

提 言

学術と産業を結ぶ基盤研究
および人材育成の強化
—応用物理からの提言—



平成23年（2011年）8月18日

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

この提言は、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 未来社会と応用物理分科会

委員長	荒川 泰彦	(第三部会員)	東京大学生産技術研究所教授
副委員長	奥村 次徳	(連携会員)	首都大学東京副学長・理工学研究科教授
幹事	渡辺 美代子	(第三部会員)	(株)東芝経営変革統括責任者
幹事	大野 英男	(連携会員)	東北大学電気通信研究所教授
委員	桑野 園子	(第一部会員)	大阪大学名誉教授
	後藤 俊夫	(第三部会員)	中部大学副学長
	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)	東京工業大学名誉教授
	榊 裕之	(第三部会員)	豊田工業大学学長
	市川 昌和	(連携会員)	東京大学大学院新領域創成科学研究科特任教授
	一村 信吾	(連携会員)	(独)産業技術総合研究所理事
	伊東 一良	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科教授
	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
	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
	岸野 克巳	(連携会員)	上智大学理工学部教授
	木村 忠正	(連携会員)	電気通信大学名誉教授
	國分 泰雄	(連携会員)	横浜国立大学理事・副学長
	小舘 香椎子	(連携会員)	日本女子大学名誉教授
	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
	財満 鎮明	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
	白木 靖寛	(連携会員)	東京都市大学教授
	田島 道夫	(連携会員)	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所専任教授
	多田 邦雄	(連携会員)	金沢工業大学客員教授
	橘 邦英	(連携会員)	大阪電気通信大学工学部教授
	遠山 嘉一	(連携会員)	東京大学工学キャリア支援オフィス シニアアドバイザー
	波多野 睦子	(連携会員)	東京工業大学大学院理工学研究科教授
	平岡 佳子	(連携会員)	(株)東芝研究開発センター
	藤田 静雄	(連携会員)	京都大学大学院工学研究科教授

堀越 佳治	(連携会員)	早稲田大学理工学術教授
真壁 利明	(連携会員)	慶応義塾常任理事
松尾 由賀利	(連携会員)	(独)理化学研究所先任研究員
三間 罔興	(連携会員)	光産業創成大学院大学特任教授
三村 高志	(連携会員)	(株)富士通研究所フェロー
谷田貝 豊彦	(連携会員)	宇都宮大学オプティクス教育研究センター センター長・教授
吉野 淳二	(連携会員)	東京工業大学大学院理工学研究科教授

要 旨

1 作成の背景

省エネルギーで高度な社会システムや、医療・食糧を含めた安心で安全な社会、さらにはその持続的発展など、私たちが求める未来社会を今後構築する上で、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を担う応用物理の果たす役割は大きい。来るべき未来社会の基盤を創造し続けることは、わが国が国際社会に対する貢献と責任を果たし続けることであり、ひいてはわが国の産業競争力の源泉ともなる。

応用物理がこの役割に応えていくためには、関連学術分野の連携と融合による新領域の開拓、産業技術のシーズの創成、指導力のあるトップレベルの人材や次代を担う若手の育成の分野で新たな仕組みの創出、を成し遂げていかなければならない。これには、各関連分野において中長期的なビジョンを作成し共有してその実現を図ること、国内外および産学官に対してオープンな環境のもとで新たな学術領域が形成される枠組みを構築すること、加えてグローバルに活躍できる人材を育成していくことが必要である。

本分科会は、以上の背景の下、学術と産業を結ぶ基盤研究および人材育成の強化について、提言をとりまとめた。この提言は応用物理に関係する分野を対象にしているが、わが国の科学・技術が直面している共通課題に対する提言であり、学術全分野に展開可能な普遍性を内包するものである。

2 現状及び問題点

わが国では、産業や研究開発のグローバル化、特に新興国の勃興に伴って、急激な環境の変化が生じるとともに、経済力、産業競争力の低下が顕著となっている。日本を牽引してきた大きな要素である科学・技術にもかげりが見えている。このことは、論文数シェアや特許件数シェアの低落傾向から見て取れる。日本の未来を切り拓くイノベーションは、基盤研究から生まれ産学官の連携の下で育つが、科学・技術全般の弱体化は、わが国の未来にとって大きな課題を突きつけている。また、産業のグローバルな展開には国内人材の確保と育成が最優先課題であると、多くの日本企業が認識している。今後を担う世代が、能力と自信をもって未来社会の構築にあたるには、グローバル化した環境に対応し世界をリードできる人材の育成が必要不可欠である。これらの課題に対しては、産学官が三位一体となって取り組む必要がある。

3 提言等の内容

(1) 応用物理の将来ビジョンの実現に向けて

学術と産業技術を結ぶ新たな展開を求めて、応用物理の将来ビジョンの観点から、以下を提言する。

① 学術の進化に向けた融合化、統合化の推進

応用物理は、環境・エネルギー、生命・医学分野などとの連携も展開し、従来の応用物理を基礎にしつつも、周りの分野との融合と統合を進めて新たな地平を切り拓く学術分野へと変貌を遂げなければならない。

② イノベーション創出に向けた将来ビジョンの共有および学術と産業を結ぶ学術基盤研究の推進

イノベーションの創出に向け、応用物理および関連分野の研究者は、将来ビジョンを共有するとともに、適切な役割分担の下で、学術と産業を結ぶ学術基盤研究を推進しなければならない。これにより、既存の応用物理領域の枠を越えた学際的・複合的な発展を遂げ、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すことができる。

③ 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域とその具体的計画例の提示

将来ビジョンを踏まえ、応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域を、統合エレクトロニクス、材料・プロセス、基礎基盤、ライフ・バイオ、環境・エネルギー、の5つとして定めるとともに、各領域における学術と産業を結ぶ学術基盤研究を推進するための14の研究計画を具体的例として提案する。

(2) 産学官連携体制のさらなる強化

わが国が持続的にイノベーションを創出するためには、産学官連携体制を再構築し、それをさらに強化することが不可欠である。そのため、以下を提言する。

① プロジェクトマネジメント体制の強化

長期的な視点で戦略的に研究開発プロジェクトを運用するために、国は府省庁の枠、産学官の枠を越えたプロジェクトフォーメーション・マネジメント機能を国家的施策として早急に充実する。また、プロジェクトでは海外企業や海外研究機関の参加を可能とすべきである。

② オープンイノベーションを実質化するための研究開発拠点整備

産学官は、その一体的取り組みとして、オープンイノベーションの場となる拠点を整備する。このため大規模な実証機能や試作機能の充実を国としての重要施策と位置付ける。

③ 産学官連携による人材育成強化

産学官が協力して、オープンイノベーションの場を活用した若手人材の育成プログラムを作成する。また、競争的環境の中でも優秀な人材の持続的な雇用が可能となる方策を、関係機関の協力の下に整備する。

(3) 産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成

科学・技術で世界を先導し、技術革新で経済活動を活発にするためには、産学官における若手研究者が、学術と産業を結び付けることによってイノベーションを実現するのみならず、さらにグローバル化への原動力となる必要がある。そのための施策として、以下を提言する。

① 国際スクールの恒常的設置

学術と産業が効果的に連携して発展してきた応用物理分野において、科学・技術の分野で世界を先導できる人材育成を強化するために、国の全面的な支援のもとで、個別の大学法人とは独立に国際スクールを恒常的に設置し、育成プログラムを実施する。そこでは、科学者の発意・提案にもとづいて多様で実践的な内容を盛り込むことにより、グローバルな環境でリーダーシップを発揮できる人材を育成するとともに、国際的な人的ネットワークも形成できる仕組みを構築する。本国際スクールは、独立法人や学会等の事務的支援のもとで、学識経験者と産業界の代表者により、透明性を高めつつ運営されることが望ましい。

② 短期留学制度の拡充

産学官の若手研究者を対象に、国は海外の大学・研究機関において研究経験を積むことのできる制度を拡充する。滞在期間は必ずしも長期である必要はなく、短期であっても海外で単独にて生活体験するとともに、海外の一流研究機関で世界の一流研究者と共に研究遂行し切磋琢磨する機会及びグローバルに活躍する契機を提供する。

③ グローバル人材育成の取り組み成果の周知と活用

国際スクール等をはじめとするグローバルリーダー育成の取り組みとその成果を広く産業界あるいは社会に周知し、産学官が連携して最大限の活用を促進し、わが国の産業競争力、経済力強化に生かす。応用物理分野でパイロット的に進める国際スクール等の成果を検証しつつ他分野にも拡充していく。

目 次

1	はじめに.....	1
2	現状と課題.....	3
	(1) 学術と産業を結ぶ応用物理.....	3
	(2) 応用物理の将来ビジョン.....	3
	(3) 応用物理分野における産学官連携.....	5
	(4) 不足するグローバル人材.....	8
3	応用物理の将来ビジョンとその実現に向けて.....	12
	(1) 応用物理の将来ビジョン.....	12
	(2) 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域.....	12
	(3) 学術と産業を結ぶ学術基盤研究の具体的計画例.....	14
4	応用物理分野の研究開発拠点整備の今後のあり方.....	15
	(1) 拠点の形成とプロジェクトフォーメーション・マネジメント機能拡充.....	15
	(2) 産学官連携による人材育成.....	15
	(3) 海外の企業の参画および連携の重要性.....	16
	(4) 拠点整備・運用上の課題.....	16
5	産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成.....	18
	(1) グローバルリーダー育成のための国際スクールの設置.....	18
	(2) 短期留学の拡充と推進.....	19
	(3) グローバル人材育成の取り組み及び成果の周知拡大.....	20
6	提言.....	21
	(1) 応用物理の将来ビジョンの実現に向けて.....	21
	(2) 産学官連携のさらなる強化.....	21
	(3) 産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成.....	22
7	むすび.....	24
	<参考文献>.....	25
	<参考資料> 総合工学委員会未来社会と応用物理分科会審議経過.....	26
	<付録1> 「現状と課題」参考図表.....	29
	<付録2> 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域の具体的計画例... ..	33
	<付録3> 国内外における研究開発拠点整備の現状.....	48
	<付録4> 「産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成」参考図表.....	56

1 はじめに

応用物理は、物理学を中心にした自然科学に立脚し、電子工学、化学、材料科学などの隣接領域と融合しながら、最先端の学術を切り拓いてきた。また、エレクトロニクスを中心とした産業技術の新たな展開や具体的課題の解決に資することにより、産業競争力の強化に貢献してきた。

省エネルギーで高度な社会システム、医療や食糧を含めた安心で安全な社会、さらにはその持続的発展など、私たちが求める未来社会を今後構築するにあたって、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を担う応用物理の果たす役割は大きい。来るべき未来社会の基盤を創造し続けることは、わが国が国際社会に対する貢献と責任を果たし続けることであり、ひいてはわが国の産業競争力の源泉ともなる。

一方、産業や研究開発のグローバル化、特に新興国の勃興に伴って、急激な社会及び個人にとっての環境の変化が生じるとともに、わが国の経済力、産業競争力の低下が顕著となっている[1-3]（付録1の図1-1、図1-2参照）。日本を牽引してきた大きな要素である科学・技術にもかげりが見えていることが、論文数シェアや特許件数シェアの低落傾向から見て取れる[4, 5]（付録1の図1-3、図1-4参照）。日本の未来を切り開くイノベーションは、基盤研究から生まれ、産学官の連携の下で育つが、科学・技術全般の弱体化はわが国の未来にとって大きな課題を突きつけている。また、産業のグローバルな展開には国内人材の確保と育成が最優先課題であると、多くの日本企業が認識している[6-8]（付録1の図1-5、図1-6参照）。今後を担う世代が、能力と自信をもって未来社会の構築にあたるには、グローバル化した環境に対応し世界をリードできる人材の育成が必要不可欠である。

応用物理が来るべき未来社会の基盤を創造する役割を担い続けるためには、応用物理とその関連学術分野の連携と融合による新領域の開拓、産業技術のシーズの創成、特に学術と産業を結びつけてイノベーションを創出しかつグローバルに指導力を発揮できるトップレベルの人材やその次代を担う若手の育成のための新たな仕組みを創出していくことが重要である。このためには、各関連分野において中長期的なビジョンを作成し共有してその実現を図ること、国内外および産学官に対してオープンな環境のもとで新たな学術領域が形成される枠組みを構築すること、加えてグローバルに活躍できる人材を育成していくことが必要である。

最先端の学術は、人類の繁栄に多大な貢献をもたらしてきた一方で、20世紀半ば以降には、科学・技術や経済の発展が地球環境・生態系の破壊や人類の生存をも脅かすような重大事故などを引き起こすといった負の事例も目立つようになった。学術と産業を結ぶ応用物理および関連分野にあつては、人類の経済的幸福と安全・安心で健康な生活との調和ある発展を、これまで以上に意識して進めていく必要がある。それゆえに、本提言に含まれる産学官連携や人材育成においては高い倫理性が求められることはいうまでもない。

本分科会は、これらの背景の下、次の大項目で括られる3つの提言をとりまとめた。

1. 応用物理の将来ビジョンの実現に向けて
2. 産学官連携体制のさらなる強化
3. 産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成

以下、第2章では3つの提言に関する現状と課題について述べ、第3、4、5章ではそれぞれの提言に至る背景を説明し、第6章で提言を行った。

今回の提言は応用物理に関係する分野を対象にしているが、わが国の科学・技術が直面する課題に対する普遍性を内包するものであり、学術全分野に展開することが望ましい内容である。

2 現状と課題

(1) 学術と産業を結ぶ応用物理

学術は、知的好奇心や探究心によって深められ、それにより新たな文化や人の心の豊かさをもたらす。その中で、一般に工学と呼称される学術分野は、基礎科学に立脚して技術を生み出す。このことから、工学では産業の創成や国民生活の経済的な向上への貢献度も、その存在価値を測る一つの大きな尺度となっている。

工学の一分野である応用物理は、物理学を中心にした自然科学に立脚し、電子工学、化学、材料科学などとの隣接領域と融合しながら、最先端の学術を切り拓いてきた。また、エレクトロニクスを中心とした産業技術の具体的課題の解決に資することにより、わが国の経済競争力の強化に貢献してきた。今後のさらなる発展のためには、関連分野との連携と融合による新領域の開拓、産業技術のシーズの創成、指導力のあるトップ人材や若手人材の育成が求められている。これには、各学術分野において中長期的なビジョンを作成し、それをお互いに共有することが重要である。さらにその実現を図るためには、国内外および産学官に対してオープンな環境のもとで新たな学術領域が形成される枠組みを構築すること、加えてグローバルに活躍できる人材を育成する仕組みを築いていくことが必要である。

(2) 応用物理の将来ビジョン

日本学術会議や関連学協会では、このような観点に立った学術研究の長期的な将来ビジョンの策定に向けて、既に多くの活動を行ってきている。例えば、応用物理学会では、2006年にアカデミック・ロードマップの作成作業を開始し、2008年3月には『応用物理分野のアカデミック・ロードマップ（初版）』を公表した[9]。2010年3月には改訂版も公表している。その間、学術講演会におけるシンポジウムの開催や、シーテックなど産業界が主催する大規模な展示会への協力を通じて、積極的にアカデミック・ロードマップの普及に努めてきた。さらに、未来を見据えるためには、イノベーションに繋がるこれまでの卓越した業績や発展の流れを理解することが重要であるという観点から、ロードマップの改訂作業と並行して、新たに『応用物理分野の発展史マップ』も作成した。一方、日本学術会議においては、未来社会と応用物理分科会が2008年7月に、報告『応用物理の将来ビジョン』[10]を取りまとめて、応用物理学会のアカデミック・ロードマップを紹介するとともに、応用物理の融合的将来ビジョンとして環境・エネルギーイノベーションロードマップについて提案した。また、2010年4月には、報告『総合工学分野の展望』の第3章(2)節において、応用物理学における重要分野の概要と中心課題、応用物理学分野全体の課題と提言がまとめられている[11]。

これらの報告書では、30年後までを見通した応用物理および関連学術分野の将来展望と産業技術を通じた社会貢献について検討がなされ、一定の道筋が示された。しかしながら、将来ビジョンを見据えた上で、今後10年間に於いて国、大学、産業界、研究開発独立法人等が取り組むべき研究開発の具体的方策は、未だ十分示されていない。また、

具体的な研究課題についても明確な議論はされてこなかった。今後、将来ビジョンの具現化へのマイルストーンとして、これから10年間、わが国が牽引役となって推進すべき方向性を示すとともに、学術と産業を結ぶ基盤研究の具体的な課題例を示すことは大きな意義がある。

① 応用物理における重要研究分野

上記のように、応用物理が今後担う重要な研究分野は、『アカデミック・ロードマップ』や、報告『総合工学分野の展望』において明らかにされてきた。応用物理学会の『アカデミック・ロードマップ』では、19の分野（要素技術クラスター）、すなわち、①シリコン、②有機・分子、③テラヘルツ、④量子情報・物理、⑤フォトニクス、⑥オプティクス、⑦X線・深紫外計測技術、⑧ワイドバンドギャップ、⑨結晶成長、⑩プラズマ・プロセス技術、⑪磁性スピンエレクトロニクス、⑫バイオエレクトロニクス、⑬医療エレクトロニクス、⑭マイクロ・ナノメカニクス、⑮ナノ構造技術、⑯超伝導技術、⑰環境・エネルギー技術、⑱人材育成、⑲食糧技術について、それぞれ2040年をゴールとして将来ビジョンとそのロードマップが描かれた。その結果、各分野における重要技術課題やビジョンが時間軸を伴って示されるとともに、各分野における学術と産業技術の発展と社会貢献との関係も明示された。また、2010年の改訂版においては、医療エレクトロニクス、環境・エネルギー技術、安心・セキュリティ、人材育成については、特に横断型・融合型分野として位置付けて議論された。

一方、『総合工学分野の展望』においては、やや異なる視点の下、重要分野として「半導体エレクトロニクス」、「フォトニクス」、「材料・物性」等を挙げ、特にこれら3学術分野等の概要と中心課題を明らかにすることにより、工学的価値を産み出すための方向性を示した。この方向性により創出された研究成果は、産業技術の進歩に結実するとともに、人間が自らの尊厳を保ちつつ、豊かな心の下で安心して過ごすことができる未来社会の実現へとつながると期待される。また、このような応用物理の発展は、物理や化学、バイオ科学など、基礎科学の発展にも貢献するものと確信する。以下は、『総合工学分野の展望』においても、示されたこれら3学術分野における重要課題である。

「半導体エレクトロニクス」は、基本原理の応用に応用物理学が重要な役割を担う分野であり、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分野である。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と3次元化による性能向上の実現、ナノ電子機械技術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。

「フォトニクス」は、光学および量子光学に立脚する分野であり、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。

また、「材料・物性」は、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等を包含する分野であり、応用物理学の基盤技術として重要な学術分野である。今後、快適で安心・安全な社会の実現に向けて、環境・エネルギー材料、およ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。

② 将来ビジョンの実現に向けた具体的方策の必要性

素粒子・原子核物理学、天文学、宇宙科学、核融合、地球科学などのいわゆる基礎科学の諸分野では、全国共同利用型の大学附置研究所や、大学共同利用機関を中心として、大型施設計画が強力に進められてきた。すなわち、共同利用機関が大型施設を設置運用し、分野コミュニティの研究者が有効に共同利用を図ることで、国際水準の研究を極めて効果的に進めてきた。これらの大型共同利用施設は、広い研究者層の先端的研究を支えるとともに、大学院生をはじめ若手研究者の育成と国際的競争の場を提供するなど、大学における研究の基盤を広げ、日本の基礎科学の水準の向上と発展に大きな貢献をしてきた。日本学術会議からも、2010年3月に提言『学術の大型施設計画・大規模研究計画－企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について－』がまとめられ、基礎科学の推進に向けた大型研究計画に関するビジョンが示された。

一方、学術と産業を結ぶ工学分野についても、学術としての重要性、国民への還元、産業競争力強化等から、わが国としてさらに積極的に推進することが必要である。しかしながら、長期的将来ビジョンに立脚し、かつ応用物理とその関連分野におけるイノベーション創出をめざした学術と産業を結ぶ学術基盤研究の展開については、従来十分に検討されてこなかった。20-30年後のイノベーションは、今この時点で種が蒔かれ、パイプライン的な学術研究の展開がなされてこそ、初めて達成されるものである。このため、日本学術会議としては、産業創出や広い関連分野の諸研究の展開に向けて新たな研究基盤を広く強化するための提言を行うことが責務といえる。

(3) 応用物理分野における産学官連携

① 研究開発環境の急激な変化

経済成長への源となる科学および技術分野におけるイノベーション創出への期待は、益々高まっている。しかしながら、バブル崩壊以降の20年間にわが国の産業競争力と研究開発力の低下が深刻化する一方（付録1、図1-1～図1-4）、人口減少と高齢

化によって生産労働人口がこの先 30 年間で半減することが予想されている[12]。一方で、近年の技術開発期間の短縮化と中国やインドに代表されるアジア圏の急速な経済成長によって、世界の状況は大きく変わりつつある。豊富な労働力と先進国からの技術導入によるこれらの国々の急成長を前にして、わが国が引き続き先端技術分野で先行し先導していくためには、絶え間ない技術革新によって新しい価値を産み出すと同時に新規の市場を開拓することが必須である。

イノベーション創出には、多様でかつ地道な研究開発の集積が不可欠である。従来、民間企業が行う研究開発においては、4～5年の研究期間とそれと同程度の開発期間、すなわち全体では8～10年程度の年月を必要とした例が数多く見られる。新しい概念が民間に移行する前の基礎研究に要した期間も加えると、実際にはさらに一層長い研究期間がかかっている。『第4期科学技術基本計画への日本学術会議からの提言』(2009年11月)では、基礎研究とイノベーション創出目的研究の両者を振興することの重要性が謳われている一方で、二つの研究の間には不連続や不確実な結合メカニズムが存在していることが指摘されている[13]。従って、今後は、シーズ側、ニーズ側からの主体的かつ補完的な課題発掘により一貫した研究開発を効率的に行い、基礎研究から技術革新、新しい市場の創出へと短期間でつなげる道を開拓していくことが求められる。これには、よりオープンな環境の下でイノベーションを実現する必要がある。産学官連携はその一つの手法であり、国全体として、豊かな知的資産を創出しかつ有効に活用するための重要な役割を担っている。

