

JAERI-Tech

2004-058



JP0450785



TRU廃棄物試験設備の概要

2004年9月

赤井 政信・伊藤 信行*・山口 徹治・田中 忠夫
飯田 芳久・中山 真一・稲垣 真吾*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken. 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2004

編集兼発行 日本原子力研究所

TRU 廃棄物試験設備の概要

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター燃料サイクル安全工学部
赤井 政信・伊藤 信行*・山口 徹治・田中 忠夫・飯田 芳久・中山 真一・稲垣 真吾**

(2004年 7月 28日受理)

TRU 廃棄物試験設備は、放射性廃棄物処分の安全評価において必要とされる、地中における超ウラン元素 (TRU 元素) 等の挙動に関するデータを取得する実験設備として、燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF: Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility) のバックエンド研究施設 (BECKY: Back-end Cycle Key Elements Research Facility) 内に設置されたものである。本試験設備は、地下の還元性環境を模擬できるアルゴンガス循環型グローブボックスシステム、大気雰囲気グローブボックスおよび分析装置群から構成されている。

本報告書は、TRU 廃棄物試験設備を構成する各装置の構成、機能 (測定例)、安全設計、本設備を用いた研究成果についてまとめた。また、TRU 廃棄物試験設備の中核であるアルゴンガス循環型グローブボックスについて 1999 年 3 月に運転開始して以来の履歴をまとめ、本システムの運転管理および今後同種のグローブボックスシステムの設計に資するものである。

東海研究所: 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

*: 株式会社 テクニカ

** : 財団法人 放射線計測協会 (2004 年 3 月まで在籍)

Geochemistry Research Equipment for TRU Waste Elements

Masanobu AKAI, Nobuyuki ITO*, Tetsuji YAMAGUCHI, Tadao TANAKA,
Yoshihisa IIDA, Shinichi NAKAYAMA and Shingo INAGAKI**

Department of Fuel Cycle Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun Ibaraki-ken

(Received July 28, 2004)

Geochemistry Research Equipment for TRU Waste Elements has been installed in Back-end Cycle Key Elements Research Facility (BECKY) of Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility (NUCEF). This equipment is designed to study geochemical behavior of trans uranium (TRU) elements and other radionuclides contained in TRU waste and to acquire data for safety assessment of waste disposal. The equipment consists of anaerobic glove box systems, aerobic glove box systems, and analytical instrument.

This report describes performance and safety design of each component of the equipment, results of research performed by using this equipment. History of the anaerobic glove box systems since the start of the operation in March, 1999 was also summarized to contribute to future operation of the system and design of similar systems.

Keywords: TRU Waste, Radioactive Waste Disposal, Safety Assessment, Geochemistry, Anaerobic Environment

*: Technica corporation

** : Institute of Radiation Measurements (Until March, 2004)

目次

1. はじめに	1
2. TRU 廃棄物試験設備	2
2.1 設備全体構成	2
2.2 アルゴンガス循環型グローブボックスシステム	2
2.2.1 グローブボックス A-12、A-13	2
2.2.2 グローブボックス A-8	14
2.3 大気雰囲気グローブボックス	17
2.3.1 バリア性能試験装置内蔵グローブボックス	17
2.3.2 グローブボックス A-1	19
2.3.3 グローブボックス A-10	19
2.3.4 グローブボックス A-11	19
2.4 分析装置	20
3. 研究成果	23
3.1 低酸素濃度条件下における金属セレンの溶解度	23
3.2 ビチューメン固化体の浸出性に関する研究	23
3.3 アンモニア水溶液系における $\text{NpO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の溶解度	24
3.4 高 pH 水溶液系におけるアルミナへの金属イオンの吸着	24
3.5 ベントナイト系緩衝材中における元素の拡散	25
謝辞	26
参考文献	26
付録:グローブボックスにおける使用許可核種と許可使用量	47

Contents

1. Introduction	1
2. Geochemistry Research Equipment for TRU Waste Elements	2
2.1. Composition of Geochemistry Research Equipment for TRU Waste Elements	2
2.2. Anaerobic Glove Box System	2
2.2.1 Glove Box A-12, A-13	2
2.2.2 Glove Box A-8	14
2.3 Aerobic Glove Box System	17
2.3.1 Barrier Performance Testing Apparatus Built-in Glove Box System	17
2.3.2 Glove Box A-1	19
2.3.3 Glove Box A-10	19
2.3.4 Glove Box A-11	19
2.4. Analytical Instruments	20
3. Results of Research	23
3.1 Solubility of Metallic Selenium under Anaerobic Conditions	23
3.2 Study on Leaching of Bituminized Waste	23
3.3 Solubility of Neptunium(IV) Hydrrous Oxide in Aqueous Ammonia System	24
3.4 Adsorption of Metal Ions on Alumina at High pH Conditions	24
3.5 Diffusion of Ions in Bentonite Buffer Materials	25
Acknowledgment	26
References	26
Appendix: Radionuclides Licensed	47

1. はじめに

我が国の放射性廃棄物は、その発生源によって、発電所廃棄物、TRU 廃棄物(超ウラン核種を含む放射性廃棄物)、ウラン廃棄物、RI・研究所等廃棄物および高レベル放射性廃棄物に分類され、それぞれに処分方策が検討されてきた。TRU 廃棄物は廃棄体の性状が多様であることおよび放射性核種濃度が非常に広い幅を持つことから、廃棄体の性状や放射性核種濃度で適切に区分した後、区分に応じ合理的に安全が確保できる処分(浅地中処分、余裕深度処分または地層処分)が行われる計画である。

地層処分の地下水移行シナリオに対する安全評価においては、地下深部における放射性核種の移行挙動を理解する必要がある。また、浅地中処分可能な放射性廃棄物中の TRU 核種濃度(濃度上限値)を設定するためには、TRU 核種の浅地中での移行挙動を把握する必要がある。そのためには、地下の還元性環境下における放射性核種の溶解度などの化学的性質や、人工バリア材および天然バリア材中への吸着・拡散現象を調べるための一連の実験設備が必要である。本報告書はこの目的のために東海研究所燃料サイクル安全工学研究施設(NUCEF: Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility)に整備した実験設備について、主要な装置の構成、機能(測定例)、安全設計および本設備を用いた研究成果についてまとめた。また、TRU 廃棄物試験設備の中核であるアルゴンガス循環型グローブボックスについて 1999 年 3 月に運転開始して以来の履歴をまとめ、本システムの運転管理および今後同種のグローブボックスの設計に資するものである。

2. TRU 廃棄物試験設備

2.1 設備全体構成

本施設は、地下の還元性環境下における放射性核種の溶解度などを調べるためのアルゴンガス循環型グローブボックス、人工バリア材および天然バリア材中への吸着拡散現象を調べるための大気雰囲気グローブボックスおよび種々の分析機器から構成される。分析装置としては、溶存元素を分析するためのイオンクロマトグラフ(IC)および高分解能誘導結合プラズマ質量分析器(ICP-MS)、試料中の有機体炭素量を分析するための全有機体炭素計(TOC)、放射エネルギーを分析するための液体シンチレーションカウンター(LSC)および γ 線分析システム、水溶液中の溶存状態を調べるための紫外・可視・近赤外分光光度計(UV-Vis-NIR)、固相試料の分析をするための示差熱・熱重量同時測定装置(TG/DTA)およびフーリエ変換型赤外分光光度計(FT-IR)、試料表面観察のための環境制御型走査電子顕微鏡(E-SEM)、試料表面の元素の化学状態を調べるためのX線光電子分光分析器(XPS)である。

本施設を NUCEF (図 1) 内のバックエンド研究施設(BECKY: Back-end Cycle Key Elements Research Facility)の図 2 の矢印で示した BECKY 1 階の実験室Ⅷ、図 3 の矢印で示した BECKY 2 階の実験室Ⅵおよび精密測定室に設置した。実験室Ⅵには図 4 の配置図で示すように、アルゴンガス循環型グローブボックス A-8¹、大気雰囲気グローブボックス A-1、A-6、A-7、A-9 および分析機器を設置した。実験室Ⅷには図 5 の配置図に示すようにアルゴンガス循環型グローブボックス A-12、A-13、大気雰囲気グローブボックス A-10、A-11 を設置した。精密測定室には分析機器を設置した。実験室ⅥおよびⅧに設置しているグローブボックスで実験を行った試料を実験室Ⅵおよび精密測定室に設置されている各分析装置を用いて分析する。

2.2 アルゴンガス循環型グローブボックスシステム

2.2.1 グローブボックス A-12、A-13

本グローブボックスシステムは、地下深部の還元性環境を模擬した条件下で核種移行評価用データを取得するために BECKY の実験室Ⅷに設置した。グローブボックスの外観写真を図 6 に示す。本システムは、グローブボックス本体、ガス循環精製装置、循環ガス冷却装置、負圧制御系、酸素濃度計、ガス供給系、モニタリングシステム、搬出入ポートおよび安全装置などから成る。

本システムは、室内に対して -274 ± 147 Pa の負圧条件においてグローブボックス内の雰囲気ガス(アルゴン)中の残存酸素を 1 ppm 以下に維持することができる。グローブボックス内の温度は NUCEF が定めた制限値である 60℃未満である。グローブボックス A-12、A-13 における使用許可核種を付録に記載する。

¹ グローブボックス番号は、NUCEF で決められた番号である。

(1)構成機器の性能

1)グローブボックス本体

グローブボックスの大きさは、グローブボックス A-12 が 1.2 m^3 (縦 $0.8 \text{ m} \times$ 横 $2.0 \text{ m} \times$ 高さ 0.9 m)、グローブボックス A-13 が 0.7 m^3 (縦 $0.8 \text{ m} \times$ 横 $1.1 \text{ m} \times$ 高さ 0.9 m) である。グローブボックスの気密性を高めるために、グローブ操作は片面操作とした。グローブポートは PNCⅢ型、グローブは酸素を透過しにくいブチルゴム製のグローブを 3 双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はポリカーボネート製であり、その厚さは 10 mm である。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ 18 mm の含鉛アクリルパネルを備えている。

2)ガス循環精製装置

グローブボックス A-12、A-13 の配管系統の概略を図 7 に示す。グローブボックス A-12、A-13 のそれぞれに下記のような仕様のガス循環精製装置が接続されており、雰囲気ガス中の酸素を除去している。

	グローブボックス A-12	グローブボックス A-13
名称	MP5-H100W (美和製作所)	MO-40-2V/H (VAC 社)
循環風量	$26 \text{ m}^3/\text{h}$	$68 \text{ m}^3/\text{h}$
精製塔	2 塔	
精製剤	銅触媒 $7.1 \text{ kg}/\text{塔}$ モレキラシーブ $15 \text{ kg}/\text{塔}$	銅触媒 $4.5 \text{ kg}/\text{塔}$ モレキラシーブ $9 \text{ kg}/\text{塔}$
酸素吸着容量	330 dm^3 (酸素除去量)	10 dm^3 (1 ppm 平衡時) 20 dm^3 (飽和吸着時)
再生ガス	アルゴン-4 %未満水素混合ガス (1回の再生で 3.5 m^3 消費)	アルゴン-4 %未満水素混合ガス (1回の再生で 2.0 m^3 消費)
再生時における精製塔の冷却方法	水冷	水冷

3)循環ガス冷却装置

循環ガス冷却装置は、 25°C の温度条件での試験を実施するために、グローブボックス内の温度を 22°C 以下に維持することを目的に設置した。本装置は、冷凍機、熱交換器、冷却水用フィルターユニットおよび制御盤から成る。冷凍機の冷却方式は水冷式であり、冷却した冷媒ガスを熱交換機に送ることによりグローブボックス内およびガス循環精製装置から発生する熱を取り除き、循環ガスの温度を 22°C 以下に維持できる。冷却水用フィルターユニットは、供給する NUCEF のプロセス冷却水に含まれている錆などの不純物を取り除くために設置している。

4)負圧制御系

負圧制御系における給気系および排気系ラインを図 7 の実線に示した。給気系および排気系それぞれに、圧縮空気を駆動源とする比例制御弁と ON-OFF 弁を備え、合計4つの弁を自動制御してグローブボックス内の負圧を維持する。自動負圧制御範囲 ($-274 \pm 147 \text{ Pa}$) 内の負

圧変動に対しては、比例制御弁により -274 Pa に収束させる。 $-274 \pm 147 \text{ Pa}$ 範囲を越える負圧変動に対しては、まず ON-OFF 弁で $-274 \pm 147 \text{ Pa}$ 以内に戻した後、比例制御弁にて負圧制御を行う。 -490 Pa より負圧が深くなると負圧高警報が発報する。一方、 -49 Pa より負圧が浅くなると負圧低警報が発報する。どちらかの警報が発報した場合、自動負圧制御が停止し、アルゴンガス供給弁が閉まるとともに、排気弁が開くようになっている。

自動負圧制御機構は、無停電電源(バッテリー)を介してバックアップ電源を備えている非常系電源(EA系)に接続されており、商用系電源が停電しても負圧維持できる。

5)酸素濃度計

グローブボックス内の酸素濃度が実験期間にわたって常に低く維持されていることを確認するため、2台の酸素濃度計で酸素濃度を連続測定している。1台はジルコニアセンサ式(TORAY LC-800、測定レンジ:1 ppm~20 %)であり、手動式の弁を操作することにより、グローブボックス A-12 および A-13 からガスを直接サンプリングして測定する。もう1台は電気化学式(DELTA F 100 型、測定レンジ:0.1~100 ppm)であり、手動式の弁を切り替えることにより、2台のガス循環精製装置出入り口からガスをサンプリングして測定する(図7)。2台の酸素濃度計の測定レンジが異なるのは、各グローブボックス内および各ガス循環精製装置出入り口での酸素濃度変動幅が異なるためである。即ちグローブボックス内では 100ppm 以上に酸素濃度が上昇する場合があるのに対して、各ガス循環精製装置出口ではほとんど 100 ppm 以上になることはない。なお、酸素濃度計の校正は、10 ppm 酸素標準ガスを用いて実施している。

6)ガス供給系

グローブボックスおよびガス循環精製装置へ供給するアルゴンガスならびに精製塔を再生するためのアルゴン-4 %未満水素混合ガスは、実験室内に設置したボンベより供給している。アルゴンガスボンベは3本設置し、うち1本はグローブボックス A-12、A-13 に接続し、常時ガスを供給する。残り2本は予備として接続しているため、ボンベ交換時にもアルゴンガス供給が途切れることはない。アルゴンガスの供給圧はガス循環精製装置には 0.45 MPa 、グローブボックスには 0.15 MPa である。一方、アルゴン-4 %未満水素混合ガスボンベは1本設置し、2台のガス循環精製装置に供給している。このボンベは精製剤の再生時のみ使用するため使用頻度が少ない。また、減圧弁が1台なので、使用の度に2次圧を調整する必要がある。

7)圧縮空気供給系

負圧制御用 ON-OFF 弁、比例制御弁およびガス循環精製装置の空気作動弁の駆動用圧縮空気は、NUCEF 実験棟 A 3F のコンプレッサーより供給されている。供給される空気の圧力は、 0.70 MPa である。負圧制御用 ON-OFF 弁およびガス循環精製装置の空気作動弁の駆動用空気は供給圧 0.70 MPa のまま使用している。比例制御弁の駆動用空気は、給気側を 0.42 MPa 、排気側を 0.30 MPa に減圧して使用している。

8)モニタリングシステム

グローブボックスの負圧値、グローブボックス内温度および酸素濃度計指示値のデータをパ

ソコン(PC)に取り込んで PC ディスプレイ上に表示するとともに、グラフ表示およびデータ保存が可能である。また、異常(負圧高異常、負圧低異常、温度高異常、酸素濃度異常)表示機能を有する。モニタリングシステムは無停電電源を介して給電されているので、商用系停電時も 2 時間程度データの取得が可能である。

このモニタリングシステムは、任意の時刻の運転状態をグラフ上で確認できる。グローブボックス操作中に酸素濃度等の異常に気づけなかった場合でも、操作を行った時刻と異常が発生した時刻をつき合わせるにより、操作をしたことによる異常なのか、操作と無関係の機器異常なのかの判断が可能である。また、無人運転時のシステム稼働状況の確認ができる。その一例を示す。

2000 年 10 月 16 日就業時間外に酸素濃度が異常に上昇したことをモニタリングシステムが記録していた(図 8)。この上昇は、グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の精製剤の再生時に発生した。再生開始(13:30)から約 7 時間経過したときに酸素濃度が急上昇している。ガス循環精製装置の再生工程と照合すると、精製塔へのガス再充填(refill)工程中と考えられる。本工程は、真空引きされた精製塔内へ循環系配管からガスを吸入する工程である。そのため、一時的にグローブボックスの負圧が深くなる。このときに排気系制御弁が開いていたために、排気系より空気を吸い込んでしまったものと考えられた。このように、モニタリングシステムがあることによって、グローブボックスの運転状況を使用時間以外についても正確に知ることが可能である。

酸素濃度の異常表示については、PC 画面上に黄色または赤色で表示する機能を備えているが、現在の運転状況を表示する PC の設置位置は、実験室の機器や備品の配置上、グローブボックス作業者にとって背面側にある化学実験台上にあり、作業中の目視による確認は困難である。音による警報機能を備えるか、作業者からも見やすい場所に設置するのが望ましい。

