

# 核融合研究の現状について

# 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

# 核融合エネルギー

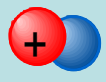
核融合エネルギー・・・軽い原子核同士（重水素、トリチウム）が融合して別の原子核に変わる際に、質量の差分がエネルギーとなって出るもの

## <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



核融合

ヘリウム



トリチウム

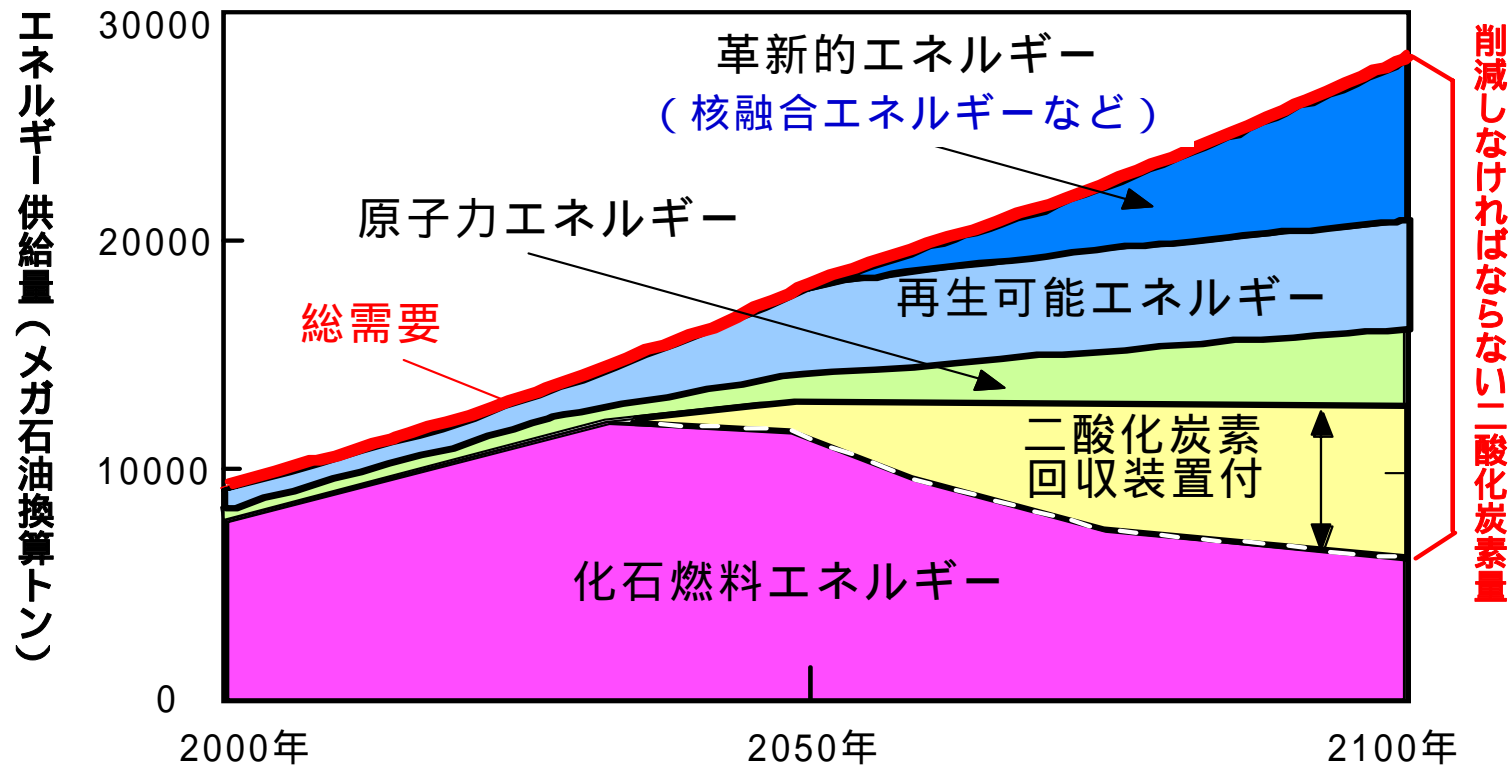
中性子



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。

# 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)

# 核融合エネルギーの段階的研究開発

## 科学実証

臨界プラズマ条件の達成

## 工学的実証

燃焼プラズマの達成・長時間燃焼の実現  
(核融合による本格的なエネルギーの発生)  
原型炉開発に必要な炉工学技術の基礎の形成

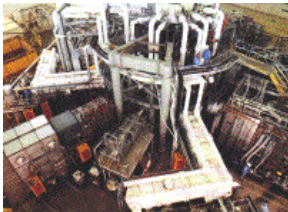
## 発電実証

核融合発電の経済性の向上

### 【主要実験装置】

### 【実験炉 (ITER)】

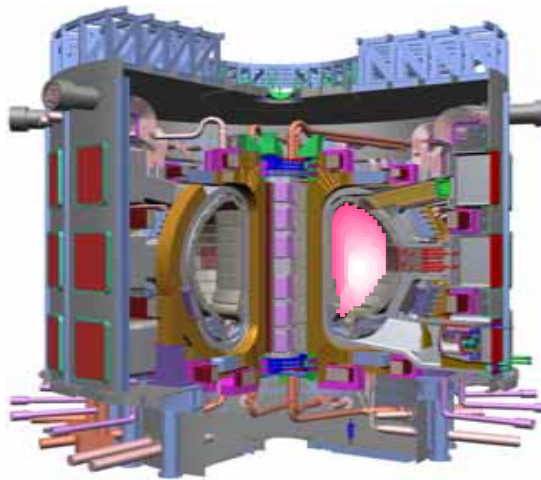
### 【原型・実証炉】



TFTR (米)    JET (EU)



JT-60 (日本)



