令和7年第33回原子力委員会
資料第1号

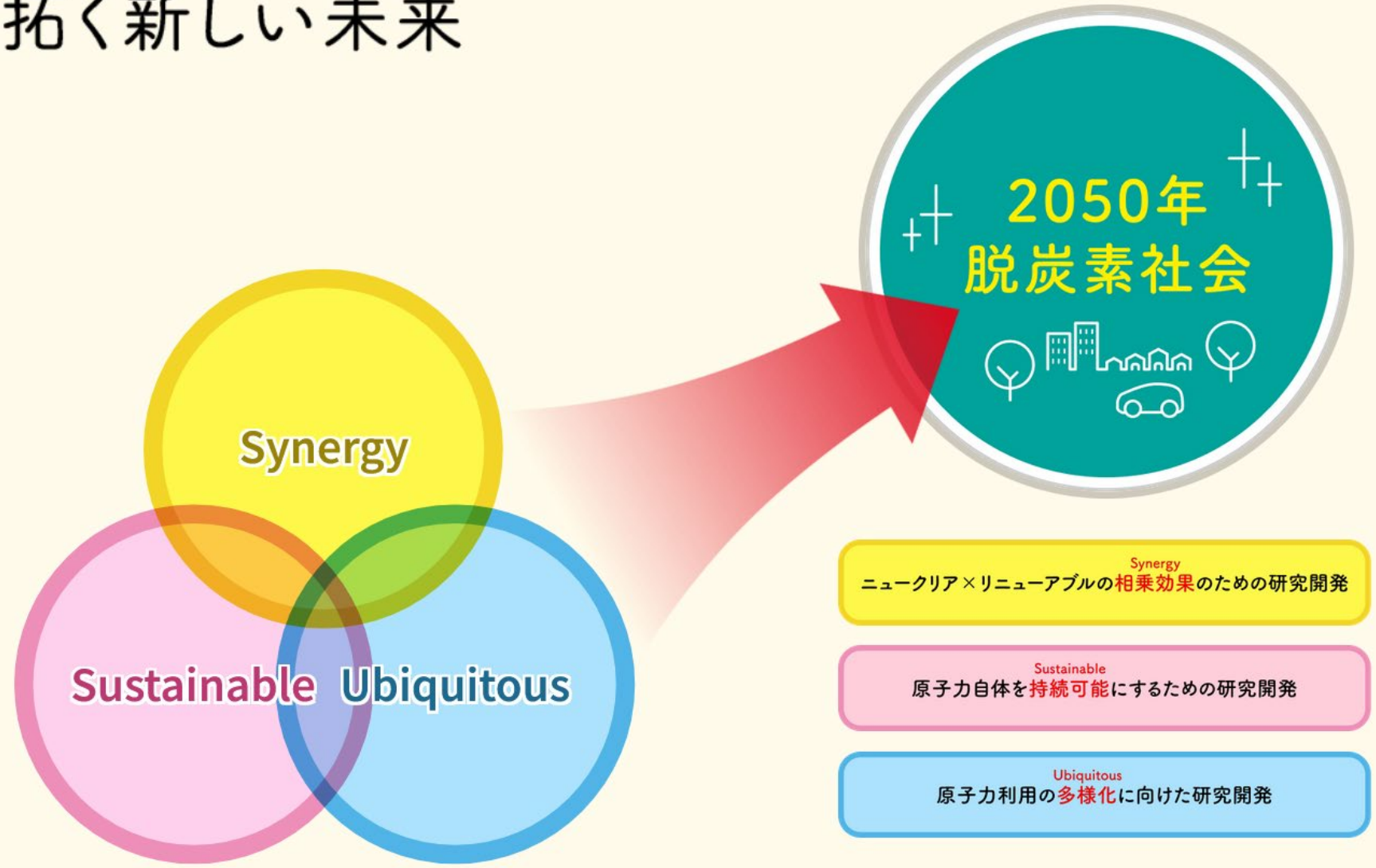
国内に眠る有価物の活用を目指した
３つの研究開発

令和7年9月24日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

原子力機構のビジョン

「ニュークリア×リニューアブル」で拓く新しい未来

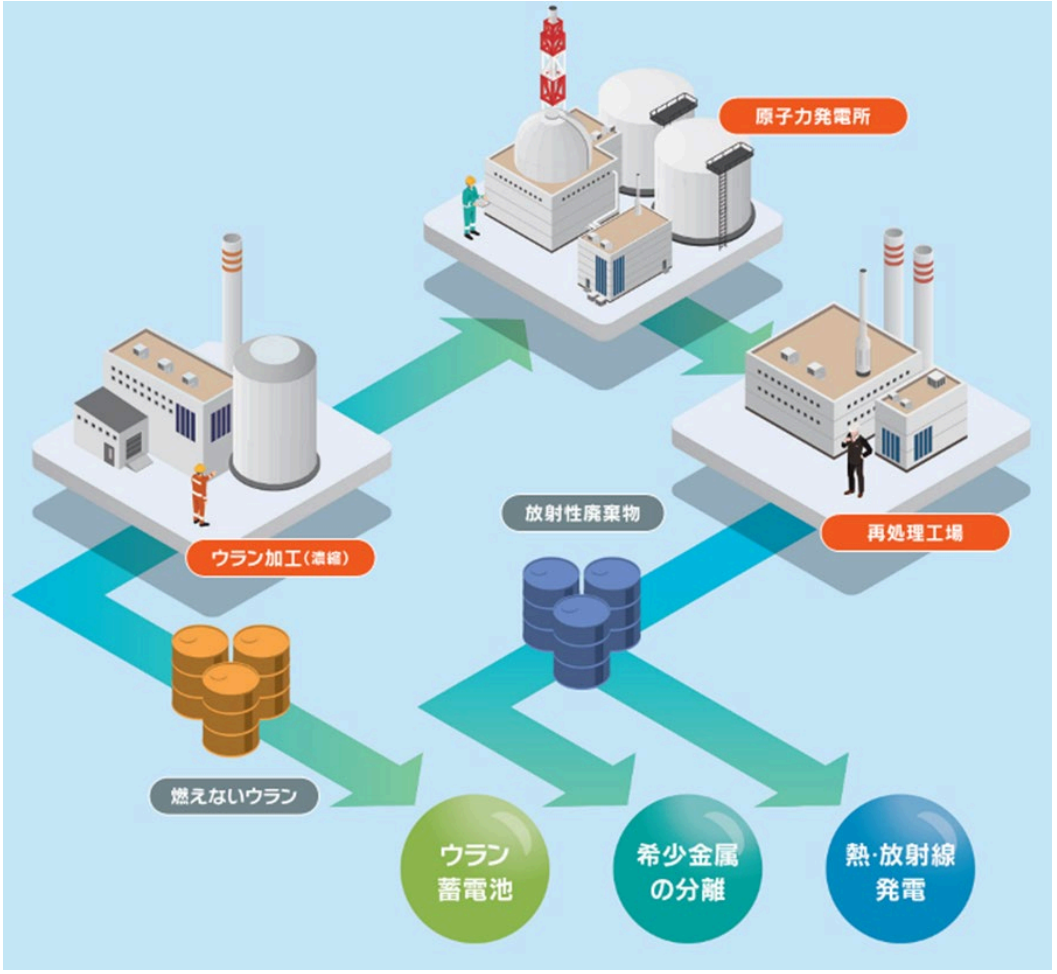


眠る資源と放射性廃棄物から新たな価値を

Nuclear x Renewable → NXRプロジェクト

原子力利用は発電だけではない。原子力の様々なポテンシャルを引き出す技術開発に挑戦

“すてる”・“使っていない”モノ　➡　“利用”する・価値創成の時代に！



３つのチャレンジ

1

ウラン蓄電池の開発

～ 再エネを安定化させる系統用蓄電池 ～

2

半永久電源の開発

～ アメリシウム電池 ～

3

資源を創る時代に

～ 放射性廃棄物中の有価元素を分離・利用 ～

① ウラン蓄電池の開発

解決したい課題

