



JAEA-Testing

2006-004



JP0650472

HTTR 非常用空気浄化設備の保守管理

Maintenance and Management of Emergency Air Purification System in HTTR

青野 哲也 近藤 雅明 関田 健司
江森 恒一 黒羽 操 大内 弘

Tetsuya AONO, Masaaki KONDO, Kenji SEKITA
Koichi EMORI, Misao KUROHA and Hiroshi OHUCHI

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

JAEA-Testing

June 2006

日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に刊行している研究開発報告書です。
本レポートの全部または一部を複写・複製・転載する場合は下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
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
Tel.029-282-6387, Fax.029-282-5920

This report is issued by Japan Atomic Energy Agency irregularly.
Inquiries about the copyright and reproduction should be addressed to :

Intellectual Resources Section,
Intellectual Resources Department
2-4, Shirakata-shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, JAPAN
Tel. 81 29 282 6387, Fax. 81 29 282 5920

©日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency, 2006

HTTR 非常用空気浄化設備の保守管理

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

青野 哲也、近藤 雅明、関田 健司、江森 恒一、黒羽 操※、大内 弘

(2006年1月27日受理)

高温工学試験研究炉(HTTR)には、事故時にサービスエリア内の負圧を維持して放射性物質の拡散を防止するとともに、サービスエリアの空気を浄化して排気管より環境に放出することにより、公衆の被ばくの低減をはかる、非常用空気浄化設備が設置されている。本設備は、サービスエリア内の放射能濃度が上昇するおそれがある場合、あるいは放射能濃度が実際に上昇した場合に、自動起動するように設計されている工学的安全施設である。

本設備は、HTTRで想定される最も厳しい条件においても、被ばく上の解析条件が満足されることを、系統機能試験により確認することが求められている。そこで、想定した事象ごとに試験を実施し、一連の試験を通して機能を確認する手順を確立した結果、効率的で確実な試験の実施が可能となった。また、排気フィルタユニットの漏えい検査方法の改善等を実施したことにより、設備の安定した運用が可能となった。

本報は、非常用空気浄化設備の維持管理を目的に実施してきた保守項目、改善等についてまとめたものである。

Maintenance and Management of
Emergency Air Purification System in HTTR

Tetsuya AONO, Masaaki KONDO, Kenji SEKITA, Koichi EMORI
Misao KUROHA *and Hiroshi OHUCHI

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

(Received January 27, 2006)

The High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) has an emergency air purification system(EAPS). The system keeps the service area negative pressure condition and exhausts the filtered air to prevent fission products release to environment in accident condition. The EAPS is one of the engineered safety features which is started automatically when radioactivity in the service area increase or might increase.

The performance of the EAPS should satisfy the analytical condition for public dose evaluation in the severest accidents of the HTTR. The performance should be confirmed by function tests. The function tests are divided into many tests corresponding to each assumed phenomenon. The confirmation of the performance of the system was carried out effectively by the tests. Moreover, the stable operation of the system can be achieved by improvements of the method of leak tight tests of exhaust filter unit.

The report describes the outline of EAPS system, maintenance works and improvement of the system.

Keywords: HTGR, HTTR, Emergency Air Purification System, Maintenance,Engineered Safety Fature,Function Test

* Research Staff on Loan

目 次

1. はじめに.....	1
2. 設備概要	2
2.1 排気フィルタユニット	2
2.2 排風機	3
2.3 ダンパ	3
2.4 主ダクト	4
2.5 排気管	4
2.6 計装	4
2.7 サービスエリア	5
3. 保守管理	6
3.1 排気フィルタユニット	6
3.2 排風機	10
3.3 主ダクト及びダンパ	10
3.4 排気管	11
3.5 非常用空気浄化設備の系統機能検査	12
3.6 非常用空気浄化設備の作動試験	13
3.7 サービスエリア	13
4. 改善事項	15
4.1 漏えい検査方法の改善	15
4.2 捕集効率検査方法の改善	16
5. おわりに	17
謝辞	17
参考文献	17

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the EAPS	2
2.1 Exhaust Filtering Unit	2
2.2 Exhaust Blower	3
2.3 Air Regulation Damper	3
2.4 Exhaust Duct	4
2.5 Exhaust Pipe	4
2.6 Instrumentations	4
2.7 Service Area	5
3. Maintenance and Management	6
3.1 Exhaust Filtering Unit	6
3.2 Exhaust Blower	10
3.3 Exhaust Duct and Air Regulation Damper	10
3.4 Exhaust Pipe	11
3.5 System Function Test For EAPS	12
3.6 Start-up Test For EAPS	13
3.7 Service Area	13
4. Improvements of Testing Method	15
4.1 Leak Rate Test of Filtering Unit	15
4.2 Filter Efficiency Test	16
5. Concluding Remarks	17
Acknowledgement	17
References	17

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(原子力機構)の高温工学試験研究炉(HTTR: High temperature Engineering Test Reactor)は、高温ガス炉技術基盤の確立と高度化、高温工学に関する先端的基礎研究の実施を主目的として、原子力機構・大洗開発センターに建設された日本初の高温ガス炉である。

当初、高温ガス炉の開発は、多目的高温ガス実験炉の開発を目的として 1969 年に開始された。その後、原子力界を取り巻く社会情勢の変化の中で 1987 年に策定された「原子力の研究、開発および利用に関する長期計画」により、21 世紀に向けた先導的プロジェクトとして HTTR の建設が決まった。原子力機構はこの方針に従い、HTTR の建設に向けた設計・研究開発を進め、1990 年 11 月に原子炉の設置許可を取得し、1991 年 3 月から 5 年有余の歳月を掛けて原子炉建家建設及び機器据付を行った。

HTTR はその後、系統別機能試験・総合機能試験を経て、1998 年 11 月 10 日に初臨界に達した。さらに、1999 年 9 月から出力上昇試験を開始し、2001 年 12 月 7 日に原子炉出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 850°C を達成し、2002 年 3 月 6 日、定格運転(原子炉冷却材温度 850°Cまでの運転)の使用前検査合格証を取得した。

引き続き、原子炉出口冷却材温度が 950°Cとなる高温試験運転に向けた準備を進め、2004 年 3 月 31 日から出力上昇試験を開始し、2004 年 4 月 29 日に原子炉出力 30MW、原子炉出口冷却材温度 950°C を達成した。これまでの高温ガス炉の歴史において、950°Cの冷却材を原子炉圧力容器外へ取り出すことに成功したのは HTTR が世界初である。その後 2004 年 6 月 24 日、高温試験運転(原子炉冷却材温度 950°Cまでの運転)の使用前検査合格証を取得し、現在に至っている。

HTTR にはサービスエリアと呼ばれる原子炉格納容器を取り囲み、原子炉建家内の燃料取扱及び貯蔵設備、1 次ヘリウム純化設備、実験設備の炉外設備等を収納する空間がある。事故に伴いこのサービスエリア内の放射能濃度が上昇するおそれがある場合、あるいは放射能濃度が実際に上昇した場合に、非常用空気浄化設備が自動起動するよう設計されている。すなわち非常用空気浄化設備は、サービスエリア内の負圧を維持して放射性物質の拡散を防止するとともに、サービスエリアの空気を浄化して排気管より環境に放出することにより、放射性物質の低減をはかる工学的安全施設である。

本報は、非常用空気浄化設備の概要、保守管理の方法、保守管理の中で実施してきた改善事項、さらには今後の検討課題についてまとめたものである。設備概要については、図表を多く用い、できるだけ分かりやすく記述することで、新しく HTTR の保守管理業務に携わる従事者にも設備全体を容易に理解してもらえるように努めた。また保守管理については、実際の作業内容を具体的に記述し、今後の実務に活用できるように心掛けた。さらに改善事項については、これまで非常用空気浄化設備を運用する中で得られた知見を継承する観点からまとめた。最後に検討課題として、今後、当該設備の運転・保守を行っていく上で取り組む必要がある事項についてまとめた。

2. 設備概要

HTTR は、熱出力 30MW で定格運転時に 850°C、高温試験運転時に 950°C の原子炉出口冷却材温度を得ることができる国内唯一の高温ガス炉である。高温ガス炉は、冷却材として化学的に安定な He ガスを用い、その炉内構造物に熱容量が大きく耐熱性に優れた黒鉛構造材等を使用している。また、燃料に核分裂生成物の閉じ込め機能が高い被覆燃料粒子を使用していることから、万一重大事故が発生した際も受動的設備だけで、燃料の大規模破損や炉心溶融が防止できることが安全性実証試験等で確認されている。このように、原子炉の極めて高い固有の安全性が、高温ガス炉の優れた特長となっている。その基本仕様を、Table 2.(1) に示す。

HTTR では、原子炉建家内の燃料取扱及びその貯蔵設備、1 次ヘリウム純化設備、実験設備等の炉外設備を収納する、原子炉格納容器を取り囲む空間をサービスエリアと呼んでいる。事故発生に伴いこの原子炉格納容器内の圧力又は放射能濃度が実際に上昇した場合、あるいは上昇するおそれがある場合など、Table 2.(2) に示す自動起動条件により、非常用空気浄化設備が自動起動するよう設計されている。非常用空気浄化設備は、微粒子フィルタ、よう素除去フィルタを含む排気フィルタユニット及び排風機などから成り、サービスエリアの負圧を維持しながら排気フィルタユニットを通して放射性物質を低減させる機能を有する。排気フィルタユニットにより放射性物質が低減されたサービスエリア内空気は、排気塔に沿って設けた排気管から、大気中に放出されるようになっている。

非常用空気浄化設備は、主ダンパ、排気フィルタユニット及び排風機で構成された、独立した 2 系統が、原子炉運転時には待機状態で運用される。非常時には 2 系統が同時に起動し、万一、1 系統が起動しない場合においても、1 系統のみにより所定の性能が発揮されるよう設計されている。非常用空気浄化設備の系統図を Fig. 2.1 に示し、構成する機器の主要な仕様について以下に述べる。

2.1 排気フィルタユニット

排気フィルタユニットは、非常用空気浄化設備の中心的な設備で、放射性塵埃を除去するための微粒子フィルタ及び放射性よう素を除去するためのよう素除去フィルタが内蔵されている。また、排気フィルタユニットの入口部には、流入空気を加熱する電気ヒータが内蔵されている。本ヒータにより、事故時にサービスエリア内空気が高い水分濃度をもった状態になっても、湿分を下げて、よう素除去フィルタが規定の性能を発揮できるよう、設計されている。排気フィルタユニットは、1 基で十分な容量を有するものを 2 基、同一場所に設けてある。排気フィルタユニットの機器仕様を Table 2.1.1 に、外観を Photo 2.1 に示す。

(1) 微粒子フィルタ

微粒子フィルタはケーシングの中に、グラスファイバーの濾材とセパレータを、交互に組み込んだ構造となっている。ケーシングはビスとナットで組み立てられており、その内部にシール材(シーラー)が塗布され、濾材とセパレータが固定されている。本フィルタに使用されているグラスファイバーの濾材は、その繊維層に大きな空間率を有することにより、空気中の粒子(エアロゾル)を、優れた効率で捕集する特長を持っている。微粒子フィルタは、排気フィルタユニット内のような素除去フィルタの前段と後段を挟む形で配置されており、各段に 4 台がセットで、水平方向に並べて配置されている。本フィルタの機器仕様を Table 2.1.2 に、外観を Photo 2.2 に示す。

(2) よう素除去フィルタ

よう素除去フィルタはステンレス製のケーシングの中に、パンチングにより構成された層が波型に配置された構造であり、その層による素を除去するための添着活性炭が均一に充填されている。よう素除去フィルタを排気フィルタユニット内に装着した際のケーシングの接合面には、バイパスリークを防止する為のネオプレン製のスponジガスケットが全周に取り付けてある。本フィルタに使用している添着活性炭は、やし殻活性炭にヨウ化カリウム(KI)を添着させたもので、その表面積が大きいことからよう素の吸着量が多く、従って寿命が長い特徴を有している。よう素除去フィルタは、排気フィルタユニット内中段に、水平方向に4台がセットで配置されており、その機器仕様を Table 2.1.3 に、外観を Photo 2.3 に示す。

(3) 電気ヒータ

よう素除去フィルタの捕集効率は、フィルタを通過する空気の相対湿度に依存する。従って、事故時に水蒸気が発生し、サービスエリア内空気が高い湿分を持った場合、期待される捕集効率が確保できない恐れがある。そこで排気フィルタユニットの入口部に、捕集効率を確実に保証するための電気ヒータを設置し、非常用空気浄化設備の起動と連動して投入されるよう設計されている。すなわち、相対湿度 100%RH の規定流量の空気を、所定の時間内に、よう素除去フィルタの捕集効率が担保されている 80%RH 以下にするための十分な容量を持つ電気ヒータを設置し、いかなる状態においても所定の性能が確保できるようにしている。また電源は、事故時に何らかの原因で商用電源が喪失した場合にも、その機能を維持できるよう、非常用発電機からの給電により運転が可能となっている。電気ヒータの機器仕様を Table 2.1.4 に示す。

2.2 排風機

排風機は、排気フィルタユニットの下流側に、排気フィルタユニットとセットで設置されており、サービスエリア内の空気を、ダクトを通して吸引し、排気フィルタユニット内で浄化した空気を、排気管に送出する機能を有する。電気ヒータと同様、事故時に非常用空気浄化設備起動信号により自動起動し、サービスエリア内圧力を規定の負圧に維持する能力を有する。また電源は、事故時に何らかの原因で商用電源が喪失した場合にも、非常用発電機からの給電により運転が可能となっている。排風機は1台で十分な容量を有するものを2台設けており、その機器仕様を Table 2.2.1 に、外観を Photo 2.4 に示す。

