

# Reduction and Resource Recycle of High Level Radioactive Waste with Nuclear Transmutation

核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化

Reiko FUJITA  
藤田 玲子

Japan Science and Technology Agency  
科学技術振興機構

# 革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)

Impulsing **PA**radigm **C**hange through disruptive **T**echnologies

インパクト

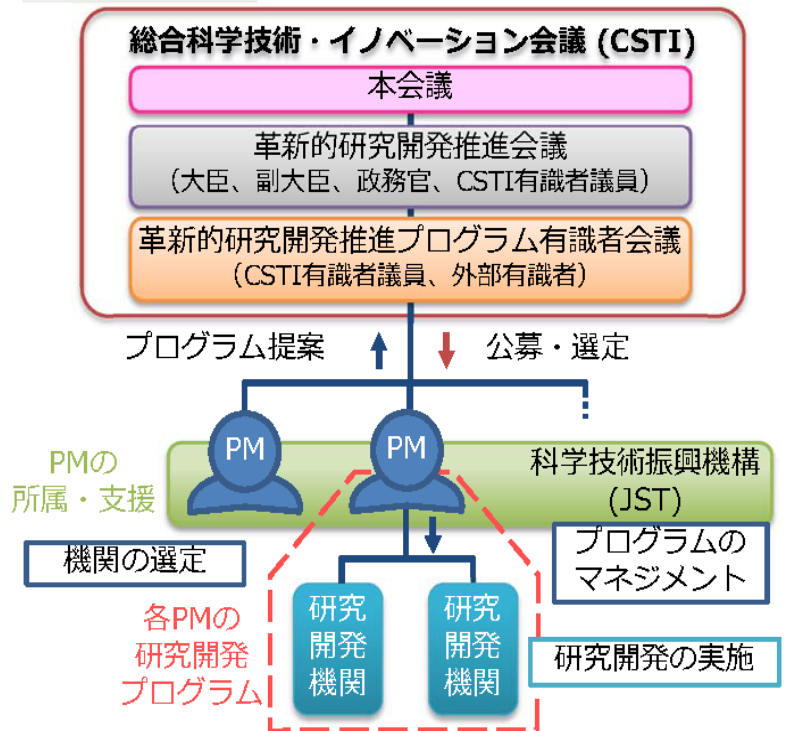
## 制度の目的・特徴

「実現すれば、社会に変革をもたらす非連続イノベーション\*を生み出す新たな仕組み」  
 ハイリスク・ハイインパクトな挑戦を促し、我が国の研究開発マインドを一変させる  
 →成功事例を、我が国の各界が今後イノベーションに取り組む際の行動モデルとして示す  
 \*積み上げではない、技術の連続性がないイノベーション (例. ガソリン車→燃料電池車)

## 予算・法律上の措置

- 平成25年度補正予算に**550億円**を計上
- 基金設置**のため、(独)科学技術振興機構(JST)法を改正

## 事業のスキーム



- CSTIが**テーマを設定**し、プログラム・マネージャー(PM)を**公募**
- PMが**研究開発プログラム**を**提案**し、CSTIが**選定**
- PMは、目利き力を発揮して**優秀な技術と人材を結集**し、自らの権限と責任で臨機応変に**プログラムをマネジメント**

## CSTIが設定したImPACTのテーマ

- ① **資源制約からの解放とものづくり力の革新**  
「新世紀日本型価値創造」
- ② **生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現**  
「地球との共生」
- ③ **情報ネットワーク社会を超える高度機能化社会の実現**  
「人と社会を結ぶスマートコミュニティ」
- ④ **少子高齢化社会における世界で最も快適な生活環境の提供**  
「誰もが健やかで快適な生活を実現」
- ⑤ **人知を超える自然災害やハザードの影響を制御し、被害を最小化**  
「国民一人一人が実感するレジリエンスを実現」

## PM選定の視点

- ① **PMの資質・実績**
  - ・構想力、専門的知見、コミュニケーション能力、情報収集力、成し遂げる意欲、リーダーシップ、説明能力 等
- ② **PMの提案する研究開発プログラム構想**
  - ・ハイリスク・ハイインパクトな挑戦が必要とされるものか
  - ・実現可能性を合理的に説明できるか、成果が検証可能か 等

