

レポート
核融合技術開発
那珂研 JT-60SA 試運転その後
SCE・Net 郷 茂夫

R-72
発行日：
2022 年
4 月 22 日

(左上のイラストは、QST（量子科学技術研究開発機構）那珂研の核融合試験装置 JT-60SA の本体全景です。ドーナツ型トカマク直径 12m、高さ 15m の核融合の基本原理であるプラズマ発生のための世界最先端の巨大試験装置で、日本が主体で運営するものです。中心のピンク色部分がプラズマ走査トカマクです。ただ、このイラストでは小さくてわからないでしょうから、本レポートの最後に JT-60SA 装置の構成部品を図示・説明していますので参照下さい。)

本レポートは、一昨年 SCE-Net として見学した QST 機構 那珂研の核融合プラズマ試験機が完工し、2021 年初より統合試運転を始めましたが、3 月にトラブル発生により停止しました。その状況と原因についてのレポートです。

1. JT-60SA とは；目的と核融合開発における役割について

核融合開発は、先進 7 か国＋その他小国の共同事業の ITER（イーターと読む；フランス立地）が世界レベルの先端プロジェクトであることはご承知と思いますが、核融合開発はそれだけでは不十分で、先進数ヶ国による研究体制の応援が不可欠となっています。そのような支援を B A 活動（Broad Approach; 幅広いアプローチ活動）と呼んでおり、ITER 運転シナリオの検討・核融合原型炉に向けた技術基盤の構築支援等を行っています。

その中で、日本は、以下の研究開発目的を実現するため、初期の臨界プラズマ試験装置 JT-60 を次段階として超伝導化し、先進超伝導トカマク装置 JT-60SA 大型試験装置を建設（茨城県、那珂市、那珂研究所）し、日本（主）と西欧（助）が協力して運営しているものです。

研究目的は、ITER ではできない高圧力実験を実施し、核融合原型炉に求められる安全性・信頼性・経済性のデータを取得、ITER に先立ち様々な予備的データを取得し、ITER の運転開始や技術目標達成の支援などです。

図 1 に、JT-60 から始めて、発電を入れた原型炉までの試験装置の流れを示しています。

2. 那珂研にある装置 JT-60SA の経過

上述の BA 活動の JT-60SA は「サテライト・トカマク方式」と呼ばれます。BA 活動は人材育成も含んでいます。 ※サテライトとは、本体施設と密接にやり取りしながら別の場所で運営されている「支店」のような施設をサテライト施設というものです。

