JAEA-Technology 2020-005 DOI:10.11484/jaea-technology-2020-005



第2廃棄物処理棟蒸発処理装置・IIの開放検査 (2015年度)

Maintenance of the Evaporator-II in Waste Treatment Facility No.2 (FY2015)

半田 雄一	中嶋 瞭太	米川 昭久	髙津 和希
木下 淳一	入江 博文	鈴木 久雄	

Yuichi HANDA, Ryota NAKAJIMA, Akihisa YONEKAWA, Kazuki TAKATSU Junichi KINOSHITA, Hirobumi IRIE and Hisao SUZUKI

> 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 バックエンド技術部

Department of Decommissioning and Waste Management Nuclear Science Research Institute Sector of Nuclear Science Research

June 2020

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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(<u>https://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 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 Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, 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, 2020

JAEA-Technology 2020-005

第2廃棄物処理棟

蒸発処理装置・Ⅱの開放検査(2015年度)

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 バックエンド技術部

半田 雄一、中嶋 瞭太、米川 昭久*、高津 和希 木下 淳一、入江 博文、鈴木 久雄*

(2020年4月8日受理)

第2廃棄物処理棟には原子力科学研究所内外で発生する比較的レベルの高い放射性液体廃棄物の処理を行う蒸発処理装置・IIが設置されている。蒸発濃縮処理作業を行う重要部である蒸発缶の開放検査を保全計画に従い3年に1度実施し、蒸発缶の腐食の状態を調査し健全性を確認している。

今回は、2015年度(平成27年度)に実施した蒸発処理装置・Ⅱの開放検査の記録である。

原子力科学研究所:〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4

* 原子力エンジニアリング株式会社

JAEA-Technology 2020-005

Maintenance of the Evaporator-II in Waste Treatment Facility No.2 (FY2015)

Yuichi HANDA, Ryota NAKAJIMA, Akihisa YONEKAWA*, Kazuki TAKATSU Junichi KINOSHITA, Hirobumi IRIE and Hisao SUZUKI*

Department of Decommissioning and Waste Management Nuclear Science Research Institute Sector of Nuclear Science Research Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 8, 2020)

The Evaporator-II is installed in Waste Treatment Facility No.2. The evaporator system treats intermediate level radioactive liquid waste for Nuclear Science Research Institute and more. It is maintenance the evaporator can once every 3 years by the maintenance plan. The evaporator can is important unit of the Evaporator-II system.

This report summarizes record of maintenance the Evaporator-II in FY2015.

Keywords: Maintenance, Evaporator, Liquid Waste, Waste Treatment Facility No.2

^{*} Nuclear Engineering Co.,Ltd.

目 次

1.	は	じめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2.	蒸	発処理装置・Ⅱ及び開放検査の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2	. 1	第2廃棄物処理棟の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2	. 2	蒸発処理装置・Ⅱの概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2	. 3	開放検査の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
3.	開	放検査結果 ·····	3
3.	. 1	外観検査 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	3
3.	. 2	浸透探傷検査	3
3.	. 3	渦流探傷検査	3
3.	. 4	弁分解点検 ·····	3
3.	. 5	水張り試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
3.	. 6	気密試験	4
3.	. 7	電気計装作動試験	4
3.	. 8	作動試験(試運転) ·····	4
3.	. 9	締付けトルク確認 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
3.	. 10	検査結果の考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
4.	作	業管理 ·····	5
5.	ま	とめ	6
謝辞	辛・・		6

Contents

1. Introduction ·····	1
2. Outline of Evaporator-II and inspection	2
2.1 Outline of Waste Treatment Facility No.2	2
2.2 Outline of Evaporator-II	2
2.3 Outline of inspection	2
3. Inspection result	3
3.1 Visual inspection	3
3.2 Penetration inspection	3
3.3 Eddy current inspection	3
3.4 Valve overhaul	3
3.5 Leak check	4
3.6 Airtight test	4
3.7 Electrical instrumentation operation test	4
3.8 Operation check	4
3.9 Torque check	4
3.10 Consideration of results	4
4. Work management	5
5. Summary ·····	6
Acknowledgements	6

