

JT-60SA 上部共通架台の製作から組立まで

○齊藤 優毅^{A)}、 笹島 唯之^{A)}、 佐伯 寿^{A)}、 柳生 純一^{A)}、 芝間 祐介^{A)}

^{A)}量子科学技術研究開発機構 トカマクシステム技術開発部 JT-60SA 本体開発グループ

1. 概要

JT-60SA 装置は世界最大のトカマク型超伝導プラズマ実験装置（幅約 13.5m、高さ約 15.5m）である。次期プラズマ実験運転に向け、トカマク本体と加熱装置を増強する工事の一環として、トカマク本体の上部に架台を整備し、運転中の真空容器内機器を除熱する冷却水配管を支持するとともに、プラズマを診断する計測装置の設置を行う。架台にはプラズマ計測装置が据え付けられるため、製作精度±5mm、据付精度±10mm で設計された。本架台の製作と据付の結果について報告する。

2. 背景

2.1 製作の経緯

JT-60SA は 2023 年にファーストプラズマの着火に成功し、初期段階のプラズマ実験運転を実施した。

初期実験運転の終了後、装置の性能向上を目的とした増強期間へ移行し、次期プラズマ実験運転に向けて、関連機器の増設が計画されている。

JT-60SA は前任装置である JT-60U の設備を一部流用しており、長期間にわたり多様な機器が逐次据え付けられている。その結果、装置周辺の設置スペースは極めて限られた状況にある。

このため、増設機器を効率的かつ健全に支持するための新たな支持構造として、JT-60SA 上部共通架台（以下、上部架台）を整備する計画が立案された。

3. 上部共通架台の概要

3.1 架台仕様

上部架台は、本体室（JT-60SA 本体組立建屋）床面に建てられた高さ約 17 m の 4 本の支柱と、水平方向の振れを抑える振れ止め支持体により支持される。構造形式は鉄骨造とし、X 方向および Y 方向ともにラーメン構造とした。主要構造部材の材質は SUS304 とし、架台の総重量は約 72 t である。

上部架台には精密機器であるプラズマ計測装置が据え付けられるため、高い位置精度が要求される。架台寸法約 17m×17m に対して、製作精度±5 mm、据付精度±10 mm を要求仕様とした。上部架台の鳥瞰図を図 1 に示す。

