

# 我が国の核融合研究開発の 現状と課題について

平成24年4月17日

文部科学省研究開発局

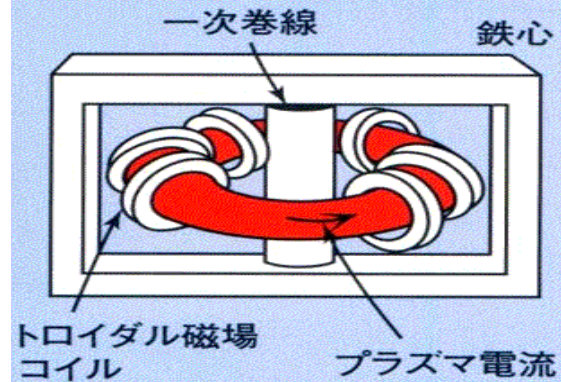
研究開発戦略官付（核融合・原子力国際協力担当）

# 核融合研究開発の位置づけ

- 我が国の核融合研究開発は、原子力委員会の方針に基づき、進められてきている。
  - 「第三段階核融合研究開発基本計画」(平成4年6月 原子力委員会決定)
  - 「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報告書)
- また、原子力政策大綱(平成17年10月 閣議決定)やエネルギー基本計画(平成22年6月 閣議決定)においては、ITER計画をはじめとする核融合について、長期的視野に立って推進することとされている。
- 昨年8月に閣議決定された第4期科学技術基本計画においては、以下のように規定。
  - 「核融合の研究開発については、エネルギー政策や原子力政策と整合性を図りつつ、同時に、その技術の特性、研究開発の段階、国際約束等を踏まえ、これを推進する。」

# 核融合の主な閉じ込め方式

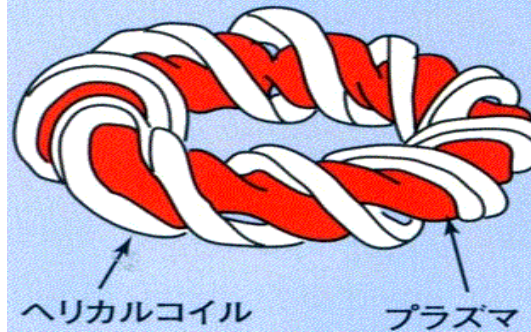
## ●トカマク型



- 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
- プラズマ中に電流を流して、ねじれた磁場を形成
- 旧ソビエトで考案され、世界が追随した方式  
→現時点で最も進んだ方式

〔 ITER (国際熱核融合実験炉)  
JT-60【日本原子力研究開発機構】 〕

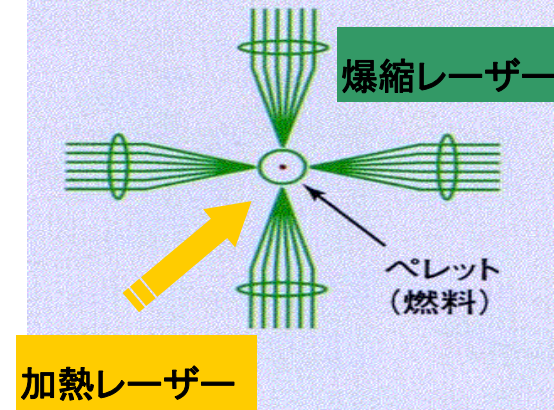
## ●ヘリカル型



- 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
- 磁場は外部コイルのみで形成されるため、プラズマ中に電流を必要としない  
→経済的な運転、長時間運転が可能

〔 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つの方式と全く異なり、燃料を高出力レーザーで爆発的に圧縮・加熱し、その圧力でプラズマを閉じ込める  
→原理実証完了前の基礎的段階
- 米仏では、国防関係機関が推進

〔 激光XII号・LFEX  
【大阪大学】 〕

# ITER(国際熱核融合実験炉)計画について

## 【概要】

環境問題とエネルギー問題を同時に解決する可能性のある核融合エネルギーの実現に向け、国際協力の下、実験炉 ITER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。

- ITER協定 2007年10月24日発効  
(建設期間中は脱退することはできない)

