

# フランスにおける 高速炉 (ASTRID) について

日本原子力研究開発機構

佐賀山 豊

平成26年3月12日

# 目次

- 分離変換技術とは
- 分離変換を組み込んだ核燃料サイクル
- 海外の高速炉開発実績と現在の開発状況
- フランスの高速炉開発(概要)
- フランスの核燃料サイクル戦略(分離オプション)
- フランスの技術実証炉ASTRIDについて
- フランスの技術実証炉ASTRIDの開発計画
- 高速炉開発で連携 日仏首脳合意



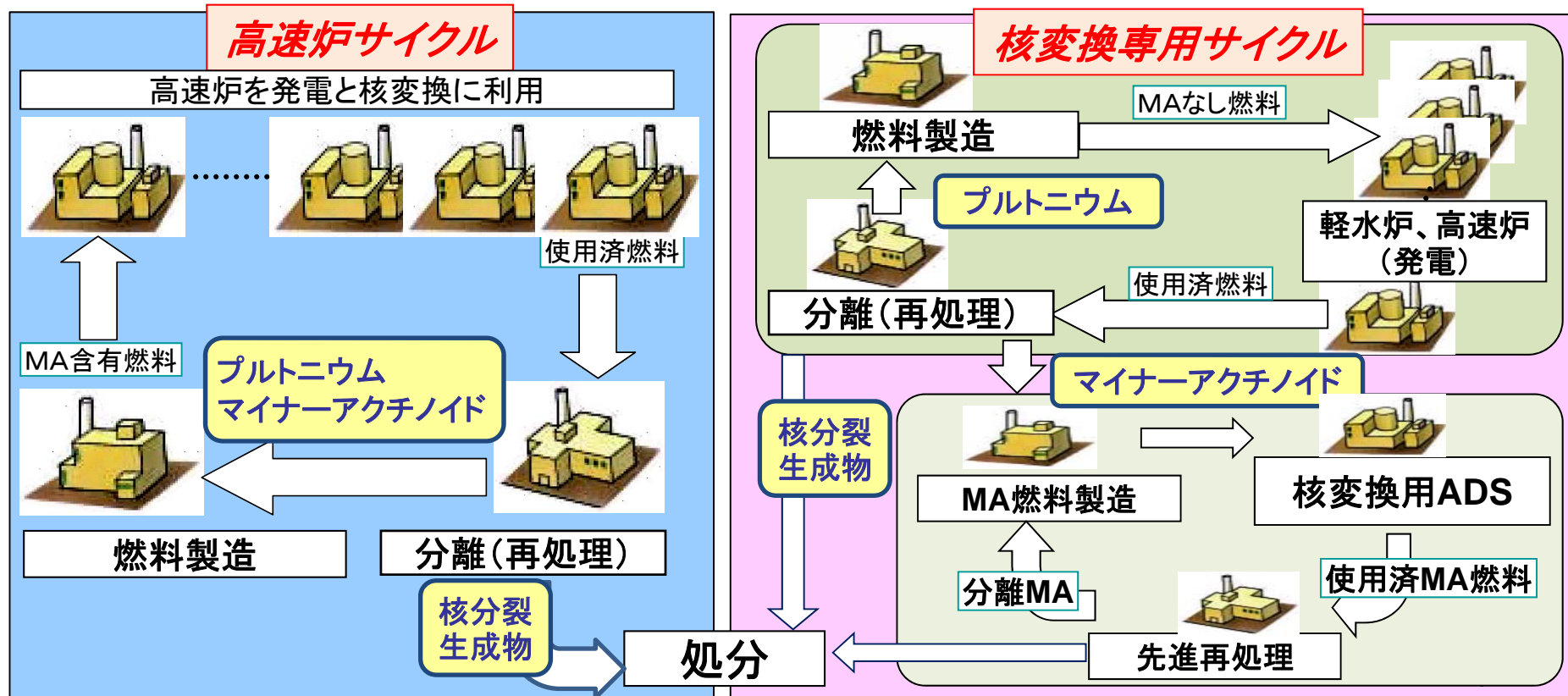
# 分離変換を組み込んだ核燃料サイクル

## □ 高速炉サイクル

- ◆ 単一なサイクル
- ◆ 原型炉が存在し実証段階(工学規模)、実用化が見通せる研究開発段階
- ◆ マイナーアクチノイド(MA)リサイクルの技術基盤を整備中、工学的な実証データの充足が課題

