

原子力工学研究連絡委員会報告

**原子力開発利用に係わる
人材・学術基盤の充実について**

平成9年2月28日

日本学術会議

原子力工学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議原子力工学研究連絡委員会の審議結果を取りまとめ発表するものである。

委員長	住 田 健 二	(第5部会員、大阪大学名誉教授、原子力安全委員会委員)
幹 事	近 藤 駿 介	(東京大学大学院工学系研究科・工学部教授)
	宮 崎 慶 次	(大阪大学工学部教授)
委 員	阿 部 勝 憲	(東北大学工学部教授)
	金 川 昭	(名古屋大学名誉教授)
	斎 藤 伸 三	(日本原子力研究所理事・東海研究所長)
	関 本 博	(東京工業大学原子力研究所教授)
	西 原 英 晃	(京都大学原子炉実験所教授)
	原 沢 進	(立教大学原子力研究所長)
	平 川 直 弘	(東北大学工学部教授)
	堀 雅 夫	(動力炉・核燃料開発事業団プロジェクト参事)
	矢 川 元 基	(東京大学大学院工学系研究科・工学部教授)
前委員・協力者	平 岡 徹	(電力中央研究所理事・柏江研究所長代理)
協力者	出 澤 正 人	(東京電力株式会社・原子力研究所長)
	内 田 盛 也	(第5部長、帝人株式会社顧問)
	嶋 昭 紘	(東京大学理学部教授)
	柴 田 徳 思	(東京大学原子核研究所教授)
	関 口 忠	(第4部会員、東京大学名誉教授)
	伊 達 宗 行	(第4部長、大阪大学名誉教授、日本原子力研究所・先端基礎開発センター長)
	内 藤 奎 爾	(前第5部会員、名古屋大学名誉教授)
	成 田 正 邦	(北海道大学工学部教授)
	古 屋 広 高	(九州大学工学部教授)
	三 井 恒 夫	(第5部会員、東京電力株式会社最高顧問)

(敬称略)

原子力開発利用に係わる人材・学術基盤の充実について

要　旨

原子力工学研究連絡委員会は、第16期日本学術会議活動計画に則り、歴史的転換期に対応したわが国の原子力利用計画の基本方針を、既存の長期計画等には拘束されない自由な立場から、本分野の関連科学者・技術者が中心となって再検討した。もとより、作業にあたり周辺関係者には出来る限り討論への参加を求めて、外部からの批判を受ける努力を重ねてきたが、さらに広い立場からの批判・検討を求めるべく、委員会対外報告として取りまとめた。以下はその骨子である。

提言1 人類社会が安全な原子力エネルギー供給技術を利用できることは極めて有益であるから、わが国はいわゆる「原子力三原則」の基本方針を不斷に確認し、今後とも国民の理解を得るに足る安全の確保を維持しつつ、その合意の下に、原子力を人類社会が共有できる安全、安定、かつ環境負荷の少ないエネルギー供給技術として開発利用していくべきである。

提言2 わが国の原子力エネルギーに係わる研究開発活動においては、高レベル放射性廃棄物の処分技術の確立を目指すとともに、核燃料資源の利用率を飛躍的に高くできる高速増殖炉技術の研究開発を、引き続き重点的に、慎重にして周到な準備の下に推進すべきである。

提言3 国は、新しい知見・技術・着想の苗床たるべき大学及び公的研究機関等における原子力工学の基礎基盤研究環境を継続かつ積極的に整備・充実すべきである。また、これらの組織は、優れた研究が優れた研究者によって良き研究環境下で実施されるよう、これまで組織間の壁として存在した各種慣行を越えた、共同研究の推進、人事交流の一段の活発化を進め、情報ネットワークの整備・充実をはかるべきである。

提言4 これらの活動の長期推進のためには、必要な原子力分野での人材確保は必須のものであり、国はその核となる大学の原子力関係の教育・研究設備に対して更新や私大炉援助を含めたさらなる整備・充実をはかるべきである。また教師や高度技術者には大学・公的研究機関等のみならず、産業界も協力して、教育・訓練の機会を提供すべきで、一方では広く児童・生徒・社会人に原子力に係わる科学技術の基礎への客観性ある学習の機会が提供されるべきである。

提言5 わが国は各国の原子力開発利用の円滑な発展に寄与するべく、新技術への挑戦や安全確保に係わる共通の关心事を指摘し、意見やアイデアを交換し、解決のための国際共同活動を企画、推進すべきである。特にこれから原子力発電に乗り出すアジア諸国に対しては、人材養成と教育研究基盤の確立に協力すべきである。またその際には、幅広い生産技術や社会基盤を持つわが国の産業実体にもアクセスできる教育システムの導入が望まれる。

第1部 総論と提言

世界の原子力発電は石油危機後先進国を中心にその開発利用が急速に進み、現在は電力の17%を供給するまでに至っており、世界のエネルギー安定供給に大きく貢献している。冷戦終結に伴い、世界は政治面での協調と経済面での大競争の時代を迎えて、エネルギー供給部門においても多様化とグローバル化が進みつつある。最近になってアジア地域では著しい経済発展と、それに伴う石油輸入の増加により、原子力発電が急速に導入され、その規模が今後とも速い速度で増大していくと予想されているのも、こうしたことと無縁ではない。

わが国の原子力発電利用は、日本学術会議が1954年に行った「原子力に関する平和声明」決議をも踏まえて1955年に原子力基本法等が成立したことにより開始され、今日では原子力発電が電力の34%を供給するまでに至っている。さらに、商業用使用済み燃料再処理施設の建設が開始され、回収プルトニウム等を軽水炉燃料の一部として本格利用する段階に移行しようとしている。研究開発分野では、高レベル放射性廃棄物の処分技術の確立とリサイクルにより核燃料資源を高い利用率で利用できる高速増殖炉の実用化を主な重要課題として、活動が進められてきている。

