

人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会報告

生産システム学について今後推進すべき基盤的学術課題

平成17年7月21日

日本学術会議

人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会

この報告は、第 19 期日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会の審議結果を取りまとめ発表するものである。

## 委員会等構成員リスト

### 第 19 期日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会

委員長	木村文彦	(東京大学大学院工学系研究科教授)
幹事	光石衛	(東京大学大学院工学系研究科教授)
委員	小島史夫	(株式会社デンソー生産技術部長)
委員	新野秀憲	(東京工業大学精密工学研究所教授)
委員	杉村延広	(大阪府立大学工学部教授)
委員	高田祥三	(早稲田大学理工学術院教授)

## 会議開催記録

### 第 19 期日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会

第 1 回委員会	平成 15 年 12 月 24 日
第 2 回委員会	平成 16 年 4 月 23 日
第 3 回委員会	平成 16 年 9 月 21 日
第 4 回委員会	平成 16 年 12 月 24 日
第 5 回委員会	平成 17 年 2 月 28 日
第 6 回委員会	平成 17 年 5 月 10 日
第 7 回委員会	平成 17 年 6 月 9 日

# 要 旨

## 1. 報告の名称

生産システム学について今後推進すべき基盤的学術課題

## 2. 報告の内容

### (1) 作成の背景

- ・ 地球環境に対する配慮など、高度化すると共に変動する市場要求に対応して、高品質・高機能な先端製品を柔軟に効率よく提供できる生産技術は、我が国固有の強みであり、これを劣化させてはならない。
- ・ 環境問題や安全性の問題、グローバル化による市場競争の激化、高齢化などに伴う人材確保など、製造業には従来 of 範疇を超えた多くの新課題がある。
- ・ 環境対応の循環型生産やサービス指向のライフサイクル管理など、製造業の新しい展開が重要となっている。

### (2) 現状及び問題点

- ・ 環境配慮の観点から、従来の工場生産の範囲は拡大され、製品利用支援、リサイクル活動なども、生産システムとして統合的に扱う必要が出てきた。
- ・ 市場要求の変動や製品・生産技術の革新、人材も含めた社会経済環境の変化などにより、製品や生産形態は急速・大幅に変動する。このような変動対応性も、生産システムに対する重要な新課題である。
- ・ これらの要求に対応して、最新の情報技術の導入などにより製造を支える生産システムは大きく革新されつつある。しかし、対応範囲の拡大と機能の高度化により生産システムの学術的基盤の再構築が必要となってきた。

### (3) 改善策、提言の内容

- ・ 生産システムの現状技術や学術発展の方向を展望し、情報技術の導入を主として、生産システム革新の動向を要約した。
- ・ 持続可能社会を目指す環境配慮や安全な社会生活の保障は、生産システムに対して新たな課題を提示する。ライフサイクルの閉ループ化やリスクマネジメントの視点から生産システムへの課題を抽出した。
- ・ 少子高齢化対応は生産システムに対する大きな課題である。人依存と人排除を徹底して分析するとともに、社会と連携しつつ必要となる中核人材の獲得と育成を合理的に進めなければならないことを指摘した。
- ・ 上記の議論に基づき新しい形態の生産システムの在り方を議論し、情報技術による

生産システム技術の体系化、生産システムにおける環境課題の体系化、及び人知の育成・活用・伝承の学術化の視点から、生産システム学に関する基盤的学術課題を追究することの重要性を指摘した。

## 目 次

第1章 生産システム学の課題	1
1.1 生産システムの現状及び問題点	1
1.2 生産システム発展の経緯	2
1.3 次世代生産システムのイメージ	5
1.4 次世代生産システムへの技術課題の展望	5
1.5 考察すべき重点項目	7
第2章 生産システム学の現状と将来の動向	9
2.1 生産システムに対する技術要件	9
2.2 高付加価値生産を支える生産技術	10
2.3 生産システムに関する基礎学術	13
第3章 持続可能な生産システム	15
3.1 生産パラダイムの転換	15
3.2 循環型生産システムに必要なプロセス技術	15
3.3 ライフサイクル管理のための情報システム	18
3.4 ライフサイクル評価	18
3.5 生産システムのリスクマネジメント	19
3.6 循環型の生産システムへ向けて	20
第4章 人材と社会連携	21
4.1 少子高齢化社会における製造産業	21
4.2 人材の育成と知識管理	22
4.3 社会連携による国際競争力強化	23
4.4 有効な人材養成と社会連携を推進するための方策	27
第5章 生産システム学の基盤的学術課題	28
5.1 重要課題の抽出	28
5.2 日本の社会・産業に適合した次世代生産システムの特徴	28
5.3 基盤的学術課題	29
参考文献	31

## 第1章 生産システム学の課題

### 1.1 生産システムの現状及び問題点

天然資源に乏しい我が国にとって製造業は経済活動の基盤である。第2次大戦後以来、多くの有為の人材が製造業に集まり、日本の製造技術は目覚ましい発展を遂げた。伝統的な製品技術や近代的な大量生産で先行する欧米に対抗して、限られた国内市場のみならず国際市場でグローバルな競争力を確保することは、我が国の製造業に課せられた大きな課題であった。日本人に固有の感性と技能に裏打ちされた高品質な先端製品は世界市場に広く受け入れられ、勤勉な国民性に支えられたジャストインタイムの変種変量生産方式は他国の追隨を許さない日本式の生産システムを確立した。変動する市場要求に対応して、高品質・高機能な先端製品を柔軟に効率よく提供できる生産技術は我が国固有の強みであり、将来にわたってこれを劣化させてはならない[1][2]。

しかしながら、20世紀をリードしてきた自動車や航空機、電気製品や情報通信機器などの設計製造技術は円熟期を迎えた。このような伝統的な製品についても新たな革新技术が導入されつつあり、あるいは全く新しい製品へ向けて厳しい技術開発競争が展開されている。製造技術を先導してきた我が国や欧米に対抗して、開発途上国も安価で豊富な資源を武器に急速に工業化を推進している。このような技術の転換やグローバル化による競争の激化に加えて、地球環境の持続可能性の問題[3]やますます複雑化する社会の安全確保の問題、高齢化などに伴う人材確保など、製造業には多くの新課題が顕在化してきた。

我が国においても、従来からの高品質高機能な生産技術をより発展させるとともに、環境対応の循環型生産や物資的な生産を抑制するサービス指向のライフサイクル管理など、製造業の新しい展開が重要となっている。

上記のような背景の元に、我が国の製造業が直面する重要な課題を考えてみよう。製品機能の向上や高効率生産などに努めることは依然として重要ではあるが、工業生産が地球環境に及ぼす影響を配慮し、物理的な生産を抑制して環境負荷を低減させるような製造技術の開発が強く要求されるようになってきた。将来にわたって地球温暖化を防止し、地球環境を保全していくために、製造業は大きな責任がある。拡大製造者責任の概念が一般的に要求されるようになり、製品製造のみならず、利用支援や保守、利用後の回収、再利用やリサイクル、最終的な廃棄にいたるまで、製品の全ライフサイクルを、あらかじめ計画し、管理することが、製造者に求められている。従来の工場生産の範囲は拡大され、製品利用支援、リサイクル活動なども、生産システムとして統合的に扱う必要が出てきた。そのための要素技術は開発されつつあるが、統合的なシステム化技術は今後の開発に待つところが多い。

20世紀の製造技術は、機械的な大量生産により、均一な製品を安定、安価に市場に

提供し、我々の生活を画期的に向上させた。今世紀に入って、工業製品の恩恵を享受する範囲は更に拡大し、市場要求の変動や製品・生産技術の革新、人材も含めた社会経済環境の変化などにより、製品や生産形態の急速・大幅な変動が要求されるようになってきた。市場における新規製品の寿命は短くなり、製品の頻繁な世代交代が起こり、的確な新規製品の投入が困難になってきた。予測することよりも、変化に即応していく変動対応性が、生産システムに対する重要な新課題となってきた。このような生産システムの変動対応性は、無駄な生産を抑制し環境資源を大きく節減する。さらには、製品の変動対応性を向上させることにより、製品ライフサイクルを変化させ、無駄な製品を削減することができる。このような多様性の要求により、製造の実態は、20世紀の大量生産のイメージから大きく転換していく可能性があるが、その基盤技術はまだ明らかではない。

以上のような要求に対応して、情報技術の導入などにより製造を支える生産システムは大きく革新されつつある。生産システムという言葉が意味する内容は、半世紀前と今日では大きく異なっているが、変化は徐々に進んだために、その革新を明示的に意識することは容易ではない。30余年前に導入が始まった計算機支援の設計生産システムは広く普及し、それなしには製品ができないまでに発展した。従来の設計生産技術を支援するのみならず、設計生産のプロセスを根本的に変革してしまうようなデジタルエンジニアリングの技術も生まれてきた。材料技術や加工技術などの要素技術の発展も目覚ましい。さらに、上述したような製造活動の対応範囲の拡大により、従来からの生産システムの学術的基盤の再構築が必要となってきた。そのためには、20世紀の生産システムを踏まえて今世紀の生産システムのイメージを明らかにし、重要な技術課題を識別して、それに寄与する基盤的な学術課題を明らかにすることが必要である。

## 1.2 生産システム発展の経緯

将来の生産システムの在り方を考える基礎として、生産システムの発展の経緯と学術化の歴史を辿ってみる。

今日の工業生産は、多くの人々が係わる組織的な活動である。自然発生的なものづくりの共同作業の形態が発展して、近代的な工場が誕生し、徐々に生産システム概念が確立してきた。生産システムは、製品の企画から始まり、設計、生産準備、生産設備構築などを経て、実際の生産活動の遂行に至るまで、生産の全活動を組織化し、生産活動の実行を計画し制御する。最近では、工業製品が環境に及ぼす影響を考慮して、製品を利用し、利用後に回収して再利用したりリサイクルしたりすることも生産活動の一環と考えられるようになり、生産システムが対象とする範囲が拡大されてきた。