## ●経緯

1985年 米ソ首脳会談が発端  
1988年～2001年 概念設計活動・工学設計活動  
2001年～2006年 政府間協議(2005年サイト決定)  
2007年 ITER協定発効、ITER機構設立

- 参加極 日、欧、米、露、中、韓、印

- 建設地 フランス・カダラッシュ

## ●各極の分担(建設期)

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%

※ 各極が分担する機器を調達・製造して持ち寄り、ITER機構が全体を組み立てる仕組み

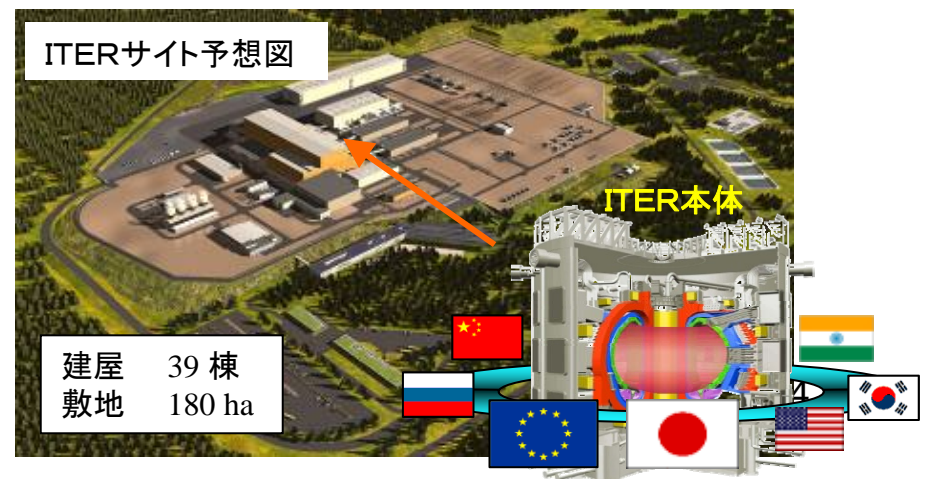
- 計画 35年間  
運転開始:2020年(予定)  
核融合反応:2027年(予定)

- ITER機構長 本島修氏(平成22年7月28日任命)

現在のITER建設サイト  
(2011年9月時点)