1. はじめに

第2廃棄物処理棟には、実用燃料の照射後試験施設等から発生する比較的レベルの高い液体廃棄物 及び固体廃棄物の処理設備が設置されている。

液体廃棄物の処理設備のうち蒸発処理装置・Ⅱでは、廃液貯槽・Ⅱ-2 に受け入れた液体廃棄物を蒸発 濃縮し、濃縮液をアスファルトと混練する。混練物はコンクリート内張りドラム缶に封入し、保管廃 棄する。蒸発処理装置・Ⅱの機器のうち、主要部である蒸発缶は保安規定で定める保全計画に従い3年 に1回開放検査を実施している。

本報告は、液体廃棄物の処理設備のうち、2015 年度に実施した蒸発処理装置・IIの主要部である蒸 発缶の開放検査の記録をまとめたものである。

2. 蒸発処理装置・Ⅱ及び開放検査の概要

第2.1 第2廃棄物処理棟の概要

第2廃棄物処理棟は、主として実用燃料の照射後試験施設等から発生する比較的放射能レベル の高い液体廃棄物及び固体廃棄物の処理を行う施設であり、原子炉施設、核燃料物質使用施設及 び RI 廃棄の業の許可を取得している。固体廃棄物の処理設備は、固体廃棄物処理設備・Ⅱであ り、処理能力は約 0.2m³/d である。また、液体廃棄物の処理設備は、蒸発処理装置・Ⅱ及びアス ファルト固化装置であり、処理能力は、蒸発処理装置・Ⅱが 0.7m³/h、アスファルト固化装置が 0.1m³/d である。液体廃棄物の処理フローを図1に、固体廃棄物の処理フローを図2に示す。

第2廃棄物処理棟は1980年に設置され、1981年の供用開始以降、2015年度までに液体廃棄物で約3.5×10³m³、固体廃棄物で約2.6×10²m³の処理実績がある。

2.2 蒸発処理装置・IIの概要

蒸発処理装置・Ⅱは、廃液貯槽、蒸発缶、濃縮液貯槽、排気ファン等の機器の他にポンプ、コン トロールバルブ等で構成されている。蒸発缶は自然循環型であり、第2廃棄物処理棟とは別施設 である所内のボイラー設備から供給される蒸気を熱源として外部加熱し、蒸発缶内の水分を沸騰 蒸発させて、廃液中の塩分、固形成分等を濃縮する。濃縮された廃液はアスファルト固化装置に よりアスファルトと混練し、混練物とする。アスファルト混練物は、コンクリート内張りドラム 缶に封入後、保管廃棄する。蒸発缶主要寸法図を図3に示す。

2.3 開放検査の概要

蒸発処理装置・Ⅱの主要部である蒸発缶の開放検査は、供用開始した 1981 年に初めて実施し、 続く2回目の開放検査は、1980 年の建家設置から3年が経過した後の 1983 年に実施している。 以降、3年毎に開放検査を実施し、2004 年以降は、その検査を原子炉施設保安規定に基づく保全 計画に定め、3年毎に継続して実施している。蒸発缶の開放検査の実施状況と予定を表1に示す。

開放検査では、放射性廃液中に含まれる塩素イオン等の腐食物質によって生じる部材の腐食等 の状態を外観検査、液体浸透探傷検査及び渦流探傷検査によって評価するものである。

蒸発缶は、比較的レベルの高い放射性液体廃棄物の処理によって高線量雰囲気となるため濃縮 セルに設置されており、狭いセル内において蒸発缶本体を開放することは極めて困難である。こ のため、以下のとおり蒸発缶本体はセル外へ搬出して開放点検を実施している。

蒸発缶本体をセル外へ搬出するため、本体に接続されていた配管や計装を取り外し、建家の天 井クレーンで吊り上げて搬出する。

予めセル上部付近の2箇所にグリーンハウスを作成し、セル外へ搬出した蒸発缶を配置する。 蒸発缶は3分割して、除染を行う。除染後、蒸発缶内面や熱交換部管板表面等の外観検査、溶接 線の浸透探傷検査及び熱交換部伝熱管の渦流探傷検査を実施する。グリーンハウスの設置位置及 び蒸発缶のセル外搬出ルートを図4に示す。

試験検査を実施後、蒸発缶を組み立てた後にセル内へ搬入し、復旧を行う。復旧の際には、弁 分解点検、水張り試験、気密試験等の再稼働に向けた検査を実施する。また、復旧後の完成検査 として試運転を行い処理量の確認及び締付けボルトの熱間増し締めを行う。

