

原子力委員会核融合専門部会報告書（案）に対する意見募集について

平成20年10月21

内閣府

原子力政策担当室

原子力委員会は、平成20年10月21日（火）～11月20日（木）の期間、核融合専門部会の報告書（案）について、国民の皆様からのご意見を募集します。率直なご意見をお寄せください。

1. 概要

核融合研究開発についてはITER計画の本格化や幅広いアプローチの始動等により、その状況に新たな展開が見られています。こうした状況を踏まえ、適宜適切にその進捗状況を把握し、関係機関等に対して速やかに必要な提言・助言等を実施していくために、平成19年9月に原子力委員会核融合専門部会の調査審議事項の一部改正を行いました（原子力委員会決定 平成19年9月）。これに基づき、核融合専門部会では、関係行政機関等からのヒアリング、有識者からのご意見の聴取等を通じ、我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性を評価するとともに、その結果を踏まえ、今後の関係行政機関等の施策の進め方に関する提言を含めた「原子力委員会核融合専門部会報告書（案）」を作成しました。つきましては、報告書（案）について広く国民の皆様からご意見を伺いたく、以下の要領でご意見の募集をいたします。率直なご意見をお寄せ下さい。

2. 意見募集の対象

●原子力委員会核融合専門部会報告書（案）

- * 本文（主な用語解説を含む。）
- * 資料

3. 意見募集期間

平成20年10月21日（火）～11月20日（木）17時まで（郵送の場合は同日消印有効）

4. 意見提出要領・意見提出先

- 以下の事項を日本語で御記入の上、（1）郵送、（2）FAX又は（3）電子メールのいずれかの方法で送付してください。

（様式）

1)	氏名：
----	-----

2)	年齢（該当部に○）：１０代以下 ・ ２０代 ・ ３０代 ・ ４０代 ・ ５０代 ・ ６０代 ・ ７０代 ・ ８０代以上
3)	性別（該当部に○）： 男 ・ 女
4)	職業：
5)	連絡先 ・ 住所： ・ 電話番号： ・ F A Xをお使いであれば、F A X番号： ・ 電子メールをお使いであれば、電子メールアドレス：
6)	「原子力委員会核融合専門部会報告書（案）」に対するご意見の対象箇所 （例：○ページ○行目）
7)	ご意見の概要（１００字以内）
8)	ご意見及びその理由

- 複数の御意見をいただく場合は、お手数ですが１件ごとに別の用紙に御記入ください。
- 上記１）～８）の事項の御記入漏れや本要領に則して記述されていない場合には、御意見を無効扱いとさせていただきますことがあります。
- 提出先は以下のとおりです。なお、電話による御意見は、お受けしておりませんので、御了承願います。

（１）郵送の場合

- 住所：〒１００－８９７０ 東京都千代田区霞が関３－１－１
- 内閣府 原子力政策担当室 核融合専門部会意見募集担当 あて

（２）F A Xの場合

- F A X番号：０３－３５８１－９８２８
- 内閣府 原子力政策担当室 核融合専門部会意見募集担当 あて

（３）電子メールの場合

- 電子メールアドレス：seisaku@aec.go.jp
- 内閣府 原子力政策担当室 あて

※電子メールの件名を「核融合専門部会報告書（案）に対する意見」とし、テキスト形式で送付してください。）

※文字化け防止のため、半角カタカナ、丸付文字、特殊文字等は使用しないでください。

5. その他

- 頂いたご意見は、報告書の取りまとめに向けた審議の参考にさせていただきます。なお、頂いたご意見に対する個別の回答はいたしませんので、予め御了承願います。
- 頂いたご意見は、氏名、年齢、性別、職業及び連絡先を除き公開することがありますので、予め御了承ください。ただし、ご意見中に、個人に関する情報であって特定の個人を識別し得る記述がある場合及び個人・法人等の財産権等を害する恐れがあると判断される場合には、公表の際に該当箇所を伏せさせていただきます。
- 氏名、連絡先等の個人情報については、頂いたご意見の内容に不明な点があった場合などの問い合わせをさせていただくため、御記入いただくものです。御記入いただいた情報は、今回の意見募集以外の用途には使用しません。

(問い合わせ先)

内閣府原子力政策担当室 渡邊、辻本

tel.03-3581-6688 fax.03-3581-9828

原子力政策大綱等に示している
核融合研究開発に関する取組の
基本的考え方の評価について
(案)

2008年10月21日
原子力委員会 核融合専門部会

目 次

第1章 はじめに	1
第2章 評価作業	3
第3章 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価	6
3.1 トカマク方式による開発研究	7
3.1.1 研究開発体制	7
i) ITER 計画	
ii) 幅広いアプローチ活動	
3.1.2 核融合炉の実現に向けた研究開発	14
i) ITER による開発研究	
ii) トカマク改良研究	
iii) 原型炉に向けた炉工学技術開発	
iv) その他の核融合炉の実現に向けた研究開発	
3.2 核融合に関する学術研究	19
i) ヘリカル型装置による研究	
ii) レーザー型装置による研究	
iii) 核融合基盤研究	
3.3 核融合研究開発を維持・発展させるための取組	25
i) 人材育成の方策と社会への発信	
ii) 知識・情報基盤の整備	
iii) 他の科学技術分野や社会への貢献	
iv) 核融合研究開発の国内体制	
第4章 結論	33
(付録1) 核融合専門部会の開催実績	
(付録2) 核融合専門部会の委員等名簿	

第1章 はじめに

原子力委員会は、平成 17 年 10 月に、数十年間程度の国内外情勢の展望を踏まえ、原子力発電や放射線利用の推進に関して、今後 10 年程度の間に各省が推進すべき施策の基本的方向性や、原子力行政に関わりの深い地方公共団体、事業者、国民各層等への期待を示した原子力政策大綱を策定した。その中で、核融合研究開発は、「革新的な技術概念に基づく技術システムの実現可能性を探索する研究開発」として位置付けられており、「今後とも技術概念や基盤技術の成熟度等を考慮しつつ長期的視野に立って必要な取組を決め、推進していくことが重要である」とされている。

原子力委員会では、平成 15 年に、「自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成」を主要な目標とした「第三段階核融合研究開発基本計画」（平成 4 年 6 月 9 日 原子力委員会決定）（以下「第三段階計画」という。）の進捗状況についての総合的なチェック・アンド・レビューを実施するとともに、その結果を踏まえた今後の核融合研究開発の推進方策について検討することとし、核融合専門部会にこれを付託した。これを受けて、核融合専門部会では、第三段階計画の進捗状況について総合的なチェック・アンド・レビューを実施し、その結果を踏まえた今後の核融合研究開発推進方策を「今後の核融合研究開発の推進方策について」（以下、「推進方策について」という。）にとりまとめた（平成 17 年 10 月）。

原子力委員会は、本専門部会から「推進方策について」の報告を受け、「ITER の建設に向けて具体的な取組を進めることとなった現時点以降における第三段階計画については、この報告書に示された推進方策に基づいて推進されるべきである。」とし、また、「原子力委員会は核融合研究開発に関する基本方針の調査審議を引き続き行うものとし、状況の変化が生じた際には、再び核融合研究開発の基本方針についてチェック・アンド・レビューを行う。」とした原子力委員会決定（平成 17 年 11 月 1 日）を行った。

それ以降、核融合研究開発については、平成 19 年 10 月の ITER 協定の発効等による ITER 計画の本格化や平成 19 年 6 月の B A 協定の発効等による幅広いアプローチ活動（B A 活動）の始動等により新たな展開が見られており、核融合研究開発全体を俯瞰して連携・協力を進める全日本的な取組が必要とされているところである。こうした状況を踏まえて、原子力委員会は、核融合研究開発に関して、関係機関等による取組の進捗状況を把握し、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性について評価するとともに、

それを踏まえて、今後の関係機関等の施策の進め方に関する必要な提言・助言等を行うために、核融合専門部会において必要な調査審議を実施することを決定した（平成19年9月25日 原子力委員会決定）。

本報告書は、上述したような経緯から、本専門部会が原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された基本的考え方に基づく関係行政機関等の取組についてヒアリングを行い、また、国民からの御意見を聴き、その結果を踏まえて政策の妥当性を評価し、今後の関係行政機関等の施策の進め方に関する提言を取りまとめたもので、4章から構成されている。

序章である本章に続く第2章に「評価作業」、第3章に「核融合研究開発に関する取組の進捗状況及び評価」を述べ、第4章「結論」で今後の進め方に関する提言等を述べている。また、付録1には本部会の開催実績、付録2には本部会の委員等名簿を記載している。なお、本報告書を読まれる方の便に供するため、主な用語解説を末尾に添付している。

第2章 評価作業

本専門部会は、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示している、我が国における核融合研究開発に関する基本的考え方の妥当性を評価する作業を、以下のとおり行った。

(1) 評価の視点についての検討

本専門部会は、第10回(2007年10月12日)及び第11回(2007年12月20日)において、評価の視点について議論し、これを以下に示すように定め、この観点から関係機関における取組を聴取することとした。

1. 核融合研究開発の進め方は適切か。

- ① 実験炉段階で原型炉実現に必要な開発研究を先行して実施するための体制整備・資源配分は適切か。
 - a) 現状での技術達成点と開発目標との関係
 - － 開発目標達成に向けた今後の課題
 - b) 開発目標を達成するための戦略
 - － 開発目標を達成するための計画の妥当性(目標達成時期の見込み・資金計画・国際協力の活用等)
 - c) ITER・BAと国内研究との連携
 - － オールジャパンでこの開発研究を支援する体制が構築されているか。
- ② 学術研究において、科学的基礎の確立を目指した研究が適切に進められているか。
 - a) ヘリカル型及びレーザー型装置による研究
 - － 適切に研究計画が立てられているか(目標達成時期の見込み・資金計画・国際協力の活用等)
 - － 目標達成に向けた今後の課題
 - b) 基盤研究の充実
 - － 基礎研究の充実をはかるために適切な体制が整えられているか。
 - － 基礎研究の成果を核融合炉設計等に反映できるような体制は整えられているか。
 - － 資源配分は適切になされているか。
- ③ 開発研究と学術研究からなる総合的な研究開発の推進がなされているか。

2. 実用化に至るまで長期間を要する核融合研究開発を維持・発展させるための取組が適切に進められているか。

① 人材育成及び社会への発信

a) 研究人員の充実、研究環境の整備

- － 研究者に対して多様な研究の機会を提供するための取組等がなされているか。

b) 社会への発信

- － 核融合研究に対して社会から理解を得るための取組がなされているか。

② 知識・情報基盤の整備

a) 産業界の技術継承

b) 原型炉へ向けてのノウハウの蓄積

3. 他の科学技術分野（ひいては社会）に対する貢献や寄与を維持・拡大していくための取組が進められているか。

① 他の科学技術・学術分野への貢献

② 産業界への波及効果

（2）関係行政機関等の取組状況の把握

関係行政機関等の取組の現状を、原子力政策大綱及び「推進方策について」の策定以降の進捗や変化を踏まえてより詳細に把握するために、以下のとおり関係行政機関等からヒアリング等を実施し、対応状況について広く意見交換を行った。

①文部科学省からのヒアリング

【第10回核融合専門部会：2007年10月12日】

資料：核融合研究の現状について

【第11回核融合専門部会：2007年12月20日】

資料：核融合研究開発における開発研究に関する取組

【第12回核融合専門部会：2008年2月14日】

資料：ITER計画・BAの現状と我が国の取組

【第15回核融合専門部会：2008年7月16日】

資料：核融合開発の推進に必要な人材の育成・確保について

②(独)日本原子力研究開発機構（JAEA）からのヒアリング

【第11回核融合専門部会：2007年12月20日】

資料：核融合研究開発における開発研究に関する取組

③自然科学研究機構 核融合科学研究所（核融合研）からのヒアリング

【第13回核融合専門部会：2008年4月25日】

資料：大型ヘリカル装置（LHD）による今後の核融合科学の進展について

④大阪大学レーザーエネルギー学研究センターからのヒアリング

【第13回核融合専門部会：2008年4月25日】

資料：レーザー核融合研究の進展

⑤学協会からのヒアリング

【第14回核融合専門部会：2008年5月28日】

・プラズマ・核融合学会

資料：核融合に関わる基礎・基盤的分野の研究・教育について

⑥産業界からのヒアリング

【第14回核融合専門部会：2008年5月28日】

・日本原子力産業協会

資料：産業界における核融合をめぐる現状

（３）報告書（案）の取りまとめ

これらの会合における意見交換や資料の検討結果を踏まえて、まず、原子力政策大綱および「推進方策について」にある基本的考え方に関連する関係行政機関等の取組状況の説明を整理し、ついで、これらに関する意見交換の要点を整理した。そのうち関係者の説明や資料に対する疑問等については、関係者等からの追加説明を付加した。そして、それらを総覧して関連する取組が十分に成果を上げているか、あるいは政策の目標を達成しうる見通しがあるかの評価を行い、その結果も踏まえて今後の関係行政機関等の施策の進め方に関する提言も含めた「核融合専門部会報告書（仮称）」と題する報告書（案）を取りまとめた。

（４）報告書（案）に対する意見募集及び報告書の取りまとめ

第3章 核融合研究開発に関する取組の進捗状況と評価

本章では、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示された基本的考え方について、「1. トカマク方式による開発研究」、「2. 核融合に関する学術研究」、「3. 核融合研究開発を維持・発展させるための取組」に区分し、各々に関する関係行政機関等の取組状況を整理し、ついで、それぞれの取組についての評価を取りまとめる。

3. 1 トカマク方式による開発研究

＜推進方策での記載事項＞

○実験炉段階での開発研究

核融合エネルギーの早期実現を目指すため、実験炉段階において、原型炉実現に必要なとなる開発研究を総合的に実施する。

その研究開発として、1) 自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立、2) 定常炉心プラズマの実現、3) システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験、4) 経済性見通しを得るための高ベータ定常運転法の確立、5) 原型炉に関わる材料・炉工学技術開発、6) 原型炉の概念設計が必要である。また、7) 理論・シミュレーション研究、8) 社会・環境安全性の研究を進めることが重要である。

3. 1. 1 研究開発体制

i) ITER 計画

＜推進方策での記載事項＞

○ITER 計画への取り組み

国際協力で進められる ITER 計画を我が国の実験炉計画と位置付けて研究開発を進めるにあたって、国際合意に基づく実施体制と国内の支援体制を確立する。

－ITER 計画の実施体制－

我が国は、ITER 計画の実施主体である ITER 機構の参加極として、ITER を通して我が国の実験炉計画の技術目標を実現することになる。ITER の建設期においては、我が国の極内機関を中心として、ITER 機構に機器を物納する。さらに、機構への職員派遣を通じて、ITER 建設に貢献するとともに、システム統合技術の獲得を図る。さらに、実験・運転期においては、最大限の成果が国内へ還元・蓄積されるよう国内研究者の参加機会を確保する。

－ITER と国内研究の連携－

極内機関、大学、産業界等の間の相互連携の下、建設と実験運転を進めるとともに、核融合フォーラム等を充実発展させ、ITER 計画及び核融合研究への幅広い科学者、一般国民の理解を促進し、協力・支援を得る。

国内における研究成果が ITER 計画に適切に反映するよう ITER の運営に努めるとともに、大学等の研究者が ITER 計画に参加する仕組みを構築する。

＜これまでの取組状況＞

－ITER 計画の実施体制－

平成 18 年 11 月に、日本を含む 7 極が「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）に署名し、平成 19 年 10 月 24 日の ITER 協定の発効により、ITER 計画を実施する国際機関である「ITER 機構」が正式に発足した。ITER 計画の実施体制は、最高意志決定機関である加盟 7 極の代表者で構成される ITER 理事会と、その下に設置されている運営諮問委員会（Management Advisory Committee; MAC）及び科学技術諮問委員会（Science and Technology Advisory Committee; STAC）の 2 つの諮問機関からなる。そして、ITER 機構は、ITER 理事会の意志決定の下、ITER の建設及び運転等を実施する。機構長には我が国から駐クロアチア大使を務めていた池田要氏が就任している。ITER 機構においては、現在、その体制整備を進めており、順次ポストを提示して職員を募集している。

ITER 協定において、加盟極は ITER 機構に貢献を行う国内機関を設置することとされているが、我が国では、協定が発効した平成 19 年 10 月 24 日に、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。）が、文部科学大臣により ITER 協定に基づく国内機関として指定された。

ITER 計画では、各極から ITER 機器を調達することとなるが、その進捗について、毎月 1 回のペースで ITER 機構及び 7 極の国内機関の代表者で実務者会議が行われている。JAEA は、この実務者会議において、本事業の推進に積極的に貢献している。

物納機器の調達に関しては、JAEA は、平成 19 年 11 月に ITER 機構との間でトロイダルコイル導体に係る調達取決めを締結した。その後、国際競争入札を行った結果、3 月に日本のメーカー数社との契約締結に至り、現在は各メーカーにおいて製作が進められている。

また、ITER 機構への職員派遣に関しては、平成 20 年 5 月現在、ITER 機構専門職員のうち日本から採用された専門家は 17 名である。これは ITER 機構の専門職員数の 8.5%に相当する（平成 20 年 5 月現在の ITER 機構職員数 256 人（専門職員 200 人、支援職員 56 人））。その他に、客員研究員や ITER 機構からの委託業務の実施のための人員が、日本から約 4 名程度派遣されている。

－ITER と国内研究の連携－

国内においては、平成 19 年 6 月に ITER 協定並びに幅広いアプローチ（BA）協定の履行のため、独立行政法人日本原子力研究開発機構法が改正された。これに基づき、

ITER 協定に基づく国内機関として JAEA が位置付けられ、JAEA は、このために産学官の国内核融合関係者と積極的に連携するための体制を構築している。

また、「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」（平成 19 年 6 月 文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合研究作業部会（以下、「核融合研究作業部会」という。)) の提案を受けて、これまで核融合研究・技術開発に関する産学官の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」が、平成 19 年 7 月に「核融合エネルギーフォーラム」に発展・改組された。同フォーラムには、ITER 計画及び BA 活動に係る研究活動に関する意見の集約や国内連携協力の推進等を行うための組織として「ITER・BA 技術推進委員会」等が設置された。この、ITER・BA 技術推進委員会は、現在、国内において ITER ベースライン文書の国内評価を実施するなど、国内研究者の意見を反映する場としても活動を行っている。

なお、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「ITER 計画（建設段階）の推進」の中間評価（平成 19 年 8 月）では、以下の評価結果を基に「ITER 計画を今後も計画通りに継続するべきである」とされている。

- ・ 科学的・技術的意義のみならず、社会的・経済的意義も極めて大きいとともに、我が国の核融合に関する技術基盤の向上やさまざまな分野への波及効果も期待される。
- ・ 国際協力の枠組により実施されることから、我が国が単独で実施するよりも、成功可能性やリスク分散、費用対効果の面でメリットが大きいと判断される。
- ・ ITER 計画については、大きな前進が見られ、技術開発等の準備活動が順調に進められており、特に我が国において他の ITER 参加極を上回る成果を挙げている点は評価できる。

<評価>

文部科学省及び JAEA 等では、ITER 計画の実施体制の整備及び ITER と国内研究の連携を概ね着実に進めているものと評価できる。

ITER 計画の実施体制については、ITER 機構への日本人の派遣がなされてきているものの、現状は、同機構における日本の人材枠をまだ有効に活用できていない（日本の人材枠：18%）。我が国が ITER 建設を通じてシステム統合技術等を獲得していくためには、現地での ITER の設計・建設に積極的に関わっていくことが必要不可欠であることから、大学等の研究者の ITER 計画への参加を含め、ITER 機構への人員派遣の

在り方や方策について戦略的な観点から検討し、人材枠を充当していくことが必要である。

ITER と国内研究の連携については、国内の関係者の意見を集約する場として核融合エネルギーフォーラムを設置したことや、同フォーラム内に ITER・BA 技術推進委員会を設置して、ITER ベースライン文書の国内評価等に関し、国内研究者の意見を反映させる場としたことは適切である。

今後も引き続き、国内機関である JAEA を中心として、大学、産業界等を含めた全日本的な連携を図りつつ、技術開発目標の達成に向けて、着実に ITER 計画に取り組んでいくことを期待する。なお、ITER の建設に際しては、近年の鉄鋼材料や超伝導コイル用のニオブ等の価格高騰により、これまで想定されてきた製作コスト及び工程で対応可能かどうか改めて見直すことの必要性についても指摘がなされている。多大な費用を要する ITER 計画については、文部科学省及び JAEA は、常に国民に対してその意義を説明する必要があるとともに、その費用を意識して計画を推進していくことが重要である。

ii) 幅広いアプローチ (BA) 活動

＜推進方策での記載事項＞

核融合エネルギーの実現を図る観点から、実験炉の技術目標の達成が期待される時期までに原型炉の概念設計、原型炉の開発に向けた炉心プラズマ・材料・炉工学の開発研究、社会・環境安全の研究、理論・シミュレーション研究を平行して実施することとし、適切な資源配分を行うことが必要である。

○原型炉実現に必要な開発研究

- －高ベータ定常運転法の確立－
- －原型炉に関わる材料（国際核融合材料照射施設）・炉工学技術開発－
- －原型炉の概念設計－
- －トカマク理論・シミュレーション研究－

＜これまでの取組状況＞

核融合原型炉の実現のために必要となる炉工学研究や ITER 計画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・支援する先進的核融合研究開発のうち、日欧の共通の関心課題については、幅広いアプローチ (BA) 活動として日欧の共同実施による研究開発を進めることとなり、文部科学省に設置された ITER 計画推進検討会による決定（平成 17 年 9 月）を経て、以下の取組みが BA 活動によるプロジェクトとして選定された。

- ・ 国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)
 - － 原型炉設計・研究開発調整センター
原型炉の概念設計及び原型炉に係る技術に関する研究開発
 - － 核融合計算機シミュレーションセンター
 - － ITER 遠隔実験センター
- ・ 国際核融合材料照射施設の工学実証及び工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)
国際核融合材料照射施設 (IFMIF) の工学設計及び施設を構成する各設備の性能実証
- ・ サテライト・トカマク計画 (JT-60 の改修)
JT-60 を超伝導化 (JT-60SA) 改修し、ITER 運転シナリオの検討や人材育成、原型炉に向けて先進プラズマ領域等の ITER を補完する研究を実施

－BA 活動の実施体制－

これらを実施するため、平成 19 年 2 月に日欧は「核融合エネルギーの研究分野におけるより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)に署名し、同年 6 月 1 日に BA 協定が発効した。同月には、BA 協定に基づき、BA 活動の各事業の実施に関する全般的な指導及び監督に責任を有する BA 運営委員会が設立されるとともに、事業計画等の作成やその実施を行う事業長、事業チーム、また、その事業計画等の草案への勧告や事業の進捗状況を監視する事業委員会が設置された。

BA 協定では、各締約者は BA 活動の実施に係る義務を履行するための実施機関を指定することとされているが、我が国では、協定が発効した平成 19 年 6 月 1 日に、JAEA が文部科学大臣に BA 協定に基づく実施機関として指定された。

BA 活動の各事業の進捗については、青森県六ヶ所村のサイト地に IFERC 及び IFMIF/EVEDA の建屋建設が開始され、原型炉設計・研究開発活動の R&D 実施計画の策定、IFMIF/EVEDA の加速器試験計画及びターゲット試験計画を策定し、施設機器の設計及び実証試験等の検討が行われている。サテライト・トカマク計画については、概念設計報告書を作成し、詳細設計を作成するとともに真空容器やポロイダル磁場コイル導体等の調達が開始されている。

また、第 3 回運営委員会（平成 20 年 5 月）においては、より幅広い国際協力、連携について日欧以外の ITER 参加極の BA 事業への参加に関するガイドラインを作成し、他の ITER 参加極へ参加を要請している。

－BA 活動と国内研究の連携－

BA 活動の各事業の事業計画等の作成に当たっては、事業委員会の委員や JAEA 内の検討委員会に国内の大学等の研究者の参画を得るなど、大学等との連携も図られている。

また、「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」（平成 19 年 6 月 核融合研究作業部会）の提案を受けて設置された核融合エネルギーフォーラムの「ITER・BA 技術推進委員会」は、国内において、BA 活動に国内研究者の意見を反映する場としても活動を行っている。

<評価>

BA 活動において実施される各事業は、「推進方策について」で示された原型炉に向

けた開発研究を実施するための計画として策定され、それらを実施するための体制が整えられつつある。日欧協力で実施する BA 活動については、最大限の成果が得られるよう、今後とも引き続き開発研究を実施することが期待される。なお、研究開発の実施に際しては、実施機関である JAEA 以外の大学関係者等が、BA 活動の実施内容や成果について、国内研究者間でより一層の情報共有を図れるような体制を構築していくとともに、BA 活動に参加するための枠組みを整備するなどして、より一層全日本的な連携を図りつつ事業を進めていくことを期待する。

3. 1. 2 核融合炉の実現に向けた研究開発

＜推進方策での記載事項＞

核融合エネルギーの実現を図る観点から、実験炉の技術目標の達成が期待される時期までに原型炉の概念設計、原型炉の開発に向けた炉心プラズマ・材料・炉工学の開発研究、社会・環境安全の研究、理論・シミュレーション研究を平行して実施することとし、適切な資源配分を行うことが必要である。

○ITER で実現すべき技術開発目標

- －自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立－
- －定常炉心プラズマの実現－
- －システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験－

○原型炉実現に必要な開発研究

- －高ベータ定常運転法の確立－
- －原型炉に関わる材料（国際核融合材料照射施設）・炉工学技術開発－
- －原型炉の概念設計－
- －トカマク理論・シミュレーション研究－
- －社会・環境安全性の研究－

i) ITER による開発研究

＜これまでの取組状況＞

ITER 建設が進められている現在、JAEA では、ITER での実験に先立ち、国内のトカマク共同研究重点化装置である JT-60 において、ITER の設計改良に係わるプラズマ技術開発を大学等との共同実験により進めるとともに、ITER における我が国からの遠隔実験を想定して国内外の研究機関からの遠隔実験を実施している。その他、

－自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立－

JT-60 の燃焼模擬試験により燃焼プラズマの応答と制御性の研究を実施（平成 19 年）。

－定常炉心プラズマの実現－

JT-60 において、ITER で必要とされる規格化ベータと閉じ込め改善度を有するトカマクプラズマの運転時間 28 秒維持を達成（平成 17 年）。

－システムの統合化技術の確立と発電ブランケットの試験－

発電ブランケットについては、第一壁実規模大モックアップの試作を完了。等の研究開発を着実に実施している（平成 20 年）。

なお、平成 20 年 6 月の第 2 回 ITER 理事会において、テスト・ブランケット・モジュール (TBM) 計画を ITER 協定下にて実施することとされ、参加各極それぞれが開発する TBM を ITER に取り付けて運転・実験する方針が承認された。我が国は、固体増殖水冷却方式の TBM を製作して ITER に持ち込むことを計画しており、我が国として原型炉の建設判断に必要な工学技術基盤を確立することが可能な体制を確保すべく努めている。

<評価>

JAEA においては、ITER 計画にその成果を活用すべく、JT-60 等を用いた研究開発を実施し、国際的な成果を挙げてきている。今後も、こうした成果を適切に ITER 計画に供与し、ITER 計画において当初の目標を達成することを目指し、着実な取組を進めることを期待する。

なお、核融合による発電を実証するために重要な技術としてブランケットの開発が必要となる。従来、ITER 計画外において各極が独自に行うものとされていた TBM (Test Blanket Module) 計画が ITER 協定の下で実施されることとなったことを踏まえ、その実施にあたっては、必要となる資金を適切な形で確保し、我が国として原型炉の建設判断に必要な工学技術基盤を確立することを目指して取組を進めていくべきである。

ii) プラズマ改良研究

<これまでの取組状況>

JT-60 を超伝導化する JT-60SA 計画が、日欧が共同で実施する BA 活動のプロジェクトのサテライト・トカマク計画と国内計画であるトカマク国内重点化装置計画との合同計画で実施されることになった。JT-60SA 計画の研究機会はサテライト・トカマク計画と国内計画とに同等に割り当てられる予定である。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、JT-60 については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：研究成果は着実に進展しており、重点化後、大学等との共同研究が推進され、人材育成等の成果もあがっており、十分に評価できる。

課題：今後は、大学や核融合研との連携が一層システム化され、オープンな連携強化への展開が望まれる。また、大学の学術研究や国際企画が活かされるような運転時間を増強することが望ましい。

<評価>

JT-60 の超伝導化 (JT-60SA) は、「推進方策について」で示されたトカマク方式の改良を我が国独自に進めるものであるとともに ITER 計画にも貢献するものである。

JT-60SA において、トカマク国内重点化装置計画と BA 活動のサテライト・トカマク計画が同時に実施されることになるが、実施機関である JAEA においては、それぞれの計画に研究機会を適切に配分するようにしていくことが重要である。また、ITER 計画と JT-60SA 計画が同時進行することから、両計画に対して人員・資金を適切に配分し、原型炉実現に向けて最大限の成果を挙げることを期待する。

なお、韓国や中国においても超伝導トカマクが建設されることに鑑み、これらの国々との協力・連携も視野に入れた国際協力研究等の実施について検討していくことも必要である。

iii) 原型炉に向けた材料・炉工学

<これまでの取組状況>

材料・炉工学研究開発については、IFMIF/EVEDA が日欧共同で実施する BA 活動のプロジェクトとして実施されることになった。また、JAEA では、米国の HFIR 炉を利用して 9dpa までの照射条件での低放射化フェライト鋼材料特性データ取得や、低銀比高温超伝導線材の小規模導体の試作など、原型炉に向けた材料開発を主軸とした炉工学研究を着実に進めている。今後は、原型炉と同等の重照射条件での材料特性データの蓄積を目指すと共に、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進めることを予定している。

また、核融合科学研究所（以下、「核融合研」という）においては、大学等における炉工学研究を推進するために炉工学研究センターを設置し、大学との共同研究を通じて様々な特徴ある成果を挙げている。

なお、核融合研究作業部会における核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビュー（平成 18 年 7-8 月）において、以下の評価及び課題の整理が行われている。

(JAEA の炉工学研究)

評価：ブランケット研究の進展をはじめ、ITER に必要な主要機器の開発を主軸とした炉工学研究に大きく貢献しており、着実に進展している

課題：オールジャパンの視点から核融合研、大学等との役割分担を明確にした一層強力な連携体制の構築が望まれる。

(核融合研の炉工学研究)

評価：大学とのオープンな共同研究を通じて様々な特徴のある成果を挙げ、世界をリードする研究が展開されている。

課題：大学や原子力機構との役割分担を明確にした一層強力な連携体制の構築が望まれる。

<評価>

JAEA における取組については、超伝導技術や加熱技術の開発研究では進展がみられる。今後は、原型炉実現に向けて、安全性研究等を進めて原型炉の建設判断に必要な総合的な工学技術基盤を確立することを目指すことが重要である。

核融合研における取組については、所内に設置されている炉工学研究センターが、大学との炉工学共同研究推進に一定の貢献を果たしている。炉工学は、トカマクとヘリカルとの間で共通する部分も多いことから、今後は、JAEA や大学との役割分担を明確にしつつも、一層強力な連携体制を構築していくことを期待する。

なお、IFMIF/EVEDA に関しては、「推進方策について」において「他の主体により本体施設の建設が行われる十分な見通しがあり、かつ、我が国が工学設計活動に貢献することにより国際核融合材料照射施設本体での照射試験に一定の参加ができることが確保されるのであれば、国際協力の下で着手し、その技術基盤の整備に貢献する」とされている。国際協議において、これが確認できたと判断されたことから、BA 活動として実施されているところであるが、関係機関においては、研究開発の状況や国外の状況を適宜に把握しつつ、推進方策に沿った取組を引き続き着実に実施していくべきである。

iv) その他の核融合炉の実現に向けた研究開発（核融合炉システム研究、トカマク理論・シミュレーション研究、社会・環境安全性の研究）

<これまでの取組状況>

BA活動で実施されるIFERCにおいて、原型炉の概念設計及び原型炉に係る技術に関する研究開発を実施する原型炉設計・研究開発調整センター、及びスーパーコンピュータを用いてプラズマ挙動の解析等のシミュレーションを実施する核融合計算機シミュレーションセンターが設置されることとなった。

社会・環境安全性の研究については、JAEAにおいて、社会性向上のための廃棄物管理のあり方について検討が行われている。

また、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会においては、トカ

マク方式によって21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化準備を完了するためのロードマップを1つのケーススタディとして検討し、核融合エネルギー実現に必要な技術の検討も実施されている。

<評価>

BA 活動で実施される原型炉設計・研究開発調整センター及び核融合計算機シミュレーションセンターは、「推進方策について」に示された原型炉の概念設計及びトカマク理論・シミュレーション研究を実施するものである。原型炉の概念設計においては、ITER 計画及びサテライト・トカマク計画の成果やシミュレーション研究で得られた成果を適宜反映する等、炉心・炉工学技術開発の進捗を踏まえた概念検討を実施することが重要である。また、BA 活動は日欧の共同プロジェクトであり、その検討対象は日欧の共通の関心事項になるため、我が国として推進すべきと考えられた科学技術については、別途研究開発を行うことが必要である。

核融合エネルギーの安全性、環境および社会への適合性を確保するために必要な基盤的研究については、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義を国民により納得できる形で説明するためにも、より一層の取組が必要である。原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義について、常に国民に対する説明責任を果たしていくという観点から、関係研究機関においては、これらに関する研究開発を着実に実施していくことが望まれる。

なお、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会が検討した原型炉に向けた技術開発ロードマップにおいては、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進めるにあたっては、現行の ITER 計画や BA 活動による事業では、十分に技術実証をしえない技術があることが指摘されている。核融合研究開発に関わる関係機関は、核融合研究開発の進捗状況に関する情報等を関係者間で共有しつつ、こうした技術の有無について検討し、可能な限り早期にそれに関する研究開発のあり方を検討していく必要がある。

3. 2 核融合に関する学術研究

i) ヘリカル型装置による研究

<推進方策での記載事項>

ヘリカル方式：(中略) ヘリカル方式は、その3次元構造に起因した磁場配位の多様性に鑑み、さらなる最適化の余地がある。LHD による研究を中心として、ヘリカルプラズマの性能向上と磁場配位の最適化研究を世界のヘリカル研究と連携しつつ推進し、多様なヘリカル磁場配位の中からヘリカル型核融合炉心プラズマの方向性を明らかにするとともに、トカマクプラズマとの異同の理解を通じてトーラスプラズマの総合理解に向けた研究を進めることが必要である。

(中略)

現在進められている LHD 計画と FIREX 計画は、引き続き、大学等において学術研究に重点をおいて研究を進め、その進捗を踏まえ適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討する。

LHD において核融合炉への展望と乱流輸送や閉じ込め改善等に関するの普遍的知識の取得を目的とした研究を推進する。

炉心プラズマの閉じ込めに関する学術基盤を築き、ヘリカル磁場配位の最適化研究、ヘリカル型定常核融合炉の設計研究を進める。

科学技術・学術審議会等におけるこれらの研究成果等の評価を踏まえて、ヘリカル型装置による学術研究の展開の方向を定める。

<これまでの取組状況>

ヘリカル型装置による研究は核融合研の LHD を中心として進められている。LHD においては、近年、NBI の増強、ペレット入射装置の開発などの適切な機器整備が行われ、超高密度プラズマの生成 ($1.1 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$)、 β 値 (5%)、長時間プラズマの維持 (54 分 28 秒)、中心イオン温度 (6.8keV) 及び中心電子温度 (10keV) をそれぞれ個別に達成した。これらは、核融合炉心プラズマを見通すことを目指したプラズマの高性能化を図る観点から、大きな成果である。

核融合研では、平成 16 年度より、これまで各大学において個別に行われてきた研究を、核融合研が中核機関となって調整を行い推進する新しい形態の「双方向型共同研究」を実施しており、平成 20 年度は 68 件の研究課題が採択された。こうして核融合研では、大学等における学術研究のネットワークの中心としての役割を果たすと

もに、大学における萌芽的・独創的研究の進展を支援している。

さらに、国際共同研究拠点ネットワーク形成事業の一環として、大学院生や若手研究者の海外派遣や、海外の若手研究者の積極的な招へい等を行い、国内外の若手研究者を国際的に活躍できる人材として養成する等、若手研究者の育成に努力している。平成 19 年度実績は日本から 41 人を派遣し、海外から 49 人を招へいしている。

また、周辺住民との間でのコミュニケーションを深めたり、周辺住民から重水素実験に関する理解を得るため、同研究所における実験をテーマとした市民学術講演会や重水素実験に関する市民説明会を実施してきており、市民説明会については、これまで計 24 箇所で開催してきている。平成 18 年度には約 300 人、平成 19 年度には約 450 人の参加を得ている。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、LHD については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：重点化後、優れた成果をあげ、着実に研究が進展し、大学共同利用機関としての共同利用・共同研究の役割がより強化されており、実験データをオープンに利用できる体制の構築等、重点化後の成果は期待通りあがっている

課題：学術分野での重要なターゲットの解明に向けた一層の努力が望まれる。

<評価>

LHD による研究を中心としたヘリカル方式による研究は、ヘリカルプラズマの高性能化等の世界的な研究成果を挙げてきている。

文部科学省や核融合研では、外部専門家によるチェック・アンド・レビューを適宜に実施し、それらの結果を以降の研究計画に反映しつつ、研究を進めており、その取組は適切である。

核融合研は、大学共同利用研究機関として国内外の大学等との共同研究を積極的に進めるとともに、大学間の研究ネットワークの構築、若手人材育成など、核融合科学に関する学術研究の中核的拠点としての役割を果たす努力を積極的に行っている。また、LHD を中心とした国際共同研究拠点ネットワーク形成事業に取組み、多くの国際共同研究、国際連携の窓口として国際的なリーダーシップを発揮している。こうした取組は、世界の核融合に係る学術基盤の形成に貢献しているものと評価できる。

また、今後重水素実験を始めるに当たり、市民説明会や市民学術講演会等を行うとともに、一般公開等による社会への研究成果の発信も積極的に行っている。

今後は、核融合エネルギーの実用化に向けて、核融合研の炉工学研究センターを中心として大学における研究も含めて、炉工学研究へのより一層の貢献がなされ、リーダーシップを取ることを期待する。また、トカマクプラズマとの異同の理解を通じてトーラスプラズマの総合理解に向けた学術研究を一段と進め、他分野からも高く評価される学術研究を生み出していくことを期待する。

また、核融合研においては、ヘリカル型核融合炉の方向性を明らかにしていくため、将来計画について更に十分な検討を行っていく必要がある。文部科学省においては、LHD 等による研究の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

ii) レーザー型装置による研究

＜推進方策での記載事項＞

3. 2. 1 トカマク方式以外の重点化計画

レーザー方式：(中略) 高速点火レーザー方式では、高密度に圧縮された燃料の一部をレーザーで加熱することにより核融合点火を起こし、点火領域から発生するアルファ粒子が燃料を順次加熱して、燃料全体を燃焼させることにより、最終的なレーザー核融合炉で必要となる100以上の高いエネルギー増倍率の目処を得ることを目標とする。高速点火方式の実証については、(1) 比較的小規模の装置を用いて燃料を点火温度まで加熱することを実証し、(2) 大規模の装置を用いてアルファ粒子の飛程より大きな燃料を加熱して点火・燃焼を実証するように段階を追って進めることが必要である。

(中略)

現在進められているLHD計画とFIREX計画は、引き続き、大学等において学術研究に重点をおいて研究を進め、その進捗を踏まえ適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討する。

レーザー核融合方式による点火、及び燃焼プラズマの実現を目指し、大阪大学を中心とするFIREX第1期計画を進める。(中略) その成果により、点火・燃焼の実現を目指す第2期計画に発展させるか否かの判断を、科学技術・学術審議会等における評価を踏まえて行う。

<これまでの取組状況>

FIREX の第 1 期計画において、点火温度 5keV への加熱実証を目標として新たに世界最高出力の加熱用レーザーLFEX の建設を平成 20 年 3 月に完了した。平成 20 年 2 月より照射実験を開始するとともに、プラズマ実験、ターゲット技術開発、ならびに統合シミュレーション研究等の高速点火核融合に関する基礎研究を進め、先進的ターゲット設計を提案している。

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターは、核融合研との双方向型共同研究や連携研究を含め、平成 18 年 4 月からは、全国共同利用施設として激光 XII 号を広く一般に共同利用・共同研究を募集するなどの透明性の高い共同研究体制の強化を図っており、平成 19 年度には 21 件の激光 XII 号共同実験と 8 件のグループ形成提案を受け入れている。また、これらの取組等を通じて若手研究者の育成など人材育成にも努めている。

なお、核融合研究作業部会では、平成 19 年 6 月に核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビューを行い、レーザー核融合については以下の評価及び課題の整理がなされている。

評価：重点化後、高速点火において大きな成果を挙げており、パワーフォトリクスをベースとした特徴的な貢献や、共同利用・共同研究の強化の面で、重点化後、十分な成果をあげつつあり評価できる。

課題：今後は、分野の展開を含めてオールジャパンの課題や体制の構築に向けた一層の取組が望まれる。次段階へ進むためには、FIREX-I における原理実証に加えて、炉システムの実現性を示す炉工学研究の展開が必要である。

<評価>

高速点火方式による研究に大きな成果があり、パワーフォトリクスをベースにした拡がりを内包する研究等、十分な成果をあげていると評価できる。また、激光 XII 号をレーザー核融合の中核研究設備とする全国共同利用施設として透明性の高い共同研究体制の強化を図っている取組は非常に有効であると評価できる。

今後、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいては、レーザー核融合による高速点火方式の実証について、「推進方策について」に示されたように段階を追って研究開発を進めることが必要である。また、レーザー核融合炉の実現性を判断するために、炉工学研究の展開について検討していくべきである。文部科学省においては、FIREX 計画の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

iii) 核融合基盤研究

＜推進方策での記載事項＞

核融合に関する学術研究については、重点化された大型計画研究を進めるとともに、プラズマ実験、理論、炉工学分野での先駆的・萌芽的研究に基づく多様な研究を確保することで核融合基盤研究の充実を図る。また、核融合理工学としての学問体系化を図る。

＜これまでの取組状況＞

核融合研がコミュニティと協議しながら中核機関として調整を行い推進する双方向型共同研究では、これまで各大学において個別に行われてきた研究に対して、大学の附置研究所、センター等の装置・設備を有機的に活用し、プラズマの高性能化に必要となる物理機構の解明が進められている。具体的には、京都大学（HeliotronJ）との間で、閉じ込め改善とヘリカル磁場構造の関係の共同研究が、九州大学（TRIAM-1M/QUEST）の間では高温プラズマ定常化とプラズマ壁相互作用の共同研究及び球状トーラスに関わる研究計画が、筑波大学（GAMMA10）の間ではプラズマ閉じ込め改善の物理機構解明の共同研究が、また、大阪大学（激光XII号/LFEX）との間ではレーザーによる高速点火に関する共同研究が実施されている。

一方、大阪大学レーザーエネルギー学研究所と九州大学応用力学研究所は、全国共同利用施設として広く開放されており、基盤研究の研究拠点としての役割を果たすとともに、人材育成の面でも貢献がなされている。

＜評価＞

新たな段階に入りつつある核融合研究における学術研究においては、ITER計画をはじめとした核融合開発研究を支えると同時に学術の芽を見いだしていくことと、開発で得られた知を学問体系の中に組み入れると共に学術としての普遍的な知の探求を行うことという2つの役割を果たしていくことが求められる。

このため、大学等における学術研究は、これら二つの機能が、開発研究との相互作用により効果的なものとなるよう更に発展的に取り組んでいくことが不可欠であり、これにより核融合開発研究を支援できることになることを再認識しなければならない。すなわち、学術研究と開発研究の間で双方向的で密接なコミュニケーションを図っていくことが必須である。

特に、ITER やトカマク、ヘリカル、レーザー等の大型装置による研究では十分に

実施できない多様な課題、例えば先進的な計測法、プラズマ壁相互作用、材料等について、新たな知見や技術革新を生み出す基盤研究が果たすべき役割は大きいことから、核融合研究が中心となって進める双方向型共同研究の充実を図るなどして今後も着実に進めていく必要がある。

学術界はこれまでややもすれば先送りされてきた炉工学分野における学術研究を強化すると共に、核融合炉システムとして統合・総合化される中で必要とされる課題をロードマップの中で俯瞰し、先取りし、学術として位置づけていく力量を持たなければならない。なお、ITER と基盤研究の間の双方向的研究展開の一例としては、ITER を物理面で支援する国際トカマク物理活動（ITPA）やテスト・ブランケット・モジュール（TBM）活動等への積極的な参加等が考えられ、核融合の研究開発ポテンシャルを有効に活用した主体的な国際協力の推進が望まれる。また、学術研究がこれらのような活動に一層寄与すべく、核融合エネルギーフォーラムや核融合ネットワーク等の場において、研究者の発意による研究協力等が一層推進されることを期待する。

このように、核融合研究が開発研究との相互作用を求められる段階にある一方で、核融合は、様々な科学や要素技術を統合し、同時にそれらの前線を切り開くことによって前進できるものであることから、現在、核融合研究が、未だ多くの科学的な未解決問題を残し、核燃焼プラズマという未知の領域へ挑む段階でもあることを考えると、長期にわたり核融合研究を維持・発展させるためには、この分野はこれまでに増して十分な「学際性」を備えていく必要がある。また、革新性や厳密性を高く評価する文化が醸成されることも重要である。大学等においては、核融合研究が、柔軟性を持ち、学際的な研究領域として他分野からの関心を引き込めるものとなるよう多彩な研究活動に取り組むことを期待する。

また、基礎的・基盤的な研究は、研究者・技術者の養成にも寄与するところが大きく、核融合研究開発を長期に支える有用な人材の輩出に貢献できることから、これに携わる人材も含めて、核融合基盤研究の一層の充実が図られることを期待する。

3.3 核融合研究開発を維持・発展させるための取組

i) 人材育成の方策と社会への発信

<推進方策での記載事項>

○人材育成

共同利用・共同研究を積極的に活用し、研究及び研究者の積極的な交流・流動化を可能とする組織・制度設計を行う必要がある。

大学等にあっては、双方向性を有する共同研究の一層の拡充が必要である。

大学以外の研究機関にあっては、高度専門性人材の養成に努めるため、大学等との連携・協力の強化に基づく人材育成の枠組みの検討が必要である。

産業界を中心とした基盤技術の育成を支える人材確保の方策等を模索しつつ、広い視野に立ち科学技術創造立国を支える人材を核融合界から輩出することが必要である。

○社会への発信

核融合エネルギーの意義や安全性等に対する社会の理解を得ることが重要。

核融合フォーラム等において、ITER 計画及び核融合研究への幅広い科学者・一般国民の参加を促進することが重要。

<これまでの取組状況>

－人材育成－

核融合エネルギー開発は長期にわたる開発・基盤研究と広範な要素技術の総合化に支えられることから、核融合研究作業部会において「人材育成・確保等」が重要な課題として指摘された。この指摘を受けて、同作業部会においては、平成 19 年秋より、核融合研究分野における人材の確保について長期的・短期的課題を整理しつつ、緊急に必要な施策及び長期的に必要な施策の両方の観点から検討が行われ、平成 20 年 7 月に報告書「核融合研究の推進に必要な人材の育成・確保について」がとりまとめられた。

また、核融合エネルギーフォーラムの ITER・BA 技術推進委員会においても、トカマク方式によって 21 世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化準備を完了するためのロードマップの検討が 1 つのケーススタディとして行われ、ロードマップの検討結果に基づいた分野ごとに必要とされる人材の検討を実施されている。

なお、重点化後の各施設における人材育成については、核融合研究作業部会において、以下の評価がなされている。

- ・ JAEA では、若手研究者を積極的に活用するなど、内部での人材育成の努力がなされている。今後は、若手研究者の採用や原子力機構外の研究者等との間の人材の流動化のための取り組みが望まれる。
- ・ NIFS においては、総合研究大学院大学ならびに複数の大学との連携大学院の大学院生受け入れや、共同研究を通じた全国の学生の教育等、我が国の核融合分野の人材育成に重要な役割を果たしている。
若手研究者の自由な発想による企画を促す研究環境の確保が望まれる。
- ・ 大阪大学においては、若手研究者育成への積極的な取り組みや、国内外の研究機関等への人材派遣によって人材育成に貢献している。

このように、核融合分野の人材育成のあり方について各方面において評価、検討が進められているところであるが、産業界では、近年、核融合装置の建設機会の減少のため、技術の継承ができないままに多数の技術者がリタイアしている状況にあり、技術者数が不足しているという問題が指摘されている。

－社会への発信－

核融合エネルギーの意義や安全性等に対する社会の理解を得るために、核融合エネルギー研究開発について文部科学省や JAEA、核融合研はホームページ等を通じて情報提供を行っている。また、JAEA は六ヶ所村での住民説明会の開催や、研究者・技術者による出張授業、施設見学の受け入れなども積極的に実施している。さらに、国内研究者に対しては、核融合エネルギーフォーラムを通じて、ITER 計画、BA 活動等に対する意見集約、情報共有を図っている。

<評価>

人材の育成・確保は、原子力分野における共通の課題であり、核融合分野に限定されるものではないが、文部科学省等においては、様々な場で核融合分野の人材の育成・確保に関して真剣に検討が実施されていることについては評価できる。

今後は、これら核融合研究作業部会等の検討結果を適宜適切に政策へ反映させ、効果的かつ効率的な施策に具体化していくことに加え、核融合研究開発はその実用化に至るまで非常に長期間を要するものであることを踏まえ、核融合研究開発に関わる人材の状況について定期的にレビューを実施するなどして、人材の育成・確保に向けた取組について必要な見直しをしていくことも重要である。

また、原型炉に向けたロードマップを策定し、明確化することは、産学官の間で技術開発等に関する目標を共有化すること等により、産業界における人材を確保するた

めにも有効である。そのため、様々な技術開発に対して優先順位付けを行うなどにより、原型炉の実現に向け、我が国として確保、維持すべき技術を明確にした戦略的なロードマップを策定することが必要である。なお、ロードマップの策定は、研究者だけでなく産業界の参画も得て、相互に情報を共有し、施策の提案等による議論を重ねながらオールジャパンの観点から推進されるべきであり、また、研究開発の進捗を踏まえて適宜適切に見直していく活動も重要である。さらに、核融合研究開発に必要な人材を長期的に確保していくためには、核融合研究分野内だけでなく、我が国の科学技術活動全体の中での核融合研究開発の位置づけを踏まえて、関連性のある他の科学技術分野との連携を図りつつ、相互に情報交流、人材交流等を積極的に進めていくことが必要である。

