

東京科学大学における原子力安全・核不拡散・核セキュリティ研究・教育の実践

東京科学大学 総合研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所

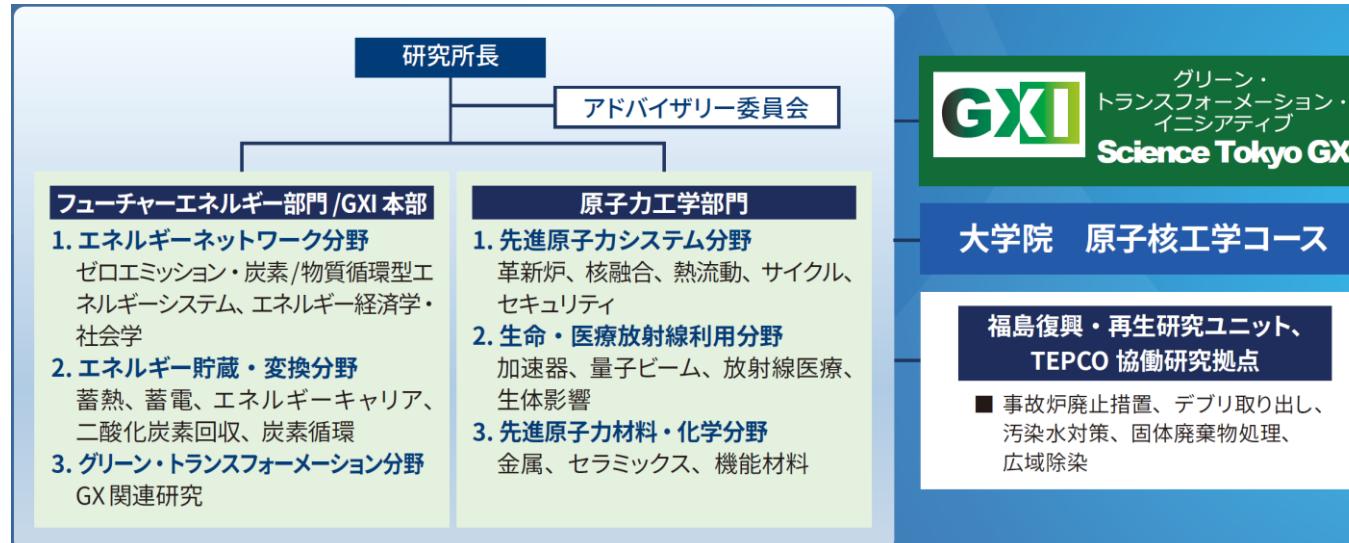
相楽 洋



- 東京科学大学における原子力研究・教育
- 3S教育の体系化と実践
- 米国大学で大変革した核不拡散・核セキュリティ研究・教育

□ ゼロカーボンエネルギー研究所(ZC研)を母体とした研究・教育

- ZC研では原子力を含むZCE開発、エネルギー貯蔵・変換、炭素・物質循環技術を開発し、持続可能なCN産業そしてCN社会構築への技術貢献を目指します。大学院原子核工学コースと連携した学生教育



□ 教員構成（原子力工学部門/原子核工学コース担当）

- 教授10名、准教授13名、助教5名

□ 原子力および放射線関連研究施設

- 少量国際規制物質を扱うLOFs、放射化物の材料試験、密封・非密封RI、加速器およびコバルト照射施設
- 研究分野：先進原子力システム、生命・医療放射線利用、先進原子力材料・化学

