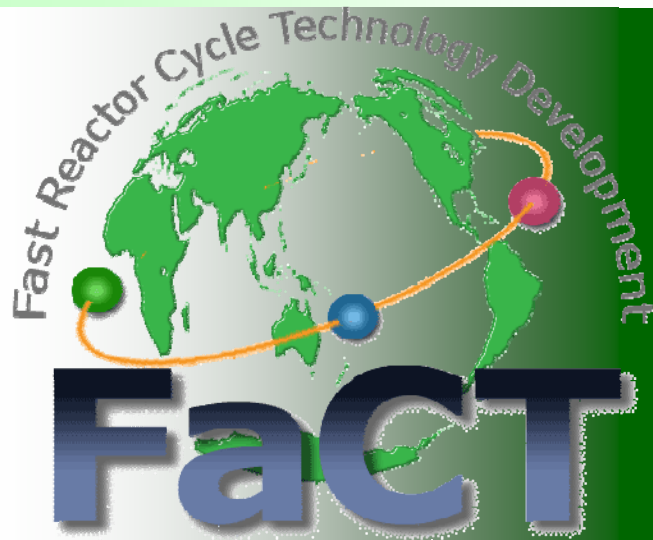


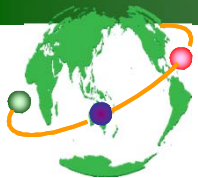
資料3  
第2回FaCT評価委員会  
平成22年12月16日



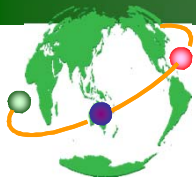
# 高速炉サイクル技術の 国際動向

日本原子力研究開発機構

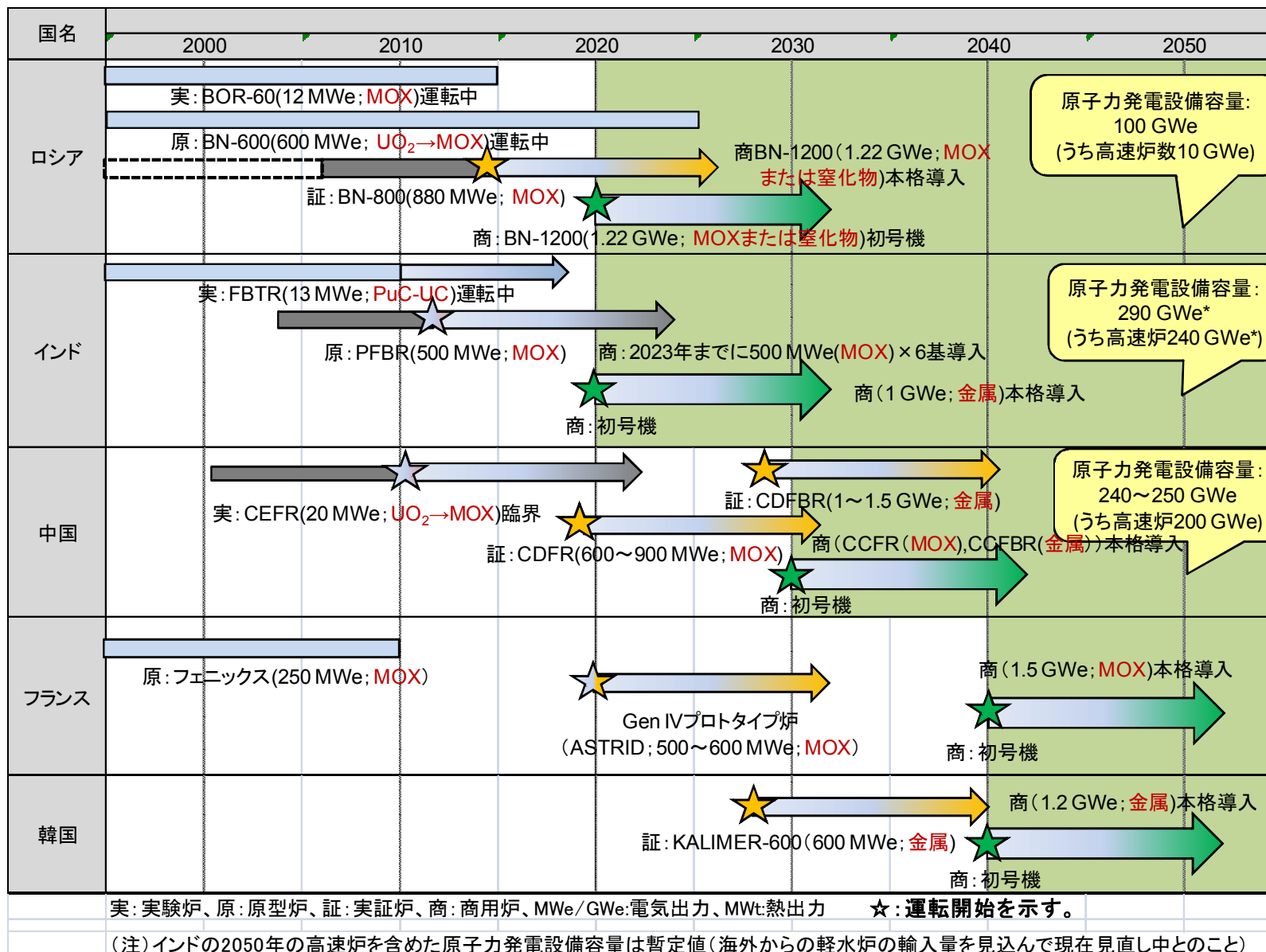
次世代原子力システム研究開発部門



# 各国の開発経緯・開発動向

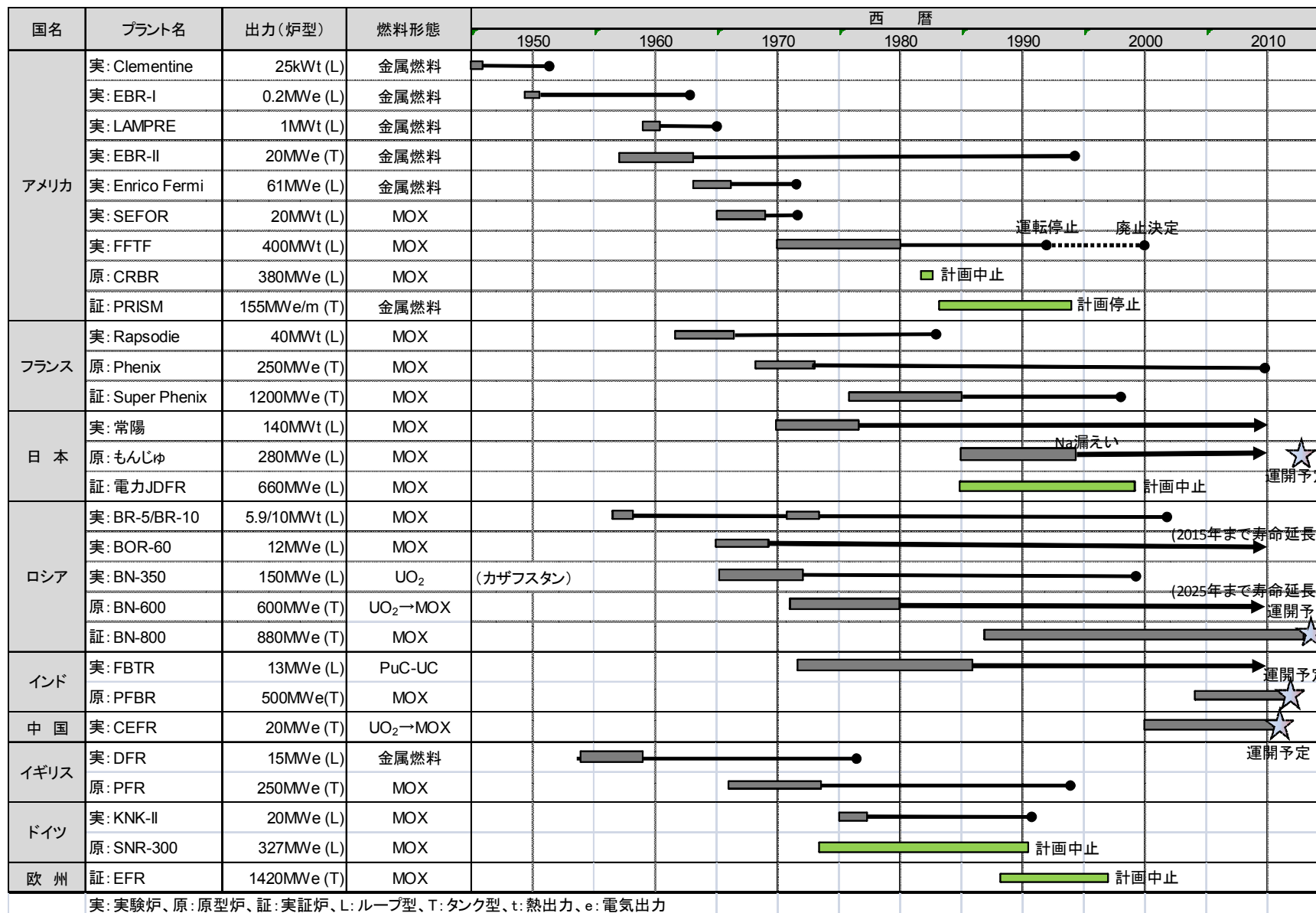


# 海外の高速炉開発計画の概要





# 各国の高速炉開発の経緯





# アメリカにおける高速炉サイクル技術の開発動向



- 1940年代前半から1990年代前半にかけて、数多くの実験炉 (Clementine, EBR-I, LAMPRE, EBR-II, Enrico Fermi(以上**金属燃料**), SEFOR, FFTF(以上**MOX燃料**))の建設・運転経験を保有
- 1977年 核不拡散政策の強化の理由により、原型炉CRBRの建設を中止
- IFR(Integral Fast Reactor:高速炉(**金属燃料**)・乾式再処理・燃料製造の一体型燃料サイクル)計画として推進してきたが、米国の原子力に対する政策変更のため1994年に中止。ただし、EBR-II金属燃料については、アイダフォ(INL)で乾式処理を実施中
- 2000年 安全性、経済性、核拡散抵抗性等に優れる第四世代原子炉(Gen-IV)概念の検討のために、「第四世代原子力システム国際フォーラム」(GIF)を設立  
6システム概念のうち、SFR(ナトリウム冷却高速炉)等のシステム協定に署名して活動中
- 2003年から先進燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)を開始
- 2006年 グローバル原子力エネルギーパートナーシップ(GNEP)構想を発表。先進リサイクル炉(SFR;**MOX燃料/金属燃料**)、統合核燃料取扱センター、先進核燃料サイクル施設等のR&Dを推進
- 2009年 オバマ政権発足後、上記の開発を凍結し、長期的R&Dに主体を置く政策に戻り\*1、GNEP計画は9月で終了

\*1 DOEは、2011年度予算要求として、先進燃料サイクルR&D(201百万ドル)、第4世代原子炉R&D(21.9百万ドル)、横断的分野やブレイクスルーを指向した研究開発(99.3百万ドル)を要求中

- 2010年 ユッカマウンテン計画の代替案を包括的に検討するため、大統領の諮問機関である**ブルーリボン委員会**を設置(2012年1月末までに最終報告書を作成予定)\*2

