

JAERI-Tech
2004-078



JP0550089



NUCEF分析業務報告書
—平成15年度—

2005年 2月

清水 香織・軍司 一彦*・芳賀 孝久・深谷 洋行・蘭田 曜
坂爪 克則・境 裕*・坏 英之・新妻 泰・井上 猛・白橋 浩一

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）で複写による実費領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, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 (株)高野高速印刷

NUCEF 分析業務報告書

－平成 15 年度－

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター安全試験部
清水 香織・軍司 一彦^{*1}・芳賀 孝久・深谷 洋行・薗田 晓
坂爪 克則・境 裕^{*2}・坏 英之・新妻 泰・井上 猛・白橋 浩一

(2004 年 12 月 7 日受理)

燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) の分析設備では、定常臨界実験装置 (STACY)、過渡臨界実験装置 (TRACY) 及び燃料調製設備の運転に当たって、STACY 及び TRACY の溶液燃料である硝酸ウラニル溶液に関する分析を実施している。

平成 15 年度は、STACY 及び TRACY における臨界実験前後の硝酸ウラニル溶液の性状分析、硝酸ウラニル溶液調製のための分析を行うとともに、核燃料物質の計量管理のための硝酸ウラニル溶液の分析も行った。また、STACY を用いたプルトニウム臨界実験に備えて、平成 12 年度より実施している硝酸プルトニウム溶液燃料の調製条件を確認するための予備試験のうち、第 3 回のウラン (U) / プルトニウム (Pu) 抽出分離試験が実施された他、U/Pu 抽出分離試験で発生した抽出廃液を処理するための予備実験も行われ、当該試験に係わる分析を合わせて行った。

平成 15 年度における総分析試料数は、156 試料であった。

本報告書は、平成 15 年度に実施した分析等の業務についてまとめたものである。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

*1 検査開発株式会社

*2 東京ニュークリア・サービス（株）

Annual Report on Analytical Works in NUCEF in FY.2003

Kaori SHIMIZU, Kazuhiko GUNJI^{*1}, Takahisa HAGA, Hiroyuki FUKAYA,
Takashi SONODA, Yoshinori SAKAZUME, Yutaka SAKAI^{*2}, Hideyuki AKUTSU,
Yasushi NIITSUMA, Takeshi INOUE and Koichi SHIRAHASHI

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

(Received December 7, 2004)

Analysis of the uranyl nitrate solution fuel are carried out at the analytical laboratory, NUCEF (the Nuclear Fuel Cycle Engineering Research Facility), providing essential data for operation of STACY (the Static Experiment Critical Facility), TRACY (the Transient Experiment Critical Facility) and the fuel treatment system.

In the FY 2003, analysis of the uranyl nitrate solution fuel from STACY/TRACY on its pre- and post-operations, analysis of the uranyl nitrate solution under preparation stage for the fuel and analysis for nuclear material accountancy purpose, have been conducted. Related to the preliminary tests started from the FY 2000 for confirmation of adjustment condition of plutonium solution fuel for its further use at STACY, analysis on the third extraction tests of uranium/plutonium and on its waste solution treatment tests, were also conducted. The total number of analytical samples in the FY 2003 was 156.

This report summarizes works related to the analysis and management of the analytical laboratory in the FY 2003.

Keywords: Analysis, NUCEF, STACY, TRACY, Uranium, Criticality, MOX, Plutonium, Americium

*1 Inspection Development Company Ltd.

*2 Tokyo Nuclear Services Co., Ltd.

目次

1. まえがき	1
2. 分析	1
2.1 分析の概要	1
2.2 平成 15 年度の分析実績	2
2.3 國際規制物資の計量管理	2
2.4 照射燃料の燃焼度測定のための分析	2
2.5 U/Pu 抽出分離試験に係わる分析	3
2.6 抽出廃液処理のための予備実験に係わる分析	3
3. 分析法の検討	3
3.1 Np の原子価測定の検討	3
3.2 Am の高精度測定の検討	4
3.3 イオンクロマトグラフによる DBP 定量法の検討	4
3.4 イオンクロマトグラフによる HAN/HDZ 測定の検討	5
4. 施設の運転・保守・管理	5
4.1 設備	5
4.2 原子炉施設の定期的な検査	7
4.3 廃棄物の発生量	7
5. 分析設備の整備	7
5.1 イオンクロマトグラフ	7
5.2 前処理装置	7
5.3 自動電位差滴定装置	8
6. あとがき	8
謝辞	9
参考文献	9
付録 分析管理データ	24

Contents

1. Introduction.....	1
2. Analysis.....	1
2.1 Outline of Analysis.....	1
2.2 Analytical Works in FY. 2003.....	2
2.3 Analysis on the Nuclear Material Accountancy.....	2
2.4 Analysis for Calculation of Burn-up of Irradiated Fuel.....	2
2.5 Analysis on the U/Pu Extraction Separation Test.....	3
2.6 Analysis on the Preliminary Tests on Treatment of Extraction Waste Solution.....	3
3. Review Experiment.....	3
3.1 Examination in Measurement of Np Valence.....	3
3.2 Examination in High Accurate Measurement of Am.....	4
3.3 Examination in the Quantitative Analysis of DBP(Dibutyl Phosphate) by Ion Chromatograph.....	4
3.4 Examination in the Analysis of HAN/HDZ by Ion Chromatograph.....	5
4. Operation, Maintenance and Management of Analytical Laboratory.....	5
4.1 Equipment.....	5
4.2 Regular Inspection of Equipment.....	7
4.3 Formation of Radioactive Waste.....	7
5. Renewal and Upgrade of the component of Analytical Equipment.....	7
5.1 Ion Chromatograph.....	7
5.2 Pre-treatment Equipment.....	7
5.3 Automatic Potentiometric Titration Equipment.....	8
6. Conclusions.....	8
Acknowledgments.....	9
References.....	9
Appendix.....	24

1. まえがき

燃料サイクル安全工学研究施設（Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility；NUCEF）では、定常臨界実験装置（Static Experiment Critical Facility；STACY）において溶液燃料の臨界に関する系統的なデータを取得し、核燃料を取り扱う施設の合理的な臨界安全設計・管理に役立てる研究、過渡臨界実験装置（Transient Experiment Critical Facility；TRACY）においては臨界超過時の核熱流体挙動の解析等に関する研究を行っている。また、バックエンド研究施設（Back-end Fuel Cycle Key Elements Research Facility；BECKY）においては、分離プロセス、放射性廃棄物及び超ウラン元素（TRU）化学に関する研究を行っている。

平成 15 年度の分析業務の背景となる各装置等の稼働状況の概略を述べる。

STACY では、6wt%濃縮硝酸ウラニル溶液及び 5wt%濃縮二酸化ウラン棒状燃料を用いて、非均質炉心での臨界実験が行われた。TRACY では 10wt%濃縮硝酸ウラニル溶液を用いて、臨界超過時の核熱特性及び溶液燃料挙動に関する実験が行われた。また、燃料調製設備では、STACY 及び TRACY において臨界実験に使用される 6wt%及び 10wt%濃縮硝酸ウラニル溶液の調製が行われた。

臨界実験では、燃料として用いる硝酸ウラニル溶液に関する種々の分析結果が実験等の基本条件となる。このため STACY 及び TRACY の臨界実験前後の硝酸ウラニル溶液の性状分析、硝酸ウラニル溶液調製のための分析等を行った。また、国際規制物資としての核燃料物質の計量管理のため、計量槽に集めた硝酸ウラニル溶液の分析を行った。

また、アルファ化学実験設備において、MOX 燃料溶解液からのウラン(U)／プルトニウム(Pu)の抽出分離特性等を確認するための試験及びその抽出廃液からアメリシウム(Am)を分離・回収する試験が行われ、これらに係わる分析も行った。

本報告書は、平成 15 年度に実施した分析業務についてまとめたものである。

2. 分析

2.1 分析の概要

STACY 及び TRACY では、種々のウラン濃度の硝酸ウラニル溶液を用いて臨界実験を行う。臨界実験に用いる硝酸ウラニル溶液は、燃料調製設備で臨界実験に必要なウラン濃度に調製後、STACY 及び TRACY に供給される。STACY、TRACY においては、臨界実験前にさらに希釈等の再調整を行い、臨界実験を実施する。臨界実験時の燃料のウラン濃度、酸濃度等の分析データは、臨界実験を行う際の基本条件となる。さらに、臨界実験後の硝酸ウラニル溶液については、臨界実験の解析に必要なウラン濃度、硝酸濃度及び不純物濃度を分析している。また、実験の際の STACY と TRACY の原子炉出力を評価するための核分裂生成物（FP）に関する分析も行っている。これらは、いずれも精度の高い分析が必要とされる。

試料の分析法は、分析の対象、濃度、共存元素の有無及び要求される分析精度等によって異なり、これまでの経験に基づいて、最適な分析法を選定している。

また、アルファ化学実験設備においては、平成 12 年度から少量の MOX 粉末を用いて溶解試験

が、平成 13 年度からは溶解試験で得た溶解液を用いて U/Pu 抽出分離試験が開始された。本年度はこれらの試験のうち第 3 回の U/Pu 抽出分離試験を実施しており、当該試験に係わる分析を行った。さらに、本年度から、U/Pu 抽出分離試験で得た抽出廃液の処理のために Am の分離・回収を行う予備実験が実施され、当該実験に係わる分析も行った。

NUCEF 分析設備における分析法及び分析装置¹⁾をまとめたものを表 1 に示す。

2.2 平成 15 年度の分析実績

平成 15 年度の試料分析実績を表 2 に示す。平成 15 年度の総分析試料数は 156 試料、分析総数は 398 件であった。今年度の分析試料は、燃料調製に係わるものが 53%、次いで STACY の臨界実験に係わるものが 23%、TRACY の臨界実験に係わるものが 16%、本年度実施された抽出廃液処理のための予備実験に係わるものが 6%、U/Pu 抽出分離試験に係わるものが 1% を占めている。また、本年度は NUCCEF 関連技術開発に係わる分析（項目の「その他」に分類）が試料数の 1% を占めている。分析項目割合別でみると、ウラン濃度分析と硝酸濃度分析（酸分析）が全体の約 65% を占め、次いで不純物元素濃度分析、FP 分析、りん酸トリプチル（TBP）分析、全γ放射能分析、同位体組成分析、プルトニウム濃度分析の順となっている。また、前述以外の依頼項目（分析項目にて「その他」に分類：水素イオン指数（pH）、原子価、重量測定等）が全体の 1% であった。

表 3 及び図 1 に、STACY 燃料のウラン濃度、密度及び硝酸濃度の分析結果を示す。表 4 及び図 2 に、TRACY 燃料のウラン濃度、密度及び硝酸濃度の分析結果を示す。

第 1 四半期の試料分析実績を表 5 に示す。分析試料数は 37 試料、分析総数は 103 件であった。

第 2 四半期の試料分析実績を表 6 に示す。分析試料数は 55 試料、分析総数は 142 件であった。なお、この中には、国際規制物資としての保障措置上の計量管理に関する実在庫の確認（Physical Inventory Taking ; PIT）のためのウラン濃度分析が含まれている。

第 3 四半期の試料分析実績を表 7 に示す。分析試料数は 58 試料、分析総数は 134 件であった。

第 4 四半期の試料分析実績を表 8 に示す。分析試料数は 6 試料、分析総数は 19 件であった。

2.3 国際規制物資の計量管理

東海研究所国際規制物資計量管理規定に基づき、NUCEF 施設内の物質収支エリアにおける PIT を平成 15 年 9 月 1 日～9 月 18 日に行った。また、同年 9 月 19 日には、IAEA 及び国による同エリアの実在庫の検認（Physical Inventory Verification ; PIV）が行われた。これに対し、計量槽（ダンプ槽、U 溶液貯槽等）の硝酸ウラニル溶液の計量のため、ウラン濃度の分析を行った。

