

HTTR非常用発電機の保守管理と ガスタービンエンジンの分解点検

Maintenance of the Emergency Power Generators
and Overhaul of the Gas Turbine Engines in HTTR

猪井 宏幸 清水 厚志 亀山 恭彦 小林 正一
篠崎 正幸 太田 幸丸 久保 司 江森 恒一

Hiroyuki INOI, Atushi SHIMIZU, Yasuhiko KAMEYAMA, Shoichi KOBAYASHI
Masayuki SHINOZAKI, Yukimaru OHTA, Tsukasa KUBO and Koichi EMORI

大洗研究開発センター
高温工学試験研究炉部

Department of HTTR
Oarai Research and Development Center

October 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

HTTR 非常用発電機の保守管理と ガスタービンエンジンの分解点検

日本原子力研究開発機構
大洗研究開発センター高温工学試験研究炉部
猪井 宏幸、清水 厚志、亀山 恭彦、小林 正一
篠崎 正幸、太田 幸丸、久保 司*、江森 恒一

(2009 年 7 月 23 日受理)

高温工学試験研究炉（以下、HTTR）の原子炉施設の非常用電源設備として、ガスタービンエンジンの非常用発電機が設置されている。非常用発電機の性能の維持管理を目的に、分解点検や保守管理を設備設置時から現在に至るまで実施し、改良、改善を行ってきた。主な改善として、今まで行ってきたガスタービンエンジンの起動時間の監視に、起動時における排気最高温度を追加監視することにより、その劣化の程度を十分に推測できること及び急激な劣化の発生を判断できるようになった。

Maintenance of the Emergency Power Generators and Overhaul of the Gas Turbine Engines in HTTR

Hiroyuki INOI, Atushi SHIMIZU, Yasuhiko KAMEYAMA, Shoichi KOBAYASHI
Masayuki SHINOZAKI , Yukimaru OHTA , Tsukasa KUBO* and Koichi EMORI

Department of HTTR
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 23, 2009)

The emergency power feeders of the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) have gas turbine generators which are composed of gas turbine engines, generators and current breakers. The gas turbine generators have been overhauled and maintained to keep the performance. The maintenance technology was upgraded by improving their parts and surveillance method on the basis of the operational and maintenance experience. It can be clarified that the deterioration levels and the sudden deterioration timing are judged at an early stage by measuring the max exhaust temperature at the time of start in addition to check the starting time of the Gas Turbine Engines.

Keywords: HTTR, Maintenance, Emergency Generator, Gas Turbine, Overhaul

* Kawasaki Machine Systems, Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 設備概要	3
2.1 HTTR の概要	3
2.2 非常用発電機の概要	3
2.2.1 非常用発電機	4
2.2.2 ガスタービンエンジン	5
2.2.3 始動用空気圧縮機	7
2.2.4 始動用空気槽	7
2.2.5 発電機制御盤及び自動始動盤	7
2.2.6 燃料槽	7
3. 保守管理	20
3.1 非常用発電機	20
3.2 ガスタービンエンジン	20
3.3 始動用空気圧縮機	22
3.4 始動用空気槽	22
3.5 発電機制御盤及び自動始動盤	22
3.6 燃料槽	22
4. 保守の実績	32
4.1 定期点検及び改善事項等	32
4.1.1 非常用発電機及び制御盤等	32
4.1.2 ガスタービンエンジン及び始動用空気系統	32
4.2 ガスタービンエンジンの分解点検	34
4.2.1 部品の選定	34
4.2.2 分解点検の工程	34
4.2.3 分解点検の結果	35
4.3 試運転	36
4.3.1 試運転時間の変更	36
4.3.2 試運転における傾向	36
4.4 今後の保守点検計画	36
5. 結言	48
謝辞	48
参考文献	48

Contents

1. Introduction	1
2. The Outline of the HTTR	3
2.1 The Outline of the HTTR	3
2.2 The Outline of the emergency generator	3
2.2.1 The emergency generator	4
2.2.2 The Gas Turbine Engine	5
2.2.3 The Air Compressor for starting	7
2.2.4 The Air Tank for starting	7
2.2.5 The Control Panel of Generator and The Automatic Start Panel	7
2.2.6 Fuel Tank	7
3. Maintenance and Management	20
3.1 The emergency generator	20
3.2 The Gas Turbine Engine	20
3.3 The Air Compressor for starting	22
3.4 The Air Tank for starting	22
3.5 The Control Panel of Generator and The Automatic Start Panel	22
3.6 Fuel Tank	22
4. Results of Maintenance	32
4.1 Regular Maintenance and Improvement	32
4.1.1 The emergency generator and The Control Panel	32
4.1.2 The Gas Turbine Engine and The Air Line for starting	32
4.2 Overhaul of the Gas Turbine Engine	34
4.2.1 Select Parts	34
4.2.2 Process of Overhaul	34
4.2.3 Result of Overhaul	35
4.3 Maintenance Operation	36
4.3.1 Change the Time of Maintenance Operation	36
4.3.2 Tendency of Maintenance Operation	36
4.4 Maintenance Plan for the Future	36
5. Conclusion	48
Acknowledgements	48
References	48

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（原子力機構）大洗研究開発センターに設置されている高温工学試験研究炉（HTTR：High Temperature Engineering Test Reactor）は、高温ガス炉の技術基盤を確立するとともに、将来の実用化に向けた高温ガス炉技術の高度化及び高温工学に関する先端的基礎研究を実施することを主目的とした低濃縮二酸化ウラン被覆燃料粒子を用いる黒鉛減速ヘリウム冷却型の原子炉である^{(1),(2)}。HTTRの基本仕様を第1.1表に示す。HTTRは、定格熱出力30MW、原子炉入口冷却材温度395℃で2つの運転モードがあり、定格運転時の原子炉出口冷却材温度は850℃、高温試験運転時の原子炉出口冷却材温度は950℃である。

HTTRは1998年11月10日に初臨界に達した後、1999年9月から出力上昇試験を開始し、2001年12月7日に定格熱出力30MW及び原子炉出口冷却材温度850℃を達成し^{(3),(4)}、2002年3月6日に実施した定格熱出力30MWからの商用電源喪失試験をもって定格運転における全ての試験検査を終了し使用前検査合格証を取得した。その後、2004年4月19日には原子炉出力30MW及び原子炉出口冷却材温度950℃を達成し^{(5),(6),(7)}、2004年6月24日に高温試験運転に係る使用前検査合格証を受領した。これまでの高温ガス炉の歴史において、950℃という高温の冷却材を原子炉圧力容器外部に取り出すことに成功したのはHTTRが世界で初めてである。

HTTRの非常用電源設備の一つに非常用発電機がある。この非常用発電機は、非常用発電機本体、ガスタービンエンジン、始動用空気圧縮機、始動用空気槽、発電機制御盤及び自動始動盤等から構成され、商用電源の電圧が降下した場合に原子炉の安全な停止及び監視を行うために必要な設備機器等へ電源を供給する機能を有する設備であり、多重性を考慮して2基設置されている。

非常用発電機は、原子炉施設において安全上最も重要な機器の一つであるため、信頼性を確保するために定期的に保守点検を実施してきた。

本報では、HTTRでの非常用発電機の設置以来初めてとなるガスタービンエンジンの分解点検を実施したことから、これまでの保守管理の実績について具体的に纏めた。

第 1.1 表 高温工学試験研究炉 (HTTR) の基本仕様

原子炉熱出力	: 30MW	
燃料	: UO_2 被覆粒子	
燃料体形式	: ブロック型	
炉心構造材	: 黒鉛	
炉心冷却材	: ヘリウムガス	
主冷却ループ数	: 1 ループ (加圧水冷却器及び中間熱交換器)	
1 次冷却材圧力	: 約 4.0MPaG (定格出力時・ヘリウム冷却)	
2 次冷却材圧力	: 約 4.1MPaG (定格出力時・ヘリウム冷却)	
	約 3.5MPaG (定格出力時・加圧水冷却)	
	(定格運転時)	(高温試験運転時)
原子炉入口冷却材温度	: 395°C	395°C
原子炉出口冷却材温度	: 850°C	950°C

2. 設備概要

2.1 HTTR の概要

HTTRの冷却設備系統を**第2.1図**に示す。HTTRの原子炉冷却設備は、通常運転時に原子炉を冷却する主冷却設備（1次冷却設備・2次ヘリウム冷却設備・加圧水冷却設備）、原子炉停止後に原子炉の崩壊熱及びその他の残留熱を除去する補助冷却設備、原子炉圧力容器の周囲に設置した水冷管により1次遮へい体を冷却する炉容器冷却設備の大きく3系統の冷却設備で構成されている。補助冷却設備及び炉容器冷却設備は、工学的安全施設であり原子炉施設の異常時に炉心を冷却する機能を有している。

主冷却設備には、中間熱交換器（IHX：Intermediate Heat Exchanger）及び1次加圧水冷却器（PPWC：Primary Pressurized Water Cooler）の2つの熱交換器があり、IHXの2次側に2次加圧水冷却器（SPWC：Secondary Pressurized Water Cooler）がある。通常運転時に原子炉内から発生した熱の大部分は、これらの熱交換器を経由後、加圧水冷却設備である加圧水空気冷却器（ACL：Air-Cooler）より大気へ放散される。補助冷却設備は、主冷却設備と並列に構成されており、熱交換器として補助冷却器（AHX：Auxiliary Heat Exchanger）がある。原子炉スクラム時の崩壊熱等の残留熱は、補助冷却器を経由後、補助冷却水空気冷却器より大気に放散される。炉容器冷却設備には、原子炉圧力容器の外面から間接的に炉心を冷却するために水冷管パネルが設けられており、1次遮へい体のコンクリート等を冷却し、昇温した水の熱は、熱交換器である炉容器冷却設備冷却器を経由した後、補機冷却水設備の冷却塔より大気へ放散される⁽⁸⁾。

現在、IHXの2次冷却系統は原子炉で発生した熱を大気へと放散する加圧水冷却系統へと接続されているが、将来、ISプロセスによる水素製造設備へ接続することが計画されている。

2.2 非常用発電機の概要

HTTRの電源系統図を**第2.2図**に示す。HTTRの電源系統は、大洗研究開発センターの構内受電所から6.6kVで構内配電線1回線により供給され、常用高圧1母線、常用低圧2母線及び非常用低圧2母線から構成され、常用低圧2母線は常用高圧母線から、非常用低圧2母線は常用高圧母線と非常用発電機から受電している。非常用発電機は、多重性を考慮すると共に、それぞれ独立した非常用低圧母線（非常用低圧母線A、非常用低圧母線B）に1基ずつ（非常用発電機A及び非常用発電機B）設置しており、商用電源の電圧が降下した場合に自動起動するとともに、原子炉の安全な停止及び監視を行うための設備・機器に電力を供給することにより、電力供給の安定を図っている。HTTR非常用発電機の系統図を**第2.3図**及び**第2.4図**に示す。

HTTRは、炉心の出力密度が小さく、炉心構成要素及び炉内構造物の熱容量が大きいこと、全交流動力電源が長時間喪失した場合であっても、炉心、炉内構造物及び原子炉冷却材圧力バウンダリの温度上昇並びに1次冷却材の圧力上昇が緩慢であり、かつ、変化が小さいという高温ガス炉固有の安全性を有しているため、商用電源が喪失した場合等の非常用発電機の起動時間に対する規制上の制約が軽水炉等に比べ厳しくない。このため、HTTRでは、通常の原子炉施設で採用されているディーゼル発電機よりも小型・軽量であり、冷却水が不要等の利点を有しているガスタービン発電機を採用している⁽⁹⁾。ガスタービン発電機とディーゼル発電機の主な比較を**第2.1表**に示す。

HTTR の非常用発電機は、非常用発電機本体（1 台/系統）、ガスタービンエンジン（1 基/系統）、始動用空気槽（2 基/系統）、始動用空気圧縮機（2 台/系統）、発電機制御盤（1 面/系統）及び自動始動盤（1 面/系統）等から構成されており、始動用空気圧縮機によって始動用空気槽に貯留されている圧縮空気が、商用電源喪失時の非常用発電機起動信号により放出され、ガスタービンエンジンのスタータを回しエンジンを始動、これと同時に燃料の供給、着火等が行われ、発電機電圧確立後に各負荷へ電力の供給を行うプログラムとなっている。なお、HTTR では商用電源喪失後約 50 秒以内（基準値）に電圧を確立することが期待されている。

2.2.1 非常用発電機

第 2.2 表に非常用発電機の機器仕様を、第 2.5 図に発電機の構造図を、第 2.3 表に非常用発電機に接続されている主な負荷容量を示す。

HTTR には非常用発電機が 2 基設置されており、商用電源の電圧降下等で自動起動した場合、回転数が定格の 55% に達した段階で DC100V の直流電源により初期励磁を始め、その後、自己の発電を自動電圧調整器（AVR）によって調整しながら界磁し発電する。非常用発電機の負荷投入は、非常用低圧母線の電圧変動を考慮して、7 段階に分けて重要な機器から順次負荷投入を行う。第 2.6 図に HTTR 非常用発電機の自動負荷投入シーケンスを示す。なお、負荷容量は、「消防用設備等の非常用電源として用いる自家用発電設備の出力算定」（消防予第 100 号）に基づいて定常負荷出力係数、許容電圧降下係数、短時間過電流耐力出力係数及び許容逆相電流出力係数を評価して決定されている。

（1）発電機出力の計算

- ① 定常負荷出力係数 RG1 は、発電機端における定常時負荷電流によって定まる係数
- ② 許容電圧降下出力係数 RG2 は、電動機などの始動によって生ずる発電機端電圧降下の許容量によって定まる係数
- ③ 短時間過電流耐力出力係数 RG3 は、発電機端における過渡時負荷電流の最大値によって定まる係数
- ④ 許容逆相電流出力係数 RG4 は、負荷の発生する逆相電流、高調波電流分の関係等によって定まる係数である。

発電機出力：G(kVA)=RG×K（RG は RG1、RG2、RG3、RG4 の最大値）

$$RG1 = 1 / (\eta L \times D \times Sf \times 1 / \cos \theta g)$$

$$RG2 = (1 - \Delta E) / (\Delta E \times Xdg \times Ks / Zm \times M2 / K)$$

$$RG3 = 1 / KG3 \times [d / \eta b \cdot \cos \theta b + (Ks / Zm - d / \eta b \cdot \cos \theta b) \times M3 / K] \times fv1$$

$$RG4 = 1 / K \times 1 / KG4 [(H - RAF)^2 + (\Delta P / \eta \phi \cdot \cos \theta \phi)^2 \times (1 - 3u + 3u^2)]^{1/2}$$

K：負荷の出力合計値（kW）

ηL ：負荷の総合効率

D：負荷の需要率

Sf：不均衡負荷による線電流の増加係数

$\cos \theta g$ ：発電機の定格力率

ΔE ：発電機端許容電圧降下（PU（自己容電ベース））

Xdg：発電機の負荷投入時の電圧降下を考慮したインピーダンス

K_s : 負荷の始動方式による係数
 Z_m : 負荷の始動時インピーダンス
 M_2 : 始動時の電圧降下が最大となる負荷の出力 (kW)
 KG_3 : 発電機の短時間(15 秒)過電流耐力
 d : ベース負荷の需要率
 η_b : ベース負荷の効率
 $\cos \theta_b$: ベース負荷の力率
 M_3 : 短時間過電流耐力を最大とする負荷の出力 (kW)
 f_{v1} : 瞬時回転数低下・電圧降下による投入負荷減少係数
 KG_4 : 許容逆相電流
 H : 高調波分電力
 RAF : アクティブフィルタ効果容量 (kVA)
 ΔP : 単相負荷不平衡合計出力値 (kW)
 η_ϕ : 単相負荷の効率
 $\cos \theta_\phi$: 単相負荷の力率
 u : 単相負荷不平衡係数