1. 再生可能エネルギー導入時の系統安定性
2. 燃えないウラン（劣化ウラン）の活用

【第７次エネルギー基本計画】
2040年度のエネルギーミックスにおいて、再エネ比率を４～５割（現在の倍）程度に

↓

再エネは、発電量が大きく変動するため、系統の安定性に影響を及ぼす可能性がある

↓

【新LDES（長期エネルギー貯蔵技術）を開発】
国産のLDESとして、使われていない燃えないウランを系統の安定化に役立てたい

「劣化ウラン」：国内に約**16,000トン**※**保管中**
- 濃縮プラントが稼働 ➡ 保管量が増加
- 当面、使途が無い （高速炉の燃料化まで）

↓

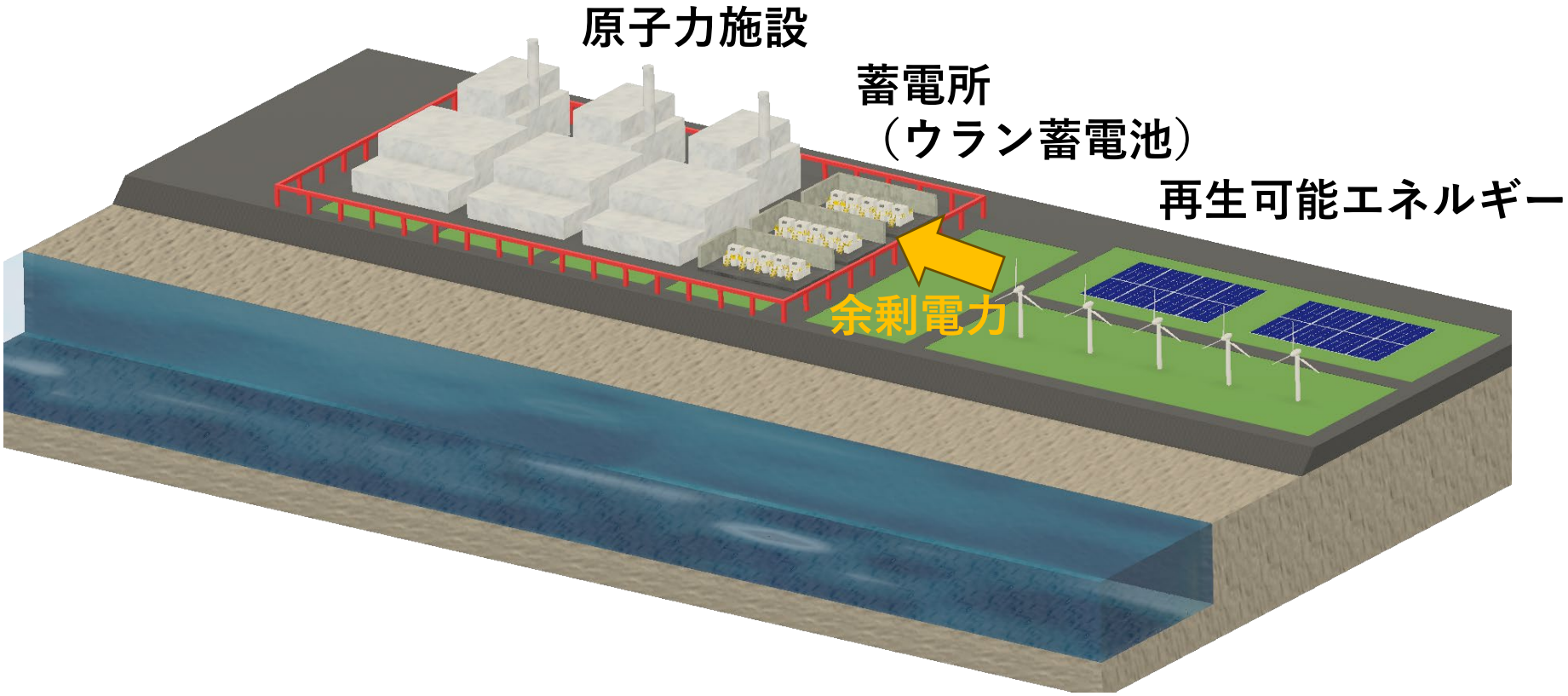
貯蔵 ➡ 蓄電

※「我が国における令和5年(2023年)の保障措置活動の実施結果」（令和6年5月15日 原子力規制庁)より引用

ウラン蓄電池の導入イメージ

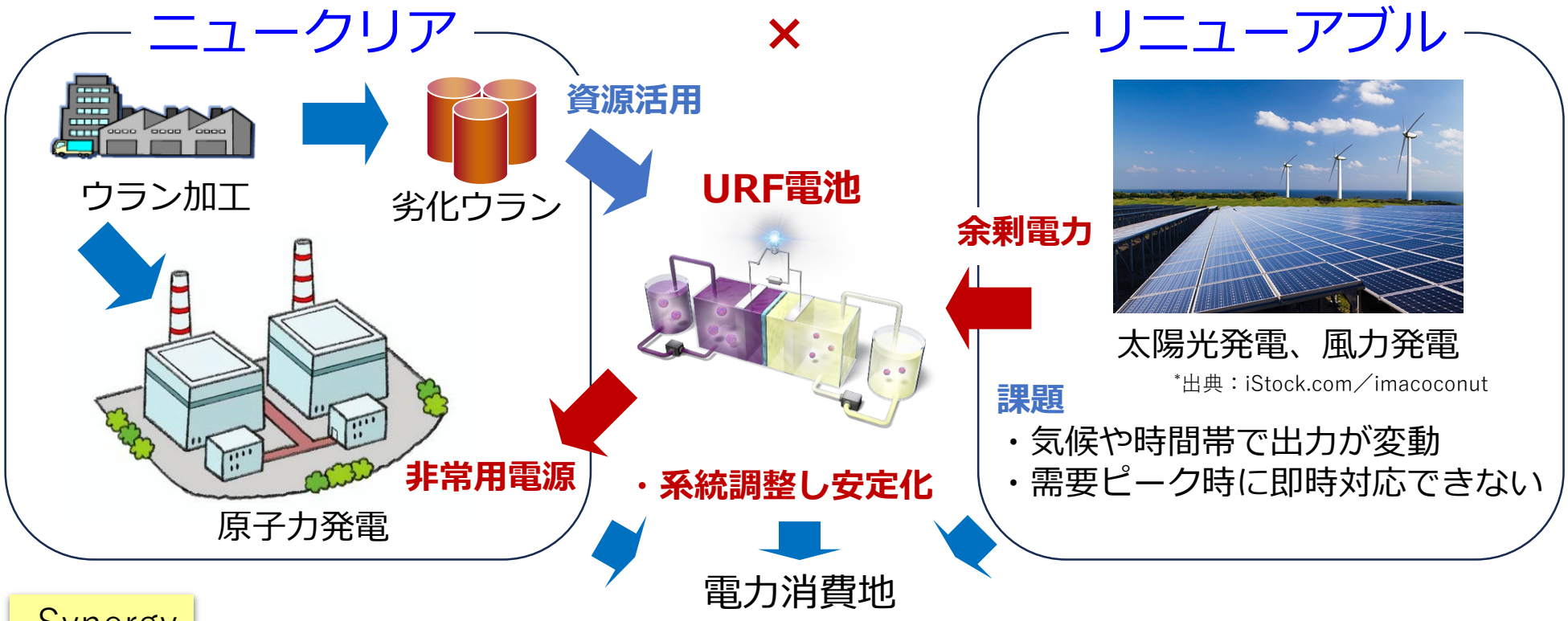
ウラン蓄電池と再生可能エネルギーの組み合わせ

により電力の安定供給を実現



