

## いまなら世界をリードできる！ 戦略的なロードマップづくりを急げ

エネルギー資源の乏しいわが国は、原子力エネルギー開発の当初から、天然ウラン資源有効利用と環境負荷低減の両面から、使用済燃料をリサイクルする「原子燃料サイクル」を基本方針として技術開発を推進してきた。昨年10月に策定された「原子力政策大綱」で、「原子燃料サイクル」の有効性と公益性が再確認され、長期的には高速増殖炉(FBR)と原子燃料サイクル施設(再処理および燃料製造施設)を組み合わせた、いわゆるFBRサイクルを目指すことが明記された。だが、FBRサイクルをどのように実現するかについては極めて不透明である。中国、インド、フランス、米国などが次世代のエネルギー政策として、2030年前後をメドに導入を目指すなか、エネルギー自給率が最も低いわが国の原子燃料サイクルは実現するのか？

弊誌3月号では、「核燃料サイクルの新たな展開」を求めて、研究機関、学会関係者に将来の原子燃料サイクルを展望してもらったが、今回はものづくりを担う原子力産業界に問うてみた。FBR、再処理技術など、花形技術として優秀な技術者が集った原子燃料サイクル関連技術者はいまや高齢化が進み、今後ともFBR、再処理関連の業務量の見通しがつきにくい状況が続けば、現在の体制を維持してゆくことが困難な状況に陥る可能性が大きい。

日本電機工業会(JEMA)は、「原子燃料サイクル専門委員会」を設置し、わが国のエネルギー安全保障に向け、FBRサイクルの技術開発ロードマップの策定に取り組んできた。同委員会に紹介してもらう「JEMAロードマップ」をひとつのトリガーとして、FBRサイクル実用化に向けたロードマップの立案が早期に進められることを期待したい。

### 前倒し相次ぐ世界のFBRサイクル開発計画

ここにきて各国におけるFBRサイクル開発への取り組みが加速してきている。

フランスは、これまで、2035年頃からのFBR商業炉の導入を計画するとともに、放射性廃棄物による環境負荷の低減とエネルギー回収の観点から全アクチニドを回収しFBRの燃料として利用する計画を進めていた。ところが、年初にシラク大統領がエネルギー政策を発表し、そのなかで、第IV世代炉の原型炉(FBRと推定される)の運転開始を2020年に早めることを打ち出した。

米国はブッシュ政権になり2001年には原子力を重要な国家戦略とする政策を発表。2003年から始められた「先進的燃料サイクルイニシアチブ」(AFCI)では、先進的燃料サイクルを適用した商業1号炉の導入を2035年頃からと計画していた。ところが、本年2月に米エネルギー省(DOE)が発表した「国際原子力エネルギー・パートナーシップ」(GNEP)では、FBRの先進的燃焼試験炉(ABTR)を2014年頃に運転開始し、先進的燃焼炉(ABR)の商業1号炉を2023年に運転開始する計画を発表した。また、再処理技術の「工学規模実証試験施設」(ESD)を2011年に運転を開始し、先進的原子燃料サイクル技術の「試験施設」(AFCF)を2016年に運転開始する計画である。

ロシアは世界でFBRの開発が最も進んでいる。FBR実証炉としてのBN-600が運転中であり、これに続くBN-800の建設がロシア議会の承認を受けて2004年から再開されている。

中国は、現在、FBR実験炉(CFRP)の建設が進めているが、その後、原型炉(CPFR:60万kWe)、実証炉(CDFR)を順次建設し、商業炉(CCFR)の運転

開始を2030年に計画している。さらに2050年頃にはFBRの設備容量を200GWe程度とする計画である。

インドもFBR原型炉(PFBR: 50万kWe)を建設中であり、2010年完成を目指している。将来的には2020年までに4基のFBR商業炉を建設し、2050年頃の原子力の設備容量を270GWe程度(FBRの割合は不明)としている。

