



文部科学省

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

原子カシステム研究開発事業  
ワークショップ  
R3. 2. 12

# 原子カシステム研究開発事業及び NEXIPイニシアチブについて

研究開発局 原子力課

# はじめに：原子カシステム研究開発事業について

## 【NEXIPイニシアチブ】

第5次エネルギー基本計画においては、エネルギー転換・脱炭素化に向け、あらゆる選択肢を追及することとしており、原子力関連技術についてもイノベーションの促進の重要性について記載されました。これを踏まえ、文部科学省と経済産業省では、原子力分野におけるイノベーション創出を効率的・効果的に進めるため、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するための一連の取組をNEXIPイニシアチブとして進めています。

## 【原子カシステム研究開発事業】

- 令和2年度より、NEXIPイニシアチブの一環として実施することとし、「基盤チーム型」「ボトルネック課題解決型」「新発想型」の3つのメニューで公募を実施しました。
- 予算規模や令和2年度の採択結果を踏まえ、令和3年度の募集は、「基盤チーム型」のみとし、裾野拡大と基盤の強化を重視した形式とする予定です。特に、若手研究者の応募を期待します。

令和3年度予算案：1,029百万円（内、新規公募分は約100百万円）

本ワークショップは、基盤底上げと新たなテーマの掘り起こしの一環として、令和2年度に十分に採択できなかった技術領域について、専門家から期待する取組例を紹介し、参加者の皆様と意見交換を行うことを通じて、公募内容を深化させるとともに、応募者の提案の参考となることを期待するものです。

# 本ワークショップのプログラム

- 1) 原子力システム研究開発事業及びNEXIP イニシアチブについて…文部科学省
- 2) 令和3 年度新規公募において期待する研究取組について  
…山本 章夫(名古屋大学／本事業プログラムオフィサー)
- 3)マルチフィジックスシミュレーション技術の紹介…高田 孝(日本原子力研究開発機構)
- 4)AI・デジタル化技術の紹介…鷺尾 隆(大阪大学)
- 5)リスク評価技術の紹介…山口 彰(東京大学)

-休憩-

- 6)フリーディスカッション(参加者の皆様との意見交換)  
…座長:山本 章夫(名古屋大学／本事業プログラムオフィサー)

# 原子力のイノベーション創出に向けた課題と取組の方向性

[総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 第20回原子力小委員会(平成31年4月23日)資料]

## ①技術開発の方向性の共有 ステークホルダーとの対話

- 国、開発主体、ユーザー等、各主体間での連携が不十分

## ②技術開発支援

- これまで画一的かつ硬直的な支援を実施

## ③研究基盤の提供

- 民間による技術開発において、JAEAのリソースの活用が十分でない

## ④人材育成

- 関係者間や他分野との連携が不十分
- 薄く広く様々な取組を支援

## ⑤規制との対話

- 民間主体の開発の促進のためには、規制の予見性の確保が不可欠

- 政府はエネルギー基本計画等を通して、原子力政策全体の方向性を提示。
- 技術開発の方向性や、ユーザーニーズなどの多様な認識を、関係者間で議論・共有し、認識の共有化を図る。

- 技術の成熟度や開発主体に応じた、きめ細かい支援策を講じ、多様な技術開発を推進する。
- ユーザーの視点も取り入れた適切な評価・絞り込みを実施する。

- JAEAが産業界・大学・海外等を繋ぐハブの役割を果たし、多様な技術開発に設備・知見を提供。
- 原子力に限定しない多様な分野の知見を取り入れ。

- 他組織・他分野との融合や国際協力を通じて、人材育成の拠点を形成。
- 育成プランの修正・統合を進め、効果的な人材育成を実施。

- 規制当局を含む関係者が、今後の規制との対話のあり方を検討。

➤ 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していくことが必要 ⇒ **NEXIP(Nuclear Energy × Innovation Promotion)イニシアチブ**

