

平成 16 年度  
新製造技術に関する調査研究報告書  
－製造技術の情報化促進－

平成 17 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会  
財団法人 製造科学技術センター

## 序

戦後の我が国の経済成長に果たした機械工業の役割は大きく、また、機械工業の発展を支えたのは技術開発であったと云っても過言ではありません。また、その後の公害問題、石油危機などの深刻な課題の克服に対しても、機械工業における技術開発の果たした役割は多大なものでありました。しかし、近年の東アジアの諸国を始めとする新興工業国の発展はめざましく、一方、我が国の機械産業は、国内需要の停滞や生産の海外移転の進展に伴い、勢いを失ってきつつあり、将来に対する懸念が台頭しております。

これらの国内外の動向に起因する緒課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題が山積しているのが現状であります。これらの課題の解決に向けて従来にもましてますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進出し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

これらのグローバルな技術開発競争の中で、わが国が勝ち残ってゆくにはこの力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレイクスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要が高まっております。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向等の補助事業のテーマの一つとして財団法人製造科学技術センターに「平成16年度新製造技術に関する調査研究－製造技術の情報化促進－」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成17年3月

社団法人 日本機械工業連合会  
会 長 金 井 務

## はじめに

わが国製造業は、良質で低廉な労働力と大量の消費需要が期待される中国を中心とする東アジアへの事業展開が進んでいますが、製造業の主導的役割を果たしてきた機械製造業においてもこれらの事業環境の変化のなかでリスクを背負いながらもグローバルオペレーションの展開を余儀なくされています。しかし、一方では製品の高品質化、高付加価値化を図るとともに、他に真似のできない製造技術を開発することにより、国内での生産を維持し、また国内回帰を図る傾向も見られてきています。

デジタル技術に代表される日進月歩の情報技術の効果的な活用に関しては、通信はもとより流通の分野などでも大きな前進が見られますが、製造技術の分野においてはデジタル技術を駆使して熟練技術者が習得している技能・ノウハウ・経験を分析し、これをデータベース化する研究が進められています。これは、わが国の独創的な熟練技術者によって蓄積された加工技術を情報技術によって伝承していくことを目的としたものでありますが、実用化には未だ多くの課題が残されています。

本事業では、目まぐるしく進展する半導体技術とデジタル技術を製造技術そのものへ活用することによって、加工技術の一層の高度化、製品の品質化、高性能化、製造の高効率化、低コスト化を実現し、情報技術との融合化によって日本独自の強みを生かした付加価値の高い製造技術を確立することにより生産システム全体の比較優位を構築して行くことを目的としています。

このような基本認識の下に本事業は、機械の製造技術を分野毎に分析し、情報技術融合化の方向性について提案するとともに、これに対する製造現場における評価を得て提案テーマの集約化及び研究開発内容の具体化のための調査・検討を実施いたしました。

本報告書は、これらについてまとめたものであり、これからの製造業が持続的発展と一層の競争力の進展に寄与することを願っています。

本事業の実施にあたり、ご支援いただきました経済産業省ならびに社団法人日本機械工業連合会にお礼を申し上げますとともに協力をいただきました委員の皆様方に対し深く感謝を申し上げます。

平成17年3月

財団法人 製造科学技術センター  
理事長 庄山悦彦

# 目 次

	頁
序	
はじめに	
目 次	
第1章 調査研究の概要	1
1.1 背景と目的	1
1.2 調査研究体制	1
1.3 調査研究項目・スケジュール	2
第2章 製造技術動向調査	3
2.1 アンケート調査の概要	3
2.2 アンケート調査の結果	4
2.2.1 業種	4
2.2.2 事業展開に重要な要因	4
2.2.3 情報技術の役割	5
2.2.4 研究開発テーマ	6
2.3 研究テーマの集約	8
2.4 「情物一致」に関するヒヤリング	9
2.4.1 工作機械製造メーカー（A社）	10
2.4.2 非鉄金属メーカー（B社）	11
2.5 まとめ	12
第3章 情物一致	16
3.1 情物一致の概念	16
3.1.1 情物一致の概念	16
3.1.2 情物一致の必要性	17
3.1.3 「構想－情報－製造物」の一致 ～ 想情物一致	18
3.1.4 情物一致を実現するための計測技術	20
3.2 設計品質	24
3.2.1 はじめに	24
3.2.2 設計品質のIT化の現状と課題	25
3.2.3 PDQ（Product Data Quality）向上を狙った活動	27
3.2.4 設計品質IT化に関する提案	31
3.3 動態保存	32
3.3.1 技術の現状	32
3.3.2 デジタルマイスター	36

3.3.3	日本の強み	38
3.3.4	研究開発内容	39
3.3.5	得られる成果	43
3.4	現物融合化技術	45
3.4.1	仮想生産	45
3.4.2	現物融合エンジニアリング	47
3.4.3	加工計測融合システム	50
3.4.4	現物融合の意義	58
3.4.5	技術課題	59
3.5	トレーサビリティ	60
3.5.1	トレーサビリティの必要性	60
3.5.2	技術の現状	62
3.5.3	研究開発の内容	64
3.5.4	トレーサビリティと「情物一致」	65
3.5.5	得られる成果とシステムへの期待	68
第4章	まとめ	71
4.1	日本の製造業の問題	71
	(1) 製造業の問題はなにか	71
	(2) IT武装はどのようになされるべきか	71
4.2	本調査報告の提案	72

## 第1章 調査研究の概要

### 1.1 背景と目的

わが国製造業の主導的役割を果たしてきている機械製造業は、デジタル景気を基盤とする中国をはじめとするアジア諸国の成長経済と世界的な好景気に牽引される形で設備投資が急速に回復し、リストラ効果と相俟って企業の業績が大きく改善しつつある。

しかし、グローバル化の進展は国境を越えた国際競争が激化しており、今は海外展開によってトータルコストを押さえ、研究開発や設計を含めて多様化する市場ニーズに如何に迅速に対応していけるかどうかの渦中にある。

生産の海外移転は、製造技術も海外に移ることになり、移転してしまった技術は二度と日本に戻ることはない。既に、研究開発拠点すら海外に移す製造業も出現しており、空洞化は避けられない状況にある。これまでわが国の製造業は、固有の器用さ、勤勉さのなかで独自の製造技術を築き上げ競争力を培ってきたが、この先製造技術として何が残せ、何を残しておくべきかを真剣に考え、これに対処しなければならない。

機械製造業は、あらゆる製造業にとって不可欠な設備を供給する基軸産業であり、あらゆる産業の発展に果たす役割は極めて大きい。この機械は多数の部品から構成され、その部品一つ一つの品質は優れた加工技術によって作り出されるが、それは製造現場において経験の積み重ねによって編み出された技術・技能やノウハウによってそれを可能にしている。しかし、これまで蓄積したそれらを如何にして伝承し、進化させていくかが大きな課題である。

最近急速に進展しているデジタル技術を使ってそれらを伝承する研究開発が国のプロジェクトによって進められ、一定の成果を得た。これは、わが国の独創的技術を情報技術（IT）と加工技術との融合化によって実現しようとするものであるが、日進月歩の半導体技術とデジタル技術を単なる情報の伝達手段としての機能に留まらず、製造技術そのものへ活用を駆使することによって、製造技術の高度化、製品の高品質化、製造過程の高効率化、低コスト化を実現させるために、日本独自の付加価値の高い製造技術によって生産システム全体としての比較優位を構築して、世界を凌駕する競争力の高い製造技術を創造していかなければならない。

また、それがわが国の機械製造業が発展を続けていく唯一の手段であると云える。このような認識・理解の下に本事業は、製造技術の現状、情報技術の現状、製造技術と情報技術の融合化の現状と課題を抽出し、そこから「情物一致」のための新たな付加価値の高い製造技術を目指した研究開発テーマの提案を行うことを目的に製造技術の製造現場お有識者に対しアンケートを実施し、さらに関心企業へは、訪問調査による意見交換を行って、テーマの絞り込みとその内容の具体化のための調査研究を実施した。

### 1.2 調査研究体制

財団法人 製造科学技術センター内に技術高度化調査研究委員会を設置した。

構成メンバーは、製造技術に係わる加工技術、情報技術、システム技術の専門学識者によって構成した。

#### 技術高度化調査研究委員会名簿

##### [委員長]

新井 民夫 東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

##### [委員]

大高 哲彦 日本ユニシス株式会社 参事

大森 整 独立行政法人 理化学研究所 中央研究所 大森素形材工学研究室  
主任研究員

小野里 雅彦 北海道大学 大学院 情報科学研究科 システム情報科学専攻 教授

桐山 孝司

鈴木 宏正 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

高橋 哲 東京大学 大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 助教授

寺本 孝司 大阪大学 大学院 工学研究科 電子制御機械工学専攻 助手

中尾 政之 東京大学 大学院 工学系研究科 総合研究機構連携部門 教授

中塚 久世 株式会社 マイクロ・シー・エー・デー 代表取締役

福田 好朗 法政大学 工学部 経営工学科 教授

森 和男 独立行政法人 産業技術総合研究所 ものづくり先端技術研究センター  
センター長

安田 定一 コンピューティップス株式会社 代表取締役

##### [事務局]

瀬戸屋 英雄 財団法人 製造科学技術センター 専務理事

黒田 武夫 財団法人 製造科学技術センター 総務部長兼調査研究部長

橋本 安弘 財団法人 製造科学技術センター ロボット技術推進室 主席研究員

### 1.3 調査研究項目・スケジュール

#### (1) 調査研究項目

- 1.) 製造技術に関する製造事業所における動向調査
- 2.) 研究開発テーマの集約化と内容の具体化
- 3.) 情物一致における研究開発要素の重点化

#### (2) スケジュール

(本調査研究事業は、以下のとおりの委員会を開催して実施した。)

第1回委員会開催 平成16年 7月26日(月) (財) 製造科学技術センター

第2回委員会開催 平成16年 9月21日(火) 東京大学 本郷キャンパス

第3回委員会開催 平成16年11月17日(水) (財) 製造科学技術センター

第4回委員会開催 平成17年 2月23日(水) (財) 製造科学技術センター

## 第2章 製造技術動向調査

### 2.1 アンケート調査の概要

本調査委員会がまとめた「平成15年度新製造技術に関する調査研究報告書」においては、10～15年後を見据えて日本の製造業を活性化させる技術政策や研究を13テーマに絞り、表2. - 1のマトリックスとして示した。マトリックスの列にある「情物一致」「動的システムへの対応」「持続性社会の構築」は技術の適用対象の分類である。また行にある「情報処理」「加工」「情報－製造融合」「製造システム」は技術の分類である。両軸の範囲の広さからしても、このマトリックス全体がカバーする領域は広く、その中の13件の研究テーマは代表点にすぎない。また13件の研究テーマは主に、研究者から見たときの重要性に基づいて選ばれている。従ってこれらをもとに最重要課題を選定していくためには、産業界からみた潜在的なインパクトの評価も必要である。そこで本報告書では13テーマに関してアンケートを行い、産業界の視点からのテーマの優先順位付けを行った。

表2. - 1 研究テーマのマトリックス

技術 \ 対象	情物一致	動的システムへの対応	持続性社会の構築
情報処理	(1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術	(9) カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続的拡張技術	(12) 高齢者社会における消費者志向生産システム
加工	(3) 設計生産知識の動態保存に関する研究	(5) バーチャル加工作業習熟システム (8) 動的自動計測システムと高速物理情報伝送システム化技術	(13) 先端研究機器開発
情報－製造融合	(2) 設計品質高度化技術の研究	(4) マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術 (7) デジタル・マニュファクチャリングのための機器オブジェクトとサービスモジュール	(11) 製造物トレーサビリティシステム
製造システム	(10) ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開	(6) 半導体製造現場における高度情報化生産システム	製造物DNA(10)



## 2.2 アンケート調査の結果

実施期間：平成16年10月25日～平成16年11月12日

対象企業：製造科学技術センター賛助会員（うち回答24社）

実施方法：質問票に直接記入して返送。

記名方式：無記名

### 2.2.1 業種

Q1 御社の業種を一つ選んでください。

表2. - 2 アンケート集計（業種）

業種	回答数
製造業	20
情報機器・システムベンダー	2
その他	2
公的研究機関	0
公的団体	0
合計	24

まず回答のあった会員企業のうち、80%以上が製造業である。その他に情報機器・システムベンダーが2社、その他の業種が2社となっている。

### 2.2.2 事業展開に重要な要因

Q2 御社の近未来の事業展開を考えたとき、設計・製造技術において最も重要な要因は次のどれですか？

表2. - 3 アンケート集計（事業展開に重要な要因）

重要な要因	回答数
製品・製造品質の更なる向上	13
製品・製造のコストの更なる削減	9
新規独自商品開発のための製造技術	7
リードタイムの更なる短縮	3
ビジネスモデルの構造転換（例：サービス型企业へ）	0
その他	0
合計	32

次に、これからの事業展開を可能にするために、設計・製造がどう変わらなければならぬか、回答候補を挙げて聞いた。回答数では「品質の更なる向上」がもっとも多く、「コスト削減」「独自商品開発のための製造技術」「リードタイム短縮」が続いて挙げられた。なお一社の回答で2項目を選んだ場合が6件、3項目を選んだ場合が1件あった。これらの複数回答もすべて数えているので、合計数は回答企業数よりも多くなっている。

### 2.2.3 情報技術の役割

Q3 上記Q2で回答された項目において、情報技術の役割として、次のどの機能が重要ですか？

表2. - 4 アンケート集計（情報技術の役割）

情報技術の役割	回答数
加工プロセス制御、モニタリング、シミュレーション	9
デジタルエンジニアリングシステム（CAD/CAM/CAE）による技術者支援	7
ネットワークを用いた情報共有、コラボレーション	7
PLM、SCMなどの生産管理システムによる製品・製造管理、調達等の効率化	5
その他（具体的に）	1
合計	29

事業展開に重要な要因を念頭において、それを実現させるための情報技術の役割について質問した。本調査全体に関連する情報技術として、「加工プロセス制御、モニタリング、シミュレーション」「デジタルエンジニアリングシステム（CAD/CAM/CAE）による技術者支援」「ネットワークを用いた情報共有、コラボレーション」「Product Lifecycle Management(PLM)、Supply Chain Management (SCM)などの生産管理システムによる製品・製造管理、調達等の効率化」の5つの分野を選んで選択肢としている。

結果として、「加工プロセス制御、モニタリング、シミュレーション」がもっとも多く、続いて「デジタルエンジニアリングシステム」「情報共有、コラボレーション」「生産管理システム」が続いている。また3社が2件を、1社が3件を選択しているが、これらもすべて数え上げているため、合計数は回答企業数よりも多くなっている。

前出の質問(Q2)事業展開に重要な要因と(Q3)情報技術の役割、のクロス集計を以下に示す。情報技術の役割（表の列）からみると、加工プロセスの革新は品質向上、コスト削減、新製造技術にまんべんなく期待されている。デジタルエンジニアリングとネットワーク情報共有は、品質向上とコスト削減に重点的に期待されている。

表 2. - 5 アンケート集計（事業展開に重要な要因と情報技術の役割のクロス集計）

		情報技術の役割					合計
		加工プロセス制御	デジタルエンジニアリング	ネットワーク情報共有	生産管理システム	その他	
事業展開において重要な要因	品質向上	5	4	5	1	1	16
	コスト削減	3	4	2	3		12
	新製造技術	4	2	1	2		9
	リードタイム短縮	1	1	1	1		4
	合計	13	11	9	7	1	41

#### 2. 2. 4 研究開発テーマ

Q 4 以上のような観点から見て、3 ページ目の 1 3 の研究開発テーマリストの中から、御社において最も有用であると考えられるものを選び、簡単にその活用方法をお教え下さい。

表 2. - 6 アンケート集計（研究開発テーマ）

研究開発テーマ	回答
(2) 設計品質高度化技術の研究	7
(1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術	6
(11) 製造物トレーサビリティシステム	6
(3) 設計生産知識の動態保存に関する研究	5
(4) マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術	1
(6) 半導体製造現場における高度情報化生産システム	1
(8) 動的自動計測システムと高速物理情報伝送システム化技術	1
(9) カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続的拡張技術	1
(10) ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開	1
(13) 先端研究機器開発	1
(5) バーチャル加工作業習熟システム	0
(7) デジタル・マニファクチャリングのための機器オブジェクトとサービスモジュール	0
(12) 高齢者社会における消費者志向生産システム	0
合計	30

1 3 件の研究開発テーマについて、自社の事業展開の方向性からみてどのテーマがもっとも有用と考えられるかを質問した。その結果、「(2) 設計品質高度化技術の研究」「(1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術」「(11) 製造物トレーサビリティ

イシステム」「(3) 設計生産知識の動態保存に関する研究」にほとんどの回答が集中した。上述の質問と同じく、複数回答があった場合もそのまま全部を数えている。

上記で選んだ研究テーマの活用方法について、自由文での回答を要約すると以下のようになる。

#### (1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術

- コスト削減のために中国等の海外展開を推進した際の、日本メーカとしての設計または製造品質レベルの維持のため。
- 生産準備の効率化。
- 材料の製造で最新の計測技術をもっと活用し、効率化できると考える。
- 当社の主要生産形態である個別受注生産では、製造製をエンジニアリングに反映する機能（生産設計）が他生産形態に比べて相対的に弱く、エンジニアリング時点でのサポートが必要と考える。
- 価値向上のため。
- 弊社は計測、制御、情報を介して産業界のインフラに貢献している。その観点から上記のテーマが最も合致する。

#### (2) 設計品質高度化技術の研究

- 設計の内容によってその製品の Q.C.D が決まる。最も重要なステップが設計である。近年設計技術の伝承に問題がある。エキスパートが設計技術のデジタル化、さらにこれを基本にした高度化が必要。
- いつもレベルアップが必要。
- 価値向上のため。
- 弊社は計測、制御、情報を介して産業界のインフラに貢献している。その観点から上記のテーマが最も合致する。
- 蓄積された設計・製造ノウハウを次なる設計に確実に反映させる管理手法。
- 暗黙知を形式化し技術の高度化に継げる。このサイクルの繰り返しが必要。

#### (3) 設計生産知識の動態保存に関する研究

- 2007 年問題に代表される人、技術/技能伝承が喫緊の課題となっている。
- 2007 年問題、少子化に対する企業存続への課題解決のため。
- ナレッジ、ノウハウの共有と活用の促進。
- 暗黙知を形式化し技術の高度化に継げる。このサイクルの繰り返しが必要。
- 最先端の技術を開発しながら製品開発に展開、活用を図り、変化の激しい現場により早く投入したい。

#### (4) マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術

- 微細、高機能化が進む先端デバイス製造における品質安定化。さらに SCM の高度化も

テーマとなる。

(5) バーチャル加工作業習熟システム

(6) 半導体製造現場における高度情報化生産システム

- 韓台中の競争に勝ち残るためには、製造工程のドラスティックなコスト削減が必要であり、そのためには高度情報化生産システムが不可欠である

(7) デジタル・マニファクチャリングのための機器オブジェクトとサービスモジュール

(8) 動的自動計測システムと高速物理情報伝送システム化技術

- 弊社は計測、制御、情報を介して産業界のインフラに貢献している。その観点から上記のテーマが最も合致する。

(9) カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続的拡張技術

- 一部（9）も設計開発と捉えれば有用と思える。

(10) ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開

- グローバル生産に対応した品質管理システム構築。

(11) 製造物トレーサビリティシステム

- 弊社保有技術（MES 関連）の有効活用。
- 製造工程の可視化により、トレーサビリティを高め、製造およびメンテナンスに活用する。
- 顧客に対する信頼構築、社会的責任、工程改良、改革のための基盤としてますます重要になってくると思われるから。
- 単にトレーサビリティに適用するだけでなく時系列で情報を記録し、さまざまな組み合わせで再利用することで、生産プロセスの様々な高度化に応用が可能な技術となる。
- 検査データと製造加工条件をリンクし、品質ネックを多面的に評価、分析したい。
- 価値向上のため。

(12) 高齢者社会における消費者志向生産システム

(13) 先端研究機器開発

- 素材、部品メーカーからの脱皮。

### 2.3 研究テーマの集約

上記のアンケート調査を見ると、インパクトでの順位付けには、はっきりと支持の多いものがあつた。

(2) 設計品質高度化技術の研究	(23%)
(1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術	(20%)
(11) 製造物トレーサビリティシステム	(20%)
(3) 設計生産知識の動態保存に関する研究	(17%)

これらは活用方法についてのコメントから、応用の方向性が明確にイメージできること

が伺える。回答の少なかったテーマの重要性が低いわけではないが、一つだけを選択するという比較条件の下では、このような結果になっている。

そこで10～15年後の製造業活性化へのインパクトを明確にイメージできるものにするため、上記のアンケート結果を踏まえて、13のテーマを4つのグループに再編する作業を進めた。4つのグループの核には上記の4テーマがそれぞれあり、それを強化する形で他のテーマをグループ化した。

#### テーマ群A 高度生産システム

- (2) 設計品質高度化技術の研究
- (6) 半導体製造現場における高度情報化生産システム
- (8) 動的自動計測システムと高速物理情報伝送システム化技術

#### テーマ群B 情物一致

- (1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術
- (4) マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術
- (7) デジタル・マニュファクチャリングのための機器オブジェクトとサービスモジュール

#### テーマ群C 製造物情報

- (10) ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開
- (11) 製造物トレーサビリティシステム

#### テーマ群D 設計生産知識の継承

- (3) 設計生産知識の動態保存に関する研究
- (5) バーチャル加工作業習熟システム
- (9) カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続的拡張技術

また下の2テーマは、上記テーマ群の応用として開拓されるものと位置づけている。

#### テーマ群E 応用分野

- (12) 高齢者社会における消費者志向生産システム
- (13) 先端研究機器開発

### 2.4 「情物一致」に関するヒアリング

研究テーマを集約した中で、設計製造の情報化に直接関係するものとして、計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術、いわゆる「情物一致」がある。どのようにして現実とずれなく物の情報を計算機の中に反映させるか、またモデルを現物に転写

していくかは、製造業の情報化の根本的なテーマである。それとともにサービス志向の製造業が期待通りに展開していくためにも欠かせない技術である。そのような観点から、アンケート調査を補完する形で、賛助会員企業 2 社に対して個別訪問およびメールでインタビューを行った。

#### 2.4.1 工作機械製造メーカー（A社）

##### 新技術開発について

A社では社会からの要請として工作機械の重要な方向性として、環境コストの軽減が重要な課題と認識している。工作機械は長寿命製品であり、第一、第二、第三の活躍場所と場所を変えて何十年も使用されることが多い。したがって工作機械の環境負荷は、95%以上が使用時のものである。そのためエネルギー消費を抑えること、冷却液などの資源消費を少なくすることが環境負荷の低減に大きく貢献する。A社が2004年に発表した省エネルギー型円筒研削盤では、冷却液を従来の100分の1程度に抑える研削加工技術を開発・採用した。同時に冷却関連の消費電力を約50%低減している。また小型、高剛性の砥石用流体軸受を開発、小径のcBN 砥石用流体軸受を使うことで、砥石軸受の消費電力を70%低減した。A社ではこの事例のように、技術的な改良を積み重ねることにより、環境負荷の少ない工作機械を開発できることを実証している。

##### 設計生産知識の継承

設計プロセスを商品企画、基本設計、構想設計、詳細設計、工程設計、製造の段階に分けると、工作機械ではそれぞれの段階で次のようなことを検討、決定していく。

商品企画：開発期間、開発目標、市場、売上額、投資費用と回収

基本設計：機能、性能、機械構成、サイズ、環境性、生産性、加工品質

構想設計：案内構成方式、案内駆動方式、主軸構成、主軸ドライブ方式、ベッド構成、ツールリング条件、サイクルタイム、要求加工精度、加工性状、制御方式（パルス分割）、剛性値、加工反力（加工能率）、潤滑方式、各装置の速度

詳細設計：構成部品の設計、はめあい、仕上精度、溶接強度、力学計算、現合指示、熱処理、材料、軸受、寸法公差、購入品の決定、加工基準

工程設計：設備、工具、加工時間、治具、現合指示、焼きばめ指示、熱処理指示

これらの段階の橋渡しには大きな課題がある。まず各ステップ間がかかわる人間が変わるため、意図が十分伝わらないという危険がある。また前工程での検討不足やミスにより後工程での設計変更を招くというロスも生じやすい。A社に限らず製造業では一般に、後工程での設計変更によるプロジェクト資源の損失は20%～30%もあるといわれている。設計変更を減らすひとつの方法として、ラピッドプロトタイピングを積極的に利用して意匠性、構造の良否、製造性を検討している。工作機械の主要部分のスケールモデルを作り

上流段階での検討会議に持ち込むと、モデルを介して検討できるので、アイデアが出やすく会議が活発になるという利点がある。それにより、基本設計でかかわることの多い設計の超ベテランから、構想設計、詳細設計にかかわる中堅・新人設計者へと直接設計ノウハウが伝わるという利点がある。またラピッドプロトタイプング機自体も小型化して設計室におけるなど簡便性も増している。

