

JFT-2M 本体附属設備の制御システム

岡野文範^{A)}、鈴木貞明^{A)}

^{A)}日本原子力研究所 那珂研究所 核融合装置試験部

1 はじめに

JFT-2M 本体附属設備は、JFT-2M 本体装置^[1]を運転・維持管理する上で必要とする周辺設備であり、真空排気設備、ガス導入設備、本体リークテスト設備、冷却設備、He グロー放電洗浄・ポロナイゼーション設備及びベーキング設備から成る。ベーキング設備を除いた設備の制御システムは、平成 12 年度から 14 年度にかけて改造を行った。

従来の制御システムは旧式のため種々の機器の能力不足が著しく、JFT-2M の多様な実験モードに対応できなくなってきた。そのため、制御システムはパーソナルコンピュータ(PC)を用いた統括制御方式により、設備内各機器からの大量な情報の収集機能や操作性の大幅な向上を図り、トラブルの早期発見・早期対策が可能なシステムに改造した。本制御システムの主な特徴は、機器のデータをリアルタイムで表示し、そのデータを保存することにより従来とは比較にならない大量の情報を得ることができること、及びネットワーク(LAN)にて制御室以外の場所からシステムの状態監視ができる等、多機能を持つことである。

2 本体附属設備の概要

JFT-2M 本体と本体附属設備の関連を図 1. JFT-2M 全体ブロック図^[1]に示す。

2.1 真空排気設備

真空排気設備は、JFT-2M 真空容器内を超高真空中に排気し、それを維持するための装置である。真空容器は、ドーナツ状の容器で内部にプラズマを生成するためのもので、プラズマの閉じ込め性能を良くする為には、真空容器壁(第一壁を含む)から放出される不純物、あるいは真空中の不純物を限りなく減少させ、不純物によるプラズマの冷却を避ける必要がある。真空排気設備の主排気ポンプは、実験運転時の多量な燃料ガス(主に D_2)を放電周期(通常 6 分)間に、排気するためのターボ分子ポンプ(TMP) 3 台(5600l/s × 1 台、2200l/s × 2 台)と残留ガス成分の H_2O を排気するためのクライオポンプ(14K) 1 台から成る。さらに真空排気設備は、真空容器内の残留ガスモニター及び真空リークテスト等を行うための計測系統から成る。特に、グロー放電洗浄(GDC)及びポロン化処理時に使用する TMP は、GDC 時の高い真空圧力に対しても有効に動作し、ポロン化処理時の腐食ガスに対しても耐久性があるケミカル型を選択した。本設備の真空リーク検出能力は、大きなリークから微小なリークまで広いレンジに対応できる。真空排気設備は、設備自身が放出ガス源にならないように放出ガスを極力抑えるため、120 のベーキング機能を有する真空装置である。

2.2 ガス導入設備

ガス導入設備は、実験運転時の燃料ガス(D_2)及び放電洗浄時の燃料ガス(He)を導入する設備である。設備は、種々のガス(D_2, H_2, He, Ar)の充填容器を装備し、多様な実験運転に対応できるようになっている。それぞれの