9)搬出入ポート

グローブボックス A-12、A-13 への物品の搬入は、通常グローブボックス A-13 に設置されている真空置換ポートを介して行う。物品をグローブボックスに搬入するための真空置換ポート A、B を図 7 の①、②に示した。小物を搬入するときは①の真空置換ポート A(直径 160 mm×奥行き 250 mm)を使用し、やや大きい物品を搬入するときは②の真空置換ポート B(直径 350 mm×奥行き 600 mm)を使用する。これらのポートには真空引きができる配管とアルゴンガス供給ができる配管が接続されている。真空引きとアルゴンガス供給を繰り返して、ポート内の雰囲気ガスをアルゴンに置換した後、ポートとグローブボックス間の扉を開にすることにより、グローブボックス内の酸素濃度を上昇させることなく物品を搬入することができる。真空置換ポート A、B から搬入できないような大きい物品をグローブボックス A-12 内に搬入するときは、グローブボックス A-12 の背面に設備されているビニールバッグポートを使用する(図 7 の③に示す)。この場合は真空置換することはできないが、ビニールバッグ内にアルゴンガスを吹き込んでシールすることにより空気の混入量を減らすことができる。それでもビニールバック内に残った空気がグローブボックス内に混入するので、銅触媒の酸素吸着量が急激に増加し銅触媒が不可逆的に劣化する危険性がある。そのため、ビニールバッグポートからの搬入時にはガス循環精製装置の運転を停止する。

また、物品をグローブボックス A-12、A-13 に搬出入することを目的に、大気雰囲気グロー

ボックス A-11 が、グローブボックス A-12 の横に連結しており、この連結ポートも真空置換が可能である(図7の④に示す)。このグローブボックスA-11(2.3.4参照)には、グローブボックスに接続できる金属製密閉容器(キャニスター)の取り付け口(図7の⑤に示す)が設けられており、放射性物質を含んだ物品もしくは放射性物質で汚染した物品を搬出入することができる。グローブボックス A-12、A-13 で調整した実験試料を分析するために搬出するときや小物を搬出するときにはキャニスターを用いる。しかし、キャニスターの直径は約 20 cm であり、キャニスターに収納できないような物品は、ビニールバッグポート(図7の⑥に示す)を使用して搬出入する。

(2)安全装置

グローブボックス A-12、A-13 には、警報設備として負圧異常警報およびグローブボックス内温度高警報、火災対策として炭酸ガス消火器、停電対策として無停電電源装置、ならびに作業者の外部ひばく対策として含鉛アクリル遮蔽パネルが備えられている。安全インタロックとして、負圧異常、グローブボックス内温度高異常、アルゴンガス圧低下および制御用空気圧低下が発報した場合には、2 台のガス循環精製装置および自動負圧制御が自動停止すると同時に給気系の制御弁を閉止し、排気系の制御弁を開くことにより、負圧を維持する。

(3)特殊な運転方法

NUCEF では様々なメンテナンス作業が年間を通して行われ、停電や補助排風機運転となる。このような場合、グローブボックスの負圧維持を最優先しつつ、酸素濃度も可能な限り維持するために特殊な運転を行っている。

1)換気空調設備主機切り替え時(1回/月)の運転方法

換気空調設備主機切り替え時に一時的に負圧が浅くなり、インタロックでガス循環精製装置および自動負圧制御が停止する。これに伴い、グローブボックス内の酸素濃度も上昇し始める。40 秒以内に補助排風機が起動し、負圧は-100 Pa 程度にもどるが、酸素濃度の上昇は続く。約30分後に補助排風機運転が終了し、常用排風機の運転が再開する。その後、職員が入室して負圧警報のリセットと汚染検査を行う。この間に酸素濃度は、100 ppm 程度まで上昇すると推測される。

この酸素濃度の上昇を抑えるためには、ガス循環精製装置を停止させずに運転する必要がある。ガス循環精製装置を停止させずに運転するためには、換気空調設備主機切り替え前に排気系の手動バルブを全閉し、A-13 側ガス循環精製装置の内圧制御機能のみで負圧を維持する状態にしておく。この操作により、グローブボックス内の負圧と酸素濃度を換気空調設備主機切り替え終了まで維持できる。

2)商用系全停電時(2回/年)の運転方法

商用系電源停電は2日間かけて行われ昼間のみ停電となる。停電している間に商用系電源の絶縁抵抗測定が実施される。絶縁抵抗測定による電子機器の故障を防ぐため、前日に、商用系電源から給電しているガス循環精製装置およびモニタリングシステムの電源を分電盤から遮断する。

排風機切り替え時に一時的に負圧が浅くなり、インタロックで自動負圧制御が停止する。これに伴い、グローブボックス内の酸素濃度の上昇が始まる。40 秒以内に補助排風機が起動し、負圧は-100 Pa 程度にもどるが、酸素濃度の上昇は続く。約 30 分後に商用系電源が停電となる。モニタリングシステムは、停電と同時に無停電電源からの給電となる。商用系電源停電後、職員が入室して負圧警報をリセットし、自動負圧制御を再開する。停電から 2 時間後にモニタリングシステム用の無停電電源を使い切り、モニタリングデータの取得が停止する。夕方には商用系電源が復電し、常用排風機が再開するので、職員が入室して点検および警報をリセットする。また、入室時に自動負圧制御を復帰し、出来るだけ酸素が入り込まないように措置をしている。この半日間で酸素濃度は、0.1 %程度まで上昇すると推測される。2 日目も同じような経緯をたどる。

3)非常系(EA 系)電源停電時(1回/年)の運転方法

非常系(EA 系)電源停電時の場合、グローブボックス制御系が停電となり、無停電電源からの供給となる。停電から約 2 時間後、無停電電源の使い切りにより自動負圧制御が停止し、EA 系電源に接続されていないガス循環精製装置のみ運転状態という危険な状態となる。この間に EA 系分電盤の絶縁抵抗測定が行われる。

このような危険な状態をさけるために、EA 系電源停電前にグローブボックス制御系電源への給電を EA 系から商用系に切り替える措置をとる。このような措置をとっても EA 系停電時には排風機の切り替えが行われるため、一時的に負圧が浅くなり、インタロックでガス循環精製装置および自動負圧制御が停止する。それをさけるために、EA 系電源停電前に排気系の手動バルブを全閉し、グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の内圧制御機能で負圧を制御する操作により、グローブボックス内の負圧と酸素濃度を維持する。

4)実験室の分電盤の点検に伴う商用系と EA 系の同時停電時(1回/年)の運転方法

実験室の分電盤停電時はすべての電源が停電となるが、常用排風機は停止しない。ガス循環精製装置は停止し、モニタリングシステムおよびグローブボックス制御系は、無停電電源からの給電が始まる。停電から約 2 時間後、無停電電源を使い切り、モニタリングシステムおよび制御系が停止する。この間に絶縁抵抗測定が行われる。排気弁の ON-OFF 弁が開き、負圧は維持されるが、半日の停電の間に酸素濃度はおよそ 0.1 %まで上昇する。

絶縁抵抗測定による電子機器の故障を防ぐために、事前にガス循環精製装置、モニタリングシステムおよび制御系の電源を停止させておく。

(4)本システムの履歴

本グローブボックスシステムは 1999 年 3 月から約 6 ヶ月間に亘るコールド試運転以降、現在まで約 5 年間使用した。この期間の本システムの履歴を以下の表に紹介する。

年月	出来事	内容
1997 年 7 月	所内安全審査	
1997 年 8 月	核燃料物質使用に係る変更	

	許可申請	
1997年10月	核燃料物質使用に係る変更許可を受ける	
1998年2月	着工	
1998年5月	完成	
1999年1月	施設検査申請	
1999年3月	施設検査	
1999年3月	試運転(循環精製運転)開始	負圧は適切に維持され、安全上問題はないものの、精製塔の切り替えおよび再生を繰り返しても、酸素濃度は1 ppm 以下には下がらず、3 ppm 前後であった。3～6月に様々な試運転を行い、漏れ込みの原因と推定された循環系フィルタ差圧系について、スエージロックの増し締めおよび差圧計の交換を実施した。
1999年3月	循環ガス冷却装置の試運転開始	9月まで様々な試運転を行った。グローブボックスA-12側の冷却装置を使用する場合には温度の経時変化が大きいためグローブボックス内の負圧が変動し、負圧制御にアルゴンガスを消費することがわかった。ポンベの1次圧が1日あたり0.6～1.0 MPa 減少するので注意が必要。グローブボックスA-13側の冷却装置を使用する場合には、結露水が冷却装置の下のトレイにたまるので、毎日回収する必要があることがわかった。したがって休日の前日にはグローブボックスA-13側の冷却装置は停止しなければならない。
1999年4月	グローブボックスA-12側ガス循環精製装置再生時、温度高にて再生が停止	メーカーが調査した結果、温度センサーの設置場所に問題がある事が判明した。(8月に修理)
1999年6月	毎月行われる排風機の切り替えへの対処法確立(2.2.1(3)参照)	排気系の手動バルブを閉止し、グローブボックスA-13側のガス循環精製装置の内圧制御機能を使って負圧を-300～200 Pa に維持することとした。循環精製運転を止める必要はなく、酸素濃度、負圧ともに維持できる。
1999年6月	酸素濃度1 ppm 以下での連続運転開始	ジルコニアセンサ式酸素濃度計は1 ppm 付近では±1 ppm 程度の誤差があることが経験的にわかった。
1999年7月	ビチューメン固化体の浸出試験に用いる小型恒温器2台をグローブボックス内に搬入	真空置換ポートから搬入できないサイズであったため、ビニールバッグポートから搬入した。ガス循環精製装置の運転を停止して搬入作業を行った。ビニールバッグ内にアルゴンガスを吹き込んでからシールすることで、グローブボックス内の酸素濃度上昇を40 ppm 程度にとどめることができた。

1999年8月	「地下環境 TRU 化学挙動分析装置付属品」を整備	グローブボックス A-12 側ガス循環精製装置について精製塔内のセンサーの設置場所を変更すると共に精製剤を交換した。循環ガス冷却装置の結露対策として、配管に保温材を取り付けた。グローブボックス制御系の電源を非常系(EA系)から供給するようにした。
1999年9月	コールド試験開始	セレン溶解度試験
1999年9月	非常系(EA系)計画停電中にグローブボックス内負圧高警報が発報	空気供給バルブを開いて空気を導入して負圧高を解消した。 EA系の停電により、グローブボックス制御系が働かず、通常の負圧制御が機能しないが、商用系から給電されているグローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の負圧維持機能を用いて、循環精製運転を継続していた。しかし、制御系電源の停電により、アルゴンガス供給元の電磁弁が閉じる構造であったため、グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の負圧制御機構が作動しても、アルゴンガスが供給できない状態となっていた。EA系の停電時にもグローブボックス A-13 側ガス循環精製装置にアルゴンガスを供給するための改造を翌年2月に実施した。
1999年10月	所内全停電	特に問題なし。
1999年12月	警報検査を実施した翌日に負圧異常警報発報	警報検査では、負圧異常警報が発報する負圧値をチェックするために、タイマーリレーをゼロにする。これをそのままにしたため、グローブ操作で負圧が変動した際に瞬時に負圧異常が発報した。警報検査の後にはタイマーリレーを10秒に戻すことが必要である。その点を操作マニュアルに追記した。
2000年1月	モニタリングシステム設置	初期不良への対処と改良を重ね、5月に完成した。
2000年2月	「地下環境 TRU 化学挙動分析装置追加整備品」を整備	EA系が停電してもグローブボックス A-13 側ガス循環精製装置にアルゴンガスの供給ができるようにアルゴンガス給気ラインを改良した。
2000年2月	高温構造機械試験棟(HENDEL)変電所の点検に伴う商用系停電。復電後に負圧低警報発報	商用系電源復電時に、警報をリセットしたが自動負圧制御を開始するのを忘れたため、しばらくしてから負圧低警報が発報した。異常リセットを押した状態では全ての制御弁が閉じた状態となっていることには注意が必要である。その点を操作マニュアルに追記した。
2000年4月	落雷による瞬時停電で補助排風機運転となり、自動停止	負圧制御には問題なし。すぐに職員が対処して再起動した。酸素濃度は26ppmまで上昇。
2000年5月	HENDEL 変電所の点検に伴う計画停電	特に問題なし

2000年6月	グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置真空ポンプ故障	真空ポンプを交換した。
2000年6月	ホット試験開始	ビチューメン固化体浸出試験
2000年7月	排風機切り替え時の対処に失敗し、装置運転停止	グローブボックス A-13 側のガス循環精製装置の内圧制御機構を用いて負圧を維持する場合には、フットペダルを用いてグローブボックス内負圧を変動させ、制御が適切にはたらくことを確認する必要がある。負圧は維持されていたので、保安上は問題なし。
2000年7月	アルゴンガスボンベが空になったため自動停止	土曜日に発生し、月曜日まで発見されなかったため、酸素濃度が 0.7 % まで上昇した。アルゴンガス残圧に常に注意する必要がある。負圧は維持されたので、保安上は問題なし。
2000年8月	EA 系電源計画停電	特に問題なし
2000年9月	落雷による瞬時停電で補助排風機運転となり、自動停止	負圧制御には問題なし。再起動までに酸素濃度は 300 ppm 程度まで上昇した。
2000年9月	「ビチューメン固化体浸出試験装置保守点検」	冷却水配管に垢がたまっている様子が見られたため、冷却水配管を交換した。ガス循環精製装置内の真空ポンプに凝縮水が混入することを防止するため、ドレンポットを設けた。なお、精製剤は劣化が認められなかったので交換しなかった。
2000年10月	所内全停電	特に問題なし。
2000年10月	グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置再生時に酸素濃度上昇(図 8 参照)	再生工程の中で、精製塔へのガスの refill の時に発生したことが判明した。折悪しく、排気弁が開だったところで refill 工程に入ったために排気系から空気を吸い込んでしまったものと考えられ、保安上の問題もないので、特に対策をとらなかった。
2000年10月	グローブボックス内の酸素濃度が上昇するようになる	実験中にしばしば発生したため、実験操作(グローブの激しい出し入れ、搬出入)によるものではないかと考えたため、原因解明が遅れた。酸素濃度が時々 200 ppm 程度まで上昇する現象が 2001 年 4 月まで続いた。メーカーの調査で、制御弁への圧縮空気の供給圧力不足で排気系の ON-OFF 弁が閉まりきっていなかったことが原因と判明した。圧縮空気の供給圧力の調整をした。負圧は維持されたので、保安上は問題なし。
2001年2月	グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置真空ポンプ故障	3月にポンプ交換を実施

2001年10月	所内全停電2日目の昼間に負圧低警報発報、翌月曜日の午前中にも負圧低警報発報	いずれも警報リセットした後に自動負圧スイッチを押さなかったため、しばらくしてから圧力バランスの変化により負圧低警報が発報した。異常リセットを押した状態では全ての制御弁が閉止した状態となっており、グローブボックス内外の圧力変化により負圧異常が発生する可能性がある。また、異常リセットの後、自動負圧制御を開始した場合には、ダクトの負圧が弱いためにいつ負圧低異常が発報するかわからない状態となる。このような状態を回避するため、停電の朝には、排気弁を開ける操作を行うマニュアルを整備した。
2002年1月	HENDEL 変電所の点検に伴う計画停電	2001年10月に整備したマニュアルで特に問題は発生しなかった。
2002年2月	EA系計画停電の週にグローブボックス気密試験も実施	グローブボックス制御系が停電で通常の負圧制御が作動しておらず、酸素濃度計も作動していない状態で、グローブボックスA-13側ガス循環精製装置の内圧制御機能を使って負圧を制御し、循環精製運転を継続していた。気密試験時には循環精製運転を止めたが、試験終了後にはすぐに起動した。EA系電源が復電した後酸素濃度を見てみると5.5%となっていた。急いで循環精製運転を停止した。酸素濃度が5.5%となった時期も原因も不明であるが、制御系電源が停電中に、酸素濃度もモニターできない状態で、グローブボックスA-13側ガス循環精製装置の内圧制御機能を使って負圧を制御し、循環精製運転を継続するのは危険と考えられた。EA系計画停電時は、グローブボックス制御系への給電をEA系から商用系に変更することで対処するべきと考えられた。
2002年5月	落雷による瞬時停電で補助排風機運転となり、自動停止	酸素濃度は0.4%まで上昇した。職員がすぐに対応し、短時間で復旧した。
2002年9月	グローブボックスA-13側ガス循環精製装置の電磁弁故障	精製塔の切替弁(V7バルブ)。メーカーがバルブを交換した。
2002年10月	所内全停電	2001年10月の所内全停電時に定めたマニュアル通りに対処したが、一部マニュアルを改訂(第2版)した。
2002年12月	真空置換ポートBの使用に伴い酸素濃度上昇	真空置換ポートB内をアルゴンガスにて置換して搬入作業を行ったところ、酸素濃度が800ppmまで上昇した。外側ハッチの気密性がよくなかったと考えられる。真空置換ポートBを用いる際にはグリースを用いることとした。
2003年1月	HENDEL 変電所の点検に伴う停電	2002年10月に改訂したマニュアル(第2版)に従い対処した。

