

技術革新と大学の原子力工学研究教育

平成12年2月14日

原子力委員会長期計画策定会議 第四分科会 第5回

東京大学工学系研究科附属原子力工学研究施設

岡 芳明

概要

原子力工学は総合工学でありその研究開発によって多くの分野の技術革新と先端技術を進めると期待される。日本の国際競争力向上のためにも原子力による技術革新の追求が必要である。

技術革新は基礎的学問の素養の上に自由で豊かな発想をすることで可能になるのではなかろうか。大型プロジェクトや主要産業の推進側は心理的戦略的に保守的になりがちであり、技術革新のためには研究予算を多様化し特定の対象に限定されない研究環境を整備することが必要である。数%程度の予算を技術革新のため独立分離して使用すべきである。従来ややもすると大型プロジェクトに目を奪われがちであるが、大型プロジェクトの推進により周辺の特徴ある研究環境が失われないような配慮も必要である。

大学は学問の横断性、フレッシュな人材の供給、プロジェクトに拘束されないこと、教育との兼務による低コスト構造など技術革新の追求に適した組織である。その研究教育設備の充実が必要である。

技術(工学)と科学(理学)はスパイラル的に発展する。科学のみならず技術や工学を重視してバランスのとれた研究開発を進める必要がある。

原子力工学は工学と理学の境界に位置し経験的な工学革新の先兵である。応用に軸足を置いて理学の視点もと入れ計算機や情報技術を用いることで経験的な工学をより演繹的な工学へ発展させることができよう。これにより研究開発に必要な期間やコストが大幅に低減し産業の競争力の向上が期待できる。

学問や技術の革新にはハード(設備)のみならずソフト(人材、利用運営体制)の整備充実も重要である。

1.はじめに

現在の日本の軽水炉技術が世界の最先端に位置することからもわかるように、外国技術の導入によって始まった日本の原子力国産化の時代は終わり、新しい時代に入りつつある。もはや海外技術の移転や模倣は困難である。民間の原子力技術開発投資は市場原理の強まる下では減少傾向であり長期的には国の支援による技術革新の追求が重要である。

原子力発電所は人間の作る最も巨大な工業製品であり、高い信頼性と安全性の要求、徹底的な研究開発と製品化の努力がなされてきた。原子力工学は原子炉に関係する物理学の他、機械工学、電気工学、土木建築学、金属材料学、応用化学、制御情報処理学等から構成される総合工学であり、多くの先端工学分野を内包している。さらに核融合工学、加速器工学、ビーム工学、レーザ・プラズマ応用等その分野を広げつつある。世界的な市場競争時代を迎えて日本も技術革新と知的労働の生産性の向上によりその競争力を維持することが求められている。原子力開発を核として様々な技術革新とそれを支える学問としての工学の革新を試みる必要がある。これらの課題を大学の原子力工学研究教育の視点より述べる。

2.技術革新と大学の役割

技術革新の歴史をみると市場を支配する製品や製造工程は不連続に変化している。例えばタイプライターは手動から電動、専用ワープロ、パソコンへと変遷したが、これら技術革新はそれぞれの製品の主要企業ではなされていない。例えば手動タイプライターを作っていた会社は電動タイプライターを製品化した会社に敗れている。これは心理的戦略的保守性が原因であると言われている。

技術革新は他分野や境界分野で生まれる例も多い。例えば米国のベル電話研究所は通信技術開発に大きい貢献をしたが、現在の通信の中核技術である光ファイバーはその枠外で生まれている。ベル研の最大の発明である半導体の発明については当時その意義がよく理解できず安い料金で使用承諾を与えたと言われている。

技術革新は産業の競争力にとって最も重要な要素である。技術革新を可能にするためには、トップランナーを育てる精神風上が必要なことが言うまでもないが、人材育成の点では基礎的学問の重要性を指摘したい。研究対象の物理的イメージを様々な観点から描ける能力は基礎的学問によって