## スケジュール

26年3月 PM公募、6月 PM決定  
 研究開発プログラムの作り込みを経て秋ごろから実施

# ImPACT Program 核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化



ImPACT Program Manager

藤田 玲子 Reiko FUJITA

現：株式会社東芝 電力システム社  
電力・社会システム技術開発センター 首席技監

1982年 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了  
1983年 株式会社東芝 入社（原子力技術研究所）  
2012年～現職

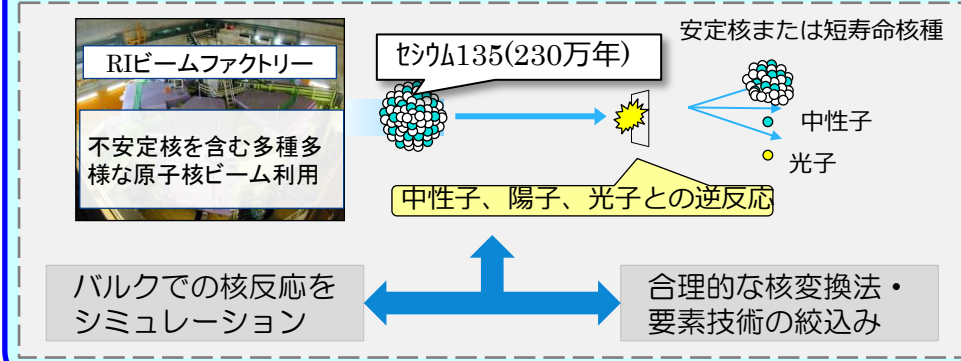
文部科学省の革新的原子力システム公募で6件が採択されるなど、金属燃料サイクルの乾式再処理技術開発の第一人者。東京工業大学原子炉研究所、日本原子力研究開発機構（JAEA）などの共同研究を推進。1995年日本原子力学会技術賞、1999年同論文賞など多数受賞。2010年より日本原子力学会の理事を勤め、2014年同会長に就任。博士・理学。

## ＜研究開発プログラムの概要＞

地層処分が唯一の選択肢であった長寿命核分裂生成物の核反応経路を究明。生成物に含まれる白金族やレアメタル等を資源利用するエコ・システムに挑戦。

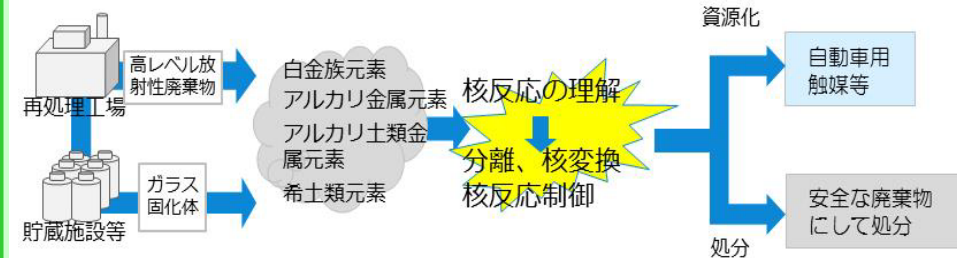
## ＜非連続イノベーションのポイント＞

長寿命核分裂生成物の核反応データを世界で初めて取得し、短半減期核種または安定核種に変換する世界初の核反応経路を最先端施設により確認。



## ＜期待される産業や社会へのインパクト＞

高レベル放射性廃棄物の処理・処分の後世代への負担を軽減するとともに、回収した白金族やレアメタル等を資源利用することにより海外市場に左右されない供給源を確保。



# PMの顔ぶれ



伊藤 耕三  
(東京大学)

超薄膜化・強靱化  
「しなやかな  
タフポリマー」  
の実現

従来の限界を超える薄膜化と強靱化を備えた「しなやかなタフポリマー」を実現。究極の安全性・省エネ自動車の実現など、材料から世の中を変える。

日本の強みを  
活かした  
世界に誇れる  
材料革新



佐橋 政司  
(東北大学)

無充電で  
長期間使用できる  
究極のエコIT機器  
の実現

電流を流さず、電圧のみで磁気メモリ素子を記録。IT機器の電力使用量を劇的に減らし、充電ストレスのないエコ社会を実現。

省エネ性能100倍  
電子立国日本の復活



合田 圭介  
(東京大学)

