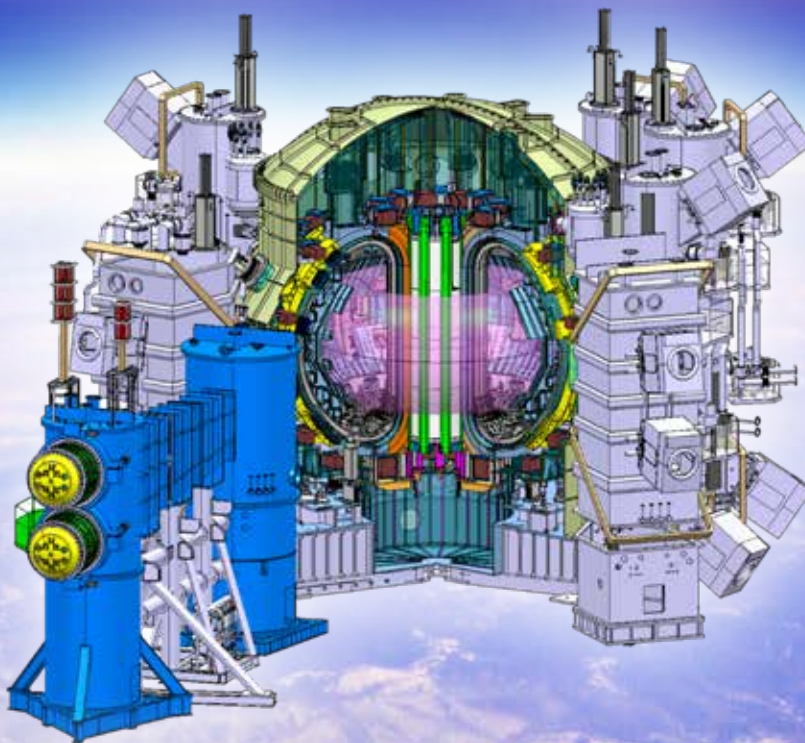


JT-60SA

—核融合エネルギーの実現に向けて—



核融合とは軽い原子核どうしが衝突して重い原子核に融合することです。
星や太陽が輝き続けるのも、この核融合で発生したエネルギーによるものです。

このエネルギーは地上でも発生させることができます。
水素の仲間である重水素と三重水素の原子核を高温で融合させるのです。

地球環境に優しく安全性に優れた“地上の太陽”を実現するため、
世界規模で研究開発を進めています。



国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

核融合研究の中核装置 JT-60SA

核融合炉の燃料はプラズマ状態

重水素と三重水素の原子核が融合すると、大きなエネルギーを持ったヘリウムと中性子が発生します（重水素と三重水素 1 グラムで石油約 8 トン分のエネルギー）。しかし、これらの原子核はともに正の電荷を持つため、相互の反発力に打ち勝って融合させるには毎秒 1000 キロメートルもの高速で勢いよく衝突させる必要があります。そこで、1 億度以上の高温に加熱する必要があります。このような超高温になると、原子核と電子がバラバラになって飛び回る状態（プラズマ）となります。



ここまできた核融合研究

超高温プラズマを安定に保持する研究開発は 1950 年代から開始され、トカマク方式（強力な磁場でドーナツ形状のプラズマを閉じ込める方式）により飛躍的に進展しました。1990 年代には大型トカマク実験装置（日本の JT-60、米国の TFTR、欧州の JET）等が研究開発にしのぎを削った結果、核融合炉に必要とされる高温・高密度プラズマの実現を見通せる数々の成果が得られました。これらの成果に立って、核融合エネルギーの科学的・技術的実現性の実証を目指して、日本、欧州、米国、ロシア、韓国、中国、インドは共同で、フランス南部のサン・ポール・レ・デュランス^{*}に国際熱核融合実験炉（ITER）を建設しています。

