

原子力安全マネジメント学講座 の概要

特任教授(兼務) 関村 直人

東京大学 副学長

東京大学大学院 工学系研究科原子力国際専攻 教授

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」について

設置専攻：工学系研究科原子力国際専攻

設置期間：2020年4月1日～2023年 3月31日（3年間）

連携機関：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

* 東京大学に設置される国立研究開発法人連携講座として3例目

（いずれも工学系研究科）

✓「創発物性科学」：国立研究開発法人理化学研究所

✓「フロンティア宇宙工学研究所拠点」：国立研究開発法人宇宙航空研究
開発機構

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」設置の背景

① 日本原子力研究開発機構と東京大学の包括連携協定(2008年締結)に基づく連携協力

原子力専攻(専門職大学院)はもちろんのこと、弥生炉廃止措置、中性子科学(物性研)、計算科学(柏Ⅱ)、廃炉国際共同研究センター(岡本教授がセンター長兼任)に加えて、安全研究を支える人材の育成についても、機構と東大の議論が有機的に進展してきた。

② 原子力規制人材育成事業(原子力規制庁から東大への委託事業)の効果的推進

2016年度～2019年度(代表:関村 直人)

「国際標準プロアクティブエキスパート育成」

2020年度～2024年度(代表:糸井 達哉)

「我が国固有の特徴を踏まえた原子力リスクマネジメントの知識基盤構築のための教育プログラム」

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」設置の背景

➤ 巨大で複雑な人工物システム（社会経済システム）としての原子力

- 東京電力福島第一原子力発電所事故（2011年3月）から10年を経ようとする現在の複合的で多様な課題
- 自然現象と人工物システムの相互作用と不確実性のマネジメント
- 合理的な安全性確保と継続的な安全性向上
 - uncertainty, defense-in-depth, risk-informed approach, graded approach
- 知識集約型社会におけるマネジメントシステム
 - 短期的と長期的な社会課題の解決
SDGs, Global Commons
 - 科学技術と倫理的・法的・社会的課題
ELSI: Ethical, Legal and Social Issues
 - 人間・技術・組織の間にある課題
HTO: Human, Technology, Organization

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」における 研究の目的、教育の目的、期待される成果

研究の目的:原子力安全マネジメントシステムの構築

- ① 統合的原子力安全マネジメント学
- ② 放射性廃棄物の処理・処分に関連する原子力安全マネジメント学
- ③ 外的事象に関連する原子力安全マネジメント学

教育の目的:

- 複雑なシステムを効果的かつ安全に運用するマネジメント能力を有する人材とリーダーを育成、輩出する
 - ✓ 安全上の脆弱点を同定し、それらの解決に寄与する能力
 - ✓ 効果的な安全性向上に繋がる新たな技術的知識を創出する能力
 - ✓ 国際機関との協力や標準策定活動等への関与

期待される成果:研究教育の中核的プラットフォーム形成

- ✓ 長期に亘る取組が必要とされる基盤技術形成と技術革新を進める研究や、大型の研究施設等を活用する共同研究等を推進し、総合的な原子力安全に関する技術力の維持向上と人材の育成や有機的なネットワーク構築を可能とする。

「原子力安全マネジメント学講座」での 具体的な研究分野と担当教員

1. 統合的原子力安全マネジメント学

- ✓ パフォーマンスベース原子力安全
- ✓ 原子炉燃料破損、構造健全性、事故時熱流動とソースターム評価
- ✓ 人的組織的要因の体系的考慮及び安全性向上のための総合的な意思決定
- ✓ レジリエンス工学に基づく知識基盤とコミュニケーション

関村教授が特任教授を兼務

陳 東鉞特任准教授

2. 放射性廃棄物の処理・処分に関連する原子力安全マネジメント学

- ✓ 放射性廃棄物埋設の管理と処分に関する安全評価
- ✓ 核燃料サイクル施設のリスク評価
- ✓ 使用済燃料の貯蔵・輸送の安全評価

特任教授 中山 真一氏
(日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門副部門長)

3. 外的事象に関する原子力安全マネジメント学

- ✓ 自然現象のハザード評価と信頼性
- ✓ 地震津波に対する建物・構築物・土木構造物・機器・配管系のフラジリティ評価
- ✓ 外部事象等による衝突・衝撃評価

上席研究員 高田毅士氏
(東京大学名誉教授(建築学)、
日本原子力研究開発機構
リスク情報活用支援室長)

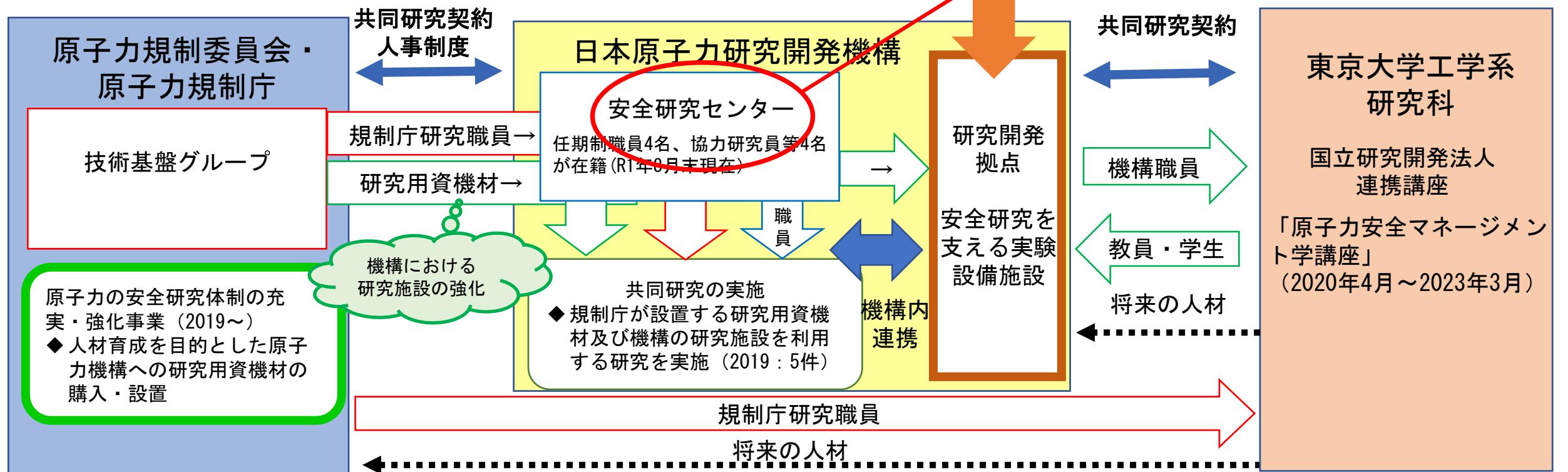
- 教員に加え、協力研究員が研究を推進
- 日本原子力研究開発機構の大型研究施設の活用や国際協力研究を実施

