平成30年3月17日
公開シンポジウム

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」

全体概要

プログラム・マネージャー
藤田　玲子

www8.cao.go.jp/cstp/sentan/about-kakushin.html

1

高レベル放射性廃棄物は何故問題？

- 半減期の長い核種（長寿命核分裂生成物）が含まれる
- 処分場の候補地がなかなか決まらない

産業や社会を変える

① 既存の概念を変える

高レベル放射性廃棄物（HLW)を資源に！

② 新しい研究分野を提供する

分離・回収：放射性物質の回収/
不溶解性残渣の分離処理技術

レーザー技術：偶奇分離技術
（同位体分離無し）

革新型加速器：処理用大容量加速器
（入射エネルギー・電流）

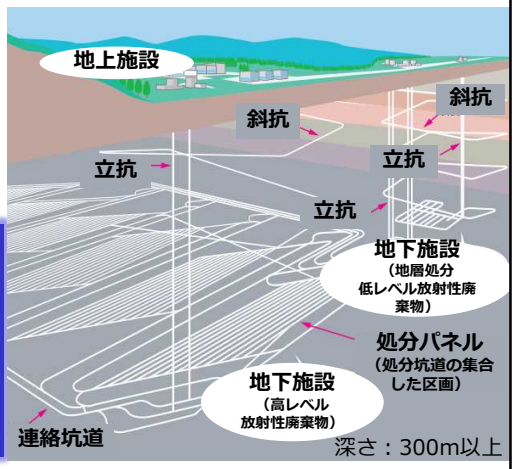
2

高レベル放射性廃棄物をめぐる課題

- 高レベル放射性廃棄物の最終処分場の立地
  - 既発電分の発生本数：約24,800本[注1]

