

# 文部科学省における フュージョンエネルギーに関する取組

文部科学省研究開発局

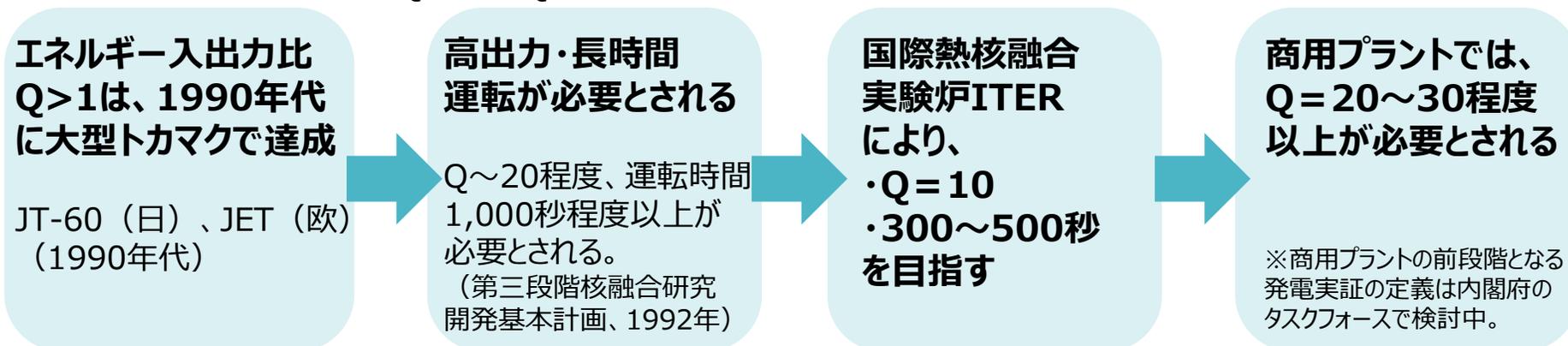
フュージョンエネルギーの実現に向けて・・・

1. フュージョンエネルギーの研究開発は難易度が高く、基盤的な技術の確立が必要であることから、**国家プロジェクトによる着実な重要技術の獲得が必要。**
2. **共通的に必要となる技術は協調領域として国が中心となって強力に研究開発を進める必要。**また、量子科学技術研究開発機構（QST）、核融合科学研究所（NIFS）、大阪大学レーザー科学研究所（ILE）がイノベーション拠点（先端施設の供用）の形成からプラットフォーム機能の構築（スタートアップを含め、産学官のパートナーを組織的に幅広く支援）まで進めることが必要。

- これまで、日本を含めて世界の主要国は、多額の投資と長い時間をかけて発電条件の達成に向けた研究開発を行い、成果を挙げてきた。
- しかし、フュージョンエネルギーによる「世界に先駆けた2030年代の発電実証」を実現するには、まだ相当量の研究開発が必要。上記の発電実証と社会実装の間には大きな技術ギャップが存在。
- **フュージョンエネルギーによる発電実証にあたって必要な重要技術は、イーター計画やJT-60SA計画といった国家プロジェクトの着実な推進により獲得する必要がある。**また、スタートアップも今後重要なプレイヤーとなることが期待される。

## （参考）フュージョンエネルギーによる発電に向けて達成してきた/すべき条件

フュージョンエネルギーを取り出す条件は、プラズマの温度、密度、閉じ込め時間で定まる。  
エネルギーの入出力比：Q値（ $Q = \text{出力} / \text{入力}$ ）



- フュージョンエネルギーの実現には、トリチウム取扱いやダイバーター、加熱装置、高放射線環境下の遠隔保守（大型ロボット技術）等、共通的に必要となる技術の確立が必須。
- 内閣府と文部科学省が連携し、QST、NIFS、ILEのイノベーション拠点化の取組を進めている。**共通的に必要となる技術については協調領域として、国研や大学共同利用機関等において産学を糾合して進めていく等の取組を国が中心となって強力に進めていく必要。**

## （参考）内閣府及び文部科学省が連携して進める「イノベーション拠点化」の予算措置状況

QST		NIFS		ILE	
R6補正	核融合燃料分析整備	R6補正	高温プラズマ実験システム	R6補正	核融合燃料模擬試験装置(第1期)
R6補正	発電ブランケット用熱負荷試験装置	R6補正	フュージョン・ナノ計測基盤装置	R6補正	核融合燃料高密度圧縮装置(第1期)
R6補正	フュージョンインフォマティクス用計算機冷却設備	R7補正	超伝導技術の評価装置の整備	R7補正	連続レーザーフュージョン基盤開発装置
R7補正	燃料システム安全試験施設設備整備	R7補正	先進炉材料研究開発設備	R7補正	フュージョン反応試験装置
R7補正	ブランケット開発・試験施設設備	R7補正	スーパーコンピュータ		
R7補正	理論・シミュレーション研究支援設備	R7補正	負イオン源中性粒子ビーム整備		
R7補正	産学共同研究開発施設設備	R7補正	計測器開発プラットフォーム		
		R7補正	多価イオン実験装置		