# NEXIPイニシアチブにおける事業の位置づけ

〔第2回原子力研究開発・基盤・人材作業部会(令和元年11月28日)資料〕

## 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

### MEXT 基礎・基盤研究開発

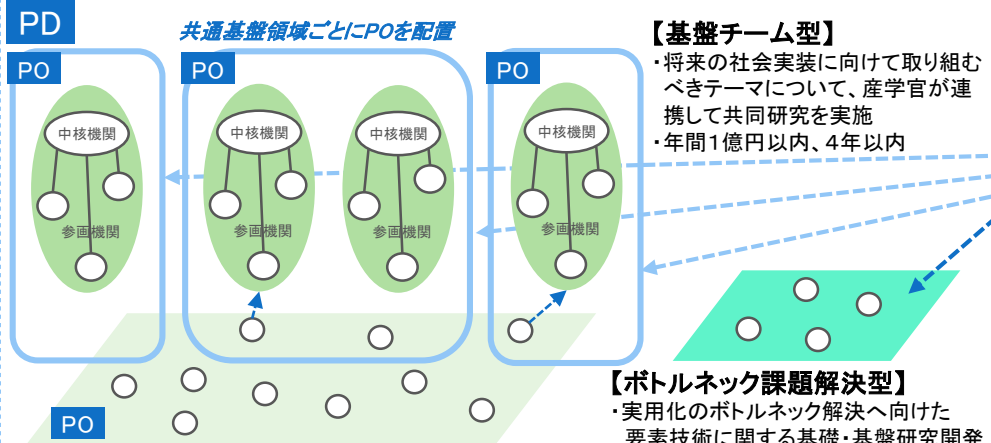
＜大学・研究機関等の取組を推進＞

#### 原子力システム研究開発事業 (令和2年度事業見直し)

- ・戦略的にテーマを設定
- ・PD・POのマネジメント強化
- ・経済産業省事業との連携
- ・他分野の知見の取込強化

#### 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



- 【基盤チーム型】**
- ・将来の社会実装に向けて取り組むべきテーマについて、産学官が連携して共同研究を実施
  - ・年間1億円以内、4年以内

- 【ボトルネック課題解決型】**
- ・実用化のボトルネック解決へ向けた要素技術に関する基礎・基盤研究開発
  - ・年間3000万円以内、3年以内

#### 【新発想型】

- ・原子力イノベーションの創出を目指す挑戦的・ゲームチェンジングな技術開発を推進
- ・年間2000万円以内、2年以内

選考過程を経てプロジェクトに参画

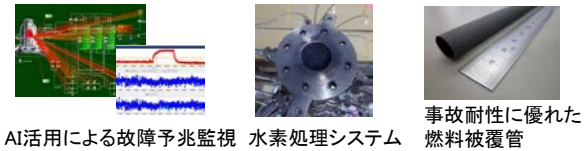
### METI 技術開発支援

＜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

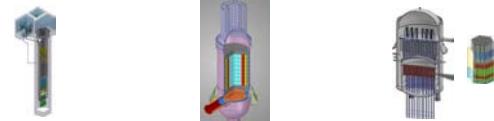
- 事故耐性燃料
- 製造技術・新材料適用
- データ・IT、新通信システム活用による安全高度化
- 安全高度化基盤技術



#### 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



- 安全性・経済性に優れた小型炉
- 水素や熱の利用が可能な革新炉
- 長半減期核種を燃焼可能な軽水炉

※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

原子力イノベーションの創出



### イノベーションハブ機能の強化

<p><b>基礎・基盤研究</b></p> <p>技術評価・コンサルティング</p> <p>人材育成</p> <p>国際連携</p>	<p><b>技術基盤(基盤施設、計算コード、DB)の提供・拡充</b></p> <p><b>実用化に資する技術開発</b></p> <p>〔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〕</p>
--	--

# 令和2年度原子力システム研究開発事業公募

[第4回原子力研究開発・基盤・人材作業部会(令和2年9月2日)資料]

