

カナルエキスパンドジョイントの健全性調査

Investigation on Integrity of Canal Expanded Joint

大戸 勤 木村 正 宮内 優 根本 宣昭 飛田 健治 深作 秋富 高橋 邦裕

Tsutomu OTO, Tadashi KIMURA, Masaru MIYAUCHI, Nobuaki NEMOTO Kenji TOBITA, Akitomi FUKASAKU and Kunihiro TAKAHASHI

> 大洗研究開発センター 照射試験炉センター 原子炉施設管理部

K P V P V

Department of JMTR Operation Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center

July 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

JAEA-Review 2010-017

カナルエキスパンドジョイントの健全性調査

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター 照射試験炉センター 原子炉施設管理部

大戸 勤・木村 正・宮内 優・根本 宣昭・飛田 健治・深作 秋富・高橋 邦裕

(2010年3月9日 受理)

2007 年度から開始した JMTR 原子炉施設の改修工事に先立ち、JMTR 再稼働後も長期的に使用する原子炉建家関連施設・設備のうちカナルエキスパンドジョイントについて健全性調査を実施した。健全性調査では、目視による外観観察、サンプリング供試体による性能試験(表面観察、硬さ試験)を行い健全性が十分維持されていることを確認した。

カナルエキスパンドジョイントの今後の継続的使用にあたっては、定期的な点検及び補修を計 画的に実施することが、カナルエキスパンドジョイントの健全性を維持する上で重要である。 JAEA-Review 2017-017

Investigation on Integrity of Canal Expanded Joint

Tsutomu OTO, Tadashi KIMURA, Masaru MIYAUCHI, Nobuaki NEMOTO Kenji TOBITA, Akitomi FUKASAKU and Kunihiro TAKAHASHI

Department of JMTR Operation Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center Japan Atomic Energy Agency Oarai-machi,Higashiibaraki-gun,Ibaraki-ken

(Received March 9,2010)

An integrity investigation of a Canal Expanded Joint was carried out as one of the integrity investigation of the JMTR reactor building related facilities and components, before the repair or replacement work of the JMTR related facilities that had begun in FY2007. The Canal Expanded Joint will be used for long-term after the JMTR restart. In the integrity investigation, the visual inspection, the performance test (Surface observations, Durometer hardness test) were investigated respectively and the integrity of the Canal Expanded Joint was confirmed.

In order to use the Canal Expanded Joint continuously for long-term, it is important for maintaining the integrity of the Canal Expanded Joint by the periodical maintenance and the repairing work including that has been conducted up to now.

Keywords : Canal, Expanded Joint, JMTR

JAEA-Review 2010-017

目 次

| 1. | はじめに | 1 |
|----|-------------------------|---|
| 2. | カナルエキスパンドジョイントの健全性調査の概要 | 1 |
| 3. | 調査内容 | 2 |
| | 3.1 調査項目 | 2 |
| | 3.2 調査方法 | 2 |
| 4. | 調査結果 | 3 |
| 5. | まとめ | 3 |
| 謝 | 辞 | 4 |
| 参 | 考文献 | 4 |

Contents

| 1. Introduction | 1 |
|---|---|
| 2. Investigation on Integrity of Canal Expanded Joint | 1 |
| 3. Investigation Contents | 2 |
| 3.1 Investigation Items | 2 |
| 3.2 Investigation Methods | 2 |
| 4. Investigation Results | 3 |
| 5. Summary | 3 |
| Acknowledgement | 4 |
| References | 4 |

This is a blank page.