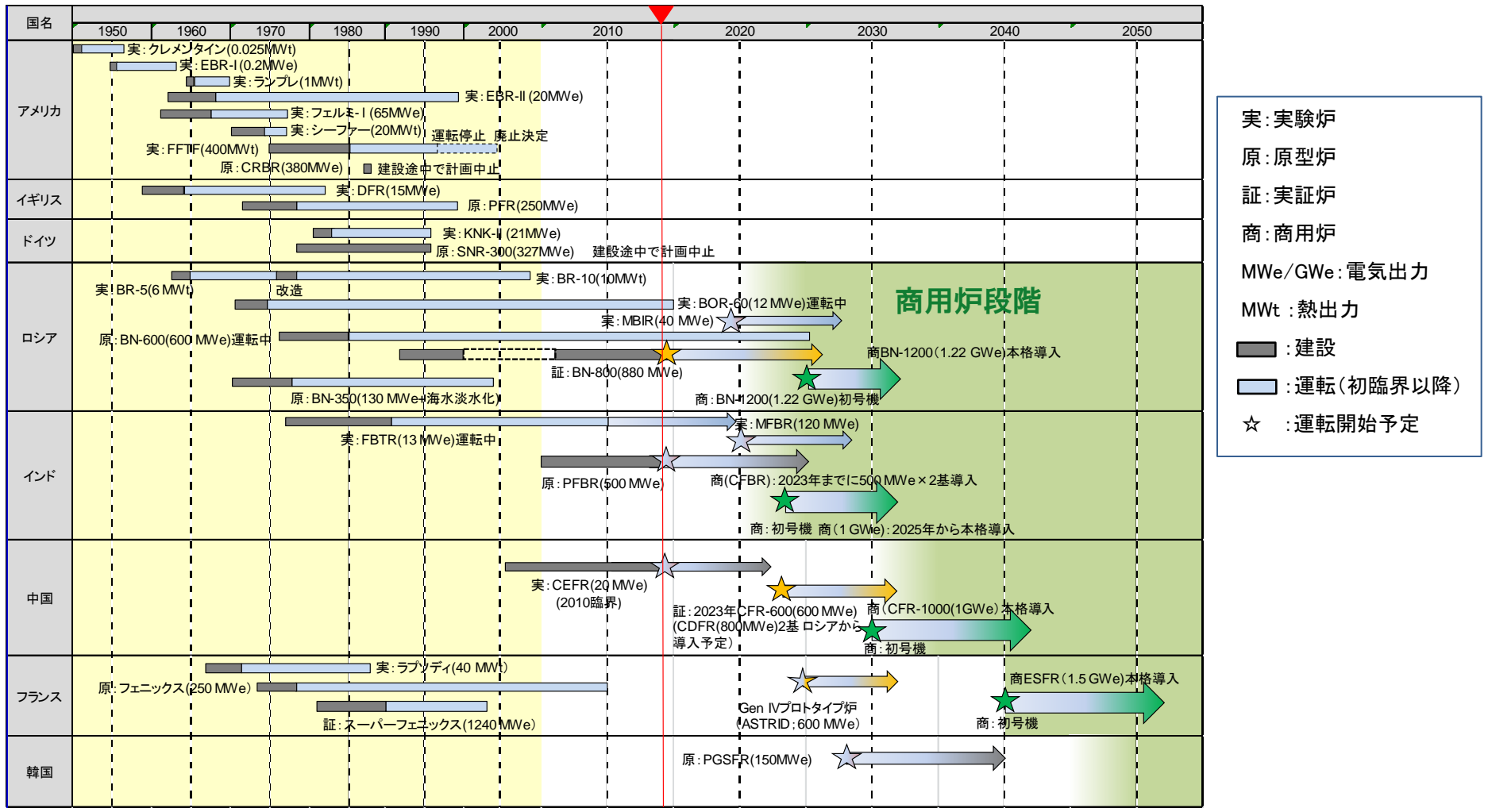
## □ 加速器駆動システム(ADS)を利用した核変換専用サイクル

- ◆ 発電用サイクルとは別に核変換に特化したサイクルを設ける
- ◆ 基礎的な原理実証の実施段階、工学的な実証データの充足が課題



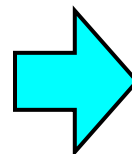
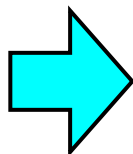
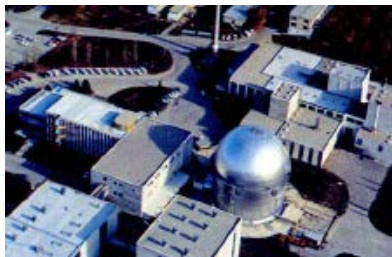
# 海外の高速炉開発実績と現在の開発状況

- ▶ 世界の2011年現在までの高速炉の累積運転年数は、約400炉・年。
- ▶ 米国は多くの実験炉の建設・運転経験を蓄積後、原子力政策再考により原型炉開発を中断。  
フランス、英国、ロシアは原型炉の豊富な運転経験を既に蓄積。



# フランスの高速炉開発(概要 1/2)

- フランスは、実験炉ラプソディー、原型炉フェニックス、実証炉スーパーフェニックス(全てMOX燃料)の豊富な開発・運転経験があり、増殖性は確認済。(現在稼働中の高速炉は無し)



実験炉ラプソディ  
 { 4万kWt、ループ型 }  
 { 1967~1983年 }  
 → 現在、廃止措置中

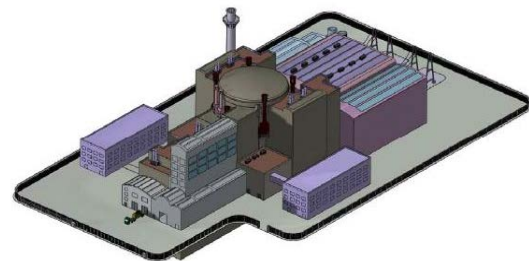
原型炉フェニックス  
 { 25万kWe、タンク型 }  
 { 1973~2009年 }  
 → 2009年 運転停止

実証炉スーパーフェニックス  
 { 124万kWe、タンク型 }  
 { 1985~1998年 }  
 → 現在、廃止措置中

- 1991年 社会党バタイユ国会議員が中心となって「放射性廃棄物管理研究法(通称:バタイユ法)」を制定し、深地層処分に加えて長寿命放射性核種の分離・核変換、地上での長期貯蔵についても研究を行うことを決めた。
