

JAERI-Tech
2003-059



JP0350391



JFT-2M 本体付属設備の制御システム

2003年 6月

岡野 文範・鈴木 貞明

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2003

編集兼発行 日本原子力研究所

JFT-2M 本体付属設備の制御システム

日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部

岡野 文範・鈴木 貞明

(2003 年 4 月 25 日受理)

JFT-2M 本体付属設備は、JFT-2M 本体装置を運転・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・ボロナイゼーション設備及びベーキング設備からなる。ベーキング設備を除いた本体付属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。本体付属設備の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。本報告書は、改造を行った本体付属設備の概要を含めて制御システムの機能を詳細に記載した。特に He グロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備については、制御機能に関する複雑でシークンシャルな動きも詳細に記載し、運転マニュアルとしても用いることができる内容とした。

The Control System of JFT-2M Tokamak Auxiliary Subsystem

Fuminori OKANO and Sadaaki SUZUKI

Department of Fusion Facilities
(Tokai Site)

Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 25, 2003)

A JFT-2M Tokamak auxiliary subsystem consists of a vacuum pumping system, a gas injection system, a leak detection system, a water cooling system, a glow discharge system, a boronization system, and a baking system. Control system of each part except for the baking system was replaced to new one, which utilizes a personal computer (PC), from FY 2000 to FY2002. The controllability of the system and the number of data, which can be recorded, was remarkably improved compared to the old system. This system has enough controllability for various operation condition of JFT-2M, and allows early finding and recovering of troubles. The general view of Tokamak auxiliary subsystem and detailed description of the function of the new control system are given in this report. It should be noted that this report describes detail of the operational procedure especially for He glow discharge system and the boron coating system, and thus, it can be used as an operation instruction.

Keywords: JFT-2M, Tokamak Auxiliary Subsystem, Control System, Vacuum Pumping System, Gas Injection System, Leak Test System, Glow Discharge System, Boronization System

目 次

1.	はじめに	1
2.	本体付属設備の概要	1
2.1	真空排気設備	1
2.2	ガス導入設備	3
2.3	本体リークテスト設備	4
2.4	冷却設備	5
2.5	Heグロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備	6
3.	制御システムの詳細	11
3.1	真空排気設備	15
3.2	ガス導入設備	16
3.3	本体リークテスト設備	17
3.4	冷却設備	18
3.5	Heグロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備	19
4.	まとめ	33
	謝 辞	34
	参考文献	34

付 録

1.	本体付属設備制御システムの制御画面	35
2.	GDCのシーケンスマニュアル	44
3.	ボロナイゼーションのシーケンスマニュアル	46
4.	GDCタイムシーケンス図	50
5.	ボロナイゼーションタイムシーケンス図	51
6.	ボロナイゼーション運転マニュアル	53

Contents

1.	Introduction	1
2.	Outline of Tokamak Auxiliary Subsystem	1
2.1	Vacuum Pumping System	1
2.2	Gas Injection System	3
2.3	Leak Detection System	4
2.4	Water Cooling System	5
2.5	Glow Discharge System & Boronization System	6
3.	Details of Control System	11
3.1	Vacuum Pumping System	15
3.2	Gas Injection System	16
3.3	Leak Test System	17
3.4	Water Cooling System	18
3.5	Glow Discharge System & Boronization System	19
4.	Summary	33
	Acknowledgments	34
	Reference	34
Appendix		
1.	Control Screen of Tokamak Auxiliary Subsystem	35
2.	GDC Sequence Manual	44
3.	Boronization Sequence Manual	46
4.	GDC Time Sequence Figure	50
5.	Boronization Time Sequence Figure	51
6.	Boronization Operation Manual	53

1.はじめに

JFT-2M 本体付属設備は、JFT-2M 本体装置を運転・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なる。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、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.本体付属設備の概要

JFT-2M 本体と本体付属設備の関連を図 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、ドーナツ状の容器内にプラズマを生成するためのもので、プラズマ閉じ込めの際に真空容器壁(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なければならない。不純物は、

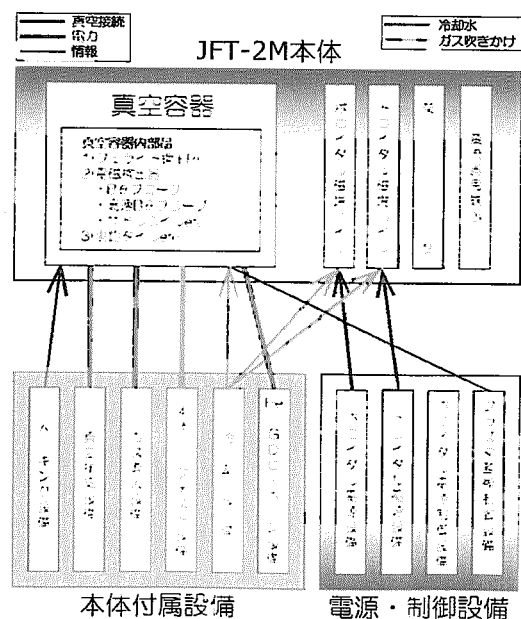


図 1.JFT-2M 全体ブロック図

This is a blank page.

プラズマを冷却させるので閉じ込め性能が悪くなる。

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 D₂)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 H₂O 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)及びボ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、ボ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の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。設備の系統及び詳細は、図 2.真空排気設備の系統図に示す。

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(D₂)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(D₂,H₂,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。設備の系統の詳細は、図 3.ガス導入設備の系統図に示す。

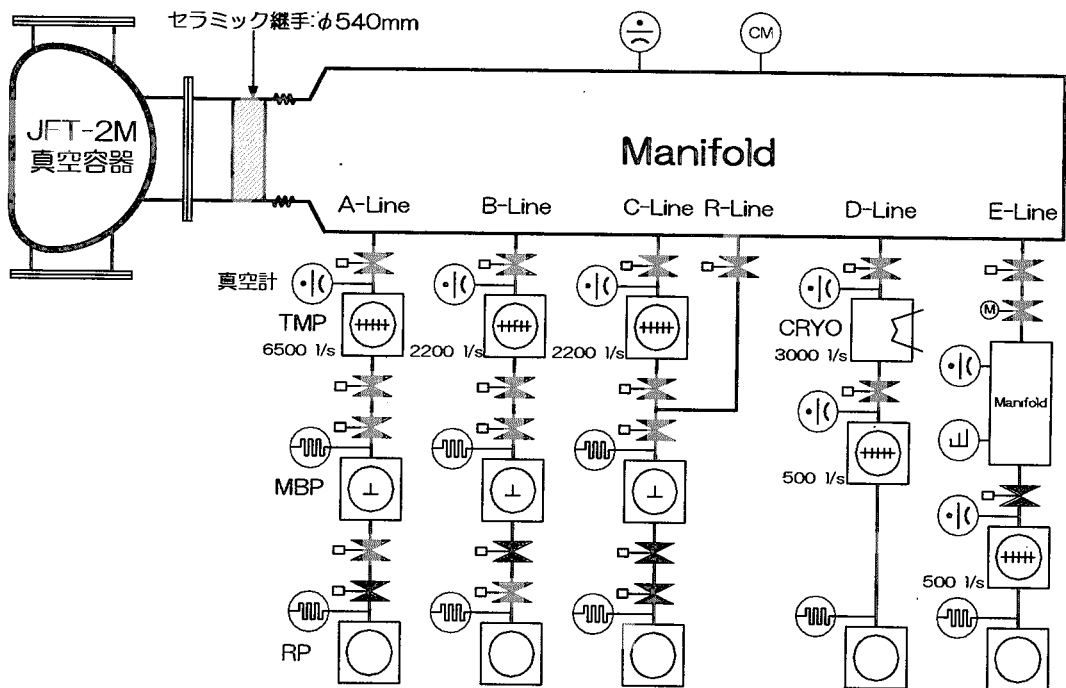


図 2.真空排気設備の系統図

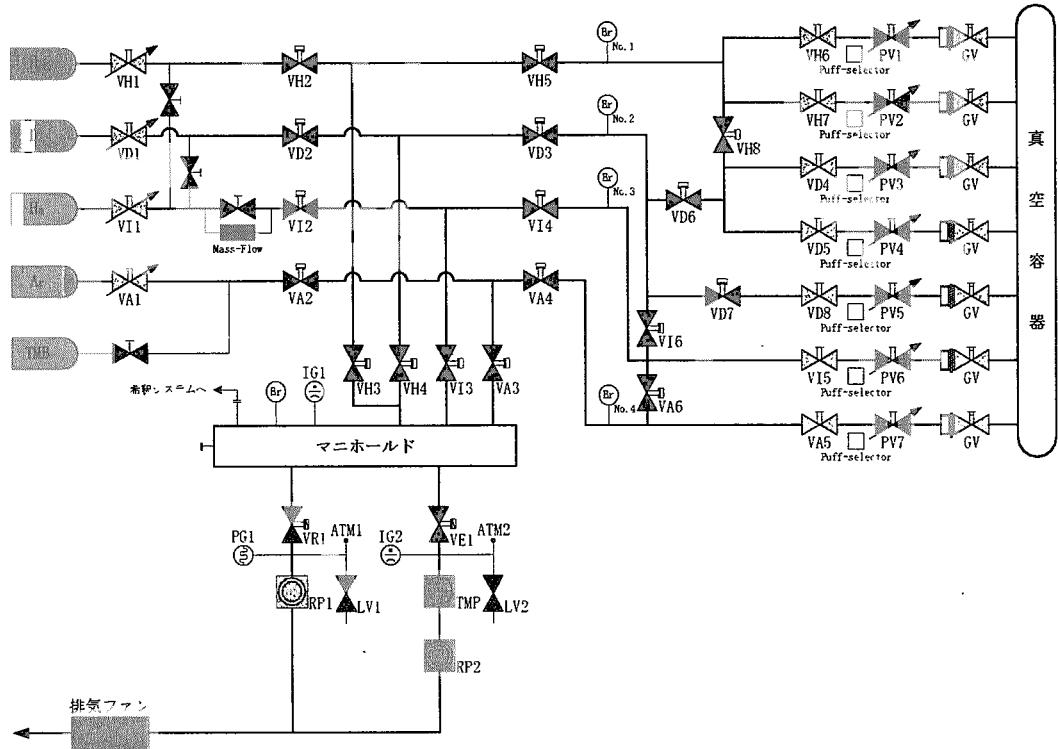


図 3.ガス導入設備の系統図

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 装置本体の狭隘な場所にある真空容器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、He ガスの吹きかけを行っ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 カ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法が可能である。

JFT-2M での基本的な He ガスの吹きかけ法は、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で行っている。図-4 に詳細な系統図を示す。

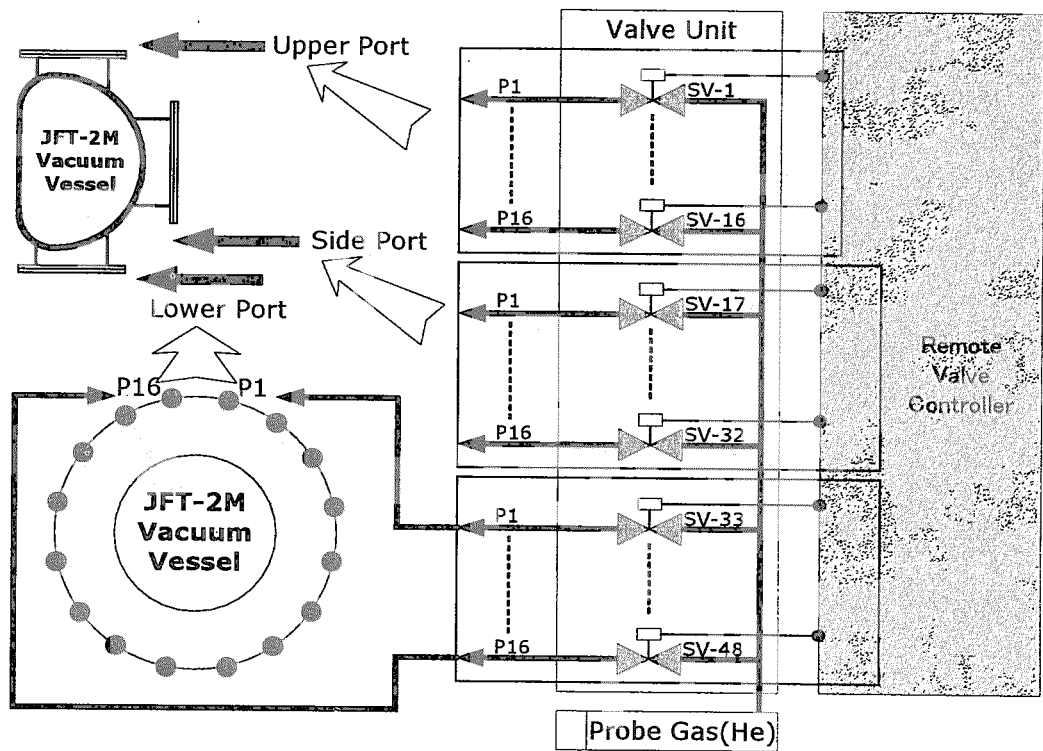


図 4. 本体リークテスト装置の系統図

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)、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。図 5 に本体冷却水設備の系統図を示す。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。

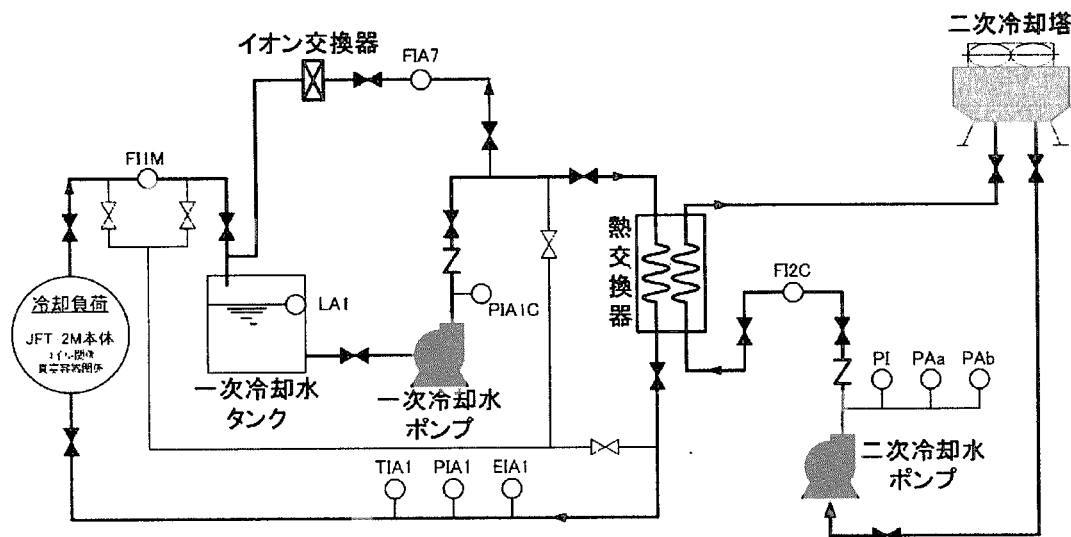


図 5.冷却水設備の系統図

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・水素リサイクリングの低減等の目的で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」と言う)のため放電洗浄(He-GDC)が行われる。図 6 に GDC の概念図、図 7 にボロナイゼーションの概念図、図 8 にボロナイゼーションシステムの系統図を示す。

「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、運転効率の面からの起動・停止時間の短縮、及び安全対策の徹底のために、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。

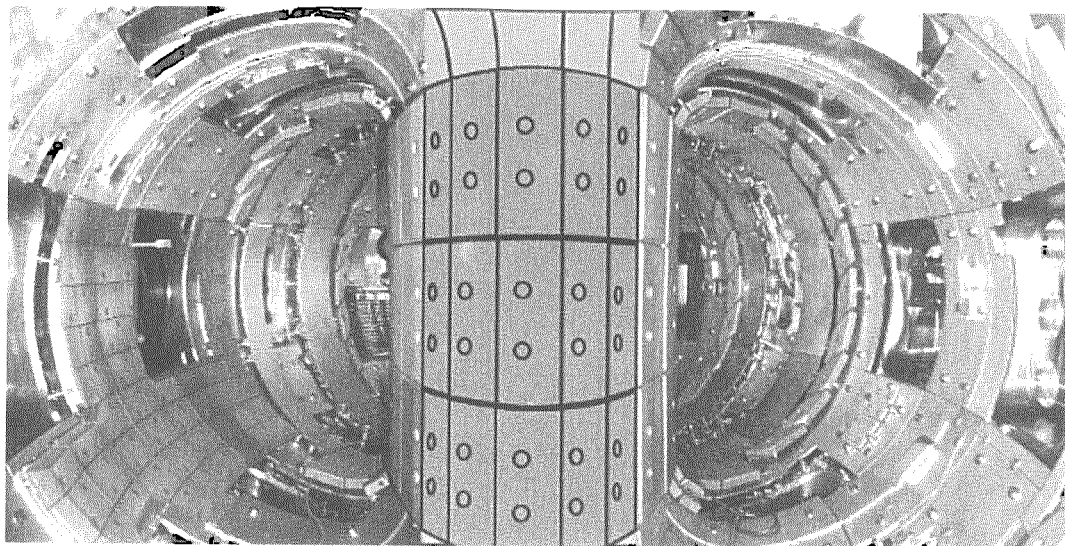


写真 1.フェライト鋼板を全面に設置した真空容器
(真空容器内中央部はイラスト)

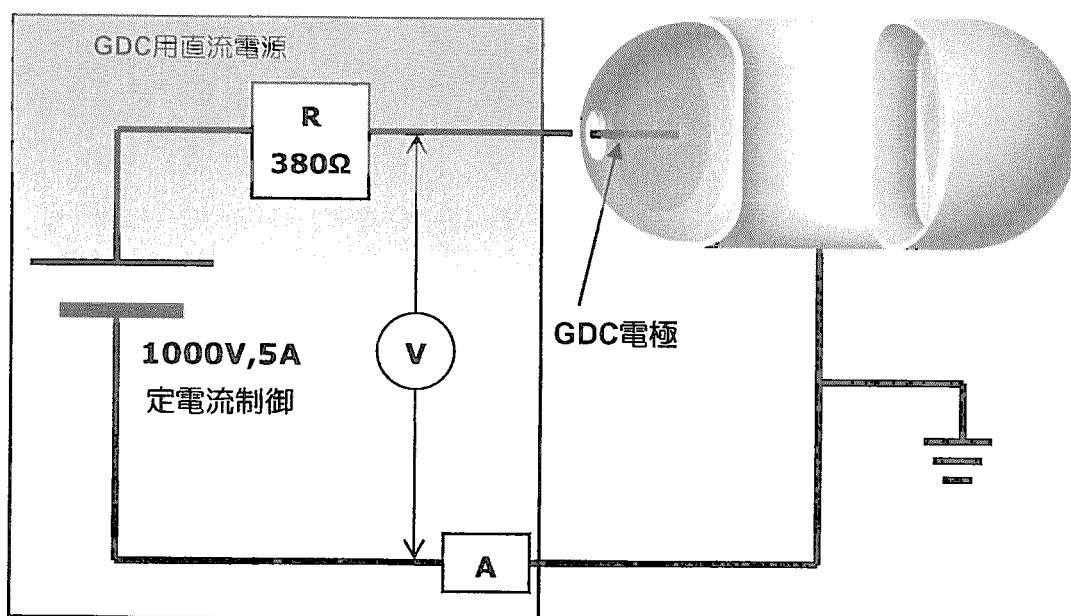


図 6.GDC の概念図

This is a blank page.