# 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

年) { 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

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。

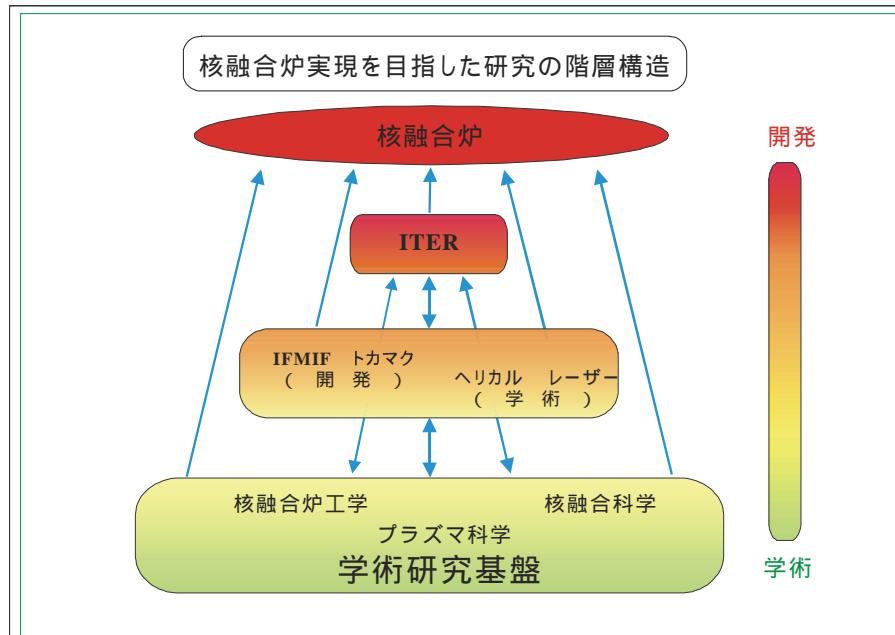
ITER計画を中心に、関連する研究開発も含め、総合的に捉えることが必要。

# 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- )  
炉工学

### 共同利用・共同研究の強化

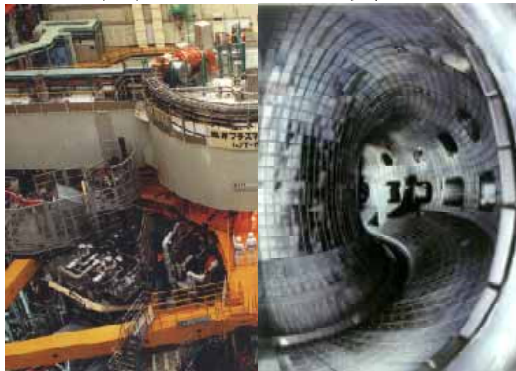
### 重点化後の人材育成の在り方



# 国内重点化装置

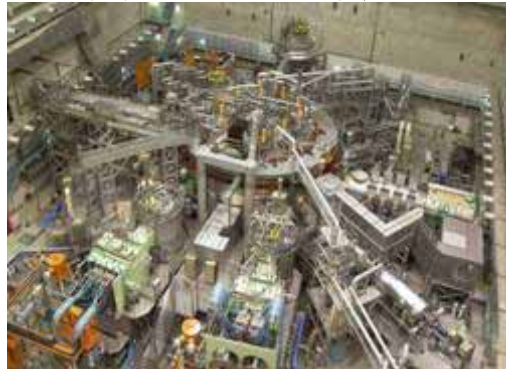
我が国の核融合研究開発は、日本原子力研究開発機構、核融合科学研究所、大学等の連携・協力により研究開発を実施。特に、トカマク、ヘリカル、レーザーについては世界でも有数の装置を有し、世界をリードする成果を輩出。

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)

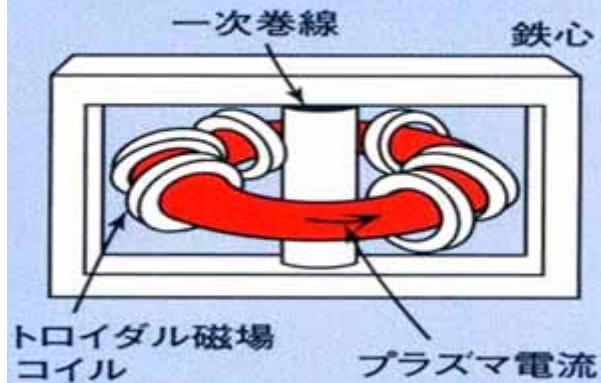
レーザー核融合実験装置



GEKKO- (大阪大学)

# 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、世界が追随した方式 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 〕