セレンディピティ  
の計画的創出による  
新価値創造

1兆個以上の多種多様な細胞群から、圧倒的性能を有する稀少細胞を超高速度・超正確に探索。大発見を偶然のものから必然のものにする。

大発見を普通に、  
偶然を必然にする  
新次元価値



山海 嘉之  
(筑波大学)

重介護ゼロ社会  
を実現する  
革新的  
サイバニック  
システム

要介護者の自立度を高め、更に介護者負担を激減させる人とロボット等の融合複合支援技術を開発。接触・埋込み・非接触で脳神経系・身体・各種デバイスの一体化・生活支援インフラ化に挑戦。

残存機能の  
飛躍的拡張、  
人とロボット  
をつなぐ  
革新的生活支援技術  
の社会実装



佐野 雄二  
(東芝)

ユビキタス・  
パワーレーザーによる  
安全・安心・  
長寿社会の実現

レーザーとプラズマ技術を融合し、小型・高出力でユビキタスな光量子ビーム装置を実現。設備診断・セキュリティ、先進医療に応用。

超小型・  
低コスト化により  
応用範囲を  
飛躍的に拡大



鈴木 隆領  
(小島プレス工業)

超高機能構造  
タンパク質による  
素材産業革命

重さ当たりの強靱性が鋼鉄の340倍のクモの糸を超える高機能構造タンパク質を自在に生産。生物機能を活用した素材産業革命。

生物機能再現  
への挑戦



田所 諭  
(東北大学)

タフ・  
ロボティクス・  
チャレンジ

未知で状況が刻一刻と変化する屋外の極限災害環境でも、タフでへこたれず、しっかり仕事をする遠隔自律ロボットを実現。

競争環境下で  
ロボット技術  
を「筋金入り」  
に鍛え上げる



八木 隆行  
(キヤノン)

インバーティブな  
可視化技術による  
新成長産業の創出

可視化できない生体や物体内部を、高度なレーザー・超音波技術で非侵襲・非破壊で3次元可視化。超早期診断や超精密検査・測定により、豊かで安全な生活を実現。

レーザーと  
超音波の融合  
により  
リアルタイムに  
可視化



藤田 玲子  
(東芝)

核変換による  
高レベル  
放射性廃棄物の  
大幅な低減・資源化

地層処分が唯一の選択肢であった長寿命核分裂生成物の核反応経路を究明。生成物に含まれる白金族やレアメタル等を資源利用するエコ・システムに挑戦。

後世代の  
放射性廃棄物処分  
の負担を軽減



山川 義徳  
(NTTデータ経営研究所)

脳情報の可視化  
と制御による  
活力溢れる  
生活の実現

脳情報の可視化と制御によって、意識しただけで制御可能な機器開発、多言語入出力など、モノづくりやサービス革新の基盤構築。

「思考」の  
「見える化」が  
もたらす  
新たな社会



宮田 令子  
(名古屋大学)

進化を超える  
極微量物質の  
超迅速多項目  
センシング  
システム

昆虫等の優れた生物能力を超微細エレクトロニクスで実現。有害・危険リスクを迅速・簡便に検知し、安全・安心を実感できる社会を実現。

人間を上回る能力  
を社会に実装



山本 喜久  
(国立情報学研究所/  
理化学研究所)