劣化ウランを無駄なく使う新技術「URF蓄電池」

ウランレドックスフロー

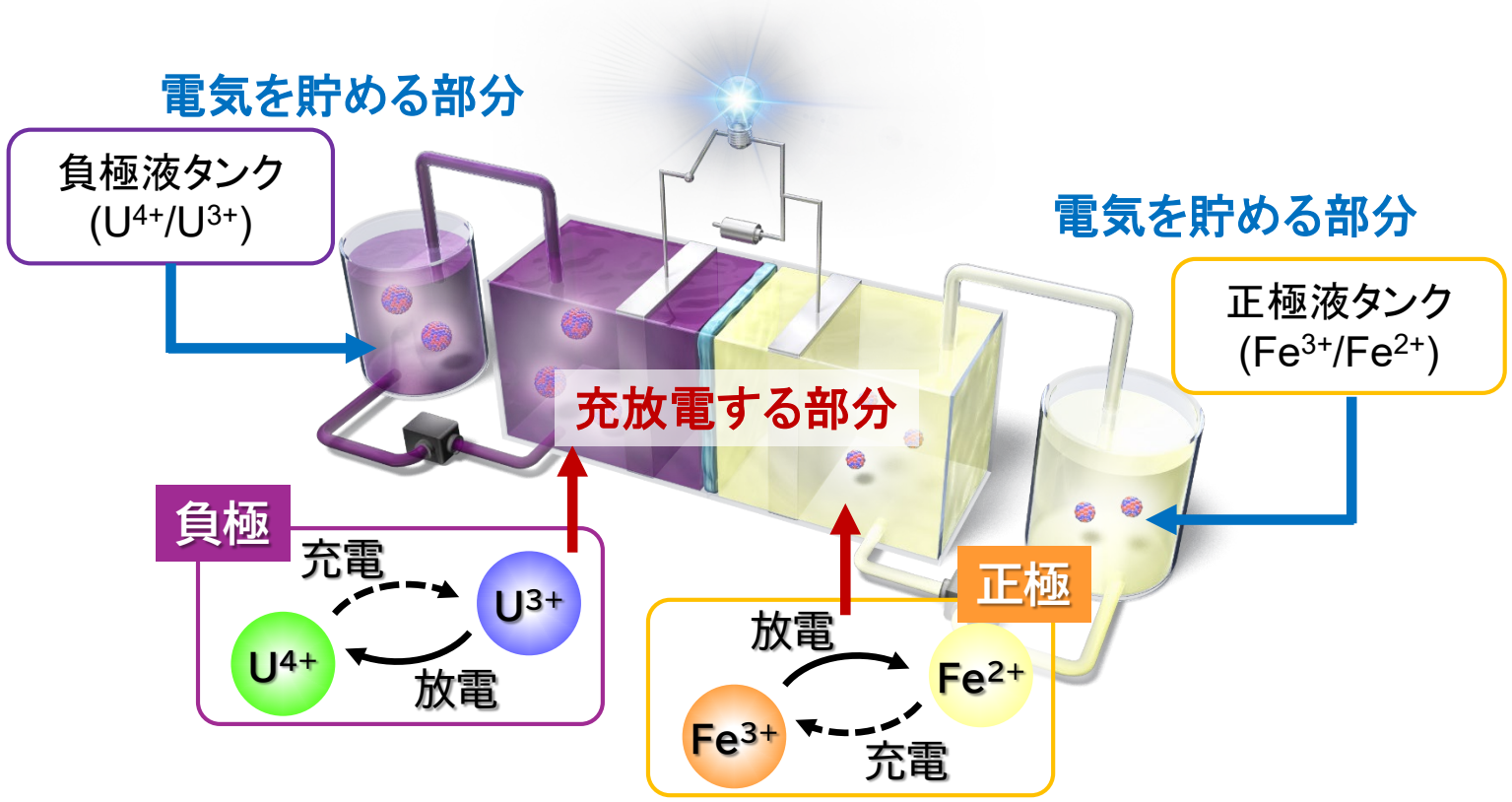


Synergy

- 余った電気を貯める＆供給することで電力需給バランスを最適化
- 発電コストを低減（**ウラン電解液はほとんど劣化しない**）
- 原子力施設の非常時電源としても活用可能

ウラン蓄電池

両極の活物質を流動させ、タンクに貯蔵 → **大容量化10MW級以上**



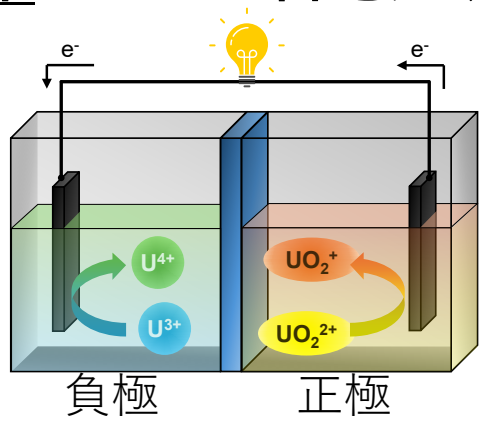
ウランを使うメリット（実用化されているバナジウムとの比較）

- **蓄電ロスが少ない**　**高電流時にもロスを少なく蓄電が可能**（バナジウム 20%、ウラン3%）[1]
- **純国産**　海外に依存しなくて良いバッテリー源（バナジウム 100%海外依存）
- **劣化ウランの有効利用**　資源として使える

[1] Shiokawa *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **75**, 137 (2006).