文部科学省と経済産業省が連携して進める「NEXIPイニシアチブ」の一環として、下記要領にて公募を実施。

## 【事業の目的】

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・基盤研究を推進する。

## 【公募の対象】

大学、民間企業、国立研究開発法人、公益法人等

## 【事業概要】

社会や産業界の多様な要請に応える基盤研究を戦略的に進めるとともに、斬新なアイデアを活かす仕組みを両立するため、以下の3つのメニューを設定。

### (1) 基盤チーム型 (4年以内、上限1億円/年 ※2年目終了時にステージゲート評価)

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 (3年以内、上限3000万円/年)

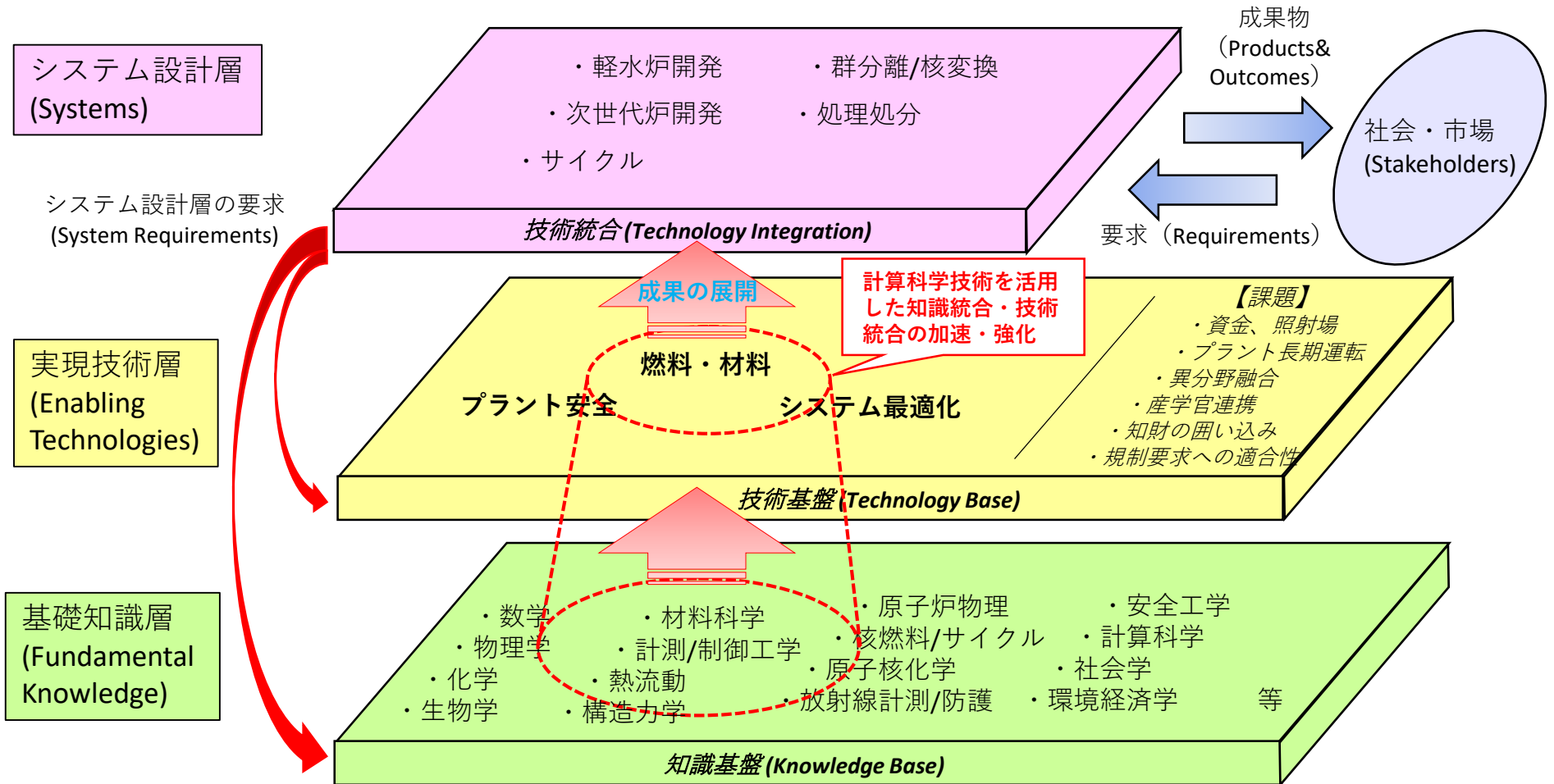
社会実装を目指す上で具体的なボトルネックとなっている課題及びその解決を図るため基礎・基盤に立ち返って取り組むべき研究開発テーマを募集。産業界等からの課題解決へのニーズや、本研究開発により得られる知見の産業界等への確実なフィードバックがなされるための道筋が明確に示されることが必要。

