



## SI（国際単位系）の定義改定案について

Information for users about the proposed revision of the SI

国際度量衡局(Bureau International des Poids et Mesures)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 日本語訳

## 訳者まえがき

本文書は SI（国際単位系）の定義改定案に関する情報提供を目的に、メートル条約傘下の諮問委員会によってまとめられ、国際度量衡局（BIPM）より発行されている広報文書（<https://www.bipm.org/utis/common/pdf/SI-statement.pdf>）を日本語訳したものです。日本語版のまえがきとして、現状の SI に関して説明をします。また、本文の後に、補足的な用語解説を記載しております。

SI は長さ、質量、時間、電流、熱力学温度、物質質量及び光度について明確に定義された単位、すなわち、メートル (m)、キログラム (kg)、秒 (s)、アンペア (A)、ケルビン (K)、モル (mol)、カンデラ (cd) を基礎として構築されています。これらの単位を基本単位 (base units) と呼び、現在の定義は下の表のようになっています。

表 7つの基本単位の現在の定義（簡略化してあります）

量	単位	定義	採択年 <sup>(※)</sup>
長さ	メートル (m)	ある一定の時間に光が真空中を伝わる行程の長さ	1983 年
質量	キログラム (kg)	国際キログラム原器の質量	1889 年
時間	秒 (s)	セシウム 133 原子が発する電磁波の固有の周期の 9 192 631 770 倍の時間	1967-1968 年
電流	アンペア (A)	真空中に 1 メートルの間隔で平行に配置された無限に細く無限に長い二本の直線状導体が一定の力を及ぼし合う電流（磁気定数を規定）	1948 年
熱力学温度	ケルビン (K)	水の三重点の熱力学温度の 1/273.16	1967-1968 年
物質質量	モル (mol)	0.012 キログラムの炭素 12 の中に存在する原子の数に等しい数の要素粒子を含む系の物質質量	1971 年
光度	カンデラ (cd)	周波数 $540 \times 10^{12}$ ヘルツの単色放射を放出し、所定の方向におけるその放射強度が 1/683 ワット毎ステラジアンである光源の、その方向における光度	1979 年

※ 定義が採択された国際度量衡総会（CGPM）の開催年

このような、現在の単位系では、次のような課題があります。

- ・質量が国際キログラム原器という器物に依存しているため、長期的な安定性に課題があること。
- ・電流が電気量（電圧、抵抗、等）における再現性を優先するため、ジョセフソン効果などの量子現象により現示されており、厳密には現在の定義に従っていないこと。また、量子現象に関わるジョセフソン定数、フォンクリッツィング定数が 1990 年における協定値を採用しているため、最新の値と異なること。
- ・熱力学温度が水の三重点で定義されているため、将来的な極高温、極低温での温度測定の不確かさ低減の限界が危惧されること。

これらの課題はキログラム、アンペア、ケルビン、モルを基礎物理定数で定義し直すことによって解決されると考えられています。そのために、これらの単位に関連する基礎物理定数を十分小さい不確かさで決定し、その基礎物理定数を定義に用いることにより、定義の改定前後で、単位の連続性を確保し、現在の測定器は、そのまま使い続けて、測定結果に不整合が生じないようにしてあります。もちろん、SI の定義が改定された後も、現在の測定器は引き続き利用することができ、問題はありません。

2018 年 7 月

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
計量標準総合センター

## SI の定義改定案について

国際単位系<sup>1</sup>、SI、は、秒、メートル、キログラム、アンペア、ケルビン、モル及びカンデラ（基本単位）に基づいていますが、これらの単位のうち4つの定義を最新のものにするため改定されようとしています。2018年11月には、キログラム、アンペア、ケルビン及びモルの新しい定義が、測定の国際的な相互比較性に責任を持つ国際組織である国際度量衡総会（CGPM）により、承認される見込みです。この改定された定義は2019年5月20日に発効する見込みです。

その定義改定は7つの物理定数（例えば、光の速さ、プランク定数やアボガドロ定数）に基づくことになり、それゆえ、本質的に安定です。それらの物理定数は、改定された定義が、それらを現示するための技術の将来の進歩に適応させるために修正する必要がないよう、選ばれました。このような方法でのSI改定は、2011年及び2014年<sup>2,3</sup>に採択されたCGPMの決議においてすでに認識されていました。これらの決議に含まれていた追加要求により、4つの定義改定への円滑な移行が確実なものになります。ほとんどのユーザーはその変化に気付かないでしょう。新版SI小冊子はユーザーへ必須の情報を提供するものであり、定義改定が公式に採択された後に利用可能となります。また、単位の現示に関する手引きが利用可能になります<sup>4-8</sup>。