生産システムは、今大きく変容しようとしている。その要因の一つは情報技術の導入である。従来の現場作業による試行錯誤は、漸次計算機内でのシミュレーションにより置き換えられている。実際のものをつくりだす前に、計算機内で仮想的にもものをつくり、間違いの無いものづくりを効率的に行える仮想生産の技術が実用化されようとしている。このような情報技術の援用は将来の生産の姿を根本的に変えてしまうと考えられている。また、地球環境に対する配慮も生産の姿を変容させる大きな要因である。最近の進歩した生産技術は、従来に比べて画期的に少ないエネルギー消費や汚染物質排出を達成し、持続可能な循環型の工業社会の実現へ向けて、大きな一歩を踏み出している。将来的には、生産システムは、循環型の社会を支える基盤システムとして、社会の仕組みに組み込まれていく、と考えられている。

生産活動、すなわち人工的にもものをつくりだす活動は、人間の根源的な活動として、無目的にまた生活の必需品を得るために古くから行われてきた。このようなものづくりの活動は発見的であり経験的であった。数理的な学術により演繹的に基礎付けられた現代の工学や工業活動が成立したのは最近の数世紀にかけてのことである。つくられたものを物理学などの知識により解析して、その挙動や機能を理解することは、かなり進歩してきた。これに比べて、要求される機能を実現する製品を設計したり、それを生産する手法を構成したりすることは総合化の活動であり、いまだにかなりの部分が経験的知識に依存しており、学術化が遅れている。経験的なものづくりの知識はあまりに豊富で深いため、現代の工学はその真髄を十分に学術化できているとはいえないのである。

本報告で議論する生産システムも、学術的な体系化が充分になされていない分野である。工業製品やその生産プロセスを基礎付ける解析的な領域工学は進歩を遂げてきたが、これらを設計したり、生産のプロセスに展開したりすることは、典型的なシンセシス、総合化の問題であり、演繹的な体系には収まりきらない。生産システムの対象が社会と係りを持ち、拡大されてくると、学術的な体系化は更に困難になってきた。地球環境問題などを視野に入れ、将来の人類の生活を支える生産基盤を確立するためには、関連する学術分野を考慮して生産システム学の学術基盤を確立することが強く望まれている。

生産システムの発展の経緯は、以下のようにまとめられる。機械製品を念頭においているが、他の製品群にも概ね当てはまる。18世紀以降、生産量の爆発的な増大に始まり、多くの技術革新と経済・社会の変革が生み出されてきた。大雑把に言って、20世紀前半のアメリカに代表される分業と機械化による単純な大量生産方式が余りにも成功して、全世界のサクセスストーリーとなったために、工業生産イコール単純大量生産、と一般に考えられているかもしれない。しかし、20世紀後半には、情報と制御の技術により、生産の多様化と柔軟化が進み、「かんぱん」方式などで象徴され



る適量生産の生産形態が普及して、「造れるだけ造る」ことから「必要なものしか造らない」方式へと転換し、製造の基本的考え方が一変した。このような、基本的考え方の転換をパラダイム転換とよぶ。パラダイム転換は、最初は徐々に進行するので、その渦中にある人には認識しにくく、跡付けで議論されることが多い。生産のパラダイム転換は、以下の様に整理できる。

(a) 職人技から工場生産へ：組織化の時代 19世紀

工場制の生産体系、各種の工作機械の原型、計測技術に基づく部品互換性など、様々な工業生産の基本技術が誕生し、ものづくりが組織化された。

(b) Taylor と Ford の時代：機械化の時代 20世紀前半

分業による単純作業化や時間管理手法が確立し、ベルトコンベア方式に代表される大量生産方式が普及して、工業化社会が誕生した。

(c) 大量生産から変量生産へ：多様化の時代 20世紀後半

工業化が普及して製品に対する要求が多様化し、変種変量生産の時代となり、柔軟で無駄を徹底的に省いたリーン生産方式などが発展してきた。

(d) 生産システムの情報化：智能化の時代 21世紀

利用者の要求に適合して無駄なものを造らず、環境負荷を軽減したスマートな生産システムが要求されるようになってきた。

生産システムは、上記のような発展の段階を経て、生産活動全体の計画と制御という役割を明確にしてきた。(a)から(b)の段階にかけて、生産活動の可視化と組織化が進み、生産活動が計画・制御可能なものになってきた。この段階で、古典的な物理学や数学を基礎とする生産システムの学術化が進行した。(c)から(d)の段階にかけては、生産システムに対する要求が多様化し、多くの新たな課題が発生してきた。工業化が地球規模で普及するとともに、厳しい生産競争により無理な工業化が進み、一方では、過大な工業化により、環境汚染、資源枯渇、地球温暖化などの影響が顕在化してきた。これらの課題に対応するためには、従来技術では不足であり、新たな学術の導入と発展が要請された。生産活動の現状をよく捉えてモデル化し、解析から総合へと発展させるためには、情報技術の導入が不可欠であった。生産活動が社会や自然環境へ及ぼす影響を明確に扱うためには、関連する諸学術を取り入れて、生産活動の計画や制御の評価基準を一新する必要があった。

科学技術は、将来にわたって人類や生物の生存環境を維持し、生活の質を向上し続ける責務がある。工業生産には、個別の人工物を作り出すだけでなく、それらを大きなシステムとして捉え、適切に維持管理して、将来に渡り持続可能な地球環境を実現していくことが要求されている。生産システムは、その中核として重要な役割を果たす。このような視点から、生産システムに関する基盤的な学術課題を考察していく。

### 1.3 次世代生産システムのイメージ

従来から、人々の暮らしを豊かにする高度に工業化された夢の環境はよく議論されてきた。近來の急激な技術進歩により、このような夢の社会は、ある部分については現実となりつつある。従來の夢には往々にして欠けていた自然環境への配慮や人間性の尊重などを十分に考慮する必要はあるが、このような夢を描き、現実とのギャップを認識して、要求技術を明確にしていくことは重要である。夢の実現を支える技術課題を念頭において、現実的な次世代生産システムのイメージをいくつか描いてみよう。

#### (1) Zero Emission Factory

ある工場の廃棄物はある工場の素材となる。いろいろな工場が連携して、物質資源やエネルギーをやり取りして、外部への影響を最小化した工場群を構成する。

#### (2) 「どこでも工場」

製品には情報が付与され、街中に配置された「どこでも工場」で適切なサービスを受け、製品のライフサイクル管理がなされる。自動車の修理工場なども情報ネットワークで有機的に結合され、適切な部品の管理や再利用が可能となる。

#### (3) 完全密閉無人化地下工場と知識集約的なデザイン工房

日常的な消耗品は住環境の地下の無人化工場で効率よく製造され、一方、人がこだわる高付加価値製品はデザイン工房で一品生産される。人にしかできないことと自動化したほうが適切なことが峻別され、究極の製品のカスタム化が実現する。

#### (4) 都市環境全体が生産システム（統合的な Energy/Material/Information Flow）

Zero Emission Factory の概念を拡張すれば、都市システムや地域システムも生活基盤を維持する生産システムとして考察することができる。これらの大規模なシステムに工場機能が有機的に組み込まれ、住民の日常的な需要に対応する。

このような製品の需要者側からのイメージを描くことにより、将来の人類の望ましい生活様式が浮き彫りとなり、製造技術として取り組むべき技術課題の方向が示される。

### 1.4 次世代生産システムへの技術課題の展望

上記の議論を元に、次世代の生産システムに望まれる主要な技術課題をあげてみよう。多くの課題があるが、これからの生産を主導し、上記のような夢を実現する視点からまとめた。

#### (1) 環境に配慮した生産

- ・ 製品の全ライフサイクル設計手法：製品そのものだけでなく、製品の使い方や使用後の処理も含めて環境負荷を低減できるように製品の全ライフサイクルを合理的に設計する。

- ・ エコデザイン技術（環境配慮製品設計技術）：製品単体として、省資源や省エネルギー、廃棄物や汚染物質の廃棄抑制に努め、製品構造を環境配慮型に革新する。
- ・ ライフサイクル管理を支えるメンテナンス技術：分解や清掃に配慮して製品のメンテナンス性を高め、またセンサーや情報環境を整えて、統合的な製品ライフサイクル管理を可能とする。
- ・ 全ライフサイクルを対象とする環境負荷評価技術：局所的に考えた環境配慮は大局的には逆に環境負荷を増大させるかもしれない。全ライフサイクルを通じた統合的な環境負荷評価手法は重要である[4]。
- ・ ライフサイクル産業へ向けた統合化技術：個別製品を提供するのみならず、リースなどにより製品の機能を提供し、合理的に製品を管理するライフサイクル産業のためには、情報インフラストラクチャの整備が不可欠である。

## （２）柔軟な変動対応を可能とする生産

- ・ 新規な要素技術の迅速な取り込みを可能とするシステム技術：将来の変化を予測し予め対応を予測しておくことは困難である。不断に新規技術を取り込めるようなシステム技術は重要である。
- ・ 製造知識マネジメント：製造現場では膨大な技術知識が生み出され再利用される。重複した努力を回避し、本質的な新規技術に集中するための、知識管理は重要である。
- ・ 生産システムにおける人の役割：生産システムにおける人の役割と機械の役割を峻別し、各々にしかできないことを解明していくことは、生産システムの柔軟化にとり極めて重要である。
- ・ 人材の育成：変化に対応し、絶えず新規技術を生み出す仕組みを生産システムに組み込んでおくことは重要であり、そこでは人が重要な役割を果たす。その技術体系の確立と人材育成は緊急の課題である。

上記のような技術課題の重要性はよく認識されており、個別には研究開発もされ、産業界でもよく実践されている。しかし、関連する基盤学術は、生産システム学を初めとして、設計工学、製造プロセス工学、情報工学、システム工学、経営工学、環境工学、人間工学、など多様であり、統合的な研究教育の体系は整っていない。そもそも、生産システム学は、総合的な学問分野であり、品質管理学や生産管理学などを中核として1950年代から徐々にその体系化がなされてきた。90年代には、情報技術の導入により、CIM (Computer Integrated Manufacturing)、VM (Virtual Manufacturing)、PLM (Product Life Cycle Management)などの概念が提唱され、実装されてきた。しかし、最近に至り、上記のような生産システムの新たな展開を迎えて、改めて生産システム学の体系化が強く求められている。これらの変化に対応して既存の生産システム

