核変換サイクルにおけるチャレンジ



日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター 分離変換技術開発ディビジョン 辻本 和文

平成29年3月28日 日本原子力学会2017春の大会(東海大学) 新型炉部会企画セッション「高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減に向けた技術開発」 核変換システム概念





- ・発電炉を用いた分離変換技術
- ・ひとつの閉サイクル内でPuと共にMAをリサイクル
- ・発電炉(高速炉)内でMAを核変換

・発電用サイクルに核変換サイクルを付設
 ・核変換専用システム(加速器駆動システム: ADS 等)
 ・コンパクトな核変換サイクルにMAを閉じ込める

加速器駆動システム





MA添加による炉心特性の変化





●MAの遅発中性子割合は小さい						
核種	U-238	Np-237	Pu-239	Am-241	Am-243	Cm-244
遅発中性子割合	1.8%	0.44%	0.21%	0.15%	0.25%	0.13%



ADSを中心とした「階層型」分離変換技術





目指すADS分離変換システム



<MA分離プロセス>

◆群分離:商用サイクル高レベル廃液からの溶媒抽出法によるMAの分離回収 ←高速炉システムと共通技術

<ads
>

- ◆超電導陽子加速器 液体Pb-Biターゲット UフリーMA燃料、Pb-Bi冷却
- ◆研究開発課題:加速器開発、ビーム窓材料、Pb-Bi取扱技術、未臨界炉計測制御技術等

<MA燃料サイクル>

- ◆MA燃料:窒化物を第一候補
- 【高融点、高熱伝導性、高MA濃度・多様なMA組成が可】 ◆MA燃料処理:溶融塩一液体金属を用いる乾式再処理
 - MA燃料処理液陶塩一液体並属を用いる乳丸再処理
 - 【コンパクトな装置で、高濃度MAが取扱可能、窒素-15が回収可能】

<u>実現性、実用性等を判断できる段階まで研究開発レベルを上げる</u>

JAEAで検討しているMA核変換用ADSの概略仕様



- 陽子ビーム: 1.5GeV ~30MW
- 核破砕ターゲット: Pb-Bi
- 冷却材:Pb-Bi
- 実効増倍率: k_{eff} = 0.97
- 熱出力: 800MWt
- 初装荷MA量 : 2.5t
- 燃料組成 :

(MA+Pu)窒化物 + ZrN

Zone-1 : Pu/HM = 30.0%

Zone-2 : Pu/HM = 48.5%

• 核変換率:

10%MA/年 (10基分のLWR相当)

• 600EPFD, 1バッチ

ADS用超伝導加速器





(JAE

試作クライオモジュール

- 超伝導加速器用のクライオモジュール(9セル超伝導空洞を2台実装)を試作。試作クライオモジュールの試験結果を基にADS用の超電導リニアックの概念設計を実施。
- □ J-PARCの陽子リニアック (400MeV, 25Hz) の運転経験の蓄積。



<u>J-PARCの400MeVリニアック</u>

陽子ビーム窓の工学的成立性に関する検討









ロ 酸素センサー校正装置

- 液体鉛ビスマス中での鋼材腐食の防止に必須 の酸素濃度制御用の酸素センサーの開発。



- ロ 材料腐食試験ループ: OLLOCHI (Oxygen-controlled Lbe LOop for Corrosion tests in HIgh temperature)
 - 酸素濃度制御下での液体鉛ビスマス中における 鋼材腐食試験用鉛ビスマスループ。



ロ TEF-Tモックアップ試験ループ:IMMORTAL

(Integrated Multi-functional MOckup for TEF-T Real-scale TArget Loop)

- ADSターゲット試験施設(TEF-T)用の総合機能 試験用の鉛ビスマスループ。

(JAE

未臨界体系の炉物理実験





FFAG accelerator





KUCA A-core

100 MeV p beam

京都大学臨界実験装置(KUCA: Kyoto University Critical Assembly)

roton

line



1/8"PE × 73

Polyethylene

reflector

48.58 cm

50.88 cm

S6)

C1

(S5)

F

+10"PE ×

Unit cell (1/16"HEU × 2+1/8"(PE or Pb-Bi))

30 cells

(Pb-Bi)

19.05 cm

F

5 cells

9.53 cm



1/8"PE × 27+10"PE × 1

Polyethylene

reflector

58.42 cm

64.02 cm

(C2)

