



# 安全な実験廃液の処理を目指して ～既存技術を応用した新しいプロセスの開発～

---

核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター  
再処理技術開発試験部 研究開発第2課

渡部 創



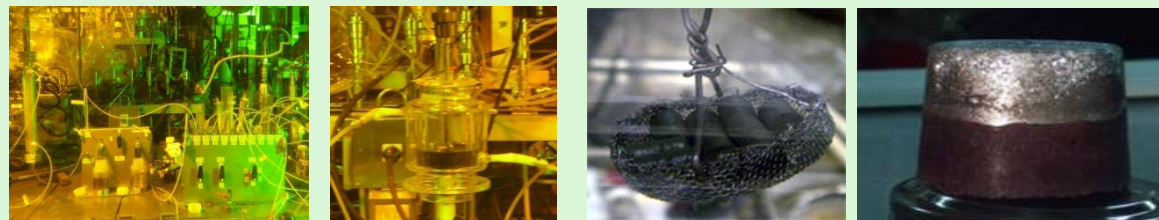
## Chemical Processing Facility (CPF)

- 設備: コンクリート遮蔽セル(900 m<sup>3</sup>)、グローブボックス(30 m<sup>3</sup>)
- 主なアクティビティ:
  - 高速炉燃料再処理試験、ガラス固化試験、燃料サイクル技術に関する基礎研究、福島事故廃棄物等の分析
- 履歴
  - 1982-1995: 「常陽」照射済燃料等を対象とした再処理試験
  - 2002-: 先進再処理技術の開発

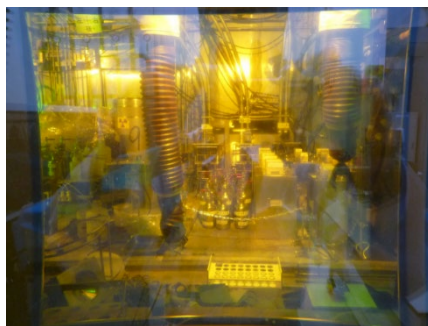
## 福島事故に関する研究



## 先進再処理研究



複数の化学種を含む放射性廃液



発生源	分類	含有される化学種の例
試験	水相	硝酸, 乳酸, ヒドラジン, 硝酸ヒドロキシルアミン, リン酸
	有機相	有機溶媒 (PUREX, TRUEX)
分析	水相	アンモニウム塩, ハロゲン化物塩, フェロシアン化物、強酸化還元剤
	有機相	ピリジン, TOPO, 酢酸エチル, キシレン, TTA, TBP, DBP, n-ドデカン <sub>2</sub>

## プロジェクトの経緯

- CPFに保管してきた放射性廃液の処理に着手
- CPFは使用済みのU/Pu実燃料を取り扱える世界でも有数のR&D施設であり、30年以上の研究で蓄積した廃液の組成は多種多様
- 処理方針の精査、技術開発を開始(2016～)
- 個々の技術開発を複数の共同研究にて同時に実施  
共同研究を取りまとめて1つのプロジェクトに



Systematic Treatment of RAdioactive liquid waste for Decommissioning (**STRAD**)と命名