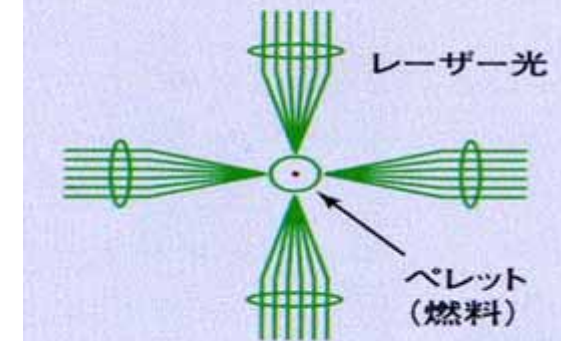
## ●ヘリカル型



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 〕

# 我が国における核融合政策の現状について

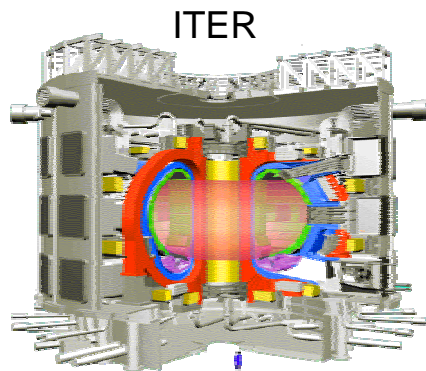
## 磁場閉じ込め方式

☆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

知見を反映

### 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  
(プラズマの安定性)

原型炉段階で  
採用される可能性

我が国独自のアイデアに基づく

LHD



## 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-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

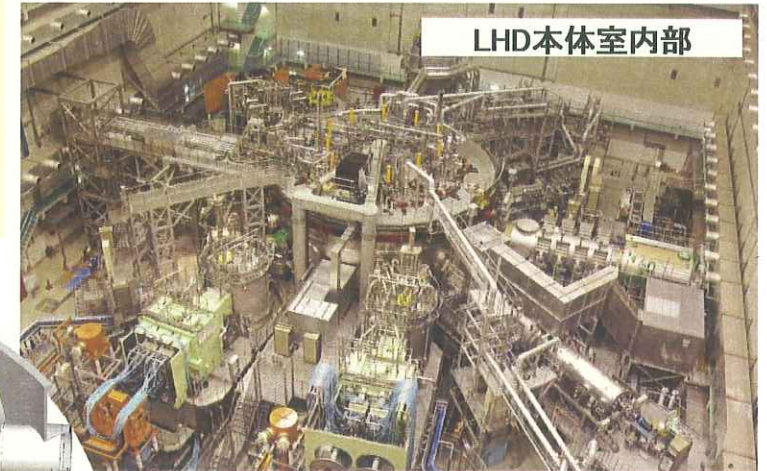


FIREX- で用  
いる激光  
号

# 大型ヘリカル装置(LHD)による核融合科学研究の推進

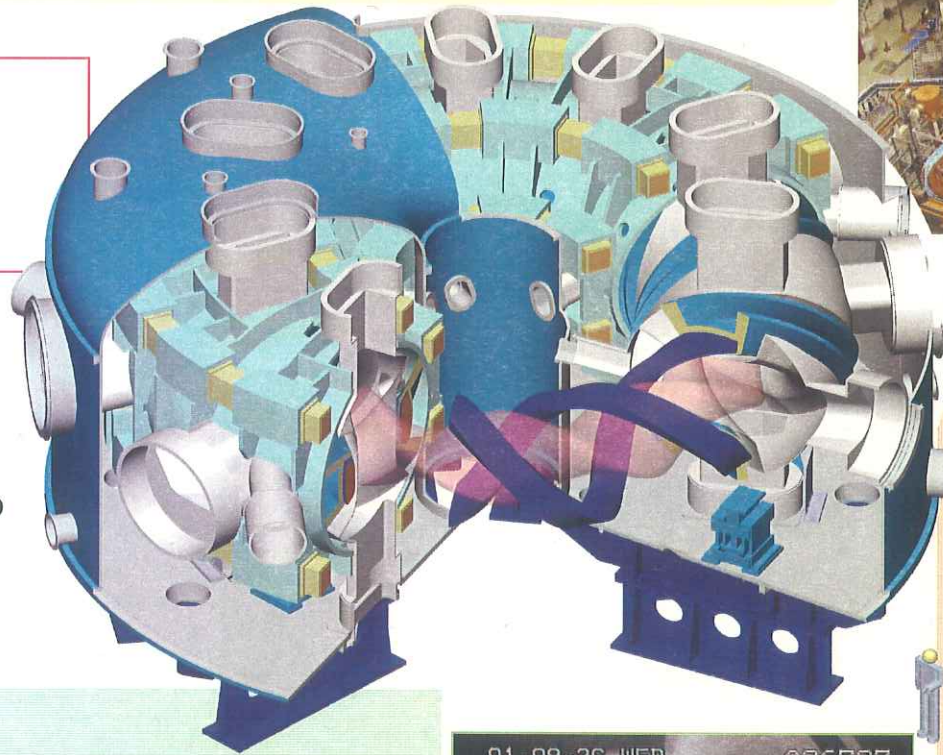