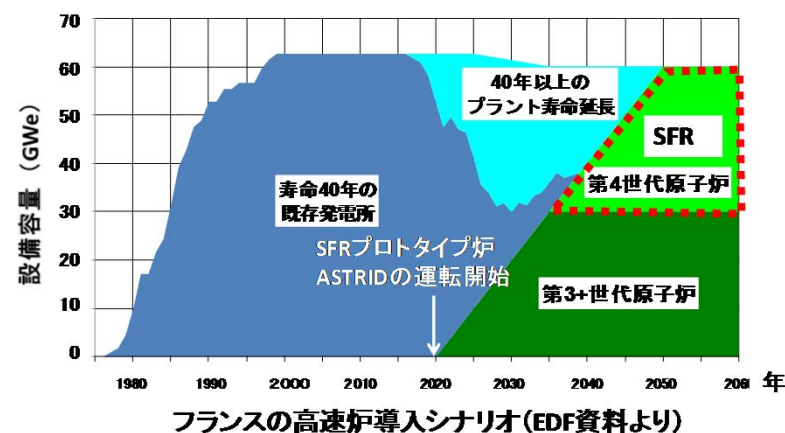
\*2 オープンサイクル、改良オープンサイクル(揮発性FP等を除去して燃料に再加工)、クローズドサイクル等についても検討



# フランスにおける高速炉サイクル技術の開発動向



- 実験炉Rapsodie、原型炉Phenix、実証炉Super Phenix(全てMOX燃料)の豊富な開発経験を保有
- カダラッシュのCFCaで高速炉用MOX燃料を製造
- AT1, APM, UP2-400再処理プラントで高速炉MOX燃料を(一部)処理
- 1991年「放射性廃棄物管理研究法」制定。これを受けATALANTE施設にてバックエンド研究を開始
- 2006年1月 シラク元大統領が「第四世代原子炉のプロトタイプ炉を2020年に運転開始する」と発表。2008年に炉型をSFRに選定し、GFRは長期的オプションとして開発することを決定
- 2006年「放射性廃棄物等管理計画法」が制定され、高速炉等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
- 2009年 Phenixの運転終了、「大型起債計画\*」の詳細を発表 \*ASTRIDと関連する燃料サイクル計画へ、2010～17年に約6.5億ユーロ投資予定
- 2012年 プロトタイプ炉(ASTRID:実証炉;60万kWe;MOX燃料)の技術仕様を決定
- ASTRIDの初装荷MOX燃料は、ラ・アーグにAFC(10t/y)を建設して製造予定(日仏のいずれかの施設を使つての共同製造の可能性についても検討中)
- 2020年 ASTRIDの運転開始;MA含有MOX燃料製造施設[ALFA;5kgMA/y(数ピン/年)]をATALANTEを拡張して建設し運転開始予定
- ATALANTEで先進分離技術として、①U/Puの共抽出(COEX)、②DIAMEX-SANEXによるMA回収、③U/Pu/MAの一括回収するGANEX等を開発中
- 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