This is a blank page.

3.制御システムの詳細

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て保存(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、それぞれの機能に障害がなく運転できる。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は、①設備内各機器から収集した沢山の情報の保管・管理・表示機能や操作性について大幅に向上できた。②新しい情報が、常にリアルタイムでオペレータに入ることにより、トラブルの早期発見・早期対策が可能になった。③設備毎のデータ収集機能は、大量のデータを扱うことができる。④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。⑤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きるセキュリティ面を考慮した設計になっている(図-9. JFT-2M 本体付属設備制御システムの構成図を参照)。表1に従来のシステムとの比較を示す。

表 1.従来のシステムとの比較

	従来のシステム	統括制御システム
1.設備の制御方式	設備毎の単独制御	統括制御
2.データ収集能力	一部/瞬時表示	全数/リアルトレンド
3.データ保存能力	一部/レコーダ	全数/HD,MO
4.情報量	-----	従来の約 100 倍
5.システムの操作性	悪い/複数人数が必要	良い/一人でも可能
6.システムの拡張性	無理がある	容易にできる
7.データの共有化	-----	LANにて可能

特に He グロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備における制御は、ボロ

This is a blank page.

ナイゼーション処理が安全対策を重視し効率的に行え、さらに、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とした。

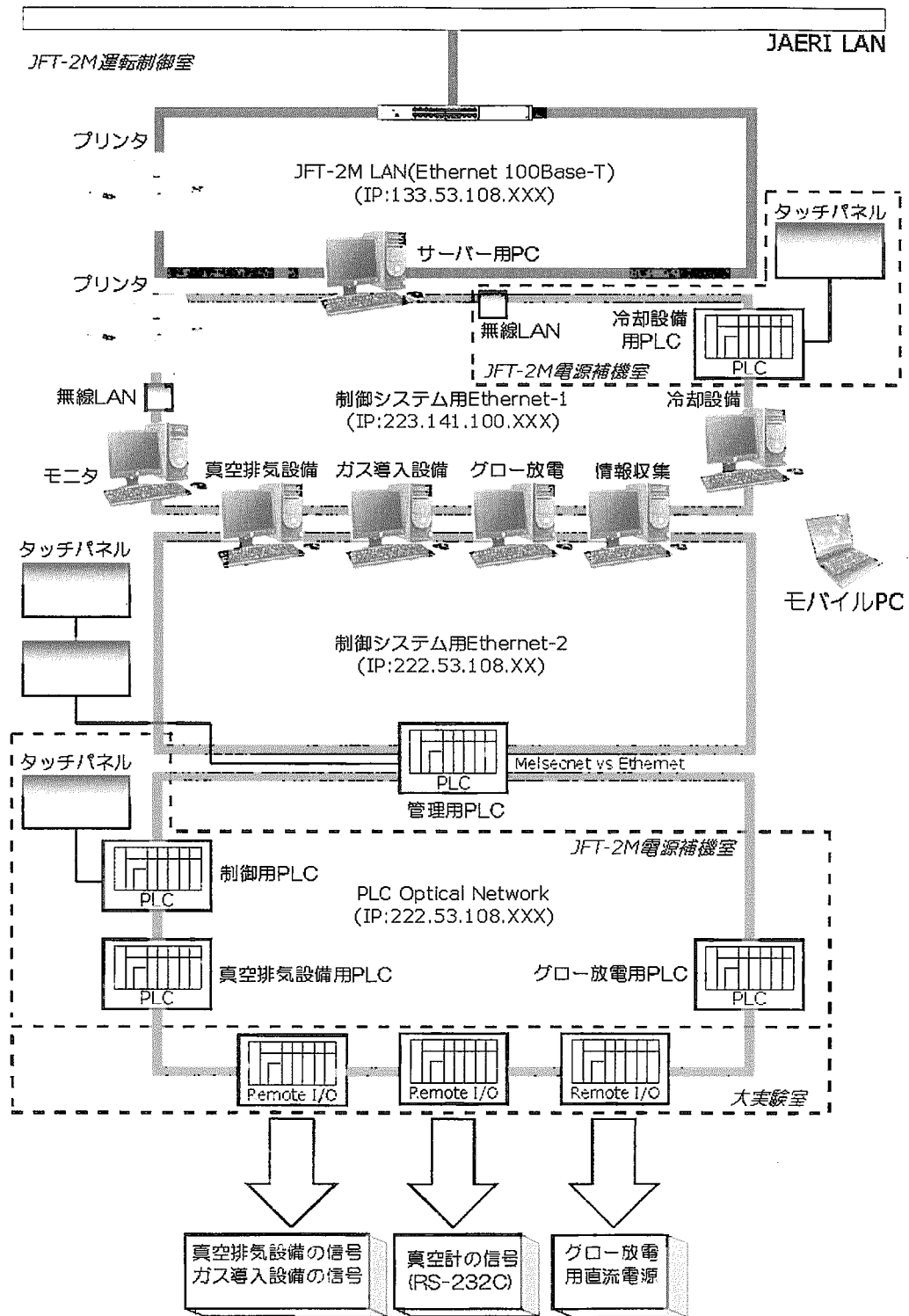


図 9. JFT-2M 本体付属設備制御システムの構成図

This is a blank page.

3.1 真空排気設備

3.1.1 制御システムの機能概要

JFT-2M 真空排気設備の制御は、入力装置(制御端末)用 PC からの信号を PLC に送り、末端の各機器に指令を出す。各機器からの状態を示す情報信号は、各種センサー等から PLC に入力され、PC 画面にリアルタイム(2 秒周期)で表示される。瞬時の変化をモニターする必要がある真空度及び真空ポンプ等の電流値は、タッチパネルモニターが PLC から直接信号を受け取り、10ms 周期でモニターすることができる(詳細を図 10.制御システムの機能構成図に示す)。

万一、PC がフリーズしても、PLC に制御・データ収集機能を分担させているため、システムが停止することはない。また、PLC 内に搭載された真空排気設備を制御するプログラムにより、各種センサーから信号が入力されると、決められたインターロック機能が動作し、その情報データをメモリ内に保存できる。ネットワークは、通信負荷の低減とセキュリティ面からの外部ネットワークからの侵入防止のため 3 層構造にしている。また、最下層の PLC と PC のネットワークは、PC 側のネットワークがトラブルを生じてても、PLC 側には影響を与えないようにネットワーク網を分離してある(図 5 参照)。もし、入力が必要なときはタッチパネル画面から PLC に直接動作命令を入力することができる。

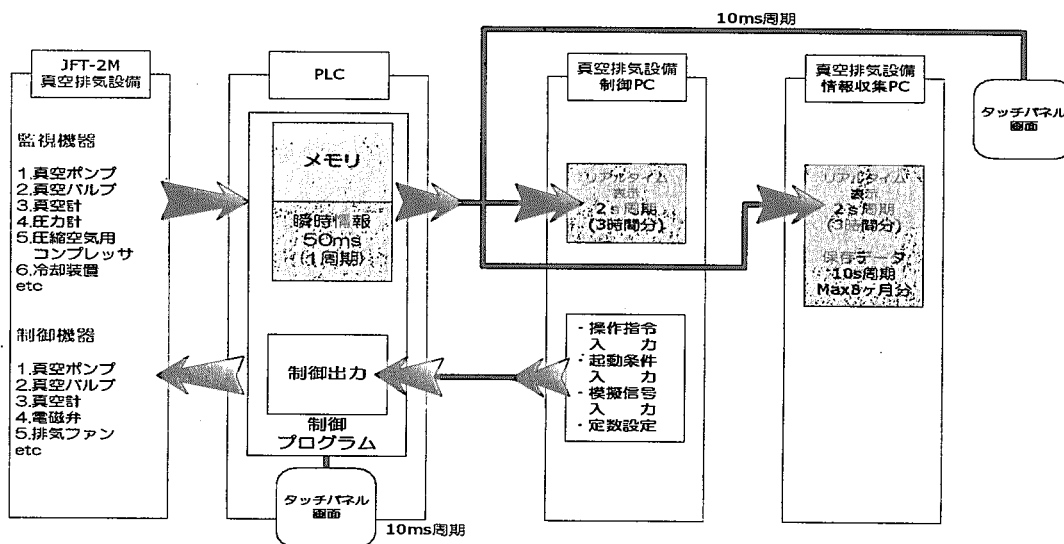


図 10. 制御システムの機能構成図

3.1.2 制御システムの機能

1)機能概要

- ・機器の動作機能
 - ア)手動操作機能：真空ポンプの起動・停止、真空バルブの開閉
真空計の制御、冷却装置等の付帯設備の起動・停止
 - イ)運転条件の設定機能
 - ウ)自動リーク制御：TMP の回転を減衰させ TMP を停止するためにリークバルブを開けて窒素ガスを導入する。
 - エ)系統別ポンプ自動停止機能(起動は手動操作のみ)
 - オ)ベーキング温調制御機能
- ・データ収集機能
 - ア)リアルタイム収集機能(PC：2 秒毎、PLC 直接：10m 秒)
 - イ)リアルタイム表示機能(デジタル表示、トレンドグラフ表示)
- ・データ保存機能
 - ア)長期保存(10 秒周期、HD_約 8 ヶ月)
 - イ)保存データの表示機能
 - ウ)履歴表示機能(操作履歴、故障履歴)
 - エ)バックアップ機能(MO_1 ヶ月毎、CSV 形式)

2)制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

3.2 ガス導入設備

1)制御システムの機能概要

基本的な制御システムは、真空排気設備と同様であり、ガス導入設備専用の PC を有している。ガス導入設備は、真空排気設備のように複雑ではなく、真空ポンプの起動・停止操作、真空バルブ(20 台)の開閉操作、状態表示及び真空計のモニターが主な制御である。

2)制御システムの機能

- ・機器の動作機能
 - ア)手動操作機能：真空ポンプの起動・停止、真空バルブの開閉
 - イ)運転条件の設定機能
 - ウ)自動リーク制御：TMP の回転を減衰させ TMP を停止するためにリークバルブを開けて窒素ガスを導入する。
- ・データ収集機能
 - ア)リアルタイム収集機能(PC：2 秒毎)
 - イ)リアルタイム表示機能(デジタル表示、トレンドグラフ表示)
- ・データ保存機能

- ア)長期保存(10 秒周期、HD：約 8 ヶ月)
- イ)保存データの表示機能
- ウ)履歴表示機能(操作履歴、故障履歴)
- エ)バックアップ機能(MO_1 ヶ月毎、CSV 形式)

3)制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

3.3 本体リークテスト設備

1)制御機能

真空容器の上側、横側、下側ポートのリークテスト用設備(各 16 台の電磁弁)の開閉制御を行う。図 11 に制御フローを示す。

運転パターンは、プログラム運転が可能な自動運転モードとバルブを個別に操作する手動運転モードがある。

自動運転モードは、48 個の電磁弁を任意の順序で作動させることができる。He ガスを吹きかけたくない箇所は、電磁弁操作停止の設定をして、吹きかけを回避することができる。吹きかけ時間及び次の箇所に移動する時間間隔も任意に設定できる。本制御は、バルブの開閉制御のみで、データの収集は行わない。

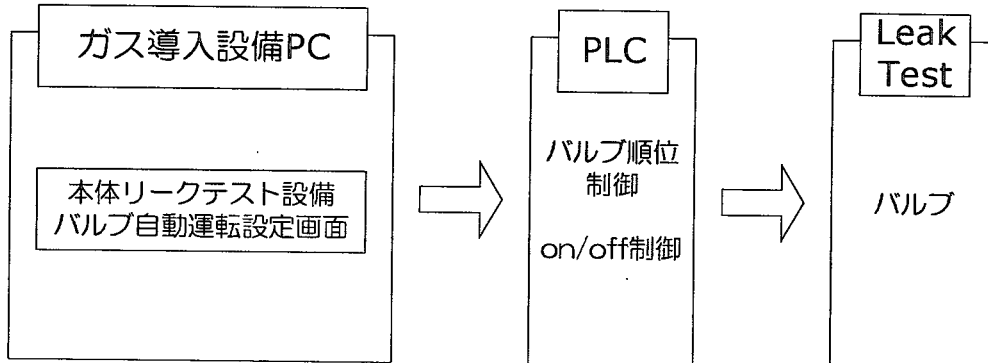


図 11. 本体リークテスト装置の制御フロー図

2)制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

3.4 冷却設備

1) 制御システムの機能概要

冷却設備の制御システムは、本体冷却設備,本体周辺冷却装置,サイリスタ冷却装置の3つの設備・装置に対して運転・停止及びモニターを行う。

【運転・停止制御】

図 12 に運転・停止の制御構成を示す。基本的に冷却設備の制御は、指令出力のみで運転・停止に関する諸制御は、既設の各制御盤にて行う。

- ア)一次冷却水ポンプ :「入/切」指令
- イ)二次冷却水ポンプ :「入/切」指令
- ウ)二次冷却塔ファン :「入/切」指令
- エ)DCG 冷却水ポンプ :「入/切」指令
- オ)DCG 冷却塔ファン :「入/切」指令
- カ)サイリスタ冷却装置 :「入/切」指令
- キ)本体周辺冷却装置 :「入/切」指令

【モニター機能】

現場からの信号は、各既設設備の制御盤から PLC に送信されサンプリングの後、冷却設備専用の PC で一定周期に収集される。図 13 にモニター機能のフローを示す。以下の項目は、リアルタイム表示,経時変化グラフ,タッチパネル画面表示が可能である。

- ア)一次冷却水系統
ポンプ電流/圧力/流量/導電率/温度/タンク水位
- イ)二次冷却水系統
ポンプ電流/冷却塔ファン電流/圧力/流量/温度
- ウ) DCG 冷却水
ポンプ電流/冷却塔ファン電流
- エ)サイリスタ冷却装置
ポンプ電流/電圧/温度

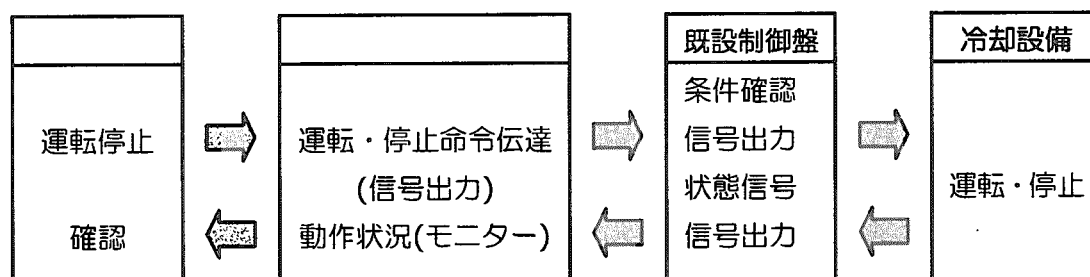


図 12. 本体冷却設備の制御フロー図

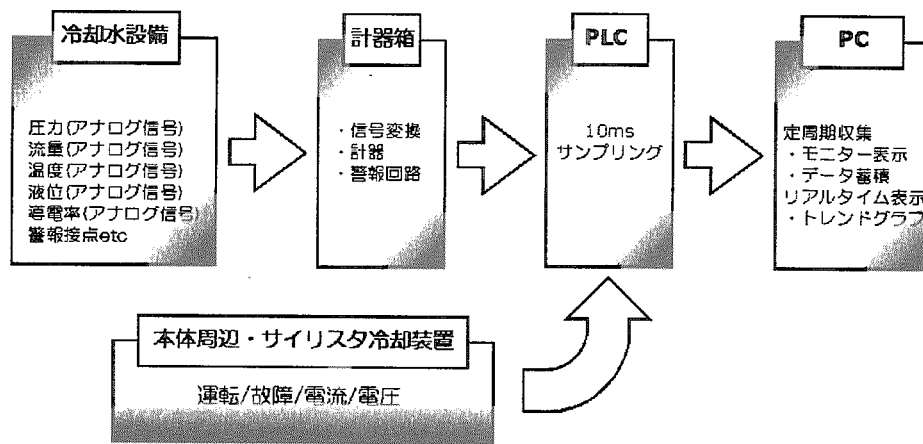


図 13. 本体冷却設備モニターの機能フロー図

2) 制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

3.5 He グロー放電洗浄・ボロナイゼーション設備

1) 制御概要

本設備の制御は、GDC 及びボロナイゼーションの自動化運転(手動操作が伴う部分は、オペレータの確認完了後にマウスによるクリック操作が必要になる)を行うため、図 14 の系統図に示す機器の他、グロー放電電極、直流電源、真空容器接地回路、絶縁モニター回路等を任意のタイミングでシーケンシャルに動作させる機能を有する。

GDC は、グロー放電電極と真空容器(アース:E)間に DC1000V を印加し、動作ガス(He)をある一定圧力(約 5.0×10^{-2} Pa)まで導入するとグロー放電が起こる(写真 2 参照)。この放電を維持することにより「壁調整」を行っている。これらの動作を自動で行い、安全に係るガス導入量の監視、直流電源の状態監視等も自動で行う。また、GDC の起動に要する時間が 5 分以内、停止操作に要する時間が 5 分以内と迅速に準備、起動・停止作業が可能になり、実験運転の効率が大幅に向上した。

ボロナイゼーションは、TMB ガスを用いてボロン膜をコーティングするため、安全対策の観点から複雑な手順になる。既設設備と運転形態から、部分的にオペレータが手動で行う操作が必要になるが、基本的には

This is a blank page.