2.4 照射燃料の燃焼度測定のための分析

原子炉安全工学部燃料安全研究室から、JRR-3 照射高燃焼度燃料の燃焼度測定のための質量分析の依頼を受け、平成 15 年 5 月にウラン（U）、プルトニウム（Pu）、ネオジム（Nd）の同位体組成分析を行った。

本分析では、U、Pu、Nd の化学分離操作を含む前処理を依頼元が実施し、試料は乾固物の状態で分析設備に搬入した。搬入試料数は計 38 試料であった。これらの試料は分析設備において、質量分析を実施するために適した濃度を考慮して溶解し、質量分析を行った。質量分析終了後は、残試料を乾固物とし、Pu 試料については依頼元に返却、それ以外については分析設備で処分した。

2.5 U/Pu 抽出分離試験に係わる分析

平成 15 年 11 月 18 日にアルファ化学実験設備にて、第 3 回 U/Pu 抽出分離試験が行われ、当該試験に係わる分析を行った。分析項目は Am 濃度のみであり、 γ 線スペクトロメトリを用いた。

2.6 抽出廃液処理のための予備実験に係わる分析

平成 15 年 7 月 29 日、10 月 21 日にアルファ化学実験設備において、抽出廃液処理のための予備実験が行われ、当該実験に係わる分析を行った。本実験は、U/Pu 抽出分離試験で発生した抽出廃液を処理するために、抽出廃液から Am を分離・回収することを目的として行われたものである。分析項目は Am、ネプツニウム (Np)、不純物濃度が主であり、Am、Np 濃度分析に γ 線スペクトロメトリ (Np 濃度は ^{239}Np トレーサー添加による γ 線スペクトロメトリ²⁾) を、不純物濃度分析には ICP 発光分光分析法を用いている。

本実験では、Am、Np を含む不純物の除去が重要な課題である。このため、分析設備においては、Np の原子価測定及び Am の高精度測定が検討項目となった。3 項に、実施した検討内容を述べる。

3. 分析法の検討

前項に挙げる検討の他、燃料調製精製工程に係わる有機溶媒の劣化生成物であるりん酸ジブチル (DBP) の定量法の検討及びピューレックス法における安全管理のための、イオンクロマトグラフを用いた硝酸ヒドロキシルアミン (HAN) / ヒドラジン (HDZ) 測定の予備検討実験を行った。

3.1 Np の原子価測定の検討

抽出廃液処理のための予備実験においては、不純物として存在している Np の除去が重要となる。実験で用いられる溶液は、ピューレックス法を用いた U/Pu 抽出分離試験で生じた抽出廃液であり、溶液中の Np は、4、5、6 価の原子価状態であると考えられる。Np は、4、6 価の状態では有機相へ移行する性質を持っているため、実験で用いる溶液は、初期には 5 価が支配的であるが、時間経過によって平衡状態となり、各原子価が存在する溶液になっていると考えられる。本試験では、Np の原子価状態の把握が重要となるため、分析設備において Np の原子価状態を確認する測定法を検討した。

Np は各原子価状態で異なる吸収波長を持つので、紫外可視スペクトロメータを用いて原子価の確認を試みた。しかしながら、吸収感度の高い 5 価 (983nm) 以外の吸収ピークは確認できず、4 価と 6 価の存在を紫外可視スペクトロメータでは確認できなかった。

次に、溶媒抽出により各原子価を選択的に抽出し測定を行う方法を試みた。原子価別 Np 測定法の検討操作を図 3 に示す。

- (1) 4 価 Np をトリフェニルアミン (4,4',4"-Trismethyl-triphenylamine ; TTA) / キシレンにより抽出
- (2) 4 価と 6 価の Np をトリオクチルアミン (TOA) / キシレンにより抽出
(4 価は既に抽出済なので 6 価として扱う)

(3) 5 倍 Np を 4 倍 Np に還元後 TTA／キシレンによって抽出
 (結果を 5 倍として扱った)

(1) ~ (3) で得られた試料中の Np-237(85.6keV)を γ 線スペクトロメータで測定し、各原子価の濃度とした。

結果は、4 値及び 6 値の Np の存在量が予想より多かった。原因として、抽出作業時間が各段 1 時間程度あるので、抽出時間内に原子価がシフトしている可能性があり、この手法では原子価分布を確定するまでには至らなかった。

さらに、Np 濃度を上げての紫外可視吸光法も検討したが、測定条件を満足する濃度の Np 溶液の確保が難しいため、本法は今後の検討課題とした。

3.2 Am の高精度測定の検討

従来の Am 濃度分析は、試料をグローブボックス内で前処理した後、ビニルバッグを用いてグローブボックス外に搬出し、ビニルバッグに梱包された状態で γ 線スペクトル分析を行っていた。しかし、抽出廃液処理のための予備実験では Am 濃度分析に高い精度が求められ、従来法では要求される分析精度を満足することが困難であった。そこで、 2π ガスフローカウンタによる総 α 線測定と α 線スペクトル測定の併用による分析法を適用した。

総 α 線測定では、Am-241 以外の α 核種 (U、Pu、Np) が妨害となる。しかし、本実験で得られる試料の Am-241 の純度が高く、比放射能も高いことから、Am-241 と比較して比放射能が低い U、Pu、Np の放射能量は無視できる範囲であった。妨害元素の影響を確認するため、総 α 線測定と並行して α 線スペクトル測定での妨害元素の確認分析を実施した。

試験供給液 (U/Pu 抽出分離試験後の抽出廃液) 及び試験過程の試料には、有意な量の α 妨害核種が存在した。これらの試料は 2π ガスフローカウンタの測定結果に α 線スペクトル測定結果から得られた Am-241 存在比を補正して定量を行った。

既存の分析は全てグローブボックス内及びビニルバッグによって試料を閉じ込めた状態での作業であったが、総 α 線測定及び α 線スペクトル測定ではフード作業が必要となる。作業は安全教育、手順確認、危険予知活動を行った上で実施した。

3.3 イオンクロマトグラフによる DBP 定量法の検討

NUCEF 燃料調製設備精製工程では、30%りん酸トリプチル (TBP) / n-ドデカンの有機溶媒及び希釈剤を使用している。この有機溶媒は、加水分解や放射線及び酸によって劣化し、りん酸ジブチル (DBP) やりん酸モノブチル (MBP) 等が生成される。これらは燃料調製精製工程での溶媒抽出において除染係数の低下や重金属との錯形成による抽出器の腐食等をおこす。このことから、工程管理上有機溶媒の劣化生成物である DBP の定量が重要である。従来の DBP の定量は、等速電気泳動法や赤外吸収分析法で行っていたが、含有硝酸濃度の影響、試料使用量の多さや操作の煩雑さ等があるため、試料使用量が 1ml 程度で煩雑な前処理等を必要としない方法の確立に向けて、イオンクロマトグラフによる簡便な DBP 定量法を検討することにした。

以下に検討内容の概略を述べる。

イオンクロマトグラフによる DBP 定量には、イオン排除にて DBP を分離し、ポストカラムにて緩衝溶液と反応させ溶液の pH を緩衝化させ検出感度を高めた後、電気伝導度検出器により定量する方法³⁾を検討した。

コールド試験では、DBP 標準物質を模擬試料とし、濃度 43~426mg/L 範囲で段階的に 4 試料を調製し、それぞれ 4 回繰り返し測定した。その結果各濃度での変動係数は、1~10%程度であり、100mg/L 以上の濃度であれば、95%以上の回収率を確認した。また、この時の検量線から相関係数 $r=0.9999$ の直線性を示した。また、レスポンスの標準偏差と検量線の傾きに基づき求めた検出限界は 1.5mg/L、定量下限は 4.5mg/L であった。

しかしホット試験では、実際の試料の大半が有機溶媒試料であることから、DBP の水相側への移行または置換等の前処理が必要であるので、前処理方法の検討が必要となった。

この前処理方法の検討では、アルカリ抽出や硝酸接触による洗浄及び親水和性溶媒による希釈等を試みたが、n-ドデカンの劣化生成物と思われるドデカノン、ニトロドデカノン等の妨害物質との分離が困難であり、分析法の確立には至っていない。今後は、逆相モードによる DBP 定量の検討と分離最適化の検討を進める予定である。

3.4 イオンクロマトグラフによる HAN/HDZ 測定の検討

再処理プロセスであるピューレックス法における安全管理のために、イオンクロマトグラフを用いて、硝酸ヒドロキシルアミン (HAN) / ヒドラジン (HDZ) の予備検討実験を行った。

分析法を、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) ではなくイオンクロマトグラフを用いることを前提として検討を進めた結果、固定相にポリマー (ポメタクリレートゲル) 系を基材とし、官能基にカルボキシル基を充填したイオン交換カラムを用いて、電気伝導度検出器により HDZ 0.2mol/L、HAN 750mg/L のピークを確認した。しかし、試料中に含有するナトリウムイオンの妨害もみられたため、今後は、除去が困難なナトリウムイオンとピューレックス法における複雑な組成を持つ実試料を想定し、電気化学検出器を用いた検討を進める予定である。

4. 施設の運転・保守・管理

NUCEF における分析業務を行う分析室には、各種分析機器に加えて気送設備、試料搬送装置、後処理装置、グローブボックス及びフードがある (図 4 に示す)。分析業務を安全かつ円滑に行うため、これらの設備及び装置の保守管理を行っている。

4.1 設備

(1) 気送設備

気送設備は、STACY、TRACY、燃料調製設備から、分析室 (I) の試料受入装置用グローブボックスに分析試料を搬送する設備である。分析用試料は気送子に入れられて気送管中の空気流を利用して送られる。ほとんどの試料はこの気送設備を利用して分析室へ搬送される。

平成 15 年度に気送設備を利用して STACY、TRACY、燃料調製設備から分析室 (I) へ分析試料を搬送した回数は 249 回、気送子の総走行距離は約 45km であった。月別の運転回数を表 9 に、気送系統毎の気送子走行記録を図 5 に示す。なお、平成 15 年度は、摩耗等により交換した気送子はなかった。

気送設備については、日常点検及び月例点検により設備の性能の維持管理に努めている。また、年 1 回の総合点検も行った。

(2)試料搬送装置

試料搬送装置は、分析室（I）のグローブボックス（15台）と接続されている試料搬送用グローブボックス内を試料搬送用台車が移動し、グローブボックス間で試料を自動的に運搬する設備である。

試料搬送装置については、日常点検及び月例点検により設備の性能の維持管理に努めている。また、年1回の総合点検も行った。

(3)分析機器

各分析機器については、機器の操作開始前及び終了後の点検、週例点検、月例点検等を行っている。また、機器の消耗品を補充管理することによって、常に全ての機器が使用できるように維持管理している。

質量分析計、ICP 発光分光分析計については、分析精度の保証の観点から、メーカーによる点検・調整を行った。

(4)後処理装置

後処理装置は、分析後の放射性溶液を燃料調製設備等へ移送するまで一時的に貯蔵しておく貯槽類から成り立っている。

後処理装置については、日常点検及び月例点検により設備の性能の維持管理に努めている。また、メーカーによる計装盤の点検校正を行った。

(5)グローブボックス

分析室（I）には17台、分析室（II）には3台、分析室（III）には1台、分析室（IV）には2台の計23台のグローブボックスがある。グローブボックスには主要な分析機器が設置されている。グローブボックスは1日の作業開始前及び終了後に内部の負圧及び温度を点検しており、室内の圧力に対して負圧が-0.2~-0.4kPa、温度に関しては室温の範囲にあることを確認している。

