

# MCCCE法を用いたリチウム-7濃縮技術開発 —最新の開発概要—

令和5年6月15日

\*長谷川 信<sup>1</sup>、福森 麻衣<sup>1</sup>、山田 楓<sup>1</sup>、  
綱田 宜司<sup>2</sup>、田中 健哉<sup>2</sup>、岸本 忠史<sup>3</sup>

(1. アトックス、2. ペスコ、3. 阪大)

# 1. 技術開発の背景

---

- PWRプラントの一次冷却水は、反応度制御のために添加するホウ酸によって材料腐食が進むため、水酸化リチウム (LiOH) を添加することでpHを調整している。
- 天然のLiにはLi-6(7.5%)とLi-7(92.5%)の同位体が存在する。
- Li-6は中性子吸収材 ( $\text{Li-6} + n \rightarrow \text{He} + \text{H-3}$ ) であるため、原子炉の運転制御の面と被ばく管理の面からLi-7を濃縮する必要がある。
- しかし、Li-7の供給元がロシアのみで、水銀アマルガム法で生産。
- 水銀アマルガム法は唯一実用化されている方法であるが、水銀を使用するため環境問題の原因となる。
- Li-6は国際規制物質のため、Li-7に関する情報収集が難しい。
- 以上のように、Li-7の安定供給には、安全保障上の課題、世界的な環境問題、そしてサプライチェーンの課題がある。

**課題1：安全保障上の課題**  
Li-7の入手を輸入（特にロシア）に頼っている

**課題2：世界的な環境問題**  
水銀アマルガム法は環境問題の原因となる水銀を用いる

**Li-7供給の課題**

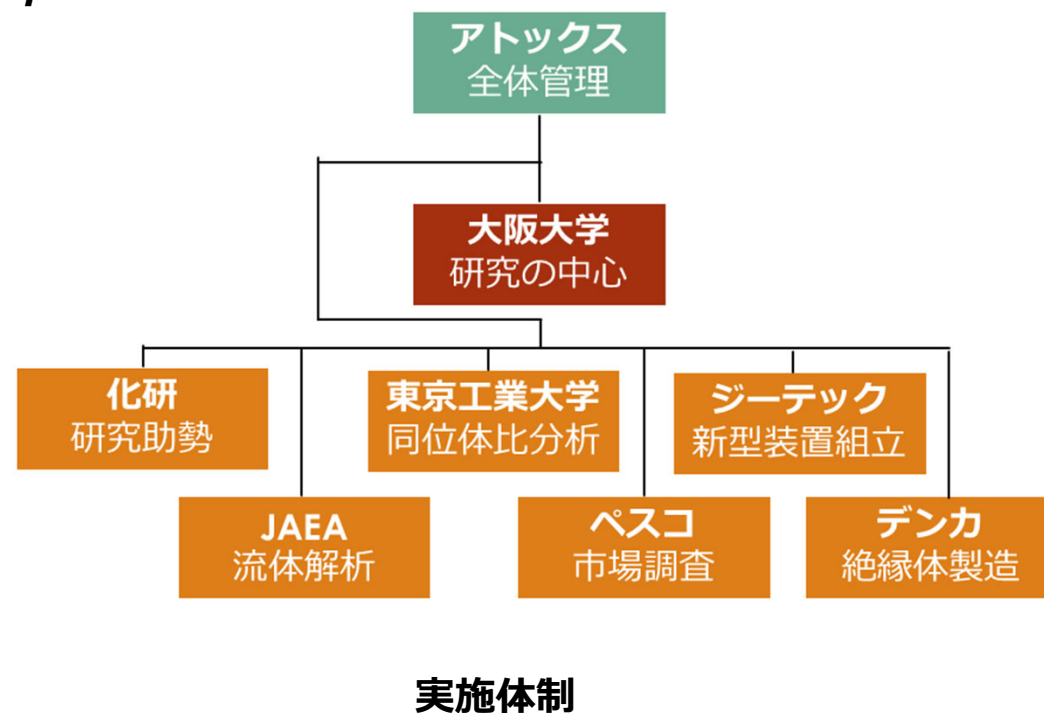
## 2. 技術開発の目的と体制

- これらの課題解決のために、経済面及び環境面を考慮した新たな国内供給体制の確立と、安定したサプライチェーンの早急な構築が必要。
- 既往法に代わる同位体濃縮方法として、MCCCE\*法を用いたLi-7濃縮技術の開発を目的とする。