容量算出結果を第 2.4 表に示す。

2.2.2 ガスタービンエンジン

第 2.5 表にガスタービンエンジンの機器仕様を、第 2.7 図にガスタービンエンジンの概略構造図を示す。また、ガスタービンエンジンの自動始動・停止タイミングを第 2.8 図に示す。発電機の駆動源であるガスタービンエンジンは、2 台のエンジンで出力軸を一つとするツインエンジンが採用されているため、エンジン単体としては HTTR に 4 台設置されている。発電機の駆動源であるガスタービン機関は、主燃料ポンプ、始動用燃料ポンプ、メイン燃料電磁弁、プライマリ燃料電磁弁、バイパス燃料電磁弁、アクチュエータ、ターニングモータ、潤滑油冷却ファン、換気ファン、減速機、ガスタービンエンジン等から構成されている。

商用電源喪失等の停電により非常用発電機の起動信号が発信すると、まず、始動用空気槽に貯留されている圧縮空気を調速弁（減圧弁）により減圧させ、スタータに送りエンジンに動力を与えると、1 段インペラ及び 2 段インペラにより外気を吸引・圧縮（遠心式）して燃焼筒に圧縮空気（定常回転数で約 6kPa）を送る。これと同時に、主燃料ポンプ（エンジン駆動）及び始動用燃料ポンプ（エンジン駆動クラッチ付き）も回転し、プライマリ燃料電磁弁が開いて燃料を燃焼室に噴射し、点火プラグによる点火が行われる。この時、メイン燃料電磁弁は閉、バイパス燃料電磁弁は開となっている。回転数が 22%に達すると、バイパス燃料電磁弁は閉、メイン燃料電磁弁は開となり、エンジンの回転数を加速させ、回転数 55%に達した時点で始動用燃料ポンプの停止（クラッチの切離し）、始動用空気の供給停止及び点火プラグによる点火の停止が行われる。よって、回転数 55%以降はエンジンとして自立している状態である。通常、回転数は 30～35 秒で 100%に達するため、35 秒経過時点でエンジンが自立できていない状態（55%に達していない状態）であれば、始動渋滞としてエンジンは停止する。また、起動指令後エンジン回転数が 22%を越えてから 7 秒以内に排気温度が 240 度を超えない場合、燃焼不良と判断し、始動渋滞としてエンジンは停止するプログラムになっている。燃焼は、燃焼室上部

にあるスワラー（羽）により燃焼室内でスワール渦を発生させ、第 1 穴、第 2 穴及び希釈穴より空気を取り入れながら燃焼し、その燃焼温度は最大で 1000℃近い高温となる。この燃焼ガスは、スクロールにより第 1 段タービンノズルに導かれ、整流された後、第 1 段タービンプレードに動力を与える（軸流式）。同様に、第 2 段、第 3 段と動力を与えた後排気され、その排気温度は約 300℃（無負荷運転時）となる。なお、排気温度については、1 つのエンジンに対して 4 カ所測定（原子力仕様として 2 重化している）しており、まず、2 カ所ずつについて大きい値を算出し、さらに算出された 2 つの温度のうち、大きい値を出力するようになっている。なお、原動機容量は、「消防用設備等の非常用電源として用いる自家用発電設備の出力算定」（消防予第 100 号）に基づいて定常負荷出力係数、許容回転数変動出力係数及び許容最大出力係数を評価して決定されている。

（1）原動機出力の計算

- ①定常負荷出力係数 RE1 は、定常時の負荷によって定まる係数
- ②許容回転数変動出力係数 RE2 は、過渡的に生ずる負荷急変に対する回転数変動の許容量によって定まる係数
- ③許容最大出力係数 RE3 は、過渡的に生じる最大値によって定まる係数

原動機出力：E(PS)=1.36×RE×K（RE は RE 1、RE 2、RE 3 の最大値）

$$RE\ 1=1/\eta\ L\times D\times 1/\eta\ g$$

$$RE2=1/\varepsilon\times fv2/\eta\ g'\times[(\varepsilon-a)\times d/\eta\ d+\{ks/Zm\times\cos\theta\cdot s-(\varepsilon-a)\times d/\eta\ b\}\times M2/K]$$

$$RE3=1/\gamma\times fv3/\eta\ g'\times[d/\eta\ b+(ks/Zm\times\cos\theta\cdot s-d/\eta\ b)\times M3/K]$$

K：負荷の出力合計（kW）

$\eta\ L$ ：負荷の総合効率

D：負荷の需要率

$\eta\ g$ ：発電機の効率

ε ：原動機の無負荷投入許容量（PU）

fv2：瞬時回転数低下、電圧降下による投入負荷減少係数

$\eta\ g'$ ：発電機短時間過負荷時効率

a：原動機の仮想全負荷時投入許容量（PU）

d：ベース負荷の需要率

$\eta\ b$ ：ベース負荷の効率

ks：負荷の始動方式による係数

Zm：負荷の始動時インピーダンス

$\cos\theta\cdot s$ ：負荷の始動時力率

M2：負荷投入時の回転数変動が最大となる負荷の出力（kW）

γ ：原動機の短時間最大出力（PU）

fv3：瞬時回転数低下、電圧降下による負荷減少による係数

M3：負荷投入時に原動機出力を最大にする負荷の出力（kW）

容量算出結果を第 2.6 表に示す。

2.2.3 始動用空気圧縮機

第 2.7 表に始動用空気圧縮機の機器仕様を示す。HTTR には非常用発電機の始動用空気圧縮機として各系統に 2 台ずつ設置されており、各系統に 2 基ある始動用空気槽に空気を充填する。始動用空気圧縮機は、オイルフィルタを通して大気を吸入・2 段式の圧縮を行っており、通常、始動用空気槽の圧力が 2.65MPa まで低下すると自動起動し、2.94MPa まで昇圧し自動停止する。また、始動用空気槽の圧力低警報については、1.48MPa で発報し 1.76MPa で復帰する。なお、圧縮機は、通常の待機状態である約 3 MPa から連続 3 回起動後、6 時間以内に充気できるものを採用している。

2.2.4 始動用空気槽

第 2.8 表に始動用空気槽の機器仕様を示す。始動用空気槽は、各系統に 8m³ タンクが 2 基ずつ設置されており、常時約 3MPa の圧縮空気が充填され、通常は片側 1 基（連続 3 回起動可能）を使用状態とし、もう 1 基は待機としている。また、始動用空気槽は、2 基のタンクで非常用発電機を約 7 回起動できる空気を貯蔵しており、通常の 1 基待機の状態から 3 回の連続起動を行った場合の残圧は 1.5MPa（起動 1 回に必要な空気量：約 40N m³）となる。なお、待機側の 1 基は、自動起動に失敗した場合でも人の手によって直ぐに調査・起動を行えるためのものである。

発電機の起動指令が発信した場合、空気始動弁が開き、調速弁（減圧弁）により空気槽の圧力を適度（約 0.9MPa）に減圧しながらスタータへ圧縮空気を送り、エンジンに動力を与え、回転数が 55% に達した段階で空気始動弁を閉め、圧縮空気の供給を停止する。なお、供給された圧縮空気は、非常用発電機ガスタービンエンジンのパッケージ内に放出された後、換気ファンによりパッケージ外に送られガスタービンエンジンの排気ガスと合流して建家外へ放出される仕組みになっている。

2.2.5 発電機制御盤及び自動始動盤

発電機制御盤及び自動始動盤は各系統に 1 面ずつ設置されており、発電機制御盤は、発電機の起動・停止や各種補機類の起動・停止を行うものである。制御盤内の ECB（エンジンコントロールボックス）では、ガスタービンエンジンの運転状態を監視・制御し、異常があった場合には停止させる機能を有している。自動始動盤は、遮断器の開・閉操作並びに発電機全体の保護継電器動作及び警報の表示をしている。

2.2.6 燃料槽

主燃料槽及び燃料小出槽が各系統に 1 槽ずつ設置されており、また、燃料移送ポンプが各系統に 2 台ずつ設置されている。主燃料槽は、1 槽で 100,000ℓ の容量を有しており、発電機の 100% 出力時においても非常用発電機を無給油で 3.3 日間運転可能である。燃料は、燃料小出槽から燃料移送ポンプにより燃料小出槽（容量：1 槽 1,950ℓ）に送られ、圧力差により燃料小出槽からガスタービンエンジンへ送られる。なお、燃料移送ポンプの起動・停止は、通常、燃料小出槽の燃料量により自動で行われている。

第 2.1 表 ガスタービン発電機とディーゼル発電機との対比

対比項目		ガスタービン発電機	ディーゼル発電機
起 動 特 性	起動方法	圧縮空気	
	起動時間	電圧確立まで 40 秒以内	軽水炉の実績で 10 秒以内
	負荷投入率	100%投入可能（1 軸式）	100%（無過給式）～ 50%（高過給式）
	電圧変動（定常時）	±0.5%程度	±1.5%程度
	周波数変動（定常時）	±0.5%程度	±3%程度
	回転数変動率	100%負荷投入時 ±5%程度	60～70%負荷投入時 ±10%程度
	起動信頼性	ディーゼルと同等	高い
	繰返し起動	短時間での繰返し起動は不可	多くても可
	低温起動	A 重油使用で約－10℃で可能	A 重油使用で約－5℃で可能
	無負荷運転	無負荷長時間運転が可能	無負荷・軽負荷の連続運転が不可能
構 造	寸法・重量	小型・軽量	大型・重量
	構造	単純構造、部品点数 少	複雑構造、部品点数 多
	設置スペース	小(ディーゼルの 7 割程度)	大
そ の 他	騒音	高周波、低振幅	低周波、大振幅
	振動	高速回転運動・振動小	ピストン往復運動・振動大
	排気ガス	NO _x ,SO _x ともに 100ppm 程度	NO _x -500ppm,SO _x -100ppm 以上
	燃料消費量	ディーゼルより大	ガスタービンより小
	冷却水の要否	不要	必要
	使用実績	原子炉では希、ビル等で使用	軽水炉等で使用

第 2.2 表 非常用発電機の機器仕様

型 式		T2500-BER (ガスタービン駆動同期型)
定格出力		2500kVA
定格電圧		460V
定格電流		3138A
定格力率		0.8
極 数		4 極
回 転 数		1500rpm
励 磁 機	形 式	CFC-D (ブラシレス方式)
	出 力	30kW
	電 圧	170V
	電 流	176A

第 2.3 表 非常用発電機の主な負荷容量

設備名	非常用負荷容量	
	A 系統	B 系統
補助ヘリウム循環機	40kVA	40kVA
炉容器冷却設備 循環ポンプ	15kW	15kW
非常用空気浄化設備	21kW	21kW
補機冷却水設備 循環ポンプ	110kW	110kW
制御用空気圧縮設備	47kW	47kW
直流電源設備 充電器	84.7kVA	84.7kVA
計算機用交流無停電 電源装置	197kVA	197kVA
電気設備室系 換気空調装置送風機	185kW	185kW
空調用冷水装置 I 冷水ポンプ	75kW	75kW
空調用冷水装置 I 冷凍機	350kW	350kW

第 2.4 表 発電機の容量算出結果

	非常用発電機 A	非常用発電機 B
定常負荷出力係数(RG1)	1.473	1.472
許容電圧降下出力係(RG2)	0.979	0.979
短時間過電流耐力出力係数(RG3)	1.353	1.350
許容逆相電流出力係数(RG4)	0.272	0.268
負荷の出力合計(K)	1581.8	1575.3
発電機出力 (G (kVA))	2330.0	2318.9

第 2.5 表 ガスタービンエンジンの機器仕様

形 式	単純開放サイクル 1 軸式
出 力	3600PS(15℃)、3150PS(40℃)
回転数	タービン主軸 22000rpm 出 力 軸 1500rpm
使用燃料	A 重油 (1 種 1 号 JIS-K-2205)
使用潤滑油	合成基油 (AERO SELL ASTO-500)
始動方式	圧縮空気式
冷却方式	空 冷 式

第 2.6 表 原動機の容量算出結果

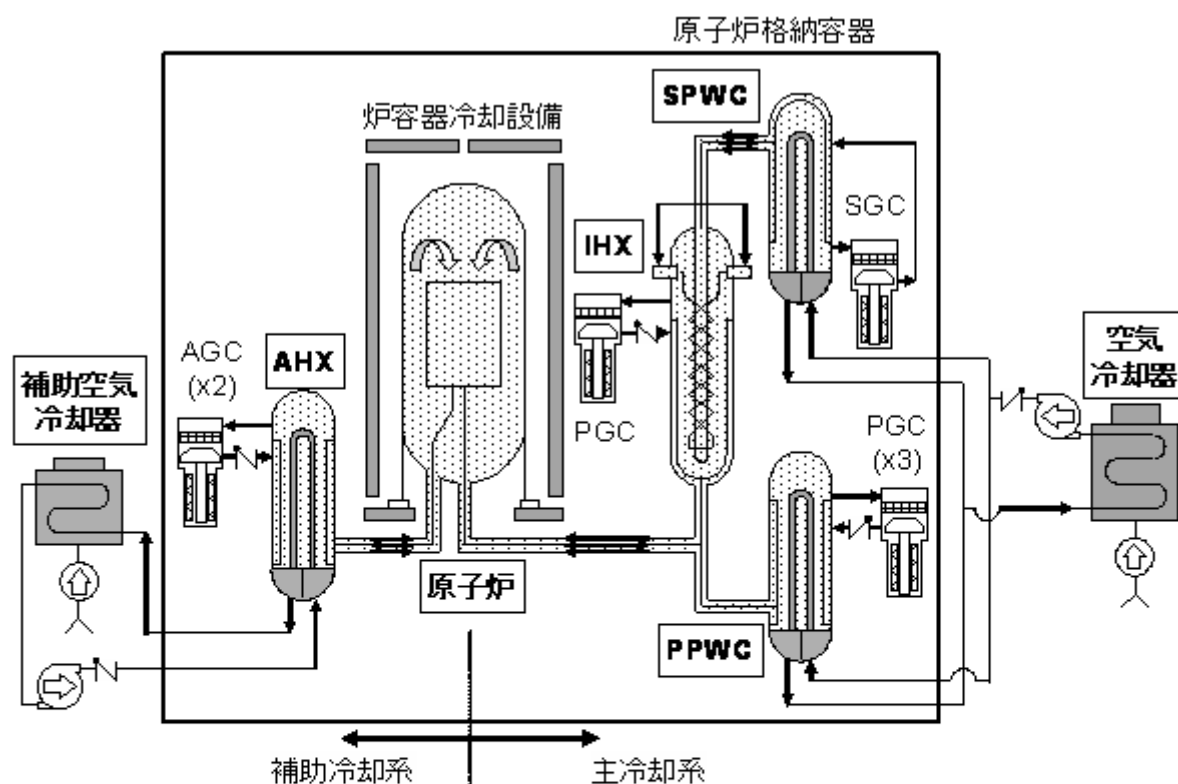
	非常用発電機 A	非常用発電機 B
定常負荷出力係数(RE1)	1.208	1.207
許容回転数変動出力係数(RE 2)	0.503	0.488
許容最大出力係数(RE 3)	1.415	1.413
負荷の出力合計(K)	1581.8	1575.3
原動機出力 (E (PS))	3044.1	3027.3