- 原子力国際専攻における大学院教育を担当⁶

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」を支える協定と大型研究施設等



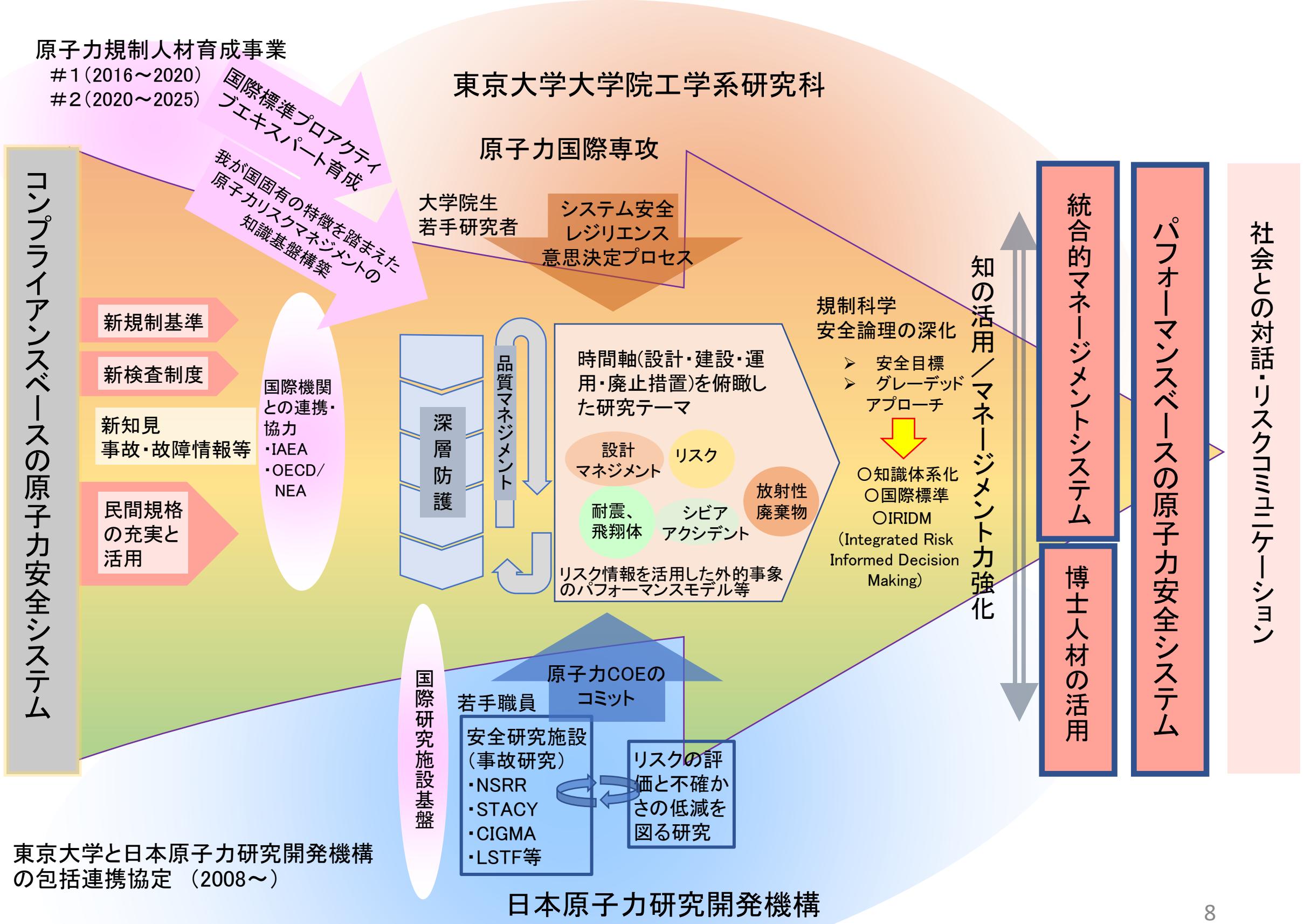
技術支援機関 (TSO) として、原子力規制庁からの交付金や受託事業により先導的・先進的な研究を推進するとともに、単独で又は規制庁の研究職員と共同で行う当該分野の研究を通じ、技術支援に必要な人材の確保及び育成、規制庁職員の人材育成支援、安全研究に必要な試験研究施設等の維持・整備を行う。



原子力規制委員会と日本原子力研究開発機構の協力協定 (2019年3月締結)

東京大学と日本原子力研究開発機構との間における連携協力の推進協定 (2008年4月締結)

国立研究開発法人連携講座 「原子力安全マネジメント学講座」の背景と期待される成果

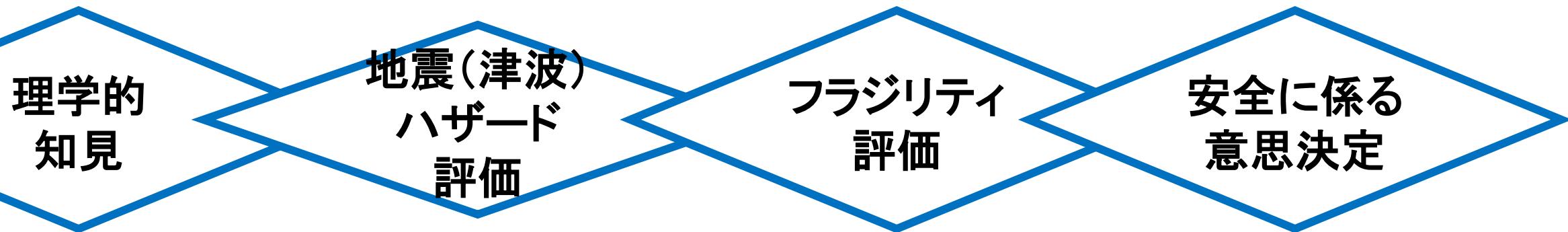


「マネジメント」について

- マネジメントとは、高度に専門的な知識を他との協働によって有効なものとするための方法
 - ✓ 高度な知識が中心となる時代(知識集約型社会)においては、これまで経営幹部に特有の機能であったマネジメントが、あらゆる人にとっての教養、常識になっている。
 - ✓ また現在のような変化の時代では、放っておけばあらゆるものが陳腐化する。変革と継続の矛盾を乗り越え、社会の発展に貢献するかはマネジメントの役割。
 - ✓ マネジメントの知識、自らの専門領域の高度な知識、その他の専門領域の意味性についての知識、自らをマネジメントするための知識を組み込んでいくことが求められる。

