

記 録

文書番号	S C J 第 20 期 200827-20560200-009
委員会等名	日本学術会議機械工学委員会 機械工学ディシプリン分科会
標題	人と社会を支える機械工学に向けて
作成日	平成 20 年 (2 0 0 8 年) 8 月 2 7 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

日本学術会議機械工学委員会機械工学ディシプリン分科会

委員長	笠木 伸英	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
副委員長	広瀬 茂男	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科教授
幹事	加藤 千幸	(連携会員)	東京大学生産技術研究所副所長・教授
幹事	岸本喜久雄	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科教授
	小林 敏雄	(第三部会員)	日本自動車研究所副理事長・研究所長
	柘植 綾夫	(第三部会員)	芝浦工業大学学長
	林 勇二郎	(第三部会員)	金沢大学学長
	矢川 元基	(第三部会員)	東洋大学計算力学研究センターセンター長・教授
	荒木 信幸	(連携会員)	静岡理工科大学学長
	有信 睦弘	(連携会員)	(株) 東芝執行役常務、経営監査部長
	生田 幸士	(特任連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
	石井 浩介	(連携会員)	スタンフォード大学工学部教授
	石川 憲一	(連携会員)	金沢工業大学学長・教授
	大野 信忠	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
	大森 整	(連携会員)	(独) 理化学研究所主任研究員
	小口 幸成	(連携会員)	神奈川工科大学学長
	北村 隆行	(連携会員)	京都大学副学長、工学研究科教授
	佐藤 知正	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	清水 伸二	(連携会員)	上智大学理工学部教授
	下山 勲	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科長、教授
	田中 英一	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
	田中 和博	(連携会員)	九州工業大学大学院情報工学研究院長、教授
	田中 正人	(連携会員)	富山県立大学学長
	谷下 一夫	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
	筒井 康賢	(連携会員)	高知工科大学副学長
	富塚 誠義	(連携会員)	カリフォルニア大学バークレイ校教授
	永井 正夫	(連携会員)	東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授
	長野 靖尚	(連携会員)	名古屋工業大学大学院プロジェクト特任教授
	西脇 信彦	(連携会員)	東京農工大学大学院共生科学技術研究院教授
	廣瀬 通孝	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	福田 収一	(連携会員)	スタンフォード大学 Consulting Professor、放送大学客員教授
	藤本 元	(連携会員)	同志社大学理工学部教授

松本洋一郎	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
三浦 宏文	(連携会員)	工学院大学学長
宮内 敏雄	(連携会員)	東京工業大学大学院理工学研究科教授
森脇 俊道	(連携会員)	摂南大学工学部長
矢部 彰	(連携会員)	(独) 産業技術総合研究所理事
山口 隆美	(連携会員)	東北大学大学院医工学研究科教授
山田 一郎	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授

審議の経過

本分科会では、平成19年1月以来、4回の分科会、6回の幹事会、1回のシンポジウムを開催し、また多数の電子メールを通じて、2年間に亘って審議を進めてきた。その審議の内容を、現時点で「人と社会を支える機械工学に向けて」と題する「記録」として取りまとめた。以下に、その作成経緯について記す。

第1回分科会（平成19年1月29日）では、各委員から、21世紀の機械工学のビジョンやディシプリン、そして人材育成に関わる種々の課題が指摘された。これを受けて、笠木委員長、廣瀬副委員長、加藤、岸本各幹事で幹事会を構成し、第1回の幹事会（2月29日）において、主要審議課題を、「21世紀における機械工学の役割・貢献」、「機械工学の学術コア」、「人材育成」の3つに整理し、それぞれワーキンググループ(WG)を設置して併行して審議を進め、全体会議で審議結果をまとめていく方針案を作成した。

第2回分科会（平成19年4月24日）において、3つのWGを設置することが承認され、また、本分科会の成果としてA4版で20～30ページ程度の報告書を作成することを目標とした。これらを受けて、委員長より委員へ各WGへの参加要請がなされ、WGの委員構成を5月下旬にほぼ確定した。「21世紀における機械工学の役割・貢献」WG、「機械工学の学術コア」WGおよび「人材育成」WGのそれぞれの主査に西脇委員、加藤委員、宮内委員が就任し、西脇委員、宮内委員を加えた拡大幹事会が構成された。WG構成がほぼ確定したことを受けて、6月から8月にかけて、各WGでアンケート調査やメール審議を行った。

9月13日開催の第2回幹事会（以下拡大幹事会として開催）での準備を経て、第3回分科会（平成19年9月20日開催）では、3つのWGに分かれて審議を行い、次回の分科会までに各WGでメール審議等により検討を進め、審議結果について取りまとめることを目標とした。各WGで検討を進めるとともに、柘植委員より10月2日に「中教審教育振興基本計画特別委員会に提言資料」が、11月8日に「21世紀における機械工学の役割・貢献(Draft)」が、また、11月16日に笠木委員長より「機械工学の競争力に関するレポート(米国工学アカデミー)」が、全委員へ検討資料として配信された。12月8日に第3回幹事会を開催し、分科会での各意見や前記資料を基に、分科会の審議結果報告の構成案とその草案の作成を進めることとした。

平成20年1月より拡大幹事会を中心に報告の草案作成を開始し、2月28日に第4回幹事会（拡大幹事会）を開催して目次案をまとめた。その後、各WGにおけるメール審議等を通じて報告書の内容について検討を進め、第4回分科会（平成20年3月28日開催）において、拡大幹事会が作成した「人と社会を支える機械工学へ」と題した報告書の構成を採用することとし、報告書の形式としては、日本学術会議総会での決定を待って、意思の表出の一形態である「提言」を目指すこととした。さらにWG別の審議を経て、各担当章の内容について提案があった。すなわち、「21世紀における機械工学の役割・貢献」WGでは、拡大幹事会草案をベースとして柘植委員ドラフトの趣旨を取り込んでまとめること、「機械工学の学術コア」WGでは、機械工学の各学術分野の進展や生体医用機械工学などに触れること、「人材育成」WGでは、初

等中等教育から大学院までの審議結果を盛り込むことが報告され、これらを基に、拡大幹事会で報告書の原案をまとめ、メール審議により最終案を作成することとした。拡大幹事会では、4月1日に「報告書」の原案をまとめ、機械工学委員会委員などへ事前に意見を求めた。

本原案に対して、上記委員より、「誰が、誰に対して提言を伝えるのかを明確にすること」、「学術会議としての提言として、広い俯瞰的な視野から機械工学を位置付けて書く必要がある」との助言を受けて、5月3日開催の第5回幹事会で、「報告書」の内容について調整を行い、拡大幹事会で「報告書」の改訂を進めるとともに、5月18日に原案について分科会委員からの意見を求めた。この結果、分科会委員からはおおよそ肯定的な意見が相次いだ、「報告書タイトルをより明確でインパクトの強いものにすべき」、「冗長な表現を避け述語など推敲すべき」、「機械工学がその特性から工学の中核ディシプリンのひとつと成り得ることを十分説明すべき（機械工学関係者の偏狭な議論と誤解されないように表現を推敲するべき）」、「機械工学が負っている工学全体への寄与義務についても触れるべき」、「関連学会での学術発展に触れるべき」、「機械技術者の倫理観について触れるべき」、「博士課程教育では技術者としての哲学の涵養を盛り込むべき」、「スーパーテクノロジーハイスクールや高度技術職業人育成のための大学院コースを設けるべき」、「大学・大学院教育に悪影響を及ぼしている就職採用活動の問題を取り上げるべき」、などの指摘があった。これらの意見を踏まえて、拡大幹事会で改定作業を進め、「新世紀の機械工学-工学の中核ディシプリンへの展開-」と題する「提言」案にまとめた。

この「提言」案を6月16日に機械工学委員会へ提出したが、「学術会議の意見としての提言とするには、工学全体を俯瞰した上で、機械工学を工学の中核ディシプリンとして位置付ける論説が必要である」、「機械工学のディシプリンが何なのかをより明確に記述されたい」、「初等中等教育については、国内外の議論の結果や優れた取り組みなどを含めた見解が必要である」、「卒業論文、卒業設計の議論では、PBL や JABEE との関係なども視野に入れて議論して欲しい」とのコメントがあり、これを受けて「提言」案の改定を拡大幹事会で進めた。この改定原稿を6月30日に分科会委員へ送付し、再度、意見聴取を行った。また、時間的な制約から、同時に改定原稿を機械工学委員会へ提出した。第6回幹事会を7月10日に開催し、「提言」内容についてさらなる修正が必要になることが予想される状況を踏まえて、拡大幹事会で「提言」の改定作業を継続した。

7月18日に機械工学委員会査読委員会から「提言」案としての査読結果として、以下のコメントを受けた。

1. 工学全体の関連性や展望についての考察や、日本学術会議の科学者コミュニティ総体が共有しうる提言としての位置づけを強化する必要がある。
2. 細分化が著しい工学知の統合に対して認識科学と設計科学の両面の科学を内包する機械工学がどのように寄与しようとしているかという、科学者コミュニティの最大の関心事に触れる必要がある。
3. 新世紀の機械工学のディシプリンとは何か、科学者コミュニティが理解でき

る言葉で定義を明確にする必要がある。

4. 諸外国の工学教育と比べてわが国の工学教育は一般にスクーリングが、殊に修士課程において充実していないという指摘がある。報告書の提言において、スクーリングとそれ以外のバランスの観点からカリキュラムを論じることも必要ではないか。

この結果、上記の指摘を反映した形で再度の改訂をするためにはさらなる審議が必要とされるものの、今期中には時間的な制約からそれが困難であると判断された。そこで、7月22日に、委員長より、「第21期に改めて分科会を設置して、より広い観点から審議を進め、科学者コミュニティが共有しうる提言としてまとめる」ことを目指して、今期の審議内容は、「記録」の形でまとめることを分科会委員へ提案し、了承を得た。また、「記録」のタイトルとしては、当初案の「人と社会を支える機械工学に向けて」に戻すこととした。

上記を受けて、拡大幹事会で「記録」の原案を作成し、7月28日に分科会委員へ送付し、意見聴取を行った。改訂原稿では、以下の点に配慮した。

1. 査読意見、分科会委員の意見をできるだけ反映して、改訂する。
2. 提言的な部分は、誰に対するものかをできるだけ明確にする。
3. 「機械工学ディシプリン」は、縦糸・横糸の織りなす学術基盤と定義し、「機械工学」はさらにその上に応用技術の知の体系（人工物の科学）を重ねた構造として定義し、一貫性のある記述にする。
4. 工学教育において、スクーリングとそれ以外の実験や演習のバランスの重要性を指摘する。
5. 誤解されそうな部分や冗長な部分を改訂する。

