

(案)

報告

変化に対応する生産科学の振興と  
人材育成



平成26年（2014年）〇月〇日

日本学術会議

機械工学委員会

生産科学分科会

この報告は、日本学術会議機械工学委員会生産科学分科会の審議結果を取りまとめ、公表するものである。

### 日本学術会議機械工学委員会生産科学分科会

委員長	木村 文彦	(第三部会員)	法政大学理工学部・教授
副委員長	高田 祥三	(連携会員)	早稲田大学理工学術院・教授
幹事	新野 秀憲	(連携会員)	東京工業大学精密工学研究所長・教授
	藤本 隆宏	(第一部会員)	東京大学大学院経済学研究科・教授
	新井 民夫	(第三部会員)	芝浦工業大学教育イノベーション推進センター・教授
	有信 睦弘	(第三部会員)	東京大学・監事
	青山 藤詞郎	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部・学部長
	稲崎 一郎	(連携会員)	学校法人中部大学・学監
	岩渕 明	(連携会員)	岩手大学工学部・教授
	上田 完次	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所・特別顧問
	圓川 隆夫	(連携会員)	東京工業大学大学院社会理工学研究科・教授
	大富 浩一	(連携会員)	株式会社東芝研究開発センター・参事
	帯川 利之	(連携会員)	東京大学生産技術研究所・教授
	岸浪 建史	(連携会員)	室蘭工業大学・監事
	國井 秀子	(連携会員)	芝浦工業大学大学院工学マネジメント研究科・教授
	厨川 常元	(連携会員)	東北大学大学院医工学研究科・教授
	小林 敏雄	(連携会員)	一般財団法人日本自動車研究所・顧問
	清水 伸二	(連携会員)	上智大学・名誉教授
	須賀 唯知	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科・教授
	鈴木 宏正	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科・教授
	柘植 綾夫	(連携会員)	公益社団法人科学技術国際交流センター・会長
	中島 尚正	(連携会員)	学校法人海陽学園・校長
	古川 勇二	(連携会員)	職業能力開発総合大学校・校長
	前田 龍太郎	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター長
	森 和男	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所・名誉リサーチャー
	柳本 潤	(連携会員)	東京大学生産技術研究所・教授
	大和 裕幸	(連携会員)	東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務	盛田 謙二	参事官（審議第二担当）
	齋田 豊	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	冲山 清観	参事官（審議第二担当）付審議専門職（平成 26 年 6 月 30 日まで）
	菊地 隆一	参事官（審議第二担当）付審議専門職（平成 26 年 7 月 1 日から）
	熊谷 鷹佑	参事官（審議第二担当）付審議専門職付（平成 26 年 7 月 24 日から）

# 要 旨

## 1 作成の背景

生産は、天然資源や人的資源を活用して社会に有用な価値を生み出す技術的かつ経済的な活動であり、生活の質すなわち QOL (Quality of Life) の向上に貢献するとともに、地球環境の持続可能性に大きな影響を与えるものとして、近年益々その重要性が増している。

日本学術会議においては、生産科学に関する学術課題を継続的に審議し報告を発出してきた。これらの報告を踏まえて、第 22 期生産科学分科会では、現在の我々の社会が直面しているものづくりの構造変化を背景として、生産科学を構成する重要な分野である設計科学分野と経営科学分野を取り上げて課題の検討を進め、両分野に共通する特に重要な課題として認識された人材育成に関する施策について検討した。

## 2 現状及び問題点

現代のものづくりの構造変化として、次のようなことが議論されている。経済的な先進地域においては、ものづくりに対する社会的期待を顕在化させ、多様な利害関係者の関心を体系的に充足していくようなものづくり活動が必要とされている。一方で、発展途上地域においては、現状の生産技術のそのままの拡散は膨大なエネルギー・資源の消費を引き起こし、地球環境の持続可能性を損なう恐れが強いので、原理原則に立ち帰った資源生産性の向上が必須であるとされている。

本報告は、上記の構造変化に関する重要な学術課題を論じている。設計科学においては、ものづくり要求の潜在化や環境問題等に対応して、もの利用者になんか新たな生活の充実感を与えることのできるような、従来脆弱であった新しいものを創出するという設計本来の学術が強く求められるようになってきた。経営科学においては、変動する市場要求やグローバル化による環境変化等により生産活動が変化し様々な無駄が生じてきたこと等の状況に対して、新たな市場への対応や徹底した生産性の向上が求められるようになってきた。このような課題の審議を通じて、ものづくりの構造変化に対応できる人材育成が喫緊の共通課題として認識され、効果的な人材育成の施策を追求することが必要とされた。

## 3 報告の内容

### (1) ものづくりの構造変化と方向性

生産活動の構造変化や環境変化について、グローバル化と顧客価値観の変化を指摘した。これらは、競合製品との差別化が困難となる製品のコモディティ化や経済のサービス化を引き起こした。対応策として、ものづくりの 5 因子 QCDES (Quality, Cost, Delivery, Environment and Safety) の技術基盤を科学的視点でより強固にしておくことや顧客との共創的な価値創造の仕組みの必要性等を論じた。

### (2) 製品・システムの設計手法の体系化

物質的な豊かさの追求から生きがいや生活の喜びのような精神的な充足等の新しい価値観をめざすものづくりが始まった。また、ものを構成する要素技術は複合化、複雑

化し、設計科学の体系化は緊急に対応すべき課題となった。

これに対して近年は設計研究が盛んとなってきたが、人に依存する設計の実態の困難さから、設計研究と設計実務との乖離が認められるようになってきた。このような事態に対しては、大学研究機関と企業の設計現場との間で双方向の人材交流が極めて効果的であり、産学が密接に協働できる活動の拠点としてセンター設立等の施策が有効である。

設計手法の体系化として、目的および方法による実務的側面での設計手法の体系化と学術的側面での体系化との対応を論じたが、今後の一層の研究開発の努力が必要である。

また、設計手法が体系化されても、手法を駆使して設計を実行するのは人であり、設計手法をシラバス化し人材育成の体系を整えることが重要である。

### (3) 経営科学の視点からのものづくり

現状の大きな課題の一つとして、「コトづくり発想からのものづくり」の考え方があ  
る。製品供給側の視点を転換し顧客価値創造の視点を強化する必要がある。真に必要な  
機能や構造の実現に焦点をあて無駄をなくそうとする儉約工学(Frugal Engineering)等  
の新しい設計思想の導入も必要であり、さらに、その実践のためには、マーケティング  
と一体となった開発体制や部門横断型チーム等の企業文化の変革も重要である。

グローバルサプライチェーン競争力確保のための IT の利活用は重要であり、局所的  
な効率化を超えて競争優位を増加させるような積極的な IT 開発を強化する必要がある。

生産現場の圧倒的な生産性向上はまだ可能である。従来のボトムアップ的な改善手法  
のみならず、より体系的な手法の適用を考えるべきである。これらは、競争力強化のみ  
でなく、資源生産性を高め地球規模での社会経済の持続的発展可能性を担保するためにも  
必要不可欠である。

以上の指摘を実現するためには、共創的発想に基づき新たな価値創造を構想できるよ  
うなプロデューサー的人材の育成が不可欠である。企業と大学の協働による育成や初等中  
等教育からの試みも重要である。

### (4) ものづくり人材育成

生産科学の教育には、未だに定型的な教育体系やカリキュラムが存在しない。生産科  
学は、領域横断的な学術であり、適切な教育体制を継続的に検討・運用する仕組みを整  
えることが望まれる。具体的な試行を繰り返し、人材育成を実践していくことが重要で  
あり、社会との連携を組み込んだカリキュラムが必須である。実務との乖離を防ぐため  
に、教育研究機関と企業現場との間で、双方向の人材交流は重要である。これは、生産  
科学の発展にとっても極めて重要で、そのための組織的な仕組みを整備する必要がある。

我が国の大学院博士課程進学者の比率は少なく、博士学位取得後に企業に就職する者  
も少ない。生産科学においてもこの傾向は顕著であり、将来の産業競争力に大きく影響  
することが懸念され、産学の緊密な連携の仕組みを考える必要がある。初等中等教育に  
おける理数系離れやものづくり離れに対応して、現物の感覚や感動を伝えられるような、  
産官学による一体的な取り組みが期待される。技術伝承や高齢化対策等の製造現場に  
おける実務的な取り組みにおいても、従来の経験・実務を基礎とした教育手法の限界  
を議論し、生産科学に基礎を置く育成体系の革新を推進することは重要である。

