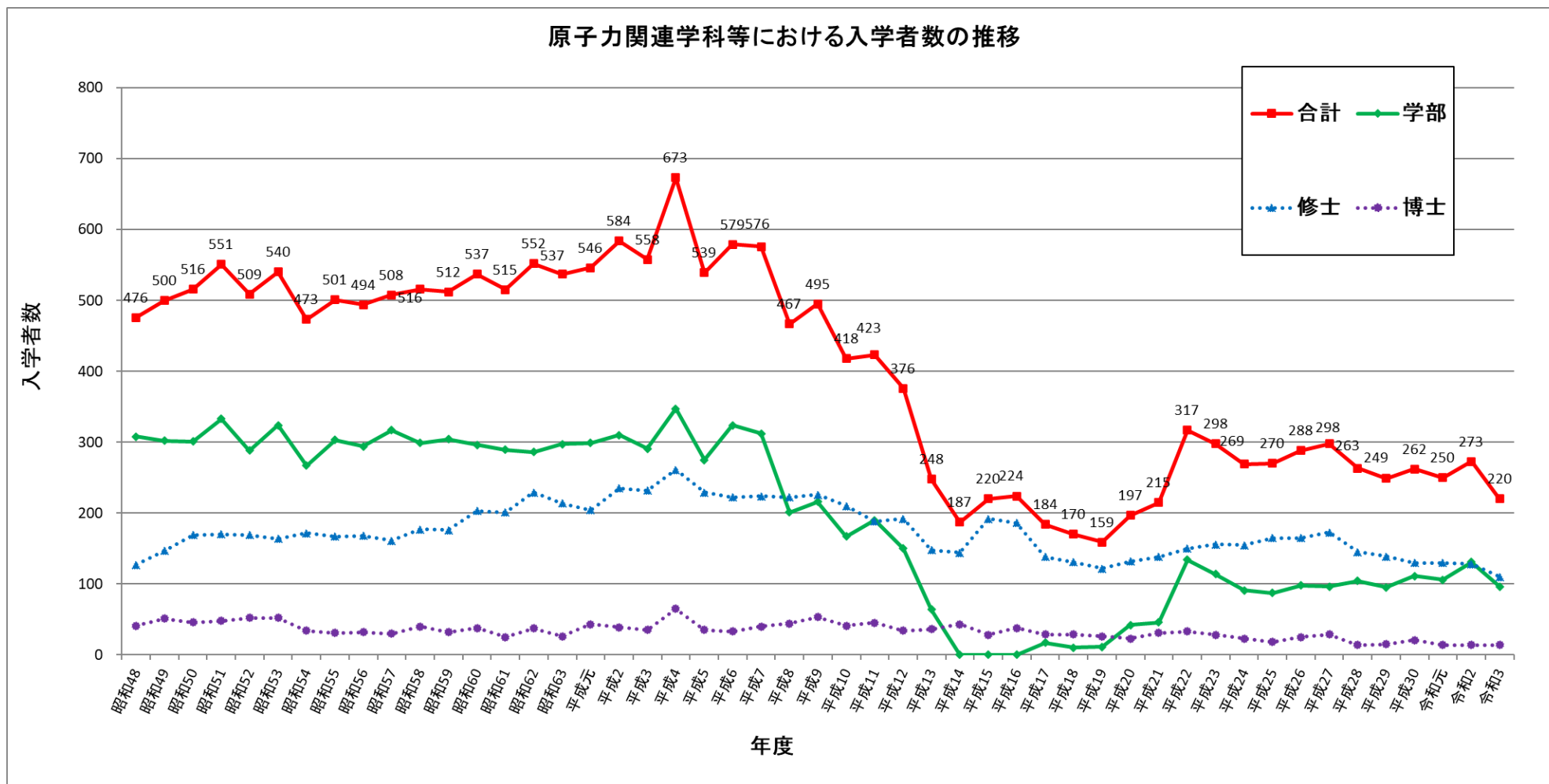


文部科学省における原子力 分野の人材育成の取組

令和4年11月2日
文部科学省
研究開発局原子力課

原子力関係学科・専攻の入学者数の推移



※ 1 「学校基本調査」の学科系統分類表における中分類「原子力理学関係」及び「原子力工学関係」の合計をもとに作成

原子力工学関係（大 学）…原子（力）核工学、原子力工学、原子炉工学、原子工学、応用原子核工学、システム量子工学、量子エネルギー工学、

原子力技術応用工学、原子力安全工学

原子力理学関係（大学院）…原子核理学、原子核宇宙線学、原子物理学

原子力工学関係（大学院）…原子核工学、原子力工学、原子工学、応用原子核工学、量子エネルギー工学、エネルギー量子工学、原子力・エネルギー安全工学、共同原子力、原子力システム安全工学、量子放射線

原子力事業の現況と人材需給

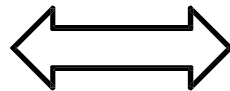
東京電力福島第一原子力発電所の事故

社会的受容性低下

既存発電所の安全性向上

廃炉プラント数の増加

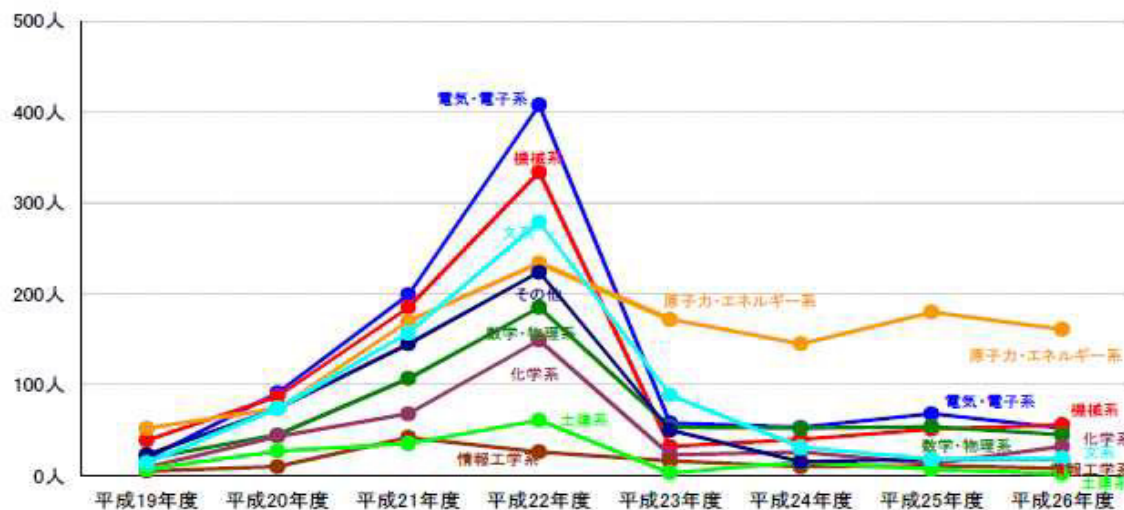
志望学生数の低下



原子力産業人材維持・増加が必要

海外での原子力発電需要

来場学生の学科別人数の経年変化
(東京会場+大阪会場)