2.3 ダンパ

非常用空気浄化設備のダンパ類は、排気フィルタユニット入口に設置されている主ダンパ、排風機出口に設置されている逆止ダンパ、サービスエリアに設置されている風量調整ダンパ及びダクト入口シャッターで構成されている。

(1) 主ダンパ

主ダンパは、フィルタユニット入口側に、排風機起動と連動して開になる空気作動弁として設置されている。すなわち排風機起動時以外は閉状態であり、フィルタユニット内の環境を良好な状態に保つため、サービスエリア内の空気が流れ込まないようになっている。開動作時には制御用圧縮空気が操作源となり、弁の開動作を行う。また排風機停止時は、ばねがピストンを押え、弁の閉方向に作用させることにより、瞬時に閉状態に移行する。主ダンパの機器仕様を Table 2.3.1 に、外観を Photo 2.5 に示す。

(2) 排風機出口逆止ダンパ

排風機出口側には、待機側排風機からの空気の逆流を防止するために、排風機出口逆止ダンパが設置されている。主ダンパ同様、排風機起動時以外は、弁体に取り付けられた吊り下げ錘の重量により閉状態となっている。しかしながら、排風機が起動すると、排風機が発生する風圧を弁体が受けて、吊り下げ錘が押し上がり、開状態となる構造になっている。排風機出口逆止ダンパの機器仕様を Table 2.3.2 に、外観を Photo 2.6 に示す。

(3) 風量調整ダンパ

サービスエリア内からの排気管集合部には風量調節用として手動ダンパが設置されている。本ダンパの開度を調整することで、排気フィルタユニットを流れるサービスエリア空気の流量を規定の値に制御している。設置後の風量調整⁽¹⁾の結果、本ダンパの現状の開度は約 55%に設定されており、誤操作防止の為その開度調整ハンドルをチェーンロックにより管理している。風量調整ダンパの機器仕様を Table 2.3.3 に、外観を Photo 2.7 に示す。

(4) ダクト入口シャッター

ダクト入口シャッターは、サービスエリアの吸込口に設けられており、手動で開度を調整できる構造となっている。本シャッターは、各エリアからの空気流量の流量比を調整するために設置されているが、設置後の風量測定の結果、調整の必要はなく、現状の開度は何れのシャッターも 100%に設定されている。なおダクト入口シャッターの前面には金属網が取り付けられ、異物の吸い込みを防止している。ダクト入口シャッターの機器仕様を Table 2.3.4 に、外観を Photo 2.8 に示す。

2.4 主ダクト

HTTR のサービスエリア内には、6箇所の領域に空気吸込口が分散設置されている。それらがサービスエリア内で1本のダクトに集合され、主ダクトとして、サービスエリア貫通部を経て、フィルタユニット及び排風機を通り、排気管まで導かれている。主ダクトの機器仕様を Table 2.4.1 に、外観を Photo 2.9 に示す。

2.5 排気管

排気管は、非常用空気浄化設備で浄化された排気を、地上高さ約 80m(標高約 116.5m)の排気口から大気に放出するために、原子炉建屋に隣接する排気筒に沿わせて設置されている。排気管の機器仕様を Table 2.5.1 に、外観を Photo 2.10 に示す。

2.6 計 装

非常用空気浄化設備の計装は、温度、差圧、圧力及び流量に関し、以下のように構成されている。

(1) 温度

a. 排気フィルタユニット電気ヒータ出口温度

本計装は2台あり、そのうちの1台(144TS-1A、144TS-1B)は、排気フィルタユニット電気ヒータ出口温度を測定し、通風量不足、電気ヒータ単体の故障等により異常過熱した場合、電気ヒータを自動的に断とするために設置されている。

本計装のもう1台(144TS-2A、144TS-2B)は、排気フィルタユニット電気ヒータ出口温度を測定し、通風量不足、電気ヒータ単体の故障等により電気ヒータが過熱した場合、中央制御室副盤に「非常用空気浄化フィルタ電気ヒータ温度高」警報を発信するために設置されている。排気フィルタユニット電気ヒータ出口温度計装の機器仕様をTable2.6.1に示す。

b. 排気フィルタユニットよう素フィルタ出口温度

本計装は、排気フィルタユニットのよう素フィルタの火災を感知するために設置されているものであり、よう素除去フィルタ出口付近の温度を測定し、排気フィルタユニットの側面に取り付けられた指示計に温度を表示するようになっている。本指示計には警報設定器が設けられており、温度が異常上昇した場合、中央制御室副盤に「非常用空気浄化フィルタC/F温度高」警報を発信するようになっている。排気フィルタユニットよう素フィルタ出口温度計装の機器仕様をTable2.6.2に示す。

(2) 差圧

本計装は、排気フィルタユニット内のフィルタ各段の差圧を測定し、フィルタの目詰まりによる劣化や異物混入による異常などを監視するために設置されている。差圧計は現場指示形であり、排気フィルタユニットの側面に配置されている。差圧計装の機器仕様をTable2.6.3に示す。

(3) 圧力

本計装はサービスエリア内の圧力を測定し、中央制御室副盤の指示計(144PI-1)、記録計(144FPR-1)及びプラント計算機(14A141)に出力するために設けられている。記録計には、非常用空気浄化設備の性能を記録するための狭域レンジと、サービスエリア内配管破断時の時系列変化を記録するための広域レンジが設けられている。また指示計は、通常時にサービスエリア内の負圧状態を表示するとともに、非常用空気浄化設備起動時に規定の負圧が維持されていることを監視するために設置されている。

(4) 流量

本計装は、非常用空気浄化系を通して排気管より大気へ放出されるサービスエリア内の排気流量を測定し、プラント計算機(14A142)に出力するとともに、中央制御室副盤の記録計(144FPR-1)に出力するために設けられている。

2.7 サービスエリア

サービスエリアは、事故時に格納容器及びサービスエリア内に漏洩した放射性物質が、サービスエリア内から直接漏洩しないように、外部に対し負圧に維持されることが基本要求である。この要求に沿って、サービスエリアは、原子炉格納容器を取り囲む原子炉建屋の一部である、「躯体」、「扉」及び「貫通部」から構成される。すなわちサービスエリアと非常用空気浄化設備により、原子炉格納容器、燃料取扱設備、1次ヘリウム純化設備等から放射性物質の漏洩があっても、規定の時間内に所定の放射性物質除去機能と負圧維持機能を確保することで、周辺への放射性物質の放散を防止するよう設計されている。サービスエリアの機器仕様をTable 2.7.1に示す。

3. 保守管理

非常用空気浄化設備の保守管理は、原子炉施設保安規定に定められている、原子炉運転中に月毎に行う作動試験と、原子炉施設保安規定及び核燃料物質使用施設保安規定により定められている、HTR施設定期検査で行う定期点検により実施している。

作動試験では、2系統それぞれについて、1系統毎に排風機と電気ヒータを起動し、連動する主ダンパも含め、機器の作動状態に異常がないことを確認している。また、定期点検では、非常用空気浄化設備を構成する機器毎に、毎年度実施する点検項目と数年毎に実施する点検項目を区分して定め、それに基づいて計画的に点検を行っている。本設備の回転機や作動弁の分解点検は、他設備と異なり、設備の年間運転積算時間が極めて少ないことを考慮し、適切な点検周期を設定している。各構成機器の点検内容は以下の通りである。

3.1 排気フィルタユニット

(1) 外観検査

排気フィルタユニット(144VU1A、144VU1B)の外観について、定期点検毎に目視による点検を行い、著しい変形、有害な損傷、腐食の有無について確認している。本設備の設置環境は、空調設備のある管理区域内にあることから、外観はこれまで、設置時の良好な状態に保たれている。

(2) 絶縁抵抗検査

排気フィルタユニットに内蔵されている電気ヒータ(144VU1A、144VU1B)の巻き線一大地間の絶縁抵抗について、定期点検毎に測定し、絶縁劣化がないことを確認している。絶縁抵抗測定は電気ヒータの電源であるMCC(モーターコントロールセンタ)にて、絶縁抵抗計により直流電圧 500V を印加し、絶縁抵抗値が $5M\Omega$ 以上あることを確認している。

なお、本電気ヒータの配線用プリカチューブ接続コネクタは、設置時にカプラー式であったが、点検作業の中で、外力により外れる可能性があることが判明したため、H16 年度定期点検において、外れにくくねじ込み式に交換している。

(3) フィルタ差圧測定

排風機を起動し、排気フィルタユニットに定格風量を流すことにより、排気フィルタユニットに内蔵されている微粒子フィルタ、よう素除去フィルタの差圧を測定し、フィルタに有害な目詰まりが無いことを、原子炉運転時は毎月の作動試験時に、また、定期点検時においても確認している。微粒子フィルタについては、その差圧が規定値(差圧:498Pa)以上になった場合、微粒子フィルタを交換することで管理しているが、本設備は運転時間が短いため、現在までにフィルタ差圧上昇により微粒子フィルタを交換した経緯はない。これまでの実績では、微粒子フィルタ差圧の測定値は、約 170~230Pa の範囲で安定している。

(4) 微粒子フィルタの捕集効率検査

微粒子フィルタの捕集効率を、DOP(Dioctyl-Phthalate)スモークを用いた微粒子フィルタ性能試験により、定期検査毎に確認している。本試験により、微粒子フィルタが正常にフィルタユニットに組み込まれ、パッキン等からのバイパスリークが規定値以下であり、所定の性能が維持されていることが確認で

きる。微粒子フィルタの捕集効率検査の実施手順、使用機器を以下に示す。また、検査実績をTable3.1.1に、本性能試験の系統図をFig.3.1に示す。

a. 実施手順

- ① 排気フィルタユニットから、よう素除去フィルタを取り外す。
- ② 排風機を起動させ、定格風量が流れていることを確認する。
- ③ DOPスモーク発生装置から発生させたDOPスモークを排気フィルタユニット上流側ダクトから排気フィルタユニットに流す。
- ④ そのときの排気フィルタユニット上流及び下流のDOPスモーク濃度をホトメーターで測定し、微粒子フィルタの捕集効率を求める。
- ⑤ 捕集効率が判定基準を満足していることを確認した後、DOPスモーク発生装置、ホトメーター、排風機の順番に停止する。

捕集効率は次式で求められる(判定基準 95%以上)

$$\text{捕集効率}(\%) = 100 - \left(\frac{\text{下流側流量測定値}(\%) - \text{上流側流量測定値}(\%)}{\text{上流側流量測定値}(\%)} \right) \times 100$$

b. 使用機器

① DOPスモーク発生装置

DOPスモーク発生装置は、微粒子フィルタの捕集効率を測定するためのDOPスモークを、連続的に発生させるための装置である。本装置は、DOP液を加熱し、空気と接触させることにより平均粒径 $0.7\mu\text{m}$ 以下のDOPスモークを発生させる能力を有する。本装置の仕様をTable3.1.2に示す。

② ホトメーター

ホトメーター(微粒子測定器)は、煙による光の散乱現象を利用して、濃度の異なる2つの流体間の相対的な濃度比を測定する測定器である。本測定器は、微粒子フィルタ上流の濃度を基準にして下流側の濃度を、パーセント表示することができる。実際の試験では微粒子フィルタ上流側のDOPスモーク濃度を100%として、それに対する下流側の濃度をパーセントで表示している。ホトメーターの機器仕様をTable3.1.3に示す。

(5) よう素除去フィルタの捕集効率検査

よう素除去フィルタの捕集効率を、フロン(R-112)ガスを用いたよう素除去フィルタ性能試験により、定期検査毎に確認している。本試験とよう素単体の吸着効率より、よう素除去フィルタが正常に排気フィルタユニットに組み込まれ、パッキン等からのバイパスリークが規定値以下であり、所定の性能が維持されていることが確認できる。なお、よう素単体の吸着効率は、製造元における確性試験により得られた値を使用している。検査実績をTable3.1.4に、本性能試験の系統図をFig.3.2に示す。また、よう素除去フィルタの捕集効率検査の実施手順、使用機器は以下のとおりである。

a. 実施手順

- ① 微粒子フィルタの捕集効率検査が終了した後、よう素除去フィルタを排気フィルタユニットに組み込む。
- ② 排風機を起動させ、定格風量が流れていることを確認する。
- ③ フロンガス発生装置を用いてフロンガスを発生させ、排気フィルタユニット上流ダクトから排気フィルタユニットに流す。
- ④ そのときの排気フィルタユニット上流側及び下流側のフロンガス濃度を測定し、チャコール単体のよう素吸着効率を元にして、よう素除去フィルタの捕集効率を求める。
- ⑤ 捕集効率が判定基準を満足していることを確認した後、フロンガス発生装置、よう素除去フィルタ用測定器、排風機の順番に停止。

捕集効率は次式で求められる(判定基準 95%以上)

$$\text{捕集効率}(\%) = \text{活性炭単体の吸着効率} \times \left(1 - \frac{R}{100}\right)$$

$$R ; \text{漏洩率}(\%) = \left(\frac{B - C}{A - D} \right)$$

A: フィルタ上流側フロンガス濃度(ppm) C: フィルタ上流側バックグラウンド濃度(ppm)

B: フィルタ下流側フロンガス濃度(ppm) D: フィルタ下流側バックグラウンド濃度(ppm)

b. 使用機器**① フロンガス発生装置**

フロンガス発生装置は、よう素除去フィルタの捕集効率を測定するためのフロンガスを、連続的に発生させるための装置である。本装置は、フロン溶液を加熱し、空気と接触させることにより濃度 10~20ppm のフロンガスを安定して発生させる能力を有する。本装置の機器仕様を Table3.1.5 に示す。