養うことができる。既成概念を克服して新展開を図るためにはこの能力をもとにした自由な想像力と融通無碍な研究姿勢が必要であろう。1つの分野に閉じこもっては画期的な発展はなく、他分野、関連分野、異文化の勉強を専門分野を軸としつつ進める必要もあろう。

主要プロジェクトを進める場合には成功が求められるため心理的戦略的に保守的になりがちであり、研究予算を多様化し予算の系列化を避けることも技術革新のためには必要である。特定の対象に限定されない研究環境、特に実験研究環境の整備が必要である。自分の研究分野を旨ぐるしく変えては世界中の専門家との競争に勝てないのは明らかであり、経常研究の重視により技術革新が生まれると考えた方がよい。

研究目標の設定や境界条件の認識、研究結果の評価にあたっては産官学の情報交換をより密にし、適切なフィードバックメカニズムを内蔵することが必要である。技術革新のためにはハードの整備は言うまでもないが、ソフト(人材、教育、利用者)の重視がより必要であること指摘したい。

米国ではスタンフォード大学やマサチューセッツ工科大学の例にみられるように大学が技術革新とそれに伴う産業の展開に中心的役割を果たしつつある。大学が技術革新の追求に適した組織である理由はいくつかある。まず多分野の専門家が存在し、横断的視野で学問と研究を進められる環境がある。大学が優秀でフレッシュな人材の供給源であることは終身雇用の研究者に比べて先端技術テーマの変遷への適応力が大きい。さらに技術革新のシードのごく一部しか産業に育たないことを考えると、これを大勢の終身雇用の研究員で進めることは経済合理性がない。大学の教育との兼務による低コスト構造の方が技術革新の追求に適している。大学はビッグプロジェクトに拘束されていないのでより自由で試行錯誤もやりやすく、不可能と思えるテーマにもチャレンジしやすい。さらに産業の現場にいないので細かい制約を大学人があまり知らないことも自由な発想を助けているのではなかろうか。但し両者の情報交換は必須である。

日本でも大学が技術革新へ貢献することが期待されている。原子力分野においても全国の大学の原子力工学関係学科に所属する研究者数は大学院生も含めると大きい研究開発機関の研究者数に匹敵する。大学の原子力研究教育のインフラを整備し、技術革新や学問の革新への貢献を可能にすることが必要ではなかろうか。近年技術革新や学問の革新を目標とした様々な予算も金額の問題はあるが、用意されつつあり、素晴らしいことである。

したい。

3. 大型プロジェクトと予算配分

大型プロジェクトの遂行はもちろん重要であるが、そのために周辺分野が枯渇しては困る。大型プロジェクトとは別に予算の数%を技術革新のため使用すべきである。数%は大型プロジェクトに対する保険的な意味もあるだろう。技術革新のための予算配分にあたっては大型・主要プロジェクトからの分離した独立な運営が必要と思われる。全てを予算的に系列化することは技術革新の追求にとってはマイナスであろう。米国エネルギー省は加速器予算の爆発的増大を抑えるため、その1%を技術革新のため別予算として大学などの研究者に配分している。

4. 技術（工学）と科学（理学）のスパイラル的發展

科学が先にあり、それから技術が生まれるとの考え方をよく聞くことがあるが、それは一面的すぎる。工学や技術の例からみると、むしろ技術や応用、実用が先にあり、その経験が科学（理論）に昇華した例が多い。例えば農耕や航海での経験が天文学を生み、蒸気を用いる鉱山用の揚水ポンプの解析から熱力学が生まれた。溶鉱炉のふく射光の色から温度を推定する技術は量子力学が生まれるきっかけになっている。理論はよくわからなくても基礎的学問の素養をもとに柔軟な発想、応用への期待から実験により新発見が生まれることも多い。高温超伝導体はその例である。