A社の上記製品開発プロジェクトは独立行政法人・新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の「エネルギー使用合理化工作機械等技術開発」で支援された。この補助金に採用された企業は一社単独で補助を得ることができる。そのため他社への技術流出を気にすることなく人材を投入でき、画期的な製品を生む結果につながっている。明確な目標に向けて技術を積み上げていく形の開発では、このようないわゆる持ち帰り型のプロジェクトが成果を挙げやすいようである。また人材の面では、このような新規プロジェクトに超ベテランと若手が参加することによって、若手への技術継承がされるという効果もある。

#### 2.4.2 非鉄金属メーカー(B社)

##### 知識継承の問題

現在、熟練労働者の退職とそれに伴う経験的知識の喪失、いわゆる2007年問題が次第に顕在化してきている。設備や製品設計の思想や根拠等が継承されず、それが要因と思われる事故や品質問題が表面化することがある。また、設備や製品の設計で失敗情報の共有化がなされずに再発するケースもある。その結果としてコスト増や競争力負荷を招かないよう、ベテランから新人への知識の伝達をよくするための情報共有、知識管理を良くすることが必要である。

##### 新しい表現方法による対処

知識継承の問題に対処していくため、同社では製品の機能構造を表現する体系(オントロジー)を整備している。この方法では、製品全体の機能を分解し、どのような機能をどうやって達成するかという機能達成方式の木構造に展開することで、機能の統一的な表現を実現している。表現方法を統一することで、コミュニケーションが円滑になるという実績を上げている。たとえばデザインレビューでは、すでに改良設計に用いていた機能構造表現を再利用することで効率的に資料を準備することができ、また質問や意見にも効果的に対応している。また同手法による機能表現を弁理士への説明に用いたところ、特許の本質的な内容と既存技術との差別化を理解してもらうことがきわめて容易になり、従来よりもずっと早く特許申請書を準備できたという実績もある。同社では現在、この表現方法をベースにして機能モデルを検索できるデータベースを開発している。



## 新製品量産設備の高速立ち上げへの展開

ノウハウを体系化してデータベースにすることにより、若い技術者が遠回りをせずベテラン並の答えを速く出すことが可能になれば間接コストの低減につながる。たとえば量産設備の開発では、対象領域での性能向上についていくことが必要であるが、それとともに近年ますます低価格化への対応が必要になっている。設備設計や立ち上げに要するコストは自ずと抑える必要があり、如何にベテラン並の仕事を新人でもこなせるかが鍵である。同社の生産設備部では、上記のような機能の達成方式への分解の一応用として、画像処理による検査がしやすい照明方法とカメラ方式を体系化、データベース化し、新人であっても設備開発を高速に進められる体制づくりの実績をあげている。

### 2.5 まとめ

以上の調査をまとめると、まず13件の研究課題を重要度、緊急度を考慮して整理して4つのテーマ群（(A) 現物融合化技術、(B) 設計生産知識の動態保存、(C) 設計品質高度化技術、(D) トレーサビリティ）と応用テーマ（消費者志向生産システム、先端研究機器開発）に分類した。次にヒアリング調査を行った結果、特に設計意図の正確な伝達が行えるような情物一致の方法が必要であること、熟練設計者や加工技術者の知識、技術をデータベース化し再利用できる環境づくりをすること、が重要研究課題として指摘された。約2年前のデータとなるが、日経デジタルエンジニアリングが2003年1月に調査したノウハウIT化の実態でも、ノウハウをデータベース化するシステムについて、「便利だと思いが導入予定はない」が半数近く（43.6%）を占めている。この実態が以前として変わらない背景には、製造技術に関する知識体系化が立ち遅れていること、上述のB社のように明確な危機意識から個別努力をしている企業もあるが、国全体で共有できる成果になっていないことが原因と考えられる。4つのテーマ群のうち現物融合化技術と設計生産知識の動態保存に共通の課題として、今後の政策的な研究推進が望まれる分野であるといえる。

製造技術の情報化促進に関するアンケート

Q1 御社の業種を一つ選んでください。

- 1) 製造業
- 2) 情報機器・システムベンダー
- 3) 公的研究機関
- 4) 標準化や特定技術の普及などを目的とした団体
- 5) その他

業種：

Q2 御社の近未来の事業展開を考えたとき、設計・製造技術において最も重要な要因は次のどれですか？

- 1) リードタイムの更なる短縮
- 2) 製品・製造のコストの更なる削減
- 3) 製品・製造品質の更なる向上
- 4) 新規独自商品開発のための新製造技術
- 5) ビジネスモデルの構造転換（例：サービス型企业へ）
- 6) その他（具体的に）

事業展開要因：

Q3 上記Q2で回答された項目において、情報技術の役割として、次のどの機能が重要ですか？

- 1) デジタルエンジニアリングシステム(CAD/CAM/CAE)による技術者支援
- 2) PLM、SCMなどの生産管理システムによる製品・製造管理、調達等の効率化
- 3) ネットワークを用いた情報共有、コラボレーション
- 4) 加工プロセス制御、モニタリング、シミュレーション
- 5) その他（具体的に）

重要技術：

Q 4 以上のような観点から見て、3 ページ目の 1 3 の研究開発テーマリストの中から、御社において最も有用であると考えられるものを選び、簡単にその活用方法をお教え下さい。

テーマ：

このテーマに重点を置くべき理由：

Q 5 当委員会では、コンピュータで管理される製品形状や製造情報と実際の加工物を一致させる「情物一致」の観点から、製造プロセスの情報化推進に必要な技術を整理しております。情物一致の手段として、現在関心を持っておられる製品、技術があればお教え下さい。

情物一致に関連した注目製品・技術：

Q 6 御社において、上記技術が定着したとき可能になる新しい製品やサービスはどのような分野でしょうか？

新しい製品やサービスの分野：

Q 7 今後より詳しいお話を伺うため、御社へ訪問させて頂ける可能性がありますでしょうか？

- 場合により可能なので、メールを受けてから検討する。 Email: \_\_\_\_\_
- 訪問は現在は受けられない。

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。 ■

研究開発テーマ一覧

(1) 計測技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術
最新の計測技術をベースにして現物とデジタルエンジニアリングを結び付け、現場のレベルが高い日本固有のモノづくりの強みをデジタルエンジニアリングに織り込む。
(2) 設計品質高度化技術の研究
我が国製造業の強みの源泉である設計品質の一層の高度化を可能にするため、明示的でない要件も含めて思考や判断が残る品質データベースと品質処理エンジンを開発する。
(3) 設計生産知識の動態保存に関する研究
設計生産に関する業務実施環境がデジタル化するのに合わせて、設計や生産における優れた知識や技能を有する人の作業を仮想世界に記録し、再利用できるようにする。
(4) マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術
3次元微細マイクロ機械加工をインプロセスでモニタリングするセンサ、信号検出システム、センサ信号処理技術と、それらを応用したマイクロ加工適応制御システムを開発する。
(5) バーチャル加工作業習熟システム
技能継承、作業性の事前検証による作業の高信頼性化などを目的にして、バーチャルリアリティを用いて加工作業を事前に体験できるシステムを開発する。
(6) 半導体製造現場における高度情報化生産システム
最新の半導体製造生産システムと情報化システムを高度に融合させ、高付加価値半導体デバイスが無駄なく効率的に安定供給する次世代高度情報化半導体デバイス生産システムを構築する。
(7) デジタル・マニファクチャリングのための機器オブジェクトとサービスモジュール
生産システム要素のオブジェクトモデルと各種のサービスモジュールのライブラリを構築し、ビルディング・ブロック方式で効率的にモデル構築とシミュレーションを行う。
(8) 動的自動計測システムと高速物理情報伝送システム化技術
高ノイズ環境下での高密度実時間計測技術をもとに、多チャンネル実時間情報の処理とプロセス制御での計測情報利用の基盤技術を開発する。
(9) カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続的拡張技術
加工機械全体をカスタマイズ可能とするモジュール化技術をもとに、作業者が継続的に技能拡張を行いつつ最先端レベルの加工を実現する技術の開発を行う。
(10) ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開
材料、製造情報、製品性能等の情報を付与する製品DNAを実現し、日本の製造業における国際対応戦略を強固なものにする。
(11) 製造物トレーサビリティシステム
製造物の加工、使用、保存など製造物の履歴を保存し、その活用をはかるシステムの開発とデータの保存形式を研究する。
(12) 高齢者社会における消費者志向生産システム
高齢者の多様な身体的特性や要求を迅速に設計に結びつけ、大量生産の技術を個別生産に展開できるシステムを開発する。
(13) 先端研究機器開発
加工・情報融合化によりバイオチップ開発、光学デバイス開発、電子デバイス開発など先端的研究機器開発のインフラ整備を進める。

## 第3章 情物一致

### 3.1 情物一致の概念

情報と物が一致していることを「情物一致」と呼ぶ。この用語は Google 日本語で検索すると 141,000 件ヒットすることから、すでに市民権を得ている。特に物流システムや在庫管理の概念と捉えられている場合が多く、様々なラベル付けによるシステム構築が提案されている。しかし、ここではもっと広く定義し、

現実のシステムの表現として情報システムが構築されているなら、両者は一致していなければならない

という意味で情物一致を捉える。たとえば、モータの制御システムにおけるパラメータ同定も、あるいは測定系におけるキャリブレーションも情物一致であると考えられる。

#### 3.1.1 情物一致の概念

製造システムは多数のサブシステムからなるという意味で複雑なシステムであり、加えて、実時間で経済変動にさらされる、人間が介在するという意味でより不確実なシステムと考えられている。つまり、量的に多数の要素を勘案し、かつ、実時間で対応する必要性から、情報処理の必要性が高く、過去50年間に様々なシステムが導入されてきた。その中でもっとも影響力の大きなシステムが、生産管理システム、CADシステム、CAEシステムであったことには疑問の余地はないであろう。それらの統合システムとして CIM のような概念が提案されてきたといえる。

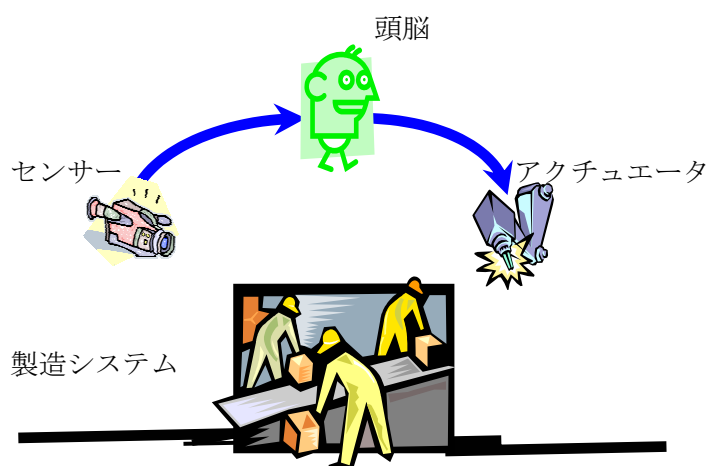


図3. - 1 製造システムをロボットになぞらえた場合の構造

製造システムは実時間・実世界システムであるがゆえに、現実世界で起きている状況を測定して(Sensing)、実世界を動かす(Actuating)という意味では図3. - 1に示すロボットの構造と全く同じはずだが、実際にはそのような考え方は採用されていない。その理由は次

の2つに集約できる。

(1) Brain に相当する情報処理が製造システムでは複雑であるので、まだ統合されていない。

(2) Sensing 部分がいわば設計仕様である場合には、基本的にオープンループ的である。

すなわち、設計過程で決定された属性を具現化するのが製造であり、具現化の精度を高めることが製造技術であると考えられてきた。しかし、実際に製造されたものが設計仕様に合致しているかどうかは明確でない。寸法の測定など測定し易い属性値については古くから測定をしているが、曲面形状や内部状態など測定し難い属性値は残されたままである。いまは鋳物の内部構造にまで仕様と現実との差を考える時代になってきている。このように CAD や CAE では今まで計算機内部のモデルの精度が高ければ、その後工程は必ず具現化できるとの仮定の下で議論されてきたが、今は具現化の保証までつけて CAD や CAE を使うことが求められている。

生産管理システムの場合にも同じような管理システムと実際とは違いがある。生産管理システムは原材料や部品のライン投入量と生産量の両者を監視しているのであるから、ライン内に残留している仕掛品の量を把握しているはずである。1990年代まで生産ラインにどれだけの仕掛品があるかを表示はできるのだが、企業のトップはその数値を信じていなかった。部品の破損、加工ミスなどから実際には生産量が少なくなることと、それゆえ、目標生産量を達成できないことを見越して作りだめが横行していた。そのようなことが起こりえた理由は、現場での状況入力に様々な時間遅れがあり、現場の実態を反映していなかったのである。つまり、現場状況の測定系に問題があったといえる。PCの低価格化とネットワーク技術の進展は、現場に多数の入力機器を配置することが可能となった。また従来、「キーボードアレルギー」と呼ばれた日本独特の問題点も解決した。加えて、様々なタグ技術が入力を容易にした。その結果、現在、生産管理システムは現場の状況を十分に反映できるようになったのである。これが「情物一致」の典型例である。では生産管理システムで情物一致は完成しているのか。製品物流や部品物流は完成しているが、製品管理全体が出来上がっているわけではない。特に、製造過程でおこる加工情報の管理や保守情報の設計へのフィードバックはまだまだである。

### 3.1.2 情物一致の必要性

製造業は情報投資を積極的に進めてきた。設計・生産・物流管理での情報技術利用は相当の度合いに達している。しかし、まだそれぞれの部門独自の入出力構造を持ち、データを共有して活用する度合いは低い。そして、現場で得られる情報を活用するレベルもまた低いといえる。

情物一致の必要性は次の2点に集約できる。

(1) 現物チェックによる製品品質の向上

## (2) 情報システム投資の有効活用

設計システムや管理システムと現場情報とを一致させることは、フィードバックによる制御が可能となることであり、当然、設計どおりの品質の確保につながる。このことで、高品質の製品を求めることが可能となる。また、現場が設計通り（あるいはシミュレーション通り）に運営されることは情報システム導入の目的であり、(2)は当然といえる。

つまり、情物一致は情報システム導入の際の大前提であって、当然の要求なのであるが、センシングがいままで劣っていたがゆえに、実現できなかった。

日本の製造業において情物一致をこの時期に追及すべきと考えるにはわけがある。

## (3) QCなどで培われた現場改善活動の仕組みの利用可能

## (4) 情報システム投資が情報バブル時期になされた

## (5) 非規格データの流通が可能

という好条件があるからである。

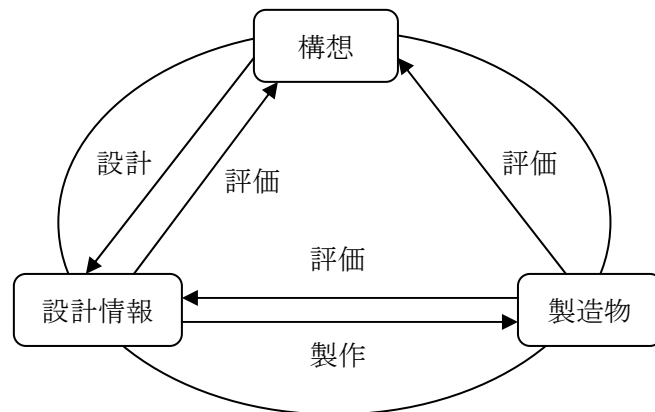
この報告書では情物一致の様々な事例とその手法について議論することで、製造業でとるべき方向を明らかにする。まずはその元である設計と製造物の一致から考え始める。

### 3.1.3 「構想－情報－製造物」の一致 ～ 想情物一致

設計は、機械の要件を十分に満足するものを製作するための基準情報を決める行為である。設計者は要件や構想を念頭に置きながら、設計内容が妥当であるかの評価を行っている。また、設計における最大の特徴は、すべて仮想の世界で意思決定を行っているということである。そういった仮想の世界で、過去の事例や考えをもとに要件を具現化するための意思決定をしていく行為が設計である。設計行為は言い換えれば、要件を満たすため、如何に高い次元で妥協できるかのせめぎ合いであると言える。

製造は、設計行為により表現された機械を、現実のものとして製作していく行為である。しかし、単に設計通りに製作すれば良いというものではなく、製作内容が設計内容と比較して矛盾がないかだけでなく、日本の製造現場では、設計内容そのものに矛盾がないかなどを、基の機械としての要件や構想と比較評価する文化があった。もの作りに携わるすべての者が、それぞれの立場で要件に照らし合わせて妥当性のチェックを連綿と行っていた。誰もが製作している機械の要件を知っているからこそチェックが行えていたが、このような事が行われていたのは日本以外にはない。

設計を、要件に照らし合わせて評価する行為だとすれば、日本のもの作りにおいては、設計のみならず、製造現場においても、設計行為が行われていたと言える。いたる所で、より良いものを作るための視線が注がれていた。この事が日本のもの作りの最大の特徴であり、強みであったと考える。



こういった日本のもの作りの強みを生かすには、要件や設計者が考えた内容を明確に表現することが大切である。設計が終わったからといって、製作物の内容が確定したわけではない。あくまで仮想的に製作する内容を決めたに過ぎない。製造過程において、設計結果を基に、より良い物にする機会も時間もたっぷりある。必要なのは、もの作りに関わる全ての者が要件や設計内容を高い次元で共有することである。日本には、設計・製作の全ての工程で、考える力を持った技術者がおり、全ての者の知恵を集結するための情報が何よりも強みを生かす糧になる。

欧米の著名な3次元ソリッドCADベンダーのシェア拡大に伴い、形状を決めることが設計の全てであるかのようなベンダーの主張が聞こえてくるが、これは大きな誤解である。スタイルデザインのように形状そのものが設計結果の重要部分であることもあるが、その場合でも、内蔵する機構などを合理的に収めた結果の概観であることには違いない。そして、こういったCADベンダーの主張は、CADの表現機能に色濃く反映され、設計者が後工程の者に伝えたい内容を表現する機能がことごとく欠落している。

我々が表現すべき内容は、我々が作ろうとする物がどのような要件のもので、それがどのような構想のもとでどのように具体化しようとしているかである。それを製作過程のどの段階でも参照でき、評価できるようにすることである。

たとえ間違った設計判断であっても、その設計者が考えた要件と具体化手段、それとそれらの判断内容が明確に保持されているならば、非常に重要なノウハウになる。

究極の意味での品質とは、製作しようとする物が満たすべき要件そのものである。そして、設計品質とは満たすべき要件を設計内容で満足できているかであり、製造品質とは、実際の製造物が基の要件を満たしているかである。

保持すべき情報は、設計者が要件をどのように具現化しようとして、どのような判断をしたかである。具現化の方法は無数にあり、それが設計者の自由度であり、製造の自由度につながり、画期的なものを生み出すことにつながる。



### 3.1.4 情物一致を実現するための計測技術

#### A. はじめに

「情物一致」を高精度に実現するためには、製造された「現物」から高速かつ的確に情報を取得し、製造システムに整備された情報インフラに伝送可能なデジタル情報として変換できる計測・評価技術の確立が不可欠である。

図3. - 2は「設計情報」→「現物」→「計測情報」の三者の関係を、扱う情報種によりデジタル世界と物理世界に分類して、模式的に示したものである。「設計」により仮想のデジタル世界に構築された「設計情報」に基づき、「加工」を行うことで、現実の物理世界に「現物」が製造される。「情物一致」を実現するためには、製造された「現物」を再度、デジタル世界で扱うことが可能なデジタル情報に変換する必要がある。このデジタル情報へ変換する行為が「計測」に相当する。「計測」により取得された「現物」のデジタル情報（「計測情報」）は、「設計情報」と比較可能な適切な形態に変換され、評価される。そして、得られた知見（デジタル情報）を上流工程へフィードバックすることで、「情物一致」の高精度な実現が可能となる。

図3. - 3は現物の計測・評価工程で得られたデジタル情報のフィードバックループを示したものである。フィードバックされる上流工程としては、大別して加工工程、設計工程の二種類が考えられ、それぞれ以下のような特徴を有している。

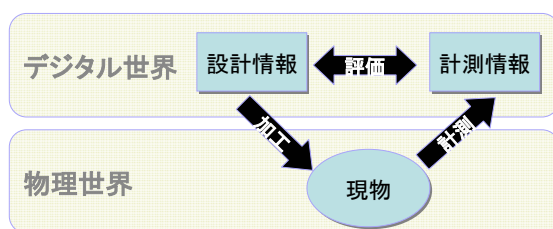


図3. - 2 デジタル世界，物理世界にまたがる製品情報

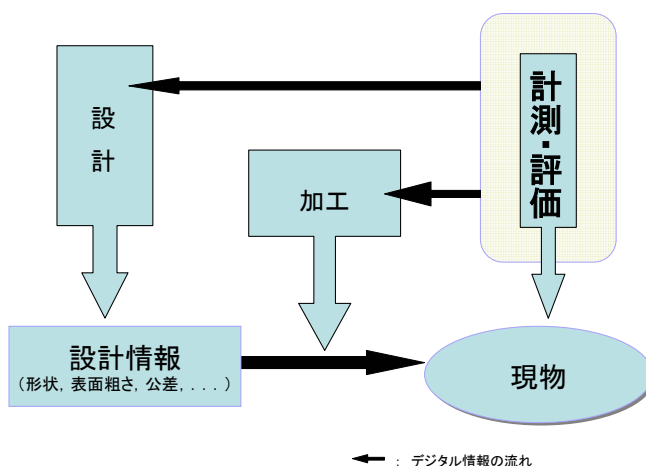


図3. - 3 計測・評価工程で得られたデジタル情報の設計，加工工程へのフィードバック

1. 加工工程へフィードバックするループ：現物のデジタル情報と設計情報との差異情報に基づき、修正加工、仕上げ加工を施すことで、さらなる高精度での現物加工が実現される。インプロセス計測やオンマシン計測は、このループ内に分類される。
2. 設計工程へフィードバックするループ：現物デジタル情報のばらつきの大きさや傾向解析、現物デジタルモデルによるシミュレーション等の高精度性能予測等、より具体的な品質機能解析が可能となることで、さらに高水準、高品位な設計が実現される。また、リバースエンジニアリングも本ループの一部に分類される。

このようなフィードバックループを高能率で運用するためには、

- 現物が潜在的に保有している無限情報のうち、フィードバックデジタルデータとして適切かつ必要十分な物理情報を高速に取得する（現物情報のデジタル化）。
- 取得されたデジタル物理情報を、フィードバック先において取り扱う上で、最適な形態でのデジタルデータに変換する（現物情報のデジタルモデル化）。

といった二つのプロセスが必要となる。これらのプロセスは時系列で運用されるため、上流プロセスである「現物情報のデジタル化プロセス」において、如何に高品位なデジタル情報を取得できるかが大きなポイントとなる。そこで、本章では、「現物情報のデジタル化」技術、すなわち、「計測評価技術」に注目し、高度な「情物一致」を安定して維持するために必要な計測評価技術について考察する。一般にデジタル化を行うべき現物の情報としては、形状、表面粗さといった幾何学的情報のほか、材質、硬さ、温度といった多様な物理情報から、光沢等の意匠性に関わる情報にいたるまで、非常に多岐にわたる。以下では、現物属性の中で最も重要な情報である形状情報に着目して、次世代のモノづくりにおいて、高付加価値製品を持続的に製造するために特に必要とされているナノメートルオーダ精度を目指した形状測定技術を例に考察を行う。

## B. ナノメートル計測技術の現状

### B-1 光学的計測技術

**表 3. - 1** は現在市販されている光学的形状測定装置をその計測原理に基づいて分類したものである。測定単位の観点で光学的手法を整理すると、点計測と面計測に大別でき、前者としては、焦点位置あわせ法、三角測量法、共焦点法などが、後者としては、視差ステレオ法、アクティブ格子投影法、白色干渉法などが挙げられる。CCD カメラで撮像した物体の画像情報処理を基本原理とする視差ステレオ法に代表される受動的方法は、物体認識や大まかな形状計測には適用可能であるが、高精度・高密度な計測技術としては不向きである。そのため、白色光や干渉性の高いレーザ光、あるいはスリット光といった強度分布を変調したビームを物体に照射し、その情報を積極的に活用する能動的手法が高精度・高密度計測技術として適用されることが多い。これらのうち、特にナノメートルオーダ精

度を目指した測定技術としては、レーザテック、キーエンスに代表される共焦点方式や、Zygo, Veeco に代表される白色干渉方式が挙げられる。前者で分解能 10nm、測定範囲 7.0mm が、また後者では、分解能 0.1nm、測定範囲 5.0mm が実現されている。また、三角測量方式に分類される三鷹光機のステージ走査型レーザプローブにおいても、測定範囲 1.0mm に亘って、1nm 分解能が実現されている。

