

戦略重点科学技術

長期的なエネルギーの安定供給を確保する高速増殖炉(FBR)サイクル技術

文部科学省、経済産業省

## 1. 選定理由

エネルギー資源の乏しい我が国において、使用済燃料を再処理し、回収されるウラン・プルトニウム等を高速増殖炉で有効利用する高速増殖炉サイクル技術確立することにより、長期的なエネルギーの安定供給を確保することは、国の存立基盤をなす極めて重要な課題です。このため、2050年よりも前の商業炉の開発を目指し、長期的なエネルギーの安定供給や放射性廃棄物の低減に貢献できる可能性を有する高速増殖炉サイクル技術の実用化に向けた研究開発を推進することになりました。2015年度までに、資源有効利用性（燃料増殖による長期にわたるウラン資源の活用）、環境負荷低減性（高レベル放射性廃棄物の発生量、有害度の低減）、高い核不拡散性（核兵器への転用がより困難）等を有する上に、将来の軽水炉と比肩する安全性、経済性を有する高速増殖炉サイクル技術の実用化像と実用化に至るまでの研究開発計画を提示します。

また、高速増殖炉サイクル技術は、産業の発展と国民生活の向上に資することから、「環境と経済の両立」のみならず、「科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化」、及び「世界の科学技術をリードする」といった政策目標の実現にも貢献するものです。

このように、「長期的なエネルギーの安定供給を確保する高速増殖炉（FBR）サイクル技術」は、第3期科学技術基本計画に挙げられている多くの目標の達成に資する技術であり、我が国の存立の基盤として、その開発には国家による大規模かつ長期的な支援が必要とされていることから、国家基幹技術として位置付けられることになりました。

### 施策目標体系

|        |                                                                                                     |                                                                                                                                                                                |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 個別政策目標 | 世代を超えて安全に原子力エネルギーを利用する。                                                                             |                                                                                                                                                                                |
| 成果目標   | 【文部科学省、経済産業省】 2050年頃から、高速増殖炉の商業ベースでの導入、高速増殖炉燃料サイクルの導入を目指すことにより、長期的なエネルギー安定供給や放射性廃棄物の潜在的有害度の低減に貢献する。 |                                                                                                                                                                                |
|        | 2010 年までの研究開発目標                                                                                     | ・ 2008年までに、高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転を再開する。<br>・ 2010年までに、高速増殖炉サイクル実用施設（炉・サイクル）に採用する革新技術をまとめ、プラント全体の概念設計を構築する。また、経済性の高いMOX燃料製造技術の小規模実証を行うとともに、燃料の高燃焼度化（15万MWd/t）の実証及び燃料サイクル技術の工学的な実証を行う。 |

### 平成 20 年度対象プロジェクト一覧

|                  |       |       |             |                                                                                                                              |
|------------------|-------|-------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 高速増殖原型炉「もんじゅ」    | 文部科学省 | 1980- | 10,331（百万円） | 高速増殖炉サイクル技術確立に向けた研究開発を行うために、高速増殖原型炉「もんじゅ」の改造工事を進め、2008年度の運転再開を目指している。運転再開後は、所期の目的である発電プラントとしての信頼性を実証し、ナトリウム取扱技術の確立等の研究開発を行う。 |
| 高速増殖炉サイクル実用化研究開発 | 文部科学省 | 1999- | 11,798（百万円） | 2015年度までに、将来の軽水炉と比肩する安全性、経済性を有するとともに、資源有効利用性、環境負荷低減性、高い核不拡散性を有する高速増殖炉サイクル技術の実用化像と実用化に至るまでの研究開発計画を提示する。                       |
| 高速実験炉「常陽」        | 文部科学省 | 1970- | 2,682（百万円）  | 高速増殖炉の実用化に不可欠な高速中性子の照射場として、高速増殖炉用燃料・材料の高燃焼度化など、経済性向上等に係る革新技術の実証を進める。                                                         |
| MOX燃料製造技術開発      | 文部科学省 | 1967- | 4,185（百万円）  | MOX燃料の製造技術開発を進め、「常陽」・「もんじゅ」への燃料供給を通じて核燃料サイクル技術の実証を図るとともに燃料製造プロセスの簡素化等に関する技術開発を行う。また、これらの技術開発を民間MOX加工事業者への技術移転を進める。           |
| 発電用新型炉等技術開発      | 経済産業省 | 2007- | 4,372（百万円）  | 高速増殖炉サイクルの確立に向け、実証炉概念検討調査として実証炉の技術項目の検討および概念検討を実施し、実証炉の概念設計へ反映しうるような技術的根拠を得るために実証炉の設計・建設段階で必要となる「実プラント技術」を開発する。              |

## 2. 施策の総合フレームワーク(PLAN)

### (1) 国内外の情勢

2006 年 8 月、経済産業省は、「原子力立国計画」をとりまとめ、高速増殖実証炉及び関連サイクル施設の 2025 年頃までの実現、2050 年より前に商業ベースでの高速増殖炉の導入開始を目指すこととしました。また、同年 11 月、文部科学省において、これまでの研究開発の成果に対する評価を行い、2015 年までの研究開発計画を「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」としてとりまとめました。この中で、実現性が最も高いと考えられ、今後研究開発を特に進めるべき実用システム概念として、「ナトリウム冷却高速増殖炉(MOX 燃料)、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造」の組み合わせを主概念に選定し、これまでの幅広い調査研究を実施する段階から、実用化に集中した技術開発を行う段階へ移行しました。これらを踏まえ、原子力委員会は、同年 12 月に「高速増殖炉サイクル技術の今後 10 年程度の間における研究開発に関する基本方針」を決定しました。さらに、2007 年 3 月に閣議決定された「エネルギー基本計画」においては、

- 高速増殖炉サイクルの実用施設及びその実証施設の概念設計を 2015 年に提示することを目指す「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。
- 研究開発側と導入者側など関係者が一体となって高速増殖炉サイクルの実証・実用化段階への円滑な移行のための検討を行う。
- 2008 年度に高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転を再開し、10 年程度以内を目途に発電プラントとしての信頼性の実証及びナトリウム取扱技術の確立等所期の目的を達成する。
- これらの取組を通じて、概念設計提示後 10 年程度での実証施設の実現及び 2050 年よりも前の商業炉の開発を目指す。

とされました。

具体的な研究開発としては、文部科学省の公募、経済産業省の委託を含む予算を受けて、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)によって上記主概念に係る革新技術(炉システム:13 課題、燃料システム:12 課題)の研究開発を進め、実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を 2015 年に提示することを目指した「高速増殖炉サイクル実用化研究開発(Fast Reactor Cycle System Technology Development Project. 以下:FaCT)」が 2006 年度から進められています。FaCT は、五者協議会で定められたロードマップに従って実施されており、現在は 2010 年の革新技術の採否判断に必要となる各種データを取得のための機器やその要素を対象とした試験研究等が進められるとともに、実用・実証施設の設計研究が行われています。<sup>1</sup>

海外では、一時期、高速炉開発が停滞していましたが、近年、ウラン資源の有効利用や環境負荷低減の観点等から高速炉サイクルの研究開発の機運が再び高まっています。具体的には、2006 年 1 月にフランスは、2020 年に第四世代原子炉のプロトタイプを運転開始すると発表しました。2006 年 2 月に米国は、ブッシュ政権下で 2020 年頃までに高速炉や燃料サイクル施設を運転開始するプログラムを含む GNEP(国際原子力エネルギー・パートナーシップ)構想を提唱しました。なお、オバマ政権成立後は、米国内での高速炉や燃料サイクル施設の建設計画を中止し、諮問委員会にて軽水炉使用済み燃料の処分方策等についての検討が行われる予定です。また、ロシアにおいては、実験炉 BOR-60 や原型炉 BN-600 の運転が順調に継続されており、実証炉 BN-800 が建設されています。経済発展が著しい中国やインドも高速増殖炉サイクルの研究開発を積極的に進めており、中国は高速実験炉、インドは高速増殖原型炉の建設を進めています。<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (出典)[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm)  
<http://www.jaea.go.jp/04/fbr/top.html>  
<http://www.jst.go.jp/nrd/nuclear.html>

<sup>2</sup> (出典)[http://www.cea.fr/le\\_cea/actualites/systemes\\_nucleaires\\_du\\_futur\\_le\\_cea\\_va\\_assurer](http://www.cea.fr/le_cea/actualites/systemes_nucleaires_du_futur_le_cea_va_assurer)  
<http://www.iaea.org/inisnkm/nkm/aws/fnss/index.html>



ます。なお、2010 年度及び 2015 年度に国として評価を実施することとしています。

また、前述の五者協議会において、2007 年 4 月に「高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理」が決定され、比較的早い時期に実施すべき項目及び将来判断すべき論点とその時期を示すとともに、論点の判断に必要な技術的知見・データが示されました。

さらに、五者協議会では、第二再処理工場に係る 2010 年頃からの検討に向けた準備(予備的な調査・検討)の開始について決定(2007 年 4 月)され、原子力機構がそれらの調査・検討における中核機関と位置づけられ、同機構における燃料サイクル技術の検討体制を強化することが合意されました(2007 年 12 月)。