第 2.7 表 始動用空気圧縮機の機器仕様

型番	LHC-254A	
型式	縦型空冷式 2 段圧縮	
筒数	2	
筒径	127.0mm	
	107.95mm	
ストローク	101.6mm	
圧力(Max)	30kg/cm ² G	
回転数(Max)	620rpm	
容量(Max)	95.4 m ³ /h	
所要動力(Max)	15kW	
空気弁	1 段側	VE-5100A
	2 段側	吸入弁 VP-1200C-S 吐出弁 VP-1200C-D
アンローダ・型式	電磁弁による大気放出型	
潤滑方式	トロイット・ポンプによる強制給油	
吸入フィルター型式	オイルパス式	
空気出口径	25A	
フライング外径	φ 610mm	
ブローバルト (型×数)	B-4	
本体重量	約 360kg	

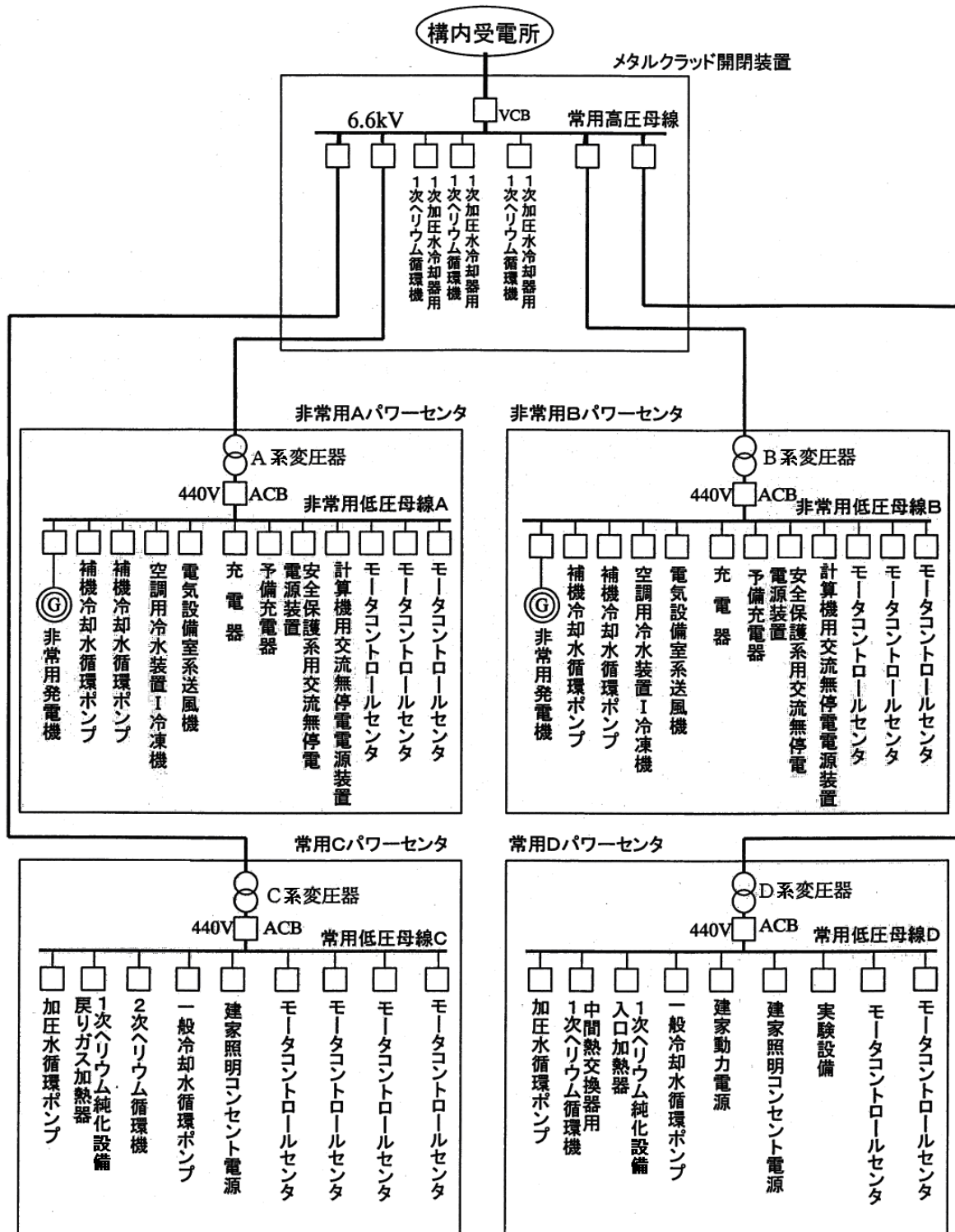
第 2.8 表 始動用空気槽の機器仕様

形式	屋内たて置円筒式
容量	8 m ³
種別	第 4 種容器
使用圧力	30 kg/cm ² G(3MPaG)

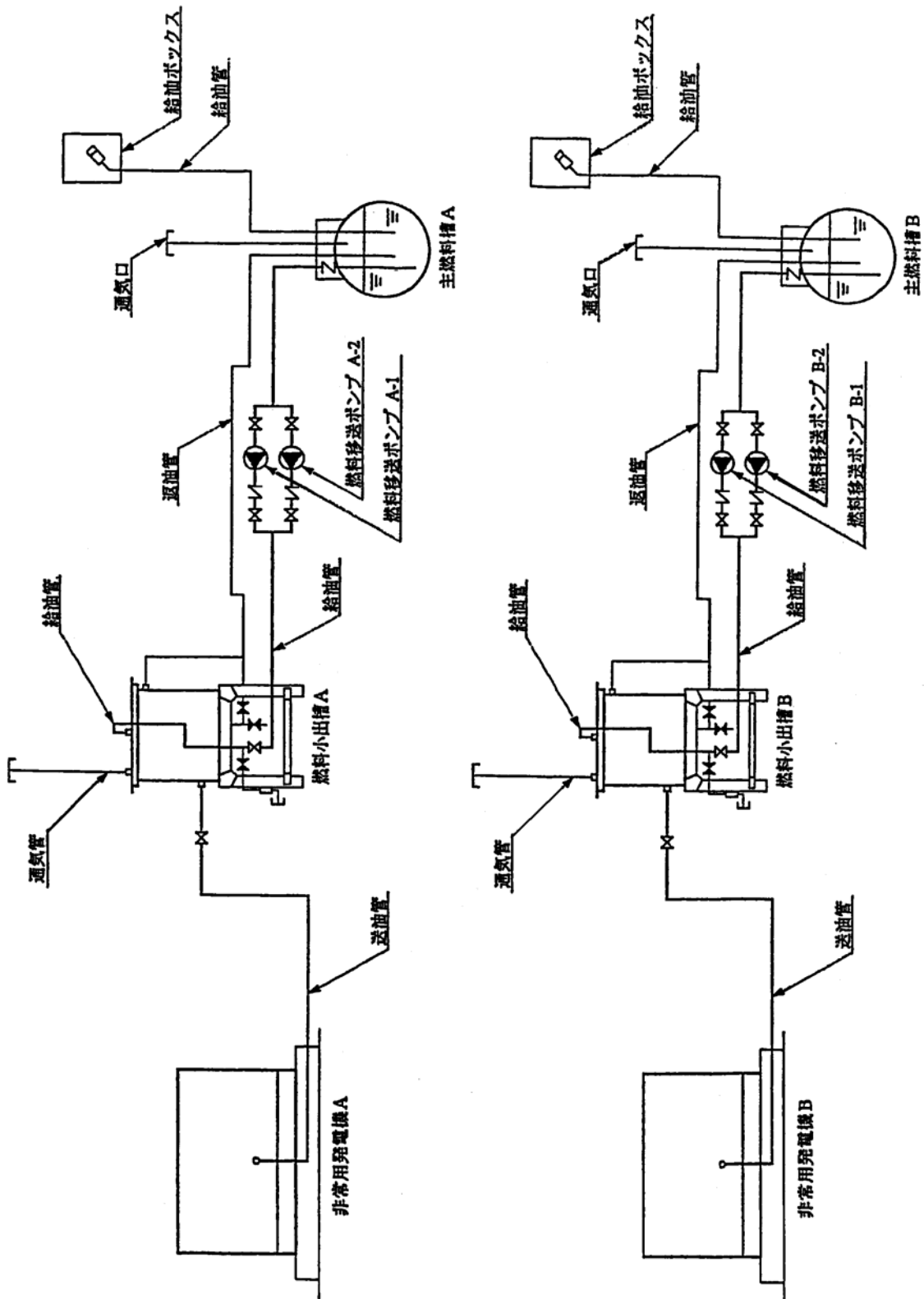


IHX : 中間熱交換器
 PPWC : 1次加圧水冷却器
 PGC : 1次ヘリウム循環機
 SPWC : 2次加圧水冷却器
 SGC : 2次ヘリウム循環機
 AHX : 補助冷却器
 AGC : 補助ヘリウム循環機