^{*}ITER 建設地については、ITER 機構の表記に合わせ、これまでの「カダラッシュ」(地元の呼称) から「サン・ポール・レ・デュランス」(行政住所) へ変更しました。

JT-60SA の役割

JT-60SA の前身である JT-60 は那珂核融合研究所に建設された世界最大級の実験装置です。1985 年の実験開始以来、数々の記録と発見で世界の核融合研究を牽引し、2008 年に 23 年間の運転を終了しました。特に、核融合出力を高めた定常運転方式の開発を通して ITER の設計に大きく貢献しました。JT-60SA (JT-60 Super Advanced) 計画では、これまでの定常運転方式の開発成果を受け継ぎ、JT-60 の本体を日欧共同で超伝導トカマク装置に改造するとともに、プラズマの安定性を高める制御機器を豊富に装備することで、以下の役割を果たします。

ITER の目標達成を支援

JT-60SA は、ITER に対して最も大きな支援が可能な装置です。ITER に先行して臨界条件クラスのプラズマ^{*}を長時間維持する実験を行い、その成果を ITER へ反映させます。

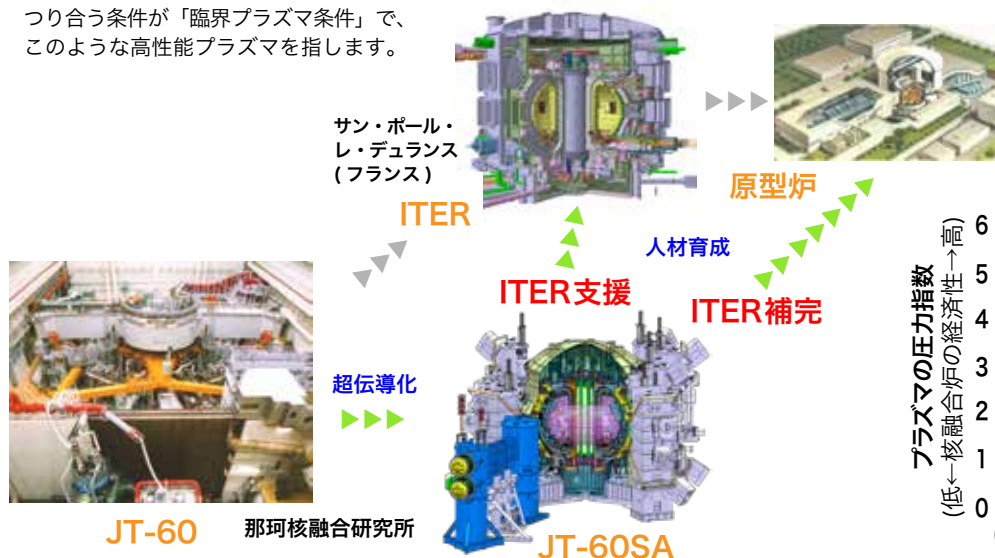
^{*}核融合反応による熱出力と高温プラズマの維持に必要な外部からの加熱入力がつり合う条件が「臨界プラズマ条件」で、このような高性能プラズマを指します。

原型炉に向けた研究 (ITER を補完する研究)

原型炉では、定常運転（連続的に発電できる）に加えて経済性（小型・高出力で発電単価が安い）の観点からも核融合炉が魅力的であることを実証する計画です。JT-60SA では、ITER の運転目標より更に高い圧力のプラズマを長時間（100 秒程度）維持する運転方法を確立することで、この経済性の実証に貢献します。