- 2006年 シラク大統領(当時)が「第四世代原子炉のプロトタイプ炉を2020年に運転開始」と発表し、同年「放射性廃棄物等管理計画法(改正バタイユ法)」が制定(高速炉と加速器駆動システムによる長半減期放射性元素の分離・変換の産業化の見通しを2012年までに評価し、2020年にプロトタイプ炉で実証)。

# フランスの高速炉開発(概要 2/2)

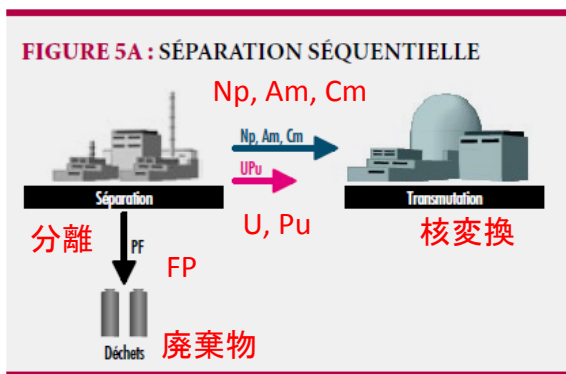
- 2008年 ナトリウム冷却高速炉(SFR)をレファレンス炉に選定、ガス冷却高速炉(GFR)は長期的オプションとして開発することを決定
- 2012年 フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)は、「放射性廃棄物等管理計画法」に基づき、長寿命放射性核種の分離・変換の産業化の見通しや技術開発の現状を整理した報告書を政府に提出。その中で、SFRは、今世紀前半に配備するための最良の解決策と評価。GFRは、有望な代替選択肢であるものの、技術実証炉建設の前にまだ多くの研究努力を必要とし、産業的成熟には程遠い。加速器駆動システム(ADS)を産業用に成熟させるためには、原子炉システム(SFR、GFR他)に比べ遙かに大きな研究開発努力が必要である。
- 2012年 プロトタイプ炉(ASTRID:技術実証炉;60万kWe;MOX燃料)の技術仕様を決定。
- ASTRIDプロジェクトの今後のスケジュール
  - 2013年～2015年:概念設計
  - 2016年～2019年:基本設計
  - 2019年末:ASTRID建設に向けた判断
  - 2025年頃:ASTRID運転開始予定
- ※ 2040年頃から、実用炉として第四世代原子炉(MOX燃料)を順次導入予定。