作業状況写真を写真1から写真24に示す。

3. 開放検査結果

3.1 外観検査

除染した蒸発缶の内外の全面について、腐食等の状態を目視により検査する。

全体として、有害となる傷・腐食・打痕はなく合格と判定した。また、前回確認された傷・腐 食・打痕の進展もなかった。

点検記録のうち、部位別の点検結果を表2に示す。外観検査から一部抜粋したものを写真25か ら写真30に示す。

3.2 浸透探傷検査

除染した蒸発缶の胴内部、フランジ面、熱交換部の管板について、浸透探傷検査により腐食等 の影響を確認する。

ー部に腐食による軽微な欠陥指示模様が見られたが、機能上有害なものではなく合格と判定した。また、腐食は全て以前確認されているものであり進行性はない。

これらの腐食による指示模様は蒸発処理運転を行う際の気液接触部付近の溶接箇所に多く見られる傾向にある。腐食の原因の推定としては、蒸発処理装置・IIの運転時において廃液の沸騰面となる気液接触部に相当する部分の溶接箇所で多く見られることから、相変化による影響を受けて生じたものと推測する。その他、勾配があり完全に廃液の排出しきれないノズル部で腐食が見られることから、廃液の滞留しやすい部分で腐食が生じたものと推測する。

点検記録のうち、部位別の点検結果を表3に示す。浸透探傷検査から一部抜粋したものを写真 31から写真36に示す。

3.3 渦流探傷検査

浸透探傷検査を行えない伝熱管の内部については渦流探傷検査により健全性を確認する。

検査は伝熱管全数について実施し、164本中23本で減肉信号と同波形の信号を検出した。この 結果は前回と同様の位置及び信号振幅値で確認されている。また、新たな減肉信号の発生は確認 されなかった。

検出された信号は、減肉信号であれば同一の使用環境下であることから近似した値となること が想定されるが、信号は全て異なる値であった。また、ファイバースコープによる信号検出位置 近傍の内面目視では、信号の原因となる減肉の傾向及びスケールの付着は確認されなかった。こ れらのことから、腐食による減肉を示すものではなく、ステンレス材料の成分の偏在による透磁 率及び導電率の変化に由来する信号波形が減肉信号波形に類似し、検出されたものと推測する。 このため、検査結果は全て合格と判定した。

点検結果を表4に示す。渦流探傷検査の実施状況を写真37及び写真38に示す。

3.4 弁分解点検

蒸発缶缶液吐出弁の分解点検及び動作確認を行う。また、分解点検にあわせてパッキンを新し いものに更新する。

分解点検の結果、弁体・弁座シール面に、微細なピンホールが確認されたが、シール性に影響 するものではなく、作動も良好であることから合格と判定した。 弁分解点検の状況を写真 39 及び写真 40 に示す。

3.5 水張り試験

蒸発缶缶液吐出弁を「閉」とし、下部胴に水を張った状態で 60 分保持し、漏えいのないことを 確認した。

試験の状況を写真41に示す。

3.6 気密試験

蒸発缶熱交換部(カランドリア)、缶液吐出弁及び組み立てた後の蒸発缶に窒素ガスを充填して 気密試験を実施し、全て合格した。

分解点検時の気密試験の状況を写真42から写真44に示す。

3.7 電気計装作動試験

蒸発缶の開放検査に伴い取り外した液位計、温度等の電気計装を復旧し、動作確認を行い、校 正を実施した。全ての計測機器について単体試験・ループ試験を実施し、合格した。

電気計装作動試験の状況を写真45及び写真46に示す。

3.8 作動試験(試運転)

分解した蒸発缶を組み立てて復旧した後に、蒸発缶内に工業用水を張り一時的に加熱用蒸気を 通し試運転を実施することで、蒸発処理能力、計装機器の作動、缶液吐出弁の作動試験を行う。 全ての試験において、復旧後の能力は判定基準を満たしており合格した。

加熱用蒸気を通した際の配管の漏えい確認の状況を写真47に示す。

3.9 締付けトルク確認

蒸発缶の一時試運転により運転温度まで上昇させた蒸発缶の各締付けボルトについて、熱間増 し締めを実施した。全てのボルトについて取り外し前の面間距離、規定のトルクで締付けられて いることを確認し、合格した。