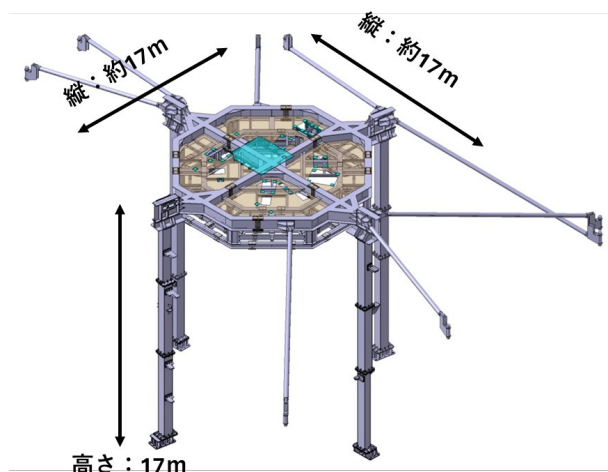


図 1 上部架台鳥瞰図

3.2 積載機器仕様

上部架台上には、主に以下の機器を積載する。

(1) プラズマ計測装置

プラズマの可視分光測定や波長解析を行う機器を上部架台上に据え付ける。プラズマ計測機器の総重量は約 19 t である。

(2) 冷却水配管

実験運転中に真空容器内機器を冷却する役割を担う。配管系は呼び径 350A とし、満水時の総重量は約 20 t となる。

(3) その他の機器

プラズマ着火時に使用するグロー放電電極装置、中性ガス注入装置、歩廊用ステージ板等を据え付ける。これらの総重量は約 20 t である。

3.3 上部架台の構造検討

項目 1 で述べた通り、上部架台の組立および据付には複数の制限が存在する。これらの制限に対する構造設計上の対応方針について、以下に示す。

(1) 建屋内における制限

JT-60SA 建屋内は既設機器が密集しており、架台設置スペースが極めて限定されている。このため、3D-CAD モデルを用いた干渉確認および施工

動線検討を実施し、既設機器との配置整合性を確保した。

(2) 工期上の制限

本体室での組立作業は、他機器の据付作業と並行して実施されるため、短期間での施工が要求された。別建屋である超伝導コイル巻線棟において、予め上部架台と冷却水配管を一体化した後、架台構造を二分割構造とすることにより、現地での組立作業時間の最小化を図った。図2に架台二分割構造の概要を示す。

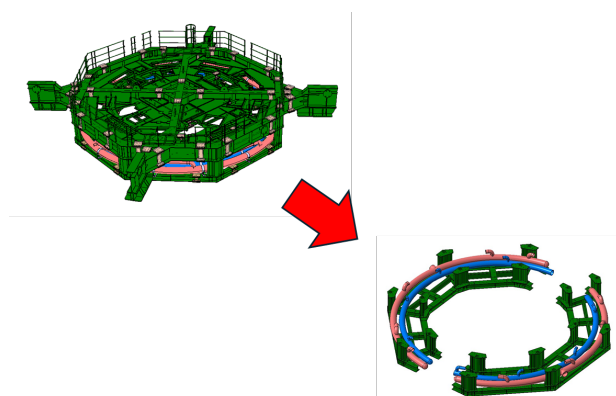


図2 上部架台の二分割構造概要図

(3) クレーン揚程に関する制限

本体室内天井クレーンの揚程制約により、大型の吊り治具の使用が困難であった。そのため、吊り治具を廃止し、架台本体に直接吊りピースを溶接する設計とすることで、吊り治具構造の簡略化および揚程制約への対応を図った。

4. 構造健全性の評価

本架台の設計目的は、(1) 地震時における架台ベース部の水平変位量を 10 mm 以内に抑制すること、(2) 機器荷重に対して十分な耐荷重能力を確保すること、の2点が求められた。