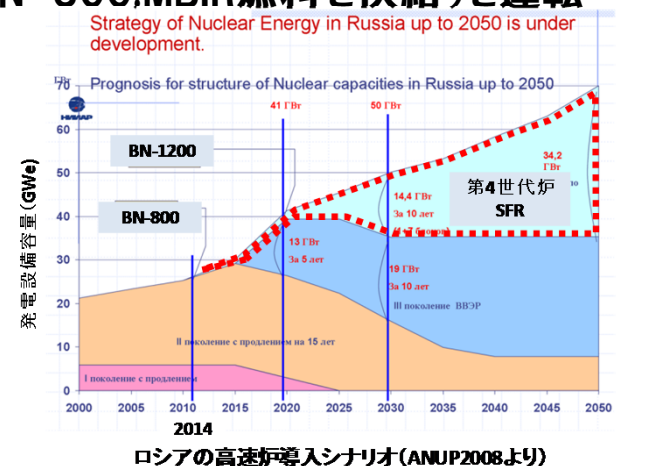


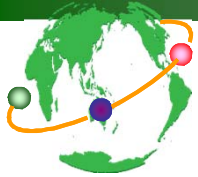


# ロシアにおける高速炉サイクル技術の開発動向



- 実験炉BR-5/10 (MOX燃料)、BOR-60 (MOX燃料)、原型炉 BN-350 (UO<sub>2</sub>燃料)、BN-600 (UO<sub>2</sub>燃料→MOX燃料へ移行予定) の140炉・年に亘る豊富な運転経験
- 再処理施設(RT-1; 定格400t/y) で、BN-350とBN-600の燃料を一部処理
- 小規模MOX(ペレット)燃料製造プラントが稼働中(BN-350, BN-600へ試験用MOX燃料を供給; BN-800の初装荷燃料を製造予定)
- 2010年1月 連邦目標計画「2020年までの原子力発展戦略」を策定し、2020年までに60億ドル以上を投資して、高速炉サイクルを最優先に開発することを決定
- 2012年運転開始を目指してMOX燃料(バイパック)製造施設を建設中
- 2014年までに(少し遅れている)MOX燃料(ペレット)製造プラント(MFFF; 60t/y)を運転開始予定
- 実証炉BN-800(初期炉心はMOX燃料の供給不足により、UO<sub>2</sub>燃料とMOX燃料(バイパックとペレット)を装荷)を2014年に運転開始予定、2016年からフルMOXへ移行予定
- 2015年頃 多目的乾式燃料再処理施設(MPC; 2.5t/y; BN-600, BN-800, MBIR燃料を供給)を運転開始予定
- 2018年 窒化物燃料製造プラント(14t/y)を運転開始予定
- 2019年 多目的研究用高速炉(MBIR; 150MWt (MOXまたは窒化物燃料)を運転開始予定
- 商業規模のBN-1200(MOX燃料と窒化物燃料を検討)を2020年までに運転開始予定。その後、同規模の実用炉を2030年までに少数基導入予定
- 2025~30年 先進的再処理技術を適用した(RT-2/3; 最大2000t/y)を運転開始予定

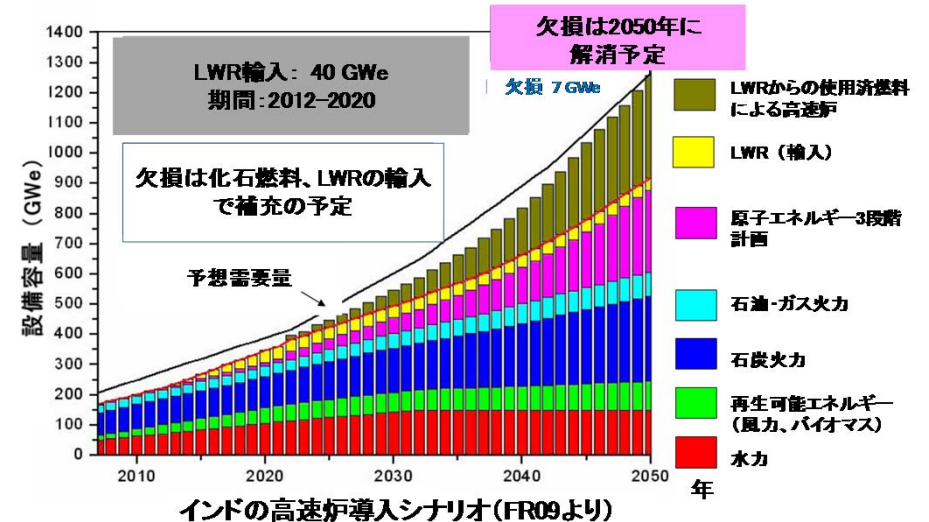
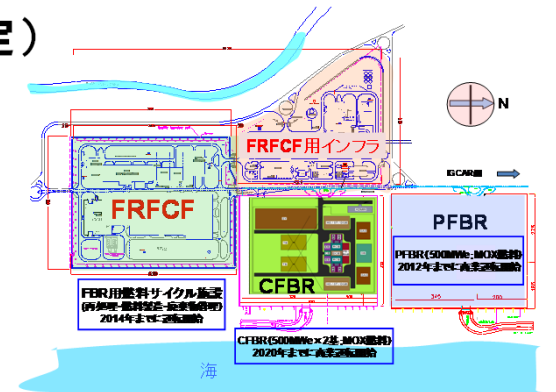