② 研究開発における産・学・官の役割と研究開発独立行政法人への期待

グローバル化の時代を迎えて、日本企業の生産拠点の海外比率が高まる中にあっても、わが国の産学官の人材が有機的に連携した研究開発の推進と、それを通じた産業競争力の強化が必要である。これまでは、産業界の行う研究開発・技術開発は比較的短期での事業化を目的としたものが中心であり、それに対して大学は基礎的あるいは長期的な視点で将来技術の基盤となる研究開発を主体となって進めてきた。一方、政府(官)が主導するプロジェクト型研究は、産のニーズへの展開可能性をもった学のシーズを「見極める」ための産学官の連携の場として機能してきた。今後は、グローバルな競争的環境がさらに急速に進むため、市場ニーズとシーズ創出の結びつきが一層強く求められることになる。すなわち、産学官がそれぞれの役割に沿って研究開発を推進すると同時に、三者が一体となって、イノベーションの創出とその実現に向けた協働を実施できる環境を整えることが重要となる。これは、官の中核をなす研究開発独立行政法人(以下「研究開発独法」と略す)が果たすべき新たなミッションであると考えられる。

わが国が将来に向けて産業競争力を強化し、科学技術で世界を主導していくためには、上記の点に加えて、有形無形の研究資源を可能な限り有効に活用する必要がある。そのためには、競争的研究資金の効果的な配分方法の検討や購入研究資産の活用に対する過度な利用制限の解消やマネジメント体制の整備が不可欠となる。

③ オープンイノベーション時代における産学官連携

オープンイノベーションとは、「内部のアイデアと外部のそれとを有機的に結合させて、新しい価値を創造すること」と定義できる。特に、世界の中でわが国が置かれている経済的状況や技術的状況を考えると、今後持続的にイノベーション創出を図っていくわが国独自の仕組みを作り、実践していく必要がある。産業界、大学、研究開発独立法人がこれまでのやり方にこだわらず一体となった新しい研究開発体制を構築していかなければ、このようなイノベーションの持続的な創出は望めない。

すなわち、オープンイノベーションの実現のためには、長期的展望に立って、基礎から出口までの研究開発の各フェーズを階層的かつ重層的に産学官で分担し、分野や業種などの異なる多様な人材が目的を共有して、情報や技術を不断に交換し新しい学術領域と産業技術の創成を図っていくために緊密に連携する必要がある。したがって、多様な人材が同一の空間に集積して協働できる研究開発拠点を整備することがイノベーション創出のための有効な施策の一つであると言える。また、ものづくりを担い、次のイノベーションを創出するための人材を実践的に教育する舞台としても産学官連携は有効に機能すると考えられる。このように、産学官連携の強化はわが国が取るべき重要な施策の一つとして位置付けられる。オープンイノベーション時代に即した研究開発体制の改革と新しいイノベーションを実現するためのモデル構築が早急に求められている。

④ 海外における産学官連携の例と拠点整備の必要性

海外では、ナノエレクトロニクスを中心とした応用物理分野の産学官連携による研究開発拠点が重点的に整備されている。例えば、ベルギーの国際研究コンソーシアム IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) や欧州屈指の産官学連携クラスターであるフランスの MINATEC (Pole d' innovation en Micro et Nanotechnologies) などでは、大型の半導体デバイス試作ラインを整備し、最先端デバイス試作のみならず、それによって培われた技術を異分野に展開することを積極的に行っている。さらに、国外の企業や研究機関との連携を図ることによって国際的研究開発拠点としての位置付けを確立している(付録3の2.(2)項を参照)。重要な点は、試作実証を可能にする比較的大規模な設備を整備し、それを開放運用することによって、技術の新しい展開を図る場を創出することにある。すなわち、企業ではまだ検討が始まっていない材料やデバイス、システムを、試作機能を用いて実証的に検討することによって、新しい可能性を拓くことができる。現在でも、研究開発独法は小規模な形でこのような試作機能を有しているが、よりオープンかつ本格的な拠点を整えることが望ましい。

試作実証を可能にする新しい展開の場においては、産学官の三者の連携を通して、基礎研究から応用研究まで一体となって取り組む体制ができる。このような体制は、異分野融合の技術開発モデルとしても有用であり、オープンイノベーションを果たすための重要な基盤となり得る。この体制を有効に活用し産学官の英知を活かす方法の

一つは、中・長期的な研究開発目標に対して国家的プロジェクトを設定し、産学官が一体となって取り組むことである。その場合には府省庁の壁を越えたファンディングが必要となる。わが国では確立されていないこのようなファンディング制度の整備が必要である。

産学官の英知をニーズに結集するもう一つの方法は、中・長期的な技術の流れを俯瞰して、研究開発全体の方向性を明らかにし、それに基づいて産学官それぞれの役割を明確化、あるいは研究開発内容を階層化して、有機的な連携関係を持つ国家的プロジェクト群を構築することである。例えば、米国におけるシリコン CMOS（相補型金属酸化膜半導体：Complementary Metal-Oxide-Semiconductor）デバイス分野では、官民共同による米国の半導体製造技術コンソーシアム SEMATECH（Semiconductor Manufacturing Technology）、GRC（Global Research Collaboration）、Focus Centers、NRI（National Nanotechnology Initiative）がそれぞれ CMOS デバイスの微細化の技術世代を階層的にネットワーク化し、最終的に短期的な技術開発（応用研究開発）から長期的な技術開発（基礎研究開発）へと繋げている（付録 3 の 2. (1) 項を参照）。このように、長期的展望に立脚して国家レベルで階層的に研究開発プロジェクトを戦略的に組み上げることは、産業競争力の長期的伸張に不可欠である。そのためには、府省庁の枠を越えてプロジェクトマネジメント機能を整備し、国としてのプロジェクトフォーメーションを充実させることが必要になる。

(4) 不足するグローバル人材

科学・技術における人材育成の問題は、これまで日本学術会議において多くの議論がなされ、提言が出されている。それらはいくつかに分類できよう。

ひとつは、大学および大学院教育の再構築の必要性を指摘するものである。例えば、2008 年 8 月に表出された提言『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けて—科学・技術を担うべき若い世代のために—』[14]においては、大学で育成すべき人材像の明確化、時代に相応しい博士号取得者育成の構想の必要性、国際的競争力を持つ多彩な大学院教育体制の構築の必要性などを提言している。2009 年 11 月に表出された提言『第 4 期科学技術基本計画への日本学術会議の提言』[13]でも、大学の門戸を拓げ、人材育成の質と量を一層向上させることをわが国の国家的命題と位置づけ、目指すべき大学像を明示し、世界に開かれた大学の形成と海外での学びへの支援の必要性を謳っている。さらに、提言『人を育む、知の連山としての大学へ向けて』[15]でも、わが国が目指すべき大学像が示され、教育費、研究開発予算、学習の質の確保、人材の流動性、初等中等教育教員採用、大学における若手教員採用等 17 項目について提言がなされた。

もうひとつは、若手研究者の育成と男女共同参画推進に関するものである。2008 年 7 月に表出された提言『学術分野における男女共同参画促進のために』[16]においては、アンケートを実施し、この結果を踏まえて政府機関、大学等研究教育機関、学協会と科学者コミュニティそれぞれに対して具体策を提言し、男女共同参画推進の意義を認識し状況改善の取り組みを進めることを促した。さらに、2010 年 4 月に表出された提言『日

本の展望—学術からの提言 2010』[11]では、わが国のポスドクや大学院博士課程在籍者の危機に対応する施策の実施、男女共同参画のさらなる推進のためのポジティブ・アクションを含む積極的施策の展開が提言された。

一方で、本分科会では、報告『応用物理の将来ビジョン』[10]の中で、わが国が最先端の科学・技術において世界をリードするための方策として、理工系人材の絶対的な人員の確保やその基礎学力の向上とともに、革新的進歩を担う「トップレベルの人材」の育成を実現するための具体的な方策について指摘している。本節では、これまでの日本学術会議のりの諸提言の内容を踏まえつつ、報告『応用物理の将来ビジョン』[10]での議論をさらに発展させて、特にグローバル社会の科学・技術を担うリーダー層の人材育成に焦点を絞って、応用物理の立場から検討を加えた。

① 激変する社会における人材育成

第1章で述べたように、世界規模で進行する急激な環境変化のなかで、日本の産業界は従来の国内市場偏重から海外市場への転換を図り始めた。製造業を中心に海外売上高比率を増加させ[2]（付録1の図1-7参照）、グローバル社会で活躍できる人材の採用や育成を積極的に進めている。しかし、日本国内では営業や経営に携わる人材のみならず、研究者と技術者においても国籍や居住する地域を越えてグローバルに活躍できる人材、いわゆるグローバル人材が十分に確保できず、さらには、関係者の間での危機感の共有が不十分なため、そのような人材の育成環境の整備が進んでいないという問題に直面している。

一方、わが国のこれまでの経済競争力は主として科学・技術を基盤にしたものであった。しかし、この科学・技術の国際競争力も低下していることが懸念されている。これは、自然科学分野における発表論文数のシェアや特許出願件数の国際比較においても顕著に表れており、また国際共同研究の比率が他国と比較して伸びていない事実からも伺える[4]。すなわち、科学・技術の分野においてもわが国は急激なグローバル化に対応できていない。

グローバルな環境の中で活躍できる科学者や技術者、とりわけ、強力なリーダーシップを発揮できる人材（グローバルリーダー）を育成していくことが特に重要な課題である。最先端の科学・技術の革新的発展は、トップレベルにある一部の科学者や技術者の卓越した成果に負うところが大きい。また、研究開発は個人だけでなくプロジェクト等のグループや組織で推進することが一般的であり、グループや組織の活性度及びその成果はリーダーの資質とリーダーシップ次第で決まることが多い。研究グループのリーダーはトップレベル研究者が担うことが多いため、トップレベルの力を一層引き上げるための育成体制や環境整備が大きな課題である。グローバル化する社会の中で、国境を越え様々な国や異なる専門分野のリーダーたちと議論し、共に解決策を見出すことのできる総合力や構想力、俯瞰力と交渉力を備えた人材を数多く輩出していかなければならない。こうしたグローバルリーダー人材は、研究開発部門についてはもちろん、研究開発を企画立案する組織や部門においても重要な役割を果たすた

め、産業界、行政機関、大学それぞれの各機関ではグローバルリーダーの育成が強く求められている。また、研究リーダーと研究を企画立案する人材が共に学び、組織を越えて互いの課題を共有することも重要である。特に、産業界と大学が協働して研究開発を進めていくことに特徴をもつ応用物理分野にとっては、両者の架け橋となりグローバルに活躍し世界を牽引していくことのできる人材の育成が喫緊の要請となっている。人材育成を企画し運営する機関は、各研究機関や学協会が基本となる。なお、世界を先導できる人材の育成は応用物理分野に固有の問題ではなく、広く様々な学術分野に共通する課題でもある。

② グローバルリーダー人材育成の重要性

近年、わが国の若者の海外志向が低下しているという指摘がなされている。科学・技術分野においてもその例外ではなく、事態は深刻である。一方、わが国の大学に在籍する留学生比率も他国に比較して圧倒的に少なく[17]、人材の国際的な流動化に乗り遅れている。産業界も学界もグローバル人材を必要としているものの、若者はグローバル化と逆行する性向を示しており、他国との隔たりは一層拡大される傾向にある。

現在わが国では、あらゆる分野で国際的な舞台において対等に渡り合えるトップレベルの人材が強く求められている。特に、グローバルな環境の中で最先端の科学・技術の革新的発展を担える卓越した研究者を輩出する仕組みを早急に構築する必要がある。一方、科学・技術の成果をその専門分野だけに留めることなく、社会に積極的に展開し人類の持続的発展や世界の社会的難問の克服に果敢に挑むグローバルリーダーの育成は、グローバル人材育成の中でも特に大きな課題となっている。そのためのビジョンの策定、科学・技術の戦略や政策の立案が不可欠である。こうした課題の重要性は、学術会議においても多くの分科会や委員会にて認識され、検討が進められている。また、大学においても同様な認識のもとに様々な取り組みがなされている。一例として、文部科学省の実施するグローバル COE プログラム[18]に採択された多くの拠点では、グローバル人材の育成を目的として、語学カリキュラムの充実、中短期の海外留学の支援や必修化、海外学生の招聘等が実施されていることが挙げられる（付録4、表4-2）。しかし、プログラムの実施期間が限られていること、支援の対象が博士課程の学生に限定される等の問題も残されているのが現状である。

大学と産業界が共に研究開発を進めて来た応用物理分野では、先に述べたように研究開発環境の変化が一層急激に進行している。グローバルに活躍し世界を牽引するリーダーを育成できなければわが国の産業競争力はこのまま衰退の一途をたどると危惧される。応用物理分野におけるイノベーションは、これまで半導体エレクトロニクスに代表される日本の新しい先端分野の産業を次々と創出し、わが国の産業競争力を高めて来た。先端分野での産業競争力が低下しつつある今こそ、応用物理分野が率先してグローバルリーダーを育成し、世界に先駆けて将来の新しい産業の種を創出することが求められている。

③ わが国のグローバルリーダー育成のあり方

若手研究者がグローバルリーダーに相応しい高度で幅広い研究能力を磨いていくためには、多様な知的ベースや価値観の中で議論を戦わせることのできる研究環境で体験を積ませることが効果的である。その実現のためには、大学院生を含む若手研究者が、海外での研究体験を積むと共に、世界の一流研究者や海外の優秀な若手研究者との交流の機会を数多く持つことが重要である。

若い時代に海外留学を体験し、世界の一流研究者と切磋琢磨する体験をすることが言うまでもなく望ましい。しかしながら、わが国の海外留学研究者数は、例えば米国の大学で学ぶ留学生の出身国推移（付録4の図4-1参照）で見られるように、毎年減少傾向にある。中国、韓国、インド等の新興国の留学生比率が増加する中、ドイツやフランス等先進国の留学生比率は低下傾向が見られるが、2000年と2008年との比率はドイツで79%、フランスで72%に対し日本は59%と低下率が先進国中で最も大きい。また、全世界への留学生の出身国比率では、わが国は1.7%と他国に比較して低い状況にある[19]（付録4の表4-1参照）。さらに、わが国からの海外派遣(全世界)研究者数における長期派遣者数も2000年頃から減少傾向にある（付録4の図4-2参照）。この背景には、長期留学を困難にする課題が未だ多く残されていることがある。例えば、現在では就職プロセスが長期化し、グローバル人材のニーズが採用活動に反映されることにより解消に向かう可能性があるものの、留学する学生が不利となる実態がある。このため、大学院生を含む若手研究者に、長期留学のみを促進するのではなく、その前段階という位置づけで短期的国際交流や短期留学の経験を促進することが実践的方策と考えられる。短期的国際交流や短期留学は、就職への影響等長期留学の学生が不利となる効果が回避できるため、若手研究者がグローバル社会を体験するに対する障壁を大幅に低減することが期待できる。さらには、この体験によりグローバル社会で活躍することの意義や充実感を体感し、中長期の海外経験を促進することも期待できる。

これら国際交流や短期留学の対象については、修士課程及び博士課程の大学院生に限定することなく、産学官のグローバルリーダー候補を含む若手研究者とし、広く機会を提供することが望ましい。また、グローバル社会では主流となりつつあるもののわが国においては依然少数派である女性研究者の参加は、特に強く推進されることが望まれる。国境および性別を超えて多様な研究者と共に深く議論することによって得られる相互理解は、柔軟な想像力を備えたグローバル人材として成長するための貴重な経験となる。

同時に、グローバルリーダー育成は産学官すべてにおいて共通の課題であり、また大学、産業界、省庁等が相互に影響する課題であるため、産学官が一体となって人材育成計画やそれを実施するための具体的な人材育成プログラムを構築することが望まれる。

3 応用物理の将来ビジョンとその実現に向けて

(1) 応用物理の将来ビジョン

応用物理などの工学に分類される学術分野は、物理学や化学など基礎科学に立脚しつつ、具体的な成果物を技術として創成しかつ熟成させることにより、産業の創成や国民生活の経済的な向上に貢献する。しかし、最近では、基礎科学から技術が生まれるというだけではなく、技術が新たな基礎科学の方向を生み出すことがしばしば起こっている。今後、新しい学術の創成に向けては、単に既存の学術分野の深化を図るだけではなく、基礎科学と応用科学、あるいは隣接する科学・技術との融合化、統合化に向けた研究の展開が重要である。応用物理は、今後も物理学、化学と融合を図りながらも、さらに、生物学、医学分野との連携も展開し、従来の応用物理からさらに進化することが期待されている。

一方、工学の一分野としての応用物理は、産業科学・技術の発展への寄与を通じて、イノベーションの創出に貢献しなければならない。このためには、応用物理および関連分野の研究者、また、大学、産業界、独立法人、国、すなわち、産学独法の各研究者が将来ビジョンを共有するとともに、それぞれの役割分担の下で、学術と産業を結ぶ学術基盤研究開発が推進されることが必要である。これにより、既存の応用物理領域の枠を超えて学際的・複合的な発展を遂げ、さらに新たな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ことが期待される。また、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すことができる。その結果、学術的価値の創成と人類の経済的幸福と健康な生活をもたらすという両輪のもとで、応用物理および関連分野が発展する。

応用物理学会の『アカデミック・ロードマップ』では、前述のように19の分野に分類して将来ビジョン策定が行われているが、これはボトムアップ、要素技術を主体にした分類であった。一方、日本学術会議より発出された報告『総合工学分野の展望』では、3つの学術研究分野を中核にしてそれに関連する学術テーマを示した。そこで、本章第(2)節ではこれらを再構成し、5つにまとめた研究領域を提示し、今後の応用物理および関連学術領域分野の発展に資することとした。

(2) 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域

本節では、応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域として5つに整理した研究領域を提示し、その内容とともに、取り組みの方向性を示す。

① 統合エレクトロニクス研究領域

アカデミック・ロードマップの19の分野の中で本領域が関連する分野は、シリコン技術、フォトニクス、マイクロ・ナノメカトロニクス等である。将来ビジョンの実現に向けて、異種な機能、デバイス、材料を集積する必要があり、マルチフィジクス型のデバイス・システムを共創するための学術基盤研究が重要となる。本学術基盤研究

を推進すれば、世界に先駆けた学術分野の体系化と、基盤技術整備によるわが国の次世代産業への貢献、技術標準化による戦略的な国際競争力への先取りなどの効果が期待される。

② 新材料・プロセス技術研究領域

本領域が関連する分野は、有機・分子エレクトロニクス、ワイドギャップ半導体エレクトロニクス、プラズマ・プロセス技術、結晶成長である。材料技術、物性評価技術、プロセス技術、デバイス技術、応用技術に係る基礎・基盤研究を推進することにより、個人の創造的研究に立脚しつつ、必要に応じて集中化することも重要である。これにより、分野間・組織間の共同連携が飛躍的に進み、学際性を特色とする応用物理学、および、新材料・プロセス分野の発展に大きく寄与する。また、産学官が連携して総力を結集し、基礎科学に立脚した学術的アプローチと高度な技術と経験に立脚した工学的アプローチを融合させた研究開発を推進することも可能になり、基礎科学から工学的価値を産み出すことが期待される。

③ 基礎基盤領域

本領域が関連する分野は、量子情報・物理、テラヘルツエレクトロニクス、磁性・スピントロニクス、ナノ構造技術である。20年後のイノベーションの創出に向けて、基礎・基盤技術の確立は重要であり、応用物理学として大きな意義がある。基礎科学の追究は、工学・理学・数理学の広い分野にまたがる学際的な研究領域の形成と発展に大きく寄与しているだけでなく、未来社会の実現に向けて重要な意味をもつ。また、基盤技術ゆえに局所的な要素技術単体の研究となりやすいが、国内外の主要研究機関と連携し、国際的なネットワークを強化し、グローバルに分野をリードしていくことが重要である。

④ ライフ・バイオ領域

本領域が関連する分野は、バイオエレクトロニクス、医療エレクトロニクスである。ライフノベーションの創出には、応用物理学の中核である半導体エレクトロニクスと、脳科学・医療、バイオとの融合が重要である。応用物理学の新しい学術基盤研究として、将来ビジョンマップに示したように、診断デバイス、ドラッグデリバリーシステム、イメージング技術などが重要となる。

⑤ 環境・エネルギー領域

地球環境の持続性実現という課題解決に向けて、環境・エネルギーは、応用物理学の各分野や関連学術分野がそれぞれ取り組むべき学術研究領域である。さらに、これらの分野が分野横断的な研究展開を図ることにより、質の変革がもたらされ、新しい学術領域として発展することを期待する。応用物理学関連の新しい学術基盤研究としては多々上げることができるが、例えば、超伝導を核とした低炭素技術プラットフォーム

ーム、人工光合成デバイスによる太陽エネルギー貯蔵・運搬技術開発などもそれらに含まれる。

(3) 学術と産業を結ぶ学術基盤研究の具体的計画例

長期的将来ビジョンに立脚して応用物理とその関連分野におけるイノベーション創出をめざすためには、上記の各学術基盤研究領域において、取り組むべき具体的な計画の例を示すことが有用である。本提言では、応用物理学会『アカデミック・ロードマップ』の要素技術クラスター代表者および本分科会委員からの提案に基づき、学術と産業を結ぶ学術基盤研究の具体的計画の例を提示することとした。これらの計画例の作成にあたっては、対象と規模、計画の妥当性および透明性、マイルストーン、計画の実施主体、国際的水準の高さや国際連携の必要性、共同利用体制などに配慮した。これらの計画例が、今後の学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域の発展に向けた方策の立案に資することを期待する。具体的内容は、6章の提言および付録2に示される。

4 応用物理分野の研究開発拠点整備の今後のあり方

(1) 拠点の形成とプロジェクトフォーメーション・マネジメント機能拡充

産学官が効果的に連携できる研究開発拠点を整備するための条件として、研究成果の出口となる産業分野や波及技術への展開が容易であること、必要となる知的資源が豊富に存在すること、また同時に、研究開発を通じた次世代人材の育成が可能なことなどが挙げられる。従来は、設備あるいは施設を中心として拠点形成が行われてきたが、今後はむしろ知的資源、人材を有効に活用してスピーディに出口へと繋げる研究開発を行うことができる拠点形成へと考え方を変えるべきである。従って、産、学、官の研究者や技術者が集結しやすい拠点であり、種々の学術情報や技術的情報が集約されると同時に出口への展開が容易な拠点であることが重要である。研究開発分野等に応じて、例えば、適切な地域に研究開発拠点を設けること、さらに中心的役割をなす本格的試作機能を有するハブ拠点とサテライト拠点をネットワーク化するなどの柔軟性も求められる。研究開発拠点整備と拠点のネットワーク化は、応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域の具体的計画例（付録2）においても多くの研究領域で、将来の重要課題として位置付けられている。