に関する学会や産業界の認識を革新していくことは極めて重要である。そのためには、周辺分野を含めた製造活動の新たな展開を視野に置いて、それらを包含する体系化を試み、従来学術で不十分なところを識別することが必要である。以上のことを念頭において、次世代の生産システムのイメージを描き、重要な技術課題を踏まえて、検討すべき重点項目を抽出する。

### 1.5 考察すべき重点項目

考察すべき項目を以下のように分類する。

#### (1) 次世代生産システムへ向けた技術課題

高付加価値生産や柔軟な変動対応生産へ向けて、情報技術を核とした生産革新が急速に進んでいる。したがって、生産システム技術と情報技術の両側面から考察する必要がある。

情報技術の導入  
生産のプロセスの革新  
技術競争力の強化

#### (2) 地球環境の持続可能性を目指した循環型生産への対応

製品ライフサイクル全体を考える、という視点の転換が重要であり、それが生産活動の範囲拡大をもたらし、また評価を困難にする。

対応範囲の拡大  
巨視的な評価技術

#### (3) 人材・経営・社会との連携

生産活動がどのように変化しても、知識を生み出す人材は重要であり、グローバル化において新たな対応が必要となっている。

グローバル化への対応  
人材育成・知識管理

図1.1に示すように、上記の項目について以下の第2章～第4章において具体的に議論して、推進すべき学術課題を抽出する。

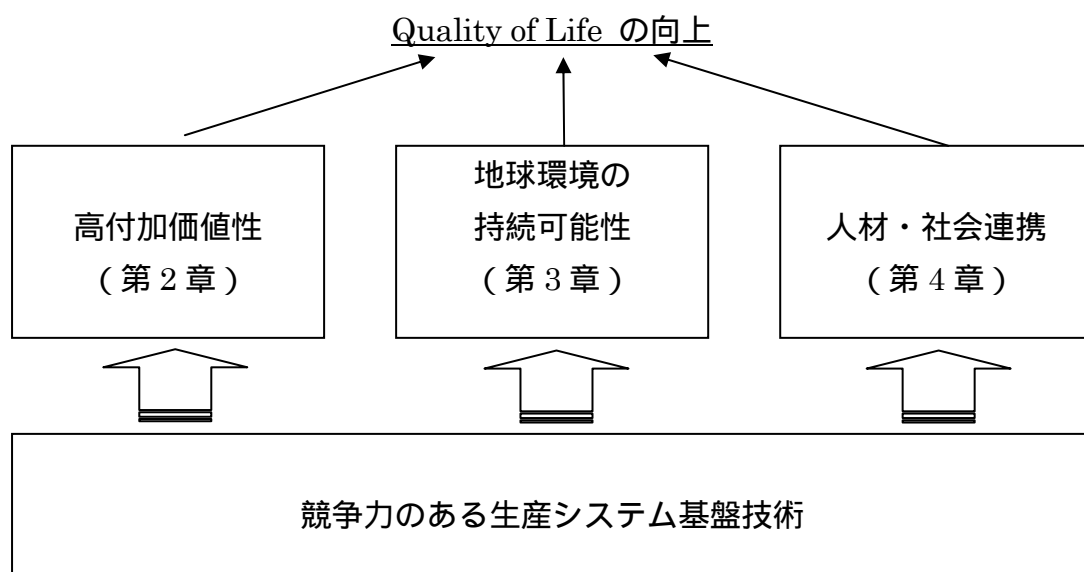


図1.1 本報告の構成

## 第2章 生産システム学の現状と将来の動向

### 2.1 生産システムに対する技術要件

日本の製造業をとりまく環境は、21世紀に入り、更に厳しさを加えている。すなわち、1990年代から始まったグローバル化に伴う大競争時代を迎えて、更なる生産コストの削減、納期短縮、高品質・高付加価値製品の生産、需要の変動に対応することができる変種変量生産を実現することが求められている。

例えば、我が国の基幹産業の一つである家電及びコンピュータ関連機器などの電機産業の分野では、生産拠点の海外移転が進んでおり、日本国内で販売される一般的な家電製品のほとんどが、アジアにおける生産拠点で組み立てられている。これに対して、国内生産においては、高品質・低コスト・短納期の変種変量生産プロセスを実現するために、組立作業者の多能工化に基づくセル生産方式の導入が積極的に進められている。また、国内生産においても、EMS(Electronic Manufacturing Service)に端を発する製造プロセスの外部委託あるいは請負により、生産関連費用を固定費から変動費に換えることで生産コスト削減を試みている企業も多数存在する。このような生産拠点の海外移転や生産プロセスの外部委託に対して、デジタル家電、液晶パネルなどの高い付加価値をもつ製品あるいはキーコンポーネントなどの生産については、国内に生産拠点を置く場合が多い。

生産拠点の多くを国内に持つ自動車産業の分野においても、グローバルな協調と競争が求められており、異なる国の自動車メーカー間において車両プラットフォームの共通化、相互のエンジンの供給、ハイブリッドカー技術及び燃料電池技術などの先端技術の供与及び共同開発などが進められ、自動車の開発・設計コストの削減を図っている。また、生産コストの削減に関しては、多数のコンポーネント及び部品のサプライチェーンを見直すことにより、高品質・低コストの部品調達を試みるメーカーが増えてきており、従来の系列を超えたサプライチェーンが構築されつつある。さらに、生産拠点についても、従来は日本、米国及び欧州が中心であったが、中国、東南アジアを中心とするアジアにも生産拠点を設け、今後のアジア地域における需要の増加に対応しようとしている。

以上のような製造業におけるグローバル化及び大競争時代における日本の製造業を考える場合、最も重要な課題の一つが高品質・高付加価値製品を、消費者及びカスタマーの需要動向に対応できるように、適切なタイミングで、適切な価格で、適切な数量を市場に供給できる生産システムの実現であると考えられる。そのため、高品質・高付加価値製品の変種変量生産を適切な生産コストで実行することができる生産システムを実現するための基盤技術及び基盤学術について検討を行った。

## 2.2 高付加価値生産を支える生産技術

### 2.2.1 高品質・高付加価値製品とは

高品質・高付加価値製品とは何かを、現状の製品を基準に考えると、図2.1のように示すことができる。すなわち、現状の製品の品質・付加価値及びコストを原点とし、縦軸を品質・付加価値、横軸をコスト(設計・開発・生産コストあるいは販売価格)とすると、将来目指すべき製品の設計・生産の方向は、図中の2つの方向になると考えられる。

一つは、現状の品質及び付加価値を維持または多少減少させるとともに、コストを大幅に削減する方向であり、他の一つは、品質及び付加価値を大幅に高めるとともに、コストを現状維持もしくはわずかに増加させる方向である。

我が国の先進技術立国の基本方針及び人件費を始めとする各種のコストの状況、またアジアを中心とする産業発展を目指す各国に対する技術支援及び経済発展支援の観点からは、我が国の産業はできうるかぎり図2.1における左上方向、すなわち高品質・高付加価値製品の設計・生産を目指すことが望ましいと考える。

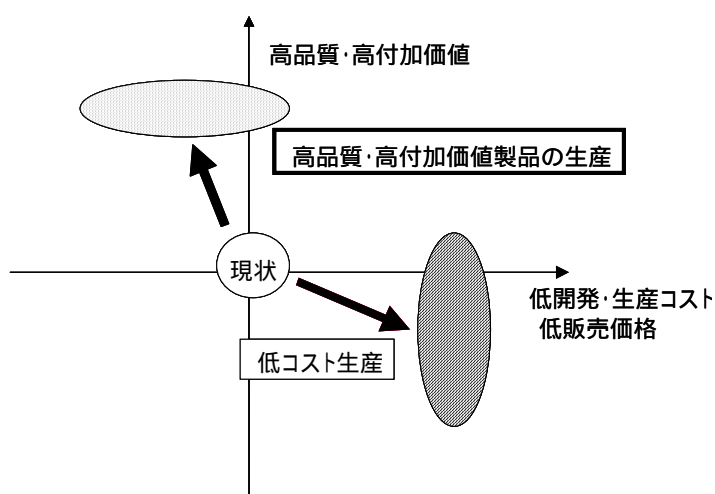


図2.1 将来の製品の開発方向

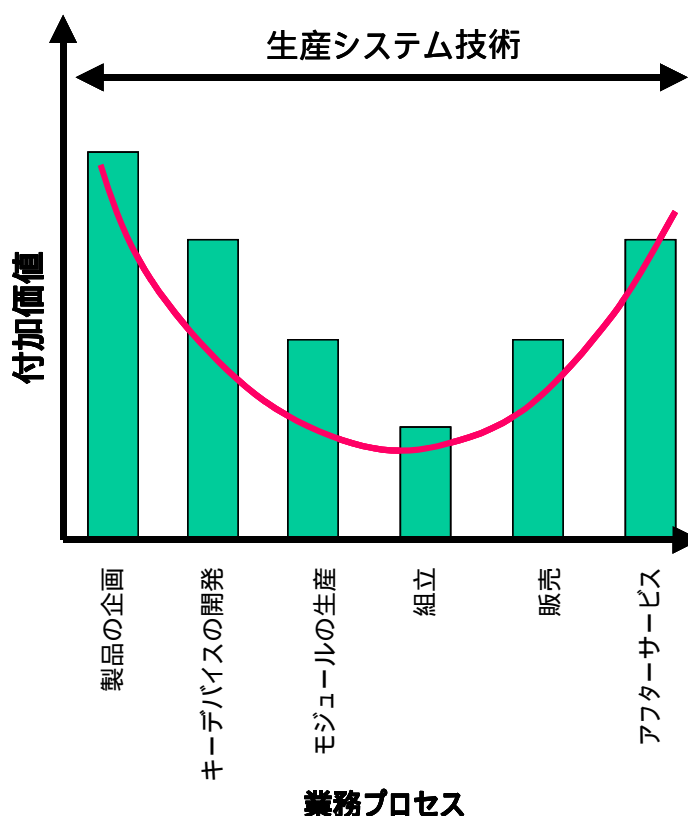


図2.2 製品の業務プロセスと付加価値

高品質・高付加価値製品の企画・開発から販売・アフターサービスにいたる業務プロセスあるいはライフサイクルにおいて、付加価値を創出するうえで重要なプロセスをまとめると図2.2のようになると考えられている。ここで、アフターサービスの部分は、製品のリユース、リサイクル及び廃棄などの業務を含むものとする。すなわち、製品の付加価値の観点から重要なプロセスは、製品の企画・設計・開発などの上流側及びアフターサービスなどの下流側であると認識されている。しかし、近年の情報システム技術及びデジタルエンジニアリング技術の発達に伴い、生産システム技術及び生産技術が関与する領域は、図2.2における上流側及び下流側に大きく広がっており、製品のライフサイクルプロセスにおいて生産システム技術は非常に重要な基盤技術になっている。以下では、図2.2に示すような製品の業務プロセスを支える生産システム基盤技術について考える。