高レベル放射性廃棄物の問題について、原発を継続する・しないにかかわらず、後世代への負担を軽減したい。

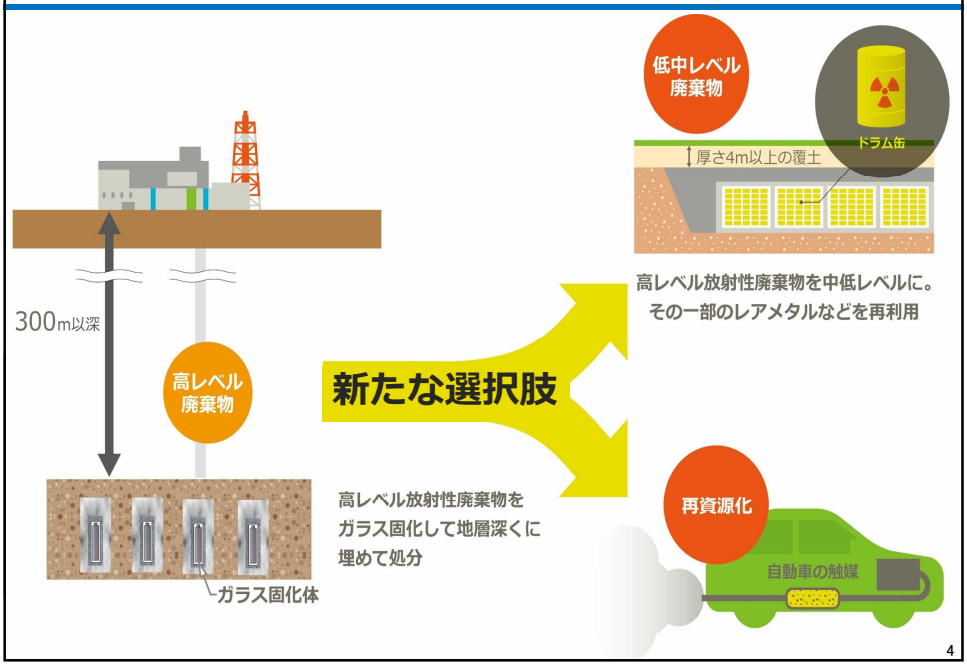
地層処分の例



出典：原子力発電環境整備機構　https://www.numo.or.jp/q_and_a/01/

3

高レベル放射性廃棄物をめぐる課題



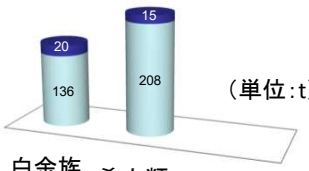
4

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

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の素（Pd,Rh,Ruや Nd,Dy）**が多く含まれる
- 有用元素の分離回収を目指したが、**放射性同位元素（RI）が含まれる**ため再利用が困難
- 原子炉による核変換については１９８０年代に研究を開始したが、加速器については技術検討に足る**データを取得する手段がなく**、進展しなかった

■高レベル放射性廃棄物から回収が見込める量
■自動車用触媒やネオジウム磁石の国内需要



白金族元素　希土類元素

Pd: パラジウム（46）
Rh: ロジウム（45）
Ru: ルテニウム（44）

Nd:ネオジム（60）
Dy: ジスプロシウム(66)

(注：カッコ内の数字は、原子番号（陽子の数）)

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。

5

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

高レベル放射性廃棄物中の放射性核種

含まれる主要な長寿命核種
（50年冷却後。半減期30年程度以上）

核分裂生成物（FP）＝β,γ核種

核種	半減期	含有量（1トンあたり）	放射能Bq（1トンあたり）
Se-79	29万5千年	9g	5E+9
Sr-90	28.8年	0.4kg	2E+15
Zr-93	153万年	2kg	2E+11
Tc-99	21万1千年	2kg	1E+12
Pd-107	650万年	0.5kg	1E+10
Sn-126	10万年	20g	2E+10
I-129*	1,570万年	0.5kg	3E+9
Cs-135	230万年	1kg	4E+10
Cs-137	30.1年	1kg	3E+15

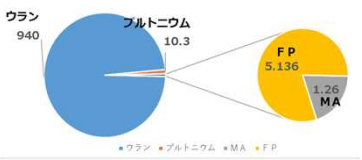
マイナーアクチノイド（MA）＝α核種

核種	半減期	含有量（1トンあたり）	放射能（1トンあたり）
Np-237	214万年	1kg	3.E+10
Am-241	432年	0.5kg	7.E+13
Am-243	7,370年	0.2kg	2.E+12
Cm-244	18.1年	10g	3.E+13

