



## 研究最前線

# JT-60SA に向けた JT-60 トカマクの解体 —放射化大型構造体の解体—

## Disassembly of JT-60 Tokamak Device for JT-60SA Project - Disassembly of Radioactivated Large Structures -

岡野 文範, 池田 佳隆, 逆井 章, 花田 磨砂也, JT-60 Team

OKANO Fuminori, IKEDA Yoshitaka, SAKASAI Akira, HANADA Masaya and JT-60 Team

日本原子力研究開発機構

(原稿受付: 2014年 6 月 4 日)

臨界プラズマ試験装置 (JT-60) は, 世界最大級のトカマク型核融合実験装置として1985年から実験を開始し, 1989年から1991年のプラズマ性能の高性能化をめざした大電流化改造を経て, 閉じ込め改善や定常化研究等のプラズマ研究開発を遂行した. 1996年に臨界プラズマ条件を達成した他, 多くの実績を残し2008年 8 月に実験運転を完遂した. その後, ITER を支援・補完する超伝導核融合実験装置 (JT-60SA) への改修工事を行うため, 放射線障害防止法の下で JT-60 の解体を実施し2012年10月に完遂した. JT-60 の解体に当たり, 解体品の保管・管理手順の構築や新たな解体工法である乾式ダイヤモンドワイヤーソーの導入等を行い, 長期に亘る解体を無事故・無災害で終え, 2013年 1 月から JT-60SA クライオスタットベースの組立を計画どおり開始することができた.

### Keywords:

JT-60, JT-60SA, disassembly, TF-coil, PF-coil, vacuum vessel, diamond wire saw, Radiation Hazard Prevention Act

### 1. はじめに

臨界プラズマ試験装置 (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, 長パルス化と高圧力プラズマを目指す超伝導核融合実験装置JT-60SAに改修するため, 解体・撤去する必要があった. トカマク本体および周辺設備の解体は, 総重量が約5,400トンにおよび2009年 (平成21年) から着手し, 2012年 (平成24年) 10月に JT-60SA 本体設置に必要な全ての機器の解体・撤去を完遂した.

JT-60 は, 放射線障害防止法に基づく国内唯一の大型核融合実験装置であり, 1991年 (平成 3 年) から2008年 (平成20年) の18年間の重水素実験で発生した中性子によりトカマク本体及び周辺機器は放射化している. そのため, 今回の解体は, 核融合実験装置の解体として放射線障害防止法に基づいて行う国内初の試みであるとともに, 将来のクリアランス制度の適用を考慮して行うものとして世界的にも類がないものであった[1, 2].

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) の解体方法と真空容器の軽量化を図るための分割の方法を如何にして行うかという 2 つの大きな技術的課題があった. さらに, 解体工法にリンクした放射線管理と 12,000点に及ぶ解体品の収納・保管手順等を構築する必要があった.

TF コイルは, 大電流化改造時に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 箇所の狹隘部

でコイルケース (高マンガン鋼) の補強溶接を行っている. 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, この狹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ち込んだ後, 狹隘部での再組立てが可能な専用のフライス加工機を開発することで, この課題を解決した. 一方, 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ボロイダル磁場コイル (PF コイル) と一体構造となっていて重量が約320トンある. そのため, 建屋クレーンの定格荷重は250トンであり, この制限を超えないように, 一体構造を 2 分割する必要があった. 真空容器の材質は, 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 10 mm のワイヤーを通すことができれば, 切断操作は遠隔で行え, 作業員が近傍に近づかないために安全性も高い工法である. これらの解体工法を用いることにより TF コイルの吊り出しや真空容器の切断等の主要作業を効率よく安全に行うことができた.

本報告書は, このような JT-60 トカマクの解体実績, 特に切断手法や放射線管理を中心にまとめたものである.

## 2. JT-60 解体の概要

### 2.1 JT-60の概要

JT-60 は、本体装置などの主要部で直径約 15 m、高さ 13 m、重量約 5,000 トンを超える国内最大のトカマク型核融合実験装置である（図 1）。本体装置は、核融合反応を起こすの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あるいは重水素のプラズマを保持する真空容器、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 コイルの大型電磁石コイル、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）。本体装置の主な材質は、TF コイルケースが高マンガン鋼、TF コイル・PF コイルの導体が無酸素銅、真空容器がインコネル材、上架台や支持柱等の支持構造物が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が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切断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、本体装置の解体にあたっては、まずこれら周辺設備から解体・撤去

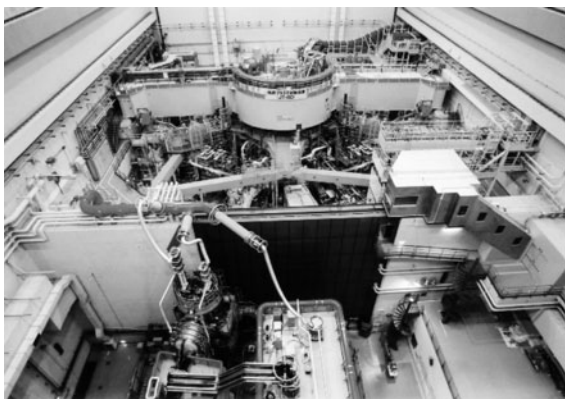


図 1 JT-60 の全体図。

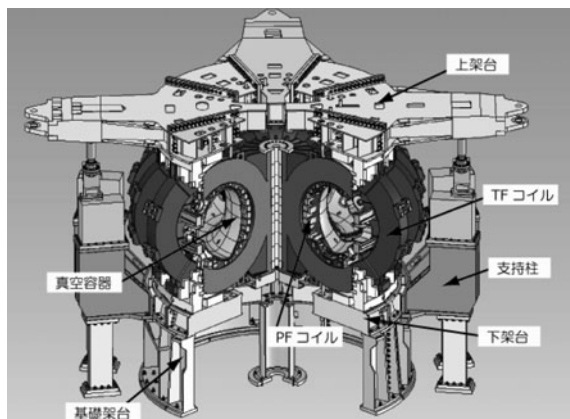


図 2 JT-60 本体装置の鳥瞰図。

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進める必要があった。

### 2.2 解体のための切断技術

JT-60 トカマク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された所であり、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、真空容器の 40 度セクター分（最小限必要な 20° に余裕を見込んで 40° とした）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（図 3）。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、真空容器内部に引き込む必要があった。また、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。さらに TF コイルを吊り出すためには、真空容器の外側を取り巻くように取り付けられている PF コイルを 20 度分、切断・搬出する必要がある。PF コイルは 5 種類、計 45 ブロックからなり、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、事前に切断しておく必要があった。