\*MCCCE : Multi-Channel Counter Current Electrophoresis

- 開発体制として、大阪大学の技術開発ラボを中心に開発を進め、アトックスはこれら技術開発を効率的に展開できるようプロジェクト管理を実施。

注) 本研究は資源エネルギー庁の補助事業「原子力の安全性向上に資する技術開発事業」にて実施。



### 3. Li同位体の濃縮技術の開発経緯

---

- Li同位体の濃縮回収技術の開発は、1970年代にLi同位体分離の様々な原理について研究を実施。しかしながら、ほとんどの技術は分離効率が低く、工業化や大量製造のスケールアップが困難。  
参考：同位体分離法としては、アマルガム法、分子蒸留、イオン交換法、電気泳動法（熔融塩法）、溶媒抽出法等が知られている。
- これまでに実用化された分離法は、水酸化リチウム水溶液とリチウムアマルガム（リチウムと水銀の合金）との間のリチウム同位体の向流交換反応を用いる水銀アマルガム法のみ。
- アマルガム法の分離係数は1.02～1.07程度であるが、水銀による環境汚染の観点から、代替できる同位体分離法の研究を実施。しかし、同位体分離係数、エネルギー消費量の観点から、大量製造のスケールアップは困難との結果。
- 以上の理由から、現状は工業的なLi同位体分離法はアマルガム法以外には無い。

## 4. Li-7の世界の供給状況

---

### 【Li-7の供給体制】

- ロシアが供給全体の70～80%のシェアを占め、欧米、日本へ輸出。
- 残りの20～30%は中国で生産、消費。
- ロシア、中国ともに水銀アマルガム法によりLi-7を製造。