1. はじめに

JMTR (Japan Materials Testing Reactor)は、軽水減速冷却タンク型で熱出力 50MW の汎用型 材料試験炉である。動力炉国産化技術の確立と国産動力炉の開発のための原子炉用燃料および材 料の照射試験と放射性同位元素の生産を目的として、1965 年(昭和 40 年)に建設を開始、1968 年(昭和 43 年)3月に初臨界を達成し、1970 年(昭和 45 年)より共同利用運転が開始され、2006 年(平成 18 年)8月までに延べ165 サイクルの共同利用運転に寄与してきた。JMTR は、165 サイ クルの運転完了をもって一旦停止したが、その後、JMTR 利用者や文部科学省による JMTR 将来計 画の検討が行われ、その結果を受けて 2007 年度(平成 19 年度)から改修工事を行い、2011 年度 (平成 23 年度)から再稼働して施設の共用を開始することが決定された。

この決定を受け、本格的な改修工事に先立ち、原子炉建家の健全性調査を実施した。

本報では、JMTR 原子炉建家のうちカナルエキスパンドジョイントの健全性調査の内容及びその 結果について報告する。

2. カナルエキスパンドジョイントの健全性調査の概要

カナルエキスパンドジョイント¹⁾²⁾³⁾⁴⁾は、JMTR 原子炉建家内に設置されている No. 2 カナルと ホットラボ建家内に設置されている No. 3 カナルとの勘合部であり、それぞれの水密ゲート間に 設置されている。

JMTR 原子炉建家については、2011 年度(平成 23 年度)の再稼働後、約 20 年の運転が計画され ており、今後とも長期に使用するため、カナルエキスパンドジョイントの健全性を確認する目的 で、調査を実施した。

なお、調査結果は、原子炉建家関連施設・設備の今後の継続的使用にあたり、補修などの対応 方法と併せ、保全計画、点検等の保守管理等の資料とする。

3. 調查内容

3.1 調査項目

- カナルエキスパンドジョイントの調査項目を次に示す。
- (1) 外観(目視調査)
- (2) サンプリングによる性能検査(カナルエキスパンドジョイントの硬質ゴム部)

カナルエキスパンドジョイントの配置図を Fig. 3.1 に示す。また、調査作業の状況を Photo. 3.1 ~3.10 に示す。

3.2 調査方法

カナルエキスパンドジョイントの調査項目と調査方法の概要を次に示す。

- (1)外観(目視調査)
 カナルエキスパンドジョイントを目視にて、外観観察を実施した。
- (2) サンプリングによる性能検査(カナルエキスパンドジョイントの硬質ゴム部)①表面観察

カナルエキスパンドジョイント上部の一部をサンプリングし、その検体を光学顕微鏡に より表面観察を行い、亀裂等の有無を確認した。

②硬さ試験

上記検体をデュロメータ(硬度計)により硬さ試験を実施し、硬質ゴムの状態を確認した。

4. 調查結果

(1) 外観

カナルエキスパンドジョイントの外観を目視にて、表面経年変化に対する調査を行った。 目視確認の結果、喫水線付近に表面劣化が見られた。また、カナルエキスパンドジョイント 水中部の表面に水泡が見られた。

外観調査の結果を Fig. 4.1~Fig. 4.9 に示す。

(2) サンプリングによる性能検査(カナルエキスパンドジョイントの硬質ゴム部)①表面観察

光学顕微鏡により表面観察を行った結果、表面にひび割れが見られた。

②硬さ試験

デュロメータ(硬度計)により硬さ試験を行った結果、硬度(HAD)は平均77.6であり、 通常硬質ゴムの硬度(60~90)の範囲内であることを確認した。

観察結果を Fig. 4.10~Fig. 4.11 に示す。

外観調査及びサンプリングによる表面観察結果から、表面に劣化が見られたものの硬質 ゴム部の硬さは、性能上十分な硬度を有しており健全であることを確認した。

5. まとめ

カナルエキスパンドジョイントの健全性を確認するため、水密ゲート間のカナル水を汲み上げ、 カナル側壁面の調査を実施した。

その結果、表面劣化によるものと思われるひび割れや、水中部にかけて表面上に水泡(膨れ) があることが確認されたが、硬さについては、通常硬質ゴムの硬度範囲内であることを確認した。

なお、硬質ゴム部を水中で継続使用することにより、ひび割れ等が表面上から内部に進行する 可能性があるため、定期的な点検・補修を計画的に行うことが、カナルエキスパンドジョイント の健全性を維持するうえで重要である。

謝辞

本報告書をまとめるにあたり、河村弘照射試験炉センター長、新見素二原子炉施設管理部長にご助言を頂いた。また、神永雅紀原子炉施設管理次長にご支援頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 独立行政法人日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター(北地区)原子炉施設保安規定, 2007.
- 2) 材料試験炉部:「JMTR 建家新築工事 竣工図」.
- 3) 材料試験炉部:私信,(1986).
- 4) 日本原子力研究所大洗研究所原子炉設置変更許可申請書(完本),(2001).



