

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

## 総合工学分野の展望



平成22年（2010年）4月5日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会



この報告は、日本学術会議総合工学委員会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

### 日本学術会議総合工学委員会

委員長	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
副委員長	小舘香椎子	(第三部会員)	日本女子大学マルチキャリアパス担当学長特別補佐
幹事	荒川 泰彦	(第三部会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
幹事	山地 憲治	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	桑野 園子	(第一部会員)	大阪大学名誉教授
	野口 伸	(第二部会員)	北海道大学大学院農学研究院教授
	池田 駿介	(第三部会員)	東京工業大学理工学研究科教授
	伊澤 達夫	(第三部会員)	東京工業大学理事・副学長
	石原 宏	(第三部会員)	東京工業大学教授
	伊藤 早苗	(第三部会員)	九州大学応用力学研究所教授
	笠木 伸英	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	岸浪 建史	(第三部会員)	独立行政法人国立高等専門学校機構 釧路工業高等専門学校校長
	岸本喜久雄	(第三部会員)	東京工業大学教授
	北澤 宏一	(第三部会員)	独立行政法人科学技術振興機構理事長
	北村 隆行	(第三部会員)	京都大学工学研究科教授
	木村 文彦	(第三部会員)	法政大学理工学部教授
	後藤 俊夫	(第三部会員)	中部大学副学長
	榊 裕之	(第三部会員)	豊田工業大学副学長
	鈴木 篤之	(第三部会員)	内閣府原子力安全委員会委員
	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)	独立行政法人国立高等専門学校機構理事長
	前田 正史	(第三部会員)	東京大学生産技術研究所教授
	毛利 衛	(第三部会員)	独立行政法人科学技術振興機構日本科学未来館館長
	芦田 譲	(連携会員)	NPO 法人環境・エネルギー・農林業ネットワーク理事長
	新井 民夫	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	有信 睦弘	(連携会員)	株式会社東芝顧問
	飯吉 厚夫	(連携会員)	中部大学総長
	池田 雅夫	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科教授
	石田 寛人	(連携会員)	金沢学院大学学長
	石谷 久	(連携会員)	一般社団法人新エネルギー導入促進協議会代表理事
	市川 昌和	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	一村 信吾	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所理事
	伊東 一良	(連携会員)	大阪大学工学研究科教授
	伊藤 公孝	(連携会員)	自然科学研究機構核融合科学研究所教授

上田 完次	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所理事
内田 健康	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
圓川 隆夫	(連携会員)	東京工業大学 教授
尾浦憲治郎	(連携会員)	大阪大学超高压電子顕微鏡センター特任教授
大津 元一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
奥村 次徳	(連携会員)	首都大学東京大学院理工学研究科教授・理工学研究科長
尾鍋研太郎	(連携会員)	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
小野 晃	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所・副理事長
垣本由紀子	(連携会員)	立正大学大学院心理学研究科非常勤講師 NPO 法人航空・鉄道安全推進機構
柏木 孝夫	(連携会員)	東京工業大学統合研究院教授
川田 裕	(連携会員)	大阪工業大学工学部長・教授
河田 恵昭	(連携会員)	京都大学防災研究所長・教授
川村 貞夫	(連携会員)	立命館大学総長特別補佐
木村 逸郎	(連携会員)	京都大学名誉教授
木村 忠正	(連携会員)	電気通信大学名誉教授
木村 英紀	(連携会員)	(独) 理化学研究所 BSI-トヨタ連携センターセンター長
國島 正彦	(連携会員)	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
久保田弘敏	(連携会員)	帝京大学大学院理工学研究科長
久米 均	(連携会員)	東京大学名誉教授
小泉 英明	(連携会員)	(株) 日立製作所役員待遇フェロー
小長井 誠	(連携会員)	東京工業大学大学院理工学研究科教授
小林 尚登	(連携会員)	法政大学デザイン工学部教授
小宮山 宏	(連携会員)	(株) 三菱総合研究所理事長
財満 鎮明	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
佐野 昭	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
柴田 徳思	(連携会員)	日本原子力研究開発研究機構 J-PARC センター客員研究員
白木 靖寛	(連携会員)	東京都市大学副学長
須賀 唯知	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
杉原 康吉	(連携会員)	明治大学 研究・知財戦略機構 先端数理科学インスティテュート 特任教授
杉原 正顯	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
鈴置 保雄	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
関村 直人	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
高橋 桂子	(連携会員)	(独) 海洋研究開発機構地球シミュレーターセンター・グループリーダー
高橋 幸雄	(連携会員)	東京工業大学大学院情報理工学研究科教授
田島 道夫	(連携会員)	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部研究主幹・教授

多田 邦雄	(連携会員)	金沢工業大学大学院工学研究科教授
舘 暲	(連携会員)	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授
橘 邦英	(連携会員)	愛媛大学大学院理工学研究科教授
遠山 嘉一	(連携会員)	東京大学工学キャリア支援オフィス
中須賀真一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
中橋 和博	(連携会員)	東北大学大学院工学研究科教授
成合 英樹	(連携会員)	独立行政法人原子力安全基盤機構 特別顧問
二ノ方 寿	(連携会員)	東京工業大学教授
萩原 一郎	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科教授
架谷 昌信	(連携会員)	愛知工業大学総合技術研究所長
波多野睦子	(連携会員)	(株)日立製作所中央研究所主管研究員
早川 義一	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
原 辰次	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
平岡 佳子	(連携会員)	(株)東芝研究開発センター機能材料ラボラトリー 研究主務
藤井 孝藏	(連携会員)	独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部教授
古崎新太郎	(連携会員)	東京大学名誉教授
真壁 利明	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
松尾由賀利	(連携会員)	独立行政法人理化学研究所前任研究員
松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学工学部教授
的川 泰宣	(連携会員)	宇宙航空研究開発機構執行役・ 宇宙教育センター長・宇宙科学研究本部教授
三間 罔興	(連携会員)	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター教授・ センター長
三村 高志	(連携会員)	(株)富士通研究所フェロー
宮田 秀明	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
向殿 政男	(連携会員)	明治大学理工学部教授
本島 修	(連携会員)	未来エネルギー研究協会会長
谷田貝豊彦	(連携会員)	宇都宮大学オプティックス教育研究センター センター長・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研究科長
山本 一良	(連携会員)	名古屋大学副総長・教授(大学院工学研究科)
吉川 弘之	(連携会員)	独立行政法人産業技術総合研究所理事長
吉野 淳二	(連携会員)	東京工業大学教授
吉村 忍	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
渡辺美代子	(連携会員)	(株)東芝経営変革統括責任者

※ 名簿の役職等は平成22年3月現在

## 要 旨

### 1 総合工学が包含する分野ならびに知の統合との関係

「総合工学」とは、旧来の工学には見られなかった工学における横型分野であり、あらゆる工学体系や知識を総動員して設計・製造される人工物に関する分野であると定義できる。すなわち、「総合工学」は、従来からの領域型分野とは異なり、学際的・複合的な分野である応用物理、計測制御、計算機科学、計算科学・技術、エネルギー・資源、放射線、宇宙航空、海洋船舶、安心・安全・リスク学、環境学、巨大社会システムなどを含んでいる。すなわち、これらの分野を束ねた「総合工学」は極めて広い概念を持っており、既存の領域型分野とは自ずと異なった内容を包含し、工学全体の横断的課題およびと科学・技術全体に跨がる課題を扱うという特徴を持っている。

一方、異分野の学問規範の接触から新しい学問規範が生まれることについては、これまでも、「学際」、「融合」、「知の統合」など様々なキーワードで語られてきた。「学際」は学問の発展のプロセスであるため、ある意味で自然に生み出されるが、異分野の学問の接触が新しい知を創発する「知の統合」は難しい課題である。第20期の日本学術会議ではこの問題に正面から取り組むために「科学者コミュニティと知の統合委員会」を課題別委員会として創設し、集中的な議論を行った。特に、現代の学術における知の統合の必要性について文理双方の視点から詳細に検討し、また知の統合の基本的なあり方を議論している。さらに、「総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会」では、知の統合の具体的なプロセスを研究者の営みの問題として明らかにすることを目指している。「総合工学」の主な役割のひとつは、ここに述べた「知の統合」を具現化することである。

### 2 総合工学が果たすべき社会への貢献と役割

21世紀の「社会のための科学・技術」を実現するために、「総合工学」はその特徴である包含する広い分野間の学問の連携・融合を促すことにより、新しい領域の創成や社会で求められる技術、価値あるいは概念を創り出すという重要な役割を担っている。一方、科学・技術の進展に伴う高度化・専門化により、学術分野の細分化と拡散が進み、科学者コミュニティにおいても科学・技術全体が見渡しにくくなってきているということに対応しなければならない。工学・科学・技術全体を課題としている「総合工学」の大きな役割は、包含する分野の深化をはかると同時に、これらの要求に応えるために、既存の分野と融合して「イノベーション」の創出をはかるなど、社会に求められる技術や価値を創造するための科学・技術の強化をはかることである。例えば、個別の技術成果の積み上げのみでは地球規模の課題の克服には不十分であり、「世界全体の持続可能性」に貢献するマクロかつ定量的視点を重視し、総合的な将来ビジョンのもとに、実現に確実に貢献するプログラムづくりと安心・安全な社会の構築に向けて、総合工学分野が役割を果たす必要がある。その結果として、学術の境界に新たな変化を生じさせ、次なる知を生み出すことにつながっていくことになる。以上のように、総合工学の展開によって、工学の諸分野、生物学、医学、社会科学などを融合した技術の創造が生まれ、今後の知の統合が期待されるのである。

### 3 人材育成

21世紀におけるグローバル化の進展の中で、一人一人の人間がより豊かで安心・安全な生活ができるためには、「社会のための科学・技術」として、これまで別々の分野として発展してきた学際・複合的な工学分野である「総合工学」が、広い分野に跨がる先進的な学術としてさらに発展を続けることが重要である。このことによって社会全体の横断的課題や科学・技術全体に跨がる課題を解決し、人類社会の「持続可能な発展」、すなわち、環境と経済の両立へ向けての総合的な飛躍と発展へと繋がるであろう。このためには、「個」として考え、計画し、決断し、行動する、多様な価値観と能力を持った科学・技術を担う研究者、技術者の質、量両面での確保と育成のためのシステムを築く必要がある。すなわち、国際的な競争力・発展性のある総合工学の基盤構築に向けて、次世代を担う人材育成・教育について 充実・強化が最優先課題として取り組まれるべきである。