## 目 次

1	はじめに	1
2	ものづくりの構造変化と方向性	3
	(1) グローバル化と顧客価値観の変化	3
	(2) 競争力強化の方向性	4
3	製品・システムの設計手法の体系化	4
	(1) 設計を取り巻く環境の変化	4
	(2) 設計の実務と学術の乖離	5
	(3) 設計手法の体系化	6
	(4) ものづくりの源泉としてのひとつづくりと設計手法のシラバス化	7
4	経営科学の視点からのものづくり	8
	(1) 経営科学の視点からの現状の深層理解	8
	(2) コトづくり発想からのものづくりへ	9
	(3) グローバルサプライチェーン競争力確保のための IT の利活用と開発	10
	(4) 国内生産現場の圧倒的な生産性向上を	11
	(5) 人材育成と経営者	12
5	ものづくり人材育成	12
	(1) 人材育成の課題	12
	(2) ものづくりに求められる人材像	14
	(3) 人材育成の施策	15
6	まとめ	18
	<参考文献>	21
	<参考資料>機械工学委員会生産科学分科会審議経過	23

## 1 はじめに

本報告は、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および機械工学委員会生産科学分科会における過去の審議の結果[1]～[5]を踏まえつつ、社会における生産活動の構造変化や環境変化を考察し、生産科学分野で重要と考えられる課題と対応策を設計科学分野と経営科学分野に絞り込んで指摘し、それらに対応できる人材の育成について横断的に議論し望まれる施策をまとめたものである。

生産は、天然資源や人的資源を活用して社会に有用な価値を生み出す技術的かつ経済的な活動であり、各国の人々の精神面を含む人生の様々な内容の質を高める観点から QOL (Quality of Life) の向上に貢献するとともに、地球環境の持続可能性に大きな影響を与えるものとして、近年益々その重要性が増している。その基盤となる学術としての生産科学は、認識科学に対する広義の設計科学に含まれる学術であり、「社会のための科学」の実践、またその基礎としての「知の統合」にとっても、中枢をなす基幹的な学術領域である。学術的な位置付けや関連について、日本学術会議報告『知の統合－社会のための科学に向けて－』[6]において、次のように言及されている：

「「あるもの」や「存在」を探究する認識科学と「あるべきもの」や「当為」を探究する設計科学の間の連携の促進が、「社会のための科学」にとって重要である。すなわち、認識科学によって導出された知が、設計科学による人工物や制度・方策等の案出をへて社会化されることに加えて、このような連携が新たな知を生む場合が少なくないからである。」

しかし、長い間の関連研究や製造業における技術開発にもかかわらず、生産科学は、いまだに明確な学術領域および体系を構成するには至っていない。生産科学は、「総合」を旨とする視点から、関連する学術分野を包含する極めて広い範囲を意味している。そのため、高度な製造技術や大規模システム構築のように、社会的なニーズに応じて経験知・暗黙知として実践的な知識が集積されてきた分野も多く、十分な学術的解明がなされていない。認識科学における画期的な基礎学術も、実際の生産活動に適用されるためには、実用化への多くの障壁、いわゆる「死の谷」を乗り越える必要があり、学術化の手法が十分に確立されているとは言えない。

生産科学について、一般に共通の理解は存在するが、明確な定義はなされていない。本報告では、生産科学が対象とする領域を、以下に引用する日本学術会議報告『21世紀ものづくり科学のあり方について』[4]に規定する「ものづくり科学」と同義に考えることとする。

「ものづくり」：

人間社会の利便性向上を目的に人工的に「もの」（形のある物体および形のないソフトウェアとの結合を含む）を発想・設計・製造・使用・廃棄・回収・再利用する一連のプロセスおよびその組織的活動であり、結果が社会経済的価値の増加に寄与できるとともに、人間・自然環境に及ぼす影響を最小化できること。

「ものづくり科学」：

## ものづくりに関わる科学の総称

日本学術会議においては、過去 15 年間にわたって、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および機械工学委員会生産科学分科会において、生産システム学および生産科学に関する学術課題を審議し、報告を発出してきた[1]～[5]。

1970 年代から 2000 年代にかけて、基礎的な科学技術の発展とりわけ情報処理技術の普及により、設計生産技術は急激な発展を遂げた。欧米を中心とする先進国を迫って日本は世界で最先端の工業生産国となり、アジアにおける発展途上国も量産技術を拠り所として工業生産に参入してきた。工業生産は大規模化し、新興国市場が急激に拡大して、エネルギー・資源消費が急増し、地球環境の持続可能性が大きな問題となってきた。一方、先進国市場での市場飽和や技術的な停滞感が顕在化し、新興国市場では普及へ向けたコスト競争が激化していった。

このような状況を背景として、環境配慮へ向けたライフサイクルデザインの基礎学術について先行的な検討を行い[1]、実践へ向けた評価指標の審議も行った[2]。その後の研究開発の進展を基に、従来の生産パラダイムを転換する資源循環型ものづくりについて学術指針をまとめた[5]。並行して、生産関連学術の体系化の遅れが、この分野の重要性の認知度を低下させ、研究開発や人材育成に支障をきたしていることを懸念して、基盤的学術課題の審議を進め[3]、ものづくり科学のあり方について報告した[4]。

これらの報告を踏まえて、第 22 期生産科学分科会では、現在の我々の社会が直面しているものづくりの構造変化を背景として、社会のための科学としてのなすべき方向性を審議し、以下に述べるように、生産科学を構成する重要な分野として設計科学分野と経営科学分野を取り上げて課題の検討を進めることとした。ここでの設計科学は、認識科学に対する設計科学ではなく、製品やシステムの設計を対象とする狭義の設計科学を意味する。経営科学についても、生産科学に含まれる範囲で考える。更に、分科会での審議を通じて両分野に共通する特に重要な課題として指摘された人材育成に関する施策について検討した。

生産活動について、技術開発により人々の希望を満たす製品を次々と供給して QOL を高めてきた時代を経て、ものづくりの構造変化として、次のようなことが議論されている。

- 1) 経済的な先進地域においては、潜在する社会的期待を顕在化させ、多様な利害関係者の関心を系統的に充足していくようなものづくり活動が必要とされている。” Do things right” の十分な技術基盤に則り、” Do the right thing” を目指す総合科学としての生産科学への強い期待がある。
- 2) 発展途上地域においては、今後数十年にわたり QOL の向上を目指して工業製品が急速に普及していくと考えられるが、現状のままの生産技術の拡散は膨大なエネルギー・資源の消費を引き起こし、地球環境の持続可能性を損なう恐れが強い。原理原則に立ち帰った資源生産性の向上が必須であり、そのための生産科学への期待は大きい。

地球人類の QOL 向上と地球環境の持続可能性向上の両面から、長期的に生産科学の貢献が期待されている。上記のような構造変化は、今日我が国が直面する日本製造業の競争力を損なう短中期の課題としても捉えられている。依然として極めて競争力の高い生産技術



を基礎としながらも、それに甘んずることなく、潜在需要を掘り起こす新製品開発、グローバル化に対応する徹底した生産性向上、優れた環境対応技術のグローバル適応等のような環境変化への対応策が求められている[7]。

本報告では、上記の構造変化に関する分科会での議論を基に、設計科学と経営科学について、次のような課題を取り上げ、対応する施策をまとめた。

- ・設計科学：設計活動は、実務的な体験により支えられた技術・技能として発展し、学術としての体系化の困難さが指摘されてきた。ものづくり要求の潜在化や環境問題等に対応して、もの利用者に新たな生活の充実感を与えることのできるような、従来脆弱であった新しいものを創出するという設計本来の学術分野の構築が強く求められるようになってきた。

- ・経営科学：潜在化する市場要求やグローバル化による環境変化等により、生産活動が変化し様々な無駄が潜むこととなった。イノベーションの課題として新たな市場環境への対応や徹底した生産性の向上が求められるようになってきた。

上記の課題の審議を通じて、共通する課題として、次のような人材育成の課題の重要性が改めて認識された。

- ・人材育成：設計科学および経営科学は、新たな製品やそれを創り出す仕組みを対象とする学術であり、認識科学に対応して基礎学術としての体系化の努力がなされているが、迅速な体系化は困難である。一方、ものづくりの構造変化に対応して人材育成が喫緊の課題となってきた。学術基盤に立脚した適正な人材育成は重要であるが、生産活動は実践的な活動であり、学術基盤の確立を待つことなく、効果的な人材育成の施策を追求することも必要である。

