



JT-60 本体装置及び本体付帯設備の解体

Disassembly of JT-60 Tokamak Device and Ancillary Facilities for JT-60 Tokamak

岡野 文範 市毛 尚志 三代 康彦 神永 敦嗣
笹島 唯之 西山 友和 柳生 純一 石毛 洋一
鈴木 宏章 小室 健一 逆井 章 池田 佳隆

Fuminori OKANO, Hisashi ICHIGE, Yasuhiko MIYO, Atsushi KAMINAGA
Tadayuki SASAJIMA, Tomokazu NISHIYAMA, Jun-ichi YAGYU, Youichi ISHIGE
Hiroaki SUZUKI, Kenichi KOMURO, Akira SAKASAI and Yoshitaka IKEDA

核融合研究開発部門

トカマクシステム技術開発ユニット

Division of Tokamak System Technology
Fusion Research and Development Directorate

March 2014

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

JT-60 本体装置及び本体付帯設備の解体

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門

トカマクシステム技術開発ユニット

岡野 文範、市毛 尚志、三代 康彦、神永 敦嗣、笹島 唯之、西山 友和
柳生 純一、石毛 洋一、鈴木 宏章^{※1}、小室 健一^{※1}、逆井 章、池田 佳隆

(2014年1月9日 受理)

臨界プラズマ試験装置(JT-60)のトカマク本体及び周辺設備の解体(総重量として約5,400トン)は、H21年度から着手しH24年度(H24年10月)に完遂した。JT-60は、日欧共同で進めるサテライト・トカマク計画として、長パルス化と高圧カプラズマを目指した超伝導核融合実験装置 JT-60SA に改修するため、JT-60トカマク本体及び周辺設備を解体・撤去する必要があった。

JT-60 解体は、核融合実験装置として放射線障害防止法に基づいて実施した唯一のものである。解体に当り、トロイダル磁場コイル(TFコイル)の補強溶接部の切断と真空容器の2分割は、工程的、技術的に大きな課題であったが、それぞれの解決策を見出して作業を進め、H24年10月に3年に亘る解体を無事故・無災害で完遂することができた。

本報告書は、JT-60 本体装置及び本体付帯設備の解体について詳細をまとめたものである。

Disassembly of JT-60 Tokamak Device and Ancillary Facilities for JT-60 Tokamak

Fuminori OKANO, Hisashi ICHIGE, Yasuhiko MIYO, Atsushi KAMINAGA, Tadayuki SASAJIMA, Tomokazu NISHIYAMA, Jun-ichi YAGYU, Youichi ISHIGE, Hiroaki SUZUKI^{※1}, Kenichi KOMURO^{※1}, Akira SAKASAI and Yoshitaka IKEDA

Division of Tokamak System Technology
Fusion Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Naka-shi, Ibaraki-ken

(Received January 9, 2014)

The disassembly of JT-60 tokamak device and its peripheral equipments, where the total weight was about 5400 tons, started in 2009 and accomplished in October 2012. This disassembly was required process for JT-60SA project, which is the Satellite Tokamak project under Japan-EU international corroboration to modify the JT-60 to the superconducting tokamak.

This work was the first experience of disassembling a large radioactive fusion device based on Radiation Hazard Prevention Act in Japan. The cutting was one of the main problems in this disassembly, such as to cut the welded parts together with toroidal field coils, and to cut the vacuum vessel into two. After solving these problems, the disassembly completed without disaster and accident.

This report presents the outline of the JT-60 disassembly, especially tokamak device and ancillary facilities for tokamak device.

Keywords: JT-60SA, JT-60, Disassembly, TFcoil, PFcoil, Radiation Hazard Prevention Act

※1 Collaborating Engineer

目 次

1.はじめに	-----	1
2. JT-60 装置の概要	-----	2
3. JT-60 本体装置の解体	-----	2
3.1 トロイダル磁場コイル	-----	2
3.2 ポロイダル磁場コイル	-----	7
3.3 真空容器	-----	12
3.4 支持構造物(星形トラス、上架台、下架台、基礎架台、上架台支持柱)	-----	29
3.5 JT-60 機器収納棟での再組立	-----	35
4. JT-60 本体付帯設備の解体	-----	39
4.1 ペレット入射装置	-----	39
4.2 一次冷却設備	-----	40
4.3 ガス注入装置	-----	43
4.4 ガスジェット装置	-----	45
4.5 本体制御設備	-----	46
4.6 コイルフィーダ	-----	47
4.7 真空排気設備	-----	50
4.8 大気放出管(その場ボロン化処理設備)	-----	54
4.9 電磁気差動排気系	-----	57
4.10 ガス循環系	-----	59
4.11 高ベータ架台	-----	61
4.12 Y3 遮蔽壁	-----	63
5. まとめ	-----	64
謝辞	-----	65
参考文献	-----	65

Contents

1. Introduction	-----	1
2. Outline of JT-60	-----	2
3. Progress of disassembly of JT-60 tokamak	-----	2
3.1 Toloidal field coil	-----	2
3.2 Poloidal field coil	-----	7
3.3 Vacuum vessel	-----	12
3.4 Support structure	-----	29
3.5 Reassembly in Storage building	-----	35
4. Progress of disassembly of ancillary facilities of JT-60	-----	39
4.1 Pellet injection system	-----	39
4.2 Primary cooling equipment	-----	40
4.3 Gas injection system	-----	43
4.4 Gas-jet system	-----	45
4.5 Measurement of tokamak and baking system	-----	46
4.6 Coil feeder of toloidal field and poloidal field	-----	47
4.7 Vacuum pumping system	-----	50
4.8 Air evacuate duct	-----	54
4.9 Differential pumping system for electromagnetic probe	-----	57
4.10 Gas circulation system	-----	59
4.11 Connection changeover stage	-----	61
4.12 Neutron ray shielding of Y3 wall	-----	63
5. Summary	-----	64
Acknowledgements	-----	65
References	-----	65

1. はじめに

臨界プラズマ試験装置(JT-60)のトカマク本体及び周辺設備の解体(総重量として約5,400トン)は、H21年度から着手しH24年度(H24年10月)に完遂した。JT-60は、日欧共同で進めるサテライト・トカマク計画として、長パルス化と高圧カプラズマを目指した超伝導核融合実験装置 JT-60SA に改修するため、JT-60 トカマク本体及び周辺設備を解体・撤去する必要がある(図1)。

JT-60は、放射線障害防止法に基づく国内唯一のプラズマ発生装置であり、平成3年から平成20年の18年間の重水素実験で発生した中性子(積算 1.5×10^{20} 個)により本体室の機器は放射化している。そのため、解体作業は放射線障害防止法に基づいて実施し、解体機器の切粉や切断片等の放射化物の飛散防止を図るとともに作業毎に作業員や解体機器の放射線測定を実施した。さらに、解体した機器等は将来のクリアランス導入を考慮して放射線測定データだけでなく材料、重量等のデータも管理記録し、管理区域内に保管した¹⁾。一方、JT-60本体は強力な電磁力に耐えるように主要構造物(例えばトロイダル磁場コイル構造物)は超硬材である高マンガン鋼からなり、更にそれらの構造物は狭隘部で溶接補強を行っていることから、超硬材の狭隘部での切断が課題であった。このため、解体にあたっては、単に組立手順の逆を行うのではなく、作業時の被ばく管理や解体品の保管場所までの流れを考慮した、解体手順を構築するとともに、その解体手順を実現するための切断方法を見出す必要があった。加えて本体室においては多くの解体作業を同時に行う必要があることから、これらの安全作業体制を構築し、作業の安全実施に注力した。

JT-60本体解体においては、トロイダル磁場コイル(TFコイル)の補強溶接部の切断と真空容器の2分割が以下に述べるように工程的、技術的に大きな課題であった。TFコイル(約70トン/個、全部で18個)は、電磁力や転倒力により掛かる力を抑えるために2個1組で上下2箇所狭隘部を補強溶接している。TFコイルの解体にはこの補強溶接部を切断する必要があり、このため、狭隘な場所で難削材の高マンガン鋼を切断するため、小型で且つ分解して持込み狭隘部で組立て可能な専用のフライス加工機を開発し、この課題を解決した。TFコイルを撤去した真空容器は、高マンガン鋼材で固定されたポロイダル磁場コイル(PFコイル)が一体構造となっている。建屋クレーンの荷重制限から、この真空容器、PFコイルの一体構造を2分割とする必要があった。真空容器は、難削材のインコネル、PFコイルは無酸素銅、高マンガン鋼であり、2分割のためには、異種金属を同時に切断する必要があった。R&Dを実施した結果、冷却水を用いない乾式ダイヤモンドワイヤーソーにより、一括切断が可能であることを見出し、この2分割を実現した。なお、このダイヤモンドワイヤーソーは、直径約10mmのワイヤーを通すことができれば、作業員は遠隔操作で切断可能であり、安全性も高い工法である。これらの解体工法を用いて解体作業を進め、TFコイルの吊り出し、真空容器の吊り出し等の主要作業を進め完了することができた。本報告書は、JT-60本体装置及び本体付帯設備の解体についてまとめたものである。

2.JT-60 装置の概要

JT-60 は、本体装置などの主要部で直径約 15m、高さ 13m、重量約 5,000 トンになる国内最大のトカマク型核融合実験装置である(図 2-1)。本体装置は、核融合反応を起こすために必要な高温プラズマ条件を実現するため、内部に高純度の水素或いは重水素を充填する真空容器、強磁場によりプラズマの閉じ込めや位置制御を行う TF コイルや PF コイルの大型コイル、コイルによる電磁力や地震で発生する応力に対して真空容器やコイル自身を支持する架台等から構成される(図 2-1、図 2-2)。本体装置の主な材質は、TF コイルケースは高マンガン鋼、PF コイルは無酸素銅、真空容器はインコネル材、星形トラスビームや支持柱等の支持構造物は高マンガン鋼である。また、本体装置は、電磁力等に対して耐えうように装置の各部位は、溶接により補強対策が施されている。そのため、前章で触れたように本体装置の解体では、通常の解体作業に先立ち、これらの補強対策箇所の加工を行う必要がある。また、本体装置の周辺には、真空容器内を超高真空に排気する真空排気設備などの本体付帯設備、プラズマの温度を上げるための加熱装置として中性粒子入射加熱装置(NBI)と高周波加熱装置(RF)、プラズマの温度等の性能や挙動を計測する計測装置など、種々の周辺設備が本体装置を取り囲むように配置されている。このため本体装置の解体に当っては、先ずこれら周辺設備から解体・撤去する必要がある。なお解体においては、これらの機器が放射化されているとともに、真空排気ライン配管など内表面には、重水素同士の核融合反応により発生したトリチウムが付着している可能性を踏まえて放射線管理を行いながら作業を行う必要があった。

3.JT-60 本体装置の解体

3.1 トロイダル磁場コイル

3.1.1 はじめに

JT-60 本体解体においては、TF コイルの補強溶接部の切断は真空容器の 2 分割と同じように工程的、技術的に大きな課題であった。TF コイル(約 70 トン/個、全部で 18 個)は、電磁力や転倒力により掛かる力を抑えるために 2 個 1 組で上下 2 箇所の狭隘部を補強溶接している。TF コイルの解体にはこの補強溶接部を切断する必要があり、このため、狭隘な場所で難削材の高マンガン鋼を切断するため、小型で且つ分解して持込み狭隘部で組立て可能な専用のフライス加工機を開発し、この課題を解決した。その後、TF コイルを抜き取る空間である 40 度セクター部は、真空容器と PF コイルを切断して確保した。最終的に、1 個ずつ分離した TF コイル 18 個をクレーンにて移動させ 20 度セクター部より吊り出すことで順調に解体を行うことができた。

3.1.2 機器の概要

TF コイルは、プラズマを安定に保持するためのトロイダル磁場(トロイダル方向の強磁場)を発生させるコイルである。外径約 6m、重量約 70 トンの同一形状の単位コイル 18 個で構成

され、ドーナツ形状の真空容器を内包しつつ周方向 360° の位置に配置されている。各コイルは補強用のスペーサによって上下架台に固定され自立している。また、JT-60U への改造を行った際、TF コイルは、電磁力や転倒力により掛かる力を抑えるために 2 個 1 組で上下 2 箇所の狭隘部を補強溶接している。単位コイルは、コイル部とそれを保護する補強部から成り、パンケーキ状に巻いた多層コイル 2 個を一つに接続している。一個のパンケーキは 36 層のターンからなり、単位コイル当たり 72 ターンとなる。装置中心部はテーパ状に加工され、隣接する単位コイル同士は密着している。絶縁層がコイル間、パンケーキ間及び対地間に設けられている。補強部はコイルを覆う外枠、コイルを上下架台に固定する補強用のスペーサ及びコイル側面に取り付けられた側板に分かれる。単位コイル内周側の上部および下部には、コイルの大変位を防止するためにストッパーを設けてあり、コイルを常時中心ブロックに密着させておくために板バネで押しつけている。コイルの大きさは高さ 6.2m、奥行約 6m、幅約 1m である。主な仕様を表 3.1.1-1 に示す。

表 3.1.1-1 トロイダル磁場コイルの仕様

項目	設計値
抵抗	0.097Ω
インダクタンス	2.1H
全巻数	1,296Turn
巻数/単位コイル	72Turn
最大電流	52.1kA
最大電圧	6.57kV
最大電力	342.3MW
最大磁場	4.2T
材質(導線/外装)	銀入無酸素銅/高 Mn 鋼
重量(単位コイル)	70 トン

3.1.3 解体の検討

JT-60 本体解体においては、電磁力等に対して機械的な強度を補強するために溶接されていた補強部の切断が大きな課題であった。すなわち殆どの溶接箇所は、高マンガン鋼の支持構造物同士をはめ合いで固定する所であり、結果的にその切断は狭隘部で実施する必要があった。TF コイルの解体にあたっては、この狭隘部で補強溶接された 2 個 1 組の TF コイルを 1 体のままで廻し込みながら吊り出すことは技術的に困難であると判断されたため、TF コイルを 1 個ずつ切り離してから吊り出すことを解体の前提とした。このため、すべての溶接部を予め切断する必要があった。次に、1 個ずつ分離した TF コイルをドーナツ状の真空容器から抜き取るためには、真空容器(+PF コイル)の 20 度セクター分を切り取り、TF コイルを抜き出すためのスペースを作っておく必要がある。真空容器は外側に TF コイルがあるため、切り取り部

は真空容器内側から分割して切断し(真空容器自身はより裕度を取って 40 度セクター分を切断)、真空容器内部に引き込む必要があった。この真空容器の外側表面には保温材があり、保温材が飛散しないような切断手法が必要であった。その次に PF コイルの切断に移行した。PF コイルは 5 種類、計 45 断面ブロックからなり、真空容器の外側を取り巻くように取り付けられている。TF コイルを吊り出すためには、20 度分の PF コイルを切断・搬出する必要があるが、ブロック数が多いことから、その切断作業の短縮化が求められていた。加えて真空容器のポートについては、TF コイルを回し込む際に干渉するため、事前に真空容器から切断しておく必要があった¹⁾²⁾。

(1)TF コイル補強溶接部の切断

JT-60 本体解体においては、電磁力等に対して機械的な強度を補強するために溶接されていた補強部の切断が大きな課題であった。すなわち殆どの溶接箇所は、高マンガン鋼の支持構造物同士をはめ合いで固定する所であり、結果的にその切断は狭隘部で実施する必要があった。TF コイルの解体にあたっては、この狭隘部で補強溶接された 2 個 1 組の TF コイルを 1 体のままで廻し込みながら吊り出すことは技術的に困難であると判断されたため、TF コイルを 1 個ずつ切り離してから吊り出すことを解体の前提とした。

TF コイル(約 70 トン/個、全部で 18 個)は、2 個 1 組で上下 2 箇所のトカマク中心側狭隘部を幅 60mmX 深さ 50mmX 長さ 1000mm に亘って補強溶接していることから、TF コイルの解体にはこの補強溶接部を先に切断する必要があった。特に、TF コイルの構造体は、強力な電磁力に耐えうるため超硬度材(難削材)である高マンガン鋼であり、狭隘部でこの高マンガン鋼を切断することが求められた。火気を用いた切断方法は、狭隘部では熔融金属を吹き飛ばすことができないことから、機械的なフライス切断を行うこととした。ただし狭隘部であるため汎用のフライス加工機をそのまま取り付けることはできず、分解して持込んだ後狭隘部で再組立てが可能な専用の小型フライス加工機を開発する必要があった(図 3.1.3-1)。フライス切断においては、加工時の振動を抑える十分な剛性を持たせるとともに、作業員が直接、切断箇所を見ることができない狭隘部での切断に対して、TV モニタを付帯させる等の工夫を行った。更にフライスの刃については、切れ味と損耗を実際の TF コイル切断で確認しながら、入手可能な種類のなかで最適化を図った。

(2)真空容器 20 度セクター部の切り取り

真空容器は、難削材であるインコネル(625)6mm 厚の板材を 2 枚用いた二重構造であり、外側には TF コイルがあるため切断は内側から行い、切断片は真空容器の内部に引き込む必要があった。火気手法は、真空容器外側のコイルの絶縁材(エポキシ+ガラス繊維)等に引火する危険性があり採用できないため機械的な切断手法を用いた。この際、真空容器外側表面にはセラミック系の保温材が装着しており、保温材まで切断するとセラミック粉末が飛散し、TF コイルに囲まれた狭隘部では洗浄が困難となることから、保温材を切断しないで真空容器のみを切断することが求められた。このため、位置検出センサーを有し曲面形状に沿って切断深さを精密に管理できる専用のフライス機を導入することでこの課題を解決した。20 度セクター部の

の真空容器切断は余裕を持たせて 40 度分を 4 分割して、真空容器内部に引き込むこととした(図 3.1.3-2)。

(3)真空容器ポート切断

TF コイルを真空容器から吊り出すためには、真空容器に溶接されているポートを先に切断する必要がある。この切断においてもポートの外側にはセラミック系の保温材が装着していることから、真空容器内側からポート筒のみを切断することとし、真空容器切断と同様に切断厚みを制御しながら切断してセラミック粉末の飛散防止を図った。

(4) PF コイルの切断

真空容器 40 度セクターを切り取った後は、次に PF コイル 20 度分を真空容器外側から切断し取除いた。PF コイルは銅バーに絶縁材を巻いた多層構造で、総数 45 ブロックが真空容器を取り囲むように配置されている。最も太い PF コイルの断面は約 35cm×約 45cm であり、通常のセーバーソーでは切断長さが足りず、切断長さが 50cm のギロチンソーという特殊な鋸機構を用いて切断を試みた。しかしながら 1 つのコイルの切断に 1 週間程度もかかり、作業期間の短縮が大きな課題となった。これに対して、冷却水を全く使用しない乾式ダイヤモンドワイヤーソーを導入し、PF コイルの一括切断を試みたところ、極めて短期間(約 5 日間:切断のみの正味時間)で PF コイルブロックの切断(2 線切)に成功した。ダイヤモンドワイヤーソーは、切断物の大きさや形状に依存することなく使用が可能で、ワイヤソーと各種プーリー、駆動モーターから構成され、プーリーのセッティングにより任意の部位からの切断ができる。乾式ダイヤモンドワイヤーソーのコイル切断(銅バー+絶縁材)の実績が無かったので、先に試験体を用いて切断能力の確認をし、最終的に実機切断を回転速度 20m/s で実施して実現した。切断が進むにつれ張力が変化するが、常時モーターの電流値にてフィードバック制御を行い、調整用プーリーがワイヤソーを張る方向に移動し、常に一定張力を維持しながら切断を行う(図 3.1.3-2)。冷却水を使用しないので、切断の切粉については放射化物を含む排水処理の必要がなくビニール養生と掃除機で切断後の清掃が可能であり、作業時間の短縮、合理化ができる。更には作業員が切断箇所に居る必要もないことから怪我、被ばくの可能性も低く、極めて有効な切断手法であることが明らかとなった。

3.1.4 解体作業

(1)TF コイル補強溶接部の切断

TF コイル補強溶接部の切断は、狭隘部の上下 9 箇所計 18 箇所に専用のフライス機を設置して実施した。フライス機は、上下同一機ではなく個別のものを製作した。上側は小型な機械をクレーンで所定の位置に設置できるが、下側は上側より狭隘で一体での機器の設置が困難であるため、分解して運び現場で組立て可能なものとした。作業期間は、H22 年度に上下の溶接部 1 箇所ずつを行い、H23 年度に 16 箇所の切断を実施した。H22 年度の切断により切断の要領や技術を習得したが、下側の切断は狭隘なスペースにより作業効率が悪いため、上側は約 2 ヶ月で終了したが、下側は 3 ヶ月を要した。補強溶接部の切断記録を表 3.1.4-1、2 に示す。

作業時の放射線管理は、切粉が飛散しないように作業エリアを養生し、区画した上で作業を行った。また、作業者は切粉を付着したまま作業エリアから出ないように、専用の作業服(タイベックスーツ)の着脱を励行し、切粉を作業エリア内に閉じ込めるための管理を確実に行った。

表 3.1.4-1 上側 TF コイル補強溶接部の切断記録

No.	加工部	人員 (名)	使用刃具(本)				加工 工数 (日)	備 考
			φ13 ドリル	φ20 ドリル	※φ20エンドミル			
					内周側	外周側		
1	TC-3・4間	5	1	1	12	4	8.5	特に無し
2	TC-5・6間	5	1	1	8	12	6	特に無し
3	TC-7・8間	5	1	1	9	4	6	スパライン軸のかじり発生し修正作業(0.5日)
4	TC-9・10間	5	1	1	11	6	6.5	スパライン軸のかじり発生し修正作業(0.5日)
5	TC-11・12間	5	1	1	16	6	8.5	特に無し
6	TC-13・14間	5	1	1	11	9	7.5	スパライン軸のかじり発生し修正作業(2日)
7	TC-15・16間	5	1	1	17	5	7.5	特に無し

TC:TF コイル、※：刃先交換型φ20 超硬エンドミル

表 3.1.4-2 下側 TF コイル補強溶接部の切断記録

No.	加工部	人員 (名)	使用刃具(本)		加工 工数 (日)	備 考
			※φ20エンドミル			
			内周側	外周側		
1	TC-1・2間	5	8	16	13.5	特に無し
2	TC-3・4間	5	6	15	13.5	特に無し
3	TC-5・6間	5	12	4	11.5	スパライン軸のかじり発生し修正作業(1日)
4	TC-7・8間	5	7	11	9	スパライン軸のかじり発生し修正作業(1日)
5	TC-9・10間	5	6	14	9.5	特に無し
6	TC-11・12間	5	8	14	10	特に無し
7	TC-13・14間	5	8	13	12	スパライン軸のかじり発生し修正作業(0.5日)
8	TC-15・16間	5	7	10	6.5	特に無し

TC:TF コイル、※：刃先交換型φ20 超硬エンドミル

(2)TF コイルの吊り出し

真空容器(+PF コイル)の 20 度セクター分を切断して、TF コイルを取り出す空間を確保した後は、TF コイルを支えている下スペーサーを適宜解体しながら TF コイルをクレーンにて吊りながら取り出す作業を行った。PF コイルフィーダが TF コイル#14 と#15 の間にあるため、吊り出し作業は、最初に 20 度セクター部の TF コイル#18 を取り出し、その後、TF コイル#1~#14 までを反時計方向に移動させ取り出し、TF コイル#17~#15 までを時計方向に移動させて、18 個全てのコイルを取り出した(図 3.1.4-1)。取り出しに当たっては、TF コイルと PF コイルおよび PF コイル支持体との空間ギャップがないため、曲面に対応しながら慎重に TF コイルを抜き出した。TF コイルの移動時間は、一番移動距離が長かった TF コイル#14 でも約 2 時間であった。ちなみに、最初に取り出した TF コイル#18 は 20 度セクター部の PF コイルは TF コイルと分離しないで、一体で固定したままで作業を進めた。

(3)TF コイルの輸送

解体した TF コイルは、保管場所である JT-60 機器収納棟での作業効率を図るため、組立室

で立てたままの状態でも移動用治具に固定した(図 3.1.4-2)。搬出準備として、清掃、放射線測定等を実施後、100 トントレーラーにて輸送を行った。輸送は、約 800m の移動距離を約 20 分かけて行った(図 3.1.4-3)。

3.1.5 まとめ

TF コイルは、電磁力や転倒力等により掛かる力を抑えるために 2 個 1 組で上下 2 箇所の狭隘部で補強溶接を行っていた。TF コイルの解体この補強溶接部を切離して単体にするのが JT-60 解体では求められた。そのため、専用のフライス機を開発して、狭隘な場所での作業を可能にした。TF コイルを単体にした後は、TF コイルを抜き取るための空間を確保するため、20 度セクター部の真空容器と PF コイルを専用フライスと乾式ダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断した。その後、18 個の TF コイルは、クレーンで吊り廻し込みながら 20 度セクター部の空間から取り出し、組立室に仮置きした。TF コイルの解体は、JT-60 解体における 1 つのマイルストーンであり、予定通りに H23 年度末までに終了できた。これは、TF コイル補強溶接部の切断、ポート部の切断、20 度セクター部の切断等の TF コイル解体までに行うべき重要な作業が計画通り順調に進み、大きなトラブルが無かったことにより達成できた。

3.2 ポロイダル磁場コイル

3.2.1 はじめに

ポロイダル磁場コイルの解体は、トロイダル磁場コイル(TF コイル)を取り出す空間確保するための分解部と軽量化のため真空容器の 2 分割に伴う箇所の切断方法及びポロイダル磁場コイル(PF コイル)支持体の解体方法が大きな課題であった。分解部及び真空容器 2 分割部における PF コイルの切断は、最も大きい断面積 (35cmX45cm)のコイルを含む総数 45 ブロックを短時間で安全に効率良く切断することが求められ、既存の切断方法をいくつかリストアップして、R&D を実施した。その結果、冷却水を使用しない乾式ダイヤモンドワイヤーソーが最適な手法であり、短時間で安全に効率良く切断できることが判明した。また、PF コイル支持体の解体は、工期の長期化と切断方法が大掛かりになるため避ける方向で検討した。つまり、真空容器 2 分割部の切断は、真空容器と PF コイル及び PF 支持体を一体のまま、ポートの中心部の位置で PF コイルと真空容器を一括で切断する方法を選択した。

3.2.2 機器の概要

PF コイルは、真空容器内にプラズマを生成・保持するための磁束、垂直・水平磁場の生成、ダイバータ配位の形成、磁気面のエルゴード化等を目的としたコイルである。PF コイルは TF コイルと真空容器の間に設置され、基本的にトロイダル方向(ドーナツ状の真空容器に沿う方向)に巻線されている。PF コイル、TF コイル、真空容器の外観を図 3.2.2-1 に示す。

PF コイルの構成は、空心変流器(F)コイル、垂直磁場(V)コイル、水平磁場(H)コイル、ダイバータ(D)コイル、ディスラプション制御(DCW)コイルの 5 種類から成る。各コイルの断面を図 3.2.2-2 に示す。F コイルは、プラズマ中にループ電流を誘起し維持するための磁束変化を

発生するコイルであり、プラズマ電流の制御に用いられる。V コイルは、プラズマの平衡を保つための制御コイルである。H コイルは、プラズマの垂直方向の安定性の制御に用いられる。D コイルは、ダイバータ運転において、プラズマが真空容器に直接接触しないようにすることにより、プラズマ中に混入する不純物を抑制することを目的とし、8 の字型のセパラトリクス磁気面を形成する。DCW コイルは、トロイダルモード数 $n=2$ の非軸対称磁場を発生し、磁気面をエルゴード化することによりディスラプションを制御する。ポロイダル磁場コイルの各コイルは、ポロイダル断面において、設置場所、形状、ターン数の異なる巻線に分かれている。

また、各 PF コイルは、構造的な一体性及び機械的強度を確保するため、PF コイル支持体 18 個により固定されている。PF コイル支持体の構造は、真空容器ポートとの干渉を避けるため、主要部分を TF コイル内周に隠れるように設置されている。TF コイルに対しては電氣的・機械的接触を避ける構造となっており、TF コイルと PF コイルの双方が磁場を形成した場合もこれは保たれる。PF コイル支持体の支持は、下架台から PF コイル支持体に立てられた 18 本の PF コイル支持体支持柱と 18 組の PF コイル支持体脚によって支えられている。

PF コイル支持体は、真空容器を支持するための支持座を有している。当該支持座と PF コイル支持体との接続部に絶縁材を用いることで、PF コイル支持体と真空容器は、電氣的に切り離されている。また、真空容器は 300°C でベーキングするため、当該支持座を TF コイル冷却水により冷却することで PF コイル支持体への熱侵入を防いでいる。

3.2.3 解体検討

PF コイルの解体において重要な点は、TF コイルの取り外し方法と PF コイル自体の解体方法である。TF コイルの取り外しについては、PF コイル分解部(TF コイル、PF コイルと真空容器を環状に組み上げるための最終組立部。具体的には、ポートセクション 18 と 1 との間で構成される 20°断片)の解体、真空容器支持座用冷却配管の切断を行う必要がある。PF コイル自体の解体においては、JT-60 真空容器から PF コイルを切り離す方法と JT-60 真空容器と PFC を 1 つの構造物として解体する方法が検討された。検討の結果、PF コイルを真空容器から切り離す方法では、切断工数が多く、かつ、切断対象となる PF コイル支持体は高 Mn 鋼材(難削材)を使用しているため、切断の工期が長期化する。そのため、PF コイル(銅と絶縁材)のみを切断し、JT-60 真空容器と PF コイルは一体のままとする方法を選択した。実際に行われた PF コイル解体の大項目としては、分解部の PF コイル切断、PF コイル支持体ストッパー切断、真空容器 2 分割部の PF コイル切断である。

3.2.3.1 分解部切断

PF コイルにおける分解部の解体は、TF コイル単体を加工せずそのまま抜き出すため、環状の PF コイルのポートセクション 1 とポートセクション 18 を輪切りにし、切断した 20°分の断片を抜き取り、TF コイルを取り出す空間を作り出す。P-1 と P-18 間 20°の断片(PF コイル支持体(S-18)を含む)の抜き取りは、トロイダル磁場コイル(TC-18)と一体で取り出す。分解部における PF コイル切断の問題は、切断面積の大きい V1、V7 コイルの切断方法、D コイル切断方法及び内周側コイルの切断方法である。

(1)V1、V7 コイルの切断

V1、V7 コイル切断方法は、ギロチンソー(特殊鋸切断機)を用いた切断とワイヤーソーを用いた切断を検討した。これらの切断方法検討は、解体作業と並行して実機にて R&D を実施した。また、V1、V7 コイルは、それぞれ F1、F2、H1 コイル、F20、H13 コイルと同位置に設置されているため、これらのコイルを同時に切断する必要がある。

ギロチンソーについては、ポートセクション 10 において、同じく V1 コイルを切断した。試験の結果、段取りに 0.5 日、切断(1 線)に 4 日、片付けに 0.5 日必要とすることが判った。ギロチンソーによる V1 コイル切断の様子を図 3.2.3.1-1 に示す。一方、ダイヤモンドワイヤーソーの R&D は、ポートセクション 18 において、V1 コイルで実施した。R&D の結果、ワイヤーソーによる切断は、段取りに 2.5 日、切断(2 線)に 1.5 日、片付けに 2 日必要とすることが判った。図 3.2.3.1-2 に、切断する直前の V1 コイル切断部位にワイヤーを設置したところを、図 3.2.3.1-3 に、ワイヤーを駆動するモーターとワイヤーの張りを調整する機構を示す。

試験結果をまとめたものを表 3.2.3.1-1 に示す。ワイヤーソーとギロチンソーの切断を比較すると、ダイヤモンドワイヤーソーは、安全性(遠隔操作)、切断時間の短縮、仕上げ処理が不要な点が優れているが、切削屑が粉体となり、養生(段取り)・除染(片付け)に時間を要する。機械の設置性については、切削対象物と切削刃の駆動部との距離を離すことができるワイヤーソーが優れている。コストの面では、汎用品であるギロチンソーが優れている。分解部における V1、V7 コイルの切断は、工期短縮を優先し、ダイヤモンドワイヤーソーを用いることとした。この結果から、切断する必要があるポートセクション 18 の V7 コイル、ポートセクション 1 の V1、V7 コイルに対し、ワイヤーソーを用いて切断する方法を採用した。

表 3.2.3.1-1 ダイヤモンドワイヤーソーとギロチンソーの比較

手 法	段取り	切断時間	片付け	切削屑	機器配置の裕度
ワイヤーソー	2.5 日	1.5 日	2 日	粉体	極めて高い
ギロチンソー	0.5 日	4 日	0.5 日	粒状	要設置空間

(2)D コイルの切断

D コイルは、図 3.2.3.1-4 の通り PF コイル支持体の最下部に位置している。また、D コイルは他の F・V・H・DCW コイルと異なり、コイル自体が発生する電磁力に耐えうるため、全周にわたり高 Mn 鋼により囲まれて固定されている。工数を抑えるため、切断は、難削材である高 Mn 鋼を避けてコイル導体を切断する。

(3)PFC 上下及び内周側の切断

PFC 上下及び内周側の切断は、PFC 分解部の切断における V1、V7 コイルをダイヤモンドワイヤーソーで、D コイルをセイバーソーで切断した後、残存する部位である。PFC 上下及び内周側は、図 3.2.3.1-4 の F3～F19、V2～V6、H2～H12 コイルが残存している。これらコイルの切断は、ダイヤモンドワイヤーソーで切断を行った。ダイヤモンドワイヤーソーは、V1、V7 コイルの切断の実績から、作業前の養生に時間が掛かるものの、コイルに対する切断速度、作業員の負担、作業員に対する防護の優位性が明らかにされ、狭隘部の切断作業である PFC 上

下及び内周側の切断に最も適していると考えた。これらは、TF コイル間における長さが短いため、TF コイル#18 の両側(P-1、P-18)セクションにおいて各々1 線切りを行い切り離した。

3.2.3.2 PF コイル支持体ストッパー

PF コイル支持体ストッパーの材質は高 Mn 鋼である。切断方法としては、プラズマやガウジングなどの熱的切断方法、エンドミルなどの機械的切断方法を検討した。

TF コイルを撤去するため、予め PF コイル支持体ストッパーを切断しなければならないが、作業空間は TFC に挟まれた状況にあり狭隘な場所となっている。図 3.2.3.2-1 にストッパー外観を示す。また、PF コイル支持体の内側には保温材のついた真空容器と、有機物である絶縁材が露出した PF コイルが存在する。このため、火災等の危険が想定されたため熱的切断方法を避けて、火災の危険が無い機械的切断方法を採用した。具体的には、高 Mn 鋼の塊を中ぐり盤といわれるミーリングマシンで削り取る。

3.2.3.3 真空容器 2 分割部の PF コイルの切断

真空容器の分割は、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて、JT-60U 真空容器(インコネル 625)と PF コイルを同時に切断した。真空容器の解体措置は、収納用容器への収納をせず、真空容器自体の開口部を閉止することとした。このため、収納のための重量や寸法を調整する切断が不要となり、可能な限り真空容器と PFC+PFC 支持体を解体しない方法である、真空容器を 2 分割にすることとした。

PF コイルは、PF コイル+PF コイル支持体は 340°分が残存している。これに真空容器(320°分)を加えたものが解体対象となる。解体前の PF コイルと真空容器は、幅 10m、重量 327ton となる。実験棟大物搬入口及び機器収納棟搬入口は、それぞれ 7m、8m である。したがって、2 分割(切断数 1)することにより、寸法的問題は解決する。重量については、実験棟天井クレーンの定格荷重は 250 トンである。よって、2 分割にすれば、実験棟でのハンドリング上、問題無い。一方、機器収納棟天井クレーンは、定格荷重 100 トンである。この荷重を基準にすると、4 分割(切断数 3)しなければならない。この PF コイルの解体においては、JT-60 実験棟内解体作業の工期短縮を優先するため、機器収納棟天井クレーンに代わる移動式の 800 トンスーパーリフトを使用することで、切断数を 1 に抑えた。

切断される PF コイル、PF コイルケース、真空容器は、銅、高 Mn 鋼、インコネル 625 で製作され、組み合わされた構造となっている。これらの金属については、ダイヤモンドワイヤーソーによる R&D および実機による切断実績から、これら 3 つの構造体をダイヤモンドワイヤーソーにて一括で切断する方式を採用した。

3.2.4 解体作業

3.2.4.1 分解部の PF コイル切断

分解部の解体作業は、V1、V7 コイルの切断(実機を用いた R&D を含む)、D コイル切断、及び、PFC 内周部の切断を実施した。

(1)V1、V7 コイルの切断

ギロチンソーとダイヤモンドワイヤーソーを用いた切断の R&D により、ダイヤモンドワイヤーソーの有効性が確認された。残りの切断する必要のあるポートセクション 18 の V7 コイル、ポートセクション 1 の V1、V7 コイルに対し、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断を行った。

(2)D コイルの切断

D コイル切断は、外部からコイルに接近すると切断工具を下から保持しなければならないため、解体の手順を工夫することにより、分解部の真空容器を撤去後、D コイル直上から、楽な姿勢で、セイバーソーを用いた当該コイルの切断を実施した。図 3.2.4.1-1 に切断箇所を示す。

(3)PFC 内周側の切断

PF コイル内周側は、PF コイル分解部の切断における V1、V7 コイルをダイヤモンドワイヤーソーで、D コイルをセイバーソーで切断した後、残存する部位である。PFC 内周側は、図 3.2.4-2 に示す F3～F19、V2～V6、H2～H12 コイルが残存している。PFC 内周側の切断は、ダイヤモンドワイヤーソーで切断を行った。ダイヤモンドワイヤーソーは、V1、V7 コイルの切断によって、作業前の養生に時間が掛かるものの、コイルに対する切断速度、作業員の負担、作業員に対する防護の優位性が明らかにされ、狭隘部の切断作業である PFC 内周側の切断に最も適していると考え、採用した。

3.2.4.2 PF コイル支持体ストッパー

PF コイル支持体ストッパーの切断は、ミーリングマシンとダイヤモンドワイヤーソーを用いて実施した。ミーリングマシンは、フライス加工を行うもので TFC 上面に機械を設置し、TFC 上面より下約 1.1mにあるストッパーを切削した。ダイヤモンドワイヤーソーは、ストッパー切削作業当初、ミーリングマシンのみで作業を完遂していたが、切削時間の短縮と機械と切削面の距離が長いことによる機械への負担を軽減するため、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて予備切削を実施した。これにより、ミーリングマシンによるポートセクション当たりの切削時間を約半分にすることができた。図 3.2.4.2-1 にミーリングマシン外観を示す。図 3.2.4.2-2 にダイヤモンドワイヤーソーによるストッパー切断の状況を示す。

ポートセクション 10 のストッパーについては、コイルフィーダ引き出し部であり、他の部位と異なる。ミーリングマシン設置位置から外周側へ大きく離れるため、ミーリングマシンでの切断が不可能であった。このため、ダイヤモンドワイヤーソーのみ用いて切断を実施した。

3.2.4.3 真空容器の分割部の PF コイル切断

真空容器の分割は、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて、JT-60U 真空容器(インコネル 625)と PF コイルを同時に切断した。

切断される PF コイル、PF コイル支持体、真空容器は、銅、高 Mn 鋼、インコネル 625 で製作され、異種金属が混在した状況となっている。これらの金属について、ダイヤモンドワイヤーソーにて 3 つの構造体を一括で切断した。切断は 1 日 5～6 時間、約 7 日間(約 40 時間)で終了し、使用したダイヤモンドワイヤーソーは、60m(20mx3 本)であった。

