

2021年9月7日

原子力資料情報室 連続ウェブ講座2021【第5回】

# 新型炉問題—高速炉を中心に

滝谷紘一

(元・原子力技術者、原子力資料情報室会員)

# 目次

1. 新型炉とは
  2. 高速炉の特徴
  3. 日本的高速炉開発の歩み
    - 3.1 原型炉の廃止、実証炉計画の白紙化
    - 3.2 開発戦略のやり直し
    - 3.3 「戦略ロードマップ」の策定
    - 3.4 「戦略ロードマップ」の問題点
  4. 海外の高速炉開発
- まとめ

おもな参考文献一覧

# 1. 新型炉とは

実用軽水炉とは異なる次世代用の型式・発電容量の原子炉

- (1) **高速炉**： ウラン資源の有効活用、超ウラン元素の短寿命化、高レベル廃棄物の減容

冷却材には液体金属(ナトリウム、鉛)、ガス(ヘリウム)

- (2) **超高温ガス炉**： 熱の多目的利用（発電、水素製造、製鉄など）
- (3) **熔融塩炉**： 液体燃料は冷却材を兼ね、系統簡素化、安全性向上
- (4) **超臨界圧水冷却炉**： 貫流方式で系統簡素化、発電効率向上
- (5) **小型モジュール炉**： 工場製作率大、建設費・工期の短縮、固有安全性の取入れ、電力需要への柔軟性

<参考> 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム  
(GIF: Generation IV International Forum) 資料 など

## 2. 高速炉の特徴

### ●エネルギーが大きい 高速中性子を利用

- 軽水炉: 0.5eV以下  
(核分裂で生じる高速中性子を減速材により熱中性子にする)
- 高速炉: 0.5MeV以上
  - Pu-239が核分裂しやすい
  - U-238からPu-239が作りやすい  
$$\text{U-238} + n \Rightarrow \text{U-239}$$