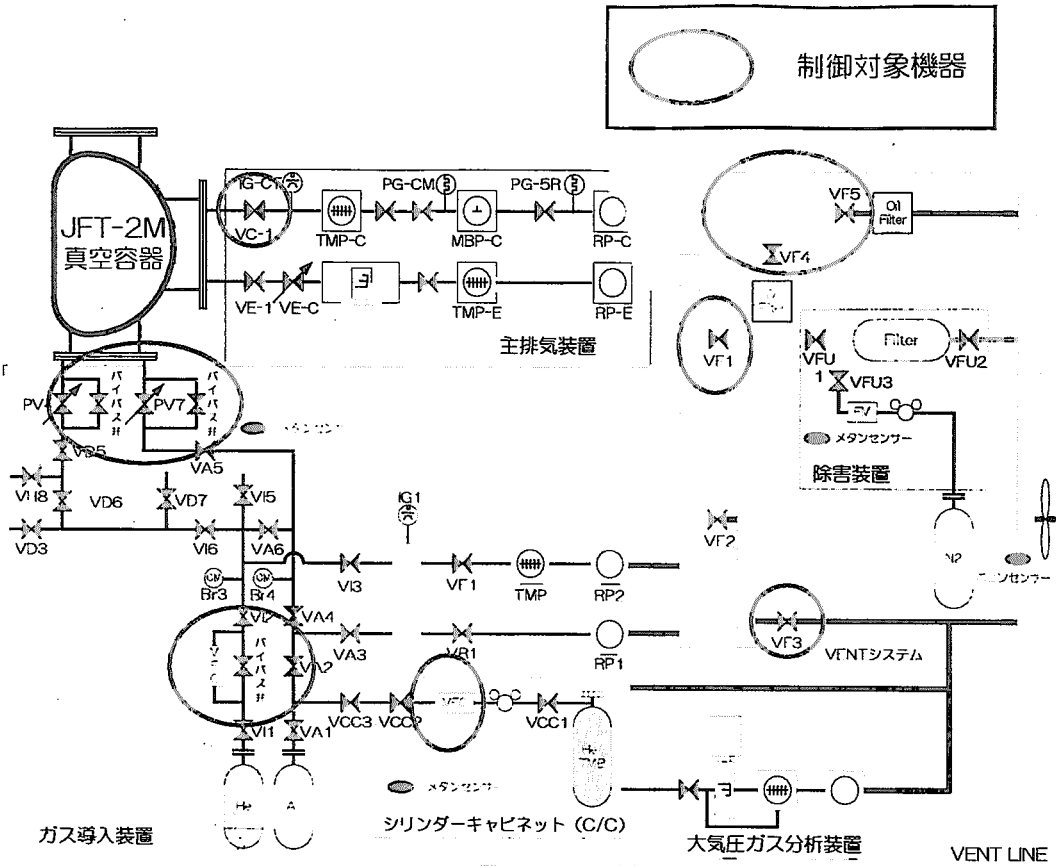


図 14. 制御対象機器の一部

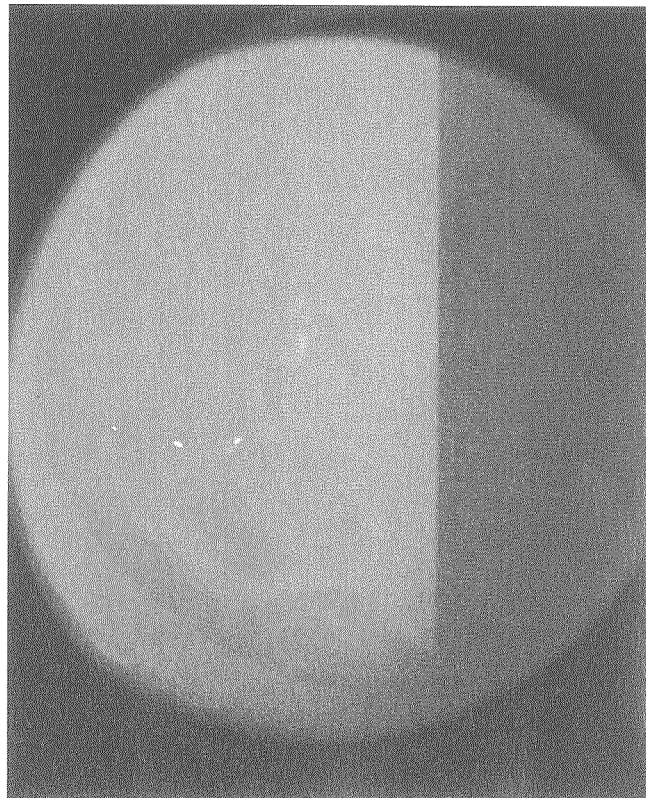


写真 2. He-GDC の放電プラズマ

This is a blank page.

シーケンスに従って行う。運転のフローは、シーケンシャルに放電を着火させるための準備作業[GDC の準備+He ガス、TMB ガスの導入準備]→He-GDC→ボロナイゼーション(TMB) →He-GDC →停止作業(準備作業と逆のフロー)で行われる。

2)制御の進行

グロー放電洗浄制御 PC から制御 PLC へスタート指令が出力され、シーケンスがスタートし現場の機器に対して動作指令が行われる。動作指令を受けた結果は逆のルートで PC に表示される。各機器への動作指令(手動操作が必要になった時は、制御 PLC のシーケンスは、一時中断され、指示待ち状態となる)は、各段階単位に PC から出力され、シーケンスが進行する。オペレータによる結果の確認が必要な場合も同様のフローとなる。確認操作は、モバイル PC(現場移動用)からも進捗状況毎に操作できる。詳細なフローを図 15 に示す。

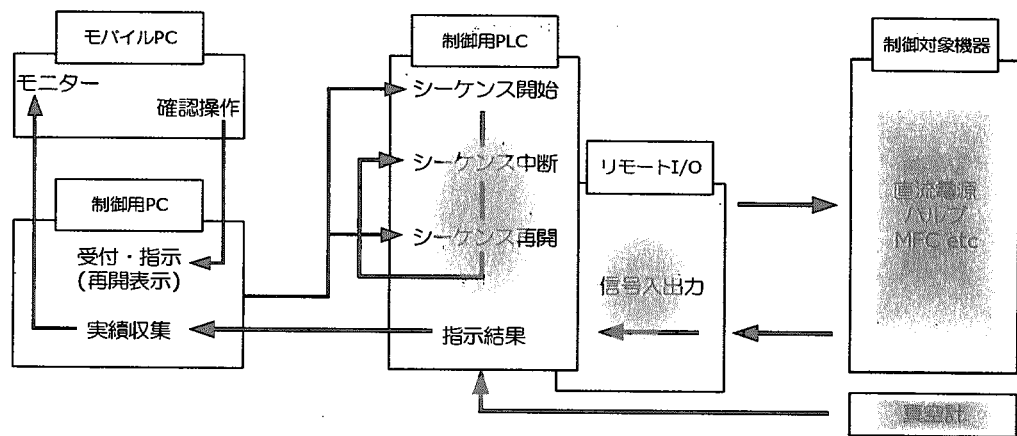


図 15.制御のフロー図

3) GDC モード

3-1)タイムシーケンス

PCのマウスをクリックすることによりGDCがシーケンシャルに進む。GDC用機器の準備からガスの導入、放電着火、放電の安定化を経てGDCの監視モードに入る。また、GDCの終了時は開始工程と逆のフローでシーケンスが流れる。安全対策のインターロック機能が組み込まれていて、GDC準備段階(GDC)で、エラーが発生すると開始時点までシーケンスは戻り、放電中に異常が発生した時はガスと電源の電圧を停止し放電準備状態まで戻る。詳細は、付録 2.GDC シーケンスマニュアル及び付録 4.GDC タイムシーケンス図を参照すること。

This is a blank page.

3-2)GDCのモニター

GDCの運転中は、図16に示すモニター画面で監視する。

【数値項目】

- a)直流電源：状態表示
- b)グロー電極：電圧/電流
- c)ガス圧：真空容器本体/E系統
- d)VE-Cの開度
- e)Heボンベ圧：一次/二次
- f)グロー着火圧力
- g)MFCの流量(He)等

【リアルタイムトレンドグラフ項目】

- a)グロー電極：電圧/電流
- b)ガス圧：真空容器本体/E系統
- c)MFCの流量(He)等

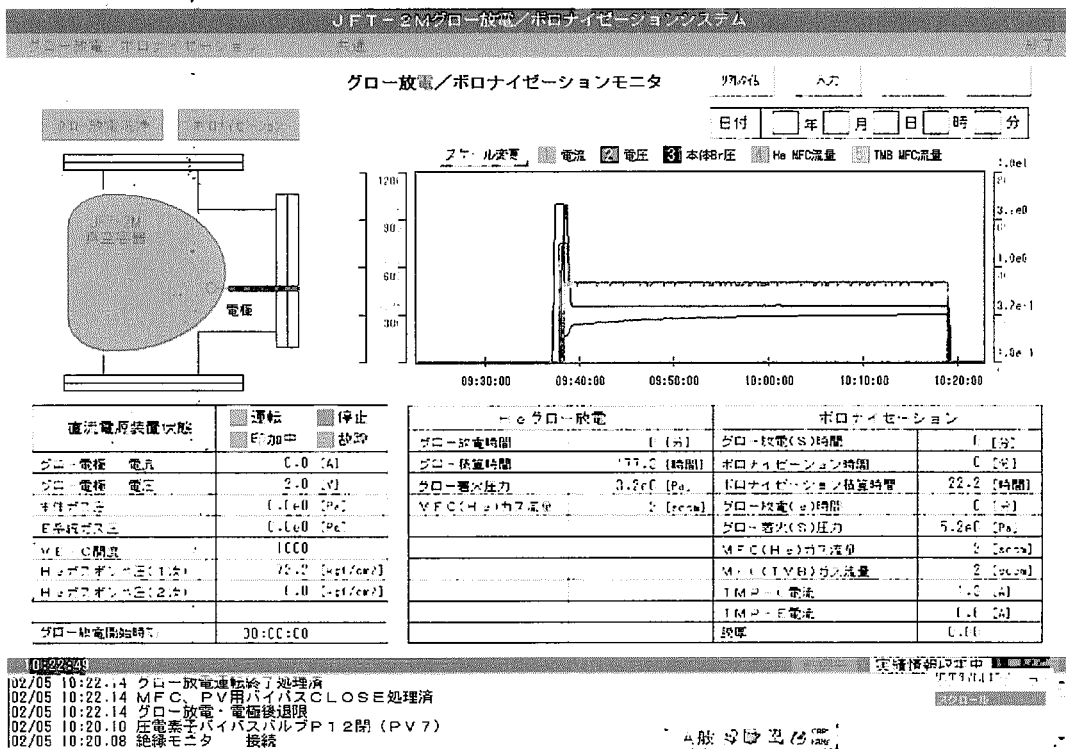


図16. GDCモニター画面

3-3)初期設定

図17にてGDCの初期設定を行う。各項目に該当する制御がシーケンスモードに移行した場合、変更は適用されない。

- a)直流電源：印加電圧値/定電流制御値

This is a blank page.

- b) 本体真空度劣化判定値
- c) He ガス用 MFC：開度/開度時定数
- d) グロー放電着火：着火異常判定値/着火しきい値
- e) 給・排気ラインの選択：PV-4 又は PV-7/VC-1 又は VB-1

JFT-2Mグロー放電/ポロナイゼーションシステム

放電条件設定画面

直流電源装置	ピーク電圧値	1000	V
	定電流制御値	2.1	A
グロー放電	本体真空劣化判定値 (制御閾値)	50	mTorr
	He用MFC開度時定数	20	sccm/s
	He用MFC開度 (安定化流量)	320	sccm
	グロー着火異常判定値 (圧力)	40	mTorr
	グロー放電着火しきい値 (電流)	0.5	A
	HeガスINLETライン		
	主排気ライン選択		
ポロナイゼーション	TMB用MFC開放 (安定化流量)	350	sccm
	ポロン置換後He用MFC開度	10	sccm
	He切替TMB流量確認値	10	sccm
	置換時He用MFC開度時定数	5	sccm/s
	置換時TMB用MFC開度時定数	5	sccm/s
判定値	Br No. 3	10	Torr以下
	Br No. 4	7	Torr以下
	He MFC開度	8	sccm以下
	TMB MFC開度	8	sccm以下
模擬信号	電極動作異常確認		
	HeMFCバイパス開動作異常確認		

09:19:16 異常情報収集中

01/31 08:52.06	VE-1	開
01/31 08:52.02	VC-1	開
01/31 08:50.20	VC-1	開
01/31 08:50.08	VE-1	開
01/30 08:42.44	VE-1	開

A 終 止 閉 閉 閉 閉

図 17.GDC 初期設定画面

3-4) 制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

4) ポロナイゼーションモード

4-1) タイムシーケンス

PC のマウスをクリックすることによりポロナイゼーションがシーケンスシャルに進む。ポロナイゼーション準備から He ガスを注入して GDC を着火させる。放電が安定したらガスを He から TMB ガスに置換してポロナイゼーションに移行する。ポロナイゼーションが適宜時間経過したら、ガス注入設備配管内の TMB ガスを完全に消費させながら He ガスと置換して再度 He-GDC を行う。ポロナイゼーションの終了時は、開始工程と逆のフローでシーケンスが流れる。安全対策のインターロック機能が組み込まれていて、ポロナイゼーション準備段階で、エラーが発生すると開始時点までシーケンスは戻り、放電中に異常が発生した時はガスの注入と直流電源の電圧を停止し、TMB ガスを閉じ込める。ここでシーケンス制御は終了し異常状態となり、後はオペレータの手動でエ

This is a blank page.