自然現象と相互作用する複雑システムの 安全に係るリスク評価

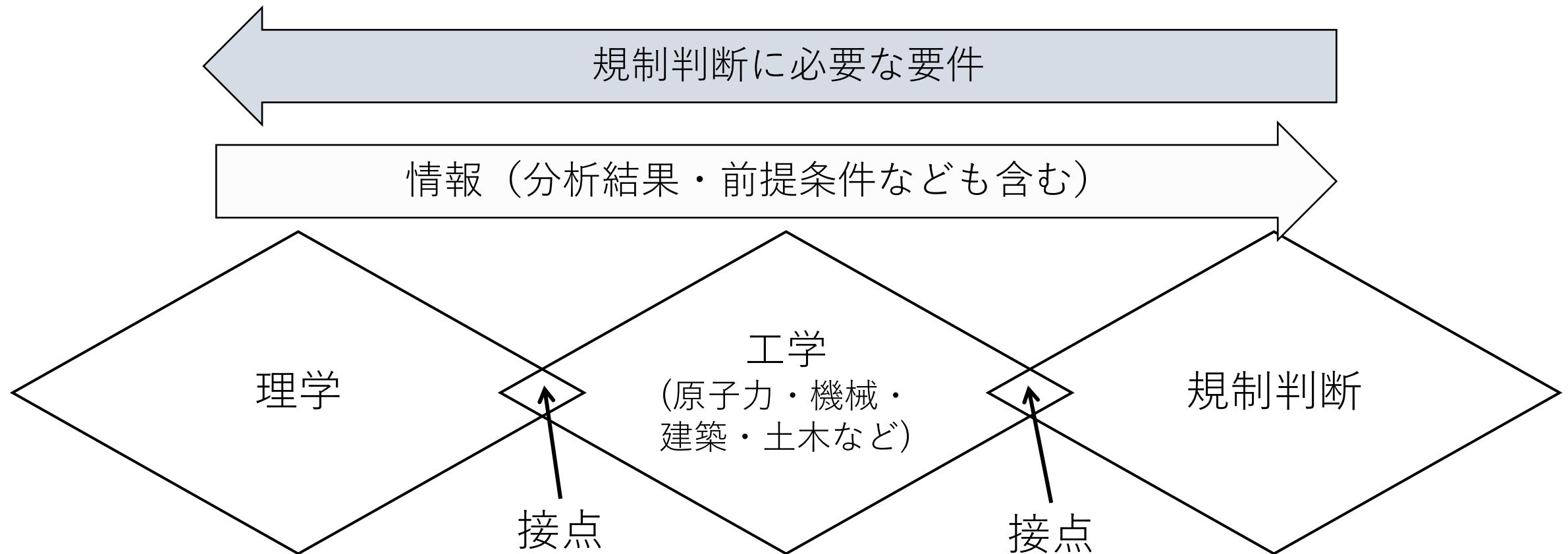
✓ 評価の方法論



✓ 不確実性の取扱い

✓ 情報の流れと受渡しの主体

自然災害リスクマネジメントの分野横断性



- ・ 持続可能な原子力安全規制を実現には、以下が必要
 - ・ 規制／被規制、原子力／非原子力、組織の枠を超えた、**共通的な知識基盤**の構築
 - ・ **自主的取組**と**法的規制**を組み合わせた我が国独自の規制の考え方
 - ・ 共通的な知識基盤の上で、相反的な条件も踏まえ、全体としてよい方向に向かう形での**問題設定、マネジメント、責任のある意思決定**ができる人材
- ・ 自身の分野における**知識を本学の教育体系の中で身につけている学生が**、このことの重要性に気づき、**考える「しかけ」**を提供

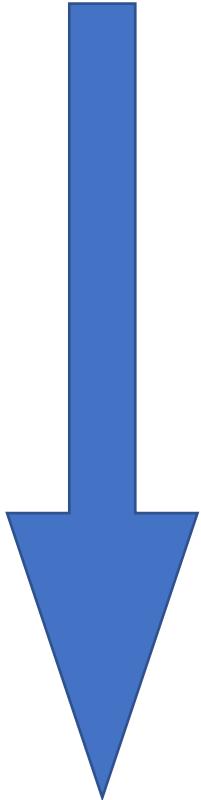
「工学システムの自然災害リスクマネジメント(E)」

東京大学大学院工学系研究科共通科目「減災・復興実践学教育プログラム」、「レジリエンス工学横断型教育プログラム」として

1. 概論	関村 直人(東大)／糸井 達哉(東大)
2. 工学システムのライフサイクルマネジメント	関村 直人／村上 健太(長岡技科大)
3. 自然ハザードの特徴(地震)	三宅 弘恵(東大地震研[理学系])
4. 自然ハザードの特徴(津波)	佐竹 健治(東大地震研[理学系])
5. 自然ハザードの特徴(火山噴火)	前野 深(東大地震研[理学系])
6. 構造物の設計と被害、復旧	楠 浩一(東大地震研[工学系])
7. シミュレーションの信頼性(シミュレーションの検証と妥当性確認 (Verification & Validation)を含めた品質保証)	越塚 誠一(東大)
8. 自然ハザードに対する工学システムの安全性	糸井 達哉 (東大)
9. 事故時・事故後の対応と地域防災	山口 徹治(原子力機構)
10. 社会における科学技術の位置づけ	佐倉 統(東大情報学環)
11. Sociotechnical Transitionと原子力	杉山 昌広(東大未来ビジョン研究センター)
12,13. リスクコミュニケーション、自然ハザードへの対処に関わる法規制 and/or 訴訟も含めた社会との関わり	規制庁からの外部講師

※ 加えて、地震・津波以外の重要な自然ハザードに関する講義(例:火山噴火に伴うハザード、極端気象の影響など)を東京大学地震研究所等学内関連組織の協力を得ながら行う。

「安全文化」醸成活動の段階

- 
- ✓ 第一段階 : 「規則」に基づく段階
安全は規則・規制に基づいている
 - ✓ 第二段階 : 「目的」に基づく段階
安全が組織の到達目標とみなされている
 - ✓ 第三段階 : 「改善」に基づく段階
安全は常に向上させられる

3つの段階の例(1)

