

## NUCEFにおける分析

—平成19年度—

Analytical Work at NUCEF in FY2007

阿部 博佳 芳賀 孝久 深谷 洋行 薮田 晓  
坂爪 克則 伊藤 光雄 白橋 浩一

Hiroyoshi ABE, Takahisa HAGA, Hiroyuki FUKAYA, Takashi SONODA  
Yoshinori SAKAZUME, Mitsuo ITO and Koichi SHIRAHASHI

東海研究開発センター  
原子力科学研究所  
安全試験施設管理部

Department of Criticality and Fuel Cycle Research Facilities  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

NUCEF における分析  
— 平成 19 年度 —

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所

安全試験施設管理部

阿部 博佳※・芳賀 孝久※・深谷 洋行・菌田 晓  
坂爪 克則・伊藤 光雄+・白橋 浩一

(2009 年 1 月 21 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あたって、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 19 年度は、STACY、TRACY における臨界実験前後及び施設定期自主検査に伴う運転に係る硝酸ウラニル溶液の性状分析、燃料調製設備における硝酸ウラニル溶液調整及び精製のための分析等を行うとともに、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。

平成 19 年度における総分析試料数は、143 試料であった。

本報告書は、平成 19 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。

---

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

+ 計画管理室

※ 技術開発協力員

## Analytical Work at NUCEF in FY 2007

Hiroyoshi ABE<sup>\*</sup>, Takahisa HAGA<sup>\*</sup>, Hiroyuki FUKAYA

Takashi SONODA, Yoshinori SAKAZUME

Mitsuo ITO<sup>+</sup> and Koichi SHIRAHASHI

Department of Criticality and Fuel Cycle Research Facilities  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 21, 2009)

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

Analyzed in FY 2007 were uranyl nitrate solution fuel samples taken before and after experiments of STACY and TRACY, samples for the preparation and purification of uranyl nitrate solution fuel in the fuel treatment system and samples for nuclear material accountancy purpose.

The total number of the samples analyzed in FY 2007 was 143.

This report summarizes work related to the analysis and management of the analytical laboratory in the FY 2007.

Keywords : Analysis, NUCEF, STACY, TRACY, Uranium, Criticality

---

+ Planning and Coordination Office

\* Collaborating Engineer

## 目次

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. まえがき .....           | 1  |
| 2. 分析 .....             | 1  |
| 2.1 分析の概要 .....         | 1  |
| 2.2 分析設備の概要 .....       | 2  |
| 2.3 分析計画と実施 .....       | 2  |
| 2.4 平成 19 年度の分析実績 ..... | 2  |
| 2.5 国際規制物資の計量管理 .....   | 3  |
| 2.6 分析ネットワークに係る分析 ..... | 3  |
| 3. 分析法の検討 .....         | 3  |
| 4. 分析設備の運転・保守・管理 .....  | 4  |
| 4.1 分析設備 .....          | 4  |
| 4.2 廃棄物の発生量 .....       | 6  |
| 5. 分析設備の整備 .....        | 6  |
| 6. あとがき .....           | 7  |
| 謝辞 .....                | 7  |
| 参考文献 .....              | 7  |
| 付録 分析管理データ .....        | 21 |

## Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 1  |
| 2. Analytical activities .....  | 1  |
| 2.1 Outline of analysis .....   | 1  |
| 2.2 Outline of analytical laboratory .....                              | 2  |
| 2.3 Planning and action of analysis .....                               | 2  |
| 2.4 Analytical works in FY 2007 .....                                   | 2  |
| 2.5 Analysis for the nuclear material accountancy .....                 | 3  |
| 2.6 Analysis network activities .....                                   | 3  |
| 3. Study on analytical methods .....                                    | 3  |
| 4. Operation, maintenance and management of analytical equipments ..... | 4  |
| 4.1 Analytical equipments .....   | 4  |
| 4.2 Amount of radioactive waste from analytical work .....              | 6  |
| 5. Renewal and upgrade of analytical equipment .....                    | 6  |
| 6. Closing remarks .....  | 7  |
| Acknowledgments .....   | 7  |
| References .....  | 7  |
| Appendix .....  | 21 |

## 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特性に関する系統的なデータを取得し、核燃料を取扱う施設の合理的な臨界安全設計・管理に役立てる研究を、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。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 19 年度分析業務の背景となる各装置等の稼働状況は以下のとおりである。

STACY では硝酸ウラニル溶液燃料 ( $^{235}\text{U}$  濃縮度 : 6%) とウラン棒状燃料 ( $^{235}\text{U}$  濃縮度 : 5%) を用いて、非均質炉心体系での臨界実験が行われた。TRACY は、施設定期検査期間中のため、臨界実験は実施されず、施設定期検査に伴う運転のみが行われた。また、燃料調製設備では、STACY での臨界実験に使用される硝酸ウラニル溶液燃料の調整運転及び平成 17 年度に STACY で実施された核分裂生成物 (Fission Products : FP) を模擬した物質 (以下模擬 FP という) を添加した硝酸ウラニル溶液燃料による臨界実験で使用された溶液燃料の一部と STACY 炉心タンク洗浄液の精製運転が行われた。

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パラメータとなる。このため STACY の臨界実験前後の硝酸ウラニル溶液の性状分析を実施した。TRACY に関する分析としては、施設定期検査に伴う運転に係る分析を実施した。燃料調製設備の運転に関する分析としては、各運転状況を確認するための分析等を行った。また、国際規制物質としての核燃料物質の計量管理のため、計量槽に移送した硝酸ウラニル溶液の分析を実施した。さらに分析設備の保守・管理・整備に係る作業も行った。

平成 18 年度より、原子力科学研究所において、各施設で実施されている様々な分析業務及び関連技術開発の情報共有、技術協力の実施等を目的とした分析ネットワークが発足し、NUCEF 分析設備も参加しており、分析ネットワークとしての分析業務も実施した。

本報告書は、平成 19 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が行われている。これらの実験では、燃料調製設備により硝酸ウラニル溶液のウラン濃度等を調整後、STACY 及び TRACY に供給し、実験目的に応じた臨界実験が実施される。STACY 及び TRACY の実験解析にともなう分析項目は、密度測定、ウラン濃度分析、硝酸濃度分析、同位体組成分析、不純物元素濃度分析、FP 核種濃度分析等があり、燃料調製設備の運転管理に係わる工程管理分析は、

先に挙げた項目に加え、リン酸トリブチル（TBP）濃度分析、全 $\gamma$ 放射能測定等がある。また、保障措置上の計量管理分析項目は、密度測定、ウラン濃度分析、同位体組成分析である。これらの分析は、分析試料の性状、濃度及び共存物質の有無、分析依頼元から要求される分析精度等の観点から最適な分析方法を選定している。分析項目別の分析方法一覧を表1に示す。

## 2.2 分析設備の概要

分析設備<sup>①</sup>は主に NUCEF 実験棟 B の 2 階の分析室（I）、分析室（II）、分析室（III）及び分析室（IV）に整備されている。分析室（I）の設備・分析機器は原子炉施設に附属する設備であり、分析室（II）～（IV）に設置されている設備・分析機器は、原子炉施設と核燃料使用施設との共用設備である。

分析設備は、気送設備、試料搬送装置、前処理装置、後処理装置、分析機器、グローブボックス及びフードから構成されている。分析機器はグローブボックス内に設置され、ほとんどの分析作業はグローブ操作によって行われている。分析設備の分析機器等の配置を図1に示す。

## 2.3 分析計画と実施

分析設備で実施している依頼分析作業は、分析依頼元で起案する「分析依頼票」に従って実施している。「分析依頼票」には、その分析に必要な情報（目的、期間、試料数、分析項目等）が記載されており、この帳票の提出を受けて依頼分析の受入の可否を検討、決定している。受入可の場合、提出された分析依頼票に従い、各試料毎の詳細な情報を記載した「分析依頼詳細・結果報告票」が分析依頼元から提出される。「分析依頼詳細・結果報告票」に従って分析試料を受入れ、分析を実施した後「分析依頼詳細・結果報告票」にその結果を記載し、分析依頼元に報告することで一連の分析作業が終了する。平成 19 年度に受入れた依頼分析計画及びその実施結果を表2に示す。平成 19 年度は、依頼された分析について 1 試料のうち 1 項目が分析装置の不具合に伴い、年度内に実施することができなかったが、その他については全て実施した。なお、平成 19 年度内に実施できなかった分析については、平成 20 年度第 1 四半期に実施する予定である。

## 2.4 平成 19 年度の分析実績

平成 19 年度の試料分析実績を表3に示す。平成 19 年度の総分析試料数は 143 試料、分析総数は 389 件であった。分析試料の内訳は、燃料調製設備に係わるもののが 77%、STACY、TRACY の臨界実験及び施設定期自主検査に伴う運転に係わるもののが 13% 及び 9%、NUCEF の施設管理等に係る分析（表3の「その他」に分類）が 1% であった。分析項目別でみると、ウラン濃度分析と硝酸濃度分析が全体の約 60% を占め、次いで TBP 濃度分析、不純物元素濃度分析、全 $\gamma$ 放射能測定、同位体組成分析、リン酸ジブチル（DBP）濃度、FP、模擬 FP 濃度分析の順となっている。また、前述以外のその他の依頼項目（pH 測定、重量測定等）は、全体の 2% であった。

表4及び図2に STACY 燃料のウラン濃度、密度、硝酸濃度の分析結果を、表5及び図3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6に示す。分析試料数は 61 試料、分析総数は 179 であった。

第2四半期の試料分析実績を表7に示す。分析試料数は 38 試料、分析総数は 99 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）のための分析が含まれている。

第3四半期の試料分析実績を表8に示す。分析試料数は34試料、分析総数は87であった。  
第4四半期の試料分析実績を表9に示す。分析試料数は10試料、分析総数は24であった。  
いずれも要求される精度で分析結果を得ることができた。

## 2.5 国際規制物資の計量管理

東海研究開発センター原子力科学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(MBA)における実在庫の確認(PIT)を平成19年9月10日～9月26日に行った。また、平成19年9月27日～9月28日には、国際原子力機関(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。これに伴う硝酸ウラニル溶液の分析を実施した。

PIVでは、原子炉等規制法第68条第1項及び第12項に基づき、IAEAと文部科学省の保障措置室(JSGO)及び指定保障措置検査等実施機関である財団法人核物質管理センター(NMCC)東海保障措置センターによりウラン試料の収去が行われた。JSGO及びNMCCの収去試料の分析は、同位体希釈質量分析法(IDMS)により行われているため、ウラン試料とNMCCから受入れたスパイク(元素濃度及びその同位体組成が正確に分かっている基準物質)試料を混合、イオン交換によるFP除去を行い、収去試料を作成した。

## 2.6 分析ネットワークに係る分析

東海研究開発センター原子力科学研究所では、各部署の分析業務をより効率的に進めるため、平成18年度から原子力科学研究所内各部の分析担当者で構成される分析ネットワークを構築し、分析技術の共有化、技術協力等の活動を開始している。