社会への発信については、核融合関連の施設がある地域に対して重点的な広報活動が展開されているが、一般国民全体に対して幅広く発信がなされているとはいえない。今後は、核融合に対する国民各層からの一層の理解が得られるよう、特定の地域のみならず、国民各層に対して、他の原子力分野にはない核融合の特色や魅力、将来性等についての効果的・効率的な広聴・広報活動にも取り組んでいくべきである。

ii) 知識・情報基盤の整備

＜推進方策での記載事項＞

産業界に蓄積された技術の継承と発展を図ることが重要であり、先端的な技術開発を必要とする実験装置の設計・製作が行われることが不可欠。

技術の民間への円滑な移転や実用化、研究開発で得られた知識や経験の継承・活用を図るための知的・情報基盤の整備に取り組むことが重要。

＜これまでの取組状況＞

ITER 建設や BA 関連施設の物納機器の調達等については、ITER 協定、BA 協定の発効を受けて、それぞれ国内機関、実施機関である JAEA により平成 19 年度から物納機器の調達が開始され、ITER においては、我が国は他極に先駆け超伝導コイルの調達に着手するなど積極的な活動を実施している。

また、核融合エネルギーフォーラムにおいて、トカマク方式によって 21 世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目処を得るためのロードマップを 1 つのケーススタディとして作成し、国内に保持すべき技術等について検討がなされている。あわせて、その実現に必要な人材計画についても検討がなされている。

一方、今後 10 年程度の期間で ITER 建設と BA 活動を進めていく必要がある中、産業界においては、これまでの核融合装置の建設機会の減少等により技術の空洞化が生じたため、技術継承が十分になされていない状況にあり、産業界における現有の技術者や設備では十分な対応ができない可能性が指摘されている。

＜評価＞

現在、国内機関、実施機関である JAEA によって ITER 建設や BA 関連施設の物納機器の調達等が実施されているところであるが、ITER 建設において我が国が実施する物納は、他極と同様に ITER を構成する機器の一部分にすぎない。このため、我が国は、他極が物納を担当する機器の作成のための技術や ITER を構成する機器の統合に関するノウハウ等を保持し得なくなる可能性が高い。この課題に対しては、我が国がホスト国として ITER 計画を補完する BA 活動において得られる技術やノウハウ等を適切に保持し、活用していくことが期待される。

また、ITER 建設や BA 関連施設の整備は、研究開発機関と産業界とが連携、協力して可能となるものであるが、産業界が現在直面している課題は、今後の核融合研究

開発を推進する上で極めて深刻な問題である。

このため、ITER 計画へ参画し、原型炉へ向けての技術やノウハウを獲得してくるべき人材や、獲得した技術やノウハウの国内での蓄積されるべき適切な機関についても早急に検討がなされるべきである。

なお、ITER・BA 技術推進委員会で検討された原型炉に向けたロードマップ作成は、この問題に対処するための第一歩であると考えられ、このロードマップ検討作業において、産業界も参加して全日本的な体制で検討がなされていることは一つの有効な取組である。このような技術開発ロードマップを関係者間で適切な形で共有し、それに示された技術課題について、我が国として維持・向上すべき技術に優先順位を付けるなどしつつ、その技術開発課題に対する産学官の取組体制を明確にしていくことも必要である。

iii) 他の科学技術分野や社会への貢献

＜推進方策での記載事項＞

核融合研究で開発された先端技術の他分野への活用を積極的に進める必要がある。

多様な要素が複雑に統合された核融合炉研究開発では、研究成果を還元して学術として体系化・普遍化することが重要である。また還元された基盤学術の複合により新たな学問領域の創成も期待される。

原子力研究開発に必要な大型研究施設は、広範な科学技術分野に有用な研究手段を提供することが多いため、他の科学技術分野にもたらす研究水準の飛躍的向上などの有用性も加味し、また、それが多くのユーザーに開放するための環境が整備されることが重要である。

＜これまでの取組状況＞

核融合炉工学技術は、超伝導技術、高周波技術、真空技術、遠隔操作技術、コンピュータ技術等、様々な工学分野での革新的な技術基盤をベースに進展してきており、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、情報・通信、環境分野を始め、多くの産業分野に波及効果をもたらしてきている。

例えば、LHD においてプラズマ加熱用に開発された高周波技術は、セラミック焼結技術として応用が進められている。また、レーザー核融合研究で開発された原子過程のシミュレーション・コードや診断技術、ペレット技術を利用して、次世代半導体

のための極端紫外光源開発が進むとともに、そのためのレーザー技術開発が行われている。

<評価>

核融合研究が社会的理解を得るためには、核融合に関わる科学技術をより身近なものにする努力が不可欠である。このための取組の一つとして、核融合研究開発で得られた成果、例えば中性粒子ビーム生成技術、高出力ジャイロトロン、セラミック製真空排気系、プラズマシミュレーションコード等をコアとして、他の科学技術分野との連携、協力を積極的に進めていくべきである。

同様に、他の学術分野から核融合研究が認められ、評価されるためには、核融合研究から得られた学術的成果が普遍性と汎用性を持ち、他分野にも大きなインパクトを与えていくことが大切であり、研究開発の取組にあたっては、このようなことも追求していくことが必要である。

iv) 核融合研究開発の体制

＜推進方策での記載事項＞

核融合研究開発の分担

原子力委員会...核融合研究開発に関する基本方針の調査審議の実施

文部科学省 ...原子力委員会の基本方針に基づき、核融合研究開発に関する政策・施策の企画・実施等を行うとともに、審議会等において核融合研究開発のチェック・アンド・レビューを実施

日本原子力研究開発機構...トカマク方式による開発研究の中核的機関としての役割

核融合科学研究所...核融合プラズマの学理とその応用の研究を図り LHD を用いた学術研究等や、大学の炉工学研究の取りまとめの役割を果たすことを期待。

大学他...学術研究の推進と学生の教育を大きな柱として位置づけ。

産業界...原型炉に向けた製造技術の確立と経済合理性追及の観点から、核融合機器の製造技術の蓄積・向上に務めることを期待。

原型炉の設計や核融合炉の実用化の検討については、産業界関連機関、製造業、電力業界の参画を期待。

国際協力

多国間協力や二国間協力を積極的に立ち上げ、有効に活用していくことが重要。

共同利用・共同研究と連携協力

ITER や原型炉へ向けた研究では、産業界も含めた全日本的な協力体制が必要であり、そのような全体を俯瞰した連携・協力のあり方を検討する必要がある。

チェック・アンド・レビュー (C&R)

核融合研究開発の進捗状況についての総合的な C&R は、概ね 5 年毎に実施。

開発研究については、C&R を踏まえ、原子力委員会が第三段階終了以前に原型炉段階への以降の可否を判断

学術研究については、ヘリカル方式とレーザー方式を中心に C&R を行い、適切な時期に研究の展開の方向を定める。

＜これまでの取組状況＞

－核融合研究開発の分担－

原子力委員会が決定した第三段階計画、推進方策に則って、文部科学省の政策が推進され、平成 18 年には核融合研究作業部会において、チェック・アンド・レビュー

が実施されている。本レビューにおいては、JT-60 の重点化、LHD の重点化、激光 X II 号の重点化、炉工学の重点化により、核融合研究開発が進展していることが確認されている。

－国際協力－

ITER 計画に加え、日欧で ITER 計画を補完・支援する BA 活動を実施している。また、従来の日欧協力、日米協力に加え、日韓核融合協力取決め、日中核融合協力取組めを結び、各国の所有する核融合実験装置を活用した二国間での協力活動も推進している。

－共同利用・共同研究と連携協力－

主に大学を中心として取り組まれている学術研究と、ITER 計画や BA 活動に代表される開発研究の情報流通に関して、ITER・BA 技術推進委員会において ITER 計画、BA 活動に関する情報の提供が随時行われている。さらに、核融合エネルギーフォーラムにおけるクラスター活動や核融合ネットワークによる活動その他により、関係者間の情報の共有が図られている。また、ITER 計画における各種委員会や BA 活動の 3 つの事業委員会など、研究開発プロジェクトの意思決定の場に、大学等学術界で活躍している研究者の参画が得られており、学術界の意見を反映できる体制となっている。

また、核融合研では、19 年 4 月、BA サイトのある六ヶ所村に、ITER 計画及び BA 活動への参加拠点としての将来を見据えて、3 次元高速仮想現実システムの開発を実施するため「六ヶ所研究センター」を開設した。

<評価>

ITER 計画が本格化している現在、関係機関においては、「推進方策について」に示した役割分担に沿って着実に取組を実施している。

今後、「推進方策について」では、概ね 5 年毎に核融合研究開発全体の進捗状況についての総合的なチェック・アンド・レビューを実施することとしていることから、今後も、文部科学省においては、核融合研究開発の総合的な進捗状況を踏まえて、適宜・適切なチェック・アンド・レビューを実施していくべきである。

また、核融合エネルギーフォーラムにおけるクラスター活動など ITER 計画を支援する研究体制が強化され、円滑な活動が行われるよう特段の配慮が必要である。

第4章 結論

本部会は、第3章に取りまとめられた評価を踏まえて、原子力政策大綱及び「推進方策について」に示されている核融合研究開発に関する取組の基本的考え方は引き続き尊重されるべきと考える。同時に、その目指すところが実現されるためには、関係行政機関等が、今後、以下に示す提言を踏まえて、関連する取組の改善を図りつつ着実に推進していくことが必要であると評価する。

(1) ITER 計画及び BA 活動について

第三段階核融合研究開発基本計画の中核装置である ITER については、平成 19 年に ITER 機構が正式に発足し、文部科学省及び国内機関である JAEA を中心として、ITER 建設に向けた取組みが着実に進展している。また、BA 活動においても、ITER 支援研究や原型炉に向けた研究開発を実施する体制が整いつつあり、着実に計画が進展されている。今後もそれぞれの計画において最大限の成果を得るように引き続き全日本的な連携を図りつつ着実に計画を進展させることが必要である。

その際、特に留意すべき点は、ITER 計画に参画する優秀な人材の確保と、核融合炉実現に向けて国内での知識やノウハウ等の確保がしっかりと行われる体制の構築が図らなければならない点である。また、ITER 協定の下で実施される TBM 計画が着実に進めるように取り組むことも重要である。

BA 活動に関しては、実施内容について国内研究者間で一層の情報共有を図れるような体制の構築と参加のための枠組みを整備することが求められる。

また、トカマク方式による核融合エネルギーの実現のためには ITER 計画及び BA 活動だけでは補えない分野もあることが予想される。JAEA を中心として、核融合エネルギー実現に向けて我が国が保有すべき技術について、戦略的な検討が必要である。

(2) 学術研究について

ヘリカル、レーザー方式については、核融合の選択肢を拡げる観点から着実に研究開発が実施されている。今後は、それぞれの方式についての方向性を明らかにしていくため、将来計画について十分な検討を行っていく必要がある。文部科学省においては、ヘリカル、レーザー方式による研究の進捗を踏まえて適切な時期に核融合炉としての可能性に関する評価を実施し、その後の計画の進め方を検討していくべきである。

また、基盤学術研究と ITER 計画の間の双方向的研究を促進する観点から、ITPA や

TBM 活動への積極的参加がスムーズに行えるよう核融合エネルギーフォーラム等を通じた取組を充実させていくとともに、これまでやや後手に回っていた炉工学基盤研究を強化すると共に総合的核融合工学として発展させる必要がある。

さらに、核融合エネルギーフォーラムにおいて1つのケーススタディとして検討された原型炉に向けた技術開発ロードマップの中で明らかにされた課題を解決できる学術基盤を先見的に取り上げ、国民の期待の大きい核融合エネルギー開発に向けて責任のある道筋を明示する必要がある。

長期にわたり核融合研究を維持・発展させるためには、優秀な人材を引き付け、多様な才能を育てていく必要がある。このためには、核融合に係る学術が大きな広がりをもつとともに、革新性あるいは厳密性を高く評価する文化が醸成されなくてはならない。大学等における基礎研究は、核融合エネルギーの早期実現あるいは高性能化や安全性向上などに大きな寄与をする可能性は極めて高く、大型プロジェクトの推進と相補的な観点からも、着実に推進されなければならない。

（３）研究開発体制について

核融合エネルギーを実現するためには、今後数多くの研究者が必要になることが予想される。こうした人材需要を核融合コミュニティだけで賄うのは困難であると考えられる。今後は、関連する科学技術分野、特に原子力の他の分野との連携・協力を視野に入れた戦略的な研究開発体制、人材育成・交流方策の構築が望まれる。

また、産官学にわたる全日本的な体制の強化を今後とも図っていくことが必要である。

（４）社会への発信について

核融合エネルギーの実現には、今後も多大な国費を投入することが必要になることが予想されることから、各関係機関においては、国民に対して核融合エネルギーの意義や実現可能性等について常に説明責任を果たしていく努力が求められる。また、核融合を学生にとって魅力的な分野とすることは、核融合エネルギー実現に向けた人材確保の面でも重要である。

さらに、原型炉の実現に向けて核融合研究開発を進める意義を国民により納得できる形で説明するためにも、核融合エネルギーの安全性、環境および社会への適合性を確保するために必要な基盤的研究については、より一層の取組が必要である。

また、核融合研究が社会的理解を得るために、他の科学技術分野との連携、協力を積極的に進め、核融合に関わる科学技術がより身近なものになるよう努めていくべき

である。

（５）次段階への移行の判断について

「推進方策について」では、核融合エネルギーの実現を目指して、中間段階（ITER 機構発足後、約 10 年程度）での達成目標と最終的な次段階（原型炉段階）への技術上の移行条件が示されている。関係機関においては、引き続きこれらの技術条件を達成することを目安として施策を実施することが望まれる。なお、その場合、「選択と集中」の考え方にに基づき、引き続き効果的かつ効率的な資源配分を行うことが必要不可欠である。

原子力委員会には、関係行政機関等がこれらの提言も踏まえて核融合研究開発に関する取組を適切に進めているかどうかについて、確認に努めることを期待する。また、核融合研究開発はその実用化に至るまで長期間を要するものであることから、原子力委員会は、関係行政機関等に関連の取組状況について定期的に報告を求め、これらの提言を踏まえた取組の改善状況を確認しつつ、状況を踏まえた適切な提言を行っていくべきである。

（付録１）核融合専門部会の開催実績

○第１０回核融合専門部会〔平成１９年１０月１２日（金） １５：３０～１７：３０〕

- 議題：１．核融合専門部会の設置について
２．核融合研究開発の現状について
３．核融合専門部会の当面の進め方について

○第１１回核融合専門部会〔平成１９年１２月２０日（金） １０：００～１２：１０〕

- 議題：１．核融合専門部会の評価の進め方について
２．関係行政機関等からのヒアリング
（１）文部科学省
（２）（独）日本原子力研究開発機構

○第１２回核融合専門部会〔平成２０年２月１４日（木） １０：００～１１：５０〕

- 議題：１．関係行政機関等からのヒアリング（文部科学省）

○第１３回核融合専門部会〔平成２０年４月２５日（金） １４：００～１６：３０〕

- 議題：１．関係行政機関等からのヒアリング
（１）文部科学省
（２）核融合科学研究所
（３）大阪大学
２．ITER設計の国内評価について（状況報告）

○第１４回核融合専門部会〔平成２０年５月２８日（水） １４：００～１６：００〕

- 議題：１．学協会・産業界からのヒアリング
２．報告書骨子案について
３．最近のITER・BAの進捗状況について

○第１５回核融合専門部会〔平成２０年７月１６日（水） １４：００～１６：００〕

- 議題：１．関係行政機関等からのヒアリング（文部科学省）
２．核融合エネルギーフォーラムにおけるロードマップ等の検討結果について（報告）
３．報告書（案）について

○第16回核融合専門部会〔平成20年9月25日（木） 10:00～11:35〕

議題：1. 報告書（案）について

2. 「ご意見を聴く会」の開催について

（付録２）核融合専門部会の委員等名簿

○核融合専門部会 構成員

池田 右二	元在ウィーン国際機関日本政府代表部特命全権大使
伊藤 早苗	九州大学 応用力学研究所 教授
植弘 崇嗣	(独) 国立環境研究所 環境研究基盤技術ラボラトリー長
内山 洋司	筑波大学大学院 システム情報工学研究科リスク工学専攻教授
小川 雄一	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
尾崎 章	(社) 日本原子力産業協会 政策本部調査役
木村 晃彦	京都大学 エネルギー理工学研究所 教授
高村 秀一	愛知工業大学 工学部電気学科 教授
常松 俊秀	(独) 日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門長
寺井 隆幸	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻 教授
後藤 清	東京電力(株) 執行役員 技術開発研究所 所長(平成20年8月まで)
原 築志	東京電力(株) 技術開発研究所 所長(平成20年8月から)
三間 圀興	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授
本島 修	自然科学研究機構 核融合科学研究所所長 理事・副機構長
山下 ゆかり	(財) 日本エネルギー経済研究所地球環境ユニット総括研究主幹

○原子力委員会

近藤 駿介	原子力委員会委員長
田中 俊一	原子力委員会委員長代理
松田 美夜子	原子力委員会委員
広瀬 崇子	原子力委員会委員
伊藤 隆彦	原子力委員会委員

※ 原子力委員会委員長及び委員については、「核融合専門部会の構成員について」(平成19年9月25日 原子力委員会決定)に基づき、原子力政策の妥当性の評価に関する調査審議を行う場合に限り構成員として出席することとしている。

－ 主な用語解説 －

【力行】

- ・ 開発研究

実用に供することを目的として系統的に実施する研究開発のこと。開発のための重要課題／達成目標の選定、その課題解決の手法分析、研究の実施による目標の達成を優先する。

- ・ 学術研究

一定の理論に基づいて体系化された知識と方法としての学問と芸術の総称である学術に関する研究のこと。ここでは、自然科学としての核融合に関する学問の研究を意味する。核融合の実現を目指す上で、体系化された知識として確立することを優先することにより、研究の進展を図る。

- ・ 核融合エネルギー

核融合反応によって発生するエネルギー。1g の重水素(D)とトリチウム(T)燃料の核融合反応から発生するエネルギーは、タンクローリー1台分の石油(約8トン)を燃やしたときの熱量に相当する。

- ・ 激光XⅡ号

大阪大学のガラスレーザーを用いた慣性閉じ込め装置。レーザーのビーム数は12本、エネルギーは30kJ(レーザー波長 $1.05 \cdot \text{m}$)、15kJ(同 $0.53 \cdot \text{m}$)、10kJ(同 $0.35 \cdot \text{m}$)である。

- ・ 高出力ジャイロトロン

ジャイロトロンとは、弱い相対論電子ビームが磁気圧縮をうけて、その運動エネルギーを電磁場のエネルギーに変換し、強力なミリ波を発振させる電子管である。ミリ波領域から遠赤外にかけての周波数領域は、これまで開発が遅れた谷間の周波数帯であったが、最近の研究の進展に伴い、核融合への利用のみならず、マイクロ波推進、重イオン源、X線源、高性能レーダー、プラズマプロセッシング等への応用が期待される。

- ・ 高ベータ

プラズマを閉じ込める磁場の圧力に対するプラズマの圧力比、すなわちベータ値＝プラズマ圧力／磁場圧力。ベータ値が高いほど弱い磁場で高い圧力のプラズマを閉じ込めることができる。核融合炉の出力は、プラズマ圧力の自乗×プラズマ体積に比例するため、ベータ値を高めることで、コンパクト(小さな体積)な炉心をつくることができる。すなわち、高ベータは、核融合炉の経済性を高める上で、必要不可欠な要素である。

- ・ 国際熱核融合実験炉(ITER)計画^{*3}

制御された核燃焼プラズマの維持と長時間燃焼によって核融合の科学的・技術的実現性を実証することを目指したトカマク型の核融合実験炉計画。1992年から日本・米国・欧州・ロシアの国際協力として推進され、9年間の工学設計及び、主要機器の技術開発を行った。平成13年11月からは、政府間協議を開始し、平成17年6月にモスクワで開催された第2回6極閣僚級会合においてITERの建設地がフランス・カダラッシュに決定。平成19年10月にITER協定が発効し、ITER機構が正式に発足した。現在の参加極は日本、EU、米国、韓国、中国、ロシア、インドの7極である。

【サ行】

- ・ サテライト・トカマク計画

幅広いアプローチ活動のプロジェクトの一つ。日本原子力研究開発機構の臨界プラズマ試験装置JT-60を活用し、プラズマの長時間維持やITERを模擬した配位が可能のようにJT-60のコイルを超伝導化する等の改修を行い、ITERの運転シナリオの最適化などのITER支援研究や、原型炉に向けてITERを補完する研究を実施する。

- ・セラミック焼結技術

セラミックスの成形体を加熱すると、隣合う原料粒子が徐々に接着し、粒子間のすき間が小さくなると同時に全体が収縮する。この現象を「焼成」といい、「焼き締め」「焼結」ともいう。一般的には焼成温度が高いほど、また原料の粒が小さく、丸く、大きさが揃っているほど製品は硬くなる。この焼成工程では、硬度以外にも気孔率や導電性、熱やほかの物質に対する耐性や透光性などさまざまな製品の特性が決まる。温度や時間、雰囲気といった焼成条件を組み合わせ、それぞれに最適な特性をつくり出す技術。

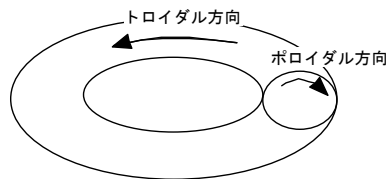
【タ行】

- ・中性子粒子ビーム生成技術

プラズマ中に存在する正イオンあるいは負イオンを電界により引出し加速すると、その高速のイオンは原子分子、電子、壁などとの衝突で電荷交換して中性化される。この時、運動エネルギーは保存され、方向性をもった中性粒子ビームが生成される。この高速の中性粒子を生成する技術。

- ・トカマク方式

トロイダルな形状の閉じ込め方式でプラズマは磁場により閉じ込められる。主たる磁場はトロイダル方向のトロイダル磁場であるが、これだけではプラズマを閉じ込めることができない。プラズマの圧力と磁力がバランスして平衡を保つためにはポロイダル磁場も必要である。ポロイダル磁場は、プラズマ中にトロイダル方向の電流を流すことにより作られる。プラズマ電流はオーム加熱の原理により、プラズマ加熱としての役割も果たしている。旧ソビエトのクルチャトフ研究所で考案され、その優れた閉じ込め性能のために世界各国の研究所で、この形式のプラズマ実験装置が建設され研究されてきた。



- ・トロイダルコイル

トロイダル方向の磁場を作るコイル。トカマクは基本的に3つのコイル：トロイダルコイル、ポロイダルコイル、中心ソレノイドコイルをもつ。このうち、プラズマを閉じ込めるための強い磁場を作り出すのがトロイダルコイル。いわばプラズマの骨格となる磁場を作り出します。ITERは18個のトロイダルコイルをもちNb3Sn（ニオブ3スズ）で出来た超伝導線をもっている。この超伝導線は、強い磁場を作り出し、もっとも強い所では、12テスラに達する。

【ハ行】

- ・プラズマ

温度の上昇とともに物質の状態は一般に固体から、液体、気体へと変化してゆく。さらに高温になると、原子核のまわりを廻っている電子がはぎとられて原子は正の電荷を持つイオンと負の電荷を持つ電子に分かれて（イオン化）、両者が高速で不規則に運動している状態になる。この状態をプラズマという。核融合では、温度が数億度に及ぶ超高温プラズマが対象となる。プラズマは雷やオーロラなど自然界に広く存在するが、身近な例としては蛍光灯などの希薄な気体中の放電によって作られるプラズマがある。

- ・ブランケット

核融合反応発生装置において、核融合が発生しているプラズマを包むように設置される構造体を、ブランケットという。ブランケットの機能は、真空容器やその外側の超伝導コイルを中性子から遮蔽、核融合反応によって発生する中性子を利用してリチウム化合物をトリチウムに転換、中性子をうけてその運動エネルギーを熱に変換する、などの機能のいずれかを担う。

- ・ヘリカル方式

トロイダルな形状の閉じ込め型でプラズマは磁場により閉じ込められるのはトカマクと同様である。しかし、トカマクと異なり、プラズマ閉じ込めに必要なポロイダル磁場をプラズマ電流ではなく外部コイルにより形成する。外部コイルとしては、螺旋状のねじれたコイル（ヘリカルコイル）あるいは複雑な形状をしたモジュラーコイル等が用いられている。このような方式によってプラズマを閉じ込める方式をヘリカル型と呼ぶ。

- ・ペレット技術

レーザー核融合研究で開発されたペレットの生成技術。特に、エマルジョン法により製作される中心点火用燃料容器の真球性は 99.98% に及ぶため、この高い精度を利用し、衝撃センサーに応用する研究がある。

【う行】

- ・レーザー方式

高強度レーザーを用いて、直径数 mm の燃料小球を、等方的に爆縮（断熱圧縮）させ、瞬時に超高密度・高温プラズマを生成し、核融合反応を起こさせる方式をレーザー型と呼ぶ。

アルファベット順

- ・BA 活動

幅広いアプローチ活動。日本と欧州連合（EU）が ITER 計画と並行して核融合発電用の原型炉開発を目指すプロジェクトで、2005 年 6 月にモスクワで開催された第 2 回 6 極閣僚級会合において、日欧協力の下、我が国で実施することが決定された。実施プロジェクトは、文部科学省に設置された ITER 計画推進検討会における検討を経て、①国際核融合エネルギー研究センター、②サテライトトカマク計画、③国際核融合材料照射施設工学実証・工学設計活動の 3 つのプロジェクトが選定された。2007 年 6 月に協定が発効。

- ・dpa 照射損傷量

照射損傷量。displacement per atom の略であり、中性子照射によって材料の構成原子が格子点からはじき出される割合を示す指標である。1dpa の照射損傷量は、材料の構成原子が平均すると 1 回格子点からはじき出されたことを意味する（あくまでも平均であり、個々には 2 度はじき出されたり、はじき出されない構成原子もある）。

- ・FIREX

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターで進められており、爆縮プラズマを短パルス超高強度レーザーで瞬間的に加熱することにより、効率的な核融合点火と自己燃焼へのシナリオを明らかにし、高速点火核融合の原理を実証するプロジェクト。

- ・GAMMA10

筑波大学プラズマ研究センターで運転中の複合ミラー型装置。中央ミラー間距離は 6m、全長約 27m。

軸方向閉じ込めを改善するため、装置両側に設置されているプラグ部において電子サイクロトロン共鳴加熱を行い、イオン閉じ込め電位を形成している。

- ・HeliotronJ

京都大学エネルギー理工学研究所のヘリカル型磁場閉じ込め装置。先進的磁場閉じ込め配位（ヘリカル軸ヘリオトロン）により磁場スペクトラムの基本因子（トロイダル、ヘリカル、バンピー）に対する制御自由度を拡大し、磁場配位研究における新しいパラメータ領域の開拓とフレキシブルな実験が可能。

・ HFIR 炉 High Flux Isotope Reactor

軽水冷却・減速型の研究炉、 ^{252}Cf をはじめとする超ウラン元素の製造と核種の中性子照射試験を目的としたもの。

研究の一つとして中性子散乱実験があり、生成された熱中性子や冷中性子を試料に当てることにより材料の構造を解明する固体物理、化学、生物、高分子、金属等の研究に用いられている。

・ ITPA International Tokamak Physics Activity

国際トカマク物理活動のこと。

ITER/DEA 期間中に行っていた ITER 物理 R&D を継承し、2001 年から EU、米国、ロシア、日本の 4 極、その後、ITER 参加極の増加に伴い、現在 7 極の研究者がトカマクプラズマの物理解明および ITER 等の核燃焼プラズマの性能検討を行う国際的な研究活動。閉じ込め、輸送物理、ダイバータ、周辺、定常運転、MHD、計測に関する 7 つの専門グループと調整委員会がある。

・ JT60 臨界プラズマ試験装置

臨界プラズマ試験装置 JAERI Tokamak-60 の略称であり、日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所が有する世界最大級のトカマク装置（主半径 $R=3.4\text{m}$ 、小半径 $a=1.0\text{m}$ 、トロイダル磁場 $B_t=4.0\text{T}$ 、プラズマ電流 $I_p=3.0\text{MA}$ ）である。米国の TFTR（運転終了）、欧州の JET 装置と併せて 3 大トカマクといわれた。JT-60 で達成された 5.2 億度を越える世界最高温度は、ギネスブックにも登録されている。BA 活動のサテライト・トカマク計画における超伝導化改修のため、2008 年 8 月 29 日から運転を停止している。

・ LFEX

LFEX は、「高速点火原理実証プロジェクト第 1 期 -FIREX-I-」における高速点火用レーザーシステム。

最終ビーム口径は、 $370\text{mm} \times 370\text{mm}$ の四角ビームを 4 ビーム有する。この 4 ビームを 1 つのビームとして集光することにより、 $10\text{kJ}/10\text{ps}=1\text{PW}$ の高エネルギー・高ピーク出力を発生できる。増幅装置は、省スペース化と省コスト化を両立するための新しい技術が数多く試みられる。その一つとして、ディスクガラス増幅器のガラス 1 枚の大きさは、世界最大級の $800\text{mm} \times 400\text{mm} \times 40\text{mm}$ であり、1 ビーム当たり、8 枚使用されている。そして、ゲインを最大限に引き出すため、4 回通過するマルチパス光路となっている。

・ NBI

NBI とは Neutral Beam Injection（中性粒子入射）の頭文字をとった略称でプラズマの加熱装置の一種。プラズマを加熱する方法として、より高温な（エネルギーの高い）粒子をプラズマに導入することでプラズマ全体の温度を上昇させるしくみになっているもの。

・ TRIAM-1M/QUEST

TRIAM-1M

九州大学応用力学研究所で稼動した超伝導強磁場トカマク装置。トロイダルコイルに Nb_3Sn （ニオブ 3 スズ）で出来た超伝導線を用いている。マイクロ波を用いたプラズマ電流駆動法の開発、プラズマ位置制御法の開発ならびに粒子供給法の開発等により、世界最長の 5 時間 16 分のトカマクプラズマの定常維持に成功した。

QUEST

九州大学応用力学研究所で稼動している球状トカマク装置。プラズマの主半径が 0.68m 、小半径が 0.4m であり、その比が 1.7 と通常のトカマクよりも小さく、プラズマ形状は球形となる。平成 20 年度から実験が開始され、高ベータの達成が可能である球状トカマクプラズマの長時間維持やプラズマ壁相互作用等の研究が行われる。

資 料

資 料 1-1	資 2
核融合研究の現状について 文部科学省(2007年10月)	
資 料 1-2	資 18
核融合研究開発における開発研究に関する取組 文部科学省(2007年12月)	
資 料 1-3	資 30
ITER計画・BAの現状と我が国の取組 文部科学省(2008年2月)	
資 料 2	資 51
核融合研究開発における開発研究に関する取組 独立行政法人日本原子力研究開発機構(2007年12月)	
資 料 3	資 56
大型ヘリカル装置(LHD)による今後の核融合科学研究の進展について 大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所(2008年4月)	
資 料 4	資 77
レーザー核融合研究の進展 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター(2008年4月)	
資 料 5	資 89
核融合に関わる基礎・基盤的分野の研究・教育について プラズマ・核融合学会アピール『核融合発展させる学術研究のあり方』に沿って プラズマ・核融合学会(東京大学 吉田教授)(2008年5月)	
資 料 6	資 99
産業界における核融合をめぐる現状 日本原子力産業協会(2008年5月)	
資 料 7	資109
核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略 核融合エネルギーフォーラム ITER・BA技術推進委員会(2008年7月)	

核融合研究の現状について

平成19年10月12日

文部科学省研究開発局研究開発戦略官

松尾 泰樹

目次

1. 我が国における核融合エネルギー研究開発
について 1
2. ITER計画について 15
3. 幅広いアプローチについて 24
4. 核融合研究作業部会について 27

1. 我が国における核融合エネルギー 研究開発について

1

核融合エネルギー

核融合エネルギー・・・軽い原子核同士（重水素、トリチウム）が融合して別の原子核に変わる際に、質量の差分がエネルギーとなって出るもの

<核融合エネルギーの特徴>

- ・ **豊富な資源** : 燃料となる重水素は海中に豊富に存在し、三重水素（トリチウム）は埋蔵量の多いリチウムより生成可能であり、地域的な偏在がない豊富な資源。少量の燃料から膨大なエネルギー。
- ・ **固有の安全性** : 燃料の供給を停止することにより、核融合反応を速やかに停止することができるなど、安全対策が比較的容易。
- ・ **高い環境保全性** : 発電の過程において地球温暖化の原因となる二酸化炭素を発生しない。低レベル放射性廃棄物は発生するが、従来技術で処理処分が可能。

（核融合の原理と発生エネルギー）

重水素



トリチウム



核融合

ヘリウム



中性子

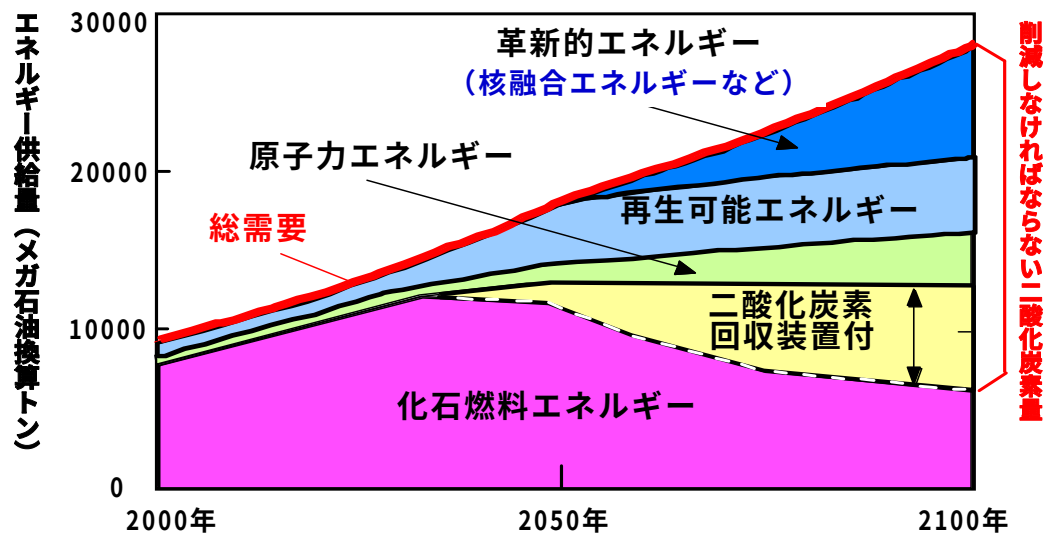


○ 重水素-トリチウム燃料 1 g は、およそ石油 8 t 分に相当。

○ 重水素は、水 30 リットル中に
およそ 1 g の割合で含まれる。

2

なぜ核融合？



- 地球上の二酸化炭素濃度を550ppmに維持
- 出典：NEDO/RITE 「地球再生計画」 (1998)

3

核融合エネルギーの段階的研究開発



4

戦略重点科学技術としての核融合研究

◎核融合エネルギーは、我が国のエネルギー安全保障はもとより、地球全体のエネルギー問題や環境問題などの解決に貢献するものであり、長期的な観点から核融合の研究開発を推進していくことが重要。

1. 我が国のみならず人類全体に役立つ技術

◎核融合エネルギーは、資源が豊富で偏在していない、供給安定性に優れている、温室効果ガスを発生しない、安全性が高い、核拡散抵抗性が高い、廃棄物は既存の技術で処理可能。

→ エネルギーの安定供給と環境問題の克服を同時に実現する、人類究極のエネルギー源

加えて、

- 理学、工学分野を中心に未踏の科学技術領域を開拓
- 産業技術への波及効果

3. 国としての責任

◎中心となるITER計画は国際約束に基づく大型プロジェクト

◎核融合エネルギー技術の研究開発は基礎的段階であり、また、大型施設が必要。

→ 民間だけでは不可能であり、国が中心となって研究開発を推進することが必要。

2. 主要国が積極的に研究開発を推進

◎世界人口の半分以上を占める国々がITER計画に参加

◎世界主要国が積極的に研究開発を実施

欧州：ITERホスト国、米国：ITER計画に積極的
中国：EAST※運転開始(2006年)、韓国：KSTAR※完成(2007年)
インド：SST-1※開発中 等

→ ITER計画における準ホスト国の地位を確保するとともに、国際競争に勝ち抜き、将来の主導的立場を確保することが必要。

※いずれも最新の超伝導プラズマ実験装置

4. 核融合エネルギー技術は総合技術

◎核融合エネルギー技術の実現には、ITER計画以外にも、炉工学、材料分野などの面で更なる研究が必要。

→ ITER計画を中心に、関連する研究開発も含め、総合的に捉えることが必要。

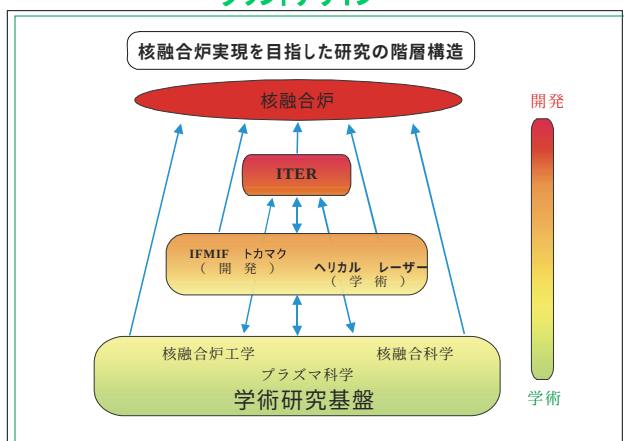
5

核融合研究の基本方針

[今後の核融合研究の在り方]

今後の我が国の核融合研究の在り方について、文部科学省科学技術・学術審議会に核融合研究WGを設置し、今後10～20年先を見据えて、学術的評価に基づく核融合研究の在り方の方向性について平成15年1月に報告書を取りまとめた。

グランドデザイン



出典：平成15年1月核融合研究WG報告書より

【報告書のポイント】

⇒核融合研究計画の重点化

トカマク (JT-60)
ヘリカル (LHD)
レーザー (GEKKO-XII)
炉工学

⇒共同利用・共同研究の強化

⇒重点化後の人材育成の在り方

6

国内重点化装置

我が国の核融合研究開発は、日本原子力研究開発機構、核融合科学研究所、大学等の連携・協力により研究開発を実施。特に、トカマク、ヘリカル、レーザーについては世界でも有数の装置を有し、世界をリードする成果を輩出。

大型トカマク装置



JT-60 (日本原子力研究開発機構)

大型ヘリカル装置



LHD (核融合科学研究所)

レーザー核融合実験装置

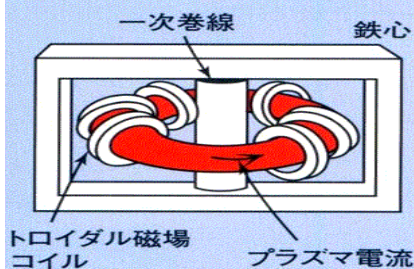


GEKKO-XII (大阪大学)

7

核融合の主な閉じ込め方式について

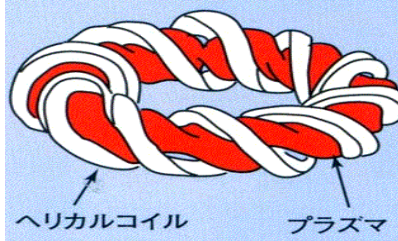
●トカマク型



- ドーナツ状の磁気のかごをつくり、その中にプラズマを閉じ込める。
- 旧ソビエトで考案され、世界が追隨した方式→現時点で最も進んだ方式
- プラズマ中に電流を流して、ねじれた磁場を形成

JT-60
日本原子力研究開発機構

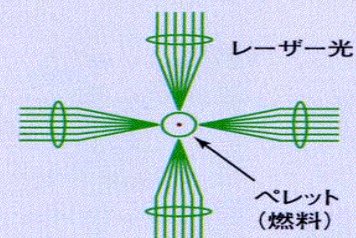
●ヘリカル型



- トカマク型と同様にドーナツ状のかごをつくるが、ねじれたコイルを使うのが特徴。
- 磁場は外部コイルで形成されるため、プラズマ中に電流を必要としない。→経済的な運転が可能
- 長時間プラズマ生成が可能

大型ヘリカル装置LHD
核融合科学研究所

●レーザー方式



- 左の2つの閉じ込め方式とは全く違い、燃料をレーザーで爆発的に加熱し、その圧力で閉じ込める。

激光XII号
大阪大学

8

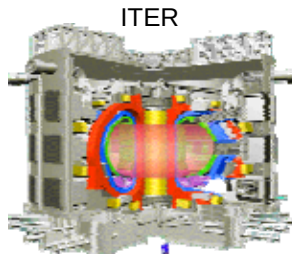
我が国における核融合政策の現状について

磁場閉じ込め方式

☆トカマク・ヘリカルともに原理実証段階を完了

トカマク

- 工学的実証段階
- 現段階では最も進展しているとの国際的認識
→ 実験炉ITER



ITER

ヘリカル

- 工学的実証を目指す段階
- 基本部分はトカマクと共通（閉じ込め方式の部分のみの違い）
- トカマクとは異なる長所 → 原型炉段階で（プラズマの安定性）採用される可能性
- 我が国独自のアイデアに基づく
LHD



LHD

知見を反映

レーザー方式

☆原理実証を目指す段階

- 原理実証を目指す段階
- 当面はFIREX-I計画を推進、最終段階（2010年）で評価し、次のステップを判断
- 欧米では、主に軍事研究で強力に推進するため、国際協力は困難
- 磁場閉じ込めと質的に異なる方式 → 将来の技術的代替性がある
- 他分野への応用が広範

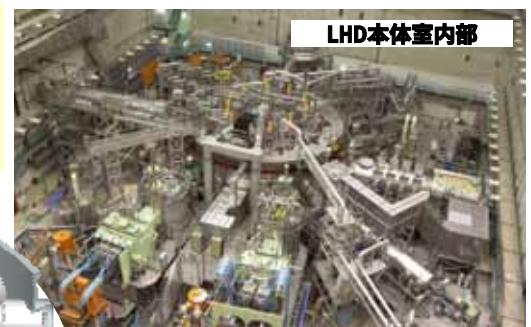


FIREX-Iで用いる
レーザーXII号

大型ヘリカル装置（LHD）による核融合科学研究の推進

概要

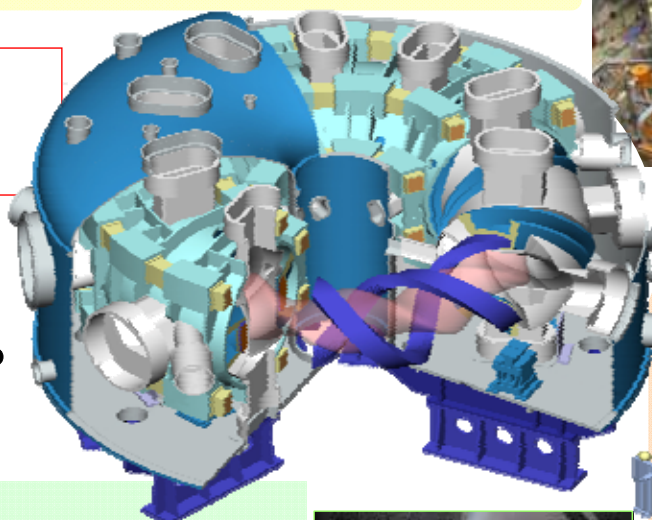
我が国独自のアイデアに基づく、超伝導コイルを用いたヘリカル磁場方式の大型実験装置を建設・稼働させ、共同研究・共同利用に供することによって核融合エネルギー炉を見通せる高温高密度プラズマを目指して、世界の核融合研究、新しいプラズマ領域の研究に貢献している



LHD本体室内部

世界最大の定常型実験装置

装置本体の外径	13.5m
プラズマの直径	約8m
プラズマの太さ	約1.2m
プラズマの体積	30m ³
磁場強度	約3万ガウス



経費・経過

建設費総額 約507億円
(試作開発経費等含む)
平成2～9年度 8年計画
平成10年3月 プラズマの最初の
点火実験に成功
平成10年4月 本格実験開始

これまでの成果

平成13年度 電子温度1億2千万度達成
平成16年度 イオン温度1億5千万度達成（アルゴン）
平成17年度 54分28秒の長時間放電を実現し、入力エネルギー1.6ギガジュールを達成
500兆個/CCの超高密度プラズマを生成
平成18年度 ベータ値5.0%達成
1000兆個/CCの超高密度プラズマを生成



1億度のプラズマ

主な研究目的

- (1) 高い核融合三重積（密度×イオン温度×閉じ込め時間）を実現し、核融合エネルギー炉に必要なプラズマ閉じ込めの研究を広範に行う
- (2) 長時間のプラズマ生成実験を行い、連続運転が可能であることとその高い制御性能を実証する
- (3) プラズマと磁場との体積平均エネルギー比（ベータ値）5%以上を実現し、電磁流体的（MHD）安定性、プラズマ輸送等関連する物理を調べる
- (4) ヘリカル及びトカマクプラズマの総合的理解を深め、将来の核融合エネルギー炉のためのデータベースを提供する

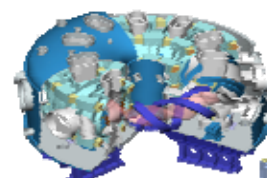
等

自然科学研究機構核融合研究所の概要

【設置根拠】	国立大学法人法施行規則第1条に基づき、大学共同利用機関法人自然科学研究機構が設置する大学共同利用機関
【目的】	核融合科学に関する総合研究
【所在地】	岐阜県土岐市下石町322-6
【所長】	本島 修
【職員数】	(19.4.1現在) 220人 (所長1、研究教育職員130人、技術職員46人、事務職員43人)

- 業務概要
 - (1) 大型ヘリカル装置 (LHD) を中核とした実験研究
 - (2) スーパーコンピュータを用いた核融合に関する理論・シミュレーション研究
 - (3) 大学の広範な炉工学研究を集約し、先進的な炉材料及び炉システムの開発研究の推進
 - (4) 国内外研究者による共同研究・共同利用の推進、大学院生の教育等若手研究者の育成

- 沿革
 - 平成元年5月 核融合科学研究所「名古屋市千種区」に設立
 - 平成9年7月 土岐地区へ移転 研究所所在地を「岐阜県」に変更
 - 平成10年4月 LHD実験開始
 - 平成16年4月 大学共同利用機関法人「自然科学研究機構」設立、同機構の一研究所に再編



- 大型ヘリカル装置 (LHD)

我が国独自のアイデアに基づく、超伝導コイルを用いたヘリカル磁場方式の大型装置を建設・稼働させ、共同研究・共同利用に供することによって核融合炉を見通せる高温高密度プラズマを目指して、世界の核融合研究、新しいプラズマパラメータの領域の研究などに貢献している。

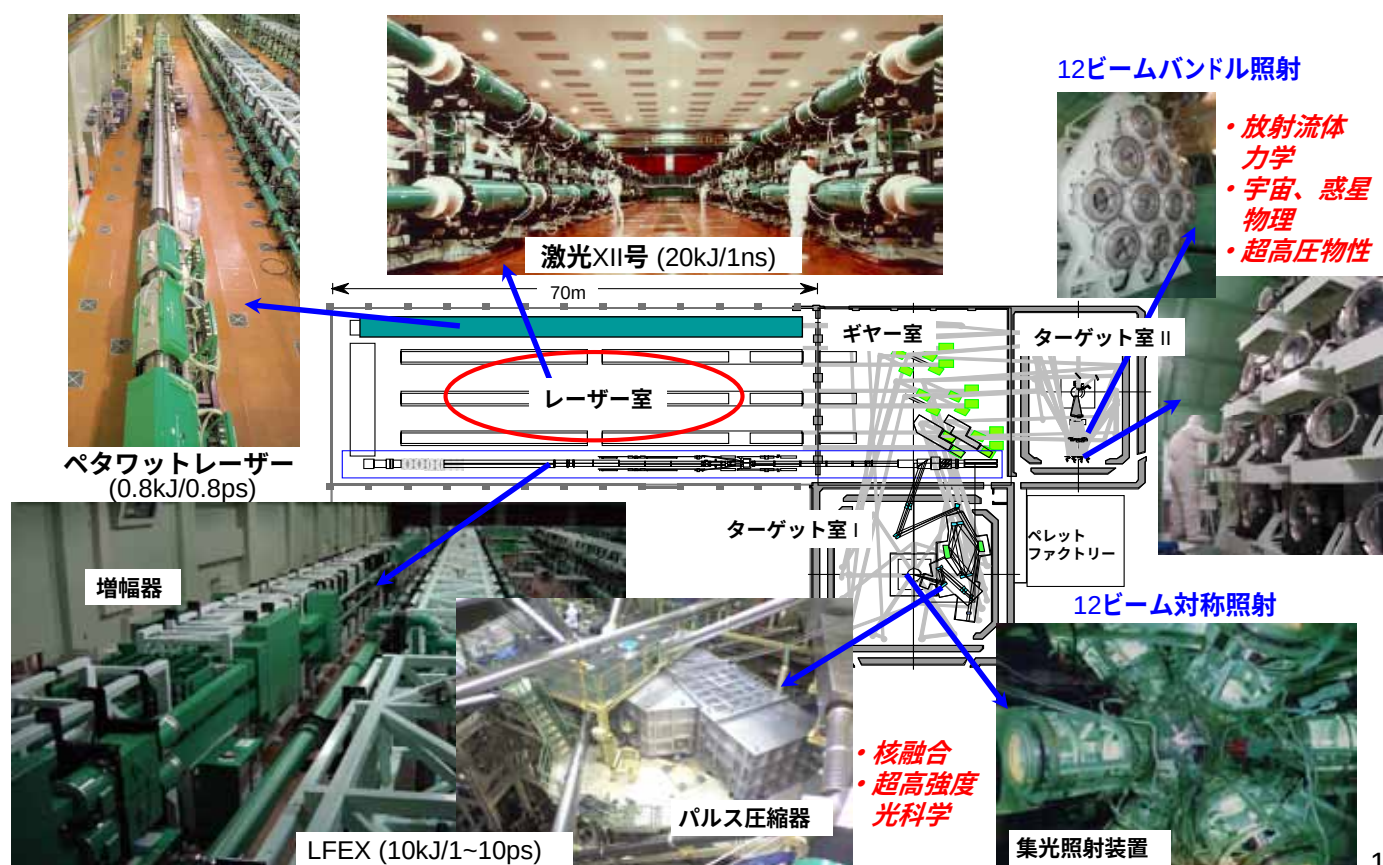
(平成18年度予算額:5,128百万円、平成19年度予算額:5,228百万円)
- 双方向型共同研究

我が国の核融合研究をさらに発展・強化させるべく、これまで各大学において行われてきた研究の重点化・効率化の動きに対応して、核融合科学研究所が核融合コミュニティと協働しながら中核機関として調整を行い、双方向性のある共同研究を実施している。

(平成18年度予算額:664百万円、平成19年度予算額:664百万円)

11

大阪大学レーザー研究所の主力大型レーザー装置



12

日本の核融合研究

Heliotron J ヘリカル型
京都大学エネルギー理工学研究所



近畿地区
京都大学
大阪大学
神戸大学など
全18機関

北陸地区
富山大学
金沢大学
福井大学など
全9機関

東北地区
岩手大学
東北大学など
全11機関

北海道地区
北海道大学など
全5機関

JT-60U トカマク型
日本原子力研究開発機構



JFT-2M トカマク型
日本原子力研究開発機構



2003年度
シャットダウン

ガンマ10 ミラー型
筑波大学プラズマ研究センター



共同研究分野

原子分子
プラズマ基礎物理学
プラズマ応用
高温プラズマ物性
周辺プラズマ物理学
プラズマ制御
プラズマ加熱工学
プラズマ計測学
シミュレーション科学
炉工学
炉システム学
プラズマ材料工学
マテリアルシミュレーション学
放射線工学
超伝導工学
極低温工学
マイクロ波応用 など