#### (1) 高品質・高付加価値製品の設計・生産に必要な基盤技術

##### a) 製品の企画・設計・試作を支える生産システム技術

製品の企画・設計・試作のプロセスを図2.3に示す。すなわち、製品の開発では、製品企画における要求仕様に基づいて設計を行い、要求仕様を満足することができる設計解を求める。次に、この設計解を評価するために試作を行い、その試作品を評価することで最も適切な設計解を得る。このプロセスは、図2.3に示すように、設計仕様を満足する設計解を創出することができない場合の要求仕様変更による繰り返し、詳細設計を行うための要求仕様の詳細化による繰り返し、キーデバイスの設計解を得た後に行うモジュール及び製品全体の設計のための繰り返しなど、多数の繰り返しが同時並行的に行われる。これらの繰り返しは、一般に、設計のスパイラルと呼ばれる。このような製品設計のスパイラルを、迅速に、効率的に行うために必要な共通の基盤技術を以下に示す。

- 製品の企画・設計・試作・評価を体系的に行うシステム化技術
- 製品のデジタルエンジニアリング技術（CAD/CAE/CAM: Computer Aided Design/Engineering/Manufacturing, PDQ: Product Data Quality, PDM: Product Data Management）
- 高品質・高速ラピッドプロトタイプング技術
- 超多機能複合加工・組立システム技術
- 製品試作プロセスの生産計画・生産管理技術
- 製品試作のためのサプライチェーンの計画・管理技術



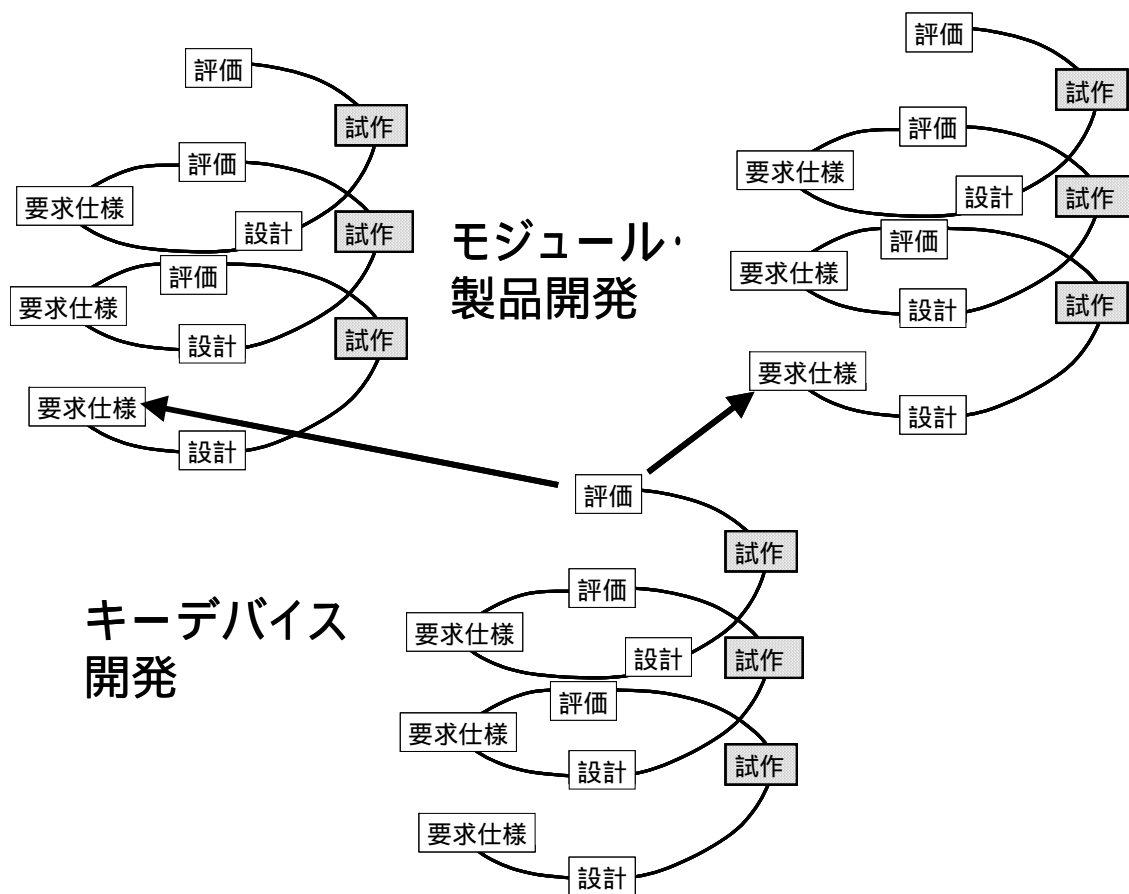


図 2 . 3 製品設計のスパイラルアップ構造

b) 製品の生産準備・変種変量生産を支える生産システム技術

図 2 . 3 に示すプロセスによりキーデバイス、モジュール及び製品の設計が行われるのと平行して生産準備を行うとともに、生産ラインの設計・開発が必要になる。このプロセスも図 2 . 3 と同様のスパイラル構造を持った繰り返しになる。これらのプロセスを支える基盤技術を以下に示す。

- 生産設備及び生産ラインの計画・設計・試作・評価を体系的に行うシステム化技術
- モジュラー構成生産設備技術、再構築可能な生産設備技術
- 生産設備のライフサイクル計画・管理技術
- 生産設備の品質・信頼性の計画・管理技術
- 生産設備のデジタルエンジニアリング技術 ( CAD/CAE/CAM、Simulation)
- 生産設備開発のための生産計画・生産管理技術
- 生産設備調達のためのサプライチェーン構築・管理技術

c) 販売及びアフターサービスを支える生産システム技術

製品の量産プロセスが実現された後の販売及びアフターサービスの業務を支える基盤技術を以下にまとめる。

- 販売及びアフターサービスに必要な要求仕様を製品設計時に考慮するためのシステム化技術
- 補修及びライフサイクル情報の製品への付与技術
- 製品のライフサイクル計画・管理技術
- 補修用ユニット・部品のための超多品種一品加工・組立技術
- 補修用ユニット・部品のサプライチェーン構築・管理技術

## 2.3 生産システムに関する基盤学術

前節までに述べた今後必要と考えられる生産システム技術に関連する課題及び学術的基盤を以下にまとめる。

### (1) 高品質・高付加価値製品のための基盤

グローバルな競争環境下における製造業の発展を図るためには、日本の製造業における特質である高品質化及び高付加価値化を更に発展させることが必要と考える。

- 高品質・高精度のラピッドプロトタイプングシステム(金属、樹脂など)
- 高品質・高精度の複合加工システム(切削、研削、熱処理など)
- 高機能・高精度のロボット組立システム
- 高機能・高精度計測評価システム
- 自律型ロジスティックシステム(グローバル及びローカルな搬送・貯蔵)

### (2) 設計・製造・アフターサービスの統合化

これまでに実現されてきた CAD/CAM/CAE/CIM などの生産システム統合化技術を更に発展させ、製品のライフサイクル計画及び管理なども含む統合化システム技術が必要と考える。

- 設計・解析・生産・シミュレーションのためのデジタルエンジニアリング
- 高品質・高精度・変種変量生産のための生産計画・生産管理システム
- 高品質・高精度・変種変量生産のための品質及びライフサイクルの計画・管理システム
- 高品質・高精度・変種変量生産のための企業間連携及びサプライチェーンの計画・管理システム

### (3) 情報環境の高度化のための基盤

上記(1)及び(2)を実現するには、従来の生産システム関連の知識を体系化して情報環境を構築するだけでは不十分であり、生産システム関連の情報基盤の高度化が必要と

考える。

- これまでに確立された生産システム関連知識の体系化と知識ベース化
- 体系化されていない生産システム関連知識の整理、分析、体系化
- 上記の2項目を実現するための情報環境(分散型の情報共有、マルチメディア情報の高速・高容量コミュニケーション、暗黙知の明示化・可視化、など)

以上で議論された基盤学術課題は、生産システムに関する諸活動を可視化し、生産活動を積極的に計画し制御するために重要である。これらは、環境配慮の新たな評価基準のもとで、次章に述べるような持続可能な生産システムを実現する際の重要な基盤技術となる。

## 第3章 持続可能な生産システム

### 3.1 生産パラダイムの転換

資源環境問題が切迫するに伴い生産に関する基本的な考え方が変化してきている。これに関しては、第17期、第18期の生産システム学専門委員会報告において詳しく論じられている[3][4]。要約すれば、必要な資源を自然界から得て、不要物を自然界に放出することによって成立していた工業社会は、自然界がその負担に耐えられなくなってきたことにより発展の限界に達しており、今後更に持続的に発展をしていくためには、循環型生産へのパラダイム変革が必要であるということである。すなわち、モノを社会に提供するというこれまでの生産活動の目的を、機能を社会に提供することによって、モノの循環的使用や脱物質化を促進し、提供する機能あたりの環境負荷を下げ、持続可能な社会を実現することが求められているのである。

このような生産パラダイムの転換は、生産システム技術に関する研究開発だけで可能になるわけではなく、消費者の意識や行動様式の変化、新しいマーケットとビジネスモデルの創造、法規制の後押しなどが必要とされる。しかし、これらの問題全部を扱うことが本報告の目的ではないので、以下では、循環型生産の実現にとって必要と考えられる、主に生産システム技術における課題を、プロセス技術、情報システム、評価、リスクマネジメントの観点から整理する。