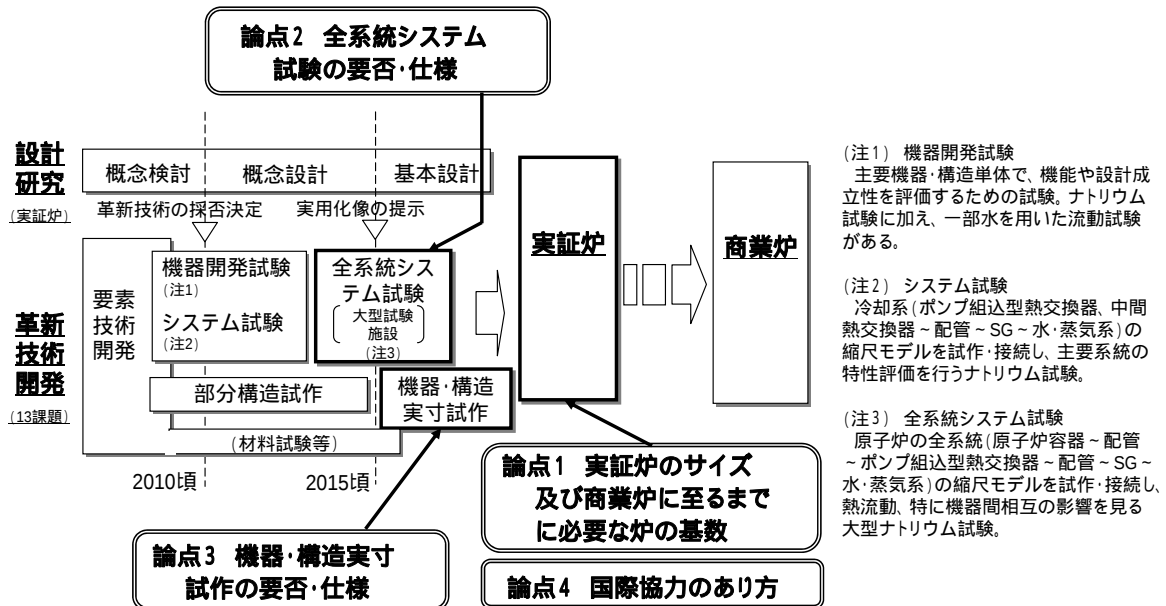
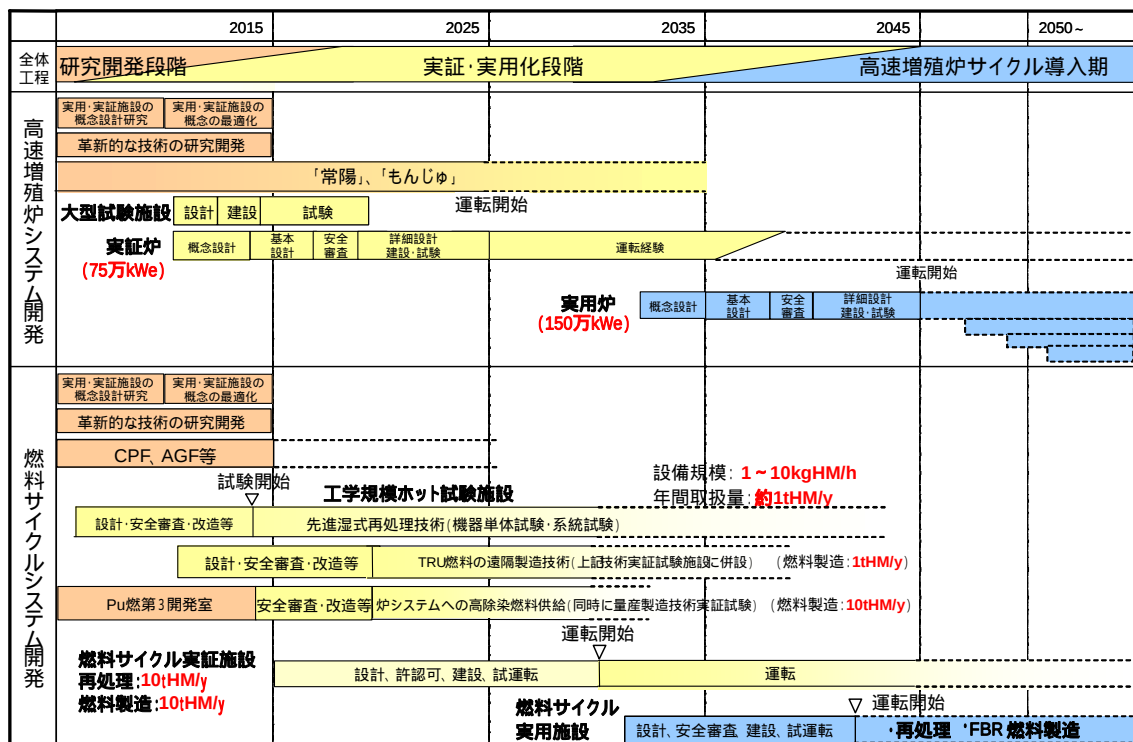


図 高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理

#### (4) 研究開発スケジュール及び技術ロードマップ

高速増殖炉サイクルの研究開発に係るロードマップ及びこれを想定した 2015 年までの研究開発計画は、2006 年 11 月に決定した「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」において示しています。2010 年度及び 2015 年度に国として評価を実施するとともに、あわせて、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展に対応し、ロードマップを再検討することとしています。



本ロードマップは2015年までの研究開発計画を作成するにあたり想定したもの

図 高速増殖炉サイクルの実用化を目指した研究開発計画<sup>3</sup>

### 3. 事務・事業のマネジメント(Do)

#### 事務・事業の統合化の活動

##### (1) 施策マネジメントの活動

政策レベルでの検討については、文部科学省で「原子力分野の研究開発に関する委員会」及び「原子力研究開発作業部会」、経済産業省で「原子力部会」がこれまで開催されています。さらに、内閣府の原子力委員会でも検討が行われました。

(開催実績)

文部科学省関係<sup>4</sup>

- ・原子力分野の研究開発に関する委員会  
第14回(2006年3月30日)～第22回(2006年10月31日) 計9回
- ・原子力研究開発作業部会  
第5回(2006年4月14日)～第17回(2006年10月26日) 計13回

経済産業省関係<sup>5</sup>

- ・原子力部会  
第6回(2005年12月26日)～第8回(2006年2月24日)  
第11回(2006年5月30日)～第16回(2008年2月6日) 計9回

内閣府原子力委員会

- 第46回(2006年11月7日) 第52回(2006年12月26日) 第53回(2006年12月27日) 第17回(2007年4月24日) 第44回(2007年10月29日)

<sup>3</sup>高速増殖炉サイクルの研究開発方針について [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm)

<sup>4</sup> 原子力分野の研究開発に関する委員会([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/010/index.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/010/index.html))

<sup>5</sup> 原子力部会 <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/commit11.htm#nuc>

また、文部科学省及び経済産業省が参画する官民協働の五者協議会がこれまでに計5回(第1回(2006年7月13日)～第5回(2007年12月6日))開催されています。

五者協議会においては、前述のとおり、2006年12月に高速増殖炉の開発に関して実証炉の「基本設計開始までのFBR研究開発体制」について、2007年4月に実証ステップへの円滑な移行を図るための「高速増殖炉の実証ステップとそれに至るまでの研究開発プロセスのあり方に関する中間論点整理」について、それぞれ決定されています。同じく4月には第二再処理工場に係る2010年頃からの検討に向けた準備(予備的な調査・検討)の開始が決定され、12月には日本原子力研究開発機構がそれらの調査・検討における中核機関と位置付けられ、同機構における燃料サイクル技術の検討体制を強化することが合意されました。

このように、文部科学省及び経済産業省は、五者協議会を通じて高速増殖炉サイクルの実証・実用化に向けた施策の実現に連携して取り組んでおり、必要な予算の確保に向け、最大限の努力を行っています。

## (2) プロジェクトマネジメントの基盤整備

原子力機構においては、高速増殖炉サイクル技術に係る研究開発のWBS(プロジェクトを完遂させるために必要な全ての作業を分割可能な単位に細分化して分析する手法)が整備され、最小の研究開発課題を単位として研究開発実施計画書を作成することにより計画内容や進捗状況の体系的な把握に努め、組織的にPDCAサイクル(計画の策定、実施、評価及び反映)が行われています。

また、同機構では、高速増殖炉サイクル技術が国家基幹技術の一つに位置付けられたことを受け、研究開発を一元的に推進するため、「高速増殖炉サイクル技術開発推進本部」を設置するとともに、設計統括機能強化の観点から組織再編を行うなど、着実に研究開発が進むよう取組が進められています。

## (3) 国内外の情報の収集活動

五者協議会やその下に設置された「高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会」等においては、文部科学省、経済産業省、電気事業者、メーカ、原子力機構等の間で、国内外の情報の共有が行われています。

また、高速増殖炉サイクル実用化研究開発を実施するため、電気事業者の代表としての日本原子力発電(株)は、原子力機構と締結している「高速増殖炉システムの実用化戦略調査研究に関する協力協定」(2006年3月27日、2008年3月25日に有効期限延長等に関する覚書に署名)に基づいて、同機構に技術者を派遣し、高速増殖炉サイクル技術に係る各種情報を共有するとともに、協働して研究開発を進めています。同機構は、関係する主要な国内外の学会、会議、シンポジウム等に積極的に参加し、高速増殖炉サイクル技術の研究開発成果の発信に努めるとともに、関係機関等からの成果情報等の情報収集に努めています。また、同機構は、組織横断的な連絡を密にし、効率的な研究開発、技術のブレークスルーを図るために、「高速増殖炉サイクル連携推進本部会議」を設置し、情報共有や連携推進に向けた協議を行っています。

## 個別プロジェクト等の実施

### (4) 既存の研究開発事業の進捗

#### 高速増殖炉サイクル実用化研究開発

原子力機構は、2005年度まで実施してきた「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」について、2006年11月に文部科学省が策定した「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」を踏まえ、研究開発段階を進め実用化に集中した「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」へ移行するとともに、2007年度から大幅に増額した予算を用いて研究開発を加速しています。

2008年度は、FaCTプロジェクトに係る研究開発成果が中間的に取りまとめられています。革新的技術

に係る課題の解決の見通しが要素技術開発によって検討され、技術の革新性ゆえ機器の製作性等で今後確認を要する必要な事項があるものの、現時点では設計対応によって性能目標の達成が可能であるとの見通しが得られています。

#### 高速増殖原型炉「もんじゅ」

高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転再開に向け、ナトリウム漏えい対策等の改造工事を進めて 2007 年 5 月に本体工事、同年 8 月に改造した設備の機能を確認する工事確認試験が完了し、現在プラント全体の健全性確認を行うプラント確認試験を実施しています。