九州地区
九州大学
佐賀大学
長崎大学
熊本大学
琉球大学など
全17機関



TRIAM-1M トカマク型
九州大学応用力学研究所

球状トカマク(ST)への転換



激光XII号 レーザー型
大阪大学レーザーエネ
ルギー 学研究センター

高速点火
FIREX-I
への展開

東海地区
静岡大学
名古屋大学
三重大学
中部大学
自然科学研究機構
核融合科学研究所など
全18機関



LHD ヘリカル型
核融合科学研究所



関東・甲信越地区

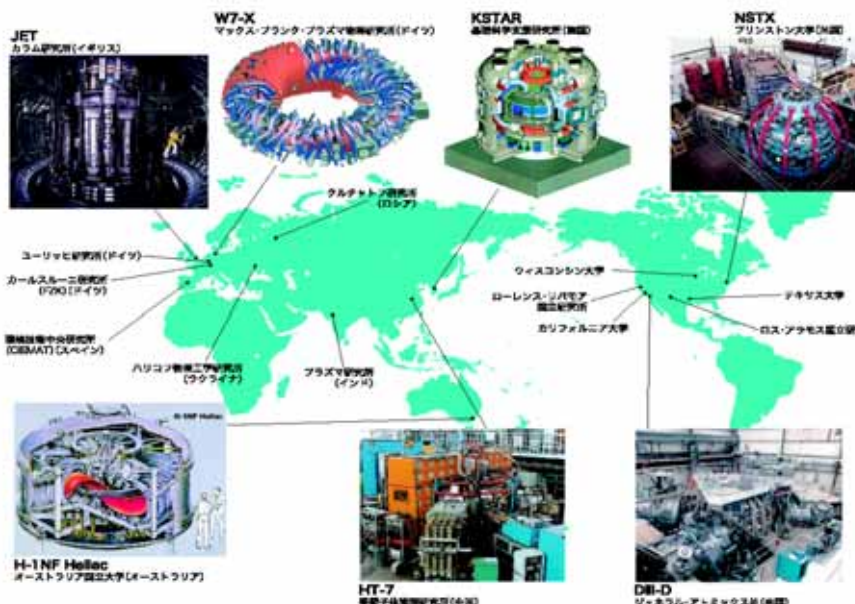
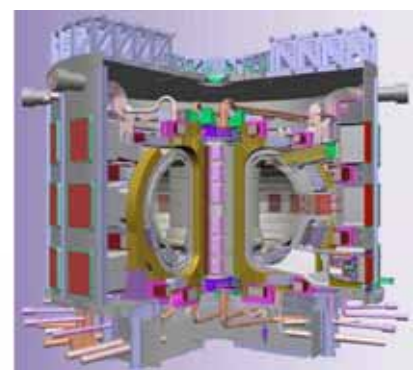
茨城大学
筑波大学
宇都宮大学
東京大学
東京工業大学
横浜国立大学
総合研究大学院大学
新潟大学
東海大学
日本大学
高エネルギー加速器研究機構
海洋研究開発機構
地球シミュレーションセンター
産業技術総合研究所
日本原子力研究開発機構など
全65機関

CHS ヘリカル型
核融合科学研究所

世界の核融合研究

ITER (国際熱核融合実験炉) 計画

- ・日欧米露中韓印 7極による国際プロジェクト
- ・2006年11月ITER協定に署名



米国:

DIII-D, Alcator C-Mod, NSTX, NCSX等

欧州:

JET, ASDEX-UG, W7-X, LMJ等, ITER含む

中国: EAST

韓国: K-STAR

インド: SST-1開発中

2. ITER計画について

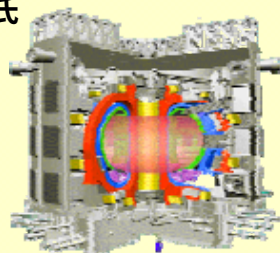
15

ITER (国際熱核融合実験炉) 計画

- 人類究極のエネルギーである核融合エネルギーの実現を目指して、ITER計画と幅広いアプローチを戦略重点科学技術として推進
 - 〔ITER計画 : 核融合実験炉の建設・運転
 - 幅広いアプローチ: ITERと並行して補完的に取り組む先進的核融合研究開発
- イーター協定について、本年5月29日に我が国の受諾書をIAEAに寄託、本年10月24日発効予定
- 幅広いアプローチ協定は、本年6月1日に発効

ITER計画

- 参加極: 日、欧、米、露、中、韓、印
- 建設地: フランス・カダラッシュ
- 核融合熱出力: 50万KW (発電実証はしない)
- ITER機構長予定者: 池田要氏
- 日本の分担割合:
 - 建設期: 9.1%
 - 運転期: 13%
- 計画 (予定):
 - 建設 (10年間)、 運転 (20年間)

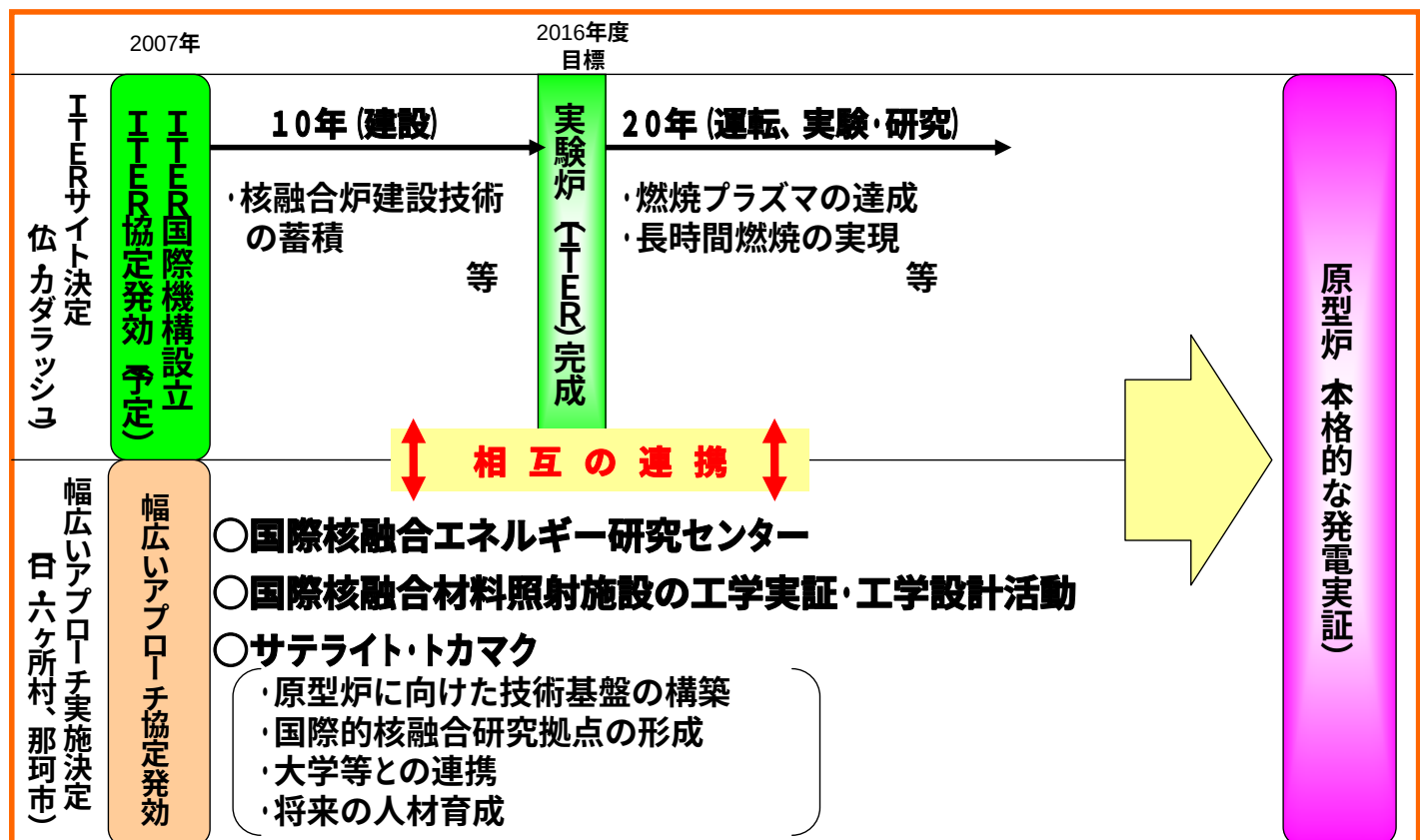


幅広いアプローチ

- 実施極: 日、欧
- 実施地: 青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
- 総経費: 920億円を日・欧で半分ずつ負担
- 計画: 10年間
- 実施プロジェクト
 - ①国際核融合エネルギー研究センター
 - ・原型炉設計・研究開発調整センター
 - ・ITER遠隔実験研究センター
 - ・核融合計算センター
 - ②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動
 - ③サテライト・トカマク (予備実験等の実施によるITER支援)

16

核融合エネルギーの実現に向けた今後の展開



17

ITER計画に関するこれまでの経緯と今後の予定

- 2005年 6月 閣僚級会合 (モスクワ) : サイト地が欧州 (仏・カダラッシュ) に決定
- 2006年11月 ITER協定署名 (パリ) 、ITER協定の暫定適用
- 2007年 2月 幅広いアプローチ協定署名 (東京)
 - 4月20日 日本原子力研究開発機構法の一部改正法公布
 - 5月 9日 ITER協定・幅広いアプローチ協定締結について国会承認
 - 29日 ITER協定受諾書をIAEAに寄託
 - 6月 1日 幅広いアプローチ協定発効、実施機関として日本原子力研究開発機構を指定
 - 21日 第1回幅広いアプローチ運営委員会開催 (東京)
 - －3つのプロジェクトの事業長を指名、暫定的な作業計画を策定等
 - 7月11日 暫定ITER理事会開催 (東京、～12日)
 - －ITER協定の発効を控え、運営体制等について最終的に調整等を実施

【今後の予定】

- 10月24日 ITER協定発効
 - －国内機関として日本原子力研究開発機構を指定 (予定)
- 11月15日 第2回幅広いアプローチ運営委員会開催 (バルセロナ)
- 11月27日 第1回ITER理事会開催 (カダラッシュ、～28日)

18

ITER (国際熱核融合実験炉) について

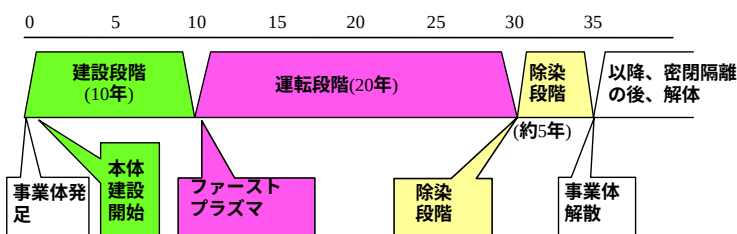
目的

- 燃焼プラズマの達成
- 長時間燃焼の実現 等

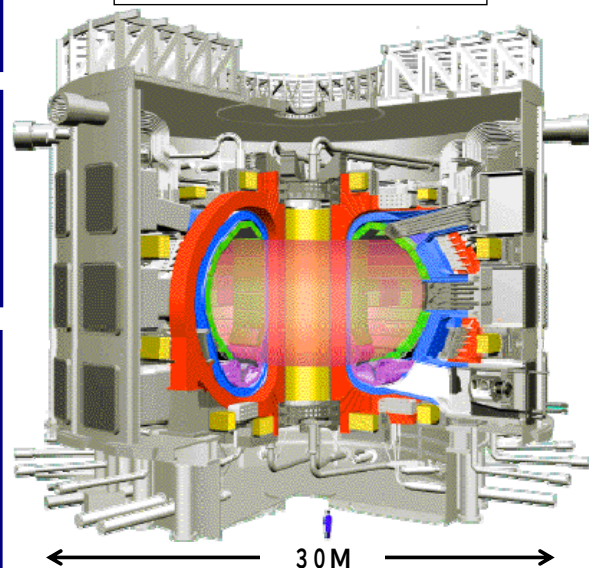
現状

- 参加極: 日本、欧州、米国、ロシア、中国、韓国、インド
- 建設地: フランス・カダラッシュ
- 総経費: 114億ユーロ (建設から廃止措置まで30年余)

建設・運転計画



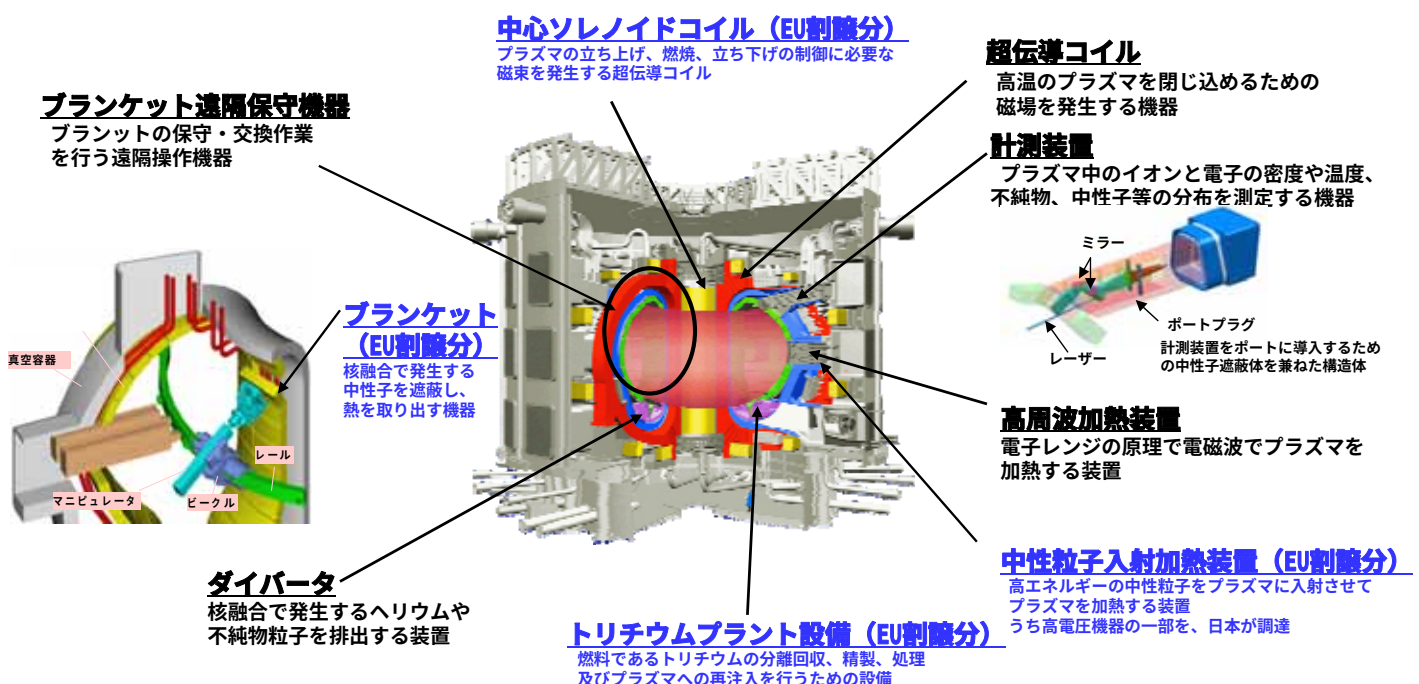
ITER 概略図



核融合出力: 50万kw

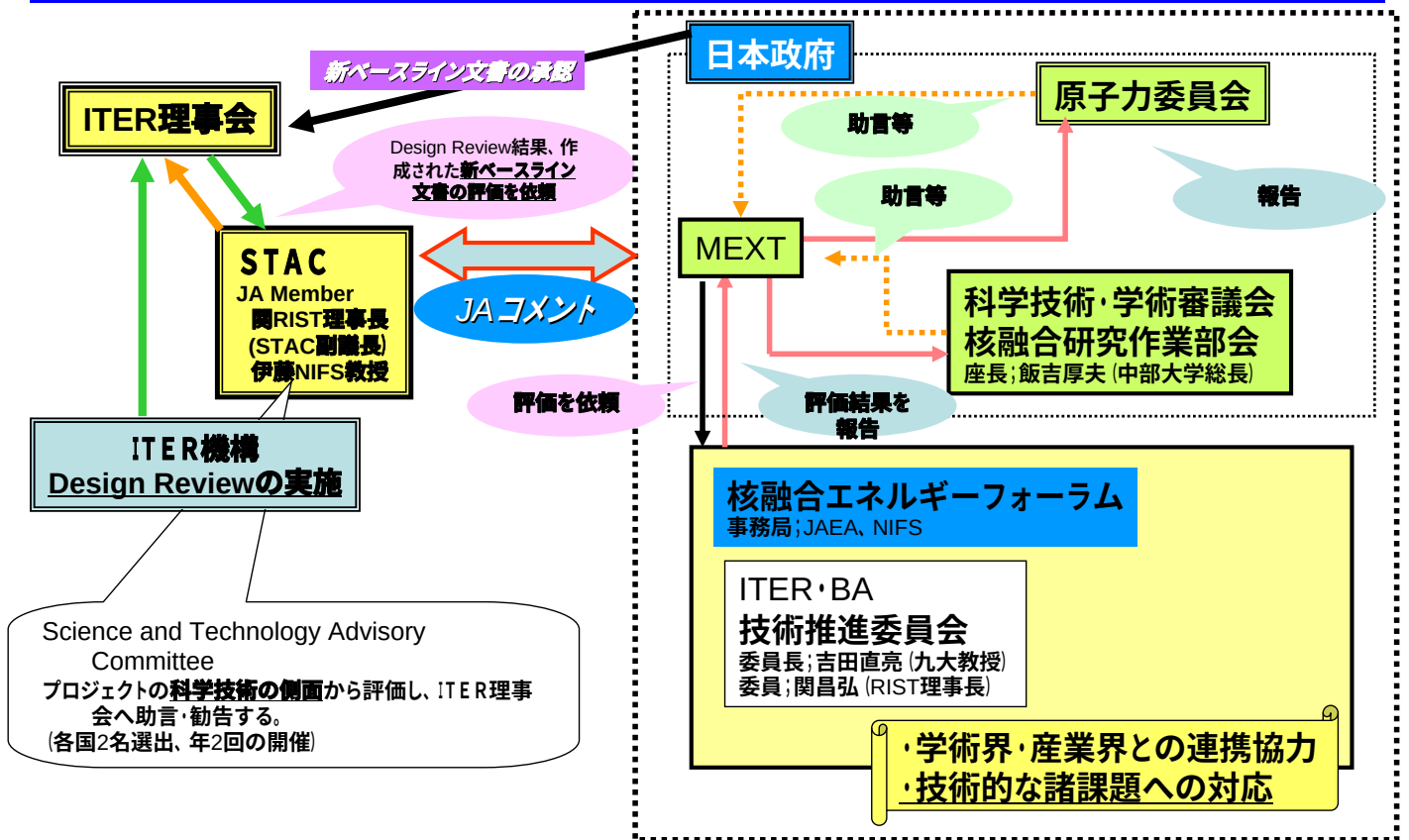
19

ITER計画において我が国が分担する装置・機器



20

ITERベースライン文書の国内評価体制について (イメージ)

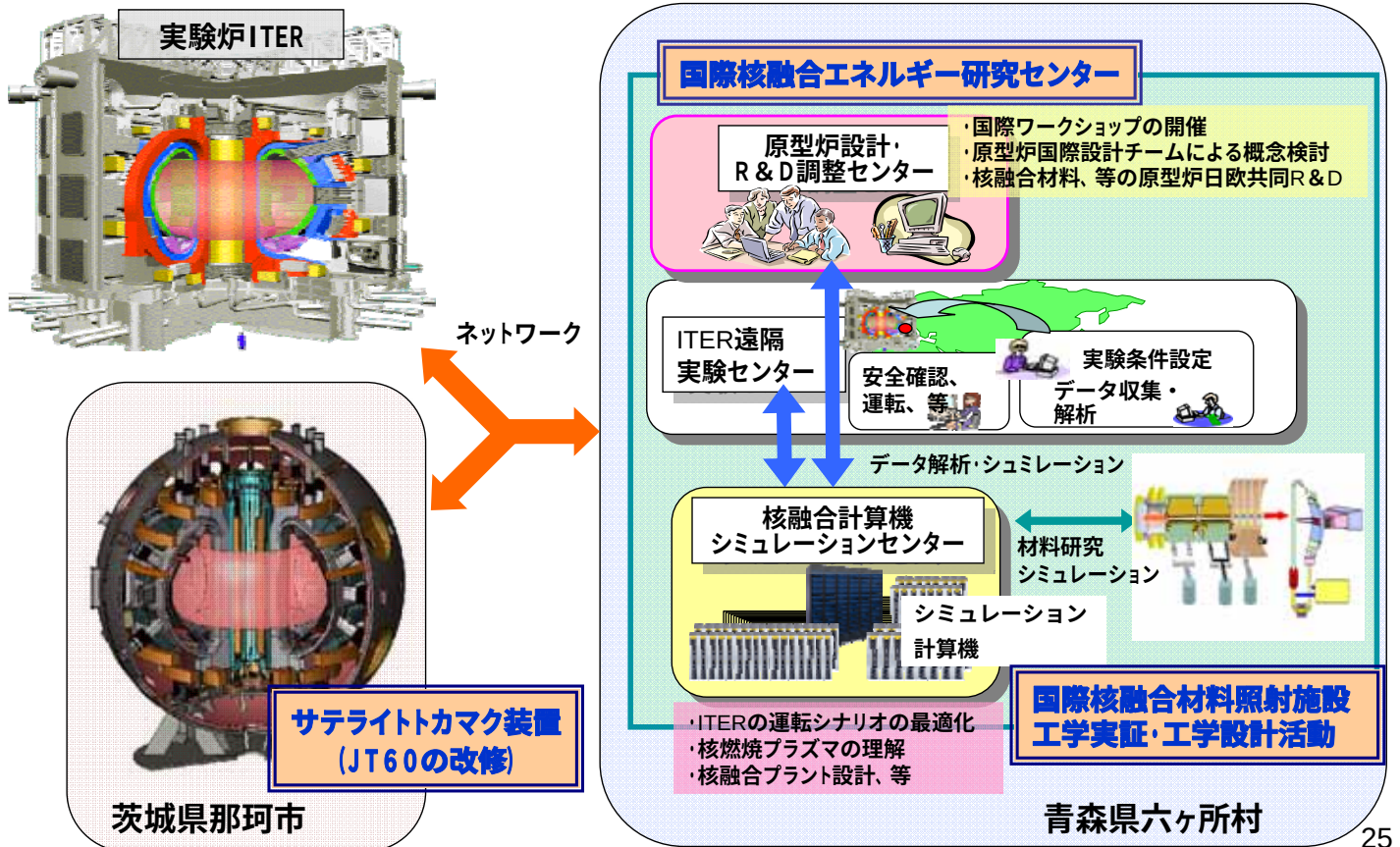


23

3. 幅広いアプローチについて

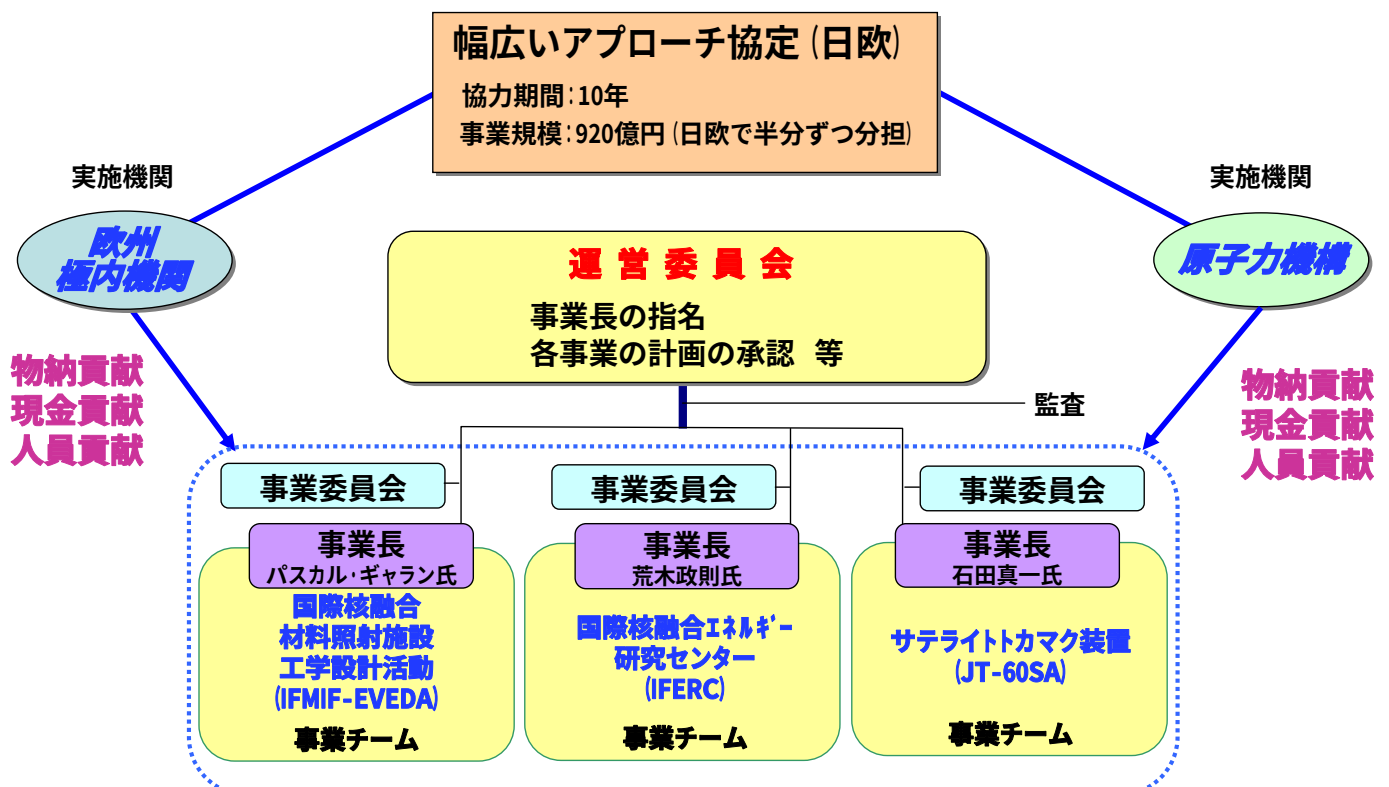
24

幅広いアプローチのプロジェクト



25

幅広いアプローチの実施体制



研究活動には、日本国内とITER参加極から幅広く参加を求める。

26

4. 核融合研究作業部会について

27

核融合研究作業部会について

設置の趣旨

- ITER計画の本格化や幅広いアプローチの始動等により、核融合研究が新たなフェーズに入ったことに伴い、今後、我が国としてどのようにITER計画等の国際共同研究に取り組むのが重要な課題となっている。
- また、平成15年1月の学術分科会基本問題特別委員会核融合研究ワーキンググループによる「今後の我が国の核融合研究の在り方について（報告）」で示された核融合研究の重点化等についても、これまでの進捗状況を確認した上で、今後の進め方について検討する必要がある。
- このため、我が国における核融合研究に関する新たな展開について、調査審議を行う作業部会を設置する。

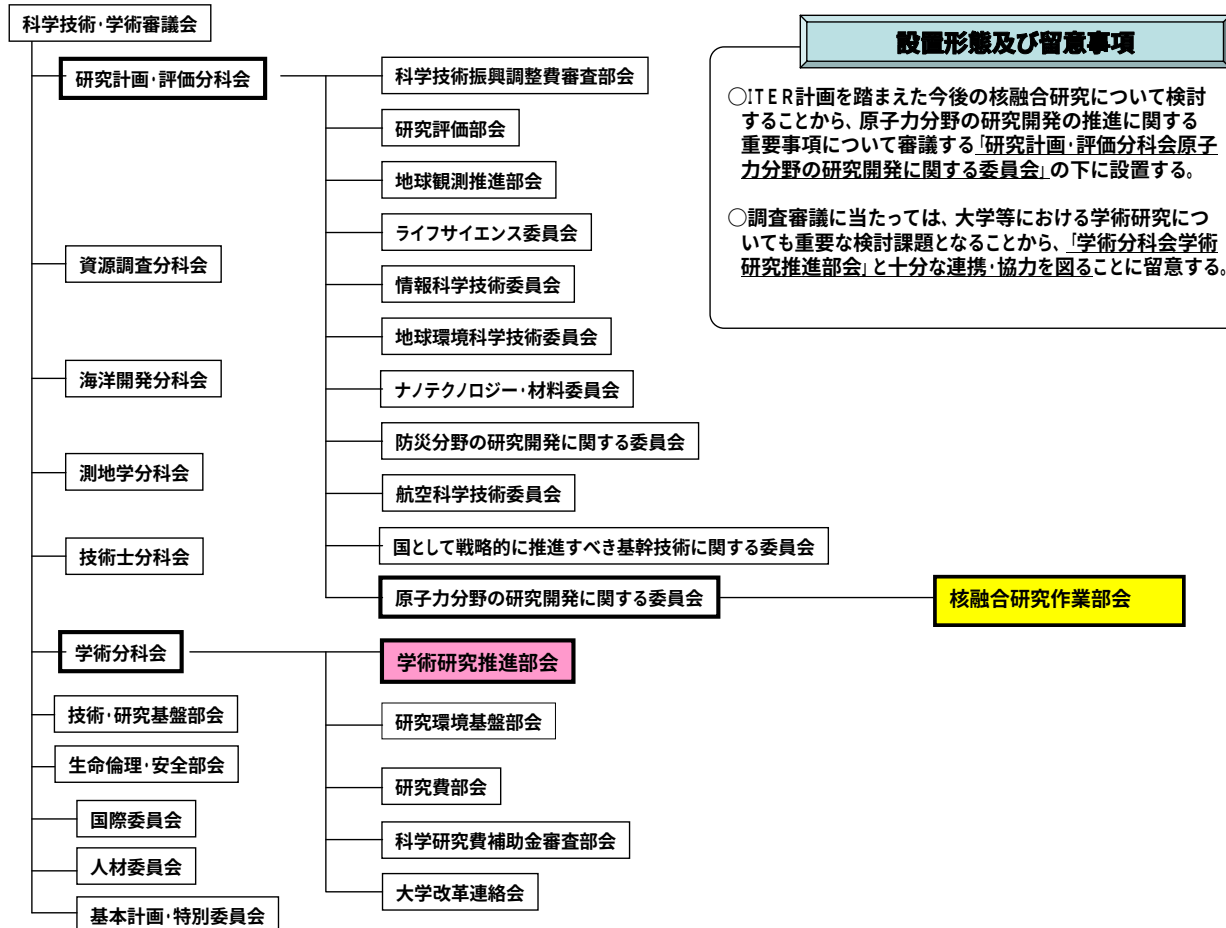
審議事項

- ITER計画、幅広いアプローチに関する国内の検討体制及び推進体制について
- ITER計画、幅広いアプローチに係る諸課題について
- 核融合研究の重点化について
- 共同利用・共同研究の強化について
- 核融合分野の人材育成について
- 他分野との学術的な連携、産業連携について
- その他

構成員

- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| 飯吉 厚夫（主査） | 中部大学総長 |
| 石塚 昶雄 | 社団法人日本原子力産業協会常務理事 |
| 大島 まり | 東京大学大学院情報学環教授 |
| 菊池 満 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構
先進プラズマ研究開発ユニット長 |
| 小森 彰夫 | 自然科学研究機構核融合科学研究所
大型ヘリカル研究部研究総主幹 |
| 香山 晃 | 京都大学エネルギー理工学研究所教授 |
| 坂内 正夫 | 情報・システム研究機構国立情報学研究所長 |
| 笹尾 眞實子 | 東北大学大学院工学研究科教授 |
| 高村 秀一 | 愛知工業大学工学部電気学科電子工学専攻教授 |
| 田中 知 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| 東嶋 和子 | サイエンス・ジャーナリスト |
| 平山 英夫 | 高エネルギー加速器研究機構理事兼任共通基盤
研究施設長 |
| 松田 慎三郎 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 執行役 |
| 三間 罔興 | 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長 |
| 本島 修 | 自然科学研究機構核融合科学研究所長 |
| 吉田 直亮 | 九州大学応用力学研究所教授 |
| 吉田 善章
（科学官） | 東京大学大学院新領域創成科学研究科
教授 |
| 山田 弘司
（学術調査官） | 自然科学研究機構核融合科学研究所
大型ヘリカル研究部研究主幹 |

28



29

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(報告)概要

第1章 核融合研究の現状と課題

平成19年6月27日 核融合研究作業部会

- 核融合研究の必要性・意義**
 - ・将来に向けた新しいエネルギー源の開発は、世界共通の最重要課題の一つ。
 - ・核融合エネルギーは、資源量、環境適合性等の観点で魅力的な候補。
 - ・我が国の核融合研究は、経験と実績から世界をリードできる科学技術分野。
 - ・原子力委員会核融合専門部会報告(H17.10)では「21世紀中葉までに実用化の目途を得るべく研究開発を促進する」と方針を提示。
- 核融合研究開発に関する基本方針**
 - ・原子力委員会 第三段階核融合研究開発基本計画(H4.6)が策定されて以後、学術分科会核融合研究WG「今後の我が国の核融合研究の在り方について(H15.1)」、原子力委員会「原子力政策大綱(H17.10)」、原子力委員会核融合専門部会「今後の核融合研究開発の推進方策について(H17.10)」で方策が提示される。
 - ・第3期科学技術基本計画(H18.3)において、ITER計画は戦略重点科学技術としての位置付け。
- 核融合研究の現状**
 - (1) 核融合研究の重点化課題にかかるチェック・アンド・レビューと共同利用・共同研究・重点化課題の状況等を踏まえたチェック・アンド・レビューの実施等。
 - (2) ITER計画、幅広いアプローチ(BA)
 - ・ITERサイト地の決定、幅広いアプローチの日本での共同実施の決定を経て、ITER協定、BA協定の署名に至る。
- 我が国の産業界の現状**
 - ・ITER工学設計活動終了後、核融合技術者が減少。ITER建設等を見据え、ITER/BA等のプログラムと産業界との連携強化が必要。
- 人材の育成・確保**
 - ・国内研究(重点化課題、幅広い基礎研究)の強化、他分野との連携等による幅広い推進基盤の構築、関連する研究者・技術者が共同研究を通じて積極的にITER/BAに参加するための円滑な運営体制が必要。

第2章 今後の推進方策

1. ITER計画及び幅広いアプローチを中心とした研究開発の推進

- 国際協力の視点からの意義**
 - 国際関係から見て、ITER/BAの実施には、国際的優位性と国際的協調の観点が必要となるため、ITER/BAに関わるアクター間の「非集約化」と「パートナーシップ」の実現が重要。
 - BAを拠点としたアジアにおけるITER参加極の連携活動において、我が国の存在感、リーダーシップを示すことが期待される。
- 具体的推進方策**
 - ①ITER計画を中心とした研究開発
 - ITPAをITER計画支援活動の一環として位置付けることが必要。
 - ITERにおけるTBMはブランケット開発における重要なマイルストーンであるが、国際協力での実施が不可欠。我が国は主案の固体増殖(水冷却)方式を原子力機構が、先進ブランケット方式を大学等がそれぞれ中心となって実施しつつ、TBMへの参加に向けて努力することが適切。
 - ②幅広いアプローチを中心とした研究開発
 - 国際的拠点として、日欧以外のITER参加極からの幅広い参加を促すために、研究者長期滞在のための受入体制を整備することが重要。
 - ③国内における研究開発の推進
 - ITER計画への支援及び原型炉に向けた先進定常プラズマの開発研究、炉工学技術開発を推進することが必要。

(3) 推進に当たっての環境整備

- 核融合エネルギーフォーラム**
 - ITER/BAの関係者が議論し、機動的な意見集約を行うため、核融合フォーラムを改組して「核融合エネルギーフォーラム」を設置することが適切。
 - 特に、ITER/BAに関する意見集約・調整や連携協力等のため、「ITER・BA技術推進委員会」を置くことが適切。
 - 事務局は、原子力機構と核融合研究が連携して行うことが適切。
- 全国的な研究推進の充実**
 - ITER/BAを成功させるためには開発研究と学術研究の相互補完的な推進が不可欠なため、全国的な拠点としてITER/BAを含めてネットワークを形成し、それらが相乗効果を発揮することが必要。今後、国と核融合関係者が協力し、体制の構築や適切な資金の確保に努めることが必要。

2. 学術研究の推進

- 学術研究を推進する際の課題**
 - 核融合研究は学術研究と先端技術を統合する巨大なプロジェクトであるため、大型実験装置への「集中化」の一方で、「自由な発想」を本質とする学術研究や他分野との相互作用の重要性にも留意することが必要。
 - 魅力ある核融合エネルギーの実現のため、学術研究とプロジェクト研究が相互作用しつつ研究開発が進められ、両者間の知の循環が形成されることが必要。
- 具体的推進方策**
 - ①重点化課題の推進
 - 各重点化課題は全般的に推進されており、核融合研究全体へ貢献。
 - 今後、留意・改善点へ対応するとともに、重点化課題を中核とした一層強力な連携体制の構築に向けた取組みが重要。
 - ②共同利用・共同研究の推進
 - 核融合研究を中核とした共同利用・共同研究は重要な役割を果たしており、双方向型共同研究も順調に進展。共同研究重点化装置を活用した共同研究もより活性化している。今後、開発研究において連携協力を推進することが必要。
 - ③ITER計画、幅広いアプローチに関する共同研究
 - 原子力機構が根幹の組織体制を構築するとともに、大学等からの参加と継続的な人材育成を可能とする資金とシステムの構築が重要。
 - 大学等の研究者が参加するためには、研究活動が基礎研究に資するものであり、大学側にメリットがあるとともに大学側から評価されることも重要。
- 様々な分野との学術的連携**
 - 核融合エネルギーの研究開発は総合的な科学技術であり、多様な分野の専門家を集めることが必要。
 - 版大用レーザー研究「極端紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」によって、ナノテク・材料分野において世界的成果を上げていることなどによって、核融合研究で得られた知見や基盤技術の活用によって、幅広い科学技術分野へ貢献し、分野融合型の研究活動を行うことが必要。
 - 今後は、核融合分野と原子力分野との連携協力がますます重要。

3. 産学連携

- 産業界における技術力の維持等も含め、ITER・BA技術推進委員会等を通じた産業界と国及び実施機関との連携体制の構築が必要。今後とも、各研究機関と産業界との連携協力の推進が必要。

4. 人材の育成・確保及び国民への説明

- 人材の育成・確保**
 - 大学、核融合研、原子力機構が主体的な役割に基づき人材育成・確保のネットワークを形成することが必要。
 - 特に核融合研は大学の人材育成へのさらなる貢献を、原子力機構は大学院教育への協力及び連携大学院制度の活用を推進することが望まれる。
 - 広い学術分野及び産業界からの人材の流動を一層進めていくことが必要。
 - ITER/BAへの参加が若手研究者のキャリアパスとして位置付けられることが重要。
 - 原子力人材育成プログラム等の制度の活用が重要。
 - 将来を見据えた観点から、国際プロジェクトに関わることができるという点が、学生への魅力の一つとなる。
 - 総合的な科学技術を担う人材の育成のため、学生をある段階まで専門付けせず、幅広い視野を持たせるという視点も重要。
- 国民への説明**
 - 社会に対する説明責任を果たすため、積極的に情報発信に努めるとともに、国民の核融合に対する理解促進に資する活動の充実に努めることが必要。
 - 将来の核融合エネルギーでは安全性の問題が重要な課題であり、その安全性について十分に説明していくことが必要。
 - 核融合が多様なエネルギー対策全体の中で議論され、その結果、特に優れているとの認識が得られ、国民から大きな理解と支持が得られることを期待。

30

核融合研究開発における 開発研究に関する取組

～実施・協力体制，予算～

平成19年12月20日

文部科学省研究開発局
研究開発戦略官付

目 次

1. I T E R ・ B A の現況について	1
2. 開発研究における体制について	7
3. 開発研究に関する予算について	17
4. I T E R ベースライン文書の国内評価体制 について	19

1. ITER・BAの現況

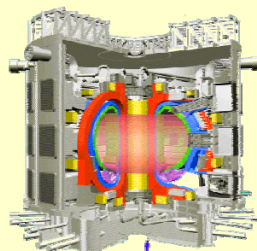
1

ITER(国際熱核融合実験炉)計画

- 人類究極のエネルギーである核融合エネルギーの実現を目指して、ITER計画と幅広いアプローチを戦略重点科学技術として推進
 - ITER計画 : 核融合実験炉の建設・運転
 - 幅広いアプローチ : ITERと並行して補完的に取り組む先進的核融合研究開発
- イーター協定は、2007年10月24日に発効
- 幅広いアプローチ協定は、2007年6月1日に発効

ITER計画

- 参加極: 日、欧、米、露、中、韓、印
- 建設地: フランス・カダラッシュ
- 核融合熱出力: 50万KW(発電実証はしない)
- ITER機構長: 池田要氏
- 日本の分担割合:
 - 建設期: 9.1%
 - 運転期: 13%
- 計画(予定):
 - 建設: 10年間 運転: 20年間
 - 除染: 5年間



幅広いアプローチ

- 実施極: 日、欧
- 実施地: 青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
- 総経費: 920億円を日・欧で半分ずつ負担
- 計画: 10年間
- 実施プロジェクト
 - ①国際核融合エネルギー研究センター
 - ・原型炉設計・研究開発調整センター
 - ・ITER遠隔実験研究センター
 - ・核融合計算センター
 - ②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動
 - ③サテライト・トカマク計画(予備実験等の実施によるITER支援)

2

ITER・BAに関する経緯と今後の予定

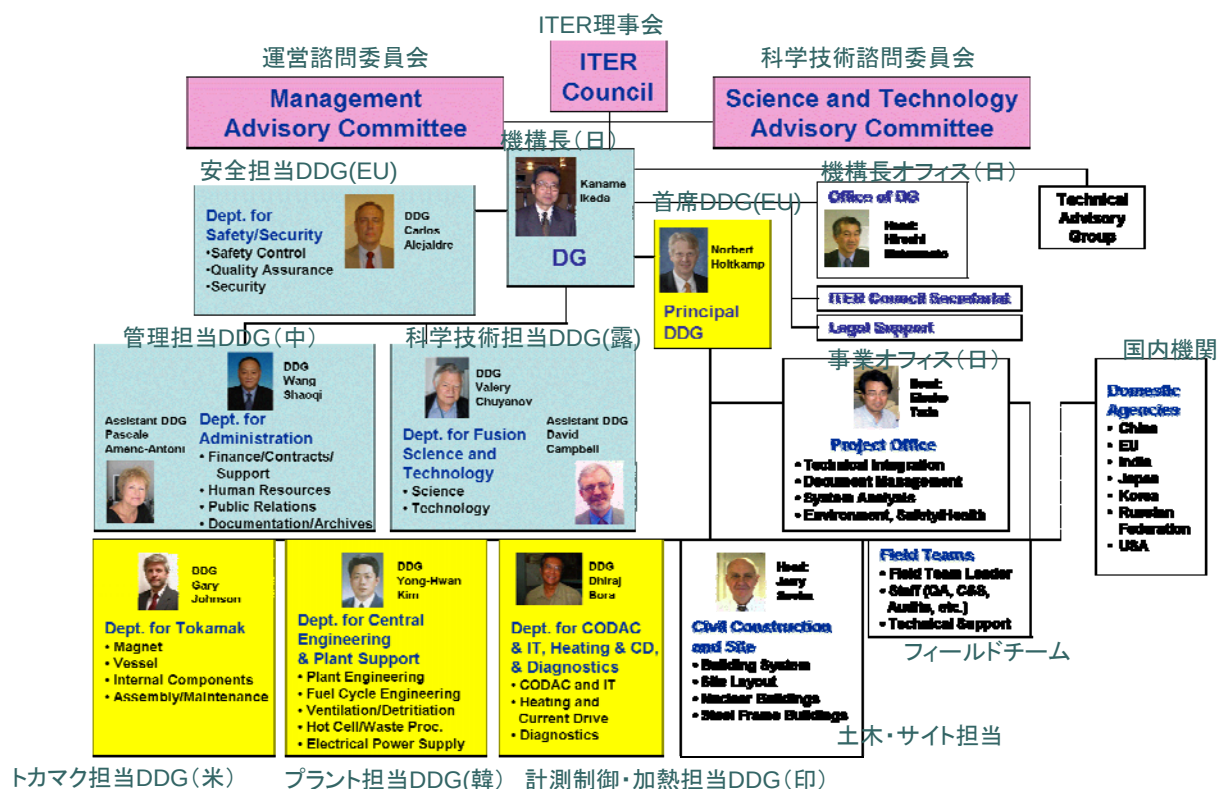
- 2005年 6月 閣僚級会合: サイト地が仏・カダラッシュに決定
- 2006年11月 ITER協定署名(パリ)、ITER協定の暫定適用
- 2007年 2月 幅広いアプローチ協定署名(東京)
- 6月 1日 幅広いアプローチ協定発効、
実施機関として日本原子力研究開発機構を指定
- 10月24日 ITER協定発効
一国内機関として日本原子力研究開発機構を指定
—ITER機構発足
- 11月15日 第2回幅広いアプローチ運営委員会(バルセロナ)
- 11月27日 第1回ITER理事会(カダラッシュ、～28日)
—池田要ITER機構長就任

【今後の予定】

- 2008年 5月15日 第3回幅広いアプローチ運営委員会(青森県六ヶ所村)
- 6月 第2回ITER理事会(青森県青森市)

3

ITER機構の運営体制



4

ITERサイト建設準備状況



職員の居室仮建屋

ITER建設地の整地状況(2007年7月現在)



5

六ヶ所BAサイトの状況

(建設予定建屋)

管理・研究棟

IFMIF/EVEDA開発試験棟

原型炉設計・R&D調整センター棟

計算機・遠隔実験センター棟



(2007年9月 六ヶ所BAサイトを北側から撮影)

6

2. 開発研究における体制 について

7

文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会評価
「ITER計画（建設段階）の推進」の中間評価結果

1. 全体評価

- 科学的・技術的意義、社会的・経済的意義は大きい。核融合に係る技術基盤の向上、他分野への波及効果も期待。
 - 国際協力の枠組みは、リスク分散、費用対効果の面から適切。
 - 計画は順調に進展。
- ⇒ 今後は、大学・産業界を含めた全日本的な連携の中でプロジェクトを推進すべき。

本プロジェクトは、今後も計画通り継続すべき

8

文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会評価 「ITER計画(建設段階)の推進」の中間評価結果

2. 個別評価

➤ 基盤技術の形成

日本の技術レベルは高い

伝導導体圧縮生計装置の試作に成功、ITERの仕様を上回る高周波加熱装置機器の開発、
高エネルギービームの大電流加速の世界記録の達成 等

➤ 人材育成

ITER・BAを通じ、JAEAと学会の連携で取組むことが重要。核融合だけでなく、原子力、エネルギーといった幅広い視点の人材育成が求められる。

➤ 国際的視点

我が国の技術的優位性を念頭に置きつつ、ITER・BAを推進する必要。

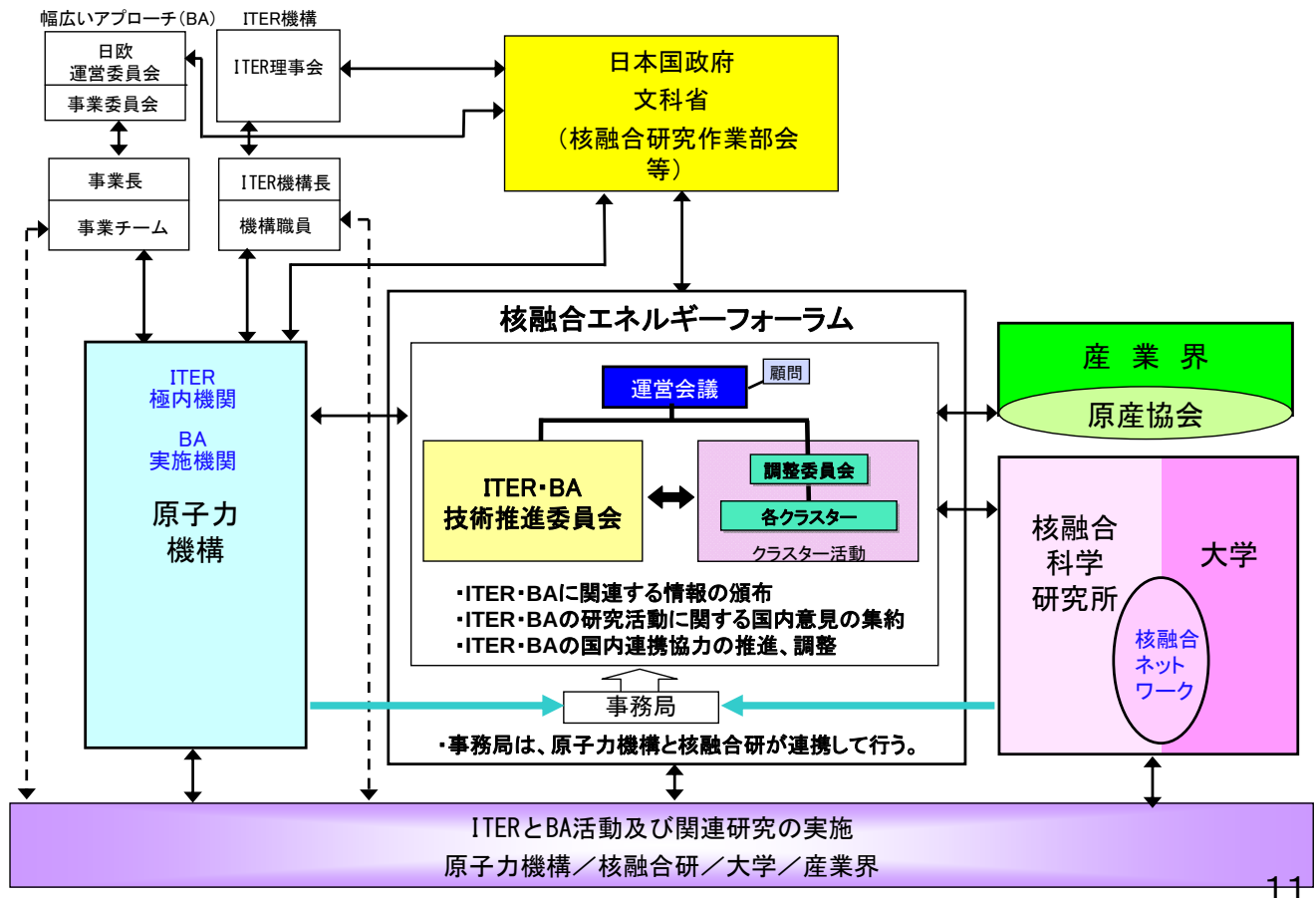
9

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 構成員

	氏 名	所属・職名
主査	飯 吉 厚 夫	中部大学総長
主査代理	坂 内 正 夫	情報・システム研究機構国立情報学研究所長
	石 塚 昶 雄	社団法人日本原子力産業協会常務理事
	大 島 ま り	東京大学大学院情報学環教授
	菊 池 満	独立行政法人日本原子力研究開発機構先進プラズマ研究開発ユニット長
	小 森 彰 夫	自然科学研究機構核融合科学研究所大型ヘリカル研究部研究総主幹
	香 山 晃	京都大学エネルギー理工学研究所長
	笹 尾 眞實子	東北大学大学院工学研究科教授
	高 村 秀 一	愛知工業大学工学部電気学科電子工学専攻教授
	田 中 知	東京大学大学院工学系研究科教授
	東 嶋 和 子	サイエンス・ジャーナリスト
	平 山 英 夫	高エネルギー加速器研究機構理事兼任共通基盤研究施設長
	松 田 慎三郎	独立行政法人日本原子力研究開発機構執行役
	三 間 園 興	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長
	本 島 修	自然科学研究機構核融合科学研究所長
(科学官)		
	吉 田 善 章	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
(学術調査官)		
	山 田 弘 司	自然科学研究機構核融合科学研究所大型ヘリカル研究部研究主幹