### 【安定供給に向けた主要輸入国の取り組み】

- 仏国（英国等）：国際協力に基づく安定供給体制の構築
- 米国：官民協働による供給状況の監視と国内生産能力確保の検討を実施。

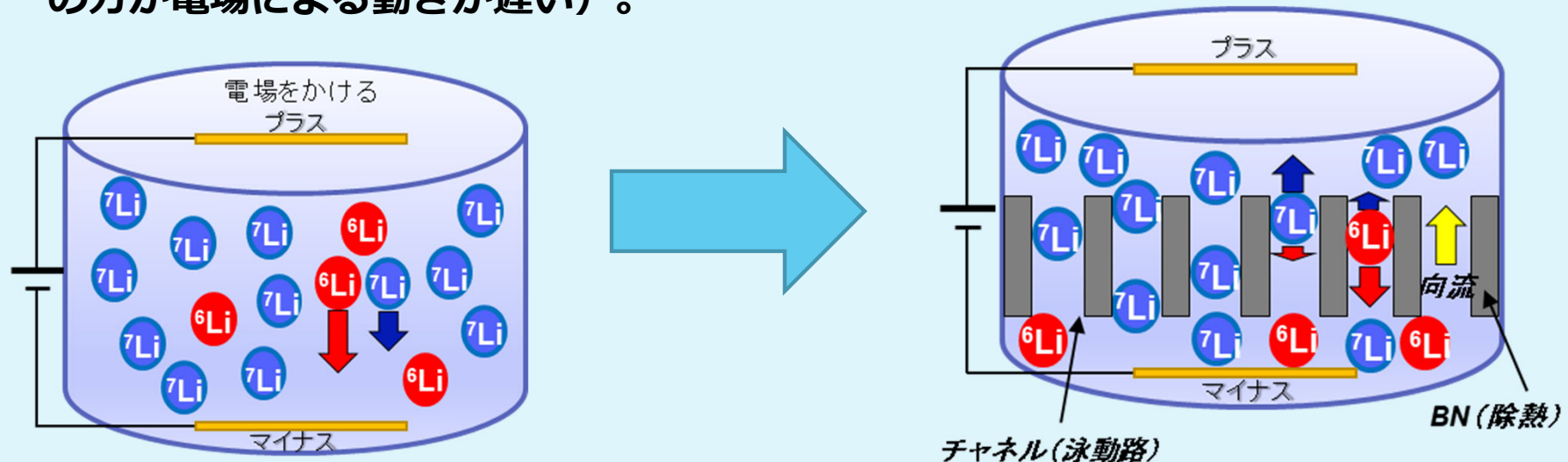


## 5. MCCCE法の概要

- MCCCE法は、電気泳動のキャピラリー法と向流法を組み合わせた方法。
- 電圧を印加し、電気泳動により物質を移動させる一方で、向流する溶液を流すことで目的同位体を濃縮する。

