

地球上に太陽を

—核融合エネルギーでつくる未来—

量子科学技術研究開発機構ではクリーンで安全な核融合エネルギーの実現に向けた研究開発を行っています。

©2019 QST naka

核融合発電の実用化

■太陽

太陽の中心部では、強い重力により圧縮された数百万度のプラズマの中で4個の水素原子核から1個のヘリウム原子核を生成する「核融合反応」がゆっくり起きています（陽子-陽子連鎖反応）。地上で核融合エネルギーを利用するためには、重水素と三重水素のプラズマを1億度以上に温める必要があります。

■プラズマ

原子は「原子核」とその周りを回る「電子」でできていますが、物質の温度が数千〜数万度を超えると（電子がエネルギーを得ると）、原子から電子が飛び出して（電離して）、イオンと電子がバラバラになった「プラズマ」状態になります。人工的に核融合を起こさせるためには、プラズマ状態にする必要があります。

■重水素(D・²H)の原子核

水素の安定同位体です。海水中に大量に含まれています。

■三重水素(T・³H)の原子核

水素の放射性同位体です。12.32年で別の核種(³He)に変化します。

■ヘリウム(⁴He)の原子核

D-T核融合の副産物です。無臭無毒の安全な原子です。

■リチウム(⁶Li)の原子核

中性子が当たると三重水素とヘリウムに分裂します。海水中から採取できます。

■ヘリウム(⁴He) 3.52MeV

D-T核融合で生成された高いエネルギーを持ったヘリウムは、プラズマの中で重水素、三重水素と電子にエネルギーを与えて、最後は「ダイバータ」で排出されます。

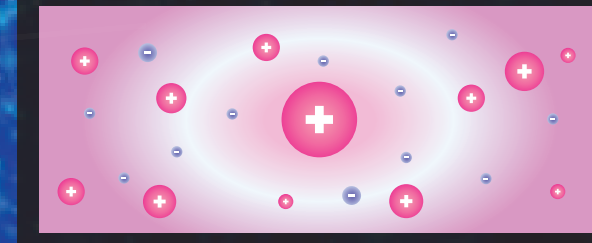
■D-T核融合 $D+T \rightarrow {}^4\text{He}+n+17.58\text{MeV}$

重水素と三重水素の原子核が1兆分の1mmまで接近すると核力という強い力が働き、融合し、別の原子核（ヘリウム）に変化します。このとき、全体の質量が0.38%欠損し、エネルギーに変化します。この反応を起こすためには、恒星並みの圧力か、原子核を1億度以上に加熱する必要があります。

■気体(水素)



■高温で電離した状態(プラズマ)



■中性子(n) 14.06MeV

D-T核融合で発生したエネルギーの80%は中性子がプラズマの外に持ち去ります。このエネルギーを利用するのが核融合発電です。また、この中性子とリチウムを反応させて、燃料となる三重水素を作ります。

■トカマク(Tokamak)

1950年代に旧ソビエト連邦で開発された、トランスの原理でプラズマに電流を流すことでプラズマを閉じ込めておく装置です。TFコイル、CS、PFコイルの3種類の電磁石を組み合わせてプラズマを閉じ込める磁場を作ります。