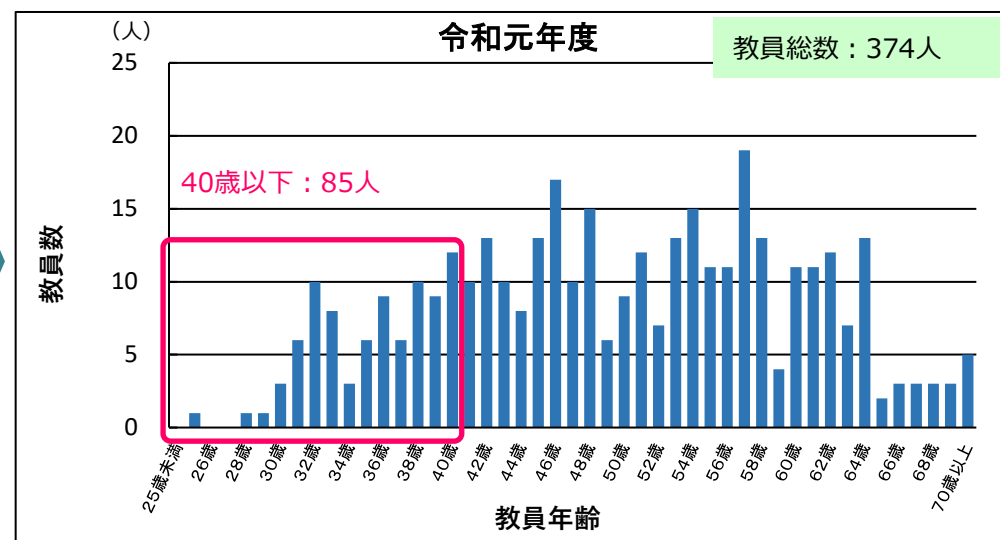
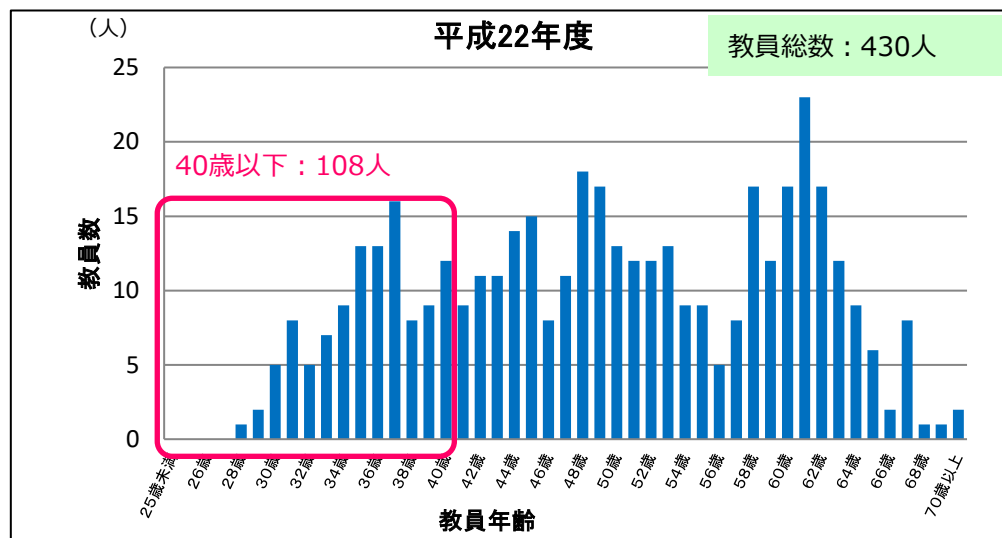
*原子力産業セミナーへの参加者の例

*原産協会主催

出典：日本電機工業会資料
原子力人材育成作業部会（第5回）資料より

原子力関係教員数と年齢層の推移

＜原子力関係教員数と年齢層の推移＞



(出典) 文部科学省「学校教員統計」を基に作成

＜人材育成機能の脆弱化＞

- 原子力関係学科・専攻の**入学者は減少傾向**
- 原子力関係の**教員数の減少**（特に～40代において顕著）

原子力人材育成基盤としての我が国の試験研究炉の現状

- 原子力分野の人材育成を行う上で重要な**試験研究炉**は、その多くが建設から40年以上経過するなど、**高齢化**が進むとともに、**新規制基準への対応等**により**従来の運用が困難**な状況。

茨城県東海村

★原子炉

【東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻】

×東京大学原子炉（弥生）

【日本原子力研究開発機構】

×JRR-2

○JRR-3

※R3.2.26 運転再開

×JRR-4

○原子炉安全性研究炉（NSRR）

※H30.6.28 運転再開

★臨界実験装置

【日本原子力研究開発機構】

△定常臨界実験装置（STACY）

※H31.1.31 設置変更許可取得

×過渡臨界実験装置（TRACY）

×高速炉臨界実験炉（FCA）

×軽水臨界実験炉（TCA）

青森県むつ市

★原子炉

【日本原子力研究開発機構】

×原子力第1船 むつ

茨城県大洗町

★原子炉

【日本原子力研究開発機構】

×材料試験炉（JMTR）

○高温工学試験研究炉（HTTR）

※R3.7.30 運転再開

△高速実験炉（常陽）

※H29.3.30 設置変更許可申請済

★臨界実験装置

【日本原子力研究開発機構】

×重水臨界実験装置（DCA）

神奈川県横須賀市

★原子炉

【東京都市大学】

×東京都市大学炉

神奈川県横須賀市

★原子炉

【立教大学】

×立教大学炉

大阪府東大阪市

★原子炉

【近畿大学】

○近畿大学炉

※H29.4.12 運転再開

大阪府熊取町

★原子炉

【京都大学複合原子力科学研究所】

○京都大学炉（KUR）

※H29.8.29 運転再開（R8.5までに運転停止）

★臨界実験装置

【京都大学複合原子力科学研究所】

○京都大学臨界集合体実験装置（KUCA）

※H29.6.21 運転再開

1995年	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	20	0	6

2003年	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	16	0	11

2016年	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	0	13	6

現在	○運転中	△停止中	×廃止措置中
原子炉施設	6	2	11

運転再開予定も含め、我が国の試験研究炉は、茨城県に5施設（日本原子力研究開発機構）、大阪府に3施設（京都大学、近畿大学）の計8施設のみ。

原子力人材育成・研究開発を巡る課題と対応

- エネルギー利用はもとより、様々な分野における原子力の多様な価値発現を通じて、新たな社会的課題に向き合い、その政策的要請・期待に応えていくことが一層求められている。

➤ 大学等における原子力関係の人材育成基盤の強化

<現状の課題>

- 原子力関係学科・専攻の減少
- 原子力関係学科（大学）における原子力専門科目の開講科目数の減少（70年代と比較し半数程度）
- 原子力関係の教員数の減少（特に～40代において顕著）
- 稼働している試験研究炉の減少に伴う、実験・実習、教育及び人材育成の機会減少

<取組の考え方>

- 我が国全体として、原子力分野の人材育成機能を維持・充実することが重要。
- 共通基盤的な教育機能を補い合うことで、拠点として一体的に人材を育成する体制を構築し、長期的な視点で我が国の原子力分野の人材育成機能の維持・強化を図る

➤ 原子力の基盤的研究開発の推進

<現状の課題>

- 大学等を中心とする原子力を支える基盤的な研究開発体制のぜい弱化
- 多様な社会的要請の高まりに対応する原子力関連技術のイノベーション創出に向け、開発に関与する主体が有機的に連携し、基礎研究から実用化に至るまで連続的に支援する体制が不十分