レガシー(遺産)廃棄物処理として研究開発対象、  
体制を拡大しながら研究開発を推進

原子力施設

研究施設、医療施設など

多様なアクティビティ  
R&D, 分析, 定常作業



高反応性など、リスク源となり  
得る化学種を含む放射性廃液

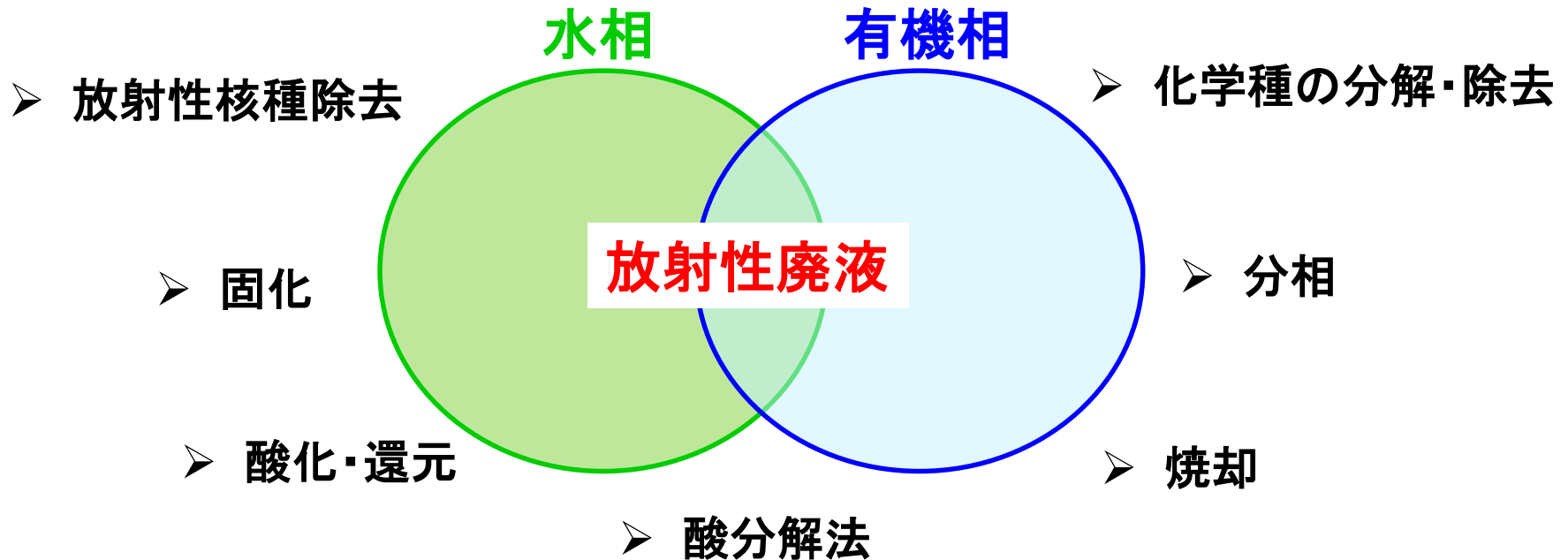
蓄積されてレガシー廃棄物に

今後重大な問題となる可能性がある

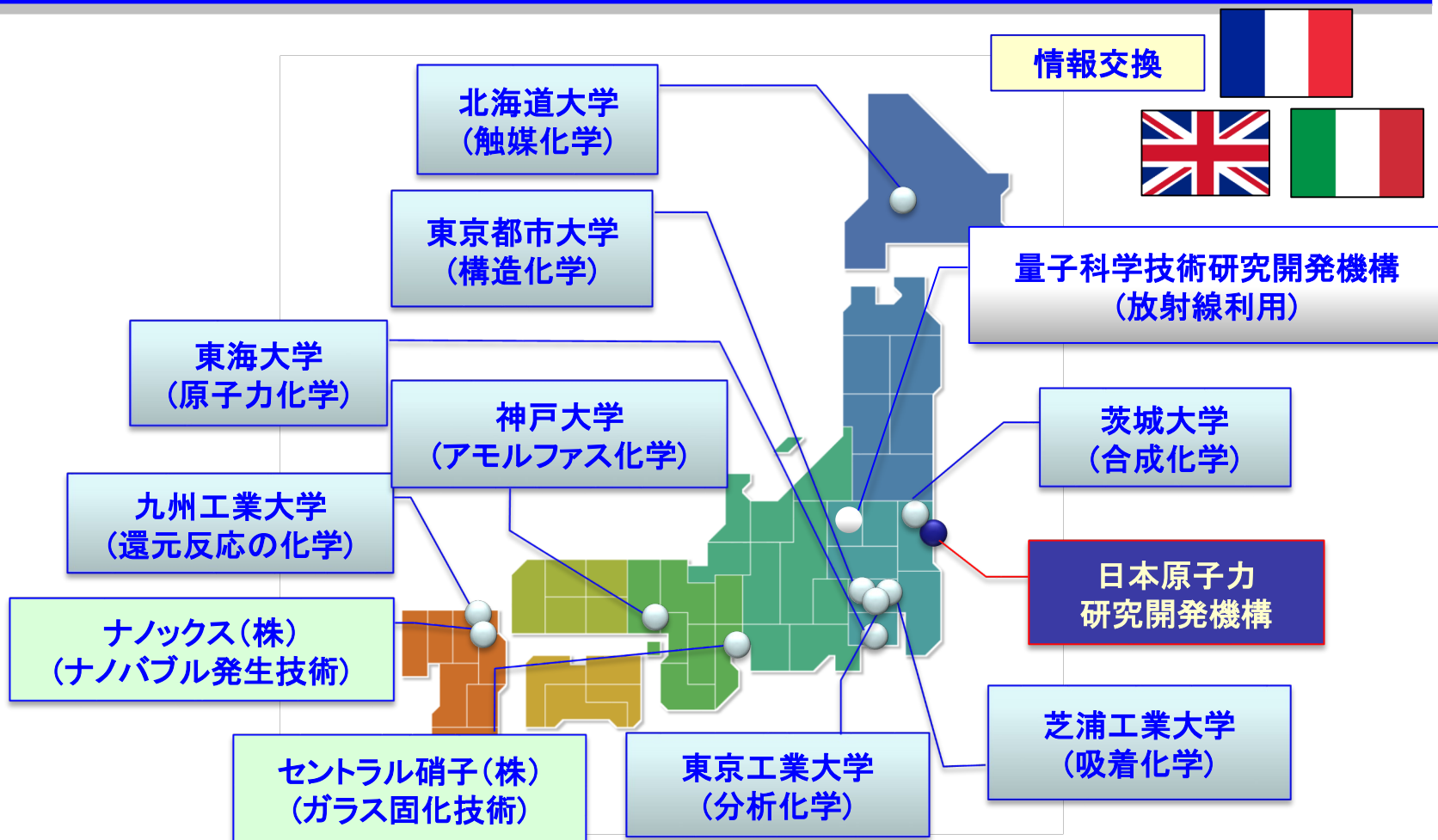
STRADでは

- CPFの廃液・フィールドを活用して、新規処理技術を開発し、レガシー廃棄物処理に貢献
- 保管してきた廃液は貴重なサンプル
- 既存施設の廃液処理だけでなく、新規施設の設計にも寄与

## 放射性廃液処理に適用可能な要素技術



- これらの要素技術の組み合わせによって処理が達成可能