しかしながら、2008 年、ナトリウム漏えい検出器の不具合や屋外排気ダクトの腐食孔の確認といったトラブルが発生し、これらに対する対応等のため、2008 年度に予定していた運転再開を延期しました。

原子力機構は原子力安全・保安院の特別な保安検査における安全管理体制等の不備に関する指摘を踏まえた「もんじゅ」に係る組織体制の改善及び新潟県中越沖地震の経験を踏まえた耐震安全性に係る調査等を精力的に実施するとともに、2009 年 2 月にナトリウム漏えい検出器等の点検報告書を提出し、また、同年 5 月には屋外排気ダクトの補修工事を完了し、早期の運転再開、性能試験実施に向けてプラント確認試験（144 項目中残り 8 項目）を再開しました。

#### 高速実験炉「常陽」

高速実験炉「常陽」は、MK- 第 3～第 6 サイクルで ODS 鋼の照射下クリープ試験、受動的な安全装置である自己作動型炉停止機構を構成する部材の安定性を確認するための照射試験、マイナーアクチニド含有燃料の高線出力試験を実施し、2007 年 5 月から第 15 回施設定期検査を開始しました。

しかしながら、2007 年 11 月に原子炉容器内の計装線付実験装置と回転プラグの干渉による燃料交換機能の一部阻害が発生し、定期検査を延長しています。

2008 年度は、原因究明と対策の検討を継続するとともに、外部有識者も招へいして、原子力機構に設けた、「常陽」利用検討委員会を開催し、再起動の妥当性及び必要性について検討を進めました。その結果、高速増殖炉用燃料・材料の高燃焼度化など、経済性向上等に係る革新技術の実証に向け必要不可欠な施設であることから、早期に運転を再開させるべきとの結論が答申されました(2009 年 4 月)。

#### MOX 燃料製造技術開発

MOX 燃料製造技術開発においては、「常陽」取替燃料用の燃集合体の製造を完了しました。また、工学規模での簡素化ペレット法等の燃料製造技術開発試験を開始しました。

また、民間事業者からの要請に応じた技術者の派遣、民間事業者から受け入れた運転員の教育・訓練や MOX 燃料加工技術の高度化研究等を通じ、同機構が保有する MOX 燃料製造技術に関して民間事業者への技術協力を進めました。

#### 発電用新型炉等技術開発

経済産業省は、2007 年度から新たに、高速増殖炉の実証施設の概念検討、実証炉に向けた「実プラント技術」の開発（高温構造材料の規格基準整備、鋼板コンクリート造格納容器の開発、耐震性評価技術の開発、保守技術の開発）について、委託事業を開始しました。

2008 年度は、五者協議会で合意された開発ロードマップに沿って、実証炉の概念検討等を充実・強化するとともに、革新技術の成立性判断に向けた研究開発を本格化しました。2010 年度に行う実証炉の出力規模及び革新技術の採否判断等に向けて、技術的知見の拡充・詳細化を図るべく、研究開発を推進しました。

#### (5) 関連プロジェクトの取組

文部科学省は、2006 年度から、原子力システム研究開発事業に特別推進分野を新設し、革新的原子力システムの実用化に関する研究開発の委託事業を開始しました。この中で、高速増殖炉の開発課題に係る研究開発についても取組を進めています。

また、経済産業省では、高速増殖炉サイクル技術の研究開発の推進の一環として、高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発（高速炉再処理技術を用いた次世代再処理工場で回収される高線量の回収ウラン・MOX を既存の軽水炉燃料サイクル施設で取扱可能とする除染技術）等について、2007 年度から委託事業を開始しました。

#### (6) 関連施策の取組

2006 年 8 月に経済産業省の原子力部会がとりまとめた「原子力立国計画」において、長半減期低発熱性放射性廃棄物（TRU 廃棄物）の地層処分事業のあり方が示されました。これを受けて、原子力発電環境整備機構による最終処分の対象に TRU 廃棄物を追加するための関係法令が改正されました。

また、「原子力立国計画」においては、六ヶ所再処理工場で再処理される以外の使用済燃料の再処理費用についての暫定的積立制度や原子力発電所新規建設に関する初期投資負担の平準化の考え方が示され、これらの制度を創設するための経済産業省令の改正が行われました。これらのように、電気事業者の自主的な経営判断として原子力発電投資が円滑に行われるような事業環境の整備が進められています。

#### 横断的な活動

#### (7) 研究者・技術者の育成・維持

原子力機構では、これまで「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究」を 1999 年度より 2005 年度まで実施し、現在は FaCT プロジェクトを鋭意進めています。高速増殖炉サイクル技術の研究開発については、関係する 3 つの拠点（大洗研究開発センター、東海研究開発センター、敦賀本部）にて、当該研究に携わった職員以外にも対象に、研究開発成果の報告会及び意見交換会を実施してきました。

なお、原子力機構は、大学公開特別講座などの制度を通じて東京大学大学院工学系研究科の原子力専攻（専門職大学院）等に、非常勤講師として同機構の職員を派遣し、高速増殖炉サイクル技術に限らず、将来の原子力産業界や安全規制行政の指導的役割を果たす原子力専門家の養成・教育に協力しています。また、大学と原子力関係法人との連携大学院制度により、法人の施設・設備や人的資源を有効に活用し、教育研究内容の豊富化・学際化、研究者との交流の促進、大学院教育の活性化等を図っています（福井大学、東京工業大学等）。さらに、同機構においては、人材育成や人員確保の観点から、博士号取得者を任期付研究員等として採用し、研究開発に参画させています。

#### (8) 研究者・技術者等への情報発信

関係する多くの研究者・技術者に向けて、学会をはじめ、報告会、専門誌等を通じて高速増殖炉サイクル技術に係る情報発信を行っています。2008 年度の主な情報発信実績は以下の通りです。

- ・(社)日本原子力学会 秋の大会、春の年会
- ・原子力年鑑 2009 日本原子力産業協会監修 FBR 開発体制整う
- ・日本原子力学会誌 シリーズ解説第 3 回「FBR サイクルの実用化を目指して( )」
- ・日本原子力学会誌 シリーズ解説第 4 回「FBR サイクルの実用化を目指して( )」
- ・16th International Conference on Nuclear Engineering(ICONE16)(2008 年 5 月、米国)
- ・2008 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants(ICAPP'08)(2008 年 6 月、米国)

#### (9) 国民への情報発信

文部科学省は、原子力機構の協力を得て、「もんじゅ」フォーラム、「もんじゅ」セミナー、もんじゅ科学アカデミー等を開催しています。

原子力機構は、高速増殖原型炉「もんじゅ」のある敦賀本部を中心に、「もんじゅ」の運転再開に向けて2007年12月から敦賀本部を挙げてのキャンペーン活動として、福井県内の全17市町23か所における原子力機構報告会（住民説明会）の開催、テレビコマーシャルやラジオコマーシャルの放送、地元新聞34誌への広告掲載、報道機関への現場公開・事業説明会、毎週のプレス発表とそのホームページ掲載等の公聴・広報活動、福井県内における出前説明会「さいくるミーティング」（2007年12月から2009年3月までに235回）、友の会、懇話会、オープンセミナー、モニター福井見学会・意見交換会等を開催しました。原子力機構報告会の参加者のうち1737名からのアンケートにおいて、「もんじゅ」の開発意義について「よく理解できた」、「大体理解できた」を併せて67%とのご回答をいただいたことから、多くの方々にご理解いただいたものと考えています。また、敦賀本部の女性職員によるPAチーム「あっぷる」による資料作成・説明は分かりやすいとの傾向等も分析されました。東海研究開発センターでは、「さいくるフレンドリートーク」の実施、住民とのリスクコミュニケーション素材の作成、リスクポータルサイト「リスク情報ナビ」の開発等を通して茨城地区での理解促進に努めています。さらに、高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズの成果が取りまとめられた際、パンフレットの見直しを行うとともに、広報ビデオ「原子力・未来への挑戦～夢のエネルギーを実現するために～」が作成され、サイエンスチャンネルやそのインターネットテレビにおいて広く配信されています。研究者・技術者と一般の方々が気軽に科学について直接語り合える相互理解の場として開催している「サイエンスカフェ」では、高速増殖炉の燃料製造に用いるマイクロ波脱硝技術について電子レンジを使った身近な実験で解説する等、国民理解の促進に努めています。

小中学生等の原子力に対する関心や理解を深めるため、原子力機構は、女性職員により組織されたPAチーム（敦賀地区の「あっぷる」、東海地区の「スイートポテト」、大洗地区の「シュガーズ」等）が近隣の小中学校に出向き原子力に関する出張授業を行っています。PAチームでは高速増殖炉サイクル技術にかかる研究開発を分かりやすく説明する資料を活用しています。展示館を活用した小学校・中学校・高等学校の原子力・エネルギー教育への協力として、原子力機構の敦賀本部では、物理・電気等の理科科目に関する科学実験を中心とした「アクアトム科学塾」（約70回開催、約3,000人受講）を含めて学科授業等を約160回開催しました。また、大洗わくわく科学館等の展示館においても、小学生を対象とした理科教室等を行っています。さらに、実験や実習等を通して直接科学技術を体験する、高校生を対象としたサイエンスキャンプ（科学技術振興機構主催）が行われています。

さらに、文部科学省及び経済産業省は、FaCTの情報発信とともに意見を伺う会である『高速増殖炉サイクル実用化研究開発「FaCT セミナー ～国家基幹技術としての開発～」』と題した技術セミナーを後援し（2007年11月、大阪）、260名超の聴講者に対して高速増殖炉サイクル技術の実用化に向けた施策を示しました。

#### (10) 情報公開活動の内容

原子力機構が刊行する研究開発報告書類（JAEA Research 等）や職員等が原子力関連の学会誌等へ発表した論文の研究開発成果については、研究開発成果検索・閲覧システム「JOPSS」によりインターネット上から検索・閲覧が可能となっています。<sup>6</sup>また、原子力機構の研究開発拠点等には、情報公開窓口<sup>7</sup>が設けられています。

