



照射後試験施設の保守技術開発

－ α 雰囲気セル（金相セル）運転下での

排気自動制御弁更新手法の考案－

Development of Maintenance Technology on Post Irradiation Examination Facility

- An Invention of Automatic Control Exhaust Valve Update Method

Under Operated Condition of Alpha Tight Hot Cell -

水越 保貴 櫛田 尚也

Yasutaka MIZUKOSHI and Naoya KUSHIDA

大洗研究開発センター

燃料材料試験部

Fuels and Materials Department

Oarai Research and Development Center

June 2010

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, 2010

照射後試験施設の保守技術開発
－ α 雰囲気セル(金相セル)運転下での排気自動制御弁更新手法の考案－

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター
燃料材料試験部

水越 保貴、櫛田 尚也

(2010年3月11日受理)

照射後試験施設 α 雰囲気セルである金相セルの負圧維持のため長期間使用し経年劣化が生じた排気自動制御弁について、安全、且つ、効率的に更新する手法を考案し、その更新工事を実施した。

金相セルでは原子炉で照射した燃料ピンの切断、研磨及び機器分析等の照射後試験を長年実施しており、セル内部は放射性 α 核種を含む核燃料物質等の放射性物質により高いレベルで汚染されている。このような α 雰囲気セルは法令上及び安全上から常に負圧を維持する必要があるため、排気自動制御弁などのセル空調機器を更新する際は、常時負圧を維持した状態での作業、若しくはセル内の放射性物質を除染した後での作業が要求される。

金相セルの排気自動制御弁を更新する方法としては、設計当初セル内の放射性物質を除染した後、セルの排気運転を停止し排気制御弁を更新する方法としていたが、本方法のデメリットとして整備期間が1年間以上に亘る上、核燃料物質使用変更許可申請の手続き等膨大な労力が必要である。当該セルには燃料挙動解析用の分析機器が配備され外部からの試験ニーズも非常に高く、1年間以上もセルの使用が出来ないことは多方面への影響も大きくなる。従って、今回 α セルとして負圧維持を常時行いながら排気制御弁の更新する方法を考案し実施した。これにより、放射性廃棄物の削減、セルの使用停止期間の短縮、排気制御弁更新に係る経費の大幅節減を達成した。

Development of Maintenance Technology on Post Irradiation Examination Facility
- An Invention of Automatic Control Exhaust Valve Update Method Under Operated
Condition of Alpha Tight Hot Cell -

Yasutaka MIZUKOSHI and Naoya KUSHIDA

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

(Received March 11, 2010)

The inside of Metallography cell, which is an alpha-tight hot cell of post irradiation examination facility, is contaminated by radioactive matters and nuclear fuel materials at high levels, because many fuel pins that were irradiated in nuclear reactor were examined in this hot cell over many years. Therefore, for reasons of safety of workers and of the requirements of the act, the devices for negative pressure controlling (e.g. automatic control exhaust valves) must be updated under the condition of maintained negative pressure in hot cell or under the condition of completion of decontamination of radioactive matters in hot cell.

Update method of automatic control exhaust valves of Metallography cell at the design-time of this hot cell was that the automatic control exhaust valves were updated under the condition of no ventilation operation after completion of decontamination. However, this method harmed the experiments of fuel pins because the working period of this method needed over one year.

Therefore, a safe and efficient update method of deteriorated automatic control exhaust valves that have been perennially used for control of negative pressure in Metallography cell is invented, and this method was carried out.

Keywords: α -tight Hot Cell, Automatic Control Exhaust Valves, Maintenance

目次

1. 緒言	1
2. 金相セルの状況及び経緯	2
2.1 金相セルの構造及び排気系統	2
2.2 金相セルの運転状況	2
3. 排気設備更新作業の検討	3
3.1 更新作業方法の検討	3
3.2 更新作業方法の比較	3
3.3 更新方法の概要	3
4. 排気設備の更新作業	4
4.1 排気自動制御弁の撤去に伴う試験機器養生及び天井ボードの撤去	4
4.2 仮設排気配管敷設及び更新の排気配管サポート、新規排気配管の施工工事	4
4.3 事業者自主検査	5
4.4 文部科学省施設検査	6
4.5 天井ボード敷設作業	7
4.6 仮設排気配管及び既設排気配管の撤去作業	7
4.7 撤去排気配管の廃棄処理作業	8
5. 安全対策	9
5.1 落下防止対策	9
5.2 防火対策	9
5.3 汚染防止対策	9
5.4 放射線管理(被ばく防止対策)	9
6. まとめ	11
謝 辞	12

Contents

1. Introduction	1
2. Status of Metallography cell	2
2.1 Structure and exhaust system of Metallography cell	2
2.2 Operational status of Metallography cell	2
3. Deliberation of exhaust equipment refurbishment work of Metallography cell	3
3.1 Devisal of refurbishment method	3
3.2 Comparing refurbishment methods	3
3.3 Outline of the refurbishment method	3
4. Exhaust equipment refurbishment work	4
4.1 Testing equipment curing and top sheathing removal before dismantlement of automatic control exhaust valve	4
4.2 Laying operation of temporary exhaust pipes, new exhaust pipes and new piping support	4
4.3 Voluntary inspection	5
4.4 Facility inspection by MEXT	6
4.5 Laying operation of top sheathing	7
4.6 Removal action of temporary exhaust pipes and existing exhaust pipes	7
4.7 Disposal of removed exhaust pipes	8
5. Safety planning	9
5.1 Fall accident prevention measures	9
5.2 Fire prevention measures	9
5.3 Radioactive contamination prevention measures	9
5.4 Radioactive exposure prevention measures	9
6. Conclusion	11
Acknowledgment	12