(平成19年8月8日現在) 10

ITER・BAに関する国内実施・協力体制



核融合フォーラムの充実発展 ～核融合エネルギーフォーラムへの改組(H19. 7)～

目的

フォーラムは、大学、研究機関、産業界などの研究者・技術者並びに各界の有識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・技術開発の促進を支援することを目的とする。

活動内容

- ITER計画やBA活動などの主に核融合エネルギーの研究・技術開発について、
 - 情報や意見の交換や討議の場を提供し、意見の集約・調整、連携協力の調整
 - 情報発信を広く行い、核融合エネルギーへの理解を増進
 - 核融合エネルギーの研究・技術開発に係わる国の施策へ貢献と提言
 - 若手研究者・技術者の優れた活動を顕彰(核融合エネルギー奨励賞) 等

組織

会員数:510名(H19.12現在) ※主に大学、産業界等

核融合エネルギーフォーラムを総括する運営会議の下に以下の組織を配置

➢ITER・BA技術推進委員会

- ・ITER・BAの研究活動に関する国内意見の集約、ITER・BAの国内連携強力の推進等

➢調整委員会

- ・専門クラスター(社会と核融合、プラズマ物理、炉工学)を通じた活動推進の企画と調整

➢専門クラスター

- ・産業界、大学、研究機関などの意見を反映し、ITER計画や幅広いアプローチに貢献しつつ、核融合分野の国際的な研究提案を展開する活動
- ・核融合エネルギーの実用化を促進する技術課題などを検討し、社会に向けて理解の促進を図る活動

ITER・BAに係る大学、産業界等との相互連携

核融合エネルギーフォーラムにおける具体例

大学、産業界が委員として参画するITER・BA技術推進委員会を開催し、ITER計画及びBA活動の進捗状況を報告するとともに、ITER理事会科学技術諮問委員会、BA事業委員会へ、我が国からの知見や意見を集約し反映させるべく、設計ベースライン文書等について技術面から評価検討を実施している。また、並行して以下についても検討中。

▶原型炉に向けた研究開発戦略(技術マップ)

▶実用化を見据えた核融合分野における人材育成

また、専門クラスター活動を通じて、国際的な活動スケジュールに合わせて適切な時期に必要な会合を開催することにより、ITER計画やBA活動について、国内の連携研究や協力などを進め、また国際的な研究活動の成果の相互還流にも貢献している。

ITER国内機関(JAEA)における具体例

・ITER計画の進捗状況を情報提供すると共に、ITER機構の求人情報を那珂研HPに掲載し広く発信することにより、更にITER計画への積極的な参画を促進。

・ITER機構からの業務外部委託、委託研究の募集案内を那珂研HPに掲載、日本原子力産業協会を経由し産業界へ、また学会等に情報発信。

・産業界の理解増進を目的とした企業説明会を開催(H19.6.6, H19.9.28, H19.11.15, H19.12.17)。

・ITER機器の製造の着手。(TFコイル導体の調達について平成19年12月中に公示予定)

BA実施機関(JAEA)における具体例

・六ヶ所サイトの電力供給について東北電力と、サイト造成等について地元企業と連携。

・核融合計算センター、原型炉材料、IFMIF-EVEDAのR&D等について、関連企業、大学等と協力しつつ、活動計画を策定。

・BA活動の進捗状況を那珂研HP等より情報提供するとともに、今後の調達開始に向け企業説明会を開催(H19.9.28, H19.11.15)。

13

ITER・BA計画、核融合研究への社会の理解

国・国内(実施)機関の取組

・事業の進捗等について適宜報道発表

・HPにおける情報発信及び理解増進

・JAEAの主催による六ヶ所村での住民説明会(尾駁 H19.10.22、泊 H19.10.24、戸鎖 H19.10.29、平沼 H19.11.1、倉内 H19.11.30、千歳平 H19.12.3)等説明会の開催

・JAEA研究者・技術者による出張授業、サイエンスカフェ、サイエンスキャンプ、地域イベントや学園祭における講演、研究紹介の実施、施設見学の受け入れ実施

・科学未来館、つくばエキスポセンター等の外部科学館等と協力した広報活動やJAEAが有する展示館を活用した広報活動の実施

等

以上の実施により、ITER・BA計画の概要のみならず、新エネルギーとしての核融合エネルギーの可能性についても理解を促進している。

その他

・核融合エネルギーフォーラム・社会と核融合クラスターの活動において、核融合研究への社会の理解のための社会対話活動(「高校生シンポジウム」の熊本での開催を協賛:H19.9月、アウトリーチ活動に関する検討会を開催:H19.12月)、Webによる情報発信、研究開発機関と産業界の協力のあり方などを検討する活動等

・核融合エネルギーフォーラム主催によるシンポジウムの開催(H19.12)

・核融合プラズマ学会、日本原子力学会共催による核融合エネルギー連合講演会の開催(H18.6)

・プラズマ核融合学会誌のITER/BA便り(日本から派遣されているITER機構職員の体験談)掲載等

・核融合科学研究所におけるオープンキャンパス(H18.10, H19.11)、市民説明会の開催(H18.8, H18.9, H19.8)

等

14

国内研究成果のITER計画への反映体制

ITER計画への反映体制

- ・我が国の知見を反映させるため、核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会において意見集約等を図り、ITER計画の科学的側面について審議されるITER理事会科学技術諮問委員会を通じて、我が国の知見が反映されるよう、体制を整備。
 - ・ITER機構が開催する各種技術会議への参画による反映。
 - ・ITER機構への人材の派遣。
- また、今後、機器の調達や業務受託による技術貢献などが見込まれる。更に、ITERの運転期には、①～⑧の研究開発項目の成果の反映が反映されるべく、戦略的に研究開発を実施する一方で、反映体制を構築していく必要がある。

BA活動への反映体制

- ・BA活動について、各事業チームに日本から研究者を派遣するとともに、各事業長が作成する事業計画案等への勧告、事業の進捗状況の監視等を行うそれぞれの事業委員会を通じて、我が国の知見・意見を反映させるため、核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会において意見集約等を図り、我が国の知見が反映されるよう、体制を整備。
- ・IFERC及びサテライト・トカマク計画について事業長等を、IFMIF/EVEDAについては事業長代理等を日本から派遣。
- ・平成19年5月から平成19年6月にかけて核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会において、サテライト・トカマク装置に係る概念設計報告書の国内評価を実施。

15

大学等の研究者のITER・BA計画への参加の枠組み

ITER計画への参加の枠組み

- ・ITER計画においては、ITER建設に必要な研究開発をITER機構が実施することとされているが、それらは参加極の参画によって実施されるものである。今後、ITER機構からの業務委託や研究者派遣依頼などが見込まれ、積極的に参画できるよう国内でも支援の整備を進めている。
- ・これまでに我が国から、16名（内JAEA7名、企業5名）をITER機構へ派遣してきているところ。また、ITER機構の求人以外にも、業務受託により人材を派遣する予定（研究所1名）もある。また、今後ともITER機構求人や人材の派遣について、積極的な情報展開や説明会の開催などにより促進を図る。

BA活動への参加の枠組み

- ・BAは、日欧協力による活動であるが、他のITER計画参加極も参加できる枠組みを持ち、国内外の研究者の幅広い参加を期待しており、今後、参加の形態などを整理のうえ、積極的な情報展開などにより幅広い参加の促進を図る。
- ・大学共同利用機関法人である核融合科学研究所が、今後のBA活動との連携を円滑に進めるため、平成19年4月、六ヶ所研究センターを六ヶ所村に設置。
- ・IFMIF/EVEDA事業チーム員として大学から任期付研究員1名が既に参加。今後、共同研究等の枠組みを利用した参加も見込まれる。

16

3. 開発研究に関する予算 について

17

開発研究に関する予算について

ITER、BA、原子力機構等の予算について

- 国際熱核融合実験炉研究開発費補助金、施設整備費補助金（BA関連）
⇒JAEA（ITER国内機関、BA実施機関）を通じて
機器の調達等を実施。

平成18年度：1, 241百万円
平成19年度：5, 158百万円

◎ITER、BAの進展に伴い増加

- JAEA運営費交付金（一般会計、核融合関連）
⇒JAEAにおいて、炉心プラズマ研究及び核融合工学研究を推進。
平成17年度：7, 023百万円（18. 2%）※括弧内は、交付金中の
平成18年度：4, 306百万円（13. 2%）事業費における割合。
平成19年度：3, 655百万円（12. 4%）※平成17年度については、
ITERに関する
予算が含まれる。

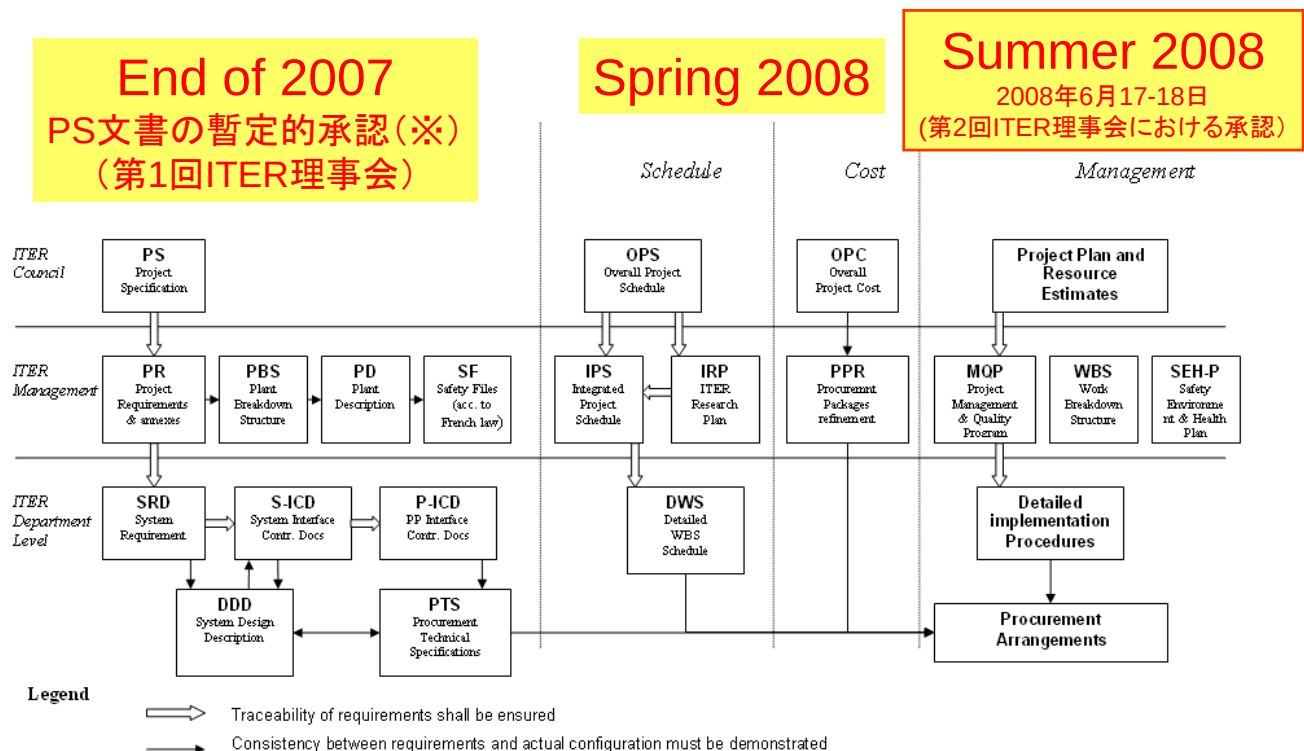
◎限られた資源の中で、選択と集中を図り、核融合研究開発を実施。

18

4. ITERベースライン文書の国内評価体制について

19

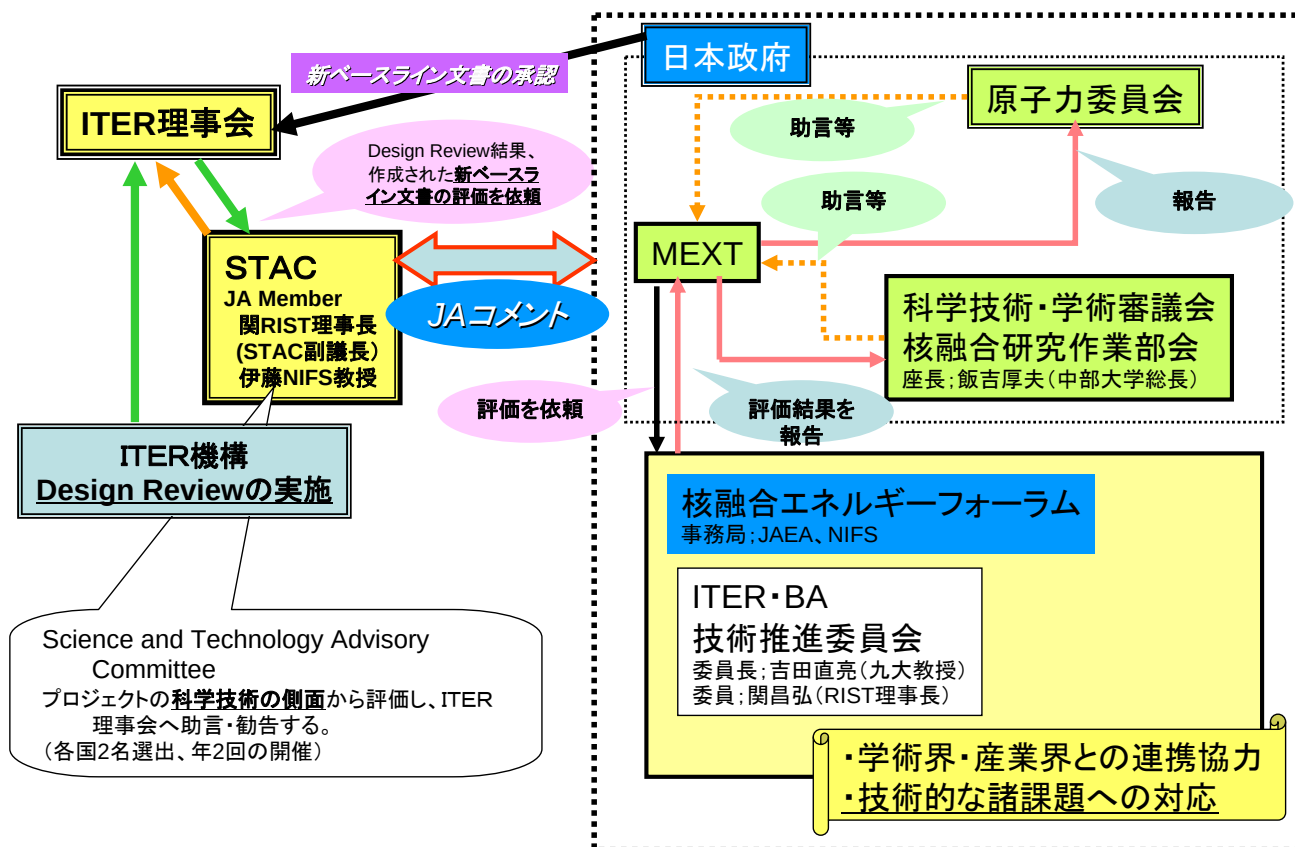
ベースライン文書を2008年6月までに完成



(※) ベースライン文書すべてが揃い、初めて承認されるべきとSTAC及びMACからの勧告をから、Project Specificationsは暫定的に承認された。ベースライン文書の完成は2008年6月を見込まれる。

20

ITERベースライン文書の国内評価体制について



ITER計画・BAの現状と 我が国の取組

平成20年2月14日
文部科学省研究開発局研究開発戦略官付

前回指摘事項より

1. 核融合研究開発の全体像
2. 評価の実績
3. 核融合関係予算
4. ITER計画の推進体制
5. ITER計画への国内機関の取組
6. 核融合フォーラム ITER・BA技術推進委員会の概要
7. 人材育成・確保に向けた取組

1. 核融合研究開発の全体像

2

核融合研究開発の意義

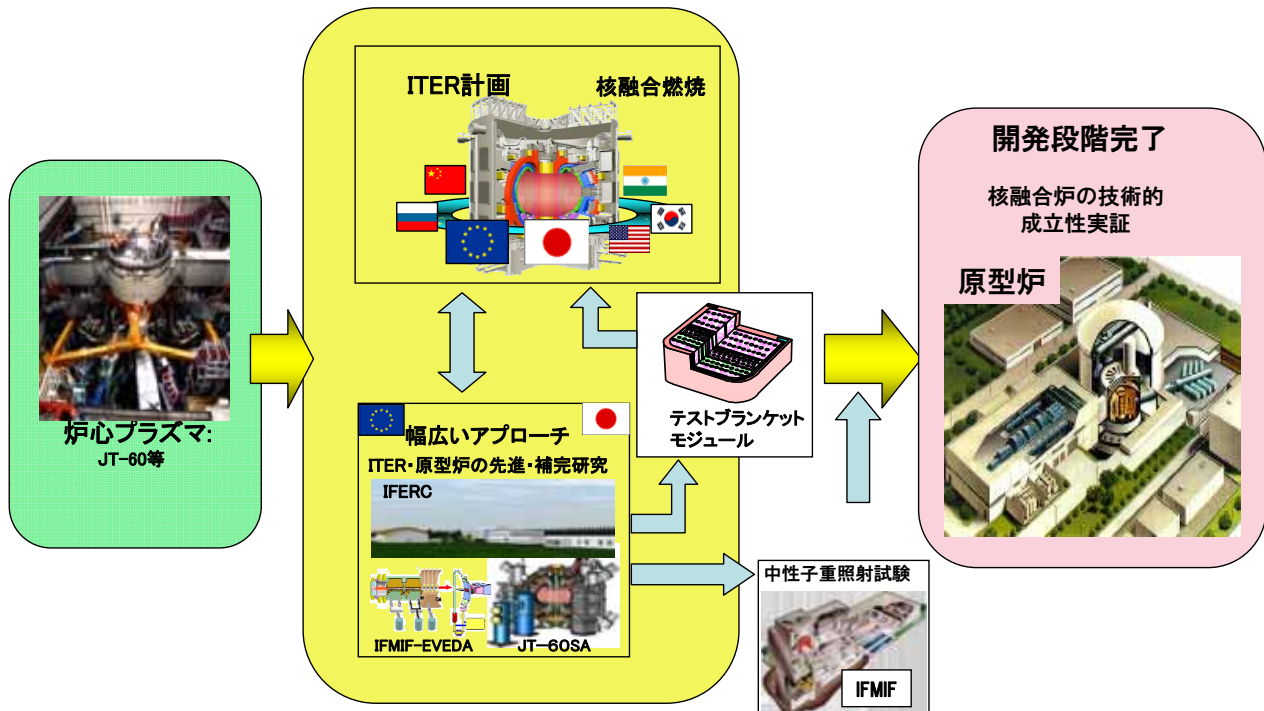
魅力ある非化石エネルギー源の開発を進めておくことは将来における人類の選択肢を広げておくために、現世代の我々がなすべき責務

核融合のエネルギー源としての特徴

- ◆ 資源量・供給安定性
- ◆ 環境適合性
- ◆ 安全性
- ◆ 核拡散抵抗性
- ◆ 放射性廃棄物の処理・処分

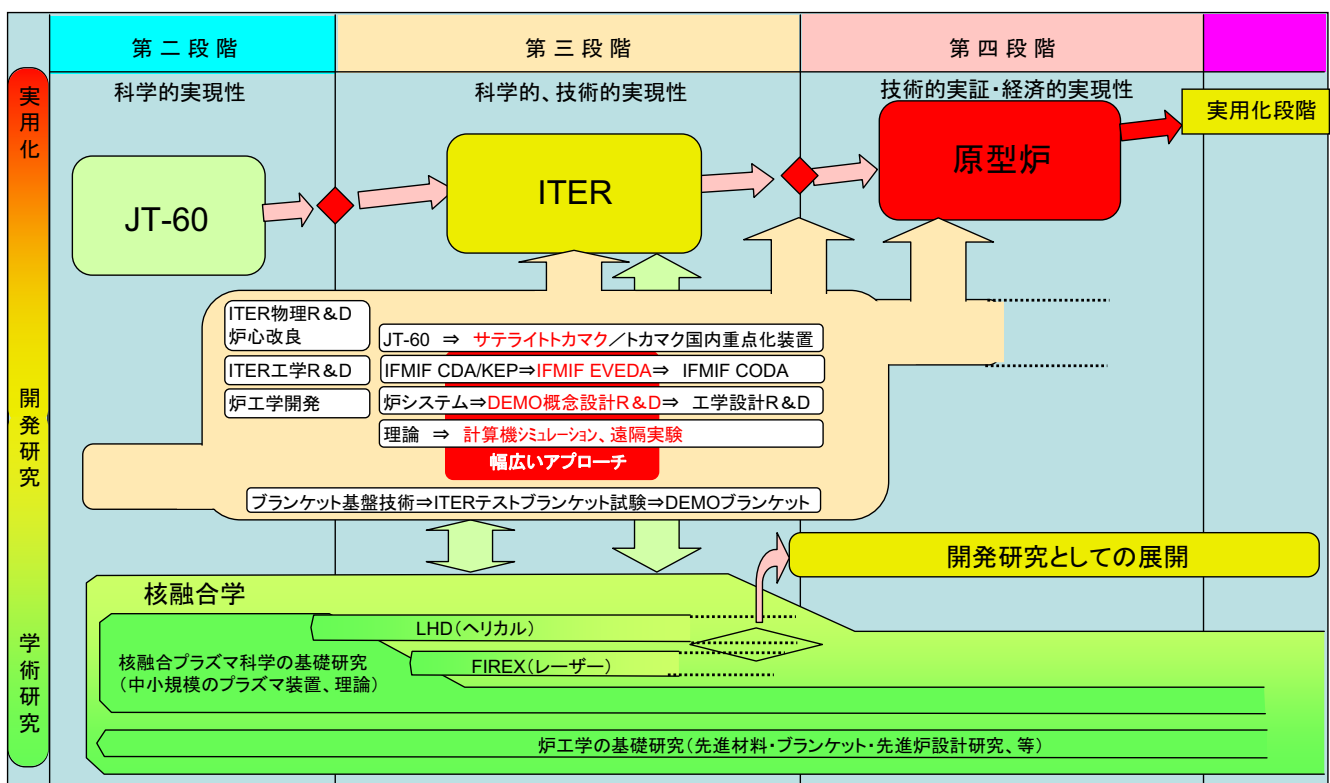
「今後の核融合研究開発の推進方策について」(平成17年10月原子力委員会核融合専門部会)より

核融合エネルギー実現への道



4

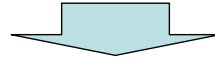
核融合開発の全体像



核融合研究開発の分担

原子力委員会

原子力委員会は、第4段階への移行等の基本方針の改定や、文部科学省等において実施されたチェック・アンド・レビューの確認等、核融合研究開発に関する基本方針の調査審議の実施



文部科学省

原子力委員会の基本方針に基づき、核融合研究開発に関する政策・施策の企画・実施等を行うとともに、科学技術・学術審議会等において核融合研究開発のチェック・アンド・レビューを実施

日本原子力研究開発機構

トカマク方式による開発研究の中核的機関として、ITER計画に積極的に協力すると共に国内におけるトカマク方式の炉心プラズマ・炉工学・理論・シミュレーション、原型炉の概念設計・要素技術開発を大学等、産業界との連携のもとに推進する等の中核的機関としての役割を果たす。

核融合科学研究所

LHDを用いた学術研究、理論・シミュレーション研究、レーザー研究との連携等の役割を果たすことが期待される。

大学等

核融合理工学の学術研究基盤の強化と学生教育を行い核融合研究開発に寄与することが期待される。大学等において行われる幅広い核融合炉システムの評価の中で原型炉の概念設計への貢献が期待される。

6

国内重点化装置

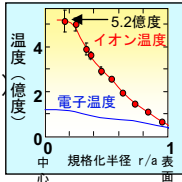
我が国の核融合研究開発は、日本原子力研究開発機構、核融合科学研究所、大学等の連携・協力により研究開発を実施。特に、トカマク、ヘリカル、レーザーについては世界でも有数の装置を有し、世界をリードする成果を輩出。



世界をリードする実験成果

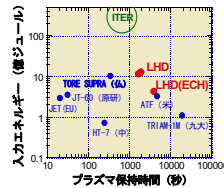
臨界プラズマ試験装置JT-60

- ★等価核融合エネルギー増倍率 1.25 (世界記録)
- ★5.2億度 (世界記録、ギネスブック登録) 右図
- ★世界最高の核融合三重積を実現
- ★高圧力・高閉じ込めプラズマを28秒間維持 (世界最長)
- ★高効率定常運転法の確立
- ★内部輸送障壁、電流ホールの発見



大型ヘリカル装置LHD

- ★入力エネルギー値 1.6億ジュール、入力パワー約500kwで54分28秒の放電を達成(世界記録)
- ★ベータ値 4.8% (世界記録)
- ★1.5億度
- ★能動的な周辺プラズマの制御に成功

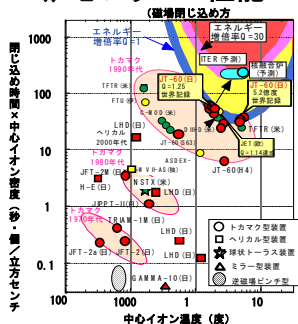


レーザー核融合実験装置

- ★1億度とレーザー核融合中性子10兆個 (世界記録)
- ★固体密度の600倍 (600g/cc) の圧縮密度を達成 (世界記録)
- ★先進レーザー核融合方式である高速度点火を発案。世界最高出力のペタワットレーザーによりプラズマ追加熱を初めて実証
- ★高速度点火原理実証 FIREX I 計画を実施中

日本原子力研究開発機構の炉心プラズマ研究

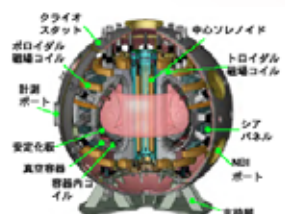
炉心プラズマ性能



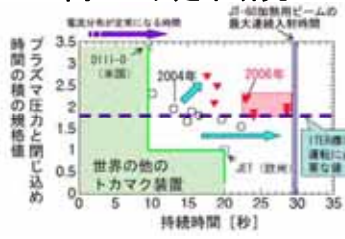
遠隔実験



サテライトトカマク／トカマク国内重点化装置

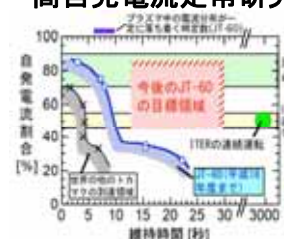


高ベータ定常研究

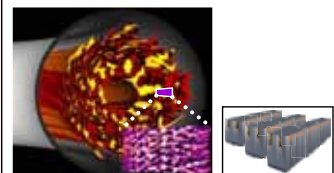


臨界プラズマ試験装置JT-60

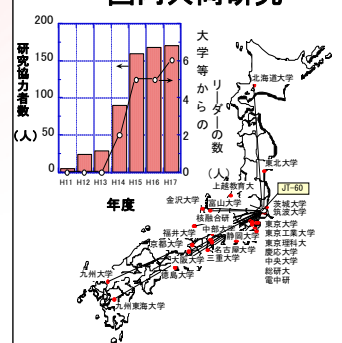
高自発電流定常研究



理論シミュレーション



国内共同研究



日本原子力研究開発機構の核融合炉工学研究

プラズマ加熱装置

負イオンビーム

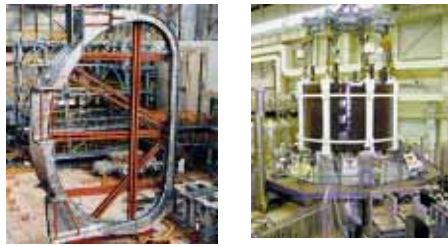
ジャイトロ



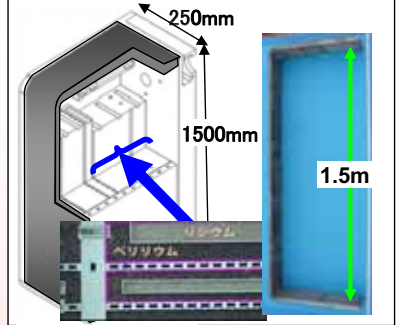
ITER工学R&D

真空容器セクター

中心ソレノイドモデルコイル



ブランケット



トリチウム



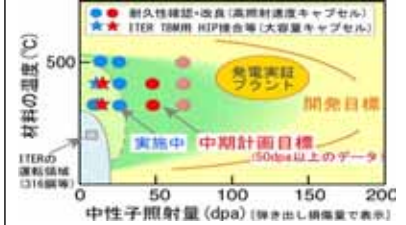
ブランケット遠隔保守装置



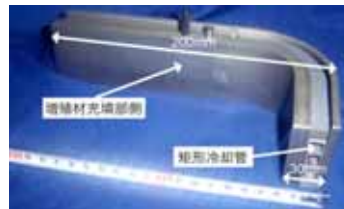
核融合中性子



中性子照射



構造材料



増殖・増倍材料



2. 評価の実績

評価の実績 核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビュー実施計画 (平成18年7-8月科学技術・学術審議会研究計画評価分科会核融合研究作業部会)

○今後の我が国の核融合研究の在り方について(平成15年1月:科学技術・学術審議会学術分科会核融合研究WG)

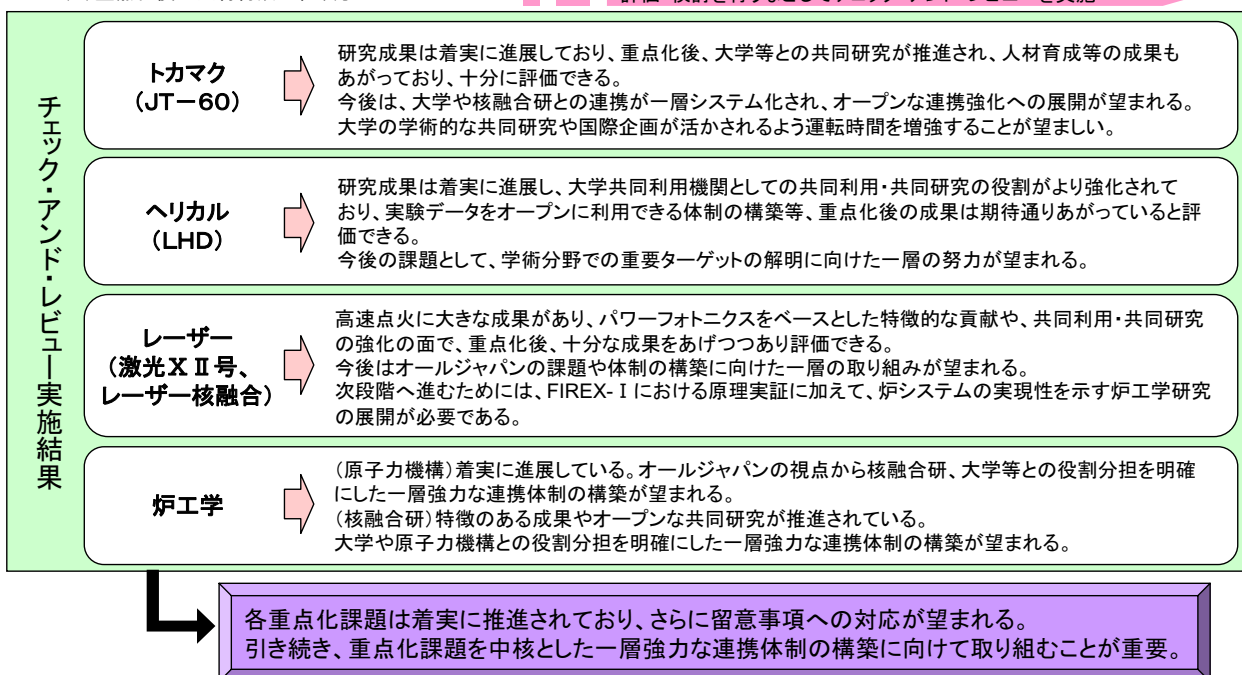
・我が国の核融合研究全般にわたり、今後を見据えて、学術的評価に基づき、核融合研究の在り方の方向性について取りまとめ。

(1)核融合研究計画の重点化:トカマク(JT-60)、ヘリカル(LHD)、レーザー(激光XⅡ号、レーザー核融合)、炉工学

(2)共同利用・共同研究の強化

(3)重点化後の人材育成の在り方

核融合研究作業部会に「重点化に関するタスクフォース」を設置し、評価・検討を行うなどしてチェック・アンド・レビューを実施



12

評価の実績 ITER計画(建設段階)の推進の中間評価結果 (平成19年8月科学技術・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)

<これまでの成果>

・ITER協定の署名

・暫定ITER理事会の東京開催:今後の建設計画、プロジェクト推進体制等の方向性について決定

・ITER機構への人員派遣:ITER機構における計画や工程の決定を支えるポストに配置

:設計等合技術や計画管理のノウハウ等の我が国への蓄積が期待される

・他のITER参加極を上回る成果:

ー超伝導コイルの製作に必要な超伝導導体圧縮成形装置の試作に参加極内で唯一成功

ー高周波加熱装置に用いる機器(ジャイロトロン)でITERの仕様を大きく上回る運転成果を実証

ー加速器開発で高エネルギービームの大電流加速の世界記録を達成

・幅広いアプローチ(BA)の協定発効/実施機関として日本原子力研究開発機構の指定

・第1回BA運営委員会の東京開催:各プロジェクトの事業長(3名)を指名

・BAの3つの事業について、開発準備等が進展

・ITER・BA技術推進委員会を通して大学、研究機関、産業界意見の集約を図られる枠組みが構築

<評価結果>

(1)全体評価:ITER計画については、本格的な建設活動に向けた準備活動が順調に進展。

今後は、大学、産業界を含めた全日本的な連携の中でプロジェクトを推進すべき

(2)個別評価:日本の技術レベルは高い。人材育成については、ITER及びBAを通じ、JAEAと学術界との連携を強化しつつ取り組むことが重要。国際的視点からは、我が国の技術的優位性を念頭に置きつつ、ITER・BAを推進する必要

評価の実績

平成20年度概算要求における科学技術関係施策の優先度判定について(平成19年10月総合科学技術会議)

- ・本事業は重要
- ・長期間にわたるプロジェクトであり、我が国独自のロードマップを作成し、知的財産等にも留意しながら引き続き、日本が主体性を発揮しリーダーシップをとることを念頭におきながら、着実に実施すべき。
- ・JT-60の位置付けと役割を明確にする必要がある。
- ・材料、計測等の原子力他の分野と成果を共有することを念頭において進めることが必要

評価の実績

平成19年度概算要求における科学技術関係施策の優先度判定について(平成18年10月総合科学技術会議)

- ・優先順位 A
- ・国際的責任分担を果たす観点から、ITER建設活動への参加とBAを着実に実施すべき。
- ・BAの成果がITER計画に反映されるよう、連携をとって推進すべき
- ・核融合エネルギーの国際プロジェクトで日本が中心的な役割を果たせるように進めるべき

14

評価の実績

独立行政法人日本原子力研究開発機構の平成17年度に係る業務の実績に関する評価(文部科学省 独立行政法人評価委員会科学技術・学術分科会)

核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発

＜評価＞ A

＜実績＞

- 年度計画に基づき、ITER建設の共同実施や幅広いアプローチのプロジェクトの具体化に向けた支援を実施している。また、炉心プラズマ及び核融合工学の研究開発では、高い規格化ベータ値のプラズマの維持時間の伸長や増殖ブランケットの性能試験計画書の取りまとめ等の成果が得られている。
- 核融合フォーラム活動を通して、ITER計画及び幅広いアプローチ活動について、大学・研究機関・産業界の意見や知識の集約が図られている。
- ITER活動において日本が国際分担した作業を着実に実施しているほか、韓国が調達分担する機器についても技術協力・指導を実施し、韓国の装置技術開発に貢献するなど、国際協力において十分な貢献が行われている。
- 技術フェアへの出展等による核融合工学技術の移転活動を積極的に推進し、真空計測技術を移転した企業への技術指導を進めて放出ガス測定装置を製品化したほか、高性能Nb3Sn超伝導素線の量産に目処を付けるなど、我が国の技術基盤の向上に貢献している。

＜留意事項＞

ITER計画や幅広いアプローチの実施に当たり、大学、研究機関・産業界の意見や知識の集約に向けて、更なる努力が望まれる。ITER計画や幅広いアプローチの開始後には、我が国が分担する装置機器の製作や施設の整備等の責務をしっかりと果たすとともに、我が国の研究者がこれらの活動に円滑に参加できるような態勢の構築に主体的に取り組むことが期待される。

核融合エネルギーを取り出す技術システムの研究開発

＜評価＞ S

＜実績＞

- 定常高ベータ化計画を大きく進展させる発見や遠隔地からの核融合実験、増殖ブランケット第一壁政策手法妥当性の確認等炉心プラズマ及び核融合工学の成果が得られている。特に、ITER暫定機構への人員派遣、国内意見の集約、ITER調達準備やBAサイト準備推進等の活動が結実し、核融合研究開発計画の国際的な前進につながった。
- 核融合フォーラム活動を通して、ITER計画及び幅広いアプローチ活動について、大学・研究機関・産業界の意見や知識の集約が図られ、国際的な会合の議論に反映させている。
- ITER計画では、国際分担作業の着実な実施、人材派遣等の貢献をしている。また、機構内の体制を整備し、ITER調達準備やBAサイト準備の国際協力活動が組織的に進められている。
- 大学、研究機関、産業界との連携のあり方等について核融合フォーラムの発展的改組の検討を支援し、国の体制整備に貢献している。
- プラズマ加熱技術、超伝導導体圧縮成型技術、第一壁製作技術等、世界を先導する技術開発成果を上げている。

＜留意事項＞

- 今後ITER計画を進めるに当たり、JT-60による研究成果が大きな役割を果たすことが期待できる。さらに、工学研究等の分野においても世界を先導する成果とイニシアティブの確保を期待する。

3. 核融合関係予算

平成20年度核融合関係予算案について

(千円)

事 項	平成19年度 予算	平成20年度 予算案	概要（平成20年度）
I. イーター国際核融合エネルギー機構分担金等（内局予算）	263,764	1,373,909	・ITERの建設・運転主体となる国際機関（ITER機構）の運営に必要な経費の分担金（日本の負担分は全体の約9.1%）
II. 国際熱核融合実験炉研究開発費補助金	3,071,882	4,610,592	
1. ITER建設活動推進費	238,129	153,398	・カダラッシュにおいてITER機構との機器調達に関する調整等を行う人員の派遣やITER理事会開催・参加等のための経費
2. ITER国内機関活動費	211,117	211,117	・ITER協定に基づく「国内機関」としての活動経費（技術会合への参加、核融合エネルギーフォーラム開催等）
3. ITER安全予備検討費	45,688	0	（日本の物納機器の安全・品質管理に必要な基準等を整備する経費）
4. ITER建設基礎設計活動費	137,288	137,288	・我が国が調達を分担する物納機器について発注仕様書の作成等を行うための経費
5. 調達準備試作試験費	1,213,739	423,700	・我が国が調達を分担する物納機器について、必要な試作試験を実施するための経費
6. トカマク本体建設費	740,764	2,401,182	・我が国が調達を分担する物納機器の製作に必要な経費
7. 幅広いアプローチ活動費	485,157	1,283,907	・幅広いアプローチ活動について、日欧の技術調整活動、試験研究及び大学、産業界等との連携協力等を行うための経費。
III. 日本原子力研究開発機構施設整備費補助金（ITER関連施設整備費）	2,086,347	4,341,489	・BA施設の整備に必要な経費。
IV. 独立行政法人日本原子力研究開発機構施設整備費補助金（核融合研究開発費）	3,665,303	2,830,480	・JT60を用いた炉心プラズマの性能改善に関する研究、炉心工学研究開発及びプラズマ物理研究、那珂核融合研究所の施設等運転管理等に必要な経費。
V. 核融合科学研究所特別教育研究経費	6,109,300	6,109,300	・大型ヘリカル装置による研究を実施するための経費
合計（I + II + III + IV + V）	15,196,596	19,265,770	

18

4. ITER計画の現状

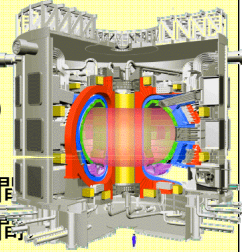
ITER(国際熱核融合実験炉)計画

※ITER:ラテン語で「(遠くへ続く)道」を意味する。

- 核融合エネルギーには、豊富な燃料資源、固有の安全性、高い環境適合性、等の優れた利点
- ITER計画は、実験炉の建設・運転を通じて、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国際協力プロジェクト
- ITER機構長には、日本から推薦した池田要氏（前駐クロアチア特命全権大使）
- 核融合エネルギーの早期実現に向け、ITERと並行して補完的に取り組む幅広いアプローチを、日・EUの国際協力により実施

ITER

- 参加極:日、EU、米、露、中、韓、印
- 建設地:フランス・カダラッシュ
- 核融合熱出力:50万KW(発電実証はしない)
- 総経費:113億ユーロ(1ユーロ=151円として計算した場合、約1.7兆円)を参加極で分担
- 日本の分担割合:
建設期:9.1%(約540億円、主として物納)
運転期:13%(約60億円/年)
- 計画(予定):
2006年度 建設開始(10年間)
2016年度 運転開始(20年間)



幅広いアプローチ

- 実施極:日本、EU
 - 実施地:青森県六ヶ所村、茨城県那珂市
 - 総経費:920億円を日・EUで半分ずつ負担
 - 計画:ITER建設と概ね合致する期間、以下のプロジェクトを実施
 - ①国際核融合エネルギー研究センター
 - ・原型炉設計・研究開発調整センター
 - ・ITER遠隔実験研究センター
 - ・核融合計算センター
 - ②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動
 - ③サテライト・トカマク(予備実験等の実施によるITER支援)
- ※トカマク(tokamak)とは、核融合炉に高温高密度プラズマを閉じ込める磁場を作る方式の一つであり、ロシア語起源の名称。

20

ITER機構設立のための協定及び関連文書の主な内容

理事会の開催(年2回)

・ITER事業計画の承認、ITER幹部職員の任命、各種規則の決定等。我が国でも随時開催。

ITER機構上部組織

・ITER機構長……ITER機構の代表者。機構職員を選定・監督。任期5年(再任1回のみ)
・首席副機構長、副機構長……各分野について、ITER機構長をサポート

建設期(10年間)

○費用分担

欧州	日本	米国	韓国	中国	ロシア	インド
45.5%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%

※今後、経費増額の場合、理事会の決定に基づき、当初の貢献規模(欧州50%、その他10%)相当額を上限として費用を分担する。

○調達分担

欧州	日本	米国	韓国	中国	ロシア	インド
4	2	1	1	1	1	1

※日本の分担分は欧州からの割譲分を含む。

○職員枠 : 調達分担割合に準じる

運転期(20年間)

○費用分担

欧州	日本	米国	韓国	中国	ロシア	インド
34%	13%	13%	10%	10%	10%	10%

○実験計画決定等のための投票加重率

欧州	日本	米国	韓国	中国	ロシア	インド
30	15	15	10	10	10	10

○職員枠 : 費用分担割合に準じる

加入・脱退

・協定発効後10年間は脱退不可。10年目以降、脱退を希望する場合には、相応のコスト(廃止措置コスト等)を負担。
・理事会の全会一致で新規加入可。

ITER機構設立のための協定及び関連文書の主な内容

平和利用、核不拡散

- ・ITER機構及び加盟極が、本協定に基づいて受領又は創出した資材、機器又は技術は、平和的目的のためにのみ使用する旨規定。
- ・ITER機構及び加盟極が、本協定に基づいて受領又は創出した資材、機器、技術は、非平和的目的のために第三者に移転されてはならない旨規定。

特権・免除

- ・ITER機構の建物・文書の不可侵、職員への訴追の免除等を付与。
- ・ただし、機構長及び職員は、原子力安全、公衆衛生等の国内法令を遵守する義務を負う。
- ・その他の特権・免除についても、他の国際協定の例を参考に、ITER計画実施に必要なものを確保。

ホスト極のサイト支援

ホスト極は、ITER機構の活動に必要なインフラを提供。

- ・ITER施設の土地を無償で提供
- ・ITER機器の搬入に必要な場合には道路を改修
- ・ITER機構職員の子弟の教育のため、国際学校を設立し、大学入学前までの教育を提供等

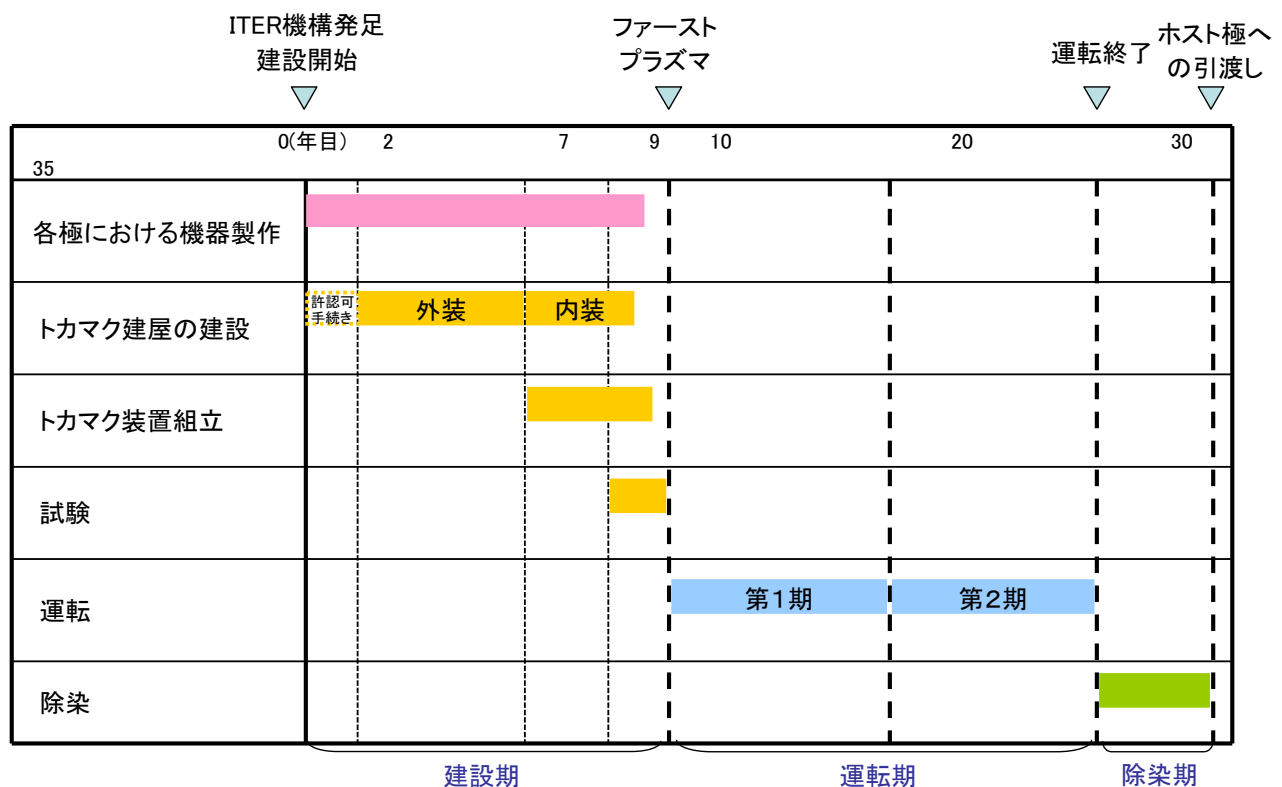
知的財産

ITER機構及び各極の知的財産権の取扱について規定。

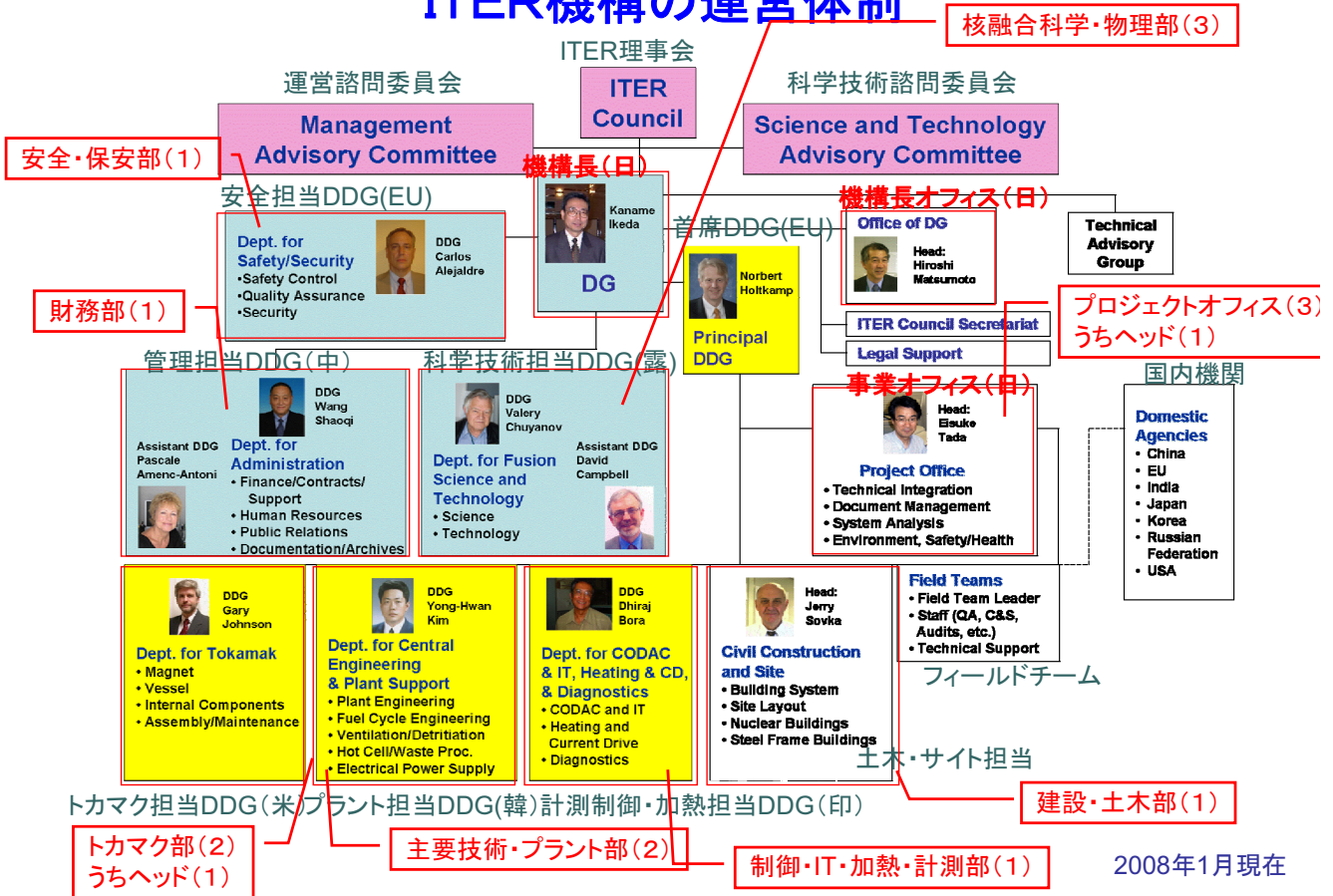
- ・ITER機構及び各極は、ITER協定の実施を通じて創出した知的財産を、無償でITER機構及び他極に与える。
- ・商業的機密を除く知的財産権がITERに供給する品目に編入されている場合、理事会が必要と認めたときは、締約極は、ITER機構及び他極に対し、当該知的財産権を無償で与える。
等