3.2.5 まとめ

ポロイダル磁場コイルは、それ自体の形状が複雑な重量物であり、銅で製作された導体と難削材である高 Mn 鋼で製作されたポロイダル支持体で構成されている。さらに、トロイダル磁場コイル、真空容器と複雑に組み合わされている。したがって、この解体は、解体方法によって、コスト、切断工数、放射線管理に影響を与える。実際の切断においては、V1、V7、内周側のコイル導体については、ダイヤモンドワイヤーソーを用いた。難削材である高 Mn 鋼については、D コイルの切断の様に、切断時の作業空間、作業姿勢が良好なものについてセイバーソーを用いて切断を行い、ストッパーの様な狭隘なものについては、ミーリングマシンとダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断、切削を行った。真空容器の分割においては、切断面が直径 3.85m、断面積 11.6 m²と大きく、さらに、銅、高 Mn 鋼、インコネル 625 と異なる材質のものを切断しなければならなかったが、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて効率よく短期間(約 7 日間)で切断を実施した。

3.3 真空容器

3.3.1 はじめに

JT-60 真空容器の解体は、容器内面がトリチウムによる汚染が存在しているため、放射線管理をしながらの作業となる。真空容器が設置されている JT-60 実験棟本体室は、第 1 種管理区域に設定されているが、真空容器の密閉性と真空排気により、汚染がほとんど無い空間となっている。真空容器の解体では、トリチウムの拡散を防ぎながら解体を進めて行く必要がある。さらに、真空容器自体は、核融合反応により生成された高速中性子による放射化により、高い線量(解体時で約 21 μ Sv/h)であった。このため、解体に当たって真空容器に係る作業者の被曝管理も重要となる。真空容器の切断解体においては、分解部の切断と容器分割が課題となるが、この場合、切断方法と汚染防止が重要となる。

3.3.2 機器の概要

JT-60 真空容器は、容器内部を超高真空に排気することで、プラズマ生成に不要な粒子を排除し、プラズマ粒子や反応により生成された粒子を外部に漏洩させない機能を有する。容器内には、最高温度 5 億度に達するプラズマ粒子から容器を保護するアーマータイル(第一壁、ダイバータ板)約 12,000 枚が、容器壁面全体に貼り付けられている。容器には、ポート(枝管)が接続されており、プラズマ計測、プラズマ加熱、粒子供給、真空排気等様々な用途に用いられている。真空容器は、薄板二重構造の一般部と厚肉のポート座から構成され、多円弧(13 円弧)の D 型断面となっている。薄板二重構造の部分は、構造材にインコネル 625 を用い、6.1mm 厚の内板と外板、さらに 3mm 厚の角管から構成され、全体の厚みは 40.7mm となる。真空容器のポロイダル断面を図 3.3.2-1 に、概略構造を図 3.3.2-2 に示す。

また、真空容器は、プラズマに極めて近いことから、構造材の放射化が著しく、被曝に対する注意が必要である。実験運転完了から 2 年経過しているため、真空容器の外表面では、放射

線が減衰し、極めて低い線量である。しかし、真空容器内では、放射化された容器壁にあらゆる方向から囲まれているため、容器内での被曝量は軽視することができない。

3.3.3 解体検討

真空容器の解体で重要な点は、トロイダル磁場コイル(TF コイル)の取り外し方法と真空容器自体の管理方法である。TF コイルの解体前までには、真空容器分解部の解体及びTF コイルの廻し込みに干渉するポートを切断する必要がある。また、真空容器内には、バッフル板や保護板等の構造物や内壁面に取り付けられている電磁気等の検出器が存在しているため、真空容器の切断に干渉する場合は適宜取り外さなければならない。真空容器の解体に伴う作業管理については、真空容器内面がトリチウムにより汚染されているため、放射化物としての取扱いと合わせて汚染されていることを念頭に管理しなければならない。したがって、真空容器内部での作業管理を行ない、さらに解体中、解体後の輸送・保管の形態について検討しなければならない。

3.3.3.1 容器外構造物

(1)水、電源、ガスの隔離

真空容器には、一次冷却水、ベーキング用ヒーター電源と熱電対、ベーキング用窒素ガスが接続されている。これら水、電源、ガスについて、開放、排出、切り離しを実施する。

(2)ポート接続機器の解体

各ポートに接続されている装置類は解体されていることを確認する。装置類はポートフランジ面から切り離されていなければならない。

3.3.3.2 容器内構造物

第一壁、ダイバータ板、プラズマ計測機器、ポート内壁保護板は、事前に取り外しを行っている。電磁気計測器等については、分解部解体、ポート切断、真空容器切断作業と干渉した時点で取り外しを実施する。バッフル板については、ポートセクション毎の垂直上ポート、斜め上ポート、水平ポートの切断が完了し、かつ、残りのポート切断作業の進捗状況を考慮した上で、バッフル板の取り外しを行う。

3.3.3.3 20度セクター部(TF コイルを抜き出す空間)解体

JT-60 真空容器における20度セクター部解体は、TF コイル単体を切断加工せず抜き出すため、環状の真空容器を切断し空間を設ける。真空容器のポートセクション1からポートセクション18を上部、下部、外周部および内周部の4つの断片に切断する。切断された40°分の断片を残っている真空容器内に引き込み保管する。

分解部における真空容器切断は、真空容器の内部から専用のフライス機により外側の保温材を切断しないように深さを制御しながら真空容器のみを切断する。フライス機の固定ジグの構造は、切断範囲が広いため、切断機械を保持する台座を堅牢な構造とした。切断された断片については、切断線をボルト締結し落下を防止する対策を講じる。切断された断片の引き込み作

業は、最初に外周水平部を引き込み、上部、内周水平部、下部の順で引き込みを行い、引き込まれた断片は、真空容器内において、ワイヤーロープにより強固に固定する方法を選択した。

3.3.3.4 ポート切断

ポートは、TF コイルの解体時に干渉するため、切断しなければならない。切断するポートは、真空容器中心から水平方向に設置されている水平ポート、上下斜め方向に設置されている斜めポート、上下に設置されている垂直ポートがある。これらのポートは 18 箇所あるポートセクションに配置され、切断したポートは、水平ポート 8 本、斜めポート 28 本、垂直ポート 27 本である。

(1)水平ポート

水平ポートにおける切断は、一部を除き、ディスクグラインダーを用いて、ベローズ部や枝ポート付け根を切り離す。切断ポートセクション、装置名、切断位置及び使用加工機を表 3.3.3.4-1 に示す。

表 3.3.3.4-1 水平ポートの使用加工機

	ポートセクション	主要装置名	切断位置	使用加工機
1	P-3	N-NBI	ベローズ	ディスクグラインダー
2	P-4	接線 NBI	ベローズ	ディスクグラインダー
3	P-11	ICRF	ベローズ	ディスクグラインダー
4	P-12	ICRF	ベローズ	ディスクグラインダー
5	P-13	炭酸カルシウム干渉、連続電流分布、荷電交換分光	枝ポート	ディスクグラインダー
6	P-14	荷電交換分光、ECE	枝ポート	ディスクグラインダー
7	P-16	接線 NBI	ベローズ	ディスクグラインダー
8	P-18	LHRF	ポート	2軸ポートフライホイールフライ

(2)斜めポート

斜めポートでは、ポート、枝ポート、ベローズ部を切断する。ポート部の切断は、2軸ポートフライス、回転ポートフライス、ポートボックス切断機を用いる。枝ポート及びベローズについては、ディスクグラインダーを用いる。詳細を表 3.3.3.4-2 に示す。

表 3.3.3.4-2 斜めポートの使用加工機(1/2)

	ポートセクション	主要装置名	切断位置	使用加工機
1	P-1 上	赤外線 TV	枝ポート	ディスクグラインダー
2	P-2 上	レーザー、YAG、トランプ	枝ポート	ディスクグラインダー
3	P-2 下	YAG、トランプ	枝ポート	ディスクグラインダー
4	P-3 下	ASDEX ケーブル	枝ポート	ディスクグラインダー
5	P-4 上	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
6	P-4 下	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ

表 3.3.3.4-2 斜めポートの使用加工機(2/2)

7	P-5 上	Ha/Da、第一壁 prb	枝ポート	ディスクライダ
8	P-5 下	大気放出管	ポート	回転ポートフライ
9	P-6 上	電磁気	枝ポート	ディスクライダ
10	P-7 上	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
11	P-7 下	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
12	P-8 上	Div 斜入射分光/可視	ポート	回転ポートフライ
13	P-8 下	ASDEX ゲージ、Div 可視分光	枝ポート	ディスクライダ
14	P-9 上	軟 X 線強度分布、モニター	ポート	回転ポートフライ
15	P-9 下	Div 可動静電 prb、Div モニター、ASDEX ゲージ	枝ポート	ディスクライダ
16	P-11 上	LHRF	ポート	2軸ポートフライ
17	P-11 下	PA ポート	ポート	2軸ポートフライ
18	P-12 上	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
19	P-12 下	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
20	P-13 上	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
21	P-13 下	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
22	P-14 上	真空排気設備	ポート	回転ポートフライ
23	P-14 下	真空排気設備	ポート	回転ポートフライ
24	P-15 下	ガス注入ポート、電磁気	枝ポート	ディスクライダ
25	P-16 上	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
26	P-16 下	P-NBI	ポート	2軸ポートフライ
27	P-17 上	ECH	ベローズ	ディスクライダ
28	P-17 下	斜入射分光	枝ポート	ディスクライダ
29	P-18 上	電磁気	ポート	ポートロック切断機

(3)垂直ポート

垂直ポートは、上側 U1、U2 ポートと下側 U1、U2 ポートがある。垂直ポートの切断には、ポータブルフライスを使用する。切断する垂直ポートについて、表 3.3.3.4-3 に上側 U1・U2 ポート、表 3.3.3.4-4 に下側 U1・U2 ポートの一覧を示す。

表 3.3.3.4-3 上側 U1・U2 ポート一覧(1/2)

	ポートセクション	U1 ポート	U2 ポート	主要装置名
1	P-1	○	—	電磁気
2	P-2	○	○	電磁気、トモ散乱レーザ
3	P-3	○	○	中性粒子圧力、Ha/Da 分布、ガス注入装置
4	P-4	○	○	—、実効電荷

表 3.3.3.4-3 上側 U1・U2 ポート一覧(2/2)

5	P-6	○	—	絶対測光斜入射分光
6	P-7	○	○	電磁気、Ha/Da 分布
7	P-8	○	○	電磁気、—
8	P-9	○	○	ハレット、Ha/Da 分布
9	P-11	—	○	ガス注入装置、共同トムソン
10	P-12	○	○	Ha/Da 分布、 α 粒子
11	P-13	○	○	電磁気、SX/可視分光
12	P-14	○	○	電磁気、ガス注入装置
13	P-16	○	○	FIR 干渉、FIR 干渉
14	P-17	○	○	Ha/Da 分布、リソグラフィ
15	P-18	○	○	電磁気、結晶分光

表 3.3.3.4-4 下側 U1・U2 ポート一覧

	ポート番号	U1 ポート	U2 ポート	主要装置名
1	P-1	○	—	冷却管
2	P-2	○	○	内側可動静電 prb、トムソン散乱レーザ
3	P-3	○	○	冷却管、Div 及びトリプル静電 prb
4	P-4	○	○	Div ミリ波干渉、Div ミリ波干渉
5	P-5	○	—	軽元素ドップラー幅
6	P-6	—	○	可視分光
7	P-7	○	○	冷却管、ガス注入装置
8	P-8	—	○	
9	P-9	○	○	中性粒子圧力、放射強度(ホドメータ)
10	P-10	—	○	中性粒子圧力
11	P-11	○	○	冷却管、共同トムソン散乱
12	P-12	—	○	垂直中性粒子分析
13	P-13	—	○	
14	P-14	○	○	冷却管、縦方向中性子発生分布
15	P-16	○	○	FIR 干渉、FIR 干渉
16	P-17	○	○	冷却管、放射強度(ホドメータ)
17	P-18	○	○	ガス注入装置、 γ 線測定

3.3.3.5 真空容器切断(PF コイルの 2 分割)

真空容器の解体は、専用の収納容器への収納をせず、真空容器の開口部を閉止することにより真空容器自身を収納容器とした。このため、収納のための重量や寸法を調整する切断が不要となり、可能な限り真空容器と PF コイル+PF コイル支持体を解体しない方法により 2 分割の

切断を実施した。

真空容器は、ポートセクション 2 からポートセクション 17 までの 320°分が残存している。これに PF コイル+PF コイル支持体(340°分)を加えたものが解体対象となる。解体前の真空容器と PFC は、幅 10m、重量 327 トンとなる。実験棟大物搬入口及び機器収納棟搬入口は、幅 7m×高 8m で、実験棟天井クレーンの定格荷重は 250 トンである。そのため、2 分割により小型軽量化を実現する。それにより、それぞれ 150～170 トンとなり、実験棟でのハンドリング上、問題無い。一方、機器収納棟天井クレーンは、定格荷重 100 トンであり、2 分割した機器の吊り上げは不可能である。そのため、機器収納棟天井クレーンに代わる移動式の 800 トンスーパーリフターを使用することで、2 分割での重量にも対応できる。真空容器の 2 分割切断は、ダイヤモンドワイヤーソーを用いて、JT-60U 真空容器(インコネル 625)と PF コイルを同時に切断した。切断線は、難削材である高マンガン鋼を避けるためポート中心位置を切断する。しかし、PF コイル下部に位置するダイバータコイルは、高マンガン鋼により強固に固定されているため、これも併せて切断した。切断に対する養生については、切断線とワイヤーソーの機器を囲むように足場材を組み立て、切粉が周囲に飛散しないように防災シートで養生している。また、防災シート内は局所排気により負圧とした。

3.3.3.6 開口部(ポート)の閉止

JT-60 真空容器内には重水素運転により発生したトリチウムの汚染が生じているため、解体後密閉保管するため、真空容器の開口部を閉止し、内部トリチウムを外部へ漏洩しない処置を施した。

(1)JT-60 真空容器内の状況

真空容器内は、プラズマから真空容器を保護するための第一壁タイルが約 12000 枚設置されていた。これらのタイルには、重水素運転で発生したトリチウムが発生量の 50%含まれる。このタイルは、真空容器を分割・切断解体する前に全て取りはずし、放射性廃棄物として保管されている。また、真空容器、配管、NBI 等に残留するトリチウムは約 16%となり、保管する際、残留しているトリチウムを外部に漏洩しないように施す必要がある。

(2)真空容器の密閉

真空容器を切断解体した後、保管するにあたり、真空容器全体を収納するための密閉容器を検討したが、非常にコストが掛かり合理的でないと判断した。そこで真空容器自体を密閉構造とすることで合理化を図り、安全に保管することとし、解体における全ての開口部に閉止板を溶接により閉止することとした。

(3)真空容器の開口箇所

真空容器には、実験運転中にプラズマを計測するための様々な周辺装置が設置されていた。これらの計測装置は真空容器のポートとよばれる部位に接続されていた。また、同じく加熱装置や真空容器内部を真空にするための排気系なども大口径のポートに接続されていた。

これらの、大小合わせたポートは 148 箇所あり、垂直ポートが 48 箇所、斜め上下ポートと水平ポートのポートボックスが 25 箇所、斜め上下ポートと水平ポートの枝ポートが 75 箇所となる。切断対象箇所のポートは、JT-60 解体時における TFC コイルの解体に干渉するため干渉部位の撤去として切断された。なお、ポート切断位置はポート形状による切断の容易性並びにポートの切断位置の材質等を考慮して位置決定を行った。

(4)ポート閉止板製作のための型取り

切断加工したポートを閉止するための閉止板の製作にあたり、切断面の形状寸法が確定している物は JT-60 の完成図から閉止板の製作を行い、形状寸法が不確定な物は切断箇所にプラスチックベニアを使用して型取りを実施した。

(5)ポート閉止板の製作

垂直ポートの閉止板形状は円形形状、半分解形状及びレーストラック形状の 3 種類。製作した閉止板は、現場において真空容器外側の既存仮蓋のみを取り外して仮合わせをし、必用であれば合わせ加工できる形状としている。

斜め上下ポート、水平ポートのポートボックスにおける切断面の閉止板は管壁が 20mm のもので且つ、切断面形状寸法がわかる箇所は、閉止板の形状を 20mm 小さい形状で製作している。ただし、切断位置の切断角度がポートの中心軸に対し、鉛直で無い可能性があるため、予め型取りした形状での確認も実施している。

3.3.3.7 真空容器収納

解体した JT-60 真空容器は重水素放電による中性子により放射化しており、真空容器内部には、同じく重水素放電により生成されたトリチウムで汚染されている。JT-60 真空容器の材質はインコネルで構成され、外表面には保温材(マイクロサーム)で覆われている。これらの材質が放射化していることになり、特に保温材は経年劣化により内部が粉状になっているため飛散防止の処置が必用となる。

解体した JT-60 真空容器の輸送・保管を実施するにあたり、真空容器を収納する専用容器の検討を実施したが、収納容器が大規模なためコストが非常に掛かることが問題となり、新たな収納方法について検討を行い実施した。

以下に解体した JT-60 真空容器の収納方法について記す。

(1)解体 JT-60 真空容器専用収納容器の問題点

JT-60 真空容器専用収納容器(以降、専用容器と言う)へ保管する真空容器はドーナツ形状を 2 分割した状態で各々 1 個の収納を検討した。分割された真空容器は周辺にポロイダルコイル及びポロイダルコイル支持体から構成される。その大きさは約長さ 11m×幅 5m×高さ 5m となる。これらの収納品の重量は専用容器 1 基あたり 200 トンにもなる。また、専用容器の大きさから、工場で製作し運搬することは道路交通法上、簡易にできない。よって、ある程度大きさで工場製作を行い、JT-60 実験棟内の組立室で組立・検査を行う必要があった。

(2)専用容器組立の問題点

専用容器を組み立てるにあたり、必用なスペースを確保する必要がある組立室内の床面は縦40m、横40m程度である。なお、組立室内には、解体作業における作業スペースなども必用であるため、全ての床面積を使用することは難しい。

なお、組立室内での専用容器組立占有スペースは28m×16mとなり、部材の仮置き等を考慮し検討した。

また、専用容器を組み立てる場合、重量物を取り扱うため、組立室内のクレーンを使用することとなる。その場合、専用容器を組み立てる為の期間中は解体作業におけるクレーン使用が出来なくなってしまう。よって、JT-60の解体作業に影響を及ぼしてしまう。

(3)専用容器の構造上の問題

専用容器の構造においては、真空容器を載せて固定するための専用容器ベース（底板）と真空容器を覆うケース（上蓋）で構成される。そこで、真空容器を載せるベース部（最も荷重がかかる場所）において検討を実施したところ、材質をSS490（一般構造用圧延鋼）サイズ：H650×250を使用した場合、幅方向(5m)の梁たわみが約153mmとなる。この場合、床面に設置している場合では問題無いが、JT-60実験棟からJT-60機器収納棟へ運搬・搬出する際には、専用容器の変形が考えられ、ベース変形に伴う真空容器を覆うケースにも影響が生じ、ケースの健全性が保てなくなる問題が生じた。

なお、ケースの補強を考慮すると専用容器の重量の増加の他、設計、製作及び組立工数に影響が生じるため、コストが増加してしまう。

(4)収納方法の合理化

真空容器を収納するための専用容器を製作するにあたり、コスト等の問題が生じたため、収納に関する合理化を図ることを検討した。

収納の合理化については、表3.3.3.7-1に記すように3つの案を比較し、保管における健全性とコストの低減を兼ね備えた合理化案を決定した。

比較検討においては、合理化案の長所と短所を比較し、その作業性並びにコストの比較を行い、問題・課題に対応できる合理化案1を選択した。

表 3.3.3.7-1 真空容器収納の合理化案

	方法	長所	短所	問題・課題	必須治工具類
現状案	大型密閉容器に真空容器 + PFC(支持体含む)を収納する。	1)2 分割してそのまま収納できる。 2)保温材対策不要	1)密閉容器の大型化 2)重量が 200 トン超級	1) 密閉容器の製作費用 2) 密閉容器の製作場所	1)VV+PFC(支持体含む)の吊り治具 2)受台
合理化案 1	真空容器の切断面を金属板で溶接して閉止し密閉する。	密閉容器が不要	重量が 200 トン超級(現状案より容器分は軽くなる)	保温材の対策	1)VV+PFC(支持体含む)の吊り治具 2)受台
合理化案 2	真空容器を細かく裁断し、コンテナ型の密閉容器に収納する。	1)コンテナ型密閉容器にて対応 2)真空容器と PFC の分離 3)保温材対策不要 4)密閉容器の小型化	真空容器を細かく裁断	1)細かく裁断する時間と費用 2)密閉容器	1)PFC(支持体含む)の吊り治具 2)受台
合理化案 3	合理化案 1 の合理化版 真空容器の切断面を金属板で点溶接しコーキング等で密閉する。そして、機器収納棟で金属容器にて密閉する。	現状案の合理化版で密閉容器の問題点を解決できる。	本体室と機器収納棟で二重作業	1)コーキング等で搬出が可能であるかが懸案 2)合理化案 1 の溶接との手間 3)保温材対策	1)VV+PFC(支持体含む)の吊り治具 2)受台

(5)合理化案 1 の問題・課題の対策

合理化案 1 では真空容器自体を非密封放射性同位元素の収納容器として活用することであるが、真空容器内部を汚染しているトリチウムに関しては、真空容器の開口部（切断部及び各ポート等）を全溶接で閉止してしまうことで対応できる。しかし、真空容器の外装に設置されている保温材については、飛散防止対策が問題・課題となった。

保温材の材質はマイクロサームを使用しており、粉状のものである。この粉飛散を抑えることを考えた結果、吹き付け塗装による閉じ込め方法が考案され、隙間まで埋められる「ウレタンフォーム」を使用することを検討することとなった。

① ウレタンフォームの利点

ウレタンフォームには様々な用途の物が存在する(輸送、土木建築、生活用品、医療等)。ウレタンフォームは防水材や舗装材としても使用されており、放射線除線が必用な床などにも使用されている。また、吹き付けによる施工ができるため、狭隘な場所にも充填でき、隙間の無い連続した充填が可能である。

ウレタンフォームには、自己接着性という優れた特徴があり、接着剤を使用しなくても金属・合板・コンクリート等の対物表面に強く接着する(材質により 10~25N/cm²)。

② ウレタンフォームの短所

ウレタンフォームを施工するにあたり、調べた結果、吹き付けを行う場合、2 液混合の化学

変化によりウレタンフォームが成形される。このときに化学反応により熱を発生する。ウレタンフォームを積層する場合、ウレタンフォーム自体が断熱性(保温性)の高い物であるため、施工の際、熱を溜めすぎて火災が生じることが懸念された。

(6)ウレタンフォームの吹き付け試験

ウレタンフォームの吹き付けに関して、接着性と施工時の作業性について確認試験を実施した。

① 試験内容

ウレタンフォームを吹き付ける対象物の材質毎に試験施工し、密着性と化学反応による温度を確認した。施工対象物は以下のとおり。

- PFC サポート(高マンガン鋼)
- PFC コイル絶縁体(硬化した絶縁ワニス)
- 真空容器保温材(マイクロサーム：表面にキルト状の固定布有り)

試験の手順としては、各々の材質の表面に φ100mm×L150mm の円筒形養生を取り付け、放射温度計により吹き付け前のバックグラウンドの温度を測定。その後、下地処理として約10mm 程度吹き付けを行い、成形用ウレタン約10mm 程度吹き付けを行い発泡の度合いとその時の温度を測定した。ウレタンフォームが硬化した後、接着度合いや隙間からの充填度合いを目視により確認した。

② 試験結果

ウレタンフォームの吹き付け量に関しては以下の表 3.3.3.7-2 に示すように、吹き付け時と発泡(硬化後)とは厚みが約2倍～3倍に膨れあがることが確認された。

表 3.3.3.7-2 ウレタンフォームの吹き付け量

	対象物	下地処理		
		吹き付け	硬化後	厚み
①	P-6PFC 絶縁体	約 10 mm	23 mm	約 2～3 倍
②	P-6VV 表面	約 10 mm	20 mm	
③	P-6PFC サポート	約 10 mm	30 mm	

また、吹き付け時の温度としては、2液混合の液体は吹き付け直後から発泡をはじめ、温度も上昇していくことが確認された。発泡時の温度変化について表 3.3.3.7-3 に示す。

表 3.3.3.7-3 ウレタンフォームの発泡時の温度変化

	対象物	材質	下地処理後約 100 mm前後の厚さで施工			
			ベース温度	発泡中温度	硬化後温度 (10 経過)	硬化後温度 (20 分経過)
①	P-6PFC 絶縁体	ワニス	19.6℃	65℃	35℃	22℃
②	P-6VV 保温材	マイクロサーム	19.8℃	67℃	41℃	24℃
③	P-6PFC サポート	高マンガン鋼	19.6℃	57℃	41℃	25℃
④	P-5PFC+PFC サポート	①+②	19.8℃	60℃～80℃	35～40℃	20℃～30℃

発泡ウレタンの接着性としては硬化後、触手により接着力を確認した。各対象物とも強固に接着されていることが確認(保温材においては保温材が動いてしまうほど剥がれなかった)また狭隘部にもしっかり充填され、より強固に接着していた。

以上の結果から、ウレタンフォームは厚さの調整が出来、接着性が良いことが分かった。また、懸念されていた発泡中の温度上昇に関しても問題ないことが確認されたため、真空容器の収納方法合理化案 1 の保温材の飛散対策として有効であることが確認された。

(7)真空容器の収納

このような、検討を実施し、作業や製作物の合理化を図りコスト低減を図った収納方法で真空容器を収納場所である JT-60 機器収納棟内へ輸送し保管することとなった。

3.3.4 解体作業

3.3.4.1 切断作業

(1)ポート切断

a.水平ポート

水平ポートにおける切断は、ディスクグラインダーを用いて、ベローズ部や枝ポート付け根の切り離しを実施した。作業状況を図 3.3.4.1-1 に示す。

b.斜めポート

斜めポートでは、ポート、枝ポート、ベローズ部の切断を行った。ポート部の切断は、2軸ポートフライス、回転ポートフライス、ポートボックス切断機を用いた。枝ポート及びベローズについては、ディスクグラインダーを用いる。各ポートにおける使用加工機を表 3.3.4.1-1 に示す。2軸ポートフライスの作業状況を図 3.3.4.1-2 に、回転ポートフライスの作業状況を図 3.3.4.1-3 に、ポートボックス切断機の作業状況を図 3.3.4.1-4 示す。

表 3.3.4.1-1 斜めポートの使用加工機

	ポートセクション	主要装置名	切断位置	使用加工機
1	P-1 上	赤外線 TV	枝ポート	ディスクライダ
2	P-2 上	比色計、YAG、トランプ	枝ポート	ディスクライダ
3	P-2 下	YAG、トランプ	枝ポート	ディスクライダ
4	P-3 下	ASDEXゲージ	枝ポート	ディスクライダ
5	P-4 上	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
6	P-4 下	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
7	P-5 上	Ha/Da、第一壁 prb	枝ポート	ディスクライダ
8	P-5 下	大気放出管	ポート	回転ポータライズ
9	P-6 上	電磁気	枝ポート	ディスクライダ
10	P-7 上	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
11	P-7 下	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
12	P-8 上	Div 斜入射分光/可視	ポート	回転ポータライズ
13	P-8 下	ASDEXゲージ、Div 可視分光	枝ポート	ディスクライダ
14	P-9 上	軟 X 線強度分布、ポロメータ	ポート	回転ポータライズ
15	P-9 下	Div 可動静電 prb、Div ポロメータ、ASDEXゲージ	枝ポート	ディスクライダ
16	P-11 上	LHRF	ポート	2軸ポータライズ
17	P-11 下	PAポート	ポート	2軸ポータライズ
18	P-12 上	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
19	P-12 下	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
20	P-13 上	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
21	P-13 下	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
22	P-14 上	真空排気設備	ポート	回転ポータライズ
23	P-14 下	真空排気設備	ポート	回転ポータライズ
24	P-15 下	ガス注入ポート、電磁気	枝ポート	ディスクライダ
25	P-16 上	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
26	P-16 下	P-NBI	ポート	2軸ポータライズ
27	P-17 上	ECH	ベローズ	ディスクライダ
28	P-17 下	斜入射分光	枝ポート	ディスクライダ
29	P-18 上	電磁気	ポート	ポートホックス切断機

c. 垂直ポート

垂直ポートは、ポータブルフライスを使用した切断により、全数切断を完了した。下側垂直ポートの切断状況を図 3.3.4.1-5 に示す。

(2) 20度セクター部の切断

分解部における真空容器切断は、真空容器の内部からミーリングマシンにより切り欠き部断片の切り出しを行った。実際の切断作業においては、切断面が広いため、切断機械を保持する台座を堅牢な構造とした。切断された断片については、真空容器と切断片にブラケットを溶接し、各々をボルト締結して、切断作業途中における落下を防止している。ミーリングマシンの作業状況全体を図 3.3.4.1-6 に示す。

切断された断片の引き込み作業は、最初に外周水平部を引き込み、上部、内周水平部、下部の順で引き込みを行った。引き込まれた断片は、真空容器内において、ワイヤーロープにより強固に固定した。各切断片の引き込み状況について、上部切断片の引き込み状況を図 3.3.4.1-7 に、下部切断片の引き込み状況を図 3.3.4.1-8 に示す。

(3)真空容器切断(2分割)

真空容器の切断は、乾式ダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断を実施した。切断位置は、ダイヤモンドワイヤーソーの消耗と切断に要する時間を考慮して、難削材である高マンガン鋼を可能な限り避けるためポートセクション中心とした。切断はインコネル 625 材の真空容器(大部分が薄肉構造)と銅材のポロイダル磁場コイル及び高マンガン鋼の真空容器下側に位置する D コイルケースの 3 種類の異種金属を一括で行った。切断時の養生は、細かな切粉や粉塵が飛散しないように専用のハウス(グリーンハウス)を用いた。同時に局所排気装置も設置してハウス内からの逆流を防止した。切断は 60m(20mx3 回)のダイヤモンドワイヤーソーを使用して、7 日間(正味約 40 時間)で完了することができた。

養生ハウスは、切断面とワイヤーソーのプリー類の全体を囲む形状で製作し、その大きさは、幅 2m、奥行き 8m、高さ 8.5m である。グリーンハウス設置状況を図 3.3.4.1-9 に、養生ハウス内のダイヤモンドワイヤーソー設定状況を図 3.3.4.1-10 に示す。

3.3.4.2 閉止作業

(1)ポートの閉止

ポートの切断面形状寸法が不確定な物は型取りにより、閉止板を製作しているが、精度はあまり良くないため、現場にて、製作した閉止板を仮合わせし、加工を施した。閉止板の加工においては、ポート切断面の厚さ(ポート管壁厚さ)が 20 mmの箇所と 5 mmの箇所がある。20 mmの厚さを持った管壁は閉止板が多少ずれても、隅肉溶接施工に問題無いが、5 mm厚さの管壁への場合、隅肉溶接が難しいため、切断面のポート外径に閉止板形状を合わせ、且つ、閉止板には面取りを施し、開先溶接とした。

大口径ポートの閉止においては、閉止板も大口径となり、重量も嵩むため、閉止板には作業性を良くするために把手を設けた。また、溶接作業時に閉止板の重量を一旦、ポート開口部へ引っ掛けられるように落下防止用爪を施した。

(2)真空容器切断面の閉止

JT-60 真空容器は 2 分割にして解体している。分割箇所は P-1 セクションの分解部を TF コ

イル引き抜きのため、1 セクション分を細分割し切断している。また、反分解部は P-9 セクションのセクション中心において真空容器、ポートともに切断を実施している。よって、分解部と反分解部の切断断面は異なり、切断面に合わせた閉止を実施している。

真空容器の閉止は切断面が大口径となっているため、閉止板は分割して製作している。また、分割した閉止板を溶接する場合、溶接によるひずみや、閉止板の重量、作業の容易性を検討した結果、切断面の開口箇所に井桁状の梁を施工することとなった。井桁状の梁は、閉止板を真空容器のインナースキンへ溶接するため、インナースキンの切断面と井桁梁の表面が同一面になるように施工している。なお、反分解部においては、ワイヤーソーによる切断を行っているため、切断面が不均一であり、インナースキンの切断面に閉止板を溶接することが難しいため閉止板を真空容器の内面に溶接することとした。それに伴い、井桁梁も溶接代、閉止板厚さを考慮して位置決めを行い施工している。

真空容器閉止のための溶接は、作業において、閉止板の曲率部を優先的に合わせることで施工している。その際の水平度、垂直度及び隣接する閉止板同士の間隔は幅 100 mm の井桁梁内でズレを吸収することとし、作業性の向上を図った。

(3)閉止の確認

真空容器及びポートの開口箇所への閉止は全て溶接を実施している。溶接は全周溶接とし、切断部位により隅肉溶接と開先溶接を行っている。これらの、溶接箇所の密閉性を確認するために、溶接した全箇所において、浸透探傷試験を実施している。

浸透探傷試験による欠陥及び、疑わしい箇所においては、溶接施工の手直しを施し再度試験を実施、有害な欠陥が無いことを確認の上、密閉性の確保を図った。

3.3.4.3 吊出作業

真空容器の吊出は、実験棟本体室の定位置から組立室の受け台上への移動するものである。天井クレーンによる真空容器の吊上は、真空容器が 2 分割され、真空容器のポート開口部が全て閉止された後、1 つずつ実施される。吊上の間、真空容器の切断面を防災シートで閉止し、真空容器内からの汚染物飛散を防いでいる。受け台上では、ワイヤーロープを用いて治具と真空容器を固縛する。

3.3.4.3-1 吊作業

真空容器の吊出に使用する吊り治具は、上から見て扇形状の真空容器をバランス良く吊り上げるための吊りビーム 2 本と吊り具自体の重量低減と柔軟性を考慮したナイロンスリング 4 本を使用した。ナイロンスリングによる真空容器への玉掛けは、吊り対象である真空容器(実際には PF コイル支持体)を直に絞ることにより行った。

(1)養生

吊り上げ中に真空容器から汚染物の飛散を防ぐため、真空容器切断面を防災シートにより閉止している。さらに、真空容器下面においてもポロイダル磁場コイル支持体間のポートセクション間隙を防災シートで覆う措置を施した。これにより、不用意に塵等が落下することを未然に防いだ。

(2)玉掛け

真空容器の玉掛けは、2本の天秤を使用して実施した。1本は、扇上の中心側を吊上げ、もう1本は円弧側を吊り上げる。真空容器への玉掛けは、4本のナイロンスリングを用いた。実際の玉掛けは、ポロイダル磁場コイル支持体の外周に沿う形で巻き付け、端部の輪にもう片方の端部を通すことで絞りを加えている。両端の2本は扇形の中心に向けて絞られ、中心側の天秤に接続される。内側の2本中心から外周の方向に向けて絞られ、円弧側の天秤に接続される。

① 天秤

長さ3mのA天秤と約6mのB天秤の2本が存在する。A天秤は、円弧側を、B天秤は中心側の吊上を行う。A天秤、B天秤の外観を図3.3.4.3-1、図3.3.4.3-2に示す。A天秤には、2分割された真空容器の大きさに対応した吊りピースが2組取り付けられている。

② ナイロンスリング

ナイロンスリングは、伸びが少なく、柔軟性の高い、「マルチスリング」と呼ばれるものを使用する。これを使用することにより、PFコイル支持体への巻き付け、フックやシャックルへの取り付け取り外しが容易となる。本玉掛け作業は、吊り荷である真空容器とPFコイル支持体の上で実施しなければならず、安全に留意して行った。

③ 吊り姿

天秤、ナイロンスリングおよびシャックル等を含めた吊り姿を図に示す。使用した吊り具は、A天秤に対してマルチスリング2本、B天秤に対してマルチスリング2本である(図3.3.4.3-3)。実際の吊り姿を図3.3.4.3-4に示す。

(3)受け台への設置

長期に渡り、真空容器とポロイダル磁場コイル支持体を建家床面上に保持しておくために、これら構造物を受け台上に固定する。受け台を用いることにより、数百トン級の重量を単位面積 m^2 の平面で床面に設置することができる。真空容器と受け台との固定は、ワイヤーロープにて固縛を行う。

3.3.4.4 真空容器輸送

真空容器は、放射化物保管のためJT-60実験棟からJT-60収納棟へ輸送した。2つに分割された真空容器の重量は、170トン及び150トンであるため、一般的なトレーラーではなく、スーパーキャリアを使用した。スーパーキャリアでの真空容器輸送時の様子を図3.3.4.4-1に示す。輸送においては、RI輸送に沿って実施され表面汚染、表面線量率が³⁾であることを確認し、輸送した。表面汚染に関しては、真空容器表面の清掃と荷台へ真空容器を置く前に、荷台上にシート敷き、真空容器全体を覆うことで輸送中における汚染物の飛散を防止している。

3.3.4.5 被ばく管理

真空容器内での作業は、原子力機構職員が真空容器内第1壁タイル約12,000枚(分析用、廃棄用)の取り外しを実施し³⁾、その後、解体業者が真空容器の解体に伴う作業を行った。その時の被ばく低減措置等について述べる。

(1)被ばく低減措置

① 真空容器内作業作業管理

機構職員は作業員に対して、安全管理と放射線管理に関して指導し、改善を促さなくてはならない。しかし、真空容器内作業は狭隘な空間で複数の作業を同時に実施している。このため、職員が真空容器内で立ち会うことは作業に干渉し工期の遅れの要因となる。また、放射線管理としても、作業管理のため作業員と共に常に真空容器内に止まり被曝させることは、不必要であると考えられる。そこで、真空容器内にカメラを設置し、作業状況の管理を実施することで、立会者の被曝を低減した。立会者は、真空容器入口の前室において、モニタを監視している。さらに、モニタ監視中は、タイバックスーツを着用した状態で待機しているため、不測な事態における対応も迅速に対応できるものとした。

② 真空容器内作業における被曝量の均一化

真空容器内作業は、真空容器の外側での作業に比べると狭隘な空間で放射化物に囲まれているため、線量が厳しくなる。このため、真空容器内作業員においては、特定の作業員を固定せず、分散することにより極端な被曝を防止する様に指導を行った。

(2)被ばく量

①H21 年度分析用タイル取り外し

分析に用いる第一壁の選別を外部大学および研究機関と調整し、分析用タイルとして保管するタイルの取り外しを行った。分析用タイル取り外しに係る被曝実績は、集団で 1.2mSv、個人被曝線量の最大で 0.4mSv となった(28 日間)。作業員数は、39 名である。被曝線量の詳細について、ガラスバッジと同時に着用していた APD の値が参考となるので、APD の記録による個人毎の被曝線量の分布を図 3.3.4.5-1 に示す。0.42~0.44mSv の被曝は、分析用タイルとは別に、分析用サンプルを収集したためによる。当該作業は、真空容器内壁へ近づく必要があるため被曝が多くなってしまった。また、この分析用サンプルの採取作業に関しては、個人差による採取条件の違いを嫌うため、特定の採取者が継続して作業を実施した。このため、被曝量を分散させることは難しかった。