わが国における現在の研究開発の進め方は、産学官のそれぞれが個別の研究開発資源によって独立に研究開発や技術開発を行う傾向が強い。これには幾つかの理由が考えられるが、連携という観点からみれば、府省庁縦割りのファンディング体制や短期的な成果の要求などが連携促進に対する阻害要因となっている。従って、国として研究開発資源を有効に使うためには、中・長期的な産業戦略あるいは技術戦略に基づいて研究開発分野の方向性と必要な複数のプロジェクトを立案していくプロジェクトフォーメーション機能を持つ体制を早急に確立する必要がある。重要な科学技術政策の立案とその遂行に際しては、総合科学技術会議がその任を果たすことになっているが、具体的なプロジェクトフォーメーション機能を遂行するには人員に限りがある。上述のような具体的な研究開発戦略、あるいはそのための拠点整備を推進していくためには、各府省庁から独立したプロジェクトフォーメーション機能とプロジェクトマネジメント機能をそれぞれ持つこと、また両者に対して産業界、学界、研究開発独法それぞれから専任の人材を派遣する形で参画することが望ましい。2010年3月に『学術の大型施設計画・大規模計画－企画・推進策のあり方とマスタープラン策定について』[20]という総括的な提言が纏められたところでもあり、イノベーション実現のためには、従来の研究開発資金配分の枠を越えて、人的資源を有効に活用するための考え方と方法論を早急に議論し、構築していく必要がある。

(2) 産学官連携による人材育成

若手研究者や若手技術者の能力を延ばすためには、何よりも多様な知的ベースや価値観の中で議論を戦わせる OJT (On-the-Job Training) が効果的である。そのためには、上述の研究開発拠点や国内外での共同研究のネットワークの中での人材育成に期待する

ところは大きい。拠点整備の方針が、設備や施設中心の考え方から、人的資源中心に変わっていくことで、より多くの将来性豊かな学部学生や大学院生、産業界を含む若手研究者や若手技術者が参加可能になっていくことが期待できる。また同時に、産業界と学界が一体となって人材育成プランや人材育成プログラムを構築することが強く望まれる。次節5の人材育成プランによって国際化に対する障壁を下げると共に、このような産学官連携によるOJTが有機的に作用することで、国際的な場で活躍できるグローバルリーダー人材の育成がより実質的になることが期待できる。

終身雇用制を基本としてきたわが国においては、企業間においてさえも人材の流動性はまだ決して高いとはいえない。人材の流動化の重要性については、既に重要課題として日本学術会議の提言においても指摘されている[13]。産学官の三者の間での中堅研究者や技術者の人材交流を活発にしていくことは、オープンイノベーションを実効的なものにしていくためのみならず、次世代の若手研究者の育成のためにも必要である。長期的な視点での産学官連携の研究開発拠点は、人材交流の有効な場ではあるが、さらに踏み込んだ人材流動化に対して、産学官は協力して、他を経験した研究者を一定の割合で雇用することや外部での長期的な研修の実施などを検討する必要がある。

以上を通し、若手研究者や若手技術者の能力を伸ばす機会を与えることと、優秀な若手が当該分野で研究開発を行うことに魅力を感じるようにすることが重要である。そのためには、キャリアパスに対する組織的、政策的支援²¹⁾に加えて、競争的な環境の中でも、優れた学生が十分な経済的支援の下で博士課程に進学できるようにすることや、博士課程修了後に安定した雇用条件が得られるような多角的な取り組みが不可欠である。例えば、日本学術振興会のDC1などはより拡充すべきであるし、任期付採用においては、流動化と安定雇用を促進できるような環境醸成に向けて、組織を超えたネットワーク作りが必要であろう。

(3) 海外の企業の参画および連携の重要性

競争的研究資金や研究開発拠点整備などは、その殆どが税金で賄われている。従って、国家的なプロジェクトや拠点への海外企業の参加は、現状ではきわめて例外的にしか認められていない。しかしながら、グローバリゼーションの時代を迎え、企業の事業展開において海外が占める割合が増大している状況にあっては、国内・海外の考え方を大きく変えるべきであろう。わが国の産業が内外で競争力を持つためには、わが国で開発した技術や製品が、海外企業を含めた技術体系において上位を占めることが不可欠である。すなわち、海外企業、人材を含めた国際的・グローバルな協力関係のもとで、国家的な科学技術課題を、世界的共通課題として展開すべきである。

(4) 拠点整備・運用上の課題

拠点の整備やその運用においては、研究資金の使用ルールが配分元ごとに異なっていることや制度ごとに細分化されすぎているために柔軟性に乏しいこと、購入装置の使用に関して他のプロジェクトとの共用ができないなどの制限があるなどの問題点がある。

これらは、一定のルールの下で緩和されることが望ましい。また、研究資金を研究の進行状況に応じて複数年で使用可能にする基金化などへの取り組みもさらに一般化する必要がある。

高額な大型装置等は、その共用化とネットワーク化を前提に整備すべきである。前述の階層的なプロジェクト群の立案・遂行にあっても、その展開を意識した資金活用の明確化とそのために必要なサポート体制などを含めて検討することが不可欠である。わが国の研究開発の底上げをするためにもこのような取り組みは重要である。このような取り組みは継続的に行われて始めて、新技術の創成に繋がる。課題は、規模の拡大、継続性、支援人材の不足、大学等で培われたノウハウの価値をどのように評価するかという点にある。

5 産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成

(1) グローバルリーダー育成のための国際スクールの設置

学術と産業を有機的に結ぶことができるグローバルリーダー育成のためには、若手研究者が専門分野に留まらず多彩な知識を身につける短期的国際スクール（サマースクールあるいはウィンタースクール）の設置が有効な施策として挙げられる。これまで国内においても若手研究者を対象にした国際スクールは開催されて来っており、平成19年より実施された『グローバルCOEプログラム』の中でも国際サマースクールが開催されて来た（代表的サマースクールを表4-2に示す）[18]。また、応用物理分野においては国際ナノオプトエレクトロニクスワークショップ等、様々なサマースクールが開催されて来たものの、いずれも恒常的スクールには至っていない。一方、海外では世界水準の著名研究者から発見や発明の基礎を直接的に学ぶ国際的なエリチェスクール等、国の支援を得た恒常的国際スクールが設置されており、人材育成に大きな成果を上げている。従って、わが国においても恒常的国際スクールの設置が望まれる。これらのスクールにおいては、人的交流は双方向であることが望ましいため、日本国内と海外からの参加者を対象として実施、講師も日本国内と海外からの招聘を組み合わせる等の工夫が施されている。内容は専門分野の講義に加え、開催地の特徴を活かしたフィールド実習や調査、大学や企業等の施設見学等の幅広いプログラムが実施されている。これらは、グローバル人材育成を目指した試みであり様々な分野で実施されている。その結果、受講者がグローバルに研究することに対する意識改革やコミュニケーション能力向上の成果が報告されている[18]。しかしながら、わが国において恒常的に開催される国際スクールは少なく、参加者もわずかな人数に留まる現状にある。学術と産業が効果的に発展してきた応用物理分野において、科学・技術の分野で世界を先導できる人材育成を強化するために、以下に述べるような内容の恒常的国際スクールの設置が望まれる。

この国際スクールの参加対象者は、博士課程大学院生及び修士課程大学院生の他、大学、産業界や独立行政法人等で活躍する若手研究者とし、より多くの意欲ある若手研究者にその機会を提供することが重要である。参加者は日本国内からの参加者と海外からの参加者が混在することで共に学び、講師もグローバルな視点で研修を牽引できることが必要である。また、わが国が他国に比較してその比率が圧倒的に小さい女性研究者についても、その参加を強く推奨されることが望ましい。

内容については、世界トップクラスの研究者による専門分野の最先端研究概況及びそれを支える基礎学問の講義を基本とする。さらに、専門分野だけに留まらず、社会科学を基本にしたリベラルアーツや社会リテラシーに及ぶもの、開催地の特徴を活かした実地見学、企業等の現場見学等の幅広いプログラムも望ましい。このように専門分野と周辺領域の組合せの知識を得ることで、知的好奇心と探求心を醸成する効果が期待される。また、一方的な講義だけではなく、参加者自らの研究成果を発表する機会や、参加者同士あるいは講師を含めて専門分野を超えた討論の場を設定する等の工夫が必要である。参加者がスクール参加以降にもグローバル社会でリーダーシップを発揮できるための実

践的内容を含むことも重要である。さらに、その議論を長期的に継続しながら課題解決に取り組むことも必要と考えられる。

これらの国際スクール体験を通して、参加者がグローバル社会で異なる国・地域や異なる環境で育った同世代で世界のリーダーを目指す若手研究者との交流を図り、共に学び共に体験することの意義やグローバルに活躍することの意義を体験すること、及び将来にわたりグローバルリーダーとしての人的ネットワークを構築することが期待される。さらには、これらの経験を通し、グローバル社会で活躍することの意義を実感するとともに日常では体験することの少ない海外受講者との連日の英語で議論する困難をも体験し、この困難を克服したことによる達成感と自信を獲得すること、その結果、スクール参加以降にもグローバルで活躍することの障壁を低くすることが期待できる。また、これらの国際スクールは、世界の若手研究者の育成にわが国が貢献すると共に、世界の若手研究者を国内に呼び込む役割も果たすことが期待される。これらのスクールを恒常的に開催できるようにすることが必須であり、そのための施策が必要である。人材育成は、その成果が表れるには長い時間を要するため、継続的かつ長期的に取り組み、風土を築いていくことが重要である。そのためには、単発的かつ短期的な国際スクールの実施ではなく、恒常的に国際スクールを設置して実行することが必要であり、この実現によりグローバル人材育成の継続的効果が期待できる。

(2) 短期留学の拡充と推進

若手研究者が海外にて単独で生活体験すると共に、世界の一流研究機関にて海外のトップ研究者と共に研究を遂行し切磋琢磨することは、グローバルリーダー育成にとって大きな効果を示すものと期待できる。またこの実績を持つことにより、若手研究者は世界で活躍することに対する大きな自信を得ることができる。短期留学の報告においては、受講者がコミュニケーションは語学より内容が重要であることを認識すること、コミュニケーション能力とアピール能力向上と共に、海外の第一線研究者との人的ネットワーク構築の成果が挙げられている。これらの効果は上述の国際スクール体験と類似しているものの、単独の留学はさらなる効果が期待できる。長期留学には就職の問題等多々の社会的問題が未解決のまま残っているため、若手研究者にとっては障壁が高い現状があるが、短期留学は長期留学の多くの課題を解決できる。海外での研究体験は、滞在期間が長いほど効果はより大きいと期待できるものの、たとえ1ヶ月程度の期間であっても十分に効果が期待できる。さらには、短期の海外経験により自らグローバルに研究を展開することの障壁を低くすることで、長期留学のみならず、海外にてポスドクとして雇用されること等を促進する二次的効果も期待できる。

短期の海外留学制度は、大学においても、また文部科学省や経済産業省等の研究費支援においても、既に実施されている。しかし上述のごとく、短期派遣研究者数は近年頭打ちになっていることから[22] (付録4の図4-2参照)、これに対する対策が必要である。修士課程大学院生、博士課程大学院生を含む大学、産業界、公立研究機関における若手研究者を広く対象に、短期海外留学制度を拡大し、産学官が一体となって積極的に

若手研究者の海外派遣を推進することにより、若手研究者のグローバルで活躍することの意識高揚を促進し、わが国から多くのグローバルリーダーを生み出す機会を提供することが重要である。尚、海外からの受け入れ等については、別途課題として検討が必要である。

(3) グローバル人材育成の取り組み及び成果の周知拡大

グローバルリーダー育成を中心にした人材育成の取り組みと成果が産業界を含め広く社会に紹介され、それが認知され活用されることが重要である。グローバル人材育成において大きな成果が上がったとしても、その人材が様々な分野で活躍できなければ、その成果は科学・技術の分野に留まるだけで広く社会の発展には貢献しない。大学等でのグローバル人材育成の取り組み成果は、若手研究者のグローバル社会で活躍することに対する意識改革に大きな効果がある[18]ものの、その周知度は、産業界全体において依然低い状況にある。様々なグローバル人材育成成果の周知度を高め、産学官で共有することにより、グローバル人材の採用や活用に大きな進展が期待される。同時に、産学官の共有と共に、グローバル人材育成について産学官が議論し有効な施策を見出し現状の打開策を打ち出すことが望ましい。また、これからの取り組みや成果を次世代の若手研究者である高校生や大学学部学生等に周知し、将来の夢を描くための参考情報を提供することも重要である。更に、本国際スクールや短期留学の継続的实施が国境を越えて世界に認知されることで、内外の人材を育成する国際的な教育への貢献を広く世界に示すことが可能となる。

6 提言

(1) 応用物理の将来ビジョンの実現に向けて

学術と産業技術を結ぶ新たな展開を求めて、応用物理の将来ビジョンの観点から、以下を提言する。

① 学術の進化に向けた融合化、統合化の推進

応用物理は、従来の学術分野としての深化を図りながらも、さらに、環境・エネルギーや生命・医学分野などとの連携も展開し、周りの分野との融合と統合により、新たな地平を切り拓く学術分野へと変貌を遂げることを目指すべきである。

② イノベーション創出に向けた将来ビジョンの共有および学術と産業を結ぶ学術基盤研究の推進

イノベーション創出のためには、応用物理および関連分野の研究者は、組織の枠を超えた産学官連携により将来ビジョンを共有するとともに、適切な役割分担の下で、学術と産業を結ぶ学術基盤研究を推進する必要がある。これにより、応用物理は、IT、ナノテクノロジー・材料、医療、環境・エネルギー、など、先端融合領域分野を生み出すとともに、イノベーション創出をはかることができる。

③ 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域とその具体的計画例の提示

各学術基盤研究における将来ビジョンの実現に向けて、取り組むべき課題として立案した14の研究計画例の一覧を、24ページの表1に提示する。また、これらの詳細を付録2に示す。今後、国や産業界などがこれらの計画例等を具体化することにより、応用物理の基礎科学に立脚した学術分野としての発展と、多くの工学的価値の創造による産業技術への貢献を期待する。

(2) 産学官連携のさらなる強化

持続的なイノベーションを創出し、産業競争力、科学技術力の向上を果たすためには、産学官それぞれの役割を明確化し、長期的な視点で基礎研究から実用化までを見据えた産学官連携体制を強化することが不可欠である。そのため、以下を提言する。

① プロジェクトマネジメント体制の強化

長期的な視点での戦略的な研究開発プロジェクト提案や研究開発資金の一体的運用などのために、府省庁の枠、産学官の枠を越えた協議会体制などとして、プロジェクトフォーメーション・マネジメント機能を国家的施策として早急に充実すべきである。また、わが国がグローバルな競争の中で産業競争力、科学技術力を強化していくためには、世界の優秀な人材を確保し、競争的な雰囲気の中での技術開発や人材育成を行う必要がある。国家的なプロジェクトに関しても海外企業や海外研究機関の参加を容認すべきである。参加要件の議論や法的整備を早急にすべきである。

② オープンイノベーションを実質化するための研究開発拠点整備

産学官は、その一体的取り組みとして、オープンイノベーションの場となる拠点を整備するべきである。このため大規模な実証機能や試作機能の充実を国としての重要施策と位置付ける必要がある。

③ 産学官連携による人材育成強化

次世代の研究開発を担う若手研究者・技術者を育成するため、産学官が拠点において連携して若手人材の育成プログラムを構築するべきである。また、競争的環境の中でも持続的な雇用の可能性が見える対策や、若手人材の育成と活用を目的とした知的ネットワークやデータベースの整備などを、産学官連携の基に充実する。人材の流動化のため、関係機関が協力して諸制度の見直しや支援策を実施するべきである。

(3) 産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成

多くの若手研究者が早い段階から世界の一流研究者と交流し、また海外の研究者との共同研究を通して切磋琢磨することを経験し、グローバル化への原動力となるため、以下を提言し、省庁、大学、産業界、関係各方面の積極的な施策実行を要請する。

① 国際スクールの恒常的設置

学術と産業が効果的に連携して発展してきた応用物理分野を中心に、国の全面的な支援のもとで、個別の大学法人とは独立に国際スクールを恒常的に設置すべきである。内容は科学者の発意・提案にもとづき、専門分野の最先端研究概要とそれを支える基礎学問を基本とし、より実践的なプログラムを盛り込み単なる講義、実習、討論、研究発表だけでなく、専門が異なる研究者間で一定期間にそれぞれの目標を設定し、その進捗状況と最終報告を相互に発表し、それらを議論する場を設定する。また、スクール体験後も将来に亘り継続できる人的ネットワークを構築するべきである。本国際スクールは、独立法人や学会等の事務的支援のもとで、学識経験者と産業界の代表者により、透明性を高めつつ運営されることが望ましい。

② 短期留学制度の拡充

より多くの若手研究者を対象に、帰国後の不安を伴わない短期留学を体験できるための制度を拡充し、若手研究者の留学を強力に推進するべきである。対象者は、日本国内の大学院生を含む産学官の若手研究者とし、海外で単独にて生活体験すると共に、海外の一流研究機関で世界の一流研究者と共に研究遂行する成功体験を会得する機会を提供するべきである。

③ グローバル人材育成の取り組み及び成果の周知拡大

国際スクールや短期留学等をはじめとするグローバルリーダー育成の取り組みと成果を広く社会に周知するべきである。今後グローバル人材育成を拡大し、充実させると

共に、これらの取り組みとその成果を広く周知し、産学官が連携して最大限の活用を促進し、わが国の産業競争力、経済力強化に生かす必要がある。応用物理分野でパイロット的に進める国際スクール等の成果を検証しつつ他分野にも拡充していくべきである。

表1 14の学術と産業を結ぶ学術基盤研究計画例の概要

	関連分野	計画タイトル	概要
統合エレクトロニクス	シリコン技術	シリコンオールジャパン大学連携クラスター	シリコンベースナノエレクトロニクス分野における国際競争力強化と人材育成を目的とし、つくばイノベーションアリーナ(TIA)等を拡張させ、全国規模に展開するオールジャパンの大学連携クラスターを構築する。
	フォトニクス	光電子融合に向けた先端ナノフォトニクス研究開発	量子ドットやフォトニック結晶等のナノ構造や量子電磁力学現象等に立脚した新たな量子デバイスを創成するとともに、超大規模コンピューティング技術の確立に向けて光LSI融合システムの学術基盤技術を確立する。
	マイクロ・ナノメカトロニクス	異種機能集積プラットフォーム構築によるマルチフィジクス・デバイス・システムの共創	集積回路技術とマイクロ・ナノメカトロニクス、MEMS技術を融合した異種機能集積システムの基盤となる設計・試作・評価に関する新たな理工学の大系化と共同試作体制を構築する。
新材料・プロセス	有機・分子エレクトロニクス	有機エレクトロニクス統合研究センター	有機エレクトロニクスの統合的・横断的研究に必要な設備を、人員も含め一か所に集中配備した共同利用研究センターを設立する。共同研究プロジェクトの推進に加え、地方在住研究者のための装置利用や技術相談も行う。
	プラズマ・プロセス技術	最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点の形成	グローバルイノベーションを実現する最先端プラズマ科学国際共同研究施設を構築することで、世界中から知恵、人、モノが集積する最高峰の拠点を形成し、強い人材育成と未来産業を永続に先導するスキームを創る。
	ワイドギャップ半導体エレクトロニクス	グリーン・イノベーションに向けたワイドギャップ半導体の学術基盤研究	ワイドギャップ半導体の優れた物性を活かし、情報通信、エネルギー、環境、医療エレクトロニクス分野を革新する成果を創出してグリーン・イノベーションに結び付けるため、材料、デバイス、応用に係る基礎・基盤的研究をオールジャパン体制で総合的に推進する。
基礎基盤技術	テラヘルツエレクトロニクス	科学・技術駆動型テラヘルツ電磁波機器標準化事業	産学連携したテラヘルツ機器の標準化を先導する。産業初期段階より標準化を確立する新規な試みであり、産業・学術両面で我が国が優位に立てる。分野発展の新しいモデルケースとして他分野への波及効果も大きい。
	量子情報・物理	量子技術ネットワーク創造基盤	量子技術の研究拠点を整備し、拠点間にコヒーレントな光ネットワークを構築する。各拠点で開発される量子情報処理装置及び光格子時計などの量子標準をネットワークでつなぎ、性能評価や基礎理論の実験的検証を行う。
		極短パルス高強度レーザー技術研究基盤	極短パルス高強度広帯域レーザー光源施設・加速器レーザー技術融合研究施設を整備し、極短時間(アト秒領域)の物質変化や水の窓領域の顕微鏡計測に基づいて細胞内などの極微空間ダイナミクスを解明する。
	磁性・スピントロニクス	スピントロニクス学術研究基盤の構築と展開	スピンを積極的に用いた革新的な材料、デバイス、システムの研究開発を行う。①材料と物理学、②ストレージ、③メモリとロジック、④量子情報を中心として、学術研究基盤を構築しつつ、次世代を担う人材育成も行う。
ライフ・バイオ	医療エレクトロニクス	脳表皮から深部に至るフォトニック脳機能イメージングの創成	脳内に埋植可能で、光源・イメージセンサを一体集積化したLSIを開発し、脳表皮から深部に至る脳機能イメージングを創成する。これにより、小動物からヒトまでの脳機能を可視化して、脳科学・脳疾患治療に貢献する。
	バイオエレクトロニクス	ナノバイオ・オープンイノベーション拠点	現在世界的にもトップレベルである日本のナノバイオ研究を強力に推進しバイオ、医工学、製薬等の分野で産業創製につなげるため、研究開発の連携推進拠点となる共同利用施設整備、研究者ネットワークの構築を行う。
環境	超伝導技術	超伝導を核とした低炭素技術プラットフォーム	超伝導技術の応用は必ず低炭素・省エネルギー効果を持つものの、他分野との連係が十分にできていない。そこで、超伝導技術の展開の可能性を広く拓くことを目的とし、研究プラットフォームの構築を提案する。
	環境・エネルギー技術	人工光合成デバイスによる太陽エネルギー貯蔵・運搬技術開発に資する学術基盤研究	太陽エネルギーを燃料に変える人工光合成につき、材料からデバイス、システム全体を俯瞰し、基礎から応用までの研究融合を通じて、年間20兆円を越す日本のエネルギー輸入を自給に転換する基盤技術を確立する。

7 むすび

本提言は、「来るべき未来社会の基盤を創造し続けることは、わが国が国際社会に対する貢献と責任を果たし続けることであり、わが国の産業競争力の源泉ともなる」という立場から、学術と産業を結ぶ応用物理学が果たすべき重要な事項をとりまとめたものである。

提言とりまとめの最終段階で、東北地方太平洋沖地震が発生し、極めて甚大な被害をもたらした。現在に至るまで余震が続いており、福島第一原子力発電所事故も収束していないが、わが国がこの大震災から立ち直り、復興からさらなる発展へと進むために様々な検討や提言がなされつつある。このような状況の中、本提言はわが国の復興およびさらなる発展に向けた重要課題を解決するためのものであり、成長の源泉となるものである。

