原子力基盤技術開発とクロスオーバー研究 21 世紀に向けて

(科学技術庁原子力局) 國 谷 実

本稿は、21世紀に向けて原子力技術にブレークスルーをもたらすために科学技術庁が推進している原子力基盤技術開発を包括的に説明したものである。原子力基盤技術開発を推進するに至った背景や技術開発の概念、多機関の連携によるクロスオーバー研究システム、技術開発の対象となっている原子力用材料、原子力用人工知能、原子力用レーザー、放射線リスク評価・低減化の4技術領域の内容を概説した。

I. はじめに

これまで科学技術庁が主導してきた我が国の原子力開発利用を振り返ってみると、原子力発電等を早期に実用化することを目指しながら、初期段階では欧米の進んだ技術を導入することによりこれに追いつき、さらに高速炉などの新型炉や核燃料サイクル技術における欧米の技術に目標を置いた自主開発を進めてきた。この結果、今日では原子力発電が定着するとともに、核燃料サイクルが事業化段階に達する等、原子力技術の実用化は着実に進展している。しかしながら、これまでの技術開発の性格は既存の技術を組み上げていくプロジェクト型が中心であり、また技術受入れに重点を置いたいわゆる“キャッチアップ型”であったため、技術革新を自ら積極的に生み出すというものではなかった。原子力は今後ともエネルギーセキュリティを確保する上で重要な役割を果たすものであるが、すでに原子力のリーディングカントリーに発展した我が国としては、新しい原子力技術や知識を創出することによって世界の発展に貢献していく役割を担うことが従来以上に求められている。このような時代環境の変化を踏まえてこれに対処していくために、原子力委員会では「原子力開発利用長期計画」(以下、「長計」)を昭和62年6月に策定した。「長計」は、原子力の研究、開発および利用に関する指針の大綱と基本的な施策の推進方策を示したもので、特に、科学技術全般への波及効果が期待される創造的・革新的技術開発を重視している。かかる技術開発を担うのが、以下に述べる原子力基盤技術開発である。

II. 原子力基盤技術開発の概念

「長計」では、原子力基盤技術を「原子力の各分野にわたる中長期的なニーズを踏まえ、これに弾力的に対応し、かつ新しい技術を創出し、ひいては原子力技術体系のブレークスルーを引き起こす可能性のある技術」と捉えている。すなわち、既存技術の組合せではなく、中長期的観点に立って原子力のいろいろな分野に応用可能な創造的・革新的技術で、しかも得られる成果が既存技術にブレークスルーをもたらし、一般の科学技術分野への波及効果も期待できる基盤的な技術をいっている。原子力基盤技術開発は、基礎研究とプロジェクト研究の中間に位置し、今後の原子力政策の大きな柱の一つになっている。開発すべき原子力基盤技術領域としては、

- (1) 原子力用材料
- (2) 原子力用人工知能
- (3) 原子力用レーザー
- (4) 放射線リスク評価・低減化

の4領域が取り上げられている。各領域の開発内容は後述するが、第1図に原子力基盤技術とその応用の展開図を、第1表に技術体系を示す。なお、現在は4領域が取り上げられているが、適宜新たな技術領域の追加を検討することになっている。

具体的な技術開発推進方策については、原子力委員

Nuclear Underlying Technology Development and Cross-Over Research, In facing the 21st century:
Minoru KUNIYA.

(1989年 12月21日 受理)

第1図 原子力基盤技術と応用の展開図

第1表 原子力基盤技術開発の体系

原子力用材料	
—	耐放射線性材料の開発
—	放射線を低減化するための材料開発
—	原子力用材料の化学反応・制御に関する研究開発
—	原子力用材料の解析・評価及び設計のための技術開発
—	基盤技術原子力用材料に関するデータベースの構築・整備
原子力用人工知能	
—	知識ベースシステム
—	情報収集・処理技術
—	ロボット技術
—	シミュレーション技術
—	マン・マシン・インターフェース技術
原子力用レーザー	
—	原子力用レーザー応用技術 (同位体・元素等の分離技術、レーザー計測・分析技術、 原子力材料・施設等のレーザー加工技術)
—	原子力に必要とされるレーザー技術 (高出力、波長可変、高繰り返し、高効率、長寿命、高信頼性等)
—	原子力に新たな利用の可能性を与えるレーザー技術 (各種物理過程・化学過程をレーザーを用いて解明するための技術)
放射線リスク評価・低減化	
—	被ばく線量評価技術 (放射性核種の環境中での挙動、生体内代謝挙動の解析技術)
—	放射線リスク評価技術 (発ガンリスク、発生障害リスク、遺伝的リスク、リスク総合評価)
—	放射線リスク低減化技術 (発生原因回避除去技術、生物学的低減化技術)