2-1. 建設、試運転の経過

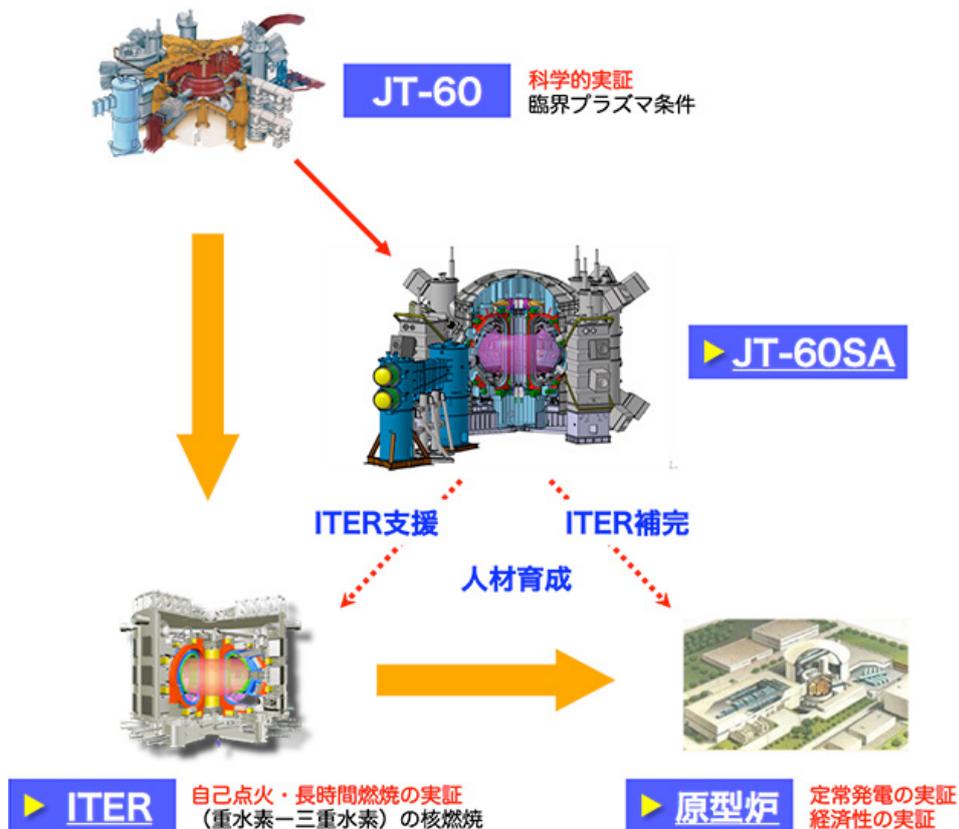
2013 年 組立開始、

2020年/3月 完工,
 2021年/1月 コイル通電開始したが, 結果は, 現場より ON LINE 中, トラブルあり,
 テスト中断し改良中. このトラブルについては 2-3. 項に詳細を記述しています.
 2022年 統合試運転再開見込み (詳細スケジュールは未公開)

図1 : JT-60 → JT-60SA → ITER → 原型炉 (発電をする) ;

出典 : [JT-60SA 計画とは - 量子科学技術研究開発機構 \(qst.go.jp\)](http://qst.go.jp)

QST HomePage, 「先進プラズマ研究開発, JT-60SA とは」より.



2-2. 今までの終了したテスト ;

- # コイル通電試験 ; ポロイダルコイル 10 個終了,
- # トロイダルコイル通電試験終了
- # プラズマ・トライ ; 水素ガスのみ, 共鳴プラズマは成功した.

「現在, フィーダーの改良中. 2022年2月までに終了予定で, 統合試運転を再開したい. 最終的にファースト・プラズマまでやりたい.」と那珂研は述べています.

2-3. トラブル情報

2021年5月10日付, 東京新聞 ; 「核融合 トラブルで実験装置の試運転中断 初プラズマ着火は延期 ; 量研機構によると, 三月九日に実施していたコイルへの通電試験中に電流が増加し, 安全装置が作動して電流が遮断. 数分後には, コイルが設置されている真空断熱槽内の圧

力が0.07気圧まで上昇した」とのこと。

以下に、2021/7/9付、QSTの公式発表があります。

[核融合 トラブルで実験装置の試運転中断 初プラズマ着火は延期：東京新聞 TOKYO Web \(tokyo-np.co.jp\)](https://www.tokyo-np.co.jp/news/2021/07/09/01.html)

また、トラブルの詳細原因と状況は以下です。

[JT-60SA 統合試験運転中断の調査結果と今後の改修について - 量子科学技術研究開発機構 \(qst.go.jp\)](https://www.qst.go.jp/press/2021/07/09/01.html)

令和3年3月に発生した超伝導コイル1基の接続部の損傷について（引用：上記QSTサイトより）；

「損傷の原因は、超伝導コイル導体^{※4}と電路^{※5}の接続部において、接続部を覆う絶縁層^{※6}から引き出されている計測ケーブルが絶縁層の間を十分な距離を取って引き出されておらず、この計測ケーブルの表面に沿って電流が流れたことで短絡が発生し、接続部が損傷したものと判明しました。十分な絶縁性能を確保するため、今後、接続部の絶縁層の改修を行います。また、絶縁性能の確認のためにパッシェン試験^{※7}と呼ばれる新たな試験を導入することとし、現場が狭隘であるため、試験に先立ち入念に検討した試験要領を作業員に徹底させて試験に臨みます。さらに、F4Eや外部専門家の意見を反映し、再発防止の徹底化の観点から、損傷は受けていないものの、同等の構造を有する箇所や構造の異なる同種の箇所も改修するとともに、パッシェン試験を全ての改修箇所に実施して絶縁性能の確認を厳格に実施します。なお、作業にあたっては、量研からの指示や施工業者からの報告を厳密化する等、徹底した品質管理の下で実施します。」

3. 今後の予定

2022年3月末時点で、統合試運転再開の具体的なスケジュールは公表されていません。

<筆者感想>

本トラブルは大きな複雑システムの中の小さな電路の接続部の不具合です。今までやってきた核融合の基本技術に影響を与えるものではないですが、こんな小さな部品でも修復して施設全体を再開するには結構時間がかかります。スケジュールは予定より遅れましたが（既にトラブル発生より1年以上が経つ）、これをもって日本の核融合の技術開発が「遅れている」というようなマスコミの見掛けの論評は的外れでしょう。世界初の大型新技術開発では「今後もトラブルはいくつも発生する」ということを覚悟しなければならないと思います。システムに潜む（人間には気づかれない）不具合と運転条件を可能範囲で広く振ってその因果関係や問題現象を抽出するのが大型試験装置（いわば、パイロット）の役目であり、多くの問題点を早く把握できる方が最終的には速く目的達成につながると、筆者は経験から思っています。