2003年2月	EA系計画停電	復電後に酸素濃度計を起動したところ、酸素濃度が12%となっていた。急いで循環精製運転を停止した。排気系の手動弁を全閉として、グローブボックスA-13側の精製装置の内圧制御機構で負圧を維持していたが、排気系の手動弁が閉まりきっていなかったため、排気系から空気が混入したものと考えられる。EA系計画停電時は、グローブボックス制御系への給電をEA系から商用系に変更することで対処するべきである。
2003年2月	酸素濃度測定システム改良	ジルコニアセンサ式酸素濃度計(東レ, 0-100%)と電気化学式酸素濃度計(DELTA F, 0-100 ppm)のサンプリングポイントを変更し、ジルコニアセンサ式でグローブボックス内の酸素濃度を、電気化学式で精製装置入り口の酸素濃度をモニターするように改良した。グローブボックス内の酸素濃度が%オーダーに上昇してしまった場合にも、酸素濃度を速やかに知ることができるようになった。
2003年3月	J-PARC電源工事に伴う停電	2002年10月に改訂したマニュアル(第2版)に従い対処した。
2003年6月	A-13 GB側ガス循環精製装置真空ポンプ故障	ポンプ交換実施。
2003年6月	無停電電源の長時間使用試験	モニタリングシステム用の無停電電源の消費度合いの確認を行った。その結果、2時間以上データを収集できることが判明した。なお、商用系電源から給電しているPCのバッテリーの消耗が早いため、無停電電源より給電することとした。
2003年9月	モニタリングシステムのデータ保存機能が停止	モニタリングシステムのPCの反応が異常に遅いため、調べてみると水曜日午前に行っているデータ保存ができないままとなっていた。メーカーに対応を依頼し、データ保存の時間を変更した。保安上の問題ではない。
2003年10月	所内全停電	NUCEF技術第2課のグローブボックス系風量調整により、補助排風機運転中も負圧が立つようになったため、異常リセットに続いて、自動負圧制御をスタートする方法で対処した。マニュアルも一部改訂(第3版)した。
2003年10月	圧縮空気の減圧弁の一つから空気漏れ	翌日には自然に解消したが、当該減圧弁(RV-832)の交換を行った。空気が漏れても必要な圧縮空気は供給されていたため、保安上は問題なかった。
2004年5月	通常1ヶ月以上もつはずのアルゴンガスポンプが、1~数日で空となる事象発生。	アルゴンガス供給系比例調整弁の開度調整のずれのため、弁が少し開いていた状態になったためと判明した。当該比例制御弁の調整をおこ

		なった。負圧は維持されていたので、保安上は問題ない。次回の保守点検で可能な範囲で弁の清掃を実施する予定である。
--	--	---

(5)本グローブボックスシステムの問題点

本グローブボックスシステム的设计段階においては、装置の仕様、性能だけでなく、配管の位置や使い勝手にも万全を期したが、1999年3月から約6ヶ月間に亘るコールド試運転およびそれ以降現在までの約5年間に亘るホット試験の経験からさらに改善を要する点が見出された。それらを以下の表にまとめた。これらの問題点は通常の運転に支障をきたすものではない。なお、改善できる点はグローブボックスA-12、A-13の運転開始より2年後のグローブボックスA-8の設計に反映させた。

	グローブボックス A-12、A-13 の問題点	グローブボックス A-8 への反映
①	ガスボンベを管理区域内へ搬出入する必要があるしかも、ガスボンベの設置場所への通路が狭く、交換が難しい。 図9参照	アルゴンガスを屋外に設置された液化アルゴン貯槽から供給するようにした。 (グローブボックスA-12、-13を設計したときには、貯槽は設置されていなかった。)
②	警報発報後、警報リセットを押しても「自動負圧入」ボタンを押さない限り、自動負圧が復帰しない。	警報発報しても自動負圧制御が停止しないようにした。
③	警報発報後、リセットボタンを押すと負圧制御されていない状態で、A-13 側ガス循環精製装置の運転が再開してしまう。これを防ぐためには、リセットボタンを押す前に循環スイッチをOFFにしなければならない。	警報リセットと同時にガス循環精製装置が運転しないように、復電ボタンを設置した。
④	負圧制御系電源を EA 系に接続しているが、警報が発報すると自動負圧制御が停止してしまうので、EA 系に接続している意味がない。	グローブボックス制御系に無停電電源を介して商用系電源から給電することにした。
⑤	モニタリングシステムのグローブボックスの運転状況を表示する PC の設置位置が悪い。	反映できなかった(配置上の制約から、モニタリングシステムのPCを見やすい位置に設置することはできなかった。)
⑥	グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の精製塔切り替え用電磁弁が故障しやすい。	精製塔切り替え弁を改良したガス循環精製装置を設置した。
⑦	グローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の真空ポンプが故障しやすい。	ガス循環精製装置の真空ポンプに凝縮水がたまることが原因と考えられたため、凝縮水トラップを設けた。
⑧	酸素濃度計のサンプリングポイントの切り替え弁が手動弁であり、しかも多くのバルブが高所にあるので、操作が容易でない。	酸素濃度計のサンプリングポイントの切り替え弁を電磁弁に変更し、制御盤の押しボタンでサンプリングポイントを切り替えられるようにした。
⑨	グローブボックスの制御盤が、作業者の足下に設置されているので、グローブボックス作業時には注意が必要となる	グローブボックスの制御盤を作業者が誤って操作してしまうことのない場所に設置した。

⑩	両面操作型グローブボックスでは、空気の混入面積が大きくなり、酸素も混入しやすくなるため、片面操作型にした。グローブボックスの内面積を極力大きくし確保するため、奥行きを大きくとった。このため、真空置換ポート A(図 7 ①)がグローブボックス作業者にとって手が届きにくい場所に設置されている。かつ、取り出し口の操作がハンドル式なので、作業が容易でない。	両面操作グローブボックスを改造したので、グローブ操作が困難な場所がない。
⑪	循環ガス冷却装置は結露水とアルゴンガス大量消費の問題があり、使い勝手が悪い。	循環ガスは冷却しないこととした。

2.2.2 グローブボックス A-8

本グローブボックスシステムは実験室VIに設置されていた大気循環型グローブボックスをアルゴンガス循環型グローブボックスに改造したものである。前述のグローブボックス A-12、A-13 よりも大きなアルゴン雰囲気の実験空間を確保することをめざした。グローブボックスの外観写真を図 10 に示した。図 11 のグローブボックス配管系統図に示すように、本システムは、グローブボックス本体、ガス循環精製装置、負圧制御系、酸素濃度計、ガス供給系、モニタリングシステム、安全装置などから成る。

本システムでは、室内に対して -274 ± 27 Pa の負圧条件において雰囲気ガス(アルゴン)中の酸素濃度を数 ppm 以下に維持することができる。グローブボックス内の温度は NUCEF が定めた制限値である 60°C 未満である。グローブボックス A-8 における使用許可核種を付録に記載する。

(1) 構成機器の性能

1) グローブボックス本体

グローブボックスの大きさは、 4.0 m^3 (縦 $1.0 \text{ m} \times$ 横 $2.0 \text{ m} \times$ 高さ 2.0 m)であり、前述のグローブボックス A-12、A-13 を合わせた大きさの約 2 倍である。グローブ操作は両面操作型である。グローブには酸素を透過しにくいブチルゴム製の PNC III 型グローブを 16 双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はポリカーボネートであり、その厚さは 10 mm である。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ 18 mm の含鉛アクリルパネルを備えている。

2) ガス循環精製装置

VAC 社製のガス循環精製装置 NX1-7 型を使用している。循環風量は最大 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ である。本装置には精製塔が 2 塔あり、1 塔ずつ交互に循環運転を行っている。精製剤は、酸素を除去するための銅触媒と水分を除去するためのモレキラシーブを充填している。1 塔当たりの充填量は、銅触媒が 9 kg 、モレキラシーブが 13.5 kg である。酸素吸着容量は、 1 ppm 平衡時で 40 dm^3 、飽和吸着時で 60 dm^3 である。精製剤の再生ガスにはアルゴン-4% 未満水素混合ガスを使用しており、1 回の再生で 2 m^3 消費する。なお、精製塔再生時の冷却方法は、空冷である。

3) 負圧制御系

排気系および給気系それぞれに、グローブボックス A-12、A-13 と同じく圧縮空気を駆動源とする比例制御弁と ON-OFF 弁を備え、これら4つの弁を自動制御して負圧を維持する。自動負圧制御範囲(-274±147 Pa)内の負圧変動に対しては、比例制御により-274 Pa に収束させる。-274±147Pa 範囲を越える負圧変動に対しては制御弁の ON-OFF 弁で-274±147 Pa 以内に戻した後、比例制御を行う。自動負圧制御範囲を超え、-470 Pa になると制御負圧高警報が発報する。また-78 Pa にて制御負圧低警報が発報する。どちらかの警報が発報した場合、ガス循環精製装置が停止する。また、グローブボックス A-12、A-13 とは異なり、警報発報時は自動負圧制御を継続する。なお、グローブボックス本体の負圧高、負圧低警報はそれぞれ、-490 Pa、-49 Pa で発報する。自動負圧制御機構は、無停電電源を介して商用系電源に接続しており、商用系電源が停電しても 10 分間程度は通常の負圧制御を維持できる。無停電電源を使い切った後は、すべての制御弁を自動的に閉止して負圧を維持する。

4) 酸素濃度計

ジルコニアセンサ式酸素濃度計(TORAY LC-850KS、測定レンジ 1 ppb~20 %)で、グローブボックス本体、ガス循環精製装置入口、ガス循環精製装置出口の3カ所の酸素濃度を測定できる。サンプリング位置の切り替えはグローブボックス A-12、-13 とは異なり、グローブボックスシステム制御盤上の押しボタンで電磁弁を開閉して行う。また、測定に用いた気体は排気系へ排気するか、循環系ループ内に戻すかを手動弁で切り替えることができる。ジルコニアセンサ式酸素濃度計の指示値は気体中の不純物に影響されやすいとされている。実際に 2004 年 6 月に循環ガス中に微量の水素が混入した時、指示値が 0.0ppb となった。

なお、酸素濃度計の校正は、100 ppm 標準ガスを用いて実施している。

5) ガス供給系

アルゴンガスの供給はグローブボックス A-12、A-13 とは異なり、NUCEF 棟建家外に設置されている NUCEF 液化アルゴン貯槽から供給されている。精製剤を再生するためのアルゴン-4 % 未滴水素混合ガスは建家外に設置されているガス貯蔵庫内のボンベより供給している。

なお、液化アルゴン貯槽にはバックアップのためのアルゴンガスカードルを設置しているが、設備管理担当課の点検時における貯槽とカードルの切り替え操作ミスにより、アルゴンガス供給圧力が低下してインタロックが働き、ガス循環精製装置が自動停止する事象が稼働開始から 2 回発生している。

6) 圧縮空気供給系

負圧制御用 ON-OFF 弁、比例制御弁およびガス循環精製装置の空気作動弁の駆動用圧縮空気は、グローブボックス A-12、A-13 と同じく NUCEF 実験棟 A 3F のコンプレッサーより供給されている。供給される空気の圧力は、0.7 MPa である。これを、0.5 MPa に減圧して使用している。

7) モニタリングシステム

グローブボックス A-12、A-13 と同じく、グローブボックスの内圧、グローブボックス内温度および酸素濃度計指示値のデータをパソコンに取り込んでディスプレイに表示するとともに、グラフ表示、データ保存が可能である。また、異常(負圧高異常、負圧低異常、温度高異常、圧縮空気圧力低異常、アルゴンガス圧力低異常および酸素濃度異常)表示機能を有する。モニタリングシステムは無停電電源から電源が供給されているので、商用系電源停電時も 10 分程度データの取得が可能である。

(2) 安全装置

グローブボックス A-8 には、警報設備として負圧異常警報、グローブボックス内温度高警報および漏洩警報、火災対策としてハロン消火設備、停電対策として無停電電源装置、ならびに作業者の外部ひばく対策として含鉛アクリル遮蔽パネルが備えている。安全インタロックとして、負圧異常、グローブボックス内温度高、アルゴンガス圧低下および制御用空気圧低下の場合にガス循環精製装置の運転が自動停止する。また、制御用空気圧力が低下した場合には、4つの負圧制御弁すべてを自動閉止して負圧を維持する。

(3) 特殊な運転方法

NUCEF では様々なメンテナンス作業が年間を通して行われ、停電や補助排風機運転となる。このような場合には、グローブボックス A-12、A-13 と同様にグローブボックスの負圧維持を最優先しつつ、酸素濃度も可能な限り維持するような特殊な運転を行っている。

1) 換気空調設備主機切り替え時(1回/月)の運転方法

換気空調設備主機切り替え時、一時的に負圧が浅くなり、ガス循環精製装置が停止するが、自動負圧制御は行われる。排風機切り替え完了後、職員が入室し警報をリセットする。グローブボックス内の酸素濃度は約 200 ppm まで上昇する。

2) 商用系全停電時(2回/年)の運転方法

商用系全停電時はグローブボックス A-12、A-13 とほぼ同様な対処を実施しているが、負圧制御系電源が停電するという点異なる。グローブボックス A-12、A-13 のように排気系の ON-OFF 弁のみ開いて負圧維持することができない(負圧高となってしまう)ので、やむを得ず締め切りとしているが、停電が長時間にわたる場合には負圧変動により負圧警報が発報する可能性がある。このため、停電1日目の復電後は、負圧制御システムのみ復電し、これによって負圧を保つようにしている。

3) 非常系電源(EA系)停電時(1回/年)の運転方法

本グローブボックスは、非常系電源には接続されていないので停電には影響されないが、停電に伴う換気空調設備の断続運転に対して、1)と同様の対処をしている。

4)実験室の分電盤の点検に伴う商用系とEA系の同時停電時(1回/年)の運転方法

実験室の分電盤の点検に伴う商用系とEA系の同時停電時は、グローブボックス A-12、-13 とほぼ同様な対処を実施している。短時間の停電に対しては無低電源装置からの給電により、負圧は維持できるが、停電が長時間にわたる場合にはグローブボックスは締め切りとなるので、負圧変動により負圧警報が発報する可能性がある。

(4)本システムの問題点

本システムを約1年間運転した結果、以下のような点に改善を要することが判明した。これらの問題点は運転に支障をきたす問題点ではないが、今後新たに同種のグローブボックスを設計する際には考慮すべきである。

	問題点	処置または処置案
①	停電時には、排気系のON-OFF弁のみ開いて負圧維持することができない(負圧高となってしまう)ので、やむを得ず締め切りとしているが、停電が長時間にわたる場合には負圧変動により負圧警報が発報する可能性がある。	グローブボックス制御系電源をバックアップ電源が整備されている電源から給電することが考えられる。
②	既設のグローブボックスを改造したため、酸素の浸入面積が大きくなり、酸素濃度の上昇が速い。	精製塔を2週間に1回程度の頻度で再生すれば酸素濃度を数ppm以下に維持できる。
③	既設のグローブボックスを改造したため、真空置換搬出入ポートがない。	グローブボックスA-9との連結部分を真空置換型移動ポートに改造した。
④	ガス循環精製装置の電磁弁の故障で5日間停止した。	電磁弁からうなり音がする故障であった。定期的な電磁弁の点検を行うことが考えられる。

2.3 大気雰囲気グローブボックス

2.3.1 バリア性能試験装置内蔵グローブボックス

バリア性能試験装置は、TRU核種の移行を抑制・遅延させる役割を果たすことが期待される土壌、堆積岩、埋め戻し材、コンクリート等の天然バリアおよび人工バリアの性能を評価する試験を行う装置である。本装置は帯水層シミュレーション試験装置、処分構造物浸透・漏洩試験装置、通気層シミュレーション試験装置およびパッチ式分配係数測定装置から成り、実験室VIのグローブボックスA-6、A-7およびA-9に内蔵されている。ここでは、各グローブボックスの仕様と各装置の概要および装置の構成のみ説明する。各装置の詳細な仕様についてはバリア性能試験装置の運転要領⁽¹⁾を参照してほしい。グローブボックスA-6、A-7およびA-9での使用許可核種を付録に記載する。

(1)グローブボックスA-6

グローブボックスA-6の大きさは、6.0 m³(縦1.0 m×横3.0 m×高さ2.0 m)である。グローブ

操作は両面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅡ型グローブを24双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ18 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。本グローブボックス内に帯水層地層シミュレーション装置を設置した。この装置は、帯水層について、Np、Pu および Am 等の移行試験を行う装置であり、試料液タンク、試料液移送ポンプ、カラム試験槽およびサンプリング装置から構成される。

本グローブボックス内の温度はNUCEFが定めた制限値である60℃未満である。本グローブボックスには、警報設備として負圧異常、グローブボックス内温度高異常および漏洩警報、火災対策としてハロン消火設備が整備されている。

(2)グローブボックス A-7

グローブボックス A-7 の大きさは、7.4 m³(縦1.0 m×横3.0 m×高さ2.0 m + 縦1.0 m×横1.0 m×高さ1.4 m)である。グローブ操作は両面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅡ型グローブを28双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ18 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。本グローブボックス内に処分構造物浸透・漏洩試験装置および通気層地層シミュレーション装置を設置した。この装置は、未攪乱土壌、堆積岩およびコンクリート等について、Np、Pu および Am 等の移行試験を行う装置である。処分構造物浸透・漏洩試験装置は、試料タンク、定量ポンプ、カラム試験槽、サンプリング装置、流出液1次貯槽、廃液移送ポンプおよびγスキャン測定装置から構成されている。通気層地層シミュレーション装置は、試料タンク、定量ポンプ、カラム試験槽、サンプリング装置および流出液1次貯槽から構成されている。

