

革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)\*  
「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」進捗状況について

2015年8月21日  
科学技術振興機構  
ImPACT プログラム・マネージャー  
藤田 玲子

\*[www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html](http://www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html)

# 本プログラムの目的

---

## ➤ 核物理と原子力工学の融合

2011.3.11の東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の後  
原子力の研究開発のあり方の課題がクローズアップ

## ➤ 原子力に新しい研究分野を提供

福島事故から学ぶ新しい研究分野: 軽水炉の安全性  
断層の活動性  
環境回復や除染

原子力本来の課題: 高レベル放射性廃棄物の処分

## ➤ 若い学生や研究者に夢を持ってもらう研究

核変換データ取得、PHITSなどのシミュレーション  
新しい分離・回収、加速器の開発

# 革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)

## Impulsing PARadigm Change through disruptive Technologies

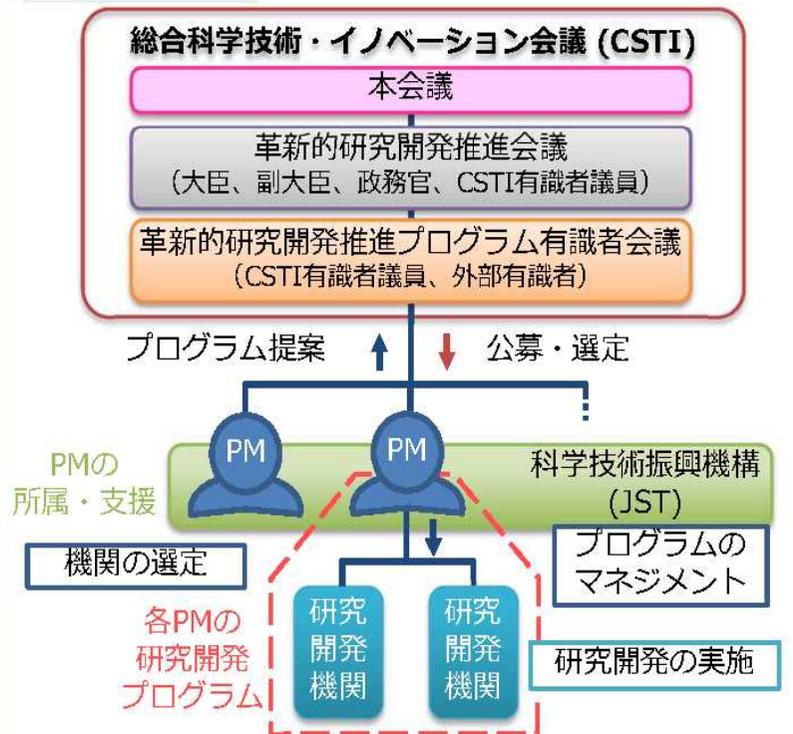
### 制度の目的・特徴

「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

- ①PM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
- ②PM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が
  - ・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

# PMの顔ぶれ

|                                                                                                                     |                                                        |                                                                               |                                         |                                                                                                                                      |                                                          |                                                                                                 |                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|  <p><b>伊藤 耕三</b><br/>(東京大学)</p>    | <p>超薄膜化・強靱化<br/>「しなやかな<br/>タフポリマー」<br/>の実現</p>         | <p>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。</p>   | <p><b>日本の強みを活かした世界に誇れる材料革新</b></p>      |  <p><b>佐橋 政司</b><br/>(東北大学)</p>                   | <p>無充電で<br/>長期間使用できる<br/>究極のエコIT機器<br/>の実現</p>           | <p>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。</p>                               | <p><b>省エネ性能100倍<br/>電子立国日本の復活</b></p>             |
|  <p><b>合田 圭介</b><br/>(東京大学)</p>    | <p>セレンディビティ<br/>の計画的創出による<br/>新価値創造</p>                | <p>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・超正確に探索。大発見を偶然のものから必然のものに。</p>           | <p><b>大発見を普通に、偶然を必然にする新次元価値</b></p>     |  <p><b>山海 嘉之</b><br/>(筑波大学)</p>                   | <p>重介護ゼロ社会<br/>を実現する<br/>革新的<br/>サイバニック<br/>システム</p>     | <p>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。</p> | <p><b>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</b></p> |
|  <p><b>佐野 雄二</b><br/>(東芝)</p>      | <p>ユビキタス・<br/>パワーレーザーによる<br/>安全・安心・<br/>長寿社会の実現</p>    | <p>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。</p>          | <p><b>超小型・低コスト化により応用範囲を飛躍的に拡大</b></p>   |  <p><b>鈴木 隆領</b><br/>(小島プレス工業)</p>                | <p>超高機能構造<br/>タンパク質による<br/>素材産業革命</p>                    | <p>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。</p>                              | <p><b>生物機能再現への挑戦</b></p>                          |
|  <p><b>田所 諭</b><br/>(東北大学)</p>    | <p>タフ・<br/>ロボティクス・<br/>チャレンジ</p>                       | <p>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。</p>               | <p><b>競争環境下でロボット技術を「筋金入り」に鍛え上げる</b></p> |  <p><b>八木 隆行</b><br/>(キヤノン)</p>                  | <p>イノベーティブな<br/>可視化技術による<br/>新成長産業の創出</p>                | <p>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。</p>              | <p><b>レーザーと超音波の融合によりリアルタイムに可視化</b></p>            |
|  <p><b>藤田 玲子</b><br/>(東芝)</p>    | <p>核変換による<br/>高レベル<br/>放射性廃棄物の<br/>大幅な低減・資源化</p>       | <p>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。</p> | <p><b>後世代の放射性廃棄物処分の負担を軽減</b></p>        |  <p><b>山川 義徳</b><br/>(NTTデータ経営研究所)</p>          | <p>脳情報の可視化<br/>と制御による<br/>活力溢れる<br/>生活の実現</p>            | <p>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。</p>                              | <p><b>「思考」の「見える化」がもたらす新たな社会</b></p>               |
|  <p><b>宮田 令子</b><br/>(名古屋大学)</p> | <p>進化を超える<br/>極微量物質の<br/>超迅速多項目<br/>センシング<br/>システム</p> | <p>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。</p>        | <p><b>人間を上回る能力を社会に実装</b></p>            |  <p><b>山本 喜久</b><br/>(国立情報学研究所/<br/>理化学研究所)</p> | <p>量子人工脳を<br/>量子ネットワーク<br/>でつなぐ<br/>高度知識社会基盤<br/>の実現</p> | <p>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。</p>                     | <p><b>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</b></p>      |

# 環境、エネルギーをめぐる課題

- エネルギーの安定供給
- 地球温暖化
- 原発再稼働、脱原発
- 高レベル放射性廃棄物
  - 最終処分場
  - ガラス固化体



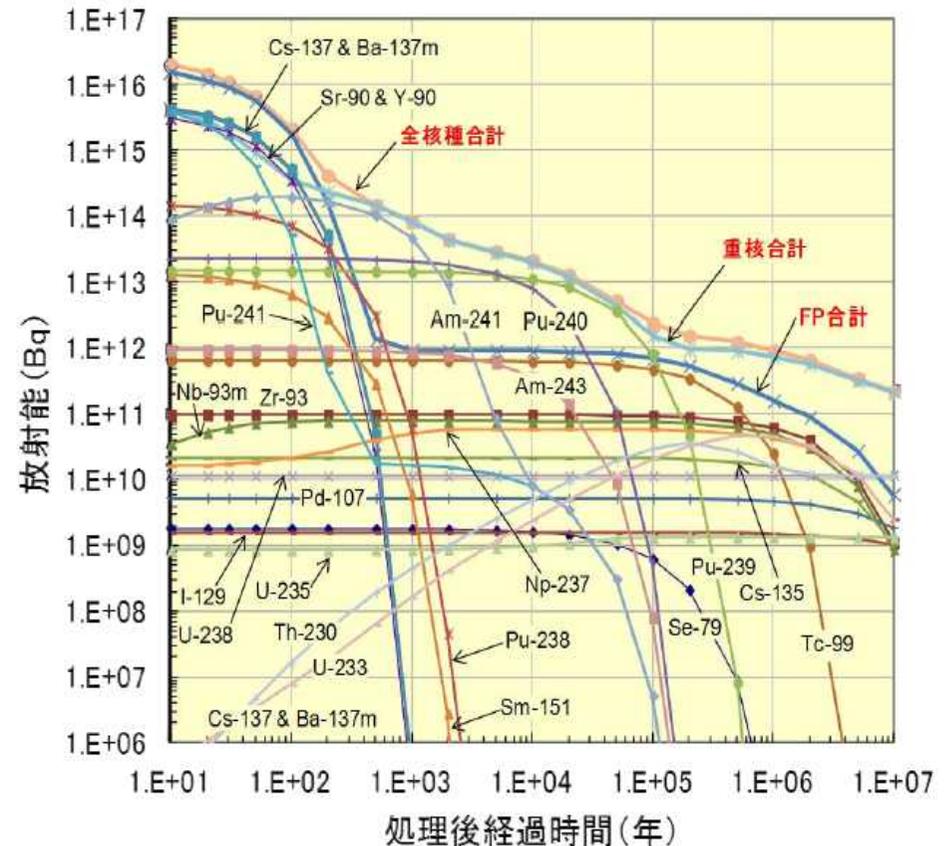
平成8年版原子力白書

高レベル放射性廃棄物の問題は、原発賛成・反対に拘わらず、現世代が解決すべき

# 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

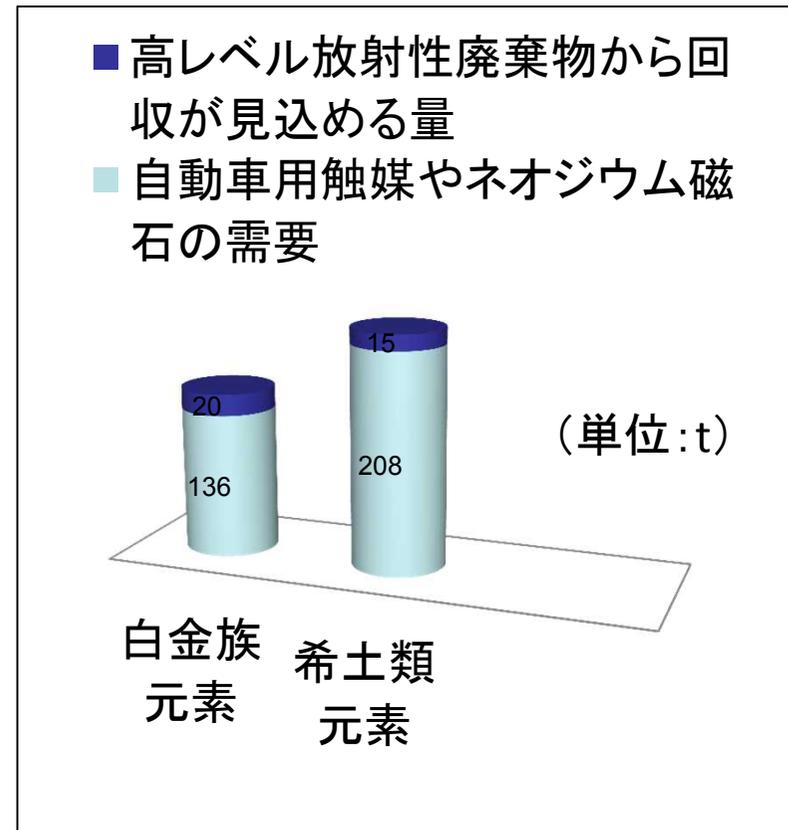


\*LLFP: Long Lived Fission Products, セシウム(Cs)-135、パラジウム(Pd)-107等

\*\*JAEA: 日本原子力研究開発機構

# 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**、再利用が困難
- 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

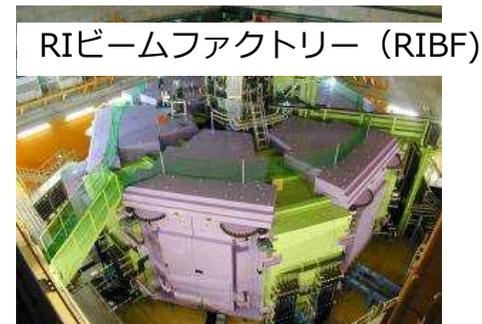


資源化(再利用)には分離回収と核変換の両方の技術が不可欠

# 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

核反応データと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・n粒子<br>(その他の核子)                            | 重イオン                                                 | μ粒子                                                     | 電子・陽電子                                                        | 光子                                               |
|-----------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 線<br>↑<br>核<br>↓<br>道 | 200 GeV<br>核内カスケード模型 JAM<br>3.0 GeV + 蒸発模型 GEM | 100 GeV<br>核内カスケード模型 INCL4.6<br>+<br>蒸発模型 GEM | 100 MeV<br>原子分子<br>軌力学模型<br>JGM2<br>+<br>蒸発模型<br>GEM | 100 MeV<br>原子データ<br>ライブラリ<br>EEDL/<br>ITS3.0/<br>EPDL97 | 100 MeV<br>原子データ<br>ライブラリ<br>EPDL97<br>140 MeV<br>光核反応<br>GEM | 100 GeV<br>原子データ<br>ライブラリ<br>JENDL-4.0<br>EPDL97 |
|                       | 20 MeV<br>核データ<br>ライブラリ<br>JENDL-4.0           | 1 MeV<br>蒸発損失                                 | 10 MeV<br>電離損失                                       | 1 keV<br>SPAR or ATIMA                                  | 1 keV<br>電離損失                                                 | 1 keV<br>電離損失                                    |
|                       | 10 <sup>-5</sup> eV                            |                                               |                                                      |                                                         |                                                               |                                                  |

