

ITER CSモデル・コイル試験装置 直流電源システムの改修

Upgrade of DC Power Supply System in ITER CS Model Coil Test Facility

下野 貢 宇野 康弘 山崎 敬太 河野 勝己
磯野 高明

Mitsugu SHIMONO, Yasuhiro UNO, Keita YAMAZAKI, Katsumi KAWANO
and Takaaki ISONO

核融合研究開発部門
那珂核融合研究所
ITERプロジェクト部

Department of ITER Project
Naka Fusion Institute
Sector of Fusion Research and Development

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 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒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
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration 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

© Japan Atomic Energy Agency, 2015

ITER CS モデル・コイル試験装置 直流電源システムの改修

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 那珂核融合研究所
ITER プロジェクト部

下野 貢、宇野 康弘、山崎 敬太、河野 勝己、磯野 高明

(2014 年 12 月 15 日 受理)

ITER CS モデルコイル試験装置は、直径 1.5m の空間に 13T の高磁場を発生する 中心ソレノイド(CS)モデルコイルを用いて核融合炉用超伝導導体の試験を行うための装置であり、ヘリウム冷凍機システム、直流電源システム、真空システム及び計測システムで構成される。

直流電源システムは、CS モデルコイルとインサートコイルの 2 つの超伝導コイルに電流を供給するシステムで、CS モデルコイルへの通電のために 50kA 直流電源 1 台、インサートコイルへの通電のために 30kA 直流電源 2 台が設置されている。ITER トロイダル磁場(TF)コイルの定格電流は 68kA であるため、その試験のためにインサートコイルの系統を改修した。改修点は、10kA 直流電源の追加、直流遮断器の増力、ブスバーの更新及び電流検出器の更新である。

これらの改修に伴い、操作マニュアルも改訂した。

Upgrade of DC Power Supply System in ITER CS Model Coil Test Facility

Mitsugu SHIMONO, Yasuhiro UNO, Keita YAMAZAKI, Katsumi KAWANO
and Takaaki ISONO

Department of ITER Project, Naka Fusion Institute,
Sector of Fusion Research and Development
Japan Atomic Energy Agency
Naka-shi, Ibaraki-ken

(Received December 15, 2014)

Objective of the ITER CS Model Coil Test Facility is to evaluate a large scale superconducting conductor for fusion using the Central Solenoid (CS) Model Coil, which can generate a 13T magnetic field in the inner bore with a 1.5m diameter. The facility is composed of a helium refrigerator / liquefier system, a DC power supply system, a vacuum system and a data acquisition system.

The DC power supply system supplies currents to two superconducting coils, the CS Model Coil and an insert coil. A 50-kA DC power supply is installed for the CS Model Coil and two 30 kA DC power supplies are installed for an insert coil. In order to evaluate superconducting performance of a conductor used for ITER Toroidal Field (TF) coils whose operating current is 68 kA, the line for an insert coil is upgraded. A 10kA DC power supply was added, DC circuit breakers were upgraded, bus bars and current measuring instrument were replaced.

In accordance to the upgrade, operation manual was revised.

Keywords: DC Power Supply System, ITER, CS Model Coil, Large Current

目 次

1. はじめに.....	1
2. 直流電源システムの改修.....	2
2.1 改修の設計方針.....	2
2.2 直流遮断器の通電容量の増加(NB-2, NB2-2).....	2
2.3 直流電流検出器(CT-2)の更新.....	3
2.4 ブスバーの更新.....	5
2.5 制御方法.....	9
2.6 直流電源用冷却水装置の検討.....	10
2.7 改修後の試験.....	12
3. 既設設備の概要.....	16
3.1 50kA 直流電源.....	16
3.2 30kA 直流電源(PS-1).....	17
3.3 30kA 直流電源(PS-2).....	18
3.4 50kA 直流遮断器(NB-1).....	20
3.5 放電抵抗器(R-1).....	22
3.6 放電抵抗器(R-2).....	23
3.7 断路器.....	24
3.8 接地抵抗器(E-3)及び接地装置.....	25
3.9 直流電源用冷却水装置.....	26
3.10 電源制御システム.....	28
4. 実験前準備作業.....	32
5. 運転要領.....	34
6. まとめ.....	34
7. 関係図面.....	34
付録 1 絶縁抵抗試験要領.....	38
付録 2 CS 同時運転モード 起動・停止マニュアル.....	42
付録 3 フェンス扉開閉チェック表.....	52
付録 4 運転モード.....	53
付録 5 R1 放電抵抗値.....	61
付録 6 R2 放電抵抗値.....	62

Contents

1. Introduction.....	1
2. Upgrade of insert line	2
2.1 Outline of upgrade.....	2
2.2 Upgrade of DC circuit breakers (NB-2, NB2-2)	2
2.3 Replacement of current measuring instrument(CT-2)	3
2.4 Replacement of bus bars	5
2.5 Modification of control system.....	9
2.6 Water cooling system for DC power supplies	10
2.7 Test after upgrade	12
3. Existing components of the facility	16
3.1 50 kA DC power supply.....	16
3.2 30kA DC power supply (PS-1)	17
3.3 30kA DC power supply (PS-2)	18
3.4 50kA DC circuit breaker (NB-1)	20
3.5 Discharge resistor (R-1)	22
3.6 Discharge resistor (R-2)	23
3.7 Disconnect switches.....	24
3.8 Earthing device(E-3)	25
3.9 Water cooling system.....	26
3.10 Control system.....	28
4. Preparation of insert coil test	32
5. Operation.....	34
6. Summary	34
7. Drawings	34
Appendix 1 Procedure of insulation resistance measurement	38
Appendix 2 Manual for starting and ending of operation of two power supplies	42
Appendix 3 Check list of fence	52
Appendix 4 Operating mode.....	53
Appendix 5 Resistance of R1	61
Appendix 6 Resistance of R2	62

表リスト

Table 2-1 電流検出器(CT-2)の特性	4
Table 2-2 最大電流出力の組合せ表	9
Table 2-3 1kA 通電試験結果.....	12
Table 3-1 50kA 直流電源の性能	17
Table 3-2 30kA 直流電源(PS-1)の性能.....	18
Table 3-3 30kA 直流電源(PS-2)の性能.....	19
Table 3-4 放電抵抗器(R-1)の仕様	22
Table 3-5 抵抗値とユニットの接続	22
Table 3-6 冷却水装置の仕様	26
Table 4-1 直流電源システムの機器とその点検項目	32
Table 4-2 制御システムの構成機器とその点検項目	33
Table 4-3 付属設備の構成機器とその点検項目	33
Table 5-1 運転モード	34

図リスト

Fig. 1 改修後の電源システム系統図	1
Fig. 2-1 電流検出器(CT-2)の外観	3
Fig. 2-2 電流検出器(CT-2)の構成	3
Fig. 2-3 直流電源配置及び高電圧ケーブル敷設ルート図	7
Fig. 2-4 F41 系単線系統図	8
Fig. 2-5 新制御システム構成図	9
Fig. 2-6 70kA 通電試験時の回路	13
Fig. 2-7 温度測定場所	13
Fig. 2-8 直流電源システム改修後の写真	14
Fig. 2-9 70kA 通電時の各部温度(1)	15
Fig. 2-10 70kA 通電時の各部温度(2)	15
Fig. 3-1 50kA 直流電源のブロック構成図	16
Fig. 3-2 30kA 直流電源(PS-1)のブロック構成図	17
Fig. 3-3 30kA 直流電源(PS-2)単線結線図	19
Fig. 3-4 50kA 直流遮断器(NB-1)の回路図	21
Fig. 3-5 放電抵抗器(R2)の単体構造	23
Fig. 3-6 冷却水装置の系統図	26
Fig. 3-7 温度調整器出力信号とバルブ開度の関係	28
Fig. 3-8 中央制御室の機器配置	28
Fig. 3-9 電源制御盤	29
Fig. 3-10 制御装置の構成	29
Fig. 3-11 電源制御システムの信号の流れ	30

Fig. 3-12 操作画面例30
Fig. 3-13 中央制御室31

1. はじめに

ITER CS モデルコイル試験装置は、直径 1.5m の空間に 13T の高磁場を発生する中心ソレノイド(CS)モデルコイルを用いて核融合炉用超伝導導体の試験を行うための装置であり、ヘリウム冷凍機システム、直流電源システム、真空システム及び計測システムで構成される。

直流電源システムは、CS モデルコイルとインサートコイルの 2 つの超伝導コイルに電流を供給するシステムで、直流電源、直流遮断器、放電抵抗器、断路器、ブスバー、電源制御装置等から構成される。CS モデルコイルに通電する系統とインサートコイルに通電する系統に分かれる。直流電源は、CS モデルコイル系統に 50kA 直流電源 1 台、インサートコイル系統に 30kA 直流電源 2 台並列で設置されていた。

今後、ITER トロイダル磁場(TF)コイル用導体の性能評価試験を行うことを計画しており、その試験に対応するため、インサートコイル系統の直流電源出力の増加、遮断器の通電容量の増加、ブスバーの通電容量の増加、電流検出器の出力範囲拡大等の改修を行った。

Fig. 1 に改修後の直流電源システムの系統を示す。インサートコイル系統の直流電源出力の増加としては、2 台の既設直流電源装置に、10kA 直流電源を新規に並列接続した。2 台の直流遮断器(NB-2, NB-2-2) の通電容量の増加としては、従来は各 4 台並列接続であったが、各 1 台追加し、5 台並列接続とした。ブスバーの通電容量の増加としては、Fig. 1 の太線の部分を容量の大きいブスバーに更新した。電流検出器(CT-2)は 70kA 対応のものに更新した。

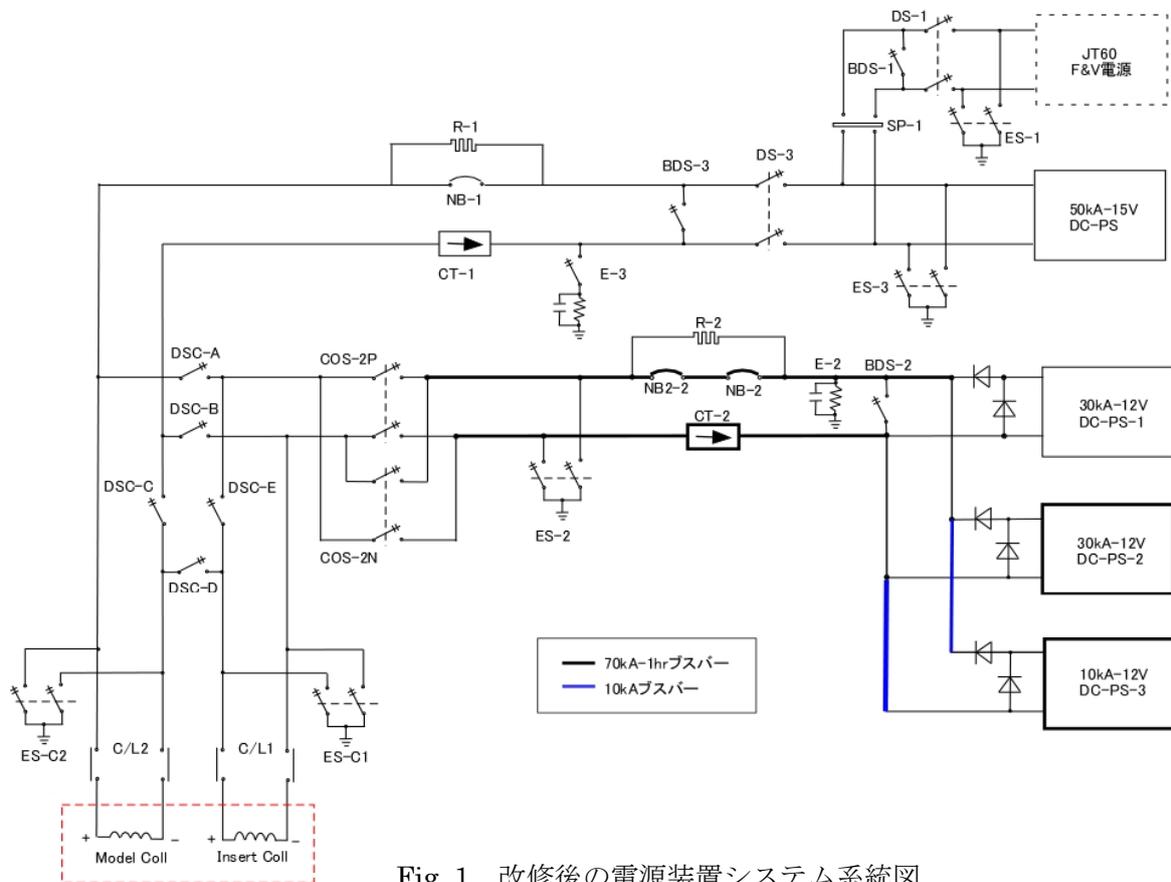


Fig. 1 改修後の電源装置システム系統図

2. 直流電源システムの改修

インサートコイルシステムを 70kA に増力するために、インサートコイルシステムの直流電源出力の増加、遮断器の通電容量の増加、ブスバーの通電容量の増加、電流検出器の出力範囲拡大等の改修を行った。以下にその改修内容を示す。

2.1 改修の設計方針

既存のインサートコイルシステムは、直流電源は直流 60kA を定常出力するが、ブスバー、直流遮断器、断路器は、コスト軽減のため 1 時間定格で設計されている。今回の改修もこの設計方針を引き継ぎ、直流電源の出力は定常 70kA とするが、ブスバー、直流遮断器の通電容量は、直流 70kA で通電時間を 1 時間とした。また、ブスバーの設計条件は以下とした。

- ・電流値：直流 70kA
- ・通電時間：1 時間
- ・通電間隔：6 時間
- ・周囲温度条件：40℃
- ・上限温度：90℃以下
- ・冷却条件：自然空冷
- ・耐震設計：0.3G
- ・最大電圧：DC 1.5kV

2.2 直流遮断器の通電容量の増加(NB-2, NB2-2)

インサートシステムには、信頼性の向上として 2 台の直流遮断器、NB-2 と NB-2-2 が直列に設置されている。それぞれ、気中遮断器を 4 台並列接続して 60kA・1 時間の通電容量としていた。今回の改修では、それぞれ 1 台並列接続を追加して、5 台並列接続に変更した。これにより、1 台当たりの気中遮断器の通電電流は、従来と同等以下になる。

並列接続する上で重要な 5 台の電流分配を均等にするために、接続するブスバーの長さは 5 台同じとなるよう設計し、また設置後の試験で電流分配が均等であることを確認している。なお、気中遮断器は強制空冷することにより定格電流 8,000A の約 2 倍近くの電流を常時流すことを確認している。電流遮断能力については、以下に示すように 1 台で 75kA を遮断する能力があり、5 台中動作が最も遅い気中遮断器が全電流の遮断を負担しても遮断可能である。

NB-2 用気中遮断器の仕様

型式	: BM1-V80S
定格電圧	: DC1,500V
定格電流	: 8,000A (強制空冷前の仕様)
定格遮断電流	: 75,000A
投入操作	: DC100V-28A/DC220V-13A
投入時間	: 180~220ms

- 引外し操作 : DC100V-2.5A/DC220V-1.6A
- 引外し時間 : 60-90ms
- 注) 引外し後の投入は、約 15 秒後とすること。

NB-2-2 用気中遮断器の仕様

- 型式 : BHB-80
- 定格電圧 : DC1,500V
- 定格電流 : 8,000A (強制空冷前の仕様)
- 定格遮断電流 : 75,000A
- 投入操作 : DC220V-40A-0.5 秒
- 保持電流 : DC220V-0.45A

2.3 直流電流検出器(CT-2)の更新

70kA の直流電流を検出するために、電流検出器を更新し、反射型光電流センサを使用することとした。この方式特徴は軽量の光ファイバ(センサヘッド)を測定対象に巻きつけるだけで電流の測定が可能で光ファイバは絶縁体なので大電流測定に対して安心して測定ができる。また、外部からの電磁波(磁場)の影響を受けないことや従来の CT に比べ小型、軽量であることからこの方式を採用した。外観を Fig. 2-1 に、構成を Fig. 2-2 に、特性を Table2-1 に示す。

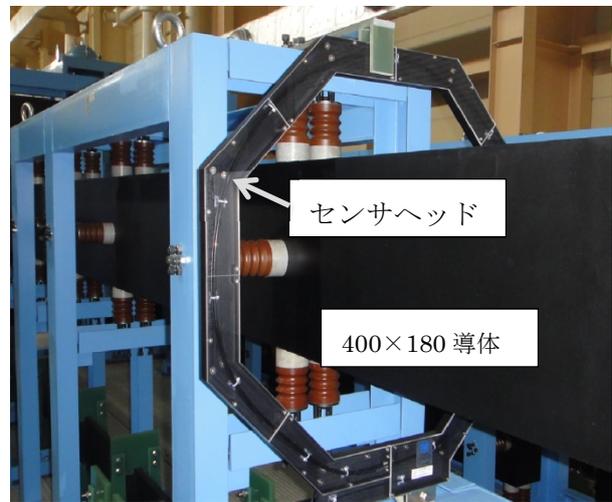


Fig. 2-1 電流検出器(CT-2)の外観

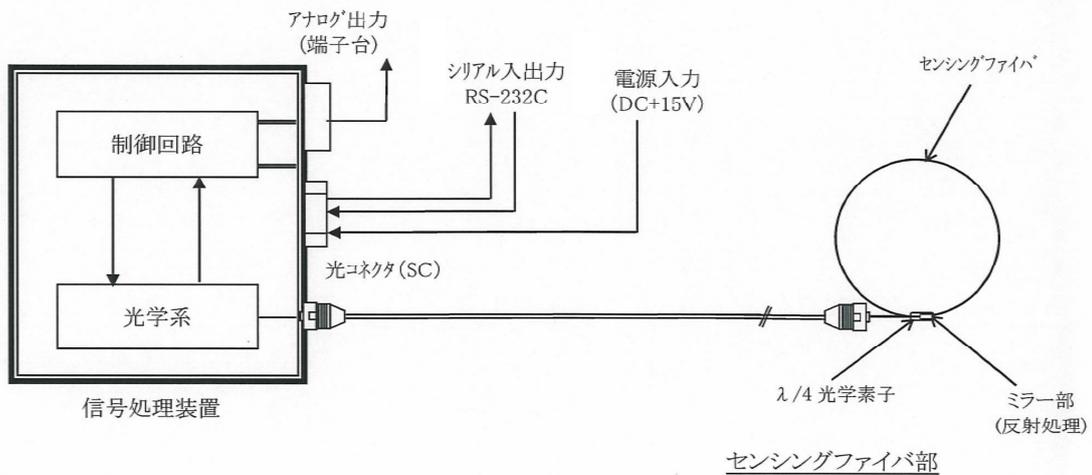


Fig. 2-2 電流検出器(CT-2)の構成

Table 2-1 電流検出器(CT-2)の特性

No.	項目	仕様	備考
1	基本出力仕様		出力電圧: 0 ± 10 [V] 正出力: +電圧 負出力: -電圧 イニシヤル終了後に出力開始
2	計測電流	$-80,000 \sim +80,000$ [A]	
3	分解能	50 [A] 以下	ノイズ幅の 1σ
4	初期バイアス	0 ± 100 [A]	
5	バイアス温度変動	0 ± 100 [A]	
6	バイアス定温安定性	± 50 [A]	温度安定時の初期値からの変動量
7	スケールファクタエラー	± 2.0 [%FS]	目標値
8	演算周期	1.0 [ms]	
9	起動時間	10 秒以内	
10	外部磁界影響	50 [A] 以下	近接回線 30cm, 10kA

2.4 ブスバーの更新

2.4.1 ブスバーサイズの検討

2.1 節に示した条件に基づきブスバーの以下に示す設計を行い、アルミ・ブスバーのサイズは、幅 180mm、高さ 400mm とした。

(1) 1 時間通電時の許容電流の検討

短時間通電時のブスバーサイズの許容電流は、安全側評価のため通電による導体の熱量が全てブスバー自身の温度上昇のみに消費されるものとして下式により求めた。

$$I_s = \sqrt{((JQS/\alpha r_1 t) \log_e((1/\alpha - 20 + TS_2)/((1/\alpha - 20 + TS_1)))}$$

I_s : ブスバーの短時間許容電流 (A)

J : 4.2

Q : 導体の単位面積当たりの熱容量 (0.59cal/cm³・°C)

S : 導体断面積 (cm²)

α : 20°Cにおける導体抵抗の温度係数 (0.00403)

r_1 : 20°Cにおける交流導体抵抗 (2.826×10⁻⁶Ω/cm)

t : 通電時間 (3600 秒)

TS_1 : 周囲温度条件 (40°C)

TS_2 : 上限温度 (90°C)

1 時間通電時の許容電流の計算結果

ブスバーサイズ	通電値(条件)	I_s (1 時間許容電流)
180 t × 400W (720cm ²)	70,000 (A)	73,187(A)

(2) 間欠通電時間の許容電流

間欠通電の許容電流は、当該ブスバーの連続通電の許容電流を下式により求め、等価電流※の値と比較し評価する。

$$I_L = \sqrt{((n \times P \times \theta^{5/4} \times h)/(R_{(\theta + T_a)}/n))}$$

I_L : ブスバーの連続許容電流(A)

n : ブスバーの枚数(枚)・・・1

P : ブスバーの周囲長さ(cm)

θ : ブスバーの温度上昇(°C)・・・50

h : 熱放散係数(Watt/°C,cm²)

$h = H \times K / (n \times P)^{0.14}$

H : 固有表面熱放散係数(Watt/°C,cm)・・・0.000732(黒色塗装の場合)

K : 熱放散低減率

$K = (-0.67 + 0.56 \times \log_{10} m) \times \log_{10} n + 1$ (垂直配置)

$$K = n^{(1.491 \log 10 m - 1.21)} \quad (\text{水平配置})$$

m : ブスバーの厚み(t)と間隔(d)の比 $m = d / t$

$R_{(\theta+T_a)}$: $(\theta+T_a)$ °Cにおけるブスバーの導体抵抗(Ω/cm)

$$R_{(\theta+T_a)} = \rho_{20} \times (1 + \alpha_{20} (\theta + T_a - 20)) / S$$