S4

(C3)

5 cells

9.53 cm

溶媒抽出によるMA分離プロセスの開発



➢ MA・RE一括回収プロセス

- 実廃液(再処理ラフィネート)を用いた抽出試験を実施し、Amの検出限界以下までの回収 等を確認。
- ➢ MA/RE相互分離プロセス
 - MA・RE一括回収と組み合わせた小規模実廃液試験を実施。
- ➢ Am/Cm分離プロセス
 - Am/Cm間に高い分離性能を有する抽出剤ADAAMを見出し、トレーサーを用いた連続 抽出試験により、AmからCmを90%以上分離を達成。



MA核変換用窒化物燃料の概念

- ▶ 化学形: (MA,Pu,Zr)N 窒化物単相固溶体
 - MA:Np, Am, Cm
 - ZrN:不活性母材(希釈材)
- ≻ 組成
 - MA/Pu~60/40 (mol%)
 - (MA+Pu)/Zr:45/55~20/80 (mol%)
- ≻ 特徴
 - 重元素密度大
 - 優れた熱特性(高熱伝導・高融点)
 - MA組成自由度大(全率固溶·NaCI型結晶構造)

MAを高濃度で添加するのに適した燃料形態

- ➤ MA(+Pu)窒化物への転換:2つの経路が並立
 - 商用サイクルからの分離MA→酸化物の炭素熱還元
 - 乾式処理回収MA+Pu→(Cd,MA,Pu)の蒸留窒化
 - 🔷 少量の手工業レベルでは原理実証済み



ADSを用いた階層型燃料サイクルの概念図



MA核変換用窒化物燃料の製造技術の概要





*MA分離、MA燃料製造、燃料再処理各プロセ スでの減損率を等しいと仮定

炭素熱還元法:AnO₂+2C+1/2 N₂=AnN+2CO↑ 蒸留窒化法:AnCd_x+1/2N₂=AnN+xCd↑ (An:アクチノイド)

MA核変換用窒化物燃料の乾式再処理技術の概要の



MA窒化物燃料の乾式再処理プロセスの概略

乾式再処理法の特徴

・硝酸・有機溶媒の替わりに高温融体(溶融 塩・液体金属)を、バッチ処理で用いる
○MAの高濃度の取扱い可能
⇒高放射性・発熱性物質でも取扱い可能
⇒コンパクトなプロセスによる経済性
○15Nの回収が可能
×不活性ガス雰囲気での操作が必要
×高温融体取扱技術や計量管理技術の開 発が必要

<u>MA核変換用</u> 窒化物燃料乾式再処理の課題
・各工程でのMA挙動把握
・プロセス設計(バッチ処理、複数工程)
・不活性母材の分離
・TRU損失率の低減 (目標0.1%以下)
・TRUの発熱、臨界、計量等を考慮した
工学化が可能な装置の設計

MA窒化物燃料とそのリサイクルに関する研究開発





電解後の液体Cd陰極

再窒化回収粉末 (U,Pu

Ľ)

(U,Pu)N焼結ペレット

MA含有窒化物燃料の照射挙動評価
 (Pu,Zr)N 及び PuN+TiN のJMTR照射試験
 ・軽水炉燃料ふるまい解析コード(FEMAXI-7)
 をベースに、MA核変換用窒化物燃料用の
 コードを整備

ADSによる核変換技術の実用化に向けた道筋



J-PARCにおける核変換研究計画 将来計画:核変換実験施設(J-PARC第Ⅱ期)





J-PARCにおける核変換研究計画 核変換実験施設 (TEF)の概要





まとめ



■分離変換技術

分離変換技術は、高レベル廃棄物潜在的毒性の低減や処分場面積の低減により、高レベル廃棄物処分の負担を軽減する可能性のある技術。

■核変換システム

- ▶ 核変換システムとしては、FBRに薄く添加する方法とADSを用いて集中的に核変換する方法に大別される。
- ▶ JAEAでは、FBR及びADSによる核変換システムのR&Dを実施。

■今後の原子力利用の中での分離変換の役割

- ▶ 将来の原子力利用のあり方全体の中で、現実的な議論が必要。
- 研究者・技術者の役割:技術の実用化が見通せる開発段階を達成し、 社会的要請があれば実用開発に展開できる技術を保有する。