また、平成20年8月5日に、日本機械学会との共催により、シンポジウム「21世紀における機械工学ディシプリン」を開催し、分科会における審議内容について公開し、広く意見を求めた。それらの中で出された意見、コメント、さらに小口委員、柘植委員からの追加指摘事項を勘案して、「記録」原稿案の内容を見直し、本最終原稿とした。

要 旨

1 背景と問題点

新世紀を迎え、全ての科学者・技術者にとって、健康で快適な生活と安全で安心な社会を実現し、人間社会の持続性を可能とすることが主要課題となっている。これらの課題の多くにおいては、自然科学のみならず人文社会科学分野も含む横断的な協働を必要とし、ディシプリン（discipline、学範）を越えた横断型の学術体系化、つまり知の統合化やテクノロジーコンバージェンスへの志向が強まる一方、既存のディシプリンの意義や役割が自明のことではなくなりつつある。しかし、知の統合の前提としての工学ディシプリンを再確認し、発展させることも極めて重要な社会的責務と言える。

現代の機械工学は、輸送機械、エネルギー機械、生産機械などの伝統的な技術領域に加えて、情報、生命、材料などの知識を取り込み、電子機械、情報・知能機械、福祉医療機械などの多様な機械システムを生み出し、深化と延伸を進めている。このような機械工学の知の著しい膨張は、「機械工学」という言葉に意図される学術体系や構造を複雑にしている。この状況を鑑み、機械工学者及び機械技術者は 21 世紀における自らのミッションを再確認する必要があるとの認識の下、第 20 期日本学術会議第三部機械工学委員会は、機械工学ディシプリン分科会を設置し、機械工学の固有の特性、21 世紀社会において果たすべき役割や貢献、機械工学の学術の発展の可能性、そして次世代を支える人材育成のあり方などについて、審議を行った。

2 審議の内容

本分科会では、まず、近年の科学技術の世界的動向を振り返り、「社会のための科学」の達成が強く要請される時代における工学の役割と貢献を検討した。そのような目標は、認識科学と設計科学の連携による、境界領域を含む未踏分野の開拓によって成し遂げられること、そして異分野の学融合による新分野開拓、異種技術の統合による新技術開発など、ディシプリンを越えた協働がますます必要となることを確認した。一方、力学を基盤とする固有の学術の構造に由来する特性から、機械工学が認識科学と設計科学の両者を内包し、また対象を選ばず、広範な技術の基盤を創造する役割を果たし、さらには社会のための科学技術の方向性を牽引し得ることから、これを工学ディシプリンのひとつとして堅持し、さらに深化発展させていくことが必要であることを明確にした。また、機械工学ディシプリンは、今なお科学としての学術的な飛躍と発展の可能性を有し、次世代人材にとって有力な行動原理とも成り得るものであることを再確認した。

上記を受けて、機械工学の学術の現状を概観し、「アナリシスとシンセシスの学

術」としての一層の進展を促す重要性を確認した。その進展の可能性として、多様なスケールに及ぶ力学を基盤とした認識科学、「ものづくり」や価値創造に直結する設計科学としての機械工学の二つの観点から考察を加え、さらに、先端・融合による機械工学フロンティアの進展について、バイオ・医療分野の例を取り上げて検討した。機械工学分野に求められる人材育成においては、揺るぎない専門知識とその応用力と共に、「知の統合による価値の創造能力」に焦点を当てた人材育成の観点から、初等中等教育から学部・大学院教育まで、それぞれについて審議を行った。

3 まとめ

本分科会のこれまでの審議の結果を以下のように取りまとめ、今後の審議の参考に供するものである。

- (1) 新世紀の科学技術には、環境制約、資源制約の下で、安心安全で豊かさの感じられる社会を構築することが望まれている。この重大な目標を実現して行くには、広範な分野にわたる科学技術ディシプリン各々を深化発展させると同時に、多様なディシプリン群を協調・統合し、社会が直面する複雑な問題を解決し、あるいは巨大なシステムを機能させることを可能とする新しいタイプのディシプリンの確立が必要である。科学者コミュニティは、このような「知の統合」を先導するディシプリンの確立の必要性を認識し、それを実現するための具体的な議論と、ディシプリンの再編、それらのミッションの確認に着手すべきである。
- (2) 機械工学は、4力学を中心としたアナリシス（縦糸）の学術コア、設計・生産工学などのシンセシス（横糸）で構成される学術コアが相互に織りなして構成するディシプリンの上に、さらに多彩な応用技術（人工物の科学）が重層されるという特有な知の構造を成しており、ディシプリンの発展性と共に優れた総合性が認められる。従って、機械工学コミュニティは、前項で指摘した「知の統合」を先導する工学ディシプリンとしての役割を機械工学が果たせるよう、その特有の知の構造に起因する特性を最大限に生かす方向へと発展させるべきである。
- (3) グローバル化に立ち向かう知的競争力の向上には、独創的な研究開発を担う博士課程人材が必須である。特に、イノベーション創出、産業競争力の強化を目指すわが国においては、強い求人動向の下での機械工学分野の博士課程進学者数の減少は重大であり、早急な対応が望まれる。機械工学の教育研究を担う大学関係者はイノベーション創出と産業競争力の強化に貢献する人材育成機能の充実・強化を、教育行政はこの志を持って博士課程に在籍する若者への積極的かつ継続的な投資を、産業界はそのような資質を持つ博士人材の就業条件やステータスの改善に向けて、相互に連携しつつ、具体的な対策を早急に実施すべきである。

- (4) 機械工学高等教育においては、学士課程、修士課程の教育プログラムを、海外の教育改革や標準化の動向を踏まえつつ、国際的に競争力のある内容に充実、強化させていく必要がある、機械工学の教育関係者は早急に具体的方策を採るべきである。わが国の工学教育の良き伝統としての、スクーリングと実習・演習のバランスを重視しつつ、カリキュラムを設計する必要がある。また、優れた特長である学士論文研究、修士論文研究について、その教育目標の明確化と達成度評価の標準化が急務である。大学院において、研究職育成と技術者・開発マネージャー育成といった複線的コースの設置も、大学の個性に応じて有力なオプションである。さらに、産学連携による Project Based Learning などの実践的教育プログラムの開発も視野に入れて、多様な技術者人材育成を図るべきである。
- (5) 初等中等教育においては、“ものづくり”の楽しさを体感させると共に、社会の実問題に対して科学技術知識を動員して実行可能な解を見出す、設計科学的なものの見方を涵養することが、新世紀における国民の生きる力と創造性を育成する観点から重要である。力学を基盤としながら多様な工学知を活用し統合を図ることを特徴とする機械工学に関わる教育者や技術者は、このような初等中等教育における“ものづくり”教育に貢献する使命を有しており、教育プログラムの開発と実施に積極的に参加していくべきである。

目 次

審議の経過	iii
要旨	vi
1 はじめに	1
2 背景	3
(1) 近年の科学技術の動向	3
(2) 社会の期待に応える科学技術への新たな潮流	4
3 機械工学の役割と貢献	6
(1) 力学を基盤とする工学としての機械工学の特性	6
(2) 社会のための科学技術としての機械工学の役割	8
4 機械工学の学術の発展	10
(1) 学術の進展の必要性	10
(2) 力学を基盤とした認識科学の進展	10
(3) 設計科学としての機械工学の進展	12
(4) 先端・融合による機械工学フロンティアの進展	13
(5) 学術としての機械工学の進展の方向性	14
5 機械工学分野に求められる人材育成	16
(1) 学士課程教育による人材育成	17
(2) 大学院教育による人材育成	18
6 まとめ	22
<参考文献>	24
<参考資料>	
1. 機械工学ディシプリン分科会審議経過	26
2. 市民開放シンポジウム「21世紀における機械工学ディシプリン」	27

1 はじめに

新世紀を迎え、科学と技術がかつて無いほどに接近し、あるいは融合しつつ発展を続ける中、科学技術の生み出す人工物や人工環境は、人の生活や社会のあらゆる面に一層重大な影響を及ぼし、さらには地球規模の困難な問題を生み出している。そのような中、全ての科学者・技術者にとって、健康で快適な生活と安全で安心な社会を実現し、人間社会の持続性を可能とすることが主要課題となってきた。これらの課題の多くにおいては、自然科学の複数分野の知識を必要とし、さらには人文社会科学分野も含む横断的な協働を必要としている。

上記の視点から、ディシプリン（discipline、学範）を越えた横断型の学術体系化、つまり知の統合化やテクノロジーコンバージェンスへの志向や、俯瞰的視野を有する人材ニーズが強まっている。そして、工学の学術分野の流動化が生じ、大学における学科・専攻の再編や、産業界の研究組織の再編も進んでいる。このように社会と科学技術の関係や工学の学術大系が変化する中、既存のディシプリンの意義や役割が自明のことではなくなりつつあるが、知の統合の前提としての工学ディシプリンを再確認し、発展させることは極めて重要な社会的責務と言える。

工学は、明治以来、土木工学、機械工学、電気工学、化学などを主要なディシプリンとして、近代日本の隆盛を支える新技術の開発や産業の振興に長く貢献してきた。このような中、機械工学に関係する研究者は力学を基盤とする工学体系の構築を進める一方、産業界における多くの機械技術者は「ものづくり」の基幹技術を営々と創りあげてきた。そして、機械工学と機械技術は、互いの成果を取り入れ、相互に影響を及ぼし合いながら発展してきた。この間、機械工学は、輸送機械、エネルギー機械、生産機械などと共に、それらを含む高度な機械システムを科学に基づいて設計し創造する基盤的学術として発展してきた。さらに、近年、他の工学分野と同様に、機械工学はその伝統的な中核領域から大きく拡張し、情報、生命、材料の科学、あるいはナノテクノロジーなどを取り込み、電子機械、情報機械、知能機械、生体機械、福祉医療機械など、多様な機械システムを新に生み出し、深化と延伸を進めている。しかし、このような機械工学の知の著しい膨張は、「機械工学」という言葉に意図される学術体系や構造を複雑にしている。