### 3.2 循環型生産システムに必要なプロセス技術

#### 3.2.1 サプライチェーンマネジメントからライフサイクルプロセスマネジメントへ

以前は、生産システム技術の主な目標は、工場内の製造プロセスのシステム化、自動化による効率向上であった。それに対して、最近では、サプライチェーンマネジメントにより、素材製造から顧客に製品を届けるまでの全体プロセスを一貫して管理することで、無駄の排除と効率向上を図ることが課題となっている。循環型生産システムにおいては、このような供給プロセス、すなわち順工程に加えて、更に、回収、再生、リユース、リサイクルなどのいわゆる逆工程の構築と運用が必要となる。この結果、順工程と逆工程を合わせた全体プロセスを効率よく運用するために、ライフサイクルプロセスマネジメントを考えなければならない。ライフサイクルプロセスマネジメントにおいては、サプライチェーンマネジメントでは顕著に現れてこない以下のような課題が存在する。

#### a) 新たな目的関数の導入

そもそも、循環型生産システムへの移行が必要される理由は、資源・環境問題にある。すなわち、モノを循環することが循環型生産システムの最終目標ではなく、循環

は、環境負荷を低減するための手段である。したがって、循環型生産システムの評価は、第一義的にはそれによってどの程度環境負荷を削減することができるのかという点で行われるべきである。このための指標としては、環境負荷当たりの顧客への提供価値を示す、環境効率を用いるのがよいと考えられるが、その算定に関しては多くの課題がある。これについては、3.4で改めて論じる。

#### b) 閉ループの管理

既に述べたように、ライフサイクルプロセスマネジメントにおいては、順工程に加えて逆工程を扱う必要があり、モノの流れが閉じたループとなる。この結果、個々のプロセスを直列的につなげたときと比較して挙動が複雑になる。特に、逆工程には不確定要因が多いために、安定的に循環のフローを管理する技術を確立することは重要な課題である。

#### c) ライフサイクルを通じた管理と評価

ライフサイクルプロセスマネジメントにおいては、サプライチェーンマネジメントが対象としている製品供給過程だけでなく、使用段階におけるメンテナンスサービス、及び回収、再生、リユース、リサイクルといった循環を構成する全プロセスを対象として、環境負荷の低減と、リードタイム短縮、在庫削減、スループット向上といった能率向上を図る必要がある。このため、より多様な利害関係者を考慮する必要があり、また、管理しなければならない期間も長くなり、その結果として、問題の複雑さと不確定性が飛躍的に増大する。

### 3.2.2 製造プロセス

循環型生産においては、環境にやさしい製造プロセスの実現が重要な課題となる。従来の製造プロセスにおいては、Q (Quality)、C (Cost)、D (Delivery) の観点から、徹底的なロスの削減を行ってきたが、今後は、これに E (Environment) の観点を加える必要がある。近年多くの工場においてゼロエミッションの取り組みが行われており、特にリサイクルの促進や廃棄物削減が進められているが、従来から行われている改善活動によるロスの削減も、多くの場合環境面での改善につながると考えられる。以下に、環境にやさしい製造プロセスの実現に向けた主な課題を示す。

- a) 使用材料の選択と制限：有害物質を含まない材料の使用、リサイクル材の使用、リサイクルしやすい材料の使用、分別の手間を少なくするための使用材種の制限などにより材料の循環使用を促進する必要がある。
- b) 副資材の削減：ドライ加工やMQL (Minimum Quantity Lubrication) セミドライ加工による切削剤の削減、洗浄液の削減などにより消費資源、廃棄物の削減が図れる。
- c) 歩留まり向上：現在の材料リサイクルのかなりの割合が加工工程で排出される端材

などにより占められている。このことは、逆にその削減の余地があることを示している。

- d) 不要なエネルギーの削減：工場の省エネルギー化の取り組みは進んでいても、個々の工程ごとにみるとまだ必要以上の動力源を有していることが多い。加工そのものに必要なエネルギーを超えたエネルギー使用はロスと考えるべきである。
- e) 加工屑、端材の分別の徹底と回収の効率化：歩留まりの向上により、加工屑、端材の削減をしても、ある程度の量は出てくる。これらの分別の徹底は、リサイクルのクローズド化を可能にする。また、回収作業の効率化はリサイクルコストの削減に貢献する。
- f) 設備総合効率の向上：設備が稼働しなくてはならない負荷時間に対する設備が価値を生んでいる時間の比である設備総合効率を向上させることは、設備の能力を使いきることで必要な設備台数を減らすという点で環境効率の向上に貢献する。

### 3.2.3 使用プロセス

モノの提供から機能の提供へという生産のパラダイムシフトを考えると、使用プロセスは、使用者が機能を享受するプロセスそのものであることから、そこでのモノの適切な管理は非常に重要となる。使用段階ではまずモノの使用効率を上げる必要がある。多くの場合、モノの稼働率はそれ程高くない。これを向上させることによりモノを増やさずに提供機能を増加させることができ、環境効率の向上に貢献できる。このための手段としては、レンタル等による同一ライフサイクル内での複数ユーザでのシェアリング、リユースによる複数ライフサイクルに渡る使用などが考えられる。また、適切なメンテナンスによる機能維持と物理寿命の延長も重要である。さらに、ユーザニーズの向上にともなう機能アップグレードもモノの機能寿命を延ばし、環境効率を改善する効果的な方策である。

生産システム技術開発の観点からは、特に、メンテナンスと機能アップグレードを効率的に実現するための技術は、今後、製造技術の一環として取り組むべき課題と考えられる。

### 3.2.4 エンドオブライフ・プロセス

製品のエンドオブライフ (EOL: End Of Life) 処理は、順工程と逆工程をつなぐ部分として重要である。EOL 処理の内容は、ライフサイクルデザインによってあらかじめ計画しておくべきもので、無理のない循環を実現するためには、後始末的なエンドオブパイプ処理となってはならない。エンドオブライフ処理は、部品リユースの場合であれば、分解、分別、洗浄、再生などからなり、基本的には製造プロセスと逆向きの工程となる。しかし、エンドオブライフ処理では、原理的に、製造工程の場合の

ように入力側を一定に保つことができず、投入される品種とそれらの状態のばらつきが大きくなる。このため、それらを効率よく処理するための新たな技術開発が必要となる。また、循環型生産の効率化を目指すためには、エンドオブライフ処理と製造プロセスの統合も重要な課題である。

### 3.2.5 リバースロジスティクス

循環型生産システムを実現する上では、一旦多数のユーザに散らばった製品を回収し、リユース・リサイクルなどのプロセスにのせていくことが必要である。このようにいわゆるリバースロジスティクスに関しては、回収拠点の設定、回収物流計画、更には配送・回収の統合などの課題がある。これらの課題は、製品のトレーサビリティやそれを実現するための次節で述べる製品ライフサイクルデータ管理の問題との関わりの中で検討していく必要がある。

## 3.3 ライフサイクル管理のための情報システム

循環型生産においては、製品をユーザに届けたところでモノの管理が終わるのではなく、それを使用し、更に、回収、リユース、リサイクルされ再び製品として使用されるという循環の全プロセスでモノを適切に管理していく必要がある。しかも、一つの部品は、リユースに伴い複数の製品に組み込まれる可能性がある、したがって、材料、部品、製品はそれぞれ独立したライフサイクルを送ると考えるべきで、それらの管理もまた独立に行う必要がある。さらに、メンテナンスやリユースを効率よく行うためには、個々の部品や製品の劣化や寿命を管理している必要がある。このように、循環型生産における製品ライフサイクル管理のためのデータは膨大なものとなり、また、データを管理していなければならない期間も長期間に渡る。このようなライフサイクルデータの管理については、その量と複雑さの問題のために、ユビキタス・ネットワーク技術などの次世代の情報技術の開発が必要と考えられる。その他、長期間に渡るデータのメンテナンスの問題、個人情報や知的所有権とも関連したデータの所有権と利用権の問題等多くの課題を検討する必要がある。

## 3.4 ライフサイクル評価

3.2.1 で述べたように、循環型生産の目的は、資源循環による環境効率の向上である。環境効率とは、ライフサイクルを通じた環境負荷当たりの提供価値として定義される。これは概念としては分かりやすいものであるが、実際にその値を見積もるためには、計量可能な値に帰着させる必要がある。分母の提供価値に関しては、製品仕様で示される機能値から見積もる方法などが適用されているが[5]、顧客価値を反映した評価値として広く受け入れられる計量方法の確立のためには、更に検討が必要と考えられる。一方、分母の環境負荷については、基本的には、ライフサイクルアセスメント(LCA)

により評価される。しかし、通常の LCA は、一製品のライフサイクルにおける環境負荷を見積もる方法であって、リユースやリサイクルによる循環の効果を評価する仕組みは入っていない。環境負荷に対する物質循環の効果は、リユースや、リサイクルが適用される製品群に対してそれらの製造期間全体での環境負荷を計算することで、初めて評価される。このための有力な方法として、ライフサイクルシミュレーションの適用が提案されている[6]。

さらに、ライフサイクル評価に関しては、目標指標と手段指標の関係の複雑さという問題がある。目標指標とは、例えば CO<sub>2</sub> の排出量といった環境負荷低減を直接反映するような指標である。この削減を達成するために、部品リユース戦略を適用したとすると、手段指標としては例えばリユース率をとることが考えられる。この場合の問題は、手段指標であるリユース率の向上が、目標指標である CO<sub>2</sub> の排出量削減に単純には結びつかないということである。例えば、迅速循環で製品を短期で回収してリユースを行えばリユース率は向上するが、製品の長寿命化により長期間使用した方がリユース率は上がらなくても CO<sub>2</sub> 削減には効果がある場合もあるということである。すなわち、採用したライフサイクル戦略が有効に働くには、種々の前提条件が必要で、その効果は慎重に評価する必要がある。この問題に対しても、ライフサイクルシミュレーションの活用が有効と考えられる。

