

日本原子力学会 水化学部会 第45回定例研究会 (Web開催)

リチウムの同位体分離濃縮技術

テーマ選定の背景

2023.06.15

三菱重工業株式会社 原子力セグメントプラント設計部 系統設計課

前田 哲宏

© MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. All Rights Reserved.

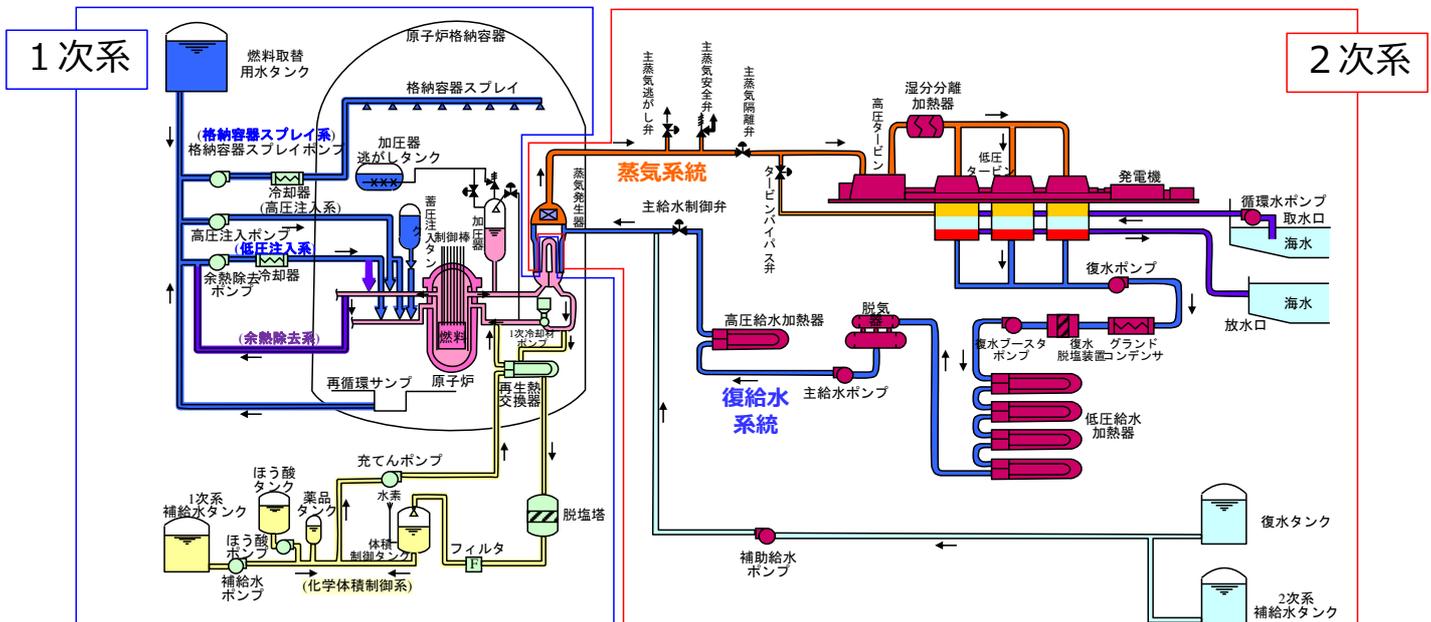
ZCS-OR-230006



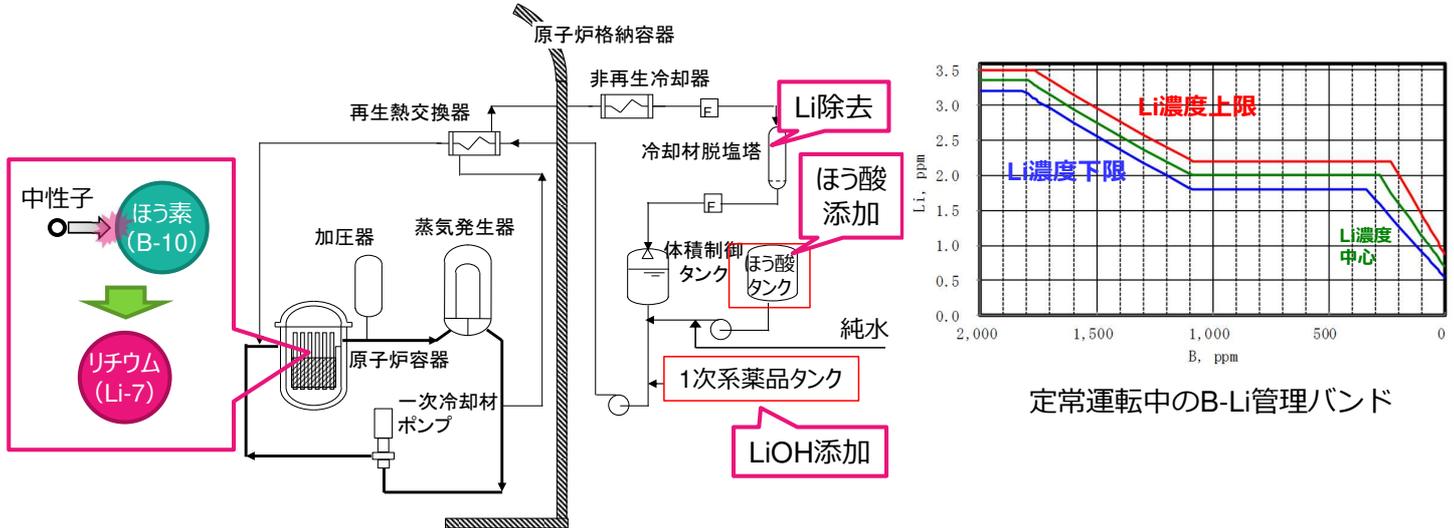
1. PWRプラントの系統構成概要



- 原子力発電所では、核燃料から生じる熱エネルギーを蒸気に変えてタービンへ伝える。
- 加圧水型原子力発電所（PWR）では、放射能を含む1次系と含まない2次系に分かれている。
- 原子炉から1次冷却材に取り出された熱は、蒸気発生器を介して2次系に伝わり、タービンを回すことで発電している。



- 1次冷却材には、炉心の反応度制御を目的にほう素（ほう酸）を添加。
- 構成材料の腐食抑制の観点から、1次冷却材のpH調整剤としてアルカリである水酸化リチウムを添加し、過剰なLiは、脱塩塔（イオン交換樹脂）により除去している。（ほう素-リチウム管理バンド）
- リチウムは、天然Liを同位体濃縮した、濃縮Li-7を使用している。
 - ほう素は中性子を吸収しLi-7を生成するため、LiによるpH管理が容易。
 - Li-6は中性子と反応しトリチウムが生成するため、同位体濃縮した濃縮Li-7を使用。
 - Naは中性子との反応によるNa-24の生成および材料健全性の観点で不適。