- 対象に応じて各技術の開発が必要 ⇒ 様々な専門家と協力
- CPFの廃液全27種類に対して、処理フローを考案  
⇒ 2021年度末処理完了予定



- 大学、メーカー等とは要素技術開発に係る共同研究を実施し、複数の共同研究を活用してSTRADを推進
- CEA(仏), JRC(伊), NNL(英)と情報交換、協力に向けて協議中



## CPFのアクティビティ 燃料再処理、福島廃炉技術開発



多種多様な廃液



**反応性試薬を含む水溶液**  
特徴：化学種毎に対応が異なり非常に困難

**廃溶媒等の有機物**  
特徴：ほとんど全ての施設で抱える課題

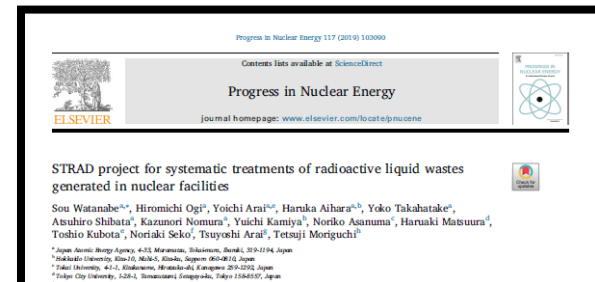
**乾式試験より発生する廃塩**  
特徴：乾式研究では必須の課題として度々議論に