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を担う応用物理は、今後、防災や省エネルギーを含めた安全で安心、かつ持続可能な未来社会の基盤を創造し続けるために必要な重要分野である。また、来るべき社会を構築するためには、健全な産業競争力が不可欠であることも論を待たない。さらに今回の大震災時には多くの国や地域からの国際的支援があった。この点からも、わが国がグローバルな人材を一層育成し、国際社会に対する貢献と責任を果たし続けなければならないことは明らかであろう。

一方で最先端の学術は、使い方によって人類の繁栄に貢献する場合も、その逆となる場合もある。学術と産業を結ぶ応用物理および関連分野にあっては、社会の調和ある発展のための高い識見が併せて求められることは言うまでもない。

ここに総合工学委員会未来社会と応用物理分科会が議論しまとめた学術と産業を結ぶ3項目の提言、

「応用物理とその関連学術分野の連携・融合による新領域の開拓」、

「産業技術のシーズの創成のための産学官連携体制の構築」、

「指導力のあるトップレベルの人材や次代を担う若手の育成」

は、以上の意味で、現在のような大きな環境の変化の中におかれたわが国が引き続き世界と連携しつつ主導的にイノベーションのサイクルを回すために必要不可欠なものである。更に、以上の提言は応用物理分野に限定されるものではなく、学術全体に展開される内容である。

これらの提言を産学官が三位一体となって実行に移すことによって、わが国における人の知の獲得や活用が、世界からの尊敬と産業競争力という形で報われ、より安心で安全かつ持続可能な未来社会を創造していくことにつながると本分科会は確信する。

<参考文献>

- [1] OECD Annual National Accounts Database <http://www.oecd.org/topicstatsportal/>
- [2] 経済産業省、『通商白書 2010』、2010 年.
- [3] 経済産業省、『産業構造ビジョン 2010』、2010 年.
- [4] 文部科学省科学技術政策研究所、『科学研究のベンチマーク 2010—論文分析でみる世界の研究活動の変化と日本の状況—』、2010 年.
- [5] 特許庁、『特許行政年次報告書 2010 年版』、2010 年.
- [6] 野村総研、『NRI Knowledge Insight』、2010 年 3 月.
- [7] 経済産業省、『グローバル人材育成に関するアンケート調査』、2010 年.
- [8] NTT レゾナント、『企業における人材育成実態調査 2010』.
- [9] 応用物理学会、『応用物理分野のアカデミック・ロードマップ』、初版 2008 年 3 月、改訂版 2010 年 3 月.
- [10] 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.
- [11] 日本学術会議、『日本の展望—学術からの提言 2010』、2010 年 4 月 5 日
- [12] 文部科学省、『平成 20 年度版 科学技術白書—国際的大競争の嵐を越える科学技術の在り方』第 1 部第 1 章 4 『少子高齢化の進展』、2008 年.
- [13] 日本学術会議、日本の展望委員会、提言『第 4 期科学技術基本計画への日本学術会議の提言』、2009 年 11 月 26 日.
- [14] 日本学術会議、環境学委員会、数理科学委員会、物理学委員会、地球惑星科学委員会、情報学委員会、化学委員会、総合工学委員会、機械工学委員会、電気電子工学委員会、土木工学・建築学委員会、材料工学委員会合同 若手・人材育成問題検討分科会、提言『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けて—科学・技術を担うべき若い世代のために—』、2008 年 8 月 28 日.
- [15] 日本学術会議、日本の展望委員会 大学と人材分科会、提言『人を育む、知の連山としての大学に向けて』、2010 年 4 月 5 日.
- [16] 日本学術会議、科学者委員会 男女共同参画分科会、提言『学術分野における男女共同参画促進のために』、2008 年 7 月 24 日.
- [17] 経済産業省、『通商白書 2008』、2008 年.
- [18] 日本学術振興会 『グローバル COE プログラム』、2010 年.
- [19] Education at a Glance 2002-2010: OECD Indicators (2002-2010) .
- [20] 日本学術会議、科学者委員会 学術の大型研究計画検討分科会、提言『学術の大型施設計画・大規模計画—企画・推進策のあり方とマスタープラン策定について』、2010 年 3 月 17 日.
- [21] 日本学術会議、科学者委員会 学術体制分科会、提言『わが国の未来を創る基礎研究の支援充実を目指して』、2008 年 8 月 1 日.
- [22] 文部科学省、『国際研究交流の概況』、2010 年.

<参考資料> 総合工学委員会未来社会と応用物理分科会審議経過

平成18年

- 12月21日 日本学術会議幹事会（第30回）
未来社会と応用物理分科会の設置

平成19年

- 1月25日 日本学術会議幹事会（第32回）
未来社会と応用物理分科会委員の決定
- 3月6日 未来社会と応用物理分科会（第1回）
・今後の活動について
・将来ビジョンWG、産学連携WG、人材育成WGの設置について
- 6月22日 未来社会と応用物理分科会（第2回）
・各WGの取り組み状況について
- 11月5日 未来社会と応用物理分科会（第3回）
・各WGの取り組み状況について
・今後の進め方について
- 11月5日 未来社会と応用物理分科会 将来ビジョンWG
・アカデミック・ロードマップの策定について
- 11月5日 未来社会と応用物理分科会 産学連携WG
・産学連携に係る部分の報告書の構成について
- 11月5日 未来社会と応用物理分科会 人材育成WG：
・人材育成に係る部分の報告書の構成について

平成20年

- 2月10日 未来社会と応用物理分科会幹事会（第1回：電子会議）
・報告書案について
・今後の進め方について
- 3月4日 未来社会と応用物理分科会幹事会（第2回）
・企画委員会での審議状況について
・今後の進め方について
・報告書案について
- 6月24日 未来社会と応用物理分科会（第4回）
・分科会活動報告
・報告案「応用物理の将来ビジョン」について
- 7月24日 日本学術会議幹事会（第60回）
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」について 承認

平成21年

- 1月13日 未来社会と応用物理分科会(第1回)
 - ・未来社会と応用物理分科会役員を選出
 - ・今後の活動方針について
 - ・企画WGの設置について
- 1月20日 未来社会と応用物理分科会企画WG(第1回)
 - ・「日本の展望」における本分科会の課題について
 - ・提言について
- 4月28日 未来社会と応用物理分科会(第2回)
 - ・「日本の展望」について
 - ・今後の活動について
- 6月30日 未来社会と応用物理分科会企画WG(第2回)
 - ・「日本の展望」について
 - ・公開シンポジウムについて
- 9月29日 未来社会と応用物理分科会企画WG(第3回)
 - ・公開シンポジウムについて
 - ・今後の活動について
- 11月19日 未来社会と応用物理分科会(第3回)
 - ・公開シンポジウムについて
 - ・提言について
- 11月19日 公開シンポジウム
「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～」

平成22年

- 6月14日 未来社会と応用物理分科会企画WG(第4回)
 - ・提言について
 - ・日本学術会議機能強化について
 - ・今後の活動について
- 6月18日 未来社会と応用物理分科会(第4回)
 - ・経済産業省商務情報政策局産業技術政策課企画官山内輝暢氏による産業構造ビジョンに関する講演
 - ・提言について
 - ・学術会議機能強化について
 - ・今後の活動について
- 11月26日 未来社会と応用物理分科会企画WG(第5回)
 - ・提言作成に向けた基本方針について

- ・日本学術会議連携会員の推薦・情報提供について
- ・今後の活動について

平成23年

1月21日 日未来社会と応用物理分科会企画WG(第6回)

- ・提言案「学術と産業を結ぶ基盤研究および人材育成の強化
－応用物理からの提言－」について
- ・提言提出までのスケジュールについて

2月9日 未来社会と応用物理分科会(第5回)

- ・提言案「学術と産業を結ぶ基盤研究および人材育成の強化
－応用物理からの提言－」について
- ・今後の活動について

6月2日 日本学術会議幹事会(第125回)

未来社会と応用物理分科会提言「学術と産業を結ぶ基盤研究および人材育成の強化－応用物理からの提言－」について承認

<付録 1> 「現状と課題」参考図表

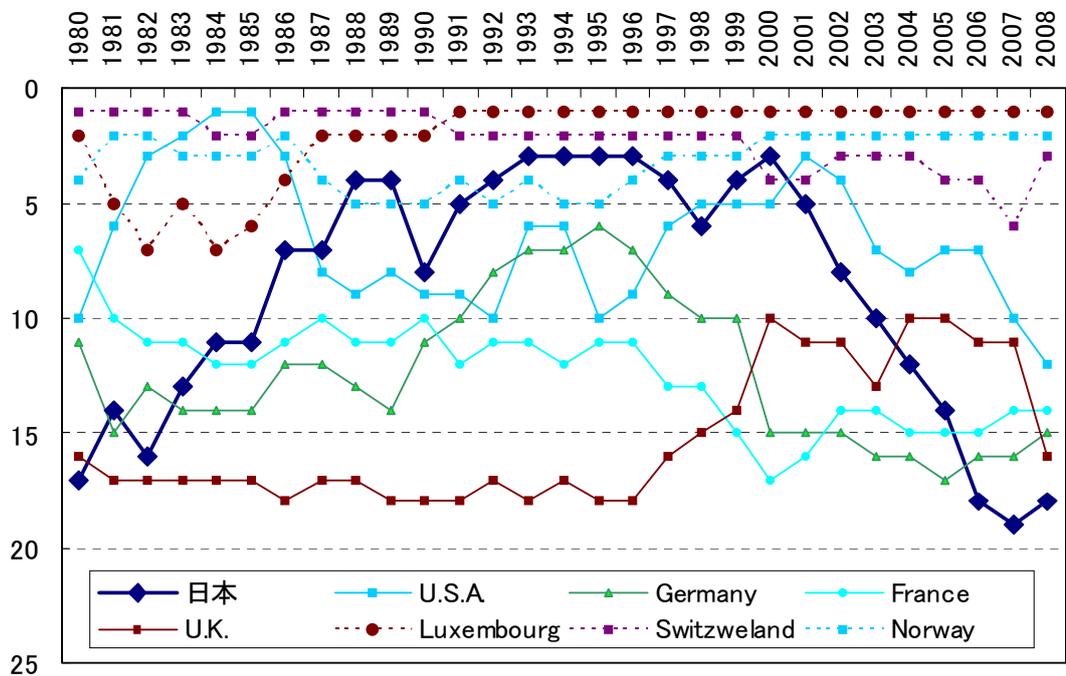
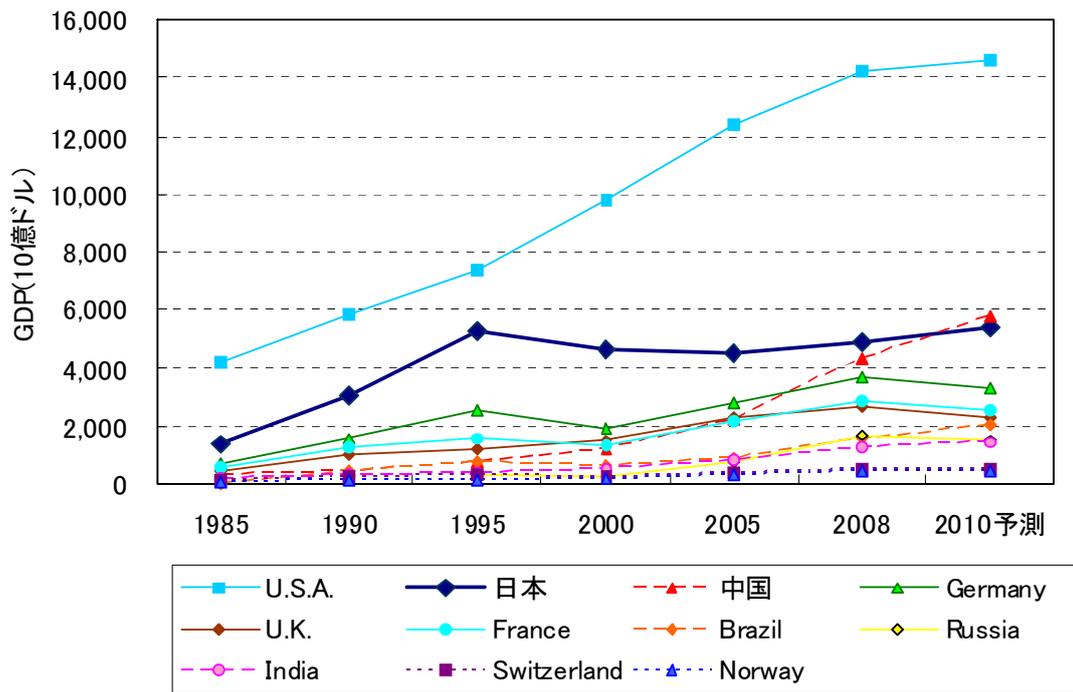


図 1-2 各国の一人あたり国内総生産（名目 GDP）順位の推移（参考文献[1]）

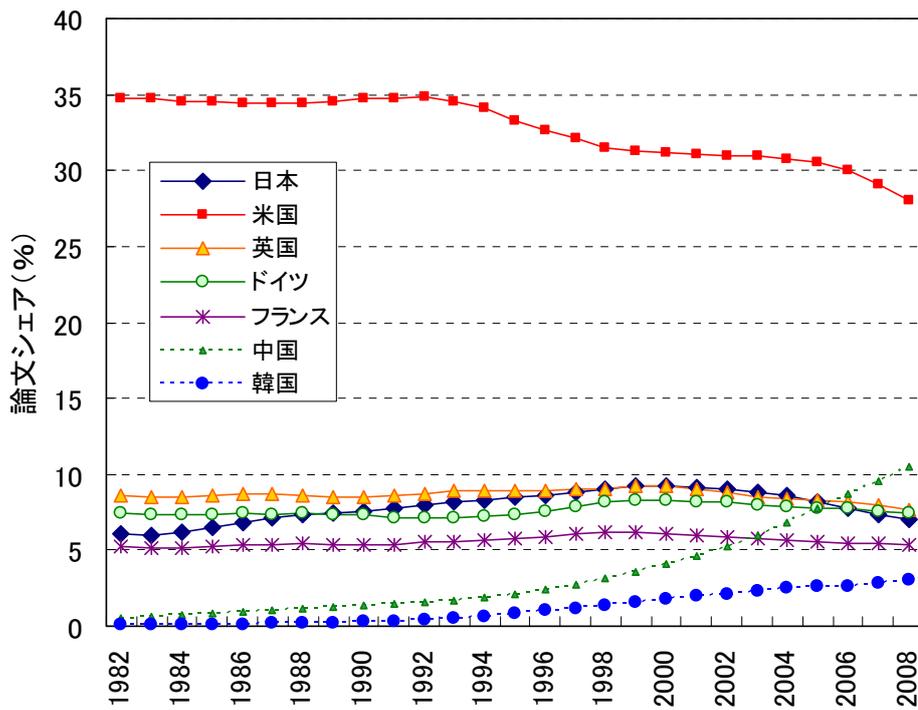


図1-3 主要国の全分野における論文シェア
(整数アカウント、3年移動平均) (参考文献[4])

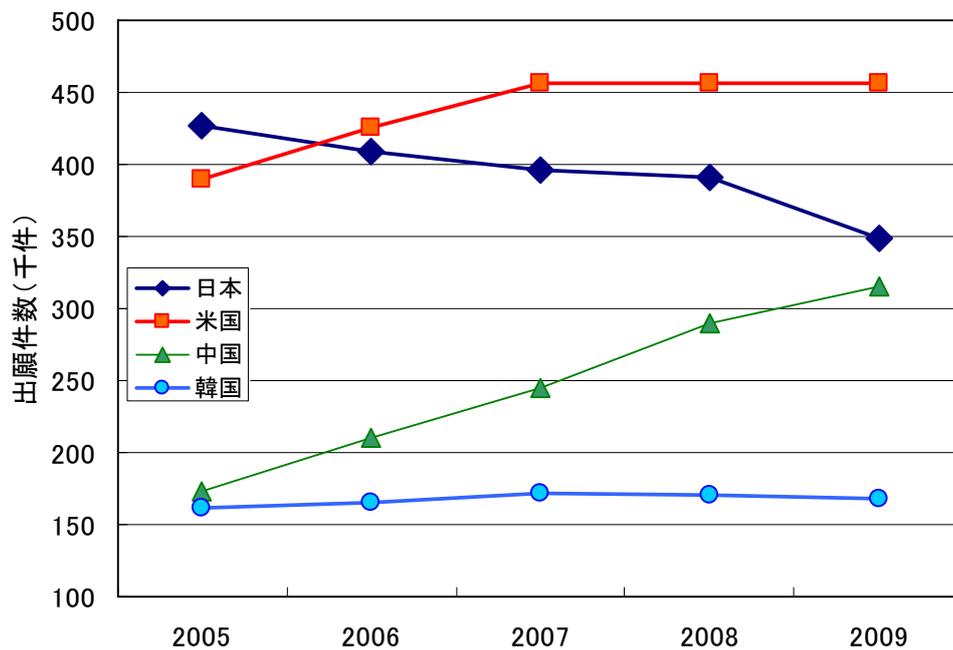


図1-4 主要国の特許出願件数推移 (参考文献[5])

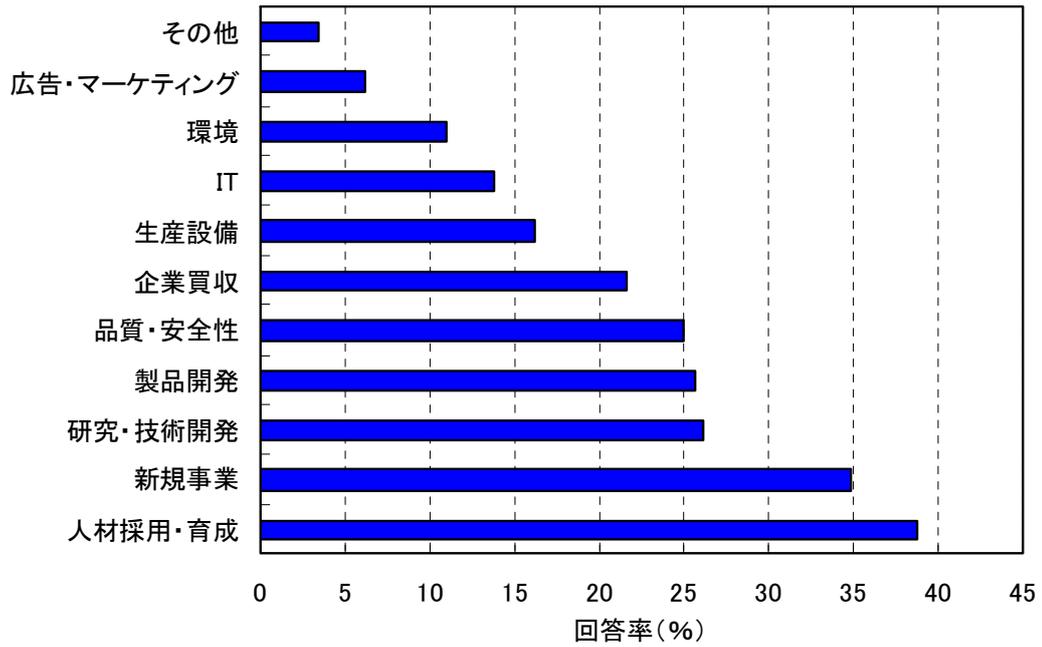


図 1-5 日本企業が投資したい分野
(売上高 500 億円以上の 501 社調査) (参考文献[6])

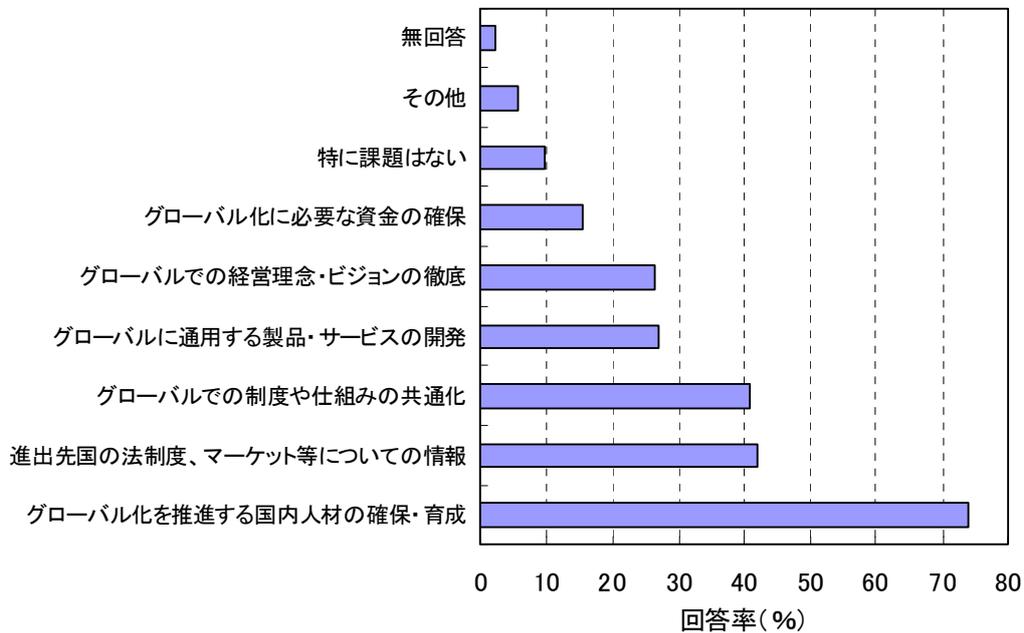


図 1-6 日本企業が認識する海外拠点の設置・運営にあたっての課題
(参考文献[7])