さらに、高速増殖炉サイクル技術に関する様々な質問に対しては、原子力機構に対する電子メール、文部科学省の「もんじゅ質問箱」を通じて問い合わせを受け、適宜回答しています。

#### (11) 国際協力の推進

2006年2月に米国エネルギー省が提唱した GNEP 構想については、同構想の加速化を図るための国

<sup>6</sup> 日本原子力研究開発機構 研究開発成果ホームページ（<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/common/index.html>）

<sup>7</sup> 日本原子力研究開発機構 情報公開窓口案内（<http://www.jaea.go.jp/01/koukai/mado.html>）

内外の産業界からの関心表明の募集に対して、同年 9 月に原子力機構が国内関連各社と連名で JSFR（Japanese Sodium-cooled Fast Reactor）等の概念を提案しました。その後、同省が 2007 年 5 月に発表した提案公募（FOA: Funding Opportunity Announcement）に対して、中核メーカに選定された三菱重工業（株）がフランスのアレバ社等と共同で我が国の高速炉概念を提案し、同年 9 月に他の 3 つのグループの提案と共に採択されました。また、同年 6 月には、原子力機構とフランス原子力庁が、この三菱重工業（株）等の共同提案チームを技術的に支援する旨の覚書を署名しました。FOA では、先進リサイクル炉と核燃料サイクル施設について検討し、初期フェーズ、継続フェーズ 1 の検討の後、現在継続フェーズ 2（2008 年 10 月～2009 年 9 月）を実施しているところです。

また、2007 年 4 月、経済産業省、文部科学省及び外務省は、米国エネルギー省と日米の 2 国間で GNEP に基づく原子力エネルギー研究開発協力、原子力発電所の新規建設支援等について協力を促進することを目的とする「日米原子力エネルギー共同行動計画」を策定して署名しました。原子力エネルギー研究開発協力については、高速炉技術ワーキンググループ、燃料サイクル技術ワーキンググループ等の 6 つのワーキンググループが設置され各々が活動を行っています。

わが国は、米国との国際協力を進めるとともに、2020 年に第四世代原子炉のプロトタイプを運転開始すると宣言しているフランスも加え、ナトリウム冷却高速炉の研究開発を相互に調和させ、実用化に向けた研究開発協力の拡大が肝要であると考え、2008 年 1 月に、原子力機構、米国エネルギー省及びフランス原子力庁の三者による「ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉の研究協力に関する覚書」が署名されました。さらに、同年 8 月には、協力項目に「もんじゅ」を活用することにより得られる知見を反映する計画の検討等が追加されるとともに、協力機関が延長されました。なお、2009 年 1 月に政権を交代した米国の原子力政策における予算配分は前年度から大幅に見直されており、近い将来をターゲットとした高速炉プロトタイプの開発凍結など、GNEP の初期のプログラムは見直されています。このため、これまでの日米及び日米仏協力の見直し・検討が必要と考えています。

日仏間では、2005 年 12 月にフランス原子力庁と原子力機構が締結した「原子力研究開発分野における協力のためのフレームワーク協定」に基づき、設計研究や先進燃料開発等の協力が進められています。また、フランス電力株式会社と原子力機構は、高速増殖原型炉「もんじゅ」と高速増殖実証炉「スーパーフェニックス」の運転・保守等の協力を目的に締結していた「もんじゅ - スーパーフェニックスの運転保守に係る情報交換取決め」を 2008 年 10 月に改正し、高速炉システムまで拡大して協力が行えるようになりました。

一方、多国間協力については、第四世代原子力システム国際フォーラムにおいて、候補である 6 つの原子炉概念のうちナトリウム冷却高速炉について、2006 年 2 月にフランス、日本、韓国、米国、EU が、その研究開発に係るシステム協定に署名し、既に 5 つの研究開発プロジェクトが設置されています。日本は、既に高速増殖炉サイクル実用化研究開発で実用化を目指す主概念としてナトリウム冷却高速炉の研究開発に重点的に取り組んでおり、わが国は当該システムの運営委員会の議長国としてリーダーシップを発揮しています。また、IAEA（国際原子力機関）のもとでは、INPRO（革新的原子炉及び燃料サイクル国際プロジェクト）に対して、日本は 2006 年 4 月に正式参加を表明し、「高速炉を用いたクローズド燃料サイクル INPRO 合同評価スタディー」に参加して JSFR に関する評価を実施するとともに、TWG-FR（高速炉技術ワーキンググループ）に参画し世界の高速増殖炉の研究開発に係る情報交換を行っています。

これらの他、カザフスタン共和国との共同研究により、仮想的な炉心損傷事故時における炉容器内事象終息の見通しを得るための試験を実施し、設計上の工夫により、大きな機械エネルギーの発生要因となる再臨界は防止し得るとの見通しを得るとともに、ロシア原子炉科学研究所の BOR-60 において、燃料の高燃焼度化が達成可能な革新的な被覆管（ODS 鋼被覆管）の照射試験を進めています。

また、「もんじゅ」では、海外研究者や研修生の受入れ機能を研究支援の面から強化するために 2008 年 7 月にリエゾン・オフィスを設置して、新規 5 名を含む 7 名の研究者を受け入れています。また、フランス原子力庁との間で、「もんじゅ」性能試験や仏国の高速炉フェニックスのエンド・オブ・ライ

フ試験に向けての情報交換が進められ、米国エネルギー省から「もんじゅ」性能試験に向けて研究員を招聘する準備が進められています。

#### (12) その他の推進方策の取組

- ・研究過程で得た知見の有効活用のためのデータベース整備・分析等の活動

原子力機構は、知的財産権の適切な保護を考慮した研究開発成果の体系的に集約、及び人材育成や技術継承の観点から、関係機関と連携を図りつつ知識管理経営の検討を開始しています。また、知識管理に関する講演も行いました。

- ・プロジェクト管理の徹底のための検討会等

原子力機構では、前述の「高速増殖炉サイクル技術開発推進本部会議」のもとに、同機構内外の有識者が参画する「プロジェクト会議」が設置され、研究開発の内容の検討を行い、技術的側面からプロジェクトの進捗管理を支えています。

#### 評価・改善の取組

##### (13) 施策評価の実施

原子力委員会は、「原子力政策大綱」において、高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズの成果を速やかに評価して、その後の研究開発の方針を提示することとしており、これを受け、文部科学省は「原子力分野の研究開発に関する委員会」での評価、方針の提示を行いました。また、経済産業省は、原子力部会において「原子力立国計画」をとりまとめ、方針を提示しました。

今後の評価については、2010 年度及び 2015 年度に国として評価を行うこととしています。また、原子力委員会は、「高速増殖炉サイクル技術の今後 10 年程度の間における研究開発に関する基本方針」において、国は、2010 年頃に、それまでに研究開発の進捗状況や実用化に向けた取組の検討状況等を評価し、その結果を踏まえてその後の研究開発方針の、一層の具体化を図ることとしています。

また、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」で、研究開発側と導入者側が課題を協議し、方針を具体化して、認識を共有しながら研究開発を進めています。

##### (14) プロジェクト評価(中間・事後評価等)の実施

原子力機構の業務運営については、文部科学省及び経済産業省の独立行政法人評価委員会による実績評価が毎年行われています。

一方、プロジェクトの内容そのものの評価については、2010 年度及び 2015 年度の国の評価において、「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」に記載されている「評価・判断のポイント」に基づき行われる予定ですが、これとは別に、原子力機構では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(2001 年 11 月 28 日内閣総理大臣決定)及び「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(2002 年 6 月 20 日文部科学大臣決定)並びに同機構の「研究開発課題評価実施規程」等に基づいて、関連分野の専門家を中心とした外部有識者を委員とする「研究開発・評価委員会」により、研究開発の計画的と成果及び今後について、計画的に評価を受けています。

高速増殖炉サイクル実用化研究開発については、「次世代原子力システム/核燃料サイクル研究開発・評価委員会」により、2006 年度～2010 年度の研究開発計画とクライテリア、投資対効果(経済性)研究開発体制が評価され、概ね妥当とされました。さらに、同じ委員会により、高速増殖炉サイクル実用化研究開発の 2008 年度までの成果について中間的な評価が行われています。

#### 4. 総合的な結果・成果(パフォーマンス)や今後の課題・計画(See)

## (1) 活動の総括

「原子力政策大綱」や「第3期科学技術基本計画」（2006年3月、閣議決定）に示された高速増殖炉サイクル技術の開発目標を踏まえて、2006年3月に原子力機構等が取りまとめた「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ 最終報告書」の評価が行われ、経済産業省の「原子力部会」、文部科学省の「原子力分野の研究開発に関する委員会」、原子力委員会及び「エネルギー基本計画」において今後の研究開発の方針等が決定されました。加えて、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」等が設置され、高速増殖炉サイクルの実用化に向けての官民一体となった活動が積極的に行われています。また、わが国と同時期に次期高速炉等の建設を行う計画を有する国との国際協力についても、必要となる協力の枠組みが適宜結ばれ、協力が開始されています。さらに、開発資金の面においても、文部科学省が2006年度に原子力システム研究開発事業に特別推進分野を新設し、経済産業省が2007年度から委託事業を開始しました。

このように、2008年度においても、高速増殖炉サイクル技術の研究開発を推進する様々な取組みが行われ、高速増殖炉サイクル実用化研究開発については、2006年度の開始から3年間の成果の中間的な取りまとめが行われているところです。今後も、高速増殖炉サイクルの実用化に向けて、これらの枠組等を一層充実・発展させ、着実に研究開発を進めていく必要があります。

## (2) 知の産出と表彰等の評価

高速増殖炉サイクル技術の研究は、これまでに(社)日本金属学会の技術開発賞受賞をはじめ、国内外で多方面から評価を得ています。2008年度は、4件受賞しています。

### ○ 炉物理に関する国際会議（PHYSOR'08）における受賞 最優秀論文賞

「First3-D calculation of core disruptive accident in a large scale sodium-cooled fast reactor」