世界中の施設で課題は共通、でも未着手

## STRADが世界中の放射性廃液処理の先導的立場に

### 主な業績

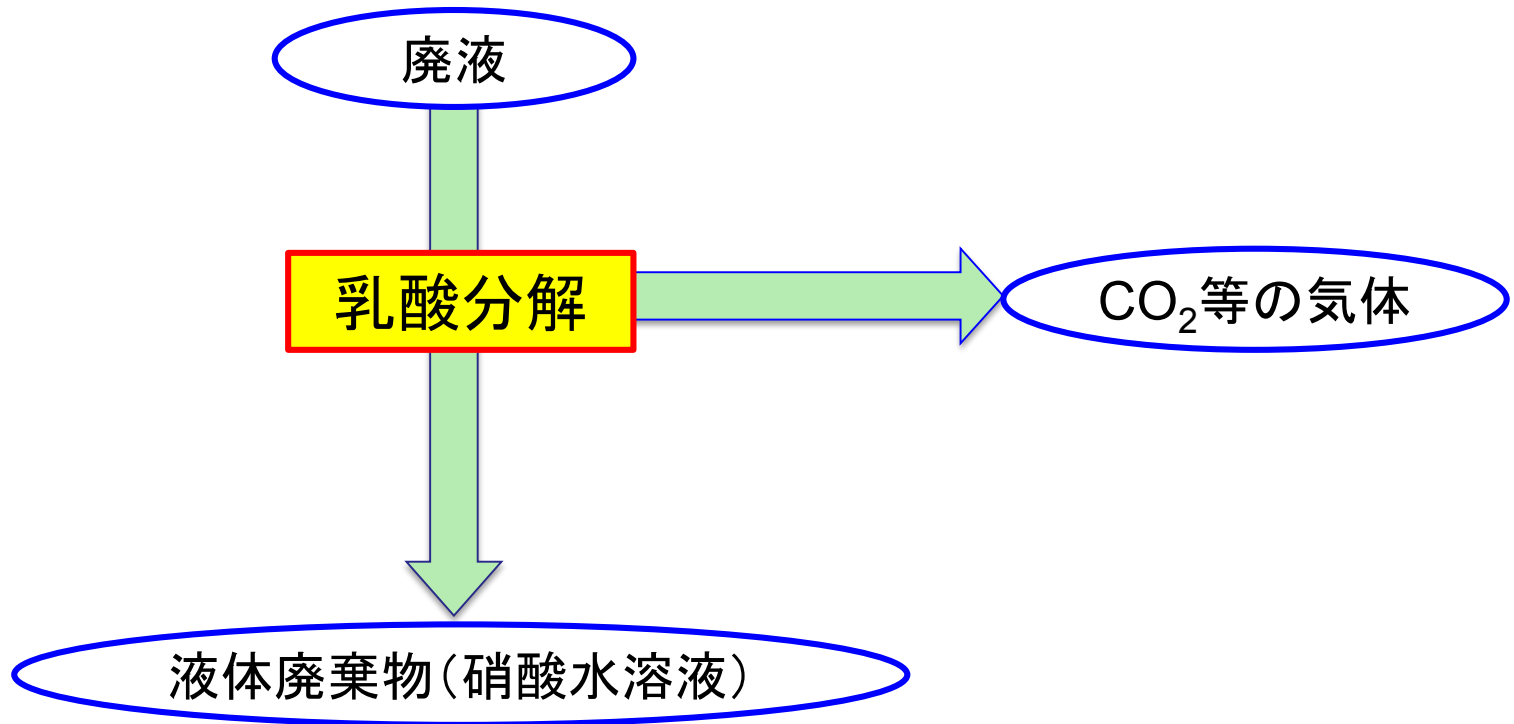
- レガシー廃液処理に着目した研究は世界初
- プロジェクトの狙いを論文化・・・
- HOTLAB2018にて優秀賞を受賞
- 現在継続的に成果を公開中



S. Watanabe et al., *Progress in Nuclear Energy* 117 (2019) 103090

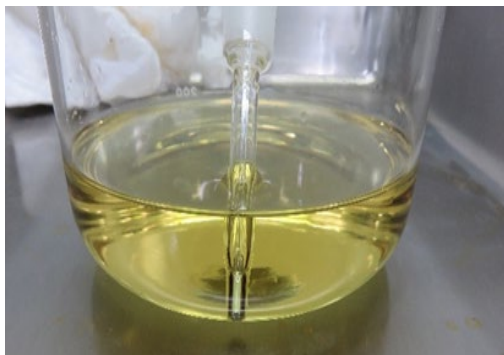


- 対象：錯形成剤を含む硝酸廃液
- 処理すべき物質：乳酸，多価カルボン酸等
- 処理目標：硝酸水溶液



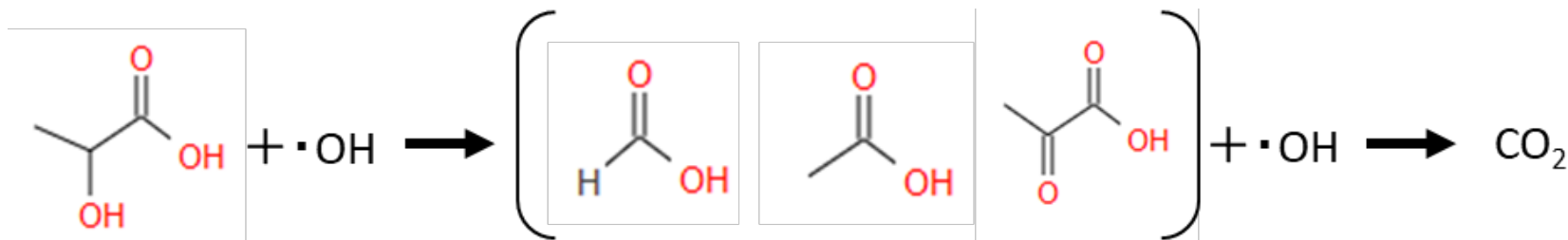
CPFの廃液に対して提案した処理フロー

- **課題**：乳酸の分解
- **目的**：沈殿析出のおそれのある試薬を常温常圧で分解
- **方法**：触媒存在下で酸化分解
- **成果**：フェントン法を用いて、50°C、常圧で分解を達成