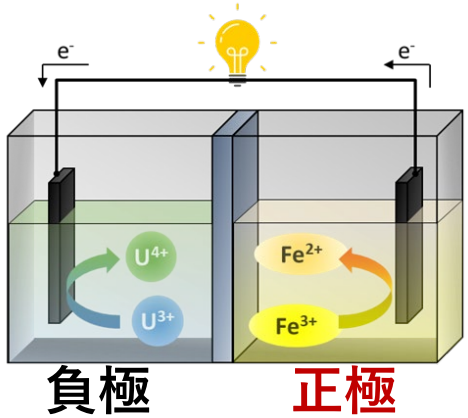
世界初　ウランを用いて充放電

従来のウラン蓄電池研究：反応研究にとどまり，実際の電池構築例はない



- 有機溶媒
- ウランの安定化剤
- 電解質
- 負極：U^{3+}/U^{4+}，正極：$U(V)O_2^{+}/U(VI)O_2^{2+}$
- 推定起電力：1.1 V [2]

JAEA, 2024：ウランを用いた蓄電池を構築し、充放電に成功



- 有機溶媒
- **イオン液体（ウランの安定化と電解質として機能）**
- 負極：U^{3+}/U^{4+}，**正極：Fe^{2+}/Fe^{3+}**
- **測定起電力：1.3 V**

電解液組成の簡易化，電池性能の向上

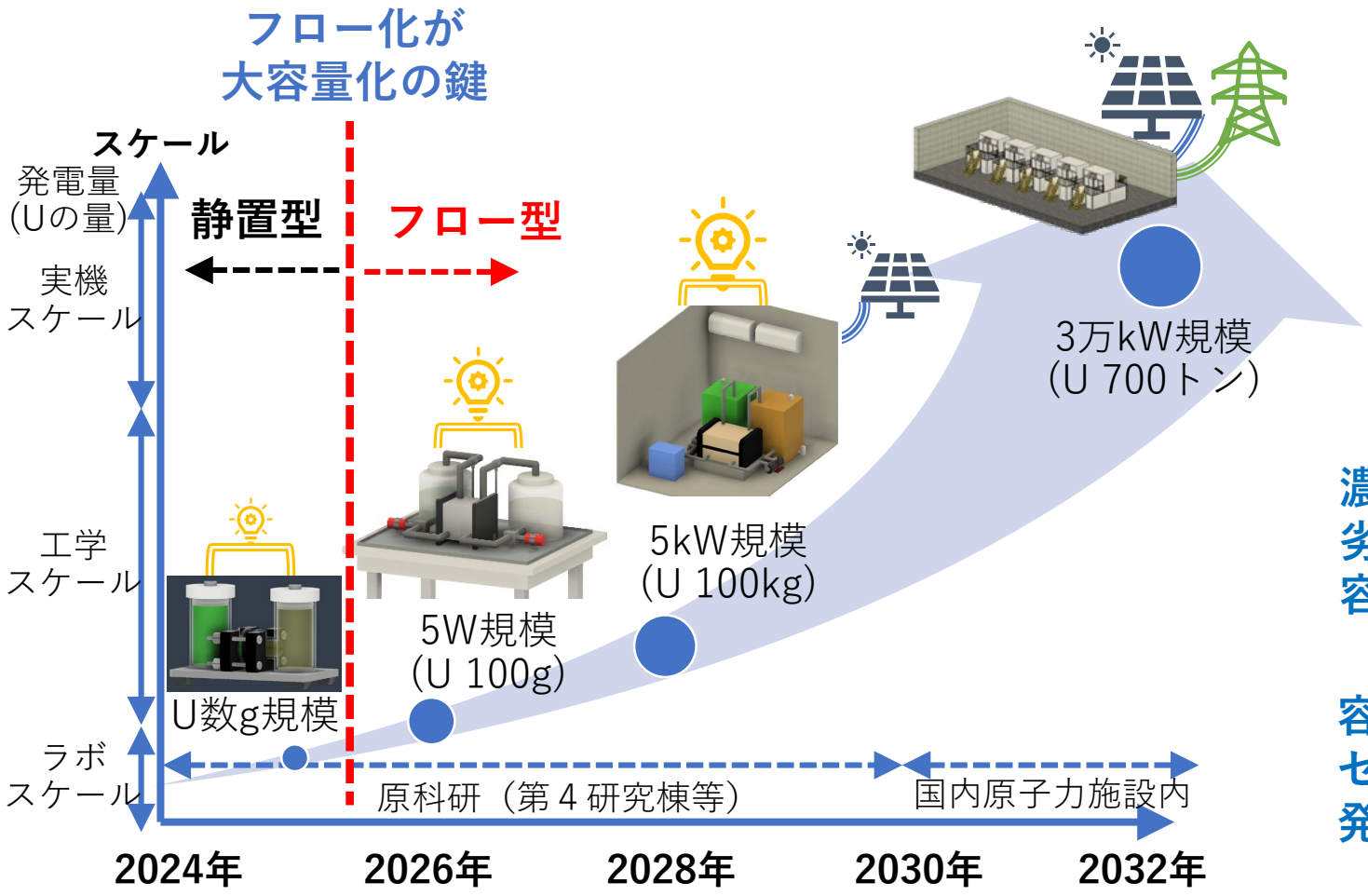
[2] Yamamura *et al.*, *J. Phys. Chem. C*, **111**, 18812 (2007).

プレスリリース：蓄電池の動作試験

特許出願（「二次電池とその製造方法」特願2024-209096）

Kazuki Ouchi, Katsuhiro Ueno, Masayuki Watanabe, “The rechargeable battery using uranium as an active material”, *Scientific Reports*, 15, p.18515_1 - 18515_7, 2025/05.