会の下に基盤技術推進専門部会(部会長は昭和63年まで故 大島恵一東大名誉教授)を昭和62年に設置して、個々の研究課題を定めるとともに、産・学・官の活力の活用と研究交流の促進、人材の育成、施設の整備や研究成果の普及促進等を討議している。専門部会では、推進方策を示した報告書『原子力基盤技術の推進について』を昭和63年7月に取りまとめた。専門部会には4技術領域それぞれに分科会を置いて、そこで研究開発に係わる技術的検討を行っている。研究開発は、昭和63年度から日本原子力研究所、動力炉・核燃料開発事業団、理化学研究所および多くの国立試験研究機関で進められている。第2表に平成2年度の予算額を示す。

Ⅱ. クロスオーバー研究

平成元年度からは、原子力基盤技術開発をさらに強力に推進するため、前述した原子力基盤のうち多数の研究機関のポテンシャルの結集が必要であり、個々の研究機関単独では速やかに成果を得ることが困難な多岐にわたる技術要素から構成される研究を選び、原子力基盤技術総合的研究(以下「クロスオーバー研究」と名付け、各研究機関が連携を取って同一研究課題を効率的・効果的に進めるシステムを創設した。したがって、「クロスオーバー研究」は原子力基盤技術開発の一翼を担うが、多機関が協力的かつ総合的に研究開発する点に特徴があり、研究交流が基本になっている。「クロスオーバー研究」は、原子力基盤開発の中でも特に重点的に推進していくことになっており、その推進シス

第 2 表 原子力基盤技術開発の平成 2 年度予算額

() 内は、元年度予算額 (単位: 100万円)

項 目	領 域	材 料	人工知能	レーザー	放射線リスク	総 計
基 盤 全 体		874(783)	⑩927 674(481)	⑩525(247) 674(497)	442(290)	⑩1,452(247) 2,676(2,063)
うち、クロスオーバー研究		182(113)	183(142)	⑩525(247) 421(149)	119(81)	⑩525(247) 905(485)
うち、データフリーウェイ研究		65(0)	—	—	—	65(0)

テムは、「研究推進委員会」および 4 技術領域それぞれに対応した 4 つの「研究交流委員会」から構成されている(第 2 図)。研究推進委員会は参加機関の代表者、産・学・官からの有識者より構成され(委員長は藤家洋一東工大教授 原子炉工学研究所長)、研究の基本方針の策定等を審議・検討している。研究交流委員会は参加機関の研究実施者および有識者より構成され、研究の具体的な推進のために必要な技術的事項等を検討している。なお、「クロスオーバー研究」を説明したパンフレットが研究推進委員会より出ているので参照されたい。

研究開発は、現在とりあえず 4 技術領域それぞれに 1 つずつ研究課題を設け(第 3 表)、第 1 期 5 年間(平成元年度～5 年度)の予定で開始されたが、さらに推進するために、本研究への参加、共同研究等の申入れを産・学・官の多方面に現在呼びかけているところである。「クロスオーバー研究」の研究体制、その他全体的な事項についての問合せは科学技術庁原子力局技術振興課で、各技術領域の具体的内容についての問合せは第 3 表に示した各幹事機関の企画室で行っており、関係各位の積極的参加を期待している。

第 2 図 「クロスオーバー研究」システムの構成図

Ⅳ. 各技術領域の開発内容

1. 原子力用材料

材料技術の特徴は、あらゆる科学技術において鍵となると同時に、開発された技術が他の分野の技術革新を誘発するという波及効果を有しており、この意味ではいかなる分野の材料技術も生来的に「基盤技術」といえる。

基盤技術開発では、最新の新素材技術の動向に留意

しつつ、高性能化・高機能化を狙った全く新しいタイプの材料創製、放射線環境下で起こる諸現象のマイクロレベルにおける機構解明・評価、信頼性・安全性技術の高度化を行い、成果のデータベース化を目指している。特に「クロスオーバー研究」としては、原子力極限環境に特有な、照射によって加速される材料化学反応現象を、金属系材料、セラミックス系材料、高分子系材料について、多様な角度から研究を行っている(第 3 図)。