Fe<sup>3+</sup>と過酸化水素添加により分解反応が進行

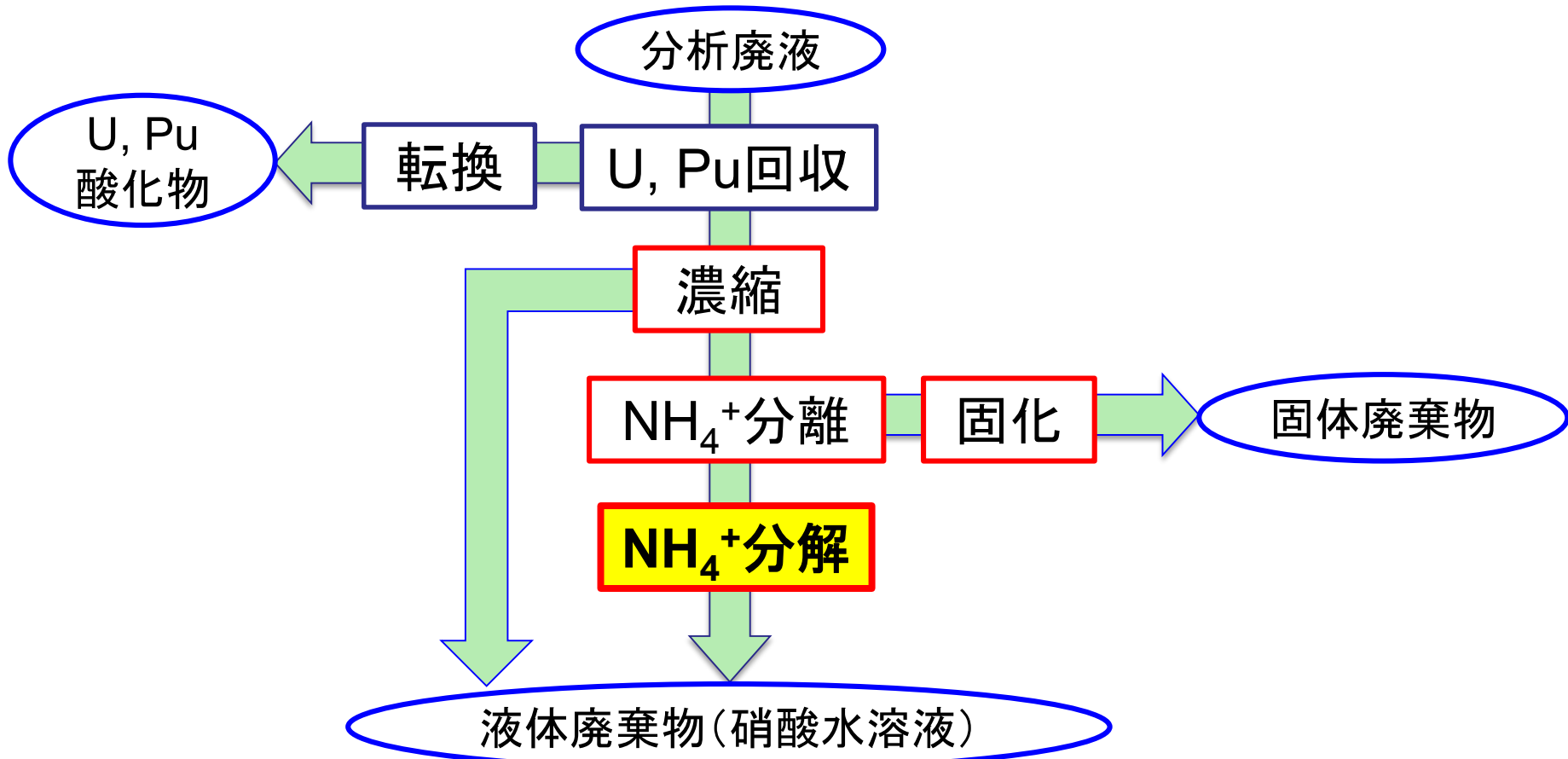
ホットセル内での処理の様子



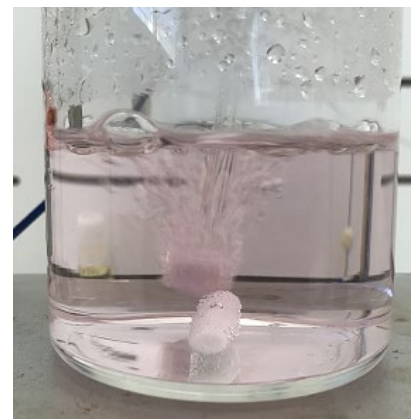
フェントン法による乳酸の分解反応機構

**40Lの廃液の処理を完了**

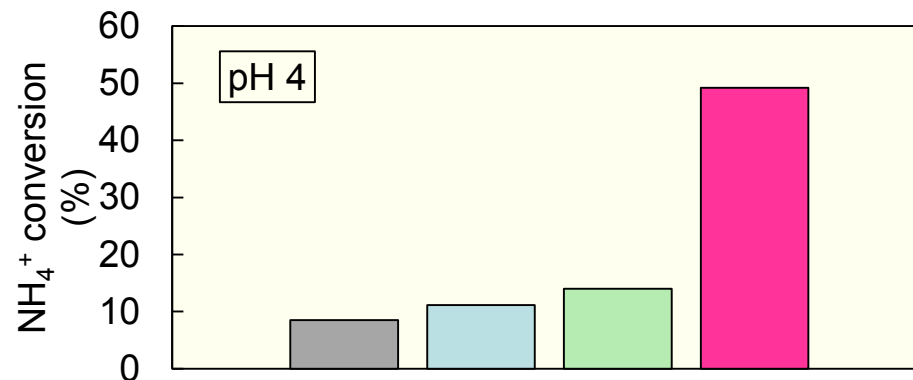