段階	第一段階 「規則」に基づく	第二段階 「目的」に基づく	第三段階 「改善」に基づく
コミュニケーションと チームワーク	個人や組織間のコミュニケーションは十分でない。組織間や機能分野ごとのコミュニケーションは推奨されていない。	組織間や分野間のチーム形成やコミュニケーションが、責任者によって推奨されている。上位の責任者は、チームをとりまとめ、組織や分野としての決定を適切に調整している。	構成員は組織間の協力の必要性を認識し、コミュニケーションを実践している。構成員は責任者のサポートと評価を受け、チームとして協力をするために必要な支援を受けている。
マネジメントの役割	マネジメントは、規則を承認し、構成員を働かせ、成果を期待することを主としているとみなされている。	マネジメントの役割は、マネジメントの手段を適用することであるとみなされている。	安全の実績を改善するために構成員を指導することは、マネジメントの役割の一つである。マネジメントは継続的な安全向上のモデル化に説明責任を有する。
安全の価値	安全とは必要ではあるが厄介ごととみなされる。短期的な利益や生産性の目標が重要であって、しばしば安全より重要な事項とみなされる。	安全は高いコストを払うべきものであり、生産性を減ずるものとみなされる。	安全と生産性は、お互いに相関が深いとみなされる。

3つの段階の例(2)

段 階	第一段階 「規則」に基づく	第二段階 「目的」に基づく	第三段階 「改善」に基づく
多様性の価値	構成員は個別に役割を果たす「システムの構成要素」とみなさる。 多様性は、弱点とみなされる。	多様性は重要なものとして認められているが、有効に活用されることはまれである。 多様性は意思決定にはまれに活用されるに過ぎない。	構成員は全体としてのパフォーマンスへの貢献と安全に関連する知見の観点から、尊重され評価される。 意見の多様性はあるべきもので受け入れられる。
矛盾や不一致のマネジメント	意義を唱える人は、そのために罰せられる。 管理者と構成員の間には、対立関係がある。	意義を唱える人は我慢を強いられ、異なった意見は推奨されない。 意見の不一致は、チームワークを乱すものとみなされる。	質問をすることが推奨され、意義を唱える人の視点が認められる。 意見の不一致は互いに価値ある解決策を探るために有用であるとされる。管理者と構成員は、互いを尊重し相互に協力的な関係を持つ。

3つの段階の例(3)

段 階	第一段階 「規則」に基づく	第二段階 「目的」に基づく	第三段階 「改善」に基づく
システムの視点	構成員は独立して業務にあたる。 「それは私の問題ではない」とのフレーズが、頻繁に聞かれる。	構成員は組織においてどのようにその役割と仕事に影響するかを認識している。	構成員は組織の目的を十分に理解しており、いかに貢献すべきかを知っている。 意思決定は、構成員の成果が安全に影響する因子とその組織全体に及ぼす因子を理解した上でなされる。
教育・訓練	教育・訓練は重荷と考えられ、仕事を進めるための妨げとなると考えられる。	教育・訓練は必要な要素であると考えられる。	教育・訓練は投資であると考えられる。

以上の例は、Management System: Safety Culture REGDOC-2.1.2, Canadian Nuclear Safety Commission (2018) より抜粋して、日本語訳したもの。

定期安全レビューにおける14安全因子マトリックスへのDEMATEL法の適用

— 統合的原子力安全マネジメントへの数理的手法の適用 —

安全因子間相互影響 0次近似行列 (IAEA SSG-25, 2013による)

		Safety factors providing input													
		SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7	SF8	SF9	SF10	SF11	SF12	SF13	SF14
Safety factors receiving input	SF 1		X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
	SF 2	X		X	X	X			X	X	X				
	SF 3	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X	
	SF 4	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			
	SF 5	X	X	X	X		X		X	X		X	X	X	
	SF 6	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	
	SF 7	X	X	X		X	X		X	X		X	X	X	X
	SF 8	X	X			X	X	X		X	X	X	X		X
	SF 9	X									X	X			X
	SF 10		X			X	X		X	X		X	X		X
	SF 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
	SF 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	SF 13	X				X	X	X	X	X		X			
	SF 14	X	X				X		X	X		X			

SF 1 プラントシステム設計

SF 2 安全上重要な系統・機器の状況

SF 3 設備の適格性(EQ)

SF 4 経年劣化

SF 5 決定論的安全評価

SF 6 確率論的安全評価(PRA)

SF 7 ハザード分析

SF 8 安全実績、パフォーマンス

SF 9 運転経験及び研究成果の反映

SF10 組織マネジメントシステム・安全文化

SF11 手順書整備

SF12 人的要因

SF13 緊急時計画

SF14 環境への放射性物質影響

- 安全因子間の相互影響行列 A による間接的影響を含めた統合的な評価

DEMATEL法：

Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

$$A + A^2 + A^3 + \dots + A^n + \dots = A(I - A)^{-1}$$

適用先例

- 事故・トラブル対策の総合的な評価
- 検査制度指摘事項への対応
- CAPに基づいた自主的安全性向上の評価
- 設備取換えに伴う設計情報更新
- コミュニケーションにおけるGraded Approach
- 新知見への対応評価
- Un-known un-knownへの対応基本方針策定

社会の多様な「ニーズ」と原子力が直面する課題



社会の「ニーズ」に応える 継続的な安全性向上・継続的なイノベーション

- 日本学術会議公開シンポジウム「新知見の扱いとその活用」(2020年9月10日)
主催: 日本学術会議(第24期)総合工学委員会原子力安全に関する分科会

- 学術の動向(2020年12月刊行)
「原子力利用の安全性に関する新知見の
評価をめぐって」

- 福田 収一先生
(慶応義塾大学システムデザイン・
マネジメント研究科)
「知識の時代から知恵の時代へ」
- 佐倉 統先生
(東京大学 情報学環・学際情報学府)
「科学技術を社会の中で考える」

- ✓ 第三の道が必要ではないか
 - 技術が社会を変える(専門家主義)
 - 社会が技術を変える(大衆至上主義)