ITERサイト予想図



# ITERの概要

## ●意義

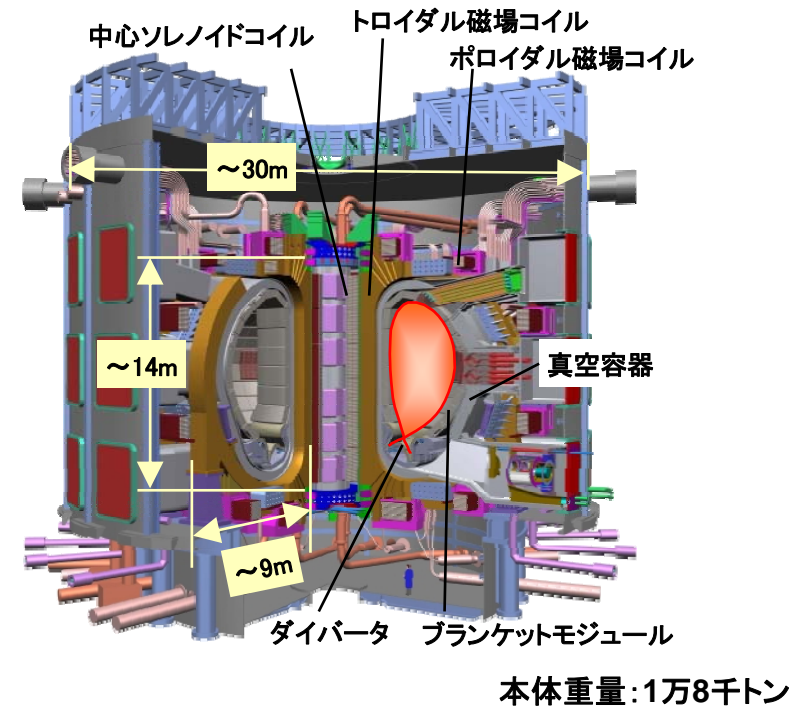
◇核融合エネルギーの実現の見通しを得る。

## ●技術目標

◇入力エネルギーの10倍以上の出力が得られる状態を長時間(300~500秒間)維持する。

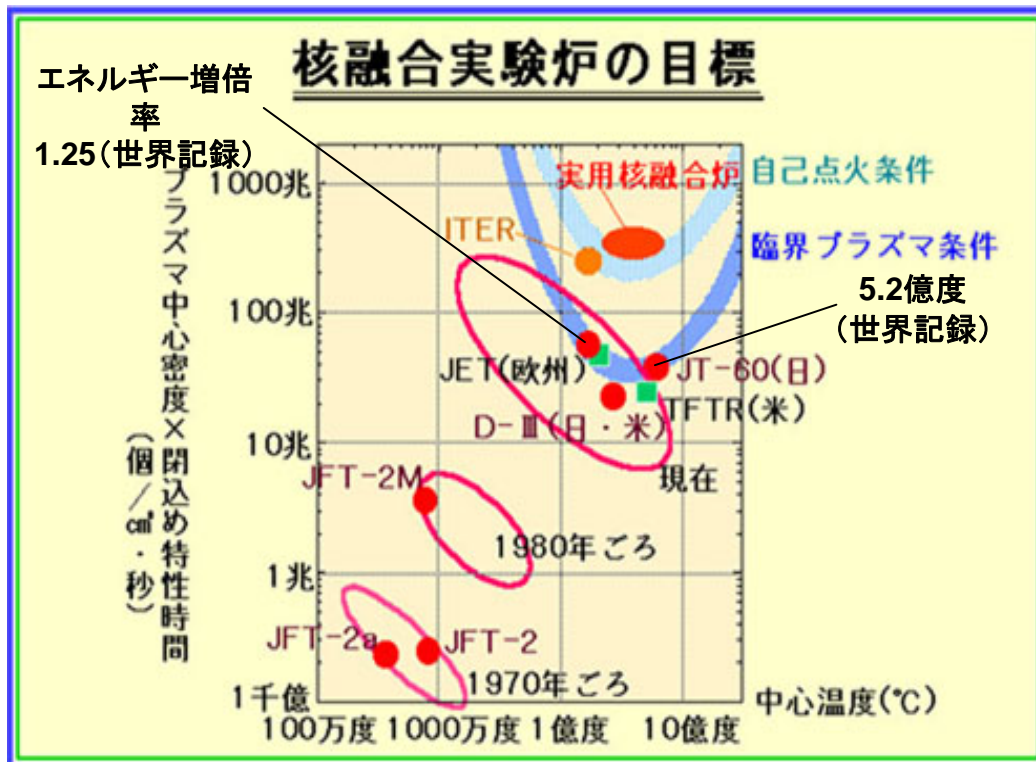
◇超伝導コイル(磁場生成装置)やプラズマの加熱装置などの核融合工学技術を実証する。等