1. 緒言

照射燃料集合体試験施設（以下、FMFという）は、昭和53年11月にホット運転を開始し、高速実験炉「常陽」MK-I燃料集合体の照射後試験を行っている。また、照射済燃料ピン等の特異な挙動解明の必要性の観点よりFMF内の実験室に鉄遮へい体で構成される α 雰囲気セル（金相セル）（以下、金相セルという。）を設置し、昭和53年12月にホット運転を開始し現在に至っている。また、大型燃料集合体等を取扱うため平成3年に施設の増設工事を開始し、平成8年1月に最終施設検査に合格後し、その後、平成11年6月にホット運転を開始した。

この間に既設設備については、既に建家完成後20年以上が経過し、各所に経年劣化が生じ特に負圧維持を図る排気自動制御弁等の整備が必要となった。このため平成10年から平成15年までの間に安全総点検等の項目のひとつとして既設各排気系統の排気自動制御弁、ON-OFF弁等をメインに年度毎に優先順位をつけた計画を立案し、更新整備を進め一通りの整備を完了させた。

唯一、金相セルは、他の排気系統の排気自動制御弁と異なる点があったため、更新整備方法の検討が必要不可欠であった。通常は、負圧を維持する排気系統の排気自動制御弁等について定期点検又はメンテナンスを実施する際に負圧維持の観点より定検用排風機設備の排気配管が排気自動制御弁の前方に敷設されている。しかし、金相セルは、セル内の除染を行った後にセル内の負圧運転を停止する構想で設計されており、且つ、排気自動制御弁が窒素系と空気系の2台が設けられており、他セル系統の排気自動制御弁の構成と異なっているため、通常の保守方法は成立しない状況であった。一方、法令上及び安全上からも α セルは常に負圧を維持する必要があるため排気制御弁の更新の際も常時、負圧を維持した状態での作業が要求される。この状態を解決する手立てのひとつとしてセル内の α 核種を完全に除染した後、 β γ 化したセルの排気運転を停止し排気制御弁を更新する方法が最も一般的で確実な方法である。しかし、デメリットとして整備期間が1年間以上に亘る上、整備費用（1億円超）、 α 廃棄物及び β γ 廃棄物の大量発生、さらには核燃料物質使用変更許可申請の手続き等膨大な労力が必要である。

平成15年度よりより具体的な整備方法について検討を行い、室内の安全技術検討会や部安全技術検討会にはかりながら検討を重ね最終的には、所内の原子炉等安全審査会に申請し排気自動制御弁の更新整備については文部科学省の施設検査を受検することとした。

2. 金相セルの状況及び経緯

2.1 金相セルの構造及び排気系統

FMF の既設実験室に設置されている金相セルの更新前の排気系統概略について図 1 に示す。また、配管系統の鳥瞰を図 2 に示す。

金相セルは、外郭に厚さ 350mm 厚の遮へい用の鋼板構造を有し、セル排気についてはフィルタケーシングをセル天井に配置し、内部にプレフィルター及び高性能エアフィルタを常設している。この金相セルは、短尺燃料ピンの切断及び研磨作業等の試料調整を実施する調整ボックスと、研磨後試料の光学顕微鏡観察及び各種の分析機器による分析試験を行う。データを取得する観察ボックスから構成される。

金相セルの排気系は、排気第 3 系統 (HE-3 系統) に接続され、他に、グローブボックスが同系統に接続されている。金相セルは、セルを設計した時点では空気雰囲気セルを想定していたが、「常陽」で照射された燃料ピン等を主に照射後試験を行うため Na 安全性等の観点より既設試験セルと同様にセル内を窒素ガスにより置換し、酸素濃度約 1,000ppm 以下で管理されている。また、常時負圧値約 400Pa 程度で維持されている。なお、窒素ガスは、循環型ではなく、ワンス・スルー方式である。この金相セルは、通常窒素ガスでの運転が実施されているが、試験の内容等によっては窒素ガスより空気に切り替えることが可能なセルである。そのため、V-3 (空気対応)、V-5 (窒素対応) の 2 つの排気自動制御弁があり、通常は V-5 の窒素対応の排気自動制御弁を用いている。

2.2 金相セルの運転状況

金相セルは昭和 53 年 12 月にホット運転を開始し、「常陽」MK-I 照射済燃料集合体及び MK-II 照射済燃料集合体の燃料ピン破壊試験を実施してきた。この間、分析機器の設置、更新、金相操作室の整備等を随時、実施してきたが、金相セル排気自動制御弁については、ホット運転開始後約 25 年以上を経過しているが、一度も分解整備や更新を実施していなかった。この理由のひとつは、先の緒言でも述べたが通常は定検用排風機設備の排気配管が排気自動制御弁の前方に敷設されているが、金相セルは、排気自動制御弁の後方に定検用排風機設備の排気配管が据付けられているため、排気制御自動弁を取り外すことは負圧維持を図る配管が無くなることから、簡単に整備が出来なかった。本セルは、セル内の除染を行った後にセル内の負圧運転を停止する方法で整備を行う構想であり、従って、長期間未整備となっていた。

しかし、長期間に亘る排気自動制御弁の使用により、排気自動制御弁本体の経年劣化が確認されるようになった。通常は、排気自動制御弁の負圧維持における弁開度は、約 20%~50%程度であるが、経年劣化に伴い弁本体シール部のゴムの磨耗、変形などが発生していると推察され通常でも、78%程度の弁開度を表示し、定検系統から通常系統への切り替え運転をする際、他のセルは、自動制御において問題なく負圧の安定調整を図れるのに対し、金相セルの負圧制御では手動 (マニュアルで弁開度固定) 状態にしないと自動制御に追従できないため負圧の安定調整を図り難い状況になっていた。