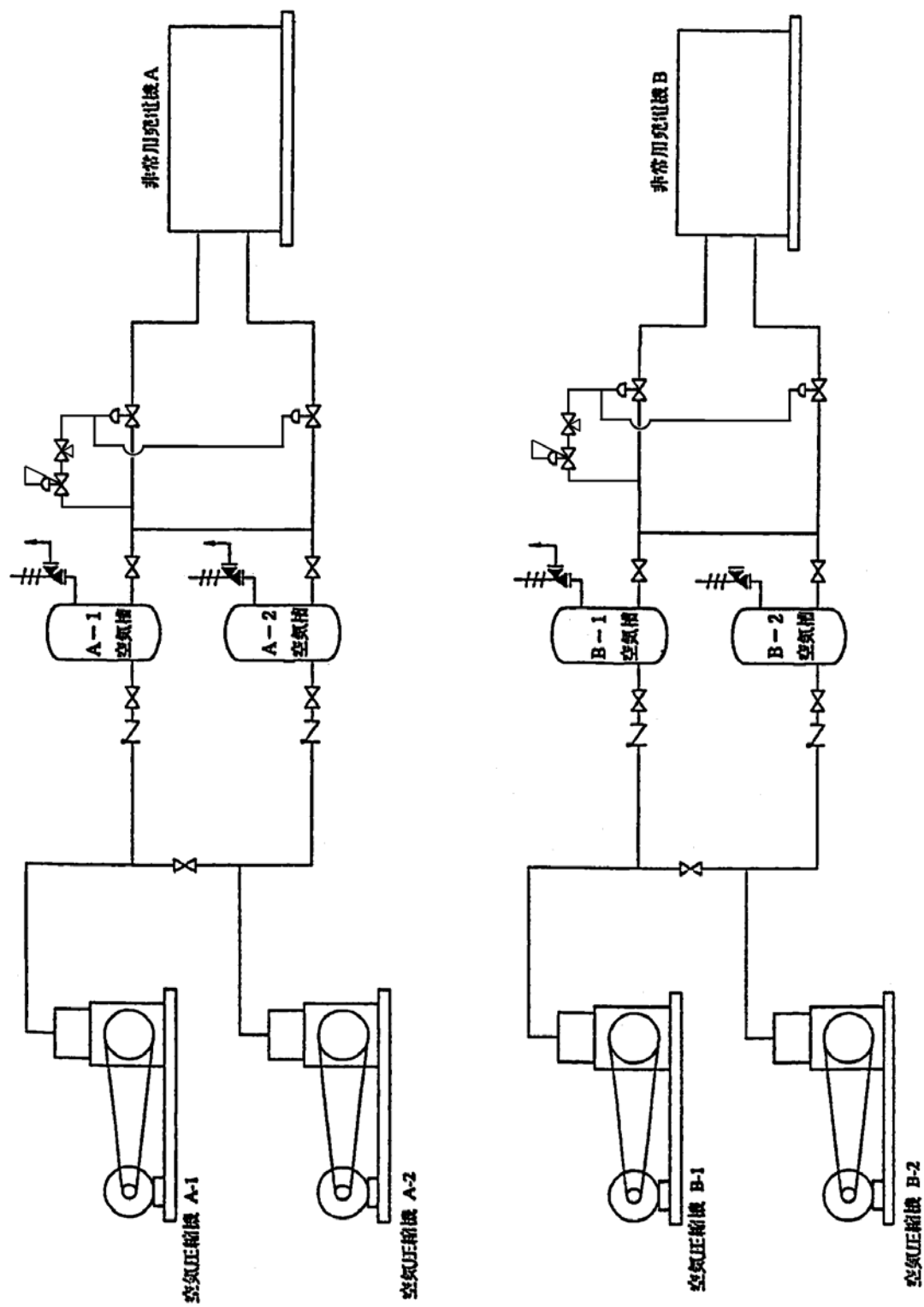
第 2.1 図 HTTR の冷却設備系統



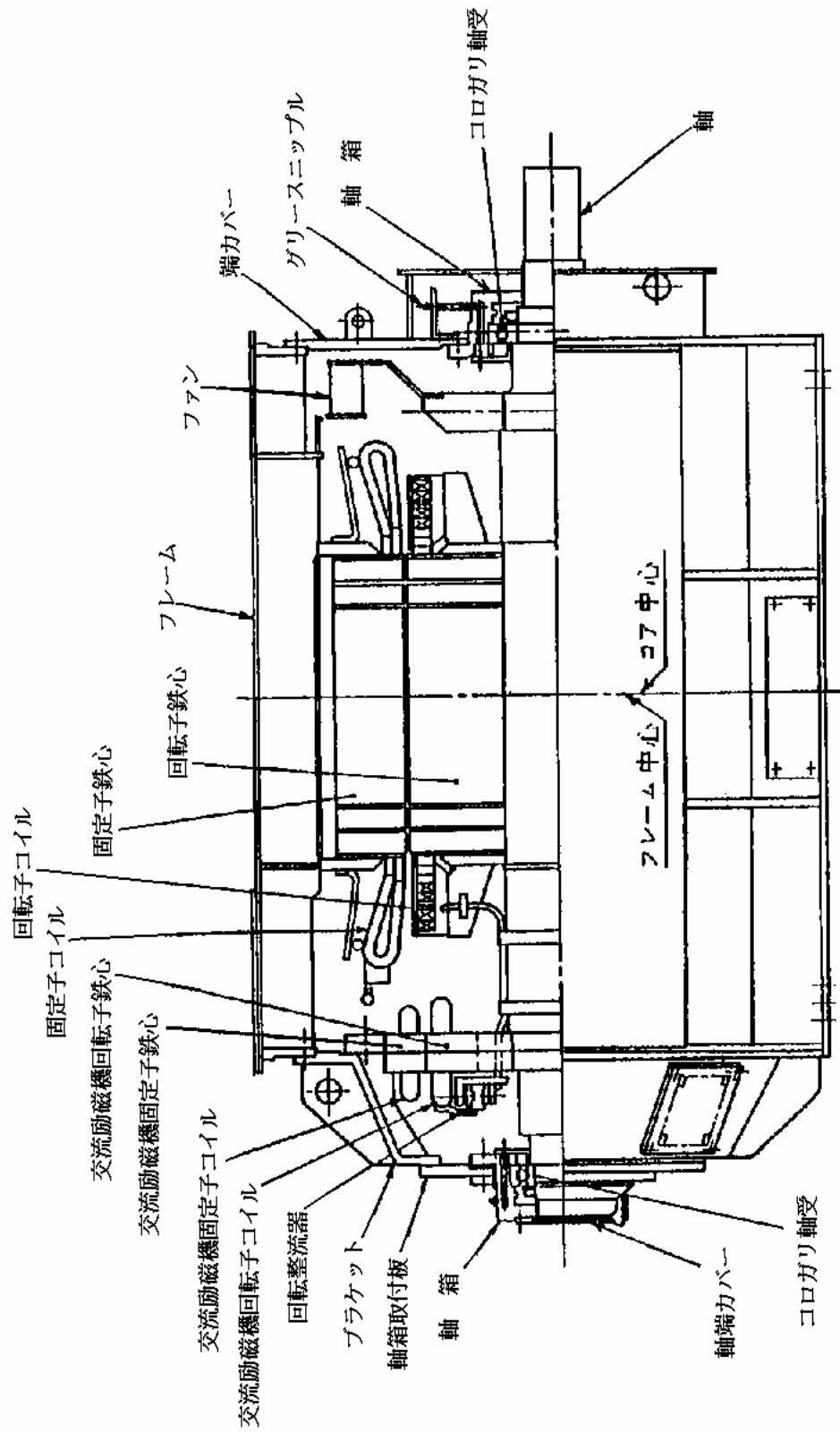
第 2.2 図 HTTR の電源系統図



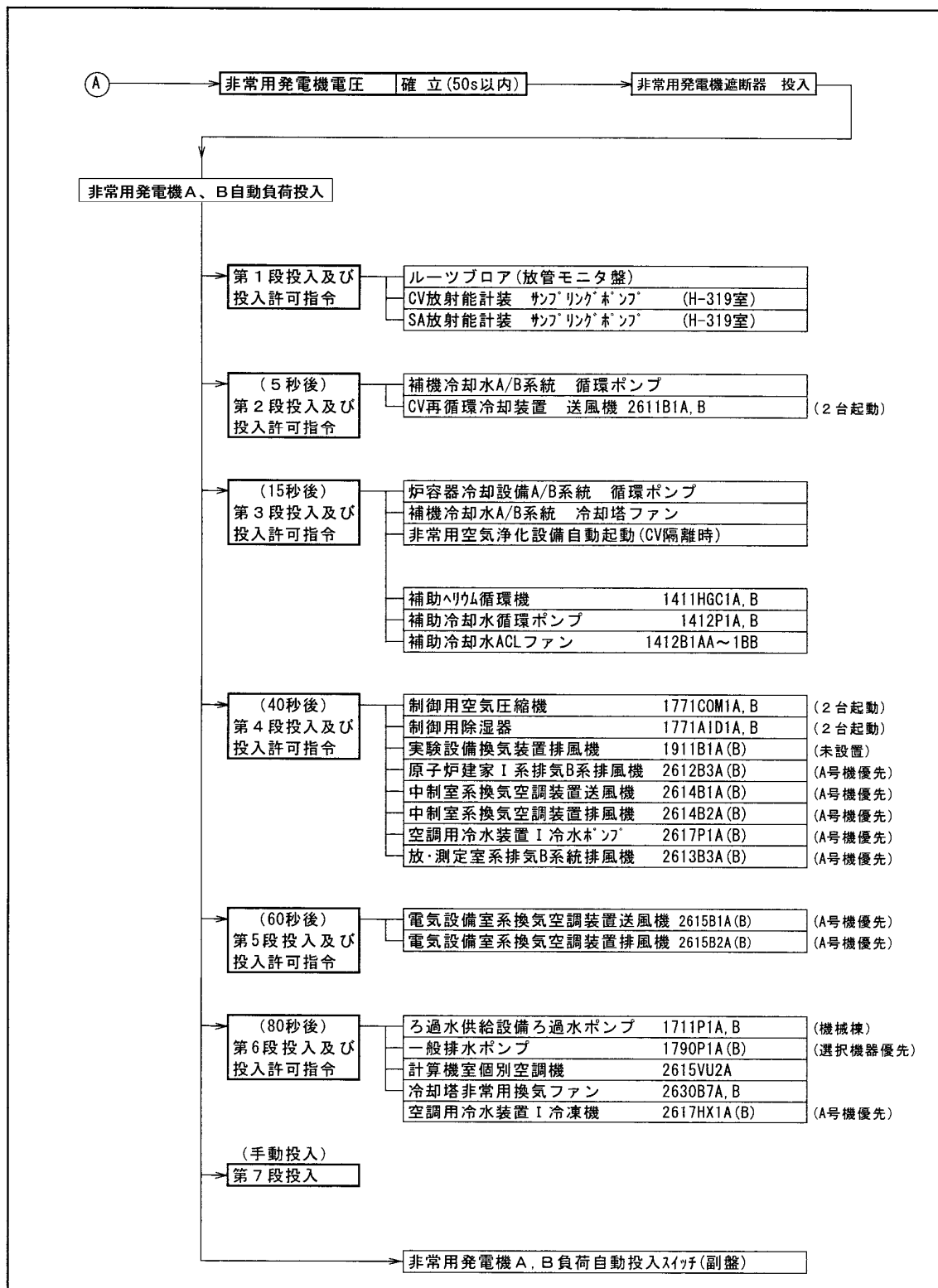
第2.3図 非常用発電機の系統図 (燃料系統)



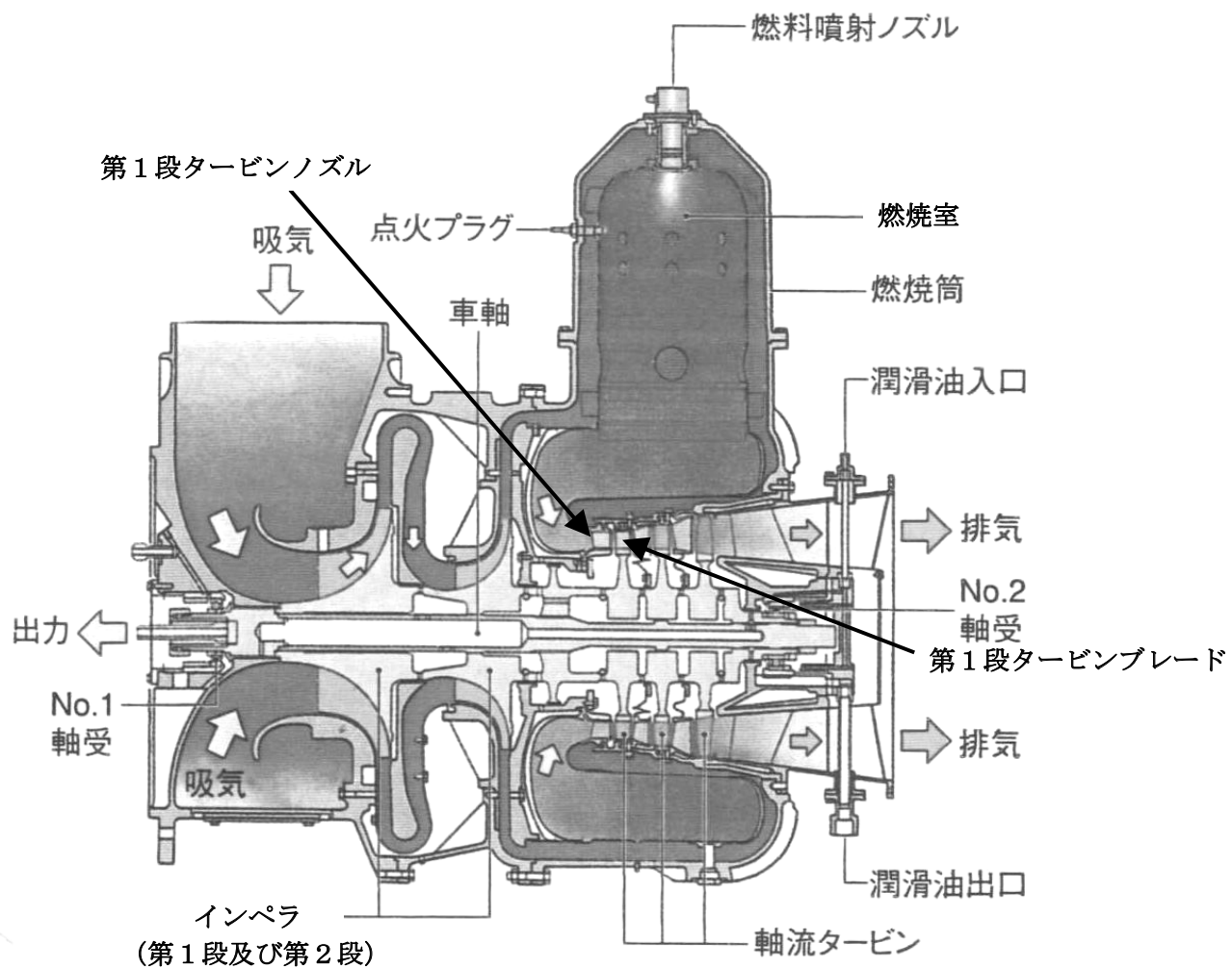
第2.4図 非常用発電機の系統図（始動用空気系統）



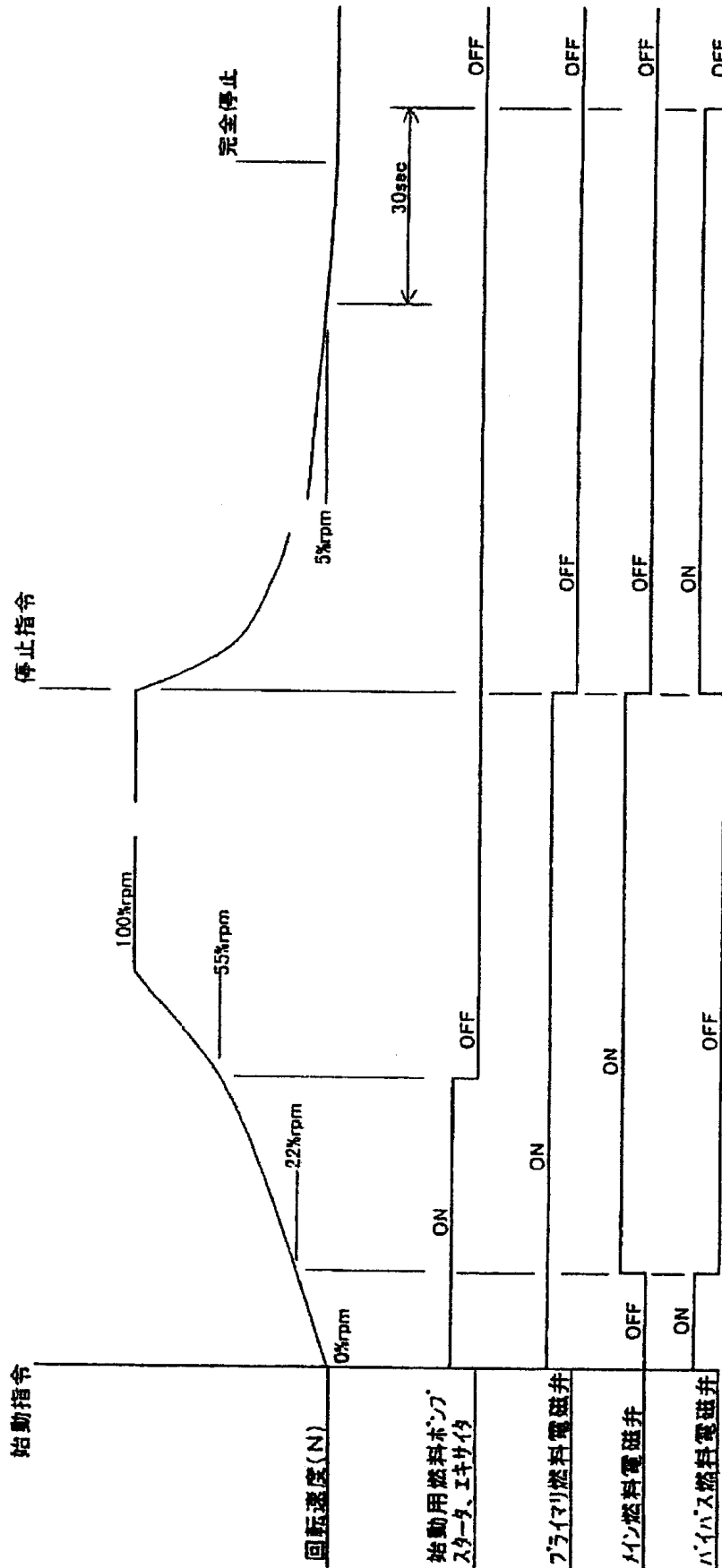
第2.5図 発電機の構造図



第 2.6 図 HTTR 非常用発電機の自動負荷投入シーケンス



第 2.7 図 ガスタービンエンジンの概略構造図



第 2.8 図 ガスタービンエンジンの自動始動・停止タイミング

3. 保守管理

非常用発電機は、発電機本体、ガスタービンエンジン、始動用空気圧縮機、始動用空気槽、発電機制御盤及び自動始動盤等から構成され、商用電源の電圧が降下した場合に原子炉の安全な停止及び監視を行うために必要な設備機器等へ電源を供給する機能を有する設備であり、原子炉施設において安全上最も重要な機器の一つであるため、その信頼性を確保するために定期的に保守点検を実施している。また、施設定期検査及び施設定期自主検査等において、商用電源遮断後、非常用発電機が自動起動し、電圧確立後の送電中ランプの点灯が 50 秒以内であることを確認している。保守管理に関する内容は以下のとおりである。

3.1 非常用発電機

発電機本体の保守管理として、軸受点検・固定子点検・回転子点検・励磁機点検等がある。以下に通常点検項目を示す。また、発電機の推奨部品交換周期を第 3.1 表に示す。

(1)軸受点検

軸受部からのグリースの漏れやブラケットに異常がないかを目視で確認し、また、軸受廻りのボルトの弛みがないかを点検する。

(2)固定子点検

コイル部の油・塵埃による汚れやコイルエンド部の変形・変色の有無を目視で確認し、また、コイル締付け紐の弛み・切断の有無、各部締付けボルトの弛みを点検し、内部清掃、コイルスペースヒータの絶縁抵抗測定を行う。

(3)回転子点検

コイルの汚損・変色の有無を目視で確認し、また、ファンの締付けボルトやバランスウェイトの弛み点検、清掃、絶縁抵抗測定を行う。

(4)励磁機点検

各リード線の損傷・断線の有無、コイルの変色・変形の有無を目視で確認し、また、各部締付けボルトの弛み点検、絶縁抵抗測定を行う。

(5)その他の点検

端子部の絶縁状態の目視確認、接地端子の弛み確認及び空隙測定を行う。なお、発電機運転中に、異音・振動・軸受温度を測定し、異常のないことを確認する。

3.2 ガスタービンエンジン

ガスタービンエンジンの保守管理として、ガスタービン点検・軸継手点検・燃料系統点検・潤滑油系統点検・起動系統点検・制御機器点検・吸排気系統点検・点火系統点検・計器類点検・ボルト類点検及び総合試験運転による点検等がある。以下に通常点検項目を示す。また、ガスタービンエンジンの推奨保守点検整備基準を表 3.2 に示す。