これまでも、「総合工学」という広い概念が包含する個々の学術領域で学んだ研究者・技術者は広範な専門知識を生かして産業界の様々な分野に柔軟に適応し、多大な貢献をしている。しかしながら、日本の人口の減少と高齢化はこの先20年間に急速に進み、生産労働人口が半減する事が予想されている。産学連携によるイノベーションの創出をはかり、将来の技術開発を支える人材の育成は「総合工学」の持つ特性を「社会との関わり」において十分に生かす責任を果たす上でも極めて重要である。

# 目 次

1	はじめに.....	1
2	総論.....	2
	(1) 総合工学が包含する分野ならびに知の統合との関係.....	2
	(2) 総合工学が果たすべき社会への貢献と役割.....	3
	(3) 総合工学の人材育成.....	5
3	総合工学各分野の長期的役割、課題、展望.....	7
	(1) 工学基礎.....	7
	① 序.....	7
	② 工学基礎の役割と課題.....	7
	③ 「知の統合」にむけての提案.....	9
	④ 結び.....	9
	(2) 応用物理.....	10
	① 序.....	10
	② 重要分野の概要と中心課題.....	10
	③ 応用物理学分野全体の課題と提言.....	11
	④ 結び.....	13
	(3) エネルギーと資源.....	13
	① 序.....	13
	② 持続可能なエネルギーシステムを実現する技術開発.....	13
	③ 処理困難資源の製錬とリサイクル技術の推進.....	14
	④ 物質・エネルギーを統合した次世代産業基盤の創出.....	16
	⑤ 結び.....	16
	(4) フロンティア人工物.....	17
	① 序.....	17
	② フロンティア人工物科学・技術の現状と課題.....	17
	③ フロンティア人工物の科学・技術推進のための提言.....	19
	④ 結び.....	20
	(5) 巨大複雑系社会経済システム.....	20
	① 序.....	20
	② 巨大複雑系社会経済システムの本質的かつ共通特性の理解.....	21
	③ 巨大複雑系社会経済システムの創成力強化.....	21
	④ 巨大複雑系社会経済システムの創成.....	21
	⑤ 結び.....	22
	(6) 安全・安心・リスク.....	22
	① 序.....	22
	② 取り組むべき課題.....	22



③ 具体的・技術的課題.....	23
④ 結び.....	24
4 まとめ.....	25
<参考文献>.....	27
<参考資料>シンポジウム一覧（第21期）.....	28

## 1 はじめに

総合工学という概念が一般に知られるようになったのは1990年代になってからである。それまでの工学は、どちらかといえば産業界からの要請を最優先し、ものづくりをいかに効率的に行うかという命題のもとに、産業領域ごとに大学の学科や学問領域を編成し、各産業分野に人材を輩出してきた。しかし、我が国の産業の成熟化やグローバル化にともなう、単なるものづくりから付加価値の創造へと産業そのものが質的に変化し、工学というものに抜本的な変革が必要であると認識され始めた。また、地球環境問題のようにあらゆる学問を総動員して解決すべき新たな課題が顕在化してきた。そこで、これまでの工学とは異なる新しい概念としての総合工学が新たに浮上してきたのである。

2005年10月に第20期の日本学術会議が始まり、新しく30の分野別委員会が設置された。その一つとして総合工学委員会がある。縦型あるいはそれぞれの領域や分野に関する委員会が多い中、総合工学委員会は、これらの既存の領域型工学と異なり、包含する分野が必ずしも明確に定められていない学際的・複合的分野である。本報告は、このような背景のもとに第20期からスタートした日本学術会議総合工学委員会のこれまでの議論の内容を取りまとめたものである。

## 2 総論

### (1) 総合工学が包含する分野ならびに知の統合との関係

「総合工学」とは、旧来の工学には見られなかった工学における横型分野であり、あらゆる工学体系や知識を総動員して設計・製造される人工物に関する分野であると定義できる。すなわち、「総合工学」は、機械工学、電気電子工学、土木建築工学などの領域型分野とは異なり、学際的・複合的な分野である応用物理、計測制御、計算機科学、計算科学・技術、エネルギー・資源、放射線、宇宙航空、海洋船舶、安心・安全・リスク学、環境学、巨大社会システムなどが含まれる。すなわち、これらの分野を束ねた「総合工学」は極めて広い概念を持っており、既存の領域型分野とは自ずと異なった内容を包含し、かつ、工学全体の横断的課題および科学・技術全体に跨がる課題を扱うという特徴を持っている。「総合工学」は、第3期科学技術基本計画の重点8分野に関連付けて言えば、情報通信、環境、エネルギー、フロンティア、ナノテク・材料、製造技術、社会基盤の分野に跨っている。また、科学研究費に対応させて言えば、工学の分科の一つとして設定されている「総合工学」分科よりずっと広い分野を包含している[1]。

翻って、異分野の学問規範の接触から新しい学問規範が生まれることについては、これまでも、「学際」「知の統合」など様々なキーワードで語られてきた。「学際」は学問の発展のプロセスであるため、ある意味で自然に生み出されるが、異分野の学問の接触が新しい知を創発する「知の統合」は生起させることが難しい。知の統合が学問として取り上げられる理由は、知の統合が新しい価値をもたらす一方、知の統合を人為的に推進することがきわめて難しいからである。この困難さは、学問の進展に伴う知の総量の増大が分野の細分化を伴うことからくる。学問の細分化はいわば学問の自然な方向であるため、知の統合の実現のためには、その自然傾向に対抗して強力に、または人為的に努力しなければならないといえる。

第20期の日本学術会議では、この問題に正面から取り組むために、「科学者コミュニティと知の統合委員会」を課題別委員会として創設し、集中的な議論を行った。そこでは、学術全体をカバーする広い視点からこの問題を考察している。特に、現代の学術における知の統合の必要性について文理双方の視点から詳細に検討するとともに、知の統合の基本的な視点として、「あるもの」や「存在」を探求する「認識科学」と「あるべきもの」や「当為=なすべきこと」を探求する「設計科学」との間の連携促進の重要性を議論している。これらの内容は、対外報告『提言：知の統合—社会のための科学に向けて』[2]にまとめられている。

一方で、政府の第3期科学技術基本計画では「イノベーション」の重要性が強調された。第3期科学技術基本計画ではイノベーションを「科学的発見や技術的発明を洞察力と融合し発展させ、新たな社会的価値や経済的価値を生み出す革新」と定義している。日本学術会議においても、第20期にスタートした総合工学委員会・機械工学委員会合同の「科学技術イノベーション力強化分科会」は、政府の要請を受けて「イノベーション推進検討会」に発展し、対外報告『科学者コミュニティが描く未来の社会』を提言した[1] [3]。この提言には、会員、連携会員からの274件の「創出すべきイノベーションと未来社会

のイメージ」及び「実現に必要な事項と、その実現への阻害要因」の構想書が添えられている。

イノベーションは、単一の学術分野からも創出するものの、知の統合もまた、その重要な側面を担うことは明らかである。総合工学委員会においても、「工学基盤における知の統合分科会」において、上記の274件の提言から該当する分野に対する提言を抽出し、その実現に向けた更なる掘り下げ作業を行い、知の統合の具体的なプロセスを研究者の営みの問題として明らかにすることを目指して、記録『工学基盤における知の統合の推進』を取りまとめた[4]。しかしながら、それを政策やプロジェクトにまで具体化することにはまだ成功していない。これは、わが国だけの問題ではなく海外でも同様であるが、特に、伝統的なタテ割り志向が支配的な我が国の社会では、知の統合については海外と比べてさまざまな困難がある。本腰を入れた知の統合を推進する政策の立案とその実施が、「イノベーション」の創出のためには是非とも必要である。

「総合工学」の主な役割のひとつは、ここに述べた「知の統合」の具現化である。特に、工学基礎や応用物理などは、その成り立ちから知の統合を学問の規範そのもののなかに含むような分野であるので具現化に向けてのイニシアティブを取る可能性を有していると言えよう。

## (2) 総合工学が果たすべき社会への貢献と役割

21世紀の「社会のための科学・技術」を実現するために、「総合工学」はその特徴である包含する広い分野間の学問の連携・融合を促すことにより、新しい領域の創成や社会で求められる技術、価値あるいは概念を創り出すという重要な役割を担っている。一方、科学・技術の進展に伴う高度化・専門化により、学術分野の細分化と拡散が進展し、科学者コミュニティにおいても科学・技術全体が見渡しにくくなってきていることは、21世紀の学術に課せられた「挑戦すべき課題」と言えよう。分野の壁を越え、総合的視野に立って、分野間に跨がる課題を標榜し、21世紀の科学・技術革新を真の社会的・経済的価値の創造に結実する視点がいまこそ必要であり、ここに総合工学に課せられた社会的使命がある。

工学・科学技術全体を課題としている「総合工学」の学術的な役割は、包含する分野の認識科学としての深化をはかると同時に、これらの要求に応えるために、既存の分野と融合してイノベーションの創出をはかるなど、社会に求められる技術や価値を創造するための設計科学としての科学技術の強化をはかることである。例えば、個別の技術成果の積み上げのみでは地球規模の課題の克服には不十分であり、「世界全体の持続可能性」に貢献するマクロかつ定量的視点を重視し、融合的な将来ビジョンのもとに、実現に確実に貢献するプログラムづくりと安心・安全な社会の構築に向けて、総合工学分野が役割を果たす必要がある。その結果として、総合工学に新たな学術の境界の変化を生じさせ、これがまた次なる知を生み出すことにつながっていくことになる。

総合工学が工学や科学・技術全体に跨がっていることは先に述べたとおりであるが、例えば、「応用物理学」は、自然科学に立脚しつつ物理学、化学、電気電子工学などの

既存の領域の枠を超えて学際的・複合的な発展を遂げることによりエレクトロニクスやフォトニクスなどの技術分野の担い手になるとともに、IT、ナノテクノロジー・材料、医療、エネルギー、環境、など、先端融合領域分野を生み出す源泉的分野として重要な役割を果たしてきた。近年、量子ビームを用いた新たな研究手法が急速に発展している。今後このような研究手法を取り入れてその学際的・複合的分野の特徴をさらに活かし、新たな融合領域学術分野の開拓を行うとともに、産業科学・技術の発展にも寄与しイノベーションの創出に貢献することが期待される。