(非核分裂元素) ↓ β崩壊 **Np-239**

↓ β崩壊 **Pu-239**

(核分裂元素)
  - 長寿命元素を核変換で壊しやすい

※中性子再生率 $\eta$ : 核燃料が中性子1個を吸収した時に核分裂で生じる中性子の平均個数

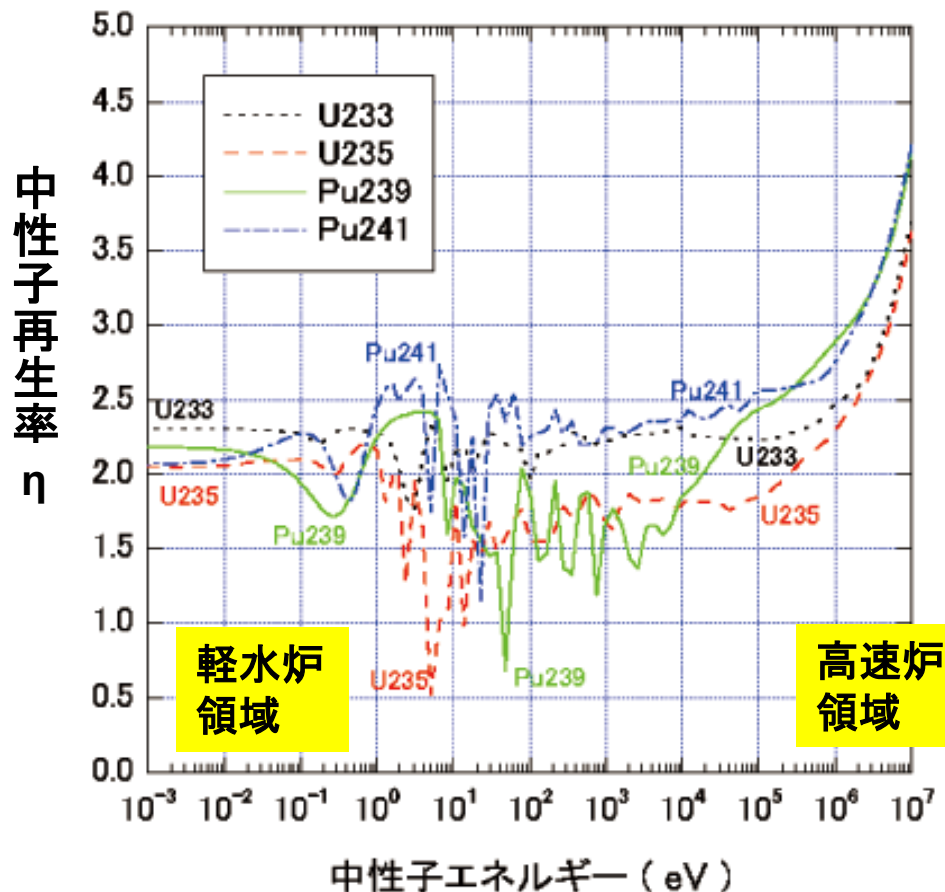


図1  $\eta$  の中性子エネルギーに対する変化

(原図の出典: ATOMICA)

## ●冷却材の特性

◎優 ○良 △可

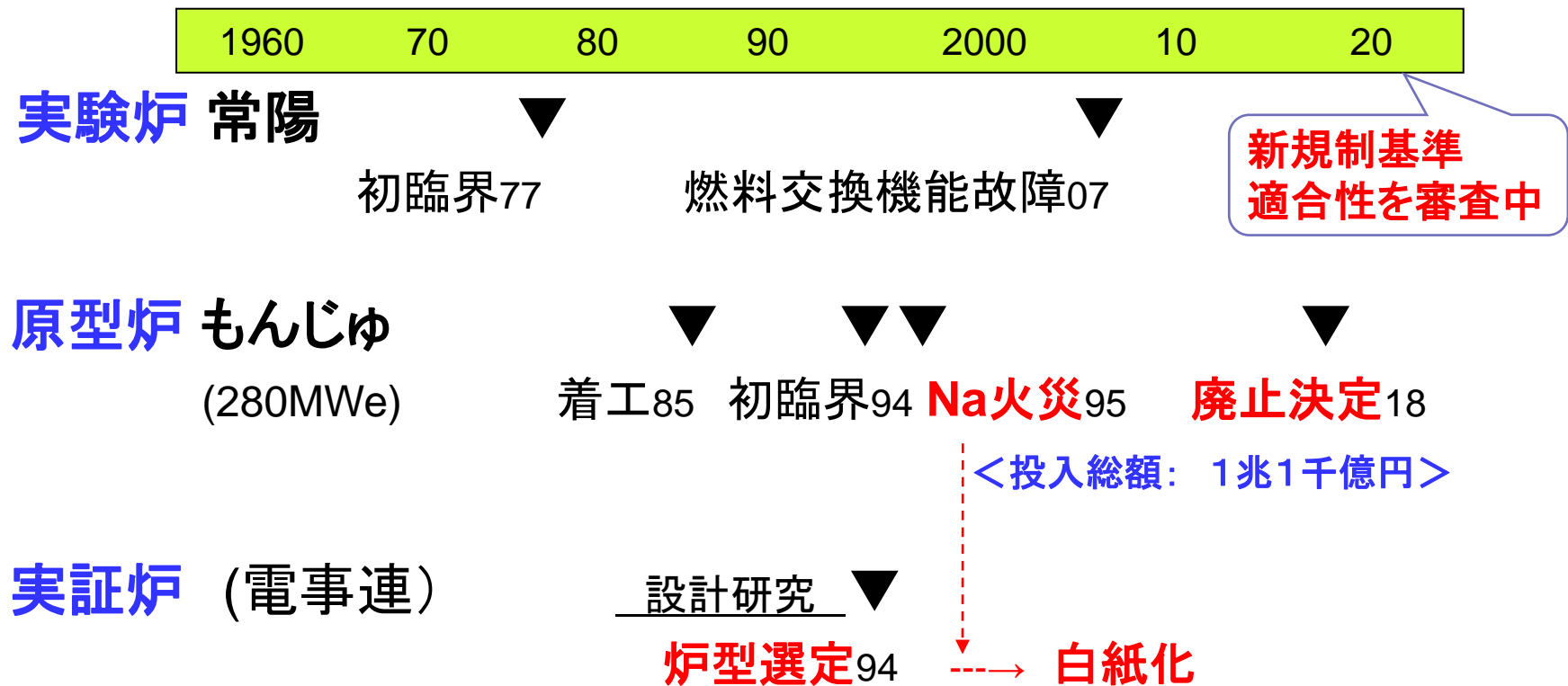
項目	ナトリウム	鉛	ヘリウム
伝熱性能	◎	○	△ 出力密度が小 ⇒物量大、コスト高
化学的安定性	△ 酸素及び水と 激しく反応	◎	◎
金属材料との 共存性、その他	◎ 材料腐食性小	△ 材料腐食性大 △ 比重大で大型炉 の耐震性に難	△ 耐熱材料が 必要、コスト高