開発プラン



国内 16,000トン
＝ 1,000,000kWh
＝ 54万世帯/日

※夜間電力（20時～6時）の消費電力のうち、原子力（エネ基原案目標20%）以外を補った場合

**濃縮が進めば
劣化ウラン量も増え
容量がもっと増える!**

**容量を増やし
セルの多層化が進めば
発電量が無限に増える!**

2025年度：電池容量（電気を蓄えられる量）の向上を目指し、
電解液を循環（フロー）型の単セルを構築中

蓄電池の比較

電池の種類	鉛	ニッケル水素	リチウムイオン	NAS※	レドックスフロー
大容量化	～MW級	～MW級	～1MW程度	**MW級以上**	**MW級以上**
充電状態の監視	△	△	△	△	◎
安全性	○	○	△	△	◎
資源	○	△	○	◎	△ (バナジウムの場合)
運転時の加温	なし	なし	なし	必要 (≧300℃)	なし
寿命 (サイクル数)	17年 3150回	5-7年 2000回	6-10年 3500回	15年 4500回	要評価 **制限なし**

※負極（マイナス極）にナトリウム（Na）、正極（プラス極）に硫黄（S）、両電極を隔てる電解質にファインセラミックスを用いて、硫黄とナトリウムイオンの化学反応で充放電を繰り返す蓄電池（二次電池）

[1] 蓄電池戦略、経済産業省蓄電池戦略プロジェクトチーム 、(H24/7)より

レドックス・フロー蓄電池は、不燃性であり安全性が高く、サイクル数に制限が無く、MW級以上の大容量化に対応できるメリットがある。

社会実装に向けて

技術的課題(チャレンジ)

1. 蓄電池のセル要素技術、流動・大容量化技術
2. 長期信頼性（性能、劣化、各種品質保証項目）の実証
3. 電解液量産技術の確立

社会への導入課題

1. 核反応を伴わない新利用法に係る原子力規制の許認可
2. 核燃料物質としての資源循環の確立

導入戦略

原子力施設立地地域から、原子力関連事業者、再エネ事業者、電力送配電事業者、製造メーカ等の事業者と連携して、地域振興やワット・ビット連携等に貢献する形で導入

３つのチャレンジ

1 **ウラン蓄電池の開発**
～再エネを安定化させる系統用蓄電池～

2 **半永久電源の開発**
～アメリシウム電池～

3 **資源を創る時代に**
～放射性廃棄物中の有価元素を分離・利用～

② 半永久電源（・熱源）の開発

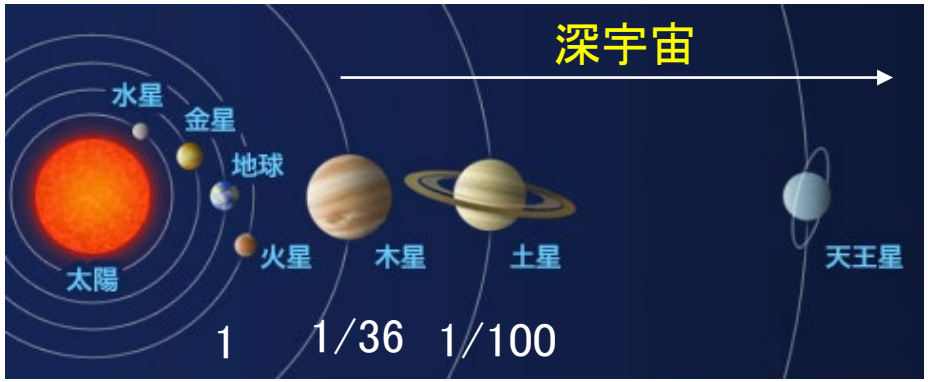
解決したい課題

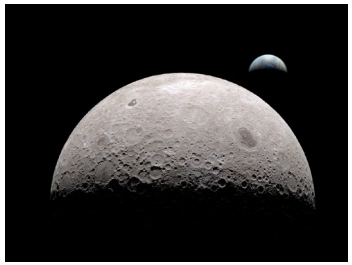
1. 熱源）極低温（例：月の夜中は－170℃）では半導体が機能しない

2. 電源）100年間メンテナンスフリーのW級国産(熱源)電源がない

【宇宙探査機】

- 太陽光発電が出来ない木星以遠の深宇宙探査
  （太陽光は木星が限界）
- 月面探査の夜間（昼夜2週間周期、極低温）
- 重要機器や燃料の保温用途も





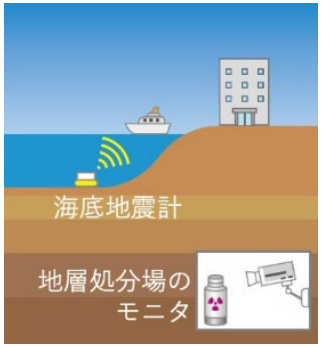
半永久電源の開発

ビジョン

宇宙・極地・地下でも100年間メンテナンスフリーで使える熱源・電源を宇宙開発、リモートモニタリング、重要機器の機能維持のために使用可能に

【地球上での想定用途】

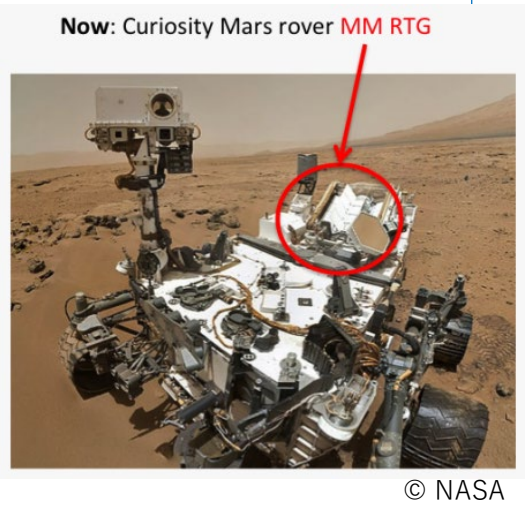
- 南極や海底など、容易に人が近づけない場所での観測機器用電源/保温用熱源
- 高レベル放射性廃棄物の地層処分場（地下数百メートル）でのモニタリング機器用電源
- 将来：原発、病院、IoT機器などの機能維持用電源



熱源（プルトニウム238とアメリシウム241）の比較

- **米国※とロシアがプルトニウム電源を宇宙利用**
- **欧州と米国が（核燃混合）アメリシウム電源も開発開始**

※1960年代からプルトニウム（Pu-238）発熱体の原子力電池を実用化



© NASA

✓ 日本では、Pu-238の製造と電源利用は実質不可能

✓ 代替核種は**アメリシウム（Am-241）**

- 保管しているPu中に自然に生成・蓄積

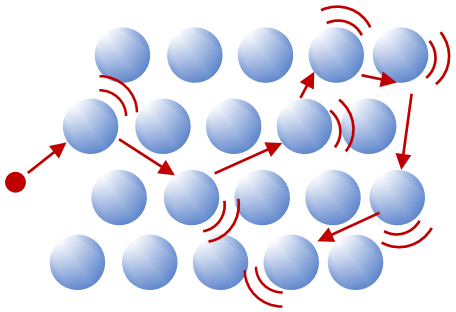
  → JAEA内で化学分離して利用可能
- 発熱性の放射性廃棄物を有効利用
- 発熱量はPu-238より少ないが、その分長持ち ➡ “半永久電源”
- 「核燃料物質」ではなく、「放射性同位元素（RI）」として管理可能