② ハロゲンガス濃度計

ハロゲンガスである塩素、臭素、よう素、フッ素とそれらの化合物を含んだ空気が加熱金属に接触すると、陽イオン放出する。ハロゲンガス濃度計は、この現象を利用し、発生したイオン電流からハロゲンガス濃度を検出する計器である。本濃度計により、フロンガス発生前と発生中のよう素除去フィルタ前後のフロン濃度を、サンプリング配管を切り換えて測定している。ハロゲンガス濃度計の機器仕様を Table3.1.6 に示す。

(6) 漏えい検査

非常用空気浄化設備は起動中、サービスエリア内の空気を吸引し、排気フィルタユニットにて空気を浄化、排気管から排出するため、運転時に排気フィルタユニット内は負圧になる。そのため本設備起動時に、排気フィルタユニットの開口部である点検扉から、排気フィルタユニット内への空気の漏れこみがないことを、定期検査毎の漏えい検査により確認している。

漏えい検査の実施手順は、以下のとおりである。

- ① 微粒子フィルタ点検扉、よう素除去フィルタ点検扉及び電気ヒータ点検扉の気密パッキンが正しく装着され、扉の閉鎖状態に異常がないことを確認する。
- ② 全ての点検扉を個別に、ビニールで覆い、粘着テープで密封する。
- ③ 排風機を起動し、排気フィルタユニット内を負圧にする。
- ④ 一定時間経過後、覆ったビニールが収縮し、排気フィルタユニット側に密着していないことを、目視により観察し、確認する。

(7) よう素除去フィルタの再生

よう素除去フィルタは2組あり、1組は排気フィルタユニットに組み込まれた状態で使用されている。残る1組はよう素除去フィルタの中身であるチャコールを交換する再生作業を、次の交換時期を考慮しながら実施し、再生が終了したよう素除去フィルタは、空気と触れないよう養生を施して保管している。よう素除去フィルタの再生作業の手順は、以下のとおりである。

- ① よう素除去フィルタからチャコールを抜き取る。
- ② フィルタケーシングは再利用するため、洗浄し、再びチャコールが充填できる状態にする。
- ③ チャコール単体の材料、及びよう素除去効率をチャコール製造元で行われた試験記録により確認し、フィルタケーシング内にチャコールが一定の密度になるように充填する。
- ④ 充填後、チャコールの層厚、寸法を確認する。
- ⑤ よう素除去フィルタにパッキンを取り付け、バイパスリーク試験を行い、よう素除去フィルタ単体での捕集効率、及び所定の差圧が発生していることを確認する。

3.2 排風機

(1) 外観検査

排風機(144B1A、144B1B)の外観について、定期点検毎に目視による点検を行い、著しい変形、有害な損傷、腐食の有無について確認している。本設備の設置環境は、空調設備のある管理区域内にあることから、外観はこれまで、設置時の良好な状態に保たれている。

(2) 絶縁抵抗測定

排風機電動機の巻き線一大地間の絶縁抵抗について、定期点検毎に測定し、絶縁劣化がないことを確認している。絶縁抵抗測定は電動機の電源であるMCC(モーターコントロールセンタ)にて、絶縁抵抗計により直流電圧 500V を印加し、絶縁抵抗値が $5M\Omega$ 以上あることを確認している。

(3) 作動検査

定期点検毎に排風機の連続運転を2系統それぞれについて、1系統毎に実施し、排風機の健全性を確認する。軸受温度、騒音、振動、風量、電流を定時間毎に測定し、それぞれの値に異常がなく、安定し規定の範囲内であることを確認している。なお、軸受温度が安定するまでに2時間程度時間を要するが、その間にサービスエリアの負圧が大きくなるため、本検査では一部のサービスエリア扉を開放しておく必要がある。

(4) 分解点検

排風機構成部品の損傷、磨耗、腐食の有無を確認する。当該点検は6年毎に実施する計画であり、直近ではH13年度定期点検時に実施している。分解点検内容は下記項目のとおりである。

- ・ファンと電動機を直結させている動力伝達軸部カップリングの芯出し及び調整。
- ・ファンの分解点検を実施し、ファン外部及び内部の目視点検。
- ・ベアリング、オイルシール等の消耗品の交換。

分解点検の結果、排風機の運転時間が年50時間以内と短いことから、軸受等の磨耗も少なくグリースが少し劣化している程度であった。点検後、組立てを行い絶縁抵抗測定、作動検査を実施。作動検査では騒音、振動、軸受温度、電流、風量の値を測定し、それぞれの値に異常がなく、安定し規定の範囲内であること、絶縁抵抗測定では巻き線一大地間の絶縁抵抗について、絶縁抵抗値が $5M\Omega$ 以上あることをそれぞれ確認した。

3.3 主ダクト及びダンパ

(1) 主ダクト外観検査

サービスエリア内から排気管に至るまでのダクトの外観について、定期点検毎に目視による点検を行い、著しい変形、有害な損傷、腐食の有無について確認している。本設備の設置環境は、空調設備のある管理区域内にあることから、外観はこれまで、設置時の良好な状態に保たれている。

(2) 主ダンパ外観検査

主ダンパ(144V1A、144V1B)の外観について、定期点検毎に目視による点検を行い、著しい変形、有害な損傷、腐食の有無について確認している。本設備の設置環境は、空調設備のある管理区域内にあることから、外観はこれまで、設置時の良好な状態に保たれている。

(3) 主ダンパ作動検査

主ダンパの開閉動作時に異音、異常が無く、円滑に作動することを定期点検毎に確認する。主ダンパの開閉動作は、排風機の起動・停止と連動しており、排風機の起動と共に開動作し、停止と共に閉動作するため、作動検査では排風機の起動・停止操作により主ダンパの開閉動作を確認している。

(4) 主ダンパ分解点検

主ダンパ構成部品の損傷、磨耗、腐食の有無を確認する。H15年度定期点検時に実施している。分解点検内容は下記項目とのおりである。

- ・シリンダ一部、ハウジング部、ダンパ弁本体の分解点検
- ・Oリング等の交換部品の交換
- ・リミットスイッチの点検調整

分解点検の結果、各構成部に異常はなく、良好なものであった。組立後、外観検査、寸法検査、漏洩検査、作動検査、を行い異常のないことを確認した。また、今後の主ダンパ分解点検に先立って、主ダンパの取外し作業が容易にできるよう、溶接構造であったサポートをボルト式に変更した。

(5) 逆止ダンパ分解点検

逆止ダンパ(144D2A、144D2B)構成部品の損傷、磨耗、腐食の有無を確認する。H16 年度定期点検時に実施した。外観検査、弁体の手動開閉操作によるベアリング部作動確認、グリスアップを実施し、異常のないことを確認した。

(6) 風量調整ダンパ外観検査

風量調整ダンパ(144D3)の外観について、定期点検毎に著しい変形、有害な損傷、腐食の有無、およびダンパ開度を確認している。また、H16年度定期点検では手動開閉操作により駆動部の円滑な動作確認、グリスアップを行い、異常のないことを確認した。

(7) ダクト入口シャッター外観検査

ダクト入口シャッター外観について、定期点検毎に著しい変形、有害な損傷、腐食の有無を目視により確認している。また、各ダクト入口シャッターの開度確認を行う。なお、各ダクト入口シャッターの開度設備の風量測定の結果、調整の必要が無いため 100%である。

3.4 排気管

(1) 外観検査

排気塔の外観検査について、定期点検毎に直接登っての目視、或いは双眼鏡による遠方からの目視により、排気管の表面について著しい変形、有害な損傷、および腐食の有無を確認している。

3.5 非常用空気浄化設備の系統機能検査

この検査では、原子炉設置許可申請書 添付書類十(別添2)⁽²⁾による、非常用空気浄化設備が性能を100%発揮するまでの時間を、被ばく評価上の解析条件である13分以内であることを確認する。13分の内訳は「設備が自動起動模擬信号により起動する時間」、「設備起動後に電気ヒータの出入口温度差が4°C以上になるまでの時間」の2倍、「電源喪失により停止した設備が非常用発電機により再起動するまでの時間」の合計である。被ばく評価上の解析条件である13分のシナリオをFig.3.3に示す。なお、検査は定期点検毎に行い、非常用空気浄化設備A系統、B系統と2系統あるうち、それぞれ1系統ずつに分けて実施している。

(1) 設備が自動起動模擬信号により起動する時間の測定

本設備の被ばく上の解析条件である減圧事故を想定した、「1次冷却材・加圧水差圧低」信号受けて非常用空気浄化設備が起動するまでの時間を測定する。「1次冷却材・加圧水差圧低」信号を入力すると原子炉スクラム、原子炉格納容器隔離信号が発信するが、そのうちの原子炉格納容器隔離信号を受けて非常用空気浄化設備が自動起動する。測定手順は以下のとおりである。

測定手順

- ① 安全保護シーケンス盤及び安全保護系計装盤よりTable3.4.1に示す信号を取り出し、オシログラフィックレコーダーに接続する。
- ② 模擬信号「1次冷却材・加圧水差圧低」入力から非常用空気浄化設備起動までの時間をレコーダーに記録し、チャート紙上から時間の測定を行う。なお、当該時間は0.1秒以内と非常に短いため、オシログラフィックレコーダーを使用する。

本検査を実施する場合、定期検査期間中ということもあり、安全保護系のプロセス値が原子炉運転状態とかけ離れており「1次冷却材・加圧水差圧低」信号以外の原子炉スクラム信号、原子炉格納容器隔離信号も発信している状況である。それらの信号はP-A以下手動ブロックにより抑制されているが、本検査時にはP-A以下手動ブロックを解除して実施する。そこで、模擬信号「1次冷却材・加圧水差圧低」のみを有効なものにするため、安全保護系プロセス回路に模擬入力を行い、原子炉運転状態を模擬する必要がある。

(2) 設備起動後に電気ヒータの出入口温度差が4°C以上になるまでの時間の測定

よう素除去フィルタの設計仕様には、「HTTRの設計及び工事の方法の許可申請書(別添4)」により、よう素除去効率95%以上(相対湿度80%)とある。よう素除去フィルタは湿度が高いほど捕集効率が悪化するため、事故時における最悪の湿度は100%になる。しかし、湿度が100%であっても、4°C温度が上昇することにより湿度は80%以下になることが「湿り空気曲線図」により明らかになっている。この機能を確認するため昇温時間の測定を実施する。なお、毎年度における測定結果は、4°C以上の温度差に到達する所要時間が概ね1分程度であることを確認している。測定手順は以下のとおりである。

測定手順

- ① フィルタユニット内の電気ヒータ出口、サービスエリア内の空気取り入れ口(N-409 室ダクト)に熱電対を取り付ける。また、時間測定開始の起点となる電気ヒータ、排風機の起動信号を、それぞれの起動電流で確認する。起動電流は電気ヒータ、排風機の端子からクランプテスタ使用して測定する。それらの信号を取り出し、ペンレコーダーに接続する。
- ② 電気ヒータ、排風機を同時に起動させ、定格風量が出ていることを確認。サービスエリア入口温度とフィルタユニット電気ヒータ出口温度の差が 4°C以上になるまでの時間をレコーダーにて記録し、チャート紙より時間の測定を行う。

(3) 電源喪失により停止した設備が非常用発電機により再起動するまでの時間の測定

被ばく上の解析条件にある商用電源喪失を想定したもの。一度「1次冷却材・加圧水差圧低」信号を受けて起動した非常用空気浄化設備が商用電源喪失により停止する。その後、非常用発電機の起動により電源が確立し、非常用空気浄化設備は再起動する。ここでは一度起動した非常用空気浄化設備が商用電源喪失による停電により停止した後、非常用発電機起動により再起動するまでの時間を測定する。なお、これまでの測定結果では、50 秒前後に非常用空気浄化設備の再起動を確認している。測定手順は以下のとおりである。

測定手順

- ① 安全保護シーケンス盤より Table3.4.2 に示す信号を取り出し、ペンレコーダーに接続する。
- ② 非常用電源設備であるパワーセンタの受電遮断機を開操作することにより停電を発生させる。停電から非常用発電機により非常用空気浄化設備が再起動するまでの時間をペンレコーダーで記録し、チャート紙より時間の測定を行う。

3.6 非常用空気浄化設備の作動試験

原子炉施設保安規定第28条により定められており、原子炉運転中、毎月1回以上の頻度で非常用空気浄化設備の作動試験を行う。

2系統あるうち、それぞれ1系統ずつについて行う。排風機と電気ヒータを起動させ、設備が停滞なく起動すること、ヒータ出口温度が上昇すること、排風機の風量が確保されていること、各フィルタの差圧が管理値以内であることを確認している。

3.7 サービスエリア

サービスエリアの保守管理は原子炉施設保安規定に定められており、HTTR施設定期検査で行う定期点検により実施している。定期点検では、サービスエリアを構成する機器毎に、毎年度実施する点検項目を定め、それに基づいて計画的に点検を行っている。各構成機器の点検内容は以下の通りである。

(1) 外観検査

サービスエリアの扉、貫通配管及び貫通ダクトの外観について、定期検査毎に目視による確認を行い、著しい変形、有害な損傷、腐食の有無を確認している。本設備は空調設備のある管理区域にあることから、外観はこれまで、設置時の良好な状態に保たれている。

(2) 作動検査

サービスエリア貫通部のダンパについて作動検査を行い、ダンパの円滑な動作を確認する。定期点検毎に実施し、中央制御室の操作スイッチでダンパの開閉操作を実施し、それに応じて開閉ランプ表示が切替わること及び、現場にて異音、異常な振動の発生が無く、円滑に作動することを確認している。なお、本検査対象は原子炉建屋換気空調設備のダンパであり、原子炉建屋換気空調設備が点検中により停止しているときに作動検査を実施している。