量子人工脳を  
量子ネットワーク  
でつなぐ  
高度知識社会基盤  
の実現

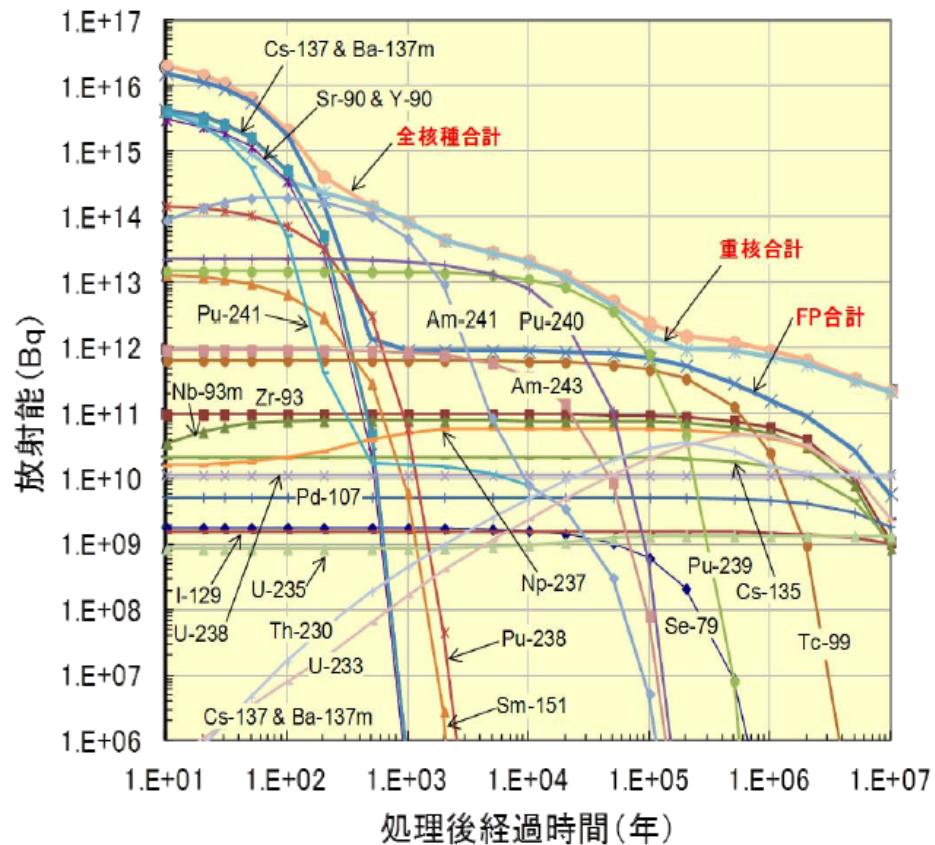
脳型情報処理を量子コンピュータに取り込んだ量子人工脳を開発。絶対に盗聴を許さない量子セキュアネットワークで結んだ高度情報社会の基盤確立。

スパコンでも  
処理できない  
大規模計算を  
実行する  
量子人工脳の開発

# 高レベル放射性廃棄物のゼロ化

- マイナーアクチニド(MA)と長寿命核分裂生成物(LLFP\*)の両者を核変換により低減させる必要
- MAは燃料として活用できるため、核燃料サイクル研究として進展(JAEAのADS-PJ)
- LLFPは核のゴミとしてガラス固化され、地層処分することが唯一の選択肢だが、立地の問題がある

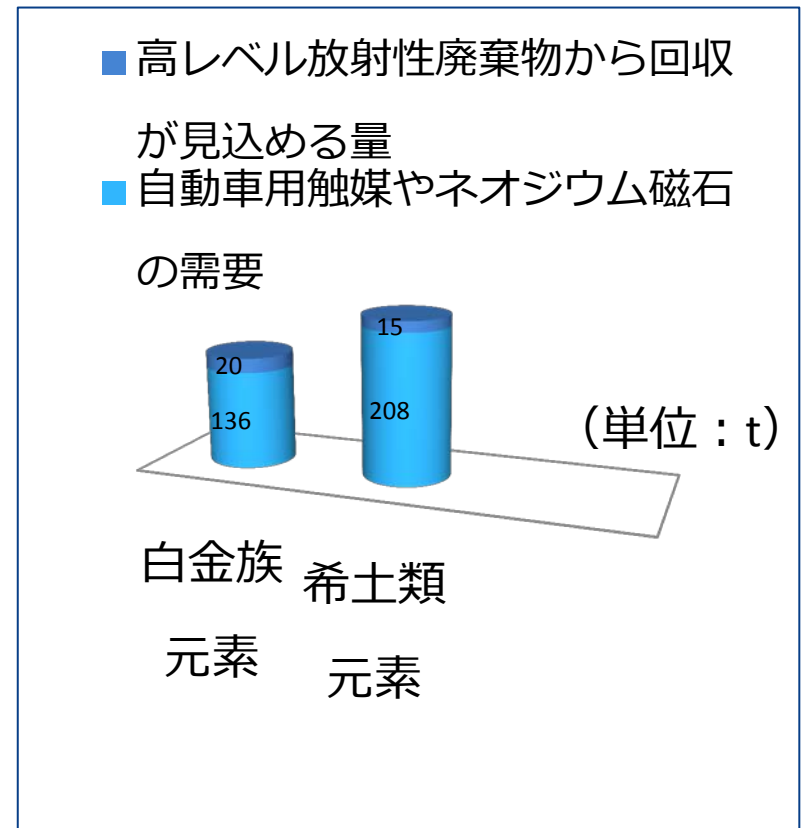
\*LLFP : Long Lived Fission Products, セシウム (Cs) -135、パラジウム(Pd)-107等