22

ITER計画全体スケジュール

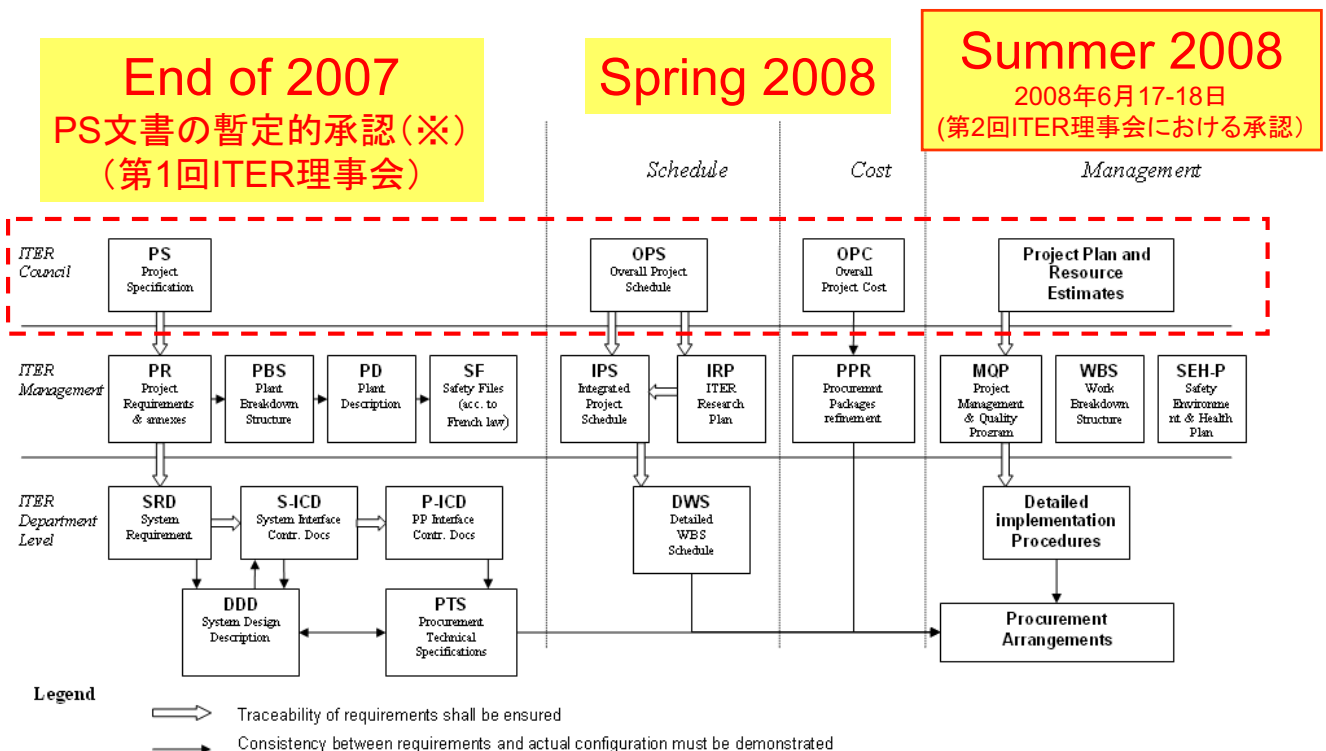


ITER機構の運営体制



24

現在、2008年ベースライン文書完成に並行して国内評価を実施

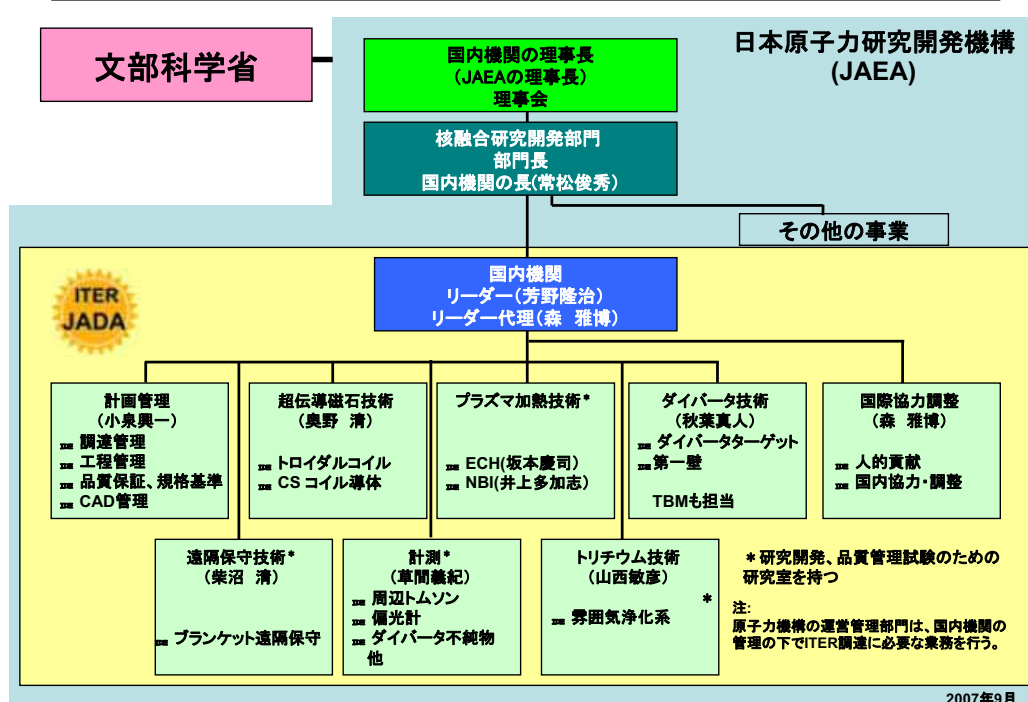


(※) ベースライン文書すべてが揃い、初めて承認されるべきとSTAC及びMACからの勧告をから、Project Specificationsは暫定的に承認された。ベースライン文書の完成は2008年6月を見込まれる。

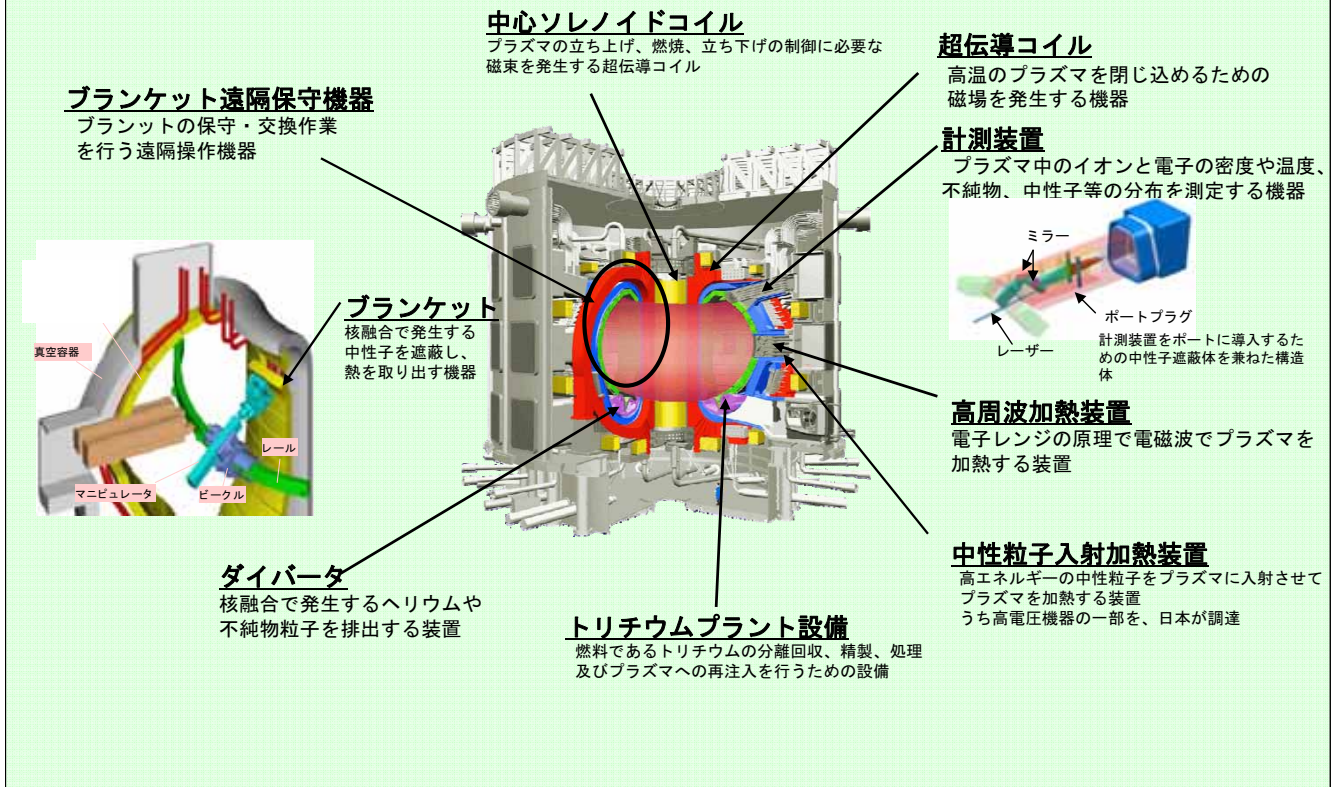
5. ITER計画への国内機関の取組

26

国内機関の構成



ITER計画において我が国が分担する装置・機器



28

カダラッシュサイトへの人の派遣

カダラッシュサイトへの人材派遣

- ITER機構職員採用
- Visiting Researcher (VR)としての派遣
- ITER機構の業務受託

平成20年1月現在の状況

ITER機構職員; 14名

VR; 3名

ITER機構からの業務受託による参画; 0件 (1件 (1名の派遣) 調整中)

(参考; ITER機構 専門職員159名、支援職員43名 11月30日現在)

更に一層のITER機構職員の採用、業務受託等による派遣を目指す。

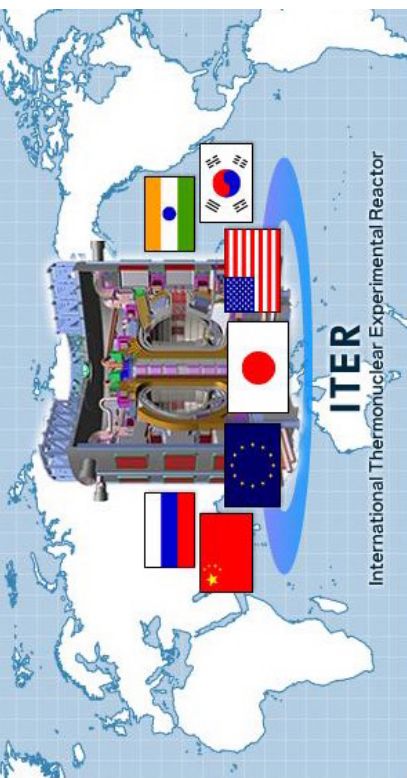
- JAEAのホームページにおけるITER機構職員 (専門職員) 応募、ITER機構業務委託情報の提供 (<http://www.naka.jaea.go.jp/ITER/index.html>)
- 企業説明会等における情報提供、意見交換
- その他、広報による周知 (ポスターの作成・提供)



お問い合せ | サイト
Google Custom Search

ITERとは？ | ITER機構 (IO) の活動 | 国内機関 (JAEA) の活動 | よくある質問 | もっとITERについて

トップページ



ITER
International Thermonuclear Experimental Reactor

最新情報

8.2.1] ITER計画における試験用超伝導コイルの焼付け作業が行われました。

8.1.31] ファジューサイトへの派遣状況が所しました。

8.1.31] 製造技術協会の予定/実績が所しました。

7.12.28] ファジューサイトへの派遣状況が所しました。

7.11.28] ITERの動向取り決めでITER機構と原子力機構の間で締結されました。

7.10.24] 協定が案外、原子力機構が国内機関に指定されました。

ITER機構職員公募について

**幅広いアプローチ
Broader Approach**

内部用
ENGLISH

連リンク

ITERとは？
ITERについての説明、他の日本の役割についての情報提供しています。

ITER機構 (IO) の活動
ITER計画の最近の状況や建設の進捗状況について、最新の情報を載せています。

よくある質問
 ITERって安全なの？ 皆さんの疑問にお応えします。

国内機関 (JAEA) の活動
国内機関 (JAEA) や日本が関連する機器に関する情報について提供しています。

もっと ITER
他国の国内機関情報やマルチメディアコンテンツ、ITER関連の技術情報を提供しています。

職員公募と業務外部委託等の案内

- ITER機構の職員募集 **募集中** [2008.02.06更新]
- ITER機構の委託研究に関心のある企業及び研究機関の募集 **募集中** [2008.01.31更新]
- ITER機構の業務外部委託に関心のある企業及び研究機関の募集 ※情を募集していません [2008.01.22更新]

Copyright © Japan Atomic Energy Agency, All rights reserved.

4082

6. 核融合フォーラム ITER・BA技術推進委員会

核融合エネルギーフォーラム

《核融合エネルギーフォーラム》

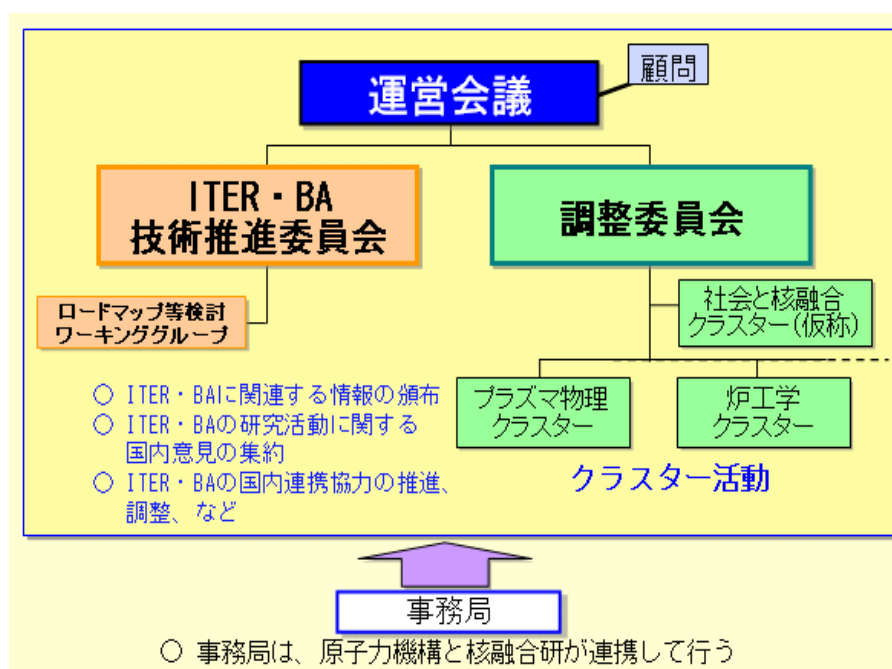
核融合エネルギーフォーラムではITER計画と幅広いアプローチに関し、研究推進の母体としての提案等、関連する情報の頒布、研究活動に関する国内意見の集約・調整、国内連携協力の調整等を行う。

特に、研究活動に関する意見の集約・調整を図り、国や国内機関・実施機関に対して意見具申するための協議、産業界との連携協力及びその他技術的な諸課題への対応を行うための組織として、「ITER・BA技術推進委員会」をエネルギーフォーラムの中に設置することが適切である。

「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について」(平成19年6月27日 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 核融合作業部会)より

32

核融合エネルギーフォーラムの構成



核融合エネルギーフォーラム運営会議

(平成19年10月18日現在)

議長 佐藤 文隆 京都大学名誉教授、湯川記念財団理事長委
幹事 香山 晃 京都大学エネルギー理工学研究所所長 (調整委員会委員長)
委員 石塚 昶雄 日本原子力産業協会常務理事
委員 竹内 啓 東京大学名誉教授、内閣府統計委員会委員長
委員 立花 隆 評論家・ジャーナリスト
委員 田中 知 東京大学大学院教授
委員 中島 尚正 産業技術総合研究所理事
委員 藤原 正巳 核融合科学研究所前所長
委員 松尾 泰樹 文部科学省研究開発局研究開発戦略官
委員 松田 慎三郎 日本原子力研究開発機構執行役、プラズマ・核融合学会会長
委員 本島 修 自然科学研究機構理事(副機構長)核融合科学研究所所長
委員 吉田 直亮 九州大学応用力学研究所教授(ITER・BA技術推進委員会委員長)

34

核融合エネルギーフォーラム ITER・BA技術推進委員会

(平成19年10月18日)

委員長 吉田 直亮 九州大学応用力学研究所教授
委員 小川 雄一 東京大学高温プラズマ研究センター長
委員 加藤 敬 日本原子力産業協会ITER・BA対応検討会副主査
委員 金子 修 核融合科学研究所 大型ヘリカル研究部粒子加熱プラズマ研究系 研究主幹
委員 香山 晃 京都大学エネルギー理工学研究所長
委員 近藤 光昇 日本原子力産業協会ITER・BA対応検討会主査
委員 笹尾真実子 東北大学大学院教授
委員 佐藤浩之助 九州大学応用力学研究所附属高温プラズマ力学研究センター長
委員 清水昭比古 九州大学大学院教授
委員 関 昌弘 高度情報科学技術開発機構理事長
委員 高瀬 雄一 東京大学大学院教授
委員 高村 秀一 愛知工業大学教授
委員 田中 知 東京大学大学院教授
委員 常松 俊秀 日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門長
委員 日野 友明 北海道大学大学院教授
委員 堀池 寛 大阪大学大学院教授
委員 松田 慎三郎 日本原子力研究開発機構執行役(参与から委員へ変更)
参与 伊藤 公孝 核融合科学研究所教授
参与 四竈 樹男 東北大学金属材料研究所量子エネルギー材料科学国際研究センター長
参与 小西 哲之 京都大学エネルギー理工学研究所教授
参与 高津 英幸 日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門核融合エネルギー工学研究開発ユニット長
参与 長 照二 筑波大プラズマ研究センター長
参与 中島 徳嘉 核融合科学研究所教授
参与 二宮 博正 日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門副部門長、研究開発推進室長
参与 福山 淳 京都大学大学院教授
参与 三木 清香 文部科学省研究開発局研究開発戦略官付専門官
参与 三間 園興 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長
参与 本島 修 自然科学研究機構理事(副機構長)核融合科学研究所所長
参与 吉田 善章 東京大学大学院教授

ITER・BA技術推進委員会の活動状況

本フォーラムは、大学、研究機関、産業界などの研究者・技術者並びに各界の有識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・技術開発の促進を支援することを目的とされていることから、様々な関係者の議論の上での意見集約を機動的に図ることができる。

・活動実績

MEXTからの依頼による活動事項)

JT-60SAの概念設計評価(2007年6月)

ITERベースライン文書の評価(実施中)

核融合エネルギーの実現に向けた技術開発戦略の検討(実施中)

核融合研究における人材育成・確保についての意見集約(実施中)

・開催実績

2007年発足より6回の開催

種々のWGの開催(ITER設計評価検討WG 等)

・情報発信

HPによる活動状況の発信

(<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/index.html>)

核融合ネットワークとの連携 等

核融合シンポジウムの開催(2007年12月19日) 等

36

核融合エネルギーフォーラム第2回全体会合 ITER機構発足記念シンポジウムの開催

(2007年12月19日、内幸町ホール)(125名の参加)

講演者とコーディネータ

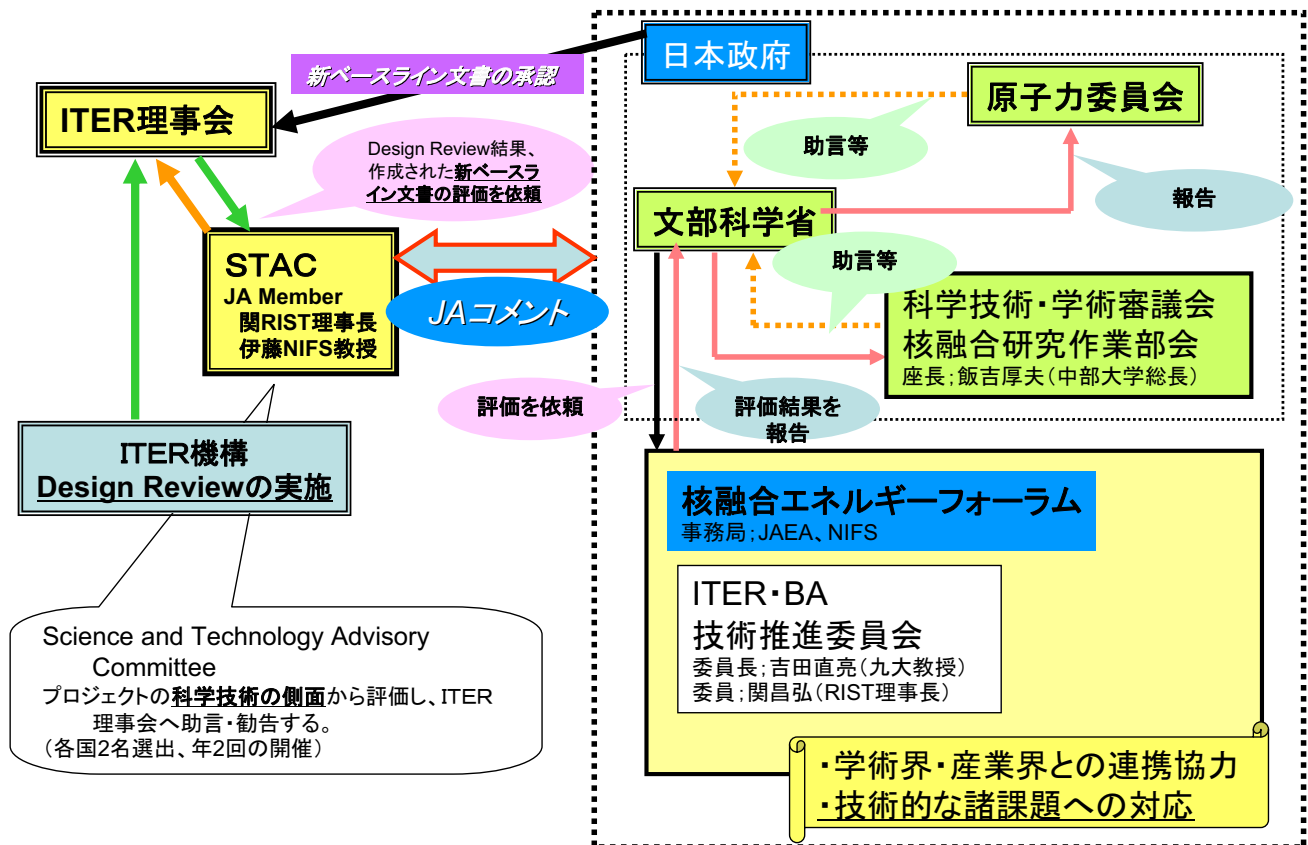
佐藤文隆: 京都大学名誉教授、湯川記念財団理事長

池田 要: ITER機構長

下村安夫: 前ITER国際チームリーダー 他



ITER設計の国内評価体制について



38

7. 人材育成・確保

科学技術・学術審議会 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

核融合研究分野における人材の確保について

審議スケジュール

平成19年10月 第 9回 ・核融合研究作業部会における今後の審議事項について
(ITER設計レビュー, 産業界との連携, 人材育成等)

平成20年 2月 第10回 ・核融合研究分野における人材の確保について

(今後の予定)

第11回 ・報告書骨子(案)審議

第12回 ・報告書審議

第13回 ・報告書とりまとめ (夏頃予定)

核融合研究開発における 開発研究に関する取組

～研究成果，取組～

平成19年12月20日
独立行政法人日本原子力研究開発機構

目 次

1. 自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立 . . .	1
2. 定常炉心プラズマの実現	2
3. システム統合化技術の確立と発電ブランケットの試験 .	3
4. 高ベータ定常運転法の確立	4
5. 原型炉に関わる材料・炉工学技術開発	5
6. 原型炉の概念設計	6
7. 理論・シミュレーション研究	7
8. 社会受容性・環境安全性の研究	8

1. 自己加熱が支配的な燃焼プラズマ制御技術の確立

現状での技術達成点と開発目標との関係

JT-60 の 燃焼模擬実験により燃焼プラズマの応答と制御性を研究(H18)。燃焼プラズマ輸送統合コードを開発・整備(H18)。JT-60等の輸送、安定性、高エネルギー粒子挙動、周辺・ダイバータ等に関するデータ、国際データベース、及びモデリングコード等でITERの燃焼プラズマ性能(核融合利得20以上の数100秒維持)を予測し、その燃焼制御手法の構築に反映。

開発目標を達成するための戦略

ITERにおける本格的な燃焼プラズマ制御実験、JT-60SA(BAサテライトトカマク計画)における先進的な燃焼プラズマ制御技術の開発、及び実験をサポートする燃焼プラズマ予測のための統合コード開発を行う。

ITER・BAと国内研究との連携

核融合フォーラム、国際トカマク物理活動、及びITER物理研究を有機的に連携させ、進行中の国際装置間比較実験や国際データベース活動を活用しつつ、技術開発・人材育成を進めている。これを継続し、ITERを主導する。

1

2. 定常炉心プラズマの実現

現状での技術達成点と開発目標との関係

JT-60において、ITERで必要とされる[規格化ベータ×閉じ込め改善度]の28秒間維持を達成。高自発電流割合(70-80%)の維持8秒間を達成(H18)。負イオン源ビーム入射装置において21秒間(H18)、電子サイクロトロン波加熱装置において30秒間(H19)の入射を達成。以上により、ITER ($Q>5$ 、 >1000 秒程度)への基盤を確立。

開発目標を達成するための戦略

JT60において高自発電流割合(70-80%)プラズマの維持時間を伸長するとともに、帰還制御手法の開発、外挿性の高い統合モデルの構築を行う。JT-60SAにおいて、JT-60及び各国装置との共同研究の成果に基づき、高自発電流割合とダイバータ熱負荷低減を両立する完全非誘導定常運転を実証する。これらの成果をITERに反映し、 $Q=5$ の定常運転を実証する。

ITER・BAと国内研究との連携

核融合フォーラム、国際トカマク物理活動、及びITER物理研究を有機的に連携させ、進行中の国際装置間比較実験や国際データベース活動を活用しつつ、技術開発・人材育成を進めている。これを継続し、ITERを主導する。

2

3. システム統合化技術の確立と発電ブランケットの試験

現状での技術達成点と開発目標との関係

ITER施設の建設については、我が国の担当する機器の技術仕様を最終決定するために必要な研究開発を実施し、物納貢献における最初の調達取決めを我が国とITER機構間で締結する(平成19年11月)等、ITERの本格的建設が始動した。発電ブランケットについては、第一壁実規模大モックアップを試作(平成19年2月)。平成22年度頃に予定する実機製作開始を見通せる段階に到達しつつある。

開発目標を達成するための戦略

ITER実施協定に基づいて、産業界の協力を得て我が国担当の機器調達を行うとともに、適切な人材をITER機構に送り込み、ITERの建設を成功させる。発電ブランケットについては、ITERでのモジュール試験に向けて実機製作の予算確保および同試験に参加するための国際的な枠組みの整備を進める。

ITER・BAと国内研究との連携

核融合エネルギーフォーラム、学会等の活動、企業説明会の開催等を通して、ITER計画に関する情報の発信と理解の促進に努める。発電ブランケットは国内計画として技術開発を実施。TBM作業会を組織し全日本的に対応する体制を整備。

3

4. 高ベータ定常運転法の確立

現状での技術達成点と開発目標との関係

JT-60において、規格化ベータ値 >4 を達成し、その安定化に必要なプラズマ回転速度を発見(H18)。規格化ベータ値が2.3以上を28秒間維持(H17)。電流及び圧力の実時間分布制御技術を開発(H18,H19)。原型炉に必要な規格化ベータ値(3.5-5.5)の維持に向けた科学的基盤を整えた。

開発目標を達成するための戦略

JT60において、規格化ベータ値2.5-3の維持時間伸長(>25 秒)、高規格化ベータ・高自発電流割合維持のための実時間分布制御手法の実証、自由境界限界を超えた高規格化ベータ値(>3)維持に必要な制御手法の開発を行う。JT60SAを建設し、アスペクト比、プラズマ形状及び帰還制御の最適化等により、原型炉に必要な規格化ベータ値(3.5-5.5)を100秒間程度定常に維持する。これらの成果をITERに反映し、 α 加熱の下で定常運転を実証する。ITERの成果をより高ベータのJT-60SAに反映させ、原型炉に必要な技術を確立する。

ITER・BAと国内研究との連携

広く国内の大学・研究機関の研究者が参加する炉心プラズマ共同企画委員会をのり、JT-60を用いた共同企画及びJT-60SAの設計・研究活動を展開する。

4

5. 原型炉に関わる材料・炉工学技術開発

現状での技術達成点と開発目標との関係

HIFR炉(米国)を利用して9dpaまでの低放射化フェライト鋼材料特性データを蓄積(平成19年2月)。低放射化フェライト鋼の重照射条件での材料特性データの蓄積を目指すとともに、原型炉への適用可能性を評価する。また、低銀比高温超伝導線材の小規模導体を試作(平成19年2月)。

開発目標を達成するための戦略

原型炉と同等の重照射条件での材料特性データの蓄積を目指すと共に、先進超伝導技術、トリチウム安全工学、中性子工学、ビーム工学、高周波工学等の核融合工学技術の高度化を進める。

ITER・BAと国内研究との連携

我が国は低放射化フェライト鋼など原型炉用材料の開発研究を実施。本技術開発で得た照射データはITERにおける発電ブランケットの設計に貢献。国内では核融合ネットワークや核融合エネルギーフォーラムを通して全日本的に対応する体制を整備。

5

6. 原型炉の概念設計

現状での技術達成点と開発目標との関係

「推進方策について」の要求を満たす原型炉概念を創出(H18)。H19は技術的成立性に関わる重要機器の設計検討を実施。今後の課題は発電プラントシステム設計、コスト評価。

開発目標を達成するための戦略

日本が戦略的に取り組むべき設計やサイト依存の安全・環境評価などBAに馴染まない課題に対処のため新たな資金計画が必要。人的資源の大幅な不足に対処するため以下を考慮; 1)若手の確保、2)メーカーの参画、3)国内の大学等との連携・協力。BA以外の国際協力(IEA、日米、日中など)を活用し、効率的な研究分担に留意。

ITER・BAと国内研究との連携

原型炉設計のうちEUとの共通部分についてはBAを活用。BAを契機としてオールジャパン体制(JAEA, 電中研, 大学, 産業界)を構築中。原型炉概念に関する合意形成の枠組みとするため、一層の強化が望まれる。

6

7. 理論・シミュレーション研究

現状での技術達成点と開発目標との関係

ジャイロ運動論モデルを位相空間の連続媒質として解く高精度乱流輸送コードの原型版を開発、及び磁気流体安定性モデルと熱・粒子輸送モデルとの統合等を実施(H19年)。これらにより、炉心プラズマの構造形成の理解や、トカマク型原型炉の燃焼プラズマの解明に向けたシミュレーションコードの統合化目標に向けて進展した。

開発目標を達成するための戦略

個別対応型、要素還元型アプローチによる理論モデル・シミュレーションコード開発から、それらモデル・コード群の組み合わせによる統合シミュレーションコードの開発を戦略的に進める。

ITER・BAと国内研究との連携

核融合エネルギーフォーラムにおいて、BAシミュレーションセンター利用に向けた研究課題、開発戦略および国内連携について議論。

7

8. 社会・環境安全性の研究

現状での技術達成点と開発目標との関係

社会受容性向上のための廃棄物管理の長期戦略(H18,19)。原型炉でのトリチウム計量管理(H17)。今後の課題は安全性に関わる総合的研究開発; 1) 法整備につながる安全性、2) 社会受容性に関わる安全性。

開発目標を達成するための戦略

体系的に開発を進めるため、適正数の研究者の配置、資金計画が急務。社会受容性については原型炉にとどまらない長期的視点が不可欠。安全性の考え方・評価手法に関する世界標準を考慮するため、既存のIEA協力「環境・安全性・経済性」を活用。

ITER・BAと国内研究との連携

国内のポテンシャルを活用した組織化のためオールジャパン体制の確立が不可欠。原型炉の安全性環境適合性評価のため、BAによる原型炉設計と連携を図る。

8

大型ヘリカル装置 (LHD) による 今後の核融合科学研究の進展 について

大学共同利用機関法人
自然科学研究機構 核融合科学研究所
大型ヘリカル研究部 研究総主幹 小森彰夫

写真: 大型ヘリカル装置 (LHD) の真空容器内部 1/41



発表内容

1. 学術研究
 1. 1 ヘリカル型装置による研究
 1. 2 基盤研究の充実
2. 人材育成等
 2. 1 研究人員の充実、研究環境の整備
 2. 2 社会への発信
 2. 3 研究のスピンオフについて
3. 知識・情報基盤の整備
4. 外部評価の実施
5. まとめ



LHD

1. 学術研究 1.1ヘリカル型装置による研究 LHD実験の目的と学術的意義

- 核融合炉を見通せる高温高密度プラズマをLHDで実現し、ヘリカル方式プラズマの学理を体系化
- 精度の高い科学的予言力を持つ物理モデルを確立
- エネルギーの実現に必要な物理的、工学的課題を解明 等

- 核融合に関連する広範な学術分野（プラズマ計測、新材料、超伝導 等）の研究推進



- 他の方式（トカマク）との共通点・違いを体系的に研究し、環状プラズマを総合的に理解
- 高温プラズマの物理に関する基礎的研究
- プラズマ物理をはじめとする関連研究分野の学問的体系化

- 他分野との連携
中性子科学（農学、医学、環境科学 等）
天文学（宇宙プラズマ 等）
放射光・粒子線源（生命科学、分子物質科学 等）

- 社会・経済への貢献
応用研究の推進（プラズマ加熱技術によるセラミックス・陶磁器焼成、超伝導技術による送電・電力貯蔵 等）

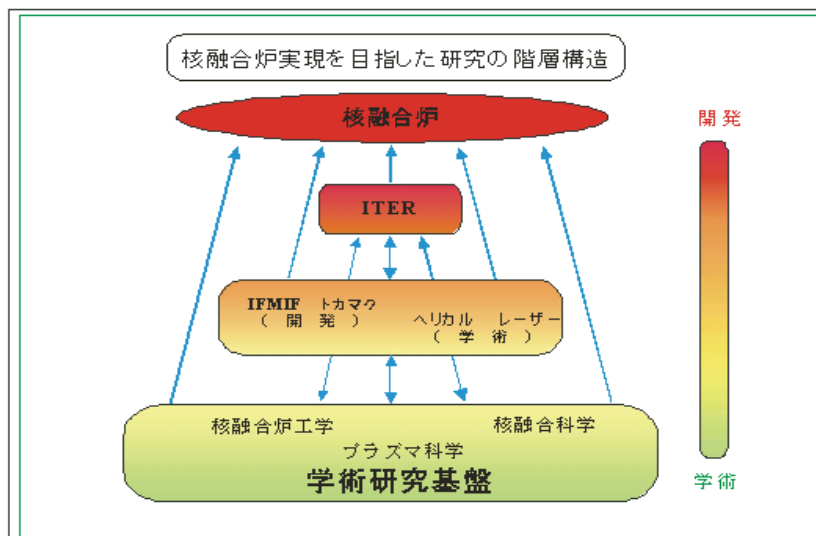
NINS

3/41



報告書「今後の我が国の核融合研究の在り方について」

科学技術・学術審議会 学術分科会
基本問題特別委員会 核融合ワーキンググループ 平成15年1月8日



核融合：長期にわたり、物理と工学の統合が必要

- ・ 課題を定めた開発研究
- ・ 学術基盤の維持・整備

重点化

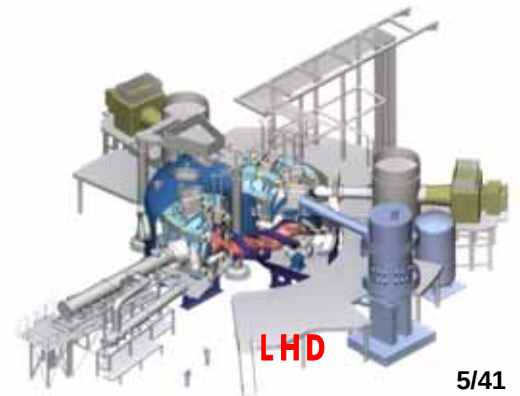
トカマク、炉工学 : 開発
ヘリカル、レーザー : 学術
既存装置の整理: 新たな可能性

**共同利用・共同研究の強化
人材育成**

在り方：グランドデザインについてコンセンサス → 具体的な施策への展開
・法人組織内の閉じた論理による埋没を起こさないような国としての政策的な計画管理

4/41

- (1) 高い核融合三重積 (密度×イオン温度×閉じ込め時間) を実現し、核融合炉で必要なプラズマの閉じ込めの研究を広範に行う
- (2) 高イオン温度プラズマで、プラズマ中の電位差が閉じ込めに与える影響を明らかにする
- (3) 長時間プラズマ生成実験を行い、連続運転が可能であることと高い安定性を実証する
- (4) 核融合炉で効率的な発電に必要とされるプラズマと磁場との圧力比5%以上を実現し、関連する物理を調べる
- (5) プラズマ閉じ込めの改善と長時間運転に必要とされる周辺プラズマ排気装置 (ダイバータ) を設置して、それらの基礎資料を得る
- (6) 高エネルギー粒子のヘリカル磁場中での振舞いを研究し、核融合炉で発生するさらに高エネルギーの粒子を想定したシミュレーション実験を行う
- (7) プラズマの閉じ込めが燃料元素の質量に依存することを明らかにする



5/41



LHD実験のプラズマパラメータにおける成果

平成16年度/19年度 までに達成 [目標値]

中心イオン温度 [1億2,000万度 (密度20兆個/cc)]

1億2,000万度 (密度3兆個/cc アルゴン)

2,300万度 → 7,900万度 (密度20兆個/cc 水素)

中心電子温度 [1億2,000万度 (密度20兆個/cc)]

1億2,000万度 (密度5兆個/cc)

中心密度

200兆個/cc → 1,100兆個/cc

核融合エネルギー炉の
温度条件に到達

核融合エネルギー炉の
密度条件の10倍を達成

体積平均ベータ値 (プラズマ圧力/磁場圧力)

[5% (磁場 1万-2万ガウス)]

4.3% → 5.0%

(磁場 4250ガウス)

プラズマ圧力条件に到達
世界最高の定常ベータ値

定常運転 [1時間 (3,000キロワット)]

31分45秒 (700キロワット) → 54分28秒 (500キロワット)

13分20秒 (1,000キロワット)

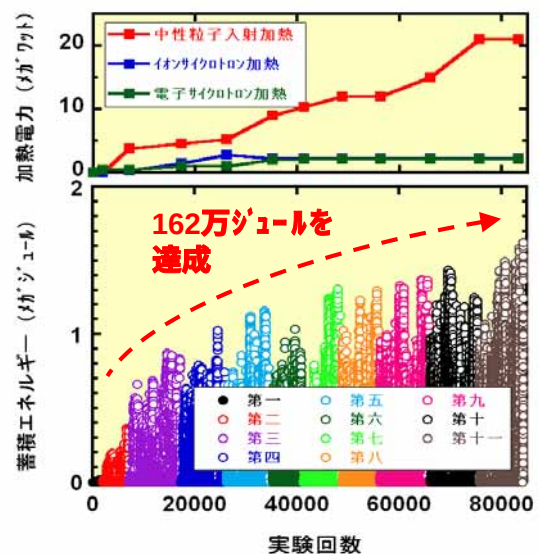
13億ジュール → 16億ジュール

(入力エネルギー) 世界最高の入力エネルギー値

蓄積エネルギー [300-400万ジュール]

131万ジュール → 162万ジュール

核融合臨界条件
1億度、100兆個/cc、1秒
プラズマ圧力条件
ベータ (β) 値5%



世界の核融合科学研究のCOEとして、
さらなる学術研究の推進、物理的・
工学的研究課題の究明と体系化
→ 加熱パワー増強、重水素実験等

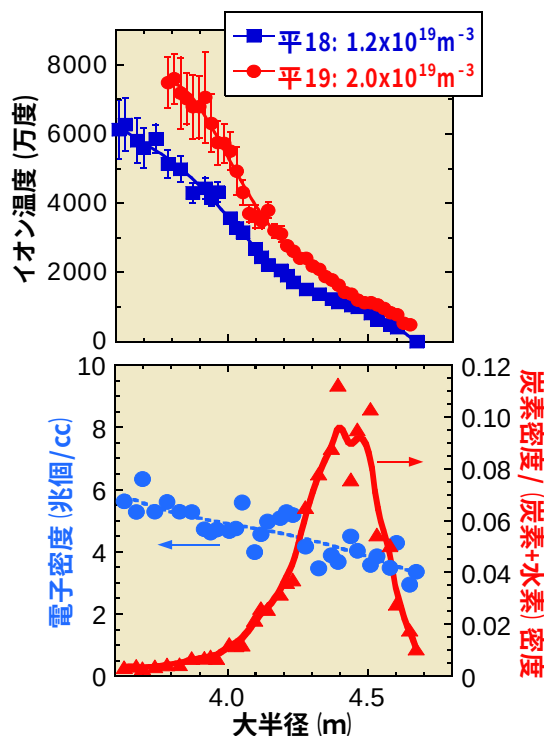
6/41



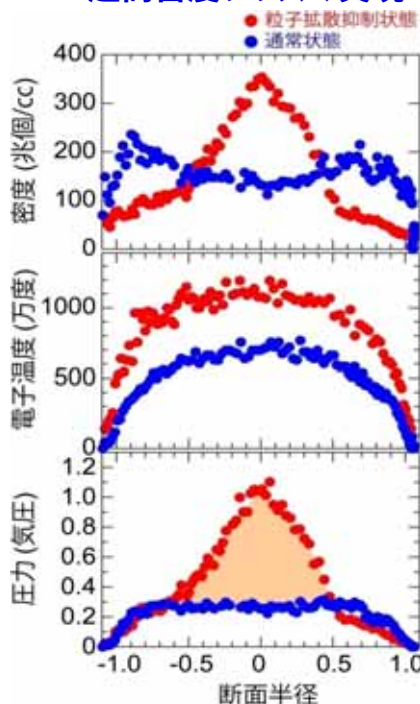
LHD実験:ここ数年間の大きな進展

磁場配位の最適化、垂直中性ビーム入射装置、ローカルアイランドダイバータ

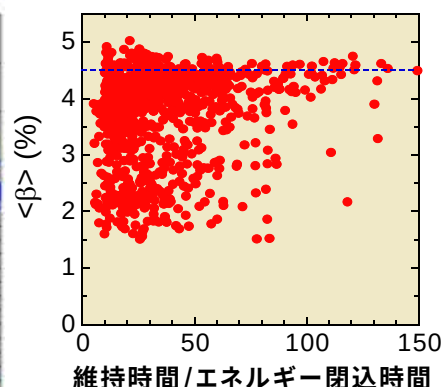
1. 高イオン温度の達成と不純物ホール発見



2. 内部拡散障壁による超高密度プラズマ実現



3. 高圧力 (ベータ値) 5% 達成と安定保持



$$\text{ベータ値} = \frac{\text{プラズマ圧力}}{\text{磁場圧力}}$$

7/41

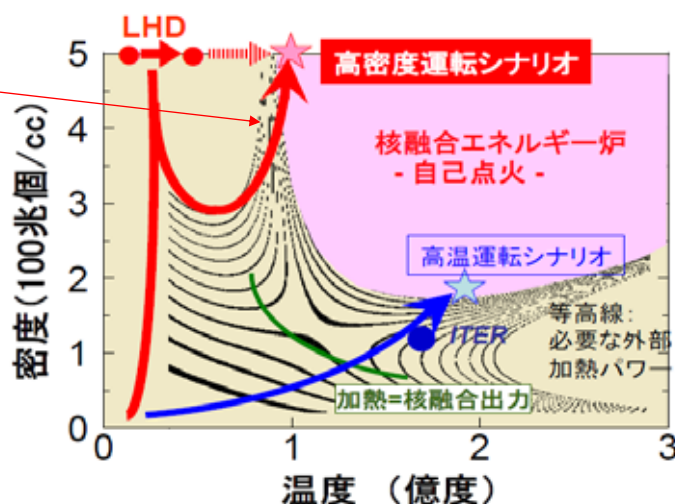
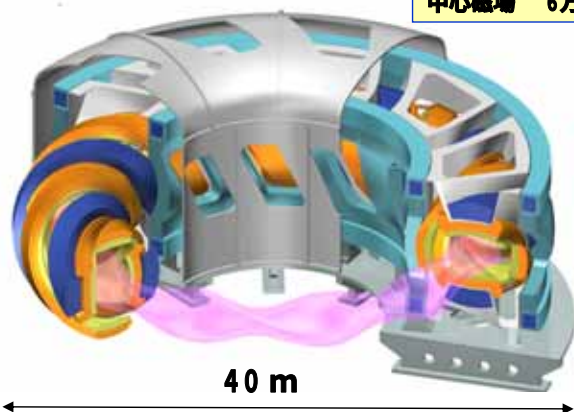


高密度運転のシナリオと新たな展開

内部拡散障壁 (IDB) という新しい物理の発見の効果

- (1) 点火の新しいシナリオ (高密度点火)
- (2) $Q = 1$ を目指した研究の開始

LHD型ヘリカル炉FFHR
電気出力 100万kW
重量 2万5千トン
中心磁場 6万ガウス



- ・ 電流駆動が必要で、不安定性による運転密度限界があるトカマクでは不可能な高密度運転が可能
- ・ 高密度運転はダイバータ熱負荷や第一壁損耗などの工学要求を大きく軽減
- ・ 現在のLHDから炉条件へのステップ幅を縮小

8/41

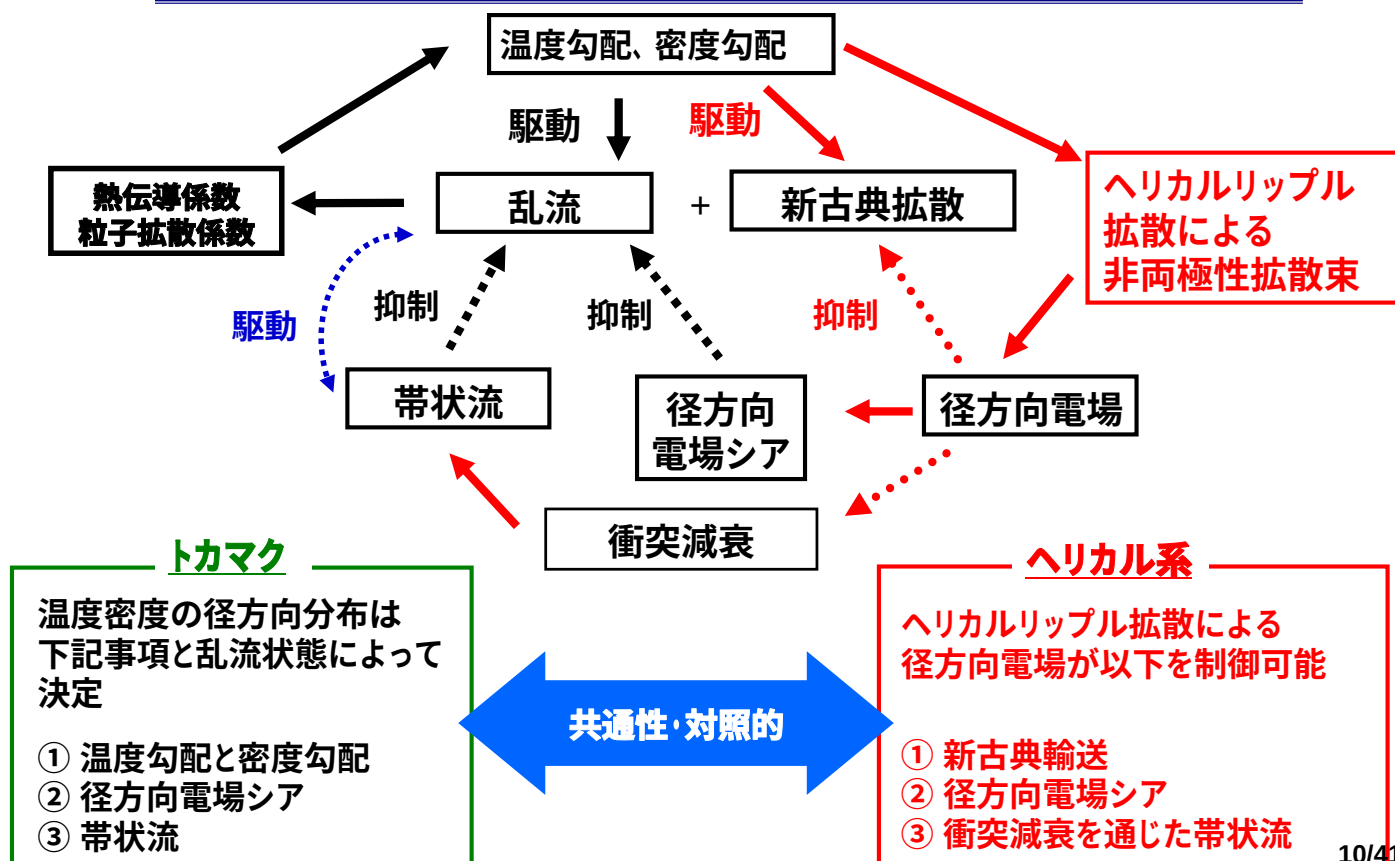
トカマク型実験炉

核融合エネルギー実現



9/41

内部拡散障壁形成などの物理機構の解明 環状プラズマ中の輸送を決定する物理機構 —乱流輸送—



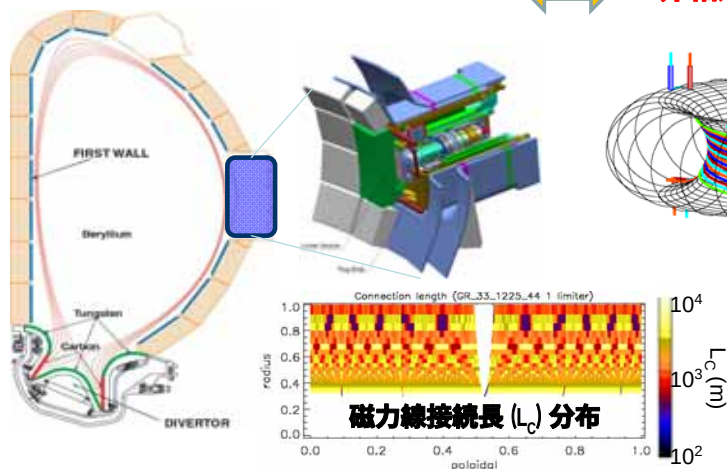
10/41

ITER 放電立ち上げ (リミター要)