生産科学分科会における以上の審議を基に、本報告第2章ではものづくりの構造変化と将来の方向を論ずる。第3章では設計科学、第4章では経営科学の視点から、各々対応する課題と施策を論じ、第5章では共通する課題として人材育成について論じている。第6章に、生産科学の振興と人材育成に関する施策のまとめを記述する。

## 2 ものづくりの構造変化と方向性

### (1) グローバル化と顧客価値観の変化

近年、ものづくり拠点は、低コスト国に加えて需要が拡大している新興国へ移転し、急速なグローバル化が進んでいる。その結果、製品の低価格化や標準化が達成され、普及が益々進み、競合製品との差別化が困難になるといういわゆるコモディティ化（製品価値ではなくプライスベースで売られる製品）が進んでいる。今後、新興国の技術レベルも急速に向上していることから、我が国のものづくり産業は中長期視点でグローバル競争力の低下が否めない状況に置かれている。

一方、我が国をはじめとする先進工業国の国内市場に目を向けると、経済社会における第3次産業への移行、すなわち経済のサービス化が一段と高まり、高品質、高性能だ

けでは利益獲得が困難な状況が顕著になってきた。従来、ものづくりは調達、開発、製造、販売、サービスという一連の活動の中で価値を創造し蓄積していくものと考えられてきた。つまり、価値を生み出すのは企業であり、顧客は企業が生み出した価値を消費するという顧客へ向かう一方向的で分業的な価値創造を基本とするバリューチェーンやサプライチェーンの考え方が中心であった。しかし、サービス産業の進展により、企業の価値提供に占める「もの」そのものの割合が減り続け、時代に合ったサービスとは何かをも考えた出口指向の「コトづくり」の必要性が声高に叫ばれてきている。しかし、サービスの最大の受け手である個人顧客のニーズは近年益々多様化、潜在化し、これが様々なサービスを含む「コトづくり」への対応を複雑化、困難化させる大きな要因ともなっている。

## (2) 競争力強化の方向性

今後、ものづくりを維持、強化していくためには、グローバル化という空間的な拡大と、サービス化という極めて個人依存で暗黙知的な領域へとその活動の転換を図っていかなければならない[7、8]。

まずグローバル化を眺めてみると、新興国を中心に市場規模はさらに拡大していくことが予想される。そうした地域では、引き続き高性能で安価な大量生産製品が大きな利益獲得を担っていくと考えられ、技術力が向上した現地企業等に対して差別化し利益を獲得していくには、我が国の製造産業が強みとする製品の品質、コスト、市場投入、環境、安全というものづくりの5因子 QCDES (Quality, Cost, Delivery, Environment and Safety)を一層高度化していくことが求められる。そのためには、ものづくりの原理原則に遡って QCDES の技術基盤をより科学的視点で突き詰めていくことが重要であろう。またこのことは、イノベーションを持続的に推進していくための技術的原動力にもなりうる。

サービス化を指向するものづくりを実現していくためには、顧客へのサービスを内包させて提供するための媒介や手段として製品を位置付けるとともに、イノベーション創出の原点を顧客と共に考え、顧客ニーズを的確にとらえて製品へ反映できる新たな仕組みづくりを求めていくことが重要になってくる。つまり、顧客との相互作用を通じ、顧客が消費プロセスで獲得した価値を高めることによって利益を獲得するという、ものづくり企業と顧客が協調して創る共創関係の必要性を示唆するものである[9]。

本報告では、上述のようなものづくりの課題と方向性を踏まえ、市場や顧客とより密接な関係のある設計や経営というものづくりの上流プロセスを中心として、これからのものづくりに対する分析と課題抽出を行う。

## 3 製品・システムの設計手法の体系化

### (1) 設計を取り巻く環境の変化

ものづくりにおいて設計と生産は車の前後輪である。設計はものづくりの方向を決める前輪であり、生産はものづくりを加速する後輪ともいえる。ものづくりの規模が小さく、複雑でなかった時代は設計と生産は一体となり、いわゆるものづくりが行われていた。このような時代においてはものづくりを行う技術者の能力がものづくりの良否に大きく影響していた。その後、大量生産技術の向上により人の生活を豊かにする人工物が世の中に充足してくるとともにものづくりの研究や技術も飛躍的に向上した。この時期において、特に日本の生産技術は世界をリードしていた。また、設計においても日本発のオリジナル製品が創出された。1950年代から1980年代まではこのような人工物が世界の人類の生活を物質的に豊かにした時代と言える。

1990年代以降は人工物の充足とともに環境問題も加わり、ものづくりは新たな局面を迎える。物質的に充足した状態で精神的な充足を目的としたものづくりが始まった。すなわち生活が物質的に充足し豊かになり、利用者がさらに購入したいものがなくなってきた。新たな生活の充実感、生きがいや生活の喜びのような精神的な充足を満たせるものづくりが利用者から求められるようになった。これにはインターネットに代表されるIT技術の進化も連動している。また、製品の形態も1980年代まではメカ（機械）を中心とした人工物が主体であったが、1990年代以降は最終形態としてはメカであるが実態はメカという衣装をまとったメカエレキソフト（機械、電気、制御、ファームウェア）融合製品が主体となった。これにともないものづくりも大きく変化し、これに追従できない企業は衰退する一方で、設計研究においても多様化が進んでいる。このような背景のもとで、大量生産技術に基軸を置いた日本のものづくりは相対的に弱体化の兆候を示すようになった。

このように、今後のものづくりを考える上では、従来のもの（ハード）、コト（コンテンツとしてのソフト）、メカ（機械）、エレキ（電気）、ソフト（制御、ファームウェア）といった個別の要素で考えるのではなく、これらを包括的に捉えたものづくりともものづくりを具体化する設計手法についての科学・技術が重要となり、設計科学の体系化が急務となってきた。

## (2) 設計の実務と学術の乖離

設計に関する学術としては、設計行為の解明を目指す設計学や具体的な設計手法を対象とする設計工学があるが、本報告ではこれらを総称して設計科学と考える。

設計工学の歴史は浅く、世界的には1980年頃から、日本では1990年に日本機械学会に設計工学・システム部門が設立されてから、学術活動が本格化した。一方、設計を含むものづくり自体はそれ以前にも存在しているわけであり、設計は実務が先行し、これを科学とすることを目的とした学術領域の構築が追って始まったといってもよい。従って、設計研究の当初は実務と学術は表裏一体で行われていた。

しかしながら、設計研究の進捗とともに設計を形式知化することの困難さが表面化した。情報処理の分野でも設計情報の処理は先端的な課題となっている。これは設計に関する多くの情報が人の知識、経験のような暗黙知で構成されており、形式知化が可能な

ものはその一部に過ぎないことから明らかである。これはドイツのマイスター制度や日本の徒弟制度を見ても理解できる。しかしながら、ものづくりの複雑化、国際化の中で人間を中心とした（摺り合わせ的な）ものづくりだけでは限界があることも事実である。

設計の学術化について、一般設計学や設計公理のように設計をものづくりの上位の概念として捉える考え方が設計学の基礎研究に存在し、これらが起点となって設計研究は発展してきた。しかしながら、設計学の理念と実務的な設計手法との差異は大きく、設計学の基礎研究は次第に実務とは必ずしも一致せず、形式化を追求する方向に進んでいった。一方で、実務の立場からの設計手法の研究も進展し、欧米においては、実務（企業）と学術（大学）が国の支援の下で密に連携して産学が集うセンターが組織され、実務と学術の乖離を埋めようとしている例も多くみられる。設計、また一般にものづくりの分野において、実務と学術に依然として乖離があることは否めないが、この乖離を埋めるためには、設計科学の体系化を目指して産学の知を結集することが重要であり、産学が密接に協働できる活動の拠点としてのセンター設立等の具体的施策が緊急に必要な時期にある。

### (3) 設計手法の体系化

ものづくりにおいて、設計科学、特に具体的な設計手法の体系化が重要なことは上に述べたとおりである。今まで暗黙的に実施されていたものづくりのプロセスを設計手法の体系化により可視化することにより、今後の日本のものづくりの進むべき道がおのずから見えてくると考えられる。