LLFPについても研究を進め、廃棄物の処分について国民に新たな選択肢を提示したい

# 高レベル放射性廃棄物の資源化

- 高レベル放射性廃棄物に含まれるLLFPには**レアメタルなど有用元素**が多く含まれる
- 有用元素の分離回収を目指したが、**放射能が含まれるため、実用化が困難**
- 核変換については、1980年代に研究を開始したが、技術検討に足る**データを取得する手段がなく、進展しなかった**



資源化には分離回収と核変換の両方の技術が不可欠

# 科学の進展と現状

- 近年、**世界最高性能の加速器**が完成し、核物理学の革新的手法により**効率的な核データ取得が可能**
- 我が国には**優れた核反応シミュレーションソフト**や**評価済みの核反応データベース**が存在

分離技術と組み合わせ、**世界初の核変換システムの開発が可能**



**PHITSに組み込まれた物理モデル**

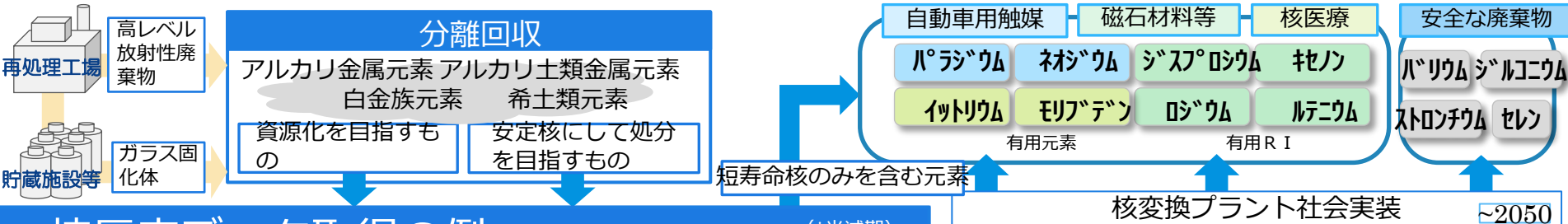
	中性子	陽子・π粒子 (その他の粒子)	重イオン	μ粒子	電子・ 正電子	光子
線	200 GeV	100 GeV/n				100 GeV
線	核内カスケード模型 JAM 3.0 GeV + 蒸発模型 GEM	原子分子 能力学模型				原子データ ライブラリ JENDL-4.0 / EPDL97
線	核内カスケード模型 INCL4.6 + 蒸発模型 GEM	JQMD + 蒸発模型 GEM				原子データ ライブラリ EEDL / ITS3.0 / EPDL97
線	20 MeV 核データ ライブラリ JENDL-4.0	1 MeV 電離損失 SPAR or ATIMA				140 MeV 先核反応 GEM
線	10 <sup>5</sup> eV	1 keV				1 keV

イベントジェネレータモード:  
核反応による2次粒子を特定可能!  
PHITSに組み込まれた物理モデルとその適用エネルギー範囲\*

\*モデル及びその適用エネルギー範囲は入力ファイルにて変更可能

# プログラムの全体像

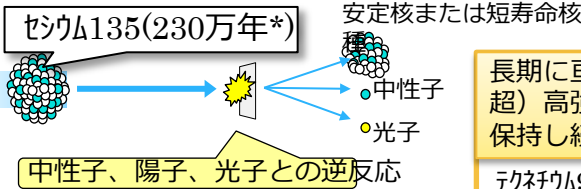
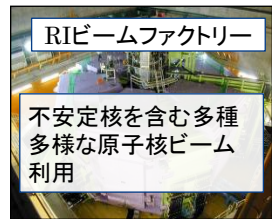
- 「ゴール」は「分離・核変換システムのプラント概念設計」（パイロットプラントの設計）
- シナリオ概念およびシステム概念設計の海外出願
- 世界トップもしくは世界を牽引する研究