Fig. 3.1 カナルエキスパンドジョイントの配置図



Photo. 3.1 調査作業開始前(エキスパンドジョイント部)



Photo. 3.2 カナル水汲み上げ作業



Photo. 3.3 カナル水汲み上げ終了



Photo. 3.4 調査中



Photo. 3.5 調査中



Photo. 3.6 サンプリング採取箇所(検体採取前)



Photo. 3.7 サンプリング検体採取後



Photo. 3.8 サンプリング検体



Photo. 3.9 補修後



Photo. 3.10 水張り作業

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
|----------------------------|-----------|---|------------------------------------|------------|--|
| 調査面 | | 西側 側面部 | | | |
| 深度 | Om | | | | |
| 目視検査結 | 5果 | 表面にキズ、劣化等なし | | | |
| Omរ | 近傍写真 | | | | |
| | 1 | | 1001 Martin 14 | 平成19年5月29日 | |
| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | | |
| 調査場所 調査面 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 西側 側面部 | 実施者 | | |
| 調査場所 調査面 深度 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 西側 側面部 喫水線部(0.5m~0 | 実施者 0. 6m) | | |
| 調査場所 調査面 深度 目視検査編 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 西側 側面部 喫水線部(0.5m~0 表面に劣化によるものと思われる、ひひ | 実施者 D. 6m) [×] 割れ有り | | |

Fig. 4.1 外観目視調查(西側上部~喫水線付近)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
|--------|--------|-----------------------------|-----|------------|--|
| 調査面 | 西側 側面部 | | | | |
| 深度 | 度 1m | | | | |
| 目視検査結 | 課 | 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | | |
| 1mž | 丘傍写真 | | | | |
| 調査場所 | #2カナル | ν、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
| 調査面 | | 西側 側面部 | | | |
| 深度 | | 2m | | | |
| 目視検査約 | 古果 | | | | |
| | | 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | - | |
| 2m近傍写真 | | | 8 0 | | |

Fig. 4.2 外観目視調查(西側1m~2m)

| 調査場所 | #2カナル、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 実施者 平成19年5月29 | | | 平成19年5月29日 | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|-----|------------|--|
| 調査面 | 西側側面部 | | | | |
| 深度 | 3m | | | | |
| 目視検査結果 表面に水泡有り 中央部に凹み有り | | | | | |
| Sm近傍写真 | | | | | |
| 調査場所 | #2カナル | ν、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
| 調査面 | | 西側 側面部 | | I | |
| 深度 | | 4m | | | |
| 目視検査結 | 5果 | | | | |
| | | 表面に水泡有り 中央部に凹み有り | | | |
| 4m近傍写真 | | | | | |

Fig. 4.3 外観目視調查(西側 3m~4m)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
|--------|--------|----------------------------|-----|------------|--|
| 調査面 | 西側 側面部 | | | | |
| 深度 | | | | | |
| 目 | | | | | |
| 5m近傍写真 | | | | | |
| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | |
| 調査面 | | 西側 側面部 | | | |
| 深度 | | 6m | | | |
| 目視検査結 | 課 | | | | |
| | | 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | | |
| 6m近傍写真 | | | 0 | | |