②H22 年度廃棄タイル取り外し

分析用タイルを可能な限り保管を行った後、残ったタイルについては、解体物として取り外し作業を実施した。このときの集団被曝線量は、0mSv、個人被曝線量の最大は 0mSv となった(48 日間)。作業員数は、74 名である。アラーム付ポケット線量計(APD)による個人被曝線量の分布を、図 3.3.4.5-2 に示す。0~0.10(実際のデータは 0.09)mSv の被曝量内で分布している。この被曝線量の抑制は、作業手順の一般化と真空容器内外での作業のローテーションを行うことで実現した。

③H23 年度真空容器解体作業

H23 年の作業は、真空容器内タイルが全て取り外された状態から開始され、本格的な解体作業となる。作業は、請負業者による作業となる。これまでのボルト取り外しによる作業と異なり、機械切断、溶接作業が主体となっている。このときの集団被曝線量は、H22 年度と H23 年度を合計して、17.3mSv、個人被曝線量の最大は 2.8mSv となった(287 日間)。作業員数は、62 名である。APD による個人被曝線量の分布を、図 3.3.4.5-3 に示す。

(3)防護機材

H23 年度の本格的な解体においては、装備が大きく異なる。H23 年度以降は、切り屑や切粉による着衣への汚染を真空容器の領域内に留めておくため、再利用していたナイロン製特殊防塵衣から、使い捨てのタイベックスーツへ変更した。顔表面へ汚染を防ぐため、半面マスクから、全面マスクへ変更した。安全面においても、ヘルメット、皮手袋、安全靴の着用を義務づけた。

H23 年度の防護機材としての消耗品の主だったものに、タイベックスーツ、酢酸ビニール袋、ゴム手袋、布手袋、カートン箱等が挙げられる。これら消耗品使用量の推移を図へ示す。作業開始当初、休憩を挟んで一日当たり 4 回の入退室を繰り返していたが、損耗を抑えるため 1 日当たり午前午後の 2 回の入退室とする合理化を実施した。休憩回数を減らすことにより、作業時間の短縮も行ったが、結果的に、着衣・脱衣の時間が合理化されており、効率性が得られている。

3.3.5 まとめ

JT-60 真空容器の解体は、容器内がトリチウムによる汚染が存在しているため、汚染が真空容器外へ拡大しないように管理をしながら実施した。また、真空容器自体が放射化により高い線量(21 μ Sv/h)なので、作業員等に対する被曝管理を実施し、被曝低減に努めた。

真空容器の切断作業では、トロイダル磁場コイルを抜き出す空間を作るための切断、ポート切断、真空容器を 2 分割するための切断を実施した。切断に関しては、作業場所に対応したポータブルフライス、2 軸ポート用フライス、回転ポートフライス、ミーリングマシンやダイヤモンドワイヤーソーを用いて切断を行った。その他ペローズ等の薄肉構造や枝ポート付け根は、ディスクグラインダーを使用した。

真空容器の収納方法については、専用容器製作による収納が、解体作業工程との干渉と専用容器が必要とする重量物に対する支持が増え、コスト的にも問題となった。このため専用容器の合理化を実施し、真空容器自体を密閉とすることにより、真空容器内のトリチウムの漏洩を防ぐ構造とした。真空容器表面の保温材については、ウレタンフォームを用いて表面を覆うことにより、マイクロサームの微粒子の固定化を行った。真空容器の密閉構造では、ポートの閉止と真空容器切断面の閉止を実施した。ポートの閉止は、対象ポート切断面の型紙を作成した上で、閉止板を製作、溶接を実施した。真空容器切断面については、閉止する断面が大きく、閉止板を厚肉にする必要があったが、切断面に沿って井桁状の梁を溶接し、井桁に沿った閉止板を製作することにより、薄板の閉止板で溶接を行った。

真空容器の吊出・輸送に関しては、吊り具としてワイヤーロープと比較して軽量で柔軟性を持つナイロンスリングを使用することで、高所作業での扱いやすさを確保することで安全な吊出が実施された。輸送に関しては、スーパーキャリアを使用することで、安定した輸送に必要な荷台の面積を確保した。収納場所においては、スーパーリフトを用いて指定場所へ真空容器を設置した。

真空容器内における解体作業による被曝では、被曝の低減に努めた。ただし、溶接工や機械工においては、資格や高い技量を持つ者に集中してしまうことが確認された。真空容器出入口

の汚染管理については、定期的に入出口内の測定を実施し、適時除染を行った。このことにより、真空容器外へ汚染拡大が無かったことが確認されている。

3.4 支持構造物(星形トラス、上架台、下架台、基礎架台、上架台支持柱)

3.4.1 はじめに

支持構造物は、JT-60 装置本体を構成する各要素の自重を支持するほか、それらに作用する真空力、電磁力、地震力などを支持するための構造物であり、星形トラス、上架台、下架台、基礎架台、および上架台支持柱に別けられる。解体は、支持構造物の全てを解体し、解体品を JT-60 機器収納棟(以下、収納棟という)へ搬出、仮置きするとともに、保管容器へ収納するものである。なお、解体品の一部は、収納棟において JT-60 装置の再組立に使用する。支持構造物は、床面から高さ 13 m の間に設置されており高所作業なので安全柵の設置などの作業者の転落防止対策を行うとともに、他設備との干渉、および収納棟で再組立を考慮しながら作業を実施した。

3.4.2 機器の概要

(1) 星形トラス

星形トラスは、ポロイダル磁場によりトロイダル磁場コイルに加わる転倒電磁力による上下架台間のねじれを上架台と建家の壁をビームで連結して、上架台を支持する構造物であり、上架台の 4 ヶ所の突出しアームと建家 3 階のキャットウォーク 4 ヶ所を結びビーム 4 組 8 本から成り立っている。ビームの両端は、上架台の面内回転をある程度逃がせるようにピン結合となっている。また、ビームの間には、建家側壁との絶縁をとるために絶縁板を介したボルト結合部を有している。星形トラスの建家 3 階基礎部(以下、STB という)4 ヶ所にはダンパが設置され、地震時の建家側壁への過度な荷重を避けるとともに、本体自身の振動を軽減する役割を果たしている。主材料は高マンガン非磁性鋼、絶縁箇所は FRP 板で製作されている。

(2) 上架台

上架台は、JT-60 装置全体を支持する架台のうち装置上部を支持するベースであり、主にトロイダル磁場コイルの転倒力を下架台と星形トラスとともに支持する役割を果たすとともに、スペーサ、各種ポート類を支持している。構造は、トロイダル方向に 8 分割(40 度セグメント 6 個、60 度セグメント 2 個)され、各セグメントは絶縁板を介してボルト、および偏芯ピンで結合された一体構造となっている。40 度セグメント 2 ヶ所と 60 度セグメント 2 ヶ所には突出しアームが設けられ、この部分で星形トラスと連結されるとともに上架台支持柱に支持されている。トロイダル磁場コイルの転倒力による上架台の面内回転を許容するため、星形トラスとの連結部はピン結合であり、上架台支持柱の支持部も回転継手を採用している。主材料は高マンガン非磁性鋼、絶縁箇所は FRP 板で製作されている。

(3) 下架台

下架台は、ソールプレート上に基礎架台を介して設置され、JT-60 装置全体を支持する架台

の一つで装置下面のベースであり、主にトロイダル磁場コイル、ポロイダル磁場コイル、各種ポート類、計測装置の一部、上架台、および中心支柱などを支持する。構造は、トロイダル方向に8分割（40度セグメント6個、60度セグメント2個）され、各セグメントは絶縁板を介してボルト、および偏芯ピンで結合された一体構造となっており、外周部全周は基礎架台で支持されているほか、内周部4ヶ所（40度セグメント2個、60度セグメント2個）が中心架台にて支持されている。主材料は高マンガン非磁性鋼、絶縁箇所はFRP板で製作されている。

(4) 基礎架台

基礎架台は、トロイダル方向に4分割（90度セグメント4個）され、各々が絶縁板を介してボルト、および偏芯ピンで結合された円筒構造となっている。また、基礎架台は、補強のために内外周の全周をベースプレートと溶接されている。また、基礎架台中央部には、中央部の荷重を支える目的で中心架台が設置されている。

(5) 上架台支持柱

上架台支持柱は、各々独立した8本の支持柱であり、うち6本で上架台を支持している。構造は、絶縁板を介して支持柱架台、および基礎架台にボルト結合にて支持しており、支持柱架台、支持柱、支持アームスタンドがボルトで結合されている。また、支持アームスタンド上には、上架台を支える回転継手がボルトで結合されている。上架台支持柱の主材料は、高マンガン非磁性鋼、絶縁箇所はFRP板で製作されている。

3.4.3 解体検討

支持構造物は、大型で、重量物となるため、組立室での仮置き、収納棟への輸送、および再組立を考慮しながら、各支持構造物の解体手順について検討を実施した。また、解体作業は、高所作業となるので作業者の転落防止対策など安全対策についても検討を実施した。

3.4.4 解体作業

(1) 星形トラス

星形トラスの解体作業は、作業者などの転落防止などの安全処置、干渉部の解体、ピン抜き、ビーム吊出し、JT-60 機器収納棟への搬出の順で実施した。

① 安全処置

安全処置は、床面から13mのビーム上とピン抜きの作業場所は高所作業なので、胴ベルト型安全带、またはフルハーネス型安全带の着用、親綱、セフティブロック、安全ネット、ビーム上部には玉掛け用転落防止用安全柵(安全柵)の設置、ピン抜き作業場所周辺には単管足場で作業ステージ、および転落防止用安全柵を組立てるなどし、作業者、工具などの落下防止対策を施した。また、合わせて作業場所の下部周辺には、ロープ、およびパイロンなどで区画するとともに監視人を置き、作業関係者以外の立入を禁止し、立入禁止や頭上注意などの安全表示看板を設置し作業を実施した。

② 治具

星形トラスの解体に使用した主な治具は、下記のとおり。

(a) ピン抜き治具(ピン抜きナット座、ピン抜きスタンド)

(b) ST-5 ビーム受台

(c) 吊り具：100 トン天秤(日立)、ワイヤー、チェーンブロック、シャックル

③ 上架台・ダンパースタンド(STB)のピン抜き作業

ピン抜き作業は、上架台、およびダンパースタンドに溶接で固定されたストッパーにより固定されたピンを抜くために、ストッパー溶接部の切削、ピン抜き治具の設置、ピン抜き、仮ピン挿入の順で行った。作業は、上架台 P-1、STB-4、STB-1、STB-2、STB-3、上架台 P-10、上架台 TC-5、上架台 TC-14 の順に実施した。

ストッパー溶接部の切削は、ピン周辺を切粉飛散防止のために単管、防災シート、ブリキ板、およびアルミテープなどにより囲い、ピンの隙間を切粉混入防止対策としてアルミテープで塞ぎ、局所排気をしながら、グラインダーを使用して行った。ストッパーの取外しは、ピンの落下防止のためにピン溝(10 mm)に平板を設置後、作業を行った。図 3.4.4-1 にグラインダーを使用してのストッパー溶接部の切削作業の様子を示す。

ピン抜き治具は、ピン上部中心にピン抜き取り用座(M56 ナット)をピン中心に垂直度を確認しながら、溶接で取付けた後、ピン抜き取り用座にスタットボルトを挿入し、ピン抜きスタンドをナットで固定するとともに 50 トンジャッキ 2 台を設定した。

ピン抜きは、ピン接触部に潤滑油を適量注入し浸透させた後、ピン抜き治具の左右の寸法をスケールで確認しながら均等にジャッキアップしながら作業を行い、ジャッキが軽くなったらピンと治具を一体でクレーンにより吊上げ、保管場所へ移動した。ピンを抜いた後は、ビームのズレ防止のため仮ピンを挿入した。図 3.4.4-2 にピン抜き治具を使用して上架台のピン抜きを行った様子を示す。

④ ビーム取外し

ビームの取外しは、ST-8、ST-7、ST-6、ST-2、ST-4、ST-1、ST-3、ST-5 の順で実施した。

(a) ST-1~4、8 のビーム取出し

天井クレーンで 100 トン天秤、チェーンブロック(4 台)、ワイヤー(φ26×2 本)を使用し、ビーム吊り穴(φ200)にワイヤーを通し、チェーンブロック操作で水平、および傾きを調整しながらビームを 10mm 程度浮かした。その後、上架台とダンパースタンドの仮ピンを半分程度抜き、ビームをクレーン操作で水平に移動し、連結部から外れたことを確認後、周辺設備に注意しながら組立室へ移動した。上架台、またはダンパースタンドにビームが残っている場合には、ズレ防止用の仮ピンを挿入した。図 3.4.4-3 に ST-2 ビームの吊出し作業の様子を示す。

(b) ST-6・ST-7 取外し

ST-6、及び ST-7 は、70 トンクレーンに 100 トン天秤、及び星形トラスビーム吊り用吊り治具をセット後、星形トラス接合部の凹凸部の上下に隙間が発生するまで 30 トンクレーンで ST-6 を吊上げ後、70 トンクレーンで ST-7 を上架台側、およびダンパースタンド側に隙間が発生するまで吊上げた。その後、上架台の仮ピンを外し ST-7 側の凹部を上架台から逃がした

後、ST-6 を上架台に吊り降ろした際に仮ピンを入れ、30 トンクレーンを逃がした。この際、アルミ板（50×120×250×）でビーム接合部を受け、70 トンクレーンで ST-7 を取外した。次に、70 トンクレーンで ST-6 を吊上げ、ダンパースタンド側と上架台側に隙間が発生するまで吊上げ、ST-6 の上架台側、ダンパースタンド側の仮ピンを取外し、組立室まで移動した。なお、ST-6、ST-7 の取外しの際に、P-12NBI ヤグラの階段、および上架台 TC-14 とキャットウォーク間の渡り廊下が干渉するため一時的に解体して作業を行った。

(c) ST-5 取外し

ST-5 は、P-10 上架台、および P-12NBI ヤグラと干渉するため、これらの架台などを取外し後、作業を実施した。上架台との切離しは、P-10 上架台の吊上げ前に P-11 高周波加熱装置架台 4 階にビーム受台を設置し、借り受後、上架台の吊上げに合わせて受台のジャッキングボルトで行った。

作業は、解体済みの ST-2 ビームを天秤代わりに使用し、ST-2 ビームの吊り穴など 6 箇所に ST-5 吊上げ用ワイヤー、およびチェーンブロック 1 2 個を使用し、ST-5 ビームを吊上げた状態で 1 m 上架台側に水平移動した後、1 回目の吊上げ用ワイヤーの位置変更を実施し 2 m 程度水平移動し、2 回目の吊位置変更を実施し、6 m 程度水平移動させ P-12NBI ヤグラから抜け出したことを確認後、ビームの吊出しを行った。

⑤ JT-60 機器収納棟への搬出作業

組立室へ移動したビームは、安全柵を取外し、収納に干渉する既設の手摺りなどをバンドソー、およびセイバーソーにより解体した。その後、最初に掃除機、および濡れウェスを使用して表面の清掃、除染作業を実施し後、原子力機構の放管によるサーベイを行い、表面汚染が無いことを確認した。搬出は、トレーラにビームを載せ、ブルーシートで梱包した上に養生シートを被せて、JT-60 機器収納棟へ搬出した。図 3.4.4-4 に星形トラスビームの JT-60 機器収納棟への搬出作業の様子を示す。

(2) 上架台の解体

① 上スペーサ各種キー抜き

上スペーサ外周リングキー、上スペーサ間ガイドキー部の絶縁コッター、上スペーサ間ガイドキー抜き作業を行った。固くて抜けない上スペーサ外周リングキーは、ネジ座を溶接し押しボルトを使用して、絶縁コッターは、ガイドキーを 100mm 程度中心側へ押ししてから抜いた。上スペーサ間ガイドキーは、ガイドキー外周側溶接ロック部を電気グラインダーで削除後、ガイドキー中心側からジャッキで押し出し、外側からはジャッキ 2 台で引き出しながら行った。また、絶縁コッターが抜けなかったガイドキーについては、上架台解体後、ガイドキー引抜き治具とジャッキを使用して解体した。

② 上スペーサと上架台切離し

スペーサ締付けボルト(M56)の頭部溶接ロック部(80 本×各 2 箇所)をタガネ、および電気グラインダーを使用して削除した。削除後は、安全対策として架台内の突起物などの撤去処理、スペーサ中心側と外周側をライナーと木材によりトロイダル磁場コイルに仮受け後、油圧レンチと油圧ジャッキを使用してスペーサボルトを弛めた。なお、解体した 180 本のボルトは、再組立に使用するため収納棟に運搬した。

③ 上架台吊出し準備

準備作業は、吊出し時に吊りワイヤー、吊りアイボルトと干渉する手摺り、座、配線トレイ、及び蹴止めは、バンドソー、セーバーソー、および電気グラインダーを使用して撤去した。また、P-1、TC-5、P-10、TC-14 の上架台支持柱に設置されている回転継手は、防災シートで作業エリアを養生し、局所排気ユニットを設置し、上下部のフレキシブルフランジ部に TIG 溶接で固定治具を溶接し上下フランジ部を固定した。

④ 上側・下側補強プレート切断

TC-5、TC-14 側 3/8 上架台補強プレートの上側(厚さ：60mm、長さ：350mm、高 Mn) を吊上げ前に本体室で、下側は吊出して天地後、作業エリアを防災シートでエリアを養生し、フライス加工機を使用して行った。

⑤ 8 分割構造上架台 4 分割(1/8×2、3/8×2)

作業は、偏芯ピン、上側フランジ 4 面分ボルト(M90×52 本、M64×12 本)、及び内部フランジ 4 面分ボルト(M90×72 本、M64×4 本、M80×12 本)の取外しを行った。上架台フランジ部偏芯ピン(φ160)は、抜き止め座の溶接部を電気グラインダーで削り取外し、固定偏芯ピンは、油圧ジャッキ用治具とジャッキを使用して取外した。フランジボルトは、油圧レンチと油圧ジャッキによる取外した。図 3.4.4-5 に上架台上面フランジのボルト取外し作業の様子を示す。

⑥ 上架台吊出し組立室移動

組立室への吊出しは、P-1 側 1/8、TC-5 側 3/8、TC-14 側 3/8、P-10 側 1/8 で実施した。1/8 を吊出しは星形トラス連結部吊り治具取付け、チェーンブロック、ホイストリング、リングワイヤーの吊り具を使用し、250 トンクレーンで吊上げ、組立室へ移動、仮置きした。初回 1/8 及び 3/8 上架台の吊上げは、クレーン協会立会のもと実施した。

⑦ 上架台天地

上架台は、機器収納棟での再組立の際、天地して使用する。このため、機器収納棟再組立に干渉する手摺り、不用座の撤去作業を実施した。アクセス用昇降梯子、仮設手摺りを取付け、落下防止の安全対策を施して作業を実施した。また、上架台下面に天地治具を取付けた。

250 トンの主巻 250 トン、補巻 70 トンで上架台を吊上げ、主巻、補巻を操作しながら上架台を起立させた。上架台の起立安定確認後、補巻を下げ、補巻ワイヤー取外し後、上架台を 180 度回転させ補巻ワイヤーを同じ位置に掛け直した。補巻ワイヤー角部の保護板の掛かり具合確認及び落下防止後、主巻、補巻を操作しながら上架台を反転させ、コンクリートブロック上に上架台を設置させ調整シムで均等に荷重を受けた。図 3.4.4-6 に上架台 1/8 の天地作業の様子を示す。

⑧ 上架台搬出

機器収納棟クレーン揚程を考慮した搬出用吊り治具を設定した。3/8 も上架台は、実験棟組立室シャッター開口部寸法、及び機器収納棟クレーン荷重の制限から下側補強プレートをフライス加工機で切断し、フランジ締付ボルトを取外し、1/8、2/8 に分割した。搬出前に、清掃、除染及びサーベイを実施した。

搬出は、P-1 側 1/8、TC-5 側 2/8、1/8、TC-14 側 2/8、1/8、P-10 側 1/8 上架台の順番

で搬出した。搬出は、搬出用吊り治具を使用し、上架台を吊り上げ、運搬トレーラ上に前もって養生用防災シートを敷いた上に上架台を積み込んだ。その後、上架台と吊り具を養生シートで包み込み、荷崩れしないように固縛してから搬出した。機器収納棟への運搬は、誘導車を配し行った。図 3.4.4-7 にトレーラによる上架台の搬出作業の様子を示す。

(3) 下架台

下架台は、下架台周辺、および基礎架台内部に足場を組立て、解体前に解体時に干渉するサポート、ステージなどをバンドソー、セーバーソーを使用して切断、解体した。偏芯ピンは、重量物のため落下防止対策を施し、ジャッキなどを使用して抜き取った。結合ボルトの緩め、間引きは、油圧レンチを使用した。天井クレーンとマルチスリング、チェーンブロック、ロードリングなどの吊り具を使用して玉掛け後、残りの結合ボルトを取外し組立室へ移動した。解体は、4分割して移動した。図 3.4.4-8 に下架台の吊出し作業の様子を示す。

(4) 基礎架台

基礎架台は、内外周ともに補強のためソールプレートと溶接されているため溶接部を削除、および結合ボルトを取外して解体した。

① 内側補強溶接部の解体

基礎架台内側補強溶接部の切削には、エンドミル加工機(以下、加工機という)を使用した。加工機は、クレーンを用いて組立室より基礎架台近傍へ移動し、チェーンブロックとチルトタンク(コロ引き)を併用して基礎架台内へ搬入し組立を行った。作業の養生は、切削部の手前に防災シートを敷き、アルミテープで貼付け養生を行った。また、基礎架台合せ目は、切粉飛散防止のため加工部周辺を防災シートで覆った。

切削作業は、ダイヤルゲージを Cutter 取付け部に取付け、加工面を走らせ芯の確認を行った後、Cutter 取付け部にエンドミルを取付け、補強溶接部の切削作業を行った。作業終了後、液体浸透探傷材を用いて基礎架台とソールプレート間に亀裂があることを確認した。作業は、周方向に 25 分割して行った。工具は、ラフィングカッター、ボールエンドミル、および $\phi 100$ ラフィングカッターを使用した。また、基礎架台合せ面の切削作業は、 45° ベースによる加工方法で実施した。図 3.4.4-9 に内側補強溶接部に使用したエンドミル加工機の設置した状況を示す。

② 外側補強溶接部の解体

基礎架台外周側補強溶接部の切削には、高周波グラインダーを使用した。作業は、基礎架台外周側に上部を酢酸ビニールシート、中段から下部の火花、研削粉が散る範囲は防災シート、アルミテープで、火花などが直接当たる場所はスパッタシート、ブリキ板を使用した切断作業用のグリーンハウスを設置し、作業状況に応じて組替えを行いながら行った。グリーンハウスには、局所排気系としてオールメタル製局所排気、および金属ダクトを設置し、タイベックスーツ、電動ファン付粉塵用呼吸保護具(全面マスクタイプ)、皮手袋、防災・耐熱性エプロンなどの安全保護具を着用して作業を実施した。作業終了後に、内側補強溶接部と同様に液体浸透探傷材を用いて基礎架台とソールプレート間に亀裂があることを確認した。図 3.4.4-10 に基

礎架台外側補強溶接部を高周波グラインダーにて切削している様子を示す。

③ 基礎架台の解体

基礎架台の解体は、解体前に、運搬、収納時に干渉するサポート、ステージなどをバンドソー、およびセーバーソーにより切断解体した。基礎架台、および基礎架台の中心に設置されている中心架台は、アンカーボルトを油圧レンチで、偏芯ピンはジャッキなどを使用し取外し、基礎架台は 2 分割、中心架台は一体で天井クレーンを使用して搬出した。なお、基礎架台については、設置場所から直接運搬車両に積み込み搬出したので、設置場所で汚染検査を実施した。運搬は、ブルーシートで基礎架台を包み込み、固縛して収納棟へ搬出した。解体後の基礎架台と中心架台のアンカーボルトは、ボルト保護のため塩化ビニールパイプで養生した。図 3.4.4-11 に基礎架台 1/2 の吊出し作業の様子を示す。

(5) 支持柱類の解体

支持柱類の解体は、回転継手、支持アームスタンド、上架台支持柱、および支持柱架台の全ての解体を実施した。解体用の足場を支持柱類の全箇所に設置し、安全ネットを張り安全対策を行った。

作業は、支持柱類の解体前に運搬、および収納時に干渉するサポート、ステージなどの解体をバンドソー、セーバーソーを使用して行った。干渉物の撤去終了後、結合ボルトを油圧レンチにて、偏芯ピンは重量物のため落下防止対策をしたうえでジャッキを使用して取外し、天井クレーンにより各支持柱を吊出した。各支持柱の吊出しは、回転継手と支持アームは一体で、上架台支持柱、および支持柱架台は単品で行った。また、偏芯ピンの一部には、抜け防止プレートが溶接で固定されていたため、棒サンダーで削りプレートの除去を行った。上架台支持柱の解体後、アンカーボルトを取外し、支持柱架台の解体を実施した。図 3.4.4-12 に支持柱の吊出し作業の様子を示す。

3.4.5 まとめ

解体は、支持構造物の全てを解体し、収納棟への搬出、仮置き、および保管容器への収納を行った。また、作業は、高所作業に対して安全柵の設置などの作業者の転落防止対策を行うなど安全第一で進めたとともに、他設備との干渉、および収納棟で再組立を考慮しながら作業を実施したため不具合もなく作業を終えることができた。

3.5 JT-60 機器収納棟での再組立

3.5.1 はじめに

解体した JT-60 本体装置等の大型機器は、JT-60 機器収納棟に保管することを計画した。作業の計画にあたっては、特に JT-60 機器収納棟の保管能力(建屋の収納スペースや床の耐荷重、クレーンの最大吊り荷重等)を考慮して収納計画を考えた。その中でも、TF コイル 18 個の配置が大きな課題であった。TF コイル 18 個の収納スペースを最小限に抑えつつ地震などによる転倒防止構造を考慮した結果、TF コイル 18 個、上架台、上側スペーサなどを収納室(I)で再組立する事にした。これにより、見学ブースから TF コイルを直接見ることができ、見学者等

が実験棟での設置状態に近い姿を観る事が可能になった。ところで、JT-60 の既存の組立状態では下架台を基礎として TF コイルが設置されているが、下架台が解体・搬出されるのは解体の最後になる。下架台を使用して再組立をする場合、上架台等の先行搬出機器の仮置き場所の確保が問題となる。そこで、上架台を天地して基礎(下架台)として用いる方式を採用した。再組立の順序は、上架台、その上に上側スペーサを設置し、TF コイルを組上げた。下側スペーサと下架台は、組立時のクレーン揚程を考慮して収納室(Ⅱ)に保管することにした。また、準備作業として、上架台を天地した形状に対応するための基礎工事(床のハツリと受け板設置)を行った。図 3.5.1-1 に TF コイル再組立エリアを示す。

3.5.2 機器の概要

解体後に再組立する対象機器は、TF コイル 18 個、上架台一式、上側スペーサ 18 個、支え板、センターキー及びリングキー等である。また、新規製作品は、TF コイル-18 転倒防止治具、TF コイル上部押え板、TF コイル下部支持固定治具、中心支柱受け板、上架台受け板、内周側受け板、外周側受け板、最外周側受け板および中心支柱受台相当品などである。TF コイルの設置順序は、解体した TF コイルから順次組立していくため TF コイル-18 を最初に設置し、その後は TF コイル-1~14、17、16、そして最後に TF コイル-15 の順となる。

3.5.3 組立検討

(1)再組立の対象機器

再組立対象機器の選定については、JT-60 構造物の解体手順、仮置きスペース、天井クレーンの仕様、作業コスト、作業工期などを踏まえて検討する必要があった。特に既設の JT-60 機器収納棟の収納能力を十分に考慮し、可能な限り効率的に収納する必要がある。そこで、収納室(Ⅰ)の床の耐荷重が 15 トン/m² の領域に TF コイル等の重量機器を収納することにした。収納機器は、解体順に沿って順次収納される。そのため、再組立に支障がないように配置することが求められる。検討の結果、上架台用の基礎工事を先行して進め、上架台収納前に収納棟に収納される機器は、再組立に支障がないように収納室(Ⅱ)に仮置きし、収納室(Ⅰ)の組立スペースを確保した。TF コイルの再組立に使用する天井クレーンの揚程は 13m であることから、TF コイル専用の吊り治具を製作して揚程を確保した。再組立の対象機器は、上架台一式(天地)、上側スペーサ 18 個(天地)、TF コイル 18 個などであり、組立手順は、上架台を基礎の上に置き、その上に上側スペーサ、そして最後に TF コイルを設置した。また、TF コイルは、一体化することにより転倒しない構造とした。

(2)基礎構造

上架台を天地して TF コイルの下に設置することにより下架台として利用することになったが、収納室(Ⅰ)の床面はこれを想定した基礎構造になっていない。そこで、上架台を天地した場合の上架台下面の構造に合わせて、基礎を作り直す必要があった。基礎を構築するための材料には、無収縮グラウト剤(製品名：マスターフロー-870)を使用した。また、無収縮グラウト剤の定着を良くする目的で床面のハツリ工事を行った。更に再組立する機器を床の耐荷重の範囲内に収め、また位置固定やレベル調整を目的として、中心部受け板、外周側受け板、最外周側

受け板などを新たに製作し設置した。図 3.5.3-1～図 3.5.3-6 に作業状況を示す。

(3) 上架台天地の有無について

上架台を天地する場合と天地しない場合を比較し、どちらが優位であるかを検討した。検討した結果は、「天地有り」の方が優位であるという結論に達した。主な理由は、「天地無し」の場合には、上架台の上に上側スペーサを設置するための架台(上ベース)を製作・設置する必要があることや、その関連機器(上ベースサポート)の製作・設置が必要になりレベル調整や定位置に置くための設定が大がかりになること、TF コイル吊り込み時のギャップが小さいことなどであった。

(4) 床の耐荷重

JT-60 機器収納棟内での保管にあたっては、収納室(I)の床の耐荷重(15.5 トン/m²)および収納室(II)の床の耐荷重(5.0 トン/m²)の範囲内で収納する必要がある。検討当初は、収納室(I)内の再組立機器の総重量は約 2600 トンであった。内訳は、上架台(300 トン)、上側スペーサ(252 トン)、下側スペーサ(252 トン)、TFC(1440 トン:80 トン/個)、中心支柱(3 トン)、中心受け台(21.4 トン)、下架台(200 トン)、受け板等(80.8 トン)である。荷重はコンクリート厚さの 45 度領域まで分担可能であることから内周側受け板と外周側受け板を設置することにより、コンクリート厚さ 2m の収納室(I)においての自重分担領域は、直径 15.28m(R:7.64m)の範囲で荷重分担できる。従って、床の荷重は、14.2 トン/m²(2600 トン/($\pi \times 7.64^2$))となり、耐荷重の範囲内で組み立てる事ができることを確認した。但し、実際の再組立では、下側スペーサ(252 トン)、中心支柱(3 トン)、中心受け台(21.4 トン)、下架台(200 トン)については、再組立しないで別に仮置きした為、最終的な床の荷重は、11.3 トン/m²(2073 トン/($\pi \times 7.64^2$))となった。図 3.5.3-7～図 3.5.3-10 に内周側受け板と外周側受け板の設置状況を示す。

(5) 水平地震力

再組立した機器が地震により倒壊しないように設置する必要がある。耐震クラス(官庁施設の総合耐震設計基準)を口類(発電用原子炉施設の B クラス相当)とした場合、水平地震力は自重の 0.3 倍になる。そこで、自重を約 2200 ton とした場合〔内訳：上架台(300ton)、上側スペーサ(252ton)、下側スペーサ(252 ton)、TFC(1440ton:80ton/個)、プレート他(80.8ton)〕、自重によるモーメント M_A : 9926 ton-m($0.8W \times 11.28/2$)、転倒モーメント M_H : 2640ton-m($0.3G \times 2200\text{ton} \times 4\text{m}$)であるため、 $M_A/M_H=3.7$ 倍以上になり、地震(静的)では自重のみでも転倒しない事を確認した。

(6) 天井クレーンの揚程

天井クレーンの揚程を考慮して組み立てる必要がある。各クレーンの揚程は、主巻き(100 トン)が 13.0m、補巻(30 トン)が 13.35m、5 トン補巻(5 トン)が 11.34m である。従って、TF コイルの収納・組立にあたっては、通常の吊り具では揚程を確保できないため、専用の治具を製作してクレーンの揚程を確保した。

(7) 再組立した TF コイルの転倒防止対策

TF コイルは、天井クレーンにより 1 個ずつ所定の場所に設置していくことになる。従って、TFC の転倒防止対策を検討する場合、特に 1 個目の TF コイル設置にあたっては周囲に支えに

なるものが無いため転倒防止の方法を考えておく必要があった。また、最終的には 18 個の TF コイルを堅牢に固定する必要がある。1 個目(TF コイル-18)の TF コイル設置に当たっては、転倒防止のために治具を製作し TF コイルの搬入前に設置した。また、絶縁コッターを上側スペーサとの間に挿入した(絶縁コッターを挿入したのは TF コイル-18 のみ)。図 3.5.3-11～図 3.5.3-13 に転倒防止治具と TFC 搬入状況を示す。2 個目以降は、隣り合わせた TFC との間に転倒防止金具を取付けた。最終的に 18 個の TF コイルの固定については、固定用リング (TF コイル上部押さえ板) を製作し、取り付けた(図 3.5.3-14)。TF コイル上部押さえ板には M30 押しボルトが 18 本取り付けてあり TFC を内側へ押すようにして TF コイルを固定している(図 3.5.3-15)。また、TF コイル-7、14、18 の下部については、先端支持脚ストッパーを取付け中央架台に溶接した(図 3.5.3-16)。さらに TF コイルの両側側面と上側スペーサの間には各々 5mm 程度のギャップがあり、そこへ L 型スペーサ(厚さ 0.5、1.0、3.0mm を準備)を挿入し、さらに取り外した絶縁コッターを TF コイルと上側スペーサの間に挿入し TF コイルの位置決めを行った。尚、上架台上面は TF コイル先端部下面と取り合う構造でないことから空間ができてしまうため、対策として支え板(解体品)を流用し、更に中心支柱受け台相当品を製作・設置して TF コイル先端部下面の土台とした(図 3.5.3-17～図 3.5.3-19)。

(8) 上架台及び上側スペーサの固定

上架台及び上側スペーサを天地して TF コイルの下に組立てるときの床面或いは機器相互の固定方法の検討が必要であった。上架台の固定方法については、水平方向のみ考慮するものとし、中心部受け板の中心部に上架台下面レベルより約 30mm 高い板(名称:内周側プレート(3))を設けた(図 3.5.3-20～図 3.5.3-22)。上側スペーサは、センターキー・リングキーを再使用した上で上架台にボルトで固定した。

3.5.4 組立作業

実際の作業については、ほぼ計画通りに進捗した。平成 23 年 6 月下旬から基礎工事を開始し平成 24 年 3 月下旬までに、上架台、上側スペーサ、TFC を組み立てることができた。図 3.5.4-1～図 3.5.4-22 に上架台～組立完了までの状況を示す。また、図 3.5.4-23 に JT-60 機器収納棟内の平成 23 年度最終機器配置を示す。TFC の設置順序は、最初に TF コイル-18 を設置し、次に TF コイル-1～TF コイル-7 までを上から見て時計回りに設置した。その後、TF コイル-8～TF コイル-14 までを上から見て反時計回りに設置した。次に、TF コイル-17、TF コイル 16 を設置し、最後に TF コイル-15 を設置した。図 3.5.4-24 に TF コイルの配置図を示す。

3.5.5 まとめ

上架台を下架台として利用するための基礎工事を行い、上架台、上側スペーサ、TF コイルを再組立することができた。TF コイルは、最初に TF コイル-18 を設置し、次に TF コイル-1～TF コイル-7、TF コイル-8～TF コイル-14、TF コイル-17、TF コイル-16、最後に TF コイル-15 を設置した。基礎の構造は、無収縮グラウト剤を用いて中心部受け板、外周側受け板を

設置した。床の耐荷重については、設計耐荷重 15.5 トン/m²に対して 11.3 トン/m²で組み立てた。再組立した TF コイルの転倒防止対策としては、本体室に設置されていたときと同じようにトロイダル方向に上側スペーサと TF コイルを組立て、半径方向の移動については TF コイル上部押さえ板や先端支持脚ストッパーなどで固定した。

4.JT-60 本体付帯設備の解体

4.1 ペレット入射装置

4.1.1 はじめに

ペレット入射装置は、生成槽・加速槽で構成される本体、測定槽、切換器、輸送管、排気装置、ガス供給系、液体ヘリウム供給系（液体ヘリウムデュワタンク含む）、冷却水供給系、現場盤、架台等で構成されるが、解体対象は、実験棟本体室に設置されている機器全てと、実験棟地下の PIG 電源室に設置されている一部の配管などである。尚、本体(生成槽、加速槽)は、調整運転のため、計測準備室で使用中であり、解体の対象外である。図 4.1.1-1～図 4.1.1-2 に解体範囲図を示す。また、図 4.1.1-3～図 4.1.1-12 に主な解体対象機器を示す。

4.1.2 機器の概要

プラズマ中に固体燃料(以下「ペレット」という)を高速で供給するための装置である。ペレットの供給周期は 1～20Hz である。装置の動作概要は、D₂、H₂、Ne などの燃料ガスを液体ヘリウムにより極低温まで冷却することにより氷状(固体)にする。次に、氷状の塊を押し出し成形することによって、棒状のペレットにした後、カッターで切断することによって一辺が 2mm 程度のキューブ状ペレットを作り出す。その後、ペレットは高速回転する加速ローターの中心部に供給され、加速ローターの遠心力により高速射出される。

4.1.3 解体検討

(1)解体前の安全処置

作業を安全に進めるために解体前安全処置を実施した。具体的には、停電処置として操作用配電盤と計測調整室 I 電気盤の停電処置。可燃性ガスを排気するために、ガス放出の後、真空引き。真空バウンダリの実施のとして、PIG 電源室の排気配管取り合い弁の「閉」操作。高所解体作業の養生として、足場材と落下防止ネット・シートで養生等である。

(2)再使用ケーブルの解体

機構職員による自営作業として将来再使用するケーブルの解体作業を実施する事になったが、対象ケーブルの数が約 200 本(各ケーブル数本の芯線があるため総数はその数倍)もあり、また盤内の狭い場所に設置されていることから効率よく解体する必要があった。そこで、芯線を端子台で線を外すのではなく、ケーブルを大小数台のケーブルカッターを用いて切断する方法を採用した。ただし、各ケーブル固有の番号などが明示されている表示を含めるように切断し、再使用するときにケーブルを容易に探すことができるようにした。図 4.1.3-1～

図 4.1.3-3 に解体状況を示す。

(3) 機器のオイル抜取り

潤滑油を使用している真空ポンプや液体ヘリウムデュワタンク用リフターのオイル抜取りを解体収納前に行う必要がある。そこで、真空ポンプのオイルは、ドレンバルブから拭き取ったりオイル受けを外したりして抜き取った。また、液体ヘリウムデュワタンク用リフターのオイルは、シリンダーを分解するなどして抜き取った。

(4) ペレット入射装置用ガス供給・排気システム用架台の切断

ペレット入射装置用ガス供給・排気システム用の架台は、溶接構造のため保管容器に収納できる大きさに切断する必要がある。セイバーソーなどを用いて切断した。図 4.1.3-4～図 4.1.3-7 に解体状況を示す。