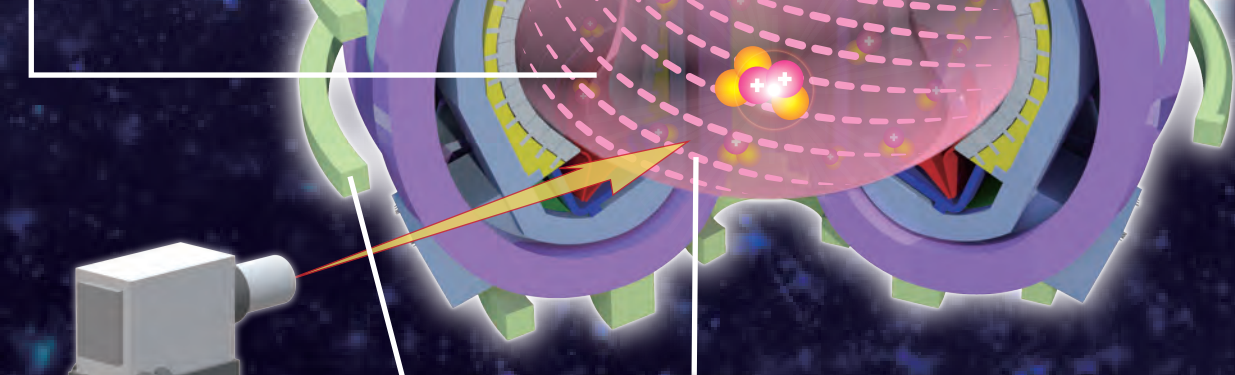
■トロイダル磁場コイル(TFコイル)

ドーナツの形の磁場線をつくり出します。

■中心ソレノイドコイル(CSコイル)

プラズマ自体に電流を流して磁力線をらせん状にします。

■プラズマ

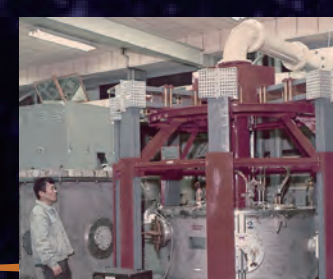


■ポロイダル磁場コイル(PFコイル)

プラズマの位置や形を制御します。

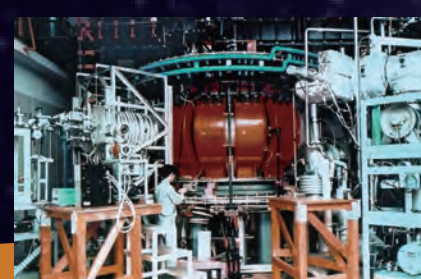
■プラズマ加熱装置

ビームや電磁波を使ってプラズマを1億度以上に加熱します。



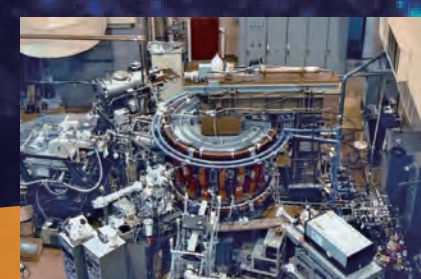
■JFT-1 [1969-1973]

プラズマ閉じ込め領域にコイル導体がある「低ベータ軸対称性トラス磁場装置」です。



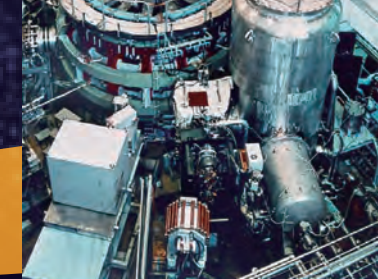
■JFT-2 [1972-1982]

日本初のトカマクである「中間ベータ軸対称性トラス磁場装置」です。20ミリのプラズマ閉じ込めに成功しました。



■JFT-2a [1974-1979]