増し締めの実施状況を写真48に示す。

3.10 検査結果の考察

外観検査、浸透探傷検査等の結果から、今回の開放検査において特に有害となる傷・打痕・腐 食はなく、進行もなかった。この理由としては、2003年頃より年間処理量が減少しており、過去 の最大処理量の約半分以下となっていること。また、発生元において廃液の管理が徹底されたこ とにより蒸発缶への腐食等の影響が少なくなったためと考える。

4. 作業管理

今回の開放検査における主な作業管理結果を下記に示す。

(1) 作業管理

総作業日数は43日、総作業工数は526人・日であり、蒸発缶をセル内で開放し点検すること ができないことから、蒸発缶のセル外への搬出に加え、蒸発缶内部の除染、グリーンハウスの 設置等の開放点検以外の付帯作業でも多くの作業日数及び工数を要した。これら付帯作業の合 理化や短縮化が今後の課題である。

(2) 放射線管理

本作業における集団線量当量は、約0.9mSv、個人最大線量は110µSv(ポケット線量計値) であり、いずれも計画値を下回るものであった。主な被ばく低減の要因は、作業前に硝酸溶液 を用いた蒸発缶の酸洗浄運転を実施し、洗浄運転後の廃液を蒸発缶から別のセルへ移送させた ことである。これにより残存汚染を低減し、セル内の養生作業等における被ばくを削減するこ とが可能となった。また、蒸発缶内の洗浄を行うことは、蒸発缶内部の汚染レベルを低減する ことに加え、手作業における除染作業を短縮できることから作業日数や作業工数の削減にも寄 与するものである。今後は、作業時間の管理、養生作業の効率化等の徹底を図り、更なる被ば くの低減化を検討する。

(3) 検査の合理化

アウトソーシングとして実施してきた開放検査の総回数は、13回であり、検査方法は既に確 立されている。本施設の年間常駐請負業者には、これらの検査に精通したものもいることから、 より一層の予算削減を目指し、内作により開放検査が実施できるかが今後の検討課題である。 この場合には、現在の処理量では、健全性に影響を及ぼす状況は確認されないことから、検査 期間の見直し、検査項目の整理、代表箇所による検査の実施等の妥当性も併せて検証する必要 がある。

5. まとめ

今回の開放検査の結果、蒸発缶の部材やシール性に影響を与えるほどの腐食等は確認されなかった。また、腐食の確認された場所、大きさについても前回検査時と同位置、同サイズであり進行は認められなかった。今後の開放検査においても引き続き経過観察を行う。

今回の開放検査により、蒸発処理装置・Ⅱの健全性が維持されていることが確認された。引き 続き安定した放射性液体廃棄物処理のために定期的に開放検査を実施していく。

謝辞

本報告書をまとめるに当たって、バックエンド技術部の諸氏に種々の助言や援助をいただきました。ここに、深甚なる感謝の意を表します。

<u> 66</u>	0	121		
1;		2(
1996	0	2018	0	
1992	0	2015	0	
1989	0	2011	0	
1986	0	2008	0	
1983	0	2005	0	江予定
1981	0	2002	0	施済み ●:実施
実施年度	実施状況	実施年度	実施状況	凡例 〇:実)