(3) 気密検査

サービスエリアを密閉し、非常用空気浄化設備が起動したとき、サービスエリア内の負圧の値が-59pa(gauge)以下に到達し、かつ維持されていることを確認する。定期点検毎に実施し、これまでの検査結果では、排風機の起動後1分以内に所定の負圧を満足している。なお、検査はA系統、B系統それぞれ1系統毎に行うものと、A系統、B系統の2系統合わせて行うものがあり、合計3回行う。検査手順は以下のとおりである。

- ① サービスエリア扉を閉にして施錠を確認する
- ② 空調設備の貫通部ダンパの閉を確認する。
- ③ 非常用空気浄化設備排風機を起動させ、サービスエリア内圧力が-59pa(gauge)以下に到達し、維持されていることを確認する。

4. 改善事項

4.1 漏えい検査方法の改善

非常用空気浄化設備の作動試験中に排気フィルタユニットに内蔵する、微粒子フィルタのビニールバックが排風機吸入口に吸い込まれ、流路が閉塞する事象が発生した。これを受け排気フィルタユニット漏洩試験の方法を変更した。

事　象

H13年1月28日、非常用空気浄化設備B系統の作動試験中、「非常用空気浄化フィルタ出口温度高」警報が発報した。機器を停止して原因調査を行ったところ、排気フィルタユニット(B)の微粒子フィルタ(下流側)内の折りたたんであるべきビニールバックが排風機入口側ノズルにつまっていた。ビニールバックを折りたたみ収納し、排風機を再起動して作動試験を実施した。

原　因

排気フィルタユニット(B)の微粒子フィルタ(下流側)内のビニールバッグが、微粒子フィルタの点検扉の気密が不十分であったことから、排風機起動により発生した吸引力により引き込まれ、排風機入口側ノズルにつまり流路を閉塞。流量が出ず警報の発報に至った。

処　置

当該フィルタ開口部に折り畳んだバッグの収納を強固にするとともに、排気フィルタユニット外側から空気の漏れ込みがないように均等に取り付けネジを締め、点検扉を閉鎖し、作動試験により異常が無いことを確認した。また、他のフィルタの点検扉の状態及び、取付ネジの緩み等を確認した。

対　策

本事象を踏まえて、漏洩検査の方法を変更した。従来の方法は排気フィルタユニット内に圧力(5.8Kpa)を加え、発泡液により点検扉からの漏洩の有無を確認していたが、非常用空気浄化設備起動時に排気フィルタユニット内は外部雰囲気に対し負圧になるという非常用空気設備運用の実態に即し、H14年度定期検査から排風機を起動することにより排気フィルタユニット内を負圧にし、外部からの空気の漏れ込みが無いことを確認する方法を採用している。

4.2 捕集効率検査方法の改善

H15年度定期点検中、非常用浄化設備系統内の主ダンパ部及び、排気フィルタユニット内にDOP液停留が見つかった。これを受け、微粒子フィルタDOP試験の方法を改善し、非常用空気浄化設備系統内にDOP液が滞留しないようにした。

状況

H15年8月27日、主ダンパの分解点検において、管内に茶褐色溶液が停留しているのを確認した。また、H15年9月9日に実施した排気フィルタユニット内に装着されている微粒子フィルタ外観点検においても、同一の液体が付着した茶褐色斑紋を確認した。主ダンパ部DOP液滞留の様子を Photo 2.11 に示す。

処置

主ダンパ部

停留したDOP溶液を除去した。

微粒子フィルタ

微粒子フィルタの上下段を入れ替えて装着。次回点検時に今回と同事象が発生するか確認する。(試験方法を改善したことにより、H16年度点検では新たに微粒子フィルタにDOP溶液が滴下した跡は見られなかった。)

原因

回収された茶褐色溶液をガスクロにより分析したところDOPであることが判明した。これは微粒子フィルタ捕集効率検査時に投入するDOPスモークが凝縮したものである。(DOP物性 沸点 386°C、融点 -55°C)

(1) 主ダンパ部でのDOP液停留

- ①点検毎に行う捕集効率検査により経年付着蓄積したDOP溶液が系統管内を経由して滴下した。
- ②捕集検査時にDOPスモーク投入に使用するジャバラダクト内の高濃度DOPスモークの一部が凝縮しジャバラダクトを伝い投入口から流入した。

(2) 微粒子フィルタの茶褐色斑紋

点検毎に行う捕集効率検査によりDOPスモークが経年付着堆積したものが滴下した。

対策

- ①最小のDOP投入量で微粒子フィルタ捕集効率試験を行うようにし、使用したDOP量を記録する。
- ②DOPスモーク投入時に使用するジャバラダクトの系統への接続を、DOPスモーク投入口に対して下側から接続し、ジャバラダクト内でDOPスモークが凝縮しても系統内に流入しないように変更した。
- ③微粒子フィルタ捕集効率検査実施前後にファイバースコープ等を用いて管内のDOP溶液の停留の状況を確認し、必要に応じて清掃を実施する。

上記対策の結果、H16年度定期点検ではDOP溶液の系統内部の滞留、微粒子フィルタの汚損は見られなかった。また、捕集効率検査の結果も良好であった。

5. おわりに

HTTR では、事故発生に伴い原子炉格納容器内の圧力又は放射能濃度が実際に上昇した場合、あるいは上昇するおそれがある場合などに、工学的安全施設である非常用空気浄化設備が自動起動し、放射性物質の外部への放出を防止するよう設計されている。本設備は原子炉の通常運転時には待機状態にあり、その積算稼働時間は他設備に比べて極めて少ないが、事故時の工学的安全施設として確実な作動が期待されている重要設備である。これまで主要機器の分解点検頻度の適正化を図るなど、その保守管理については、万全を期して実施してきた。また、性能に係わるフィルタ類の確実な管理や、検査の方法の改良などを行なながら運用してきた。

今後の保守管理の検討事項として、よう素除去フィルタの捕集効率検査で現在使用しているフロンガスの代替化が挙げられる。フロンガスはオゾン層保護を目的とした世界的なフロンガス規制を受けて、現在その製造は中止になっているが、捕集効率検査の使用までは規制されていない。本設備でも、工場におけるよう素除去フィルタ単体の捕集効率検査は、H17年度から、代替ガスであるフロリナートを採用して検査を実施している。フロリナートは、完全にフッ素化された不活性な液体で、フロンガスと異なり、オゾン層を破壊する塩素が含まれていないガスである。現地におけるよう素除去フィルタ全体の捕集効率検査においても、フロリナートガス発生装置、ガスクロマトグラフ等の機材、また、それらの機器を取扱う技術・経験が整備され次第、フロリナートを用いた捕集効率検査に移行する計画である。

本設備は本格的な運用開始から間もなく 10 年を迎えようとしている。これまでの経験から、本設備について、基本的な保守管理の方法は確立できたと考える。

この機会に、これまで非常用空気浄化設備を運用する中で蓄積してきた保守管理の方法を中心に、設備を構成する機器及び計測器の概要、設備を運用する中で実施してきた改善事項などについて纏めた。

謝辞

本报を纏めるにあたり、貴重なご助言を頂いた高温工学試験研究炉部長小森芳廣氏、同部次長川崎幸三氏並びに中澤利雄氏、同部原子炉主任技術者藤本望氏、HTTR運転管理課長水島俊彦氏に深く感謝致します。

また、HTTR運転管理課の方々による着実な業務の遂行により保守管理を確実に実施することができました。関係者に感謝いたします。

参考文献

- (1)坂場成昭、飯垣和彦、川路詰、伊与久達夫:HTTR 原子炉施設に関する機能試験 JAERI-Tech 98-013 (1998)
- (2)日本原子力研究所大洗研究所原子炉設置許可申請書「HTTR(高温工学試験研究炉)原子炉の設置」(1989)

Table2.(1) HTTR の基本仕様

原子炉熱出力	30MW
1次冷却材	ヘリウムガス
原子炉入口／出口冷却材温度	395/850-950°C
1次冷却材圧力	4MPa
炉心構造材	黒鉛
炉心有効高さ	2.9m
炉心等価直径	2.3m
出力密度	2.5MW/m ³
燃料	二酸化ウラン・被覆粒子／黒鉛分散型
ウラン濃縮度	3~10% (平均 6%)
燃料体形式	ブロック型
原子炉圧力容器	鋼製(2 1/4Cr-1Mo 鋼)
主冷却回路数	1 ループ(中間熱交換器及び加圧水冷却器)

Table2.(2) 非常用空気浄化設備の自動起動条件

項目	作動条件	阻止条件
原子炉格納容器内圧力高	34.3kPa 以上	—
原子炉格納容器内放射能高	通常運転時の放射能濃度の 10 倍以上 現状の設定値は $4,900\text{ s}^{-1}$	—
1次ヘリウム純化設備流量高	250.19kg/h 以上 定格流量の 127%以上	—
サービスエリア放射能高	通常運転時の放射能濃度の 10 倍以上 現状の設定値は 314 s^{-1}	—
1次冷却材・加圧水差圧低	0.15MPa 以下	原子炉出力が $40,000\text{ s}^{-1}$ 以下の 場合、手動により原子炉格納容器隔離を阻止できる。
原子炉格納容器手動隔離	2個の操作スイッチのうちい ずれか1個の操作による	—

Table 2.1.1 排気フィルタユニットの機器仕様

名 称	排気フィルタユニット
機器番号	144VU1A,144VU1B
機器種別	第5種管
耐震クラス	A
型 式	電気ヒータ、微粒子フィルタ及びよう素除去フィルタ内蔵型
数 量	2基
流体の種類	空気
運転流量	3360m ³ /h/基(20°C、絶対圧力 101.3kPa、相対湿度 65%において)
自由体積	約 16.5m ³
最高使用圧力	内圧;3 kPa(gauge)、外圧;6 kPa(gauge)
運転圧力	-5kPa(gauge)
運転温度	50°C
最高使用温度	60 °C
微粒子フィルタ捕集効率	99%以上(0.7 μ m粒子に対して)
よう素除去フィルタ捕集効率	95%以上(相対湿度 80%、温度 50°Cに対して)
内蔵品の構成	電気ヒータ(10kw,440V)1台 (電気ヒータの出入口温度差が 5 分以内に4°C以上)
微粒子フィルタ	2段×4台×2基
よう素除去フィルタ	1段×4台×2基
チャコール層厚さ	50mm
機能条件	サービスエリア内の放射性よう素及び微粒子を除去する。
外形寸法	幅 4000、長さ 1300、高さ 3350
板 厚	4.5mm
主要材質	SS400
電源区分	非常用電源

Table 2.1.2 微粒子フィルタの機器仕様

品 名	ケンブリッジ・アブソリュート・フィルタ
型 式	IEE-600
寸 法	610×610×150mm
定格風量	18m ³ /min
圧力損失	初期; 0.25kPa(gauge)以下 最終; 0.5kPa(gauge)
捕集効率	99.97%以上 (0.3 μm DOP TEST)
主要材質	濾 材; グラスファイバー ケーシング; SPCC(ユニクロメッキ) セパレータ; アルミニウム ガスケット; ネオプレン・スポンジ
重 量	6.5kg/台

Table 2.1.3 よう素除去フィルタの機器仕様

品 名	添着活性炭フィルタ(チャコールフィルタ)
型 式	FD-1504
寸 法	610×610×368mm
定格風量	17m ³ /min
圧力損失	0.59kPa(gauge)
捕集効率	99.9%以上 (R-112 TEST)
主要材質	充 填 材; BC-727 ケーシング; SUS304 セパレータ; SUS304 ガスケット; ネオプレン・スポンジ
重 量	70kg/台

Table 2.1.4 電気ヒータの機器仕様

機器番号	144VU1A、144VU1B
型 式	DHS18-1-800
数 量	2 基
容 量	440V-3φ-10kw
回 路	5kw×2 回路
発熱体	85V-556w-18 本
流 体	空気
耐震クラス	A
風 量	3360m ³ /h
風 速	2.59m/s
圧力損失	29Pa 以下

Table 2.2.1 排風機の機器仕様

ファン	名 称	排風機
	機器番号	144B1A、144B1B
	型 式	片吸込遠心式
	機器種別	機器種別外
	数量	2 台
	流体	空気
	流量	3,360 m ³ /h／台 ^{注)}
	最高使用圧力	内圧; 2.9kPa(gauge) 外圧; 5.9kPa(gauge)
	最高使用温度	60°C
	主要材質	SS400
	耐震クラス	A
	吸込圧力	5.9kPa(gauge)
	吸込温度	20°C
電動機	型 式	誘導電動機
	数 量	2 台
	出 力	11kw／台
	電 壓	440V
	電源区分	非常用電源
	重 量	160kg

注) 温度 20°C、絶対圧 101.3kPa、相対湿度 65%の状態の値。

Table 2.3.1 主ダンパの機器仕様

名 称	主ダンパ
機器番号	144V1A 144V1B
機器種別	高温ガス炉第3種弁
流体の種類	空気
型 式	蝶型
数 量	2 基
耐震クラス	A
主要材料(弁箱)	SCPH2
駆動方式	空気作動
最高使用圧力	内圧:2.9 kPa(gauge) 外圧:5.8 kPa(gauge)
最高使用温度	60°C
圧縮空気区分	制御用圧縮空気
電源種別	直流電源
電源喪失時挙動	閉
圧縮空気喪失時挙動	開(圧縮空気が喪失してもサービスエリア内空気は排気フィルタユニットを通して排気管より放出可能。)
口 径	14B
取り付け箇所	144V1A 排気フィルタユニット(A)入口配管 144V1B 排気フィルタユニット(B)入口配管