平成19年6月下旬に原子力科学研究所において、非管理区域で核燃料物質による汚染が確認された。これに対して、文部科学省原子力安全監の「報告漏れに関する調査及び安全管理の徹底について」の指示に基づき、すべての施設を対象に安全確認点検調査が実施された。

本調査の一環として、非管理区域において核燃料物質による汚染が確認された共同溝、一般排水溝等の汚染の環境影響評価及び原子力科学研究所内的一般排水路の放射能レベルを把握するため、共同溝内等の土壌、排水及びスラッジ中のウラン及びトリウムの濃度分析が放射線管理部から原子力科学研究所分析ネットワークに要請された。

実施体制として、分析ネットワークを構成する人員から成る分析チーム(8名)が組織され、土壌等試料中のウラン及びトリウムの濃度分析が実施された。安全試験施設管理部からは4名が参加し、主に土壌及びスラッジ試料、計64試料の分析に対応した。試料前処理を含む分析には、7月19日から8月10日までの約3週間を要した。

## 3. 分析法の検討

燃料調製設備では、STACYで使用した模擬FP及びガドリニウム(Gd)添加燃料の精製運転が実施されており、これに伴う依頼分析件数は全体の約4割を占めた。

燃料調製設備における精製運転では、連続的に試料を受入れるため迅速に対応する必要があり

「硫酸アンモニウム添加一アルカリ中和滴定法<sup>2)</sup>」の分析精度について再検討を行った。

STACY、TRACY の臨界管理データ取得のための分析に使用している「鉄（II）価還元一二クロム酸カリウム酸化滴定法<sup>3)</sup>」は、ウラン濃度測定法として高精度（±0.3%以内）であるが前処理操作が煩雑で、発生する分析廃液も強酸性になる。これに対し「硫酸アンモニウム添加一アルカリ中和滴定法」は、中和滴定により硝酸濃度とウラン濃度を逐次定量できる簡便な方法であるが、分析精度で劣り、ウラン濃度測定結果に数%程度の正のバイアスが加わることが文献<sup>4)</sup>より分かっている。

これら二つの滴定分析法によるウラン濃度測定結果の比較を行い、精製運転で要求される精度（±3%以内）を満足するか検討を行った。本検討は、精製運転で得られた 2 試料（硝酸濃度 1.0N、ウラン濃度 104g/L と硝酸濃度 0.2N、ウラン濃度 30g/L）について二つの方法で独立した平行測定を実施し、どの程度のバイアスが発生するかを確認した。この検討における測定用試料は、硝酸濃度 0.1N～0.2N、ウラン濃度 15g/L～20g/L に調整した。

その結果、1～2%程度の正のバイアスが加わることを確認した。また、このときの変動係数は、硝酸濃度 1.0%、ウラン濃度 0.6%程度であり、再現性のある安定した結果であった。これらにより、本検討に使用した試料と類似した性状の試料について適用が可能であることを確認した。

バイアスの要因は、同時に測定される遊離硝酸濃度測定によるものであり、遊離硝酸とウランの存在割合によってバイアスの程度が変わるため、今後も引き続き精製運転に伴う各種性状の試料について同様の検討を行い、本法の適用範囲を広げていく予定である。

## 4. 分析設備の運転・保守・管理

NUCEFにおいて分析業務を安全かつ円滑に行うために分析設備の保守管理を行っている。

### 4.1 分析設備

#### (1) 気送設備

気送設備<sup>5)</sup>は、STACY、TRACY 及び燃料調製設備から、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 19 年度に気送設備を利用して STACY、TRACY 及び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 88 回、気送子の総走行距離は約 15km であった。気送設備の運転状況を表 10 に、気送系統毎の気送子走行距離記録を図 4 に示す。

日常点検、月例点検及びメーカーによる点検（排風機、運転操作盤等を含む気送設備全体の総合点検及び気送子の移送・返送操作の作動試験）により気送設備の維持管理を行った。

#### (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 基）に接続する試料搬送用グローブボックス内をロボットが移動して、グローブボックス間で試料を自動的に運搬するための設備である。

日常点検、月例点検及びメーカーによる点検（試料搬送装置全体の総合点検及び模擬試料の移送・返送の作動試験）により試料搬送装置の維持管理を行った。

### (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、月例点検等を行うと共に、常に消耗品の補充管理をすることにより、各分析機器の維持管理を行った。

質量分析計、ICP 発光分光分析装置については、機器の故障発生の未然防止、性能の維持から、メーカーによる装置の点検を行うと共に、模擬試料により機器性能・精度の健全性を確認した。

### (4) 後処理装置

後処理装置は、分析後の放射性物質を含む試料溶液を燃料調製設備等へ移送するまでの間、一時的に貯留しておく貯槽類から構成されている。

日常点検及び月例点検により後処理装置の性能の維持管理を行った。また、メーカーによる後処理装置計装盤の点検校正（シーケンスの点検・動作確認等）を実施した。

### (5) グローブボックス

分析室（I）に 17 基、分析室（II）に 3 基、分析室（III）に 1 基、分析室（IV）に 2 基の計 23 基のグローブボックスがあり、グローブボックス内には主要な分析機器が設置されている。作業開始前及び終了後にグローブボックス内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  $-0.2 \sim -0.4 \text{ kPa}$  の常用範囲、温度に関して指示値が  $60^\circ\text{C}$  未満にあることを確認している。また、毎月の月例点検で警報設備の作動試験を実施した。

グローブボックスのグローブ及びビニールバッグの汚染検査は、日常の分析作業の開始前及び終了後に汚染検査を行っており、ピンホールの有無、劣化によるひび割れ等は、毎月の月例点検により確認している。

また、BECKY 施設定期自主検査及び自主的な検査として、グローブボックス用計器（圧力指示計等）及びグローブボックス警報盤の点検校正、負圧計の作動試験、グローブボックスの気密検査を実施し、機器が正常に動作すること、RI を使用するグローブボックスの漏洩率が  $0.1 \text{ vol\%}/\text{h}$  以下であることを確認した。

### (6) フード

分析室（I）に 3 基、分析室（II）に 2 基の計 5 基のフードがあり、試料の分取、保管、前処理及び後処理等に使用している。約 3 ヶ月に 1 度の割合で、フード前作業エリアのビニール養生の交換を行い、必要に応じてフード内を養生しているビニールの交換を行った。

さらに、全フードについてフードの前面扉を  $1/2$  開口した時の風速が、 $0.5 \text{ m/s}$  以上であることを毎月の月例点検により確認した。また、メーカーによるフード用電源設備の点検校正（マノスターゲージの校正・調整等）を実施した。

#### 4.2 廃棄物の発生量

平成 19 年度に分析業務で発生した  $\beta \cdot \gamma$  固体廃棄物の引渡量は、可燃物（赤カートンボックス）が 126 個、フード用フィルタが 1 個であった。四半期毎の  $\beta \cdot \gamma$  固体廃棄物引渡量を表 11 に示す。また、ウラン濃度分析作業により発生する分析廃液は、主にリン酸、硫酸及び鉄等を多量に含有しているものであり、水酸化ナトリウムで中和し、生成した沈殿物をろ別した後、沈殿物をセメントで固化し、上澄み液については蒸発濃縮処理を行い、残渣をセメント固化している。

平成 20 年 1 月～平成 20 年 3 月に中和処理作業とセメント固化作業及び中和作業で発生した上澄み液の濃縮作業を実施した。中和処理を行った液体廃棄物量は約 20ℓ であった。また、平成 18 年度に発生した中和処理済み廃液約 80ℓ、上澄み液約 70ℓ も合わせて処理した。発生したセメント固化体（3ℓ ポリ瓶）は約 30 本、上澄み液は約 100ℓ であった。上澄み液の濃縮作業は平成 20 年度も引き続き実施する予定である。

平成 19 年度も前年度に引き続き、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。また、液体廃棄物は、前年度よりも少ない量であった。

### 5. 分析設備の整備

前処理装置用グローブボックスには、試料瓶開封機、密度計、希釀装置、分析用天秤、分析残液を一時貯留するための貯槽及び密度計・天秤データ収集装置から成る前処理装置が整備されている。密度計・天秤データ収集装置の制御部は、グローブボックス外にありデータ信号を転送または受信することが可能となっている。

前処理装置用グローブボックス内に整備している分析用天秤は電磁式であり、被計量物の重量を電磁力で釣り合わせる復元力を監視し、その時の電流の大きさで荷重、すなわち被計量物の重量を量るものである。従って精密な秤量をするためには、天秤周囲の気流や対流、被計量物の密度や温度、空気温度、乾燥度、静電気等に注意が必要である。特に静電気の影響は、静電気による吸引力や反発力で測定誤差が生じたり、測定数値が不安定になる。この静電気の影響は、予想以上に大きいこともあり、無視できない。そのため分析設備では、分析用天秤による秤量操作において、除電器を使用すると共に、静電気をシールドするためにステンレス製容器に秤量容器を入れて操作し静電気への対策を講じている。

今年度は、除電範囲が広い除電器を備えた分析用天秤に更新した。またこの更新により密度計・天秤データ収集装置との通信に係る互換性が取れなくなったため、天秤データを確実に処理できるように密度計・天秤データ収集装置のソフトウェアの改造を行った。これらの更新、改造に伴い、分析試料の秤量を安定かつ迅速に実施できるようにし、データ転送による分析作業の効率化を図った。

## 6. あとがき

平成 19 年度に実施した STACY、TRACY 及び燃料調製設備等の試験・運転に係わる試料分析、分析法の検討、分析設備の運転・保守・管理等の実績をまとめた。燃料調製設備においては平成 20 年度以降も硝酸ウラニル溶液燃料の精製運転等が予定されており、分析作業量は例年と同程度で推移すると予想される。これらの業務を確実に遂行するために、次年度以降も引き続き技術の継承、分析の品質管理及び設備の保守・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いたします。

## 参考文献

- 1) 宮内正勝, 他 : JAERI-Tech 96-007, "NUCEF 分析設備" (1996).
- 2) K.Motojima, K.Izawa, : "Anal.Chem.", 36, PP.733-735(1964).
- 3) ISO 7097-1 : "Nuclear fuel technology - Determination of uranium in solutions, uranium hexafluoride and solids - part1 : Iron(II) reduction/potassium dichromate oxidation titrimetric method", ISO, Geneva(2004).
- 4) M.Anwar, D.Mohammad : "Potentiometric determination of free acidity and uranium in uranyl nitrate solutions", Journal of radioanalytical and nuclear chemistry, Vol.134, No.1(1989)PP.45-51.
- 5) 岡本久人, 他 : 私信(1993).