一方、TF コイル解体後には、切り取った 40 度セクター部以外の残った真空容器（約 40 トン）+ PF コイル（約 280 トン）の吊り出しが必要となる。建屋クレーンの性能から吊り上げる総重量が 250 トン以下になるように 2 分割する必要があった。さらに 45 ブロックの PF コイルは、高マンガン鋼の支持構造体を介して真空容器の外側に取り付けられており、この真空容器と PF コイルの一体構造物を 2 分割するには、インコネル、銅+絶縁材、高マンガン鋼の複合材の切断手法を見出す必要があった。このように解体においては切断技術の開発が鍵であり、以下にその具体的な手法を示す。

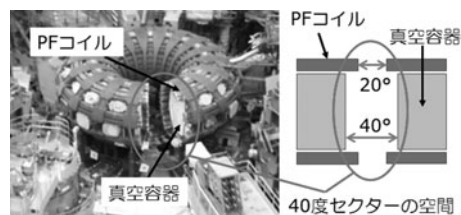


図 3 真空容器の切断位置。

### 1) TF コイル補強溶接部の切断

TF コイル (約70トン/個, 総数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 60 mm×深さ 50 mm×長さ 1000 mm に亘って18ヶ所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, 作業スペースの確保が困難な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 (図 4). 火気を用いた切断方法は, 空気汚染や火災の危険性があるので, 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 5). フライス切断においては, 加工時の回転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, 切削状態と損耗を実際の TF コイル切断で確認しながら, 入手可能な材質のなかで最適化を図った. 具体的には超硬エンドミルが最も高マンガン鋼の切断には有効であった. この結果, 1 箇所の切断時間は約 9 日間 (上側平均: 7 日間, 下側平均: 11 日間) で実施できた[3].

### 2) 真空容器40度セクター部の切断

真空容器は, 難削材であるインコネル (インコネル625) 6 mm 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

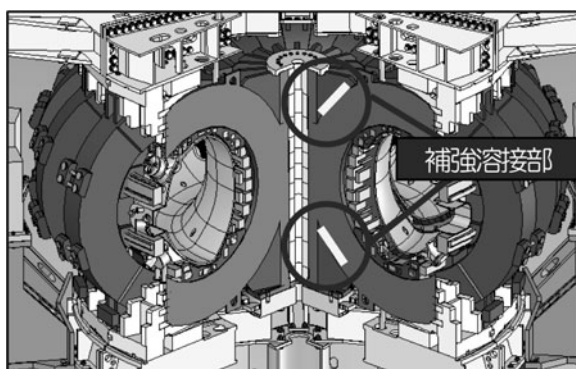


図 4 TF コイルの補強溶接部。

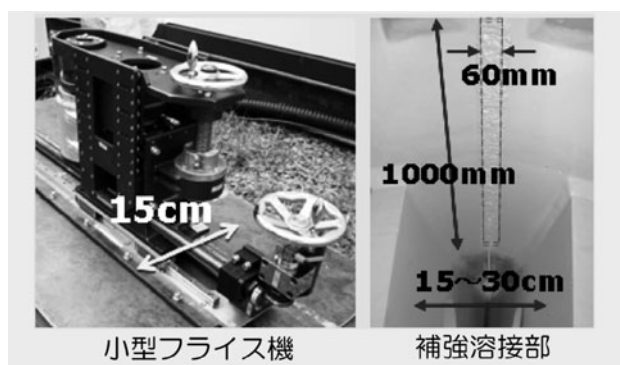


図 5 TF コイル専用のフライス加工機。

の内部に引き込む必要があった. その際, 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. この時, 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特殊フライス機を採用し, 予めダミー真空容器を用いて, 保温材を切断しないで真空容器のみを切断できることを確認した. その結果を基に, 実機の真空容器40度セクターを 4 分割に切断して, それらの切片を真空容器内部に引き込むことで, TF コイルを抜き出すためのスペースを確保した (図 6)[3].

### 3) 真空容器ポート切断

TF コイルを真空容器に沿って廻し込みながら吊り出すためには, これと干渉する真空容器ポート (総数54個) 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機械的な切断手法 (小型フライス) を用い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. ポート切断に要した時間は, 1 ポートあたり平均 5 日であり, ポート総数が多いため, 後半からは小型フライスの台数を増やしたものの, 全てのポート切断には約200日を要した[3].

### 4) PF コイルの切断

真空容器40度セクター分を切り取った後は, 次に PF コイル20度分を真空容器外側から切断し取り除いた. PF コイルは銅の導体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



専用フライス機の開発



図 6 真空容器専用のフライス加工機。

太いPFコイルの断面は約350 mm×約450 mm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500 mmの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2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試みたところ、極めて短期間（約2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あり、ワイヤー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（銅導体+絶縁材）の実績が無かったため、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20 m/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ーソーを張る方向に移動するため、常に一定張力を維持しながらの切断が可能となる（図7）。冷却水を使用しないので、切断時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で済むため、作業時間の短縮等の合理化ができる。更には作業員が切断箇所にも居る必要もないことから怪我や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]。