グローブボックスのグローブ及びビニルバッグは、日常の分析作業の都度汚染検査を行っているほか、月1回の割合で、ピンホールの有無、劣化によるひび割れ等について総合点検を行っている。

施設定期自主検査では、グローブボックス用計器（圧力指示計等）、グローブボックス警報盤の点検校正を行うとともに、グローブボックスの気密検査、負圧計の作動試験を年1回行い、漏洩率が0.1vol%/h以下であること、機器が正常に動作することを確認した。また、月1回警報試験を行った。

(6)フード

分析室（I）には3台、分析室（II）には2台の計5台のフードがあり、試料の分取、保管、前処理後処理等に使用している。約3ヶ月に1度の割合で、フード前の作業エリアのビニル養生を交換し、また必要に応じ、フード内を養生しているビニルも交換した。

さらに、月1回全フードについてフードの全面扉を1/2開口した時の風速が、0.5m/s以上であることを確認した。また、メーカーによるフード電気計装関係の点検を行った。

4.2 原子炉施設の定期的な検査

原子炉施設 (STACY 及び TRACY) の定期的な検査に関して、核燃料物質取扱施設及び貯蔵施設のうち調整設備の作動検査として、分析設備の後処理装置用グローブボックス内の再使用水系試料貯槽と燃料調製設備の戻液受槽との送液隔離弁 (G-VP-28001) のインターロック作動検査を行い、正常に作動することを確認した。

4.3 廃棄物の発生量

平成 15 年度に分析業務で発生した固体廃棄物量 (α 固体廃棄物を除く) は、可燃物 (赤カートンボックス) が 240 個、不燃物のうち白カートンボックスが 23 個、ペール缶が 4 個の合計 267 個であった。また、グローブボックスからバッグアウトした α 固体廃棄物量は、可燃物が 26 袋、ビニルバッグが 40 袋、金属が 6 袋、ガラスが 5 袋、イオン交換樹脂が 1 袋であった (1 袋当たりの容量は約 5L)。四半期毎の固体廃棄物発生量及び α 固体廃棄物発生量の内訳をそれぞれ表 10、11 に示す。

また、硝酸ウラニル溶液の分析廃液を廃棄物処理場に払出すため、分析廃液の分離・固化処理を行った。この処理は分析廃液を水酸化ナトリウムで中和し、沈殿物と上澄み液に分離するもので、沈殿物はセメントで固化して固体廃棄物として、上澄み液は液体廃棄物として各々を廃棄物処理場へ払出すこととしている。処理作業は平成 15 年 3 月に実施し、各廃棄物は平成 15 年 11 月に払出した。払出した廃棄物量は固体廃棄物 30 体、液体廃棄物 80L であった (固体廃棄物 1 体当たりの容量は 3L)。

平成 15 年度も引き続き、管理区域に持ち込む物品を極力少なくする等の努力により、廃棄物発生量の低減化に努めた。

5. 分析設備の整備

平成 15 年度の分析設備の整備として、イオンクロマトグラフ及び前処理装置の更新を行った。

5.1 イオンクロマトグラフ

イオンクロマトグラフは試料中のイオン種の濃度測定に用いる装置であり、2 台の送液ユニット、インジェクション部 (オートサンプラー付き)、分離カラム及びカラムオーブン、電気伝導度検出器、紫外可視検出器及び示差屈折計の 2 種の検出器、システム制御部及びデータ処理装置 (パソコン) 等で構成されている。NUCEF 分析設備ではイオンクロマトグラフを 2 台所有しており、1 台を測定条件の検討を行うコールド試験用、もう 1 台を実サンプルを測定するホット用としている。そのため、測定したデータや測定条件等を共有化できることが望ましく、本装置の更新が必要であった。

またこの他に、ICP 発光分析装置の機器異常を想定し、代替分析法の確立を目的として、遷移金属イオン分析のためのシステムを構築した。その概略を図 6 に示す。

5.2 前処理装置

前処理装置は、分析に先立って試料の分取、希釀等の前処理を行うための装置であり、前処理

データ収録装置、試料開封器、密度計、希釀装置、天秤等の機器及びグローブボックス等で構成されている。前処理装置のうち、平成13年度に密度計の更新を行ったため、転送システムの互換性が取れなくなり、前処理データ収録装置にデータの転送ができなくなっていた。このため、本装置を更新する必要があった。更新した装置は、Microsoft Excelを用いたデータ収録装置であり、密度計、天秤から得たデータをExcelシート上に転送することが可能であるとともに、各種の分析情報を任意に入力でき、自在なワークシートを作成することが可能となった。本装置の導入により、前処理装置を用いた分析データの取扱いを確実に行えるようになり、分析作業の効率化を図ることができた。

5.3 自動電位差滴定装置

本装置は、工程管理、計量管理、実験解析等に係わる分析のために、試料溶液中のウラン濃度、硝酸濃度等を測定する装置である。本装置は、データ処理部、システム制御部、試薬分注部及びサンプルチェンジヤ部から構成され、4台をグローブボックス対応に、1台をコールド分析用に設置している。分析設備で現在用いている自動電位差滴定装置は、経年により製造を終了しており、装置に不具合が生じた場合、その修理を行うことが困難な状況になっていたため、本装置の後継機種を整備した。本年度は本装置のうち、データ処理解析用ソフトウェア、システム制御部及びサンプルチェンジヤ部を整備した。次年度以降、順次他の部分についても整備を行っていく予定である。

6. あとがき

NUCEF分析設備では、STACY及びTRACYによる硝酸ウラニル溶液を用いた臨界実験のための実験解析分析、燃料調製のための工程管理分析、保障措置のための計量管理分析を行っている。平成15年度の総分析試料数は156試料、分析総数は398件であり、試料数の53%が燃料調製に係わる分析、23%がSTACYの臨界実験で使用する硝酸ウラニル溶液に係わる分析、16%がTRACYの臨界実験で使用する硝酸ウラニル溶液に係わる分析であった。分析項目の中では、ウラン濃度分析と硝酸濃度分析で全体の約65%を占め、次いで不純物元素濃度分析、FP分析、TBP分析、全 γ 放射能分析、同位体組成分析の順になっている。

本年度は、分析の品質管理、設備の保守・管理の遂行により、依頼元の要求精度を満足することができた。来年度も技術の継承及び分析の品質管理、設備の保守・管理に努めることが重要であると考える。

謝 辞

試料の分析業務及び分析設備の維持管理にご協力いただきました、寺門久雄氏をはじめとする東京ニュークリア・サービス（株）の分析担当の方々に深く感謝致します。

また、本レポートの作成に対し査読及び貴重なコメントを頂きました環境科学部分析科学研究グループ伊藤光雄氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 宮内正勝、他：“NUCEF 分析設備”、JAERI-Tech 96-007(1996).
- 2) 境裕、他：“NUCEF 分析業務報告書－平成 14 年度－”、JAERI-Tech 2004-006.
- 3) 林守正：“ポストカラム、pH 緩衝化電気伝導度検出法を用いた HPLC による食品中有機酸の分析”、島津評論 Vol.49 No.1・2(1992.7).

表 1 分析法及び分析装置

分析項目	分析法	分析装置
ウラン濃度 数 mg/l ～数 100mg/l	同位体希釈質量分析法 (IDMS) 硫酸アンモニウム添加ーアルカリ中和滴定法	表面電離型質量分析装置 自動電位差滴定装置
ウラン濃度 数 g/l ～数 100g/l	鉄 (II) 還元一二クロム酸カリウム酸化滴定法	自動電位差滴定装置
ブルトニウム濃度 数 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ～数 400 $\mu\text{g}/\text{ml}$	ジベンゾイルメタン発色—紫外・可視分光光度法	紫外可視分光光度計
酸濃度 不純物元素濃度 核分裂生成物 TBP	同位体希釈質量分析法 (IDMS) Ce (IV) 添加—紫外・可視分光光度法 γ線スペクトロメトリ 中和滴定法 ICP発光分光分析法 γ線スペクトロメトリ 数 10mg/l ～数 1000mg/l	表面電離型質量分析装置 紫外可視分光光度計 Ge 半導体スペクトロメータ 自動電位差滴定装置 ICP発光分光分析装置 Ge 半導体スペクトロメータ 赤外分光光度計
DBP 同位体組成 アメリシウム濃度、ネプツニウム濃度	分光光度法 (溶媒抽出法) 酸平衡ーアルカリ滴定法 全 γ 分析法 質量分析法 総 α 線測定法 α 線スペクトロメトリ γ 線スペクトロメトリ	自動電位差滴定装置 赤外分光光度計 NaI(Tl)シンチレーション計数装置 表面電離型質量分析装置 2πガスフローカウンタ α 線スペクトロメータ Ge 半導体スペクトロメータ

表2 平成15年度の試料分析実績

**：分析項目略記号

依頼元	分析試料数	分析件数										その他
		U	酸	TBP	DBP	不純物	FP	同位体	全γ	Pu	その他	
燃料調製設備	82	70	54	12	0	20	2	12	0	0	0	182
STACY	36	36	36	4	0	8	5	4	0	0	1	94
TRACY	25	25	25	2	0	3	24	3	0	0	1	83
Pu予備試験	2	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	6
抽出廃液処理のための予備実験	9	0	8	6	0	8	0	0	0	0	1	23
その他*1	2	2	2	2	0	0	0	0	2	0	2	10
計	156	134	126	26	0	41	32	19	14	1	5	398