(5) 液体ヘリウムデュワタンクの解体

液体ヘリウムデュワタンクの解体に際しては、デュワタンクとして再使用できないように解体する必要がある。そこで、デュワタンクとして使用できないようにするために液体ヘリウム供給口を切断した。図 4.1.3-8～図 4.1.3-11 に解体状況を示す。

4.1.4 解体作業

解体作業は、計画通りに進捗した。再使用ケーブル約 200 本は、ケーブルカッターで切断し PIG 電源室へ引き戻した。ペレット入射装置用ガス供給・排気システム用架台(機器架台)は溶接構造のため一部をセイバーソーで切断して保管容器に収納可能となるサイズにしてから収納した。デュワタンクは、確実に再使用できないようにしてから保管容器に収納した。

4.1.5 まとめ

ペレット入射装置を構成する機器の内、測定槽、切換器、輸送管、排気装置、ガス供給系、液体ヘリウム供給系(液体ヘリウムデュワタンク含む)、冷却水供給系、現場盤、架台等を解体し保管容器に収納した。これらの作業は、実験棟の本体室、組立室、PIG 電源室で行った。

4.2 一次冷却設備

4.2.1 はじめに

本体一次冷却設備は、JT-60 の主要な構成機器(TF コイル、PF コイル、真空容器冷却受け座等)が発生した熱を除去するための設備である。主要な機器は、一次冷却棟、地下ダクト、実験棟に設置されている。配管の材質はステンレス製で、冷却水には純水を使用している。また、専用の純水製造装置が設けられており、ろ過水から純水を製造し一次冷却設備に補給することが出来る。解体範囲は、実験棟本体室、PIG 電源室(地下にある中性粒子入射装置電源室の名称,PIG: Penning Ionization Gauge)、地下ダクト、真空排気設備室に設置されている配管、バルブ、計測機器及びサポートなどである。図 4.2.1-1 に系統図を示す。また、図 4.2.1-2 に解体部略図を示す。解体する為の切断工法としては、セイバーソー、配管切断機、パイプソー、乾式ワイヤーソーなどを作業場所に応じて使い分けた。本体室、PIG 電源室、真空排気設備室、

地下ダクトから発生した配管やサポートなどの解体品は、保管用地(Ⅰ)または保管用地(Ⅱ)へ移動し保管した。

4.2.2 機器の概要

- (1) 実験棟本体室内には、TF コイル冷却母管(A 系、B 系)、PF コイル冷却配管、ダイバータ冷却配管などがある。本解体作業においては、これら全てを撤去する。本体室内の機器は放射化物扱いとなるため、保管容器に収納し保管用地(Ⅰ)へ移動した。図 4.2.2-1～図 4.2.2-4 に解体作業状況を示す。また、図 4.2.2-5 に保管容器収納状態を示す。
- (2) PIG 電源室には、TF コイル冷却母管(A 系、B 系)、PF コイル冷却母管、ダイバータ冷却配管、計測系冷却配管がある。本解体作業においては、TF コイル冷却母管(A 系、B 系)、PF コイル冷却母管の全てと、ダイバータ冷却配管、計測系冷却配管の一部を撤去する。PIG 電源室内の機器は放射化物扱いとなるため、保管容器に収納し保管用地(Ⅰ)へ移動した。尚、PIG 電源室内の切断作業については、第 2 種管理区域のため「作業区画」を設定し第 1 種管理区域相当の管理を行った。図 4.2.2-6～図 4.2.2-8 に解体作業状況を示す。
- (3) 真空排気設備室には、TF コイル冷却母管(B 系)、計測系冷却配管がある。本解体作業においては、TF コイル冷却母管(B 系)の一部を撤去する。図 4.2.2-9、図 4.2.2-10 に解体作業状況を示す。真空排気設備室内の機器は、一般物として保管用地(Ⅱ)へ移動した。
- (4) 地下ダクトには、TF コイル冷却母管(A 系、B 系)、PF コイル冷却母管、ダイバータ冷却配管、計測系冷却配管がある。本解体作業においては、TF コイル冷却母管(A 系、B 系)、PF コイル冷却母管、ダイバータ冷却配管の一部を撤去する。地下ダクト内の機器は、一般物として保管用地(Ⅱ)へ移動した。図 4.2.2-11～図 4.2.2-14 に解体作業状況を示す。また、図 4.2.2-15～図 4.2.2-18 に保管用地(Ⅱ)での保管状況を示す。

4.2.3 解体検討

(1) TF コイル、PF コイル内部の排水

配管等の内部に水が残存しないように事前に排水を行う。自然排水できない場所については、強制的に排水する必要がある。TF コイル、PF コイル及び真空容器冷却受け座の内部にある配管内部の水は、構造上、全ての水を自然排水することはできない。そこで、マニホールや冷却配管のフランジ部などの作業しやすい場所を開放し、ゲートバルブ用圧空を使用して強制的に排水した。コイル毎、チャンネル毎に圧空を排水する必要があったため、高所、狭隘、手が入らない場所など作業性の悪い場所があり、作業完了に時間を要した。TF コイルの水抜きだけでも 14 週間程度かかった。また、さらに内部を乾燥させるためにフランジやマニホールを開放し、自然乾燥を行った。尚、真空乾燥する方法は、容易に凍結することや乾燥作業時間等を考慮して不採用とした。図 4.2.3-1、図 4.2.3-2 に圧空による TF コイル水抜き作業状況を示す。

(2) 排水処理

一次冷却設備の保有水量は、約 240m³である。これらを排水するためには、放射性廃液排水設備(以下「HOT 排水設備」という)の DP タンク経由で排水する必要がある。DP タンク

クの容量は 10 m³であり、タンク内水の放射能濃度測定後に排水する必要があるが、DP タンク内の水の放射能濃度測定時間が通常は約 2 週間必要なため、全ての水を排水するためには約 60 週間が必要になる。通常 DP タンクに水を溜める度に行う測定を、一次冷却設備内の水を均一化した後に汚染濃度測定を 1 回行うことで代用した。結果的には、9 日間かけて DP タンクに 29 回水を貯めて、総水量 233.8 m³を排水した。この一連の作業の前には、排水作業に使用する現場排水ピットの洗浄、管理区域の手洗い水やエアコンドレン水などの一次冷却水以外の廃液の混入を防ぐ措置を行った。管理区域の手洗い水の代用としては、蛇口付きポリタンクと水受けを用意し、各汚染検査室(計 4 箇所)に設置した。一括で排水を実施する前には、所内外の管理部門、関係機関、自治体への説明を行い了承が得られてから実施した。また、排水前の事前作業として一次冷却棟内などの排水用側溝にシート養生を行った。さらに、安全にかつ効率的に排水するために、現場排水ピット、ドレンバルブ操作、DP タンクの水位監視など、多くの作業者を配置し、排水ポンプの排水性能をオーバーしないように、また DP タンクが溢れないように排水量の調整と監視を行いながら実施した。また、実験棟から一次冷却棟間の地下ダクトの配管は、傾斜の少ない大口径配管のため、水量が少なくなつてからは排水完了するまでに時間を要した。1 週間ほど水を貯めて排水することを繰り返し、一括排水とは別に別途 2 ヶ月以上断続的に排水した。

(3)アスベスト含有ガスケット

配管フランジのガスケットにアスベスト含有品を使用している。そこで、「フランジ部を解体せずにフランジ両側の配管を切断しガスケットを取り出さない」ケースと「フランジを解体してガスケットを取り出した」ケースが考えられる。ガスケットなどの成型品の場合は、作業レベル 3 相当になると考えられるが、解体を受注した 2 社の方針等により、各々の方法で実施した。

(4)SA 用真空排気設備の為の処置

真空排気設備室天井貫通配管は、将来 SA 用真空排気設備の配管を設置するために使用する予定である。そこで、容易に配管を設置できるように後処理を行う必要があった。そこで、真空排気設備室天井貫通配管切断部をフランジ取り合いとし、閉止板を取り付けた。但し、排水配管(500A)は、R 部を切断するために切断面形状が楕円となり規格品のフランジが使用できないため、対応した形状のフランジを製作した。図 4.2.3-3、図 4.2.3-4 に取り付けたフランジを示す。

4.2.4 解体作業

実際の作業は、ほぼ検討の通りに進捗した。特に苦労した点は、事前排水処理である。TF コイルや PF コイル内部の水抜きについては、コイル毎、チャンネル毎に圧空を排水する必要があったため、高所、狭隘、手が入らない場所など作業性の悪い場所があり、作業完了に時間を要した。また、200m³を超える一次冷却水を通常の方法で排水した場合 1 年以上見積もられたため、現実的に放射能濃度が検出レベル以下であることから特別に一括で排水することを提案し、所内外の管理部門、関係機関、自治体への説明を行い了承が得られてから実施できることになった点。また、各排水ピットの洗浄作業、実際の排水作業については、事前に排水用

側溝のシート養生から始まり、効率的に排水するために多くの作業者を配置し、排水ポンプの排水性能をオーバーしないようにどのドレン配管をどの順序で開けていくか、DP タンクが溢れないように排水量の調整と監視など、様々な安全対策を行いながら実施した。また、実験棟から一次冷却棟間の地下ダクトの配管は、傾斜の少ない大口径配管のため、水量が少なくなっただけからは排水完了するまでに時間を要し、結果としては別途 2 ヶ月以上断続的に排水した。

解体作業については、セイバーソー、配管切断機、パイプソーなどを作業場所に依って使い分けた。本体室、PIG 電源室、真空排気設備室、地下ダクトから発生した配管やサポートなどの解体品は、保管用地(Ⅰ)または保管用地(Ⅱ)へ移動し保管した⁴⁾。一部の残存配管(真空排気設備室内)は、再利用を考慮してフランジを取り付ける作業を行った。PIG 電源室内の切断作業については、第 2 種管理区域のため「作業区画」を設定し第 1 種管理区域相当の管理を行った。

4.2.5 まとめ

本体一次冷却設備の内、実験棟本体室、PIG 電源室、地下ダクト、真空排気設備室に設置されている配管、バルブ、計測機器及びサポートなどを解体した。解体工法としては、セイバーソー、配管切断機、パイプソー、乾式ワイヤーソーなどを作業場所に依って使い分けた。本体室、PIG 電源室、真空排気設備室、地下ダクトから発生した配管やサポートなどの解体品は、保管用地(Ⅰ)または保管用地(Ⅱ)へ移動し保管した。本格的な解体作業の前には、機構職員による排水作業を本体室周辺から順次行い、総排水量は約 240m³に達した。

4.3 ガス注入装置

4.3.1 はじめに

JT-60U ガス注入装置の解体は、次期装置の JT-60SA 建設のためのコスト削減に貢献するため、既存の流用可能な機器であるガス注入弁、マスフローコントローラー(MFC)、絶縁継手、ダイヤフラム真空計を取り外して保管し、再び使用されることのない機器や構造物である、ガスマニホールド、配管、ケーブルの解体を実施した。

4.3.2 機器の概要

JT-60U ガス注入装置は、高真空となっている JT-60 真空容器に、プラズマ着火のための中性粒子の注入、各種中性粒子の注入など、JT-60 プラズマ実験における基礎的な粒子供給を行う。粒子注入には、JT-60U 真空容器近傍に配置されたガス注入弁を用い、単独または複数のガスに対しガス注入量の制御が行われる。ガス注入装置は、JT-60 真空容器にガス注入装置用マニホールドが接続され、そのマニホールドにガス注入弁が取り付けられている。各ガス注入弁にガス注入弁に対するガス供給は、本体室内に設置されているガスステーションが起点となり、各ポートセクションに設置されているガス注入弁まで供給配管が敷設されている。使用するガスは、主に重水素、ヘリウム、アルゴン等である。

4.3.3 解体検討

JT-60SA ガス注入装置では、既設制御盤、排気装置を出来る限り再利用し、製作コストを抑制する。したがって、JT-60 ガス注入装置の解体は、JT-60SA への展開を考慮し、起点となるガスステーションから JT-60 本体各ポートセクション間の機器類について実施した。解体した機器は、マニホールド、配管類、ケーブル・ケーブルトレイ、ガス注入弁、マスフローコントローラ、ダイヤフラム形真空計である。ガス注入弁、MFC、ダイヤフラム型真空計、絶縁ベローズ、絶縁継手については、JT-60SA ガス注入装置で再利用する。

4.3.4 解体作業

4.3.4.1 マニホールド解体

マニホールドは、上側垂直ポート P-3、P-11、P-14 の3箇所、斜め下ポート P-15 の1箇所、下側垂直ポート P-7、P-18 の2箇所、合計6箇所に設置されている。マニホールドは、JT-60 真空容器ポートフランジに絶縁ベローズ、ゲートバルブを介して接続されている。マニホールド付属の機器及び配管側もフランジで接続されている。

マニホールドの解体作業は、フランジ部を切り離し、各々処理した。マニホールドとゲートバルブは、真空に晒された面の表面密度を測定し後、管理区域内における汚染の拡大を防止するためのビニール養生を施し、トリチウムに汚染された機器のための密閉容器に収納された。絶縁ベローズは、真空に晒された面の表面密度を測定し、汚染が無いことを確認した後、ビニール養生を施し、管理区域内に保管されている。

4.3.4.2 配管解体

配管類は、上側垂直ポート P-3、P-11、P-14 の3箇所、斜め下ポート P-15 の1箇所、下側垂直ポート P-7、P-18 の2箇所、合計6箇所に向けて敷設されている。敷設されている配管は、供給配管、排気配管および空気操作弁用圧縮空気配管(以降、圧空配管)がある。供給配管には、ベーキング用ヒーターが巻き付けてある。ヒーター表面には、保温と安全措置のため、保温材が巻いてある。配管径は、排気配管が 1/2 インチ、供給配管は、配管長によって 1/4 インチと 1/2 インチを使い分けている。圧空配管は、空気操作用電磁弁まで鋼管にて接続され、電磁弁から空操弁にはシンフレックスチューブが使用されている。

配管類の解体作業は、基本的に保温材の取り外し、ヒーターの取り外し、配管の取り外しの順で行い、垂直立ち上がり部については、保温材の一部を解体し、ヒーターと配管を切断後、取り外した配管類を床面にて解体した。また、取り外すヒーターと配管は、適宜の長さで切断しながら取り外し作業を行った。外した配管類は、配管、ヒーター、保温材、シンフレックスチューブに分別され、保管容器へ収納された。

4.3.4.3 ケーブルとケーブルトレイ解体

ケーブルとケーブルトレイは、上側垂直ポート P-3、P-11、P-14 の3箇所、斜め下ポート P-15 の1箇所、下側垂直ポート P-7、P-18 の2箇所、合計6箇所に向けて敷設されている。ケーブルは、各ポートセクションに設置されているガス注入弁、ダイヤフラム型真空計、バル

ブ開閉表示用リミットスイッチ、空操弁用電磁弁、ヒーターのために敷設されている。また、上側垂直ポート P-3 には、連続注入弁用にケーブルが敷設されている。ケーブルトレイは、基礎架台廻りと真空排気設備架台廻りに敷設されている。上側垂直ポート用には、施工性を考慮し、コンジットパイプを用いた。

ケーブルの解体作業は、上側垂直ポート P-3、P-11、P-14 と下側垂直ポート P-7 に設置されているダイヤフラム型真空計用ケーブルを残し、ガスステーション端子台から JT-60 本体側のケーブルを撤去した。

4.3.4.4 機器の取り外し

ガス注入弁、MFC、ダイヤフラム型真空計等、JT-60SA に使用するものの保管を実施した。

(1)ガス注入弁

ガス注入弁は、駆動用の電源ケーブルを BNC コネクタで取り外し、マニホールド側 VCR 継手及び供給配管側 VCR 継手により切り離しを実施した。取り外したガス注入弁 16 台は、JT-60SA において再利用するため、管理区域内に保管している。

(2)マスフローコントローラ

MFC は、制御用ケーブルを取り外し、配管の VCR 継手により切り離しを実施した。取り外した MFC は、管理区域内に保管している。

(3)ダイヤフラム型真空計

ダイヤフラム型真空計は、SA での再利用の要否は不明である。しかし、上側垂直ポート P-3、P-11、P-14 と下側垂直ポート P-7 に設置されているダイヤフラム型真空計は、他のダイヤフラム型真空計と比べて新しいため保管することとした。保管に当たっては、当該真空計とケーブルは一対となっているため、ケーブルも保管している。

(4)絶縁継手

JT-60SA の運転においても、ノイズ対策として配管に作用する電磁誘導等を防ぐため、電氣的ワンターンを防止する絶縁措置が必要となる。したがって、配管解体で取り外された絶縁継手を残すこととした。取り外した絶縁継手は、管理区域内に保管されている。

4.3.5 まとめ

ガス注入装置の解体は、JT-60SA への展開を考慮しつつ実施された。ガスステーションから JT-60 本体側を撤去することにより、JT-60SA ガス注入装置の据付準備が全て完了した。解体作業では、トリチウムで汚染されている機器も存在したが、表面密度の測定、養生を施すことにより、適切な収納が実施されている。

4.4 ガスジェット装置

4.4.1 はじめに

ガスジェットシステムの解体は、JT-60SA において再び使用されることを前提に解体を実施した。

4.4.2 機器の概要

ガスジェット装置は、核融合装置における燃料供給装置の1つであり、燃料供給装置として基礎的なガス注入装置とペレット入射装置の中間的な性能・特徴を持つものである。基本的な動作は、ガス注入装置と同様にガスを真空容器内に注入するものであるが、注入弁にあたるノズルヘッドは真空容器内部プラズマ対向面近傍に設置される。ガスの注入動作はペレット入射装置と同様に断続的となり、その真空中へのガス放出は、音速を超える速度となる。

ガスジェット装置は、真空容器内のノズルヘッドと真空容器外のノズルヘッドを動作させるためのコンプレッサーと呼ばれる圧力波を発生させる装置から構成される。ノズルヘッドとコンプレッサーは、2本の配管で接続されている。この他、コンプレッサーを動作させるコントローラーとコンデンサ電源および、ガス充填のための配管類が付随する。

4.4.3 解体作業

解体作業において、ノズルヘッド、コンプレッサー、コントローラー、コンデンサ電源は、再利用を考慮し、取り外し、保管する。その他の配管類や制御機器を収納していた盤関係は、次期装置であるJT-60SAの組立と干渉するため、解体品として収納した。

4.4.4 まとめ

ガスジェット装置は、プラズマ実験における実用において新しいシステムであり、プラズマ制御に対する寄与がどの程度なのか明らかになっていない。したがって、今回の解体では、JT-60SAでの再使用を考慮しながら、主要機器類の取り外しと保管を行った。

4.5 本体制御設備

4.5.1 はじめに

本体制御設備の解体は、次期装置のJT-60SA建設のためのコスト削減に貢献するため、既存の流用可能なケーブルを実験棟地階PIG電源室まで引き戻し、中継端子箱を保管し、中継端子箱から機器までの再び使用されることのないケーブルは、全て撤去した。

4.5.2 機器の概要

本体制御設備は、JT-60本体並びに本体付帯設備に対する計装・運転制御・監視をおこなう設備である。JT-60本体(真空容器、TFC、PFC、架台)は、本体計装で監視し、ベーキング電源、一次冷却設備、ガス循環設備、ゲートバルブ、真空排気設備は、それぞれ独立した制御設備を持つ。本体計装は、TFコイル、PFコイルの冷却水温度、冷却水流量の計測に用いている。ベーキング電源制御設備は、JT-60U真空容器・ポートを温度制御するものであり、均一な温度とする制御のため多数の熱電対信号を用いている。一次冷却設備制御設備は、一次冷却棟に設置されている冷却水ポンプ、流量調整バルブ、切替えバルブを制御する。ガス循環設備は、

JT-60 実験棟地階ガス冷却室内の送風機、流量調整バルブ、切替えバルブを制御する。ゲートバルブ制御設備は、JT-60 ポートに取り付けられているゲートバルブを開閉するため、空操用バルブを制御する。これらの制御器器については、JT-60SA にて再使用する方針となっており、再使用を校了した解体を行っている。今回の JT-60SA 建設に向けた解体作業においては、本体計装、ベーキング電源について解体撤去を実施した。

本体制御設備は、JT-60 実験棟地階本体機器制御室に、JT-60 本体と周辺設備との取り合いのための制御機器を配置している。本体機器制御室にて集約した各種情報は、中央制御室において、操作パネル、CRT、記録計、警報表示によって確認することができる。

本体計装は、JT-60 本体に係る温度、圧力、冷却水流量を計測するものであり、真空容器、TF コイル、PF コイル、PF コイル支持体、架台を範疇とする。

ベーキング電源は、JT-60U 真空容器・ポートをベーキング加熱するための電力を供給する設備である。供給対象は、ガスベーキングのための加熱器(ガス循環設備)、真空容器厚肉部、ポート、ゲートバルブである。JT-60 本体に接続されているヒーターは、真空容器厚肉部、ポート、ゲートバルブであり、18 本の真空容器厚肉部用ケーブル、119 本のポート用ケーブル、24 本のゲートバルブ用ケーブルが実験棟本体室まで敷設されている。ベーキング温度の制御は、真空容器温度の不均衡による応力破壊を防ぐため多数の熱電対を使用し、真空容器の表面および内面に計 48 点の熱電対が用いられている。その他、ダイバータ部の温度測定などに多数の熱電対が真空容器内に設置されている。

4.5.3 解体作業

本体計装およびベーキング電源設備共に、実験棟地階中 2 階を通過して、JT-60 本体の各種計測センサーへケーブルが接続されている。JT-60 本体基礎架台に、これら計測ケーブルの中継端子台である本体端子箱が設置されている。これら制御設備の解体は、この端子箱を境界として、計測センサー側を撤去し、制御盤側を再使用する。撤去されたケーブル類は、タグ管理され、保管容器へ収納された。再使用するケーブルについては、PIG 電源室中 2 階において、仮置きされている。

4.5.4 まとめ

本体計装およびベーキング電源設備について、JT-60 本体の計測センサー側について解体を実施した。中継端子台である本体端子箱から制御盤に接続されているケーブルについては、JT-60SA 運転に必要な温度等の信号を計測するため、再使用される。

4.6 コイルフィーダ

4.6.1 はじめに

コイルフィーダの解体は、トロイダル磁場コイル(TF コイル)およびポロイダル磁場コイル(PF コイル)のフィード線をセイバーソーやパイプソーにより切断する。

4.6.2 機器の概要

コイルフィーダは、JT-60 の主要構造物である TF コイルと PF コイルへ電力を供給するための給電設備である。導体は無酸素銅で製作されており、コイル表面には、ポリアミドテープ、ガラステープ、マイカテープ、ポリイミドテープにより絶縁措置が施され、最外周には、ローピングが施工されている。

4.6.2.1 トロイダル磁場コイルフィーダ (TF コイルフィード線)

TF コイルフィード線は、TF コイルへ電力を供給するための電気導体である。TF コイルフィード線は、P-3 ポートセクション床面貫通口を介して、TFC-3 と実験棟地階 PIG 電源室 2 階の同軸フィーダとを接続している。TFC フィード線構造を図 4.6.2.1-1 に示す。当該フィード線は、銅で製作されており、表面を絶縁材によりローピングされている。フィード線の構造は、TFC 取り合い部、本体室立ち上がり部、本体室床面部、同軸フィーダ取り合い部の四つの部位に分けられ、それぞれフレキシブル導体で接続されている。

4.6.2.2 ポロイダル磁場コイルフィーダ(PF コイルフィード線)

PF コイルフィード線は、PF コイルへ電力を供給するための電気導体である。PF コイルフィード線は、F コイル、V コイル、H コイル、D コイル、DCW コイル用に独立しており、それぞれ P-15、P-6、P-10、P-10、P-8 ポートセクション床面貫通口を介して、実験棟地階 PIG 電源室 2 階の同軸フィーダと接続されている。F コイルフィード線を図 4.6.2.2-1、V コイルフィード線を図 4.6.2.2-2、H コイルフィード線を図 4.6.2.2-3、D コイルフィード線を図 4.6.2.2-4、DCW コイルフィード線を図 4.6.2.2-5 に示す。これらのフィード線は、銅で製作されており、表面を絶縁材によりローピングされている。構造は、各フィード線とも取り合い部、本体室立ち上がり部、本体室床面部、同軸フィーダ取り合い部に分けられ、コイルによっては、フレキシブル導体で接続されている。

4.6.3 解体作業

4.6.3.1 フィード線切断 R&D

コイルフィーダは、ロウ付けにより一体構造となっているため、フィード線導体部を切断し、細分化する必要がある。導体部は、導体である銅材の周囲に絶縁材が強固にローピングされている。このため、ボルト締結部の解体と異なり、ローピングの解体では、ワニス等で固められた絶縁材を剥がすために多くの工数が切断数毎に必要となる。したがって、導体部の切断は、絶縁材と共に切断することとした。一方、絶縁材と共に切断する方法は、切削粉の拡散の問題があり、飛散を防止しなければならない。そこで、フィード線の切断作業前に実際のフィード線を用いて R&D を実施した。

切断する領域にグリーンハウスを作製し、グリーンハウスの中でセイバーソーを用いた切断に対する粉塵飛散の程度を検証した。検証の結果、粉塵は舞うことなく、広範囲に拡散されないことが確認された。当該検証により、作業者の粉塵に対する防護の他、切断部まで飛散防止の壁(防災シート)を立ち上げ、その囲いの中で切断を実施することとした。

4.6.3.2 TFC コイルフィーダ

(1) 解体準備

PIG 電源室同軸ダクト内において、JT-60 電源とトロイダル磁場コイルとの切り離しを実施した。図に示すフレキシブル導体を取り除くことにより、構造的な切り離しを行った。本格的な解体までの間、コイル導体の誘導による帯電を防ぐため、本体室側のコイルフィーダの接地を行った。

(2) フィード線解体

TF コイルフィーダ線の解体作業は、全体の工程を優先するため 2 期に分けて実施した。先ず TF コイルの解体において干渉する、基礎架台より上方のフィーダ線を撤去した。続いて、TF コイルの解体が完了後、実験棟本体室床面上と貫通口内のフィーダ線を撤去した。

4.6.3.3 PF コイルフィーダ

(1) 解体準備

PIG 電源室の同軸ダクト内において、JT-60 電源と PF コイルとの接続の切り離しを実施した。さらに V コイル、H コイル、D コイル、DCW コイル、F コイルのフレキシブル導体を取り外した。本格的な解体までの間、コイル導体の誘導による帯電を防ぐため、コイルフィーダを各々接地した。

(2) 解体範囲

① V コイルフィーダ

本体室床面上部の結線切替えを含めた支持柱側面に設置されている範囲の解体を行う。

② H コイルフィーダ

本体室床面上部から上方の支持柱背面部と基礎架台内下架台貫通口の直前までの範囲で解体を行う。

③ D コイルフィーダ

本体室床面上部から基礎架台貫通部手前フレキ接続部までの範囲で解体を行う。

④ DCW コイルフィーダ

基礎架台の背面垂直立ち上がり部分並びに基礎架台側面の P-5 セクションから P-8 セクションまでの範囲を解体する。また、結線切替え盤から基礎架台貫通部直前までの範囲を解体する。さらに、高ベータ架台から結線切替え盤まで設置されているフィーダ線も解体する。

⑤ F コイルフィーダ

本体室床面より上側を解体した。F コイルから伸びている水平方向のコイルフィーダは、支持柱に固定されているため、TFC 取り外し後の JT-60 真空容器の転倒を防止するため、真空容器から第 2 サポートまでの部位を残しておく。真空容器が解体された後、残されたフィーダ線を解体する。

(3) 解体要領

フレキ接続部の絶縁ボックスを解体し、フレキロー付け接続部を切断する。基礎架台内へのコイルフィーダは、基礎架台のトロイダルコイル冷却水配管直前の位置を切断する。その他の部分(結線切替部を含む)については、作業性、吊出及び引き出し移動を考慮し

た位置を切断する。

サポートの解体撤去は、支持柱とボルト締結されている揺動型サポート並びに固定型サポートを解体撤去する。溶接で接続されているサポートについては、作業の合理化のため、本作業において解体を実施しないこととした。

4.6.4 まとめ

コイルフィーダの解体は、TF コイルおよび PF コイルとの接続部近傍から、実験棟地階 PIG 電源室同軸ダクト内までの間について実施した。解体に当たっては、絶縁材の切断による粉塵の飛散が懸念されたが、早い時期にコイルフィーダ切断に関する R&D を実施したため、確度の高い作業工程を得られた。また、養生方法の確立により作業性においては、柔軟な対応が可能となり、無理のない作業空間を得ることが出来た。

4.7 真空排気設備

4.7.1 はじめに

真空排気設備の解体作業は、JT-60SA において一部の部分を除き再使用する予定であるため、再使用しないマニホールド、真空排気設備架台および冷却水配管の一部を解体・収納する。また、JT-60 実験棟地下 1F 本体予備品室に収納されていた旧主排気メインポンプユニットや真空配管などの保管品も合わせて収納するものである。

4.7.2 機器の概要

真空排気設備は、JT-60U 真空容器内部を真空排気し、清浄な超高真空状態を得るための設備である。また、不純物の少ないプラズマを生成するために、単に超高真空に排気するばかりでなく短時間に流入する大量なガスを排気する能力を有している。本設備は、C・D 系統の 2 系統から成り立っている真空排気系、補助系(冷却水系、圧縮空気供給系、液体窒素供給系など)、ベーキング系及び制御系から構成されている。

4.7.3 解体検討

(1) 解体手順

C 系統マニホールドは、JT-60U 真空容器内を換気するための空調(大気放出管)として利用していることから、真空容器内作業に支障が無いように解体する時期、手順について検討を実施した。また、カーボン粉などの粉塵によるマニホールド内部のトリチウム汚染、真空容器やポートなどの切断時に使用した切削油の洗浄方法、および作業雰囲気酸素欠乏防止のための換気方法と対策について検討をした。

(2) ポート部の解体検討

ベローズを縮めての吊出し、ポートとベローズを分割で切断して吊出しについて検討を実施した。

(3) マニホールドの解体検討

マニホールドの切断箇所は、JT-60SA での再使用する場合を考慮してマニホールドφ1500mm に変換された位置で切断する必要があった。切断方法は、ダイヤモンドワイヤーソー(以下、ワイヤーソーとする)を使用、及び電動工具(セイバーソー、ホールソーなど)を使用した方法の2通りについて検討を実施した。

- ワイヤーソーによる切断

長所は、真空容器に最も近い位置で切断でき、切断作業時間が短い、マニホールドの外側からの切断が可能である。

短所は、機器設置用の足場設置を必要とし、切断時の切粉及び粉塵の飛散防止用養生が必要である。

- 電動工具による切断

長所は、マニホールド内からの作業なので養生が少ない。

短所は、切断時間が長いこと、および切断部分がマニホールドの支持脚より後ろになるため転倒防止が必要であること。

以上の検討結果、ワイヤーソーによる切断を行うこととした。

4.7.4 解体作業

(1) マニホールドのベーキングヒーター、熱電対、及び保温材の解体

C・D 系統マニホールドの保温材の解体作業は、保温材などの解体物品の飛散防止のために単管足場、酢酸ビニールシートなどを使用しグリーンハウスを設置し、タイベックスーツ、半面マスク、ゴーグルおよびゴム手袋を着用し、カッターなどにより切断しながらマニホールドに設置されている全ての保温材について作業を実施した。ベーキングヒーターおよび熱電対は、マニホールドに設置されている全てを、これらに関係するケーブルは、解体品から中継端子箱間のケーブルを全て解体した。図 4.7.4-1 にベーキングヒーターおよび固定用スタットボルトを工具で解体している様子を、図 4.7.4-2 に保温材、ベーキングヒーターなどの解体終了後のC 系統マニホールドを示す。解体した保温材は、ビニール袋で二重で梱包後、領域毎に区分けし、領域口はドラム缶、領域口、口はフレコンバックに纏め、ベーキングヒーターは、領域毎に区分けし領域口、口をパール管、領域口はドラム缶に纏め、熱電対は、ドラム缶に纏め保管容器へ収納した。また、ケーブルは、ケーブルカッターで2m 程度に切断し、保管容器に収納した。

(2) 冷却水配管の解体

JT-60 実験棟本体室貫通口のフランジから JT-60 実験棟 PIG 電源室中間ステージ(真空排気設備室貫通口)間の配管の解体作業を実施した。作業は、配管内部に冷却水が残存している恐れがあったため、切断箇所に袋状の養生を設けた後、フランジでの切離しまたはパイプカッターにより配管を切断して解体した。冷却水配管撤去後の本体室貫通口の開口部は、金属板により閉止するとともに、PIG 電源室の残存するフランジにも閉止板を取付けた。図 4.7.4-3 に PIG 電源室でのフランジ切離し作業の様子を、図 4.7.4-4 に冷却水配管に閉止板を取付けた様子を示す。解体した冷却配管は、十分な水分乾燥を行い、酢酸ビニールシートで二重梱包し、切断面はアルミテープを施し、保管容器へ収納した⁴⁾。

(3) ポートおよび絶縁継手の解体

① ポート吊出し準備

ポート吊出し準備作業は、絶縁継手の溶接ベローズをスタットボルト(M20×L180mm：8本、M20 六角ナット:32 個)を使用して、ポートベローズは外周側にベローズ固定及び締めが可能な治具(ベローズ締め治具)を取付け固定するとともに、ポートとポロイダルコイル(F2 コイル)間に詰め物を挿入し、切断時にポートの落下を防ぐための固定を実施した。

② ポート切断

ポートの切断は、ポートボックスを機械加工により切断した。

③ ポート吊出し

ポートと絶縁継手接続部フランジ締め付けボルト(M16×36 個)を解体後、ベローズ締め治具のナットを徐々に締め込み、フランジ部が絶縁継手部を交わり吊出し可能になるまでベローズを縮めた後、絶縁継手側開口部に「ポート側閉止アルミプレート(治具)φ700」を取付け封止した。吊出すポート側に吊りワイヤー、及びチェーンブロックなどを設定し、ポート切断部を切離し吊出した。絶縁継手は、絶縁継手とマニホールド側の接続部の締め付けボルトを解体し、絶縁継手に吊りワイヤーを設定後、マニホールド側より出ているφ80 固定用ロッド 4ヶ所と絶縁継手との固定部のボルト M42×4 個を緩めて解体吊出した。マニホールド側及び絶縁継手側の開口部には、閉止板で封止した後、真空容器内作業用空調と使用するため、アルミフレキダクトをアルミテープで取付けた。図 4.7.4-5 にポートと絶縁継手とを切離して開口部の養生様子、図 4.7.4-6 に C 系統ポートの吊出し作業、図 4.7.4-7 に C 系統マニホールドの絶縁継手の吊出し作業の様子を示す。

(4) マニホールドの解体

C・D 系統マニホールドの解体作業は、足場設置、マニホールド周辺の養生、マニホールド内部の清掃、切断の順番で実施した。

① 足場設置

足場は、ワイヤーソー設置用足場および解体用足場を真空排気設備架台周辺に 1F 床面から C 系統マニホールド付近(高さ：11 m)まで設置した。

② マニホールド周辺の養生

養生は、マニホールド周辺を酢酸ビニールシート、防災シート、および養生テープなどを使用し、切粉の飛散、およびトリチウム汚染の拡大防止用の養生を行った。図 4.7.4-8 にマニホールド解体用の養生を設置した様子を示す。

③ マニホールド内部の清掃(除染作業)

マニホールド内部の清掃は、第一壁などから塵埃によるトリチウム汚染、ポート切断などに使用した切削油などにより汚染しており、切断時に周辺環境を汚染させる恐れがあるため、マニホールド内部の清掃を実施した。清掃は、紙ウェスによる塵埃の拭き取り後、アルコールを浸したウェスにより拭き取りを行ったとともに、再使用品のゲートバルブ、ターボ分子ポンプへの異物混入を防ぐためマニホールド内部からポート開口部をアルミ板で閉止養生を施した。清掃、養生は、換気の関係から C 系統マニホールド先端から D 系統マニホールド先端に換気ダクトを接続し、D 系統マニホールド内を換気しながら作業を実施し、次に C 系統の作業を実施した。

なお、各マニホールド内への入口は、D 系統はマンホールを、C 系統は、マニホールド先端部の開口部から出入した。

④ マニホールドの切断作業

切断作業は、解体対象であるマニホールド内部が放射性同位元素であるトリチウムを含む塵埃で汚染されていること、及びマニホールド自体が放射化されていることから、放射線防護、及び汚染拡大防止に考慮しながら、局所排気機能を有した切断用グリーンハウス内にワイヤーソーを設定した。また、ワイヤーソー設置時には、切断終了後のワイヤーソー装置持ち出しを考慮し、必要な箇所に必要な養生を行い、かつ、放射線管理担当者及び作業担当者が確認した。グリーンハウス内作業は、タイベックスーツ、専用安全靴、全面マスク、綿手袋+ゴム手袋を使用した。切断する部分のマニホールド下部と梁との間に受け台を設置し、マニホールド外周をワイヤーとレバブロックなどで巻きつけマニホールドの固定を確認後、切断した。切断中は、作業状況を監視しながら実施した。図 4.7.4-9 にマニホールド切断用のワイヤーソーを設置した様子を示す。切断作業終了後、グリーンハウス及びマニホールド内に堆積した切粉などの回収、清掃を実施し、汚染が拡大しないようにした。マニホールド断面仕切り板 2 箇所の養生を撤去した。但し、ターボ分子ポンプ(TMP)ポート 4 ヶ所、閉止ポート 1 箇所の養生は、そのままとした。清掃終了後、放管の検査を受け異常がないことを確認し、マニホールド切断面(撤去側と残存側の両面)を酢酸ビニールシート、及びアルミテープなどにより仮閉止、グリーンハウス、及びワイヤーソーの取外し作業を実施した。解体するマニホールドは、クレーンにより吊出し、組立室へ移動し、密閉容器に保管した。残存側マニホールド切断面は、ヤスリなどでバリ取り、仕上げた後にステンレス板の周辺数箇所を点付け溶接で固定後、アルミテープで養生した。図 4.7.4-10 に C 系統マニホールドの吊出しの様子、図 4.7.4-11 にマニホールドに閉止板を取付け完了後の様子を示す。

(5) 真空排気設備架台などの解体

JT-60SA 組立に干渉する架台、サポート類、および不用となるサポート類の解体を実施した。サポート類の解体作業は、バンドソー、セイバーソー、パイプソーなどの電動工具を使用し実施した。真空排気設備架台本体の解体は、切断部周辺を単管足場、および酢酸ビニールシートなどにより切粉の飛散防止、安全対策のための養生を行った後、ワイヤーソーにより切断した。図 4.7.4-12 に真空排気設備架台 2F 部分の切断後の吊出しの様子を示す。

(6) 保管品の収納作業

本体予備品室に保管していた旧主排気メインポンプユニット(8 式)、ゲートバルブ、真空ポンプおよび真空配管などを JT-60 実験棟のエレベータまたは屋外のクレーンを使用し、JT-60 実験棟組立室へ移動した。その後、密閉容器および保管容器に収納した。

4.7.5 まとめ

真空排気設備は、JT-60SA で一部再使用するので、JT-60SA の時の据付を考慮しながらの解体位置、解体時期、ポート及びマニホールド内部のトリチウム及び放射化物の汚染拡大の防止を考慮しながら JT-60 実験棟本体室に設置されているマニホールド及び真空排気設備架台の一部を解体した。また、JT-60 実験棟地下 1 F 本体予備品室に収納されている旧主排気メイ

ンポンユニットなどの解体保管品の収納を実施した。

4.8 大気放出管(その場ボロン化処理設備)