また、「制御工学」は、これまで省力、省エネ、品質向上などの生産上の目標を達成するための方法や、サービスやビジネスのオートメーションにより快適な生活を人々に提供してきており、近年では、自動車、家電製品、カメラ、プリンタから、交通、電力、通信、土木・建設などのサービスやインフラなどの至る所に制御が働いている。このように新たに、「作るための制御」から「使うための制御」が生み出され、社会の期待に応えている。

さらに、「計算科学・技術とコンピュータシミュレーション」は、ライフサイエンス、物質・材料（ナノテクノロジー）、ものづくり、防災、航空・宇宙、などの多岐にわたる分野で、たとえば、将来のテーラーメイド医療や創薬の実現による、医学の進歩に影響を与え、地震や津波による被害のシミュレーションの高度化によって安心・安全な社会を構築することなどにより、技術開発の新しい方向を探り、「科学・技術の社会との接点」に大きな貢献を果たしている。

「エネルギー・資源」分野は、持続可能な発展や地球環境問題など 21 世紀の人類が直面する最大のテーマと深くかかわる重要分野であり、総合的アプローチによる問題解決が期待されている。特に、地球温暖化問題については、エネルギー供給と利用における幅広い分野にわたる技術面および政策面での対策により、温室効果ガスの排出が少ない低炭素社会の構築に向けて貢献している。また、資源の安定供給についても、リサイクル技術の開発推進等を通して循環型社会の構築に貢献している。近年、地球温暖化という大きな課題について、炭酸ガスの削減の観点から原子力エネルギー（広義には核融合エネルギーを含む）の利用が再着目されている。原子力エネルギーの利用に係る最重要課題は、耐震安全性を含む安全性と高レベル廃棄物の処分を含む核燃料サイクルの確立である。これに対する科学的根拠に基づく広範囲な議論と国民の理解が不可欠である。また、原子力施設の従事者及び施設周辺の住民に対する低レベルの放射線被ばくの影響の解明は重要な課題であり、新たな展開をもたらしている分子生物学的な手法が解明に大きく貢献すると考えられる。

我が国の高齢化に伴い、死亡率の大きな比重を占めるがんの診断治療は大きな課題である。早期発見への放射線診断や生活の質を高く維持する治療法としての放射線治療に対する新たな手法の開発や基礎過程の解明は重要な課題であり、「放射線・放射能の利用」分野でのさらなる研究開発が望まれる。

全地球的および地球外への輸送システムとしての航空宇宙・船舶海洋科学・技術の中核とする科学・技術の体系である「フロンティア人工物」分野は、地球のダイナミズム

の解明を行なう地球・海洋観測・探査や、地球外フロンティア開拓を担う宇宙開発・探査などを広く包含している。新しい自然観および地球観を創成するとともに、安心・安全で豊かな生活の実現や、現在地球が直面しているエネルギー・環境・資源などの問題の解決にも深く関わり、人類の持続性確保に大きく貢献することができる。

空間的ないし物理的ないし社会的広がり巨大であり、その中に内包される多数の要素の相互関係が複雑であり、かつ社会や経済に多大な影響を与えるシステムは、「巨大複雑系社会経済システム」と定義される。原子力システム、宇宙システム、人工物ネットワーク、金融システムなど様々な人工システムが、その性格を本質的に有している。科学・技術が浸透した 21 世紀の社会システムは益々巨大複雑系の特性を深めつつある。個々のシステムの表層の性質に惑わされることなく、巨大複雑系社会経済システムとしての本質的特性を理解し、それらのシステムを構想、設計、製作、管理・運用するための創成力の強化を図ることは総合工学の役割であり、科学・技術創造活動の成果を真の社会経済システムに具現化し、社会へ貢献するミッションを持つ[5]。

生活を便利にしている各種技術・システムが複雑・高度・大規模化しているため、いったん事故が起こった時の被害規模も増大する可能性がある。そのような中、それぞれの技術領域では安全の確保について従来から多大の努力がなされ、「安全な社会」の実現に貢献してきている。安全には工学としての技術だけではなく、人文学、社会科学が深く係わりあっていることを念頭に、より総合的に「安全の理念」、「安心」についての検討が進められている段階にある。

以上の具体例に見るように、総合工学の展開によって、工学諸分野、生物学、医学、社会科学などと融合した技術の創造が生まれ、今後の社会貢献が大きく期待されている。

### (3) 総合工学の人材育成

一人一人の人間が 21 世紀のグローバル化の進展の中でより豊かで安心・安全な生活ができるためには、「社会のための科学・技術」として、これまで別々の分野として発展してきた学際・複合的な工学分野である「総合工学」が、広い分野に跨がる先進的な学術としてさらに発展を続けることが重要である。このことによって社会全体の横断的課題や科学・技術全体に跨がる課題を解決し、人類社会の「持続可能性」、すなわち、「環境と経済の両立」へ向けての総合的な飛躍と発展へと繋がるであろう。このためには、「個」として考え、計画し、決断し、行動する、多様な価値観と能力を持った科学・技術を担う研究者、技術者の質、量両面での確保と育成のためのシステムを築く必要がある。すなわち、国際的な競争力・発展性のある総合工学の基盤構築に向けて、次世代を担う人材育成・教育について 充実・強化が最優先課題として取り組まれるべきである。

これまで、「総合工学」という概念が包含する個々の学術領域で学んだ研究者・技術者はそれぞれの専門知識を生かして産業界の様々な分野に柔軟に適応し、多大な貢献をしてきた。しかしながら、日本の人口の減少と高齢化はこの先 20 年間に急速に進み、生産労働人口が半減する事が予想されている。産学連携によるイノベーションの創出をはかり、将来の技術開発を支える人材の育成は、「総合工学」の持つ特性を「社会との関

わり」において生かす責任を果たす上でも極めて重要である。

たとえば、「応用物理学」は常に新しい産業を生み出す坩堝の役割を担ってきた。しかしながら、少子化と理工系離れにより、この坩堝の火が急速に冷えてしまう危険性は高い。今後応用物理学分野で次代を担う資質を有する技術者・研究者を量的に確保するためには、高校での物理科目の必修化、熱意溢れる教師を多数輩出するための抜本的制度改革、女性を物理・応用物理や工学系に誘導する仕組みの構築などが重要である。また、応用物理学分野が得意とする新産業創出を加速するためには、優れた資質を備えた学生が博士課程を修め、アカデミア以外の世界でも様々に活躍できる仕組み作りが必要である。

「フロンティア人工物」分野においては、多様で高度な知識の集積であるフロンティア人工物分野を把握し牽引できる新しい人材が必要であり、研究機関は専任研究者やポスドクの増員、およびプロジェクト研究を通じての、世界的レベルでの若手研究者・リーダーの育成を行う必要がある。科学者コミュニティでは、これまでの経験や知識を若手研究者に伝承する努力をするとともに、若手の研究者自身も、フロンティア人工物分野において全体を俯瞰しうるプロジェクトを実行することによって成長するという認識を有すことが望まれる。このために、国は人材育成のための特別な資金制度を確立すべきであり、フロンティア人工物科学・技術に関する領域の状況や研究成果の国民への周知徹底と国民の意識改革に向けて、アアウトリーチ活動を主導し、特に、小中高レベルの生徒への普及啓発活動や関連分野のアウトリーチにつとめ、次世代の研究者養成に注力することが必要である。学会や科学ジャーナリズムは専門家と一般の人との間をつなぐ役割を果たすことが求められる。

「巨大複雑系社会経済システム」を創成するには、システムの構成要素を正確に分析し理解するための、いくつかの深い専門能力（アナリシス力）と同時に、システム全体を俯瞰する力（俯瞰力）、その上でシンセシスや共創を実現するための力（シンセシス力や共創力）を必要とする。この意味からも、巨大複雑系社会経済システムを対象とした認識科学と設計科学の連携を可能とする産学官連携の俯瞰型人材育成が求められる。学術ディシプリンの拡散のあおりを受けた現在の工学教育においては、この視点に立った人材育成面において欠陥が顕在化している。国の教育政策と科学・技術政策はこの視座に立って施策の点検・強化が緊要であり、同時に教育研究界においてもこれを支える文化風土の深化が求められる。

### 3 総合工学各分野の長期的役割、課題、展望

ここでは、総合工学の中の(1)工学基礎、(2)応用物理(放射線・放射能を含む)、(3)エネルギーと資源、(4)フロンティア人工物、(5)巨大複雑系社会経済システム、(6)安全・安心・リスクの6分野について、それぞれの分野の長期的役割、課題、展望についてまとめることとする。執筆に当たっては本章のすべてにわたり[1]を参照した。また、(1)は、提言『知の統合—社会のための科学に向けて』[2]、記録『工学基盤における知の統合の推進』[5]を、(2)は、報告『応用物理の将来ビジョン』[6]を、(3)は、『鉱物資源の安定確保に関する課題と我が国が取り組むべき総合的対策』[7]を、(5)は、提言『巨大複雑系社会経済システムの創成力強化に向けて』[5]、(6)は、提言『老朽・遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの低減』[8]、提言『交通事故の無い社会を目指して』[9]なども適宜参照した。

#### (1) 工学基礎

##### ① 序

「工学基礎」とは、すべての工学の基礎をなす学術・技術であって、総合工学に於いて、その中核をなす。例えば、計測、予測、制御、計算、シミュレーション、設計、計画・ヒューマンインタフェース、コミュニケーション、システムインテグレーションなどがこれに当たる。その大きな特徴の一つは、工学諸分野(機械工学、電気電子工学、土木建築工学など)の基礎をなすだけではなく、人文・社会科学を含む非常に幅広い科学・技術の領域分野に適用可能な普遍的な概念や方法論を対象とする学問分野であるという点にある。すなわち、工学基礎の諸分野は、「もの(対象)」をベースとして発展してきた個別学問分野とは性質を異にするもので、特に「コト(機能・働き)」を対象として個別分野に依存しない普遍的な方法論の確立を目指している。このような分野横断的な性質は、総合工学が目指す一つの柱である「知の統合」の実現に向け非常に重要であり、その推進のエンジンとしての役割が期待される。また、もう一つの柱である「社会が抱える複雑な問題の解決」に向けた諸分野の融合による総合的かつ革新的な研究に不可欠な共通の場を提供することも工学基礎の役割であり、学術による社会的価値の創造の基幹部分を担うことが期待されている。