しかしながら、近年に至り、国民の間に原子力に対する不安感が高いことや海外先進国の原子力利用推進に対する消極的姿勢に鑑み、この次段階への移行には慎重であるべきとの声や、高速増殖炉の研究開発についても、原型炉「もんじゅ」の二次系ナトリウム漏洩事故をも踏まえて、国としてこの開発をこれ以上推進すべきではないとの意見も出されている。

原子力工学研究連絡委員会は、第16期日本学術会議活動計画に則り、このような歴史的転換期に対応したわが国の原子力開発計画の基本方針の妥当性を再検討するとともに、これに係わる人材養成・学術活動を推進する上での重点課題を考察した。その結果、わが国は国際社会と協調しつつ引き続き原子力を人類社会の将来の主要エネルギー供給技術の一つとして成長させていくべきであり、このためには原子力分野における人材養成と基礎・基盤研究への力強い国支援が重要であるとの結論に至り、この観点から次の5つの提言をとりまとめた。次章以下は各論とその背景の説明である。なお、この検討に際して収集利用した資料を

整理したものを付属資料として添付する。

提言 1 人類社会が安全な原子力エネルギー供給技術を利用できることは極めて有益であるから、わが国はいわゆる「原子力三原則」の基本方針を不斷に確認し、今後とも国民の理解を得るに足る安全の確保を維持しつつ、その合意の下に、原子力を人類社会が共有できる安全、安定、かつ環境負荷の少ないエネルギー供給技術として開発利用していくべきである。

急速に人口を増大しつつある人類が等しく豊かな生活を持続的に営むことのできる社会を実現するためには、利用しやすい化石燃料資源が地球上に偏在してかつ可採年数が短いこと、及びアジア地域を中心にその使用量が増大することに伴う地球環境問題の深刻化が予想される現実を踏まえ、人類社会はエネルギーの効率的利用を促進するとともに、巨大な供給力を潜在し環境影響の観点から優れた特性を有する原子力によるエネルギー供給割合を増加させることが望ましい。このことに鑑み、既に高度の原子力発電技術を確立しているわが国は、その脆弱なエネルギー資源供給構造を踏まえて、地球環境問題の解決やエネルギー安定供給を目指す観点から、進んで安全な原子力エネルギー供給技術の開発利用を推進し、諸国民とこれがもたらす恵沢を共有することを目指すべきである。

そこで国は、原子力基本法にあるいわゆる「原子力三原則」の基本方針、即ち、その活動を平和の目的に限り、安全の確保を旨として民主的な運営の下に自主的に行い、その成果を公開して進んで国際協力に資するとの方針を確認しつつ、今後とも国民の理解を得て、原子力を人類社会が共有できる安全かつ安定なエネルギー供給技術として開発利用していくべきである。このためには、多額の国家的資金を効率的に生かすためにも、産・官・学の有機的な連携が不可欠である。

提言 2 わが国の原子力エネルギーに係わる研究開発活動においては、高レベル放射性廃棄物の処分技術の確立を目指すとともに、核燃料資源の利用率を飛躍的に高くできる高速増殖炉技術の研究開発を、引き続き重点的に、慎重にして周到な準備の下に推進すべきである。

わが国の原子力発電は、軽水炉でウラン燃料を利用する段階から、再処理で回収したプルトニウムならびに、回収ウランを軽水炉でリサイクル利用する段階に移行しようとしている。当面の課題は、この技術体系の実用化を確実なものとするとともに、高レベル放射性物廃棄物の処分技術とその実施体制を確立することである。その安全性の検討には多くの学問分野が関係しており、関係学協会が協力して安全な処分の可能性について専門的見解を明らかにして、討論に参加することが要請される。また、研究開発面では、人類が長く利用可能な原子力技術体系として、核燃料資源の利用効率が高く廃棄物発生量が少ないエネルギー技術の実用化を目指すべきであり、この目標を達成できる高速増殖炉とその燃料サイクル技術については、引き続き革新的アイデアも柔軟にとり入れつつ研究開発を推進すべきである。

この高速炉技術開発に関連して、原型炉「もんじゅ」の二次系ナトリウム漏洩事故は多くの貴重な教訓を示した。なかでも、周辺技術を含めた安全性をより厳しく追求したシステムの必要性や、地域社会と国際社会の理解のもとに開発を進めるための情報公開及びオープンな学術討論の重要性が、長期的に重要な原子力研究開発を進める上での前提条件になると考えられる。その場合には、これまで以上に大学及び公的研究機関の広くかつ本質的な参加が期待される。

提言3 国は、新しい知見・技術・着想の苗床たるべき大学及び公的研究機関等における原子力工学の基礎基盤研究環境を継続かつ積極的に整備・充実すべきである。また、これらの組織は、優れた研究が優れた研究者によって良き研究環境下で実施されるよう、これまで組織間の壁として存在した各種慣行を越えた、共同研究の推進、人事交流の一段の活発化を進め、情報ネットワークの整備・充実をはかるべきである。

原子力エネルギーが長期にわたる開発利用を通じて上述の役割を達成していくためには、既存技術の性能向上を常に注意深く追求するとともに、その高度技術・技能の次世代への伝承をはかり、さらに既存技術の限界や課題にブレークスルーをもたらす可能性のある新しい技術開発課題群にリスクを賭して挑戦していく世界水準の研究開発活動が長期的観点から並行して行われる必要がある。したが

って国の最も重要な役割は、多面的な評価に基づき長期的観点から最も重要かつ有望な課題群を選択して重点的に研究開発活動を行うとともに、新たな飛躍の原動力となる可能性が高い知見・技術・着想が継続的に産出される環境を整備し、維持していくことである。