実際は技術（工学）と科学（理学）はスパイラル的に發展する。天文学により航海術が發達し新大陸発見などをもたらしたように理論の完成により応用が進む。応用や実用の必要性がスパイラル的發展をもたらす。例えば大陸間無線通信は真空管の發明により可能になったが、通信量の増大とともに高周波通信の必要が高まり、周波数特性の悪い真空管にかわって半導体が出現した。この理論が半導体物理学として体系化され、これが高集積回路や半導体レーザ等を生み、現在のコンピュータ・情報技術社会を支えている。

5. 原子力工学の展開

理学は演繹的、ミクロ、定性的、真理探求というキーワードで、工学は経験的、マクロ、定量的、応用重視というキーワードで表される特徴をもつ

ている。工学は物づくり、応用の学問であり、理学に比べて極めて経験的な部分が多い。物理学の基礎方程式だけで設計できる製品は、なお、ほとんどない。しかし近年、工学の諸分野の境界が薄くなるとともに工学と理学の手法上の境界も薄くなっている。

原子力工学は工学と理学の境界領域に位置する。新フロンティアは境界領域にある。また21世紀は応用科学、複雑科学の時代とも言われ、経験的な工学、医学、生物学等の革新の時代である。応用に軸足を置いて理学の視点も取り入れ、計算機や情報技術を用いることで経験的な工学をより演繹的な工学へ発展させることが期待できる。これにより工学の手法や技術の革新が図れると思われる。原子力工学は経験的な工学を革新する先端に位置すると考える。

工学は物づくりの学問であり、設計のためには定量予測が必要である。そのため様々な設計対象の要素について実験を行い、それから得られる経験式をもとに設計が行われてきた。

核分裂エネルギーを発電に利用するのに用いられている原子力工学手法を定量予測可能性という点で横断的にみてみよう。

まず原子炉物理学は予測可能性という点で一番進んでいる。核データと中性子輸送理論や拡散理論を用いて原子炉の核特性の予測が計算で可能である。しかしなお原子核反応断面積は理論のみでは定量予測は不可能である。例えば光学モデルの経験的パラメータを実験値にフィットする必要がある。このため核設計の精度を確認するため臨界集合体等を用いたマクロな体系での検証が必要になっている。

熱流動は形状が決まっている対象では実験にもとづく相関式を用いて予測や設計ができその手法はほぼ確立している。しかし短い過渡現象や溶融凝固や沸騰のように形状を変える対象では既存の手法に限界がある。機構論的手法を開発し、既存手法との連携を図る必要がある。

構造力学も材料がきまりその応力ひずみ関係式が与えられれば特性の予測や設計が可能である。しかし材料の成分や熱処理が変わった時にどうなるかは経験的にしかわからない。熱時効や照射ぜい化も経験的にしかわからない。流体・構造連成問題などもより予測可能な手法を開発する必要がある。

原子炉の特性予測にとってその学問的困難性ゆえに最も経験的と言わざるをえないのは材料特性の予測である。材料の成分元素の組成を与えた

けでその特性を解析的に予測する方法はまだない。まして腐食のように環境条件や表面現象が関係する場合はさらに複雑である。学問的な課題は大きいほど期待も大きいのが常であり、先端工学としての原子力工学の知恵を結集してこれらの問題にチャレンジする必要がある。

原子力工学に関する多くの問題を演繹的、解析的に予測可能にすることで、モックアップ試験への依存の軽減や開発費や期間の低減が期待できる。原子力工学の手法の革新における大学の役割は大きいものがあるだろう。原子力工学手法の多くは一般の工学手法と共通であり、工学の革新を原子力工学は先導できよう。