5.1 耐荷重設計

プラズマ計測装置及び冷却水配管の荷重作用点を節点を設定した有限要素 (FEM) モデルを構築し、耐荷重能力を評価した。

それぞれの荷重作用点を図3、図4に示す。

荷重条件は、固定荷重 (床) : 400 N/m²、積載荷重 (架構・機器) : 2000 N/m²とした。

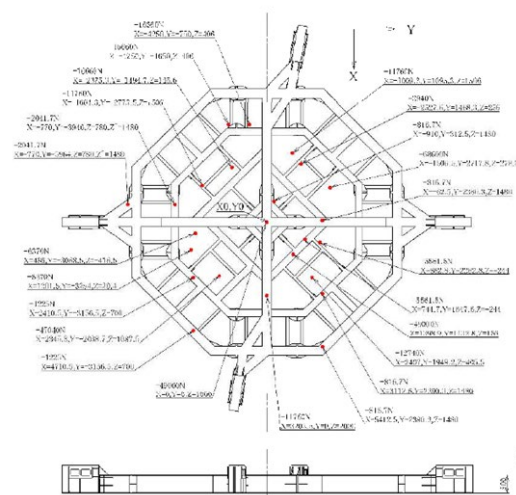


図3 プラズマ計測装置節点位置

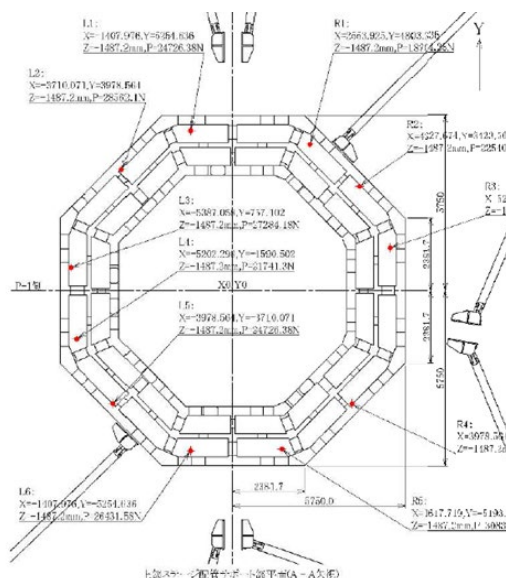


図4 冷却水配管節点位置

5.2 耐震設計及び強度解析

耐震設計において、「建築設備耐震設計・施工指針」に基づく設計用水平震度 0.4 を設計地震動として採用し、架台構造の耐震性能を評価した。

初期設計では振れ止め支持体を7本構成としたが、FEM 解析により局所的に大きな変位集中が生じることが判明した。そこで、振れ止め支持体を1本追加し、最大変位量を±10mm に抑制するよう設計を改良し、耐震要求性能を満足する構造とした。

6. 超伝導コイル巻線棟での仮組

設計および製作を完了後、2024年12月から2025年2月にかけて、巻線棟において業者による上部架台の仮組立を行った。

上部架台は、冷却水配管を支持する配管支持体(以下、下半とする)と、計測装置等を支持する架台本

体（以下、上半とする）からなる二分割構成とし、仮組立を行った。上半および下半の鳥瞰図を図 5 及び図 6 に示す。

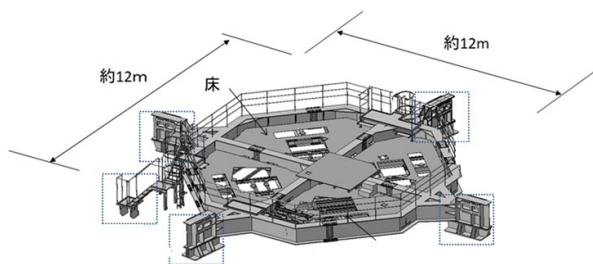


図 5 上半鳥瞰図

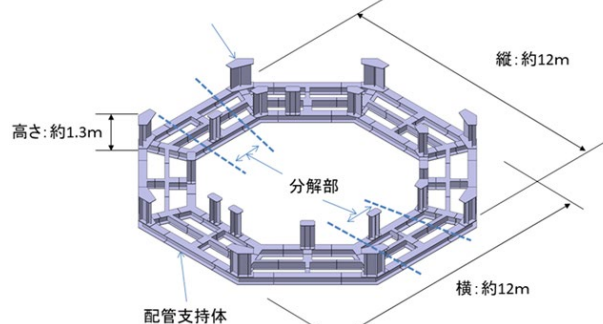


図 6 下半鳥瞰図

まず、下半から上半までを順次組み立て、冷却水配管未敷設状態で架台全体を仮組み立てし、組立精度確認のための検査を行った。計測はレーザー墨出し機および測量機を用いた。

その結果、組立精度が所定の組立公差内に収まっていることを確認した。

その後、本体室への搬入性向上を目的として、上半を 32 ブロックに分割した。上半を分解することで、配管支持体上への冷却水配管敷設が可能となるため、配管の敷設を行った。

さらに、冷却水配管と一体化した下半については、図 2 に示した二分割構造へ分解し、超伝導コイル巻線棟内にて保管した。

7. トカマク本体への据付

2025 年 11 月より、JT-60SA 本体への上部架台据付作業を開始した。まず、二分割した下半部をそれぞれ本体室内へ搬入し、現地で下半部の一体化組立を実施した。次に、32 ブロックに分割した上半部を順次搬入し、下半部と上半部の現地一体化組立を行った。