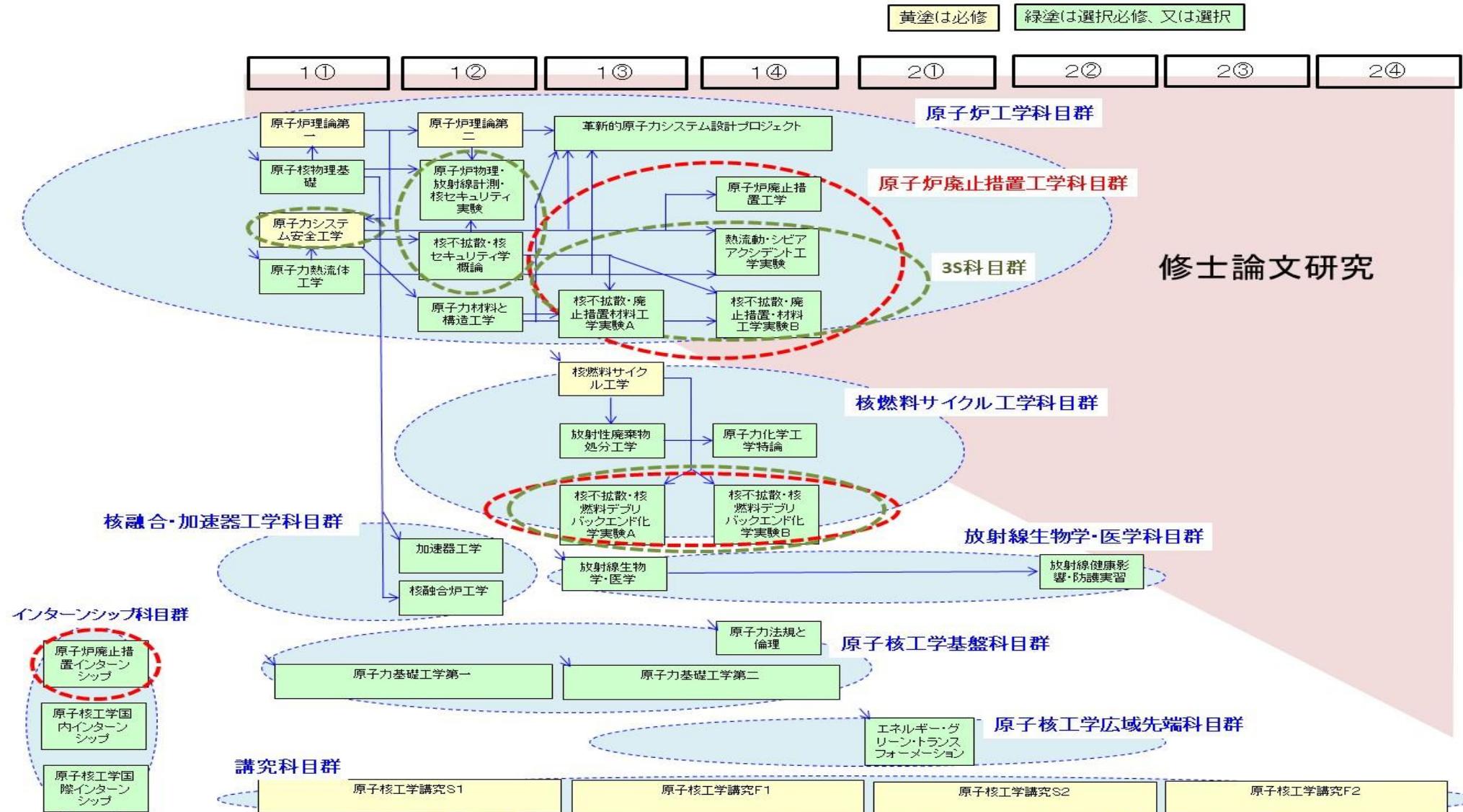
東京科学大学における原子力研究・教育

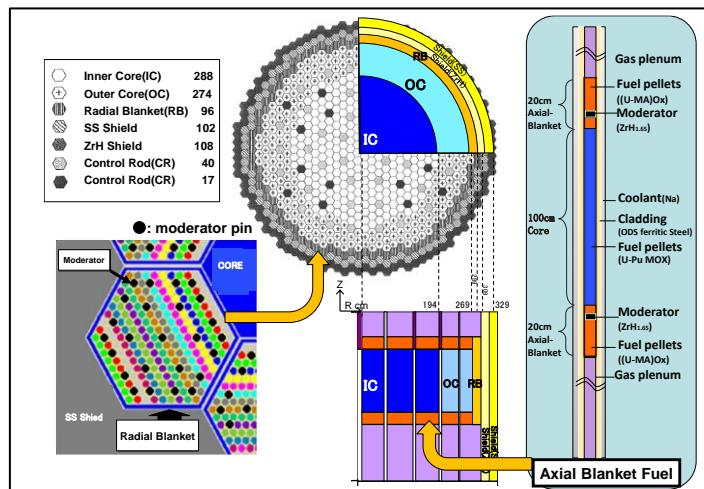
原子核工学コースにおける大学院教育

- ✓ 1957年に原子核工学専攻が設置されて以降、**68年以上の伝統と実績**
- ✓ 工学院（機械系、電気電子系）、物質理工学院（材料系、応用化学系）、環境・社会理工学院（融合理工学系）の**3学院5系を横断する複合系コース**

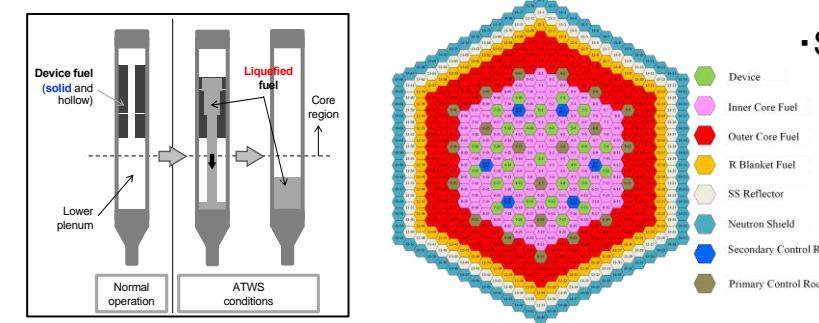


修士課程科目体系図 (専門分野を英語で学ぶ)

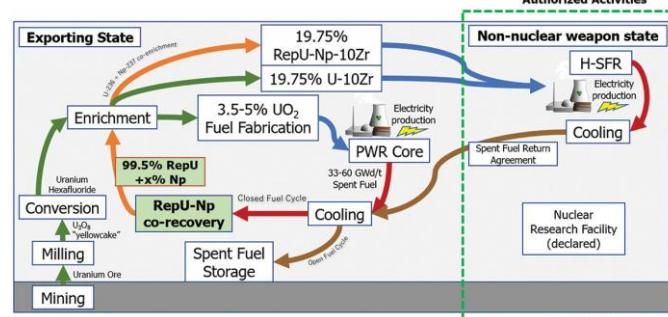




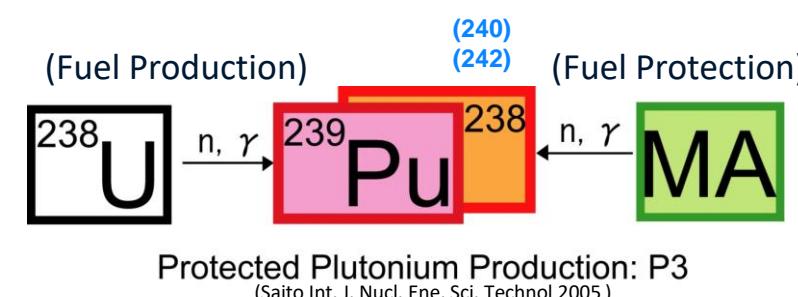
高い核拡散抵抗性を有するナト 高速炉 (Sagara et al., PNE 2011, 2015, ANE 2019)