いろいろな測定分野にこれらの変更がどのように影響を与えるかについての情報が以下に示されています。

- ・ **キログラム**はプランク定数を使って定義され、SIに基づく質量目盛の長期安定性を保証します。そしてキログラムは任意の適切な方法で実現する事ができます（例えばキップル（ワット）バランス法やアボガドロ（エックス線結晶密度）法）。ユーザーはSIへのトレーサビリティを現在と同じ機関から得ることが出来ます（BIPM、国家計量標準機関（NMI）、及び認定ラボラトリー）。国際比較はそれらの整合性を確実なものにします。プランク定数の値は、改定時にSIにおけるキログラムに変化を起こさないことを確実にするように選ばれます。NMIから校正顧客に提供される不確かさも、ほとんど影響がありません。

- ・ **アンペア**と他の電気単位は、実質的に最も高い計測レベルで実現されていますが、これらの単位の定義と完全に一致することになります。1990年協定から改定SIへの移行により、普及しているすべての電気単位に小さな変更が生じます。ボルトは100万分

の 0.1 しか変化せず、オームは更に少なくしか変化しないため、大多数の計測ユーザーにとっては、何ら対策を行なう必要はないでしょう。最も高精度で仕事を行なっている方々は、所有している標準器の値を調整し、測定の不確かさ見積りを見直す必要があるかも知れません。

・**ケルビン**は温度測定の実務や温度測定のトレーサビリティへ直接の影響なく再定義され、多くのユーザーは定義改定に気付かれないうでしょう。再定義は未来の進歩への基礎を築きます。物質的あるいは技術的な制約に縛られない定義によって、温度測定を SI にトレーサブルにするための新しくそしてより正確な技術の開発が、特に極限温度において、可能になるでしょう。再定義後は、ケルビンの現示についての手引きが、熱力学温度測定の一次的方法とともに、十分同程度に、定義目盛 ITS-90 や PLTS-2000 について記述することで、その世界的普及を支えるでしょう。

・**モル**は構成要素（典型的には原子や分子）の明示された数について再定義され、もはや質量の単位、キログラムに依存しません。モルへのトレーサビリティは今までどおり、原子量表及びモル質量定数  $M_0$  と併せて質量測定を利用する方法を含む、以前に使用されていたすべての取り組み方で確立することが可能ですが、しかし、それらに制限されることはありません。原子量はこの定義上の変更によって影響は受けませんし、 $M_0$  は今まで通り 1 g/mol ですが、今後は測定の不確かさを伴います。この不確かさは非常に小さいので、モルの定義改定は一般的に行なわれていることに対して何の変化も要求しません。

キログラム、アンペア、ケルビン及びモルの定義改定は、秒、メートル及びカンデラには何の影響も与えません。

・**秒**は引き続きセシウム 133 原子の超微細構造遷移周波数によって定義されます。秒へのトレーサビリティは影響を受けません。時間・周波数計測は影響を受けません。

・改定 SI における**メートル**は引き続き基本物理定数の一つである光の速さによって定義されます。幾何測定の実務には何等変更の必要はない上、単位系の長期安定性が改善されることによる恩恵を受けるでしょう。

・**カンデラ**は引き続き測光のための技術的定数である  $K_{cd}$  によって定義され、したがってこれまで通りワットと結びつけられます。カンデラへのトレーサビリティは、今までどおり絶対校正された検出器を用いた放射測定法を通して同じ測定不確かさをもって確立されます。

SI は 1960 年の CGPM により公式に採択されて以来、数回改定されています。しかしながら、4 つの基本単位を一度に再定義することは先例がなく、様々な計測分野において世界中で同時に協力することが必要です。過去と同様に、一般生活への影響が気付かれないようなものであり、以前の単位の定義を用いてなされた測定が、測定の不確かさの範囲内で有効なままであることが確実となるように注意が払われています。国家計量標準機関以外では、その変化に気付くユーザーはほとんどいないでしょう。CGPM の決議で要求された実験精度を達成し、条件を満足したことは素晴らしい成果であり、これにより SI は最も要求の厳しいユーザーの要求にも確実に答え続けることでしょう。

1. <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>
  2. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>
  3. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/25/1/>
  4. <http://www.bipm.org/en/publications/mises-en-pratique/>
  5. [http://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/15/02A\\_MeP\\_kg\\_141022\\_v-9.0\\_clean.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/15/02A_MeP_kg_141022_v-9.0_clean.pdf)
  6. <http://www.bipm.org/cc/CCEM/Allowed/26/CCEM-09-05.pdf>
  7. [http://www.bipm.org/cc/CCT/.../MeP-K-14\\_DRAFT\\_Dec\\_2015.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCT/.../MeP-K-14_DRAFT_Dec_2015.pdf)
- 訳注) 現在は下記文書に更新
- [https://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/28/MeP-K-19\\_June\\_2017\\_DRAFT.pdf](https://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/28/MeP-K-19_June_2017_DRAFT.pdf)
8. [http://www.bipm.org/cc/CCQM/Allowed/22/CCQM16-04\\_Mole\\_m\\_en\\_p\\_draft.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCQM/Allowed/22/CCQM16-04_Mole_m_en_p_draft.pdf)