表1 分析項目別の分析方法一覧

| 分析項目   | 要求精度                |        | 濃度範囲                | 分析方法                  | 分析装置                      |
|--------|---------------------|--------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
|        | 実験解析分析              | 工程管理分析 |                     |                       |                           |
| ウラン濃度  | ±0.05%              | ±0.05% | ～3g/cm <sup>3</sup> | 固有振動型密度計による密度測定法      | 固有振動型密度計                  |
|        | ±0.3%               | —      | ±0.3%               | 同位体希釈質量分析法 (IDMS)     | 表面電離型質量分析装置               |
|        | —                   | ±5%    | —                   | 硫酸アンモニウム添加一アルカリ中和滴定法  | 自動電位差滴定装置                 |
|        | ±0.3%               | ±5%    | 数mg/L～数100mg/L      | 鉄(II)還元ニクロム酸カリウム酸化滴定法 | 自動電位差滴定装置                 |
| 硝酸濃度   | —                   | ±10%   | —                   | アルセナジ染色－紫外・可視分光光度法    | 紫外可視分光光度計                 |
|        | ±3%                 | ±5%    | —                   | 中和滴定法                 | 自動電位差滴定装置                 |
|        | —                   | ±5%    | —                   | 硫酸アンモニウム添加一アルカリ中和滴定法  | 自動電位差滴定装置                 |
|        | —                   | ±10%   | —                   | 数10mg/L～数1000mg/L     | 赤外分光光度計                   |
| DBP濃度  | —                   | ±5%    | —                   | 酸平衡一アルカリ滴定法           | 自動電位差滴定装置                 |
|        | —                   | ±20%   | —                   | 分光光度法 (溶媒抽出法)         | 赤外分光光度計                   |
|        | 不純物元素濃度             | ±10%   | ±10%                | 酸平衡一アルカリ滴定法           | ICP発光分光分析装置               |
|        | S <sub>m</sub> , Eu | ±1%    | ±10%                | 分光光度法 (溶媒抽出法)         | ICP発光分光分析装置               |
| 模擬FP濃度 | Cs                  | ±5%    | ±10%                | ICP発光分光分析法            | ICP発光分光分析装置またはICP発光分光分析装置 |
|        | Rh                  | ±5%    | ±10%                | IDMSまたはICP発光分光分析法     | イオンクロマトグラフ                |
|        | 核分裂生成物              | ±5%    | ±5%                 | ICP発光分光分析法            | ICP発光分光分析装置               |
|        | 同位体組成               | ±0.1%  | ±0.1%               | γ線スペクトロメトリ            | γ線スペクトロメータ                |
| 全 γ    | ±10%                | ±10%   | —                   | 質量分析法                 | 表面電離型質量分析装置               |
|        | —                   | —      | 1Bq/mL～             | 全γ分析法                 | NaI(Tl)シンレーショントカゲ装置       |
|        | —                   | —      | —                   | 同位体希釈質量分析法 (IDMS)     | 表面電離型質量分析装置               |
|        | ブルトニウム濃度            | ±0.3%  | ±5%                 | Ce(IV)添加一紫外・可視分光光度法   | 紫外可視分光光度計                 |
| α核種    | ±10%                | ±10%   | —                   | γ線スペクトロメトリ            | γ線スペクトロメータ                |
|        | —                   | —      | 10mg/L～             | —                     | 2πガスフローカウンタ               |
|        | アメリシウム濃度            | ±5%    | ±5%                 | —                     | α線スペクトロメトリ                |
|        | ネプツニウム濃度            | ±10%   | ±20%                | —                     | γ線スペクトロメータ                |
|        | —                   | —      | 1mg/L～              | —                     | α線スペクトロメータ                |
|        | —                   | —      | 1mg/L～              | —                     | γ線スペクトロメータ                |
|        | —                   | —      | 1mg/L～              | —                     | γ線スペクトロメータ                |

表2 依頼分析計画及びその実施結果

| 分析依頼元                 | 依頼目的                  | 試料採取期間                | 予定試料数(本)   | 分析項目                                       | 受入試料数 | 実施試料数                  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|--|-------|------------------------|
| TRACY                 | 定期検査に伴う運転等            | 平成19年4月4日～平成20年3月31日  | 60   | 密度、硝酸、ウラン、同位体組成、不純物、 $\gamma$ 放射性核種        | 13    | 13<br>(うち、1件の同位体のみ未実施) |
| STACY                 | 実験解析等                 | 平成19年4月13日～平成20年3月31日 | 80   | 密度、硝酸、ウラン、同位体組成、不純物、 $\gamma$ 放射性核種、TBP、毒物 | 19    | 19                     |
| 廃液処理                  | 平成19年4月3日～平成20年3月31日  | 30                    | 密度、硝酸、ウラン、同位体組成、Gross- $\beta$ 放射能、Gross- $\gamma$ 放射能、不純物、TBP、DBP | 4  | 4     |                        |
| プロセス冷却水、蒸気(環水)の監視     | 平成19年4月23日～平成20年3月31日 | 24                    | Gross- $\beta$ 放射能、Gross- $\gamma$ 放射能                             | 22   | 22    |                        |
| U濃縮缶運転                | 平成19年4月23日～平成20年3月31日 | 20                    | 密度、硝酸、ウラン、不純物、TBP  | 15   | 15    |                        |
| 精製運転                  | 平成19年5月10日～平成19年12月7日 | 100                   | 密度、硝酸、ウラン、不純物、Gross- $\beta$ 放射能、Gross- $\gamma$ 放射能、TBP、DBP       | 53   | 53    |                        |
| 燃料点検、PTI/PIV          | 平成19年8月21日～平成19年12月7日 | 15                    | 硝酸、ウラン、同位体組成、不純物   | 16   | 16    |                        |
| 洗浄塔の洗浄液を蒸発缶給液槽に送液するため | 平成20年1月11日～平成20年3月31日 | 1                     | 硝酸、ウラン、TBP、Gross- $\gamma$ 放射能、pH                                  | 1  | 1     |                        |
| その他                   |                       |                       |  |  |       |                        |

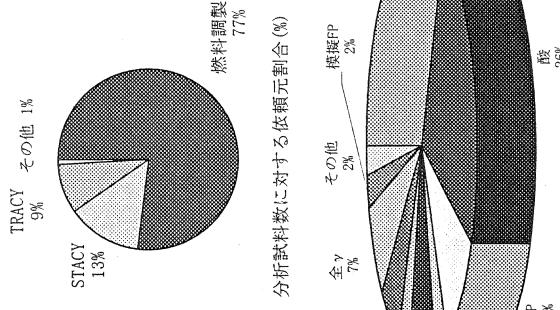
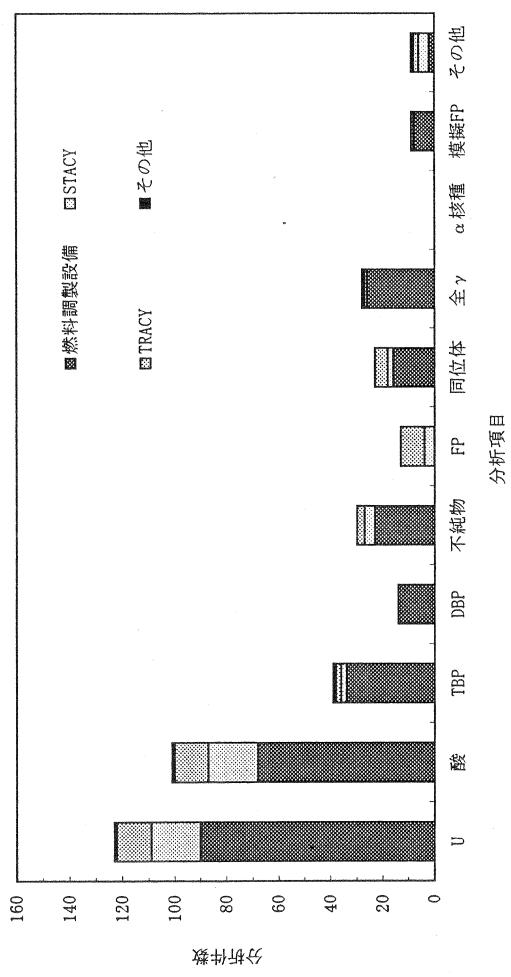
注) 平成19年度に発生した原子力科学研究所における非管理区域の汚染に伴って実施した安全確認点検調査及びその是正措置により、STACY、TRACY及び燃料調製設備では平成19年度計画に従った実験・運動を実施できなかつた。このため、当初予定していた試料数に対し、受入試料数は大幅に減少している。

表3 平成19年度試料分析実績

分析項目略記号

| 依頼元    | 総分析試料数 | 分析件数 |     |     |     |     |    |     | その他 |
|--------|--------|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
|        |        | U    | 酸   | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 |     |
| 燃料調製設備 | 110    | 90   | 68  | 34  | 14  | 23  | 0  | 16  | 26  |
| STACY  | 19     | 19   | 2   | 0   | 4   | 4   | 2  | 1   | 0   |
| TRACY  | 13     | 13   | 2   | 0   | 3   | 9   | 5  | 0   | 0   |
| その他    | 1      | 1    | 1   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   |
| 計      | 143    | 123  | 101 | 39  | 14  | 30  | 13 | 23  | 28  |
|        |        |      |     |     |     |     |    |     | 0   |
|        |        |      |     |     |     |     |    |     | 9   |
|        |        |      |     |     |     |     |    |     | 389 |

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| U           | ウラン濃度分析            |
| 酸           | 硝酸濃度分析             |
| TBP         | TBP濃度分析            |
| DBP         | DBP濃度分析            |
| 不純物         | 不純物元素分析            |
| FP          | $\gamma$ 核種分析      |
| 同位体         | 同位体組成分析            |
| 全 $\gamma$  | $\gamma$ 放射能測定     |
| $\alpha$ 核種 | Pu, Am, Np等の分析     |
| 模擬FP        | Sm, Cs, Rh, Eu濃度分析 |
| その他         | 上記以外の分析            |



分析総数に対する分析項目割合(%)

