

## - 参考資料 -

- 1 海外の動向（フランス原子力庁の放射性物質の持続可能な管理に関する報告書）
- 2 技術の達成度の評価
- 3 研究開発に利用する施設
- 4 分離変換システム研究開発の全体像

## ① 報告書の位置づけ

- 放射性物質及び廃棄物の持続的管理に係る2006-739法(2006年6月28日)では、使用済燃料管理方針を定義、以下2原則を補足；
  - 適切に処理した最終放射性廃棄物の量及び毒性を低減する使用済燃料処理・リサイクル政策の妥当性を確認する
  - 高レベル且つ長寿命の最終廃棄物については深地層処分をレファレンスとする
- また、政令PNG-MDR(2008年4月16日, 2012年4月23日)により2006-739法(2006年6月28日)を補完。CEAに対し、以下の方針のもと「長寿命放射性元素の分離・核変換研究を取り纏めること」を要請。
  - 2005-781法(2005年7月13日)第5条 に述べる次世代原子炉に係る研究及び廃棄物核変換に特化した加速器駆動未臨界原子炉研究と関連して実施する
  - 2012年までに産業化見通しを評価する
  - 2020年12月31日までに原型施設(プロトタイプ施設)を運開する、このため2012年報告書によってオプション選択が可能であるように取り纏める
- 同要請に従いCEAは報告書を取り纏めた。
- 現在フランス政府が、本報告書のレビューを実施中。



# 1. CEA2012年報告書の概要

## ② 報告書の構成

- CEAが放射性廃棄物管理機関(ANDRA)、国立科学研究センター(CNRS)、大学、アレバ社、フランス電力(EDF)と共同でまとめた

- 報告書は5巻構成

第1巻: 第4世代原子炉による放射性物質の持続可能な管理

第2巻: 長寿命放射性核種の変換

第3巻: 第4世代ナトリウム冷却高速中性子炉—技術実証炉ASTRID

第4巻: 第4世代ガス冷却高速中性子炉—実験炉ALLEGRO

第5巻: まとめと勧告

# 1. CEA2012年報告書の概要

## ③ 第5巻「まとめと勧告」の概要(1/2)

1. 使用済燃料に含まれるU及びPuをリサイクルする高速炉の使用をベースとした第4世代システムの開発により、温室効果ガスを排出せずに電力を生産する将来の見通しが提示される。それは、安全かつ経済競争力があり、核物質の持続可能な管理という目的を達成するものである。
2. 第4世代高速炉システムの開発能力を有していることは、長期的なエネルギー供給保障だけでなく、産業競争力及び雇用に関しても、フランスにとっての国家資産である。
3. フランスでは、2種類の主たる第4世代高速炉システム(ガス冷却高速炉とナトリウム冷却高速炉)を研究中である。現状、ナトリウム冷却高速炉は、今世紀前半に配備する場合に対する最良の解決策と思われる。それには、豊富な実績に基づく最高の産業的成熟度、明確化された将来開発への道筋(特に安全性に関して、CEAによって実施された研究により、主な技術的ブレークスルーの見通しが、ここ数年で得られている。)といった、いくつかの本質的な優位性が組み合わさっている。ガス冷却高速炉は様々な観点から有望な代替選択肢であるものの、技術実証炉の建設の前にまだ多くの研究努力を必要とし、産業的成熟には程遠い。
4. 電気出力60万kWの統合技術実証炉ASTRID(Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)は、産業化に向けて必須のステップである。主な産業的特徴をそなえ、革新的概念の検証のために設計されている。現在実施中の研究開発により、特に安全性及び運転性に関するとりわけ革新的なオプションの選択が可能となる。
5. ASTRIDプロジェクトは幅広い協力体制の下で進められている。フランス国内ではフランス電力(EDF)、アレバ社、アルストム社、ブイグ社、コメックス・ニュークレエール社、ヤコブ・フランス社などが参加、国外では東芝、ロールスロイス社、アストリウム社の参加のほか、GIFや二国間協力の活動がある。現在の計画によると、早くて2017年に詳細概念設計を完了し、2020年代前半の運転開始を目指した建設開始を判断する。
6. エネルギーの安定供給を第一優先とするいくつかの国では、高速炉の導入をより早く開始する可能性がある。フランスにおいて発電用高速炉の導入について様々なオプションを検討してきた。第一段階として、高速炉を基数を限定して導入し既存の軽水炉と併用する段階的アプローチが適切であるとCEAは考える(大規模導入は第二段階に予定)。検討の結果、2040年頃に予定される第一段階の導入開始時期を遅らせるべきではないことも示された。EDFとAREVAによる導入シナリオ研究によって、このアプローチを精緻化する予定である。