*1：その他は、NUCEF内で実施されている、NUCEF関連技術開発に係わる分析等を示す。

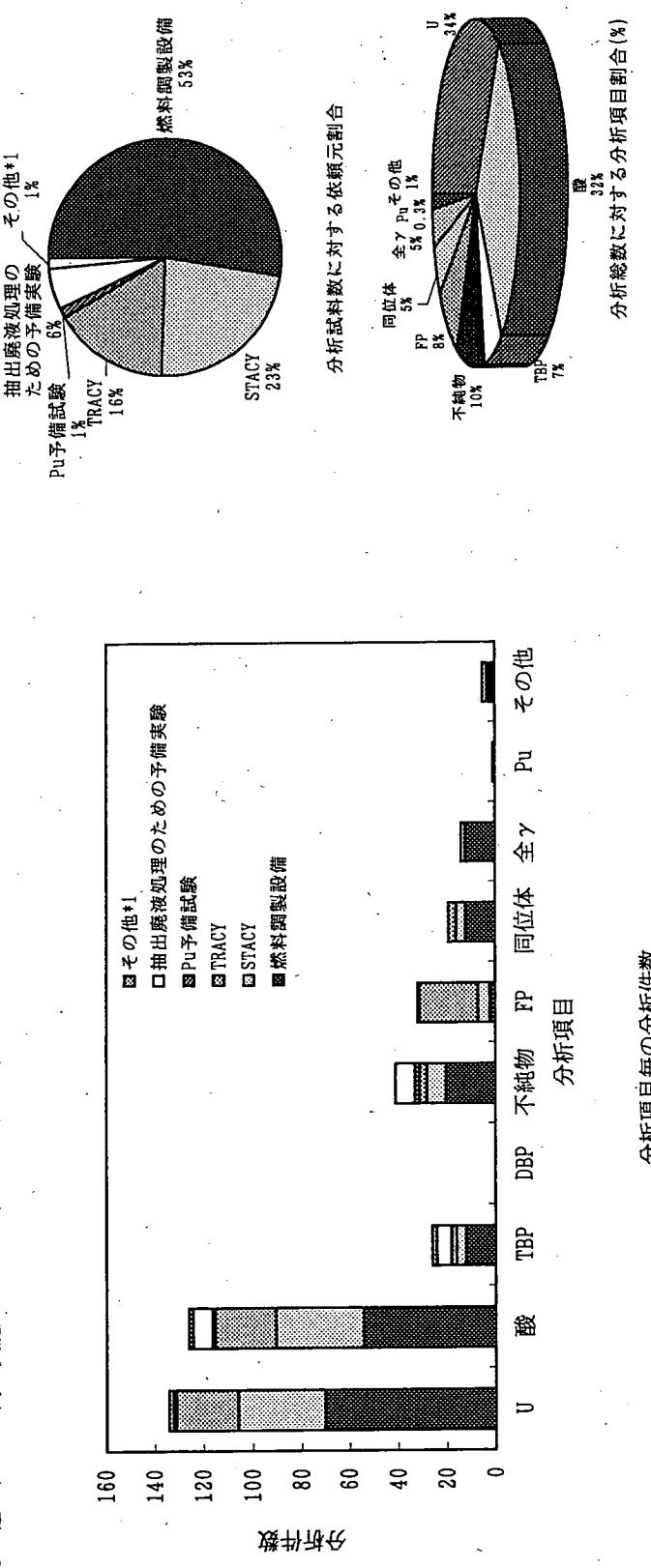


表3 STACY燃料の分析結果（ダンプ槽 I A）

試料番号	測定日	分析室(I) 温度(°C)	密度 (g/cm ³)	U濃度 (gU/l)	硝酸濃度 (N)
714~715	4月21日	22.00	1.56805	381.7	2.00
716~717	5月8日	26.80	1.56002	375.0	1.94
718~719	5月21日	23.30	1.56338	376.7	1.96
720~721	5月23日	22.70	1.56451	377.4	1.95
722~723	6月3日	25.80	1.56718	379.5	1.97
724~725	6月6日	25.00	1.56853	380.4	1.96
726~728	6月16日	25.60	1.57112	381.2	2.00
729	6月23日	24.00	1.57309	382.7	2.01
730~731	6月24日	24.10	1.50587	331.7	1.99
732	6月30日	24.30	1.50776	333.1	1.97
733	7月8日	24.30	1.50996	334.4	1.99
734~735	7月8日	24.30	1.45211	290.0	1.98
736~737	7月15日	24.60	1.45421	291.9	2.01
738	7月15日	24.60	1.40075	251.7	2.00
739	7月23日	24.10	1.40361	253.2	2.03
740	7月25日	24.30	1.40430	253.3	2.02
741~742	7月29日	24.40	1.33230	199.9	1.98
743	8月5日	24.30	1.33476	202.2	2.00
744	8月22日	24.50	1.33772	204.0	2.04
745~746	8月22日	24.50	1.26488	150.4	2.00
747	8月25日	24.30	1.26669	151.3	2.04
748~749	9月2日	24.10	1.41602	265.4	1.90
750~751	9月2日	24.10	1.26844	152.7	2.05
752	10月1日	23.80	1.27375	156.2	2.05
753	10月14日	23.30	1.27507	156.5	2.05
754	10月28日	21.90	1.27940	158.8	2.08
755	10月28日	21.90	1.20027	100.4	2.06
756~757	10月28日	21.90	1.37914	236.1	1.99
758	11月5日	21.60	1.20283	102.1	2.08
759	11月10日	21.00	1.20363	102.7	2.08
760~761	11月11日	20.50	1.13174	50.0	2.04
762~763	11月18日	22.50	1.13333	51.0	2.05
764~766	11月26日	22.70	1.13418	51.3	2.06
767~768	11月26日	22.70	1.20782	105.5	2.09
769~771	12月2日	22.80	0.99927	0.9	0.03
772~775	3月30日	22.90	1.00000	0.8	0.28

表4 TRACY燃料の分析結果（ダンプ槽 III A）

試料番号	測定日	分析室(I) 温度(°C)	密度 (g/cm ³)	U濃度 (gU/l)	硝酸濃度 (N)
577~579	4月8日	24.60	1.05177	35.6	0.19
580~582	4月15日	23.90	1.55764	403.2	0.60
583~584	4月21日	22.00	1.55496	401.8	0.60
585~586	5月21日	23.30	1.55473	401.0	0.60
587~588	5月30日	26.40	1.55459	399.9	0.58
589~590	6月9日	24.00	1.55464	400.5	0.58
591~592	6月23日	24.00	1.55421	399.9	0.59
593~594	7月1日	24.40	1.55413	399.5	0.58
595~596	7月8日	24.30	1.55408	400.0	0.58
597~598	7月14日	24.30	1.55432	400.3	0.58
599~600	7月22日	24.30	1.55447	399.5	0.60
601~602	7月29日	24.40	1.55466	399.4	0.57
603~604	8月5日	24.30	1.55477	400.3	0.59
605~606	8月25日	24.30	1.55514	401.3	0.59
607~608	8月25日	24.30	1.55525	401.8	0.59
609~610	9月4日	24.10	1.55551	402.0	0.59
611~612	9月25日	23.40	1.55571	401.7	0.58
613~614	9月25日	23.40	1.53154	384.4	0.56
615~616	10月23日	22.40	1.53120	384.6	0.56
617~618	11月5日	21.60	1.53182	384.9	0.57
619~620	11月11日	20.50	1.53157	383.6	0.58
621~622	11月18日	22.50	1.53159	384.0	0.58
623~624	11月25日	22.40	1.53167	384.1	0.58
625~626	12月2日	22.80	1.53170	383.8	0.59
627~631	3月30日	22.90	1.02670	16.7	0.20

表5 平成15年度第1四半期試料分析実績

依頼元	分析試料数	分析件数								その他	分析総数
		U	酸	TBP	DBP	不純物	FP	同位体	全γ		
燃料調製設備	19	17	13	3	0	7	0	1	2	0	0
STACY	10	10	10	0	0	3	5	2	0	0	43
TRACY	7	7	1	0	2	7	1	0	0	0	30
Pu予備試験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
抽出液処理のための予備実験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他*1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	5
計	37	35	31	5	0	12	12	4	3	0	103

*1: その他は、NUCEF内で実施されている、NUCEF関連技術開発に係わる分析等を示す。

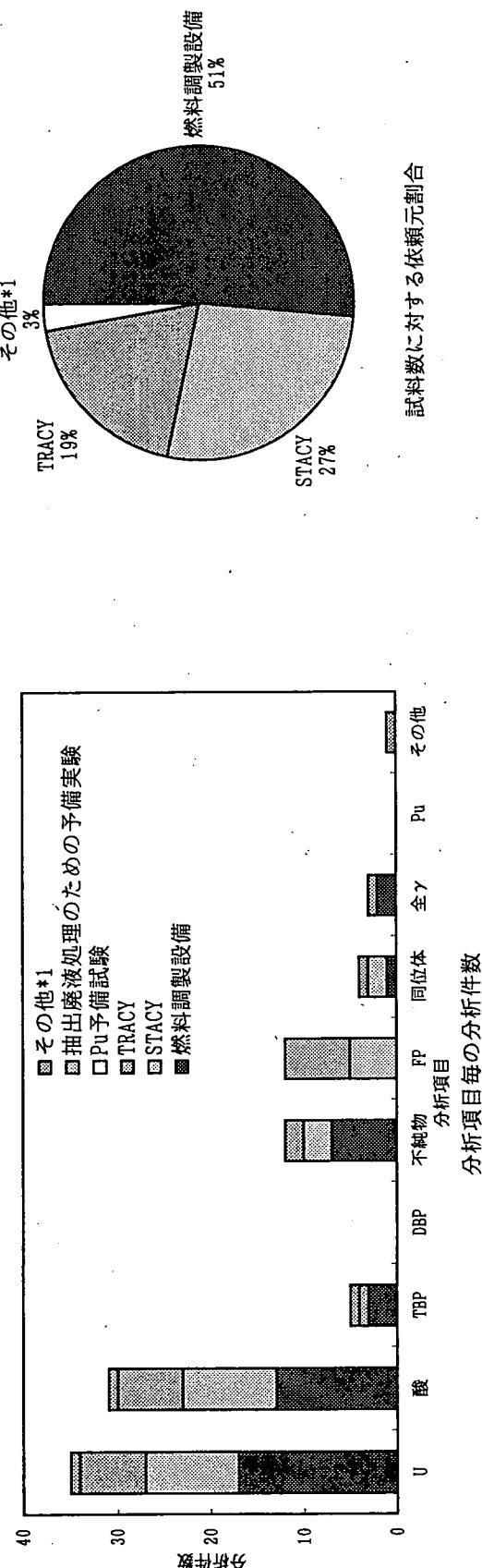


表6 平成15年度第2四半期試料分析実績

依頼元	分析試料数	分析件数							その他	分析総数
		U	酸	TBP	DBP	不純物	FP	同位体		
燃料調製設備	27	23	18	4	0	12	0	6	4	0
STACY	13	13	13	0	0	4	0	2	0	67
TRACY	11	11	11	0	0	0	0	10	1	32
Pu予備試験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
抽出廃液処理のための予備試験	4	0	4	2	0	4	0	0	0	33
その他*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	55	47	46	6	0	20	10	9	4	142

*1：その他は、NUCEF内で実施されている、NUCEF開発技術開発に係わる分析等を示す。

依頼元	分析項目略記号
U	ウラン濃度分析
酸	硝酸濃度分析
TBP	TBP濃度分析
DBP	DBP濃度測定
不純物	不純物元素分析
FP	γ核種分析
同位体	同位体組成分析
全γ	全γ放射能測定
その他	上記以外の分析

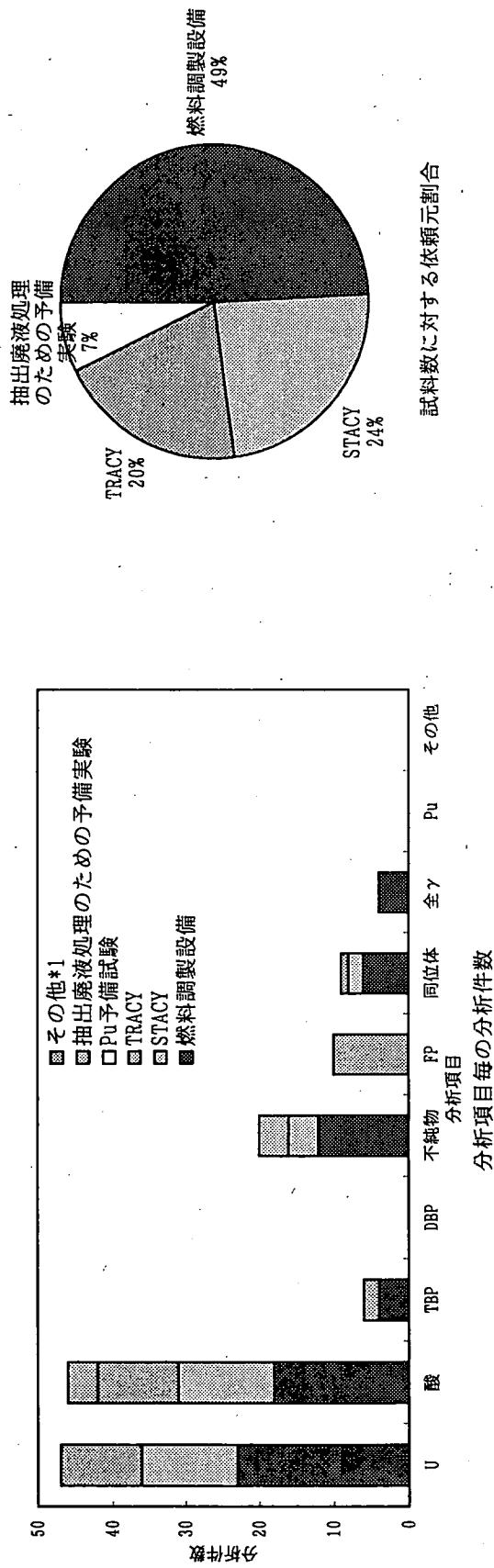


表7 平成15年度第3四半期試料分析実績

依頼元	分析 試料数	分析件数								分析総数
		U	酸	TBP	DBP	不純物	FP	同位体	全γ	
燃料調製設備	32	28	21	3	0	1	2	5	4	0
STACY	12	12	12	3	0	1	0	0	0	64
TRACY	6	6	0	0	0	6	0	0	0	28
Pu予備試験	2	1	1	0	0	2	1	0	0	18
抽出廃液処理のための予備実験	5	0	4	0	4	0	0	0	1	6
その他 ^{*1}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	13
計	58	48	45	11	0	8	9	5	5	134