# ITERで開発した技術：日本で開発した先進技術で高出力・定常運転の実現を目指す

## 中心ソレノイド (CS) コイル

プラズマ電流を発生させる  
直径4 m、高さ16 m

**磁場：13.5 T、Nb<sub>3</sub>Sn**



## トロイダル磁場 (TF) コイル※

プラズマを維持する

9 x 17 m、18 コイル

**磁場：11.8 T、Nb<sub>3</sub>Sn**



## ポロイダル磁場 (PF) コイル

プラズマ形状・位置を保つ  
直径 8 - 26 m、6 コイル  
磁場：4-6 T、NbTi



## プラズマ加熱・電流駆動

高エネルギー (1 MeV) ビーム  
高周波 (170 GHz) 加熱

高温  
プラズマ  
840 m<sup>3</sup>

## ブランケット

4 トン x 400モジュール  
ITERでは遮蔽・除熱  
発電実証では上記に加えて燃料製造

## 真空容器

プラズマを生成するための真空環境を保持  
ドーナツ形状、~4,000 トン  
**二重壁構造**



## ダイバータ

ヘリウムなどの不純物を排気  
**耐熱・耐粒子負荷 10-20 MW/m<sup>2</sup>**

※例えば、TFコイルの技術はIAEAの分類ではTRL 6 (システムとしての実証モデルで試験) 以上

## ① 発電システムとしての性能実証

→ ITERでは我が国は1モジュール分の試験ブランケットで熱に変換する機能を検証。  
発電実証では発電ブランケットを装着し発電の経済性を検証。

## ② 巨大な電磁力に耐える構造材料の開発

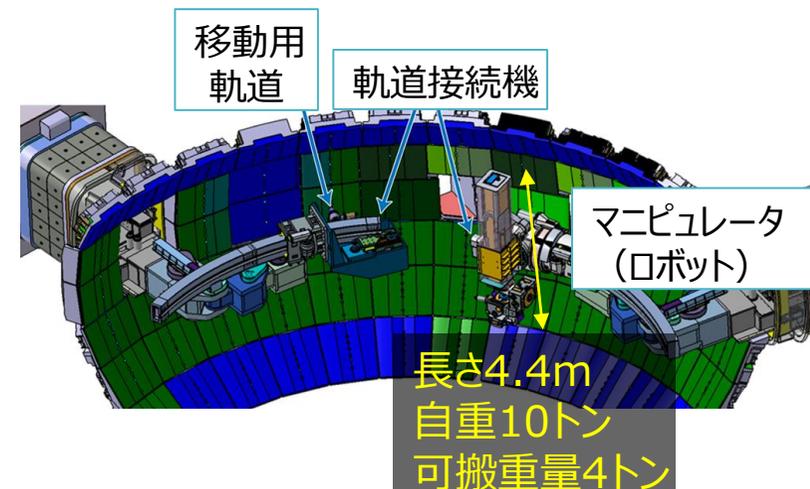
→ ITERではTFコイル当たり約300トンの構造材料で約4万トンの電磁力を支持。  
より高磁場となる発電実証プラントでは、ITERよりも高強度の構造材料の開発が必要。

## ③ 高エネルギー中性子環境下（～14MeV）で長期間使用可能な構造材料開発

→ 材料表面の核融合中性子のエネルギーが高速炉より2桁高いことなどから、  
候補材（低放射化フェライト鋼）の中性子照射試験が必要。

## ④ 強度の放射線環境下で内部機器の保守・交換を行う大型ロボット技術（右図）

→ ITERでは約4トンのブランケットなどを保守・交換する大型ロボット技術を開発。  
発電実証ではより高い耐放射線性が必要になるとともに、保守期間短縮のために内部機器を一括で交換する新たな遠隔保守技術の開発も必要。



## ⑤ 稼働率向上のためAI技術などの最先端技術を活用した運転・保守の高度化

# 大学間連携・国際連携による体系的な人材育成システムの構築

- 原型炉研究開発に必要な人材確保に向け、「核融合エネルギー開発の推進に向けた人材の育成・確保について(核融合科学技術委員会)」の議論も踏まえ、大学共同利用機関である核融合科学研究所(NIFS)を中核機関として、共同研究ネットワークや各国との協力事業の枠組みなども活用し、**大学間連携による総合的な教育システム**を構築する。
- 併せて、大学院教育と国内外の大型研究装置との連携を促進するため、量子科学技術研究開発機構(QST)等とも連携し、**ITER/JT-60SA等を活用した人材育成**を実施。