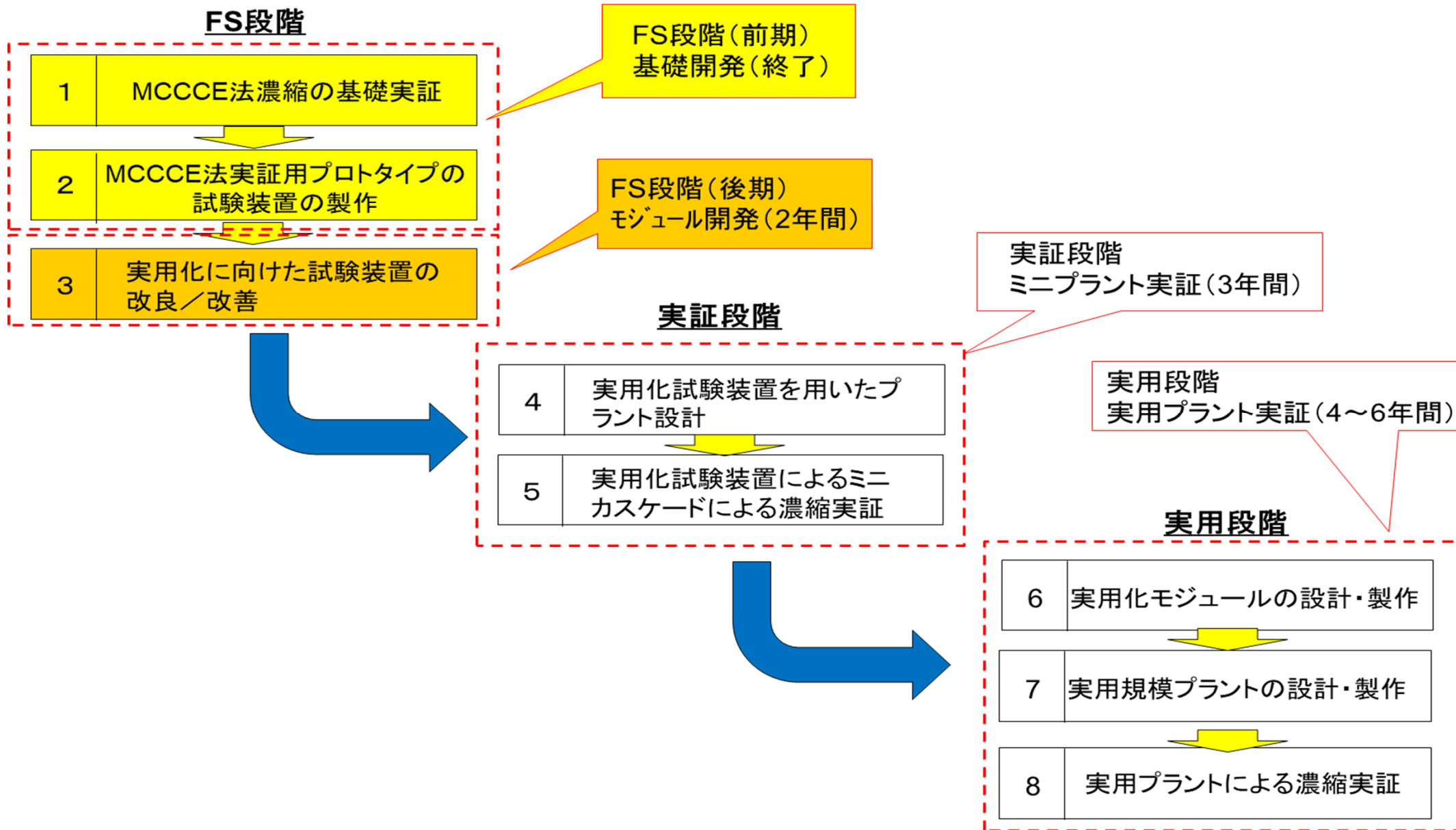
### <MCCCE法の原理>

- ① 水溶液中には2種類のLiイオンが存在する ( ${}^7\text{Li}^+$ ,  ${}^6\text{Li}^+$ )。
- ② 電場がかかるとLiイオンが移動する。
- ③ 2種類のLiイオンは移動のしやすさが異なるため移動速度に差が出る ( ${}^7\text{Li}^+$ の方が電場による動きが遅い)。
- ④ 電場と逆方向に水の流れ（向流）を発生させる。
- ⑤ 電場で動きやすい ${}^6\text{Li}^+$ は下側へ移動し、電場で動き難い ${}^7\text{Li}^+$ は向流で流され上側に濃縮される。