この文書は 2017 年に CIPM の諮問委員会により、2018 年に予定されている国際単位系改定への認識を高めることを目的として作成されました。

## 用語解説（日本語版補足）

SI 国際単位系： キログラム (kg)、メートル (m)、秒 (s)、ケルビン (K)、アンペア (A)、モル (mol)、カンデラ (cd) の 7 つの SI 基本単位と、これらの組み合わせである SI 組立単位から構成される単位系。

CIPM 国際度量衡委員会、CGPM 国際度量衡総会、BIPM 国際度量衡局： いずれもメートル条約に基づく機関であり、国際度量衡総会は加盟国が一堂に会するメートル条約下の最高議決機関です。おおむね 4 年に 1 度パリで開催され、2014 年 11 月には第 25 回国際度量衡総会が開催されました。国際度量衡委員会は 18 名の委員からなる理事機関です。国際度量衡局はパリ郊外にある、メートル条約の事務局であり、国際キログラム原器を保管しています。

NMI 国家計量標準機関： 国家一次計量標準を設定する機関。日本ではほとんどの物理・化学量について産業技術総合研究所・計量標準総合センターが該当します。

現示： 定義に基づいて、単位を実際の測定で利用可能な形態に技術的に実現すること。

認定ラボラトリー： 本文書の文脈においては、ISO/IEC 17025 という基準に基づき認定された校正事業者のこと。測定器のユーザーは、自身の標準器を認定ラボラトリーで校正してもらうことにより、SI へのトレーサビリティを手に入れることができます。

ITS-90： 実用的に温度を実現する国際的に是認された方法として、定義温度域において熱力学温度値を最もよく近似するように構成された国際温度目盛が提供されています。現在、CGPM の決議に基づき CIPM により 1990 年から採用された“1990 年国際温度目盛” (The International Temperature Scale of 1990： ITS-90) が用いられています。

PLTS-2000： 2000 年の CIPM 勧告により暫定的に採用された、ITS-90 を低温域に拡張する暫定低温度目盛 (Provisional Low Temperature Scale of 2000： PLTS-2000) のこと。

$K_{cd}$ ： 周波数  $540 \times 10^{12}$  Hz の単色放射に対する視感効果度を表す定数で、 $K_{cd} = 683 \text{ lm W}^{-1} = 683 \text{ cd sr m}^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^3$  です。ここで、視感効果度とは「ある放射について、光束を放射束で除した値」として定義される、放射量から測光量を導く変換係数です。

## 関連情報

- [1] 産総研 Today 2012-01 第 24 回国際度量衡総会  
[http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource\\_images/aist\\_j/aistinfo/aist\\_today/vol12\\_01/vol12\\_01\\_p22.pdf](http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/aist_today/vol12_01/vol12_01_p22.pdf)
- [2] 産総研 Today 2012-01 国際単位系 (SI) 改定の方向性  
[http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource\\_images/aist\\_j/aistinfo/aist\\_today/vol12\\_01/vol12\\_01\\_p23.pdf](http://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/aist_today/vol12_01/vol12_01_p23.pdf)
- [3] 産総研 Today 2015-01 第 25 回国際度量衡総会  
[https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource\\_images/aist\\_j/aistinfo/aist\\_today/vol15\\_01/vol15\\_01\\_p20.pdf](https://www.aist.go.jp/Portals/0/resource_images/aist_j/aistinfo/aist_today/vol15_01/vol15_01_p20.pdf)
- [4] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センターのウェブサイト  
<https://www.nmij.jp/>
- [5] 国際単位系 (SI) 基本単位定義改定に関する特設ページ (上記サイト内)  
「新時代を迎える計量基本単位 - 新 SI (国際単位系) -」  
<https://www.nmij.jp/transport.html>
- [6] 産総研プレスリリース「質量の単位「キログラム」の新たな基準となるプランク定数の決定に貢献(2017年10月24日)」  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2017/pr20171024/pr20171024.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20171024/pr20171024.html)
- [7] SI 小冊子 第 8 版 (the 8th edition of the SI brochure) 日本語版  
<https://www.nmij.jp/library/units/si/R8/SI8J.pdf>
- [8] SI 小冊子 (SI Brochure) 第 9 版草稿 (英語版)  
<http://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/#communication>

## Information for users about the proposed revision of the SI (英語原文)

The International System of Units<sup>1</sup>, the SI, which is based on the **second**, the **metre**, the **kilogram**, the **ampere**, the **kelvin**, the **mole** and the **candela** (the base units), is being revised to update the definitions of four of these units. In November 2018 revised definitions of the **kilogram**, **ampere**, **kelvin** and **mole** are expected to be approved by the General Conference on Weights and Measures (CGPM), the international body responsible for the global comparability of measurements. The revised definitions are expected to come into force on 20 May 2019.