分析項目毎の分析件数

表4 STACY燃料の分析結果

| 試料番号    | 測定日       | 分析室温度 <sup>*1</sup><br>(°C) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ウラン濃度 <sup>*2</sup><br>(g/L) | 硝酸濃度 <sup>*2</sup><br>(N) | 模擬FP濃度 (mg/L) |    |    |    | Gd<br>(mg/L) | 試料採取場所      |
|---------|-----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------|----|----|----|--------------|-------------|
|         |           |                             |                            |                              |                           | Sm            | Cs | Rh | Eu |              |             |
| 001~007 | H19.4.16  | 22.3                        | 0.9979±0.0005              | 0.520±0.05                   | 0.01±0.01                 | <5            | <5 | <5 | <5 | <5           | STACYダンプ槽IB |
| 008~010 | H19.5.10  | 24.1                        | 1.4309±0.0007              | 287.4±0.4                    | 1.46±0.02                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 011~012 | H19.5.15  | 23.5                        | 1.4308±0.0007              | 287.7±0.4                    | 1.44±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 013~014 | H19.5.18  | 23.8                        | 1.4312±0.0007              | 287.6±0.1                    | 1.44±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 015~016 | H19.5.23  | 24.0                        | 1.4316±0.0007              | 287.8±0.1                    | 1.44±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 017~018 | H19.6.5   | 23.8                        | 1.4323±0.0007              | 288.5±0.4                    | 1.45±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 022~024 | H19.6.12  | 24.5                        | 1.4332±0.0007              | 288.5±0.1                    | 1.44±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 025~026 | H19.6.18  | 24.9                        | 1.4341±0.0007              | 289.2±0.3                    | 1.47±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 027~028 | H19.6.27  | 24.4                        | 1.4353±0.0007              | 290.5±0.6                    | 1.46±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 029~030 | H19.6.27  | 24.4                        | 1.3831±0.0007              | 252.0±0.7                    | 1.45±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 031~032 | H19.7.3   | 24.3                        | 1.3837±0.0007              | 252.0±0.7                    | 1.44±0.02                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 033~034 | H19.7.10  | 24.3                        | 1.3846±0.0007              | 252.0±0.3                    | 1.47±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 035~036 | H19.8.24  | 24.3                        | 1.3869±0.0007              | 253.6±0.3                    | 1.48±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 039~040 | H19.9.13  | 24.6                        | 1.3877±0.0007              | 254.1±0.4                    | 1.47±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 041~042 | H19.11.6  | 22.7                        | 1.3903±0.0007              | 255.1±0.5                    | 1.49±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 043~044 | H19.11.28 | 23.0                        | 1.3922±0.0007              | 256.5±0.1                    | 1.48±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 045~047 | H19.11.29 | 23.0                        | 1.0019±0.0005              | 2.4±0.2                      | 0.04±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |
| 048~052 | H20.3.31  | 22.9                        | 1.0026±0.0005              | 2.9±0.1                      | 0.05±0.01                 | —             | —  | —  | —  | —            | STACYダンプ槽IB |

\*1 : 9/13までは分析室（I）、それ以降は分析室（II）で測定。

\*2 : ウラン濃度及び硝酸濃度の分析精度は、希釈試料を5回繰り返し測定した標準偏差を記載している。

表5 TRACY燃料の分析結果

| 試料番号  | 測定日      | 分析室温度 <sup>*1</sup><br>(°C) | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ウラン濃度 <sup>*2</sup><br>(g/L) | 硝酸濃度 <sup>*2</sup><br>(N) | 試料採取場所         |
|-------|----------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------|
| 60~64 | H19.4.12 | 22.5                        | 1.0435±0.0005              | 29.4±0.1                     | 0.19±0.01                 | TRACYダンプ槽III B |
| 65~69 | H19.4.12 | 22.5                        | 1.0304±0.0005              | 375.2±0.4                    | 0.56±0.01                 | TRACY減衰槽B      |
| 70~72 | H19.4.18 | 22.0                        | 1.5157±0.0007              | 375.1±0.8                    | 0.54±0.02                 | TRACYダンプ槽III A |
| 73~74 | H19.4.27 | 22.8                        | 1.5131±0.0007              | 375.2±0.3                    | 0.55±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 75~76 | H19.5.15 | 23.5                        | 1.5131±0.0007              | 372.4±1.0                    | 0.49±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 77~78 | H19.6.5  | 23.8                        | 1.5133±0.0007              | 371.9±0.3                    | 0.49±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 79~80 | H19.6.18 | 24.9                        | 1.5130±0.0007              | 371.9±1.0                    | 0.50±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 81~82 | H19.6.27 | 24.4                        | 1.5136±0.0007              | 371.4±0.2                    | 0.50±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 83~84 | H19.7.2  | 24.3                        | 1.5139±0.0007              | 372.0±0.2                    | 0.49±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 85~86 | H19.7.17 | 24.5                        | 1.5137±0.0007              | 371.7±0.2                    | 0.50±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 87~88 | H19.9.14 | 24.3                        | 1.5136±0.0007              | 372.0±0.5                    | 0.50±0.01                 | TRACYダンプ槽III A |
| 89~91 | H19.11.2 | 24.2                        | 1.0440±0.0005              | 29.7±0.1                     | 0.19±0.01                 | TRACYダンプ槽III B |
| 92~96 | H20.3.31 | 22.9                        | 1.0519±0.0005              | 35.3±0.1                     | 0.20±0.01                 | TRACYダンプ槽III B |

\*1 : 9/14までは分析室（I）、それ以降は分析室（II）で測定。

\*2 : ウラン濃度及び硝酸濃度の分析精度は、希釈試料を5回繰り返し測定した標準偏差を記載している。

表6 平成19年度第1四半期試料分析実績

分析項目略記号

| 依頼元    | 分析試料数 | 分析件数 |    |     |     |     |    |     |    |     | 分析総数 |
|--------|-------|------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|------|
|        |       | U    | 酸  | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 | 全γ | α核種 |      |
| 燃料調製設備 | 43    | 38   | 31 | 17  | 12  | 6   | 0  | 0   | 6  | 0   | 4    |
| STACY  | 10    | 10   | 10 | 0   | 0   | 3   | 4  | 1   | 0  | 0   | 1    |
| TRACY  | 8     | 8    | 8  | 2   | 0   | 3   | 8  | 3   | 0  | 0   | 2    |
| その他    | 0     | 0    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 31   |
| 計      | 61    | 56   | 49 | 19  | 12  | 12  | 12 | 4   | 6  | 0   | 115  |

| 分析項目略記号            | U | 酸 | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 | 全γ | α核種 | 模擬FP | その他 |
|--------------------|---|---|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|------|-----|
| ウラン濃度分析            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 硝酸濃度分析             |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| TBP濃度分析            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| DBP濃度分析            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 不純物元素分析            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| γ核種分析              |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 同位体組成分析            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 同位体                |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 全γ放射能測定            |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| α核種                |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| Pu, Am, Np等の分析     |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| 模擬FP               |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| Sm, Cs, Rh, Eu濃度分析 |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |
| その他                |   |   |     |     |     |    |     |    |     |      |     |

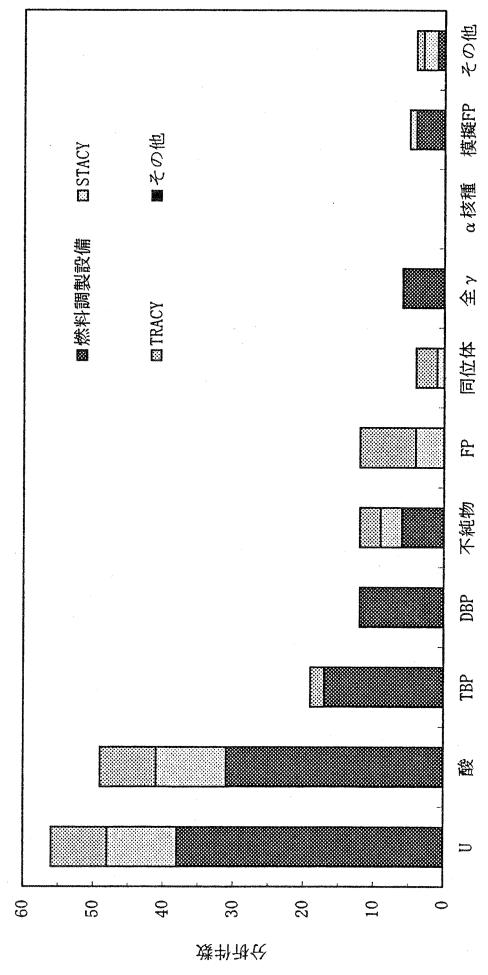


表7 平成19年度第2四半期試料分析実績

## 分析項目略記号

| 依頼元    | 分析試料数 | 分析件数 |    |     |     |     |    |     |            |             |      | その他 | 分析総数 |
|--------|-------|------|----|-----|-----|-----|----|-----|------------|-------------|------|-----|------|
|        |       | U    | 酸  | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 | 全 $\gamma$ | $\alpha$ 核種 | 模擬FP |     |      |
| 燃料調製設備 | 31    | 26   | 20 | 11  | 1   | 6   | 0  | 11  | 4          | 0           | 1    | 1   | 81   |
| STACY  | 4     | 4    | 4  | 0   | 0   | 1   | 0  | 1   | 0          | 0           | 0    | 0   | 10   |
| TRACY  | 3     | 3    | 3  | 0   | 0   | 0   | 1  | 1   | 0          | 0           | 0    | 0   | 8    |
| その他    | 0     | 0    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0          | 0           | 0    | 0   | 0    |
| 計      | 38    | 33   | 27 | 11  | 1   | 7   | 1  | 13  | 4          | 0           | 1    | 1   | 99   |

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| U           | ウラン濃度分析            |
| 酸           | 硝酸濃度分析             |
| TBP         | TBP濃度分析            |
| DBP         | DBP濃度分析            |
| 不純物         | 不純物元素分析            |
| FP          | $\gamma$ 核種分析      |
| 同位体         | 同位体組成分析            |
| 全 $\gamma$  | 全 $\gamma$ 放射能測定   |
| $\alpha$ 核種 | Pu, Am, Np等の分析     |
| 模擬FP        | Sm, Cs, Rh, Eu濃度分析 |
| その他         | 上記以外の分析            |

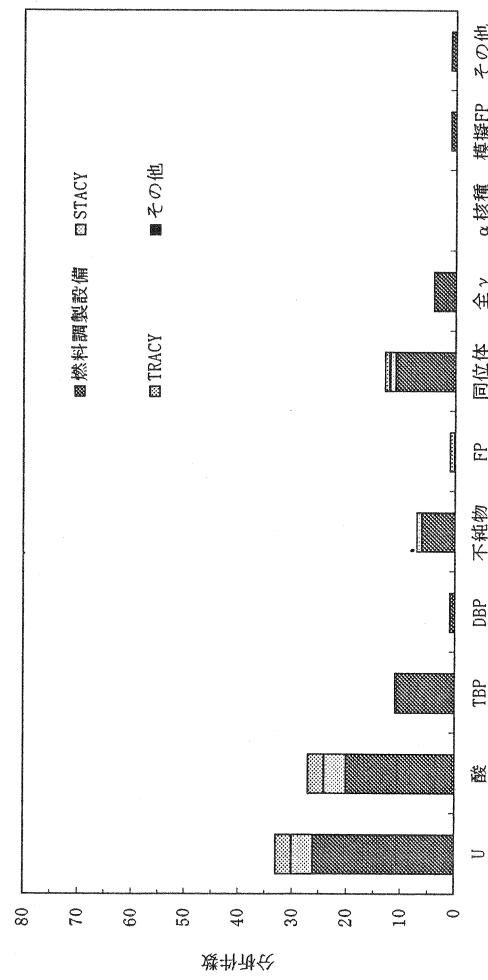


表8 平成19年度第3四半期試料分析実績

分析項目略記号

| 依頼元    | 分析試料数 | 分析件数 |    |     |     |     |    |     |    |     | その他 | 分析総数 |
|--------|-------|------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|-----|------|
|        |       | U    | 酸  | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 | 全γ | α核種 |     |      |
| 燃料調製設備 | 30    | 26   | 17 | 6   | 1   | 11  | 0  | 5   | 10 | 0   | 3   | 79   |
| STACY  | 3     | 3    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 6    |
| TRACY  | 1     | 1    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 2    |
| その他    | 0     | 0    | 0  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0  | 0   | 0   | 0    |
| 計      | 34    | 30   | 21 | 6   | 1   | 11  | 0  | 5   | 10 | 0   | 3   | 87   |

|      |                    |
|------|--------------------|
| U    | ウラン濃度分析            |
| 酸    | 硝酸濃度分析             |
| TBP  | TBP濃度分析            |
| DBP  | DBP濃度分析            |
| 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            |
| α核種  | Pu, Am, Np等の分析     |
| 複凝FP | Sm, Cs, Rh, Eu濃度分析 |
| その他  | 上記以外の分析            |