4.8.1 はじめに

大気放出管は、JT-60U 真空容器内作業用の換気の配管で、トリチウムを含んだ第一壁などの塵埃で配管内部が汚染されている配管の解体作業を実施する。その場ボロン化処理設備の解体は、プラズマの不純物、および水素リサイクリングの低減を目的に、真空容器内壁にボロン膜を生成する装置の一部の解体作業を実施する。

4.8.2 機器概要

(1) 大気放出管

大気放出管は、JT-60U 真空容器内の第一壁改修作業なども真空容器内作業時に酸素欠乏防止、内部被ばく防護の目的で真空容器バント系と接続され真空容器内部を 3,000 m³/h で換気するための設備であり、P-5 斜下、および P-14 斜上(真空排気設備 C 系統マニホールド)に設置されている。本設備は、ゲートバルブ、真空配管および圧縮空気配管などから構成されている。

(2) その場ボロン化処理設備

その場ボロン化処理設備は、真空容器内に高温のデカボランガスを供給し、プラズマによってデカボランガスを励起させ、化学反応を促進させることで、非晶質のボロン薄膜を第一壁上に形成する装置である。本装置は、デカボラン供給系とデカボラン排気系から構成する。デカボラン供給系は、原料であるデカボランを 110 度まで加熱してガス化させ、DC グロー放電の支持ガス(ヘリウム)とともに真空容器内に供給する。構成は、デカボランガス供給部、支持ガス供給部、ガス排気部、窒素ガス供給配管、温度制御部、温度制御部、ガスモニタ部、圧空配管、制御部であり、P-5 の共通架台の 2F フロアに据付けてある。デカボラン排気系は、デカボランガス供給系から真空容器に供給されたヘリウムや一部未反応デカボランガスを除害して安全に排出する。構成は、ガス排気部、窒素ガス供給配管、ガスモニタ部、圧空配管、制御部であり、P-14 の JT-60 真空排気設備 CD 架台に据付けてある。

4.8.3 解体検討

(1) 大気放出管

大気放出管の配管内部は、解体する配管の構造から真空容器内で第一壁改修作業等の際に発生した放射性同位元素であるトリチウムを含むカーボンの粉塵及び真空容器解体作業にともない発生した粉塵やオイルミストなどが付着していると推定されることから、配管切断、解体時におけるトリチウム汚染拡大防止、作業者の内部被ばくの防護について検討を実施した。対策は、作業場所周辺を区画養生するとともに、配管を移動する際は可能限り内部を清掃し、開口部の閉止などすることで対応した。

(2) その場ボロン化処理設備

その場ボロン化処理設備の配管解体は、デカボラン膜が内部に生成されている恐れがあるため解体時にガス検知器にてガスの測定を必ず実施するなどの作業の安全対策についての検討を実施した。また、デカボラン膜が生成されている恐れがある配管の解体品については、開口部を閉止することとした。

4.8.4 解体作業

(1) 大気放出管

大気放出管の解体は、P-5 斜下ポートから JT-60 実験棟本体室の建屋取合いフランジまでを実施した。なお、P-14 側については、JT-60SA において現状の状態でも再利用可能なため解体作業は実施しない。作業は、保温材・ベーキングヒーターの解体後、トリチウムを含む塵埃などによる周辺への汚染拡大防止用の養生、第 2 ゲートバルブ(以下、「GV2」という)、配管、第 1 ゲートバルブ(以下、「GV1」という)、および仮設配管の設置の順で実施した。

① 保温材・ベーキングヒーターの解体

保温材・ベーキングヒーターの解体作業は、解体品周辺を保温材の酢酸ビニールなどを使用し飛散防止用養生を施した後、全ての保温材、およびベーキングヒーターの解体を行った。

② GV2 の解体

GV2 の解体は、P-5 共通架台(以下、「共通架台」という)2FL の床面の養生、および作業場所周辺のエリア区画用側面部にも仕切り養生を行うとともに、フランジ切離し部周辺に簡易グリーンハウスを設置し、内部を局所排気しながらフランジ部のボルトナットを取外し、解体した。GV2、およびベローズ開口部は金属製閉止板で、仮設配管、および配管側フランジ開口部はプラダン板で閉止し、その上から防災シートで養生した。各開口部の養生完了後、簡易グリーンハウス内の清掃、原子力機構の放管による汚染検査を行った後、共通架台内に設置した吊り具で合吊りしながら本体室床面へ移動し、表面汚染などデータ採取後、組立室計測架台内へ移動保管した。

③ 配管の解体

配管の解体は、GV2 から建屋取合い部、および JT-60U 真空容器側(GV1 の方向)へ向かって実施した。フランジ部は、ボルトナットの取外し、その他の部分は、セーバーソーを使用して汚染切粉を掃除機で吸取りながら切断を行った。配管開口部は、可能な範囲で内部の清掃を行った後、プラダン板で閉止し、その上からアルミテープ、および防災シートで養生した。配管などの支持サポートは、切断せず共通架台と一体で収納した。また、建屋取合い部は、バルブベローズフランジ部をプラダン板、及び金属板で閉止し防災シートで養生を行った。なお、閉止板外れ防止とした万力でフランジと金属板を固定した。配管(フランジ解体 1 回、配管切断 2 回実施)は、架台内に設置した吊り具で合吊りを行いながら本体室床面に移動した。解体品は、ボルト、ワッシャ、サポートなどは、ドラム缶へ収納後保管容器に収納した。配管は、データ採取、重量測定確認後、密閉容器に収納した。図 4.8.4-1 に大気放出管に設置された真空計の解体、図 4.8.4-2 に GV1 と GV2 間の真空配管の解体、図 4.8.4-3、図 4.8.4-4 に GV1、および GV2 と建家間の配管の吊出しの様子を示す。また、図 4.8.4-5 に仮設の大気放出管を真空容器ポートに設置した様子を示す。

(2) その場ボロン化処理設備

① デカボランガス供給系

デカボランガス供給系の解体作業は、装置が設置してある共通架台 2 階、3 階部に単管足場を組立、架台床面、および足場床面に養生シートを敷設した。

保温材(ノンアスベスト品)は、配管は取付けてある全保温材をカッターナイフ、およびハサミで切れ目を入れ、保温材外面シートごと取外した。取外し中は、保温材などの粉塵を適時、掃除機により回収し、取外した保温材は、即時二重にしたビニール袋に収納した。配管に巻き付けてあるベーキングヒータは、300mm 程度に工具で切断した。

配管は、除害装置、および除害ユニットから大気放出管母管まで、除害装置からオープンまでの解体を実施した。作業は、コンフラットフランジ部周辺の養生を行い、フランジ部で解体し、開口部をコンフラットフランジの閉止板を取付けて閉止した。なお、デカボランガスが流れる配管のフランジ解体時は、デカボランガス検知器によりガスの濃度を測定、確認しながら作業を実施した。配管支持サポートは、共通架台から切断せず、架台と一体で収納箱に収納した。

シリンダーキャビネット。除外ユニット、および各種真空ポンプなどの機器の解体は、フランジ、またはボルト固定部から分離し、解体した。デカボランガスが流れる配管などは、金属製フランジにて閉止した。解体品の共通架台から搬出は、床面共通架台内に設置した吊り具で合吊りを行いながら本体室床面に移動した。保管対象機器の現場制御盤 2 面は、サーベイ終了後、台車にてベーキン電源室口内へ保管した。

動力、制御系ケーブルの解体は、動力ケーブルについては PIG 電源室のケーブルトレイ上に引き戻し、養生し保管した。なお、ケーブルを PIG 電源室への引き戻す際は、原子力機構放管の立会、およびサーベイをしながら実施した。

C1 貫通口(P-5 X1 側)に設置してある配管は、ピット内配管曲がり部をパイプカッターで切断し、サーベイ実施後、本体室へ移動した。ケーブル引き抜き、配管撤去後の既設 C1 貫通口の開口部は、塞ぎ板をアルミテープで貼付け、トラテープで開口を養生した。

解体品は、ボルト、ワッシャ、固定バンド、電気品などの小物の解体品はドラム缶へ収納した。デカボランガス供給配管、除害ユニット内機器(除害装置、ポンプ)などは、トリチウムによる内部汚染があるため密閉容器へ、その他の解体品は、保管容器に収納した。図 4.8.4-6 に解体後の機器を仮置きした様子を示す。

② デカボランガス排気系

デカボラン排気系は、ガスモニタ、および除害装置キャビネット内に設置された除害装置の解体を実施した。作業は、JT-60 真空排気設備 C・D 系統架台 1 階の床面、およびキャビネット内を養生した。ガスモニタ(G4)は、収納ボックス内のケーブル類を端子部で取外し、固定用サポートをセーバーソーで切断し、除害装置キャビネットのボルト固定部から取外し、ボックスごと取外した。除害装置は、取合いフランジ部で解体し、本体を取り出し、フランジ開口面を金属製フランジにより閉止した。なお、除害装置キャビネットは、JT-60SA で再使用を予定しているので撤去せず現状のままとした。

4.8.5 まとめ

大気放出管については、トリチウムを含んだ第一壁などの塵埃で配管内部表面が汚染されている配管の解体作業を実施したが、周辺、および作業者が汚染することなく解体を実施できた。その場ボロン化処理設備についても、デカボラン供給系、およびデカボラン排気系の機器の解体、保管、及び収納作業をデカボランのガス検知器により測定するなど、安全を確保しながら解体作業を実施した。

4.9 電磁気差動排気系

4.9.1 はじめに

電磁気差動排気系は、JT-60 実験棟本体室(以下、「本体室」という)の JT-60U 周辺の床面から上架台までの空間、および狭隘な場所に真空配管、ケーブルおよび制御機器などが設置されている。解体作業は、本排気系で本体室に設置されている機器を全て解体し、保管容器、及び密閉容器に収納するものである。

4.9.2 機器の概要

電磁気差動排気系は、JT-60U 真空容器内に設置されたプラズマ位置制御・計測用の各種電磁気検出器、熱電対、及び MI ケーブルなどがプラズマの影響により損傷し真空リークが発生した場合、機器の内部を真空排気することで外部から流入する空気などの不純物ガスを最小限に抑えることで、プラズマへの影響を少なくするための設備である。真空排気系は、A 系統から I 系統の 9 系統が JT-60 本体周辺設置され、排気されたガスは大気放出管を介してスタックから屋外へ排出している。本設備の構成は、ロータリーポンプ、ターボ分子ポンプ、真空配管、真空バルブ、真空計、ケーブル及び制御盤などから成り立っている。真空配管は JT-60U の重水素実験により発生した放射性同位元素であるトリチウムが損傷部分から流入することで、内部表面が汚染されている可能性がある。

4.9.3 解体検討

解体作業は、機器、および配管などが JT-60 本体周辺の狭隘な空間でかつ高所に設置されているため、安全確保を優先とした解体方法について検討を実施した。例えば、他設備と干渉し解体作業時の安全確保が困難な配管など場合は、干渉設備の解体終了後に安全確保が可能となったから作業を実施することにした。

4.9.4 解体作業

解体作業は、本体室内に設置されている A 系統から I 系統の 9 系統の真空排気系、大気放出管、ケーブル、制御盤、および附属機器について実施した。なお、地下ダクト口から本体室まで敷設されている動力ケーブル(2 本)は、解体範囲外とした。作業は、作業環境維持、および作業時の安全確保のため、必要箇所単管足場を設置するとともに、必要に応じて保護具の着用、養生を実施して行った。

(1) 真空機器の解体

真空排気系の真空配管、大気放出管、ターボ分子ポンプ、ロータリーポンプ、真空バルブ、および真空計測定子の解体は、トリチウムによる内部汚染を考慮し、周辺に汚染を拡大させないために酢酸ビニールシートで養生し、ゴム手袋、半面マスクなどの保護具を着用し作業を実施した。作業は、原則としてフランジから切離して実施した。狭隘な場所、およびフランジ解体では解体品の搬出が困難な場合については、パイプカッター、トリチウム汚染品専用のバンドソー、バンドソーにより切断して解体した。図 4.9.4-1 にパイプカッターを使用して上架台の真空配管を切断している様子を、図 4.9.4-2 にバンドソーによる JT-60 本体周辺に設置されている垂直の真空配管の切断の様子を、図 4.9.4-3 に基礎架台周辺に設置された大気放出管の解体の様子を示す。解体した真空機器の開口部は、酢酸ビニールシート、防災シート、およびアルミテープにより内部の汚染が拡大しないように閉止養生を施した。大気放出管は、JT-60 実験棟 PIG 電源室内の真空フランジまで解体し、残存するフランジに金属製フランジを取付けた。

(2) サポート類の解体

真空配管、大気放出管、およびケーブルなどのサポート類は、切粉の飛散防止用の養生を行った後、バンドソーなどにより切断した。図 4.9.4-4 に上架台の真空配管サポートの解体の様子を示す。

(3) ケーブル、附属機器の解体

スピードコントローラー、空操式アングル弁、およびベント用シンフレックスチューブの解体は、チューブカッターで作業しやすい長さに切断しながら実施した。また、制御盤と各機器間のケーブルは、ケーブルカッターで作業しやすい長さに切断しながら実施した。ケーブル、およびシンフレックスチューブの解体品は、2m 程度に切断し、表面に切粉などが付着していないことを確認後、結束バンドで一定量に纏めた。図 4.9.4-5 にケーブル、およびシンフレックスチューブの解体終了後の現場盤を、図 4.9.4-6 に解体したケーブル、シンフレックスチューブ、及び制御盤の一部を示す。

(4) 制御盤の解体

電磁気差動排気系現場操作盤(1230LP1A、1B)、電磁気差動排気系現場バルブ操作盤(1230LP1C)、および各現場盤のベースプレートを解体し、アンカーボルト撤去跡は、シリコンシーラントで塞いだ。

(5) 収納

解体品は、真空配管、真空ポンプなど真空機器は密閉容器に、制御盤、ケーブル、およびシンフレックスチューブなどは保管容器に収納した⁴⁾。

4.9.5. まとめ

電磁気差動排気系は、トリチウム、および放射化物による周辺への汚染拡大防止を考慮しながら真空機器、ケーブル、制御盤などの機器の解体対象品全ての解体作業、収納作業を滞りなく実施することができた。また、高所、および狭隘空間での作業であったが、単管足場の設置、他機器との干渉により安全確保が難しい場合には解体作業期間を安全に作業できる期間に変更するなどして作業を安全に実施することができた。

4.10 ガス循環系

4.10.1 はじめに

ガス循環系は、本体室とその直下(地下)のPIG電源室の配管等を解体し保管容器に収納した。ガス循環系の配管は、長尺で主に溶接接続となっているため大部分が切断しながら解体した。また、解体作業にあたり、ロックウール保温材等の粉じん対策などが懸念されたため、関連法令などを確認しながら、必要な保護具等の準備や作業要領を作成し作業を実施した。

4.10.2 機器の概要

ガス循環系は、窒素ガスを循環する系統で、真空容器ガス循環設備とダイバータガス冷却設備から構成される。図 4.10.2-1 にガス循環系構成図を示す。真空容器ガス循環設備は、真空容器をベーキングするために設定された温度に対し、加熱又は冷却された窒素ガスを供給するもので、ブロワ、冷却器、再生熱交換器、加熱器、フィルタ、配管及び弁等から構成される。真空容器を加熱する際は、ブロワから吐出された窒素ガスを、再生熱交換器及び加熱器により所定の温度に加熱し真空容器に供給し、真空容器から戻ってきた窒素ガスは再生熱交換器及び冷却器により冷却されブロワに戻り循環される。ダイバータガス冷却設備は、ブロワ、冷却器、デミスタ、配管及び弁等から構成され、真空容器内部のダイバータ板を冷却するための窒素ガスを供給する設備である。また、本体室の弁操作により、ダイバータの冷却媒体を窒素ガスから一次冷却設備の冷却水に切り替えることができる構造となっている。現状は、本体室の一部の配管を改造し、一次冷却設備の冷却水を真空容器受座へ給水する配管として使用している。ガス循環系のブロワや加熱器、冷却器、熱交換器等の主要な機器は、PIG電源室に隣接するガス冷却機器室に設置されている。窒素ガスは、ガス冷却機器室からPIG電源室を経由して本体室へ敷設された配管により給排気される。

4.10.3 解体検討

真空容器ガス循環設備は、更新するブロワを除く主要な機器は JT-60SA で再使用する予定である。配管類は、PIG電源室のヘッダーリングの一部を再使用し、ヘッダーリングから本体室の真空容器までの配管を新しく布設する予定である。ダイバータガス冷却設備は、JT-60SAでの使用予定はない。今回の解体収納作業では、再使用するヘッダーリングの一部を除く、PIG電源室及び本体室のすべての機器(配管、保温材、伸縮継手、弁、計器、ケーブル、サポート、貯水タンク等)を解体し、保管容器に収納する。図 4.10.3-1 にガス循環系配管系統と解体収納作業範囲図を示す。

ガス循環系の配管は、PIG電源室から本体室にかけて約 20m の垂直配管が立ち上がっているため、作業するには、ほとんど場所で足場の設置が不可欠である。特に、真空容器ガス循環設備の配管はPIG電源室のヘッダーリングから9系統に分散され布設されているため、系統ごとに足場を設置する必要がある。そのため、各系統周辺の他設備の解体で設置した足場を共有して作業ができるように、系統ごとに解体時期を計画し作業の効率化を図った。

真空容器ガス循環設備の配管は高温となるため、配管表面には保温材が取り付けられている。保温材には、ロックウールとガラス繊維クロスが使用されている。図 4.10.3-2 に配管保温材

取付け要領図を示す。ロックウールは固形品であるが、経年劣化や取り外す際の切断、保管容器への収納時における他の機器との接触等により粉砕し、粉じんが飛散する恐れがある。粉じんによる健康障害を防止するため、法令等を調査し、保温材等の解体作業及び保管容器への収納保管要領を検討した。保温材の解体作業は、粉じん障害防止規則に該当する作業に適用されないが、同規則該当作業以外でも健康障害を防止するために労働省(現厚生労働省)にて「ガラス繊維及びロックウールの労働衛生に関する指針」が策定されている。この指針を基に硝子繊維協会、ロックウール工業会が推奨している保温材解体作業時の実施事項は、呼吸用保護具(取替式)の着用、労働衛生教育の実施、皮膚の防護措置、清掃の実施、切断等を行う場合の手動工具の使用である。これらを基に、作業服装や作業環境を纏めた作業要領書を作成した。

保温材の収納保管は、解体後直ちに二重のポリエチレン袋に入れて密閉し、さらにその袋を複数個コンテナバックに詰め、保管容器に収納することとした。保管容器には、保温材のみを収納するか、収納された解体品の上部にシートを敷いて、その上にコンテナバックを収納し、コンテナバックの上には保温材以外の解体品を収納しないことで、細管などとの接触による保温材の粉砕を防止する。

4.10.4 解体作業

解体作業前の安全処置として、窒素ガスのガス抜き、冷却水の水抜き及び停電作業を実施した。また、業者による解体作業に先立ち、作業の円滑を図るため、原子力機構にて手の届く範囲の保温材を解体した。作業服装は、管理区域用の作業衣である防じん衣、ヘルメット、安全靴の他にタイベックスーツと防じん頭巾を着用し、保護具としてゴーグル、防じんマスク(区分:RL3)、手は布手袋の上にゴム手袋を装着した。作業場所は飛散防止のため養生を実施し、作業終了後は速やかに清掃することを徹底した。保温材の切断が必要なときは、ハサミ等の手動工具を使用した。業者による保温材の撤去作業も同様な作業要領で実施され、狭隘な場所については、養生等が困難であることから、配管の切断部位のみ保温材を取り外し、切断解体後広いエリアに移動してから残りの保温材の解体を実施した。図 4.10.4-1 に保温材解体作業の写真を示す。

ガス循環系配管の解体作業は、伸縮継手との接続部等がフランジ接続で、それ以外の配管同士や弁との接続は溶接接続となっているため、大部分が切断をしながらの解体となった。解体する配管の最大径は 250A であり、当初は、すべてパイプカッターでの切断を予定していた。しかし、真空容器ガス循環設備の高温ガスを流した配管は、想定より硬く、切断が困難であったため、小口径の配管を除いて、バンドソーやパイプソー等の鋸切断機により切断した。鋸切断機で切断する場合は、放射化物の切粉が拡散しないように、養生や作業者のタイベックスーツの着用、安全靴の履き替えなどを実施した。また、垂直配管のサポートとして設置されていた大口径(500A、厚み 6mm)で長さ 7m のパイプを用いた配管支持柱については、ボルト締結部を取り外し解体し、仮置き場所に移動後、保管容器に収納するためにパイプ自動切断開先加工機(型式 620RBL、油圧駆動、TRI TOOL 社製)を用いて 2 分割に切断した。パイプ自動切断開先加工機では、大口径のパイプを短時間で切断できるとともに、細かな切粉でなく長ピッチ型の切りくずで排出されるため、汚染拡大防止としての取扱いが容易である。図 4.10.4-2

に配管等切断作業の写真を示す。垂直配管部は、切断等により切り離された際に落下しないように、天井クレーンやチェーンブロックで吊ったり、既設のサポートを利用して仮支持を適宜実施しながら切断作業を進めた。PIG 電源室の配管は、切断解体後、床に仮置きした状態から本体室との貫通口を通して本体室に運搬した。本体室への吊り上げは、貫通口の上(本体室側)に仮設のヤグラを組み立て、ヤグラ上部に設定した電動式チェーンブロックを用いて引き上げた。配管以外の伸縮継手、弁も高所に設置されており、冷却水タンク等は床下のピット内に設置されているため、配管同様にクレーンやチェーンブロック等を使用しながら解体した。図 4.10.4-3 に解体品吊り上げ運搬作業の写真を示す。

解体したすべての機器は、組立室に仮置きされた保管容器に収納した⁴⁾。

4.10.5 まとめ

本体室及び PIG 電源室に設置されたガス循環系の配管、保温材、伸縮継手、弁、計器、ケーブル、サポート、貯水タンク等を解体した。配管は、確実に仮支持をしたうえで、切断を実施し安全に解体作業を遂行した。保温材は、粉じん対策として、防じんマスクなどの保護具の着用や粉じんの飛散を防止するための作業環境の管理を実行することにより、健康に障害を与えないよう作業を実施した。配管の硬化により一部切断機の変更等があったが、計画通りにガス循環系の解体収納作業を完了した。

4.11 高ベータ架台

4.11.1 はじめに

高ベータ架台は、すべての構成機器を切断、解体し、保管容器に収納した。大物構造物は、保管容器に収納するために、設置されていた本体室から機器収納棟へ運搬し、グリーンハウス内にてプラズマ切断機により切断した。

4.11.2 機器の概要

高ベータ架台は、外形で約 7×3×9[m](W×D×H)の大きさのステンレス鋼(SUS304)製の架台で、高ベータ切換盤架台、高ベータ用架台、高ベータ用架台支持柱から構成される。図 4.11.2-1 に高ベータ架台構成図を示す。高ベータ切換盤架台は、四脚の架台で、架台上に DCW コイルの結線切り替え機構がフェンスと手摺に囲まれて設置されている。高ベータ架台は、高ベータ切換盤架台から JT-60 本体装置にアクセスするための架台で下架台と高ベータ用架台支持柱により支持される。高ベータ用架台支持柱は二脚の鳥居型の支持柱であり、高ベータ用架台の他に高ベータ架台の上部に増設された計測ヤグラも支持する構造となっている。

4.11.3 解体検討

高ベータ架台は、保管容器に収納できるサイズにするため、切断により細断する必要がある。設置状態での切断は高所作業となることから、接続されている 3 つの構成機器を分解後、床面に仮置きし、切断することを検討した。また、高ベータ架台の構造が、床板下部の H 型鋼の補

強や、脚部の断面(φ450mm、板厚 16mm)が大きいことから、熱的切断も考慮したが、広いエリアでのグリーンハウスの設置など切断前後の作業による工程の長期化を懸念し、セイバーソーを使用することで検討した。セイバーソーによる切断では比較的時間が掛かることから、切断量を少なくするため、H型鋼の切断を少なく、且つ、短い切断線で保管容器に収まるサイズに細断できるように、切断位置を検討した。

4.11.4 解体作業

上部に設置された計測ヤグラ及び DCW コイルの結線切替機構まで布設されているコイルフィーダーの解体が完了後、高ベータ架台を解体した。セイバーソーでの切断を検討していたが、管理出入口など同様な構造物のセイバーソー等による切断が想定以上に時間を要していたことから、機器収納棟に設置されているグリーンハウス内にてプラズマ切断機を用い溶断することとした。機器収納棟へは、車両(トレーラー)により運搬することから、荷台に積載できるように、当初の予定通り、本体室にて3つの構成機器に分解した。高ベータ切換盤架台は、フェンス、手摺、階段等の付属部品を最初に撤去し、高ベータ用架台支持柱との接続用のプレートをセイバーソーにて切断した。その他の高ベータ用架台等の接続部や各脚部とベースプレート間などはボルト締結のため、ボルトを取り外して切り離し分解した。図 4.11.4-1 に高ベータ架台分解後の吊り上げ作業の写真を示す。機器収納棟への運搬は、放射化物の運搬規則に従い実施した。運搬物は、荷台上で合成樹脂製シート(ブルーシート)で全体を覆い養生した上で搬出した。機器収納棟のグリーンハウスは、大物ヤグラなどをプラズマ切断するために、解体期間中設置されたもので、着替えエリアや局所排気装置が整備されている。プラズマ切断作業では、放射化物のヒュームによる内部被ばくや汚染拡大の防止及び安全対策として、全面マスク、防災エプロンの着用やグリーンハウス専用の作業衣、安全靴、ヘルメットを着用(着替え)して作業した。プラズマ切断機の使用により切断時間が早くなり、細かく切断することが容易となったことから、保管容器に効率よく収納できるような形状及びサイズになるように、切断位置を検討しながら切断した。結果、機器収納棟で切断した高ベータ架台すべてを 20ft サイズの保管容器 1 台に収納した。図 4.11.4-2 に機器収納棟における切断に関する作業の写真を示す。

高ベータ切換盤架台と高ベータ用架台支持柱の脚が固定されていた6ヶ所のベースプレートが、JT-60SA で新規に設置される共通架台に干渉することから解体した。ベースプレートは、本体室の床の埋込金具に全周溶接で取り付けられているため、高周波グラインダーにより溶接ビートを除去し解体した。グラインダー作業は、粉じんや火花が飛散することから、グリーンハウス及び局所排気を設置し、プラズマ切断と同等の保護具を着用し作業した。図 4.11.4-3 にベースプレート解体作業の写真を示す。本体室で解体したベースプレート及びフェンス等の付属部品は、組立室に仮置きされた保管容器に収納した。⁴⁾

4.11.5 まとめ

高ベータ架台は保管容器に収納するため、本体室にてセイバーソーにより細断する予定であったが、他設備の切断状況から判断し、機器収納棟に運搬しプラズマ切断機で切断した。運搬などの作業が追加になったものの、機器収納棟のグリーンハウスがプラズマ切断用に整備され

ており、切断も効率よく実施できたことから、計画された作業工程内で作業を完了することができた。また、プラズマ切断機の使用で比較的容易に切断が可能となったため、保管容器への収納を考慮した位置で切断することにより、収納効率の向上を図ることができた。

4.12 Y3 遮蔽壁*

4.12.1 はじめに

Y3 遮蔽壁は、遮蔽体パネル、支持体、遮蔽扉等で構成される。遮蔽体パネルは、JT-60 本体から放射された中性子を遮蔽する為のものである。支持体は、遮蔽体を固定するための梁、支持柱などで構成される。遮蔽扉は、組立室と本体室の間を通行するための扉で 2 セット設置されている。*Y3:JT-60 実験棟本体室内壁の名称を示す。

4.12.2 機器の概要

遮蔽体パネルは総数 114 個あり、パネル 1 個の寸法は、幅 1m、高さ 2m、厚さ 0.35m、重量は約 1 トンである。構造は、厚さ 50mm のポリエチレン板が 7 枚積層されており、表と裏に鉄板(厚さ 1.6mm)がポリエチレン板とともに通しボルトで締め付けられている。ポリエチレン板は、パネル単体間の間隙による中性子の漏れを防ぐため、表側 3 枚と裏側 4 枚に分けられ、上下左右に 50mm ずらして固定されている。この遮蔽体パネルは、取付用ブラケットにより支持体に設置されているが、上部 1 箇所と下部 2 箇所のブラケットを用いて取り付けられている。図 4.12.2-1 に構造図を示す。支持体は、遮蔽体を固定するための梁、垂直方向の荷重を支える支持柱、Y3 壁間を連結し支持柱を固定し転倒を防止するためのプレスから構成される。支持柱は、全体を支える柱(2 本)と補助的に梁を支える柱(7 本)で構成し、プレス(3 本)はケミカルアンカを用いて Y3 壁に固定されている。図 4.12.2-2 に構造図、図 4.12.2-3 に外観を示す。遮蔽扉は、可動式の遮蔽体で、1 階とキャットウォークに設置されている。

4.12.3 解体検討

(1)点検ブース等の干渉

点検ブースの床下に設置されている Y3 遮蔽壁の横梁(H 鋼)は、点検ブースに干渉しているため、容易に取り外すことが出来ない。そこで、点検ブースの床下に設置されている Y3 遮蔽壁の横梁(H 鋼)は、JT-60U の解体作業や JT-60SA の組み立て作業に支障がないことを確認し、干渉部の H 鋼を現状の場所に残す(再使用できるように切断する)こととした。また、点検ブースの床下に残された H 鋼(壁の端から約 1.5m 程度残る)は、H 鋼が落下しないようにするためのサポート(SS 製柱; 1 本)を新設した。図 4.12.3-1 に構造図を示す。尚、他の部分についても既設装置に干渉し解体が困難な箇所があったが、JT-60U の解体作業や JT-60SA の組み立て作業に支障がないことを確認し、解体せずに残した。

(2)火報発信器信号ケーブル移設

組立室に設置されている火報発信器(P52)の信号ケーブルは、Y3 遮蔽壁内部に敷設されていた。そこで、Y3 遮蔽壁の撤去前に干渉部の撤去と信号ケーブルの新設を実施した。

(3)1 階遮蔽扉の撤去

1 階遮蔽扉の枠は、床面埋め込みであり、また床面内構造図が無い。そこで、1 階遮蔽扉の枠は、床面はつりは行わずに、床レベルにてセイバーソーで切断した。

(4)再使用

遮蔽体、支持体、Y3 壁遮蔽扉は、再使用することを前提に解体する必要があった。そこで、容易に、かつ確実に再組立が出来るようにするためのナンバリング等の処置を行った。保管容器への収納にあたっては、Y3 遮蔽壁専用の保管容器とし、20 フィートコンテナ 8 個と 40 フィートコンテナ 1 個に収納した。尚、再使用することとして解体したが、ハイテンションボルト(材質:SCM435 [H])約 730 本とアンカーボルト 30 本(切断)等は、再利用できないため、別の保管容器に保管した。図 4.12.3-2～図 4.12.3-19 に解体作業状況を示す。

4.12.4 解体作業

実際の作業は、ほぼ検討の通りに進捗したが、点検ブース下の横梁については、点検ブースの解体コストや解体した場合に見学者が利用できなくなってしまうことなどから切断処理するという判断になった。また、1 階遮蔽扉の枠については、床内部に埋め込み構造となっており図面による構造確認ができなかったことから切断処理することとした。基本的には、再使用を前提に解体したが、ハイテンションボルト(材質:SCM435 [H])約 730 本とアンカーボルト 30 本(切断)等は再利用できないため、別に保管した。

4.12.5 まとめ

Y3 遮蔽壁を構成する遮蔽体パネル、支持体、遮蔽扉等の殆どを解体し保管容器に収納した。点検ブースに干渉している所や既設の装置に干渉している所については、JT-60U の解体作業や JT-60SA の組み立て作業に支障がない範囲で解体せずに残した。収納に使用した保管容器は Y3 遮蔽壁専用として、20 フィートコンテナ 8 個と 40 フィートコンテナ 1 個を使用した。

5.まとめ

JT-60SA 建設に向け、3 年に亘って行ってきた JT-60 本体の解体作業は、H21 年度に自営による真空容器内の約 12000 枚の第一壁タイルの撤去等に始まり、H22 年度前半に周辺機器の解体、H22 年度後半に本体装置・NBI 加熱装置の解体に着手、H23 年度は本体装置の主要機器である上架台(約 250 トン)、トロイダル磁場コイル(TF コイル:約 80 トン/個、全 18 個)を解体し機器収納棟に保管した。最終年度の H24 年度には、真空容器(約 40 トン) + ポロイダル磁場コイル(PF コイル:約 280 トン、支持体込み)を一括で 2 分割に切断、吊り出し後、機器収納棟に保管するとともに、下架台(約 200 トン)、基礎架台(約 170 トン)の解体、保管を行い、解体総重量約 5400 トンに達する JT-60 本体の解体作業を完了した。

JT-60 の解体作業は、放射線障害防止法の下での最初の核融合実験装置の解体であったが、適切な切断手法や放射線管理手法を導入することで、長期に亘る解体作業を無事故・無災害で終

えることができた。

謝 辞

本報告書をまとめるに当り、長年に亘る JT-60 解体の無事故・無災害にての完遂にご尽力頂いた原子力機構及び解体実施メーカー[(株)日立製作所、日本アドバンステクノロジー(株)]の関係者の皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1)岡野文範 他,“JT-60 トカマク解体の完遂” JAEA-Technology 2013-031.
- 2)岡野文範 他,“JT-60 トカマク解体の完遂”デコミッショニング技報(Journal of the RANDEC),pp.10-23,No48 2013.
- 3)柳生純一 他：“JT-60 解体に伴う内部タイルの取外し報告”,平成 22 年度熊本大学総合技術研究会報告集(CD-ROM),11P-241 ,(2011).
- 4)西山友和 他：“JT-60 解体に伴う放射化物解体品の保管管理”,平成 22 年度熊本大学総合技術研究会報告集(CD-ROM),11P-240 ,(2011).