このような知見・技術・着想は高い水準の基礎科学・基盤技術の研究者と技術開発上の強いブレークスルー・ニーズの出会うところで芽生えることが多いので、国はこの苗床の役割を担う大学や国立研究機関等において、原子力工学の基礎・基盤研究が高い水準で実施されるよう、アクチニド元素を含む高放射能物質を取り扱える研究環境、原子炉などの強力中性子源を含む放射線源を備えた種々の粒子（量子）ビームと物質の相互作用の研究環境、高出力密度伝熱流動研究環境、ミクロ原理に基づきマクロ現象を予測する大規模なシミュレーションのための超並列計算環境など原子力工学基礎・基盤研究環境を、研究者密度や地域のバランスにも留意しながら重点的に整備する必要がある。

こうして整備された研究環境は、研究者（群）の創意工夫に基づき提案された優れた研究課題に提供されるべきであり、さらに、この観点から大学等と研究機関等は協力してその有する大型研究施設をユーザーズファシリティとして意欲ある研究者の利用に供するようすべきであり、かつそれが首都圏近傍にのみ集中する事のないような配慮が必要である。これらの研究機関等は優れた研究者を育てつつ、不斷に先端・先導的な研究を行うとともに、大型研究開発に係わるブレークスルー・ニーズを基礎・基盤研究者に研究課題として積極的に提示して新しい着想でこれらの解決に挑戦が行われる機会を格段に増大させ、優れた提案についてはその実施を支援すべきである。これらの組織は、優れた研究者によってできるだけよい研究環境で実施されるよう、各種慣行を越えて共同研究や人事交流のための諸制度や、情報ネットワークの整備・充実、共同研究の推進、人事交流の一段の活発化を進めることが重要である。

提言 4 これらの活動の長期推進のためには、必要な原子力分野での人材確保は必須のものであり、国はその核となる大学の原子力関係の教育・研究設備に対して更新や私大炉援助を含めたさらなる整備・充実をはかるべきである。また教師や高度技術者には大学・公的研究機関等のみならず、産業界も協力して、教育

- ・訓練の機会を提供すべきで、一方では広く児童・生徒・社会人に原子力に係わる科学技術の基礎への客觀性ある学習の機会が提供されるべきである。

原子力の開発利用を円滑に進めるためには、教育、研究開発、原子力産業の各方面で活躍する多様な人材が必要であるが、そのうちある割合は原子力関係基礎学術を身につけた人材である必要がある。大学（私立大学を含む）における原子力関係教育組織は、学士600名、修士300名、博士130名の規模となっているが、近年、いずれも優秀な学生の確保とその前提となる魅力ある教育環境の維持・充実に困難を来している。この困難を開拓するためには、関係者が人材養成もまた競争環境に置かれていることを強く認識して、魅力ある教育を目指して改革を進めることが重要である。

すなわち原子力システムの安全性や高度利用を、格段に進める研究分野と並んで、放射線の利用分野である粒子（量子）ビームによる新物質・新素材の創成、超高感度分析による環境診断・制御、および脳や生命現象の機能解明への応用など、21世紀の課題へ積極的に挑戦する分野の教育を充実させるとともに、その研究環境を整備させる必要がある。その際、国は大学の教育研究用原子炉、加速器型放射線源、ホット・ラボなど非密封放射性物質取り扱い施設等の原子力関連実験教育設備の更新・充実に適切な予算措置を講じ、適切な規模の原子力関係学部・大学院教育が原子炉・加速器・あるいは核燃料物質や放射性同位元素を用いた実習・実験を含む充実したカリキュラムで実施できるようにすべきである。さらに、その困難の原因の一つに原子力関係設備は放射線遮蔽や空調、廃棄物管理などの放射性物質閉じ込めを含む安全確保のための付帯設備が、一般設備のそれに比較して重装備であること、厳しい法的規制の故に設備の維持管理に多大の労務や費用がかかる現実があることに十分な配慮が望まれる。

また、私立大学が設置している小型研究用原子炉は、これまで国立大学設置の原子炉とともに、国立大学学部学生・大学院生の原子力工学の教育・訓練・研究にも利用されて来ているが安全規制の強化に加えて高経年化しつつあることから、今後の運転継続に困難が表明されているところもある。そこで、これらを国の原子力関係科学技術の活動遂行のための設備の一つとして位置づけることも含めて、各界の協力を得て維持していくことを実現すべきである。

さらに、国民の合意を得つつ原子力開発利用を進めていくためには、児童・生徒を含む社会の各層に原子力に関する学習機会を提供していくことが必要であり、大学・公的研究機関、産業界の原子力施設等は教師や高度技術者に教育・訓練の機会を提供するのみならず、最新の情報技術も利用して児童・生徒、社会人に原子力に係わる科学技術の客観性のある学習機会を提供していくべきであり、国はこうした活動を支援するべきである。最近日本原子力学会等によって実施された初等・中等教育の教科書や指導要領の調査によって、わが国の学校教育においては生徒たちに放射線や原子力エネルギーに関する基礎知識はほとんど与えられていないことが確認されている。これは原子力利用の賛否以前の日常生活に係わる基本的な科学教育のあり方の観点から検討されるべき課題であるが、関係者は事態の速やかな改善に向けて自らも進んで努力を行うべきである。

提言5 わが国は各国の原子力開発利用の円滑な発展に寄与するべく、新技術への挑戦や安全確保に係わる共通の関心事を指摘し、意見やアイデアを交換し、解決のための国際共同活動を企画、推進すべきである。特にこれから原子力発電に乗り出すアジア諸国に対しては、人材養成と教育研究基盤の確立に協力すべきである。またその際には、幅広い生産技術や社会基盤を持つわが国の産業実体にもアクセスできる教育システムの導入が望まれる。

科学技術活動は元来世界的拡がりを有するものであり、わが国は、わが国自体の利益のみならず、人類社会の一員としてその発展に貢献すべきである。人類社会の現在から将来に対する原子力開発利用の意義・役割に鑑みればわが国はこの分野における新技術への挑戦や安全確保に関して、重要課題を指摘し、意見やアイデアを交換し、国際共同活動を企画し、これに参加して、各国の原子力発電利用の円滑な発展に寄与すべきである。