*1：その他は、NUCEF内で実施されている、NUCEF関連技術開発に係わる分析等を示す。

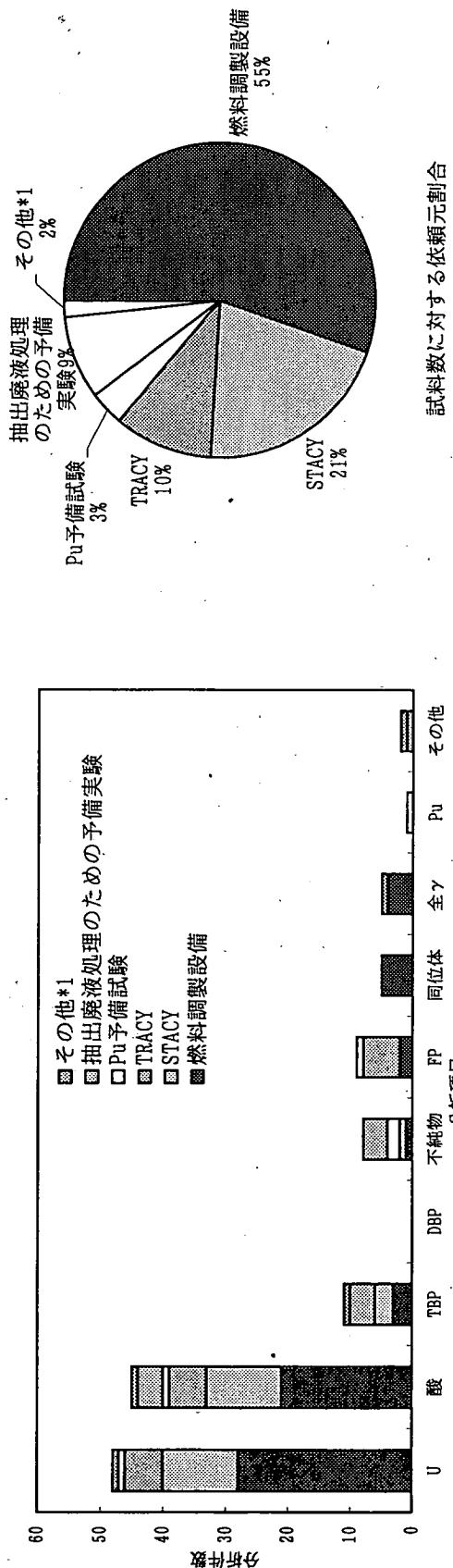


表8 平成15年度第4四半期試料分析実績

依頼元	分析 試料数	分析件数						Pu	その他	分析総数
		U	酸	TBP	DBP	不純物	FP			
燃料調製設備	4	2	2	2	0	0	0	2	0	8
STACY	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
TRACY	1	1	1	1	0	1	1	0	0	7
Pu予備試験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
抽出液処理のための設備実験	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	6	4	4	0	1	1	1	2	0	19

*1：その他は、NUCEF内で実施されている、NUCEF関連技術開発に係わる分析等を示す。

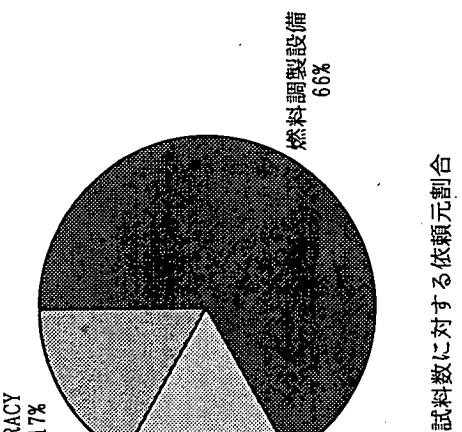
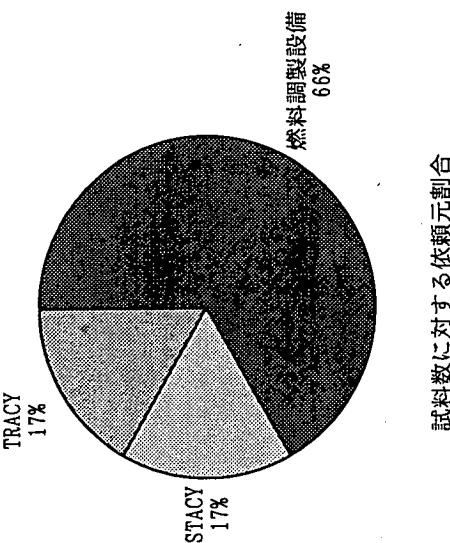
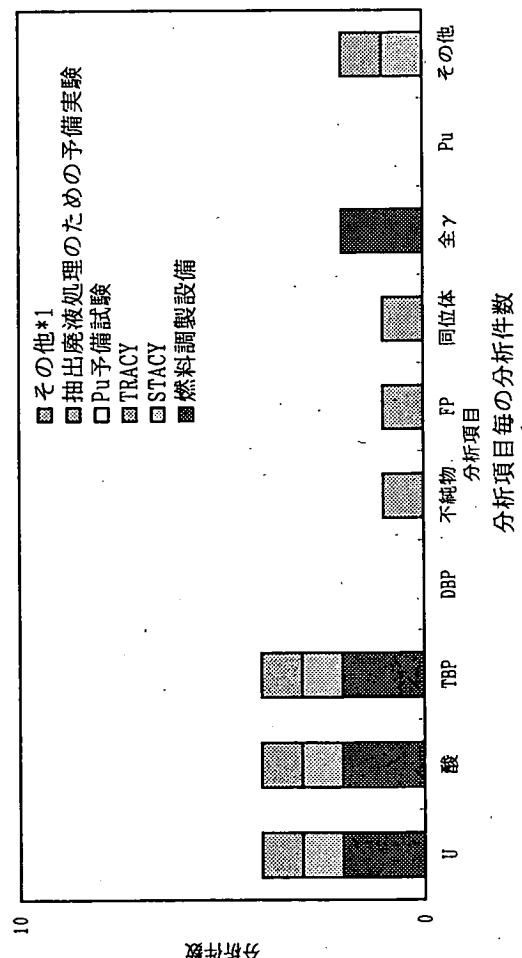


表9 平成15年度気送設備運転状況

送信側	気送子番号	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	年間運転回数	走行距離(km)
試薬供給室(A)	1系統Na6	2	0	2	5	5	0	6	3	1	3	0	0	27	5,940
実験室(II)	2系統Na0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0,504
燃取室(V)	3系統Na3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0,306
燃取室(V)	4系統Na9	2	0	1	0	6	3	0	0	10	3	0	0	25	2,550
TRACY	6系統Na11	11	5	4	10	6	6	4	6	2	0	0	5	59	16,048
STACY	7系統Na10	2	6	11	10	5	4	6	11	3	0	0	4	62	15,624
燃取付属室(VI)	8系統Na7	9	12	14	5	11	0	10	6	0	3	0	0	70	4,200
月間運転回数		26	23	32	30	33	13	26	26	16	15	0	9	249	45,172

表10 平成15年度固体廃棄物発生量

種類		発生量(個)				合計
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	
可燃物	赤カートン	61	68	63	48	240
不燃物	白カートン	23	0	0	0	23
	ペール缶	4	0	0	0	4
フィルタ		0	0	0	0	0
合計		88	68	63	48	267

表11 平成15年度α固体廃棄物発生量

種類		発生量(個)				合計
		第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	
可燃物		10	0	16	0	26
不燃物	ビニルパック	22	0	18	0	40
	金属	2	0	4	0	6
	ガラス	2	0	3	0	5
	樹脂	0	0	1	0	1
合計		36	0	42	0	78