プラズマの中から不純物を除去するダイバータが付いた世界初のトカマク「高安定化磁場試験装置」です。



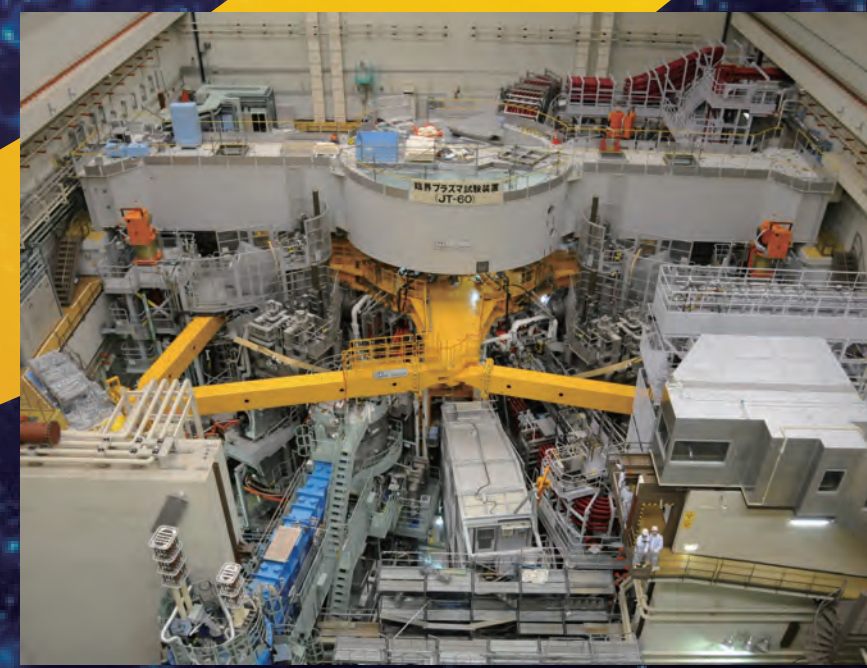
■JFT-2M [1983-2004]

D型非円形プラズマの試験を行った「高性能トカマク開発試験装置」です。機動性を生かして先駆的な研究を行いました。



■JT-60 [1985-1989]

米国のTFTR、欧州のJETと並び、世界3大トカマクと称された「臨界プラズマ試験装置」です。3大トカマクでは唯一、ダイバータを備えていました。



■JT-60U [1991-2008]

JT-60の実験結果を踏まえて改修した、臨界プラズマ試験装置です。プラズマ電流の大電流化と、断面の形状をD型へ変更を行い、世界の核融合研究を最先端で牽引しました。1996年には世界最高イオン温度5.2億度を達成しました。

地球に優しい核融合エネルギー

1. 貴重な化石燃料を使わない

核融合の燃料は重水素と三重水素です。重水素は海水から、三重水素はリチウムを核融合炉の中で反応させて作ります。このリチウムも海水から得られますので、燃料はほぼ無尽蔵であると言えます。