##### ② 工学基礎の役割と課題

科学・技術の進展に伴って工学の諸分野はますます細分化されつつある。一方、科学・技術が社会に浸透し人々の生活に深く根をおろすに伴い、安心・安全社会や環境に優しい社会の実現などこれまでの細分化された技術では解決不可能な社会が抱える複雑な問題が生じている。個別化して発展した個別知を統合し、現在、人類が抱えている諸問題を解決するための「統合知」とすることへの期待は大きい。この「知の統合」に向けた流れを強化していくためには、個別分野に依存しない共通の概念や方法論を確立していくことが緊要である。これが「工学基礎」という学問領域の役割であり、



「知の統合」に向けた方法論の確立を通して、社会的問題の解決に大きく貢献することが望まれている。

このような視点から、工学基礎においては、今後の科学・技術の発展に必要な重要な研究課題として以下の3つを掲げる。

#### **ア 知の統合のための方法論の確立**

#### **イ 工学設計の高度化、人間・社会の機能モデル化とシミュレーション**

#### **ウ 適応する人工物設計学の確立**

アはまさに基幹的研究課題であり、長期的な展望に立って推進していくことが重要である。イは分野横断的なアプローチで社会的問題を解決していくプラットフォームを与えるもので、特に「機能」という視点を重視した新しい展開が期待される。ウは革新的な新しい研究の方向であり、これまでとは質の異なる人工物設計学の確立を目指している。以下、それぞれの課題の概要を述べる。

#### **ア 知の統合のための方法論の確立**

日本学術会議第20期において対外報告『提言：知の統合—社会のための科学に向けて』[2]および記録『知の統合の具体的方策—工学基盤からの視点—』[5]で論じられたように、知の統合を更に方法論的に展開し、知の統合のために必要な具体的な方法を「知の統合学」と位置づけ、「還元的な知の統合」や「生成的な知の統合」として例示されていた知の統合のためのアプローチ例を深化させる必要がある。すなわち、新しい発見や創造のための知の統合や、問題解決のための知の統合に必要な、具体的な方法論やツールを明らかにし体系化する。

#### **イ 工学設計の高度化、人間・社会の機能モデル化とシミュレーション**

工学設計の高度化、更に社会のための科学を考える場合、社会を構成する人間・生態系・環境を、機能の面から捉え、モデル化し、シミュレーションを通して予測して、それに基づいて意志決定し行動することを可能とする人文・社会・自然科学を総合した科学・技術が求められる。その実現に向け、現在精力的に研究がなされているマルチスケールマルチフィジクス技術や次世代スーパーコンピューティング技術などのシミュレーション手法の高度化に加え、機能のモデル化に対する新しい概念の提案とそれに基づく系統的な手法の開発や結果をリアリスティックかつインタラクティブに人間に提示し評価するバーチャルリアリティの手法もあわせ展開していく。

#### **ウ 適応する人工物設計学の確立**

従来の人工物設計は、ややもすれば人間の適応能力に頼り、自然が備えた適応性ともいえる自然環境の自浄作用に依存してきた。真に人に優しい社会の実現に向け

ては、それを逆転して、人間が人工物に適応するのではなく人工物が人間に適応するシステムを構築していく必要がある。すなわち、自然が備えた適応性に頼るのではなく人工物自身が自然環境に適応性を有する、そのような適応する人工物設計学の確立は重要な研究の方向である。さらに、人間の能力や機能を最大限に生かすだけでなく、足りない機能を補い、あるいは人間の能力を拡張することを可能とする人工物設計学の構築を目指す。

### ③ 「知の統合」にむけての提案

上記のような横断的研究を推進し、社会に役立つ実りある形で実現していくためには、それを遂行できる新しいタイプの人材育成が必要不可欠である。単に複数の分野での教育や経験では不十分であり、分野横断的な思考と知の統合に向けた基礎力を備えた人材の育成が急務である。そこで要求される能力を列挙すると以下ようになる。

- ア 現象やモノと直接向き合い、その本質を見極めるモデリング・解析能力
- イ 専門性に捕らわれることなく、異分野の知識を積極的に統合化し問題解決を図れる能力
- ウ 国際的な視野に立ち将来動向を見据えた目標や構想を設定し、俯瞰的視点から先見性のある意思決定ができる能力
- エ 個別のプロジェクトから一般化・普遍化の方法論を探求する能力
- オ 異分野の技術者と共同できる十分なコミュニケーション能力やプレゼンテーション能力
- カ リーダシップ、人脈ネットワーク、人材配置などのコーディネーション能力

このような能力を有する人材の育成は、一般に難しい課題ではあるが避けて通ることはできない。これまでも、大学・大学院で横断的な学科・専攻の設立による教育の試みがなされてきており（計数工学、制御システム工学、システムデザイン工学など）、その結果、知の統合を行える人材が生まれつつあるが、まだ、このような教育が行える機関が圧倒的に不足しているのが現状である。

従って、このような「工学基礎」、「知の統合」、「横断基幹科学・技術」を教育する大学・大学院教育の拡充を緊急に図るべきである。また、「知の統合」のためには、大学・大学院教育だけではなく、企業での教育も含め、現実存在する問題を解決するための経験をつみ重ねさせ、総合的な人材育成を行うシステムの構築を行うことが肝要である。

### ④ 結び

「工学基礎」は、あらゆる工学の基礎をなすとともに、人文・社会科学をも含む幅広い人工物や人工システムに関する科学・技術領域に適用可能な普遍的な概念や方法論を対象とする学問分野である。このような分野横断的な性質は、「知の統合」の実現に向け、個別分野に依存しない共通の概念や方法論を確立していく推進エンジンとしての役割を担い「社会が抱える複雑な問題の解決」に向けた諸分野の融合による総合

的かつ革新的な研究に不可欠な共通の場を提供し学術による社会的価値の創造の基幹を担う。

「知の統合」や「横断基幹科学・技術」を担う人材を育成し輩出する大学・大学院教育の拡充を緊急に図るとともに、「問題解決のための科学・技術」を目指した「知の統合」と「横断基幹科学・技術」の研究を促進することが緊要である。

## (2) 応用物理

### ① 序

高度な社会システムの実現とその省エネルギー化や、医療・食糧を含めた安心で安全な社会の構築、それらの持続的発展には、物理学の深い理解を基礎にし、異なる学問分野を融合したイノベーションとその体系化、すなわち応用物理を欠くことができない。例えば、世界の照明の省エネルギー化は、広禁制帯発光半導体材料の研究開発によって初めて現実のものとなりつつある。また、今日の社会インフラを支える、情報の生成・伝達・処理には、材料・物性から先端デバイス、センサーそしてプロセスの研究と開発が大きな寄与をしている。これら先端的かつ融合的ニーズを追求する研究開発は、応用物理のさらなる深化と新たな学術フロンティアの形成を促し、次のシーズへと繋がって行く。このように、持続可能な社会を構築し、世界に対する貢献と責任の一翼を我が国が担い続けるためには、応用物理は欠くべからざる重要な要素の一つである。

### ② 重要分野の概要と中心課題

応用物理学領域の重要分野を取り上げ、以下にその概要と今後の中心課題を述べる。

#### ア 半導体エレクトロニクス

基本原理の応用に応用物理学が重要な役割を担うエレクトロニクス分野は、量子計算を含む情報処理・通信、エネルギー変換等を支える将来にわたり重要な学術領域である。

今後、機能性誘電材料、機能性スピン材料、高導電性材料の開発と微細加工技術の発展による高密度化・3次元化による性能向上の実現、ナノ電子機械技術（NEMS）との融合による高機能化、パワーエレクトロニクス素子、有機・分子材料などの新しい材料に支えられた種々のデバイスやセンサー並びにタグの開発、太陽電池を始めとするエネルギー変換素子、またナノ構造において発現する量子現象、電子相関、スピン現象を初めとする新たな物理原理を応用する新規エレクトロニクスの開拓、それを支える新材料、構造形成技術の開発が中核的課題となる。

#### イ フォトニクス

光学および量子光学に立脚するフォトニクス分野は、情報処理・通信、エネルギー、ライフサイエンス各分野においてイノベーション創出が期待される重要な学術

領域である。

今後、量子ドット、フォトニック結晶などのナノ構造やプラズモニクス等を用いた新デバイスの開拓、生体計測・医療応用を目的としたテラヘルツ領域などの未開拓波長域フォトニクスの開発、光・量子相互作用制御技術や光の本質に基づく新物質科学・技術の創出などが中核的課題となる。

## ウ 材料・物性

デバイスやシステムにおけるイノベーションの源泉である材料・物性ならびに結晶成長分野は、応用物理学の基盤技術として重要な学術領域である。

今後、快適で安心・安全な社会実現に向けて、環境・エネルギー材料、及びデバイス創出に結びつく機能材料の実現が中核的課題となる。シリコン中心の半導体に加え、カーボンや新規化合物、さらにナノ構造が新たな物性・機能をもたらすと期待される。同時に、有機分子、超伝導、強相関、スピン材料の探索および設計法の確立と、これらの材料・物性の融合と機能化は重要課題である。

## エ 物理計測とビーム応用

物理量を定量的に測定する物理計測は応用物理の基本である。特に原子レベルの諸物性を測定する走査プローブ顕微鏡などの先端的計測技術の研究と開発は今後とも重要な学術領域であり続けよう。