→ 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



ImPACT Program Manager

藤田 玲子 Reiko FUJITA

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)

2012~2014年 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 首席技監を経て技術顧問(休職出向)

2014年~ ImPACTプログラムマネージャー

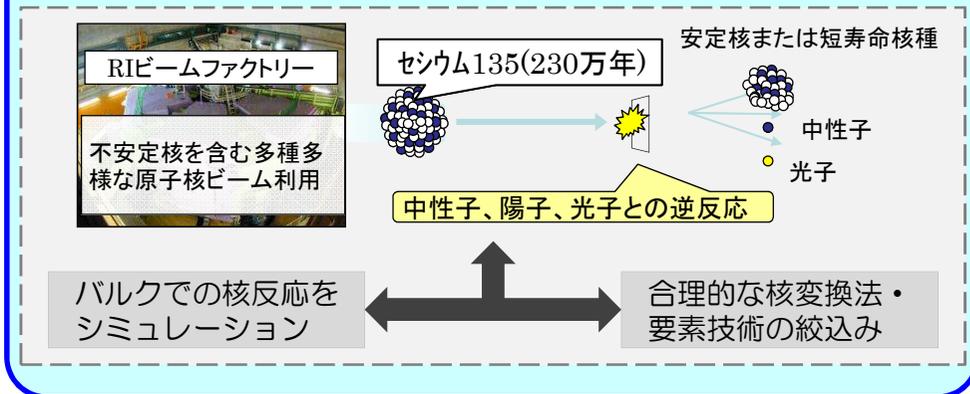
文部科学省の革新的原子力システム公募で6件が採択されるなど、金属燃料サイクルの乾式再処理技術開発の第一人者。東京工業大学原子炉研究所、日本原子力研究開発機構(JAEA)などの共同研究を推進。1995年日本原子力学会技術賞、1999年同論文賞など多数受賞。2010年より日本原子力学会の理事を勤め、2014年同会長に就任。博士・理学。

### <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

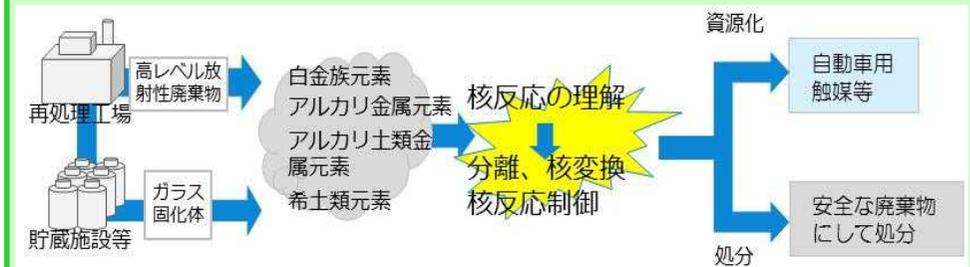
### <非連続イノベーションのポイント>

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。



# 研究開発プログラムのシナリオ

## 解決すべき社会的課題等

原子力発電所の使用済み燃料を再処理した際に発生する高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化し、地層深く処分することとされている。この高レベル放射性廃棄物には半減期の長い核種が含まれ、長期間の保管に対する不安が払しょくされておらず、**高レベル放射性廃棄物の処分場がなかなか決まらない**という社会的問題を惹起する要因の一つになっている。そこで、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**する。

## 解決のためのアイデア

近年の加速器科学の進展により、核物理学では重イオンビームなどを用いて、これまで手付かずのあらゆる核反応データの取得が可能となった。高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核分裂生成物(LLFP)について核反応断面積などの情報を得れば**合理的な核変換パス**が提案でき、短寿命化あるいは資源化が現実的な解法となりうる。

そこでLLFPを分離回収し、短寿命核種もしくは安定核種に核変換するために必要な技術を確立する。白金族核種は核変換した後、自動車用触媒などにリサイクルする。またアルカリ金属、アルカリ土類金属元素は核変換により熱発生を除き、核医薬品などに再利用する。希土類元素も核変換によりレアメタルに再利用する。これらの技術を統合して、**高レベル放射性廃棄物を大幅に低減し、微量残存する廃棄物は低レベル放射性廃棄物として扱えるようにするシステムを開発**する。

これにより、高レベル放射性廃棄物の隔離期間が短縮され、高レベル放射性廃棄物の処分場が不要となり、その処分を次世代に委ねない社会が実現できる。高レベル放射性廃棄物が資源化できることにより、**分離回収に係る新産業を創出し海外市場に左右されない国内市場が創出**される。

**新たな核変換技術が実用化できることで新たな原子力システムの可能性を示す**とともに省エネルギー、エコ社会の実現に資する。核変換・分離回収に係る最先端の人材育成及び開発能力を有することは、我が国の原子力平和利用と世界の核不拡散にも貢献する。

# 達成目標

## 達成目標（プログラム終了時の具体的アウトプット）

- 高レベル放射性廃液とガラス固化体から半減期の長い核種を取り出し、核変換により半減期の短い核種または安定核種に変換する合理的なプロセス概念を提案する。
- 具体的には、有意な核変換に必要な線源（加速器及びターゲット）の強度を合理的なコスト及びエネルギー収支で実現できることを示す。社会実装を考慮した核変換装置、分離プロセスおよび利用スキームを一貫したプロセス概念として提案する。
- なお、研究進捗を踏まえ、当初計画から外した「核変換の難易度が高い核種のデータ取得」や「プラントを前提としたシステム開発」に段階的に展開する。

## 具体的達成目標の実現に向けた戦略・シナリオ

- 近年の加速器科学の進展により、核物理学では重イオンビームなどを用いて、これまで手付かずのあらゆる核反応データの取得が可能となった。高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核分裂生成物(LLFP)について核反応断面積などの情報を得れば合理的な核変換パスが提案でき、短寿命化あるいは資源化が現実的な解法となりうる。
- そこで、世界で群を抜く最先端加速器施設であるRIビームファクトリー等を利用して、基礎核物理の手法を応用し、世界初の核反応データを取得し、これを基に工学的検討まで踏み込む。現在のところ核反応データ取得において我が国は圧倒的優位にあり、高レベル放射性廃棄物からのLLFP分離回収技術や、シミュレーション技術と組み合わせることにより、LLFP核変換システムのプロセス概念を世界に先駆けて提案する。具体的には、以下の挑戦的課題について、最適な研究機関を選定、また社会実装を念頭に複数の企業の参加を得て実施する。
  - ① 最適な核反応パスの提案・確認
  - ② 取得した核反応データを基にしたバルクでの核反応のシミュレーション
  - ③ 現実の処理工程への導入可能な分離回収技術の開発
  - ④ 同位体分離を伴わない核変換法や核反応により生じる中性子反応を制御する新たな方法の提案
  - ⑤ これらを統合した工学的検討とプロセス概念の提示

# プログラム構想・全体像の明確化

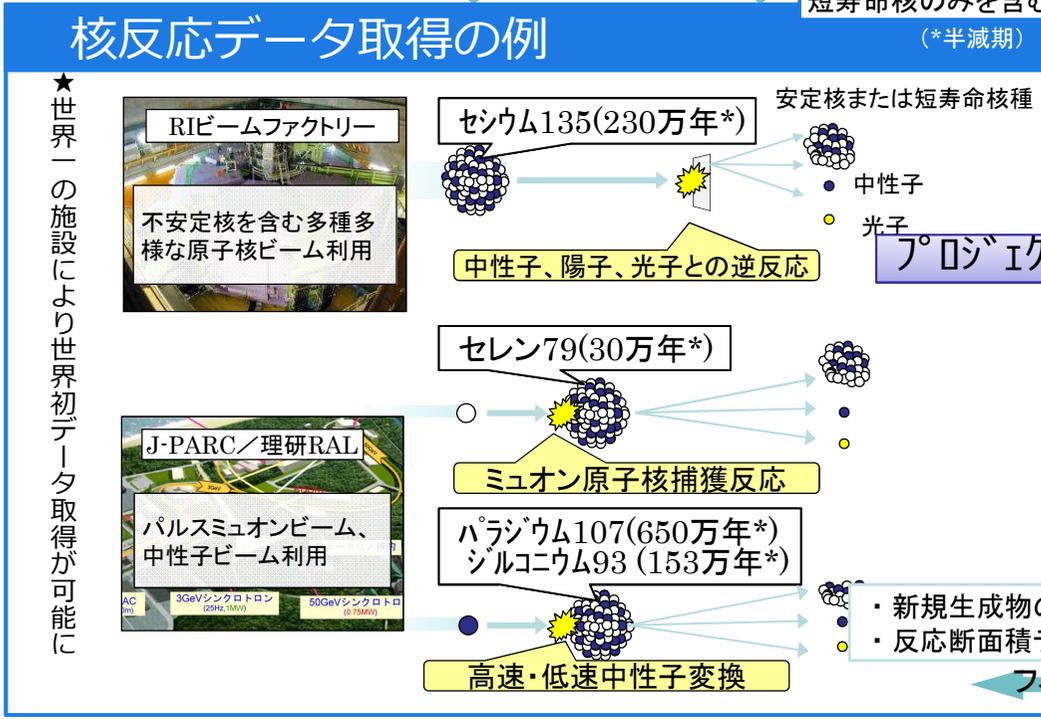
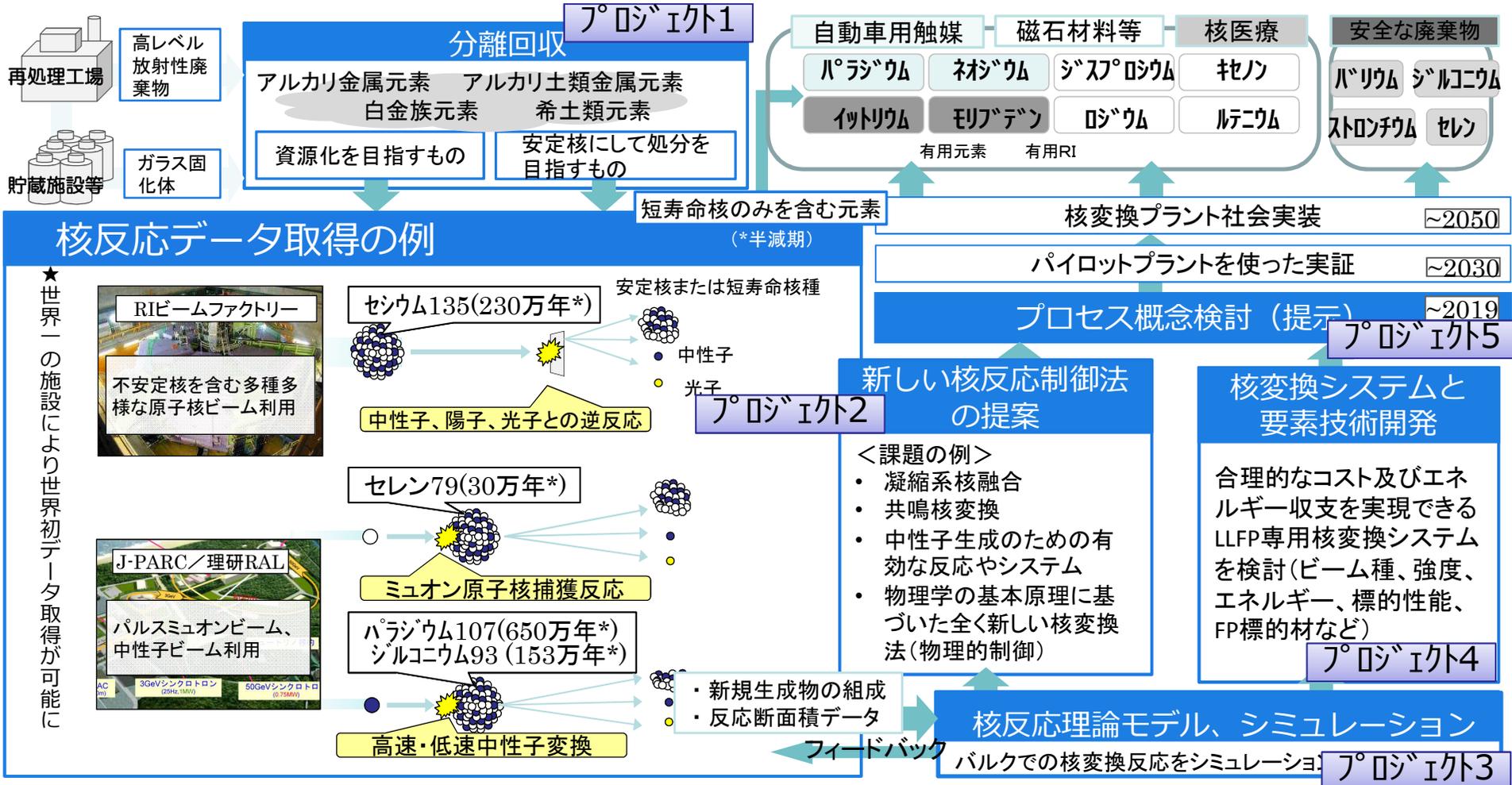
## 戦略・シナリオを克服すべき課題へブレークダウン