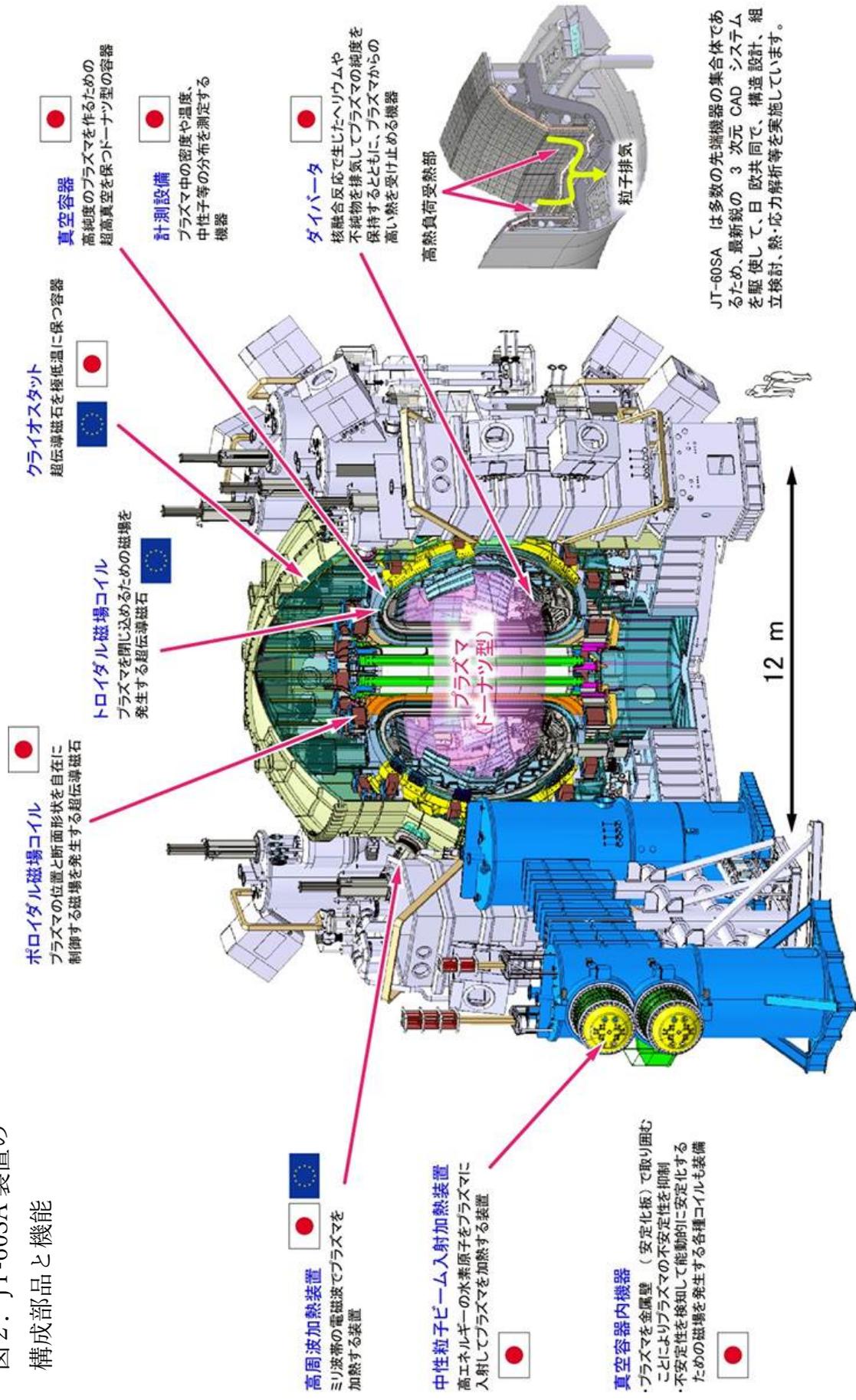
本レポートの最後に「図2. JT60SA 装置の構成部品と機能」として試験機を図示していますので参考として下さい。

出典：[JT-60SA 計画とは - 量子科学技術研究開発機構 \(qst.go.jp\)](http://qst.go.jp)

QST HomePage, 「先進プラズマ研究開発, JT-60SA 装置」より。

以上

図2. JT-60SA 装置の
構成部品と機能



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

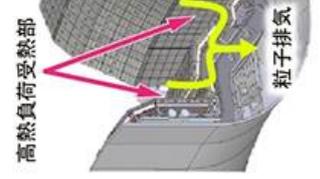
トロイダル磁場コイル
プラズマを閉じ込めるための磁場を発生する超伝導磁石

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



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。