6. 東京大学原子力工学研究施設とその経緯

日本の原子力研究開発利用の開始とともに旧帝大を中心に原子力工学科が整備され、大学にも未臨界集合体等の実験研究設備も作られた。近年、原子力分野の加速器、核融合、粒子工学等への拡がりと大学院部局化への対応を目的として学科名称をシステム量子や量子エネルギー等へ変更した学科（専攻）もあることは周知のとおりである。大学の原子力（核分裂エネルギー）研究機関としては京都大学原子炉実験所、原子エネルギー研究所（改組後現在のエネルギー理工学研究所）、東京工業大学原子炉工学研究所と東京大学工学系研究科附属原子力工学研究施設がある。研究用原子炉は国立大学では京大炉と東大に設置され共同利用に供されてきた。しかし、その後の大学における原子力研究教育設備の整備は他省庁のそれに比べると大きく見劣りする。技術革新における大学の役割の重要性を考えるなら、それぞれの大学の特徴を生かしつつ、その整備が図られるべきと考える。なおもとより大型プロジェクトを推進する研究開発機関と大学の研究教育設備とは目的、内容、質や対象が異なっていることは言うまでもなく、それを同一の視点で評価議論することは適切でない。

東大には高速中性子源原子炉「弥生」、サブピコ秒電子ツインライナック、核融合炉ブランケット設計基礎実験装置が昭和40年代中期から50年代初期にかけて設置された。その成果は近年行われた二度の外部評価でも高く評価されている。その経緯の一部を大学の原子力工学研究の例として紹介する。

原子炉「弥生」は世界で唯一の汎用高速中性子源炉として高速炉技術の

基礎である中性子輸送や計測の研究に用いられているのみならず、核融合炉燃料のトリチウムのオンライン生成回収の研究も世界で初めて行われている。研究分野はこの他にも広く原子力工学全体にわたっている。さらに熱流動、構造力学や原子炉の概念設計研究など原子炉を直接用いない分野の研究も精力的に行われてきた。例えばここで考案された超臨界圧軽水冷却炉の概念は欧米の主要原子力機関の注目するところとなり、研究開発が開始されようとしている。日本で考案された概念を欧米が研究するのは日本の原子力研究史上画期的なことである。

サブピコ秒ツイン電子ライナックは電子パルスの最短世界記録を何度も更新し、まさに未踏、先端領域の研究に用いられている。短パルスレーザを用いた米国の研究が昨年度のノーベル賞を受賞した。本装置は電子と光との差はあるものの極短パルス発生という点でレーザと対をなすものである。化学反応は電子の関与する反応であるが、短パルス電子を用いた放射線化学反応の基礎過程の解明がなされてきている。応用では集積回路を作る際の描線（リソグラフィ）の基礎にもなっている。極短電子パルスを用いる研究では測定系のトリガーと照射ビームの同期が重要であるが、一台のクライストロンで二台の加速管に同時に電子を供給するツインライナックシステムの発明もなされ研究の発展に寄与している。近年はパルス巾がサブピコ秒、フェムト秒の領域に達し、化学反応から物理反応というべき領域に研究が広がっている。フェムト秒のレーザライナック同期やレーザプラズマライナックの開発が行われている。

核融合炉ブランケット設計基礎実験装置は世界最初の核融合炉工学の体系的実験装置群である。それらの成果としては例えば構造物に電磁力が加わる対象の応力解析の基礎理論である電磁構造力学の創始と体系化がなされている。単に学問としての成果のみならず実際の大型核融合装置の設計にも役立っている。電子顕微鏡の焦点においた試料に加速器のイオンビームを照射し、照射損傷過程を直接オンラインで観察する装置も考案され、照射損傷理論の発展に寄与してきた。

原子力工学研究施設の研究は所属の研究者のみならず本郷の東大工学部の教官やその他の共同研究者によってもなされてきたのが特徴である。さらに工学系研究科附属であるため教官数に倍する多数の大学院生が配属され、先端的な研究を担うことで教育面と研究面でも効果を挙げてきた。これらが多様な研究展開を可能とした理由の一つであり、特徴あるハード

(実験装置)とともに利用面でのソフト(人材、利用運営体制)が研究の推進には必須である例と考えている。

原子力工学の研究に必要な装置群は中性子に留まらず、イオン、電子、レーザー等の線源や放射能取扱い実験設備と多様である。これらの整備や研究を大型プロジェクトの推進と同列で論じるのは適切でない。例えば核融合炉工学と関連してなされた電磁構造力学や照射損傷研究の成果は核融合のみならず核分裂、加速器工学等に共通のものである。また原子炉はトリチウム生成回収では核融合炉工学の研究にも用いられている。材料照射研究では中性子、電子、イオンをそれぞれ用いることで横断的な研究が展開できる。