上記の事実は、工学の学術大系と共に、機械工学の存在と意義が多面化し、その重要性とは裏腹に社会に分かりにくくなっていることを懸念させる。一方、専門家の間では、機械工学の学術としての発展性、機械工学関連産業の方向性、そして若手人材の育成などが、様々な機会に議論の遡上に上っている。従って、今改めて求められていることは、21世紀に相応しい機械工学像、機械技術者像を描くことであり、それらをいかにして実現していくかといった具体的な方策である。すなわち、機械や機械システムを創造する機械工学が、新たな知の創造と活用を通じて、環境制約、資源制約の下で人類社会の持続的発展にいかにして貢献していくのかを呈示

していくことが重要である。そのような視点から、力学を基盤とする機械工学のアイデンティティと目的を改めて吟味し、その実現に向けた教育・研究・社会貢献活動の改革を進める必要があるといえる。

ディシプリンの成立は、①それ自体の科学的な発展の可能性を包含すること、②未来社会が直面する諸課題のソリューションを呈示できる可能性を有すること、そして、③未来を担う次世代人材にとっての行動原理と成り得るかどうかにかかっていると見える。機械工学にはこれらの条件が備わっていることは、これまでの機械工学の歴史や機械工学人材の多方面における貢献から明らかと言える。しかし、これからの時代における機械工学が、それらの条件を満たし得るのかどうか、もしそうだとすれば、それはどのような形で可能となるのか、工学ディシプリンとして真に「人と社会を支える機械工学」に発展させるために、産官学の関係各方面に何が求められるのかを明らかにする必要がある。

第 20 期日本学術会議第三部機械工学委員会では、機械工学者及び機械技術者が上記の問いかけに答え、21 世紀における自らのミッションを再確認する必要があるとの認識の下、機械工学ディシプリン分科会を設置し、機械工学の固有の特性、21 世紀社会において果たすべき役割や貢献、機械工学の学術の発展の可能性、そして次世代を支える人材育成のあり方などについて、審議を行った。機械工学ディシプリン分科会を設置し、21 世紀社会における科学技術や工学を俯瞰しつつ、機械工学の固有の特性、果たすべき役割や貢献、機械工学の学術の発展の可能性、そして次世代を支える人材育成のあり方などについて、継続的な審議を続けてきた。本分科会のこれまでの審議の結果を、今後の審議の参考に供するため、ここに「記録」として残すものである。

2 背景

わが国は科学技術創造立国を標榜しており、科学技術の発展によって、国内的には、少子高齢化と人口減少社会のもとでも豊かな精神生活（文化）と豊かな物質生活（文明）を享受し得る国家の構築を、また対外的には、世界の国から尊敬される文化を持ち、環境問題や安心安全に関する国際的な課題解決に積極的に寄与する活動などを通して、世界の文化と文明の進展に貢献する名誉ある国家の構築を行っていくことが期待されている[1]。このように、科学技術への期待が一層高まる 21 世紀において、これまで工学の基幹としての役割を担ってきた「機械工学」が、今後とも社会を変革する中核的役割を果たし得るのか、もしそうであるとすれば「機械工学」のどのような特性を強化すれば未来社会への貢献を揺るぎないものにできるのか、これらの課題を以下に考察する。

（1）近年の科学技術の動向

科学技術は、産業革命以降、人類の夢を次々に実現し、社会の利便性や安全性を急速に高めてきたが、これからもそのような牽引力としての役割を担っていくことが期待されている。しかし、科学技術をこれまでのペースを維持しながら持続的に発展させることは必ずしも容易でない。科学技術の発展を阻害する要因としての障壁の存在が、近年強く認識されるようになってきている。その障壁としてはいくつか考えられるが、科学技術の発展に伴って生ずる、ディシプリンの細分化・深化の方向性と、科学技術が対象とするシステムの複雑化・巨大化の方向性は、それらの中でも最も大きなものであろう。

ディシプリンの細分化・深化の方向性が生み出す障壁とは、アカデミアにおける研究者が、細分化された各専門学術を執拗に追求することを好み、またそのような研究の成果の評価は専門家集団の中での相互評価（ピアレビュー）によって成されるため、結果的に「木を見て森を見ない」、つまり部分のみに興味をもち全体を俯瞰的に見通すことができない、著しく専門化された研究者集団が形成され、また集団内部で拡大再生産され続けてしまう傾向に起因するものである。このことは、科学的発見や技術的発明を社会的・経済的価値に具現化する、いわゆるイノベーションの推進力としての科学者や技術者を、アカデミアの中で育成され難くすると同時に、人材の需給関係にあるアカデミアと産業界の間に乖離を生む結果となっている。

システムの複雑化・巨大化の方向性が生み出す障壁とは、主として産業界の中に生まれつつある問題点である。多様化する社会や経済の要請にに応ずるために開発される機械システムは、近年その構造と機能を無限に複雑化・巨大化する傾向があるが、それらを実現するために投入される科学技術は益々広範な分野に及ぶと同時に、より高度な専門的知識も必要となってきた。その結果、このようなシステム開発に取り組む科学者や技術者は、システムのごく一部にしか関与できなくなり、そ

の結果、システム全体を俯瞰的に見通せる視野の広い人材が育ち難くなっている。このことは、社会に必要な革新的な機械システムの開発に対する市民の理解と支持を得ることも困難になりかねなくなっている。

さらに、無限に巨大化し複雑化するシステムを対象としながら、そのごく一部を細かく執拗に追求するという科学技術者の姿は、一般の市民にとっては異様に感じられ、ロマンと親近感を感じる対象としての科学技術者像が薄れ、科学技術の分野を将来の職業として志望する若者の減少を引き起こし、このこともまた将来の科学技術の継続的発展を阻害する要因となっている。

(2) 社会の期待に応える科学技術への新たな潮流

前述のような現代の科学技術が内包する諸問題を克服するために、新しい科学技術の発展の方向性が世界的に議論されるようになった。それらの代表的なものを以下に概観する。

ギボンズ (M. Gibbons, 1994) は学問的な活動すべてを「知識生産」活動と捉え、それらを、(モード1) ディシプリン駆動型、(モード2) 社会関心駆動型に分類した[2]。従来は「基礎」と「応用」というように分類されていた内容をあえてモードという言葉で分類したのは、従来分類では「応用」の方が「基礎」よりも不当に低く評価される傾向があったため、それを改めて両者を同等の重要さで評価しようとしたためであった。つまり、自らのディシプリンに閉じこもらず、むしろディシプリンを越えて、社会的な関心に基づいて実施される (モード2) 社会関心駆動型の活動も、知識生産活動の一形態として高い価値があると認め、従来型の知識生産活動である (モード1) ディシプリン駆動型と同じようにその活動を強化していくべきであることを主張したのである。

また同時に、モード2の知識生産活動を行う場合には、いろいろなディシプリンからの研究を持ち寄って、それらを並列的にまとめたような学際 (Inter-disciplinary) 研究ではなく、さまざまなディシプリンを一体化させて横断的に問題解決を進めるタイプの研究開発形態を特に学融 (Trans-disciplinary) 研究と名付け、その必要性も強調している。

国際科学会議 (ICSU) と UNESCO は 1999 年の世界科学会議においてブダペスト宣言を行ったが[3, 4]、そこでは、「社会のための科学 (science for society)」の重要性を謳っている。つまり、科学の最終目標は人類の福祉であり、科学者は貧困の撲滅、人間の尊厳と権利の尊重、地球環境の保全など、次世代への責任に関与しなければならないこと、そして、循環・持続型社会の実現のために、社会、経済、法律、哲学、宗教、倫理、教育、政治などとも関連させた実践的総合科学技術を構築していく責務を有すること、などを明確に述べている。

このような海外の動向に呼応して、わが国においても同様な提言がなされている。例えば、日本学術会議の科学者コミュニティと知の統合委員会の提言「知の統合—社会のための科学に向けて—」[5]においては、学術研究とは、社会的な価値を生み出すために社会から付託された知的活動であるが、地球規模の切迫した課題、生活に直結するようになった現在の科学技術、そして膨大な国家予算で遂行される現代の科学技術研究の状況などを鑑みると、「社会のための科学」の追求こそが科学者コミュニティに与えられた最大の課題であること、そして、知の体系というものは、本質的に細分化されやすい傾向を持つことを指摘し、この人文社会系、理工系に共通する逆らい難い流れが、「社会のための科学」の追及に対する大きな障壁であると論じている。

また、従来「基礎」と「応用」というように分けられる学術研究を、日本学術会議第 17 期の特別委員会「20 世紀の学術と新しい科学の形態・方法」では、これらを「理論科学」と「技術科学」とに分類し、また第 18 回の日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会新しい学術の体系(社会のための学術と文理の融合)[6]では、これらを「認識科学」と「設計科学」とに分け、前者を「あるものの追求の学問」、後者を「あるべきものの学問」というように定義している。そして、「認識科学」の重要さを認めながら、「設計科学」の追及の重要性を強調し、これら二つの対峙する知の統合こそが、「社会のための科学」の実現に不可欠であるとし、これらの知の統合が、「認識科学」によって導出された知を「設計科学」による人工物や制度・方策などの案出によって社会化することを可能にすると同時に、新たな「認識科学」の生産を促す可能性がある」と論じている。

またそこでは、「認識科学」と「設計科学」の知の統合の方法論にも触れられている。つまり、このような知の統合は、使命達成型の科学研究の遂行によって実現されるが、それを遂行するリーダーには、研究成果の産業化や社会化についての俯瞰的な視野と同時に、若手人材が狭い領域に閉じないよう配慮するリーダーシップが必要であるとしている。そして、大学こそが、このような異分野間の知的触発を促進することを可能にする貴重な知の宝庫であると指摘している。

3 機械工学の役割と貢献

前章で述べた、近年の科学技術の動向と社会からの期待を念頭に置きながら、機械工学が新世紀における「社会のための科学技術」を達成する上でどのような役割を果たすべきか、果たし得るかを考察するため、まず機械工学の本質的な特性を明らかにし、その上で今後とるべき発展の方向性を探ることにする。