(参考)「統合イノベーション戦略2025(2025年6月6日閣議決定)」

原型炉開発等のフュージョンエネルギーに携わる人材を戦略的に育成するため、**大学間連携・国際連携による体系的な人材育成システムを構築**

## ＜大学間連携による総合的な教育システム、ITER/JT-60SA等を活用した体系的な人材育成＞

### 大学間連携・国際連携による人材育成

海外の研究機関・大学・企業等(ITER機構、ローレンスリバモア国立研究所、ウィスコンシン大学マディソン校、ジェネラルアトミックス社など)に若手研究者・企業従事者・学生を派遣。



### ITER機構との連携による人材育成

若手研究者・技術者をより多くITER機構に職員として派遣。



### ITER International School (IIS)

未来の研究開発を担う若手人材を育成することを目的としたITER機構が主催するスクールに参加。



### JT-60SA International Fusion School (JIFS)

将来の研究開発を担う人材の育成、国際ネットワークの構築を目的としたスクールを開催。



### Fusion Science School (FSS)

ITER国際スクールの日本開催の実績も踏まえるとともに、日本の教育コンテンツの収集を図り、各対象者(学生、研究者、企業従事者)のニーズに応える教育プログラムを構築。

研究者  
技術者

- ・ 海外
- ・ 核融合分野
- ・ 産業界
- ・ 他分野 等

学生

- ・ 海外
- ・ 核融合分野
- ・ 他分野 など

Networking

- ・ ITER
- ・ 海外研究機関
- ・ QST
- ・ NIFS
- ・ 大学
- ・ 産業界 (スタートアップ)

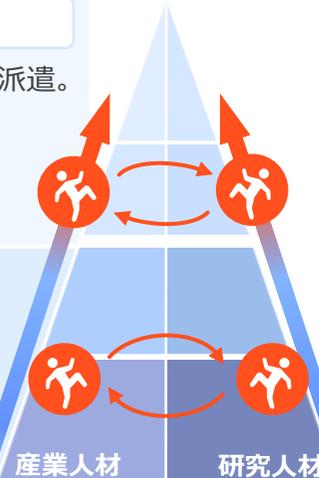
学際的・国際的な  
ステークホルダー

FSS

リカレント教育・OJT・共同研究

### 学生インターンシップ

学部生等を対象として、国内外の企業等(ITER機構含む)学生インターンシップを実施。



フュージョンエネルギー人材の  
母数を増加

※2024年度はITER International Schoolを開催

# 參考資料

# ITER（国際熱核融合実験炉）計画について

## ●目的

核融合実験炉ITERを建設・運転し、フュージョンエネルギーの科学的・技術的実現可能性を確立する。

## ●経緯

- 1985年 米ソ首脳会談が発端
- 1988年～2001年 設計活動（日欧米ソ）
- 2001年～2006年 政府間協議
- 2007年 ITER協定発効、ITER機構設立（日、欧、米、露、中、韓、印）

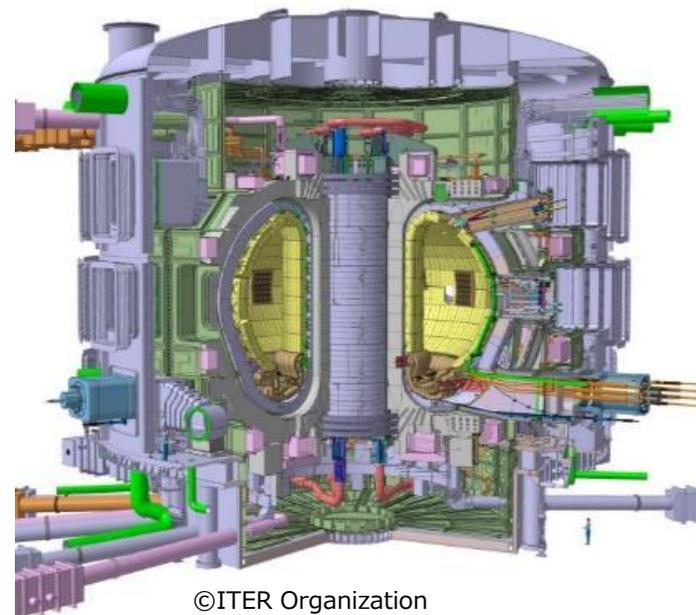
## ●建設地 仏、サン・ポール・レ・デュランス市（カダラッシュ）

## ●現状及び今後の計画スケジュール

2020年から組立を開始。現在、真空容器・TFコイル（D型のコイル）4/9セクタの設置まで完了。  
日本の部材も多く活用されている。  
研究運転開始：2034年