# インドにおける高速炉サイクル技術の開発動向



- 1985年から実験炉FBTR (U/PuC燃料; 燃料はBARCで製造) を運転中
- 2003年からFBTR燃料処理のための再処理パイロットプラントCORALが運転中
- PFBR燃料の再処理実証プラント(DFRP; 1t/y)を2011年に運転開始予定
- 現在、原型炉PFBR(50万kWe; MOX燃料)を建設中(2012年運転開始予定)
- PFBR用の初期のMOX燃料は先進燃料製造施設(AFFF)で製造
- 燃料製造・再処理・廃棄物管理を行う統合型の実用高速炉燃料サイクル施設(FRFCF)をPFBRと併設して建設予定(2014年に運転開始予定)
- 2023年までに安全性、経済性を向上させた同規模の実用炉(CFBR; MOX燃料)をツインプラントとして3セット(6基; その内1セットはPFBRサイトに建設)運転開始予定
- エネルギー需給の急速な伸びに対応するため、2025年以降は高増殖の**金属燃料**FBR(100万kWe)を順次導入する計画
- 金属燃料サイクルの研究開発も併行して実施中で、320MWtの金属燃料試験炉も建設予定
- 2050年時点の原子力発電設備容量2.9億kWeのうち、FBRは2.4億kWeを計画



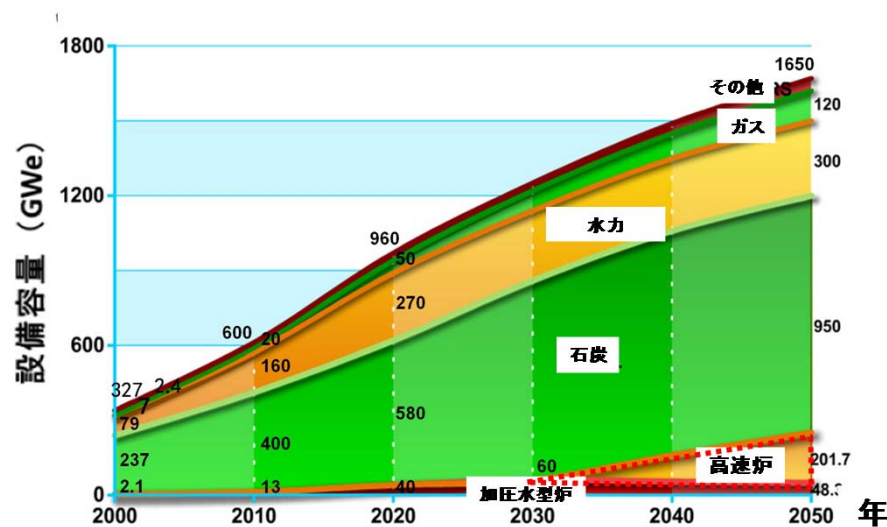




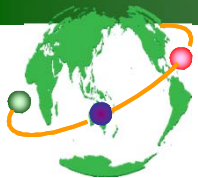
# 中国における高速炉サイクル技術の開発動向



- 現在、実験炉CEFRを試運転中(2010年臨界、2011年に運転開始予定;現在の $UO_2$ 燃料を2015年頃MOX燃料へ移行予定)
- 多目的再処理パイロットプラント(50t/y;  $UO_2$ 燃料)がホット試験中
- CEFR用のMOX燃料製造施設(0.5t/y)が試運転中
- 金属燃料の研究開発も再開
- ロシアとの協力により、原型炉をスキップして実証炉(MOX燃料)を導入し早期実用化を目指す方向に変更[2009年10月 ロシアと80万kW級の実証炉(BN-800技術)をツインプラントで建設するための事前プロジェクト/設計作業のハイレベル協定に署名]
- 2018~2020年:実証炉(60~90万kWe;出力規模はロシアとの協力状況に依存; MOX燃料)
- 2020年 200~400t/yの湿式再処理施設と工業規模のMOX燃料施設を運転開始予定
- 2025年頃 湿式再処理施設(酸化物燃料:800t/y)の運転開始予定(MA/長寿命FP/Cs-137/Sr-90の回収の可能性も検討中)
- 2028年 高増殖の実証炉(金属燃料:100~150万kWe)の運転開始予定
- 2030年頃から実用炉を導入開始予定
- 2050年頃の原子力発電設備容量2.4-2.5億kWeのうち、高速炉は約2億kWeを計画