表 3. - 1 市販されている光学式三次元形状計測装置

測定単位	計測原理	主要メーカ
点	焦点位置あわせ法	キーエンス ニコン ミツヨ Rodstock(ドイツ)
	三角測量法	三鷹光機 キーエンス Carl Zeiss(ドイツ) Renishaw(イギリス)
	共焦点法	レーザテック キーエンス STIL(フランス) Precitec(ドイツ)
面	視差ステレオ法	オプトン ADAMテクノロジー ディテクト Kurabo サイヴァース
	アクティブ格子投影法	オプトン キャノン 富士写真光機 テクノアーツ研究所 NECエンジニアリング Steinichler(ドイツ) Gom(ドイツ) Breuckmann(ドイツ) Massen(ドイツ) Laser Inspeck(カナダ)
	白色干渉法	Zygo(アメリカ) Veeco(アメリカ)

## B-2 機械的計測技術

現物の 3D 形状をデジタル化可能な機械的計測技術としては三次元座標測定機 (CMM) が代表例として挙げられ、複雑な加工部品の寸法精度や形状精度を保証するために製造現場において広く用いられている。しかし現状、分解能は 1 $\mu$ m 程度であり、ナノメートルオーダー精度を実現するためには、高い真直度が保証されたプローブ駆動機構、高精度な温度管理技術等の様々な要素技術開発が必要となっている。表 3. - 2 には、それらの技術課題のうち、ナノ CMM を確立する上でキーテクノロジーとなる高感度位置検出プローブ (ナノ CMM プローブ) の技術トレンドをまとめたものである。ここでは、研究例として、接触力 0.1mN 以下を実現しているものを、そのプローブ保持機構および位置検出メカニズムに分類して記載した。また、参考のため、開発例として、松下電産製の市販品を掲載した。ナノ CMM プローブに要求される仕様としては、

1. 測定対象のサイズに対して十分小さく、真球度の高いプローブであること
2. 測定物体に変形を与えないように測定力が低いこと
3. ナノメートルオーダーの感度を有すること

などが挙げられ、それぞれ具体的な数値として、プローブ球直径 50nm 以下、測定力 1mN 以下、分解能 10nm 以下が要求されている。これらの仕様を満足させるため、多様な原理に基づくプローブ保持機構および位置検出メカニズムが提案・研究開発されている。既に分解能に関しては、nm レベルを実現したものもあるが、接触力、計測再現性等の三次元形状計測プローブとして総合的なパフォーマンスを発現可能な高感度プローブの開発が待たれる。

表 3. - 2 三次元ナノ CMM 用高感度プローブの研究・開発例

研究開発機関	プローブ保持機構+検出メカニズム	プローブ径	仕様, 備考
NPL(イギリス)	弾性ヒンジ+静電容量センサ	1mm	測定力0.1mN, 分解能3nm
Eindhoven工科大学 (オランダ)	MEMSによるシリコンヒンジ機構 (多結晶Siひずみゲージ内蔵)	0.3mm	分解能1.2nm
PTB(ドイツ)	グラスファイバー保持 +光学結像画像検出	25μm	測定力1mN, 分解能50nm以下
東京大学	吸気陰圧保持+差圧検出	1mm	測定力1mN以下
大阪大学	レーザトラッピング+振動変調検出	8μm	測定力1nN以下, 分解能50nm以下
松下電産(*)	マイクロスプリング保持+光センサ	0.5mm, 2μm	測定力300mN, 分解能50nm以下

(\*)市販品

### C. 情物一致に求められるナノメートル計測技術

前章で、現状のナノメートル計測技術を光学的手法と機械的手法に大別して示した。非接触であり非破壊計測が可能のため従来から製造現場で広く適用されてきた光学的手法においては、ナノメートルスケール以下の分解能を有する測定装置も実現されている。しかし、光学的手法は、光波進行方向の縦方向に関してはナノメートル分解能が可能であるが、横方向に関しては分解能が回折限界に支配されるため空間的なナノメートル分解能は原理的に不可能なこと、また、測定試料の表面性状により、測定感度が大きく影響を受けてしまう問題点があり、光学的手法だけでは、三次元形状を計測可能な汎用的なナノメートル測定法の実現は困難である。そのため、光学的手法は、製造現場において、汎用的なアプリケーションを目指すのではなく、測定対象を特化することで、光学的手法が有する非接触、非破壊性を活かした適用が期待される。

また、機械的手法は、接触計測のため、測定試料表面に如何に影響を与えずに測定するかがポイントとなる。特にナノメートル計測を目指したときは、少しの変形でも測定結果に大きな影響を与えてしまうという問題点がある。しかし、反射率や色といった試料表面性状の影響を受けずに信頼性の高い測定値を得ることができるなど、光学的手法に無い利点を有しているため、早急な高感度プローブの開発が待たれる。また、今後は、

光学的手法と機械的手法を複合した新たな計測原理に基づく新規計測技術の開発も必要と思われる。

#### D. おわりに

近年、半導体製造分野や光学素子加工分野を中心に原子間力顕微鏡（AFM）を適用した例や、また自動車製造分野においては高エネルギー X 線 CT を非破壊検査装置として適用した例もみられる。このように従来サイエンス分野に留まっていた先端計測技術の製造現場への積極的な適用、さらには新たな計測原理に基づいた新規計測技術の開発は、製品の高精度化、高品質化を促す大きなブレイクスルーとなる可能性が高く、その意味では、IT 武装した次世代の日本の製造業を牽引する基盤要素技術として計測技術の重要性はますます高まっているといえる。

高度な「情物一致」を安定して維持し、高付加価値製品を持続的に製造するためには、計測対象として現物のみならず、加工機械、さらには計測装置そのものへのモニタリングも必要である。すなわち加工物（現物）だけの計測・評価に留まらず、工具磨耗等の加工プロセスをダイレクトにモニタリングすることで、より高能率で高精度な「情物一致」の実現が期待される。また、計測装置は定期的に標準器によりモニタリング・校正され、常に国際標準にトレーサブルな値を計測できることが要求される。これは、製造現場において情報化を推し進めグローバル化を図る上で不可欠であり、これにより、情報化の効果を最大限に享受することが可能になるとと思われる。

### 3.2 設計品質

#### 3.2.1 はじめに

‘設計品質’という用語は一般語として良く使われるから大まかな意味についてはコンセンサスがあるが、具体的に何のことを指すのかについては各人各様の理解が有り得る用語の典型であろう。その理由は‘設計’という行為の内容や範囲にあいまいさがあるし、‘品質’の意味する内容や範囲も一意な理解があるわけではないことに起因する。従ってそれらが組み合わされた‘設計品質’となると、きちんと用語を定義してから議論しないと散漫になる。製品開発における‘設計’は、基本設計→詳細設計→生産準備→生産 などの文脈で使われる場合は製品開発の前段の行為になるし、製品が狙った外観、機能、性能を満たすように工夫する行為を全て設計と言ってしまうと、生産設計などの用語に現れるように製品開発全般にまたがる行為になる。ここでは前者（狭い意味の設計）を指すことにして議論を進める。つぎに‘品質’であるが、これも様々な定義がある。ISO9000 では‘本来備わっている特性の集まりが要求事項を満たす程度’と定義している。これと本質的には変わらないが、‘ユーザーニーズなどに基づく製品を満たすべき外観、機能、性能などに関する要求仕様の満足の程度’という理解で議論を進める。

我が国の製造業の強みに関して生産準備や生産工程の強さに焦点が当てられることが多

いが、設計品質の高さなしに下流の工程の強みのみで製品開発全体の生産性を高めることは現実的には無理である。我が国製造業の強みは、分野によって差異はあるが、一般的に欧米、アジアに較べ高い設計品質（品質の作りこみ）を基礎に下流の生産準備や生産工程における高い技術力、組織力に支えられて実現されていると考えられる。一例として、世界の市場ニーズの 40%をカバーできるといわれる自動車プレス金型の分野では、品質の作りこみの早さが後段でのアセンブリング、試し打ちで判明する不具合の発生を極小に抑える要因になっている。‘IT 武装した製造業のあるべき姿を探る’ という本委員会の統一目標の観点で設計品質を見ると、高い設計品質をどう IT で扱える形にするか、即ち ‘IT 武装した設計品質のあるべき姿を探る’ ことが課題になる。ここで ‘あるべき姿’ の主な関心は以下である。当然生身の設計者が複雑な思考を基に狙う設計品質を 100% IT 化することは不可能であるし、IT 化された情報は固定的なものとなるから、IT 化した途端に陳腐化が始まることは明らかである。しかし IT 化していないがための重複作業による非効率の排除や、作業の誤りの排除は長所のみを持つと考えられる。これを日本の製造業の良さを生かした形で実現したいというのが ‘あるべき姿’ の意味である。この観点での IT 化を検討する。以降では設計品質の IT 化の現状と課題を見た後、PDQ(Product Data Quality)というキーワードで世界の自動車連合や ISO が進めている製品データ品質向上に関する活動を紹介し、最後に ‘設計品質の IT 化’ に関する提案をまとめる。

### 3.2.2 設計品質の IT 化の現状と課題

画期的に製品開発の効率を上げることが目標に 3D エンジニアリングシステム (CAD/CAM/CAE/CG システムほか)の導入が進められている。これらのシステムの位置付けは単純化して記述すると図 3. - 4 に示す通りである。

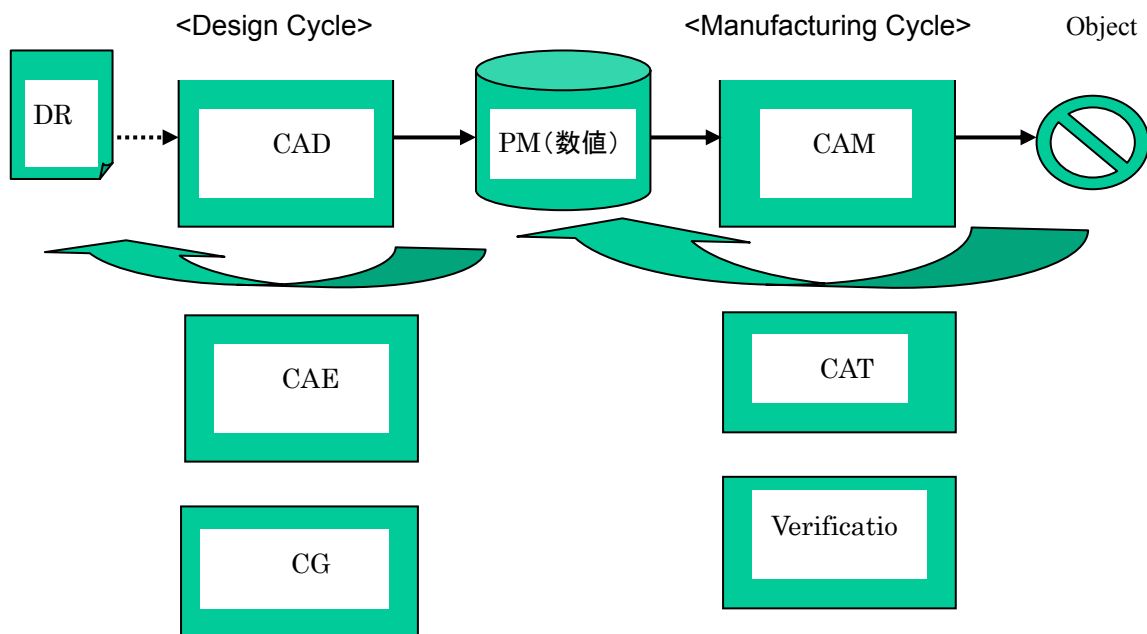


図 3. - 4 エンジニアリングシステムの位置付け

<図 3. - 4 の説明>

DR = Design Requirements (設計要件), PM = Product Model (製品モデル)

CAE は PM が機能、性能面の DR を満たすか否か確認するために使用される。

CG は PM が Presentation に関する DR を満たすか否かを確認するために使用される。

CAT や Verification は Physical Object が PM と一致しているかを確認するために使用される。

CAE は生産技術に関する DR を満たすか否かを確認するために Manufacturing Cycle でも使用される。

この図に示されている 3D システム適用の中で ‘設計品質の IT 化’ はどの程度実現されているであろうか。まず DR であるが、これは殆どが物理的文書であって IT 化されている割合は極めて少ない。その理由は ‘外板曲面はハイライトの通りが良い十分な滑らかさを持つこと’ など数学的定式化が困難な要件が多く含まれることが挙げられる。DR として陽には表現されていないが設計中に判明して満足される暗黙の要件なども現実にはあり、設計要件の IT 化はかなり将来の課題と言わざるを得ない。設計品質に関する要件は設計要件の一部であるから、設計品質要件の IT 化も製品モデルの全体精度などほんの一部のみしか IT 化されていない。

次に PM であるが、デジタルエンジニアリング推進の不可欠な課題である製品モデルの外部表現は ISO-10303 (通称 STEP) などの成果で IT 化が大きく進んだ。製品の正確な形状 (Parametric 表現や形状特徴も含む) のみならず材料、表面性状、公差、形状と図面の関係などがコンピュータで扱える形式で表現できる。ISO-10303 は生産準備情報、運用時の情報など製品ライフサイクル全体に渡る製品に関する情報を表現する方向への拡張がなされて

いる。但し、PMの中に設計要件やその一部である設計品質要件が書かれているかという点、DRの項で示した理由により、公差など一部の設計品質に関わる情報が扱えるに過ぎない。

なおここで注意を要するのは、製品（物理的な物）の品質と製品モデル（数学モデル）の品質と製品モデルデータ（有限桁で表現した数値データ）の品質は異なるということである。製品の品質は具体的な人工物が意図した外観、機能、性能要件をどの程度満たすかということであるから分かりやすい。これに対して製品モデルの品質は、先ず前提としてその数学モデルが実際の製品と同一視可能な情報を持つか？が問われる。当然この同一視は対象製品の大小や要求設計精度などで異なってくる。同一視可能となった時にはじめて、その数学モデルは製品に求められている外観、機能、性能要件をどの程度満足するか？が問われることになる。

一方製品モデルデータ品質は製品モデルで概念的に規定したことを具体的な有限桁の数値データで表現した世界の品質であるから、製品モデルで意図したことが具体的な数値データでどの程度実現されているか？が問われるだけでなく、有限桁の数値データを演算した結果生じる数値誤差が大きな問題となる。この有限桁の数値で表現したPMを作成するのはCADシステムであり、各CADシステムはそれぞれ独自の設計や数値誤差管理の仕組みに基づくからCADシステム依存性も高い。現実に産業界の‘画期的な製品開発の生産性向上を狙いとして大きな投資で3Dエンジニアリングシステムを導入したが、そのリターンは期待を下回っている’という一般的な不満は、CADシステムの機能不足や使い勝手の悪さという側面もあるが、CADデータ受領者が受領データを手直しなしに使えるケースが少なく、実作業開始の前に必要な手直しのためにかかなりの手間を取られるという事情による。この手直しの主因は数値データの不適切、不備である。米国商務省NISTの調査報告<sup>1)</sup>によれば米国の航空、自動車、造船の3輸送産業でこの手直しによる経済ロスは年間1000億円を超える。米国の全製造業に外挿し、更に欧州、アジア含めた外挿を行なうと、全世界の製造業で年間1兆円を越す経済ロスが発生していると想定される。この問題の解決に着眼した世界の自動車OEMのITに関する連合組織: SASIGの活動、およびISO TC184/SC4に提案中の日本の活動については次節で説明する。

設計品質が満たされているか否かの評価は、製品が市場に出れば否応なしに事故／故障報告、クレームなどの形でユーザに厳しく評価されるが、それに先立つ図3. - 3の製品開発段階ではCAEシステム、CGシステム、CATシステム、検査システムや試作物に対する各種物理実験などで評価される。

### 3.2.3 PDQ(Product Data Quality)向上を狙った活動

#### (1) SASIG PDQ Guidelines

製品データ品質という自社製品のネガティブキャンペーンに繋がりにくい事項に着目して活動開始したのは関連産業の裾野が広く、製品データ品質向上のメリットが膨大な自動車業界であった。



SASIG(米、独、仏、日、スウェーデン、豪の自動車産業のITに関する連携組織)はISO 10303-214 (STEP 上の自動車規格)を欧米日の自動車 OEM が協調して開発した経緯があるが、同規格の実務適用の拡大と共に製品データ品質の問題が顕在化したため、SASIG に結集している世界の自動車 OEM が協調して製品データ品質向上のための業界標準を開発してきた。その成果として、現在 SASIG PDQ Guideline Version 2.0 が発刊済である。ISO TC184/SC4 の A-Liaison である SASIG はこれを ISO TC184/SC4 の下で PAS として発刊する準備を進めている。

SASIG PDQ Guidelines Version 2.0 では PDQ を以下のように定義している。

‘*Product data quality* is a measure of the accuracy and appropriateness of product data combined with the timeliness with which those data are provided to all the people who need them. From this we can state that:

Good product data quality means providing *the right data to the right person at the right time.*’

その意図するところは2点、つまり製品データの適切な品質判断基準 (Metric: 尺度) の必要性和適切なアクセス環境の必要性である。以下該文書に沿ってその骨子を紹介する。

#### 1) Master Data

同一対象を表現する複数のデータがある時、対象の物理属性を最も細部に渡って表現してあるデータを Master Data とするという規定である。この考えに沿って；

ソリッド表現 — 曲面表現 — ワイヤフレーム表現 — 2D 図面

の順に優先を定めている。形状創生補助図形、参照幾何、Parametric 履歴などが最も詳細に表現された Brep データと一致しない時は Brep を’正‘とし他はエラーとすると規定している。

#### 2) Geometric Quality

高次自由曲線／曲面表現、曲線／曲面の低い連続性、微小図形、近接 Knot Vector、自己交差曲線／曲面、重複データ、曲線／曲面の波打ち／よたり、縮退形状、周期的(Periodic)表現、未使用曲面、閉じた Edge、曲面とそれを Trim する曲線の有為な離れなど Curve, Surface, Edge, Edge Loop, Face, Shell, Solid に分類して計 6 4 項目がスムーズなデータ流通阻害要因として規定されている。その特徴は、実務で受け手が手直しを余儀なくされる主要なケースの網羅が狙いであり、データの不出来だけでなく、データの出し手と受け手が一般に別な CAD システムを使っていることを想定し、機能が低い CAD システムに合わせた実用上の制約が多くを占める。

#### 3) Non-Geometric Quality

取り決めた CAD Version であること、正しい環境設定ファイルを使用すること、取り決めた精度パラメタを使うこと、CAD モデル名称に取り決め違反がないこと、製品番号、部品名等を取り決めた文字種類と長さで表現すること、巨大ファイルサイズの禁止、外部参照の制約、取り決めた簡易表現であること、右手系、左手系の座標系は受発注間で合意したものに限ること、マルチ親グループ禁止、配置を含むアセンブリー表現は受発注間で合意した場合のみ交換可能、不完全拘束アセンブリーモデル禁止、操作履歴と Brep 表現を整合させること、等々 CAD model, Group/Layer, Co-ordinate system, Assembly, Solid, Form Features,

Elements, Presentation, Sketch に分類して計 63 項目が規定されている。その特徴はデータアクセスが不首尾に終わるケースの約束事項の羅列と言える。

#### 4) Drawing Quality

2D 図面関連の幾何／非幾何の約束事が計 19 項目規定されている。

#### 5) CAE Data

FEM 解析用の Mesh に関する Criteria が解析精度を低下させる不良形状の観点から 13 項目規定されている。しかし Mesh の良し悪しは採用する変形関数、解析条件、解析タイプなどに依存することを考慮すると解析モデルの良し悪しの基準としては端緒についたばかりと言えよう。

6) PDM データ、検査データ、試作データ、製造データなども視野には入っているようだが内容は未定義である。設計と製造の連携の観点では生産技術要件の製品モデルへの考慮は実務上大変重要であり且つ現場が苦勞している課題であるが、そこまでは踏み込めていない。

#### 7) Quality Stamp

Quality Stamp は製品データに対する品質保証書の位置付けでチェック項目 (with 閾値)、チェックされた要素数、そのなかでエラーとなった要素達のリストからなると考えられる。

Quality Stamp は実務適用上は様々な障害がある。チェックツールが異なれば同一データに対して異なるチェック結果が得られるのが普通であり、またチェックツールやその版を固定しても OS や製品データを作り出した CAD システムの違いで異なる結果を排除できない。SASIG PDQ Guidelines では具体的書式や基準までは踏み込んでいず将来課題としている。なお、Quality Stamp の信頼性を挙げるために Quality Stamp の人為的変更を排除する仕組みが必要となるが、SASIG は簡便な Time Stamp などで実務上十分との認識である。

#### 8) 製品データ品質の向上

製品データ品質の向上は製品開発に関わる全ての組織、個人の努力および協調が必要であるとし、特に以下の項目に分けて議論を進めている。

- Readiness for Change
- Project Management
- Product Development Process
- Supplier Roles
- Cultural Drivers
- Skills and Motivation
- Communication
- Technology Base
- Reward Systems and Metrics
- Checking Tools
- Healing

‘Readiness for Change’から‘Checking Tools’までは個々の課題ごとに一筋縄ではいかない実務上の環境や状況が詳しく展開されている。例えば‘Checking Tool’の項では製品開発の下流で問題になる不良の種類と程度の分析だけで無数のビジネスケースの検討が要ることを指摘している。

#### 9) Healing(データ修正)

データ修正に関しては先ず以下の認識が示されている。

- データ修正は設計工程の最後で実施されることが多く、設計終了から修正要が判断されるまでの時間的ずれのせいで、データが既に CAD システムを離れている場合がある。
- Checker と Healer は一般に別システムである。この2システム間の情報伝達は効率的 Healing の必死事項であるが合意された仕組み、標準は存在しない。
- 検出されなければ修正の対象にならないので、先ず Checker の品質が問われるが、検出可能なものは明らかに限定される。また Healer が修正できるのも PDQ Guidelines に現れる幾何関係の項目の一部でしかない。また Healer が妥当に自動修正できるのはほんの一部であり、修正は手作業が中心である。
- ある項目の修正が大量の他の品質不良を招くことを防げない。
- Healer の修正の基本方針、アルゴリズムが開示されていないので設計意図に適合した修正か否かの判断がつかない。

つまり、現在の Checker と Healer の位置付け、機能ではデータ品質の抜本的改良は不可能との認識である。抜本的改良のために、以下の新たな概念を提起している。

- モデル作成段階でリアルタイムに Native CAD の Checker を走らせ、エラーが発生するやいなや修正を実施する。この修正も可能な手段をシステムがユーザに提示し、ユーザが選択した方式で修正を実施する。結果についてもユーザの判断を仰ぐ。大量の2次のエラーの発生を未然に防ぐにはこのモデリング段階のリアルタイムなチェック・修正が不可欠である。
- 重要なことは Healer を走らせているときに修正がどうなるかをユーザが正確に把握でき、制御できることである。このためにはベンダーは Healing の波及影響を正確にユーザに知らせる仕組みを提供する必要がある。

この新たな仕組み実現にはユーザの要求の一元化、ベンダー (CAD, PDQ Checker, PDQ Healer) の協調が不可欠であり、その実現は多くの課題を抱えていると言えよう。

#### (2) 日本の PDQ プロジェクト

‘製品品質では世界の先端にある日本が主導して製品データの品質を IT で扱えるための情報モデルと仕組みを開発すべき’との基本認識のもと平成16年5月に経済産業省の基準認証委託事業の位置付けで日本情報処理開発協会(JIPDEC)内に発足したプロジェクトである。先行する SASIG の PDQ 関連活動の以下の欠点を解決することを目標にした。

- 1) 製品データ品質は自動車業界固有の問題ではなく全製造業に関わる問題であるが、SASIG PDQ Guidelines は、組織の成り立ちから止むを得ないかも知れないが、自動車業

界のみを対象としている。

- 2) SASIG PDQ Guidelines には情報モデル化の概念がなく全ての基準は自然言語で記述されている。従って、製品データ品質の IT 化の試みは一切含まれていず、基準の一意な解釈も望めない。
- 3) 製品の詳細設計工程を主対象とした基準で、生産準備工程での手直しの低減に繋がる基準は含まれていない。
- 4) 今日の実務上の問題の解決を狙っているためか、市場の CAD システムの機能を強く意識し、機能の低い CAD システムに合わせた仕様になっている。
- 5) Quality Stamp の実現や Checker と Healer の結合に寄与する基準は未だ含まれていない。本プロジェクトは上記の諸点に関し以下の形で改良を図っている。

- 1) 日本自動車工業会、日本電気工業会、日本航空宇宙工業会、日本金型工業会、日本建設情報総合センター、オリンパス(株)などの代表者と IT 産業の代表者、学識経験者からなる産学共同プロジェクトを構成した。
- 2) ISO TC184/SC4 に国際規格提案することを目標に製品データ品質のモデル化を図っている。
- 3) 生産準備要件の製品データへの折込みなどには立ち入れないが、異工程間のデータ授受で問題となるデータ変換による製品データ品質劣化問題なども視野に入れている。
- 4) 市販 CAD システムの改良に繋がるあるべき仕様の策定を狙っている。
- 5) Quality Stamp, Checker と Healer の連結に有用な仕様を狙い、
  - 体系化された製品データ品質の表現
  - 製品データ品質検査の外部仕様
  - 検査結果の表現を主たる内容とする規格案を検討している。