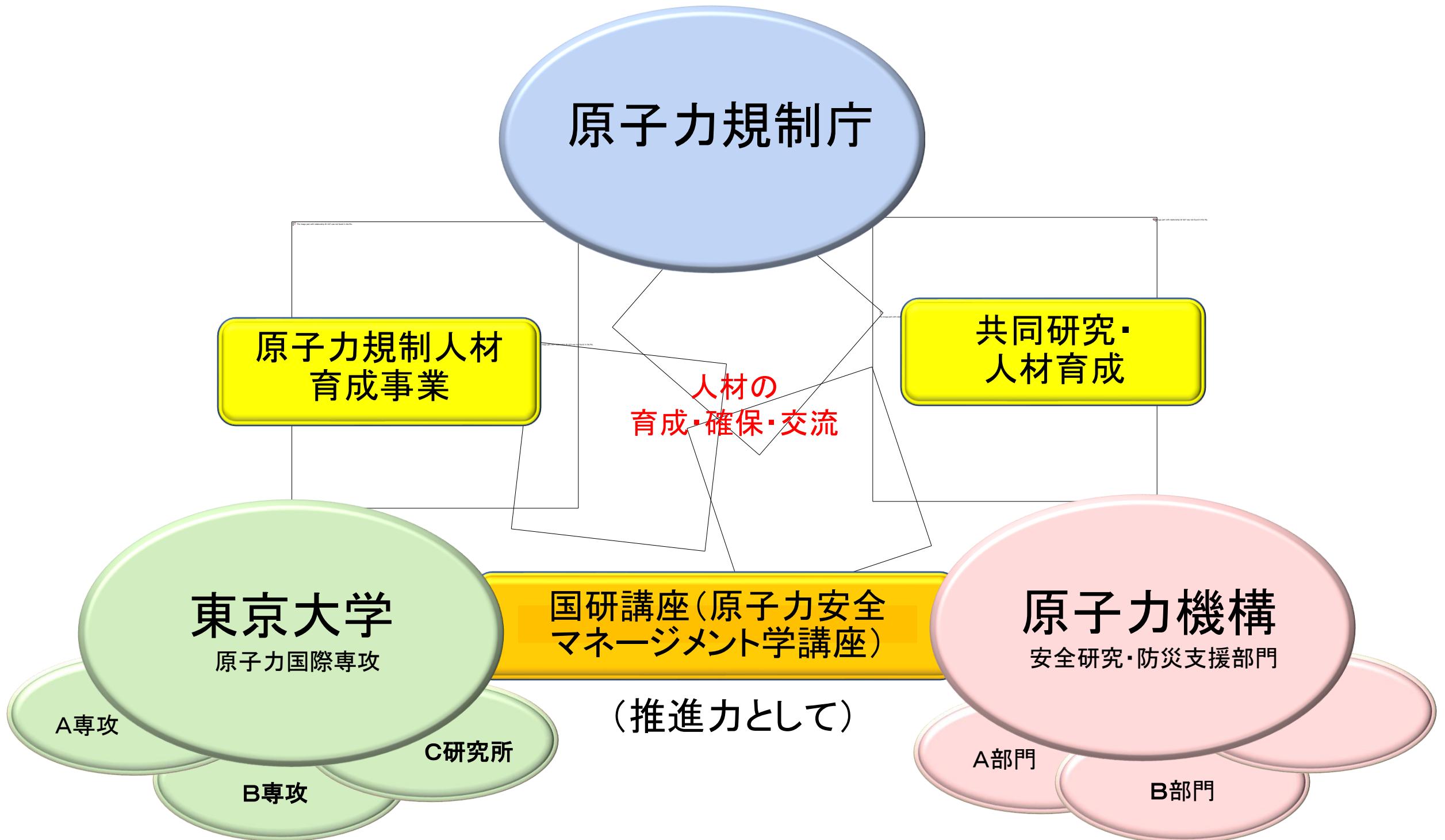


中核的プラットフォーム形成 知識集約型社会のネットワークのネットワークへ

- 学内外の専攻、部局、分野を超えた研究協力、教育参画
- 学生・若い世代の幅広い参加、インターンシップ等
- JAEAの安全研究・防災支援部門だけでなく、他の部門等との課題検討の場を提供
- 規制委員会委員、規制庁職員の幅広い参画
- 学協会や学会会議を跨ぐ共通課題の設定
- 海外各国機関や国際機関との協力
- 国際的なネットワーク構築、オンライン講義・会合
- 省庁、産業界、国・民間のプロジェクトとの協調、協力
- 多様性の活用、協力研究員登録制度の活用
- 自ら変化の先頭に立ち、社会の隠れたニーズに貢献

補足スライド

原子力安全マネジメント学講座



原子力安全マネジメント学講座

研究

教育

発信

統合的原子力安全マネジメント学

放射性廃棄物に関する原子力安全
マネジメント学

外的事象に関する原子力安全
マネジメント学

■ 修士・博士研究

■ 共同研究

■ 委託研究

■ 外部資金研究

■ 現役学生

■ 社会人博士学生
JAEA若手、
NRA若手、
企業若手中堅、
留学生等

東京大学の基礎教育基盤

(原子力安全マネジメント学のためのリテラシー/基盤の活用)

- ✓ 専門職大学院のための原子力教科書シリーズ
- ✓ 工学系研究科工学教程 (原点に立ち還るための高度な教科書シリーズ)
(数学、物理、化学、システム学、材料力学,,,,原子力工学:全150巻)
- ✓ 総合的教育改革に基づく新教育体系
 - 倫理教育、コミュニケーション等の数々のリテラシー教育
 - 総合大学としてのメリットを生かした文理融合講義や総合科学技術プログラム、及び英語による討論等を含む講義体系