本グローブボックス内の温度はNUCEFが定めた制限値である60℃未満である。本グローブボックスには警報設備として負圧異常、グローブボックス内温度高異常および漏洩警報、火災対策としてハロン消火設備が整備されている。

(3)グローブボックス A-9

グローブボックス A-9 の外観写真を図12に示す。グローブボックスの大きさは、6.0 m³(縦1.0 m×横3.0 m×高さ2.0 m)である。グローブ操作は両面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅡ型グローブを24双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ18 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。本グローブボックス内にバッチ式分配係数測定装置を設置した。この装置は、土壌、堆積岩およびコンクリート等の材料について、Np、Pu および Am 等の吸着試験をバッチ式で行い、吸着メカニズムを検討するとともに、移行特性を評価する上での基礎的データを収集する装置であり、恒温水槽、冷却水循環装置および振とう機から構成される。

グローブボックス内の温度はNUCEFが定めた制限値である60℃未満である。本グローブボックスには警報設備として負圧異常、グローブボックス内温度高異常および漏洩警報が設備されており、火災対策としてハロン消火設備が整備されている。

2.3.2 グローブボックス A-1

本グローブボックスは実験室VIに設置されている。本グローブボックス内には、放射性物質を含む試料を対象とした分析装置(イオンクロマトグラフ、全有機体炭素計および示差熱・熱重量同時測定装置)を設置した。なお、設置した分析機器については後述(2.4. 分析装置)する。

グローブボックスの外観写真を図13に、設置した分析機器の配置図を図14に示す。グローブボックスの大きさは、 6.0 m^3 (縦1.0 m×横4.0 m×高さ1.5 m)である。グローブ操作は両面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅡ型グローブを24双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ13 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。

グローブボックス内の温度は室温からNUCEFが定めた制限値である 60°C 未満である。本グローブボックスには警報設備として負圧異常、グローブボックス内温度高異常および漏洩警報、火災対策としてハロン消火設備が整備されている。なお、本グローブボックスにおける使用許可核種を付録に添付する。

2.3.3 グローブボックス A-10

本グローブボックスは、実験室Ⅷにて雰囲気制御を行わない試験を行うために設置したグローブボックスである。

グローブボックスの外観写真を図15に示す。グローブボックスの大きさは、 1.1 m^3 (縦0.7 m×横1.8 m×高さ0.8 m)である。グローブ操作は片面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅢ型グローブを2双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ18 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。

グローブボックス内の温度はNUCEFが定めた制限値である 60°C 未満である。本グローブボックスには警報設備として負圧異常およびグローブボックス内温度高異常、火災対策として炭酸ガス消火設備が整備されている。なお、本グローブボックスにおける使用許可核種を付録に記載する。

2.3.4 グローブボックス A-11

本グローブボックスは物品をグローブボックス A-12、-13 に搬出入することを目的に、実験室Ⅷのグローブボックス A-12 に連結させて設置したグローブボックスである。

グローブボックスの外観写真を図16に示す。グローブボックスの大きさは、 0.5 m^3 (縦0.6 m×横1.2 m×高さ0.9 m)である。グローブ操作は片面操作型である。グローブはハイパロン製のPNCⅢ型グローブを1双設置している。グローブボックスの気密パネルの材質はアクリルであり、その厚さは10 mmである。また、作業者の外部ひばく対策として厚さ18 mmの含鉛アクリルパネルを備えている。

グローブボックス内の温度はNUCEFが定めた制限値である 60°C 未満である。本グローブボックスには警報設備として負圧異常およびグローブボックス内温度高異常が設備されている。なお、本グローブボックスにおける使用許可核種については付録に記載した。

2.4 分析装置

分析装置のうち、イオンクロマトグラフ、全有機体炭素計および示差熱・熱重量同時測定器については、放射性物質を含んだ試料を分析できるようにグローブボックス A-1 内に設置した。操作性、メンテナンス性を考慮した配置とした。これらの分析装置は分解してグローブボックス内に搬入し、グローブボックス内にて組み立てた。また、紫外・可視・近赤外分光光度計については、放射性物質を含んだ試料をアルゴンガス雰囲気下でそのまま分析できるように、グローブボックス A-8 内に設置した。その他の分析装置については、市販品をそのまま使用しており、概要を以下にまとめた。

分析装置名	機種名／製造元	設置場所	測定対象	機器の構成
イオンクロマトグラフ(図 17) Ion Chromatograph (IC)	HIC-6A／島津製作所	実験室 VI のグローブボックス A-1 内	グローブボックス内に設置したため、放射性物質を含んだ試料の陰イオン濃度の測定ができる。	送液ポンプ カラム恒温槽 電気伝導度検出器 レコーダー
全有機体炭素計(図 18) Total Organic Carbon analyzer (TOC)	TOC-5000A+SSM-5000A／島津製作所	実験室 VI のグローブボックス A-1 内	固体試料中の TOC 濃度の測定できるように、固体燃焼装置を装備している。グローブボックス内に設置したため、放射性物質を含んだ試料溶液および固体試料中の TOC 濃度の測定ができる。	全有機体炭素計 固体燃焼装置 装置制御用パソコン
示差熱・熱重量同時測定装置(図 19) Thermogravimetry /Differential Thermal Analyzer (TG/DTA)	TG/DTA 320／セイコーインスツルメンツ	実験室 VI のグローブボックス A-1 内	グローブボックス内に設置したため、放射性物質を含んだ試料の熱分析ができる。	装置本体 装置制御用 PC データ出力器
環境制御型走査電子顕微鏡(図 20) Environmental Scanning Electron Microscope (E-SEM)	XL-30／フィリップス	実験室 VI	固体試料(含水試料、絶縁物質も含む)の表面を無処理で観察できる。また、エネルギー分散型 X 線分析システム(EDAX)を装備しているので、観察している試料表面の元素組成情報も知ることができる。	E-SEM 本体 X線分析システム 制御用パソコン
液体シンチレーションカウンター Liquid Scintillation Counter (LSC)	LS-6500／ベックマン・コールター	実験室 VI	試料溶液中の α 、 β 核種の放射エネルギーを測定する。	装置本体 データ出力プリンター

<p>γ線分析システム γ-ray analysis system</p>	セイコーEG&G	実験室VI	複数のγ線放出核種を同時に非破壊で分析できる。	Ge半導体検出器 高圧電源モデル 線形増幅器 アナログ-デジタル変換器 波高分析器 BIN電源 データ解析用計算機
<p>高分解能誘導結合プラズマ-質量分析器(図21) High performance Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS)</p>	JMS-PLASMAX2 / 日本電子	精密測定室(図8)	本装置の質量分析計は二重収束質量分析計を使用しているため、最高分解能12000程度の高分解能で試料の質量測定できる。四重極質量分析計が装備されているICP-MSでは定量、定性分析が困難な元素も二重収束質量分析計をもつ本器では測定が可能となる。 (分析例: 図22)	本体 冷却器 制御用パソコン
<p>X線光電子分光分析器(図23) X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)</p>	JMS-9000MC / 日本電子	精密測定室	試料中の構成元素の結合エネルギーや運動エネルギーを調べることに、注目元素の化学状態を調べることができる。 (分析例: 図24)	本体 冷水循環装置 X線ターゲット 冷却水送水装置 制御用パソコン モノクロメーターユニット
<p>紫外・可視・近赤外分光光度計 Ultraviolet, Visible and Near-Infrared spectrometer (UV-Vis-NIR)</p>	V-570iRM/DS / 日本分光	実験室VIのグローブボックスA-8内	アルゴンガス循環型グローブボックス内に設置した。還元性雰囲気中において、紫外領域から近赤外域までの放射能が含まれた試料液の吸収スペクトル、吸光度および透過率を測定ができる。	装置本体 制御用パソコン
<p>フーリエ変換赤外分光光度計 Fourier Transform Infrared</p>	FT/IR 600 / 日本分光	実験室VI	固体試料の赤外線吸収スペクトルを測定することができる	装置本体 制御用パソコン

spectrometer (FT-IR)				
-------------------------	--	--	--	--

3. 研究成果

TRU 廃棄物試験設備に特徴的なアルゴンガス循環型グローブボックスを用いることにより、低酸素雰囲気での実験が可能となった。これまでに得られた成果を紹介する。

3.1 低酸素濃度条件下における金属セレンの溶解度^(2,3)

放射性廃棄物処分の安全評価において重要な長半減期核種のひとつにセレン (Se-79、半減期: 10^6 年) がある。セレンは地下水中の酸化還元条件によって -II 価、+IV 価、+VI 価と異なる酸化数をとることがわかっており、地下水での溶存種は Se^{2-} 、 $\text{Se}^{\text{IV}}\text{O}_3^{2-}$ 、 $\text{Se}^{\text{VI}}\text{O}_4^{2-}$ といずれの酸化数でも負電荷を持つ陰イオンの形態をとる。このため、陽イオン種で見られるような鉱物への吸着を期待できず、地下水におけるセレンの濃度は、セレンまたはセレン化合物の溶解度によって制限されると考えられており、溶解度が安全評価上重要な因子となっている。しかし、これまで酸化数の変化を伴う実験の難しさから、セレンの溶解度を評価するために必要な熱力学データの信頼性は確認されていない。これらの理由から、グローブボックス A-12、A-13 を用いて、低酸素濃度条件下における金属セレンの溶解度測定実験を行い、熱力学データの取得を行った。

実験室 VI に設置している紫外・可視・近赤外分光光度計を用いてセレンの溶存形態を確認した結果、 HSe^- 、 Se_4^{2-} であることが判明した。また、金属セレンの溶解度測定を行った結果、セレンの溶解平衡は pH 範囲によって以下の式に従っていると考えられた。



実験結果から (1)、(2) のそれぞれの平衡定数を計算すると、 $\log K_1^0 = -6.5 \pm 0.5$ 、 $\log K_2^0 = -16.8 \pm 0.5$ となった。 HSe^- の生成定数は本研究で初めて直接的に求められたが、この熱力学データを用いると従来のデータを用いた場合に比べ地下水におけるセレンの濃度は、最大 2 桁以上高いと予想される。

3.2 ビチューメン固化体の浸出性に関する研究^(4,5)

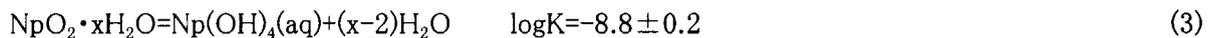
我が国が使用済み燃料の再処理を委託しているフランス核燃料公社 (COGEMA) からは、高レベル廃棄物ガラス固化体とともに、TRU 廃棄物であるビチューメン固化体が返還されると考えられている。この固化体は日本では地下深部への処分が考えられているため、処分の性能評価のためには深部地下環境における浸出性などのデータが必要である。地下深部は還元性雰囲気であるため、酸化還元環境に敏感な元素の浸出挙動は大気環境下のものとは異なる可能性があるが、そのようなデータは極めて少なく、特に TRU 元素についてのデータは見つからなかった。そこで、実験室 VIII のグローブボックス A-10 およびグローブボックス A-12、A-13 を用いて大気環境および低酸素濃度環境における TRU 元素 (^{237}Np) をふくめた数種の元素について、ビチューメン固化体の浸出試験を実施した。浸出試験後の試料表面を実験室 VI の環境制御型走査電子顕微鏡を用いて観察し、浸出液の濃度測定は、陰イオン濃度を実験室 VI のイオンクロマトグラフ、Sr 濃度を実験室 VI の液体シンチレーションカウンター、Cs、Np 濃度については実験室 VI の γ 線分析システムにて測定した。

試験終了後の試料表面を観察した結果、可溶性塩である NaNO_3 が溶出し、空孔となっていた。一方、難溶性塩である BaSO_4 は試料表面に存在していた。可溶性塩元素 (Na , Cs) の浸出量は、イオン交換水、高アルカリ水、模擬海水の順に増加したが、大気環境、低酸素環境の違いは認められなかった。一方、難溶性塩元素 (Ba , Sr) の浸出量は試験液の違い、大気環境、低酸素環境の違いによる浸出挙動の変化は見られなかった。TRU 元素の浸出量は、大気環境では可溶性塩元素の浸出挙動と同じであったが、低酸素環境での浸出挙動は、大気環境下に比べて著しく抑制されていた。このような浸出量の相違は、大気環境下で支配的な Np(V) と低酸素環境下で支配的な Np(IV) の溶解度の差に起因していると考えられる。浸出量液中の Np 濃度は、原研が整備した Np(IV) および Np(V) の熱力学データ⁽⁶⁾ を用いて計算した予測値とほぼ一致した。

3.3 アンモニア水溶液系における $\text{NpO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の溶解度⁽⁷⁾

TRU 廃棄物に含まれる硝酸塩は核種移行に影響する因子と考えられ、特に硝酸イオンが地下の還元性条件でアンモニアに還元された場合に廃棄物中に含まれる元素の溶解度や分配係数に影響することが懸念されている。そこで、アンモニア共存条件にて、TRU 元素でコロイドを作成しやすい IV 価元素である $\text{Np}^{\text{IV}}\text{O}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の溶解度を調べた。実験は Np が V 価へと酸化されるのを防ぐため、実験室 VIII のグローブボックス A-12、A-13 内で行った。 Np 濃度の測定は、精密測定室の高分解能誘導結合プラズマ質量分析器を用いて行った。

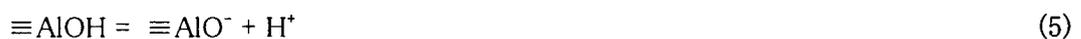
実験を行った結果、 NH_3 濃度 0~0.01 M においては、 Np(IV) のコロイド成分が検出されたが、それより高い NH_3 濃度では Np(IV) は検出されなかった。また NH_3 濃度 3.0 M にて Np(IV) の溶存種の濃度はイオン濃度、 NH_3 濃度に依存しないことが判明し、 Np(IV) の溶解度は以下のようにあらわすことができると考えられた。



以上の実験結果から、TRU 廃棄物に含まれる硝酸塩が還元されることによってアンモニアに富む地下水条件となっても、 Np(IV) の溶解度は増加しないと考えられた。

3.4 高 pH 水溶液系におけるアルミナへの金属イオンの吸着^(8,9)

アクチノイド元素は地下水に様々な錯体として溶存する可能性があり、そのような錯体の中には陰イオン種も少なくない ($\text{UO}_2(\text{OH})_4^{2-}$, $\text{NpO}_2(\text{OH})_2^-$, $\text{Np}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$, $\text{Am}(\text{CO}_3)_3^{3-}$)。一方、人工バリアや天然バリアを構成する鉱物の表面は地下水条件下で、



のような解離反応により主に負に帯電している。陰イオン種を生成したアクチノイド元素が、負に帯電した鉱物表面に電気的な反発力に打ち勝って吸着されるのか否かについては、実験データは極めて少なく、理論的にも解明されていない。本研究では、負電荷を持つさまざまなアクチノイド元素錯イオンのアルミナ及びシリカへの吸着を雰囲気制御下において実験的に調べ、吸着の有無を明らか

にするとともに、吸着のメカニズムについて検討した。実験は Np が V 価へと酸化されるのを防ぐため、実験室Ⅷのグローブボックス A-12、A-13 内で行った。

実験を行った結果、分配係数は pH が高くなるほど、また、炭酸イオン濃度が高くなるほど低下した。分配係数が単調減少するという結果は、負電荷を持つ錯イオンは負に帯電した表面には吸着されないことを示している。分配係数は、主要な化学種ではないが液相中に溶存する電氣的に中性の化学種のモル分率に対して比例関係があることがわかった。この電氣的に中性の化学種が負に帯電した鉱物表面に吸着されたと考えられる。また、Pb を吸着した γ - Al_2O_3 を精密測定室の X 線光電子分光分析器で分析した結果、吸着エネルギーは pH 7, 11, 12 で変化がなかった。このことは、中性領域において支配的な $\text{Pb}(\text{OH})_2(\text{aq})$ の吸着が、高 pH においても変わらずに支配的な吸着機構であることを示唆している。

以上の実験結果から、電氣的に中性の species は負に帯電した表面に吸着されるが、負電荷をもつ錯イオンは吸着されないことを示している。これは、金属イオンと鉱物表面がどちらも主に負に帯電している条件下における分配係数を設定する際の科学的根拠として利用される。

3.5 ベントナイト系緩衝材中における元素の拡散⁽¹⁰⁾

ベントナイト系緩衝材における元素の吸着・移行は現状では経験的に評価されているのに過ぎず、評価法やパラメータに対する科学的な根拠は確立されていない。これでは、地下水の組成が変化(塩水系地下水や高 pH 地下水など)した場合や、緩衝材自身の長期的な変化に対して、元素の吸着・移行がどのように変化するかを科学的に予測することは不可能である。そこで、塩水系地下水および pH 地下水の元素の拡散挙動への影響を熱力学データベースやベントナイト内吸着・拡散に関する経験的な知見に基づいて予測してみるとともに、Sr, Sn, I, Cs, Pb の元素について拡散挙動を実験的に調べて、予測と比較した。実験は I が IO_3^- へ酸化されることを防ぐため、実験室Ⅷのグローブボックス A-12、A-13 にて行い、Sr, Sn, I, Cs, Pb は精密測定室の高分解能誘導結合プラズマ質量分析器にて測定した。

実験の結果、Sr, Sn, I, Pb の有効拡散係数は、既往の知見に基づく予測とほぼ一致していた。一方 Cs については予測値と比較して 3~12 倍の有効拡散係数が得られた。Cs のベントナイト内拡散係数を評価するには、Cs の特殊性(表面拡散など)を十分に考慮する必要があると考えられた。

謝辞

本設備の維持管理にご協力していただいている NUCEF 技術第2課の皆様とエネルギーシステム研究部新型燃料燃焼研究グループの蔵本賢一氏、本書をまとめるにあたり多くの有益な助言をいただきました NUCEF 技術第2課の黒羽根史朗氏、産業科学株式会社の小越和秋氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 田中忠夫、他：私信，“バリア性能試験装置の運転要領” (1996).
- 2) 飯田芳久、他：JAERI-conf 2000-012, “低酸素条件下における金属セレンの溶解度”, 10 (2000).
- 3) Iida, Y., et al: The solubility of metallic selenium under anoxic conditions, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 663, 1143 (2001).
- 4) 中山真一、他：JAERI-conf 2001-15, “NUCEF における廃棄物処分安全研究の成果と今後の展開”, 4 (2001).
- 5) Nakayama, S., et al: Leaching behavior of a simulated bituminized radioactive waste form under deep geological conditions, J. Nucl. Sci. Technol., 40, 227 (2003).
- 6) 山口徹治：JAERI-Data/Code 2000-31, “地下水中における元素の溶解度及び化学系を推定するための熱力学データベースの検討 第2編：Np, Pu” (2000).
- 7) 山口ら, アンモニア水溶液系における $\text{NpO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ の溶解度, 日本原子力学会「2003 春の年会要旨集」;O7, . 852 (2003).
- 8) Yoshida, T., et al.: XPS study of Pb(II) adsorption on $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ surface at high pH conditions, J. Nucl. Sci. Technol., 40, 672 (2003).
- 9) Yamaguchi, T., et al.: Interactions between anionic complex species of actinides and negatively charged mineral surfaces, presented at Migration'03, September 21-27, 2003, Gyeongju, Korea, Radiochim. Acta in press.
- 10) 山口ら, ベントナイト系緩衝材の長期変質に関する実験的研究(7), 日本原子力学会「2004 春の年会要旨集」;H31. 837 (2004).