ラー解除作業を行う。詳細は、付録 3.ポロナイゼーションシーケンスマニュアル及び付録 5. ポロナイゼーションタイムシーケンス図を参照すること。

4-2) ポロナイゼーションのモニター

ポロナイゼーションの運転中は、図 18 に示すモニター画面で監視する。

【デジタル表示項目】

- ア) 直流電源：状態表示
- イ) グロー放電電極：電圧/電流
- ウ) ガス圧：真空容器本体/E 系統
- エ) VE-C の開度
- オ) He ガスポンベ圧：一次/二次
- カ) グロー着火圧力
- キ) MFC の流量(He/TMB)等

【リアルタイムトレンドグラフ項目】

- ア) グロー放電電極：電圧/電流
- イ) ガス圧：真空容器本体/E 系統
- ウ) MFC の流量(He/TMB) 等

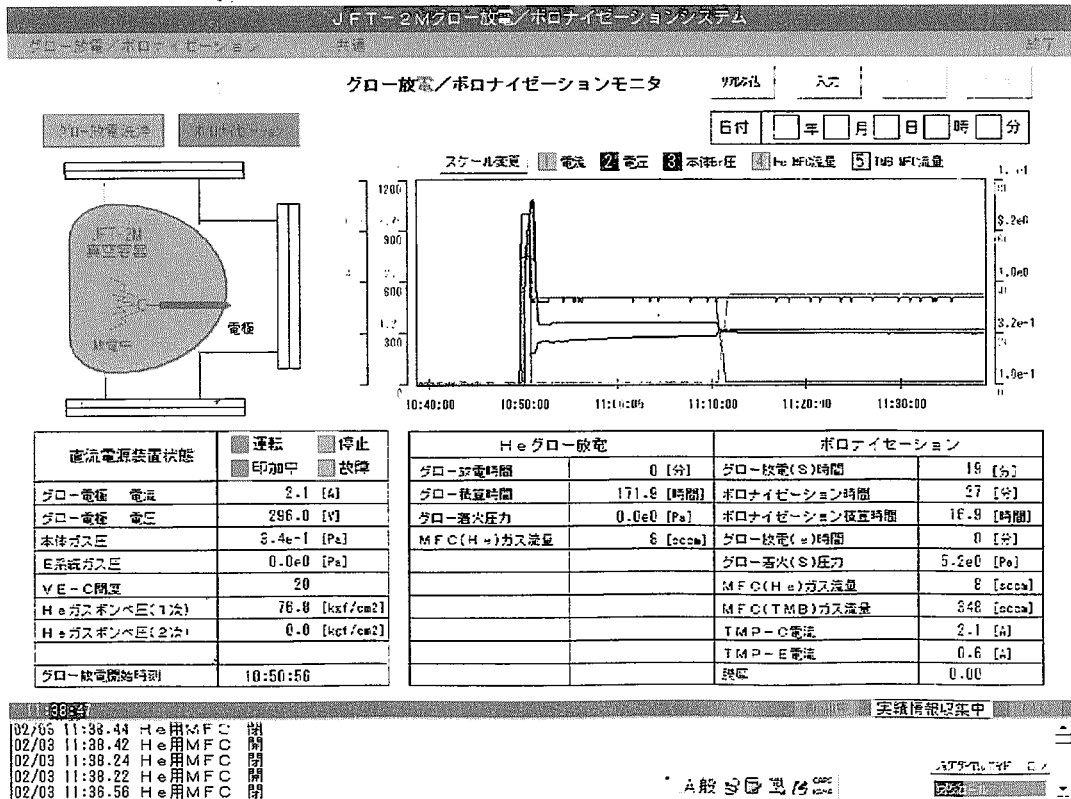


図 18. ポロナイゼーションのモニター画面

This is a blank page.

4-3)初期設定

図 19 にてボロナイゼーションの初期設定を行う。各項目に該当する制御がシーケンスモードに移行した場合、変更は適用されない。

- ア)直流電源：印加電圧値/定電流制御値
- イ)本体真空度劣化判定値
- ウ)He ガス と TMB ガス用 MFC：開度/開度時定数(置換時定数含む)
- エ)グロー放電着火：着火異常判定値/着火しきい値
- オ)給/排気ライン(固定)：PV-4 (He) , PV-7(TMB)/VC-1

JFT-2Mグロー放電/ボロナイゼーションシステム

放電条件設定画面

直流電源装置	ヒータ電圧値	1000	v
	定電流制御値	2.7	A
グロー放電	本体真空劣化判定値(劣化閾値)	50	r Torr
	He用MFC開度時定数	20	sec/s
	He用MFC開度(安定化流量)	320	scm
	グロー着火異常判定値(圧力)	40	r Torr
	グロー放電着火しきい値(電流)	0.5	A
	Heガス：NLEライン		
ボロナイゼーション	主排気ライン選択		
	TMB用MFC開度(安定化流量)	0.0	scm
	ボロン置換後He用MFC開度	0.0	scm
	HeガスTMB流量配値	10	scm
	置換時He用MFC開度時定数	5	sec/s
判定値	置換時TMB用MFC開度時定数	5	sec/s
	B ₁ No. 3	10	Torr以下
	B ₁ No. 4	7	Torr以下
	He MFC開度	3	scm以下
模擬信号	TMB MFC開度	3	scm以下
	電圧動作異常確認		
	He MFCパルス発生異常確認		

08/19/06 08:52.06 VE -1 開
 01/31 08:52.02 VCO -1 開
 01/31 08:50.20 VCO -1 開
 01/31 08:50.08 VE -1 開
 01/30 08:42.44 VE -1 開

突進検知中

図 19. ボロナイゼーション初期設定画面

4-4)制御画面

付録 1 に真空排気設備の代表的な画面を示す。

This is a blank page.

4.まとめ

1. 制御システムを PC にて一括管理ができる統括制御に改造

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

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て保存(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、それぞれの機能に障害がな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の目的で TMB ガスを用いて、真空容器内面(第一壁を含む)にボロン膜をコーティングするポロナイゼーション処理を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いて、軽水素と不純物の除去を目的とした「壁調整」のために用いられる 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。

謝 辞

JFT-2M 本体付属設備の制御システムの製作に当たり御指導、御助言を賜りました山本正弘 JFT-2M 試験室長、柴田孝俊 JFT-2M 試験室長代理に心から感謝申し上げます。また、ボロナイゼーション設備の技術的指導をして頂いたプラズマ物理実験研究室の都筑和泰研究員に感謝の意を表します。

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.