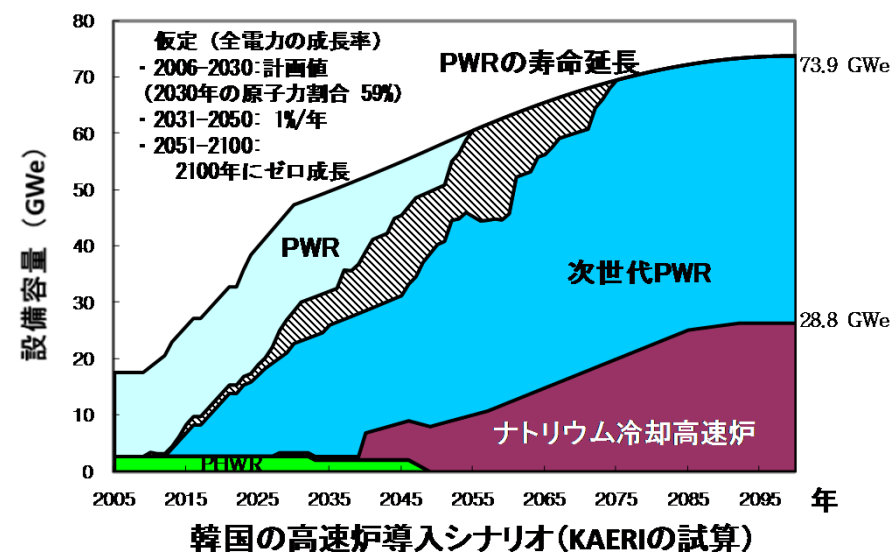
中国の高速炉導入シナリオ (FR09より)



# 韓国における高速炉サイクル技術の開発動向



- 1992年から、高速炉KALIMER (60万kWe; **金属燃料**;タンク型) の設計
- 2008年12月 「将来炉に関する長期計画」を策定。2016年に軽水炉使用済燃料貯蔵施設が満杯となるため、高速炉(**金属燃料**)と乾式処理施設を導入して、この軽水炉使用済燃料を処理して削減する方針を提示
- 実験室規模(20kg/バッチ規模)の模擬物質を用いた乾式処理試験を実施中
- 2011年末を目途に、ウラン試験用の乾式処理試験施設(PRIDE; 10t/y) を建設中
- 2016年までに、工学規模の乾式処理施設(ESPF; 10t/y) を建設予定
- 2025年までに、先進乾式処理施設(KAPS; 100t/y) を建設予定
  
- 2028年に、高速実証炉(60万kWe;タンク型;**金属燃料**;増殖は考えていない)を運転開始予定
- 2040年頃から実用炉(120万kWe;**金属燃料**)を導入し、既存の軽水炉を高速炉で置き換えることを計画
- **2014年の米韓原子力協定見直し時に再処理の了解が得られるかが重要**





## イギリスにおける高速炉サイクル技術の開発経緯



- 実験炉DFR (金属燃料)、原型炉PFR (MOX燃料) の開発経験を保有
- セラフィールドのBNFLのMOX燃料工場でPFR-MOX燃料を製造
- ドンレー再処理工場で、DFR-金属燃料を約10t、PFR-MOX燃料を約25t処理
- PFRに続いて、実証炉CDFRの設計を進めていたが、北海油田の開発によりエネルギー資源問題への懸念が薄れたため、1992年に国としての高速炉開発を行わないことを決定。原型炉PFRの運転も1994年に停止。
- 欧州5カ国(フランス、イギリス、ドイツ、イタリア、ベルギー)で進めていた欧州高速実証炉(EFR)プロジェクトからも1993年に脱退。(EFRプロジェクト自体も、概念設計終了した段階(1993年)で計画が中止された。)