### 3.5 生産システムのリスクマネジメント

持続可能な生産という観点では、事故、災害等により生産活動が停止し、ひいては様々な社会・経済活動に支障をきたすという問題も考えておく必要がある。今日、サプライチェーンマネジメントに代表される効率向上技術の発達の結果、生産活動と顧客の結びつきが強くなって、生産活動における障害が生活の利便性や安全に即影響するようになっている。しかも、最近では、競争の激化により、生産システムの効率化を極限まで推し進める結果、システム内に余裕がなくなっている。そのため、一旦問題が発生すると、その影響が速い速度で波及する恐れがある。また、生産のグローバル化により、生産拠点が世界中に広がることで、リスク要因が多様化するとともに、影響範囲も拡大している。このような問題に対応するために、生産システムにおいてもリスクマネジメントの導入が必要と考えられる。リスクマネジメントにおいては、まずリスク評価を行う。リスク要因として、天災、社会インフラの障害などの外部要因と、自システム内での事故、障害等の内部要因を検討し、それらの影響として、自システム機能への影響と外部への影響を、更に、それらの経営レベルへの影響を評価する。次に、これらに対して回避、保持、移転、軽減などの対策を検討する。リスクマネジメントについては、近年、多くの議論がなされるようになってきているが、生産システムのリスクマネジメントに関する検討は不十分である。今後、リスク要因の



洗い出し、影響伝播経路のモデル化と影響度見積もりの方法などを検討していく必要がある。特に、影響度評価に関しては、モノ、金、情報の流れが記述できる生産システムモデルを用い、種々のリスク要因に関する評価をシミュレーションにより行う技術の開発が必要と考えられる。

### 3.6 循環型の生産システムへ向けて

本章では、近年の資源環境問題の深刻化に伴い、生産システムが今後循環型に移行していかななくてはならないという観点から、取り組まなければならない課題の抽出を行った。これらは、生産システムによって支えられている社会の持続的発展のために必須の要件である。すなわち、環境調和型生産システムの実現はこれからの生産システムの最重要課題の一つと捉えるべきものであり、これまでの生産システムの課題に付加されただけの問題と考えるべきではない。

循環型生産の目的は、資源を徹底的に利用することにより、単位資源あたりの提供価値を最大化することである。このことは、これまで、日本で発展してきた生産効率化のための技術と本質的に矛盾することではない。むしろ、適切な方向付けにより、これらの技術の追求が環境効率の改善に結びつくと考えられる。この意味で、これまで発展させてきた生産システム技術をベースにして本章で抽出した課題に積極的に取り組むことは、我が国の製造業の強化というだけでなく、グローバルレベルでの資源環境問題の解決に貢献するものと考えられる。

## 第4章 人材と社会連携

### 4.1 少子高齢化社会における製造産業

少子高齢化社会の到来は、産業を支える生産年齢人口の減少をもたらし、企業や製造産業の国際競争力を急激に低下させる一つの要因となる。そのため、これまで右肩上がりの成長、発展を遂げてきた日本の製造産業には、いまだかつて経験のない厳しい試練が課せられることになり、新たな対策を早急に講じることが求められている。

本生産システム学専門委員会では、それら生産を取り巻く環境変化に対応するため、新たなものづくりシステムの構築について議論を重ね、循環型生産、環境負荷低減など様々な観点から新世代の製造産業について議論した。その結果、人間的要因の重要性を再確認すると共に、人間的要因を考慮した新たな生産体制を確立することが重要な課題の一つであるとの認識を得た。具体的には、少子高齢化による労働力の減少は生産システムの無人化・省人化技術で補完できると単純に考えられているものの、製品品質、納期、価格、フレキシビリティといった多面的特性で決定される生産システムの能力は、在来の無人化や省人化を目的として導入される機械システムや産業用ロボットによる代替が不可能な部分も多く、人間の持つ特性を十分に考慮した生産システムの構築が必要であること、また製造産業全体の国際競争力の発展の支配的要因となる高附加值製品の創出技術は、そこに携わる人間の創造性に大きく依存することから、能力のある若手技術者の継続的投入と育成の必要性が認識された。

特に、製造技術者の高齢化は、製造技術そのものの質の低下をもたらすことになるため、その生産性を向上させるための最も効果的な方策は、生産性の高い若年技術者を製造産業に持続的に投入できることである。新世代の生産環境において必要なプロダクトイノベーションやプロセスイノベーション[7]の実現に直接貢献し得るのは、デジタル世代に育った新たな発想を有する若年技術者に他ならない。そのような若年者を製造産業に惹きつけるためには、製造産業を表現する「ものづくり、モノ作り」の持つイメージを根本的に改善しなければならない。製造産業から離れた若者にとって、それらの用語には、スキルやノウハウの塊、素人には理解が困難な混沌とした対象、他分野を寄せ付けない固有技術の世界がイメージされる。しかし、本来の製造産業に関わる技術者や研究者が追求してきた対象は、モノというハードウェア主体のイメージだけではなく、ソフトウェア、使い勝手、インタフェースを含む広範で総合的な価値や品質である。「ものづくり」という用語の有する狭いイメージを拭うためにも今後は、広義の「価値の創造」に通じる新たな表現を検討する時期に来ている。

今後、少子高齢化の進展に伴い、人口と労働力の減少が避けられない我が国では、単純な生産量の拡大は、もはや利益の拡大に繋がらないこともまた認識しておかねばならない。価値基準の多様化、ライフスタイルの多様化の進展する市場環境を勘案し、

製造産業は、「従来の量の拡大志向から質の高度化への転換」を図らなければならない。その上で今後、日本の製造産業は、N I E S 諸国の製造産業との差別化を図り、製品品質の高度化、安定した品質、利益率の高い製品機能の高度化を目指すべきである。

そのための具体的方策の一つとして、まず製造産業全体において人間とロボットの担当すべき役割を明確にし、それらの棲み分けをする必要がある。すなわち、人間ができない超微細な加工、超微細な組立、極限環境における信頼性の高い作業を実現することのできる極限作業用ロボットを開発する一方で、人間が担当すべき、あるいは人間の特性を考慮した場合に担当することが望ましいと考えられる作業を峻別、特定すべきである。また、人間が直接、間接的に関与せざるを得ない作業に対しては、人間とロボットの協調を想定することが必要となるが、そのようなロボットの実現には、マンマシン・インタフェースの高度化を図る必要があり、最新の情報科学の成果を組み込むことが急がれる。

ところで、従来の日本では生産環境の中で技術の伝承が、技術者間で暗黙の内に十分な意思伝達により行なわれてきたが、終身雇用制度の存続が保証されなくなった現在、技能や知識の伝承に対して、新たな技術伝承のための方策が求められている。例えば、「熟練技術者や熟練技能者の有する技能・知識→定式化→情報化（デジタル化）→システムへの移植」という一連のプロセスをスパイラル状に高度化した新たな仕組みを構築することも必要である。いずれにせよ、その過程で膨大な分析が必要となるが、高度な熟練を要する作業の詳細な分析、そのスキルの定式化、ロボットへの移植を地道に進めることが必要である。

#### 4.2 人材の育成と知識管理

天然資源が著しく乏しい日本にとって高附加価値製品を持続的に創出することは重要である。今後、周辺諸国の技術レベルの向上と共に、益々厳しくなることが予測される国際市場において先導的な役割を果たすためには従来からの設計・製造プロセスを見直し、それに対して対症療法的に逐次改善するだけでなく、技術的、経済的、社会的な周辺環境を詳細に分析し、製造産業の内的、外的要因を把握した上で、最適な製造プロセスを導出することが必要不可欠である。

国際競争力を保有する製造産業を構成する企業組織に共通する点は、技術力だけではなく広義の価値創出能力に秀でると共に組織運営能力といった独自のコアコンピタンスの獲得と持続的強化に鋭意努めていることである[8]。企業によっては、コア技術を対外的にブラックボックス化し、コア技術が外部に流出することのないような仕組みをIT技術を駆使して整備すると共に、様々な場面を想定して熟成したコア技術の展開を模索している。そして、いずれの企業も企業戦略の要となる人的資源の獲得、育成、並びに適正配置に重点を置いて戦略立案をしていることからその重要性は明

らかである。

今後、国際市場において卓抜した競争優位性を維持するためには、短期的観点ではなく長期的観点から、その組織固有のコアコンピタンスを獲得し、強化することが求められる。特に、製造産業に関わる膨大な知識を系統的に整理、分類し、管理することの重要性は改めて指摘するまでもない。

少子高齢化社会において製造産業を支えるためには、前述のように若年者を取り込み、技術者層の裾野を拡大し、同時にその層を厚くしなければならない。さらに、製造環境における技能者と技術者との乖離が現在問題となっていることから、それら両者を繋ぐ人材の養成も急がれる。その際に、高度な技術伝承のためには、長期間にわたって少人数に絞って養成することが必要なことは言うまでも無い。短期的観点からの技術の移入や導入は、企業活動を進める上での限定的な手段として位置づけ、真に必要なコア技術は、技術者層の充実を前提として当該企業組織内で育成、保有、熟成すべきである。

コアコンピタンスに経営資源を投入し、更に強化、維持する戦略を策定するためには、当該製造メーカーにおけるコア技術を系統的に抽出すると共に、それらを定性的、定量的に総合評価し、コアコンピタンスを特定するための方法論を体系化することが基本的に重要となる[9]。この種の研究アプローチは、従来、経営論から散発的に行なわれてきたが、今後、技術的側面を十分に考慮した新たな方法論の確立が急がれる。

#### 4.3 社会連携による国際競争力強化

新興工業諸国の台頭や欧米諸国における製造産業の活性化などにより、国際市場における競争環境は、益々激化している。そのような周辺環境の変化に対して、日本における代表的な製造産業は、企業の統廃合やグループ化などを図ると共に、積極的な国際展開を推進している。しかし、主要企業の海外進出に伴う国内製造産業の空洞化により、日本の製造産業が長年にわたって蓄積してきた膨大な熟練技能、スキル、ノウハウ、経験的知識の散逸が深刻な問題になりつつある。

今後、国際市場環境に適合していくためには、前述したコア技術の獲得と高度化だけでなく、幅広い観点から新たな企業戦略を策定し、プロダクトイノベーションとプロセスイノベーションの実現を中核に据えた新たな戦略的経営、例えば経営資源の選択と集中によるコアコンピタンスの獲得と育成を図り、国際競争力を強化することが重要となる。

国際競争力には、質的に異なる種々多様な競争要因を包含することから、それらの特性を幅広い観点から分析した上で、多次元尺度の下で国際競争力の強化策を策定することが必要となる。そのような要求に対応するために、Strengths（強み）、Weaknesses（弱み）、Opportunities（機会）、Threats（脅威）の英単語の頭文字で表