今後、ナノ構造中に存在する界面の構造と電気・光・スピン物性を原子レベルで測定する計測技術は重要課題である。

大型施設（Spring-8 など）の利用を含めたエネルギーや医療、食糧などへの、放射線をはじめとするビーム応用とその検知法や影響の解明もまた重要な課題である。

## ③ 応用物理学分野全体の課題と提言

### ア 基盤研究の重要性とその環境の構築

応用物理分野においては、目的実現のための学術の融合と、その融合の結果生じた学術の体系化が必須である。学術の体系化は一朝一夕にできるものではないが、応用物理学の次の飛躍を準備する基盤をなすものである。このような基盤研究とその結果蓄積される知識、形成される人材基盤を維持するためには、長期に安定した研究環境の構築が必要である。現在主流となっている、数年から5年の競争的研究資金は、このような研究環境の構築と維持に必ずしも適するとは言えない面をもっている。応用物理は材料・物性の深い理解に支えられていると言って過言ではないことを想起すると、今後、基盤研究を推進し維持する環境の整備が重要である。

### イ 人材育成

応用物理分野におけるイノベーションの創出には、それを強力に牽引するトップ

人材の育成とそのための環境整備、理工系人材の基礎学力の充実、裾野の拡大が不可欠となる。一方、現実には、初等中等教育と学年の進行と共に進む理科離れの実態と科学・技術の考え方の基本となる物理の高等学校における履修率が20%を切る憂慮すべき事態がある。理科離れの本質が我々の日常が科学・技術の成果なしには立ちゆかないにもかかわらず、微細化・複雑化して、その機能を目で確認し、体感することが困難になっていることに根ざすこと、さらにそのことが社会に強く認識されていないことを鑑みれば、国民全体の科学・技術リテラシーの向上のための施策が必須である。例えば、先端的科学・技術研究者の活用による初等・中等教育における理科教育の充実は有効と考えられる。また、高校物理の必修化も真剣に検討すべき時期に来ている。

### ウ 産学連携の再構築と活性化

イノベーションの創出と学術フロンティアとしての体系化のためには、産業界と学界の連携が必須であり、研究開発のみならずイノベーションを創出するための人材育成の点においても両者の密接な連携が必要となる。そのためには、両者の接点となる日常的な活動を活発化し、異分野間の積極的な交流を図ることが重要である。しかし昨今の経済状況により、日本学術振興会の産学連携委員会からの産業界委員の退会、企業からの学会・研究会への参加者数減少などが見られるようになっている。企業内での基礎的な研究開発が困難になっている現在の状況においては、学協会への産業界の積極的な参加とその活性化を図り、産学連携体制を再構築することが重要な課題である。

### エ 材料・物性から出口まで

材料や物性の研究はイノベーションの源泉であるが、それらの基礎的な成果を社会に還元するためには、様々な技術課題を克服して製品に結びつける必要がある。しかしながら、最先端技術分野においては、大学での研究開発と企業の先端技術の間の溝が広がりつつあり、融合技術分野においても、基礎的な研究開発から試作開発に結びつける機能が不可欠な役割を果たす。わが国における豊富な材料・物性の研究成果を出口である製品に結びつけ、新産業創成を図るためには、試作検証、集積化検証、実用化検証などの機能を持つ仕組み作り、体制作りが不可欠である。

### オ 産業技術史博物館の設立へ向けて

先進国の中で産業技術史博物館がないのは日本だけであり、産業技術立国を国是とする日本にとって、自国の産業技術史を体系的に収集・保存・公開できないことは大きな問題である。応用物理分野に限らず、新しい時代を切り開いた製品、デバイス、材料などを産業界から収集し、未来展望を含む体系的な展示を行う施設の設立が強く望まれる。この実現のために、関連する既存組織や不要な既存施設を有効活用することなど、産業技術史博物館設立に向けたアクションが必要である。

## カ 未踏技術領域における社会的受容の促進

新たな融合学術分野を創出する応用物理学の研究開発では、革新的な材料（素材）・技術を追求するに際して、その成果導入に伴う社会的波及効果が十分に見通せない場合にも遭遇する。昨今世界的に感心が高まっているナノ素材の生体へのリスクは、その代表的な一例である。安全・安心な社会の構築に向けた様々なセンサーシステムの開発・導入も、場合によっては監視社会がもたらす個人プライバシーの侵害に繋がりがかねない。従って、研究開発サイド（学術関係者）から、革新的な技術開発（その将来的成果の導入）に伴うベネフィットとともに潜在的なリスク要因を可能な限り提示し、受益者サイド（社会）の科学的エビデンスに基づく理解促進と、社会的受容の促進を図るプロセス・システム構築が不可欠である。融合分野の創出を担う応用物理学は、そのフロントランナーとしての役割が期待されている。

### ④ 結び

応用物理学は、社会や世界の科学・技術が進むべき方向を学問的基礎に基づいて示し、かつ我々の社会が直面する課題に対し、学問的基盤から解を与える。科学・技術立国には、物理学を基礎に、学問分野を融合したイノベーションとその体系化を進める応用物理学と、応用物理学の素養を持つ人材が不可欠である。今後も、社会との様々な対話を通し、応用とその反作用としての学術の深化を進める必要がある。

## (3) エネルギーと資源

### ① 序

地球上の資源の総量は限られている。しかもそのうちの人類が採掘可能な資源量はさらに限られている。地球規模のエネルギー資源、鉱物資源の生産と消費のバランス、物質生産とエネルギーあるいはエネルギー自身の生産とエネルギー消費のトレードオフなどが、これらの資源の生産限界を与える。エネルギー資源については廃棄物処理、鉱物資源に関してはリサイクル、副産物処理等が技術課題としてある。我が国の将来を展望するにあたり、全ての工業生産の基本になるエネルギーと鉱物資源のこの後の取り扱いについて検討する。

### ② 持続可能なエネルギーシステムを実現する技術開発

地球温暖化問題や在来型石油資源の枯渇など、環境と資源の両面における地球規模の有限性の下で持続可能なエネルギーシステムの構築が求められている。各種再生可能エネルギー、原子力及び核融合など非化石エネルギー技術の開発によって低炭素化を進めるとともに、世界全体として化石資源利用の効率化・高度化を図りエネルギー供給力の持続性を高めることが基本的課題である。また、個々のエネルギー用途から都市構造やライフスタイルまで広範な社会システム全般を対象として徹底的な省エネルギーを追及する必要がある。

世界の国々の経済の発展に伴い、今後 25 年間に、世界の一時エネルギー需要は、60%近く増加するであろうと推定されている。この先世界のエネルギー需要の 8 割程度が化石燃料によってまかなわれると予測され、将来にわたって大気中の温室効果ガス濃度の大幅な上昇を引き起こすことが懸念されている。エネルギー問題は、地球温暖化問題や資源問題など地球規模の問題と深く関わっており、その科学技術的解決法は人文社会的な方法と共にきわめて重要である。今、世界的に既存の基幹エネルギー源に加え新エネルギー開拓への機運が高まりを見せており、わが国として再生可能エネルギーや原子力等に関する新しい科学技術動向の把握が急務である。

わが国のエネルギーを支える科学技術は、関連する種々の工学分野をはじめ、原子力・核融合研究、地球規模での海洋・気象研究、マイクロエレクトロニクスや生命科学等多岐にわたっており、エネルギーの発生・輸送・貯蔵・制御・利用に関する諸問題の解決と社会の理解が必要である。また、集中型のエネルギー供給システムに加えて、分散型エネルギー資源の活用の推進も必要である。これらエネルギーシステムの全体像の未来予測を行うためには、大規模シミュレーション技法の活用が効果的である。

また、エネルギー資源の需給の逼迫とそれによる価格の高騰などへの対応は、エネルギー需要が急増しているアジア諸国との連携なしでは解決しない。アジアでは、エネルギー需要の急増が予想されるとともに、バイオマス資源などの大きなポテンシャルを有する国が有り、エネルギー産業の大きな展開が期待される。日本は、エネルギー問題の解決と、日本の科学技術・産業の海外展開のため、優れた技術をベースに、アジア諸国と連携し再生可能エネルギーなどの技術開発を協力して推進すべきである。

### ③ 処理困難資源の製錬とリサイクル技術の推進

循環型社会の構築は、希少な天然資源の消費の抑制と廃棄物管理・抑制の両面で有効な方法である。我が国は消費地に隣接した鉄鋼・非鉄製錬所を持つことを特徴として世界でも高度なリサイクル・廃棄物処理技術を有している。今後はこれら技術の移転もしくは処理困難物を引き受けることによって東アジアならびに世界の循環型社会の構築に貢献するという視点が重要である。また、希少な天然資源はますます処理困難な鉱物に比重がかかるため、この製錬に関する研究も必須である。

我が国の素材産業には、資源産出国のそれと異なる役割がある。すなわち、ものづくりをモットーに、世界的規模で展開される我が国の製造業に、滞りなく多種多様な素材・部品を提供しつづける、ということである。鉱物資源を天然資源と人工資源に分けて対応するなら、現在、世界は圧倒的に天然資源依存型の産業・社会構造である。近年、中国をはじめとする大人口を有する新興国の経済成長には多量の資源を消費することが不可欠であり、我が国の“存在”をつよよいものにするためには技術による優位性を確保し、鉱物資源を確保することが目下の最大の課題である。

従来型の地下資源開発は、生産効率に優位性を持つ大規模鉱床の新規発見が減る一方、鉱床あるいは生産可能な採掘現場の深部化が世界的に進み、品位の低下や有害元

素を含む鉱石が増加するなど、生産条件は悪化する傾向を見せはじめている。我が国の資源戦略は中国や資源メジャーに比すると後塵を拝している観が否めず、規模的に見劣りする中小鉱床の開発やブラウンフィールドにおいて資本参入を目指す傾向が強まるなど、国際的資源獲得競争での立場が弱くなりつつある。探査技術から採掘技術、有害物を含めた不純物除去技術等、技術を我が国がリードすることで、未開発資源の利用あるいは世界的な資源獲得の場において日本の優位性が確立されることになり、資源保有国との関係も飛躍的に向上するはずである。

次世代の資源開発戦略を描くとき、その一方で忘れてはならないのは、我が国の製造業の流れに沿った資源産業を組み立てることである。その結果出てくる資源戦略は画一的なものにはならないであろう。我が国が世界の大半を消費するメタルでは世界を視野に入れた戦略が必要であり、少量消費するメタルでは我が国の事情を強く反映したものとなろう。また流通システムにはいくつものボトルネックが潜み、これはメタルごとに異なる。場当たりの策では通用しない。各メタルに適応した資源の枯渇性、鉱山開発のタイムラグを加味した中期、長期予測を国際協調のもとに策定する必要がある。