ImPACTプログラムで資源化・短寿命化
次世代原子力システムで短寿命化
長期保管（300年程度）により減衰

全ての長寿命核種を短寿命化する

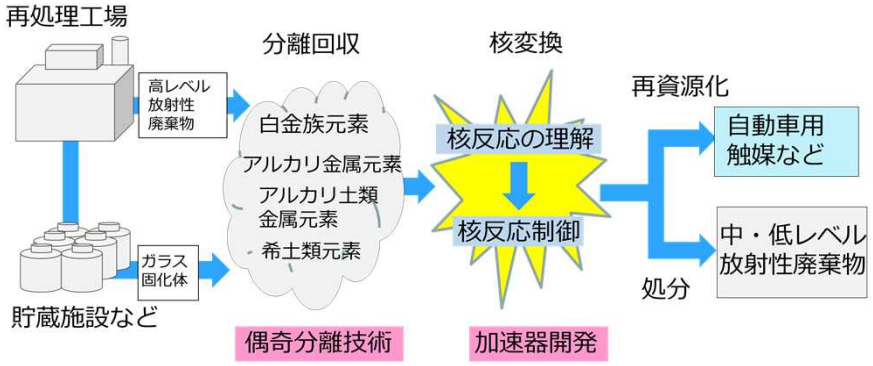
使用済燃料中の主な長寿命核種含有量kg
（1トンあたり）



*ヨウ素129は実際はガラス固化体に含まれない。相当量を示す。

6

本プログラムの概念



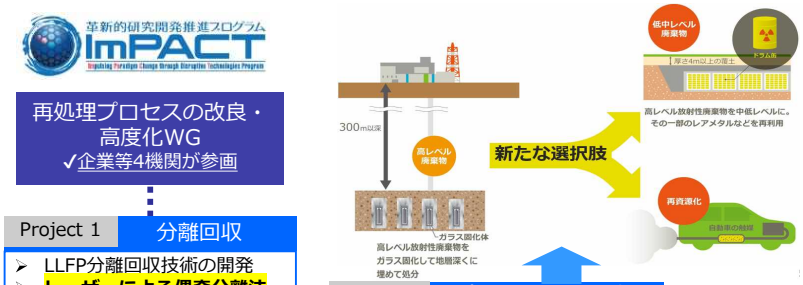
創出を目指すインパクト：
- 高レベル放射性廃棄物（HLW)の処理・処分の後世代への負担を低減
- 回収した長寿命核分裂生成物（LLFP*）を核変換し、白金族やレアメタル等を資源利用することで海外市場に左右されない供給源を確保する。（コストのかかる同位体分離は用いない）