記される表 4 . 1 に示す S W O T 分析が有効であると考えられているが、それぞれの特性要因やそれらの相互関係、優先順位などがあいまいであるため、単純に S W O T 要因を抽出するだけでは競争要因の特性を分析することが困難である。

図 4 . 1 には、競争要因を定量的に評価し、技術戦略を策定することを目的とした方法の概念[10]を提示する。図の方法では抽出された S W O T 要因は、まずは複数の技術的評価尺度  $\alpha$  及び財務的評価尺度  $\beta$  について、次に要因間についてそれぞれ一対比較により、多段階の感覚尺度で重み付けし、最終的にそれぞれの要因に対して優先順位や強度に対応する重みが与えられる。

表 4 . 1 S W O T 要因

	内的要因	外的要因
正の要因	強み ( S )	機会 ( O )
負の要因	弱み ( W )	脅威 ( T )

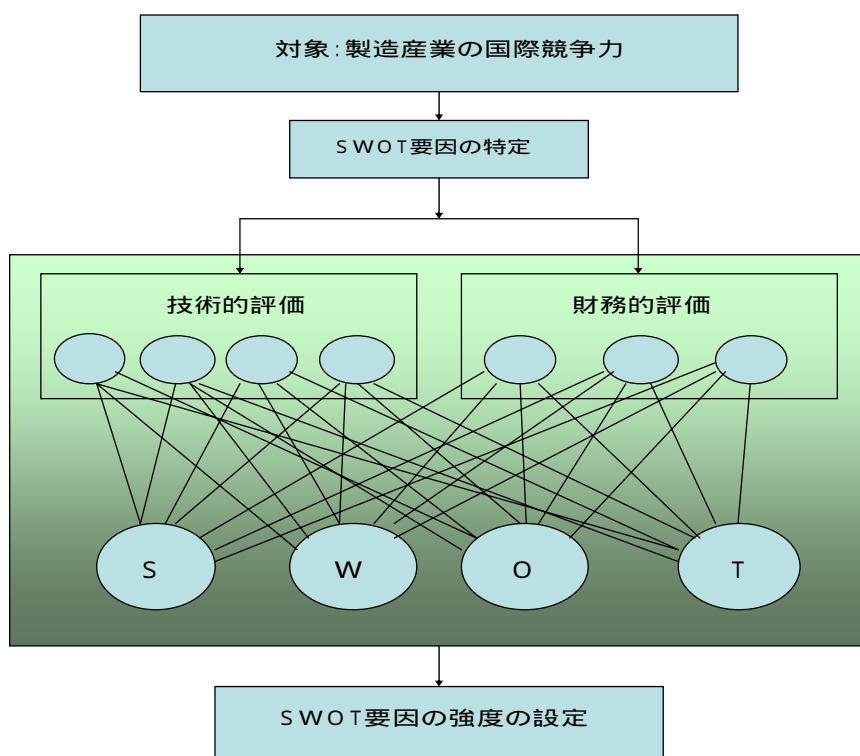


図 4 . 1 S W O T 要因の定量化分析方法の概念

また、図4.2には、前述の分析方法を用いて、我が国の機械製造産業を分析した結果の一例[11]を示す。図では、重み付けされたSWOT要因の中でも特に影響強度の高いSWOT要因群を特定すると共に、それらを系統的に組み合わせることにより、国際競争力の強化策を策定した結果を示す。

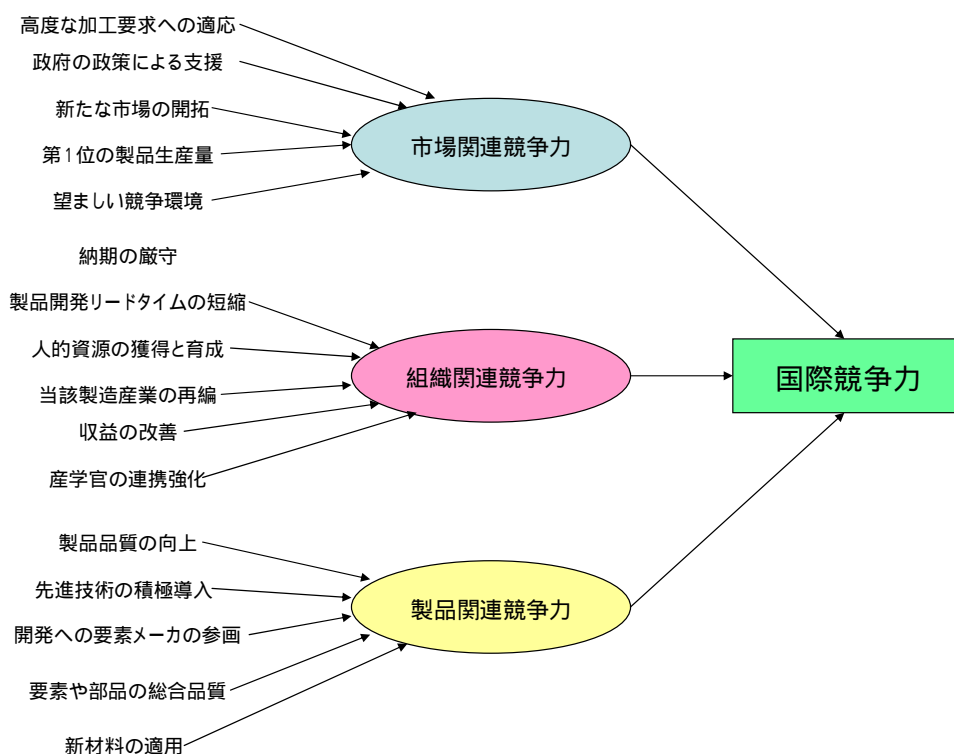


図4.2 国際競争力の強化策の一例

図4.2の製品関連競争力において重要となる強化要因となる産学連携の強化に関して現在、具体的方策が進められている。「世界的水準の教育、研究を目指した個性豊かな大学への発展」を標榜する国立大学法人化の制度改革の政府施策は概ね完了したとされ、全国の国公私立大学の多様化や活性化が進展する中で、特に各大学における具体的な産学連携のための方策が注目されている。このような産学連携は、異なる組織連携による機能補完により単一組織で得られるパフォーマンスをはるかに超える成果が期待され、国際競争力の強化に波及する様々な効果を複合的、相乗的にもたすことができると考えられる。例えば、図4.3のような産業界と大学の双方に様々な相乗効果が期待され、産業活性化を目的とした政府の重要施策の一つとして推進されている。

このような産学連携の推進により製造産業の国際競争力を強化するためには、大学のキャンパス内の産学連携研究スペースに最先端の製造装置や試作開発機器を設置し、並行して研究開発を推進する生産技術研究拠点の役割を果たすセンターを整備し、それを核として産官学の情報交流、技術移転を積極的に推進することも検討すべきである。そのような研究拠点において実際の生産環境の分析や稼動試験を体得しながら、それらの要素技術、システム技術、機器の試作開発の研究が実行されれば、産学官から集まった研究スタッフのいずれにとっても有益である。一般に技術は人に付いて行くと言われることから明らかなように、そこで養成された人材が、産業界に移動することにより、産業界と学界の間における真の技術移転が実現される。

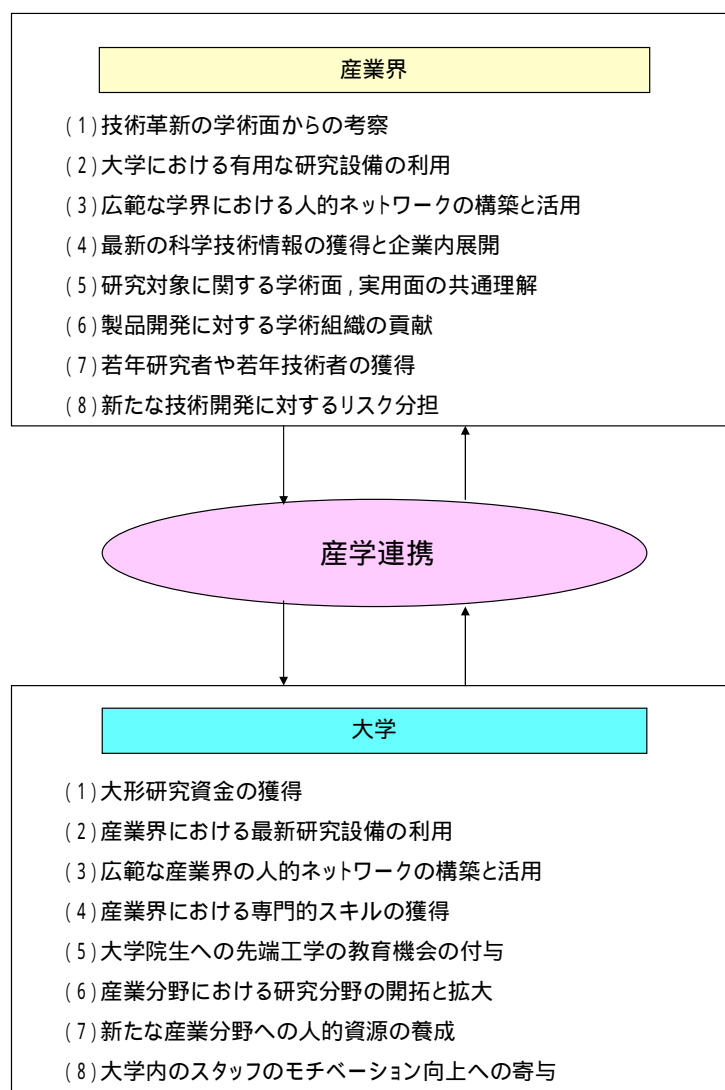


図 4 . 3 産学連携の効果

また、国際競争力の強化には、まずコア技術を日本の国内製造産業が保有することが前提となるが、製造産業において附加価値を高めるためには広義のプロセス開発技術において自前の技術、自前の知識を保有することが必要不可欠である。国内産業が多大な研究開発費の負担を減らすと共に、高度な人材養成を推進するためには、産学連携を積極的に活用することが重要となる。その際に、社会の共有財産としての人材を養成するだけでなく、様々な知識を蓄積する「智のバンク」の役割を果たす仕組みを大学内の産学連携研究センターに構築することが、人材の供給源となると共に貴重な知識を散逸することなく共有活用できる唯一の方法であると考えられる。