# 1. CEA2012年報告書の概要

## ④ 第5巻「まとめと勧告」の概要(2/2)

7. 高速炉は核物質管理の観点から柔軟性が極めて高い。必要に応じて、外部の天然U資源に頼らずに追加の発電容量を増加することが可能である。あるいは、高速炉をいつか段階的に廃止する場合には、燃焼炉モードにより核物質のインベントリを減らすことができる。
8. MAの核変換は、深地層処分の必要性を排除するものではないが、より長期に渡る発展への道を開く可能性がある。長寿命の高レベル放射性廃棄物の処分場面積を1/10に縮小する可能性がある他、数世紀後に廃棄物の放射能毒性を1/100にまで減少させる可能性がある。
9. MAの分離技術の実現可能性は、今日検討されている全てのプロセスについて実験室レベルで実証済である。それらプロセスを産業規模まで外挿することに対し理論的な障害はない。プロセスの最適化と技術体系確立のための研究開発を追求することが考えられる。
10. Amの核変換の実現可能性は、高速炉の炉心部において、均質モードでの数個のペレット規模で実証されている。炉心周辺部における非均質核変換オプションについては、最初の照射試験分析を現在実施中である。
11. 核変換は、専用の独立した階層においても行うことができる。そこには高いMA濃度を受け入れるよう設計された加速器駆動システム(ADS)が含まれる。それらのシステムを産業用に成熟させるために必要な研究開発努力は、今日までの進展にもかかわらず、臨界システムに比べ遙かに大きなものになると考えられる。さらに、(今日研究されている装置の場合、) ADSによる核変換は、臨界炉を用いる場合と比べkWhあたりのコストについて20%の増加を生じる。
12. 高速炉における核変換の産業規模での実施効果を(異なる可能なモードについて)様々なクライテリアに従って評価した。最終廃棄体の性質において著しいメリットが示されたが、特に核物質サイクルにおける操作に対するデメリットも示された。高速炉の発電コストへの核変換の影響は5%から10%程度である。(kWhあたりのコストは大部分が炉のコストによって決まり、核変換オプションの導入によって僅かしか影響を受けない。)産業規模での実施については、種々の側面、特にMA含有物の製造及び取扱いの側面を評価するために、持続的な研究開発努力が必要である。