Table 2.3.2 排風機出口逆止ダンパの機器仕様

機器番号	144D2A、144D2B
型 式	スイング式
駆動方式	自力式
数 量	2 基
流 体	空気
口 径	455 × 455(mm)
材 質	SS400
耐震クラス	A
最高温度	60°C
最高圧力	内圧:2.9kPa(gauge)、外圧:5.8kPa(gauge)
使用温度	常温
使用圧力	2.9kPa(gauge)

Table 2.3.3 風量調整ダンパの機器仕様

機器番号	144D3
型 式	スイング式
数 量	1 基
流 体	空気
口 径	14B
材 質	SS400
耐震クラス	A
最高温度	60°C
最高圧力	内圧: 2.9kPa(gauge)、外圧: 5.8kPa(gauge)
使用温度	常温
使用圧力	2.9kPa(gauge)

Table 2.3.4 ダクト入口シャッターの機器仕様

弁番号	口径	部屋番号	部屋名称
144D10	4B	N-108	燃料破損検出装置 機械室
144D11	14B	N-190	原子炉格納容器廻り 下部エリア
144D12	4B	N-110	1次ヘリウムサンプリング設備グループボックス室
144D13	4B	N-111	1次ヘリウム純化設備 コールドチャコールトラップ A室
144D14	6B	N-112	1次ヘリウム純化設備 コールドチャコールトラップ B室
144D15	12B	N-409	燃料取扱フロア

Table2.4.1 主ダクトの機器仕様

名 称	主ダクト
機器種別	サービスエリア貫通部から排気管まで 高温ガス炉第5種管
耐震クラス	A
最高使用圧力	内圧;2.9 kPa(gauge) 外圧;5.8 kPa(gauge)
最高使用温度	60 °C
流体の種類	空気
自由体積	約 10.5m ³

名 称	外径(mm)	厚さ(mm)	材質
主ダクト サービスエリア貫通部			
サービスエ リア貫通部 から排気フィルタユニット(A)、(B)角丸ダクトまで	355.6	11.1	STPG370
から排気管 まで	800×450	4.5	SS400
排気フィルタユニット (A)、(B)から排風機(A)、(B)まで	267.4	9.3	
(B)まで	355.6	11.1	
排風機(A)、(B)から排気 管まで	267.4	9.3	STPG370
	355.6	11.1	
主ダクト 管継手	—	—	PT370
継手類 フランジ継手	—	—	SS400

Table2.5.1 排気管の機器仕様

名 称	排気管
機器種別	機器種別外
耐震クラス	A
外径	0.4 m
高さ	GL+ 80 m
構 造	鉄骨造 (基礎部鉄筋コンクリート造)
主要材料	STK400

Table2.6.1 排気フィルタユニット電気ヒータ出口温度計装

計器番号	144TS-1A、144TS-1B	144TS-2A、144TS-2B
計 器	バイメタルサーモ	バイメタルサーモ
設 定	動作 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 復帰 $90 \pm 7^{\circ}\text{C}$	動作 $85 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 復帰 $70 \pm 7^{\circ}\text{C}$

Table2.6.2 排気フィルタユニットよう素フィルタ出口温度計装

計器番号	144TS-3A、144TS-3B
計 器	補償率方式火災感知器
設 定	動作 $170 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Table2.6.3 差圧計装

排気フィルタユニット微粒子フィルタ(上流)差圧	144DPI-1A、144DPI-1B
排気フィルタユニットよう素除去フィルタ 差圧	144DPI-2A、144DPI-2B
排気フィルタユニット微粒子フィルタ(下流)差圧	144DPI-3A、144DPI-3B
測定範囲;0—800Pa 精度±2%(F·S)	

Table2.7.1 サービスエリアの機器仕様

容 積	約 $23,000\text{m}^3$
耐震クラス	躯体 A 扉 A 貫通部 As、A、B、C(貫通設備側の条件が上位の場合はその条件をS/A貫通部に適用する。例えば貫通する設備本来の設計条件が耐震クラスA、第4種機器の場合は、貫通部の条件も耐震クラスA、第4種機器となる。)
圧力加重	躯体 3kPa(gauge) (地震時を除く短期荷重) 扉 0.2kPa(gauge) (地震時のみ)

Table3.1.1 微粒子フィルタの捕集効率検査の検査実績

実施年月		H8.5	H10.2	H11.2	H12.8	H13.8	H14.9	H15.9	H16.9
捕集効率 (%)	A系統	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99
	B系統	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99

Table3.1.2 DOPスモーク発生装置の機器仕様

発生機構	多管滲壁管式蒸発塔方式
発生物質	DOPスモーク(多分散粒子)
発生能力	0~30g/min
使用電源	AC220V
消費電力	約 30kW
外形寸法	W1800×L650×H1800(mm)
重量	約 1.5t

Table3.1.3 ホトメーターの機器仕様

型 式	TDA-2EN
測定可能範囲	上流側を1とした場合、下流側はその 100 万分の1
表 示	直線目盛(%)5段切換え(100%,10%,1%,0.1%,0.01%)
使用電源	AC100V
消費電力	約 500W
外形寸法	W432×L534×H191(mm)
重 量	約 13kg

Table3.1.4 よう素除去フィルタの捕集効率検査の検査実績

実施年月		H8.5	H10.2	H11.2	H12.8	H13.8	H14.9	H15.9	H16.9
捕集効率	A系統	99.59	99.55	99.60	99.88	99.67	99.45	99.87	99.23
	B系統	99.62	99.55	99.82	99.92	99.73	99.58	99.85	99.19
活性炭単体の 吸着効率(%)		99.71		99.83	99.95	99.74	99.60	99.88	99.27

Table3.1.5 フロンガス発生装置の機器仕様

構 造	空気蒸発方式
発生物質	R-112(CCl ₂ F—CCl ₂ F)
発生能力	0~40 l/min(ガス状態)
使用電源	AC220V
消費電力	最大 3.0kW
外形寸法	W500×L480×H500(mm)

Table3.1.6 ハロゲンガス濃度計の機器仕様

型 式	IPT-HLD-2
測定可能範囲	R-112(フロン)ガス 0.001~0.2ppm、1~50ppm
測定精度	測定値の±5%
使用電源	AC100V
消費電力	最大 500W
外形寸法	W550×L670×H450(mm)
重 量	約 60kg

Table3.4.1 オシログラフィックレコーダーに接続する信号

安全保護シーケンス盤

信号名	A系統	B系統
非常用空気浄化設備 排風機起動	245LP2A-1-2 T219-1,3	245LP2B-1-2 T219-1,3
非常用空気浄化設備 電気ヒータ起動	245LP2A-1-2 T219-4,6	245LP2B-1-2 T219-4,6

安全保護ロジック盤

信号名	A系統	B系統
1次冷却材・加圧水差圧低ch2	245LP1A TB205B3,4	245LP1B TB205B3,4
1次冷却材・加圧水差圧低ch3	245LP1A TB305B3,4	245LP1B TB305B3,4

Table3.4.2 ペンレコーダーに接続する信号

安全保護シーケンス盤

信号名	A系統	B系統
非常用空気浄化設備 排風機起動	245LP2A-1-2 T219-1,3	245LP2B-1-2 T219-1,3
非常用空気浄化設備 電気ヒータ起動	245LP2A-1-2 T219-4,6	245LP2B-1-2 T219-4,6
商用電源喪失	245LP2A-1-6 B1619-45A	245LP2B-1-6 B1619-45A
非常用発電機 電源確立	245LP2A-1-6 T613-9,10	245LP2B-1-6 T613-9,10

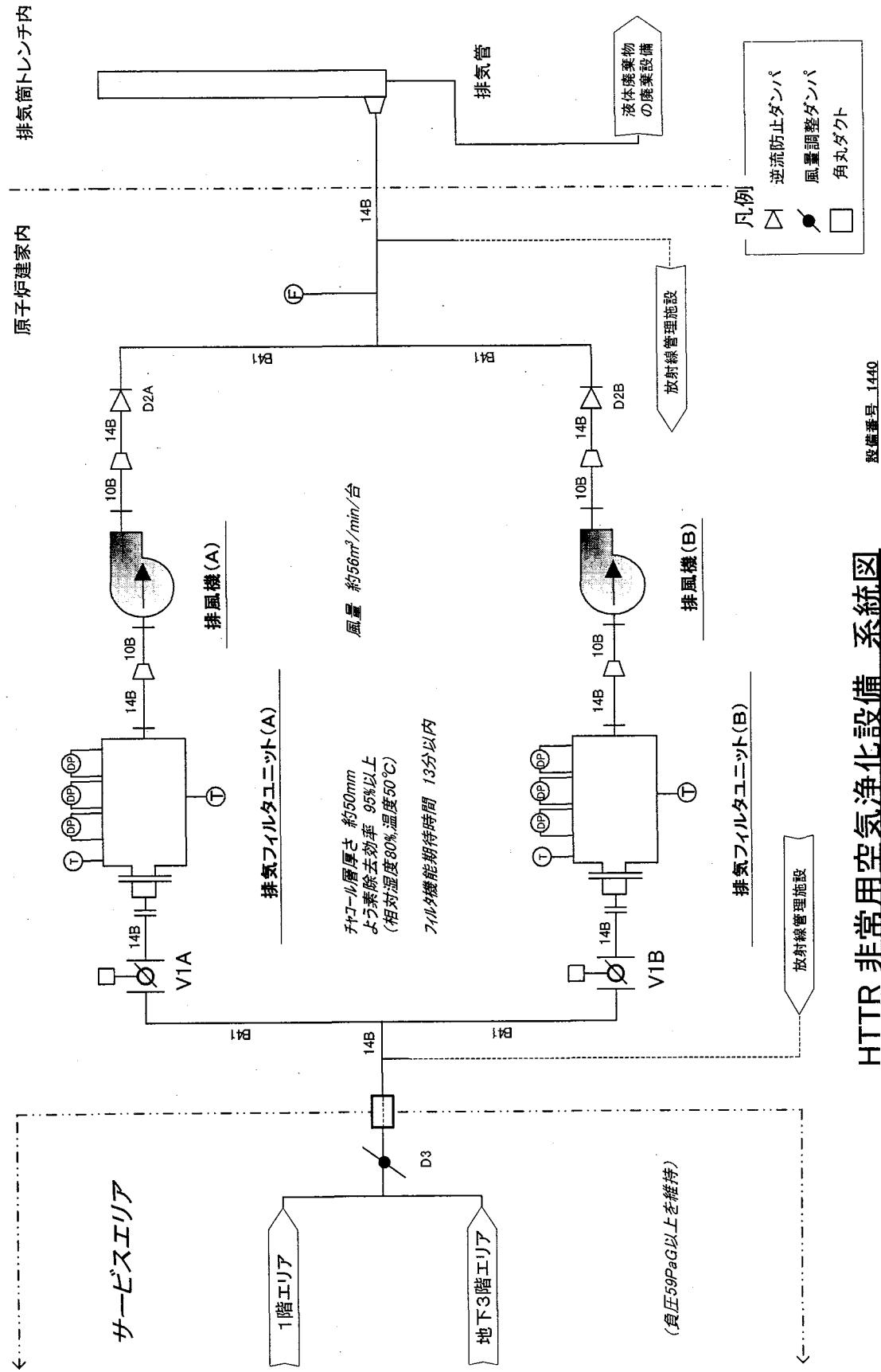
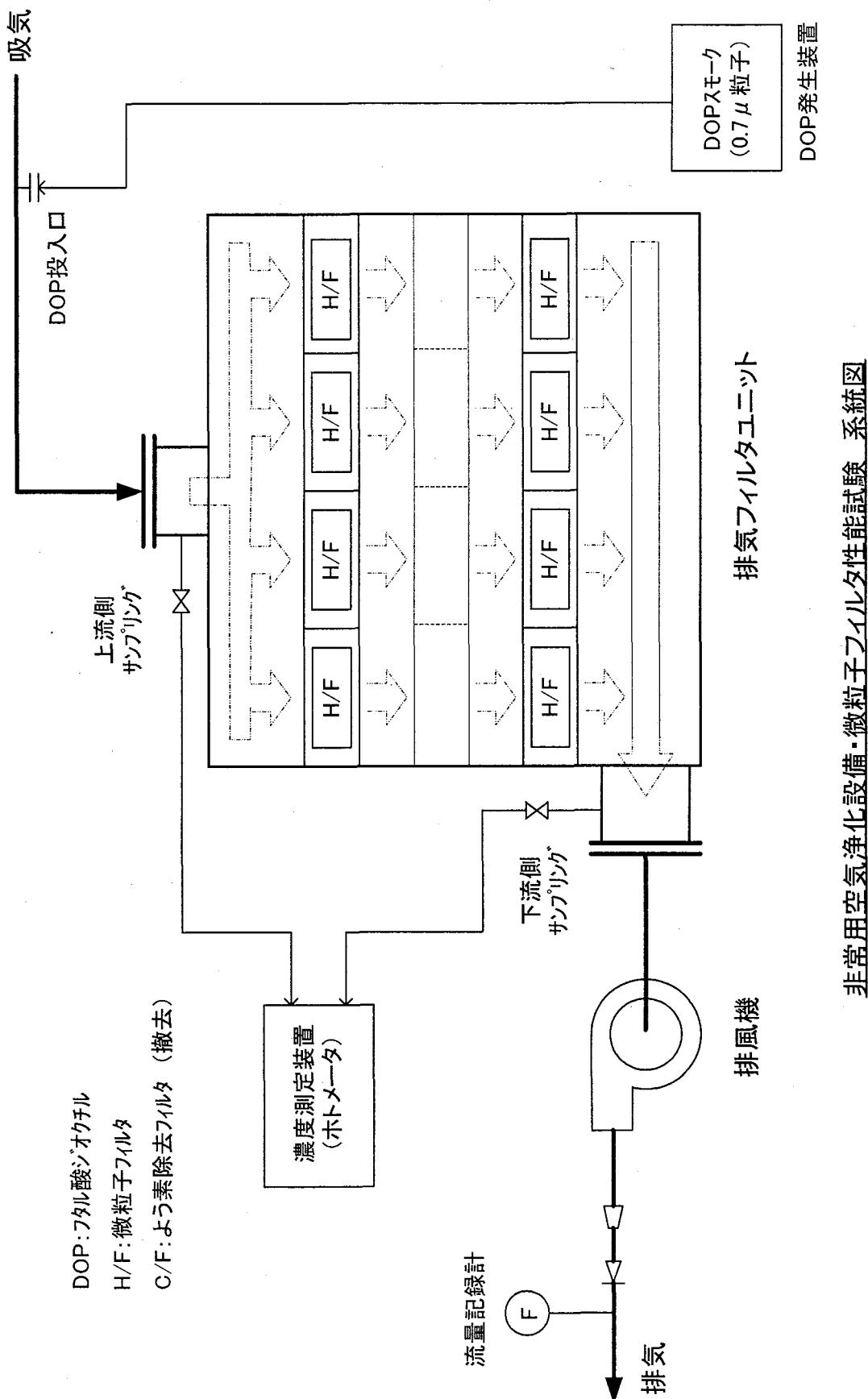