#### 4.4 有効な人材養成と社会連携を推進するための方策

生産システム学は、関連する学術領域及び技術領域をある時には貪欲に取り込み、ある時には再構成して、常にその守備範囲を拡大しつつ、融合、進化しなければならない宿命にある。これまでに現れた、あるいは今後現れる革新的な生産システムの実現は、そのようなシステム学の体系化を目指した持続的な努力なくしてはありえない。このような学の体系化の過程で顕在化した新たな学術課題は、システム技術として解決・定式化され、世代間の伝承、人材養成、新産業創出に大きく貢献してきたが、今後も新たな学術、産業への展開が期待される。本章で述べた人材養成と社会連携の方策を以下に集約する。

- (1) 生産システムにおける人間と機械(例えばロボット)の役割分担を明確にし、生産システムに関わる広範なシステム化技術を定式化する。
- (2) 新たな評価基準に基づくコアコンピタンスの特定方法、定量化方法を確立し、国際競争力を強化するためのコアコンピタンスの獲得と育成のための系統的な方法論を確立する。
- (3) 産学連携の効果を合理的に共有できる「智のバンク」構想を核として産業界とが学界の人材交流、技術交流を活発化する仕組みを構築する。特に、大学院博士後期課程で生産システム学を専門とする学生の教育を強化し、特に産業界に有能な人材を安定的に輩出できる実質的な役割を持たせる。そのためには、博士後期課程の再構成が必要であろう。
- (4) 経営面だけでなく技術面に精通したトップ・マネジメントを担当できる人材の養成にも力を入れる。
- (5) 広く「価値の創造」に通じるコンセプトを提示し、生産システム学分野の若い技術者層を拡大する。

以上の方策を推進することにより、新たな学際的学問分野の体系化が進展し、革新的な生産システム及びその要素技術を持続的に発信できる体制が構築できると考えられる。



## 第5章 生産システム学の基盤的学術課題

前章までの議論を元に、重要課題を抽出し、追求すべき基盤的学術課題を議論する。

### 5.1 重要課題の抽出

第2章から第4章において、高付加価値化、地球環境の持続可能性、人材育成・社会連携、などの観点から具体的に分析し、重要な技術課題を議論した。その視点は、各々以下のようなものであった。

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| 第2章 | { | <ul style="list-style-type: none"><li>・高品質化の基盤</li><li>・高付加価値の基盤（価値創造）</li><li>・設計・製造の統合化</li><li>・情報環境の高度化</li></ul>          |
| 第3章 | { | <ul style="list-style-type: none"><li>・プロセス技術の拡大・統合（ライフサイクル）</li><li>・ライフサイクル管理</li><li>・ライフサイクル評価</li><li>・リスク管理</li></ul>    |
| 第4章 | { | <ul style="list-style-type: none"><li>・人にはできない高度製造プロセス</li><li>・人にしかできない高度処理</li><li>・技能から知識の体系化</li><li>・「智のバンク」の構築</li></ul> |

具体的な内容は各章に詳述されている。いずれの項目も重要な課題であり、従来からよく議論されているものである。これらを基に、次に述べるような我が国が目指す方向を定め、その実現に向けて、統合的な視点から基盤的学術課題として整理してみる。

### 5.2 日本の社会・産業に適合した次世代生産システムの特性

上記の技術課題を基に、我が国がおかれた状況に適合して我が国として発展させるべき、次世代生産システムの特性をまとめると、以下のようになる。

- ・ 高品質生産：グローバル化の流れの中で、伝統的な高品質のイメージを維持し、「ブランド」力の更なる強化を図る。
- ・ 競争力強化：競争力強化のためには、基盤技術分野について圧倒的な技術優位性を保つことは有効であり、コア技術の確立を図る。
- ・ 既存パラダイムの強化：伝統的な「統合的ものづくり力」を維持・強化し、それらの本質を体系化して情報技術により革新を図る。
- ・ 新たなパラダイムへの転換：発展しつつある循環型生産の概念を確立し、ライフサ

イクル産業へ向けて、製造業の構造改革を図る。

- ・ 人材育成：競争力の源泉は人材であり、製造業に精鋭人材を維持し、育成・活用できる仕組みを確立する。
- ・ 基盤知識の構造化：先端製造知識を体系化・可視化して、知識の構造化を図り、知財を基礎とする囲い込みや連携の仕組みを確立する。

### 5.3 基盤的学術課題

以上の分析により、生産システムとして目指す方向や、その実現のために重要な技術課題が明らかになってきた。これらの課題は多岐にわたり、生産システム学としてわかりやすい体系に整理されているとはいえない。次世代の生産システムに対応する次世代の生産システム学構築を目指して、上記の諸課題を改めて基礎学術課題として整理する。その本質は、個別の要素技術の単なる集積・統合ではなく、それらを活用して新しいものや仕組みを生み出すための方法論とその実装のための具体的な道具を開発する技術となる。このような方法論や技術は、往々にして抽象的となり、製造の現場から遊離したものになりがちである。しかし、真に基盤的な方法論は、個別の分野を横断・融合してそれらを統合する大きな力となる。製造の範囲が拡大され、多くの周辺分野と連携することが必要となる次世代生産システムにおいては、このような新しい生産システム学の体系が必須である。

#### (1) 情報技術を基礎とした生産システム技術の体系化

第2章で詳述されたように、情報技術の導入により、設計生産活動を支える様々な要素技術を支援する道具やシステムが開発されてきた。これらにより、要素技術を横断的に支える基盤的な知識が明示化され、設計生産活動を支える知識の構造化が進展した。このような情報技術による体系化を進めると、既存技術により十分に整理できる知識とできない知識が明らかになってくる。生産技術は不断に進歩するから、常に進歩を取り入れて知識や対応する道具を革新していく必要がある。逆に言えば、整理できる知識については、可能な限り体系化を進めて活動の自動化を目指し、新しい技術の開発に人知を集中することが肝要である。このような情報技術に基づいた生産システム技術の体系化についての基盤的技術課題は多い。

#### (2) 生産システムから見た環境対応課題の体系化

第3章で議論したように、環境に配慮した循環型生産を実現するためには、製品のライフサイクルを管理し、不要な環境負荷を発生させないシステムが重要である。このような製品のライフサイクルには多くの活動が含まれ、また他の製品や産業との連携も必要となる。対象となる製品のライフサイクルを包括的にモデル化し、合理的な

ライフサイクルの設計や運用・管理を実現できるようなモデリング技術は重要である。共通のモデリングの基盤に立って、資源・エネルギー消費、廃棄物発生、環境汚染などの様々な視点から、局所的にあるいは大局的に評価し、ライフサイクルを最適に構築する手法が求められている。他分野の学術とも連携して、生産システムについて環境配慮の観点から追求すべき基盤的技術課題は多い。

### (3) 人知の育成・活用・伝承の学術化

長年にわたり開発、蓄積されてきた生産技術には、多くの技能やノウハウが含まれ、人に依存して管理され、容易にはシステム化できない。また、対象とする範囲も不断に拡大する。さらに、第4章で議論したように、我が国には少子化と高齢化という大きな問題がある。我が国がおかれた状況を的確に把握しながら、対外的にも製造業の競争力を維持、強化していく基盤として、生産技術に関する人材や知的資産を効果的に管理し活用していくことが必要である。生産システム技術の体系化や環境課題への対応の基礎として、中核となる技術知識の構造化をはかり、大局的に活用していく仕組みについての課題は多い。

以上のような体系で、基盤的学術課題が明示化され、それらを解決するための研究が進めば、生産システム学の内容は再構成されると共に革新され、先進生産システム開発に密着してその競争力を基礎から支える新たな学問分野となることが期待される。一般に製品革新と生産革新に裏打ちされた先進生産システムは、無駄を徹底して排除した地球環境に配慮した生産システムでもある。地球環境の持続可能性を基礎として、無駄な生産を抑制し、生産されたものを使いきる、という生産システムの基礎概念の転換が重要である。これらの基礎学術に関する今後の研究開発に対する十分な理解と支援を期待するものである。

## 参考文献

- [1] 経済産業省：新産業創造戦略、2005.6.  
(<http://www.meti.go.jp/press/20050613003/3-sennryaku2005-set.pdf>).
- [2] 経済産業省・厚生労働省・文部科学省：ものづくり白書、2004年度版  
(<http://www.meti.go.jp/report/data/g40601bj.html>)
- [3] 日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会：人工物のライフサイクルデザイン(LCD)のために振興すべき基礎学術、日本学術会議、2000. (<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-17-t934-3.pdf>)
- [4] 日本学術会議人工物設計・生産研究連絡委員会生産システム学専門委員会：ライフサイクルデザイン(LCD)指標体系に基づく人工物設計・生産の評価指針- LCD戦略に向けた構造的評価方法 -、日本学術会議、2003.  
(<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-18-t995-49.pdf>)
- [5] 例えば、Aoe, T., Development of a Factor X (Eco-Efficiency) Tool - Study of How to Calculate "Product Function"-, Proceedings of EcoDesign2003. 2003, 644-649.
- [6] 高田祥三、製品ライフサイクルのシミュレーション、計測と制御、43-5, 2004, 395-400.
- [7] Seliger, G., Product Innovation-Industrial Approach, Annals of the CIRP, 50-1, 2001, 425-443.
- [8] Hamel, G. and Prahad, C.K., Competing for the Future, 1994, Harvard Business School Press, London.
- [9] 新野秀憲、橋詰等、八賀聡一：工作機械の製品開発方法論（工作機械メーカーにおけるコアコンピタンスの評価方法） 日本機械学会論文集（C編） 69-687, 2003, 3092-3099.
- [10] 新野秀憲、橋詰等、八賀聡一：工作機械産業の国際競争力分析（定量化SWOT分析の提案とその応用） 日本機械学会論文集（C編） 70-689, 2004, 307-314.
- [11] 日本工作機械工業会欧州産業機械戦略調査研究委員会（委員長 新野秀憲） 欧州における産業機械産業の先進的企業の世界戦略に関する調査研究報告書（平成14年度） 日本機械連合会・日本工作機械工業会、2003.