### (3) 新発想型(2年以内、上限2000万円/年)

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。

# 基盤チーム型のテーマの3層戦略モデル

〔第4回原子力研究開発・基盤・人材作業部会(令和2年9月2日)資料〕



# 共通基盤技術ヒアリング概要

## 【ヒアリング結果概要】

〔第4回原子力研究開発・基盤・人材作業部会(令和2年9月2日)資料〕

### ①戦略的に重要と考える分野・技術的ボトルネック

- ・原子力特有の基盤分野(炉物理、燃料工学等)の基礎的なレベルの維持が重要。改良やトラブルシューティングにも基盤研究が必要。
- ・原子力分野においては、時間とコストを要する材料分野において、基礎的メカニズムの解明によりスピード・信頼度向上が期待できる。
- ・系統的なプロセス科学の視点の取組が不足している。
- ・資金や照射場が限られるなか、シミュレーション技術を活用して開発を進めることは重要だが、検証作業やデータ取得が必要。
- ・V&Vへ向け、計算機科学の高度化は重要。将来的には実機の運転をモニタリングしながら、並行してシミュレーションするのが理想であるが、そのためには、シミュレータの能力、ソフトウェア、計測・制御技術の高度化が重要。
- ・イノベーションのボトルネックは規制要求への適合性であり、新型炉開発にあたっては、先進技術のリスクの抽出と検証の早期開始が重要。

### ②産学官連携・マネジメントのあり方

- ・これまでのようなプロジェクト型の研究開発が難しいなかで、日本型の民間主導のイノベーションを考えることが必要。
- ・基盤的な解析コードの開発や照射データに関しては、all Japanで取組み産学官で共有することが重要。
- ・米国INLのナショナルセンターのように、JAEAがナショナルセンターとして施設・設備・データを含め基盤技術のプラットフォームとなることを期待。
- ・産学官が同じ方向を向くためには、ロードマップ等の連携方策の再構築や産官学の壁が無く顔が見える関係性の構築が重要。
- ・イノベーションのFS段階はメーカーと大学・研究機関が意見交換しやすい。
- ・産総研のオープンラボのような仕組みも参考になるのではないか。
- ・経済ブロック化や知財囲い込みを見据えて研究開発を行うことが必要。

### ③他分野技術の融合、その他

- ・AIやIoTについては、他分野が先行しており、知見の取入が必要。
- ・異分野融合の取組は中国を含め他国の方がスピードが速い。日本型のすりあわせ方式については改善を図る必要。