ナトリウム冷却高速炉の安全性強化デバイス開発
(Sagara et al., PNST2025.) Authorized Activities



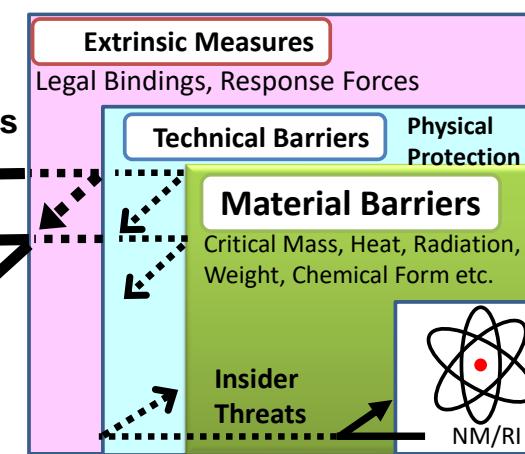
・回収UとMAを用いたHALEU高速炉サイクル (Lisowski, Sagara, Nucl. Techol. 2025)



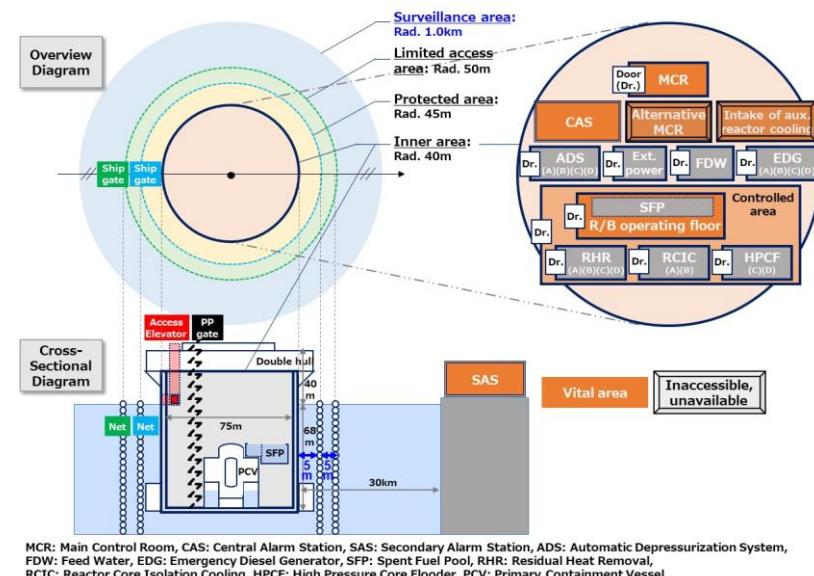
Protected Plutonium Production: P3



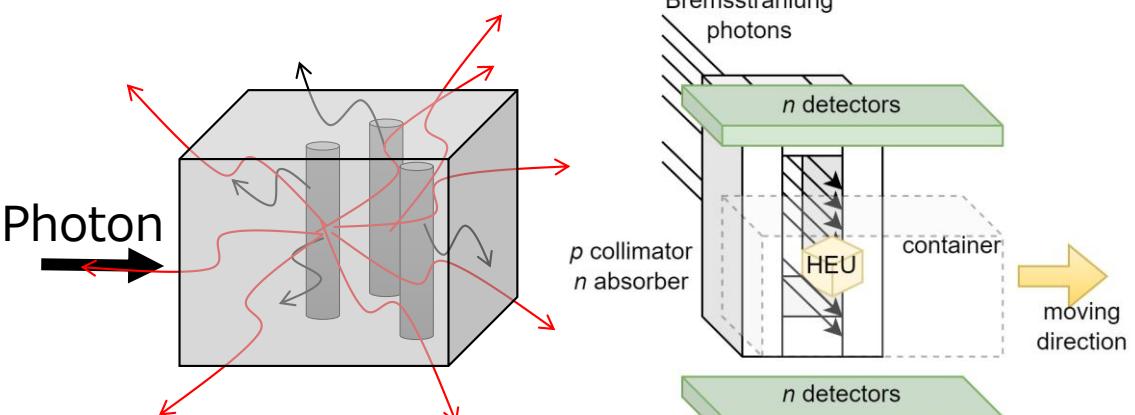
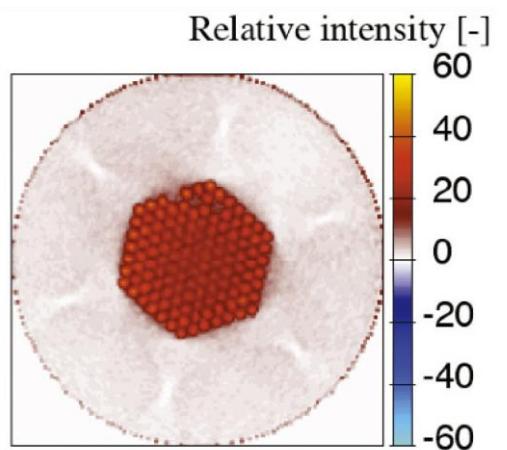
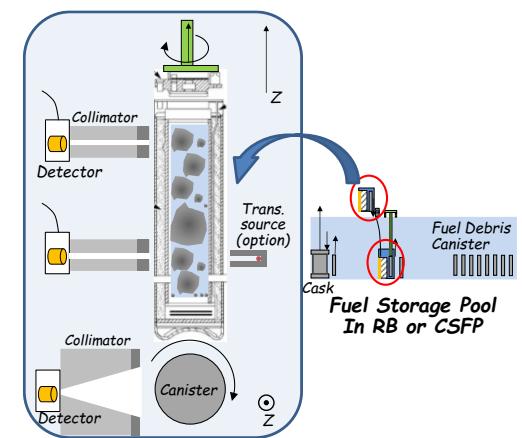
¹JNL/JOU-15-34239



事故耐性燃料による軽水炉の経済性および3S内在性強化 (Mitsuboshi, Sagara ANE 2021.)