添付図

- 図 1 燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)
- 図 2 バックエンド研究施設(BECKY) 1F の平面図
- 図 3 バックエンド研究施設(BECKY) 2F の平面図
- 図 4 実験室VIにおけるグローブボックスおよび分析機器の配置図
- 図 5 実験室VIIIにおけるグローブボックスの配置図
- 図 6 グローブボックス A-12、A-13 の外観写真
- 図 7 グローブボックス A-12、A-13 配管系統図
- 図 8 グローブボックス A-12、A-13 内酸素濃度の経時変化(2000年10月16日)および当日実施したグローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の精製剤再生工程
- 図 9 グローブボックス A-12、A-13 アルゴンガスボンベ設置場所
- 図 10 グローブボックス A-8 の外観写真
- 図 11 グローブボックス A-8 配管系統図
- 図 12 グローブボックス A-9 の外観写真
- 図 13 グローブボックス A-1 の外観写真
- 図 14 グローブボックス A-1 に設置したイオンクロマトグラフ(IC)、全有機体炭素計(TOC)および示差熱・熱重量同時測定装置(TG/DTA)の配置図
- 図 15 グローブボックス A-10 の外観写真
- 図 16 グローブボックス A-11 の外観写真
- 図 17 グローブボックス A-1 に設置したイオンクロマトグラフ(IC)
- 図 18 グローブボックス A-1 に設置した全有機体炭素計(TOC)
- 図 19 グローブボックス A-1 に設置した示差熱・熱重量同時測定装置(TG/DTA)
- 図 20 環境制御型走査電子顕微鏡(E-SEM)
- 図 21 高分解能誘導結合プラズマ質量分析器(ICP-MS)
- 図 22 高分解能誘導結合プラズマ質量分析器(ICP-MS)での質量分析例
- 図 23 X線光電子分光分析器(XPS)
- 図 24 X線光電子分光分析器(XPS)での分析例

付録 グローブボックスにおける使用許可核種と許可使用量

This is a blank page.

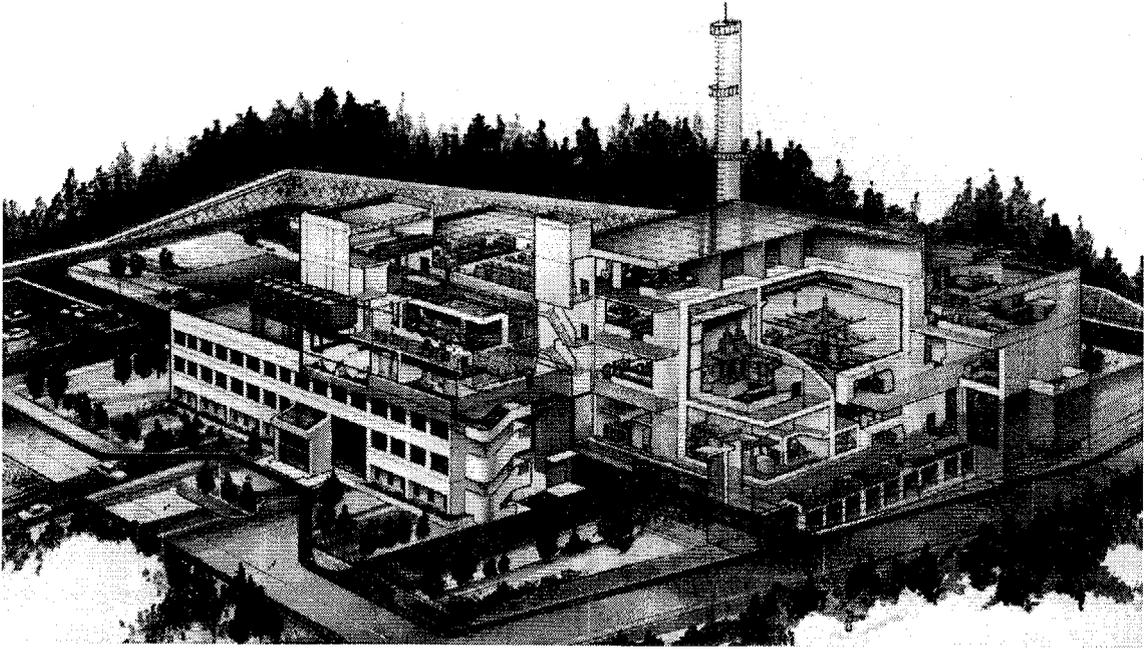


図1 燃料サイクル安全工学研究施設(NUCEF)