東京大学 工学教程

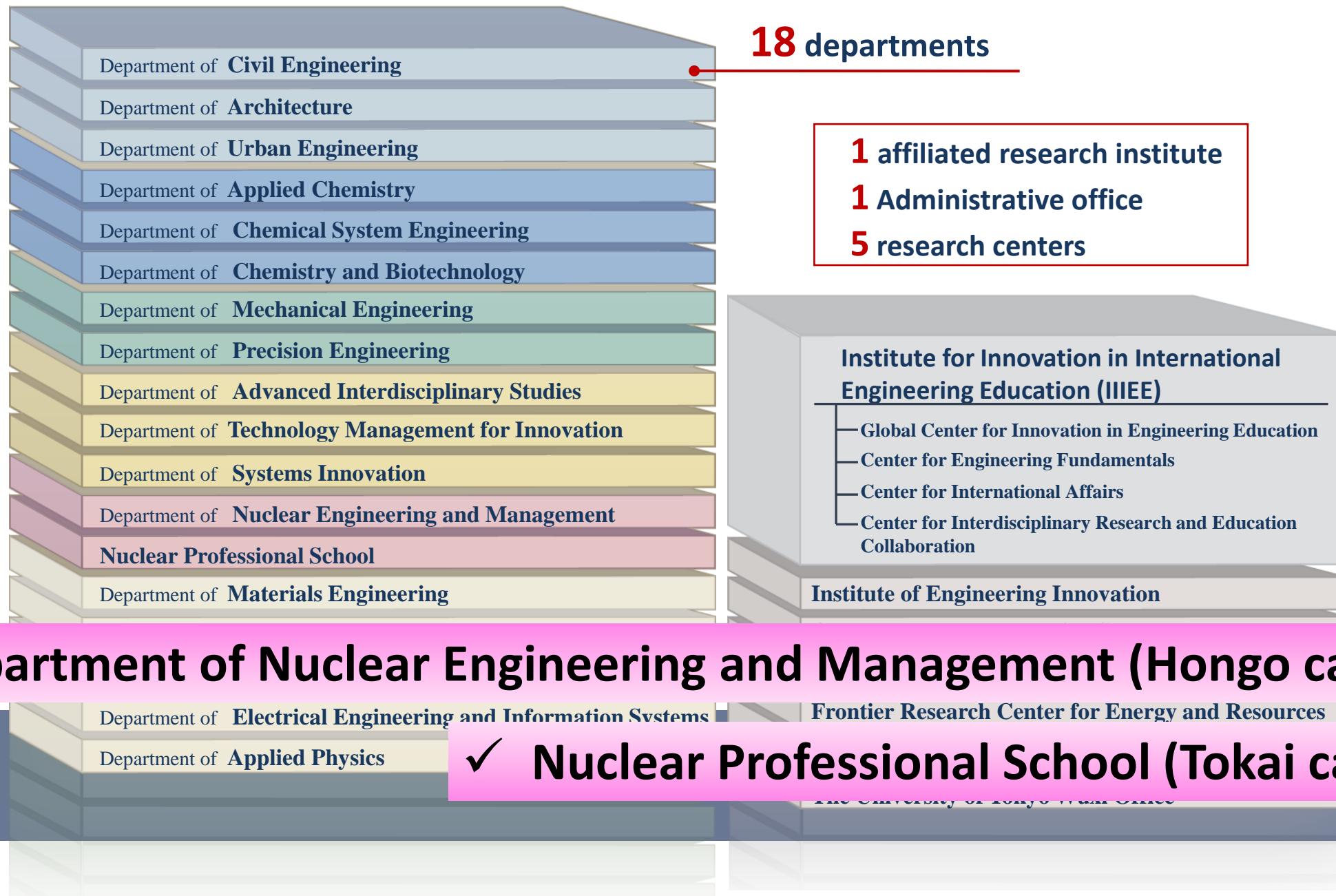
- 原子炉物理学 I
- 放射線化学
(原子核工学I,II)
- 線形代数I,II
- 確率・統計I,II
- 知識情報処理
- システム理論
- 物理化学
- . . .



東京大学 原子力教科書

- 原子炉設計
- 原子力熱流動工学
- 放射線遮蔽
- 原子炉物理学
- 原子炉構造工学
- 放射線安全学
- ヒューマンファクター概論
- 放射性廃棄物工学
- 原子力保全工学
- . . .

Departments in Graduate School of Engineering The University of Tokyo (UTokyo)



Department of Nuclear Engineering and Management ***The University of Tokyo, Hongo main campus in Tokyo***

Faculty Members


原子力国際専攻
 Nuclear Engineering and Management

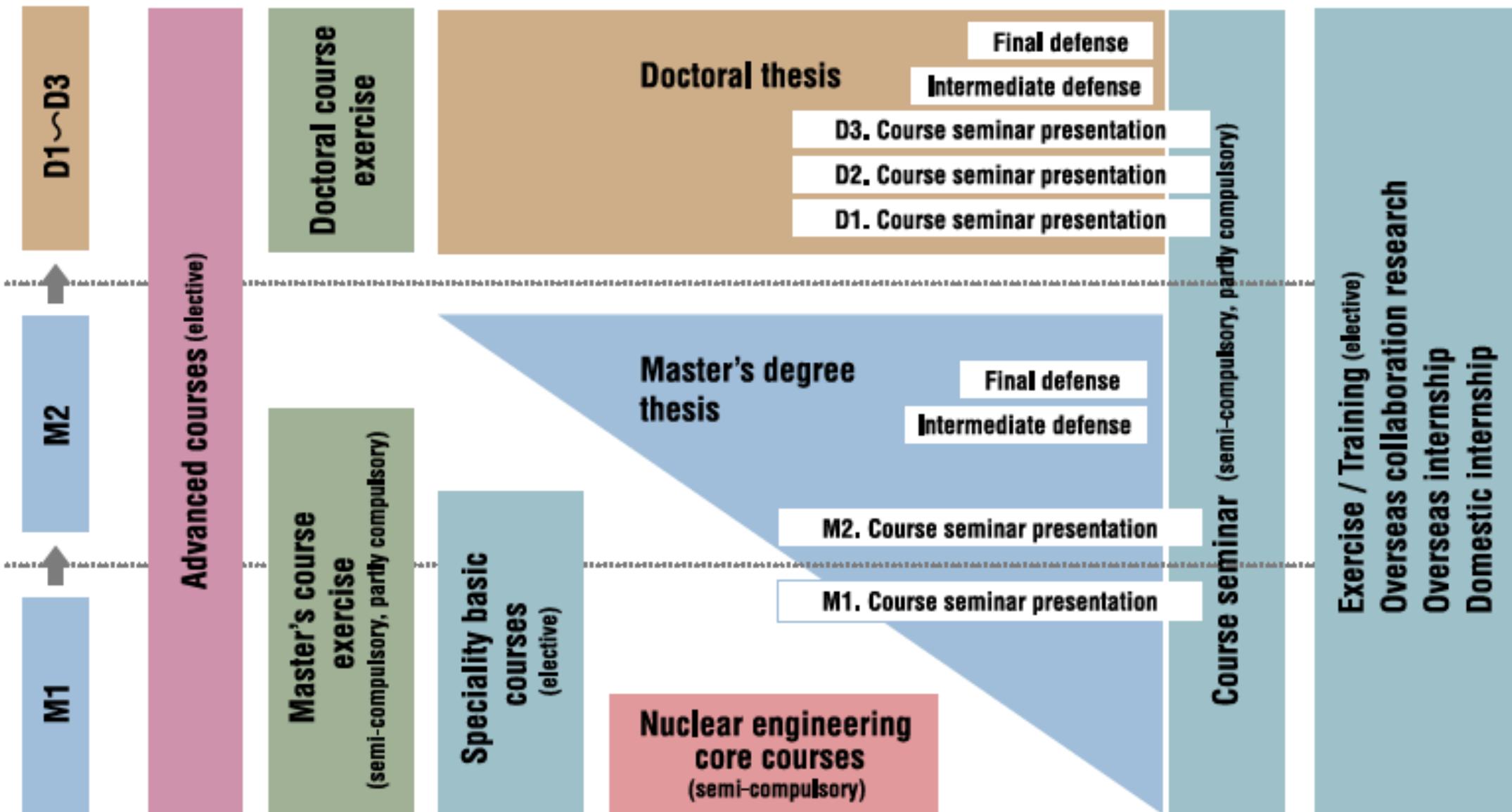
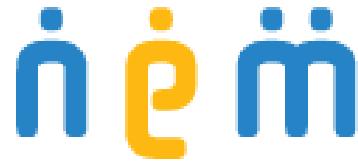
Title	Number	remarks
Full Professors	14	Including 2 Project Professors
Associate Professors	9	
Project Lectures	2	
total	25	

All the lectures, seminars and exercises are made in English.