ρ_{20} : 20°Cにおけるブスバーの固有抵抗(Ω/cm) $\dots 2.826 \times 10^{-6}$

α_{20} : 20°Cにおけるブスバーの抵抗温度係数($1/^\circ C$) $\dots 0.00403$

間欠通電時間の許容電流の評価結果

ブスバーサイズ	等価電流	連続許容電流	温度上昇 (参考)
180 t × 400W (720cm ²)	2,8577 (A)	3,3958 (A)	38°C

※ 等価電流 : 間欠通電を連続通電に換算したもの

$$I_T \doteq \text{通電値} \times \sqrt{(\text{通電時間} / (\text{通電時間} + \text{停止時間}))}$$

(3) 導体電磁力の検証

導体電磁力による影響についての検討は、相間距離が最も接近している下記部位についてのみ実施した。

- ・ 検証部位 : PS-1 上部 P、N 極並行布設部
- ・ 電流値 : 30kA
- ・ 相間距離 : 400mm (並行部長さ 1.752mm)
- ・ 支持架台 : 強化プラスチック製ブスバーサポート

円形導体の通電による電磁力は下式により、 $F=788.4N$ と求められる。

$$F = (\mu_0 \mu_s I_1 I_2 L) / (2 \pi r)$$

F : 発生する電磁力(N)

μ_0 : 真空の透磁率($4 \pi \times 10^{-7}$)

μ_s : 比透磁率(空気:1)

I_1 及び I_2 : 相対する導体に流れる電流(30000A)

L : 相対する導体の長さ(1.752m)

R : 相間距離(0.4m)

矩形導体の場合は、補正係数 $K(=0.9)$ を考慮し、 $F_k=710N$ となる。

該当する 1.752m では、8 カ所の垂直フレームで電磁力を受けるため、一カ所のフレームに作用する電磁力は 1/8 の 89N となる。曲げモーメントは以下となる。

$$M = fW = 3560N \cdot cm \quad (W: \text{ブスバー幅 } 40cm)$$

応力は以下となり、許容曲げ強度 2850N/cm²(強化プラスチック協会設計基準)以下である。

$$\sigma = M/Z = 855N/cm^2 \quad (Z: \text{断面係数 } 4.166cm^3, 10 \times 50 \text{ 長方形})$$

2.4.2 直流電源及びブスバーの配置の検討

大電流容量のブスバーは高価であるため、直流電源の配置を見直し、コスト軽減に努めた。実証ポロイダル・コイル用真空容器を撤去し、その場所に既設 30kA 直流電源(PS-2)を移設し、新規 10kA 直流電源(PS-3)も設置することで、ブスバーの長さを短くした。電源間の接続方法と送電ブスバーと電源との接続方法の検討を実施した結果、Fig. 2-3 に示す配置とした。

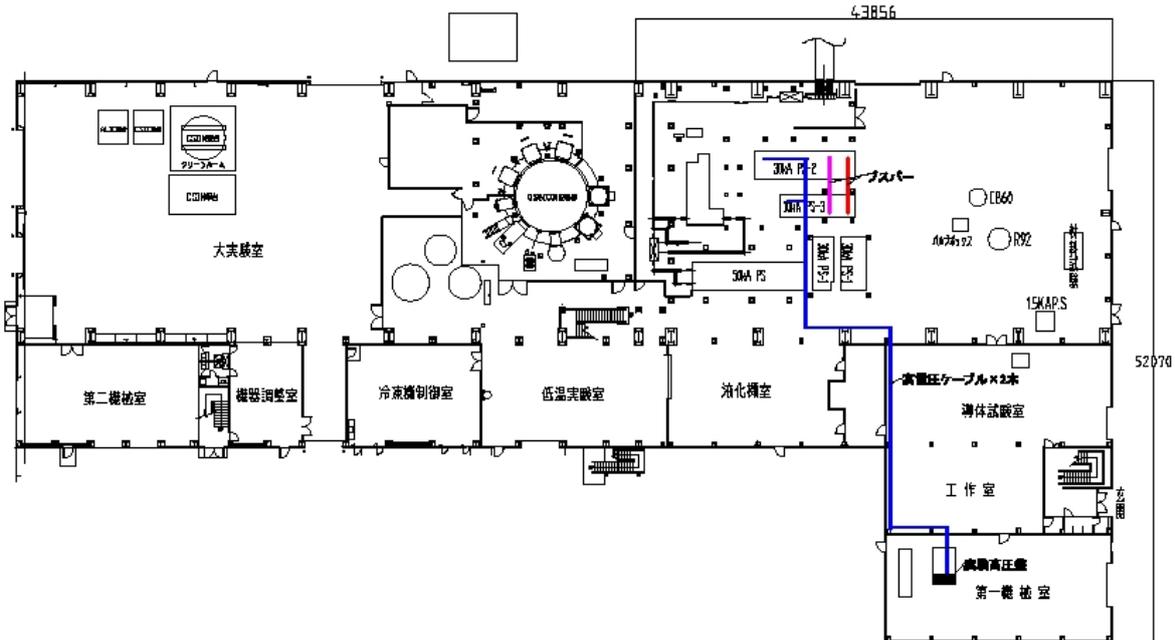


Fig.2-3 直流電源配置及び高電圧ケーブル敷設ルート図

2.4.3 電源間及び電源とブスバーの接続

移設した 30kA 直流電源(PS-2)と新規 10kA 直流電源(PS-3)を 10kA ブスバーで接続する。10kA ブスバーは銅板を使用し、自然空冷方式とした。

既設 30kA 直流電源(PS-1)出力端子と送電ブスバー間は 30kA 用アルミフレキで接続とした。

既設 30kA 直流電源(PS-2)に出力端子と送電ブスバー間は 40kA 用アルミフレキで接続とした。

2.4.4 給電ケーブル検討

LCT 直流電源(PS-2)移設、新規 10kA 直流電源(PS-3)設置に伴って、電力供給用(6.6kV)の高圧ケーブル新規敷設するケーブルの検討を行った。(Fig.2-4)

1)電源への1次側より供給電源は3φ AC6.6kV 第1工学試験棟

第1電気室【41-65】(DS 600A)より2系統に分割・供給する。

2)電源仕様

- ・ 30kA (PS-2) 入力 3φ AC6.6kV 出力 DC12V 30kA
- ・ 10kA (PS-3) 入力 3φ AC6.6kV 出力 DC12V 10kA

3)供給用配線選定

上記より2電源の効率100%として、最大使用電流を計算すると168(A)と算定。

- ・ 30kA (PS-2) CVT 60sq-3C
- ・ 10kA (PS-2) CVT 38sq-3C

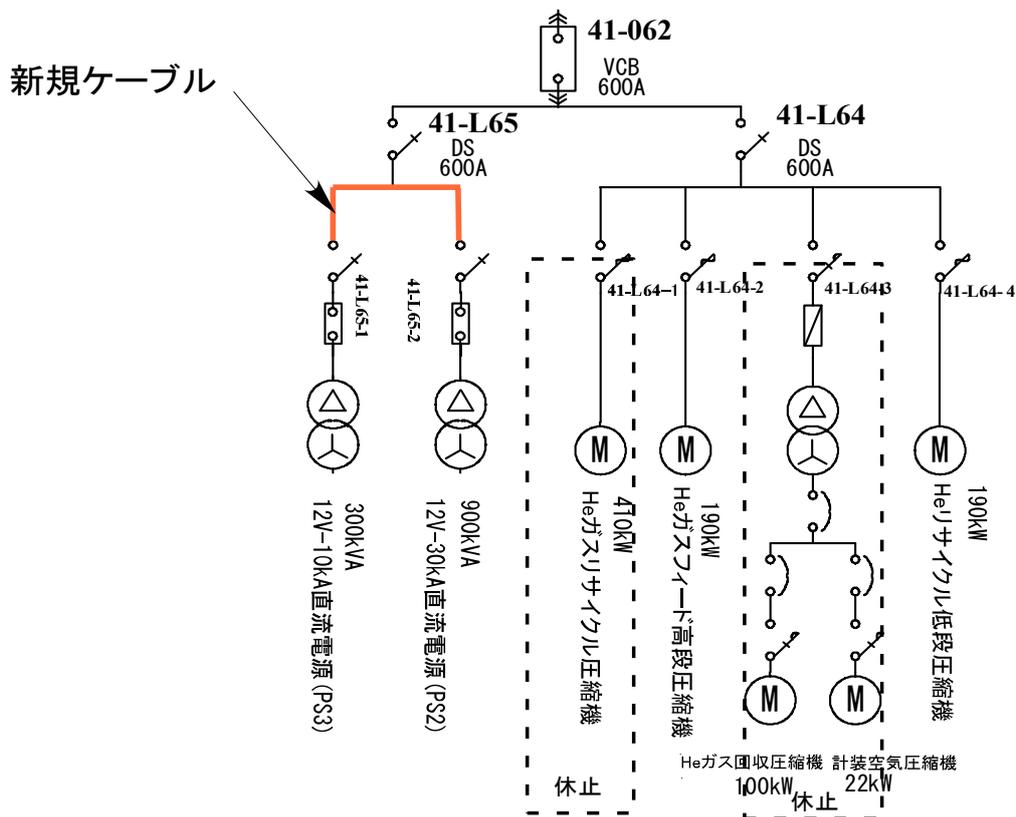


Fig. 2-4 F41 系単線系統図

2.5 制御方法

既設制御システムでは増設 30kA 直流電源 2 台(PS-1+PS-2)の総出力 60kA を制御していた。これに新規 10kA 直流電源(PS-3)を加えた総出力 70kA を制御する方法として、Fig. 2-5 に示すように新規電源制御システムを構築し、新規電源制御システムが電流配分決定し既設電源制御系と新規 10kA 制御系へ電流指定値を出す方法とした。この方式を採用することで既設電源制御系の改造量を最小にできた。

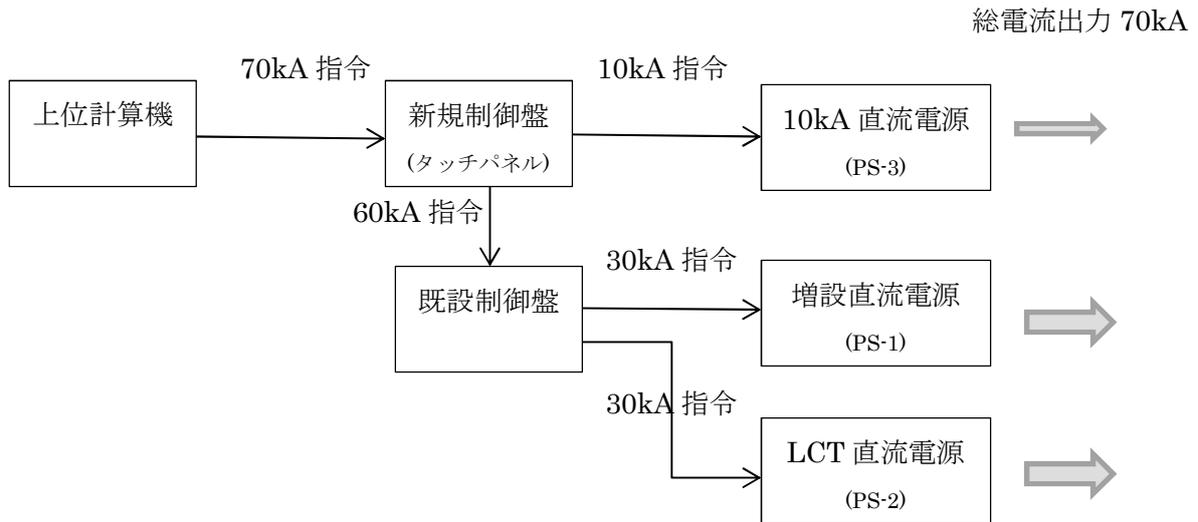


Fig.2-5 新制御システム構成図

上位計算機により、電流出力の組合せ(Table 2-2)を選択することにより、最大出力電流値 10,30,40,70kA することができる。

Table 2-2 最大電流出力の組合せ表

No.	直流電源選択の有無			最大出力電流値(kA)
	30kA (PS-1)	30kA (PS-2)	10kA (PS-3)	
1	×	×	○	10
2	○	×	×	30
3	×	○	×	30
4	○	×	○	40
5	×	○	○	40
6	○	○	×	60
7	○	○	○	70

2.6 直流電源用冷却水装置の検討

新規 10kA 直流電源 (PS-3)設置に伴って、既設の電源冷却装置の供給能力で賄えるか検討した。

2.6.1 電源冷却水装置

(1)電源冷却水装置の能力 (取扱説明書より) に以下に示す。

- ・冷却能力 120 万 kcal/h
- ・冷却水温度上昇 $\Delta T=15\text{deg}$
- ・全体水量 1350 l/min 以上
- ・水質 $10\ \mu\text{s/cm}$ 以下
- ・最高使用水圧 $4\text{kg/cm}^2\text{G}$ (各直流電源入口において)
- ・密閉式膨張タンク $109\text{l}\cdot 7\text{ka/cm}^2$

2.6.2 既設直流電源の熱発生量

(1)設計計算値

直流電源名称	発生熱量 (kW)	必要水量 (l/min) ($\Delta T=15^\circ\text{C}$)	備考
30kA(PS-1)	355.8	342	設計計算書より
50kA	306.4	294	設計計算書より
30kA(PS-2)	500	479.8	予想値
総合計	1162.2	1117.1	

(2)残水量

残水量 = 取説供給水量 - 直流電源装置必要水量

$$\begin{aligned} \text{残水量} &= 1350 - 1117.1 \\ &= 232.9 \text{ (l/min)} \end{aligned}$$

2.6.3 新規 10kA 直流電源 (PS-3)の発熱量

(1)30kA 直流電源 (PS-2)の 1/3 倍とすると

$$10\text{kA 直流電源の発熱量} = 500(\text{kW}) \div 3 = 166.7(\text{kW})$$

(2)発熱量から、冷却流量を計算すると

$$\begin{aligned} 170(\text{kW}) \times 0.24 \text{ (cal/J)} &= \text{流量(l/min)} \times 15 \text{ (}^\circ\text{C)} \times 60(\text{s/min}) \\ \text{流量は } &163.2 \text{ (l/min)} \end{aligned}$$

(3)電源以外の発熱量

増力電源の 1/3 倍で見積もった。

合成ダイオード+バランス抵抗 : 15.2kW

(4)総発熱量

$$\begin{aligned} \text{総発熱量} &= \text{直流電源 (PS-3)の発熱量} + \text{電源以外の発熱量} \\ &= 166.7 + 15.2 \\ &= 182.9\text{kW} \end{aligned}$$

2.6.4 検討結果

- (1)10kA 直流電源冷却水量の設定値を 400 (l/min) から 230 (l/min) 以下に変更すれば、ポンプ、配管の大きさの変更は不要となる。
- (2)50kA 直流電源、30kA 直流電源(PS-1)の各素子 (SCR,FET,合成ダイオード) ジャンクション温度に余裕約 30℃以上ある。(設計上)
- (3)30kA 直流電源(PS-2)の発熱量 (予想値 500kW) が大きめの値と思われる。

2.7 改修後の試験

(1) 高圧ケーブルの耐電圧試験

30kA 直流電源(PS-2)移設、新規 10kA 直流電源(PS-3)設置に伴って、電力供給用(6.6kV)の高圧ケーブル新規敷設を行った。

新規敷設ケーブルの耐電圧試験を行い異常のないことを確認後、接続作業を行った。(直流電源供給用 6.6kV ケーブル、ブスバー等)

(2) 1kA 通電試験

直流気中遮断器の電流バランスを測定するため(Fig.2-6,2-7,2-8)、遮断器 5 台のうち 1 台を投入し、主回路に 1000A を通電したときの A 点・B 点間の電圧降下を測定し、接触抵抗値を求めた。試験結果は、Table 2-3 に示すように、電流バランスがとれていることを確認した。

Table 2-3 1kA 通電試験結果

【NB2】

名 称	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
接触抵抗値 ($\mu \Omega$)	12.35	12.335	12.204	12.621	12.19
5 台並列時の接触抵抗値 ($\mu \Omega$) 実測値	3.207				
5 台並列時の接触抵抗値 ($\mu \Omega$) 計算値	2.4535				
分流比率 (%)	19.87	19.89	20.10	20.01	20.13
70 k A 通電時 (k A)	13.91	13.92	14.07	14.01	14.09

【NB2-2】

名 称	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
接触抵抗値 ($\mu \Omega$)	26.957	27.353	26.391	26.823	26.695
5 台並列時の接触抵抗値 ($\mu \Omega$) 実測値	6.36				
5 台並列時の接触抵抗値 ($\mu \Omega$) 計算値	5.368				
分流比率 (%)	19.91	19.62	20.34	20.01	20.11
70 k A 通電時 (k A)	13.94	13.74	14.24	14.01	14.08

(3)70kA-1 時間通電試験

70kA-1 時間の通電を行い、各部の温度を測定した。通電時の回路を Fig. 2-6 に示す。測定点を Fig. 2-7 に、測定結果を Fig. 2-9 及び Fig.2-10 に示す。T18 のブスバー溶接部で、最大温度 52.6 度、温度上昇 39.2 度であり、温度上昇が 50 度以下であることを確認した。