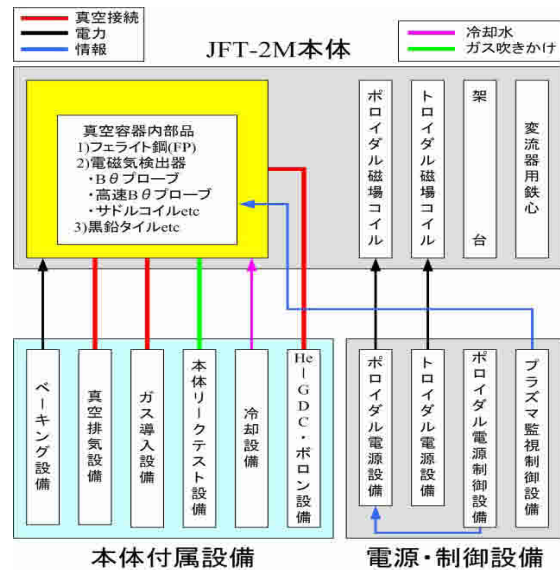


図 1. JFT-2M 全体ブロック図

ガス系統は、独立系統になっていて、系統毎にガスの種類を変えて充填できる。

2.3 本体リークテスト設備

本体リークテスト設備は、JFT-2M 装置本体真空容器の狭隘な場所に取り付けられた約 150 個に及ぶポートの He リークテストを行うためのもので、被リークテストポート部近傍に設置されたプローブノズルへの試験ガス(He)の供給、遮断用の電磁弁の開閉動作を遠隔自動制御するシステムである。従来、オペレータが He ガス拭きかけ用ガンを持って、狭隘な場所に移動しながら He ガスの吹きかけを実施していたので作業能率が悪く、リーク箇所の同定、修復に長時間を要し、実験運転に支障をきたしていた。この問題の改善のため、トロイダル方向の 16 セクションの上側・横側・下側ポートの 48 ヲ所に電磁弁を具備したプローブノズルを設置し、個々の電磁弁の開閉動作タイミングを予めプログラミングすることにより、He ガスを任意の被試験部に吹きかける作業を遠隔自動で行うシステムに改造した。このシステムは、プログラムの設定の仕方により He ガスの多種多様な吹きかけパターンが可能である。

JFT-2M での基本的な He ガスの吹きかけパターンは、リークしたポートへの He ガスの回り込み現象でリーク箇所が分からなくなることを防止するため、上側ポートからトロイダル方向 16 セクションを対角的(例えば、1 セクション 9 セクション 2 セクション 10 セクションの順序)にローテーションし、次に横側ポート、最後に下側ポートの順序で行っている。

2.4 冷却設備

冷却設備は、トロイダル磁場コイル(TFC)、ポロイダル磁場コイル(PFC)及び真空容器分割部の強制循環冷却を行う設備であり、冷却機能と冷却水の純水化機能を有している。JFT-2M の運転によって発生した熱は、JFT-2M 本体内を流れる一次冷却水によって除熱され、高温となった一次冷却水は、スパイラル式熱交換器によって、二次冷却水と熱交換され冷却される。TFC の電気絶縁抵抗を保持するため、一次冷却水は純水を使用している。純水は、一次冷却水の一部をイオン交換器に通水循環する方法で生成している。

2.5 He グロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備

He グロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備は、主に He ガスを使用したグロー放電洗浄(He-GDC)とボロン膜のコーティング処理(ボロナイゼーション)を行うための装置である。プラズマ中の不純物を低減させる方法には、ベーキング、放電洗浄、表面処理(コーティング)がある。放電洗浄は、放電によって低温のプラズマを生成し、その衝撃によって第一壁から不純物、特に軽元素不純物を叩き出す方法である。

JFT-2M では、先進材料プラズマ試験(AMTEX)の第 3 段階として低放射化材であるフェライト鋼(材質:F82H)板を真空容器内壁全面に設置(写真 1 参照)したのに伴い、フェライト鋼板の防錆・不純物の低減・水素リサイクルの低減等を目的として、表面処理にトリメチルボロン(TMB) $[B(CH_3)_3]$ ガスを用いたボロナイゼーション処理を導入した^[2]。また、ボロナイゼーション処理後及び実験運転時において、軽水素と不純物の除去(以下「壁調整」という)のた

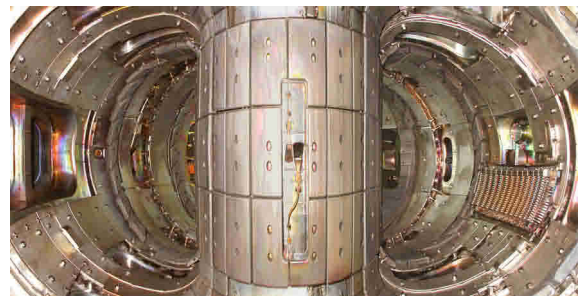


写真 1. フェライト鋼を設置した真空容器内部

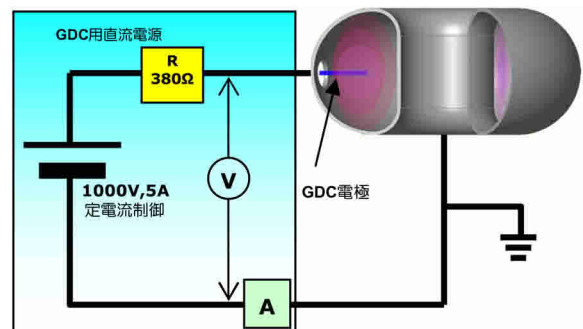


図 2. GDC の概念図

め放電洗浄(He-GDC)が行われる。図2、図3にGDCとボロナイゼーションの概念図を示す。

「壁調整」目的のHe-GDCは、実験運転中において頻繁に行なわれる。そのため、運転効率向上、起動・停止時間の短縮、及び安全確保を確実にするために、従来の手動操作から自動操作へ改造した。また、ボロナイゼーションシステムは操作が複雑であり、且つ、TMBガスは可燃性・毒性であるので、取扱い上オペレータが誤操作しないように、多様なインターロック機能を搭載した自動化システムに改造し、万一の誤操作に対しても安全性が確保できるようにした。