## 概要

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・稼動させ、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



## 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 <sup>3</sup>
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



## 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

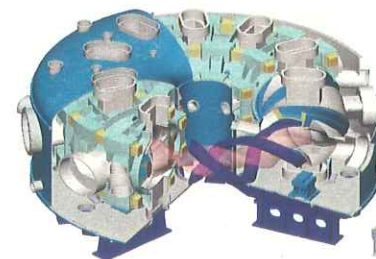
# 自然科学研究機構核融合科学研究所の概要

【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

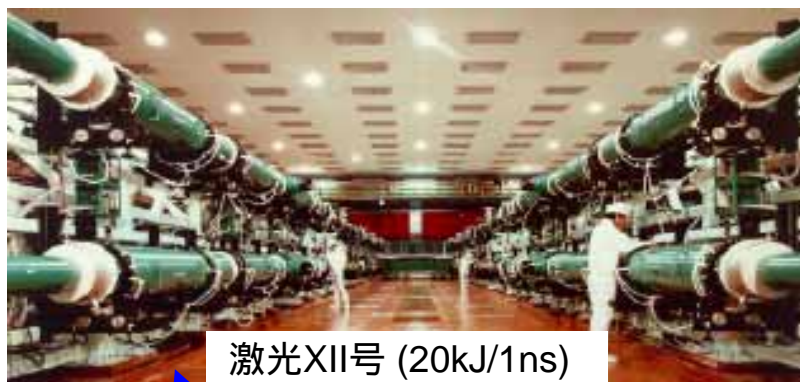
我が国の核融合研究をさらに発展・強化させるべく、これまで各大学において行われてきた研究の重点化・効率化の動きに対応して、核融合科学研究所が核融合コミュニティと協議しながら中核機関として調整を行い、双方向性のある共同研究を実施している。