### 5) 真空容器+PFコイルの2分割切断

TFコイル解体後の真空容器+PFコイル（総重量320トン）の解体にあたっては、建屋クレーンの制限から250トン以下に更に解体する必要がある。JT-60製作時と逆手順の方法で真空容器とPFコイルを分離する案も考えた。しかしながら、PFコイルの支持構造体（高マンガン鋼）36箇所の切断とともに真空容器のボートの追加切断が必要となり作業期間の長期化が懸念された。このため、銅製PFコイルの効果的な切断を実証した乾式ダイヤモンドワイヤーソーで、「真空容器+PFコイル」の一括切断を試みることにした（図7）。ただしこの場合、インコネル（真空容器）、高マンガン鋼（PFコイル支持構造体）の難削材の切断が必要であり、このため事前に各々の材料の試験体で切断性能

を確かめた。この結果、最も切断が難しい高マンガン鋼でも、切断時間は銅に比べ2倍程度遅くなるものの、冷却水を用いずに切断可能であることが明らかとなった。そして、実機で「真空容器+PFコイル」の一括切断（1線切）を実施した結果、ダイヤモンドワイヤーソーの損耗は、PFコイル単体の切断に比べ3倍程度で収まり、途中3回交換する必要があったものの、約7日間（切断のみの正味時間）で一括切断を実現した。この値は、真空容器の40度セクターを内側からフライスで切断した時に要した時間の約1/4であり、極めて効率のよい有効な切断手法であることを示した[3]。

### 2.3 放射線管理

JT-60は、18年間の重水素実験で発生した中性子（積算 $1.5 \times 10^{20}$ 個）により放射化している。本解体は、大型核融合実験装置が放射線障害防止法の下で行う最初のケースである。解体作業は、放射線障害防止法および予防規定に基づいて実施し、大きなポイントは、切断作業に伴う切粉等の飛散を防止し作業者の内部被ばくを防ぐとともに、解体品を適切に保管管理することであった。さらに、作業に当たり、本体室内の領域区分（JT-60トカマク中心からⅠ～Ⅳの4領域）を行い、放射化レベルが最も高い真空容器近傍の領域Ⅰでは、作業員の滞在時間を極力短くするとともに、領域ⅠのSUS材（核種は $^{60}\text{Co}$ が支配的）に関しては保管容器に入れた上で保管専用の建屋に保管、それ以外の領域（Ⅱ～Ⅳ）から出た解体品は保管容器に入れ保管専用の用地に保管するなど、領域に対応した保管管理を行った。

#### 1) 作業時の放射線管理

機器の切断が必須となる解体作業においては、切断時に発生する放射化した切粉や切断片等の飛散防止に努めるとともに作業員等に対する内部被ばく等の防止が重要である。そのため、作業員には作業内容に応じた適切な防護具を装着させるとともに、作業の種類毎に作業エリアを明確に区分した。加工に伴う作業（切断、溶断等）と加工に伴わない作業（スパナ等）は、養生方法や防護具が異なるために混在させない。また、加工に伴う作業は空気汚染が伴うもの（熱による加工の溶断、プラズマ切断）、伴わないもの（鋸等による機械切断）があり、養生方法が大きく異なる。鋸等による機械切断は、切粉の管理が重要であり、養生した作業エリア外に飛散させない管理を行った。熱による加工は、グリーンハウスまたはそれに準ずる養生にて、局所排気装置を設け負圧管理の下で作業を行った。実際の作業において、作業場所が狭隘で確実な養生ができない場合は、可能な限りシート等で養生を行い、さらにその周辺部まで養生範囲を拡大し、そこで完全に切粉を押さえ込むことにした。さらに、作業員が切断の作業エリア外に出る場合は、原子力機構の放射線管理担当員等が作業員の身体サーベイを行い汚染がないことを確認する等の方法を取った。

#### 2) 解体品の収納保管

JT-60トカマクの解体品は、管理区域からの解体となるため全て放射線測定を行った上で、那珂核融合研究所内にある管理区域内に保管した。この解体品は、トカマク本体

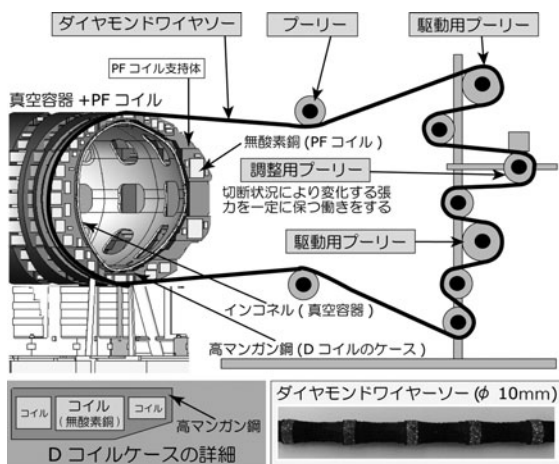


図7 ダイヤモンドワイヤーソーのシステム図。

や周辺設備（約 4,800 トン、約 12,000 点）と NBI 加熱装置等（約 600 トン、約 1,000 点）がある。トカマク本体や周辺設備は、大きいものから小さいものまで多種多様であり、効率良く収納するため専用の保管容器と密閉容器を用いた。保管容器は市販の海上コンテナ（20フィート、40フィート）を用い、密閉容器はトリチウム汚染の可能性がある真空配管等を収納するためのもので、保管容器（20フィート）を密閉構造に改造したものである[4]。放射化物を収納した保管容器は屋外の保管専用の管理区域である保管用地に保管した（図8）。一方、保管容器に収納できない大型構造物や内部にトリチウム汚染の可能性がある放射化物を収納した密閉容器は、保管専用の建屋（管理区域）である JT-60 機器収納棟に保管した（図9）。また、NBI 加熱装置等の解体品は、解体中運転しない発電機設置のある JT-60 発電機棟 MG 室等を一時的に管理区域として、そこに保管した（図10）。

### 3) 解体品の保管管理方法

解体品の保管は、放射化物としての厳重な管理に加えて、将来のクリアランスも考慮した情報管理も重要であった。特に、多くの解体品は、使用履歴の異なる機器を大量に保管容器または密閉容器に収納し一定期間保管することになる。そのため、将来においても放射化物の情報が容易に照合できるシステム（保管管理システム）を構築し、その情報を確実に記録保管する必要がある。JT-60 解体で