E N D

## 基盤チーム型のテーマについて

越塚 誠一  
山本 章夫  
義家 敏正

原子力分野におけるイノベーションの取り組みにおいては、基礎基盤を含む研究開発を加速するためのチェンジマネジメントが求められています。従来のリニア型の開発モデルを越え、ステークホルダーのニーズを随時汲み取りつつ、スパイラル型に知識の統合化、技術の統合化を進め、短いタイムスパンで効果的・効率的に研究成果を展開していくことが重要になります。この方向性を目指す上で、計算科学技術の活用は極めて重要です。他産業においても、モデリング&シミュレーションの活用したものづくりが進められていますが、実規模での実験・実証が困難であり、一方で安全性の確保が何より重要である原子力分野においては、今後、他分野にも増して必須の取組と言えます。デジタルツインやマテリアルインフォマティクスなどの活用により、実験が困難な条件もカバーしつつ、より多くのデザイン・条件を検証し、結果としてより安全なシステムを開発することが可能となります。

原子力分野の基盤技術開発を考える場合、大まかに（１）燃料・材料分野、（２）プラント安全、（３）システムといった分野に分類できます。以下の例示のように、これらの分野のいずれにおいても、計算科学を有効に活用することにより、知識統合・技術統合を有効に行うことができます。

## (1)燃料・材料分野

燃料開発及び材料開発。特に計算科学技術を活かした新しい燃料・材料の開発、第一原理計算などに基づく革新的な燃材料解析手法の開発、実現象に適用できるマルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション手法の開発など

## (2)プラント安全分野

核特性解析、核データ評価、熱水力解析、構造・機械解析、プラント安全解析、及び原子炉としての挙動を解析するための統合解析手法の開発など

## (3)システム分野

計測・分析・制御・ロボティクス、AI、IoT、最適化等の技術を用いたモデリング&シミュレーション手法の開発、あるいは、これらの手法を活用した原子力システムの開発

また、上記の分野に共通する項目として、シミュレーション手法の高度化や妥当性確認のための実験データ取得、革新的な実験データ取得方法の開発、高精度な解析手法の開発、他分野からの新たな知見を導入した開発、新たなV&V(Verification & Validation)手法の開発などが挙げられます。

## 【基盤チーム型】

研究代表者 (所属)	参画機関	研究課題名・概要
阿部 弘亨 (東京大学)	東北大学、 日本原子力研究 開発機構、 株式会社ニューク リア・デベロップメ ント	<b>金属被覆ジルコニウム合金型事故耐性燃料の開発</b> 事故耐性燃料において、短期的に最も実現性が高いとされる金属被覆ジルカロイ合金に着目し、その開発指針の構築と最適な材料の開発を目的とする。当該材料システムは、金属被覆に関する知見は皆無に近く、特に金属被覆と被覆／基材界面における現象を対象として、科学的合理性および説明性の高い材料開発指針を構築するに十分な研究体制を構築し、実用化に向けた知見を整える。そして、当該材料に関し物質選択、製造法、機械強度、腐食特性、照射特性といった燃料被覆管開発に必要な十分な知見を習得する。
笠原 直人 (東京大学)	日本原子力研究 開発機構、 防災科学技術研 究所	<b>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</b> 破損発生防止を目的とした従来の構造強度技術の対象は、単一機器の破損発生までであった。破損発生後の影響の緩和を目的とした本研究では、プラントシステムにおける破損発生後の挙動を対象としている。計算科学技術と模擬材料試験技術を駆使し、安全性への影響の小さい破損モードを先行させることにより周囲の機器の荷重やエネルギーを低減させ、安全性へ影響の大きい破損モードへの拡大を抑制する、革新的な構造強度技術を開発する。
小宮山 涼一 (東京大学)	日本原子力研究 開発機構、 日本エネルギー 経済研究所、 日揮株式会社、 三菱重工業株式 会社	<b>脱炭素化・レジリエンス強化に資する分散型小型モジュール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 ※</b> 従来のエネルギー技術最適導入戦略分析手法は、電力部門の時間および空間的解像度が低く、急増する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ず、SMR導入戦略は定性的な議論に留まっていた。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や負荷追従性能等の工学的制約条件、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統合したシミュレーション手法を開発し、エネルギーシステム高度化に資する導入可能なSMRの概念設計と課題抽出を行う。
高田 孝 (日本原子力 研究開発機構)	日立GEニューク リア・エナジー株 式会社、 東京都市大学、 大阪大学	<b>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</b> 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、シビアアクシデント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するものである。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等を用いた最適解探索の開発、入力GUI化、解析作業の品質保証活動の自動化を行うと共に、PRISM型原子炉への適用を行う。また燃料(UO <sub>2</sub> 、金属)等の熔融時の熱物性について最新技術での計測を行い、数値解析精度の向上に資すると共に基盤データベースの拡充を行う。