(平成18年度予算額:664百万円、平成19年度予算額:664百万円)

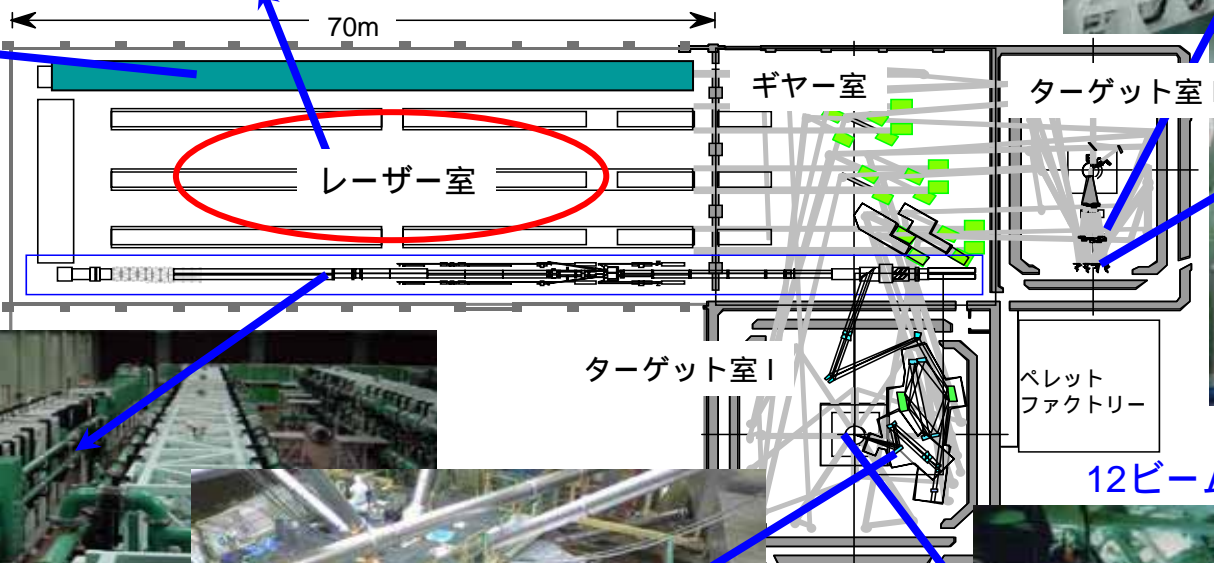
# 大阪大学レーザーエネルギー学研究中心の主力大型レーザー装置



ペタワットレーザー  
(0.8kJ/0.8ps)



激光XII号 (20kJ/1ns)