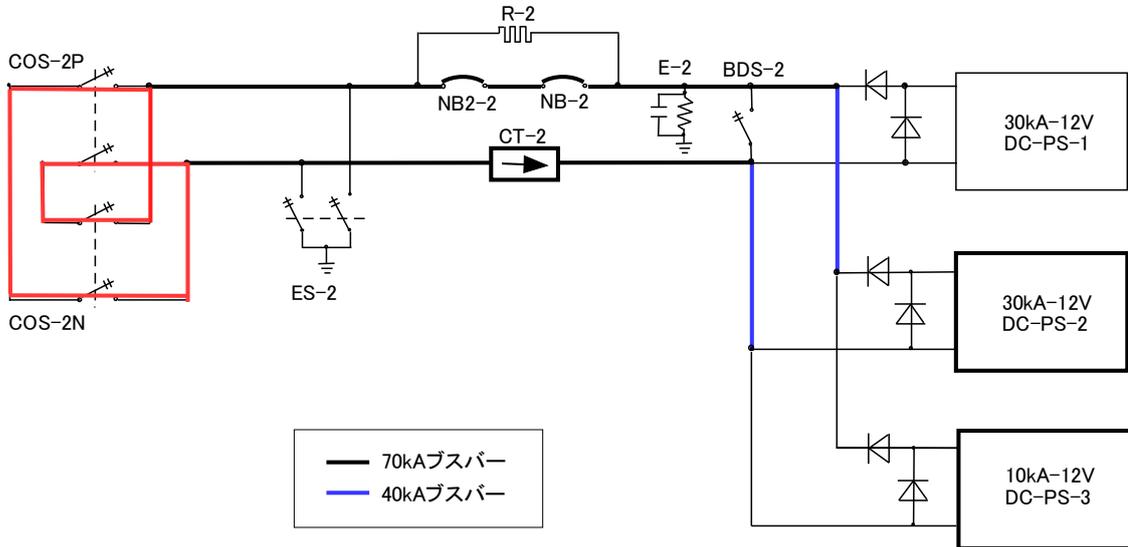


Fig. 2-6 70kA 通電試験の回路

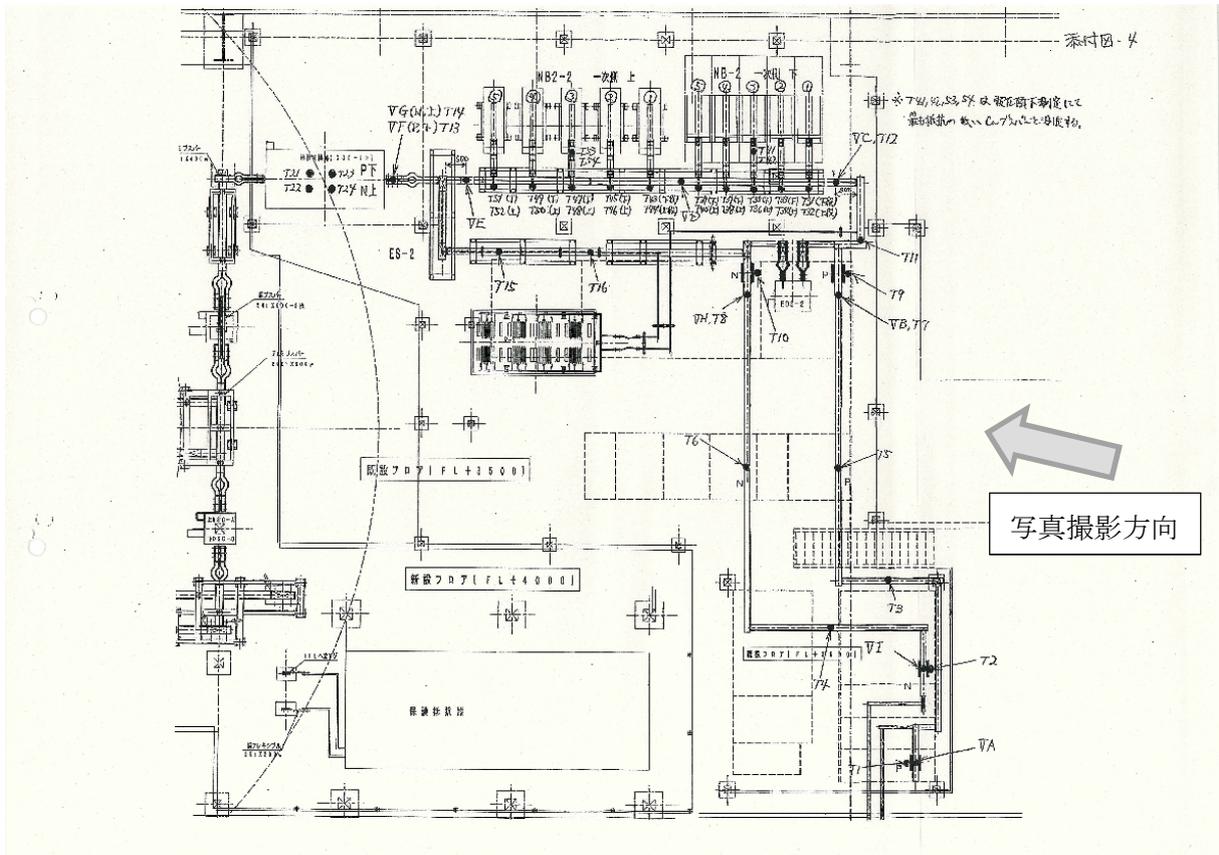


Fig. 2-7 温度測定場所

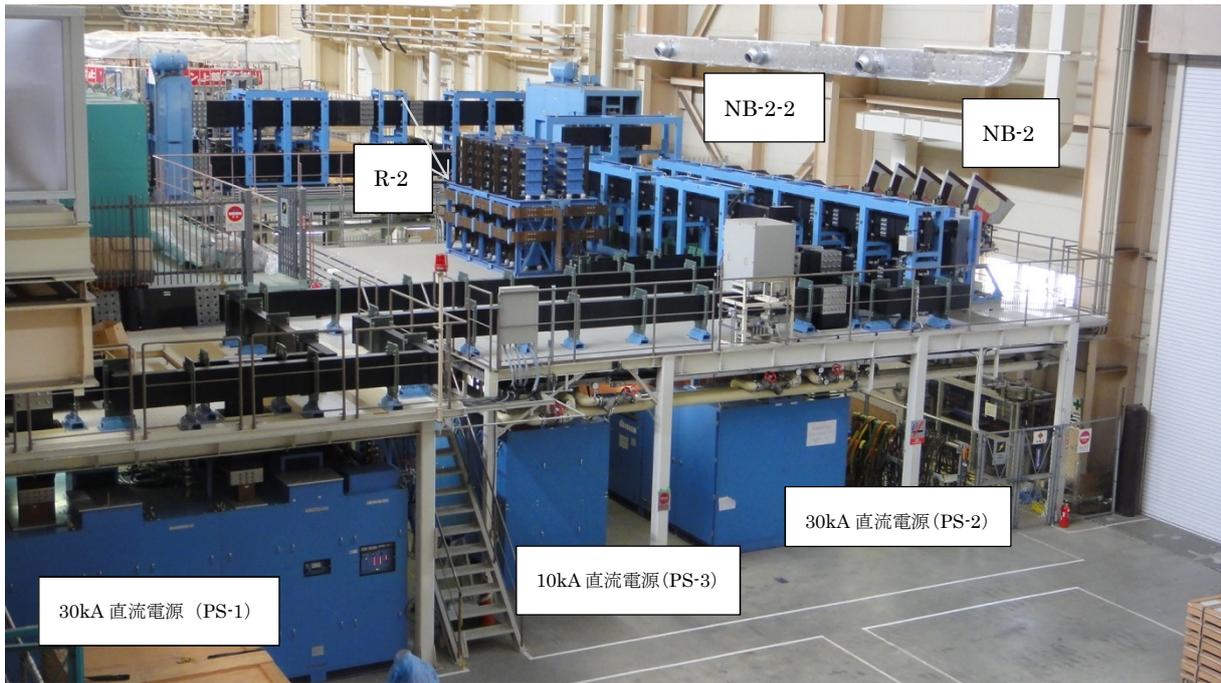


Fig. 2-8 直流電源システム改修後の写真

3. 既設設備の概要

ここでは、改修しなかった既設設備について説明する。

3.1 50kA 直流電源

最大出力 50kA,±15V の直流電源で、1994 年に製作された。高電圧受電盤、高圧変圧盤、整流器盤 1～5、DCCT 盤から構成されている。高電圧受電盤には、断路器、高電圧遮断器等があり、受電は AC6.6kV-3相で、高電圧変圧器盤のシステムトランスにより AC440V に電圧を下げる。整流器盤の主トランスにより AC440V を AC24V まで下げて、三相二重星形整流並列合成回路 (SCR) を使用して AC を DC に変換し、フィルタ回路でリップルを低減する。巨大なインダクタンス負荷である CS モデルコイル専用であるため、電流リップルを低減する回路はパッシブフィルタ (LC フィルタ) のみであり、トランジスタ制御回路は用いられていない。このため抵抗負荷時の電流リップルは他の直流電源より大きい。盤面当たり 10kA を出力し、5 つ盤の出力の合計として 50kA が出力される。DCCT 盤では、各整流器盤から合計された出力電流を検出する。本電源のブロック構成図を Fig. 3-1 に、性能を Table 3-1 に示す。

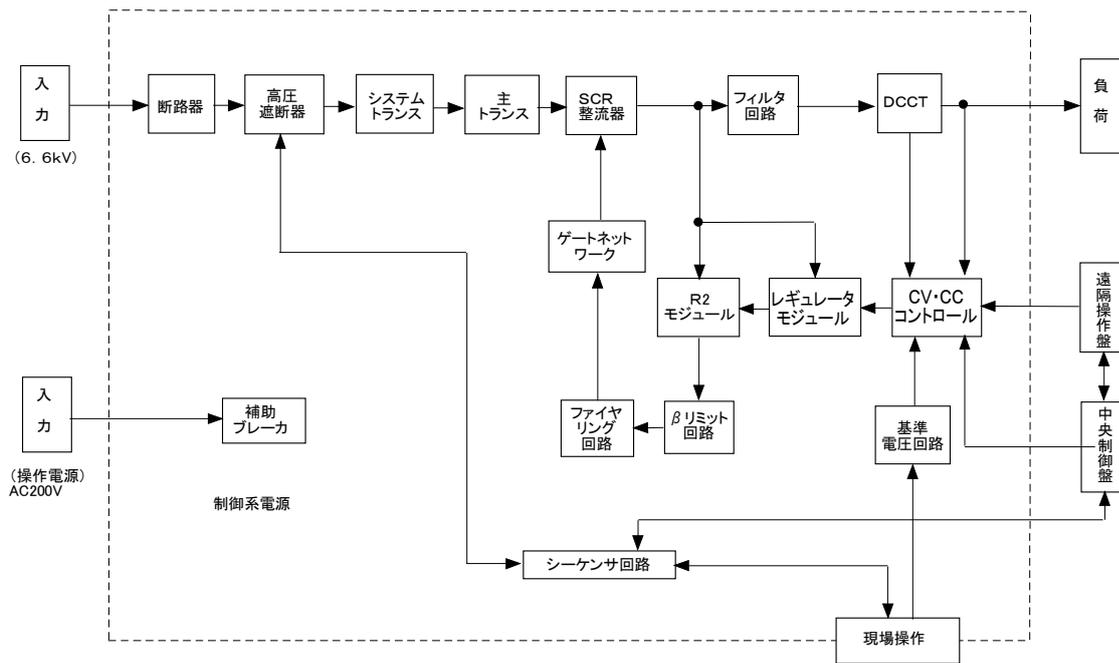


Fig. 3-1 50kA 直流電源のブロック構成図

Table 3-1 50kA 直流電源の性能

定格出力	±15V(DC), 50kA(DC)	
安定度	1.0×10 ⁻³ /3 h	インダクタンス負荷(1H)において 周囲温度変化 5°C/3 h
電流リップル率	1×10 ⁻³ rms 以下 1×10 ⁻² rms 以下	インダクタンス負荷(1H)において 抵抗負荷において
電流応答時間	電流を 0kA から 50kA ま で 20 秒以内	出力を短絡 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧応答時間	電圧を 0V から 15V まで 1 秒以内	出力を開放 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧出力設定	0~15V, 0.1V 間隔	
電流出力設定	0~50kA, 1A 間隔	
掃引速度設定	100、200、500、1 k、 2 k、5 k、10 k、20 k、 50 k、100 k、300kA/分	×0.5~×1.5 の 0.1 倍ごとの微調整が可能
掃引直線性	±1%以内	設定値の 5~95%において
立ち上がり特性	電流ゼロから滑らかに電流が増加し、立ち上がり時のどの時点でも設定掃引速度+5%~超える掃引速度にならない。	

3.2 30kA 直流電源(PS-1)

最大出力 30kA, ±12V の直流電源で、50kA 電源と同時に 1994 年に製作された。回路構成は 50kA 電源と似ているが、整流器盤は 3 盤となる。設置場所の形状から、高圧受電盤+高圧変圧器盤と、整流器盤+DCCT 盤の 2 つに分かれる。抵抗負荷に対応し、電流リップルを低減するため直列制御トランジスタ(FET)により電流を制御する。本電源のブロック構成図を Fig. 3-2 に、性能を Table 3-2 に示す。

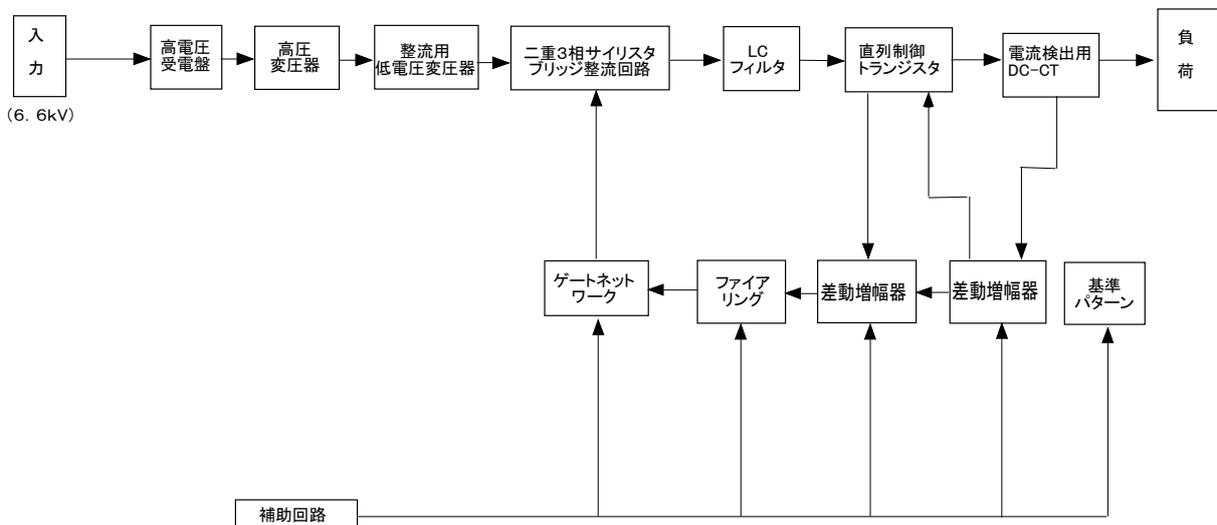


Fig. 3-2 30kA 直流電源(PS-1)のブロック構成図

Table 3-2 30kA 直流電源(PS-1)の性能

定格出力	±12V(DC), 30kA(DC)	
安定度	1.0×10 ⁻⁴ /3h	インダクタンス負荷(1H)において 周囲温度変化 5°C/3h
電流リップル率	1×10 ⁻⁴ rms 以下 1×10 ⁻³ rms 以下	インダクタンス負荷(1H)において 抵抗負荷において
電流応答時間	電流を 0kA から 30kA ま で 10 秒以内	出力を短絡 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧応答時間	電圧を 0V から 12V まで 1 秒以内	出力を開放 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧出力設定	0~12V, 0.1V 間隔	
電流出力設定	0~30kA, 1A 間隔	
掃引速度設定	100、200、500、1k、 2k、5k、10k、20k、 50k、100k、300kA/分	×0.5~×1.5 の 0.1 倍ごとの微調整が可能
掃引直線性	±1%以内	設定値の 5~95%において
立ち上がり特性	電流ゼロから滑らかに電流が増加し、立ち上がり時のどの時点でも設定掃引速度+5%~超える掃引速度にならない。	

3.3 30kA 直流電源 (PS-2)

最大出力 30kA, ±12V の直流電源で、1981 年に製作された装置内で最も古い直流電源である。

本電源装置では、プリレギュレータとしてサイリスタ変換方式を、またメインレギュレータとしてトランジスタ直列制御方式を採用しており、効率良く出力を取出せるように設計されている。

本パワーシステムでは 2 台の直流用変圧器各々の二次側巻線は 12 組の出力がえられるように設計されており、これに対応して 2 重 3 相全波ブリッジ整流制御のサイリスタ変換器が接続されている。これにより 12 相整流の効果を得ると共に直流側リップル及び交流側の高周波の低減を計っている。LC フィルタは 2 段用いており、直列制御トランジスタでは電流を制御し出力の安定化及びリップルの低減を計っている。本電源のブロック構成図を Fig. 3-3 に、性能を Table 3-3 に示す。

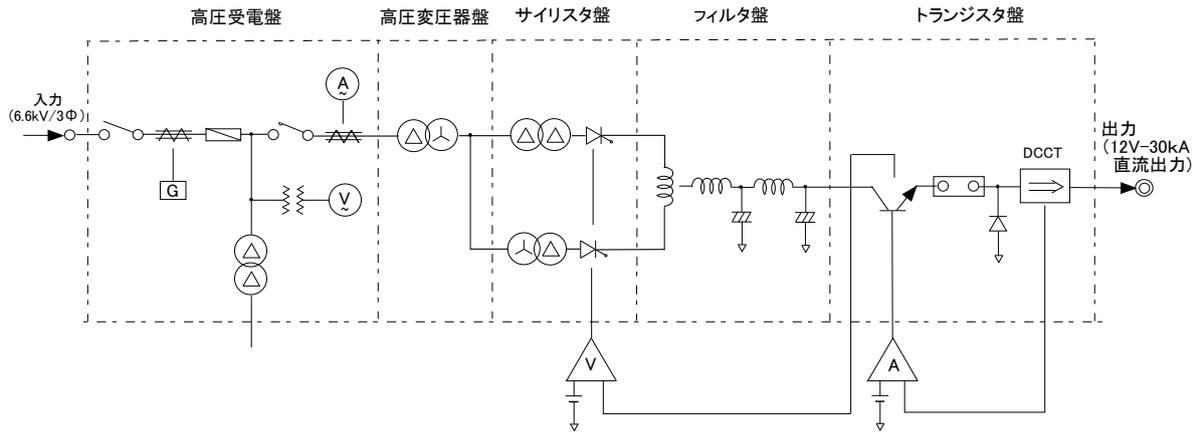


Fig. 3-3 30kA 直流電源(PS-2)単線結線図

Table 3-3 30kA 直流電源(PS-2)の性能

定格出力	DC 12V, DC 30kA	
安定度	$1.0 \times 10^{-4}/3 \text{ h}$	出力 10kA~30kA インダクタンス負荷(2.1H)において 周囲温度変化 $5^\circ\text{C}/3 \text{ h}$ 交流入力電圧変動 $\pm 10\%$ 負荷変動 0~100%において ※ウォーミングアップ 1 時間後
電流リップル率	(1) $1 \times 10^{-4}\text{rms}$ 以下 (2) $1 \times 10^{-3}\text{rms}$ 以下	(1) 出力電流 10.22kA インダクタンス負荷(2.1H)において (2) 出力 1V-30kA 抵抗負荷(0.033mΩ)において
電流応答時間	電流を 0kA から 30kA まで 10 秒以内	出力を短絡 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧応答時間	電圧を 0V から 12V ま で 1 秒以内	出力を開放 目標値の 95%に達するまでの時間
電圧出力設定	0~12V, 0.1V 間隔	
電流出力設定	0~30kA, 1A 間隔	
掃引速度設定	100、200、500、1k、 2k、5k、10k、20k、 50k、100k A/分	
モニタ	出力電流:5V/ 30kA 出力電圧:5V/12V	

3.4 50kA 直流遮断器 (NB-1)

50kA 直流遮断器は、転流制御装置、断路器盤・遮断器盤、真空遮断器、直流電源装置から構成されている。回路構成を Fig. 3-4 に示す。

転流制御装置は、監視制御盤、コンデンサ盤、転流スイッチ盤から構成されており、直流電源装置には、直流充電回路、蓄電池 100Ah が 18 個ある。

50kA の定常電流は、アーク吹消型断路器(DS)に流れる。エア駆動式で、信頼性向上のため、2 台直列接続されている。遮断時は、断路器 DS から真空遮断器に電流は転流される。遮断器(型式 KVGS-6T63MA)は 3 相交流用で、定格電圧 7.2kV、定格電流 2,000A である。遮断の信頼性を上げるため、3 接点を直列に接続している。遮断時に電流ゼロ点を作るため、コンデンサから電流を放電する。放電スイッチとしてイグナイトロンが用いられる。現在は使用しないが、JT-60 電源では逆方向通電があったため、極性切換器を入れて逆方向電流の遮断も可能としている。遮断の二重化として、爆発ヒューズが挿入されており、真空遮断器での遮断失敗時に動作する。

(1) 遮断動作

直流遮断指令又は過電流検出を検出した際は、断路器 DS が開き、電流は VCB(真空遮断器)に転流する。VCB の開動作と同時に IG (イグナイトロン) を投入する。コンデンサの放電に伴う電流は VCB に流れ、転流電流と主回路電流に重畳で、VCB に流れる電流に零点が発生し、このとき主回路電流は遮断される。

(2) 最大遮断電流設定

転流コンデンサからの転流電流と主回路電流に差があると、VCB の電流零点時の電流変化が大きくなり、遮断失敗のリスクが上がる。このため、通電開始前に直流遮断器に対して最大遮断電流の設定(20, 40, 50kA)を行い、転流用コンデンサに最大遮断電流に合わせた電圧で充電がされる。

(3) 保護ヒューズ(爆発ヒューズ)は、VCB が動作しない時にモデルコイルを保護するためのもので、通常はバイパスに電流が流れ、動作時は火薬の爆発によりバイパスが外れ、ヒューズ部に電流が流れ熔断する。動作時は、光ファイバケーブルを切断することで動作を発信する。

(4) 電流値が 20kA 以下での保護動作

爆発ヒューズの動作は、低電流になると時間が長くなり、10kA 以下では熔断しない。このため、20kA 以下の保護動作は、直流電源システムとして以下の様に設計されている。

(a) 通電電流が 10kA～20kA で遮断失敗した場合

直流遮断器盤内で再度遮断開指令を出力し、遮断器を動作させる。2 度の指令でも遮断器が動作しなかった場合は、保護ヒューズで遮断する。

(b) 通電電流が 10kA 以下で遮断失敗した場合

直流遮断器盤内で再度遮断開指令を出力し、遮断器を動作させる。2 度の指令でも遮断器が動作しなかった場合は、断路器を再閉路し、直流電源で電流を下げる。

(c) 通電電流が 5kA 以下の場合は、直流電源により電流を下げる。直流遮断器は遮断しない。

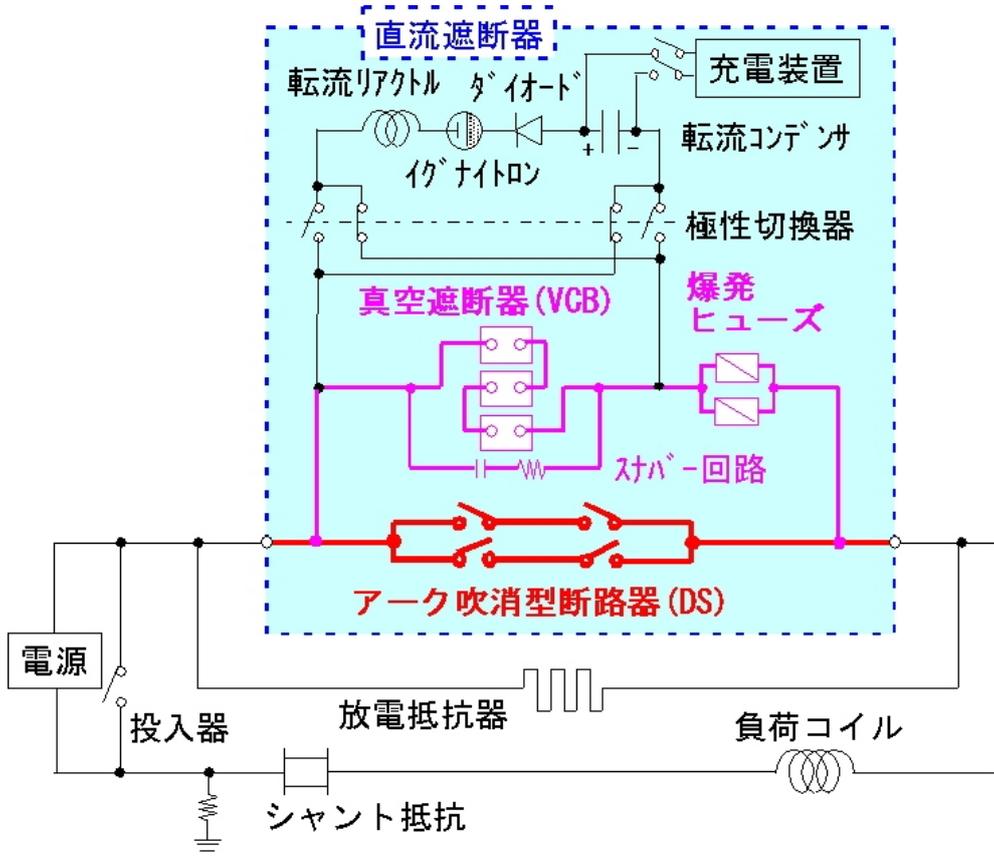


Fig. 3-4 50kA 直流遮断器(NB1)の回路図

3.5 放電抵抗器(R-1)

本抵抗器は、超伝導コイルがクエンチを起こした時に、CS モデルコイルに蓄積された約 600MJ のエネルギーを放出できる機能を有する。また、コイル性能評価実験の手段としても使用されるため、抵抗器をいくつかのユニットで構成し、数種類の抵抗値の接続切換えを可能としている。抵抗器の仕様を Table 3-4 に、抵抗値とユニットの接続方法の関係を Table 3-5 に示す。また抵抗値の詳細を付録 4 に示す。