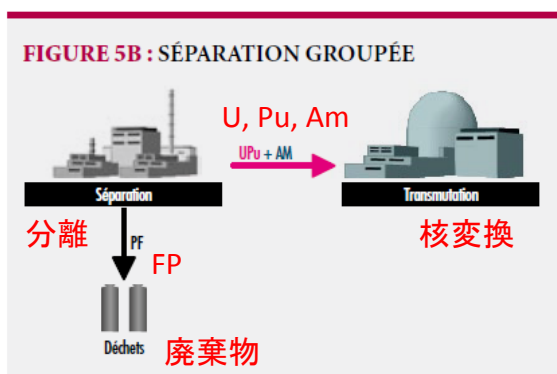
# フランスの核燃料サイクル戦略(分離オプション)

2006年の「放射性廃棄物等管理計画法(改正バタイユ法)」に基づく、「長寿命放射性核種の分離・核変換研究及び次世代原子炉研究開発評価報告書」の「第2巻 長寿命放射性核種の分離・変換」より  
(2012年12月、CEA原子力エネルギー部門発行)

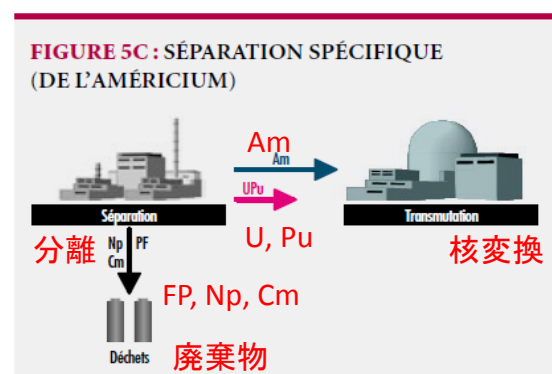
## 1. 連続分離



## 2. 群分離



## 3. 特定元素(Am)分離



- 化学的、物理的な特性の違いに着目した連続した分離が、分離戦略に対する最初のオプションと位置付けられる。
- U+Puの分離に引き続いたMA (Np, Am, Cm) の分離。

- リサイクル可能なものと廃棄物となるものの分離が必要となる。
- リサイクル可能なものとして主要なアクチニド元素であるPu等と共にMA群が分離される。
- この群分離が第2のオプションとなる。

- 特定の核種毎の核変換戦略にしたがって、特定元素に着目した分離を行うことが第3のオプションとなる。
- 具体的には、地層処分場への長期の熱負荷※を支配するAm核種に着目した分離が想定される。

※100-120年までの期間では<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Srが主要な発熱源となるが、それ以降はAm核種が発熱源として支配的となる。



# フランスの技術実証炉ASTRIDについて

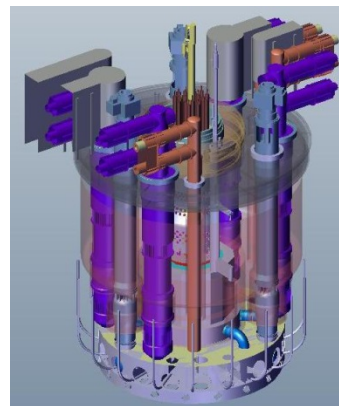
## ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)