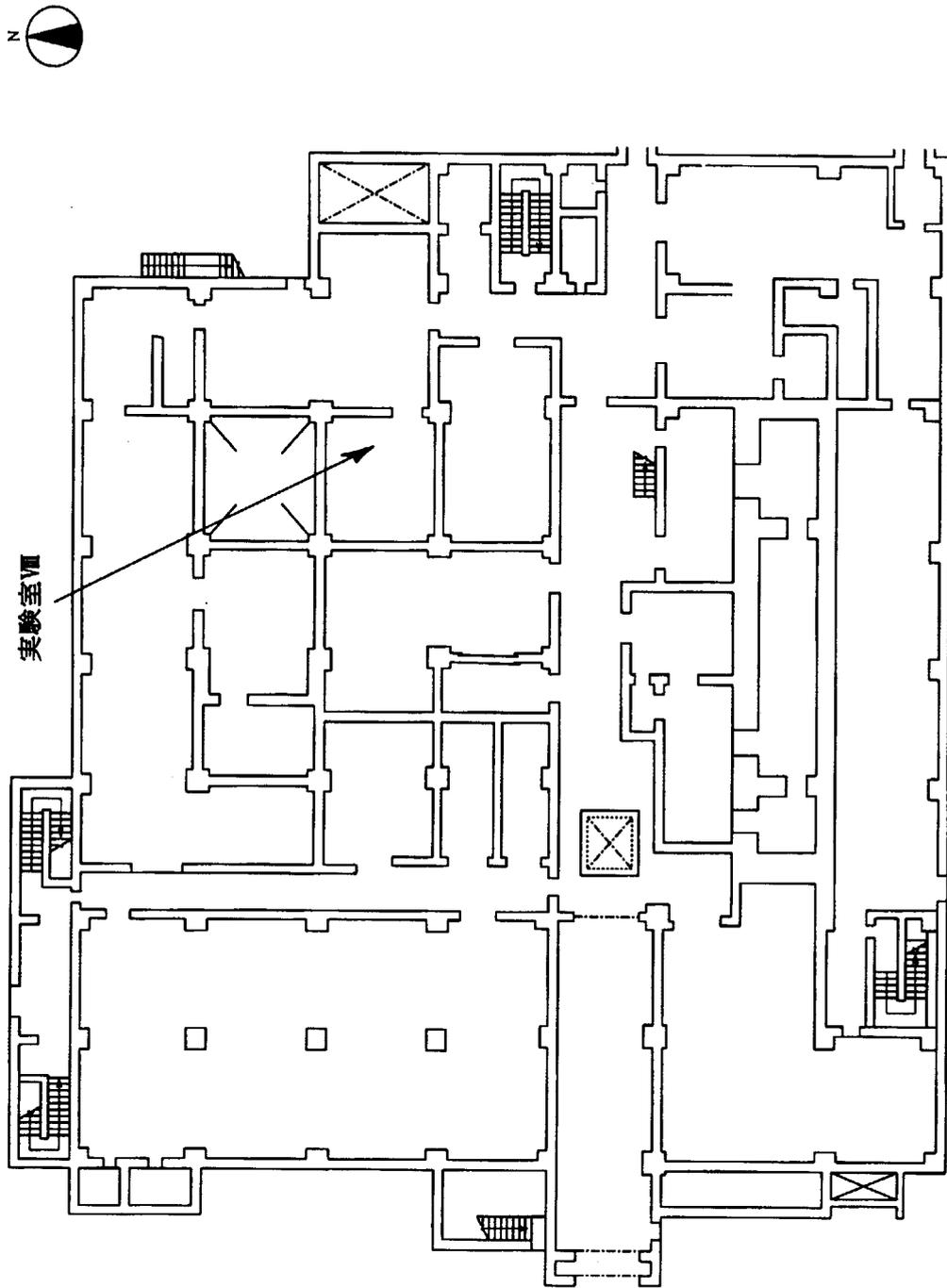


図2 バックエンド研究施設(BECKY) 1Fの平面図

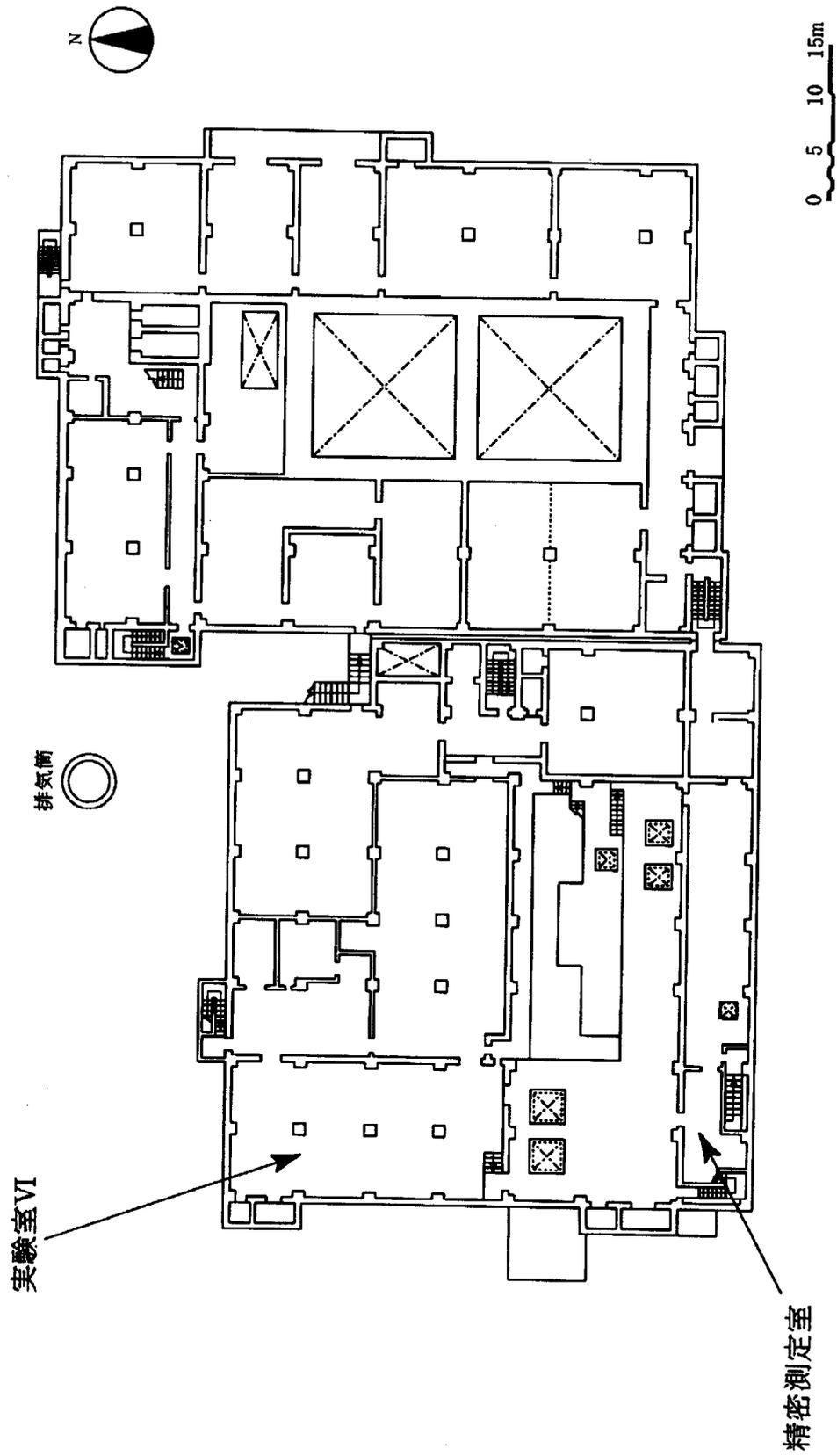


図3 バックエンド研究施設(BECKY)2Fの平面図

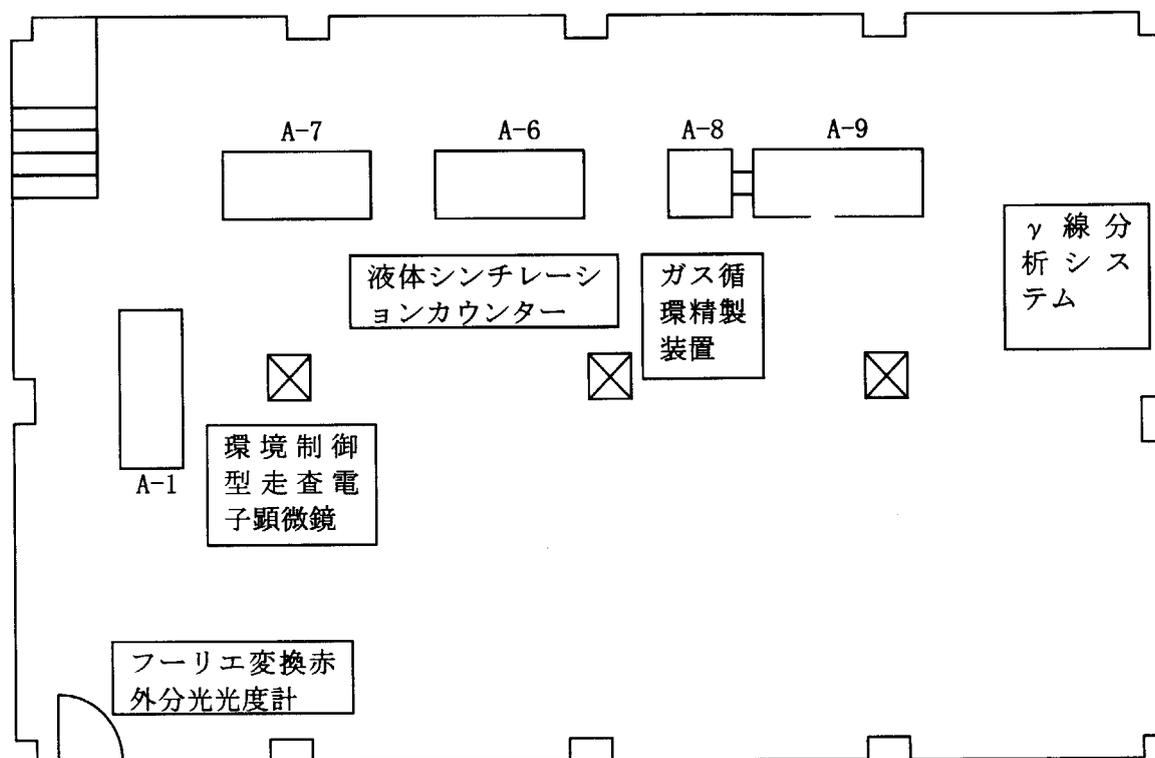


図4 実験室VIにおけるグローブボックスおよび分析機器の配置図

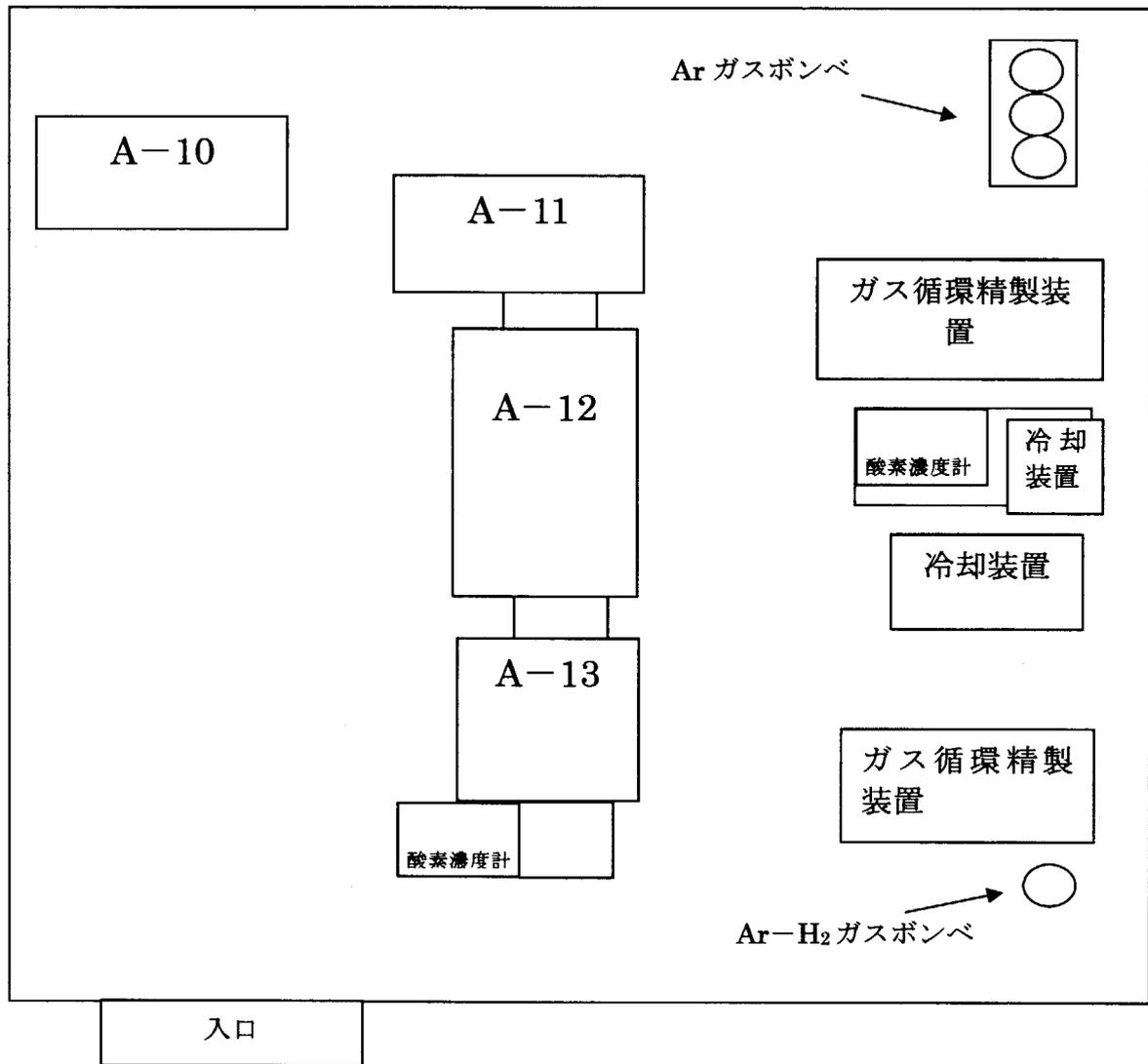
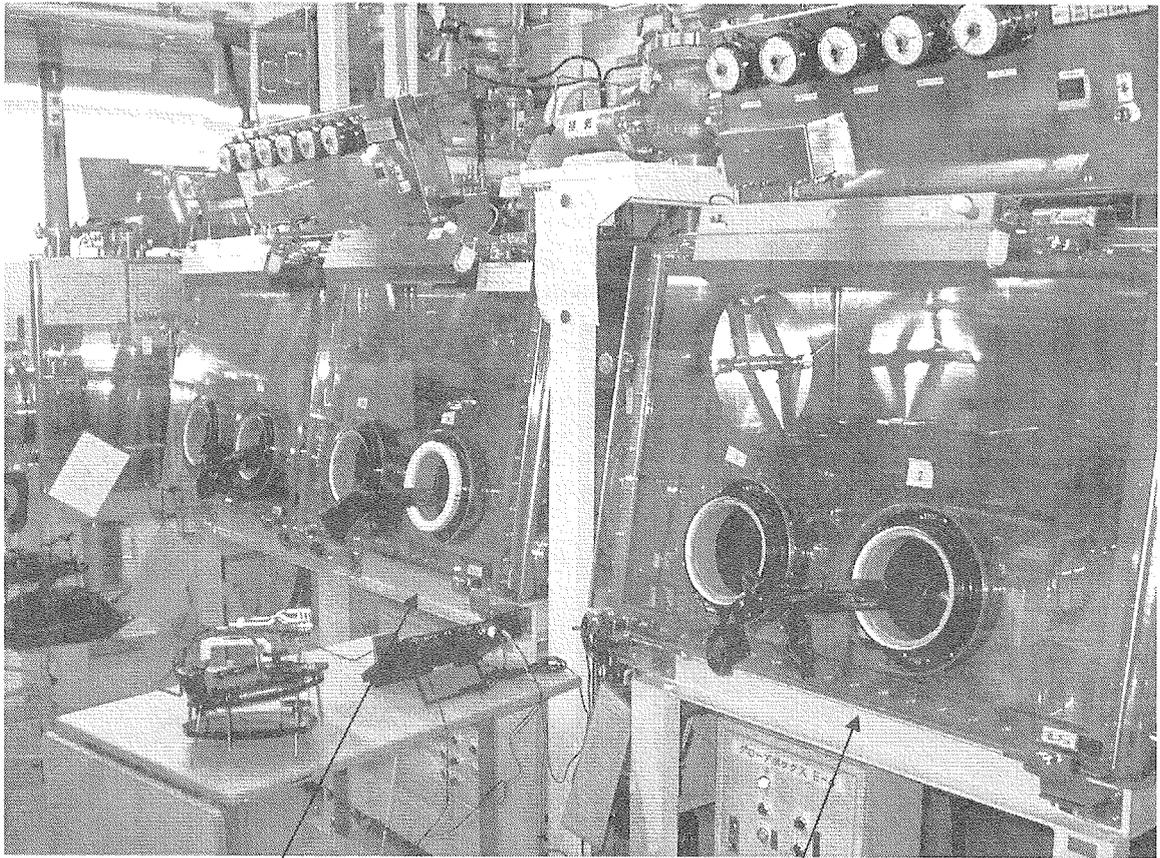


図 5 実験室Ⅷにおけるグローブボックスの配置図



グローブボックス A-12

グローブボックス A-13

図6 グローブボックスA-12、A-13の外観写真

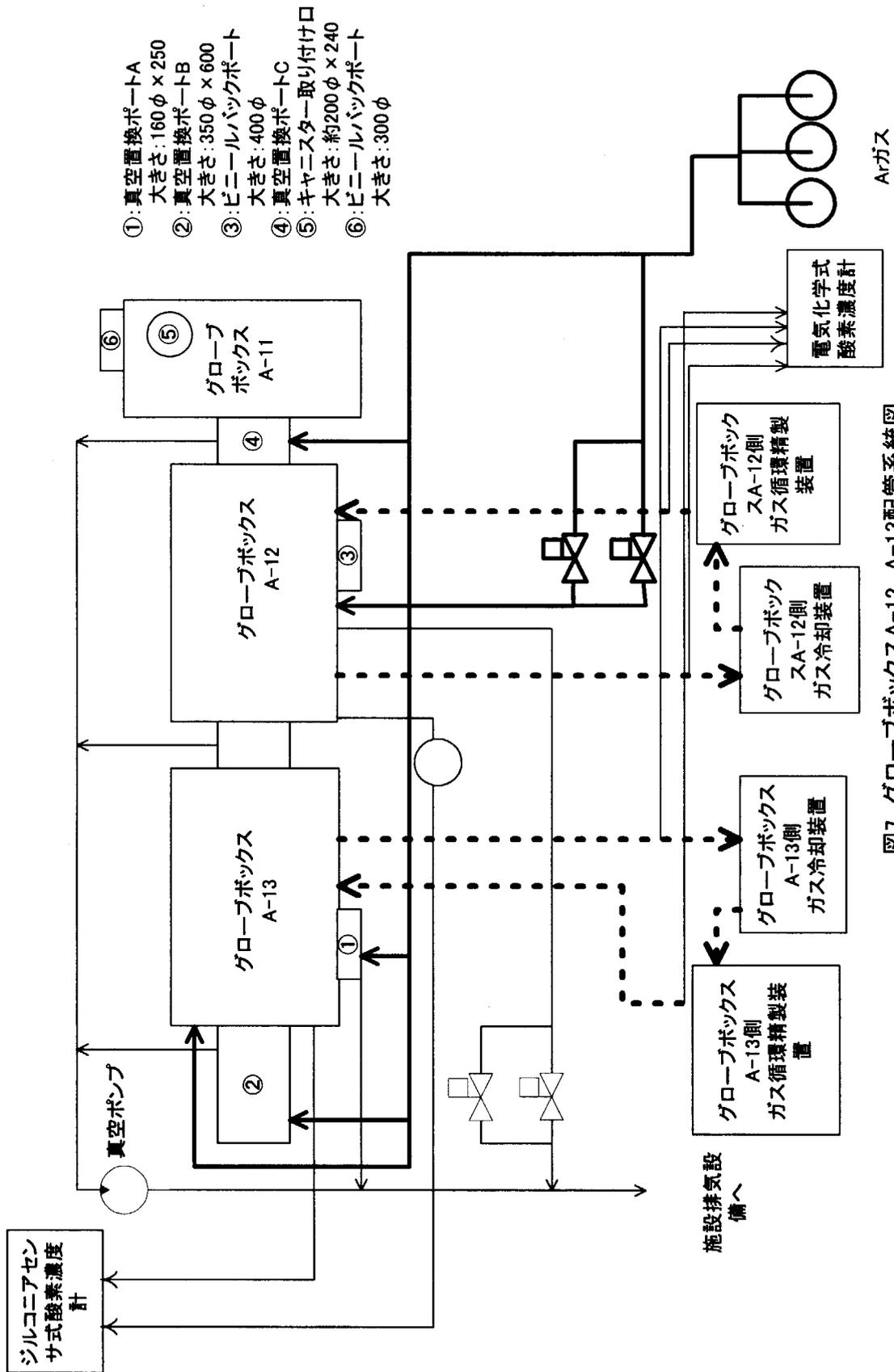


図7 グローブボックスA-12、A-13配管系統図

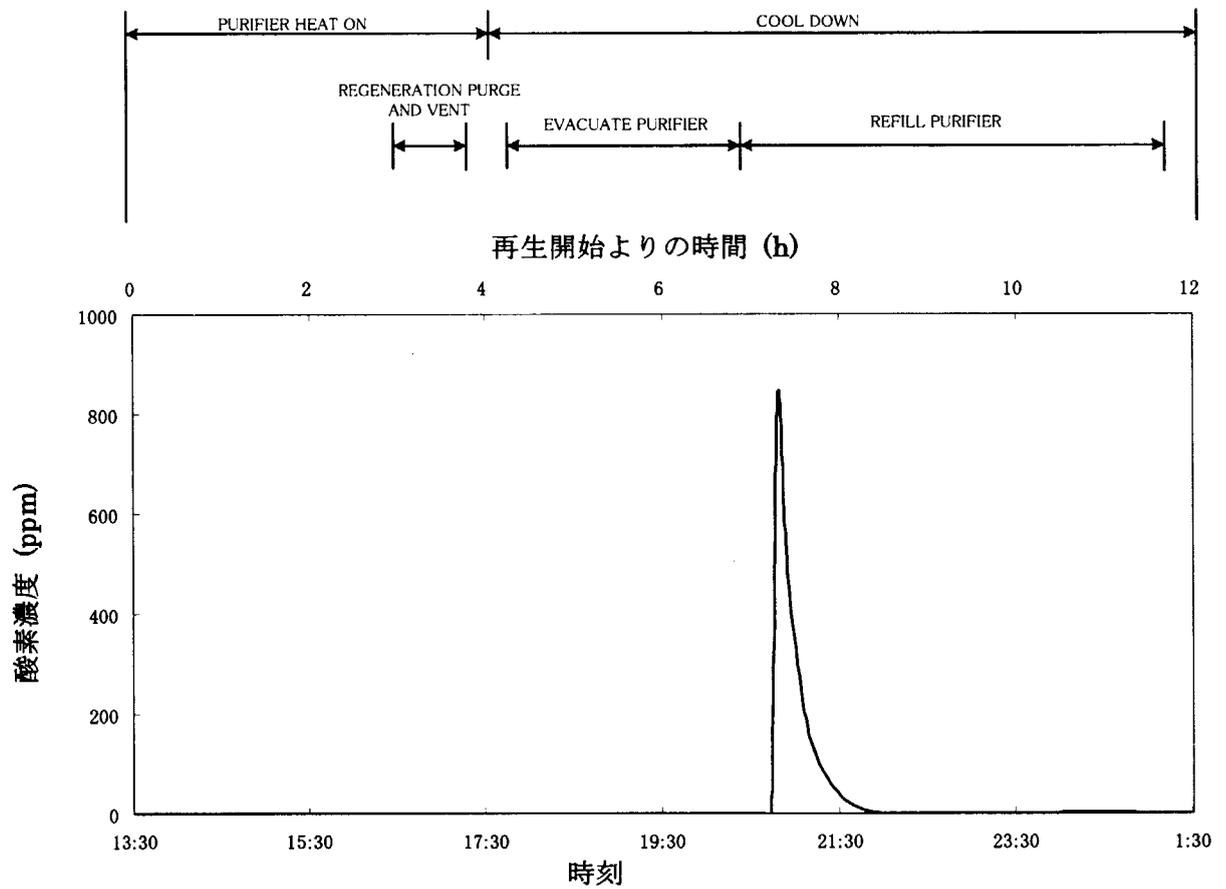


図 8 グローブボックス A-12、A-13 内酸素濃度の経時変化(2000 年 10 月 16 日)および当日実施したグローブボックス A-13 側ガス循環精製装置の精製剤再生工程



図9 グローブボックス A-12、A-13 アルゴンガスポンベ設置場所
(赤と黄のシールを巻いたパイプの向こう側に、もう一本アルゴンガスポンベが設置されている。右側の平板はグローブボックス A-12 側ガス循環精製装置)