第3表 「クロスオーバー研究」課題

技術領域	原子力用材料	原子力用人工知能	原子力用レーザー	放射線リスク 評価・低減化
研究課題	原子力極限環境材料の開発に関する研究	原子力用人工知能を具備した原子力施設のシステム評価研究	原子力用新レーザーの研究開発（自由電子レーザー）	放射線による染色体異常の高速自動解析システムに関する研究
参加機関	金属材料技術研究所 無機材質研究所 化学技術研究所 ○日本原子力研究所 ○動力炉・核燃料開発事業団	電子技術総合研究所 船舶技術研究所 日本原子力研究所 理化学研究所 ○動力炉・核燃料開発事業団	電子技術総合研究所 ○日本原子力研究所 理化学研究所 動力炉・核燃料開発事業団	放射線医学総合研究所 国立予衛生研究所 国立衛生試験所 国立病院医療センター ○理化学研究所

○印 幹事機関

2. 原子力用人工知能

原子力施設は一般産業の施設と比較して大規模かつ複雑であり、作業の内容が極めて多様であることならびに放射性物質を取り扱う施設であること等の特殊性を有することから、原子力用人工知能技術は一般産業における人工知能技術に比べ高度な信頼性を持つ必要があること等厳しい要求が課せられていることを十分に認識して技術開発を進める必要がある。

基盤技術開発では、コンピュータサイエンスや情報処理技術の急速な進歩に留意しつつ、人間の運転・保守等を支援する点検・補修用ロボットやマン・マシン・インタフェースの良い運転監視システムを伴った人間支援型プラントから、究極的には自己判断・制御を行う自律型プラントを目指している。特に「クロスオーバー研究」としては、自律型プラントに向けて、システム概念を明らかにするとともに、知識ベース等の要素技術のプラントへの適応性を評価している（第4図）。

第3図 照射により励起される化学反応の追跡

第4図 自律プラントに向けた技術開発分野

3. 原子力用レーザー

レーザーは、時間的・空間的制御性の極めて良い光の利用を可能とするが、これらの性質を原子力分野に利用するに当たっては、高密度なエネルギーとしての特性はもとより、例えば同位体分離技術においては大量処理、経済性が必要となるなど基本的に高出力が要求される。

基盤技術開発では、最新の光技術やエレクトロニクス技術等に留意しつつ、同位体・元素等の分離技術、レ

ーザー計測・分析技術, レーザー加工技術等, 原子力分野へのレーザー応用技術, 高出力, 波長可変, 高効率等のレーザー本体技術, そして原子力に新たな利用の可能性を与えるレーザー物理・化学利用技術の開発を目指す。

指している。特に「クロスオーバー研究」としては, 従来の発振方法とは全く異なる, 加速器を使った波長が連続可変で大出力発振が可能な自由電子レーザーを研究開発している(第5図)。

第5図 超電導リナックによる自由電子レーザー

4. 放射線リスク評価・低減化

リスクを評価するに当たって, 遺伝子を分子レベルで評価することが可能となれば, 発がん, 発生障害, 遺伝的影響等に関する知見がより一層充実するとともに, 低線量域における評価をさらに適切に行うことにより, 国民の安全確保に関する知見のより一層の充実を図ることができる。

基盤技術開発では, ライフサイエンス, バイオテクノロジー, 地球科学等の最新の成果に留意しつつ, 放射性物質の環境中の挙動や体内における放射性物質の代謝挙動等の被ばく線量評価技術, 被ばくの人体への影響評価技術, そしてこれらの知見をもとにリスクを低減化する技術の開発を目指している。特に「クロスオーバー研究」としては, 従来困難であった低線量のリスク評価の高度化を目指して, 放射線による異常染色体の検出・解析を高速自動化するシステムを研究開発している(第6図)。

V. 原子力基盤技術開発の将来像

今後の技術開発の明確な実現目標を正確に設定することは容易ではないが, 21世紀を見越した数10年間にわたる長期的な開発イメージを以下に示す。

第6図 染色体異常の高速自動解析システム

1. 原子力用材料の将来像

500℃以上の高温に耐えるポリマー系遮蔽材, 低放射化同位体だけから成る金属材料, X線・γ線等の放射線場でも使用可能な光導波材料, 自己修復型耐放射線性半導体材料, そして耐放射線性構造材料としては照射量 100 dpa, He 生成量 5,000 ppm で, しかも 2,000~3,000℃の高温にも耐える材料等の開発が期待されている。また, データベースの人工知能化および材料設計システムを開発するとともに, 現象が起こる実際の時間を分解でき, かつ試料の厚さ方向の分析が可能な実時間3次元マイクロ構造解析技術の確立が期待されている。