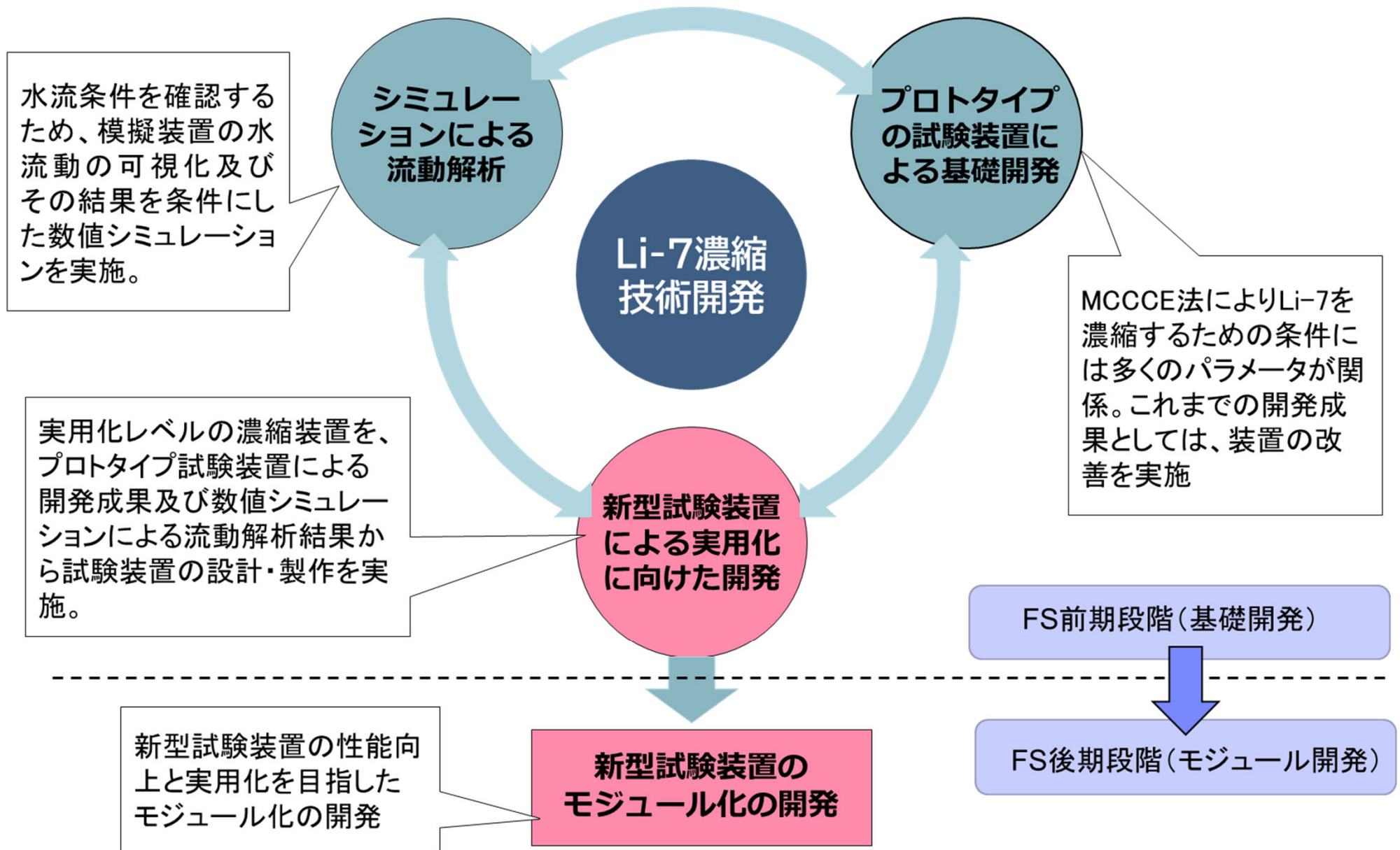


\*MCCCE : Multi-Channel Counter Current Electrophoresis

# 6. Li-7濃縮技術の開発ステップ



# 7. FS段階の技術開発の進め方





# 8. プロトタイプ試験装置（円筒型）による基礎開発

## 【課題】

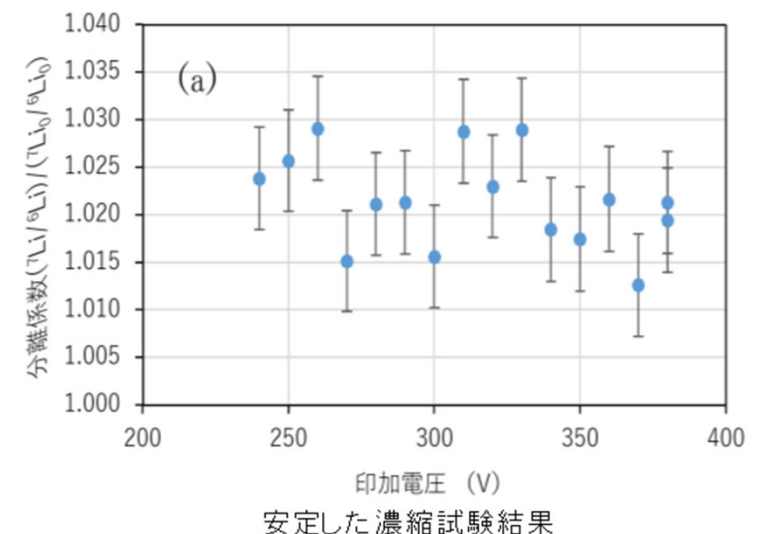
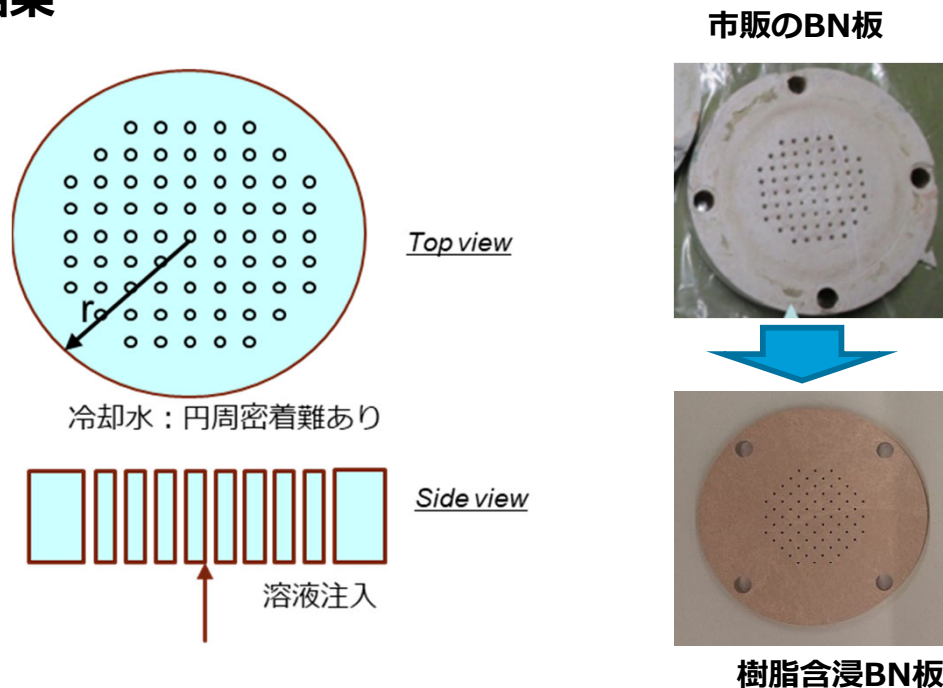
- 市販のBNを流路素材としていたが、溶液が気孔に浸透していたことを確認。
- これにより、絶縁性が保たれず、通電。
- その結果、イオン分布が乱れることで、試験条件が一定に保てず、試験結果に再現性が無かった。