各国のFBRサイクルの開発状況を図1に示す。意欲的に進める世界各国の開発動向を眺めると、わが国も戦略的なロードマップを策定して開発を進めないと、世界のFBRサイクル開発競争に乗り遅れることが懸念される。

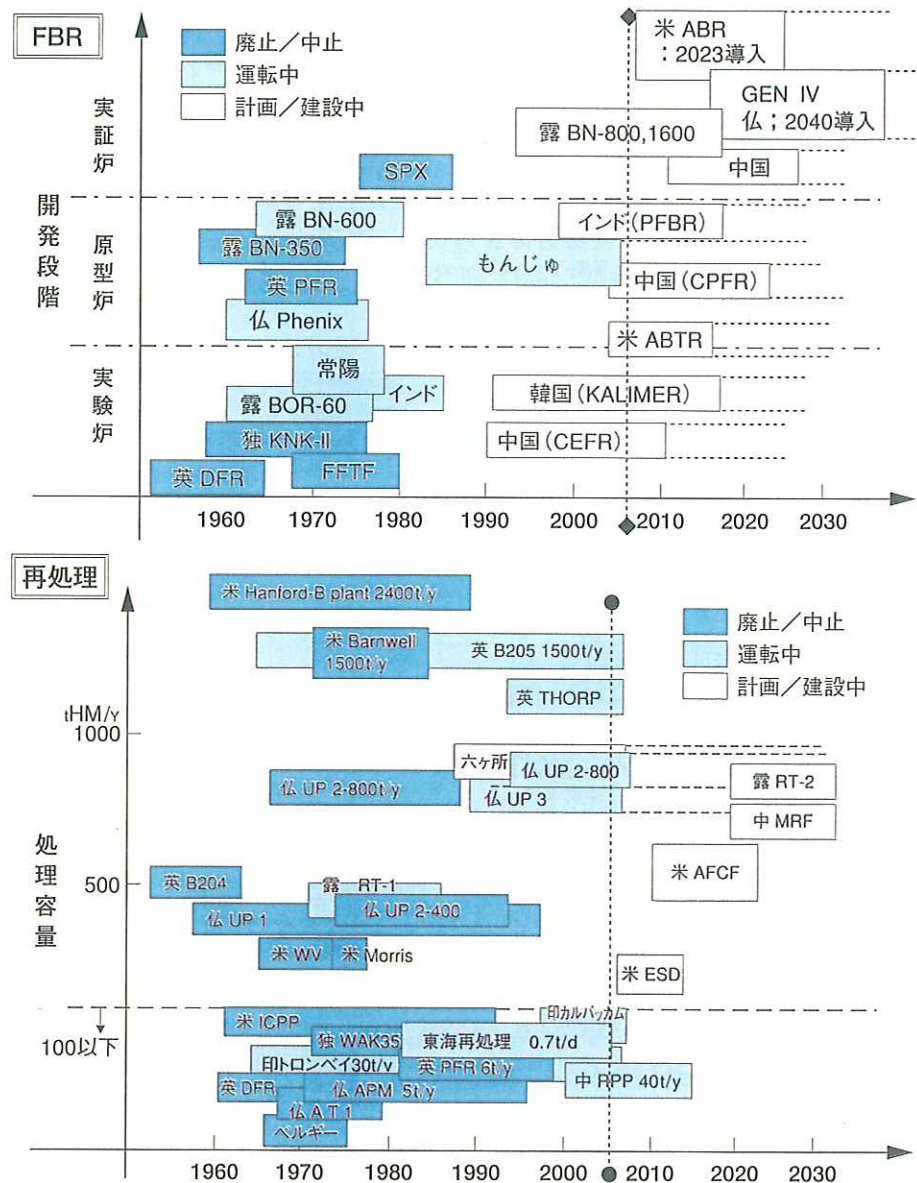
### わが国の取り組み

「原子力政策大綱」では、わが国の原子燃料サイクルの確立に向けた今後の取り組みの基本方針が示されている。2030年頃から始まる既設炉の代替は、現在の軽水炉を改良したものを採用し、FBRについては2050年頃から商業ベースでの導入を目指すとしている。