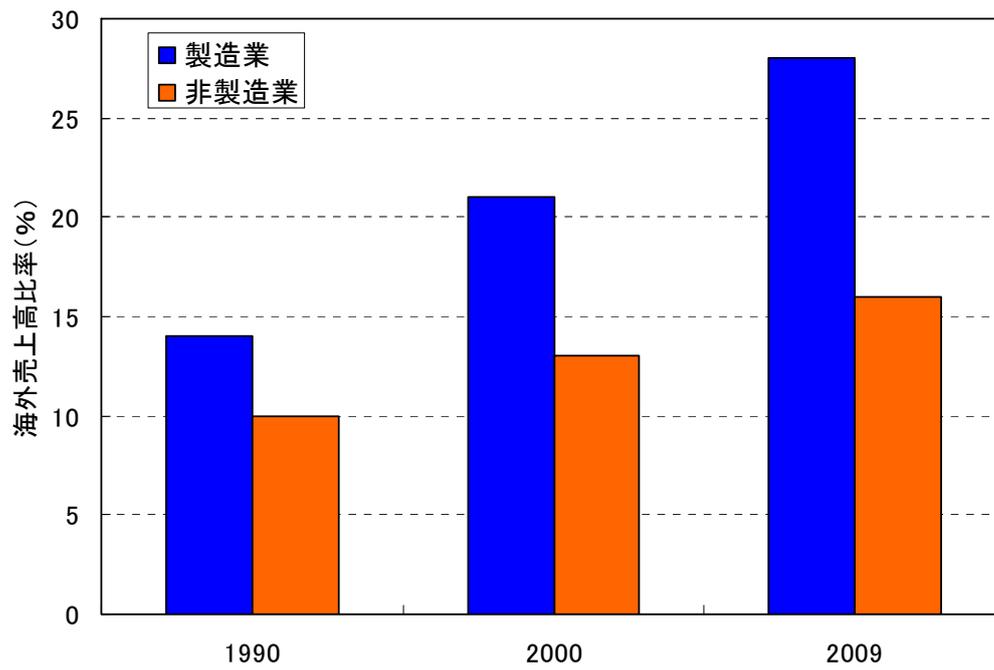


図1-7 日本における製造業と非製造業の海外売上高比率推移（参考文献[2]）

<付録2> 応用物理からみた学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域の具体的計画例

長期的将来ビジョンに立脚して応用物理とその関連分野におけるイノベーション創出をめざすためには、上記の各学術基盤研究領域において、取り組むべき具体的な計画の例を示すことは有用である。

本付録では、応用物理学会『アカデミック・ロードマップ』の要素技術クラスター代表者および本分科会委員からの提案に基づき、14 の具体的研究計画例を提示する。これらの計画例の立案にあたっては、対象と規模、計画の妥当性および透明性、マイルストーン、計画の実施主体、国際的水準の高さや国際連携の必要性、共同利用体制などに配慮している。

掲載項目は下記のとおりである。

0. タイトル
1. 学術と産業を結ぶ学術基盤研究領域および関連分野：
2. 計画の概要：
3. 予算規模：
4. 学術的意義：
5. 年次計画：
6. 実績、準備状況：
7. 想定される主な実施機関および実施組織の例

シリコンオールジャパン大学連携クラスター

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

統合エレクトロニクス、シリコン技術

2. 計画の概要：

本プロジェクトでは、将来のエレクトロニクスの主戦場であるシリコンベースナノエレクトロニクス分野における国際競争力強化と人材育成を目的とし、つくばに整備されたつくばイノベーションアリーナ（TIA）および筑波大学で計画中のTIA連携大学院をさらに拡張させ、つくばを中心拠点としつつ全国規模に展開するオールジャパンの大学連携クラスターを構築する。全国に5箇所のサテライト拠点を設置し、TIAと緊密に連携する。サテライト拠点においては、シリコンナノエレクトロニクス分野のさまざまな基礎研究・個別研究を中心に幅広く実施する。一方、有望な基礎研究の成果をプロジェクトの責任において随時ピックアップする体制を整える。企業・大学・独立行政法人間の連携に基づくTIAのオープンイノベーションモデルのもとで、これらの基礎研究をより大規模な研究開発へと移行させる。これにより、オールジャパン体制でシリコンナノエレクトロニクスの研究開発体制を確立する。

3. 予算規模：

総額20億円（5年間）

4. 学術的意義：

ナノエレクトロニクスは、すでに現在社会・産業のインフラとなっている。当然のことながら、ナノエレクトロニクスにおけるデバイス動作、材料開発、評価技術等はすべて物理に立脚しており、ナノエレクトロニクスの成否は学術的な応用物理学の知見によるところが極めて大きい。また、ナノエレクトロニクスの進展が、科学技術の高度化や応用物理学の発展を担っている。したがって、ナノエレクトロニクス分野の研究開発は、応用物理学の見地からも学術的意義が非常に大きい。一方、アカデミック・ロードマップのシリコン技術クラスターでは、シリコン技術が他のさまざまな分野と融合して発展していくことを予想している。TIAおよび本大学連携クラスターによる研究は、まさにオープンイノベーションによる他分野連携を指向しており、同マップの内容に沿った計画となっている。

5. 年次計画：

平成22年度 TIA発足済

平成23年度 筑波大学においてTIA連携大学院設置予定、つくばオフィス設置

平成24年度 TIAに産学連携棟完成予定、サテライト拠点にプロセス・評価装置導入

平成25年度 シリコンオールジャパン大学連携クラスター本格運用開始

6. 実績、準備状況：

シリコン分野では、1990年代から（株）半導体先端テクノロジーズ（通称Selete）やMIRAIプロジェクトなどのコンソーシアム研究が盛んであった。また、大学においては文科省科研費特定領域研究が数回にわたって実施され、大学間の連携も密に行われてきた。さらに、2010年には産総研、物材機構、筑波大学が中核となって世界的なナノテクノロジー研究拠点であるつくばイノベーションアリーナ（TIA）が発足し、筑波大学においてはTIA連携大学院が計画中である。このように、シリコンナノエレクトロニクス分野では、オールジャパン体制で研究開発を実施する機運が大きく盛り上がっており、本プロジェクトはこれらの組織・構想をさらに補強するために提案するものである。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例

中心拠点であるTIAと5つのサテライト拠点（東北大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、大阪大学）にて研究を実施するが、全国の大学が中心拠点・サテライト拠点での研究に参加できるよう体制を整える。

光電子融合に向けた先端ナノフォトニクス研究開発

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：
統合エレクトロニクス、フォトニクス

2. 計画の概要：

本プロジェクトでは、量子ドットやフォトニック結晶等のナノ構造、量子電磁力学やプラズモン効果等に立脚したナノフォトニクスについて、その学術分野としての発展をはかる。また、産業技術への貢献に向けて、シリコンをベースにした超集積シリコンナノフォトニクスの研究展開をはかり、将来のLSIにおけるフォトニクス技術実現のための基盤技術確立する。さらに、フォトニクス、エレクトロニクス、光量子科学、ナノテクノロジー、コンピュータアーキテクチャに関わる融合領域分野の開拓のために、産学官連携で、ネットワーク型研究拠点を新たに構築し、わが国のナノフォトニクス分野の研究を推進する。

3. 予算規模：

総額 50 億円 (10 年間)

4. 学術的意義：

ナノフォトニクスは、ナノスケール領域の光の振る舞いや光とナノ構造との相互作用の物理の探究、またこれらに立脚した新原理素子発現や格段の素子特性改善を目指す科学技術分野の総称であり、分野としては、量子ドット、シリコンフォトニクス、フォトニック結晶、プラズモニクス、メタフォトニクス、近接場光、スピン光エレクトロニクスなどを包含するものである。これらの学術分野は、フォトニクス、オプティクス分野における今後の重要な学術分野の一つとして、応用物理学会のアカデミック・ロードマップにおいて位置づけられている。また、学術分野のイノベーション創出への展開として、シリコンをベースにした超集積シリコンナノフォトニクスの研究展開をはかることは重要である。将来の光とLSIの融合システムに関する研究は、20年後のLSIの限界を打破する技術であり、学術の産業技術展開として最も期待される研究分野の一つとして位置づけられる。なお、本研究分野は、電子デバイスを中心としたナノエレクトロニクスと不可分な連携をはかることが必要とされる。

5. 年次計画：

平成 23 年度	研究ネットワーク拠点構築準備委員会発足
平成 24 年度	研究ネットワーク拠点構築
平成 25-26 年度	プロセス・評価装置導入と研究開始
平成 27-32 年度	研究ネットワーク拠点における研究実施

6. 実績、準備状況：

量子ドットやフォトニック結晶等のナノ構造、量子電磁力学やプラズモン効果等に立脚したナノフォトニクスは、これまで、文科省科学技術研究費補助金、科学技術振興調整費、科学技術研究機構・戦略的創造研究推進事業、最先端研究開発支援プログラム、新エネルギー・産業技術総合開発機構をはじめとする多くの研究プログラムで研究が推進されてきた。また、応用物理学会等においてもアカデミック・ロードマップのフォトニクス、オプティクス分野で重要研究テーマとして位置づけられている。しかしながら、フォトニクス、エレクトロニクス、光量子科学、ナノテクノロジー、コンピュータアーキテクチャ等の融合領域分野に関わる産学官連携ネットワーク型研究拠点は、これまでに存在しておらず、今後の構築が期待される場所である。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

主要実施大学 東京大学、東京工業大学、京都大学、大阪大学、北海道大学、慶応大学など
主要実施独立行政法人：産業技術総合研究所、理化学研究所、物質・材料研究機構など
主要実施企業：東芝、日本電気、日本電信電話、日立製作所、富士通研究所、三菱電機など
全国の大学が各ネットワーク拠点での研究に参加できるよう体制を整える。

異種機能集積プラットフォーム構築によるマルチフィジクス・デバイス・システムの共創

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

統合エレクトロニクス、マイクロ・ナノメカトロニクス

2. 計画の概要：

情報ネットワーク・クラウドにおける通信・処理・センシング・エネルギー流通などを管理運営するエレクトロニクス・ハードウェアを主な応用対象として、システム、電子回路、プロセス・材料、情報工学、電気工学、機械工学、精密工学、医学、細菌学等の研究者が分野や従来の経験・実績の壁を越えてマルチフィジクス型のデバイス・システムを共創するための学術基盤研究をあらたに立ち上げる。また、当該研究領域における共創型のマルチフィジクス研究を支援する手段として、わが国のエレクトロニクス産業との共同運営による新・シャトル方式型のVLSIウエハ供給サービスを開始し、次世代エレクトロニクスの高付加価値技術としてわが国が支援すべき異種機能集積デバイス開発の速やかな展開を推進する。特に、マイクロセンサ、MEMS、アクチュエータ等の異種機能をCMOS集積回路上に融合した高機能CMOS-MEMS回路や、光MEMS集積デバイス、その場で使える細菌検出 μ TASデバイス、体内インプラント集積センサ、スマートセンサ、音響カメラ、ワイヤレスセンサネットワークなど、グリーン/ライフィノベーションに関わる出口を見据えた研究を実施する。

3. 予算規模：

総額7億円（10年間）

4. 学術的意義：

ナノエレクトロニクスは、すでに現在社会・産業のインフラとなっている。当然のことながら、ナノエレクトロニクスにおけるデバイス動作、材料開発、評価技術等はすべて物理に立脚しており、ナノエレクトロニクスの成否は学術的な応用物理学の知見によるところが極めて大きい。また、ナノエレクトロニクスの進展が、科学技術の高度化や応用物理学の発展を担っている。したがって、ナノエレクトロニクス分野の研究開発は、応用物理学の見地からも学術的意義が非常に大きい。一方、アカデミック・ロードマップのシリコン技術クラスターでは、シリコン技術が他のさまざまな分野と融合して発展していくことを予想している。TIA および本大学連携クラスターによる研究は、まさにオープンイノベーションによる他分野連携を指向しており、同マップの内容に沿った計画となっている。

5. 年次計画：

第I期（平成23～25年度）領域の共通基盤整備として、（1）新・シャトル方式によるVLSIウエハ供給体制の構築、（2）異種機能融合のためのポストプロセス技術構築、（3）異種機能デバイス統合設計技術構築、（4）システムアーキテクチャ標準技術構築を実施する。

第II期（平成26～27年度）出口を見据えた研究として、各研究グループが専門特化し推進してきた研究を領域内の分野融合研究に高め、異種機能集積センサ・通信チップ等の協調設計・協調開発を実施する。

6. 実績、準備状況：

2008年に応物・集積化MEMS技術研究会を発足し、下記の活動を実施中である。本研究のコア研究者、および、連携研究者のネットワークは、この研究会の活動を通して醸成されたものであり、コア研究者が中心となって平成23年度の新学術領域研究（研究領域提案型）に計画書を申請中である。（略）

- ① 春・秋の応用物理学学会、シンポジウムの開催（毎回の参加者150名）
- ② 2010年春の応物学会「集積化MEMS技術研究スクール」主催（参加者200名）
- ③ 集積化MEMS技術研究会の定例研究会開催（3回/年、参加者50名）
- ④ 2009年セミコンジャパンでの講習会（参加者200名）
- ⑤ 電気学会センサ・マイクロマシンシンポジウムへの協賛（参加者500名）
- ⑥ 2011年秋・応物学会でMEMS関連の合同セッションLを企画
- ⑦ 2012年春、応物学会・MRS合同によるシンポジウムを企画（サンフランシスコ）

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

東京工業大学、東京大学、神戸大学、九州大学、鹿児島大学、東北大学、豊橋技術科学大学、香川大学、奈良先端科学技術大学院大学、広島大学、および、国内企業数社。

有機エレクトロニクス統合研究センター

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

新材料・プロセス、ワイドギャップ半導体エレクトロニクス

2. 計画概要：

有機エレクトロニクスの研究を遂行するためには、化学物質の合成、合成した化合物の精製、分子構造の評価、分子凝集構造の評価、薄膜の作製、薄膜の構造の評価、材料の物性評価、デバイスの作製・評価を統合的・分野横断的に行う必要があるが、研究に必要とされる設備を単一の学科・専攻単位で揃えるのは困難である。本計画では、有機エレクトロニクスの統合的・分野横断的な研究に必要な設備を、研究・技術職員も含め、一か所に集中配備し、全国の研究者が共同利用できる研究センターの設立を目的とする。化学系研究者が新物質を持ち込んでデバイス評価を行ったり、物性・デバイス研究者が評価結果を材料設計にフィードバックし、新規物質の合成を行ったりすることにより、統合的・分野横断的な研究を推進できる。中核的な共同研究プロジェクトの推進に加えて、地方在住研究者のための装置利用や技術相談も行う。

3. 予算規模：

総額8億円（10年間）

4. 学術的意義：

アカデミック・ロードマップにも強調されているように、応用物理学、特に、有機エレクトロニクス分野においては、物理系のみならず、電気系、化学系、バイオ系などの多分野の研究者の連携・協力による統合的・分野横断的な研究の推進が不可欠である。しかし、現状では、設備や研究者の配置は、大学の学科・専攻や研究所の部門などの専門分野ごとに行われており、研究分野間・組織間の連携が必ずしも円滑に行われていない。研究所の努力により、複数の研究機関の共同研究が推進されているケースも多々見られるようになってきたが、遠距離の移動や輸送、意思の疎通のための打ち合わせを必要とし、時間・労力・資金のロスが多い。1か所に主要設備を集中することにより、材料設計・物性評価・デバイス評価間の情報のフィードバックが効率的に行われ、分野間・組織間の共同連携が飛躍的に進むことにより、学際性を特色とする応用物理学、および、有機エレクトロニクス分野の発展に寄与する所大である。

5. 年次計画初年度：建物の建設：

- 2-5年目：技術・研究職員の配置、設備の整備
- 5-10年目：全国共同利用研究の推進

6. 実績、準備状況：

建物の建設などは行っていないが、当該分野においては、世界的に評価の高い多数の研究者が日本国内で研究活動を推進しており、組織運営の中核研究者となりうる候補者は多数存在する。また、有機エレクトロニクスに関して、文部科学省科学研究費、科学技術研究振興機構（JST）、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）など、多数の研究プロジェクトが活動中であり、世界に誇れる業績を挙げている。組織と“箱”ができれば、直ちに活動を開始できる状況である。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

すでにある程度、分野横断的に設備を整備しており、建物建設用地を確保しやすいつくば市の独立行政法人研究所を実施機関とする。独立行政法人産業技術研究所。独立行政法人物質材料研究機構センター運営のための運営委員会を組織する。メンバーは公募で集める。設備を運用するための研究職員、技術職員、事務職員を雇用する。研究職員は公募により選考する。

グリーン・イノベーションに向けたワイドギャップ半導体の学術基盤研究

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

新材料・プロセス、ワイドギャップ半導体エレクトロニクス

2. 計画の概要：

シリコンカーバイド (SiC)、ガリウムナイトライド (GaN)、ダイヤモンド等のワイドギャップ半導体が有する優れた物性 (高い熱伝導度、電子速度、絶縁破壊電界強度など) を最大限源に活用して、省電力で高速動作が可能な次世代情報通信エレクトロニクス、超低損失のエネルギーエレクトロニクス、熱や放射線性に強い環境・極限エレクトロニクス、生体親和性の高い生体応用・医療エレクトロニクス分野において革新的成果を創出し、グリーン・イノベーションに結び付けるため、ワイドギャップ半導体に関わる材料技術、デバイス技術、応用技術に係る基礎・基盤的研究をオールジャパン体制で総合的に推し進める。

3. 予算規模：

総額 30 億円 (10 年間)

4. 学術的意義：

ワイドギャップ半導体の高品質結晶の育成や欠陥制御、デバイス設計・加工・製作、素子応用・システム構築においては、わが国の産学官が連携して総力を結集し、基礎科学に立脚した学術的アプローチと高度な技術と経験に立脚した工学的アプローチを融合させた研究開発を推進して、基礎科学から工学的価値を産み出していくこととなり、まさに応用物理学としての意義は大きく、さらに当該研究で創出された成果は産業技術の進歩につながり人類社会への大きな貢献が期待できる。また、当該研究計画はワイドギャップ半導体エレクトロニクスのアカデミック・ロードマップと非常によく整合している。

5. 年次計画：

ワイドギャップ半導体の材料技術では、当初 5 年間で高品質結晶成長に係る研究に集中的に取り組み、バルク成長、エピ制御、歪制御、不純物制御等の技術基盤の向上を図り、次の 5 年間ではウェハ大口径化、欠陥制御等に係る基礎・基盤研究を中核的に推進する。デバイス技術では、10 年間の長期的展望に基づき低損失化、大電流化、高電圧化、高周波数化、耐環境化、高信頼化に関する知見の集約を行う。応用技術では、高出力高周波・低損失スイッチング素子応用等に係る学術基盤の構築を当初 5 年間で推し進め、後半 5 年間では高効率化とシステム設計に関する基礎・基盤研究を推進する。

6. 実績、準備状況：

応用物理学会の中に、SiC 及び関連ワイドギャップ半導体研究会をはじめワイドギャップ半導体の研究開発をスコープとする組織が立ち上がっており、研究者間の連携体制が年々強化されつつある。加えて現在、ワイドギャップ半導体開発に係る国家プロジェクトがいくつか実施されるなど、学術基盤の強化に向けた産学官の連携協力の体制も固められつつある。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

ワイドギャップ半導体の学術研究を担う当該分野で実績を有する大学 (京都大学、名古屋大学等) をコアとし、研究独法や産業界からも参画を得て、オールジャパンの連携体制を構築する予定。応用物理学会においてワイドギャップ半導体の学術的研究に取り組むアカデミアが中核となり、さらにわが国の産学官から幅広く関連要素技術に精通する専門家を集めて集中的・効率的に研究を推し進めることとしたい。

最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点の形成

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

新材料・プロセス、プラズマ・プロセス技術

2. 計画の概要：

全産業を根底から支える最重要科学技術であるプラズマ科学によって、グリーン、ライフ、宇宙航空イノベーションを実現するための世界最高峰の国際共同利用施設を構築し、世界中から知恵、人、モノが集積する国際拠点を形成する。我が国が世界のトップで先導してきたプラズマ科学をグローバルに進化させることで、未来産業を永続的に先導する国際連携のスキームを構築する。名古屋大学が世界に誇る最先端プラズマ計測科学をベースにした、世界唯一の超精密プラズマ誘起化学反応計測装置を設置する。多様なプラズマ生成・反応装置の中の活性種の観測と制御によるイノベーション創成のためのインフラを整備する。このインフラを国際共同利用するためのネットワークを構築する

3. 予算規模

100 億円 (10 年間) (注)

4. 年次計画

H23-25 に国際共同利用施設を建設、わが国が開発した独創的なプラズマ生成、計測、制御装置を設置し、国内および海外からの共同利用システムを整備する。H26-32 で最先端プラズマ科学の深化とグリーン、ライフ、宇宙航空への応用研究を推進し、グローバルイノベーションを永続的に起こしていく

5. 学術的意義：

先進プラズマ科学技術を深化することで、グリーンイノベーションとして、超高効率太陽電池、GaN 白色 LED、GaN パワーデバイス、超低消費電力情報デバイス、有機機能デバイス、フレキシブルデバイスの創成、これらのデバイスプロセスとして、原子層加工、機能性材料精密合成、高度表面処理技術を原子分子レベルで制御する技術を創製する。ライフイノベーションとして、早期医療デバイス、がん治療、再生医療、健康長寿装置、パンデミック感染予防装置、プリオン・ウイルス滅菌・殺菌技術、植物、魚類の高速成長技術・装置を創製し、未来医療・生命産業を牽引する。航空宇宙イノベーションとして、高性能宇宙探索イオンエンジン、宇宙航空用エネルギー源及び材料・デバイスを創製する。これらのプラズマ科学がもたらす学術的かつ産業的な将来インパクトはアカデミック・ロードマップとして戦略的にまとめられ、提示されプラズマコミュニティの指標として推進されている。

6. 実績、準備状況

地域イノベーションクラスター創成事業 2 期で、国および県市が 75 億円 (5 年間) を投資して、先進プラズマナノ科学による高度機能部材開発を行い、多大な成果を挙げるとともに、国内及び国際共同研究を推進する基盤を構築した。同事業の最終目的「先進プラズマ科学世界拠点形成」の実現に向け、愛知県、岐阜県、名古屋市、名大および主要大学等が中心となって、グリーンおよびライフイノベーションを推進するグローバル拠点形成を進めている。海外 20 機関、名大、東海地域 8 大学を中心とした国内 28 機関とのプラズマネットワークが構築されているが、我国にはプラズマ科学拠点が無いため、名大での施設建設と整備による拠点形成は、応用物理学会を中心としたプラズマコミュニティの総意である。

7. 主な実施機関

名古屋大学プラズマナノ工学研究センターを中核とし、九大プラズマナノ界面工学研究センターはじめ名大がこれまで構築してきた全国 28 機関 (東大、東北大、阪大、京大、名城大、中部大学等) および海外 20 機関との連携基盤をコアとしたプラズマ科学ネットワークを実施機関とし、テーマ毎に国際共同研究チームを構築して、拠点設備を共有して推進する。

(注) ただし、本予算規模は応用物理関連領域に限定したものである。プラズマは学際領域であり、応用物理学、化学、材料科学、生命科学 (医学、農水産学)、および航空宇宙科学領域にまたがるものであり、本計画全体を実現するための予算は総額 230 億円 (施設の建設：80 億円、初期設備導入：50 億円、運営費：10 億/1 年、10 年間)。