	Am-241	Pu-238
崩壊形式	アルファ崩壊	
半減期	432年	87.7年
10gあたり熱出力	1.1 W	5.5 W
製造方法	Pu中に生成・蓄積	Np-237を原子炉で照射
管理区分	放射性同位元素（RI）	核燃料物質
規制法令	RI規制法	原子炉等規制法
国内での調達	可能	困難

宇宙用半永久電源のイメージ

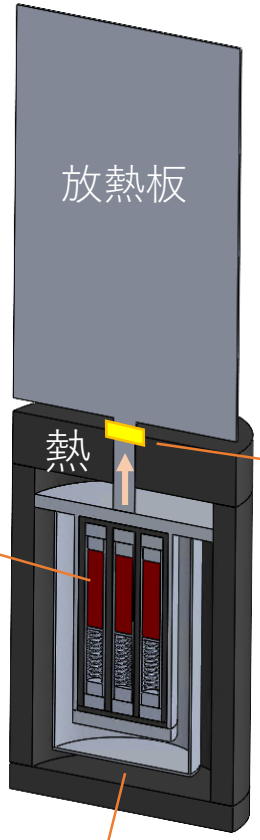
本プロジェクトではAm-241

発熱体
（放射性物質の崩壊熱）



放射線のエネルギーが固体内で熱に

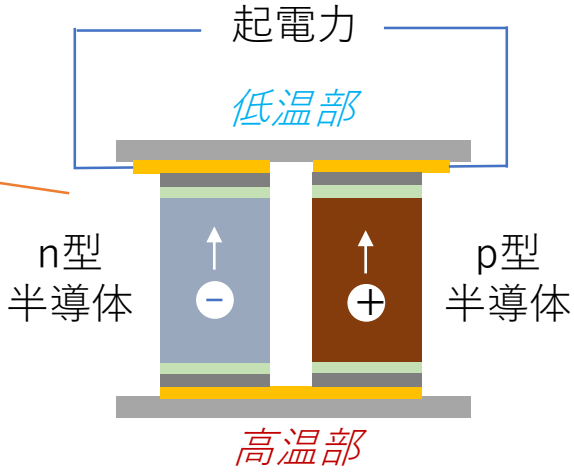
アルファ線：Heの原子核
ベータ線：　電子



金属ピンに封入

発熱体ユニット*

熱電変換デバイス
（温度差で起電力）



温度差が大きいほど電気出力大

＊ 東芝エネルギーシステムズ(株)提供

アメリシウム発熱体製造技術の開発

基本方針	：	“国内にある資源と国産技術で実現”
2024年度まで	：	ペレット（焼結体）製造技術を開発

PuからAmを分離して安定なペレット焼結を小規模で実証

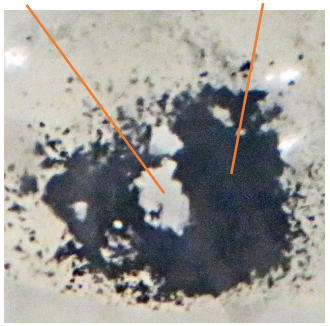
Puの溶解液

化学分離

Amシュウ酸塩沈殿

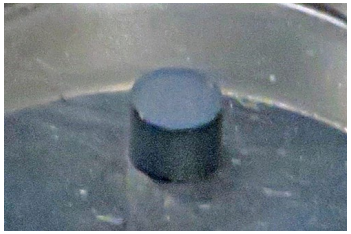
Amシュウ酸塩

添加材　Am酸化物



原料粉末

混合・粉砕



1400°Cで焼結後のペレット

（直径3.8mm、重さ0.3g、＞90 %TD）

開発の現状

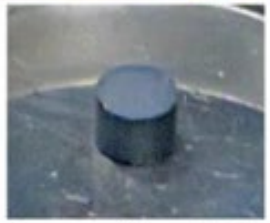
実用化に向けた開発を宇宙戦略基金事業として開始

代表機関：　**原子力機構**　連携機関：**産総研**
実施予定期間：令和7年3月26日～令和11年2月末まで

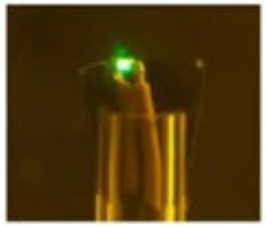
達成目標：
プロトタイプの組立・発電実証

実証済みの技術

PuからのAm分離



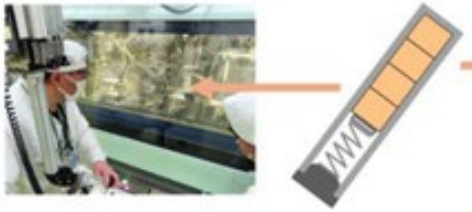
Amのペレット化



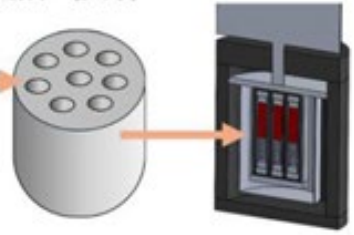
既存のAmと熱電変換デバイスを用いたLED発光（=発電）

宇宙戦略基金事業での主な開発内容

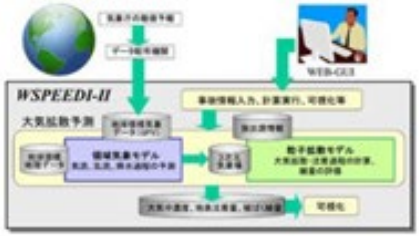
①遠隔操作による
Amペレット作製とピン封入



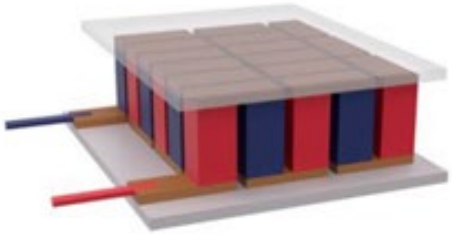
②発熱体ユニットの
設計・試作



③輸送時のリスク評価



④熱電変換デバイスの開発



⑤大規模化に向けた装置・設備・施設の概念検討

目指したい未来

３つのチャレンジ

1 **ウラン蓄電池の開発**
～再エネを安定化させる系統用蓄電池～

2 **半永久電源の開発**
～アメリシウム電池～

3 **資源を創る時代に**
～放射性廃棄物中の有価元素を分離・利用～

③　資源を創る時代に

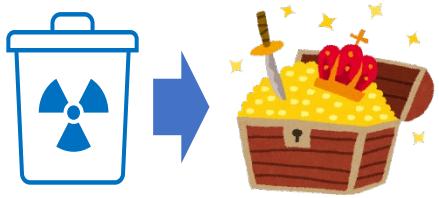
資源: 採る ➡ **創る時代へ！**

元素創成工場

国産レアメタル
オンデマンドRI供給
半永久電源

原子力機構の
分離(分別)利用技術

有価物として利用



（有害を有益へ）

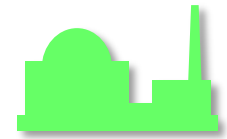
Ubiquitous

核反応は新たな元素を生み出す錬金術

放射性廃棄物を宝の山に変えて資源を確保・処分負担を最小化する

触媒			熱源		医療	高機能材料	半永久電池
Ru	Rh	Pd	Cs	Sr	Mo	Nd	Am
ルテニウム	ロジウム	パラジウム	セシウム	ストロンチウム	モリブデン	ネオジム	アメリシウム