3. 排気設備更新作業の検討

3.1 更新作業方法の検討

設計当初の構想であるセル内部の汚染を除去し、セルの負圧を解除した後に、保守を行う方法で更新作業の検討を行ったが、セル負圧を解除するための変更許可申請に掛かる期間やセル内部の除染作業期間及びコストについて検討した結果、約12ヶ月の期間と約1億円のコストが必要であることが明らかとなった。また、作業における放射性廃棄物の発生量や照射後試験に与える影響等についても検討を行った。

そこで作業安全を担保しつつ作業期間の短縮とコストの低減を図れるか否か、セル内の負圧維持(セルの運転継続)を前提条件とした排気自動制御弁の更新手法を検討した。検討にあたっては、付帯する配管類を含めた排気自動制御弁の更新に加え、今後の保守整備性を容易にするために空気系統及び窒素系統の排気自動制御弁の設置場所についての変更も含めた内容とした。

3.2 更新作業方法の比較

前述の補修方法について、作業に掛かる期間やコスト、その他様々な項目についての比較を行った結果を表1に示す。表1に示す通り、セル内の負圧維持を継続し、更新を行う保全の方法を選択した方が、作業期間及び作業に掛かるコストも削減できることや更新作業で発生する放射性廃棄物の発生量や照射後試験への影響等を考慮しても効率的であると判断した。従って、今回の排気弁更新作業の方法については、設計当初の構想とは別のセル内の負圧維持を継続することを前提条件とした方法に決定した。

3.3 更新方法の概要

決定した作業時の条件を基に更新方法の検討を行う過程で、金相セルの排気系統排気フィルタ筐体前後に設置されている、排気フィルタ捕集効率測定(DOP)試験用配管に着目した。本DOP試験用配管を利用し、排気フィルタ上流側の弁を閉止することで、既存の排気系統との遮断が行えることを図面及び現場調査において確認した。更に、DOP試験用配管に仮設配管を接続し、排気流量が少ない定検用排気系統に接続することで、セル内の負圧維持が可能となる排気系統を確保した。

4. 排気設備の更新作業

4.1 排気自動制御弁の撤去に伴う試験機器養生及び天井ボードの撤去

金相セルの排気設備のうち写真1に示すV-3排気自動制御弁は、金相操作室にある機器分析装置制御盤（S XMA装置）上方の天井裏に設置されている。この排気自動制御弁は、金相操作室床面より約5,200mmの高さに位置し、排気自動制御弁の負圧制御状況確認など天井裏に立入りをした状態でも容易に確認出来ない位置に設置されている。

今回は、このV-3排気自動制御弁を更新整備することが目的であり、V-3排気自動制御弁については、今後の保守が容易に行えるよう金相サービスエリア側へ移動し設置することとした。なお、更新前のV-3排気自動制御弁の概略寸法は、 $460\text{mm}^{\text{H}} \times 600\text{mm}^{\text{L}} \times 300\text{mm}^{\text{W}}$ 、単体重量は約50kgあり、天井ボードを撤去しなければ、排気自動制御弁も取り外すことが出来ない上、更新整備を行う排気配管の一部なども据付できないと共に、施設検査のため設置場所への立入りも困難である。この天井ボードの撤去にあたっては、その真下に設置されている機器分析装置制御盤に撤去物等が落下し破損させることが懸念されたが、装置制御盤を移動できないため天井ボード撤去前に装置制御盤周辺を足場用パイプを組み、側面をビニールシートで養生し、上部も厚板により固定した。また、一部内部を排気できるようにファンを設置し埃の除去に努めることとした。

排気自動制御弁のうち写真2に示すV-5については、金相サービスエリアに既に設置されていることから設置位置の変更は行わずに排気自動制御弁と周辺の配管を更新することとした。

4.2 仮設排気配管敷設及び更新の排気配管サポート、新規排気配管の施工工事

金相セル排気設備の更新整備において最も重要な点として金相セルの負圧を維持した状態で既存排気配管部へ更新した排気配管を接続することである。今回の更新工事では、負圧を常時維持させるための方策として、検討段階においてセル排気フィルタ筐体前後に設けられているDOP試験用配管のうち上流側になるDOP粒子導入口に着目した。

通常、このDOP試験用配管は、フィルタの前後に手動弁を設けているためフィルタ上流側の手動弁を閉じ、DOP試験用配管へ別途、仮設排気配管を設置することで、既存のフィルタを経由しない仮設排気システムにより排気できる。また、排気の末端については、施設の定期点検、保守等の作業時に使用する定検システムであるラインへ接続することで、元々バイパスラインを持っていなかった排気設備においても新旧の配管接続作業時に安全且つ常時負圧維持を実施した状態で作業が可能である。仮設排気システムの概略を図3に示す。配管システムの鳥瞰を図4に示す。このように、DOP試験用配管を利用することでバイパスラインを構築できる方策を考案した。

今回使用した仮設排気配管の材質は、既存設備と同様のSPG鋼管相当品である鋼管25A（JIS規格）を用いた。また、後の解体を考慮し接続箇所は基本的にねじ込みとし、アルゴンガスによる繋ぎ部の漏れ検査により漏れ等がないことを事前に確認した。

排気配管の更新整備では、サポート位置のケガキを実施すると共に、ケミカルアンカー固定のためアンカー穴加工を実施した。アンカー固定ボルトはM12相当を深さ110mm以上埋め込むことで強度を確保した。このサポートについては、原子力発電所耐震設計技術指針に基づき

耐震評価し、支持物の固有振動数 20Hz 以上の共振破損に耐えられることを確認した。

一方、排気配管敷設工事については、金相サービスエリアが狭小区域であることから材料である主要配管となる SGP 鋼管相当品である鋼管 150A 及び 32A, 25A (JIS 規格) については、工場内での事前処理 (寸法に合わせた切断及び溶接のための開先加工など) 後、施設内に搬入し材料検査を実施した。

各排気配管サポートは、20 箇所についてアンカー固定を実施した。排気配管サポートについては、全て敷設後に排気配管の取り合いを確認しながら排気配管の端面を周溶接して繋ぎ合わせていくこととし、先に金相サービスエリア内を優先的に実施した。新規に敷設する排気配管については、既存の排気配管に並行した敷設経路とした。