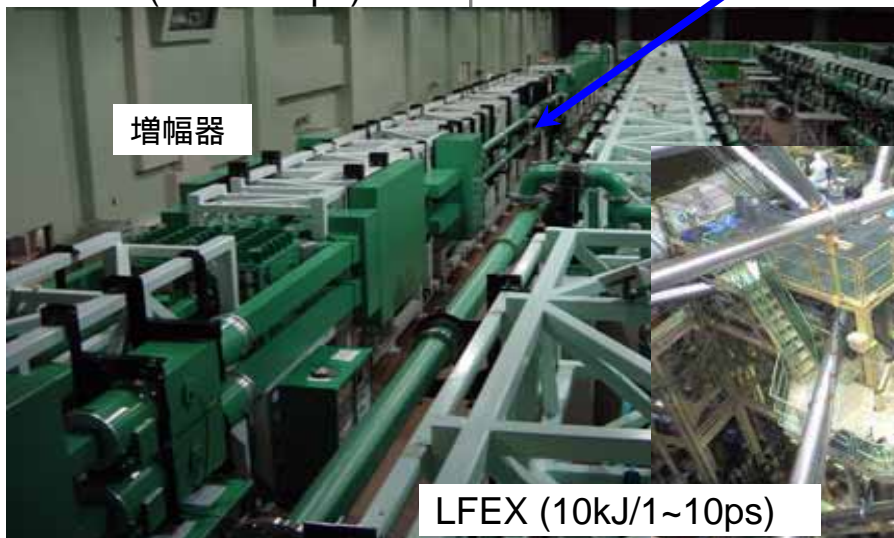
12ビームバンドル照射



- ・放射流体力学
- ・宇宙、惑星物理
- ・超高压物性



12ビーム対称照射

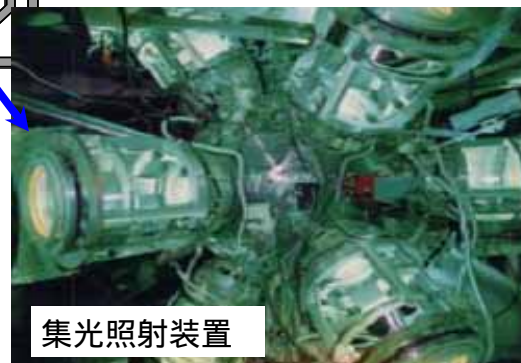


増幅器

LFEX (10kJ/1~10ps)

パルス圧縮器

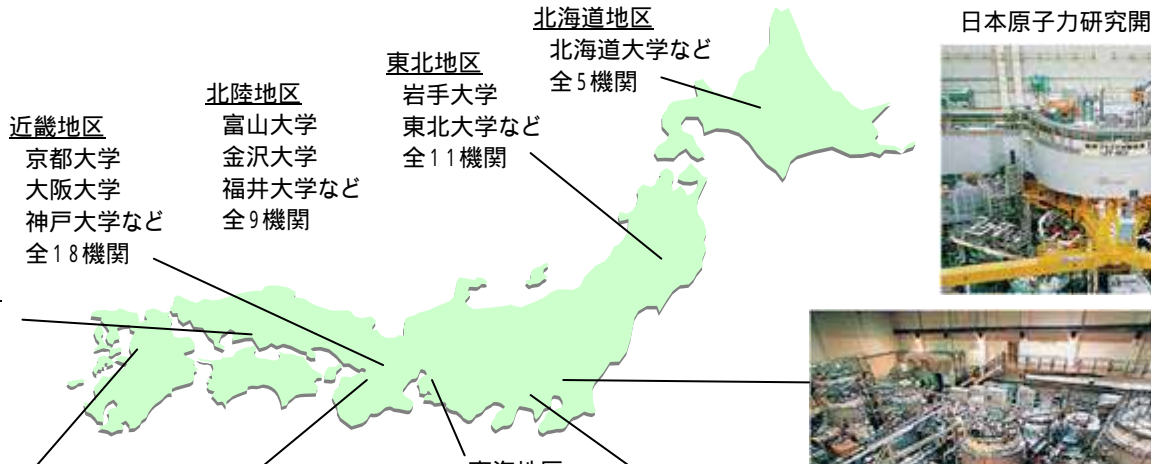
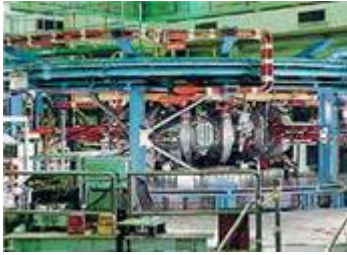
- ・核融合
- ・超高強度光科学



集光照射装置

# 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



**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



**ガンマ10** ミラー型  
筑波大学プラズマ研究センター



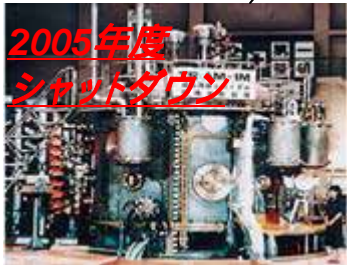
**激光 号** レーザー型  
大阪大学レーザーエネルギー学  
研究センター