(1) 力学を基盤とする工学としての機械工学の特性

機械工学を論ずる前に、工学の全体像を俯瞰しておきたい。「工学」は“Engineering”が語源とされるが、その意味するところは、米国の教育認定団体 ABET によれば、「技術に関わる専門職業上の実践」を指し、学術大系という意味合いは薄い。一方、我が国の 8 大学工学部を中心とした「工学における教育プログラムに関する検討委員会」(1996-98 年)によれば、工学とは「数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問」とされており、工学は専門知識に基づく社会サービスを支える科学的な知識体系、すなわち“Engineering Science”に近い[7]。しかし近年「工学」はその学術大系だけでなく、技術者としての実践の科学も含めて用いられる場合が少なくない。つまり、「工学」は、数学、物理学、化学、生物学などの自然科学を基礎としながら、設計、計画、製造、測定、制御、予測、最適、運用、管理に関わる科学から構成されると考えられる[7]。そして「工学」は、対象とする分野や手法によってそれぞれ独自の発展を遂げ、土木工学、機械工学、電気工学、化学工学をはじめ、多くの学問分野を形成してきた。また産業分野の隆盛と共に、さらに多くの分野をなお形成しつつある。

これらの中で、機械工学は特有の学問分野を形成して来たと考えられる。機械工学の本質を「力学を基礎とした設計方法論」とみなすことがある。機械工学は歴史的にはハードウェアとしての機械装置を対象としながら、その間、船舶、航空、自動車、原子力などの、いわゆるシステム系、総合系の工学もそれらの学術的基盤とするようになったからである。ただし、機械工学が基盤とする「力学」の概念は広く、一般に「物体間に作用する力と運動の関係を論ずる科学」であり[8]、古典力学や統計力学だけではなく、量子力学も含む。さらに、ここでいう力学とは、自然や人工物など、広く物質や物質から成る系の時間的な挙動や変遷を記述する知の大系であり、その因果関係が数学的に記述できる場合にだけ限定されるものではなく、電磁気学や化学なども必要に応じて取り込みながら機械工学の「力学」は拡充されてきている。そのため機械工学が対象とする内容は基礎的、基盤的で極めて広範な事象を対象としており、ここに工学分野の中での機械工学の際だった特徴がある。

機械工学の本質はまた『社会の中にいる人間が、ある動作を人間に変わって実現させたいという願望に基づいて、その願望を達成させる物（具体的な物であって、

これを機械と呼ぶ)を「考え」、「作り」、「動かす」または「使う」という人間の行動に必要な学問である』ともみなされている[9]。ただしここで言う「もの」は、ネットワークを始めとする新しい通信メディアとの連携によって成立する機械システム、さらには仮想空間での機械の出現などで拡大、変容している。従って、現代の機械工学は、「もの」を創り出すのみならず、哲学、倫理、法律、政治、国際関係などに係わる知識をも含めて、創り出した「もの」を中心として構成されるシステムが自然環境や社会構造あるいは人間関係にどのような「こと」をもたらすかをも対象とし始めていると考えられる。

このように機械工学は、極めて広い学術分野に関係していることをその最大の特徴としている。基盤となる機械工学ディシプリンは、流体力学、熱工学（熱力学および伝熱工学）、材料力学、機械力学の4つの主要な力学を中心とし、それ以外の多くの分野の力学から構成されるアナリシス（現象の解明、分析）に重点が置かれた縦糸としての学術コアと、設計工学、計算工学、制御工学、加工・生産工学、さらに人間社会との関連も取り扱うシンセシス（統合）に重点が置かれた横糸としての学術コアとが織りなして構成されるものである。さらに、現代の機械工学の全体像は、そのようなディシプリンの上に、自動車工学、航空工学、エネルギー工学、環境工学、宇宙工学、医療工学、ナノテクノロジーなどの多彩な応用技術（人工物の科学）が重層されるという特有な知の構造を成していると考えられる。

このような、学術の構造と目的を有する機械工学は、三つの際だった特性を有すると考えられる。その第一の特性は、機械工学の基盤となる学術コアが、人間に関わる、あらゆる現象の解明や機器・システムの開発を対象とすることである。従って、必要に応じて、その対象をミクロな分子レベルから、マクロな地球規模のスケールまで広げていく。これによって、機械工学は、常に対象の本質的で根源的な原則に理解を求めながら設計を進めることになり、限られた物理化学的現象や応用技術のみに留まるものではない。つまり、機械工学は、認識科学に留まらず、設計科学としても、普遍的で広い視野を与える特性を内包しているといえる。

第二の特性は、縦糸系の学術コアを横糸系の創成系の学術コアで統合するような構造を有するディシプリンを、その基盤に有している点である。これは、発展と共に先鋭的に細分化と深化を続けるという内包的動機を有する学術コア群に、具体的な目的達成の方向性を持たせることで、目的達成の寄与度に応じた相対的位置付けと取捨選択を可能とする構造的な特性である。そして自らの中にこのような基盤としての学術コア構造を有していたことが、往々にして現実社会との接点を見失いがちな縦糸系の学術コア群の進化の方向性を、常に「社会のための科学技術」という原点に立ち戻ることを可能にしてきた、という点である。

第三の特性は、上記の縦糸系の学術コアと、創成的な統合を行う横糸系の学術コアの上に、さらに立体的に派生する多くの応用工学の体系が構築されているという

構造を有する点に起因するものである。すなわち、機械工学のディシプリンは、これまでも航空、船舶、自動車、原子力などの機械システムごとに構築された科学技術の基盤ディシプリンとなっていた。またその中には、これらの設計・解析・製造などだけでなく、それらの運転・保守・サービスなどの広範な分野や俯瞰工学、インダストリアル・エンジニアリングまでも含む科学技術が包含されて来た。このように、機械工学ディシプリンは、科学技術が発展し社会の要請に応じた新しい応用分野に関する工学体系を構築しようとするとき、多くの場合にその基盤を構成するディシプリンであった、という点である。

以上のように、機械工学ディシプリンは、自然と人工物に関する普遍的な認識科学と設計科学を追及する学術コアを有し、両者の組み合わせによって社会に活用される機械システムを次々に作り出しながら深化し、その範囲を拡げ得るという顕著な特性を有している。そして、このような特性を有するディシプリンを基盤としていたことが、これまで機械工学が工学・工業の中核に位置付けられた要因ではないだろうか。

これまで「機械屋はつぶしが利く」と言われ、機械工学を学んだ技術者が産業界の様々な分野に柔軟に適応し多大な貢献をなして来た歴史がある。鉄鋼や繊維などの製造プラント、ガスタービン、蒸気タービン、原子炉などのエネルギー関連機器、自動車、航空機、鉄道などの輸送用機器、空調冷凍などの設備機器、ロボットを含む生産機械、種々の家電製品などは、いずれも電気電子、化学、建築、情報、生物など、様々な専門分野の知識を必要とする統合技術であるが、それらの開発においても、取りまとめを行う人材は機械工学をバックボーンとしていることが多かった。これもまた、分野を越えて各分野の成果をとりまとめ、問題の解決にあたることのできる、機械工学に固有の特性が生み出したと捉えることができよう。

工学の発展は、今後とも境界領域を含む未踏分野への果敢な知の挑戦によって成し遂げられるものと予想されるが、その際、認識科学と設計科学の両輪が相互に明確な役割を果たしつつ協働していくことが重要である。そして、異分野の学融合による新分野開拓、異種技術の統合による新技術開発など、境界を越えた協働が工学各領域間で、さらにはより広く、工学と自然科学、人文社会科学との間で必要になる[10]。そのような知の協働を進めていくとき、要となるディシプリンが必要であり、そのひとつとして機械工学のディシプリンを位置付けることができる。

(2) 社会のための科学技術としての機械工学の役割

第2章で述べた科学技術に見られる新たな潮流、そして、前節で述べた機械工学の特性を考えてみると、機械工学がこれからの科学技術創造立国としての日本のために果たすべき役割と貢献が自ずと明らかになる。それは、機械工学が内包する特有の特性を今後より強化発展させ、その守備範囲を拡大させることによって、多岐

に渡る工学の学術大系を真に「社会のための科学技術」に発展させる時に、その基軸となるディシプリンとしてさらに強化、発展させ、より一層社会に貢献していくという方向性である。

これからの科学技術には、環境制約、資源制約の下で、安心安全で豊かさの感じられる社会を構築するための具体的な方策を呈示することが望まれる。このことは、広範な分野に及ぶ科学技術の知識を動員して初めてその実現が可能となる。つまり、最先端の多様な科学技術を統合して具体的な解決策を導出できるかどうか、未来社会における多くの問題解決の鍵である。そのためには、広範な知識を相互に連携し協働させる、いわば扇の要のようなディシプリンが必要となる。エネルギー、輸送、エレクトロニクス、コンピュータ、そして医療福祉システムなどはいずれも重要な総合的科学技術分野であるが、これらの科学技術の基盤となり、関係する多様な知識を総合統括する中核ディシプリンとして機械工学を発展させることが、社会への責任を果たす途といえる。

「機械」という語感から、社会では産業革命期の古色蒼然とした装置が思い浮かべられることも少なくないが、以上に述べたように、「機械工学」は今後とも、ものづくり、ことづくりにとって必須である。つまり機械工学は、「社会のための科学技術」の推進役として、社会が直面する諸課題のソリューションを呈示する役割を担い続けるべきである。同時に、分析と統合の両輪にバランス良く軸足を置きながら、中庸を尊び妥協を厭わない精神性を有し、俯瞰的な視野から、専門性に拘らず全体を統率できる人材を社会に供給する必要がある。機械工学コミュニティーが確固たる意思を持って、この課題に取り組んでいくことが強く望まれる。

4 機械工学の学術の発展

(1) 学術の進展の必要性

学問として捉えた場合の機械工学ディシプリンは、機械製品の開発、設計、製作、運転、保全などに係わる機械技術の知識を、数学、物理学、化学などの基礎学理における種々の法則を組み込みながら独自の的方法論として構築し、力学を基盤として体系化したものといえる。この学術の体系は、前章で述べたように、4つの力学を中心としたアナリシス（分析）に重点が置かれた縦糸系の学術コアと、設計・生産工学などのシンセシス（統合）に重点が置かれた横糸系の学術コアとで構成されるマトリックスとして捉えることができる。さらに、機械工学の全体像は、このマトリックスの上に繋がる、具体的な出口としての多彩な応用技術（人工物）に関わる工学体系としての垂直軸を有する立体構造を成すと考えられる。