大学の研究では多様な研究を大型プロジェクトにとらわれず推進することができるようにする必要がある、それが教育面でも優れた効果をもたらすと考えている。なお、東大の例で言えば電子ライナックや核融合炉ブランケット設計基礎実験装置はその素晴らしい研究成果や教育への貢献にもかかわらず近年予算的に厳しい状態が続いている。大学の原子力関係研究機関や専攻についても同様である。大型プロジェクトに片寄らないバランスの取れた原子力研究教育の展開を期待したい。

7. まとめ

原子力工学は総合工学であり、その研究開発によって多くの分野の技術革新と先端技術開発を進めると期待される。日本の国際競争力の向上のためにも原子力による技術革新の追求が必要である。

大学は学問の横断性、フレッシュな人材の供給、教育との兼務による低コスト構造、プロジェクトに拘束されないことなど技術革新の追求に適した組織であり、日本の大学のそれぞれの特徴を生かした原子力研究の推進が望まれる。

大型プロジェクトや実用技術を推進する側は心理的、戦略的に保守的になりがちである。それらの推進はもちろん重要であるが、それとは独立、分離した形で技術革新の推進を図るべきである。大型プロジェクトの推進により周辺の特徴ある研究環境が失われることのないように配慮するべきである。

技術と科学はスパイラル的に発展する。科学のみならず技術や工学も重視してバランスの取れた研究開発を進める必要がある。

原子力工学は工学と物理学の境界に位置し、経験的工学革新の先兵である。学問や技術の革新はハード（設備）のみならずソフト（人材、利用運営体制）の整備と充実も必要である。大学では教育と研究は一体であり、学生は研究へ参画することにより知識が定着する。

技術革新と大学の原子力工学研究・教育

平成12年2月14日

東京大学 岡 芳明

内容

- 1.日本の原子力技術の現状と課題
- 2.技術革新と大学の役割
- 3.大型プロジェクトと予算配分
- 4.原子力工学の展開
- 5.東大原子力工学研究施設とその経験
- 6.まとめ

21世紀の工学・産業の課題

1. 知的労働の生産性の向上

：21世紀の先進国の条件、情報技術は道具

20世紀：肉体労働の生産性向上

2. 技術革新

3. 学問としての工学の革新

予測性向上(経験則依存軽減)

理(科学)・工(技術)の連携

俯瞰性、文系との連携

原子力の特徴

- ・ 原子力発電所は人間の作る最も巨大な工業製品
- ・ 高い信頼性と安全性の要求
- ・ 徹底的な研究と製品化
- ・ 原子力工学は総合工学

機械、電気、土木建築、金属材料、化学、情報処理等が関係

- ・ ビーム工学、レーザ、プラズマ応用、加速器工学等へ展開中

日本の原子力技術の現状と課題

日本の軽水炉技術は世界一

産業生産力は優秀、革新的/創造的分野に弱点。

根本技術は輸入技術で基礎分野に弱い

原子力国産化時代は終了

海外技術の移転や模倣は困難

民間の原子力技術開発投資は市場原理の下で減少傾向

長期的には国の支援による技術革新の追求が重要

技術革新により製品や工程が不連続に変化した例

産業	不連続
タイプライター	手動から電動、ワープロ、パソコンへと変遷
照明	オイルランプからガス灯、白熱灯、蛍光灯
板ガラス製造	クラウン・ガラスから、多くの製造工程構成の変化を経て成型ガラスへ、その後フロート・ガラス
氷と冷蔵庫	自然の氷から機械的に製造された氷、さらに冷蔵庫へ
画像技術	銀板写真から鉄板写真、湿板写真、乾板写真、巻きフィルム、電子画像、デジタル画像