Table 3-4 放電抵抗器(R-1)の仕様

ユニット数	21 ユニット	
抵抗値	0.05 Ω/ユニット	
抵抗体	材質: SUS304 寸法: 1mm×1m×約 70m	
精度	0%～+20%	インダクタンス 0.8H の超伝導コイルを 50kA から各抵抗値でダンプを行ったとき
放電電流	最大電流:DC50kA 放電時定数: 20 秒	抵抗体最大温度設計: 232℃
絶縁	最大電圧: 10kV 絶縁階級: 6 号 B	碍子などを使用し、導体を絶縁支持
放電頻度	1 回/30 分	1 日の放電回数は、最大 16 回
自己インダクタンス	100 μ H 以下	抵抗値 0.2Ω において
冷却方式	自然空冷または、ファン等による強制空冷	放電抵抗器冷却用ファンの起動信号は、直流遮断器の監視制御盤より出力し、30 分のタイマを入れて自動停止する。
形状 重量	7.7mW×3mD×2.8mH 19ton	

Table 3-5 抵抗値とユニットの接続

No.	抵抗値 (Ω)	接続 (並列×直列)	使用 ユニット数	消費 エネルギー	20℃換算 抵抗値(Ω)	インダクタンス 測定(μ H)
1	0.2	2×8	16	1GJ	0.2084	6.97
2	0.10	3×6	18	1GJ	0.1034	4.58
3	0.05	4×4	16	1GJ	0.0519	3.73
4	0.04	5×4	20	1GJ	0.0416	3.60
5	0.021	7×3	21	1GJ	0.0223	2.89
6	0.01	10×2	20	1GJ		2.72
7	0.005	10×1	10	600MJ		2.30
8	0.025	20×1	20	600MJ		2.38

注 1 : 抵抗値測定方法 直流電源により 100A を通電し、各タップの出力端子間電圧をデジタルで測定し、抵抗値を算出した。

注 2 : インダクタンス測定方法 出力端間のインダクタンスを LCR メータで測定した。 LCR メータの周波数は 1kHz とした。

3.6 放電抵抗器(R-2)

抵抗素子は Fe-Cr 系 (SuS304 に近似) 鋼板で、一般鋼板に比べ耐蝕性は優れている。接続導体は鋼材で、腐食性ガス (So₂、H₂S) や有害な塵のないところへ設置必要がある。また、防滴、防水構造でないため、使用前に抵抗値の確認、抵抗素子間相互間、左右両端部および絶縁碍子に塵埃等が付着していないことの確認が必要である。絶縁抵抗値は 5MΩ 以上 (1,000V メガにて) である。型式は、DGP601S-A64S で、定格電圧は 1kV、ピーク電圧は 15kV、全体の抵抗値は 0.1 Ω で、110MJ のエネルギーが放出できる。単体抵抗ユニットの構造を Fig.3-5 に示す。抵抗値を変えることができ、その値は付録 5 に示す。

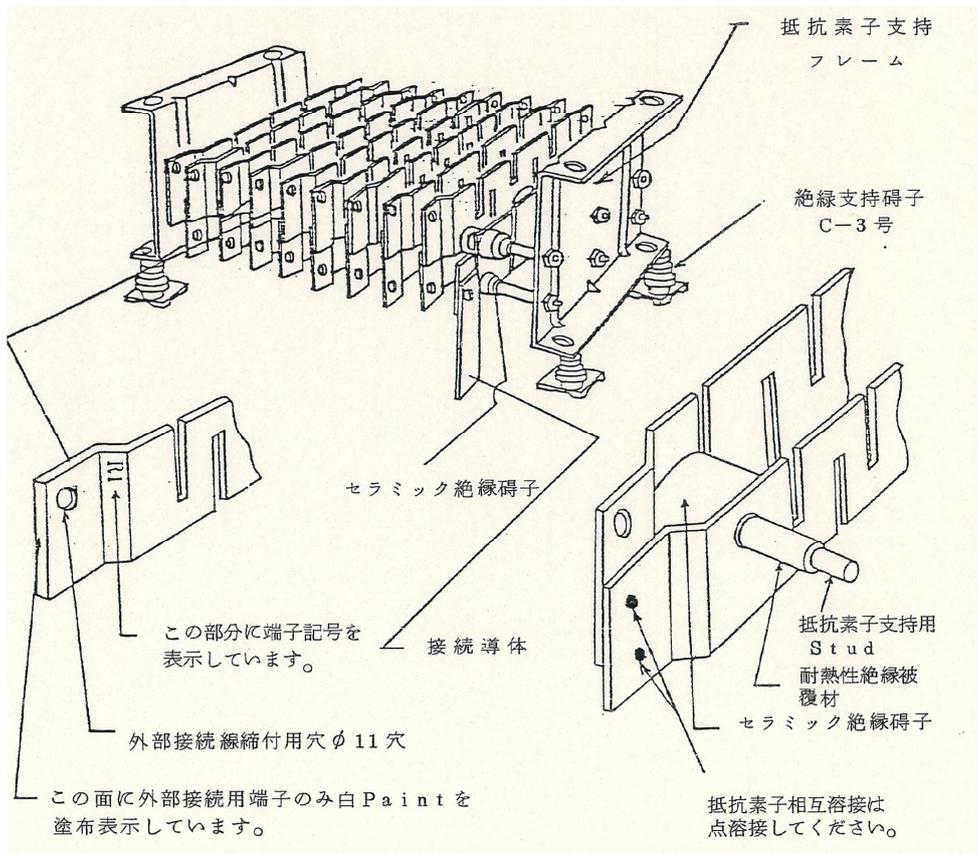


Fig.3-5 放電抵抗器(R2)の単体構造

3.7 断路器

断路器は、直流電源と超伝導コイルの接続を切り替えるため及びコイル異常時等に直流遮断器及び直流電源を保護するために用いられる。開閉操作はエア駆動で行われ、電磁弁による遠方操作又は直接操作ができる。接点部は、可動、固定共に銀接触を使用し、強力なバネにより圧縮することで、接触抵抗が少なく、通電容量が極めて大きい。開閉表示は、リミットスイッチにより開閉表示盤の表示灯の点灯・外部引出しにより接点により遠方にて開閉の確認ができる。盤正面の開閉表示器により開閉状態を確認できる。

(1) DC50kA断路器盤

1) 極数	① 1極	(機器No.DSC-C,D,E)
	② 2極	(機器No.DSC-A,B)
2) 定格電流	DC 50kA	
3) 定格電圧	AC6.6kV	(絶縁階級6 B)
4) 開閉電圧	0 V	
5) 開閉時間	5秒以内	(機器No.DSC-A,B,C,D,E)

(2) DC50kA断路器盤

1) 極数	2極+短絡複合型(機器No.DS-3+BDS-3)	
2) 定格電流	DC 50kA	
3) 定格電圧	AC6.6kV	(絶縁階級6 B)
4) 開閉電圧	0 V	(機器No.DS-3)
	±12V	(機器No.BDS-3)
5) 開閉時間	5秒以内	(機器No.DS-3)
	1秒以内	(機器No.BDS-3)

(3) DC30kA断路器盤(極性切換器)

1) 極数	4極(2極+2極)	(機器No.COS-2P,2N)
2) 定格電流	DC 30kA	
3) 定格電圧	AC6.6kV	(絶縁階級6 B)
4) 開閉電圧	0 V	
5) 開閉時間	5秒以内	(機器No.COS-2P,2N)

(4) 共通仕様

1) 畜圧器	開閉2回以上
2) 周囲温度	40℃
3) 温度上昇	65℃
4) 最高許容温度	105℃
5) 導電部	端子 材質C1100BB-F, 接点材質Ag 1t, 電流密度1.39 A/mm ² 可動子材質C1100P-1/4H, 接点材質Ag 1t, 電流密度1 A/mm ²
6) 絶縁材	エポキシ磚子, エポキシ樹脂板
7) 操作電源	電磁弁 DC100V, 表示灯 DC24V
8) 操作空気圧	供給圧力0.95MPa, 操作圧力 0.6MPa

3.8 接地抵抗器(E-3)及び接地装置

(1) 設置抵抗器(E-3)の仕様

1) 定格電圧波形	① 最大電圧	10kV
	② 時定数	20sで指数的関数的に減衰
	③ 最大反復回数	1回/1日
2) 抵抗器	① 抵抗値	100Ω
	② 最大消費エネルギー	10MJ
	③ 最大極間電圧	12kV
	④ 対地絶縁	6.6kV (絶縁階級6B)
3) コンデンサ	① 容量	100μF
	② 最大極間電圧	12kV
	③ 対地絶縁	6.6kV (絶縁階級6B)

(2) 接地装置の仕様

1) 定格電圧波形	① 最大電圧	10kV
	② 最大反復回数	1回/1日
	③ 対地絶縁	6.6kV (絶縁階級 6B)

3.9 直流電源用冷却水装置

冷却水装置は 15V-50kA 直流電源、30kA 直流電源増力装置(PS-1,PS-2)等の直流電源と純水を用いて冷却する装置であり、密閉式冷却塔、純水ループ用冷却水ポンプ及び純水製造装置から構成されている。純水ループ冷却ポンプで送水された冷水は、負荷の発熱体を冷却して温まり冷却塔により冷却される。ポンプで排出される循環水の一部は、圧力、流量調整用として負荷をバイパスし一部は純度を維持する為に純水器にバイパスされる。冷却水装置の系統図を Fig. 3-6 に、仕様を Table 3-6 に示す。

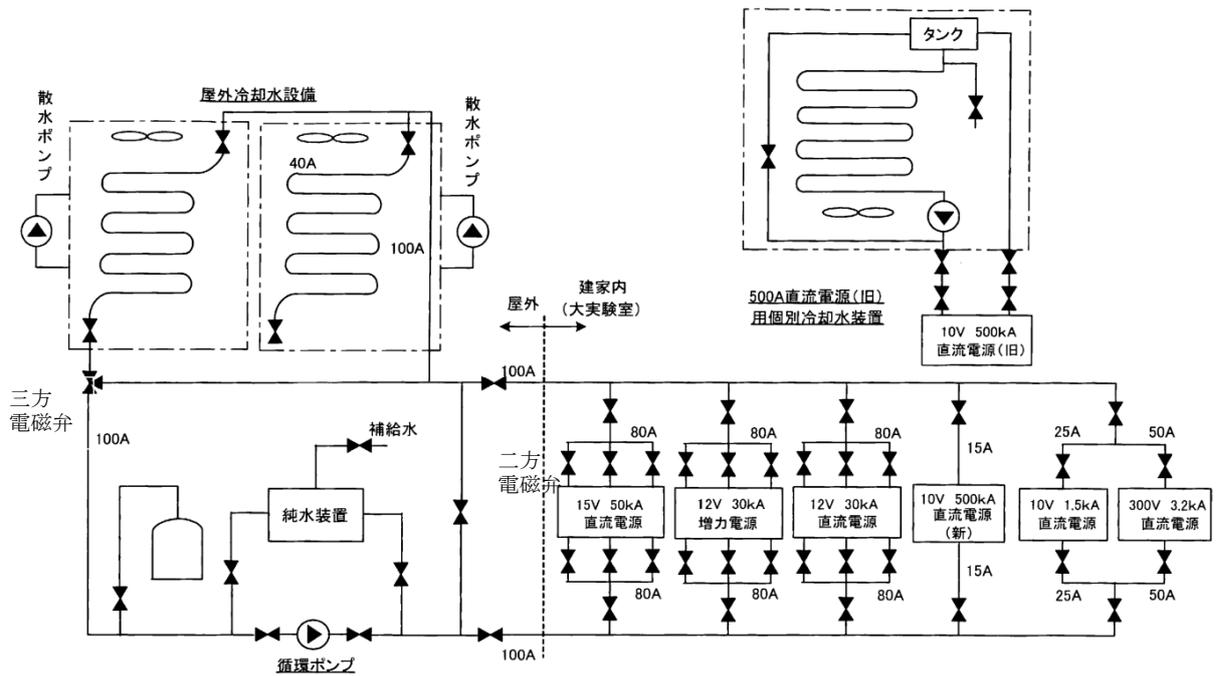


Fig. 3-6 冷却水装置の系統図

Table 3-6 冷却水装置の仕様

冷却能力	120 万 Kcal/hr
冷却水温度上昇	$\Delta T=15\text{deg}$
全体水量	1350L/min 以上
水質	電気伝導度 10 $\mu\text{s/cm}$ 以下
最高使用水圧	0.4MPaG (各直流電流入口において)

(1)冷却塔

冷却塔本体は、錆や衝撃に強い硬質塩化ビニル(PVC)製で耐候製に優れ、上下部水槽はガラス繊維強化ポリエステル樹脂製で耐食製に優れる。また凍結対策としてヒーターが内蔵されている。ファンは耐食アルミニウム合金製の低騒音軸流ファンを使用している。

熱交換器は熱伝導率に優れ、耐食製に富んだ鋼管を使用し、更に充填材を併用して高効率の熱交換を行います。銅管の肉厚は 0.8mm である。

温度調節器(TC1)の設定に対して水温が+2~3 になった時、温度調節器から信号が出て 散布水ポンプ、ファンモーターが起動して水温を下げる。水温が設定値に達すると温度調節器からの信号が切れ、散布水ポンプ、ファンモーターは停止する。この繰り返しにより水温を安定供給する。凍結の恐れのある場合は、外気 3℃で、下部水槽に内蔵されているヒーターが入り散布水が回り凍結を防ぐ。

(2)純水ループ用冷却水ポンプ

片吸込渦巻きポンプで、材質は SUS304 である。軸封はメカニカルシールタイプを採用している。制御盤の運転停止スイッチ及び遠方操作用スイッチにて起動する。ポンプ吐出側のバルブにて流量、圧力は調整される。

(3)密閉式膨張タンク

膨張タンクは、ステンレス製で最大使用受水量 109 リットル、最高使用圧力 7kg/cm² である。水室内部にポリプロピレンライナーが内張りしてあり、ダイアブラム（隔壁）により膨張分を吸収する。

(4)純水製造装置

純水製造装置は、活性炭ろ過器、カートリッジ純水器、後処理用フィルタ、電磁弁から構成される。給水中活性炭ろ過器により残留塩素や有機物を除去する。カートリッジ純水器の純水採取量は原水 200μS/cm の場合、13,300 リットル採取出来ます。またカートリッジ純水器で除去出来ない微粒子は、後処理フィルタにより除去する。

(5)三方電動弁

P ポート混合式で、本体の材質は SUS304 である。温度調節器の信号(DC4-20mA)によりシャフトを上下させ、流量を比例制御する。

温度調節器(TC1)の設定値に対して、水温が設定値より高くなると温度調節器からの出力が減少し、三方電動弁は冷却塔の方へ水を流そうとする方向にバルブが開き始める。反対に水温が設定値より低くなると温度調節器からの出力が増大し冷却塔をバイパスする様な方向にバルブが開く。温度調節器の出力信号 4mA で冷却塔の方へ全流量が流れ 20mA で冷却塔をバイパスする方向に流れる(Fig. 3-7)。

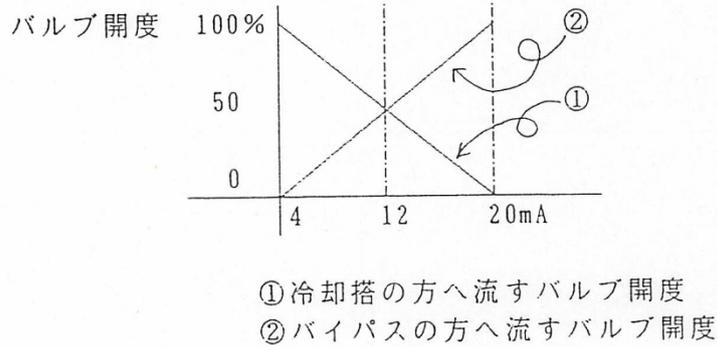


Fig.3-7 温度調節器出力信号とバルブ開度の関係

(6) 二方電動弁

グローブ式の電動弁で本体の材質は SUS304 である。圧力調節器の信号(DC4-20mA)によりシャフトを上下させ、流量圧力を比例制御する。

3.10 電源制御システム

第一工学試験棟 2F 中央制御室の機器配置を Fig.3-8 に示す。中央制御室では実験を行うための装置と CD1~4、PD1~4、ED1~6、AR1~9、データを収集するためのパソコン、ペンレコーダ等が設置されている。

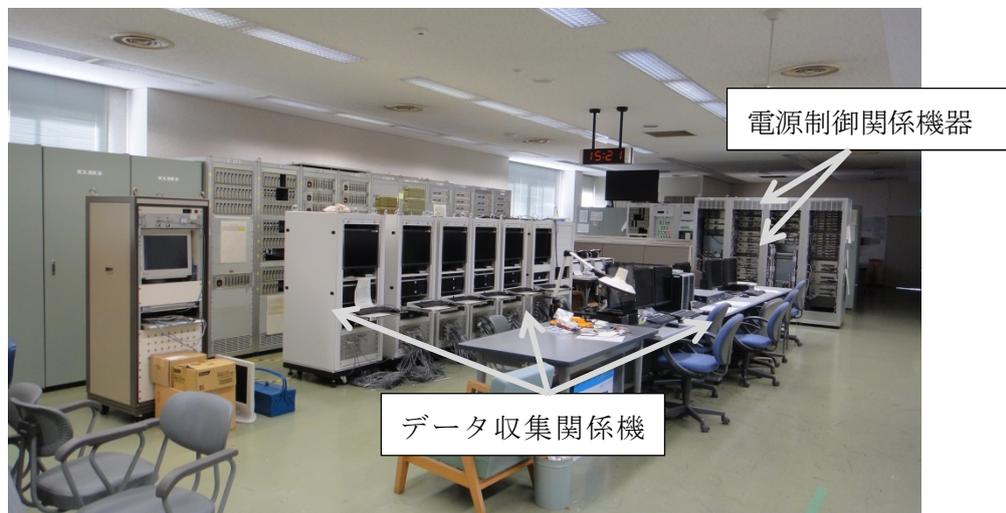


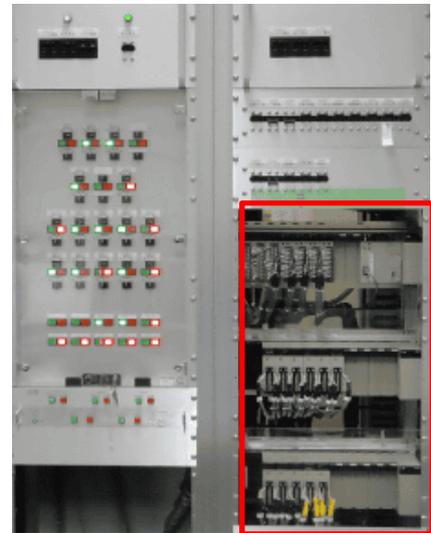
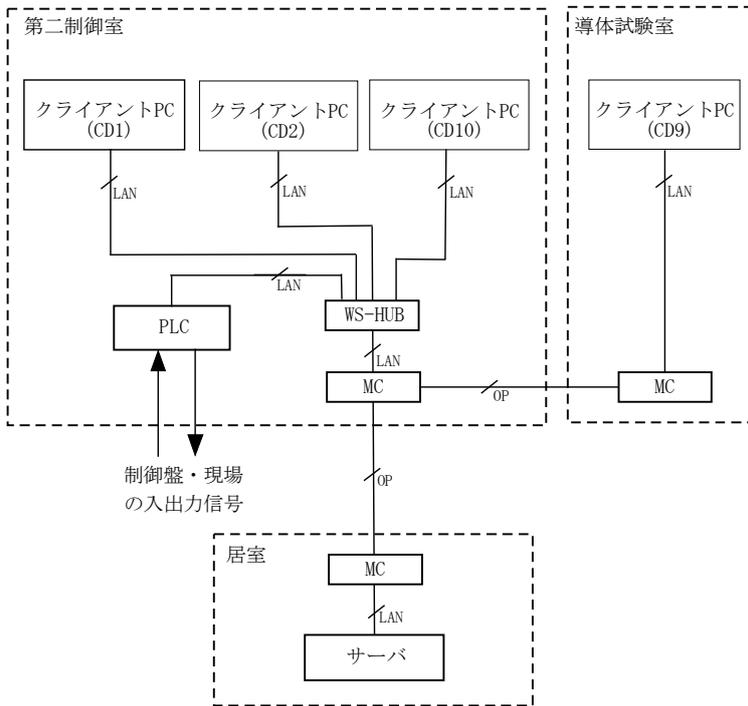
Fig.3-8 中央制御室の機器配置

Fig.3-9 で示す電源操作盤(CD1~CD4)のうち、CD1 と CD2 は電源装置関係の全体を監視・操作するための操作盤で、CD3 は、放送設備とモニタ装置が設置されており、CD4 は、既設直流電源(50kA, 30kAPS-1 及び PS-2)を遠隔制御するための操作盤である。新制御装置(タッチパネル)は、既設直流電源と新規追加された 10kA 直流電源の遠隔制御するための装置である。



Fig.3-9 電源制御盤

電源制御システムのうち、プログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)、操作盤(CD1, CD2, CD9, CD10)及びサーバーは Fig.3-10 で示す様に専用 LAN で接続されている。信号の流れは、Fig.3-11 に示す様に、操作盤の操作は、サーバーを経由して PLC に伝わる。サーバーと PLC 間の更新は、0.5 秒毎である。Fig.3-12 に操作画面の例を示す。