機械工学は、産業革命以来、着実な進歩を遂げて現在の体系に至ったが、これは産業の発展に伴う強いニーズに牽引され、鍛えられてきた結果とも言える。今後の機械工学の学術的発展の方向性として、環境、エネルギー、ロボティクス、バイオエンジニアリング、ナノテクノロジーなど、新たな応用分野への展開と同時に、各学術コアの深化と進展に向けた継続的な努力が不可欠である。つまり、これまで構築された機械工学の学問体系を基盤として、社会のために新たな価値を生み出していくとともに、また、そのためにこそ専門分野としての機械工学の基盤的学術をもさらに進歩させていくことが必要である。以下、本章では機械工学の基盤的学術が今後どのような発展の可能性を有しているのかを展望する。

(2) 力学を基盤とした認識科学の進展

機械工学におけるアナリシスの学術基盤は、分析の対象の本質に迫る揺るぎない力学体系により構成されているのが特長である。例えば、固体の変形と破壊に関わる現象を扱う材料力学は、交通機器やエネルギー機器をはじめとしてすべての機械の設計・製造や運用・保守などのための基盤学術であり、社会の安心・安全の向上に貢献する。今後も機器の設計に関する基盤である材料力学には、MEMS/NEMS や電子/光デバイスに関連した微小材料（マイクロ/ナノ・マテリアル）の強度や生体機能と関連した材料の微視的力学などへ、その学術的展開が期待される。そのためには、分子動力学、量子力学、あるいは生物学・医学などの知識との融合が必要である。また、宇宙や海洋などの極限環境下で使用される種々の材料の問題は、最先端の力学を必要とし、材料力学をさらに発展させていくことが期待される。

一方、空気や水の流れなど、我々の身のまわりにはさまざまな流れがあり、流体力学は流れの本質を理解し、その挙動を予測し、制御するための学問として発達してきた。最近の流体力学の進展は、流体现象を予測・制御する時間・空間スケール

の広がり、新たな応用分野への展開の二点に集約される。たとえば、数値解析手法の進歩と計算機性能の向上とにより、数 $10\ \mu\text{m}$ の乱流の渦運動の数値シミュレーションが可能となり、乱流の理解が格段に深まるとともに、分子動力学を応用して、界面現象の解明や生体組織の理解が進んでいる。さらに今後、相変化、化学反応、音の発生など、流れが関与するさまざまな現象の解析と制御が進展することが期待される。その一方で、センセシスを指向する研究の進展も期待される。例えば、乱流の予測や制御に関しては、将来、高レイノルズ数乱流の直接数値シミュレーションが可能になることが予想されるが、生み出される膨大な数値データから流れの本質的な機構を理解し、設計に有用な情報を抽出するための方法論の確立が重要となる。また、乱流の渦を直接的な対象とした制御技術なども実用化され、例えば、航空機の乱流騒音の低減や高速車両の摩擦抵抗の低減などが実現されることが期待される。このためには、微小なセンサー、アクチュエータなどの要素研究開発や、非線形性がきわめて強い現象を対象とした制御手法の開発などがその成否の鍵を握っており、ここでもやはり、設計・制御工学との融合が重要な課題としてクローズアップされるものと考えられる。

伝導、輻射などの熱輸送現象や化学反応、流体の熱物性、そして熱と仕事との変換過程を体系化した学術である熱工分野においては、沸騰・凝縮などの相変化現象、界面反応、反応流や燃焼流など未解明な現象も多く、これらの現象の解明、予測、制御を主要課題として、熱工学は今後も発展が期待される。分子動力学法や量子力学計算の応用により、マイクロ・ナノスケールでの現象の解明や理解を基に、マクロな現象の解明や予測が進展するものと期待される。さらに、解析結果を実際の機械の設計に反映させるために、マイクロ・ナノスケールの現象の解析を如何にしてマクロスケールの設計手法の中に組み入れていくかが重要であり、この分野の研究の推進を目指すべきである。例えば、燃焼流の予測や制御は高効率な高温ガスタービンの開発のために必須となるものであるが、燃焼反応が起こる空間・時間スケールは、乱流の渦現象に対してはるかに小さいため、スケールの違う現象を高精度に予測し、それを制御する手法の開発が切に望まれる。また、熱工学は、人間や機械に関わる事象の非線形散逸系としての状態変化にマクロ的な方向性を与える普遍的学理を基盤としているので、今後バイオエンジニアリングやナノテクノロジーなどの新分野においても、強力な学術コアとして発展することが期待される。

剛体の運動や振動を対象とした機械力学分野においても、その応用分野の拡大に伴い、弾性振動、熱・流体関連振動、自励振動、あるいは非線形系の振動問題など、他の力学との連成解析が進展してきた。また、剛体運動やリンク機構を扱う「機構学」から発展した「ロボット工学」、運動解析から発展した「車両工学」など、新たな工学分野の開拓に貢献してきた。この分野でもコンピュータ・シミュレーションの応用が進んでいるが、特に、多体系の動力学解析（マルチボディ・ダイナミクス）の発展には目覚ましいものがあり、最近では機械を構成する複雑な剛体の結びつきだけでなく、弾性体要素、流体要素、トライボロジーまで含め、効率良くシミュ

レーションモデルを生成できるようになり、高度な設計・開発のニーズに応えられるようになってきた。さらに、機械力学は姿勢制御、振動制御の基礎となっていることから、制御工学との結びつきも強く、電子工学や電気回路と融合した「メカトロニクス」も機械力学を基礎として発展してきた専門工学といえる。このように、機械力学は、今後とも他の基盤的力学との融合と発展を続けながら、制御工学・設計工学などのシンセシスの学術コアとの有機的結合を牽引する基盤的力学として貢献することが期待される。

(3) 設計科学としての機械工学の進展

上述の4力学は対象とする現象の解明・分析に力点が置かれた縦系系学術コアであるが、21世紀においては、対象を知るだけではなく、その知見を活かして、人間が必要とするものを創り出すための、シンセシスに力点が置かれた学術コアの重要性が益々増していくことが予想される。一方、設計・生産・加工などの「ものづくり分野」は、機械工学だけではなく、あらゆる学術分野の成果を統合し、新しいものを創造していくための学術の構築を目指しているが、その性格のために、また知識の急速な広がりのために、体系化が困難になっている。このような状況の中、ものづくり分野の学術の体系化にあたっては、科学における工学の位置付けを再確認する必要がある。このためには、自然に存在するものを活用して、人間が必要とするものを人為的に創り出すための普遍的な法則を導き出し、説明・記述する学術基盤としての「設計科学」の重要な役割を認識し、その体系化に向けた議論・努力が必要となろう。

「ものづくり」という言葉には、製品の企画・構想、開発、設計、生産計画、製造、評価（市場における評価も含む）まで、ものを創り出すために必要なすべてのプロセスが包含されている。持続可能な社会の構築に向けて、ものづくり分野は変革が求められており、変革を推進するためには、上述のように、確固とした学術的基盤を確立することが急務となっている。これまでは、コスト、技術を重視したものづくりであったが、今後は、持続可能な社会を考慮し、サービスを重視し、また、グローバル化・技術移転を重視したものづくりを実現するための学術が必要とされている。そのためには、従来からの設計、製造、計測関連の学術の進展に加えて、サービス、世界標準・規格、技術移転戦略などを視野に入れた学術が必要であり、これらの学術を「ものづくり科学」、すなわち設計科学として明確に位置付け、発展させることが、重要である。

ものづくりの歴史の中で、機械工学とものづくりとは、相互に強い影響を及ぼしあって発展してきたことは間違いないが、今後はより密接な関係と相互作用の中でこそ、社会に求められるものづくりを達成できるものと考えられる。すなわち、機械工学の原理原則から構想される新しい機械やシステムがその生産プロセスやサービス形態まで含めて設計され、一方、精緻で巧みな製造技術によってそれらが忠

実に造り出され、またその結果が直ちにフィードバックされるような、コンカレントな関係が生み出されることになる。このようにして、シンセシスの機械工学が実現化技術 (Enabling Technologies) としての役割を一層高めることができるはずである。

(4) 先端・融合による機械工学フロンティアの進展

前節では機械工学の基盤的な学術コアが今後どのように発展していくかを述べたが、加えて、先端領域、融合領域の学問分野を発展させていくことも機械工学の重要な役割である。これらの先端・融合領域を開拓し、発展させていくためには、従来の機械工学の学術コアを単に応用するだけでは不十分であり、大胆な知的冒険に乗り出すことが必要である。これによって、機械工学の基盤的学術もさらに発展していくことになる。そのような分野の開拓の可能性は、あらゆる方向に潜んでいる。例えば、新材料や熱流体分野の学融合による超高効率エネルギー変換、電子・情報分野との融合による知能ロボット、生化学と MEMS の融合によるマイクロ生化学分析チップ、高性能計算機システムによるシミュレーション科学など、未来社会において豊かな生活環境や新たな価値を生み出す可能性を有するものである。本節では、バイオエンジニアリング分野を例に、機械工学がこれらの分野をどのように発展させ、また、そのことにより機械工学の基盤的学術が如何に進展していくかを展望する。

① バイオメカニクス分野

生命組織体の構造と機能を力学的な視点からとらえて、生体の分子、細胞、器官、あるいは身体全体の働きと生体総合性を解明するとともに、得られた知見を医学における診断・治療・予防などに応用することを目的とするバイオメカニクス分野は、機械工学を基盤とする生体工学の中でも今後の発展が期待される。

工学で確立された法則や原理を適用するだけでは、バイオメカニクス分野の発展には限界があり、生体システムの固有な性質を取り入れることによって、これまで科学的に扱えなかった生物体を扱う固有な工学的的方法論を開拓し、独自の工学を生み出す必要がある。それによって、生体システムの原理を工学的に理解し、生体システムの機能をバイオ・医療以外の技術にも応用し、社会の多様な要請にも応えることが一層重要となる。

また、計算機の処理能力の飛躍的向上に伴って、コンピュータ上に抽象的な意味での生命モデルを作り上げることが試みられている。このように、情報科学と生命科学とが融合し、生命情報学という分野が展開されている。このような生命システムを工学的に応用して、高度な自律分散性と柔軟な適応性を発揮するシステムを構築することが可能となり、ロボット技術やマイクロマシンの発展に貢献していくことも期待される。