六ヶ所村の再処理工場が運開すると毎年1000本のガラス固化体が発生し、2050年にはトータル40000本になる。

*LLFP：Long Lived Fission Products 、ここでは半減期10万年以上の放射性核分裂生成物7核種と定義する。

7

ImPACTプログラムでの構成



再処理プロセスの改良・高度化WG
✓企業等4機関が参画

Project 1 分離回収
- LLFP分離回収技術の開発
- **レーザーによる偶奇分離法**の開発

Project 2 核反応データ取得
- **新しい核反応データ**の取得
- **核変換実証実験**の実施

Project 3 シミュレーション
- 核反応標準モデルの整備
- 巨視的な核反応シミュレーションの構築
- 核反応データベースの構築

Project 5 プロセス概念検討（提示）
- **高レベル放射性廃棄物の処分負担低減**
- クリアランスレベルの検討
- 全体システム概念の構築

Project 4 核変換システム評価と要素技術開発
- **加速器要素技術の開発**
- **核変換誘発粒子発生のための加速器システム評価**

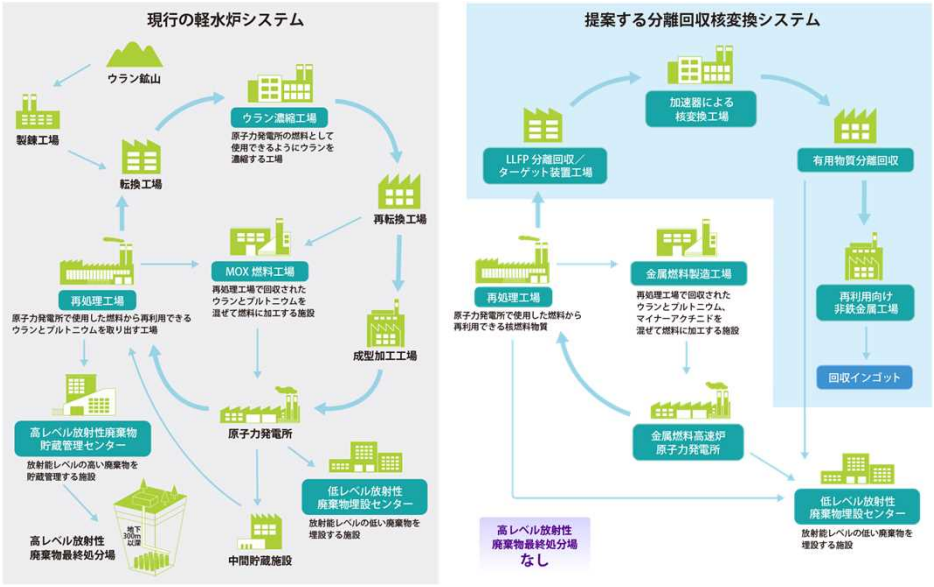
処分検討WG
✓企業等4機関が参画

加速器検討WG
✓企業等5機関が参画

8

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

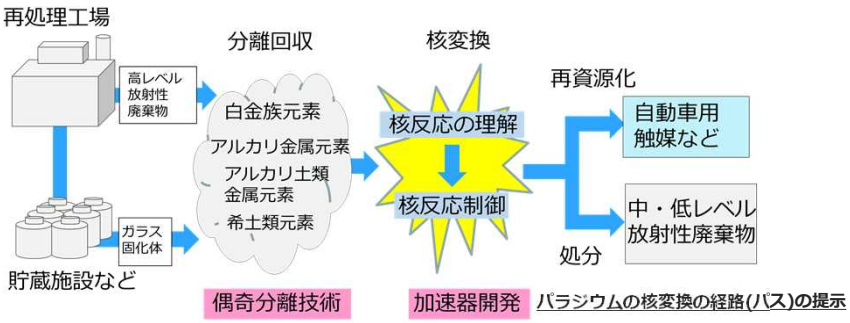
原子力システムの将来

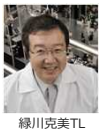


9

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

主な研究成果・開発技術の紹介





緑川克美TL

- Pdの同位体のうち、奇数核種のみをレーザー法でイオン化する方法を開発した。従来法に比べて処理量を10万倍にすることに成功した。偶数核種は放射性物質ではないためそのまま資源として使用できる。
- 六ヶ所村の再処理工場から発生するPd-107をイオン化し電極に回収後、加速器により安定核種に核変換することによりPdのすべての核種を再利用できる。





櫻井博儀教授

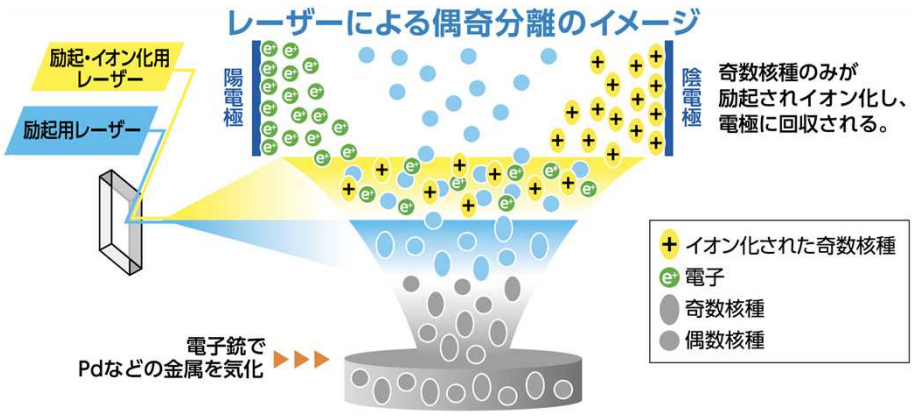
- 100MeVの陽子、重陽子を用いたPd-107、Zr-93、Se-79、Cs-135の核反応データをRIBFを用いて世界で初めて測定し、核変換の経路（パス）を提示した。
- Pd-107のインプラントターゲットを作製し、世界で初めて実証試験を実施中。
- この核変換を実現する小型の重陽子加速器仕様を決定した。
- この加速器を実現する純ニオブ製超伝導空洞の開発に成功した。