(1)ガスタービン点検

ベルマウスやインペラーの油による汚損、オイルシールからの油漏れの有無、タービンプレード及び排気筒の汚損・固形物による打痕及び損傷の有無を確認し、また、燃焼器ライナーの汚損・クラック等の有無を確認する。

(2) 燃料系統点検

燃料小出槽への水分混入の有無や小出槽内部の発錆状況の目視確認、移送ポンプ・燃料小出槽加温ヒータのシーケンス確認、始動用燃料ポンプ・主燃料ポンプ・ガバナアクチュエータ・フューエルコントローラの見視点検及び作動確認、メイン燃料電磁弁・プライマリ燃料電磁弁・バイパス燃料電磁弁の絶縁抵抗測定及び開閉音の確認、燃料噴射弁の噴霧テスト、フロースイッチの作動確認、燃料配管・テープヒータの電圧・電流測定及び触手点検、プレッシャーライジングバルブの起動時燃料圧力の測定を行う。また、スピンドルフィルタ・燃料フィルタを新品と交換する。

(3) 潤滑油系統点検

潤滑油ポンプ・ガバナ用オイルポンプの見視点検及び作動確認や圧力調整弁の圧力及び作動確認、温度調整弁・サーモカップルの開閉作動点検、オイルクーラの見視点検、油圧「低」用圧力スイッチの動作確認及び潤滑油量確認を行う。また、潤滑油フィルタを新品と交換する。

(4) 始動系統点検

ターニングモータのタイマー設定及び作動の確認、エアスタータモータの見視及び作動点検、起動弁ユニットの清掃及び作動確認を行う。

(5) 軸継手点検

カップリングラバーの汚損・劣化及びクラック等の有無やカップリングボルトの弛み・脱落及び発錆等の有無を見視で確認している。

(6) 点火系統点検

エキサイターの焼損の有無、エキサイターキャップの発錆及び焼損の有無、スパークプラグの清掃及びスパークの見視確認を行う。

(7) 制御機器点検

回転計用ピックアップ・制御用ピックアップについて、絶縁抵抗測定及び接続部の弛み確認、排気温度サーモカップルの絶縁抵抗測定、DC/DC コンバータの入力及び出力電圧の確認及び各コネクタの弛み確認を行う。

(8) 計器類点検

始動用空気ラインの圧力計校正を行い、その他の計器（油圧計、油温計、回転計、排気温度計、起動回数計、運転時間計）については、運転中に基準値を示し、停止中は0点等示すことを確認する。

(9) 吸排気系統点検

吸気ルート・吸気ダクト・排気ダクト・排気サイレンサーの見視点検、防火ダンパーの清掃及び作動状況確認、吸気及び排気ファンの自動起動・自動停止・軸受け部の発熱の有無の確認を行う。

(10) ボルト類点検

パッケージ、自動始動盤、発電機制御盤、発電機、減速機、防振ゴム、燃料小出槽、主燃料槽、空気圧縮機、始動用空気槽、燃料移送ポンプ、排気サイレンサーの基礎ボルトの弛み及び発錆の有無の点検を行う。

(11) 総合試験運転

保護装置の作動試験、ECB の作動状態確認及び発電機の起動・停止時間、最高排気温度及び運転中の排気温度等の測定を行う。

3.3 始動用空気圧縮機

潤滑油交換を行い、分解点検として1段及び2段ピストンリング・1段バルブ Ass'y・2段サクシオンバルブ Ass'y・2段デリベルバルブ Ass'y・油面計・Vベルト等の消耗品交換を行う。

3.4 始動用空気槽

安全弁の分解点検、空気槽圧力計・圧縮機発停用圧力スイッチ及び空気槽圧力低警報用圧力スイッチの校正を行い、また、定期的に空気槽の開放点検を行う。

3.5 発電機制御盤及び自動始動盤

盤内の清掃・増締め・目視点検、各種絶縁抵抗測定、盤面の計器校正及び計器単品試験、タイマー時限計測、保護継電器点検、起動・停止シーケンス確認、保護装置及び警報装置試験、電圧調整範囲の確認調整、運転緒元計測を行う。また、発電機制御盤及び自動始動盤の推奨部品交換周期を第3.3表に示す。

3.6 燃料槽

主燃料槽の液面計の指示値確認・マンホール内状態確認、燃料小出槽のドレン抜き・水分混入の確認・フィルタ交換・液面スイッチの外観・作動点検、燃料移送ポンプの自動起動・停止シーケンス確認及び漏洩確認を行う。

第 3.1 表 発電機の推奨部品交換周期

No.	部品名称	型 番 等	推奨交換周期
1	ブラシス励磁機用ダイオード	FD250DM-20	15 年（点検結果による）
2	保護抵抗(バリスタ)	A340050	15 年（点検結果による）
3	ベアリング(反エンジン側)	6223CM	4 年（分解毎に取り替える）
4	ベアリング(エンジン側)	6232CM	4 年（分解毎に取り替える）
5	軸絶縁用絶縁材料	軸箱絶縁	8 年（点検結果による）
6	スペースヒータ	200V200W	8 年（点検結果による）

第 3.2 表 ガスタービンエンジンの推奨保守点検整備基準

(1/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
設備全体	1	排気ダクト／消音器	焼損、ガス漏れによる汚損等の点検、貫通部等での雨水浸入等の点検、ドレイン(ケル)底部)	×					
	2	吸気ダクト	ビニール類の付着、変形、雨水の浸入等点検	×					
	3	燃料小出槽	外観上の汚損、残油量の確認	×					
運転状況全般	1	始動・停止	自動始動の確認、起動・停止時間の計測	△					異常があれば交換 仕様により異なる
	2	運転緒元	保守点検記録確認、振動、異常音、臭気等有無確認	×					
	3	オイル・クーラファン 給・換気ダクト 換気ファン	連動補機が自動起動することを確認 作動の確認	△					
	4	操作位置	振動、異常音の有無確認 全て自動始動の位置にあることを確認	△					
ガスタービン	1	燃焼器ライナー	汚損やクラック等点検	×					等価運転時間 1000 時間 又は 15 年毎の早い方
	2	1 段インペラ	汚損、打痕		×				
	3	1 段ノズル、タービンブレード	クラック、打痕 (ボアスコープ点検)		×				
	4	パワースタクション	オーバーホール				○		
減速機	1	減速機上面	振動計測	△					
	2	オイルシール	出力軸部の油漏れ	×					

(2/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
燃料系統	1	燃料小出槽	トイン抜きより燃料を抜き、水分混入の有無確認	×					
	2	液面スイッチ	外観、作動点検交換	△					
	3	小出槽用プレフィルタ		◎					
	4	移送ポンプ	自動起動・停止シーケンスを確認	△					
	5	始動用燃料ポンプ	油漏れの有無を確認	×		◎			
	6	主燃料ポンプ	油漏れの有無を確認	×		◎			
	7	CDP アクチュエータ	始動・停止時の円滑な動きを確認	△					
	8	ガバナアクチュエータ	円滑な動き及びベバングの有無を確認	△					◎工場整備品との交換
	9	フェールコントロール(M1型) (メーダリソングバルブ)	△レバーが円滑に動くことの確認、各リクージにさし油	△		◎			◎工場整備品との交換
	10	メイン燃料電磁弁	△絶縁抵抗測定、開閉音聴診	△		○		◎	○O-リング交換
	11	プライマリ燃料電磁弁	△絶縁抵抗測定、開閉音聴診	△		○		◎	○O-リング交換
	12	バイパス燃料電磁弁	△絶縁抵抗測定、開閉音聴診	△		○		◎	○O-リング交換
	13	プレッシャライジングバルブ	△開放点検			○		◎	○スプリング交換
	14	燃料噴射弁	×カーボンによる汚損の有無・清掃、△噴霧テスト	×	△	◎			
	15	ドレンポット	×燃料油の点検・清掃	×					
	16	燃料フィルタ	×差圧表示の確認	◎					◎エレメント交換
	17	デンプヒータ	△配管からの離脱の有無・実作動テスト測定	△		◎			
	18	プライマリ燃料圧力		△					
	19	燃料スケジュール	スケジュールの確認 (X-Y レコーダ)			△			フェールコントロール交換時
	20	フレキシブルチューブ	交換				◎		

(3/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
潤滑油系統	1	潤滑油	×残油量の確認	×	◎				
	2	潤滑油ポンプ	×運転中の油漏れの有無点検	×	◎				
	3	潤滑油フィルタ	×差圧表示の確認（運転中）	◎					
	4	圧力調整弁	運転中の安定した圧力維持の確認	△			◎		
	5	温度調整弁	△開閉作動点検	△			◎		
	6	オイルクーラ	×フンの目詰り状態の点検・清掃	×					
	7	インレット・コレクター	×潤滑油(オイルミスト)の点検	×					
	8	潤滑油温度センサー	△抵抗確認	△	◎				
	9	ガバナ用オイルポンプ	×運転中の油漏れの有無点検	×	◎				
	10	圧力スイッチ（油圧低）	作動確認	△		◎			
	11	オイルミホールド・ストレーナ	ゴミ、残滓の有無点検・清掃		◎				
	12	オイルポンプ 入口ストレーナ	ゴミ、残滓の有無点検・清掃		◎				
	13	フレキシブルチューブ	交換			◎			潤滑油交換
	14	Cカップリング	交換			◎			
始動系統	1	エアポンプ レッサー	×潤滑油量確認	×	◎	○			◎吸入弁・吐出弁交換 ○オーバーホール
	2	起動弁ユニット	×作動点検	×					
	3	エアスタータ	△ストレーナ清掃、◎ダイヤフラム交換 ×外観、オイル補給、タービン翼点検 ◎オイル交換、ギア歯面点検、○オーバーホール(1000 回毎)	△	◎			○	×オイル補給、翼点検は 1 カ月毎又は 100 回毎 ◎3 カ月毎又は 200 回毎 動毎
	4	ターニングモータ	×自動・手動のタイマ設定の確認 ○ブラス点検	×					

(4/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
軸 継 手 他	1	カップリングラバー	汚損、劣化、クラックの有無 緩み、脱落、発錆の有無 交換	×		◎			◎異常振動のあるものは交換
	2	カップリングボルト		×				◎	
	3	共通台板マウントラバー							
点 火 系 統	1	エキサイト ・エキサイト高圧ケーブル ・エキサイトキャップ	スパークの確認、コネクタの緩み 焼損の有無点検 発錆、焼損の有無 スパークの確認、汚損の有無	△		◎			
	2	スパークプラグ		△		◎			
制 御 機 器	1	回転用ヒューズ	抵抗計測、コネクタの緩み 抵抗計測、コネクタの緩み 絶縁抵抗測定 パワーモジュールの点灯確認 緩み	×	◎				
	2	制御用ヒューズ		×	◎				
	3	排気温度センサー		×	◎				
	4	E.C.B ・コネクタ ・パワーモジュール、カパシタモジュール		×		◎			
		・ECB 本体					◎		
	5	・DC/DCコンバータ(1.8A)				◎			
	6	DC/DCコンバータ エンジン・ハーネス				◎	◎		

(5/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
計 器 類	1	油圧計	停止中、運転中の異常の有無	×		◎			◎異常ある場合交換
	2	油温計	停止中、運転中の異常の有無	×		◎			◎異常ある場合交換
	3	圧縮機圧力計	停止中、運転中の異常の有無	×		◎			◎異常ある場合交換
	4	空気起動系圧力計	停止中、運転中の異常の有無	×					
	5	排気温度計	停止中、運転中の異常の有無	×					
	6	始動回数	停止中、運転中の異常の有無	×					
	7	運転時間	停止中、運転中の異常の有無	×					
吸 排 気 系 統	1	吸気・排気ファン	自動始動・停止の確認	△					
	2	吸気ポート	吸気口への異物の詰りの有無	×					
	3	排気消音器	発錆、排気出口の詰り	×					
	4	排気ダクト	ガス漏れ、断熱材の脱落、雨水の浸入の有無	×					
	5	排気たわみ管	損傷、クラックの有無	×	○				
主 要 ボ ル ト	1	発電装置	基礎ボルト、ナットの緩み、発錆の有無	×					
	2	減速機	基礎ボルト、ナットの緩み、発錆の有無	×					
	3	防振ゴム	基礎ボルト、ナットの緩み	×					
	4	燃料小出槽	基礎ボルト、ナットの緩み、発錆の有無	×					
	5	空気圧縮機	基礎ボルト、ナットの緩み、発錆の有無	×					
	6	排気消音器	基礎ボルト、ナットの緩み、発錆の有無	×					

(6/6)

×：目視、触手点検 △：作動点検 ○：開放点検 ◎：推奨交換

区分	番号	点 検 箇 所	点 検 内 容	1 カ 年 毎	3 カ 年 毎	6 カ 年 毎	12 カ 年 毎	15 カ 年 毎	備 考
動作シークェンス確認	1	ECB 保護装置 1)潤滑油圧力低下 2)排気温度高 3)過電流 4)過電圧 5)起動渋滞 6)加速度 7)潤滑油温度高	実作動テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト シミュレーション・テスト 定格電圧±5%がスムーズに移動可能 98%～105%がスムーズに移動可能 作動確認	△	△	△	△	△	
	2	電圧調整		△					
	3	速度調整		△					
	4	警報装置		△					
	5	運転データ計測		△					

第 3.3 表 発電機制御盤及び自動始動盤の推奨部品交換周期

(1/2)

No.	部品名称	型 番 等	推奨交換周期
1	補助リレー(86E,30F8X)	TMY4Z	5 年
2	補助リレー	TMY4Z	10 年
3	補助リレー	MM4P	10 年
4	補助リレー	MM4KP	10 年
5	補助リレー	SR-K8	10 年
6	タイマー	H3CA-FA	5 年
7	コンタクター	MSO-K 形	10 年
8	コンタクター	SD-K 形	10 年
9	スパーキーター	AU-1201	10 年
10	デジタルサウンダー	DBBC-121	5 年
11	切換スイッチ	MTS 形	10 年
12	操作スイッチ	MCS/MPS 形	10 年
13	ロックアウトリレー	MKR-12	10 年
14	押釦スイッチ	OA 形	10 年
15	電力ヒューズ	PL-G	4 年
16	低圧ヒューズ	FA-30C	8 年
17	低圧ヒューズホルダー	PF 形	15 年
18	NFB	NF 形	10 年
19	指示計器	L-110 形	10 年
20	電力量計	MS-63 形	10 年
21	積算時間計	HS-72B	10 年
22	変換器	T-51/101	10 年
23	計器用変圧器	PD-50H	15 年
24	計器用変流器	CW-40LM	15 年
25	計器用変流器	CW-15LP	15 年
26	テスト端子	TT-4P/4C	15 年
27	保護リレー	CO/TV 形	15 年
28	ホールディングセンサー	SDV 形	5 年
29	漏電リレー	NV-Z15B	15 年
30	自動電圧調整装置	VGR-22NC2	7 年
31	励磁用変圧器	AV-D 形	15 年
32	励磁用変流器		15 年
33	励磁用リアクトル		15 年
34	補機用変圧器		15 年
35	シリコンスタック	RM15TA/10TA 形	15 年
36	サージアブソーバ	ERZ-32C	10 年

(2/2)

No.	部品名称	型 番 等	推奨交換周期
37	シリコンナイト	SR1G-16	15 年
38	状態表示灯	M 形	15 年
39	状態表示灯	LS 形	15 年
40	故障表示器	DA-13	10 年
41	油紙コンデンサ	CA60Y 形	10 年
42	フィルムコンデンサ	CF91 形	10 年
43	抵抗器	GZG 形	15 年
44	スペースヒータ	2220 形	15 年
45	蛍光灯	KL-1641	15 年
46	マイクロスイッチ	A-15FW2-BK	15 年
47	ルームサーモスタット	HRS-C120	10 年