設計手法を体系化するに当たって、目的と方法（手段）の二つの視点から捉えてみる。

#### ① 目的による体系化（分類）

##### ア 早く安く良い製品・システムを実現する設計

期間、コスト、性能等の客観的に定量化が可能な指標を設計対象とする。エコ（環境性能）もこれに相当する。期間、コスト、性能、エコ、等の大幅な改善にはイノベーションを必要とする。

##### イ リスクの少ない安心安全製品・システムを実現する設計

リスクと言うネガティブ指標を対象とするため、従来、特に日本では取組みが遅れている。安心指標、安全指標といったポジティブ指標に置き換えることも重要である。客観的な定量化は容易ではないので、様々な仮定等その前提条件を明確にする必要がある。

##### ウ 人の琴線に触れるあるいは人に感動を与える製品・システムを実現する設計

最終的には顧客の嗜好に大きく左右される。客観的な指標化が困難ではあるが今後のものづくりには避けては通れない。多くのサービスもこれに相当する。価値の設計と捉えることもできる。

## ② 方法（手段）による体系化（分類）

### ア 製品・システム中心設計

主に機械工学を基盤としているもので、製品・システムの定義、表現、モデリング(CAD)、解析(CAE)、最適化、可視化、様々な実用的設計手法(QFD: Quality Function Deployment, FMEA: Failure Mode and Effect Analysis, DSM: Design Structure Matrix 等)、システムズエンジニアリング等が基礎となる。

### イ 人間中心設計

機械工学に加えて総合工学の視点が重要であり、感性情報の定量化のような顧客の嗜好の可視化、ものづくりを産む組織論、人間に起因するリスクの発生確率評価等のより広い学術を必要とする。

### ウ イノベーションのための設計

イノベーションの定義と方法、認識科学と設計科学の融合としての設計教育等、今後の対応が必要な分野である。

目的と方法（手段）は縦糸と横糸となり、ものづくり、あるいは設計と言う織物を構成する。設計に関するすべての事項はこのどこかに位置する。上記の体系化を行うに際して、目的による体系化としてのものづくり事例、および方法による体系化としての研究事例の調査を行うことが重要である。設計研究の体系化は実務と学術の連携によってのみもたらされる。

一方、上記は実務的側面での設計手法の体系化である。これとは別に学術的側面での設計手法の体系化も必要である。設計のあるべき姿を描き、これに必要となる専門領域を包括的かつ理論的に構成するとともに設計の基盤となる共通基盤（機械工学等のいわゆる領域的な工学や共通的な基礎工学）との関係性にも言及する。学術的側面での設計手法の体系化と実務的側面での設計手法の体系化は、図1に示すように相互に投影関係にある。

## (4) ものづくりの源泉としてのひとつづくりと設計手法のシラバス化

ものづくりを実際に実行するのは人である。設計手法の体系化はものづくり手法の「工具箱」であり、これを動かすのは人であり、この人を育成することがひとつづくりである。従って、ものづくりとひとつづくりは連動している必要がある。設計手法の体系化をひとつづくりに展開することが設計手法のシラバス化である。ひとつづくりのための設計手法のシラバス化においては、狭義の設計科学だけでなく、この基盤を構成する学問体系、例えば、機械工学分野においては主要4力学（熱力学、機械力学、流体力学、材料力学）のものづくりの視点での教育等も含めることが重要である。

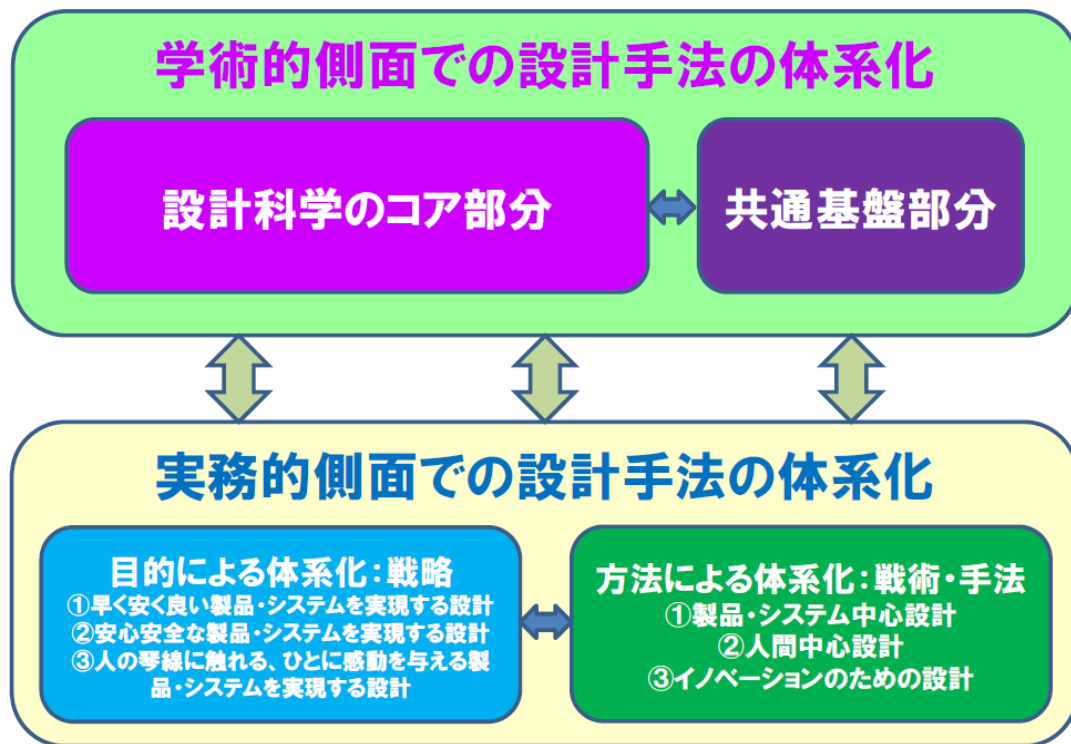


図1 設計研究における学術と実務の連携

#### 4 経営科学の視点からのものづくり

##### (1) 経営科学の視点からの現状の深層理解

現在のものづくり企業の実情を示す資料として、経済産業省委託調査『我が国企業の研究開発投資効率に係るオープン・イノベーションの定量的評価等に関する調査』[10]がある。同調査によれば我が国が2005年を境として人口減に突入したことも反映して、国内では激しい競争下で低価格競争による収益圧迫の一方で、新興国市場の台頭によるグローバル競争の激化の中で、新たな事業形態を計画するビジネスモデル構築や戦略立案の苦手意識が問題視されている。加えて、グローバル化に向けた研究開発等の対応では、現地ニーズの把握・情報収集面での欧米企業に比べての遅れや、新興国向け製品の機能過剰によるコスト高の問題、さらにこれらの環境に対応する人材の不足が指摘されている。

ものづくり白書2013年版[7]では、我が国ものづくり産業復活の方向性の第1として、顧客や社会のニーズと直接つながるものづくりが謳われている。これは後述の顧客価値やコトづくりの発想の強化であり、また価値を生み出す活動の連鎖であるバリューチェーンの中での日本企業による販売やアフターサービス強化が述べられている。同時に現在のグローバル競争下で不可欠なIT投資において、日本企業が顧客満足度向上等の「攻めのIT投資」の視点が米国企業に比べて弱い。一方で国内に残された中核的生産拠点、いわゆるマザー工場としての役割、特に中小企業では幅広い国内外の市場ニーズに応え

る拠点としての再強化も、復活のためのシナリオとして述べられている。

このような現在直面している現状や方向性を経営科学の視点から理解するには、それらの深層にある価値創成アプローチまで遡る必要がある。ものづくりの問題解決や発見のアプローチには、決定論的設計から創造的シンセシスまでの3つのクラスがある[11]。クラスⅠは、目的および環境に関する情報が完全であり、最適解の探索が中心課題となる。クラスⅡは、目的に関する情報が完全であるのに対して、環境に関する情報が未知あるいは変動する状況で、適応的解の探索が中心課題となる。今や世界語化した適応的な組織改善活動である KAIZEN や必要なものを必要な時に必要な量だけ生産する Just In Time (JIT) 等のアプローチは、我が国のものづくりの競争力強化をもたらしたものである。クラスⅢは、目的および環境に関する情報がいずれも不完全であり、目的の確定と解の探索を組み合わせる処理せざるを得ない、いわゆる共創的（オープン）解探索が中心課題となる。