科学・技術駆動型テラヘルツ電磁波機器標準化事業

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

基礎・基盤技術、テラヘルツエレクトロニクス

2. 計画の概要：

本提案は、産学連携しテラヘルツ電磁波 (THz) 機器の標準化を先導することにある。従来、標準化では、各企業が独自に機器標準を目指し、その後、企業間の競争および協議によって標準を確立するのが一般的である。産業規模の見通しが立ち、人材、資金の集中投資をしやすいというメリットがある反面、諸外国に遅れをとる傾向があるという問題点があった。本提案では、各企業の標準が乱立する前に、産学連携し機器標準を確立することで、各国に対して学術・産業の両面で優位に立つ。具体的には、産学共用で活用する標準センターを設立し、産学連携して THz 機器の標準・性能評価手段を確立する。事業展開において、機器、計測方法、標準試料等を新規に開発し確立することは、産業面のみだけではなく、応用物理学の新しいチャレンジであり意義深いものである。THz の周波数標準など総合的な標準化、データベースについてはすでに NICT を中心に世界的に評価されており、本事業もこれらの機関と連携することで、事業の効率的な運営が可能となる。

3. 予算規模：

総額 17.5 億円 (5 年間)

4. 学術的意義：

本提案は、産学が連携してテラヘルツ標準の主導権を握り、世界に先駆けてテラヘルツ電磁波機器の標準化を確立することを目的としている。テラヘルツエレクトロニクスクラスターのアカデミック・ロードマップでは、テラヘルツ電磁波技術の将来展望について、基盤技術と応用展開に分けて示している。応用展開では、通信、バイオ分野から環境エネルギー分野までの幅広い可能性が示されており、それを支える基盤技術として、テラヘルツ光源、デバイスの開発から顕微鏡、分光器などのシステム開発までの技術確立が示されている。さらに、この基盤技術確立に必要な要素として、テラヘルツスペクトルデータベースの構築およびテラヘルツ標準の確立について言及している。本提案は、まさにテラヘルツ電磁波技術発展の次の 10 年を踏み出すために必要な基盤技術を確立するためのものであり、応用物理学として大きな意義のあるものである。また、産学連携で標準化を目指す従来と異なる新しい手法は、今後イノベーションが起こる応用物理学の分野において戦略的にわが国が優位に立つためのモデルケースとなる。また、共同で利用できるセンターの設置は、これまでにテラヘルツ分野への参入が困難であったバイオ研究者、エネルギー分野研究者、産業界へ幅広くテラヘルツ機器の門戸を開くものであり、その異分野融合によるイノベーションは、応用物理学の発展に大きく寄与するものである。

5. 年次計画：

初年度は、テラヘルツ標準準備委員会を設置し、標準化に必要な産学両方の領域の動向・課題を調査する。それを踏まえて 2 年度目以降に標準センター設置に向けた準備を開始、4 年度目内でのセンター運営開始、本格稼働を目指す。また、センター設立と並行して各研究機関において標準機器要素技術の開発に着手する。5 年度目には、ラウンドロビン形式による各機関の計測システムの評価を行い、標準機器要素技術開発へのフィードバックを行う。

6. 実績、準備状況：

テラヘルツ電磁波技術、特にテラヘルツ ICT の標準化に関しては、NICT を中心として事業が展開され、世界的に評価を受けている。また、各種テラヘルツデバイス、システムに関しても各機関において独立に開発が進んでいる。また、標準化に必要なテラヘルツスペクトルデータベースに関しては、理研と NICT の共同グループにおいてデータベース構築がすでに始まっており、データの順調な蓄積が行われている。学学連携、産学連携の点では、本クラスターはもちろんのこと、IEICE テラヘルツ応用システム時限研究専門委員会、日本分光学会テラヘルツ分光部会、テラヘルツテクノロジーフォーラム、テラヘルツ電磁波産業利用研究会などの活発な議論が行われてきた。

本提案では、これらの各機関の実績、準備状況をもとに、産学連携して機器およびその構成要素に対して開発、標準化を行う。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

テラヘルツ研究で実績のある大学群 (東京大学、京都大学、大阪大学、名古屋大学、東京工業大学、東北大学、広島大学、福井大学、岡山大学 (順不同))

および、研究機関群 (理化学研究所、情報通信機構 (順不同))

および、企業群

量子技術ネットワーク創造基盤

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：
基礎・基盤技術、量子・情報

2. 計画の概要：

インターネットの爆発的な普及は、文化・経済・行政などあらゆる分野の社会活動に大きな変革をもたらした。その結果、情報通信における大容量、高セキュリティ及び省エネに対する要求がますます高まっている。このような問題を解決するために、量子情報技術が研究開発され、その実用化のデモンストレーションが急務となっている。一方、量子情報・物理の発展のためには、光子や電子・原子・イオンなどの量子状態を自在に制御する必要がある。そこで生まれた精密量子測定技術は、光格子時計の新しいコンセプトも加わり、さまざまな基礎理論の実験的な検証や基本パラメーターの決定を可能にする。本計画は、量子技術の研究拠点を整備し、これらの研究拠点間をコヒーレントに結合する光ネットワークを整備

3. 予算規模：

総額 45 億円億円 (10 年間)

4. 学術的意義：

量子情報技術とは、「重ね合わせ状態」や「不確定性原理」、「量子もつれ」などの量子力学的効果を積極的に利用することにより、従来では不可能であった情報処理や情報通信を可能にする革新的技術である。量子情報技術とそれにかかわる物理を追求することは、工学・理学・数理学の広い分野にまたがる学際的な研究領域の形成と発展に大きく寄与しているだけでなく、よりよい社会の実現に向けて重要な意味をもつ。この量子情報技術は、大まかに以下の 4 つの要素技術に分類することができる；①将来技術である量子コンピューターを主にした“コンピューティング”、②量子暗号通信に代表される比較的実用化に近い“コミュニケーション”、③量子標準・量子計測といった未知の可能性を秘めた技術をまとめた“量子新技術”、④それらすべての技術の基礎となる“デバイス・基盤技術”。これらの要素技術は、全国の大学、研究機関、企業研究所などの研究拠点にて精力的に研究・開発が行われている。これらの研究拠点を整備し、かつ、全国的な規模での光ファイバー網でコヒーレントに結合・連携し、有機的なシステムを構築できれば、局所的な要素技術単体では不可能だった新しい展開が期待できる。

5. 年次計画：

量子情報技術が研究開発され、その実用化のデモンストレーションが急務となっている。また精密量子測定技術は、光格子時計の新しいコンセプトも加わり、さまざまな基礎理論の実験的な検証や基本パラメーターの決定を可能にしている。本計画は、量子技術の研究拠点を整備し、これらの研究拠点間をコヒーレントに結合する光ネットワークを整備。

5年後までに、複数の拠点で開発される高精度な光時計を光ファイバーでつないで、量子標準の性能評価や基礎理論の実験的検証を行う。10年後までに、複数の拠点で開発される量子情報処理装置を量子ネットワークでつなぐ。各拠点では、単一光子の生成・検出技術、量子メディア変換、量子メモリ、量子暗号通信、光格子時計、ジオイド計測や光などの量子状態制御などの研究を進める。

5年後までに、複数の拠点で開発される高精度な光時計を光ファイバーでつないで、量子標準の性能評価や基礎理論の実験的検証を行う。10年後までに、複数の拠点で開発される量子情報処理装置を量子ネットワークでつなぐ。各拠点では、単一光子の生成・検出技術、量子メディア変換、量子メモリ、量子暗号通信、光格子時計や光などの量子状態制御などの研究を進める。

6. 実績、準備状況：

2008年には、つくば・東大間の光ファイバリンク（総延長 120km）を構築し、東大のストロンチウム光格子時計と産総研の時間標準及び国際原子時へのリンクを実現し、国際組織に採択される精密測定結果を出した。しかし、長距離のファイバリンクが高価であるため、長期間の維持はできなかった。2010年には、東大・NICT間の光ファイバリンク（総延長 60km）を構築し、両機関におけるストロンチウム光格子時計同士の、光・光周波数比較を始めた。さらに 2010年10月には、NICTと東京都心を結んだ東京 QKD ネットワークによる量子暗号通信の実験が開始した。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

産業技術総合研究所、東京大学、大阪大学、京都大学、東北大学、情報通信研究機構、北海道大学

極短パルス高強度レーザー技術研究基盤

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

基礎・基盤技術、量子・情報

2. 計画の概要：

人類の知のフロンティアは、今、2つの光科学の技術革新、すなわち、「アト秒領域の極短パルス光の発生技術」と、「軟X線領域の高輝度光の発生技術」によって大きく広げられようとしている。アト秒とはフェムト秒の千分の一の時間であり、物質の中の電子や軽原子の運動を実時間で観測できると期待されている。また、水の窓領域の波長(4~3 nm)の軟X線超短パルスレーザー光の発生が確認されており、細胞の内部や細胞膜の動的過程を生きたままの状態で見極めることができることを期待されている。いずれの技術革新も、「極めて短く、かつ、極めて強い光を作るというレーザー技術」の発展によって可能となったことであり、日本の研究グループが中心的な役割を果たしてきた。今こそ、日本の研究者が中核となって、「極短パルス高強度レーザー技術」に基づく国際的な研究拠点を構築し、基礎から応用までの一貫した研究を推進することが急務である。そのために、極短パルス高強度広帯域レーザー光源施設、および、加速器レーザー技術融合研究施設を整備することがぜひとも必要である。

3. 予算規模：

総額 60 億円

4. 学術的意義：

超短パルス高輝度レーザー光発生技術は、この数年間に飛躍的な発展を遂げ、人類がこれまで得ることのできなかった「最短の時間」を手に入れることが夢でないことを示している。この最短の時間領域、すなわち、アト秒の時間領域においては、電子の運動や水素などの軽原子が如何に物質内を移動するかを観測することができることを期待されている。物質内の電子移動や水素移動の情報は新しい物性をもつ物質開発に欠くことができないものであり、アト秒パルス安定に供給できる光源の開発が急務である。本光源施設は、それを可能とするものである。

また、細胞の中や、細胞の外と中と間の物質移動を知ることは、細胞の機能解明や、製薬のための明確な指針を与えるものと期待されているが、それを調べるためには、十分に波長が短く(分解能を上げるため)かつ水溶液を透過する光(水の窓領域(4~3 nm)の光)を使った顕微鏡を開発し、それを「見る」必要がある。

超短パルス高輝度レーザー光を用いて高次高調波を発生させることによって、水の窓領域の光を発生できることは示されているが、今のところ強度が十分でなく、それを増幅することが必要である。日本の誇るX線自由電子レーザーの技術を用いて、高次高調波を増幅することが唯一の方法であると考えられ、世界中の研究グループが関心を持っているが、いまだ達成できていない。本施設は、水の窓領域の軟X線超短パルス光を安定に供給するものであり、特に、生物学、薬学、医学に大きく貢献できるものと考えられる。

5. 年次計画：

5年以内に、搬送波位相を固定した高輝度フェムト秒レーザー光源によりアト秒パルスを発生させ、アト秒精度での超高速物性計測可能な安定な光源施設を整備し、世界にさきがけて、国内外のユーザーが集う最先端光源施設とする。さらに、日本の誇る軟X線領域の自由電子レーザー技術を組み合わせ、水の窓領域の高輝度軟X線領域レーザーパルスを発生させ、実時間の顕微イメージングを実現する。第5年次以降は、細胞膜、核膜の動的挙動を顕微画像として観測するなどの様々な応用研究を実現し、世界にも例の無い国際的な光科学分野の研究拠点とする。

6. 実績、準備状況：

現時点での最短の時間パルスであるアト秒パルスの発生においては、理化学研究所、東京大学などのグループにおいて実績があり、その応用研究においても世界に先駆けて成果をあげている。安定にかつ高輝度にてアト秒パルスを発生することは至難であり、今後、搬送波位相制御などの先端技術を確立する必要があるが、十分な実績がある。

一方、2010年末、日本の理化学研究所と東京大学を中心とする合同チームが、軟X線自由電子レーザーの技術と極短パルス高強度レーザー技術を組み合わせることによって、軟X線領域の高輝度コヒーレント光の発生を世界で初めて成し遂げた。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

東京大学、理化学研究所、日本原子力研究開発機構、慶応義塾大学、電気通信大学、大阪大学、高エネルギー加速器研究機構、NTT 物性科学基礎研究所

スピントロニクス学術研究基盤の構築と展開

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

基礎・基盤技術、磁性スピントロニクス

2. 計画の概要：

「スピントロニクス」は、エレクトロニクスや情報処理にスピンの自由度を積極的に用いた材料、デバイス、システムの研究開発を行う分野である。近年の磁気記録の飛躍的な向上に重要な役割を果たしてきた巨大磁気抵抗効果の発見に対し、2007年にノーベル物理学賞が授与されたことからわかるように、スピントロニクス分野は学術および応用技術の両面で発展を遂げている。トンネル磁気抵抗効果を利用した Magnetoresistive Random Access Memory (MRAM) の開発とその高機能化は、この分野における現在および近未来の最重要課題であり、新材料開発と高集積化により不揮発性固体メモリのさらなる発展と実用化を目指した研究を行っている。さらに、これまで情報処理、特に論理演算においては、電荷（電流）を用いたエレクトロニクスデバイス素子の開発が主流であったが、今後はスピンおよびスピン流を用いた低消費電力新機能デバイスの開発を進める。特に、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えたスピントランジスタの開発、再構成可能な論理回路、低消費電力のノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術の開発を目指す。また、スピン（電子スピン、核スピン）、電荷、光を融合させた量子情報技術に関する研究を進める。これらの研究開発は、①材料および物理学（スピントロニクスを含む）、②ストレージ、③メモリおよびロジック、④量子情報 の4つの分野に大別されるが、各分野間の連携を密にとりつつ、スピントロニクス学術研究基盤の構築を進めてゆく。

3. 予算規模：

総額 10 億円

4. 学術的意義*：

電子は「電荷」とともに自転の角運動量に相当する「スピン」を持っている。「電荷」の蓄積や流れを制御することによって、トランジスタや集積回路をはじめとするさまざまなデバイスが生み出され、20世紀後半以降、エレクトロニクスや情報・通信技術の大発展をもたらした。一方、「スピン」は磁性の源であり、磁石は古くから使われてきたが、磁性と電子の伝導がかかわる巨大磁気抵抗効果など新しい物理現象の発見を契機に応用技術も発展し、20世紀末頃から「スピントロニクス (Spintronics)」といわれる新しい分野が形成された。ここでは固体中の「スピン」の生成、蓄積、流れ（スピンの流れは「スピン流」とよばれる）を理解し制御することが中心的課題の1つである。この「スピントロニクス」の研究は、固体物理、材料科学、電子工学、磁気工学およびそれらをまたぐ諸領域において、今では世界的に大きな潮流となっている。この理由は、学術的に新しく価値があるのみならず、ポストシリコン・デバイスも含め、電子・情報通信産業のイノベーションをもたらすことが強く期待されるからである。

5. 年次計画：

1) スピントロニクス連携研究教育センター（仮称）を主要大学1箇所設立する。他の主要大学にはセンターの支部をおく。センターには専任および兼任の教員と職員を置き、運営に責任をもつ。ここでは研究用試料の作製や評価分析など、共同研究のコアとしての役割を果たす。

2) スピントロニクス・ネットワーク（仮称）を設立し、すでに国内主要大学間で存在する連携ネットワークと統合し、さらに強化する。また、海外の主要研究機とも連携し、国際的なネットワークを強化する。

以上の体制を最初の2年以内に確立し、日本のスピントロニクス研究の国際競争力を維持・強化するとともに、国際的な連携を図る。

6. 実績、準備状況：

わが国の科学者・工学者、特に応用物理学分野の研究者の貢献は極めて大きいものがある。スピントロニクス分野がさらに発展すれば、アカデミック・ロードマップで実現が期待されているスピンおよびスピン流を用いた低消費電力新機能デバイス、不揮発性記憶素子と演算素子の機能を兼ね備えたスピントランジスタの開発、再構成可能な論理回路、低消費電力のノーマリオフコンピュータ、右脳型の柔軟な情報処理技術の開発が進み、革新的な技術、新しい産業の創造、環境にやさしい社会基盤の構築をもたらすことができる。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例*

スピントロニクス研究を行っている主要大学および主要研究機関

主要大学：（北から）北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、早稲田大学、東京工業大学、慶應大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学など

国立研究機関、独立行政法人：産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所など

脳表皮から深部に至るフォトニック脳機能イメージングの創成

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

ライフ・バイオ、医療エレクトロニクス

2. 計画の概要：

本研究では、上述の光イメージングの欠点を克服して、脳表皮から深部に至るフォトニック脳機能イメージングを行おうとするものである。ごく最近、ラット脳に埋植可能なバイオメディカルフォトニック LSI (bmp-LSI) が開発された。これは生体内埋植型 CMOS イメージセンサをベースに、光源と光検出器を一体集積化し、これを幅 1mm のポリイミド基板先端に搭載したものである。bmp-LSI をラット脳に埋込み、生きたままで (in vivo) で脳内の神経活動をモニターすることに成功した。本研究では、この bmp-LSI をベースに、近赤外分光を利用した光トポグラフィおよびミクロンオーダーのイメージングが可能な光コヒーレンストモグラフィ (OCT) 技術を導入して、脳表皮から深部に至る統合的な脳機能イメージングが可能なデバイスを開発することを目的とする。例えば、脳表皮付近の言語野と脳深部の視床下部にある記憶中枢がどのように連携して機能するのか、あるいは光や音刺激に対して脳深部の自律神経中枢がどのように反応するのかなど、脳機能の本質に関わる多くの研究成果が期待できる。さらに、このデバイスは臨床医学でも大いに利用することができる。例えば、このデバイスをヒト脳深部に刺入して、てんかんやパーキンソン病の病態解明、診断に利用できる。このように、本研究で開発するフォトニック脳機能イメージング技術・デバイスは、脳科学はもとより脳疾患の治療においても画期的な成果を提供する。

3. 予算規模

総額 7 億円 (5 年間)

4. 年次計画

第 1 年目：bmp-LSI 搭載超小型集積化光源技術の研究

第 2 年目：bmp-LSI の光トポグラフィシステムへの応用

第 3 年目：bmp-LSI の OCT への応用

第 4 年目：光トポ/OCT 融合 bmp-LSI の小動物 (マウス) 実験評価

第 5 年目：光トポ/OCT 融合 bmp-LSI のサル実験評価及びヒト臨床試験に向けた検討

5. 学術的意義：

現在の医療診断では、X 線 CT、MRI、PET、超音波エコーなど、画像診断が主流であり、「医療エレクトロニクス」のアカデミック・ロードマップでも、画像診断の進展について慎重に検討した。現状の画像診断は病変部の抽出を目的とした生体組織形状の観察である。これに対して、近い将来、アルツハイマー、パーキンソン、てんかんなどの脳機能障害の診断・治療が重要視される。これらの脳機能障害に対しては有効な診断法の開発が切望されている。一方、脳科学においても、記憶機能や脳内神経活動などの解明について、顕著な進展は見られない。これはラットなどの小動物からサル・ヒトまでの脳機能を同一の手法で可視化できる装置が未だ開発されていないことが要因の一つである。

本研究は、上記のような脳科学の要請および脳機能障害の診断に基づくもので、脳表皮から深部に至る脳機能イメージングを可能にするフォトニックデバイスを開発することを目的とする。脳科学分野では、本デバイスは既存の MRI、PET、MEG に匹敵する (あるいはそれ以上に) 必要不可欠なイメージング装置として大いに活用されることが期待できる。

6. 実績、準備状況：

本研究のベースとなるバイオメディカルフォトニック LSI (bmp-LSI) は、科学技術振興機構 (JST) の光科学 CREST で (2008 年採択)、奈良先端大・太田淳教授が開発し、同大・塩坂教授と共同でラットに埋込み、in vivo で脳機能イメージングすることに成功した。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

本研究は奈良先端科学技術大学院大学を中核とする医工融合、産学連携の開発研究である。

[研究組織]

- ・ 奈良先端科学技術大学院大学：半導体工学・医工学、bmp-LSI の設計・試作
- ・ 同大学バイオサイエンス研究科：バイオ・生理学、bmp-LSI 埋植ラットの脳機能解明
- ・ 近畿大学医学部脳神経外科：脳外科医
- ・ 慶応大学工学部電気工学科：生体医用光学、光トポグラフィ
- ・ 日立基礎研究所：エレクトロニクス、光トポグラフィ
- ・ 大阪大学大学院医学系研究科：生体医用光学、OCT
- ・ 理化学研究所：脳科学、OCT
- ・ 島津製作所：装置組立

ナノバイオ・オープンイノベーション拠点

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：

ライフ・バイオ、バイオエレクトロニクス

2. 計画の概要：

ナノテクノロジーとバイオテクノロジーの知を融合した新たな学理である「ナノバイオ」は、先端的学術領域として重要なだけでなく、医工連携の中核としてライフイノベーションに繋がるため、わが国の持続的発展に貢献することが期待されている。わが国の「ナノバイオ」研究は、日本の強みである材料科学技術を基盤として世界のトップクラスにあるが、欧米でもナノバイオ推進施策が近年重点化され発展著しいアジア諸国も急速に追従している。異分野融合による全く新しい概念や方法論の創出を推進し続けるためには、中長期的な視点に基づく研究推進と10年、20年後のバイオ産業の核となる人材を輩出するための戦略的な施策が必要と考えられる。そこで、世界レベルで競争力のある研究の一層の推進と、全国の若手研究者を中心とするナノバイオ研究開発の連携推進のハブとなる研究拠点の整備と研究者ネットワークの構築を行う。ハブ拠点では、ナノバイオ計測を中心とする共同利用施設、世界最先端の装置を整備して研究者を支援するとともに、共同研究プロジェクトの公募等による若手研究者による国際共同研究、挑戦的な研究開発の推進を図る。

3. 予算規模

総額 35 億円(5 年間)

4. 年次計画

- 1 年目・拠点と設備の整備とともに、ナノバイオ技術シーズの研究開発の展開。
- 2 年目・All Japan の視点に基づいた人材育成ネットワークを構築する。研究開発の加速。
- 3 年目・産学連携を積極的に取り入れたネットワークを構築する。中間評価を実施。
- 4 年目・All Japan 構想で研究開発に取り組む、優先課題の抽出選択し集中化を行う。
- 5 年目・All-Japan 構想をより推進すると共に、研究成果の実証化。

5. 学術的意義：

応用物理学会では半導体、エレクトロニクス、光学など多様な先端科学技術が研究されているが、これらの多様なディシプリンの融合による新たな学術領域の1つとしてナノバイオテクノロジーを重点的に推進してきた。工学、情報科学と生命科学の融合をもたらす成果は単なる相加ではない。生命機能の根源である分子認識、情報伝達、エネルギー伝達、情報処理といった機能を理解し駆使することで単一領域の専門家には決してなしえない革新的な着想が可能になり、バイオの巧妙な機能原理をインテグレートした機能システムとしてのナノバイオ・デバイスを生み出すなど、より高い次元での相乗効果が期待できる。具体的に期待される成果としては、(1) 生命現象を計測・観察・操作する方法・装置開発とその応用、(2) 生命原理に啓発された物質・材料の創製、(3) 生命原理に啓発されたデバイスの創製などが挙げられる。