## ●ナトリウム炉の安全性問題

- ①ナトリウム燃焼・火災： もんじゅ及び海外炉で事例
- ②ナトリウム・水反応： 海外炉の蒸気発生器で事例
- ③炉心崩壊事故： 中・大型炉では、**ボイド反応度が正の場合あり** ⇒  
過酷事故(電源喪失+炉停止失敗でナトリウム沸騰)時に 出力暴走し  
機械的エネルギー発生。また、溶融燃料移動で再臨界のおそれも

### 3. 日本的高速炉開発の歩み

#### 3.1 原型炉の廃止、実証炉計画の白紙化



○トップエントリー方式ループ型炉、660MWe。着工目標2000年代初頭

○実用炉の建設コストは大出力化と習熟効果により軽水炉比110%程度と評価

## 3.2 開発戦略のやり直し

2000

2010

2020

**△福島第一原発事故**

◆原子力機構 実用化戦略調査研究(1999~2005)

三菱重工、MFBR 高速増殖炉サイクル実用化研究開発

(FaCT: 2006~15予定)

フェーズ I      フェーズ II **中断**

<革新技術評価> <2015実用化像、25頃実証炉運開>

◆経産省(主導)

高速炉開発会議／**戦略WG** (2016~18)

**「戦略ロードマップ」  
策定**

### 3.3 「戦略ロードマップ」の策定

○2016.12 原子力関係閣僚会議「**高速炉開発の方針**」決定：  
今後10年程度の開発作業用の「**戦略ロードマップ**」の策定を求める

○**高速炉開発会議**（事務局 経産省）：メンバー5名、

経産大臣・文科大臣・原子力機構理事長・電事連会長・三菱重工社長

○**戦略WG**：計16回 ヒアリング。政府機関、民間企業、海外政府機関

○2018.12 「**戦略ロードマップ**」を決定

- ・ **意義** ①資源の有効利用  
②高レベル廃棄物の減容化と有害度の低減
- ・ **ステップ1** 5年間程度は民間のイノベーション活用による多様な技術間競争を促進
- ・ **ステップ2** 2024以降に採用できる技術の絞り込みを、国、原子力機構、電気事業者がメーカーの協力を得て実施
- ・ **ステップ3** 現実的なスケールの高速炉の運転開始に向けた工程の検討
- ・ **国際協力の活用**： 仏、米等との2国間及び多国間ネットワーク



### 3.4 「戦略ロードマップ」の問題点

- 開発推進を前提：「もんじゅ」失敗の検証・総括なし
- エネルギー需給変化、再エネ発電増加等を踏まえた開発是非の論議抜き
- メンバーの偏り：推進機関からのみ任命
- 国の予算付けの旗印にすぎず：具体性のない中身

<予算実績>

単位：億円

項目／年度	2019	2020	2021	2022
・国際協力技術開発委託費（経産省）	41.5	40	43.5	概算要求中
・高速増殖炉サイクル技術の研究開発（文科省）	253	252	251	同上

## 4. 海外の高速炉開発

国	実験炉	原型炉	実証炉	実用炉
米	EBR-1、2 フェルミ炉 ・燃料溶融 FFTF	クリンチリバー炉 ＜建設中止 1983＞ ・核不拡散対策 ・建設費高騰	なし	なし
英	DFR ・ナトリウム漏れ	PFR ＜廃止＞ ・蒸気発生器伝熱管大破損	なし	
独	KNK-II	SNR-300 ＜廃止＞ ・ナトリウム漏れ多数	なし	
仏	Rhapsodie ・燃料棒破損	Phenix ＜廃止＞ ・蒸気発生器伝熱管破損 ・炉心反応度低下	Super Phenix ＜廃止＞ ・炉外燃料貯蔵ナトリウム漏れ	
露	BR5/10 BOR-60	BN-350 ＜廃止＞ ・ナトリウム漏れ	BN-600 ・ナトリウム漏れ BN-800 BN-1200 (計画中)	
中国	CEFR		CFR600建設中、'23目標	
インド	FBTR	PFBR		