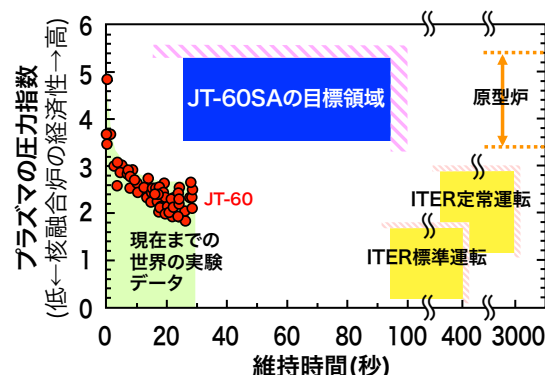
人材育成

我が国唯一の大型トカマクとして、ITER 計画をはじめとする世界の核融合研究開発を主導できる研究者・技術者を育成します。



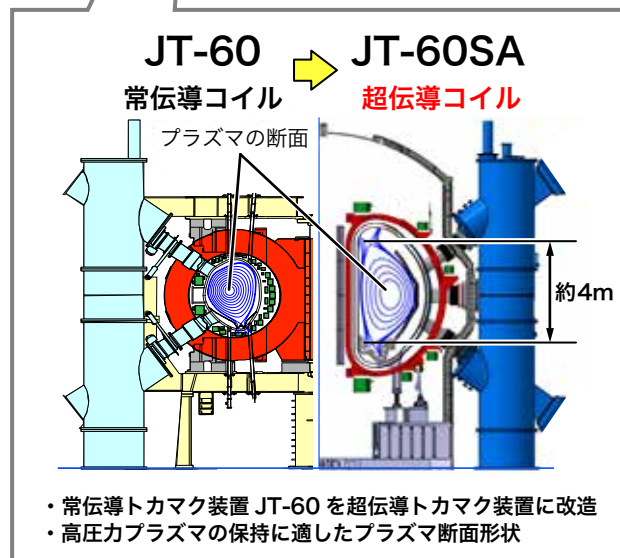
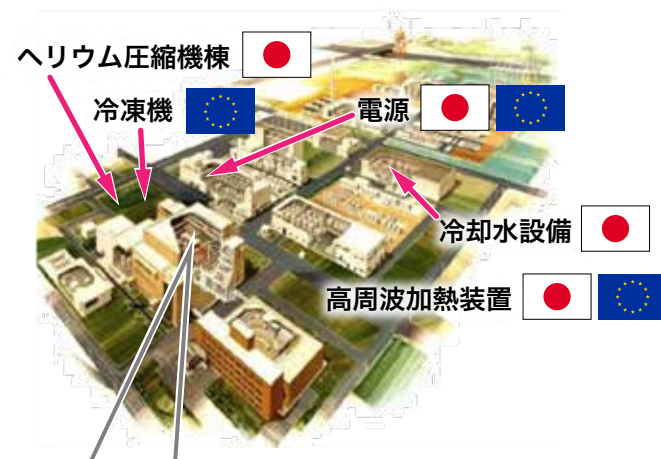
高圧力プラズマ

- 核融合炉の燃料(高温プラズマ)がぎゅっと詰まった高性能燃料
- これを安定に保持することで、核融合炉を小型化できて経済性が高まります



高圧力プラズマを安定に保持する制御機能を装備した先進的な大型超伝導トカマク

那珂核融合研究所に建設
既存設備を最大限に活用
日欧で機器製作を分担



JT-60SA 主要諸元

プラズマ電流	550 万アンペア
トロイダル磁場	2.25 テスラ
プラズマ主半径	3メートル
加熱パワー	4 万キロワット×100 秒
本体総重量	2600 トン