Fig. 4.4 外観目視調査(西側5m~6m)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
|---|-----------|---|-----|------------|--|--|
| 調査面 | 西側側面部 | | | | | |
| 深度 | 6. 5m | | | | | |
| 目視検査結 | | | | | | |
| 6. 5m | 6. 5m近傍写真 | | | | | |
| 調査場所 #2カナル、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 実施者 平成19年5月29日 | | | | | | |
| DOL: SIN | #2771 | 、#3カナルの水密ケート間内エキスハントショイント部 | 天旭省 | | | |
| 調査面 | #2571 | 東側 側面部 | | | | |
| 調査面 深度 | #2771 | 、#3カチルの永磁ケート間内エキスハシトショイシト部 東側 側面部 Om | | | | |
| 調査面 深度 目視検査新 | #2777/L | 、#3カチルの永磁ケート間内エキスハシトショイシト部 東側 側面部 Om 表面にキズ、劣化等なし | | | | |

Fig. 4.5 外観目視調查(西側 6.5m、東側上部)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
|----------------------------|---|---|--------|------------|--|--|
| | | | | | | |
| | | |), 6m) | | | |
| 目視検査結 | 深度 喫水線部(0.5m~0.6m) 目視検査結果 表面に劣化によるものと思われる、ひび割れ有り | | | | | |
| 喫水 | :線写真 | | | | | |
| | | | | | | |
| 調査場所 | #2カナル | ・、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
| 調査場所 調査面 | #2カナル | √、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
| 調査場所 調査面 深度 | #2カナル | ,、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 1m | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
| 調査場所 調査面 深度 目視検査網 | #2カナル | ,、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 1m | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
| 調査場所 調査面 深度 目視検査網 | #2カナル #2カナル ら果 | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 1m 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |

Fig. 4.6 外観目視調查(東側喫水線~1m付近)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
|--------------------|-------------|---|-----|------------|--|--|
| 調査面 | | | | | | |
| 深度 | 2m | | | | | |
| 目視検査結 | | | | | | |
| 2mປ | 丘傍写真 | | | 0 | | |
| 調査場所 | | | 中长书 | 平成19年5月29日 | | |
| | #2カナル | ・、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 美施有 | | | |
| 調査面 | #2571 | ,#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 | 美他有 | | | |
| 調査面 深度 | #2771 | , #3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | | | | |
| 調査面 深度 目視検査網 | #2ヵナル | , #3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 3m | | | | |
| 調査面 深度 目視検査網 | #2777/1 | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 東側 側面部 3m 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | | | |

Fig. 4.7 外観目視調査(東側 2m~3m 付近)

| 調査場所 | #2カナル | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
|--------|--------|-----------------------------|-----|------------|--|--|
| | | | | | | |
| 深度 | 4m | | | | | |
| 目視検査結 | 課 | | | | | |
| | | | | | | |
| 4mž | 丘傍写真 | | | | | |
| 調査場所 | #2カナル | ッ、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 | | |
| 調査面 | | 東側 側面剖 | 3 | | | |
| 深度 | | 5m | | | | |
| 目視検査結 | 告果 | | | | | |
| | | 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | | | |
| 5m近傍写真 | | | | | | |

Fig. 4.8 外観目視調查(東側 4m~5m 付近)

| 調査場所 #2カナル、#3 | | 、#3カナルの水密ゲート間内エキスパンドジョイント部 | 実施者 | 平成19年5月29日 |
|---------------|-------|----------------------------|-----|------------|
| 調査面 | | 東側 側面部 | _ | |
| 深度 | 深度 6m | | | |
| 目視検査結 | 課 | 表面にキズ、劣化等なし 中央部に凹み有り | | |
| 6mi | 丘傍写真 | | | |

Fig. 4.9 外観目視調查(東側 6m 付近)

報告書

<u>No. C3-1496</u> 2007年6月12日

| 1. 試料 | 御社支給品 ・クロロブ | 1 種類 レンゴム(CR)【ネオプレンゴム】 |
|-------|----------------|------------------------------------|
| 2.試験 | | |
| | 1) デュロ; | メータ硬さ試験 |
| | 試験方法 | :JIS K7215 準拠 |
| | 試験条件 | : 測定タイプ…A タイプ |
| | | 測定数…n=10 |
| | 試験環境 | $:23\pm2^{\circ}C\cdot50\pm5\%$ RH |
| | 試験機 | :GS-709G TypeA(テクロック) |
| | 0) 主五形能 | 次1 |
| | 2) 衣田形態 | · 业心面坐在地方 |
| | 码映力 伝 | · 工子 |
| | 武 陳 余 仲 | : x200, x100 |
| | スケール | :1 目盛 9 =0.01mm |
| | 試験環境 | $:23\pm2^{\circ}C\cdot50\pm5\%$ RH |
| | 試験機 | :光学顕微鏡 0M BH-2 (オリンパス製) |
| | | デジタルカメラ E-500 (オリンパス製) |
| 3.結果 | | |