下半部および上半部の現地一体化組立完了後、クレーンによる吊り込み据付作業へ移行した。上部架台の上架には定格荷重 250 t の天井クレーンを使用

し、室内高さ約 20 m の空間内で搬送した後、4 本の支柱上端部に据え付けた。図 7 に据付時の状況を示す。

クレーン切離し前に、支柱上部と上部架台取合い部の三次元座標の整合性を確認し、微調整をした。

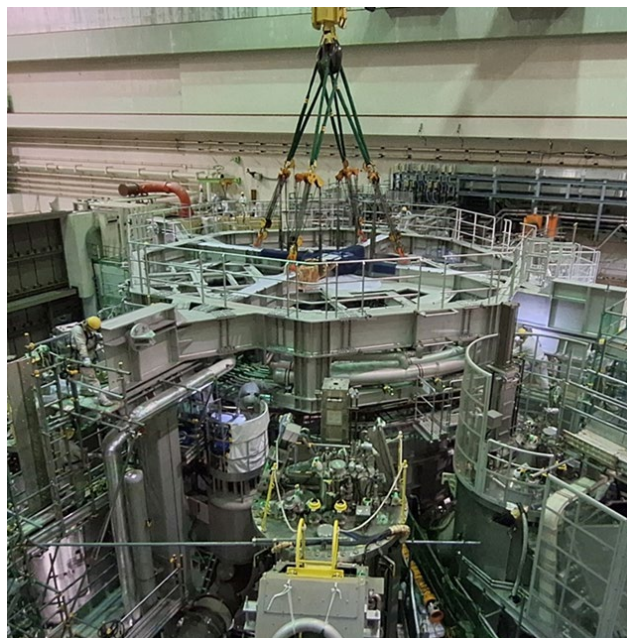


図 7 JT-60SA 上部への据付時

7.1 据付精度

上部架台の据付精度を確認するため、三次元計測による据付位置の精度評価を実施した。測定には、レーザートラッカー（Leica Absolute Tracker AT401）を用い、上部架台平面上に計 32 点の計測点を設定し、各点の三次元座標を取得した。設定した計測点を図 8 に記す。

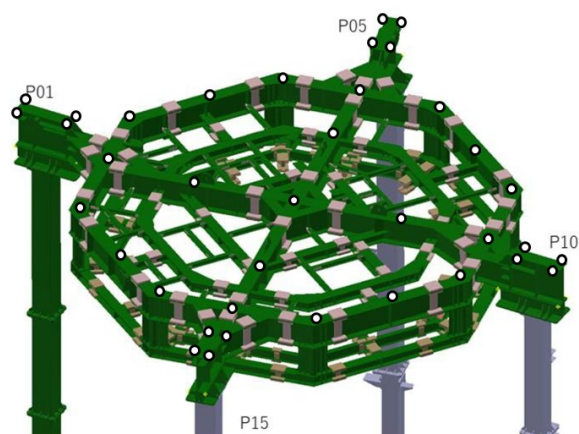


図 8 計測点設置位置

取得した測定座標を CATIA 上の設計 3D モデルに位置合わせし、設計基準位置からの偏位量を算出した。

7.2 測定結果

設計基準位置からの偏位量の測定結果を表 1 に示す。

表 1 測定結果

項目	偏位量	許容値	判定
中心位置X	-0.232mm	±10mm	OK
中心位置Y	-0.094mm	±10mm	OK
中心位置Z	-3.967mm	0～-20mm	OK
平面度	最大+6.9mm	±10mm	OK

上記の結果より、上部架台の中心位置が設計値に対して許容範囲内に収まっていることを確認した。

8. まとめ

本報告では、上部架台の製作及び組立作業について、プラズマ計測機器及び冷却水配管の支持構造として十分な据付精度を有することを示した。主な結果を以下に示す。

- (1) 分割構造設計の採用により、JT-60SA 本体室での現地組立工期の短縮を実現した。
- (2) 仮組およびレーザートラッカーによる三次限計測に基づき、据付精度±10 mm を達成した。
- (3) 据付時の架台中心位置および平面度が設計値に対して許容範囲内であることを確認した。