応用物理分野のアカデミック・ロードマップにおいても、要素技術クラスター「バイオエレクトロニクス」の将来ビジョンとして持続可能社会の構築や健康・医療が取り上げられると共に、主要な技術項目として診断デバイス、ドラッグデリバリーシステム、イメージング技術などの重要性が記載されており、わが国としてもこのような異分野融合科学技術分野を、戦略的かつ積極的に推進することが強く求められている。

6. 実績、準備状況（10行以内程度）：

日本は「ナノバイオ」分野では世界的にもオリジナリティーの高い研究成果を発信し続けてきた。特に材料、分析、バイオ界面等では世界をリードしている。その一方では認可や臨床試験等のシステムの問題もあり医薬への応用に関しては欧米に大きく遅れてきた。

例えば東京大学は分野を横断した「ナノバイオ・インテグレーション研究拠点」事業を実施し、世界を先導する多くの顕著な成果を挙げ、ナノバイオの学理を築いてきた。世界トップレベルのナノバイオ研究ネットワークの構築を主導し、CNSI-UCLA や ETH など海外研究拠点との盛んな人材交流を続けている。また理化学研究所、大阪大学等の機関で構成された「生命分子の集合原理に基づく分子情報の科学研究ネットワーク拠点」では、情報科学を共通概念として生物固有の機能と物質科学の融合を図り、若手研究者の育成と連携を図った。これらは平成20年度で終了したが、全国的なネットワークが形成されており交流が続けられている。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

当該分野に関して世界的な成果を発信している大学（北海道大学、東北大学、東京大学、東京工業大学、慶応大学、京都大学、大阪大学、九州大学等）、独立行政法人（産業技術総合研究所、理化学研究所、物質・材料研究機構等）、民間企業、医療機関等がナノバイオ研究拠点ネットワークに参画する。

超伝導を核とした低炭素技術プラットフォーム

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：
環境エネルギー、超伝導技術

2. 計画の概要：

社会インフラにおける超伝導技術の利用は必ず、低炭素・省エネルギーの効果を伴う。しかし、超伝導技術単独では機器・設備のシステムを創ることができず、周辺分野との技術的、政策的な連携が必要である。特に、超伝導技術の現状と今後の可能性に対する異分野の認識度が低く、高価で、実績が少なく、信頼性に乏しい技術とみなされやすい。これが、超伝導技術の発展に対する精神的な妨げになっている。また、従来の国プロなどでは開発対象が予め絞り込まれており、当初予定にない方向に研究成果を展開できなかつたり、新規機関の参入が難しいという問題があった。そこで、本計画では主に、電力、輸送、環境、産業各分野への超伝導技術の展開の可能性を広く拓くことを目的とする。具体的には、超伝導技術に容易に接することができる研究開発設備を置き、各周辺分野の自由な研究への参入を促し、超伝導技術応用の効果の理解や、新規アイデア創出を促す場を構築する。

3. 予算規模：
総額 10 億円 (5 年間)

4. 学術的意義：

学術的意義としては、まず、超伝導技術が優れた基礎研究(物質、物理、物性、応用基礎)の研究成果をベースにそれが材料に反映される性質のものであり、さらに出口として様々な応用を有し、社会に低炭素・省エネルギーの側面から貢献できることを示すことによって、基礎研究—社会貢献のつながりを明らかにし、基礎研究意欲の増進を促すことが挙げられる。また、超伝導技術の普及と社会的貢献によって、研究者数が増し、研究成果もそれに応じて増加することが考えられるほか、超伝導以外の応用物理分野の研究者の超伝導技術への部分的な参入が起こることが考えられ、技術クラスター間の交流を促進する効果も持つ。

アカデミック・ロードマップでは、超伝導技術をもとに実現される可能性が高く、やや目立つ項目を掲げたが、その普及度や社会に対する貢献についてはあまり言及していない。本計画では、ロードマップで掲げた項目およびそれ以外のやや地味な応用分野や、新規応用を全て取り込む。そして超伝導以外からの学術的な協力、支援を得ながら、超伝導技術が低炭素・省エネルギーに実質的に大きく貢献できるような技術であることを、学会、論文などを通じてアピールしていく。

5. 年次計画：

本計画は 5 年間で実施する。当初 2 年間で特性評価装置を揃え、超伝導技術の信頼性を周辺分野に理解してもらえるような情報の発信を始める。また、周辺分野に対して新規技術による超伝導材料・機器導入の検討を行う自由な場ができたことをアピールする。次の 3 年間は、超伝導技術の信頼性を高める情報発信を続けるとともに、新規応用の芽をサポートする研究開発を行い、さらに、低炭素・省エネルギー効果を定量的に示す活動を行う。

6. 実績、準備状況：

超伝導技術に関する研究機関は企業を含めて国内で 20 以上あり、それぞれに材料特性評価、機器・設備設計の実績を有する。しかし、これらの多くは超伝導分野内で閉じた形でわずかに連携しているのみで、社会一般に対して効率的かつ信頼性の高い情報を提供しているとは言い難い。また、省庁間の思惑によって偏った(誤解を招きやすい)情報が発信されているケースもある。応用物理学会超伝導分科会は 20 年以上にわたり、ほぼ年 1 回のシンポジウムや、年 2 回の研究会などにおいて、学会内外に対して超伝導技術の基礎から応用まで“正しい”情報を発信し、また議論の場を設けてきた実績を持ち、さらに超伝導ニュース 76 巻の発行、超伝導に関わるスクールテキスト 3 冊を発刊してきた。幹事会には、本計画の実施舞台の候補機関からの幹事が常に含まれており、分科会内に本計画の運営体制を整えることは容易である。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

東京大学、東北大学、九州大学、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所などが候補となる。設備を集約して配置し一つの研究プラットフォームとするか、分散させて配置するかは検討中である。

基礎から応用まで、また産官学の面でも広範に超伝導技術に関わっている、応用物理学会超伝導分科会が主たる人的な実施組織を形成する。分科会幹事に各研究実施機関からの研究者を受け入れ、分科会内に運営組織を形成する。実施場所のうち 1 つは、情宣、他分野との交流窓口の業務も担う。また、企業、省庁との交流面では(社)低温工学協会や(社)未踏科学技術協会超伝導科学技術研究会の協力を得る。

人工光合成デバイスによる太陽エネルギー貯蔵・運搬技術開発に資する学術基盤研究

1. 学術と産業を結ぶ基盤研究領域および関連分野：
環境エネルギー

2. 計画の概要：

光合成反応中心では、太陽エネルギーを化学エネルギー（酸化・還元電位）に換え、水の分解を行い、生成した水素をユビキノンのケト基に附加させることで、吸収した太陽エネルギーの生体内での貯蔵・運搬を行っている。この機能を人工的に実現して、広大な砂漠・遠洋で太陽エネルギーを有機分子に蓄蔵・運搬し利用することで、年間20数兆円におよぶエネルギー輸入を自給に転換させるための学術基盤を確立する。有機分子は、太陽光から生み出すエネルギー媒体のうち、従来の電気や水素に比して運搬・貯蔵が極めて容易になる利点がある。我々は、この光合成反応中心での現象と本多・藤嶋効果による水分解プロセスの共通性を発見し、人工光合成デバイスの基本構造を考案した。その構造は、太陽電池による太陽光吸収層、金属酸化物による水分解触媒層と、生成された水素を有機物に附加する触媒層の3層からなる。本研究では、まず最新のシリコン等の半導体や色素による太陽光吸収層を用いて上記機能を実現する薄膜人工光合成デバイスの開発と実用化に資する基盤技術の研究開発を行う。また、同じく運搬・貯蔵が容易な化学物質に太陽エネルギーを換える最新の電解光ハイブリッド法の成果を大規模化する研究、海洋での大規模エネルギー生産・運搬技術の基盤を確立するための研究をあわせて行い、デバイスからシステム、基礎から応用にわたる広範な学術領域を融合しながらすすめる。

3. 予算規模：

総額30億円（15年間）

4. 学術的意義：

天然エネルギー資源の枯渇が危惧されており、根本的で持続可能な解決策として、太陽エネルギーの活用しかないことは、衆目の一致する所である。しかしながら、太陽エネルギーを利用する既存技術では電気又は水素での利用になるが、何れも貯蔵・運搬・安全性に課題があり、また、電気は世界のエネルギー需要の1/4を占めるに過ぎない。これらの課題のため砂漠・遠洋での大規模な太陽エネルギー利用には至っていない。本提案の人工光合成デバイスが開発されれば、日本国土の10倍に相当する広大な排他的経済水域の1%程度（またはごく一部）を活用することで、日本の必要とするエネルギーの燃料自給が実現される。燃料の輸送・利用により、既存の社会インフラをほぼそのまま利用することも可能となり、新たなインフラ整備や産業界の再編等に費やす時間と労力を消費する必要がないものと考えられる。このデバイスの開発では、半導体、光エレクトロニクス、有機エレクトロニクス、界面反応科学、量子工学、ナノエレクトロニクス、計算科学などの広範な応用物理学が有機的に発展することとなる。また、化学分野との境界領域としての発展に加え、海洋学、船舶・浮体工学、エネルギー工学などの広範な裾野をもつ応用工学と産業の新分野の創出に貢献する。これらの構想は、応用物理学会の環境・エネルギークラスターのロードマップで中心的課題として述べられている。

5. 年次計画：

およそ3年間はデバイスの材料・プロセス・構造の探索を進め、その後、1%程度の効率を有する具体的なデバイスの構築を5年程度かけて行う。並行してシステム全体の構成を効率やコストを含めてシミュレーションし、具体的なデバイスの実証結果にあわせ、海洋テストプラントの構築（産業界中心）へと移行していく。デバイスの効率の最終目標は10%とし、15年程度で達成する。

6. 実績、準備状況：

本技術を実用化するためには、1)人工光合成薄膜デバイス、2)エネルギー貯蔵用有機分子の探索及び水素脱離反応制御、3)メガフロートの材質・建築技術、の研究開発が必須である。1)については、既にシリコン太陽電池による水素生成は実現されており、水分解を促進する金属酸化物（触媒）の探索と薄膜化が中心的研究課題であるが、光触媒を代表とする多くの研究実績がある。2)については、有機ハイドライドと呼ばれる分野で要素技術の研究が進められている。3)については、海洋油田掘削のための大規模浮体構造体技術は、造船技術とともにわが国にあり、また洋上風力発電のために海洋筏の技術開発が進められている。このように、本技術実現のための要素技術の研究基盤は構築されつつあり、これらの要素技術の高性能化・効率化と統合が、主たる研究課題となる。我々は、基本動作の確認実験を始めている所である。

7. 想定される主な実施機関および実施組織の例：

産業技術総合研究所、大阪大学、東京工業大学、東海大学などの学術機関に加え、電機電子情報関連、建築建設関連、石油エネルギー関連の広範な関連企業によるコンソーシアムを構築する。研究の発展とともに、参加組織を拡大する。

参加機関を結ぶネットワークとして、応用物理学会の中に、エネルギー・環境研究会を母体とする発展型の新たな組織を構成し、各参加機関の代表者による情報の集約と進捗管理を行う。

<付録3> 国内外における研究開発拠点整備の現状

1. わが国の拠点整備のポイント（特徴）

(1) 大学を中核とした拠点整備

文部科学省では、世界的な研究教育拠点の形成を重点的に支援し、国際競争力のある世界最高水準の大学づくりを推進することを目的として、2002年から「21世紀COEプログラム」を、2007年からは「グローバルCOEプログラム」を実施している。これは、特色ある教育研究活動を基に国際的な教育研究拠点を形成するというもので、博士課程学生や若手研究者に対する経済的支援や教育研究環境の整備、海外研究機関への派遣、海外の優れた研究者の招聘などの人材育成に関する内容が中心である。

基礎研究に対する拠点整備では、高いレベルの研究者を中核とした「世界トップレベル研究拠点」の構築を目指し、2007年から「世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）」を実施している。これは、政府が集中的な支援を行うことにより、システム改革の導入等の自主的な取り組みを促し、世界から第一線の研究者が集まる、優れた研究環境と高い研究水準を誇る「目に見える拠点」の形成を行うものである。このプログラムの4つの柱は、「世界最高レベルの研究水準」、「国際的な研究環境の実現」、「研究組織の改革」、「融合領域の創出」であり、これらを実現するために拠点長の強力なリーダーシップのもとで拠点活動が展開されている。対象は、基礎研究分野であり、研究期間は10年～15年、1拠点当たり年間約10億円程度が支援されている。現在、東北大学、東京大学、京都大学、大阪大学、九州大学の5大学と物質・材料研究機構にWPIによる拠点が形成されている。

一方、大学を中核とした産学連携の拠点整備として、2006年から「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」プログラムが、科学技術振興調整費の支援で実施されている。これは、イノベーションの創出のために特に重要と考えられる先端的な融合領域において、企業との協働により、新産業の創出等の大きな社会・経済的インパクトのある成果を創出するための研究開発拠点形成を支援するものである。実施期間は10年であり、1拠点あたり年間7億円程度が文部科学省から支給されるとともに、企業からもマッチングファンドで同等の支援を得るものである。現在、東京大学、京都大学、東京女子医科大学、北海道大学など8大学、産業技術総合研究所で拠点が形成されている。

(2) 研究開発独立行政法人を中核とした拠点整備

現在、つくば地区においては、産業総合技術研究所、物質・材料研究機構、筑波大学を中心に「つくばイノベーションアリーナ（TIA）ナノテクノロジー拠点」を形成している。ナノエレクトロニクス、パワーエレクトロニクス、MEMS、カーボンナノチューブ、ナノ材料安全評価、ナノグリーンのコア研究領域に、ナノテクノロジー関連の大型プロジェクトを集結させている。

また、産学官の最先端の研究者、世界の最先端に行く研究人材の集積のためには、魅力のある研究インフラが必要である。その実現のため、産学官の最先端の技術、装置を集約したインフラ、共創に適した異分野の研究人材が交流できるインフラの整備を行っている。

具体的には、コアインフラとしてナノデバイスファクトリーやナノテク共用施設などを整備し、オープンイノベーションハブの構築と次世代の人材育成を行おうとするところが特長である。

① オープンイノベーションを実現するユーザーファシリティモデルの確立

産学官の研究・技術開発に携わる広い分野の研究ユーザーに提供するオープンな研究開発プラットフォームを整備する。当該プラットフォームでは、ナノテクノロジーのコア基盤技術を支える最先端共用施設や装置群、およびノウハウ等を含むオープンな知的財産の活用を可能とする。これらの設備等を活用しながら、TIA 内で活躍する最先端研究者と、技術相談等を通じて新たな研究活動への発展を進める外部研究者との、中立性を保った知的生産活動の共創場を形成する。

また、このユーザーファシリティを、プラットフォームにおける知財と人材が TIA コア研究領域へアクセスするゲートウェイとしての役割としても機能させる。さらには当該設備等を活用し、大学院教育における実践的研究体験を行う場や、産業界の現場を担う中核人材の育成活動の場としての活用等、社会へのアウトリーチ活動のツールとしても役立てる。

② 教育と研究の一体化モデルの確立

大学のアカデミックな最先端の知識、産業界の社会ニーズに基づいた研究開発の方向性、独法研究機関の最先端のインフラ、研究人材、知的資産を活かした実践的な研究と教育の一体運営モデルの確立、産業化にシームレスにつながる教育、研究モデルの確立を行う。

(3) 民間機関を中核とした拠点整備

民間機関を中核とした研究開発拠点（コンソーシアム）は、現在も種々のものがあるが、その代表的なものとして Selete（株式会社先端半導体テクノロジーズ、Semiconductor Leading Edge Technologies）と CASMAT（次世代半導体材料技術研究組合、Consortium for Advanced Semiconductor Materials and Related Technologies）がある。

Selete は、1996 年 2 月に創立され、300mm ウェハ装置を用いる生産技術開発の民間コンソーシアムとしてスタートした。2001 年からは「あすかプロジェクト」のもとで CMOS 一貫試作ラインを構築し、hp65nm モジュール技術開発に取り組み 2006 年 3 月をもって一旦終了し、2006 年 4 月からは半導体産業界による「あすかⅡプロジェクト」、および NEDO 委託による「MIRAI プロジェクト」を加え、新たな 5 カ年計画の活動を開始した。現在実施している研究プログラムには株主 10 社に加え 14 社が参画し、hp45nm/hp32nm 対応モジュール技術の開発とともに超低消費電力 LSI 実現のためのブレークスルーとなる革新的基盤技術の開発を行っている。

CASMAT は、半導体材料メーカーの競争力を強化することを目標として、国内の主要材料メーカーにより 2003 年 3 月に設立された半導体材料の評価研究に特化したコンソーシアム

である。半導体材料の評価技術に関する研究開発、組合員企業材料の評価、評価結果の組合員へのフィードバック等、組合員企業材料開発の効率化、高度化を図るための評価基盤整備に関する事業を行っている。2003年度には、NEDOの助成を受けて、(株)日立製作所中央研究所内のクリーンルーム(約1,300㎡)に、300mmウェハ・65nmノード対応のプロセス装置を導入して配線工程(BEOL)一貫試作ライン及び評価・分析装置等を整備した。ウェーハレベルでの材料評価、BEOLからパッケージまでの一貫評価が可能であり、材料評価用TEGの開発やパッケージ材料評価技術、新しいプロセスの研究などの研究を行うとともに、研究者の実習、TEGサービスなどのプログラムを行っている。

(4) 最先端研究開発支援プログラム

2009年から、従来とは異なった考え方の大型研究開発プログラムとして、「最先端研究開発支援プログラム(FIRSTプログラム)」が開始された。これは、中心研究者を選定し、新たな知を創造する基礎研究から出口を見据えた研究開発まで、さまざまな分野及びステージを対象として、世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、産業、安全保障等の分野におけるわが国の中長期的な国際競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への還元を図ることを目的としたプロジェクトである。研究開発期間は、3年から5年で、研究費総額は1件当たり20~50億円であり、30件が採択されている。それぞれの研究開発体制や支援機関の選定などは中心研究者の判断に任されているため、プロジェクト毎にさまざまな形態の連携体制がとられている。

2. 海外における拠点整備のポイント(特徴)

(1) 米国

応用物理が密接に関係する分野での拠点整備は、2001年の当時のクリントン米大統領が提唱した国家ナノテクノロジー戦略構想(National Nanotechnology Initiative: NNI)に基づいて進められている。その構想下で、連邦政府の関係省庁によるナノ科学・ナノ技術分野での学際的研究・教育センターの新設や既存設備整備への集中的投資が行われ、大学、企業、国立研究所の研究者に対してオープンイノベーションを推進する有力な素地として機能している。

連邦政府の研究開発投資は現在も引き続き強力に(2010年度予算で総額1,640億ドル、約15兆円規模で)実施されているが、連邦政府、州政府の資金だけでなく企業も力を合わせていることにも特徴を持つ。参考のため、2001年から2010年までの予算総額及び主要省庁の予算推移を図3-1に示す。ナノエレクトロニクスへの投資を次世代の技術革新のエンジンとし、大学のプログラムを使って人材育成に努める一方、全米大学をネットワーク化して、ハイテク企業の技術開発のパスに位置づけている。

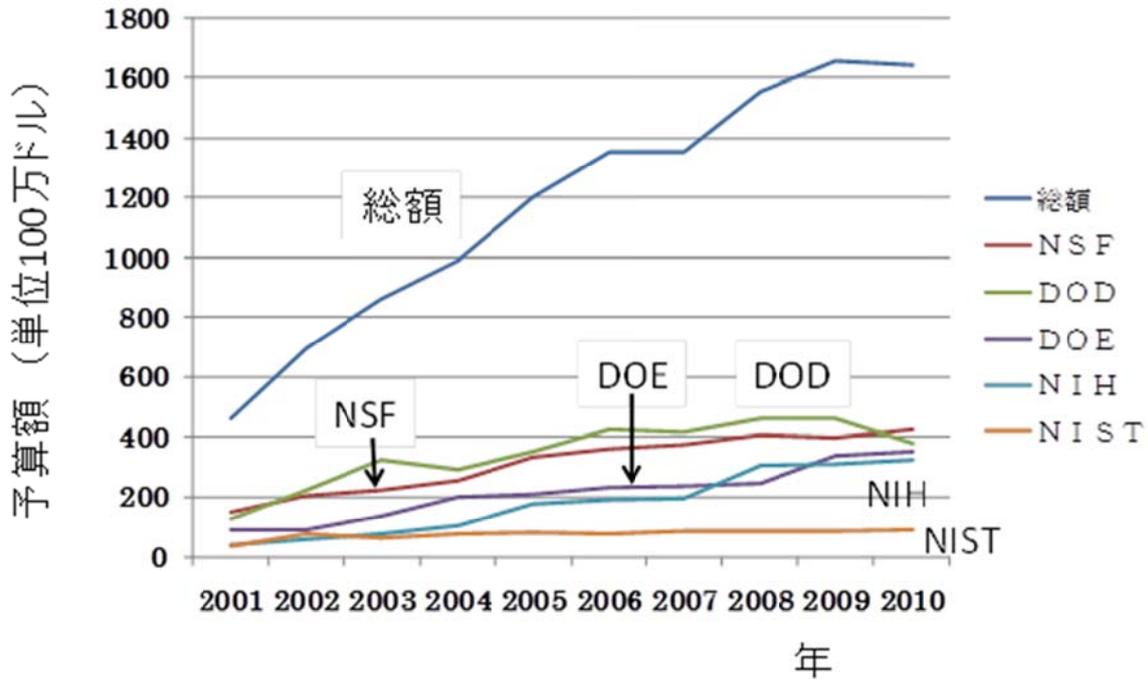


図3-1 連邦委政府のナノテク予算の推移

(注) NSF (全米科学財団)、DOD (国防総省)、DOE (エネルギー省)
NIH (国立衛生研究所) NIST (国立標準技術研究所)

出典

①National Nanotechnology Initiative, "NNI Investments by Agency & PCA FY 2001-2010"

http://www.nano.gov/NNI_Investments_by_Agency_PCA_2001_2010.xls

②The National Nanotechnology Initiative: Second Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel, Report of the President's Council of Advisors on Science and Technology, April 2008

主要なネットワーク (センター) の例は下記の通りである。

① NSF (全米科学財団) が推進する National Nanotechnology Infrastructure Network
わが国で文科省が推進し、全国 13 拠点で 26 の大学・国研が参画する「ナノテクノロジーネットワーク」に相当し、全米各地の大学 13 キャンパスにあるユーザー施設を統合したパートナーシップである。ナノテクノロジーの飛躍的進歩を実現させることを目的に、ファブリケーション・合成・評価施設を提供している。