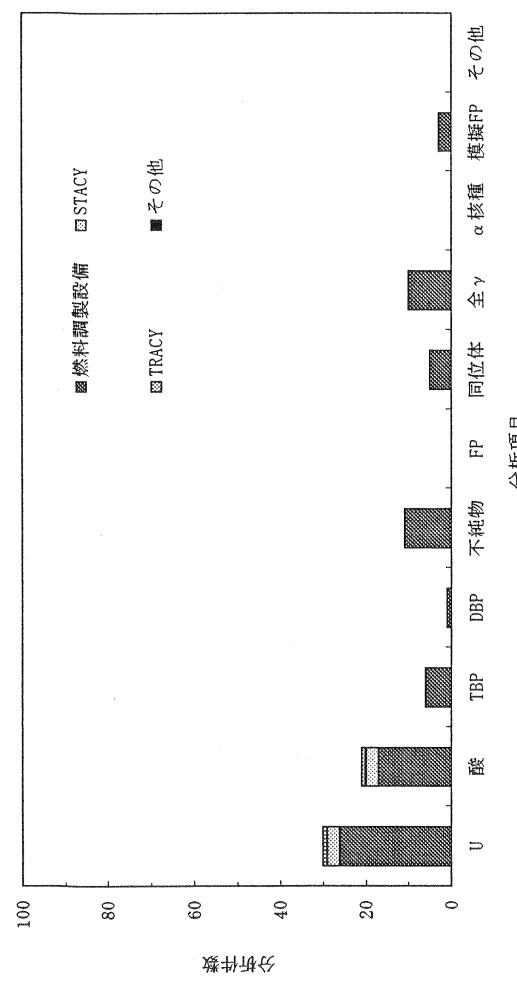


表9 平成19年度第4四半期試料分析実績

## 分析項目略記号

| 依頼元    | 分析試料数 | 分析件数 |   |     |     |     |    |     |            |             | 分析総数 |
|--------|-------|------|---|-----|-----|-----|----|-----|------------|-------------|------|
|        |       | U    | 酸 | TBP | DBP | 不純物 | FP | 同位体 | 全 $\gamma$ | $\alpha$ 核種 |      |
| 燃料調製設備 | 6     | 0    | 0 | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 6          | 0           | 6    |
| STACY  | 2     | 2    | 2 | 2   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0          | 0           | 9    |
| TRACY  | 1     | 1    | 1 | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0          | 0           | 4    |
| その他    | 1     | 1    | 1 | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1          | 0           | 5    |
| 計      | 10    | 4    | 4 | 3   | 0   | 0   | 0  | 1   | 8          | 0           | 24   |

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| U           | ウラン濃度分析            |
| 酸           | 硝酸濃度分析             |
| TBP         | TBP濃度分析            |
| DBP         | DBP濃度分析            |
| 不純物         | 不純物元素分析            |
| FP          | $\gamma$ 核種分析      |
| 同位体         | 同位体組成分析            |
| 全 $\gamma$  | 全 $\gamma$ 放射能測定   |
| $\alpha$ 核種 | Pu, Am, Np等の分析     |
| 模擬FP        | Sm, Cs, Rh, Eu濃度分析 |
| その他         | 上記以外の分析            |

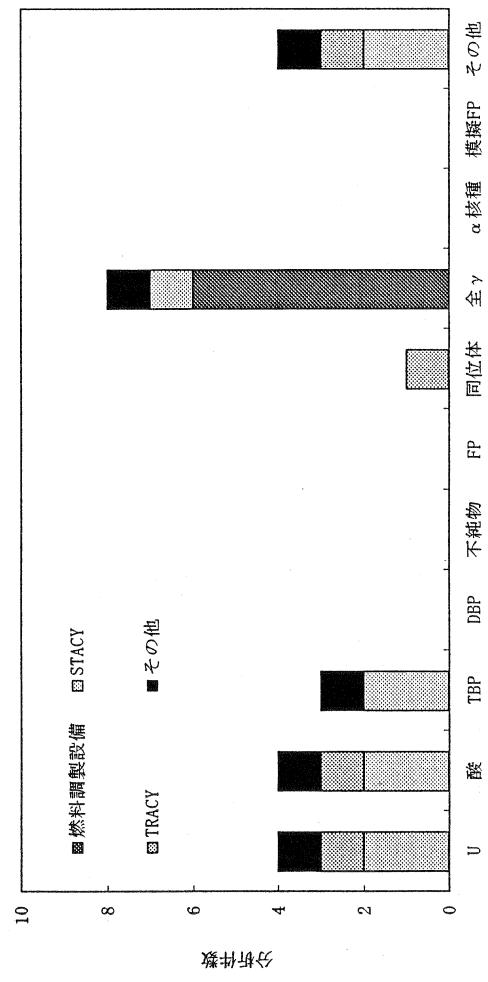
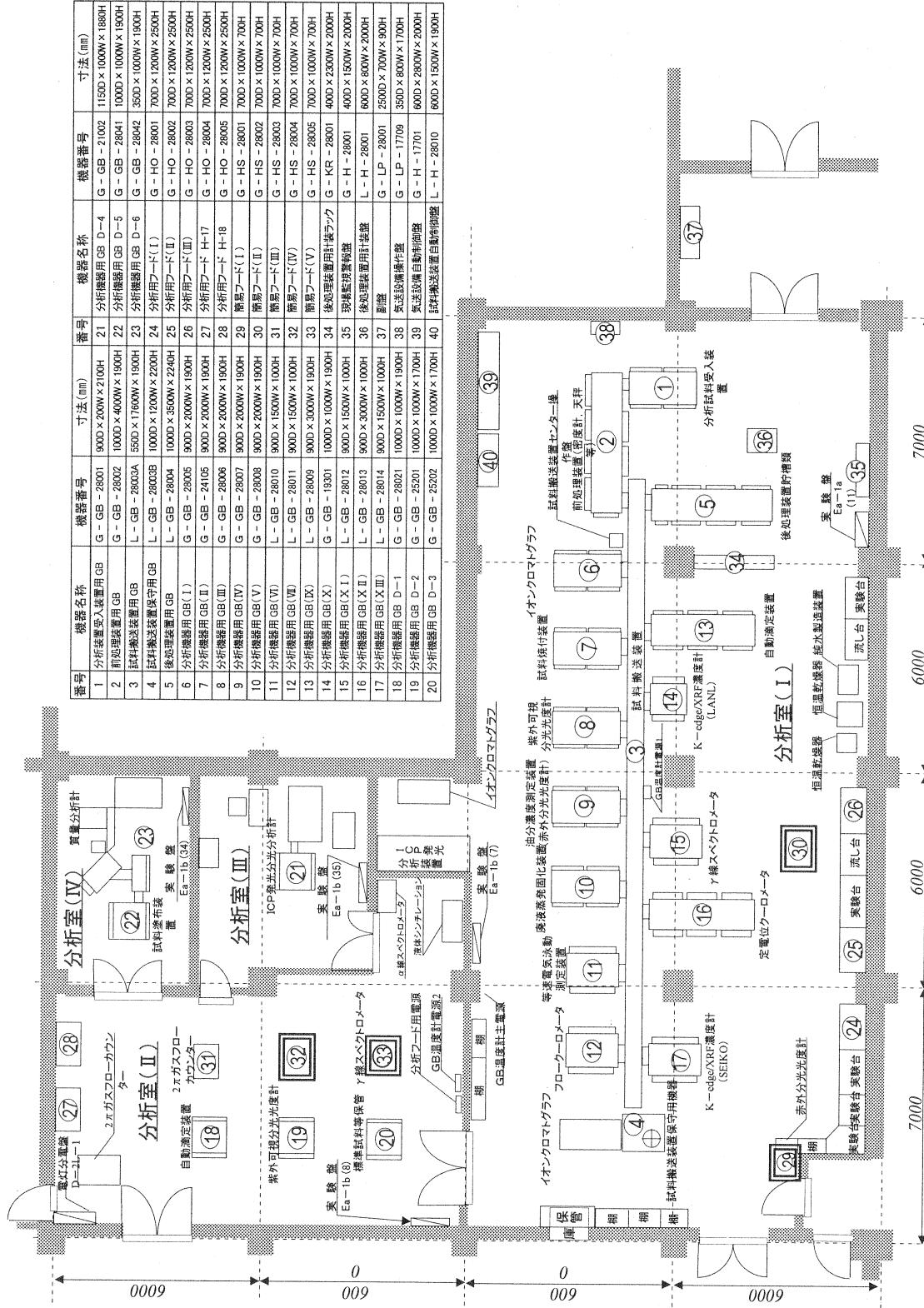


表10 平成19年度気送設備運転状況

| 系統     | 送信側        | 気送子番号  | 年間運転回数 |    |    |    |    |    |     |     |     |    |    |    | 走行距離 (km) |        |
|--------|------------|--------|--------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----------|--------|
|        |            |        | 4月     | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |           |        |
| 1      | 試薬供給室 (A)  | No. 6  | 0      | 1  | 0  | 1  | 0  | 3  | 0   | 3   | 1   | 0  | 0  | 0  | 1,980     |        |
| 2      | 実験室 (II)   | No. 0  | 0      | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0,504     |        |
| 3      | 燃取室 (V)    | No. 3  | 0      | 1  | 6  | 2  | 0  | 3  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 1,224     |        |
| 4      |            | No. 9  | 1      | 7  | 3  | 0  | 1  | 5  | 2   | 4   | 2   | 0  | 0  | 0  | 2,550     |        |
| 6      | TRACY      | No. 20 | 3      | 1  | 4  | 1  | 0  | 1  | 0   | 1   | 0   | 0  | 0  | 1  | 3,264     |        |
| 7      | STACY      | No. 10 | 1      | 6  | 3  | 2  | 1  | 1  | 0   | 3   | 0   | 0  | 0  | 1  | 4,536     |        |
| 8      | 燃取付属室 (VI) | No. 7  | 2      | 0  | 0  | 0  | 0  | 4  | 1   | 2   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0,540     |        |
| 月間運転回数 |            |        | 7      | 16 | 16 | 6  | 2  | 20 | 3   | 13  | 3   | 0  | 0  | 2  | 88        | 14,598 |