| | デュロメータ硬さ |
|-----|----------|
| 試料名 | (HDA) |
| CR | 77.6 |

表面形態観察については、別紙添付写真を参照。 表面は、亀裂による状態の変化や、付着物による汚れが確認された。

Fig. 4.10 性能検査(硬さ試験)



| | デュロメータ硬さ |
|----|----------|
| | (HDA) |
| 1 | 78,6 |
| 2 | 77.2 |
| 3 | 76.9 |
| 4 | 79.3 |
| 5 | 77.6 |
| 6 | 78.8 |
| 7 | 76.3 |
| 8 | 77.2 |
| 9 | 78.1 |
| 10 | 76.4 |
| 平均 | 77.6 |



 $\underset{(0.1 \text{mm})}{\longleftrightarrow}$

以上

×100

Fig. 4.11 性能検査(硬さ試験、表面観察)

×100

This is a blank page.

| 表 1. SI 基本単位 | | | |
|--------------|---------|-----|--|
| 甘大昌 | SI 基本単位 | | |
| 巫平里 | 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 | А | |
| 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 | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|--|--|--|--|
| 如女母 SI 表 | 基本単位 | | | | |
| 和立重 名称 | 記号 | | | | |
| 面 積 平方メートル | m ² | | | | |
| 体 積 立法メートル | 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 ³ | | | | |
| 質量濃度 キログラム毎立法 | 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 組立甲位 | |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 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 鱼 | ラジアン ^(b) | rad | 1 ^(b) | m/m |
| · 協 方 立 体 鱼 | ステラジア、/(b) | er ^(c) | 1 (b) | m^{2/m^2} |
| 周 波 数 | ヘルツ ^(d) | Hz | 1 | s ⁻¹ |
| 力 | ニュートン | Ν | | m kg s ⁻² |
| 压力, 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 | $m^2 kg s^{-3} A^{-1}$ |
| 静電容量 | ファラド | F | C/V | $m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$ |
| 電気抵抗 | オーム | Ω | V/A | $m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 2}$ |
| 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 | $m^2 kg s^{\cdot 2} A^{\cdot 1}$ |
| 磁束密度 | テスラ | Т | Wb/m ² | $\text{kg s}^{2}\text{A}^{1}$ |
| 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, | グレイ | Gv | J/kg | $m^2 s^{-2}$ |
| カーマ | | | | |
| 線量当量,周辺線量当量,方向 | シーベルト ^(g) | Sv | J/kg | $m^2 s^{2}$ |
| 性線量当量, 個人線量当量 | | 2. | | |
| 酸素活性 | カタール | kat | | s ¹ mol |

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや

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

| | S | I 組立単位 | |
|-------------------|----------------------------|--------------------|---|
| 組立量 | 名称 | 記号 | SI 基本単位による 表し方 |
| 粘质 | E 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 | コニュートン毎メートル | N/m | kg s ⁻² |
| 角 速 度 | ミラジアン毎秒 | rad/s | m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹ |
| 角 加 速 度 | E 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 | E 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 | E クーロン毎立方メートル | C/m ³ | m ⁻³ sA |
| 表面電荷 | ラクーロン毎平方メートル | C/m ² | m ⁻² sA |
| 電 束 密 度 , 電 気 変 位 | エクーロン毎平方メートル | C/m ² | m ⁻² sA |
| 誘 電 率 | 『ファラド毎メートル | F/m | $m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$ |
| 透 磁 辛 | ミ ヘンリー毎メートル | 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 sA |
| 吸収線量率 | ミグレイ毎秒 | Gy/s | $m^2 s^{-3}$ |
| 放射 強度 | E 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 | E 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 | たカタール毎立方メートル | kat/m ³ | m ⁻³ s ⁻¹ mol |