Fig.2.1 非常用空気浄化設備 系統図



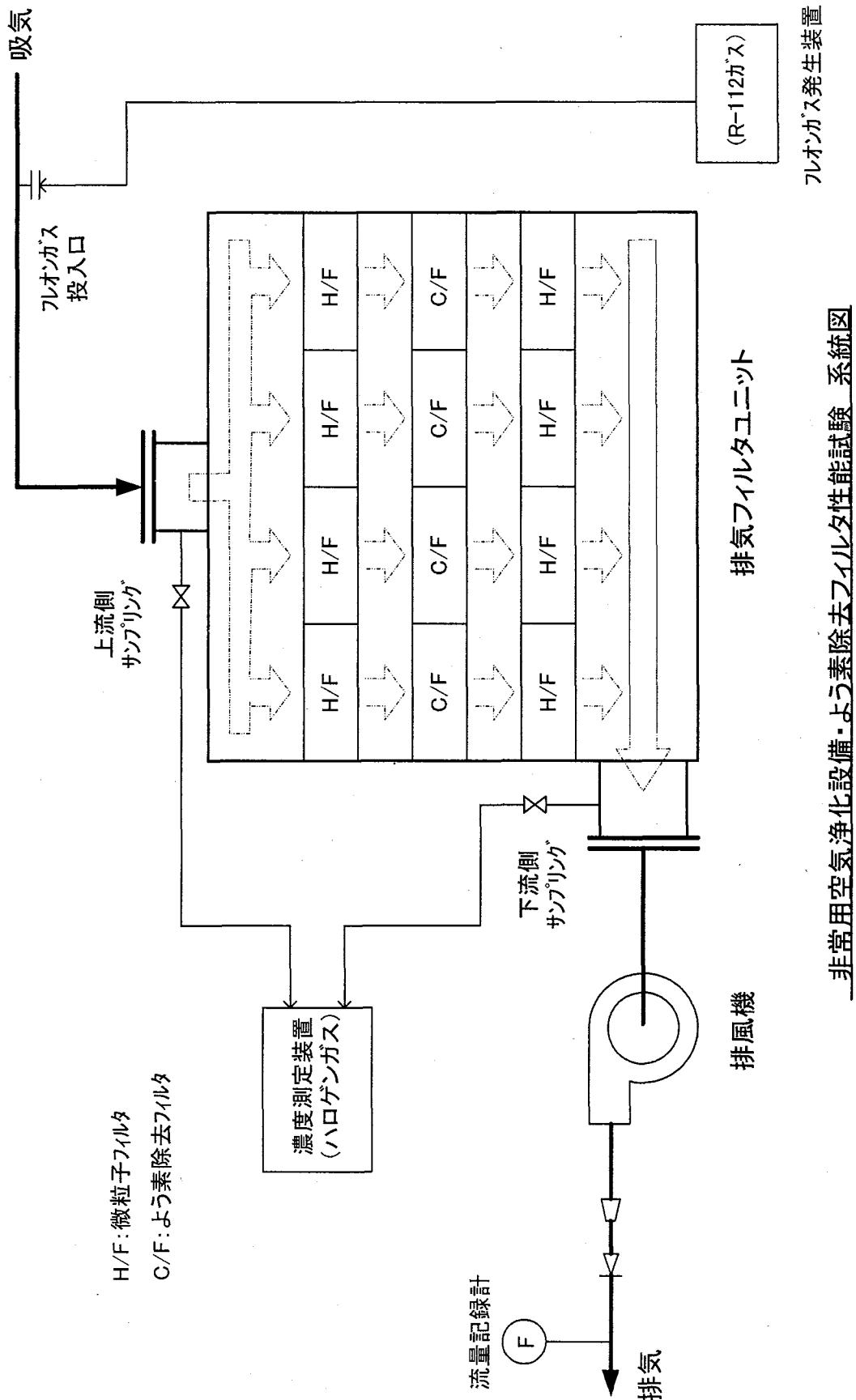


Fig.3.2 非常用空気浄化設備 よう素除去フィルタ性能試験 系統図

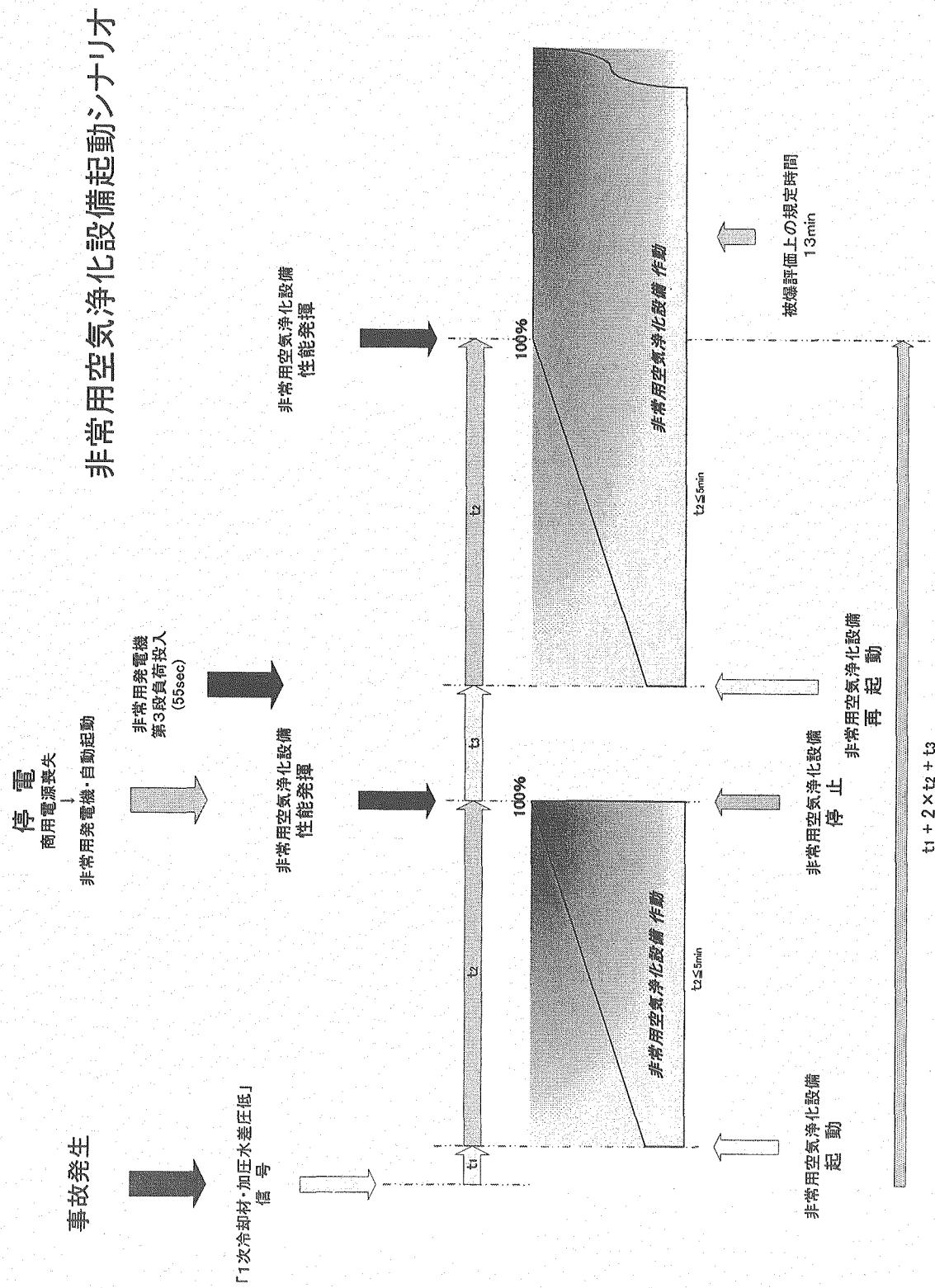


Fig.3.3 非常用空気浄化設備 起動シナリオ

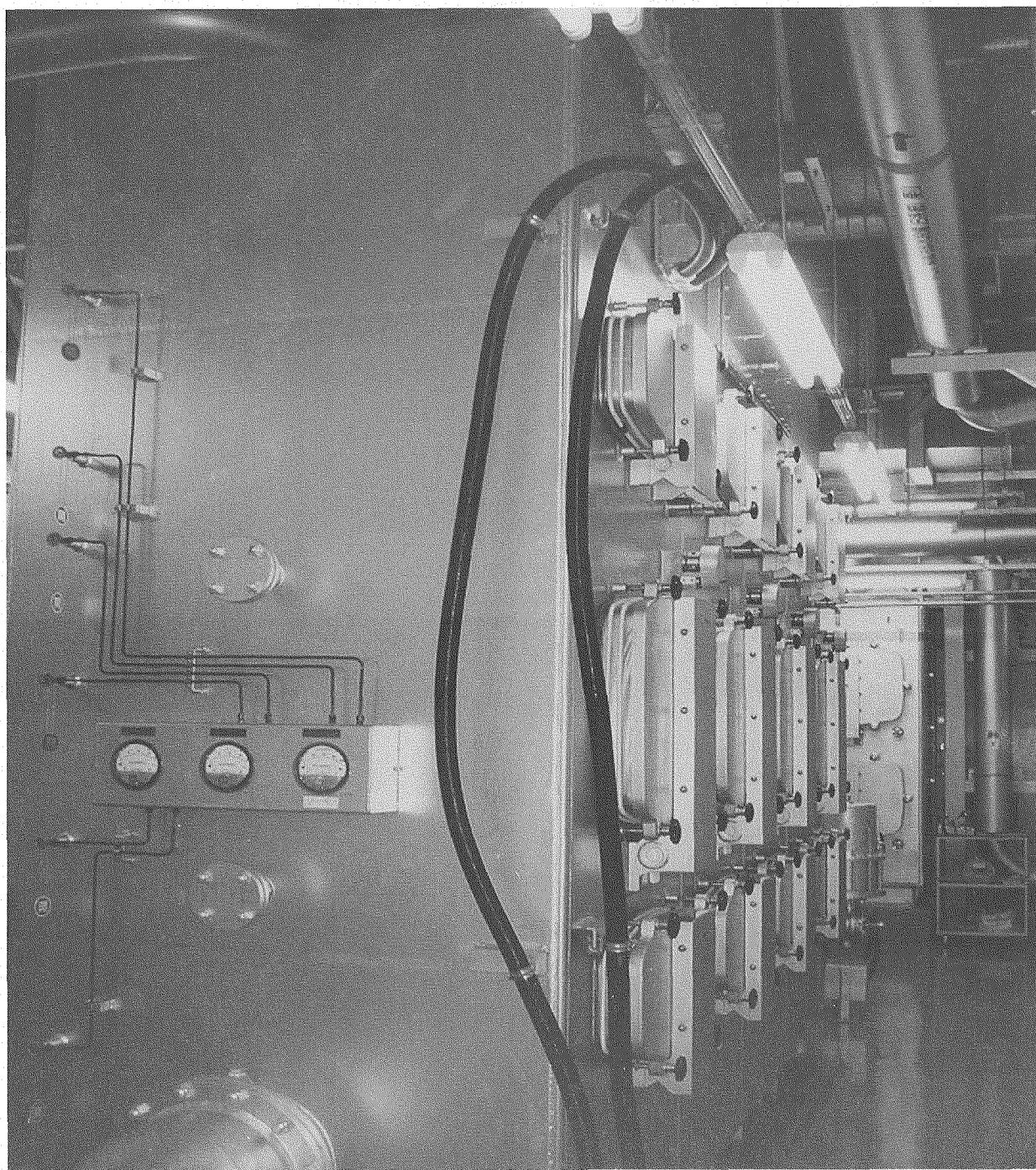


Photo 2.1 排気フィルタユニット



Photo 2.2 微粒子フィルタ



Photo 2.3 よう素除去フィルタ

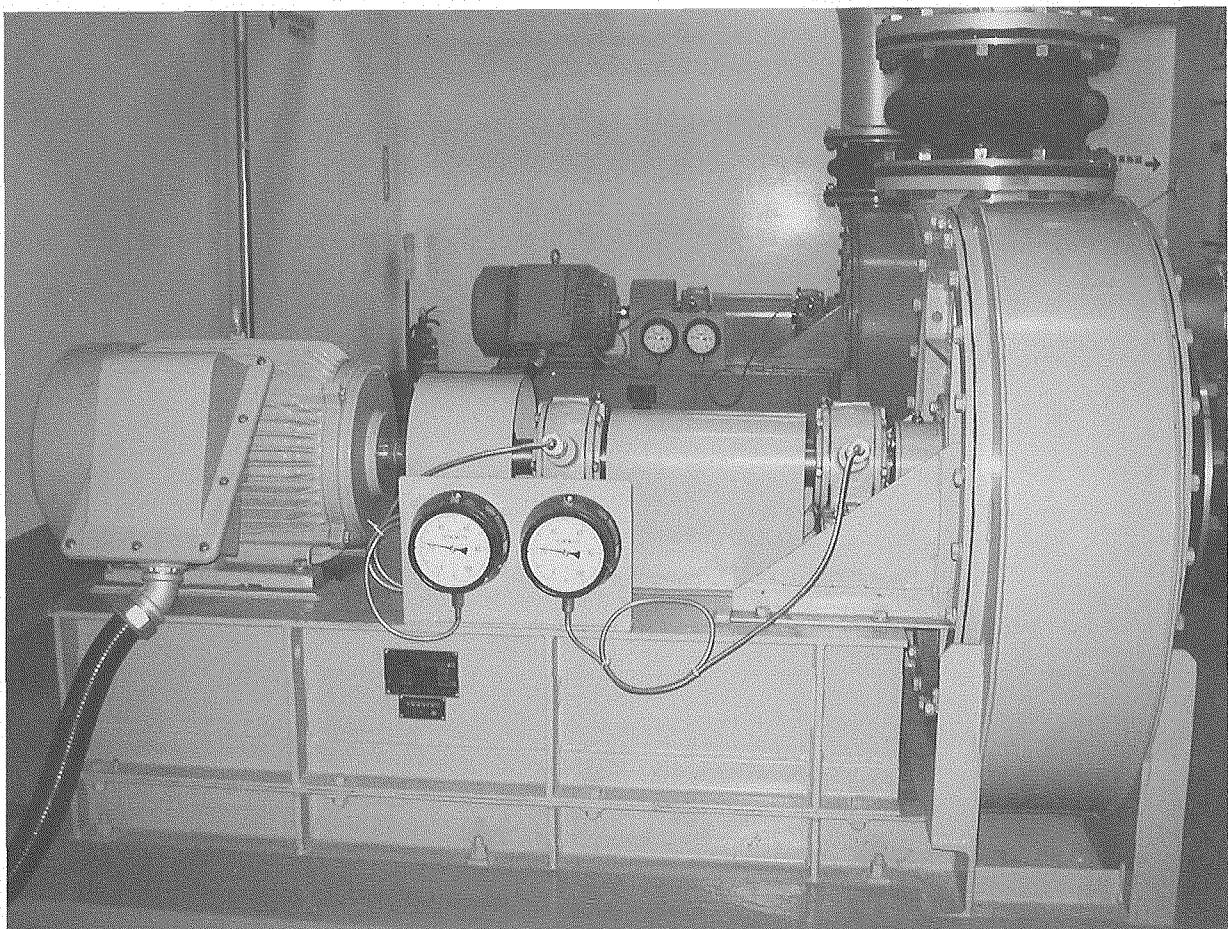


Photo 2.4 排風機

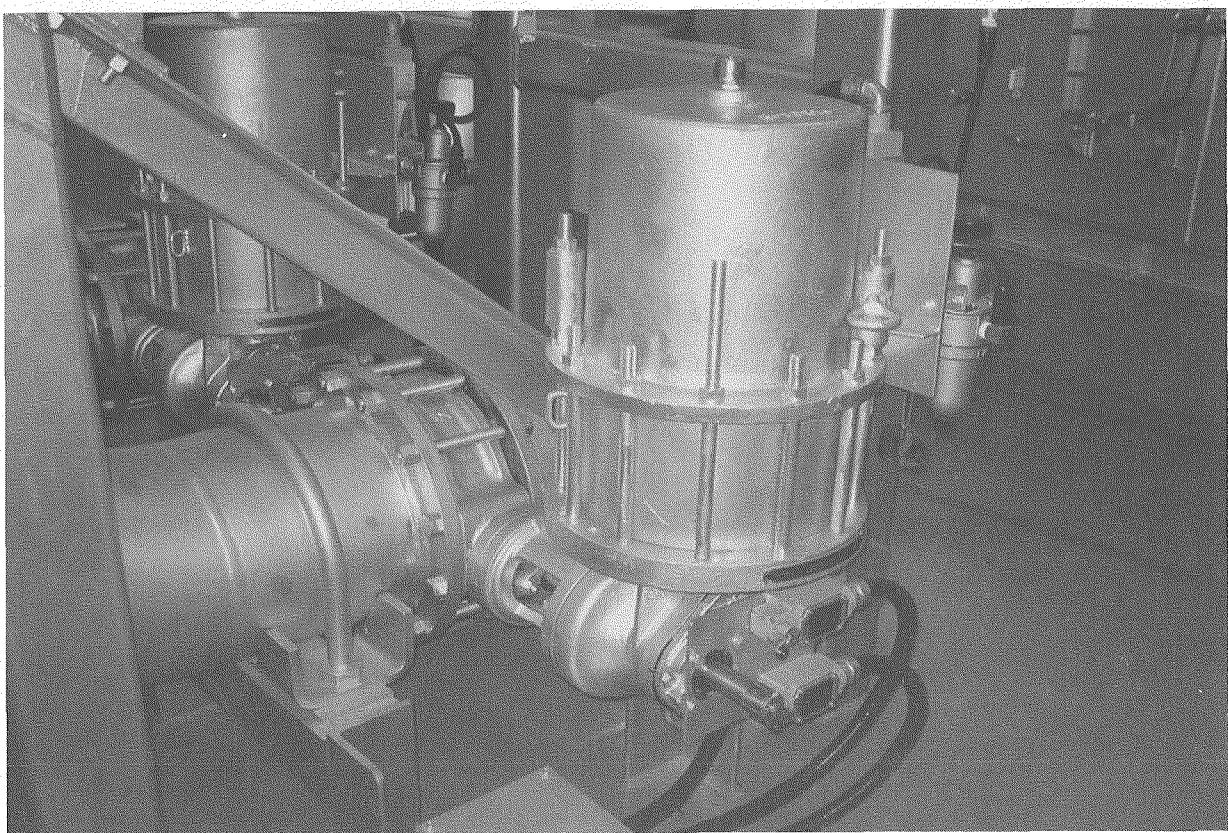


Photo 2.5 主ダンパー

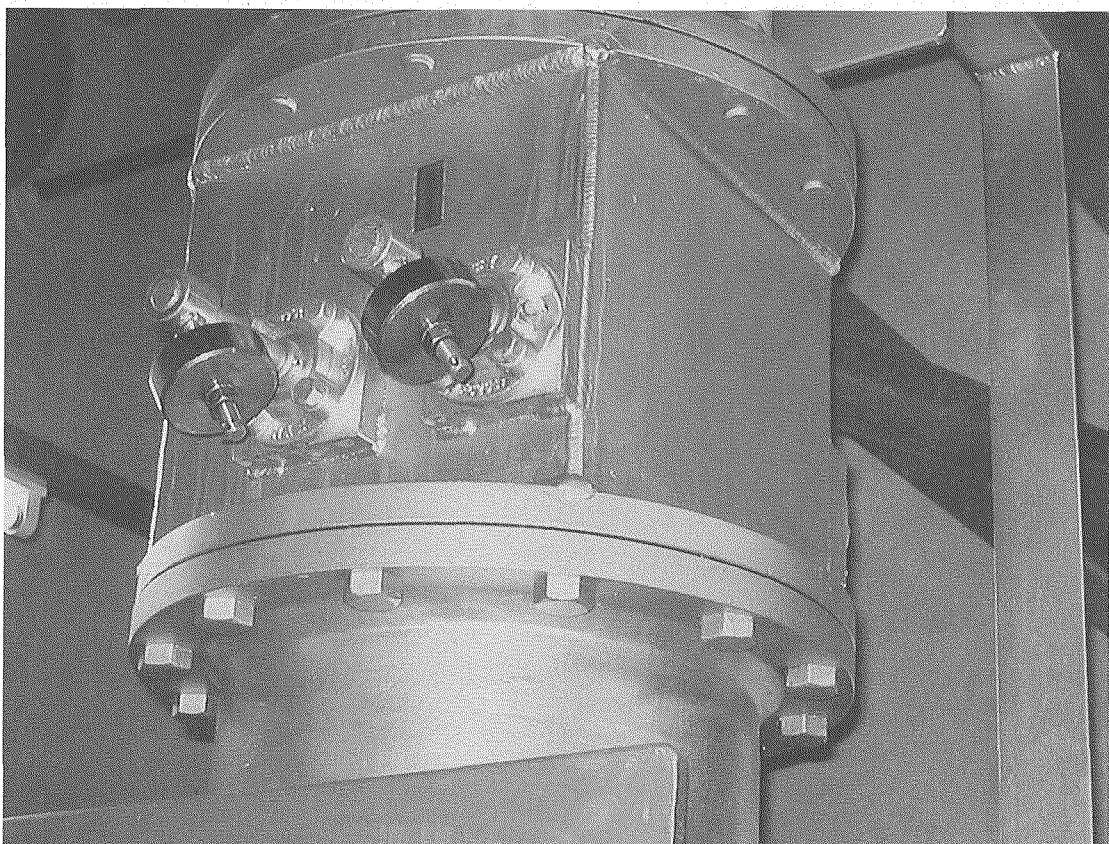


Photo 2.6 逆止ダンパ

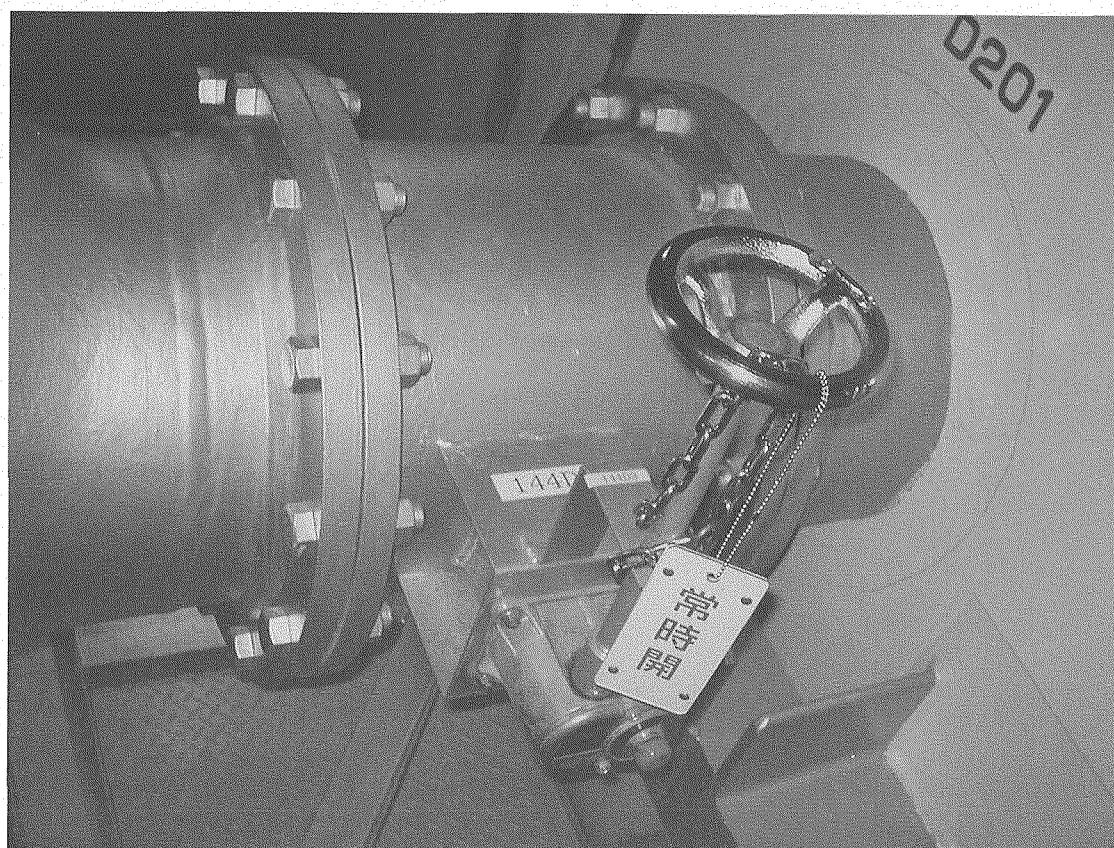


Photo 2.7 風量調整ダンパ

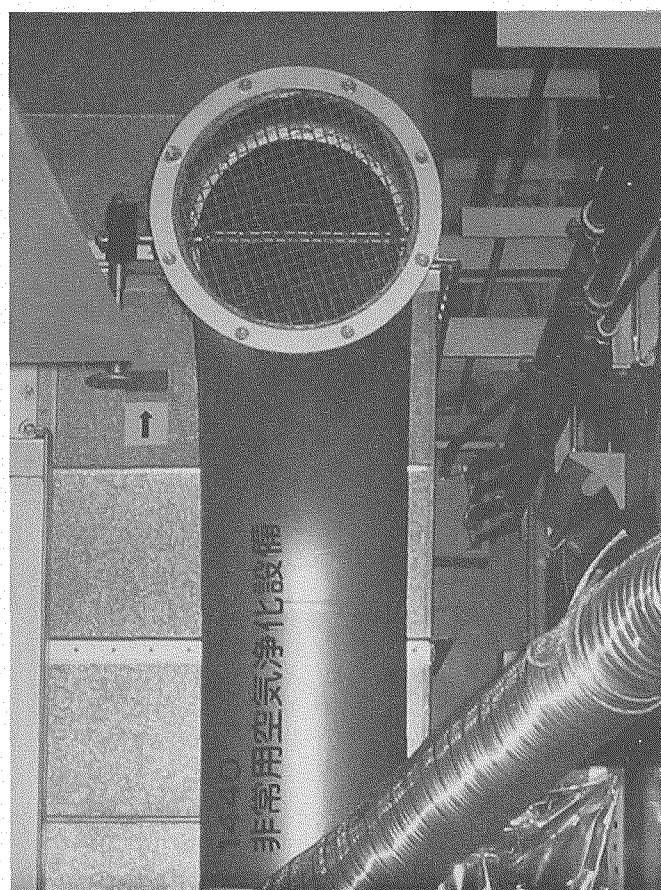


Photo 2.8 ダクト入口シャッター

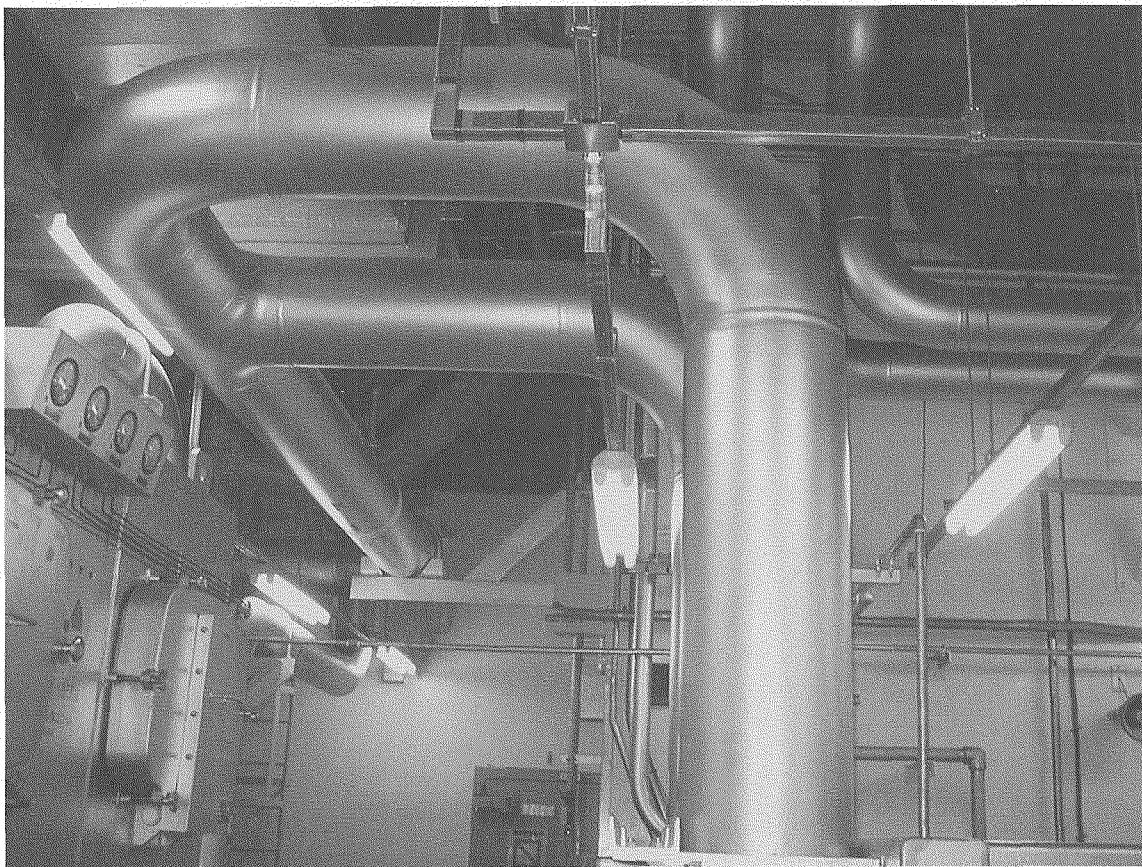


Photo 2.9 主ダクト

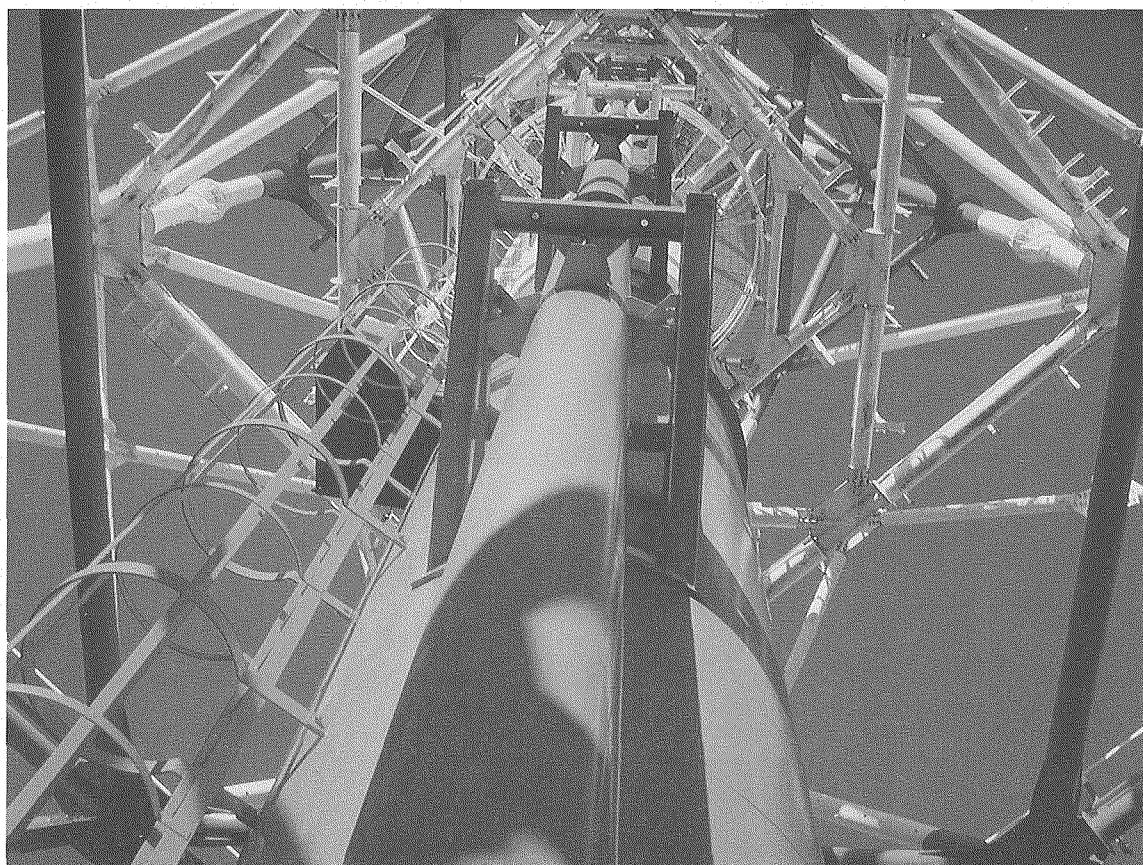


Photo 2.10 排気管

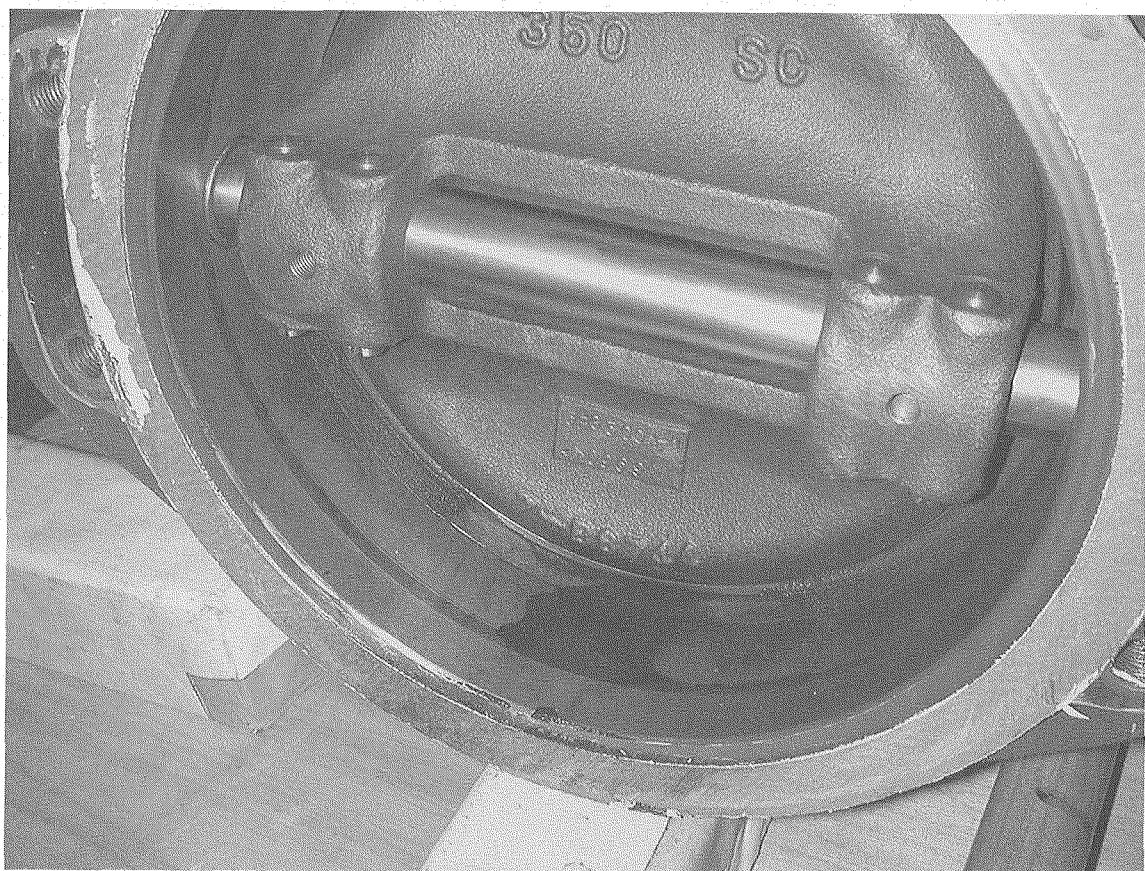


Photo 2.11 主ダンパ部のDOP液滞留

This is a blank page.

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	立方メートル	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	メートル毎秒	m ⁻¹
密度(質量密度)	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
質量体積(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
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率(数の)	1	1

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²¹	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²⁰	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	フェット	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3. 固有の名称とその独自の記号で表される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
平面角	ラジアン ^(a)	rad	$m \cdot m^{-1} = 1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(a)	sr ^(c)	$m^2 \cdot m^{-2} = 1^{(b)}$
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