浮体式原子力発電所の核不拡散性



Passive Gamma/Neutronを用いた非破壊測定技術

(Sagara et al., JNST 2014, Shiba Sagara JNST 2021)

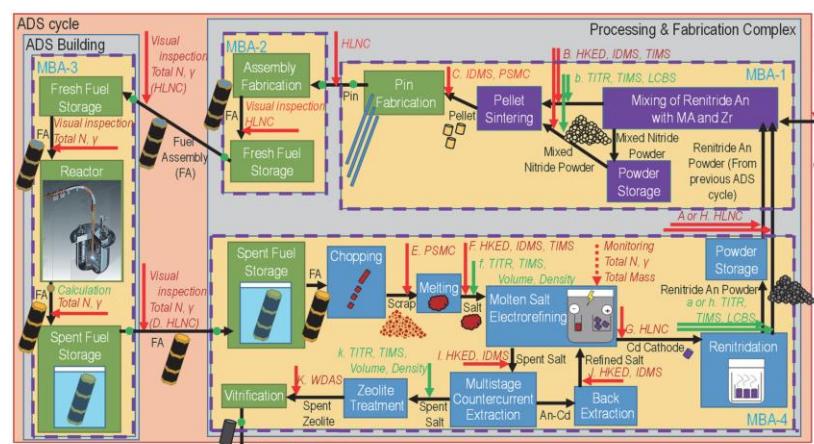
光核反応を用いた非破壊測定技術

(Kimura, Sagara, JNST(2016), Chin, Sagara et al., PNST 2025)



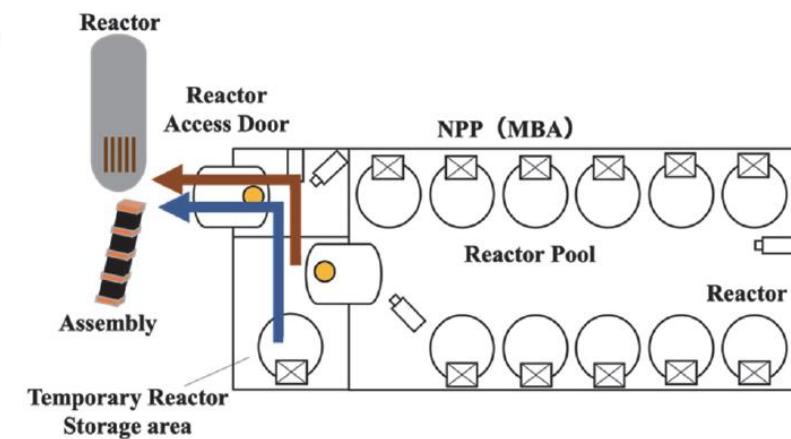
Environmental Dynamics

(Hamza, Sagara, Han, Nagai., 2017, 2020)



加速器駆動システム燃料サイクル 次世代・革新炉のSecurity/Safeguards by Design

(Oizumi, Sagara et al., PNST 2025, ANE 2025, Mitsuboshi, Sagara PNST 2025)



小型モジュール炉

- 東京科学大学における原子力研究・教育
- 3S教育の体系化と実践
- 米国大学で大変革した核不拡散・核セキュリティ研究・教育

□ 目的

- 原子力利用における確かな安全を確保し、原子力災害、核テロ、核拡散等のグローバルな原子力危機に適切に対応する将来の 3S (原子力安全 (Safety)、核セキュリティ (Security)、保障措置 (Safeguards)) 分野を理解し俯瞰できる専門家又はリーダーの育成

□ 背景：原子力規制人材育成事業

- 2017-2021年度 原子力規制庁からの補助を受け、3S 教育カリキュラムを構築 (ANSET)
- 2022年度より、実験や実習を大幅に強化しフィジカル・フィジカル空間にまたがる新たな3S教育を拡充 (ANSET-CP)

□ 目標

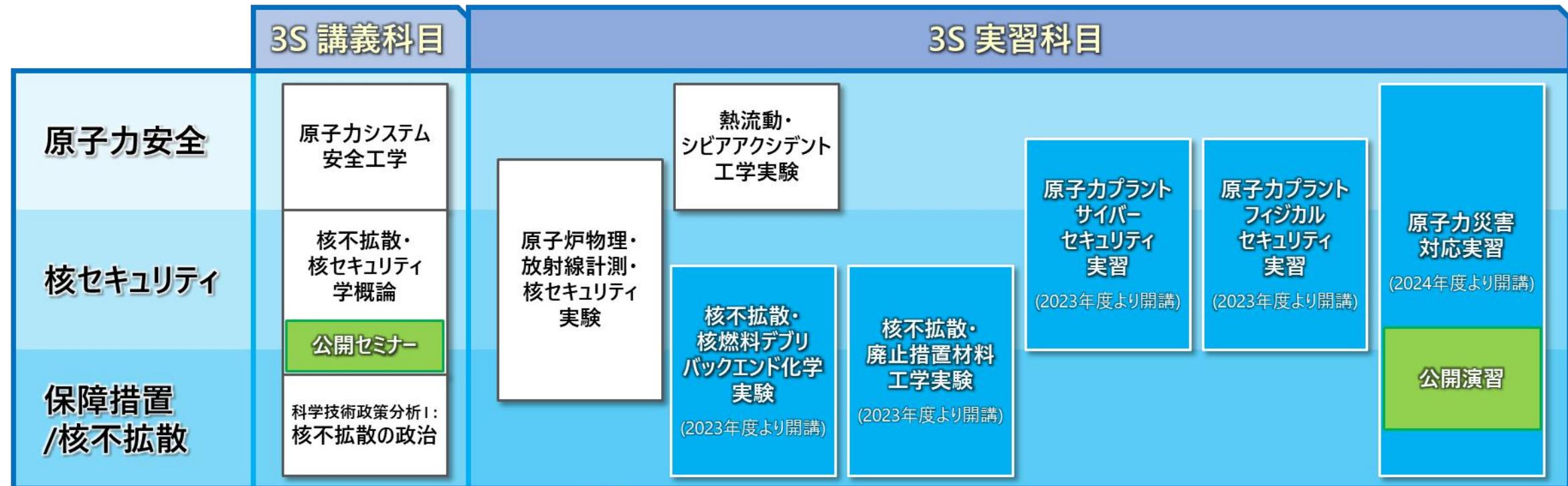
- 「核セキュリティ・保障措置を理解しフィジカル・サイバー空間にまたがる原子力プラント 3S を俯瞰し、実践・主導できる人材」の育成
; ANSET-CP : Advanced Nuclear 3S Education and Training in Cyber-Physical Space
- ➔ 知識のみならず、
実際の核物質や放射性物質の取扱や破壊・非破壊分析等の専門性
- ➔ フィジカル空間のみならず
サイバー空間を含めた新たな脅威への対応能力