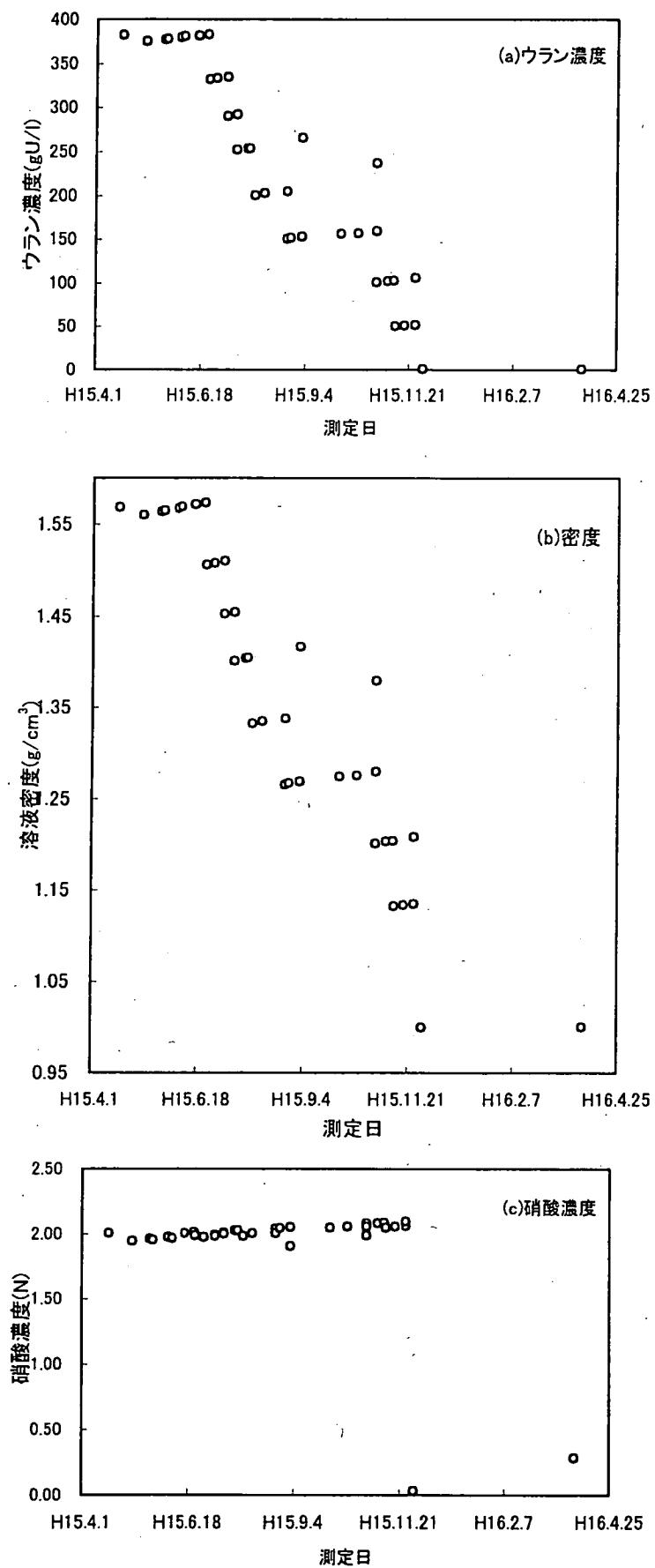


図1 STACY燃料分析結果

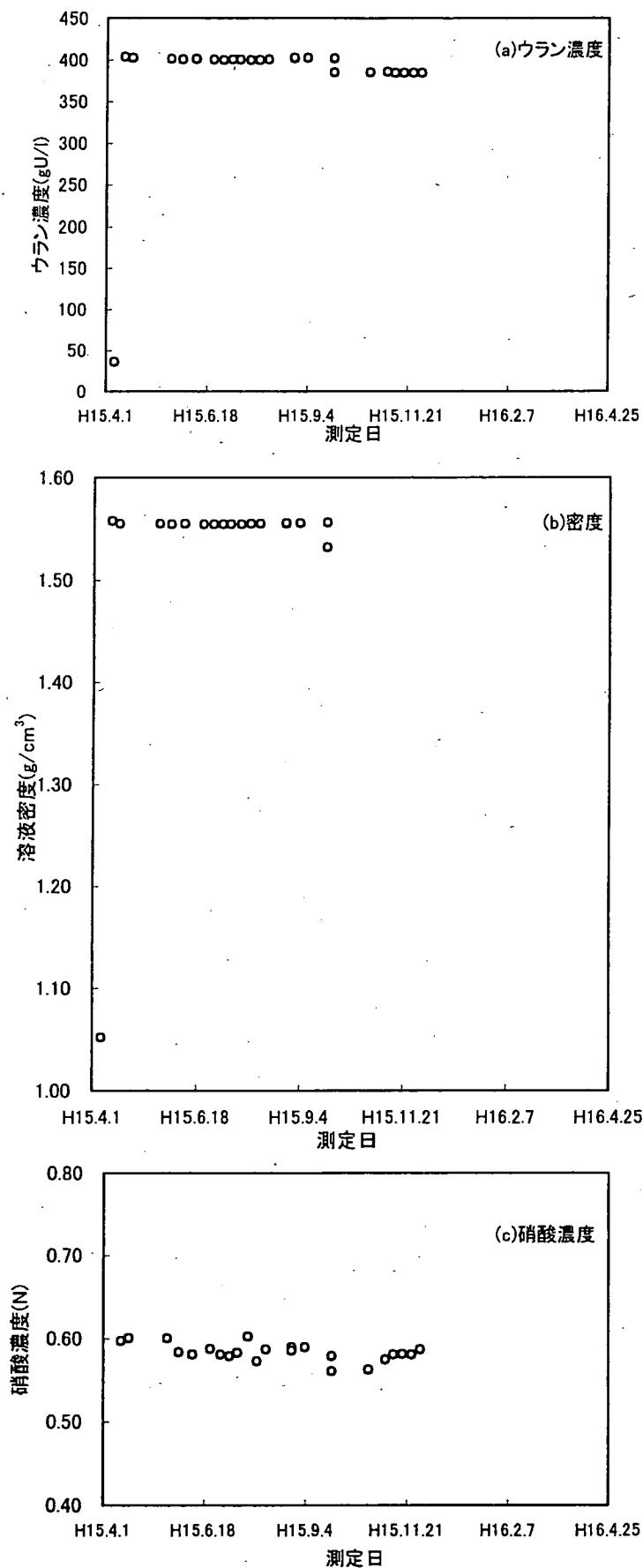


図2 TRACY燃料分析結果

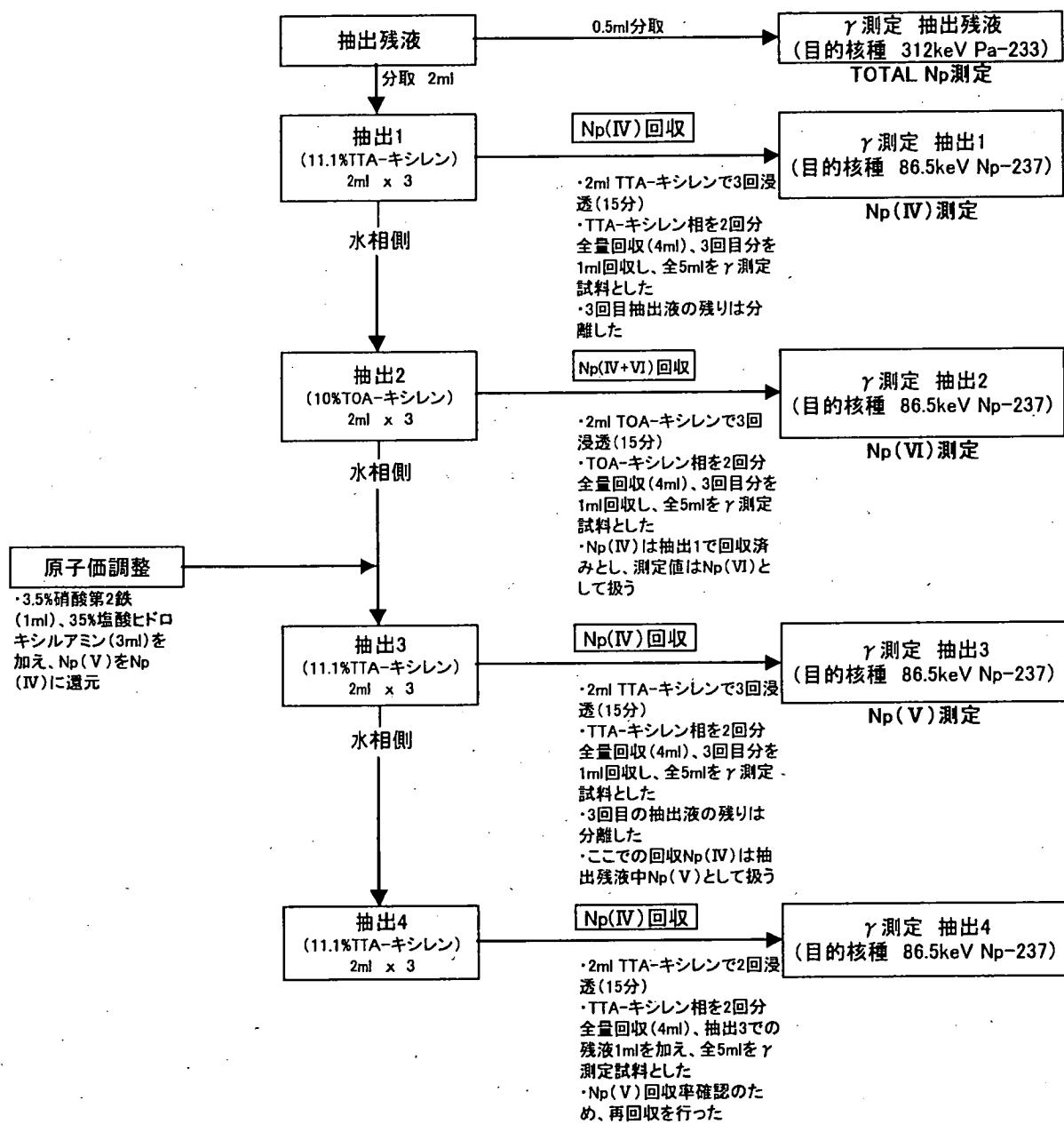


図3 原子価別ネプツニウム測定法の検討操作

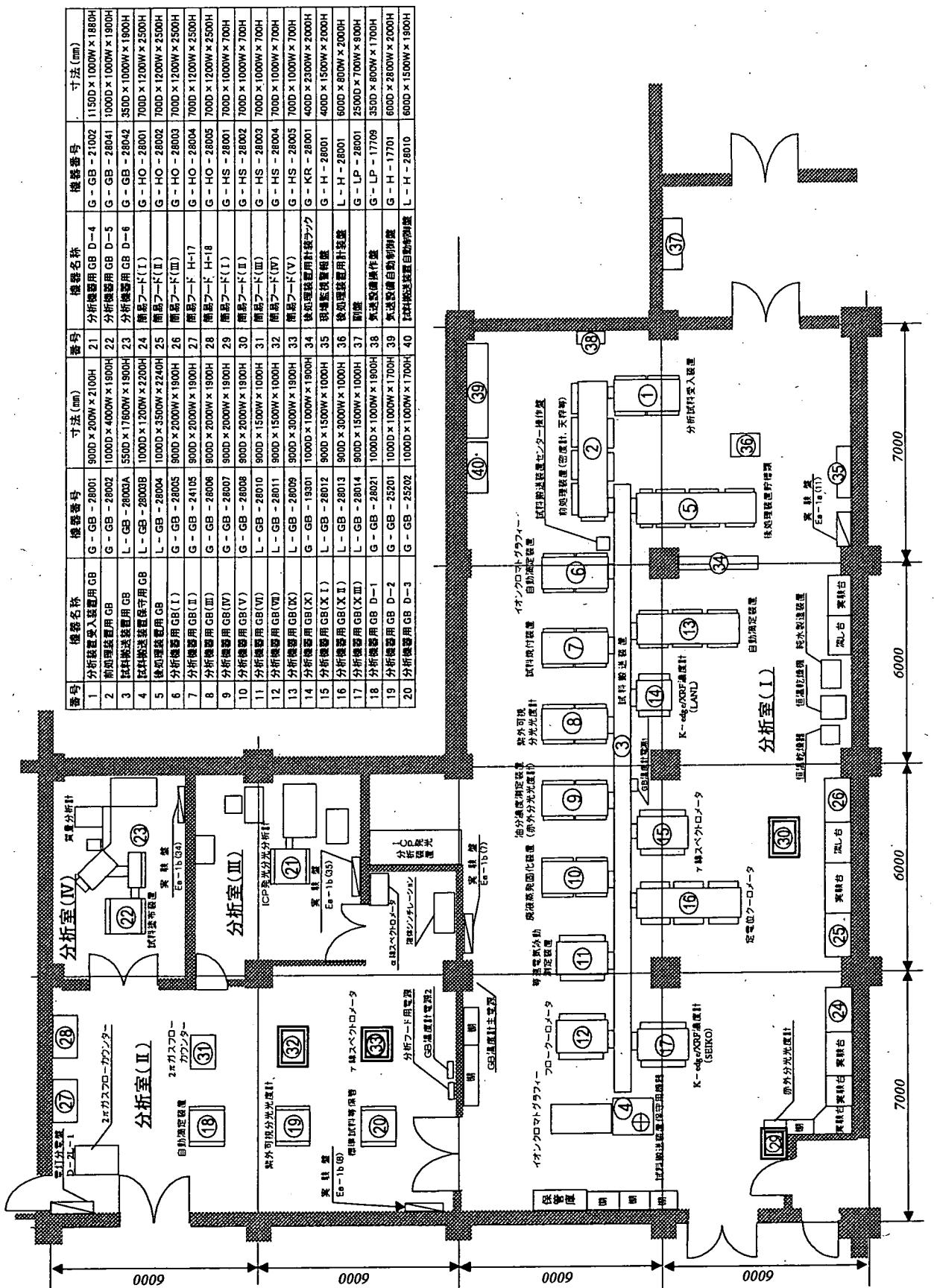


図4 分析機器等配置図

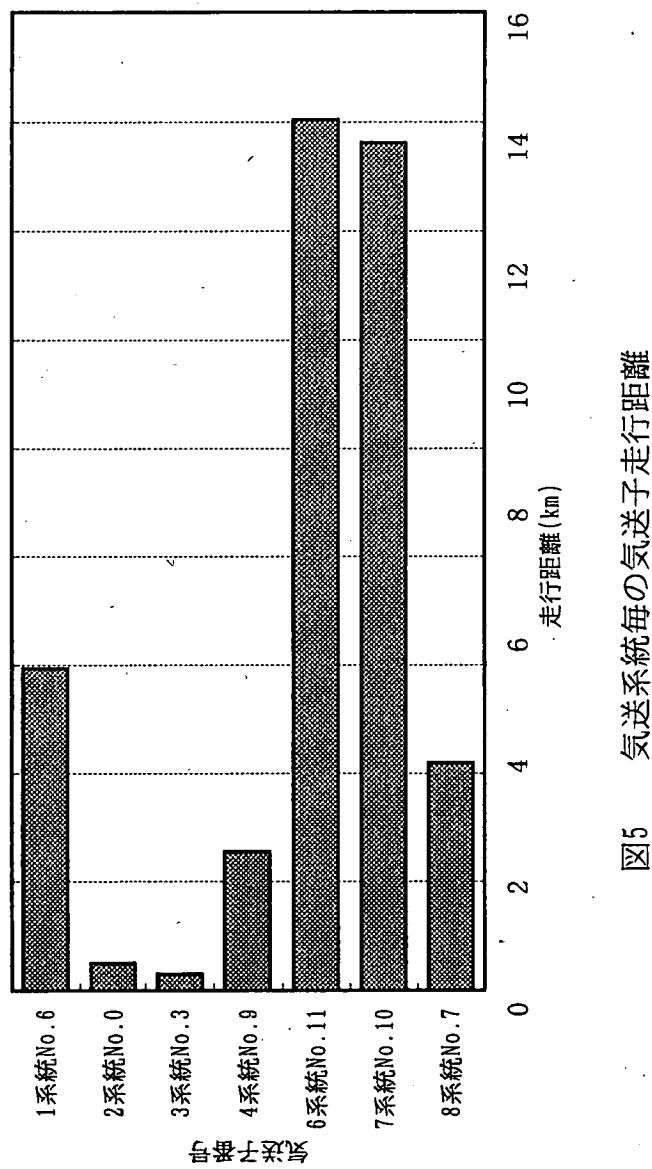


図5 気送系統毎の気送子走行距離

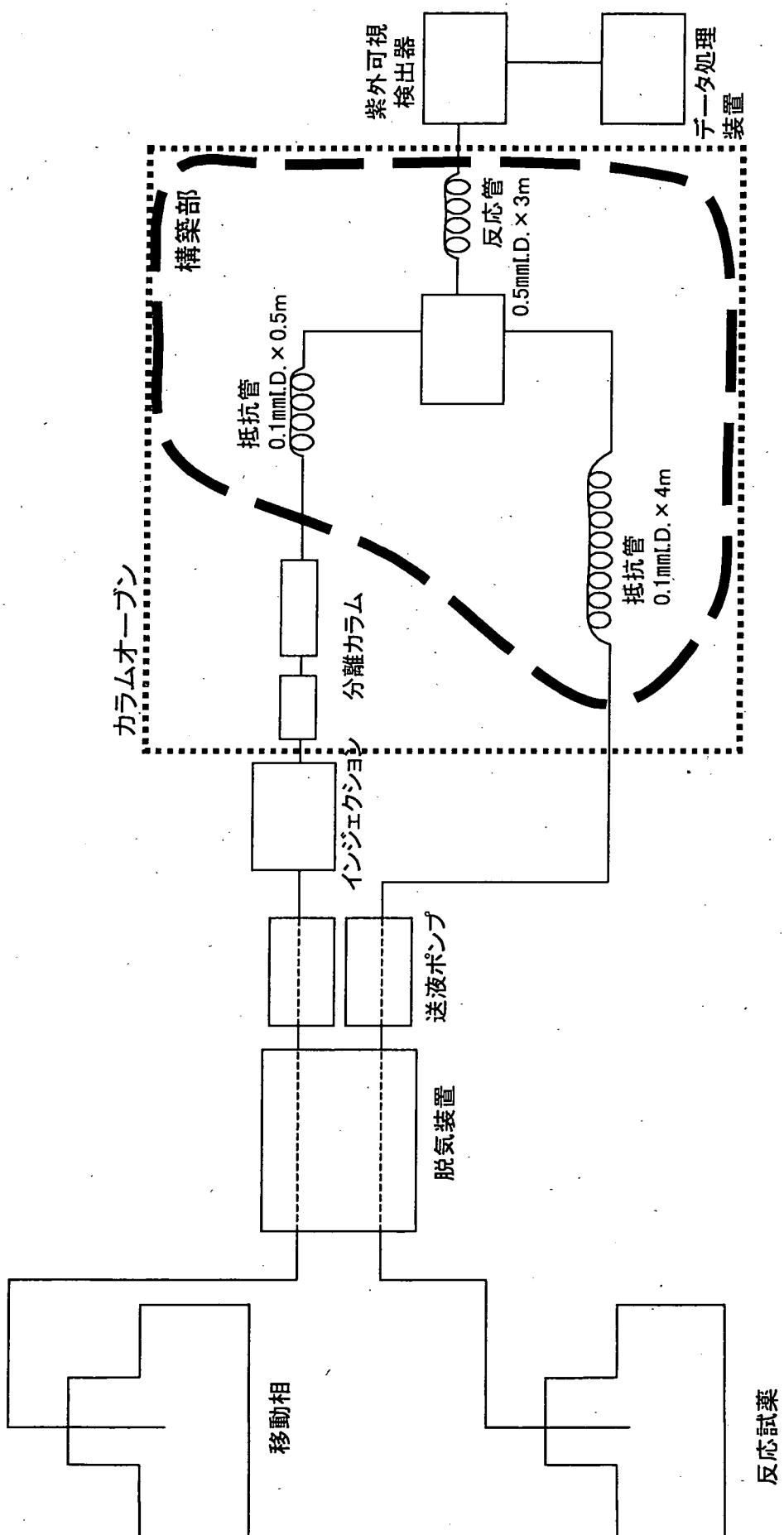


図6 イオンクロマトグラフ（遷移金属イオン分析システム）の概略

付録 分析管理データ

(1) 室温及び相対湿度

分析室（I）及び分析室（II）の室温及び相対湿度の年間変動を図 A 1 に示す。分析室（I）及び分析室（II）の年間平均室温は約 24°C、相対湿度約 35%であり、分析機器および試薬調製等にとって好ましい環境に保たれていると考えている。

(2) 自動電位差滴定装置の安定性

ウラン濃度分析は、重要な分析項目の一つである。そのため、日常的にウラン濃度分析に用いる自動電位差滴定装置の安定性を確認している。

NUCEF 管理課では、次のようにして装置の安定性を確認している。あらかじめウラン作業用標準溶液(WSD)を調製しておく、自動電位差滴定装置で調製日におけるウラン濃度(U_A)を求めておく。次に、試料の分析当日に WSD のウラン濃度(U_B)を測定する。そして、次式で ΔU を求めること。

$$\Delta U = (U_A - U_B)/U_A \times 100(\%)$$

装置の安定性の判断基準として、 ΔU が 0.3% 以下である場合装置は安定していると判断し、試料の分析を行う。

図 A 2 に具体的なウラン作業用標準溶液の分析結果を示す。これらの結果は、自動電位差滴定装置が誤差の範囲で安定した結果となっていることを示している。