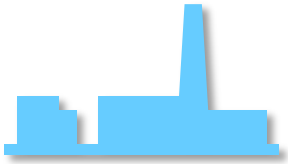
有価元素分離プロセスの位置づけ



軽水炉

U, Pu

軽水炉燃料サイクル



再処理工場
U, Pu分離

機能追加

U, Pu

高速炉

高速炉燃料サイクル

Am Cm

核変換

有価元素分離プロセス

再資源化

NXR 分離・利用チームで開発中

マイナーアクチノイド分離プロセス

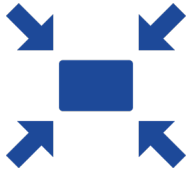
減容・有害度低減

原子力システム公募等で開発中

医療や工業分野での利用

Am Sr Y Mo 白金族 希土類

地層処分場の面積縮小



分離プロセスの開発状況

溶媒抽出法を中心にした分離プロセスの開発を進めている。

開発段階　コールド試験　ホット試験　実液試験

使用済燃料溶解液

再処理

高レベル廃液

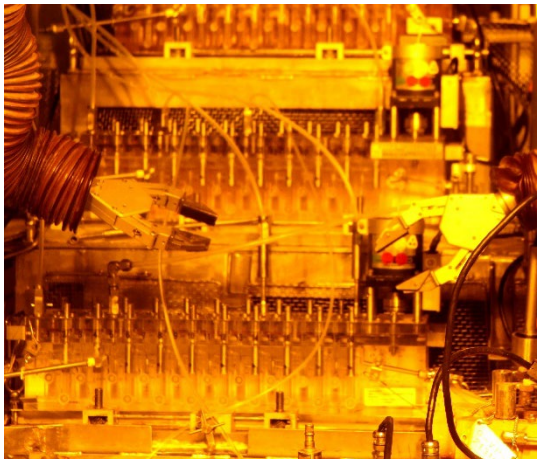
U

U, Pu

マイナーアクチノイド、希土類分離

Am, Cm

希土類



「SELECTプロセス」としてプレス発表, 2019年4月

他の有価元素の分離技術開発を展開中

セシウム分離 → Cs

ストロンチウム分離 → Sr

イットリウム-90分離 → ^{90}Y

モリブデン、ジルコニウム分離 → Mo, Zr

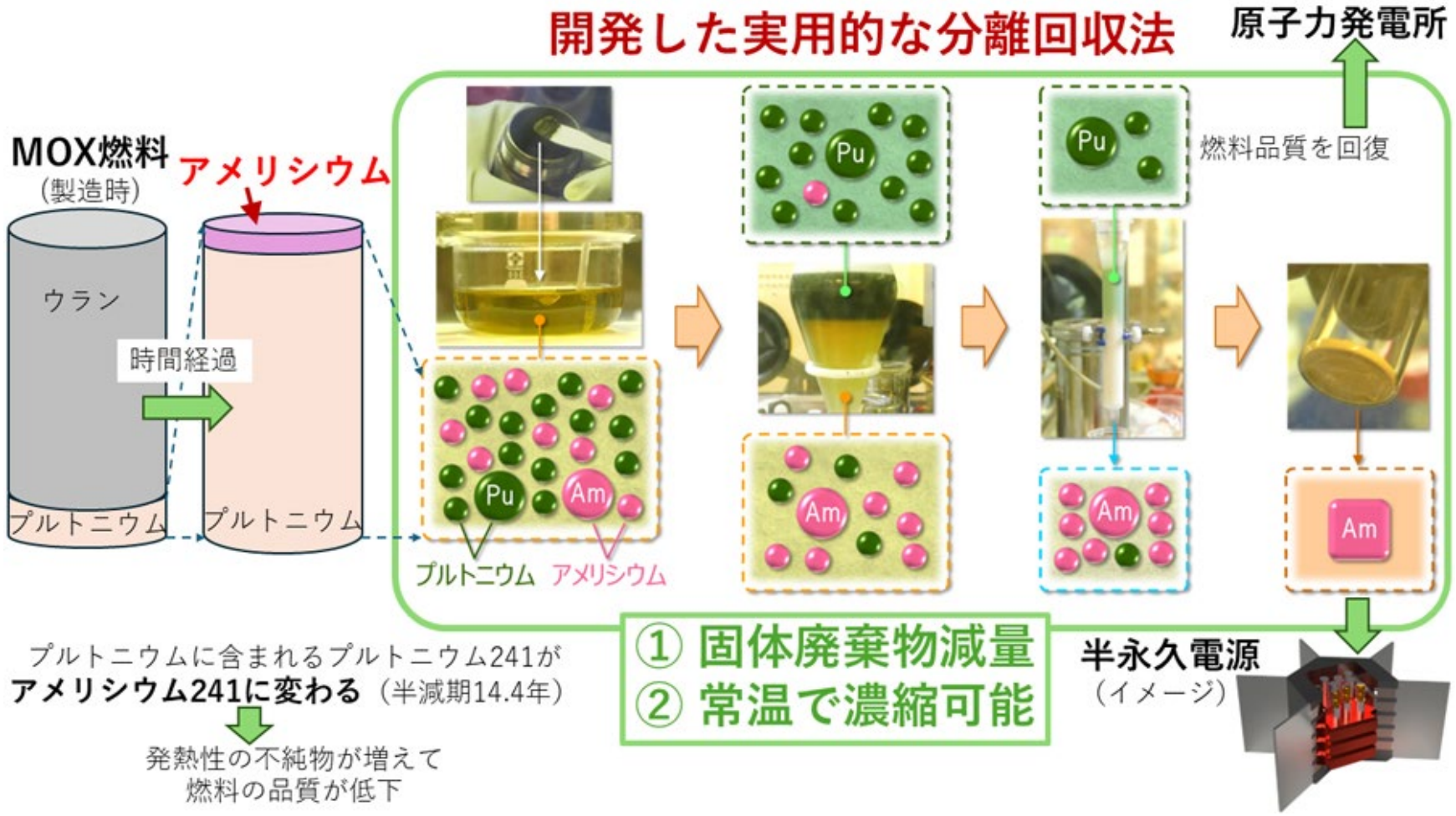
パラジウム分離 → Pd

銀分離 → Ag

ルテニウム、ロジウム分離 → Ru, Rh, etc.