表11 平成19年度β・γ 固体廃棄物引渡量

| 種類   | 第1四半期 |    |    | 第2四半期 |    |    | 第3四半期 |   |   | 第4四半期 |    |    | 合計 |     |
|------|-------|----|----|-------|----|----|-------|---|---|-------|----|----|----|-----|
|      | 可燃物   | 49 | 29 | 24    | 24 | 24 | 0     | 0 | 0 | 1     | 25 | 25 | 0  | 126 |
| 不燃物  | 0     | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 1     | 1 | 1 | 1     | 0  | 0  | 1  | 0   |
| フイルタ | 0     | 0  | 0  | 0     | 0  | 0  | 1     | 1 | 1 | 1     | 1  | 1  | 1  | 1   |
| 合計   | 49    | 29 | 24 | 24    | 24 | 24 | 0     | 0 | 0 | 1     | 25 | 25 | 0  | 127 |



分析機器等配置圖

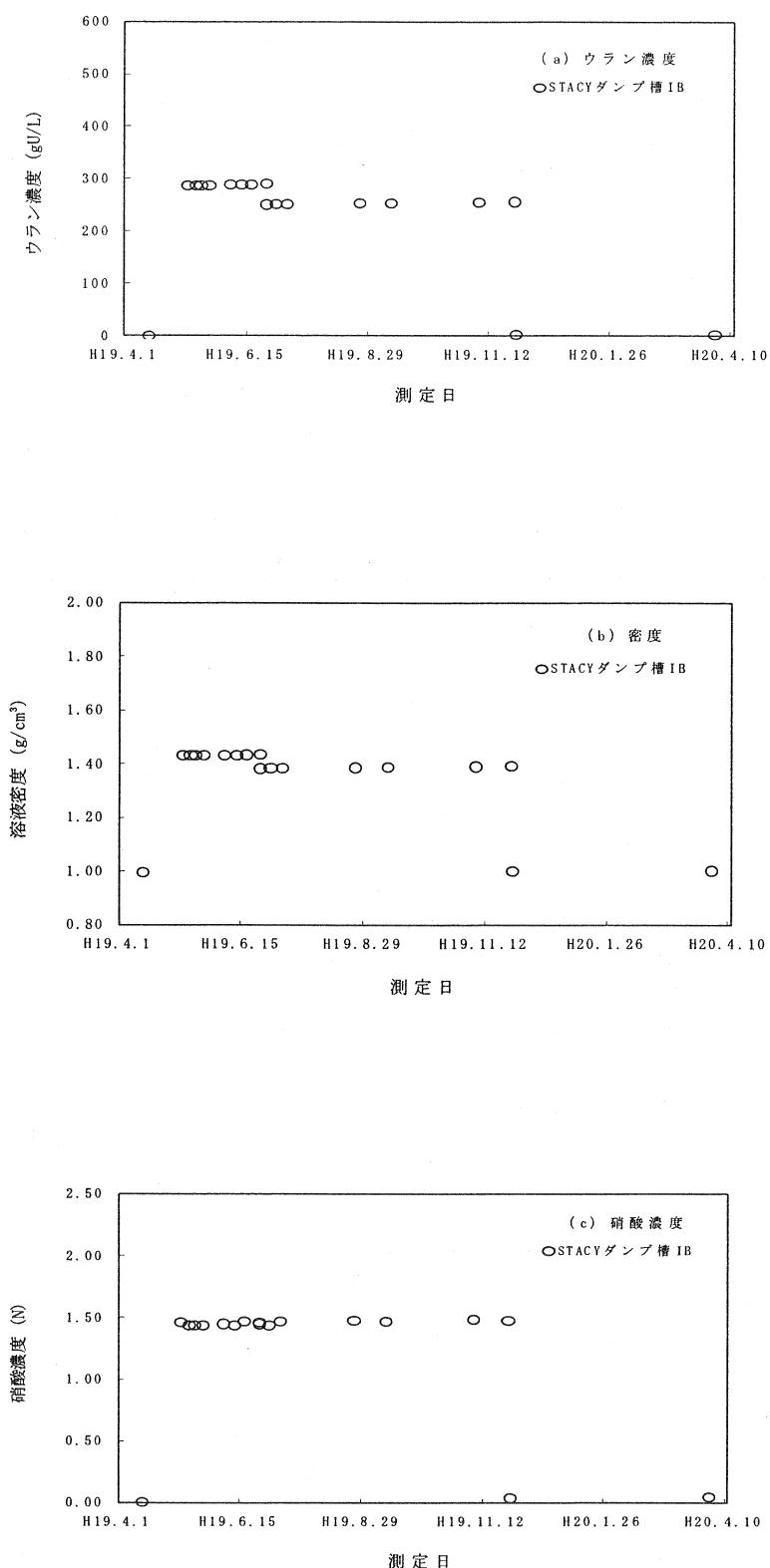


図2 STACY燃料分析結果

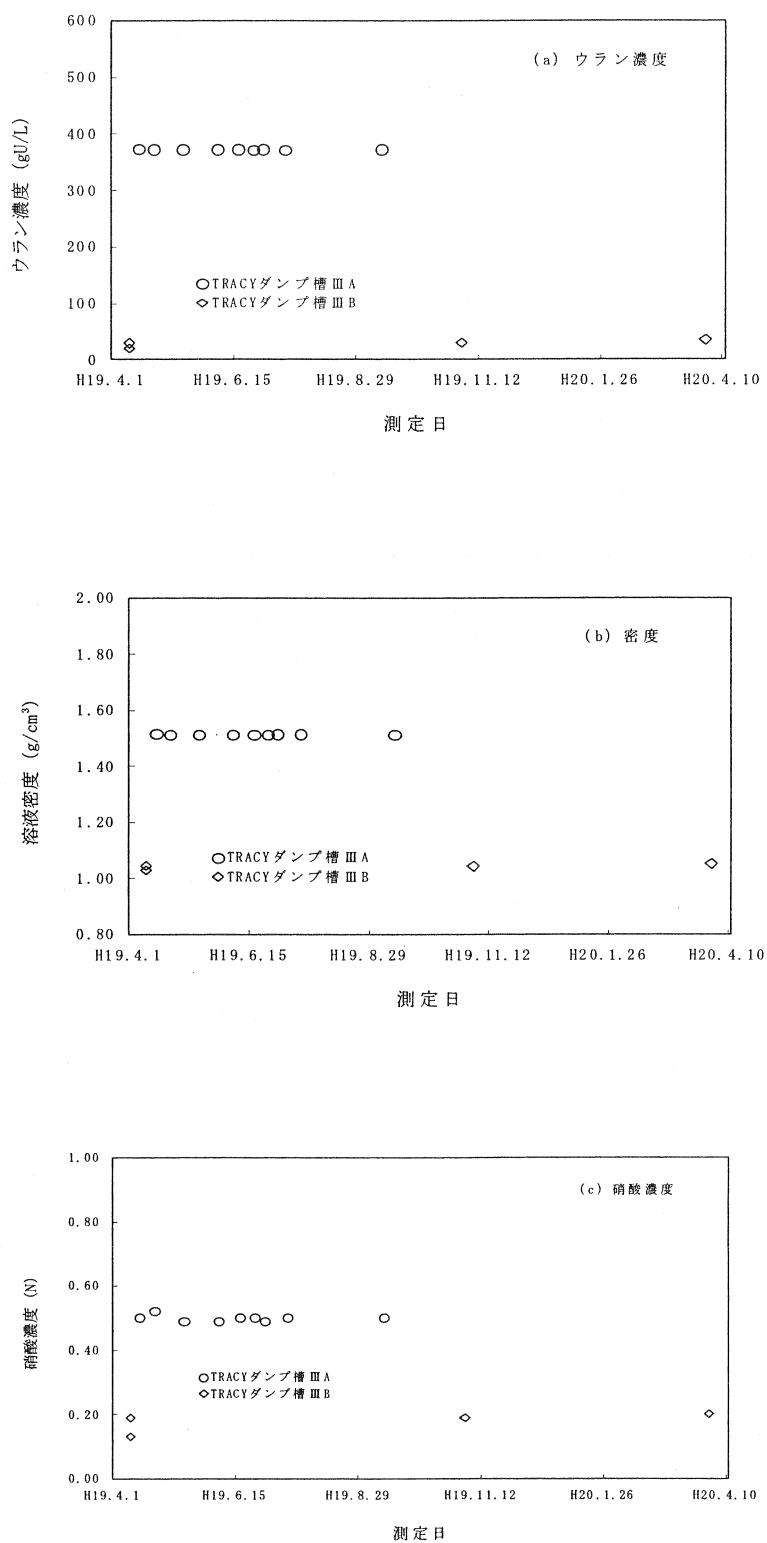


図 3 TRACY 燃料分析結果

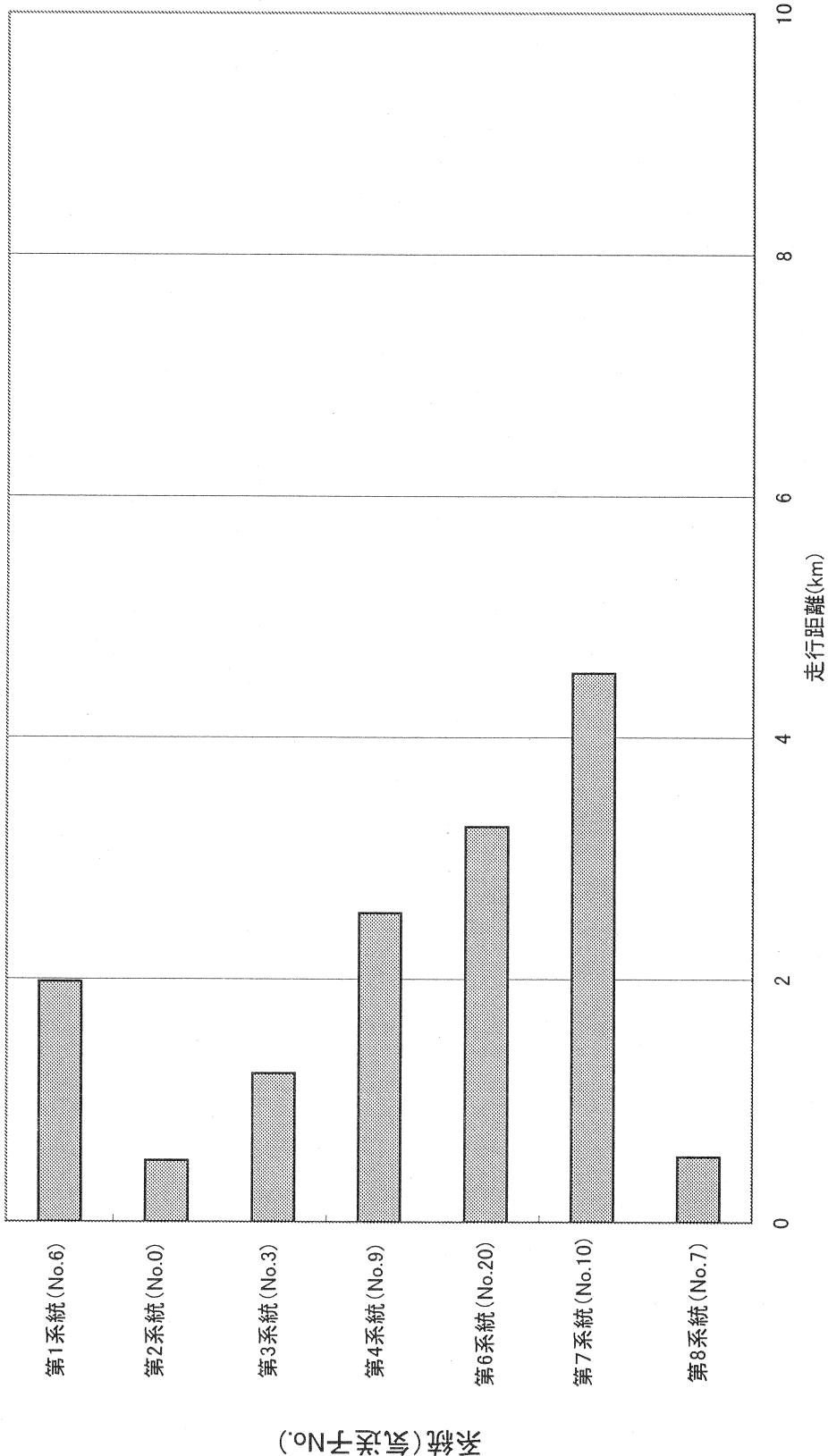


図4 気送系統毎の気送子走行距離

## 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A1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40%であり、分析機器運転及び試薬調製等分析操作に有効な環境に保たれていると考えられる。

### (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。分析設備では、次のようにして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。

ウラン作業用標準溶液（WSD）の調製日におけるウラン濃度（U<sub>A</sub>）及び試料の分析当日のウラン濃度（U<sub>B</sub>）の測定を自動電位差滴定装置で行う。U<sub>A</sub>とU<sub>B</sub>との誤差（ΔU）を式(1)で求め、ΔUが0.3%以下である場合は装置が安定していると判断する。平成19年度は図A2より自動電位差滴定装置が誤差の範囲で安定したことが分かる。

$$\Delta U = (U_B - U_A) / U_A \times 100 (\%) \quad \cdots (1)$$

### (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、ウラン濃度分析には二クロム酸カリウム溶液、硝酸濃度分析には水酸化ナトリウム溶液を滴定液として用いている。滴定液の濃度を正確に評価するため、二クロム酸カリウム溶液については金属ウラン標準試料JAERI-U4から調製したウラン濃度が既知の標準ウラン溶液、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、滴定液の調製の都度標定を行っている。表A1及び表A2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 二クロム酸カリウム標準溶液の標定結果

| 測定日        | 滴定装置  | 標準ウラン溶液U4による二クロム酸カリウム標準溶液の<br>標定結果 |                     |       |            |
|------------|-------|------------------------------------|---------------------|-------|------------|
|            |       | 標定値                                | 標準偏差 $\sigma_{n-1}$ | 変動係数  | 計算値との<br>差 |
|            |       | (N)                                | (N)                 | (%)   | (%)        |