蒸発缶の開放検査の実施状況と予定 表

- 7 -

表2 外観検査結果まとめ

部位	検査結果所見	判定
苏邓午	・外面については、傷・打痕・腐食はなく良好であった。 ・ 内面については、傷・打痕・腐食はなく良好であった。	
※光山 上如胴	・ 円面については、 중・ 打張・ 廣長はなく 良好 このうた。	合格
山口日二	- ノノンンン ル間については、11皮・陽・11皮が元り40にか、 何わまシール州に目賄けなく自むレ判定した	
蒸発缶	・胴外面には、傷・打張・腐食は悪く良好じめつに。	入板
熱交換部胴	・ノブンシンール面については、北良・湯・打浪か見られにか、	合恰
	何れもシール性に問題はなく良好と利止した。	
	・伝熱官浴接部において、	
	のはなく良好と判定した。	
蒸発缶 [・官板面の傷・打狼・腐食は、肌回の確認位置から進展はなく、	合格
上部管板	有害なものではないため良好と判定した。	
	・ファンジシール面において、全面に孔食が見られたが、何れ	
	もシール性に問題はなく良好と判定した。	
	・伝熱管溶接部において、軽微な傷・打痕があったが有害なも	
	のはなく良好と判定した。	
蒸発缶	・管板面の傷・打痕・腐食は、前回の確認位置から進展はなく、	合格
下部管板	有害なものではないため良好と判定した。	
	・管板のシール面において、全面に孔食が見られたが、何れも	
	シール性に問題はなく良好と判定した。	
	・胴外面においては、傷・打痕・腐食はなく良好であった。	
	・フランジシール面については、孔食・傷・打痕が見られたが、	
蒸発缶	何れもシール性に問題はなく良好と判定した。	入故
下部胴	・N-2 ノズル(廃液の出口ノズル)について、フランジのイン	口俗
	ロウ部内側の一部に腐食が見られたが、シール性に問題はなく	
	良好と判定した。	
蒸発缶ノズル	・フランジシール面の一部に打痕・孔食が見られたが、何れも	∧ +⁄z
取合配管	シール性に問題はなく良好と判定した。	合恰
	・フランジシール面の一部に孔食が見られたが、何れもシール	
<i>读估 索</i> 库	性に問題はなく良好と判定した。	
祝祉・密度	・検出器取付座のフランジ溶接部に腐食が見られたが、前回の	合格
(検出	確認位置から進展はなく、有害なものではないため良好と判定	
	した。	

部位	結果所見	判定
蒸発缶	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	
上部胴	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	合格
内外面溶接部		
蒸発缶	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	
熱交換部胴溶接部	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	合格
(カランドリア)		
蒸発缶	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	
上部管板及び	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	△妝
伝熱管溶接部		百俗
(上部管板)		
蒸発缶	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	
下部管板及び	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	八板
伝熱管溶接部		百俗
(下部管板)		
蒸発缶	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	
下部胴内外面	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	合格
溶接部		
液位・密度検出器	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	公妆
取付座	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	口俗
	・前回の検査と比較して、指示模様に進展のないこと及び	公妆
※ 光・ ※ 지 能 官	軽微なもので機能上問題がないため良好と判定した。	百俗

推定減肉深さ	検出本数	割合(%)
検出レベル未満	141	86
$1 \leq D < 20\%t$	0	0
$20 \le D < 30\%t$	0	0
$30 \leq D \leq 40\%t$	0	0
$40 \le D < 50\%t$	0	0
$50 \leq D < 60\%t$	0	0
$60 \leq D \leq 72\%t$	0	0
72%t <d< td=""><td>0</td><td>0</td></d<>	0	0
打痕(凹み・変形)	0	0
不入管	0	0
内面減肉同位相信号	23	14
閉止管	0	0
合計	164	100

表4 渦流探傷検査結果まとめ



図1 液体廃棄物の処理フロー







図4 第2廃棄物処理棟 平面図(1階、2階)



写真1 1階グリーンハウスの作成



写真2 1階グリーンハウスを上から撮影



写真3 蒸発缶点検架台の建家外から 建家内への移動



写真4 2階グリーンハウスの設置



写真5 蒸発缶の保温材及びカバー取り外し



写真6 蒸発缶接続配管等の取り外し



写真7 蒸発缶の濃縮セルからの搬出



写真8 蒸発缶の1階グリーンハウスへの 搬入



写真9 蒸発缶の点検用架台への設置



写真10 蒸発缶の分割



写真11 分割後の蒸発缶上部胴



写真 12 蒸発缶熱交換部(カランドリア)と 下部胴の分割



写真13 分割後の蒸発缶下部胴



写真14 蒸発缶上部胴の除染



写真 15 蒸発缶熱交換部(カランドリア)の 除染



写真16 蒸発缶下部胴の除染(電解研磨)