図8 解体品の保管用地。



図9 解体品収納後の JT-60 機器収納棟。

は、1つの機器でも切断分解された部品毎に一つの単位として管理した。また、同じ種類の解体品同士を固縛したりドラム缶等の容器に格納した場合は、その纏まりごとにタグ番号を発行し管理した。このように、そのタグ番号により保管管理システムのデータベースから個々の情報が確認できる[4]。

### 4) 保管管理システム

解体品に関しては、全ての情報を計算機（PC）で管理するために保管管理システムを開発した。保管管理システムは、保管管理システムサーバー内に解体品情報をデータベース化し、そのデータベースの閲覧や保管管理台帳を作成したり、解体品のタグ番号又はバーコードスキャナーを用いて、保管品の情報を抽出する機能を有する。解体品情報の登録・閲覧や出力は、ローカルエリアネットワーク（LAN）に接続されたクライアント PC から Web ブラウザ（Internet Explorer 等）にてアクセスできるようにした[4]。

## 3. JT-60 解体の進捗概要

### 3.1 解体スケジュール

新たに組立が始まる超伝導核融合実験装置 JT-60SA の基礎部となるクライオスタットベースが、2012年度（H24年度）の下旬に欧州（スペイン）から輸送され本体室に搬入される予定であったため、同年の中旬までに本体室中心部を更地化した。図11に JT-60 解体工程を、図12に本体装置の解体フロー示す。1つ目の大きなマイルストーンは TF コイルの吊出し・撤去（H23年度内、A～B）であり、TF コイルを撤去するために、各設備の解体を逐次進めて干渉機器がなくなった状態で TF コイルを撤去した。2つ目のマイルストーンは、真空容器を軽量化（2分割）した後の吊り出し・撤去（H24年7月、C）であった。以下に各年度における概要を述べる。

### 3.2 2009年度（H21年度）の解体作業

2009年度は、解体準備作業として、解体を効率的に進めるための作業エリアの確保等を行った。目的は、解体機器を搬出する空間を確保するため、本体室と組立室を仕切っている遮へい壁（図11写真左）と負イオン中性粒子入射加熱装置（N-NBI）高電位テーブルの分解・移動であり、その他に周辺機器（本体付帯設備、計測装置、RF 加熱装置）