昨年度の主な成果

高経年化PuO_2から、半永久電源に使うアメリシウムを分離する技術を実証した。



今後、がん治療用RIやレアメタルなど有価元素を分離する技術を開発し社会に提供

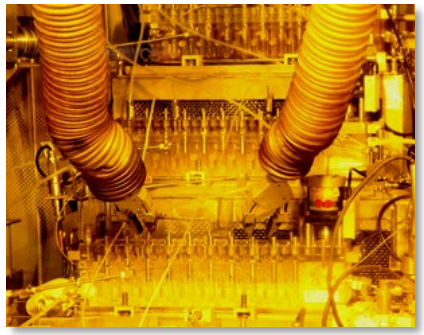
ロードマップ

取り扱う廃液の量

数L

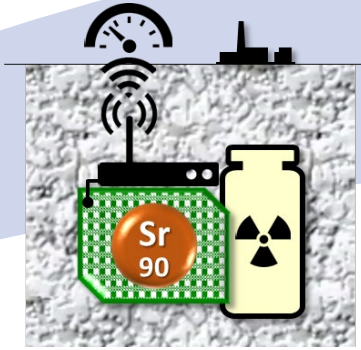
数百mL

数十mL
～
数mL

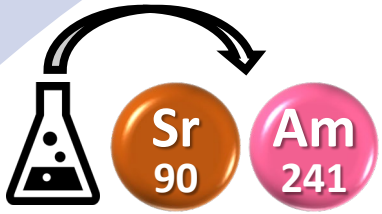


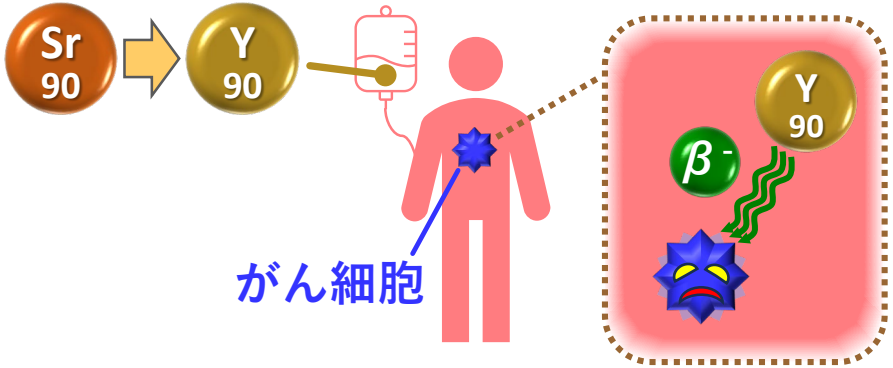
ミリグラム規模の
有価元素の分離
分離技術の実証

遠隔モニタリング及び
医療への試験的供給



マイクログラム～
ミリグラム規模の
有価元素を分離



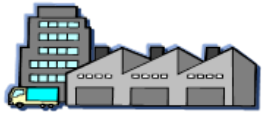
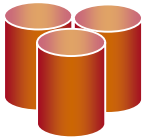
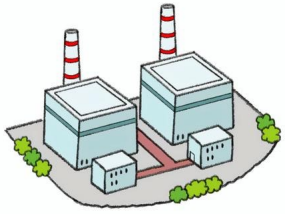
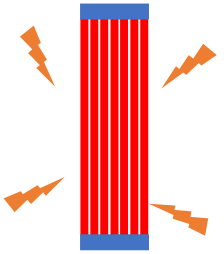
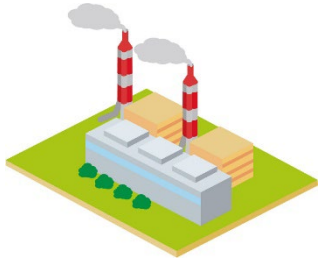


2024年　2026年　2028年　2030年　2035年

廃液を “処理する” から “資源に変える”を目指す！

まとめ　～新しい価値の創造～

Synergy　Sustainable　Ubiquitous

現状	技術革新	新しい価値
ウラン加工（濃縮） 	劣化ウラン 	ウラン蓄電池	再エネの有効利用 劣化ウランの活用
新燃料 		
原子力発電 		半永久電源	極地利用 IoT利用 非常用微弱電源
使用済燃料 		
再処理工場 		有価元素の分離利用	医療・産業利用 資源セキュリティ確保 核燃料サイクルの合理化 処分負担の最小化

【参考】バナジウム・レドックス・フロー蓄電池との比較

住友電工が実用化し、北海道電力ネットワークが1.5万kWの蓄電池を設置している。
バナジウムは高価な輸入100％の元素である。

バナジウムRF電池

6万kWh規模のバナジウムRF電池建屋の模型
(北海道電力に導入されたものは定格出力1.5万kW)

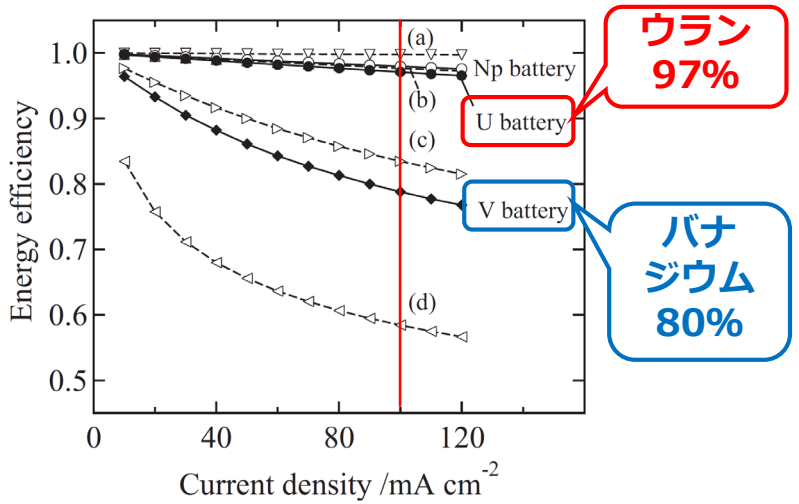
項目	仕様など※1
システム効率	70%
システム定格 [kW/kWh]	1万/4万
容量減少率 [%/年]	0.4
使用可能サイクル [回]	5000-13200
耐用年数 [年]	15-20
総原価 [円/kWh/回]	24-38

URF電池の優位性

- 高電流時にもロスがほぼ無く蓄電が可能※2
- 原料が国内にある ⇒ 海外に依存しない

URF電池の劣位性

- 水分が混入するとウランの価数が不安定になる
  → 密閉を保持して運用
- 核燃料物質として取扱う ⇒ 管理区域内で運用



※1 低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書
蓄電池システム(Vol.7), 科学技術振興機構, LCS-FY2019-PP-01 (R2/1).より
※2 Y. Shiokawa et al. J. Phys. Soc. Jpn, 2006, 75, 137–142.