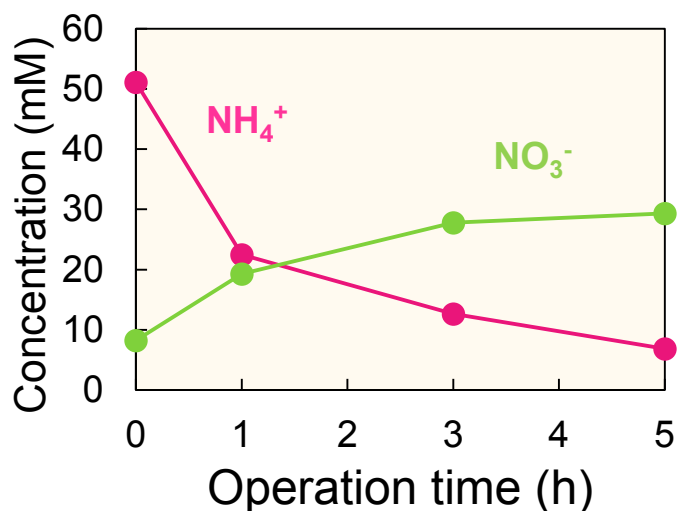
- 対象：分析廃液全般
- 処理すべき物質： $\text{NH}_4^+$ ，ヒドラジン，アジ化物等の窒素化合物
- 処理目標：硝酸水溶液



- **課題:** アンモニウムイオンの分解
- **目的:** アンモニウムイオンを可能な限り低温、常圧にて分解
- **方法:** 触媒存在下で酸化分解
- **成果:** Co, Clを触媒として60°C、常圧で分解を達成