ANSET-CP

Advanced Nuclear 3S Education & Training in Cyber-Physical Space

教育カリキュラム(原子力規制人材育成事業教育課程)



既設/継続 (2017年度 ~)



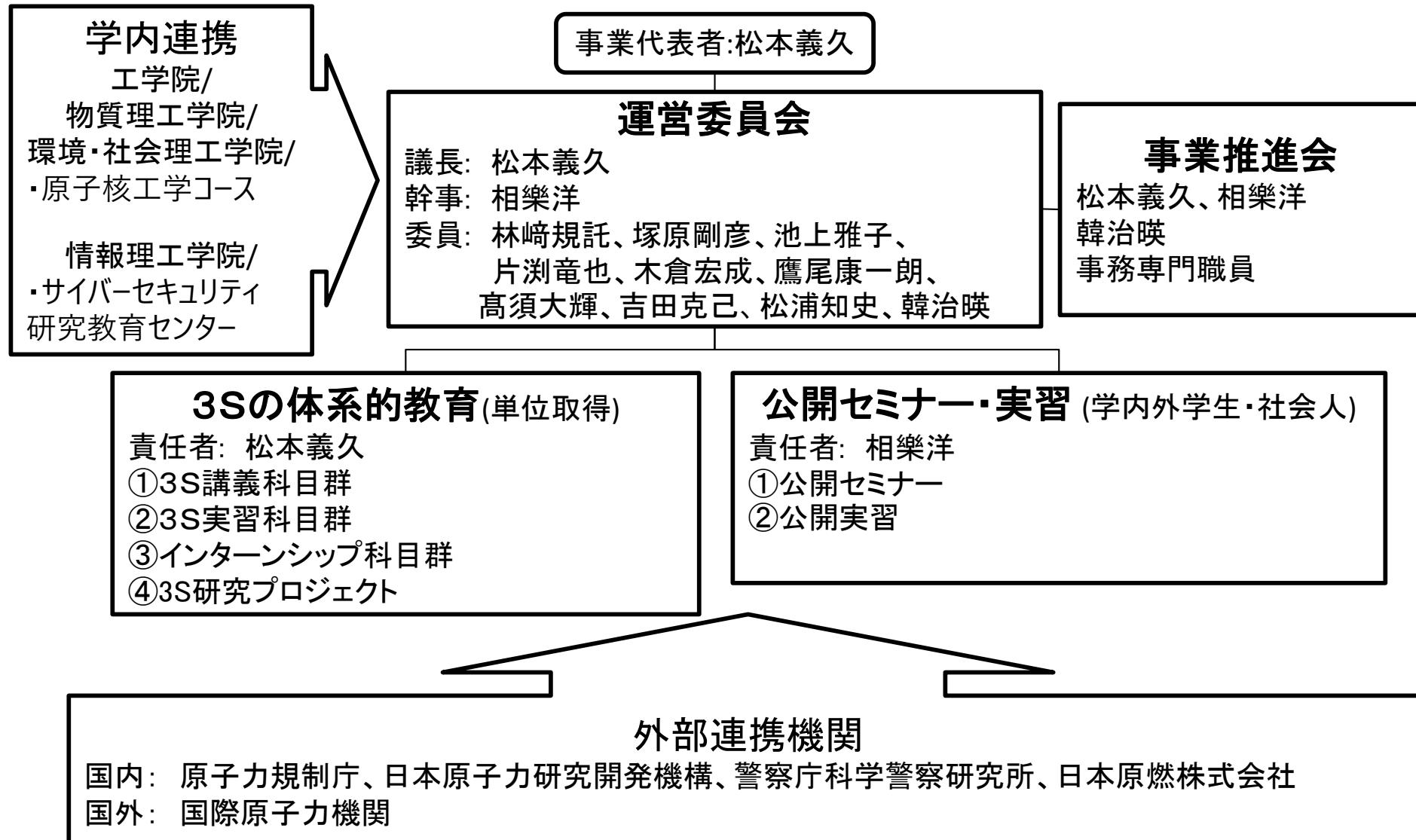
新設 (2022年度 ~)



外部公開



実施体制



事業特徴

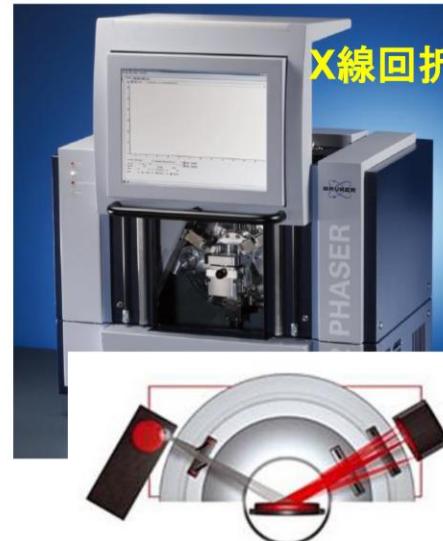
□ 核燃料物質・放射性物質使用実験

- 原子力プラントの核セキュリティ・保障措置に重要な、核物質等の取扱や破壊・非破壊分析に関する専門性を高めるために、学内施設で**実際の核燃料物質や放射性物質を使用する実験を大幅に拡充** → **専門性の深化**
- 「核不拡散・廃止措置材料工学実験」
- 「核不拡散・核燃料デブリバックエンド化学実験」