3. 濃縮Li-7の調達性¹⁾

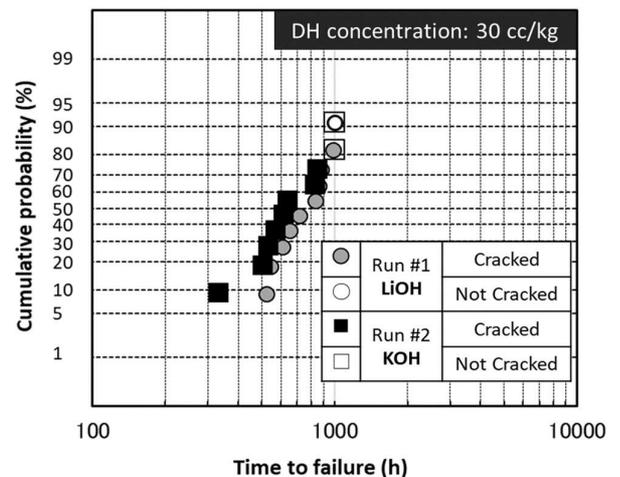
- 天然のリチウムは、Li-6 (7.59%) とLi-7 (92.41%) が存在するが、放射線環境下ではLi-6からトリチウムが生成する。したがって、PWR 1次系で使用されるリチウムは、放射化によるトリチウム生成を抑制すべく、Li-7を99.9%まで濃縮したものを使用している。
- 濃縮Li-7は核兵器の副産物とみられる。また、濃縮には水銀が使用されるため（水銀アマルガム法）、濃縮Li-7の供給は中国とロシアの2か国に限定される。
- この2か国のうち、中国ではPWRプラントの新設増加や熔融塩型原子炉（MSR）の導入により、Li-7の消費量が増加、今後もますます増える見込みである。中国で生産された濃縮Li-7は、中国国内で全て消費され、不足分はロシアから調達している。
- 日本を含めた世界中のPWRで使用されている濃縮Li-7は、ロシアからの供給に頼っている状況であり、価格高騰等の背景から、米国をはじめ、各国で対策の検討が進められている。

1) U.S. Government Accountability Office GAO-13-716, "Managing Critical Isotopes: Stewardship of Lithium-7 is Needed to Ensure a Stable Supply", 2013.

- 濃縮Li-7の価格高騰といった背景から、国内外で対策の研究が推進されている。
- 具体的には、濃縮Li-7の回収、使用量の削減、代替剤の検討、新たな製造方法の探索が進められている。
 - 冷却材中で生成したLi-7やイオン交換樹脂に吸着したLi-7の回収
 - 冷却材のほう素濃度の低下によるLi添加量の削減
 - ✓ バーナブルポイズン活用による、冷却材中ほう素濃度の低下
 - ✓ 濃縮B-10の導入（中性子と反応するB-10を濃縮したほう酸を使用することでほう酸添加量の削減が可能）
 - Li-7代替剤の検討
 - 濃縮Li-7製造方法の検討

5. Li-7関連の研究の一例（Li代替剤）

- 米国を中心に、リチウム（LiOH）の代替剤としてカリウム（KOH）の検討が進められている²⁾。
- 天然カリウムは安価な材料であり、耐腐食性はリチウムよりも有利というデータもある。
- 過去にはVVER（ロシア型PWR）において適用実績があるが、PWR構成材料や燃料健全性に対する影響について確認する必要がある。また、運用面では、化学管理手順（B, Li, Kの3元素が対象）や廃棄物に対する影響といった評価も必要である。
- 日本国内では、日本原子力発電(株)殿がKOH環境における応力腐食割れ（SCC）に関する研究を進めており、Liと同程度といったデータも得られている。



応力腐食割れに対するLiOHとKOH環境の比較³⁾

2) K. Fruzzetti, et al., "Evaluation of Potassium Hydroxide for Reactor Coolant pHT Control in Western PWRs", proceedings of the 20th Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems (NPC2016), Brighton, UK, October 2-7, (2016)

3) K. Kakitani et al., "The Effect of Dissolved Hydrogen Concentration on the SCC Initiation of Ni-Based Alloy in the Primary Water With KOH", proceedings of 30th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE30), Kyoto, Japan, May 21-26, (2023)

- PWRプラントの1次冷却材のpH調整剤として使用されている濃縮Li-7は、中国・ロシアに生産が限定されている。
- 中国で生産される濃縮Li-7は、中国国内で消費されるため、日本を含め世界各国で使用される濃縮Li-7はロシアからの輸入に頼っている状況である。
- 価格高騰などの背景から、世界各国で対策の検討が進められており、国内でもLiの代替剤や濃縮手法の開発が進められている。
- 水化学との関係も密接なLi関連研究の重要度は増加していることから、本日の定例研究会のテーマとして「リチウムの同位体分離濃縮技術」を選定した。



MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**