アンモニウムイオン分解処理の様子

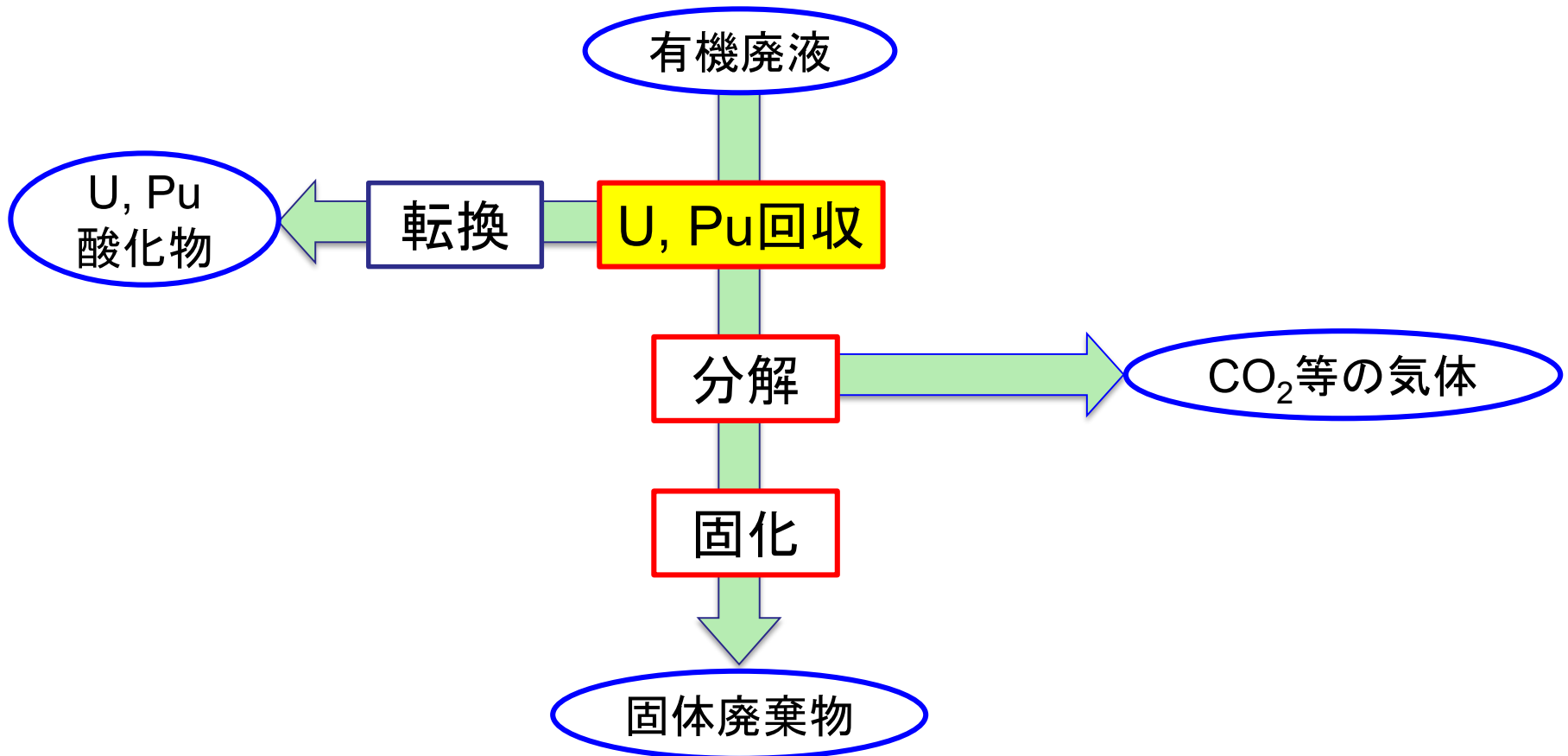


触媒なし Co共存 Cl共存 Co+Cl共存

アンモニウムイオン転化率  
Co, Clの共存で大幅に向上

現在実廃液の処理を実施中

- 対象：有機系廃液全般
- 処理すべき物質：U, Pu, 有機化合物全般
- 処理目標：化学的に安定な固体, 廃溶媒相当の液体



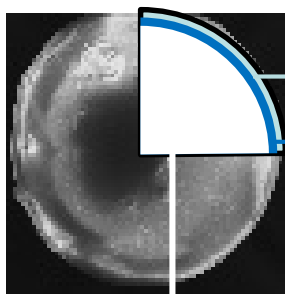
- **課題**：有機廃液からのU, Pu回収
- **目的**：溶媒中で化学物質と強く結合したU, Puを効率的に回収
- **方法**：吸着材への吸着回収
- **成果**：疎水性に優れた新規吸着材を複数合成することに成功