②生体医用機械工学

前項のバイオメカニクスの進展に加えて、最近では、医療や福祉に役立つ機械を作り出すことを目的とした「生体医用機械工学」(Biomedical Mechanical Engineering)の進展も著しい。これによって、医療機器や車椅子などの福祉機械だけではなく、先進の医用マイクロデバイスや先進ロボティクスなど、「新しい概念の機械」が次々に開発されつつある。例えば、フェムト秒チタンサファイヤレーザーで2光子吸収硬化させた光硬化樹脂により、肉眼では見えない、微小な遠隔操作ロボットハンドが開発されている。組み立て工程は不要で、レーザー照射だけで作製される。ロボットハンドの駆動には、レーザートラッピングによる光エネルギーが使われる。このように、このロボットの実現には、レーザー光学や制御工学だけでなく、表面修飾による親水化や細胞生物学など、従来の機械工学の範疇を超えた知識とそれを駆使する能力が要求される。このような分野では、迅速に新分野の知識を吸収し、応用できる能力がその成否の鍵を握る。

先端・融合領域分野の進展には、これまで構築されてきた力学を基盤としながらも、前節で述べた「ものづくり科学」に軸足をおいた研究開発が必要である。すなわち、従来の力学だけに拘ることなく、絶えず異分野の学問を吸収しながら新しい装置や研究領域を作り出すことが、これからの機械工学のさらなる発展の鍵を握っている。

(5) 学術としての機械工学の進展の方向性

機械工学は、その発展の歴史の中で4力学を基礎とする体系を確立し、初期には比較的狭い技術領域を対象としたが、現在不断に拡張され、その内容にも深化が進んでいる。現代では、機械工学は、4力学を中心としたアナリシス(縦糸)の学術コアと、設計工学、シミュレーション工学、加工・製造技術などのシンセシス(横糸)の学術コアから構成され、それぞれの学術コアにさらに大きな発展の可能性を有している。

近年、核物理学、物性科学、分子細胞学、ナノテクノロジーといったマイクロな世界の科学の進展と、それらを実際に操作する技術の台頭が、物質の存在と振る舞いに関してより根源的かつ普遍的な科学的知識を形成し、それが機械工学で扱われる時間と空間のスケールを著しく拡張させている。すなわち、縦糸系学術コアに関しては、従来は連続体的な視点で議論されていた力学が、分子スケール、量子スケールの議論にまで拡張され、ナノスケールの現象や界面の分子挙動が解明・予測されることが期待される。このように、新しいマイクロな世界の科学が機械工学の学術を改めて肉付けし、マイクロな世界の技術に機械工学的手法が有効に組み込まれ、またマイクロな現象の粗視化によるマクロ解析手法なども築かれつつある。さらに、各学術コアは、それぞれ単独での発展と共に、各学術コア間に跨るマルチフィジックス

現象の科学としても、その進展に期待が大きい。このような複雑な非線形現象のモデリングやシミュレーション解析が実用化されれば、ものづくり分野の設計技術が飛躍的に高度化することが期待される。

一方、シンセシスに重点が置かれた学術コアに関しては、マルチスケール、マルチフィジックスの統合・連結シミュレーションの設計や生産技術への応用が益々拡大することが予想される。特に、コンピュータの飛躍的な発展と相俟って、超並列計算機によるシミュレーション技術が実用化されることが予想されているが、シミュレーション技術を真に設計と融合するためのデジタルエンジニアリング研究の重要性が益々高まると言える。また、機械工学は、情報学、物理学、化学、生物学などの最新の成果を取り込み、コンピュータ、ロボティクス、NEMS/MEMS、新エネルギー、バイオ医療など、シンセシスのフロントエンドにその学術と技術の領域を広げ、さらに広大な社会のための知の体系を築きつつある。

本章で述べたように、機械工学は、その学術的なコアの発展と同時に、引き続き新たな分野を創造、牽引し、社会に夢と価値を提供していく役割を果たすべきである。それに伴い、実現する製造技術や応用技術が、改めて機械工学の学術コアをさらに進歩させるための牽引力ともなる。また、このような知の創造の循環は、機械工学の学術コアの発展とともに、生体医用機械工学のような新たな工学を創生する重要な役割を担う。これらのことを、機械工学関係者は十分認識、自覚し、今後も機械工学を着実に発展させていくべきである。

5 機械工学分野に求められる人材育成

前節までに述べたように、機械工学を取り巻く環境は大きく変化し、人材育成のあり方についても変革が求められている。すなわち、21世紀において、機械工学は、「科学技術駆動型イノベーション」創出に向けた「社会のための科学」を実現するための牽引役としての役割が求められている。従って、イノベーションの創出、具現化、普遍化のプロセスを横断的に担う能力を持った人材の育成、特に機械工学においては、揺るぎない専門知識とその応用力と共に、「知の統合による価値の創造能力」に焦点を当てた人材育成が強化されねばならない。

国民の科学技術の理解力と活用力を涵養し、科学技術を基盤的に担う専門人材を広く育成するためには、初等中等教育の重要性は論を待たず、その内容は元より、教育者自身の育成も含めて充実させていくことが必要である。科学や技術の成果が身の回りを取り囲み、豊かな社会を実現させてきたが、一方では、技術に関わる事故や環境問題などを生起していることも事実である。このような社会においては、全ての国民が、科学や技術の基礎を理解し、技術を適切に評価し活用する能力が求められる[11]。前述したように、機械工学は極めて広い学術分野に関係していることをその最大の特徴としていることから、機械工学関係者は、諸外国における技術教育の動向[12]も踏まえつつ、我が国にとって相応しい初等中等教育における技術教育の構築に向けてより一層の貢献をすべきである。

2008年3月に公示された小・中学校の新学習指導要領では、「総合的な学習の時間」や小学校における「図画工作」、中学校における「技術・家庭」の技術分野において、ものづくりなどの体験的な学習を積極的に各教科に取り入れていくこととされている[13]。このような体験に加えて、「必ずしも解が一つに定まらない問題に対して、あらゆる科学技術知識を動員して、実行可能な解を見出す」設計科学的なものの見方を涵養することが、全ての国民の生きる力を育む点からも望まれる。これらの能力は、ものをつくる過程だけではなく、世の中で生きて行くためにも必須と考えられる重要な能力であり、このような能力を育てることを技術教育の重要な目標のひとつとして位置付けることが望まれる。その際、力学を基盤として工学的なものの捉え方を習得させることは、具体的事例を身近に示すことが出来る点から効果的であると考えられる。

高等学校における理科教育に関しては、自然探求コースや自然探求科の設置、あるいはスーパーサイエンスハイスクールにおける数々の取り組みなど、様々な新しい試みが行われていることは望ましいことであるが、その多くが生物系・化学系に限られているのは適切でない。普通高校に技術や工学に関する教科がない事実は、科学技術創造立国として我が国が国造りを進めようとしていることからすると、問題が大きい。従って、科学技術教育をスーパーサイエンスハイスクールなどの少数の高等学校に留めることなく、「技術」や「工学的素養」を育む視点に

立った「スーパーテクノロジーハイスクール」を、全国に普及させることが必要で、さらなる予算措置に加えて教員養成の在り方にも見直しが必要である。機械工学関係者は、高等学校における教育により積極的に関与すべきである。

高等教育に目を向けると、大学の基本的な役割は、独創性・創造性を育む機能を内在する学術研究の推進と学術研究に基礎を置いた学部・大学院教育にあり、大学はこの本来の役割を着実に果たすことにより社会に貢献する必要がある。学士課程、大学院修士課程の教育プログラムを、国際的な教育改革の動向を踏まえつつ、競争力のある内容に強化させて行く必要がある。博士課程においては、世界をリードするイノベーションの創出を担う創造性豊かな人材を育成することを目標にすべきである。この面では、大学や大学院教育に留まらず、産業界における継続的な人材育成についても充実が期待される。以下では、大学ならびに大学院における教育課程について、機械工学分野に関連する、あるいは必要とされる変革についてまとめた。

(1) 学士課程教育による人材育成

学士課程教育における人材育成について考える場合、専門的知識の獲得に加えて、自立的な思考能力及び判断能力の涵養が必要なことは言うまでも無い。他人から独立して思考することが出来、持てる力を社会が直面する高度な問題の解決に役立たせることが出来る人材を育成する必要がある。学士課程教育においては、専門基礎知識の修得に加えて、

- (1) 論理的に考え、明瞭かつ効果的に書く
- (2) 正確に、説得力をもって意思伝達する
- (3) 批判的に考えることができる
- (4) 道徳倫理について理解と考察を行える
- (5) 情報に裏打ちされた判断力を持つ

などの基本的な能力を身に付けることが大切である。そのためには、論理的、科学的思考力や課題探求力、対話力、英語力、創造性や感性、哲学、文学、歴史学といった人間的素養などを涵養する教養教育を、専門教育と共にバランス良く行う必要がある。一方で、多様な学生が大学に入学する状況からも、よりきめ細かな教養教育が求められている。

このような観点から、機械工学に関する専門教育のあり方を考える場合、4年間という時間的な制約のなかで、どのような教育に重点を置くのかについて、検討が必要である。機械工学の基礎教育としては、材料力学、機械力学、熱力学、流体力学の4力学に加え、設計工学、生産工学などの教育は必須である。しかし、機械工学の対象とする範囲が従来の機械からナノ、バイオ、環境、エネルギーにまで広がりつつある現状を考えると、この点からも従来の機械工学専門基礎教育の見直しを行う必要がある。ナノ工学に関係しては量子力学を、バイオ工学に関

係しては生物学など、従来の機械工学から見た場合の新規分野を教育する必要があるが、問題は材料力学、機械力学、熱力学、流体力学、設計工学、生産工学などの教育の質を落とさずに、いかにして新規分野の基礎教育を行うかという点にある。このためには、流体力学と固体力学を連続体力学として教育する、材料と材料力学を統合して教育する、機械力学、機構学、メカトロニクスなどを統合して教育するなど、教育分野での知の統合が必要となろう。

わが国の工学教育の礎は、工学寮の開設に寄与したヘンリー・ダイアー (Henry Dyer, 1848-1918) によって築かれたが、彼は理論の習得と実習・演習 (官営工場実習) のバランスを重視し、当時の英 (実習重視) や独・仏 (理論重視) に例を見ないカリキュラムを導入し [14]、高く評価された。このような良き伝統を継承し、スクーリングと実習・演習のバランスを重視しつつ、カリキュラムを設計する必要がある。また、もうひとつの特長である学士論文研究については、卒業生や企業から高く評価されているが、指導教員によって研究指導方法や内容にばらつきがあることが指摘されている。この点を改善するために、複数教員による指導、産学連携などの取り組み、そして学士論文研究の教育目標の明確化が必要となろう。4年次教育で、卒業設計が組み込まれる例もあるが、望ましいオプションであり、適正な効果が得られるよう、その内容が吟味される必要があろう。