<取組の考え方>

- 原子力が将来直面する様々な課題に的確に対応できるよう、我が国の原子力分野における国際競争力を確保することが重要。
- 原子力イノベーションの創出につながる新たな知見を見出すとともに、我が国の原子力技術を支える戦略的な基礎・基盤研究の推進が不可欠

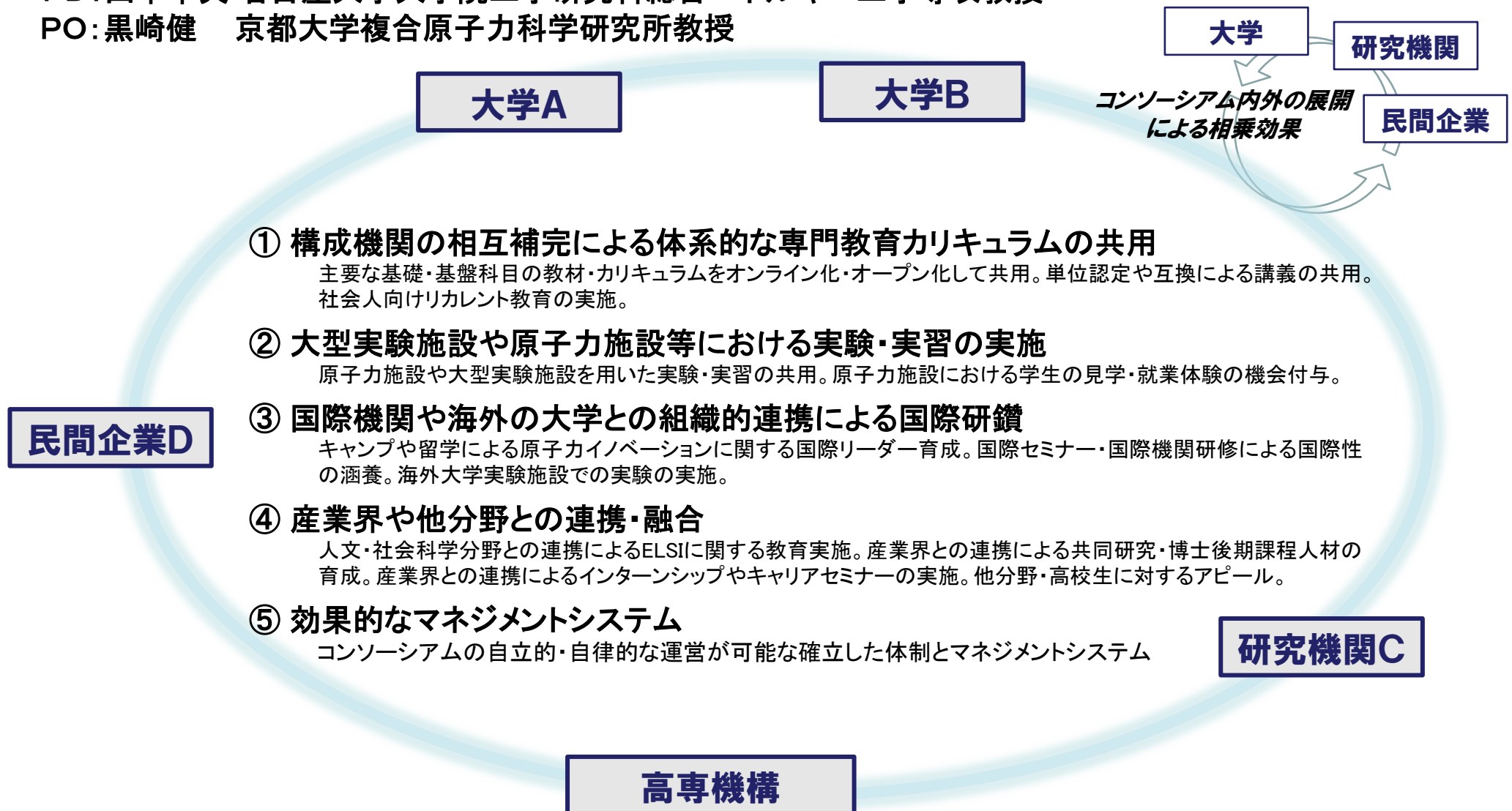
国際原子力人材イニシアティブ事業

【事業の目的】

令和2年度より複数の機関が連携してコンソーシアム(Advanced Nuclear Education Consortium for the Future Society: ANEC)を形成。既に有する人材、教育基盤、施設・装置、技術等の資源を結集し、共通基盤的な教育機能を補い合うことで、拠点として一体的に人材を育成する体制を構築し、長期的な視点で我が国の原子力分野の人材育成機能の維持・強化を図る。

PD: 山本章夫 名古屋大学大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻教授

PO: 黒崎健 京都大学複合原子力科学研究所教授



ANECの構成及び主な活動内容（R4.3現在）

総 会

【参加者】 コンソーシアムメンバー（事務局：北大）、PD・PO

ANEC外の個別課題

東大、長岡技大、

連携

企画運営会議

【参加者】 北大（事務局）、東北大、東工大、福井大、京大、近大、高専機構、PD・PO

カリキュラムグループ会議

とりまとめ
(北大)

【参加機関】 北大、高専機構、東北大、京大、阪大、九大、東工大、静岡大、金沢大、福井大、長岡技大、東海大、藤田医科大

【主な取組】 体系的な専門教育カリキュラム（北大、高専機構）、オンライン教材（北大）、単位互換（北大）、高校理科教員や小中学生向けプログラム（高専機構）

オンライン教材WG

実験・実習WG

国際教育WG

一般・社会人教育WG

高専実行委員会（高専）

国際グループ会議

とりまとめ
(東工大)

【参加者】 北大、東工大、東海大、京大、近大、高専機構

【主な取組】 原子カイノバーター養成キャンプ（東工大）、原子カイノバーション留学（東工大）、IAEA原子力安全基準研修（東海大）、韓国・慶熙大学校原子炉実習（近大、高専機構）

原子カイノバーター養成キャンプWG

原子カイノバーション留学WG

実験・実習グループ会議

とりまとめ
(近大・京大)

【参加者】 北大、東北大、福井大、福井工大、阪大、近大、京大、高専機構、長岡技大、名大、東京都市大、東海大

【主な取組】 原子炉実習基礎・中級・上級（近大・京大）、廃棄物計測・信頼性工学実習（東京都市大）、発電炉シミュレータ実習（東海大）、中性子輸送挙動計測実習（東北大）、放射線応用実習（東北大）、原子炉材料照射実習（東北大）、廃止措置セミナー（福井大）、原子力プラント体感実習研修（福井大）、JAEA実習（福井大）、アイソトープ実習（福井工大）、バーチャル研究室（高専機構・長岡技大）

原子炉実習基礎コースWG

原子炉実習中級コースWG

原子炉実習上級コースWG

産学連携グループ会議

とりまとめ
(福井大)