2. 原子力用人工知能の将来像

原子力用人工知能技術開発のテンポは、新型炉や核燃料サイクルに関する技術開発に比べて極めて早く進むと予測されている。マン・マシン・インタフェース技術を活用した運転監視システム、知識ベース・システムの中核的技術である自律型基本形成システム、自律型ロボットと自律型プラントの実現が期待されている。さらに、超知能化コンピュータ・システムとバイオ・コンピュータ・システムならびにそれらを統合したコンピュータ・システムが実現すれば、超自律型ロボットと超自律型プラントの実現が期待される。

3. 原子力用レーザーの将来像

原子力分野へのレーザー応用技術開発とレーザー本体技術開発は中期的ビジョンを持ち、また原子力に新たな利用の可能性を与えるレーザー技術開発は長期戦略的観点から推進していく必要がある。同位体・元素等の分離技術ではグラムオーダーの分離が可能なシステム技術、レーザー計測・分析技術の原子力施設へのインライン化、レーザー加工技術の実用化段階への移行、レーザープラズマ利用に関してはプラズマ制御等のシステム化技術の実現が期待されている。

4. 放射線リスク評価・低減化の将来像

放射線リスク評価技術は、将来における遺伝子レベルでの放射線影響の理解に基づき、関連する物理・化学および情報処理技術の先端技術の導入により、個人および集団における健康リスクの総合的な評価を目指すものである。放射線リスク低減化技術については、新しい低減化の概念が生み出されることが期待される。

Ⅶ. 原子力基盤技術開発の効率的推進

原子力基盤技術開発の特徴に鑑みた効率的推進を行うに当たっては、研究交流促進の体制整備、施設整備と利用の促進、研究者交流の促進、研究成果の普及促進、的確な研究評価に十分留意する必要がある。この中、研究交流に関しては、国内のみならず広く諸外国

との共同研究、研究交流を進める上で必要となる創造的な人材の意識的な育成、さらに、得られる成果をデータベース化し、それをリンク化するネットワーク機能を積極的に促進することに留意する必要がある。材料データベースのネットワーク化については、平成2年度に「基盤原子力材料データフリーウェイ構築に関する研究」として発足する予定である。また、研究成果の普及促進に当たっては、成果を原子力分野のみならず一般の科学技術分野へ普及させていくことや国際シンポジウムの積極的開催に留意する必要がある。なお、この一環として、原子力用レーザー技術領域では自由電子レーザーに関する国際シンポジウムを開催することになっている(「自由電子レーザー東京国際シンポジウム'90」平成2年1月29～30日、於 虎ノ門パストラル)。

Ⅶ. おわりに

近年、理工系学生の製造部門、研究現場離れが指摘されているが、原子力分野においても同様の傾向が現れて来ている。巨大先端科学技術システムを今後維持していくためには、優秀な人材の確保は不可欠であり、このためには成熟期に入った原子力分野における若い研究者、技術者にとって魅力ある分野を創出していくことが必要である。原子力基盤技術開発は、原子力における新たな分野でのブレークスルーをもたらすとともに、他の分野への波及効果も大きく、このような意味でも原子力の新たな芽として今後大きく育っていくものと考えられ、原子力分野の人材育成に資する大きな柱の一つとなっていくものと期待される。現在、原子力基盤技術開発は予算的にも順調に進展しているが、基盤技術推進専門部会(現会長:三島良積東大名誉教授)では、原子力基盤技術推進のフォローアップと、より効果的な推進方策について検討すべく、平成元年9月より審議を再開したところである。原子力基盤技術研究への参加を含め、産・学・官の各分野での幅広い参加を期待するものである。

○第11回核物質管理学会(INMM)日本本部○ (’89～’90)年次大会のご案内

日時 1990年6月7日(木) 9:30～17:30(予定)

場所 学士会館本館会議室(東京都千代田区神田錦町)

○プログラム○

- 招待講演(午前)一交渉中—
・核不拡散政策の展望

・ソ連・東欧の情勢について

- 研究発表・ポスターセッション・展示会(午後)

○参加申込 所定用紙に記入の上5月25日(金)(定員 150名)

○参加費(論文集合) INMM 会員 10,000円, 非会員 13,000円
(懇親会費 6,000円を含む)

問合せ・申込先 (〒100) 東京都千代田区永田町2-17-13

(財)核物質管理センター・企画室内

INMM 日本本部 事務局(03-593-2551, FAX 03-593-2550)