使用済燃料の再処理は、当面、六ヶ所再処理工場の処理能力(800t/年)の範囲で行い、これを超えて発生する使用済燃料は中間貯蔵する計画。中間貯蔵された使用済燃料およびプルスーマルの使用済燃料の処理方策は、2010年頃から検討を開始し、六ヶ所再処理工場の操業終了に十分間に合う時期までに結論を出す計画となっている。

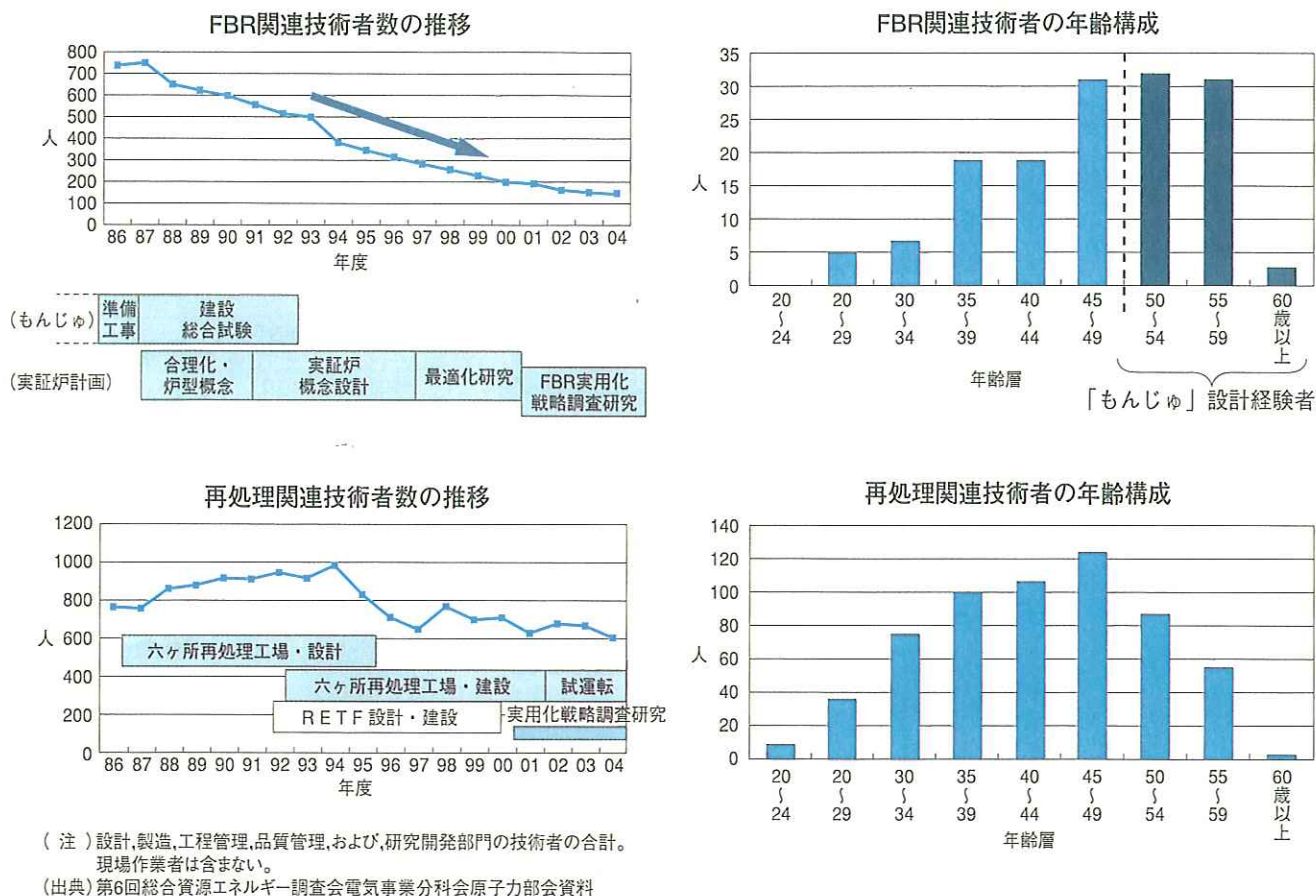
「原子力政策大綱」を受けて、FBRサイクルへの移

図1 各国のFBRと再処理施設の状況



行を着実に進めるための政策の具体化は、経済産業省の「総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会」と文部科学省「原子力分野の研究開発に関する委員会」で議論されている。現在の軽水炉主体からFBRサイクルへの移行基本シナリオは、2015年頃までにFBRサイクルの実用化戦略調査研究を完了し、FBRサイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究計画を提示する。その後、「ポストもんじゅ」などの関連施設を建設し、2030年頃から必要な技術実証プロセスを進めるといものである。なお、この基本シナリオに加え、技術動向や国際情勢などの不確実性に柔軟に対応できるようにFBR導入前倒

図2 FBRおよび再処理関係技術者の状況(JEMA会員会社の例)



しやFBR導入遅れシナリオも考慮されている。

### 今ならできるFBRサイクルの早期開発

JEMA会員企業のなかでFBRと再処理関連業務に従事する技術者の推移を図2に示す。FBR関連の技術者は、「もんじゅ」の建設やFBR実証炉計画が進められた1980年代をピークに、その後は「もんじゅ」建設作業の収束と実証炉計画延期に伴い減少し、現在はピーク時の約5分の1程度になっている。「もんじゅ」改造工事や実用化戦略調査研究への参画などで少人数ながらなんとか維持しているが、今後もFBRサイクル実用化に向けた開発計画が不透明なままでは、技術者の維持は経営上困難な状況になりつつある。