## 核反応データ取得の例

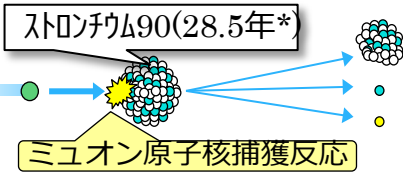
(\*半減期)

★世界一の施設により世界初データ取得が可能に



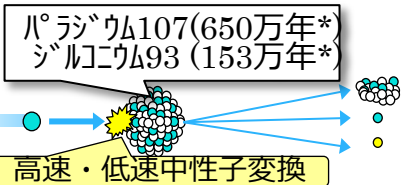
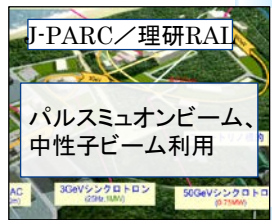
長期に亘り(1万年超)高強度の放射能を保持し続ける核種

テクネチウム99, コバルト129, セシウム79, パラジウム107, スズ126, ギルチウム93, セシウム135



利用可能な元素

パラジウム, ロジウム, ルテチウム, ネジウム, ギスプロニウム, セシウム, イットリウム, ユーロピウム



環境影響が大きな核種

セシウム137, ストロンチウム90

※I-129及びTe-99は既に(n,γ)による核変換が可能な見込みを得ている。

- ・新規生成物の組成
- ・反応断面積データ

## 分離・核変換システムの概念提示~2019

### 合理的な核変換法・要素技術の絞り込み

- ・ 実証実験
- ・ 粒子の選択
- ・ エネルギー強度
- ・ 標的の形状
- ・ 加速器技術
- ・ レーザーによる偶奇分離等

### 新しい核反応制御法の提案

- <課題の例>
- ・ 同位体分離を伴わない核変換
  - ・ 中性子エネルギー制御
  - ・ 核種選択変換
  - ・ 凝縮系核変換でも核不拡散の観点から同種の研究
- DUAL USE