高周波加熱装置

ミリ波帯の電磁波でプラズマを加熱する装置

中性粒子ビーム入射加熱装置

高エネルギーの水素原子をプラズマに入射してプラズマを加熱する装置

真空容器内機器

- ・プラズマを金属壁（安定化板）で取り囲むことによりプラズマの不安定性を抑制
- ・不安定性を検知して能動的に安定化するための磁場を発生する各種コイルも装備

ポロイダル磁場コイル

プラズマの位置と断面形状を自在に制御する磁場を発生する超伝導磁石

トロイダル磁場コイル

プラズマを閉じ込めるための磁場を発生する超伝導磁石

クライオスタット

超伝導磁石を極低温に保つ容器

真空容器

高純度のプラズマを作るための超高真空を保つドーナツ型の容器

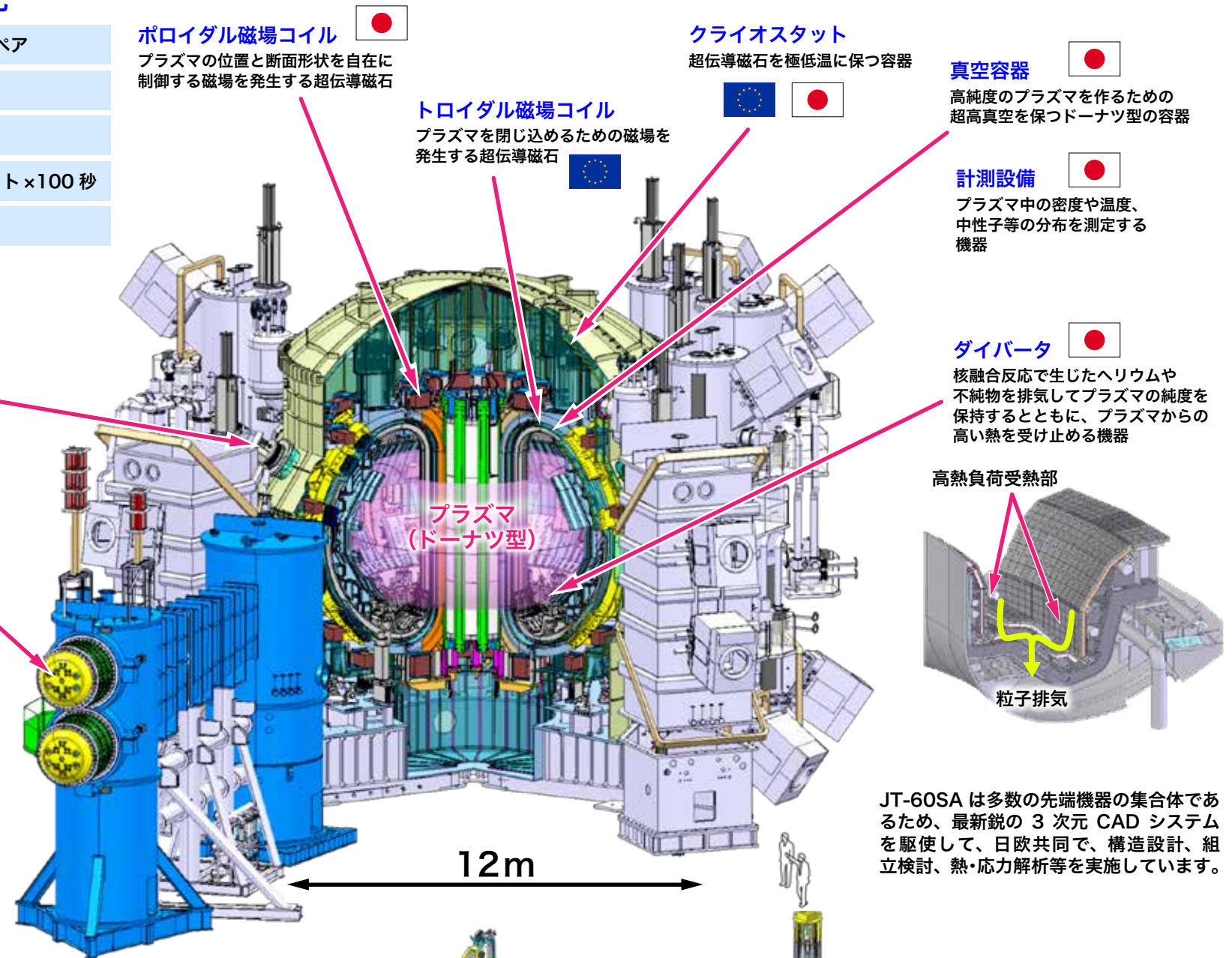
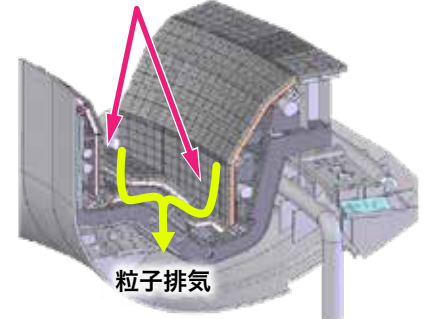
計測設備