- 熱出力: 150万kWth、電気出力: 60万kWe
- 炉型: プール型
- 炉心燃料: MOX燃料

※2025年頃の運転開始を予定

※建設予定地: CEAマルクール研究所

(原型炉フェニックスに隣接して建設)



ASTRIDの  
原子炉イメージ



建設を予定している  
CEAマルクール研究所

目的:

○第4世代炉の技術実証炉

- 実用炉に採用する候補技術および安全性の実証

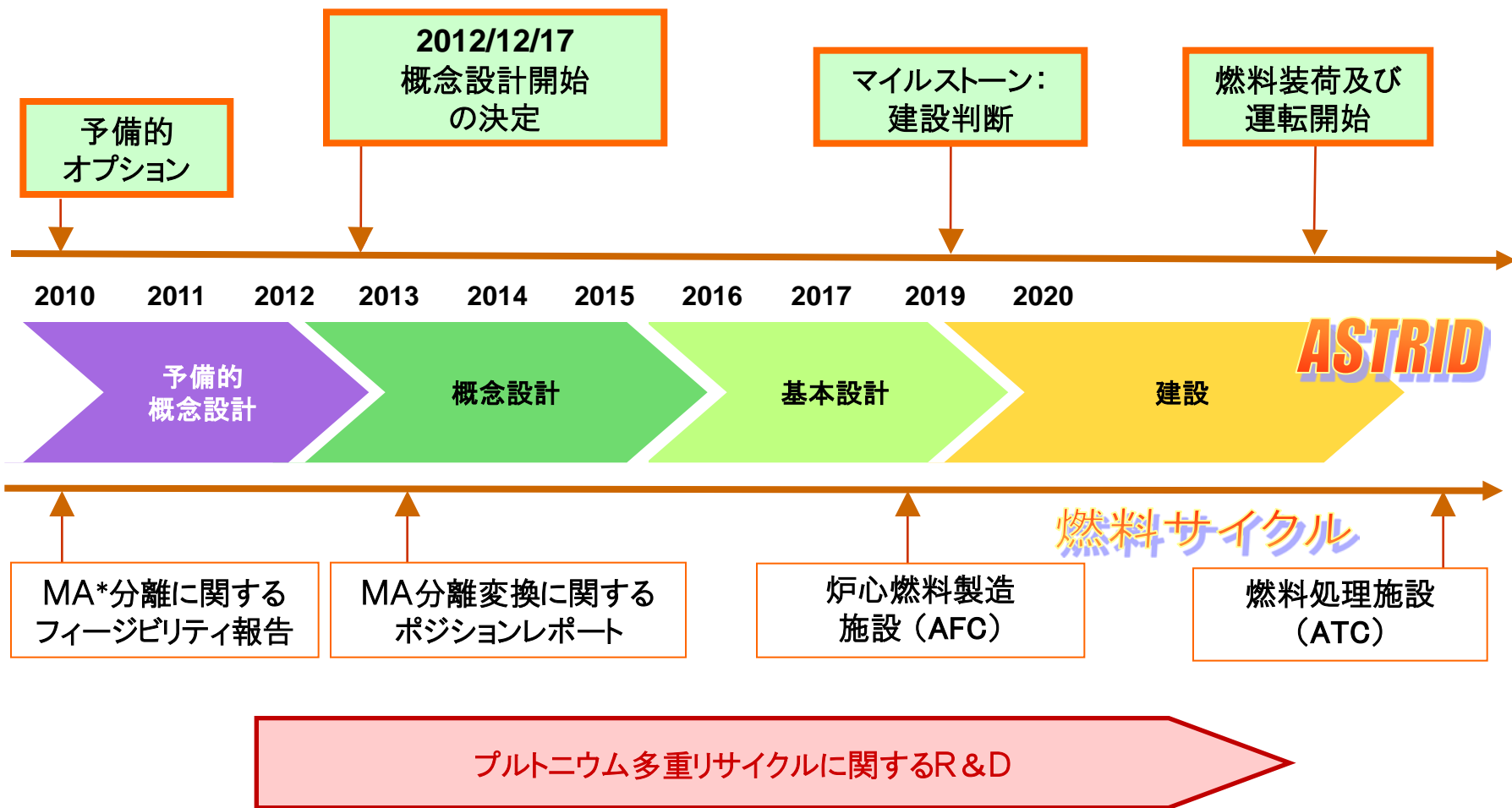
○照射試験や技術実証のツールとしても活用。

- 2006年の廃棄物管理法に基づくマイナーアクチニド燃焼  
(放射性廃棄物の量と毒性の低減)の実証

※ CEA(研究機関)、AREVA(メーカー)、EDF(電気事業者)が開発に協力。

※ 2009年の「大型起債計画」では、ASTRIDと関連する燃料サイクル開発の計画に対し、2010～2017年に約6.5億ユーロを投資予定、現在はこの計画を2019年まで延長予定。

# フランスの技術実証炉ASTRIDの開発計画

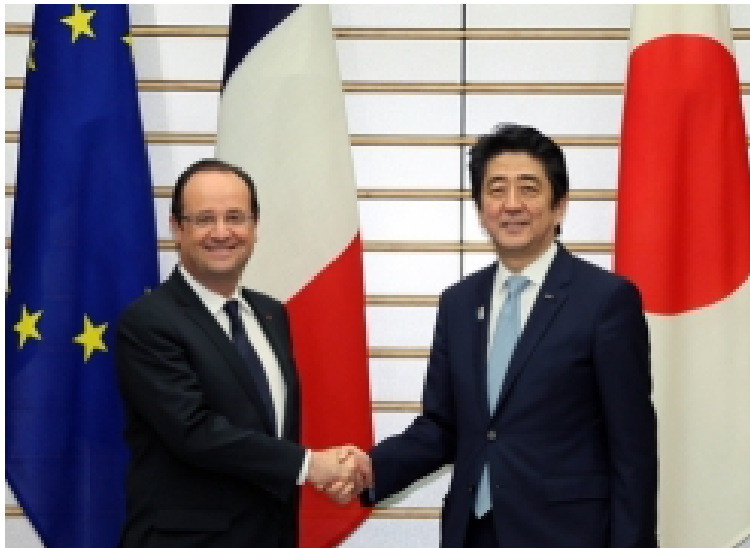


\*MA:マイナーアクチノド

出典: Christophe Behar, "French R&D Program on SFR and the ASTRID Prototype", FR13, Paris, March 4-7, 2013  
 Pierre. LE COZ, et al., "The ASTRID Project : Status and Future Prospects", FR13, Paris, March 4-7, 2013