国内においては、天然資源はすでに開発尽くされている感があるが、我が国の排他的経済水域には海底熱水鉱床が存在するともいわれている。しかしながら、それらの採鉱は従来の陸上手法では対応できない。製錬においてもヒ素など、使用が難しい金属元素を多く含まれていることがわかっている。海底資源については過去に研究を行った結果を十分に検討した上で新たな開発に乗り出すべきであるし、陸上の処理困難天然資源のさらなる有効利用も必要である。リサイクル技術の推進も重要な観点である。これまで日本が掲げてきた循環型社会を形成するための法体系としての循環型社会形成基本法やリサイクル法は、どちらかといえば廃棄物処理・有害物質管理の観点が強かった。しかし、種々の廃棄物からの資源回収は、希少な天然資源の消費抑制と廃棄物管理・抑制の両面から重要な意味を持ち、有効な方法である。しかも日本のような自国の資源を持たない国にとっては、循環資源は準国産資源として資源セキュリティの観点からも重要な意味を持つてくる。

我が国が有する高度なりサイクル技術はこれまでに培われた鉱業技術が大いに活かされているが、資源の安定供給を側面から支えるリサイクルシステムを構築するには、資源分野で多用される選別・製錬技術を新たに有機的に組み合わせた技術開発が必要不可欠である。幸いなことに、我が国は消費地に隣接した鉄鋼・非鉄製錬所を持つことを特徴としており、世界でも高度なりサイクル・廃棄物処理技術を有している。特にそれらの製錬所における環境技術は、間違いなく世界トップにある。天然資源の採掘には有用な鉱物の他に何百倍もの岩石を同時に採掘し、不必要な岩石を大量に廃棄する必要があり、鉱山での環境破壊を引き起こしているが、循環資源の利用は逆に廃棄物を減少させる利点がある。今後はこれら技術の移転もしくは処理困難物を引き受けることによって東アジアならびに世界の循環型社会の構築に貢献できる。さらに一歩踏み込んで言えば、技術の高度化に加え、アジア諸国など近隣諸国を巻き込んだ



新しい循環構造をつくることで、ジャパンモデルリサイクルシステムを創出することができる。

上記の天然資源の製錬技術、人工資源のリサイクル技術は、同根であり、かつての製錬技術が基本である。そのことを十分に考慮し、その基礎科学の部分の発展も十分留意が必要である。

#### ④ 物質・エネルギーを統合した次世代産業基盤の創出

持続可能な産業・社会基盤の確立に向け、エネルギーと物質を統合して取り扱い、従来の生産・利用・廃棄というワンスルーの開放系システムに対して、再生を強化し生産に戻す各種プロセスの開発によって循環型産業システムの形成を推進する必要がある。その際、物質の循環・再生に必要なエネルギーの確保が重要であり、エネルギー・物質統合フロー解析に基づいて、物質・エネルギー循環の技術的な実現可能性を検討する必要がある。

リサイクルや廃棄物処理にはエネルギーが必要である。現在の地球環境問題の大きな要素である温暖化防止には、廃棄物処理のために必要なエネルギーによる環境インパクトも問題とされる。日本の廃棄物量は近年減少の傾向が見られるが、それでも産業廃棄物は年当たり約4億トン、一般廃棄物は約5千万トンである。

これまでエネルギー産業と素材産業は別個に考えられてきた。確かに本質的には別であるが、「持続可能な産業・社会基盤の確立」を考える場合には、統合した取り扱いが必要となる。本来、物質はそれなりに固有のエネルギーを持つが、エネルギーと物質を統合して取り扱い、従来の生産・利用・廃棄というワンスルーの開放系システムに対して、再生を強化し生産に戻す各種プロセスの相互協調関係により循環型産業システムの形成を推進する、ということである。物質の循環・再生に必要なエネルギーをできるだけ廃棄物から確保することが重要であり、そのためには物質に体化されたエネルギー量の把握とエネルギーの質を考慮したエネルギー・物質統合フロー解析に基づいた物質・エネルギー循環の理想な姿を技術的な実現可能性を踏まえて描く必要がある。廃棄物処理の高度化はエネルギー消費とトレードオフの関係を示しており、廃棄物のエネルギー使用には、従来以上に技術的な課題が多く、その解決が重要である。

これらを経済的な課題から見ると、その問題点は、制度・構造の限界性、市場の未熟性、静脈技術の潜在性、情報の非対象性などにある。このことは、この分野への資本、人材、技術の投入を遅らせている。車や家電品、OA機器等の中古品は中国などをはじめとする新興国に受け入れられているが、技術の急速な進歩はこのような構造を解消する傾向にあり、これから問題となることが予想される。

#### ⑤ 結び

「持続可能な産業・社会基盤の確立」、「循環型社会の構築」に向け、エネルギーと物質を統合して取り扱い、従来の生産・利用の流れに対して再生を強化し、生産に戻

す『環』の実現可能な産業・社会基盤の確立が必要となる。循環型社会構築には、社会システムと科学・技術の両輪により、適切な対応が望まれ、これらを総合しながら取り扱える学術の創生が必要である。

#### (4) フロンティア人工物

##### ① 序

長距離の高速移動を可能にする航空機の出現は人類の様々な交流を可能にしている。メガコンテナ船等を含む近代的な船舶は、大型化、高速化によって物流に革新をもたらしている。宇宙空間に打ち上げられた人工衛星は気象予報、通信、放送、測位等の世界に革新をもたらし、日常の人間社会に無くてはならないものとなっている。太陽系の探査は、地球と他の惑星を比較して考える新しい自然観を生み出している。深海探査船も地球構造を解明するとともに、新たな資源や生命体の発見をもたらしている。太陽系の内外における生命探査とも相まって、新しい理学的学問領域「アストロバイオロジー」や「地球環境変動学」の開拓を可能とする。持続性の確保や地球環境問題でも、観測から解決に至るまで、工学と理学の融合によりフロンティア人工物科学・技術が果たすべき役割は大きい。

これら総合的なシステムを開発するための政策立案や技術課題の選定手法は未発達である。これまでのアカデミズムの分野深化型ではなく、構築されるシステムの社会的貢献度を考慮し、社会的ニーズと科学・技術的シーズの双方からアプローチするような新しい科学・技術政策策定手法への大転換が必要である。

##### ② フロンティア人工物科学・技術の現状と課題

当分野において重要な項目を、全地球的および地球外への輸送、地球ダイナミクス解明および地球外フロンティア開拓の3つとし、その現状と課題を述べる。

###### ア 全地球的および地球外への輸送に貢献するフロンティア人工物

航空輸送は高速機から自家用機までの多様で急激な増加が見込まれる中、安全と環境適合が重要な課題である。高度な機械システムの中でのヒューマンファクターのあり方についての根本的な見直しとともに、衛星測位システムを用いた航法革新で多様な近未来航空交通での事故ゼロの道を切り開く必要がある。空港騒音やCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等の航空環境問題でも、環境立国を目指す我が国が明確なビジョンを掲げ世界を牽引する強い意志で革新技術開発を急ぐ必要がある。

海上輸送量は今後、距離・量とも増加することが確実で、それに伴うCO<sub>2</sub>の排出量も急増が予想される。その克服は喫緊の課題である。船舶・海洋輸送のイノベーションには、これまでの技術資産に情報通信技術等を統合し、次世代海事産業を育成することが重要である。国民経済に密接に関係する排他的経済水域での探査のために、多くの海洋探査システムが必要である。環境問題や国家の安全安心に直結する社会的な産業として、研究開発や人材育成、資金調達の仕組みが工夫されなくてはならな

い。

地球外輸送システムは、観測や様々な利用技術との組み合わせによって地球の基盤の一部となっている。さらにこれを活用しての惑星科学は、地球を顧みるための必須の手法といえる。これに対して、我が国の高度な通信や探査ロボティクスなどの基盤技術、大規模システムのインテグレーション技術、様々な加工生産技術などを活用することは、国際的な貢献であるとともに我が国の科学・技術の振興のためにも重要なことである。

以上のような現状を考慮すると、今後の課題は次のようになる。

- a 健全なビジョン構築と国としての明確な政策立案の必要性
- b 安全性、環境適合性、ロボティクス技術等を重視した輸送システム技術の必要性
- c 技術の高度化および産業基盤の発展とそれを支える人材育成の必要性

## イ 地球ダイナミクス解明とフロンティア人工物

地球温暖化や気候変動、エルニーニョ現象や海水面変動などの海洋変動、生態系の多様性保全、資源エネルギー問題などに対して地球ダイナミクスの深い理解が必要である。そのために、海洋研究船、海底探査機や人工衛星による複合的な観測計画により本質的な情報を抽出する試みが行なわれている。

関連する学問領域は、理学分野としては大気、海洋、地球物理、地質、惑星科学、宇宙科学などが、工学分野としては船舶・海洋工学、宇宙工学、機械工学、ロボット工学、画像処理学、情報工学などがある。各分野の学会組織が既に存在するので、まずは地球ダイナミクスの解明という共通の目標に向かって、このような学会間の連携を図ることが効率的であろう。

## ウ 地球外フロンティア開拓におけるフロンティア人工物

地球外フロンティア開拓が人類の持続性確保に貢献できる点は、他惑星の内部構造や大気・プラズマ圏を理解することによって、地球環境のダイナミズムを理解し、かつ未分化天体からの希少金属、触媒材料などの利用による環境維持技術を開発すること、および地球外生命の探査、生命維持技術の増進および宇宙探査動力源の開発を行なうことによって、人類の活動領域を拡大し、安全で豊かな生活の達成に資することである。

宇宙開発・利用自体からの直接的な成果ではなく、間接的な効果としての産業ないし経済への寄与が非常に大きく、我が国の宇宙開発・利用政策は、次世代育成への投資効果を持っている。リスクが他の事業に比べて非常に高いことなどから、減点法的な政策評価がなされるが、その目標や社会への意義などを総合的に反映しての政策評価に転換することが重要である。