プラズマ中の密度や温度、中性子等の分布を測定する機器

ダイバータ

核融合反応で生じたヘリウムや不純物を排気してプラズマの純度を保持するとともに、プラズマからの高い熱を受け止める機器

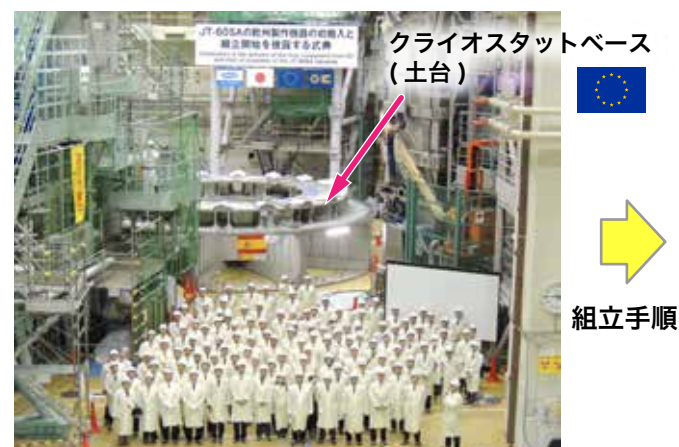
高熱負荷受熱部



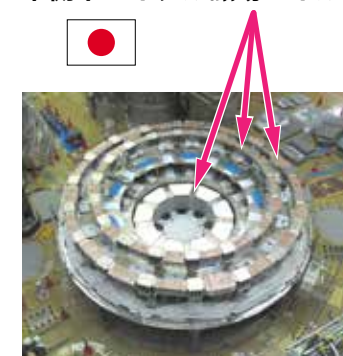
JT-60SA は多数の先端機器の集合体であるため、最新鋭の 3 次元 CAD システムを駆使して、日欧共同で、構造設計、組立検討、熱・応力解析等を実施しています。

2020 年の実験開始を予定

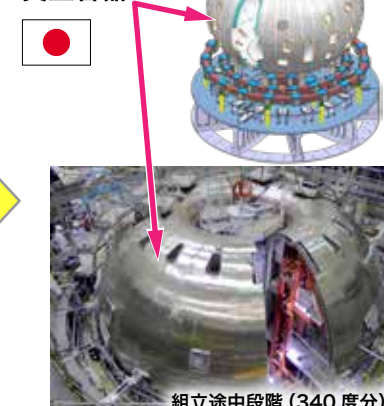
- ・2012 年 10 月に JT-60 の解体を完了
- ・2013 年 1 月に JT-60SA の組立を開始