現在の我が国ものづくり、あるいはものづくり経営の閉塞状況は、高品質や Just In Time といった目標のもとでの、KAIZEN に代表されるクラスⅡによるアプローチの成功体験が原因ではなかろうか。キャッチアップ時代に適していた現場コスト主義は、国際競争が激化している時代には有効ではない。価値や文化の異なる世界の市場の台頭により競争の根源である顧客価値拡大に向けた価値共創戦略（クラスⅢ）の実践力を強化することが不可欠である。また国境を超えた流通を扱うグローバルサプライチェーンにおいて攻めの IT 投資を有効にするためにはまず標準化が不可欠であり、その上で機能・費用の最大化のための最適化戦略（クラスⅠ）を徹底する必要がある。さらに、これらの能力を強化することで、本来日本企業の強みであるクラスⅡの KAIZEN 能力も再び活かされ、今後も国内に立地することを正当化する圧倒的な生産性革新の道を可能にするものである。

以下、依然強みをもつクラスⅡを活かすためにも、クラスⅢへの対応としてのコトづくりからのものづくりの視点への転換、そして現在のグローバル競争力の基盤を支える IT の利活用を強化するためのクラスⅠへの対応、再びクラスⅡを強みとする国内での圧倒的生産性向上を図る方策について述べる。

## (2) コトづくり発想からのものづくりへ

新興国の中間所得層であるボリュームゾーンへの対応の遅れやガラパゴス化を招いた原因として、欧米市場向けの高品質・高信頼性製品による卓越したクラスⅡのアプローチの成功体験が挙げられる。すなわち、既存製品に捉われ新規製品創出の対応に遅れを生じるといわれるイノベーションのジレンマ[12]が作用したと解釈できる。本来ものづくりは、顧客に向かう「設計情報の流れ」であり、これをうまく機能させるためには、逆に顧客の潜在ニーズを発掘し設計情報創造時点にフィードバックさせられるかが鍵となる。しかしながら、顧客の潜在ニーズを引き出すことは容易ではなく、国内の市場であっても見えなくなっている。ましてや文化を含めた異なる制度や価値をもつ市場のニーズを探りあてるためには、原点に戻ったクラスⅢに基づく「製品を使って顧客

が経験する過程に着眼した顧客との価値共創」の発想が求められる。

これは最近言われているコトづくりとも言える。例えば、経済同友会による「顧客が本当に求めている商品は何か、その商品を使ってやってみたいことは何か」を、そのマーケットに生活基盤を置き現地の人と共に感性を働かせて考えることで、真に求められている顧客価値を提供すること、さらに顧客以上に考え抜くことで、顧客の思いもしないようなプラスアルファの喜びや感動をつくりあげること。」という定義がある[13, 14]。製品の供給側からの高品質を目指した視点から、その強みを生かすためにもマーケット視点からのモノ・サービス・ビジネスモデルまで含めた顧客価値創造の視点への転換である。

具体的方法論としては、コトすなわち顧客のアクティビティ(行動)の価値を高めるアクティビティ設計、あるいはアクティビティを通した「ワクワク感」(ユーザーエクスペリエンス)やポジティブなアフェクティブさ(好ましい情緒)を生起させる感情経験設計等がある。同時に顧客に新たなライフスタイルを喚起させ、定着させるようなエコシステム形成・継承を企図することも肝要である。iPOD, iPhone, iPad と続くアップル社の製品群はその好例である。そして何よりそのような価値提供ストーリーを構築できるような人材をプロデューサー的人材と呼ぶことにすればそのような人材育成と、同時に販売やマーケティングの強化、そして製品開発におけるものづくりとの一層の連携が求められる。

さらに新しい設計思想も必要であり、その例が新興国でのイノベーションが先進国に還流するリバースイノベーション[15]でも知られる儉約工学(Frugal Engineering)である。安価な製品設計のために単なる品質や機能を犠牲にした低コスト概念ではなく、徹底してニーズを把握した上で、最初に「必要のない」(非本質的)機能やコストを排除した上で既存製品とは異なる特性を採用し、市場の望む部分にはむしろ高品質を提供する。そのためには、トップの関与、新たなサプライチェーン(素材・部品供給活動の連鎖)、部門横断型チームによる研究開発体制が求められ、これらを達成するためには企業文化の変革がなくてはならない。上述のプロデューサー的人材の確保とともに、企業トップの役割が益々重要となる。

### (3) グローバルサプライチェーン競争力確保のための IT の利活用と開発

現在のものづくりの競争優位には、IT の潜在能力を活かした利活用が欠かせない。日本の IT は現場に適合させるカスタマイズをし過ぎて高コストであることが指摘されている。標準化への対応不足から、サプライチェーンの可視化が出来ておらず、大震災でもそのために代替困難性を経験し、事業継続計画である BCP (Business Continuity Planning) 等のリスク分散の観点からも問題になっている。本来、可視化は、クラス II を得意としていた日本企業の工場内における 5S (整理、整頓、清掃、清潔、躰) や「目で見える管理」を源泉とするのに、IT を武器とした広い範囲やサプライチェーンの可視化には無頓着で、そのベースであるクラス I の標準化が出来ていないために陥った問題である。



今やグローバル競争では、従来の業務コストやプロセスの効率化といった「守りの IT 投資」から、顧客満足度の向上、競争優位の増加、新規ビジネス・製品の開発といった「攻めの IT 投資」にシフトしている。日本企業はこの面で著しく特に米国や韓国企業に遅れをとっている。その例が、世界で勝つための S&OP (Sales and Operation Planning) と呼ばれるグローバルサプライチェーンの基幹システムの導入遅れであり、スピーディな経営の意思決定が出来ていない。このような IT の利活用や開発に関する弱点を強化するためには、まずクラス I の発想を強化すべきである。

また、組込ソフトウェア開発の生産性に関しても同様なことが言えよう。例えば、SPLE (Software Product Line Engineering) と呼ばれる全体最適を図る開発手法では、上流工程での要求工学や標準化を含めた総合的取り組みが重要であり、日本人があまり得意としなかったところである。より付加価値の高い何をつくるべきか決まっていない顧客との共創が要求されるアジャイル開発 (迅速かつ適応的にソフトウェア開発を行う開発手法群の総称) では、素早く組織を回せるアプローチを強化する必要がある。

このように全体最適の IT ツールの開発そしてそれ有効に利活用するためには、トータルビジョンをつくりそれを実施して行くための組織構造と、それをマネジメントする権限と実力を備えたクラス III 型人材 (CEO、またはそれに近いポジション) を育成する必要がある。加えて、日本には IT 開発や教育についての国としての戦略が弱いのに対して、例えば、ドイツの Fraunhofer 研究所では、現実の問題を取り込みながら研究を進めている。総じて我が国ソフトウェア産業の生産性の低さが指摘されているところであり、この点も踏まえた研究開発、教育、産業がうまく連携するという仕組みや、特に大学における体系的な IT 教育を推進するための国家戦略が必要である。

#### (4) 国内生産現場の圧倒的な生産性向上を

地産地消あるいは多産多消のビジネスモデルあるいは BCP の観点から海外生産が加速されている一方、グローバル企業の国内拠点においては、マザー工場としての役割に加えて、現在でも強みをもつ KAIZEN を更に追求していけばこれからも国内拠点でも競争力を十分維持できるという主張がある。これは、国内においても加工時間を中心に価値を生んでいる時間 (ファンクションタイム) はごく一部であることから、お家芸のクラス II の能力を最大限発揮しこれを追求すれば、日本のものづくりは競争力を維持し十分国内に残れる、というものである。

しかしながら、主として生産現場の経営管理を対象とするこれまでの IE (Industrial Engineering) 的な、作業員中心のボトムアップな改善の着眼や手法だけでは限界があり、クラス II の問題解決における目的、目標を明確にするファンクションタイム追求のアプローチを体系化する必要があるだろう。例えば、ものづくりのクラス I の立場からの最適化アプローチであるファクトリーフィジクス (Factory Physics) [5, 16] は、生産における故障等の様々な変動に対応し生産時間や在庫の変化等を理論的に解析しようとするもので、その理論を用いれば、設備、ラインレベルでのファンクションタイムに対する現状の記述と客観的 (科学的) 目標水準の設定が理論的に可能になる。例えば、正

味の加工時間が 10 分でも、プロセス変動（故障、段取、不良等）があるとリードタイムは 30 倍、40 倍になるメカニズムを評価でき、改善の達成可能な目標を科学的に示すことができる。

