重水炉と冷中性子を用いた LLFP の新しい核変換法の研究

(2) LLFP 装荷 CANDU 炉設計

Study on new transmutation method of LLFP using heavy water reactor and cold neutron

(2) Design of CANDU reactor loaded with LLFP

*飯田 拓海[1]，高木 直行[1]，高橋 信[2]，若林 利男[2]，舘 義昭[3]
[1]東京都市大学，[2]東北大学，[3]原子力機構

LLFP の中でも核変換が困難とされる Se-79、Zr-93、Pd-107 及び Cs-135 について、LLFP 照射ターゲットの炉内装荷形態、原子炉の燃料組成、中性子減速域の温度等をパラメータとして、効率的な核変換手法の検討を行った。

キーワード：核変換、LLFP、重水炉、冷中性子、重水氷

1. はじめに

中性子捕獲反応を用いた核変換における変換率の向上には、①中性子エネルギーの低減、②中性子束レベルの増大が有効である。そこで本研究では、核変換率のさらなる向上のため、以下の方法を検討した。

① CANDU 炉の一部の圧力管チャンネル内を極低温の重水氷に覆われた LLFP 円環ターゲットに置換し、約 20K まで中性子温度を下げることで反応断面積の増大を図る。

② ペレット燃料を被覆粒子燃料に置換え燃料を希釈し、原子炉出力一定として中性子束レベルの増大を図る。

2. 解析方法

本研究では、CANDU-6 の炉心仕様(図 1)[1]をベースとし、連続エネルギーモンテカルロ法による全炉心解析によって核変換率を評価した。解析には MVP-2.0 を、核データライブラリには JENDL-4.0 を用いた[2]。LLFP ターゲット領域の冷却の有無、ターゲット形状や、燃料形態（ペレット燃料、希釈被覆粒子燃料）をパラメータとし、必要な変換量を確保しつつ、高い変換率を達成する核変換法を検討した。

年間 800tonHM の処理能力をもつ六ヶ所再処理工場から生じる変換対象 LLFP 元素量は、Se 60kg、Zr 3.8ton、Pd 1.6ton、Cs 2.8ton 程度と膨大であるため、元素毎に CANDU 炉 1 基を利用して変換することを想定した。なお、Zr と Pd については、初装荷時のみレーザー同位体濃縮技術による偶奇分離を適用し、変換対象核を含む奇数質量同位体のみを装荷するものとした。LLFP の装荷体系を図 1（右）に示す。380 本ある燃料圧力管の内、32 本を極低温 LLFP ターゲットに置き換え、(燃料長 576cm に対し中性子束の低い炉心端部を除いた）長さ 495cm の LLFP 円環ターゲットを 25cmΦの重水氷内に配置した。

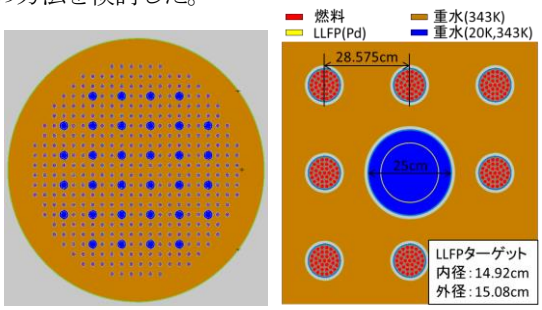

図 1. CANDU 炉心と LLFP ターゲット(Pd)の体系図

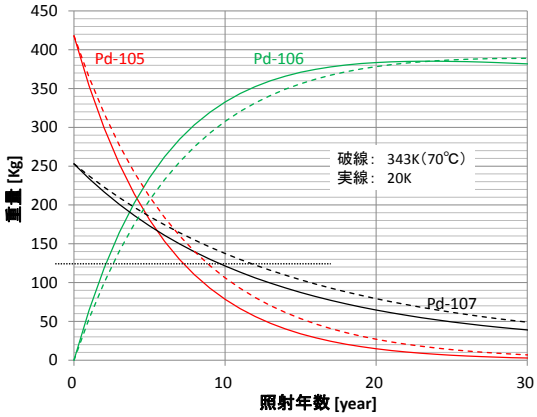

図 2. 冷中性子化による Pd-107 核変換の加速

3. 結果

燃料を通常のペレットから被覆粒子型の希釈化燃料に変更することにより、LLFP ターゲット領域の冷中性子束レベルは約 2 倍に増大した。重水氷で冷却したターゲット内での Pd-107 核変換の様子を図 2 に示す。冷中性子化により、Pd-107 の捕獲断面積は、重水タンク温度 70℃での 6.6 barn から 12.9 barn へ増大し、変換速度は約 1.2 倍に加速され、約 10 年で Pd-107 を半減処理できる結果を得た。その他の LLFP についてもほぼ同様の傾向が観測された。

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム ImPACT により、科学技術振興機構 を通して委託されたものである。

参考文献

[1] M. Ovanes, et al.: “Enhanced CANDU 6: Reactor Core Design & Fuel Cycle Flexibility” SIEN (2011)

[2] 長家康展，奥村啓介，森貴正，中川正幸，「MVP/GMVP Version2 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード」，日本原子力研究開発機構，(2006)

*Takumi Iida[1], Naoyuki Takaki[1], Makoto Takahashi[2], Toshio Wakabayashi[2], Yoshiaki Tachi[3]
[1]Tokyo City Univ., [2]Tohoku Univ., [3]JAEA