【参加者】 北大、福井大、福井工大、近大、高専機構

【主な取組】 原子力施設インターンシップ研修（福井工大）、原子力業界探求セミナー（近大）、電力会社実習（高専機構）

ANEC

未来社会に向けた
先進の原子力教育
コンソーシアム



ANECオープンカリキュラム・実習・実験の取組マッピング

原子力エネルギー利用

軽水炉・次世代原子炉

サイクル、群分離、核変換

処理処分

材料開発

元素分析実習及び中性子放射化分析実験（北大）
中性子輸送挙動計測実習（東北大）
原子炉材料照射実習（東北大）

原子炉材料工学（北大）

燃料開発

核燃料工学：軽水炉、新型炉（福井大、京大）
核燃料工学：ウランの科学（東北大）

核燃料サイクル工学（北大、日本原燃）

炉物理・核データ・熱流動

原子炉物理学（北大、近大、京大、名大、九大）
原子炉熱工学（北大）
原子炉実習コース（近大、京大、名大）
原子力プラント体感実習研修（福井大、原電）

核データ工学（北大、東工大）

核データ工学実験（JAEA）

放射化学・原子核化学

放射化学（静大）
放射線科学（北大）
放射化学実験、浜岡原発実習（北大、静大）
大型ホットラボを活用した放射性廃棄物分離分析実習（東北大・金研大洗）

構造

原子炉工学（北大）

廃炉工学（北大）
廃棄物処理工学（北大）

再処理工場、低レベル放射性廃棄物埋設施設見学（北大）
幌延深地層研究センター（北大）

計測・分析・制御・ロボティクス

放射線応用実習（東北大）
JAEA実習（非破壊検査実習等）（福井大、JAEA）

放射線計測学（北大）

安全工学

原子炉安全工学（北大、JAEA）
異常・事故時における発電炉シミュレータ実習（東海大）
原子力プラント体感実習研修（福井大、原電）

計算科学・AI・IoT

AI・IoT

共通基盤技術

：カリキュラム関係

：実験・実習関係

国際関係

原子力イノベーション養成キャンプ（東工大）、原子力イノベーション留学（東工大）、IAEA原子力安全基準研修（東海大）、韓国・慶熙大学校原子炉実習（近大、高専機構）

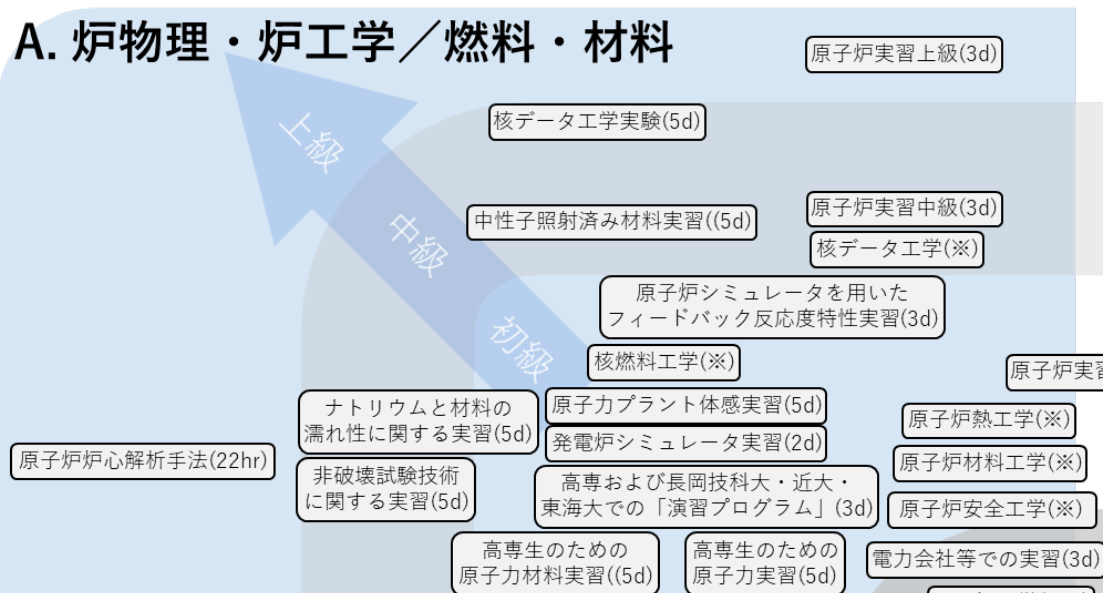
産学連携関係

原子力施設インターンシップ研修（福井工大）、原子力業界探求セミナー（近大）、電力会社実習（高専機構）

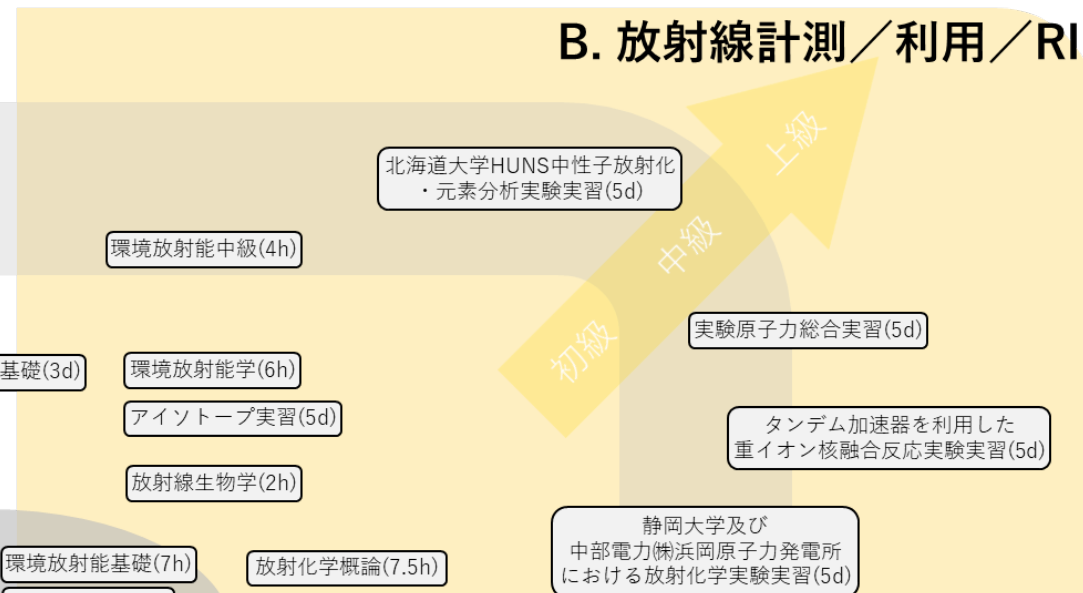
※放射線影響、原子力政策、高専における取組等、上記図に反映されていない取組がある