| H19. 4. 10 | No. 5 | 0.03261                            | 0.00001             | 0.024 | 0.171      |
| H19. 6. 22 |       | 0.03272                            | 0.00004             | 0.128 | 0.150      |
| H19. 8. 23 |       | 0.03266                            | 0.00003             | 0.086 | 0.195      |
| H20. 4. 1  |       | 0.03259                            | 0.02100             | 0.155 | 0.172      |

表 A2 水酸化ナトリウム標準溶液の標定結果

| 測定日         | 滴定装置  | アミド硫酸による水酸化ナトリウムの標定結果 |                     |       |
|-------------|-------|-----------------------|---------------------|-------|
|             |       | 標定値                   | 標準偏差 $\sigma_{n-1}$ | 変動係数  |
|             |       | (N)                   | (N)                 | (%)   |
| H19. 4. 12  | No. 1 | 0.10972               | 0.0001              | 0.387 |
| H19. 5. 10  |       | 0.11018               | 0.0001              | 0.102 |
| H19. 6. 5   |       | 0.11043               | 0.0001              | 0.056 |
| H19. 6. 15  |       | 0.09520               | 0.0003              | 0.282 |
| H19. 7. 4   |       | 0.09580               | 0.0001              | 0.032 |
| H19. 7. 12  |       | 0.10964               | 0.0001              | 0.056 |
| H19. 8. 22  |       | 0.09808               | 0.0001              | 0.102 |
| H19. 9. 13  |       | 0.09828               | 0.0001              | 0.130 |
| H19. 10. 31 |       | 0.09862               | 0.0001              | 0.093 |
| H19. 12. 5  |       | 0.09612               | 0.0001              | 0.032 |
| H20. 3. 31  |       | 0.10142               | 0.0001              | 0.017 |
| H19. 4. 24  | No. 4 | 0.10612               | 0.0001              | 0.041 |
| H19. 6. 4   |       | 0.10646               | 0.0001              | 0.096 |
| H19. 6. 13  |       | 0.10869               | 0.0001              | 0.038 |
| H19. 10. 31 |       | 0.10912               | 0.0001              | 0.065 |
| H19. 11. 16 |       | 0.10941               | 0.0001              | 0.090 |

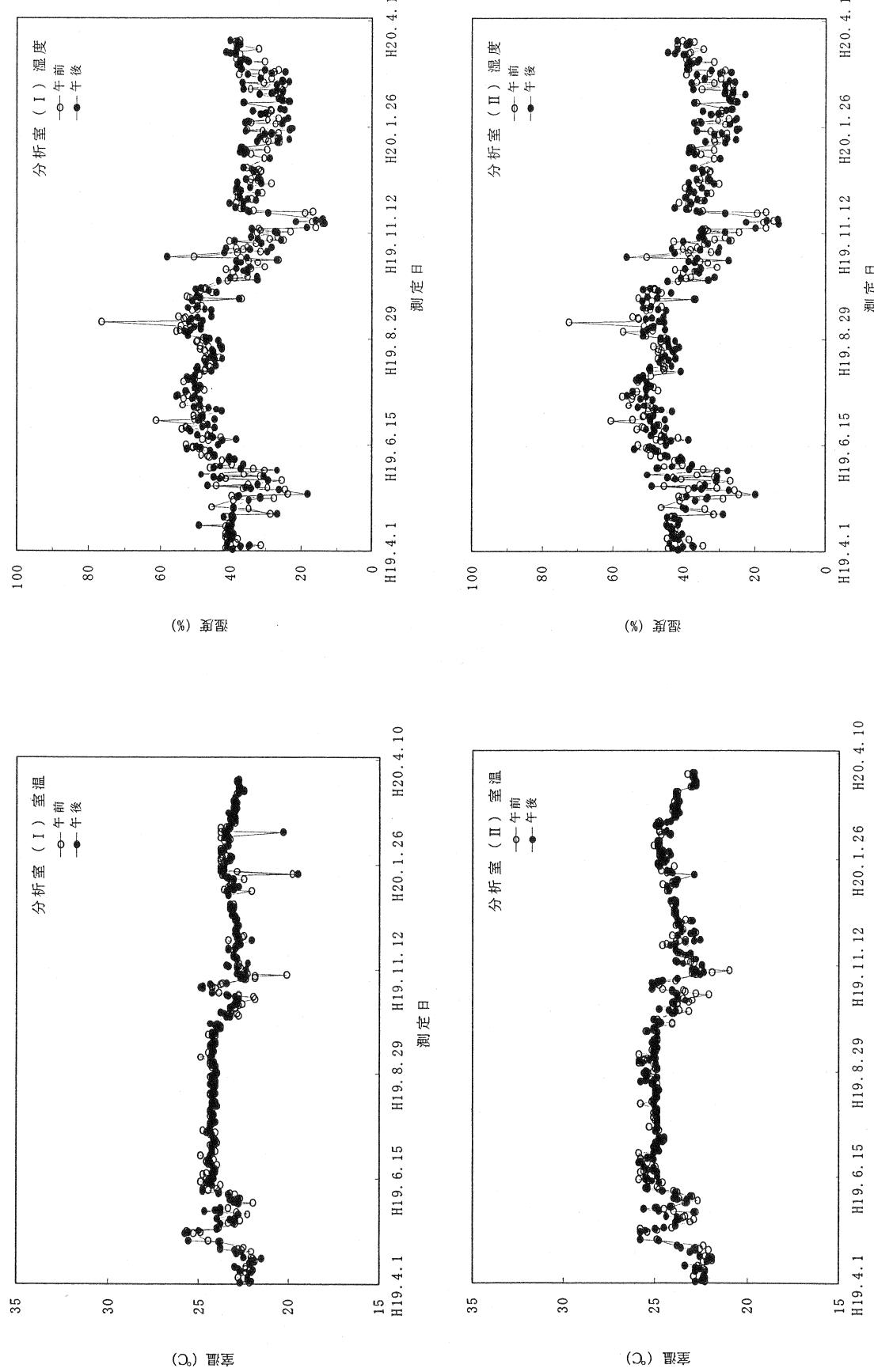
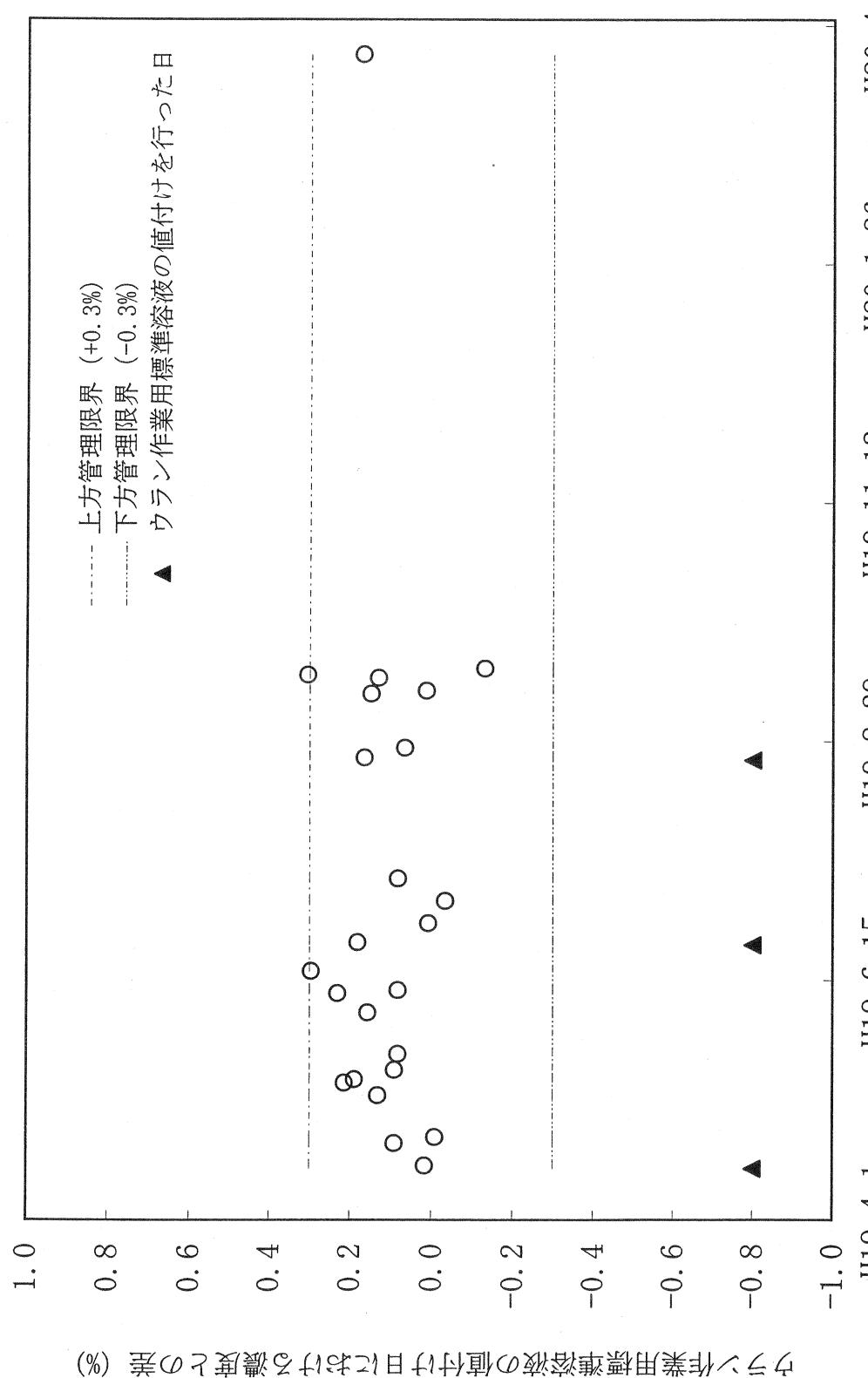


