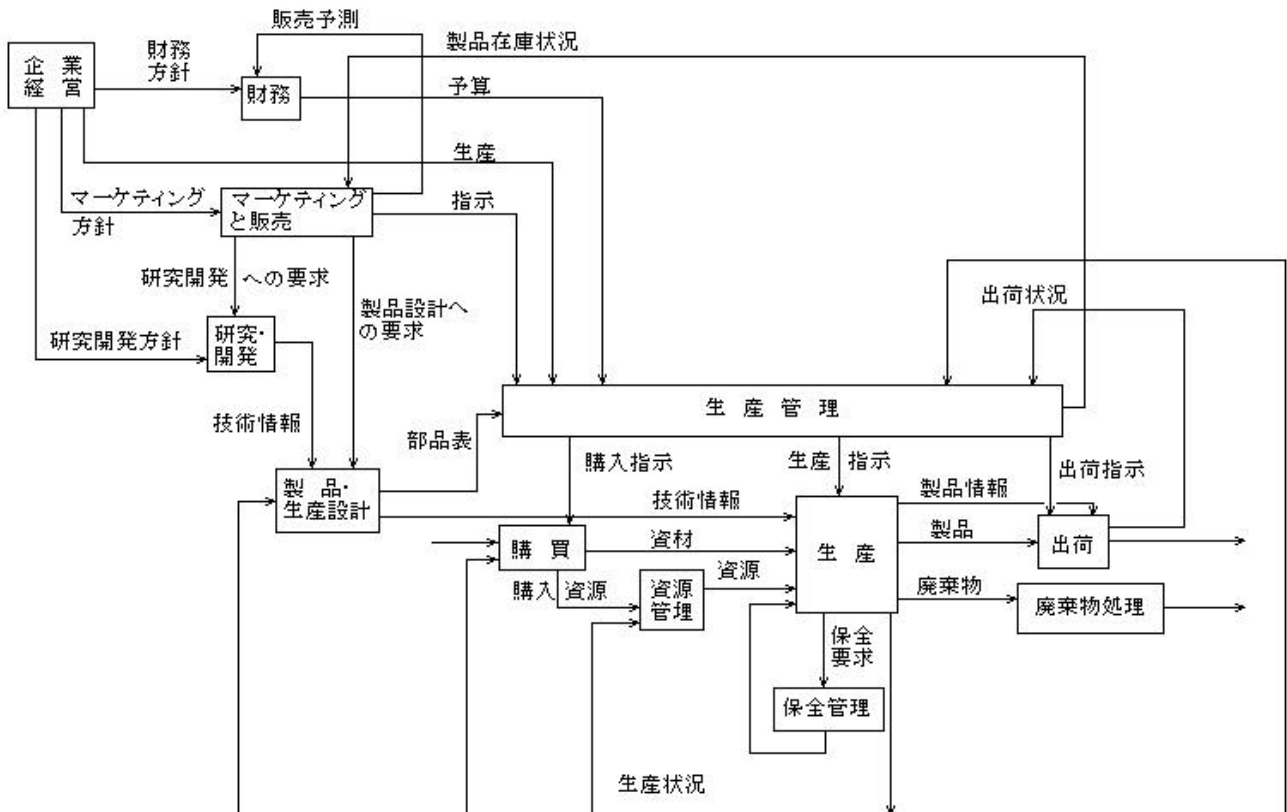


図 3.1.4 生産を取り巻く諸活動

においては、データベースもまた最も重要な要素の一つである。生産活動には膨大な量のデータが存在している。このため、データベースの構築は容易でないが、データのデジタル化を含め重要な条件である。

情報技術の進歩により、3次元CADによる形状確認、加工データ作成、CAEなど、そのデータを広範囲に渡って利用することができ、技術情報の統合化、データベース化は不可欠な機能である。

### (3) 現状

ネットワークに関してはかなり整ってきており、企業内においてもイントラネットの導入で情報のシステム化を図る企業も多く見られるようになってきた。

CAD/CAMを用いた設計や加工データの作成、NC工作機械を用いた自動加工等は現在のモノづくりには必要不可欠な存在として各企業に普及している。最近ではバーチャルリアリティを利用して製品開発を行っている企業も見られる<sup>2)</sup>。コンピュータや制御方法の高度化に伴い信頼性の高いロボットやコントローラも多く開発され、周辺部分の装置も改良が進められている。

また、異なる仕様のシステムを接続するための通信技術として米ゼネラル・モーターズがMAP (Manufacturing Automation Protocol) を提唱し標準化を進めている。

自動車関連企業や超精密加工を行う半導体製造関連の企業では人手を介さないシステムの構築が進められている。しかし、LANに関しては製造部門や管理部門で個々に機能している場合が多く、全社的に見たCIMの構築は少ない。

### (4) 課題・問題点

異なるメーカーの様々な装置が用いられている企業において、いかにデータの交換をスムーズに行うかが最も重要な問題である。しかし製造部門で用いられるシステムと事務部門で用いられるシステムは異なっている場合が多く、ほとんどの場合データの互換性がない。現在FAやOA等個々の技術は整いつつあるので今後は生

産活動全体にわたってデータを統括できる処理方法やデータ形式の標準化<sup>3)</sup>が必要である。

また、CIMの構築にはネットワークやコンピュータ等多額の設備投資が必要となるため普及するためには安価な設備が求められる。

### (5) 研究動向

日本が中心となって研究を進めている国際共同プロジェクトのIMS (Intelligent Manufacturing System)がある。これは次世代の生産システムを研究しており、生産活動に関わるすべてのプロセスをコンピュータで統合することを目標としている。また、井原<sup>4)</sup>らは市場動向を分析し迅速に生産計画をたてるために用いられている自立分散システムにおいて、通常では割り当てによる日程計画を行い、トラブル時には各工作機械の引き取りによる計画の修正ができる社会構造型自立分散生産システムを提案している。

生産システムのオープン化の動向としては、生産システムの全体構造に関して、アメリカのSEMATICの「CIMフレームワーク」に関するものや、欧州においてはCENが行っている「CIMのオープンシステムアーキテクチャ」などの標準化活動がある。日本においても(財)国際ロボットFA技術センター(IROFA)が行っているFAオープン推進協議会でのオブジェクトモデリングの活動などが挙げられる。そのほかにも制御機器間のオープン化やCNC制御装置のオープン化、PCのオープン化など幾つかのグループが活動を行っている。<sup>5)</sup>

### 参考文献

- 1) 機械工学便覧 C4 メカトロニクス, pp.146
- 2) バーチャル空間でモノ作り, デジタルファクトリー, 6・7月号,(1997) pp38\_59
- 3) スタンダードパワーが未来を拓く, デジタルファクトリー, 8・9月号, (1997) pp40\_60
- 4) 井原透他: 社会構造型自立分散生産システムの研究, 精密工学会誌, Vol.62, No.12

(1996) pp1722\_1726

5) 特集 生産システムのオープン化, 精密工  
学会誌, Vol.63, No.5(1997)pp613\_646

### 3.2 設計工程

近年設計工程では、環境問題や、資源問題を考慮して進める必要性が生じてきている。生活レベルの向上に伴う廃棄物の排出量は増加する一方であり、処分場の不足とともに、それにかかる費用も増加傾向にあり、深刻な社会問題となっている。

設計のツールとしてのCADシステムは、20年近い実用期の中でソフトは完成度の高いものとなった。線画としてのCADからソリッドモデルを含めた領域に発展し、急速に拡大している。なかでも、3次元モデルによるCADシステムの普及はこの数年間に加速され、解析シミュレーション機能を含んだシステムがパソコンで稼働し、製品開発に不可欠なツールとなっている。

一方、設計工程のインテリジェント化を考えた場合、設計作業は人間の創造作業そのものであり、コンピュータにとっては最も不得意とする分野である。そのため、現在行われている設計作業の全てをコンピュータに置き換えるのではなく、「如何にして人間が行う設計作業をコンピュータに支援させるか」が課題となる。

生産工程の効率化を推進し、製品サイクル全体を考慮して設計する必要が生じてきた事から、生産全体の中の設計工程の受け持つ範囲が徐々に拡大している（図3.2.1を参照）。

#### 設計においては

- 生産効率
- 安全性
- 製作方法（加工方法）
- 分解性・再利用性
- 製品寿命等を考慮し、仕様を満足させるための機能・機構の決定をするとともに、形状・寸法・材質なども決定する。

したがって、本章ではこのような技術の変遷

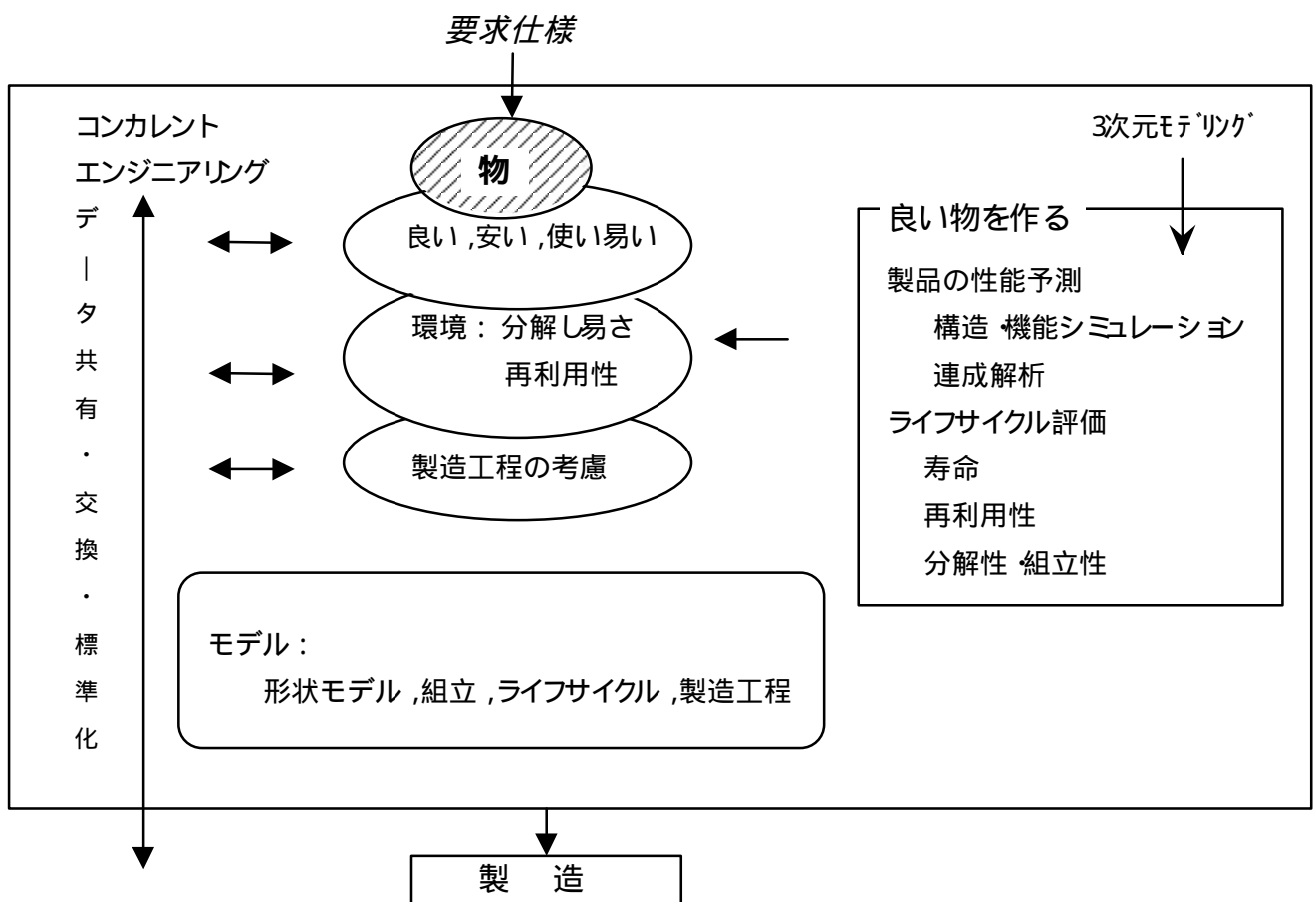


図 3.2.1 増大・拡大する設計の範囲

を考慮した上で、次の5つの項目に分けて「設計工程のインテリジェント化」について述べる。

- ・設計
- ・構造・機能解析シミュレーション
- ・設計製造データの管理・検索
- ・分解性・再利用性評価技術
- ・製品寿命予測技術

### 3.2.1 設計

#### (1) 望ましい形態

望ましい設計工程では、ソリッドモデルをはじめとするCADシステムにより、設計者の内部にある構想モデルを実際的な形として提示できることが求められる。

手法として、バーチャルリアリティにより、第三者からも十分に理解される具体的なモデルとして表現されなければならない。

モデルの製作は、単に形状だけが具体化されるのではなく、必要機能を内部にデータとして持ち、製造工程への展開も含めて、システムの中で具体化される必要がある。概念設計・詳細設計と生産での工程設計が同時並行的な作業として展開できることが求められる。

この部分については、コンカレントエンジニアリングとして着目されている部分であり、その他の並行処理として図 3.2.1 に示すように、製品の性能予測やライフサイクル評価が実行できることが望ましい。

製品の機能仕様、寸法・精度仕様等の入力情報に基づいて、機能を実現するための構造に関する概念設計が行われる。また、各部品の形状・材質・寸法の決定、構造・配置の決定、及び製品モデルとしての仕様実現の検証が行われる。

各部品の詳細設計においては、生産効率の良い製作方法を考慮すると共に、応力解析・熱解析などの構造解析による形状・寸法・材質の検証と最適化が行われ、構造・配置設計では、各部品間の運動や固定関係と各接続部品間の接続状態などから、組立・分解性を考慮した最適構造設計が行われる。

作成された製品モデルについては、仕様実現の検証と共に、応力・熱・振動等のシミュレーションによる検証、製品寿命予測などの検証も行なわれる。従って、この設計工程をインテリジェント化し、人間が行う設計作業を支援する「望ましいシステム」では、これらを実現できることが求められる。

#### (2) 実現のための必要機能

概念設計自体のコストは全製造コストの

10%程度に過ぎないにもかかわらず、全製造コストの80%を決定するとも言われる。迅速化とコストダウンが最重要課題の中、生産性を考慮した設計技術の新展開が望まれている。最近のシステムは「インテリジェント化」、「共同化」、「感性化」の度合いを強めつつある。

一方、設計者に快適さと満足を与える「人にやさしい設計システム」が重要である。これはシステムが賢くなることでもあり、賢い機能の実現にも知的性質は重要なポイントである<sup>1)</sup>。理想的なシステムの実現には高度なネットワーク社会、CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support)、バーチャルマニュファクチャリングなどの技術がキーとなる。

必要とされる機能として次のことが上げられる。

- 1) 設計者が3次元形状である設計案を効率よく具現化するソリッドモデリング機能と寸法駆動による形状変更機能、形状特徴認識機能
  - 2) 幾何拘束定義や公差など、形状以外の属性データの生成機能
  - 3) 形状データと属性データを合わせた製品モデルを活用し、生産性(加工性、組立性)を検討する機能。例えば、加工・組立誤差を公差内に抑えるための公差解析・評価機能。
  - 4) 複雑化したアセンブリ空間で組み立て性をシミュレーション・評価する機能。
  - 5) 形状特徴により加工順序や適用工具の選択などの加工プランを自動生成する機能など
- これらは従来生産設計者や製造担当者が製造方法に関する知識を駆使して行ってきたものであり、作業軽減あるいは高度化を図るためのCAD(Computer Aided Process Design)の機能である。

#### (3) 現状

CADシステムは、ドラフタの役割であるワイヤフレームモデルから、サーフェスモデル、ソリッドモデルへと進化し、現在その実用段階にある。また、設計期間の短縮要求とネットワ

ーク技術の発展に伴って、多数の作業者が一つの設計を分担して同時並行的に設計作業を進めるコンカレントエンジニアリング（CE）も実践されつつある。今後は、生産のグローバル化に伴い、設計データを開発、生産、保守まで一貫して利用することと、他社も含めて製品データを共有するシステムの構築が見られる。

現在のCADシステムで実現されている機能は以下の通りである。

- 1) 基本的な形状モデリング機能。
- 2) 基礎的なエンジニアリングデータベース機能、チーム設計機能。
- 3) より大規模なアセンブリ設計機能、高速表示機能、部品干渉チェック機能。

フィーチャベース

穴開け、フィレット、押し出し、回転、シェルなどの形状特徴のこと。これらのフィーチャを次々に作成していくことでモデリングを行うパラメトリック設計

形状を変数として取り扱うことができ、変数の数値を変更することで形状も変化する

寸法拘束機能

平行性、接線性などの形状拘束をつけることによりパラメータを変更してもその拘束を満たした形状を保持することが可能となる

チーム設計とは、複数の設計者が同時進行で製品設計を行うこと。このために必要な機能として、データアクセス権管理、電子メールによる変更通知機能、部品形状変更とともに参照部品形状も変更される連想性機能などがある。

ソリッドモデルの採用により、例えば自動車エンジンルームデータが詳細形状まで含めると10G-byteに達してきた。大容量データを扱うため、近似されたファセットデータのみを扱う高速Viewerなどがでてきている。

CAD/CAMはもはや成熟技術であると言われることもあるが、これは必ずしも正しくない。設計業務は新規設計と類似設計に分けて考

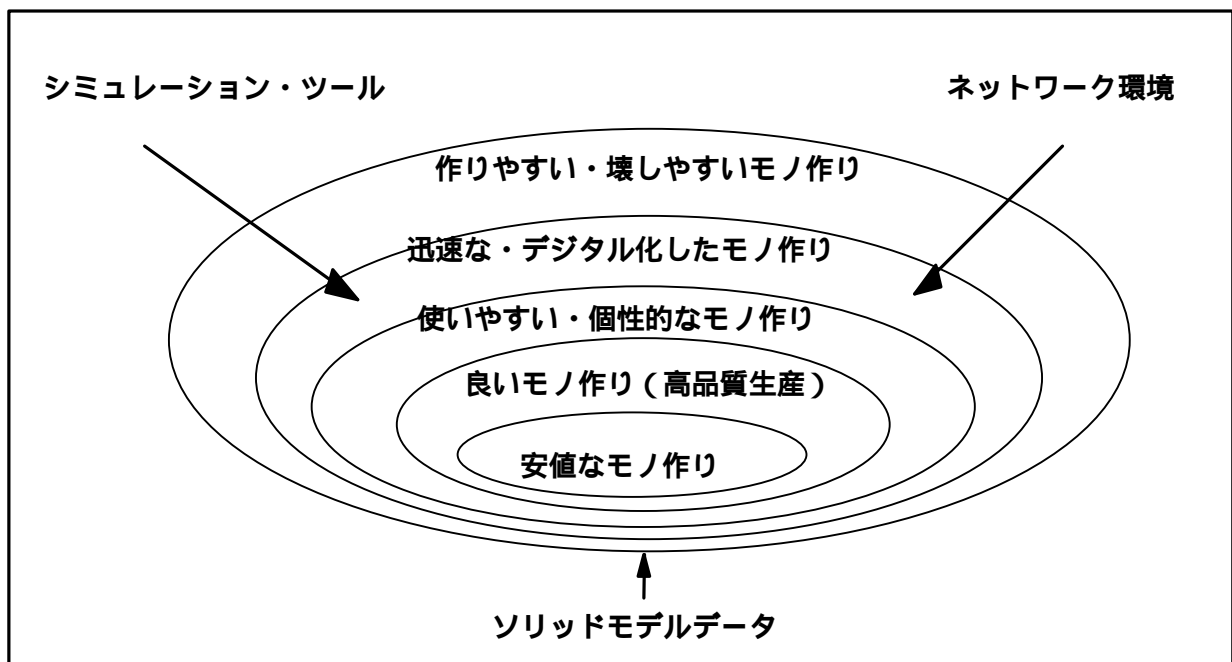


図 3.2.2 モノ作り目標の変遷とそれを支える要素技術

えられ、類似設計を自動化・高速化するCADシステムは確実に進歩してきた。しかし、新規設計においては設計者が頭に描いた（機能を含めた）デザインを正確に具現化を支援できるような機能をもっているCAD/CAMシステムがないのが現状である<sup>2)</sup>。

#### (4) 課題・問題点

工業の発展は一貫して機能の分化をもたらしてきた。しかし、情報化とCEの進展はそれとは逆にあらゆる情報を設計者に集中させることになり、結果として設計部門の肥大化につながる恐れがある<sup>1)</sup>。図 3.2.2 に示すように、「モノ作り」は多様化・複雑化しており、「製品開発期間の短縮」を実現するために3次元ソリッドモデルデータ、シミュレーション、そしてネットワーク技術をいかに活用するかが現在の実務レベルの課題となっている。

生産を考慮した設計の実現には、設計者は膨大な設計知識と製造知識の双方を熟知しておく必要がある。このような設計作業を支援するためには、日々の設計経験を蓄積し、体系化して伝承し、再利用を通じて設計理論や方法論を改善していく方法が望まれている<sup>2)</sup>。このため知的な設計支援ツールの開発が課題となっている。

生産性を考慮した設計を実現するに当たっての問題点として、次のことが考えられる。

構想設計、詳細設計がソリッドモデラーに移行しつつあるが、生産準備、製造段階でソリッドモデラーの利用は多くない

製品の形状データのみならず、製品機能や製造法に関連して何らかの意味を担う属性データの生成ができていないこと

形状データと属性データを合わせた製品モデルを用い、生産方式の決定を行うための実用的シミュレーションツールが不足していること

“物”の情報を単なるデータから知識へとランクアップし、知的CADと知的CAMとの結合が課題となっている。

#### (5) 研究動向

自動車産業に見られるように、設計データを

生産、保守までの製品ライフサイクルまで利用する動きが盛んである。製品モデルデータの規格であると同時に技術データ統合のためのアーキテクチャとして、STEP (Standard for the Exchange of Product model data) の利用が実務レベルで検討され、実用システムに取り込まれつつある<sup>3)</sup>。これは、設計データを生産段階で利用するための標準化として重要である。

モデリング技術では、位相的制約のあるソリッドモデルに比べてより広範な位相構造を持った形状を扱えるようにするため、非多様体形状モデルの研究がされている<sup>4)</sup>。また、CADにおいてはオブジェクト指向から、基本設計対象モデルのデータをパラメトリックに変更するデータ構造の研究がなされている<sup>5)</sup>。さらに、加工順序や適用工具の選択などの加工プランニングの自動化/省力化等を図るため、製品形状を構成する個々の形状特徴に基づく形状モデリングの研究がある<sup>6)</sup>。

製造を考慮した設計として、公差についての検討と公差を含むモデリングが挙げられる。生産には誤差の発生が不可避であり、製品性能を達成するためには、設計時に形状誤差を把握する必要がある。そして、公差解析ツールを積極的に実用システムに取り込んでいる例が出てきた。文献7)では、理論値で作成した部品や組立品の形状データに公差設定位置と公差の大きさをデータとして付加し、公差解析ソフトで組み立てシミュレーションを実行している。

研究としては、公差の許容限界の表現法に関する研究<sup>8)</sup>がある。また、公差モデルやソリッドモデルに基づいて公差の機能に及ぼす影響の解析が試みられている<sup>9)</sup>。製品に高い精度をいたずらに要求することはコストの上昇を招く。そのために、精度設計の観点からノウハウ収集、蓄積、活用を考え<sup>10)</sup>、それらをコンピュータで処理するシステム開発が必要である。

塑性加工工程設計の知能化技術の動向は文献11)12)に概観できる。熟練者不足、多品種少量生産などの傾向に対処するためのエキスパートシステムの開発が望まれており、実用レベ

ルとして鍛造，板材成形，圧延の分野で開発されている。

組立性・分解性に関しては以下の研究がある。

組立の可能性を検討し，組み立て順序を生成する研究がある<sup>13)</sup>。これは製品の構成部品数が多くなると組立順序の生成時間がかかるため，ヒューリスティクスを用いて効率よく組み立て順序を求めるものである。

リサイクルを意識したモノ作りが叫ばれ，製品組立性と同時に分解性を考慮した設計が実務段階で行われている。組立性と分解性を評価した設計法や分解時間と分解しやすさをパソコンソフトで手軽に評価できるようにしたものなどがある<sup>14)</sup>。

また，プリアセンブリをして，当たりノ干渉ノスキ，組み付け性を検討することは実用域に近づいている<sup>7)</sup>。

製造における部品の組み付け性を設計段階で考慮した研究として，組立品の機構モデルの表

現方法に関する研究<sup>15)</sup>，設計の組立性を検討する上でポテンシャル法により部品間の接触状態を導出する手法の研究<sup>16),17)</sup>がある。これらの評価を，設計での修正過程に利用する方法としては，一例として変更前の組立順序を有効に利用する方法が提案されている<sup>18)</sup>。

設計のインテリジェント化，製造を考慮した設計についての研究動向をマップにすると図3.2.3となる。CAD研究は形状モデルからスタートし，情報工学と相まって発展した。しかし，設計は“物”に密着した総合工学であり，これからは一層“物”指向を強める方向で発展すると思われる。今後のCAD研究の方向性については文献<sup>19), 20)</sup>がある。

### 参考文献

- 1) 特集 ニューデザインテクノロジー，日本機械学会誌，(1996)pp99\_928
- 2) 木村文彦：設計論とCAD，精密工学会誌，

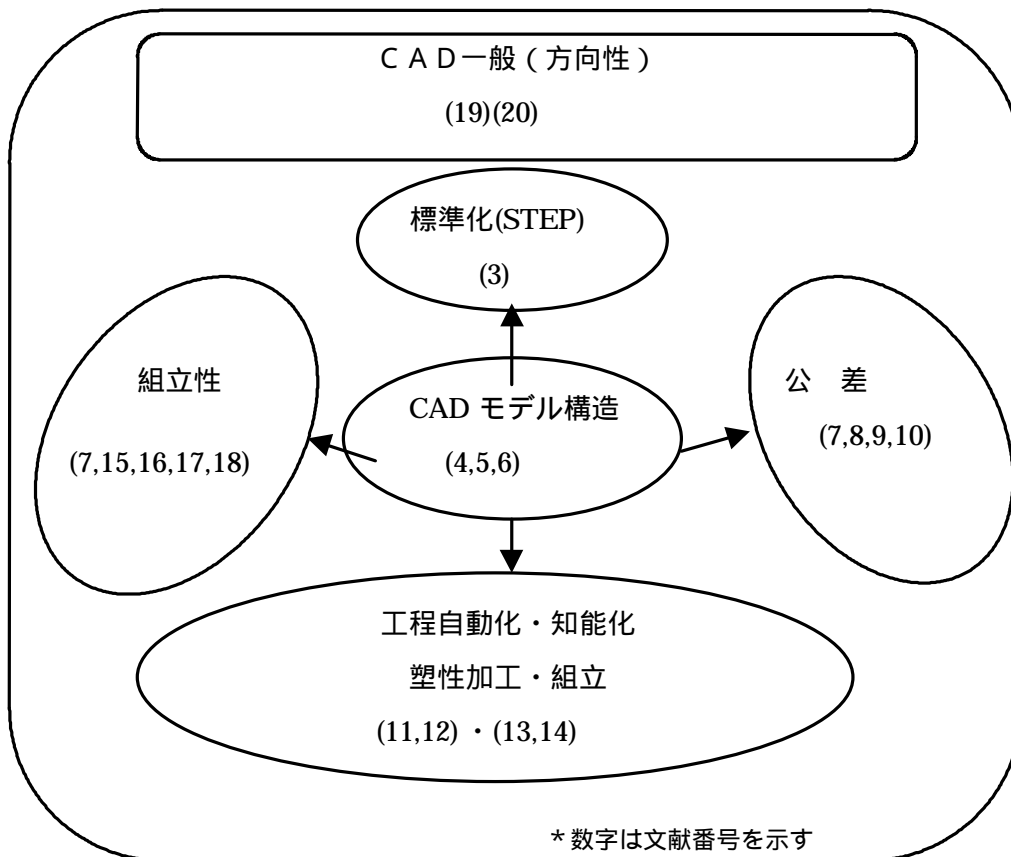


図 3.2.3 設計領域の研究動向マップ

- Vol.62,No.6(1996)
- 3) 小島俊雄ほか：STEPとCADSのかかわり，精密工学会誌，Vol.62,No.12(1996)
  - 4) 増田宏：非多様体形状モデルを用いた形状特徴の表現と管理，精密工学会誌，Vol.59,No.6(1993)
  - 5) 今村聡：工業設計支援用制約対象言語の開発，精密工学会誌，Vol.60,No.9(1994)
  - 6) 荻野富士夫：形状特徴に基づくモデリング，設計工学会誌，Vol.29,No.7(1994)
  - 7) 日経メカニカル，No.2(1997)pp27
  - 8) 伊藤公俊ほか：設計対象モデリングにおける許容限界の表現と指示，精密工学会誌，Vol.62,No.5(1996)
  - 9) 乾正知：ソリッドモデルに基づく公差の表現と解析，設計工学会誌，Vol.28,No.11(1993)
  - 10) 塚田忠夫：精度設計の現状と課題，設計工学会誌，Vol.28,No.11(1993)
  - 11) 年間展望 知能化技術，日本塑性加工学会誌，(1997)pp38\_439
  - 12) 森謙一郎：有限要素シミュレーションと知能化技術の融合，日本塑性加工学会誌，(1997)pp38\_440
  - 13) 伊藤公俊ほか：機械のアセンブリ計画の自動生成，精密工学会誌，Vol.56,No.7(1990)
  - 14) 日経メカニカル，No.11(1996)pp24\_49
  - 15) 徳永仁史ほか：配位空間における接触拘束表現を用いた組立品の機構モデル，設計工学会誌，Vol.63,No.8(1997)
  - 16) 鈴木宏正ほか：ポテンシャル法による接触状態の計算法，精密工学会誌，Vol.58,No.5(1992)
  - 17) 高橋究ほか：動力学シミュレーションによる接触部品の運動解析，精密工学会誌，Vol.60,No.4(1994)
  - 18) 村山長ほか：設計変更における効率的組立順序探索アルゴリズム，精密工学会誌，Vol.60,No.11(1994)
  - 19) 沖野教郎：CADの研究と手法，精密工

- 学会誌，Vol.60,No.1(1994)
- 20) 長澤勲ほか：知的CAD研究・開発への提言，精密工学会誌，Vol.60,No.4(1994)

### 3.2.2 構造・機能解析シミュレーション

#### (1) 望ましい形態

設計工程で作成された製品の設計データからは、解析目的に応じて解析モデルが作成されるが、解析モデルの作成は、設計データを損なうことなく忠実に再現されているとともに、時間や労力を費さず自動的に作成され、具体的には、解析条件を与える以外は何も手を加えずに解析ができることが望まれる。

解析は、その解析の結果分かった問題点を設計データに反映し、最適な寸法、形状に修正出来るような形態のシステムが望まれる。

構造解析では強度、振動、熱解析などによる部品、ユニット、製品レベルでの評価に留まらず、それらの因子や使用による摩耗も考慮した寿命予測が各部品、ユニット、あるいは製品に対して行われることが望ましい。

また、運動および機能の検討が必要な製品については、同時に運動および機能に関する機構シミュレーションが行われ、その要求運動・機能の仕様を満たしているかの確認が行われなければならない。以上のような構造・機能シミュレーションの望ましい形態と、具体的な構成は図 3.2.4 の通りである。以下に、具体的な事項について必要とする機能を示す。

#### (2) 実現のための必要機能

解析シミュレーションで必要とされる機能は大きく分けて、解析計算用のデータを作成するプリプロセッシング、解析計算を行うソルバー、計算後の結果表示を行うポストプロセッシングの3つに分けられる。

##### 1) プリプロセッシング

解析対象として2次元の解析を行うか3次元の解析を行うかによって必要とされる機能は大きく異なる。3次元解析を行うのであれば、3次元CADを利用し作成された3次元ソリッドデータをもとに完全に自動で解析用の要素分割を行う機能が必要となる。

3次元CADデータで作成された細かなコーナーRやねじ穴などをそのまま有限要素分割すると、膨大な要素分割を行い計算時間が長くな

るので、解析精度に影響の少ないと考えられる細かな部分を取り除いて要素分割を行うなど、要素分割の最適化機能が必要となる。

また、解析には形状データ以外に、境界条件や材料定数などのデータを入力する必要があるが、部品間の接触問題などについての境界条件についても簡単に与えられる機能が必要である。

#### 2) ソルバー

解析は、構造、熱伝導、音響、磁場、振動、衝撃など、その対象範囲は広範囲である<sup>1)</sup>。

構造解析では、構造部品に荷重が負荷された場合のその部品の応力集中箇所での応力が許容応力内に収まるかなどの解析を、熱解析では、製品モデルに加わる熱による製品の変形、熱応力や、熱伝導などの解析を、振動解析においては製品の固有振動や、製品に加わる外力による周波数応答、過渡応答などの解析を、機構解析

では、各部品の寸法，形状，粗さなどを考慮した製品モデルにおける運動機能シミュレーションを行なうことを目的としている。

解析の解析方法としては、大きくわけて線形解析と非線形解析がある。構造解析を取り上げてみると、フックの法則の成り立つ弾性範囲内だけの解析を行うのであれば線形解析の機能だけで十分であるが、弾性範囲を超えて材料が塑性域に達した場合の解析，例えば塑性加工の解析を行うのであれば材料の非線形性を取り扱える機能を必要とする。非線形解析は増分で繰り

返し計算を行うため、増分の取り方により解が求まらないことがあるので、自動増分機能などの手法により自動的に精度の高い解析結果が簡単に得られる機能が必要である。

また、塑性加工や衝突の解析では、2つ以上の物体が接触して荷重を伝えることが多いので、接触問題などの境界条件の取り扱いが簡単なソルバーであればプリプロセッシングでのデータ作成時間が軽減される。

機構解析では、部品と部品を拘束する部分か

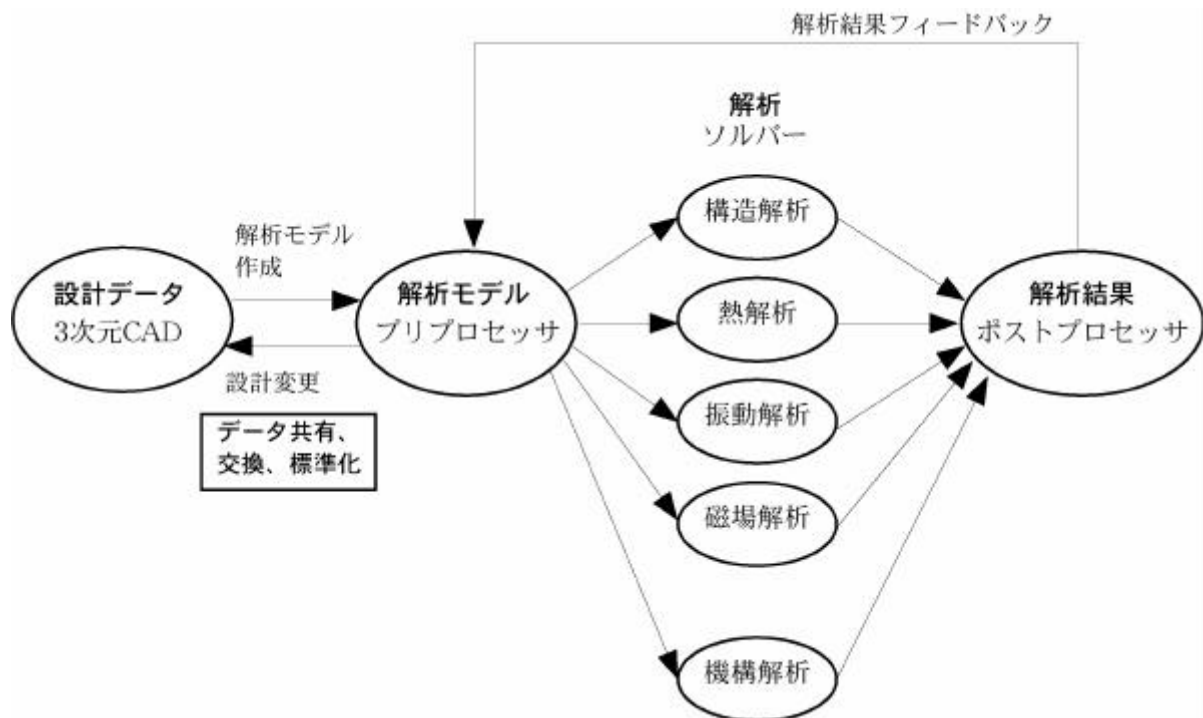


図 3.2.4 構造・機能解析シミュレーションの概要

らなる機構の運動，変位，速度，加速度などの解析を行なう。また，ロボットの駆動関節にある値を入力した場合，ロボットがどのような運動をするかを求めるような純運動学の解析とともに，目標とする手先軌跡等を与えられた場合，それを実現させるにはロボットをどのような姿勢にしなければならないかを求める逆運動学の解析も必要である。さらに，解析された結果は構造解析や振動解析などに与えられ，製品の運動を含めた部品の強度や振動などの解析機能が

必要である。

### 3) ポストプロセッシング

ポストプロセッシングでは，解析結果の等高線表示，時刻歴によるアニメーション表示やグラフ表示機能が必要となる。とくに，解析結果のより詳細な検討のため，3次元の解析結果を等高線表示する場合に任意平面で切断し，その断面での等高線表示する機能が必要である。解析結果に基づいて問題点の自動抽出，あるいは詳細解析箇所を抽出，再度プリプロセッシング

につなげて最適要素分割の出来る機能が必要である。

### (3) 現状

構造解析では、解析モデルはCADシステムで作られた形状モデルが一般的に使用されている。しがしながら、要素分割において作成される要素形状の問題から、複雑な形状モデルに対して、正確な解析モデルを作成することが難しい等の問題が残されている。

解析のための境界条件設定については、解析条件の設定データの整理が進んでおらず、解析者の経験によって設定されているのが現状である。また、解析結果の表示においては、その可視化の技術はかなり進んでおり、解析結果に基づく形状・寸法の最適化機能や詳細解析のための再要素分割機能を備えたシステムも存在する。

ところで、構造解析は主に有限要素法ソフトを使用して行う。市販されている有限要素法ソフトウェアは大別して2種類に分けられる。

1つは、3次元CADにオプションとしてソルバー部分が付加されているものである。近年、解析ソフトウェアは、3次元CADとの連携を深めている<sup>2)</sup>。ソフトウェアの製品構成で言えば、解析ソフトウェアは3次元CADのモジュールにされつつある。3次元CADを共通のプラットフォームとし、共通の操作環境(メニュー等)で操作が可能のほか、3次元CADのデータを共通のデータとして利用できる製品群が多く発売され始めている。このような、3次元CADを共通のプラットフォームとする製品は、設計、解析の共同作業を可能にし、コンカレントで、迅速な設計工程を実現する。ソルバーの機能としては線形応力解析、固有値解析などに限定されているが、設計の初期段階での機能としては線形の解析機能で十分であるとされている。3次元CADをもとにした解析ソフトは操作の同一性やデータの一元化が保たれているため設計者にとって使いやすいと言われている。

解析ではモデルを作成するプリプロセッシングで人間が関わる時間が大部分を占め、解析時間全体の8割がプリプロセッシングに費やされ

ているといわれている。そこで、如何にして3次元モデリングから有限要素分割を自動化するかが重要になる。近年コンピュータの能力の向上と、3次元形状操作の研究の成果により3次元CADが普及しつつあり、モデリングも容易にできるようになり線形解析に関してはかなりの精度で解析結果が得られている。

2つめは汎用有限要素法ソフトと呼ばれているもので、ソルバー部分を強化して応力、熱伝導、音響、磁場、振動、衝撃など線形、非線形の幅広い解析ができるもの。これらのソフトウェアは、ソルバーの強化が主な目的であるので、プリプロセッシング機能はあまり充実していないので、3次元CADを利用して形状モデリングを行うことが多い。これらの汎用有限要素法ソフトは一般に広く利用されているので、3次元CAD側で汎用有限要素法ソフトのデータに変換する機能を有している、あるいは、汎用有限要素法側に3次元CADのデータを読み込む機能を有している場合が多い。

次に、応力解析、熱解析、振動解析、機構解析を取り上げて概要を見てみる。

#### 1) 応力解析

製品・部品に荷重が負荷された場合にその製品・部品の応力分布や変形量を計算し、設計の許容値に収まるかどうかの検討を行う。許容値に収まらない場合には、形状変更や材料を変更して再度計算を行い設計の許容値に収まるようにする。変形が弾性範囲内であれば、応力値などに応じて形状を計算機で自動に変更してくれる最適設計のソフトウェアも市販されている。

#### 2) 熱解析

熱解析の目的としては、熱の伝導を解析し、熱自体の挙動を明らかにしようとするものと、熱が対象物に与える影響を明らかにしようとするものの2つがある。

熱の挙動を明らかにするには、熱伝導、熱伝達、熱輻射などを考慮した解析を行う。また、熱が対象物に与える影響を明らかにするには、解析の条件として対象物に加わる熱、温度を与え、対象物の熱膨張率から対象物の変形や応力

を計算する．これらの2つの解析を関連づけながら解析を行う連成解析が解析可能なソフトウェアもある．

一方，熱解析には，定常状態を計算するものと，伝熱や伝熱による変形の様子を時刻歴に計算する非定常熱伝導解析がある．定常熱伝導の解析は比較的安価なソフトウェアでも解析が可能であるが，非定常熱伝導の解析は大規模な計算が必要となり，計算結果の精度も与える条件によって左右されることが多い．

最近では，電子部品の冷却などの問題が多くなっており，空気などの流体の動きを含めて熱伝導の解析を行うソフトウェアも存在する．

### 3) 振動解析

振動解析は大きくわけて，対象物の固有振動数を求める固有値解析，対象物に加わる力の周波数応答を計算する周波数応答解析，対象物に加わった力に対する過渡応答を計算する過渡応答解析，対象物が固定されている基礎が振動する基礎励起解析がある．

解析方法には運動方程式を直接解く直接積分法と，固有振動モードから振動の状態を計算するモード解析法の2種類があるが，モード解析法の方が解析時間が少ないため多く用いられている．しかし，基礎励起や材料ダンピングを考慮した解析を行うためには，直接積分法での解析が必要となる．阪神淡路大震災以降，地震対策を目的とした基礎励起による振動解析の事例が多く目に付くようになった．

### 4) 機構解析

最近の3次元CADの進歩に伴い3次元CAD上で部品のアセンブリを定義することが可能となった．そのため，単純な部品の干渉などの組立・分解の検討は3次元CAD上で可能である．

機構の複数の部品が動作中に互いに干渉しないかどうかの検討は，機構解析ソフトウェアが必要となる．機構解析ソフトウェアは，機構の運動学的解析，順逆動力学解析，平衡解析，組立解析，運動方程式の線形化などの機能を持ち，具体的には，

機構の動作が正しいかどうかの確認

機構構成要素，接合部の位置，速度，加速度などの計算

設定荷重に対する動作，反力の計算

特定の動作に必要な荷重の計算

などが可能である<sup>3)</sup>．

### (4) 課題・問題点

非線形解析では，線形解析に比べ解析に必要な材料定数が多くかつ得にくい．熱伝導解析における熱伝達係数，振動解析での減衰係数などの物理定数は，設計対象物や環境によって変化する．これらの定数は，ヤング率などのように規格表などから調べられるような値ではなく，実験的に調べたり，解析結果が実際と合うように定数を決める必要がある．この定数が現実と違うと，解析結果も現実と異なる問題がある．

衝突解析や高温における材料の変形など非線形性の強い解析では，収束計算を行うため解析時間が長くなり，初期条件により計算が収束せず解が得られないことがある．これらの解析は，解析者のノウハウによるところが大きいため，今後は，解析者や解析環境が，解析結果の精度に与える影響を少なくする必要がある．

また，解析を実際の設計に利用するには，機構と部品強度，熱と変形量，振動と強度などといった連成解析が必要となることが多い．

さらに，こうした非線形問題を解くことのできる汎用有限要素法ソフトで必要な有限要素データは，3次元CADで作成されることが多く，プリプロセッサで一旦その汎用有限要素法用に変換し，解析条件を与えると言う手順が必要となる．そのため，3次元CADをもとにした解析ソフトに比べ使いにくい原因の1つになっている．

### (5) 研究動向

研究動向として，大きく高速，大規模計算のためのコンピューティング環境に関する研究と，より複雑な現象の解析研究との潮流がある．前者については数万要素の分割を自動で行うソフトウェアの開発やスーパー・パラレルコンピューティングに関する研究<sup>5)</sup>，あるいはメッシュ

レス解法の研究などがあり，後者として，微視構造や損傷を考慮した解析や衝撃応答の解析などがある<sup>4)</sup>。

また，(3) 現状の節で述べたプラットフォームの共通化はソフトウェア群の中でのデータ交換を可能にしたが，設計から試作，生産にいたる過程で，異なる製品群の間でも利用できる業界共通のデータ構造が確立していない現在，このデータの共通化は，C A L Sのデータ標準であるS T E P( Standard for the Exchange of Product model data ) を中心に標準化の活動，研究が行われている<sup>6) 7)</sup>。

### 参考文献

- 1) 3次元設計とC A Eの採用，日経C G，8月号(1997)pp85
- 2) 設計ツールになったC A E，日経メカニカル，No.475(1996)
- 3) 遠山茂樹：機構のシミュレーション，精密工学会誌，58-07(1992)
- 4) 布施秀晃，仲町栄治：衝撃圧子押込み問題の結晶塑性有限要素解析，日本機械学会第10回計算力学講演会・講演論文集，No.97-7(1997)pp457
- 5) 矢川元基，山田知典：フリーメッシュ法による並列環境での大規模解析，日本機械学会第10回計算力学講演会・講演論文集，No.97-7(1997)pp431
- 6) 八木他：到来S T E P実用化時代，機械設計，Vol.4,No.1(1996)
- 7) 杉村他：S T E Pに基づく機械組立部品の設計および解析のためのプロダクトモデルに関する研究，システム制御情報学会論文誌，Vol.8,No.40(1995)pp466\_473

### 3.2.3 設計・製造データの管理・検索

#### (1) 望ましい形態

設計，製造全工程の任意の作業で，使用するソフトウェアの違いを意識することなしに，必要な情報に円滑にアクセスし，利用ができること，それぞれの処理がセキュリティを保ちつつ行われることが望ましい形態である．一例として，設計されたモデルから，シミュレーション用のデータが速やかに生成されることの実現がある．

これらの要件は，生産システム全般においてデータの共有化を実現することを意味し，コンカレントエンジニアリングやチーム設計の基盤となる技術である．コンカレントエンジニアリングは，CALS ( Continuous Acquisition of Life-cycle Support ) の一つの実現手段であり，情報の共有化により，必要な生産活動ができる限り同時並行的に進行させるものであり，製造までの時間の短縮が可能となる<sup>1) 2)</sup>．

参照情報の検索と利用では，各工程に適した方法で情報の検索が可能であること，検索した情報がそのまま利用できることが望ましい．設計データについては過去の設計を再利用しやすいように類似のデータが検索できること，設計の修正過程の情報も知識として利用できること，製造工程についても，条件が類似する事例を検索し活用できること，修正経過の情報を利用できることが望ましい．

取り扱う情報は，図形，画像データを含むものとなる．

データ管理の望ましい基本構成を図 3.2.5 に示す．

#### (2) 実現のための必要機能

情報の共有化の実現には，各プロセスの間で，最新のデータの受け渡しなど，正確で効率的なコミュニケーションと，データを短時間で検索して取り出し，再利用・変更が可能な効率的な管理システムが必要である．これらは，生産工程全体を対象として考慮する必要がある．

そのためには次のことが必要である．

1) 製品情報，設計仕様，設計情報，図面，加

- 2) 構成要素の関係が記述でき、その関係が管理・検索にも活用できること
- 3) データ形式は一つでなく、用途やシステムに応じたデータ形式が複数管理されていること、あるいは、汎用のデータ交換形式が存在することが必要である。

(3) 現状

生産活動における情報の管理と密接に関連し

ているのは、コンカレントエンジニアリング、コンピュータネットワークおよびデータベース管理ソフトウェアである。

コンカレントエンジニアリングは、インターネットやイントラネットの普及とともに、実用化が進みつつある。その前提となるデータの共有に大きく影響するのは、システム間のデータ

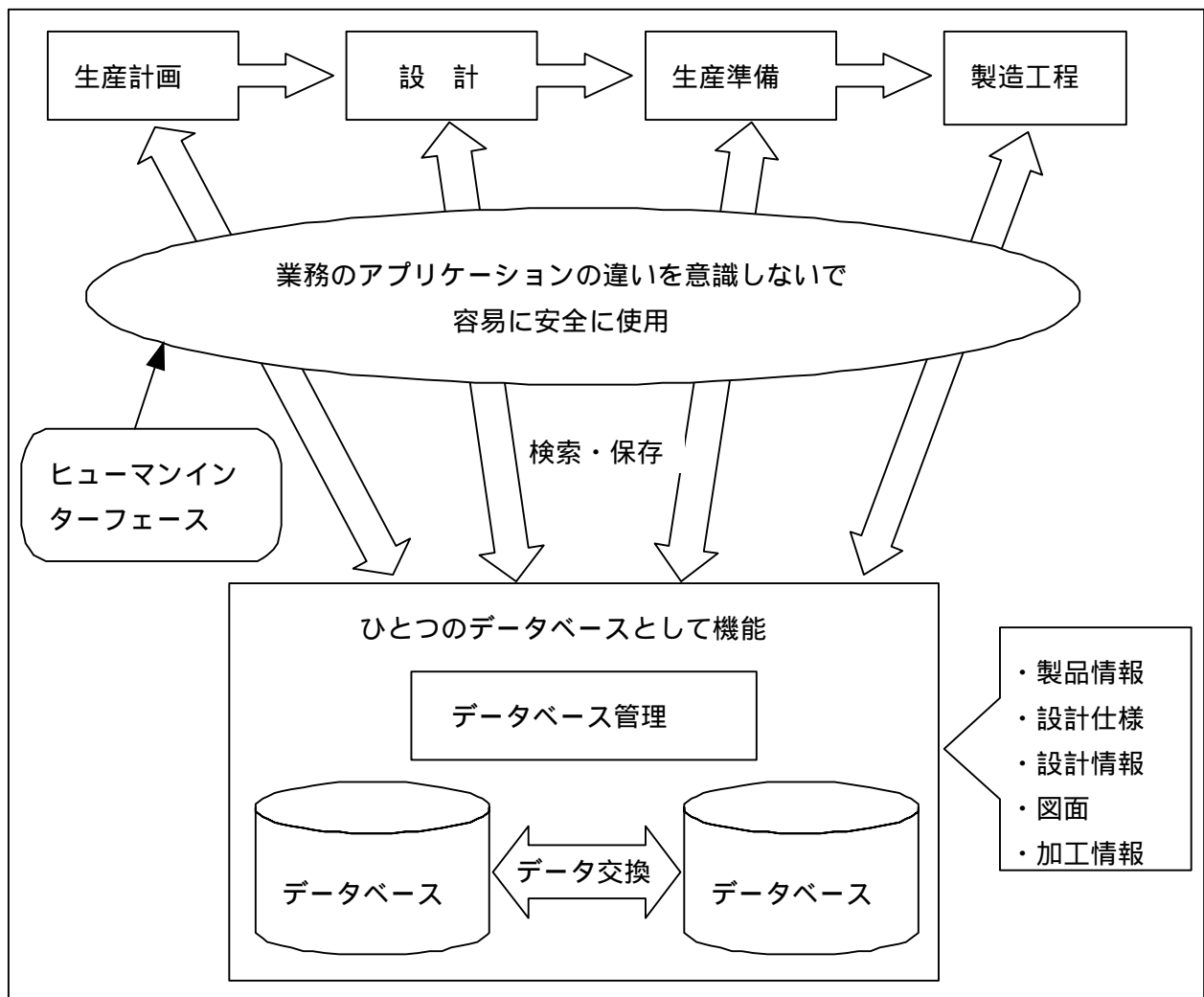


図 3.2.5 データ管理

交換の問題である。

CAD間のデータの交換形式として、これまで広く使われてきたのはIGES (Initial Graphics Exchange Specification) とDXF (Drawing Interchange File) である。IGESは、ワークステーションからパソコンCADに至る機械系図面で採用され、3次元データ交換

のためのデータ形式として利用されている。しかし、データの一部が省略されたり、データに矛盾が生じるなど、データ交換が完全に行えないという問題点が指摘されていた。DXFは、デファクトスタンダードであり、2次元データの交換を中心に広く利用されているが、IGESと同様にデータ交換が完全でない。

プロダクトモデルに基づく、データ交換形式であるSTEP規格(Standards for Exchange of Product Model Data)は、現在、ワークステーション上で動作するハイエンドの3次元CADを中心に導入が図られてきており、利用の普及ならびに実用化については、検証も含めて活発に行われ始めている<sup>3)4)</sup>。ただし、まだ一般的に普及が進んではいない。

一方、インターネット関連技術の進歩と普及、ならびにパソコンのオペレーティングシステムの高機能化により、コンピュータグラフィックスを主体とした形状表示と操作のための共通化が盛んである。そのため製品データ記述のためのデータ形式は多様化してきており、CAD、CAMの技術にも、影響を与えている<sup>5)</sup>。

一つの例は、ネットワークを介した一つの工程の協調作業実現である。ネットワークにより複数のコンピュータで、アプリケーションを共有し、複数のユーザが協調作業を行うことが可能である。またTV会議システムと併用し、複数のユーザが相手の顔を見ながら、作業を進めることができる。このような場合、同一のアプリケーションによる作業を行うため、データ交換の必要がない。

また、ブラウザ上で3次元の製品形状を任意の視点により表示させることが可能になってきた。このためのデータ形式の規定が行われており、その例としてVRML(Virtual Reality Modeling Language)などがある。現状では、表示技術であるが、形状データベースの構成、管理システムへの影響は大きい。

Windows環境のパーソナルコンピュータでは、中間フォーマットによるデータ交換を必要としないで、異なるアプリケーションからの対象の操作とカスタマイズ機能が出現している。OLE(Object Linking and Embedding)オートメーション<sup>6)</sup>と呼ばれるものであり、現状では、2次元対応であるが、3次元データをも検討されおり、3次元のデータ交換が完全に可能となることが予想される。

データベース管理では、各工程で作成した

様々なデータを一元管理し、それらを企画・設計から生産までの一連のプロセスを通じて活用できるシステムが必要になってきた。一部の大手企業ではインターネットやイントラネットを組み合わせた製品情報管理が始まっている。大部分は市販のPDM(製品情報管理; Product Data Management)を使った管理と思われる。PDMはCADデータ、手書き図面データ、仕様書、部品表、属性データ、技術データなどの関連データの管理や設計変更管理、履歴管理といったプロセス全般を管理するソフトウェアであり、図面、文書などのファイル管理機能と、部品間の関係を管理する製品構成管理機能を持っている<sup>7)</sup>。

モデリングシステム、公差解析ならびに組立性評価、金型設計ソフト、PDMとグループウェア等のアプリケーションの組み合わせにより設計から製造までのデータ統合管理を行った事例が報告されている<sup>8)</sup>。これらのシステムでは、製造工程で得られるデータもモデルに反映させ、実際の作成された製品と設計情報を一致させることをも目指している。

#### (4) 課題・問題点

異なるCADシステム間で、IGESなどの標準形式のファイルを介してデータの変換を行う場合が現実には多い。このような場合、データの間には完全な互換性がなく、矛盾や不整合が発生することがあり、このような時には手作業で修正するために、設計作業の効率が悪くなる。

この問題を解決するための一つの方法として、全業務を統一的に表現できる標準的なプロダクトモデルの開発がある。

一方、中間ファイルを利用してデータ交換をする場合、データ交換を繰り返すうちに多くのコピーが発生し、どれが最新の設計データなのか、どれが正しいデータなのかが判別できなくなることがあり、履歴の管理が問題となる。

また、ネットワークによりデータおよび操作プロセスを共有化し利用する場合、セキュリティの維持が大きな問題である。

設計、製造における類似条件での検索、修正

過程の情報のデータベース化もインテリジェント化の課題である。

### (5) 研究動向

生産に関わる情報の共通化の道具として期待されるSTEPは、プロダクトモデルの概念を基に、設計、生産準備、生産、運用などの製品のライフサイクル全体をカバーする国際標準として、ISOにより規定されている。STEP規格は、設計と製造の双方の工程での情報に対応が可能で、アプリケーションなどに依存しない形式でのプロダクトモデルが表現でき、STEPトランスレータを用いてCADなどのデータをSTEP表現によるファイルを介して交換できる。

STEPのデータモデルに基づくデータベースのアクセスインターフェースを規定するSDAI (Standard Data Access Interface) の審議も進んでおり、SDAIインターフェースにより、中間ファイルを介するのではなく、直接STEPデータを共有することができる<sup>9)</sup>。

STEP規格については、現在、実装技術の習得と実用性評価のためのプロジェクト(パイロットシステムの開発)が進められており、データの互換性や有効性について検討が行われている<sup>10)</sup>。

また、データモデルについては、ソリッドモデルと有限要素解析用データを統一的に記述できるモデルなどが研究されている<sup>11)</sup>。

ネットワーク上で使用される3次元モデルのセキュリティに関連した技術として、3次元モデルに作成者などのテキスト情報を埋め込む技術が開発されている<sup>12)</sup>。ただし、不正使用に対応するには、頑強なセキュリティ技術が必要であり、今後の研究が待たれている。

設計の修正経過のデータベース化研究として、窪田らの研究がある<sup>13)</sup>。窪田らは、エンジニアリングにおけるデータは、モノに関する知識であるプロダクト知識と、それを生成し使いこなすためのプロセス知識が統合されたものであるとし、プロダクト知識を生成、使用した経緯を蓄積できるエンジニアリングヒストリベース

を提唱している。現在試作されているシステムは、機構設計に関するシステムであるが、判断の過程を蓄積し利用が可能なデータベースとして、加工データにも適用可能と思われる。

### 参考文献

- 1) 川添浩史：「CADとチーム設計(上)」, 日経メカニカル, Vol.3, No.6(1995)
- 2) CALSが実現するデータ交換のない企業連携, 日経コンピュータグラフィックス, No.5(1995)pp94\_103
- 3) 岸浪：STEPによる技術データ統合の現状と動向, 精密工学会誌, Vol.62, No.1(1996)pp19\_23
- 4) ソリッドデータ交換の現状と課題, 日経コンピュータグラフィックス, No.11,(1997)pp148\_169
- 5) インターネットを使ったエンジニアリング・コラボレーション, 日経コンピュータグラフィックス, No.2(1998)pp245\_250
- 6) 第3世代Windows CADの魅力, 日経コンピュータグラフィックス, No.3(1996)pp98\_121
- 7) 始まった次世代設計環境への取り組み, 日経コンピュータグラフィックス, No.1(1996)pp62\_81
- 8) マツダ, デジタルモックアップを新車開発へ全面採用, 日経メカニカル, No.2(1997)pp26\_27
- 9) 中村, 小島, 久貝, 木村：「STEPを利用したCADデータベースインターフェースの標準化」, 精密工学会誌, (1993)pp1227\_1232
- 10) 田中敬昌：「AP214 国際共同開発の現状と計画」, 機械設計, Vol.40, No. 1 (1996)
- 11) 相沢民王：「CAEデータベースのためのデータの胞複体鎖モデル」, 日本機械学会論文集(C編), Vol.63, No.612(1997)pp349\_355
- 12) 3次元モデルにテキスト情報などを埋め込める電子透かし技術, 日経コンピュータ

グラフィックス , No.1(1998)pp156\_163

- 13) 窪田他 : エンジニアリング歴史ベースの研究 , 精密工学会誌 ,  
Vol.62, No.3(1996)pp377\_382

### 3.2.4 分解性・再利用性評価技術

地球資源は有限であり人口増加や生活レベルの向上に伴い、急速に埋蔵量が減少していることは周知の事実である。これらは、日本に限らず地球規模の問題であり、一人ひとりが資源の再利用の必要性を本格的に考え、社会全体として体制を整える必要がある<sup>1) 2)</sup>。

I S O 14000 に代表されるように、地球環境に悪影響を及ぼす製品輸出はもとより、顧客が製品を購入しない状況や、各種の規制が及んでくる状況<sup>3)</sup>にある。

また、製品アセスメントの観点からは、製品の設計に際して行うべき事前評価が求められるようになりつつある<sup>4)</sup>。

そこで、リサイクルを行う上で最も問題となるのは経済的な問題であるが、近年の技術開発によって、企業、あるいは消費者の負担を増加させることなく、双方にメリットの生まれる技術が開発されている。分解性評価技術や再利用性評価技術はそのような技術のひとつに位置付けられる。

#### (1) 望ましい形態

製品の分解性評価技術は、設計段階においての組立性の評価とともに行われなければならない。そこでは、部品間の締め付けや接続状態、方向などを考慮して評価され、その手順が生成される。分解性の評価後には分解作業仕様が作成され、それには分解手順とともに、構成する各部品やユニットについての材質や予測寿命などが明記されていなければならない。また、使用される素材や製品に対して耐環境性・再資源性が評価され、それに基づいて設計変更できることが望ましい。

出荷、使用された後の製品は、例えば、リサイクルセンターに集められ、分解作業仕様に基づいて分解作業が行われる。各部品の再利用性評価は、その予測寿命を参考に、使用時間、経過年数、摩耗状態などの評価が行われる。また、重要な部品においては、使用中に受けた応力、熱、振動などの負荷経歴に基づいて再生部品と

再生資源とに分類され、利用されることが望ましい。

#### (2) 実現のための必要機能

従来型の設計では主に機能・安全性・低コストを比較的重要視しているが、将来的に予想される資源再利用型社会では分解性・再利用性を考慮した製品設計が重要視される。

分解性評価については、リサイクル時に最初に行うことになる製品の分解コスト、時間などを考慮し、分解の容易さを定量的に評価することが必要である。またこの評価は、組立などの製造コスト、製品デザイン、製品性能などと共に総合的に評価され設計に生かされなければならない。

各部品あるいはユニットごとに使用中に受けた総負荷量や、負荷ピーク値などの情報が得られるようになっている必要がある。摩耗状態の評価においても、各部品やユニットごとに定量的な摩耗量の評価基準が整理されている必要がある。

組立方法などの設計では、接合部の減少や接合法を考慮し、できるだけ分解し易いような設計を行い、再生部品については分解時にその再利用性が評価可能な機能を付加するなどの工夫が必要である。それらを支援し、定量的に評価する機能が分解性・再利用性評価技術には必要であり、この技術を生かすことにより、製品制作に関わる総コストは抑制され、資源の再利用、循環が促進されなければならない。

#### (3) 現状

現状では、分解・再利用を考慮したC A Dや分解・再利用性評価に関しては実用レベルには至っていない。前述の廃棄物処理、省資源などの環境問題が続々と噴出している今日では、特に重要と思われる設計段階での対策を考える必要がある。そのためには、漠然としている分解・再利用性の評価を整理・定量化し、設計した製品に対して、生産、流通、使用、廃棄、各段階での分解・再利用性を評価する支援システムが必要である。

また、各段階での分解・再利用性を考慮した

標準化・規格化・データベースの構築を合わせて行うことが重要であり，その検討が進められている．

#### (4) 課題・問題点

分解・再利用性評価技術の開発・普及には次の課題，問題がある．

評価の精度向上

評価方法の簡略化

評価時間の短縮

部品の寿命予測センサの開発

部品の寿命予測センサには，例えば，負荷履歴素子の開発があるが，取り付けによる製品製造コストの上昇，取り付けによる製品設計の自由度の減少，機能の低下などの問題がある．

これらの技術が生かされるのは，主に製品のリサイクルを行うときである．このリサイクルを積極的にすすめ，常識的な行為にするためには，企業や消費者だけでなくすべての人が，環境問題，資源問題を真剣に考える意識改革が必要である．また，行政の積極的な指導や対策と，欧州に見られるような法整備が必要である．

#### (5) 研究動向

分解や組立を容易にする結合方法<sup>9)</sup>，あるいは分解を要しない再利用の方法や技術<sup>5)</sup>などが研究されている．評価項目として分解・再利用に関わる部品と，作業や部品の挙動などの要素からなり，部品では材質，形状，重量など，作業の要素では分解条件，方法，方向などに分類した研究がある<sup>9)</sup>．

各項目は分解の効率，時間，コストなどのデータ解析から分解のしやすさが数値化されており，類似性の高いものを集約するなどして使い易くしている．表 3.2.1 および表 3.2.2 はその例を示したものである．

分解性評価を効率よく行うためにCAD上で自動評価するシステム(文献7)の研究では，式1および表 3.2.3 に示すような基準で，各作

表 3.2.2 基本要素と補正要素

表 3.2.1 評価項目

部品材質項目	材 質	部品の材質
	硬 度	部品の硬度
	重 量	部品の重量
	仕 様	取扱の条件
部品形状項目	保 存	保管の条件
	基 本	外形形状
	付 帯	詳細部形状
作業項目	特 徴	形状の主な特徴
	寸 法	部品の寸法
	作 業	部品の組立条件
	方 向	組立方向
作業項目	周 辺	組立周辺の条件
	ベ ース	ベースの状態
作業項目	付 帯	組立の付帯条件

業ごとの評価の平均や，自動化の可能性，必要な作業員の数，製品の完成度などを考慮した作業ごとの評点方法の研究例がある．

また文献6)では，分解性評価において，リサイクル時に最もコストのかかるリサイクル製品の分解作業について，実際に分解を行った結果から，結合の解除に要した時間に対応して結

合種類を分類できることを示し，分類に対応した指数を用いることにより，実際の分解に要する時間を評価できるとしている<sup>6)</sup>．

評価を活用した設計の研究(文献8)では，設計内容やその変更による対環境性を評価する手法とそのツールを組み込んだ設計支援システムの開発が行われている．そこでは，設計の際

に分解・再利用性の評価を行い，その結果を設計に反映することにより，分解・再利用性の良い製品の効率的な設計，製造を可能にしたとしている．

**具体的には；**

- 1) 素材：可能な限り同一の素材を用い，偏らせて配置させる．再利用の容易な材料をできるだけ多く使用する．また，有害な物質を少なくする．
- 2) 構造設計：部品の一体化を行うなどして，分解時の作業を削減する．消耗品やリサイクル品のみを取り外しを可能にするなどの工夫をする．
- 3) 部品設計：部品点数の削減や結合する部品の材質の統一などを行う．
- 4) 分解設計：挿入部の形状や面取，寸法精度の見直しなどで分解を容易にする．また使用工具を減らすなどの工夫をする．
- 5) 分解順位：分解手順，順位の最適化および結合箇所の明確化などを検討する．

**参考文献**

- 1) 永田勝也：製品設計とリサイクル，精密工

学会誌，Vol.58,No.1(1992)pp18\_23

- 2) 永田勝也：リサイクル型製品設計からライフサイクルアセスメントへ，日本機械学会誌，Vol.98,No.917(1995)pp309\_312
- 3) 中村茂弘：リサイクル対策とIE/QC等の問題解決法の適用，経営システム，Vol.7, No.1(1997)pp52\_59
- 4) 小柳秀明：C J Cにおける製品アセスメント事業への取り組み，リサイクル技術研究発表会講演論文集，(1996)pp81\_82
- 5) 竹原あき子：環境先進企業，日本経済新聞社，(1991)
- 6) 大西 宏：家庭電器製品に対する分解性評価方法の検討，National Technical Report, Vol.41,(1995)pp285\_289
- 7) 式1，表3.2.3  
弘重雄三：分解性評価法の開発，日本機械学会環境工学総会シンポジウム講演論文集，Vol.5,(1995)pp159\_162
- 8) 服部光郎ほか：廃棄物の減量化・リサイクルのための製品設計変更の評価と解析に関する研究，平成6年度機械技術研究所終了研究成果報告集，(1995)pp225\_235

表 3.2.3 評価の基準

100～70点	容易な組立/分解 ・人間が容易に組立/分解 ・標準的なロボットで対応
～50点	やや習熟を要する組立/分解 ・人間がやや習熟を要する組立,分解 ・標準的なロボットに付加価値を要す
～0点	困難な組立/分解 ・人間では困難な組立,分解 ・ロボットの対応は不可

$$E_i = 100 - \tau \times f(\text{改良可能な動作の時間値})$$

$E_i$ :分解性評点     $\tau$ :減点定数

式1 分解性評価点

- 9) 表 3.2.1，表 3.2.2

山際康之：製品の生産から廃棄まで，自動車技術，Vol.49,No.11(1995)pp25\_30

### 3.2.5 製品寿命予測技術

製品寿命の予測技術は、製品のライフサイクルを考慮した設計を行う場合に必要不可欠な技術の1つである。製品の寿命には、製品機能の劣化からくる寿命と、製品機能やデザインなどの陳腐化からくる寿命とがある。機械製品の設計段階で対象となる製品寿命予測は機能劣化からくる寿命が対象となる。

製品の機能劣化を引き起こす要因には、

- 1) 強度不足による破損
  - 2) 負荷応力による疲労
  - 3) 摩耗
  - 4) 使用環境による腐食
- などがある。

設計時に設定した値をこえて負荷が作用するケースがあるが、これによる破損等は予測の範囲外となる。

#### (1) 望ましい形態<sup>1)</sup>

製品のライフサイクルを考慮した設計においては、製品の寿命予測を行う必要がある。そのためには、製品の各部品について

負荷応力による疲労度合いの予測

摩耗度合いの予測

腐食度合いの予測

を行い、これらの評価に基づいて各部品の寿命評価を行うとともに、総合的な評価に基づいて、製品としての寿命予測ができることが望ましい。

#### (2) 実現のための必要機能

部品および製品の寿命予測をする場合、次の機能が必要である。

- 1) 各種負荷に対する材料寿命のデータベースの整備。
- 2) 実働加重（応力履歴）と寿命との相関関係を明確化すること。
- 3) 使用環境（腐食疲労）と寿命との相関関係を明確化すること。

#### (3) 現状<sup>2)</sup>

現状での製品および部品の寿命予測についてみると、飛行機や自動車において、経験から重要部品を対象に安全性を持って重要部品の交換

時間を設定している。

また、疲労寿命評価のための解析システムとして亀裂発生（原則としてマイナー則を用いたもの）と亀裂発展を対象としたものがある。マイナー則とは、部材が1サイクルの応力によって受ける被害量と、作用サイクル数の積から累積被害量を求め、その値が限界値に達した時点で寿命と判定する計算方法である。しかし、この計算方法のみでは、モデル試験においてさえ、予測値と一致しない場合が多い。その理由は、被害と言うものが直線的に進行すると仮定しており、実際は変動加重であり、履歴の影響を受けており、微細クラックの存在なども無視しているためである。

変動加重下では疲労限度より小さい応力振幅も疲労損傷を生じると言われている。このため、S - N曲線の傾斜部を疲労限度以下まで延長し、近似して適用する修正マイナー則が使用されている。

実際には、様々な不確定要素があるため、経験（試験等）をもとに安全率を決め、寿命を決定しているのが現状である。

#### (4) 課題・問題点

- 1) 各負荷に対する材料寿命のデータベースが整備されていない。
- 2) 負荷応力の履歴（応力疲労）と寿命の関係が解明されていない。
- 3) 使用環境（腐食疲労）と寿命との関係が解明されていない。

疲労現象自体が複数の因子によって生じるため、疲労寿命が大きくばらつく。

実働条件下での各部品には各種負荷が組み合わされて作用しており、単純な試験のみで評価し得ない部品が多くある。部材の寿命を算定する際には、どのような繰り返し負荷が、どのような限度で作用しているかの正確な情報が重要である。

このような不確定要素を数値モデル化して、解析手法に如何に取り込むかが課題となっている。

#### (5) 研究動向

### 1) 航空機における寿命予測技術<sup>3)</sup>

限界まで機体を軽くする航空機では、金属疲労を避けることが出来ない。その対策のための安全寿命設計として、部分的に生じた損傷が致命傷に至らないよう、簡単にその部品交換が出来るようにするフェールセーフ設計が行われてきた。さらに、疲労による亀裂の発生や進展を容認し、設計時の疲労力学による亀裂進展予測、あるいは運転中の検査による亀裂の検出、監視で安全性を確保する損傷許容設計などへと変遷してきている。

しかし、実際に存在する欠陥の大きさは不明であり、またその進展速度も変動する。このため、損傷許容設計での実際の寿命も変動する。そこで、積極的に破壊の制御を行う破壊制御設計が提案されている。破壊制御設計では、まず破壊の種類・亀裂発生箇所・亀裂進展経路・亀

裂進展速度等の制御を考える。これによって欠陥の変動を最小化し、実際寿命の変動を取り除き、予測寿命の信頼性を確保しようとしている。

### 2) 材料強度の確率モデル<sup>4)</sup>

S - N特性バラツキの定量評価については、破壊確率を指定したP - S - N特性を基礎とする手法が普及しつつある。このP - S - N特性は、図 3.2.6 の破壊確率曲線で表示され、応力を固定したこの曲面の断面が疲労寿命の分布関数を与え、他方、寿命を固定した断面が疲労強度の分布関数を与えることになる。

疲労強度、疲労寿命を確率分布として取り扱った解析や疲労亀裂の発生と進展挙動の統計的変動特性を考慮した解析等が研究されている。

### 参考文献

- 1) 林真琴他：強度設計の方法，機械設計，Vol.41, No.4(1997) pp70\_80
- 2) 式田昌弘他：自動車の強度，山海堂，pp.79\_99
- 3) 小林英男：破壊事故から学ぶ設計の盲点，

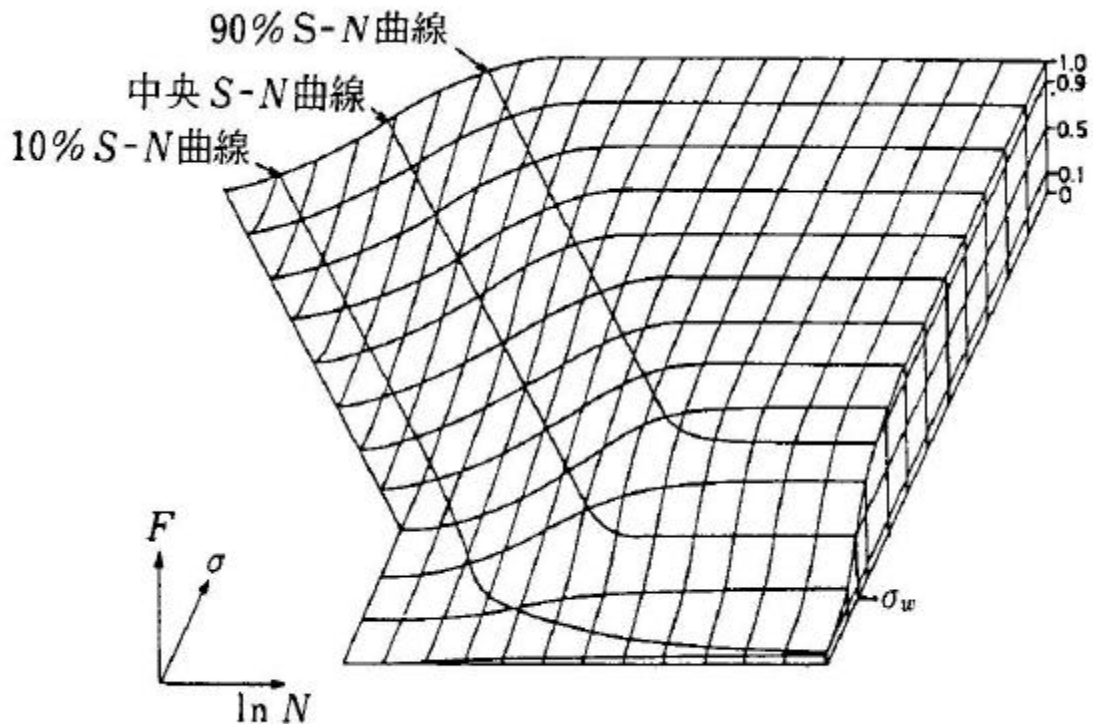


図 3.2.6 破壊確率曲線と P-S-N 曲線

機械設計 , Vol.41, No.9(1997)pp38\_42

- 4 ) 酒井達夫他 : 材料強度の確率モデル(14) ,  
機械の研究 , Vol.49, No.8(1997)pp81\_88

### 3.3 加工モデル作成

設計の段階では、設計者の表現方法に基づいて製品のモデルが作成される。一方、製造工程で取り扱うモデルは、製造工程に必要な情報が効率よく表現されていることが要求される。加工モデルの作成は、設計されたモデルから製造工程に適したモデルへの変換である。

加工モデル作成の基盤となる生産情報の取り扱いには、近年大きな変化が見られる。コンカレントエンジニアリングの進展により、設計と製造に関わる情報は、いかなる工程からでも、アクセスされ可能な処理がなされるよう統合的に管理されていることが要求されている。

従って、コンカレントエンジニアリングを実現していくためには、上流のCADから下流のCAMへ一方方向でのみ流れることを前提としたモデルでは不十分である。設計と製造で使われるモデルが、共通であるか、あるいは、相互に変換が可能であり、どの工程からでも、参照や処理が円滑に行われる必要がある。

ここでは、このような設計と製造工程にわたる製品のモデルの取り扱い動向をふまえ、加工モデル作成におけるインテリジェント化の問題を取り上げる。ここで取り上げる工程の他の工程との関連を図3.3.1に示す。

3.3.1節では、加工モデルの作成として、製造工程に適したモデルのあり方、および製造工程で必要とする情報の付加の問題を、機械加工の場合を想定して取り上げた。3.3.2節では、加工図が入力される場合を想定し、図面による入力の問題を述べた。

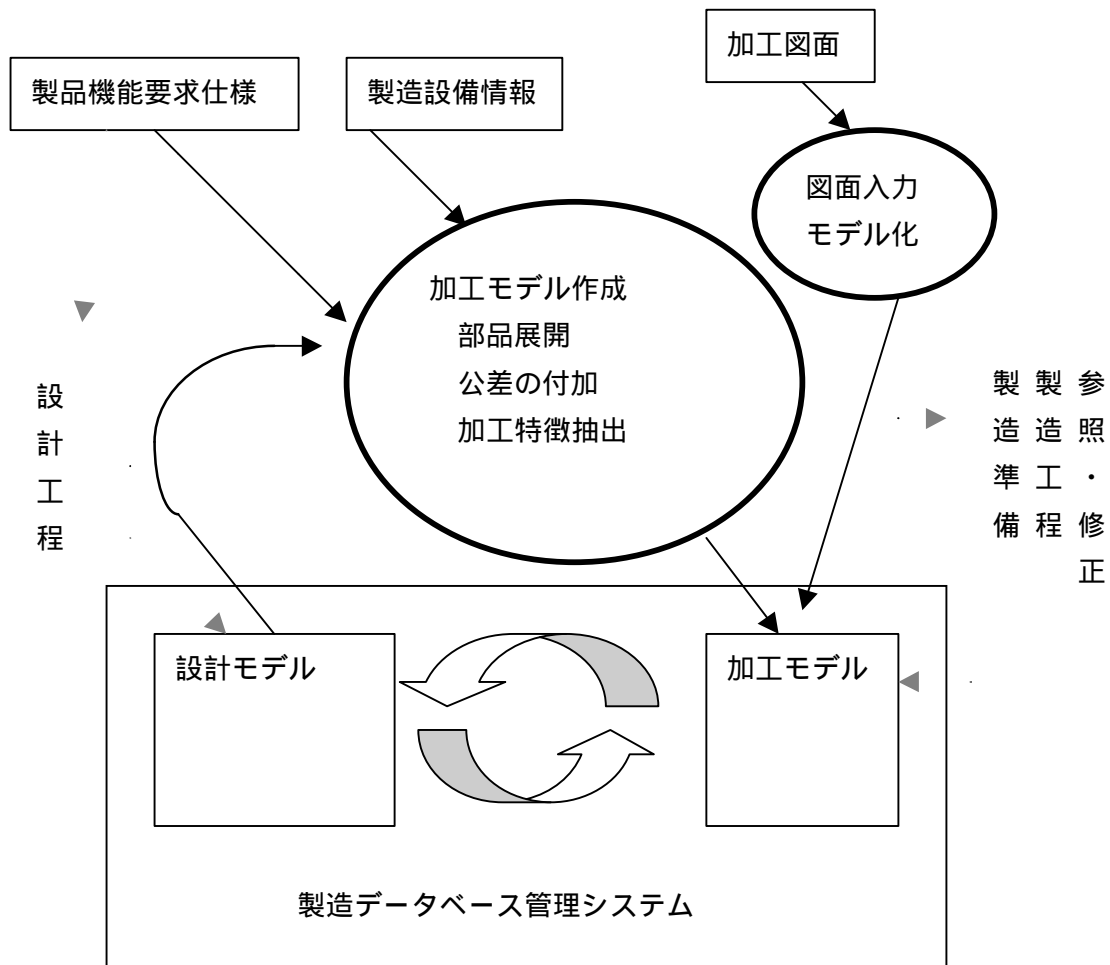


図 3.3.1 加工モデル作成と管理

製造情報の管理・検索の問題については、  
3.2.3 節で取り上げている。

### 3.3.1 加工モデルの作成

#### (1) 望ましい形態

加工モデルは、製品の加工工程での処理に必要な情報が過不足なく備わり、処理に適した形で表現されているモデルである。加工モデルが自動的に生成されることが望ましいが、そのためには、製品への要求仕様と製造設備情報から必要な情報が自動的に生成され、設計されたモデルに付加されなくてはならない。必要な情報を自動的に生成できない場合は、不足する情報を入力させるためのナビゲーションシステムを持つことが望ましい。

付加すべき情報の一つは、公差である。CADシステムで作成するモデルは、通常、決められた特性と形状を誤差なく持つものとして扱われるが、製造工程における製品のモデルは、対象の形状や位置関係に公差を持つことが当然であり、これらは、製造工程の決定に影響を及ぼす。

加工工程を決定するために必要な形状の加工特徴の記述も付加されるべき情報である。

#### (2) 実現のための必要機能

- 1) 製造工程で必要とされるすべての情報が表現されていること
- 2) 対象とする製品に必要な情報の項目が自動的に判断できること
- 3) 製品に対する要求機能仕様を満足するように、各部品間での寸法公差配分、表面粗さや幾何学的形状公差の設定などの情報がシミュレーションなどにより自動的に生成され、あるいは容易に設定できるように支援されること

公差の自動設定には、以下の項目が必要である。

- (a) 組立てられた製品モデルにおいて、その構造の各部品間の運動、固定関係と、各接続部品間の接続状態などが工学的意味を持って表現されていること。

- (b) 各部品間の運動、固定関係、およびその接続状態と、寸法公差配分、形状公差、表面粗さとの関係が体系化されていること。

- 4) 加工特徴情報を抽出する機能を有すること
- 5) 自動決定できない加工情報の入力作業を支援すること
- 6) CADシステムから得られる情報とCAMシステムの情報の整合性を検証する機能を有すること

#### (3) 現状

加工モデルの作成は、設計におけるモデルから、製造におけるモデルへの変換作業である。CADとCAMがそれぞれ別個に発展してきたため、この接点で生じる問題はユーザがそれぞれ独自に努力し処理してきた。

加工についての配慮は、情報の受け渡しの問題も含め、設計の段階ではなされないことが多い。部品展開を行い加工図を作成する段階で、製品への要求仕様から必要な情報を抽出し判断し、新たに付け加えることとなる。

公差の設定は、標準部品の場合、公差配分とその設定方法が体系化され、データベース化され実用に供されている。しかし、一般加工部品に対する公差配分と設定方法は熟練作業者の経験によって培われたノウハウに基づいて行われているのが現状である。

設計と製造での製品のモデルについて、情報の項目の整備という点で進展がみられている。新たなCAD間のデータ交換形式として提唱されているSTEPは、製品モデルとして設計および製造工程双方での情報を対象としており、当然、加工情報についても規定されている。設計情報から、STEPの規程に従った形の製造情報を自動生成する試みもある<sup>1)</sup>。

3次元モデリング、公差解析、技術データベース管理、グループウェア数種類のアプリケーションの組み合わせにより、設計から製造まで共通なモデルを用い統合管理を行っている事例が報告されている<sup>2)</sup>。ここでは、公差情報がリンクされたデジタルモックアップを用いることにより、NC制御情報の作成を円滑に行わせ、

さらに、加工した形状の測定で得られるデータもモデルに反映させ、実際の作成された製品とモデルを一致させることを検討している。

#### (4) 課題・問題点

CADとCAMの結合に関する現状の問題として以下のような項目が井上によってまとめられている<sup>3)</sup>。

- 1) CAD側からの材質、検査の指示、溶接、熱処理の指令などの技術情報がうまくCAMへ伝えられない。
- 2) 加工モデルが明確にされておらず許容差、形状精度などの取り扱いが体系化されていない。
- 3) 手書きの加工図の入力環境が整備されていない。
- 4) CADシステムとCAMシステム間でのデータ交換が不完全である。

これらの問題を解決するため、製品のモデルとして、形状データの他に、指示文書、図、記号等の技術データを含めた情報の枠組みを整備し、普及を図ることが必要である。

また、公差の設定や検査位置の決定等の、過去の例を参照したり、経験者のノウハウにより決定されている項目について、決定の過程を分析し、決定方法を確立することが課題である。

#### (5) 研究動向

加工情報の自動決定ならびに、設計と製造の双方で利用できる製品モデルの研究の例をあげる。

公差を自動決定する試みとして、関口らの研究がある<sup>4)</sup>。そこでは、回転機能部品を例として取り上げ、部品展開作業の中で、寸法公差、幾何学的公差および表面粗さの自動決定を試みている。公差を決定する前提として、部品間の接続関係を分類し、レベルの設定を行う。接続される他の部品の寸法から、寸法公差が満足すべき数値的な条件を導出し、部品の種類に応じた公差値設定のルールを設定する。幾何学的公差については、基準軸あるいは基準面の自動設定方法を決定し、公差設定の規則化を行っている。それらの条件とルールを用いて自動設定を

試みている。試作したプログラムにより自動決定を行った。また、導出された数値条件により設計の誤りを検出できるという利点もある。

正木ら<sup>5)</sup>は、加工情報生成に必要な形状特徴の抽出が容易であるようなソリッドモデルを提案した。このモデルは、形状の設計から加工情報の生成まで利用できる。必要に応じて任意の形状特徴の抽出を行うために、形状抽出の要素となる共通の幾何要素を特徴候補として設定し、オブジェクト指向概念に基づいたデータ表現により、形状に付帯する補助要素を付加して表現する構造となっている。

乾ら<sup>6)</sup>は、CADシステムがもつモデルで、公差の処理を可能にするための幾何公差方式を提案している。現在の方式は、単純な形状について個別に定義されており、汎用的な規則でない。複雑な形状に適用でき、また、システム開発の効率化から汎用性のある幾何公差方式が必要であることから、平面と円筒面の複数の面分から構成される形状に適用可能な新たな幾何公差方式による理想形体と公差域のモデルを示し、モデルの妥当性を検証している。

前田らは<sup>7)</sup>公差の表現を含むモデリングシステムを提案している。

伊藤らは<sup>8)</sup>、公差値の大きさより、許容限界の種類に適否と誤差抑制方法の決定の方がより本質的であり優先されるべきであるとし、「合わせ」、「追い寸」を取り扱うことができ、誤差の生成系統が表現できるモデリングシステムを開発している。部品の位置と姿勢の許容限界の計算機表現法、部品の配置と接続関係の表現方法を提案し、実装したシステムでは、部品について形状誤差の傾向を考慮にいった寸法公差、幾何公差指示の支援が可能である。

設計の段階から公差情報を考慮する試みについては、3.2.1 設計の節(5)研究動向に述べてある。

#### 参考文献

- 1) 坂本：CAD/CAM統合におけるSTEPの役割、プレス技術、

Vol.35,No.1(1997)pp30\_37

- 2) マツダ, デジタルモックアップを新車開発へ全面採用, 日経メカニカル, No.2(1997)pp26\_27
- 3) 井上: C A DとC A Mの結合, 精密工学会誌, Vol.60,No.4,(1994)pp497\_501
- 4) 関口: 回転機能部品の部品展開手法に関する研究, 精密工学会誌, Vol.54,No.9(1988)pp160\_165
- 5) 正木: 形状特徴抽出を指向したソリッドモデリング手法, 精密工学会誌, Vol.57,No.1(1991)pp110\_115
- 6) 乾: 複数の面分かなる形体への適用可能な幾何公差方式の提案, 精密工学会誌, Vol.60,No.6(1994)pp837\_841
- 7) 前田: 寸法公差および幾何公差の計算機処理に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), Vol.63,No.607,(1997)pp1029\_1036
- 8) 伊藤: 設計対象モデリングにおける許容限界の表現と指示, 精密工学会誌, Vol.62,No.5(1996)pp796\_711

### 3.3.2 図面入力

#### (1) 望ましい形態

画像データとして入力される図面から, C A DあるいはC A Mシステムで取り扱うモデルを自動的に作成するのが理想である.

図面を入力するのは, 手書きの加工図などを入力する場合と, また, C A Dから出力された図面を何らかの理由で再入力する場合である.

また, 図面で保管されている過去の製品について, 設計および製造情報を図面から入力し, これらの情報をデータベースに加え活用したい場合もある.

手で紙に描くことは人間にとって親しみやすく自然な行為であり, 手書き図面の入力, ヒューマンインターフェース技術の進展とともに将来的にも存続するものと思われる.

#### (2) 実現のための必要機能

入力された図面から形状のモデルを作成するとともに, 必要な属性情報を読み取る必要があ

る. 3面図で表現されている3次元の形状でも, 3次元モデルを作成しないで作図されている場合は, 整合しない情報を含む可能性もあり, 情報の不備のチェックを行う機能も必要である.

主として3面図で描かれている図面からのデジタルベース化では, 以下の機能が必要とされる<sup>1)</sup>

- 1) 図面の構成要素(外形線, 矢印, 寸法線, 文字列)の確認
- 2) 外形線と属性(寸法値など)との整合チェック
- 3) 3面図から3次元形状の復元

また, スケッチや写真などの場合は, 対応する位置の情報がない2次元情報から3次元モデルを作成する必要がある.

#### (3) 現状

機械図面は, 対象の形状が限定されないため, 図面から線図形の抽出を行う場合に, 図面の構成要素の誤認識が生じる場合がある. 文字と寸法線とが接しているような場合の認識率は低い.

従来, 認識可能な形状には制限があったが, 最近では, 様々なアプローチがなされるようになり, 認識性能, 速度が改善されるようになってきている.

複数の写真から立体モデルを構築するパッケージソフトウェアも市販されているが, 対応する位置を自動的に決定するには至っていない<sup>2)</sup>.

#### (4) 課題・問題点

図面情報を読みとり内容を理解する技術は, パターン認識技術が基礎となる. あらかじめ存在する要素の形が明確であり, 図面上にも間違いがなく, 要素の重なりや不明瞭な点がない場合は, 照合により比較的容易に解決できる場合が多い. 容易に解決できない場合は, 人間の持つパターン認識能力や経験および勘の定式化が図面認識の課題である.

#### (5) 研究動向

3面図からの立体モデルの構築は早くから研究されている.

出沢<sup>1)</sup>は, モデル構築にあたり, 3面図情

報を論理的に再構成する方法をとり，線図形の特徴抽出法を報告している．この中で出沢は，3面図情報からでは，立体が一義的に決定できない場合があること，および，人間が頭の中で立体を構築するプロセスを再現する必要があると指摘し，この形成過程の特徴を次のようにまとめてまとめている．

- 1) 理論的というよりむしろ経験的である．
- 2) 図形は定性的に扱われる．
- 3) 思考が並列的である．
- 4) 三面図へのフィードバックがなされている．

これらの指摘は，3面図だけでなくスケッチ，写真などの2次元情報から3次元モデルを構築する場合に共通の問題であるといえる．

図面要素の認識では，判定のため，線幅，要素の接近などに厳密な制約を課して描かれた図面だけを対象とする場合は，実用価値が低い．コピーされた図形などにも対応できる認識技術が必要である．

北島<sup>3)</sup>は線幅のばらつきがあるなどのJISの制約に厳密には従っていない図面に対して，線要素の分離を試みた要素の複数の特徴併用，画像判定の閾値の自動決定などの導入により，認識方法の改良を行った．

また，太田<sup>4)</sup>は構成要素の多い図面情報を決定していくためには，図面を局所的に判断し構成要素を認識するボトムアップな方法と図面を大局的にみるトップダウン的な方法を統合し，判定する構成要素の候補を絞る方法を用いている．エキスパートシステムのブラックボードモデルをフレームとしてシステムを作成し，実際の図面で認識実験を行い有効性を実証している．

3次元モデルを持たないCADシステムから出力された図面は，3次元モデルとしての矛盾の有無をチェックする必要がある．

辻尾<sup>5)</sup>は，2次元CADシステムを使って作成された機械図面から3次元モデルを構成する場合に，2次元図面の相互の矛盾を検証し，誤りの訂正を示唆する修正支援システムを提案している．

## 参考文献

- 1) 出沢：3面図からの立体形成のためのシステム，日本機械学会論文集，Vol.38,No.310(1972)pp1267\_1276
- 2) デジタルカメラから3次元モデルを作る，日経コンピュータグラフィックス，No.3(1997)pp162\_173
- 3) 北島：機械製図図面の認識，精密工学会誌，Vol.58,No.1(1992)pp169\_176
- 4) 太田：機械図面自動認識システム，精密工学会誌，Vol.60,No.4(1994)pp524\_529
- 5) 辻尾：CAD作図された機械図面に対するコンピュータ支援寸法検図システム(第3報)，精密工学会誌，Vol.62,No.2(1996)pp265\_269

## 3.4 生産準備

生産準備作業は，設計工程と製造工程をつなぐインタフェース部として設計工程で作成された設計情報に基づいて，製造工程で必要とする全ての情報を作成する．その生産準備作業は大きく工程設計，治具設計，作業設計の3つから構成されている．図3.4.1は，その生産準備工程の概念図を示したものである．

加工の自動化，省力化，無人化が進展するにつれて，工程設計及び生産を補助する段取り作業の効率化が一層重要になってきている．しかし，熟練技能者・技術者の高齢化，バブル崩壊後各企業のリストラの中での配置転換などにより，加工段取りができる技術者の不足が顕著になってきているので，生産準備工程のシステム化が急がれている．

生産の流れの中で，生産準備の過程で必要とされる作業を列挙すると次のようになる．

- 1) 工程設計においては
  - a.製品図面から加工図面への変換
  - b.素材の種類決定
  - c.素材となる棒材・板材の寸法決定，切断方法の決定，鋳造，鍛造などによって製作する場合には，加工方法についても決定する．

- d. 素材から製品組立までの加工，組立，検査方法の決定とその順序の決定．
  - e. 加工，組立，検査で使用する機械，装置の決定．
- 2) 治具設計においては
- a. 個々の機械・装置で使用するジグの設計
- 3) 作業設計においては
- a. 個々の機械における加工シーケンスの決定
  - b. 加工シーケンスに対応した使用工具の決定
  - c. 各使用工具に対する加工条件の決定
  - d. NCなど加工プログラムの作成
  - e. 標準加工時間の設定
- 但し，ここに示したのは主作業工程が切削の場合についてである．
- 工程設計及び段取り作業は，現在の生産工程

では，最も重要な位置を占めており，これまでには，この部分の効率化が重要であるという認識の中にあっただが，さらに，若手技術者の育成，自在に段取りのできる技能者・技術者の確保が課題となっている．これまでの先輩から後輩への技能・技術の伝承というスタイルから，システムとしての対応が今まで以上に求められようとしている．

### 3.4.1 工程設計

#### (1) 望ましい形態

設計工程で作成された設計情報を入力として，製品機能仕様を実現するために各部品毎に加工仕様（加工図），例えば，寸法公差，幾何形状公差，熱処理の内容などを決定する部品展開作

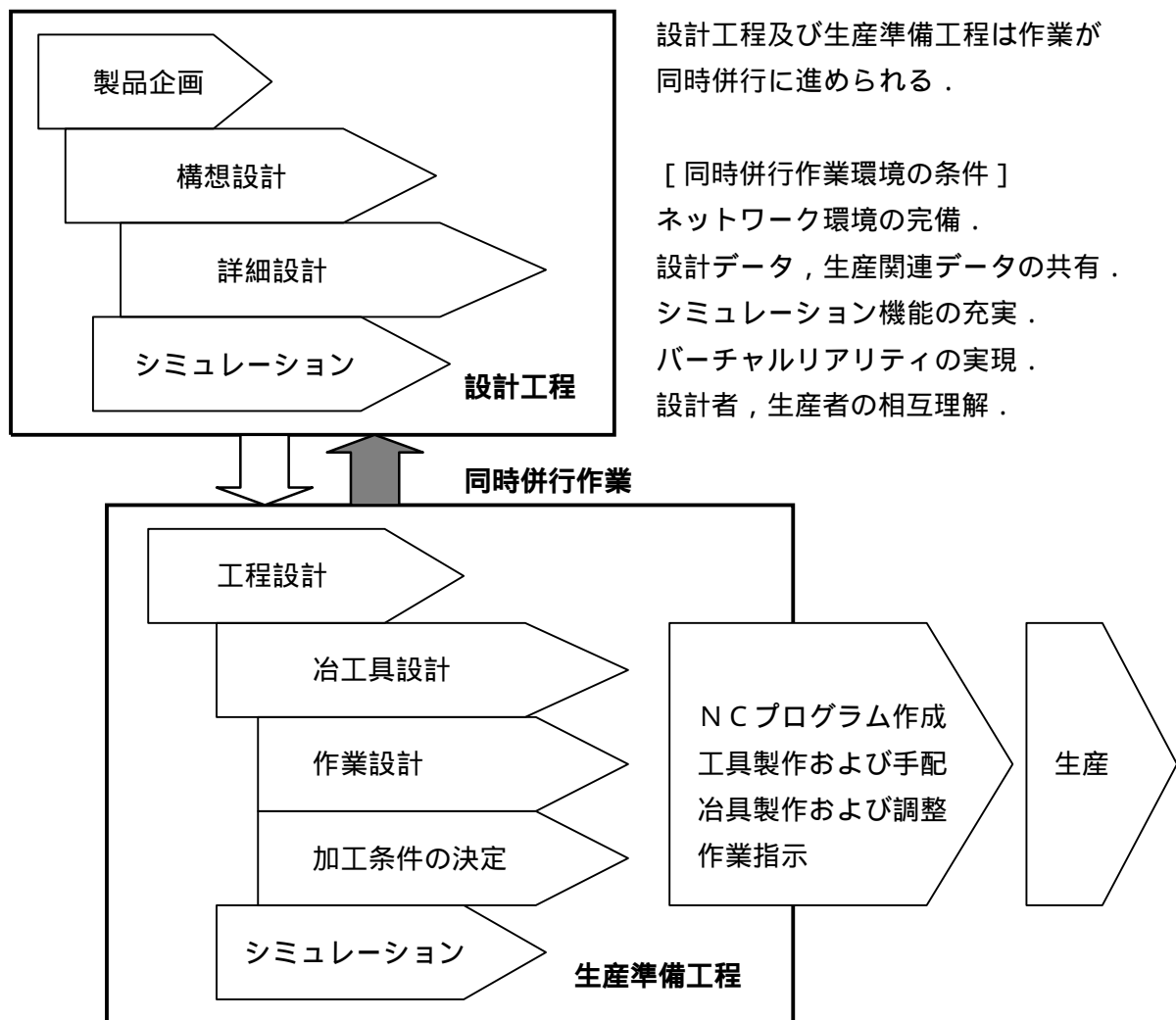


図 3.4.1 生産準備概念図

業を行う。その加工仕様と生産ロット、コストなどに基づいて素材の仕様決定を行うと共に、必要な加工、組立、検査方法の決定とその順序を決定する。更に、決定した各加工、組立、検査方法毎に使用する最適な機械、装置が自動的に処理・決定されることである。

## (2) 実現のための必要機能

CADで設計された設計情報に基づいて部品展開され、加工に必要な寸法公差、幾何形状公差の設定、あるいは熱処理の指定などが決定されなければならない。そのためには、要求機能仕様と部品レベルに対する寸法公差配分、幾何形状公差配分について整理体系化されていなければならない。

加工法とその順序の決定においては、加工形状、精度、加工コストなどを考慮して決定する必要がある。そのためには、加工形状の分類とその分類形状と加工精度に対応する加工法、加工法順序について整理体系化すると共に、データベース化しておく必要がある。

使用機械の決定は、加工形状、精度、コスト、加工能力などを考慮して決定する必要がある。そのためには、使用機械毎にその機械仕様と共に、対象形状、可能加工精度、標準加工時間、加工コストなどに関するデータベースの整備が必要である。

素材から単純に一つの加工機で加工される場合には、CAD/CAMで加工プログラムを出力し部品化することは比較的容易であるが、複数の工程を経る場合、特殊な取り付け具を必要とする場合には、工程設計、作業設計を含めたシステムが必要とされる。

製品設計情報、生産管理情報から工程設計が行われる。ここでの出力は、機械・設備間の製品加工手順、同一設備内での作業手順などである。加工方法、加工手順、作業手順設定においては、当然、意志決定のアルゴリズムと参照すべきDBおよび加工条件DBが必要とされる。これらを迅速かつ詳細に提供できるシステムとこれをサポートするDBは不可欠となる。

システムが開発されればすべてが解決するわ

けではない。工程設計が自動的に処理しうる形態になっているとすれば、前後処理にあたる生産管理、生産工程・生産システムもシステムとして整備されていなければ効率的な成果は得られない。

複数の工程を経る場合には、外注加工を含め、現有設備の中からの使用機械の選択、使用機械の特性を加味した加工手順、作業手順の選択が必要となる。併せて、加工材料に応じた加工条件の決定も必要な機能である。

## (3) 現状

これまでの工程設計では、熟練技術者が知識、技術、経験を活かして、製品図面から加工すべき部品の素材形状設計、加工方法、使用機械、加工順序、組立手順などを設定してきた。しかし、熟練した技術・技能を持つ技術者が次第に少なくなってきたこと、受注してから納期までの期間が短くなってきていることから、コンピュータ利用による工程設計の自動化省力化を進め必要性が高くなってきている。

特に、CAD/CAMが十分に実用できるレベルになってきたことから、その延長上にあるコンピュータによる工程設計支援は、重要かつ緊急に開発すべきシステムであり、CAPP (Computer Aided Process Planing) と呼ばれる。

工程設計システムはGT手法を利用したもので、類似形状、寸法、精度などに基づいて分類コード化されている。その各分類グループには必要な加工法とその加工順序が整理され、デシジョンテーブル(決定テーブル)としてファイル化されている。

デシジョンテーブルの作成は、各企業で取り扱っている加工部品を対象に整理したもので、日本では各企業の専用システムとして開発され使用されてきた。ヨーロッパでは各企業の3千枚以上の設計図面を対象とした汎用的なシステムも開発されている。

10年程前から、企業向け工程設計システム構築支援ソフトの提供が見られるようになったが、使用事例がオープン化されることは少ない

ので、実体は不明である。中小企業における使用例はほとんど見かけない。

中川らの調査報告<sup>1)</sup>によれば、日本では、金型生産リードタイムにおける金型設計には13～21%が費やされ、工程設計には4～8%が費やされている。

#### (4) 課題・問題点

加工法と加工順序の決定方法は、各企業の加工ノウハウとして、各熟練作業員あるいは生産技術者によって蓄えられてきた。熟練技能者の不足および自動化、省力化に起因する技能者の育成が困難な現状においては、企業内に内蔵されている加工ノウハウを開放して、整理できるものは体系化し、あるいは加工ノウハウそのままの形式で早急にコンピュータ化し、後世に引き継ぐ必要がある。

具体的課題としては、加工形状、精度と加工法、加工手順との関係を体系化、あわせて設備機械の剛性、精度の客観的評価法の確立、加工ノウハウコンピュータ化のための表現方法とその検索・推論方法の確立が必要である。

ここで求められているのは、加工手順、作業手順を具体的にソフト化することであり、整備されていない加工データを体系化することである。

#### (5) 研究動向

コンピュータを用いて自動的に工程設計を行うシステムの殆どが生産すべきモデルに着目して設計する手法で行われている。

例えば、田中(大阪府大)らの工程設計システム<sup>2)</sup>では、工作機械の加工機能を参照しながら加工すべきマシニングフィーチャーを認識して工程設計を行おうとしている。

横山、北川(東京工大)<sup>3)</sup>は、加工図面よりCSG方式に基づいてモデルを生成し、このモデルから、マシニングセンターによる加工の工程設計を自動的に行う手法を開発している。

津村、斎藤(千葉大)<sup>4)</sup>は、工作機械の運動機能と、工具形状、工作物形状などの加工情報を用いて、加工が可能かどうかの判定を行う

アルゴリズムを開発し、CADによる設計段階での設備設計を試みている。

藤村(三洋電機)ら<sup>5)</sup>は、特に加工に深い知識が無くても、NC工作機械の加工データを自動生成させる「工程設計エキスパートシステム」を紹介している。

中村(豊田理化学研)<sup>6)</sup>は、日用品や工業製品に自由曲面を形状構成要素としたものが増えていることから、曲面を空間格子で表現し、凸閉包立体を計算して凸部と凹部を分けて除去する工程設計を提案している。

中村(名古屋工大)ら<sup>7)</sup>は、自由曲面を素材から除去加工により削り出す計算機援用工程設計・作業設計を提案している。素材から製品に最も近い最小凸素材モデルを作成し、次に除去すべき立体の除去形状モデルを抽出する。除去形状モデルでは、その表面を加工制約条件で特徴づけることにより、工程設計を行う。切削工具の工具軌跡計算、干渉チェック、削り残り判定を行う作業設計には、使用する工具の寸法、工具軸の方向などの情報を渡す。作業設計では3次元フリー変換を利用して工具オフセットを行い、削り残りは工程設計へ戻すとしている。

強力(福井県工技セ)<sup>8)</sup>らは、マシニングセンタによる加工を対象に、熟練技術者の知識に相当する情報を出力するシステムの開発を検討している。マシニングセンタ加工の製造準備工程、エンドミル加工の工程設計に影響する要因を図示し、これらの加工の工程設計分析を説明している。

前田、篠原(日本電気)<sup>9)</sup>は、加工工程設計では熟練者の経験・ノウハウが必要なため、計算機による支援が難しいという問題を、知識処理によって解決し、工程設計作業の自動化を目的としてシステムを開発した。ノウハウを蓄積した知識ベースを用いて、CADで作成した部品図面情報をもとに、加工に必要な情報を決定し、NCプログラムを自動作成するシステムである。

藤本(名古屋工大)山本(豊田自動織機製作所)<sup>10)</sup>は、未熟練者の意志決定を支援するエキ

スパートシステムを開発している。システムでは工作機械やその販売メーカーに関する知識をフレーム型知識表現と、ルール型知識表現で記述し、UTILISPにより作成した。未熟練工程設計者はこのシステムを用い製品精度を満足する特性値を知識ベースの中から選び出す。次に機械型式やレイアウト順、機械台数を決定する。シャフト形状部品にこの開発したシステムを適用した結果、工程設計でも人工知能技術が効率の良いツールとなることが分かったとしている。

藤田、大島(三菱電機)<sup>11)</sup>らは、工程設計問題をプロセス計画、取付計画、加工順序計画で成立つ設計と定義してCAPESシステムを開発している。

井原他<sup>12)</sup>は、多くの場合、人、設備、企業、地域、国等の生産環境の相違によって工程設計に違いを生じる。工程設計における熟練技術者の思考過程の違いを、ニューラルネットワーク等を利用した自動工程設計システムを構築して検証した。

もっとグローバルな視点で生産加工環境を捉える場合には、生産環境を、企業までに限らず、地域や国のレベルまで含めて考えた自動工程設計システムの構築に関する研究<sup>12)</sup>や技術移転において生じる問題点の発生原因を地域に特化した技術に左右されるという研究報告<sup>13)</sup>がある。

## 参考文献

- 1) 中川：日米独における金型生産技術共同実態調査報告，型技術，Vol.11, No.5(1996)
- 2) 田中，杉村，谷水：STEP規格に基づいたプロダクトモデルとマシニングフィーチャの認識，日本機械学会全国大会講演論文集，Vol.74(1996)
- 3) 横山，北川：機械図面の計算機処理に関する研究，日本機械学会・精密工学会山梨講演会論文集，(1995)
- 4) 津村，斉藤：生産システムの機能分析とその評価法，日本機械学会全国大会講演論文集，Vol.74(1995)

- 5) 藤村，中村，今井，稲本，堀内：NC加工の工程設計エキスパートシステム，インテリジェントFAシンポジウム講演論文集，(1993)
- 6) 中村：3次元自由曲面の5軸除去加工の工程設計・作業設計，豊田研究報告，No.46(1993)
- 7) 中村，藤本，船橋，肥田，CHEN L-Y：3次元自由曲面の5軸除去加工の為の工程設計・作業設計，日本機械学会東海支部総会講演会論文集，(1991)
- 8) 強力，沢田，増田，松尾，宮下：NC加工情報自動生成システムの開発，福井県工業技術センター研究報告書，No.6(1990)
- 9) 前田，篠原：機械加工工程設計エキスパートESPER，IEレビュー，Vol.31, No.3(1990)
- 10) 藤本，山本：生産設備設計における工程設計エキスパートシステムフロー型生産ライン部品に対する知識表現，日本機械学会論文集C，Vol.54, No.508(1988)
- 11) 藤田，大島：マシニングセンター用工程設計エキスパートシステム，機械の研究，Vol.40, No.11(1988)
- 12) 井原他：生産環境を反映した自動工程製造法の提案，精密工学会誌，Vol.61, No.11(1995)
- 13) MARTINEZ 他：工作機械における作業設計の日・台・韓比較論，日本機械学会第73期通常総会講演会講演論文集( )

## 3.4.2 治具設計

### (1) 望ましい形態

ワーク情報とその加工，検査，組立情報を入力として，その作業に適した正確な位置決めと，安全確実に固定するとともに，作業性の良い治具を設計出来ることで，基本的には加工，検査，組立の各作業において共通的に使用でき治具を設計できることである。

ワークの固定に当たっては，その精度への影

響を最小に押さえると共に、切削力などの外力に対して安全確実に、また共振振動を生じない最適な固定位置をシミュレーションなどによって設定されなければならない。

全ての治具は、製品形状と関連があり、製品形状を3次元CAD等で設計することにより、その形状から治具形状へ展開できる、いわゆる3次元設計手法によって治具設計ができることが望ましい。

## (2) 実現のための必要機能

固定によるワーク変形シミュレーション機能と、切削力によるワークの振動解析機能、およびそれらの結果に基づく最適固定位置の決定機能が必要である。

設計に当たっては、治具構成部品のユニット化とその標準化による治具設計の効率化と、加工、組立、検査作業における治具操作シミュレーション機能とその結果による治具の事前評価を行える必要がある。

また、3次元設計手法による治具設計が可能な3次元CADに必要な機能としては、以下の項目があげられる。

- 1) 製品形状と、治具等とのアセンブリが可能な設計システムであること
- 2) 一般的な治具設計のために、製品形状から治具形状に半自動的に変形を行うナビゲーション機能を持っていること。
- 3) 市販の治具を使用する場合のために、その形状データベースを持っていること。

## (3) 現状

現在、多くの企業では加工、組立、検査の各工程で必要とされる治具の設計は、製品形状と各工程の作業内容に照らし合わせ、設計者の発想、経験に頼って行われている。治具設計では、市販の組立治具を使う場合と専用治具が必要なものに選別され、専用治具については必要に応じて新たに設計が行われている。

また、治具設計は製品形状に依存して行われるため、汎用的治具はほんの一部の加工品にしか利用できない。このため、機能別にモジュール化を行い、その組み合わせによって治具を構

成する組立治具が開発されている。

治具設計用システムとしては、治具メーカーにおいて自社の組立治具キッドを対象とした会話型設計システムが開発されている。また、一部大手企業においても自社用の専用治具の選択システムなども開発されているようである。

## (4) 課題・問題点

治具の目的である正確な位置決めと、安全確実な固定と共に、固定によるワークのひずみや加工による振動の発生を防がなければならない。そのためには、コンピュータシミュレーションによって最適な固定位置を選定する必要がある。しかし、現在複雑形状のワーク固定のモデリングと、シミュレーション精度はまだ満足する状態には至っていない。

現在、製品設計と治具設計は関連があるにもかかわらず、全く別に行われている。また、その設計作業においては、2次元図形から3次元図形を作ると言う過程を取るために、重複作業も多く、効率が悪い。また、その中に人間の間違いやミスが介在する場合も多い。

治具設計における設計者の経験、発想による構想部分は、重要で、効率化することができない。このため、製品設計と一貫性のある治具設計システムを準備することにより、治具の最適設計を支援する必要がある。

## (5) 研究動向

現在、個別の問題に対処するための治具に対する研究はなされているが、治具設計支援システムについての研究は、あまりなされていない。

しかし、ソリッドモデルによる3次元CADの発達により、コンカレントエンジニアリングを指向する中で、設計作業全てソリッド図形をベースにして行う3次元設計に対する研究が行われており、その適応分野として治具設計をとらえるようになっていられる。

アーヘン工科大学の R.Koller<sup>1)</sup> は、取付具を分析して、これらの機能を実現する要素として位置決め要素、支持要素、締付け要素、案内要素をあげ、設計の自動化のためにはマクロ要素として計算機で利用できるようにしなければ

ならないとしている。汎用的な部分の設計を行う RUKON と専用の取付具設計を行う VOKON を提案している。

坂本ら<sup>2)</sup>は、鋳物部品、溶接部品で肉厚比が 0.01~0.03 の薄肉部品の取付けに対して、従来の加振実験を基にしたワーク保持点の設定に換え、CADモデルを用いてメッシュ分割し、コンプライアンスを求めることにより実験なしでも治具設計ができ、かつ性能および製作期間でも効率的なシステムを開発している。

## 参考文献

- 1) R.Koller 稲川訳：計算機利用による取付具の設計，精密機械，Vol.18,No11(1982)
- 2) 坂本：治工具の構造解析システム，精密工学会誌，Vol.52,No5(1986)

### 3.4.3 作業設計

(加工シーケンスと工具選択)

#### (1) 望ましい形態

工程設計で決定された各機械毎に、ワークの素材形状情報、仕上げ形状情報、要求精度および治具情報を入力として、その要求形状・精度を得るまでの全ての加工箇所とその加工内容、および加工精度を考慮した加工シーケンスを決定する。また、ワークと工具との干渉チェックに基いて工具選択を行うと共に、ワーク材に適した工具材質の決定が行えることである。

#### (2) 実現のための必要機能

加工シーケンスは、ワーク材質、ワーク形状(薄肉物、長尺物など)、要求精度などによって大きく影響される。そのため、これらの要素を考慮して決定する必要がある。このためには、加工シーケンスと各要素との関係を整理し、体系化されなければならない。

工具選択においては、加工形状との干渉チェック、要求精度、工具剛性等を考慮して、工具形状、工具寸法を選択する必要がある。また、工具材質は工具寿命や加工品質に大きく影響する。このため、ワーク材質との化学的親和性などを考慮して決定されなければならない。

### (3) 現状

加工を行う前段階において、加工シーケンス、加工条件および工具選択等を含む作業設計は要求精度を満たすためにも極めて重要な作業といえる。そのため、加工シーケンスの決定は、各企業とも熟練技術者の判断に負っているのが現状である。

現状のCAD/CAMシステムでは、加工シーケンスと共に荒加工、中加工および仕上げ加工までの工具経路を出力するシステムも出現してきている。これらのシステムには、生産加工を実施する工場内に存在する工作機械の加工工具の情報をもち、それらの資産の能力を最大限に活用し、最適な効率で生産可能な加工シーケンスと工具選択を示す機能を持ったシステムもある。

### (4) 課題・問題点

加工シーケンスや工具選択の最適解は、加工に使用する工作機械や設定されている工具により、大きく影響される。主として加工段取り作業に含まれる加工シーケンスや工具選択等の決定は、一般的にその生産加工工程を管理する熟練技術担当者の判断により実施されている。その決定は、担当技術者の知識と経験に基づいて行われている。

工程設計を考えると、加工シーケンスの最適解は、一つに決定されるものではなく、導入されている工作機械の機能、剛性によっても異なってくるため、評価が容易ではない。

### (5) 研究動向

これまでに、荒加工、中加工および仕上げ加工までの加工シーケンス、加工条件を類推するシステムの提案、マシニングセンタにおける加工準備の情報をエキスパートシステムにより生成する手法、等の研究報告がある。

強力他<sup>1)</sup>は、切削条件設定エキスパートシステムを提案している。CAMは、最終仕上げ加工の工具経路しか求められない場合が多いが、素材形状から入力されて荒加工、中加工、仕上げ加工を類推することが可能となるとし、システムにはエキスパートを利用した加工シーケ

ス，加工条件などの推論システム，トラブルシューティング機能を備えている。

埼玉県工業技術研究所及び鋳物機械工業試験場は<sup>2)</sup>，マシニングセンターによる穴加工の準備作業をエキスパートシステムを利用したシステムを開発している。

旋削加工における工具管理システム<sup>4)</sup>や穴加工工程設計に特化したエキスパートシステム<sup>5)</sup>を応用したシステムの構築に関する研究報告も出されている。

水上は<sup>3)</sup><sup>4)</sup>，旋削加工における2本の工具による同時加工を含む加工順序の最適化を考え，加工時間が短くなるように加工領域を分割する手法について検討し，2刃物台旋盤において，DP（動的計画法）を応用して加工時間が最短となる加工順序を得るアルゴリズムを提案している。

宅間他は<sup>5)</sup>，工具の残存寿命は，摩耗状態と加工条件から推定できるとの考えをもとに，ニューラルネットワークを利用して，残存寿命と摩耗形態を推定する概念をモデル化している。また，情報積算法とニューラルネットワークによる工具寿命時間の算出を試みている。

工作機械加工特性を考慮した最適な作業計画を設計するためには，遺伝的アルゴリズム等のモデルを利用した研究<sup>6)</sup><sup>7)</sup>が，報告されている。

齊藤他は<sup>6)</sup>，機械加工における多段穴加工の工程設計を目的としたエキスパートシステムの研究開発を行っている。

松村他は<sup>7)</sup><sup>8)</sup>，工作機械毎に作業設計を実施することを前提に，切削状態を予測しながら，与えられた作業の生産性や経済性を評価して，最適な切削作業を計画する設計戦略を自律型作業設計とし，この設計では，加工事例データを蓄積することによって，加工を実施する時点で最適な作業計画を実施できるとしている。

最適切削条件の探索に遺伝的アルゴリズムを利用して，短時間に最適化を図ることができる自律型作業設計を，一連の加工を処理する工程設計システムに組み込むことによって，効率的

で信頼性の高い工程設計が実現できるとしている。

三井他は<sup>9)</sup><sup>10)</sup>，マシニングセンタ用工具組立支援の観点から，工具情報モデルを構成する部品構成モデル，組立モデル，公称寸法モデル，実寸法モデルの表現方法等について報告している。

また，各MCに工具マガジンを装備するのではなく，FMSに1個の工具センタを持たせ，工具の準備・運用を一元的に管理し，各MCに必要なときに供給する工具管理システム，いわゆる工具ジャストインタイム供給システムを可能とするための工具運用計画方法と工具データベースの設計方法について報告している。工具データベースの開発にはオブジェクト指向データベースを利用している。

中村（三洋電機）ら<sup>11)</sup>は，機械部品加工の工程設計は，熟練者のノウハウに依存する高度な知的作業であるとし，知識処理の手法を応用し工程設計を自動処理するシステムを紹介している。加工領域の認識，工具選択を左右する加工領域における狭部の認識，最適工具経路決定の立面の認識などをエキスパートシステムで可能にしたとしている。

## 参考文献

- 1) 強力他：NC加工情報自動生成システムの開発 第1報～第5報，福井県工業技術センター研究報告書，平成元年～平成5年
- 2) マシニングセンタ加工前準備へのエキスパートシステムの応用に関する研究，埼玉県工業技術研究所，埼玉県鋳物機械工業試験場
- 3) 水上他：旋削における加工領域分割を考慮した同時加工順序決定法，精密工学会誌，Vol.60,No.8(1994)
- 4) 水上他：旋削自動プログラミングにおける同時加工順序のプランニング
- 5) 宅間他：旋削加工における工具管理システムに関する研究 第1報，第2報，精密工学会誌，Vol.60,No.5(1994)，

Vol.61,No.5(1995)

- 6) 斎藤他：穴加工工程設計のためのエキスパートシステム，システムと制御，Vol.31,No.7(1987)
- 7) 松村他：工作機械加工特性を考慮した自律型作業設計，精密工学会誌，Vol.62,No.6(1996)
- 8) 松村他：遺伝的アルゴリズムを用いた自律型作業設計に関する研究，精密工学会誌，Vol.62,No.7(1996)
- 9) 三井他：マシニングセンタ用工具組立作業支援のための工具情報モデルに関する研究，精密工学会誌，Vol.62,No.5(1996)
- 10) 三井他：工具運用計画のための工具データベースの設計法，精密工学会誌，Vol.61,No.6(1995)
- 11) 中村，今井，藤村，稲本，本所：NC加工におけるエキスパートシステム，インテリジェントFAシンポジウム講演論文集

### 3.4.4 加工条件の決定

(加工条件および加工条件設定基準のDB化)

#### (1) 望ましい形態

ワークの材質，機械的特性値，形状，要求精度，治具情報，使用工具および使用機械の情報などを入力として，ワークの固定状態，工具の材質，形状，剛性，機械の精度，剛性，馬力などの考慮を加味しながら最適化好条件が決定されなければならない。

#### (2) 実現のための必要機能

加工形状ごとに，ワーク形状とその機械的特性および工具材種とその形状との組み合わせに基づいた標準加工条件設定のための体系化がなされていること。その標準加工条件に対して，ワークの形状，要求精度，固定状態，工具の形状，剛性および機械の剛性，精度，馬力など，加工条件に及ぼす影響度について整理しておく，その度合いによって補正を行い，最適加工条件が決定できることが必要である。

そのためには，熟練作業者の持つ加工ノウハウを容易に組み込み，利用できるソフトウェア

の開発が必要である。

#### (3) 現状

加工条件は，それぞれの企業で設備されている工作機械の剛性，性能および能力範囲，被削材種，取付け治具の剛性，さらには切削工具の種類，工具材種など多くの要因の影響を受ける。

最近のCNC装置は，形状定義によって定義された加工形状データ，素材形状データなどを入力とし，加工領域と加工方法および加工順序を自動決定する機能を備えて，加工工程ごとに加工の種類，使用工具および切削条件を示すものがある。しかし，これらCNCソフトも他メカのカNC装置と共有できる状態にはなっていない。

最近のNC制御装置にパソコンNCがある。このNC装置ではOSに左右されず，開発した加工条件データベースが共有的に使用できる利点を備えている。

現在，入手できる切削加工関連のデータベースには，次のシステムやファイルがある。

最適旋削工具選定システム「切磋琢磨君」

(千葉県機械金属試験場)

フライス切削データベース「ツール坊や」<sup>1)</sup>

(日立ツール(株))

機械加工用工程設計システム構築用支援

システム「POPULAR」<sup>1)</sup>

(コマツソフト(株))

加工技術データファイル

「コマンドシステム」

((財)機械振興協会)

「マシニングセンタのための切削データブック」

(加工技術センター)

#### (4) 課題・問題点

工作機械の加工精度，剛性などについての客観的評価法が確立されていない

各企業が所有する加工条件データや加工ノウハウが公開され，共有する環境になっていない。

加工ノウハウをデータベース化するための表現法や，その検索・推論する方法が確立され

ていない

## (5) 研究動向

現在、熟練者が減少の傾向にあり、さらに製品の互換性、短寿命化による市場環境の著しい変化に迅速に対応することが必要となっている。

この課題の解決には、工作機械に動作的技能を持たせるだけでなく、適切な加工条件の決定を行う思考的技能をもたせるCNC装置のインテリジェント化を進めるため、AIやファジィ推論法を利用した研究開発が工作機械メカで進められている。

他方、NCのネットワーク化を進めるNCのオープン化も急速な展開を見せている。NCオープン化の形態として、次のように分類される。

NCボード内蔵パソコン形

MELDAS MAGIC (三菱電機)

PMA Cシリズ (Delto Tau Systems)

DMC-100シリーズ

(Galil motion control)

MATE-4H (唐津鐵工所)

ルキブ ルFA コントラ (NEC)

ST-8000 (テクノ)

パソコンボード内蔵NC形

シリーズ 150/160/180/210-MB

(FANUC)

iシリーズ (安川電機)

ソフトウェアNC形

IFC (日本IBM)

パソコン外部接続形

NCオープン化が進むということはネットワーク化が進むことに他ならない。ネットワークの中でもWindowsパソコンの普及によりインタネットが当たり前になり、これをNCオープン化に取り入れることが、OSE (Open System Environment) 研究会のネットワークアプリケーションとネットワーク形工作機械 (NMT: Network Machine Tool) およびネットワークNCがある。

さらにNCのオープン化によつて、これまでの設計、生産準備および加工のプロセスが変わ

り、従来のNC言語から新しい概念のFADL (Factory - Automation - equipment's Description Language) さらにOSEL (JAV A言語ベースの加工記述言語) といった工作機械メカや機種に左右されない柔軟性、拡張性、可搬性といった機能を高めた制御構造を持つ加工法記述言語に変わらざるを得なくなってきた。この言語によって、CLは3次元の点群座標指令からNURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) 曲線に対応した指令方式 (NURBS補間NCデタ) に変わっていく<sup>2)</sup>。

杉山、土井 (武蔵工大)<sup>3)</sup> は、システムの統合に際して問題となっている工程設計の自動化に着目し、実験結果をもとに熟練者の経験や技術がなくても加工条件を自動設定できるシステムを構築し、その実用性および効果を検討している。

## 参考文献

- 1) 特集 / これからの機械加工とデタベース, 機械技術, 日刊工業新聞社, Vol.41, No.2(1993)
- 2) 武藤: NCのオープン化, M & E, 工業調査会, No.11(1996)
- 3) 杉山, 土井: CAD / CAMシステムにおける工程設計の自動化, 日本機械学会全国大会講演論文集, Vol.72, No.5(1994)

## 3.5 加工手順の検証, 組立・計測手順の決定

実際の生産を開始する前に、準備作業で設定した加工の各種資源やパラメータについてその整合性を検証するとともに、加工後の組立および計測工程の作業手順を決定する必要がある。

加工手順の検証に関しては、各工程で使用する機械ごとにワークの固定、取り付け方法、干渉チェックなどを含むツールパスの検証を行う。

組立は、現在、多くの作業が手作業で行われているが、将来的に汎用性のある自動化機械が実現された場合、その環境において最適な手順

を自動設定することになる。

計測に関しては、測定機の種類、形状およびワークの形状等の制約や加工精度を考慮した計測手順を設定する。

また、最近のコンピュータによるVR (Virtual Reality) 技術の進展に伴って、コンピュータ上に仮想工場を実現し、シミュレーションにより加工手順の検証および組立・計測手順の決定を行おうとする試みも始まってきている。

### 3.5.1 加工手順の検証

#### (1) 望ましい形態

加工で使用する各機械ごとに、ワークの固定・取り付けでのワークの変形解析、負荷による振動解析から最適な締め付け位置と締め付け力の決定を行うことが望ましい。加工に関しては、ワークと工具の干渉チェック、工具経路の検証および加工後の加工精度、表面粗さ、加工変質層などについての事前評価が行えることが求められる。

また、これらのシミュレーションは仮想工場システムで実際の作業と同じような経験あるいは観察しながら検証できることが望ましい。

#### (2) 実現のための必要機能

素材、加工法とその順序、使用機械、材料の取り付け方法などの情報に基づいて、作業設計では各工程での作業順序(加工シーケンス)、工具選択、工具径路、加工条件(加工速度、運動方向、運動量、回数、制約条件など)などが決定される。

加工手順の検証では、出力された工具径路からワークと工具との干渉チェックを行う。ワーク締め付け力、切削力によるワーク変形量、ビビリ振動発生等の解析から、製品モデルで要求される加工精度が満足されるかの検証が行われなければならない。

また、切削温度や切削応力による加工変質層の状況も検証されなければならない。

#### (3) 現状

工具の干渉チェック機能はかなりの技術的進

歩が見られる。ソリッドモデルを使った処理システムや干渉チェックに対する高度アルゴリズムにより「パス落ち」、「食い込み」にたいする処理機能が充実してきている。

3次元の自由曲面をもつ金型加工において、取り残し加工を強化したシステム<sup>1)</sup>、NCデータ自動作成システム<sup>2)</sup>など各メーカーとも高効率な自動化に向けて取り組んでいる。

加工後の仕上がり形状の表示機能や、工具の動きのアニメーション機能などは各社で開発され、視覚的にNCデータの事前チェックが行えるまでに達している。

切削条件の最適化<sup>3)</sup>(F値計算、コーナー減速)などの組み込まれたシステムが開発され加工精度の向上を図っているが、締め付け力や切削力によるワーク変形を考慮して、製品モデルで要求される精度を許容公差内(粗さ等も含め)に加工できるか否かを予測できるシステムは実用化に至っていない。

#### (4) 課題・問題点

加工精度は、使用する工作機械、工具及び工具状態(摩耗)、工具の取り付け状態、材料の取り付け状態などによる因子と、切削速度、送り、切削方法(切削方向、切り込み回数)などの切削条件からくる誤差が複雑に作用するが、これらは十分に解明されていない。

ワーク取り付けでは、固定位置とその締め付け力、あるいは切削力の作用方向を含めて、ワーク変形やビビリ振動発生の検証方法が実用化されていない。また、切削温度や切削応力の加工変質層への影響については十分解明されていない。

#### (5) 研究動向

加工精度に関するシミュレーションとして、高田他、木村他の切削加工シミュレーションシステムの研究<sup>4)5)</sup>が挙げられる。ここではコンピュータグラフィックスの手法を拡張し、任意の工作物形状に対し、幾何学的なチェックだけでなく、切削力、工具変位による加工誤差の予測を行う手法が提案されている。

朝比奈他の加工精度予測可能なパーソナルC

A D / C A Mシステムの開発<sup>6)</sup>では、対話処理で希望箇所の精度をシミュレーションできるように、加工精度をチェックしながら、最適な加工条件を決定できるとしている。

工具経路作成や干渉チェックではソリッドモデルを中心に研究が行われ、演算処理速度の改善や信頼性の高い工具経路作成に向けて研究が進められている。この中には、B-reps タイプソリッドモデルの組み込みにより、加工中の工具摩耗を予測した工具経路生成が可能なC A Mシステムの開発<sup>7)</sup>も報告されている。

ワークの取り付けに関しては、小島、坂本らは<sup>8)</sup>、ワーク取り付け状態において、インパルスハンマでの加振実験による動特性解析に基づいて、ビビリ振動発生箇所を推定し、その防止のための最適保持位置を求めている。

## 参考文献

- 1) 羽田他：金型制作の効率化を実現する「CAM-TOOL.C3」, 型技術, Vol.13(1996)
- 2) 岩田他：高効率加工を実現するN Cデータ自動作成システム, 型技術, Vol.13(1996)
- 3) 畑：高速加工の無人化運転をめざすN Cデータ最適化シミュレータ, ツールエンジニア, No.5(1997)
- 4) 高田他：切削状態予測のためのモデルベース切削加工シミュレーションシステム, 日本機械学会論文集, Vol.61(1995)
- 5) 木村他：加工性評価のための切削加工シミュレーションシステム, 精密工学会大会学術講演会公園論文集, (1988)
- 6) 朝比奈他：加工精度予測可能なパーソナルC A D / C A Mシステムの開発, 日本機械学会論文集, Vol.61(1995)
- 7) 佐藤他：工具摩耗量を考慮したC A Mシステムの開発型技術, 型技術, Vol.13(1996)
- 8) 小島, 坂本：治具設計のための動特性解析システム, 機械技術, Vol.34, No.8, pp129\_133

## 3.5.2 組立手順の決定

### (1) 望ましい形態

設計された製品モデルに基づいて、可能な組立手順を導出し、その中から最適な組立手順を決定する。この組立手順の決定については、各タスクに関する装置の割付計画や具体的な動作計画（把持計画、経路計画、組付け計画等）等の情報が考慮されなければならない。さらに、組立手順は、その作業に携わる人間に対しても最適であることが望ましい。さらに、決定した組立手順に従って、それに含まれる各タスクに関して装置の割付を行うと同時に、それを実現する具体的な動作計画を決定する。最後に、生成した組立作業計画に関して、シミュレーション等を行い、適正な計画であることを検証する。

図 3.5.1 は、その形態を示したものである。

### (2) 実現のための必要機能

組立作業をロボット等の自動化された装置で行うためには、それを実行するための作業計画を生成する必要がある。このため、C A Dによりデジタル化された設計データ（形状データ等）を基に製品に関する可能な組立手順を導き出し、それらの中から作業環境に最適な手順（装置が複数ある場合には、各タスクの装置への割付計画を含む）を選択する機能が必要である。組立手順の導出に関しては、各部品ごとに、部品間の接続位置、接続状態、その方向などの情報が整備されていることが望ましい。

また、選択した手順に関して、具体的にロボットをどのように制御して作業を行うか、例えば、部品の把持工具、把持位置、把持方向の決定と、作業位置までの最適経路の生成機能も必要である。さらに、生成した作業計画に関して、その作業に携わる人間をも考慮した最適性を評価する機能も必要である。

### (3) 現状

現在、機械製品の組立は、大量に生産する一部の製品を除いて手作業で行われている。しかも、自動化が比較的進展している自動車等の組立においても、専用の組立装置により自動化が進展しているに過ぎず、製品が変わると装置の

改造を余儀なくされる。

一方、ロボットによる自動化は、組立を行う部品間の相対位置を高精度に制御しなければならない。このため、各部品を位置決めして供給するとともに、組み付け位置においても部品間の相対位置を正確に位置決めする必要があり、使用する治具も部品の種類ごとに必要となる。近年は、RCCデバイス<sup>25)</sup>等の開発により、微少な誤差は吸収できるようになってはきている。しかし、生産する製品を変更するたびに、大幅な段取り替えを必要とすることが多く、これに要するコストも膨大になる。

また、作業内容の詳細を現場でロボットに教示する必要があり、これに要するコストも無視できない。ロボットシミュレータによるオフラインティーチングも試みられるようにはなったが、計算機上のモデルと実際の作業環境との間

のキャリブレーションを完全に行うことができないため、現場での教示の修正が必要となる。

一方、多くの組立作業が手作業で行われているため、その作業手順計画は、人の経験と勘により決定された作業コストに基づいて行われている。しかしながら、近年、ロボットシミュレータや機構解析プログラムが市販されるようになり、自動化された作業に関してこれらを用いたコストの評価等を行う環境が整いつつある。

#### (4) 課題・問題点

組立作業計画においては、設計データに基づいて製品に関する可能な組立手順を作成し、それらの中から作業環境に最適な手順を選択すること、選択した手順に関して具体的にロボットをどのように制御し作業を行うかを決定することなどの課題があげられる。これらに関する具体的な問題点としては、手順生成問題に関し

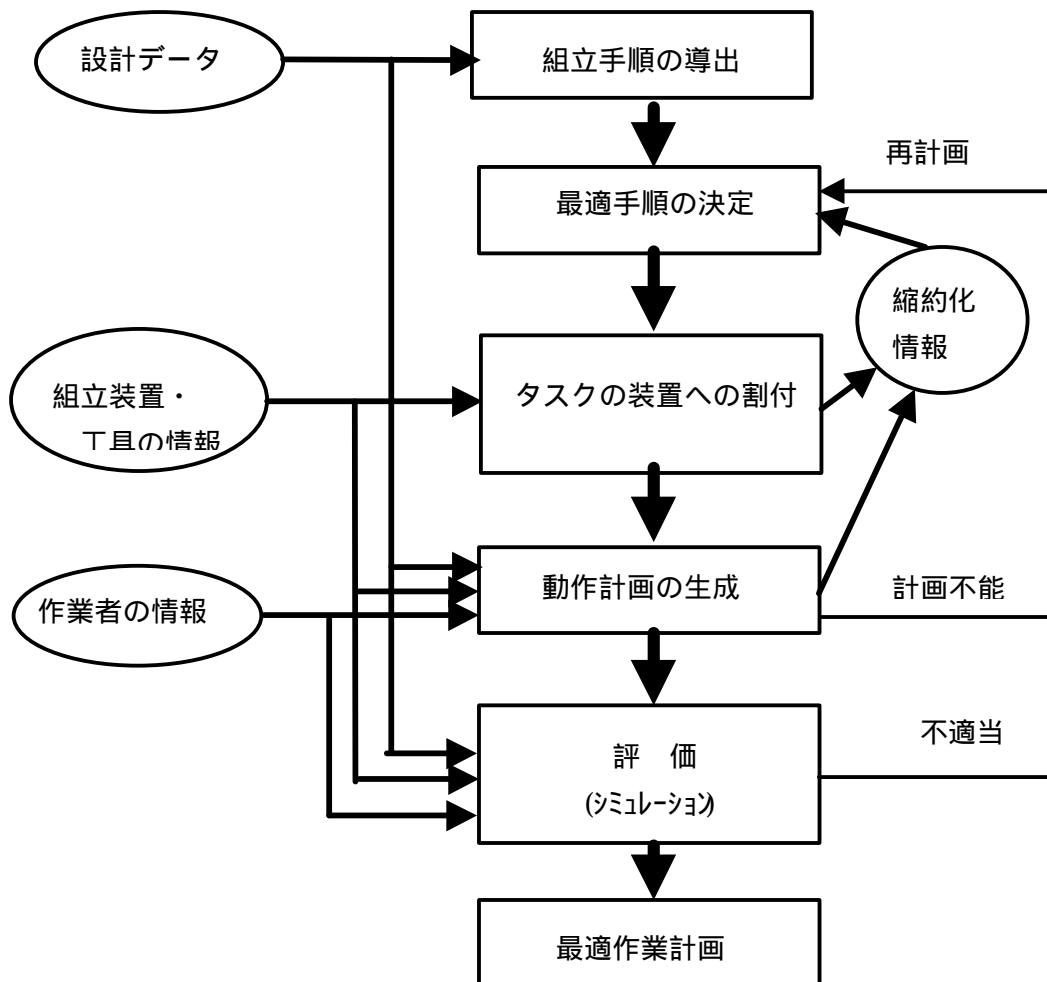


図 3.5.1 望ましい形態

ては、手順の生成に必要な部品間の接続状態を記述する表現方法、仮組立を含む手順の生成手法、部分組立品の姿勢変化を考慮したタスクの実行可能性判定手法等がある。最適手順の選択に関しては、各作業タスクに関するコストの決定方法や手順の最適評価方法が整理されていないこと等があげられる。手順の具体化に関しては、障害物を回避した動作経路に関する効率的な生成手法や実環境における位置に関する誤差を克服する制御手法の確立等がある。

組立作業計画をコンピュータの支援を受けて決定できるようになっても、その対象となる組立機械の機能をさらに進展させる必要がある。

汎用性を持った組立機械を実現する課題としては、

- 1) ロボットコントローラのOPEN化
- 2) フレキシブルなロボットハンドの開発
- 3) 汎用的な治具システムの開発
- 4) ロボット教示の簡略化

等があげられる。

組立作業計画の自動生成問題は、ロボット教示の簡略化技術と深く関係し、汎用性のある自動機を実現するためのキーテクノロジーの1つになっている。

### (5) 研究動向

組立作業計画は、製品の組み立て作業手順計画とロボット動作計画に大別できる。

#### 1) 作業手順計画

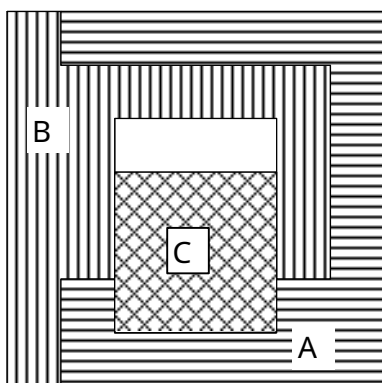


図 3.5.2 非単調な作業<sup>1)</sup>

作業手順計画は、以下の2つの課題に分解することができる。

- a) すべての可能な組立・分解手順の生成。
- b) 最適な組立・分解手順の探索。

a) の課題に関して、文献1) はその対象の複雑さを示すいくつかの性質を述べている。組立作業の性質を表現する言葉として、シーケンス性、単調性、コヒーレンス性、線形性、トラジェクトリ制約等がある。

シーケンス性とは、1台のマニピュレータで実行可能な計画を意味する。同時に2個以上の部品を動かさないと実行できないような組立作業はシーケンス性を持っていない。

単調性とは、1つの動作により各部品が必ずその最終位置に収められるような作業を意味する。一時的に部品を別の場所に置かないと組立作業が完成しないような作業は、非単調な作業であるという。図 3.5.2 に非単調な作業の例を示す。

部品Aに部品Bを組付けると部品Bが組付け不能になる。部品Aと部品Bを先に組付けると部品Cを入れることができなくなる。部品Bに部品Cを仮に組付け、その全体を部品Aに組付けた後、部品Cを最終位置に持ってくる必要がある。

コヒーレンス性は、2つの互いに結合されていない部分組立品にある部品を同時に組付けることはないということを保証する。図 3.5.3 は、

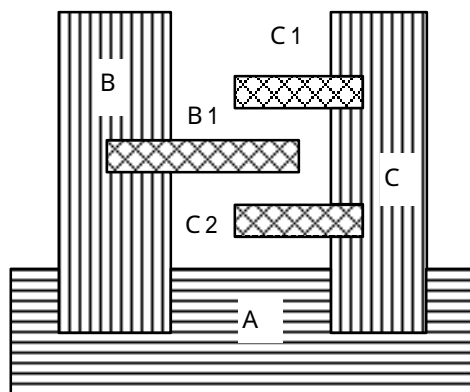


図 3.5.3 コヒーレンス性が保証されない作業<sup>1)</sup>

このコヒーレンス性が保証されていない組立作業の例である。この例において部分組立品 B, C を同時に部品 A に組付けなければならない, コヒーレンス性は保証されない。

線形性は, 部分組立がない組立作業が持つ特質で, 部品を 1 個ずつ組み付けていく単純な組立作業の場合に成り立つ性質である。

トラジェクトリ制約は, 1 軸に沿っての組付けだけを許す制約である。

a) の課題に関するこれまでの研究は, シーケンス性, 単調性およびコヒーレンス性を満たす組立作業を対象にしている。例えば, Homem de Mello ら<sup>2)</sup>は, 組立作業と分解作業は互いに可逆であるという仮定の下で作業手順を自動生成する有効な手法を示した。具体的には, 製品を構成する部品間の結合グラフから順次カットセットを求めることにより, 分解手順を生成した。しかし, それぞれの作業の実行可能性については, 作業後の半製品の結合的な安定性と作業タスクの実行可能性を判定する必要があると言及しているだけで, 具体的な手法は示していない。

幾何学的な見地に基づく作業の実行可能性

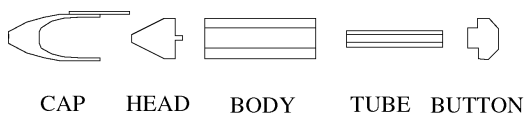


図 3.5.4 ボールペン

(分解可能性)については, いくつかの報告がされている。局所的な分解可能性判定に関しては, 平井ら<sup>3)</sup>, 比留川ら<sup>4)</sup>が静力学的見地から凸錐理論等をベースに 2, 3 の有効なアルゴリズムを示した。大域的な分解可能性判定に関しては, Krishnan ら<sup>5)</sup>は, 分離する半製品を少しずつ移動させて残りの半製品との干渉をチェックすることにより判定する到達波アルゴリズムを提案したが, 到達波アルゴリズムは半製品の分離経路を総当たりで探索するため, 膨大な計算を必要とする。

一方, この問題は, これまで多くの研究者によって取り込まれてきた障害物回避問題とも考えることができる。障害物回避の研究<sup>6),7),8),9),10)</sup>においては, 分解可能性判定を実行する上で有効な手段となるコンフィギュレーション空間という概念がこれまで提案されてきた。

これは, 移動物体をそれと一体の参照点で表現する手法で, 移動物体と障害物が干渉する領域をコンフィギュレーション空間障害物 (C-Obstacle) と呼んでいる。この C-Obstacle は, 関数として定義され, ある点において移動物体と障害物が干渉するか否かを容易に判定するこ

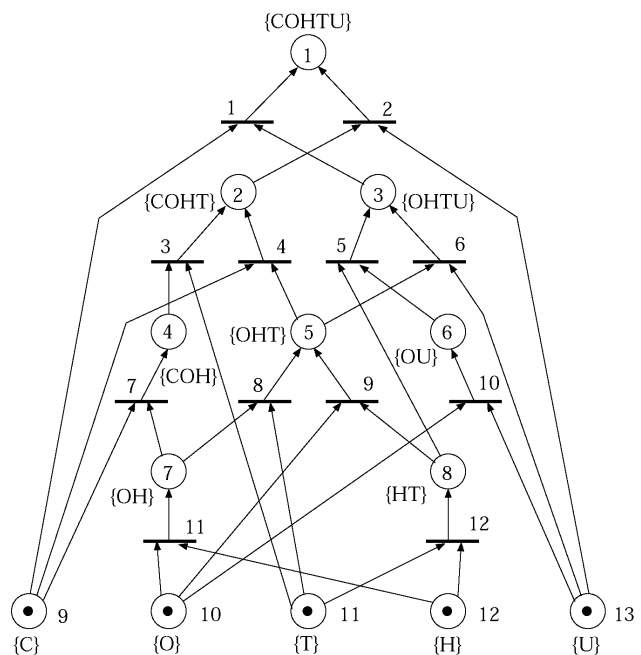


図 3.5.5 AMD / OR グラフ

とができる。

稲葉ら<sup>12)</sup>は、Barton ら<sup>11)</sup>が2次元空間で多角形に関して定義した「形状」(sheet)を3次元空間に拡張し、この性質をC-Obstacleに付加したコンフィギュレーション空間障害物形状(C-Obstacle Shape: COS)を定義し、これを用いた有効な分解可能性判定手法を示した。さらに稲葉らは、COSと遺伝的アルゴリズム(GA)を組み合わせるにより、部分組立品の姿勢変化を考慮した分離可能性判定手法も示した<sup>13)</sup>。

この他のa)に関する取り組みとしては、トラジェクトリ制約を満たす組立作業を対象とした関口ら<sup>14)15)</sup>、山田ら<sup>16)</sup>の研究や製品を構成する各部品についての知識や部分組立の実行に関する知識など動作上の制約を利用した研究<sup>1)</sup>、<sup>17)</sup>がある。

b)の課題に関しては、Homem de Mello ら<sup>18)</sup>は、製品に関する全ての組立・分解作業手順を効率よくAND/ORグラフを用いて表現できることを示した。図3.5.4に示すような

ボールペンに関するAND/ORグラフ(ペトリネット表現)を図3.5.5に示す。図3.5.5において、プレース( )は、部分組立品の状態を表し、トランジション(-)は、各組立て作業(タスク)を表している。例えば、トランジション1は、キャップとそれ以外の部品を組み立てた部分組立品との組付け作業を表している。また、包原ら<sup>19),20)</sup>はそのAND/ORグラフをペトリネットに変換することにより、最適手順の探索を線形計画法により、効率よく求めることができることを示した。

$$\text{最小化 } c^T x$$

$$\text{制 約 } Dx = M - M_0$$

$$x \geq 0$$

ただし、

$c$  : 各タスクの重みを成分とする列ベクトル

$x$  : トランジションの発火回数を表す列ベクトル

$D$  : ネットの状態遷移行列

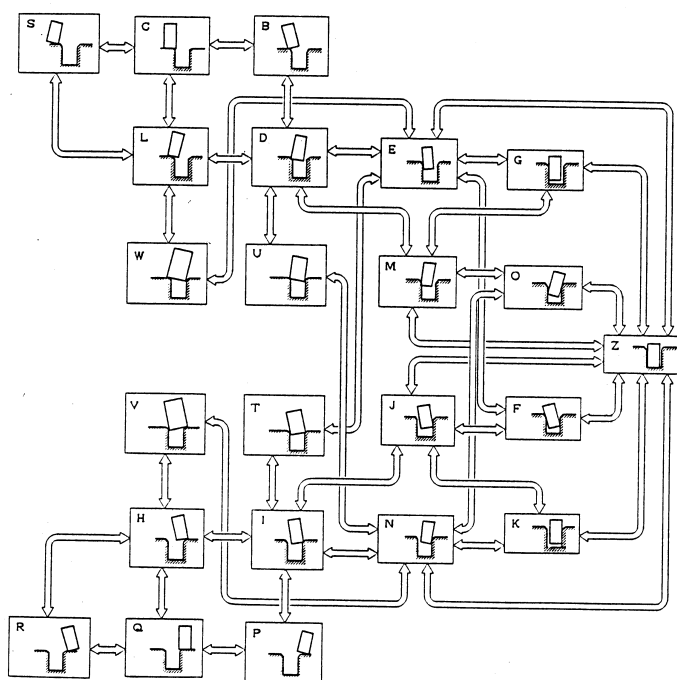
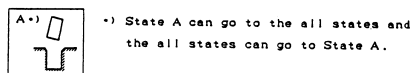


図 3.5.6 ピン挿入の状態遷移<sup>24)</sup>

$M_0$  : 初期マーキングを表す列ベクトル

$M$  : 最終マーキングを表す列ベクトル

このほか、最適手順の探索に関しては、ヒューリスティックな探索手法である AO\*を用いた研究<sup>28)</sup>等がある。

## 2) 動作計画

動作計画は、作業手順計画を具体化してロボットをどのように制御するかを計画する問題である、この問題は次の3つに大別できる。

### a) 把持計画

### b) 障害物回避問題を含んだ大域的な動作計画

### c) 組付け計画(組立の技能(スキル))

把持計画については、部品をどのように把持するかを決定する計画である。これに関する研究としては、寺崎ら<sup>21)</sup>の研究がある。

障害物回避問題を含んだ大域的な動作計画については、コンフィギュレーション空間の中で、把持位置から組付け位置近傍までの経路を生成する研究が行われている。これに関する研究としては、Alistair McLeanら<sup>22)</sup>や Boris Baginski<sup>23)</sup>の研究がある。

組付け計画に関しては、ロボットアームの位置決め誤差、部品供給や把持状態のばらつき、部品の寸法公差や変形など位置に関して様々な不確定条件が実際の環境に含まれており、これに対処するための方法が必要になる。

位置に関する不確定さを取り除く有効な手段として、部品間の接触情報を利用する方法がある。これは、対象部品と相手部品の接触状態を参照し、その状態から位置や姿勢を相対的に変化させることにより、位置に関する不確定さを克服する方法である。これに関して、村川ら<sup>24)</sup>は、図 3.5.6 に示すような接触状態の遷移をモデル化し、その作業用技能システムの構成法を示した。

このほかの研究としては、D.E. Whitney<sup>25)</sup>、末松ら<sup>26)</sup>や藤田ら<sup>27)</sup>の研究等がある。

## 参考文献

- 1) 長田：組立作業手順計画，日本ロボット学会誌,Vol.11,No.2(1993)pp178
- 2) L.S. Homem de Mello and A.C. Sanderson : "A Correct and Complete Algorithm for the Generation of Mechanical Assembly Sequence", IEEE Trans. on Robotics and Automation,Vol.7,No.2(1991)pp228
- 3) 平井，浅田，得丸：凸多面錐理論を用いたマニピュレーションの運動学とその把持および組立作業への応用，計測自動制御学会論文集，Vol.24,No.12(1988)pp1284
- 4) 比留川，松井，高瀬：多面体間の接触による拘束条件を幾何モデルから導出する一般的なアルゴリズム，日本ロボット学会誌，Vol.9,No.4(1991)pp415
- 5) S.S. Krishnan and A.C. Sanderson : "Reasoning about Geometric Constraints for Assembly Sequence Planning", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, (1991)pp776
- 6) J.T. Schwartz and M. Sharir : "On the Piano Movers' Problem1: The Case of a Two-Dimensional Rigid Polygonal Body Moving Amidst Polygonal Barriers", Communications on Pure and Applied Mathematics., Vol.36(1983)pp345
- 7) T. Lozano Perez, M.T. Mason, and R.H. Taylor : "Automatic Synthesis of Fine-Motion Strategies for Robots", Int. J. Robotics Res., Vol.3,No.1(1984)pp3
- 8) C. Bajaj and T. K. Dey : "Convex decomposition of polyhedra and robustness", SIAM J. Comput.,21, (1992)pp339
- 9) Aronov B. and Sharir M.:"On Translational Motion Planning in 3-space", Proc. 10th Annual Symposium on Computational Geometry, (1994)pp21

- 10) J.C. Latomber : "Robot Motion Planning", Kluwer Academic Publishers, (1991)
- 11) E.E. Barton and I. Buchanan : "The polygon package", Computer-Aided Design, Vol.12, No.1(1980)pp3
- 12) 稲葉, 鈴木, 大熊: 形状処理を用いた組立・分解手順の導出, 日本機械学会誌 (C編), Vol.63, No.609(1997)pp1795
- 13) 稲葉, 濱田, 鈴木, 大熊: 半製品の姿勢変化を考慮した組立作業計画 - GAを用いた狭部通過姿勢の探索, システム制御情報学会論文誌, Vol.10, No.4(1997)pp165
- 14) 関口, 今村, 小島, 井上: 回転機能部品の部品展開手法に関する研究 - 組立構造の表現法と組立・分解手順の生成への応用 -, 精密工学会誌, Vol.51, No.2(1985)pp101
- 15) 関口, 今村, 小島, 井上: 回転機能部品の部品展開手法に関する研究 (第2報) - 組立・分解手順の生成とその規則化 -, 精密工学会誌, Vol.53, No.8(1987)pp43
- 16) 山田, 安部, 辻: 電気ドリル分解・組立コンサルタントシステム, 人工知能学会誌, Vol.1, No.1(1986)pp116
- 17) 内山, 荒井, 井越: 機械部品の組立順序生成に関する研究, 日本機械学会誌 (C編), Vol.60, No.573(1974)pp1882
- 18) L.S. Homem de Mello and A.C. Sanderson : "AND/OR Graph Representation of Assembly Plans", IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol.6, No.2(1990)pp188
- 19) 包原, 稲葉, 川瀬, 鈴木, 大熊: ペトリネットを用いた組立作業計画 - 線形計画法による探索 -, 計測自動制御学会論文集, Vol.29, No.4(1993)pp461
- 20) 稲葉, 包原, 鈴木, 大熊: 組立・分解作業ネットによる表現とその評価関数の一設定法, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.2(1994)pp251
- 21) 寺崎, 長谷川, 高橋: 平行2指ハンドによる多面体の運搬作業のための把持動作計画, 日本ロボット学会誌, Vol.10, No.2(1992)pp273
- 22) Alistair McLean and Isabelle Mazon : "Incremental Roadmaps and Global Path Planning in Evolving Industrial Environments", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, (1996)pp101
- 23) Boris Baginski : "Local Motion Planning for Manipulators Based on Shrinking and Growing Geometry Models", Proc. Of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, (1996)pp3303.
- 24) 村川, 内山: 組立作業用技能システムの一構成法, 日本ロボット学会誌, Vol.9, No.1(1991)pp11.
- 25) D.E. Whitney : "Quasi-Static Assembly of Compliantly Supported Rigid Parts", Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 104, March(1982)pp65.
- 26) 末松, 高瀬: スキルに基づくマニピュレーションシステム, 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.5(1990)pp551.
- 27) 藤田, 岩間: オブジェクト指向分析/設計に基づいた組立ロボットのティーチング, システム制御情報学会論文誌, Vol.8, No.4(1995)pp139.
- 28) L.S.Home de Mellow and A .C.Sanderson : "Evaluation and Selection of Assembly Plans", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, (1990)pp1588.

### 3.5.3 計測手順の決定

#### (1) 望ましい形態

計測手順の決定では、製品に対する要求仕様から製品モデルを用いて、必要な計測項目の抽出と使用する計測機器、計測箇所、計測手順および計測経路の生成が行われる。

また、各部品については、精度情報と部品機能の特徴抽出に基づいて必要な計測箇所の選定

が行われ、使用する計測機器、計測手順、計測経路などが決定・生成される。これらの決定情報に基づいて測定シミュレーションを行い、その検証が行われる。

## (2) 実現のための必要機能

製品に対する要求仕様から、その形状・機能・精度を考慮して使用する計測機器と計測箇所、計測手順が決定されなければならない。また、部品の計測においては、製品モデルにおける各部品の機能特徴を抽出し、その機能を満足するのに必要な精度を保證する測定方法を設定しなければならない。

生成された計測手順とその関連する情報については、計測シミュレーションによって計測経路の干渉チェックを含めて検証がされなければならない。

## (3) 現状

3次元測定機のオフライン、オンライン計測でCADデータに基づいて自動計測や干渉チェックが行われている。また、比例型プローブによる曲面等の自動測定が可能である。しかし、NC加工の自動プログラムの様な加工(切削)シミュレーションを行うシステムは少なく、教示(ティーチング)によって始めに計測箇所を設定する方法が主流である。

## (4) 課題・問題点

被加工物を測定するためには、形状寸法を認識することが不可欠であり、CAD/CAMシステムの形状データから測定用3次元形状を生成している。

そこでは測定個所の認識までであり、干渉チェックまでには至っていない。また、被加工物を3次元測定機で自動スキミングして形状データを求める等の方法も開発されている。

計測のための干渉チェックと計測シミュレーションのできるシステム(形状、寸法、セッティング箇所、測定個所、測定方法、測定精度等を考慮し、測定機と測定子形状データから、測定シーケンス、測定経路を決定する)は、まだ実用化されていない。また、「形状測定におけるソフトウェアの問題点」等<sup>3)4)5)6)7)8)</sup>

<sup>9)10)</sup>で論じられている様に、公差に関する処理もまだ研究途上であり、今後の課題となっている。

なお、形状測定におけるソフトウェアの問題点として、以下の項目が上げられている：

- 1)表面粗さ、表面うねり、形状偏差、寸法と間の相互関係が解明されていない。
- 2)表面粗さ、形状偏差などの測定の不確かさをどのように評価するか。
- 3)三次元測定機などの複雑で高度な測定機の測定の不確かさをどのように評価するか。
- 4)三次元測定機などの測定データの評価、測定手順などをどのようにして計算機支援用設計(CAD)や計算機支援用生産(CAM)などと結びつけるか。
- 5)形状測定機および三次元測定機のキャリブレーションやトレーサビリティをどのように確保するか。

## (5) 研究動向

被加工物の形状寸法がCAD/CAMシステム等から取得できても、その形が認識できなければ計測のためのシミュレーション、干渉チェックも困難である。

「フィーチャープを用いた立体的な加工形状特徴の認識」<sup>1)</sup>では被加工物を最小加工形状材料Lから除去する形状を凸型形状に分解して逆に認識することが提案されている。

「寸法公差および幾何学公差の計算機処理に関する研究」<sup>2)</sup>では公差の計算機による処理方法が研究されている。

## 参考文献

- 1) Ammuay SAE-TANG 他：フィーチャープを用いた立体的な加工形状特徴の認識，日機械学会論文集(C編)，Vol.163, No.607(1997)
- 2) 前田他：寸法公差および幾何学公差の計算機処理に関する研究，日機械学会論文集(C編)，Vol.163, No.607(1997)
- 3) 高増潔：形状測定におけるソフトウェアの問題点，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)

- 4) 今井秀孝：形状測定における不確かさ解析，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 5) 清野慧：ソフトウェアデータムを用いた形状評価，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 6) 塚田忠夫：最適化技法によるデータ処理と形状精度評価，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 7) 門脇聡一：三次元測定機(CMM)におけるデータ処理と形状評価，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 8) 八木良：真円度，円筒度測定機におけるデータ処理と形状評価，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 9) 宮本紘三他：表面粗さ測定器におけるデータ処理と形状評価，精密工学会誌，Vol.161, No.8(1995)
- 10) 沢辺雅二：生産工程を支えた計測評価技術，日機械学会誌，Vol.100, No.941(1997)

### 3.6 スケジューリング・工具管理

上位工程から加工指示を受けた加工現場では，工場設備の能力を最大限活かしながら加工工程が滞留なく効率的に運用されるように，工作機械や作業者の生産能力，加工内容，出荷量，納期を考慮して，各設備への工程配分と加工日程を決定し，その加工に最適な工具を工作機械に供給することが必要である．前者はスケジューリング，後者は工具管理として知られ，加工現場の効率化に不可欠な作業分野である．

スケジューリングの最適化は，従来，加工現場の全体を熟知した工程管理者の経験に基づいて行っていた作業を，コンピュータ支援の基に自動決定することである．工作機械のNC化による加工時間見積の正確化，スケジュール最適化のためのアルゴリズム開発などによって，コンピュータ化の環境が整って来ている．

また，工具管理は比較的コンピュータ化し易い工具の出入りを管理する在庫管理から，ツーリングの最適化，工具個々の履歴管理，加工状態監視による工具の寿命判断などを行うことである．

### 3.6.1 オートスケジューリング

#### (1) 望ましい形態

工場内のスケジューリングは，単に機械の稼働率を向上させるだけでなく，多品種，小ロット，短納期に柔軟に対応し，製造コスト削減，製造リードタイム短縮を実現するものでなければならない．図 3.6.1 に，オートスケジューリングの望ましい形態を示す．

スケジューリングは，工作機械，治工具，作業員，保管場所，搬送装置などの固定的資源と，原材料，組付け部品，副資材，電力などの流動的資源からなるハードウェア資源，工程設計，段取り手順，加工条件，作業標準時間などのソフトウェア資源をもとに，上位システムからの品種，納期，生産量などの製作要求に応じて，各製作工程に極力均一な負荷で作業を割り付け，工程毎の時間割と製作日程を決定する．

各資源には，ワークや工程の優先則，機械や作業者の能力差，機械や外注への配分割合等の制約条件が設定されており，もし，納期に合った割付が不可能であれば，変更すべき資源や制約条件を明示することが望ましい．

また，特急品の発生や，機械の故障などに柔軟に対応するために，製造工程の進捗状況が常にフィードバックされており，状況変化に応じてスケジューリングの再評価，更新を容易に行えることが必要である．

工程管理者はスケジューリングの責任者として工程の最終決定を行う必要があり，スケジューリングシステムは工程管理者に損益の程度を予測できる支援データを提供できることが望ましい．

さらに，オートスケジューリングでは，遅れ予想や損益などのシミュレーション結果に基づきスケジューリングを再評価することや，実績データの評価に基づき資源や制約条件を更新することも必要になる．

#### (2) 実現のための必要機能

スケジューリングシステムには，各資源の性能機能と制約条件を客観的に表現し取得する機能，それらを条件に各機械への作業割付や日程



計画を生成するアルゴリズム，遅れ時間や損益をシミュレートする機能が必要となる．また，実績データを取得し資源データや制約条件を評価，更新する機能も必要となる．

これらの機能を以下に示す．

資源データの取得・管理

- ・工場内ネットワーク
- ・資源データの取得・管理

制約条件の設定機能

- ・稼働可能な機械の把握
- ・優先則（ワーク，工程）
- ・機械差・個人差の修正（同種機械の能力差を見る）
- ・複数台の工作機械で進める場合の配分割合
- ・外注割合

スケジューリング機能

- ・機械への作業の割付
- ・作業の時間配分
- ・日程計画の生成

シミュレーション機能

- ・遅れ予想シミュレーション
- ・最遅時間，最早時間
- ・損益演算

実績データの取得機能

- ・段取り時間
- ・実加工時間
- ・進捗管理

実績データによる評価，更新機能

- ・資源データの評価・更新
- ・制約条件の評価・更新
- ・工程計画の組み替え

### （３）現状

製造する品種や工程によって生産ラインの形態や操業の基本ルールが異なるため，スケジューリングシステムもその特性に合わせて開発運用されている．

汎用スケジューリング・ソフトとしては，各種のものが開発販売されている．これらのシステムではコンピュータ内に工場の能力や制約条件を表現する工場モデルを構築し，オーダー，

出荷日，着手日，ロット，優先順位などの入力条件から演算した結果をスケジュールとしてガントチャートなどで出力する．同時に各資源の稼働率や資材の消費量等を予測する．

工程管理者はスケジューリング結果を受け，問題点があれば優先順位や制約条件を変更し再度演算する．このように工程管理者は，最適解ができるように入力条件を操作する必要がある．また，最適解を求める各種アルゴリズムの解法が発表されているが，入力パラメータは単略化されているのが現状である．

鉄鋼などの生産ラインは，加工経路が一定で上流から下流へ一定の流れに従って加工順序を決定するフローショップ問題として知られており，スケジューリングの最適化効果が大きくシミュレーションを中心に設備改善を含めて活用されている．

一方，機械加工工程は，加工経路が異なる部品加工を工作機械に割り付け，その作業開始時間と終了時間を決定するジョブショップ問題として知られている．加工部品ごとに作業時間，使用機械，加工手順などを入力とし，工作機械の生産能力を考慮して，工作機械ごとに加工部品を割り付け，日程計画を作成する．現時点では，生産管理者の関与が不必要な厳密な意味でのオートスケジューリングは完成されていない．また，計画は計画，実績は実績として処理されていることも多く，実績が反映されるシステムは少ない．

### （４）課題・問題点

スケジューリングで最大の問題点は，計画と実績のずれにある．このずれが生じる大きな原因の一つが標準時間の精度である．スケジューリングでは予め設定された標準時間に基づいて作業量の割り当てを行う．標準時間がどれほど現実の作業時間に近いかでスケジューリングの精度が決定付けられる．このため，実績データをどのように収集・分析し，このずれをいつの時点でどのように補正してスケジューリングに反映していくかが課題となる．

システムに必要な資源データの抽出も重要な

課題である。オートスケジューリングでは結果に影響を与える資源データはもれなく、的確に記述されていなければ予測結果の精度が保証されない。しかし、工作機械の性能や作業員の技能などの資源データを加工時間のように定量化することはきわめて困難であり、実績によるデータベースや知識ベースから性能を予測しなければならない。また、それらの資源データを基にしたスケジュール最適化アルゴリズムの開発も大きな課題である。

さらに、新規設備の導入や技術の改良によって変化する資源データや優先規則等の制約条件の更新、特急オーダの飛び込み、機械の故障、材料遅延など、予期しない工程の組み替えに対応したシステム開発も課題である。

#### (5) 研究動向

スケジューリング問題の解法には、離散系シミュレーションの手法、遺伝的アルゴリズムなどのAI的手法、ファジーや事例ベース推論を用いる方法、エキスパートシステムを応用した方法等があり、モデルを限定した解法の研究が試みられている。

藤井（神戸大）ら<sup>1)</sup>は、オークション方式のアルゴリズムによる作業計画決定法によってFMSにおける各機械の負荷均一化や機械の所持工具数低減を数値シミュレーションにより確認している。

大津（京都工繊大）ら<sup>2)</sup>は、ファジイ推論を分枝限定法に利用して3機械フローショップスケジューリング問題を解いている。

武田（ダイフク）ら<sup>3)</sup>は、機械加工ショップにおいてプライオリティールに基づくスケジューリングにより仕掛期間の短縮が計られた24時間連続運転の無人化対応型FMSを構築している。

三宮（京都工繊大）ら<sup>4)</sup>は、2台の機械と1台の搬送車からなるフローショップ型工程における製品投入順序問題に遺伝アルゴリズムを適用した有効な解法を提案している。

池田（清水建設）ら<sup>5)</sup>は、マシニングセンタ7台を含む36台の機械設備を保有するジョ

ブショップラインを対象としたエキスパートスケジューリングシステムを構築している。

一森（大阪工大）ら<sup>6)</sup>は、処理能力が可変となる3機械オープンショップスケジューリング問題において、計算量が理論的に仕事数の2乗に比例する演算回数で最適解が求まるアルゴリズムを開発している。

中沢（早稲田大理工）ら<sup>7)</sup>は、最大滞留時間、総所要時間、総費用を評価基準として、納期その他に確率分布的な考察をして近似解を求めるには優先規則のなかの最小スラップ規則が合理的であるとしている。

谷野（牧野フライス製作所）<sup>8)</sup>は、生産進捗の予測が目的であったFMSシミュレータを稼働率向上のためのツールとして利用している。

山品（京大）ら<sup>9)</sup>は、整備機械、加工順序、負荷順序の短時間選択問題を反復改良法により探索するシミュレーテッドアニーリング法によって解決している。

平林（大阪府大）ら<sup>10)</sup>は、2機械のジョブショップ型FMSについてランダムサンプリングの分割スケジューリング法を適用し、Johnson法やJackson法の適用で生じるブロッキング等による稼働率の低下を改善している。

日沖（住友金属工業）<sup>11)</sup>らは、ノウハウ活性化シミュレーションの基づくスケジューリング業務システムを開発し、ジョブショップ型工場である鉄道車両用の車軸加工の月間詳細実行計画立案・評価支援システムとして運用している。

上野（住友金属工業）<sup>12)</sup>は、継目無管工場の生産計画問題を多重ループを含む多段階工程ジョブショップ・スケジューリング問題としてとらえ、山積み・山崩し計画法をベースとした実用的解法を開発している。

木瀬（京都工繊大）<sup>13)</sup>は、FMCの2機械フローショップ問題についてヒューリスティクス、エキスパートシステム、シミュレーション等による近似解法や数値計算法で解を得る方法について解説している。

西川（京都大工）は<sup>14)</sup>、ジョブショップ

型スケジューリング問題を対象とした遺伝的アルゴリズム (GA) の適用と結果について解説している。

山田 (NTT コミュニケーション科学研究所) 15) は、ジョブショップ・スケジューリング問題について、単純 GA と GA / GT (Giffler and Thomapson アルゴリズム) 法の 2 つの解法を試み、良好な結果でベンチマークテストで確認している。

林 (日経メカニカル) 16) は、市販スケジューリング・ソフトについての動向について解説している。

## 参考文献

- 1) 藤井ら：FMSにおけるジョブ及び工具配分問題に対するオークション方式の適用，インテリジェントFAシンポジウム講演論文集，Vol.5(1995)
- 2) 大津ら：ファジィ推論を用いた分枝限定法 3 機械フローショップスケジューリング問題に対する応用，日本機械学会関西支部定時総会講演会論文集，Vol.69(1994)
- 3) 武田ら：機械加工ショップにおけるFMSスケジューリング，日本機械学会シンポジウム講演論文集，(1993)
- 4) 三宮，飯間：遺伝アルゴリズムによる変形フローショップスケジューリング問題の解放，インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集，Vol.2(1992)
- 5) 池田，加藤，荒武：機械加工のスケジューリングエキスパートシステム，インテリジェントFAシンポジウム講演論文集，Vol.3(1991)
- 6) 一森：可変速度 3 機械オープンショップ問題，日本経営工学会秋季研究大会予稿集，Vol.1985(1985)
- 7) 中沢，近藤：情報量の概念を用いた生産スケジューリング法，精密工学会誌，Vol.52,No.3(1986)
- 8) 谷野：生産管理とシミュレーションFMSシミュレータ，デザイン・エンジニアリング・プラザシンポジウム，Vol.1(1991)
- 9) 山品，熊本ら：シミュレーテッドアニーリングによるFMS運用問題の解法，精密工学会大会学術講演会講演集論文集，Vol.1991,No.SPRING3(1991)
- 10) 平林，西山：分割スケジューリング法のジョブショップ型FMSへの適用に関する研究，日本経営工学会秋季研究大会予稿集，Vol.1990(1990)
- 11) 日沖，鹿島ら：機械加工工場におけるスケジューリング・システムノウハウ活性化シミュレーション・ツールズ・システムPROPSSの適用，日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集，Vol.1990(1990)
- 12) 上野：鉄鋼業における生産スケジューリングと最適化，システム/制御/情報，Vol.37,No.4(1993)
- 13) 木瀬：FMCの最適スケジューリング問題スケジューリング理論の動向，ファクトリ・オートメーション，Vol.14,No.9(1996)
- 14) 西川：GAのスケジューリング問題への応用，計測と制御，Vol.32,No.1(1993)
- 15) 山田，中野：遺伝アルゴリズムとスケジューリング問題，システム/制御/情報，Vol.37,No.8(1993)
- 16) 林：生産能力を無駄なく使うスケジューリング・ソフト，日経メカニカル，No.448(1995)

## 3.6.2 工具管理

### (1) 望ましい形態

工具管理は、工具の在庫数、使用数の把握を行う在庫管理、適正なツーリングを行い工具とその情報を工作機械へ供給する運用管理、工具の履歴を管理し寿命を判断する寿命管理に分けられる。図 3.6.2 に、工具管理の望ましい形態を示す。

在庫管理は、工具の種類、仕様、在庫数、使用数を蓄積したデータベースが存在し、在庫数を適正な水準に維持する機能が求められる。



運用管理は、工具特性、ツーリング、工作機械のデータベースが存在し、工具特性と工作機械の仕様を考慮して加工指示された部品形状と加工方法に適合したツールセットを提供することが求められる。そこで決定されたツールセットは識別コードを割り振られ、プリセットデータなどの工具情報と共に、工作機械へ最適な供給がなされなければならない。

寿命管理においては、ツールセット個々に対して加工履歴や損耗履歴を管理するデータベースが存在し、加工状態と損耗状態が常時監視されて、履歴データが随時更新される必要がある。また、寿命判断機能を有し寿命と判断されると工具は自動的に交換されることが求められる。

さらに、生産計画、生産準備等の上位工程でも最新の工具管理情報を共有できるシステムであることが望ましい。

## (2) 実現のための必要機能

### 1) 在庫管理としての機能。

工具在庫データベース

- ・標準工具の種類、仕様、在庫数、使用数。
- ・ホルダ、シャンク等保持具の種類、仕様、在庫数、使用数。
- ・特殊工具の種類、仕様、在庫数、使用数。

在庫適性化機能

工具・払い出し・購入機能

### 2) 運用管理としての機能。

工具特性データベース

- ・工具材種特性データ：ハイス、超硬合金、サーメット、新素材の工具材種や工具表面処理の特性データ。
- ・工具形状（剛性、複合化、表面仕上）の特性データ。
- ・被削材の材種別特性データ。

工作機械仕様データベース

- ・工作機械の仕様や剛性等。

ツーリング最適化機能

工具最適配置機能

工具計測機能

- ・プリセット

工具供給機能

- ・供給工具データベース

工具識別機能

- ・識別コード
- ・識別手法

情報伝達機能

- ・在庫管理・寿命管理との情報交換。
- ・工作機械との相互情報伝達方法。
- ・上位工程との情報交換。

### 3) 寿命管理としての機能。

加工履歴管理

- ・加工時間、被削材種、切削条件。

損耗履歴管理

- ・摩耗履歴。
- ・再研削履歴。

寿命監視評価機能

- ・加工状態監視。
- ・工具状態監視・寿命評価（摩耗状況、チップングの発生状況）。

工具交換機能

- ・工具交換の判断。
- ・加工シーケンスの変更判断。

## (3) 現状

最近の機械加工では、工具交換機能を有するマシニングセンタなどのNC加工機の普及から、工具の計測、搬送、収納、交換の装置やそれらを通信で結ぶネットワーク機器が整備され、FA化への取り組みが試みられている。

在庫管理に関しては、汎用工作機械の時代から帳票で管理されてきており、データベース化し易い管理項目で、工具管理の中でもコンピュータ化が進んでいる。

運用管理に関しては、工具の収納・搬送・交換が自動で行えるATC（工具自動交換システム）の普及により工場全体の工具供給システムよりも、工作機械毎にセル化して、セル単位で工具を多数保有している方式が多くとられている。ツーリングシステムについては、高剛性な2面拘束や複合加工用の新しい方式が開発されて、工具のモジュラ化と多機能化が進められている。工作機械と情報伝達方法としては、工具ホルダーにバーコードを貼り付ける方法、IC

メモリーチップを埋め込む方法(ツールID)、通信回線による方法があり、工具の識別コードやプリセットデータなど加工上必要な情報伝達に利用されている。しかし、寿命管理や上位の生産管理との関連性を持たせるまでには至っていない。現時点ではツールIDが識別コード、プリセットデータ、加工履歴データ等を工具自体に蓄積・管理できることから理想的な方法として評価されているが、現在の中小企業ではセル内の運用管理で工具情報が完結しているために、高価なシステム構築費用とデータ入力の手間に見合う効果が期待できず、興味はあっても採用は控えている工場が多い。

工具寿命に関しては、加工時間、加工個数、切削長さなどで管理されていることが多い。この場合、工具寿命のばらつきを考慮してある程度の安全率を加味することから、まだ使用できる工具を交換することも多い。また、工具寿命の自動判断は、工作機械メーカーが準備している工具毎の使用累積時間によって行う場合が多いが、運用管理と関連性を持たせて活用している工場は少ない。

被削材や切削条件の違いによる工具寿命の判断基準を、簡単な補正計数を使用して修正している例がある。

#### (4) 課題・問題点

工作機械のセル化は、1セルに多くの工具を抱え込むことから工具本数の増加と工具費の増大を招くという問題がある。このため、工具のセル間での共通使用、最適配置、標準化、多機能化が問題となる。また、ツーリングシステムのモジュラ化が将来的に進めば、モジュラの組み合わせに関する最適化知識ベースも必要になってくる。

工具管理と工作機械との双方向情報伝達は、工作機械のインテリジェント化を進める上で今後益々重要になってくるが、工具の識別問題が依然として解決されていない。ツールIDのような工具識別システムを用いるか、NC装置側の識別機能をもっと充実させることが必要である。

工具寿命の判断法については、加工精度、加工効率、省資源、経済性等から多面的に判断する手法の開発が重要となる。

また、摩耗寿命であれば工具の自動交換は可能であるが、破損の可能性がある場合にはその原因が排除されたことの確認と場合によっては削り残し除去のために加工シーケンスの修正が必要となる。

#### (5) 研究動向

工具管理についての研究報告は現状ではあまり多くない。

在庫管理や運用管理に関しては、以下の研究がある。

三井(旭川工専)ら<sup>1)2)</sup>は、工具の準備・運用を一元的に管理し、各マシニングセンタに必要な時に供給する工具ジャストインタイム供給システム(工具JIT)を可能にするため、工具運用計画法と工具データベースの設計方法について提案している。また、マシニングセンタ用工具組立支援の観点から工具情報モデルを構成する部品構成モデル、組立モデル、交称寸法モデル、実寸法モデルの表現方法も提案している。

平林(大阪府大)ら<sup>3)4)</sup>は、オープンショップ型FMSの場合は完全機能分散型の工具配分が、ジョブショップ型FMSの場合は全工具数の40%以下の工具を重複させる機能分散型の工具配分が良好な稼働率が得られることを報告している。また、3機械以上のジョブショップ型FMSについて稼働率を最大化にする機能分散型の工具配分法も提案している。

ツールIDや工具管理の現状を紹介したものには以下の例がある。

石川(エヌティーツール)<sup>5)</sup>は、ツールIDシステムを既存のマシニングセンタに導入した時の問題点とその解決法について解説している。

中谷(日本バルーフ)<sup>6)</sup>は、ツールIDシステムの工具管理について、工具へのデータ書き込み、工具検索、工具データのCNC装置への転送、工具寿命データの更新といった具体的

な内容を解説している。

平野（日産自動車）<sup>7)</sup>は、エンジン生産工場における切削工具の管理方法について、使用工具のリスト、ツールストックの特徴、寿命管理、工具の出し入れ管理等について紹介している。

工具寿命の判断法に関しては、以下の研究がある。

下田（群馬工専）<sup>8)</sup><sup>9)</sup>らは、工具寿命を確率変数としてとらえ、能率基準、費用基準のもとで工具交換時期を決定するための統計的方法を提案している。また、工具寿命を「摩耗によるもの」と「欠損によるもの」とに分け、各々の工具寿命分布を考慮して問題を定式化し、工具欠損の発生による加工の中断を少なくし、信頼度の高い加工システムを構築するための工具の選択法と工具交換時期の設計法を提案している。

永瀬（東芝）<sup>10)</sup>は、切削シミュレーションによって工具にかかる抵抗力を切削条件、材料の材質、硬度、工具の材質、寸法、刃数などから求め、工具の寿命条件、疲労度、所定期間内の所要数量、コストなどを算出している。

## 参考文献

- 1) 三井，田中ら：工具運用計画のための工具データベースの設計法，精密工学会誌，Vol.61,No.6(1995)
- 2) 三井，田中ら：マシニングセンタ用工具組立作業支援のための工具情報モデルに関する研究，精密工学会誌，Vol.62,No.5(1996)
- 3) 平林，長沢ら：オープンショップ型FMSおよび2機械ジョブショップにおける工具配分法，日本経営工学誌，Vol.44,No.4(1993)
- 4) 平林，長沢ら：ジョブショップ型FMSにおける工具配分法，日本経営工学誌，Vol.45,No.1(1994)
- 5) 石川：自動運転とセンシングツールIDシステムの運用，ツールエンジニア，Vol.34,No.8(1993)

6) 中谷：ツールIDシステムと工具・工作物管理の実際，ツールエンジニア，Vol.34,No.1(1993)

7) 平野，岩下：カーメーカーに見る工具管理システムと再研削，ツールエンジニア，Vol.33,No.11(1992)

8) 下田，桜井：自動加工における統計的工具交換方式の研究，日本経営工学会論文誌，Vol.45,No.6(1995)

9) 下田，桜井ら：工具欠損が突発的に発生する場合の統計的工具交換方式信頼度の高い切削加工システムの設計法に関する研究，日本経営工学会論文誌，Vol.48,No.4(1997)

10) 永瀬：解析機能付切削シミュレーション装置，東芝技術公開集，Vol.15,No.57(1997)

## 3.7 製造監視システム

生産システムを有効に稼働させるためには、製造ライン全体の監視と個々の加工状態の監視が必要となる。全体の監視ではラインが順調に稼働するように物流を制御したり、ラインにトラブルが発生した場合にはすぐに最良の代替策を策定し実行しなければならない。一方、個々の加工の監視では加工機械の不具合、工具の損耗状態等を監視し、加工が正常に行われ、加工品が要求仕様に合うように最適に制御できなければならない。そのためには、センシングしたデータから加工状態やトラブルの内容を正確に認識し、さらには予測する技術や、これまでオフラインで行われてきた寸法・形状精度の測定をオンマシンで計測する技術が必要とされる。

図3.7に望ましい製造監視システムの形態とその構築に必要な要素について示すが、これらの実現には、安価で信頼性の高いオープン化したセンサの開発、インテリジェントな情報処理技術を駆使し、柔軟性と信頼性を兼ね備えたモニタリング技術の開発が重要なポイントと思われる。



### 3.7.1 製造ラインの監視

#### (1) 望ましい形態

製造ラインの監視のインテリジェント化を考えると、特に顧客需要に左右される商品では品種の増大、製品の短命化が生じ製造技術の工夫が必要になる。製造能力と柔軟性を高めるためには機械、装置をモジュール化し、製造ラインが順調に稼働するように、各工程の状況をPOPなどのシステムや各種センサでリアルタイムに視して、不具合の生じた工程での自動修理や代替策を講じるなどの機能が必要である。

#### (2) 実現のための必要機能

製造ラインの監視で必要とされる機能にはワークの流れの状態を監視するためのセンサと、そのセンサ情報に基づくワーク流れの最適化機能などの情報処理機能が必要である。

##### 1) センサに求められる機能<sup>1)</sup>

センサ・アクチュエータと信号処理回路、情報処理回路、記憶装置などが一体化された超小型、安価、高信頼なマイクロセンサシステムの実現

センサシステム自身がデータ処理や自己診断、自己補償を行えるインテリジェント化の実現

##### 2) 情報処理機能

エキスパートシステムを用いたエラーの検出およびエラーレベルの判定機能

ファジィ理論とニューラルネットワークを応用して、エラーに対する判定や代替策の策定を、学習により高い確率で推定し、工程の大局的かつ柔軟な監視を可能とするような自己学習機能の実現

#### (3) 現状

製造ラインでは生産量、品質、設備稼働状況を監視する必要があり、CCDカメラ、レーザ、赤外線、X線、超音波などを用いたセンシング技術が多く使われている。CCDカメラなどの光学系センサなどの場合、光学系や機構を工夫したり、ソフトウェアの開発など、開発工数が大きくなっている<sup>2)</sup>。

またセンサの応答時間、動作領域特性やノイ

ズ対策、センサどうしの相互干渉などの問題があり、生産ラインの信頼性を低下させる原因の一つになっている。バーコードやチップセンサを用いて物と情報の一元化を図ることにより、製造ラインの進捗状況をリアルタイムでモニターできるシステム(POP: Point Of Production)が普及してきた。納期などの問い合わせへの応答性、トラブルや計画変更への対応性を高めることができるが、人間の意思決定に役立つような情報の加工法などに工夫が必要である。

製造ラインの稼働率を上げるために、例えば製造ラインへバッファを設置するなどの方策が取られているが、仕掛品の増大を招く、多種少量生産に対応しにくいなどの欠点や限界を抱えている。さらに製造ラインの停止原因の確定と代替策の推定および修復作業の自動化に至っては非常に困難であるのが現状である

#### (4) 課題・問題点

工程監視の結果を判定する際、エラーレベルに達したかどうかの判定基準を設定する難しさがあり、安全側に設定することにより稼働率が上がらなかったり、エラーレベルに応じた代替策の推定が難しいなどの問題がある。

#### (5) 研究動向

製造ラインの監視に関する研究は、設備稼働状況のリアルタイムで正確なモニタリングとその情報からの迅速な対応に関するものが多く見られる。いずれも生産効率の向上が最終目的である。

CAMERINHA-MATOS LMらは、統合製造システムにおけるロボットによる組み立て作業の監視において、種々の抽象レベルで、作業の起動、実行のモニタリング、診断および故障回復の機能を有するアーキテクチャを導入し、帰納的学習を使ってラインの故障を分類し、因果関係によってモデル化する方法について検討している<sup>3)</sup>。山品元は、製造ライン工程中に戦略的に検査工程および修理工程を設けることによって、効率を向上させるシステムの提案<sup>4)</sup>を行っている。

## 参考文献

- 1) 桑野博善：情報センシングマルチメディア通信サービスに向けた情報センシング技術の研究開発センシング技術によるパラダイムの変遷，NTT R&D (JPN)，Vol.45,No.9(1996)pp879.
- 2) 奏清治：製造ラインにおける画像処理技術最近の画像応用計測の動向と新分野への展開，自動化技術，Vol.27,No.8(1995)pp38.
- 3) CAMERINHA-MATOS  
L M et al.:Integration and Learning in Supervision of Flexible Assembly Systems, IEEE Trans Rob Autom (USA), Vol.12,No.2(1996)pp202.
- 4) 山品 元：自動組み立てシステムにおける検査修理戦略，精密工学会誌，Vol.61,No.7(1995)pp949.

### 3.7.2 加工状態の監視と制御

#### (1) 望ましい形態

従来の加工においては，熟練作業者は切削面状態・切り屑状態（視覚），切削音（聴覚），手に伝わる切削力（触覚）などから加工状態を認識し，加工条件の変更や工具交換など経験や勘による適切な行動をとることにより最適な加工を行ってきた。

そこで，加工状態の監視と制御のインテリジェント化を考えた場合，その望ましいシステムは，人間の五感に相当する複数のセンサを備え，そのセンサ信号から加工状態を的確に把握し，加工状態を最適な状態に制御できるシステムでなければならない。

#### (2) 実現のための必要機能

加工プロセスを最適化するにはプロセスの状態を的確に把握するための監視技術の確立と維持・管理が必要である。

そのためには，以下の機能が必要である。

- 1) センサ信号から加工状態を的確に把握するための評価機能
- 2) その評価に基づいた最適加工状態への制御機能

#### (3) 現状

加工状態を監視するためにさまざまなセンサが用いられ，監視システムの研究や構築が行われているが，それぞれ実用化に向けた課題をかかえている。

切削工具の監視では，工具を工学的な方法などで直接監視する方法と，切削によって生ずる現象を測定することにより間接的に工具状態を検出する方法に分けられる。

間接的に工具状態を検出する方法として，加工中の AE 信号，切削動力の信号（電流，トルク等），切削音，振動などを用いて刃先の状態を監視する方法がある。しかし，AE 信号や切削動力などの信号には工具だけではなく，ワークや加工機械をはじめ多くの要因も含まれるため，工具状態を正確に監視することは難しい。

これに対し，直接工具を監視する方法では，ITV などから直接加工中の工具の画像を得て，それから画像処理により工具の摩耗量などを測定することができるので正確な工具状態が得られる。しかし，情報量が多いことによるデータ処理速度や，切り屑・切削油剤などの除去方法など解決すべき問題がある。

現在，実用化されている加工状態の監視技術としては，モータの負荷電流による異常検出，AE による工具折損の検出などがあるが，信頼性や柔軟性に問題が残る。

#### (4) 課題・問題点

工具摩耗を画像処理を用いて監視するためには，加工中の工具の画像をセンサで捕らえ，摩耗幅を加工中連続的に測定する必要がある。このため，情報量が膨大であったり，処理に時間がかかるために実用化での問題が残されている。

また，画像処理では工具の実際の摩耗状態を直接観察し，摩耗量を測定できるのが利点であるが，これを行うための最大の問題点は，工具と被加工物が接触しているときの画像が得られず，得られる画像は，被加工物と接触していない時に限られることである。このことはフライス加工などのように断続した切削で，加工中に工具が被加工物と離れる時間のある方法にしか

適用できないことを意味しており，旋盤加工のように連続切削を行う方法には適用困難である。

旋盤加工のような連続切削では，工具が被加工物と接触したままなので工具の摩耗状態（摩耗幅等）を直接には測定できない．このため他の要因，例えば，切り屑の形状，排出状態，被加工物の状態等から工具の摩耗状態等を類推する必要がある．そのためには，これらの因果関係を確立しておくことが課題となる．

切削力は切削現象を直接反映しているため3分力の切削動力計を用いて加工状態を監視する研究が数多くあり実績も残しているが，高価なことと，ワーク・加工形態に制限があるなど，実用機には用いることができないため，加工に影響しない小型で安価な力センサの開発が求められている．いくつか開発例はあるが，精度・感度などの点で問題がある．

AE は，1970年代から工具破損の検出などのセンサとして研究されているが，工具以外から発生するノイズが存在し，その周波数帯域が近いものもあり，それらのノイズをどう除去するかが問題となっている．

### （5）研究動向

工具の画像を得る方法としては，ITV カメラ等のカメラを使用し直接工具の画像を得る方法と，工具にレーザ光を照射し，その反射光を処理し画像を得る方法とがある．

沢井らのカメラ等により画像を得る方法<sup>1)</sup>では，得られた画像を画素に分解し，画素ごとの輝度情報を得る．この情報から工具の摩耗部とそれ以外の部分を区別するのに必要な輝度レベルを二値化するためのしきい値の自動決定方法，摩耗幅測定のための摩耗部境界確定法の研究が進められている．また，工具の摩耗部の外に摩耗部として表れるノイズの除去法として隣接画素間で論理演算を行うことの有効性が報告されている．

このような画像の輝度レベルを二値化する方法では，得られた画像のコントラストが弱いとコントラストの強いものに比べ測定精度が悪くなる傾向にある．良質な画像を得るための照明

の工夫，輝度レベルの情報を細かくするなどの対策が考えられる．

レーザ光を利用して画像を得る方法では笠島らの研究<sup>2)</sup>によると，工具に照射したレーザ光の反射光から得られる距離情報と輝度情報を同時に測定するハイブリッド測定を利用することにより，距離情報から工具の3次元形状が，輝度情報から逃げ面の摩耗幅の情報が得られている．これによりチップング等の工具の大きな欠損から摩耗幅まで同時に求めることができる．ノイズ処理は統計的手法によっている．

アコースティックミッション（AE）センサを用いたフライス加工状態の自動監視の研究として竹下らの研究<sup>3)</sup>があり，単一センサによってビビリ振動の検知，工具寿命の監視および工具欠損の検地の方法と結果を示すとともに，各監視項目を総合的に行うシステム構成を示している．

また，森脇ら<sup>4)</sup>は，切削動力計，AEセンサからの信号を融合し，検出方法にニューラルネットワークを利用することにより，工具摩耗，ビビリ，切り屑の絡みなど複数の工具異常の検出を試みている．

柴坂ら<sup>5)</sup>は複数の評価・推定システムを並列に機能させることにより，切削加工監視における経済性と柔軟性をもつ信頼性の高いシステムとして，包括監視システムを提案している．

IMS 国際共同研究プログラムの国内研究<sup>6)</sup>では，切削加工用監視システムとして，歪ゲージを用いた力センサと圧電素子によるアクチュエータを組み込んだクランピング装置の開発と切削力予測モデルを用いて工具摩耗を推定するシステムや，非接触で回転体のトルクを直接的に検出することのできる磁歪式トルクセンサを用いた工具摩耗の検知，切削抵抗力をトルク，スラスト力，ラジアル力を同時に検出する磁歪式切削抵抗分力センサの開発，マシニングセンタ主軸に組み込んだ力センサによる加工送りの適応制御などの研究が行われており，研削加工用監視システムとして，AE信号と研削動力を用いて研削加工のインプロセス監視を行うこと

により研削サイクルの最適化を図る研究，C B N 砥石を使用した内面研削加工の加工能率・加工精度の最適化と砥石ランニングコスト最小化を図るため，ニューラルネットワークを用い加工粗さを予測し仕上げ動力を制御する研究などが行われている。

また，C I R P（国際生産加工研究会議）では切削と研削においてA Eを用いた監視技術に関する研究成果がでているようである。

今後期待される加工状態監視・制御に関する研究開発のポイントは，

- ・センサの融合化。
- ・高度な（知的な）信号処理，切削シミュレーション技術。
- ・監視情報から加工の最適化，適応制御への発展。
- ・自律分散型の生産システムに対応したインテリジェント工作機械。
- ・システム（センサ・NC 制御装置等）のオープン化・自律化・小型化。
- ・あらゆる加工状態に対応できる柔軟性と信頼性の向上。

などであろうと思われる。

## 参考文献

- 1) 沢井他：画像処理による工具摩耗の自動測定，精密工学会誌，Vol.61,No.3(1995)pp368\_371
- 2) 笠島他：レーザセンサを用いたインプロセス工具モニタリング法，日本機械学会論文集，Vol.63,No.608(1997)pp1237\_1242
- 3) 竹下他：アコースティックエミッションセンサを用いたフライス加工状態の自動監視，精密工学会誌，Vol.59,No.2(1993)pp91
- 4) 森脇他：ニューラルネットワークを用いた切削状態の認識に関する研究，精密工学会誌，Vol.59,No.5(1993)pp779
- 5) 柴坂他：包括的監視システムに関する研究，精密工学会誌，Vol.63,No.1(1997)pp65
- 6) I M S 国際共同研究プログラム

「SIMON(Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining)」  
機械加工プロセス最適化用センサ融合知能化制御システムに関する報告書，(1996)

### 3.7.3 加工トラブルの検出と推論

#### (1) 望ましい形態

自動化，省力化技術は進歩し，加工工場においては無人による製造ラインの夜間自動運転なども行われている。しかし，実際の加工工程においては予想もしなかったトラブルが発生して生産がストップしたり，ワークの取り付け，取り外しの自動化の難しさなどから，完全無人化には至っていない。

加工中に生じるトラブルは各加工法によってその内容は多種多様であり，その発生要因もまた複数の要因が互いに影響し合っていることが多い。このため，そのトラブル要因を監視するセンサも各要因内容に合った機能が要求される。これらの複数のセンサ信号を用いて総合判断によりトラブルの発生を事前に予知するとともに，トラブルの発生を大きなダメージが生じる前に検出し，その対策を講じる機能を備えている必要がある。

#### (2) 実現のための必要機能

加工におけるトラブルは，加工法によってもその内容は異なり，多種多様なトラブルが存在する。例えば，切削加工においてはビビリ振動の発生，切れ刃のチッピング，工具摩耗が著しい，表面粗さが悪いなど。また，研削加工においては，砥石の目詰まり，研削焼けが生じる，寸法精度が悪いなどがある。これらのトラブル発生の予知や検出に対して，トラブル箇所からの複数の信号情報を用いて対処する必要がある。その信号情報を検出するためのセンサは信号情報の特性によって異なる。

トラブル監視用センサに要求される機能としては，

- 1) 加工環境において目的の信号を正確に検出できること。
- 2) 加工作業に支障のない小型で取り付けが，

容易なこと。

3) 信号処理が容易なこと。

などがあげられる。

更に、トラブル対策においてはセンサ情報を用いて如何にしてトラブルの内容と、その発生の予知あるいはその発生状態を推論・判定するための手法を備えていなければならない。

### (3) 現状

トラブルの中の工具損傷について見ると、今だ予測方法が十分でないため、トラブルを事前に予知することは困難である。現在、トラブル検出として行われている主なものは、トラブル発生後の検出であり、中でも工具摩耗・欠損の検出が中心である。これにはタッチセンサ、レーザ検出器を用いた工具破損検出や、切削抵抗の計測、あるいは主電動機・駆動モータの動力計測等による工具摩耗・欠損を検出する方法がある。切削抵抗の計測や動力測定では、得られる信号の変動によって摩耗の度合を判断したり、予め与えられている正常時のデータに対して異常に大きな値であったり、または無負荷であったりというのを検知して工具欠損であると判断する。しかし、この場合でも本当に工具の欠損なのか、他の原因に因るものかの判定を行うことはできない。このため、異常を検出した時点でアラームを発生し、工作機を停止するなどの対策がとられている。

ビブリの発生については、振動センサの組み込みによって検出は可能であるが、その発生原因の推論が困難なため、実用化には至っていない。

表面粗さの計測は振動の影響などでオンマシン計測が困難なため、未だ実現されていない。

砥石の目詰まりや研削焼けが生じた場合、動力測定等によってある程度は検出が可能であるが、実際のところはこれらの不具合が発生しないように経験的に決まった時間で砥石のドレッシングやツルージングを行っている。

寸法精度の確認については、現在すでにオンマシン計測によるワークの寸法測定が行われている。これによって工具補正に自動フィードバ

ックしたり、ワークの良否を判定したりする。しかし、これでは加工工程の最終段階でのトラブル検出であるために、決して効率的であるとは言えない。

### (4) 課題・問題点

かなりのレベルまで切削現象が解明されてきた現在では、加工トラブルを予測する手法の研究が多数なされている。この予測手法を早期に実用化させることが第一の課題である。予測手法が実用化されたとしても、運転中の不慮のトラブルは避けられないそこで何らかのセンサにより加工状態を監視することが必要となる。「加工状態の監視」ということになれば、工具は高速で回転し、また被削物とも接触しており、その上切削油が使用されているという悪条件下での監視に適した有用なセンサの開発と監視技術の確立が第二の課題である。

また、トラブル原因を解明する技術とその対策の推論手法も整備されておらず、トラブル対策後の機械復帰プログラムの問題もある。

### (5) 研究動向

かつては工具欠損の検出に「AEによるセンシング技術」を用いた研究が多数あったが、現在では一部の機械に適応されているに過ぎない。現在では工具の欠損を目的とした監視技術よりも、摩耗や加工状態を検出しようとするものが多い。笠島らは回転中のエンドミルをレーザを用いて計測し、それを上下にスキャンすることで工具の形状を可視化表示する方法について報告している<sup>1)</sup>。

予測技術では、金沢らによる工具内の衝撃応力分布、劣化法則を考慮した確率的破壊応力条件による工具欠損の確率的な予測手法を超硬合金エンドミルに適用する研究<sup>2)</sup>、森脇らによる切削力予測モデルと測定システムを利用し、最適化手法を適用することでエンドミルの摩耗状態を推定する研究<sup>3)</sup>、宅間らによるカメラから得られる工具の摩耗状態と加工条件に基づいて、画像処理技術とニューラルネットワークを導入することで残存寿命と摩耗形態を推定する研究

4)などが挙げられる。

工具欠損の検出では、青山らによる磁歪効果を利用した高感度切削トルク検出センサを開発し、ウェーブレット変換に基づく工具摩耗検出と切削トルクのダイナミックな観察比較に基づく工具欠損検出<sup>5)</sup>などがある。

## 参考文献

- 1) 笠島他：レーザセンサを用いたインプロセス工具モニタリング法，日本機械学会論文集，Vol.63,No.608(1997)pp1237\_1242
- 2) 金沢他：超硬合金エンドミルの折損の解析的予測，精密工学会誌，Vol.60,No.6(1994)pp822
- 3) 森脇他：切削力予測モデルに基づくフライス加工状態の認識（第1報），日本機械学会論文集，Vol.61,No.586(1995)pp2592\_2598
- 4) 宅間他：旋削加工における工具管理システムに関する研究（第1報），精密工学会誌，Vol.60,No.5(1994)pp723\_727
- 5) 青山他：磁歪式トルクセンサによるフライス加工プロセスの認識型技術，Vol.11,No.13(1996)pp46\_47

### 3.7.4 オン・マシン計測

#### (1) 望ましい形態

加工品質の均一化や生産システムの自動化において工作機械のNC化は多いなる貢献を遂げてきた。しかしながら、高精度な加工が要求される中、機械・工作物の剛性や熱変形、工具摩耗などの原因による加工誤差は一層問題視され、測定・検査は必要不可欠なものとなっている。通常、測定・検査は加工ラインから離された、つまりオフラインでの測定によることが多い。これは、環境の整った測定室で測定が行えることや洗浄ができることなどのメリットがある反面、加工機へのフィードバックに時間がかかること、不良品を一度に大量に出してしまうことなどの危険性もある。汎用機で加工が行われていた場合は、機上で寸法や形状をノギス、マイ

クロメータなどを使用して確認され、誤差が生じればその場で熟練工によりフィードバックされていた。したがって、生産のインテリジェント化を進めるにあたっては、加工機上で工作物を保持具またはチャックに取り付けた状態で、寸法、形状精度、表面性状の測定を行うオンマシン計測技術と、その計測結果に基づいたフィードバック機能を備えている必要がある。

#### (2) 実現のための必要機能

機上で測定する中には、加工中に精度を測定する方法と、加工と加工との間で測定する方法がある。いずれにせよ、工作物が工作機械に取り付けられている状態で、加工された部品や製品の寸法・形状精度、表面性状の計測が出来なければならない。したがって、その測定装置は以下の機能を備えている必要がある。

- 1) 加工工程の障害にならない。
- 2) 切り屑，切削油，振動，熱など機械加工現場の過酷さに耐えられる。
- 3) 測定精度，信頼性，操作性に優れている。

例えば、ひずみ測定に用いられるひずみゲージは目的とするひずみ量以外に周辺温度や湿度によっても影響される。また、精密測定によく応用されるレーザ光の波長は環境の温度や湿度、気圧によっても影響を受けることが知られている。このように、環境からくる外乱に対して十分な対策を施す必要がある。

#### (3) 現状

現在、オン・マシン計測で使用されている計測装置としては以下のものが使用されている。

- 1) 「寸法測定」  
タッチプローブ式，キャリパ式，エアマイクロメータ式，レーザスキャン式。
- 2) 「形状測定・表面粗さ測定」  
光学式粗さ計，表面粗さ測定用のヘッドの搭載。

(# 旋削，研削，MC等について具体例を記述)

#### (4) 課題・問題点

計測装置は、加工機の中に取り付けられることがほとんどである。したがって、センサまたは測定用ヘッドは機械の狭いスペースに設置し

なくてはならないことから小型軽量化が望まれ、加工中の劣悪な雰囲気にも耐え、振動や温度変化などの環境に左右されずに高精度の測定が可能であることが必要である。また、被測定物のクリーニングや温度管理の問題も重要であり、非接触・高速測定も強く望まれるところである。

今後はこれらの要求に適合するような測定システムを開発することが必要であり、さらにオン・マシン計測システムの搭載を機械設計の段階で意識していく必要がある。

### (5) 研究動向

最近の研究動向としては、光計測を用いた微細表面形状の測定、超音波を用いた工作物の寸法測定や、レーザ光を利用した回転工具の可視化に関する研究等が報告されている。

光計測を応用しているものとしては、宇田らは HIPOSS と呼ばれる光学系から成る非接触微小変位計（縦分解能 0.2nm rms）を用いて、表面粗さや形状をインプロセス計測している<sup>1)</sup>。

宇田は液体中における測定に適している超音波を利用することで、切削液や研削液を使用する実際の機械加工におけるインプロセスでの工作物寸法測定を行っている<sup>2)</sup>。

また、森らはレーザセンサを用いて、回転しているエンドミル工具の損耗状態をインプロセスでイメージできるシステムを開発している。<sup>3)</sup>

### 参考文献

- 1) 宇田，河野他：インプロセス計測加工精度補償の研究（第5報），精密工学会誌，Vol.61,No.7(1995)pp976.
- 2) 三井：非点収差方式による超音波変位計測法，機械技術，Vol.46,No.7(1998)pp31.
- 3) 森，沢井：可視化によるエンドミル工具損耗の診断，機械技術，Vol.46,No.7(1998)pp42.

## 4 . 生産システムのインテリジェント化

### 企 業 事 例

CAD/CAM/CAEシステムの利用、および製造工程の各種自動化と共に、ネットワーク化は今後の中小企業の生き残りをも左右する重要な要素である。また、そのインテリジェント化は、その効果を一層高める上でも必要不可欠な要因である。

そこで、中小企業における実際のシステム構築例を紹介し、これから新たに生産システムの構築を考えている企業の参考となれば幸いである。

なお、事例の提供を頂いた企業に対して、ここに厚くお礼申し上げます。

#### 「金型見積もりシステム」

・上尾精密(株)・岩手県

#### 「段ボール生産情報システムの開発」

・(株)オーパシステムエンジニアリング・神奈川県

・コンポー(株)・神奈川県

#### 「薄鉄板の自動選別装置に関する研究開発」

・(株)森田木工所・静岡県

#### 「眼鏡枠生産スケジューリングに関する研究」

・(株)ホリカワ・福井県

#### 「CAD/CAM・簡易LANによる図面データの一元化管理」

・(株)伊吹機械・滋賀県

#### 「メリヤス用編針のCAD/CAM化」

・シバタ製針(株)・奈良県

#### 「自動車用ピストンの設計・解析工程の自動化」

・自動車部品メーカー・広島県

#### 「工作機械群の集中モニタリングシステムの開発」

・(株)大島製作所・山口県

#### 「ケルダール窒素自動測定装置の開発」

・熊本アイディーエム(株)・熊本県

#### 「送電線弛度曲線設計支援システムの開発」

・(株)キャドリング・宮崎県

#### 「2.5次元加工に対応したNCデータ生成機能の開発」

・サイバーテック(株)・宮崎県

#### 「2次元CADによる回転体形状の体積計算機能の開発」

・サイバーテック(株)・宮崎県

## 5 . 公設試験研究機関の生産システムに関する

### 研究・研修インテリジェント化事例

各公設試験研究機関においては、中小企業における技術水準の向上を目的として各種研究・研修事業を進めている。そこで行われた生産システムのインテリジェント化の研究・研修事業の内容・結果について、事例としてまとめた。

この事例が、中小企業における生産システムの高度化の参考となり、技術力向上に寄与することを期待すると共に、各公設試験研究機関における活動の理解の一助となれば幸いである。

#### 「木質部材のための仕上げロボット制御技術」

- ・北海道立工業試験場

#### 「加工条件データベース検索システム」

- ・岩手県工業技術センター

#### 「高機能コンピュータによる設計品質の高度化と効率的生産システムに関する研究」

- ・秋田県工業技術センター

#### 「知識ノウハウを用いた歩留向上システムの開発」

- ・秋田県工業技術センター

#### 「パソコンデータベースを用いた生産管理システム」

- ・秋田県工業技術センター

#### 「プレス金型製造技術の高度化システム」

- ・栃木県工業技術センター
- ・栃木県県南工業指導所
- ・栃木県地域金型技術事業化組合

#### 「中小企業向けFMS工場の構築」

- ・埼玉県鋳物機械工業試験場
- ・埼玉県工業技術研究所（現在 埼玉県工業技術センター）

#### 「高温物体のインプロセス熱画像計測装置の開発」

- ・東京都立産業技術研究所

#### 「ブロー成型硝子製造工程における熟練作業の自動化」

- ・東京都立産業技術研究所
- ・東京都立八王子技術専門校
- ・三和特殊硝子（株）

#### 「作業現場向きヒューマンインターフェースの開発研究」

- ・神奈川県産業技術総合研究所

#### 「難防除微小害虫の高速無人計数装置の開発に関する研究」

- ・静岡県沼津工業技術センター

#### 「特徴点注視と連想記憶によるマシンビジョンシステムの研究」

- ・名古屋市工業研究所

「3次元形状モデラの研究」

・岐阜県工業技術センター

「バルブの強度解析について(平成5年度)」

・滋賀県東北部工業技術センター

「バルブの強度解析について(平成6年度)」

・滋賀県東北部工業技術センター

「CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(平成2年度～平成4年度)」

・滋賀県東北部工業技術センター

「CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(平成5年度～平成6年度)」

・滋賀県東北部工業技術センター

「NC加工工場内ネットワークの構築」

・奈良県工業技術センター

「エキスパートシステムを利用した統合化CAD/CAMシステム」

・岡山県工業技術センター

「ハイブリッドCAEシステムの開発」

・広島県立西部工業技術センター

「工作機械主軸電動機の電圧電流検出による加工トルクの推定」

・山口県工業技術センター

「トルク制御加工システムの開発」

・山口県工業技術センター

「雑音補償AE検出装置の開発」

・山口県工業技術センター

「「干渉線投影法」によるリバーエンジニアリング対応型

3次元CAD/CAMシステムの開発」

・福岡県工業技術センター機械電子研究所

「CAMにおける加工条件支援システムの開発」

・熊本県工業技術センター

「Z-mapモデルによる3次元CAD/CAMシステムの開発」

・宮崎県工業技術センター

## 6. ま と め

第2章において、機械工業を対象に生産システムでの熟練技能者が行っている知的作業の内容とは何か。また、「生産システムのインテリジェント化」を進めるための基本技術でもある熟練作業者が持つノウハウとは何かについて、本調査研究を進める上での定義について述べた。

ノウハウについては、一般的に使用されているが、まだ具体的な内容について明確に定義されて述べられてはいない。そこで、ここでは機械加工におけるノウハウについての明確化を試みると共に、「生産システムのインテリジェント化とは何か」についての定義と、生産システムにおけるインテリジェント化項目と必要機能について述べた。

インテリジェント化項目と必要機能については、生産システムの各企業レベルおよび各作業レベルごとに明確化を行った。

第3章においては、生産システムの各工程ごとに、インテリジェント化システムとしての望ましい形態とその実現のための必要機能について述べ、また現在の技術レベルの現状と、問題点について概観すると共に、研究動向について述べた。

望ましい形態においては、現実では不可能な技術であっても、理想とする夢物語を述べ、必要機能においてはその夢の実現に必要な機能について述べた。

第4章では、民間企業における生産システムのインテリジェント化事例について述べた。民間での事例では、CAD/CAMシステムなどの導入による単なる自動化から、かなり進んだインテリジェント化の事例まで含まれている。

第5章では、各公設試験研究機関において行われてきた研究や研修事業における生産システムのインテリジェント化に関する事例について述べた。事例については、各公設試験研究機関の設置地域や産業基盤の関係から、必ずしも機械産業に関係しない事例であってもその研究活動の紹介も含めて述べている。

本調査研究は、製造工程の密閉化、自動化に伴って生じるであろう熟練技能者不足や、今後のネットワークを利用した生産システム化のあり方を念頭に置きながら、生産システムにおけるインテリジェント化の方向、内容を明確にした。また、地方公設試験研究機関におけるこの分野での具体的活動内容と、民間企業に対して指導あるいは共同研究として行ったインテリジェント化事例の調査をも併せて行った。

本資料が、機械工業における生産システムのインテリジェント化、あるいは高度化のための検討素材となれば幸いである。

最後に、本報告書の作成に当たり、報告書の中心となる第3章に関して、その各節の項ごとに参加公設試験研究機関で分担して執筆を行うとともに、各節ごとに原稿の取りまとめを置いてその節での調整を行った。また、報告書全体の調整、校正は関東ブロックの公設試験研究機関と機械技術研究所が中心となって行った。

ここに紙面を借りてご協力賜った各位に感謝する次第である。