## 【ボトルネック課題解決型】

研究代表者 (所属)	参画機関	研究課題名・概要
梅沢 仁 (産業技術総合研究所)	北海道大学、福島工業高等専門学校	<p><b>過酷事故対応電子機器の実用化に向けた耐放射線・高温動作半導体デバイスの高性能化</b></p> <p>原子炉格納容器内で過酷事故に対応可能な耐環境型電子デバイスおよびエレクトロニクス回路の製造技術は現状存在せず、典型的なボトルネック課題となっている。本研究では原子炉の安全性を高めるため、課題解決の要となるダイヤモンド電界効果トランジスタの高性能化とSiC集積回路技術の開発を進め、事業終了後ただちに耐環境型エレクトロニクス回路の実機開発に着手可能とすることを目指す。</p>
高橋 浩之 (東京大学)	-	<p><b>可搬型950keV/3.95MeVX線・中性子源による福島燃料デブリウラン濃度評価・仕分けとレギュラトリエン</b></p> <p>2024年の本格取り出しに備え、ユニット缶入り燃料デブリを格納容器直外のその場で、迅速にU濃度約5%以上か未満を判定し、以上であれば核物質、未満であれば放射性廃棄物と仕分けできる可搬型の装置システムを実現すると共に、可搬型3.95MeVX線・中性子源の使用場所変更の規制緩和も達成する。</p>
高木 直行 (東京都市大学)	日本医用アイソトープ株式会社、金沢大学三菱重工業株式会社、日本原子力研究開発機構	<p><b>国内の原子力インフラを活用した医用RIの自給技術確立に向けた研究開発</b></p> <p>商用PWRおよび高速実験炉常陽を用いて、診断用のRIとして需要の高いMo/Tcと、<math>\alpha</math>内用療法に用いられる短寿命<math>\alpha</math>核種(Ac-225)の生成と供給を行う国内自給技術検討により既存炉・次世代高速炉の運用に係る研究開発を行う。診断・治療用RIの国内自給技術の社会実装を図るとともに、新型炉を含んだ軽水炉・高速炉利用におけるイノベーションと原子炉に対する社会受容の改善を目指す。</p>
中村 いずみ (防災科学技術研究所)	横浜国立大学	<p><b>地震荷重を受ける配管系の非弾性を考慮した高精度シミュレーションモデルの構築</b></p> <p>原子力施設の配管系を対象とし、終局強度の評価も含めた非弾性挙動を再現できる高精度シミュレーションモデルを構築する。また、世界最大の震動台であるEーディフェンスを用いた検証実験を実施し、シミュレーションモデルのV&amp;Vに必要なデータを取得し、デジタルツインに基づく耐震信頼性評価法に必要な基盤データの構築を進める。</p>