図 A1 分析室 (I) (II) の室温・湿度



図A2 ヴラン作業用標準溶液の分析結果

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

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

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量                                   | SI 基本単位      |           |
|---------------------------------------|--------------|-----------|
|                                       | 名称           | 記号        |
| 面積                                    | 平方メートル       | $m^2$     |
| 体積                                    | 立方メートル       | $m^3$     |
| 速度                                    | メートル毎秒       | $m/s$     |
| 加速                                    | メートル毎秒毎秒     | $m/s^2$   |
| 波数                                    | 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 <sup>(a)</sup> 、濃度 <sup>(b)</sup> | 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 <sup>(b)</sup>                    | (数字の) 1      | 1         |
| 比透磁率 <sup>(b)</sup>                   | (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            |
| 平面角                        | ラジアン <sup>(b)</sup>   | rad               | $1^{(b)}$               |
| 立体角                        | ステラジアン <sup>(b)</sup> | sr <sup>(c)</sup> | $1^{(b)}$               |
| 周波数                        | ヘルツ <sup>(d)</sup>    | Hz                | $m^2m^2/s^1$            |
| 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                 | $m^2\ kg\ s^2$          |
| 仕事率、工率、放射束                 | ワット                   | W                 | $m^2\ kg\ s^3$          |
| 電荷、電気量                     | クーロン                  | C                 | $sA$                    |
| 電位差(電圧)、起電力                | ボルト                   | V                 | $m^2\ kg\ s^{-3}A^{-1}$ |
| 静電容量                       | ファラード                 | F                 | $C/V$                   |
| 電気抵抗                       | オーム                   | $\Omega$          | $m^2\ kg\ s^{-3}A^{-2}$ |
| コンダクタンス                    | ジーメンス                 | S                 | $A/V$                   |
| 磁束密度                       | ウエーバー                 | Wb                | $m^2\ kg\ s^{-2}A^{-1}$ |
| 磁束密度                       | テスラ                   | T                 | $Wb/m^2$                |
| インダクタンス                    | ヘンリー                  | H                 | $Wb/A$                  |
| セルシウス度                     | セルシウス度 <sup>(e)</sup> | °C                | K                       |
| 光束度                        | ルーメン                  | lm                | cd sr <sup>(c)</sup>    |
| 照度                         | ルクス                   | lx                | $lm/m^2$                |
| 放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>   | ベクレル <sup>(d)</sup>   | Bq                | $s^{-1}$                |
| 吸収線量、比エネルギー一分率             | グレイ                   | Gy                | $J/kg$                  |
| カーマ                        |                       |                   | $m^2\ s^{-2}$           |
| 線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量 | シーベルト <sup>(g)</sup>  | Sv                | $J/kg$                  |
| 酸素活性                       | カタール                  | kat               | $m^2\ s^{-2}$           |

(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) 制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み、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、セルシウス度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。

(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量            | SI 組立単位           |                       |   |
|----------------|-------------------|-----------------------|---|
|                | 名称                | 記号                    | SI 基本単位による表し方                           |
| 粘度             | パスカル秒             | Pa s                  | $m^{-1}kg\ s^{-1}$                      |
| 力のモーメント        | ニュートンメートル         | N m                   | $m^2\ kg\ s^2$                          |
| 表面張力           | ニュートン每メートル        | N/m                   | $kg\ s^2$                               |
| 角速度            | ラジアン毎秒            | rad/s                 | $m^{-1}s^{-1}=s^{-1}$                   |
| 角加速度           | ラジアン毎秒毎秒          | rad/s <sup>2</sup>    | $m^{-1}s^{-2}=s^{-2}$                   |
| 熱流密度、放射照度      | ワット毎平方メートル        | W/m <sup>2</sup>      | $kg\ s^{-3}$                            |
| 熱容量、エンタルピー     | ジュール每ケルビン         | J/K                   | $m^2\ kg\ s^{-2}K^{-1}$                 |
| 比熱容量、比エンタルピー   | ジュール每キログラム毎ケルビン   | J/(kg K)              | $m^2\ s^{-2}K^{-1}$                     |
| 比エネルギー         | ジュール每キログラム        | J/kg                  | $m^2\ s^{-2}$                           |
| 熱伝導率           | ワット每メートル毎ケルビン     | W/(m K)               | $kg\ s^{-3}K^{-1}$                      |
| 体積エネルギー        | ジュール每立方メートル       | J/m <sup>3</sup>      | $m^{-1}kg\ s^2$                         |
| 電界の強さ          | ボルト每メートル          | V/m                   | $m\ kg\ s^3A^{-1}$                      |
| 電荷密度           | クーロン每立方メートル       | C/m <sup>3</sup>      | $m^{-3}sA$                              |
| 表面電荷密度         | クーロン每平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | $m^{-2}sA$                              |
| 電束密度、電気変位      | クーロン每平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | $m^{-2}sA$                              |
| 誘電率            | アラード每メートル         | F/m                   | $m^3\ kg^{-1}s^4A^2$                    |
| 透磁率            | ヘンリー每メートル         | H/m                   | $m\ kg\ s^2A^{-2}$                      |
| モルエネルギー        | ジュール每モル           | J/mol                 | $m^2\ kg\ s^{-2}mol^{-1}$               |
| モルエントロピー、モル熱容量 | ジュール每モル每ケルビン      | J/(mol K)             | $m^2\ kg\ s^{-2}K^{-1}mol^{-1}$         |
| 照射線量(X線及びγ線)   | クーロン每キログラム        | C/kg                  | $kg^{-1}sA$                             |
| 吸収線量率          | グレイ毎秒             | Gy/s                  | $m^{-2}s^{-3}$                          |
| 放射強度           | ワット每メートル毎スチラジアン   | W/sr                  | $m^3\ m^{-2}kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$ |
| 放射輝度           | ワット每平方メートル毎スチラジアン | W/(m <sup>2</sup> sr) | $m^2\ m^{-2}kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$      |
| 醇素活性濃度         | カタール每立方メートル       | kat/m <sup>3</sup>    | $m^{-3}s^{-1}mol$                       |

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  | $10^{-21}$ | ゼット  | 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   | 1 h=60 min=3600 s                |
| 日     | d   | 1 d=24 h=86 400 s                |
| 度     | °   | $1^\circ=(\pi/180)\ rad$         |
| 分     | '   | $1'=(1/60)^\circ=(n/10800)\ rad$ |
| 秒     | "   | $1''=(1/60)'=(n/648000)\ rad$    |
| ヘクタール | ha  | $1ha=1hm^2=10^4m^2$              |
| リットル  | L   | $1L=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$   |
| トン    | t   | $1t=10^3kg$                      |

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 | $1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times 10^{-19}J$    |
| ダルトン     | Da | $1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times 10^{-27}kg$   |
| 統一原子質量単位 | u  | $1u=1 Da$                                   |
| 天文単位     | ua | $1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times 10^{11}m$ |

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  | $1 bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$             |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | $1mmHg=133.322Pa$                        |
| オングストローム  | Å    | $1 \text{ \AA}=0.1nm=100pm=10^{-10}m$    |
| 海里        | M    | $1 M=1852m$                              |
| バーン       | b    | $1 b=100fm^2=(10^{-12}cm)^2=10^{-28}m^2$ |
| ノット       | kn   | $1 kn=(1852/3600)m/s$                    |
| ネーパル      | Np   | $1 Np=1Pa$<br>SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。   |
| ベル        | B    |  |
| デジベル      | dB   |  |

(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       | Ci   | $1 Ci=3.7\times 10^{10}Bq$   |
| レントゲン     | R    | $1 R=2.58\times 10^4C/kg$  |
| ラド        | rad  | $1 rad=1cGy=10^2Gy$  |
| レム        | rem  | $1 rem=1cSv=10^2Sv$  |
| ガンマ       | γ    | $1 \gamma=1 nT=10^{-9}T$   |
| フェルミ      | fm   | $1 \text{ \textmu}m=1 fm=10^{-15}m$  |
| メートル系カラット |      | $1 \text{ \textmu}m=200 mg=2\times 10^{-4}kg$                                |
| トル        | Torr | $1 Torr = (101 325/760) Pa$  |
| 標準大気圧     | atm  | $1 atm = 101 325 Pa$   |
| カロリ       | cal  | $1 cal=4.1858J\ ((15^\circ C)カロリー), 4.1868J\ ((IT)カロリー) 4.184J\ ((熱化学)カロリー)$ |
| ミクロン      | μ    | $1 \mu m=1\mu m=10^{-6}m$  |