特に、アジア地域においては当面は医療や基礎科学技術分野における放射線及び放射能利用に留まっている国も少なくないが、近年急速に原子力発電に対する関心が高まって、一部の国では既に大規模な導入も進められている。これらの国との協力は、関連する国内各機関の個々の目的意識によって主として人材養成の面でなされてきているが、今後はこれらの機関が協力して、各国のニーズを汲み

取り、この地域と共に課題、及び協力課題を探るべきである。二国間（特に今後原子力発電を推進する主要地域とわが国の共通課題は安全確保と放射性廃棄物の安全な管理であると予想される）あるいは多国間共同作業としての基礎・基盤研究や研究開発活動や、各国の安全体制の確立への協力を含め企画・実施していくべきであり、その一段階としてこうした活動を推進する国内体制を整備充実しアジアにおける原子力センター的役割を期すべきである。

第2部 背景と各論

1. 世界のエネルギー情勢と原子力の役割

核分裂を利用した原子力発電は、1960年代後半から70年代にかけて世界各地で建設が進められ、1995年末現在31ヶ国で432基の設備が稼働中で、世界の全電力量の17%を供給している。わが国においては50基の設備が稼働していて、全電力量の30%強を供給している。しかしながら近年に至り、先進国では旧ソ連で発生したチェルノブイル原子力発電所事故により原子力施設の安全性に対する公衆の不安感が強まったことやエネルギー需要が安定化傾向にあること、大きな原子力発電計画を有していたソ連が崩壊したことなどから、世界の原子力発電所の新規着工率は著しく低下し、現在のところ新規計画は極めて限られたものとなっている。

しかしながら、人口が大きく経済成長率が高いアジア地域ではエネルギー需要の絶対値も伸び率も大きく、発電設備の建設も盛んである。その多くは建設の容易な化石燃料発電所であるが、人口あたりの化石燃料資源量が他の地域に比べて小さいことや環境問題が深刻化しつつあることから、この地域の将来にとって原子力は重要なエネルギー源とされており、既に韓国、中国、台湾などで原子力発電所の建設・利用が進められている。そして、多くの予測は今後世界で建設される原子力発電所の多くがこの地域に立地されるであろうとしている。

世界の人口はアジア・アフリカを中心に年々増加している。人々が豊かになるにつれその増加率が鈍化する傾向があるから、経済の成長に伴いこれがいつか安定するにしても、それには今後数十年を要し、世界保健機構（WHO）は、その安定化水準を現在の2倍程度と推定している。このため世界経済もまた、人々の豊かさへの願望を満たすために、少なくともこの数十年間は人口増加率に見合った成長を続けることが必要である。

人々の生活にはエネルギーが必要である。経済の質の変化に伴い単位の経済活動に要するエネルギー（原単位）は世界的にみて年々減少する傾向にあるが、現在、地球上では20億人以上の人々が生活に必要な薪に不足しているという現実を踏まえれば、貧困を解消し、今後新たに生まれてくる人々が等しく尊厳をもって生存できる環境を整備するには、上に期待される経済成長率を上回る原単位の減少率を実現することは困難で、引き続きエネルギー供給の拡大をはからなければならることは明かである。したがって、我々は、この原単位の向上を目指してエネルギー利用効率の向上と経済の質の変化を加速する努力を続けるとともに、世界のエネルギー需要が今後数十年間にわたり増大し続けると予想し、供給確保の方策を検討・準備するべきである。

ところで、現在エネルギー供給の主力を担い、発電においてもその多くを担っている化石燃料については、その燃焼に伴い発生する炭酸ガスなどの温室効果ガスの放出を地球環境保護の観点から抑制すべきとする国際共同意志が成立しつつあるから、その燃焼利用の拡大は控えるべきである。さらにその資源の有限性を念頭におけば、発電以外の用途に対する貴重な資源として丁寧に利用することを考えるべきである。そこで当面の必然としての人口増を前提に、適切な水準の経済成長を実現しつつ、その結果として生じる環境汚染の進行を防止するために化石燃料の使用を抑制するとすれば、人類はこれに代わる供給手段である非化石エネルギーの供給増大をはからねばならない。

非化石エネルギー源で現在主に利用されているのは、原子力、水力、バイオマス、地熱、太陽熱・光であり、特に原子力は現在既に世界のエネルギー供給力の一翼を担っており、その潜在する大きな供給力から持続的に発展する社会を支えるエネルギー技術として長く利用されることが期待されている。たとえ、一部の論者が指摘するように人類社会が超長期的には太陽エネルギーを中心とするエネ

ルギー供給のもとで持続的に発展する社会に至りつくとしても、このエネルギー源が有する断続的供給という欠点を克服してこれに依存できる社会に安定的に遷移するには長い年月を要し、この間のエネルギー供給を行いうる技術として原子力が必要である。

近年、世界各国のエネルギー供給部門においては、技術進歩と規制緩和に基づく供給ネットワークのグローバル化により、天然ガスなど化石燃料が著しく競争力をつけてきている。この結果、原子力発電は、現在世界の電力供給の17%を担っているものの、北米や欧洲大陸においては、今後の供給力拡大を検討する際に、特に天然ガス火力よりは劣位に置かれる状況も少なからず存在するとされている。しかしながら、化石燃料資源の賦存状況及びその使用量増大に伴う地球環境問題の顕在化が懸念されている現実や、特にアジア太平洋地域において急速な経済成長によりエネルギー・環境問題が深刻化しつつある事実を踏まえれば、人類にとって、巨大な供給力を潜在するとともに環境影響の観点から優れた特性を有する原子力エネルギーが利用可能であることの利益は大きい。