再処理関連の技術者についても、六ヶ所再処理工場の建設やリサイクル機器試験施設(RETf)の設計作業が行われた1980年代後半から1990年代前半がピ

ークであり、その後は減少している。第二再処理工場の建設は数十年先であり、再処理関連の技術者の維持はFBRと同様に、今後、困難となる。FBR、再処理関連ともに技術者の年齢が高く、特にFBRは50歳代が多く、今後数年以内に退職し、産業界に主要な技術者がいなくなる懸念される。

現時点ではFBRサイクルの分野における日本原子力研究開発機構、電気事業者、日本原燃、メーカーの開発力、技術力、陣容は、世界でもトップレベルの水準を維持している。FBRサイクルの技術者の確保と技術伝承の面からも自主技術により、世界の動向に先駆けてFBRサイクル技術の早期開発を進めることが喫緊の課題である。技術を次の世代に継承し、また各国との技術開発競争のなかで、わが国がフロントランナーとして貢献するためにも、FBRサイクル実用化に向けたロードマップを早期に明らかにし、着実に実行していくことが必要である。

# わが国のFBRサイクル技術の世界標準に!

## 提案 FBRサイクル技術の開発ロードマップ

(社)日本電機工業会原子燃料サイクル専門委員会

エネルギーセキュリティの確保、並びに世界におけるリーダーシップの発揮と国際競争力確保のためには、わが国は遅くとも2030年頃までにFBRサイクル技術を確立させることが必要と考える。このためには、FBRの技術開発のみならず、軽水炉サイクルからFBRサイクルへの円滑な移行計画の研究を含めて、使用済燃料の再処理技術、燃料製造技術などをFBRサイクルシステム技術として相互に整合性を図りながら、同時並行的かつ段階的に確実に推進していくことが重要である。

日本電機工業会では、東芝、日立製作所、三菱重工業、富士電機システムズの4社の専門家による「原子燃料サイクル専門委員会」を設置し、FBRサイクル実用化に向けた技術開発ロードマップの検討を進めてきた。日本の長期エネルギーセキュリティ確保に向け、国際的な競争と協力環境のなかで、わが国が世界標準となるFBRサイクル技術を確実に開発していくためには、広く国民に理解されたロードマップの策定と、これに基づく具体的な実行が必要と考えたからである。