- Nuclear engineering core courses,
- Specialist foundation courses,
- Advanced courses,
- Course seminars/exercises

Curriculum

Department of Nuclear Engineering and Management



IAEA-INMA : International Nuclear Management Academy

- **INMA is an framework to facilitate implementing Master's degree programmes in nuclear technology management.**
- **Universities implement programmes.**
- **INMA defines 47 competencies in 4 aspect groups that managers working in the nuclear sector are expected to acquire.**
 - Nuclear law
 - Organizational HR management and development
 - Ethics and values of a high standard
 - NPP life management
 -
- **IAEA facilitates university implementations with supporting tools.**

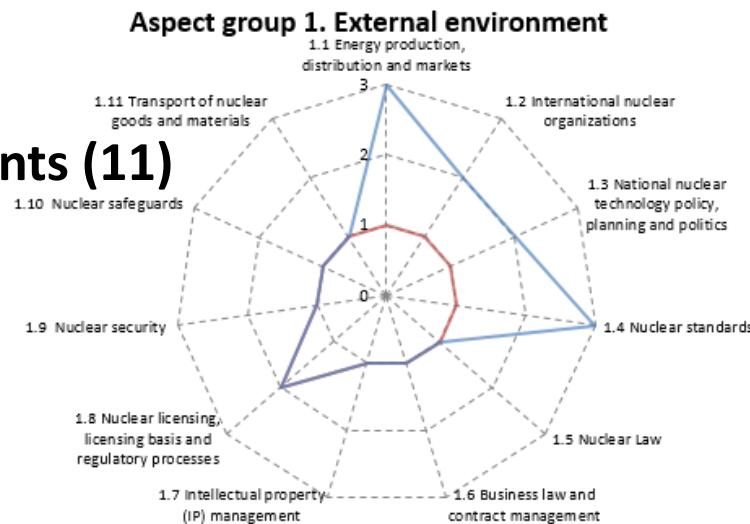
IAEA INMA Peer Review Result



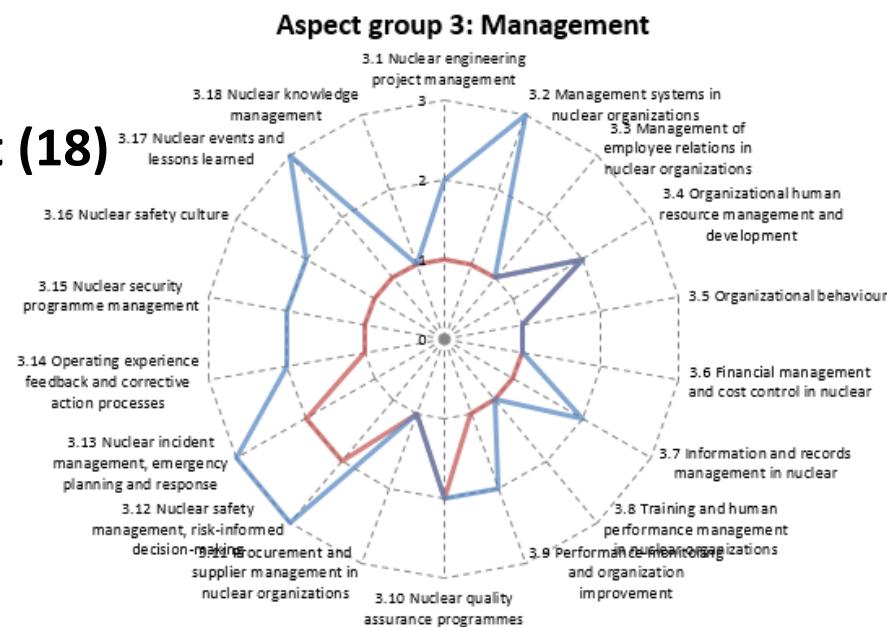
Department of Nuclear Engineering and Management, UTokyo

Aspect Group 1 :
 ✓ **External Environments (11)**

Plot CA level at graduation in Univ. of Tokyo's programme against the CA level at graduation required by INMA