以上のことから、既に高度な原子力発電技術を確立しているわが国は、脆弱な資源・エネルギー供給構造をも踏まえて、人類社会の安定的発展に貢献する観点から原子力を安定かつ安全なエネルギー技術として成熟させ、これを人類の共有財産としていくことに力を致すべきである。今後とも、原子力基本法にあるいわゆる「原子力3原則」の基本方針、即ち、その活動を平和の目的に限り、民主的な運営を自主的に行い、その成果を公開して進んで国際協力に資するとの方針を不斷に確認し、国民の合意を得るに足る安全の確保を維持しつつ、原子力の開発利用活動を進めるべきである。

2. 原子力開発利用の課題

ところで、原子力が持続可能なエネルギー社会の実現に貢献できるようになるためには、大別して2つの課題がある。その第1はいうまでもなく施設の建設・運転が公衆ならびに従業員災害の防止の観点から適切になされ、核物質の管理が核不拡散の観点から適切になされるとともに、放射性廃棄物が適切に管理されるなど、この技術体系を維持するに必要な支持背景が地球規模で整備されることで

ある。第2は、21世紀社会における人類の行動原理である「資源の効率的利用」、「廃棄物の発生量最少化」という原理に適合する原子力エネルギー技術体系の確立である。

2. 1 原子力発電の安全確保と廃棄物管理

原子力施設は、多重防護 (defense-in-depth) の考え方に基づき発生確率は低いが結果が大きくなる可能性のある事象も考慮して安全設備を設置しており、その安全設備の健全性を常に確認しつつ運転されている。この限りにおいて、従業員ならびに公衆に災害をもたらす可能性が十分小さく抑制されることは、過去における世界の軽水炉の総計約5600炉年の運転経験において有意な公衆災害が発生していない事実に明らかである。

しかしながら、それにも拘わらず公衆が原子力施設を安心できる存在と認識していないことや高レベル放射性廃棄物処分システムの未確立に不安を抱いていることが各種世論調査に明らかであることから、この不安に応えるべき災害防止対策の透明性や情報公開努力の不足を問う意見もある。関係者は公衆の理解と支持を得ることが新技術の開発利用を進める前提であることに思いを致して、安全に係わる意志決定過程を透明にするべく努力することが重要である。

なお、人類の生存が技術に依存する度合いが増している今日、技術安全の問題は原子力だけの問題ではない。こうした先駆的な経験を踏まえて、科学技術一般について実用化にあたっての安全性の事前評価と受け入れ規範のあり方を考究する学問や、技術をめぐる社会的意思決定のあり方に関する学問の進展が期待される。また、原子力施設の安全対策の設計においては、人間と機械の望ましい関係が議論されているが、これも現代社会に共通の重要な課題であり、これを契機にこの分野の研究の一層の発展が期待される。

廃棄物管理の問題は、資源の利用と深く関係していて、いまや産業社会全体の中心課題の一つである。原子力利用に係わる放射性廃棄物の管理に関しては、低レベル放射性廃棄物については埋設処分が実施されており、高レベル放射性廃棄物はガラス固化後地層処分する方向で技術開発と実施体制の整備が進められている。後者については、適切なサイトを選定して確実な技術に基づき処分を行えば、

長期にわたって環境放射線レベルに有意な変化を生じる恐れはないとされ、各国でこのことを実証するために原位置試験が行われている状況にあるが、これを実施するサイトの選定作業においては処分の安全性をめぐる議論が政治化しがちである。そこで、この処分行為は様々の学問に係わる側面を有することを踏まえて、関係学会が連合してこれを共同課題として検討を深め、安全確保可能性について専門的見解を明らかにすることが期待される。

なお、これまで多くの国々で原子力施設の安全確保に関して規格・基準を整備する際には、米国機械学会（A S M E）、米国規格協会（A N S I）などの規格・基準を参考にしてきており、わが国も例外ではない。しかしながら、近年米国では新規建設プラントが無く、研究規模が縮小しつつあるのに対して、我が国はなお毎年着実にその建設を続けてきており、そうしたプラントには新技術を継続的に採用してきているので、こうした技術の受入基準を自ら整備する必要が生じてきている。また、近年原子力発電計画が進んでいるアジア各国とも原子力発電の安全確保を最重要課題としており、わが国にはプラントの安全確保に必要な安全設計思想や運転経験の伝承を含む技術協力が期待されている。この期待に応えるには、これらの国々と共同して共通の技術基準、規格を開発していくのが効果的であるから、わが国原子力関係者は、内外の関連する学協会等が共同作業により新技術についての規格・基準を整備するのに必要な研究を実施し、その成果を踏まえて国際基準を整備する努力をリードすべきである。

2. 2 資源の利用率を格段に向上する技術

現在の原子力発電は天然ウラン中のウラン-235の濃度を数%程度に高めた低濃縮ウランを燃料とする軽水炉によっているが、大部分の国ではその使用済み燃料を廃棄物として処分するか、当面は将来の資源として一時貯蔵するとしている。現在知られている資源の賦存量と原子力発電計画からすれば、この方式によっても今後数十年にわたって電力供給が可能であるが、この方式では天然ウランに潜在するエネルギーのごく一部を利用しているに過ぎず、この使用済み燃料を処分してしまうことは、「資源の効率的利用」、「廃棄物の発生量最少化」という21世紀の地球社会の行動原理に反するといえよう。

先に述べたように原子力の貢献が期待される使命時間はこの程度の時間に限定されるものではないことを踏まえれば、核燃料資源に潜在するエネルギー供給能力を十分に引き出すことが追求されるべきである。この技術としては、増殖炉若しくは加速器による核変換技術が考えられているが、これらの技術によれば、資源利用率は軽水炉の数十倍となり利用可能な資源量は100倍以上になる結果、エネルギー供給力は4桁以上大きくなつて、原子力は既に述べた役割を十分に果たし得ることになる。現在のところ、後者の核転換技術は基礎研究の段階にあるのに対して、前者の高速増殖炉については既に実規模のナトリウム冷却高速増殖炉が運転されており、安全性を含む技術の一段の成熟化と経済性向上が今後の課題に残されている段階にあり、その差は極めて大きい。