PLC



Fig.3-10 制御装置の構成

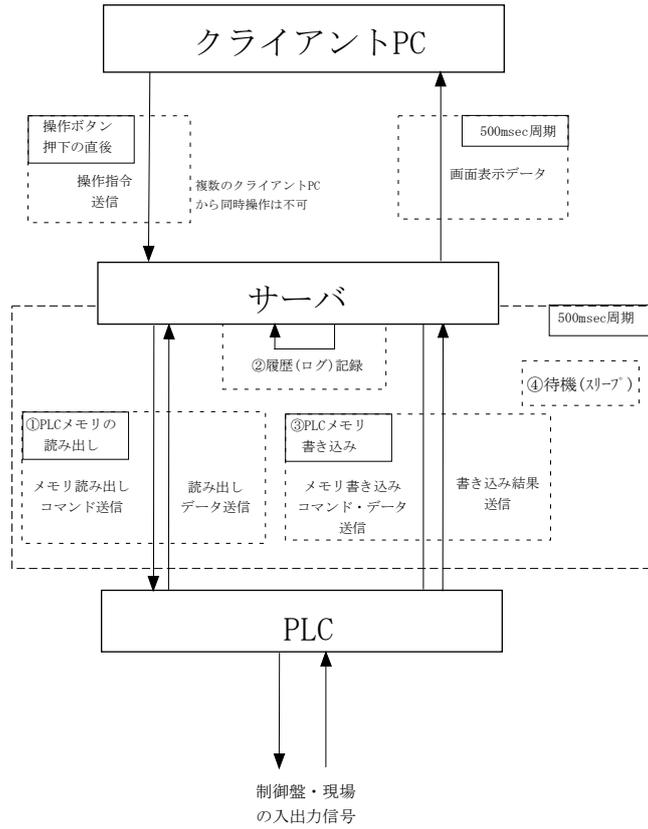


Fig.3-11 電源制御システムの信号の流れ

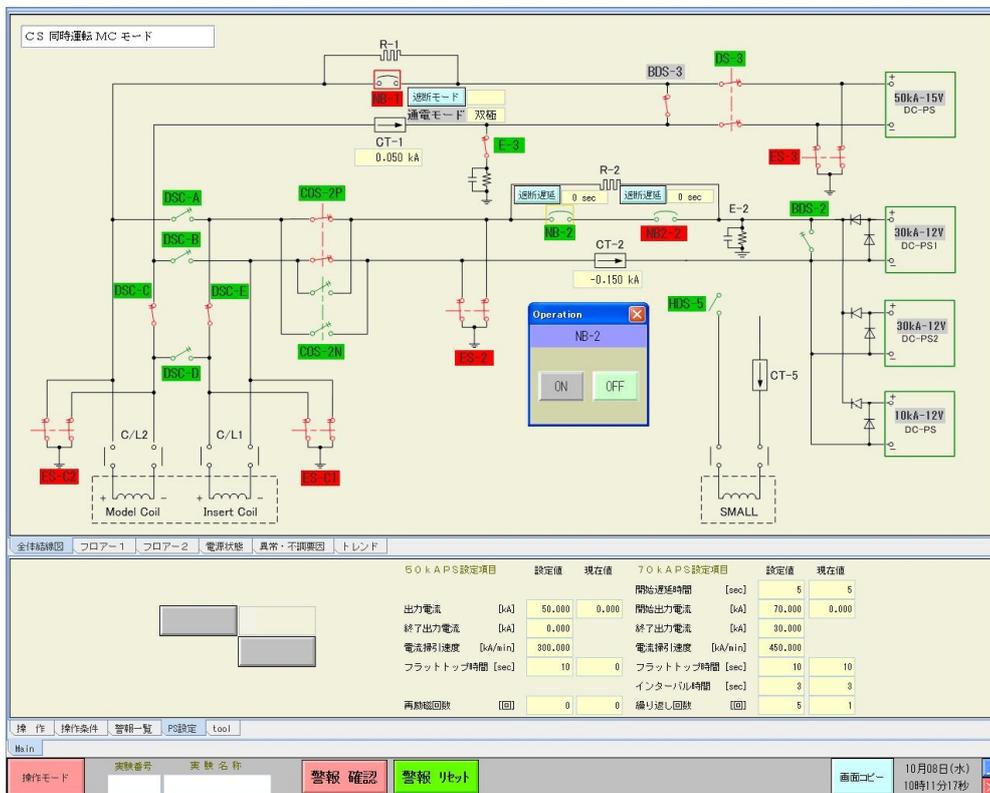


Fig.3-12 操作画面例

Fig. 3-13 に中央制御室機器配置図、中央コンソール、データ収集系及び電気信号系機器の写真を載せている。



中央制御室機器配置図

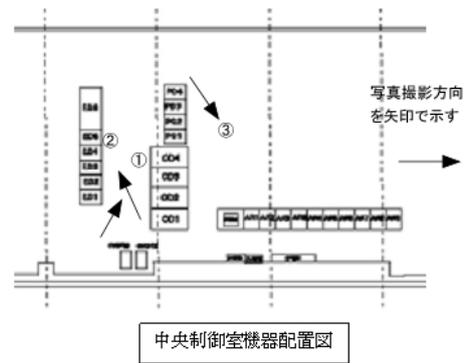


Fig.3-13 中央制御室

4. 実験前準備作業

(1) 機器の点検

CS モデルコイル及びインサートコイルの試験を行う前に、Table 4-1～4-3 に示す構成機器の健全性確認をする点検を実施する。

Table 4-1 直流電源システムの機器とその点検項目

No.	機 器 名	点検項目
1	50kA 直流電源 30kA 直流電源(PS-1) 30kA 直流電源(PS-2) 10kA 直流電源(PS-3)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 高圧受電盤 ・ 動作確認試験 定格出力確認
2	断路器 DSC-A,B,C,D BDS-2,3,DS-3 極性切換器 COS-2P,2N	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 動作確認 操作時間測定 ・ 接触抵抗測定
3	接地用断路器 ES-C1,C2,E-3,ES-2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 容量測定 (E-3 のみ)
4	電流検出器 CT-1,2	<ul style="list-style-type: none"> ・ CT-1 は電流校正治具を作製して行う。 ・ CT-1 を基準にして CT-2 を校正
5	直流遮断器 NB-1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 動作試験 操作時間測定 ・ 動作回数の記録 真空バルブの交換
6	直流遮断器 NB-2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 動作試験 操作時間測定 ・ 動作回数の記録 ・ 接触子の接触面確認 状態により接触子交換
7	直流遮断器 NB2-2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 動作試験 操作時間測定 ・ 動作回数の記録 ・ 接触子の接触面確認 状態により接触子交換
8	バスバー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定
9	放電抵抗器 R1,2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 動作試験 (R-1 のみ)
10	安全扉	<ul style="list-style-type: none"> ・ 動作確認
11	エアーコンプレサー No.1,2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 絶縁抵抗測定 ・ 分解点検

Table 4-2 制御システムの構成機器とその点検項目

No.	機器名	点検項目
1	操作端末 CD1,2	・動作確認 ・通信確認
2	サーバー	・動作確認 ・通信確認
3	プログラマブル・ロジック・ コントローラ PLC	・動作確認 機器の動作確認 ・通信確認

Table 4-3 付属設備の構成機器とその点検項目

No.	機器名	点検項目
1	放送設備	・動作確認
2	監視装置	・動作確認
3	表示装置	・動作確認

(2) 真空容器周辺の目視点検

超伝導コイルに通電を行うと強力な磁場（中心磁場 13T）が発生し、磁性体は真空容器に引き寄せられることとなるので、真空容器中心から約 15m 以内の機器（磁性体）は撤去または捕縛を実施する。また、電源関係機器周辺及び通電路（ブスバー）周辺を目視点検し、実験運転中の機器の破損を防止する。

(3) 機器接続状態の確認

電源システムを構成している機器は、機器点検時や真空容器関係作業時に電源システムと切り離して点検作業等を実施することから、実験運転を行う前に機器の接続状態を確認しなければならない。直流電源の冷却水流量の確認・調整が必要で、電源冷却水装置は CS モデルコイル試験装置以外の直流電源にも冷却水を供給しているため、運転に必要な電源の冷却水量を確保するために、他は供給停止することも必要である。

放電抵抗器 R1, R2 は、抵抗値が可変であるため、実験の最初に必要な抵抗値に合わせる作業が必要な場合がある。

(4) コイルの絶縁抵抗測定

実験中のコイルの健全性確認として、予冷中(80K)、予冷後(4K)、実験期間中の毎朝において絶縁抵抗測定を行い、コイルの絶縁性能に異常が無いことを確認している。測定要領を付録 1 に示す。

5. 運転要領

制御システムにおいて、電源関係の各機器接続状態、機器運転状態（ドアも含む）によって、運転モードが定義されている。運転モードを逸脱している機器は赤色表示される。正常なものは緑色表示、モードに関係ない機器は青色表示される。

運転モードは、50kA 直流電源を使用したモード 4 種類、70kA 直流電源(10kA+30kA+30kA)を使用したモード 3 種類、50kA 直流電源と 70kA 直流電源を同時に使用するモード 3 種類、電源テストモード 4 種類とメンテナンスモードの計 15 モードがある(Table 5-1 及び付録 4 参照)。

Table 5-1 運転モード

運転モード		使用電源	負 荷	備 考
CS50kA	DA	50kA 直流電源	CS モデルコイル +インサートコイル	コイルを直列接続
	D1		インサートコイル	使用しない
	D2		CS モデルコイル	CS モデルコイル単独
	DT			異常時対策
CS70kA	BA	70kA 直流電源	CS モデルコイル +インサートコイル	使用しない
	B1		インサートコイル	インサートコイル単独
	B2		CS モデルコイル	使用しない
CS 同時	MA	50kA 直流電源	CS モデルコイル インサートコイル	通常の試験用
	MT	70kA 直流電源		異常時対策
	MC			繰り返し通電試験用
電源テスト	TD	50kA 直流電源	なし	メンテナンス用
	TDS	50kA 直流電源		
	TB	70kA 直流電源		
	TBS	70kA 直流電源		
メンテナンス				運転時以外

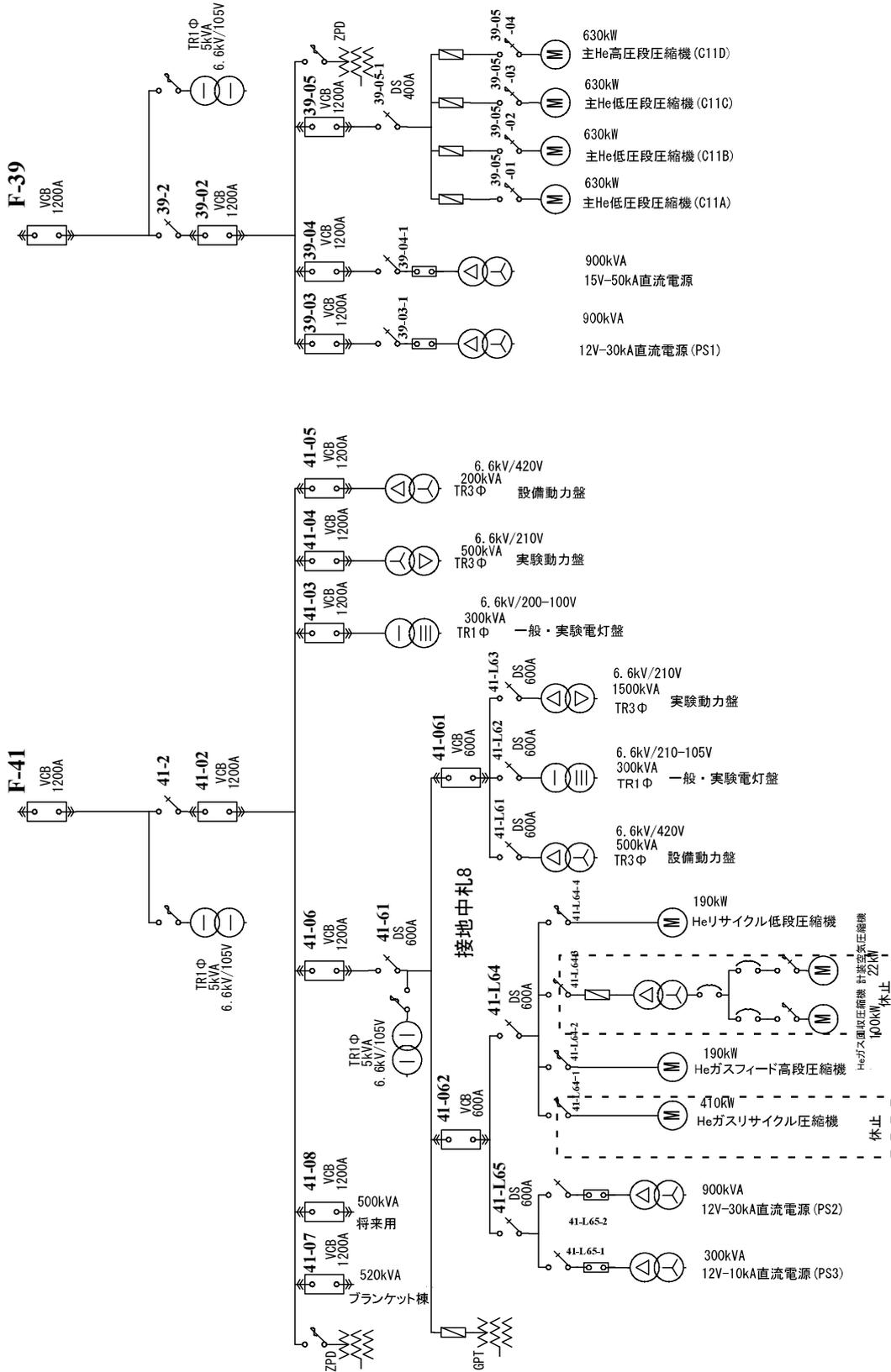
通電モードによって、ドア（高電圧ドア：10カ所、高磁界ドア：5カ所）状態が閉でないと電源へ運転許可信号を出力しない。ドアの状態は制御システムで確認することができる(付録 3 参照)。運転の起動マニュアル、停止マニュアルとして、CS 同時運転モードのものを付録 2 に示す。

6. まとめ

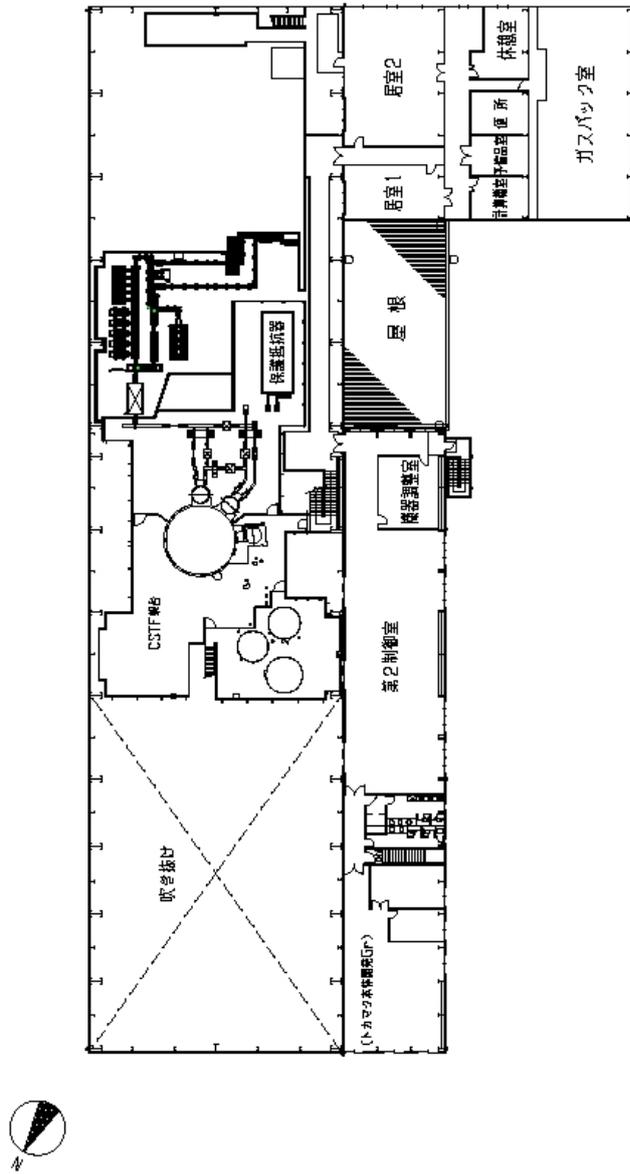
本報告書では、まず ITER CS モデルコイル試験装置 直流電源システムのインサート系統を 70kA に増力するための改修について記述した。改修した装置以外の機器の性能・役割等について記述し、最後に電源装置の運転方法（起動・停止）を記述した。

7. 関係図面

- 1) F39,F41 系統 単線系統図
- 2) 第 1 工学試験棟平面図（1 階）
- 3) 第 1 工学試験棟平面図（2 階）



F39,F41 系統 単線系統図



第一工学試験棟 平面図 (2階)

付録 1 絶縁抵抗試験要領

予冷中（80K）予冷後（4K）絶縁抵抗試験要領書

1. 目的

本試験は、予冷中(80K)、予冷後(4K)に絶縁劣化が無いことを確認するために行うものである。

2. 試験日

平成 年 月 日 ()

3. 事前処置

- 1) 試験雰囲気は系内 GHe、周囲真空とする。
- 2) 計測線をフィードスルー、C/L に接続する。
- 3) 使用しない計測線(10本)を接地する。

PAL_V140、V240、V301、V302、V303、V337、V338、V339、V340、V440

- 4) インサートコイルと補正コイルはフィードスルーにて同電位処理を行う。
- 5) 各機器の開閉操作を行い、試験回路を作成する。
- 6) 下記の測定器を準備する。

絶縁抵抗計(DC1kV) テスター ストップウォッチ 温湿度計 絶縁手袋 絶縁シート
検電器

4. 安全対策

- 1) フェンスにより試験区域を区分し、施錠を行う。
- 2) 試験開始及び終了にあたっては、その旨を第一工学試験棟内に放送する。
- 3) 検電作業を行うときは、絶縁手袋・シート等の保護具を着用すること。

5. 試験手順

①CS モデルコイル絶縁抵抗測定

- 接地抵抗器 E-3 を開放する。※NB-1 遮断器極間のガとししないようにするため。
- 接地用断路器 ES-C2 を開放する。
- 接地用断路器 ES - C1 が投入されていることを確認する。

※CS モデルコイルとインサートコイル(アース)間測定のため。

- ページングにて絶縁抵抗測定を行う旨連絡する。
- C/L2 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。(絶縁抵抗測定前)
- 絶縁抵抗計のバッテリーを確認する。
- C/L2 ターミナル - アース間に絶縁抵抗計にて電圧を印加する。

※試験電圧は 250V から様子を見て 1kV まで上げて行く。

- 検電を行う。検電場所は高圧アンプ入口とする。
(SR11A01～E06 のどれか 1 箇所)※A03、04 は除く

- 1 分値を記録する。(判定基準：5MΩ 以上)
- 接地用断路器 ES-C2 を投入して放電を行い、そのまま投入状態としておく。

②インサートコイル絶縁抵抗測定

- 接地用断路器 ES-C1 を開放する。
- 接地用断路器 ES - C2 が投入されていることを確認する。
※インサートコイル CS モデルコイル(アース)間測定のため。
- C/L1 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。(絶縁抵抗測定前)
- 絶縁抵抗計のバッテリーを確認する。
- C/L1 ターミナル - アース間に絶縁抵抗計にて DC1kV を印可する。
※試験電圧は 250V から様子を見て 1kV まで上げて行く。
- 検電を行う。検電場所は高圧アンプ入口とする。(SR11F01)
- 1 分値を記録する。(判定基準：5MΩ 以上)
- 接地用断路器 ES-C1 を投入して放電を行い、そのまま投入状態としておく。
- 接地用断路器 ES-C2 を開放して、C/L2 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。
(絶縁抵抗測定後)
- 再び接地用断路器 ES-C2 を投入する。
- 接地用断路器 ES-C1 を開放して、C/L1 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。
(絶縁抵抗測定後)
- ページングにて絶縁抵抗測定終了を連絡する。

6. 試験記録

	メガ前テスター	DC1kV メガ	メガ後テスター
CS モデルコイル (C/L2 ターミナル - アース)			
インサートコイル (C/L1 ターミナル - アース)			

天 気	
温 度	℃
湿 度	%

	試験前測定値
真空度	
コイル内圧	MC : IC :
電流リード	

CS モデルコイル実験 ｶﾞマニュアル(毎朝)

日時	平成 年 月 日 () : ~ :		
天気	温度℃	湿度%	
記録者			

- 電源回路の状態

<input type="checkbox"/> BDS-3 ON	<input type="checkbox"/> BDS-3 OFF
<input type="checkbox"/> E-3 ON	<input type="checkbox"/> E-3 OFF

	ｶﾞ前テスター	DC1kV ｶﾞ	ｶﾞ後テスター
CS モデルコイル (C/L2 ターミナル - アース)			
インサートコイル (C/L1 ターミナル - アース)			

- 下記の測定器を準備する。
- 絶縁抵抗計(DC1kV) テスター ストップウォッチ 温湿度計
- 別添 1 に基づき耐電圧試験を行うための電源回路状態を確認する。
- 別添 2 に基づきフェンスの施錠を行う。

CS モデルコイル絶縁抵抗測定

- 接地抵抗器 E-3 を開放する。 ※NB-1 遮断器極間のｶﾞとしないようにするため。
- 接地用断路器 ES-C2 を開放する。
- 接地用断路器 ES - C1 が投入されていることを確認する。
- ※CS モデルコイルとインサートコイル(アース)間測定のため。
- ページングにて絶縁抵抗測定を行う旨連絡する。
- C/L2 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。(絶縁抵抗測定前)
- 絶縁抵抗計のバッテリーを確認する。
- C/L2 ターミナル - アース間に絶縁抵抗計にて DC1kV を印可する。
- 1 分値を記録する。(判定基準：5MΩ 以上)
- 接地用断路器 ES-C2 を投入して放電を行い、そのまま投入状態としておく。

インサートコイル絶縁抵抗測定

- 接地用断路器 ES-C1 を開放する。
- 接地用断路器 ES - C2 が投入されていることを確認する。
- ※インサートコイル CS モデルコイル(アース)間測定のため。
- C/L1 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。(絶縁抵抗測定前)