**LHD** ヘリカル型  
核融合科学研究所



**CHS** ヘリカル型  
核融合科学研究所



**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



## 高速点火 FIREX-I への展開

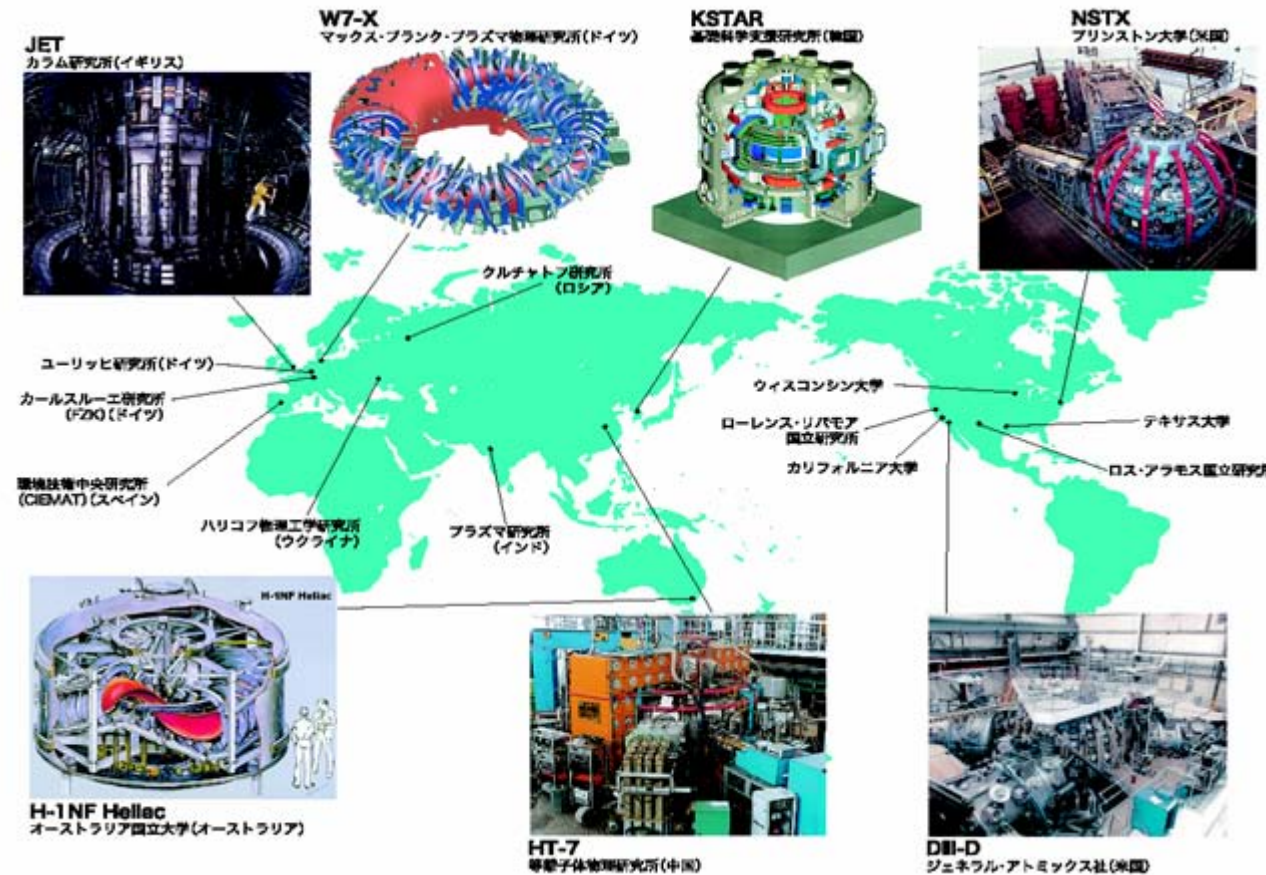
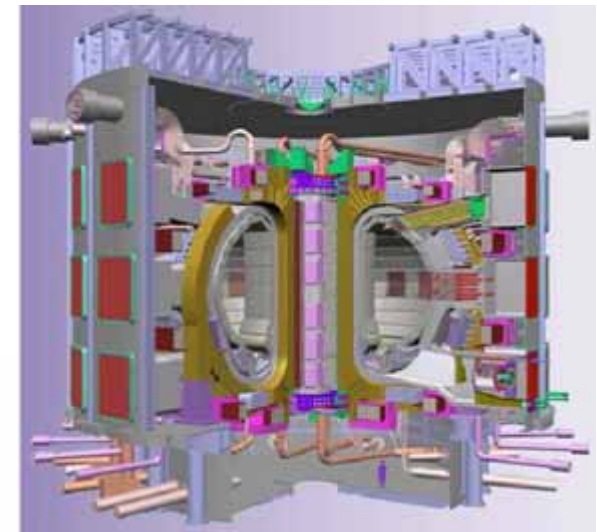
## 共同研究分野

- 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

# 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:** S ST-1開発中