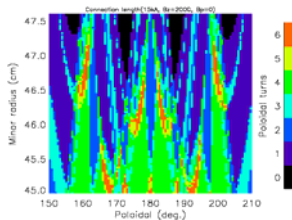
軸対称磁場 + 非軸対称対向壁

ヘリカル擾動磁場制御(ELM, RWM抑制)

非軸対称磁場 + 軸対称対向壁

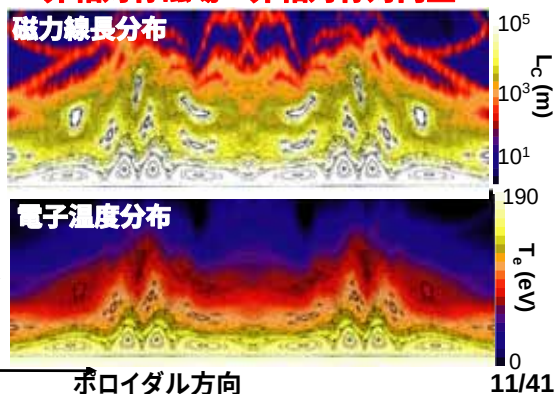


磁気線接続長分布



LHDにおける周辺エルゴディック層解析

非軸対称磁場 + 非軸対称対向壁



輸送特性の変化: 1次元輸送 $\leftrightarrow$ 2,3次元輸送

- 磁場のシアによる引き伸ばし/折りたたみ
- 磁気線の微細構造 (長い磁気線の発生)
- 磁気線に垂直方向の輸送の役割大
- 中性粒子の役割

→ ヘリカル系における研究が概念・手法を包摂

LHD実験の現状と研究計画

基本事項の検証

閉じ込め磁場形状の最適化

ほぼ終了

計画の次の段階

LHDによる科学的実証のための増強計画

本体の改造等と加熱パワーの増強計画
重水素実験計画

重水素 → 閉じ込めの改善
重要課題 (7) の解明

LHD計画の最終目標の達成



LHDによる科学的実証のための増強計画

予算推移(単位:百万円)

H16:5,180 H17:5,180

H18:5,128 H19:5,228

H20:5,278

重水素実験計画

本体の改造等と加熱パワーの増強計画及び重水素実験計画

位置制御ポロイダルコイル磁場電源

本体の改造

閉構造ダイバータ

LHD本体

電子サイクロトロン加熱装置(ECH)

イオンサイクロトロン共鳴加熱装置(ICRF)

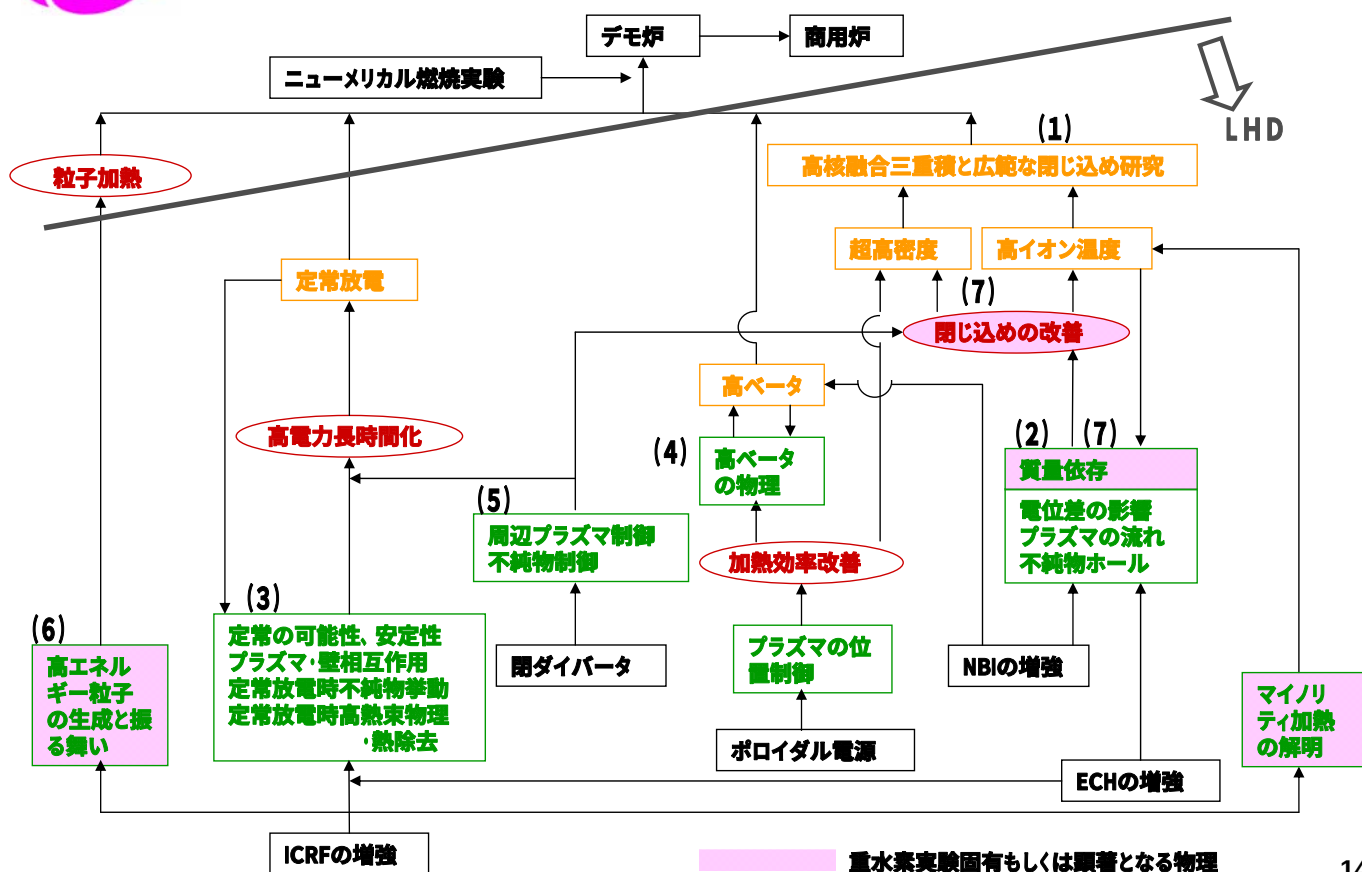
加熱パワーの増強

垂直中性粒子入射加熱装置(NBI)

13/41



LHD機器と重要研究課題解明・目標達成の主シナリオ



重水素実験固有もしくは顕著となる物理

14/41



重水素実験スケジュール

重水素実験準備期間	前期重水素実験					後期重水素実験				重水素実験後
数年間	初年度	2年度	3年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	
放射線発生装置の使用許可申請等	文部科学大臣の施設検査、結果公表									ポストLHD計画
	予備実験、コンクリート遮蔽壁等の所期性能、安全性確保上の態勢を確認し結果公表					(1)核融合三重積(密度×イオン温度×閉じ込め時間)の目標値を実現と核融合炉に必要なプラズマ条件の解明研究 (2)温度(イオン、電子共)が1億℃程度のプラズマの実現研究と核融合炉に必要な高温プラズマの学理研究				
				(2)プラズマ中の電位差が閉じ込めに与える影響の詳細な研究及びプラズマ中の電位差による閉じ込め改善研究						
				(1)(2)(5)閉構造ダイバータ、増強された加熱機器等によるプラズマの閉じ込めの飛躍的な改善研究						
			(5)閉構造ダイバータによる周辺プラズマ粒子制御研究							
	(7)燃料元素の質量にプラズマの閉じ込めが依存することを明らかにする研究									
	(1)(2)重水素と水素の混合プラズマを用いたイオンサイクロトロン周波数領域の電磁波によるイオンを加熱するマイノリティ加熱実験									
					(3)(5)高入射エネルギーによるイオンサイクロトロン周波数領域の電磁波を用いた1時間3MWの定常運転実験と関連する学術研究					
	(6)高エネルギー粒子の振舞いの研究(核融合炉で発生するさらに高エネルギーの粒子のシミュレーション実験)									
	(4)弱磁場で核融合炉での効率的な発電に必要とされるプラズマと磁場との圧力比5%実現と関連する学理研究						(4)1~2テスラで、プラズマと磁場との圧力比5%実現と関連する学理研究			
							前年度までに得られた高性能プラズマの総合性能の伸長およびその長時間保持の研究			
							ヘリカルプラズマの学理の体系化、トロイダルプラズマの総合的理解等			

15/41



国際協力の活用

- ・ 国を代表しての 6つの2国間協定(米、中、韓、露、豪、EU)

Agreement between the Government of Japan and the Government of United States of America on Cooperation in Research and Development in Energy and Related Fields

Japan-Korea Cooperation in the Area of Fusion Energy Research and Related Fields 他

- 3つの多国間協定(IEA: ステラレータ、テキサトル、ST)

International Energy Agency Implementing Agreement for Co-Operation in Development of the Stellarator Concept 他

- ・ 14機関との学術交流協定

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

Princeton Plasma Physics Laboratory

Oak Ridge National Laboratory 他

- ・ 磁場核融合研究に関する国際連携研究所(LIA)設置協定

NIFS、プロヴァンス大学、フランス国立科学センター(CNRS)、九大、阪大

外国人来所数

H16	H17	H18	H19
156	148	39	139

NIFS職員渡航数

H16	H17	H18	H19
152	166	264	271

16/41



核融合科学

天文学

物質科学
ナノサイエンス



	H17		H18		H19	
	人	日	人	日	人	日
日本へ招聘	31	455	62	838	49	831
日本から派遣	23	213	31	324	41	412

17/41



大学等における学術研究の全国展開ネットワーク

共同研究の実施機関 (157機関・2150人)



- ・学術研究の推進
- ・研究者等との緊張感のある共同研究体制の構築
- ・高い研究のレベルの維持

共同研究分野

プラズマ・核融合科学
 高温プラズマ物理学・工学
 高密度プラズマ物理学・工学
 定常プラズマ物理学・工学
 周辺プラズマ物理学・工学
 プラズマ制御物理学・工学
 プラズマ加熱物理学・工学
 プラズマ計測学・工学
 シミュレーション科学
 炉工学
 炉システム学
 プラズマ材料工学
 材料シミュレーション学
 放射線工学
 超伝導工学
 極低温工学
 マイクロ波応用
 原子分子
 プラズマ基礎物理学
 プラズマ応用 など

18/41



共同利用・共同研究、連携研究体制

双方向性を持った共同研究の開始 — 基盤研究の充実

◎一般共同研究

相互交流型共同研究の開始 (平成15年度) — 大学等での萌芽的・独創的研究への参加

	H15	H16	H17	H18	H19	H20
課題数	8	12	17	18	12	12
延べ研究者数	119	107	177	157	106	104

H19年度の課題例

LHD: トカマクとヘリカルでの密度分布の比較 (日本原子力研究開発機構)
相互交流: 内部導体トラス装置における電子バーンシュタイン波の励起実験 (東大)
TST-2球状トカマクにおける高周波電流駆動実験 (東大)

◎LHD計画共同研究

大学等における萌芽的・独創的研究の育成 30数件/年
核融合ネットワーク (核融合科学、炉工学、プラズマ科学の一部)
採択課題の推薦、科研費へ応募

◎双方向型共同研究の創設 (平成16年度)

経費は、参画機関に措置されていた核融合研究予算の約2分の1を核融合科学研究所に移管、核融合科学研究所の運営費交付金として予算執行、双方向型共同研究の企画に基づいて双方向型共同研究委員会が決定

方針: しっかりスタートし、確実に進化することを目指す
新しい芽の創出

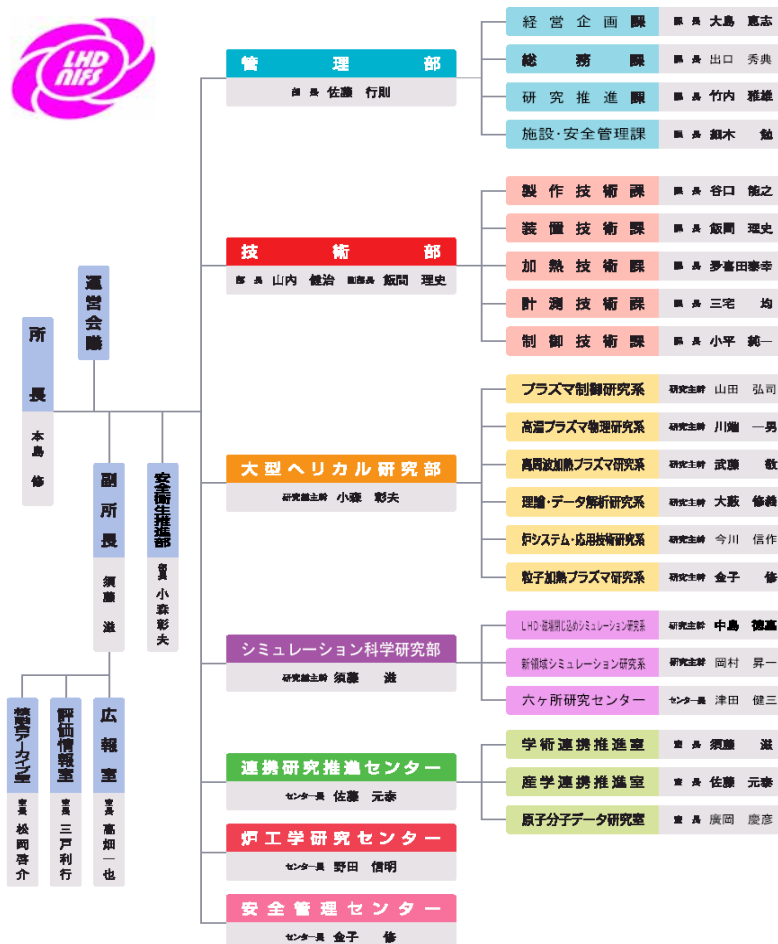
19/41

共同利用・共同研究、連携研究体制 (2)

組織の見直し — 連携研究の強化

- ◎大型ヘリカル研究部
- ◎連携研究推進センター
レーザー高速点火計画
- ◎シミュレーション科学研究部
六ヶ所研究センターの開設

核融合科学研究所を中心にコミュニティの総力を上げた共同利用・共同研究を展開



将来: ITER・BAへの参加拠点

現在: 3次元高速仮想現実システムの開発

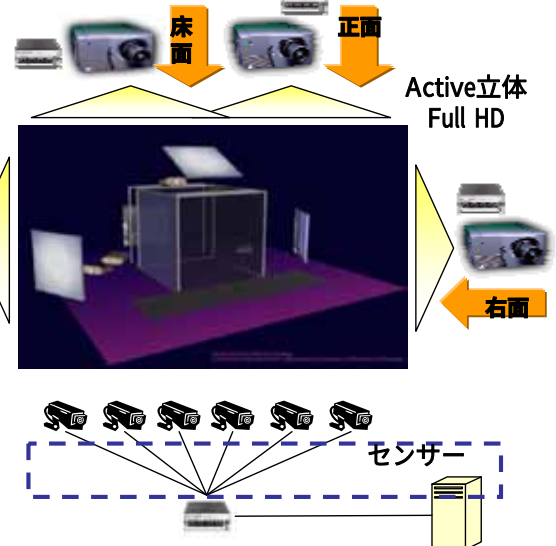
目的・概要

シミュレーション結果の高精度・高速可視化
炉設計・炉構造設計のバーチャルリアリティー
システムによる支援
遠隔バーチャルリアリティーシステム同時運用
開発 (核融合科学研究所 土岐市と六ヶ所村間)

CompleXscope: 3次元体感型バーチャル
リアリティー (VR)

装置の高性能化、多次元可視化手法の開発
(空間3次元、運動量空間2次元)

炉設計・炉構造設計のバーチャルリアリティー
システムによる支援



21/41

H11年4月 炉工学研究センター (FERC) の設立

目的: 大学の炉工学共同研究推進

組織: 専任4 (教授1、助教授2、助手1), 客員2 (教授1、助教授1)

主な研究テーマ: 低放射化構造材料とブランケット工学の基盤技術の開発

H12年4月 強力中性子源要素技術開発共同研究を本格的に開始

(材料照射試験用強力中性子源の開発に関し原研と大学の協力の重要性を指摘する報告 (原子力
部会報告, 平成11年4月))

H15年4月 研究組織を専任7, 客員に拡充

研究テーマ: 材料開発, エネルギー変換システム開発, 超伝導コイル技術開発の3分野に拡大。
(長期的な視野に立った超伝導研究の一部を大型ヘリカル研究部から移管)

H16年4月 炉設計グループ等との連携強化のため, 所内併任3名を設置

核融合炉設計研究体制

炉工学研究センター +

一般共同研究 FFHRヘリカル核融合炉における高密度プラズマの燃焼制御の検討
ヘリカル炉設計における装置サイズ最適化に関するシステム統合研究 等

大型ヘリカル研究部

安全管理センター

LHD型ヘリカル炉FFHRの設計 高密度運転による核融合炉への新たなシナリオと展開

22/41



双方向型共同研究 実施状況

共同研究件数・共同研究者数

年度	16年度	17年度	18年度	19年度	20年度
件数	43件	52件	53件	59件	68件
人数	延べ495人	延べ625人	延べ671人	延べ777人	延べ870人



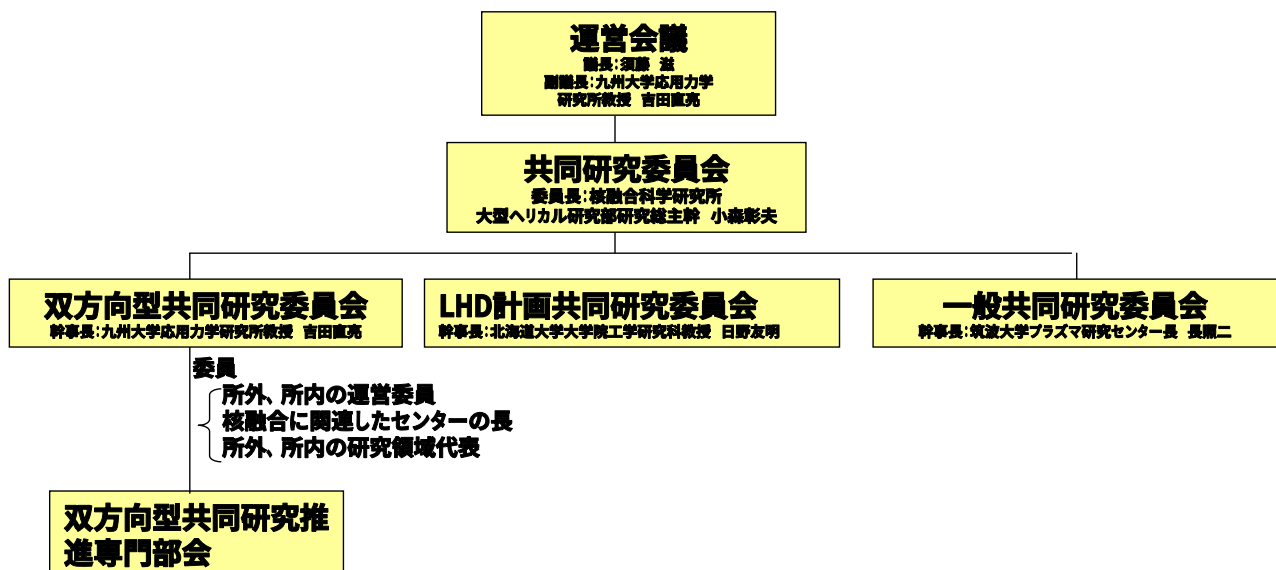
23/41



双方向型共同研究委員会

共同研究委員会のもとに、双方向、LHD計画、一般に対応して、専門部会(委員会)を設置

○ 各専門部会の幹事長(委員長)には、所外委員が就任 — 透明性の確保



委員会	大学等	核融合科学研究所
一般	14 (3)	11 (5)
LHD 計画	9 (3)	6 (4)
双方向	10 (7)	5 (3)

() 内は運営委員数

24/41

双方向型共同研究委員会では、

- ◆ 特に4センターの研究課題が双方向型の方針に合致しているか、
- ◆ 今後、我が国の核融合研究をさらに発展させるため、どのような方向、内容であれば良いか、
- ◆ 4センター以外から提案された新規研究課題を同等の条件で採択するには、どのようなガイドラインが必要か、あるいは、どのような条件をクリアしていれば良いか、
- ◆ 必要な予算は大枠としてどのような配分であれば良いか、また、双方向型の概算要求案の検討等について、年間を通して審議を行っている

開催回数

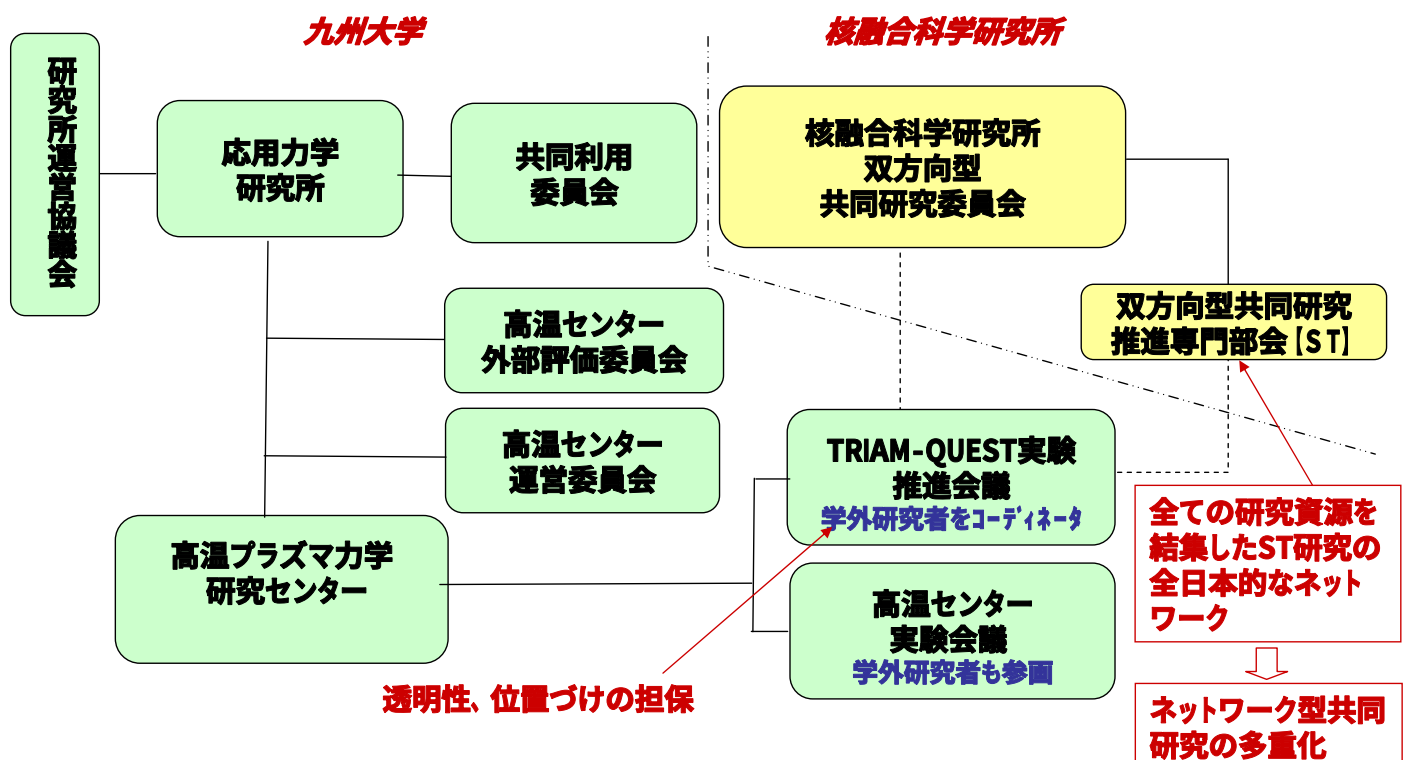
平成16年度 2回 平成17年度 7回 平成18年度 9回 平成19年度 9回

予算配分 (千円)

	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度
全体	623,849	623,849	673,675	673,575
筑波大	150,282	150,282	105,427	150,282
京都大	150,096	150,096	105,297	105,787
大阪大	93,820	93,820	93,300	93,790
九州大	229,651	229,651	368,951	323,016
専門部会			700	700

25/41

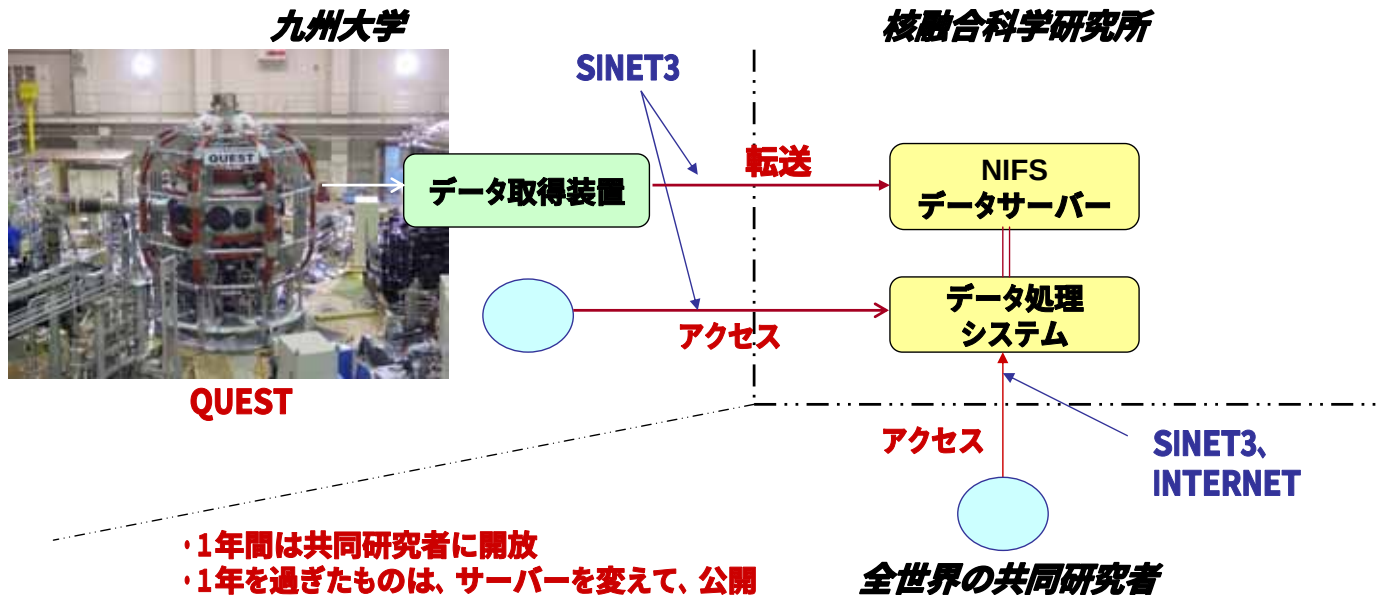
新しい研究体制の構築 / 双方向型共同研究の下日本全国の共同研究者の装置としての位置づけ



NIFSのデータ処理システムを利用することによる省力化
データ処理の透明性の確保
データの公開



他センターでも採用の可能性



27/41

- 共同利用・共同研究の強化
体制の強化、研究企画の透明性・データを含む情報公開が主軸
- 外部評価の実施
平成17年度 共同利用・共同研究の外部評価実施 — 高い評価を得る
- 平成20年度の例
 - ・ 国内共同研究 一般 (339件)、LHD計画 (34件)、双方向型 (4大学と実施、68件)
 - ・ 国際共同研究 IEAステラレータ協定、日米協力、日韓協力、国際拠点形成 等
- 共同研究内容の推移
LHD関連研究以外は、主にスーパーコンピュータを利用する共同研究 → 多彩な内容に発展



28/41



2. 人材育成等 2.1 研究人員の充実、研究環境の整備 多様な研究の機会提供

LHDは所外研究者を含む「LHD実験会議」で運用 **一透明性の確保一**

ミッション + テーマ枠制を採用

青字で示したミッションのリーダーには所内若手を起用

黒字の物理研究テーマのリーダーには所外共同研究者、サブリーダーには所内若手を起用



自由な発想に基づく提案、運用の透明性

担当研究系	主幹 主幹代理	テーマ枠	リーダー	サブリーダー	提案数
プラズマ制御	山田弘司 長山好夫	ローカルアイランドダイバータと 閉じ込め改善	坂本隆一	小林政弘	22(1)
		周辺プラズマ物理とプラズマ壁 相互作用	大野哲靖 (名大)	増崎貴 芦川直子	45(15)
高温プラズマ 物理	川端一男 渡辺清政	高 β	大館暁	榊原悟	11(1)
		コアプラズマ輸送	福田武司 (阪大)	田村直樹 舟場久芳	37(5)
		MHD平衡と安定性	中村祐司 (京大)	成嶋吉朗 渡辺清政	25(3)
高周波加熱 プラズマ	武藤敬 下妻隆	定常運転	斉藤健二	吉村泰夫	14(0)
		波動加熱物理	田中仁 (京大)	伊神弘恵 岡哲夫	18(3)
粒子加熱プラ ズマ	金子修 居田克己	高イオン温度	横山雅之	永岡賢一	17(1)
		高エネルギー粒子閉じ込め	村上定義 (京大)	徳沢季彦	18(2)
炉システム応 用技術	今川信作 三戸利行	装置工学実験	岡村哲至 (阪大)	柳長門	9(2)

29/41



若手研究者育成

at 2007.10.01

	平成16年度 夏島セミナー (Aug.19-21) 夏の体験入学 (Aug.2-6) アジア冬の学校 (Dec.9-11)	平成17年度 夏島セミナー (Jul.28-30) 夏の体験入学 (Aug.18-24) アジア冬の学校 (Dec.12-16)	平成18年度 夏島セミナー (Jul.27-29, Jul.31-Aug.2) 夏の体験入学 (Aug.7-11) アジア冬の学校 (Feb.27-Mar.2)	平成19年度 夏島セミナー (Jul.29-Aug.1) 夏の体験入学 (Aug.8-10) アジア冬の学校 (Jan 2008) ITER サマースクール (Jul.16-20)
夏の体験入学・アジア冬の学校				
総合研究大学院大学				
学生数	23	25	21	20
博士取得者数	6	12	4	3
連携大学院				
名古屋大学工学研究科	14	11	10	6
名古屋大学理学研究科	8	7	4	5
北海道大学	0	1	2	1
富山大学	0	14	15	15
特別共同利用研究員				
国立大学法人から	27	22	24	14
公立大学から	0	0	0	1 (富山県立大)
私立大学から	4	4 (上智大, 成蹊大, 東海大, 立教大)	4 (上智大, 成蹊大, 東海大, 藤田衛生大)	4 (上智大, 成蹊大, 東海大, 福岡工業大)
COE研究員採用実績	12	11	8	9

30/41



ITPA活動、ITERへの参加状況

ITPA

トピカルグループ名	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度
輸送物理	2 (2)	9 (8)	5 (4)	2 (1)
閉じ込めデータベース&モデリング	0	3 (1)	0	2 (1)
MHD安定性	1 (1)	4 (4)	1 (0)	9 (7)
周辺及びペDESTAL物理	2 (1)	4 (4)	4 (4)	2 (1)
スクレイプオフ層及びダイバータ物理	1 (2)	2 (3)	1 (1)	2 (3)
定常運転及び制御	1 (0)	1 (1)	1 (0)	0
計測	3 (2)	2 (0)	4 (4)	0
合 計	10 (8)	25 (21)	16 (13)	17 (13)

ITER

表内の数字は参加人数で () 内は発表件数

所属	職名	氏名	派遣期間	用務	派遣先
プラズマ制御研究系	助教	小林政弘	2005/9/25 ~ 2006/3/25	平成17年度大学教育の国際化推進プログラム(海外先進研究実施支援)	ITER Joint Works Site ガルヒン(ドイツ) 核融合エネルギーフォーラムから受賞 「核融合エネルギー奨励賞 優秀賞」
炉工学研究センター	助教	妹尾和威	2008/2/1 ~ 2008/12/15	ITER導体性能の評価、解析	日本原子力開発研究機構 ITER超伝導磁石開発グループ ITER協力調整グループ 31/41



2. 2社会への発信 社会から理解を得るための取り組み

核融合科学研究所オープンハウス(オープンキャンパス)

年度	実施年月日	参加者数	実施テーマ
H16	16.10.30(土)	約2,500名	めざせ、地上の太陽
H17	17.8.20(土)	約2,500名	未来を照らすプラズマとエネルギー
H18	18.10.28(土)	約2,500名	ようこそ!エネルギー科学の最先端へ!
H19	19.11.10(土)	約3,000名	未知を拓き、未来を創る

核融合科学研究所見学者数

年 度	見学者数
H16	2,416
H17	2,371
H18	3,038
H19	2,763

核融合科学研究所市民学術講演会

年度	土岐コンファレンス期間中		その他期間	
	開催年月日	参加者数	開催年月日	参加者数
H16	16.10.6(水)	約80名		
H17	17.12.8(木)	約100名		
H18	18.12.7(木)	215名	18.7.22(土)	約170名
H19	19.10.17(水)	183名	19.7.21(土)	235名

WEBによるNIFS活動報告

年度	件数
H16	8
H17	21
H18	26
H19	20

WEB、メールによる質問/回答数

年度	件数
H16	9
H17	8
H18	12
H19	11

配信数
H17 220
H19 371

核融合科学研究所市民説明会

年度	土岐市内			多治見市内			瑞浪市内		
	開催期間	会場数	参加人数	開催期間	会場数	参加人数	開催期間	会場数	参加人数
H18	8/15(火) ~ 8/19(土)	9	126	8/19(土) ~ 8/27(日)	14	129	9/14(木)	1	37
H19	8/2(木) ~ 8/10(金)	9	329	8/16(木) ~ 8/24(金)	14	89	8/30(木)	1	36

平成20年度においてキッズエネルギー科学館開館予定

32/41



重水素実験のための協定書締結に向けた活動

(市民説明会)・・・平成20年度においても実施予定

市民講演会：対象は主に土岐市、多治見市、瑞浪市の市民

[平成18年度:7月22日に実施、170人が参加、平成19年度:7月21日に実施、235人が参加]

議員への説明：3市を地元とする県会議員、3市の市議会議員 [平成20年度も逐次実施]

市民説明会：土岐市、多治見市＝校区を基本に計23箇所で開催

[平成19年度:土岐市(8/2～10)、多治見市(8/16～24)計23会場で実施]

瑞浪市＝一箇所で開催 [平成19年度:8月30日に実施]



計24箇所で開催、平成18年度:参加者約300人、平成19年度:参加者約450人

(重水素実験安全評価委員会) 委員17名+オブザーバー

重水素実験計画について、安全性評価と実験環境評価のため、設置

委員メンバー：トリチウム、放射線、プラズマの専門家、地元関係者、一般公募に応募された3市在住者、在勤者、ジャーナリスト等

オブザーバー：地元自治体(岐阜県、土岐市、多治見市、瑞浪市)の担当部長

開催日：平成19年1月19日(第1回)、2月27日(第2回目)、3月19日(第3回)、4月21日(第4回)、5月24日(第5回)、9月8日(第6回)、11月4日(第7回)



委員会より検討内容をまとめた中間報告が提出された(6月12日)

地元自治体窓口やホームページ上で意見募集(パブリックコメント)(6月18日～7月17日)



寄せられた意見を参考にして、さらに審議がなされ、最終報告が取りまとめられた(11月16日)

33/41

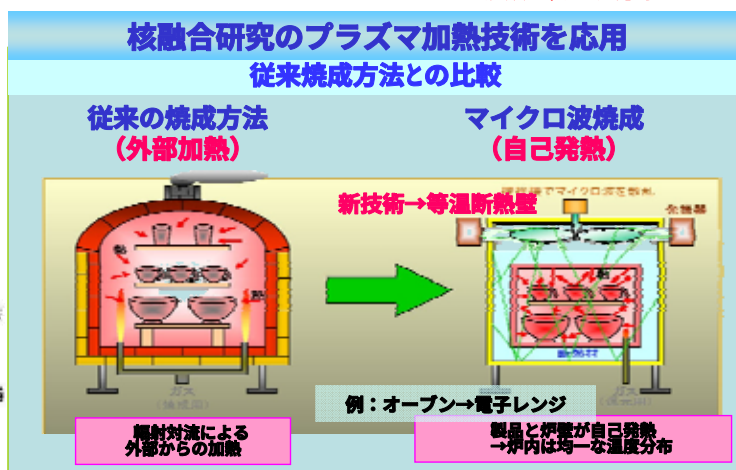


2. 3研究のスピノフについて 核融合研究の波及効果・イノベーション

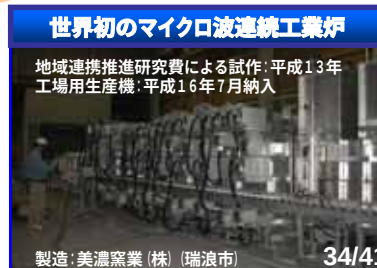
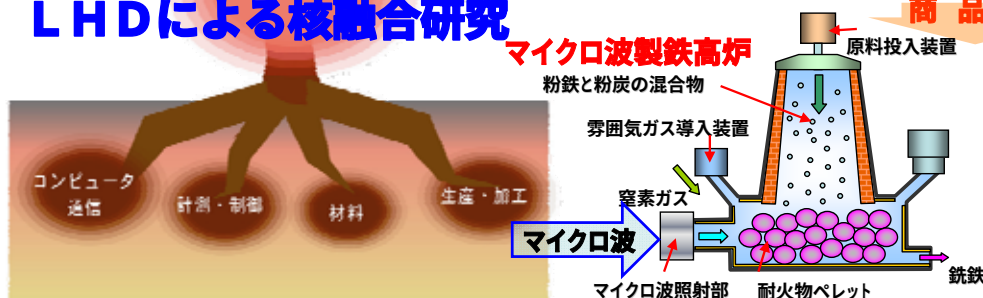
広範な波及効果・相乗効果が期待

<波及効果の例>

マイクロ波焼成技術



LHDによる核融合研究





3. 知識・情報基盤の整備

国際ステラレータ/ヘリオトロン・データベース活動

国際エネルギー機関 (IEA) 実施協定 「ステラレータ概念の開発」 に基づく国際共同作業

✓ 9 つの主たるヘリカル系実験:

日本: LHD, CHS, Heliotron E, Heliotron J

ドイツ: W7-A, W7-AS, (W7-X)

米国: ATF, HSX

スペイン: TJ-II

→ 3000 以上の実験データ

0次元、1次元分布、MHD平衡・不安定性、
周辺プラズマ、と段階的に高度化

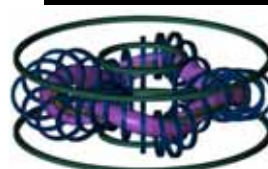
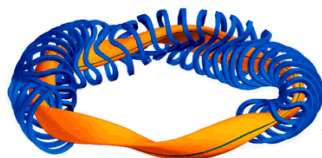
調整作業会による組織的拡大・進展

→ 大規模計算コードベンチマーク
統合シミュレーション開発
ヘリカル炉設計

閉じ込めデータベース:

核融合研・マックスプランクプラズマ
物理研 (独) 共同ホスト

<http://iscdb.nifs.ac.jp/> にて公開



35/41



各種のデータベースの作成と公開

原子・分子データベース

原子分子数値データベース

電子衝突による電離、励起、再結合断面積及び速度係数、重粒子衝突による荷電交換断面積、
分子の各種衝突過程断面積及び速度係数、固体のスパッタリングイールド、固体からの後方散
乱係数

文献検索データベース

プラズマ・核融合科学、原子分子物理学、原子分子衝突過程

アクセス数 H15年度 2770件 H19年度 3710件

超伝導データベース

核融合科学研究所、日本原子力研究所、および九州大学応用力学研究所の3つの研究所が協力
し、超伝導マグネットシステムに関するデータベースを構築

3つの研究所に蓄積された研究開発の成果を取りまとめたものであり、将来の大型核融合装置の
設計、建設、運転のデータベース

核融合アーカイブズ

日本における核融合研究の歴史的評価を行うとともに史料の公開を通して社会に対する説明責任を
果たすことが出来るよう歴史的史料を収集、整理、登録

総合研究大学院大学、国文学研究資料館、高エネルギー加速器研究機構との緊密な共同研究によ
り、国際標準であるEAD (Encoded Archival Description, 符号化記録史料記述)による検索を一部史
料について開始

公開は、基準作成後、実施予定

36/41



4. 外部評価の実施 法人化後の実施状況

1. 国立大学法人評価委員会による評価

平成17年度	平成16年度の業務実績評価
平成18年度	平成17年度の業務実績評価
平成19年度	平成18年度の業務実績評価
平成20年度	平成19年度および中期目標期間の業務実績評価 (実施予定)

2. 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会による評価

平成16年度	大型ヘリカル装置 (LHD) 研究、シミュレーション研究
平成17年度	共同利用・共同研究、炉工学研究センター、安全管理センター
平成18年度	国際共同研究、連携研究推進センター、技術部
平成19年度	大型ヘリカル装置 (LHD) 研究、シミュレーション研究

3. 核融合科学研究所双方向型共同研究外部評価委員会による評価

平成20年度	双方向型共同研究 (実施中)
--------	----------------

4. 社団法人 低温工学協会による評価

平成17年度	超伝導・低温グループ
--------	------------

37/41



平成19年度 大型ヘリカル装置 (LHD) の外部評価

以下抜粋

核融合炉心プラズマを見通すことを目指して、プラズマの高性能化を図ることができたか

LHD では、重点研究課題に応えるために必要とされているプラズマ性能の目標が設定されている。これらの目標に対して、NBI の増強、ペレット入射装置の開発など、多くの適切な機器整備が行われ、超高密度プラズマの生成 ($1.1 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$)、 β 値 (5%)、長時間プラズマの維持 (54 min)、中心イオン温度 (6.8 keV) 及び中心電子温度 (10 keV) を達成したことは、核融合炉心プラズマを見通すことを目指してプラズマの高性能化を図る観点から、高く評価できる。

核融合三重積の増大、温度の増大等、高性能化は着実に進展しており、ヘリカル型核融合炉の実現に対する新しいアプローチを提示する視点から大きな飛躍といえる。

今後の重水素実験の開始により、更なる高性能化が期待される。

一方、長時間実証実験では、加熱パワーは不十分と考えられ、今後の加熱機器の合理的な整備計画が必要であろう。

環状プラズマの総合的理解と核融合炉心プラズマの実現に向けた学術研究を進めることができたか

核融合炉心プラズマの実現には高温・高密度プラズマを長時間閉じ込めが必要であり、さらに経済的な炉設計を行うには電磁流体力学的に安定な高ベータプラズマを必要とする。このような観点から、LHD 研究において高密度・高ベータプラズマの閉じ込め研究、圧力駆動型電磁流体力学的不安定性の研究、閉じ込め改善を実現する内部輸送障壁 (ITB) や帯状流 (Zonal Flow) の研究等、環状プラズマの総合的な理解を図る広範な学術研究が、プラズマパラメータの精確な測定を用いて、トカマクとの対比を考慮しつつ進展していることは、高く評価できる。

38/41



平成19年度 大型ヘリカル装置 (LHD) の外部評価 (2)

プラズマの高性能化に必要となる物理機構の解明などを、研究所や大学・附置研究所・センターの装置・設備を有機的に活用し、双方向型共同研究として進めることができたか

双方向型共同研究のシステムを活用し、外部に出向いて、極めて活発な、また幅広い共同研究が行われており、多くの成果を挙げている。これらの共同研究の成果はLHD 研究の目標の1 つである環状プラズマの総合的理解を深めるものとなっており、評価できる。京都大学 (Heliotron J) では閉じ込め改善とヘリカル磁場構造の関係の共同研究が、九州大学 (TRIAM-1M/QUEST) では高温プラズマ定常化とプラズマ壁相互作用の共同研究及び球状トラスに関わる研究計画が、筑波大学 (GAMMA10) ではプラズマ閉じ込め改善の物理機構解明の共同研究が、進展している。これらの共同研究において、研究所や大学・附置研究所・センターの装置・設備を有機的に活用し、プラズマの高性能化に必要となる物理機構の解明を一段と加速するよう期待する。

COE としての役割を果たすことができたか、さらに、国際的な連携研究・貢献などにより、国際的にもCOE としての役割を果たすことができたか

NIFS は高い研究レベルと国際的共同研究の中核機関としての両面で、COE の役割を十分果たしている。特にLHD は国内において重点化装置として位置づけられ、環状系プラズマ研究において国際的なCOE としての役割を大いに果たしている。また日米、日欧、日中、日韓等の連携体制を整備し、多くの国際共同研究、国際連携の窓口として、国際的な核融合研究のリーダーシップを発揮している。これらの点から高く評価できる。

39/41



平成19年度 大型ヘリカル装置 (LHD) の外部評価 (3)

国際的に活躍できる人材の養成を行えたか

NIFS の大学院教育は、(1) 総合研究大学院大学物理科学研究科の基盤研究機関の一つ (核融合科学専攻) として、(2) 名古屋大学大学院工学研究科及び理学研究科、北海道大学大学院工学研究科、富山大学大学院理工学教育部との連携大学院、及び (3) 特別共同利用研究員としての他大学の学生の教育委託の3 つによって行われている。LHD 実験では、この3 つの人材養成の外に、一般共同研究、LHD 計画共同研究及び双方向型共同研究の展開によって、全国の大学における多くの学生の教育・研究にも貢献している。

総合研究大学院大学の核融合科学専攻としてはこの4 年間に定員を超える博士号取得者を送り出しており、その6 割がLHD 研究に関連する課題で学位を取っている。外国人留学生も多く、LHD 実験の教育面での効果と国際貢献は大きい。また日米、日欧、日中、日韓等の国際連携において、大学院生や若手研究者の海外派遣や、海外の若手研究者の招へいを積極的に行っており、国内外の若手研究者を国際的に活躍できる人材として養成していると評価できる。更にポスドク枠として数名のCOE 研究員を雇用しており、若手研究者の育成に努力しているのは評価できる。

しかし、ITER を視野に入れた国際的に真に活躍できる人材の養成には更なる努力が望まれる。そのためには独自の積極的な人材養成プログラムを持ち、戦略的に取り組む必要がある。

40/41



5. まとめ

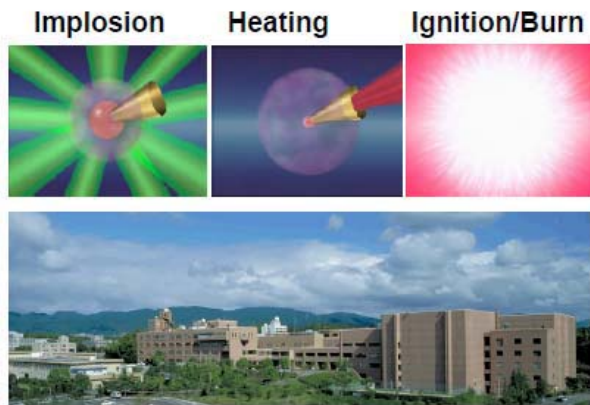
1. ヘリカル方式は、LHDによる研究を中心に、**ヘリカルプラズマの高性能化が、磁場配位の最適化研究などにより、着実に進展している。**また、ヘリカルプラズマの高性能化は、世界のヘリカル研究と連携しつつ、図られている。
2. 大型装置では得られないプラズマ領域を実現できる斬新なアイデアに基づく中小規模のプラズマ実験装置を用いた研究、例えば、球状トラスや新形式の内部導体等の研究など大学等における核融合プラズマ科学の基礎実験に関し、核融合研は、共同研究体制を充実させることにより、その進展に大きく寄与している。即ち、**双方向性を持った共同研究である、双方向型共同研究の創設、一般共同研究における相互交流型共同研究の開始、LHD計画共同研究などにより、大学における萌芽的、独創的研究の進展を支援するとともに、LHDにその成果を活かす体制を整え、今後、さらなる成果が期待される。**
3. LHDでは、研究者の育成のため、若手研究者にテーマリーダーを勤めてもらうなどして、**多様かつ魅力ある研究の機会を提供することに努めている。**また、総研大学の基盤研究機関の一つであることに加えて、連携大学院制度、特別共同利用研究員制度を活用して大学院生の教育を積極的に行っている。さらに、一般共同研究、LHD 計画共同研究及び双方向型共同研究の展開によって、全国の大学における多くの学生の教育・研究にも貢献している。
4. 国際協力において、大学院生や若手研究者の海外派遣や、海外の若手研究者の招へいを積極的に行っており、**国内外の若手研究者を国際的に活躍できる人材として養成している。**さらにポスドク枠として数名のCOE 研究員を雇用しており、若手研究者の育成に努力している。
5. 社会への発信については、**市民説明会、市民学術講演会、一般公開などを積極的に実施している。**重水素実験に向けた協定書の締結が当面の課題である。
6. **知識・情報基盤の整備などにおいても、ステラレータ協定に基づく国際共同作業により「閉じ込めデータベース」、また、「原子・分子データベース」などを作成し、大きく貢献している。**