オープンカリキュラム・実習・実験4つのモデルコース

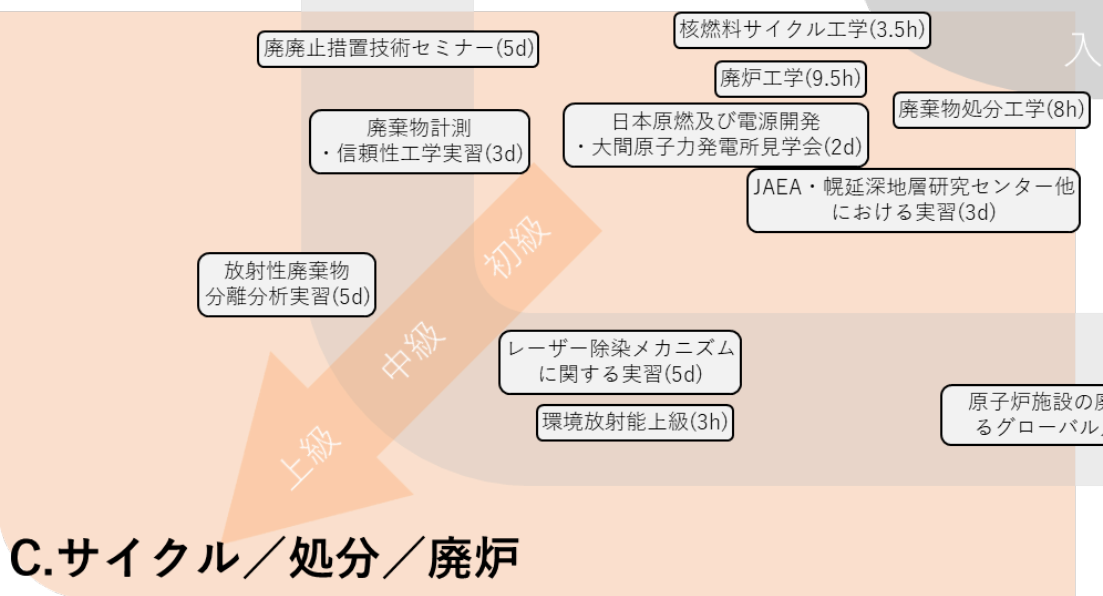
A. 炉物理・炉工学／燃料・材料



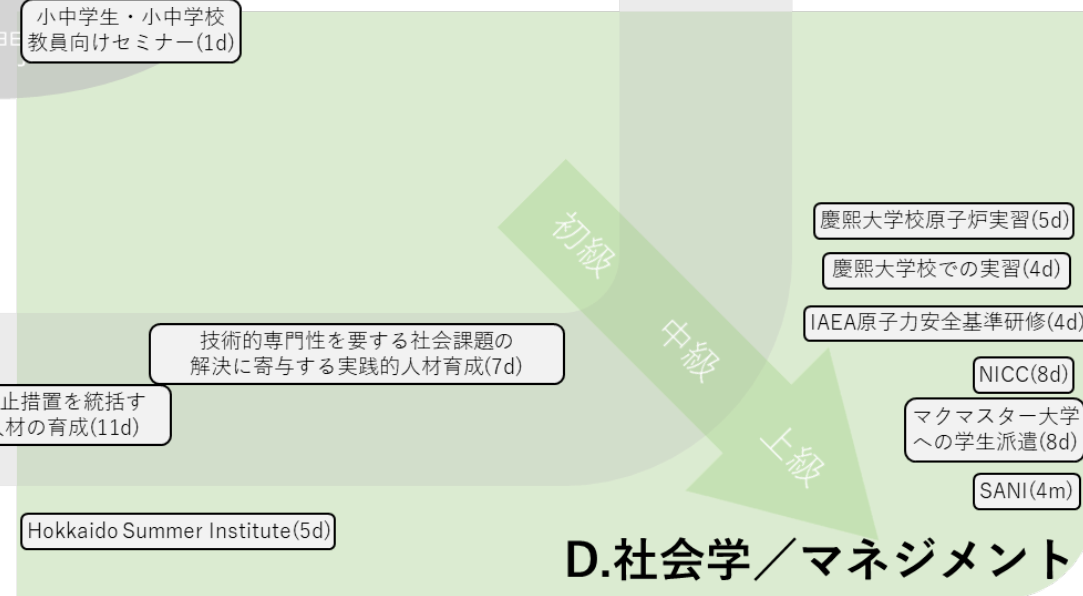
B. 放射線計測／利用／RI



C. サイクル／処分／廃炉



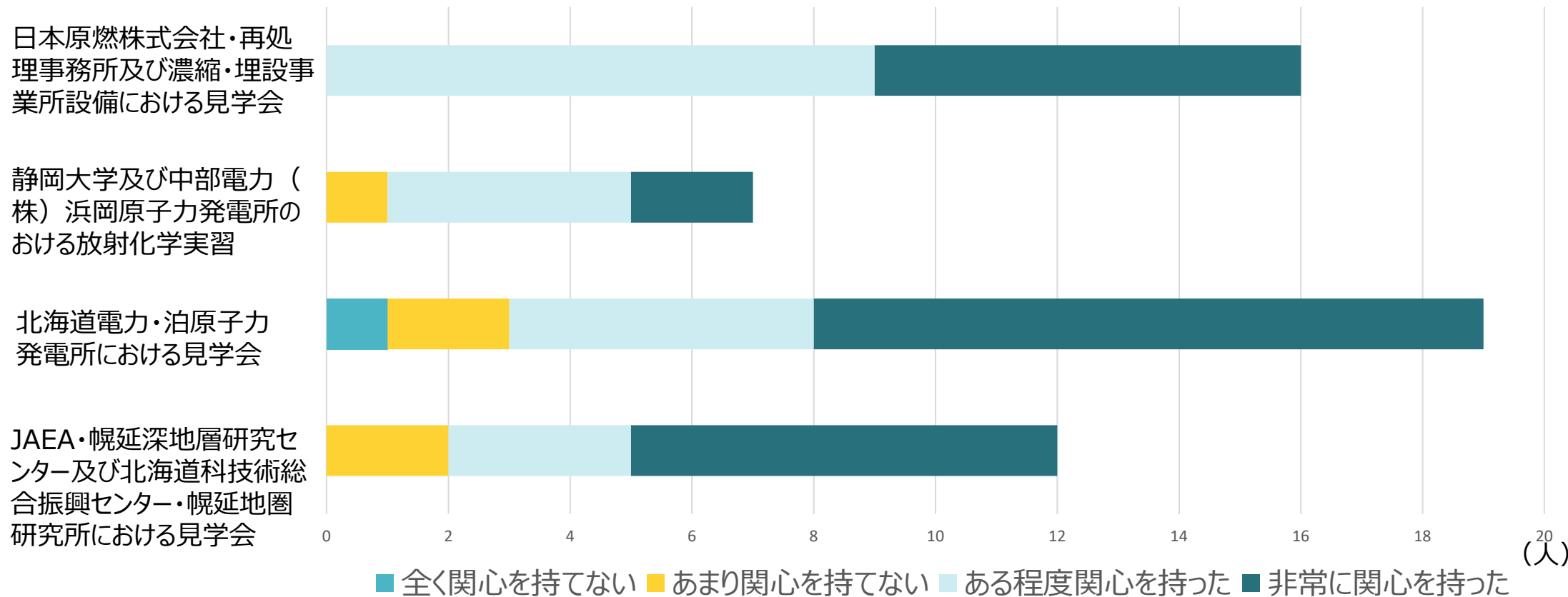
D. 社会学／マネジメント



※…開講予定

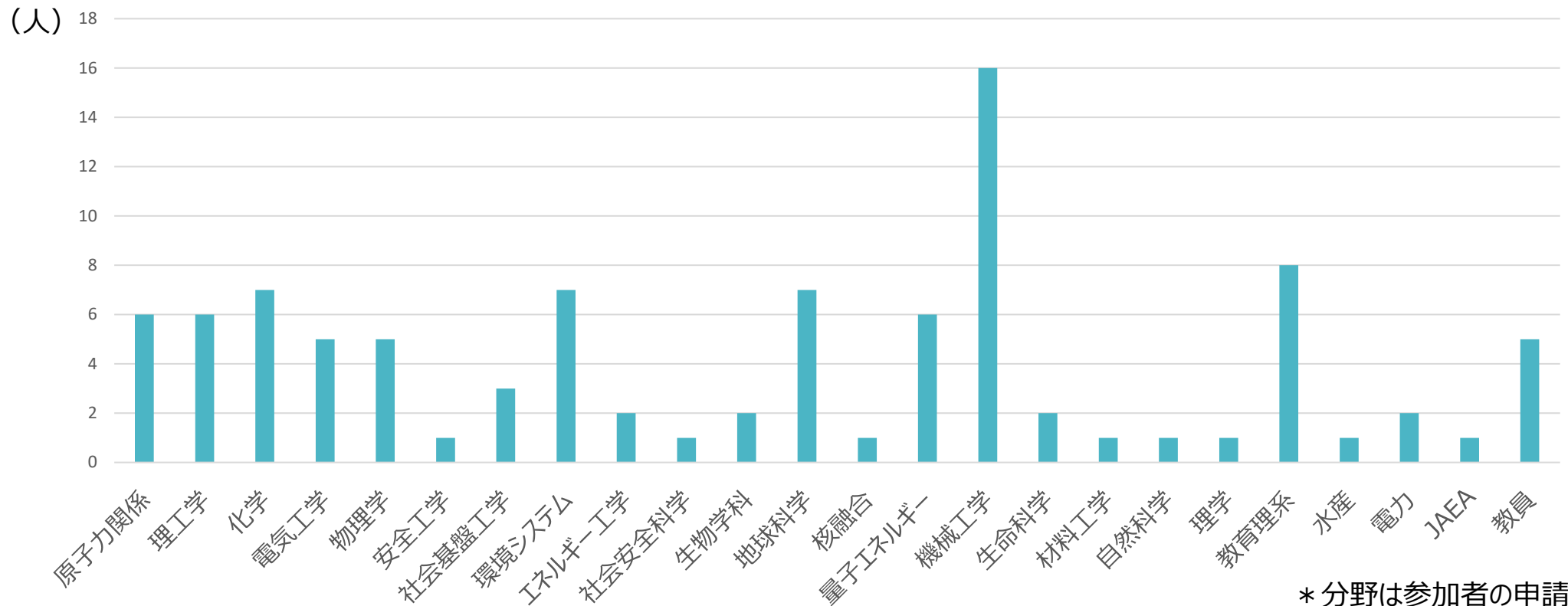
オープンカリキュラム・実習・実験受講者 R4年度北大拠点のアンケート結果

カリキュラム・実習を受講した学生の就職先として原子力・放射線分野に関心をもったか



オープンカリキュラム・実習・実験受講者 R4年度北大拠点のアンケート結果

参加した学生の学科



原子力関係学科以外の学生の参加も一定数ある状況

原子力システム研究開発事業について

- 本事業では、科学技術政策の遂行の観点から国が直接実施する必要のある研究開発について優れた提案を採択する競争的資金として、原子力分野の基盤的な研究開発を実施。
- 令和元年度までは、「安全基盤技術研究開発」及び「放射性廃棄物減容・有害度低減技術研究開発」の2分野において公募を実施。
- 令和2年度からは、文部科学省と経済産業省が連携して進める「N E X I P (Nuclear Energy × Innovation Promotion) イニシアチブ」の一環として、原子力の安全確保・向上に寄与し、多様な社会的要請の高まりを見据えた原子力関連技術のイノベーション創出につながる新たな知見の獲得や課題解決を目指し、我が国の原子力技術を支える戦略的な基礎・基盤研究を推進。以下の3つメニューを新設。

(1) 基盤チーム型

社会実装へ向けて重点的に取り組むべき領域(テーマ)を設定し、産学官の知見を結集して取り組むチーム型の基礎・基盤研究を支援。大学、研究機関等と産業界の密接な連携、社会実装へ向けた具体的な計画、異分野融合などによる他分野からの知見導入などが盛り込まれた提案を期待。