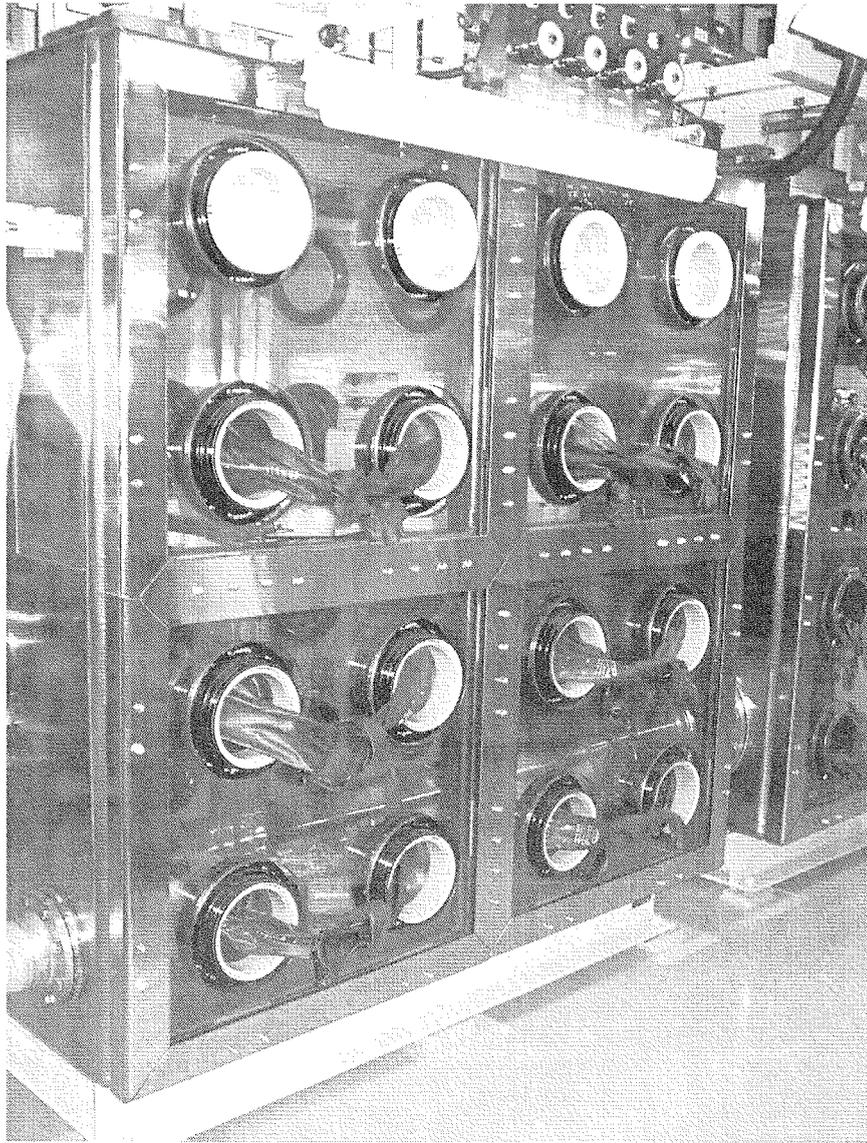


図 10 グローブボックス A-8 の外観写真

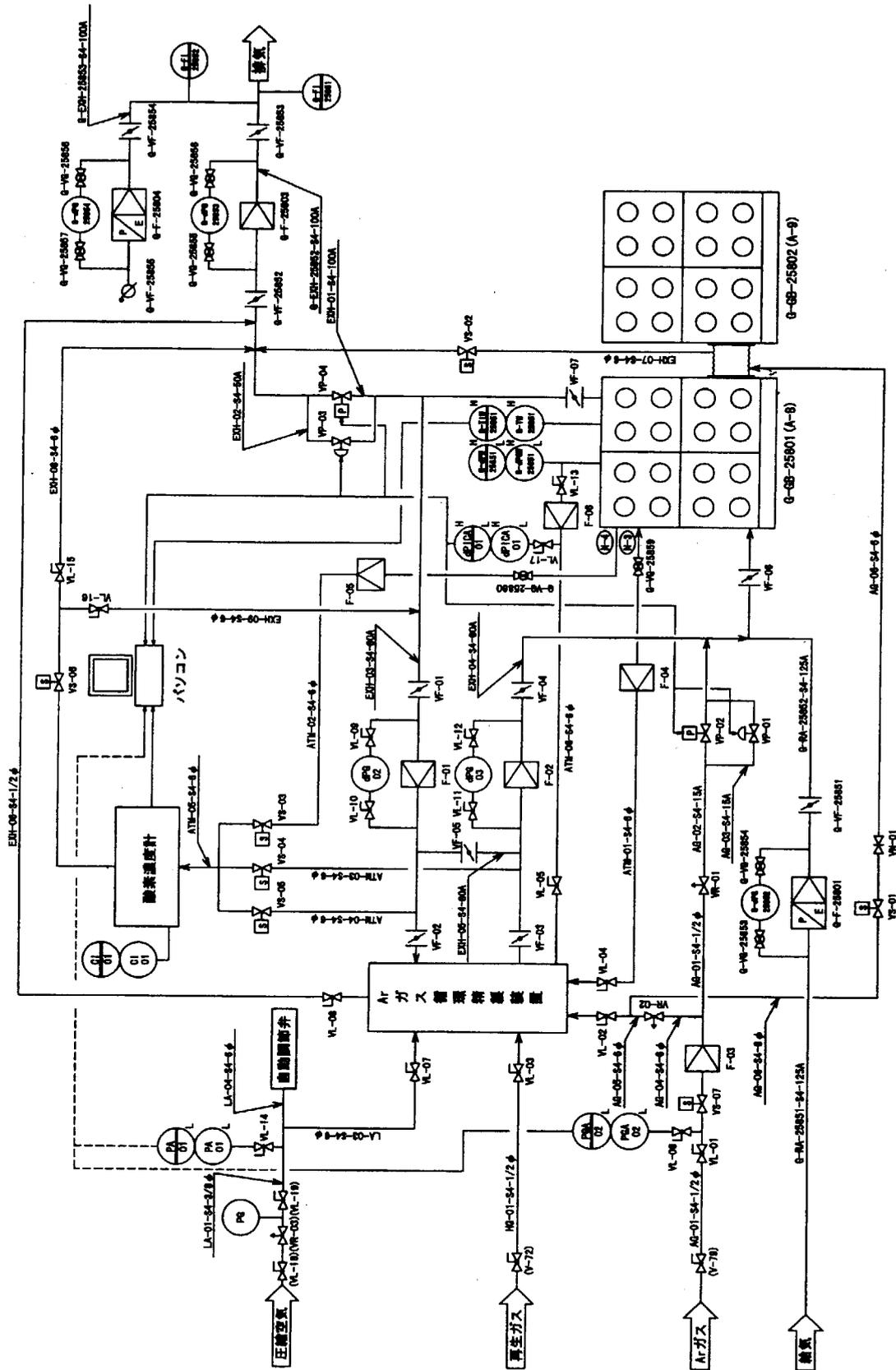


図 11 グローブボックス A-8 の配管系統図

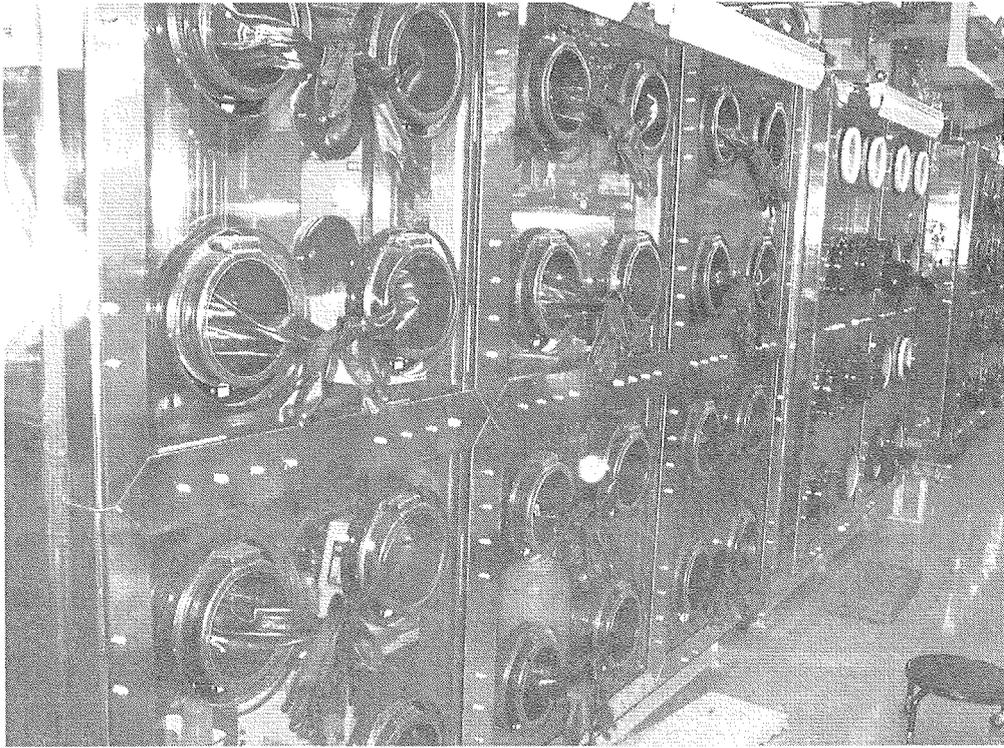


図 12 グローブボックス A-9 の外観写真

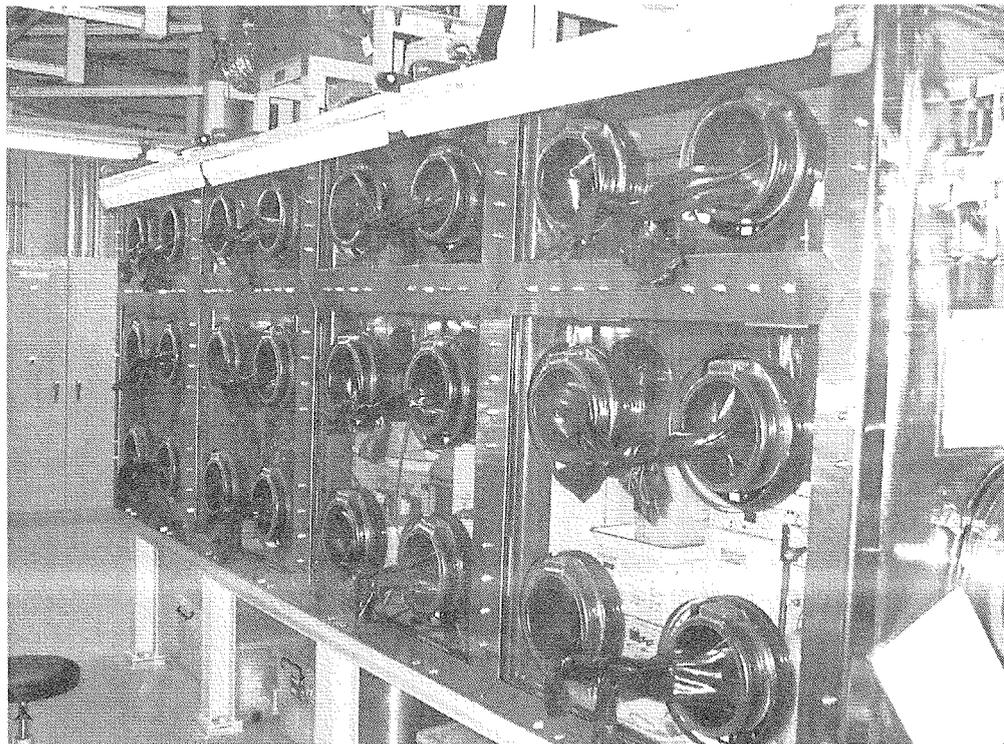


図 13 グローブボックス A-1 の外観写真

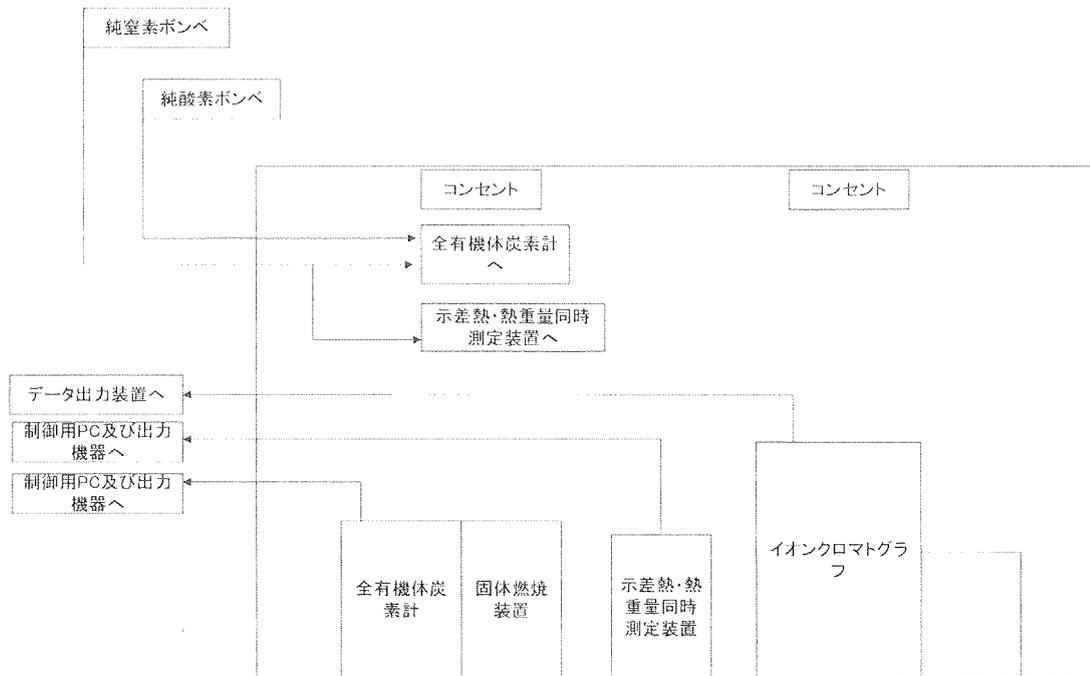


図 14 グローブボックス A-1 に設置したイオンクロマトグラフ(IC)、全有機体炭素計(TOC)および示差熱・熱重量同時測定装置(TG/DTA)の配置図

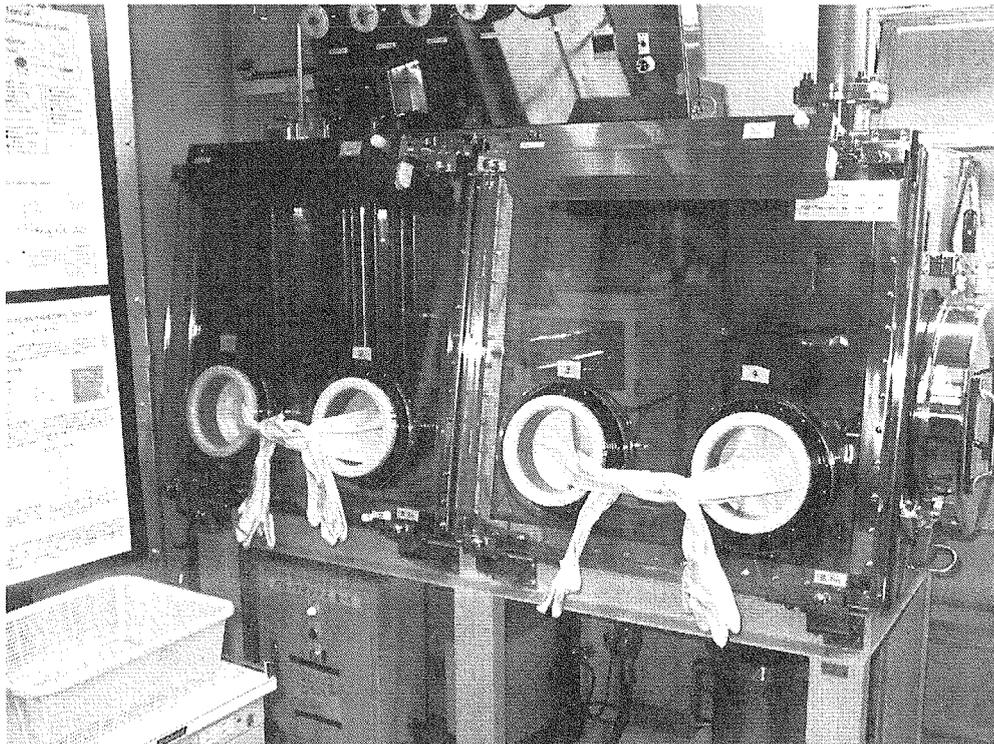


図 15 グローブボックス A-10 の外観写真

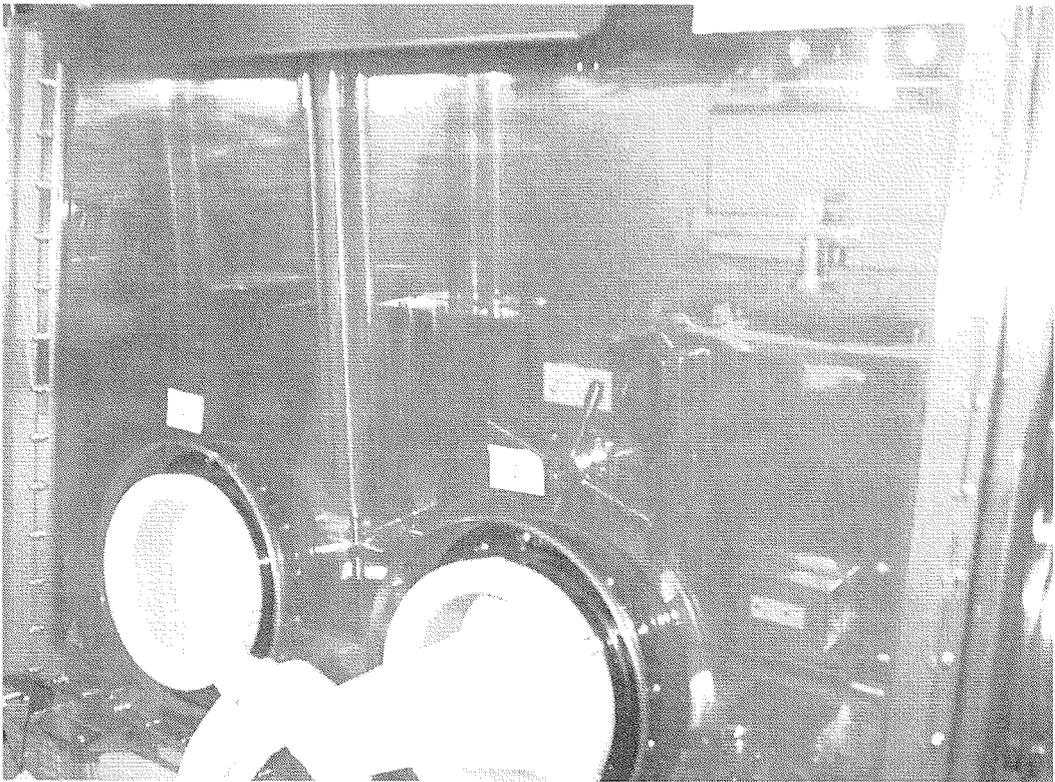


図 16 グローブボックス A-11 の外観写真



図 17 グローブボックス A-1 に設置したイオンクロマトグラフ(IC)