図10 NBI 機器の保管。



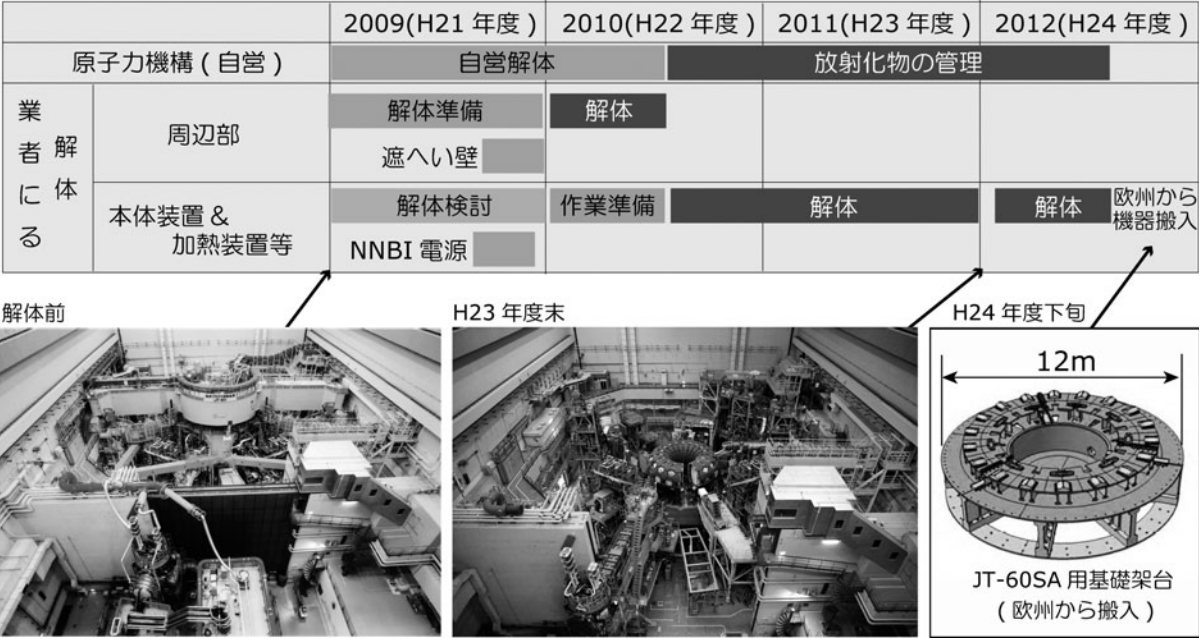


図11 解体スケジュールと実験棟内の状況（手前が組立室，奥が JT-60 本体室）。

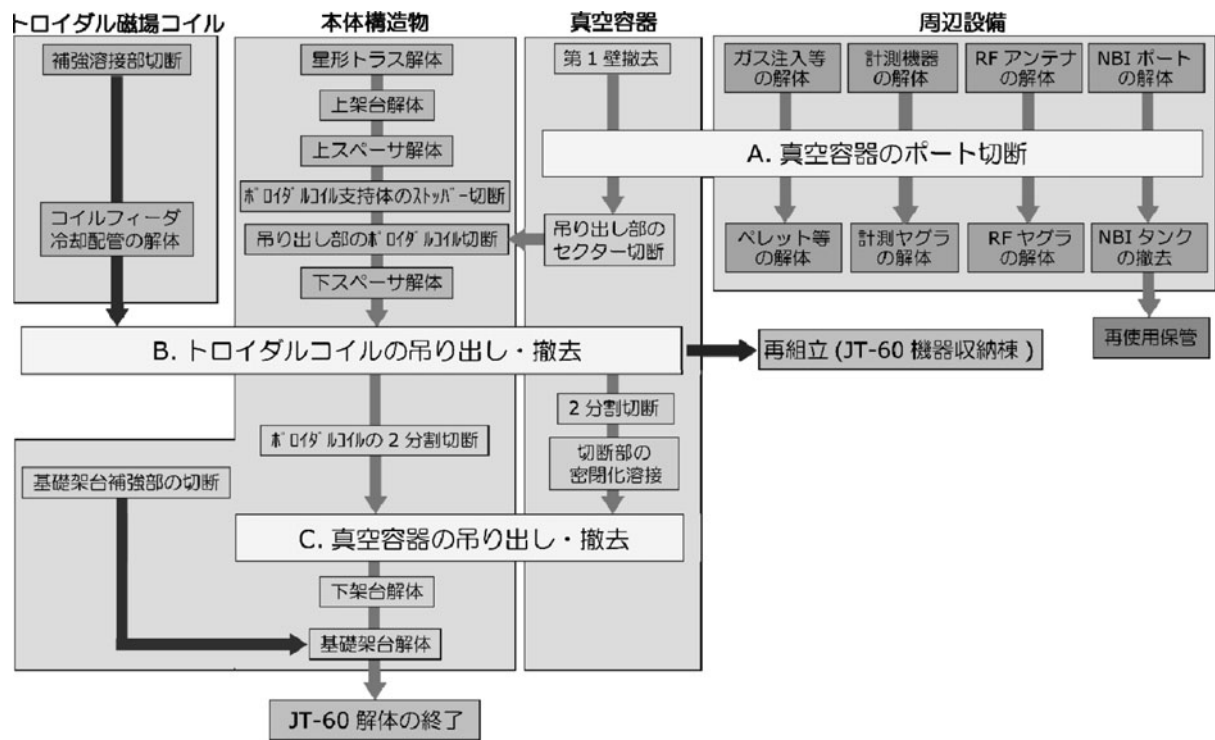


図12 JT-60 本体装置の解体のフロー。

で解体に干渉する機器の一部を分解し移動させた。さらに、自営解体として、原子力機構職員により真空容器内の第一壁タイルの取り外しと各装置の電源・制御ケーブル、冷却水配管、圧縮空気配管等のユーティリティーを切り離すアイソレーション作業等を実施した。特に、第一壁タイルの取外しは、真空容器の切断に先立って行う必要があるが、作業には真空容器内タイル位置、取り付け状況、取扱方法等を熟知していることが求められる。そのため、外部業者に依頼せず自営で、真空容器内全面に張られている総数 12,000 枚の保護タイル取り外しを約70日間（総人工数約

700人日）かけて実施した。第一壁タイル部は、JT-60 装置の中でも放射化レベルの高いエリアであり、作業に当たり日々の被ばく管理が重要であった。そのため、綿密な作業計画と管理の下で作業を効率よく行い、作業者の被ばくが局所的に集中することなく平均化するように配慮した[5]。

3.3 2010年度（H22年度）の解体作業

2010年後半には、本体装置の解体が控えており、本体装置の解体へスムーズに移行するため、本体装置を取り巻いている周辺機器を中心に解体を行った。上部の大型機器である計測架台を移動し、ペレット入射装置やガス循環系配

管等の本体付帯設備、RF加熱装置（低域混成波帯ランチャー）、NBI加熱装置架台（配管ヤグラ、5Fステージ）等周辺部の大型機器を解体した[3]。後半は、本体装置、NBI加熱装置の本格的解体と残った周辺機器の一部の解体を行った。

本体装置は、TFコイル補強溶接部と真空容器ポート部の切断を開始した。また、本体装置の転倒力を吸収していた装置上部の支持構造物である星型トラスビームの解体も行った。TFコイル補強溶接部と真空容器ポート部の切断は、第2章で詳しく述べたように専用のフライス加工機を開発し、実機での動作等の検証試験も兼ねて行った。特に下側のTFC補強溶接部は、上部よりもさらに狭隘なスペースに小型で機械剛性のある回転切削機を設置する必要があったが、切削機一体での取り付けが困難であるため、一度分解して溶接部に持ち込みそこで再度組み立てながら切断を行う等の工夫を行った。

### 3.4 2011年度（H23年度）の解体作業

2011年度が解体のメインの年であり、特にTFコイルの解体を完了させることが大きな目標であった。前半はTFコイルの解体に干渉する機器の切断作業を確実に進めた。2010年からのTFコイル補強溶接部と真空容器ポート切断を継続しつつ、上架台、上スペーサーの解体を適宜進めた。更に、TFコイルを廻し込むために干渉するPFコイル支持体ストッパーの切断を実施した。PFコイル支持体ストッパーは、PFコイルが外側に動かないように上スペーサー面に当てて固定するもので、材質が高マンガン鋼

でTFコイルを挟み込むように設置されている。これらの切断は、中ぐり盤とダイヤモンドワイヤソーを併用して行った。

TFコイルを吊り出す空間（20度セクター分）は、第2章で紹介したように、真空容器とPFコイルを切断して作り出した。真空容器の切断には、作業性と外部保温材の飛散防止を考慮し、真空容器の内部から曲面形状に沿って切断可能な専用のフライス機を開発して行った（図5）。PFコイルの切断は真空容器切断後、乾式ダイヤモンドワイヤソーにて45ブロックに及ぶPFコイルを一括で切断した。TFコイルの吊り出しは、真空容器ポート部およびPFコイルとの干渉を確認しながら慎重にクレーンにて1個ずつ吊り出しを行った（図13）。吊り出したTFコイルは組立室で専用の運搬治具に固定し、JT-60 機器収納棟に輸送した。