2度目の技術革新は当該産業における主要企業で産業化された例が少ない。
心理的、戦略的保守性が原因

技術革新は他分野や境界分野で生まれる例が多い

半導体の発明：ベル研で生まれたが役立たないと考えて
安い料金で使用承諾

光ファイバー：通信技術研究の枠外で生まれる

技術革新への道

1. 基礎的学問の重要性；先端技術は基礎学問の素養の上に育つ
2. 他分野、関連分野、異文化の勉強
3. 創造力と想像力(既成概念の克服)；自由な発想と融通無碍な研究姿勢
4. 研究予算の多様化；予算の系列化を避ける
特定の対象に限定されない研究環境の整備
5. 加点法の評価、失敗の継承
6. 経常研究、実験研究の重視
7. 情報交換(評価も情報交換の機会)；産官学の情報交換
8. ソフト(人材、教育、利用者)の重視

大学が技術革新に適している理由

1.学問の横断性

技術革新は他分野、境界分野で発生する例が多い

2.教育との兼務による低コスト構造

3.フレッシュな人材の供給、テーマの変遷に適応力大

4.試行錯誤がやりやすい

5.プロジェクトにしばられていない

6.細い制約を知らないのがよい

7.不可能にチャレンジできる

大学と研究開発機関と企業の役割分担

大学

学問手法の革新、シーズの提供、優秀な頭脳を集め
教育すること、汎用性のある基礎研究

研究開発機関

開発研究、開発のために基礎基盤研究、共同研究用
大型装置の建設と運営

企業

製品化のための研究、製品の問題解決のための研究、
開発のための基礎基盤研究、

それぞれの長所を伸ばすように役割分担すべき
情報交換は活発に

大学と研究開発機関、産業界との連携

1. 共同利用型；研究開発機関の施設を利用（米国では一般的）
2. プロジェクト主導型；部分テーマや基礎を大学でやる
3. 共同研究型；共通テーマを両者の長所を生かして研究する
4. 提案公募型；大学からアイデア、手法を提案、採択
5. 大学主導プロジェクト型；大学が研究プロジェクトの中心として働く
6. ベンチャービジネス型；大学人のベンチャー企業に産業界が投資

大学が予算や利用面で研究開発機関や産業界の下請化しないことが真の技術革新の追求には必要。それが結果的には全体のメリットになる。

大型プロジェクトと予算配分

- ・ (大型プロジェクト) 予算の数%を技術革新に使うべき。
- ・ 大型プロジェクトは成功が求められるため心理的、戦略的に保守的になりがち。
- ・ 技術革新予算は大型プロジェクトからの独立（分離）が必要。
例、USDOEは加速器予算の爆発を抑えるためその1%を技術革新のため別予算として使用。
- ・ 数%は大型プロジェクトに対する保険と考えてもよい。
- ・ 大型プロジェクトのため周辺が枯れないように。

技術(工学)と科学(理学)のスパイラル的發展

技術が先にあり、それが理論に昇華する。

- ・ 農耕や航海での経験→天文学
- ・ 蒸気を用いる鉱山用の揚水ポンプ→熱力学
- ・ 溶鉱炉のふく射光の色から温度を推定する技術
→量子力学
- ・ 高温超伝導体

理論から応用が進んだ例

- ・ 天文学→航海術

スパイラル的發展の例

- ・ 大陸間無線通信(真空管→半導体)→半導体物理学
→高集積回路、半導体レーザー等→コンピューター、通信

工学をめぐる環境変化

- 工学と理学の手法上の境界が薄くなっている
 - 理学：演繹的、ミクロ、定性的、真理探究
 - 工学：経験的、マクロ、定量的、応用重視
- 工学の諸分野の境界が薄くなっている
- 計算機の発達
- 日本の産業構造の変化（物から知識へ）
- グローバリゼーションと規制緩和

原子力研究の今後

- 原子力工学と理学の境界領域
- 新フロンティアは境界領域にある
- 21世紀は応用科学（複雑科学）の時代
経験的な工学、医学、生物学等の革新の時代
- 経験的な工学からより演繹的な工学へ
原子力はその先兵