ITER本体概要図



## 主要パラメータ

熱出力(発電はしない)	50万kw
入力エネルギーに対する出力の割合	10以上
プラズマ体積	約840m <sup>3</sup>



# ITER建設スケジュール

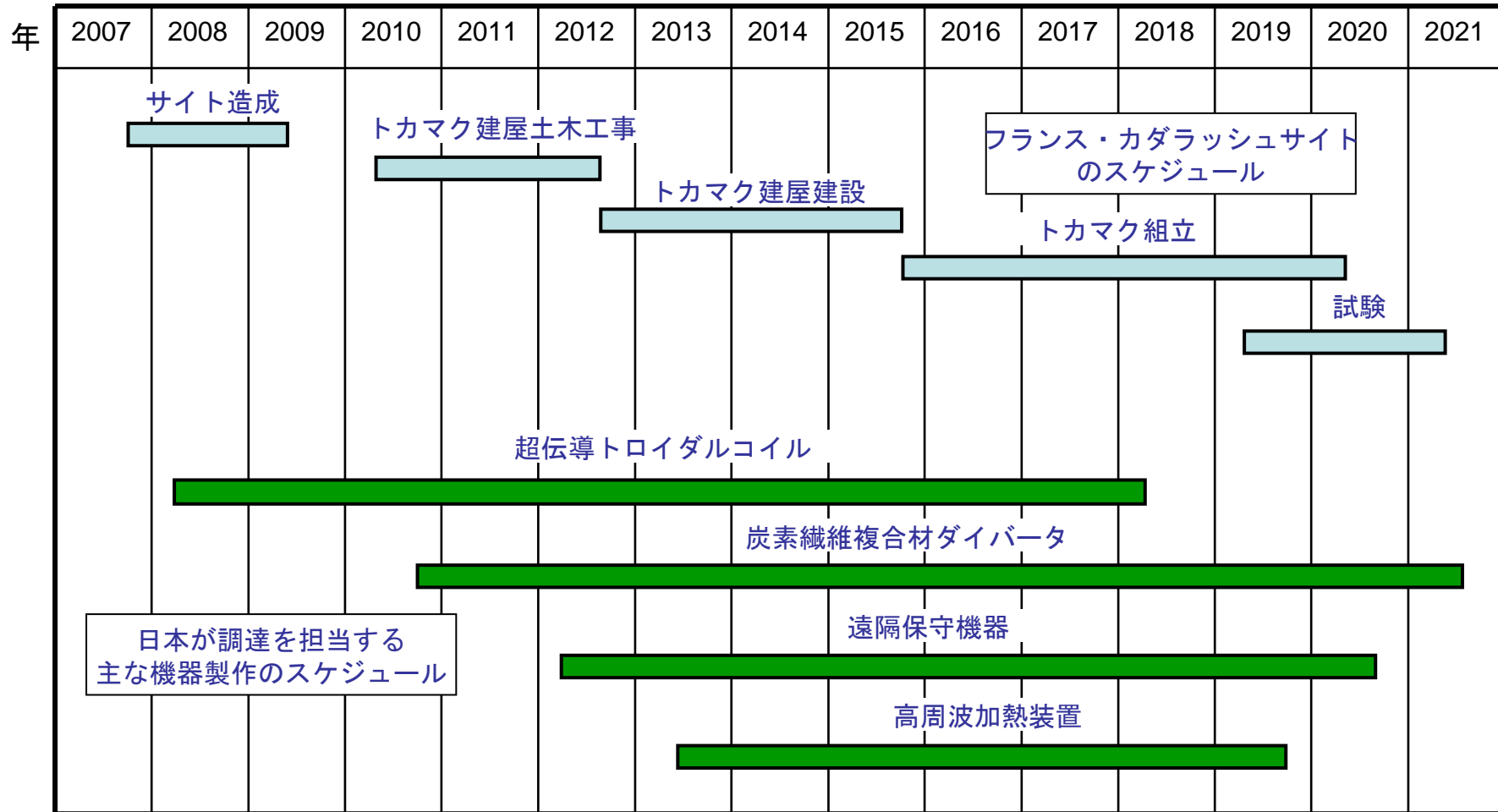
2007年10月24日

ITER協定発効

ITER機構設立 建設認可

トカマク組立開始

トカマク主要部  
組立完了▼▼



# 幅広いアプローチ(BA)活動について

## 幅広いアプローチ(BA)活動

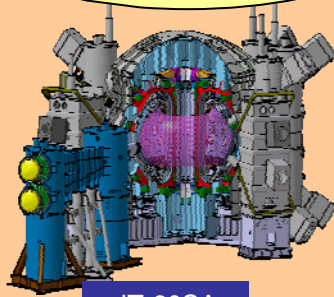


ITER計画と並行して補完的に取り組む  
先進的核融合研究開発

### 【茨城】

#### サテライト・トカマク計画

ITER予備実験を行い、ITERでの効率的な運転に貢献。原型炉建設に求められる安全性・信頼性・経済性のデータを獲得。



JT-60SA

実施極：日、欧

協定：平成19年6月1日発効(国会承認条約)

実施地：青森県六ヶ所村、茨城県那珂市

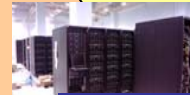
総経費：920億円で半額は欧州が支出(H17年5月時点換算)