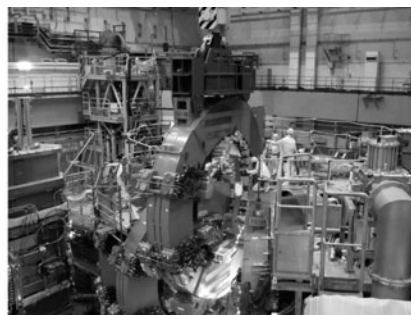
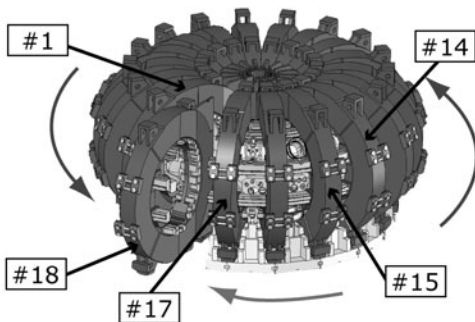
JT-60 機器収納棟は、解体品の主要部品の再組立を行い保管できるように設計建設されたものであるが、今回の再組立てに合わせて再度基礎工事を行った。再組立は、ベースとなる基礎の架台を従来の下架台ではなく、上架台を天地して下架台として用いた。これは、解体手順により上架台から解体が始まり、下架台が解体されるのが終盤であったため解体工程上、先に解体された上架台を基礎に用いて作業の合理化を図ったものである（図14）[3]。

### 3.5 2012年度（H24年度）の解体作業

解体の最終年度にあたる2012年には、TFコイル解体完了後の状態から本体室中心部を更地化完遂（解体工事の）までを行った。2012年のメイン作業は、TFコイルを撤去し

#### TFコイル 18 個（#1-#18）の解体方法

- 1)TFコイル #18 吊り出し空間を確保
- 2)#1～#14 を反時計方向に移動し吊り出し
- 3)#17～#15 を時計方向に移動し吊り出し



最初のコイル（#18）を解体



専用の受台に固定して搬出



3 個目のコイルの解体



半分（9 個）のコイルを解体



15 個のコイルを解体

図13 TFコイルの解体手順（本体室）。

た真空容器とPFコイルの一体構造（320トン）を2分割することである（図15）。建屋クレーンの定格荷重（250トン）の制限があり、真空容器とPFコイルを一体で切断し軽量化する必要があった。真空容器とPFコイルは、TFコイルが解体撤去されたことにより専用の受台上に置かれている状態であり、地震対策でワイヤロープにて固定はしてあるが、ボルト等で確実に固定している状態ではない。そのため、強い外的な衝撃を与えることなく作業を進める必要があった。また、切断時の切粉や保温材の飛散に対しては、TFコイルが撤去済みであり十分な作業空間を確保できるこ

とから、切断箇所に養生ハウスを設置し飛散防止を図った。この一括切断は、極めて良好であり、約1週間で真空容器等の2分割を実現し、専用のフライス機による切断に比べて約1/4に期間を短縮できた。（第2章参照）。切断により重心位置が変化した真空容器は、専用吊り治具（吊り天秤、スリング）にて一方の真空容器に触れることなくバランスを保持しながら吊り出し、組立室に仮置きした（図16）。その後、真空容器内部は、トリチウム汚染の可能性があるので、ポートを含む切断面の全てをステンレス板材で溶接閉止により密閉状態とし、大型トレーラー（スー

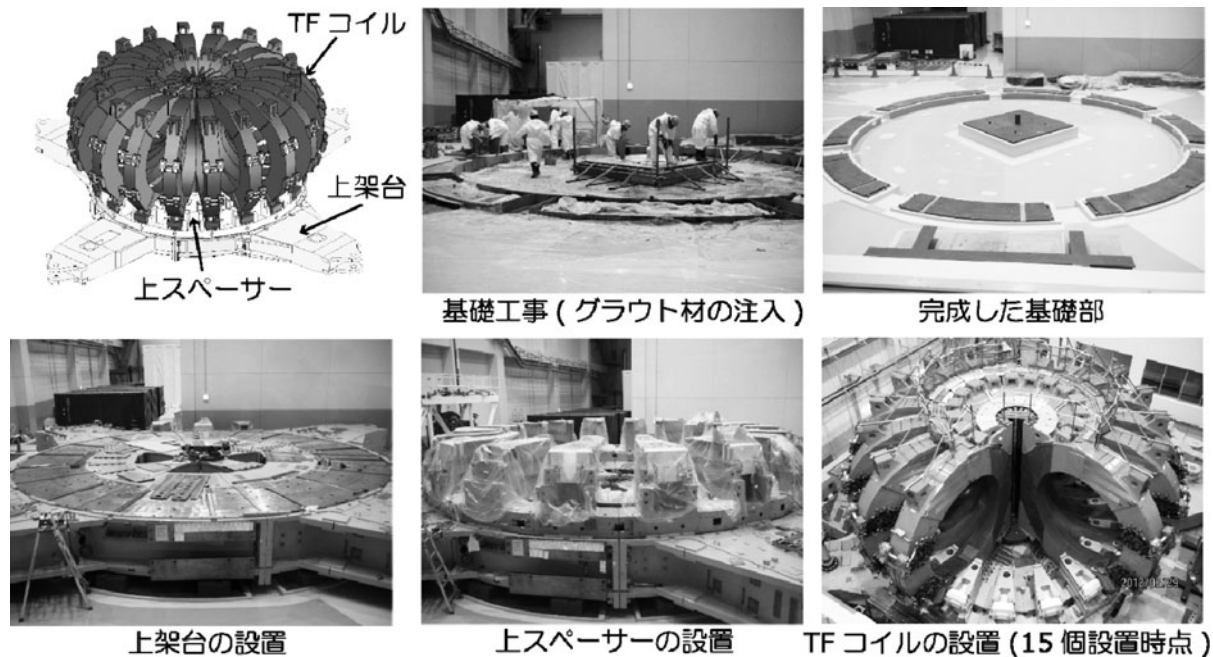


図14 JT-60 機器収納棟での再組立.