(2) ボトルネック課題解決型

社会実装を目指す上で具体的なボトルネックとなっている課題及びその解決を図るため基礎・基盤に立ち返って取り組むべき研究開発テーマを募集。産業界等からの課題解決へのニーズや、本研究開発により得られる知見の産業界等への確実なフィードバックがなされるための道筋が明確に示されることが必要。

(3) 新発想型

挑戦的・ゲームチェンジングな技術開発を実施する研究開発を対象。対象領域を特定せず、「原子力イノベーション」に向けた幅広い取組の中から、応募者が自由に解決すべき課題を設定し、その解決へ向けた研究開発テーマの提案を募集。独創性・新規性や課題解決へのインパクトが示されることが必要。

NEXIPイニシアチブ（公募事業）

NEXIP (Nuclear Energy × Innovation Promotion) イニシアチブ

開発に関与する主体が有機的に連携し、基礎研究から実用化に至るまで連続的にイノベーションを促進



MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY JAPAN

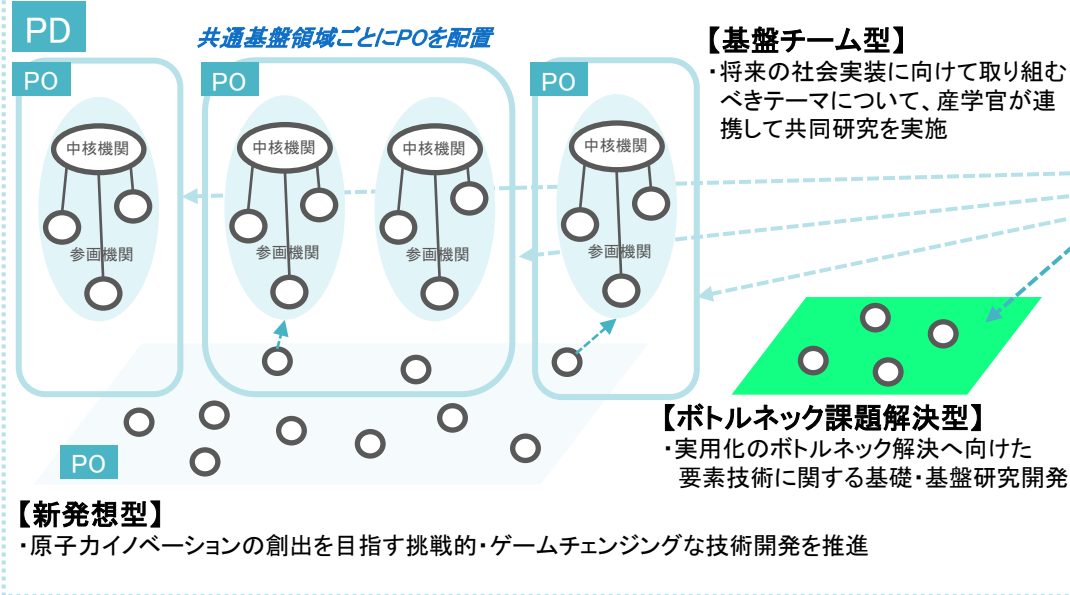
基礎・基盤研究開発

<大学・研究機関等の取組を推進>

原子力システム研究開発事業（令和2年度事業見直し）

事業運営会議（新設）

- ・プログラムディレクター（PD）、プログラムオフィサー（PO）、外部有識者、文部科学省、経済産業省
- ・公募分野・テーマ、審査基準を設定



選考過程を経てプロジェクトに参画



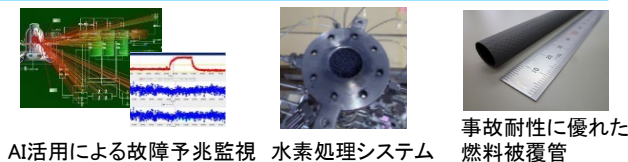
技術開発支援

<民間企業等の取組を支援>

原子力の安全性向上に資する技術開発事業

安全性向上に資する技術の例

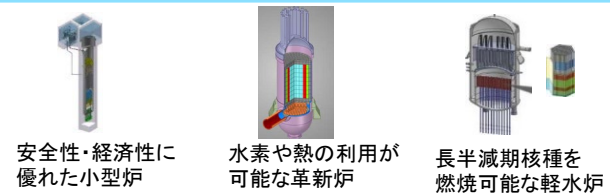
- 事故耐性燃料
 - 製造技術・新材料適用
 - データ・IT、新通信システム活用による安全高度化
 - 安全高度化基盤技術
- 等