次に旧排気自動制御弁が設置されている天井部側では、更新する排気配管のフランジ部取り付け部までの敷設を実施するため天井部中段に足場を製作し、以降の排気配管敷設の作業区域及び施設検査確認対応が可能なようにした。仮設排気配管の接続については、フィルタケーシングの DOP 配管を用いた 25A の配管を敷設し、金相セルとは別系統の定検系統に接続した。なお、その途中には高性能エアフィルタを取付けることにより仮設排気配管を用いた運転状態の場合でも放射性物質等の捕集を図ることとした。

V-3 の排気自動制御弁 (空気用) を更新する際の設置場所については、今後の保守性を考慮し従来の天井裏から金相サービスエリアへ設置場所を変更することとし、V-5 の排気自動制御弁 (窒素用) については、従来の位置と同様とし接続部までをフランジ取り付け合いとして製作した。また、V-3 及び V-5 の排気自動制御弁の制御動作確認については、既設を通常状態から定検系運転に切り替えた後、既存の金相セル排気をコントロールしている各圧空制御系統 (2 系統) を接続し、負圧制御及び監視を行うコントロール室側より制御信号をマニュアルで入力し弁本体の追従性及び指示開度を担保しているかの試験検査を繰り返し実施した。この制御状態確認により更新する排気自動制御弁が確実に制御できることを確認した。

更に金相サービスエリアに設置されている空調調整盤を確認し、内部の減圧弁及び制御系統の適正配置を実施することで制御上の追従性向上及び圧空の安定性を確保した。

4.3 事業者自主検査

事業者の自主検査については、2 回に分け実施する計画を立案した。自主検査は、平成 16 年 12 月 13 日に、核燃料取扱主務者の立会のもと事業者自主検査を実施した。検査項目は、仮設排気設備の外観検査及び系統検査、排気設備 (排気配管) の耐震に関わる寸法検査及び外観検査を実施した。

仮設排気設備の外観検査は、高性能エアフィルタが確実に設置され、配管の外観に有害な傷がないこと、系統検査では定検系の排気第 7 系統に確実に接続されていることを、それぞれ目視により確認した。排気設備の耐震に関わる寸法検査では、配管支持構造物の間隔を鋼製直尺 (JIS1 級) 又はノギス (JIS1 級) により測定を実施した。支持構造物固定するボルト径、長さ、員数及びケミカルアンカーの材質 (化学成分表) を確認した。外観検査は、配管の外観に有害な傷がないことを確認した。なお、支持構造物の一部には、全てを接続しないと測定できない間隔があるため、その箇所は第 2 回の事業者自主検査で確認することとした。第 1 回事業

者自主検査については、全ての検査項目について合格した。

第2回事業者自主検査は、第1回の事業者自主検査後、自主検査と同様の項目について文部科学省の第1回施設検査を受検し合格後、平成16年12月20日に核燃料取扱主務者の立会のもと事業者自主検査を実施した。検査項目は、排気設備（排気配管）の耐震に関わる寸法検査及び外観検査、並びに系統検査を実施した。排気設備の耐震に関わる寸法検査では、第1回事業者自主検査で接続していない箇所については第2回事業者自主検査としていたため、配管支持構造物の間隔を鋼製直尺（JIS1級）又はノギス（JIS1級）により測定を実施した。外観検査は配管の外観に有害な傷がないことを確認した。さらに系統検査として設計通り排気第3系統に確実に接続され、負圧が維持できていることを確認した。第2回事業者自主検査については、全ての検査項目について合格した。

4.4 文部科学省施設検査

文部科学省規制室検査官による第1回施設検査は、事業者自主検査の3日後である平成16年12月16日に、文部科学省検査官2名、核燃料取扱主務者1名、施設側責任者及び担当者1名並びに協力業者3名により施設検査を受検した。事業者自主検査記録確認及び現場にて事業者自主検査項目と同様の検査を実施した。また、参考として施設検査終了後、ケミカルアンカー材質、アンカーボルトの寸法等の自主検査データの提示を求められ、提示し確認を頂いた。第1回施設検査合格後の12月16日に、既設の排気配管へ未接続のフランジ部取り付けである天井部V-3（鋼管150A）、金相サービスエリアにおいてはV-5関係、金相セルフフィルタケーシング出口側配管部にそれぞれ簡易グリーンハウスを設置した。

12月17日は、この更新工事の重要ポイントである既存排気配管への繋ぎ込みを行う作業であり、仮設排気設備の最終確認後、通常運転より定検系への切り替え運転を実施すると同時にDOP配管の手動弁の開を確認し金相セル本体の負圧が維持されていることを確認した。次に計3箇所のグリーンハウス内での排気自動制御弁の撤去やフランジ取り付け部での接続を順次実施した。特にV-3の排気自動制御弁は、チェーンブロックにより天井梁より吊り下げた状態で取り外し作業を行い、取り外した弁体の汚染検査を実施し問題ないことを確認後グリーンハウスより搬出した。また、取り外した部分には新規の排気配管を接続した。同様にV-5の排気自動制御弁については、グリーンハウス内での撤去及び更新する排気自動制御弁を設置した。次に金相セルフフィルタケーシングの下流側の配管接続であるが、汚染の可能性が最も高い場所であるため慎重に作業を進め、汚染検査も詳細に実施しながら作業を進め、古い配管については一部切断し取り外した。フランジ取り付け部で新規排気配管と既存配管フランジを接続することができた。