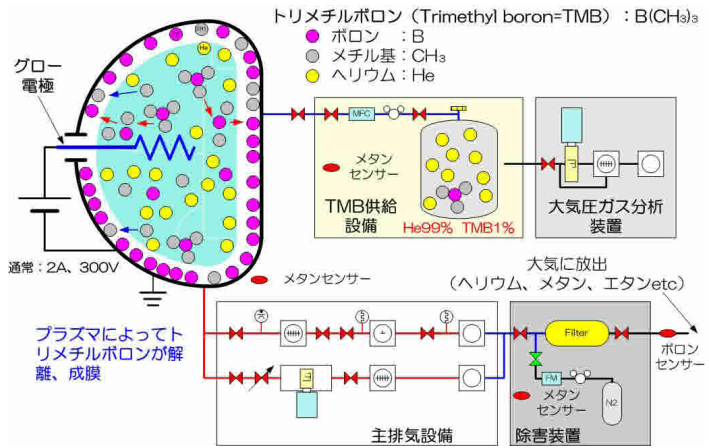


図3. ボロナイゼーションの概念図

3 制御システムの概要

JFT-2M 本体付属設備の制御システムは、パーソナルコンピュータ(PC)とシーケンサ(PLC)を組み合わせることによって負荷を分散し、本制御システムを安定して長時間連続運転が可能なものに改造した。PLCは各機器の制御及び各種センサーからのデータサンプリング制御、データ収集及びモニターを行い、PCは条件入力とモニター(制御PC)及びPLCメモリからデータを吸い上げ・保存(データ収集PC)を行っている。これは、PLCとPCの信頼性の観点からシステム内での役割を分業化した。万一、PCがフリーズした場合でも、信頼性が高いPLCが制御・データ収集及びモニターを担っているため、それぞれの機能に支障なく運転できる。また、各設備の制御は、機能のうち情報収集及びモニター機能については単独制御ではなく、全設備が一括集中管理できるようにPC及びPLCをネットワーク(LAN)網で管理する方式を採用した^[3]。

従来のシステムと比較した大きな特徴を以下に列挙する。設備内各機器から収集した沢山の情報の保管・管理・表示機能及び操作性が大幅に向上した。新しい情報が、常にリアルタイムでオペレータに伝達されることにより、トラブルの早期発見・早期対策が可能になった。設備毎のデータ収集機能について、大量のデータを扱うことができる。ネットワーク(LAN)にて制御室以外の場所からシステムの状態監視ができる等、多機能を持つ。尚、ネットワークは、3層のネットワーク構造にすることにより通信スピードの低下防止と、外部ネットワークからの侵入を極力防止で