付録 1
 本体付属設備制御システムの制御画面

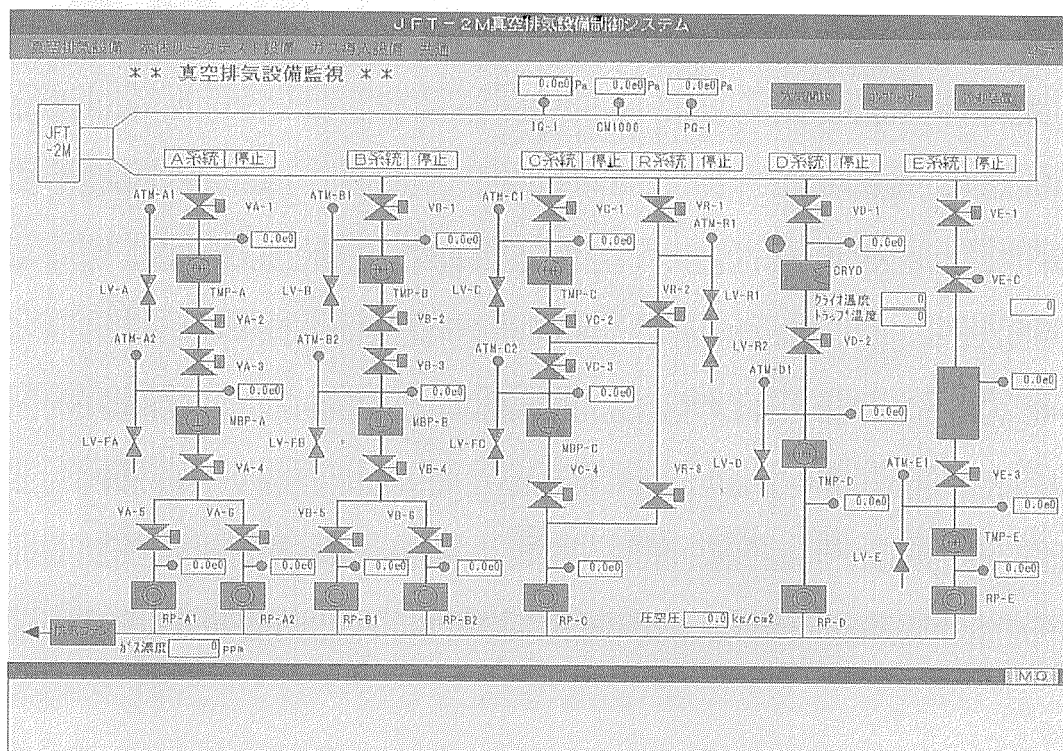


図 1.真空排気設備の監視画面

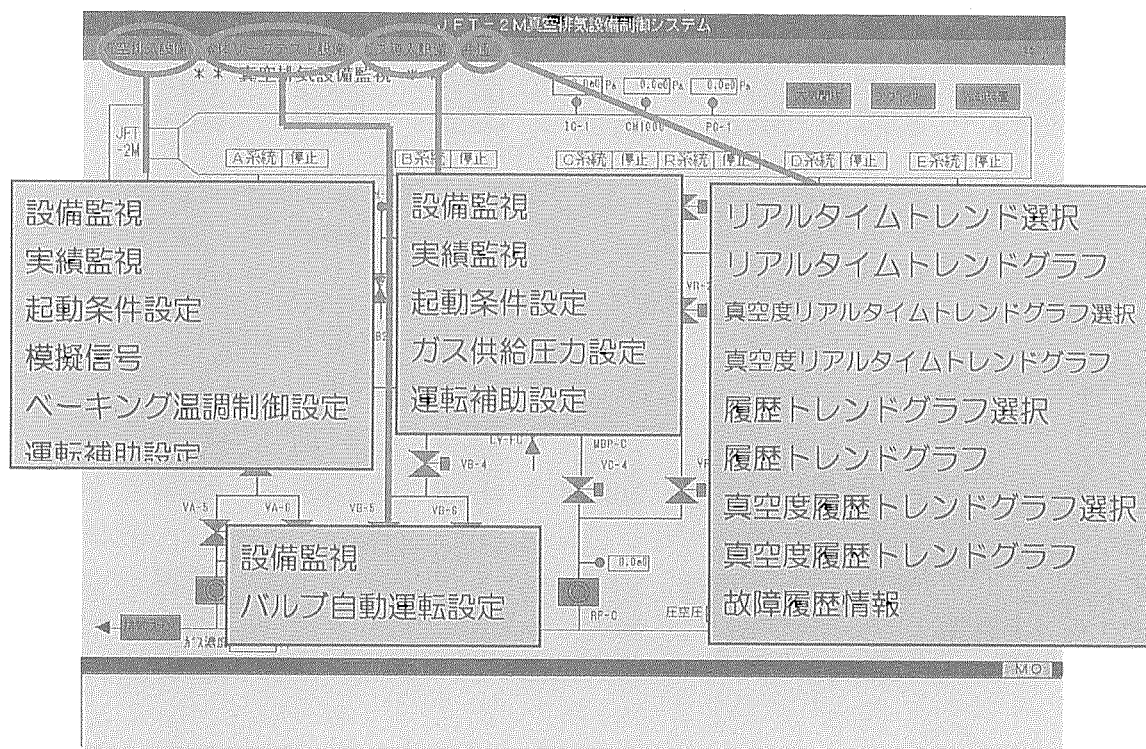


図 2.真空排気設備等のプルダウンメニュー

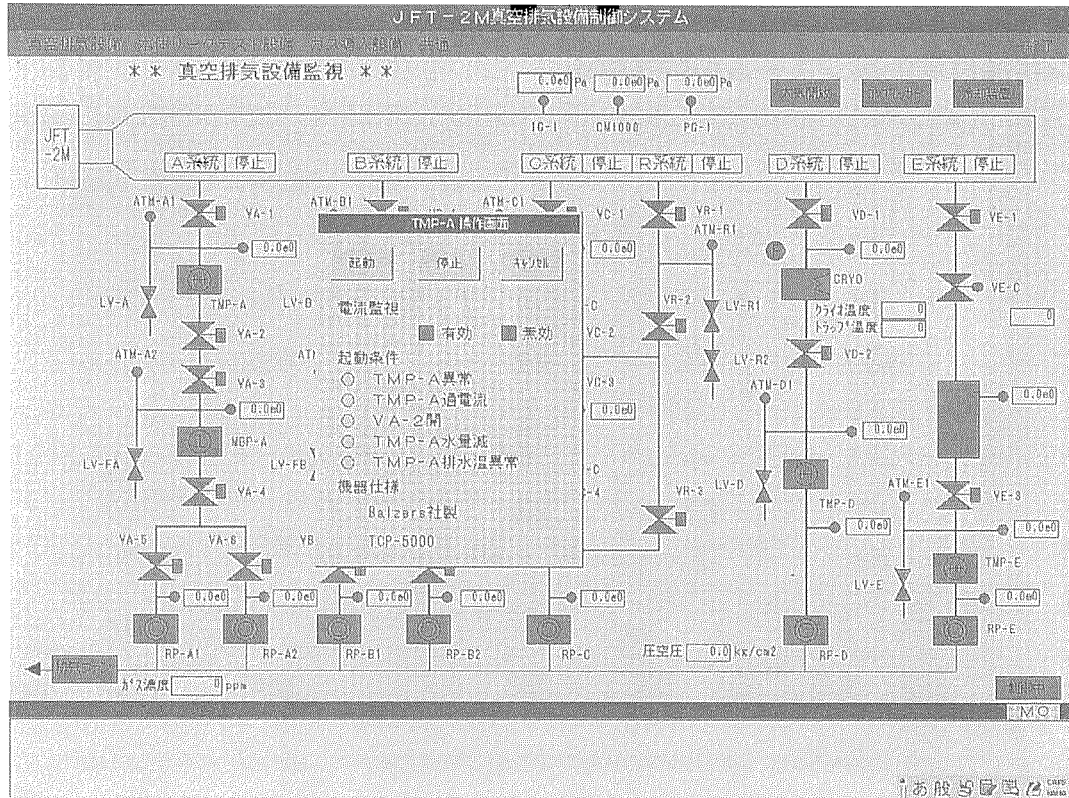


図 3.真空排気設備の機器操作ポップアップ画面

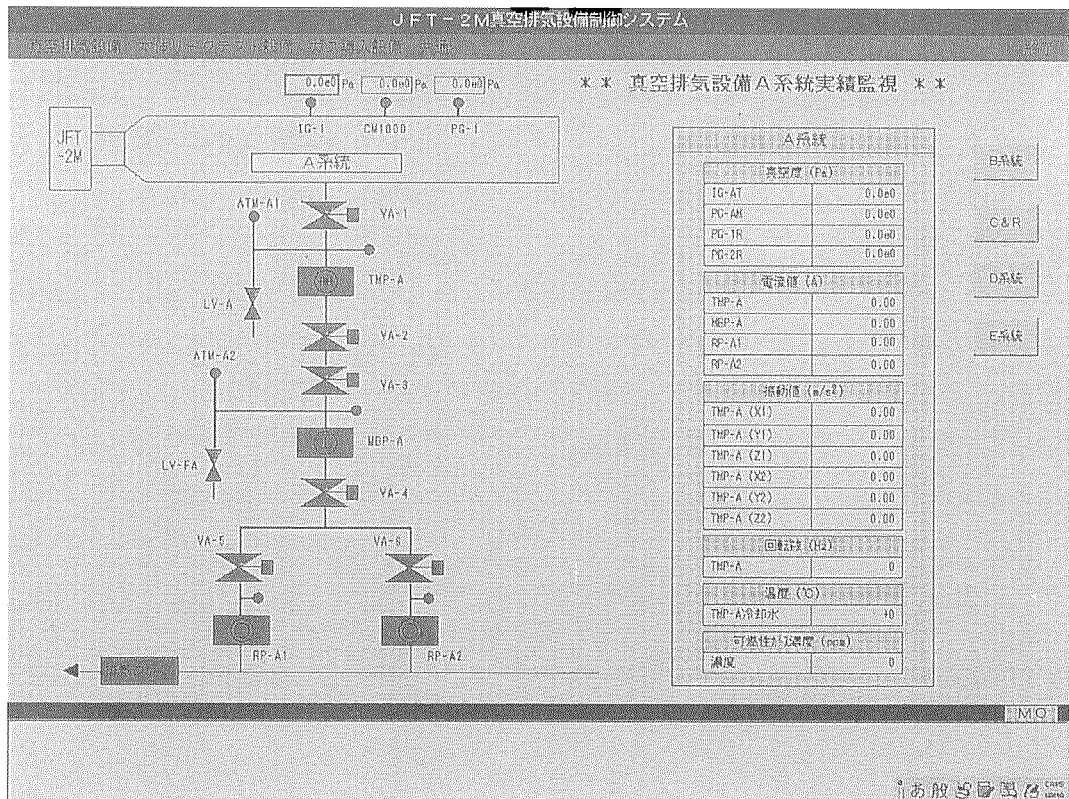


図 4.真空排気設備の系統別制御画面

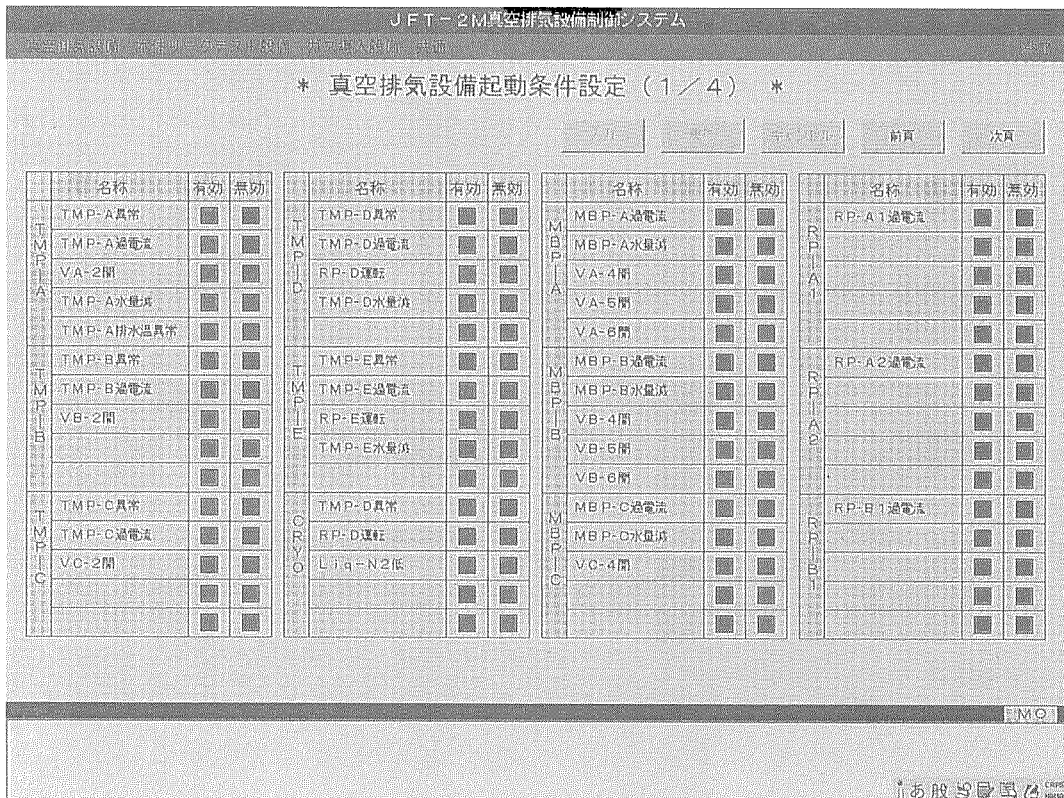


図 5.真空排気設備の起動条件設定画面

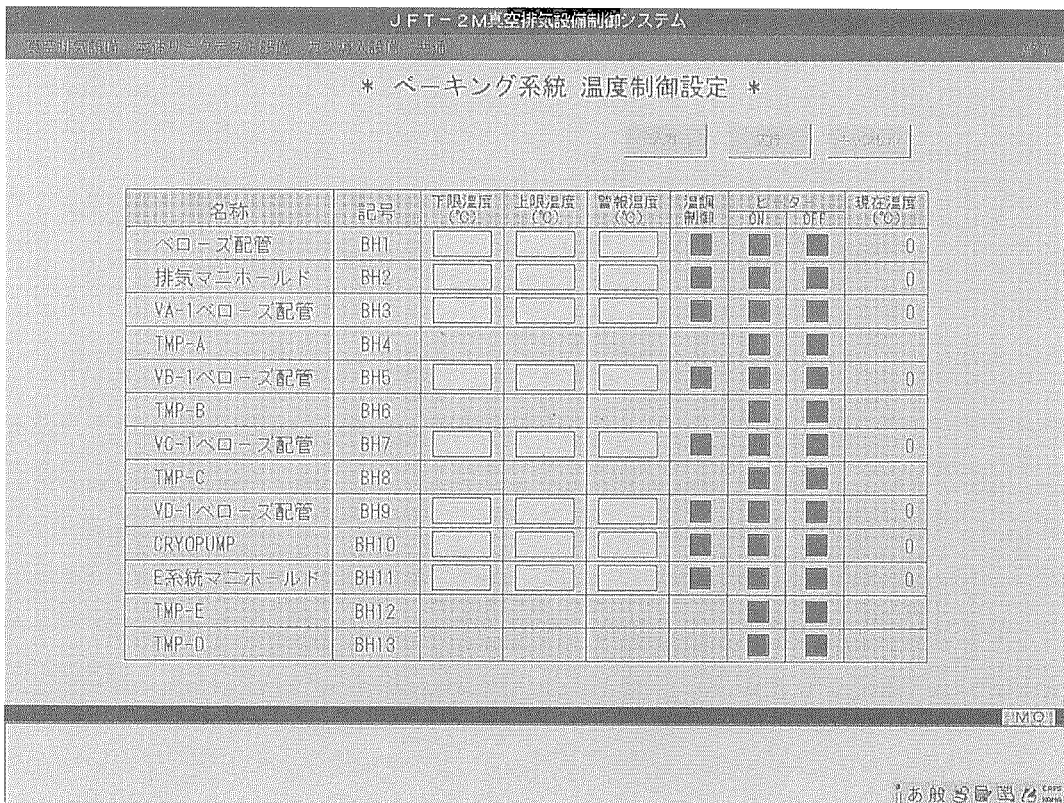


図 6.真空排気設備のベーキング系統温度設定画面

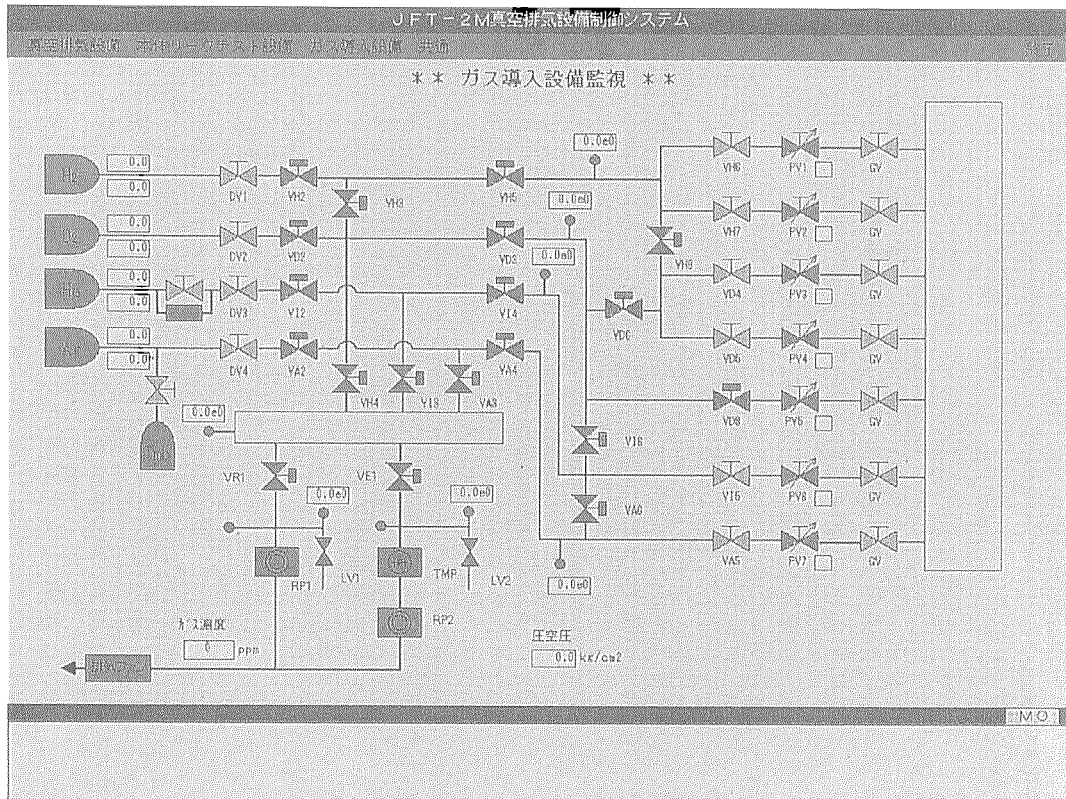


図 7.ガス導入設備の監視画面

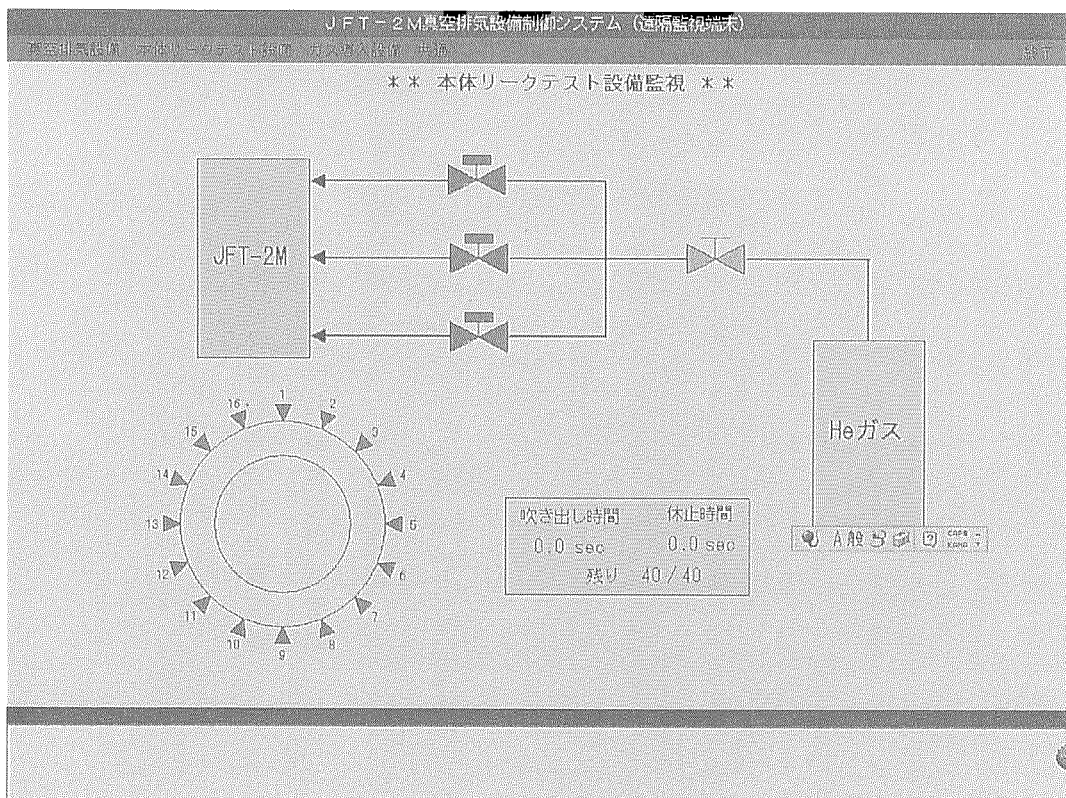


図 8.本体リークテスト設備の監視画面

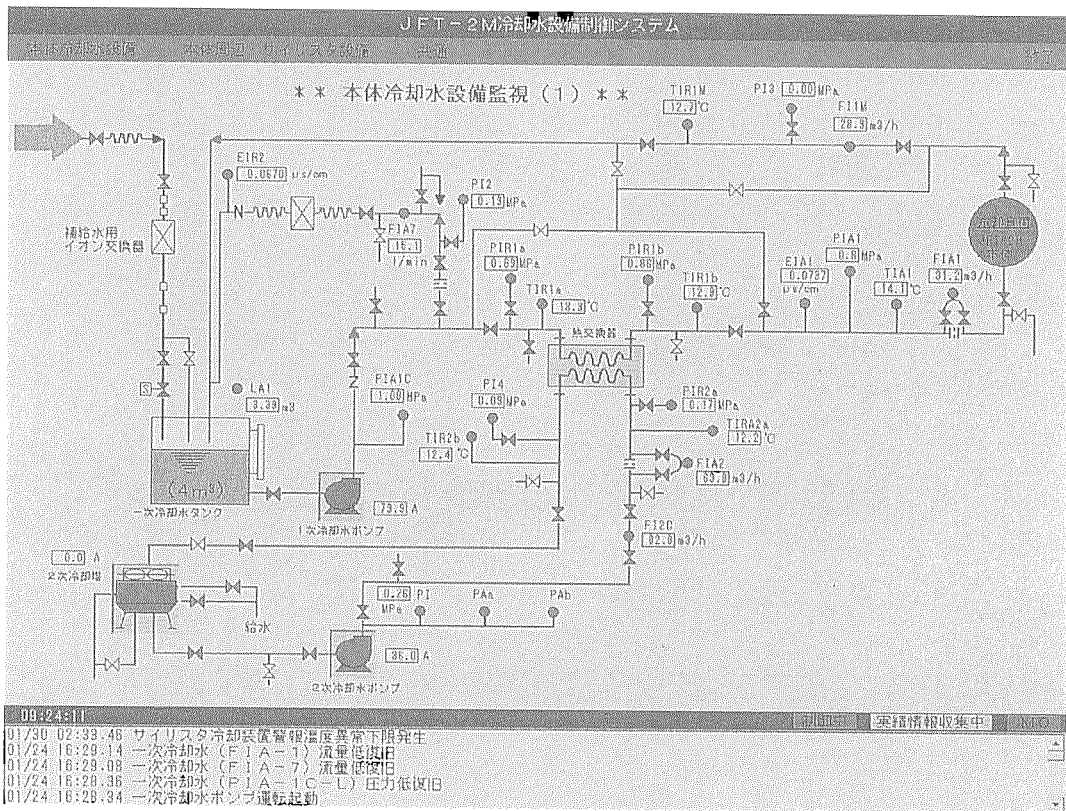
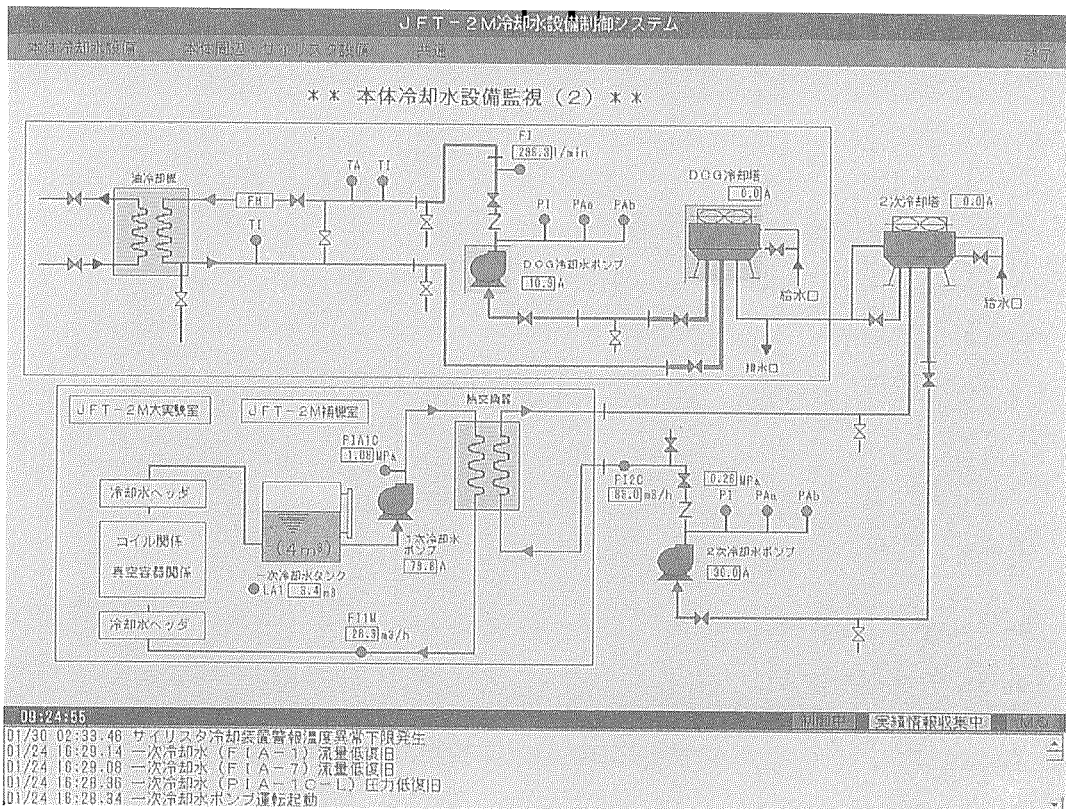