わが国は、原子力開発利用の推進に際して、先進各国に遅れつつも資源の効率的利用を実現しうる技術体系の確立を目標に掲げてこの炉型の開発に着手し、現在、実験炉を経て原型炉「もんじゅ」の建設を完了し、その運転経験を蓄積して、実用化を念頭においていた実証炉の建設に備えようとしている段階にある。また、この技術に必要なプルトニウム利用技術に関しては、既に約20年間にわたって東海再処理工場にて軽水炉使用済み燃料を再処理して回収したプルトニウムを新型転換炉「ふげん」や高速実験炉「常陽」の燃料として使って來た実績を有しており、現在は、軽水炉燃料の再処理を行う実用規模の施設を建設中で、この施設により回収されたプルトニウムを軽水炉で再利用する、いわゆるプル・サーマル利用技術の実用化準備を進めている段階にある。

しかしながら、先進国における高速増殖炉開発は、原型炉段階を終えて国が研究開発をリードする段階から民間が実証炉を建設しこれを国が研究開発面で支援する段階に至っているところ、エネルギー需要の伸びの予想が下方修正される一方、電力を含むエネルギー産業の規制が緩和され、市場や供給システムが国境を超えて拡大し、エネルギー種間競争が激化したことから、民間における発電部門の計画期間は短くなり、長期的課題への投資意欲が鈍化してきており、これまでに提案された実証炉建設設計画が、それ自体がなお経済的に競合可能性を有しないこともあるって先送りにされ、対応して国としてもこの分野にこれ以上研究開発投資を行わないとする国が増えて來ている。わが国としては、高速炉が核燃料資源を高い利用率で利用できるばかりでなく、核燃料サイクルを資源状況に応じて柔

軟に構成できる特徴を有することや、わが国におけるエネルギー資源の賦存状況、この研究開発の現状を踏まえれば、ここで方針を転換するべきではない。こうした各国の状況をも十分に検討しつつ、長期的観点に立ってこの技術の研究開発に引き続き注力していくべきである。

この選択に慎重であるべしとする立場からの意見としては、わが国がこの状況でこの技術の開発にこだわることは、これが国際原子力機関（IAEA）の保障措置下の活動として行われるとしても、わが国が核兵器開発の意図を潜在しているとの疑念を招くとする意見、そもそもこの技術が実用化して原子力発電所がプルトニウム燃料を使用する場合、核物質防護の観点からの情報開示制限が過剰な社会規制をもたらす恐れがあるとの意見、さらには、この技術が世界各国で利用される場合、現行の国際規制システムの下では、国あるいは悪意をもったグループによりこの物質が転用されて核兵器が製造される可能性を十分に排除できないので、これが真に必要であるとは言えない今日においてはこれの実用化を急ぐべきでないとする意見、などがある。本委員会としては、これらはその可能性を排除すべくこの原子炉の立地や今後の研究開発に際して十分考慮されるべき課題を指摘しているものではあるが、わが国がここでこの開発を取りやめるべき理由にはならないと判断する。

なお、加速器による核変換など増殖炉によらない核燃料資源の効率的利用技術の開発については、原子炉や燃料サイクルなど多くの面で共通する技術も多いが、大電流加速器など新しい技術開発課題も少なくない。そこで、こうした技術が長期的には主役を担う可能性もあることを認識しつつ、着実に研究を進めることが重要である。

3. 原子力工学の基礎・基盤研究の推進と人材確保

3. 1 大学等における基礎・基盤研究の推進

原子力エネルギーが長期にわたる開発利用を通じて上述の役割を達成していくためには、既存技術の性能向上を常に注意深く追求するとともに、既存技術の限界や課題に革新をもたらす可能性のある新しい技術開発課題群にリスクを賭して

挑戦していく世界水準の研究開発活動が、長期的観点から並行して行われている必要がある。したがって国の最も重要な役割は、多面的な評価に基づき長期的観点から最も重要かつ有望な課題群を選択して重点的に研究開発活動を行うとともに、新たな飛躍の原動力となる可能性が高い新しい知見・技術・着想が継続的に産出される環境を整備し、維持していくことである。

このような新しい知見・技術・着想は高い水準の基礎科学・基盤技術の研究者と技術開発上の大規模な飛躍・革新ニーズの出会うところで懷妊され孵化することが多いので、国は新しい知見・技術・着想を産み出す役割を担うべき大学等や国立研究機関等で、原子力工学の基礎・基盤研究が高い水準で実施されるよう配慮すべきである。

近年、基礎研究機関としての大学等においても、分野の重要性に配慮しつつも独創的な研究成果の出る見込みのあるところに研究資源を集中することが原則になりつつある。したがって現在の原子力工学研究組織は、独創的な研究課題への挑戦がたゆみなく行われる特性を内在させ、資源配分が重点的になされるべき研究グループであることを明確ならしめるべく、自己点検や研究成果の評価システムを充実させていくことが重要である。

同時に、国は、原子力関係の基礎・基盤研究の重要性と原子力関係教育研究設備は遮蔽、空調、廃棄物管理などの付帯設備が一般設備のそれに比較して重装備であり、国の厳しい規制の故に設備の維持管理に多大の費用がかかる現実を踏まえて、特にそうした制約が厳しいアクチニド元素を含む高放射能物質を取り扱える研究環境、原子炉などの強力中性子源を含む放射線源を備えた種々の粒子（量子）ビームと物質の相互作用の研究環境、高出力密度伝熱流動研究環境、ミクロ原理に基づきマクロ現象を予測する大規模な数値シミュレーションのための超並列計算環境など原子力工学基礎・基盤研究環境を、研究者密度や地域のバランスにも留意しながら重点的に整備して、この分野で独創的な仕事をする者に対して、その重要性を認識している旨のメッセージを発すべきである。