## 2. 技術の達成度の評価

- 主概念(ナトリウム冷却高速炉、酸化物燃料、ペレット燃料製造、湿式再処理による均質サイクル)を対象として、今後の研究開発により期待される開発効果を評価

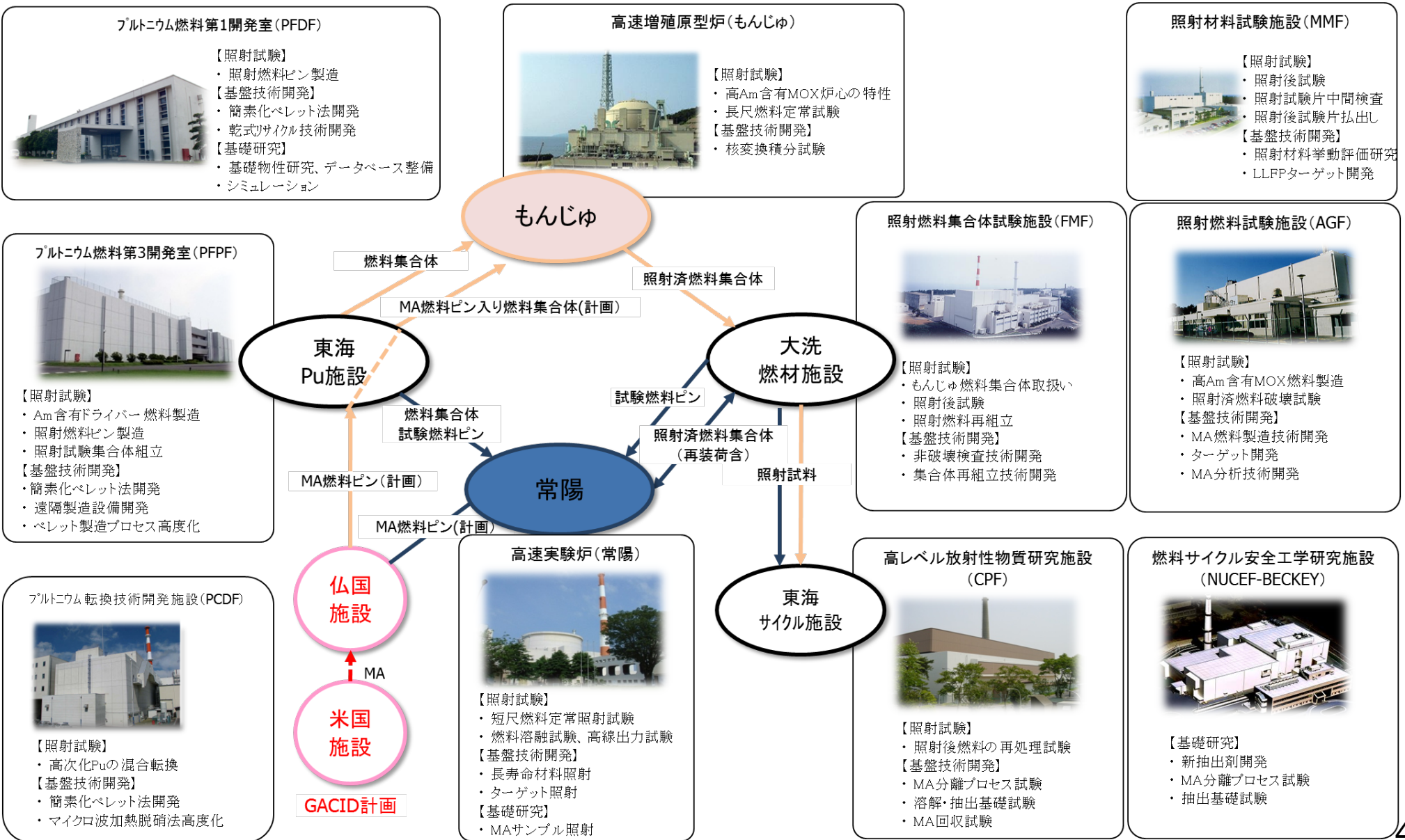
### 【2009年時点の評価】(注)