定量予測可能性から見た原子力工学手法

- ・原子炉物理学：予測可能性最も大

但し核反応断面積は理論のみから定量予測はまだ不可能

- ・熱流動工学

形状が決まれば熱流動挙動は実験相関式から予測可能

形状を変える対象（溶融、凝固、沸騰）や短い過渡現象に困難

- ・構造力学

材料の応力歪関係式が与えられれば強度特性は予測可能

材料成分や熱処理等が変わると再実験が必要になる

熱時効や照射脆化も経験的にのみ予測可能

流体・構造連成問題も経験的

- ・材料学：予測可能性最も小

成分元素の組成から特性の定量予測はまだ不可能

腐食のように環境条件や表面現象の関係する場合はさらに複雑

今後の原子力工学の方向

- ・基礎にもどる。よりミクロなモデルによりマクロな挙動を予測する
- ・基本法則にもとづいて複雑な現象を説明する
- ・モデルの要点を実験で検証しつつ進む
- ・原子力工学以外の分野への汎用性
- ・原子炉物理学を手本（ミクロ法則でマクロシステムを設計できる）
- ・経験的な工学に演繹的な理学の手法を持ち込む

計算機を利用して定量化

- ・但し、教育は経験則（知識の集合）を充分教える。機械工学の重視

モデルの統合



スケールの統合

ミクロスケールの基本原理に基づいた工学の体系化

分野の統合

基本原理に基づいた設計手法

新しい工学の方法論

革新的冷却法

新検査法

新材料

新解析法

計算科学
機械工学
材料科学
化学工学

工学の体系

実験による検証
多次元高速情報処理技術
可視化計測技術

核融合ブランケット
粒子制御研究設備

フェムト秒高速量子現象
研究設備

高速中性子源炉「弥生」
中性子照射環境制御設備
照射物高度分析研究設備
現象可視化研究設備

革新的原子炉
新原子力システム概念
革新的核融合炉

原子力工学の展開

- ・原子力モデリング工学

（原子力）工学手法の革新、より予測可能な工学へ

- ・ビーム物質相関学と応用

電子、中性子、イオン、レーザーの材料理工学研究への応用

プラズマ加工、レーザー加工、イオンビーム加工、薄膜生成、
エッチング、加速器、レーザー等の工学とその利用

- ・原子力安全性、信頼性

炉心溶融事故時の現象の理解と予測対策、機器劣化の物理と予測診断

ヒューマンファクター、大規模システム信頼性、安全性

- ・社会と技術の問題（原子力社会工学）

環境・人口・エネルギーのトリレンマの解決、

プルトニウムと核不拡散、メディアと情報化と意思決定

東大原子力工学研究施設とその経験

高速中性子源原子炉「弥生」

中性子輸送、計測、材料基礎、トリチウム生成回収(核融合炉)