# 高速炉開発で連携 日仏首脳合意

(平成25年6月7日)



首脳会談の冒頭、フランスのオランド大統領と握手する安倍首相(外部省HP)

## 日仏 原子力技術で連携 首脳会談

安倍首相は7日、首相官邸で、国賓として来日中のフランスのオランド大統領と首脳会談を行い、**次世代の原子炉である「高速炉」の共同開発**をはじめとする原子力分野での包括的な協力などを盛り込んだ共同声明を発表した。

【平成25年6月8日付 読売新聞記事】

### 日仏共同声明

**安全保障・成長・イノベーション・文化を振興するための「特別なパートナーシップ」**(抜粋)

2. 課題を機会に変える: 成長、イノベーション及び雇用のための両国経済の連携

民生原子力エネルギーに関するパートナーシップを強化する。両国は、原子力発電が重要であること及び安全性の強化が優先課題であることを共有するとともに、その協力に係る両国の原子力規制当局間の協力を拡大した。**両国は、燃料サイクル(特に六ヶ所村の再処理施設の安全かつ安定的な操業の開始、使用済燃料の再利用、放射性廃棄物の減容化・有害度低減)及び高速炉を含む第四世代炉の準備におけるパートナーシップを引き続き深めていく。**両国は、産業分野において、世界最高水準の安全性を有する共同開発原子炉アトメア1の国際展開の支援及び第三国の能力強化の支援を含め、第三国における協力を進めていく。さらに、フランス共和国は、東京電力福島第一原子力発電所の事故現場において日本国が行っている努力に敬意を表する。日本国は、それに貢献し得るフランス共和国の知見に対する関心を表明した。