同位体核種分析



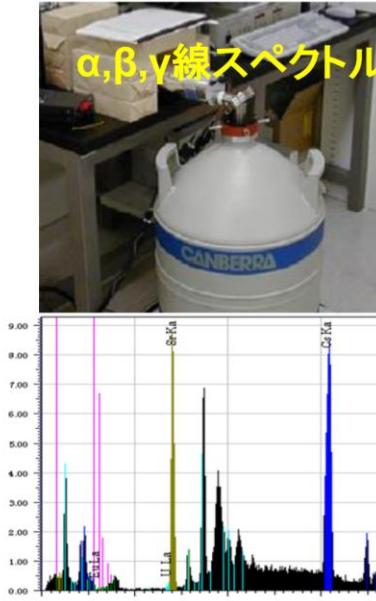
固体分析



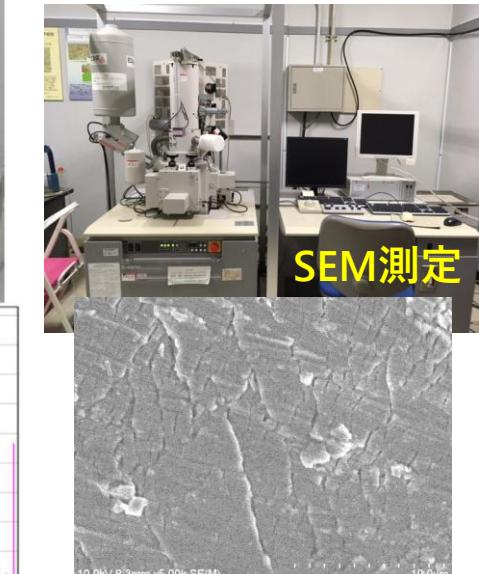
液体分析



放射能分析



表面分析



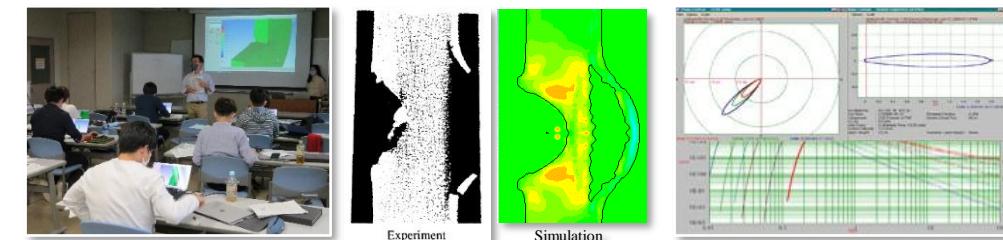
事業特徴

□ 原子力プラントセキュリティ実習

- フィジカル空間のみならずサイバー空間での新たな技術・脅威に対応するために、原子力プラントの**フィジカルセキュリティ**及び**サイバーセキュリティ実習**を学内外で実施 → **専門性の深化・拡張**

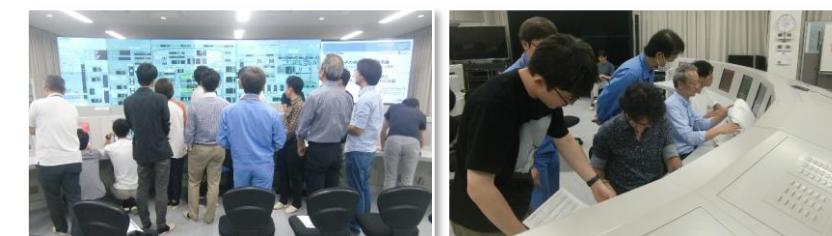
- 「原子力プラント**フィジカルセキュリティ実習**」

- 施設の物理的防護や事象発生時の影響と対応に関する数値解析及び対応能力の習得



- 「原子力プラント**サイバーセキュリティ実習**」

- サイバーセキュリティと対策、事象発生時の影響と対応に関する知見と能力の習得
- 三菱重工、原子力規制庁と連携



- 「原子力災害対応実習」

- 原子力災害に対する緊急事態対応能力及び危機管理能力の向上、チームワークやコミュニケーション力の習得
- 日本原子力研究開発機構、科学警察研究所と連携



フィジカル・サイバー空間にまたがる原子力プラント3Sを俯瞰し実践・主導する規制人材育成 事業特徴

□ 核セキュリティスクール

- 核セキュリティの講義に加え、ケーススタディや規制者と事業者のロールプレイング演習を通じて実践的な理解を深める
- 東京科学大学大学院生のみならず、学部学生や**他大学・高専の学生、社会人も対象**
- **NUSST (The Nuclear Security School of Tokyo Tech)**
2019、2021、2023 開催



- **NUSST 2025 (7月31日～8月1日) 開催予定**



事業特徴

□ 国外インターンシップ

- **IAEA** (国際原子力機関)
- **UNSCEAR** (原子放射線の影響に関する国連科学委員会)
- **CTBTO** (包括的核実験禁止条約機関)

□ 国際原子力機関 (IAEA) インターン協定 (国内大学初)

- 2020年 IAEA と本学間でのインターンに関する協定を締結
- **通常派遣が困難となる保障措置局や核セキュリティ関連部署**に対しても毎年安定的に派遣



https://www.flickr.com/photos/iaea_imagebank

事業特徴

□ 国内インターンシップ

● 原子力規制庁 (NRA)

- 原子力安全研修所 @ 茨城県ひたちなか市
- 原子力安全人材育成センター (原子炉プラントシミュレーター、緊急時対応センター (ERC)、保障措置室など)

● 日本原子力研究開発機構 (JAEA)

- Pu 燃料技術開発センター、再処理廃止措置技術開発センター、ISCN、人形峠環境技術センターなど

● 日本原燃株式会社 (JNFL)

- ; 濃縮事業、埋設事業、再処理事業、廃棄物管理事業、MOX燃料加工事業
- ウラン濃縮工場、再処理工場など核セキュリティ・保障措置に関する施設の見学

● 核物質管理センター (NMCC)