## ◆ 海外の最近の動き

### (1) 仏ASTRID計画の中断

- ・ 2010 第4世代の高速実証炉(600MWe)として計画
- ・ 日仏共同研究: 2014~19年度、通産省が合計320億円出資
- ・ 2017末、仏政府「商用配備の緊急性は小さくなった」として**中断**  
⇒ CEA (原子力・代替エネルギー庁) は、ナトリウム高速炉シミュレーションの実験施設(原型炉100~200MWe)を提案。 **建設判断は 2024予定**

### (2) 米VTR\*(多目的高速試験炉)計画

\*Versatile Test Reactor

- ・ DOE (エネルギー省)プロジェクト: 開始2019。 **稼働目標 2025**
- ・ 高速中性子照射試験炉: 次世代炉用の燃料、材料、検出器などの開発
- ・ ナトリウム冷却タンク型炉、熱出力300MW
- ・ 燃料タイプ: 最初はU/Pu/Zr金属合金。後にHALEU\*、高濃縮Uなど  
\*High-Assay Low-Enriched Uranium: 濃縮度5~20%の金属合金燃料
- ・ GE-Hitachi Nucl. Energy とTerra Power社 が参加 (2020.1)
- ・ **建設判断は 2022予定**

## ◆ 海外の最近の動き (続)

### (3) 米Terra Power社のNATRIUM™

- ・ ナトリウム冷却タンク型中型炉(345MWe)
- ・ 2次冷却材に熔融塩を採用し、原子炉の熱を熔融塩の熱エネルギー貯蔵タンクに運ぶ。蒸気発生器を介して蒸気タービンにより発電。  
負荷追従運用ができ、500MWe×約5.5時間の給電能力
- ・ 燃料タイプ: 実証炉と初期実用炉では、金属燃料のHALEUの予定
- ・ 金属燃料炉心は温度係数が負で、炉心温度が異常上昇すると出力が自動的に低下 (固有安全)
- ・ GE-Hitachi Nucl.Energyが参加。同社の次世代炉PRISMを技術ベース
- ・ DOEが初期資金として \$80M 付与 (2020.10)
- ・ ワイオミング州に第1号建設を発表。建設に約7年要する見込み (2021.6.2)

## まとめ

- 国は「もんじゅ」失敗の総括をすることなく、高速炉開発に固執。  
着手から50年以上かけても実用化できない技術開発は中止すべき。国費と人材を浪費してはならない。
- ナトリウム冷却高速炉は、安全性、経済性、運転・保守性のいずれも軽水炉を上回ることには現実性なし。
- エネルギー基本計画(案)へ意見を提出しよう！

### 【記載箇所と記述文】

(b)核燃料サイクル政策の推進 (71頁)

(ア)再処理やプルサーマル等の推進

「高速炉開発の方針」及び「戦略ロードマップ」の下、米国や仏国等と国際協力を進めつつ、高速炉等の研究開発に取り組む。

パブコメ期間 9月3日～10月4日： 破綻が明らかな「核燃料サイクル政策」と「高速炉研究開発」の削除を求めよう！ 意見募集URLは下記

<https://public-comment.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=620221018&Mode=0>

## おもな参考文献一覧

1. **Generation IV International Forum (GIF)について**
  - 外務省： 第4世代原子力システムに関する国際フォーラム  
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/atom/gif.html>
  - GIF 2020 ANNUAL REPORT:  
[https://www.gen-4.org/gif/jcms/c\\_177510/sfr-gif-2020-annual-report](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_177510/sfr-gif-2020-annual-report)
2. **高速炉開発会議について**
  - (第1回～第5回)配布資料の掲載案内サイト:  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/kosokuro\\_kaihatsu/index.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/kosokuro_kaihatsu/index.html)
3. **高速炉開発会議戦略ワーキンググループについて**
  - 第1回～第16回の配布資料の掲載案内サイト:  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/kosokuro\\_kaihatsu/kosokuro\\_kaihatsu\\_wg/index.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/kosokuro_kaihatsu/kosokuro_kaihatsu_wg/index.html)
4. **米国の多目的高速試験炉VTRについて**  
<https://www.energy.gov/ne/versatile-test-reactor>
5. **Terra Power社のNATRIUM™ について**  
<https://www.natriumpower.com>

その他