こうして整備された研究環境は、研究者（群）の創意工夫に基づき提案された優れた研究課題に提供されるべきであり、さらに、この観点から大学等と研究機関等は協力してその有する大型研究施設をユーザーズファシリティとして意欲ある研究者の利用に開放すべきである。また、研究機関等は大型研究開発に係わる

飛躍・革新ニーズを基礎・基盤研究者に積極的に提示して、新しい着想でこれの解決に挑戦が行われる機会を格段に増大させ、優れた提案についてはその実施を支援するべきである。また、これらの組織は、優れた研究が優れた研究者によってできるだけよい研究環境で実施されるよう、相互交流のための情報ネットワークの整備・充実、共同研究の推進、人事交流の一段の活発化を進めることが重要である。その障壁となってきたいわゆる「矢内原メモ」に起因するとされてきた省庁や諸機関の交流を阻む諸慣習を見直すべきである。

なお、原子力基盤科学確立の観点、革新的技術探索の観点、原子力安全科学の確立の観点から今後大学において重点的に実施されるべき研究課題を列挙すれば次の通りである。

(1) 核燃料サイクル技術の高度化

- ・新しい再処理技術、たとえば金属燃料の一体型燃料サイクル技術
- ・アクチナイド元素の分離と転換技術
- ・加速器による核変換、エネルギー発生に基づく核燃料リサイクル利用技術
- ・放射性廃棄物からの有用同位体の分離・

(2) 原子炉材料の開発と評価

- ・新材料の開発
- ・限界設計、寿命評価の技術の確立
- ・材料データベースの整備

(3) 放射線・量子ビーム応用

- ・各種放射線応用技術の高度化
- ・放射性同位元素の工業・医療利用

(4) 原子力エネルギー利用技術の革新技術

- ・高温ガスの利用技術
- ・液体金属利用技術
- ・軽水炉技術の高度化
- ・低温熱利用技術

(5) 安全性に関する科学と技術

- ・立地柔軟性の高い原子炉
- ・過酷事故に関する知見の充実と対策の合理化
- ・マンマシンインターフェイス技術
- ・リスク評価と社会に関する科学

3. 2 大学等における人材養成と原子力教育

原子力がこれまで本文に述べてきた使命を達成できるためには、柔軟な研究開発の推進とともに教育、研究開発、原子力産業の各方面で活躍する意欲溢れる多様な人材が継続的に産出される必要がある。そして、そのうちある割合は原子力関係基礎学術と技術を身につけた人材である必要がある。

この原子力関係基礎学術・技術を身につけた人材の養成の責を担うのは、国立7大学に設置された学科と大学院専攻、私立2大学に設置された学科、国立私立各1大学に設置された大学院専攻である。いくつかの大学に設けられている付置研究所、研究施設、講座等もこれの担い手と考えて良い。これらの学科・専攻は毎年約600名の学士、300名の修士、130名の博士課程入学者を送り出している。また最近では海外からの留学生数も増加の傾向がある。

しかしながら、近年、いずれの大学でも優秀な学生の確保その前提となる魅力ある教育環境の維持・充実に困難を来たしている。その原因の第一は、社会全体として理科離れが云われていることにチェルノブイル事故などに起因する原子力への不安が相乗していることであろう。第二の原因是、大学等の教育研究環境が、特に設備面で劣悪化の一途をたどってきている上に、これらに対して大型施設と同一の規制が画一的に課せられる結果、規制要求に応じるために必要な財政的負担が増大して大学の負担限界を越え、こうした設備を前提とした原子力関連学生実験が急速に減少せざるを得ない傾向が強くなっている。こうした原子力設備特有の管理負荷が付加されることに伴う教育・研究の相対的効率の悪さから、原子力固有の設備を用いた研究や教育機会が限定され、大学が特徴のある教育主体としての地位を失い始めていることに問題がある。

第14期の本研究連絡委員会報告書には「研究教育施設に関する劣悪な状況が、優秀な人材を社会に送り出すのと並行して先駆的研究を推進するという大学の使

命を遂行する上で重大な障害となっている」ことに対する憂慮と改善への強い要望が示されており、第15期の報告書にもこのことが再び強調されている。

わが国の技術社会が技術導入型産業から創造型産業の時代へ変化していくときにあって、大学教育の使命も個別分野の専門知識教育からモデル化能力、体系的思考能力、実験能力等の涵養へと変化しつつある。原子力工学は目的指向の学問として本質的に多くの理工学分野を内包するから、自己完結的ではあり得ず、常に各理工学分野との相互作用の上に新しい使命を見出して発展していくべき性格を有する。そこで、上に述べた困難に対する第一の対策は、原子力工学教育に携わる我々が、つねに養成すべき人材像や教育組織の構成原理を見直し、大学組織の中でいかなる相互作用を追求して行くべきかについて真剣に考察し、魅力ある教育を目指して改革を進めることであろう。

第二に、原子力関係設備は遮蔽、空調、廃棄物管理などの付帯設備が一般設備のそれに比較して重装備であること、国の厳しい規制の故に設備の維持管理に多大の費用がかかる現実を踏まえて、国は、人材養成機能の健全性を確保する観点から、この分野の人材養成活動が縮小しないように、大学におけるこの分野の競争条件を整備するべく、教育研究用原子炉、加速器型放射線源、ホット・ラボなど非密封放射性物質取り扱い施設等の原子力関連実験教育設備の更新・充実に対して適切な予算措置を講じ、適切な規模の原子力関係学部・大学院教育が原子炉・加速器、あるいは核燃料物質や放射性同位元素を用いた実習・実験を含む充実したカリキュラムで実施されるようにするべきである。

また、各大学におかれるべき原子力工学教育に欠くべからざる実験教育設備については、これを定期的に整備する制度を確立するなど、その維持・充実のあり方を早急に検討するべきである。