山野秀将、飛田吉春、藤田哲史、W. Maschek（独国 FZK）2008年9月19日

大型ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故について世界で初めて3次元シミュレーションを行いました。再臨界回避策がない炉心では再臨界に至り得ることを定量的に示し、FBRサイクル実用化研究開発で実現を目指している再臨界回避策の必要性を示しました。

### ○（社）日本流体力学会 第22回数値流体力学シンポジウムベストCFDグラフィックス・アワード第3位

「ガス巻込み現象の Photorealistic 可視化」伊藤啓 2009年3月23日

開発した高精度気液二相流解析手法を用いて、高速炉ガス巻込みを模擬した基礎実験を対象とした解析を行い、液面から吸込み管への液面窪み（ガスコア）の発達によるガス巻込みの発生を再現することができました。

### ○（社）日本原子力学会 計算科学技術部会 部会賞 部会奨励賞

「高速炉ガス巻込み現象の評価を目的とした高精度気液二相流数値解析手法の開発」

伊藤啓 2009年3月23日

高速炉ガス巻込み現象の詳細評価を目的として、複雑形状が解析可能な非構造格子系において、気液各相の体積保存性を完全に満足し、界面近傍の非物理的不安定挙動を抑制できる、高精度・安定な気液二相流数値解析手法の構築に成功しました。更に、ガス巻込み基礎実験を対象とした数値解析を実施し、発生機構を含むガス巻込み現象全体を再現可能であることを確認しました。

### ○（社）計測自動制御学会 2007年度計測部門論文賞

「高速増殖炉用抵抗方式ナトリウム温度計測システム」

山崎弘郎（東大）、本多敏（慶応大）、上田雅司、故遠藤昭、笛木学（横河電機） 2008年9月26日

「もんじゅ」事故の原因となった温度計のさや管を用いずに、配管内部の液体ナトリウムの温度を、外部から抵抗温度計方式により計測できることをシミュレーションと実験により明らかにした。

また、当該技術の研究開発を通じて、2008年度で論文発表116件、特許出願15件がなされています。具体的には、論文では、ナトリウム冷却高速炉における大口径配管の流力振動評価に関する研究、コンパクト化したナトリウム冷却高速炉の炉上部機構(UIS)に設けた切込み周りの流動場に関する研

究、高燃焼度照射した高速炉 MOX 燃料集合体の照射挙動、乾式再処理より発生する塩廃棄物の酸化物への転換処理など、国内外に発表を行いました。特許に関しては、保守補修性の改善のため、電磁超音波探触子を用いたハイブリット計測装置およびこれを用いた検査方法に関する特許を出願しました。また、高速増殖炉サイクルにおける高速増殖炉用核燃料ペレットの製造方法に関する特許も出願しました。

上記以外にも、専門誌で連載等が組まれています。

- ・日本原子力学会誌 シリーズ解説第 3 回「FBR サイクルの実用化を目指して(Ⅰ)」
- ・日本原子力学会誌 シリーズ解説第 4 回「FBR サイクルの実用化を目指して(Ⅱ)」

### (3) 実用化・社会適用

原子力機構では、高速増殖炉の機器設計や安全評価だけでなく、種々の線形、非線形構造解析が可能な FINAS (汎用非線形構造解析システム) の開発を 1976 年以来行っています。現在、伊藤忠テクノソリューションズ(株)(CTC)が同機構の許諾を得て FINAS の販売・保守及び改良の業務を行っており、これまで多くの民間企業や大学に導入されています。

また、日本原子力研究開発機構におけるプルトニウム燃料製造技術は、日本原燃(株)で計画している MOX 燃料加工事業に採用される予定です。

- 1999 年 6 月：事業化調査に関する技術協力協定を締結
- 2000 年 12 月：建設・運転等に関する技術協力協定を締結
- 2012 年 10 月：MOX 燃料工場竣工予定

さらに、高速増殖炉の異常の早期検知のために開発した機器診断技術を、積雪地域の路面状況把握する「路面状況判定センサー」に応用し、測定精度を従来の 80% 台から 90% 台に向上したセンサーとして実用化して 2006 年から販売実績を上げています。

高速増殖炉の燃料の材料用に開発中の ODS フェライト鋼は、耐照射性と内圧クリープ破断強度に優れていることから、高温強度が要求される核融合炉の第一壁材料や超々臨界圧ボイラ用材料としての適用が期待されています。

### (4) 規制・標準への反映

- ・日本機械学会 発電用設備規格委員会 原子力専門委員会 高温規格分科会 システム化規格タスクにおいて、2007 年度以来、高速炉の原子炉構造等の供用期間中検査要求を、システム化規格概念に基づき合理的に設定するための検討を継続しています。
- ・日本機械学会 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第 編 高速炉規格 2008 年版  
2005 年に初版を発行した規格の改訂版を 2009 年内に発行予定。材料基準等の改訂を行っており、機械学会 発電用設備規格委員会の規格策定活動に参画する形で機構が改訂に寄与しています。
- ・日本機械学会 発電用原子力設備規格 高速炉用溶接規格 2009 年版  
高速炉用の溶接規格であり、2009 年に初版発行予定。機械学会 発電用設備規格委員会の規格策定活動に参画する形で機構が改訂に寄与しています。

### (5) 今後の課題と計画

#### 課題の概要

高速増殖炉サイクルの実用化には、高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転を通じて信頼性等を実証するとともに、高い経済性や安全性等を達成するための革新的な技術を開発し国際標準となる設計を提示することが不可欠です。そのためには、高速増殖原型炉「もんじゅ」と高速実験炉「常陽」の運転や、新規の研究開発施設の建設を含む革新的な技術の開発等のための研究開発資金の確保が最も重要な課題です。また、我が国の技術を国際標準にするとともに、研究開発資金や開発リスクを低減する

ためには、国際協力の一層の推進や具体化を最近の情勢に柔軟に対応しながら進めていくことが課題です。さらに、核燃料サイクルの分野における開発体制の整備も重要な課題です。

#### 今後の計画

「高速増殖炉サイクルの研究開発方針について」等に基づき高速増殖炉サイクル実用化研究開発を着実に進めます。当該研究開発の推進に際しては、文部科学省の「原子力分野の研究開発に関する委員会」等を活用しつつ、プロジェクトマネジメントを効率的に実施します。また、「高速増殖炉サイクル実証プロセスへの円滑移行に関する五者協議会」及び「高速増殖炉サイクル実証プロセス研究会」を通して、研究開発段階から実証・実用化段階への移行にあたっての課題を検討し、研究開発の内容や進め方等について適宜適切にチェック・アンド・レビューを行いプロジェクトの遂行に反映させます。

戦略重点科学技術

国際協力で拓く核融合エネルギー:ITER 計画

文部科学省

## 1. 選定理由

核融合エネルギーは、豊富な資源、高い環境適合性、固有の安全性等の特徴を有しており、その実現により、エネルギーの長期的な安定供給と環境問題の克服を両立させることが期待されています。そのため、核融合エネルギー技術の研究開発は我が国のみならず世界的に重要な課題です。また、核融合エネルギー研究開発における燃焼プラズマ制御技術や先端工学技術の研究の進展は、未踏の科学技術領域を大きく切り開くとともに産業技術への幅広い波及効果も期待されています。このため、核融合エネルギーの実現に向けた重要なステップとして、核融合エネルギーの科学的・技術的な実現可能性を実証し、原型炉の建設に必要な技術基盤を構築するため、ITER（イーター：国際熱核融合実験炉）の建設・運転やこれに連携した幅広いアプローチ（BA：Broader Approach）活動を通じ、超高温環境の克服等に必要な炉心プラズマ生成・制御技術及び炉工学技術の研究開発を行います。

### 施策目標体系

|        |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 個別政策目標 | 世代を超えて安全に原子力エネルギーを利用する。                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                       |
| 成果目標   | 【文部科学省】 21世紀中葉までに実用化の目途を得ることを目標として、今後30年間のITERの建設・運転及び幅広いアプローチの実施等を通じ、超高温環境の克服等によりプラズマの長時間燃焼等の安定な核融合反応を実現し、核融合エネルギー利用への展望を拓き、当該技術の国際的イニシアティブを確保する。 |                                                                                                                                                                                                                       |
|        | 2010 年までの研究開発目標                                                                                                                                    | ・2010年度まで、2016年度中のITER完成・運転開始を目指して国際的に合意されたスケジュールに基づき、我が国が分担する装置・機器を着実に開発及び製造製作する。<br>・2010年度まで、ITERと並行して2006年度から補完的に実施するプロジェクト(幅広いアプローチ)について、日欧間の合意に基づき施設整備を進め、順次研究開発を実施することにより、ITERの効率的・効果的開発に寄与するとともに、原型炉設計を進展させる。 |

### 平成 20 年度対象プロジェクト一覧

|                 |       |             |            |                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|-------|-------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ITER 建設活動       | 文部科学省 | 2006 ~ 2016 | 4,700(百万円) | 日、欧、米、露、中、韓、印の7極が参加する ITER 計画において、実験炉 ITER を用いて燃焼プラズマを実現し、統合された核融合工学技術の有効性の実証、および将来の核融合炉のための工学機器の試験を行うため、我が国が分担する装置・機器の開発及び製造製作を行うとともに、ITER の建設・運転を行うITER国際核融合エネルギー機構への研究者等の派遣に関すること等を行う。 |
| 幅広いアプローチ (BA)活動 | 文部科学省 | 2006 ~ 2016 | 5,600(百万円) | ITER を支援・補完し、原型炉に向けた技術基盤を構築するための研究開発プロジェクトである幅広いアプローチについて、実施協定に基づき、青森県六ヶ所村と茨城県那珂市において、プロジェクトの実施に必要な施設設備を整備し、研究開発活動を実施する。                                                                  |