## 【改善点】

- 絶縁材の絶縁性低下による電圧不安定の改善⇒樹脂含浸し絶縁性を向上したBN板を使用
- 溶液速度分布の広がりを抑える対策⇒泳動路内に抵抗（濾紙）を挿入
- 濃縮試験条件をサーベイする方法の改善⇒パラメータ評価のためシミュレーションツールを開発

## 【濃縮試験結果】

- 樹脂を含浸した絶縁材採用で、安定した電圧印加が可能
- シミュレーションツールにより濃縮試験条件サーベイ及び濾紙挿入で安定的に試験を実施
- 分離係数として比較的定常的に1.03~1.04。これは水銀アマルガム法の分離係数と遜色ない結果



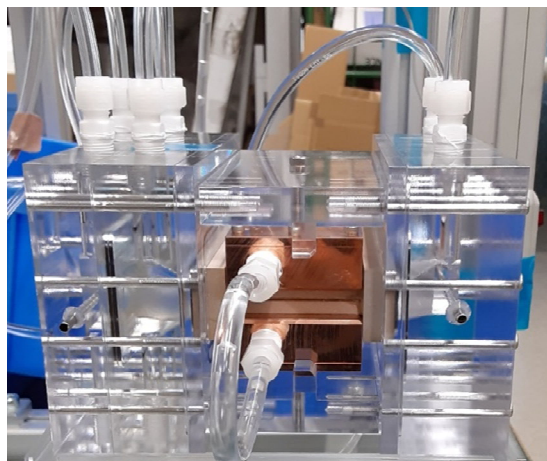
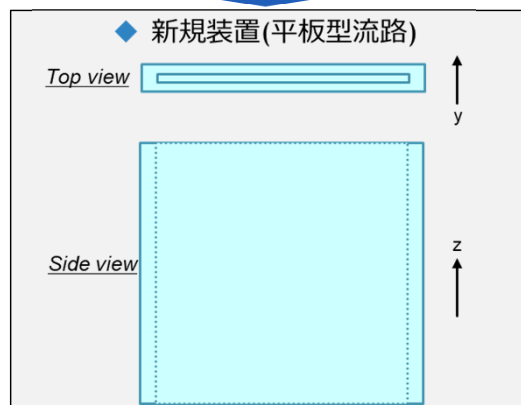
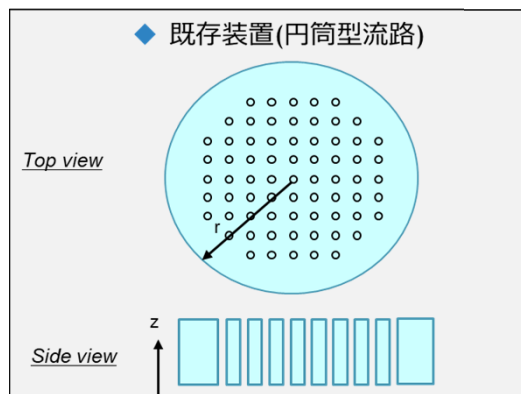
# 9. 新型試験装置による実用化に向けた開発