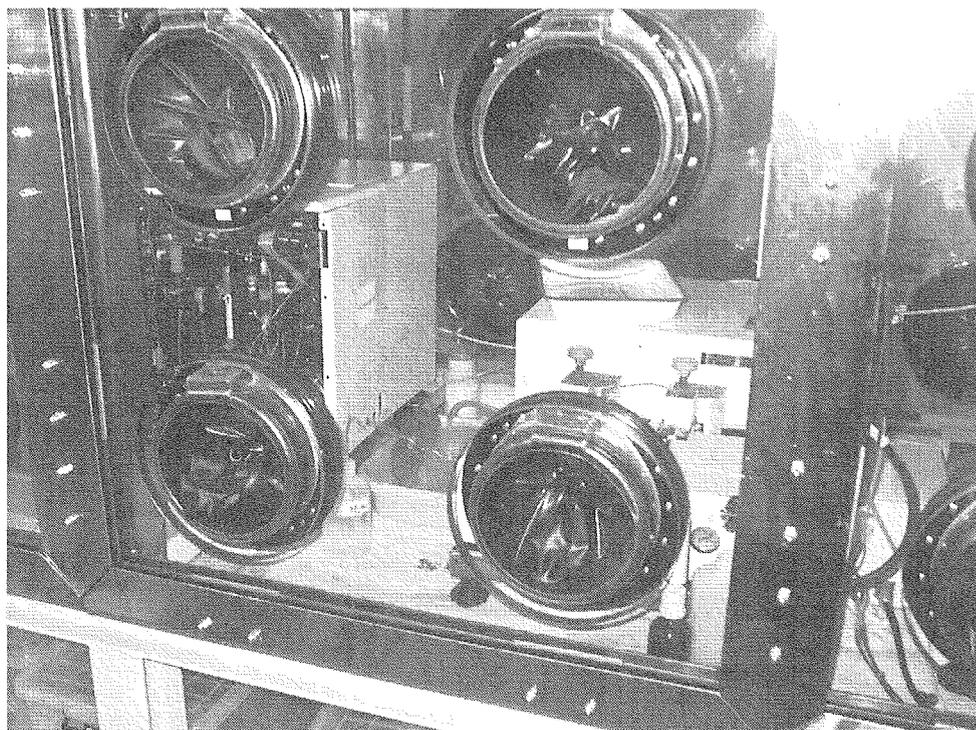


図 18 グローブボックス A-1 に設置した全有機体炭素計(TOC)

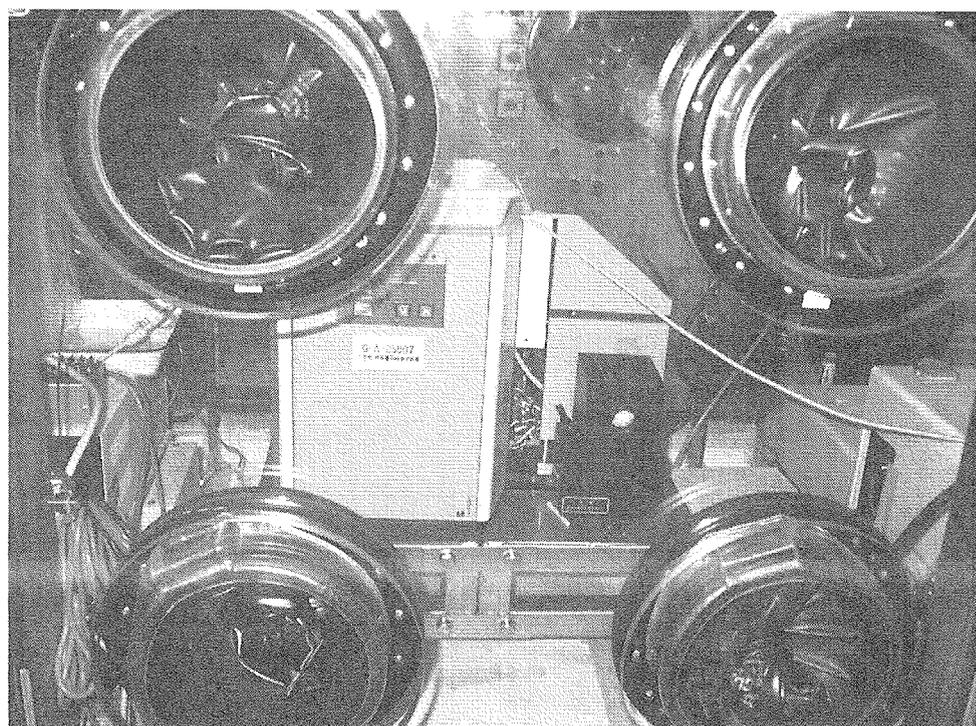


図 19 グローブボックス A-1 に設置した示差熱・熱重量同時測定装置(TG/DTA)



図 20 環境制御型走査電子顕微鏡(E-SEM)

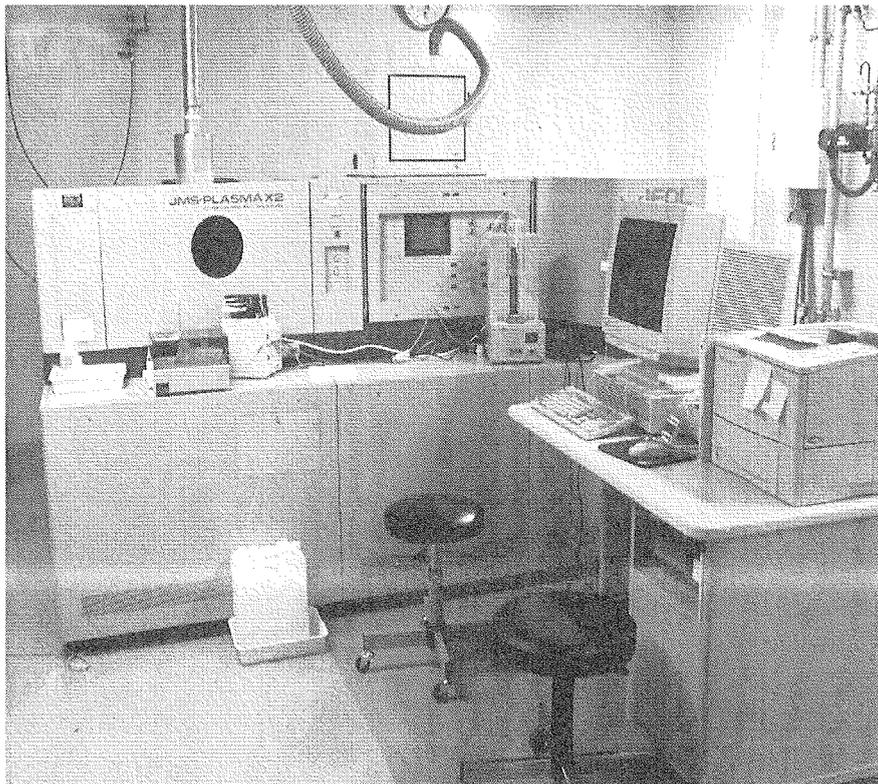


図 21 高分解能誘導結合プラズマ質量分析器(ICP-MS)

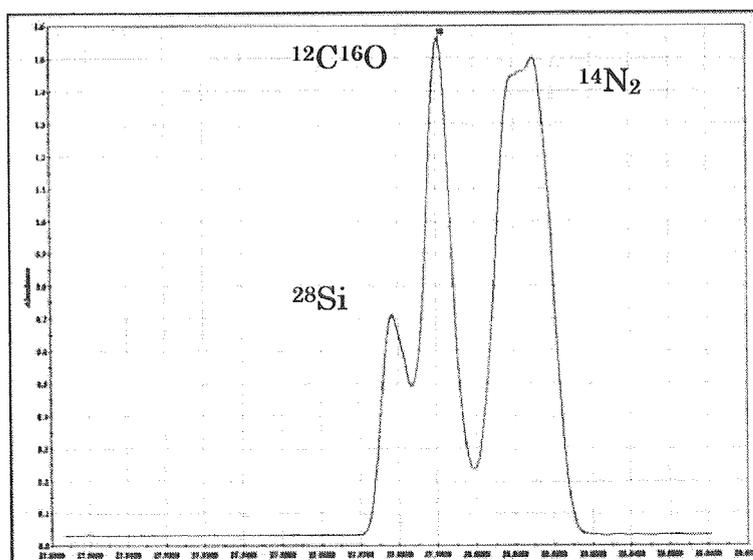


図 22 高分解能誘導結合プラズマ質量分析器 (ICP-MS)での質量分析例
測定元素 Si 濃度 10ppb, ^{28}Si , $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{14}\text{N}_2$ が分離できる。
分解能 3000 (理論分解能 1500)

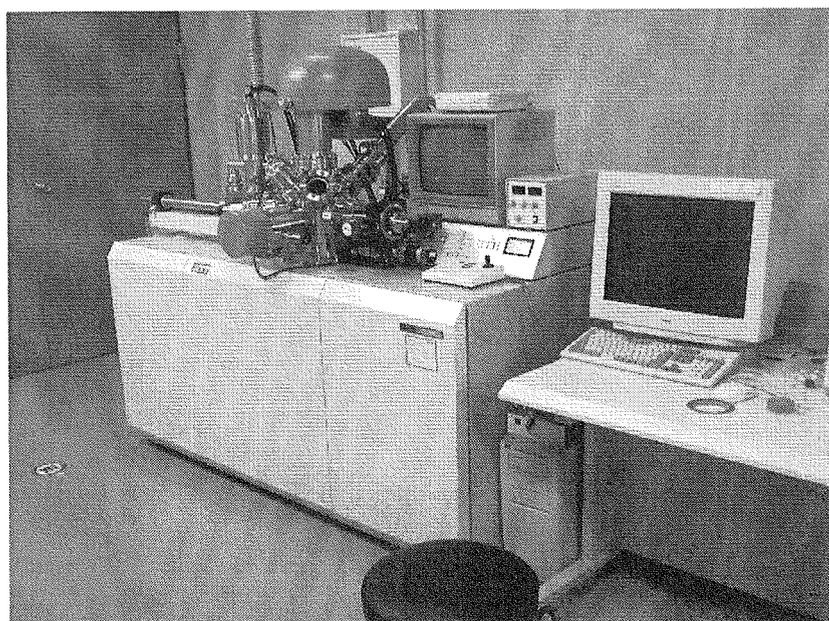


図 23 X線光電子分光分析器 (XPS)

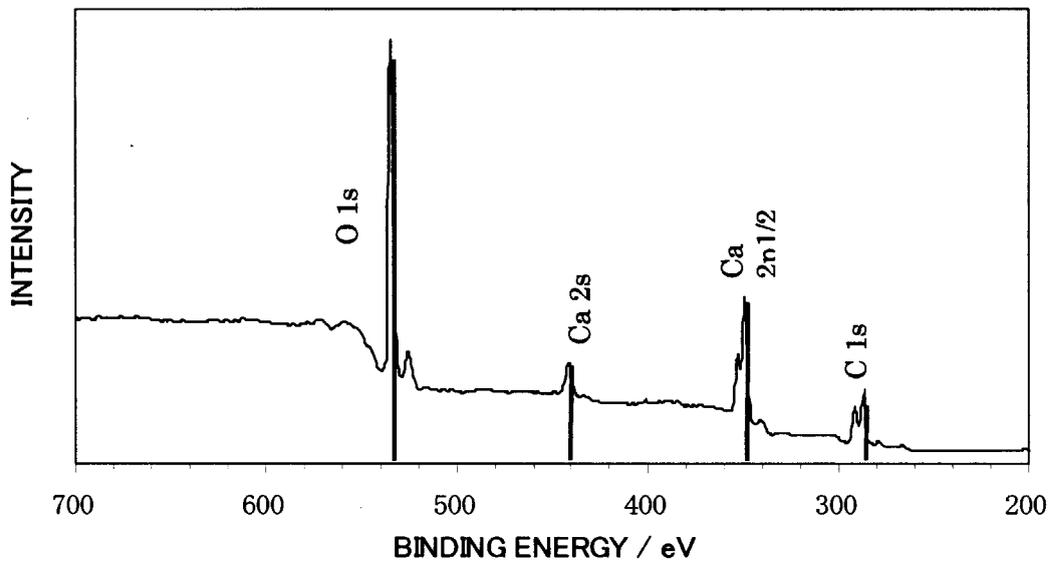


図 24 X線光電子分光分析器(XPS)での分析例

X線源: AlK α

測定試料: CaCO $_3$

付録 グローブボックスにおける使用許可核種と許可使用量

グローブボックス	核燃料物質 (最大取扱量)	非密封放射性同位元素 (1日最大使用量)
A-1	Pu 0.02 g, U(天然) 0.2 g, U(5%以下) 0.02 g, ²³³ U 0.02 g, Th 0.2 g, 使用済み燃料 3.7 MBq	³ H 273.1 MBq, ¹⁴ C 11.1 MBq, ²⁴ Na 3.7 MBq, ³² P 3.1 MBq, ⁴⁵ Ca 3.7 MBq, ⁵¹ Cr 700 kBq, ⁵⁴ Mn 3.7 MBq, ⁵⁵ Fe 11.1 MBq, ⁵⁷ Co 200 kBq, ⁵⁸ Co 3.7 MBq, ⁵⁹ Fe 11.1 MBq, ⁶⁰ Co 233.1 MBq, ⁶³ Ni 200 kBq, ⁷⁵ Se 50 kBq, ⁷⁹ Se 2 MBq, ⁸⁵ Sr 233.1 MBq, ⁹⁰ Sr 3.7 MBq, ⁹⁹ Tc 398 MBq, ¹⁰⁷ Pd 50 kBq, ¹⁰⁹ Cd 700 kBq, ¹¹³ Sn 50 kBq, ¹²⁵ I 200 kBq, ¹²⁶ Sn 50 kBq, ¹²⁹ I 3.7 MBq, ¹³¹ I 3.7 MBq, ¹³³ Ba 3.7 MBq, ¹³⁴ Cs 3.7 MBq, ¹³⁷ Cs 233.1 MBq, ¹³⁹ Ce 3.7 MBq, ¹⁵² Eu 3.7 MBq, ²³⁷ Np 500 MBq, ²³⁹ Np 7.4 MBq, ²⁴¹ Am 64 GBq, ²⁴³ Am 150 MBq, ²⁴⁴ Cm 40.7 MBq
A-6	Pu 0.2 g, U(天然) 2 g, U(5%以下) 0.2 g, ²³³ U 0.2 g, Th 2 g, 使用済み燃料 3.7 MBq	
A-7	同上	
A-8	Pu 0.1 g, U(天然) 1 g, U(5%以下) 0.1 g, ²³³ U 0.1 g, Th 1 g, 使用済み燃料 3.7 MBq	
A-9	Pu 0.5 g, U(天然) 5 g, U(5%以下) 0.5 g, ²³³ U 0.5 g, Th 5 g, 使用済み燃料 3.7 MBq	
A-10	Pu 0.2 g, U(天然) 1.5 g, ²³³ U 0.01 g, Th 1 g	
A-11、A-12 およ び A-13 ¹	Pu 0.3 g, U(天然) 3 g, ²³³ U 0.02 g, Th 1.5 g	
精密測定室 ²	Pu 0.00016 g 天然 U 5 g ²³³ U 0.001 g Th 1 g	³ H 27.3 kBq, ¹⁴ C 1.1 kBq, ²⁴ Na 370 Bq, ³² P 310 Bq, ⁴⁵ Ca 370 Bq, ⁵¹ Cr 70 Bq, ⁵⁴ Mn 370 Bq, ⁵⁵ Fe 1.1 kBq, ⁵⁷ Co 20 Bq, ⁵⁸ Co 370 Bq, ⁵⁹ Fe 1.1 kBq, ⁶⁰ Co 23.3 kBq, ⁶³ Ni 20 Bq, ⁷⁵ Se 5 Bq, ⁷⁹ Se 200 Bq, ⁸⁵ Sr 23.3 kBq, ⁹⁰ Sr 370 Bq, ⁹⁹ Tc 39.8 kBq, ¹⁰⁷ Pd 5 Bq, ¹⁰⁹ Cd 70 Bq, ¹¹³ Sn 5 Bq, ¹²⁵ I 20 Bq, ¹²⁶ Sn 5 Bq, ¹²⁹ I 370 Bq, ¹³¹ I 370 Bq, ¹³³ Ba 370 Bq, ¹³⁴ Cs 370 Bq, ¹³⁷ Cs 23.3 kBq, ¹³⁹ Ce 370 Bq, ¹⁵² Eu 370 Bq, ²³⁷ Np 50 kBq, ²³⁹ Np 740 Bq, ²⁴¹ Am 6.4 MBq, ²⁴³ Am 15 kBq, ²⁴⁴ Cm 4.1 kBq

¹ 3基のグローブボックスにおける最大取扱量の合計を示す。

² 精密測定室および実験室VIに設置されている分析機器において核燃料物質を使用する際は実験室内の空気汚染を防止するための措置を講じること。

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	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
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量等量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
 1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1nm = 10⁻¹⁰m
 1 b = 100fm² = 10⁻²⁸m²
 1 bar = 0.1MPa = 10⁵Pa
 1 Gal = 1cm/s² = 10⁻²m/s²
 1 Ci = 3.7 × 10¹⁰Bq
 1 R = 2.58 × 10⁻⁴C/kg
 1 rad = 1cGy = 10⁻²Gy
 1 rem = 1cSv = 10⁻²Sv

表5 SI接頭語

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

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 u の値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)
 = 4.184 J (熱化学)
 = 4.1855 J (15°C)
 = 4.1868 J (国際蒸気表)
 仕事率 1 PS (仏馬力)
 = 75 kgf·m/s
 = 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