ロードマップの提案を機に、国内で活発な議論が行われ、FBRサイクルの実用化に向けたロードマップが早期に立案され、実行に移されるとともに、適切なホールドポイントにおける進捗確認とロードマップの見直しが必須と考えている。

### 高速増殖炉 (FBR) について

#### FBR商業炉像

現在、わが国では、JAEAと電気事業者などが共同で実用化戦略調査研究を実施している。この調査研究では、FBRサイクルの適切な実用化像と実用化

に至るまでの研究開発計画の提示に向けた研究が進められており、主候補概念としてナトリウム冷却炉が選定された。

この調査研究で提示されているFBR商業炉は、将来の他電源と比肩できる経済性などを目指し、大型化(150万kWe級)を図るとともに、技術的実現性に考慮しつつ、高燃焼度化や物量削減のためのいくつかの革新的技術を取り入れている。

#### FBR開発のステップとスケールアップの考え方

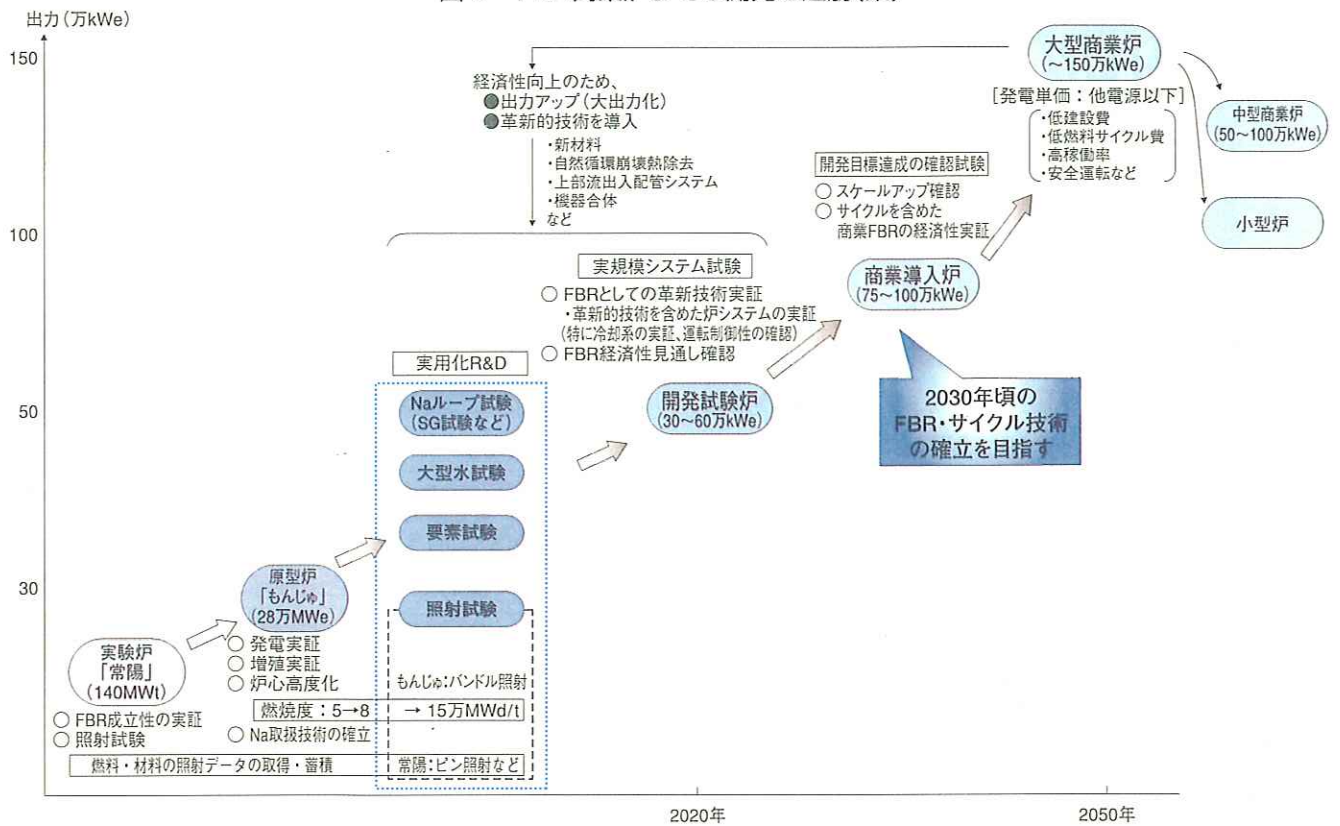
FBR商業炉の実現に向けては、FBR原型炉「もんじゅ」を早期に運転再開のうえ、安定した発電ができることの実証やナトリウム取扱技術の確立など、「もんじゅ」の所期目標を達成することが必要である。さらに、FBR商業炉に採用予定の革新的技術について、FBR実験炉「常陽」や「もんじゅ」など既存設備を有効に活用して実用化に向けた研究開発を着実に行う必要がある(図3)。