(3) 滴定分析に用いる標準溶液の調製及び標定

自動電位差滴定装置を用いた滴定分析では、滴定液としてウラン濃度分析には二クロム酸カリウム溶液を、硝酸濃度分析には水酸化ナトリウム溶液を用いている。滴定分析では、滴定液の濃度を正確に評価しておく必要がある。このため、滴定液の調製の都度、二クロム酸カリウム溶液についてはウラン濃度が既知の標準硝酸ウラニル溶液(金属ウラン標準試料 JAERI-U4 から調製)を用い、また、水酸化ナトリウム溶液については、濃度が既知のアミド硫酸を用いて標定をしている。表 A 1 及び表 A 2 に、二クロム酸カリウム標準溶液及び水酸化ナトリウム標準溶液の標定結果を示す。

表A1 ニクロム酸カリウム標準溶液の標定結果

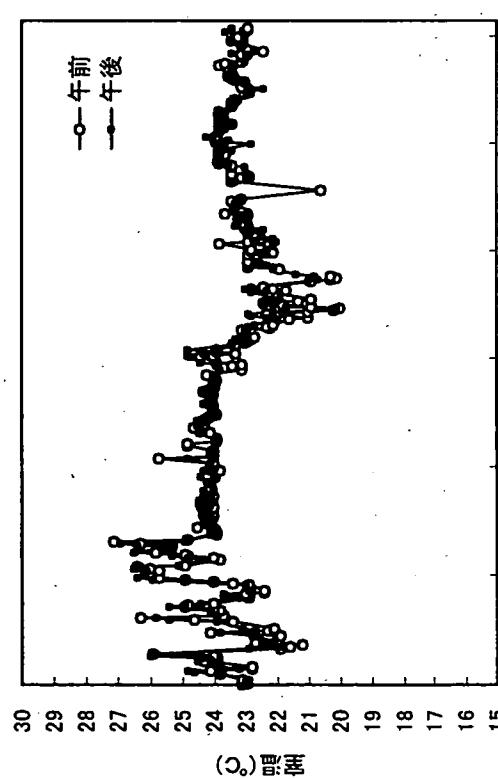
測定日	標準ウラン溶液U4による標定結果				備考
	標定値 (N)	標準偏差 σ_{n-1} (N)	変動係数 (%)	既知濃度との測定誤差 (%)	
H15.4.3	0.03276	0.00003	0.099	-0.097	滴定装置No.5用
H15.5.21	0.03260	0.00002	0.057	0.192	滴定装置No.5用
H15.5.29	0.03280	0.00009	0.270	-0.562	滴定装置No.5用 管理値*逸脱、再調製とする。
H15.5.30	0.03287	0.00002	0.049	-0.122	滴定装置No.5用
H15.7.14	0.03269	0.00002	0.063	-0.165	滴定装置No.5用
H15.8.19	0.03272	0.00001	0.041	-0.101	滴定装置No.5用
H15.10.2	0.03265	0.00003	0.105	0.050	滴定装置No.5用
H15.10.29	0.03267	0.00002	0.062	-0.030	滴定装置No.5用
H15.11.28	0.03264	0.00002	0.057	0.034	滴定装置No.5用
H16.3.30	0.03268	0.00002	0.053	-0.035	滴定装置No.5用