- 最適な核反応パスの提案・確認を行うため、世界最先端施設による大強度ビーム+逆反応学的手法でデータ取得を行う。
- 取得したデータを基にバルクでの核反応のシミュレーションを行うため、バルクでの核破碎の逐次効果をシミュレーションできる世界最高性能のコードを拡張する。
- 現実の処理工程への導入可能なシステムとして、世界水準のレーザー技術を用い、偶数核種と奇数核種を分離する技術を開発する。
- 同位体分離を伴わない核変換法や核反応により生じる中性子反応を制御できる方法を開発するため、超新星爆発時のr-プロセス研究から得られる計算技術を基にした核変換法など、最先端の基礎核物理学の手法・知見を活用する。
- MA核変換実験施設の開発グループ等と連携し、具体的なプロセス概念として取りまとめる。

## 克服すべき課題目標の達成アプローチ

- LLFPを高レベル廃棄物から回収する有望な技術を分離回収性能や二次廃棄物発生量、経済性を評価して選定し、データをプロジェクト5のプロセス概念検討に提供。（プロジェクト1: 分離回収技術開発）
- RIビームファクトリー(RIBF)を占有し中性子ノックアウト反応や高速中性子核破碎反応等による物理実験を行い、世界初の核反応データを取得。また、得られた核反応データを基に全く新しい核反応制御法の開発に挑戦する。（プロジェクト2: 核反応データ取得及び新核反応制御法）
- 反応理論・構造理論により実験から得られる核反応データを補うと共に、核変換のための核反応標準モデルを整備する。また核反応データベースを整備し、システム開発のためのシミュレーションを行う。（プロジェクト3: 反応理論モデルとシミュレーション）
- 合理的なコスト及びエネルギー収支を実現できるLLFP専用核変換システムを検討する。ビーム種・強度・エネルギー・標的性能・FP標的材などを俯瞰し、プロジェクト1,2,3,5と連携を取り要素技術開発を進める。（プロジェクト4: 核変換システムと要素技術開発）
- 高レベル放射性廃液とガラス固化体から半減期の長い核種を取り出し、核変換により半減期の短い核種または安定核種に変換する合理的なプロセス概念を検討する。（プロジェクト5: プロセス概念検討）

# 研究開発プログラム全体構成



- 課題の例** (Example of issues):
- 凝縮系核融合 (Condensed system nuclear fusion)
  - 共鳴核変換 (Resonance nuclear conversion)
  - 中性子生成のための有効な反応やシステム (Effective reactions or systems for neutron production)
  - 物理学の基本原則に基づいた全く新しい核変換法 (物理的制御) (Completely new nuclear conversion method based on basic principles of physics (physical control))
- 新規生成物の組成 (Composition of newly produced substances)  
 反応断面積データ (Reaction cross-section data)



# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト1:分離回収技術

#### ●偶奇分離技術

→レーザー偏光を用いた偶奇分離の実現可能性があるか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆選定方法:以下の機関を指定

#### ●偶奇分離技術(指定):理研

JAEAにも偶奇分離技術のポテンシャルがあるが、理研の光量子研究領域はパラジウムを対象とした偶奇分離を可能とする**大強度固体レーザーを設計・製作**できる唯一の機関である。

### プロジェクト1a

「**ガラス固化体を溶解する技術**」について公募。実現性、独創性、研究計画の妥当性、実施体制および予算の観点から評価委員会を設け、書類審査および面接審査を実施



### ◆選定方法(公募):京大/電中研/東芝、福井大

応募件数2件、2件とも面接審査を実施。いずれもチャレンジングであるが、実現性は確実とは言えず、条件付採択。研究内容を精査中。ただし、来年度、再度、新たにアイデアを公募予定。

### プロジェクト1b

「**高レベル廃液からLLFPを分離回収する技術**」について公募。実現性、独創性、研究計画の妥当性、実施体制および予算の観点から評価委員会を設け、書類審査および面接審査を実施



### ◆選定方法(公募):日立、長岡技大/近畿大、慶応大、東芝/日本原子力研究開発機構(JAEA)

応募件数7件、書類審査で高得点の4件と低得点の3件に分かれた。高得点の4件について面接審査。いずれも完全なものではなく、中間評価を行い、プロセスを統合することも考慮に入れ4件採択。

プロジェクト1a,1b評価委員: 委員長 岡部徹(東京大学教授)、井上正(電力中央研究所顧問)、梅津良昭(東北大学名誉教授)  
三村均(東北大学教授)

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方（追加機関のみ）

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト1a: ガラス固化体溶解技術

- ガラス固化体溶解技術:  
→実現性、独創性、研究計画、実施体制および経済性  
および二次廃棄物発生量が明確に示されているか  
指定模擬ガラス固化体の溶解率90%以上



## 選定に至る考え方・理由

- ◆ 選定方法(公募): 京大/電中研/東芝、福井大
- 乾式法  
ガラス固化体を熔融塩などを用いて還元溶解し、電解精製法で回収する。
- 熔融塩電解還元法: 京大  
熔融塩中でガラス固化体の成分であるSi-Oを電解還元法により溶解する技術を開発する。太陽光パネル用SiO<sub>2</sub>の電解還元法による製造技術を保有。
- 熔融塩電解精製法: 電中研  
溶解したガラス成分中に含まれるLLFPを回収する技術を開発する。金属燃料の乾式再処理技術の開発で電解精製法の実用化ポテンシャルを有する
- 化学還元法: 東芝  
熔融塩中でガラス固化体の成分であるSi-Oを化学還元法により溶解する技術を開発する。熔融塩中でLiやCaを使った化学還元技術について基本特許3件持ち、原子力技術に関して電気化学会技術賞・棚橋賞を受賞し(2007年)、論文30件の実績があり、常に新しい領域を開拓している機関である。今回の公募提案でも、提案機関の中でもトップの回収性能90%、対象核種4核種について提案しており、実用化の最右翼であり、システムの中核となる技術力があり、選定した。利益相反が生じる恐れがある場合には、(独)科学技術振興機構内に設置する利益相反マネジメント・アドバイザーに助言を得るなどの対応を行う。
- ・ (独)科学技術振興機構が定める役職員倫理規程を遵守する。  
関連の深い主な論文と特許は以下である。
  - ・ “Development of Metallic Uranium Recovery Technology from Uranium Oxide by Li Reduction and Electrorefining”  
*J. Nucl. Sci. Technol.*, Supplement **3**, pp917-920 (2002)
  - ・ “使用済み酸化物原子燃料の還元装置及びリチウム再生電解装置”  
特許第4928917号 (2006)
  - ・ “使用済み酸化物燃料の還元装置およびその還元方法”  
特許第3763980号 (2006)
  - ・ “ガラス固化体の分解方法”  
特許出願番号2014-223555 (2014)

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方（追加機関のみ）

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト1a: ガラス固化体溶解技術

- ガラス固化体溶解技術:  
→実現性、独創性、研究計画、実施体制および経済性  
および二次廃棄物発生量が明確に示されているか  
指定模擬ガラス固化体の溶解率90%以上



## 選定に至る考え方・理由

- ◆ 選定方法(公募):京大/電中研/東芝、福井大
- アルカリ溶融法  
アルカリ溶融法を用いてガラス固化体を溶解した後、フッ素系ガスを用いて元素を分離する。  
→**福井大**  
アルカリ溶融法によりNa<sub>2</sub>O-LLFP凝縮相を生成した後、水溶性のケイ酸ナトリウム相の生成し、水溶化し、フッ素系ガスを用いて元素分離する新規性のある方法である。フッ素化剤ガス利用技術および相分離を利用した**廃ガラスからの金属元素分離技術に関する技術**を保有する。

### プロジェクト1b: 高レベル廃液からLLFP分離回収技術

- LLFP分離回収技術;実現可能性の高い技術  
→実現性、独創性、研究計画、実施体制および経済性  
および二次廃棄物発生量が明確に示されているか  
指定模擬高レベル廃液からのPd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79の分離回収率90%以上



- ◆ 選定方法(公募):日立、長岡技大/近畿大、慶応大、東芝/JAEA
- フッ化物揮発法  
フッ化物の揮発性により高レベル廃液中のLLFPを分離し、湿式法で回収する革新的な提案。  
→**日立**  
使用済み燃料の再処理技術として研究してきた方法を横展開、豊富な実績を活用することができれば、実用化の可能性の効果が期待できる。
- イオン交換法  
イオン交換樹脂を用いてLLFPを分離、回収する方法。現実性が高く、堅実な手法である。  
→**長岡技大**  
使用済み燃料からMAを回収するプロセスにイオン交換法を用いた研究開発を継続して実施しており、その技術を保有。  
→**近畿大**  
複数の**固体吸着剤を用いてCsを分離回収する技術**を保有。
- イオン液体を用いた方法  
イオン液体中でLLFPの分離と回収を行う革新的なアイデアである。  
→**慶応大**  
イオン液体を用いた電気化学の権威的な存在。イオン液体の物性から電気化学的特性の研究まで幅広いポテンシャルを保有。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(追加機関のみ)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

プロジェクト1b: **高レベル廃液からLLFP分離回収技術**

●LLFP分離回収技術;実現可能性の高い技術

→実現性、独創性、研究計画、実施体制および経済性  
および二次廃棄物発生量が明確に示されているか

指定模擬高レベル廃液からのPd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79  
の分離回収率90%以上



## 選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法(公募): 日立、長岡技大/近畿大、慶応大、東芝/JAEA

### ● 湿式法

使用済み燃料の再処理の高レベル廃液から溶媒抽出法によりLLFPを分離し、電解法でLLFPを回収するプロセス。

→ **東芝**

高レベル放射性廃液からマイナーアクチニド、白金族の回収やウラン鉱山の抽出残液から**白金族元素**や**レアメタル回収**に**高い技術力**とノウハウを保有している国内唯一の機関である。高レベル廃液からマイナーアクチニドを回収する技術として有望な“アクア・パイロ分離法”に関し基本特許3件を有し、国内唯一の実施機関である。また、日本原子力学会奨励賞の獲得を含む論文8件の実績があり、常に新しい領域を開拓している機関である。また、カザフスタンのウラン鉱山のウランを採取後の残液からレニウム(Re)や希土類元素などのレアメタルを回収する技術をJOGMEGの公募で実施しており、レアメタル回収の基本特許3件を有し、国内唯一の事業実施機関である。特に高レベル廃液からレアメタルを回収する技術は世界的にも唯一のものである。また、東京電力福島第一発電所事故に伴う汚染水処理ではセシウム(Cs)を吸着する装置“SARRY”をサイトに納入した実績がある。今回の公募提案のLLFPの回収でも提案機関の中でもトップの回収率90%、対象4核種を提示しており、実用化の最右翼であり、システム火の中核となる技術力があり、選定した。

利益相反が生じる恐れがある場合には、(独)科学技術振興機構内に設置する利益相反マネジメント・アドバイザーに助言を得るなどの対応を行う。

- ・(独)科学技術振興機構が定める役職員倫理規程を遵守する。  
関連の深い主な論文と特許は以下である。
  - ・“Advanced orient cycle-progress on fission product separation and utilization”, *proc. ICEM2010*, 40053, 2010
  - ・“Development of Hybrid Reprocessing Technology Based on Solvent Extraction and Pyrochemical Electrolysis”, *J. Nucl. Sci. Tech.*, Vol. 48, No.4, 597-601, 2011
  - ・“Development of hybrid reprocessing technology based on solvent extraction and pyro-chemical electrolysis”, *Prog. Nucl. Energ.*, Vol.53, 940-943, 2011

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(追加機関のみ)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

プロジェクト1b: **高レベル廃液からLLFP分離回収技術**

●LLFP分離回収技術; 実現可能性の高い技術

→実現性、独創性、研究計画、実施体制および経済性  
および二次廃棄物発生量が明確に示されているか

指定模擬高レベル廃液からのPd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79  
の分離回収率90%以上



## 選定に至る考え方・理由

◆ **選定方法(公募)**: 日立、長岡技大/近畿大、慶応大、東芝/JAEA

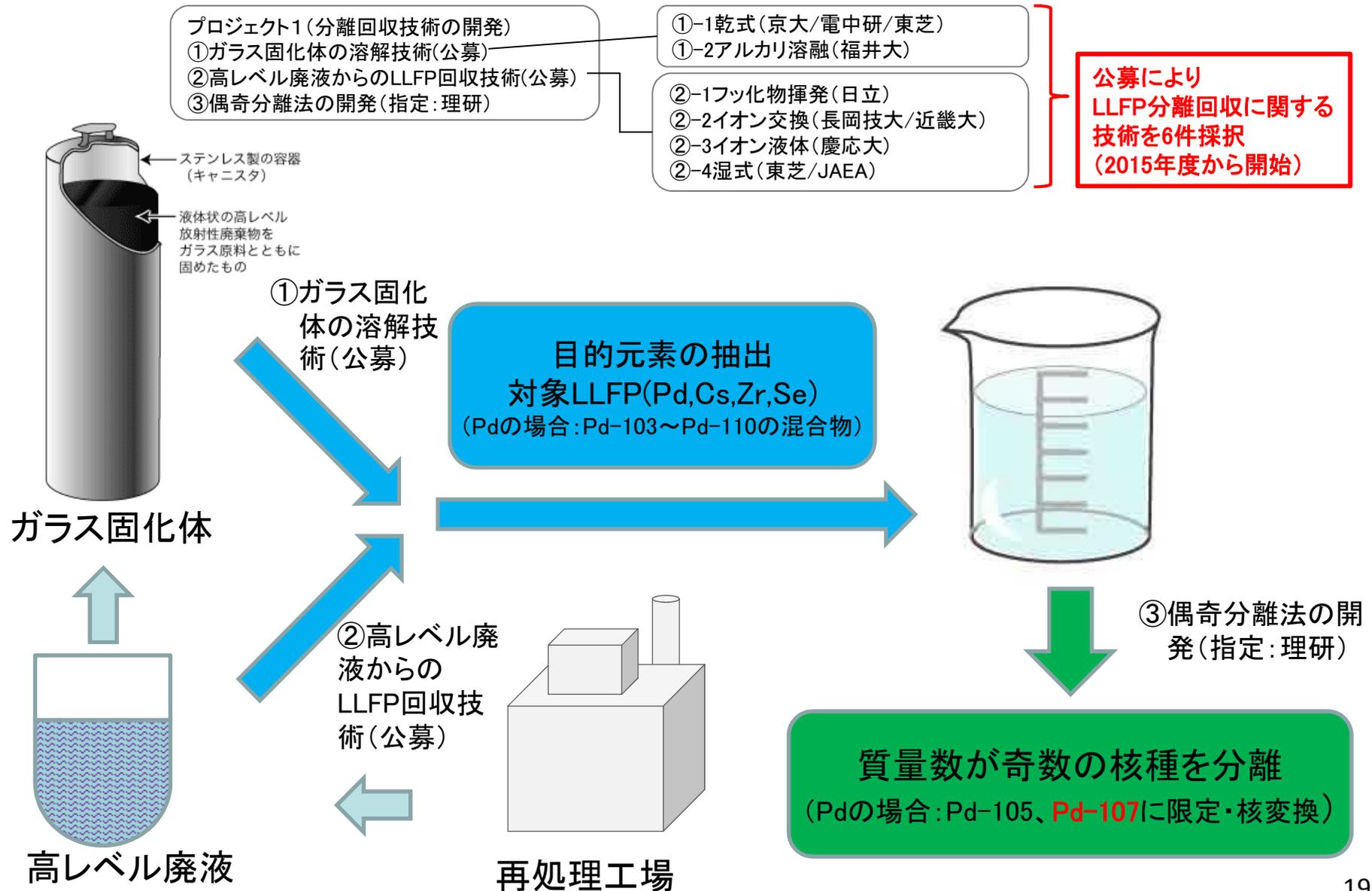
- “Simplified Active Water Retrieve and Recovery System for Fukushima”, Proc. GLOBAL2011, 524705, 2011
- “Development of Partitioning Method: Adsorption of Cesium with Mordenite in Acidic Media”, JAERI-Research 98-058, 1998
- “福島第一発電所汚染滞留水処理技術の開発(2)セシウム吸着性能の把握”日本原子力学会2012年春の年会, L28, 2012
- “再処理施設等から発生する放射性廃棄物の核種分析”日本原子力学会2004年春の年会, E24, 2004
- “Zirconium Recovery Process for Spent Zircaloy Components from Light Water Reactor (LWR) by Electrorefining in Molten Salts”, Electrochemistry, Vol. 73, No.8, 751-753, 2005
- “ジルコニウム廃棄物のリサイクル技術の開発”日本原子力学会和文論文誌, Vol.6, No.3, 343-357, 2007
- “ハイブリッド再処理技術の開発-(9)施設概念-”日本原子力学会2011年春の年会, D37

→ **JAEA**

長年にわたって高レベル廃液からMAを回収する研究開発をしてきた湿式の分離回収の権威的な存在。核種に合わせた新たな抽出剤を開発できるポテンシャルがある。CdおよびSeの分離技術を担当。

# プロジェクト 1 (目的)

目的:核変換を効率的に行うために、対象とする長寿命核種を分離・回収する



# プロジェクト 1 (進捗)

進捗: 偏光レーザーを利用した偶/奇分離法の社会実装の可能性を示す試験装置の製作に着手

- ▶ 平成26年度第4四半期～平成27年度第3四半期 (フェイズⅠ)

## 実験システム構築

真空チャンバーと3波長のレーザー装置の整備

## 基礎実験 1

偶奇分離過程に関与する3つの電子状態の確定

- ▶ 平成27年度第4四半期～平成28年度 (フェイズⅡ)

## 基礎実験 2

レーザービームのトップハット化による相互作用体積の増加

## 基礎実験 3

レーザーマルチパス化による相互作用体積の増加

高効率化に向けた試み

- ▶ 平成29年度～平成30年度 (フェイズⅢ)

## 実験システム改造

模擬試料駆動装置・レーザー高繰返し化 等

## 基礎実験 4

溶液試料の効率的蒸気化法の検討

## 基礎実験 5

模擬試料によるシステム運用

## 提案

他元素への適用

実用化施設

中間評価

1日当たりのPd処理量  
0.8 mg/日/実験システム  
(従来性能の2万倍)

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト2:核反応データ取得&新核反応制御法

#### プロジェクト2:核反応データ取得

プログラムの基礎となるデータの取得

→世界初のLLFPデータ取得のための施設・設備を有するか

→LLFP以外の核反応データ取得に十分な実績があるか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆選定方法:以下の機関を指定

#### →理研:

RIビームファクトリー(RIBF)やミュオン施設を有し、核物理実験の実績が豊富。RIBFはそのRI生成能力が世界一の施設であり、ここ数年で多くの新同位元素を発見するなどその実力は世界的に証明されている

([http://www.rarf.riken.go.jp/nuclides/new\\_isotope.html](http://www.rarf.riken.go.jp/nuclides/new_isotope.html), Journal of the Physical Society of Japan 79 (2010) 073201、他)。

核反応データを取得するためにはLLFPを秒あたり1000個以上生成する必要があり、この能力を有するのは世界で本施設のみであって、他に同等の能力を有する施設は現在のところ存在しない。

#### →JAEA:

J-PARCでの中性子ビームラインANNRIを利用した核データ取得の実績が豊富。JAEA・核データ研究グループが運営するJ-PARCの中性子ビームラインANNRI

([http://www.ndc.jaea.go.jp/Labo/ANNRI\\_JP.html#index1](http://www.ndc.jaea.go.jp/Labo/ANNRI_JP.html#index1))は、世界最高の中性子強度を誇り、飛行時間法をもちいた中性子捕獲断面積測定において豊富な経験と実績(JOURNAL OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY 50 1880200 (2013)、他)がある。

#### →東京大学:

RIビームファクトリーにおいて低速LLFPビームを開発、実験を主導。東京大学・原子核科学研究センター(CNS)

## 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(2)

### 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

#### プロジェクト2: 核反応データ取得

プログラムの基礎となるデータの取得

→世界初のLLFPデータ取得のための施設・設備を有するか

→LLFP以外の核反応データ取得に十分な実績があるか



### 選定に至る考え方・理由

#### ◆選定方法: 以下の機関を指定

は理研・RIBFで東大固有の設備および測定装置を有しており、これらを有効に活用することで低速LLFPビームの開発および実験を実現する。CNSは**高運動量分解能磁気分析装置などの設備設計と製作**などで十分な実績があり(Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B 317 (2013) 305-310、他)、低速LLFPビームを実現するための設備を新規に導入し、低速ビームを利用した実験を主導する。他に低速LLFPビームの研究を実施している機関はない。

#### →九州大学:

RIBFビームファクトリーにおいて**高速中性子核破砕反応実験を主導**。九州大学総合理工学府では医療、宇宙利用などに必要な核データを国内外の加速器施設を利用して取得しており、その実績は豊富である。特に、破砕反応、中性子放出反応で多くのすぐれた実績がある

(Progress in Nuclear Science and Technology, 4,569-573,2014、他)。LLFPが破砕された際に放出される中性子エネルギー分布や角度分布を測定と理論モデルの改良などを主導する。他に高速の中性子で核破砕反応実験を実施している機関には大阪大学があるが、中性子エネルギー分布や角度分布測定と理論モデルの改良を合わせて実施できるのは九州大学のみである。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(2)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト2: 核反応データ取得

- プログラムの基礎となるデータの取得
- 世界初のLLFPデータ取得のための施設・設備を有するか
- LLFP以外の核反応データ取得に十分な実績があるか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆選定方法: 以下の機関を指定

#### →東京工業大学:

RIビームファクトリーにおいてクーロン分解実験を主導。東京工業大学理工学研究科ではRIビームファクトリーを利用したクーロン分解実験を行い、中性子過剰な原子核のハロー構造や電氣的応答、宇宙天体核反応への応用などで多くの実績をもっている(Phys. Rev. Lett. 112, 242501 (2014)、他)。逆運動学でのクーロン分解反応による中性子捕獲断面積測定などを主導する。クーロン分解反応理論は九州大学が優れているが、逆運動学でのクーロン分解反応モデルを熟知し中性子捕獲断面積測定で最も進んでいるのは東京工業大学である。

### プロジェクト2

「新しい核反応制御」に関するアイデアを公募。ImPACTのプログラムの趣旨への合意、独創性、実現可能性および予算の観点から評価委員会を設け、書類審査および面接審査を実施



### ◆選定方法(公募): 東京都市大/東北大/JAEA、東北大/MHI、核融合研/中部大、阪大2件、JAEA/理研、京大/JAEA、兵庫県立大/JAEA

応募件数10件、書類審査で実現可能性低いものおよび指定機関の応募を除いた8件を面接審査。いずれも1年間のフィージビリティ研究をさせて、次の実験による検討へ進むものを選定する予定。

プロジェクト2 評価委員: 委員長 水本元治(元東工大特任教授)、川島正俊(東芝原子力エンジニアリングサービス技術顧問)、柴田徳思(アイソトープ協会理事)、土岐博(大阪大学名誉教授)

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(追加機関のみ)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト2:核反応データ取得&新核反応制御法

#### プロジェクト2:新しい核反応制御法

##### 斬新な核反応制御のアイデア

→技術的課題と克服の可能性を明確に示しているか  
定量的であり、出口までのマイルストーンが明確か  
Pd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79対象に新しい核反応制御法の研究開発提案を求める



## 選定に至る考え方・理由

◆ **選定方法(公募):** 東京都市大、東北大、核融合研、阪大2件  
JAEA、京大、兵庫県立大

### ● 重水/冷中性子

中性子の速度を落として冷中性子とすることで反応率を上げる革新的な提案であり、実用化できれば大きな効果が期待できる。

#### → 東京都市大

原子炉を用いた核変換技術に長年取り組んでおり、**核変換特性の解析・評価に関する高いポテンシャル**を有する。

#### → 東北大

原子炉を用いた核変換技術に長年取り組んでおり、**重水炉を用いた核変換率の解析に関する高いポテンシャル**を有する。

#### → 日本原子力研究開発機構(以下、JAEA)

原子炉を用いた核変換技術に長年取り組んでおり、原子炉に装荷する核変換ターゲットに関する研究実績を有する。

### ● 凝縮系

“常温核融合”以来、継続して研究を続け、Pdを添加したナノ反応膜に重水を透過させることにより核変換を起こす現象の観測で世界をリード。理論が解明できていないものの革新的な提案であり、その現象が解明できれば社会的に大きなインパクトをもたらす。

#### → 東北大

核物理の専門家を擁し、**放射性元素を用いた試験が可能な施設**を有しており、これまでも当該研究を実施してきている。

#### → 三菱重工業

当該研究の発案者がおり、**元素変換技術に関する豊富な経験**と知見を有する。

### ● インプラント

ガンマ線による核変換のデータ取得とそのために必要な長寿命同位体の標的をインプラント技術を駆使して製作する提案であり、実施により他の研究への標的供給も含め、大きな成果が期待できる。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(追加機関のみ)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト2新しい核反応制御法

#### 斬新な核反応制御のアイデア

→技術的課題と克服の可能性を明確に示しているか  
定量的であり、出口までのマイルストーンが明確か  
Pd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79対象に新しい核反応制御法の研究開発提案を求める



## 選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法(公募): **東京都市大、東北大、核融合研、阪大2件**  
**JAEA、京大、兵庫県立大**

### → 阪大

わが国**有数の加速器施設を有して**おり、長年にわたってスペクトロメータを用いた核反応の計測等に関する研究を行ってきた経験を有する。

### ● 核融合;

核融合反応によって得られる高速中性子が核変換反応に有効であることは既知であるが核融合炉単体でブレークイーブンを狙うことなく核融合技術を適用できる革新的な提案である。

### → 核融合研

わが国における**核融合科学研究を先導**する機関である。

### → 中部大

**磁場閉じ込め核融合による中性子発生の研究**に長年取り組んできている機関である。

### ● 小型サイクロトロン;

小型加速器により中性子を発生させ、最適なエネルギーまで減速させて効率的に核変換する革新的な提案であり、実用化できれば大きな効果が期待できる。

### → 阪大

**小型加速器を活用した中性子源の開発**に取り組んでいる。

### ● レーザー駆動多価重イオン;

レーザーによる粒子加速器技術を核変換と核種分離に応用するという革新的な提案であり、実用化できれば大きな効果が期待できる。

### → JAEA

世界でも他に類を見ない**高強度レーザーを用いた重イオン加速技術**の研究開発に取り組んでいる。

### → 理研

高強度レーザーを用いた重イオン加速技術の**ターゲット開発に実績**がある。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(追加機関のみ)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト2: 新しい核反応制御法

#### 斬新な核反応制御のアイデア

→技術的課題と克服の可能性を明確に示しているか  
定量的であり、出口までのマイルストーンが明確か  
Pd-107, Zr-93, Cs-135, Se-79対象に新しい核反応制御法の  
研究開発提案を求める



## 選定に至る考え方・理由

◆ 選定方法(公募): **東京都市大、東北大、核融合研、阪大2件  
JAEA、京大、兵庫県立大**

### ● ミュオン;

極めて高い反応確率を持っていることから魅力的なミュオン核変換に用いるミュオンを効果的に発生させる革新的な加速器技術の提案である。

→ **京大**

効率的なミュオン生成に必要な**革新的加速器の研究開発を先導**してきている。

→ **JAEA**

J-PARCの3GeVシンクロトロンの開発などを通じて**革新的加速器の開発と実現に豊富な実績を有する**

### ● レーザーコンプトン;

エネルギー選択が可能なレーザーコンプトン散乱(LCS)ガンマ線により、長寿命同位体のみを選択的に核変換するという革新的な提案である。

→ **兵庫県立大**

ニュースバル放射光施設で**LCSガンマ線源開発及びガンマ線による核変換の研究**を行っている。

→ **JAEA**

エネルギー回収型リニアック(ERL)を用いた**LCSによるガンマ線源の開発**および核不拡散・核セキュリティのために遮蔽された**同位体を非破壊でLCSガンマ線により測定する技術**の開発を行っている機関である。

# プロジェクト 2 (目的)

目的: 核データの精度を向上させ、効率的で社会実装可能な核変換プロセスを示す

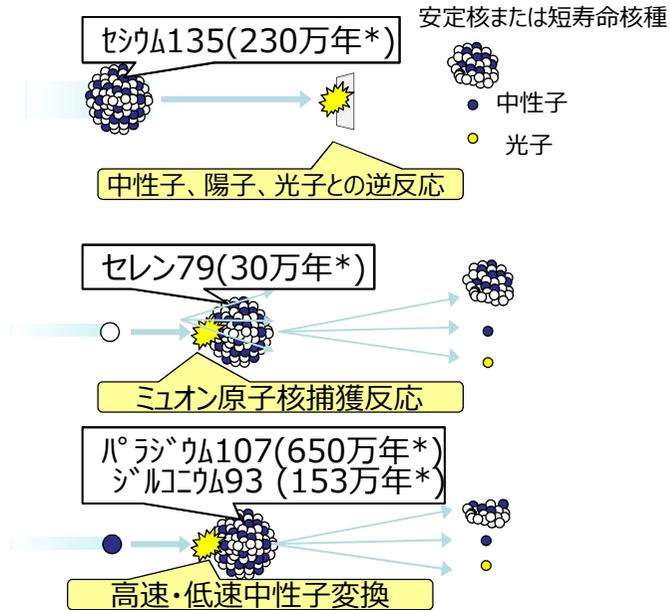
- プロジェクト2  
(核反応データ取得)
- ・中性子ノックアウト(理研)
  - ・高速中性子核破砕(九大)
  - ・クーロン分解反応(東工大)
  - ・負ミュオン捕獲反応(理研)
  - ・中性子捕獲(JAEA)
  - ・低速RIビーム(東大、理研)

(新核反応制御法)

- ・重水/冷中性子(都市大/東北大/JAEA)
- ・凝縮系(東北大/三菱重工)
- ・核融合(核融合研/中部大)
- ・インプラント(阪大)
- ・小型サイクロトロン(阪大)
- ・レーザー駆動多価重イオン(JAEA/理研)
- ・ミュオン(京大/JAEA)
- ・レーザーコンプトン(兵庫県立大/JAEA)

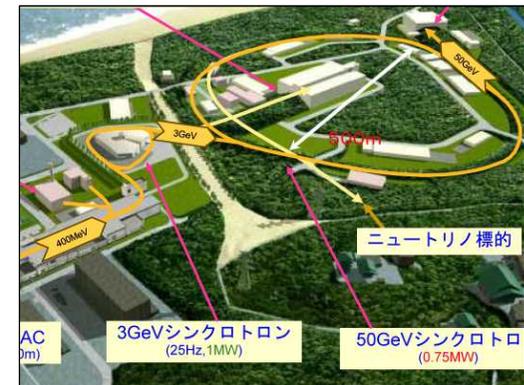
公募により  
新しい核反応制御法に関する  
アイデアを8件採択、フィージ  
ビリティスタディ  
(2014年度から開始)

## ➤ 測定装置の改造・整備



理研RIビーム  
ファクトリー

J-PARC  
・理研RAL

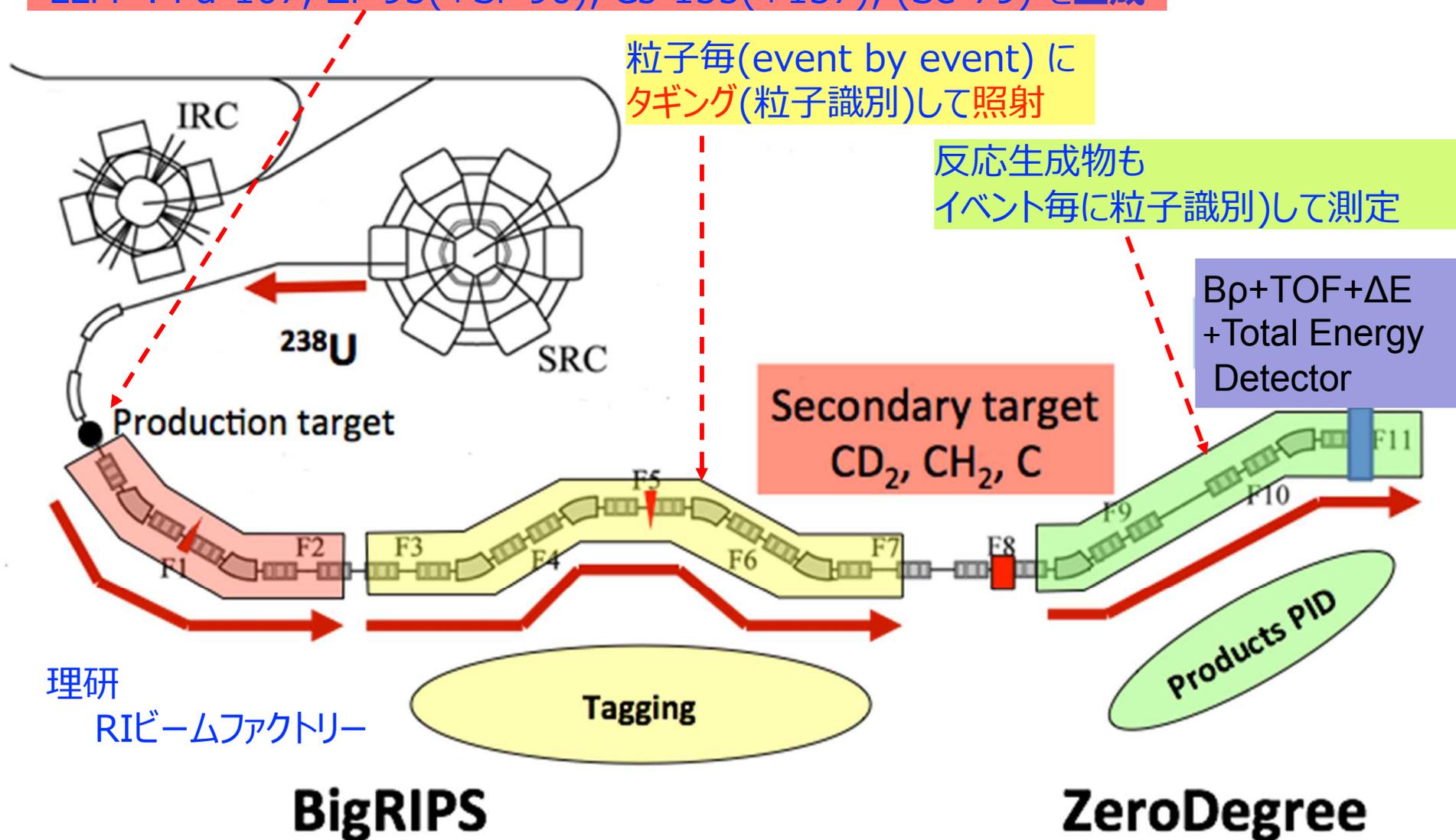


## ➤ その他、新核反応制御法の可能性検討

# プロジェクト2(進捗)

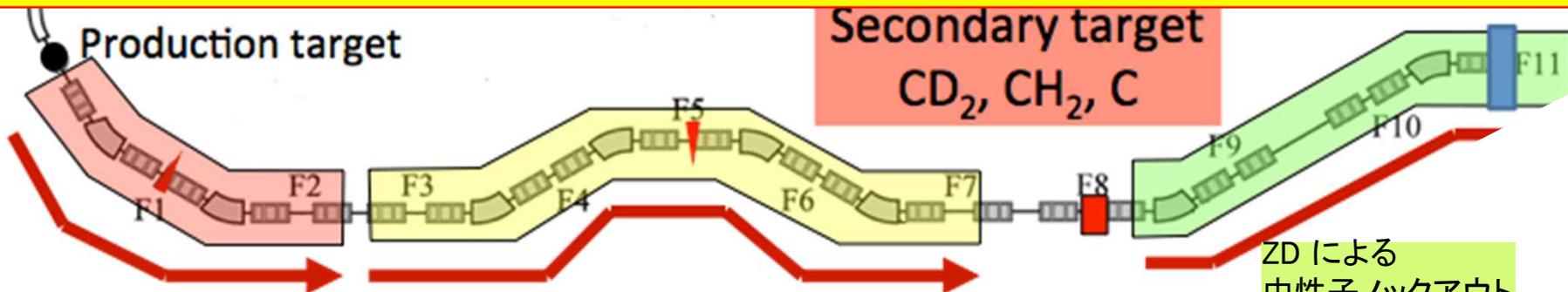
進捗: 理研のRIBFを用いた核変換データを取得する基礎試験を実施した

LLFP: Pd-107, Zr-93(+Sr-90), Cs-135(+137), (Se-79) を生成

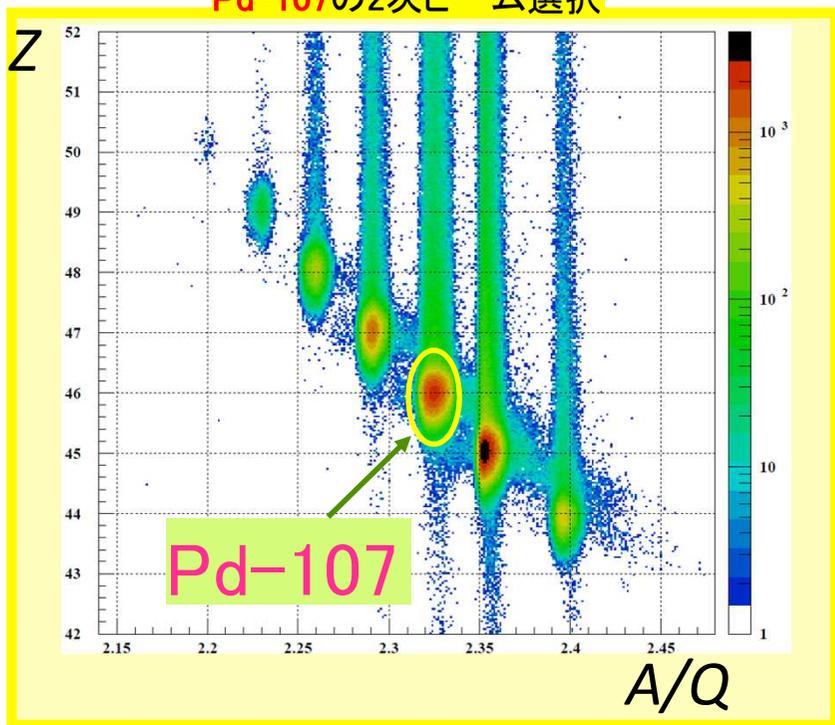


# プロジェクト 2 (進捗)

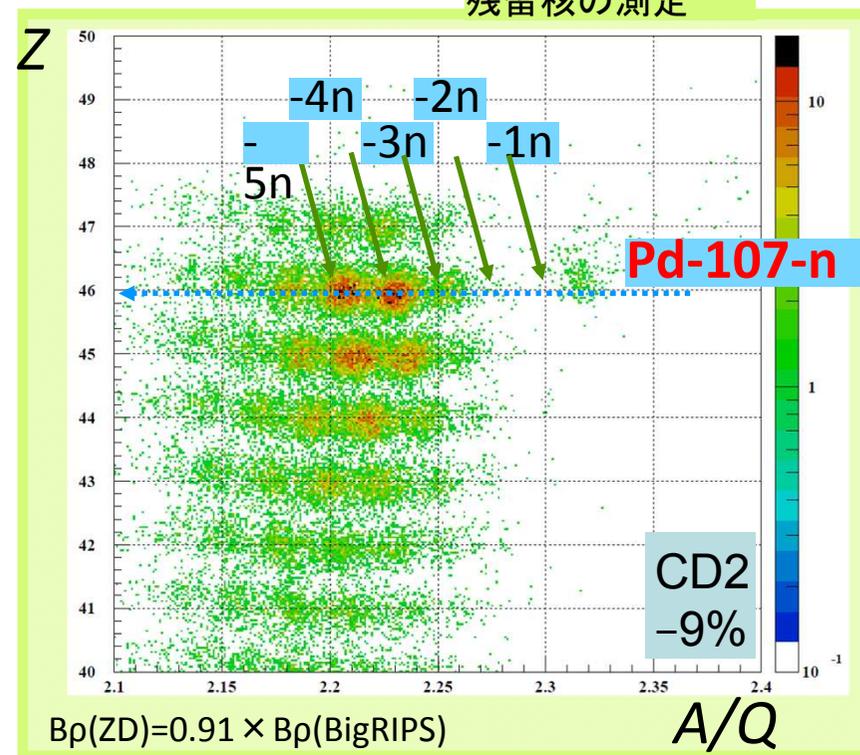
進捗: 長寿命核種であるPd-107の低エネルギー(100MeV/u)ビームの生成に成功した



BigRIPS による Pd-107の2次ビーム選択



ZD による 中性子ノックアウト 残留核の測定



それぞれの残留核の計数から断面積を決定する。

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト3: 反応理論モデルとシミュレーション

- 理論による標準モデル  
→標準モデル開発が可能な核物理における理論研究の実績
- 構造計算による高精度化  
→核構造計算に関する実績
- 核反応データコンパイル  
→核反応データコンパイルの開発実績
- 核反応評価データベース  
→核反応評価データベースを有し高度化できる
- 核反応シミュレーション  
→核反応シミュレーションソフトを有し高度化できるか



## 選定に至る考え方・理由

◆選定方法: 以下の機関を指定

### ●理論による標準モデル: 大阪大学

大阪大学核物理研究センター理論部の緒方准教授のグループは、**世界最先端の直接反応研究**を展開している。特に、原子核の分解(破碎)反応を記述する連続状態離散化チャネル結合法(CDCC)は世界的にも広く知られた反応モデルであり、数多くの実験データの定量的再現に成功している[1]。当該グループでは、分解反応のみならず、粒子移行反応、非弾性散乱、ノックアウト反応などの多種多様な反応を研究してきた実績がある。他の大学としては九州大学や東北大学で理論による標準モデルの研究を実施しているが、**分解反応のみならず、粒子移行反応、非弾性散乱、ノックアウト反応などの多種多様な反応を入れたモデル**は作成できていない。本プロジェクトで、測定された反応データの定量的解析を行い、その結果に基づいて、**直接測定することができない(n,2n)等の反応データを予言するモデルを確立する等**、核変換反応に関連するすべての反応に関して理論的なモデルを構築する上で、最適な機関として大阪大学を指名する。

[1] M. Yahiro, K. Ogata, T. Matsumoto, and K. Minomo, Prog. Theor. Exp.

Phys. 2012, 01A206 (2012), and references therein.

### ●構造計算による高精度化: 筑波大

筑波大学の中務孝教授を中心とする原子核理論グループは、**質量数の小さい領域から重いアイソトープまで、核図表全体にわたって統一的に原子核構造を計算し、光**

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト3: 反応理論モデルとシミュレーション

- 理論による標準モデル  
→ 標準モデル開発が可能な核物理における理論研究の実績
- 構造計算による高精度化  
→ 核構造計算に関する実績
- 核反応データコンパイル  
→ 核反応データコンパイルの開発実績
- 核反応評価データベース  
→ 核反応評価データベースを有し高度化できるか
- 核反応シミュレーション  
→ 核反応シミュレーションソフトを有し高度化できるか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆ 選定方法: 以下の機関を指定

や粒子との反応を計算できる理論として、時間依存密度汎関数理論を用いた研究を推進し、この分野において、国際的に研究をリードしてきた。最近では、正準基底を用いた実時間計算コードの開発[1,2]、線形応答計算の新しい手法の開発[3-5]、次世代スパコン「京」を用いた大規模並列計算[6,7]等、大きな成果をあげている。原子核構造を計算する研究を実施しているグループには大阪大学や京都大学があるが、質量数の小さい領域から重いアイソトープまで原子核構造を計算しているのは筑波大学のこのグループのみである。

### ● 核反応データコンパイル: 北海道大学

北海道大学の合川正幸教授を中心とする原子核反応データベース研究開発センター(JCPRG)は、国際原子力機関(IAEA)を中心とした国際核データセンターネットワーク(NRDC)の一員として、日本国内で得られた荷電粒子核反応及び光核反応のデータ入力を担当し、国際的な連携のもとで原子核反応データベース(EXFOR)を構築・維持・管理している[1]。また、JCPRGでは、RIBFで得られた核反応データの公開及び利用促進のため、共同研究「RIBF核反応データの高度利用研究」を実施してきており、その中で、RIBFデータのEXFORへの登録、入力時の問題点の分析と新たな形式の研究開発、データ収集範囲の拡大の検討を行ってきた[2]。荷電粒子の原子核反応データベースを構築・維持・管理しているのはこのグループだけであり、

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト3: 反応理論モデルとシミュレーション

- 理論による標準モデル  
→標準モデル開発が可能な核物理における理論研究の実績
- 構造計算による高精度化  
→核構造計算に関する実績
- 核反応データコンパイル  
→核反応データコンパイルの開発実績
- 核反応評価データベース  
→核反応評価データベースを有し高度化できるか
- 核反応シミュレーション  
→核反応シミュレーションソフトを有し高度化できるか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆選定方法: 以下の機関を指定