② NSF の Network for Computational Nanotechnology

計算による研究加速に加えて、ウェブ上でアクセス可能な教育ツールやシミュレーションツールの提供など目的にした、7つの大学 (パーデュー大学、イリノイ大学、スタンフォード大学、フロリダ大学、テキサス大学エルパソ校、ノースウェスタン大学、モーガン州立大学) を結ぶネットワークである。

③ 産学による Nanoelectronics Research Initiative

Beyond CMOS 技術の研究開発など長期的なナノエレクトロニクス研究を加速するため、NSF と SIA (Semiconductor Industry Association、米国半導体産業協会)、Semiconductor Research Corporation (SRC) が一体となって 2005 年から進めている構想のもとに、産業界が主導して大学に資金を提供し、コンソーシアムを運営している。これは全米 50 以上の大学を包含し、NY 州を中心とした INDEX (Institute for Nanoelectronics Discovery and Exploration)、西海岸のシリコンバレーを中心とした WIN (Western Institute of Nanoelectronics)、テキサスの SWAN (Southwest Academy of Nanoelectronics)、中南部・中北部を中心とした MIND (Midwest Institute for Nanoelectronics Discovery) の 4 つの大きなグループがある。

④ DOE 傘下の 5 国立研究所の Nanoscale Science Research Center ネットワーク

エネルギー省 (DOE) 傘下の 5 つの研究所のナノテクセンター (オークリッジ国立研究所・ナノフェーズ物質科学センター、ブルックヘイブン国立研究所・機能的ナノマテリアル・センター、サンディア国立研究所・統合ナノテクノロジーセンター、アルゴンヌ国立研究所・ナノスケール材料センター、ローレンスバークレー国立研究所・分子ファウンドリー) のネットワークで、ナノ合成・ナノ加工・ナノファブリケーション・ナノ分析の支援を目的に運営している。

⑤ NIST の National Nanomanufacturing and Nanometrology Facility

米国産業がナノテク製品を実現させるのに必要な技術的な土台作りを支援する、ナノスケールでの測定と製造の二つに重点を置いた Center for Nanoscale Science and Technology (CNST) と、ナノデバイスと材料の試作・検査・評価を行う Nanofabrication Facility (Nanofab) で構成される研究施設。基礎的計測基準・標準規格の整備・支援を通して、米国の基準を世界標準に進める目的を持つ。

(2) 欧州

欧州におけるオープンイノベーション型の研究集積としては、ナノエレクトロニクスを中心にした IMEC (ベルギー)、MINATEC (フランス) が世界的にも有名である。ここでは、両機関を中心に、イノベーション推進に向けた拠点構築に特徴を持つ国の状況を記載する。

① ベルギー

IMEC (Interuniversity Microelectronics Centre) は非営利の公的研究機関としてフランドラス州政府の支援のもとに 1984 年に設立された。現在マイクロエレクトロニクス、ナノテクノロジー、デザイン手法、ICT システム分野を中心に、国内外企業 500 社以上 (海外が 450 社程度) を集める研究拠点として成長している。現在でもフランドラス州政府が所管省庁となっており、連携大学研究所の位置づけのもとに、地元大学とも緊密

な連携関係を保っている。しかし、運営・研究資金（2008年で2.6億ユーロ程度）の80%近くが外部資金であり、国際的な企業が中心でフランドル地域の企業はその20%程度の比率に過ぎない。

充実した研究施設（8,000m²レベルのクリーンルームと最先端の半導体製造設備）を開放型運用していることに加えて、知的財産の弾力的な運用（共通基盤的なものはパートナーシップを組む企業と共有、企業単独の研究開発においては排他的に企業に付与など）により拠点としての魅力を高めている。参考のため、IMECの知的財産管理を図3-2に示す。

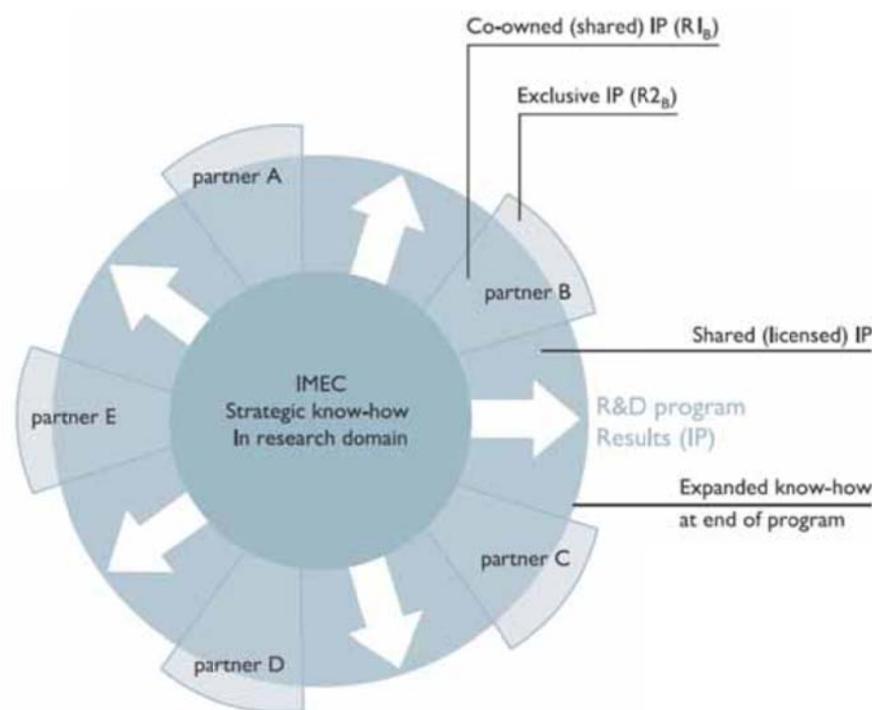


図3-2 IMECにおける知的財産の管理

出典①URL:<http://www.imec.be/ScientificReport/SR2009/HTML/1213614.html>

②Vincent Ryckaerta、Kristel Van den Broeck、"IMEC Industrial Affiliation Program (IIAP) as IPR model to set up nanotechnology research and patenting"、World Patent Information、Volume 30、Issue 2、June 2008、Pages 101-105

② フランス

MINATEC (Pole d'innovation en Micro et Nanotechnologies) は、フランス原子力庁電子情報技術研究所 (CEA-LETI)、グルノーブル工科大学 (INPG)、イゼール県投資促進局 (AEPI) が中心となり、大学、公的研究機関、企業の協力のもとに国際的競争力を持つ設備を備えた国際拠点として設立された。「人材の育成、教育推進」、「高度な研究の推進」、「研究成果の産業的活用」を目標に掲げる本構想は2000年にスタートし、2006年に完成した。300mmの試作ラインと10,000m²余のクリーンルームをもち、産学官の連携により、カーボンナノチューブデバイス、単電子デバイス等の最先端ナノテクノロジー

一技術から、バイオチップ、半導体、光技術、マイクロセンサ等のマイクロテクノロジー技術に至る広い範囲で、研究から産業化までを一貫して推進している。

将来的なナノテクノロジーの研究だけでなく、すでに商業化が進んでいるマイクロテクノロジーの研究テーマも配置する（これによりマイクロテクノロジーの分野で早期に投資を回収できるメリットを付与する）など、産学連携を推進するための配慮もあり、大学だけではなく、高度な技術をもった約 30 社の国際企業との連携も進んでいる。また施設を街の中心部に隣接して配置することにより、生活基盤にも密着させて、研究者が非常に快適に暮らせる環境を構築していることも運営上の特徴となっている。

さらにフランスでは、マイクロナノレベル技術の先端的で統合されたプロセスを開発することを目指す 5 つの主要な技術センターの国内ネットワークや、C' Nanos と呼ばれる 6 つのナノ科学のセンターを構築するなど、ナノ科学とナノ技術の両分野において拠点構築が進んでいる。

③ 英国

技術戦略委員会（革新・大学・技能省が支援する執行機関）により、ナノ技術知識移転ネットワークを設立し、マイクロおよびナノスケールの技術の開拓と商業化を、情報提供、供給者とユーザー間の技術革新と共同の促進などによって支援している。

④ オランダ

産業界および科学界の 9 つのパートナーで構成される NanoNed 計画（予算総額；2 億 5 千万ユーロ程度）のもとに、様々な技術の国家ネットワークを形成している。特に、ナノメーター精度の科学・産業用の計測装置開発を含む最先端ナノ技術基盤構築に注力し、地方の研究開発の強みと産業との連関を図っている。

(3) アジア

アジアでのナノテクノロジーの重点分野は、エレクトロニクスが当該地域の経済発展を牽引してきた産業であったため、これまではナノエレクトロニクス分野であり、研究拠点の整備もこの分野を中心に進められてきた。しかし近年では、ナノテクノロジー関連施設が充実し、また、大学の研究施設を中心に、ナノエレクトロニクス以外にも研究領域を広げてきている。政府がコミットし外部研究者も利用できる共同利用型の最新ナノテクノロジー研究施設が相次いで整備され、最新設備を持つ共同利用施設がオープンする傾向にある。ナノテク関連産業がまだ十分に育っていない中国においても、拠点整備を重視する傾向は同様であり、たとえば、2009 年に中国科学院と江蘇省人民政府が共同で中国科学院蘇州ナノテク・ナノバイオニクス研究所を設立するなど、その動きを加速している。以下、アジアの主要な国々における拠点整備の状況を列記する。

① 韓国

2001 年から開始した 10 年間のプログラム ”Korea Nanotechnology Initiative”（予

算規模：15 億米ドル)のもとに、ナノエレメント、ナノ製造技術、ナノバイオ、ナノエネルギー・環境技術という 4 分野に焦点を定めた研究開発を、Center for Tera-Level Nanodevices、Center for Nanostructured Materials、Center for Nanoscale Mechatronics and Manufacturing などの中核機関(拠点)構築と併せて推進している。中でも、National Center for Nanomaterials Technology (NCNT)では、電子材料、フレキシブル・ディスプレイ材料、マルチスケール MEMS、LIGA、ナノスケール解析などの分野に照準を合わせ、製造装置や材料の研究開発に対する支援、国際協力、専門家の育成などを行っている。

② 台湾

わが国の産総研と類似の位置づけをもつ Industrial Technology Research Institute (ITRI) が、中核拠点としての位置づけをもち、台湾の National Nanotech Program (2003-2008 年で 177 億米ドル規模)の一部を担っている。ITRI は政府および民間から半々の資金提供の形で運営され、電子情報・通信からナノテクノロジー、材料技術、バイオメディカル、先進製造システム、環境・エネルギー技術の研究開発を担っている。また、世界的な技術開発スピードに対処するため、大学 (ITRI College) も開講するなど、人材育成にも力を入れている。ITRI のナノテクノロジー研究センター (ITRI Nanotechnology Research Center) は、スピンオフとして代表的な企業である TSMC から寄付された施設を核にしている。

大学では、台湾の研究学園都市である新竹において、交通大学(工学領域)・精華大学(学術領域)が連携して、NSC(国家科学委員会)が整備した研究用 CMOS 試作共用施設「ナノデバイス・ラボ (NDL)」を拠点活用している。

③ シンガポール

国立大学としては、シンガポール大学、南洋技術大学、国研としては、A*STAR 傘下の IME (マイクロエレクトロニクス研究所)、IMER (材料工学研究所)に研究資金を集中投資し、拠点化を図っている。また、官民共同の大規模な都市開発の一環として進められている、フュージョンポリス(情報通信分野)、バイオポリス(バイオ分野)などに、大学、研究機関、民間企業が集まり、わが国の大学や民間企業も進出するなど、国際的な拠点としての位置づけを獲得している。

<付録4> 「産業と研究開発のグローバル化に対応した人材育成」参考図表

表4-1 2008年の世界における出身国別留学生比率
(参考文献[19])

	全留学生割合 (%)
日本	1.7
中国	15.7
韓国	3.7
インド	5.7
ドイツ	2.7
フランス	1.9

表4-2 グローバルCOEで実施された主な国際スクール(参考文献[18])

	名称	時期	期間	場所	参加人数(人)	対象	COE	内容	特徴
1	サイエンスイラストラーション サマースクールin Sendai 2010	2010年 8月	3日間	東北大学	20	大学生以上 一般 (日本人)	脳神経科学を社会へ還元する教育研究拠点/東北大学(H19 A01)	サイエンスの内容をイラストで表現(Photoshop使用) カナダと日本の講師の講義と実習が中心 宮城県知事公館で参加者が研究紹介	参加者のできればは極めて良好
2	KEIO-PEKING サマースクール2010	2010年 8月	5日間	慶應大学	6:北京学 部生+慶 大医学部 学生数名	学部生 大学院生	In vivoト代謝システム生物学拠点/慶應義塾大学(H19 A13)	教授陣との会談、 病院と研究設備の見学、 両大学教員6名の講演と意見交換	北京大学医学部は中国で最も優秀な医学部
3	第3回グローバルCOE サマースクールシンポジウム	2010年 8月	2日間	東北大学	10:海外 +国内参加者	学部生 大学院生 教員等	分子系高次構造化学国際教育研究拠点/東北大学(H19 B02)	東北大教授4名の基調講演、 海外の博士課程院生10人による最先端の研究発表、 東北大研究室見学	口頭発表とポスター発表から当日投票で優秀者を表彰
4	GCOE航空宇宙流体科学 サマースクール	2010年 8月	3日間	草津温泉 ホテル	29 (内国内参加者は28名)	大学院生 教員	流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点/東北大学(H20 H01)	日本人28名+留学生1名の発表が中心、 特別講義 JAXA、東大、名大、鳥取大の教員と大学院生の研究交流会	研究交流を目的とした研究発表会
5	2010 Advanced Summer School of Nuclear Engineering and Management with Social-Scientific Literacy	2010年 7-8月	9日間	ハワイ 東海大学	14	日本、米国、 英国等の学生	世界を先導する原子力教育研究センター/東京大学(H19 E02)	工学・社会学・国際関係論・社会心理学・歴史学・政治学等の社会リテラシーの講義 グループ討議	社会リテラシーを身につけることが狙い 学生以外に欧州アジアからも講師招待し総勢40名で実施
6	第3回放射能計測 国際サマースクール USB-UT Advanced Summer School	2010年 7月	5日間	UC Berkeley	51 (内国内参加者は11)	大学院生 若手研究者	世界を先導する原子力教育研究センター/東京大学(H19 E02)	米国4名・ドイツ4名・日本2名の講師による講義と実験 γ線の計測技術、特に半導体検出器等固体検出器がテーマ	日本からは11名の東大生が参加 3回目の実施
7	モンゴルフィールド サマースクール	2010年 7月	11日間	モンゴル	21 (日本、モン ゴル、中国、 ロシア、バン グラーデッシュ)	大学院生他	統合フィールド環境科学の教育研究拠点形成/北海道大学(H20 J01)	モンゴルで現在進行している生態系の劣化について、異なる研究分野の研究者による議論と意見交換 5つのグループに分かれてモンゴル各地でのフィールド実習とモデリング実習(7日間)	生態系劣化について理解・考察する機会を提供することが目的
8	北海道大学GCOE-INeT 国際サマースクール	2010年 6-7月	2週間	北海道大学	20 (10:北大 10:国際公募)	北海道大学 の特定分野 博士後期課程 大学院生 海外は公募	統合フィールド環境科学の教育研究拠点形成/北海道大学(H20 J01)	北海道のフィールド調査と分析、 シカ・バイオマス・川の水質調査等、 釧路湿原の変遷や人間活動による影響について講義と見学、 川底と海底の泥・生物採取と分析、 最終日はグループごとにプロポーザル発表と優秀グループの表彰	自らの目で生態系を体験し、森・里・海のエキスパートに学ぶこと、フィールド体験からプロポーザルまでのトータルスキルを身につけること、各国・多分野からの参加者との共同作業と労働で国際感覚を得ることが目的
9	東北大学ーリヨン サマースクール	2009年 9月	2週間	INSA-Lyon, France	40 (20:国内 20:フランス)	大学院博士 課程 前・後期学 生	材料インテグレーション国際教育研究拠点/東北大学(H19 B03) 流動ダイナミクス知の融合教育研究世界拠点/東北大学(H20H01)	フランスの文化・言語・教育・大学制度等についての講義、 専門分野での英語での研究発表と質疑応答、 国際共同施設CERN,WIPOの見学、 リヨンにおける日本企業の見学	フランスのEcole Centrale de Lyonと Institut National des Sciences Appliquees de Lyonと共催
10	第5回KAGI21 国際サマースクール	2009年 8-9月	2週間	京都大学、 琵琶湖畔 ホテル	29 (15:東南アジ ア8カ国 14:国内)	大学院生 ポスドク	極端気象と適応社会の生存科学 京都大学(H21 K05)	最初の1週間はホテルにて合宿、講義・実習・夜はポスター研究発表 次の1週間は、海外からの参加者が京都大学でインターンシップを体験	異分野の人のとの議論を通して科学者としてのコミュニケーション能力を培うことが目的
11	原子力発電国際 サマースクール	2009年7月	9日間	東海村	57	各国の優秀な若手と大学院生	世界を先導する原子力教育研究センター/東京大学(H19 E02)	22名の講師による講義	日本・米国・中国・韓国と毎年交代で開催
12	Waseda-SSSA-KIST Summer School 2008	2008年 9月	6日間	Volterra, Italy	65 (日本、韓国、 イタリア)	大学院生	グローバルホッパカデミア/早稲田大学(H20 H12)	日本・イタリヤ・韓国計20名の講演者による講義、 参加者によるポスター発表、 グループ討議	早稲田大学、イタリヤSchola Superiore Sant'Anna、韓国KISTを中心に開催 講演者と学生の計85名のうち54名が外国籍
13	地域統合サマースクール	2008年 7-8月	2週間	早稲田大学 上海財経大学 ソウル国立大学	28 (日本:8 韓国:10 中国:10)	大学院生 学部生数名 (早稲田・ソ ウル国立・北 京・上海財 経大学)	アジア地域統合のための世界的人材育成拠点/早稲田大学(H19 E11)	講義、 討議、 フィールドトリップ等 (すべて英語)	各国の政治経済の現状とアジア地域統合に関する各国の視点を理解し、学生間のネットワークを確立することが目的

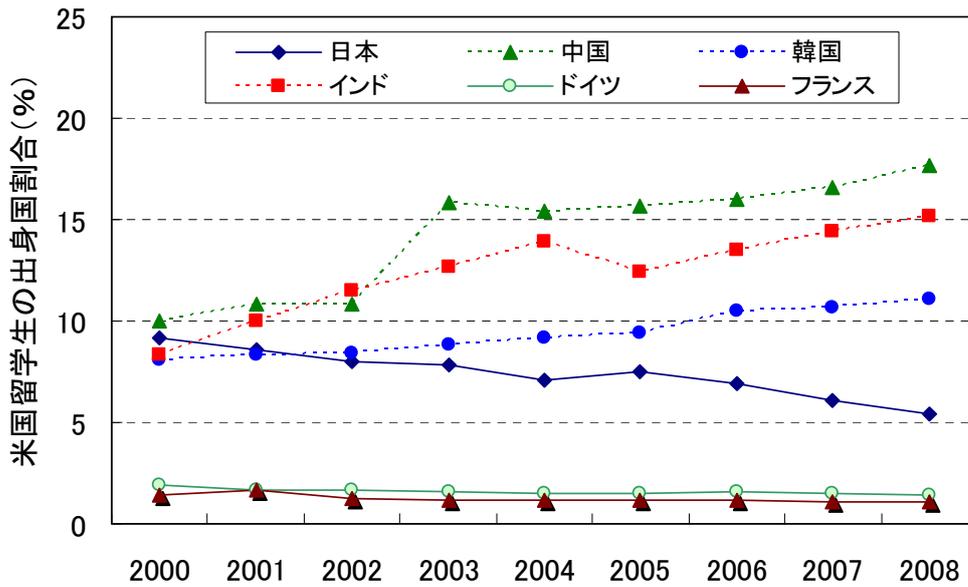


図 4 - 1 米国大学における留学生の国別推移 (参考文献[19])

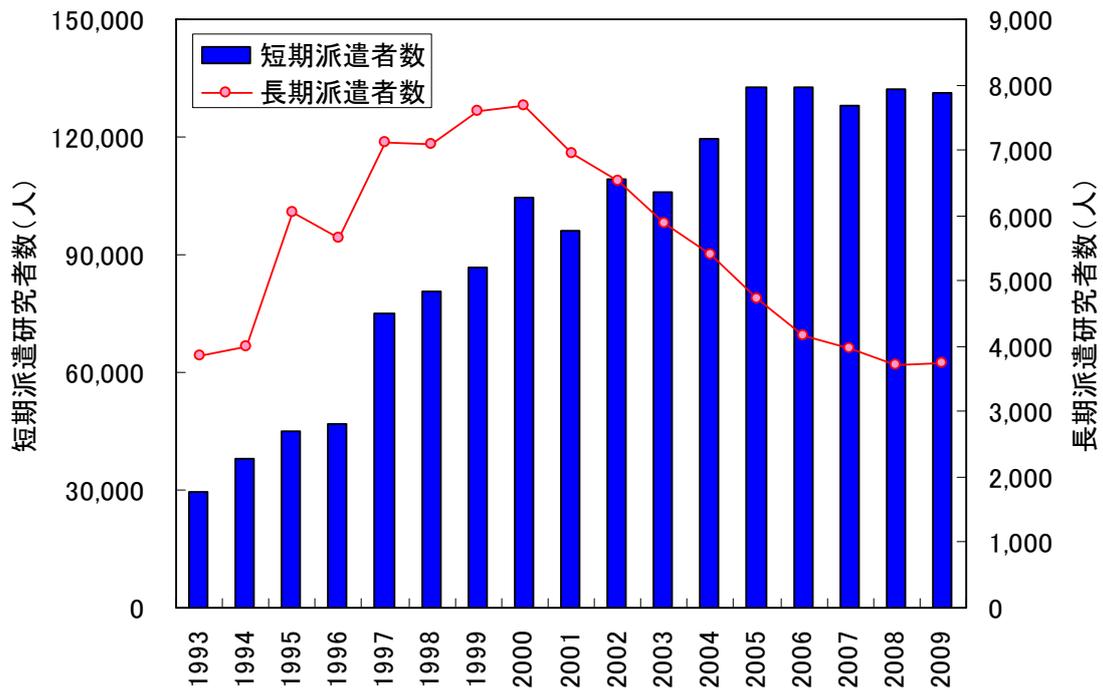


図 4 - 2 わが国の海外派遣研究者数推移