- ; 保障措置検査、情報処理、調査研究及び技術開発、国際協力の推進など
- 六ヶ所保障措置センター、東海保障措置センター

● IAEA東京地域事務所 (IAEA TRO)

- 原子力安全研修所 @ 茨城県ひたちなか市



事業特徴

□ 3S研究プロジェクト

- 学生研究公募型の研究プロジェクト
- 3S研究活動を通じて3S専門性を深めるために、**3Sに**関わる研究遂行並びに成果発表を支援

□ 公開教育プログラム

- 公開セミナー(核セキュリティ)、公開実習(「原子力災害対応実習」)

□ 修了認定証

- 本教育課程の修了要件を満足した受講生には**「原子力規制人材育成事業修了認定証」**を授与
- 2017-2024年度、**1,016名**が受講し、**62名**が認定



諸要件

カリキュラム (● 必修、◎ 集中)			認定表彰要件	国内インターンシップ 派遣要件	国外インターンシップ 派遣要件	3S 研究プロジェクト 採用要件	
3S 講義科目	NCL.O401：核不拡散・核セキュリティ学概論	●	必修 2 科目を含む 2 科目以上修得	必修 2 科目を含む 2 科目以上修得、または 修得見込みがあること			
	NCL.N407：原子力システム安全工学	●					
	TIM.C510：科学技術政策分析 I：核不拡散の政治						
3S 実習科目	NCL.N410：原子炉物理・放射線計測・核セキュリティ実験		2 科目以上修得 (3Sインターンシップに 参加する場合は 1 科目以上修得)	1 科目以上修得、 または 修得見込みがあること	2 科目以上修得 (3Sインターンシップに 参加する場合は 1 科目以上修得)、 または 修得見込みがあること		
	NCL.D407：熱流動・シビアアクシデント工学実験						
	NCL.D405/D406：核不拡散・核燃料デブリパックエンド化学実験 A/B						
	NCL.D401/D402：核不拡散・廃止措置材料工学実験 A/B						
	NCL.O608：原子力プラントサイバーセキュリティ実習	◎					
	NCL.O609：原子力プラントフィジカルセキュリティ実習	◎					
	NCL.O610：原子力災害対応実習	◎					
3S インターンシップ	国内インターンシップ		—	—	—	—	
	国外インターンシップ						
3S 研究	3S 研究プロジェクト		—	—	—	—	
公開セミナー・実習	公開セミナー (核セキュリティスクール)		—	—	—	—	
	公開実習 (原子力災害対応実習)						
<input type="checkbox"/> 既設/継続 <input type="checkbox"/> 新設 <input checked="" type="checkbox"/> 外部公開			上記要件※を満たし、 認定審査を通過すること	上記要件を満たし、選抜・採用審査を通過すること			

※特例：3S講義及び3S実習科目、並びに3Sインターンシップと同等内容の他大学での科目単位実績または1年以上の実務経験を有し、
担当教員が認める場合、これらを修得したものとみなし、要件に含めることができる。