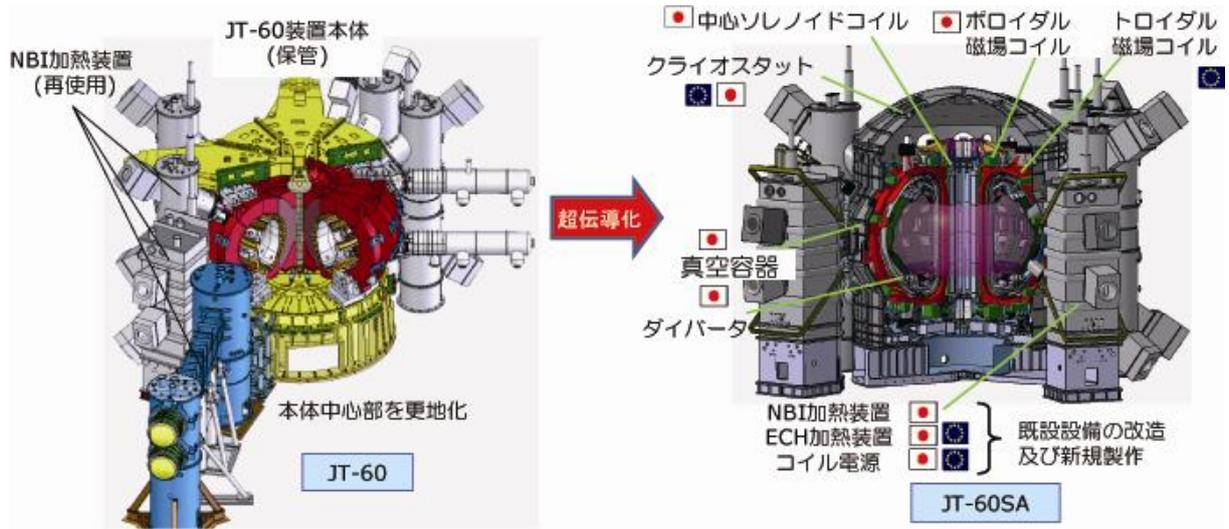


図 1 サテライトトカマク計画

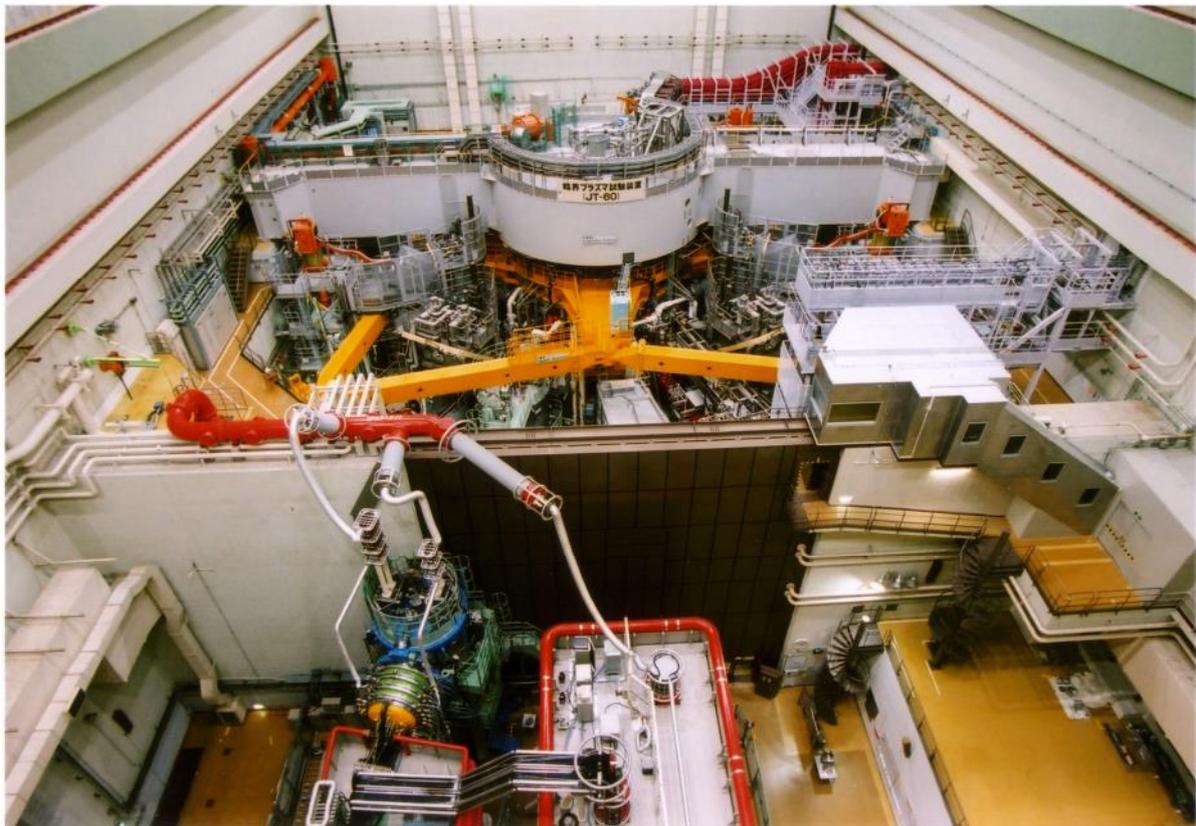


図 2-1 JT-60 装置の全景

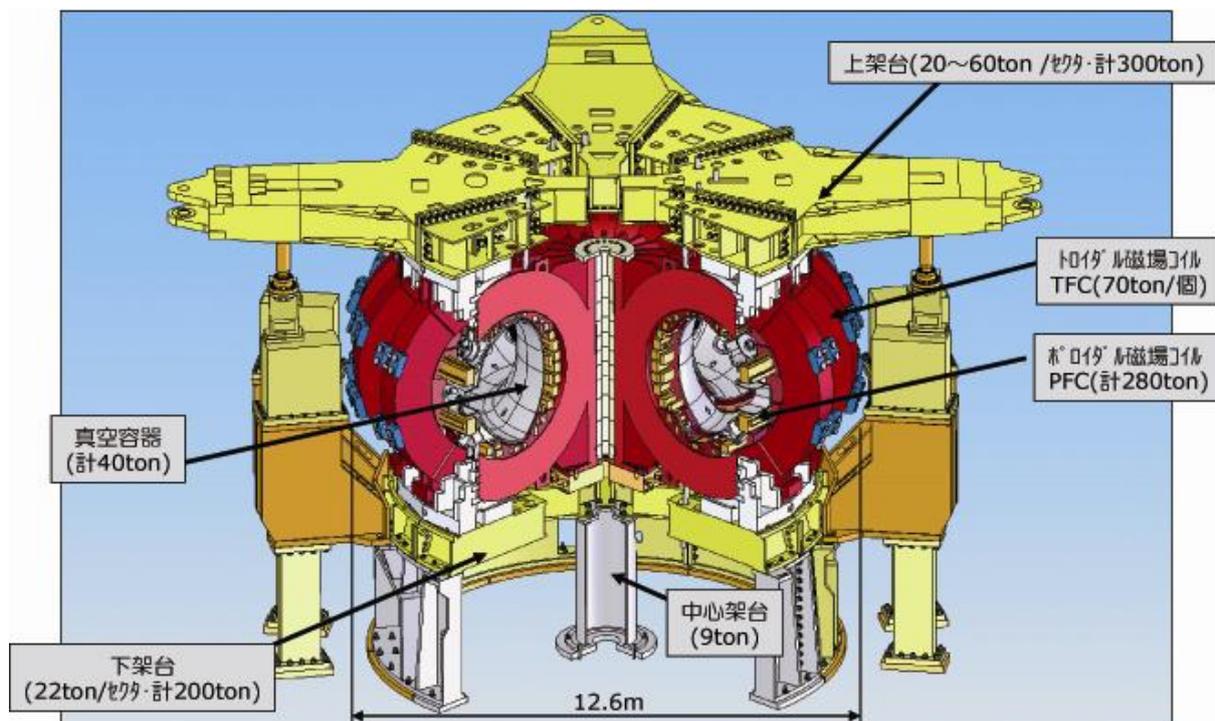


図 2-2 JT-60 本体装置の鳥瞰図

TFコイル18個は、電磁力、転倒力等の力に耐えるように、2個1組で補強溶接されている。
 JT-60解体においては、解体工程、安全性、コスト等を考慮してTFコイルを1個ずつ吊り出す工法を採用する。
 2個1組になっているTFコイルの補強溶接部の切断は必須であり、狭隘な場所での難切削材の切断を行う。



小型で、剛性がある専用フライス機の開発

- ①分解した部品を持ち込み現場で組立可能な構造
- ②TFコイル19(予備コイル)でのR&D
- ③実機での切断試験で性能を検証

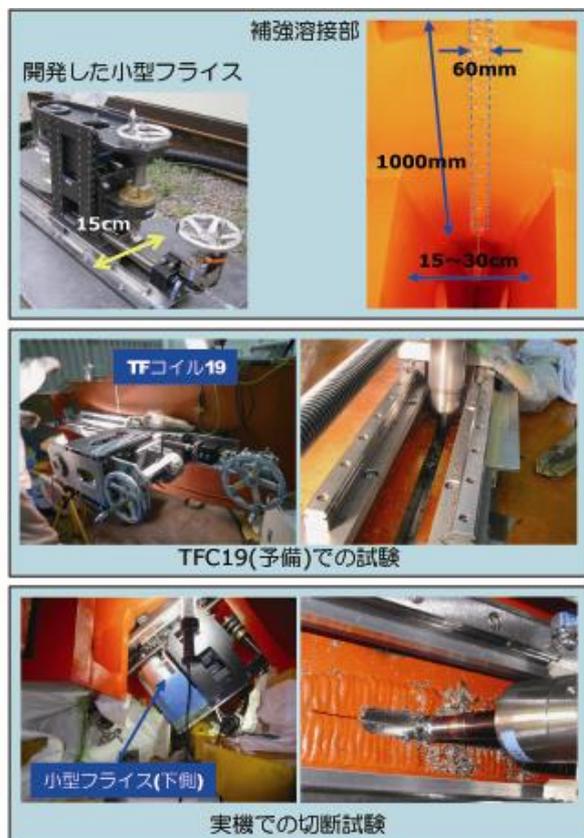
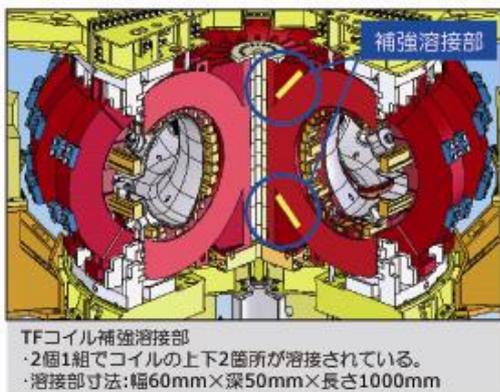


図 3.1.3-1 TF コイル補強溶接部の切断検討

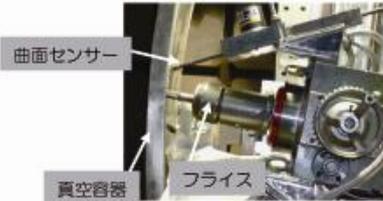
1. TFコイル解体前の真空容器切断(内部から)

- JT-60解体での要求
TFコイルを吊り出す空間を確保するため、真空容器の切断を真空容器内部から行う。また、真空容器の曲面に沿って切断を行う(外部保温材の保護)。
- 専用のフライス機の開発
曲面センサーを有して、真空容器の曲面に沿って切断可能なフライス機を開発した。



ダミー真空容器

フライス機の開発



曲面センサー

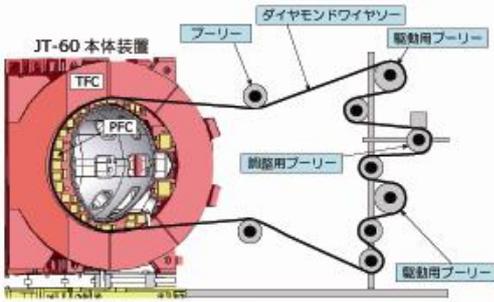
真空容器

フライス

専用フライス機

2. 真空容器切断後のPFコイル切断(一括切断)

- JT-60解体での要求
真空容器40度セクター切断後、TFコイル(#18)部のPFコイル2箇所(P18、P1)を切断し、TFコイル(#18)とPFコイルを同時に吊り出す。セイバーソー等の鋸切断では、時間を要し効率が悪いのでPFコイル45ブロックを一括で切断できる方法を導入した。
- 乾式ダイヤモンドワイヤソーの導入
 - 1)冷却材(泡、水)を使用しない乾式のため、放射線管理区域で容易に使用できる。
 - 2)10mmのワイヤソーが通る空間があれば設置が可能である。
 - 3)切断能力が高く、システム構築が容易である。
 - 4)遠隔操作により安全性が高い工法である。



JT-60 本体装置

ダイヤモンドワイヤソー

プーリー

駆動用プーリー

TFC

PF

調整用プーリー

駆動用プーリー



ダイヤモンドワイヤソー(φ10mm)

乾式ダイヤモンドワイヤソーシステムとワイヤソー

図 3.1.3-2 40度セクター部の真空容器と PF コイルの切断

TF コイル-18 から吊り出しを行う。
 TF コイル-1~TF コイル-14 までを反時計方向に廻し込み(14 個)
 TF コイル-17~TF コイル-15 までを時計方向に廻し込み(3 個)

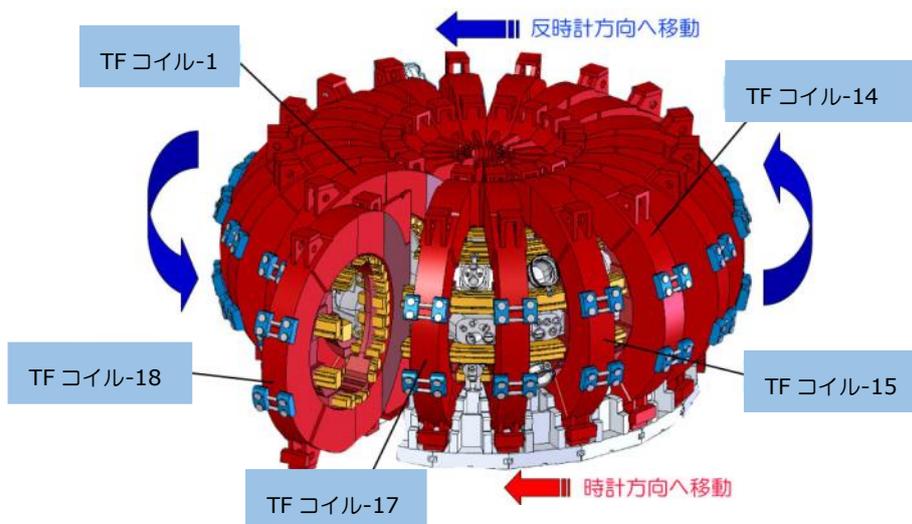


図 3.1.4-1 TF コイルの吊り出し方法



図 3.1.4-2 TF コイルの固定



図 3.1.4-3 TF コイルの輸送

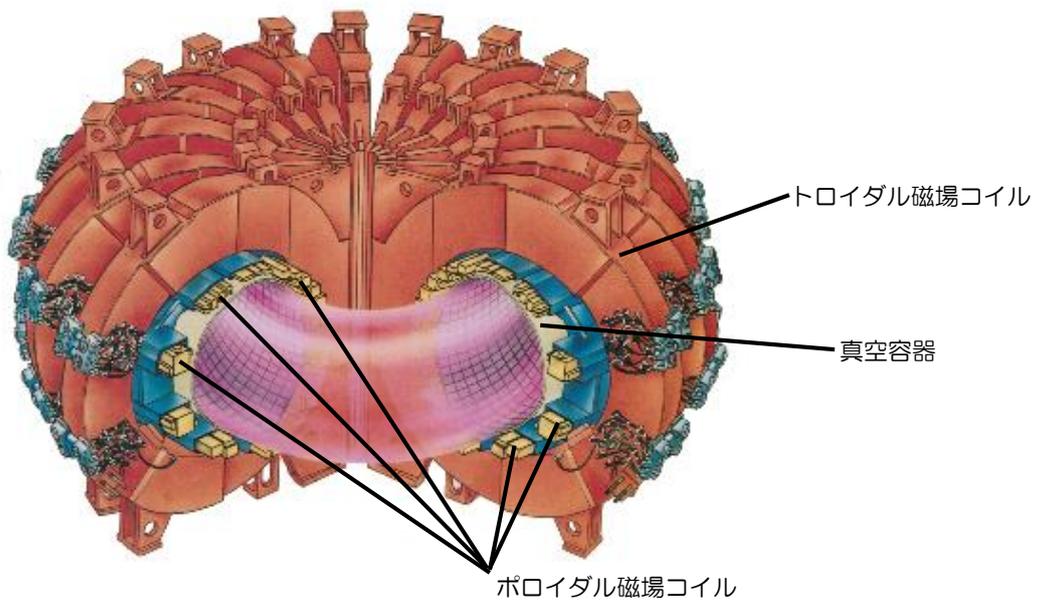


図 3.2.2-1 ポロイダル磁場コイル概要図

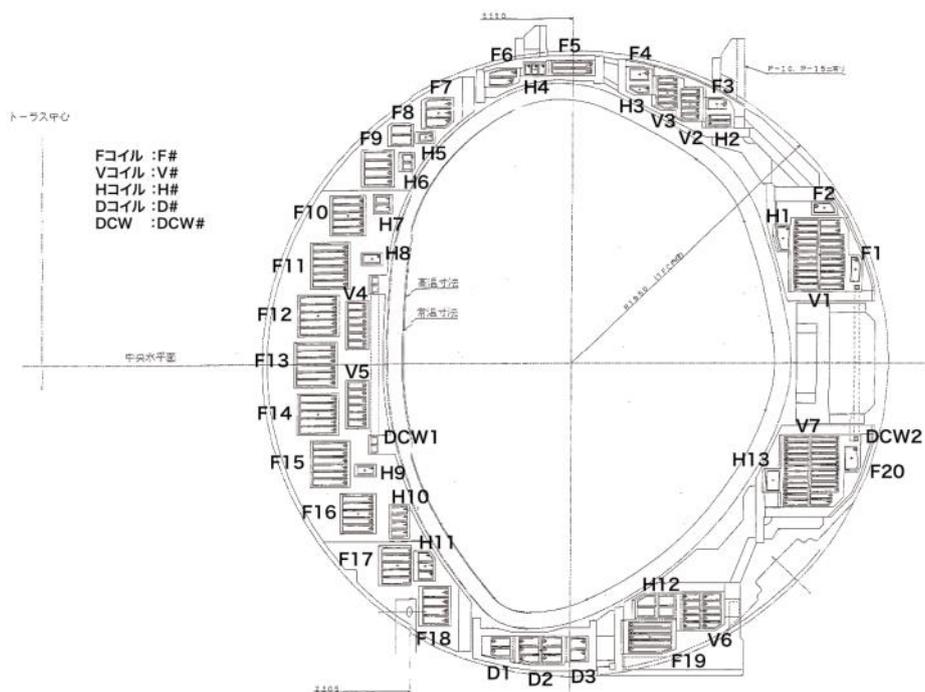


図 3.2.2-2 ポロイダル磁場コイルの断面図



図 3.2.3.1-1 ギロチンソーによるV1 コイルの切断

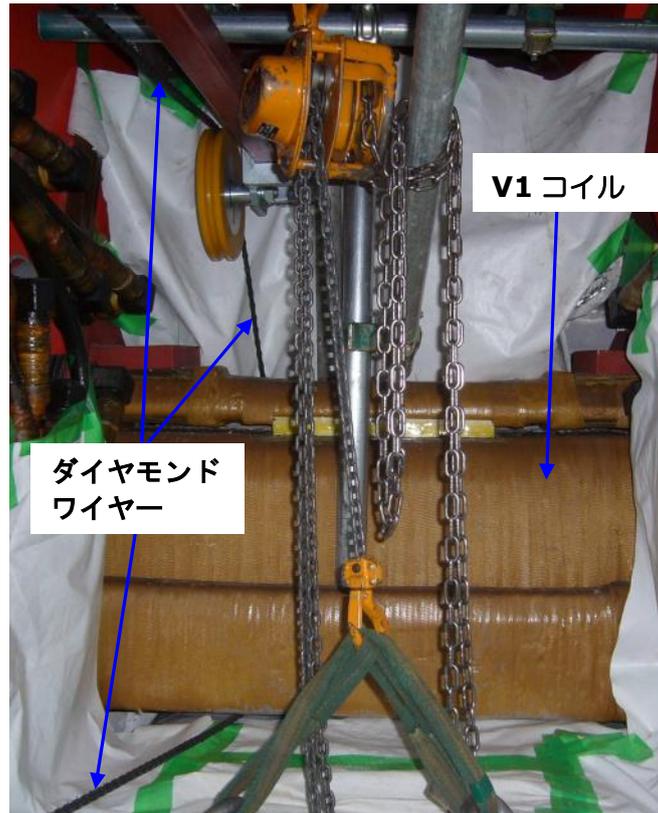


図 3.2.3.1-2 ワイヤソーによる V1 コイルの切断
(切断部位へワイヤーを設置したところ)