- 絶縁抵抗計のバッテリーを確認する。
- C/L1 ターミナル - アース間に絶縁抵抗計にて DC1kV を印可する。
- 1 分値を記録する。(判定基準 : 5MΩ 以上)
- 接地用断路器 ES-C1 を投入して放電を行い、そのまま投入状態としておく。

- 接地用断路器 ES-C2 を開放して、C/L2 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。
(絶縁抵抗測定後)
- 再び接地用断路器 ES-C2 を投入する。
- 接地用断路器 ES-C1 を開放して、C/L1 ターミナル - アース間の絶縁をテスターにて確認する。
(絶縁抵抗測定後)
- ページングにて絶縁抵抗測定終了を連絡する。
- 絶縁抵抗測定終了時の接地用断路器の状態を記録する。
ES-C1 投入 開放
ES-C2 投入 開放
- 接地抵抗器 E-3 を投入する。
- 各測定器を片付ける。

添付 2 CS 同時運転モード 起動・停止マニュアル

CS 同時運転モード起動マニュアル

実験名	
日時	:
記録者	

※電源の起動はウォーミングアップを兼ねて通電開始30分前に行うこと！

電源制御

- 電源制御系CVCF分電盤CVCF計算機用（主幹1、No.1～No.8）のブレーカーを投入する。
- CVCF制御用（主幹2、No.1～No.5）のブレーカーを投入する。
- CVCF(1)、CVCF(2)が正常運転していることを確認する。
 - ED-2（4ヶ所）、ED-3（18ヶ所内CD8を除く）、ED-4（2ヶ所）、PD-1（1ヶ所）のブレーカーを投入する。
- DS操作盤(ED2)の各機器を全て自動モードにする。
- CD-2画面にてメンテナンスモードになっていることを確認する。
- CD-2画面にて断路器BDS-3及びDSC-CのOFF操作を行う。(CSモデルコイル絶縁抵抗測定のため)

※各機器のON、OFF操作において、一つの操作を行った際は、その操作が正常に完了したことを表示により確認した後に次の操作に移ること。

屋外冷却塔

①分電盤

- 電源用冷却水装置（循環ポンプ、タワー）のブレーカーを投入する。(B-2-A)
- 電源用冷却水装置（制御系、ヒーター）のブレーカーを投入する。(B-2-C)
- 電源用冷却水装置（オイルヒーター）のブレーカーを投入する。(B-2-2)
- 計測系CVCF分電盤（主幹、No.A、No.C）のブレーカーを投入する。
- CVCF(3)が正常運転していることを確認する。

②屋外冷却水装置

- 制御盤内の受電ランプが点灯していることを確認する。
- 運転切替スイッチが、手動（手元）側になっていることを確認する。
- 制御盤内の循環ポンプ、冷却塔ファン1,2、散水ポンプ1,2をそれぞれ手動入に切替える。
- 上記のそれぞれのメーター値を記録する。

	循環ポンプ	冷却塔ファン1	冷却塔ファン2	散水ポンプ1	散水ポンプ2
基準値	80A	21A	24A	8A	8A
記録値					

- 異常表示がないことを確認し、以下を記録する。(流量異常は点灯していても構わない)

流量	吐出圧力	戻り圧力	純度	吐出温度	戻り温度	外気温度
l/min	kg/cm ²	kg/cm ²	μS/cm ²	℃	℃	℃

- 吐出温度の設定値(SV)が32℃、戻り温度の設定値(SV)が47℃であることを確認する。
- 屋外冷却塔周辺を目視確認する。(水漏れ、異音、補機室内)
- 屋外冷却塔上部(4ヶ所)の手動エア抜きバルブを開放してエア抜きを行う。4週間に1回は必ず行い、記録する。

エア抜き実施日	/	/
---------	---	---

50 k A直流遮断器(NB-1)

①分電盤

- 直流遮断器用バッテリー電源装置のブレーカーを投入する。(B-1-A)
- 直流遮断器用コンデンサ充電装置のブレーカーを投入する。(B-1-B)
- 放電抵抗器用冷却ファンのブレーカーを投入する。(EA-5-B)
- 直流遮断器用冷却ファンのブレーカーを投入する。(EA-5-C)
- EA-5a盤のブレーカーを投入する。(EA-5a)
- 直流遮断器用制御電源のブレーカーを投入する。(EA-5a-01)
- 直流遮断器用盤内照明コンセントのブレーカーを投入する。(EA-5a-02)

②50kA直流遮断器(NB-1)本体

- 直流電源装置の交流入力(42R)、直流出力(72R)ブレーカーが投入されていることを確認する。
- 直流電源装置の予備以外のブレーカー3ヶ所を投入する。(72-1,72-3,72-4)
- 監視制御盤の裏側のブレーカー2ヶ所を投入する。(MCB1,MCB100)
- 監視制御盤のブレーカー10ヶ所を投入する。(MCB2~5, MCB10,MCB12~16)
- ※警報停止ボタンを押しながら投入すること！
- 監視制御盤の扉を閉めてリセットスイッチを押して故障表示が全て消えることを確認する。
- 監視制御盤の操作場所を中央に切替える。
- 直流遮断器の周辺を目視で確認する。
- 50kAブスバーライン地絡継電器の電源が投入されていることを確認し、設定値が±0100になっていることを確認する。

③電流検出器(CT-1)

- 電流検出器(CT-1)、電圧検出器のコンセント及び光ファイバーケーブルがそれぞれ接続されていることを確認する。

70kA直流電源(PS-1,PS-2,PS-3)、50kA直流電源

①分電盤

- PS-1 (増力電源)制御用電源のブレーカーを投入する。(EA-4-C)
- PS-2 (LCT電源)制御用電源のブレーカーを投入する。(EA-8-3)
- PS-3 (10kA電源) 制御用電源のブレーカーを投入する。(EA-8-4)
- 50kA制御用電源のブレーカーを投入する。(EA-4-E)
- EA-4-1盤のブレーカーを投入する。(EA-4-B,EA-4-2)
- NB-2引き外しコイル用電源のブレーカーを投入する。(EA-4-1)
- NB-2投入コイル用電源のブレーカーを投入する。(EA-4-1-E)
- NB-2投入コイル用電源のブレーカーを投入する。(EA-4-1-F)
- NB-2冷却ファン電源のブレーカーを投入する。(EA-4-1-B)
- CT-2電流検出器のブレーカーを投入する。(EA-4-1-D)
- NB2-2電源盤のブレーカーを投入する。(EA-7-A)
- EA-7-1盤のブレーカーが投入されていることを確認する。(EA-7-B,EA-7-1)
- エアコンプレッサーNo.1のブレーカーを投入されていることを確認する。(EA-7-1-A)
- エアコンプレッサーNo.2のブレーカーを投入されていることを確認する。(EA-7-1-B)

②NB-2電源盤

- 盤内のブレーカーを投入する。(メイン、No.1～4、ファン)
 - 温度監視ユニット下部のNB2-2コントロールBOX(No.1～4)が遠方になっていることを確認する。
- ※遠方で盤内のブレーカーをONすると遮断器が投入されるため注意すること！**
- 温度監視ユニット内部のブレーカーが投入されていることを確認する。

③増力電源(PS-1)本体

- 電源本体冷却水の状態を記録する。

	基準値	記録値
流量	450 l/min	l/min
入口圧力	MPa	MPa
出口圧力	MPa	MPa

- 高圧受電盤左下のブレーカーが投入されていることを確認する。
- 高圧受電盤、操作場所が遠隔になっていることを確認する。
- 受電電圧が6.6kV(R-S,S-T,T-R)であることを確認する。
- 電源本体制御盤の操作電源を投入する。

- 過電流・過電圧設定を行い、記録する。

O.C.		kA
O.V.	±	V

- 操作場所を中央にする。
 リセットし、異常ランプが全て消えることを確認する。

④LCT電源(PS-2)本体

- 電源本体冷却水の状態を記録する。

	基準値	記録値
流量	450 l/min	l/min
入口圧力	MPa	MPa
出口圧力	MPa	MPa

- 受電電圧が6.6kV(1-2,2-3,3-1)であることを確認する。
 ■ フィルタ盤にて操作電源1、操作電源2のブレーカーを投入する。
 過電流・過電圧設定を行い、記録する。

O.C.		kA
O.V.	±	V

- 操作場所を中央にする。
 ■ リセットし、異常ランプが全て消えることを確認する。

⑤10kA電源(PS-3)本体

- 電源本体冷却水の状態を記録する。

	基準値	記録値
流量1	120 l/min	l/min
流量2	180 l/min	l/min
入口圧力	MPa	MPa
出口圧力	MPa	MPa

- 高圧受電盤左下のブレーカーが投入されていることを確認する。
 ■ 高圧受電盤、操作場所が遠隔になっていることを確認する。
 ■ 受電電圧が6.6kV(R-S,S-T,T-R)であることを確認する。
 DCCT盤の操作電源を投入する。

O.C.		kA
O.V.	±	V

- 操作場所を中央にする。
 リセットし、異常ランプが全て消えることを確認する。

⑥50kA電源本体

- 電源本体冷却水の状態を記録する。

	基準値	記録値
流量	500 l/min	l/min
入口圧力	— MPa	MPa
出口圧力	— MPa	MPa

- 高圧受電盤左下のブレーカーが投入されていることを確認する。
- 高圧受電盤、操作場所が遠隔になっていることを確認する。
- 受電電圧が6.6kV(R-S,S-T,T-R)であることを確認する。
- DCCT盤の操作電源を投入する。
- 過電流・過電圧設定を行い、記録する。

O.C.	kA
O.V.	± V

- 操作場所を中央にする。
- リセットし、異常ランプが全て消えることを確認する。(扉開放以外)

エアコンプレッサー

- エアコンプレッサー2台及びエアドライヤーの動作を確認し、以下を記録すると。

吐出圧力1	MPa
吐出圧力2	MPa

- エアコンプレッサーNo.1,2の水抜きを行う。4週間に1回は必ず行い、記録する。

水抜き実施日	/ /
--------	-----

電流検出器 (CT-2)

- CT-2コントローラーの電源がONになっていることを確認する。(EA-1-4)

現場確認

- 放電抵抗器(R-2)の周辺を目視で確認する。
- 30kAブスバーライン地絡継電器の電源が投入されていることを確認し、設定値が±0020になっていることを確認する。
- 30kAブスバーライン地絡継電器用AM3132の電源が投入されていることを確認し、設定値がゲイン×10、フィルターOFF、メジャーになっていることを確認する。
- フェンスの施錠を確認する。
 - : S2D1
- 直流遮断器(NB-2,NB2-2)の周辺を目視で確認する。
- 接地用断路器ES-2を外して接地札を回収する。
- 接地用断路器ES-C1を外して接地札を回収する。
- 接地用断路器ES-C2を外して接地札を回収する。
- 放電抵抗器(R-1)、C/Lの周辺を目視で確認する。
- 断路器DSC-A,DSC-B,DSC-Dの圧縮空気が抜いてあることを確認する。
- 扇風機(4台)を撤去する。
- フェンスの施錠を確認する。
 - : S2D6 □ : S2D9
- コイルの絶縁抵抗を測定し、記録する。(別紙参照)
- フェンスの施錠を確認する。
 - : S2D7
- 接地用断路器ES-3を外して接地札を回収する。
- フェンスの施錠を確認する。
 - : S1D2 □ : S1D3 □ : S1D4 □ : S1D5 □ : S1D10
 - : S1H1 □ : S1H2 □ : S1H3
 - : S1D6 □ : S1D7 □ : S1D8 □ : S1D9 □ : S1O1
- アクセスフロア照明スイッチ(階段下)を全てOFFする。
- フェンスの施錠を確認する。
 - : S2H1 □ : S2H2 □ : S2H3 □ : SS2D8

第2 制御室

①保護継電器など

- 接地札(ES-C1,ES-C2,ES-2,ES-3)が全て揃っていることを確認する。
- ED6盤背面の二重化回路スイッチを未使用から使用に切替える。
- 70kA電源過電流過電圧継電器(PD1)を設定し、記録する。

O.C.		kA
U.V		kA
O.V.	±	V

- 70kA電源過電流過電圧継電器が動作していることを確認する。
(O.C→Loランプ点灯、O.V→Goランプ点灯)

- 50kA電源過電流過電圧継電器(PD1)を設定し、記録する。

O.C.		kA
U.V		kA
O.V.	±	V

- 50kA電源過電流過電圧継電器が動作していることを確認する。BDS-3を閉状態で通電する。
(O.C→Loランプ点灯、O.V→Goランプ点灯)
- 常電導転移検出器(PD2,3)、流量異常検出器(PD4)の設定を行い、記録する。(別紙参照)
- 電源系レコーダー(ED1)の設定、及びレコーダーを始動させる。日時を記入する。

②CD2操作

- 運転モード選択画面より5.CS同時運転モードを選択する。
- 通電モード選択画面より1.MAモードを選択する。
- モード成立条件設定画面よりNB1遮断電流を20kAに設定する。
(通電電流値に合わせて設定する)
- モード成立条件設定画面よりNB2及びNB2-2の遮断遅延時間をそれぞれ0secに設定する。
- モード成立条件設定画面より各機器のON、OFFを操作し、モードを成立させる。
 - ※NB1,NB2, NB2-2の操作間隔(OFF⇒ON)を15秒開けること。
 - ※NB1,NB2, NB2-2の操作は最後に、投入前に放送すること！
 - ※モードが成立しない場合は、CD2画面もしくはCD4操作盤にてリセットすること！
- 通電許可設定画面より50kA電源通電許可を選択し、送信する。
- 通電許可設定画面より70kA電源通電許可を選択し、送信する。
- 現場のパトライトが点灯していることを確認する。
- ホワイトボードにて通電回路を確認、及び本日のコイル絶縁抵抗測定値をホワイトボード上に記録する。

③CD4操作

(50kA電源操作盤)

- 50kA通電許可が点灯していること、及び異常ランプが全て消えていることを確認する。
- 電圧設定を15Vにする。
- ブザーをONにする。
- FASTDOWNを10kA/minに設定する。⇒50kA/minに設定する。

(70kA電源操作盤またはタッチパネル)

- 70kA通電許可が点灯していること、及び増力、LCT、10kA電源の異常ランプ【表示】が全て消えていることを確認する。
- 電圧設定を12Vにする。
- ブザーをONにする。
- FASTDOWNを300kA/minに設定する。
- 50kA及び70kA電源の投入準備完了を報告し、電源投入の許可を得る。
- 50kA電源投入を放送する。□投入する。
- 70kA電源投入を放送する。□投入する。
- 50kA及び70kA電源の出力電圧値が安定するまで通電しないこと。
- 50kA及び70kA電源の準備完了を報告する。

↓

実験開始 複合通電開始

CS同時運転電源停止マニュアル

実験名	
日時	/ / :
記録者	

- CD2画面にてメンテナンスモードを選択し、接地用断路器以外の各機器をON,OFF操作する。
※接地札を現場に持って行く！

- 接地用断路器の閉操作を行い、札を設置する。

- ES-C1
- ES-C2
- ES-3
- ES-2

50kA直流遮断器 (NB-1)

- 監視制御盤（裏側）の遮断来歴監視装置の下記項目を記録する。

遮断回数	回
it積カウンター	kA・ms
累積it積	kA・ms

- 監視制御盤の裏側のブレーカー2ヶ所を開放する。(MCB1,MCB100)
- 監視制御盤のブレーカー10ヶ所を開放する。(MCB2~5, MCB10, MCB12~16)
※警報停止ボタンを押しながら開放すること！
- 直流電源装置の予備以外のブレーカー3ヶ所を開放する。(72-1,72-3,72-4)
- 放電抵抗器用冷却ファンのブレーカーを開放する。(EA-5-B)
- 直流遮断器用冷却ファンのブレーカーを開放する。(EA-5-C)
- 直流遮断器用制御電源のブレーカーを開放する。(EA-5-1-01)
- 直流遮断器用盤内照明コンセントのブレーカーを開放する。(EA-5-1-02)

50kA直流電源、70kA直流電源(PS-1,PS-2,PS-3)

①50kA電源本体

- DCCT盤の操作電源を開放する。

②増力電源(PS-1)本体

- 電源本体制御盤の操作電源を開放する。

③LCT電源(PS-2)本体

- フィルタ盤の操作電源1、操作電源2のブレーカーを開放する。

④10kA電源(PS-3)本体

- 電源本体制御盤の操作電源を開放する。

⑤分電盤

- PS-1制御用電源のブレーカーを開放する。(EA-4-C)
- 50kA制御用電源のブレーカーを開放する。(EA-4-E)
- NB-2引き外しコイル用電源のブレーカーを開放する。(EA-4-1)
- NB-2投入コイル用電源のブレーカーを開放する。(EA-4-1-E)
- NB-2投入コイル用電源のブレーカーを開放する。(EA-4-1-F)
- NB-2冷却ファン電源のブレーカーを開放する。(EA-4-1-B)
- NB2-2動力用電源のブレーカーを開放する。(EA-7-A)
- PS-2制御用電源のブレーカーを開放する。(EA-8-3)
- PS-3制御用電源のブレーカーを開放する。(EA-8-3)

直流遮断器(NB-2,NB2-2)

- 接地用断路器の閉操作を行い、札を設置する。
 - ES-2

- NB-2及びNB2-2の遮断回数を記録する。

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
NB-2遮断回数					
NB2-2遮断回数					

- NB-1直流遮断器用コンデンサー充電装置のブレーカーを開放する。(B-1-B)

屋外冷却塔

- 制御盤内の循環ポンプ、冷却塔ファン-1,2、散水ポンプ-1,2をそれぞれ停止する。
※冬季を除く

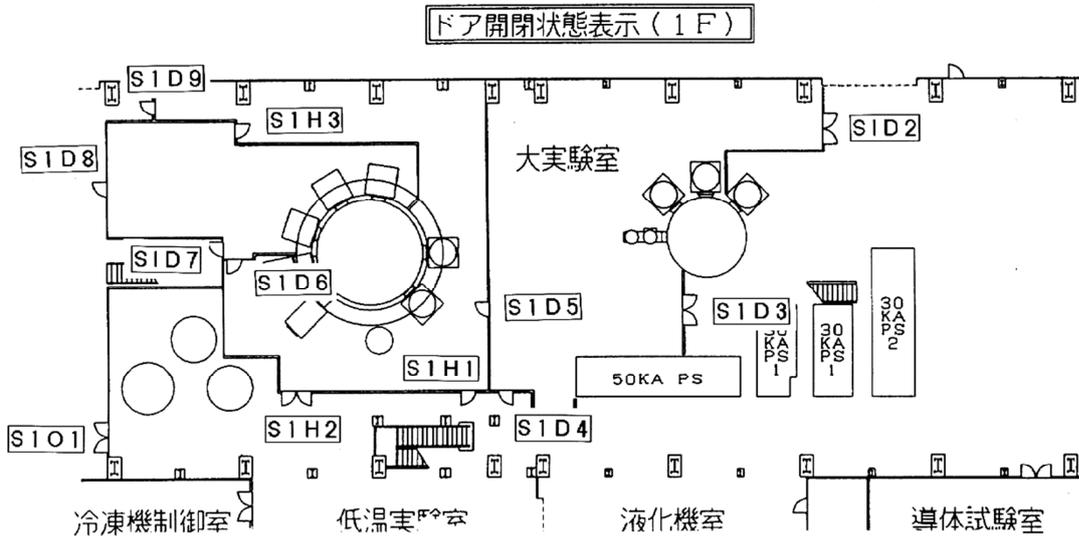
第2制御室

- CD-2画面にてメンテナンスモードが成立していることを確認する。
- CD-1,CD-2, CD-3の画面を消す。
- 電源系レコーダー(ED1)を停止する。

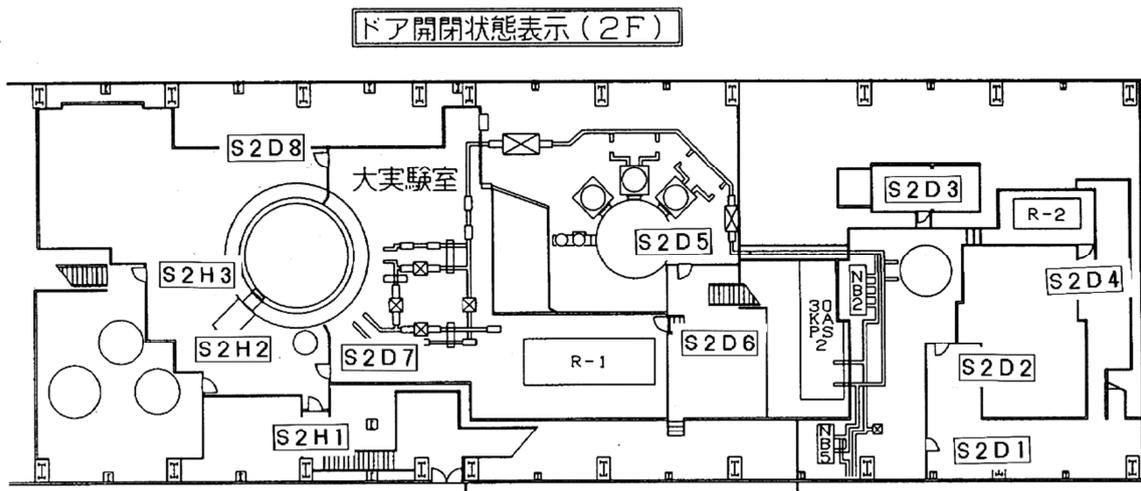
付録3 フェンス扉開閉チェック表

フェンス扉開閉チェック表

平成 年 月 日
時 分



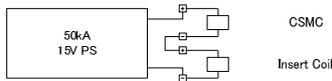
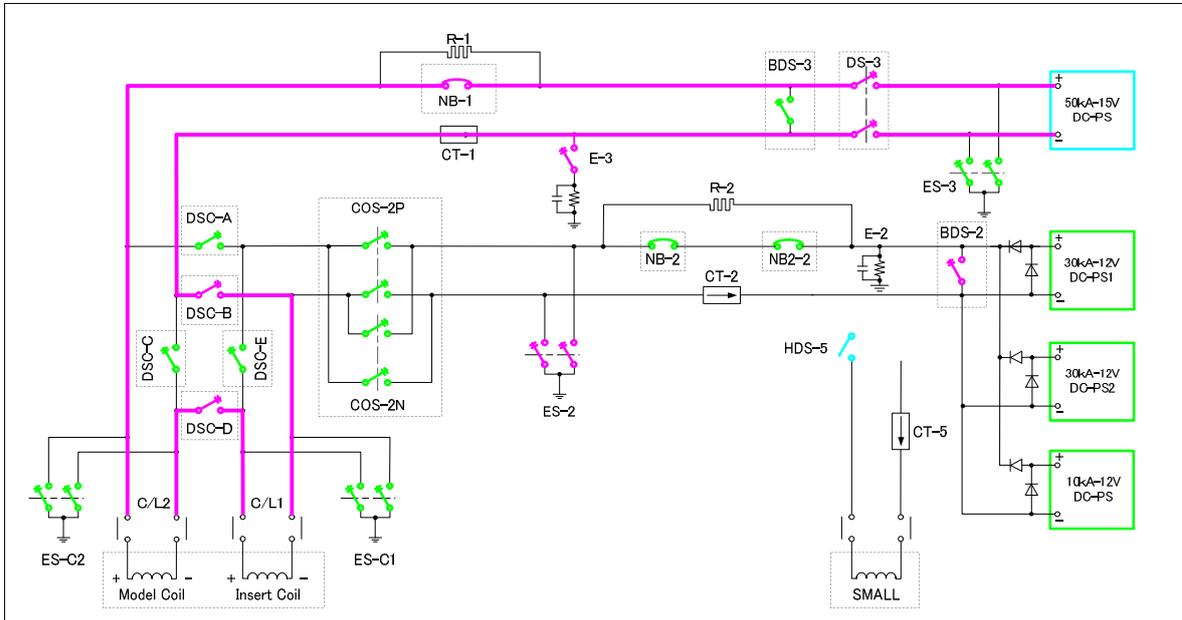
S1D2	S1D3	S1D4	S1D5	S1D6	S1D7
S1D8	S1D9	S1H1	S1H2	S1H3	S1O1