41/41

レーザー核融合研究の進展



原子力委員会核融合専門部会（第13回）
ヒアリング資料
平成20年 4月25日



- ・ FIREX計画
- ・ 重点化以後の進展
- ・ 人材育成、社会への発信

大阪大学
レーザーエネルギー学研究センター
白神 宏之

1

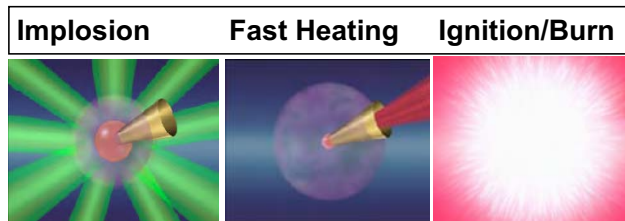
FIREX計画 ： 高速点火レーザー核融合

- ・ 高速点火シナリオ
- ・ FIREXプロジェクト
- ・ 世界の動向

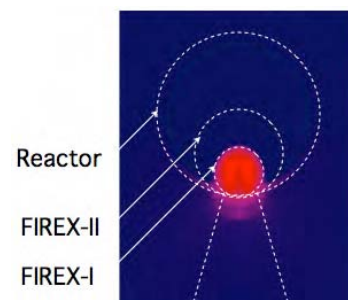
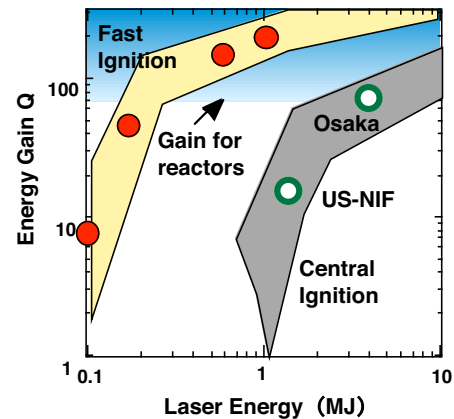
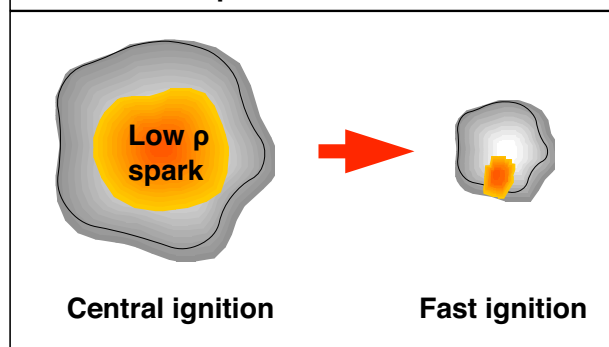
高速点火方式はコンパクトな核融合発電として有望である



ILE OSAKA



同じ燃料厚さ (ρR) なら同じ燃焼率 Q

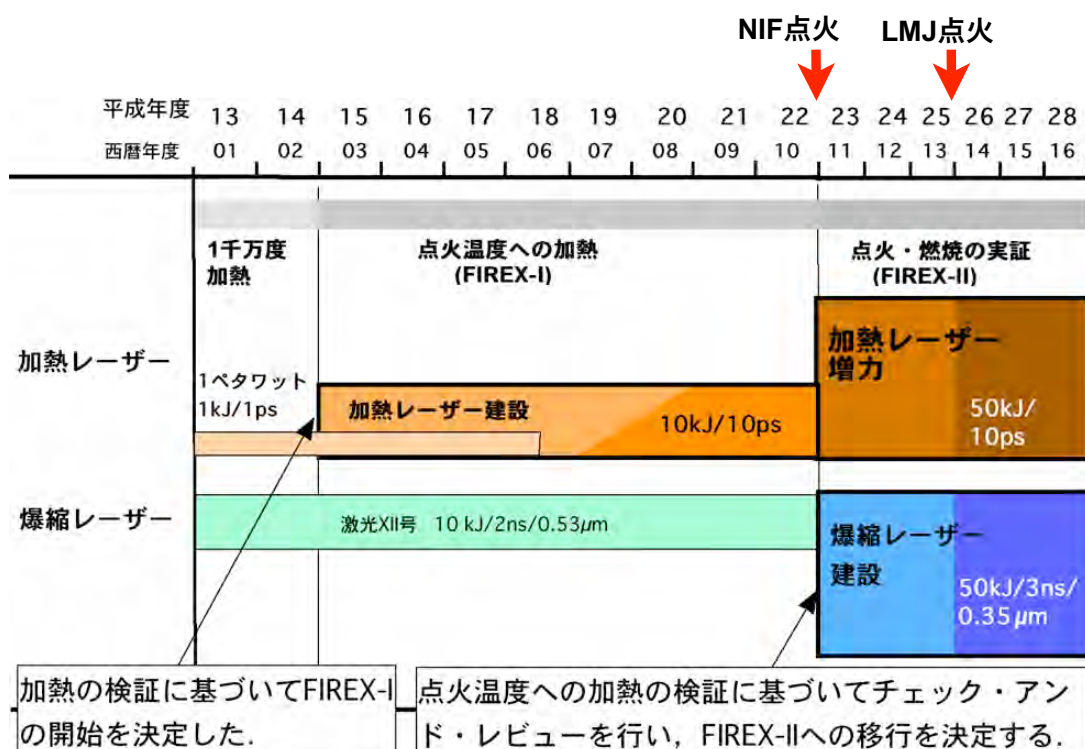


3

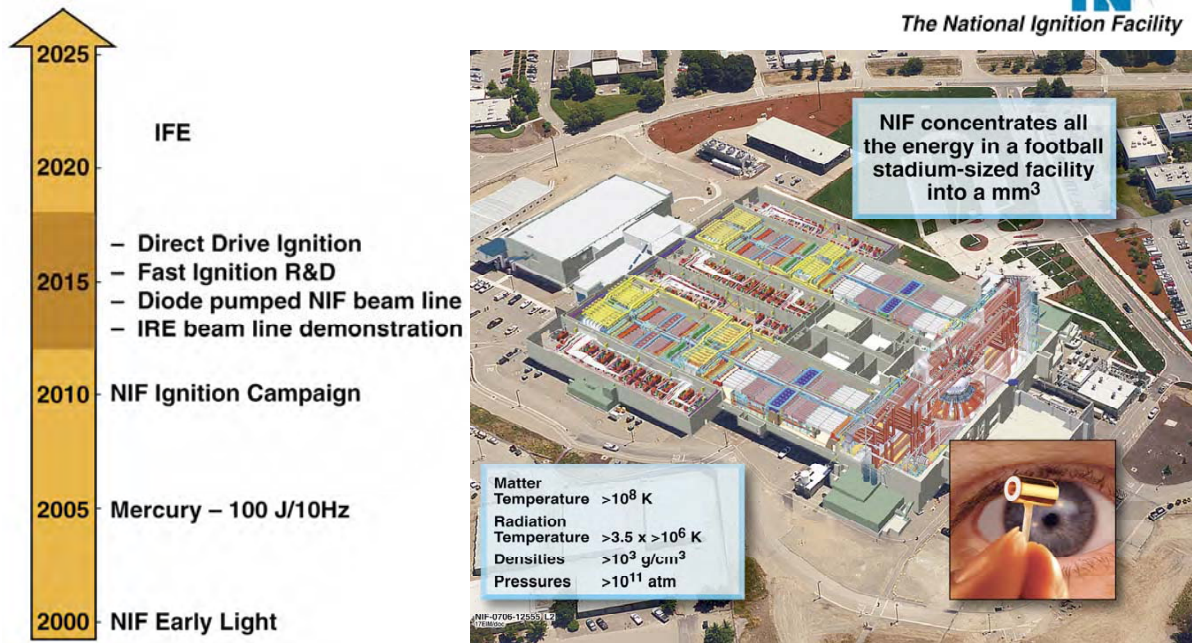
FIREX-IIの早期立ちあげにより, NIF・LMJと合わせて 核融合点火・燃焼の実現を目指す



ILE OSAKA



4



重点化以後の進展 ： FIREX-Iプロジェクト

- ・ プラズマ物理
- ・ ターゲットデザイン
- ・ レーザー建設

重点化以後の進展：FIREX-Iプロジェクト

5-keV 加熱が期待される

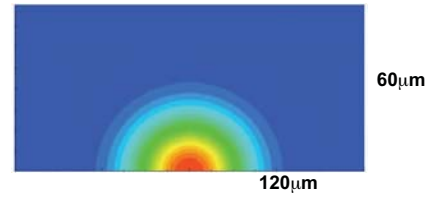
燃料加熱2Dシミュレーション

•Core heating by fast electron is treated with uniform heating model

•Compressed core :

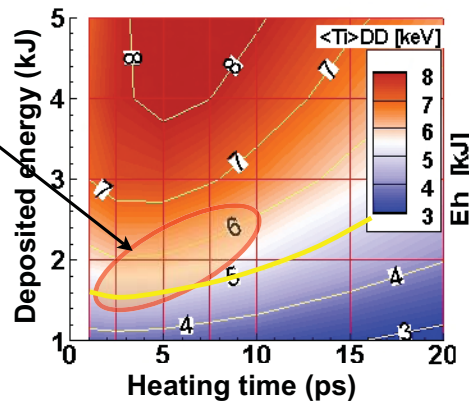
$$\rho_0 = 200\text{g/cc}, M_f = 2\text{mg and } \rho R = 0.2\text{g/cm}^2$$

Density : Gaussian profile: $\rho_0 = 200\text{g/cc}$



CD

FIREX-I
パラメータ
(加熱効率実績に基づく)



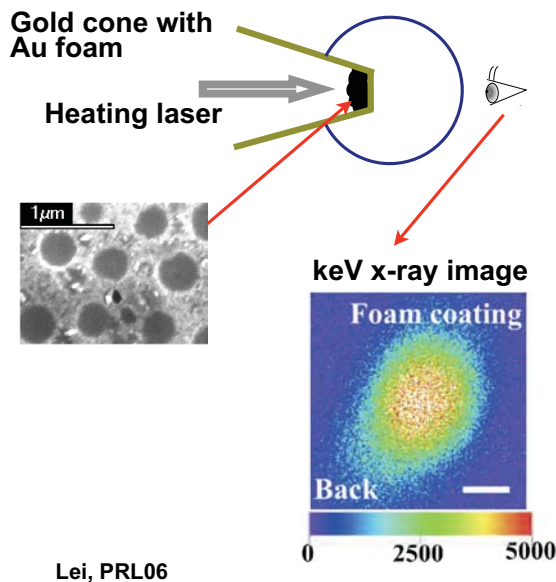
Johzaki 07

7

コーン性能の向上

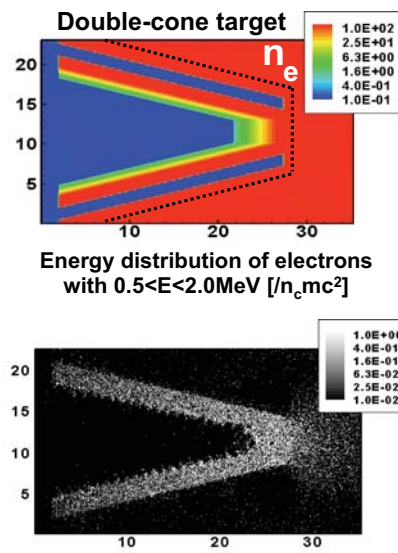


① 低密度金フォームにより
結合効率が向上する



Lei, PRL06

② 2重コーンにより
高速電子輸送が改善される



Nakamura, PoP07

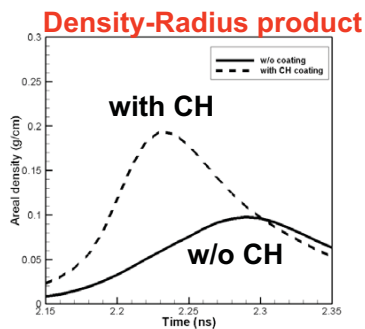
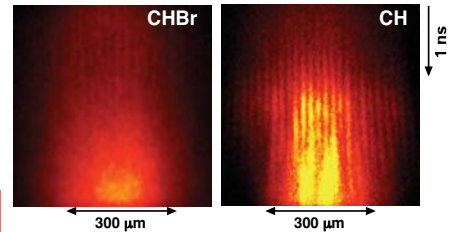
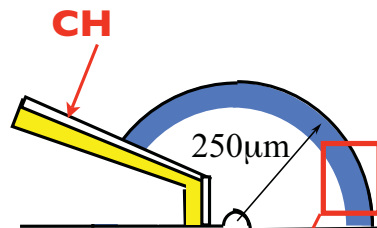
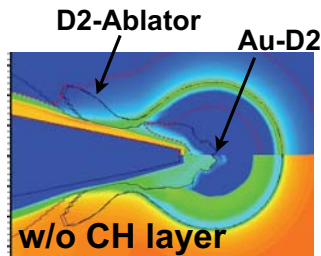
8

爆縮密度の向上、さらにアブレーションの安定化

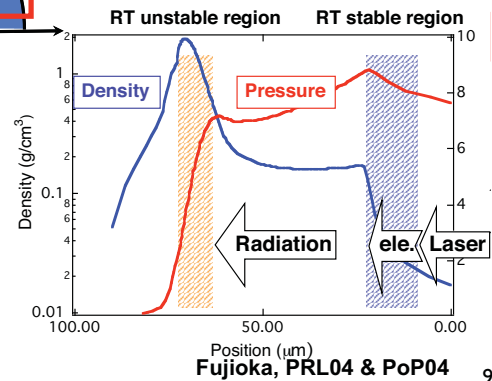
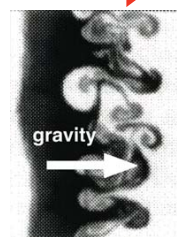


低Z物質 (CH) コートによりコーン
材質の金の膨張を抑制、燃料密度向上

ダブルアブレーションにより
レーリーテラー不安定性抑制



Nagatomo



Fujioka, PRL04 & PoP04

9

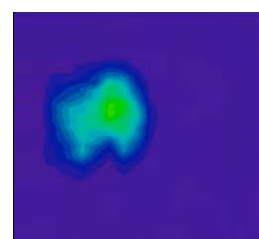
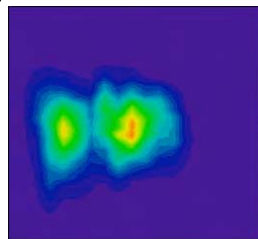
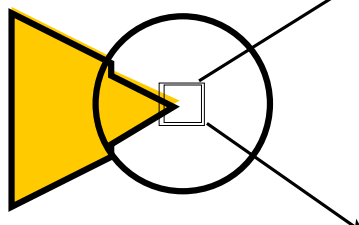
ガス除去によりジェットによるコーン破壊を避ける



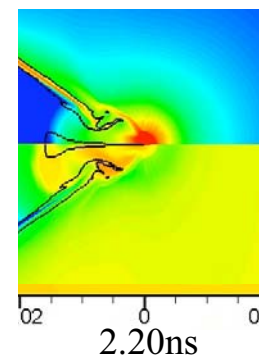
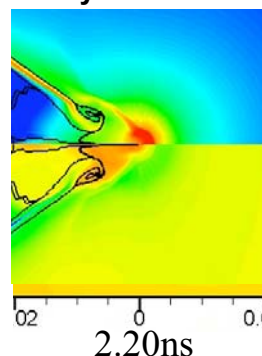
(DD 10atm)

(DD 0atm)

Ultra fast X-ray imaging ($t_{res}=13$ ps, $t_{interval}=10$ ps)



2D Hydro simulation PINOCO



[US-Japan Collaboration](#)
[@Rochester](#)

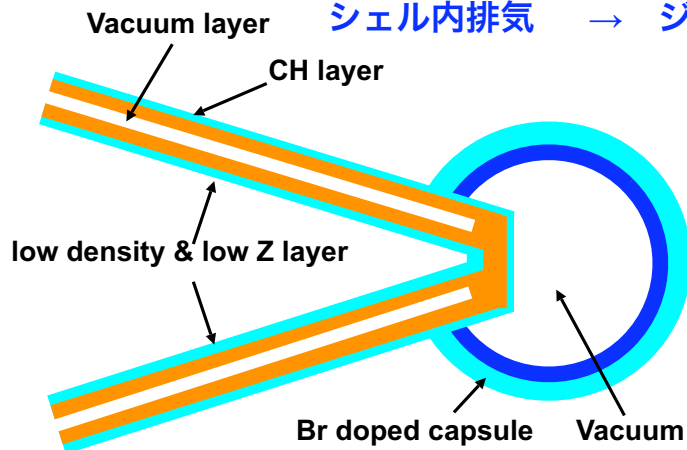
Shiraga, RSI 04
Stehenes, PoP05

10

FIREX-I 改良型ターゲット



- 内部フォーム → 吸収
- ダブルコーン → 高速電子輸送効率
- 外部CHコート → 膨張抑制
- Brドープシェル → 流体不安定性抑制
- シェル内排気 → ジェット発生抑制



シェル内排気のため重水素は固化温度にする

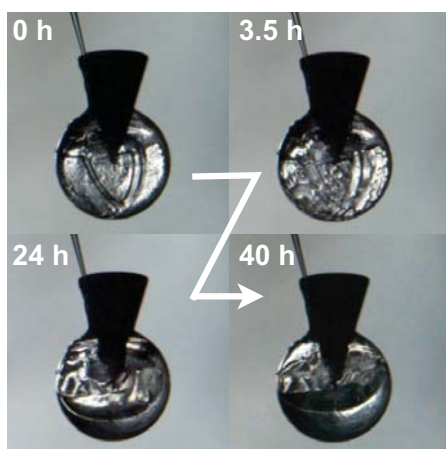
11



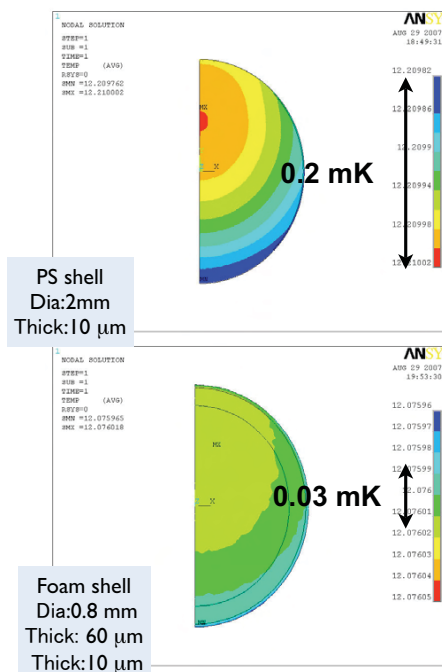
オルト=パラ変換による燃料層の均一化が期待される



History after solidification at 12.4 K

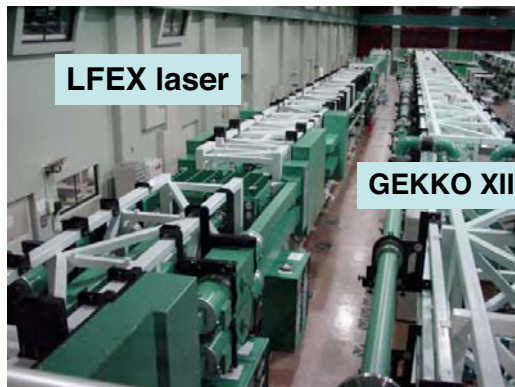


Iwamoto 07



12

高速点火のための加熱レーザー： LFEX（世界最強）が完成

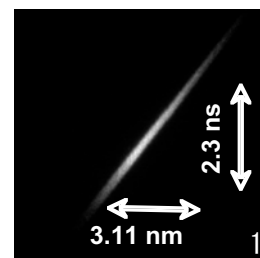
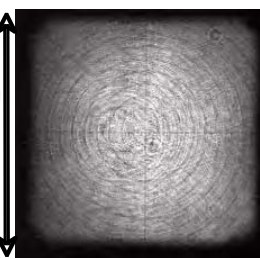


08.02.29 全システム動作確認
First light

09.01 全4ビームによる高速点火実験
を開始

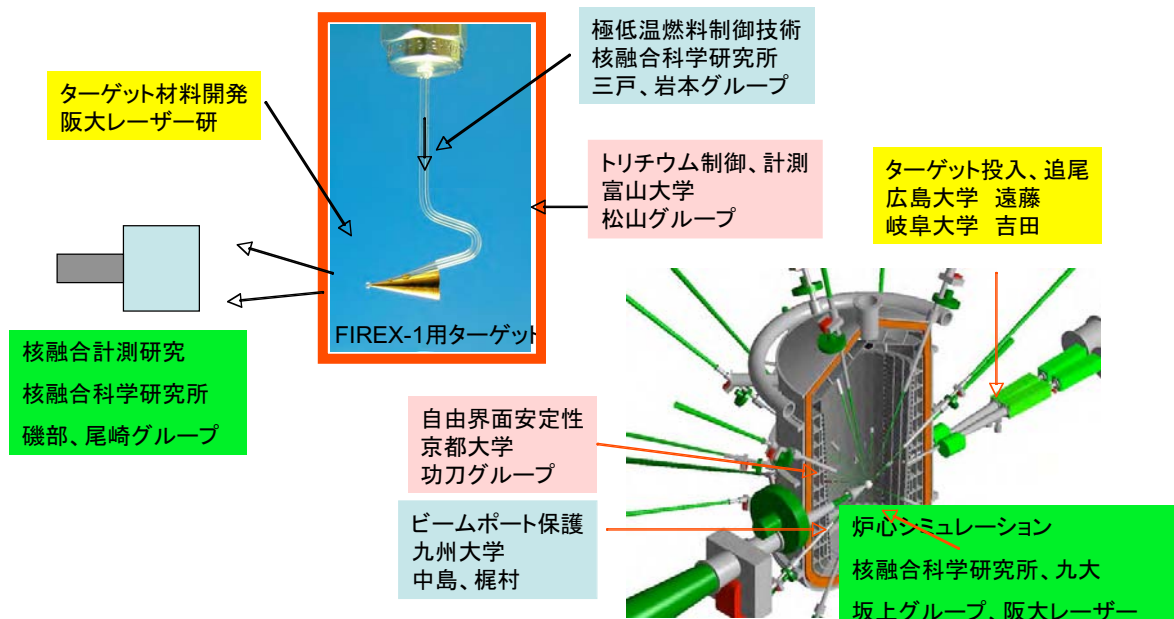
ビーム形状とチャープパルス形状

32.5 cm



13

双方向型共同研究で、ターゲット開発、計測器開発、 シミュレーション、炉工関係の研究が進展している



14

年度	レーザー建設	マイルストーン
2007	パルス圧縮系稼働開始	
2008	7～8月: 1 ビーム稼働 1月～ : 全ビーム稼働	<i>Nature</i> 実験追試
2009	可変形鏡による波面補正	CD 加熱実験
2010	波面合成	CD 加熱実験 (5keV)
FIREX-II will be judged by Council for S&T, Atomic Energy Committee.		
2011		D2 加熱
2012		DT 加熱 (Q=0.1)

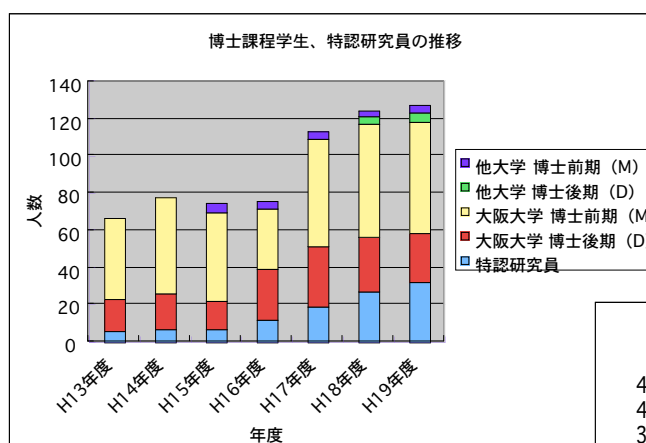
人材育成、社会への発信

- ・ 組織制度
- ・ 共同利用体制
- ・ 社会への発信

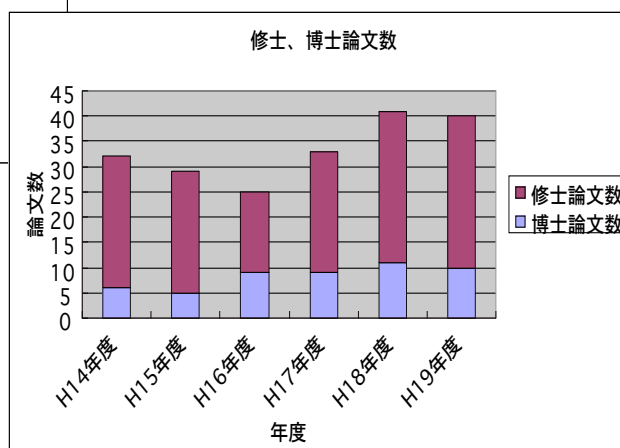
研究及び研究者の積極的な交流・流動化 を可能にする組織・制度

- 全国共同利用施設化を行い、レーザーなどによる実験グループの育成を開始。
平成19年度には21件のGXII共同実験と8件のグループ形成提案を受け入れ。
- 双方向型共同研究及びレーザー連携により核融合科学研究所及び大学との研究協力を推進。
- 共同利用を促進し新しい人材育成のため任期付ポスト（5名5年間）を大学の支援により設置。
- 15年度より20年3月までに
合計7名（教授1名、助教授4名、助手2名）の教員を公募、7名を外部から採用。
- 平成15年度より19年度の間に米国、英国、フランス、中国等と75件の国際共同研究を実施。内20件はレーザー実験。
- 「高出力レーザーによる単色量子ビームの生成と応用」に関する連携融合事業を日本原子力研究開発機構と18年度より開始して研究交流を進めている。また、国立天文台との連携研究を19年度より開始。
- 「先端研究施設共用イノベーション創出事業」により、19年度より大型装置マシンタイムを産業界に提供。

人材育成：学生の受け入れと学位論文数



双方向共同研究、全共化、テラヘルツ統合などにより、若手研究者は増加傾向にある



順次大型装置群を全国・国際共同利用に供し 体制を整備する



- 組織の公開性 → (外部委員を含む) 運営協議会、
透明性 参与会、共同研究専門委員会、
外部評価委員会、自己評価の開示
- 知の循環 → グループ形成による共同研究と連携プロジェクト
- 教育・人材育成機能 → 学生受入(H19): 国立大学 (104名) 私立大学 (8名)

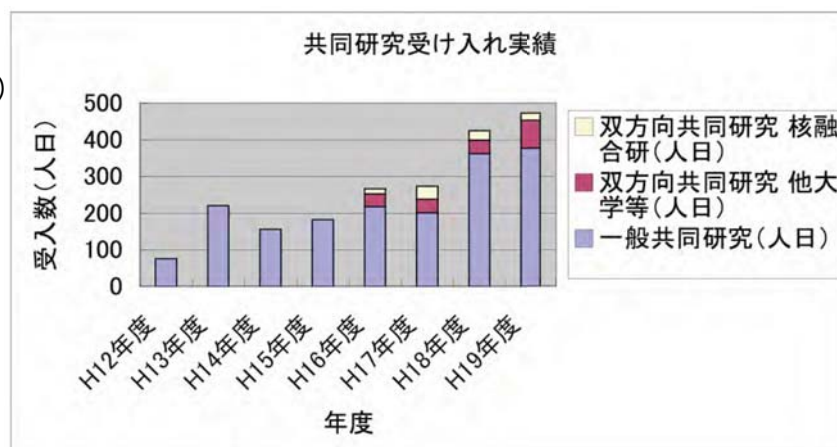


- 人的支援体制
教員 30名 + 兼任教員 5名 + 客員 2名 + 招聘研究員 4名
+ 特任研究員 36名 + 技術職員 11名 + 技術補佐員 3名
+ 外部委託技術員約 30名 + 民間常駐共同研究員 17名

全国共同利用施設化に伴う核融合共同研究の強化

全共化の考え方: 激光XII号レーザーの全国共同利用への開放により形成される共同利用者コミュニティを、レーザー核融合研究の人材の登竜門として活用する。他方、核融合の基盤を利用して核融合の枠を越えた基礎学術、産業応用の展開を図る。国内からの研究を活性化するために、激光XII号ショット数を2交代制の採用により増加し、全ショットの半数までを外部の研究者に開放。

採択課題の内訳: (H19年度)
大型レーザーに関連した
共同研究
大規模レーザー実験
(A-1区分): 21件
(うち国外申請 7件)



産業界への貢献：レーザープラズマEUV光源の開発

LD励起 5kW, 5kHz 高平均出力レーザー



EUV発生実験共同利用設備



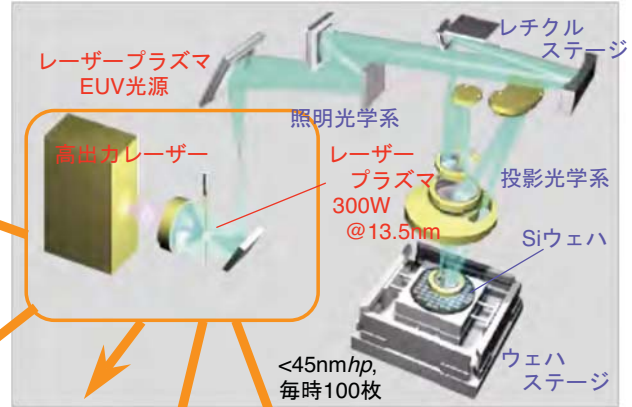
文部科学省
リーディング・
プロジェクト
11大学、3研究機関
光源基盤物理・
技術開発

産業界と
強力に連携



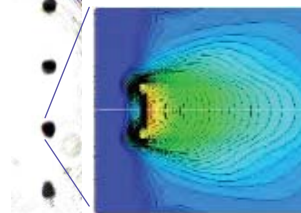
経済産業省
NEDOプロジェクト
技術研究組合EUVA
装置化・
システム化技術

目標：2010年実用化

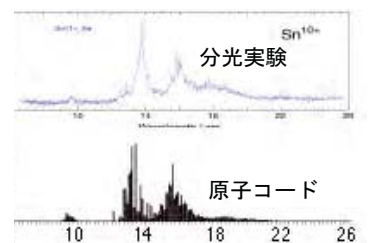


液滴ターゲット
の連続供給

2D放射流体
コード



原子物理：EUV放射スペクトル



レーザー核融合研究の資源（ハード・ソフト）を活用

- ・レーザー
- ・ターゲット技術
- ・プラズマ診断
- ・理論・シミュレーション

わが国の核融合研究全体への貢献

- 共同利用・共同研究によるコミュニティの拡大
- 磁場核融合研究への貢献
 - ・トムソン散乱用レーザー (→JAEA)
 - ・燃料供給用ペレット (→NIFS)
 - ・中性子シンチレータ (→NIFS)
- 炉設計における磁場，炉工学研究グループとの協力



波多江（原子力機構），中塚（阪大），吉田（阪大）
プラズマ・核融合学会第10回技術進歩賞受賞
誘導ブリルアン散乱位相共役鏡を用いたトムソン散乱
診断法の改善

研究成果は様々なメディアを介して発信され、 研究交流がなされている。

研究成果の公開

新聞、TV、年報、各種成果報告書、学会、国際会議

研究活動の紹介

オープンハウス、展示室、レーザー研ビデオ、レーザー研要覧、
公開ホームページ、セブンスターズ誌発行、学生見学会、等

レーザー核融合研究の動向報告

レーザー研シンポジウム、各種委員会、IFEフォーラム活動

各種共同研究の実施



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 における評価 (平成19年)

核融合研究の重点化に関するチェック・アンド・レビュー実施結果 レーザー核融合研究

【重点化後の進展】

重点化後、高速点火において大きな成果を挙げており、学術研究としてのプラズマ物理や宇宙物理等へも貢献している。また、他分野や産業技術への展開が進展している。次段階へ進むためには、FIREX-IIにおける原理実証に加えて、炉システムの実現性を示す炉工学研究の展開が必要である。

【共同利用・共同研究】

重点化後、全国共同利用施設化などを通じて、共同利用・共同研究が強化されている。今後は、分野の展開を含めてオールジャパンの課題や体制の構築に向けた一層の取り組みが望まれる。

【人材育成】

若手研究者育成への積極的な取り組みや、国内外の研究機関等への人材派遣によって人材育成に貢献している。

【国際的寄与】

高速点火方式の研究成果等により国際的にも重要な役割を果たしている。

【社会的寄与】

EUV光源開発等、核融合外への技術や知見の波及効果が大きい。今後はレーザー核融合と磁場閉じ込め核融合との相違点を明らかにしつつ、研究の位置づけを社会へ発信する必要がある。

核融合に関わる基礎・基盤的分野の 研究・教育について

プラズマ・核融合学会 アピール 『核融合発展させる学術研究のあり方』 に沿って

吉田善章

(東京大学教授・文部科学省科学官)

問題を提起するキーワード

- ・「ITER時代」という位相
- ・開発 ／ 学術
- ・選択と集中 ／ 学術の多様性(未来性)
- ・課題群： 人材育成, 学際性, 国際性

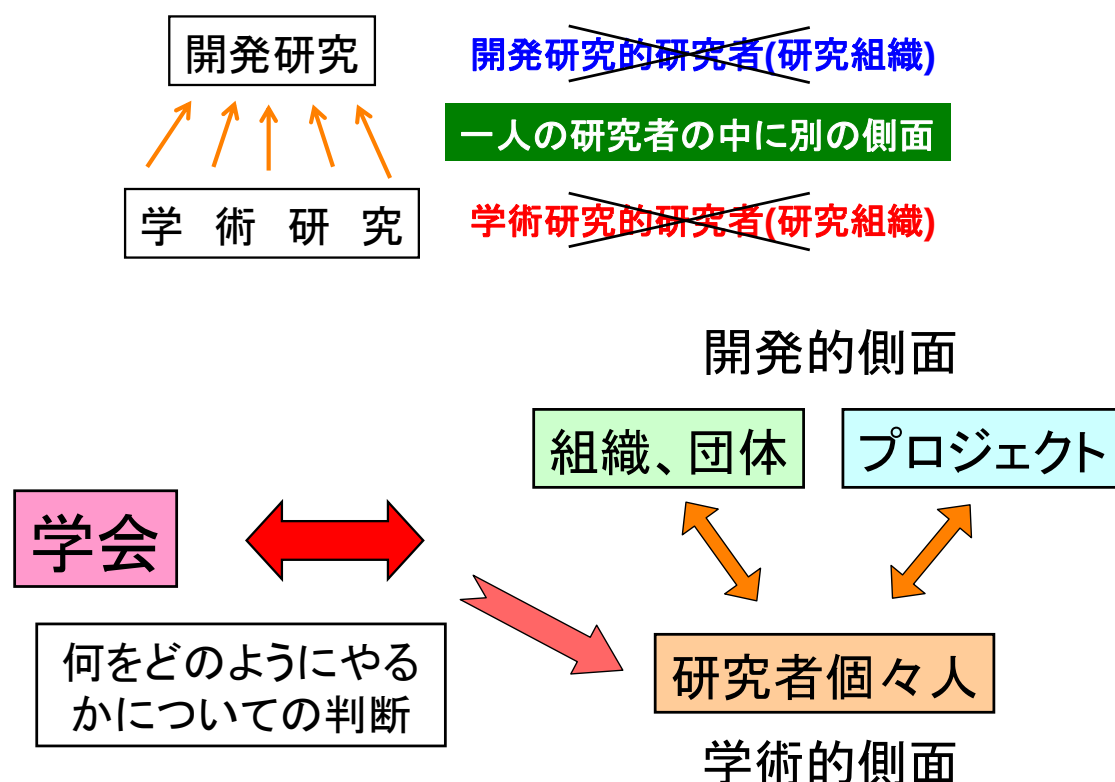
【関連する文書】

- ・ プラズマ・核融合学会：
『核融合を発展させる学術研究のあり方』（2007年6月）
- ・ 文部科学省 科学技術・学術審議会 学術分科会：
『研究の多様性を支える学術政策』（2005年10月）

プラズマ・核融合学会アピールの目的

- アピールにむけた議論を通じて、私たちの分野が直面している課題を明らかにする.
- 学術的課題を整理し、研究のネットワークを強化する.
- 学会として取り組む課題と、国に求める施策を明らかにする.

学会の役割 (2006年11月・シンポジウム:岡村昇一常務理事)



アピール(学会提言)取り纏めまでのプロセス

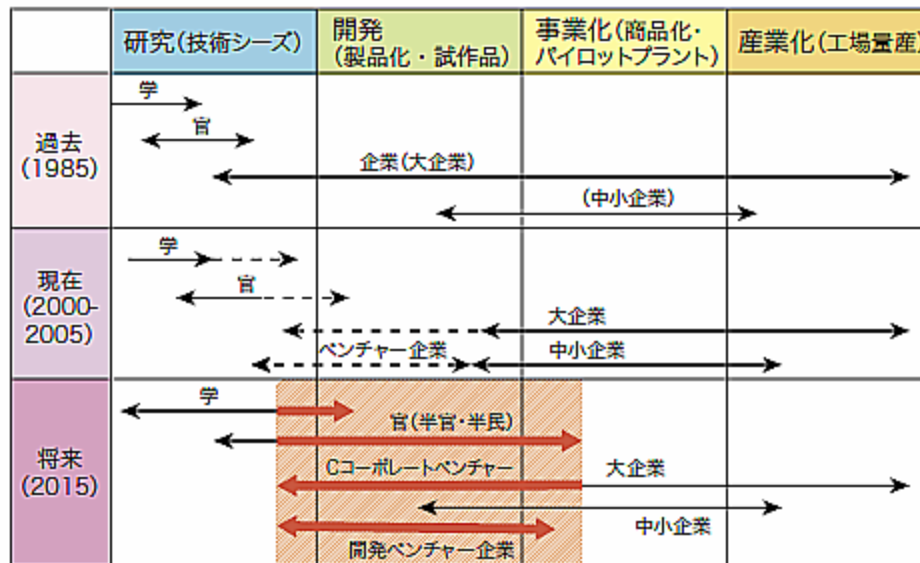
- 2005年11月 「学術検討ワーキンググループ」の設置(理事会, 年会)
- 2006年1月 第1回WG開催
- 2006年3月 第2回WG開催
- 2006年4月 第3回WG開催
- 2006年6月 第4回WG開催
- 2006年11月 企画シンポジウム(年会)
- 2007年3月 提言の原案検討(理事会)
- 2007年6月 アピールの公表

学術と開発との関係

- 「ITER時代」という位相において急峻化する問題
- 大型・長期の開発プロジェクトにおける問題
- 「分けて考える必要はない」という精神論の批判として

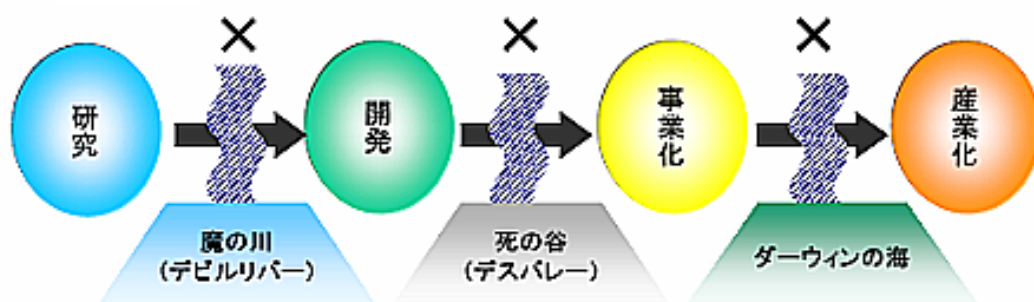
Management of Technology (MOT)

産学官連携と共同研究・開発の範囲



(2006年・シンポジウム 児玉了祐教授(大阪大学))

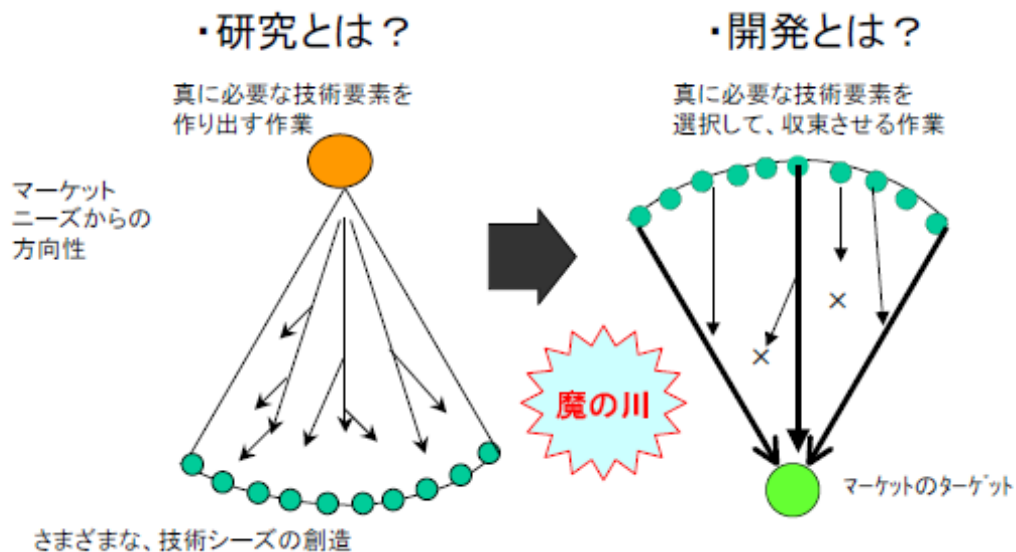
3つの障壁(溝)の克服手段



原因の例	- 研究と開発はベクトルが異なることに起因 - 研究はシーズ指向、開発はニーズ指向のベクトル	開発は「製品開発」のことが多い。これを「商品開発」とするために顧客対応が必要	- 販売(営業)、生産(工場)、開発等一体となった事業経営体制が必要。 - タイミングのよい大規模な投資が必要
克服手段	- 研究成果をベースにしたマーケティングにより開発ターゲットを明確化 - 研究体制を開発プロジェクトへ明確に移す。	マーケティングから販売に軸足を移す。営業、製造を含めた事業化プロジェクトとして顧客対応体制を明確にしていく。	事業分野がよく分かっている経営者によるリーダーシップとリスクテイク(管理)

(2006年・シンポジウム 児玉了祐教授(大阪大学))

魔の川：研究と開発のベクトルの違いのイメージ(研究は発散型、開発は収束型)



(2006年・シンポジウム 児玉了祐教授(大阪大学))

核融合研究における「学術」の これからの役割

- 「礎」でありつづける **プロジェクトのための学術**
 - 「知」の循環, 継承
 - コミュニケーション, コミュニティー
- 「礎」の深化, 拡大 **学術のためのプロジェクト**
 - 「知」の展開, 進化
 - アピール, 浸透

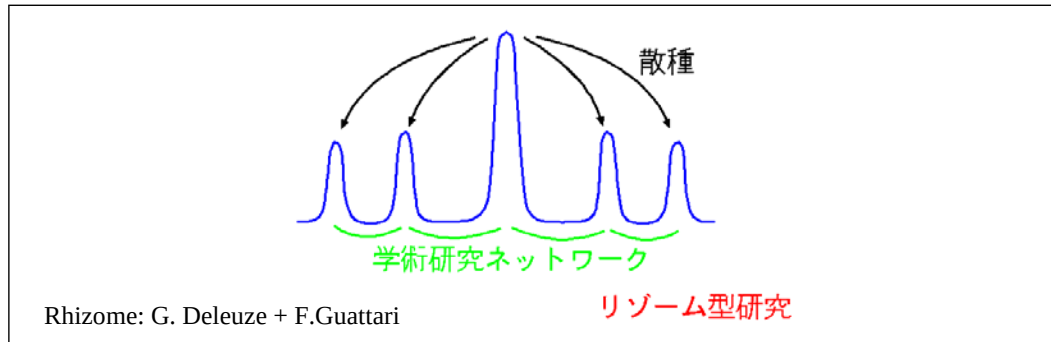
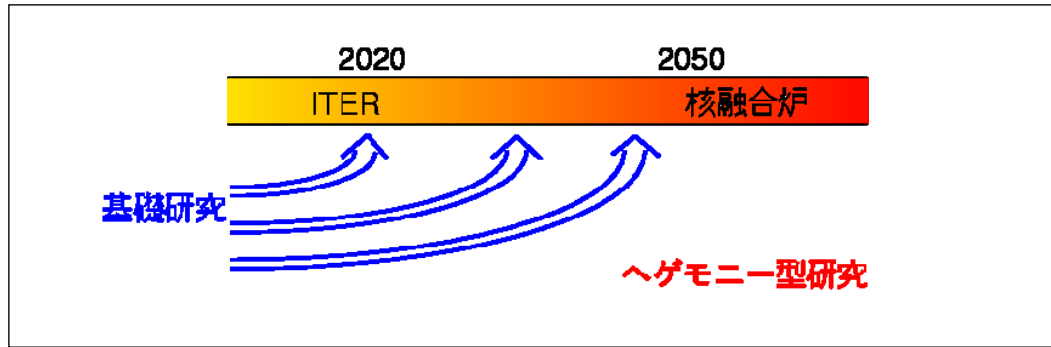
学術研究とは

- ・「集中」 ／ 「多様化, 一般化, 越境, 創造」
- ・「構造」 ／ 「運動」
- ・「表層」 ／ 「深層, 根茎(リゾーム)」

樹木によって表象されるイメージ = 機能・構造

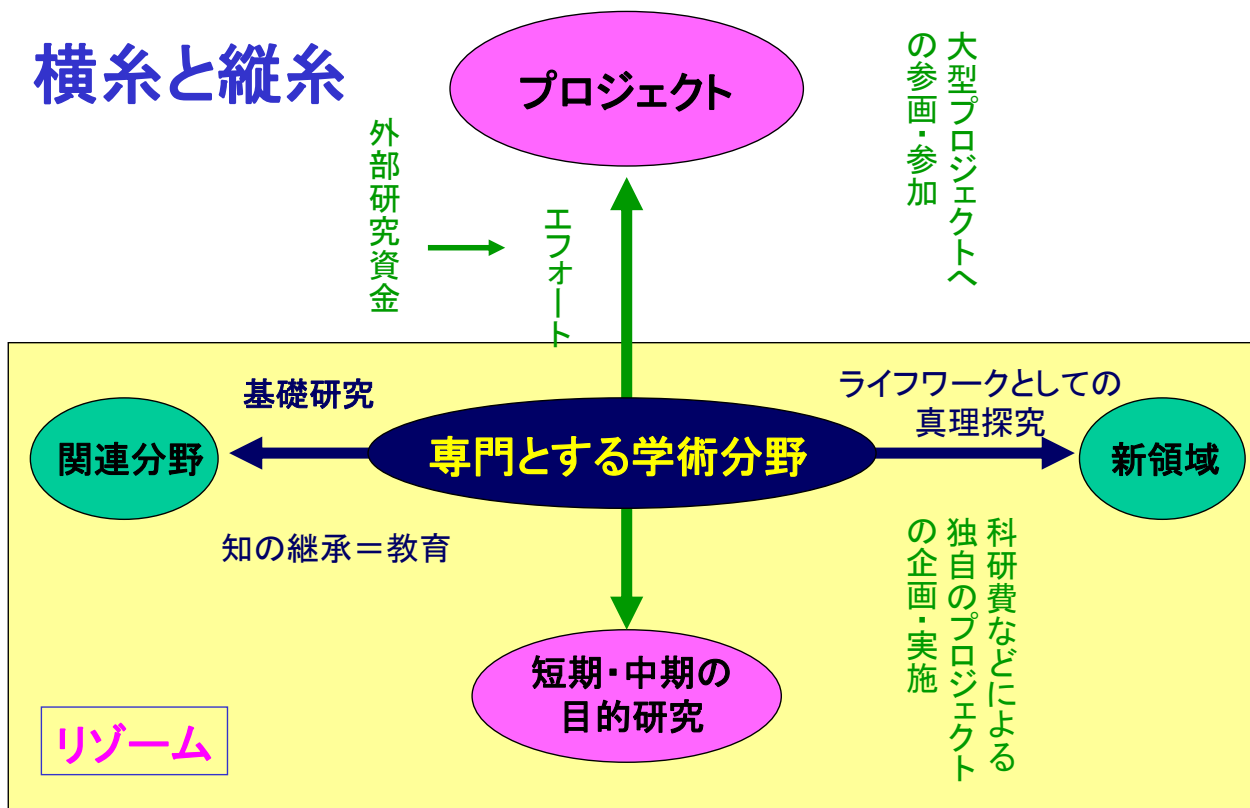


研究・開発における二つの運動



大学等における研究者の行動様式

横系と縦系



核融合分野における これからの学術的課題

- 核燃焼プラズマの段階へ
自律性, 非線形性, 非平衡性, 多階層性・・
- 新たな可能性の追求
未知の現象・原理, 異なる分野への展開・・
- 「核融合工学」の確立に向けて
システムとしての完備性, 無撞着性・・

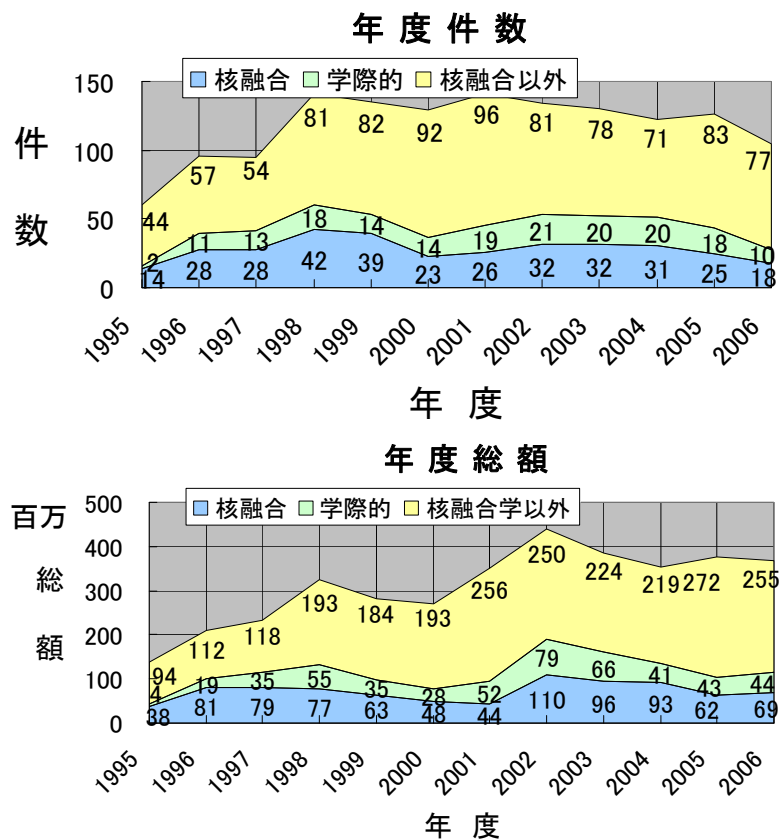
基礎・基盤的分野の現状と課題

- 課題の所在(階層 = 個／コミュニティー／国)
- 個々の研究活動: 構造化よりも運動性
- コミュニティー: 知的コミュニケーション
- 国: 国策を実現するための支援システム作り