写真17 蒸発缶吐出弁の分解点検



写真18 蒸発缶吐出弁の組み立て



写真 19 蒸発缶熱交換部 (カランドリア) と 下部胴の接続



写真 20 蒸発缶熱交換部(カランドリア) 及び下部胴の濃縮セルへの移動



写真 21 蒸発缶上部胴の濃縮セルへの搬入



写真22 配管の接続



写真 23 蒸発缶の保温材及びカバーの復旧



写真24 復旧後の蒸発缶



写真 25 【外観検査】 蒸発缶上部胴



写真 26 【外観検査】 蒸発缶熱交換部上部管板



写真 27 【外観検査】 蒸発缶下部胴



写真 28 【外観検査】 蒸発缶下部胴 N-2 ノズル



写真 29 【外観検査】 取合配管 N-5 ノズル



写真 30 【外観検査】 検出器取付座 DT-001L ノズル



写真 31 【浸透探傷検査】 蒸発缶上部管板



写真 32 【浸透探傷検査】 蒸発缶上部管板伝熱管溶接部



写真 33 【浸透探傷検査】 蒸発缶上部胴



写真 34 【浸透探傷検査】 蒸発缶下部胴



写真 35 【浸透探傷検査】 密度計取付座



写真 36 【浸透探傷検査】 蒸発蒸気配管



写真 37 【渦流探傷検査】 実施状況 (1)



写真 38 【渦流探傷検査】 実施状況(2)



写真 39 【弁分解点検】 作動試験



写真 40 【弁分解点検】 気密試験



写真 41 【水張り試験】 蒸発缶吐出弁及び下部胴



写真 42 【気密試験】 蒸発缶熱交換部(加熱蒸気側)(1)



写真 43 【気密試験】 蒸発缶熱交換部(加熱蒸気側)(2)



写真 44 【気密試験】 蒸発缶熱交換部(加熱蒸気側)(3)



写真 45 【電気計装作動試験】 液位計の校正



写真 46 【電気計装作動試験】 温度計の校正



写真 47 【作動試験(試運転)】 加熱用蒸気通気時漏えい確認



写真 48 【締付けトルク確認】 試運転後の増し締め

_

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本単位			
本平里	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	Α		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
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				
AI 立 是 SI 組 立 単位	SI 組立単位			
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 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s			
加 速 度メートル毎秒毎秒	m/s^2			
波 数 毎メートル	m ⁻¹			
密度,質量密度キログラム毎立方メートル	kg/m ³			
面 積 密 度 キログラム毎平方メートル	kg/m ²			
比体積 立方メートル毎キログラム	m ³ /kg			
電 流 密 度 アンペア毎平方メートル	A/m ²			
磁 界 の 強 さ アンペア毎メートル	A/m			
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モル毎立方メートル	mol/m ⁸			
質量濃度 キログラム毎立方メートル	kg/m ³			
輝 度 カンデラ毎平方メートル	cd/m ²			
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1			
比 透 磁 率 ^(b) (数字の) 1	1			
(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度				

(substance concentration)ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

	SI 組立単位			
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体鱼	ステラジアン ^(b)	$sr^{(c)}$	1 (b)	m^2/m^2
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	-	s ⁻¹
力	ニュートン	Ν		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕 事 率 , 工 率 , 放 射 束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電 荷 , 電 気 量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 s^2$
線量当量,周辺線量当量, 方向性線量当量,個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(1) ダール kat [s¹ mol]
 (w)SH接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (h)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。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周期現象についてのみ、ペラ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。 セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。それシウス度とケルビンの
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、温度器や温度開隔を表す整備はどもらの単位で表しても同じである。
 (b)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物告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

	SI 組立単位		
組立量	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
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	リニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^{2} s^{2} K^{1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 s^2$
熱伝導率	「ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電東密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘 電 卒	コアラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ペンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	ダレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語						
乗数	名称	記号	乗数	名称	記号	
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d	
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с	
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m	
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ	
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナノ	n	
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р	
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f	
10^3	+ 1	k	10^{-18}	アト	а	
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z	
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	v	

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=60 s		
時	h	1 h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(π/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad		
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, 1	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³		
トン	t	$1 t=10^3 kg$		

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

表される数値が実験的に得られるもの				
名称			記号	SI 単位で表される数値
電 子	ボル	ŀ	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダル	- F	\sim	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原	子質量単	単位	u	1 u=1 Da
天 文	単	位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海 里	Μ	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})^2=10^{-28} \text{ m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	ci単位しの粉結的な間接け
ベル	В	対数量の定義に依存。
デシベル	dB -	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値	
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J	
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N	
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s	
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$	
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$	
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx	
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²	
マクスウエル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$	
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T	
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4 π)A m ⁻¹	
(a) 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	ユ		IJ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				L	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$
フ	T.		N	11		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メー	ートル	/系	カラゞ	ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
+1	ы		11	_		1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J
15	Ц		9		cal	(「IT」カロリー), 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	ク			~	u	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$