圧力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m^2
工率、放射束	ワット	W	$N \cdot m$
電荷、電気量	クーロン	C	J/s
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーケンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバー	Wb	Wb/m^2
インダクタンス	スレーヴィ	T	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(d)	°C	K
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr^{(e)}$
(放射性核種の)放射能吸収線量、質量エネルギー	ベクレル	Bq	lm/m^2
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量	グレイ	Gy	J/kg

(a) ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b) 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“1”は明示されない。

(c) 測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d) この単位は、例としてミセルシウス度m°CのようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N·m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s ²	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ラジアン毎平方メートル	W/m ²	$kg \cdot s^{-3}$
熟容量、エンタルピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール毎キログラム	J/(kg·K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー	モル	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
(比エネルギー)	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット每メートル毎ケルビン	W/(m·K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード每メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^2$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンタルピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol·K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量	グレイ每秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^1 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² ·sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

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=86400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
リットル	L	1L=1 dm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg
ネーベル	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	1eV=1.60217733(49)×10 ⁻¹⁹ J
統一原子質量単位	u	1u=1.6605402(10)×10 ⁻²⁷ kg
天文単位	ua	1ua=1.49597870691(30)×10 ¹¹ m

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1海里=1852m
ノット	ト	1ノット=1海里每時=(1852/3600)m/s
アール	a	1a=1 dam ² =10 ⁴ m ²
ヘルツ	ha	1ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
バル	bar	1bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=10 ⁻¹⁰ m
バーン	b	1b=100fm ² =10 ⁻²⁸ m ²

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイナ	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボルト	P	1 P=1 dyn·s/cm ² =0.1Pa·s
ストップ	St	1 St = 1cm ² /s=10 ⁻⁴ m ² /s
ガウス	G	1 G=10 ⁻⁴ T
エルステッド	Oe	1 Oe=(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx=10 ⁻⁸ Wb
スチルズ	sb	1 sb=1cd/cm ² =10 ⁴ cd/m ²
ホル	ph	1 ph=10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm/s ² =10 ⁻² m/s ²

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	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=1CiGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
X線単位	γ	1 X unit=1.002×10 ⁻⁴ nrem
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
ジャニスキー	Jy	1 Jy=10 ⁻²⁶ W·m ⁻² Hz ⁻¹
フェルミ	fm	1 fermi=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット	Torr	1 metric carat=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
標準大気圧	atm	1 Torr=(101325/760) Pa
カリ	cal	1 atm=101325 Pa
ミクロ	μ	1 μ=1pm=10 ⁻⁶ m