4. 保守の実績

非常用発電機は、平成 7 年に HTTR へ納入後、平成 9 年度から毎年度（平成 18 年度を除く）点検を実施し、また毎月試運転を行うことにより設備の性能維持を行ってきた。これまでにやってきた点検等で経験した事象とその改善事項について以下に示す。

4.1 定期点検及び改善事項等

初回点検（平成 9 年）から実施してきた定期点検等の実績概要を第 4.1 表に示す。

4.1.1 非常用発電機及び制御盤等

平成 11 年度：B 号機のエンジンコントロールボックス（ECB）内部の回転速度基板である TACHO 基盤内の制御電源（DC15V/DC15V コンバータ）について、トランスコイルに巻きムラがあることが判明したため、改善策として、巻線毎に偏りがなく均一であることを拡大鏡で観察し限度見本を使用して巻きムラの程度を判別するようにし、さらに、コンデンサの型式を変更（温度に対する容量変化の小さいもの）した DC/DC コンバータを TACHO 基盤内に装着し、交換した。また、同じ DC/DC コンバータを使用しているガバナ基板（GOV 基盤）及び A 号機の該当 DC/DC コンバータを含めて、平成 11 年度定期点検時に交換を実施した。ECB 内部の概要図を第 4.1 図に示す。

発電機の発電機周波数が 51.5Hz であると、無負荷運転時には CVCF との周波数同期引き込み領域を外れることが判明したため、改善策として、負荷運転時の周波数変動を考慮した上で CVCF との同期可能領域に周波数を設定変更（51.5Hz→50.8Hz）した。また、発電機側の電圧調整範囲の確認も行った（第 4.2 図及び第 4.3 図参照）。

4.1.2 ガスタービンエンジン及び始動用空気系統

平成 9 年度：A 号機及び B 号機共に始動用空気供給ラインのエアストレーナー一部に錆による目詰まりが認められた。清掃による対応としたが、錆がエンジン側のエアスタータモータの動作不良を招く可能性があるため、エアストレーナーの交換を次回行う予定とし、また、錆の発生を抑制するために始動用空気槽からのドレン抜きを定期的（月 1 回）に行うこととした。

平成 10 年度：非常用発電機 A 号機の No.2 エンジン側のエアスタータモータの ATV(Automatic Trip Valve)において、ATV バタフライ弁側面と弁箱内壁のクリアランスが狭く擦れている箇所があることが判明した。これは、平成 9 年度より懸念していた粉末状の錆が飛来し、当該部に付着したことにより、バタフライ弁の動きを阻害し、バタフライ弁の閉動作後、「全開」位置まで復帰せず「全開」位置でラッチされなかったため、次の始動時にバタフライ弁が空気圧により閉まり、エアスタータモータが作動しない事象が発生したため確認されたものであるが、改善策として、クリアランスが正常なエアスタータモータに

全て交換を実施した上で、錆に対する改善策として、平成 10 年度の定期点検において始動用空気配管及び空気槽内面をファイバースコープで調査した。その結果、設置後数年ではあるが、内部に錆が多く発生していることが認められたため、平成 11 年 4 月に配管及び弁類の錆除去及び分解点検・清掃を実施し、空気槽については、内部の錆及び古い塗装を剥離・洗浄後再塗装を実施し改善した。なお、運用上の改善策として空気槽のドレン回数を月 1 回から週 1 回に変更し、錆の発生の抑制を実施した。

平成 11 年度： A 系の燃料貯蔵用地下タンクにおいて、マンホール内に雨水が浸水していることが判明したため、改善策として、雨水の除去・清掃後に防水性を向上したパッキンに取替え、さらに、雨水の浸入口であるマンホール部に全体を覆うステンレス製のカバーを設置し、雨水が浸入しないことを確認した。

平成 14 年度： A 号機の始動用空気槽（A-1 及び A-2）において、始動用空気供給ラインの調速弁（減圧弁）が錆などによってシートリークしていることが判明したため、改善策として、A 号機 B 号機共に調速弁（減圧弁）の上流部の短管内部を防錆塗装でライニングを行う恒久対策を実施し、正常に発電機が作動することを確認した。始動用空気系統の配管等は、平成 11 年より実施してきた改善策により、全体としては弁類を除く全ての部分に防錆塗装を実施したことになり、今後の始動系統における錆等の発生防止対策を強化した。また、その後の点検において、錆等の発生が抑制されていることを確認した。

HTTR と同じエアスタータを用いている施設において、タービンホイールに亀裂が発生する事象が確認されたため、改善策として、剛性を高めたタービンホイールに交換を実施し、起動時間などの性能に問題のないことを確認した。

平成 15 年度： A 号機・B 号機共に 6 年毎の点検（部品交換）を実施し、燃料系統の燃料スケジュール調整後、各機器の作動等が良好であることを確認した。6 年点検で交換を実施した部品を第 4.2 表に示す。

平成 17 年度： ボアスコープによる内部点検により B 号機の 1 段タービンノズルに軽微なクラックが確認されたため、エンジン起動時の排気最高温度の監視を強化した。これは、起動時の排気最高温度が高温になるほどエンジンの劣化が進んでいる、または、燃焼のバランスが崩れていることを示すため、タービンノズルのクラックが進行した場合には、排気の流れが乱れて高温になることに着目し、監視項目としたものである。第 4.3 表に示すように、分解点検前後で排気最高温度が大きく変化していることから、本監視により、クラックの進展を排気最高温度の変化により推測でき、非常用発電機の監視技術を高度化した。また、環境対策及びエンジンの長寿命化のため、メンテナンス運転時間の短縮も行った。改善策として平成 19 年度定期点検においてガスタービンエンジンの分解点検を実施し、当該部品等を交換した。

空気槽安全弁 273VRA53 が、分解点検・作動検査終了後の空気槽充填中に、圧縮機の振動等により作動することが判明した。原因としては、吹出し圧力の設定とタンクの貯蔵圧力が近接しているため、単体作動検査に合格したばかりの安全弁であっても、基準内における調整の微妙なずれにより、圧縮機の振動

等で吹き出す恐れがあることが確認されたため、振動による安全弁の作動をなくすための改善策として、ロアーリングの設定を3ノッチから8ノッチに変更した。その結果、振動などにより吹き出さないことを確認したため、他の安全弁についてロアーリングの設定を変更し、その後の点検等において問題のないことを確認した。

平成19年度：ボアスコープによる内部点検によりA号機の1段タービンノズルに軽微なクラックが確認されたため、改善策として平成20年度定期点検においてガスタービンエンジンの分解点検を実施し、当該部品等を交換した。なお、17年度にB号機について同様の事象が確認された際に、A号機についても排気最高温度の監視強化、メンテナンス運転時間の短縮を行っている。

平成20年度：非常用発電機の始動時間（起動から電圧確立まで）が年々長くなってきているため（第4.4表・4.4図参照）、A号機についての改善策として、始動用空気供給ラインの起動弁ユニット2次側圧力及び燃料スケジュールを調整し、始動時間を早めた。この時、エンジンの回転数が55%に達しエアーの供給が遮断された際に、起動弁ユニット2次側圧力が上昇する事象が確認されたため、起動弁ユニット電磁弁を閉にするタイミングを少しやはめ、スタータモータ内のエアーバルブが閉になるタイミングとずらすことにより、供給途中であるエアーが配管内にとどまらないように設定変更した。

4.2 ガスタービンエンジンの分解点検

平成17年度の定期点検時にB号機の1段タービンノズルに軽微なクラックが確認されたことを起因として、ガスタービンエンジンの分解点検を計画・実施した。分解点検は、平成7年度にHTTRに設置されて以来初めてであり、平成19年度にB号機・平成20年度にA号機という年度計画で実施した。

4.2.1 部品の選定

通常、ガスタービンエンジンの分解点検は、工場への持出し・分解・点検を実施しエンジン内部の劣化を確認した後に交換すべき部品を検討するが、あらかじめ交換すべき部品を選定し、交換を実施することとした。このため、平成19年度にB号機の分解点検を実施するにあたり、まず、分解点検時に必ず交換する部品を抽出後、その他の部品について交換すべき部品の選定を実施した。選定は各部品の期待寿命や実績から、部品交換の必要性に優先順位を設けランク分けを行い、交換優先順位の高い部品を交換することとした。なお、A号機の分解点検時には、部品の優先順位及びB号機の分解点検結果を参考に交換すべき部品を選定した。分解点検時の交換部品優先順位、部品購入の有無及び部品交換の有無を第4.5表、部品箇所の図面を第4.5図に示す。

4.2.2 分解点検の工程

B号機及びA号機の分解点検の工程は以下の通りである。なお、ガスタービンエンジンはツインエンジンであるため、分解点検を実施するエンジンとしては各系統2台ずつとなる。

(1) B号機

- i. 平成 19 年 10 月 1 日～2 日：ガスタービンエンジン取外し・HTTR から搬出
- ii. 平成 19 年 10 月 3 日：メーカ工場へガスタービンエンジンを搬入
- iii. 平成 19 年 10 月 3 日～11 月 2 日：オーバーホール実施
- iv. 平成 19 年 10 月 18 日：分解状況の立会いを実施
- v. 平成 19 年 10 月 31 日～11 月 1 日：工場での運転試験立会い検査を実施
- vi. 平成 19 年 11 月 2 日：ガスタービンエンジンをメーカ工場から搬出
- vii. 平成 19 年 11 月 5 日～6 日：ガスタービンエンジンを HTTR へ搬入取付け・試運転

(2) A 号機

- i. 平成 20 年 9 月 19 日・22 日：ガスタービンエンジン取外し・HTTR から搬出
- ii. 平成 20 年 9 月 23 日：メーカ工場へガスタービンエンジンを搬入
- iii. 平成 20 年 9 月 24 日～10 月 30 日：オーバーホール実施
- iv. 平成 20 年 10 月 14 日：分解状況の立会いを実施
- v. 平成 20 年 10 月 29 日～10 月 30 日：工場での運転試験立会い検査を実施
- vi. 平成 20 年 10 月 31 日：ガスタービンエンジンをメーカ工場から搬出
- vii. 平成 20 年 11 月 1 日～2 日：ガスタービンエンジンを HTTR へ搬入取付け・試運転

4.2.3 分解点検の結果

クラックを確認してから分解点検を実施するまでのガスタービンエンジンの運転実績を第 4.6 表に示す。交換部品については第 4.5 表に示す。

(1) B 号機

等価運転時間が 1000 時間を超えているため、部品の劣化評価を実施し、部品交換の要否を判断した。第 1 段タービンノズルの翼の前縁で最大約 4mm、後縁で最大約 14mm 程度のクラックが発生しており、工場での分解点検におけるクラックの基準値 (20mm) 以下ではあったが、交換推奨値である管理目安値 (6mm) を越えているため全数交換を実施した。スクロールについても、フレット磨耗による破口が発生しているため、交換を実施した。空気圧縮機部分であるインペラについては、HTTR が海に近いこともあり、塩害による腐食が発生していたため、船用として実績・信頼性が高いサーマテルコーティングされた部品に改良した。また、燃焼器ライナーについては、HTTR での運用上、非常用発電機としては起動回数にたいして運転時間が長いという特徴から、スカート部に燃焼による焼損が確認されたため、対運転時間性に優れたセラミックコーティングされた部品に改良し、それぞれの部品の寿命を高める改善策を図った。

(2) A 号機

等価運転時間が 1000 時間を超えているため、部品の劣化評価を実施し、部品交換の要否を判断した。第 1 段タービンノズルは、翼の前縁で最大約 4mm、後縁で最大約 15mm 程度のクラックが発生しており、B 号機に比べて若干クラックが大きい枚数は少なく、クラックの基準値 (20mm) 以下ではあったが、交換推奨値である管理目安値 (6mm) を越えているため全数交換を実施した。3 段タービンノズルの前面付け根部に 1 カ所であるが約 5mm のクラックが発生していたため、新品に交換を実施した。なお、3 段タービンノズルについては、昨年度実施の B 号機については発生していなかった。2 段タービンノズルについてはクラック等は発

生しておらず良好であった。その他の部品については、B 号機同様に交換を行い、空気圧縮機部分であるインペラについては、HTTR が海に近いこともあり、塩害による腐食が発生していたため、船用として実績・信頼性が高いサーマテルコーティングされた部品に改良した。また、燃焼器ライナーについては、HTTR での運用上、非常用発電機としては起動回数にたいして運転時間が長いという特徴から、スカート部に燃焼による焼損が確認されたため、対運転時間性に優れたセラミックコーティングされた部品に改良し、それぞれの部品の寿命を高める改善策を図った。

4.3 試運転

4.3.1 試運転時間の変更

非常用発電機納入以来、毎月試運転を実施してきたが、状況によりその運転時間を何度か変更してきた。内容は以下の通りである。

試運転開始後～平成 10 年 6 月・・・試運転時間は、1 時間とした。

平成 10 年 7 月～平成 14 年 2 月・・・燃料移送ポンプの自動での作動を確認するため試運転時間を 6 時間に変更した。

平成 14 年 3 月～平成 18 年 4 月・・・燃料移送ポンプの作動試験を別途実施することにより、試運転を 1 時間とした。

平成 18 年 5 月～ 現在 ・・・・A 重油消費量を抑えるため、また、1 段タービンノズルにクラックが発生したため、試運転時間をメーカー推奨時間（10 分以上）に合わせて 15 分とした。

4.3.2 試運転における傾向

毎月の試運転データ及び定期点検の運転データから下記の傾向があるため、試運転時には各項目について確認を行う。

- ・外気温まで冷えた状態からの起動における最大排気温度は、分解点検後では約 450℃であるが、分解点検前においては約 540℃にまで達していた。最大排気温度の上昇は、ガスタービンエンジンの劣化を示す指標として継続して確認する必要がある。
- ・試運転終了後のパーシ（回転数 20%まで）に要する時間の遅れは、起動弁ユニット 2 次側圧力の低下や回転体の劣化を示す指標として継続して確認する必要がある。平成 20 年度に A 号機の起動弁ユニット 2 次側圧力を調整（上昇）したことにより起動時間は短くなったが、第 4.4 表及び第 4.4 図に示す通り、回転数 55%～電圧確立までの時間が長くなってきている傾向があるため、今後も遅くなり続けるようであれば回転体の劣化として発電機側のベアリングも含めて改善策が必要である。

4.4 今後の保守点検計画

エンジン側については、設置初期段階においてエア漏れや不具合が発生していたが、その多くの原因は空気槽及び空気配管内の錆であった。空気槽及び空気配管内は、既にライニング処置を全面的に施し、現在では発電機として高い安全性と信頼性を得ている。今後、同じような設備を設置する場合には、設置当初からライニング処置等の防錆対策を施すべきである。ここで、HTTR のエンジンについては分解点検に至るまでの一通りの点検を終えたため、今後は実績を考慮した

点検計画を立案する。また、発電機については絶縁抵抗の低下が懸念されているため工場持ち出しによる点検を、制御盤内のリレー等については使用開始後 10 年を越えているため順次交換する計画を立案する。