### ③ フロンティア人工物の科学・技術推進のための提言

上記現状分析と課題に基づき、次の提言を行なう。

#### ア 明確な国家的政策立案と施策の実施

国は、フロンティア人工物科学・技術が人類の持続性確保に貢献することを認識し、技術高度化・産業振興を図る施策を講じることが必要で、そのために「宇宙基本法」および「海洋基本法」の精神にのっとり、府省庁の立場を越えて長期的・俯瞰的な観点から高度な統括組織を作るべきである。またその研究遂行は国の関与なしには不可能で、国として創造的研究を実施し、新しいフロンティア人工物構築のインセンティブを高める必要がある。

#### イ 新しい課題選定と評価手法の確立

この領域は、他の短期競争的先端研究とは異なり、長期的視野からリスクの高い課題を挑戦し大きな成果をめざすものであり、国の関与無しではその研究遂行は不可能である。課題の選定には個別学術分野の分野深化型の論理とは逆に、社会への貢献を指向した総合的な観点からの評価が必要である。

#### ウ 長期的研究体制と科学者コミュニティの構築

科学者コミュニティは多くの分野を含むが、フロンティア人工物コミュニティを形成し、情報の交換と活動方針の議論を行い、長期的な研究体制を構築する必要がある。これまでにない学術誌の刊行なども考えられる。国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」においては、全日本的で永続的かつ学際的な研究組織の構築への検討を実施するべきである。

#### エ 人材育成とアウトリーチの推進

プロジェクト研究を通じて、システム全体を把握し牽引できる世界レベルの若手研究者・リーダーの育成を行なうべきである。国は人材育成のための特別な資金制度を確立するべきであり、各研究機関には専任研究者やポスドクの増員が必要である。国民的合意形成のためのアウトリーチ活動を主導するべきである。また、学会や科学ジャーナリズムは専門家と一般国民との間をつなぐ役割を果たすべきである。

#### オ 技術の高度化と産業基盤の育成

開発・製造を担当する堅固な産業基盤が不可欠である。国は、技術の高度化に努め、新しい産業基盤育成を施策とすることにより、革新的な産業とそれを支える人材育成に努めるべきである。

#### ④ 結び

フロンティア人工物科学・技術は、全地球的および地球外への輸送、地球ダイナミクスの解明および地球外フロンティア開拓という 3 つの視点に立ち、安全安心な社会・豊かな生活の構築および新しい自然観・地球間の創成を通じて人類の持続性確保に貢献しているが、なお課題も多い。今後も社会科学・人文学分野との連携を含め、新たな展開を進める必要がある。

### (5) 巨大複雑系社会経済システム

#### ① 序

科学・技術の成果が社会に浸透し、相互の連関構造がますます複雑化、巨大化する 21 世紀において、工学は「ターゲットの拡散」、「スコープの拡散」および「ディシプリンの拡散」という 3 つの拡散現象の潮流に直面している。このような状況において、人工物創成力に関する我が国の優位性を維持、発展させるためには、21 世紀社会の求める高付加価値人工物の創成力を分析し、その一層の強化を図ることが求められており、巨大複雑系社会経済システムが重要となる。

空間的ないし物理的ないし社会的広がり巨大であり、その中に内包される多数の要素の相互関係が複雑であり、かつ社会や経済に多大な影響を与えるシステムは、巨大複雑系社会経済システムと定義される。インターネットに代表される人工物ネットワーク、原子力システム、宇宙システム、金融システムなど様々な人工システムが、その特性を本質的に有している。

一般に、人工システムの特徴は、それを取り囲む環境とそのシステムの目的という視点から、クラス I、II、III の 3 つのクラスに分類し捉えることができる。クラス I は完全情報問題であり、目的および環境に関する情報が観測者にとって既知であり、問題を完全に記述できる。このクラスの問題では、最適解探索が中心課題となる。クラス II は不完全環境情報問題であり、目的に関する情報は既知であるが、環境に関する情報が観測者には予測できず、問題を完全に記述できない。このクラスの問題では、環境の変化に応じて適応的解探索が中心課題となる。クラス III は不完全目的情報問題であり、環境ばかりでなく、目的に関する情報も観測者には予測できず、問題を完全に記述できない。このクラスの問題では、目的も同時に定めていく必要がある共創的解探索が中心課題となる。

クラス I は、環境と目的に対してクローズドなシステム、クラス II は、環境に対してオープンなシステム、クラス III は目的（設計や管理の行動主体）に対してもオープンなシステムといえる。

巨大複雑系社会経済システムにおいては、人工システムを社会（環境）や人間（目的）から孤立した系として扱うことはできず、本質的にクラス II ないしクラス III のシステムとならざるを得ない。また、たとえ設計時にはクラス I の人工システムとしてクローズドな環境でトップダウン的に設計されたとしても、利用され、普及することによって、後天的にクラス II ないしクラス III としての特性を帯びるようになる。

クラス II あるいはクラス III としての特性を有するシステムを、クラス I であるかのように認識し取り扱うときに様々な齟齬が発生する。

科学・技術が深く浸透した 21 世紀の社会システムは益々巨大複雑系としての特性を深めている。理学・工学、特に総合工学は個々のシステムの表層の特性に惑わされることなく、巨大複雑系社会経済システムとしての本質的特性を理解し、それらのシステムを構想、設計、製作、管理・運用するための創成力の強化を図ることにより、科学・技術創造活動の成果を真の社会経済システムに具現化でき、社会へ貢献するミッションを持つ。そのミッションを遂行するための緊急かつ重要な課題として、巨大複雑系社会経済システムの本質的かつ共通特性の理解、巨大複雑系社会経済システムの創成力強化、巨大複雑系社会経済システムの創成、がある。

## ② 巨大複雑系社会経済システムの本質的かつ共通特性の理解

様々な巨大複雑系社会経済システムは、これまで個別独立したものとして理解され、それぞれの構想、設計、製作、管理・運用問題が扱われてきた。また、技術的、社会経済的課題の解決にあたっては個別独立に解決方法が模索されてきた。人工物ネットワーク、原子力システム、宇宙システム、金融システムは巨大複雑系社会経済システムの代表例であるが、これ以外にも未だ認識されていない巨大複雑系社会経済システムが数多く存在する。そこで、これらのシステムを巨大複雑系社会経済システムとして捉え直し、その本質的共通特性を理解することが、創成力強化のための緊急かつ重要な課題である。

## ③ 巨大複雑系社会経済システムの創成力強化

巨大複雑系社会経済システムの創成力としては、システムの構成要素を正確に分析し理解するための、いくつかの深い専門能力（アナリシス力）と同時に、システム全体を俯瞰する力（俯瞰力）、その上でシンセシスや共創を実現するための力（シンセシス力や共創力）を必要とする。従来は、「俯瞰力、シンセシス力、共創力」の評価基準がなく、それらについても、「アナリシス力」の評価基準の上で評価が行われることが多く、結果的に前者の重要性が過少評価されてきた。そこで、行政、科学者コミュニティ、大学、及び社会と産業界の各セクターが協調して、創成力を構成する要素のうち「俯瞰力、シンセシス力、共創力」の評価基準の開発を行い、それらを基盤とする課題解決型研究をプロモートするための制度設計を行うとともに、巨大複雑系社会経済システムを対象とした認識科学と設計科学の連携を可能とする産学官連携の俯瞰型人材育成を行うことが、緊急かつ重要な課題である。

## ④ 巨大複雑系社会経済システムの創成

さらに、21 世紀社会の基盤となる巨大複雑系社会経済システムの構想、設計、製作、管理・運用を行うと同時に、新しいシステムを創成していくことが緊急かつ重要な課題である。そこでは、個々の要素技術よりも、これらの巨大複雑系社会経済システム

のシステムコンセプト、システムアーキテクチャ、ビジネスモデル、デファクトスタンダード、サービスデザイン、リスク管理手法、成長するシステムなどの創成が中心課題である。

## ⑤ 結び

一見すると異なる様相を示している様々な人工システムを、巨大複雑系社会経済システムと捉え直とともに、巨大複雑系社会経済システムの本質的かつ共通特性の理解、巨大複雑系社会経済システムの創成力強化のための評価基準構築・産学官連携俯瞰型人材育成・制度設計、巨大複雑系社会経済システムの創成、を緊急に進めることによって、人工物創成力に関する我が国の優位性を維持、発展させることができるであろう。

## (6) 安全・安心・リスク

### ① 序

総合工学が果たすべき社会への貢献と役割の重要なものに「安全・安心・リスク」の検討を通じての人々の安全・安心の実現がある。

生活を便利にしている各種技術・システムが複雑・高度・大規模化し、万が一の場合の事故時被害規模も増大してきている。この各種技術・工学システム自体の安全向上のための方策を明らかにする事は第一義的な安全・安心の実現への対応である。その一方、私達人間は地球上で豊かな、また複雑微妙なバランスを保持した自然に取り囲まれて生活している。その中で、人為と自然の不調和から生じる環境汚染・地球温暖化は大きな問題となってきている。また、自然に本来的に存在している地震、気象等から生じる自然災害とも長年にわたり闘ってきている。これらの問題の解決に各種技術・工学システムが大きな役割を果たしてきていることは明白な事実である。私達の生活の安全向上のためには、工学システムとそれを取り囲む外部との関連を考えつつ、問題解決を図っていく必要がある。安全には工学としての技術だけではなく、人文科学、社会科学が深く係わりあっていることを念頭に、より総合的に「安全とは何か」、「安心とは何か」についての検討が進められるべきである。

### ② 取り組むべき課題

#### ア 安全の理念

従来から様々な学会・協会・研究会で幅広く安全についての議論がおこなわれてきているが、安全技術はそれぞれの分野の知見と経験に深く根ざした個別的技術として発展し、他の分野の人からはなかなか窺い知れないところもある。しかし、各分野で開発、実現されている安全技術には共通部分や共通した考え方があることは、昔から良く知られた事実である。

それぞれの領域で努力され、実現されてきた各分野の安全の技術や考え方を整理し構造化することで、安全の知識の構造をより一層明確にできる。この共通する考

え方を一般化、原則化することで、他の分野の安全技術にも応用可能な道が開けるはずである。

「安全とは何か」という根源的な問に対しては、安全の逆の概念である「危険」が一つ一つ具体的に指摘できるのに対して、安全はどんな危険も存在しないという否定形で表され、具体的に指定できないために問に答えることが難しくなっている。安全は、リスクを経由して定義されることが一般的であり、“常に危険性（リスク）は残されており、それが許容可能、または受け入れ可能なものになっていること”が安全ということになる（絶対安全の不存在）。