## 【新発想型(1/2)】

研究代表者 (所属)	参画機関	研究課題名・概要
橋本 直幸 (北海道大学)	日本原子力研究開発機構	<p><b>金属積層造形による新規低放射化ハイレントロピー合金の作製</b></p> <p>金属積層造形法(3Dプリンティング)を用いて、次世代エネルギー炉に応用可能な、高温で耐照射性に優れる低放射化ハイレントロピー材料の創製を目指す。</p> <p>粉末床積層造形である電子ビーム積層造形(SEBM)および粉末レーザ積層造形(SLM)の2方法を採用し、各成型試料の機械的特性、耐照射性、高温水腐食特性についてアーク溶解で作製した同成分の材料と比較することで、金属積層造形による新規材料作製の成立性を検証する。</p>
小林 知洋 (理化学研究所)	東北大学、木更津工業高等専門学校、宇宙航空研究開発機構量子科学技術研究開発機構	<p><b>原子炉中性子リアルタイムモニタリングのための太陽電池型線量計の開発</b></p> <p>中性子のリアルタイム監視により、臨界状況を正確に把握する必要があるが、その計測システムは低コストである必要がある。高温・高線量<math>\gamma</math>線環境において中性子のみの信号をリアルタイムで長時間正確に測定可能な既製の測定機器はない。本研究ではSMRへの応用を目的とした簡素で小型・低コストかつ広いダイナミックレンジを有する新たな中性子検出器を提案する。</p>
近藤 創介 (東北大学)	産業技術総合研究所物質・材料研究機構	<p><b>次世代フルセラミックス炉心設計を見据えた多重防食技術の基礎基盤研究</b></p> <p>次世代軽水炉や、小型モジュール炉、低減速炉など高温・高腐食性の新型炉炉心において、金属を用いない防食技術として、産総研のセラミックスへのセラミックス被覆技術と東北大学の不対電子の不活性化技術による、使用可能なセラミックス炉心材料の実現のための多重防食技術の開発を目指し、物材機構の最先端セラミックス被覆試験技術による徹底的な強度評価によって、炉心のフルセラミックス化を実現させる技術基盤を形成する。</p>
小無 健司 (東北大学)	福井大学、日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所	<p><b>人工知能(AI)技術を取り入れた核燃料開発研究の加速</b></p> <p>核燃料開発研究へAI技法を取り入れることにより、これまでの実験データ中心の開発スタイルから理論先行型の効率的な開発スタイルへの転換を目指す。本AI技法は、汎用的なもので有り、本課題の成果によって他の原子力分野への波及効果も期待出来る。理論計算のみならずその計算結果の妥当性を評価するために最先端の高輝放射光度実験を実施し、理論計算結果と比較する。</p>

## 【新発想型(2/2)】

研究代表者 (所属)	参画機関	研究課題名・概要
家田 淳一 (日本原子力 研究開発機 構)	-	<p><b>スピン熱電発電素子による同位体発電システム開発に向けた基盤構築</b></p> <p>スピントロニクス技術に基づくスピン熱電素子と、熱源としての放射性同位体の組みあわせは、宇宙探査機用電源等への次世代発電方式として期待できる。</p> <p>これまでにスピン熱電素子の放射線耐性に関わる研究は行われてこなかったが、最近、研究代表者らが先駆けてその知見を明らかにしている。将来的に使用済核燃料等から生じる熱を安全に有効活用する技術の開発につなげるため、本研究にてその研究基盤構築を加速する。</p>
小西 康裕 (大阪府立大 学)	-	<p><b>放射性廃液のガラス固化妨害元素(白金族金属、モリブデン)を対象にしたバイオ湿式分離技術の創出</b></p> <p>放射性廃液のガラス固化妨害成分(Pd, Ru, Rh, Mo)に対する新しい分離剤としてパン酵母を活用し、バイオ分離機能に及ぼす放射線照射の影響を把握するとともに、従来の分離技術の問題点を払拭し、より簡便な操作方式でより低コストに、より高速・高効率に、ガラス固化妨害成分を分離・除去できるバイオ分離技術を創出する。</p>
黒崎 健 (京都大学)	大阪大学	<p><b>マテリアルズ・インフォマティクスによる核燃料開発</b></p> <p>独自に作り上げた実験データに基づく各種材料の物性値ビッグデータを機械学習することで、膨大で多様なウラン化合物の中から核燃料に適したものを見出す。さらに、見出したウラン化合物を実験的に合成し、特性を評価することで、マテリアルズ・インフォマティクスによる核燃料開発の妥当性を検証する。</p>