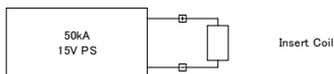
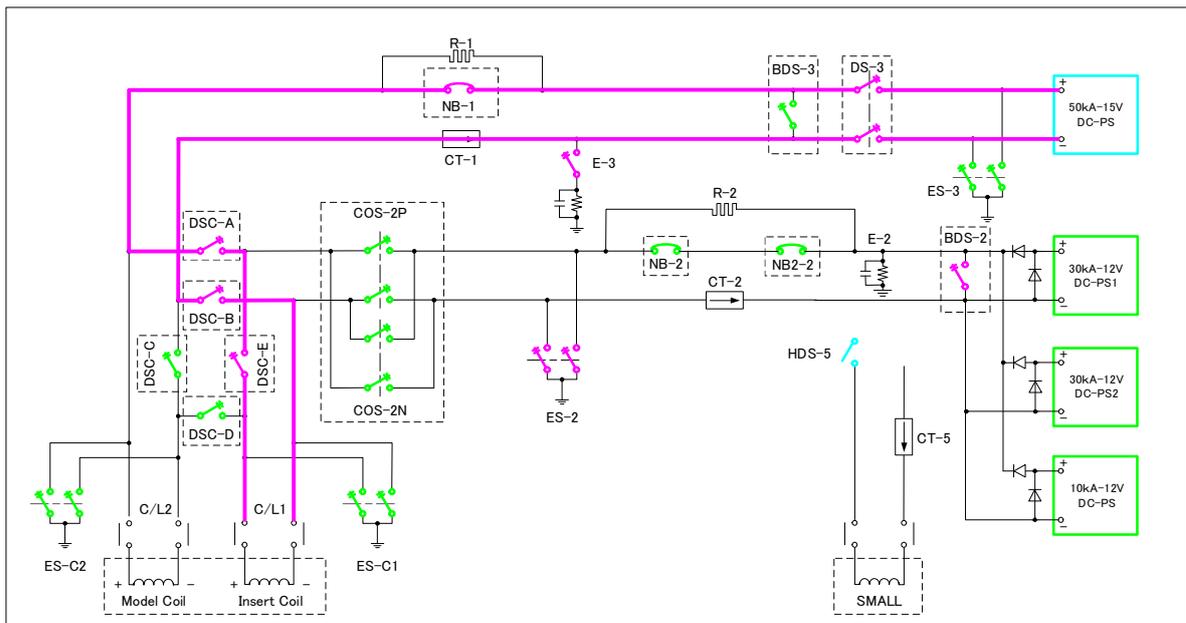
S2D1	S2D2	S2D3	S2D4	S2D5	S2D6
S2D7	S2D8	S2H1	S2H2	S2H3	

付録4 運転モード

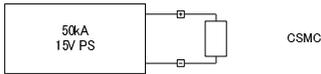
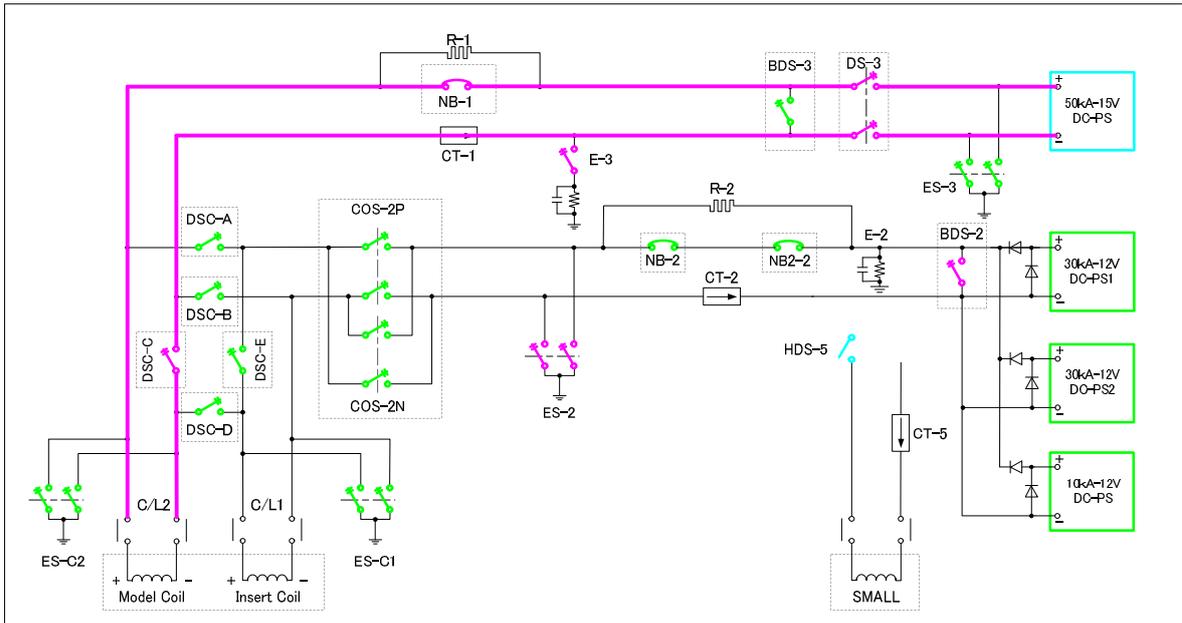
CS50kA運転モード [DAモード]



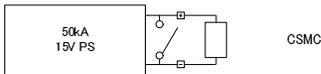
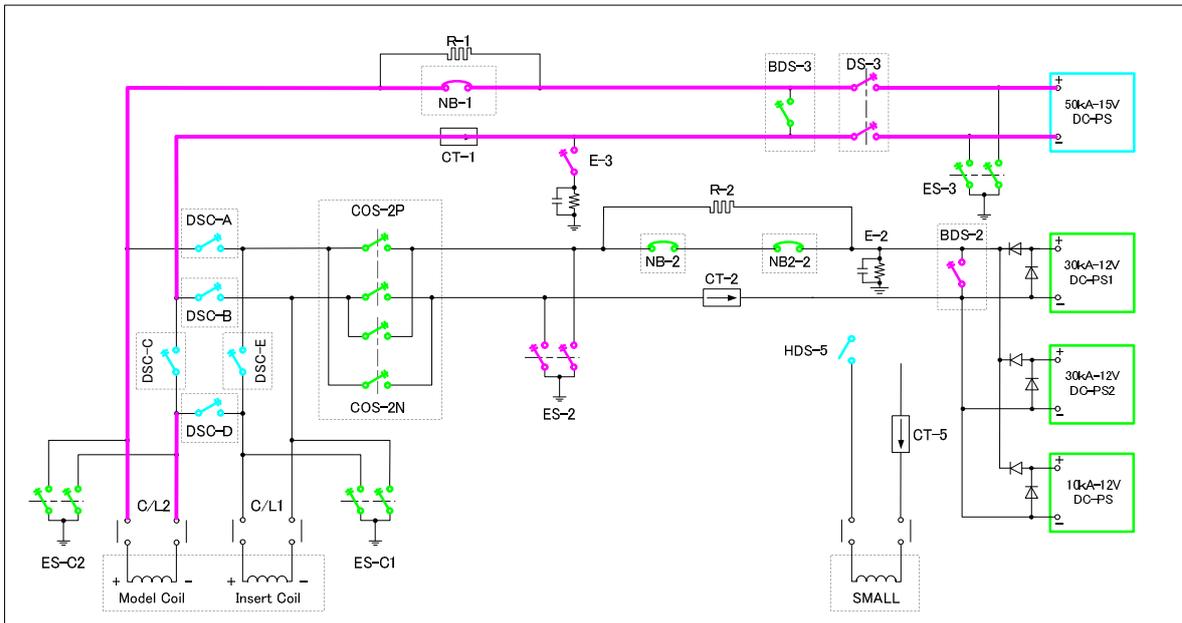
CS50kA運転モード [D1モード]



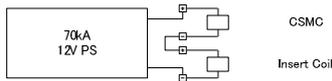
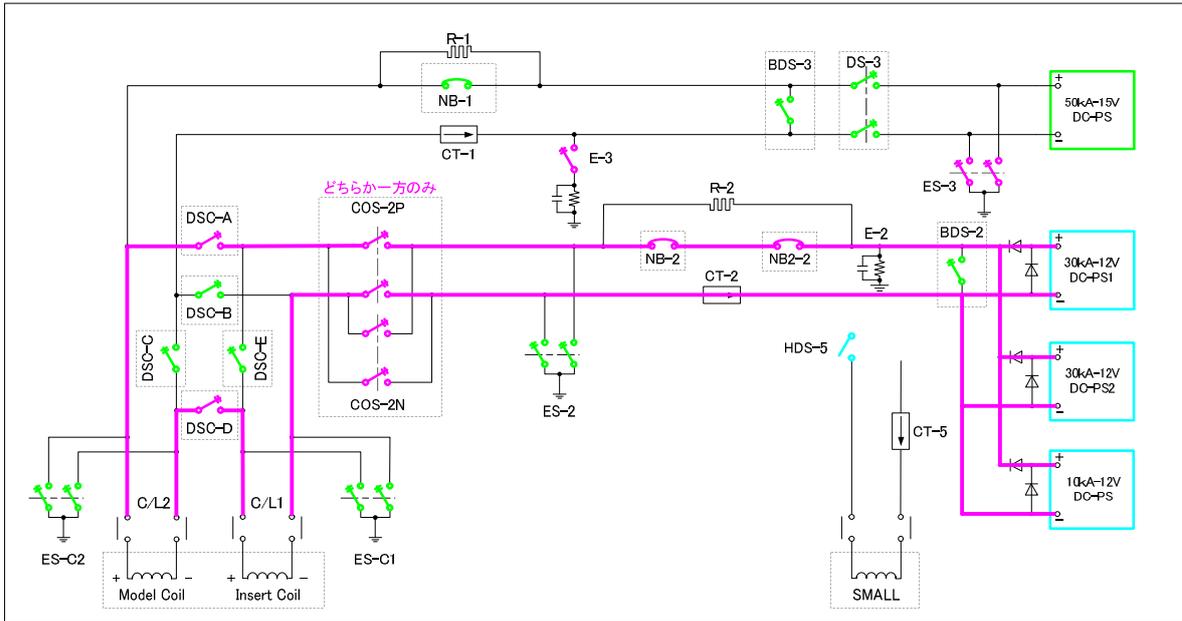
CS50kA運転モード [D2モード]



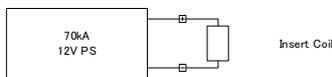
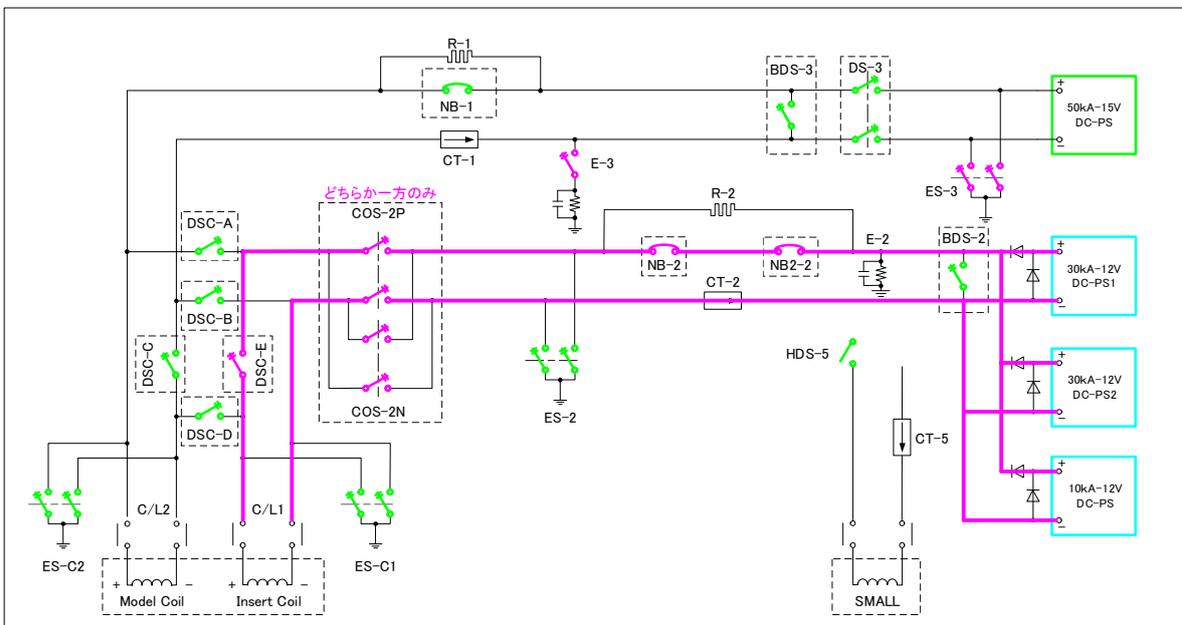
CS50kA運転モード [DTモード]



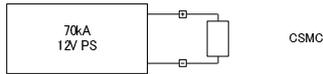
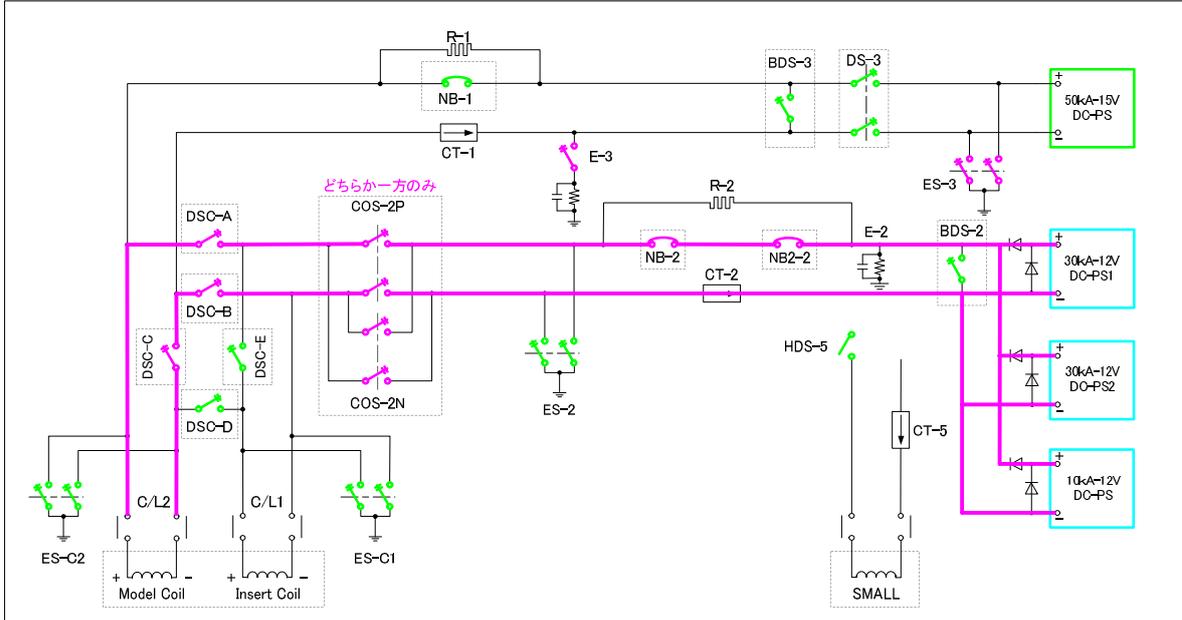
CS70kA運転モード [BAモード]



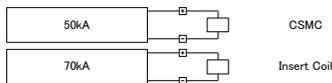
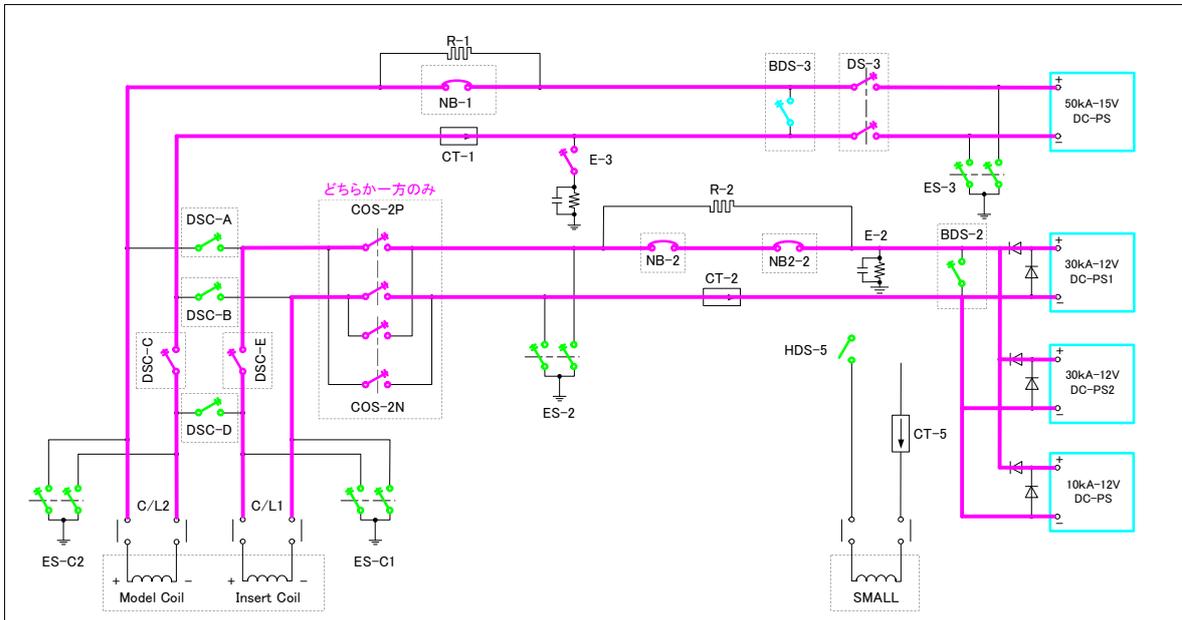
CS70kA運転モード [B1モード]



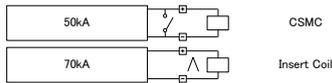
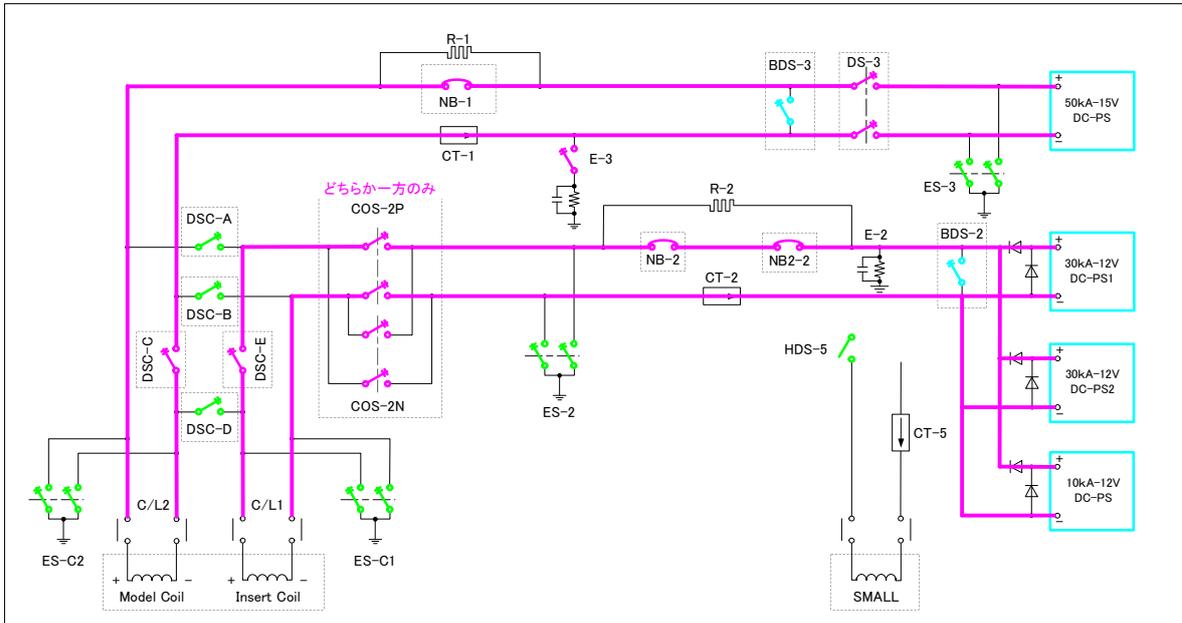
CS70kA運転モード [B2モード]