現在の状態として、ガスタービンエンジンの吸気ダクト内の消音材の部材が劣化してきており、剥離片がエンジンに悪影響をもたらす可能性がある。このため、発電機の工場持ち出し点検時に合わせて吸気ダクト内の消音材更新（今後の腐食対策として SUS 製を予定）を行う予定である。なお、故障等が発生した場合に早期納入が困難である保護継電器については、現在のところ交換時期(交換推奨:15 年)には来ていないが、平成 16 年度及び平成 17 年度に購入し予備品として保管している。保護継電器の予備品一覧を第 4.7 表に示す。

第 4.1 表 定期点検等の実績概要

(1/2)

年度	A 系 統	B 系 統
平成 9 年度	・通常点検	・通常点検
10 年度	・通常点検 ・ATV 交換(10月)	・通常点検 ・ATV 交換(10月)
平成 11 年度	・通常点検 ・オイルミストゴムホース交換 ・ECB 基盤(TACHO,GOV モジュール)の内部 DC/DC コンバータを対策品に交換 ・無負荷周波数変更(51.3→50.8Hz) ・燃料小出槽前入口フィルター表示器交換 ・地下タンク液面計修理(8 月)及び防水用パッキン交換 ・空気槽内部及び配管塗装(4 月) ・CCD カメラによる始動用空気槽内部調査 ・始動用空気圧縮機 A-1,A-2 分解点検 ・起動弁ユニット分解点検 ・テープヒータ交換 ・パイロット減圧弁交換	・通常点検 ・オイルミストゴムホース交換 ・潤滑油系統フレキシブルホース交換 ・ECB 一式交換(8月) ・ECB 基盤(TACHO モジュール) の内部 DC/DC コンバータを対策品に交換(9 月) ・ECB 基盤(GOV モジュール) の内部 DC/DC コンバータを対策品に交換 ・無負荷周波数変更(51.3→50.8Hz) ・空気槽内部及び配管塗装(4 月) ・CCD カメラによる始動用空気槽内部調査 ・始動用空気圧縮機 B-1,B-2 分解点検 ・起動弁ユニット分解点検 ・パイロット減圧弁交換
平成 12 年度	・通常点検 ・CCD カメラによる始動用空気槽内部調査 ・絶縁ベース交換	・通常点検 ・CCD カメラによる始動用空気槽内部調査 ・燃料移送ポンプ(B-1)用電流計交換 ・絶縁ベース交換
平成 13 年度	・通常点検 ・タイマー交換(59EGT1,27EGT1) ・始動用空気圧縮機 A-1,A-2 分解点検	・通常点検 ・B-1 空気圧縮機発停用圧力スイッチ交換
平成 14 年度	・通常点検 ・発電機絶縁ベース交換 ・エアスタータモータのタービンホイール交換(11 月)	・通常点検 ・発電機絶縁ベース交換 ・起動弁ユニット計装配管(1 次側)交換 ・エアスタータモータのタービンホイール交換(11 月)
平成 15 年度	・通常点検 ・6 年点検(部品交換) ・燃料スケジュール調整	・通常点検 ・6 年点検(部品交換) ・燃料スケジュール調整
平成 16 年度	・通常点検 ・始動用空気槽 A-1,A-2 開放点検 ・A-1 空気圧縮機発停用圧力スイッチ交換 ・始動用空気圧縮機 A-1,A-2 分解点検	・通常点検 ・No.1 タービン排ガス温度センサ(EGT センサ)交換 ・制御盤主燃料槽液面計交換 ・始動用空気圧縮機 B-1,B-2 分解点検

(2/2)

年度	A 系 統	B 系 統
	<ul style="list-style-type: none"> ・始動用空気圧縮機潤滑油銘柄変更 (シェルコレナオイル N100→フェアコール A100) ・テープヒータ交換 ・空気槽安全弁弁体交換(2台) 	<ul style="list-style-type: none"> ・始動用空気圧縮機潤滑油銘柄変更 (シェルコレナオイル N100→フェアコール A100) ・テープヒータ交換 ・空気槽安全弁弁体交換(2台)
平成 17 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・ECB 一式交換 ・DC100V/DC24V コンバータ交換 ・ダイオード、バリスタ及びシェアーピン交換(1月) 	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・No.1 側潤滑油温度センサー交換
平成 18 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検なし ・No.2 側 1 次空気圧力計交換 	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検なし ・タービンノズル状態確認
平成 19 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・始動用空気圧縮機 A-1,A-2 分解点検 	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・ガスタービンエンジン分解点検(工場) ・始動用空気圧縮機 B-1,B-2 分解点検
平成 20 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・ガスタービンエンジン分解点検(工場) ・始動用空気圧縮機 A-1,A-2 ベルト交換 ・No.1 側のフューエルコントローラ交換 ・No.2 側のメイン燃料電磁弁、バイパス燃料電磁弁、エンジンハーネス交換 ・パッケージ扉パッキン交換 	<ul style="list-style-type: none"> ・通常点検 ・始動用空気圧縮機 B-1,B-2 ベルト交換 ・パッケージ扉パッキン交換

(注) 空気槽安全弁の分解点検は、平成 20 年度より 2 年に 1 回とし A 系 1 台/年・B 系 1 台/年とした。

第 4.2 表 6 年点検交換部品一覧

No.	品 名	型式	数量 (1 系統分)
1	主潤滑油ポンプ	00-850-053-03	2 台
2	ガバナー潤滑油	00-850-054-03	2 台
3	潤滑油温度センサー	00-880-010-14	2 個
4	圧力スイッチ(1.5kg/cm ²)	00-880-006-02	2 個
5	アキュムレータ [※] ラダ [※]	00-850-720-01	2 個
6	プライマリ燃料ポンプ	00-850-011-06	2 台
7	メイン燃料ポンプ	00-850-090-07	2 台
8	ガバナアクチュエータ	00-850-640-12	2 台
9	燃料バルブ用キット	00-700-065-01	2 組
	同上内訳 O リング 3 個、ダイヤフラム 2 個		
10	スプリットバルブ用 O リング(メイン・プライマリ・バイパス)	00-910-033-02	6 個
11	プレッシャーライジングバルブ用スプリング	05-140-067-02	2 個
12	燃料噴射弁	00-850-420-16	2 個
13	ピックアップバルブ(減速機及びエンジン)	33200-0001	3 個
14	排ガス温度センサー	00-880-001-42	2 個
15	スパークプラグ	00-840-003-02	2 個
16	エキサイター	33151-0001	2 個

第 4.3 表 排気最高温度の推移

	A 系		B 系	
	No.1	No.2	No.1	No.2
分解点検前	540℃	500℃	490℃	480℃
分解点検後	440℃	440℃	440℃	440℃
分解点検後 6 ヶ月	450℃	450℃	460℃	450℃

* 起動前の排気温度 0℃における排気最高温度

第4.4表 定期点検時の試運転データ一覧

		9 年度	10 年度	11 年度	12 年度	13 年度	14 年度	15 年度	16 年度	17 年度	19 年度	20 年度
A 号機	始動→55%(s)	21.5	21.5	21.2	21.8	23.8	25.2	26.6	23.1	22.9	24.5	21.7
	始動→電圧確立(s)	31.4	29.6	29.8	31.1	34.4	36.6	34.9	36.4	36.6	38.3	34.8
	55%→電圧確立(s)	9.9	8.1	8.6	9.3	10.6	11.4	8.3	13.3	13.7	13.8	13.1
	排ガス 始動前	—	—	—	—	120	130	150	100	160	140	0
	排ガス MAX	—	—	—	—	120	130	150	100	150	140	0
	停止操作→5%(s)	147	157	178	168	184	184	560	580	630	640	440
	停止操作→完全停止(s)	269	291	295	294	311	317	314	310	312	280	285
	始動→55%(s)	23.0	20.2	21.3	21.9	23.9	22.6	23	23.7	22.7	23.0	23.3
	始動→電圧確立(s)	32.0	31.1	28.9	31.4	35.6	35.2	38.3	36.8	35.6	35.7	37.3
	55%→電圧確立(s)	9.0	10.9	7.6	9.5	11.7	12.6	15.3	13.1	13.8	13.9	14
B 号機	排ガス 始動前	—	—	—	—	120	40	0	—	140	120	150
	排ガス MAX	—	—	—	580	—	480	520	580	590	540	540
	停止操作→5%(s)	179	158	176	180	180	180	181	181	133	138	161
	停止操作→完全停止(s)	293	275	291	296	297	295	309	301	250	254	291

第 4.5 表 分解点検における部品交換表

○：事前購入・交換、◎：追加購入、×：未購入・未交換

項目	品名・仕様	数量 (1 系統)	型式	部品交換 優先順位	購入・交換の有無			
					B 系統(H19)		A 系統(H20)	
	100%交換部品				購入	交換	購入	交換
1	1 段タービンプレート	116	05-060-211-05	A	○	○	○	○
	No.1 軸受ベアリング	2	00-800-011-04	A	○	○	○	○
	No.2 軸受ベアリング	2	00-800-001-31	A	○	○	○	○
	消耗品(排気温度計等)	2		A	○	○	○	○
	○コンデション部品							
2	1 段インペラ	2	05-03C-011-17	B	◎	○	○	○
	2 段インペラ	2	05-03C-021-05	B	◎	○	○	○
	2 段タービンプレート	116	05-060-431-06	A	○	×	×	○
	3 段タービンプレート	112	05-060-631-01	B	×	×	×	×
	1 段タービンディスク	2	05-06C-212-01	B	×	×	×	×
	2 段タービンディスク	2	05-06C-432-01	B	×	×	×	×
	3 段タービンディスク	2	05-06C-632-01	B	×	×	×	×
	1 段タービンノズル	2	05-060-100-08	A	○	○	○	○
	2 段タービンノズル	2	05-060-300-10	A	○	×	×	○
	3 段タービンノズル	2	05-060-500-04	B	×	×	◎	○
	メインシャフト	2	05-090-030-12	A	○	×	×	○
	カップリングロータ	2	05-090-311-11	B	×	×	×	×
	No.2 ベアリングシャフト	2	05-090-321-07	A	○	×	×	○
	クロスオーバーダクト	2	05-04C-060-07	B	×	×	×	×
	2 段シュラウド	2	05-040-015-01	B	×	×	×	×
	2 段ディフューザ	2	05-040-105-13	A	○	×	×	○
	1 段ロータシュラウド	2	05-060-251-08	A	○	○	○	○
	2 段ロータシュラウド	2	05-060-453-01	A	○	○	○	○
	ディフレクター	2	05-050-100-07	B	◎	○	○	○
	スクロール	2	05-050-200-07	A	○	○	○	○
	タービンノズルサポート	2	05-060-710-01	B	◎	○	○	○
	エキゾーストディフューザ	2	05-070-100-18	A	○	○	○	○
	燃焼器ライナ	2	11220-0130	順位外	◎	○	○	○
	バッフル 1 段タービン	2	05-06C103-09	順位外	◎ (1 台)	○(No.2 エンジン のみ)	×	×

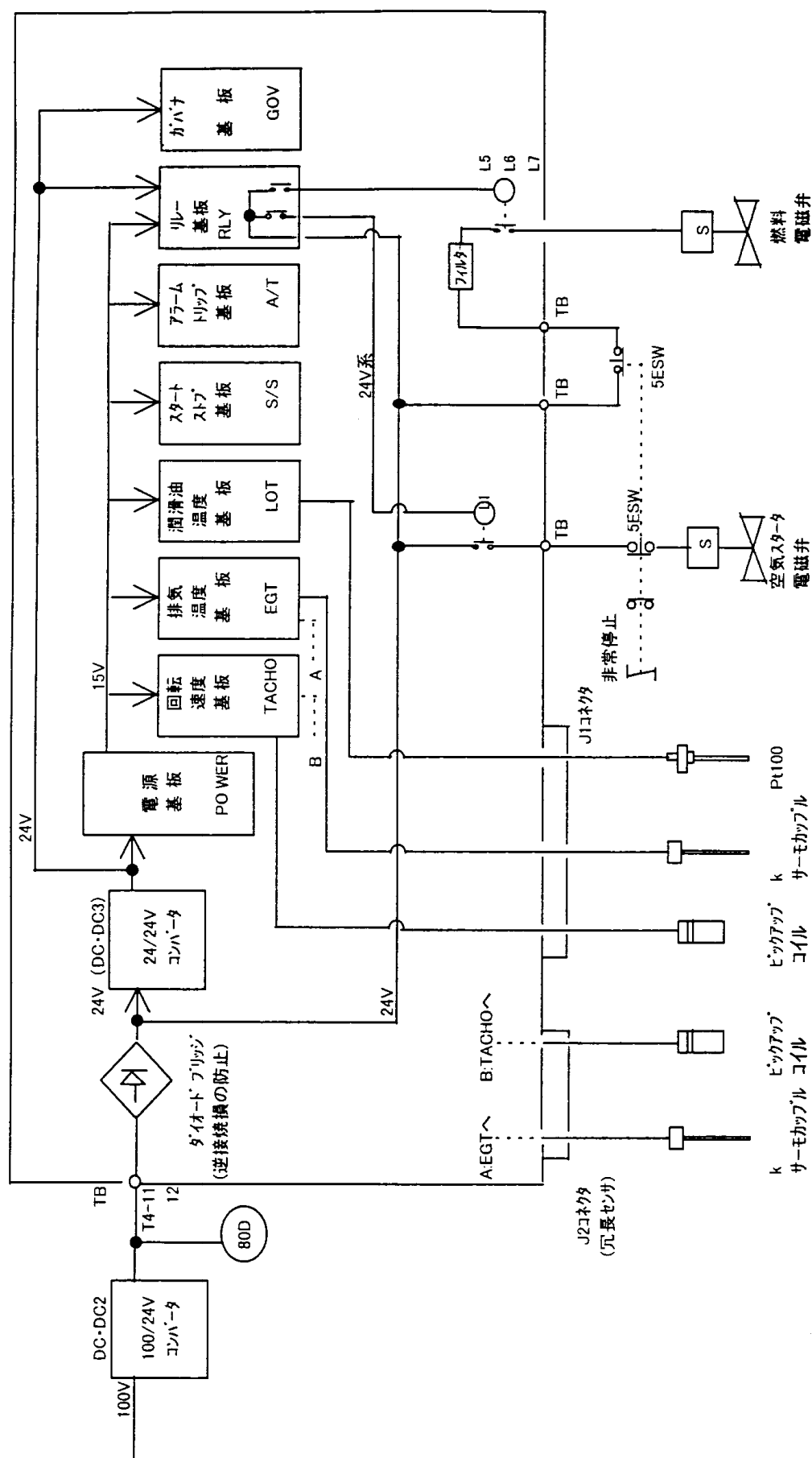
第 4.6 表 非常用発電機 A 号機及び B 号機の運転履歴

系統	時 期	日 時	運転時間	始動回数	等価運転時間
B 号機	クランク確認時	平成 18 年 2 月 7 日	947.8 時間	342 回	1289.8 時間
	分解点検時	平成 19 年 10 月 1 日	1094.9 時間	380 回	1474.9 時間
A 号機	クランク確認時	平成 19 年 9 月 26 日	1086.0 時間	369 回	1455.0 時間
	分解点検時	平成 20 年 9 月 19 日	1129.8 時間	383 回	1512.8 時間