### 【研究開発により期待される効果】

<b>炉特性・ 炉システム</b>	MOX燃料炉心:「工学研究段階」への移行段階 MA含有MOX燃料炉心:核データの精度は不十分、重要な積分量評価のための積分実験も課題 Na冷却プラント:「工学研究段階」への移行段階	MOX燃料炉心:「もんじゅ」データにより「工学研究段階」まで進展 MA含有MOX燃料炉心:「もんじゅ」データによりAm含有炉心は「工学研究段階」への移行段階まで進展 Na冷却プラント:「もんじゅ」データにより「工学研究段階」まで進展
<b>燃料開発及び 照射試験</b>	MOX燃料:「工学研究段階」への移行段階 MA含有MOX燃料研究:「基礎研究段階」から「準工学研究段階」への移行段階	MOX燃料:「もんじゅ」データにより「工学研究段階」へ進展 MA含有MOX燃料研究:「もんじゅ」、「常陽」照射試験及び照射後試験により、Am,Np含有MOX燃料については、「準工学研究段階」から「工学研究段階」への移行段階まで進展
<b>燃料製造技術</b>	MOX燃料製造:「工学研究段階」 MA含有MOX燃料製造:Np,Am含有は実験室規模で基本的成立性確認済み。Cm含有は未着手。 簡素化ペレット法:「準工学研究段階」	MOX燃料製造:「工学研究段階」の中で、実用に向けて進展 MA含有MOX燃料製造:「もんじゅ」照射試験燃料製造により、Am,Np含有は、「準工学研究段階」まで進展 簡素化ペレット法:「準工学研究段階」としての研究を概ね終了し、「工学研究段階」の計画検討に入る
<b>再処理技術</b>	U, Pu分離:「実用段階」への移行段階 U, Pu, Np共抽出:「準工学研究段階」から「工学研究段階」 MA分離(SETFICS):「準工学研究段階」 MA分離(抽出クロマト):「基礎研究段階」	U, Pu分離:六ヶ所再処理施設稼働により「実用段階」まで進展 U, Pu, Np共抽出:抽出基盤研究により「準工学研究段階」としての研究を概ね終了し、「工学研究段階」の計画検討に入る MA分離(SETFICS及び抽出クロマト):抽出クロマトの基盤研究、両者の性能比較により「準工学研究段階」まで進展

(注)原子力委員会 研究開発専門部会 分離変換技術検討会:「分離変換技術に関する研究開発の現状と進め方」(2009年4月)を参考に原子力機構にて評価。上記検討会では、技術の達成度を示す指標として、「フィージビリティ研究段階」、「基礎研究段階」、「準工学研究段階」及び「工学研究段階」が使用されており、本表ではこれに「実用段階」を追加した。