同時に、日本にしか実現できないクラスⅡの強みに立脚した摺り合わせ技術や、環境や安全・安心のための先端技術開発をさらに強化し、更なる優位性を将来に向けて確保することが求められる。さらにこのような圧倒的な生産性向上やコスト削減の実現は、我が国の競争力強化というだけでなく、地球規模の社会経済の持続的発展可能性を担保するためにも必要不可欠なことであろう。

## (5) 人材育成と経営者

以上のような論点を実現させるためには、クラスⅢの問題をこなせ、その上でクラスⅠ、そしてクラスⅡのアプローチを引き出すプロデューサー的人材の育成が何より求められる。そしてそのような人材が能力を発揮できるような場、すなわち企業文化も同時に求められる。そのためにも顧客との共創的な発想や自由闊達さに価値を置く経営や国境を跨る国際的なサプライチェーンで競争優位を確保するための標準化や最適化の視点を、企業トップがまず受入れ実践することが肝要である。

具体的な共創的発想をリードし実践できる人材育成には、企業と大学とのコラボレーションも重要であり、その方法論としてまず基本的な定石である「型」を学ばせ、実践を通じて活用する能力のレベルアップを図るべきである、という議論がある。現在、経営学修士 MBA (Master of Business Administration) やイノベーション創出を担う技術経営 MOT (Management of Technology) の教育に加えて、博士課程学生の共創的能力を涵養すべくリーディング大学院のプロジェクトの取り組みがある。しかしながらこれらの成果はまだ必ずしも出ているとは言えず引き続き検証をして行く必要がある。また初等中等教育段階から優れた素質をもつ児童生徒を発掘し、その才能を伸ばす文部科学省スーパーサイエンス支援事業も始まっているが、今一度、小学校教育まで遡り、我が国ものづくりの競争力を再興するための人材育成のあり方、方法論を早急に国家戦略としてさらに強化する必要がある。

## 5 ものづくり人材育成

### (1) 人材育成の課題

第 2 章で述べたような産業構造変化、社会要求の変化、グローバル化、社会構造変化等に対応して、第 3 章および第 4 章において、人材構成の不適合、人材の劣化・不足、人材育成の課題が指摘されている。本章では、主に我が国製造業の視点から人材育成の課題を考える。

ものづくり分野人材について、以下のような現象が顕著であると言われている。

- ・ 経験による育成であり、学術による育成ではなかった。

- ・製造業における競争激化により実務現場での時間やコストをかけた人材育成が困難となった。
- ・新規人材の育成に必要な知識の継承に課題がある。
- ・ものづくり離れにより人材の新規参入が減少している。
- ・初等中等教育における理数系離れやものづくり離れが高等教育における人材不足に影響している。
- ・実務、教育、学術の乖離が顕著になってきている。
- ・産業界における高度人材に対する需要・要求が潜在しており、顕在化していない。
- ・産業界で活躍する博士人材が極めて少ない。

ものづくり分野において、以下のようにグローバル化による影響は大きく、特に我が国においては対策が必要である。

- ・発展途上地域においては、優秀な人材がものづくり分野に参入している。
- ・欧米の体系的な教育のアプローチには学ぶべき点が多い。

上記のような現象に対応して、科学・技術分野を担う人材育成の現状と問題点の分析、対応する施策等については、すでに繰り返し議論されており、多くの報告書が発行されている。日本学術会議提言『科学・技術を担う将来世代の育成方策～教育と科学・技術イノベーションの一体的振興のすすめ～』[17]は、広範な問題認識の元に極めて具体的に有効な方策を提示している。次のような分類の元に包括的に課題を論じている。

- ・科学・技術イノベーション人材（科学・技術に基づき新たな価値創造を担う人材）
- ・科学・技術活用人材（科学・技術の活用について適切に決定を下せる人材）

より広く、グローバル化に対応するグローバル人材育成については、「グローバル人材育成推進会議」による報告[18]が出されており、主に次のような項目について対応能力の育成が議論されている。

- ・社会人基礎能力、コミュニケーション能力、異文化理解

一般的な人材力強化について、日本経済団体連合会の報告書[19]が、次のような人材を取り上げて議論している。

- ・高度な理工系人材
- ・グローバルに活躍できる人材
- ・新しいビジネスモデルを構想できる人材、等

具体的なものづくり人材の育成については、ものづくり白書 2013 年度版[7]で次のような項目について議論されている。

- ・全員参加型社会へ向けたものづくり人材育成

ものづくりの現場に密着した実践的な人材育成の試みとして、豊富なものづくり知識を有する熟練技術者をインストラクターとして再教育し知識伝承をすすめようとする「ものづくりインストラクター養成スクール」は興味深い[20]。

以上のような分析・施策を踏まえて、本報告では、生産科学分野に特化して、実践的に人材育成の課題を議論する。

## (2) ものづくりに求められる人材像

我が国の人材育成の基本的な課題として、「初等教育からから中等教育、高等教育へと進むに従い、教科ごとに分断した勉強が主となり、1つの事象を教科横断的に学び考える機会を持ち得ないうちに、自然や社会の出来事に対する興味関心を失い、ものごとを統合的に考える力を失ってしまう傾向が強い」ことが指摘されている[17]。このことは、従来から指摘される日本人技術者の特徴とよく符合するように思われる。例えば以下のような事例が挙げられる。

- ・ システム的、計画的思考が欠如したまま、何とかなると考えて、とにかく始める。
- ・ 手法のまとめや教科書の執筆等の知識の体系化や標準化の作業をしようとしな
- い。
- ・ 合理的な役割分担が下手で、あらゆる事柄を皆で考えようとする。

このような特徴は、一面では実務的で摺り合わせ的なものづくりに有利に働くこともあると考えられるが、他方では、第3章や第4章で指摘されている多くの問題点の原因ともなっている。

上記のような傾向に対抗して、「科学・技術イノベーションを担うことのできる人材(科学・技術イノベーション人材)」の育成が重要であることが主張されている[17]。ものづくりを具体的に推進していく人材として、ものづくりによるイノベーションを実現していくためには、生産科学に関する深い素養を基礎として、社会や産業の課題を自ら考え、新たな社会的、経済的価値を創造する能力が求められる。認識科学としての関連工学を深く習得するのみならず、それらを活用し新たなものやシステムを創り出す総合的な実践的能力の涵養が必須である。ここに生産科学の人材育成のコアが存在するが、学術的にはその具体像が十分に明確にできていないことが問題であり、人材育成のカリキュラムが一般に受け入れられる形では確立していない。現状では、次節に述べるような様々な施策を実践的に推進していくことが現実的である。

本報告では、求められる人材像として、特に、互いに関連する次の二つの側面に着目する。

### ・ 設計科学的側面 (第3章(4))

設計手法やツールは、学術的な知識を基礎として、総合的な要求を具体的な製品へ展開する。これを動かす主体は人であり、ものづくりとひとづくりは連動している必要がある。一例として、実務的な方法としてのプロデューサー的人材の育成にも合致した1DCAEの考え方に基づく手法が企業を中心に適用され始めている[21]。

### ・ 経営科学的側面 (第4章(5))

共創的な解探索が中心となるこれからのものづくりを推進できるプロデューサー的

な人材育成が重要であり、そのために、そのような人材が能力を発揮できるような環境づくりや初等教育からの人材育成のあり方を考え直す必要がある。

以上の側面に着目して、具体的な人材育成の施策を考える。

### (3) 人材育成の施策

ものづくりに関わる人材育成の課題を分類し、対応して施すべき施策を論ずる。包括的な提言として、『科学・技術を担う将来世代の育成方策』[17]があり、そこでの提言を前提として考える。

本来は、第3章および第4章で議論されたような諸課題に対応して生産科学の学術体系の確立を図り、それにしたがって、本章(2)で示されるような人材像を目指し、体系的な人材育成の体制とカリキュラムを構成することが望まれる。しかし、生産学術の迅速な体系化は困難である一方、人材育成は喫緊の課題である。学術の体系化を目指して現実の課題を解決しつつも、その成果を待つことなく、以下に述べるような実務的な人材育成の試みをさまざまに進め、実績の評価を基に計画、実行、評価、処置からなる PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルを繰り返し、改善していくような着実なアプローチが強く望まれる。

#### ① 教育の理念と実践

他学術も同様であるが、生産科学では、要求される事柄を認識し、何もないところから、原理原則を頼りに、新しい概念や構造を創出していけるような思考能力の涵養が、教育の大きな目標である。