本規格案は 2005 年 3 月に NWI 提案される計画であり、SASIG などの関連団体や Tool Vendor などと連携して開発が進められよう。

### 3.2.4 設計品質 IT 化に関する提案

設計品質の IT 化は第一段階としての製品データの品質問題に関してようやく活動が開始された。設計品質の IT 化は冒頭にも述べた通り困難な課題である。しかし、設計品質が我が国の製造業の生命線であること、IT の適切な活用が我が国の製造業の今後の競合力維持・強化に致命的に重要であることを考えるとそのための本格的な研究・開発は急を要すると考える。設計品質の IT 化のためには以下の課題の解決が必要である。

- 品質要件の IT 化対象項目の選別と体系的整理
  - 品質要件の Formal(Computer Sensible)な表現法／品質モデルの確立
  - 品質モデルと製品モデルの適切な関係の確立
- どの課題も奥が深く難度が高いが、自動車エンジン開発、自動車パネル型開発、カメラ開

発など種類の異なる具体的製品開発を題材に数学モデル検討、応用独立性／応用依存性の見極めなどを実験システム開発を通じて研究・開発することが先ず必要と考える。具体的な進め方として選択した課題（ex. 自動車エンジン設計）について優秀な設計者の設計行為（思考／試行／やり直しなど）を正確に Log として記録し分析することを提案する。このような情報化は本人にとっては同種の設計が発生した時の設計効率改善に利用できる。未熟練の設計者にとっては良い教材となるから技術の底上げや民主化に役立つ。このような情報の中から設計品質に関わるものを抽出して体系化することが、地道ではあるが有用な資産になると考える。

### 3.3 動態保存

#### 3.3.1 技術の現状

##### 3.3.1 (1) 生産のデジタル化の現状

近年、生産のデジタル化が急速に進展してきている。生産へのデジタル技術の導入そのものは、コンピュータが誕生する遙か以前の18世紀、パンチカード式の自動織機にまでさかのぼることができるし、CAD や NC の開発もコンピュータの実用化とほぼ時を同じくしている。

このように生産においては長いデジタル化の歴史を有するが、その対象は幅広い生産活動の中の限られた一部分に留まっていた。それが近年になり、ネットワーク技術に代表される情報通信技術の飛躍的な発展により、生産活動全体を包み込むようにデジタル化が展開し始めている。情報通信技術はそれに関わる機能（組織）がより多く、多様であるほどその効果を相乗的に上げることができる。そのため、ある臨界点を越えた時点で急速にデジタル化が進展していくことが予想される。現在がまさにその臨界点を迎えようという時期であろう。

デジタル化により生産業務の形態（生産スキーマ）が大きく変化する中で、これまで各製造企業において培ってきた膨大な知識と技能をどうすればよいか、ということが問題として顕在化してきた。経済産業省によって推進されたデジタルマイスタープロジェクト（DMP）は、そうした危機意識に対するひとつの取り組みであったと理解できる。

ここで明確にしておくべきことは、これまでの生産スキーマが大きく変化している中、従来の知識や技能を新しい情報通信技術を用いて保存・継承するということが重要なのではなく、デジタル化の流れの中で今後、出現する新しい生産スキーマに対して、いかにして新しい知識と技能を形成し、効果的に伝達していくか、ということが重要なのである。

### 知識・技能のデジタル化

デジタル化された作業環境を活用して、いかにして知識や技能をデジタルで記録し活用するか？



### デジタル化の知識・技能

デジタル化された作業環境に対して新たに必要とされる知識と技能をどのように形成し、業務に活用していくか？

図 3. - 5 生産のデジタル化と知識・技能

生産のデジタル化の引き起こす変化を、生産スキーマ（生産の業務形態）の観点から見てみることにする。生産という営みは、頭の中で欲しいと思ったものを、現実の世界の中に実体化してみせる行為である。それを図式化したものが図 3. - 6 左である。概念世界と物理世界との間で観察を通じた概念化と製造作業を通じた実体化により形成されるサイクルを通じて、製作するものを具現化してきた。生産のデジタル化では、この概念世界と物理世界との間にデジタル世界（情報の世界）が介在するようになった（図 3. - 6 右参照）。ここでは、人間は CAD などを用いてデジタル世界に対してモデル化を行い、作られたモデルをもとに CG やグラフなどの助けを得てそれらの概念化を行う。他方、デジタル世界と物理世界との間をつなぐものとして、数値制御やデジタル計測の技術が充実しており、デジタル世界からの指令によって製造工程を実施して製品を物理世界に生み出すとともに、物理世界の対象を計測してそのデジタルモデルを情報の世界に作り出すことができる。このように、概念世界とデジタル世界の間で概念化とモデル化のループが、デジタル世界と物理世界の間には実体化とデジタル化のループがそれぞれ構成され、それらが独立して動く仕組みが形成されつつある。

こうなると人間は直接に物理世界に対峙することなく、ものづくりのプロセスが進行していくことになる。設計者や技術者が現実のものに向き合うことなく設計や生産を行うことには大きな危険が潜んでおり、技術者教育においていかにして適切な「モノ感覚」を養うかが課題となるが、生産のスキーマとしてはこうしたデジタル世界が介在する形態が進展していくものと考えられる。

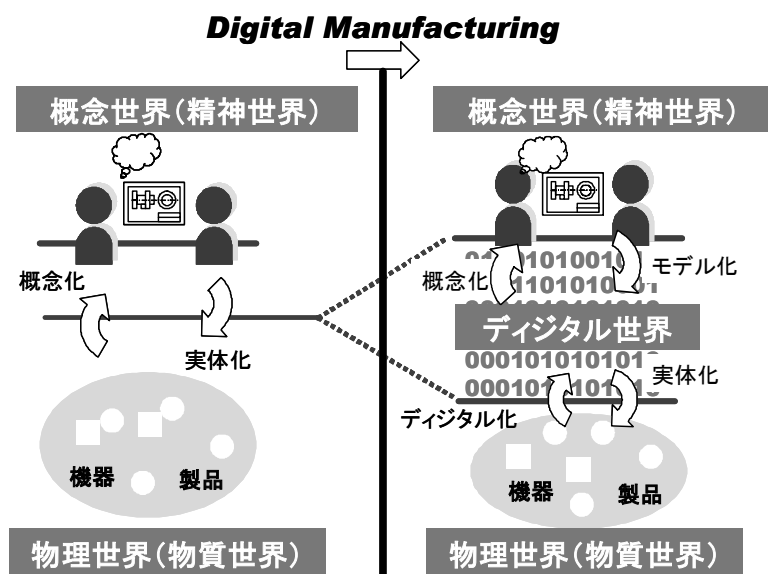


図 3. - 6 デジタル化による生産のスキーマ変化

### 3. 3. 1 (2) 知識に対するコンピュータ利用の流れ

人間の知を人工的に実現することを目指す人工知能の研究は 1956 年夏に米国ダートマスで開催された会議をきっかけに注目を集めることになる。厳選された基本原理と機械的処理が可能な推論機構により構成することを目指し、数学の定理証明を行う LT(Logic Theorist) や汎用的な問題解決器である GPS(General Problem Solver)などがソフトウェアとして開発された。

初期の人工知能においては、数学の定理やゲームのチェスなど、条件や評価が明確な問題を対象として研究が行われており、こうした基本的な問題解決能力を組み合わせることで、現実の複雑な問題も解決できると考えられていた。ここでの目標は人間と等価な問題解決の実現であり、言い換えると知的労働のコンピュータによる自動化である。

しかしながら、こうした公理的アプローチを直接に適用できる問題は、現実の生産領域では限られており、また適用可能な問題に関しても人工知能という形式を明示的にとることなく、個々のプログラムのコードの中に埋め込まれる形で実現されていたと考えられる。

1980 年代に本格化した。知識工学(knowledge engineering)により、厳選された基本原理と推論機構によるアプローチから、知識(knowledge)と称して収集される多数のデータ集合に対する計算のアプローチへと、知的情報処理の関心が移行した。if-then という、条件部と実行部の組からなるルール集合から構成されるプロダクションルールシステム(production rule system)や、M. Minsky の提案したフレーム理論に基づいたフレーム型知識表現言語などを用いて、エキスパートシステムの開発が世界中の大学や研究所、企業で行われた。生産

の分野においても、スケジューリングやプランニングの分野を中心に数多くのプロトタイプシステムが開発されたが、一部の開発事例を除き、ほとんどは研究室での試作レベルに留まった。

エキスパートシステムに代表されるような知識情報処理をコンピュータ化しようとするアプローチが行き詰まりを見せる中、産業界で具体的に推進されたのは、コンピュータに知識を与えるのではなく、コンピュータを媒介の道具として人間と人間の間での知識共有を促進しようとするアプローチである。

これまでも文書や図面によってノウハウや成功・失敗事例を共有化することが図られてきたが、関心のある情報を探しだし、入手するために要する時間と手間が業務の中での普及を妨げていた。それが近年のインターネットの業務への浸透に伴いメールやWWW、グループウェア等を介して手軽に情報発信と情報配布を行うことが容易となり、また高速なコンテンツの検索技術とあいまって実用的な業務支援手法となっている。こうしたアプローチにおいては、個人やグループが業務に関して持つ様々なノウハウや成功・失敗の経験を組織として共有化することが推奨されており、ナレッジマネジメント(knowledge management)の呼び名のもと、企業経営の面からも大きな関心を集めている。

このように先端的な情報通信技術を基盤として、人間と人間との間の情報の流れを促進し、知識共有のもとで協調的な作業を効率的に推進していこうとする試みが盛んになっている。

以上に述べてきたように、知識への取り組みをおおまかに見てみるとコンピュータ単体での知識処理の実現→ネットワークによる人間の知識系の実現→ネットワークによるコンピュータの知識系の実現、という流れで中心的な問題意識が変遷してきたといえる。

### 3.3.1 (3) 生産領域における知識利用の課題

こうしたエキスパートシステムを中心とした知識利用のアプローチが実用において大きな成果をあげることができなかった原因は何にあったのであろうか。これについてはすでに多くの研究者によって語られているが、生産領域に限定してみると実用的なエキスパートシステムを開発することが難しかった主な理由として以下のことが挙げられる。

#### (1) 知識内容の記号表現の困難さ

生産の領域において重要な、製品の形状や機器の配置関係などの空間的な情報を、単語や文章などの線形な構造の記号表現で記述することが困難であった。三次元的なパターンを記号化するための手段として、GT(Group Technology)や形状特徴(form feature)などの手法が適用されたが、汎用性を持った解決手段とはならなかった。

#### (2) 評価指標の多様さとあいまいさ

生産の良否を評価する上での項目としてQCD(Quality, Cost, Delivery)の3つがよく用いられる。評価指標が多次元であり、なおかつそれらの3つの項目間の重要度が明示できなかったり、状況により変化したりするため、エキスパートシステムに組み込まれた評



価関数により導かれた最適解が、個別の問題事例においては適当ではないことが生じる。

(3) 個別システム開発による採算性の悪さ

開発されたエキスパートシステムの適用範囲が、個別の製品や生産ライン、生産工程などに限定されている。これはシステムに実装される知識が、実用性の向上と引き替えに知識の背景にある暗黙の条件を内包しているために生じる。このため、システムの開発に要したコストを回収することが困難である。

(4) 使用者の要求への不適合

エキスパートシステムで解決できる問題が、初歩的で解が自明なものに限られることが多い。これは知識ベースの内容の論理的整合性を重視していくところからシステムになりやすい。初心者への教育には有効であっても、実務での意思決定の自動化や支援には能力が不足する。

1980年代から1990年代において、こうした問題点が知識の計算機による利用を阻んできたと言える。現在の進歩した情報処理技術を用いることで、これらの問題のある部分は解決あるいは緩和できると考えられるが、次に述べる、知識に対する一般的アプローチのより本質的な問題点が存在したと考えるべきであろう。

(1) 知識の相互依存性

我々の持つ知識はいもづるのように相互にからみあっており、その中から注目する知識を意味を損なわずに切り出すことは難しい。

(2) 知識の時間劣化性

原理や法則などを除いて実務において有用な知識は、一般に時がたつと陳腐化したり、不適當なものになってしまう。

(3) 知識の無自覚性

実際の問題解決に直面しないと顕在化しない知識が多い。知識の保有者自身も知識を持っているかどうかは問題に直面しないと自覚できないことがある。

(4) 知識の非言語性

言語的に表現することが難しい知識が多く存在する。例えば、形状やパターン、音や臭いなどが関係する知識を言葉で適切に説明するのは難しい。

こうした性質を持つ知識を前に、「みなさんの持つ知識を記号で表現していただければ計算機で適切に処理しますよ」、というエキスパートシステム構築の前提条件は、あたかも「屏風に描かれた虎を出していただければ、見事に捕らえて差し上げますよ」という一休禅師の有名なとんち話の構造に似ている。

### 3.3.2 デジタルマイスター

デジタルマイスターは経済産業省・NEDOが支援した「デジタル・マイスター・プロジェクト」であり、平成13年度～15年度まで総額56億円の補助金で行った。具体的には、プレスや射出成形の金型を用いる部品製造メーカおよび金型を製作する工作機械メーカの39

社を対象に、3/4の委託補助率で「製造業におけるITを用いた知識管理手法の確立」を目指して国の主導で行った。

ここで現在、平成16年末であるが、プロジェクト全体を筆者の私見（特に5.において）で総括してみると、次のことがわかる。

1. 金型や工作機械の産業においても、3次元ソリッドのCADをもとに、CAE、CAM、デザインレビュー、検査、等において、デジタル情報を用いた生産システムが展開できた。いわゆる“一気通貫”生産システムで、ソリッドデータを基に図面レスで金型が生産できた。
2. 「マイスター」の頭の中の暗黙知は抽出でき、それをデジタル化して上記の生産システムに実装できた。もちろん、言葉を語らない職人から知識を出すには、図面や実物を前に順不同で思ったことを気軽に話してもらう工夫が必要である。200人ぐらいの工場でも1件5万円ぐらいの費用で500件程度のデータを容易にデジタル化できる。
3. 実装方法として、知識を適宜検索できるデータベースに蓄積してそこからマイニングする「ライブラリー化」と、知識をCADやCAEの中に自動作業として埋め込む「コマンド化」との2つに大別でき、それぞれの15ぐらいの企画で試行した。しかし、生産効率を高めたのは、後者の「コマンド化」であった。コマンド化によってリードタイムが半減し、不良率やトライアウム回数が激減した。一方で「ライブラリー化」は構成員に一度は読まれるが、半年もすると死蔵するものが多かった。
4. 上記の「コマンド化」はシステム作成者の知識管理能力を高めたが、それを用いるオペレータの思考能力が逆に低くなることがわかった。
5. 日本の製造業の生産能力を高める方法は、上記「コマンド化」のシステム作成者である中核人材を育成することである。すなわち、従来の生産技術とデジタル利用技術との両方を融合できる人材を「20年後の生産技術部長」として育てあげることである。

「情報・物の一致」は、情報を物に実装し、いつでもどこでも利用することは将来の生産システムとして重要である。しかし、日本の製造業の将来に重要なのは「情報」そのものでなく、必要な情報を選定しそれを物の中にシステムとして組み込むことができる「人材」である。平成16年3月に労働者派遣法が改訂されて、製造業の工場内に請負業者が入り、中核人材の正社員と請負のフリーターとを混在して作業させることが可能になった。以後、フリーターは激増し、その比率は電気電子産業や自動車産業では半数を超えているといっても過言ではない。今後はこの傾向が強まり、正社員はマニュアルが作成しにくい、企画、開発、メンテナンス、営業、庶務などに限られるようになり、マニュアル通りに作業すればよい、製造、検査、特許、アフターサービス、経理、労務などはすべて請負に変わろう。

このような生産システムにおいて、デジタルマイスターや情報・物の一致の知見は重要である。この知見は、中核人材とフリーターとをつなぐコミュニケーション技術としてますます重宝に用いられていくはずである。

### 3.3.3 日本の強み

生産の分野における日本の強みは、現場の高い能力にあると言われている。すなわち、高い製品品質やむだのない生産工程などにより、製品に高い付加価値とコスト削減を実現しているのは生産現場で働く技能者や技術者である。また、これは最終製品の製造工場に留まらず、素材や部品を納入する製造企業や加工などの外部委託をしている町工場にいたる生産組織体全体が持つ、長い製造業の歴史によって得られた分厚い経験と技能の結果であるといえる。これらは資本投資によってすぐに形成できない、貴重な日本の創造的活動の資産といえる。

しかしながらすでに多くの議論がなされているように、こうした日本の生産の強さを体現していた世代が定年退職などで製造現場を離れ、生産に関する技能と技術の継承が危ぶまれている。これはひとつには生産現場の省力化、合理化により生産現場で直接に生産活動に従事する人間の数が減少し、間接的な業務へとシフトしてきたこと、生産活動のさまざまな局面において、標準化や規格化が導入され、作業者の能力に依存しない生産活動のあり方が指向されてきたことが大きく影響していると思われる。

また日本の生産の強みに対する懸念事項としては、先の項でも述べたように生産を実施するスキーマ（枠組み）がデジタル技術により大きく変化をしており、生産技術に関して過去の経験と実績を単純に外挿したところには将来の生産技術がないという、技術・技能の断絶（不連続性）の問題がある。工業の新興国においては、こうしたデジタル技術の急速な発展を好機として、自国の生産技術の質的な転換を積極的に図っている。すなわち、従来の“アナログ技術的生産”の下請け的位置にあったものを、CAD/CAM/CAEなどのデジタルエンジニアリングを駆使できる技術者を戦略的に育成することで、“デジタル技術的生産”での主導的な位置を獲得しようとしている。こうした流れにおいて“アナログ技術的生産”において先頭グループを牽引してきた日本は立ち後れていると言わざるを得ない。

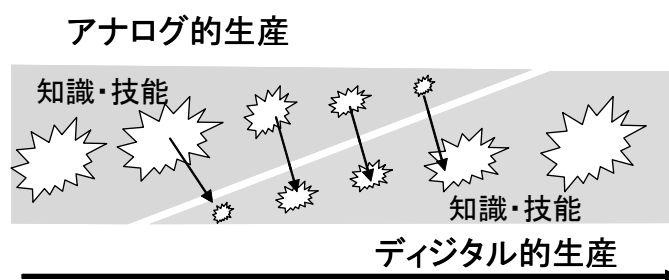


図3. - 7 アナログ的生産からデジタル的生産への生産資産の継承

今後の方向性として重要なことは、日本の持つ“アナログ技術的生産”の技術・技能の優位性を、いかにして“デジタル技術的生産”へと継承し、展開していくか、という点にある。すなわち、これまで築いてきた膨大な生産に関する知識と技能を捨て去るのではなく、そ

れらを“デジタル技術的生産”へと転換し、その上に新たな生産のスキーマの中で培われる知識・技能と蓄積していくことが、日本の生産領域における過去の強みを将来へと継承していく道ではないかと考えられる。

### 3.3.4 研究開発内容

#### 3.3.4 (1) 研究開発の概要

生産知識の動態保存手法の実現に関しては、初歩的なものから最終目標となる高度なものまで、いくつかのレベルが存在している。ここでは、以下の図3. - 8に示す3つの観点から図3. - 9に示す4つの実現レベルを想定する。

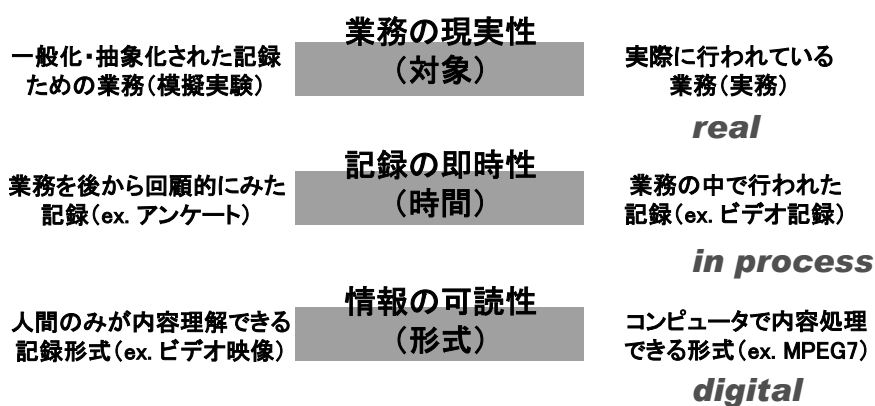


図3. - 8 生産知識の動態保存における3つの観点からの実現手段のレベル

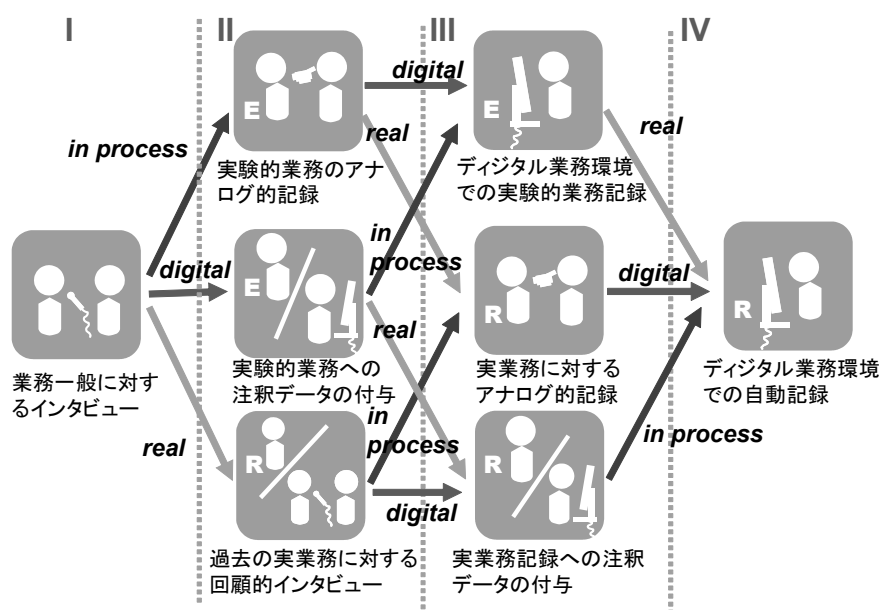


図3. - 9 動態保存の実現における4つのレベルと代表的な実現形態例

ここでは、以下に3つの技術開発を主要課題として説明する。

### 3.3.4 (2) 設計生産業務の電子記録とそれに基づくコンピュータ支援

これは設計や生産業のアクティビティをなるべく詳細に記録するものである。ここではそうした技術開発の例としての「デザインレビューの電子記録とそれに基づくデザインレビュー支援」について説明する。

製造企業におけるデザインレビューは、その企業の保有する知識・ノウハウを動員して設計案等の問題点を検討し、製品のQCDを向上させる活動である。デザインレビューでは通常、進行役の議長と、さまざまな専門分野をもつ複数の参加者により実施され、設計案に対してチェック項目の検証と設計案で改善すべき点を示し、設計案の承認や設計者へのフィードバックを行う場である。こうしたデザインレビューの記録はこれまでも残されているが、それらは最終的な結論のみが記されるものであったり、議論の経過が大きく省略されるものであったりすることが多い。また、デザインレビューの記録は人手によるものであり、記録者の技量や流儀によって記録される内容に差が出てしまう。

生産知識の動態保存の観点からは、デザインレビューにおいては

- ・何を対象として
- ・だれが
- ・いつ
- ・どのような理由で
- ・何を述べたか

ということ、機械可読な形で記録することが必要である。以下の図3-10は大阪大学で試作されたデザインレビュー用のコンソールデスクであり、デザインレビューの参加者はこのコンソールデスクを用いて議論に参加を行い、その発話内容が記録される。記録された発話内容はXML形式に整理され、データベースに収容される。この試作ではテキスト化までであり、自然言語の意味解析までは実施していない。

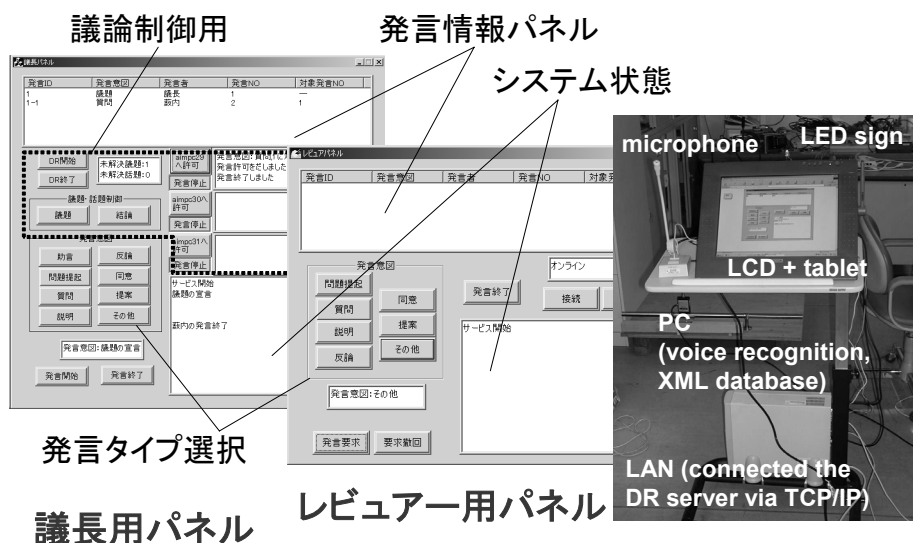


図3-10 デザインレビューのデジタル記録の試作システム [大阪大学]