## 2. 施策の総合フレームワーク(PLAN)

### (1) 国内外の情勢

現在の主要なエネルギー供給源である化石エネルギーは燃料資源が有限であり、急激な人口増加や発展途上国の工業化に伴うエネルギー需要の増加から、燃料枯渇の恐れが生じています。一方、大気中の二酸化炭素濃度の上昇等に伴う地球温暖化問題が深刻化し、地球規模での環境問題への懸念が現在高まっています。そのため、21世紀後半には、二酸化炭素を排出しない非化石エネルギーの相当な規模での導入の必要性が世界的に認識されているところです。

中でも、核融合エネルギーは、燃料となる重水素等が海水中に豊富に存在し、少量の燃料から莫大なエネルギーを得ることができる（1gの重水素-三重水素燃料から石油8tに相当するエネルギーを得ることができる）ため、エネルギー問題の解決に資する上、発電過程において二酸化炭素や高レベル放射性廃棄物を排出せず、さらに反応が暴走しないという特徴を有するため、将来のエネルギー源とし

て期待されています。そのため、今世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の見通しを得ることを目指し、国内外でさかんに研究開発が行われています。

国内ではこれまで、核融合エネルギーの原理実証を目指し、日本原子力研究開発機構の有する臨界プラズマ試験装置JT-60を利用した開発研究や、各大学等における学術研究が行われてきました。中でも、最も研究開発が進展しているトカマク方式（コイルとプラズマ中に流す電流によってねじれた磁場を形成し、プラズマを閉じ込める）については、原理実証を終了し、工学的実証段階に入っています。この工学的な実証にあたっては、我が国は、日本・欧州・米国・ロシア・中国・韓国・インドの7極の国際協力の下で実施されるITER計画に参画しています。また、ITER計画と並行して、原型炉の早期実現を目指して、ITER計画を補完・支援するBA活動を日欧協力の下、我が国で実施しています。これらのプロジェクトについては、国際協力で実施することにより、少ない投資で一定の成果が得られ、各極の先進的知見を集結して実施することで計画の成功の可能性を高めています。

一方、核融合エネルギー技術は、極めて広範な要素科学技術を統合する技術であり、大学等における基礎研究も重要な役割を果たしています。核融合科学研究所や大学等においては、独創的なアイデアを活かした多様な核融合の研究（ヘリカル方式、レーザー方式等）が行われ、優れた成果をあげています。

これらの知見を集結し、核融合エネルギーの実現に向けて全日本的に取り組んでいくため、大学・研究機関・産業界などの研究者・技術者などの参加を広く求め、核融合エネルギーの実現に向けた研究・技術開発の支援を目的とした核融合エネルギーフォーラムが2007年7月に発足しました。さらに、その運営会議の下に、ITER計画及びBA活動に関して産学官の意見や知識の集約、国内連携協力の推進等を目的としたITER・BA技術推進委員会が設置されました。

海外でも核融合研究開発は盛んに行われており、欧州ではJET、ASDEX Upgrade、Tore Supraなど、米国ではD-D、Alcator C-MOD、NSTXなどの装置を用いて実験が進められています。また、アジアでは、中国の等離子体物理研究所（ASIPP）で超伝導中型トカマク装置EASTが2006年9月から運転を開始し、韓国の超伝導中型トカマク装置KSTARが2008年6月から運転を開始しました。インドでも、超伝導トカマク装置SST-1が間もなく完成する見込みです。このようにITER参加各極においてもITER計画と並行して、核融合エネルギーの実現に向けた独自の研究開発が進められています。

## (2) 戦略重点科学技術を推進する体制

ITER計画は日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドの7極、BA活動は日欧の国際協力の下で推進されています。どちらも国会承認を経た協定に基づき、実施しています。ITER計画及びBA活動に対する各極の貢献は、それぞれ国内機関、実施機関を指定して実施するものと協定上規定されており、我が国においては、日本原子力研究開発機構を指定しています（2007年10月24日にITER協定に基づく国内機関として、2007年6月1日に幅広いアプローチ協定に基づく実施機関として、日本原子力研究開発機構を文部科学大臣より指定）。

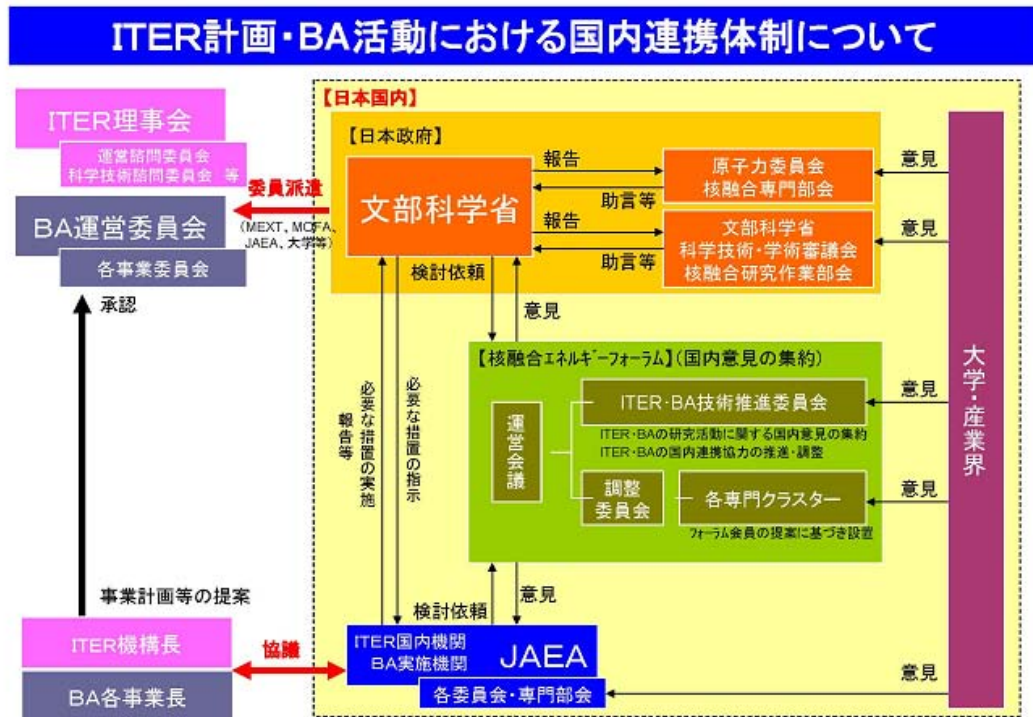
ITER計画については、ITER計画を実施する国際機関であるITER機構が、2007年10月24日のITER協定の発効によって正式に発足し、我が国は国内機関である日本原子力研究開発機構を通じ、ITER機構に対して、我が国の分担する機器の調達や人員派遣を実施しています。さらに、ITER計画に関する意思決定については、各極の代表者及びITER機構で構成されるITER理事会において決定しています。

BA活動については、我が国は実施機関である日本原子力研究開発機構を通じ、我が国の分担する機器の調達、事業チームへの人員派遣、サイト整備や建屋の建設を実施しています。さらに、BA活動に関する意思決定については、日・欧の代表者から構成されるBA運営委員会において決定しています。

一方、国内においては、全日本的に事業に取り組む体制として、核融合エネルギーフォーラムを活用しています。本フォーラムは、大学・研究機関・産業界等の研究者や技術者の自主参加による組織であり（会員数585名：2009年3月現在）、ITER計画及びBA活動の研究内容等に関する国内意見の集約、国内連携協力の推進・調整、情報発信、理解増進活動等を行うITER・BA技術推進委員会の創設を

盛り込み、前身である核融合フォーラムを発展継承する形で、2007年7月に発足しました。

また、技術的な側面に加え政策的な観点から審議・提言していただくため、文部科学省に科学技術・学術審議会/研究計画・評価分科会/原子力分野の研究開発に関する委員会/核融合研究作業部会を設置しています。



### (3) 具体的な目標

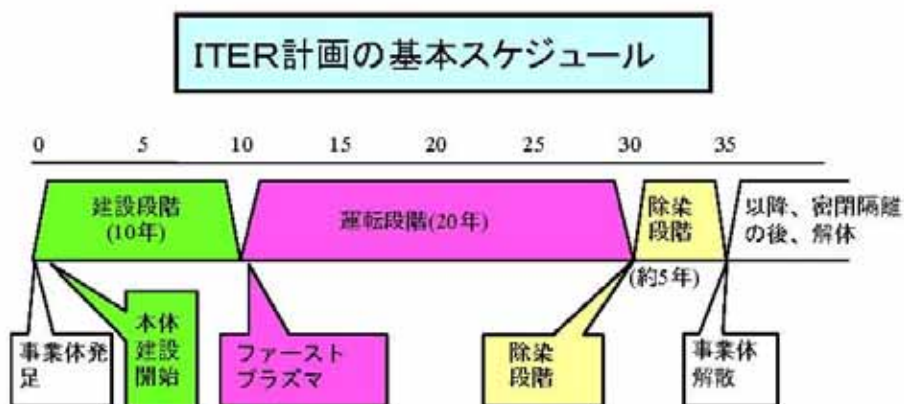
将来のエネルギー源として期待される核融合エネルギーの実現を目指し、ITER計画においては、燃焼プラズマの達成や長時間燃焼の実現、工学技術の統合試験等を通して、核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証することを目標としています。また、BA活動においては、発電実証を行う原型炉の実現のために必要な炉工学研究や、ITERだけでは実施できないプラズマ物理研究など、ITER計画を補完・支援する先進的な研究開発を行い、原型炉の早期実現に寄与することを目標としています。

### (4) 研究開発スケジュール

ITER計画については、国際的合意の下、建設段階10年間、運転段階20年間、除染段階5年間とされています。ITER建設活動のスケジュールは、ITER機構が全体スケジュールを提案し、参加極の代表から成るITER理事会で審議・承認されます。我が国においては、国内機関である日本原子力研究開発機構が、この全体スケジュールに基づき我が国が分担する個々の機器固有の技術内容に応じた調達スケジュールを作成します。調達スケジュールの改善が必要な場合は、ITER機構が中核となって関係参加極を含めた技術打合せ等で調整します。