また、RIBFデータのEXFORへの登録、入力時の問題点の分析と新たな形式の研究開発、データ収集範囲の拡大など実施できるのは北海道大学のJCPRGのみである。

### ● 核反応評価データベース: JAEA

日本原子力研究開発機構の岩本修をリーダーとする核データ研究グループは、**原子力利用のための中性子核反応の評価済データベースを主体的に開発してきた国内唯一の組織**であり、当該組織で開発された評価済核データライブラリーJENDL[1,2]は、原子力の開発・研究等へ広く利用されている

### ● 核反応シミュレーション: RIST

高度情報科学技術研究機構(RIST)の仁井田浩二を中心とするグループは、**巨視的体系中での粒子・原子核の輸送をシミュレーションする輸送コードPHITSの開発[1]**に当から携わり、またPHITSのなかで重要な核反応モデルQMDを開発[2]した実績がある。現在PHITSコードはこの分野で世界の5大コードのひとつに数えられ、国内外1000名を超えるユーザーを有し、宇宙、医療、工学、理学と広い分野で使われている。RISTは現在もPHITSの開発の中心的役割を担い、多くの実績をあげている[3]。

# プロジェクト 3 (目的)

目的: 長寿命核種の核変換反応のシミュレーション精度を向上させる

プロジェクト3(反応理論モデルとシミュレーション)

- ・理論による標準モデル(阪大)
- ・構造計算による高精度化(筑波大)
- ・核反応評価データベース(JAEA)
- ・核反応シミュレーション(RIST)
- ・核反応データコンパイル(北大)

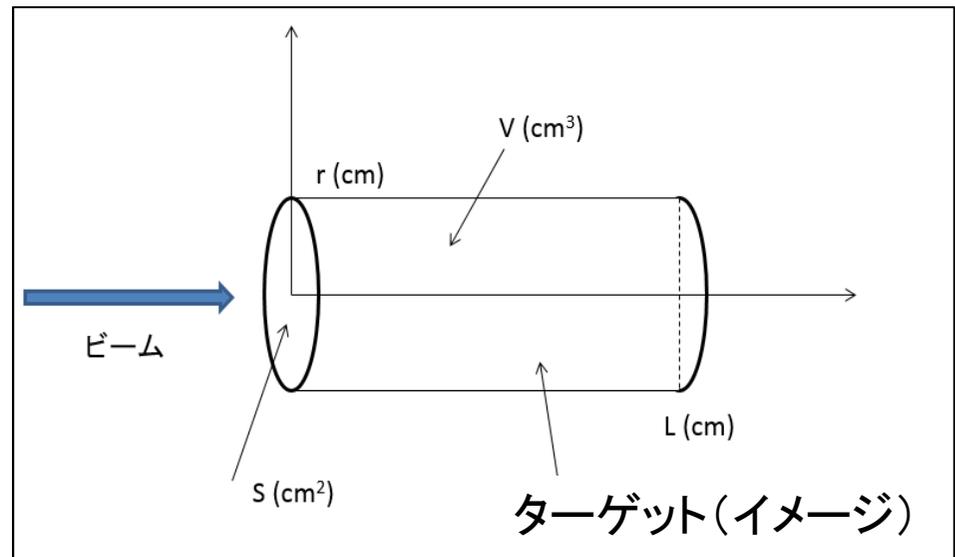
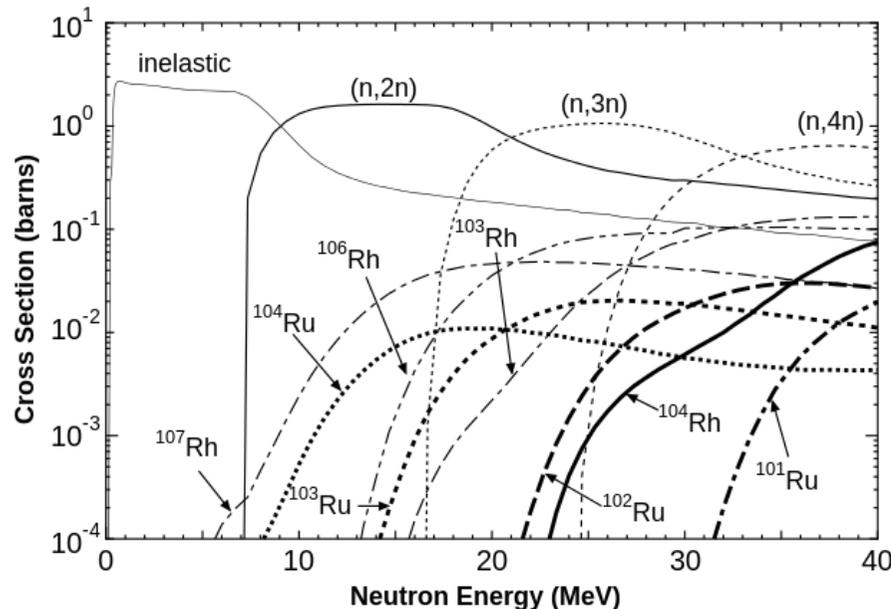
- ◆ 核変換反応のデータベース改良
- ◆ 核変換反応の計算予測



- ◆ 実用核変換装置の性能評価ツール改良

単独核反応データから実用装置のターゲット内で生じるカスケード反応を計算し核変換率を予想。  
(予想例は次ページ参照)

高速中性子によるPd-107の核変換反応断面積の計算例。

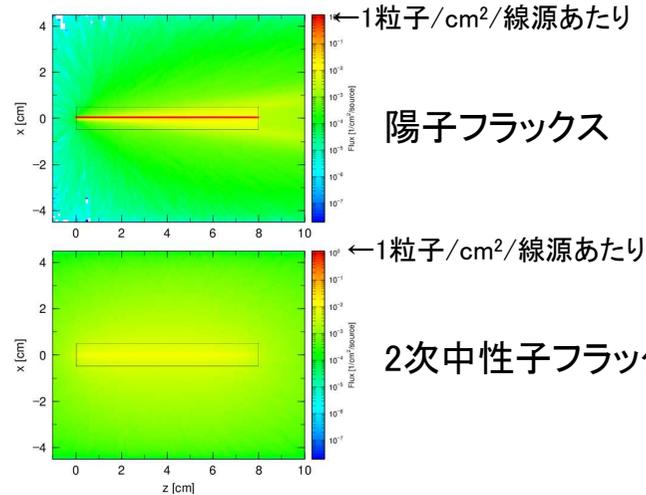


# プロジェクト 3 (進捗)

進捗: 現状のPHTISによりCs-135のターゲットにおける核変換効率を計算した

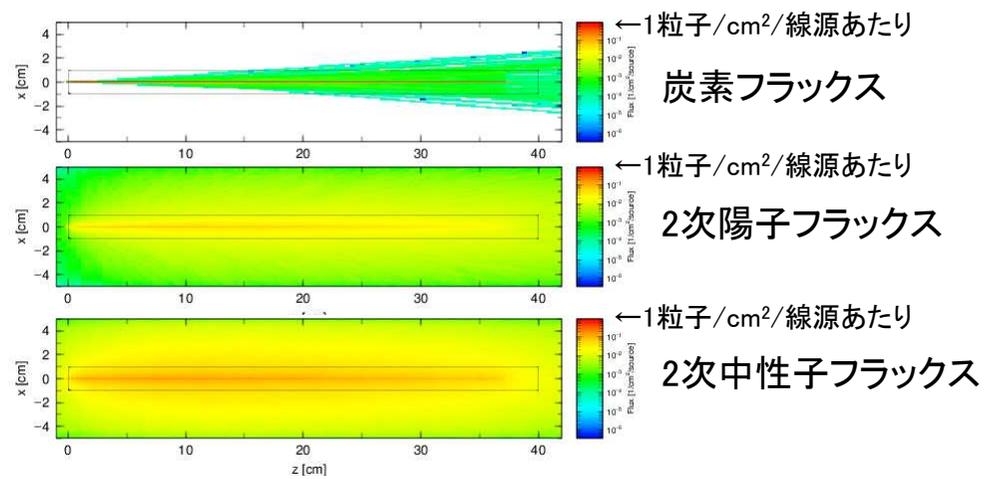
陽子(100MeV)入射

Cs-135 (R=0.5cm, L=8.0cm)ターゲット

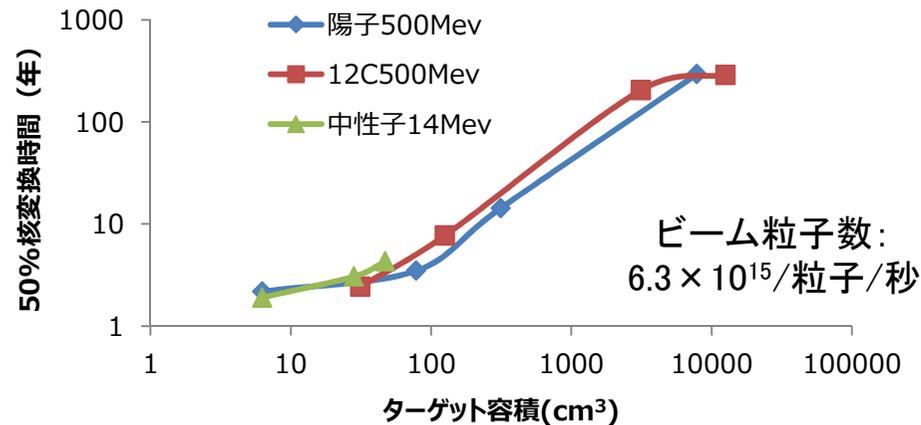


炭素(500MeV/u)入射

Cs-135 (R=1.0cm, L=40cm)ターゲット



## ターゲット容積と核変換時間



# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト4:核変換システムと要素技術開発

→核反応データとその解析結果に基づき、加速器を用いた核変換システムの開発を前提に、その要素技術としてのビーム種、強度、エネルギー、標的性能、FP標的材などの開発が行える実績と展望を有するか



## 選定に至る考え方・理由

◆選定方法:以下の機関を指定

→理研

RIビームファクトリーにおいて、**世界最高性能の加速器、分離生成装置、大強度ビーム、大強度ビームに耐えうる標的の開発等の実績**を有する。

RIBFの加速器群は、強力なビームを生成するイオン源 (Review of Scientific Instruments, 85, 02A935, 2014、他)、イオン源から生成したイオンを加速収束するRFQ (Review of Scientific Instruments, 70, 4523, 1999、他)、低速ビームを加速する線形加速器 (NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A, 722, 55-64, 2013、他)、多価イオンを生成するためのガスストリッパ装置 (JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY, 299, 941-944, 2014、他)、さらにビームを加速するためのサイクロトロン型円形加速器 (IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, 17, 1063, 2007、他)などから構成されており、これらの構成要素はすべて理研オリジナルの技術で設計・製作・運転・高度化され、加速器コミュニティから多くの賞を受賞している。多くの加速器要素を有機的に連動させ、ビームを効率よく輸送する技術も理研オリジナルである (PROGRESS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PHYSICS, 1, 03C002, 2012、他)。2007年の本格稼働後、RIBFでは重陽子からウランに至る多種多様なビームを大強度で加速しており、その強度は世界最高である。大強度重イオンビームに耐えるRIビーム生成用の標的 (NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A, 590, 204-212、

# 課題の達成アプローチに応じた実施機関の考え方(1)

## 研究開発機関選定に際して重要視するポイント等

### プロジェクト4:核変換システムと要素技術開発

→核反応データとその解析結果に基づき、加速器を用いた核変換システムの開発を前提に、その要素技術としてのビーム種、強度、エネルギー、標的性能、FP標的材などの開発が行える実績と展望を有するか



## 選定に至る考え方・理由

### ◆選定方法:以下の機関を指定

2008、他) INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION B, 317, 373-380, 2013、他)では、熱密度の非常に高い条件下での熱除去法に様々な工夫が施されている。