知識涵養型の教育とは異なり、定型的な教育体系やカリキュラムが存在しない。このことが、生産科学をわかりにくくして、特に学生層にその必要性和魅力を伝えられず、生産人材の確保を困難にし、その劣化に繋がっていると考えられる。

理念的議論と並んで、理念の熟成を待たず、試行を繰り返し、具体化していく必要がある。そのための支援の仕組みが必要である。

#### ② 育成の基礎となる教育体系の整備

人材育成の中核となる大学教育としては、日本学術会議報告『大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—機械工学分野—』[22]があり、認識科学と設計科学が適切に位置付けられている。多様な教育方法も提示されているが、設計科学の教育としては、より具体化が必要である。

設計科学の学術体系としての整備が必要であるが、これは長期的課題である。現状でも、関連する教育科目は多数存在する。例えば、設計工学、設計学、機械要素設計、設計製図、製品開発、生産工学、生産システム、生産加工学等で、教科書も多いが、その内容は多様で千差万別である。シラバス化の検討を継続的にを行い、内容の可視化に努めるとともに、体系化への努力が必要である。

理念的な議論と共に、具体的なカリキュラムの整備について、学会レベルでの

具体的な活動が望まれる。認識科学、例えば、機械工学における主要4力学（熱力学、機械力学、流体力学、材料力学）等との有機的な連携は、カリキュラムの体系化において、極めて重要である。欧米においては、先進的な事例を見ることができ、教育の質の確保と国際的な教育基準との対応は重要である。

設計科学については、当面は、特に実践により体得するという教育が重要な役割を果たすことから、産業界からの講師派遣、インターンシップ等、社会との連携を組み込んだカリキュラムが重要である。

### ③ 生産科学に対応する教育の体制

現在の大学工学系の教育組織は、主に、工業分野別になっており、学術進展や環境変化に応じて、学術領域に対応した横断的な組織が造られているが、必要に迫られた対症療法的、短期的な対応である感は否めない。

生産科学は、典型的な領域横断的な学術であり、現状では、各領域的な組織に分散して存在する。本章(1)で指摘されているような課題に対応するためには、現状の改善が必要であるが、独立した横断的な組織を構築することは必ずしも適切ではないであろう。基礎学術の発展、教育カリキュラムの整備等と併せて、独立組織や横断的教育カリキュラム等、適切な対応策を考えていく必要がある。

各教育組織においては、生産科学の重要性を認識し、このような教育体制を継続的に検討・運用する仕組みを整えることが望まれる。

### ④ グローバル化や社会変化への対応

望まれるものづくり人材像はグローバル化や社会変化に影響される。基礎学術の教育には安定性が必要であるが、生産科学には新規要求に対応した教育も要求される。

第4章で議論されているプロデューサ的人材の育成は典型例である。また、第3章で議論されているような設計要求（システムデザイン、領域融合、組込ソフトウェア）に対応するためには、従来とは異なる素養が要求される。

大学教育においては、そのコアとなるカリキュラムに加えて、社会要求とのインタフェースとして、社会から要求される人材像に対応したカリキュラムを取り入れていく柔軟性が求められる。そのためには、社会と大学の連携を強化し、教育の社会からの乖離を防ぐような仕組みが、大学と業界団体等により実装されることが望まれる。

### ⑤ 社会での継続的な育成と交流

基礎的な学術知識や科学的な思考方式は永続的な能力であるが、個別的な知識は、特に生産科学の場合、急速に陳腐化する可能性が高い。継続的な教育の機会が得られなければ、人材は劣化し、人材不足を加速する。

短期の研修等に加えて、年単位の期間にわたって、大学研究機関と企業現場と

の間で、様々な人材交流の機会を設けることは、人材育成と共に生産科学発展にとっても極めて有効であると考えられる。このような産学交流は生産科学にとって必須である。欧米、特にドイツにおいてその例を見ることができる。

優れた現場技術者が大学研究機関へ移籍し、大きな影響を与えている例は我が国でも少なくないが、逆に、大学教員が企業の技術的に枢要な地位に移籍し、活躍している事例は多くないと思われる。ドイツ等ではこのような産学双方向の人の交流により、大学研究機関の研究・教育能力、特に生産科学の研究・教育能力が高くなっている。

このような仕組みの社会的認知を高め、実装していく方策は検討に値する。

## ⑥ 高等教育と社会とのインタラクション

よく知られているように、欧米先進国に比べて、我が国の大学院博士課程進学者の比率は少なく、博士の学位取得後に企業に就職する者の数も極めて少ない。

先端技術開発において、博士学位取得者は大きな力になる。企業に需要がないわけではなく、社会的な要因や双方の理解不足等が影響しているものと思われる。博士学位取得者を増やし、企業での学位取得者を増やすことは、諸外国に比して我が国の競争力を強化するために重要である。生産科学について具体的な施策を産官学一体となって早急に推進する必要がある。

設計教育等においては、実践教育が重要で、インターンシップや課題解決型学習である PBL (Project Based Learning) は多くの大学で実施されている。実態はまだ不十分で、特に先端的技術者育成には検討すべき点が多い。欧米に見られるように、企業から適切に選択された現実的な開発課題を持ち込み、産学の緊密な連携により、実質的に意味のある教育とすることが肝要で、そのための仕組みを考える必要がある。

## ⑦ 初等中等教育・社会教育

初等中等教育における理数系離れやものづくり離れが言われて久しい。

個別的な知識を与えるよりは、現物の感覚や感動を伝えることが重要で、それを日ごろ学ぶ理数系の教科やその他の教科と関連させて、学習の意義や自らの社会的責任を自覚させるようなことは有意義であろう。

企業による出前授業等も実施されているが、より体系的な活動とするため、産官学による一体的な取り組みが期待される。

## ⑧ 技術伝承・高齢化対策・専門教育・職業教育

我が国の製造業が直面するものづくりの状況と対応する人材育成の課題については、ものづくり白書 2013 年度版に詳しい[7]。そこでは、全員参加型のものづくりとして、技術伝承・高齢化対策・専門教育・職業教育等が議論されている。このような実務的な取り組みにおいても、従来の経験・実務を基礎とした教育手

法の限界を明らかにし、人材育成を高度化していくために、生産科学に基礎を置く育成体系の革新は有効であると考えられる。「良い設計の良い流れ」を基礎として現場改善を図ることを目的とした「ものづくりインストラクター養成スクール」は実践例として貴重である[20]。

## 6 まとめ

本報告は、生産活動の構造変化や環境変化を考察し、生産科学分野で重要と考えられる課題と対応策を設計科学分野と経営科学分野に絞り込んで指摘し、それらに対応できる人材の育成について横断的に議論し望まれる施策をまとめたものである。

生産活動の構造変化や環境変化については、グローバル化と顧客価値観の変化を指摘した。これらは、競合製品との差別化が困難な製品のコモディティ化や経済のサービス化を引き起こし、対応策として、ものづくりの5因子QCDESの技術基盤を科学的視点でより強固にしていくことや顧客との共創的な価値創造の仕組みの必要性等を論じた。

設計科学の視点からは、以下を指摘した。

- ・人工物が物質的に生活を豊かにした時代を経て、環境問題の顕在化やITの進展とも連動して、生きがいや生活の喜びのような精神的な充足等新しい価値観をめざすものづくりが始まった。また、メカエレキソフト融合製品に代表されるように、ものを構成する要素技術は複合化、複雑化し、伝統的な設計技術だけでは不十分となったため、設計科学の体系化は緊急に対応すべき課題である。
- ・このような状況に対応して、近年は設計研究が盛んとなってきたが、人に依存する設計の実態の困難さから、設計研究と設計実務との乖離が認められるようになってきた。このような事態に対応するためには、産学が密接に協働できるセンター設立等の具体的施策が有効である。
- ・設計手法の体系化として、目的および方法による実務的側面での設計手法の体系化と学術的側面での体系化との対応を論じたが、今後の一層の研究開発の努力が必要である。
- ・設計手法が体系化されても、手法を駆使して設計を実行するのは人であり、設計手法をシラバス化し人材育成の体系を整えることが重要である。現状の設計教育は、短期的な対応に迫られ、未成熟であると言わざるを得ない。