さらに私立大学が設置している武藏大炉、立大炉、近大炉という小型研究用原子炉はこれまで、国立大学が設置する京大炉、東大炉以外に、文部省予算で大学共同利用施設としても使用され、医療応用等社会的サービスに積極的に活用されてきた他、国立大学設置の原子炉とともに、国立大学学部学生・大学院学生の原子力工学の教育・訓練・研究にも利用されて来ている。しかし、これらの原子炉の管理者は安全規制の強化に加えて炉が高経年化しつつあることから、その維持に係わる経済負担と社会的責任の増大に困惑しており、現状のままでは原子炉の

維持が困難となり、早晚施設の閉鎖という事態に立ち至る恐れもある。そこで、こうした原子炉の使命について国家的視点に立って早急に検討し、その結果に基づいて適切な措置を講じることが必要である。そして、これらを国の原子力関係科学技術活動遂行のための設備の一つとして位置づけることも含めて、各界の協力を得て維持していくことを検討すべきである。

3. 3 公教育における原子力の位置づけ

原子力はその性格上、国民の理解の上にたってその開発利用が進められる必要があるが、このためには、初等・中等教育並びに継続教育において原子力に関する国民の常識が培われる機会が提供される必要がある。わが国においては、全国に約5000基のRI若しくは放射線発生装置の使用事業所が存在する。原子力を標榜する産業に限ってみればその生産が国民総生産に占める割合は1%程度であるが、放射線・放射能が重要な役割を果たしている分野に注目すれば、発電、医療、その他を挙げるだけでもこれに数倍するものになる。また、医療分野に限っても多量の放射性同位元素が使用されており、そのなかには原子炉事故で注目される核種であるヨウ素131 やキセノン133 も数百万メガベクレル含まれている。にも拘わらず、原子力に関する国民の常識の涵養機会は、博物館等における貧弱な原子力関係展示に象徴されるように、極めて限られている。

最近日本原子力学会等によって実施された初等・中等教育の教科書や指導要領の調査によって、わが国の学校教育においては生徒たちに放射線や原子力エネルギー利用についての知識がほとんど与えられていないことが確認されている。先端科学技術部門のみならず生活部門においても火災報知器などの日用品から医療診断に至る多様な分野で放射線・放射能利用が行われている現実を考えれば、これは原子力利用の賛否以前の日常生活に係わる基本的な科学教育のあり方の問題であるとも言える。自然界に放射線・放射性物質が存在し、この環境において生物は進化し今日に至っていることすら国民の大多数に既知でない現状や大多数の国民の常識を現在の水準に放置しておいて、原子力に関わる安全性の議論を行うことは困難である。初等・中等教育並びに社会人教育等の現場において、事実を重んじた客観的な科学的知識の提供機会を増加していくことが緊急の課題である。

原子力学会では中学・高校レベルの教育の重要性を考慮し、教科書や指導要領の改善の要望や副読本の編纂、学術研究集会の機会を利用した社会との交流の試みなどがなされつつあるが、このような活動が適切に支援されることも重要である。

大学・公的研究機関等は従来高度技術者に教育・訓練の機会を提供することまでを本務としてきたが、産業界の協力をも必要とする実用段階に入っていることも重視すべきであろう。また、これに留まらず、最新の情報技術も利用して児童・生徒、教師、社会人には原子力に係わる客観性のある科学技術の学習機会が提供されるべきであり、国がこうした活動を回避するのは望ましくない。

4. 国際協力の推進と近隣アジア諸国との連帶

科学技術活動は元来世界的拡がりを有するものであり、わが国は、わが国自体の利益のみならず、人類社会の一員としてその発展に貢献すべきである。人類社会の現在から将来に対する原子力開発利用の意義・役割に鑑みれば、わが国は国際の場でこの分野における新技術への挑戦や安全確保に関して重要課題を指摘し、意見やアイデアを交換し、共同活動を企画し、これに参加して、各国の原子力開発利用の円滑な発展に寄与すべきである。現実論としても、特に多くの資金を有する実験研究については、相互裨益の観点から国際共同研究として実施することが現実的であるし、安全基準等については、国境を境にしてこれが異なるのは現実的ではないから、国際の場でそれらの整合性を諮ることは重要である。

アジア地域においては近年急速に原子力発電に対する関心が高まっている。当面は医療や基礎科学技術分野における放射線及び放射能利用に留まっている国も少なくないが、一部の国では既に大規模な導入も進められている。今後原子力発電を推進する主要地域となるこの地域の共通課題は、原子力施設の安全確保と放射性廃棄物の安全な管理である。わが国としては、これらの地域においてこれらの課題解決が適切に行われつつ原子力発電が推進されるよう、最大限の努力をしていくことが重要である。

具体的には、1) 域内各国が原子力発電を推進していくに必要十分な人材を養成し、技術水準を維持・向上することに連帶し、2) 原子力発電の安全確保等の重要性に関する意識の醸成を行い、進んで、3) 基礎研究分野から原子力発電所

の運転管理、廃棄物管理を含む原子力安全に係わる具体的課題に至る様々な課題について共同研究を推進していく、ことが肝要である。このうち人材養成については、関連する国内各機関の個々の目的意識によってなされてきているが、それら組織相互間の提携が不十分で、共通する明確なガイドラインもない。科学技術研究や開発活動に取り組む国際共同作業の企画・推進はこれからと言って良い。

そこで、今後はこれらの機関が協力して、各国のニーズを汲み取り、この地域の共通課題を探り、基礎・基盤研究や研究開発活動を二国間あるいは多国間共同作業として企画・実施していくべきであり、その第一段階としてこうした活動を推進する国内体制を整備充実するべきである。特に今後原子力発電を推進する主要地域とわが国の共通課題は安全確保と放射性廃棄物の安全な管理であると予想されるるので、多国間共同作業としての基礎・基盤研究や研究開発活動や、各国の安全体制の確立への協力を含めた企画・実施が期待されており、教育・人材養成面をも含めて、わが国がアジアにおける原子力センター的役割を担う立場を明らかにすべきである。