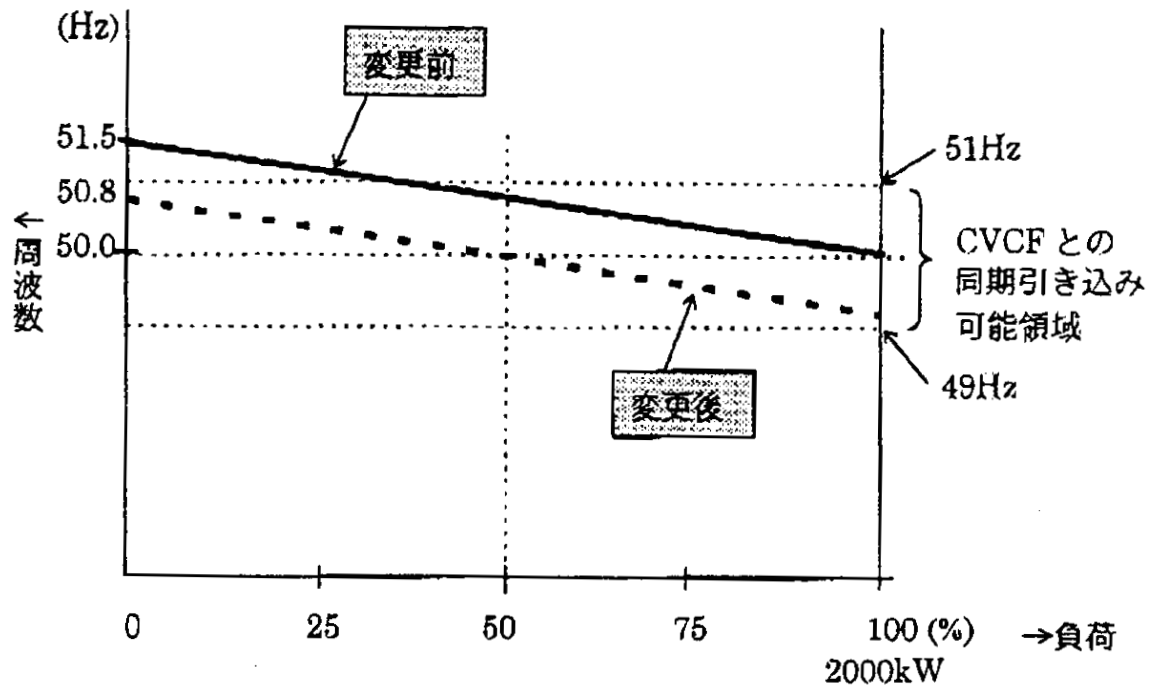
(等価運転時間) = (運転時間) + (始動回数)

第 4.7 表 保護継電器の予備品一覧

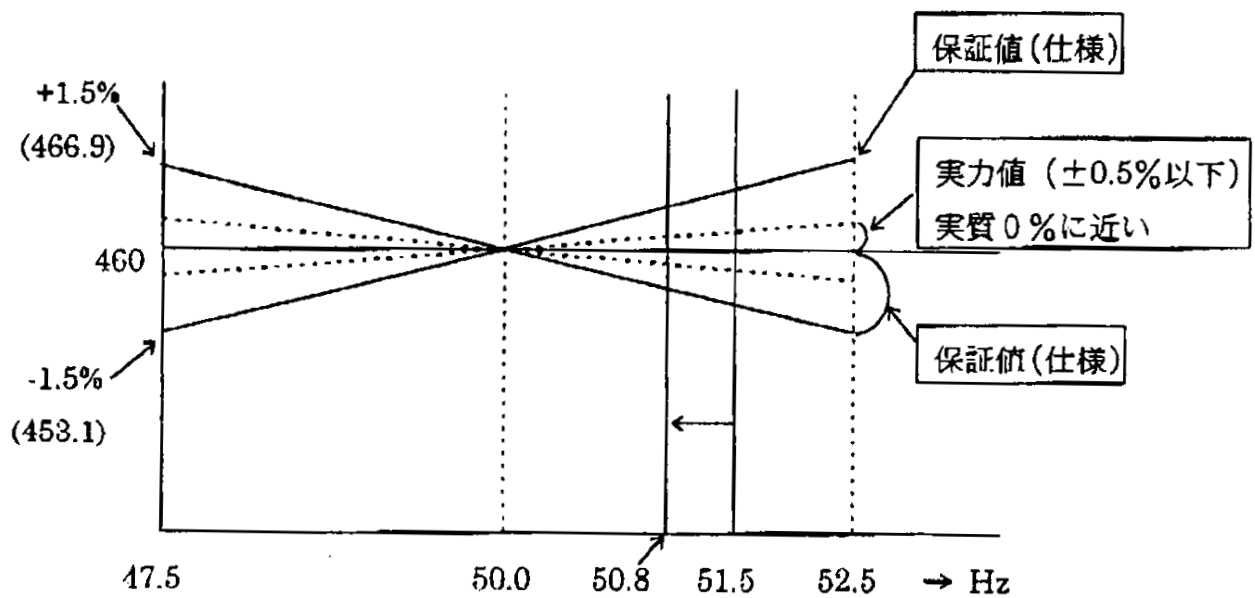
No.	部 品 名	型 式	仕 様	実装使用数		予備品 数量	備 考
				A 号機	B 号機		
1	過電流継電器	CO-18-D	2～6A	2	2	4	51G
2	過電流継電器	CO-18I-D	0.5～2.5A	1	1	2	51GG
3	過電圧継電器	TV-2-D	75～135V	1	1	2	59G
4	低電圧継電器	TV-3-D	60～90V	1	1	2	27G
5	電圧継電器	TV-2B-D	75～135V	1	1	2	84G



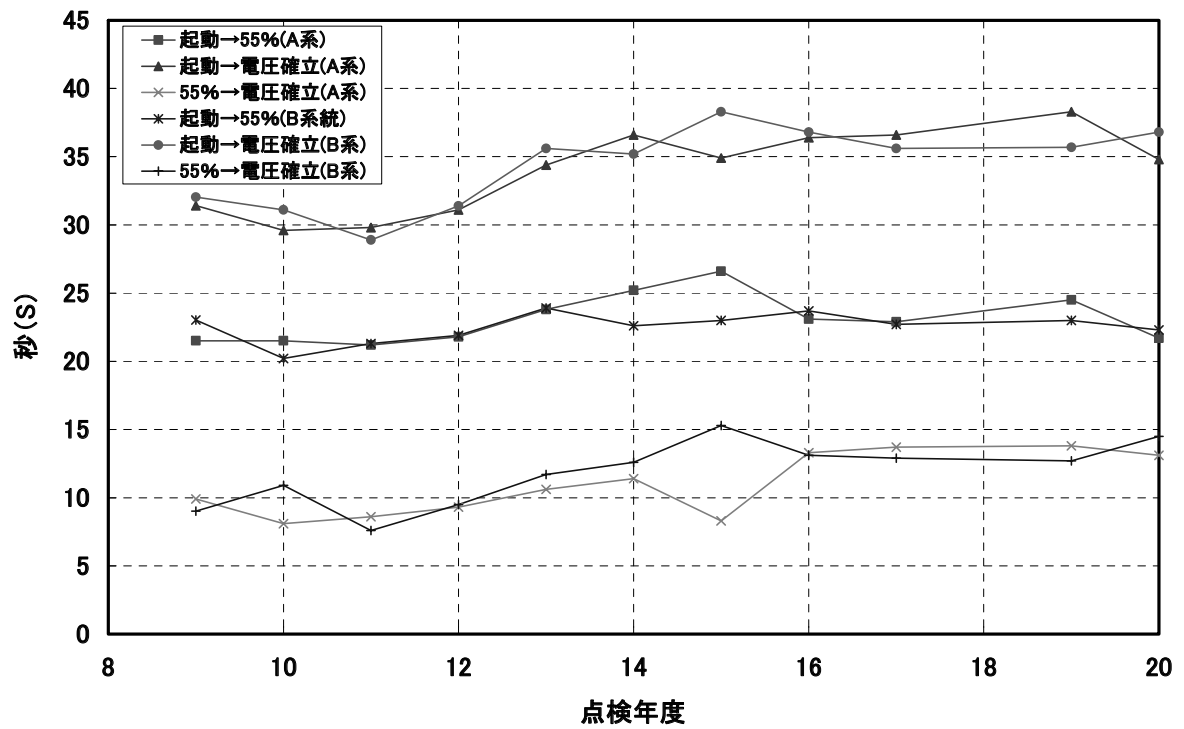
第4.1図 ECB内部の概要図



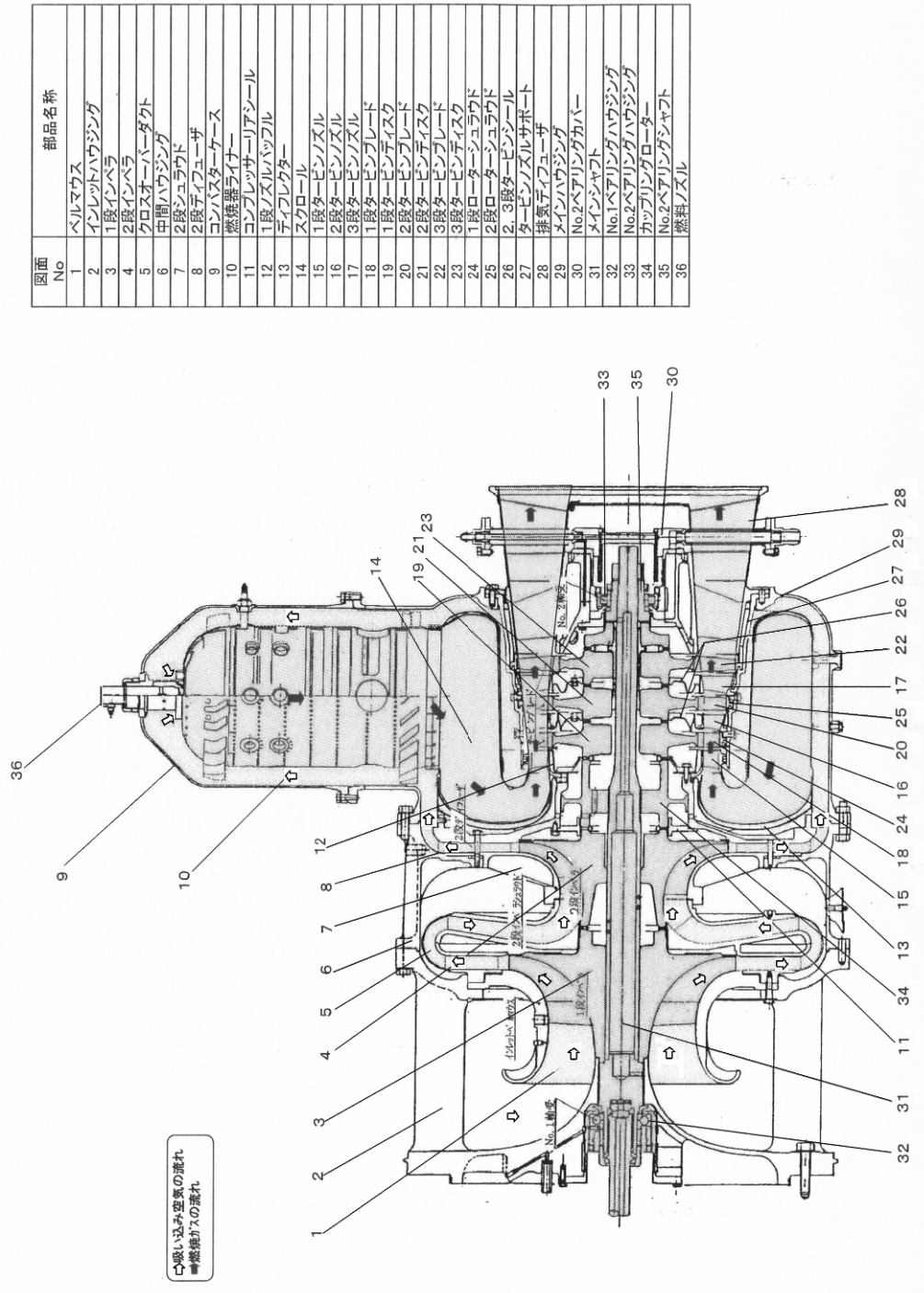
第 4.2 図 発電機負荷に対する周波数の変化



第 4.3 図 周波数に対する電圧調整範囲の変化



第 4.4 図 定期点検時の始動時間の推移



第 4.5 図 ガスタービンエンジン断面図

5. 結言

HTTR の非常用発電機は、原子炉の冷却や各種監視等に必要な電力を供給する極めて重要な設備であり、また、原子炉施設としては珍しいガスタービンエンジンを採用していることから、これまで原子炉施設としての保守管理技術を蓄積してきた。これまでの経験から、HTTR の非常用発電機について、一通り保守管理の方法は確立できたと考える。

改善点として、ガスタービンエンジンの起動時間の監視を行うと共に、起動時における排気最高温度を追加監視することにより、その劣化の程度を十分に推測できると及び急激な劣化の発生を判断できるようになった。また、HTTR の非常用発電機の運用状況においては、塩害や燃焼による劣化に特に注意して保守管理を行う必要があり、今までに防錆処理や耐熱部品への改良を行ってきた。しかしながら、塩害による吸気ダクト内の部材の劣化や吸湿による絶縁抵抗の低下については課題として残っており、今後、計画的に耐錆仕様への部材の更新や吸湿剤の更新等の対策を検討する必要がある。

謝辞

本報告書をまとめるにあたり、小森芳廣 高温工学試験研究炉部長、中澤利雄 同部次長、伊与久達夫 研究主席に御指導、御助言頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

また、HTTR 運転管理課の方々による着実な業務遂行により、保守管理を確実に実施することが出来ましたことを関係者の方々に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 日本原子力研究所：“日本原子力研究所大洗研究所設置変更許可申請書(完本)〔別冊3 HTTR〕”(2001)
- (2) 斉藤伸三 他：“高温工学試験研究炉の設計と研究開発”，日本原子力学会誌，32，p.847(1990)
- (3) 藤川正剛 他：“HTTR(高温工学試験研究炉)の出力上昇試験”，日本原子力学会誌和文論文誌，1，p.361(2002)
- (4) 中川繁昭 他：JAERI-Tech 2002-069，“高温工学試験研究炉の出力上昇試験－試験経過及び結果の概要－”(2002)
- (5) 坂場成昭 他：JAERI-Tech 2003-043，“HTTR 高温試験運転の出力上昇試験計画”(2003)
- (6) 高松邦吉 他：JAERI-Tech 2004-063，“高温工学試験研究炉の出力上昇試験(高温試験運転)－試験方法及び結果の概要－”(2004)
- (7) S. Fujikawa et al., “Achievement of Reactor-Outlet Coolant Temperature of 950°C in HTTR”, J.Nucl. Sci. Technol., 41, 12, pp.1245-1254 (2004).
- (8) 栃尾大輔 他：JAEA-Technology 2006-045，“HTTR の補機冷却水設備冷却塔の伝熱性能に関する評価”(2006)
- (9) 川崎幸三 私信

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	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	立方メートル	m ³
速さ, 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	キログラム毎立法メートル	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	ジーメンズ	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	
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K	
光強度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd	
放射	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd	
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
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, 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)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² 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)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	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
酵素活性濃度	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	1h =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	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=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	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=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=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	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
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボア	P	1 P=1 dyn s cm ² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルプ	sb	1 sb=1cd cm ² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォトル	ph	1 ph=1cd sr cm ² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≐ (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=1cGy=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	1cal=4.1858J (「15℃」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