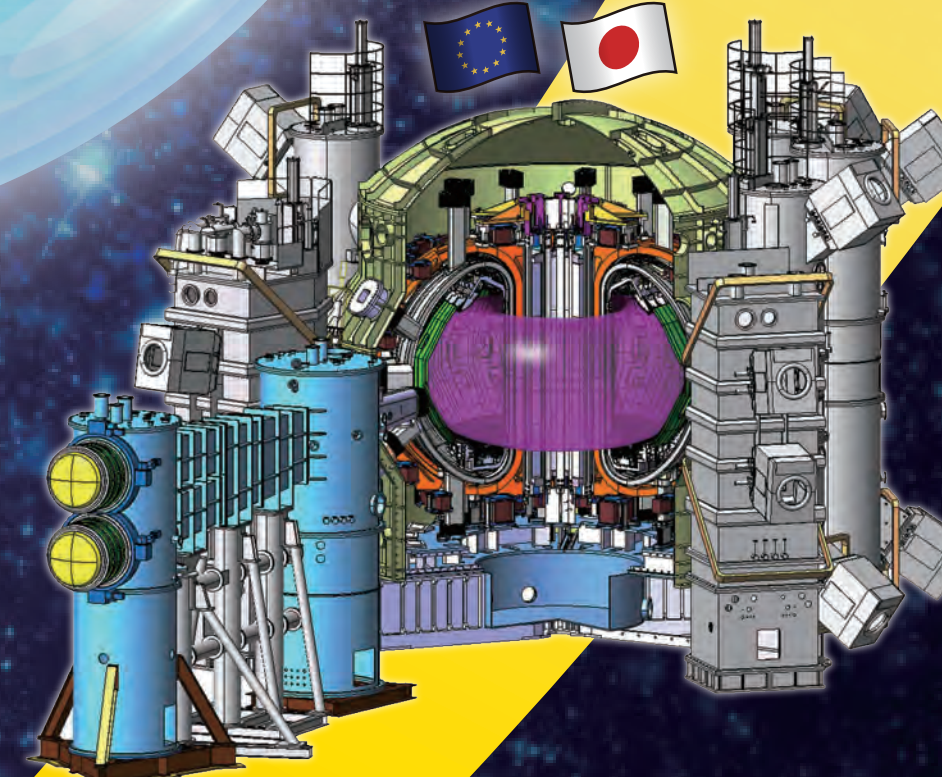
2. 環境、安全性に優れたエネルギー

核融合反応で排出するのは人体にも環境にも無害な「ヘリウム」で、地球環境の悪化の原因となる二酸化炭素は発生しません。また、燃料の元栓を締めて反応を直ちに止めることができます。

3. 高いエネルギー発生率

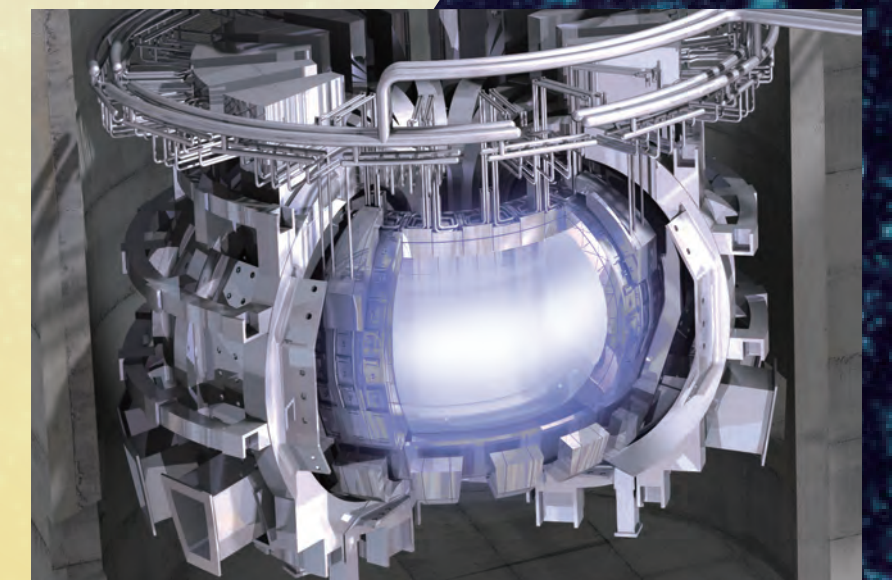
重水素と三重水素の燃料1gで石油8トンに相当するエネルギーを発生させることができます。

核融合は、環境対策と安全性を両立できる
実質無尽蔵のエネルギー源です。



■JT-60SA [2020-]

那珂核融合研究所の超伝導核融合実験装置です。プラズマの長時間維持を実現するため、コイルを超伝導化しました。日欧の共同プロジェクトとして発足し、機器の開発や調達も半々で行いました。研究内容も日欧で協働で行います。ITER計画や原型炉DEMO製作に必要なデータの収集を行う予定で、世界中から研究者が集まる予定です。