こうした技術を実用に供するために必要な要素技術等としては、

- 発話をテキストへと変換する認識率の高い音声認識技術
- 発話内容のテキストから必要な情報を抽出してくる自然言語の構文解釈と意味解釈の技術
- デザインレビューにおけるプロダクトモデルや試作品、その他の指示対象と発話とを結びつけ、参照先を特定して記録する技術（たとえば、会話における指示語の処理）
- 発話の相互関係を管理し、議論の流れを認識して議長を支援する方法論の開発
- 遠隔地の参加者を含めて円滑にデザインレビューを実施することのできるサイバースペース共有化技術

などが挙げられる。

また、デザインレビューに限定せずに、電子メールやグループウェア、Web サービス等の各種のデジタル共同作業環境を用いて実施する設計・生産業務に関しても、上記で述べたような業務の詳細な記録を行い、利用する技術の開発が求められる。

### 3.3.4 (3) 設計者・技術者の意思決定プロセスの記録と利用

上記の研究項目の対象が、複数の技術者や技能者によるグループ業務でのプロセス記述が中心であり、作業に加わる人間相互のインタラクションの記録が主眼となっていた。それに対して、本研究項目では、基本的に問題解決に際しての個人の思考プロセスの詳細な記録と利用を主な対象としている。

具体的には

ある解決すべき問題を前にしたとき、(優れた)技術者はどのような思考過程を経て、どのように問題を解決したか。

を記録を行うものである。この記録をトレースすることにより、問題解決の過程を別の人間が追体験することができる。本研究では、CAD/CAM/CAE や NC 工作機械などの、業務における操作がデジタルデータとして反映されるものを用いた業務での問題解決を考える。

この実現に求められる要素、技術課題としては、

- CAD/CAM/CAE などのデジタル作業ツールの作業履歴の継続的な保存と再生
- 作業者の思考プロセスを外在化するための音声認識による発話収集やアイカメラによる注目点監視、モーションキャプチャデバイスによる動作認識などの技術
- 記録されたデータに基づいて作業者の思考プロセスをわかりやすくブラウズしたり、再生して追体験したりする技術

などが挙げられる。

こうした技術を目指したものの例として、経済産業省のデジタルマイスタープロジェクトにおいて、ISID とオークマが行った 4 画面記録法による設計プロセスの記録例を図 3. ー 1 1 に示す。ここでは、設計者の思考プロセスをモノログ（独白）と CAD システムのオペレータへの操作依頼、第 3 者からのインタビューにより外在化してビデオ記録し、それ

を手により XML データへと変換している。また、作業における発話の指示対象の対応付けも後から人間が行っている。今後の研究により、こうした記録を手を使わずに自動的に実施できるようにすることが必要である。



図 3. - 1 1 4画面記録による金型設計過程の思考プロセス記録[ISID/オークマ]

またこうした個人における業務プロセスの記録は、設計や計画などの思考に関わる業務にとどまらず、身体運動を伴う技能を用いた熟練作業等の記録などに対する要求も製造業からは高いと考えられる。

### 3. 3. 4 (4) 仮想生産やデジタルモックアップ技術を核とした履歴管理

われわれの目にする人工物（モノ）は、その背後にそれを考案し、実体化し、維持管理を行ってきた多くの知恵とノウハウが存在している。しかしながら、実体としてのモノからそうした情報を直接に引き出すことはできず、またそうした情報は時間の経過の中で散逸してしまっていることが多い。本研究では、そうしたモノに対してなされた各種の意思決定などの情報を、モノの情報世界での対応物であるデジタルモックアップや仮想生産の設備モデルなどに対して付与し、実世界のモノと仮想世界のモノとの対応付け（レジストレーション）を介して、必要な情報の収集と提示を行う技術を開発する。

こうした技術を構成する上での要素技術課題としては

- 実物の構造や挙動を忠実にコンピュータ内で提示できるデジタルモデリング&シミュレーション技術

- 現実のモノと仮想のモノとの対応関係を迅速かつ自動に行うことのできる環境認識技術とレジストレーション技術
- 実世界のモノと仮想世界のモノを分け隔て無く人間が参照、指示、入力などを可能とするインタフェースシステム技術
- 目の前の実物に関わる過去の履歴や注意点を現場で柔軟に参照することを可能とする4次元サイバースペースと実世界を融合させたデータビューワーの実現

などが挙げられる。

こうした技術開発を目指したものの一例としては、大阪大学／北海道大学で開発した生産知識の動態保存システムがある。(図3. - 1 2 参照) このシステムは工場の設備などの3次元シミュレーションモデルなどから構成される仮想生産システムを核として、それに対して、知識タグ (Knowledge Tag) と呼ばれる知識適用の目印をモデル世界に埋めこみ、そのタグと、XML で記述された知識適用の内容記述とをリンクさせて、モデル上の知識タグをクリックすると、それに関わる知識適用の結果が、3次元シミュレーションとして提示される仕組みである。利用者は3次元モデルに変更を加えることで、異なる選択肢の可能性や状況が異なる場合の有効性などを確認することができる。このシステムでは仮想世界のモノと実世界のモノとの関係付けにはまだ対応していないため、実設備を前にして知識適用の記述を入出力することはできない。

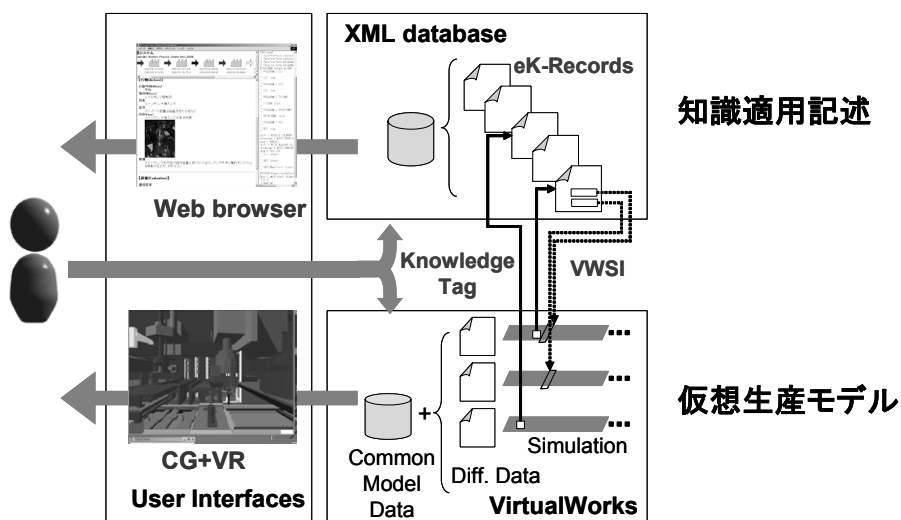


図3. - 1 2 生産知識の動態保存システムにおけるシステム構成[大阪大学／北海道大学]

### 3. 3. 5 得られる成果

本研究を実施することによって得られる成果に関して、直接的に達成されることと、それによって間接的な効果が期待されることに分けて以下に述べる。



### 3.3.5 (1) 実現による直接的効果

本研究の遂行による直接的な効果は、業務のプロセス、個人の思考プロセス、モノの履歴といった3つの時間軸にそって、生産知識の動態保存の活用を行う。

#### (1) 設計・生產業務における詳細なプロセス記録の自動収集【業務プロセス軸】

動態保存手法の開発により、設計や生産の業務において、「いつ、だれが、何を、どうしたか」という業務のプロセス記録を、作業を行っている人間に負担をかけることなく自動的に収集し、電子的な記録(e-Record)を行うことが可能となる。こうした記録は、業務の進捗管理を行う上で重要な情報である。

#### (2) エンジニアリングにおける意思決定過程の記録と分析【個人の思考プロセス軸】

業務の遂行履歴を個人のレベルでより詳しく記録することを行うと、ある問題に直面した設計者・技術者がいかなる思考過程のもとに意思決定を行い、さまざまな情報を決定したり行動を起こしたりしたか、ということが明らかになる。こうした記録は優れた技術者の思考過程をトレースすることを可能とし、技術者自らの支援に加えて、知識継承などを目的にした新人等の教育に有効に使用することができる。

#### (3) 生産設備や製品に関する改善履歴の記録と利用【モノに関わる時間軸】

生産設備の改善履歴や製品の設計変更履歴といった、モノに関してなされた意思決定等の内容を、モノに密着した形で記録し、そのモノがどのような経歴をもってそこに存在するのかの情報を、異なる技術者や設計者の間で時間を超えて共有することを実現する。こうした動態保存の活用のねらいで共通するものは、動態保存の考え方に基づいて得られた情報を使い、設計や生産に関する人間の創造的活動を支援し、知的生産性を最大化することにある。

### 3.3.5 (2) 期待される間接的効果

#### (1) デジタルマニュファクチャリングの普及促進

CAD/CAM/CAE や仮想生産などのデジタル・エンジニアリング環境(DEE)を使用して動態保存を実現し、知的生産性を向上させることで、デジタルマニュファクチャリングの普及を促進することになる。現状ではデジタルマニュファクチャリング技術の導入を採算的な面から躊躇している製造企業にとっては、有効な動機となりうる。特にわが国において多くの生産知識や技能を保有する中小の製造企業群へのデジタルマニュファクチャリング技術の導入と活用は、今後のデジタル生産への生産スキーマの展開を考える上で鍵を握っているといえる。

#### (2) 製造に関わる情報公開による社会に対する説明責任の履行

現在、製造企業がその製品や製造プロセスを通じて社会に与える影響は大きく、情報公開などを通じて社会に対して製品と製造の安全性などを説明していく責任を負っている。動態保存などによる設計・生産のプロセスと実施したエンジニアリングに関する詳細な情報は、そうした公開する情報のもととなる。

### (3) 生産に関する知識や技能の流出の防止

動態保存により詳細に業務や思考のプロセスの記録を残すことが、生産知識や技能の流出につながるという危惧はあるが、動態保存は個々の業務内容や作業環境、組織の特性に密着した形で記録がなされる。そのため、記録された一次データそのものは、同じ状況を共有しない他の企業や他国で直接に利用することが困難である。一次データから一般化、抽象化して得られた知見は、他に転用される可能性が高くなる。

### (4) 人間の創造性研究への寄与

最後に挙げる効果は、産業面でなく人間の創造性とはなにか、あるいは問題解決を行うことのできる能力の本質とは何か、という学術的な探求における基礎データを提供できることにある。すなわち、これまで人間が行う業務において“非侵襲”的に記録をとることが困難であり、思考過程に対する中断や業務に対する余分な操作が介入するなどが避けられなかった。デジタル的な作業環境の中に動態保存のメカニズムが入ることで、技術者や技能者の作業の妨げになることになしに、その思考や作業のプロセスの詳細な記録をとることができ、学術的な研究に大きく寄与するものと期待される。

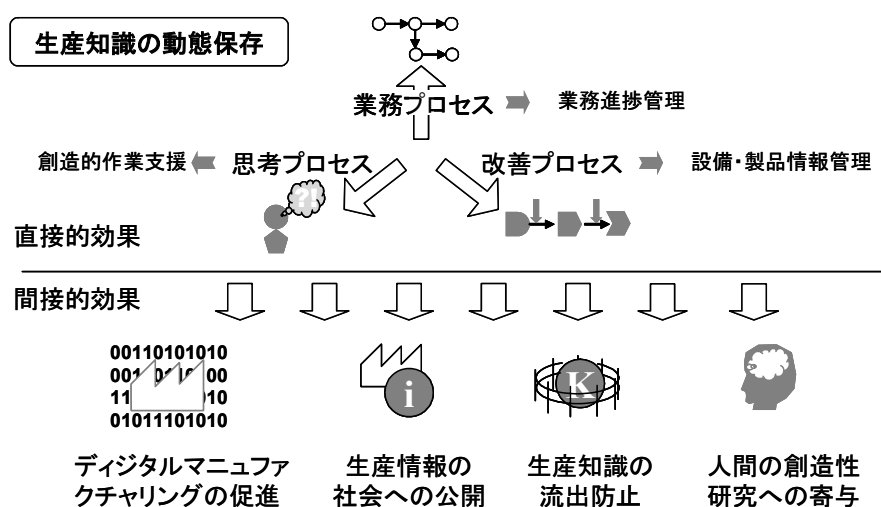


図 3. - 1 3 動態保存研究による直接的な効果と間接的な効果

## 3. 4 現物融合化技術

### 3. 4. 1 仮想生産

機械を製造するためには、設計から始まる図 3. - 1 4 に示すような設計開発プロセスが実行される。設計では、顧客の求める製品を作るための部品の形や材質などの設計属性が定義され設計案が設計情報として作られる。設計案は試作実験によって評価され、修正・改良が行われ、その評価を満足すると、設計情報として、次の生産準備に渡される。生産

準備では、製品情報からその製品を工場で作るために必要な様々な情報が作られる。これを製造情報と呼ぶ。そして、製造情報が工場の製造工程に流れて、人や生産機械が動いて製品が作り出される。

このようにものづくりプロセスの大部分は情報処理のプロセスで、様々な IT ツールが使われている。設計を支援する CAD (Computer Aided Design) システム、実験の代わりにシミュレーションを行う CAE (Computer Aided Engineering)、製造情報を作り出す CAM (Computer Aided Manufacturing) システムなどがある。そして CAM の作り出した NC データと呼ばれるデータが工作機械やロボットに送られ、それによって工作機械などが動いて、素材が加工され製品が作り出される。

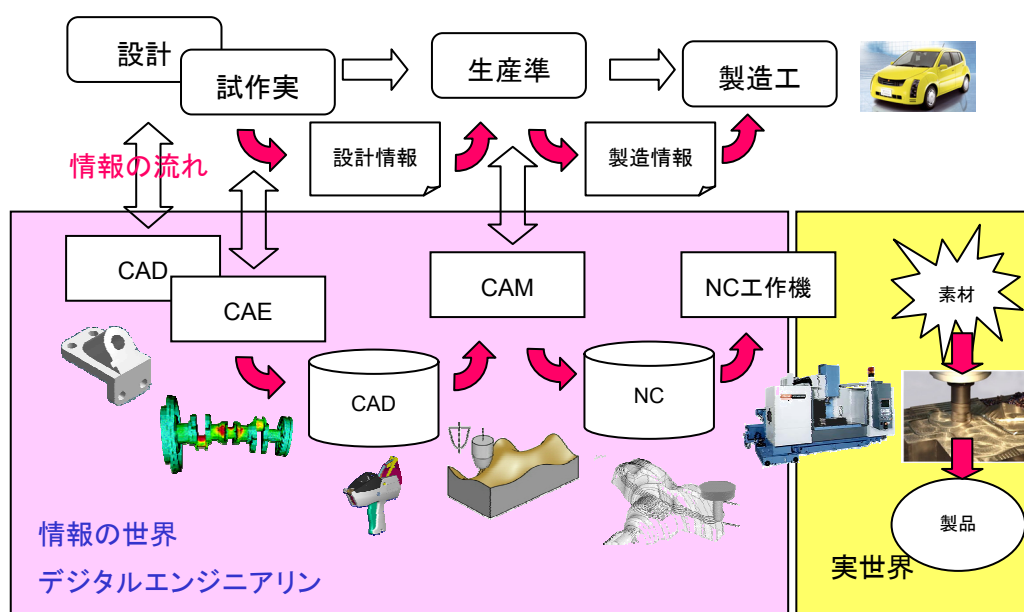


図3. - 1 4 設計開発プロセスと IT ツール

このように、設計から生産準備までの作業の多くが IT システムを使って、情報の世界で行われるようになっており、このような IT システムを活用した設計生産をデジタルエンジニアリングと呼んでいる。誇張して言えば、設計生産は、情報の世界、あるいは仮想世界で作られた情報が、NC 工作機械やロボットを通じて、実世界の製品に転写されるプロセスとしてみることができる。

このような仮想化の志向は強力で、従来は実世界の実験や試作で行っていたことを、できるだけ仮想世界へ転移させることがこれまでのデジタルエンジニアリングであったといえる。この効果は設計期間の短縮やコスト削減に大きな効果を挙げた。特に「試作レス」あるいは試作回数が激減することや、フロントローディングにより後工程での設計変更が減少することによる効果は大きかった。

### 3.4.2 現物融合エンジニアリング

これに対して現物融合は、モノの情報をデジタルエンジニアリングに取り込もうとする活動であり、端的には、**図3. - 15**のレーザー3次元スキャナーやX線CTスキャナーのような3次元の形状計測装置を用いて、モノの形状などの情報をデジタル化して取り込み、デジタルエンジニアリングで利用しようとするものである。例えば産業用のX線CTについて言えば、その歴史は古く、多くの場合、断層画像などによる鑄造の欠陥の検査などに広く使われて来た。しかし最近の傾向は、単なる断層画像による非破壊検査だけを目的としているのではなく、さらにデジタルエンジニアリングで応用するための3次元形状を取り込むための装置として位置付けられ、そのための性能（画像解像度、透過能力、計測速度）などの向上が図られている。

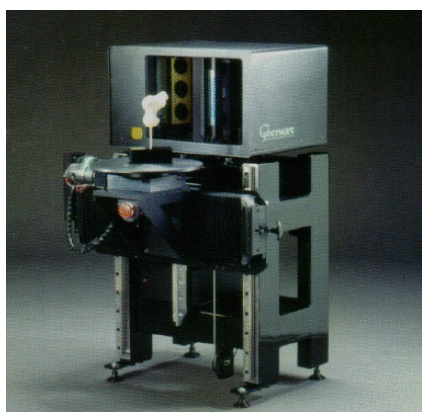
このように実体の3次元モデルを取り込めるようになると、設計や製造で役に立つ、今までにない新しいアプリケーションが可能になる。特に、前述のデジタルエンジニアリングにおいて、このスキャナからの3次元モデルを活用することが期待されている。

**図3. - 16**示す板金部品を例として説明する。これは自動車のボディーに組み込まれている鉄板でできた部品であり、まず平らな板をカットしてから、このように5段階で、金型を使ってプレスし、少しずつ成形する。鈴木らは、このような薄板部品をCT計測し、そのデータから部品のサーフェスモデルと、板厚分布を計算する方法を開発している【文献1、2】。**図3. - 17**は、設計者がCADで作った3次元モデルと、そのモデルから製造した現物の形を比較した様子である。これによって、製品が、本当に設計者が考えたとおりの形になっているかどうかを検証することができる。この例に限らず、多くの部品において、設計者が定義した形と、現物の形が想像以上に異なっていることが、3次元計測によって分かってきた。そのような差分や、あるいは部品ごとのバラツキの様子が3次元計測によってはっきりすれば、設計者は、それらを織り込んだ設計をすることができるようになり、設計や製造の品質向上に有効である。また、現物同士を比較することもできる。これによって、例えば、加工を行うプロセスの温度や材料の配合など、様々な条件を変えて、それらを比較することによって、製造条件を合理的に最適化できるようになり、製造準備の期間短縮に効果がある。さらに、**図3. - 18**に示すように各工程における形状を計測すれば、工程の前後における形状の変化の様子を解析することができる。特に、このような部品では強度が問題になる。最終形状での板厚の分布が制御するためには、各工程で少しずつ材料を「流して」行く必要があり、このような方法によって、その様子を調べることができると、金型設計に有効な情報となり、金型を設計する期間や、金型を修正する調整期間の短縮に有効と考えられる。

さらに、**図3. - 19** (A) は、この計測データから有限要素解析のためのメッシュモデルを生成した例であり、これを用いることによって強度解析が可能となる。さらに、(B) はトリム化されたNURBS曲面であり、これをCADで利用することができる。

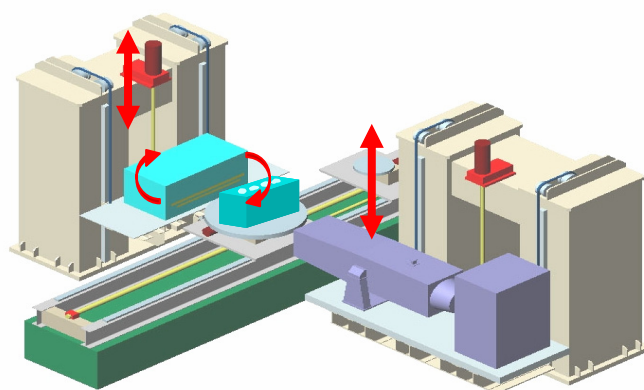
以上の例で紹介したように、ここでは、X線CTなどの計測システムで現物を測って得ら

れる現物モデルと、デジタルエンジニアリングの CAD モデルを組み合わせた、新しいエンジニアリングシステムを実現することが重要である。従来の狭義のリバースエンジニアリングでは、計測データから CAD モデルを生成することが主であったが、ここではさらに多くの新しいアプリケーションを実現する。これを、現物融合型デジタルエンジニアリング、あるいは、Convergence Engineering と呼ぶ【文献 1】。つまり、現物を徹底してデジタル化し、それをデジタルエンジニアリングでフルに活用した新しい設計・製造手法を実現し、それによって製造業の業務革新へとつなげることが重要となる。そのためには、計測技術の開発はもとより、計測データを高度に利用する技術が重要になる。



3次元サーフェスキャナー

Cyberware社



X線CTスキャナー

トヨタ自動車(株)

図 3. - 1 5 サーフェスキャナーと CT スキャナー

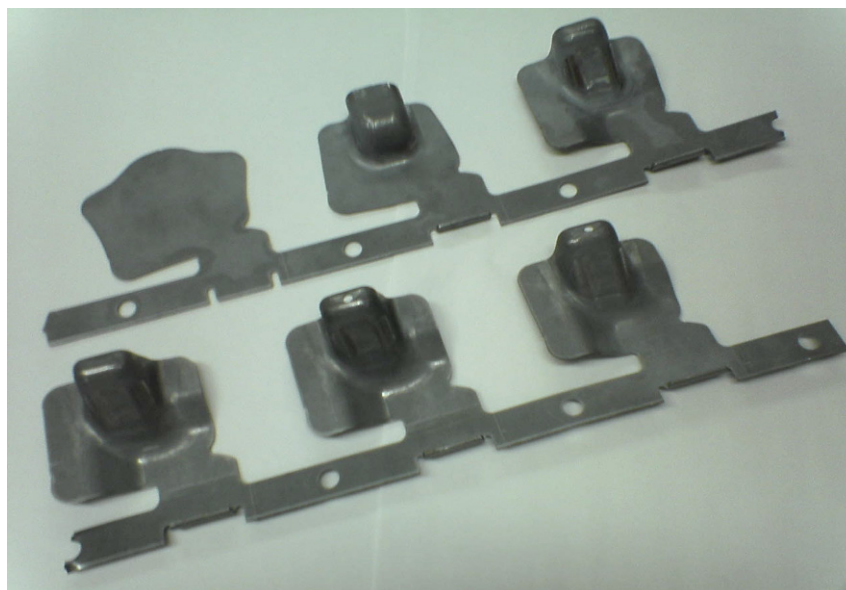


図 3. - 1 6 板金部品の例

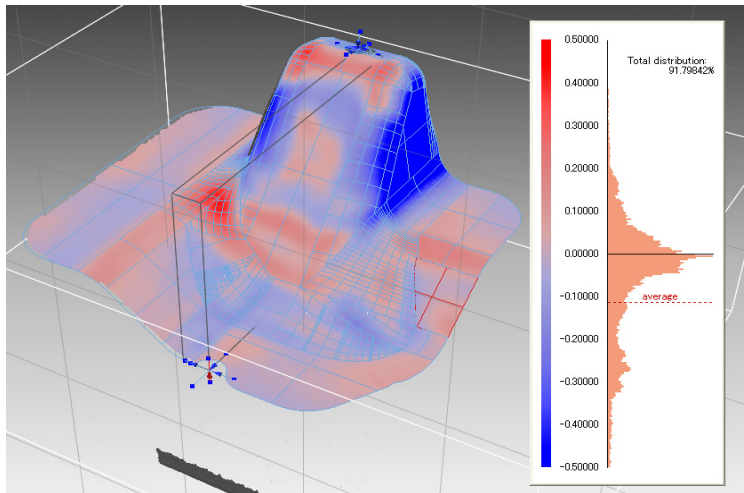


図 3. - 1 7 CAD データと現物モデルの比較

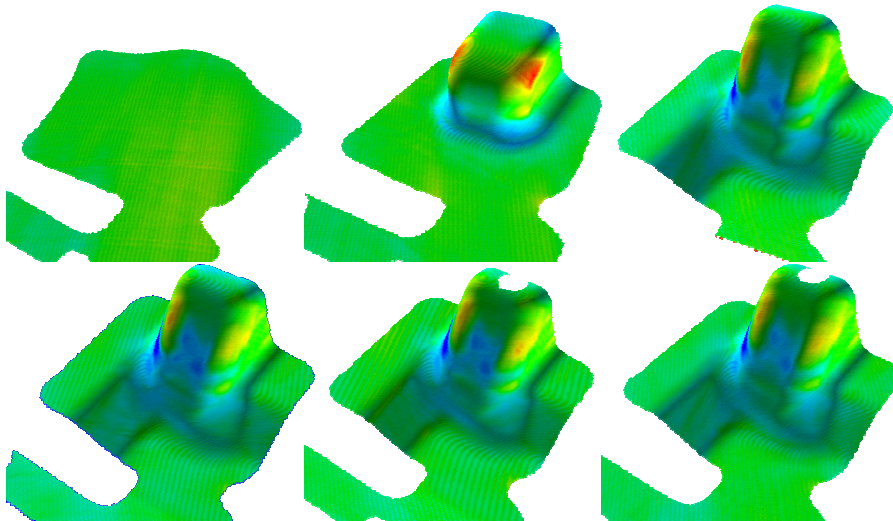
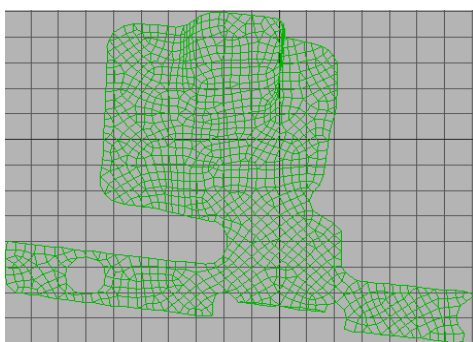