高等教育のグローバル化が進む中で、我が国の「学士」の水準の維持・向上、そのための教育の中身の充実を図っていくことが求められている [15]。国際的に通用する技術者教育プログラムの認定を目的としている日本技術者教育認定機構 (JABEE) が行う認定審査において、「種々の科学、技術および情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力」を技術者にとって重要な能力として位置づけているが、JABEEがワシントン・アコードに加盟する際に、日本はデザイン教育が弱いとの懸念が示されている [16]。ここでいうデザイン能力は、前述の「必ずしも解が一つに定まらない問題に対して、あらゆる科学技術知識を動員して、実行可能な解を見出す」設計科学的なものの見方に対応しており、ワシントン・アコードが提起した懸念を重く受け止める必要がある。現在、機械および機械関連分野の認定プログラム数は全体の18%を占め、最も多くのプログラムが認定されており [17]、この課題に積極的に取り組む必要がある。学士論文研究の教育目標の明確化とともに、PBL (Project Based Learning) 教育やものづくり教育等の実践的教育と専門知識の修得を目標とする基礎専門教育とのバランスや連携に関しても課題があり、早急に検討が行われる必要がある。

(2) 大学院教育による人材育成

① 修士課程教育

修士課程における教育の目標は、高度職業人の育成と次世代の学術としての機械工学を担う人材の育成にあるが、特に工学系では、企業への就職者に占める修

士課程修了者の割合が急速に増加するのに伴い、大学院教育に、技術者としての幅広い知識や実行力を涵養する教育を付与するための変革が求められている。折しも、中央教育審議会からは、「我が国の高等教育の将来像」[18]ならびに「新時代の大学院教育」[19]と題した答申が出され、産官学が連携した大学院教育改革の重要性が謳われている。

日本機械学会においては、平成16年度より大学院教育懇談会を設置して、大学院教育のあり方について検討を行っている。その結果、平成17年度には、(1)コースワークの強化と体系的な履修、(2)産学連携教育の強化、(3)機械系高度専門技術者・研究者の確保、から成る大学院教育に関する提言が成されている[20]。さらに、平成18年度には、(1)産学が共有する人材像の明確化、(2)教育という視点からの論文研究の位置付けの明確化、(3)産学間の人材交流の仕組みの具体化、から成る提言が成されている[21]。今後は、各大学において、これらの提言を踏まえた自主的な具体的取組が要望される。

産業界等社会のニーズに配慮したカリキュラムの策定など、教育プログラム体系の整備が求められるが、特に、修士課程においては、教育プログラムの半分以上の時間を修士論文研究に費やしていることから、教育プログラムとしての修士論文研究の位置付けを明確にしていく必要がある。修士論文研究は修了生からも企業からも高く評価されているが、基本的な指導内容や方針が教員個人に任されているため、達成度に大きなばらつきがあると認識されており、改革が必要である。修士論文研究では、論文の成果だけではなく、その過程で涵養される、工学系人材に求められる能力である、創造力、課題設定・解決力、コミュニケーション力、チームワーキング・リーダーシップ力などについても教育目標を明確化し、達成度評価を含めて、修士論文研究を通じた教育の実質化を早急に図る必要がある。日本技術者教育認定機構（JABEE）は、2007年度より大学院修士課程プログラムの認定審査を開始した[17]が、育成する人材像を明確にした学習・教育目標の設定とともに、修士論文などの研究については成果だけでなくプロセスが学習・教育目標と明確に関係付けられていることを要求しており、同様の方向性が示されている。

②博士後期課程教育

従来の博士後期課程では、自立するに十分な研究能力を備え、機械工学という専門分野において独創的な研究を行い得る研究者の養成を行ってきた。しかし、今日、機械系の博士後期課程には、これら研究者の養成のみならず、産業界などにおける高度研究者・技術者など高度な研究能力と豊かな学識に裏打ちされた知的な人材の育成が強く求められている[22]。このような状況を踏まえて、研究者の養成のみならず、高度な研究能力を持って社会に貢献できる人材養成を、機械系の博士後期課程の目的とすべきである。

その場合、従来の指導教員の研究室で行われている論講や研究発表を中心とした学術探究型のコースワークに加え、課題解決型の教育が必要になる。すなわち、機械工学のより深い知識や自然科学の広範な知識の教授に加えて、知識を実際に活用し展開していくための能力を身に付けさせるための実践的なコースワークの導入などの教育上の取組みが求められる。また、高度な研究能力を持って社会に貢献できる人材養成を行うためには、経営工学、MOTなどの講義や長期インターンシップを教育プログラムに組み込むことも効果的であろう。

博士論文研究は、学術研究に内在する独創性を育む機能を有効に生かして学生の創造性・独創性の能力開発に取り組む最適な機会である。既往の研究の調査、研究成果の提示、独創性の主張などがピア・レビューを通して厳しくチェックされる機能は学生に独創性について考えさせる最適な機会である。一方、研究活動において所属研究室を越えて多様な研究者と相互研鑽することが求められる。複数教員による博士論文研究の指導は有効であり、また博士論文研究を通じた教育の達成度評価を適切に行うための教育目標の設定が必要となろう。博士課程について、そのアドミッションポリシー、教育プログラム体系、ディプロマポリシーをより明確化していく必要がある。その際、博士課程人材の将来のキャリアパスを見据えた検討が必要であろう。志望する進路に依って、「研究・教育人材コース」、「産業等における開発・研究及び技術マネジメント人材コース」のように、明確な選択肢を提示できる教育コースの設計も検討に値する。

近年の機械工学分野の博士課程人材については、その進学者数の減少という課題を抱えており、他の理工系分野でポストク問題などが顕在化している状況と傾向を異にしている。これは、産業界での機械系人材の求人の高まり、採用活動の早期化と強化、博士課程での経済的支援や修了後の処遇の貧しさなどが原因となっていると考えられる。また、若い世代に、早期に形のある結果を追い求め、じっくりと基礎知識を確かめながら成果を生み出す、粘り強い姿勢が弱まってきていることも指摘できよう。今後、わが国が世界のトップランナーの一人として独自の技術開発を推進し、イノベーションを達成して発展して行くには、学界のみならず産業界においても、優れた博士人材は必須であり、価値創出の中核となる機械工学分野の博士人材の減少は特に重大な問題である。大学関係者は人材育成機能の充実・強化を、教育行政は博士課程に在籍する若者への積極的かつ継続的な投資を、産業界は博士人材の就業条件やステータスの改善に向けて、相互に連携しつつ、若い世代にとっても魅力的な具体的対策を早急に実施すべきである。

③グローバル化時代の大学院教育

大学院教育のグローバル化について考える場合、技術者の活動の場が国際的になっていることを認識する必要がある。従って、大学院教育では特に国際的に活躍できる技術者・研究者の育成が急務であり、積極的に学生に海外で学習する機会を与える、留学生を受入れ共同体験を持たせるなどの教育の国際化の推進が不可

欠である。そのためには、海外の大学との単位取得の同等性、教育の同等性の確保はもとより、我が国の大学院の国際的競争力を一段と強化するよう、大学関係者の努力が必要である。そして、上述した大学院教育の改革を進める際には、このような大学院教育のグローバル化の視点が重要である。欧米で検討が進んでいる高等教育プログラムの質の保証の取組み、技術者資格の取組み、ボローニア・プロセスの動向などを注視し、それらとの整合性を常に考慮した取組が必要である。また、我が国の産業界はものづくり技術を中心に高い国際的競争力を有している。大学院における人材育成において、そのような産業界との有機的な連携は、国際化の視点からもさらなる充実が望まれる。さらに、大学は社会人リカレント教育プログラムの開発を、産業界は研究開発技術者の大学への派遣をより柔軟に行える環境整備を進めるべきである。

今、グローバリゼーションが急速に進展する中で、人類社会の持続性に寄与し、よりよく生きるための技術が求められている。そのような社会の期待に応えるためには、機械工学を担う研究者・技術者自らが襟を正し、社会と技術の関係を見直し、我々のビジョンと目標の中に崇高な技術者倫理を組み込んでいくことが必要である。大学院教育における人材育成において、上述した課題に加えて、教育技術者倫理教育を適正に位置づけることは重要な課題である。

6 まとめ

工学・技術の発展は、今後とも境界領域を含む未踏分野への果敢な知の挑戦によって成し遂げられるものと予想されるが、その際、認識科学と設計科学の役割を明確に認識し、両者の連携を果たしていくことが必要である。異分野の学融合による新分野開拓、異種技術の統合による新技術開発など、ディシプリンを越えた協働がますます必要となる。それは、工学各分野間で、さらにはより広く自然科学、人文社会科学との間に生み出されるべきである。そのような知の協働を進めていくとき、一方で、工学が確固たる複数のディシプリンを堅持し、さらに深化発展させていくことも必要であり、そのひとつとして機械工学のディシプリンが位置付けられるといえる。

機械工学は、力学を中心としたアナリシスに重点が置かれた縦糸としての学術コアと、設計工学、生産工学、制御工学などのシンセシス（統合）に重点が置かれた横糸としての学術コアとが織りなすディシプリンに、エネルギー、輸送機器、資源、環境、医療福祉などの多彩な応用技術（人工物の科学）に関わる工学知を組み上げた、特異な立体構造を有する知の体系である。そのような知の構造に由来して、機械工学が認識科学と設計科学の両者を内包し、また対象を選ばず、広範な技術の基盤を創造する役割を果たし、さらには社会のための科学技術の方向性を常に牽引し得る特性を有することを指摘した。また、機械工学ディシプリンは、今なお科学としての学術的な飛躍と発展の可能性を有し、次世代人材にとって有力な行動原理とも成り得るものである。

本分科会のこれまでの審議の結果を以下のように取りまとめ、今後の審議の参考に供するものである。

- (1) 新世紀の科学技術には、環境制約、資源制約の下で、安心安全で豊かさの感じられる社会を構築することが望まれている。この重大な目標を実現して行くには、広範な分野にわたる科学技術ディシプリン各々を深化発展させると同時に、多様なディシプリン群を協調・統合し、社会が直面する複雑な問題を解決し、あるいは巨大なシステムを機能させることを可能とする新しいタイプのディシプリンの確立が必要である。科学者コミュニティは、このような「知の統合」を先導するディシプリンの確立の必要性を認識し、それを実現するための具体的な議論と、ディシプリンの再編、それらのミッションの確認に着手すべきである。
- (2) 機械工学は、4力学を中心としたアナリシス（縦糸）の学術コア、設計・生産工学などのシンセシス（横糸）で構成される学術コアが相互に織りなして構成するディシプリンの上に、さらに多彩な応用技術（人工物の科学）が重層されるという特有な知の構造を成しており、ディシプリンの発展性と共に優れた総合性が認められる。従って、機械工学コミュニティは、前項で指摘した「知の統合」を