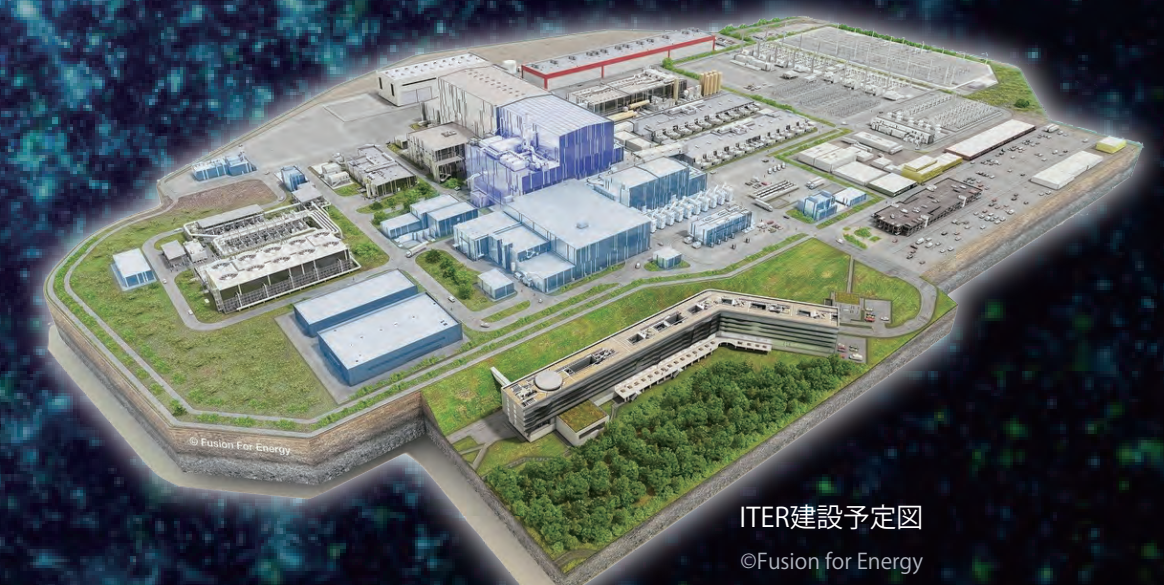


■原型炉DEMO

D-T核融合で実際に発電して、核融合発電を実証し、経済性の見通しを得ます。これが成功すれば、いよいよ実用化です。

■実験炉 ITER [2025-]

日本・EU・アメリカ・ロシア・韓国・中国・インドの7極が参加して設立したITER機構により、核融合エネルギーの科学的・技術的成立性を実証する目的で、南フランスに実験炉ITERを建設しています。2025年に運転を開始し、2035年以降、実際にD-T核融合反応実験を行う予定です。