社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業（令和元年度新規）

革新的な原子力技術の例

- 小型モジュール炉
 - 高温ガス炉
 - 高速炉
 - 熔融塩炉
- 等



※両事業とも、2020年度に向けて予算要求中。

技術基盤・知見を提供し民間を支援



イノベーションハブ機能の強化

基礎・基盤研究

技術評価・コンサルティング

人材育成

国際連携

技術基盤（基盤施設、計算コード、DB）の提供・拡充

実用化に資する技術開発

- 安全性／経済性の向上、新型炉、熱利用系、燃料サイクル、分離変換、バックエンド等

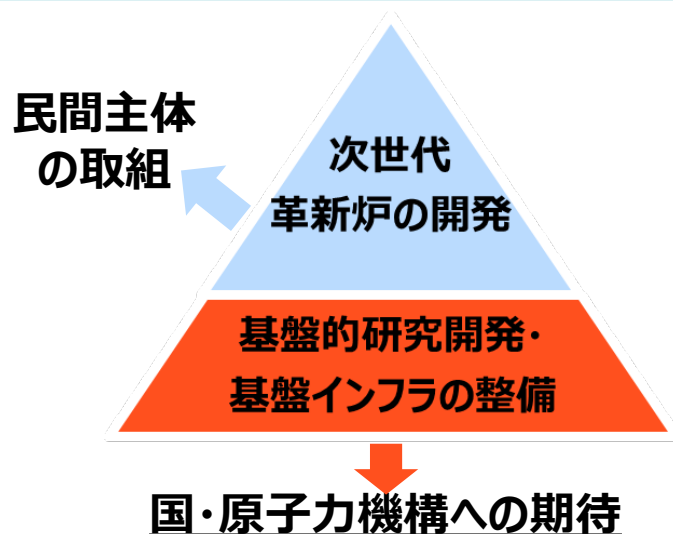
原子力イノベーションの創出

次世代革新炉 研究開発基盤検討会の開催について



文部科学省

- 原子力の利用については、安全確保を大前提として、2050年カーボンニュートラルの実現、エネルギー安定供給、エネルギー安全保障などの観点から期待が高まっている。
- グリーントランスフォーメーション実行会議（令和4年8月24日）での岸田総理の指示を踏まえて、関係省庁において、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設などについて検討が進められているところ。
- 今後の検討に向けて、本検討会において、**次世代革新炉の開発に必要な研究開発や基盤インフラの整備に関する今後の課題について論点の整理**を行う。（年内に4，5回程度開催し、論点整理、検討結果については関係審議会に報告予定）



高温工学試験研究炉(HTTR)



高速実験炉「常陽」

検討のポイント

- 民間を主体とした次世代革新炉の今後の開発に必要な基盤的研究開発や基盤インフラの整備について、
①研究開発用原子炉、②燃料製造、③バックエンド対策などの観点から、**今後10年以内に着手すべき事項**を議論
- 次世代革新炉に係る人材育成の課題のほか、原子力機構が大学の知の集約拠点として果たすべき役割等についても検討

次の問題意識のもと検討していく

- 次世代革新炉に向けた研究開発を担う人材、産業界のサプライチェーンにおける人材確保が重要
- 民間が主体となる実証炉開発を支えるため、JAEAや大学等における基礎基盤研究の総力を結集することが必要

参考

原子力システム研究開発事業 経済産業省NEXIP事業※等への成果の橋渡しの例 (1/2)

※経済産業省NEXIP事業…社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業

脱炭素化・レジリエンス強化に資する分散型小型モジュラー炉を活用したエネルギーシステムの統合シミュレーション手法開発

研究代表者:小宮山 涼一(東京大学) 受託期間:令和2年度～令和5年度
共同研究機関:日本エネルギー経済研究所、JAEA、日揮、三菱重工

- 従来のエネルギー技術最適導入戦略分析手法は、電力部門の時間及び空間的解像度が低く、再生可能エネルギー発電の出力間欠性、SMRの工学的情報や動的挙動、地域間連系を十分考慮できないため、具体的なSMR導入戦略の議論が難しい。
- 本研究では、大型原子炉の見通しも踏まえた上で、SMR導入ポテンシャルの地域性負荷追従性能等の工学制約条件、ウランやプルトニウム需給バランスを考慮した最適導入シナリオを導出可能なシミュレーション手法を開発するとともに、SMRの概念設計と課題抽出を行う。

【成果の展開・応用の例】

- 学会での成果発表のほか、総合資源エネルギー調査会・基本政策分科会において、IEEJは、本事業で改良したエネルギーシステムモデルを用いた分析結果を公表し、2050年のエネルギーミックス検討に係る議論に貢献。今後も、積極的に情報公開・提供を実施していく。
- 本研究で導出した負荷追従性の知見や、SMRに期待される発電容量、SMR設計の要求仕様等は、参画機関の三菱重工における経済産業省NEXIPのSMR検討に活用される予定。

東京大学
電力需給シミュレーション

IEEJ
エネルギー需給シミュレーション

負荷追従性能

HTGRに期待される
発電容量、水素製造量

NEXIP事業

三菱重工業 高温ガス炉コジェネプラントの概念構築

- ガスタービン発電設備と水素製造施設を備えてコジェネプラント
- 将来の水素還元製鉄向けの水素の大量かつ安定供給
- 原子炉熱出力一定で周期の異なる電力負荷変動へ対応した負荷追従運転

多様な革新的ナトリウム冷却高速炉における統合安全性評価シミュレーション基盤システムの開発

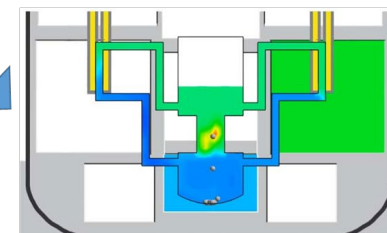
研究代表者:内堀 昭寛(JAEA) 受託期間:令和2年度～令和5年度
共同研究機関:日立GE、東京都市大学、大阪大学

- 革新的原子力システムであるナトリウム冷却高速炉を対象とし、過酷事故を含めた安全性評価を、炉内／炉外を含め一貫した1つの数値解析により評価する基盤技術を構築。
- 経済産業省NEXIP事業で支援する日立GEのPRISMを対象炉型とし、日立GEが共同研究機関として参画。
- 本基盤技術は産業界への提供を前提とし、ユーザー利便性にも重点を置き、AIを用いた最適値探索支援ツール(の導入、コード入力グラフィック化や作業の一部自動化を導入。
- 溶融燃料もしくは溶融燃料とコンクリートの相互作用で生じる混合酸化物の融体物性評価試験、データベースを構築。

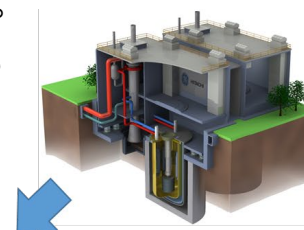


・評価精度向上
(融体熱物性)