先導する工学ディシプリンとしての役割を機械工学が果たせるよう、その特有の知の構造に起因する特性を最大限に生かす方向へと発展させるべきである。

- (3) グローバル化に立ち向かう知的競争力の向上には、独創的な研究開発を担う博士課程人材が必須である。特に、イノベーション創出、産業競争力の強化を目指すわが国においては、強い求人動向の下での機械工学分野の博士課程進学者数の減少は重大であり、早急な対応が望まれる。機械工学の教育研究を担う大学関係者はイノベーション創出と産業競争力の強化に貢献する人材育成機能の充実・強化を、教育行政はこの志を持って博士課程に在籍する若者への積極的かつ継続的な投資を、産業界はそのような資質を持つ博士人材の就業条件やステータスの改善に向けて、相互に連携しつつ、具体的な対策を早急に実施すべきである。
- (4) 機械工学高等教育においては、学士課程、修士課程の教育プログラムを、海外の教育改革や標準化の動向を踏まえつつ、国際的に競争力のある内容に充実、強化させていく必要があり、機械工学の教育関係者は早急に具体的方策を採るべきである。わが国の工学教育の良き伝統としての、スクーリングと実習・演習のバランスを重視しつつ、カリキュラムを設計する必要がある。また、優れた特長である学士論文研究、修士論文研究について、その教育目標の明確化と達成度評価の標準化が急務である。大学院において、研究職育成と技術者・開発マネージャー育成といった複線的コースの設置も、大学の個性に応じて有力なオプションである。さらに、産学連携による Project Based Learning などの実践的教育プログラムの開発も視野に入れて、多様な技術者人材育成を図るべきである。
- (5) 初等中等教育においては、“ものづくり”の楽しさを体感させると共に、社会の実問題に対して科学技術知識を動員して実行可能な解を見出す、設計科学的なものの見方を涵養することが、新世紀における国民の生きる力と創造性を育成する観点から重要である。力学を基盤としながら多様な工学知を活用し統合を図ることを特徴とする機械工学に関わる教育者や技術者は、このような初等中等教育における“ものづくり”教育に貢献する使命を有しており、教育プログラムの開発と実施に積極的に参加していくべきである。

<参考文献>

- [1] 総合科学技術会議、諮問第5号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申（第3期科学技術基本計画）、2005年12月。
- [2] M. Gibbons, C. Limoges, H. Nowotny, S. Schwartzman, P. Scott and M. Trow, “The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies,” SAGE Publication, July 1994. (小林信一(監訳), 「現代社会と知の創造—モード論とは何か」, 丸善ライブラリー, 1997年8月)。
- [3] R. W. Schmidt, “Final Report: ICSU Assessment Panel,” Oct. 1996.
- [4] 吉川弘之、「科学者の新しい役割」、岩波書店、2002年9月。
- [5] 日本学術会議科学者コミュニティーと知の統合委員会、対外報告「提言：知の統合—社会のための科学に向けて—」、2007年3月。
(<http://www8.cao.go.jp/cstp/output/toushin5.pdf>)
- [6] 日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会、「新しい学術の体系—社会のための学術と文理の融合」、2003年6月。
(<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18pdf/1829.pdf>)
- [7] 大橋秀雄、「これからの技術者」、オーム社、2005年10月。
- [8] 久保亮五、長倉三郎、井口洋夫、江沢洋(編)、理化学辞典、第4版、岩波書店、1987年10月。
- [9] 日本機械学会、「新形式機械工学便覧に関する答申」、新版機械工学便覧改訂出版準備会、1977年1月。
- [10] National Academy of Engineering, “The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century,” The National Academies Press, Washington DC, 2004.
- [11] 桜井宏、「社会教養のための技術リテラシー」、東海大学出版会、2006年7月。
- [12] 国際技術教育学会、「国際競争力を高めるアメリカの教育戦略—技術教育からの改革」、宮川秀俊、桜井宏、都筑千絵編訳、教育開発研究所、2002年7月。
- [13] 経済産業省、製造基盤白書(ものづくり白書) 2008年度版。
(<http://www.meti.go.jp/report/data/g80610aj.html>)
- [14] Nature, “Engineering Education in Japan,” No. 394, Vol. 16, May 17, 1877.
- [15] 「学士課程教育の構築に向けて(審議のまとめ)」、中央教育審議会大学分科会制度・教育部会、2008年3月25日。
- [16] 大中逸雄、日本技術者教育認定制度の現状と展望、2005年2月。
(<http://www.jabee.org/OpenHomePage/jabee3.htm>)
- [17] 日本技術者教育認定機構、2007年度認定審査サマリーレポート、2008年5月。
(<http://www.jabee.org/OpenHomePage/summary2007.pdf>)
- [18] 我が国の高等教育の将来像、答申、中央教育審議会、2005年1月。
- [19] 新時代の大学院教育—国際的に魅力ある大学院教育の構築に向けて—、答申、中央教育審議会、2005年9月。
- [20] 大学院教育に関する提言—平成17年度年次大会パネルから、日本機械学会、2006年3月。(<http://www.jsme.or.jp/educenter/daigakuinkyouseigen.htm>)

[21] 大学院教育に関する提言（その2）－平成 18 年度年次大会パネルから、日本機械学会、2007 年 3 月。

(<http://www.jsme.or.jp/opd/daigakuinkyouikuteigen2006.htm/index.htm>)

[22] （社）日本経済団体連合会、イノベーション創出を担う理工系博士の育成と活用を目指して－悪循環を好循環に変える 9 の方策－、2007 年 3 月 20 日。

(<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2007/020.html>)

<参考資料>

1. 機械工学ディシプリン分科会審議経過

平成18年

- 7月26日 日本学術会議幹事会（第21回）
○機械工学ディシプリン分科会設置承認
- 10月26日 日本学術会議幹事会（第27回）
○分科会委員決定

平成19年

- 1月29日 機械工学ディシプリン分科会（第1回）
○委員長など選出、今後の進め方について
- 2月24日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第1回）
○審議課題整理、3つのWG設置について
- 4月24日 機械工学ディシプリン分科会（第2回）
○3WGで、機械工学の役割、学術コア、人材育成について審議
- 9月13日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第2回）
○第3回分科会の審議の進め方について
- 9月20日 機械工学ディシプリン分科会（第3回）
○3WGで審議、報告書の内容構成について
- 12月8日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第3回）
○報告書文案構成について

平成20年

- 2月28日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第4回）
○報告書文案について
- 3月28日 機械工学ディシプリン分科会（第4回）
○報告書文案の構成、各章について審議
- 5月3日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第5回）
○報告書文案について
- 7月10日 機械工学ディシプリン分科会幹事会（第6回）
○提言内容について

- 9月18日 日本学術会議幹事会（第〇回）
○機械工学ディシプリン分科会記録「人と社会を支える機械工学に向けて」について承認

2. 市民開放シンポジウム「21世紀における機械工学ディシプリン」

標記シンポジウムを、(社)日本機械学会との共催により、以下のように開催した。

日 時 平成20年8月5日(火) 9:45~17:00

場 所 横浜国立大学(神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号)

開催趣旨

日本学術会議機械工学委員会機械工学ディシプリン分科会では、「21世紀における機械工学の役割・貢献」、「機械工学の学術コア」、「人材育成」について検討を進めている。このシンポジウムは、日本機械学会年次大会が8月3日から7日にかけて開催されるのに合わせて、市民開放行事として、その内容を広く報告し、議論を深めると共に今後の機械工学コミュニティが進むべき道を探ろうとするものである。午前の部は「21世紀における機械工学の役割・貢献」を、午後の部は「21世紀を担う機械技術者・研究者の育成」を、それぞれテーマとして、基調講演とパネルディスカッションを行う。

プログラム

開会あいさつ: 笠木伸英(東京大学, 日本学術会議会員)

9:45-10:00 「日本学術会議機械工学ディシプリン分科会における検討」

笠木伸英(東京大学, 日本学術会議会員)

10:00-10:30 基調講演「21世紀における機械工学の貢献」

廣瀬茂男(東京工業大学教授, 日本学術会議連携会員)

10:30-12:00 ブレインバトル「工学のフロントランナー ~機械工学の未来~」

司会 加藤千幸(東京大学, 日本学術会議連携会員)

パネリスト 生田幸士(名古屋大学, 日本学術会議特任連携会員), 北村隆行(京都大学, 日本学術会議連携会員), 谷下一夫(慶応大学, 日本学術会議連携会員), 永井正夫(東京農工大, 日本学術会議連携会員), 松本洋一郎(東京大学, 日本学術会議連携会員), 矢部彰(産業技術総合研究所中国センター所長, 日本学術会議連携会員), 他

14:00-14:25 基調講演「大学院教育改革への期待」

今泉柔剛(文部科学省高等教育局大学振興課大学改革推進室長)

14:25-14:50 基調講演「日本学術会議機械工学ディシプリン分科会報告」

宮内敏雄(東京工業大学, 日本学術会議連携会員)

15:00-17:00 パネルディスカッション「大学院教育改革の試みと産業界からの要望」

司会 岸本喜久雄(東京工業大学, 日本学術会議連携会員)

話題提供「大学院教育プラットフォームの革新」津島将司(東京工業大学)

「機械工学フロンティア創成」吉田和哉(東北大学)

「インテック・フュージョン型大学院工学教育」蓮尾昌裕(京都大学)

「複合システムデザインのためのX型人材育成」田中敏嗣(大阪大学)

「環境調和型高度ものづくり能力の育成」森孝男(富山県立大学)

「国際力を備えた技術系大学院学生の育成」 飴山恵(立命館大学)

「修士論文研究の位置づけと達成度評価」 酒井信介(東京大学)

コメンテーター 有信睦弘(東芝執行役常務, 日本学術会議連携会員), 大輪武司
(芝浦工業大学理事), 久保田裕二(東芝首席技監), 新隆之(日立製作所主任研究
員)他