## 【新型試験装置を製作】

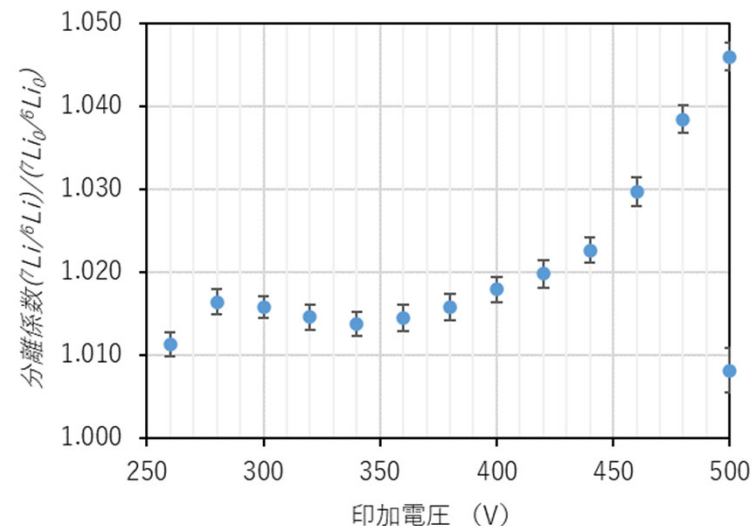
- ・ 分離係数の向上と合わせて、実用化に向け、流路の形状を既存の円筒型から平板型に変更。
- ・ これにより下記の向上・改善を期待。
  - 1)均等な冷却による温度の一様性
  - 2)理想的な速度分布（層流）
  - 3)多段化が容易な装置構造
  - 4)モジュール製作コストの低減化

## 【濃縮試験結果】

- ・ これまで、新型試験装置を用いた試験にて、円筒型の試験装置で得られた以上の分離係数 1.03~1.04が安定的に取得。
- ・ また、条件によっては分離係数1.05のチャンピオンデータを取得。
- ・ 今後は、試験の結果を整理し、性能確認試験を進め、更なる分離係数の向上を目指す。



新型装置の外見写真

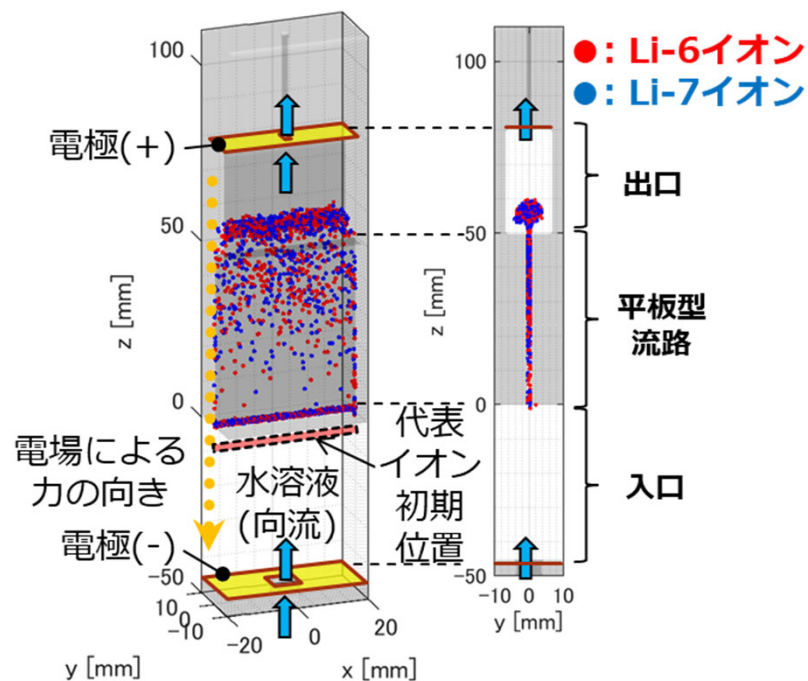


印加電圧 (V)