図 3. - 1 8 工程間における形状と板厚分布の変化の追跡



(A) 有限要素法メッシュ

提供:カーネギーメロン大学 CIELAB(嶋田教授)



トリム化NURBS曲面モデル

提供:株式会社セリオ

図 3. - 1 9 現物モデルからの有限要素モデルや CAD サーフェスモデルの生成

### 3.4.3 加工計測融合システム

進化をし続けるマイクロ光学素子や金型、積層電子デバイスや MEMS などの超精密・超微細加工において、その要求精度は年々厳しさを増している。こうしたキーデバイスは、量産化段階で成形加工技術により生産されるものも多いが、硬質脆性材料などからなる高機能材料が用いられる場合、高品位・超精密な除去加工を行うことのできる先端的加工プロセス技術が重要となる。こうした加工には、超精密切削やマイクロ切削、そして特に近年実用化が進んできた超精密研削加工法である ELID 研削法の適用が考えられるが、これらの除去加工技術とともに、超精密成形加工技術との有機的な統合化も不可欠となる。洗練された加工プロセスを極限の精度にまで高めるためには、洗練された加工システム構築も極めて重要となる。加工プロセスに必要となる加工システムの制御のためには、加工のための情報技術が不可欠である。さらには、ナノレベルの精度（ナノプレジジョン）の実現には、加工プロセスに有用な情報の取得が不可欠となる。そのため、加工と計測の融合、つまり、加工時の外乱に伴う加工誤差の加工システム内での計測と、その情報を加工へとフィードバックする加工計測融合システムの完成が不可欠と考えられる。こうしたシステムが実現できれば、加工後の情報取得により、設計情報との照合・修正の作業につながる効果的な製造プロセスの確立にも寄与できると考えられる。ここでは、こうした状況から、（１）加工プロセス、（２）加工システム、（３）加工機上計測、そして（４）加工計測融合システムへのアプローチの順を追って、加工と計測の融合化による加工情報とその具現化に関わる現物融合化の方向性の一つについて事例を中心に紹介する。

#### （１）加工プロセス技術

まず、加工プロセスとしては超精密切削がある。超精密切削には主に単結晶ダイヤモンドツールが用いられるが、特に金属材料に対して切削のみでナノレベルの表面品質が得られている。いくつかの方式があるが、近年、導光板金型等の超精密、微細形状の加工にはシェーパ方式による超精密切削加工法が検討され利用されてきている。その加工方式を図 3. - 20 に示す。これは、非回転工具により、加工機の運動精度をそのまま転写する加工方法であり、加工精度は加工機の精度に強く依存することから、超精密な運動機構を持ち超精密な制御が実現できる加工機が必要となる。本方式では、直線以外にも曲線の超精密切削も可能であり、バイオ領域に用いられる微細溝加工なども取り組まれている。

次に、非球面加工方式による超精密切削加工について紹介する。図 3. - 21 はその加工方法を示す。軸対称非球面レンズ金型(無酸素銅や Ni-P コーティング面など)の超精密加工が実現されている。

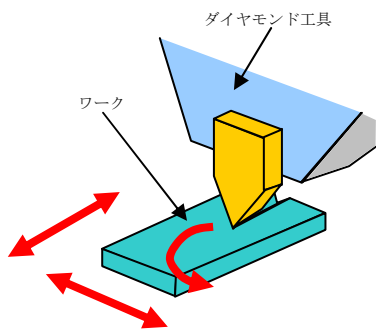


図 3. - 2 0 シェーパ加工法



図 3. - 2 1 非球面旋削加工法

また、図 3. - 2 2 に示すフライカット方式により、サブミクロンの超微細溝を持つホログラム素子用金型の加工が行われている。加工された溝形状の例を図 3. - 2 3 に示す。さらに、図 3. - 2 4 に示すように、 $1\mu\text{m}$  以下のピッチを持つ極微細溝加工が実現できている。いずれの溝も加工条件の選定によりバリの生成もなく、きれいな形状加工ができることが確認できた。

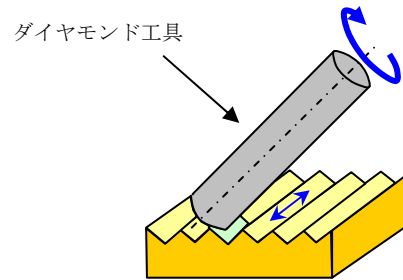
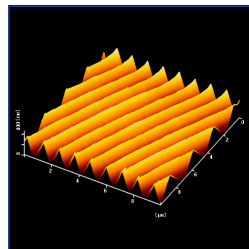
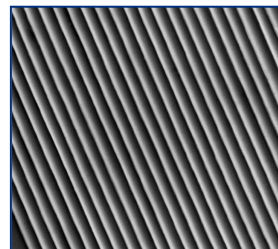


図 3. - 2 2 フライカット方式

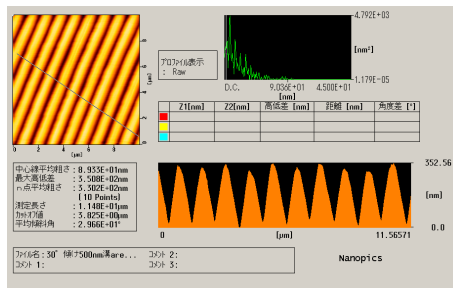


(a) AFM像

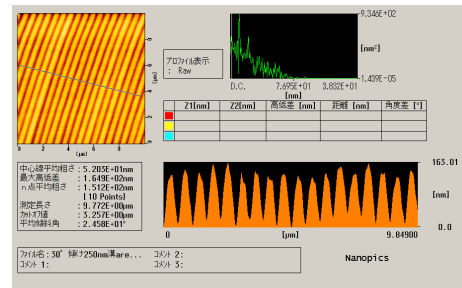


(b) FE-SEM像

図 3. - 2 3 加工された溝表面解析例



(a) 500nm ピッチ



(b) 250nm ピッチ

図 3. - 2 4 加工された溝形状のAFM像



硬質脆性材料の加工に効果的な ELID 研削法は、メタルボンド超砥粒砥石に電解インプロセスドレッシング(ELID=ELectrolytic In-process Dressing)を複合させた超精密研削プロセスである。ELID 研削には、砥粒保持力やボンド材強度の高いメタルボンド超砥粒砥石が用いられる。砥石自体を陽極に、この一部と対向させた電極を陰極として、両極間にパルス電圧を印加することで電解を発生させ、微細な砥粒(ここではダイヤモンドが主)であっても加工中に突出を確保でき、平均数 nm の平滑な鏡面加工を実現できる手法である。さまざまな硬質・脆性材料の高品位加工が実現できる。金型などに用いられる金属としては、ダイス鋼、ハイス鋼やステンレス鋼、超硬合金などが対象となる。また、ガラスやセラミックス、半導体材料の直接的な鏡面加工が可能となる。

図 3. - 2 5 には、ELID 研削法を非球面加工に適用した方式を示す。図 3. - 2 6 は、大口径非球面ミラー加工の様子を示す。図 3. - 2 7 は非球面加工の例を示す。

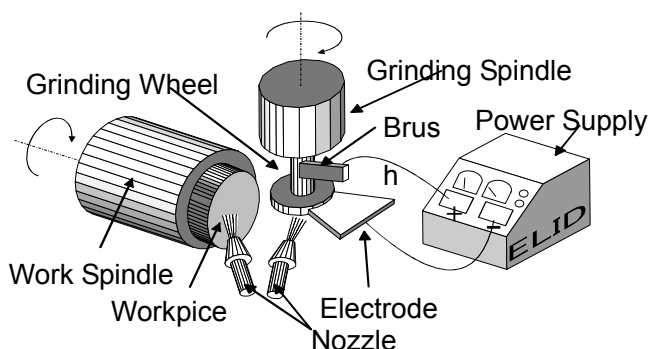


図 3. - 2 5 非球面の ELID 研削方式

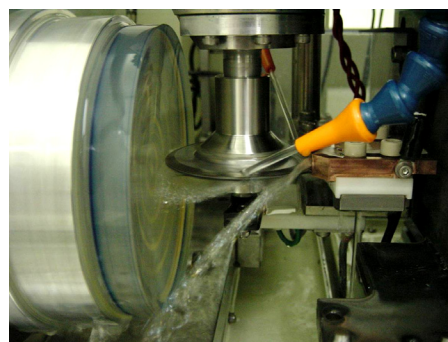
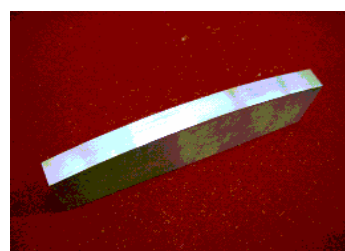


図 3. - 2 6 非球面の ELID 研削の様子



(a) 大口径非球面レンズ金型



(b) マイクロ非球面レンズ

図 3. - 2 7 各種光学素子加工例

また、大型の超精密研削の要求も高まっている。フラットディスプレイ金型や PDP パネルなどの大型加工や半導体露光装置用非球面光学素子の加工などは、数百 mm ものサイズで加工品質はナノレベルを要求されている。例えば大面積の金型用鋼材(SKD11(HRC 約 60)、HPM)、250mm×200mm×50mm の鏡面研削例がある(図 3. - 2 8)。加工面粗さは 20nmRy, 4nmRa と、平均ナノレベルの鏡面加工が実現されている。また、図 3. - 2 9 は、低熱膨張ガラスによる軸外し非球面ミラー加工の様子を示す。



図3. - 28 鏡面研削後の金型材

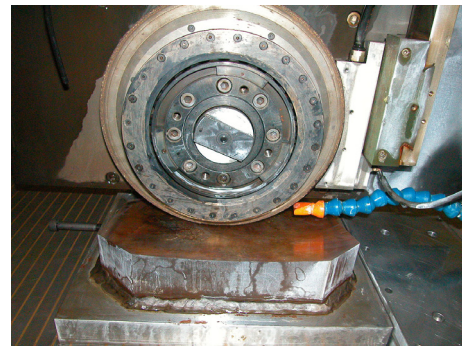


図3. - 29 軸外し非球面ミラーの加工

## (2) ナノ精度加工システム

加工プロセスの効果を最大限に発揮させるためには、使用する加工工具を超精密な運動軌跡の転写加工をナノレベルの精度で行うための加工システムが不可欠となる。これにより、自由曲面を有する非球面光学素子など、複雑形状を有し高品位な加工面を実現する超精密鏡面研削を達成する。こうした目的によりナノ精度加工システムの開発例がある。砥石・ワーク回転軸に空気静圧軸受を採用し、石定盤の上に組まれた超精密直動テーブルには固体同士の摩擦を廃した油静圧案内・油静圧ネジを採用し、位置検出分解能は 0.7nm というナノレベルの制御を行う。本機はまた、被加工物形状を、後述する机上計測により NC 加工データを補正する機能を搭載している。図3. - 30には装置構成を、図3. - 31には採用した油静圧ネジの構造を、図3. - 32にはテーブルの2nm ステップによる応答の測定データを示す。トータル4軸の制御により、非軸対称非球面加工に対応できる。また装置全体が、 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}$  の恒温度ブース内に設置されており、熱的に極めて安定した動作を可能とする。

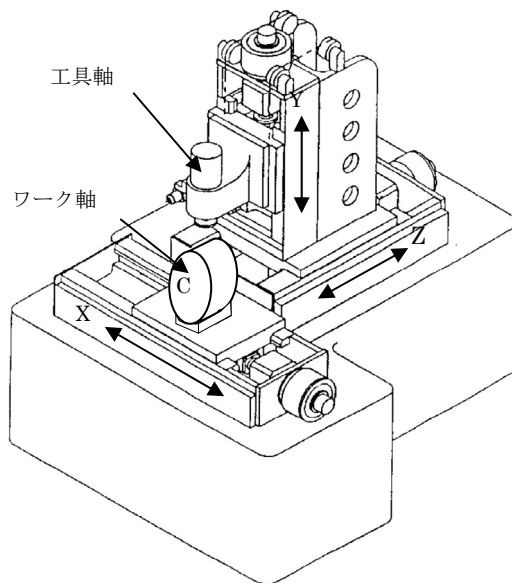


図3. - 30 ナノ精度加工システムの構成

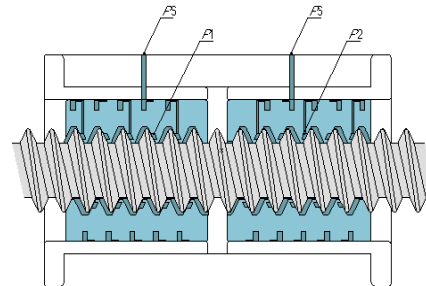


図3. - 31 採用した油静圧ネジの構造

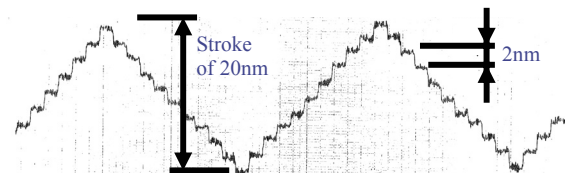


図3. - 32 2nm ステップ応答

次に、全ての案内、直進、回転駆動を空気静圧方式とした多軸ナノ精度加工システムについて解説する。図 3. - 3 3 は加工システム外観および構成を示す。本機は、直進3軸、回転2軸およびツール回転1軸を有し、1nm分解能により5軸同時制御が可能な加工システムであり、小径ツールにより超精密、超微細な機械加工が可能である。X 軸、Y 軸ともに 0.2 $\mu$ m/280mm 以下の真直度を、Z 軸は0.2 $\mu$ m/150mm 以下の真直度を実現する。ツールは単結晶ダイヤモンドもしくは砥石を用い、10万rpmのエアタービンモータによるツールスピンドルによりフライカット、シェーパー方式による超精密切削加工、およびELID研削加工を実現する。軸の直進駆動は空気静圧サーボモータおよび空気静圧ネジにより行われる。本装置は同様に23 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$  Cの恒温度ブース内に設置されており、温度変化による機械変形を抑えている。

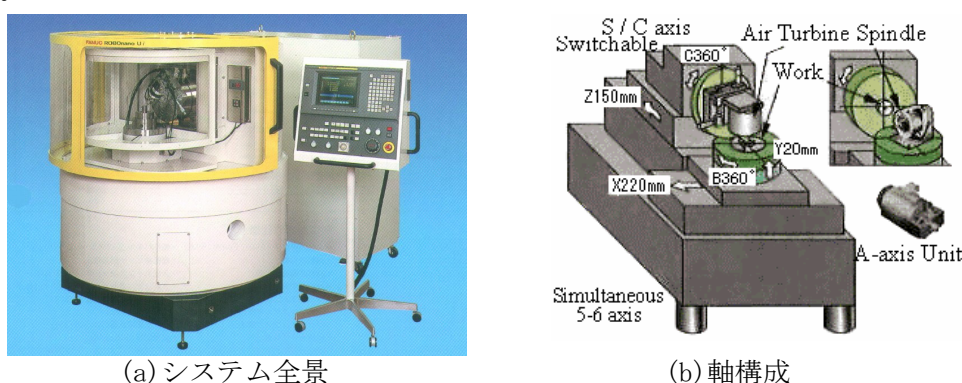


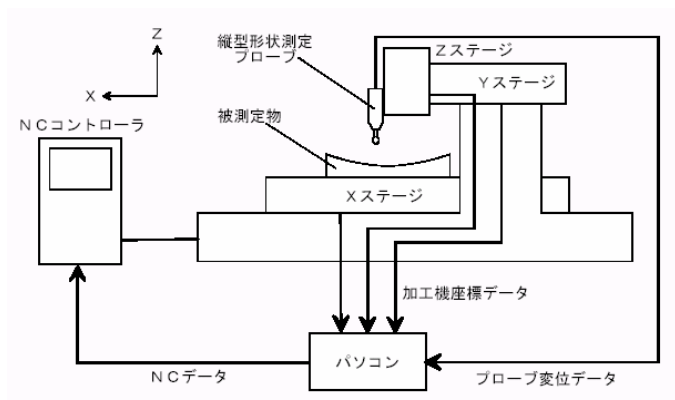
図 3. - 3 3 多軸ナノ精度加工システム

### (3) 加工機上計測

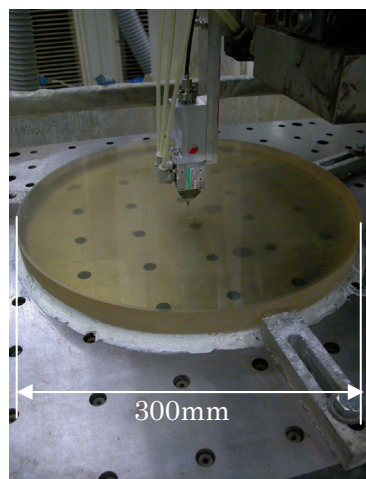
ナノ精度加工において、さらに重要となるのは計測・評価技術である。そのためには、被加工物を加工機上に搭載したまま形状や表面粗さを計測・評価し、加工精度にフィードバックする技術手法の確立が望まれている。既に、その機上計測システムの実用化が始まっている。図 3. - 3 4 は、低接触圧(最小 50mgf)による機上計測プローブによる非球面形状の機上計測システム構成と、その次世代大口径天体望遠鏡用ミラーセグメントの鏡面研削後のプロファイル形状計測事例を示す。この方法は、最大傾斜角には限界があるものの、計測対象とする形状は広く自由度が高いという特徴を持つ。ただし、ある程度の計測時間を要するため、レーザー干渉計による機上計測手法の検討も進められている。図 3. - 3 5 に、大型非球面加工機上で前述のセグメントミラーのレーザー計測を行っている様子を示す。干渉縞解析の際に、外乱の要因を排する必要があるが、いずれかの方法、もしくは両者の組み合わせによる計測・評価技術が不可欠となることは言うまでもない。また、計測結果に基づき、形状修正を行うため再加工が行われ、目標精度に近づけて行く。

また図 3. - 3 6 は、加工機上での AFM(原子間力顕微鏡)による計測の様子と、実際に非球面ミラーの加工面粗さを本方法により計測したデータを示す。ナノレベルの表面粗さ計測のためには、加工機上で AFM 計測を行う必要があり、同図のように計測データの取得が

できるようになってきている。また、前述のような微細溝加工形状についても、加工機上での AFM 計測が実現されている。このように、加工形状と粗さの両方を、加工機上で計測する手法、手段の開発とシステム構築が進められており、加工後の情報取得と加工へのフィードバックは現実的なものとなった。



(a) システム構成



(b) 機上計測の様子

図 3. - 3 4 オンマシン低接触圧プローブ計測

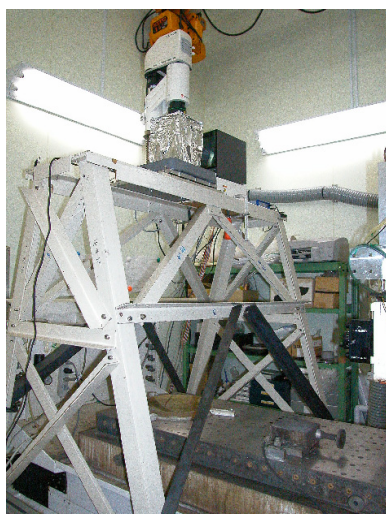
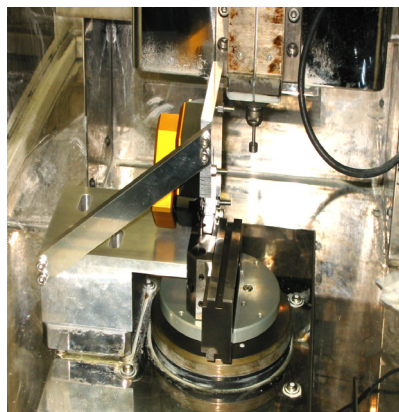
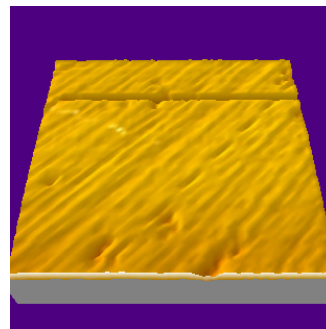


図 3. - 3 5 機上レーザー干渉計測



(a) 機上AFM計測の様子



(b) 機上AFM計測画像

図 3. - 3 6 機上AFM計測

#### (4) 加工計測融合システム

上述した加工プロセス・システム技術を統合する形で開発が進められている、**図 3. - 3 7**に示す次世代加工計測統合化システムのコンセプトを示す。本機には、上述の超精密研削や切削加工プロセスと、1nm 分解能を有する安定した油静圧案内機構や空気静圧スピンドルとを有機的に複合化させた、5 軸以上の多自由度化を有する加工システムと、最小 50mgf という低接触圧を有する計測プローブによるオンマシン計測システムを搭載してい

る。図 3. - 3 8 は開発された実機の外観を示す。また、図 3. - 3 9 は採用された計測プローブであり、計測分解能は 2.5nm を有している。

本プローブの先端球は、図 3. - 4 0 の計測データにより校正され、計測精度を確保している。図 3. - 4 1 は加工時の様子である。図 3. - 4 2 は、機上計測による形状修正加工の効果を示す。実際に、加工後の形状を機上計測することにより、修正加工に必要な加工情報を生成して再度加工を実施する。わずかな修正回数により著しい精度改善が得られている。また同様に、図 3. - 4 3 のように、追研磨用の形状誤差情報を得ることができ、さらなる超精密化・ナノ精度化が期待される。本機をベースとして、さらなるナノ精度化および多自由度化とともに、ナノ精度加工プロセス・システムと機上計測技術の融合と、それによる加工形状と設計情報との融合化が進んで行くと考えられる。