以上のように理研には要素開発から有機的運転に至る大強度加速器全般にわたり豊富な開発経験と実績がある。本プログラムでは、加速器を利用した核変換システムの要素技術の選定とその開発を行うことを目的としており、理研は挑戦的な技術課題に対する開発能力がある。

### プロジェクト5:プロセス概念検討

→H26-27:プロセス概念の初期検討を実施するために必要な知見・経験を有するか  
→H28以降:プロセス概念の本格検討を実施するために必要な実績を有するか



### ◆選定方法:以下の機関を指定

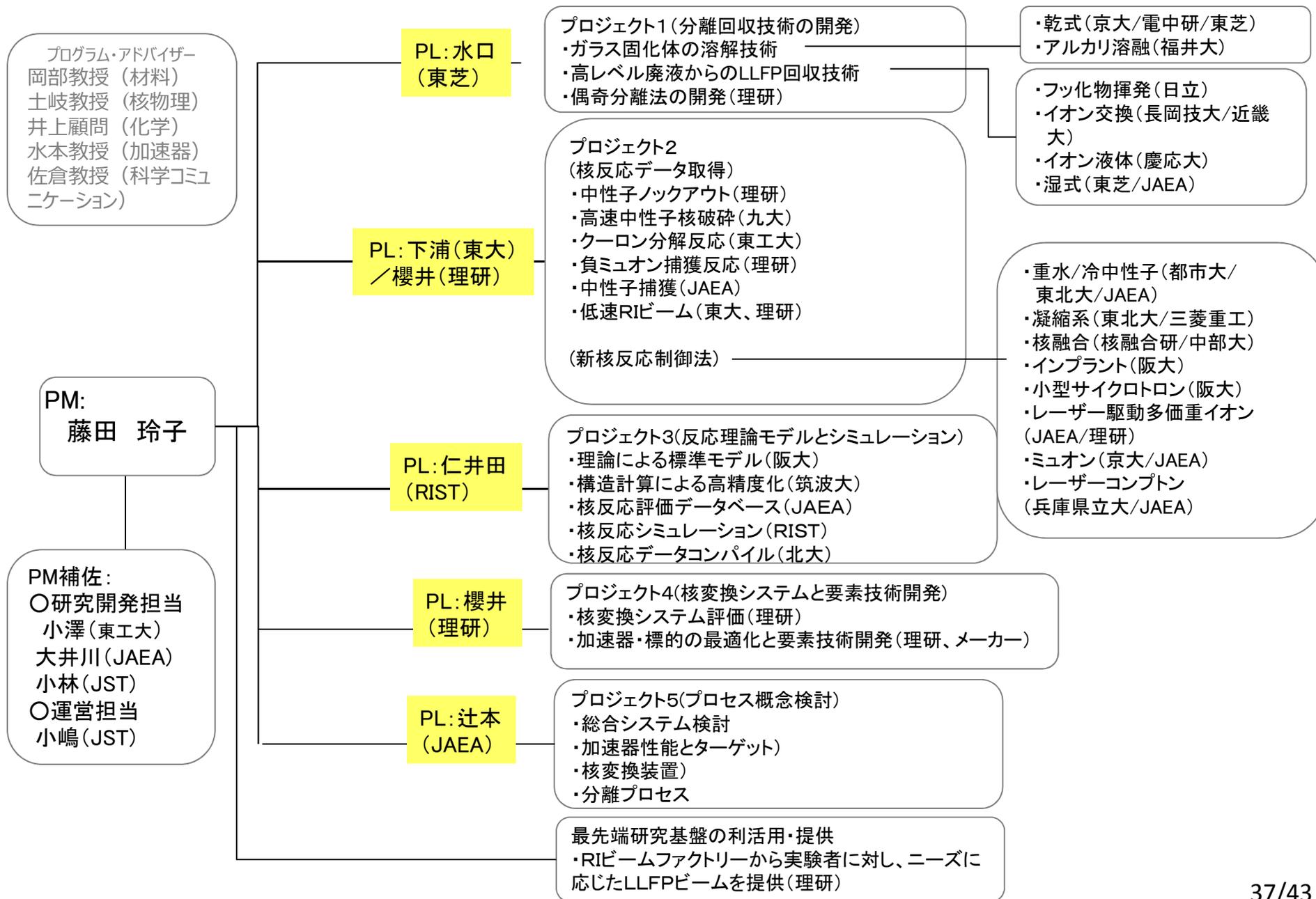
#### →JAEA

J-PARCにおいてマイナーアクチノイドの核変換実験施設計画を有するとともに、核変換プロセス全般を通じて、検討・設計・開発の実績を有するため、全期間を通して本プロジェクトを統括する。

H26-27(初期検討):幅広い企業の知見・経験を活かすため課題を抽出

H27年度に公募を実施し本格検討:初期検討から絞り込んだ概念について、将来的な社会実装を念頭に、実績を有するかを基準として、公募する予定。

# 研究開発プログラム全体の体制図(公募採択後の体制)



# 研究開発プログラムの進捗



# 創出を目指すインパクトと達成目標

創出を目指すインパクト:

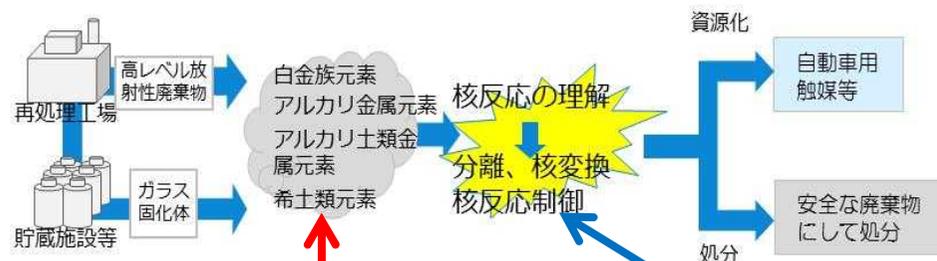
高レベル放射性廃棄物の処理・処分の後世代への負担を低減すると共に、回収したLLFP\*を白金族やレアメタル等に資源利用できる同位体分離なしの核反応の経路(パス)により海外市場に左右されない供給源を確保する。

\*LLFP:長寿命核分裂生成物

## スケジュール



H28年度末に中間評価を実施し継続の成否を判断し、H29年度末に候補技術を各ステップ毎に1つに絞り、H30年度にプロセス概念を提示する。



【達成目標】

回収率: 90%以上

核変換率: 90%以上

# 社会を変える課題への挑戦のPM活動

- ✓ 原発賛成反対に係わらず避けて通れない:
  - ・今直ぐに原発を止めても使用済み燃料(高レベル放射性廃棄物)は残る。
- ✓ 高レベル放射性廃棄物の処分事業:
  - ・処分の安全性の学術的な確証とその分かり易い説明を論理的に行うべき。
  - ・処分場候補地の市町村の住民との信頼関係を構築するコミュニケーションを続けるべき。

工学的観点のみの発想に問題。

## ◆ 本プログラム

- ✓ 高レベル放射性廃棄物の処分事業を遅らせるものではなく、将来の発生量を低減できる可能性を模索する研究:
  - ・事業を進めつつも研究開発を並行して実施することは重要。
- ✓ 基礎データの取得から実施:
  - ・直近の実用化は難しいが新規の研究分野を提供することは若い研究者や学生に夢を与えるので重要。
- ✓ 核物理(理学)と原子力工学(工学)の融合を目指すところに意義あり:
  - ・理学→理学の延長線上に工学ありとの誤解。
  - ・工学→今更、新しいアイデアは存在しないとの傲慢。  
(原子力工学が海外の導入技術であることの弊害?)

→原点に戻り、論理的な思考が重要。

# 課題克服のPMの役割

## ◆ 真の意味におけるDeath Valley(死の谷)の克服

- ✓ 理学の単なる延長線上に工学や実用化はないことをPJ会議に参加し、個々のPJの**開発目標**に対しコメント。

死の谷とダーウィンの海

“Unlocking the Future”(1998), L.Branscomb, C.Wessner  
OECD講演資料 より。

## ✓ 目的基礎研究の徹底

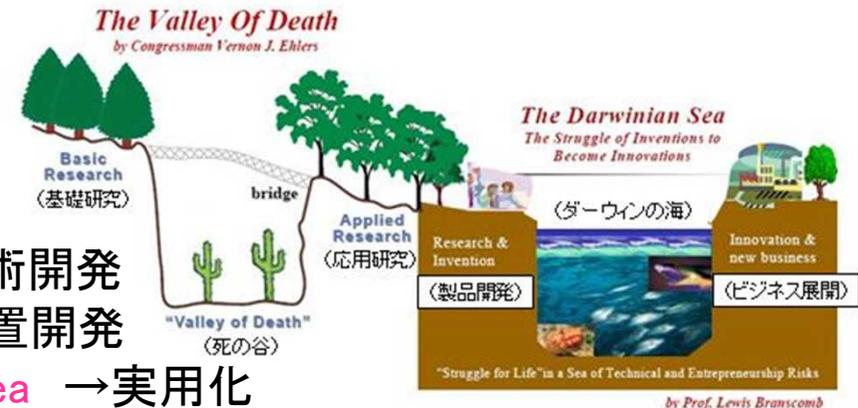
例:核反応データの取得

→シミュレーション

→核反応制御

The Valley of Death →要素技術開発  
→装置開発

The Darwinian Sea →実用化



## ✓ 理学屋

→ 理学の延長線上に工学や実用化が必ず存在すると過信。

メーカーが初期から討議に参加するしくみの検討

## ✓ 国の予算を使っている意識の低さ。

→ 社会への還元意識の醸成。

## ✓ アイデアを海外に横取りされない特許戦略と戦略的な公表およびPRスケジュール策定。 → シナリオ策定の重要性。

## ✓ 成果を見える化するための新たな研究開発計画の策定。

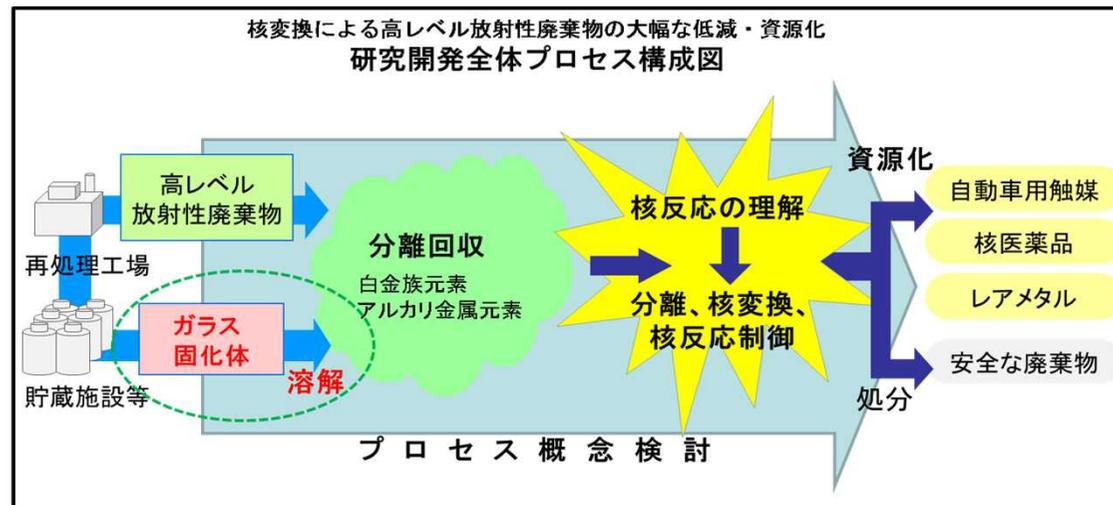
# アイデア募集

研究開発プログラム

「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」

## ガラス固化体溶解方法のアイデア募集

(藤田玲子プログラム・マネージャー)



アイデア募集期間

平成27年7月8日～平成27年8月3日

応募締切

平成27年8月3日 12:00

応募用紙

[applicationsheet.doc: 33KB](#)

# 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