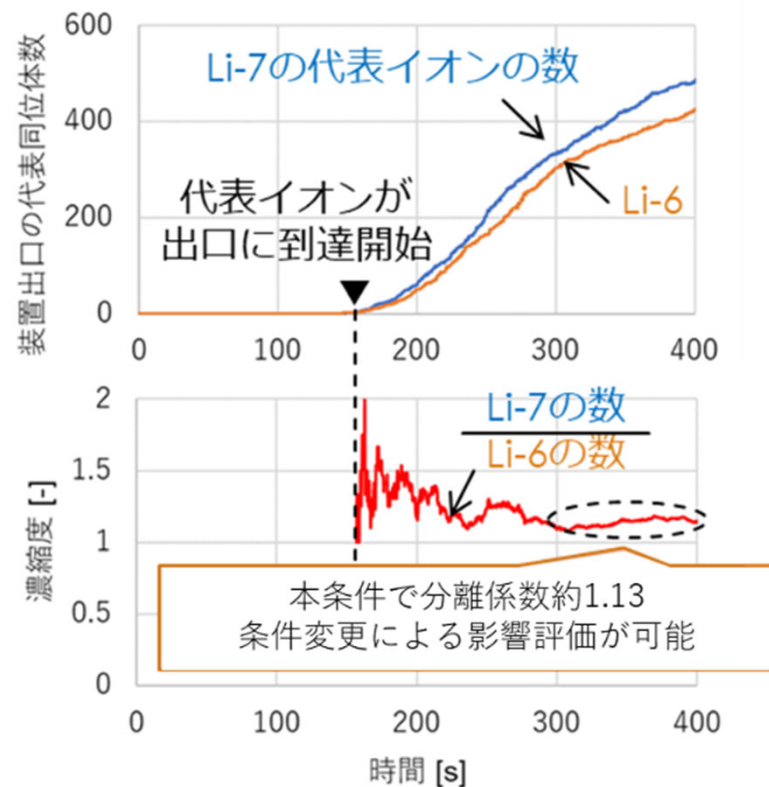
濃縮試験結果

# 10. シミュレーションによる流動解析

- シミュレーション結果を濃縮試験に反映することにより、効率的に濃縮試験を進めることが可能。
- 平板形状流路内の電場解析を実施し、その結果を数値シミュレーションへ応用。
- 数値シミュレーションの結果、平板流路を使用した場合、暫定的な評価ではあるが分離係数が約1.13まで向上できることが判明。
- イオン挙動に対する電場／流動の影響評価手法を整備したことで、装置形状寸法・試験条件の最適化に目途。



JAEAのスパコンとCFD解析コードを活用した手法整備



# 11. FS（後期）を進める上での課題整理

## 1. MCCCE法の濃縮性能に係る主な課題整理

新型濃縮装置の分離性能は、約1.05と安定的な結果、既往方法（水銀アマルガム法）と比較して遜色がない値。

但し、実用化に向けてモジュール装置をカスケードに組む上で、以下の確認が必要。

### ● 装置構造

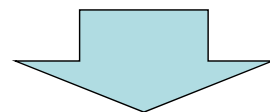
- 1) カスケード構成にするために、モジュール装置構造の確定
- 2) 運転条件とプロダクト濃度・量との関係整理

### ● カスケード運転

- 3) モジュール装置の固体差がないかの確認
- 4) 長期濃縮運転におけるモジュール装置の信頼性の確認

## 2. 実用プラントとしての成立性

- 5) 電気・冷却水等のユーティリティー設備の設備容量の確認
- 6) 運転監視方法の検討



FS後期（2年間）で開発のキーとなるモジュール装置及びカスケード条件に係る実用化に向けての性能評価を実施、合わせてプラント成立性の評価も実施

## 12. まとめ

---

本報告では、新たな同位体濃縮法であるMCCCE法を用いたLi-7濃縮技術の開発についての最新の状況を報告した。

### 【整理 1 : 背景】

- Li-7はPWRの水質管理の用途で需要があるが、供給元が現在ロシアのみという現状。
- これは安全保障上、環境影響上、課題。
- 将来的には、経済面及び環境面を考慮した新たな国内供給体制の構築が必要。

### 【整理 2 : 技術開発】

- 流路素材の改良として、BNに樹脂を侵させ、絶縁性の向上を実施。
- 円筒型流路の課題を解決するために、流路形状を平板型流路へ変更新型試験装置の開発を実施、安定的な濃縮結果を取得。
- 今後は実用化を目指して、スケールアップに向けてさらなる検証を展開。