ITER建設予定図
©Fusion for Energy

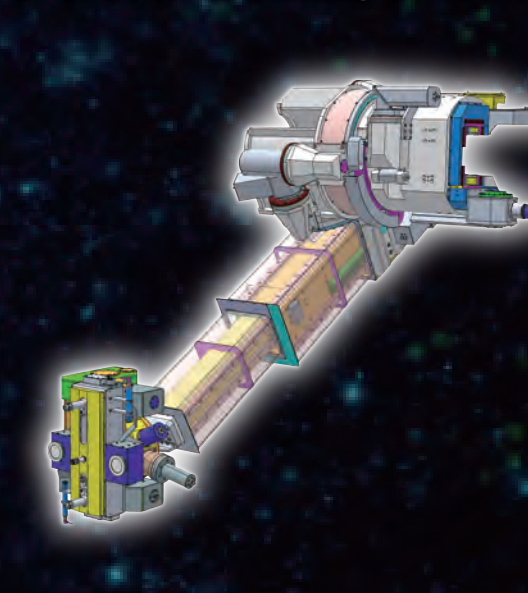
■ITER計画における日本の役割

日本は他国と分担して超伝導コイルなどの機器を製作し、ものづくりの知識と経験でITER計画を牽引しています。また、日本からの人的貢献の窓口の役割を果たしています。

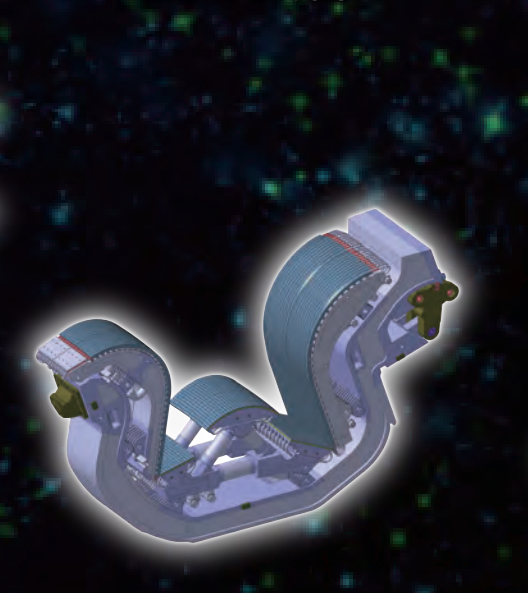
■日本が製作を担当するITERの主要機器



■超伝導コイル
プラズマを閉じ込めるための磁場を作る巨大な電磁石



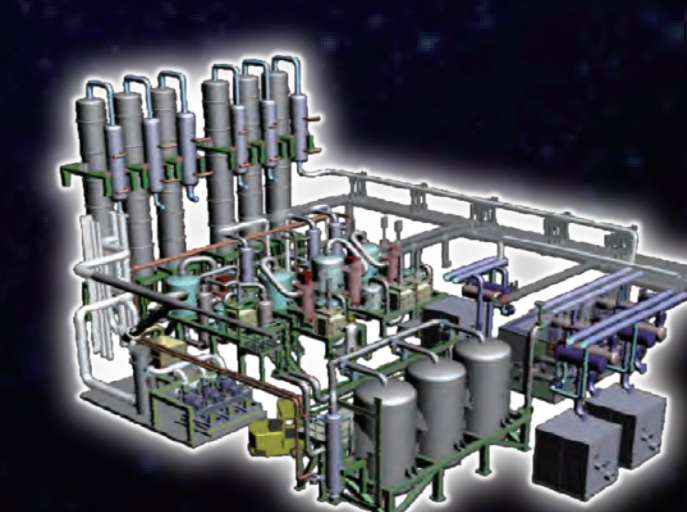
■ブランケット遠隔保守装置
真空容器内のブランケットを交換するロボットアーム



■ダイバータ
プラズマから排出される不純物や熱を受け止めて除去する装置



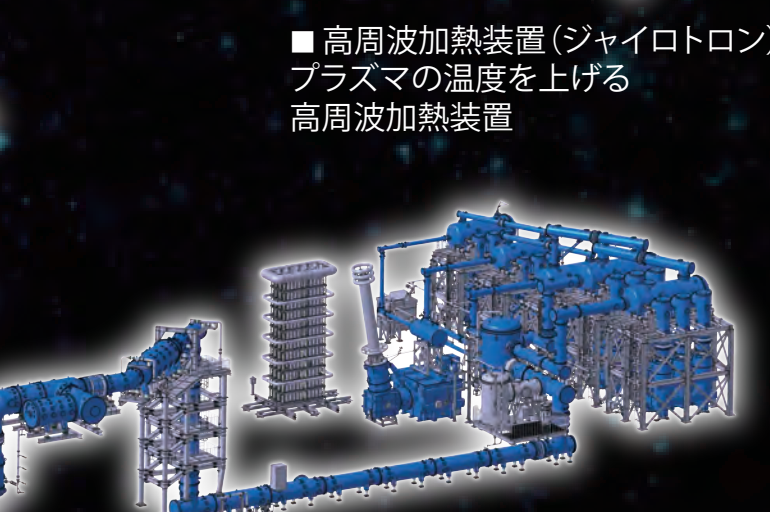
■高周波加熱装置(ジャイロトロン)
プラズマの温度を上げる高周波加熱装置



■トリチウム除去装置
空気中のトリチウムを除去する装置



■計測装置
プラズマの密度、温度、不純物等を診断する装置



■中性粒子入射加熱装置(NBI)
プラズマの温度を上げる粒子ビーム装置

■核融合研究開発の歩み

日本原子力研究所での核融合の研究開発は、1961年から始まりました。現在は、量子科学技術研究開発機構(QST)がその役目を引き継いでいます。



国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
量子エネルギー部門 那珂研究所