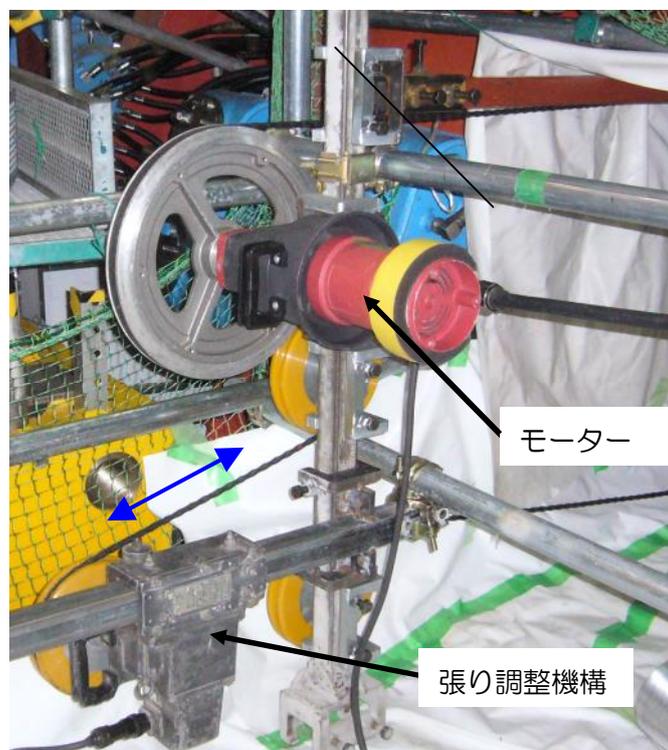


図 3.2.3.1-3 ダイヤモンドワイヤーソーによる切断

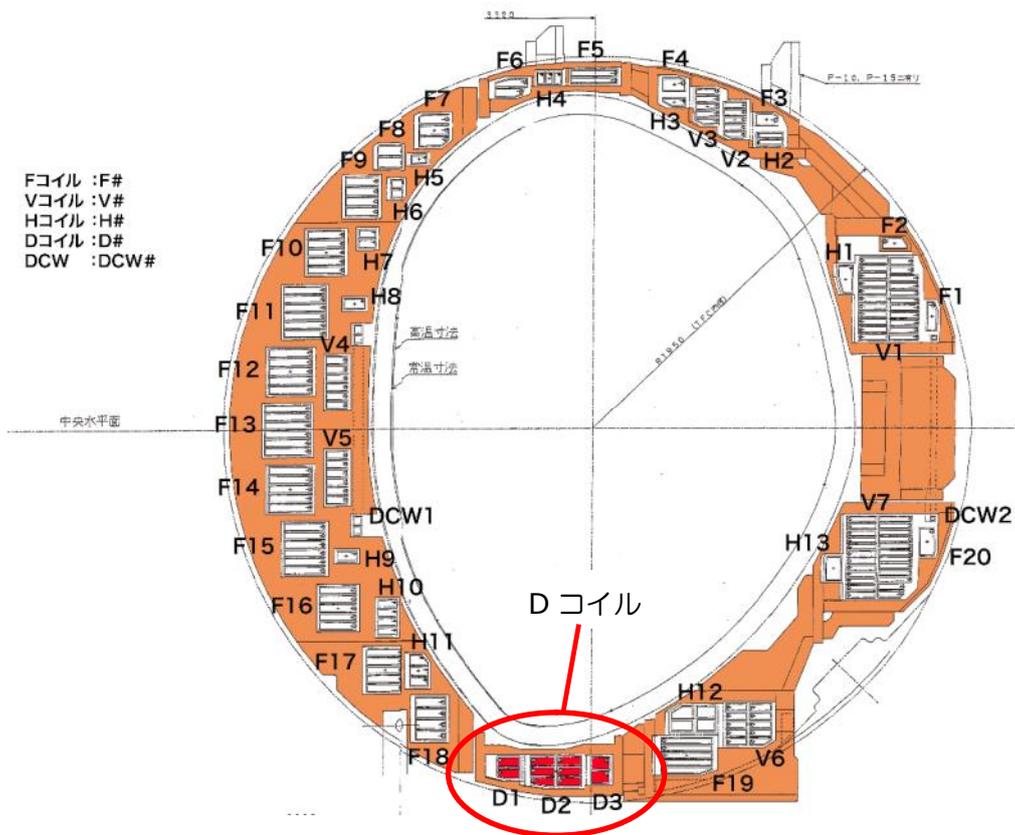


図 3.2.3.1-4 PF コイルの位置



図 3.2.3.2-1 PF コイル支持体ストッパーの外観



図 3.2.4.1-1 D コイル切断箇所

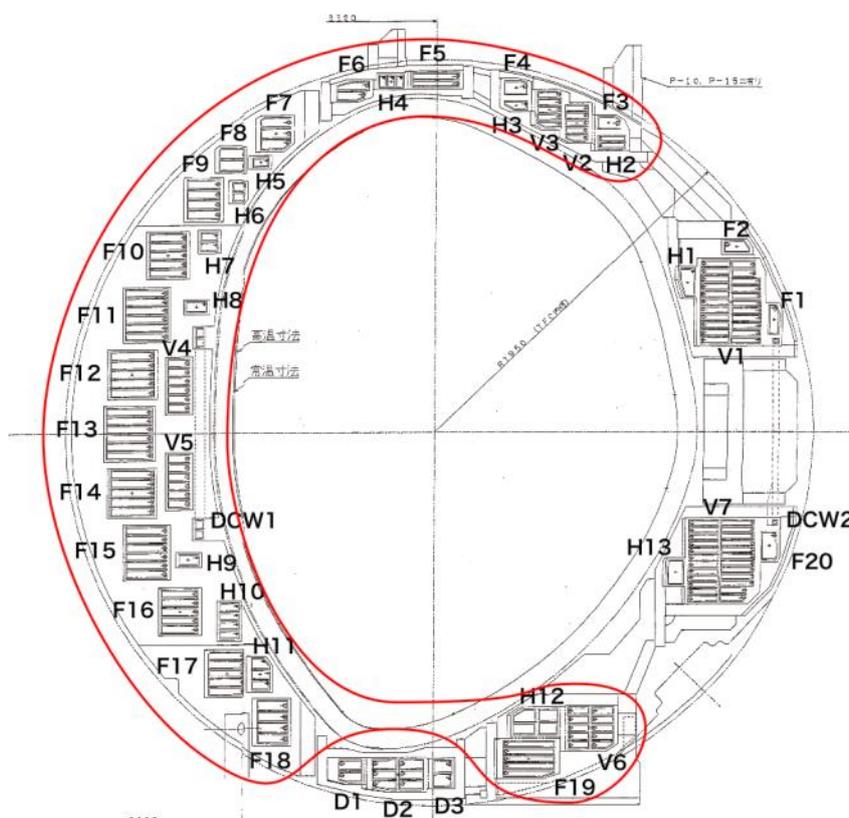


図 3.2.4.1-2 PFC 内周側コイル切断の範囲

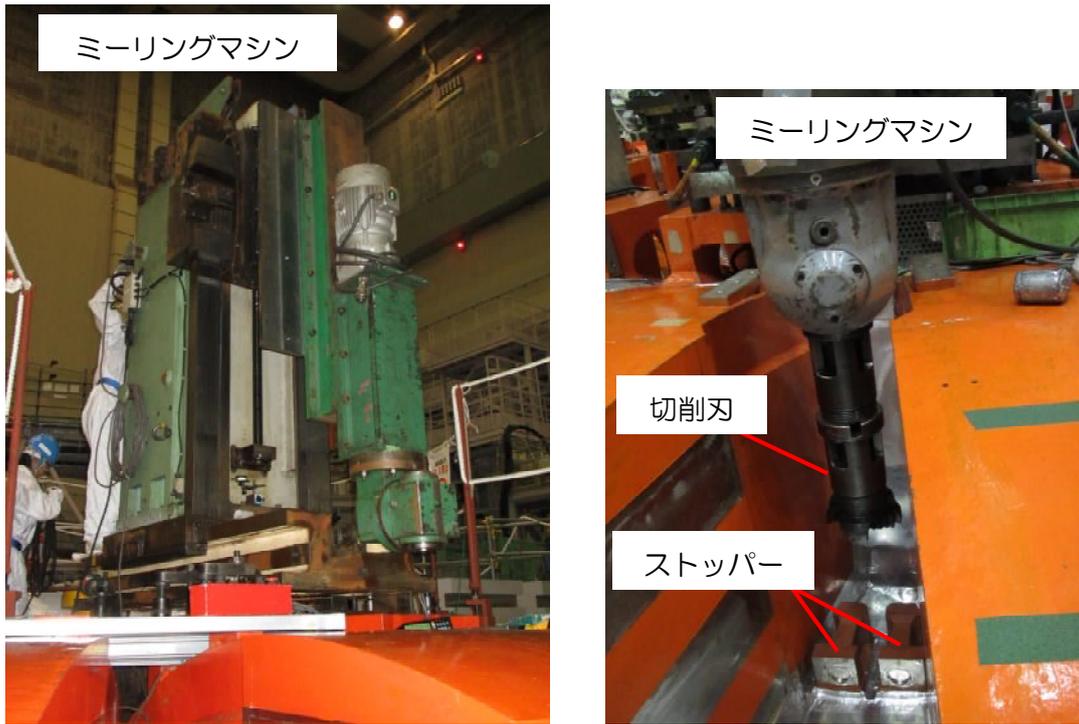


図 3.2.4.2-1 ミーリングマシン外観



図 3.2.4.2-2 ダイヤモンドワイヤーソーによるストッパー切断

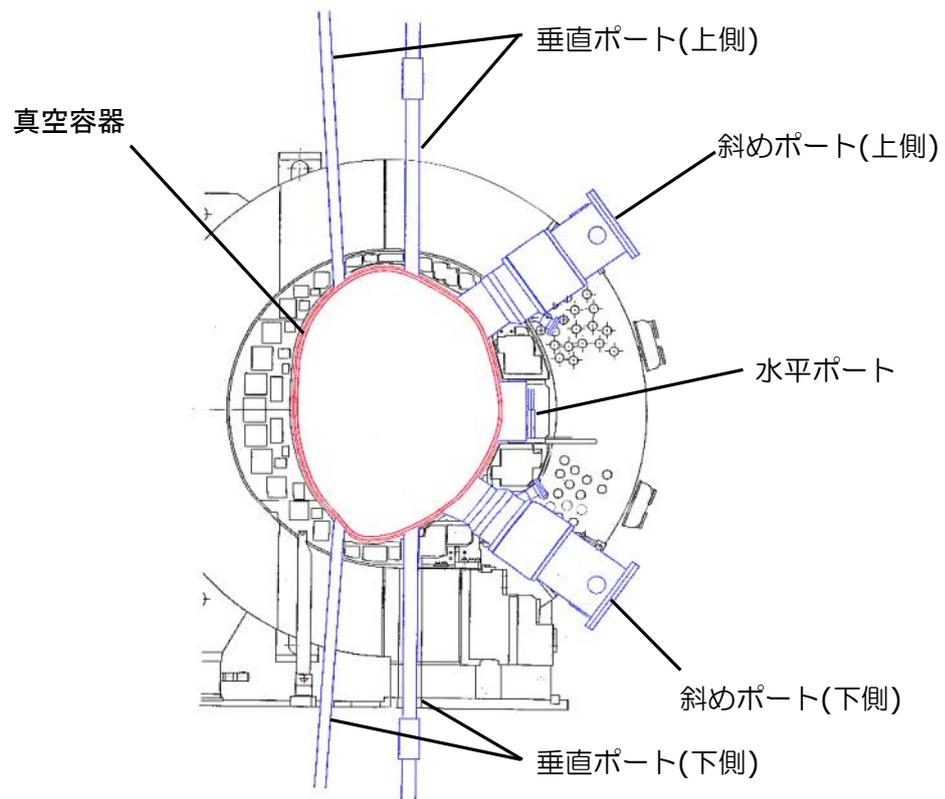


図 3.3.2-1 真空容器の断面

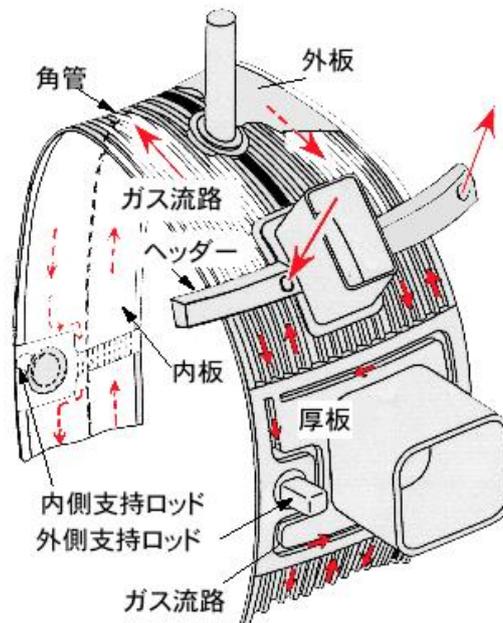


図 3.3.2-2 真空容器の概略構造



図 3.3.4.1-1 ディスクグラインダ-を用いたベローズ切断

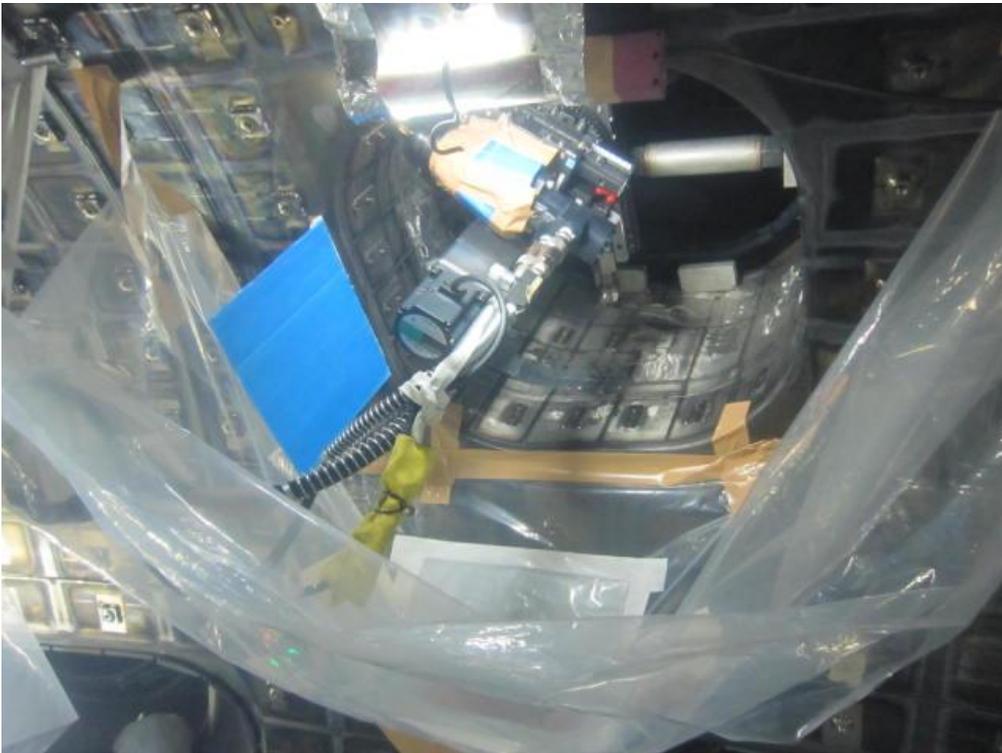


図 3.3.4.1-2 2軸ポートフライスを用いた斜めポートの切削状況



図 3.3.4.1-3 回転ポートフライスを用いた斜めポートの切削状況



図 3.3.4.1-4 ポートボックス切断機を用いた斜めポートの切削状況



図 3.3.4.1-5 ポータブルフライスを用いた下側垂直ポートの切削状況



図 3.3.4.1-6 ミーリングマシンの切削状況



图 3.3.4.1-7 上部切断片引き込み作業



图 3.3.4.1-8 下部切断片引き込み作業



図 3.3.4.1-9 グリーンハウス設置状況



図 3.3.4.1-10 ダイヤモンドワイヤーソー設置状況

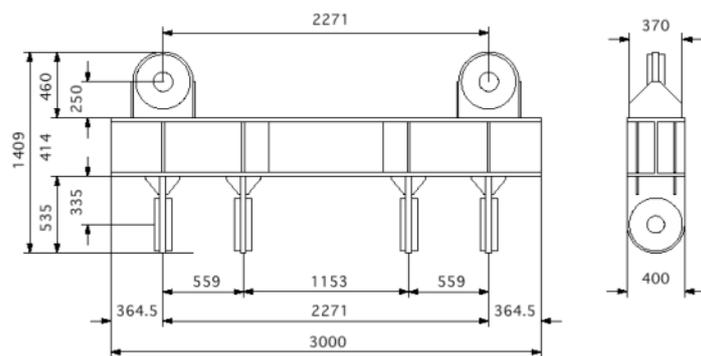


図 3.3.4.3-1 真空容器吊天秤 A の外形図

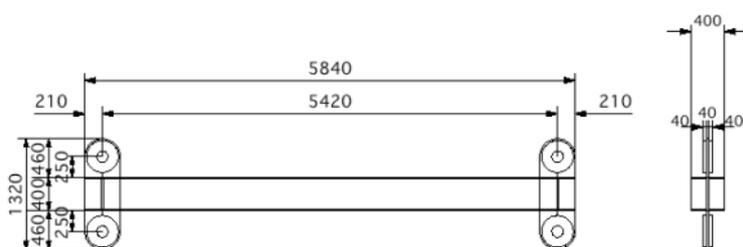


図 3.3.4.3-2 真空容器吊天秤 B の外形図

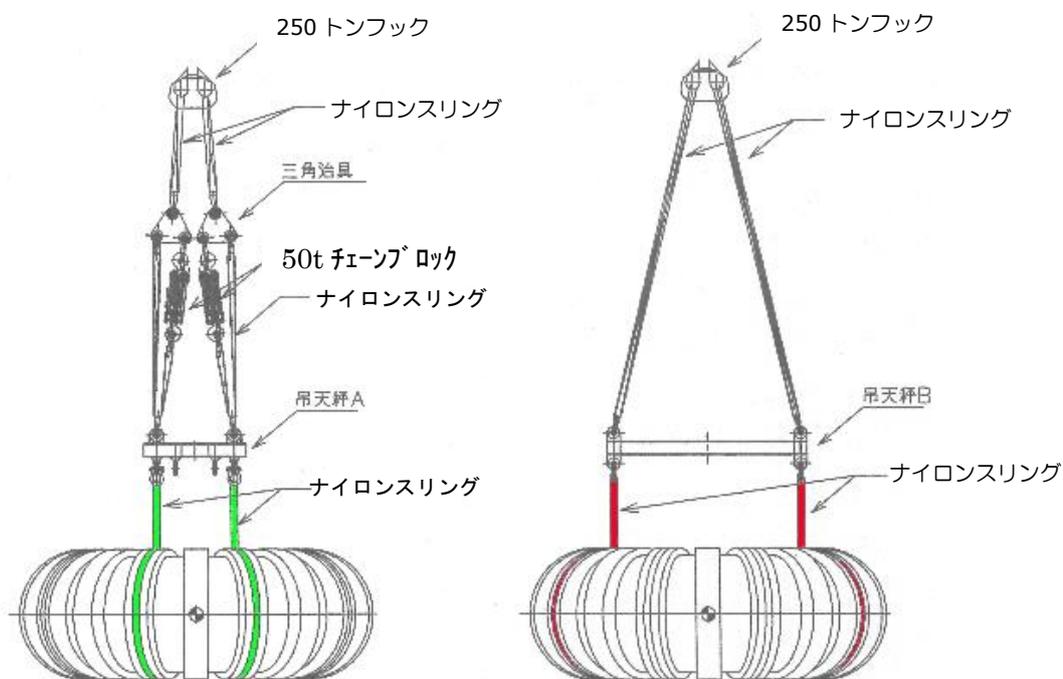


図 3.3.4.3-3 実際の真空容器吊り姿



図 3.3.4.3-4 実際の真空容器吊り姿



図 3.3.4.4-1 スーパーキャリアによる真空容器の輸送

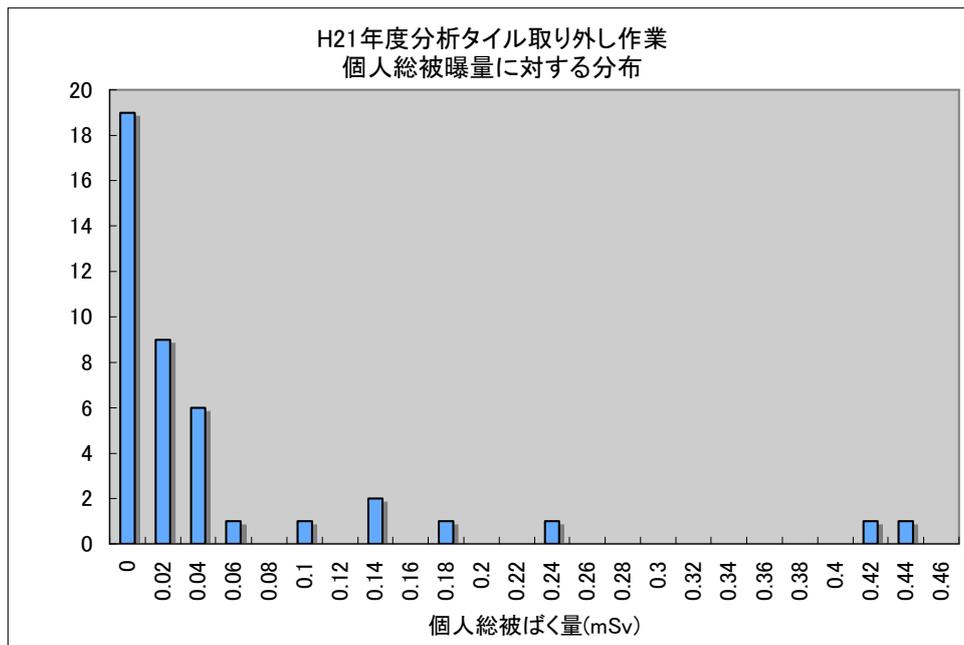


図 3.3.4.5-1 H21 年度分析タイル取り外し作業における個人総被曝量の分布

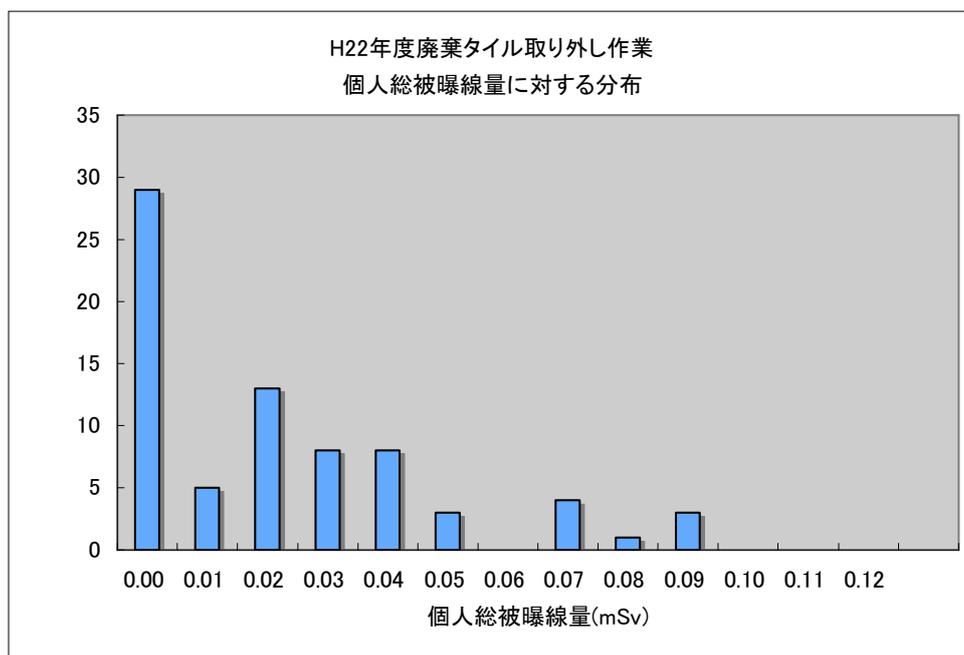


図 3.3.4.5-2 H22 年度廃棄タイル取り外し作業における個人総被曝量の分布

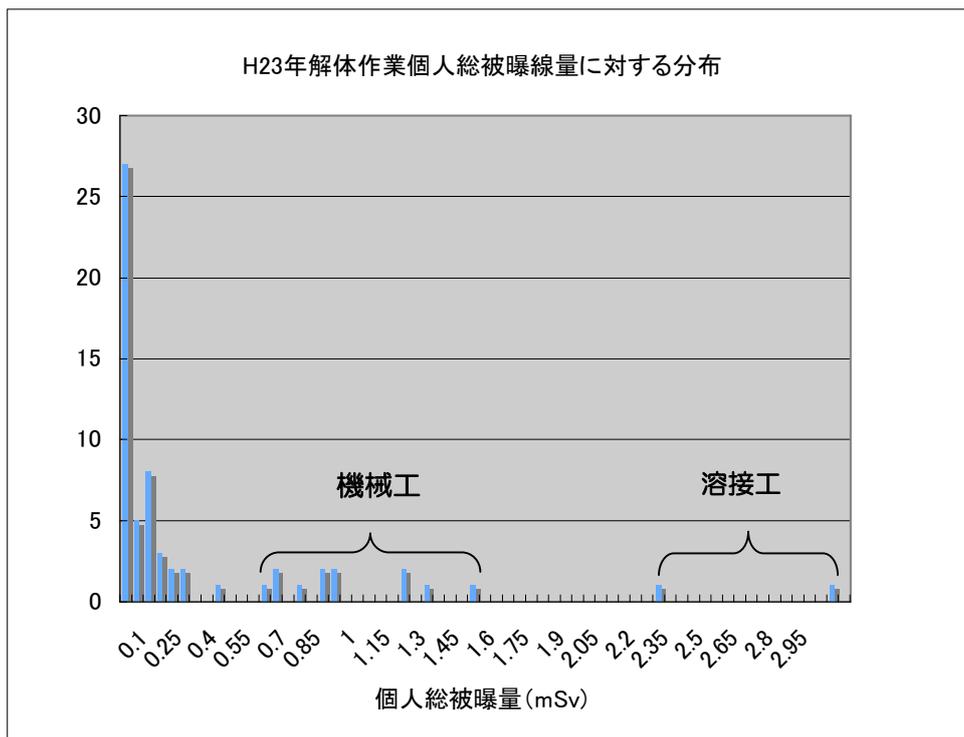


図 3.3.4.5-3 H23 年真空容器解体作業における個人総被曝量の分布



図 3.4.4-1 ストッパー溶接部の切削



図 3.4.4-2 上架台のピン抜き



図 3.4.4-3 星形トラス - Δ (ST-2)の吊出し作業



図 3.4.4-4 星形トラス - Δ の搬出



図 3.4.4-5 上架台上面ワッヅボルト
取外し作業



図 3.4.4-6 上架台(1/8)天地作業



図 3.4.4-7 上架台の搬出作業



図 3.4.4-8 下架台の吊出し作業



図 3.4.4-9 基礎架台内側補強溶接部



図 3.4.4-10 基礎架台外側補強溶接部

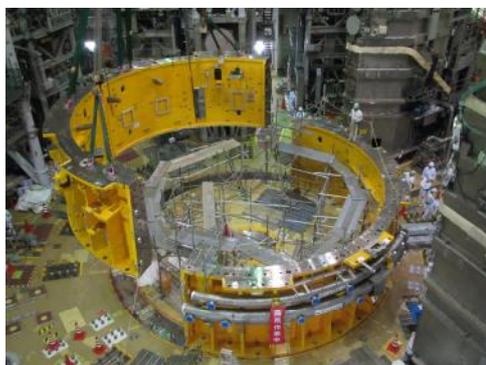


図 3.4.4-11 基礎架台 1/2 吊出し作業



図 3.4.4-12 支持柱の吊出し作業

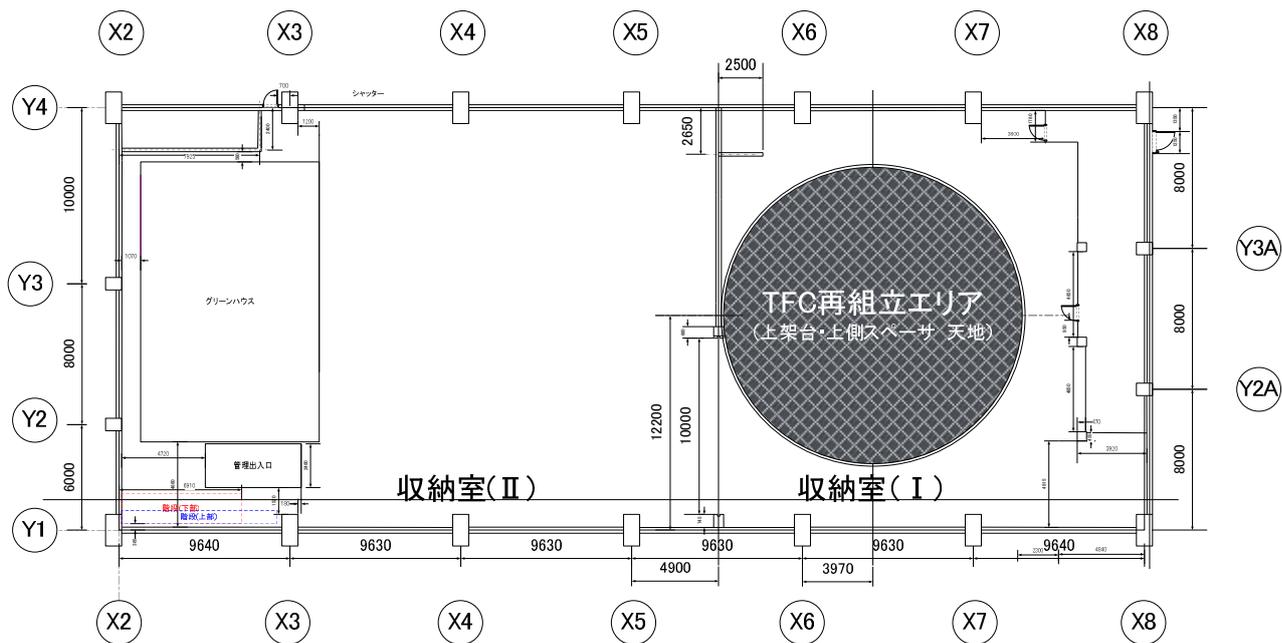


図 3.5.1-1 JT-60 機器収納棟内平面図



図 3.5.3-1 基礎工事前(収納室1)



図 3.5.3-2 床ハツリ作業



図 3.5.3-3 床ハツリ作業



図 3.5.3-4 グラウト注入作業



図 3.5.3-5 床の塗装作業 1



図 3.5.3-6 床の塗装作業 2



図 3.5.3-7 中心部受け板のレベル測定



図 3.5.3-8 中心部受け板のレベル測定



図 3.5.3-9 最外周側受け板の
レベル測定



図 3.5.3-10 中心部受け板・外周側
受け板



図 3.5.3-11 TF コイル転倒防止治具



図 3.5.3-12 TF コイル 1 個目(18)の据付



図 3.5.3-13 TF コイル 3 個目の据付

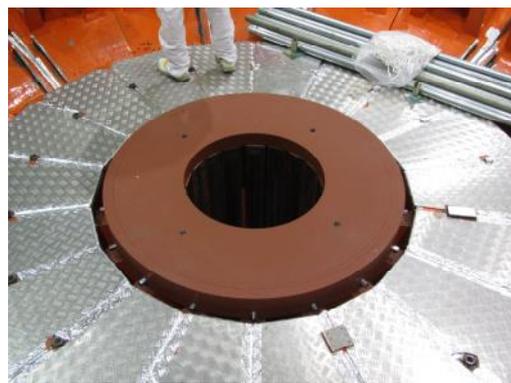


図 3.5.3-14 TF コイル上部押さえ板

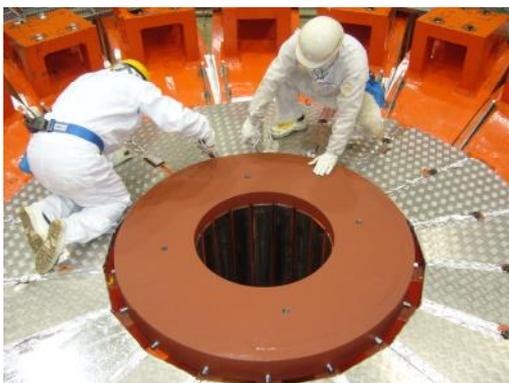


図 3.5.3-15 TF コイル押しボルト調整



図 3.5.3-16 TFC 下部先端支持脚ストップ

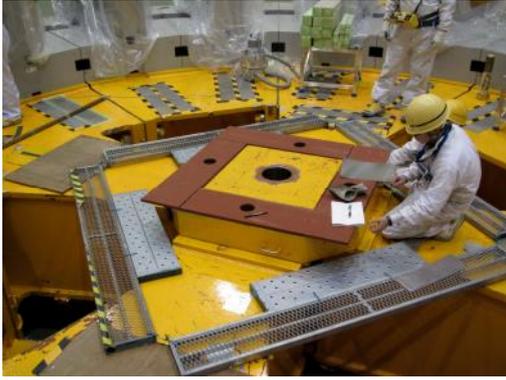


図 3.5.3-17 支え板設置後



図 3.5.3-18 中心部受け板

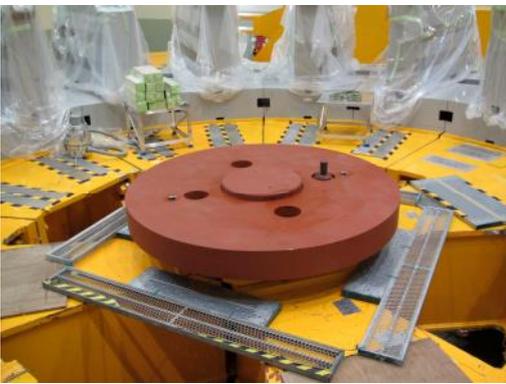


図 3.5.3-19 中心部受け板



図 3.5.3-20 上架台設置

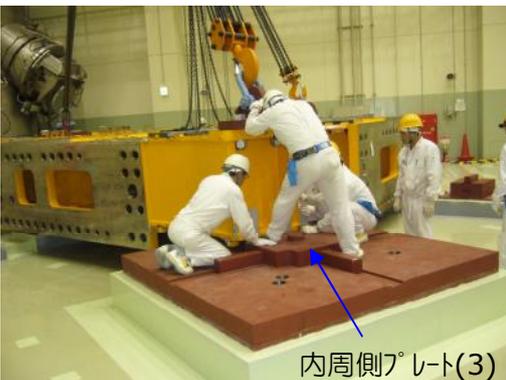


図 3.5.3-21 内周側受け板



図 2.5.3-22 上架台と内周側受け板



図 3.5.4-1 上架台の設置 1



図 3.5.4-2 上架台の設置 2



図 3.5.4-3 上架台の据付 1



図 3.5.4-4 上架台の据付 2(絶縁板の挿入)



図 3.5.4-5 上架台の据付 3(絶縁板の挿入)



図 3.5.4-6 上側スペーサの設置(1 個目)



図 3.5.4-7 上側スペーサの設置



図 3.5.4-8 上側スペーサの設置



図 3.5.4-9 上側スペーサの設置 1



図 3.5.4-10 上側スペーサの設置 2



図 3.5.4-11 上側スペーサの設置 3(終了)



図 3.5.4-12 TF コイルの設置 1



図 3.5.4-13 TF コイルの設置 2



図 3.5.4-14 TF コイルの設置 3



図 3.5.4-15 中心部受け板と TF コイル



図 3.5.4-16 中心部受け板と TF コイル



図 3.5.4-17 TF コイルの設置
(15 個の設置)



図 3.5.4-18 TF コイル 18 個の設置完了



図 3.5.4-19 TF コイルの内部 1
(内側のブロックは PF コイル)



図 3.5.4-20 TF コイルの内部 2



図 3.5.4-21 TF コイルの内部 3



図 3.5.4-22 TF コイル組立後の外観

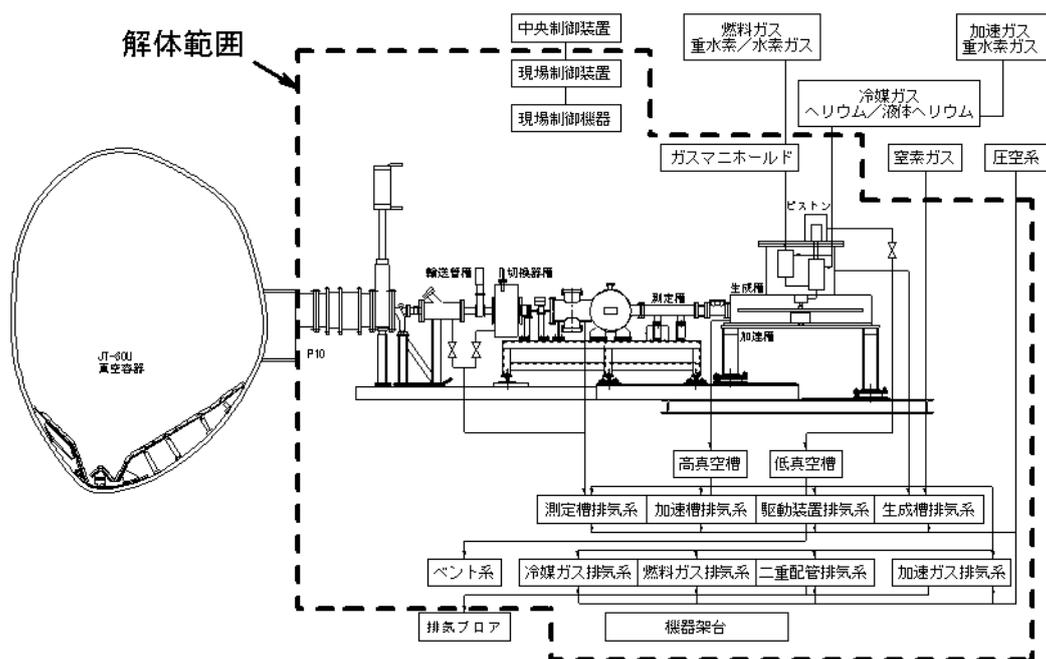


図 4.1.1-1 ペレット入射装置本体の解体範囲

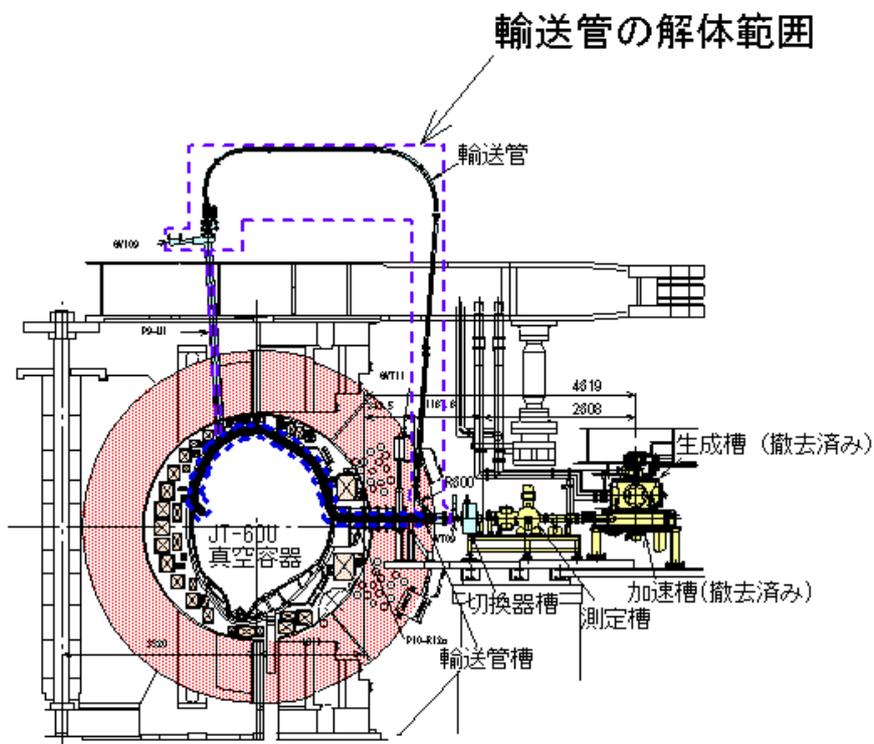
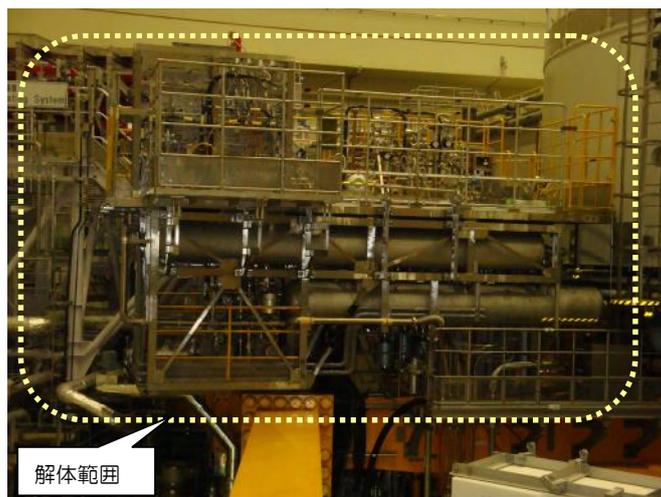


図 4.1.1-2 ペレット入射装置輸送管の解体範囲



解体範囲

図 4.1.1-3 ペレット機器架台(P-10 上架台)

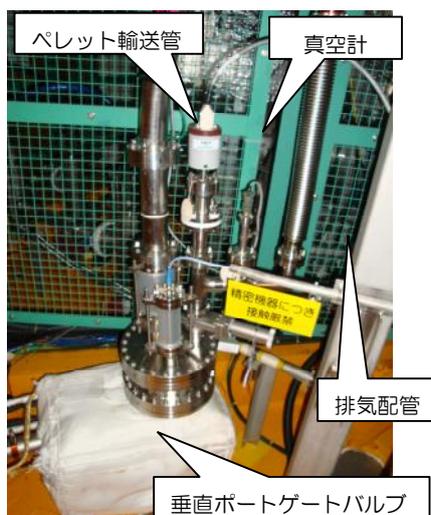


真空槽(測定槽)

図 4.1.1-4 測定槽(P-10 水平ポート)



図 4.1.1-5 切換器槽と
GV1(P-10 水平ポート)



ペレット輸送管

真空計

排気配管

垂直ポートゲートバルブ

図 4.1.1-6 ペレット輸送管
(P-10 上架台)



図 4.1.1-7 現場制御盤



図 4.1.1-8 中継端子盤



図 4.1.1-9 デュワタンク遮蔽体



図 4.1.1-10 デュワタンク用リフト



図 4.1.1-11 デュワタンク



図 4.1.1-12 電線・トレイ



図 4.1.3-1 撤去した電線



図 4.1.3-2 トレイ撤去作業

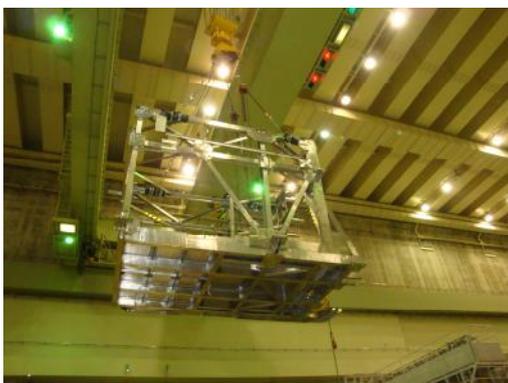


図 4.1.3-3 撤去したトレイ



図 4.1.3-4 機器架台の移動



図 4.1.3-5 機器架台の切断



図 4.1.3-6 機器架台の撤去後(上架台)



図 4.1.3-7 垂直ポート撤去後(上架台)



図 4.1.3-8 デュワタンク天地作業



図 4.1.3-9 デュワタンク(切断作業)



図 4.1.3-10 デュワタンク切断部品



図 4.1.3-11 デュワタンク切断作業後

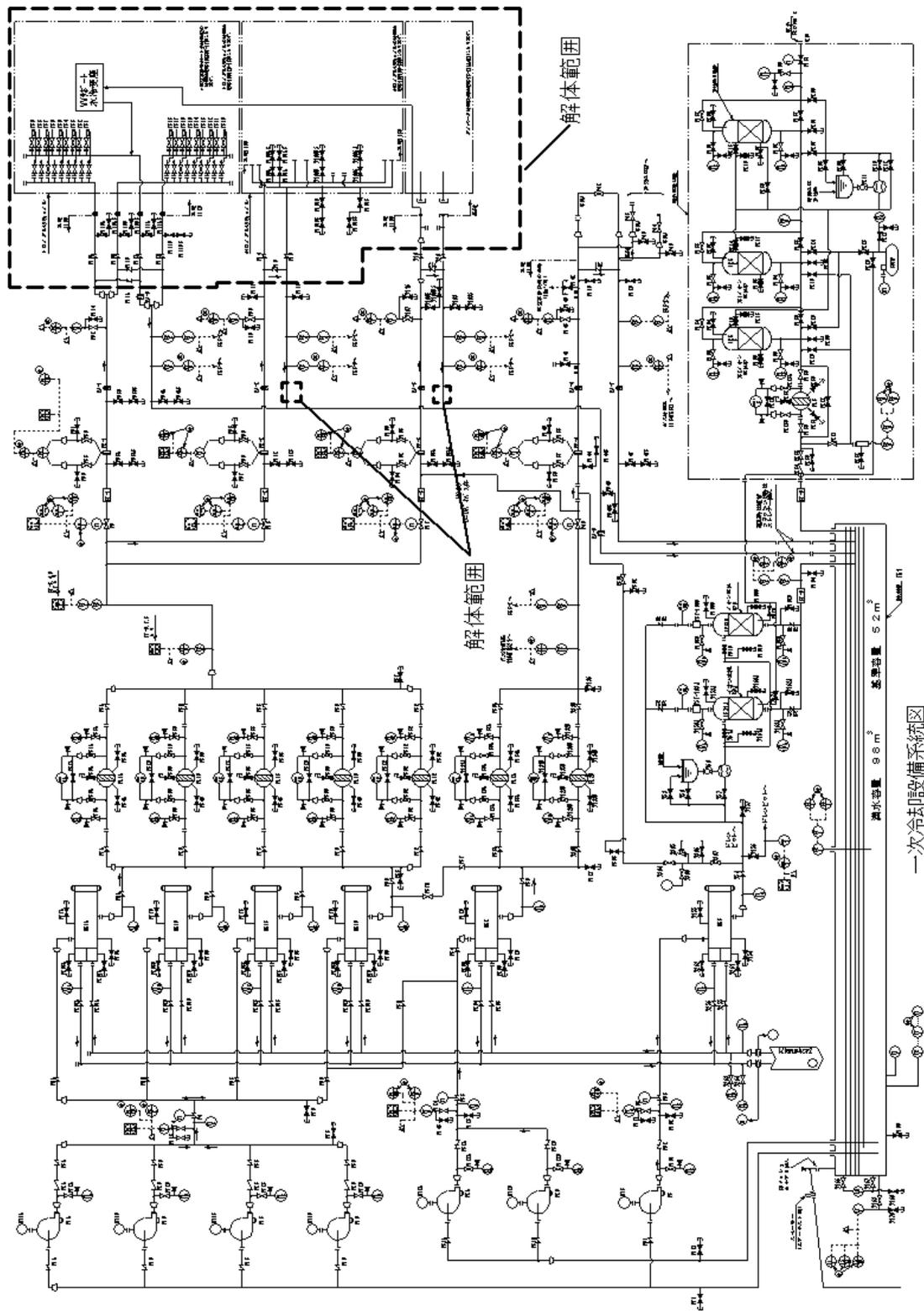


図 4.2.1-1 JT-60 本体一次冷却設備系統図

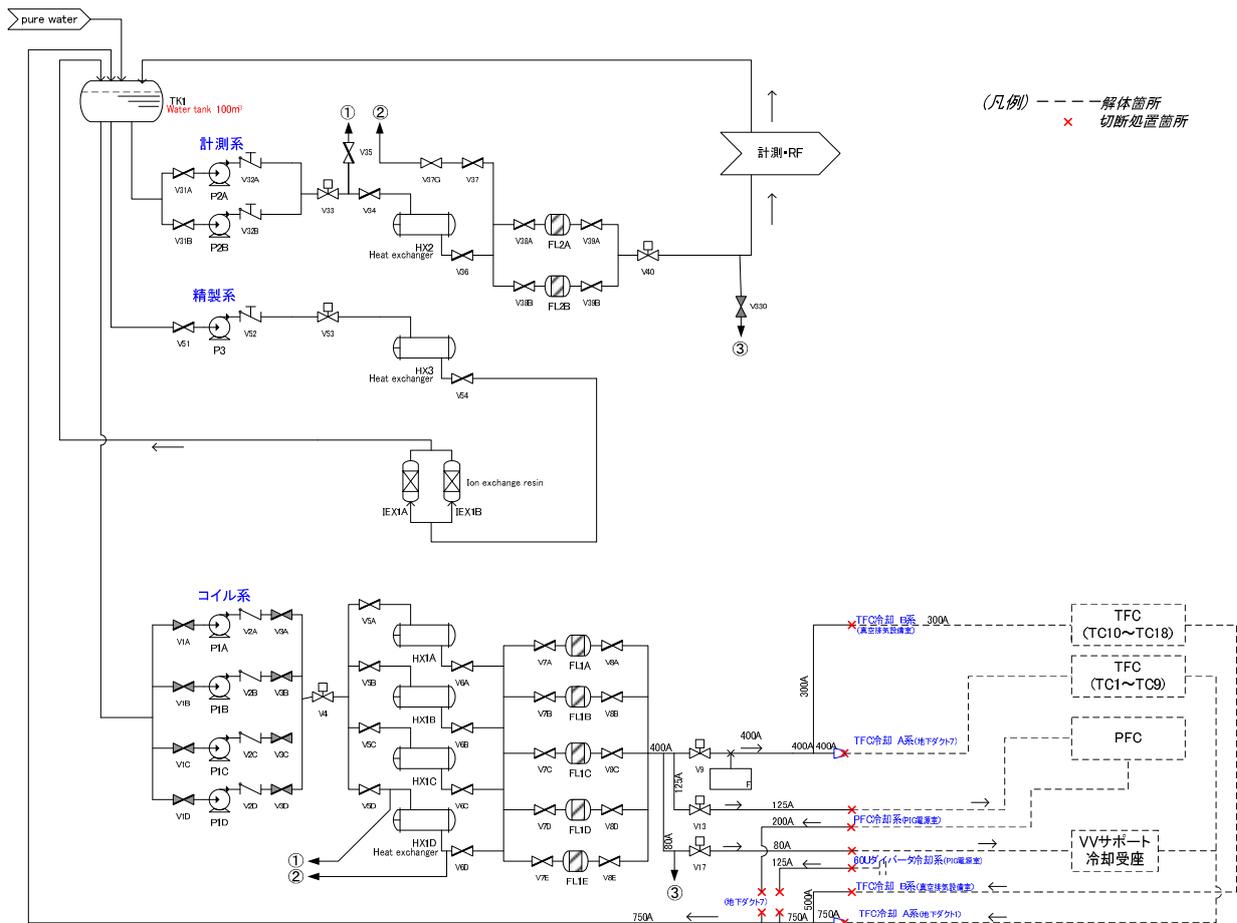


図 4.2.1-2 JT-60 本体一次冷却設備 解体部略図

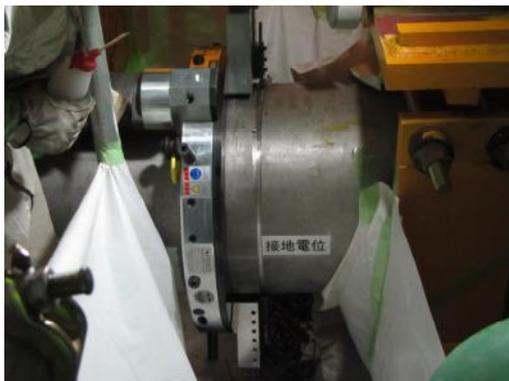


図 4.2.2-1 TF コイル冷却配管切断 (配管切断機)



図 4.2.2-2 TF コイル冷却配管(吊り出し)



図 4.2.2-3 TF コイルの冷却配管
(吊り出し)

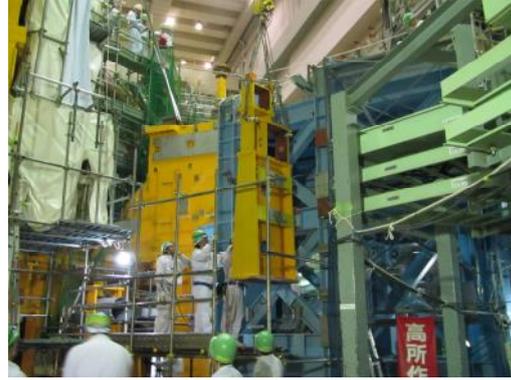


図 4.2.2-4 TF コイルの冷却母管用架台
(吊り出し)



図 4.2.2-5 TF コイル冷却配管の収納



図 4.2.2-6 TF コイル冷却配管解体前
(PIG 電源室 P-9)



図 4.2.2-7 TF コイル冷却配管解体後
(PIG 電源室 P-9)



図 4.2.2-8 TF コイル冷却配管解体後
(PIG 電源室 P-11)



図 4.2.2-9 冷却配管とワイヤーソー



図 4.2.2-10 冷却配管切断後
(真空排気設備室)



図 4.2.2-11 パイプソーによる配管切断



図 4.2.2-12 TFC 冷却配管切断後
(地下ダクト)



図 4.2.2-13 TF コイル冷却配管切断品
(地下ダクト)



図 4.2.2-14 TF コイル冷却配管切断後
の養生(地下ダクト)



図 4.2.2-15 TF コイル冷却配管の輸送



図 4.2.2-16 TF コイル冷却配管の保管 1



図 4.2.2-17 TF コイル冷却配管の保管 2



図 4.2.2-18 TF コイル冷却配管の保管 3



図 4.2.3-1 TF コイル水抜き(圧空使用)



図 4.2.3-2 TF コイル水抜き(圧空供給治具)



