

イノベーション(技術革新)と原子力

東京大学 岡 芳明

原子力委員会定例会議 平成17年5月24日

原子力の課題

1. 既設プラントの効率向上・長期安定運転
2. 核燃料サイクルと放射性廃棄物処理
3. 人材育成・知識の継承発展
4. イノベーションとその実用化
5. 原子力理解の増進、核不拡散等

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
- 原子力は総合工学
 - 原子力のほか機械、電気、土木・建築、金属・材料、化学、情報処理など
- 人文社会系と密接な関係
- 原子力の特徴である総合、学際、境界は技術革新のキーワード

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
と考えると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(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
- ・溶鉱炉のふく射熱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

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、多くの製造行程構成の変化を経て成型ガラス、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、湿版写真、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

大学を核とする技術革新モデル

- 主要大学の役割; 優秀な人材を集め、教育し、研究し、産業を創造する。
- スタンフォード、MIT、清華大など世界の主要大学の普遍的モデル
- 国の競争力強化に貢献
- 競争的資金が研究の源泉(教育は恒常的経費)
- 体系的な教育は技術革新の必要条件
- 海外から優秀な人材を集める事で先進国の人口減少問題にも対応。

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. 細か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

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、連携、共同研究(産官学)
8. ソフト(人材、教育、利用者)の重視

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
- 文・理の境界が薄くなっている
- 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

大学の原子力教育の危機

- 学部教育で原子力(核分裂工学)を体系的に教えるのが困難になった。

理由;

- (1)大学教育が多様化した。理・工、文・理の境界が薄くなった。
- (2)事故に伴う大騒ぎによるイメージの低下
- (3)チャレンジングなイメージの低下
- (4)需要の減少

大学での原子力教育について必要なもの

- 実験を含む質の高い体系的な教育システム
- 原子力の社会人文科学的側面も理解できる必要
- 国際機関で働ける人材の育成

日本の最近の原子力教育の動向

1. 東大の原子力専攻(専門職大学院); 社会工学を含む核分裂工学の体系的な教育。日本原子力研究所、核燃料サイクル機構と産業界の協力。

<http://www.nuclear.jp/professional/>

2. 東大の原子力国際専攻

<http://www.n.t.u-tokyo.ac.jp/>

国際機関で働ける人材の育成

原子力専攻と双方向のインターネット講義

3. 東工大原子力COE

4. 連携大学院 東工大、福井大、茨城大

5. 各大学とも大学教育全体の変化、大学の独立法人化の影響に苦勞しながらそれぞれ努力。

世界の動向

1. 米国

(1) DOEが大学の原子力教育、研究支援

(2) アイダホ研(INEL)がその周辺大学とMITによる原子力人材育成体制構築。

2. 欧州原子力教育ネットワーク

例：ベルギーMOL研の原子力教育コース(英語)

3. 世界原子力大学(WNA世界原子力協会主導)

アイダホでサマースクール、10のWG

原子力教育・人材育成は世界的に大きい課題、いろいろ対策がとられている。

原子力専門職・国際専攻のカリキュラム

原子力専門職専攻

講義科目
 原子炉物理学
 原子力熱流動工学
 原子力構造工学
 原子力プラント工学
 放射線安全学
 原子核と放射線計測
 原子力燃料材料学
 核燃料サイクル工学
 原子力法規
 原子炉設計
 中性子輸送理論・遮蔽
 原子力安全工学
 原子力保全工学
 廃棄物管理工学
 放射線利用
 原子力危機管理学
 法工学
 リスク認知とコミュニケーション
 ヒューマンマネジメント

演習
 原子炉物理/炉心設計演習
 伝熱流動/原子力プラント工学演習
 放射線安全学/放射線計測/遮蔽演習
 材料力学/原子力構造力学/保全工学演習
 原子力燃料材料/核燃料サイクル工学/廃棄物工学演習
 原子力法規/法工学演習
 原子炉安全工学/安全解析演習
 技術倫理演習
 コミュニケーション/リスク管理演習

実験・実習
 放射線計測実験
 放射性物質取扱実習
 放射線防護実習
 廃棄物処理実習
 アイソトープ実験
 制御工学実験
 熱工学実験
 材料強度実験
 保健物理実験
 燃料物性実験
 核燃料サイクル実験
 臨界実験 (TCA, NUCEF)
 原子炉実習 (運転・動特性)
 プラントシュミレーター実習
 核物質管理センター実習
 原子力防災センター実習
 コミュニケーション、メチア対応実習

原子力国際専攻

原子力基盤工
 学
 カエネルギー工学
 器・ビーム工学
 カモデリング工学
 線工学

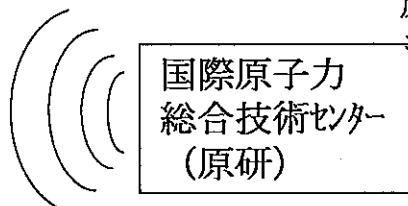
- ・先進原子
- ・先進加速
- ・先進原子
- ・先進放射

原子力マネージメント工
 学
 学
 学
 管理工学

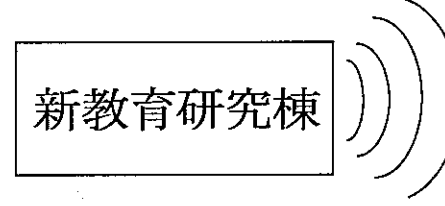
- ・放射線医用工
- ・原子力政策科
- ・放射線防護工
- ・原子力リスク

原子力国際保障
 学
 置学
 政治学

- ・国際保障措
- ・原子力国際



インターネット講義



大型プロジェクトと技術革新

- (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押えるためその1%を技術革新のため別予算として使用。次世代炉、革新炉も大学むけのプログラムあり。

- 数%は大型プロジェクトに対する保険と考えてもよい。
- 日本の競争的資金は制限を減らし柔軟に運用できるように、基礎基盤はハードの前にソフト(人と知財)が重要

原子力工学の今後

- ・原子力工学は工学と理学の境界領域
- ・原子力は文・理の境界領域
- ・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
- ・社会人文系の理解の上に新しい学問体系の構築

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の例

- 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。

原子力工学の展開の例

- ・原子力モデリング工学

詳細な実験・計測とモデル化、計算科学技術利用、(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、レーザの材料理工学研究への応用

プラズマ・レーザ・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、医学物理

- ・原子力安全性、信頼性

高経年化、腐食、機器劣化の物理と予測診断、リスクインフォームド規制、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

まとめ

大学を中心とした原子力教育によって、技術を革新し、新たな発展を生み出す高度な人材が生まれ、それによってこそ幅広い原子力の可能性を開拓し、新展開を図ることが出来る。

世界をリードする有名大学は優秀な人材を世界中から集め教育・研究し産業を生み出している。

米国の大学でそれを可能にしているのは競争的資金と寄付資産・財産、州政府からの補助(教育については競争的資金ではなく恒常的経費)

プロジェクトの予算の一部を技術革新にまわせないか。

原子力研究教育のための基盤的実験設備の運用・維持に手当てを。(原子力は費用がかかる)