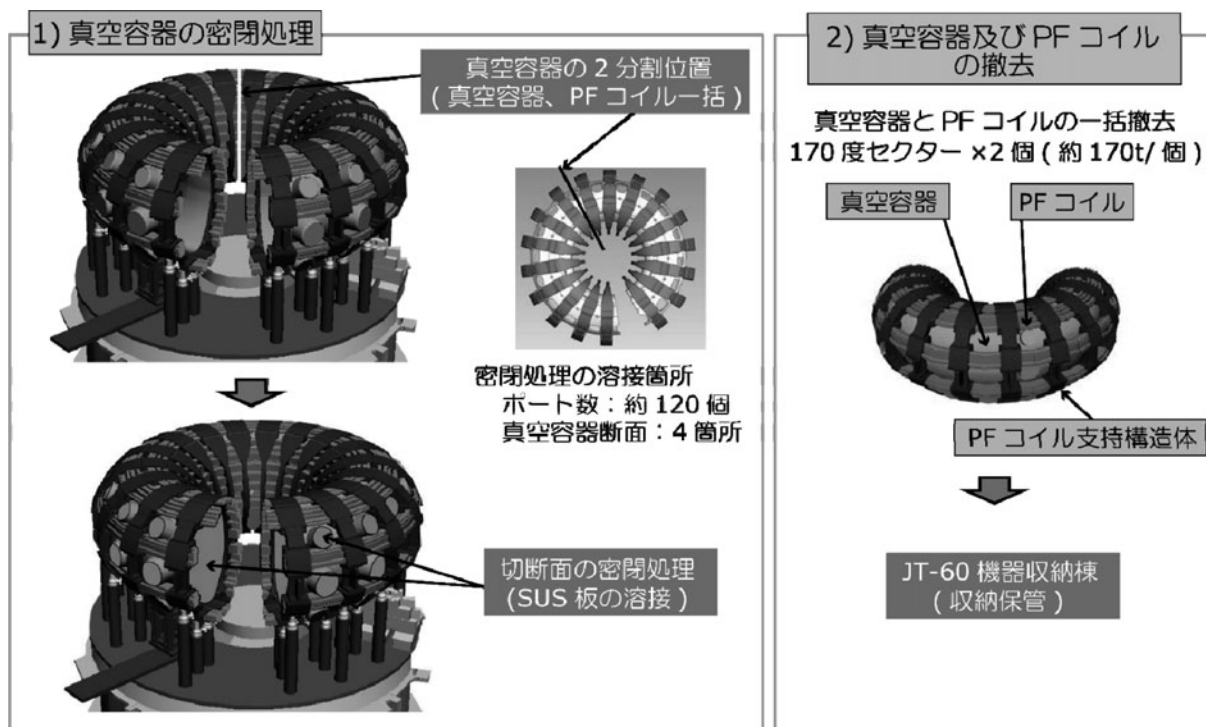


図15 真空容器解体の概要.



パーキャリア)にて保管場所のJT-60 機器収納棟に運んだ(図17)。JT-60 機器収納棟においては、建屋クレーンの定格荷重(100トン)の制限があり、油圧で駆動する組立式の門型クレーン(スーパーリフト)にて大型トレーラーから吊り上げ設置した(図18)。その他、真空容器解体後に構造物である支持柱類、下架台、基礎架台を解体した(図19)。また、並行して周辺設備に残っていた基礎架台内のPF コイルフィーダや計測と RF 加熱装置架台の解体も行った[3]。

以上の解体を経て、2012年(平成24年)10月までに本体室中心部は更地となり、また、JT-60 機器収納棟にも解体品が保管され、長年に亘る JT-60 解体は完遂した(図20)。

#### 4. 解体作業における作業分析

JT-60 解体は、日欧共同の国際協力である JT-60SA 計画に基づく工程が予め確定しており、限られた期間と予算内で進める必要があった。特にトカマク本体の解体に不可欠な切断作業は、放射線障害防止法の下に切粉の飛散と作業者の内部被ばく防止を図りながら安全でかつ効率よく作業を進めることが重要となった。更に、JT-60 解体は、業者に発注する契約形態が単年度契約(一般競争契約)であったため、長期に亘る作業を分割して発注する必要があった。そのため、作業開始前には、JT-60 の過去の作業経験や今

回の各R&Dの結果を充分検討し、本体装置は無論、周辺の機器に至るまで詳細な解体手順を定めるとともに、年度毎の作業実績を踏まえて翌年度の契約に反映させながら実施した。このような作業により、受注業者に対して効率的な解体作業を指示し、限られた期間で解体を完遂することができた。