## 放射線を用いた技術の利用

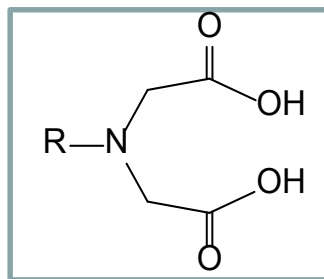


グラフト重合技術を用いて、多孔質シリカ担体に高密度のイミノニ酢酸基を導入

## 新規吸着材の例：SIDAR

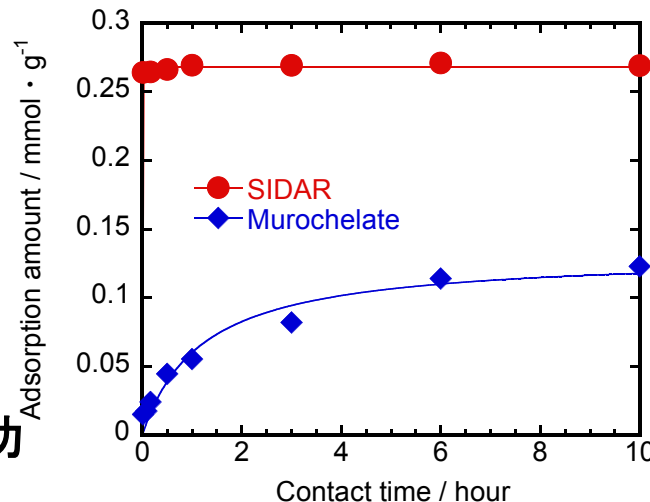


イミノニ酢酸基  
 ポリマー層  
 モノマー  
 : クロロメチルスチレン  
 架橋剤  
 SiO<sub>2</sub> : ジビニルベンゼン



イミノニ酢酸基

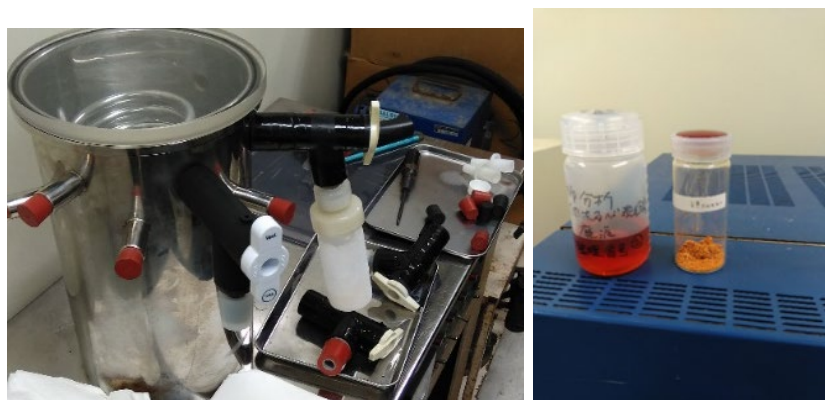
## 模擬廃液からのZrの吸着挙動



- 溶媒中で有機物と強固に結合した金属の回収に成功
- 市販品より優れた性能を有する吸着材を開発

## 凍結乾燥による低温濃縮

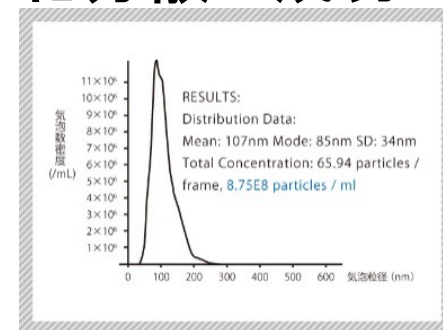
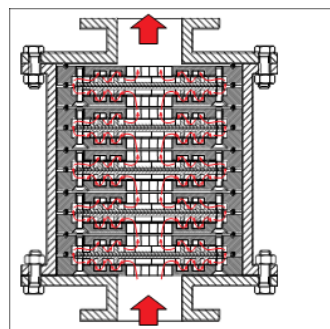
- **課題**：加熱しない廃液濃縮
- **目的**：化学物質を反応させない低温で廃液を濃縮
- **方法**：凍結乾燥の利用
- **成果**：水相、有機相共に濃縮に成功



インスタント食品製造技術を応用

## ナノバブル分散液体

- **課題**：分解反応の効率化
- **目的**：オゾンなど反応性ガスのロスの低減
- **方法**：ナノバブル分散液体の利用
- **成果**：水相、有機相中への気体のナノ化分散に成功



生鮮食品品質管理技術を応用

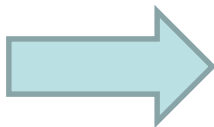
一般産業界の技術を廃液処理に応用



## STRADで開発した技術

## 応用先

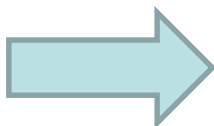
- ウランを回収する技術
- $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ 分解技術



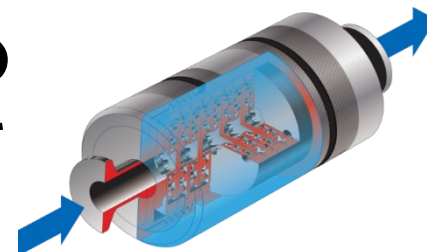
原子力燃料製造  
廃棄物の処理



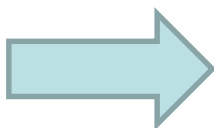
- 高密度ナノバブル分散液体の調製技術



原子力発電所の  
廃止措置に向けた技術



- フリーズドライ濃縮技術



低温での放射性物質のガラス固化



多種多様な協力者の知見、技術

既存原子力施設の放射性廃液処理

新規施設における廃液処理設備の設計

STRADプロジェクトの研究開発

原子力研究者、技術者の育成

他分野における技術の革新

- CPFでは、放射性廃液処理技術開発のためのSTRADプロジェクトを、大学、国研、メーカーと共同で実施中。
- これまでに多くの技術を開発し、他分野の研究開発に応用している。
- 本プロジェクトは新しい技術を開発し、人材を育成するためのプラットフォームとなり得る。
- 今後はプロジェクトの認知度の向上、国際協力を視野に入れ、研究開発成果の外部発信に力を入れていく。