図 9.本体冷却水設備の監視画面 1



注) 既設の制御装置の機能上、DCG用冷却装置の操作機能を兼ねている。

図 10.本体冷却水設備の監視画面 2

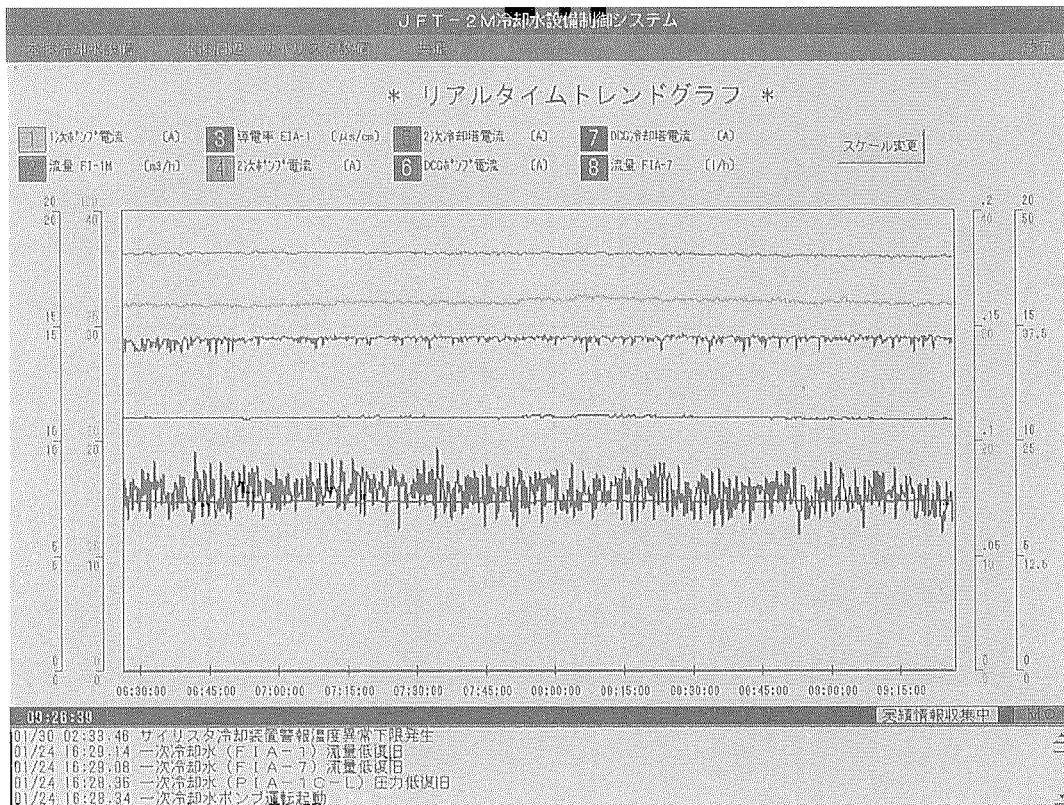


図 11. 本体冷却水設備のリアルタイムトレンドグラフ

** 冷却水設備実績情報 **

リアルタイム 入力 印刷 キャンセル

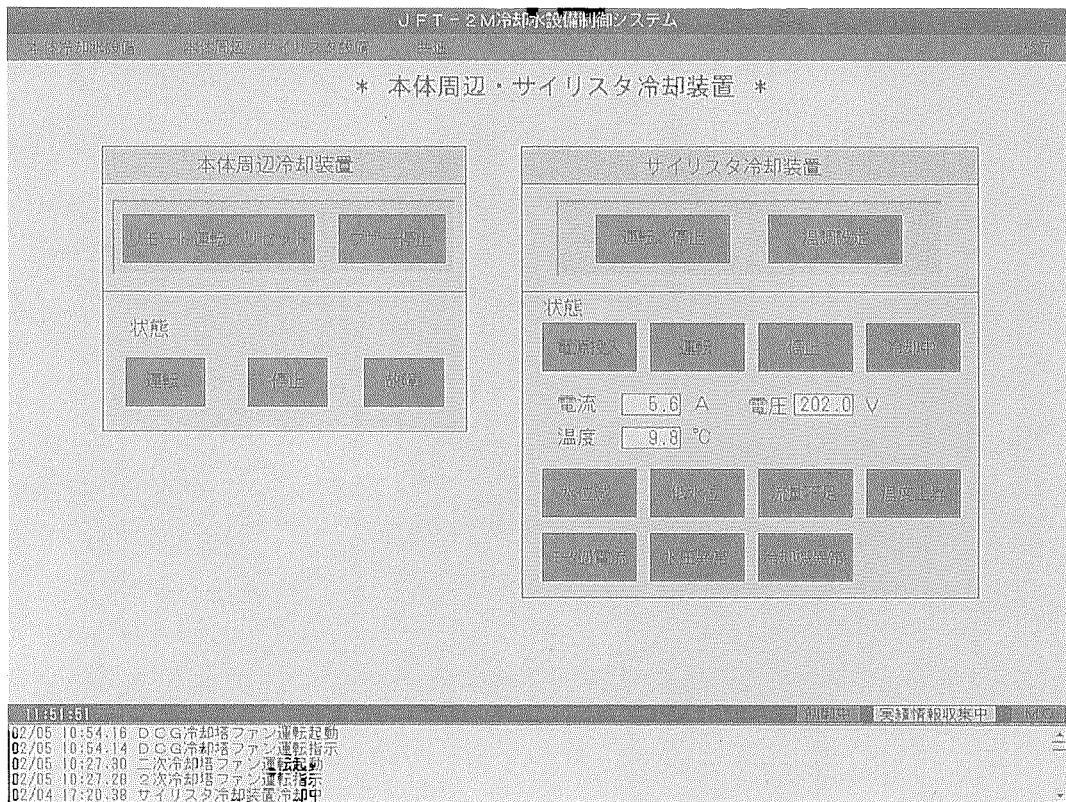
日付: []年 []月 []日 []時 []分

一次冷却水設備			二次冷却水設備			DCG		
冷却水ポンプ電流		79.7 [A]	冷却水ポンプ電流		35.5 [A]	冷却水ポンプ電流	10.6 [A]	
冷却水圧力	PIA1	1.06 [Mpa]	冷却ファン電流	PIR-2A	0.0 [A]	冷却ファン電流	0.0 [A]	
冷却水圧力	PIA1	0.60 [Mpa]	冷却水圧力	PIR-2A	0.17 [Mpa]	冷却水流量	FI	289.0 [l/min]
冷却水圧力	PIR-1a	0.88 [Mpa]	冷却水圧力	PI-4	0.05 [Mpa]			
冷却水圧力	PIR-1b	0.66 [Mpa]	冷却水圧力	PI	0.26 [Mpa]			
冷却水圧力	PI-2	0.13 [Mpa]	冷却水流量	FI-2B	92.6 [m³/h]			
冷却水圧力	PI-3	0.00 [Mpa]	冷却水流量	FIA-2	64.4 [m³/h]			
冷却水流量	FI-1H	28.6 [m³/h]	冷却水温度	TIR-2h	12.5 [°C]			
冷却水流量	FIA-1	51.4 [m³/h]	冷却水温度	TIRA-2a	12.2 [°C]			
冷却水流量	FIA-7	20.0 [l/min]	冷却水圧のスイッチ PA-a/b					
誘電率	EIR-2	0.0676 [μs/cm]						
誘電率	EIA-1	0.0797 [μs/cm]						
温度	TIR-1A	12.9 [°C]						
温度	TIR-1B	12.9 [°C]						
温度	TIR-1H	12.7 [°C]						
温度	TIA-1	14.2 [°C]						
液位	LA-1	5.89 [m]						

08:26:43

01/30 02:33:46 サイリスタ冷却装置警報温度異常下限発生
 01/24 16:29:14 一次冷却水 (FIA-1) 流量低復帰
 01/24 16:29:08 一次冷却水 (FIA-7) 流量低復帰
 01/24 16:28:36 一次冷却水 (PIA-1C-L) 圧力低復帰
 01/24 16:28:34 一次冷却水ポンプ運転起動

図 12. 本体冷却水設備の実績情報画面



注)パッケージ型冷却装置の操作機能を便宜上兼ねている。
 図 13.本体周辺・サイリスタ冷却装置の制御画面

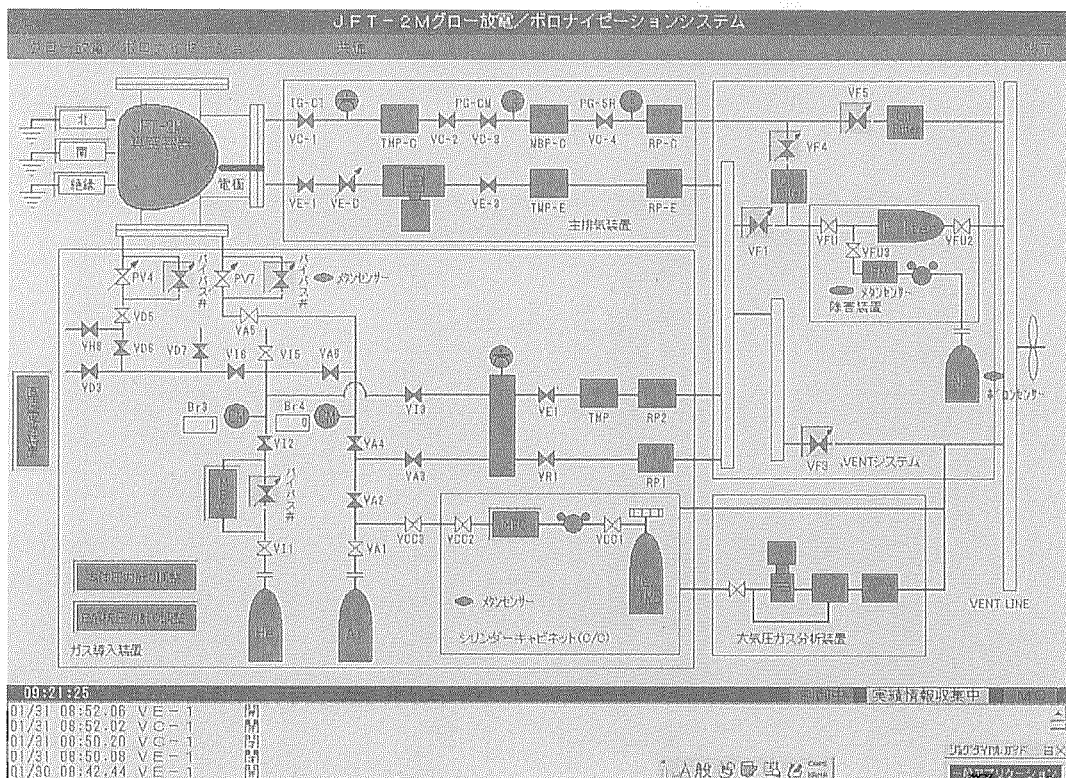


図 14.グロー放電洗浄設備の監視画面

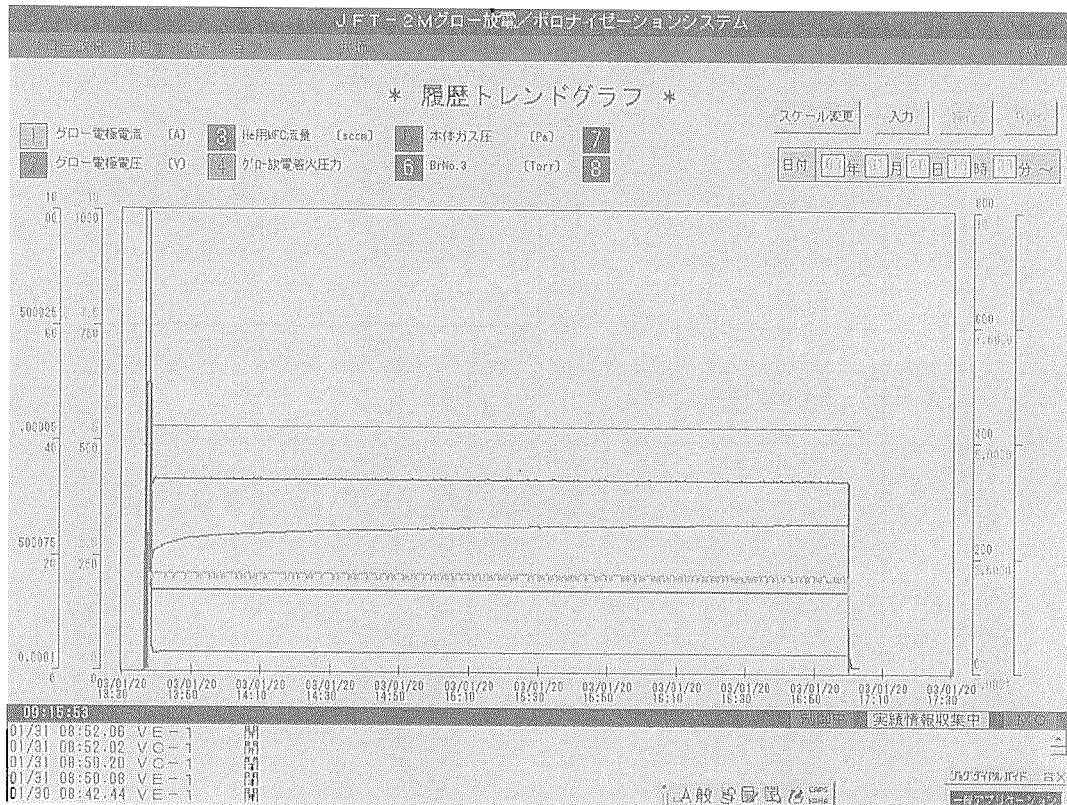


図 15. グロー放電洗浄設備の履歴トレンドグラフ画面

**** 故障履歴情報 ****

入力 検索 キーボード

日付 年 月 日 時 分

日付	時刻	メッセージ内容
2003/01/24	16:32:52	TMP-C 異常検出
2003/01/24	16:32:22	TMP-C 異常発生
2003/01/24	16:32:12	TMP-C 異常検出
2003/01/24	16:31:44	TMP-C 異常発生
2003/01/24	16:31:34	TMP-C 異常検出
2003/01/24	16:31:02	TMP-C 異常発生
2003/01/24	16:30:52	TMP-C 異常検出
2003/01/24	16:30:22	TMP-C 異常発生
2003/01/24	16:17:50	RP-C 水量減検出
2003/01/24	16:17:50	MBP-C 水量減検出
2003/01/24	16:17:42	TMP-E 水量減検出
2003/01/24	16:16:32	He MFCバイパス動作異常発生
2003/01/24	16:16:32	VF5 動作異常発生
2003/01/24	16:16:32	VF3 動作異常発生
2003/01/24	16:16:32	TMP-E 水量減発生
2003/01/24	16:16:32	RP-C 水量減発生
2003/01/24	16:16:32	MBP-C 水量減発生
2003/01/23	17:11:02	VENTラインバルブ確認処理済
2003/01/23	17:11:02	VENTラインバルブ確認処理中
2003/01/23	13:17:38	VENTラインバルブ確認処理済

09:20:36

01/21 08:52:06	VE-1	閉
01/21 08:52:02	VO-1	閉
01/21 08:50:20	VO-1	閉
01/21 08:50:08	VE-1	閉
01/30 08:42:44	VE-1	閉

図 16. グロー放電洗浄設備の故障履歴情報画面

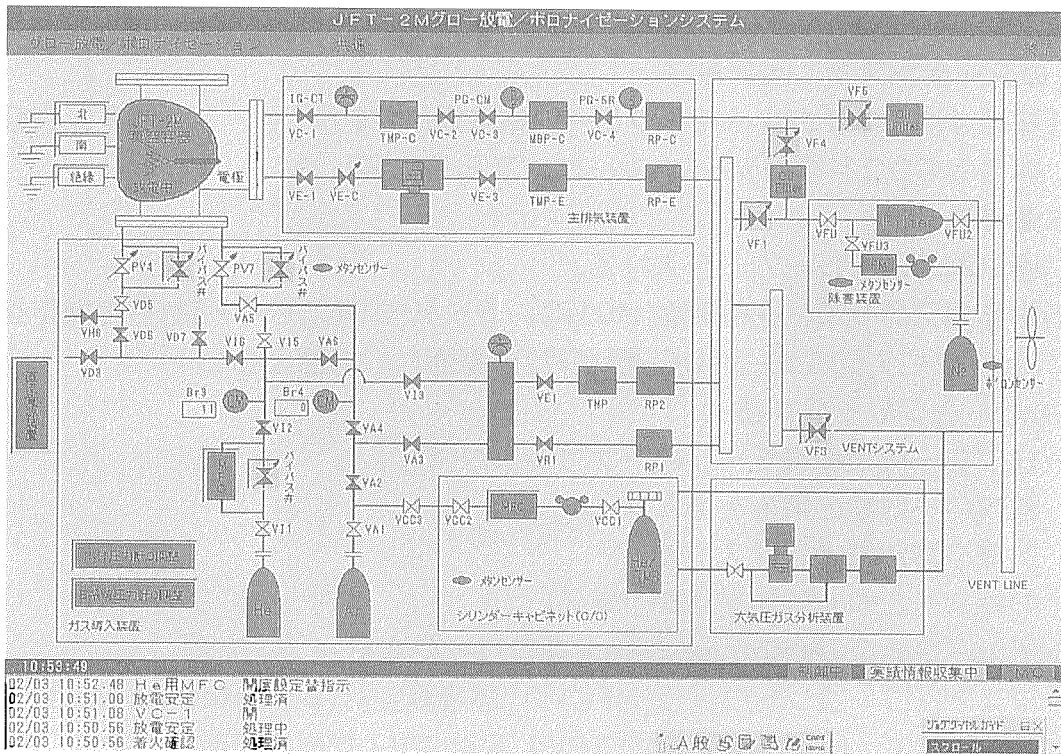


図 17. ボロナイゼーション設備の監視画面

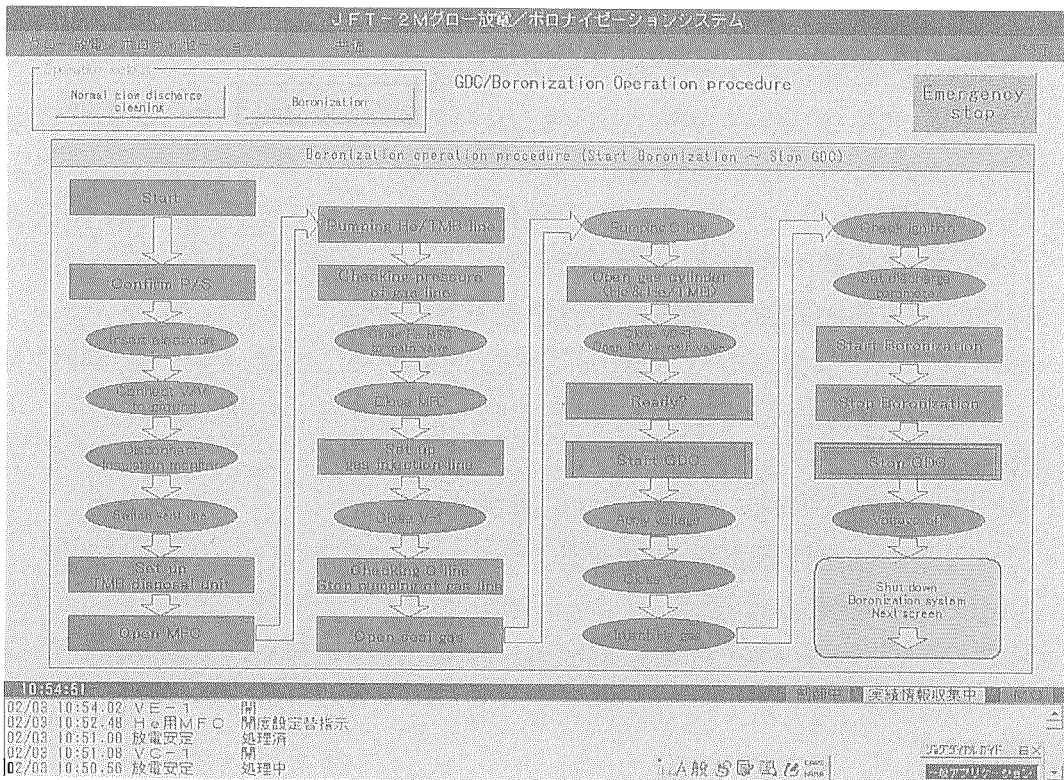


図 18. ボロナイゼーション設備運転中のフロー画面

付録 2

GDC のシーケンスマニュアル

【詳細は、付録 3 のノーマルグロー放電洗浄(ボロナイゼーションを伴わない場合の GDC を言う)タイムシーケンス図を参照】

準備作業

- 1) 直流電源のブレーカーを入れる。
- 2) 動作ガスの充填、主制御盤(M01R)のモード(GDC_モード)選択の操作を行い、PC にて図 1 の『GDC 運転フロー画面』に切替える。