経営科学の視点からは以下を指摘した。

- ・現代のものづくりに関する経営科学的な課題に対応するためには、問題の構造的な分析に基づく現状の深層理解が重要である。
- ・現状の大きな課題の一つとして、「コトづくり発想からのものづくり」への転換が重要である。そのためにコトすなわち顧客のアクティビティの価値を高めるアクティビティ設計



や感情経験設計等を強化する必要がある。加えて儉約工学等の新しい設計思想の導入も必要であり、さらに、その実践のためには、マーケティングと一体となった開発体制や部門横断型チーム等、企業文化の変革が重要である。

- ・我が国の企業は、グローバルサプライチェーン競争力確保のための IT の利活用が不十分である。局所的な効率化を超えた、競争優位を増加させるような積極的な IT 開発を強化する必要がある。

- ・我が国の製造業において海外生産が加速しているが、国内生産現場の圧倒的な生産性向上はまだ可能である。従来のボトムアップ的な改善手法のみならず、より体系的な手法、例えばファクトリーフィジクス等の適用を考えるべきである。これらは、競争力強化のみでなく、資源生産性を高め地球規模での社会経済の持続的発展可能性を担保するためにも必要不可欠である。

- ・以上の指摘を実現するためには、共創的発想に基づき新たな価値創造を構想できるような、プロデューサ的人材の育成が不可欠である。企業と大学の協働による育成や初等中等教育からの試みも重要であり、実践が始まっているが、十分に成果が出ているとは言えず、今後の更なる努力が必要である。

以上の検討を基に、共通する重要課題として人材育成を採りあげ、以下を指摘した。

- ・生産科学の教育には、未だに定型的な教育体系やカリキュラムが存在しない。教育体系の基礎となる理念的議論は必要であるが、時間がかかる。具体的な試行を繰り返し、人材育成を実践していくことが重要であり、そのための支援の仕組みが必要である。産業界からの講師派遣やインターンシップ等、社会との連携を組み込んだカリキュラムが重要である。

- ・生産科学は、領域横断的な学術であり、現状での教育組織は、教育機関においては各領域的な組織に分散して存在する。現状の組織的対応は十分とは言えず、適切な教育体制を継続的に検討・運用する仕組みを整えることが望まれる。

- ・生産科学教育カリキュラムには、安定性と共に、実務との乖離を防ぐために、生産活動の変化に対応した柔軟な適応が重要である。領域融合設計やプロデューサ的人材育成等が重要な事例である。

- ・そのためには、大学等教育研究機関と企業現場との間で、教員・研究者レベルでの様々な双方向の人材交流は重要である。これは、人材育成のみならず、生産科学の発展にとっても極めて重要で、そのための組織的な仕組みを整備する必要がある。産学連携による研究開発センターを構築しようとする構想はその一つである。

- ・欧米先進国と比べて、我が国の大学院博士課程進学者の比率は少なく、博士学位取得後に企業に就職する者も極めて少ない。生産科学については、この傾向は一層顕著であり、将来の産業競争力に大きく影響することが懸念される。産学の緊密な連携の仕組みを考える必要がある。

- ・初等中等教育における理数系離れやものづくり離れに対応して、現物の感覚や感動を伝えられるような、産官学による一体的な取り組みが期待される。

・技術伝承や高齢化対策等の製造現場における実務的な取り組みにおいても、従来の経験・実務を基礎とした教育手法の限界を明らかにし、人材育成を高度化していくために、生産科学に基礎を置く人材育成体系の革新は有効であると考えられる。

様々な変化に直面するものづくりの活動において、対応の基礎となる生産科学を振興し、効果的な人材育成を推進するために、上述の指摘に配慮し、適切な施策が実施されることを望むものである。

## <参考文献>

- [1] 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、報告『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』、2000年4月24日。
- [2] 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、報告『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』、2003年6月24日。
- [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、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』、2005年7月21日。
- [4] 日本学術会議機械工学委員会生産科学分科会、報告『21世紀ものづくり科学のあり方について』、2008年9月18日。
- [5] 日本学術会議機械工学委員会生産科学分科会、報告『資源循環型ものづくりを実現するための学術的指針—地球温暖化対策を主対象に—』、2011年8月8日。
- [6] 日本学術会議科学者コミュニティと知の統合委員会、提言『知の統合—社会のための科学に向けて—』、2007年3月22日。
- [7] 経済産業省・厚生労働省・文部科学省、『ものづくり白書』、2013年7月10日。
- [8] 日本学術会議機械工学委員会、「日本の展望—学術からの提言2010」報告『機械工学分野の展望』、2010年4月5日。
- [9] ヘンリー・チェスブロウ、『オープン・サービス・イノベーション』、阪急コミュニケーションズ、2012年10月20日。
- [10] 経済産業省、平成22年度産業技術調査報告『我が国企業の研究開発投資効率に係るオープン・イノベーションの定量的評価等に関する調査』、2011年2月。
- [11] 上田完次、『研究開発とイノベーションのシステム論—価値創成のための統合的アプローチ』、精密工学会誌、vol.76, no.7, pp.737-742、2008年7月。
- [12] クレイトン・クリステンセン、『イノベーションのジレンマ』、増補改訂版、翔泳社、2001年7月。
- [13] 経済同友会、『世界でビジネスに勝つ「もの・ことづくり」を目指して～マーケットから見た「もの・ことづくり」の実践～』、no.2011.11、2011年6月24日。
- [14] 経済同友会、『「もの・ことづくり」のための「ひとづくり」～世界でビジネスに勝つために～』、no.2012.16、2012年6月20日。
- [15] ビジャイ・ゴビンダラジャン、クリス・トリンプル、『リバーズ・イノベーション』、ダイヤモンド社、2012年9月28日。
- [16] Hopp, W. J. and Spearman, M. L., “Factory Physics”, third ed., Waveland Press, 2008
- [17] 日本学術会議科学・技術を担う将来世代の育成方策検討委員会、提言『科学・技術を担う将来世代の育成方策～教育と科学・技術イノベーションの一体的振興のすすめ～』、2013年2月25日。

- [18] 内閣府グローバル人材育成推進会議、『グローバル人材育成推進会議 中間まとめ』、2011年6月22日.
- [19] 日本経済団体連合会、『「イノベーション立国・日本」構築を目指して』、2012年4月17日.
- [20] 藤本隆宏、柴田孝、『ものづくり成長戦略』、光文社、2013年8月20日.
- [21] 大富浩一、羽藤武宏、『1DCAEによるものづくりの革新』、東芝レビュー、vol. 67, no. 7, pp. 7-10, 2012年.
- [22] 日本学術会議機械工学委員会機械工学分野の参照基準検討分科会、報告『大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準—機械工学分野—』、2013年8月19日.

## <参考資料>機械工学委員会生産科学分科会審議経過

平成 24 年

- 1 月 6 日 分科会 (第 1 回)  
○今期の活動について  
○小委員会の構成について
- 3 月 30 日 分科会 (第 2 回)  
○生産科学に関する話題提供について  
○第 22 期第 1 年度の活動計画について
- 6 月 15 日 分科会 (第 3 回)  
○小委員会活動報告について  
○報告・提言内容審議について  
○シンポジウム開催計画について
- 9 月 10 日 分科会 (第 4 回)  
○小委員会の進捗状況の報告について  
○提言の骨子の策定について  
○シンポジウム企画について
- 12 月 25 日 分科会 (第 5 回)  
○提言・報告の具体的内容について  
○シンポジウム企画について

平成 25 年

- 3 月 4 日 分科会 (第 6 回)  
○シンポジウム企画について  
○報告書案の内容について
- 5 月 22 日 シンポジウム — 流動する社会へ向けた生産科学の新展開 —
- 7 月 18 日 分科会 (第 7 回)  
○シンポジウムの結果報告について  
○報告・提言案の内容について  
○理学・工学分野における科学・夢ロードマップ作成について
- 10 月 1 日 分科会 (第 8 回)  
○報告案の審議について  
○シンポジウム企画 (案) の開催の可否を含めた審議について  
○今後の方針について

平成 26 年

- 1 月 9 日 分科会 (第 9 回)  
○報告草稿審議について

- 関連情報提供（研究プログラム、各分野の動きなど）について
- シンポジウム検討について
- 今度の体制検討（来期の分科会構成）について
- 6月25日 分科会（第10回）
  - 報告書案について
  - 今期の分科会活動のまとめ
  - 分科会の今後（継続、新規）について
  - 関連話題提供
- 月○日 幹事会（第○○○回）
  - 報告「変化に対応する生産科学の振興と人材育成」について承認