Aspect Group 3 :
 ✓ **Management (18)**

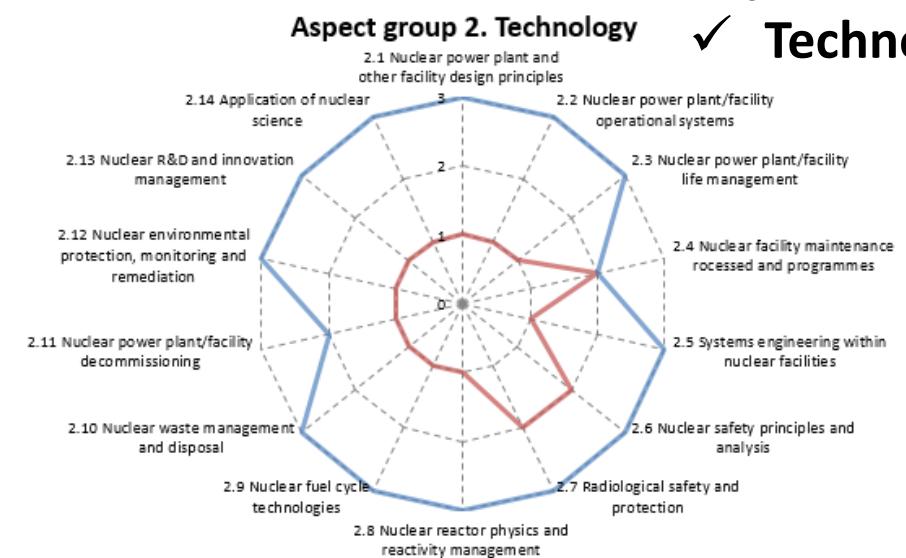


Minimum Level Requirements

— INMA

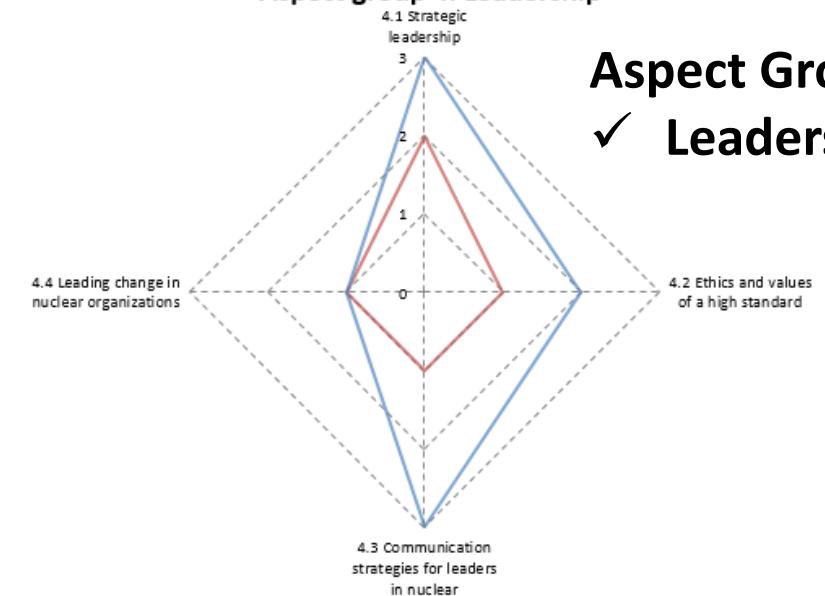
— Department

Minimum CA level at graduation (INMA requirements)
 Minimum CA level at graduation (Your programme)



Aspect Group 2 :
 ✓ **Technology (14)**

Aspect group 4: Leadership



Aspect Group 4 :
 ✓ **Leadership (4)**

国際 プロアクティブエキスパート: 目標とする人物像

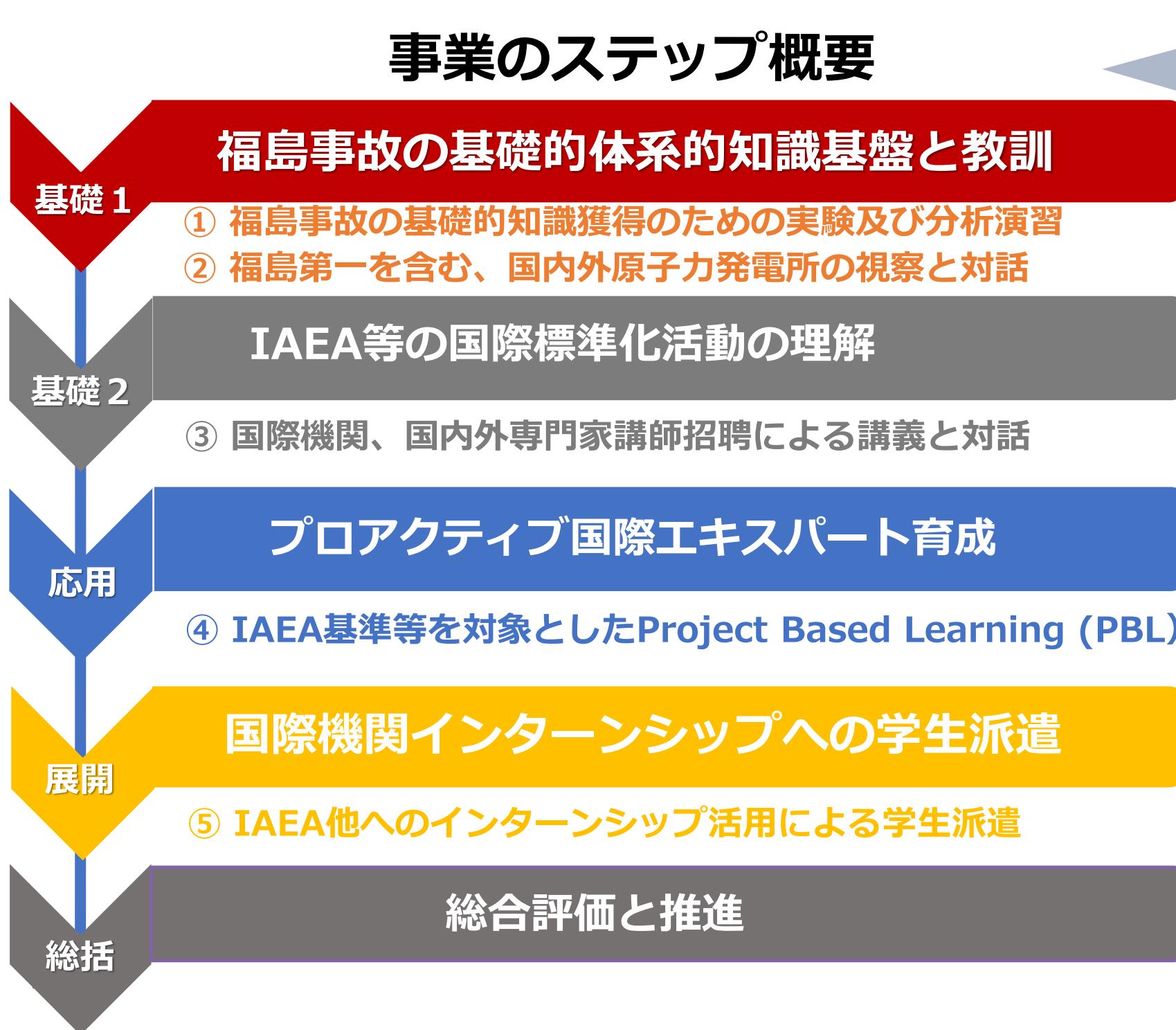
1. IAEA、OECD/NEA等の国際的な場に参画し、国際標準策定活動、安全研究等に積極的に関与する
2. 国際的な最新知見を我が国の規制に反映する
3. グレーデッドアプローチを含む総合的リスクマネジメントを先見性を持って、意思決定過程に適用する
4. 被規制者や利害相反者とも積極的に対話し、相手の立場を尊重しつつ、自らの確固たる視座をもち判断をする

参考: IAEA/IRRSでの原子力規制委員会への人材育成に関する勧告 R5

『能力の評価、研修プログラムの実施、OJT、内部での職務ローテーション、さらに、TSO(JAEA)、大学、研究機関、国際機関、外国機関との安全研究や協力の充実に関する活動をさらに発展させ実施すべき』

国際 プロアクティブエキスパート育成 事業の各段階

事業のステップ概要



東京大学の
教育基盤

専門職大学院及び
工学教程シリーズ