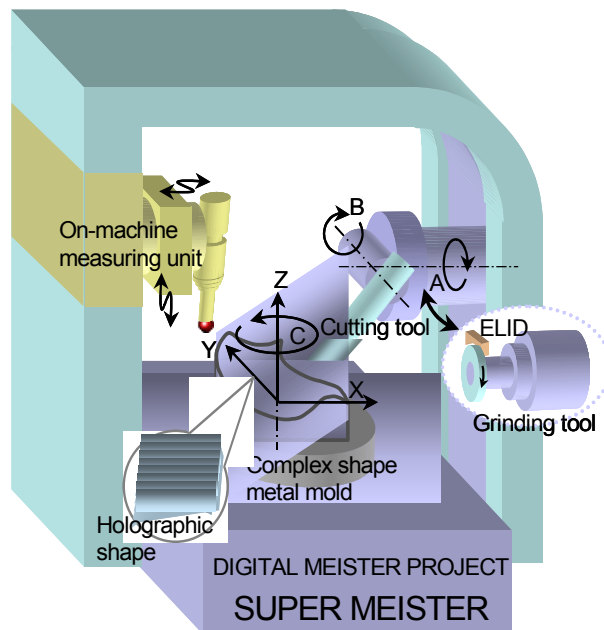


図 3. - 3 7 加工計測統合システムのコンセプト



図 3. - 3 8 開発された加工計測統合システム

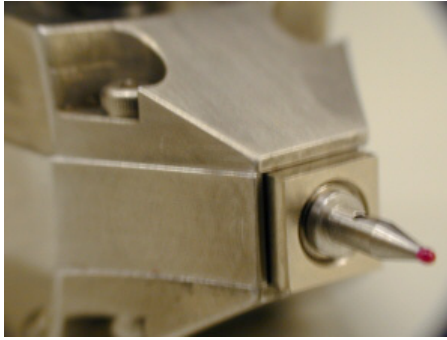


図 3. - 3 9 機上計測プローブ先端

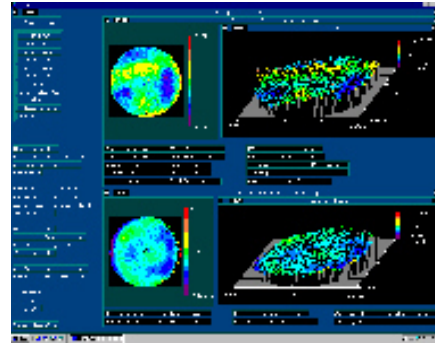


図 3. - 4 0 先端球計測解析データ

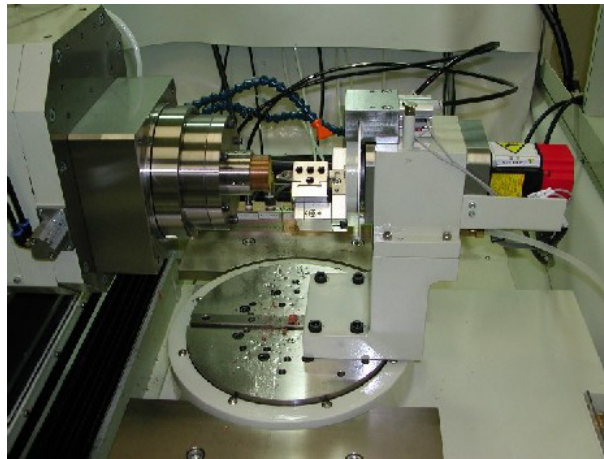


図 3. - 4 1 加工計測統合システム稼働の様子

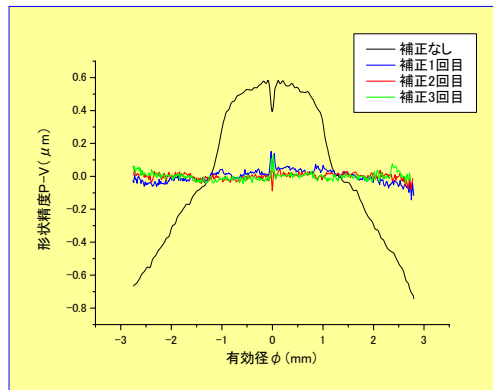


図 3. - 4 2 機上計測による形状修正加工の効果

polisher function data\_30min\_\_removal\_3.txt

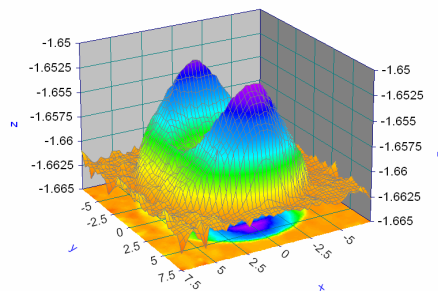


図 3. - 4 3 ナノレベル研磨データ生成のための形状誤差マップ

#### 3.4.4 現物融合の意義

現物融合技術が今後のわが国のものづくりに非常に重要になると思われるのは以下のよ  
うな理由による。

##### ● 摺り合わせ型製品の要求品質レベルの高度化

藤本【文献3】は、ものづくりのアーキテクチャー論を展開している。これによれば、  
わが国のものづくりが強いとされる代表的な製品は、摺り合わせ型と呼ばれるものであ  
る。これは、例えばパソコンのように部品を組み合わせれば誰でも製造できるモジュラ  
ー型の対極として、部品を組み合わせるだけではなく、さらにそれらを摺り合わせるこ  
とによって高い品質を実現するような製品で、その代表例は自動車である。例えば、自  
動車の乗り心地という品質は、エンジン、ボディー、トランスミッションなど自動車各  
部分が高度に摺りあわされて実現されるのである。

CAD に代表されるデジタルエンジニアリングは、原理的に、製品の理想形を扱うも  
のであり、また、部品単位でモデリングし、それを足し算的に組み上げることが基本で  
ある。また、シミュレーションもある個別の現象を扱うのが一般的である。従って、部  
品を組み合わせた場合に複合的に発現する挙動や、全体として持つ不確実性を扱うこ  
とは極めて困難であり、摺り合わせによる品質を予測するには、デジタルエンジニアリ  
ングにおける理想的なモデルだけでは不十分ということになる。摺り合わせによる品質レ  
ベルが高くなればなるほど、この問題は顕在化する。

これに対して、現物融合は、現物に忠実なモデルをデジタルエンジニアリングに提供  
できる可能性があり、摺り合わせのための製品開発や生産準備などのプロセス支援に不  
可欠の技術となるであろう。

##### ● 勘やノウハウに頼った方法論の限界

上記の摺り合わせの中でも、現場で品質を作りこむには、作業者の勘やノウハウに頼  
った作業が多い。特に、成形加工などにおいて最適な金型の作成や製造条件の設定では  
非常に時間を要するものとなっており、リードタイム上問題になることが多い。さらに、  
製品の高品質化、高機能化にともない、未知の材料や加工プロセスが多く出現するよう  
になり、そのような勘や経験が必ずしも有効に働かないケースも増えている。

このような問題に対し、工程に関わる現物を計測し、その現象の解析することによる  
合理的な方法へと転換が求められている。例えば、現場で技能者が手作業によって修正  
した非常に成形性のよい金型があった場合に、その形状を計測し CAD データと比較す  
ることによって、技能者が行った修正をデータ化し分析することなどはすでに取り組み  
が見られる。

技能の観点から見ると、技能そのものをコンピュータに取り込むことは技術的に困難  
であるが、技能のなす技の結果としての現物や現象をデジタル化することはより現実的  
なアプローチといえるだろう。

##### ● デジタルエンジニアリングの展開

CAD、CAM、CAE などが設計や製造準備の中心的なツールとなっている仮想生産の現状では、そもそもデジタルデータがないと作業ができない、という現象がある。例えば、工場設備の計画を行う際に、最新の工場での設備の状態が必要となる。工場の設備は現場で変更が行われるために、元々のその設計情報は役に立たない。このような問題に対して、As-Built Modeling という方法は、3次元の広域のスキャナーを用いて、工場設備を3次元モデル化してしまい、CADに取り込んで設備設計などを行おうというものである。

つまり、仮想化が進むことによって、すべての情報がデジタル化される状態が起きている。これはマルチメディアの世界で起きている現象、つまり、写真、映画、本、音楽など様々なメディアがデジタル化され、統合されていく状態、Digital Convergence と同じ状況である。デジタル化されることによる膨大な恩恵が牽引力となり、この融合の流れは益々加速されるであろう。ものづくりの世界では、すでに設計情報の多くはデジタル化されており、今後現物情報のデジタル化が加速されることは間違いない。

#### 3.4.5 技術課題

図3-44に現物融合によるデジタルエンジニアリングのアプローチを示す。このような現物融合を実現する重要な技術課題としては、現物モデルをフル活用するような新しいデジタルエンジニアリングシステムの開発と、そのためのモデリング技術やシミュレーション技術などの要素技術に関する研究開発となる。たとえば、現物とCADモデルの比較では、スキャナーなどの計測機器から得られる表面点群やボリュームデータから3次元モデルを生成し、さらに、それをCADモデルと比較可能なものに再構成するための技術が必要である。そしてこの比較技術をベースとして、CADへのフィードバックや、現物モデルによるCAEモデルの生成とシミュレーションなどを行うことができ、設計段階での高精度な性能予測が可能となる。また、このようなモデル再構築技術は、現状でもリバースエンジニアリングなどの技術があるが、作成工数の上で問題があり、また、その現物を設計したCADモデルとの対応が悪く比較が難しいなどの問題がある。

同様の課題は列挙に暇がなく、計測技術とデジタルエンジニアリングの統合した新しい設計解析手法を実現するために、次のような項目について幅広く研究開発することが急務となっている。

- ① 現物モデルを利活用するプロセスの具体化
- ② 現物モデルの活用技術の開発
- ③ デジタルエンジニアリングツールの開発

一方、計測技術の開発も重要である。特に3次元計測においては、測定対象、測定方法などにおいて制限が強く、また精度、速度の上でも十分でない場合がおおい。さらに、3次元サーフェススキャナーなどでは一部価格の低下が見られるが、X線CTなどは非常に高価であり、対費用効果からみて導入が進まない部分が大きく、今後の開発が急務である。



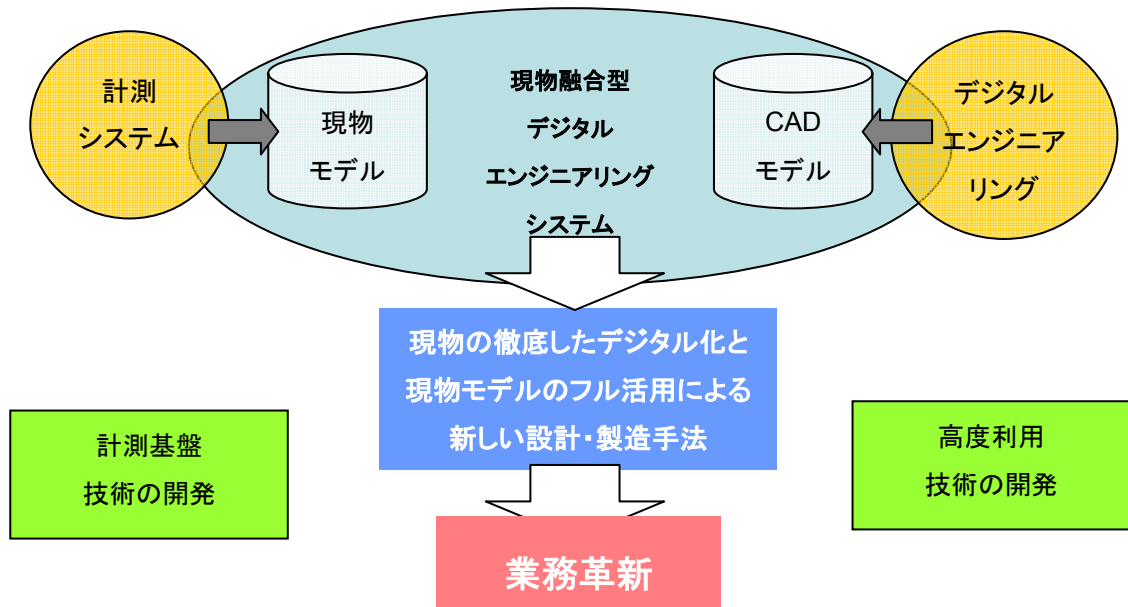


図3. - 4 4 現物融合型デジタルエンジニアリング

### 3.5 トレーサビリティ

#### 3.5.1 トレーサビリティの必要性

製造物責任に対する要求、顧客の潜在的な品質要求など従来にない幅広く、厳しい要求が、生産者に問いかけてきている。生産者の作成した品質基準に見合う品質だけで良品と判断するのではなく、使用者の要求に適した性能と品質を満たすことで、はじめて、高品質といわれるようになってきている。たとえば、設計者が想定した設計基準に適した製品を生産するだけでなく、千差万別の使用者の使用環境を考慮し、想定外の使用環境に対しても、一定の品質を保証することが求められている。顧客を満足させる品質として、製品の品質とともにこのような品質を維持していく管理システムの構築が求められてきている。

また、製造システムでは、品質の作りこみを合言葉に、製品の工程内で品質の管理を行うことで、 $3\sigma$ の品質管理から $6\sigma$ への品質管理へと移行が行われてきている。 $3\sigma$ とは、統計上のばらつきを表すもので、品質管理上では、不良品が発生する確率と考えてかまわない。 $3\sigma$ とは、0.27%の確率で不良品が発生するものであり、 $6\sigma$ は、0.002ppmの確率で不良品が発生することを目標とするものである。つまり、ほとんど不良0を目指す管理と変化をしてきている。このような管理を行うためには、工程内の検査だけでは、達成することはできない。作業方法、作業条件、工具や次具の状態、設備の稼働状態、工程の組み方、ヒューマンエラーの防止など生産工程の根本的な方法を検討すること、設備や工程の状況の動的な状態の把握などが求められてくる。

低賃金諸国での生産に対抗する高度な品質を求められる製品群において、高品質を維持していくためには、従来の小集団活動を中心にした品質管理活動ではなく、情報システムを活用した高品質管理活動を行う必要が出てきている。

顧客満足の要求や品質の作りこみを実施していくためには、製品の個体を管理することが重要になってくる。ロットやバッチで管理すると3σの管理から離れなくなり、6σの管理へは移行できないと考えられている。製品の個体を管理していくための基盤システムとしてトレーサビリティシステムが重要である。

トレーサビリティとは、製品の原材料、生産過程、流通過程、使用過程を追跡することができるようにするシステムである。製品のユーザーから見ると、どのような原料を使って、どのように生産され、どのように運ばれてきたのが分かるようにすることであり、生産者から見ると、生産された製品が、現在、どんな状態で運ばれ、どのように使われているかを明らかにすることである。

トレーサビリティシステムは、現在、つぎのワンステップトレーサビリティあるいはチェーントレーサビリティの二つのタイプがある。ワンステップトレーサビリティとよばれるものは、図3. - 45に示すように自分の工程内と前後の情報をリンクさせていくものである。チェーントレーサビリティは、製品のライフサイクル全体をひとつのチェーンとして構成し、全体で情報の管理をするもので、図3. - 46のようなものと考えられている。

現状では、ワンステップトレーサビリティが現実的なものとして考えられている。

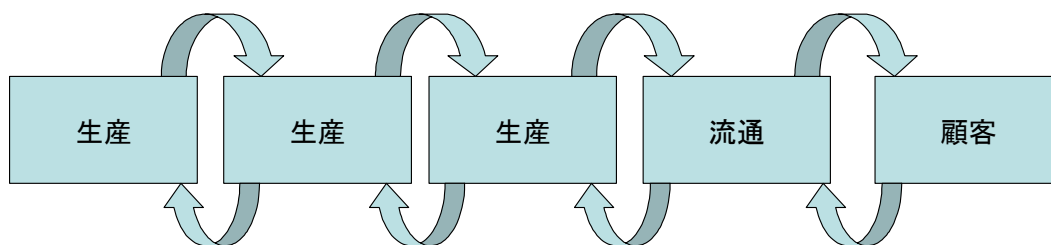


図3. - 45 ワンステップトレーサビリティ

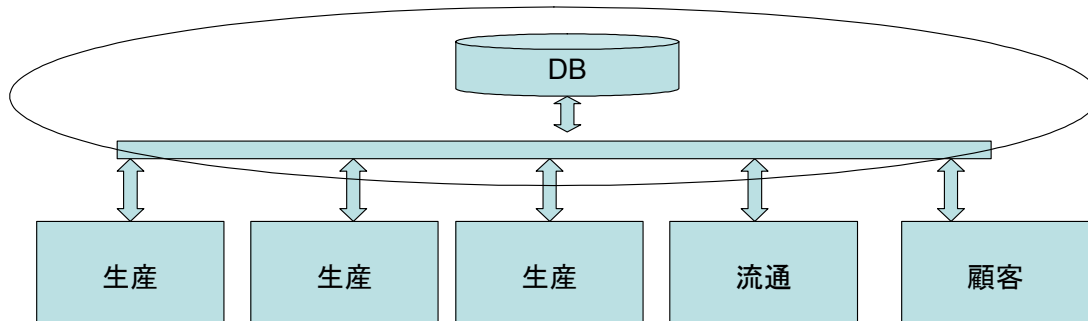


図3. - 46 チェーントレーサビリティ

### 3.5.2 技術の現状

トレーサビリティシステムは、**図 3. - 4 7**に示すように、モノと情報の接点となる情報媒体とその読み取り、書き込みのハードウェア、モノを特定するコード、コード体系、アプリケーションから成り立っている。これらを下位からレベル1、レベル2、レベル3、レベル4とあらわす。それぞれのレベルでの技術の現状を見てみる。

レベル1のデータキャリアは、バーコードやQ-Rコードを中心とした二次元バーコード、ICタグ、非接触のRFIDなどさまざまな媒体が登場してきている。情報容量も大きいものも、書き込み可能なものも出てきており、用途によってさまざまな用いられ方ができるようになってきている。ただし、媒体においては、そのコストが重要な要因となる。現在では、バーコードの数十銭からICチップによる数百円まで幅があり、製品や部品単価との兼ね合いで選択せざるを得ない。

レベル1のリーダー、ライターも、無線、有線、接触型、非接触型とさまざまなタイプが実用化されているが、工場のノイズや汚れ、照明などさまざまな環境、製品や部品の梱包状態、荷姿などで読み取りミスを生じる可能性も配乗できない状態であり、実用性の面で検討していく必要のあるところである。

ICタグのようにデータを随時書き込むことが可能なデータキャリアもあるが、値段が高いこと、熱や水などの環境に弱いことに加えて、データを物つけて運搬するよりも、識別

だけをして、コンピュータネットワーク上でデータを結合、統合するほうが安全であり、処理しやすいことから最近では、その利用が少なくなってきている。現在のデータキャリアの現状を、**図. 3 - 4 8**に示しておく。

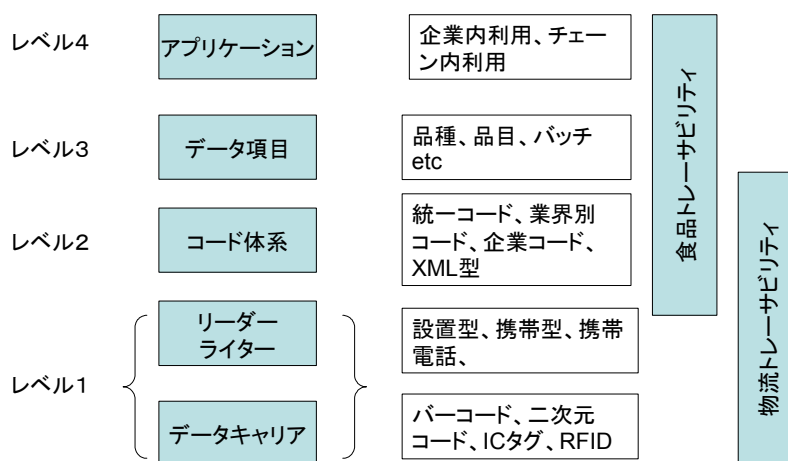


図 3. - 4 7 トレーサビリティの現状

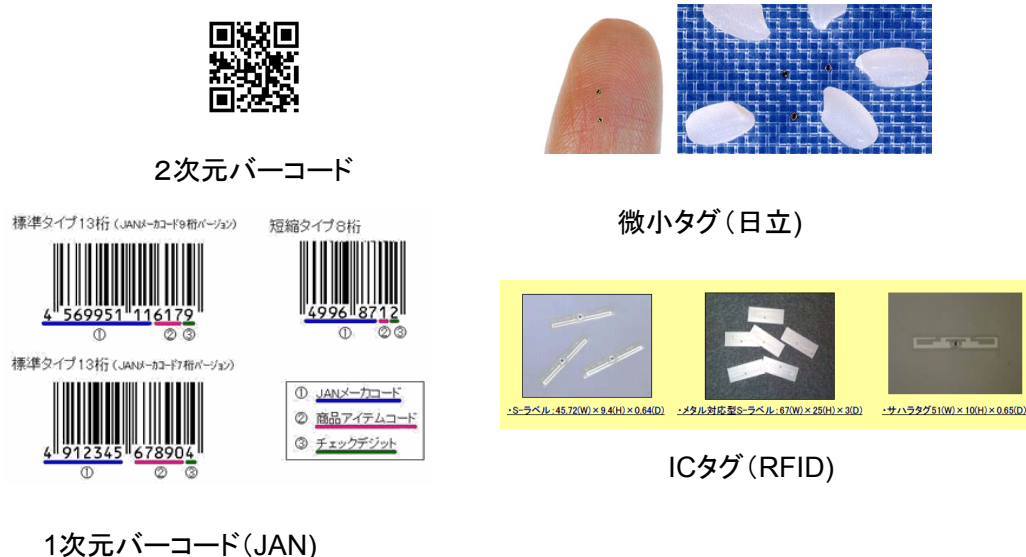


図 3. - 4 8 データキャリアの現状

レベル 2 におけるコードに関しては、従来から標準化の対象となっており、国際 EAN 協会（国際的な商品コードの管理機構）や UCC（北米での標準商品コードの管理機構）などが管理しているコード体系など、グローバルな商取引におけるコードがある。また、業界ごとの識別コード、企業ごとのコードなどさまざまなコード体系が、存在している。電子商取引では、このコードの体系が重要な意味を持つてくるので、さまざまな取り組みが行われている。最近では、固定的なコード体系ではなく、ゆるやかなコードの体系化を行おうとする傾向も強く、XML を用いたコード体系などが提案されてきているが、この分野は、技術的な体系というよりも戦略的、政策的な活動分野である。

レベル 3 のデータ項目については、現在は、商取引の円滑化を目指したものがほとんどで、工場内のトレーサビリティに必要な項目やサプライチェーン内のトレーサビリティに必要な項目という観点から議論されているものはほとんど存在しないといっている。

レベル 4 のアプリケーションは、これらのデータをどのように処理し、どのような目的で利用するかを定義することからはじまるもので、現在の状態では、まだ、ほとんど存在していないが、ISO の TC184/SC5/WG7 では、工場の保全活動に用いること目的としたアプリケーションのモデルを作成しようとしている。徐々に、工場内の物流や生産の状況を把握して、生産の管理や品質の管理、設備の管理に用いようとする流れは起きてきている。

### 3.5.3 研究開発内容

製造業、特に、機械関連の製造業は、トレーサビリティについて、部分的に行われているのに過ぎない。従来は、生産の進捗、電子商取引に対する対応であり、トレーサビリティで獲られるデータを有効に利用して、生産の合理化や、品質保証に利用する考え方は少ない傾向にある。

そこで、この研究開発では、現在存在しているコード体系、センサー、情報体系などを利用して、機械産業関連の工場内のトレーサビリティを実現するためのシステムの開発、トレーサビリティが実現できたときの生産システムモデルを研究する必要がある。前述の図3. - 47に示したレベルごとにその課題を挙げてみる。

#### ① レベル1 データキャリア、リーダーライター

この分野では、加工、組立における製造環境（熱、塗装、電磁波など）に対応できるデータキャリアが存在するが、それに対する情報の書き込み、書き出しができるかについての検証が必要になる。

また、各工程のデータをどのように保存し、どのように履歴管理をするかにもよるので、これらの工程モデルとの関連で考えていく必要がある。

#### ② レベル2 コード体系

製品の識別コードやロットあるいはバッチの識別コードは、前述したように標準化がなされようとしているが、その製品や部品がどのような工程を経て生産されてきたかの工程モデルの識別を行うことはできない状態である。機械産業では、さまざまな工程を経るごとにロットの単位が異なってくるので、これらのロットをリンクさせることは重要でありながら大変な問題である。これらを如何に効率的に、どこで行うかはほとんど研究されていないのが実情である。このための研究開発が必要である。そのためには、工程を標記するモデル記述法などに対する研究も必要になる。

また、機械製造では、同一材用が、分割されたり、融合されたり、組みつけられたりして新たなものが生成されるので、これらをトレースする仕組みもコード体系の中で考えていかななくてはならない。ここでは、部品構成 (BOM) が重要な役割を果たすと考えられる。

つまり、ここでは、機械製造業に適した工程記述と、コード管理の方法を研究し、提案していく必要がある。さらにこれらの体系を標準化していく必要性が高い。

#### ③ レベル3 データ項目

工程内の品質、進捗などさまざまな目的でデータを採取する必要がある。そして、これらのデータ項目を結びつけて、品質、保全、生産管理などの目的を達成させることになる。しかしながら、実際のシステムで、どのような項目を、どのように表現し、どのように利用するかによってそのデータ項目は決定されることになる。このような情報の最低必要項

目の規定や表現形式が重要になる。

工程内品質を確保しようとなると、工程、機械、工具、作業などのリアルタイムな条件記述が必要となるが、工程ごとにその条件が異なるので、これらをどのように採取し、どのような記録形式で、どこに保持していくかなど多くの問題点が生じ、研究開発していく必要性が高い。

#### ④ レベル4 アプリケーション

この研究開発の中で一番重要な部分であるが、これらのデータをどのように利用し、どのように効果をあげるかを規定するものであり、トレーサビリティを用いたビジネスモデルを考える領域である。

アプリケーションとしては、工場内のトレーサビリティ、サプライチェーン内でのトレーサビリティ、使用環境まで含んだトレーサビリティの三種類がある。現在は、工場内のトレーサビリティを進捗管理で用いているに過ぎない。工程内の加工条件や作業条件などを記録することも一部で行われているに過ぎない。今後は、品質管理の源流管理や改善活動に組み込むシステムが必要と考えられる。また、設備の劣化予知、予知保全などトレーサビリティのデータを利用する必要が生じてくる。これらの改善活動や設備保全活動とトレーサビリティを結びつけることで、トレーサビリティのコスト負担増を吸収する必要がある。