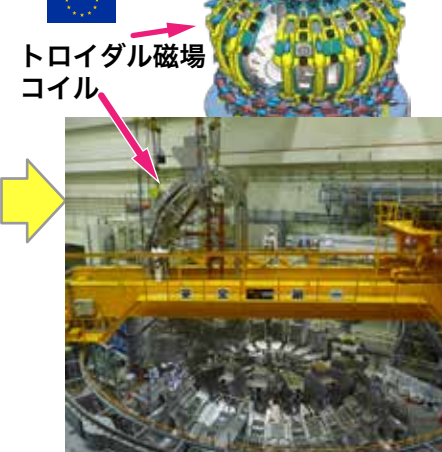
下側ポロイダル磁場コイル



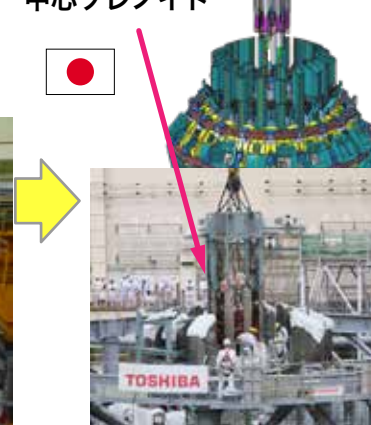
真空容器



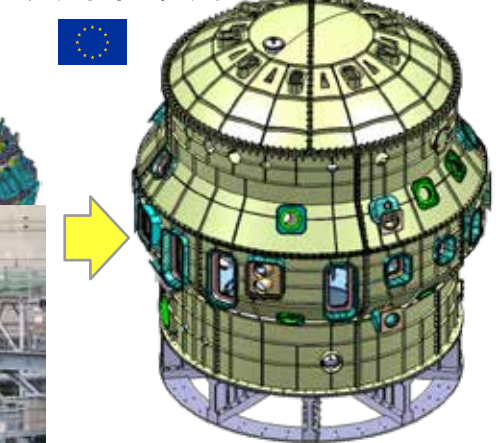
トロイダル磁場コイル



中心ソレノイド



クライオスタット



JT-60SAを支える技術開発と物理研究の相乗効果

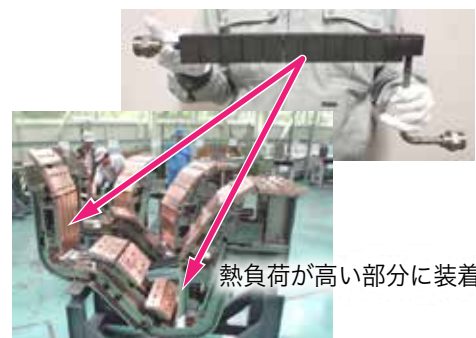
プラズマを宙に浮かせる巨大超伝導磁石の製作

ポロイダル磁場コイル (日本)

トロイダル磁場コイル (EU)

ダイバータ用 高熱負荷受熱機器の開発

1.5 万キロワット/m² の熱負荷に耐えることを確認



高い製作精度での JT-60SA 本体巨大機器の製作

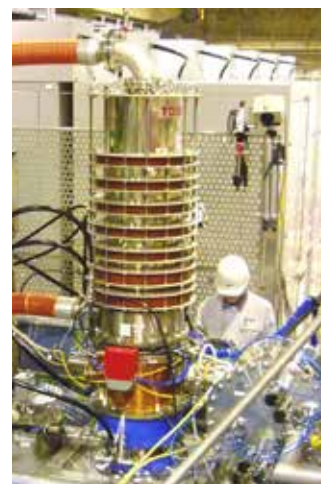
真空容器 (日本)

クライオスタットベース (EU)

プラズマを 1 億度以上に加熱する装置の開発

中性粒子ビーム入射加熱装置

高周波加熱装置

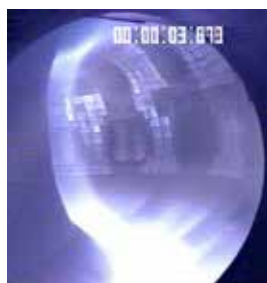
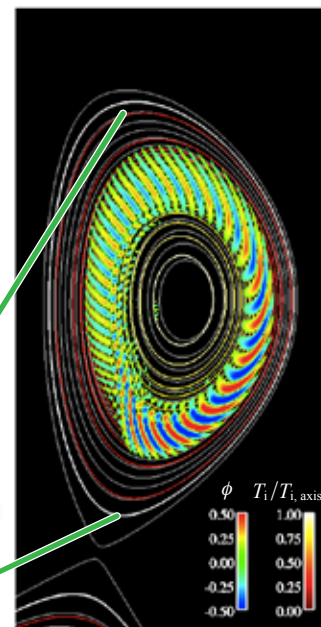