計画：10年間

### 【青森】

#### 国際核融合エネルギー研究センター事業(IFERC)

原型炉の概念設計・研究開発、ITER等の実験の遠隔操作、シミュレーション研究など



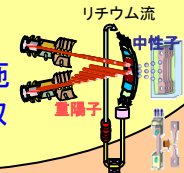
シミュレーション研究



原型炉R&D

#### 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)

原型炉に必要な高強度材料の開発を行う施設の設計・建設への取組



## 幅広いアプローチ活動の現状

### 【茨城】

・JT-60のトロイダル磁場コイルの解体が終了するとともに、真空容器の調達等が進展



真空容器(40度部分)

### 【青森】

・サイト内の全ての建屋が平成22年に完成  
・シミュレーション研究のためのスーパーコンピュータが欧州によって調達され、運用が開始  
・原型炉の研究開発のための設備が設置されるとともに、管理区域の設定がなされ、本格的な研究開発に向けた環境が整備



スパコン運用開始式(H24.3.19)



BAサイト(青森県六ヶ所村)  
(2010年8月時点)

# LHD計画の経緯・成果・課題

## 経緯

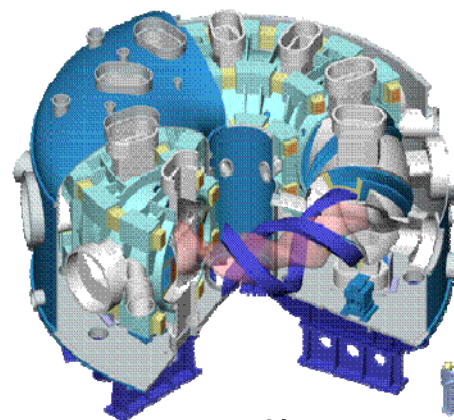
- ・昭和61年2月 文部省学術審議会の核融合部会「大学における今後の核融合研究について」報告
  - …大型ヘリカル装置建設(岐阜県土岐市に建設)、推進母体として新たな大学共同利用機関の設立
- ・昭和63年3月 核融合研究所(仮称)の組織及び次期大型ヘリカル装置計画の概要策定(重水素実験実施を当初計画に)
- ・平成元年 5月 核融合科学研究所設立(名古屋市内)
- ・平成 9年12月 大型ヘリカル装置完成。土岐市へ移転
- ・平成10年 4月 プラズマ実験を開始。

## 成果

- ・約1時間の長時間プラズマ保持(世界最高値)(平成17年度)
- ・プラズマ密度1,200兆個/ccを達成(世界最高値)(平成20年度)
- ・8,000万度を超えるイオン温度を達成(平成23年度)

## 課題

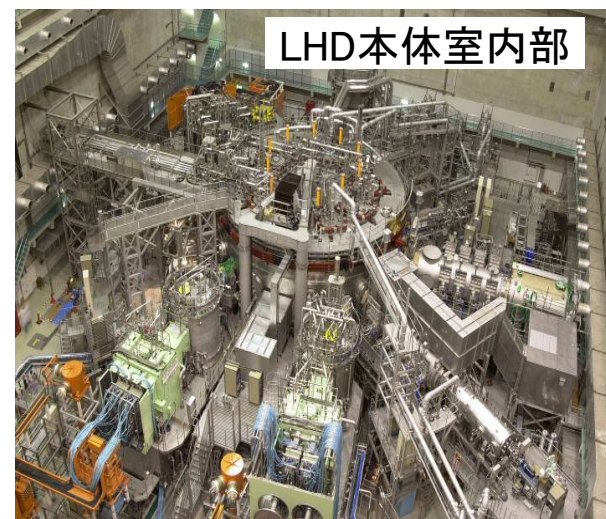
- ・核融合実現の温度条件である、イオン温度1億2千万度を目指す。
  - さらなるプラズマの高性能化。
- ・環状プラズマの総合的理解や体系化を図るため、重水素実験の実施。
  - 重水素実験の実施に関わる協定を岐阜県及び地元3市(土岐市、多治見市、瑞浪市)と締結すべく協議中。



大型ヘリカル装置(LHD)