『Start』をクリックする

- 1) グロー放電準備モードのアナウンスが流れる。
- 2) グロー放電の電極を挿入する。
- 3) 真空容器接地を「入」する。
- 4) 絶縁モニター回路を「開」する。

『Set up -Gas injection system』をクリックする

- マス・フローコントローラ(MFC)“0”, 隔膜真空計(Br) [He-line No.3] “0”を確認して、圧電素子弁(PV) [PV4 又は PV7 が選択できる。通常：PV7] のバイパスバルブを「開」する。

『Ready?』をクリックする

- シーケンスが『Start GDC』に進む。

『Start GDC』をクリックする

- 1) 直流電源の電圧を印加する。
[グロー放電開始が“on”でないと印加しない]
- 2) メインバルブ(VA-1, VB-1, VC-1, VD-1, VE-1)を「閉」にして真空容器の圧力をビルドアップさせる。
- 3) He 用マス・フローコントローラ(MFC)を「全開」にして、He ガスを導入し放電を着火させる。
- 4) グロー放電の電流を確認して放電を安定させる。
- 5) V-1(VC-1 又は VB-1 が選択できる。通常：VC-1)を「開」し、MFC(He)を設定流量に合わせる。

『Stop GDC』をクリックする

[“PASS 終了” “中断” “終了”から選択する]

- 1) 直流電源の電圧印加を停止する。
- 2) MFC を「全閉」にする。
- 3) PV(PV4 又は PV7 が選択できる。通常：PV7)のバイパスバルブを「閉」する。

『Finish』

- グロー放電終了のアナウンスが流れシーケンスが終了する。

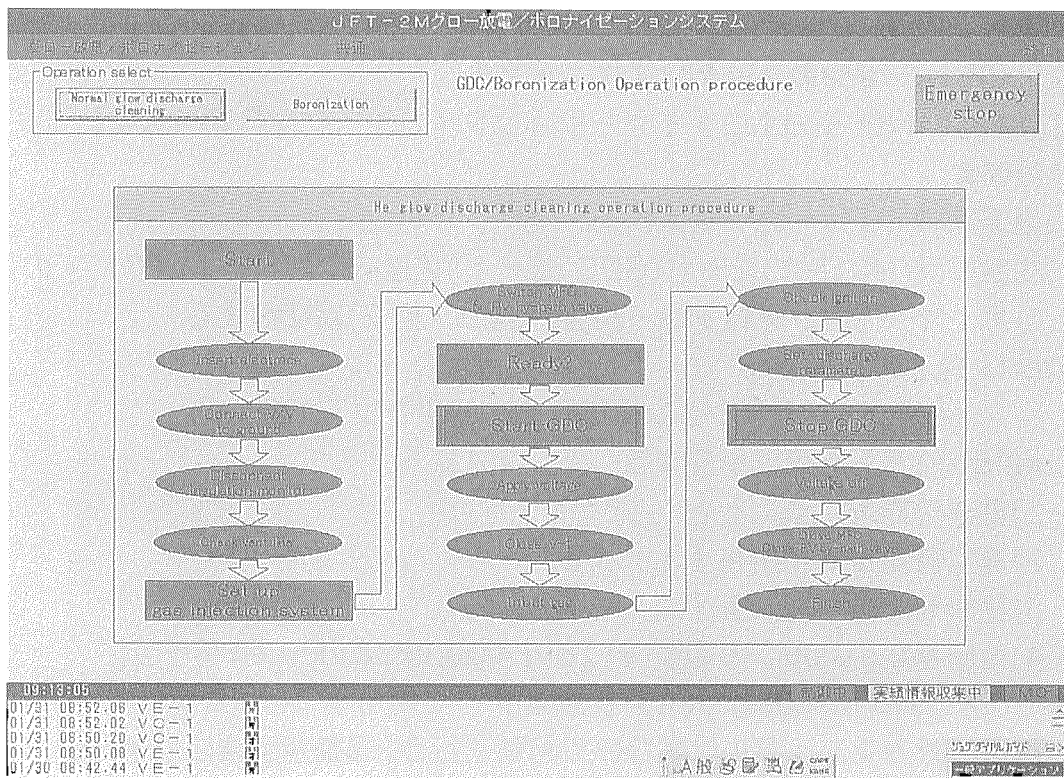


図 1. GDC 運転フロー画面

付録 3

ボロナイゼーションのシーケンスマニュアル

【詳細は、付録 5 のボロナイゼーションタイムシーケンス図を参照】

準備作業

- 1) 直流電源のブレーカーを入れる。
- 2) 主制御盤(M01R)のモード(GDC_モード)を選択の操作をし、PC にての『ボロナイゼーション運転フロー画面』(図 1・図 2)に切替える。

『Start』をクリックする

→ボロナイゼーション準備開始のアナウンスが流れる。

『Confirm P/S』をクリックする

- 1) 電極を挿入する。
- 2) 真空容器接地回路を「入」する。
- 3) 絶縁モニター回路を「開」する。
- 4) 背圧系統のバルブの切換(VF1&VF4:開, VF3&VF5:閉)を行う。

『Set up -TMB disposal unit』手動操作

除害装置のマニュアルに基づいて起動を行う。起動完了後に『Set up -TMB disposal unit-』をクリックして、シーケンスを進める。

『Open MFC』をクリックする

→マス・フローコントローラ(MFC) [He&TMB] を「全開」にする。

『Pumping He/TMB line』手動操作

ガス導入設備において、ガス充填前に He 系統及び TMB 系統の排気操作を行う。操作終了後に『Pumping He/TMB line』をクリックして、シーケンスを進める。

『Checking pressure of gas line』をクリックする

- 1) ガス注入設備の隔膜真空計(Br3 と Br4)の圧力“0”を確認。
- 2) He 系統の MFC のバイパスバルブ を「閉」する。
- 3) MFC (He&TMB)を「全閉」する。

『Set up -gas injection line』手動操作

ガス充填をするために、ガス導入設備の He ガス系統及び TMB 系統のバルブ操作を行う。操作終了後に『Set up -gas injection line-』をクリックして、シーケンスを進める。

→1) メインバルブ(VA-1, VB-1, VC-1, VD-1, VE-1)を「閉」にして真空容器の圧力をビルドアップさせる。

『Checking C line/Stop pumping of gas』手動操作

真空排気設備 C 系統の真空度(IG-CT, PG -CM, PG-5R)を確認する。

操作終了後に『Checking C line/Stop pumping of gas』をクリックして、シーケンスを進める。

【Open seal gas】 手動操作

真空排気設備 TMP-C(ケミカル型 TMP)のシールガスを流す。操作終了後に『Open seal gas』をクリックして、シーケンスを進める。

→1)VC-1 を「開」する(C系統のみで排気する)。

【Open gas cylinder(He & TMB)】 手動操作

作業者は空気ポンペを背負い、全面全マスクを装着し、He ガス及び TMB ガスの元栓を開けてガスを充填する。TMB ガス用緊急遮断弁のセットを確実に行う。操作終了後に『Open gas cylinder(He & TMB)』をクリックして、シーケンスを進める。

→1)VC-1 を「閉」する。

2)圧電素子弁(PV-4 & PV-7)の バイパスバルブ を「開」する。

『Ready?』をクリックする

→シーケンスが『Start GDC』に進む。

『Start GDC』をクリックする

→1)電圧を印加。[グロー放電開始が「入」でないと印加しない]

2)メインバルブ(VA-1,VB-1,VC-1,VD-1,VE-1)を「閉」にして真空容器の圧力をビルドアップさせる。

3)MFC(He)を「全開」して He ガスを導入し放電を着火させる。

4)グロー放電の電流を確認して放電を安定させる。

5) VC-1 を「開」し、MFC を設定流量に合わせる。

『Start Boronization』をクリックする [TMB ガスの注入]

→1)GDC を維持しながら、He ガスから TMB ガスに自動置換する。

『Stop Boronization』をクリックする [TMB ガスの元栓「閉」]

["中断" "終了"から選択する]

終了：以下のシーケンスで進む。

中断：TMB ガスの生ガス測定モード(DC 電源のみ「切」)。

→1)TMB ガスの緊急遮断弁が動作し、TMB ガスポンペの元栓を閉める。

2)ガス注入配管内の TMB ガスを消費しながら、He ガスに自動置換する。

『Stop GDC』をクリックする

["PASS 終了" "中断" "終了"から選択する]