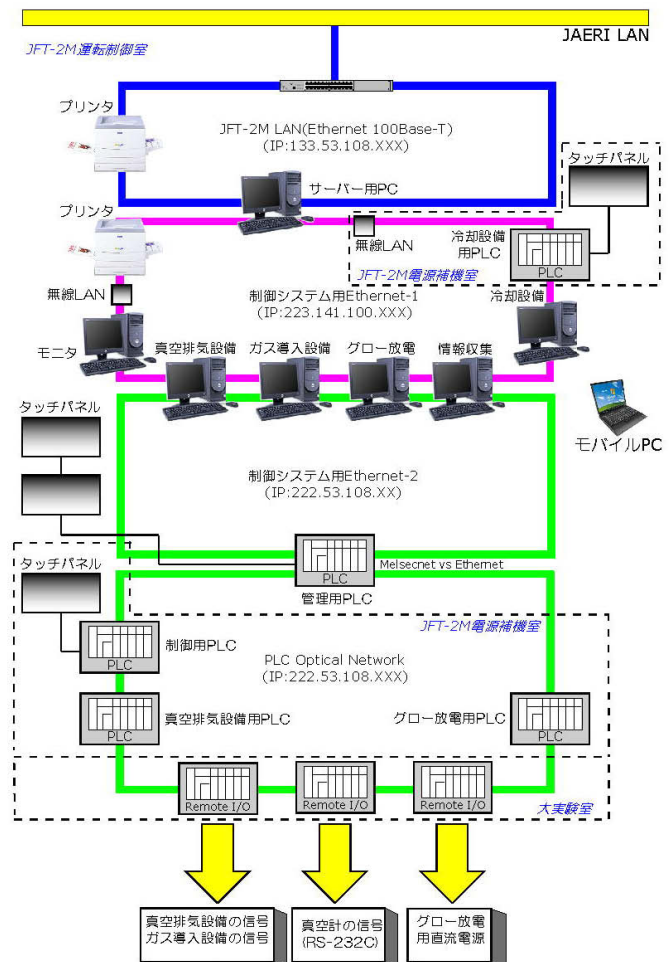


図4. JFT-2M 本体付属設備制御システムの構成図

きるセキュリティ面を考慮した設計になっている(図 4. JFT-2M 本体付属設備制御システムの構成図を参照)。 He グロー放電洗浄・ポロナイゼーション設備における制御は、ポロナイゼーション処理が安全を確保しつつ効率的に行える。 He-GDC の所要起動時間 5 分以内、所要停止時間 5 分以内と作業時間が短縮でき、効率的に実験運転を行えるシステムである。制御システムを用いて He-GDC を行った時の GDC プラズマを写真 2 に示す。

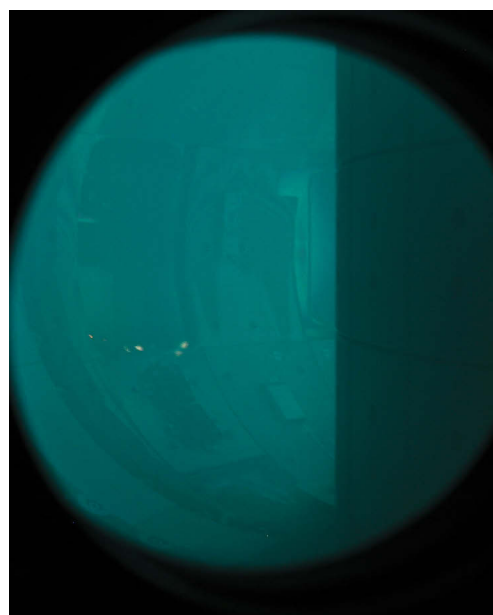


写真 2. He-GDC のプラズマ

4 まとめ

1. 制御システムを PC により一括管理可能な統括制御に改造

従来の制御システムは旧式のため種々の機器の能力不足が著しく、JFT-2M の多様な実験モードに対応できなくなってきた。そのため、制御システムは PC を用いた統括制御により、設備内各機器からの大量な情報の収集機能と操作性の大幅な向上を図り、トラブルの早期発見・早期対策が可能なシステムにした。

本制御システムの主な特徴は、機器のデータのリアルタイム表示と、そのデータの保存機能により、従来とは比較にならない大量の情報を得ることができること、及びネットワーク(LAN)にて制御室以外の場所からシステムの状態監視ができること等、多機能を持つことである。

2. 長期間連続運転に耐えうる安定性

制御システムは、PC と PLC を組み合わせることによって負荷を分散し、本制御システムを安定して長時間連続運転ができるものとした。PLC が各機器の制御及び各種センサーからのデータサンプリング制御、データ収集及びモニターを行い、PC は条件入力とモニター(制御 PC)及び PLC メモリからデータを吸い上げ・保存(データ収集 PC)を行っている。万一、PC がフリーズした場合でも、信頼性が高い PLC が制御・データ収集及びモニターを担っているため、それぞれの機能に支障無く長時間運転ができる。

3. GDC 及びポロナイゼーションの効率化

フェライト鋼板(材質:F82H)を真空容器内壁全面に設置したのに伴い、フェライト鋼板の防錆、不純物の低減、水素リサイクリングの低減等を目的とした、TMB ガスによる、ポロナイゼーション処理を安全且つ効率的に行うことができた。また、ポロナイゼーション処理後及び実験運転時における、軽水素と不純物の除去を目的とした「壁調整」のための He-GDC は、所要起動時間 5 分以内、所要停止時間 5 分以内と作業時間が短縮でき、効率的に実験運転を行うことができた。

参考文献

- [1] 荘司昭朗他： JAERI-M83-194 ,”JFT-2M 装置の概要-設計・製作・試験-”(1983),11P.
- [2] 社) プラズマ・核融合学会編.プラズマ・核融合学会 第 17 回年会予稿集(2000),112P.
- [3] 分子科学研究所技術課編.第 16 回分子科学研究所技術研究会報告書(2000),311P.