図 4.2.3-3 真空排気設備室の配管 1



図 4.2.3-4 真空排気設備室の配管 2

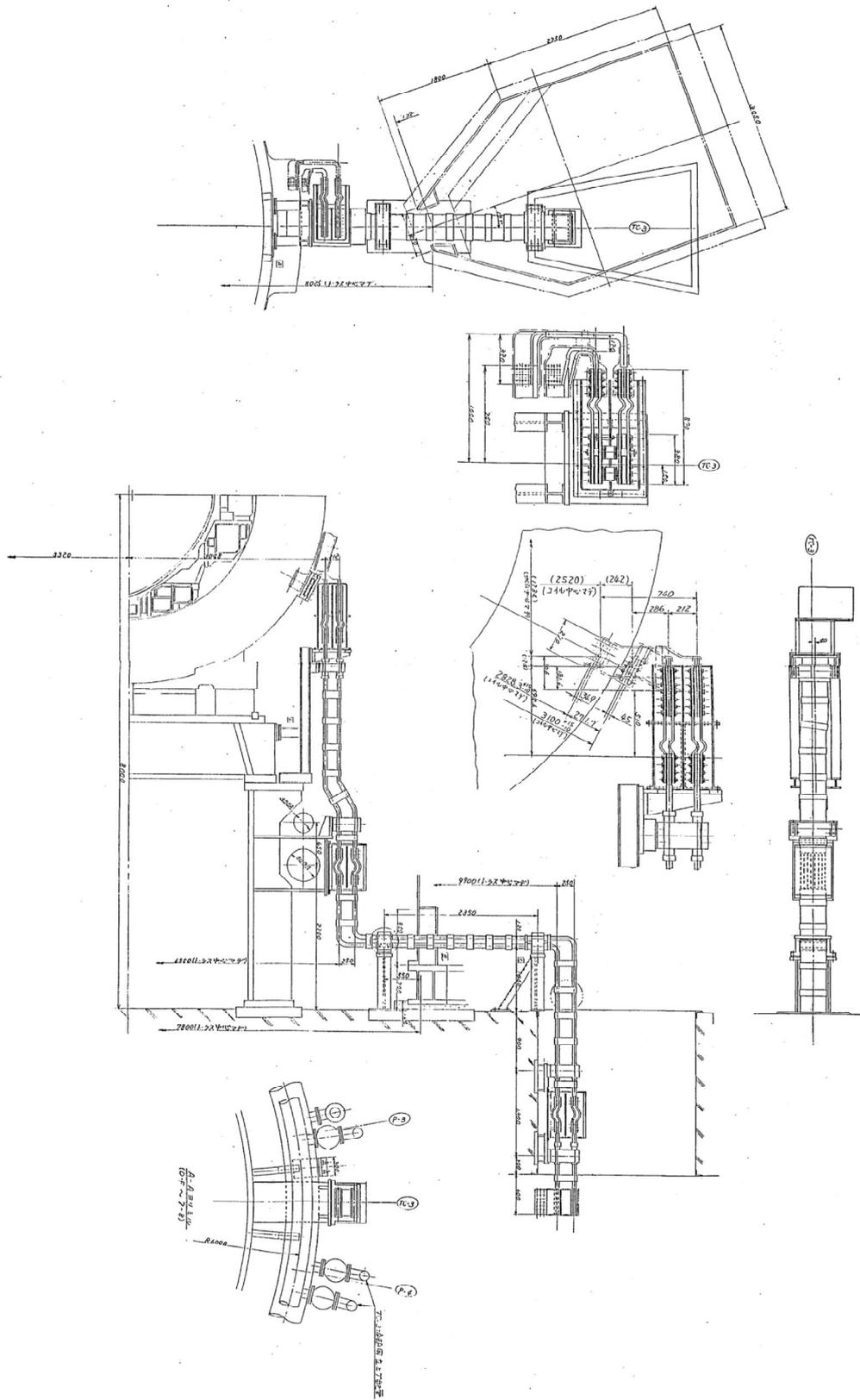


図 4.6.2.1-1 TF コイルフィード線

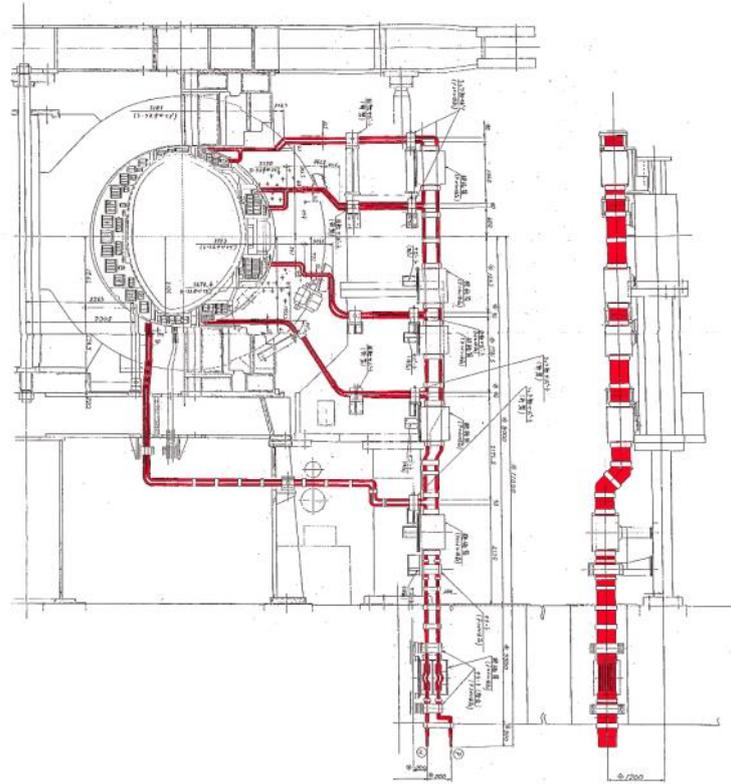


図 4.6.2.2-1 F コイルフィード線

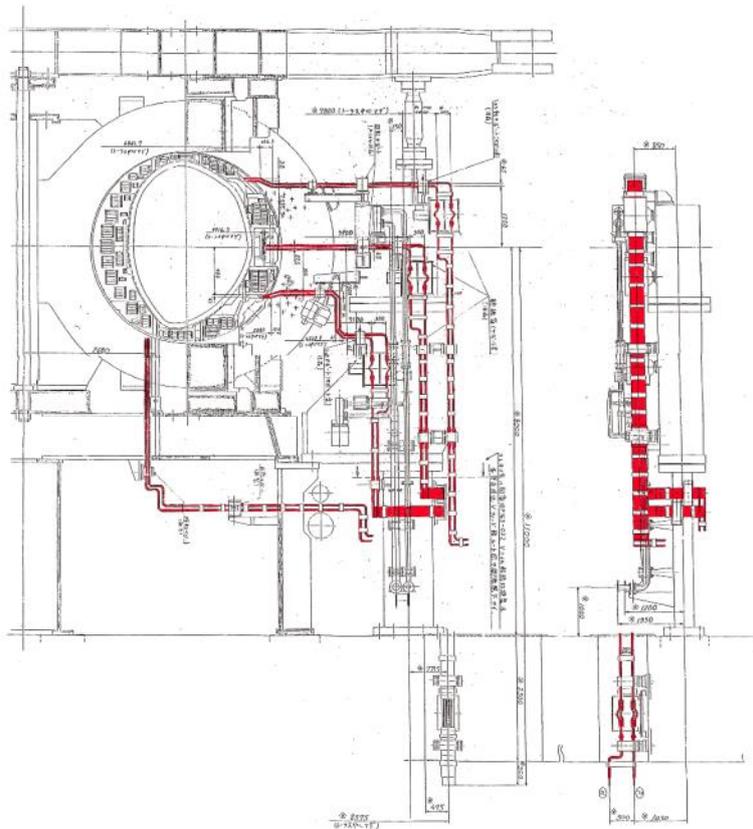


図 4.6.2.2-2 V コイルフィード線

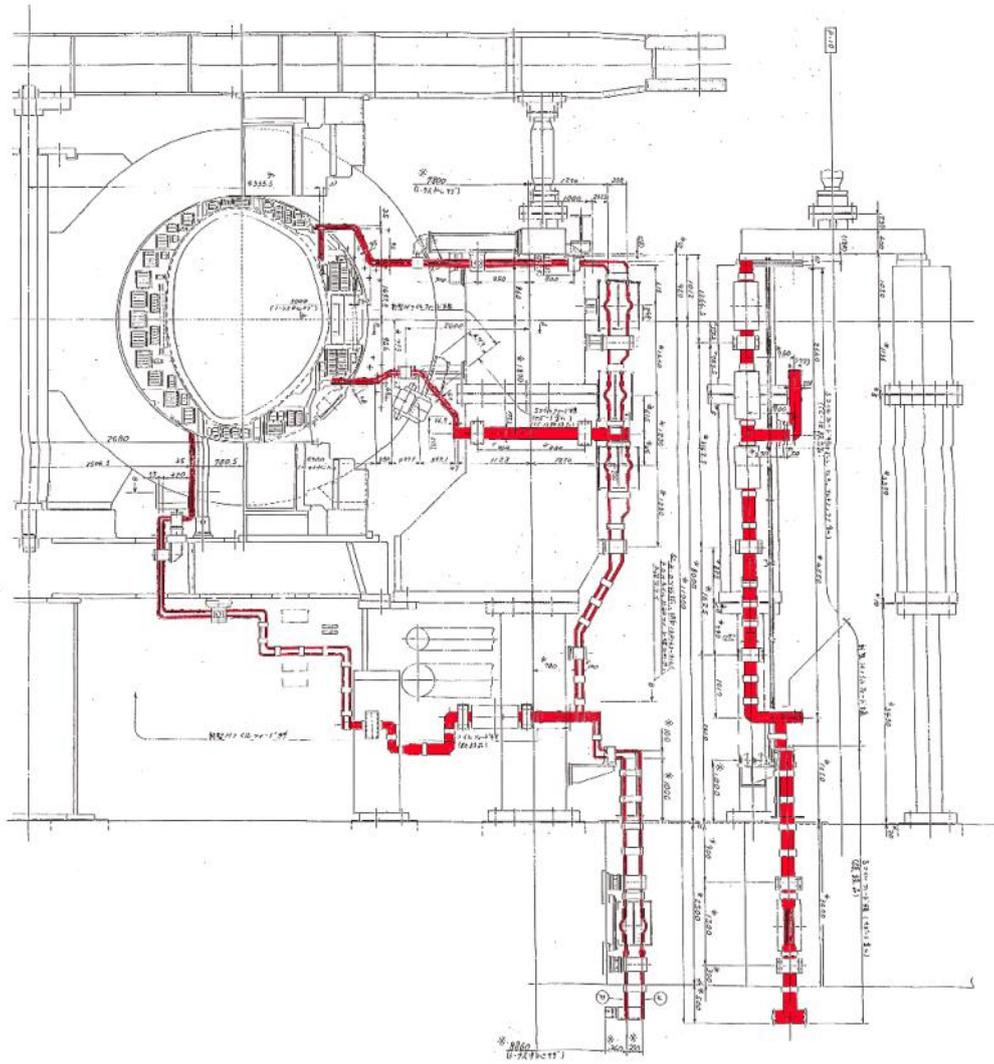


図 4.6.2.2-3 Hコイルフィード線

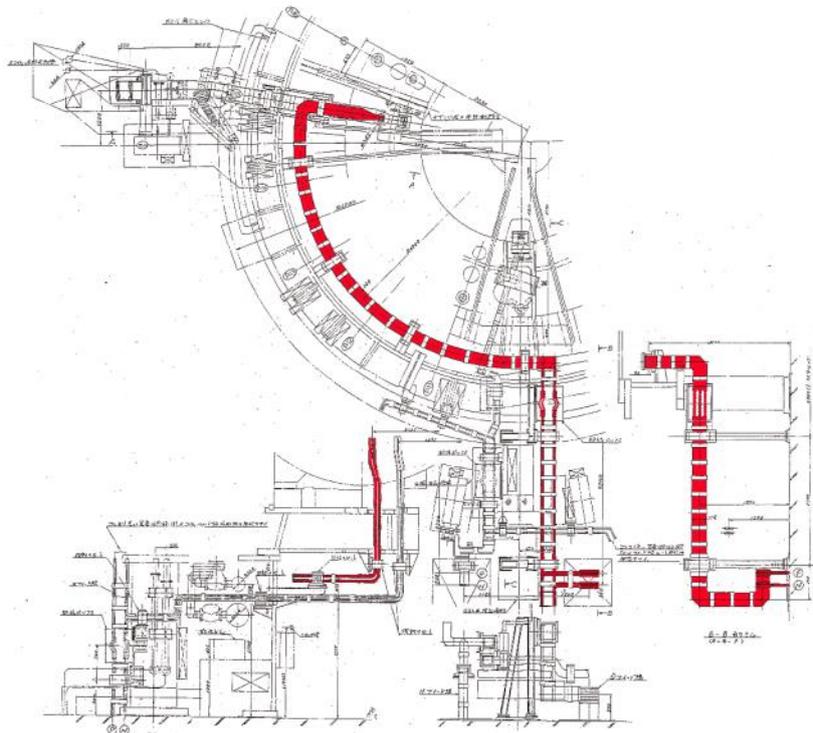


図 4.6.2.2-4 D コイルフィード線

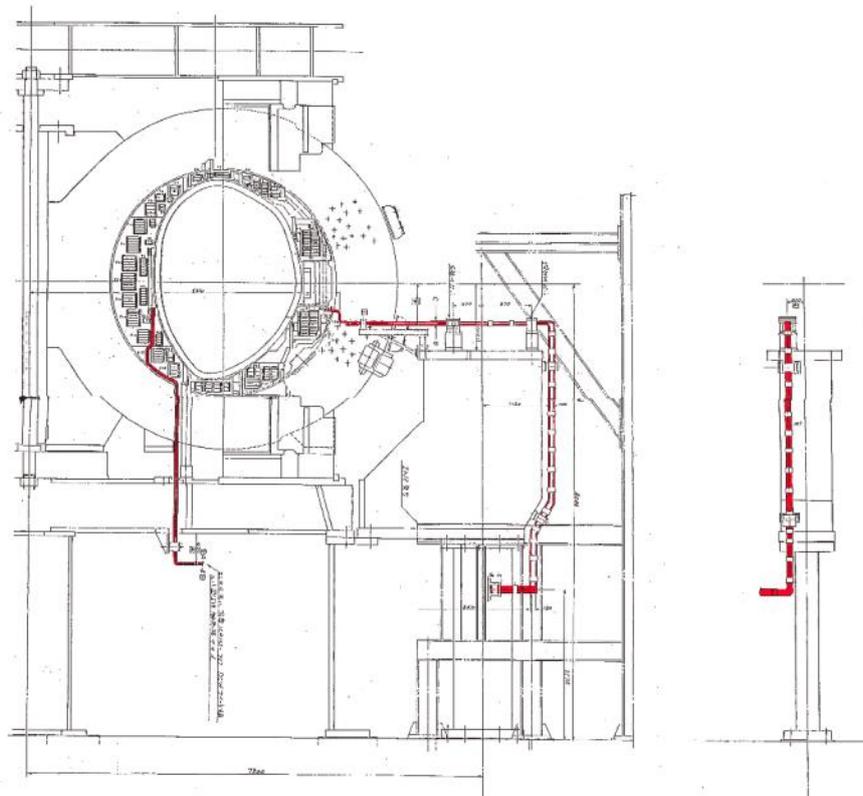


図 4.6.2.2-5 DCW コイルフィード線



図 4.7.4-1 ベーキングヒーターなどの解体



図 4.7.4-2 解体終了後の C 系統マニホールド



図 4.7.4-3 冷却水配管フランジの切離し作業



図 4.7.4-4 冷却水配管に閉止板取付け後



図 4.7.4-5 ポートと絶縁継手の切離し

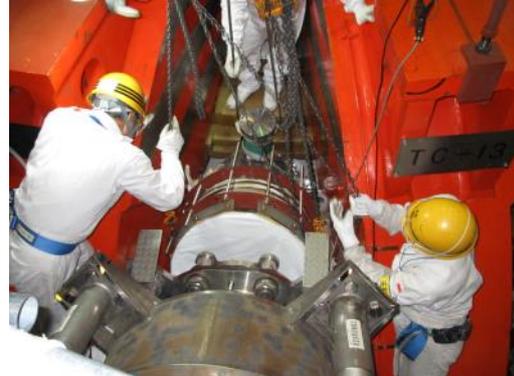


図 4.7.4-6 ポートの吊出し作業

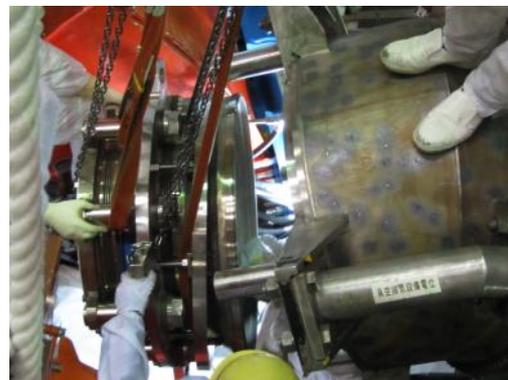


図 4.7.4-7 絶縁継手の吊出し作業



図 4.7.4-8 マニホールドの切断用養生



図 4.7.4-9 ワイヤソー設置状況



図 4.7.4-10 C系統マニホールドの吊出し



図 4.7.4-11 マニホールドの解体終了後



図 4.7.4-12 真空排気設備架台吊出し



図 4.8.4-1 真空計の解体



図 4.8.4-2 大気放出管の解体



図 4.8.4-3 第1ゲ-バルの解体



図 4.8.4-4 大気放出管の吊出し



図 4.8.4-5 仮設の大気放出管



図 4.8.4-6 その場ボロン化処理設備の解体品



図 4.9.4-1 真空配管解体(上架台)



図 4.9.4-2 パンドリでの真空配管解体



図 4.9.4-3 大気放出管解体



図 4.9.4-4 真空配管サポート解体



図 4.9.4-5 ケーブルの解体終了後



図 4.9.4-6 ケーブルなどの解体品

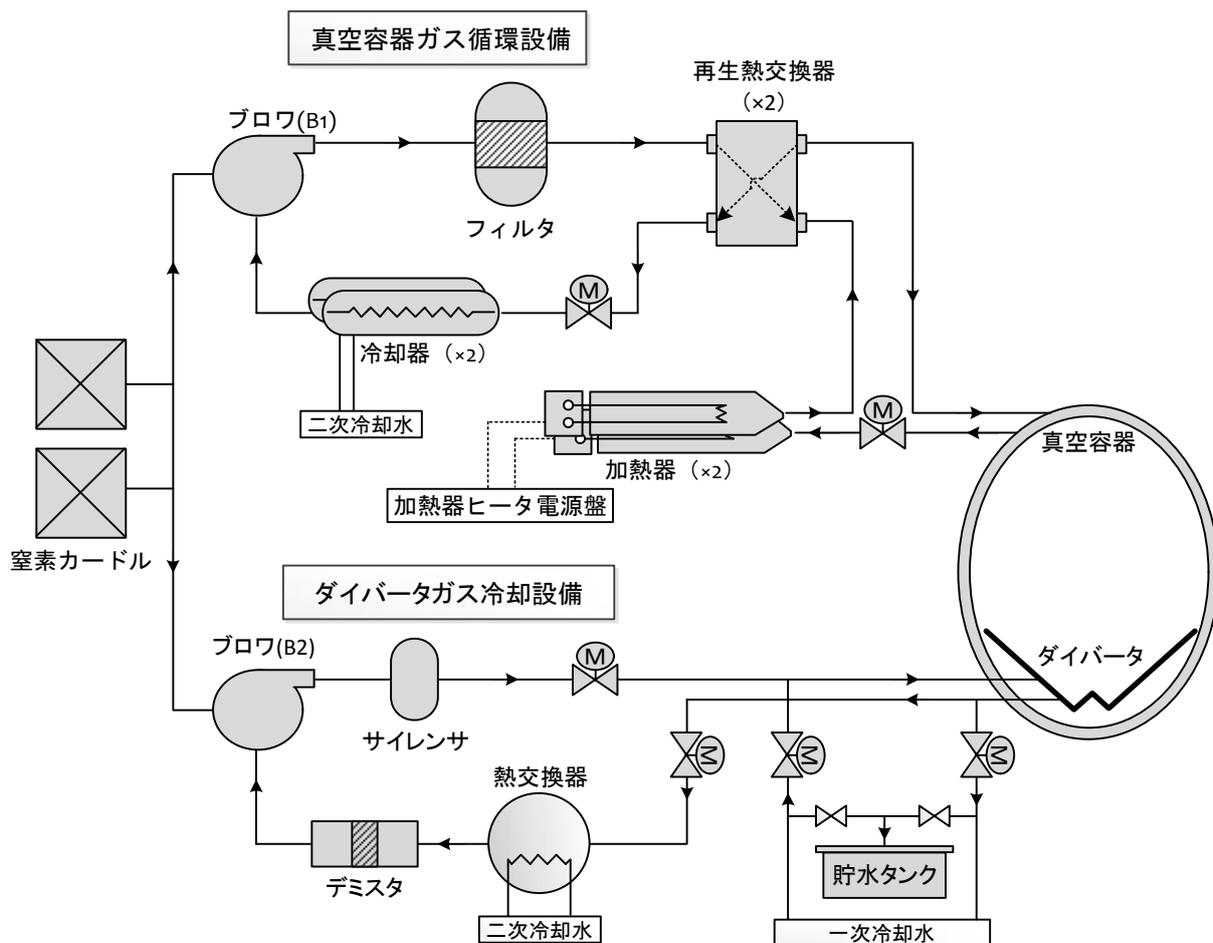


図 4.10.2-1 ガス循環系構成図

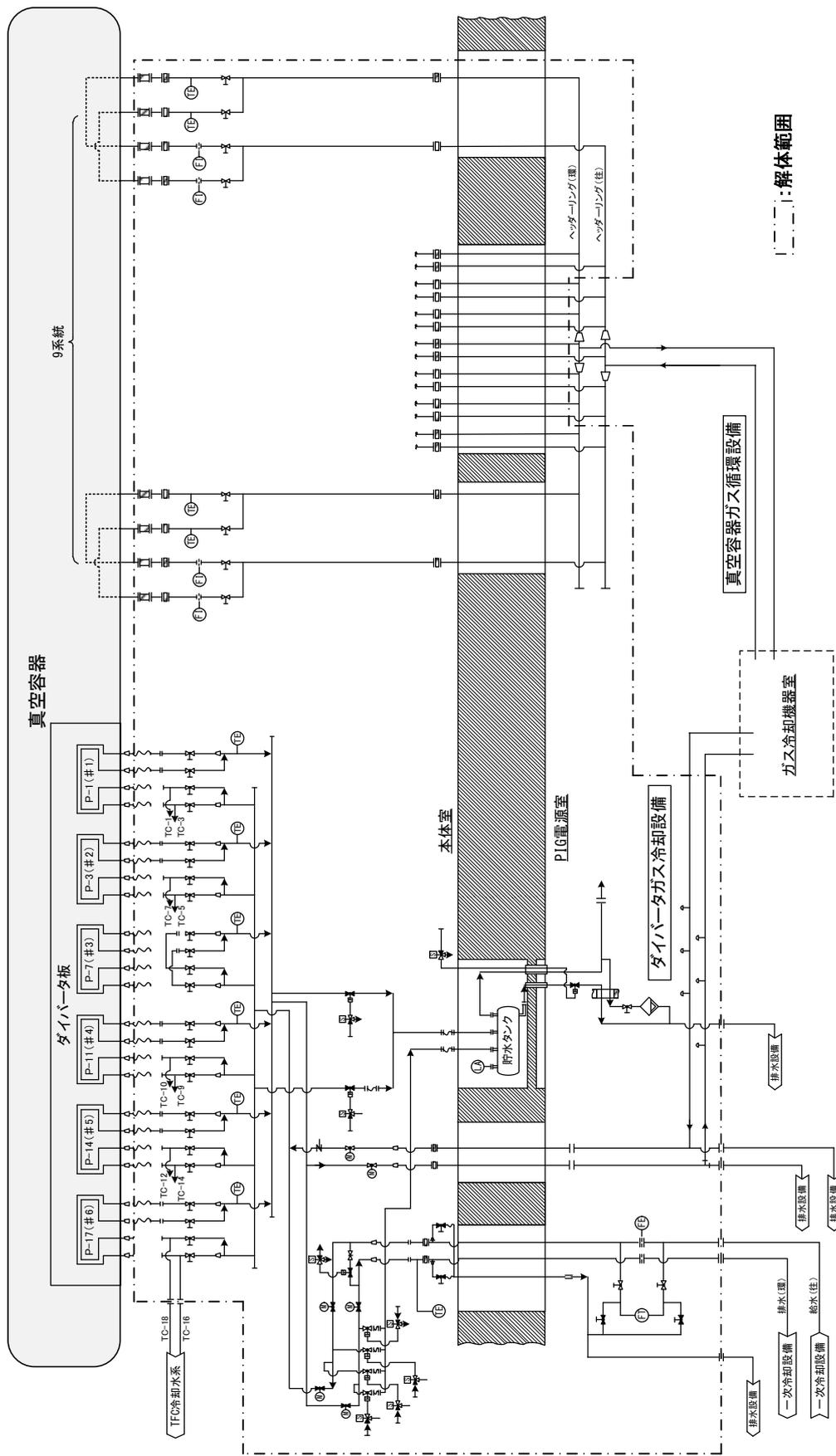
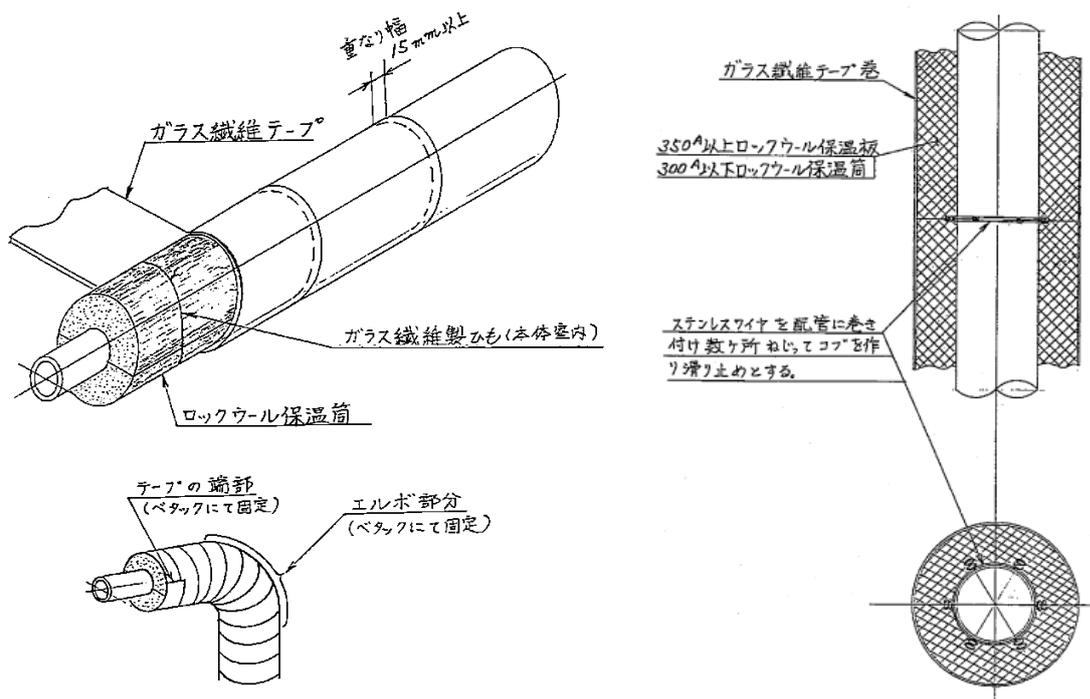
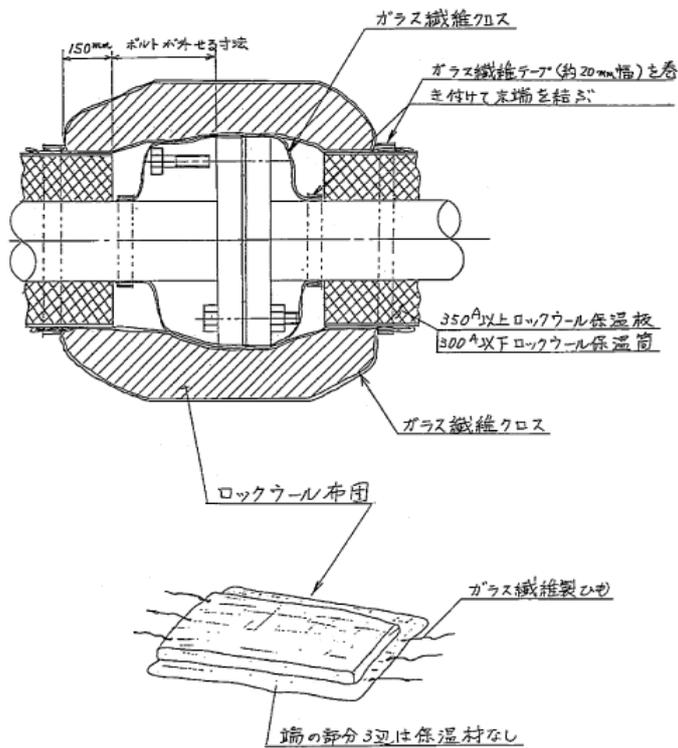


図 4.10.3-1 ガス循環系配管系統図 (本体室・PIG 電源室) の解体収納作業範囲図



(1) 水平配管部

(2) 垂直配管部



(3) フランジ部

図 4.10.3-2 配管保温材取付け要領図



(1)保温材取外し作業（PIG 電源室）



(2)仮置き場所での保温材取外し作業（本体室）



(3)コンテナバックに詰められた保温材

図 4.10.4-1 保温材解体作業の写真



(1) パイプカッターによる配管切断



(2) パイプソーによる配管切断



(3) パイプ自動切断開先加工機による配管支持柱切断

図 4.10.4-2 配管等切断作業の写真



(1)PIG 電源室解体配管の吊り上げ用仮設ヤグラ



(2)配管の運搬



(3)貯水タンクの運搬

図 4.10.4-3 解体品吊り上げ運搬作業の写真

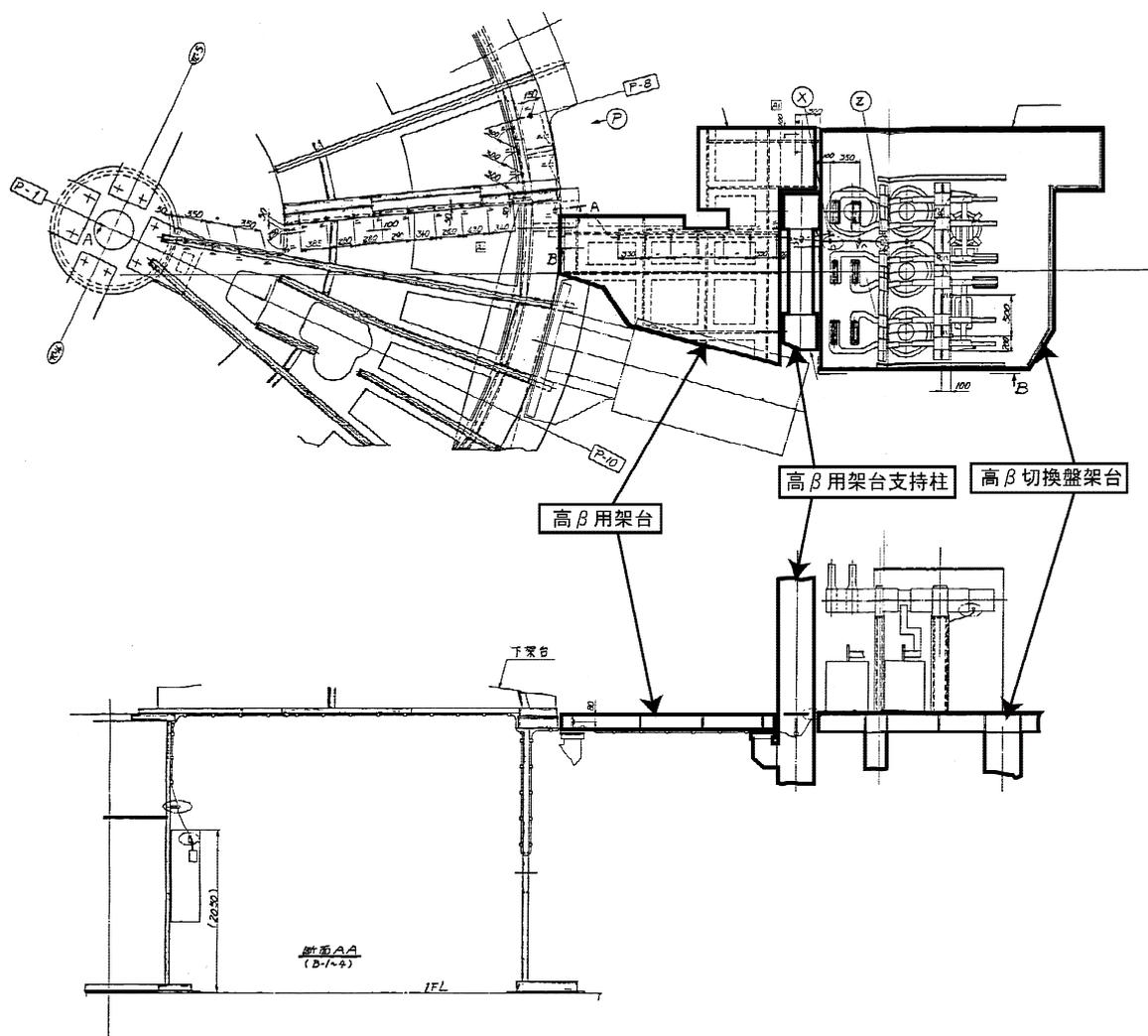


図 4.11.2-1 高ベータ架台構成図



(1) 高ベータ切換盤架台



(2) 高ベータ用架台



(3) 高ベータ用架台支持柱

図 4.11.4-1 高ベータ架台分解後の吊り上げ作業の写真



(1) 実験棟からの搬出

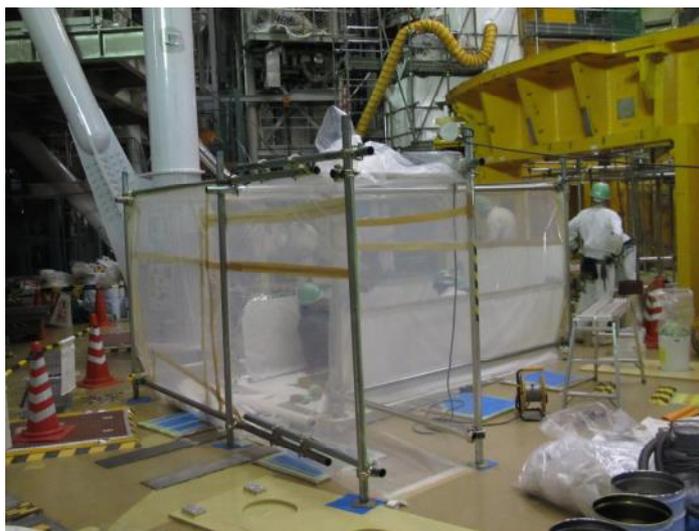


(2) 機器収納棟グリーンハウス内でのプラズマ切断



(3) 機器収納棟での保管容器への収納

図 3.11.4-2 機器収納棟における切断に関する作業の写真



(1) 仮設グリーンハウスの設置



(2) 高周波グラインダーによる切断



(3) 埋め込み金具の仕上げ

図 4.11.4-3 ベースプレート解体作業の写真

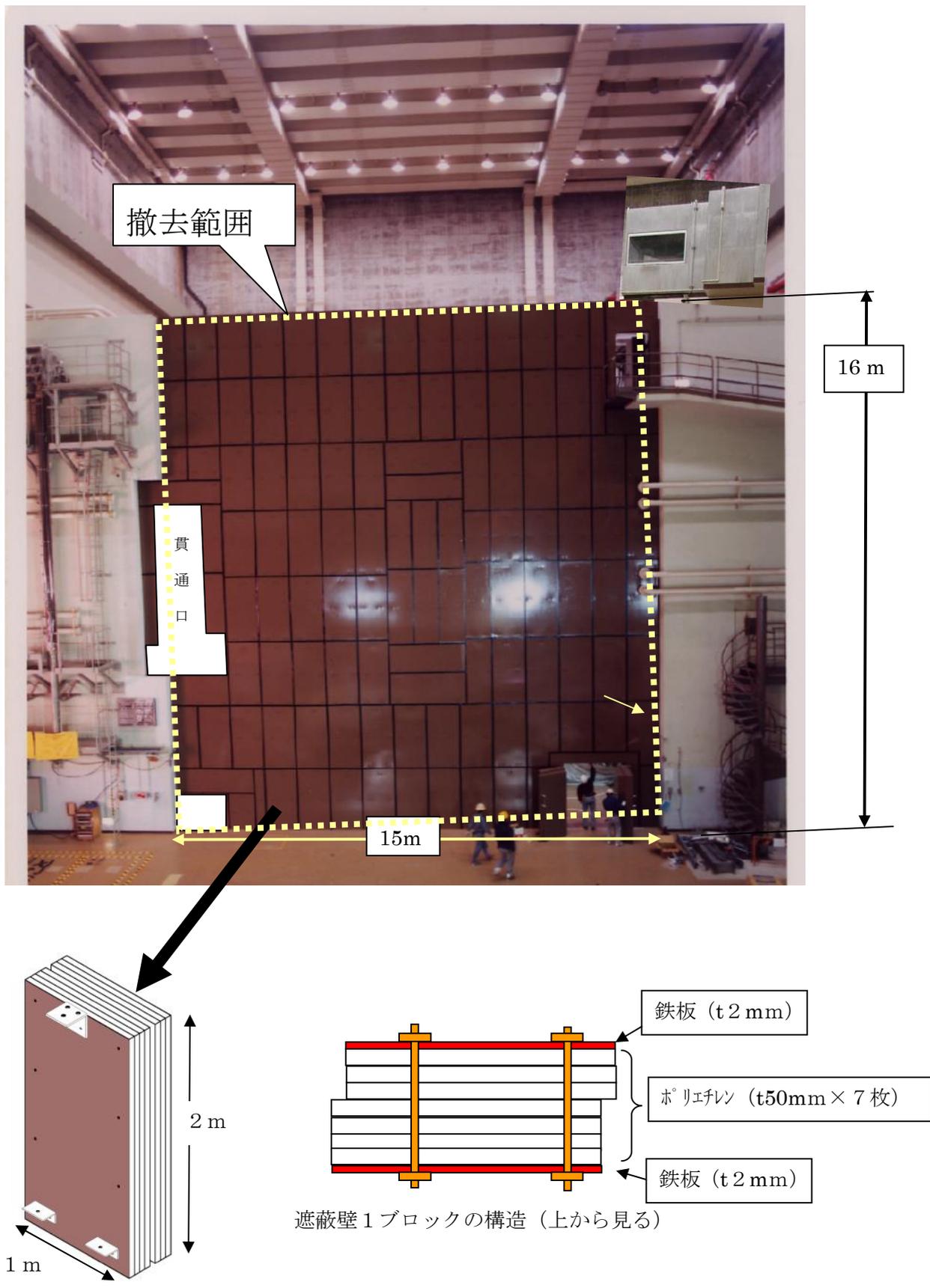


図 4.12.2-1 Y3 遮蔽壁外観と遮蔽パネル

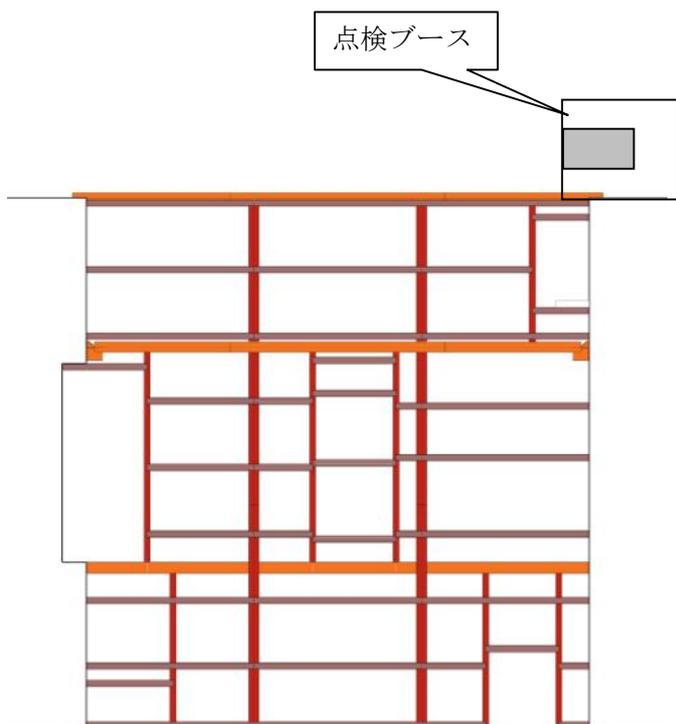


図 4.12.2-2 Y3 遮蔽壁の支持体構造

図 4.12.2-3 Y3 遮蔽壁解体前外観

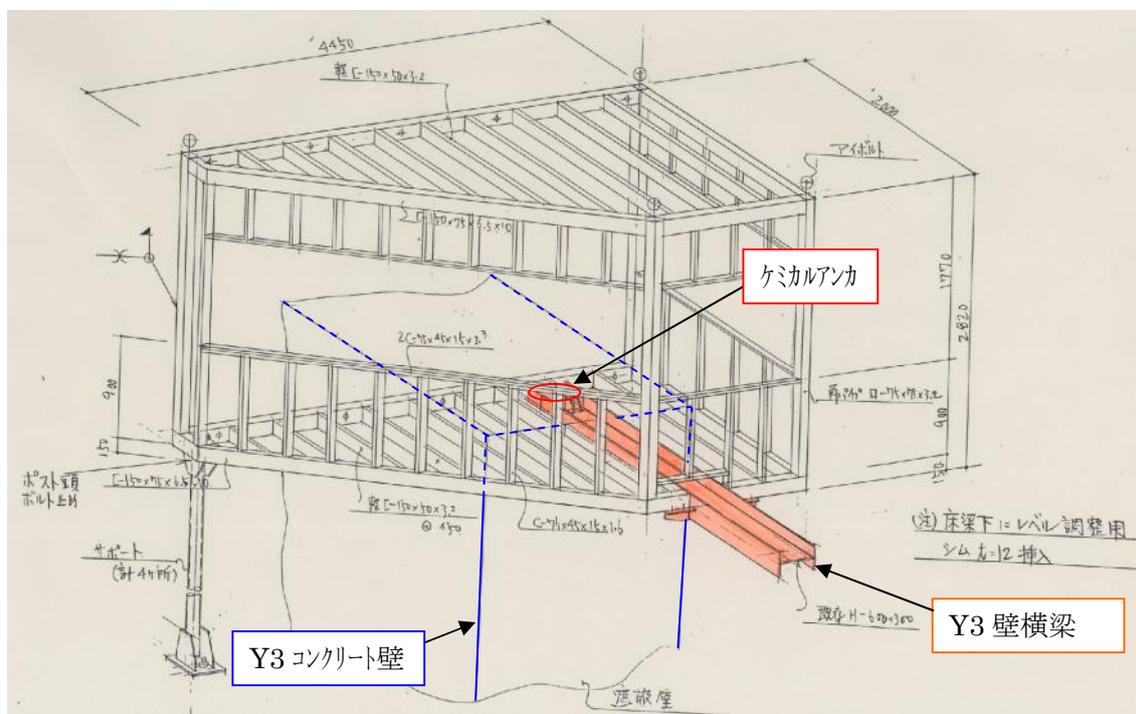


図 4.12.3-1 本体室側から見た点検ブース構造

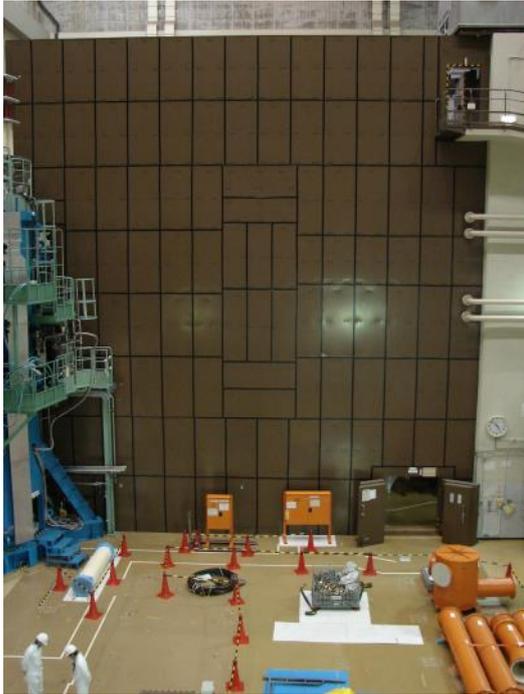


図 4.12.3-2 加熱装置撤去後の外観



図 4.12.3-3 Y3 遮蔽壁解体用足場



図 4.12.3-4 Y3 遮蔽壁約半分解体後



図 4.12.3-5 Y3 遮蔽壁解体完了後



図 4.12.3-6 1階遮蔽扉（解体前）



図 4.12.3-7 1階遮蔽扉（枠）



図 4.12.3-8 1階遮蔽扉（枠の切断）



図 4.12.3-9 1階遮蔽扉（枠の切断後）



図 4.12.3-10 1階遮蔽扉（枠吊出し）



図 4.12.3-11 1階遮蔽扉（枠収納）



図 4.12.3-12 3階遮蔽扉（解体前）



図 4.12.3-13 3階遮蔽扉（解体後）

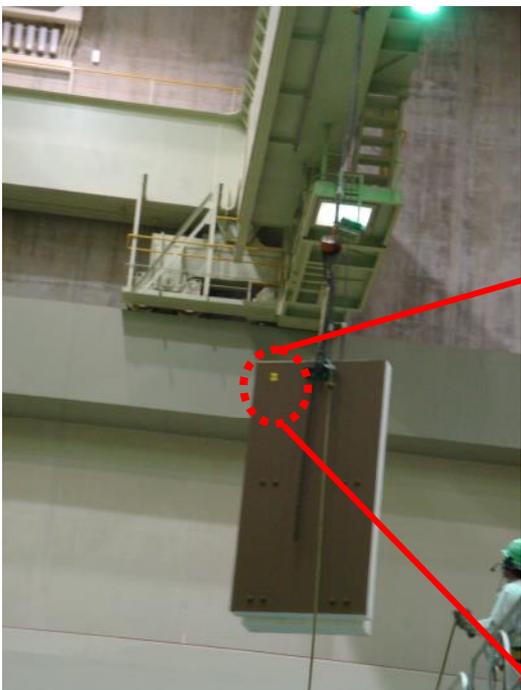


図 4.12.3-14 遮蔽パネル吊出し



図 4.12.3-15 遮蔽パネルのナンバリング



図 4.12.3-16 遮蔽パネルの収納



図 4.12.3-17 遮蔽パネルの収納



図 4.12.3-18 支柱の収納(40ft コンテナ)



図 4.12.3-19 収納保管状況(保管用地 I)

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウエーバ	Wb	V s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性化	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s
表面張力	ニュートンメートル	N m
角速度	ニュートン毎メートル	N/m
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電表面電位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
電束密度, 電気変位	ジュール毎立方メートル	J/m ³
誘電率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
透磁率	ジュール毎立方メートル	J/m ³
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎キログラム	J/kg
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