世界の核融合研究を牽引した JT-60 の実験成果

年度	S60	S61	S62	S63	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
主な改造	当初装置 (S60~)	配位変更 (S63~)	大電流化改造 (H3~)	排気ダイバータ設置 (H9~)	フェライト鋼設置 (H17~)																			
	5 秒	10 秒	15 秒		65 秒																			
高圧力継続時間																				24 秒	28.6 秒			
エネルギー増倍率																								
イオン温度																								

理論研究が解き明かす プラズマの振る舞い

核融合プラズマ中に観測される複雑現象を計算機上に再現し、そのメカニズムを解明する研究に取り組んでいます。右図の縞模様は、プラズマの中に発生する様々な流れを理論計算に基づき再現したもので、プラズマの温度分布の決定機構を解明した例です。



JT-60 の真空容器内：点検中 (左)、実験中 (右)

国内および日欧の核融合共同研究拠点

日欧が一体となって運営

JT-60SA 計画は、ITER 計画の「幅広いアプローチ」として日欧共同で実施する「サテライト・トカマク計画」と、我が国で検討を進めてきた「トカマク国内重点化装置計画」との合同計画です。日欧政府レベルの決定機関である運営委員会において承認された事業計画に基づき、日欧の実施機関は機器製作を分担して進めています。

また、国内コミュニティの意見を集約し、これを日欧の協議に反映しています。

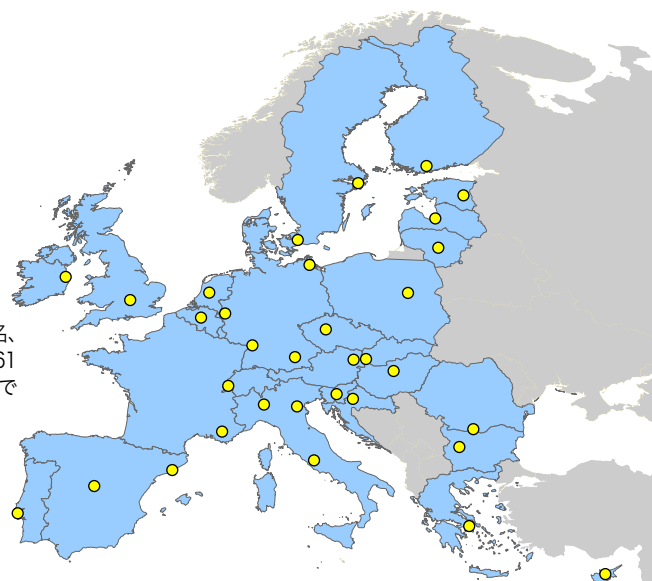


研究計画の検討 (JT-60SA リサーチプラン)

JT-60SA や ITER の実験を担う若手研究者を中心に、400 名を越える日欧の研究者で、ITER と原型炉に向けた JT-60SA の研究計画 (JT-60SA リサーチプラン) の策定を進めています。



日欧共著者 435 名 (日本 174 名、大学含む 18 研究機関)、欧州 261 名 (14 カ国、33 研究機関) で 2018 年 9 月に完成した第 4.0 版。



国内コミュニティ



那珂核融合研究所



日欧の技術会合



国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

本部
〒263-8555
千葉県千葉市稲毛区六川 4 丁目 9 番 1 号
Tel 043-382-8001
<http://www.qst.go.jp/>

那珂核融合研究所
〒311-0193
茨城県那珂市向山 801 番地 1
Tel 029-270-7213
<https://www.qst.go.jp/site/naka/>