- ・モデル拡張(炉心損傷、熱水力)
- ・ユーザー利便性向上



統合安全性評価シミュレーション基盤システム



・他炉型への適用拡張
(PRISM型炉)

【成果の展開・応用】 研究基盤の社会実装

- 開発したシミュレーションシステムは国内外に提供する他、米国で建設予定のVTR(Versatile Test Reactor)炉へも利用可能で国際標準化も視野。
- 高速炉ロードマップ、経済産業省NEXIPにおける研究基盤への提供(他型炉へも適用可能)を想定。
- 浮遊法試験により、従来困難だった高温融体物性を取得。構築する融体熱物性データベースは軽水炉にも適用可能(軽水炉過酷事故解析技術の精緻化、実験技術の国際的優位性)。

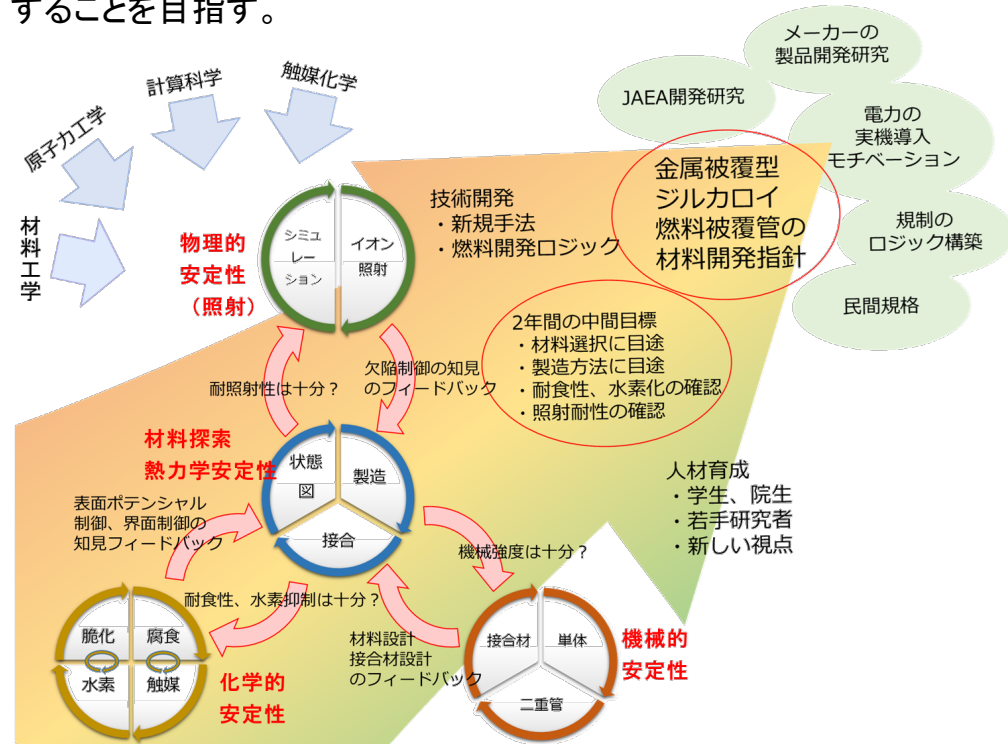
原子力システム研究開発事業 経済産業省NEXIP事業※等への成果の橋渡しの例 (2/2)

※経済産業省NEXIP事業…社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業

金属被覆ジルコニウム合金型事故耐性燃料の開発

研究代表者: 阿部 弘亨(東京大学) 受託期間: 令和2年度～令和5年度
共同研究機関: 東京大学、東北大学、JAEA、ニュークリア・デベロップメント

- 事故耐性燃料(ATF)において、短期的に最も実現性が高いとされる金属被覆ジルコイ合金の開発指針の構築と最適な材料の開発を実施。
- 材料開発、機械的健全性、化学的熱的耐性、照射耐性に関する基礎的知見を総合的に充実させ、日本におけるATF技術の早期確立に貢献することを目指す。



【成果の展開・応用】

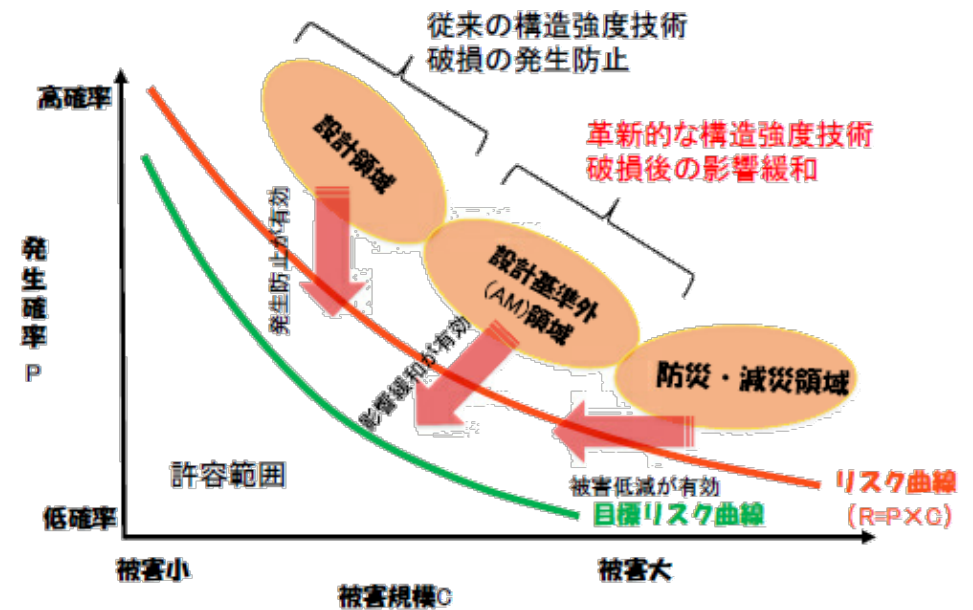
- 事故時高温環境におけるジルカロイの酸化・発熱と、水素発生によるCr被覆による抑制を、触媒化学の観点から実験的・理論的に明らかにした。
- Crとジルカロイの接合の課題を明確化するための界面照射実験を実施。
- 経済産業省ATF事業との共同ワークショップの開催を3月に予定するなど、国内におけるATF開発体制作りに貢献。

原子炉構造レジリエンスを向上させる 破損の拡大抑制技術の開発

研究代表者: 笠原 直人(東京大学) 受託期間: 令和2年度～令和5年度
共同研究機関: JAEA、防災科研

- 設計基準外事象(過酷事故時の超高温や過大地震)によって破損が生じた場合に、その拡大を抑制する技術を開発し、原子炉構造のレジリエンス(安全性能低下に対する抵抗性と回復性)を向上させる革新的な構造強度技術を開発。

従来とは異なる新しい構造強度アプローチを提案



【成果の展開・応用】

- 次世代高速炉を具体例として、Na基本的な構造物(球殻、梁、円筒)の破壊試験により、破損拡大抑制技術の適用見通しを得た。
- 時間効果と事象の動的変化を考慮した PRA 解析法を開発し、炉心損傷確率の低減、レジリエンス指標(安全裕度、時間裕度)を可視化。
- 日本溶接協会において、原子力の安全性に対する新しい考え方に基づく「設計基準外事象に対する構造強度ガイドライン」を提案しており、規格化を検討・推進中。