## イ 安全目標

人々が真に安心して生活するためには公衆のリスクを尺度とする「安全目標」について検討し、整合性のとれた数値的基準を提案することが重要である。また、この基準について社会的コンセンサスを得る有効な仕組みについて検討し、国民が信頼しあえる安全・安心な社会の実現に努力すべきである。「安全目標」という明確な考えのもとに、活動（技術）の提供者（事業者）、受益者（市民）、規制者（国家等）が同一の基盤の上に立ち協力して、合理的・整合性のある適正な対策を効率的、効果的に実施していく必要がある。

## ウ 安全と安心の関係

社会的コンセンサスを得るためには、「安心」の意味を明確にする必要がある。「安心」は人間の感情によるものである。「安心」確保のための科学・技術の検討に当たっては、「人間」に着目し、行動学的、心理学的知見も活用した人間行動の把握と、人間を取り巻く社会環境の把握が必要である。現在、「安心」の定義として、『安心』とは、（安全であり、かつ）安全であることが信じられること。『信じられる』とは、理解できるか、説明内容ないし説明者が信頼できること。」が候補として挙げられている。

## ③ 具体的・技術的課題

### ア 統合センシングによるヒューマンエラーと安全・安心・リスクの科学的解明

事故原因の多くはヒューマンエラーに起因していることから、ドライブレコーダ等のセンシング技術、データ収集装置により陸海空の交通事故・インシデントの実態解明、脳科学等の基礎科学による事故時の人間行動の解明を行う。その知見を、最新の情報工学、制御工学、ロボット工学を応用した事故対策技術の確立へと活かし、事故を軽減させる。この課題は、まさに総合工学の特徴である包含する広い分野間の学問の連携・融合を促すことにより、新しい領域の創成や社会で求められる技術、価値あるいは概念を創り出すという重要な役割を具現化するものである。



## イ 遺棄および老朽化学兵器の安全な廃棄技術

第二次世界大戦終了時に中国に遺棄された化学兵器およびわが国にまだ残存する老朽・遺棄化学兵器の安全な廃棄のための総合的な技術開発、学術研究の進展、中国における化学兵器の処理の推進の実施が望まれる。ヒ素の有機化による無毒化という新規技術の活用、適切なリスク評価手法を活用したリスク管理の高度化等の課題が挙げられる。

## ウ 事故調査のあり方

広く各種事故の再発を防止することにより、安全性の向上・事故軽減を図る事は社会に対する総合工学の責務であると考ええる。工学的に適切な安全対策をとるためには、不幸にして起こってしまった事故の真相を明らかにすることが必須となる。当事者の責任追及、被害者の補償とも関連し人間行動の背景も含めた分析が重要であるが、これは、工学だけではなく、法律、制度、体制、社会システムが直接的に係わりあった課題であり、第三部以外の専門家の参加による幅広い検討を行い、社会に働きかけるという真に総合工学的な課題と言える。

## ④ 結び

総合工学が果たすべき社会への貢献と役割の重要なものに「人々の安全・安心の実現」がある。そのために取り組むべき課題として、「安全の理念の構築」、「安全目標の設定」、「安全と安心の関係の明確化」が挙げられる。これらとともに取り組むべき具体的・技術的課題として、「統合センシングによるヒューマンエラーと安全・安心・リスクの科学的解明」、「遺棄および老朽化学兵器の安全な廃棄技術」、「事故調査のあり方」を提案する。

## 4 まとめ

総合工学とは、旧来の工学には見られなかった工学における横型分野であり、あらゆる工学体系や知識を総動員して設計・製造される人工物に関する分野であると定義できる。従来からの領域型分野とは異なり、学際的・複合的な分野である応用物理、計測制御、計算機科学、計算科学・技術、エネルギー・資源、放射線、宇宙航空、海洋船舶、安心・安全・リスク学、環境学、巨大社会システムなどを含んでいる。すなわち、これらの分野を束ねた総合工学は極めて広い概念を持っており、既存の領域型分野とは自ずと異なった内容を包含し、かつ、工学全体の横断的課題および科学・技術全体に跨がる課題を扱うという特徴を持っている。

総合工学の主な役割のひとつは、「知の統合」の具現化である。また、工学・科学・技術全体を課題としている総合工学の学術的な役割は、包含する分野の深化をはかると同時に、これらの要求に応えるために、既存の分野と融合してイノベーションの創出をはかるなど、社会に求められる技術や価値を創造するための科学・技術の強化をはかることである。例えば、個別の技術成果の積み上げのみでは地球規模の課題の克服には不十分であり、「世界全体の持続可能性」に貢献するマクロかつ定量的視点を重視し、融合的な将来ビジョンのもとに、実現に確実に貢献するプログラムづくりと安心・安全な社会の構築に向けて、総合工学分野が役割を果たす必要がある。その結果として、総合工学に新たな学術の境界の変化を生じさせ、これがまた次なる知を生み出すことにつながっていくことになる。

総合工学が、広い分野に跨がる先進的な学術としてさらに発展を続けるためには、「個」として考え、計画し、決断し、行動する、多様な価値観と能力を持った科学・技術を担う研究者、技術者の質、量両面での確保と育成のためのシステムを築く必要がある。すなわち、国際的な競争力・発展性のある総合工学の基盤構築に向けて、次世代を担う人材育成・教育について 充実・強化が最優先課題として取り組まれるべきである。

「工学基礎」は、あらゆる工学の基礎をなすとともに、人文・社会科学をも含む幅広い人工物や人工システムに関する科学・技術領域に適用可能な普遍的な概念や方法論を対象とする学問分野である。このような分野横断的な性質は、「知の統合」の実現に向け、個別分野に依存しない共通の概念や方法論を確立していく推進エンジンとしての役割を担い「社会が抱える複雑な問題の解決」に向けた諸分野の融合による総合的かつ革新的な研究に不可欠な共通の場を提供し学術による社会的価値の創造の基幹を担う。「知の統合」や「横断基幹科学・技術」を担う人材を育成し輩出する大学・大学院教育の拡充を緊急に図るとともに、「問題解決のための科学・技術」を目指した「知の統合」と「横断基幹科学・技術」の研究を促進することが緊要である。

「応用物理学」は、社会や世界の科学・技術が進むべき方向を学問的基礎に基づいて示し、かつ我々の社会が直面する課題に対し、学問的基盤から解を与える。科学・技術立国には、物理学を基礎に、学問分野を融合したイノベーションとその体系化を進める応用物理学と、応用物理学の素養を持つ人材が不可欠である。今後も、社会との様々な対話を通し、応用とその反作用としての学問の深化を進める必要がある。

「エネルギーと資源」は、持続可能な産業・社会基盤の確立、循環型社会の構築に向け、エネルギーと物質を統合して取り扱い、従来の生産・利用の流れに対して再生を強化し、生産に戻す『環』の実現可能な産業・社会基盤の確立が必要となる。循環型社会構築には、社会システムと科学・技術の両輪により、適切な対応が望まれ、これらを総合しながら取り扱える学問の創生が必要である。

「フロンティア人工物科学・技術」は、全地球的および地球外への輸送、地球ダイナミクスの解明および地球外フロンティア開拓という3つの視点に立ち、安全安心な社会・豊かな生活の構築および新しい自然観・地球間の創成を通じて人類の持続性確保に貢献しているが、なお課題も多い。今後も社会科学・人文科学分野との連携を含め、新たな展開を進める必要がある。

一見すると異なる様相を示している様々な人工システムを、巨大複雑系社会経済システムと捉え直とともに、巨大複雑系社会経済システムの本質的かつ共通特性の理解、巨大複雑系社会経済システムの創成力強化のための評価基準構築・産学官連携俯瞰型人材育成・制度設計、巨大複雑系社会経済システムの創成、を緊急に進めることによって、人工物創成力に関する我が国の優位性を維持、発展させることができるであろう。

総合工学が果たすべき社会への貢献と役割の重要ものに「人々の安全・安心の実現」がある。そのために取り組むべき課題として、「安全の理念の構築」、「安全目標の設定」、「安全と安心の関係の明確化」が挙げられる。これらとともに取り組むべき具体的・技術的課題として、「統合センシングによるヒューマンエラーと安全・安心・リスクの科学的解明」、「遺棄および老朽化学兵器の安全な廃棄技術」、「事故調査のあり方」を提案する。

## <参考文献>

- [1] 後藤俊夫ほか、「総合工学の役割と展望」、『学術の動向』2008年7月号、56-79
- [2] 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
- [3] 日本学術会議、イノベーション推進検討委員会、報告『科学者コミュニティが描く未来の社会』、2007年1月25日
- [4] 日本学術会議、総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会、記録『知の統合の具体的方策 — 工学基盤からの視点 —』、2008年8月18日
- [5] 日本学術会議、総合工学委員会 巨大複雑系社会経済システムの創成力を考える分科会、提言『巨大複雑系社会経済システムの創成力強化に向けて』、2008年6月26日
- [6] 日本学術会議、総合工学委員会 未来社会と応用物理分科会、報告『応用物理の将来ビジョン』、2008年7月24日
- [7] 日本学術会議、総合工学委員会 持続可能なグローバル資源の利活用に係る検討分科会、提言『鉱物資源の安定確保に関する課題と我が国が取り組むべき総合的対策』、2008年7月24日
- [8] 日本学術会議、総合工学委員会 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、提言『老朽・遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの低減』、2008年7月24日
- [9] 日本学術会議、総合工学委員会 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、提言『交通事故の無い社会を目指して』、2008年6月26日

## ＜参考資料＞シンポジウム一覧（第21期）

### ■宇宙利用シンポジウム(第24回)

期間：平成21年1月14～15日

場所：宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 相模原キャンパス

### ■原子力総合シンポジウム2009

期間：平成21年5月27～28日

場所：日本学術会議講堂

### ■安全工学シンポジウム2009

期間：平成21年7月9～10日

場所：機械振興会館

### ■サハラソーラーブリーダー計画

期間：平成21年6月30日

場所：日本学術会議講堂

### ■科学技術におけるイノベーションの創出と人材育成

～応用物理の目指す方向～

期間：平成21年11月19日

場所：日本学術会議講堂