# 3. 研究開発に利用する施設

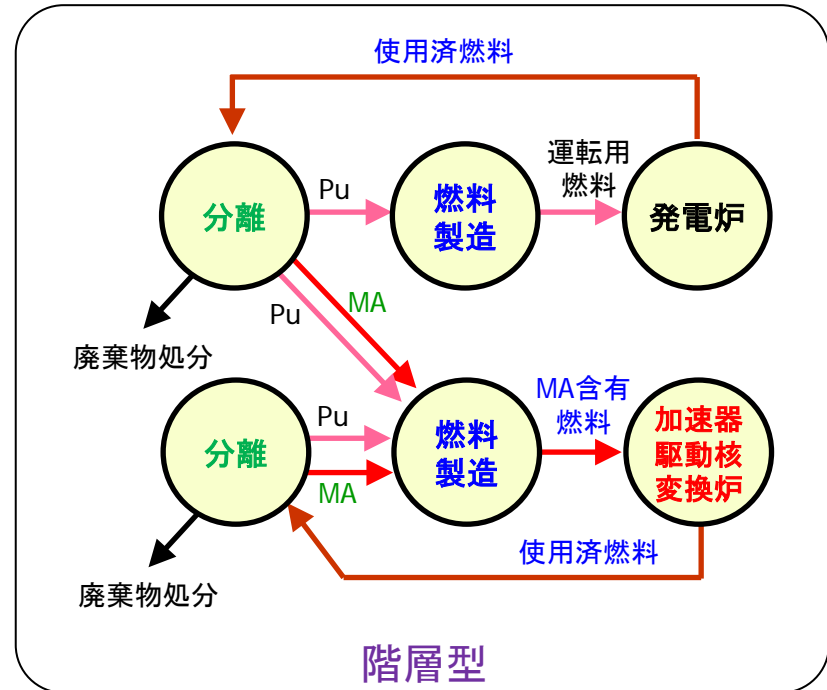
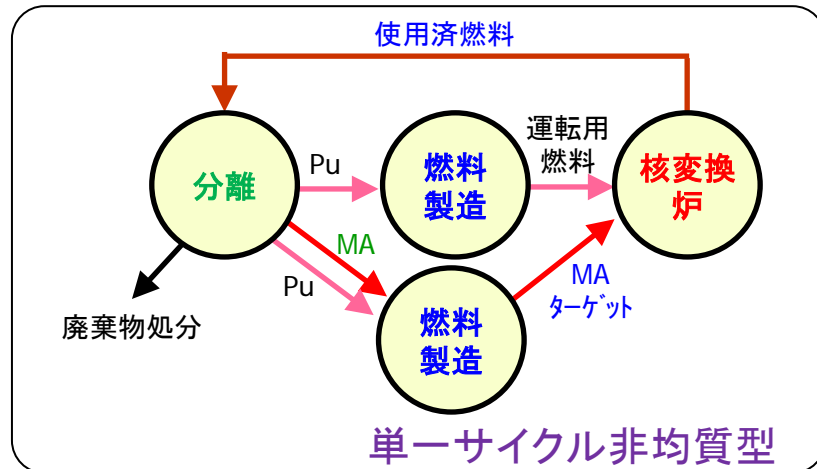
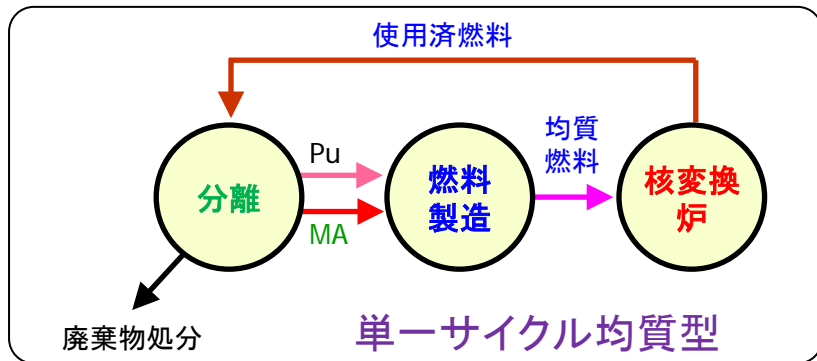


# 4. 分離変換システム研究開発の全体像

## ① 主なオプション概念

● 分離変換システムとしては、Na冷却MOX燃料高速炉での均質MAサイクル以外にも、多数のオプション概念があり、研究開発に当たり、これらの研究開発との連携を考慮すべき

- MA装荷概念：(単一サイクル均質型、単一サイクル非均質型、階層型)
- 核変換装置：高速炉(Na冷却、Pb-Bi冷却、ガス冷却等)、ADS(Pb-Bi冷却等)
- 燃料形態：U/Pu(酸化物、窒化物、金属等)、Th(熔融塩等)、
- 分離サイクル：(Pu、Pu/Np+Am、Pu+Np+Am+Cm、)、湿式/乾式





# 4. 分離変換システム研究開発の全体像

## ② オプション概念と研究開発の進め方

- 研究開発要素は、オプション概念との関係から、概ね以下に分類できる
  - オプション概念毎に行うべき研究開発(オプション概念に関する研究開発等)
  - 複数オプション概念に共通する技術(MA分離プロセス、遠隔取扱い技術等)
  - 分離変換に関する共通的なMA基礎データ(中性子反応断面積、物性値等)
- 核変換装置及び燃料形態の各概念の開発レベルには大きな差があり、分離サイクルのレベル(Cm取扱いの有無等)により開発難易度は大きく異なる