10

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

偶奇分離法の開発

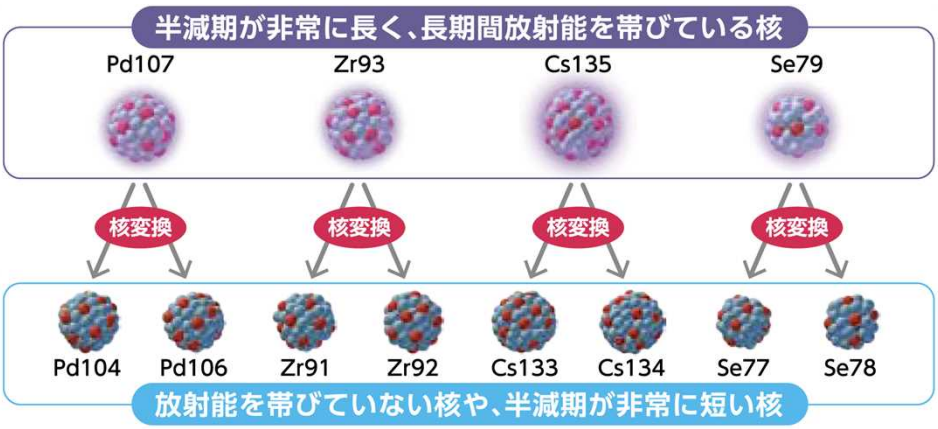


偏光レーザーを用い、Pd-107やZr-93などの質量数が奇数の核種が光を吸収する性質を利用して、**奇数核種をイオン化して**取り出し、回収する。

11

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

パラジウムの核変換イメージ



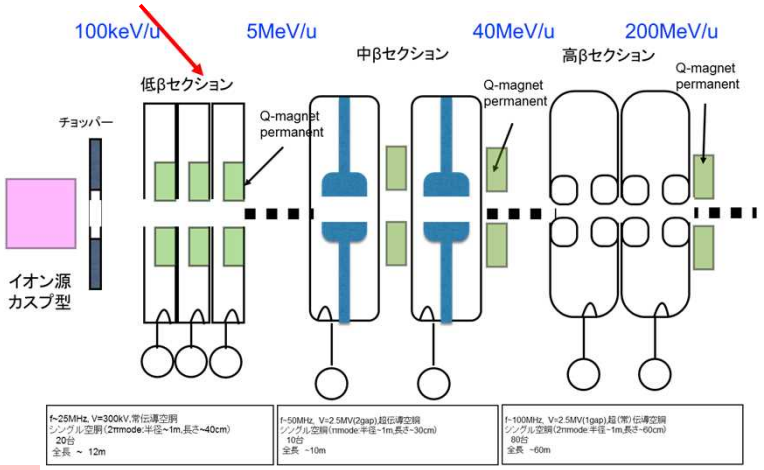
核変換：高レベル放射性廃棄物中の長寿命核種を安定核種もしくは短寿命核種に変換すること、およびそのための技術

12

提案した加速器：ImPACT2017モデル

RFQの代わりに、シングルギャップキャビティ＋Q磁石を置き、大面積のビームを受けることができる

粒子　　：重陽子
エネルギー　　：40-200 MeV/u
電流値　　：1A
ビームパワー　　：80MW-200MW x 2

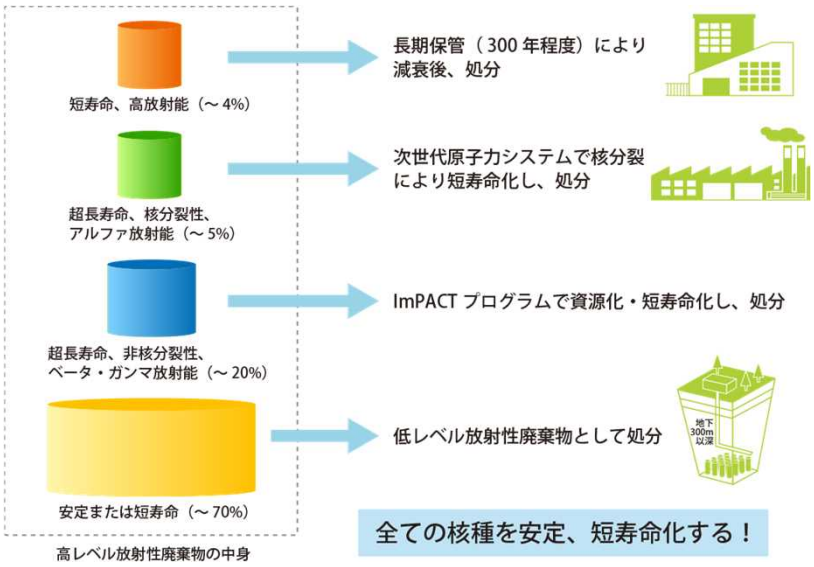


加速器WG

国内特許出願(2018/1/22)