* : NUCEF管理課では、標準ウラン溶液の既知濃度との測定誤差範囲を±0.2%として管理している

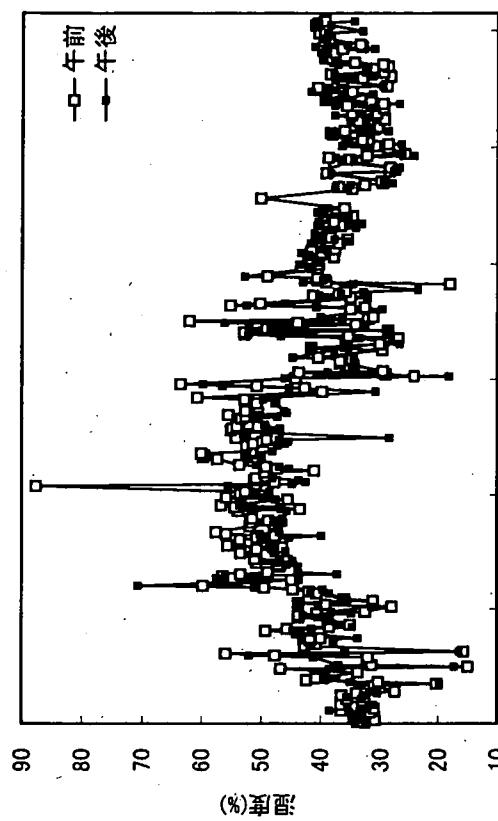
表A2 水酸化ナトリウム標準溶液の標定結果

測定日	アミド硫酸による水酸化ナトリウムの標定結果			備考
	標定値 (N)	標準偏差 σ_{n-1} (N)	変動係数 (%)	
H15.4.8	0.11001	0.0001	0.076	滴定装置No.1用
H15.4.21	0.11651	0.0001	0.048	滴定装置No.1用
H15.5.8	0.08565	0.0001	0.135	滴定装置No.4用
H15.5.21	0.11696	0.0002	0.189	滴定装置No.1用*1
H15.6.10	0.08613	0.0000	0.031	滴定装置No.4用
H15.6.16	0.11731	0.0000	0.030	滴定装置No.1用*2
H15.6.23	0.11738	0.0001	0.072	滴定装置No.1用*3
H15.6.30	0.11692	0.0001	0.088	滴定装置No.1用*4
H15.7.8	0.09796	0.0001	0.091	滴定装置No.1用
H15.7.15	0.09829	0.0001	0.061	滴定装置No.1用*5
H15.7.23	0.09852	0.0000	0.036	滴定装置No.1用*6
H15.8.1	0.08631	0.0001	0.070	滴定装置No.4用*7
H15.8.7	0.09884	0.0000	0.028	滴定装置No.1用*8
H15.8.22	0.08788	0.0001	0.164	滴定装置No.1用
H15.8.25	0.08644	0.0000	0.050	滴定装置No.4用*9
H15.9.3	0.08751	0.0001	0.143	滴定装置No.1用*10
H15.9.4	0.08814	0.0001	0.071	滴定装置No.1用*11
H15.9.25	0.08843	0.0001	0.145	滴定装置No.1用*12
H15.10.1	0.08821	0.0003	0.390	滴定装置No.1用*13
H15.10.3	0.11213	0.0001	0.109	滴定装置No.1用
H15.10.7	0.10074	0.0001	0.082	滴定装置No.4用
H15.10.21	0.11254	0.0001	0.090	滴定装置No.1用
H15.10.28	0.11277	0.0002	0.146	滴定装置No.1用*14
H15.11.10	0.11293	0.0001	0.125	滴定装置No.1用*15
H15.11.13	0.11320	0.0002	0.150	滴定装置No.1用*16
H15.11.20	0.10688	0.0001	0.101	滴定装置No.1用
H15.11.25	0.10669	0.0002	0.210	滴定装置No.1用*17
H15.12.2	0.10131	0.0000	0.009	滴定装置No.4用*18
H16.3.30	0.10597	0.0002	0.170	滴定装置No.1用*19

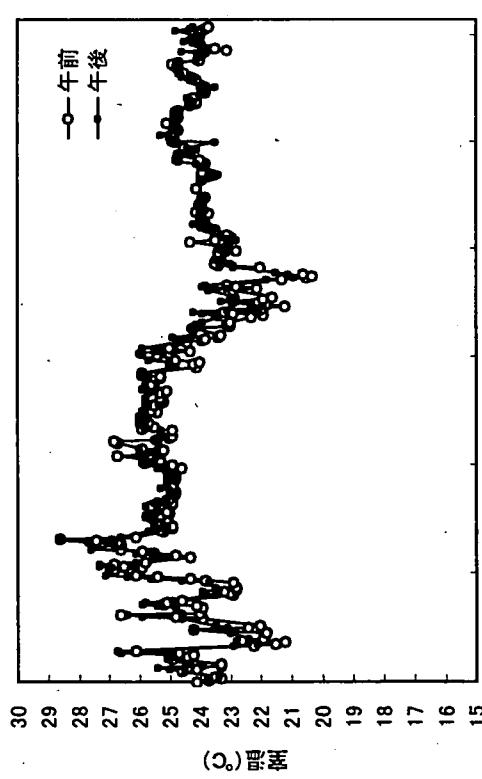
- * 1:4/21の再標定
- * 2:5/21の再標定
- * 3:6/16の再標定
- * 4:6/23の再標定
- * 5:7/8の再標定
- * 6:7/15の再標定
- * 7:6/10の再標定
- * 8:7/23の再標定
- * 9:8/1の再標定
- * 10:8/22の再標定
- * 11:9/3の再標定
- * 12:9/4の再標定
- * 13:9/25の再標定
- * 14:10/21の再標定
- * 15:10/28の再標定
- * 16:11/10の再標定
- * 17:11/20の再標定
- * 18:10/7の再標定
- * 19:11/25の再標定



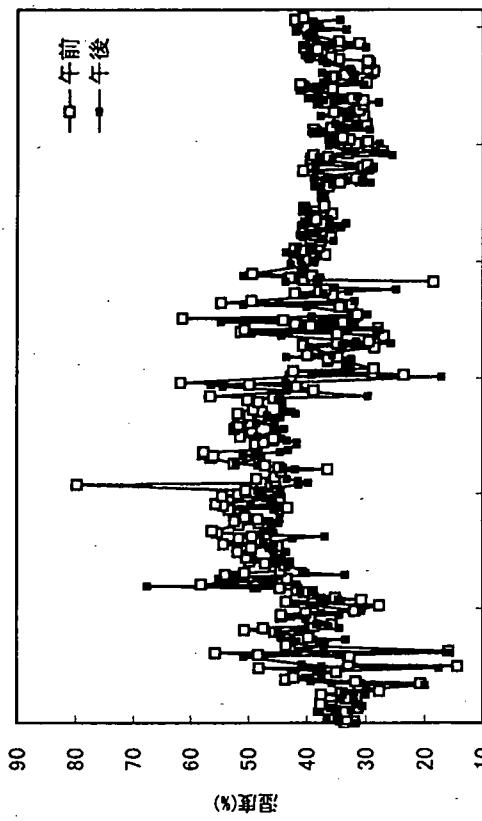
図A1 分析室（I）の室温



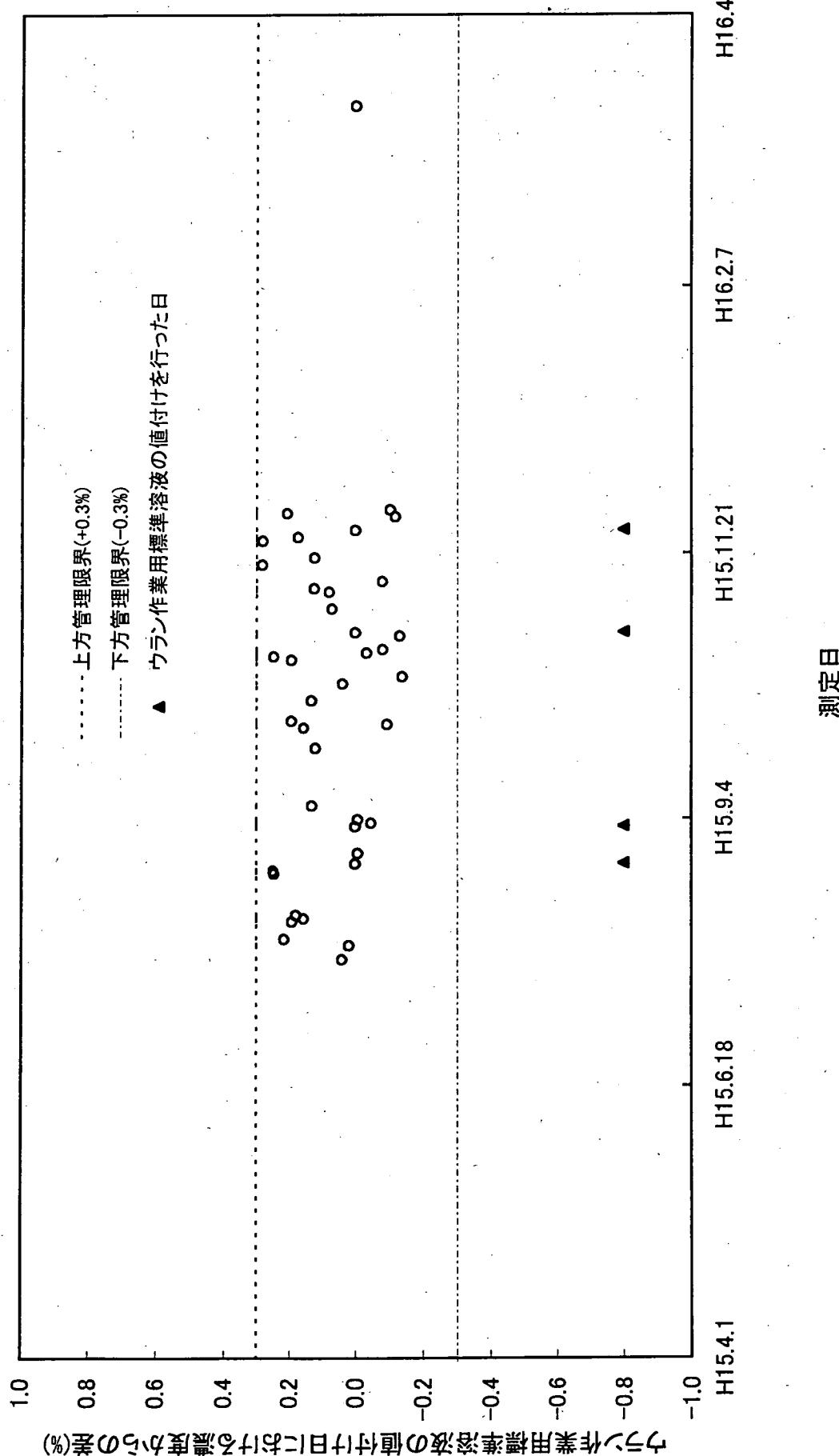
図A1 分析室（I）の湿度



図A1 分析室（II）の室温



図A1 分析室（II）の湿度



図A2 ウラン作業用標準溶液の分析結果

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
圧力、応力	ニュートン	N	m·kg/s ²
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m ²
工率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	アーロン	C	A·s
静電容量	ボルト	V	W/A
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	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
線量当量	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

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	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atto	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、1eVおよび1u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。
- EC間際理事会指令では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。

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
バール	bar
ガル	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

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

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
	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 cal = 4.18605 J(計量法)	
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	= 4.184 J(熱化学)	
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	= 4.1855 J(15 °C)	
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	= 4.1868 J(国際蒸気表)	
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)	
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s	
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W	
	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		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹		1	100
	3.7 × 10 ¹⁰	1		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

R100
古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています