



JAEA-Review

2009-044

## JMTR非常用発電機健全性調査報告書

Verification on Integrity of JMTR Emergency Generator

花川 裕規 佐藤 信一 楠 秀彦 深作 秋富  
飛田 健治

Hiroki HANAKAWA, Shinichi SATO, Hidehiko KUSUNOKI  
Akitomi FUKASAKU and Kenji TOBITA

大洗研究開発センター  
照射試験炉センター  
原子炉施設管理部

Department of JMTR Operation  
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center  
Oarai Research and Development Center

January 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

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

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

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

## JMTR 非常用発電機健全性調査報告書

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター

照射試験炉センター 原子炉施設管理部

花川 裕規、佐藤 信一、楠 秀彦、深作 秋富、飛田 健治

(2009 年 11 月 16 日 受理)

JMTR の電源系統は、商用電源系統と非常用電源系統に大別できる。そのうち非常用電源系統はディーゼル発電機(2台)および蓄電池から構成されている。平成16年に実施した法令改正に基づく JMTR 原子炉施設に係る施設定期評価(初回)では、ディーゼル発電機の健全性が確保されていることを確認しており、今後の取り組みとして経時的変化に伴う機能の劣化を継続的に監視することとしている。

このため、平成23年度に計画している JMTR 再稼動前に、非常用電源系統であるディーゼル発電機のうち非常用発電機本体について健全性調査を行い、健全性について確認するとともに調査結果に基づき再稼働前に必要な保守並びに再稼動後の保守計画を策定した。

今回の検査から、非常用発電機に電気的劣化が無く健全であることを確認し、再稼働前に必要な保守としては予防保全の観点から分解点検による清掃、絶縁処理及び軸受け部の観察等を行うこととした。また、再稼動後の保守計画については、現状の保守計画に加えて継続的に行う絶縁診断に基づく分解点検等の保守を行うことで健全性を維持することとした。今後も現状の保守計画を継続することにより発電機の健全性維持に努める。

## Verification on Integrity of JMTR Emergency Generator

Hiroki HANAKAWA, Shinichi SATO, Hidehiko KUSUNOKI,  
Akitomi FUKASAKU and Kenji TOBITA

Department of JMTR Operation  
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center  
Oarai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received November 16, 2009)

Electric power supply system of JMTR consists of commercial power supply system and emergency power supply system. Emergency power supply system consists of diesel generators (2 units) and batteries. In the periodical assessment of JMTR carried out in 2004, it was concluded that the integrity of diesel generator were confirmed and the aging effects of the facilities were to be watching continuously in future.

Therefore, prior to the restart of the JMTR, which is planed in FY 2011, verification on integrity of JMTR emergency generators were carried out in order to confirm the integrity and to determine maintenance plans which will run before and after the restart of the JMTR.

As a result of this verification, the integrity of the emergency generators were confirmed because the electrical degradation was not found. From view of the prevent maintenance, cleaning with overhaul, insulating treatment and observation of bearing are necessary to be carried out before JMTR restart. Also it is possible to maintain the integrity of JMTR emergency generators by carrying on the current maintenance plan with periodical overhaul based on insulation diagnosis. In future, we will maintain the integrity of JMTR emergency generators with carrying out maintenance based on the current maintenance plan.

Keywords: JMTR, Emergency Generators, Verification on Integrity, Maintenance Plan

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 非常用発電機の概要及び保守.....	1
3. 非常用発電機健全性調査.....	2
3.1 調査概要.....	2
3.2 試験方法.....	2
3.2.1 直流試験（絶縁抵抗一時間特性、絶縁抵抗一電圧特性）.....	2
3.2.2 誘電正接試験.....	3
3.2.3 交流電流試験.....	3
3.2.4 部分放電試験.....	3
3.3 試験結果.....	3
3.3.1 直流試験（絶縁抵抗一時間特性、絶縁抵抗一電圧特性）結果.....	3
3.3.2 誘電正接試験結果.....	4
3.3.3 交流電流試験結果.....	4
3.3.4 部分放電試験結果.....	4
4. 再稼働後の保守計画.....	5
4.1 現状の保守計画 .....	5
4.2 再稼働後の保守計画 .....	5
5. まとめ.....	5
謝辞.....	5
参考文献.....	6
付録 試験体系.....	23

Contents

## 1. はじめに

JMTR の電源系統は、商用電源系統と非常用電源系統に大別できる。そのうち非常用系統は非常用発電機（1750 kVA）とディーゼル機関（2050 ps）とを組み合わせたディーゼル発電機および蓄電池から構成されている<sup>1)</sup>。このうちディーゼル発電機は2台あり、原子炉運転中は1台が常時運転され、商用電源が喪失した場合でも原子炉の崩壊熱を除去するとともに安全に停止できるよう重要機器系統に常時給電を行っている。

ディーゼル発電機は、平成5年のJMTR 燃料濃縮度低減化の際に実施された安全解析の結果に基づき1次冷却系主循環ポンプ1基を商用電源喪失時においても運転することとしたため発電容量を1250 kVAから1750 kVAに増加した際に更新した。その後、平成16年に実施された法令改正に基づくJMTR 原子炉施設に係る施設定期評価（初回）<sup>2)</sup>において、経年変化に関する技術的な評価の結果より、合理的な保全活動が行われてきたとことを確認している。また、その際に現状の保守計画を継続することにより、長期健全性が確保されることも確認している。しかし、今後の取り組みとして設備・機器の経時的変化に伴う機能の劣化に対して継続的に監視を行うこととした。

このため、JMTR 再稼動前にディーゼル発電機の非常用発電機本体について経時的变化に伴う機能の劣化状況を把握し、再稼働前に必要な保守を行い、再稼動後の保守計画を策定するため、非常用発電機の健全性調査を行った。

## 2. 非常用発電機の概要及び保守

非常用発電機は、ディーゼル機関と直結されて共通台床上に設置されている。ディーゼル発電機全体図をFig.2.1に、非常用発電機の断面図をFig.2.2に、ディーゼル機関仕様一覧をTable 2.1に、発電機本体の写真をPhoto.2.1に、発電機仕様一覧をTable 2.2に示す。本発電機は、発電容量が1750 kVA、回転数750 rpm、定格発電電圧が6600 Vの発電機である<sup>3)</sup>。原子炉運転中、非常用電源系統はディーゼル発電機を電源とし独立した電源系統となり、商用電源が喪失した場合でも原子炉が安全に停止できるよう重要機器系統及び機器に常時給電をおこなっている。主要な負荷は、主循環ポンプ1台、緊急ポンプ、計測制御設備（核計装、プロセス計装、安全保護回路等）制御棒駆動装置、二次系補助ポンプ、二次系冷却ファン及びバックアップスクラム装置である。また原子炉運転中の負荷容量は約900 kWである。

ディーゼル発電機は、平成5年に燃料濃縮度低減化に伴う設置許可変更時に安全評価を行った結果、発電容量の増加が必要と判断されたために、全面更新を行っている。更新後から平成18年までの運転時間は、1号機、2号機共に約20000時間となっている（Table 2.3参照）。非常用発電機の保守管理として、ディーゼル発電機運転時には日常点検にて電

圧、電流および周波数の確認、また固定子巻線温度および軸受け温度の確認を行っている。また JMTR 原子炉施設保全計画書に従い、絶縁抵抗測定、負荷検査、発電機切替検査、商用電源送電検査および目視点検を行っている。

### 3.非常用発電機健全性調査

#### 3.1 調査概要

JMTR 再稼動前に非常用発電機の経時的変化に伴う機能の劣化状況を把握し、再稼働前に必要な保守を行い、再稼動後の保守計画を策定するため、非常用発電機の健全性調査を行った。健全性調査では非常用発電機の劣化状況を把握するために非常用発電機の絶縁劣化について検査した。絶縁劣化について検査した理由は、発電機の絶縁劣化状況を把握することで発電機全体の劣化状況を把握できることおよび検査自体が発電機の分解等を必要としないために容易に実施できるためである。

一般的に、絶縁部にボイド（空所）が存在する場合や、絶縁物が吸湿した場合には、絶縁物の破壊電圧が低下することが知られている<sup>4)</sup>。このことを考慮して、調査箇所に非常用発電機の高電圧回路である固定子コイルを選定し、ボイド、吸湿などの欠陥・劣化を調査した。具体的な検査方法としては絶縁物のボイド、吸湿などの電気的な欠陥・劣化を調査するのに最も適している、以下に示す 4 種類の非破壊絶縁試験方法を選定した。

#### 3.2.試験方法<sup>5)</sup>

##### 3.2.1 直流試験（絶縁抵抗一時間特性、絶縁抵抗一電圧特性）

直流試験は、絶縁物に直流電流を印加したときの絶縁抵抗一時間特性、絶縁抵抗一電圧特性から絶縁物の性状のうち乾燥、吸湿、導電性不純物の混入あるいは生成、汚損、絶縁の欠陥等の状態を調べる試験である。

絶縁抵抗一時間特性試験(成極指数試験)では、固定子コイルに直流電圧 1 kV を 10 分間印加した後、1 分後と 10 分後の絶縁抵抗値から成極指数 PI を求めた。また絶縁抵抗一時間特性についてグラフにプロットした。この成極指数およびグラフから吸湿汚損といった劣化について判断した。

絶縁抵抗一電圧特性試験では、固定子コイルに直流電圧を 2, 3, 4, 5, 6 kV と変化させ、それぞれステップ状に印加しステップ毎に絶縁抵抗値を測定した。各ステップ間の絶縁抵抗の変化を評価するために K 値(K 値=前ステップ電圧時絶縁抵抗／現ステップ電圧時絶縁抵抗)を求めた。また絶縁抵抗一電圧特性をグラフにプロットした。この K 値およびグラフから表面リークの有無、吸湿汚損といった劣化を判断した。

### 3.2.2 誘電正接試験

誘電正接試験は、絶縁物に交流電流を印加した時の誘電正接（以下「 $\tan \delta$  値」と言う）および  $\tan \delta$  値—電圧特性から絶縁物の性状のうち吸湿、乾燥、汚損、ボイドの状態、等の絶縁物の性状、あるいは劣化の程度を調べる試験である。

誘電正接試験では、固定子コイル対地間に交流電圧を 1, 2, 3, 3.8, 4, 4.5, 4.8 kV（交流 6.6 kV の実効値が 4.6 kV のため印加電圧を 4.8 kV までとしている）の順に電圧を印加し、各印加電圧での  $\tan \delta$  値、を電圧昇圧時と降圧時にそれぞれ測定した。1 kV での  $\tan \delta$  値から吸湿乾燥汚損劣化について判断した。次に各電圧ステップの  $\tan \delta$  値から  $\tan \delta$  値—電圧特性をグラフにプロットし昇圧時と降圧時の  $\tan \delta$  値—電圧特性を比べることで、吸湿・ボイドの状態について判断した。また 1 kV での  $\tan \delta$  値と 4.8 kV での  $\tan \delta$  値の差を  $\angle \tan \delta$  とし、 $\angle \tan \delta$  から剥離ボイドの発生の有無を判断した。

### 3.2.3 交流電流試験

交流試験は、絶縁物に交流電圧を印加した時に流れる電流と電圧の関係から剥離、ボイドの状態、絶縁破壊電圧などの絶縁物の性状を調べる試験である。

交流電流試験では、固定子コイル対地間に交流電圧を 1, 2, 3, 3.8, 4, 4.5, 4.8 kV の順に電圧を印加し、各印加電圧での電圧及び電流をグラフにプロットした。このグラフから第 1 電流急増電圧(Pi1)及び第 2 電流急増電圧(Pi2)を求め、剥離ボイドの状態や絶縁破壊電圧を推定した。また印加電圧に対して電流が一定の傾きで増加する理想的な状態を基準として基準線を作成し、試験結果と同じグラフにプロットした。電流急増電圧点における基準線と実測値の電流値のずれを  $\Delta I_1$ 、 $\Delta I_2$  として求め、剥離ボイドの度合いを判断した。

### 3.2.4 部分放電試験

部分放電試験は絶縁物に交流電圧を印加した時に発生する部分放電電荷を測定し、絶縁に有害な部分放電の有無および絶縁物のボイドの状態を調べる試験である。

部分放電試験では、対地間に交流電圧を 1, 2, 3, 3.8, 4, 4.5, 4.8 kV の順に印加し巻線に各電圧で発生する最大放電電荷量（以下「Qmax」と言う）を測定し、絶縁に有害な部分放電の有無および絶縁物のボイドの状態を判断した。また Qmax—電圧特性をグラフにプロットした。

## 3.3 試験結果 5) 6)

### 3.3.1 直流試験（絶縁抵抗—時間特性、絶縁抵抗—電圧特性）結果

絶縁抵抗—時間特性試験(成極指數試験)結果及び基準値を Table 3.3.1～Table 3.3.2 および Fig.3.3.1～Fig.3.3.2 に示す。1 号機、2 号機ともに絶縁抵抗値及び成極指數 PI は基準値を上回った。また、絶縁物が吸湿汚損している場合には、印加時間が増加しても絶縁抵

抗が増加しないが、そのような傾向は1号機、2号機ともにグラフ上には現れなかつた。この結果より吸湿汚損といった劣化が無いことが分かつた。

絶縁抵抗一電圧特性試験結果及び基準値をTable 3.3.3～Table 3.3.4およびFig.3.3.3～Fig.3.3.4に示す。1号機、2号機ともに絶縁抵抗値及びK値は基準値を下回つた。また、絶縁物に表面リーク、吸湿汚損といった劣化がある場合、印加電圧が比較的低い段階から絶縁抵抗値が低下するが、1号機、2号機ともにそのような傾向は現れず、絶縁抵抗値は印加電圧が上昇してもほぼ一定の値を示した。この結果から表面リーク、吸湿汚損といった劣化が無いことが分かつた。

### 3.3.2 誘電正接試験結果

誘電正接試験結果をTable 3.3.5～Table 3.3.6に、試験結果をプロットしたものとFig.3.3.5～Fig.3.3.6に示す。1号機、2号機ともに1kVでの $\tan\delta$ 値は基準値を充分に下回つたことから吸湿乾燥汚損劣化はないことが分かつた。 $\tan\delta$ 値一電圧特性は絶縁が健全な場合、 $\tan\delta$ 値は定格電圧付近までほぼ一定であり定格電圧付近で僅かに上昇する。かつ、電圧昇圧時と降圧時の $\tan\delta$ 値曲線はおよそ一致してループを生じない。 $\tan\delta$ 値一電圧特性をグラフにプロットした結果より、1号機、2号機ともに全ての印加電圧ステップで $\tan\delta$ 値はほぼ一定の値をとり、電圧昇圧時と降圧時の $\tan\delta$ 値一電圧特性がほぼ一致したことから吸湿およびボイド等の劣化がないことが分かつた。また、 $\Delta\tan\delta$ は1号機で-0.04、2号機で0.08であった。基準値は2.5以下である。これより1号機、2号機ともに剥離ボイドの発生はないことが分かつた。

### 3.3.3 交流電流試験結果

交流試験結果をTable 3.3.7～Table 3.3.8及びFig.3.3.7～Fig.3.3.8に示す。剥離やボイドなどの劣化がある場合には印加電圧が定格電圧より低い値においても電流急増電圧がある。今回の試験結果をグラフにプロットし基準値と比べたが、1号機、2号機ともに第1電流急増電圧(Pi1)及び第2電流急増電圧(Pi2)は4.8kV以下には見つけることが出来なかつたため、Pi1、Pi2は4.8kV以上であることが分かつた。このことから絶縁破壊電圧は定格電圧よりも充分に大きく、剥離やボイドなどの劣化は無いことが分かつた。

### 3.3.4 部分放電試験結果

部分放電試験結果をTable 3.3.9～Table 3.3.10及びFig.3.3.9～Fig.3.3.10に示す。1号機、2号機ともにQmaxは基準値を充分に下回つてゐる。またQmax一電圧特性より、印加電圧が増加しても最大放電電荷量はほぼ一定であることが分かつた。これらより有害な部分放電は無く、絶縁物にボイドがないことが分かつた。

## 4.再稼働後の保守計画

### 4.1 現状の保守計画

非常用発電機本体の保守計画は、主に日常点検と定期点検から成り立っている。日常点検は非常用発電機運転時に行われるもので、電圧、電流および周波数の確認、ならびに固定子巻線温度および軸受け温度の確認を行っている。定期点検は JMTR 原子炉施設保全計画書に従った毎年度行う保守および担当課が定める保守計画から成る。JMTR 原子炉施設保全計画書に従った保守項目として絶縁抵抗測定、負荷検査、発電機切替検査、商用電源送電検査および目視点検を行っている。担当課が定める保守計画は保全計画書に従った保守項目に、更に保護運動試験および安全動作試験を加えたもので、毎年度実施している。

### 4.2 再稼働後の保守計画

今回の調査より非常用発電機本体には電気的な劣化がないことが分かった。これを受け現状の保守計画が妥当であることが確認できた。このため再稼働後の保守計画は現状の保守計画を継続することにした。ただし、状態保全の観点から、発電機本体の絶縁劣化傾向を把握し適切な時期に分解点検等の保守が行えるように、担当課が定める保守計画に 5 年程度の間隔で定期的な発電機本体の絶縁診断実施を加える。

## 5.まとめ

今回の調査では 4 種類の試験を通して、1 号機および 2 号機に電気的な劣化がないことを明らかにした。これらの結果から、現状の保守計画が妥当であり、今後も保守計画に従って保守を継続することにより発電機の健全性を維持していくことが可能であることが分かった。ただし、一般的に電気工作物の絶縁は突然劣化が顕著になることがある。また非常用発電機は、共用開始後 14 年が経過しており目視でコイル表面に塵埃による汚れが確認できる。このため、予防保全の観点から JMTR 再稼働前に発電機の分解点検を行い、発電機の清掃、絶縁処理および軸受部の観察等を行う。再稼働後の保守計画としては、従前の保守計画に加え、継続的に絶縁診断を実施し、絶縁劣化の傾向を把握し、絶縁劣化が発生していると判断できた時に随時、分解点検等の必要な保守を行う。

## 謝辞

本報告書をまとめるにあたり、河村弘照射試験炉センター長、新見素二原子炉施設管理部長にご助言を頂いた。また、石原正博照射試験炉副センター長、石塚悦男照射試験開発課センター研究主幹にご支援頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 独立行政法人日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター（北地区）原子炉設置許可申請書
- 2) 日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部：施設定期評価（初回）報告書（JMTR 原子炉施設）、2005 年
- 3) 私信 材料試験炉部原子炉第 2 課 1994 年
- 4) オーム社：電気機器非破壊絶縁試験法 1969 年
- 5) 電気学会：絶縁試験法ハンドブック 1980 年
- 6) 日本電機工業会：日本電機工業会技術資料 JEM-TR184 同期機の保守・点検指針

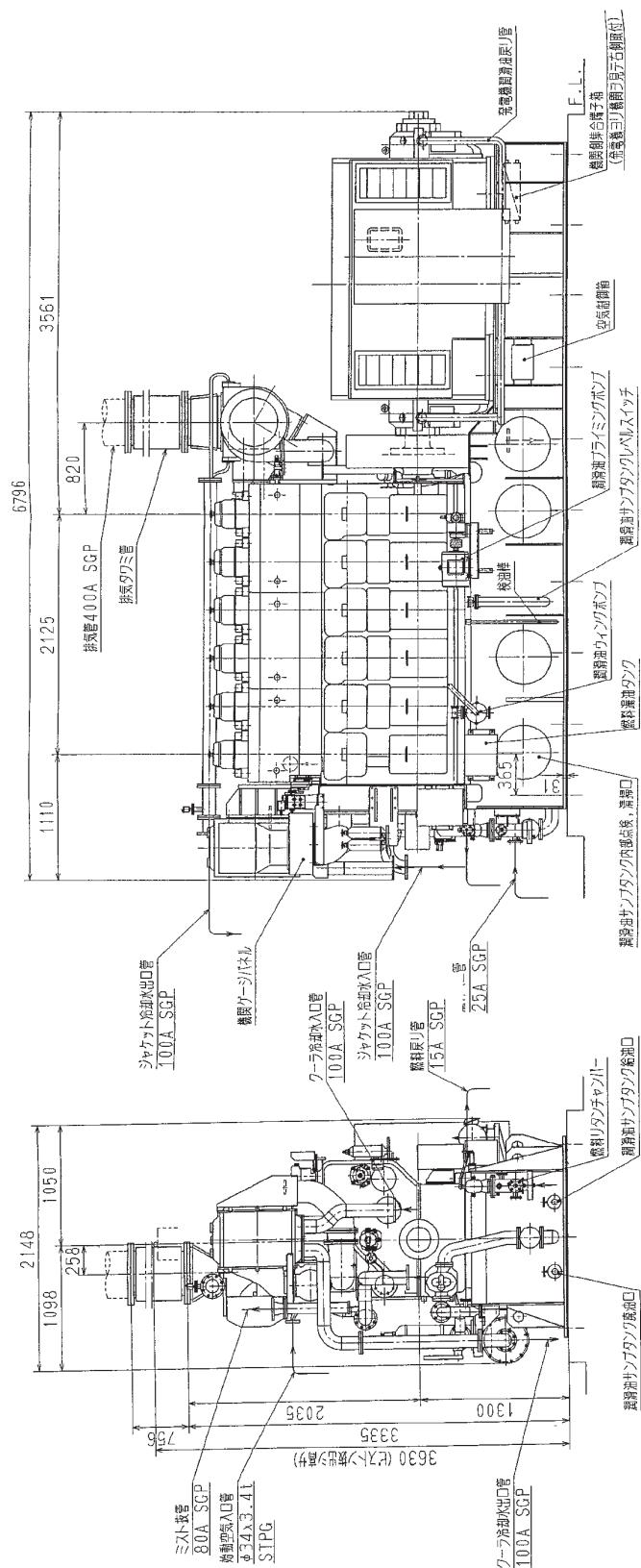


Fig.2.1 ディーゼル発電機全体図

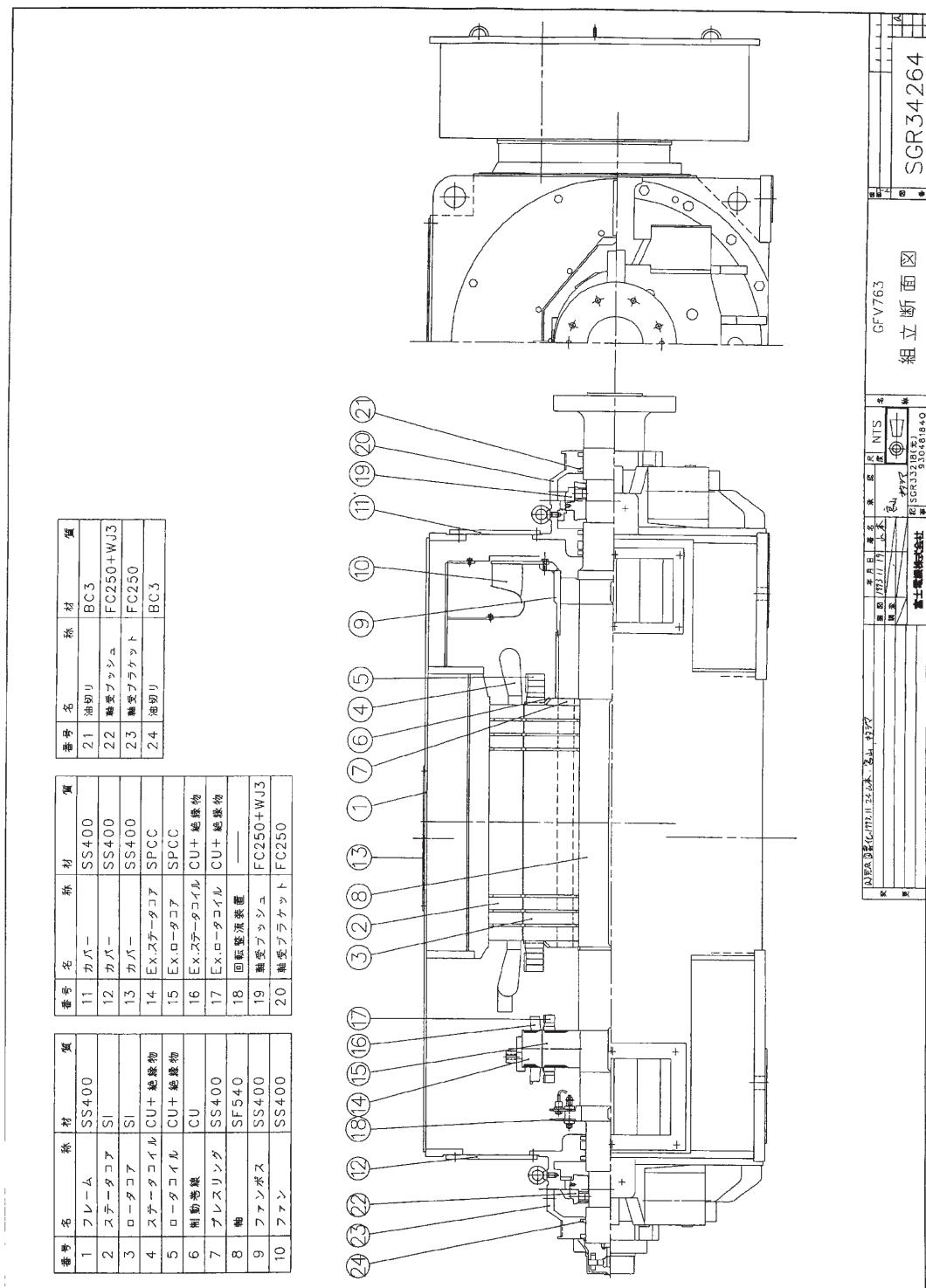


Fig.2.2 非常用発電機断面図

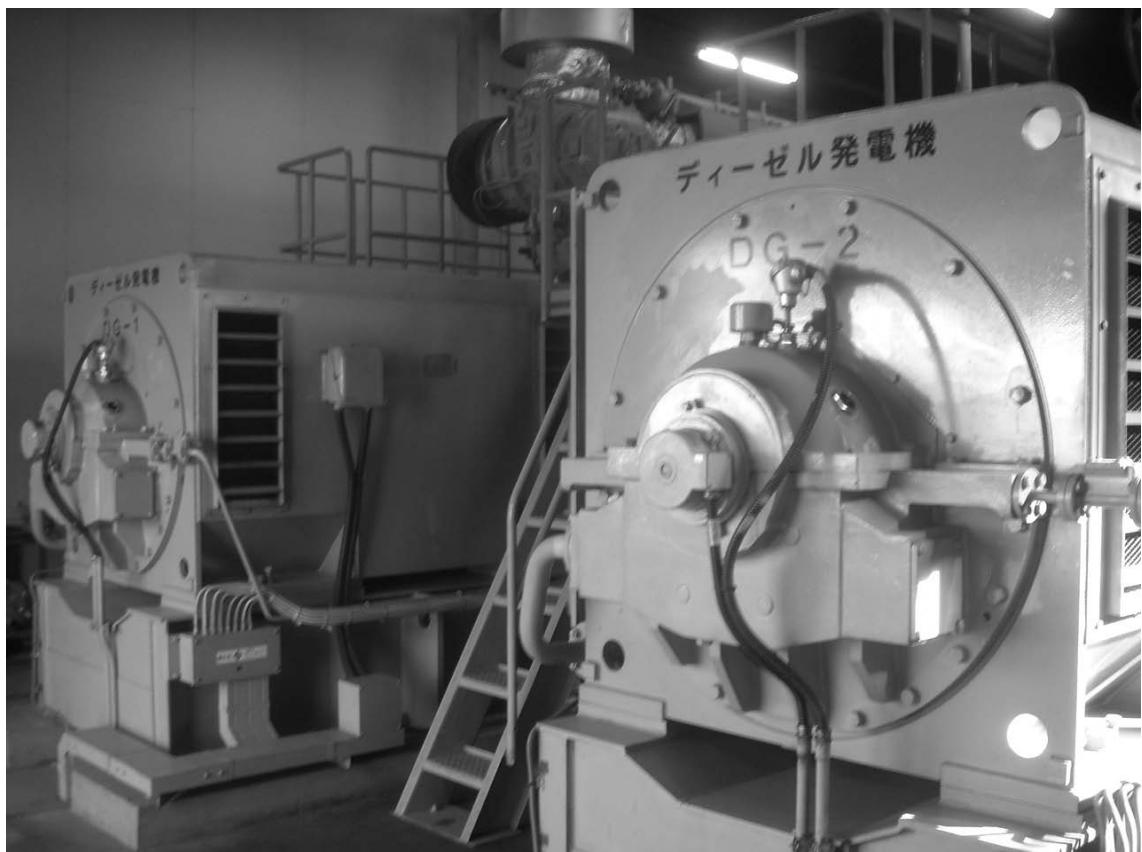


Photo.2.1 発電機本体

Table 2.1 ディーゼル機関仕様一覧

項目	仕様
形式	直列単動 4 サイクル無気噴油トランクピストン式 (過給機空気冷却器付)
燃焼方式	圧縮着火方式
運転モード	連続運転
機関出力	2050 ps
回転数	750 pm
シリンダー数	6 気筒
内径×行程	280 mm × 380 mm
始動方式	圧縮空気始動
燃焼方式	圧縮着火
潤滑油系統	ドライサンプ方式 共通台床組込タンク
始動方式	圧縮空気始動
ガバナ	機械式
冷却方式	2 系統冷却方式 一次側：シリンダジャケット 二次側：冷却器
ターボ過給機	排気ガスタービン
消音器	膨張抵抗型
燃料油	A 重油 (1 種 1 号)
台数	2 台
重量 (乾燥時)	18900 kg

Table 2.2 発電機仕様一覧

項目	仕様
種類	ブラシレス交流発電機
励磁方式	ブラシレス励磁方式
原動機種類	ディーゼル機関
定格出力	発電機 : 1400 kW 励磁装置 : 40 kW
容量	1750 kVA
定格	連続
電気方式	交流 3 相 3 線
電圧	発電機 : 6600 V 励磁装置 : DC 170 V
負荷電流	発電機 : 153 A 励磁装置 : DC 235 A
周波数	50 Hz
極数	8
回転数	750 rpm
力率	0.8
励磁電圧	発電機 : 170 V 励磁装置 : 140 V
界磁電流	発電機 : 209 A 励磁装置 : 9.1 A
絶縁階級	F 種
冷媒温度	40 °C
GD <sup>2</sup> (軸を含む)	703 kgm <sup>2</sup>
回転子重量	3172 kg
総重量	8310 kg
冷却方式	自由通風 [JCO]
保護法式	保護形 [JP20]

Table 2.3 発電機時間及び発電量

	1号機		2号機	
	発電時間(h)	発電量(MWh)	発電時間(h)	発電量(MWh)
H5	477	320	367	267
H6	1691	1353	1290	928
H7	1501	1175	1570	1251
H8	1359	1114	1371	1102
H9	132	39	734	566
H10	2072	1693	1464	1115
H11	1986	1601	1468	1165
H12	2357	1645	1749	1357
H13	1651	1102	1901	1519
H14	1885	1524	1039	656
H15	849	663	1038	800
H16	2624	2011	2259	1762
H17	1797	1177	1954	1383
H18	2545	1863	1046	613
累計	22926	17280	19250	14484

Table 3.3.1 1号機直流試験（絶縁抵抗一時間特性）結果

印加時間 (min)	1号機 絶縁抵抗値 ( $M\Omega$ )
1	$1.89 \times 10^4$
2	$2.94 \times 10^4$
3	$4.00 \times 10^4$
5	$6.25 \times 10^4$
7	$7.69 \times 10^4$
10	$10.00 \times 10^4$
成極指数(PI)	5.3
判定基準	1.5 以上
判定	良

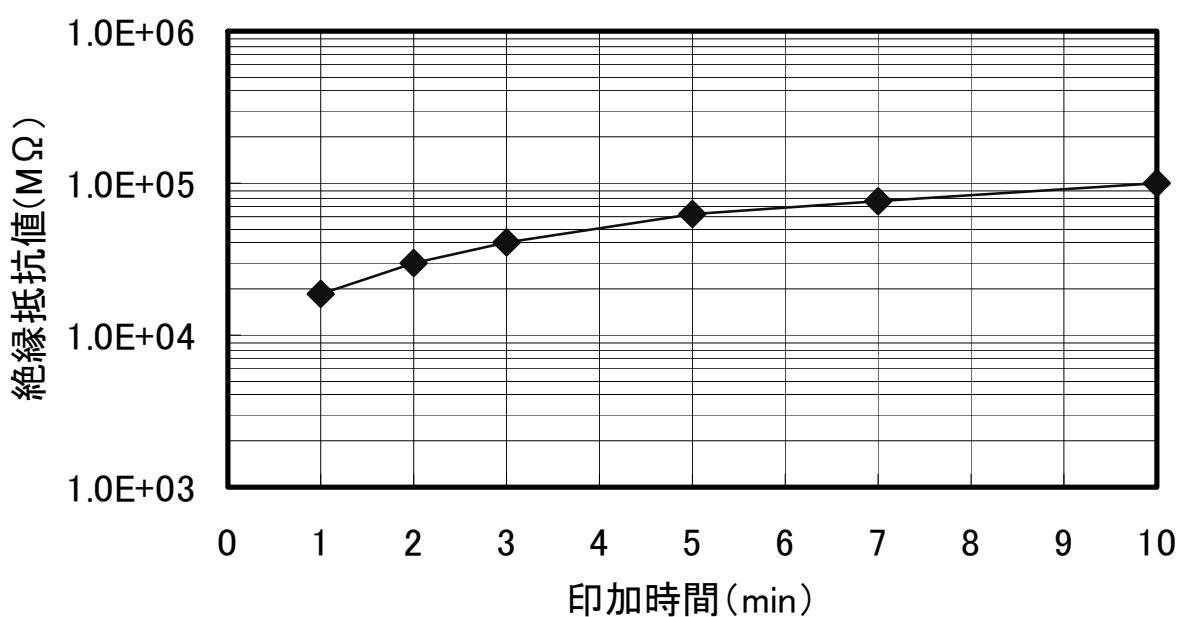


Fig.3.3.1 1号機直流試験（絶縁抵抗一時間特性）結果

Table 3.3.2 2号機直流試験（絶縁抵抗一時間特性）結果

印加時間 (min)	2号機 絶縁抵抗値 ( $M\Omega$ )
1	$2.17 \times 10^4$
2	$3.45 \times 10^4$
3	$4.76 \times 10^4$
5	$7.14 \times 10^4$
7	$8.93 \times 10^4$
10	$10.87 \times 10^4$
成極指數(PI)	5
判定基準	1.5以上
判定	良

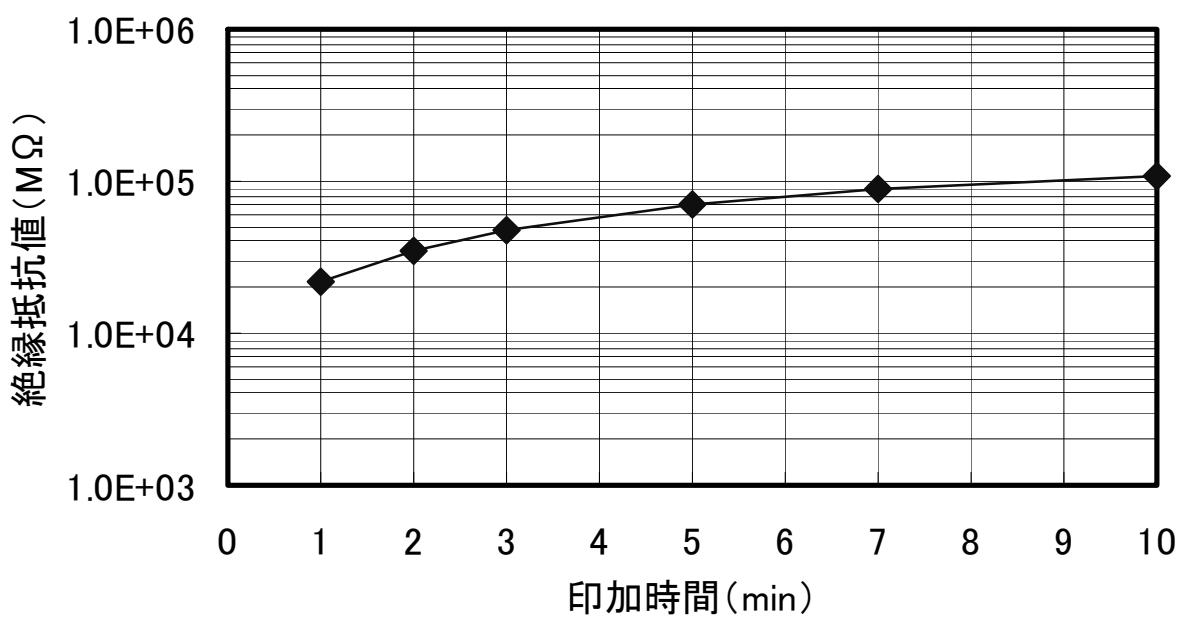


Fig.3.3.2 2号機直流試験（絶縁抵抗一時間特性）結果

Table 3.3.3 1号機直流試験（絶縁抵抗一電圧特性）結果

印加電圧 (kV)	1号機絶縁抵抗値 ( $M\Omega$ )	K 値
1	$1.89 \times 10^4$	
2	$2.09 \times 10^4$	0.90
3	$2.06 \times 10^4$	1.01
4	$1.92 \times 10^4$	1.07
5	$1.91 \times 10^4$	1.01
6	$1.94 \times 10^4$	0.98
判定基準	5以上	1.5以下
判定	良	良

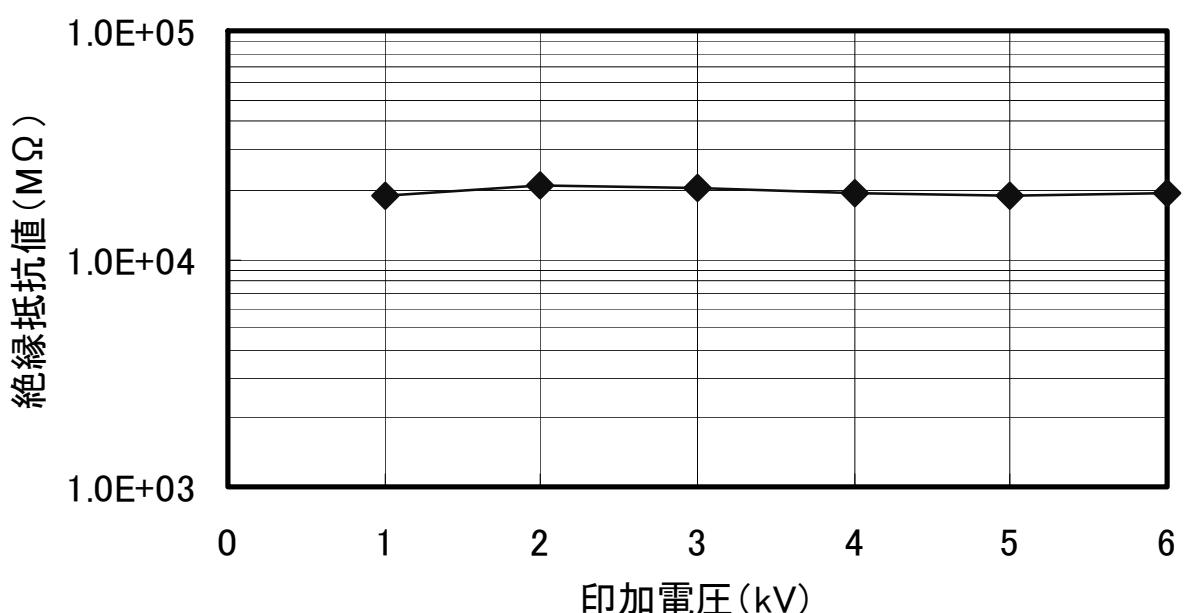


Fig.3.3.3 1号機直流試験（絶縁抵抗一電圧特性）結果

Table 3.3.4 2号機直流試験（絶縁抵抗一電圧特性）結果

印加電圧 (kV)	2号機絶縁抵抗値 ( $M\Omega$ )	K 値
1	$2.17 \times 10^4$	
2	$2.41 \times 10^4$	0.90
3	$2.38 \times 10^4$	1.01
4	$2.29 \times 10^4$	1.04
5	$2.25 \times 10^4$	1.02
6	$2.14 \times 10^4$	1.05
判定基準	5以上	1.5以下
判定	良	良

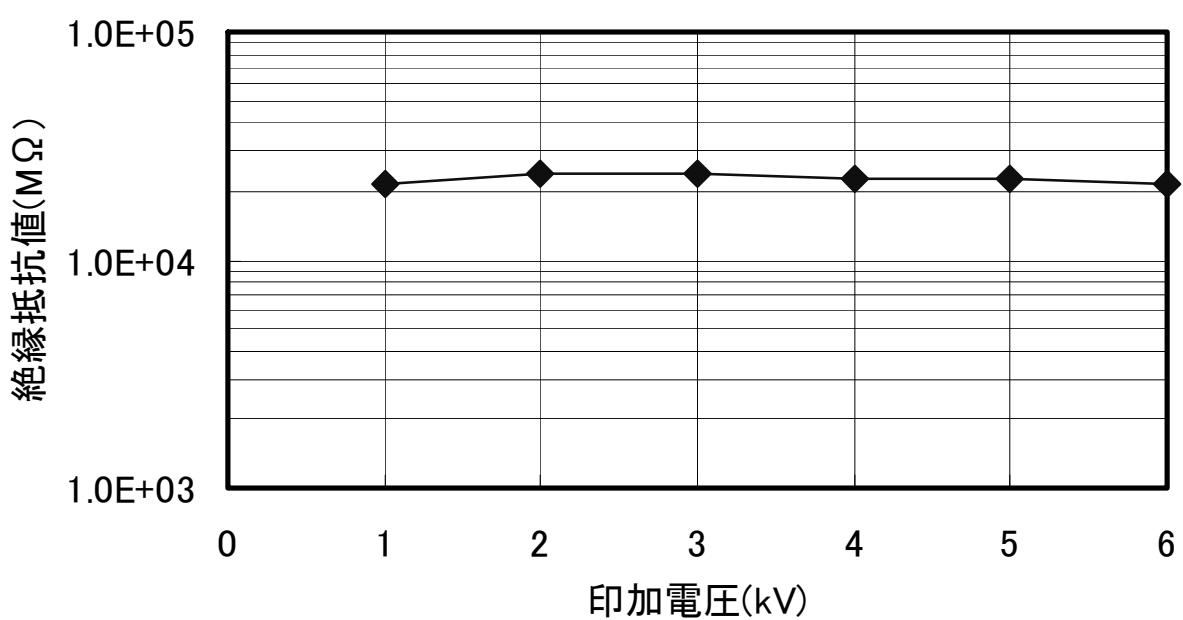


Fig.3.3.4 2号機直流試験（絶縁抵抗一電圧特性）結果

Table 3.3.5 1号機誘電正接試験結果

印加電圧 (kV)	昇圧時 $\tan \delta$ (%)	降圧時 $\tan \delta$ (%)	基準値	結果
1.0	1.03	1.01	12 以下	良
2.0	1.01	0.99		
3.0	0.98	0.98		
3.8	0.96	1.00		
4.5	0.99	1.02		
4.8	0.99	0.99		

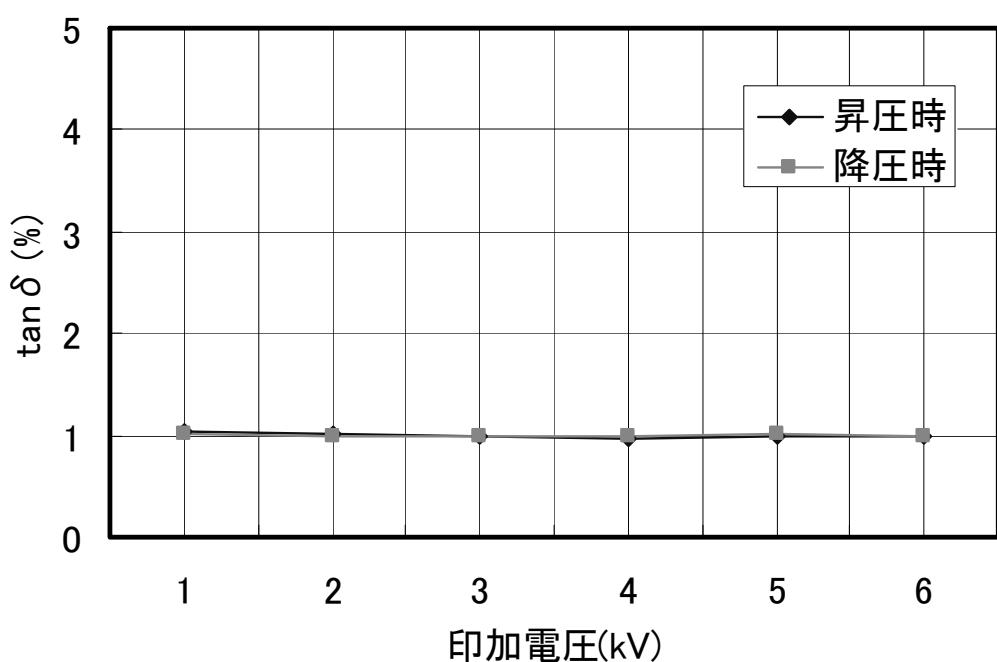


Fig.3.3.5 1号機誘電正接試験結果

Table 3.3.6 2号機誘電正接試験結果

印加電圧 (kV)	昇圧時 $\tan \delta$ (%)	降圧時 $\tan \delta$ (%)	基準値	結果
1.0	0.79	0.92	12 以下	良
2.0	0.83	0.89		
3.0	0.84	0.88		
3.8	0.85	0.88		
4.5	0.85	0.89		
4.8	0.87	0.87		

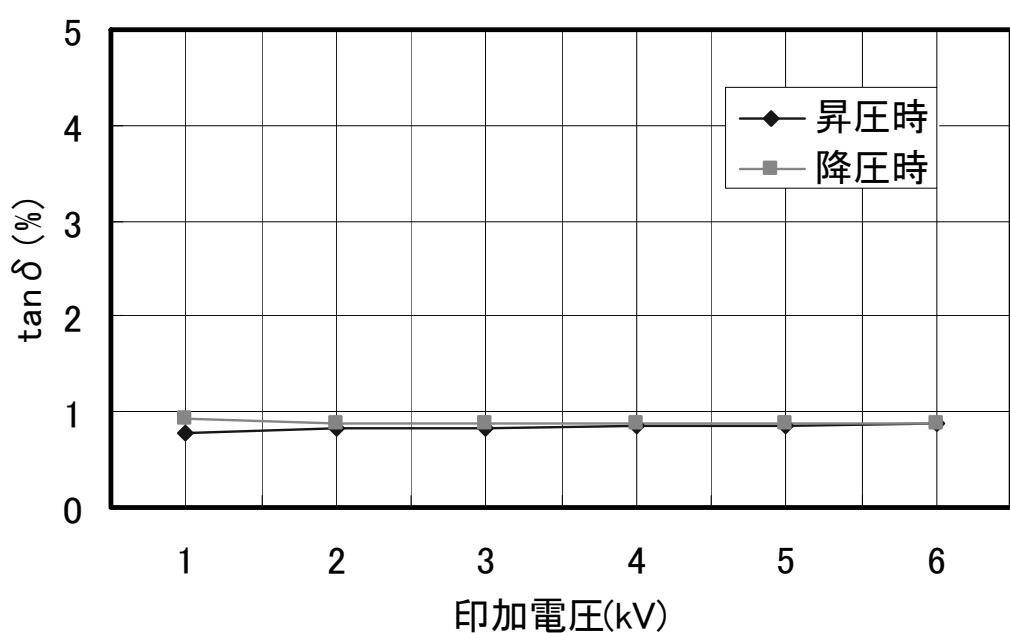


Fig.3.3.6 2号機誘電正接試験結果

Table 3.3.7 1号機交流電流試験結果

印加電圧 (kV)	電流 (mA)
1	51.0
2	104.0
3	154.5
3.8	195.1
4.5	232.5
4.8	246.1

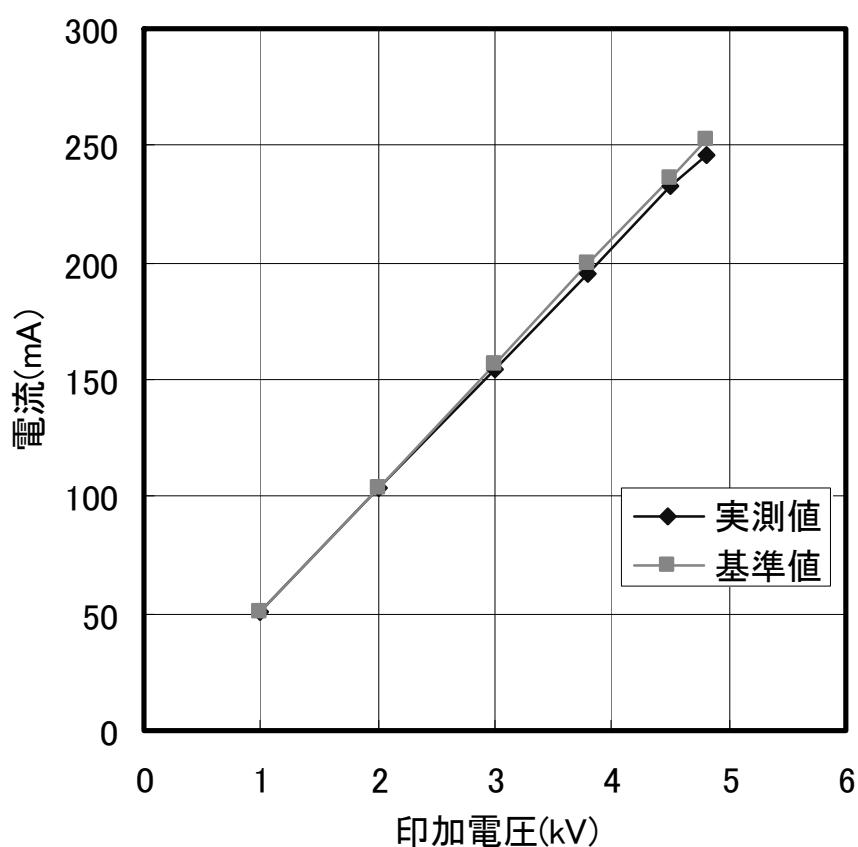


Fig.3.3.7 1号機交流電流試験結果

Table 3.3.8 2号機交流電流試験結果

印加電圧 (kV)	電流 (mA)
1	51.3
2	103.7
3	155.3
3.8	196.9
4.5	230.9
4.8	243.8

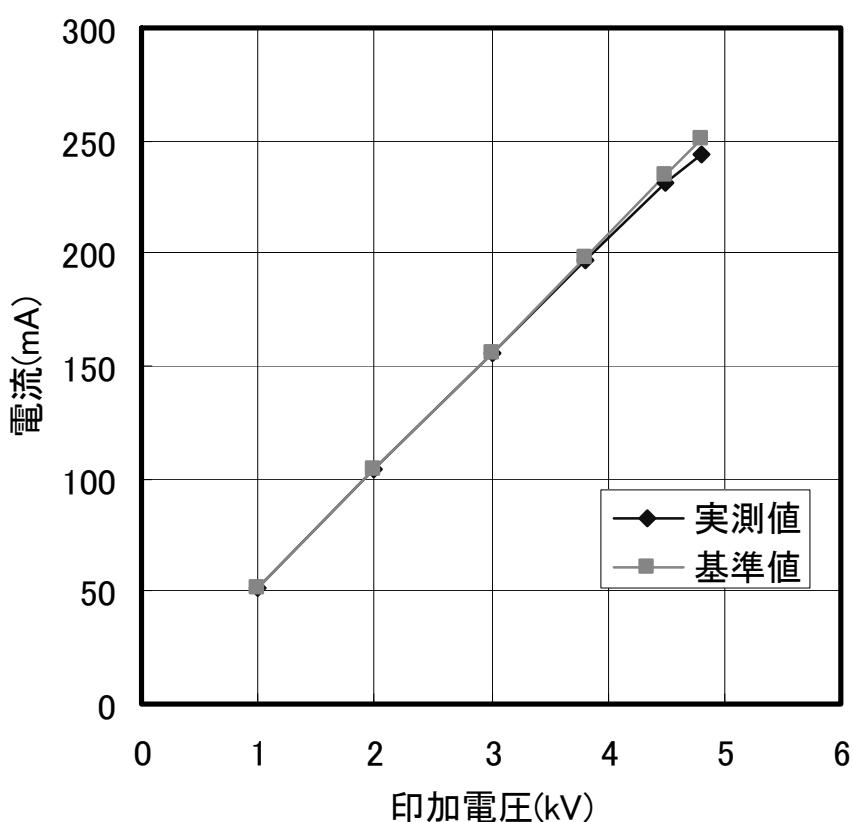


Fig.3.3.8 2号機交流電流試験結果

Table 3.3.9 1号機部分放電試験結果

印加電圧 (kV)	最大放電電荷量 (pC)	基準値	結果
1.0	370	30000 以下	良
2.0	450	30000 以下	良
3.0	530	30000 以下	良
3.8	440	30000 以下	良
4.5	470	30000 以下	良
4.8	560	30000 以下	良

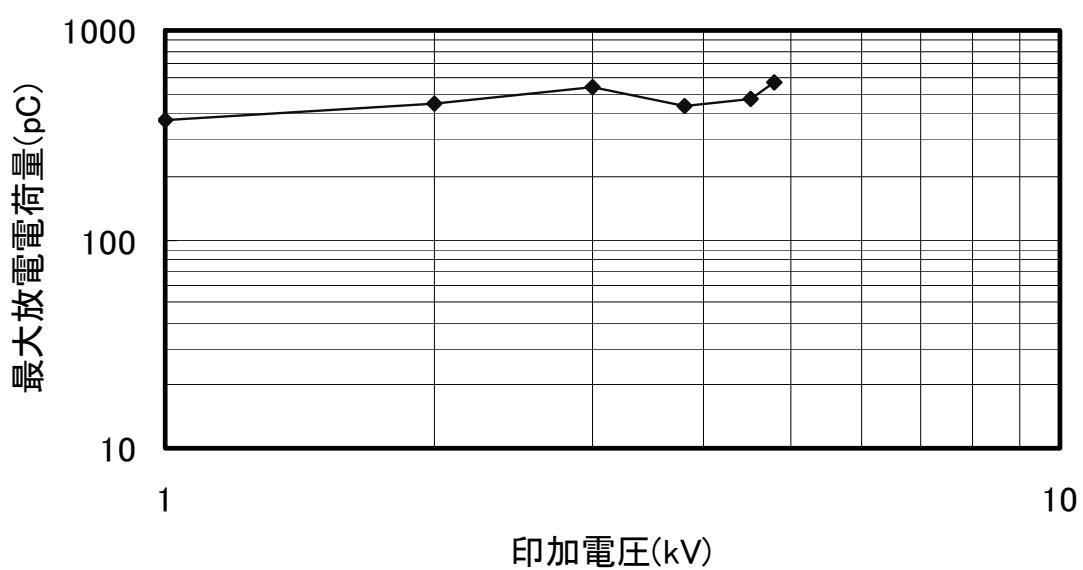


Fig.3.3.9 1号機部分放電試験結果

Table 3.3.10 2号機部分放電試験結果

印加電圧 (kV)	最大放電電荷量 (pC)	基準値	結果
1.0	1200	30000 以下	良
2.0	1400	30000 以下	良
3.0	1400	30000 以下	良
3.8	1200	30000 以下	良
4.5	1200	30000 以下	良
4.8	1200	30000 以下	良

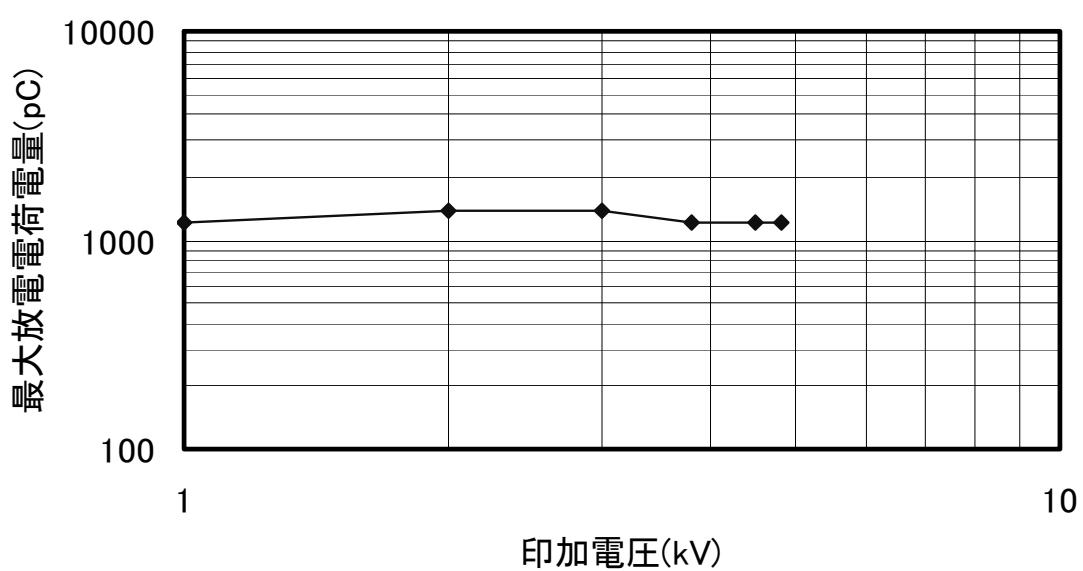
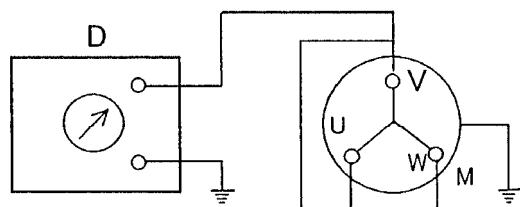


Fig.3.3.10 2号機部分放電試験結果

## 付録 試験体系

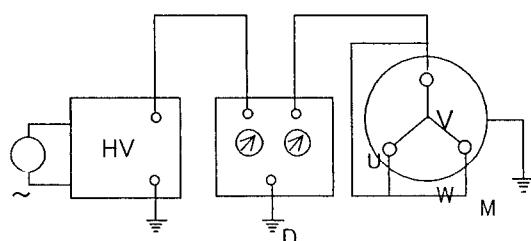
### 絶縁抵抗試験 試験体系



D : 高圧絶縁抵抗測定器  
型式 DAC-HIT-3  
出力 DC1~10kV  
機番 B39-0007  
メーカー 総研電気(株)

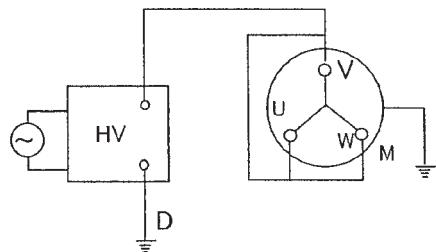
M : 対象機

### 誘電正接試験 試験体系



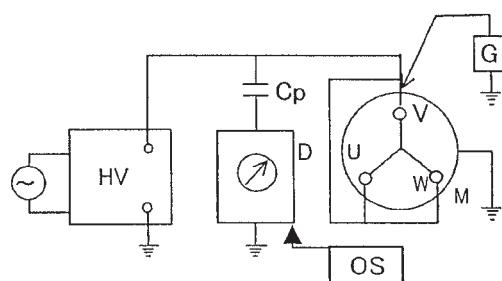
D : 高圧用損失角測定器  
型式 DAC-ASM-6  
測定 AC500V~12kV  
機番 C24-0082 総研電気(株)  
HV: 高電圧発生装置  
M : 対象機

交流電流試験 試験体系



D : 交流電圧電流測定器  
型式 DHC-HIT-3  
測定 12kV, AC0~2000mA  
機番 B39-0007 総研電気(株)  
HV: 高電圧発生装置  
M : 対象機

部分放電試験 試験体系



D : 部分放電測定器  
型式 DAC-PD-3  
機番 F05-0055 総研電気(株)  
G : 部分放電校正器(DAC-CP-2)  
Cp : 部分放電検出器DAC-PDB-2)  
OS: オシロスコープ(DL1540C)  
HV: 高電圧発生装置  
M : 対象機

# 国際単位系 (SI)

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
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$\text{m}^2$
体積	立方メートル	$\text{m}^3$
速さ, 速度	メートル毎秒	$\text{m}/\text{s}$
加速速度	メートル毎秒毎秒	$\text{m}/\text{s}^2$
波数	毎メートル	$\text{m}^{-1}$
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
面積密度	キログラム毎平方メートル	$\text{kg}/\text{m}^2$
比體積	立方メートル毎キログラム	$\text{m}^3/\text{kg}$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$\text{A}/\text{m}^2$
界面の強さ	アンペア毎メートル	$\text{A}/\text{m}$
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	$\text{mol}/\text{m}^3$
質量濃度 <sup>(b)</sup> , 濃度	キログラム毎立方メートル	$\text{kg}/\text{m}^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$\text{cd}/\text{m}^2$
輝屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	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。

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	$\text{sr}^{(c)}$	$1^{(b)}$
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	$\text{m}^2/\text{m}^2$
力	ニュートン	N	$\text{s}^{-1}$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$\text{m kg s}^{-2}$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$\text{N m}$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	$\text{J/s}$
電荷, 電気量	クーロン	C	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	$\text{W/A}$
静電容量	ファラード	F	$\text{C/V}$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$
コンダクタンス	シーメンス	S	$\text{A/V}$
磁束密度	ウェーバ	Wb	$\text{Vs A}^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	$\text{Wb/m}^2$
インダクタンス	ヘンリー	H	$\text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C	$\text{Wb/A}$
光束密度	ルーメン	lm	$\text{cd sr}^{(c)}$
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	$\text{lm/m}^2$
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	$\text{cd}$
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 <sup>(g)</sup>	Sv	$\text{lm/s}^{-1}$
酸素活性	カタール	kat	$\text{cd s}^{-1}$

(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やはヨーロピアンではない。  
(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は表示されない。  
(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、温度差や温度範囲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。

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	バスカル秒	Pa s	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$\text{kg s}^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	$\text{m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	$\text{W/m}^2$	$\text{kg s}^{-3}$
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$\text{m}^3 \text{s}^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	$\text{W/(m K)}$	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	$\text{C/m}^3$	$\text{m}^{-3} \text{sA}$
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	$\text{C/m}^2$	$\text{m}^{-2} \text{sA}$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{A}^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^2$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$\text{kg}^{-1} \text{sA}$
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	$\text{m}^2 \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} = \text{kg s}^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

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	$10^{-21}$	ゼット	z
$10^1$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	y

表5. SI接頭語

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

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=60 s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1\text{ha}=1\text{hm}^2=10^4 \text{m}^2$
リットル	L	$1\text{L}=1\text{dm}^3=10^3 \text{cm}^3=10^{-3} \text{m}^3$
トン	t	$1\text{t}=10^3 \text{kg}$

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で表される数値

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

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	$1\text{bar}=0.1\text{MPa}=100\text{kPa}=10^5 \text{Pa}$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1\text{mmHg}=133.322 \text{Pa}$
オングストローム	Å	$1\text{\AA}=0.1\text{nm}=100\text{pm}=10^{-10} \text{m}$
海里	M	$1\text{M}=1852\text{m}$
バーン	b	$1\text{b}=100\text{fm}^2=(10^{-12}\text{cm})^2=2 \times 10^{-28} \text{m}^2$
ノット	kn	$1\text{kn}=(1852/3600)\text{m/s}$
ネーベル	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリ	Ci	$1\text{Ci}=3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$
伦トゲン	R	$1\text{R}=2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラド	rad	$1\text{rad}=1\text{cGy}=10^{-2} \text{Gy}$
レム	rem	$1\text{rem}=1\text{eSv}=10^{-2} \text{Sv}$
ガンマ	γ	$1\gamma=1\text{nT}=10^{-9} \text{T}$
フェルミ	fm	$1\text{フェルミ}=1\text{fm}=10^{-15} \text{m}$
メートル系カラット		$1\text{メートル系カラット}=200 \text{mg}=2 \times 10^{-4} \text{kg}$
トル	Torr	$1\text{Torr}=(101 325/760) \text{ Pa}$
標準大気圧	atm	$1\text{atm}=101 325 \text{ Pa}$
カリ	cal	$1\text{cal}=4.1858 \text{J} (\text{15}^\circ\text{C} \text{カロリー}), 4.1868 \text{J} (\text{IT} \text{カロリー}), 4.184 \text{J} (\text{熱化学} \text{カロリー})$
ミクロ	μ	$1\mu=1\mu\text{m}=10^{-6} \text{m}$

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
エルステッド	(c)	
キュリ	Ci	$1\text{Ci}=3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$
伦トゲン	R	$1\text{R}=2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラド	rad	$1\text{rad}=1\text{cGy}=10^{-2} \text{Gy}$
レム	rem	$1\text{rem}=1\text{eSv}=10^{-2} \text{Sv}$
ガンマ	γ	$1\gamma=1\text{nT}=10^{-9} \text{T}$
フェルミ	fm	$1\text{フェルミ}=1\text{fm}=10^{-15} \text{m}$
メートル系カラット		$1\text{メートル系カラット}=200 \text{mg}=2 \times 10^{-4} \text{kg}$
トル	Torr	$1\text{Torr}=(101 325/760) \text{ Pa}$
標準大気圧	atm	$1\text{atm}=101 325 \text{ Pa}$
カリ	cal	$1\text{cal}=4.1858 \text{J} (\text{15}^\circ\text{C} \text{カロリー}), 4.1868 \text{J} (\text{IT} \text{カロリー}), 4.184 \text{J} (\text{熱化学} \text{カロリー})$
ミクロ	μ	$1\mu=1\mu\text{m}=10^{-6} \text{m}$