一方、解体作業においては、図12で示したように切断作



図18 JT-60 機器収納棟での真空容器。

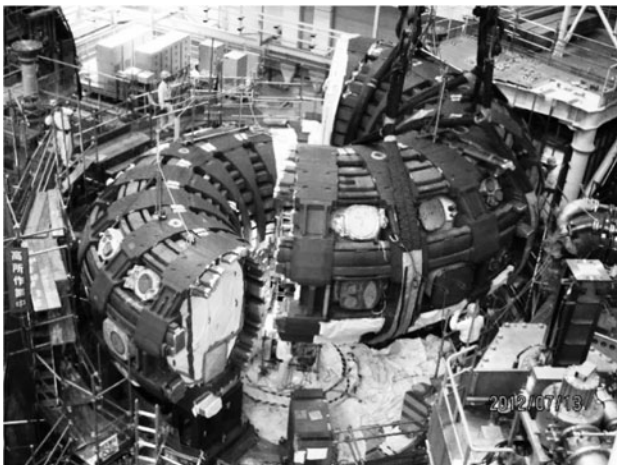


図16 2分割した真空容器の移動(本体室)。



図19 下部架台類の解体(本体室)。

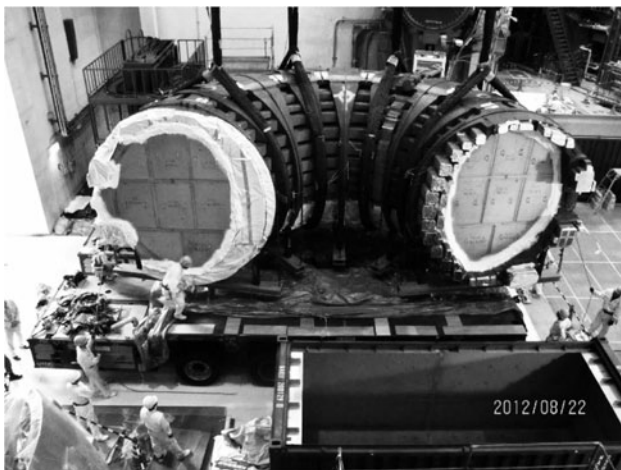


図17 真空容器のトレーラー輸送(組立室)。

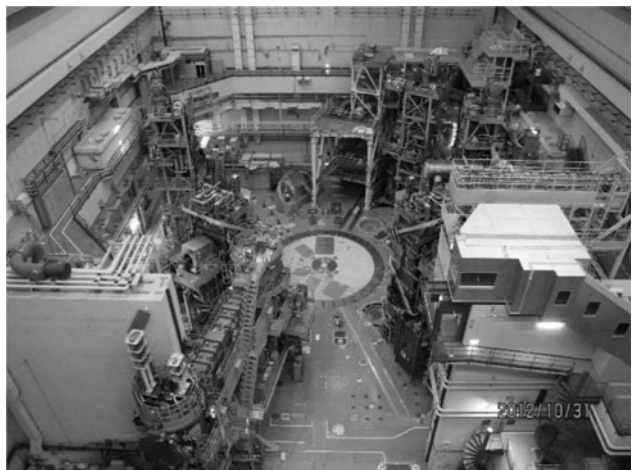


図20 解体後の本体室。

業が工程手順を決める大きな要素となった。実際、解体作業量（人工数）を対象機器毎に整理すると、トカマク本体が全体の4割を占め、その中で切断作業が4割であった（図21）。ここで作業項目としては、「切断」：補強部切断や真空容器、PF コイル等の切断、「分解・吊出し等」：ボルト外しや解体用足場組立そしてクレーンによる吊り出し、「運搬・設置」：本体室から保管エリアに運搬し所定の位置に設置の3種類に整理した。「切断」においては、TF コイル補強溶接部切断、PF コイル支持体、基礎架台補強部、上架台補強部が高マンガン鋼の切断であり、主に小型フライス加工機等を用い実施した。吊出し部は真空容器40度分の切断とPF コイル20度分の切断であり、前者は専用フライス加工機、後者は、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実施した。そして真空容器2分割は、真空容器とPF コイルを乾式ダイヤモンドワイヤーソーにより一括切断したものである。特に、真空容器とPF コイルの一括切断は、作業手順として平行作業ができないことから解体全体時間を決める律速となっており（例えば、ポート切断等は、いくつかの場所に分かれて複数人数で進めることが可能）、この作業期間をフライス加工機に比べ約1/4に短縮できたことは、工程遵守に大きく貢献するものとなった。さらに同手法は、安全確保（作業員は切断箇所近づくことなくても可能であり、巻き込まれ、被ばく等の危険がない）に大変有効であることを実証した。今後、こうした解体の経験や実績は、核融合分野以外の複雑な機器・設備の解体作業においても適用が期待できる。

## 5. まとめ

JT-60SA 建設に向けた JT-60 本体の解体作業は、2009年度（H21年度）の自営による真空容器内の約12,000枚の第一壁タイルの撤去等の解体準備に始まり、2010年から本格的な解体に入った。その後、3次元的に入り組んだ複雑なトカマク本体装置、本体付帯設備および加熱装置等の解体を確実に進め、2012年（H24年）10月に完遂した。

JT-60の解体作業は、放射線障害防止法の下での最初の大規模核融合実験装置の解体であったが、効率的で安全な乾式ダイヤモンドワイヤーソー・専用のフライス等を用いた解体工法の導入や多種多様な解体品に対する効率的な保管管理手法を構築することで、解体総重量約5,400トン、解体品総数約12,000点に及ぶ大規模な解体作業を限られた期間内で無事故・無災害で終えることができた。

## 参考文献

- [1] Y.Ikeda *et al.*, "Safe Disassembly and Storage of Radioactive Components of JT-60U Torus," to be published in Fusion Engineering and Design (11th Inter. Sym. on Fusion Nuclear Technology, Barcelona, Spain, September, 2013).
- [2] 池田佳隆 他：大型核融合実験装置 JT-60U の解体，日本原子力学会和文論文誌，投稿中（2014）。
- [3] 岡野文範 他：JAEA-Technology2014-003 JT-60 トカマク本体装置及び本体付帯設備の解体（2014）。
- [4] 西山友和 他：JAEA-Technology2014-006 JT-60 解体放射化物の収納保管管理（2014）。
- [5] 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）。

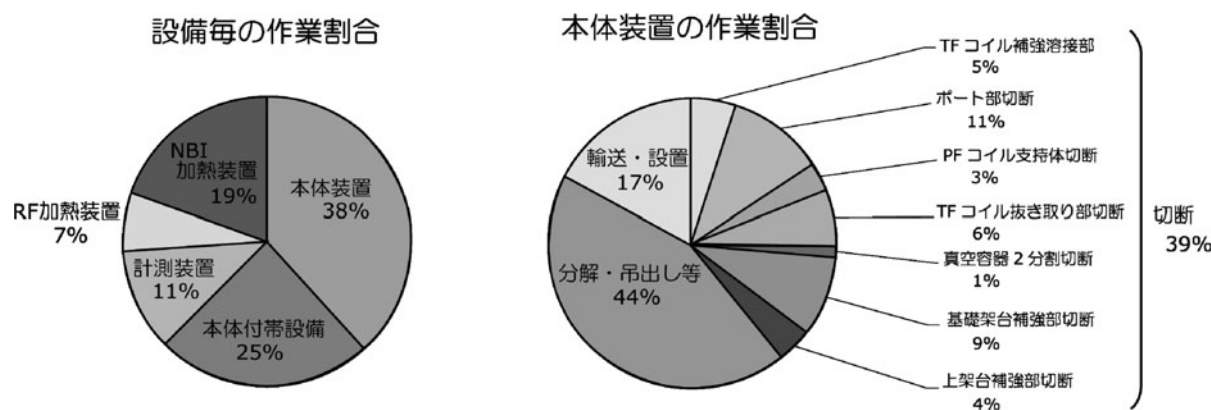


図21 解体作業の作業割合。