超臨界圧軽水冷却炉概念の創出

サブピコ秒,電子ツインライナック：世界最短の電子線パルス発生

放射線化学反応の基礎過程の解明

フェムト秒レーザ・ライナック同期

レーザプラズマライナック

核融合炉ブランケット設計基礎実験装置：世界最初の核融合炉工学の研究施設

電磁構造力学の創始と体系化

照射損傷研究（電頭と加速器一体化によるその場観察）

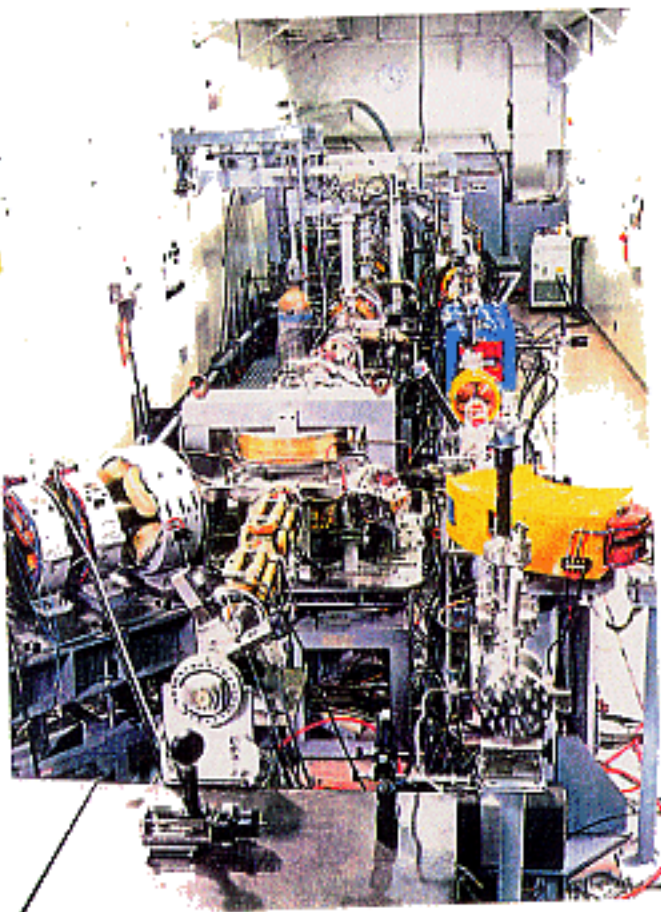
原子力工学の革新には多様な線源と実験装置群が必要。

学問や技術の革新には人材(ソフト)のいるところにハードを用意する必要。

超臨界圧軽水冷却炉の研究

- 平成元年 東大 高速増殖炉として研究開始
- 平成3年 東大・A電力共同研究開始、平成6,7年A電力評価
- 平成10年 東大 未来開拓事業研究開始(日本学術振興会)
- カナダ AECL、超臨界圧CANDU炉開発開始
- 米国 ANL+AECL超臨界圧水放射線化学の実験開始(DOE,NERI)
- 米国 MPR社、評価開始(A電力の委託)
- 独 カールスルーエFZK評価開始
- 平成11年 FZK,Simens(独),EdF(仏),PSI(スイス),KFKI(ハンガリー),
VTT(フィンランド),東大,EUに50%コストシェアの研究計画,
BNL等USDOE-NERI応募計画中,JNC実用化戦略調査研究候補に選定
- 日本で考案された原子炉概念を欧米の主要原子力研究開発機関が
研究するのは最初

東大工原施電子ライナックにおいて達成された世界新記録



- | | |
|--------|---|
| 1977 年 | 10 ピコ秒電子シングルパルス発生 |
| 1978 年 | ピコ秒放射線化学パルスラジオリシス成功 |
| 1979 年 | 日本原子力学会技術賞受賞 |
| 1988 年 | ツインライナックシステム完成 |
| 1993 年 | 自由電子レーザー発振 |
| 1994 年 | サブピコ秒 (700 フェムト秒)
電子シングルパルス発生 |
| 1996 年 | レーザー航跡場加速の実証 |
| 1997 年 | レーザーフォトカソード高周波電子銃による 400 フェム
ト秒電子シングルパルスの発生 |
| 1998 年 | 240 フェムト秒低エミッタンスパルス生成 |
| 1999 年 | レーザーフォトカソード高周波電子銃にて 1kA 達成
同電子銃を用いてピコ秒光吸収パルスラジオリシス成功 |
| 2000 年 | 時間分解 X 線回折による熱膨張過程の原子動画像化 |
| (予定) | レーザープラズマライナック方式による
10 フェムト秒電子・X 線・イオン・中性子パルス発生 |

まとめ

1.技術革新の追求が重要。

原子力工学は総合工学であり他分野の技術革新の芽が育つ

2.大学は技術革新の追求に適している。

3.予算の数％を技術革新のため独立に使うべき

4.技術と科学はスパイラル的に発展する。工学の重視も必要

5.原子力工学は経験的工学手法革新の先兵

6.学問や技術の革新は人材（ソフト）の重視から

7.大型プロジェクトで周辺が枯れないように