BA活動のスケジュールは、3プロジェクト(国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 国際核融合エネルギー研究センター サテライト・トカマク計画)のプロジェクトリーダーが各プロジェクトの事業計画及び年度計画を作成し、日欧両極の代表から成る運営委員会で審議・承認され、設定・決定されます。スケジュールの変更が必要な場合は、日欧の実施機関とプロジェクトリーダー

との間で調整のうえ、運営委員会で審議・承認されることによって変更されます。  
2008 年現在、合意されているスケジュールは以下のとおりです。



## 幅広いアプローチ活動の基本スケジュール

| 年度                        |                 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010  | 2011 | 2012  | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------------------|-----------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 国際核融合材料照射施設の工学実証及び工学設計活動  |                 | ■    | ■    | ■    | ■     | ■    | ■     | ■    |      |      |      |      |
| 国際核融合エネルギー研究センター          | サイト整備及び建屋の建設    | ■    | ■    | ■    |       |      |       |      |      |      |      |      |
|                           | 計算機シミュレーションセンター |      |      |      | ..... | ■    | ■     | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |
|                           | 原型炉設計研究開発調整センター | ■    | ■    | ■    | ■     | ■    | ■     | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |
|                           | ITER遠隔実験センター    |      |      |      |       |      | ..... | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |
| サテライト・トカマク (JT-60の超伝導化改修) | JT-60の改修        | ■    | ■    | ■    | ■     | ■    | ■     | ■    | ■    | ■    | ■    | ■    |
|                           | JT-60SAの運転      |      |      |      |       |      |       |      |      |      | ■    | ■    |

### 3. 事務・事業のマネジメント (Do)

#### 事務・事業の統合化の活動

##### (1) 施策マネジメントと連携強化

核融合エネルギー研究開発を推進するため、2007 年度は、文部科学省/科学技術・学術審議会/研究計画・評価分科会/原子力分野の研究開発に関する委員会/核融合研究作業部会を3回開催しました。本作業部会は、2007 年 6 月に、報告書「ITER 計画、幅広いアプローチをはじめとする我が国の核融合研究の推進方策について」を取りまとめ、ITER 計画及び BA 活動の始動を受け、今後の核融合研究の推進方策を示しました。

本報告書における「今後、ITER 計画及び幅広いアプローチが実施段階に入ると、原子力機構をはじめ、学术界・産業界など様々な関係者が議論した上で、機動的に意見集約を行っていく必要がある。このため、これまで核融合研究・技術開発に関する情報交換や討議の場として活動してきた「核融合フォーラム」の性格も残しつつ必要な改変を行い、「核融合エネルギーフォーラム」を新たに設置することが適切である。」との提言が契機になり、ITER 計画及び BA 活動の実施に関する国内意見の集約等

の場として ITER・BA 技術推進委員会の新設を含む形で、2007 年 7 月に核融合エネルギーフォーラムが設置されました。

また、文部科学省は外務省と連携して、ITER 協定及び BA 協定の発効に向けた手続きを進めた結果、ITER 協定は 2007 年 10 月に、BA 協定は 2007 年 6 月に発効しました。

## (2) プロジェクトマネジメントの基盤整備

ITER 計画においては、ITER 機構から示される技術管理、品質管理等についてのガイドラインに沿った管理システムの整備が各極に義務づけられており、国内機関である日本原子力研究開発機構において、そのための基盤整備を実施しました。

BA 活動においては、運営委員会が全体の管理のガイドラインを確認のうえ、個別の調達ごとに日欧の実施機関間で締結される調達取決めにおいて、技術管理、品質管理等が規定されます。

## (3) 国内外の情報の収集活動

ITER 計画においては ITER 機構長、BA 活動においては各プロジェクトリーダーのイニシアティブで各種の技術会合（ITER 設計レビューや BA プロジェクトに関する技術検討会合等）が開催されています。日本原子力研究開発機構は、これらの会合に参画し、国際間の情報共有を効率的に行っています。トップマネジメントに係る国際間の情報共有は、ITER 理事会や BA 運営委員会及びそれらの準備会合で行われています。

また、国内においては、特に核融合エネルギーフォーラムを活用して、大学・研究機関・産業界等の意見集約等を実施し、全日本的に情報共有をしています。

## 個別プロジェクト等の実施

### (4) 新たに着手した研究開発

ITER 計画については、2007 年 10 月に「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」（ITER 協定）が発効し、ITER 機構が正式に発足して、ITER 建設活動が本格化しました。ITER 協定の署名後、暫定 ITER 機構が設立され活動が開始されていましたが、協定の発効後、我が国からは ITER 機構へ人材を派遣し、各種会合に出席するなど、積極的に活動に参画しました。また、我が国が分担する物納機器の調達活動を本格化し、2007 年 11 月に他極に先駆けて、トロイダル磁場コイル導体の調達取決めを ITER 機構と結び、その製作に着手しました。さらに、トロイダル磁場コイル巻線及びコイル構造物について、調達開始に必要な技術検証を終了し、2008 年 11 月に ITER 機構との間で調達取決めを締結し、その製作に着手しました。

BA 活動については、2007 年 6 月に「核融合エネルギーの研究分野における広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定」（BA 協定）が発効し、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 国際核融合エネルギー研究センター サテライト・トカマク計画の 3 つのプロジェクトが始動しました。それぞれ技術会合を開催し、事業計画及び年次計画等が取りまとめられるとともに、事業チームが発足するなど、実施体制が整いました。我が国は、我が国が分担する物納機器の調達を開始するとともに、六ヶ所サイト整備や建屋建設に着手しました。2009 年 3 月には六ヶ所サイトにおける管理研究棟が完成し、本格的な業務を開始するとともに、サテライト・トカマク計画において超伝導コイルを製作するため、那珂研究所内にて、長さ 600m の導体製造ラインと導体製作棟及び超伝導コイル巻線棟の建設工事を完了しました。

### (5) 既存の研究開発事業の進捗

ITER 用超伝導コイル製作に必要な技術基盤の構築に成功し、我が国のトロイダル磁場コイルの調達担当分について、他極に先駆けた調達取決めの締結（2007 年 11 月）につなげました。また、ITER の

加熱装置の一つである高周波加熱装置に用いる機器（ジャイロトロン）の開発において、我が国のみが既に調達仕様を達成し、2008 年度には ITER 機構の要請に基づき、ITER の運転条件を模擬した信頼性試験を実施し、ITER の運転条件の検討に貢献しました。また、炉内機器の一つであるダイバータの開発に関しては、実機製作のための性能評価試験用ダイバータ試験体を産業界の協力を得て製作し、従来の工学機器を凌駕する熱負荷耐久性能を実現して、ITER 機構による高熱負荷試験に世界で初めて成功するとともに、他極に先駆けて、我が国は、実機ダイバータ製作に必要な技術能力を ITER 機構から認定されました。さらに、ITER で試験する予定の核融合炉用発電ブランケットの試験体（TBM）について、他極に先駆けて第一壁（ブランケットのプラズマに面する部分）及び側壁（隣のブランケットに面する部分）の製作技術の確立と性能実証に成功するなど、ITER 参加 7 極による調達準備等に大きな前進をもたらし、国内外で高く評価されました。

また、日本原子力研究開発機構の大型トカマク JT-60 を用いた炉心プラズマ研究において、2008 年には高速イオンに起因する新たな不安定性を発見するとともに、その安定化手法を開発することにより、自由境界理想安定限界を超える高圧力（規格化ベータ値 3.0）のプラズマを約 5 秒間維持することに世界で初めて成功し、実用炉としての必須条件である高圧力プラズマの長時間維持に目処をつけるなど、我が国のみならず、世界における核融合研究開発の進展に大きく貢献し、JT-60 は 23 年余にわたる実験を完遂しました。

#### 横断的な活動

##### (6) 研究者・技術者の育成・維持等

日本原子力研究開発機構では、大学等との連携強化・人材育成策の具体化を目的に、国内の大学・研究機関の研究者等を委員とする「核融合炉工学研究委員会」「ITER プロジェクト委員会」等の委員会を開催し、共同研究の進め方等について意見交換をしました。

さらに、ITER 計画や BA 活動に関して大学・研究機関・産業界等の意見や知識の集約を図り、連携のあり方等について全日本的に議論する ITER・BA 技術推進委員会の創設を含む核融合エネルギーフォーラムが設置され、ITER 計画及び BA 活動の本格実施に向けた体制が整備されました。

また、核融合分野以外の原子力関連基礎技術分野の研究者・技術者が ITER 計画や BA 活動に参加することを促すため、大学・研究機関・産業界等の幅広い研究者・技術者に対し、ITER 機構の職員公募や BA 活動に関連する研究員・技術者の公募に関する情報を周知しました。特に、ITER 機構職員の公募については、我が国からも積極的に応募されるよう、国内機関である日本原子力研究開発機構を通じて各所へ情報を発信し、また応募者を取りまとめ、ITER 機構へ応答するなど、選考のプロセスにおいて支援しています。なお、2009 年 3 月末現在、ITER 機構には 19 名（ITER 機構全専門職員数 240 名）の日本人が専門職員として派遣されています。また、日本原子力研究開発機構の臨界プラズマ試験装置 JT-60 や核融合工学研究施設における課題募集型の共同研究の継続を支援し、大学院生、若手研究者を含む研究者・技術者の育成維持を促しました。