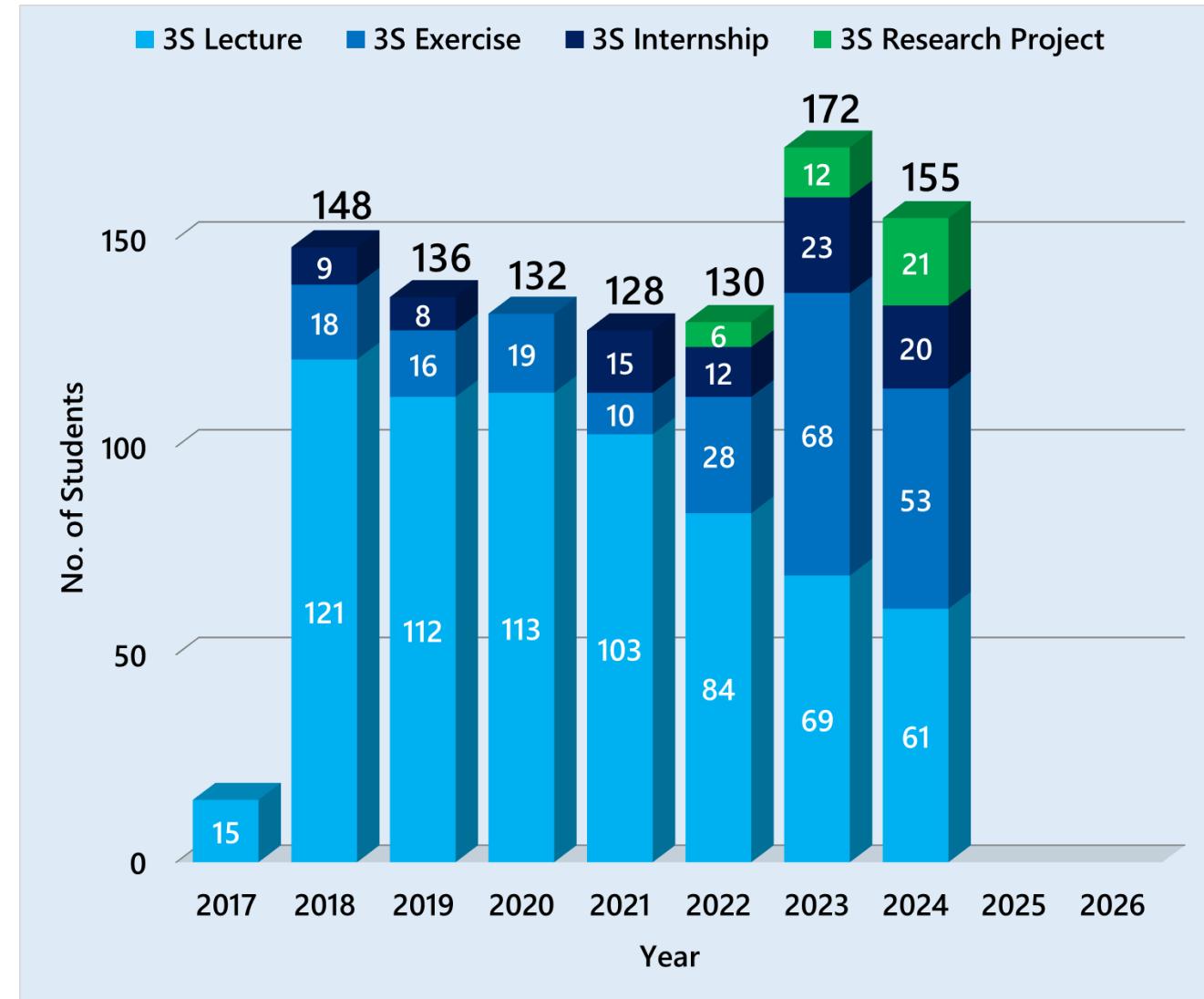
人材育成実績

□ 受講者

- ANSET : **559** 名 (2017-2021)
- ANSET-CP : **457** 名 (2022-2024)
- Total : **1,016** 名 (2017-2024)

□ 修了認定

- ANSET : **32** 名 (2017-2021)
- ANSET-CP : **30** 名 (2022-2024)



- 東京科学大学における原子力研究・教育
- 3S教育の体系化と実践
- 米国大学で大変革した核不拡散・核セキュリティ研究・教育

米国大学で大変革した核不拡散・核セキュリティ研究・教育

□ 米国エネルギー省 (DOE/NNSA/DNN)による大学向けR&Dプログラム

- Integrated University Program(IUP)が2009年に議会承認、執行
 - 年間20M\$(約29億円、1件5M\$) 大学における核不拡散・核セキュリティ研究・教育
 - US-NRCとDOE/NEと共同出資
- 大学コンソーシアムの狙い
 - 次世代国家安全保障専門家に繋がる人材のパイプライン (核不拡散・核セキュリティを国家最重要課題の一つ)
 - 核不拡散R&Dに対する幅広い支援構築 (原子力に必ずしも直接関係しない多分野の学術界の研究参画)
 - 学術界とDOE国立研究所の知識の架け橋 (DOE国立研究所が実験施設や人的資源提供)
- これまで5つの大学コンソーシアムが採択 内4件が現在の支援対象
 - *Nuclear Science and Security Consortium (NSSC)* (代表校:カリフォルニア大学バークレー校2011~)
 - *Consortium for Monitoring Technology and Verification (MTV)* (代表校:ミシガン大学2019~2024)
 - *Consortium for Enabling Technologies and Innovation (ETI/ETI2.0)* (代表校:ジョージア工科大学 2019~2025~)
 - *Consortium for Nuclear Forensics (CNF)* (代表校:フロリダ大学 2023~)
 - *DNN's Enabling Capabilities in Technology consortium (DNN Tech)* (代表校:テネシー大学 2025~)

□ 効果：核不拡散・核セキュリティが多くの大学において専門分野として定着

- この分野を専門として拡大する教員が一気に増加。原子力安全同様に定常的な研究・教育対象に
- プログラムを修了した学生のほとんどがDOE国立研究所を含めた原子力分野に就職

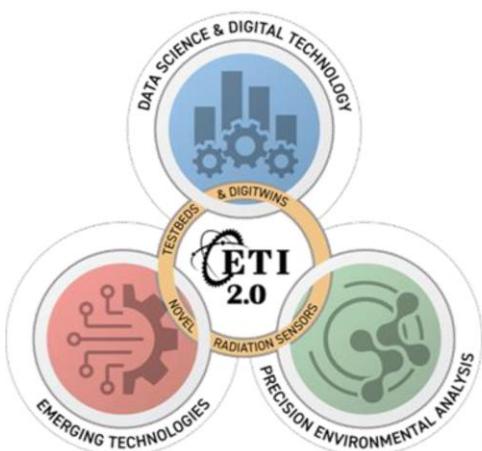


□ Consortium for Enabling Technologies and Innovation (技術実装と革新ETI/ETI2.0) 代表校:ジョージア工科大学 2019~,2025~)

- 12の高等教育機関、12のDOE国立研究所から成るコンソーシアム 2期10年で総額50M\$(約73億円)
- 1期目ETIでは教員41名、ポストドク12名、大学院生131名、学部生74名と90名のインターンが参画、支援を受けた
- 2期目ETI2.0における3つの重点研究分野
 1. 核セキュリティ・不拡散におけるデータサイエンスとデジタル技術 (AI技術を用いた核不拡散・核セキュリティ技術開発)
 2. 核不拡散強化のための高精度環境分析 (トリチウム定量と分析、環境分析と輸送、原子力災害対応強化、検出器開発)
 3. 核不拡散のための先端技術 (核融合及び核燃料サイクルにおける計量・監視技術、遠隔監視、シグネチャ添加核鑑識 等)



» ETI 2.0 Team



<https://eti2.gatech.edu/>

□ 原子力研究・教育インフラを核不拡散・核セキュリティ分野への拡充

- 東京科学大学では、従来の原子核工学分野を発展する形で、核不拡散・核セキュリティ分野を拡充
- 3Sの素養を持った原子核工学分野の修士・博士を原子力業界に輩出
- 研究インフラの発展的活用
- 教員の関心拡大
- 外部専門家による教材や知見の提供
- 国内外の協力機関におけるインターンシップ
- 本分野の持つ専門性・国際性は学生にとって魅力
- 幅広い分野の学生へのアプローチ： ANECにおけるE-learningや講習会の整備は極めて有効

□ 米国における核不拡散・核セキュリティ研究・教育の大変革

- 官主導により核不拡散・核セキュリティ分野が原子力工学に限らず多くの大学で専門分野として定着
- 研究 予算措置による本分野の研究機会の拡大 異分野専門家の関心拡大 DOE共用研究施設環境の活用
- 教育 研究を通じた国家規模での社会課題解決能力、異なる大学教員を組合せた多様な教育環境、DOE研究所が講師・教材・知見・研究環境を支援