作業完了後、今回の施設検査申請でも文部科学省に了解を得た内容に則り、事業者自主検査の準備を開始した。最初に①更新した各排気配管の接続状況の確認、②周辺の汚染等の有無、③排気自動制御弁の動作確認、④その他施設検査申請時に添付した事業者の自主検査について、関係者と最終確認を行った。特に系統検査の自主検査では、現状の仮設排気設備より通常運転に切り替える際、負圧維持状態等に問題が発生する可能性もあるため、その場合は速やかに定検系運転切り替えが可能ないように運転員の配置を行った。

各状況を確認後、仮設排気設備による定検系運転より通常運転へ切り替えを実施した。現場で更新配管のリーク確認、排気自動制御弁の動作確認及びコントロール室における負圧維持状況を監視し、問題無いことを確認した。この状態において休日（土曜日、日曜日）の2日間通常運転を継続した。

12月20日は、事業者の系統検査を実施後、排気制御自動弁の調整確認試験を実施し自動制御に対する追従性、V-3及びV-5の排気自動制御弁を窒素制御から空気制御への切り替え又は空気制御から窒素制御への切り替えなどの確認を実施した。12月21日は、第2回施設検査の準備作業を継続した。

第2回施設検査は、第2回事業者自主検査の2日後である平成16年12月22日に、文部科学省検査官2名、核燃料取扱主務者1名、施設側責任者及び担当者核1名並びに協力業者3名により施設検査を受検した。第2回事業者自主検査記録確認及び現場にて更新した排気配管の系統検査を実施した。また、金相セルの負圧維持状況を現場負圧計で確認、さらにコントロール室での制御状況（一部マニュアルで弁開度制御確認）を確認した。また、一部の耐震に関わる寸法検査で排気配管接続後に実施する配管支持構造物間隔の測定を鋼製直尺（JIS1級）又はノギス（JIS1級）により測定した。第2回施設検査は、書類及び設備とも問題なく合格し、即日合格証を交付された。

4.5 天井ボード敷設作業

操作室側の天井部については、足場材で装置制御盤を落下物等から保護するようにした。これにより更新工事での天井部への立入作業、資材及び工具の搬入などでも装置制御盤の破損等も無く安全に作業を遂行できた。天井ボードについては、装置制御盤を保護した状態で天井ボードを固定するケイテンも全て交換し敷設した。天井ボードを敷設後、足場材を撤去した。

なお、更新したV-3の排気自動制御弁は金相サービスエリア側へ設置したことで天井部の保守は発生しないが、一部の一般換気空調弁が内部に設置されており、1回/年程度の点検の必要性があるため、点検口の開口部を広く取ると共に、天井部へ入る場合でも安全に出入できるように作業時に設置したステージをそのまま配備し且つ、昇降用の階段を設けた。

4.6 仮設排気配管及び既設排気配管の撤去作業

金相サービスエリアは、排気配管及び排気自動制御弁等の更新整備が完了した後、仮設排気設備の撤去作業に着手した。撤去作業は高性能エアフィルタを設置した位置より遠い末端の定検系統へ接続したフランジ部の手動弁を閉にした状態でフランジ部を取り外した。取り外した排気配管は入念な汚染検査を実施後、ねじ込み部で取り外しながら全ての配管の汚染検査を実施した。また高性能エアフィルタについては、フランジ部をビニールで内包した状態で切り離し汚染検査を実施したが、汚染は検出されなかった。この主な要因は、金相セル排気設備の更新整備のためセル内を除染したこと。照射後試験を実施できない期間は燃料試料を別のセルへ移動していたこと。金相セルの操作を禁止したことなどのことにより、放射性物質の浮遊が抑えられ汚染物質が拡散しなかったため、検出されなかったと考えられる。

既設の排気配管については、一部が金相操作室を通過している上、長年の使用により汚染が

発生している可能性があることから操作室に露出している排気配管を簡易グリーンハウスで覆うようにした。グリーンハウス内での放射線安全上の装備として全面マスク、タイベックスーツ（1重）、カバーオール、ゴム手、安全靴（シューズカバー）等の装備を着用することとした。また、一般安全としては、床面より約 2,800mmの高さに 150A の鋼管が通っておりこれを切断するため踏み台を使用すると共に、配管切断用の固定チェーンバイス付きのセイバーソーを用い排気配管の長さ約 1,000mm以下に切断した。排気配管の長さ約 1,000mmは重量として約 8 kg程度であるため作業員 2～3 名であれば切断したものを保持できる重量とした。なお切断した時点で随時汚染検査を実施した。切断した排気配管は、エルボ部及びストレート配管と様々であったが汚染検査の結果、汚染の固着している割合が高い部位は金相セルフィルタケーシングの出口直下のエルボ部が最も高かった。また、その先のストレート配管については、殆ど汚染は確認されなかったが、さらに先に位置するエルボ部の立ち上がりでは、若干の汚染が確認された。これらの排気配管は、汚染検査後切断部を養生し金相サービスエリアへ搬入し PVC バッグにより溶封した。これを廃棄物一時保管場所で保管した。

4.7 撤去排気配管の廃棄処理作業

撤去した廃棄配管のうち汚染密度が高いものについては、 α 汚染物として廃棄することとし、それ以外の排気配管及び各種弁等については、さらに細かく解体切断し、 β γ 廃棄物として 200 リットルドラム缶 2 本に分別して廃棄処分を実施した。分別処分と減容処理を実施したため大幅な廃棄物の削減を図ることができた。

上記以外で発生した金相セル排気設備の更新に伴う廃棄物の発生量は、 β γ 固体廃棄物 A (低レベル) の紙バケツ (0.02m³/個) で約 40 個の発生で α 紙バケツ廃棄物の発生はなかった。また、被ばくも除染作業等がなく作業期間を通し検出限界以下で完了した。なお、セルの β γ 化をした場合の予測量では α 固体廃棄物 B (高レベル) の S 缶 (0.06m³/缶) で約 20 個 (通常の高レベルセル 15 年分の α 廃棄物量に相当)、また、内装機器の撤去で α 固体廃棄物 B の L 缶 (0.15 m³/缶) が約 2 個、その他二次廃棄物の紙バケツ (0.02m³/個) が約 200 個と膨大な量と予測された。外部被ばくでは、セル内除染作業に伴い被ばく量が増大すると予想されたが、 α セルのまま更新工事ができたため、廃棄物及び被ばくとも大幅な削減を達成した。