##### (7) 研究者・技術者等への情報発信

ITER 計画及び BA 活動に関する事業内容等の情報を文部科学省のホームページ、日本原子力研究開発機構のホームページに掲載して、情報発信を行っています。

また、プラズマ・核融合学会誌に定期的に「ITER だより」、「幅広いアプローチ活動だより」を掲載するとともに、「エネルギーレビュー」（エネルギー専門誌）に ITER 機構日本人職員の記事「仏カダラッシュから」を連載し、関係者、研究者・技術者に向けて ITER 計画の研究開発の進捗状況や内容、サイト整備状況・職員応募等について情報発信を積極的に行っています。さらに、前述のとおり、大学・研究機関・産業界等からの意見集約・情報共有を目的として、核融合エネルギーフォーラム関連会合（2008 年度は、運営会議 2 回、全体会合 1 回、調整委員会 3 回等、ITER・BA 技術推進委員会 7 回等）を実施しています。

これら以外にも、2009年3月の第3回核融合エネルギーフォーラム全体会合において、「科学技術計画におけるグローバリズムとナショナリズム」と題する特別講演会を行い、ITER計画のほか、国際宇宙ステーション(ISS)計画及び国際リニアコライダー(ILC)に関する最新状況や国際協力の枠組みについて説明を受け、国際協力を進める他の大型科学技術計画も同時に並べることにより、ITER計画における国際的な役割分担、知財や競争、国際貢献などの特徴的な枠組みを明確にし、その活動の在り方についての理解を深めるための意見交換を実施しました。

#### (8) 国民への情報発信

ITER計画、BA活動をはじめ、核融合エネルギーの研究開発に関して、国民への情報発信を積極的に行っています。具体的には、つくばエキスポセンターや日本科学未来館、地域イベント（那珂ひまわりフェスティバル、六ヶ所村フェスティバル、六ヶ所産業祭り等）での展示協力や講師派遣などに積極的に取り組みました。また、青森県や茨城県において、日本原子力研究開発機構は、地方自治体や民間の説明会に参画し、見学会、セミナー等を開催（青森県で9回、茨城県で5回）しました。

これら以外にも国民に向けて、日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所の施設公開や地域のフェスティバル等でのパンフレット配布、核融合エネルギー開発を紹介するDVDや文庫版小冊子の作成と配布を行っています。

特に、学生の核融合エネルギーに対する関心を深めるため、上記の日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所の施設公開を行うとともに、サマー・サイエンスキャンプを実施した際には、全国各地からの高校・高専生18名に核融合に関する講義を受講させた後、研究者の指導によりJT-60実験運転へ参加させるなど、実体験を通じた広報活動を実施しました。

#### (9) 情報公開活動

文部科学省においては、文部科学省/科学技術・学術審議会/研究計画・評価分科会/原子力分野の研究開発に関する委員会/核融合研究作業部会を公開するとともに、配布資料等をホームページで発信しています。また、日本原子力研究開発機構においては、成果報告会の開催、各種学会会合でのブース展示、日本原子力研究開発機構のホームページ、学会誌への情報公開等を行っています。

#### (10) 国際協力による推進

ITER計画は、日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インドの7極の国際協力により、また、BA活動については、日欧協力により実施しています。

その他に、核融合研究開発の推進のため、OECD/IEA（経済協力開発機構/国際エネルギー機関）下での協力として、大型トカマク等の協力、核融合材料照射に関する協力、核融合のための環境、安全性、経済性に関する協力、核融合炉工学に関する協力等、計8つの協力を実施しており、またIAEA（国際原子力機関）下の協力として研究協力、技術会合等を行っています。さらに、二国間協力としては、ダブルットIIIプロジェクト及び第一壁及びブランケット構造材料照射に関する日米協力、炉心プラズマ及び核融合工学分野の日韓協力をはじめとして、日中協力、日欧協力等を実施しています。

#### 評価・改善の取組

##### 施策評価の実施

文部科学省/科学技術・学術審議会/研究計画・評価分科会/原子力分野の研究開発に関する委員会/核融合研究作業部会において、当該施策全体の評価を行っています。

また、ITER計画やBA活動の本格化を踏まえ、2007年10月より原子力委員会核融合専門部会において、同部会が2005年10月にとりまとめた「核融合研究開発の推進方策について」の政策方針の妥当性も含めた核融合研究開発に関する評価が行われています。

#### (11) プロジェクト評価(中間・事後評価等)の実施

文部科学省は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」(2005年4月 内閣総理大臣決定)に基づき策定された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」(2005年9月 文部科学大臣決定)に則り、プロジェクト評価を実施しており、2007年8月の文部科学省/科学技術・学術審議会/研究計画・評価分科会における原子力分野の重点課題等の評価では、ITER 計画の推進の中間評価が行われ、「今後も計画どおり継続して実施することが妥当である」と評価されました。

また、文部科学省独立行政法人評価委員会における独立行政法人日本原子力研究開発機構の2007年度に係る業務の実績に関する評価では、ITER の目標性能を上回るジャイロトロン高周波加熱装置の定常発振に成功、また、世界に先駆けたトロイダル磁場コイル用超伝導体の製作技術基盤の構築等、世界を先導する成果がでているとし、「特に優れた実績をあげている」と評価されました。

### 4. 総合的な結果・成果(パフォーマンス)や今後の課題・計画(See)

#### (1) 活動の総括

ITER 計画及びBA 活動については、2007年度に両事業とも協定が発効し、事業の実施体制が整い、2008年度は両活動が本格化し、大きな前進が見られました。我が国も、ITER 理事会やBA 運営委員会、各種技術会合に参画し、事業の推進のための調整活動を積極的に行うとともに、我が国が分担する機器の調達を継続・新規開始する他、ITER 機構に積極的に人員を派遣するなど、順調に両事業を進めています。また、BA 活動についても、我が国が分担する物納機器の調達を継続・新規開始するとともに、建屋の建設を一部完成させる等、サイト整備も着実に進めています。

国内的にも、ITER 計画やBA 活動の本格的な実施段階への移行を踏まえ、新たに設立された核融合エネルギーフォーラムを活用するなど、産業界や学術界とも連携し、全日本的に両事業に取り組む体制を整えました。

#### (2) 知の産出と表彰等の評価

ITER 計画などの核融合エネルギーの研究開発を通じて、2008年度は8人が表彰されました。

| 受賞者          | 受賞日       | 内容                               | 受賞題目                                       |
|--------------|-----------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| 沓掛 忠三<br>他2名 | 2008.4.4  | 原子力学会北関東支部<br>「技術功労賞」            | 長年にわたる核融合中性子工学用中性子源 FNS<br>における運転保守管理と技術開発 |
| 大山 直幸        | 2008.4.15 | 科学技術分野の文部科学大臣表彰<br>「若手科学者賞」      | プラズマ回転制御によるトカマクプラズマの高性能<br>化の研究            |
| 坂本 慶司<br>他2名 | 2008.4.15 | 科学技術分野の文部科学大臣表彰<br>「科学技術賞」       | ITER 用大電力プラズマ加熱装置の定常及び高効率<br>化研究           |
| 柏木 美恵子       | 2008.6.21 | 第7回核融合エネルギー連合講演会<br>「優秀発表賞」      | 大面積負イオン源におけるビームレット反発の補正                    |
| 星野 毅         | 2008.6.21 | 第7回核融合エネルギー連合講演会<br>「優秀発表賞」      | BA 活動におけるトリチウム増殖材 Liリサイクル技術<br>の開発         |
| 萩原 寛之        | 2009.6.21 | 第7回核融合エネルギー連合講演会<br>「優秀発表賞」      | ITER-TBM 第一壁製作のための HIP 接合法の最<br>適化         |
| 坂本 慶司        | 2008.8.2  | 第7回大強度マイクロ波国際ワーク<br>ショップ「最優秀発表賞」 | Progress of Gyrotron development in JAEA   |
| 吉田 麻衣子       | 2008.12.3 | プラズマ・核融合学会第13回学術奨<br>励賞          | トカマクにおけるプラズマ回転速度分布と運動量輸<br>送に関する研究         |

また、日本原子力研究開発機構では、ITER 用ジャイロトロンの開発において、我が国のみが既に調達仕様を達成していますが、2008年度には ITER 機構の要請に基づき、ITER の運転条件を模擬した信頼性試験を実施して信頼性を実証するなどの成果を挙げ、2008年度に237論文を公表しました。

その他、ITER 協定の発効(2007 年 10 月)や幅広いアプローチ協定の発効(2007 年 6 月)の際には、各種全国紙(共同通信、日本経済新聞等)において、記事が掲載されました。

### (3) 実用化・社会適用

核融合技術の研究開発を通じて実用化した技術、民間で採用された技術が多くあります。製品化された技術としては、核融合の真空技術特許を実用化した放出ガス測定装置「グラビマス」(日本金属化学株式会社、2005 年)があります。

その他にも、イオンビーム技術に関しては、イオンドーピング装置(日新電機、1996 年)として大型液晶画面製造に、真空技術に関しては、特殊耐熱天秤(伯東、2004 年)や環境ガス分離改修装置(オルガノ、2006 年)に、超伝導技術に関しては、ニオブスズ超伝導を用いた高分解 NMR(物質・材料研究機構、2002 年、2006 年)に採用されています。

### (4) 今後の課題と計画

#### 課題の概要

2008 年度には、ITER 協定や BA 協定の本格実施において、大きな進展がありました。今後は本格的な活動を継続するとともに、主として以下の活動を実施すべく、その活動を拡充します。

ITER 計画の達成を目指した国際協力の推進

ITER 計画遂行に係る業務に携わる人材の ITER 機構への派遣

ITER 計画において我が国が調達を分担する機器の設計・製作等

BA 活動のプロジェクトに係る研究活動の実施

BA 活動のプロジェクトの実施に係る施設・設備等の整備

オールジャパンで ITER 計画及び BA 活動に参加できる枠組みの活用

#### 今後の計画

ITER 建設活動に関しては、我が国が調達を分担する装置・機器の設計や試作試験等調達準備活動を実施しつつ、調達スケジュールに即して当該装置・機器の製作を行います。また、ITER 機構への人材の派遣を引き続き行います。

また、BA 活動については、六ヶ所サイト整備や JT-60 の超伝導化改修等各プロジェクトに係る施設整備や研究開発活動を引き続き進めます。