「常陽」や「もんじゅ」で培われてきた技術や経験、ならびに実用化に向けた研究開発を反映して、FBR商業炉の設計を詰めるとともに、「実規模システム試験」を実施し、この経験を踏まえ、商業炉の開発目標達成の見通しを実証する必要がある。FBR商業炉の開発までには図3に示すように2段階(2つの実炉)を踏む必要があると考える。

#### ① 「実規模システム試験」の方法とその出力規模

「実規模システム試験」としては、実炉方式、大型コールド試験方式などが考えられるが、原子炉システムとしての技術実証性の観点から、実炉方式【開発試験炉】が適している。過去の成功したプラント事例を踏まえると、第3段階の原子炉としては60万kWeが最大であり、また、ループ当たり出力比は、

図3 FBR商業炉までの開発の道筋(案)



3倍程度が限界と考えられ(ループ当たり出力比を「もんじゅ」の3倍とすると炉出力は60万kWe),【開発試験炉】の出力規模は60万kWe以下とすることが適切と考える。

②商業炉の開発目標達成の見通しを実証する方法とその出力規模

商業炉の規模は、他電源と比肩できる経済性を有するためには大型炉(150万kWe級)とする必要があるが、過去の大型プラント事例では、出力比は1.5倍程度までであり、【開発試験炉】からいきなり大型炉を建設することは難しいと考えられる。開発目標達成を実証するためには、100万kWe程度の実炉【商業導入炉】が必要と考えられる。

ロードマップへの反映

「常陽」, 「もんじゅ」の活用⇒実用化に向けた研究開発⇒【開発試験炉】⇒【商業導入炉】⇒商業化までの開発シナリオに沿い、図4に示すように、可能な限り早期のFBRサイクル技術の確立を目指した開発ロードマップを立案した。立案にあたっては、立地調

整に必要な期間も考慮し、実現性の高い開発工程とした。図4に示すロードマップ(案)では、【開発試験炉】の運開が2020年、大型炉を睨んだ【商業導入炉】の運開は2030年となり、FBR開発を積極的に推進しているフランス、ロシア、中国などの開発計画と同時期としている。

クリティカルパスは、2010年までの「もんじゅ」運転再開、2011年から2015年までの【開発試験炉】の基本設計、ならびに立地調整、2017年から2024年までの【商業導入炉】の立地調整であり、それまでに、実用化に向けた研究開発を十分に推進し、国民の合意形成が得られるデータを揃えたとともに、立地地域に十分な説明を行い、理解を得ることが不可欠である。

ロードマップ達成のための意思決定時期と判断に必要な情報

上記のロードマップ達成のため、国または事業者が意思決定を行うクリティカルポイントは、a)2010年の【開発試験炉】建設の意思決定、b)2014年の【開発試験炉】の設置許可申請、c)2016年の【商業導入