5. 安全対策

5.1 落下防止対策

金相セル排気設備の更新整備では、一部の排気自動制御弁の設置位置が金相操作室床面より約 5,200mmの高さの天井裏側にあり、更新整備等の作業のため天井ボードを撤去した。高所作業における落下防止対策として以下の対策を実施した。

- ・作業員の装備は、ヘルメット、安全靴、カバーオール、革手等の着用とした。
- ・天井ボード撤去後天井内部の中段にステージを設置し足元の確保を図る。
- ・天井内上部の排気配管取り合い調整などさらに高所へ昇る際は安全帯を使用した。
- ・工具の落下も考慮し、一部の作業区域にはネットを使用した。

5.2 防火対策

金相サービスエリア及び天井裏において各口径の排気配管の接続は溶接により実施する。溶接において溶接棒若しくは配管等が過熱され高温になることで周囲にある物に熱が伝わり発火することも考えられるため、単管及び敷設箇所以外に移動して溶接できるものは金相サービスエリアの床で溶接した。溶接作業における防火対策を以下のように実施した。

- ・基本的に溶接作業は、金相サービスエリア床若しくは工場での施工とした。(敷設箇所のみ
の溶接は除く)
- ・溶接作業のうち金相サービスエリアではスパッタシート(防火シート)及び鉄板で養生した。また、配管敷設部での溶接の場合は、周囲をスパッタシートで養生すると共に消火器を配備した。
- ・見張人を付けた。

5.3 汚染防止対策

本作業では、既にホット運転を開始後 25 年以上を経過し、その間数々の照射後試験等を実施しているため、 α 汚染も高いと推定される設備である。今回の排気配管の更新整備にあたっては、フィルタケーシングとの接続部や排気自動制御弁等の接続部に汚染が発生する可能性があると共に、排気配管更新後に旧排気配管を切断処理する際の汚染発生も懸念された。従って、これらの作業における汚染防止対策は以下のように実施した。

- ・既存配管部への接続時は、グリーンハウスを設営した。
- ・放射線安全上の装備として全面マスク、タイベックスーツ(1重)及びカバーオール、ゴム手、安全靴(シューズカバー)等の装備を着用することとした。
- ・排気配管部のスミヤ法による汚染検査及び作業区域(グリーンハウス内)の汚染検査を随時実施した。

5.4 放射線管理(被ばく防止対策)

本作業での放射線管理は、作業員全員を放射線業務従事者として指定すると共に、作業区域の線量率を評価し、作業期間中の計画被ばく線量は 0.1mSv/作業と評価した。放射線管理上

以下の対策を実施した。

- ・無用な被ばく防止の観点より金相サービスエリアで最も線量率が高いフィルタケーシング近傍での作業では、フィルタケーシングの線量率を測定し表示すると共に作業者に周知し作業上の注意喚起を図った。
- ・個人用の放射線測定器として管理区域入域時は、TLBバッチ、APDを装着した。

6. ま と め

金相セル排気設備の更新整備において課題となった点は、既にホットインし高レベルで α 核種汚染しているセルの排気自動制御弁を交換する際のセル負圧維持方法である。設計時の保守方法では、セル内部の汚染を除去し、セルの負圧を解除した後に、保守を行う方法であったが、セル内除染に伴う諸手続き、事前作業、コスト、期間を考慮しても約1年強の期間と約1億円のコストが必要になるとの検討結果であった。しかし、期限が明確な照射後試験計画があり約1年間のセル運転停止は不可能な状況であった。

このため、金相セルフィルタケーシングに設けてある捕集効率測定用のDOP配管に着目し、セル負圧維持が出来るか否かの検討を行った。セル内容積と負圧維持のための排気量を流すための必要配管径を求め、既存の定検系排気ファンに仮設排気系統を接続し作業期間内の金相セル内を常時負圧維持が行えるよう更新計画を作成した。作業に際しては室検討会、部検討会をはじめ文部科学省規制室へのヒヤリング等で作業手順等の説明を行い、安全且つ、セル負圧を維持しながら作業を行うことを説明した。

今回実施したセルの運転条件を維持した状態で負圧を制御する排気自動制御弁などの機器の保全を行う方法は、同規模の α ホットセルの同様な機器の保全に適用可能である。また、 α ホットセルの運転条件を維持しながら機器の保全を行う本概念は、定検用排気系統を持たない高線量当量率、高汚染密度の放射線環境の α ホットセルの同種の保全作業に応用が期待できる。

主な成果を以下に示す。

- (1) 当初検討した金相セルの β γ 化を図ることなく、 α セルのまま工事が実施可能となり工期的には約1/3で終了した。また、工事人工のみならず変更許可申請等の事務処理が不要となり、大幅なコスト削減ができ当初予測の1億円を大幅に下回る半分以下で完了した。
- (2) ホットイン後の α セル等について負圧維持を図りつつ、排気設備等を更新する工事について、施設検査を含めた方法の方策が確立できた。これにより大掛かりな変更をしなくても実施できる見通しを得られたことは同種の更新工事・整備作業における一助となる作業方法を考案できた。
- (3) 金相セル排気設備の更新に伴う廃棄物の発生量は、 β γ 固体廃棄物A（低レベル）の紙バケツ（0.02m³/個）で約40個の発生で α 廃棄物の発生はなかった。また、被ばくも除染作業等がなく作業期間を通し検出限界以下で完了した。なお、セルの β γ 化をした場合の予測量では α 固体廃棄物B（高レベル）のS缶（0.06m³/缶）で約20個（通常金相セル15年分の α 廃棄物量に相当）、また、内装機器の撤去で α 固体廃棄物BのL缶（0.15m³/缶）が約2個、その他二次廃棄物の紙バケツ（0.02m³/個）が約200個と膨大な量と予測されていたが、約1/4に低減できた。なお、外部被ばくでは、セル内除染作業に伴い被ばく量が増大すると予想されたが、セル内除染を実施することなく更新工事ができたため、廃棄物及び被ばくとも大幅な削減を達成した。