科研費の動向

プラズマ科学

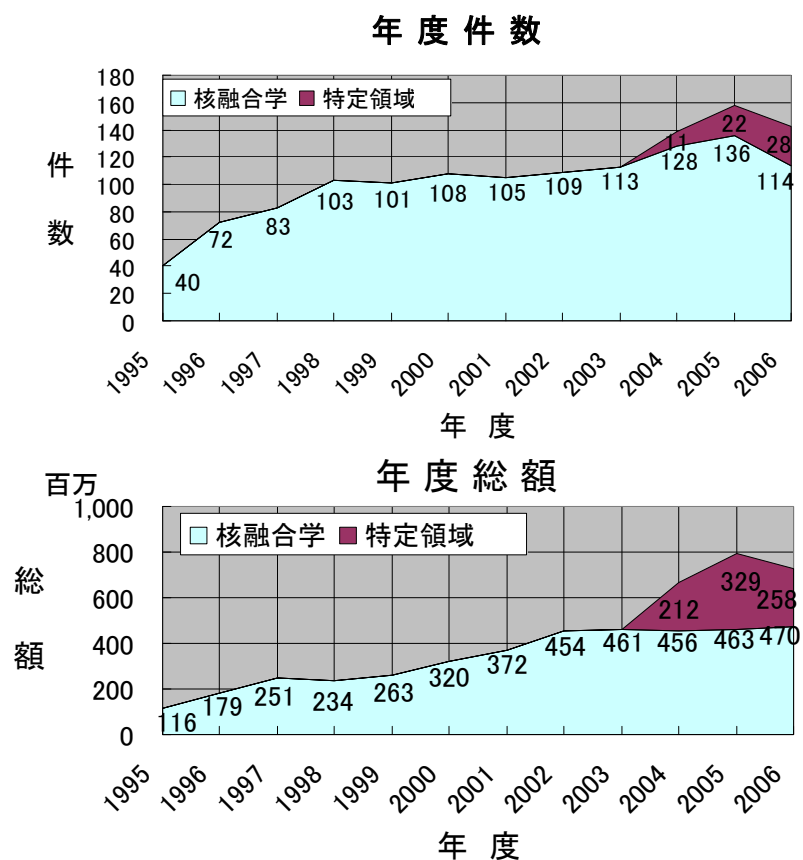
山田弘司 学術調査官
核融合研究作業部会資料
2006年12月



科研費の動向

核融合学

プラズマ科学、特定領域を合わせて核融合を目的としたものは2006年度は総計、約160件、約8億円



集団的な活動・検討のフレームワーク

- プラズマ・核融合学会 [アピール](#)(2007年)
- 文部科学省 核融合研究作業部会
 - ・ 『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』(2006年)
 - ・ 人材育成を中心テーマとした検討(2008年報告予定)
- ITER・BA技術推進委員会
 - [研究者コミュニティの意見集約](#)
- ITPA (国際的なトカマク研究者ネットワーク)
- 核融合科学研究所 共同利用・共同研究

まとめ

- 学術研究→開発研究 の狭間で
- 「学術研究」に求められる変化(選択)
 - ・ 核融合に必要とされるもの
 - ・ 学術として光りえるもの
- サポート体制(観点:人材育成＝「学」)

「産業界における核融合をめぐる現状」

核融合専門部会
2008年5月28日

日本原子力産業協会

日本原子力産業協会

1

「産業界における核融合をめぐる現状」

日本原子力産業協会

「核融合開発における産業界の立場と役割」第三次報告書*
(2006年3月)からの紹介

*核融合開発検討会 作成報告書

主査：井上 信幸（東大名誉教授）、副主査：小川 雄一（東大教授）

委員：石川島播磨重工業、大林組、鹿島建設、カワサキフロンツシステムズ、神戸製鋼所、
住友重機械工業、大成建設、電力中央研究所、東芝、日揮、日本原子力研究開発機構、
日立製作所、富士電機システムズ、三菱重工業、三菱電機（50音順）

日本原子力産業協会

2

「核融合開発における産業界の立場と役割」 第三次報告書

概要：核融合開発の現状を把握し、**産業界における現状と課題、今後のあり方**を報告

報告内容：

第1章 核融合エネルギー開発の位置付け

第2章 核融合開発の進展

第3章 欧米の核融合開発との比較

第4章 産業界が果たしてきた役割

第5章 産業界における核融合開発環境をめぐる現状と課題

第6章 今後の展開に向けて

主な概要の紹介
と報告書発行から
2年経過の現状を
追加報告

我が国の核融合開発

核融合開発に関する国の方針：

- 1956年9月原子力委員会より報告された「第1回原子力開発長期利用計画」以来、一貫して「**核融合**」は**エネルギー開発**の位置付けである。

我が国の核融合研究開発の特長：

- 目標を定めたエネルギー開発研究から学術的基礎研究までを幅広く包含し、多くの研究機関が役割を分担しながら多様な研究開発を展開
- **世界の核融合開発をリードする国の1つ**

産業界のとらえ方：

- 「核融合はエネルギー開発」と理解するものの、以下への留意が必要：
 - 1) **核融合による発電は未だ実現・実証されていない**
 - 2) **本当に実用化可能かどうか**も議論の対象
 - 3) 若手技術者、研究者の育成が必要

産業界の果たしてきた役割

- (1) 産業界は、核融合草創期より国内開発計画に協力。
- (2) JT-60、LHD等の大型装置建設にも積極的に関与。機器製作ばかりでなく、基本設計、システム統合技術などにも深く関与。
- (3) ITER計画にも主要R&D試作、設計、ITER中央チームへの多数の技術者派遣などで貢献。

EDA期間中の日本から研究者・技術者の派遣数

	EDA (7年)	EX-EDA (3年)	総計
原研職員	114	39	153
メーカー	114	56	170
総計	228	95	323

原研職員と
同数程度の派遣

日本原子力産業協会

5

欧州の核融合開発との比較 (1/2)

日本

欧州

施策

施策側との連携

JT-60/JET建設

ITER-EDA

- 原則、単年度予算による開発執行
- 特に直接的連携無し（原産協会等の自主的提案が中心）
- システム統合含む全建設
- 性能仕様による発注
- 国内企業への性能仕様での発注

- 複数年予算の確保による計画的な開発の執行
- 核融合産業委員会(CFI)設置によるEU核融合プログラムとの連携を構築
- 構造仕様による単品機器の発注（統合はJET実施）
- EU域内企業への構造仕様での発注
- コンソーシアム等にて対応（複数年予算等の配慮に基づき、中期的計画対応）

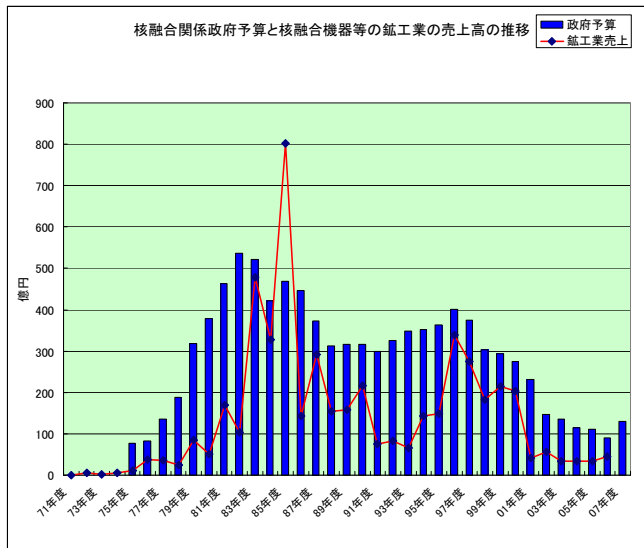
日本原子力産業協会

6

欧州の核融合開発との比較 (2/2)

予算の推移

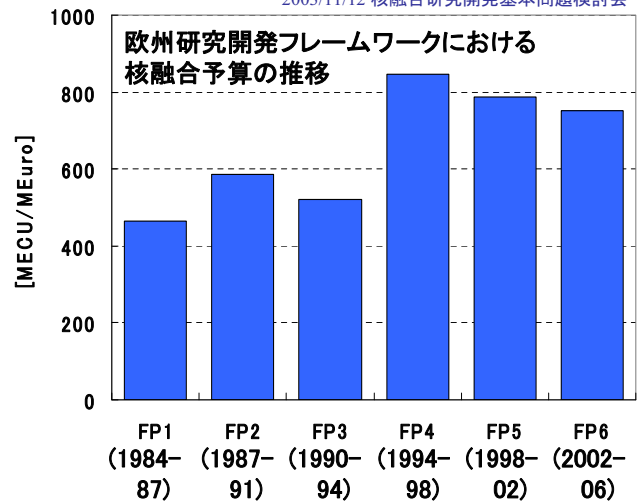
原産資料 2008/5/15
(FY05-FY07データを追加)



日本

日本原子力産業協会

電工会資料
2003/11/12 核融合研究開発基本問題検討会



欧州

- 基礎研究開発も含めた**着実、継続的な開発活動**
- **複数年予算**の確保による計画的な開発の執行

7

産業界における現状と課題

- 国の産業界への期待
- 産業界の現状：核融合開発市場の縮減による影響
- ITERとBAに向けた産業界の課題
- ITER建設へ向けての留意点
- 今後の核融合研究開発への産業界の考え

日本原子力産業協会

8

国の産業界への期待*

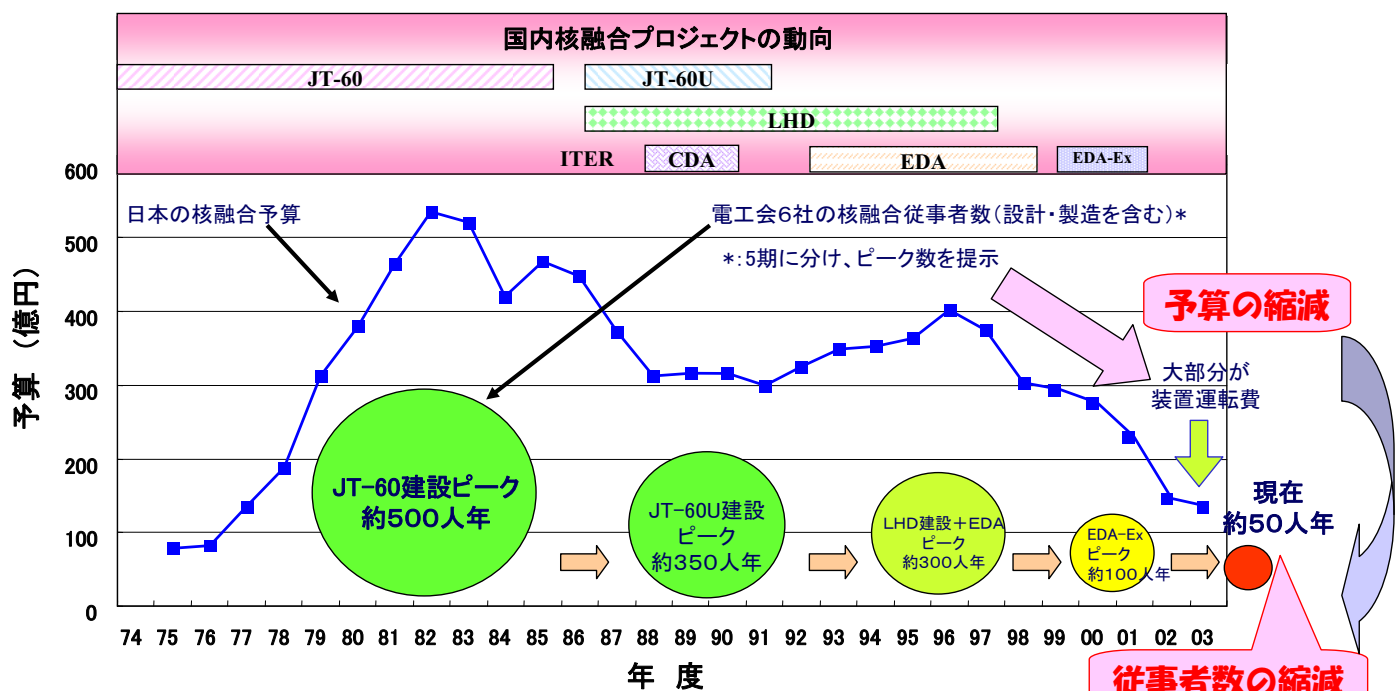
- (1) 原型炉に向けた製造技術の確立と経済合理性の追求のため、ITERを中心とした核融合機器の**製造技術の蓄積・向上**に努めること。
- (2) 今後の研究開発における**産業界の知見と技術の活用と維持・発展**の重要性に鑑み、長期的な研究開発計画の下で産業界の積極的参加が得られるよう配慮して研究開発を進める。
- (3) **原型炉の設計や核融合炉の実用化の検討**については、**産業界関連機関、製造業、電力業界の参画に期待**する。

*原子力委員会 核融合専門部会の「今後の核融合研究開発の推進方策について」（2005年10月）

日本原子力産業協会

9

産業界の現状： 核融合開発市場の縮減による影響 (1/2)

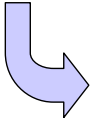


日本原子力産業協会

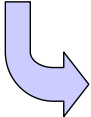
10

産業界の現状： 核融合開発市場の縮減による影響 (2/2)

(1) 日本の核融合研究開発は、基本的に政府の科学技術予算により推進されてきたため、核融合市場の観点からは、そのほとんどを政府予算に依存。

- 
- メーカーの核融合売上高は、ここ7年にて大幅縮小しているため、核融合従事者が激減。
 - 単発かつ長期に亘る開発（少ない装置建設機会等）であるため、技術の空白期間が生じ、技術継承が難しくなった。

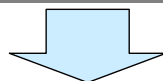
(2) 核融合エネルギー開発のような長期に亘る国の開発計画への産業界の参加・協力への環境が必ずしも整っていない。

- 
- 国の開発計画、体制が明確であり、国家予算の裏付けがあることが前提となり、保有している核融合技術者や製造技術などの維持・継続の可否も経営判断される。

ITERとBAに向けた産業界の課題

今後10年間：

ITER建設と「幅広いアプローチ (BA) 計画」が同時進行



産業界の課題：

- (1) 現有の技術者数、設備だけでは即応できない可能性が高い。
→ 増強には将来の活用シナリオが明確であることが必須。
- (2) 技術維持・継承が十分にできない可能性が高い。
→ 単発かつ長期に亘る開発（少ない装置建設機会等）では、技術開発の継続が途絶えると、技術者が散逸（及びリタイア）してしまう。また、若手技術者を育てる機会が少ない。
- (3) 材料の入手性・調達性（長納期化と高騰化）について十分な配慮が必要。

ITERとBAに向けた現状の課題

- (1) 技術者のリタイアは加速しており、現有の技術者数では即応できないことが現実のものとなった。
- (2) 技術継承できぬまま多数の技術者がリタイアしており、このような状況で実機製作が発注されると技術的リスクが高く、対応できない可能性がある。実機製作に先立ち、製作性に関する大規模R&Dを実施することにより技術者増強と技術習得が最低限の必要条件となってきた。また、製造設備も新たに整備する必要がある。
- (3) 鉄鋼材料、超伝導コイル用のニオブ等は大幅に高騰している。また、昨今の原子力回帰の流れにより鉄鋼材料は核融合用より軽水炉向けに優先的に供給される可能性が高く、これまで想定されてきた製作コスト及び工程で対応できるか極めて疑問。現状で工程とコストを見直すことが必要。

ITER建設へ向けての留意点 (1/2)

- (1) 国際協力によるITER建設において、日本の役割は主にITER機構に機器を物納することと職員派遣を通じてシステム統合技術の獲得を図ることとされているが、我が国としての核融合技術蓄積を展望した場合、それで十分なのか精査が必要。
- (2) ITERで製作担当できない機器の設計・製作/ノウハウの取得が十分か？
- (3) トリチウムに深く関与する安全設計技術や許認可に関する一連の作業など、将来の原型炉に向けて必要な技術は、主としてITER機構とホスト極に経験・蓄積されるだけで良いのか？ →国内にも蓄積しておくべきである。(今回追記)

ITER建設へ向けての留意点 (2/2)

- (4) ITER機構に職員派遣を通じて種々の技術（国内製作担当しない機器の製作技術、システム統合技術、核融合プラントエンジニアリング、建設ノウハウ、許認可対応など含む）獲得を図ることについては、どの技術を、どのような人材をどの部門にどの程度、派遣させるのか明らかにする必要がある。
- (5) また、そのような人材はITER機構で得た経験をもとに国内原型炉設計で有効に活用する必要があるので、産官学全体の視点から具体的な派遣を検討する必要がある。
- (6) 派遣について産業界がどこまで協力できるかは、国としての技術派遣計画が明確となった上で判断される。

今回、新規作成資料

国としての原型炉に向けた青写真を明確にする必要がある。

ITER国際機構への技術者派遣において産業界がどこまで協力できるかは、国としての原型炉建設に向けた具体的な技術戦略(*)とそこにおける産業界の役割が明確になった上で判断される。

***技術戦略：**原型炉建設に向けて日本が維持・向上すべき技術は何か。その技術はどこに蓄積するのか。ITERに技術者派遣して習得できるのか、それとも国内計画で独自に開発するのか。

核融合開発の今後の展開に向けて -産業界の考え(1/2)-

- (1) 核融合発電は未だ実証されていない状況ではあるが、エネルギー開発であるからこそ、現時点においても**実用化を視野に入れて計画・推進**が必要と考えている。

→ITER建設後の実験成果により原型炉開発の可否が判断されると理解しているが、**ITER研究開発における技術と人材は原型炉開発に資するものである。**

- (2) 核融合開発は環境負荷の低減、エネルギーセキュリティの観点から重要であると認識しつつ、チャレンジングな技術*の集合体であることを考え、日本が**世界をリードできるようこれまで通り貢献していく。**

*超伝導、耐電磁力構造、低放射化材料、等のハイテク技術の集大成、巨大システム統合技術など

核融合開発の今後の展開に向けて -産業界の考え(2/2)-

- (3) 日本として原型炉を見据えた**維持すべき技術**を関係機関と明確にするとともに、それを実行する上で必要な施策については適宜、国へ提案していく。

- (4) 核融合開発を今後も効率的に推進していくには定期的な**チェック&レビュー**が必要とされているが、産業界も**チェック&レビューに参加し、評価できる能力を確保**していく。

今回、追記：原型炉に向けたロードマップ作成が核融合エネルギーフォーラム内で検討されており産業界も積極的に関与しており、オールジャパンで核融合開発していく新たな第一歩が始まったと理解。

終わりに

- 産業界は、核融合開発草創期より国内開発計画に協力してきた。
- また、今後原型炉設計の段階に入ると、産業界の果たすべき役割がさらに要求されるものと認識する。
- しかしながら、開発の単発化・長期化から、産業界のおかれた環境は、技術継承、人材確保などの点で厳しい状況にある。
- 今後10年間に亘るITER建設およびBAの開始を前に、産業界の参画体制、技術継承等の期待と取組み等に関する議論を期待する。

今回、新規作成資料

1. 原型炉に向けた詳細なロードマップが核融合エネルギーフォーラム内で鋭意作成されつつある。このロードマップはITER/BAと原型炉をつなぐ期間についても記載されており非常に有用なものになると認識している。
2. ロードマップに記載された技術を日本として維持・向上すべき技術かどうか優先順位をつけるとともに、その開発を国内独自計画で実施するのか、ITER/BAで習得するのか等の観点からITER/BA、原型炉に対する産官学の取り組み体制を早急に明確化する必要がある。

原子力委員会 核融合専門部会
2008年7月16日

核融合エネルギー実用化に向けた ロードマップと技術戦略

核融合エネルギーフォーラム
ITER・BA技術推進委員会
ロードマップ等検討WG 座長
岡野 邦彦（電力中央研究所）

本報告書は、核融合エネルギーフォーラムのWebサイト
<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/>
に7月10日より掲載が開始され、ダウンロードできます。

核融合エネルギーフォーラム ITER・BA技術推進委員会 ロードマップ等検討ワーキンググループ

岡野邦彦 (座長)	電力中央研究所
今川 信作	核融合科学研究所
小川 雄一	東京大学大学院
小西 哲之	京都大学 エネルギー理工学研究所
谷川 博康	日本原子力研究開発機構
飛田 健次	日本原子力研究開発機構
長谷川 満	原子力産業協会 ITER・BA対応検討会 委員
堀池 寛	大阪大学大学院
森 清治 (08.3.31まで)	原子力産業協会 ITER・BA対応検討会 委員

2007年11月より16回の会合を実施

文部科学省から核融合エネルギーフォーラムへの依頼事項（2007年10月18日）のうち
の3つの項目を検討した。
報告書の付録1

①21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目途を得るためのロードマップ作成

②産業界を含めた日本の技術戦略、枠組み、役割分担の検討

③人材育成や確保の分析、計画の提案

トカマクで実現する場合を想定したケーススタディーとして実施。
特に①については、原子力委員会核融合専門部会報告書
「今後の核融合研究開発の推進方策について」(2005年10月26日)
を基に、目標実現のためのロードマップを具体化した。
③は、ITER、BA、トカマク原型炉を進めるためのコアとなる人材を検討した。

本ロードマップの特徴-1

(1)21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目途

→2040年までに原型炉の運転を開始して発電を10年間程度実証し、
2050年代での初代炉投入を可能とするロードマップを目指した。

(2)Work Breakdown Structureの作成から開始

原型炉建設に必要なR&D事項をすべてにわたり検討し、WBSリストを作成。
WBSは18分野・1000項目以上から成る。

第4章p.39～

- ITER建設で開発されるとわかっている項目は含めない。
- ITER技術からの改良が必要な場合はその改良R&Dを含める。

1	原型炉関連法規・基準
2	炉システム設計作業
3	トカマク本体
4	ブランケット開発
5	トカマク周辺機器
6	流体制御
7	メンテナンス
8	プラズマ
9	加熱電流駆動

10	計装制御
11	トリチウム
12	バックエンド技術開発
13	電源制御
14	発電システム
15	サイト・建物
16	安全環境
17	プラントエンジニアリング
18	プロジェクト管理

本ロードマップの特徴-2

(3) 原型炉の設計パラメータ(上限値)を現時点では絞り込まない。ただし開発中の各技術の原型炉への「採用可否の判断時期」、複数オプションがあるなら「その選択時期」をWBSリスト上に明示。

→実現する原型炉のパラメータは今後の開発で若干変わるが、「2040年までには原型炉の運転を開始し発電を実証する」という目的に対するクリティカル・パスは最小になる。

なお、原型炉の設計パラメータ概要の決定は2014年までに行う計画である。
原子力委員会 核融合専門部会報告書「今後の核融合研究開発の推進方策について」の記述に沿えば、ITER程度の炉心寸法になると考えている。

(4) 隠れたR&D項目の洗い出しも行った

WBS項目探査では、原型炉建設に重要であるが、現在研究計画が不十分、または存在もしないものがないかについても十分な検討を行い、緊急を要する9項目のR&Dを提言した。 第2章p.12～14

本ロードマップの特徴-3

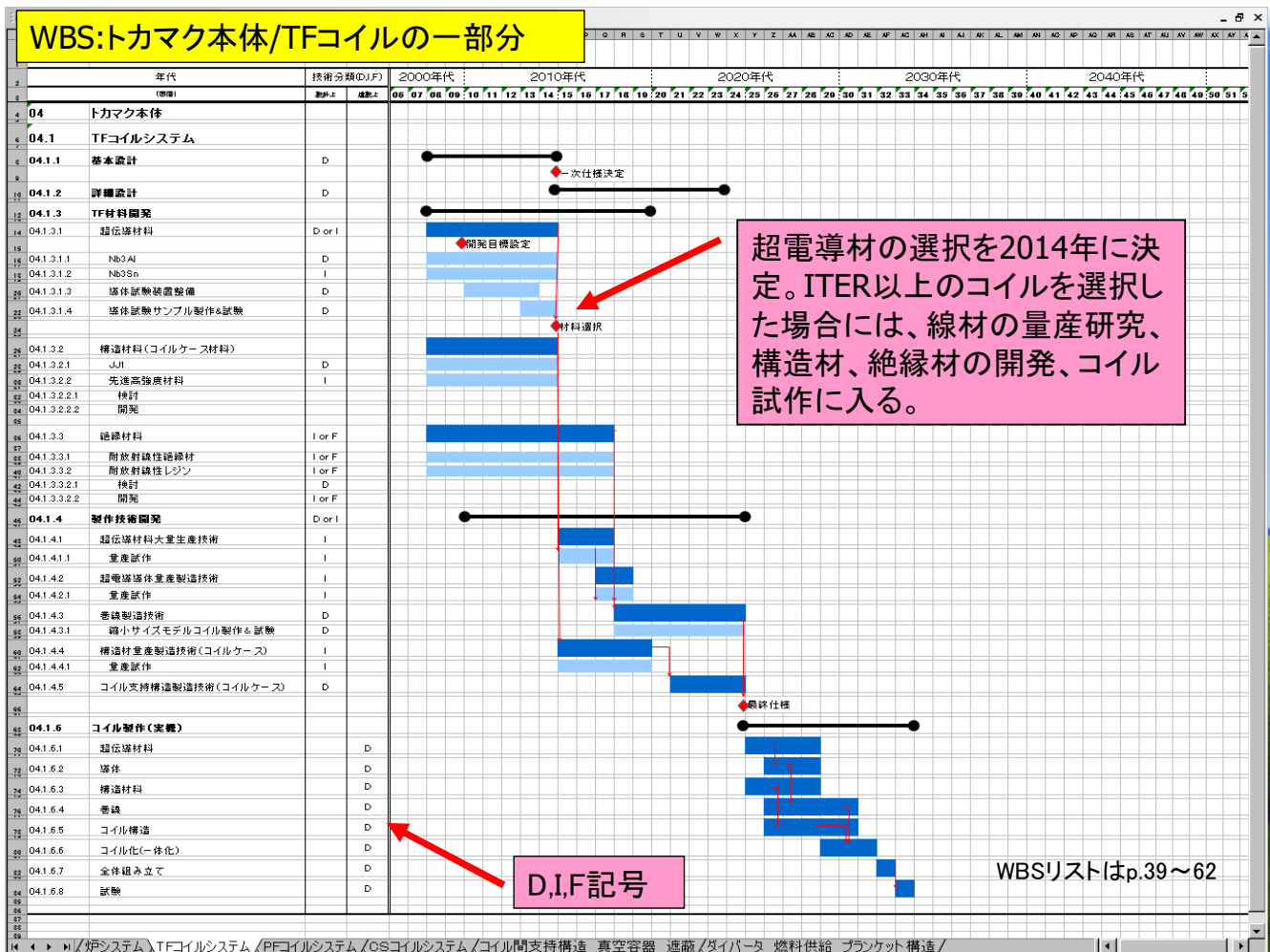
(5) 技術戦略上の分類も明記

WBS上の技術に、国内に必ず保持すべき技術(D、D*)、国際協力で開発することが可能な技術(I)、必要な時に海外から導入できると考えられる技術(F)の分類を示した。

第3章p.29

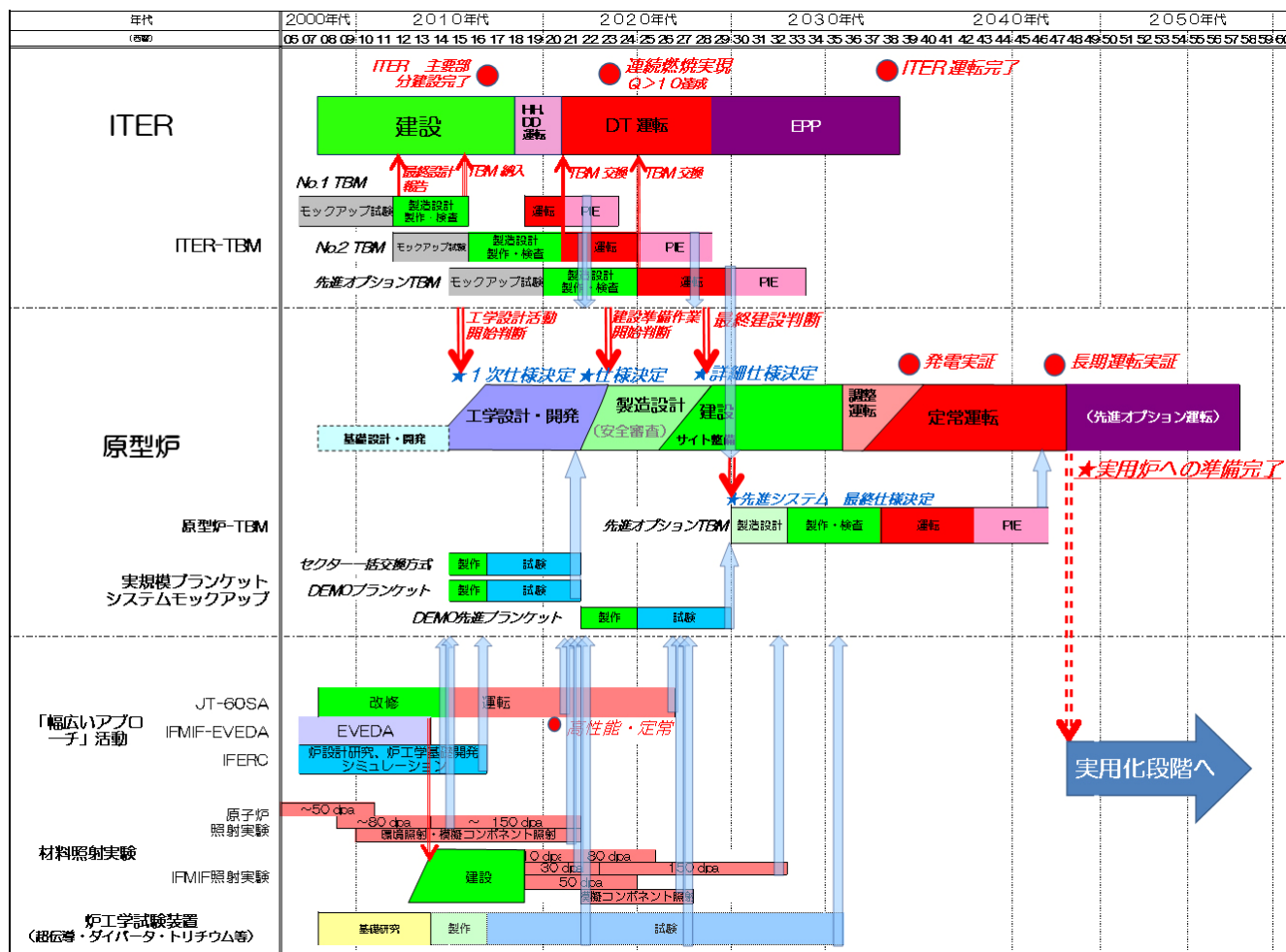
(6) WBSに沿った項目別計画に基づき全体ロードマップを描く

R&D計画は、急ぐべきものを優先し、後送り可能なものは遅らせることで、限られた時間とリソースの中で、計画の進行をできる限り前倒しにすべく構成した。



技術選択点と最終仕様決定点の主要な例

2014		2023		
	基礎設計段階	工学設計段階・前半	工学設計段階・後半	建設設計段階
原型炉関連法規・基準	高温構造設計基準(2014)		構造設計基準案(2020)	構造設計基準(2027)
炉システム設計	炉概念1次仕様決定(2014)		主要部仕様決定(2022)	最終仕様決定(2027)
トカマク本体 超電導コイル系	開発目標決定(2009) 導体 & 構造材選択(2014)	絶縁材選択(2018)	最終仕様(2024)	
トカマク本体 コイル支持、真空容器 安定化コイル、遮蔽		遮蔽冷却法(2020)	コイル間支持構造仕様(2024) 真空容器構造(2022) 安定化コイル仕様(2024)	
トカマク本体 ダイバータ	ダイバータ試験設備仕様(2014)	ダイバータ材料選択(2015) 構造材、アーマー材、 熱シンク材	ダイバータ最終仕様(2024)	
ブランケット 構造・解析手法	ITER/TBM最終設計報告(2012) IFMIF建設判断(2013) 構造材料～70dpaデータ(2014)	Demo用BLK1次仕様(2015) IFMIFマトリクス決定(2015-17)	BLK解析手法 仕様策定(2024)	ブランケット最終仕様(2029)
ブランケット T増殖・中性子増倍材	改良型Li2TiO3開発(～2013) 6Li濃縮手法決断(2014)	先進増殖材開発(～2021) 増殖材・増倍材決定(2022)		
ブランケット トリチウム透過防止膜 導体シェル		防止膜採用可否判断(2015) 導体シェル材料選択(2015)		
ブランケット 先進高温システム	先進システム候補選択(2013)	先進システム絞り込み(2016)	先進システム1次仕様(2022)	先進系最終仕様(2029) ただし、先進BLKはDemo-TBM用
メンテナンス方式		保守方式選定(2016)		
プラズマ			プラズマ形状決定(2022) 運転限界点の暫定選択(2022)	運転限界点の最終選択(2027)
加熱電流駆動	駆動法選択・決定(2014)		NBIの場合エネルギー決定(2020)	
トリチウム	初期インベントリ入手法決断 (2014)		排ガス処理、分離、貯蔵、空気浄化 など最終仕様(2022)	水処理系コード試験開始 (2031)



BA期間中に、我が国独自に技術開発を開始することが望まれると判断された技術(例)

第2章p.12～14

●ITER用SCの性能を超える原型炉用SCコイルの開発 (強磁場化、高電流密度化)
超電導線材は原型炉建設時にのみ大量に必要という点にも注意を要する。

●Li-6の濃縮・量産技術、ならびに初期装荷トリチウムの入手方法の検討
年間100トンレベルのLi-6製造容量をもった工場は現状ではない。

●冷却系のトリチウム管理技術
冷却系配管のトリチウム透過低減皮膜の開発と冷却水の水質管理技術の確立。

●メンテナンス手法開発
原型炉の概念設計を確定するためには、保守・分解法を決定する必要がある。

●環境安全性評価手法の開発
1) 安全確保とその評価のための方法論とデータベース
2) 総合的トリチウム安全
3) 社会受容性を考慮した放射性廃棄物の管理・処理・処分法など

ロードマップ検討まとめ

- 原型炉建設に向けて必要なR&Dについて、1000を超える項目からなる技術マップ(WBS)リストを作成した。
- このWBSリストを用いて、各々のスケジュールを検討。また、多くの技術選択の**決断時期**を明記した。
- 上記の作業を元に全体ロードマップを描いた。
- 2050年代に初代炉を投入可能な開発計画を作成。ITERの成功を前提に原型炉の概念を絞り込み工学設計を進めておく必要がある。
- 原型炉建設にむけて重要にもかかわらず、現時点で開発計画がないか、不十分な技術項目を同定し、その推進もロードマップに含めた。

原子力委員会 核融合専門部会
2008年7月16日

人材計画・役割分担

トカマク型原型炉に向けた開発実施のための
人材計画に関する検討報告書

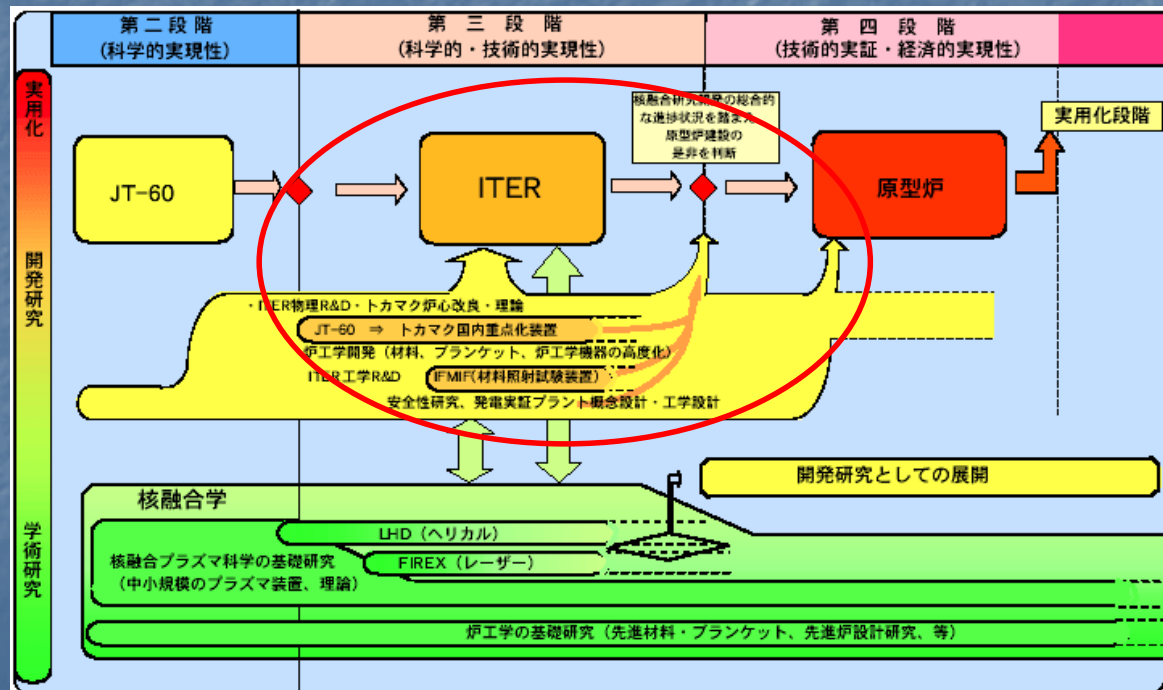
および

報告書:「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」
第3章 「産業界を含めた日本の技術戦略、枠組み、役割分担」

本報告書は、核融合エネルギーフォーラムのWebサイト
<http://www.naka.jaea.go.jp/fusion-energy-forum/>
に7月10日より掲載が開始され、ダウンロードできます。

領域と期間からみた本人材検討の範囲

原子力委員会 核融合専門部会
「今後の核融合研究開発の推進方策について」
平成17年10月26日



人材計画作成の考え方

◎WBSリストの項目別に必要人材を検討。

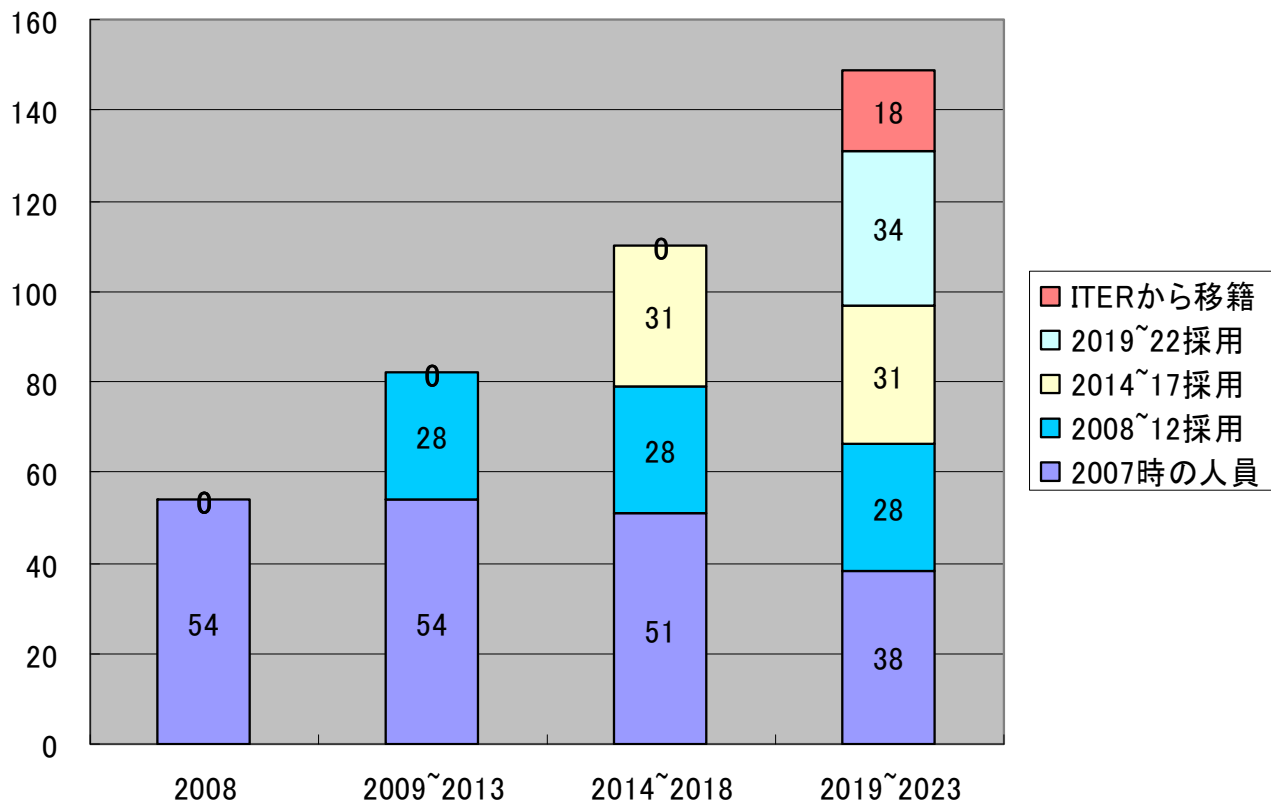
原型炉建設判断(2023年)までの人材を検討した。

◎現状から5年ごとの年齢構成を示し、原型炉建設判断を行う2023年までに年齢構成を、OJTの視点からも望ましい姿 (=後継者が育つ意味で、50歳以下はフラットに) を目指し、必要人員に到達するには、5年ごとに、どの年齢層を、何名 獲得すればよいかを示す。

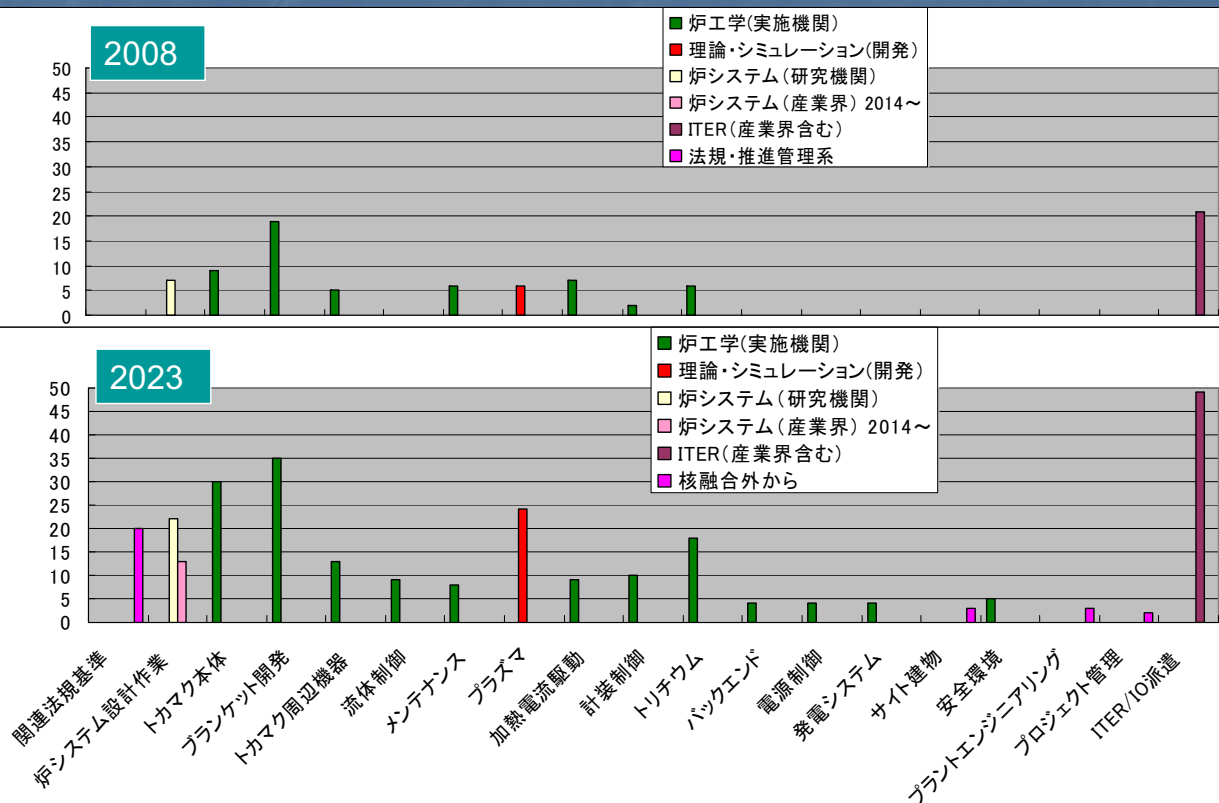
5年で5名増なら、平均して年ごとに1名増程度。

ある年度間のみに採用が集中しないよう分配した。

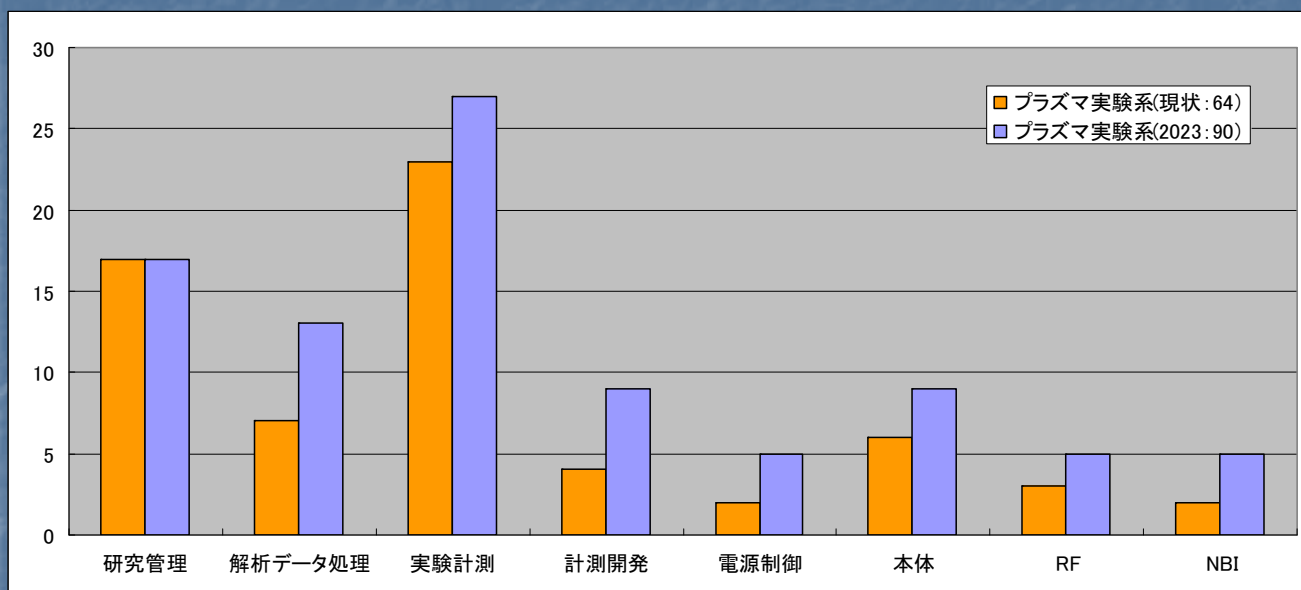
例として炉工学開発系の年度展開を示す



項目別の全体人材配置(現状と2023目標) プラズマ実験系を除く



項目別の全体人材配置(現状と2023目標) プラズマ実験系のみ



事務系と運転技術系は人材育成になじまないので含まない。
大学などとの共同研究による参加人数は含まれない。

●トカマク型原型炉の建設判断までの開発においてコアとなる実施機関を中心に必要となる人材数

2023年に確保すべきポストは約400名(現状との比では200余名増)
そのためには15年間で平均して25名/年程度の採用が必要

	原型炉移行決定時直前	現状 (2007 年度)
1) 炉工学開発系	40%	37%
2) プラズマ実験系	24%	44%
3) 理論・シミュレーション系	6%	4%
4) 炉システム設計系	9%	5%
5) 工学設計段階からの法規・基準 対応、プロジェクト推進管理	8%	0%
6) ITER 機構への派遣人数	13%	10%

各組織の役割分担

	プロジェクト管理	基本設計	詳細設計	発注	R & D	製作設計	製作設計確認	製作	受入検査	建設	建設管理	総合試験(試運転)	検収	本格運転	商用炉建設会社
実施機関	○	○		○								○	○	○	
総合調整会社	○		○				○		○		○	○			○
R&D機関					○							○		○	
メーカー等						○		○		○		○			

研究開発および建設体制

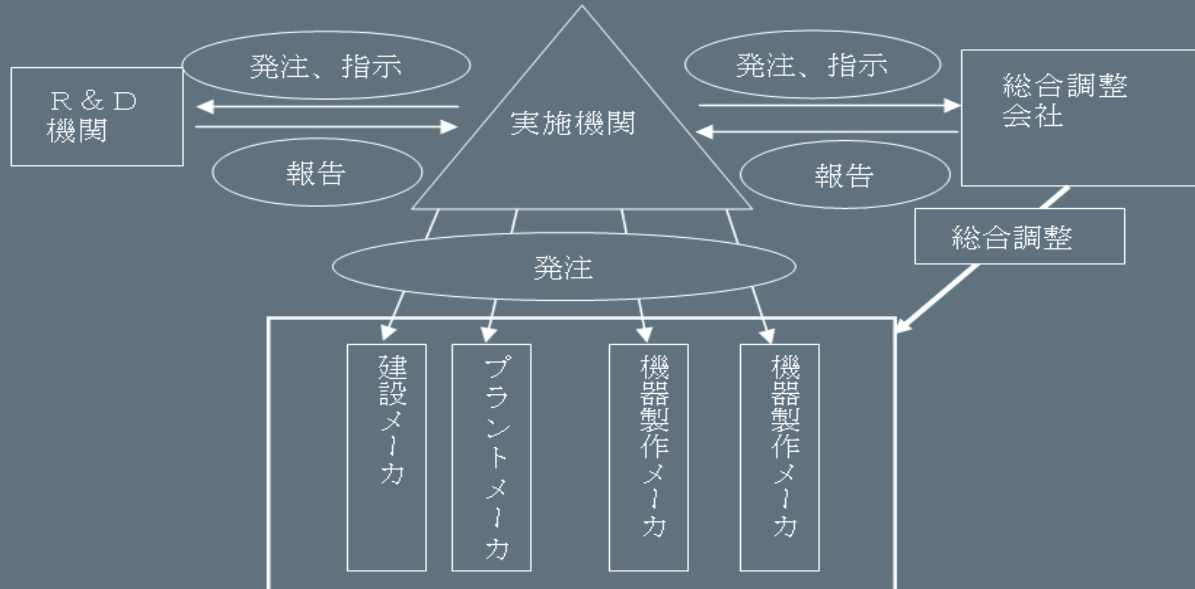


図3 各組織の役割(イメージ図)

ロードマップ第3章p.29～31

人材計画・役割分担まとめ

- トカマク型原型炉の建設判断(2023年)までの開発においてコアとなる実施機関を中心とした人材計画をWBSタスクに沿って作成した。 トカマク型原型炉に向けた開発実施のための人材計画に関する検討報告書
- 産業界での人材育成にも配慮した原型炉建設体制を提案した。 ロードマップ第3章p.29～31
- 産業界の人材数については、人数で示すのではなく、ロードマップ報告書の第3章にプロジェクト規模の形で記載しているので参照されたい。 ロードマップ第3章p.32～36