## 核反応理論モデル、シミュレーション

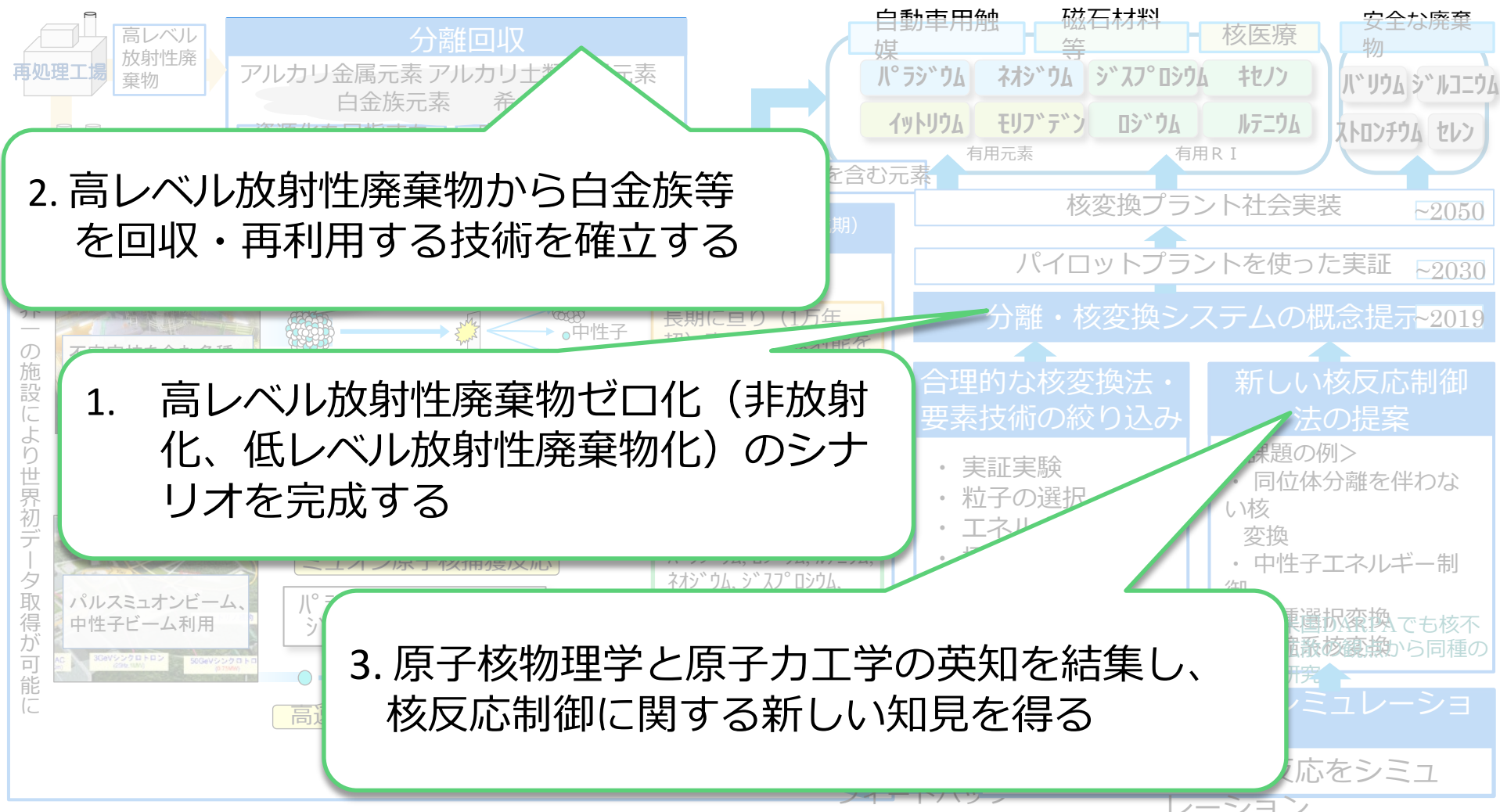
バルクでの核変換反応をシミュレーション

フィードバック



# プログラムの全体像

- 「ゴール」は「分離・核変換システムのプラント概念設計」（パイロットプラントの設計）
- シナリオ概念およびシステム概念設計の海外出願
- 世界トップもしくは世界を牽引する研究



2. 高レベル放射性廃棄物から白金族等を回収・再利用する技術を確立する

1. 高レベル放射性廃棄物ゼロ化（非放射化、低レベル放射性廃棄物化）のシナリオを完成する

3. 原子核物理学と原子力工学の英知を結集し、核反応制御に関する新しい知見を得る

# 研究開発体制

PM (藤田玲子)

社会との関係の強化

一般の方々にも参加いただいたタウンミーティング等の開催により、**社会科学的観点**を

科学的ブレークスルーのために、**核物理と原子力工学**の緊密な連携を進める

核反応データ取得

櫻井博儀主任研究員(理研)

原子力研究との連携

J-PARCで計画が進んでいる**MA核変換実験施設**

事業化に向けてリーダーシップを発揮し、**産学官**のオープンプラットフォームを形成

緒方一介准教授 (阪大)  
仁井田浩二研究センター長

に向けて再処理を担う**日本原燃株**からの意見聴取を行う。

<sup>(RIST)</sup>  
新しい核反応制御法開発

オールジャパンの連携体制の構築

長年にわたり分断していた各セクターや**既存の枠組み (予算制度等)**を超えた取り組みを進める

(※現時点での候補：東工大、東北大、東芝、JAEA等)

の情報を取り入れると共に国際的に原子核物理グループ協力を得る。

# 産業・社会へのインパクト

## 最終的な目標の実現

## 産業へのインパクト

## 社会へのインパクト

高レベル放射性廃棄物の隔離期間が短縮  
(比較的早期に減衰、管理期間の短縮)

- 高レベル放射性廃棄物の処分場は不要
- 処分コストが低減

- 放射性廃棄物の処分を次世代に委ねない
- セキュリティー向上

高レベル放射性廃棄物が資源化できる

- 分離回収に係る新産業の創出
- 海外の市場に左右されない国内市場創出

- 負の遺産とされていた廃棄物の資源化
- 自給率向上による価格交渉力の向上

新たな核変換技術が実用化できる

- 新たな原子力システムの可能性を国民に提言

- 省エネ、エコ社会の実現

# 最後に

- 今日日本に必要な研究開発は世界をリードする新しいコンセプト（概念）を世界最先端施設を用いて初めて得られるデータに基づき、実用化すること
- The Valley of Death と the Darwinian Sea を克服できる研究開発体制
- 資源少国日本の資源化に貢献
- 困難な研究課題に挑戦し、地道に課題を解決していくことにより若手研究者に夢を与えることが重要

Thank you for attention !