- (4) 金相セルに設置された各種機器分析については、外部からの分析依頼及びニーズも高く長期に亘る使用制限が発生すれば試験データの遅延等が予想されたが、検討時の約1年強の1/3に短縮でき、施設検査合格後速やかな試験再開を可能にすると共に、保守及び調整期間を確実に確保することができた。

謝 辞

金相セル排気配管の更新整備における計画段階、文部科学省ヒヤリング準備、実施等の各段階において有益な助言と指導を賜りました原子炉等委員会各委員の方々に心から感謝の意を表します。

表 1 補修方法の比較

	セル内除染後負圧を解除した場合	負圧維持を継続した場合
作業期間	約 12 ヶ月	約 4 ヶ月
コスト	約 1 億円	約 4 千万円
許認可申請	必要	不要
施設検査	必要	必要
発生廃棄物	約 5.5m ³	約 1.5m ³
試験への影響	大	中

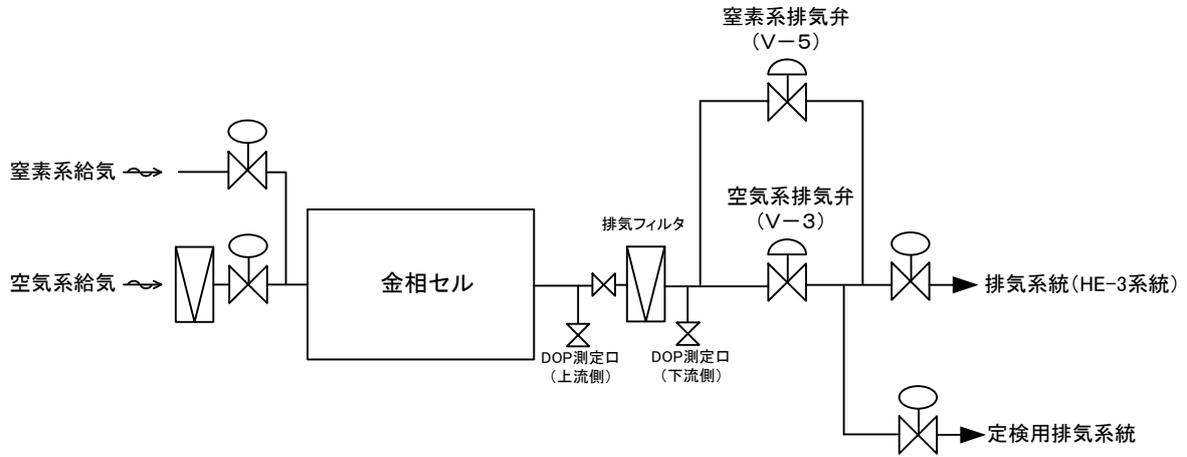


図1 金相セル排気系統概略図

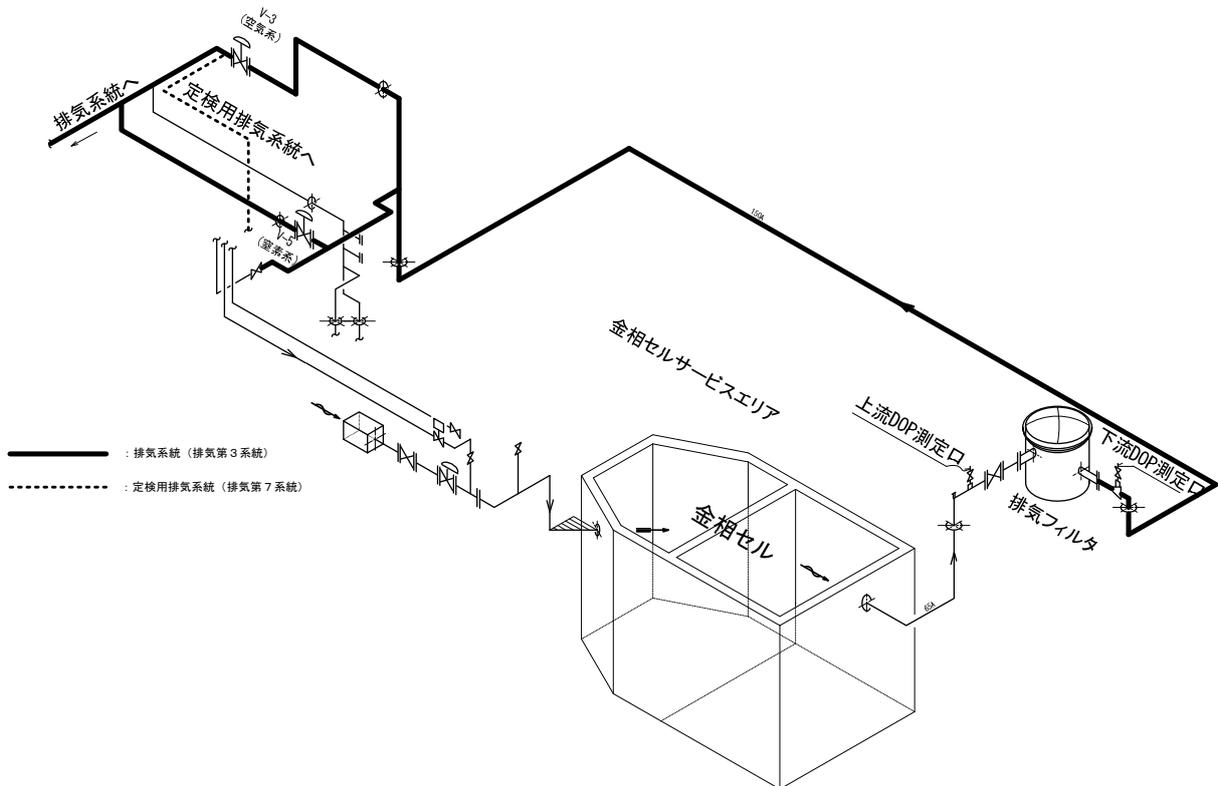


図2 金相セル排気系鳥瞰図

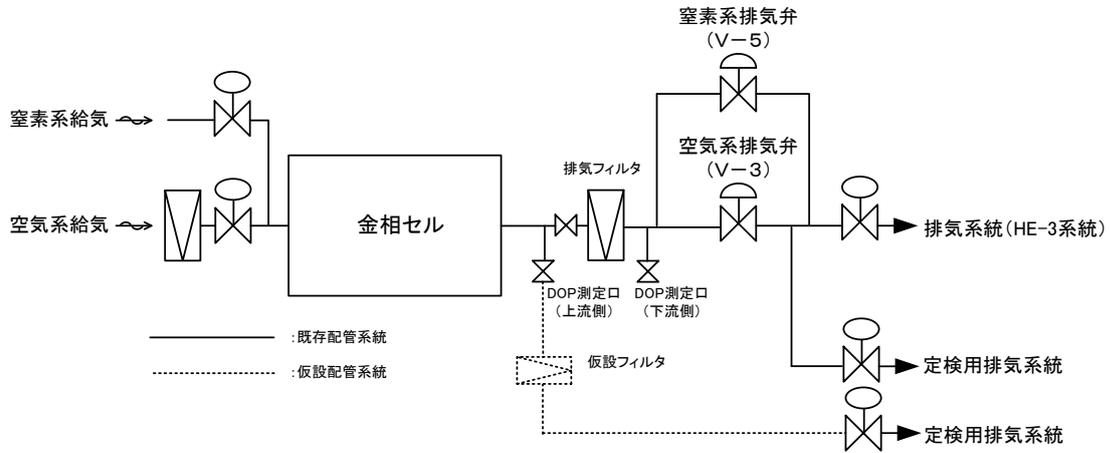


図3 金相セル仮設排気系統概略図

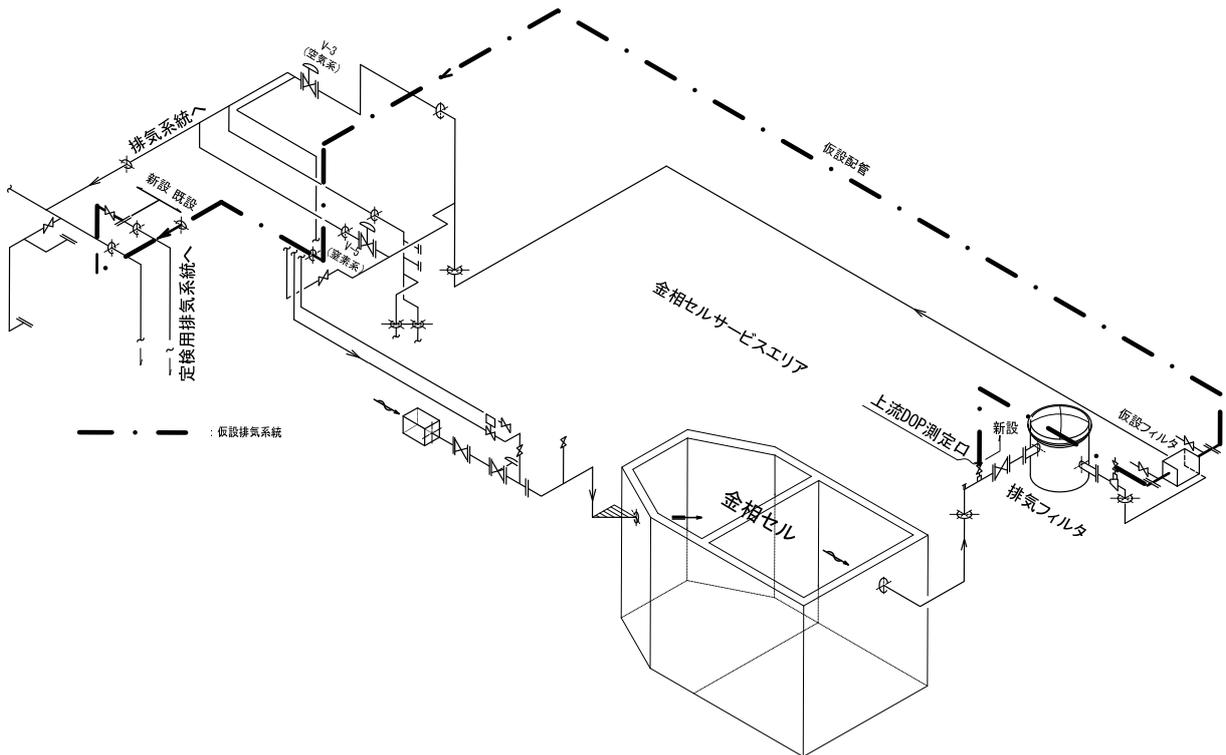


図4 金相セル仮設排気系鳥瞰図



写真1 排気自動制御弁 (V-3 空気系)



写真2 排気自動制御弁 (V-5 窒素系)

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	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	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(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。

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, 電流量	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	ウエーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²	m ² cd
放射線種の放射能 ^(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
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	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
ポアズ	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
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
ファ	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガラ	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°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ) 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