## ●特徴

- ◇トカマク方式
- ◇発電はしない実験炉
- ◇日本のJT-60の成果も活用



## ●目的

日欧の国際約束に基づき、フュージョンエネルギーの早期実現を目指して、ITER計画を補完・支援するとともに、核融合原型炉に必要な技術基盤を確立するための先進的研究開発を実施する。

## ●実施極及び実施機関

日本：量子科学技術研究開発機構（QST）、欧州：Fusion for Energy（F4E）

## ●BA協定※ 2007年6月1日発効（日、欧いずれかが終了を提起しない限り、自動延長）

※フュージョン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

## ●実施拠点 青森県六ヶ所村、茨城県那珂市

## ●費用分担

日欧はそれぞれ、年間50kBAUA※を上限とする額を貢献する。

日本は更にホスト国として、日本側貢献総額の2/3以上を貢献。

※1kBAUA(BA会計単位)=約1億円（2023年現在）



## ●実施事業

### ① 国際核融合材料照射施設に関する工学実証・工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)【青森県六ヶ所村】

- ▶ 核融合炉における高い中性子照射に耐久する**材料の開発を行う施設**（核融合中性子源）の建設に向けて、原型加速器の性能実証や、中性子源の工学設計を実施。



原型加速器「LIPAc」

### ② 国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 【青森県六ヶ所村】

- ▶ **原型炉の概念設計、原型炉に向けた研究開発、ITERの遠隔実験、核融合計算シミュレーション研究**を実施。



スーパーコンピュータ「双星（そうせい）」

### ③ サテライト・トカマク計画(STP) 【茨城県那珂市】

- ▶ 臨界プラズマ試験装置JT-60を超伝導化改修した、**世界最大のトカマク型超伝導プラズマ実験装置「JT-60SA」**を整備・運転。



JT-60SA

# QST等のイノベーション拠点化の推進について (フュージョンイノベーション拠点に必要な設備の整備プログラム)

## ●事業概要・目的

「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」（令和7年6月改定）を踏まえ、産学官の研究力強化の観点に加えて、地方創生の観点も踏まえイノベーション拠点化を推進。

我が国において発電実証を目指すスタートアップ単体では対応が困難な共通的な技術課題（※）が存在することを踏まえ、**量子科学技術研究開発機構(QST)、核融合科学研究所(NIFS)、大阪大学レーザー科学研究所(ILE)に、アカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制やスタートアップ等への供用も可能とする実規模技術開発のための試験設備群を整備**する。3拠点が相互に連携し、役割分担をして進めていく。 ※トリチウムの取扱い、ブランケット・ダイバーターの開発、炉材料等の開発 など

## ●事業スキーム

内閣府が要求し、文部科学省において経費を執行。  
文部科学省よりQST、NIFS、ILEに対し補助金を交付（1/1補助）。

### フュージョンエネルギー・イノベーション戦略（令和7年6月改定）抜粋

#### ●QST等のイノベーション拠点化を推進すること【内、文】

世界各国が大規模投資を実施し、国策として自国への技術・人材の囲い込みが更に加速する中、産学官の研究力強化の観点に加えて、地方創生の観点から、QSTやNIFS、大阪大学レーザー科学研究所等の体制を強化し、**アカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制やスタートアップ等への供用も可能とする実規模技術開発のための試験施設・設備群を整備**する。その際、日米共同声明や日欧共同プレス声明をはじめ、国際連携を戦略的に強化することにより、三重水素の取扱技術の向上や材料の放射化などに関する知見の獲得の観点から、国際協力による科学的・技術的課題への対応や研究開発施設の共用・開発を推進する。

参考：内閣府及び文部科学省が連携して進める「イノベーション拠点化」の予算措置状況

QST		NIFS		ILE	
R6補正	核融合燃料分析整備	R6補正	高温プラズマ実験システム	R6補正	核融合燃料模擬試験装置(第1期)
R6補正	発電ブランケット用熱負荷試験装置	R6補正	フュージョン・ナノ計測基盤装置	R6補正	核融合燃料高密度圧縮装置(第1期)
R6補正	フュージョンインフォマティクス用計算機冷却設備	R7補正	超伝導技術の評価装置の整備	R7補正	連続レーザーフュージョン基盤開発装置
R7補正	燃料システム安全試験施設設備整備	R7補正	先進炉材料研究開発設備	R7補正	フュージョン反応試験装置
R7補正	ブランケット開発・試験施設設備	R7補正	スーパーコンピュータ		
R7補正	理論・シミュレーション研究支援設備	R7補正	負イオン源中性粒子ビーム整備		
R7補正	産学共同研究開発施設設備	R7補正	計測器開発プラットフォーム		
		R7補正	多価イオン実験装置		