→1)直流電源の電圧印加を停止する。

2)MFC を「全閉」にする。

3) 圧電素子弁(PV4 と PV7)のバイパスバルブを「閉」する。

【Pumping TMB gas line】 手動操作

ガス導入設備で TMB 系統の排気操作を行う。起動完了後に『Pumping TMB gas line』をクリックして、シーケンスを進める。

→1)グロー放電電極を引き抜く。

2) 背圧系統のバルブの切換(VF1&VF4:閉, VF3&VF5:開)を行う。

3) 真空容器接地回路を「開」する。

4) 絶縁モニター回路を「入」する。

5) メインバルブ(VA-1, VB-1, VC-1, VD-1, VE-1)を「開」する。

【Shut down -TMB disposal unit】 手動操作

除害装置のマニュアルに基づいて停止操作を行う。起動完了後『Shut down -TMB disposal unit-』をクリックして、シーケンスを進める。

→1) VC-1 を「閉」する

【Check pressure in C line】 手動操作

真空排気設備 C 系統の真空度(IG-CT, PG-PG-CM, PG-5R)を確認。

操作終了後に『Check pressure in C line』をクリックして、シーケンスを進める。

【Close seal gas】 手動操作

真空排気設備 TMP-C(ケミカル型 TMP)のシールガスを止める。

操作終了後に『Close seal gas』をクリックして、シーケンスを進める。

【Close He gas cylinder】 手動操作

He ガスの元栓を閉める。操作終了後に『Close He gas cylinder』をクリックして、シーケンスを進める。

→1) He 用 MFC の バイパスバルブ を「開」する。

【Pumping He gas line】 手動操作

ガス導入設備で He 系統の排気操作を行う。操作終了後に『Pumping He gas line』をクリックして、シーケンスを進める。

→1) MFC(He & TMB) を「全開」する。

【Shut down C/C】 手動操作

シリンダーキャビネット内のバルブ操作を行い、施錠をする。操作終了後に『Shut down C/C』をクリックして、シーケンスを進める。

【Finish】

→ボロナイゼーション終了のアナウンスが流れシーケンスが終了する。

ボロナイゼーション時の操作等の詳細は、付録 6. 運転マニュアルを参考にすること。

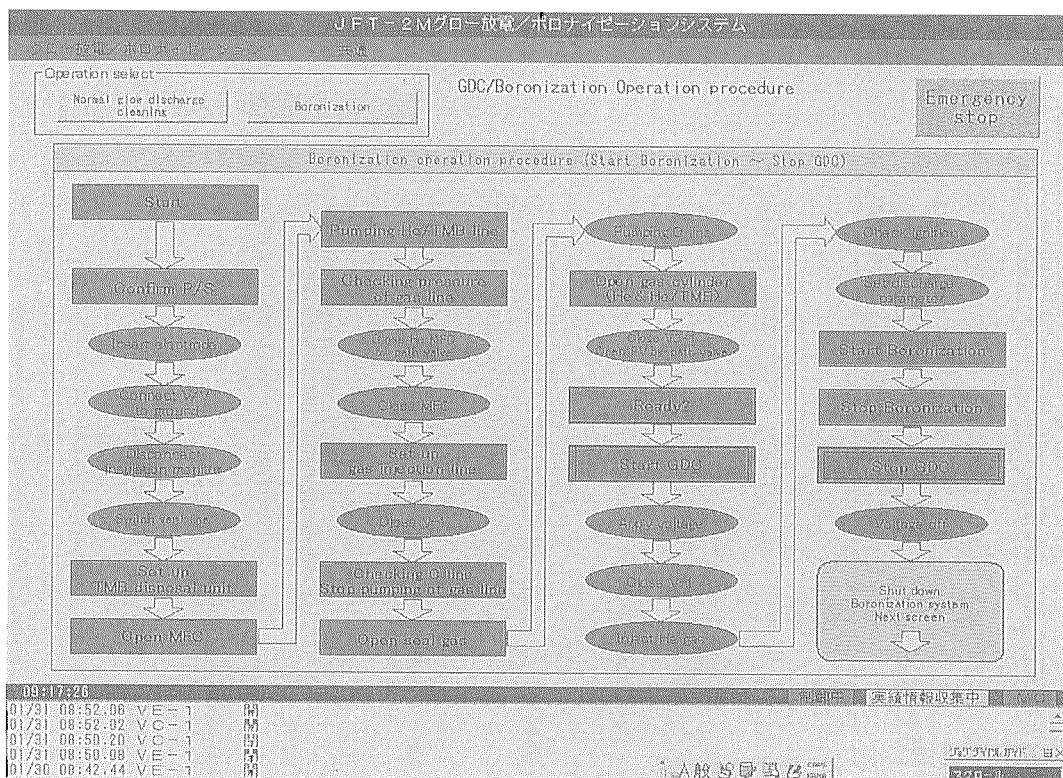


図 1.ボロナイゼーション運転フロー画面 1

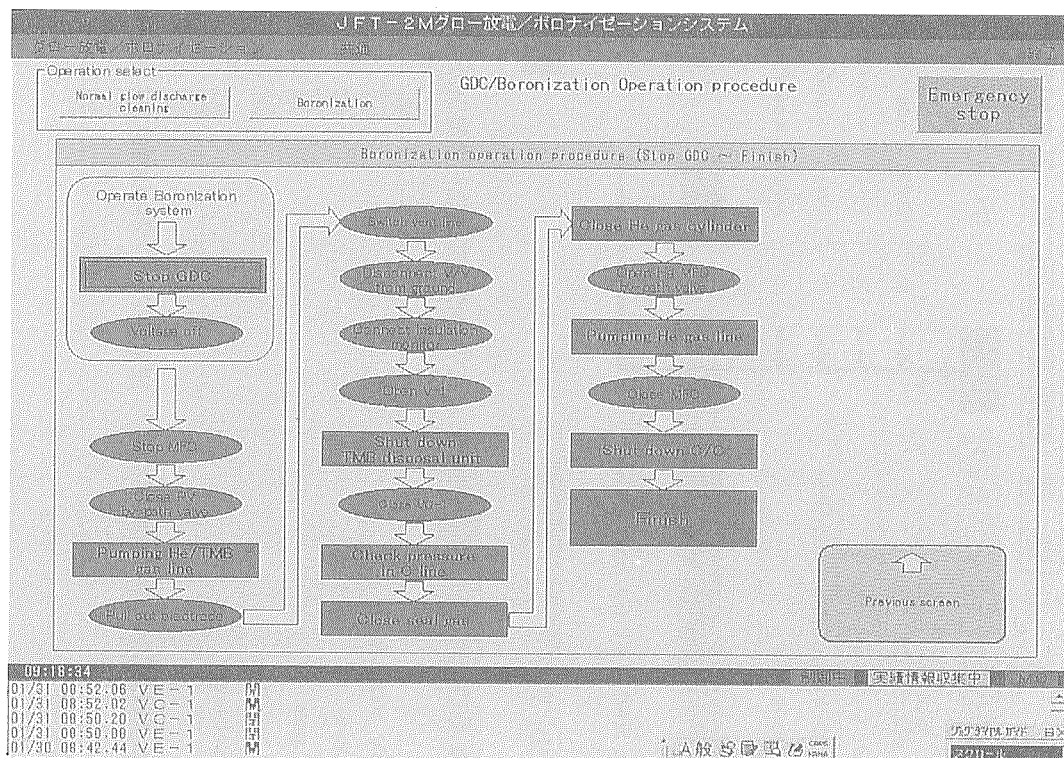
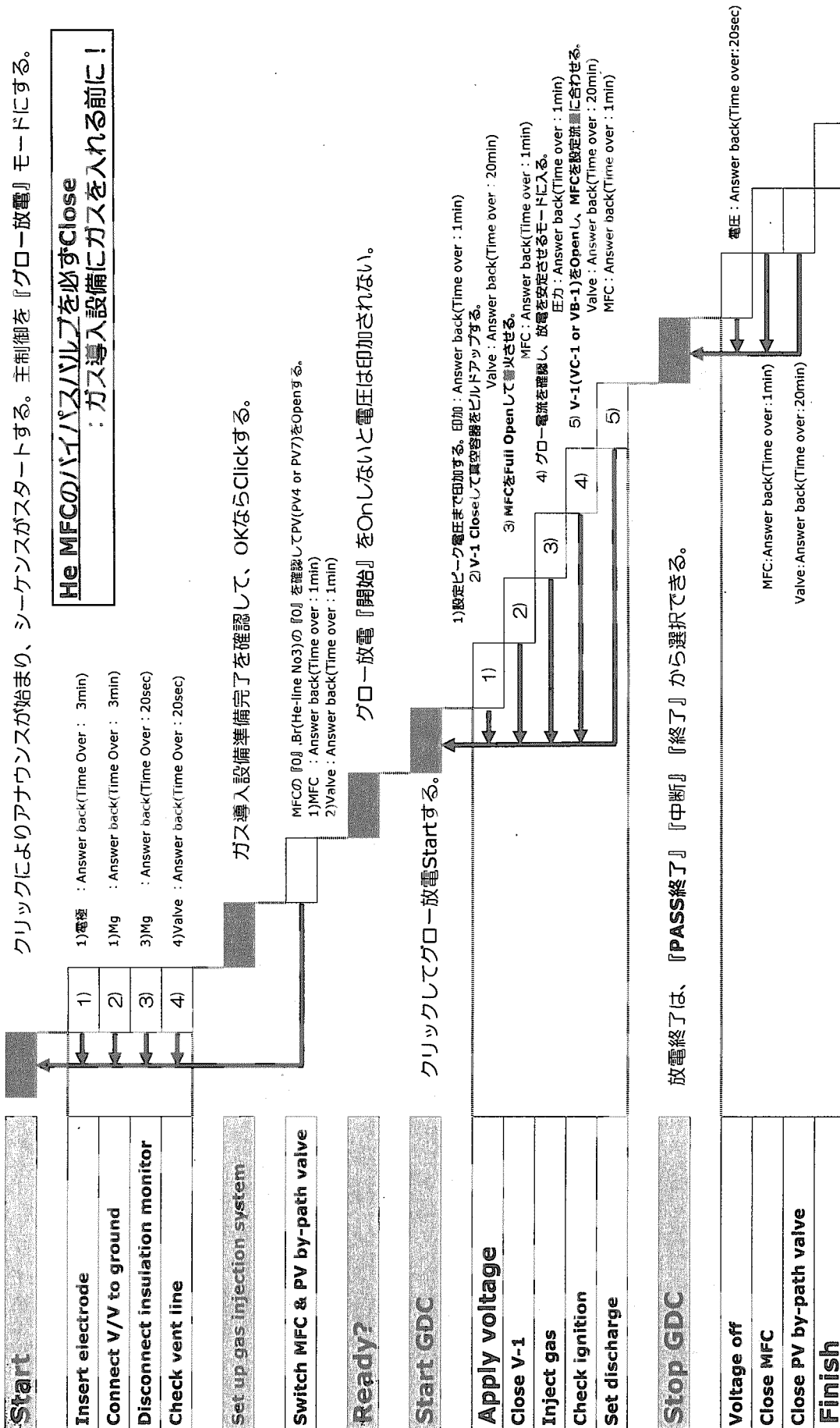


図 2.ボロナイゼーション運転フロー画面 1

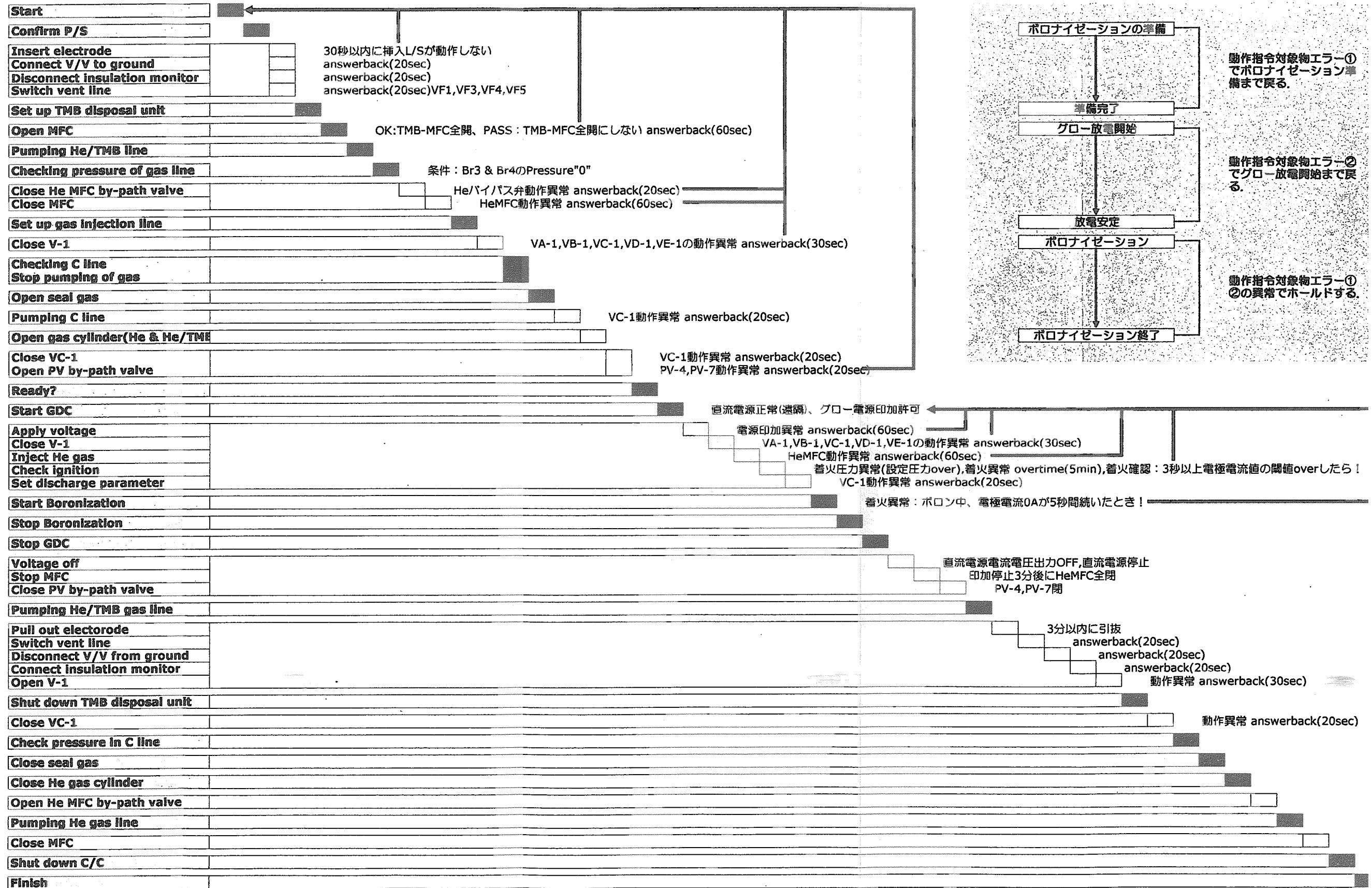
付録4

GDCタイムスケジュール

確認：初期設定画面にて、基本設定を行う。PV-4,VC-1,1000V,2A,300sccmが主な基本設定。



ボロナイゼーションタイムシーケンス図



JFT-2Mボロナイゼーション運転マニュアル

2002.07.11:Ver.3
2002.05.30:Ver.2
2001.12.13:Ver.1

【準備 1 電極挿入&ガスラインの排気】

1. ボロナイゼーションの準備

放送設備でボロナイゼーションの準備開始のアナウンスを行う。

2. 電源確認

- | | |
|------------------------------|-------|
| 1) 制御 PC の動作確認 (制御室) | check |
| 2) ガス検知器指示値の確認 (制御室) | 指示値 |
| 3) 大気圧ガス分析装置指示確認 (制御室) | 電流値 A |
| 4) 現場制御盤機器の電源確認 (大実験室) | check |
| 5) ガス検知器指示値の確認 (大実験室) | 指示値 |
| 6) 現場制御盤ランプテスト (大実験室) | check |
| 7) 温度変換機電源確認 (除害装置内) | check |
| 8) 温度変換機警報設定確認 (除害装置内) | 警報出力 |

3. 電極挿入 (answer back:3min)

4. 本体接地

5. 絶縁モニター切り離し

6. VENT ラインバルブ切替

8. 除害装置の起動

詳細は、除害装置の起動操作マニュアル参照

1. 全バルブ"close"確認
2. V3"open"
3. PRV1 調整、PG2 を 0.1MPa に設定
4. V2"open"
5. FM1 ニードル弁調整(30L/min)
6. 15 分間パージ
7. PRV1 を調整 (左回り) し PG2 を 0Pa に設定
8. V3"close"
9. V1"open"
10. 電源(ELB1)on
11. 温度警報カットスイッチ sw1"on"を確認

9 MFC full open(500sccm)

10. He/TMB ライン排気

- 1) ガス注入設備が通常通り排気されていることを確認 (制御室)
- 2) IG1 の真空度確認 (制御室) IG1 Pa

- | | | |
|--|-------|-------|
| 3) VE1, VH3, VH4, VI3, VA6 close (制御室) | check | _____ |
| 4) VA1 close (大実験室) | check | _____ |
| 5) TMB ポンベの元弁 close 確認 (大実験室) | check | _____ |
| 6) TMB 減圧弁 0 確認 (大実験室) 一次圧... _____ Mpa 二次圧... _____ MPa | | |
| 7) シリンダーキャビネットラインの open (IG1 の真空度確認) | | |
| open 前 | IG1 | Pa |
| VCC3 | IG1 | Pa |
| VCC2 | IG1 | Pa |
| VCC1 | IG1 | Pa |
| 減圧弁 | IG1 | Pa |
| 8) IG1 が 1 Pa 以下で、VE1 open (制御室) | check | _____ |
| 9) VE1, VH3, VH4, VI3, VA6 open (制御室) | check | _____ |

【準備 2 ガスの充填&放電準備】

- | | | |
|--|-------|-------|
| 11. 真空度確認 (Br) | | |
| He/TMB ガス注入ライン排気時と比較 (制御室) | IG1 | Pa |
| 12. PV バイパス弁 open | | |
| 13. HeMFC バイパス弁 close | | |
| 14. MFCO にする | | |
| 15. ガスラインの切換 | | |
| VA6, VD7, VH8, VD3 close (制御室) | check | _____ |
| 16. V-1 close | | |
| 17. C 系統確認/ガスライン排気停止 | | |
| 1) C 系統排気ライン真空度確認 (制御室) | | |
| IG-CT | | Pa |
| PG-CM | | Pa |
| PG-5R | | Pa |
| 2) ガスラインの排気停止 VA3, VI3 close (制御室) ... | check | _____ |
| 18. シールガスの導入 | | |
| 1) シール用窒素ガスポンベの元弁 close 確認 (大実験室) | check | _____ |
| 2) ポンベのガス圧確認 (>0.5Mpa) (大実験室) | check | _____ |
| 3) ガス圧確認 (~0.02Mpa ; 目印有り) (大実験室) | check | _____ |
| 4) シールガス分岐弁 open (大実験室) | check | _____ |
| 5) TMP の電流変化確認 (制御室) | check | _____ |
| 19. VC-1 open | | |
| 20. ガスの充填 (He&He/TMB) | | |
| 1) He&He/TMB MFC 0 確認 | check | _____ |

2) He ボンベ減圧弁 close 確認 (大実験室)	check
3) He ボンベ open 一次圧確認 (大実験室)	圧力 MPa
4) He ボンベ減圧弁調整 ~0.01MPa (大実験室)	圧力 MPa
5) IG-1 の真空度確認 (制御室)	IG1 Pa
6) He/TMB 減圧弁 close 確認 (大実験室)	check
7) He/TMB ボンベ open 一次圧確認 (大実験室)	圧力 MPa
8) He/TMB ボンベ減圧弁調整 ~ゲージ圧-0.02MPa	圧力 MPa
9) IG-1 の真空度確認 (制御室)	IG1 Pa
10) He/TMB ボンベのバルブシャッター-AUTO	check
11) シリンダーキャビネット扉 close (大実験室)	check
12) シリンダーキャビネット負圧確認 (大実験室)	圧力 MPa

21. VC-1 open , PV by-path open

22. 準備完了

ここまでの時点で **自動制御** 項目のエラーが発生したときは、『1. ポロナイゼーションの準備』まで戻る。

【ポロナイゼーション開始】

23. グロー放電開始

グロー放電によりポロナイゼーションの開始!

24. 印加

25. V-1 閉

26. ガス INLET

27. 着火確認

28. 放電安定

29. ポロナイゼーション

【He グローにてコンディショニング後、He/TMB を導入する】

初期設定に基づいて He と He/TMB が一定圧力を保持しながら入替る。

30. He グロー放電

【ポロナイゼーション後に He グロー放電を行う】

★バルブシャッターclose★ 大実験室で警報が鳴る!

He/TMB の元栓が close になっているため、配管内のガスが約 10 分で減少し始めると一定圧力を保持しながら He が注入される。

31. グロー放電停止

32. 印加停止

33. He -MFC close(0scm)

印加停止の answer back を得てから 2min 後に close。

34. PV by-path close

He , He/TMB の PV

【終了操作】

35. He/TMB ガスライン排気

- | | | |
|---|-------|------------|
| 1) He/TMB ポンベの減圧弁一次圧Oを確認 (大実験室) | check | _____ |
| 2) He/TMB close 確認 (大実験室) | check | _____ |
| 3) He/TMB MFC の全開確認 (制御室) | check | _____ |
| 4) Br4 確認 | Br4 | _____ Torr |
| 5) VE1, VH4, VH3, VI3 close (制御室) | check | _____ |
| 6) VA3 open (制御室) | check | _____ |
| 7) IG1 確認の上 VE1open (制御室) | check | _____ |
| 8) IG1 の到達圧力確認 (制御室) | IG1 | _____ Pa |
| 9) IG-1 の真空度確認 | IG-1 | _____ Pa |

36. グロー電極引抜

37. VENT ラインバルブ切替

38. 本体接地切り離し

39. 絶縁モニター復帰

40. メインバルブ V1 open

41. 除害装置の停止

詳細は、除害装置の停止操作マニュアル参照。

1. 電源(ELB1)OFF
2. V1 "close"
3. V3 "open"
4. PRV1 を調整し、PG2 を 0.1MPa に設定。
5. FM1 ニードル弁を調整(30L/min)
6. 15 分間パーシ
7. PRV1 を調整 (左回り) し、PG2 を 0MPa に設定。
8. V3 "close"
9. V2 "close"
10. 全バルブ"close"確認

42. VC-1 close

43. C 系統真空度確認

IG-CT (<E-6Pa)	_____	Pa
PG-CM (<E-2Pa)	_____	Pa
PG-5R (<E-1Pa)	_____	Pa

44. シールガスの停止

- | | | |
|-------------------------------------|-------|-----------|
| 1) ポンベのガス圧確認 (>0.5MPa) (大実験室) | 圧力 | _____ MPa |
| 2) シールガス用分岐弁 close (大実験室) | check | _____ |

45. He ポンベ元栓 close

46. PV バイパス弁 close answer back を取っている。

47. HeMFC バイパス弁 open

48. He ラインの排気

- | | | |
|---|-------|-------|
| 1) VE1 close (制御室) | ..... | check |
| 2) VA3 close (制御室) | ..... | check |
| 3) VI3 open (制御室) | ..... | check |
| 4) RP1 起動、VR1 open (制御室) | ..... | check |
| 5) IG1 < 5Pa VR1 close, RP1 off, VE1 open (制御室) | ..... | check |
| 6) VH3, VH4, VA3, VA6 open (制御室) | ..... | check |
| 7) VD7, VH8, VD3 open (制御室) | ..... | check |

49. He & He/TMB MFC close

50. C/C 内操作

- | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|
| 1) VCC1, VCC2, VCC3, 減圧弁 close (大実験室) | ..... | check |
| 2) 扉施錠 | ..... | check |
| 3) VA1 open | ..... | check |

51. ボロナイゼーション終了

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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	モール	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
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	$N \cdot m$
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位, 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	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
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	$^{\circ}C$	
光度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照射度	ルクス	lx	lm/m^2
放射能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	\AA
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (N \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P (ポアズ)} (g/(\text{cm} \cdot \text{s}))$

動粘度 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St (ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$

圧	MPa (=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062×10^3	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10^{-4}	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}
	6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{18}
	9.80665	1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{19}
	3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{25}
	4.18605	0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-3}	3.08747	2.61272×10^{19}
	1055.06	107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}
	1.35582	0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-3}	1	8.46233×10^{18}
	1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1

- 1 cal = 4.18605J (計量法)
 = 4.184J (熱化学)
 = 4.1855J (15 $^{\circ}C$)
 = 4.1868J (国際蒸気表)
 仕事率 1 PS (仏馬力)
 = 75 kgf·m/s
 = 735.499W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10^{-11}
	3.7×10^{10}	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

J F T 1 2 M 本体付属設備の制御システム

R100

古紙配合率100%
白紙度70%再生紙を使用しています