| 表 5. SI 接頭語 | | | | | |
|-------------|------------|----|------------|------|----|
| 乗数 | 接頭語 | 記号 | 乗数 | 接頭語 | 記号 |
| 10^{24} | 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} | キロ | 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 | У |

| 表6.SIに属さないが、SIと併用される単位 | | | | | |
|------------------------|------|--|--|--|--|
| 名称 | 記号 | SI 単位による値 | | | |
| 分 | min | 1 min=60s | | | |
| 時 | h | 1h =60 min=3600 s | | | |
| 日 | d | 1 d=24 h=86 400 s | | | |
| 度 | ۰ | 1°=(п/180) rad | | | |
| 分 | , | 1'=(1/60)°=(п/10800) rad | | | |
| 秒 | " | 1"=(1/60)'=(п/648000) rad | | | |
| ヘクタール | ha | 1ha=1hm ² =10 ⁴ m ² | | | |
| リットル | L, 1 | 1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³ | | | |
| トン | t | $1t=10^{3}$ kg | | | |

_

| 表7. | SIに属さないが、 | SIと併用される単位で、 | SI単位で |
|-----|-----------|-------------------|-------|
| | まとわて粉は | ぶ 中 瞬時 ほう や て そ の | |

| 衣される剱旭が夫厥的に待られるもの | | | |
|-------------------|----|--|--|
| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 | |
| 電子ボルト | eV | 1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J | |
| ダルトン | Da | 1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg | |
| 統一原子質量単位 | u | 1u=1 Da | |
| 天 文 単 位 | ua | 1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m | |

| 表8.SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位 | | | | |
|----------------------------|-------|--------|------|--|
| | 名称 | | 記号 | SI 単位で表される数値 |
| バ | 1 | ル | bar | 1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa |
| 水銀 | 柱ミリメー | トル | mmHg | 1mmHg=133.322Pa |
| オン | グストロー | - 4 | Å | 1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m |
| 海 | | 里 | М | 1 M=1852m |
| バ | - | \sim | b | 1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ² |
| 1 | ツ | ŀ | kn | 1 kn=(1852/3600)m/s |
| ネ | - | パ | Np | ar送佐1 本教/学佐志明/511 |
| ベ | | ル | В | ▶ 51 単位との 叙 値的 な 阕徐 は 、 対 数 量の 定 義 に 依 存. |
| デ | ジベ | N | 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 sb =1cd cm ⁻² =10 ⁴ 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 | | |
| マクスウェル | Mx | $1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$ | | |
| ガウス | G | $1 \text{ G} = 1 \text{Mx cm}^{2} = 10^{4} \text{T}$ | | |
| エルステッド ^(c) | Oe | 1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹ | | |
| | | | | |

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ▲ 」 は対応関係を示すものである。

| 表10. SIに属さないその他の単位の例 | | | | | | |
|----------------------|--------|----------------------------|----------|--------|------|---|
| | 3 | 名利 | 7 | | 記号 | SI 単位で表される数値 |
| キ | ユ | | IJ | ĺ | 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 | | | | ド | rad | 1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy |
| $\boldsymbol{\nu}$ | | | | L | rem | 1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv |
| ガ | | $\boldsymbol{\mathcal{V}}$ | | 7 | γ | 1 γ =1 nT=10-9T |
| フ | Ŧ | | N | 11 | | 1フェルミ=1 fm=10-15m |
| メー | - トル | 采 | カラゞ | ット | | 1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg |
| \mathbb{P} | | | | ル | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa |
| 標 | 準 | 大 | 気 | 圧 | atm | 1 atm = 101 325 Pa |
| ÷ | 17 | | 11 | _ | 1 | 1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J |
| 13 | Ц | | <i>y</i> | | cal | (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー) |
| Ξ | ク | | | \sim | μ | $1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$ |

この印刷物は再生紙を使用しています