世界最大の定常型実験装置

プラズマ直径	約8m
超伝導磁石	
磁場強度	約3テスラ



LHD本体室内部



# レーザー核融合研究の経緯・成果・課題

## 経緯

- ・昭和47年 大阪大学工学部附属レーザー工学研究施設発足  
(発足当初から我が国のレーザー核融合研究の拠点として同研究に取り組。)
- ・昭和58年 激光XⅡ号完成
- ・平成16年 レーザーエネルギー学研究中心へ改組
- ・平成18年 全国共同利用施設化
- ・平成20年 LFEXレーザー完成(平成15年から建設を開始)
- ・平成21年 FIREX-I計画(爆縮レーザー(激光XⅡ号)と加熱レーザー(LFEX)を用いた高速点火方式(※)の原理を実証する計画)圧縮加熱統合実験を開始  
目標: 核融合点火に必要な超高温、超高密度条件の達成  
※高速点火方式: 米NIF等の中心点火方式に比べ、10分の1のエネルギーで点火が可能と見込まれる方式。

## 成果

- ・高速点火方式の有効性を実証(世界初)(平成12年)
- ・LFEXペタワットレーザーを完成(世界最大)(平成20年)

## 課題

- ・点火温度5,000万度を目指す。  
→平成24年度にLFEXレーザーの出力ビーム数を現在の2ビームから4ビームに増強し研究を推進。
- ・点火温度5,000万度を達成した後の事業推進。  
→核融合研究作業部会等において評価し、次段階へ移行する否かを判断の実施が必要。

激光XⅡ	12ビーム／0.53μm
	10kJ / ns
LFEX	4ビーム／1.05μm
	10kJ / ps



LFEX



激光XⅡ号

# 参 考 资 料

# 原子力科学技術の推進方策について

(平成24年1月24日 文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会承認)

## 【核融合関係部分の概要】

- 核融合エネルギーは、長期的・安定的供給、環境、安全性等の観点で優れた特性を有し、その実現は人類共通の課題である。
- 国際約束であるITER(国際熱核融合実験炉)計画、BA(幅広いアプローチ)活動、国内の重要施策(トカマク方式、ヘリカル方式、レーザー方式及び炉工学)を、引き続き着実に推進していく必要がある。

## (国際約束に基づくITER計画等の推進について)

- ITER計画: 世界7極(日米欧露中韓印)による、核融合エネルギー実現に必要不可欠な国際共同プロジェクト。東日本大震災後のスケジュールの遅れを最小化し、早期にITER建設が実現するよう、我が国が分担する調達活動等を積極的に行う必要がある。
- BA活動: ITER計画を補完・支援する日欧協力による重要プロジェクト。ITER計画の進捗を踏まえつつ、確実に進める必要がある。

# 原子力科学技術の推進方策について

## (重点化計画における推進4分野)

- ・ トカマク(トカマク国内重点化装置JT-60SA、JAEA)計画：  
高ベータ定常運転<sup>※1</sup>実現。BA活動におけるサテライト・トカマクの進捗を踏まえ、安全の確保に最大限の注意を払いつつ、解体・改修を進めていくべき。
- ・ LHD(大型ヘリカル装置、NIFS)計画： プラズマ学理構築。より臨界プラズマ条件<sup>※2</sup>に近い高性能定常プラズマ実現のための重水素実験に向けた準備、プラズマ学術研究の中核拠点として大学等との共同研究を引き続き推進していくべき。
- ・ レーザー方式(大阪大学等)： 高速点火方式第1期実証実験(FIREX-I)進行中。次段階への移行判断のため、核融合点火温度5千万°C以上達成等の研究成果を確実にあげることが重要。
- ・ 炉工学： ITER計画及びBA活動との連携、JAEAにおける炉工学技術開発、大学等における幅広い基礎研究を総合的に推進、技術基盤を着実に形成。

※1: ベータ値(プラズマ圧力/磁場圧力)が高い状態での連続運転で、高ベータ化は、核融合炉の経済性を高める上で、必要不可欠な要素となる。

※2: プラズマイオンが同数の重水素と三重水素で構成される時に、プラズマに注入したパワーと等しいパワーが核融合反応で発生する条件。