13

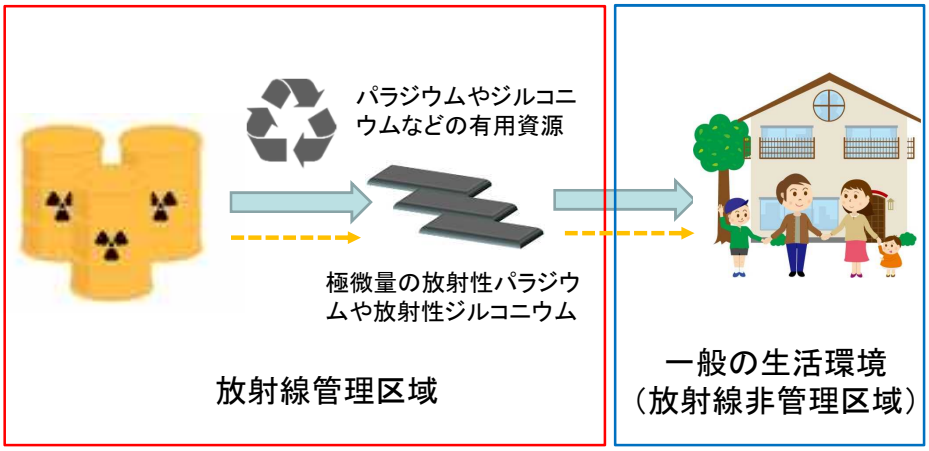
処分方法の検討



全ての核種を安定、短寿命化する！

14

クリアランスレベルの検討



クリアランスレベル（1グラムあたりのベクレル）を設定し、それ以下であれば、放射線管理区域から一般生活環境へ持出しは可能とする

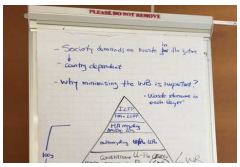
15

目標達成のための戦略と今後

◆ **海外戦略**

世界初である本プログラムのコンセプトを世界に先駆け具現化するために**IAEAを巻き込み、先導的立場**を掴む：**TECDOCレポートとして来年初刊行予定**

Tentative title of the publication:
“Waste Burden Minimisation Strategies for Existing and Innovative Nuclear Fuel Cycles”



Technical Meeting and Consultancy Meeting on Advanced Fuel Cycle for Waste Burden Minimization in IAEA Headquarters Vienna, Austria on 21-24 June 2016,18-21 April 2017 and 17-19 Oct. 2017

IAEAおよび米、仏、ロ、インド、韓国、日本などのトップ研究者が参加し、ドラフト作成。

OECD/NEA-P&T： **放射性廃棄物のリサイクルの委員会**を立ち上げ、今後、レポート作成予定

◆ **知財戦略**

PCT出願の指定国移行により、世界でイニシアチブを取るための海外戦略として知財戦略を活用

◆ **理学と工学の融合**

基礎研究成果を輸入することから脱却し、学理に根差した **日本発の目的基礎研究開発を基盤**とする

◆ **国プロの意義＆人材育成戦略**

現在の様々な分野、研究機関が参画する**オールジャパン体制**を維持発展させ、挑戦的な研究開発課題により**若手を引き込み**、社会実装に向けた研究開発を継続させる

16

GLOBAL2017展示　9月24-28日、韓国ソウル



中国もLLFP核変換の研究を開始

17

本日のプログラム

- 研究発表１：分離回収技術（PJ1）
  偶奇分離　ー原発のゴミから資源を効率的で分別するー
- 研究発表２：核反応データの取得（PJ2)
  核変換　ー放射性物質を高効率で短寿命・無害化するー
- 研究発表３：加速器の開発（PJ4）
  加速器　ー核変換を実用化する革新的機器を開発するー
- 研究発表４：高レベル放射性廃棄物の処分負担軽減（PJ5)
  新たな処分方式に向けて　ーより安全に処分する方法を考えるー
- 研究発表５：クリアランスレベルの検討（PJ5)
  クリアランスレベルの提案　ー安心して再利用するための基準を調べるー

18

革新的研究開発推進プログラム ImPACT

ご清聴ありがとうございました

19