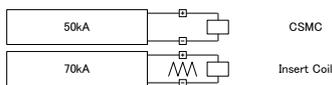
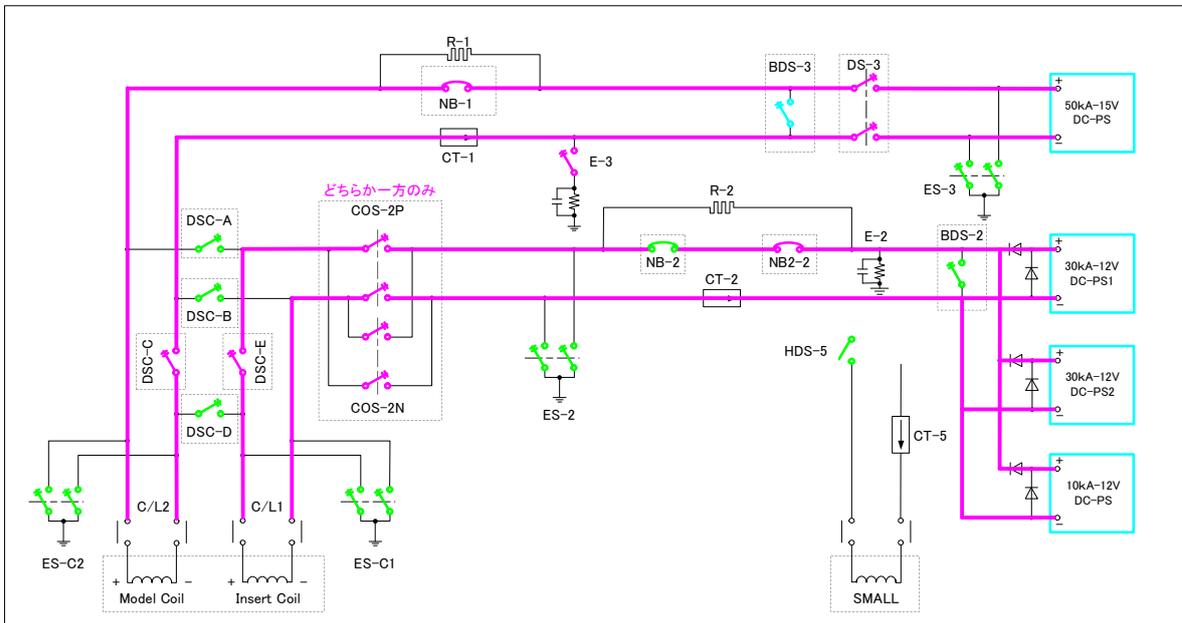
CS同時運転モード [MAモード]



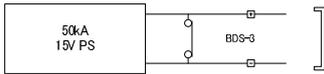
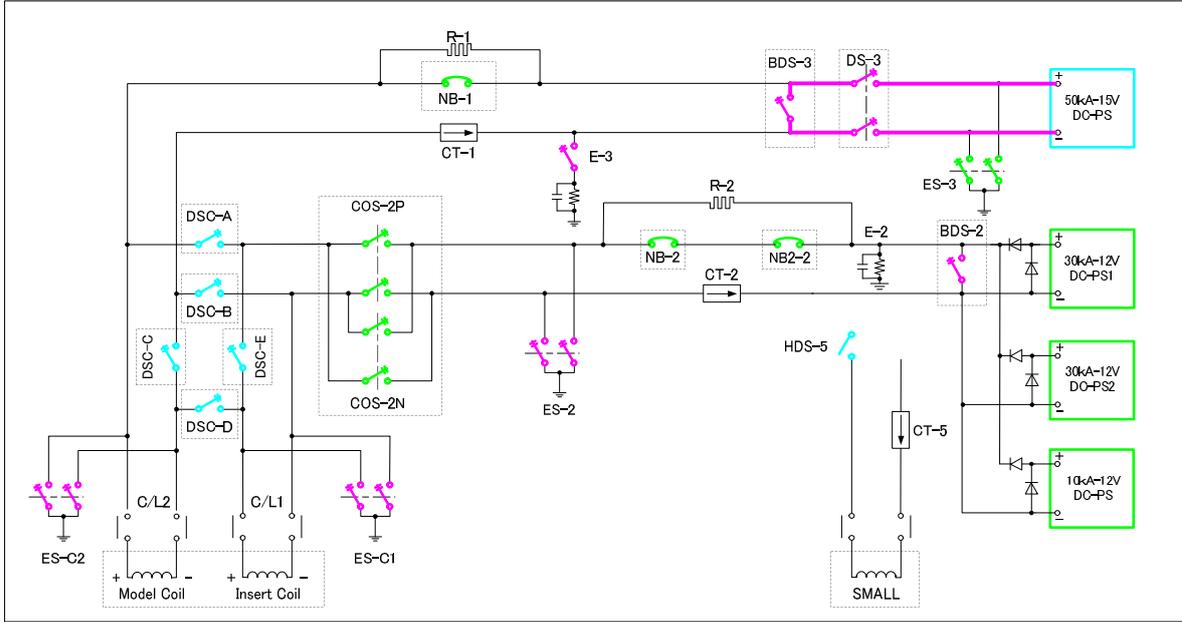
CS同時運転モード [MTモード]



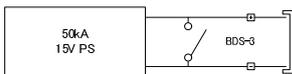
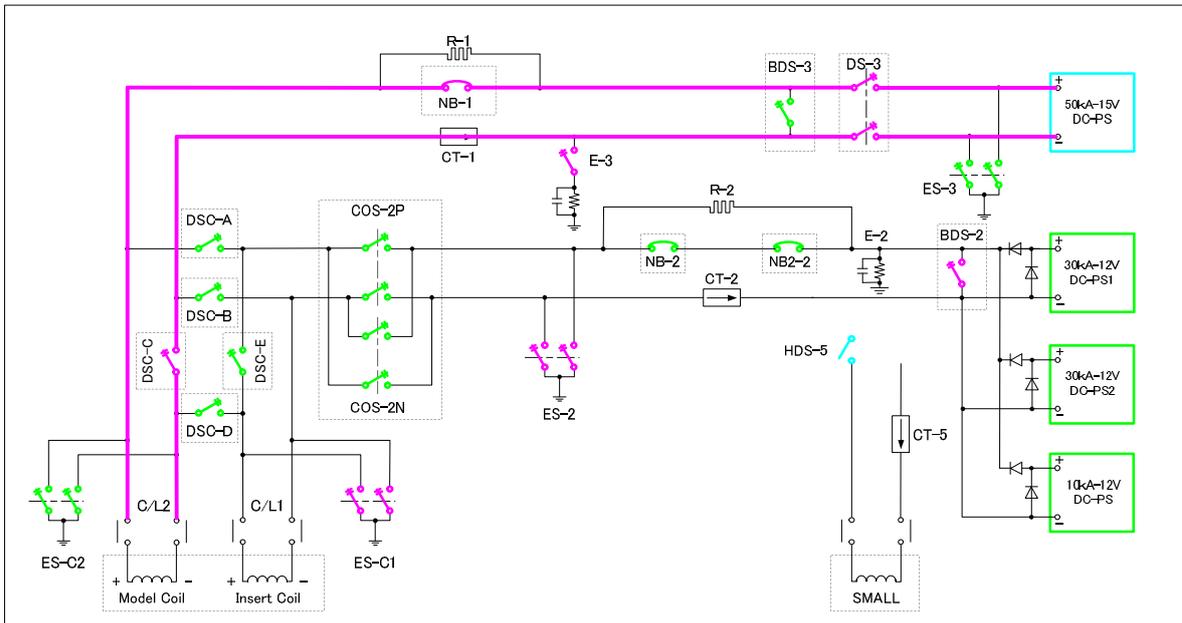
CS同時運転モード [MCモード]



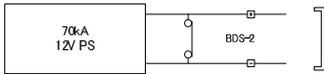
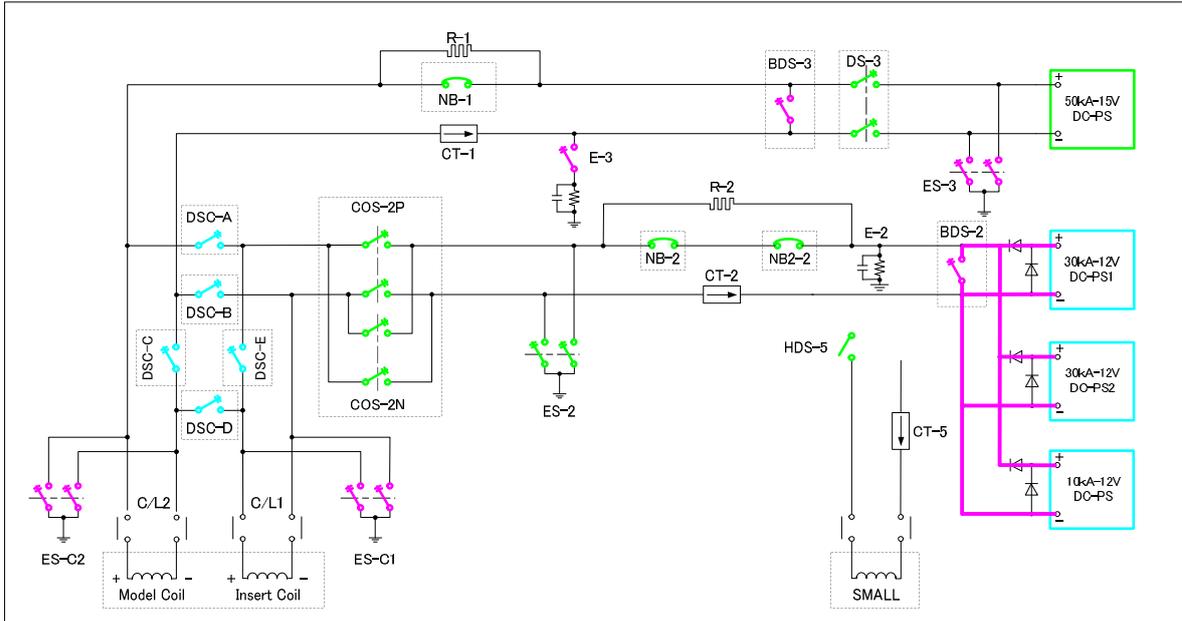
電源テストモード [TDモード]



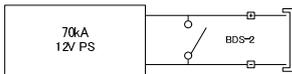
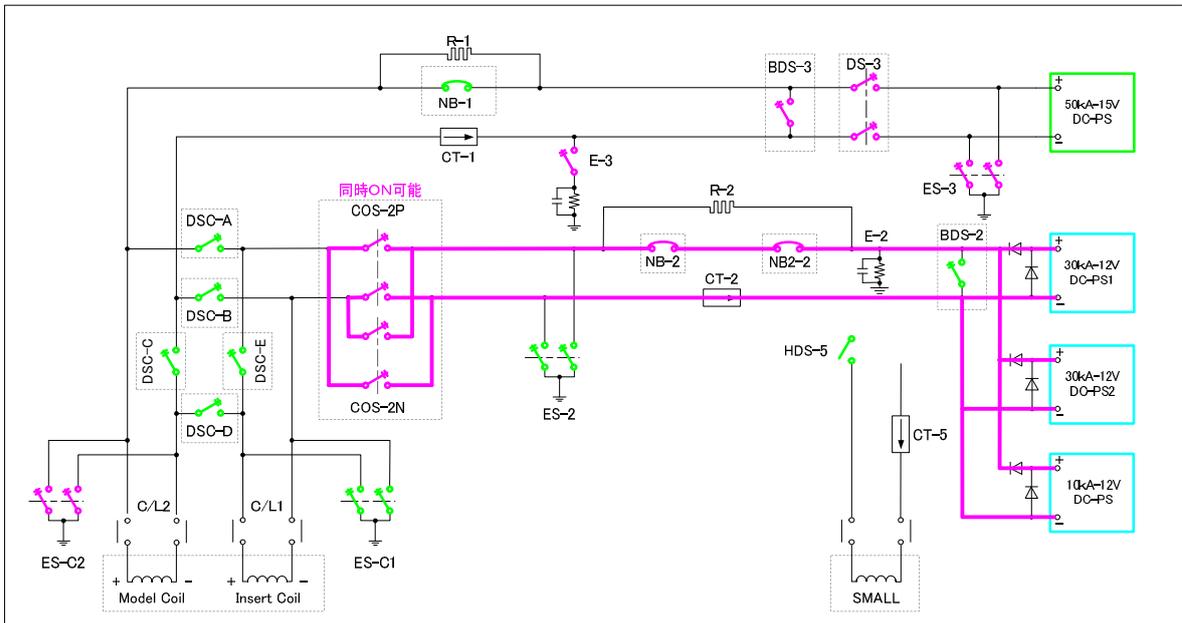
電源テストモード [TDSEモード]



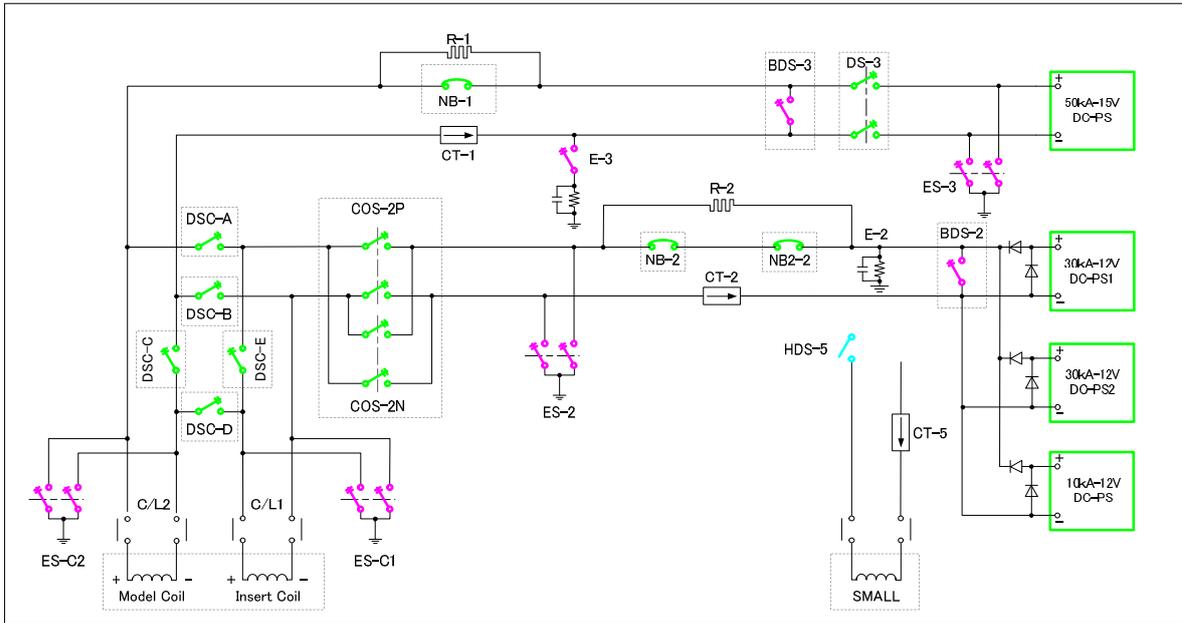
電源テストモード [TBモード]



電源テストモード [TBSモード]



メンテナンスモード



付録5 R1 放電抵抗値

	抵抗値の組み合わせ(※ハッチング部分のみ使用可能)					46kA 通電時			50kA 通電時		
	ユニット組合せ	抵抗値 Ω	インダクタンス μH	吸収エネルギー MJ	時定数L/R sec	最大電圧 V	最大温度上昇 deg	冷却時間 sec	最大電圧 V	最大温度上昇 deg	冷却時間 sec
1	20P	0.0025	2.24	600	240	115	44	850	125	52	910
2	10P	0.005	2.51	600	120	230	119	850	250	141	870
3	2S10P	0.01	3.1	1250	60	480	74	700	500	87	730
4	2S9P	0.011	-	1125	54	506	84	710	550	89	740
5	2S8P	0.012	-	1000	48	552	98	730	600	115	750
6	2S7P	0.014	-	875	42	644	108	740	700	136	770
7	2S6P	0.016	-	750	36	736	138	760	800	164	780
8	2S5P	0.02	-	625	30	920	172	780	1000	203	810
9	3S7P	0.021	3.7	1300	28	966	82	680	1050	88	700
10	3S6P	0.025	-	1125	24	1150	99	700	1250	117	720
11	3S5P	0.03	-	940	20	1380	122	720	1500	145	740
12	3S4P	0.037	-	750	16	1748	156	750	1850	185	770
13	4S5P	0.04	4.46	1250	15	1840	95	680	2000	105	700
14	4S4P	0.05	4.6	1000	12	2300	122	710	2500	144	730
15	4S3P	0.066	-	750	9	3036	166	750	3300	196	770
16	5S4P	0.062	-	1250	9.6	2652	99	670	3100	117	700
17	5S3P	0.083	-	940	7.2	3818	134	710	4150	158	740
18	5S2P	0.125	-	625	4.8	5750	199	770	6250	248	790
19	6S3P	0.1	5.1	1125	6	4600	114	690	5000	135	710
20	6S2P	0.15	-	750	4	6900	176	740	7500	208	770
21	7S3P	0.116	-	1300	5.1	5336	99	670	5800	117	690
22	7S2P	0.175	-	875	3.4	8050	151	720	8750	179	750
23	8S2P	0.2	7.91	1000	3	9200	132	700	10000	156	730

仕 様		
ユニット定格	抵抗値	0.05 Ω
	吸収エネルギー	625MJ
	絶縁耐力	DC20.7kV10min
	最大温度上昇値 (設計値)	240deg
	数量	21ユニット
機器定格	最大電流	DC50kA
	最大電圧	DC12kV
	放電頻度	1回/30分
	放電時定数	20秒 at 0.021 Ω

付録6 R2 放電抵抗値

	抵抗値の組み合わせ(※ハッチング部分のみ使用可能)				40kA 通電時				60kA 通電時			
	ユニット組合せ	抵抗値 Ω	吸収エネルギー MJ	時定数L/R sec	最大電圧 V	最大温度上昇 deg	冷却時間 sec	最大電圧 V	最大温度上昇 deg	冷却時間 sec	最大電圧 V	最大温度上昇 deg
1	(8P)-8P	1.55	110.08	9.03	62	13	940	93	31	1220		
2	(8P)-7P	1.8	96.32	7.78	72	16	990	108	36	127		
3	(8P)-6P	2.15	82.56	6.51	86	18	1040	129	42	1320		
4	(8P)-5P	2.58	68.8	5.43	103.2	22	1100	154.8	50	1380		
5	(8P)-4P	3.22	55.04	4.35	128.8	28	1180	193.2	64	1460		
6	(8P)-3P	4.3	41.28	3.26	172	38	1280	258	86	1560		
7	(8P)-2P	6.45	27.52	2.17	258	57	1420	387	129	1700		
8	(8P)-8S	100	110.08	0.14	4000	14	940	6000	32	1220		
9	(8P)-7S	88.69	96.32	0.16	3547.6	16	980	5321.4	37	1260		
10	(8P)-6S	77.4	82.56	0.18	3096	19	1040	4644	43	1320		
11	(8P)-5S	64.5	68.8	0.22	2580	23	1100	3870	51	1380		
12	(8P)-4S	51.6	55.04	0.27	2064	28	1180	3096	64	1460		
13	(8P)-3S	38.7	41.28	0.36	1548	38	1280	2322	86	1560		
14	(8P)-2S	25.8	27.52	0.54	1032	57	1420	1548	129	1700		
15	(8P/2)-8P	0.75	55.04	18.67	30	26	1180	45	60	1460		
16	(8P/2)-7P	0.86	48.16	16.28	34.4	31	1230	51.6	69	1510		
17	(8P/2)-6P	1.02	41.28	13.73	40.8	36	1280	61.2	82	1560		
18	(8P/2)-5P	1.25	34.4	11.2	50	44	1340	75	99	1620		
19	(8P/2)-4P	1.61	27.52	8.7	64.4	55	1420	96.6	125	1700		
20	(8P/2)-3P	2.15	20.64	6.51	86	75	1520	129	168	1800		
21	(8P/2)-2P	3.22	13.76	4.35	128.6	114	1660	193.2	257	1940		
22	(8P/2)-8S	19.35	20.64	0.72	77.4	76	1510	1161	173	1790		
23	(8P/2)-7P-3S	9.03	41.26	1.55	361.2	38	1280	541.8	96	1560		
24	(8P/2)-6P-4S	24.97	110.08	0.56	998.8	14	940	1498.2	32	1220		
25	(8P/2)-5P-3S	18.94	82.56	0.74	757.6	19	1040	1136.4	43	1320		
26	(8P/2)-4P-2S	12.9	55.04	1.09	516	28	1180	774	64	1460		
27	(8P/2)-4P-2S	6.22	110.08	2.25	248.8	14	940	373.2	32	1220		
28	(8P/2)-3P-2S	8.6	82.56	1.63	344	19	1040	516	43	1320		

仕様	
抵抗値	11.3, 12.9mΩ
吸収エネルギー	13.76MJ
絶縁耐力	DC4.5kV/10min
数量	8 ユニット
最大電流	DC60kA
最大電圧	DC1.5kV
放電時定数	20 秒 at 0.75mΩ

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	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
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	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
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	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
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)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
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	m ² s ⁻²
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	m ² s ⁻²
酸素活性	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大きさは同一である。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	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

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 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。
ベレル	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	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