このようなアプリケーションを開発し、実用化するための、システム構成、機器開発、ソフトウェア開発が重要になってくる。また、これらのシステムを用いた新しいビジネスモデルを提案し、それによる生産システムの付加価値向上を提案していくことも重要になる。

さらに、使用環境を含むプロダクトのライフサイクル全体を考慮したトレーサビリティに対する考察も重要になる。使用機器の予防保全、使用機器の寿命管理、リスク管理などさまざまな問題を検討し、新たな機器を開発していく基盤となる。

#### 3.5.4 トレーサビリティと「情物一致」

トレーサビリティは、物に対応付けられた履歴情報の参照可能性であるので、原理的には、トレーサビリティを管理することと情物一致の概念は親和性が高く、枠組みとしては、トレーサビリティを担保することにより、情物一致のための管理システムと同等の機能が実現される可能性がある。しかしながら、実際の工業製品ライフサイクルにおいては、物に対して加工・組合せ・修正などの変更がおこるため、その履歴管理は複雑なものとなる。現段階では、共通基盤として利用可能なトレーサビリティシステムは広く普及しているとは言いがたい状況である。現状では、自動車産業などにおいて、個別企業が部品のトレーサビリティをもとに製品回収や工程改善に利用する試みが始められ、Supply Chain や Product Lifecycle の管理を目的とした商用のソフトウェアにおいてもトレーサビリティを担保するようなものも提案されつつある段階である<sup>1) 2)</sup>。

このように製品のライフサイクル全般にわたるトレーサビリティに関する取組みは、取

り組みの初期段階であり、3.5.3で示されているような様々な解決すべき課題が存在する。さらに、今後期待される循環型製品においては、製品の所有・使用形態が変化することが予想され、トレーサビリティシステムに求められる機能も増大すると考えられる。以下では、既存のトレーサビリティシステムの使用目的について整理した後、循環型製品におけるトレーサビリティの役割と検討すべき課題について示す。

トレーサビリティシステムにおいて、製品状況をどのような目的で収集するのかにより記述される情報内容が大きく変化することから、製品に対するトレーサビリティについて検討する上で、トレーサビリティの使用目的の分類は重要である。従来想定されている代表的なトレーサビリティシステムの利用目的としては、

- トラブル時の当該製品の同定や原因遡及
- 使用状況のモニタリング結果や履歴情報に基づくメンテナンス
- 製品ライフサイクル全般にわたる品質保証

などが上げられる。これらの目的と情報管理コストに応じて、部品ごとの個別管理／モジュールごとでの一括管理、単品評価／ロット単位評価、といった情報をトレースする単位が異なってくる。また、これらの要因は、統計的な対応に対する目的の親和性によっても影響を受ける。そして、各利用目的に応じて必要となるトレース情報保持の柔軟性も変化する。情報保持の柔軟性のレベルとしては、大きく、固定型、追記型、可変型に分けることが出来る。

固定型：主に、製品の追跡のみを目的とした場合に用いられる変更不能な識別情報を継続的に保持するレベル

追記型：定型的・非定型的なプロセスに対してその履歴記録を目的とした場合に用いられるプロセスを経るごとに逐次情報を追加するレベル

可変型：新たな状況に応じて記述内容やデータ構造を更新しつつ情報を保持する必要がある目的に対して、情報を保持するレベル。情報の削除を認めるかどうかはトレーサビリティの概念と相反する可能性もある。

例えば、通常の工業製品におけるシリアルナンバーによる製品管理は固定型であるといえる。食肉トレーサビリティや、再利用性を重視していないと考えられる軍用部品規格でのトレーサビリティにおける部品履歴管理は加工工場およびロット番号の追記型保持であるといえる。

これらの要因に加えて、利用主体およびシステムの費用負担者として製造企業や消費者といった特定のセクターを想定するかどうかといった点も記述内容に大きく影響すると考えられる。

以上の議論は、既存の製品に対するトレーサビリティシステムに関する整理であったが、製品の所有自体の価値ではなく製品から得られるサービスを重視する循環型製品<sup>3)</sup>においては、製品の所有権や循環経路が従来に比べて複雑になると予想される。

例えば、現在市販されている製品においても、製品のアップグレードに対応するために

は、顧客自身の改変やサードパーティによる機能拡張に対してどのように情報を付与・管理して、その費用や情報参照を許す範囲をどのように決定すべきかは、サービスとして得られるメリットとあわせて検討する必要がある。現在使用されている製品の中で、リースや中古利用など、多様な製品使用形態を有するものとして、工作機械がある。以下では、工作機械について循環型の製品ライフサイクルが実現できた場合を想定例に、以上の問題について検討する。

工作機械のライフサイクルにわたる使用をまとめると、図3-49のようになる。工作機械を構成するスピンドル、コントローラ、サーボなどが工作機械メーカーが内製していない場合が多く、工作機械メーカーは部品製造および組立の双方を行なう。そして、実

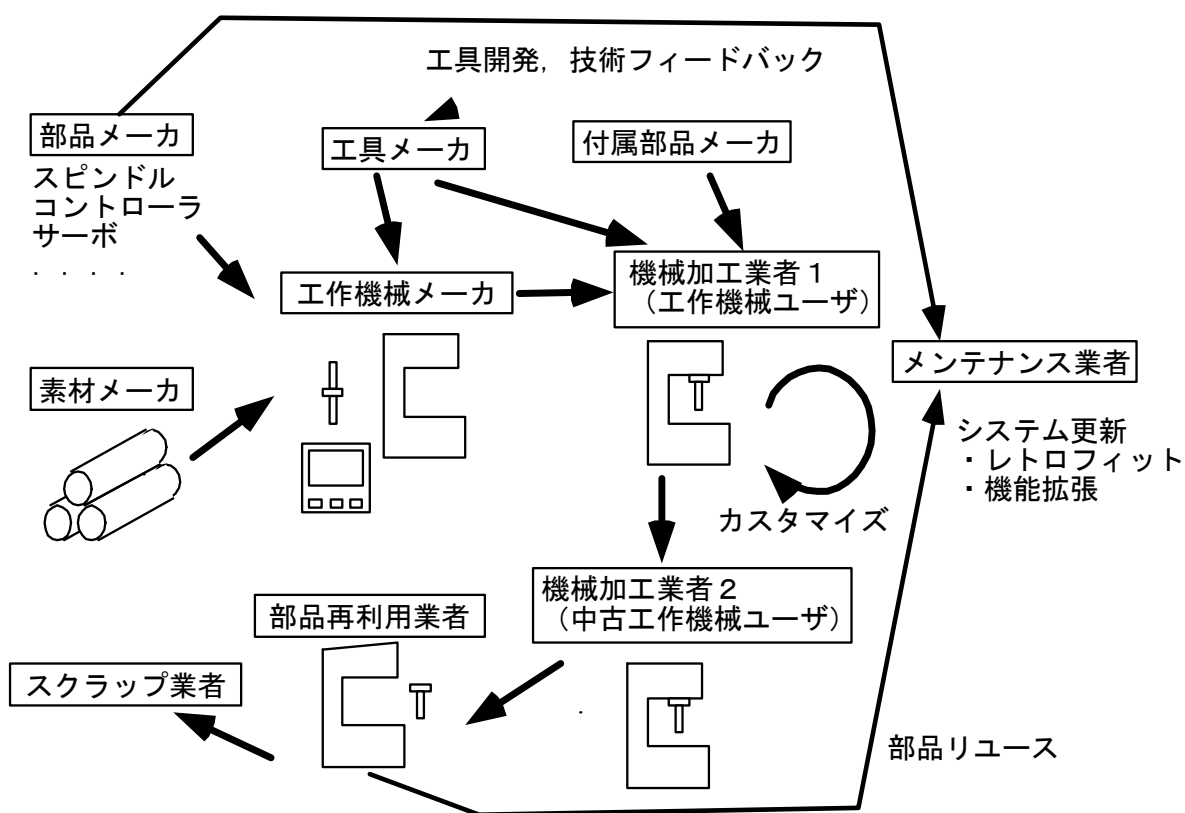


図3-49 工作機械のライフサイクル

際の使用段階においては、工具や把持具などの付属部品の利用・交換が行なわれる。さらに、精度などの機能維持のためのメンテナンスに加え、ユーザによるカスタマイズやシステム更新が行なわれる。そして、このような工作機械が中古として別のユーザに使用され、さらに部品リユースを経て廃棄されるという経路を取る。トレーサビリティシステムが有効に機能するためには、このような流れの中で、各段階で適宜情報を記述していくことが必要となる。さらに、これらの情報に加えて、工作機械の使用に伴う加工負荷情報などについても履歴の管理としては必要な情報となると考えられる。

以上の例から容易に想定される帰結として、工作機械の履歴をどの程度の詳細度で誰が



管理し、その情報を誰が利用するのかといった問題は、なんらかの一般的な規範が存在するわけではないということである。メーカーとユーザが費用負担および使用後の処理を含めて検討することが必要となる。さらに、工作機械ユーザが独自に行なったメンテナンス、カスタマイズ、システム更新に関する情報について、中古市場を通じて工作機械を購入したユーザは前のユーザの使用履歴を参照するためには、汎用データ構造を準備するだけでは困難である。さらに、このような使用の場合、情報の所有権に関する検討も必要となる。

以上のような側面にくわえ、家電製品や自動車などの民生品の場合には、以下のような社会的な側面からの検討も必要であると考えられる。

- データマイニングや消費者行動分析などの手法が発達すれば、トレース情報から有益な二次情報を得ることも可能となる。そのような情報が大きな経済的価値を有するようになれば、ある製品に付随するトレース情報の所有権に関する個人情報や製品の技術情報に関するセキュリティの問題と合わせて顕在化する可能性がある。しかしながら、このような二次的な価値を創造することが出来れば、トレーサビリティシステムの構築・維持に関わるコスト負担に対する解決策となる可能性もある。
- 通常、消費者や製造企業といった特定のセクターでの使用を前提としたトレーサビリティシステムにはトレーサビリティシステムの使用者自体に関わる情報は情報セキュリティの立場から隔離して管理することが考えられる。このような垣根を取り払うためには、情報の所有権や情報開示の範囲を考慮した、セクター間共通でオーソライズできるような情報参照のためのプロシジャを規定する必要がある。

今後は、技術的な課題解決や標準化作業に加えて、社会的なコンセンサス作りを含めた対応が必要となると考えられる。

### 3.5.5 得られる成果とシステムへの期待

機械製造業のトレーサビリティに関する問題は、製造履歴や使用履歴を遡及するだけでは、メリットが生じない。記録された製造履歴や使用履歴をどのように使って、製品開発、工程管理、品質保証、リスク管理、設備や製品の保全に役立てるかが重要な点になる。

トレーサビリティが可能な先端システムでは、設備と加工物が相互に情報をやり取りすることが可能になる。このような環境において、今までの生産システムができなかったことや従来から提案されてきている自律分散的な生産システムなど高度で柔軟な生産システムに対応することが可能になってくる。また、加工や組立などのノウハウを電子情報として蓄積していくことのインフラストラクチャにもなる。

さらに、製品の使用状態を把握し、新たな使用環境における信頼性のある製品を開発していく可能性も生じてくる。ユビキタスコンピューティングの環境に合わせた製品や設備への期待も、トレーサビリティの開発の流れの中から見えてくることになる。

[参考文献]

(本文3.1.4項「情物一致を実現するための計測技術」関連)

- 1) 高偉, ナノ計測戦略(ソフトウェア)ー精密ナノ計測フロンティア, 砥粒加工学会誌, 48, 5(2004)245.
- 2) 三好隆志他, ナノスケールの知的計測の確立を目指して, 精密工学会誌, 70, 8(2004)1028.
- 3) 黒澤富蔵, ディメンショナル・ナノ・メトロロジーの世界動向と日本の戦略, 砥粒加工学会誌, 48, 5(2004)237.
- 4) 三井公之, 計測・評価の軌跡-ミクロンからナノへ, 接触から非接触へ-, 精密工学会誌, 65, 1(1999)54.
- 5) 黒澤富蔵, ナノメトロロジーの標準と国際比較, 精密工学会誌, 68, 3(2002)338.
- 6) 三隅伊知子, 長さ標準にトレーサブルな測長 AFM とナノ・メトロロジー用標準スケール, 砥粒加工学会誌, 48, 5(2004)249.
- 7) 高谷裕浩他, ナノ CMM レーザトラッピングプローブに関する研究, 精密工学会誌, 66, 7(2000)1082.
- 8) K. Takamasu, et.al., Basic Concepts of Nano-CMM, Proc. Of The Japan-China Bilateral Symposium of Advanced Manufacturing Engineering, (1996)155.
- 9) G. N. Peggs, et.al., Design for a Compact High-Accuracy CMM, Annals of the CIRP, 48, 1(1999)417.
- 10) H. Haitjema, et.al., Development of a Silicon-Based Nanoprobe System for 3-D Measurements, Annals of the CIRP, 50, 1(1999)361.
- 11) U. Brand, et.al., Development of a special CMM for dimensional metrology on microsystem components, Proc. of ASPE Annual Meeting2000, (2000)542.
- 12) 吉住恵一他, ナノメートルを測る原子間力プローブ搭載超高精度三次元測定機, 精密工学会誌, 68,3(2002)361.
- 13) S. Moriyasu, et.al, On-machine Surface Roughness Measurement with AFM, Proc. of the euspen, (2002)641.
- 14) 元木健順他, ダイヤモンド切削工具の機上ナノ計測に関する研究, 2003 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2003)358.
- 15) P. Khajornrungruang, et.al., Novel Edge Profile Measurement for Micro Cutting Tool by Laser Diffraction, Proc. of the euspen, (2003)168.
- 16) P. Khajornrungruang, et.al., 小径工具切れ刃プロファイルの光回折オンマシン計測法に関する研究, 2003 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2003)449.
- 17) 平成 15 年度新製造技術に関する調査研究報告書ー製造技術の情報化促進ー, 日本機械工業連合会, 製造科学技術センター
- 18) 日立ホームページ, <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/2002/0730b/>

(本文3.2項「設計品質」関連)

- 1) Economic Impact Assessment of the International Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) in Transportation Equipment Industries, NIST, US Department of Commerce, Dec.,2002

- 2) SASIG-Product Data Quality for the Global Automotive Industry: Issue 2.0, SASIG, Sept.,2004

(本文 3. 4. 3 項「加工計測融合システム」関連)

- 1) Ohmori H., and Nakagawa T.: Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer with Electrolytic In-process Dressing, Annals of the CIRP, 39-1(1990), 329-332.
- 2) 大森 整: 超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング (ELID) 研削法, 精密工学会誌, Vol.59, No.9, 1451 (1993).
- 3) Ohmori H., and Nakagawa T.: Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and Brittle Materials by ELID (Electrolytic In-Process Dressing) Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels, Annals of the CIRP, 44-1 (1995), 287-290.
- 4) 大森 整: ELID 研削加工技術—基礎開発から実用ノウハウまで— (単行本), 工業調査会 (2000), 1-358.
- 5) 大森 整, 片平 和俊, 林 偉民, 上原 嘉宏: 非球面の ELID 研削とナノプレジジョン加工システム, 精密工学会第 285 回講習会テキスト, 9 (2002) 1-7.
- 6) 大森 整, 片平和俊, 安齋正博, 牧野内昭武, 山形 豊, 守安 精, 林 偉民: 超精密多軸鏡面加工システムによる超精密鏡面加工特性, 砥粒加工学会誌, 45-2 (2001), 85-90.
- 7) 大森 整, 上原嘉宏, 鈴木 亨, 林 偉民, 戴 玉堂, 郭 泰洙, 安齋正博, 田代英夫, 牧野内昭武: 3D ナノファブリケーション技術の研究開発とものづくり応用, 理研シンポジウムテキスト—ものづくり情報技術統合化研究, 2 (2002), 189-200.
- 8) 沢田潔,河合知彦,竹内芳美,佐田登志夫: 超精密マイクロ溝加工の研究 ～V 形状格子溝の製作～,日本機械学会論文集 (C編) , 64-627 (1998), 4440-4445.
- 9) 前田真児,竹内芳美,佐田登志夫,沢田潔,河合知彦: 非回転工具を用いた超精密マイクロ溝の創成, 精密工学会誌, 66-9 (2000), 1456-1460.

(本文 3. 4. 1 項「仮想生産」, 3. 4. 2 項「現物融合エンジニアリング」, 3. 4. 4 項「現物融合の意義」, 3. 4. 5 項「技術課題」関連)

- 1) Hiromasa Suzuki, Convergence Engineering based on X-ray CT Scanning Technologies, Proc. JSME Digital Engineering Workshop, Feb. 23-25, Tokyo, Japan, (2005)
- 2) Fujimori Tomoyuki, Hiromasa Suzuki, Yohei Kobayashi, Kiwamu Kase, Contouring Medial Surface of Thin Plate Structure using Local Marching Cubes, Proc. Shape Modeling International 2004, pp.197-204, Genova, Italy, June 7-8, (2004).
- 3) 藤本隆宏、日本のもの造り哲学、日本経済新聞社 (2004)

(本文 3. 5. 4 項「トレーサビリティと情物一致」関連)

- 1) 児嶋伸一, 他, 製造者責任を果たすための IT ソリューション, 日立論評, Vol.86, No.8, pp.597-602(2004.8)
- 2) 高尾将嘉, 個別識別技術を用いた商品トレーサビリティ, IT ソリューションフロンティア, NRI, pp.10-13 (2004.9)
- 3) 下村芳樹, 15.5 ライフサイクル工学からサービス工学へ. 日本機械学会誌, 機械工学年鑑特集, Vol. 107. No. 1029, pp. 641, 2004.

## 第4章 まとめ

### 4.1 日本の製造業の問題

#### (1) 製造業の問題はなにか

2003年度の製造業就業人口は18.7%となった。

製造業の問題はコスト競争力に多くを依存する製造物の場合に中国などに勝てないことにあるとされる。しかし、コスト競争力の多くは為替レートに依存するので、輸出を増大させ、製造業の競争力を高めると自動的に為替レートがあがり、結果としてコスト競争力が低下するという悪循環を断ち切るものではない。加えて、日本のコスト競争力のなさは、人件費だけの問題ではなく、むしろ電力・輸送コストをはじめとする社会インフラのコスト高さであり、また、社会システムとしての決断の遅さであると指摘されている。

つまり、ひとつの製品の製品技術を開発したとしても、あるいはある固定的な分野での製造技術を画期的に低コスト化しても、それは数年間だけ持つとしても、長い年月の競争力の源泉とはなりえない。

USAは1970～85年の製造業の弱体化に対して、知的所有権の拡大という競争の場を新たに構築して、そこでバイオ技術での競争力を獲得した。EUはISO活動の中で見られるようにISO9000、ISO12000といった規格で戦う場を定義し、その先行性で戦いを有利にすることを試みている。日本の製造業もある点、新しい戦いの場、それも日本社会に適合した製造業の枠組みを準備することが競争力の強化につながるのである。

#### (2) IT武装はどのようになされるべきか

本委員会は「IT武装した製造業のあるべき姿を探る」ことを統一目標としてきた。

IT化は10年程度の期間を周期として進んできた。2000年のITバブルの時期にPCがInternetで接続された。その前には1980年代の終わりに製造システムのIT化が進んだ。これらはHardware投資であり、遅れてSoftware投資が続く。企業全体がSoftwareまで使いこなす時期になってやっとやっとその企業の固有技術に育つ。製造業の競争力強化のために何をすべきかと考えると、情報技術の利用にその鍵があることは誰もが認める。では情報技術の中で何が必須かと考えると、新しい技術の導入というよりは、現在ある情報システムを質的に高いものにすることが競争力の源泉であるとの結論に達した。アンケート結果も踏まえて、昨年度提案したテーマを「情物一致」のKeywordの元で再構築した。

◎ 「動態保存」

- ・ 設計生産知識の動態保存に関する研究
- ・ バーチャル加工作業習熟システム
- ・ 動的自動計測システムと高速物理情報伝達システム化技術
- ・ カスタマイズ型加工機械における加工機能の継続拡張技術

◎ 「設計品質」

- ・ 設計品質高度化技術の研究

◎ 「現物融合化」

- ・ 設計技術とデジタルエンジニアリングによる現物融合化技術
- ・ マイクロ加工におけるインプロセスモニタリング技術とプロセス制御技術
- ・ 高度デジタル・マニュファクチャリング推進のための機器オブジェクトと  
シミュレーションサービスモジュールのライブラリーの構築

◎ 「トレーサビリティ」

- ・ 製造物トレーサビリティシステム
- ・ ハイパーシステムインテグレーションDNA戦略による新たな製造戦略の展開

#### 4.2 本調査報告の提案

「情物一致」の概念については、(3.1項)で述べた。以下、各節において設計品質(3.2項)、動態保存(3.3項)、現物融合化(3.4項)を提案し、加えて、情物一致を推進する仕組みのひとつであるタグ付けによるトレーサビリティ(3.5項)を提案した。すなわち、我々の提案は、次のようにまとめられる。

- (1) 日本の製造業の強化のために、情報技術の高度な利用をボトムアップに図るべきである。
- (2) 製造業における情報技術強化は、情報システムの品質向上を志向すべきであり、それには情報システムと現物・現実との間の差をなくすことが求められる。これを「情物一致」と呼び、推進すべきである。
- (3) 「情物一致」は次の方法で実現する。
  - (A) 設計過程では設計品質の向上を図る。
  - (B) 製造過程では技能・知識の明示化の新しい方法である動態保存を実現する。
  - (C) 設計製造消費の全過程では仮想生産によるデジタルエンジニアリングの導入で、現物融合化を実現する。
  - (D) 全ての過程で、製造業のプロダクトについて、現物・現実を反映できるデジタルモデルの推進を必要とする。
  - (E) 全ての製造物に、その製造物の組成・履歴を管理するトレーサビリティの概念を導入する。

- (4) 本提案は社会的展開としてユビキタス社会との高い整合性を持ち、それゆえ、次の特徴を持つ。
- (A) 製造物の循環にトレーサビリティの確保によって効率化・安心安全化が可能となる。
  - (B) 技術の動態保存とその利用により、技術にもトレーサビリティを確保し、競争力を確保できる。
  - (C) 社会的な技術の流れを構築可能にして、製造業における知識を日本社会全体に転換利用が可能となる。

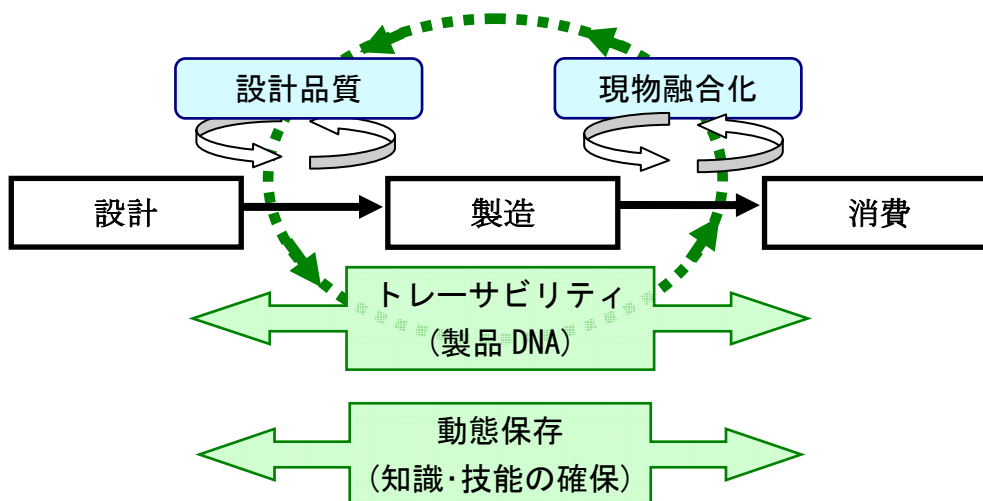


図4. 提案の関係

## 参 考 文 献 (全項目)

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1. ものづくり白書 2004年版                           | 経済産業省・厚生労働省・文部科学省                |
| 2. 新産業創造戦略                                  | 経済産業省                            |
| 3. わが国機械産業の展望と新産業創生<br>= 似非成熟からの脱皮とEHC =    | (財) 機械振興協会 経済研究所                 |
| 4. 研究開発ファイナンス型ビジネスモデルの構築を                   | (財) 機械振興協会 経済研究所                 |
| 5. 機械情報産業のサービス化<br>= ハード・ソフト・サービスの統合化 (2) = | (財) 機械振興協会 経済研究所                 |
| 6. 需要開拓からみた新規事業成功の可能性と課題                    | (財) 機械振興協会 経済研究所                 |
| 7. わが国製造業の現状と新たな発展に関する調査研究                  | (財) 機械振興協会 経済研究所<br>(株) UFJ総合研究所 |
| 8. 「製造業IT化調査2003」                           | 日経BP社                            |



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

非 売 品

禁無断転載

平成16年度

新製造技術に関する調査研究報告書

— 製造技術の情報化促進 —

発 行 平成17年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会

〒105-0011

東京都港区芝公園三丁目5番8号

電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター

〒105-0002

東京都港区愛宕一丁目2番2号

電 話 03-5472-2561