The revised definitions will be based on seven physical constants (for example the speed of light, the Planck constant and the Avogadro constant) and are therefore inherently stable. The quantities have been chosen so that the revised definitions will not need to be modified to accommodate future improvements in the technologies used to realize them. The revision of the SI in this way was foreseen in Resolutions of the CGPM adopted in 2011 and 2014<sup>2,3</sup>. Additional requirements contained in these Resolutions will ensure a smooth transition to the four revised definitions. Most users will not notice the change. A new edition of the SI Brochure<sup>1</sup> will provide essential information for users and will be available after the revised definitions are adopted formally. Guidance on the practical realization of the units will be available<sup>4-8</sup>.

Some information about how these changes might affect the different areas of measurement is given below:

- **The kilogram** will be defined in terms of the Planck constant, guaranteeing long-term stability of the SI mass scale. The kilogram can then be realized by any suitable method, (for example the Kibble (watt) balance or the Avogadro (X-ray crystal density) method). Users will be able to obtain traceability to the SI from the same sources used at present (the BIPM, national metrology institutes and accredited laboratories). International comparisons will ensure their consistency. The value of the Planck constant will be chosen to ensure that there will be no change in the SI kilogram at the time of redefinition. The uncertainties offered by NMIs to their calibration customers will also be broadly unaffected.
- **The ampere** and other electrical units, as practically realized at the highest metrological

level, will become fully consistent with the definitions of these units. The transition from the 1990 convention to the revised SI will result in small changes to all disseminated electrical units. For the vast majority of measurement users, no action need be taken as the volt will change by about 0.1 parts per million and the ohm will change by even less. Practitioners working at the highest level of accuracy may need to adjust the values of their standards and review their measurement uncertainty budgets.

- **The kelvin** will be redefined with no immediate effect on temperature measurement practice or on the traceability of temperature measurements, and for most users, it will pass unnoticed. The redefinition lays the foundation for future improvements. A definition free of material and technological constraints enables the development of new and more accurate techniques for making temperature measurements traceable to the SI, especially at extremes of temperature. After the redefinition, the guidance on the practical realization of the kelvin will support its world-wide dissemination by describing primary methods for measurement of thermodynamic temperature and equally through the defined scales ITS-90 and PLTS-2000.

- **The mole** will be redefined with respect to a specified number of entities (typically atoms or molecules) and will no longer depend on the unit of mass, the kilogram. Traceability to the mole can still be established via all previously employed approaches including, but not limited to, the use of mass measurements along with tables of atomic weights and the molar mass constant  $M_u$ . Atomic weights will be unaffected by this change in definition and  $M_u$  will still be 1 g/mol, although now with a measurement uncertainty. This uncertainty will be so small that the revised definition of the mole will not require any change to common practice.

The revised definitions of the kilogram, ampere, kelvin and mole will have no impact on the second, the metre and the candela.

- **The second** will continue to be defined in terms of the hyperfine transition frequency of the caesium 133 atom. The traceability chain to the second will not be affected. Time and frequency metrology will not be impacted.

- **The metre** in the revised SI will continue to be defined in terms of the speed of light, one of the fundamental constants of physics. Dimensional metrology practice will not need to be modified in any way and will benefit from the improved long-term stability of

the system.

- *The candela* will continue to be defined in terms of  $K_{cd}$ , a technical constant for photometry and will therefore continue to be linked to the watt. Traceability to the candela will still be established with the same measurement uncertainty via radiometric methods using absolutely-calibrated detectors.

The SI has been revised several times since its formal adoption by the CGPM in 1960. However, redefining four base units at one time is unprecedented, requiring simultaneous world-wide collaborations in diverse fields of metrology. As in the past, care has been taken to ensure that there will be no perceptible impact on daily life and that measurements made with previous definitions of the units remain valid within their measurement uncertainties. Few users outside national metrology laboratories will notice the changes. Reaching the experimental accuracies and fulfilling the conditions requested in the CGPM resolutions has been a remarkable accomplishment, which will ensure that the SI continues to meet the needs of even the most demanding users.

1. <http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>
2. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>
3. <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/25/1/>
4. <http://www.bipm.org/en/publications/mises-en-pratique/>
5. [http://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/15/02A\\_MeP\\_kg\\_141022\\_v-9.0\\_clean.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/15/02A_MeP_kg_141022_v-9.0_clean.pdf)
6. <http://www.bipm.org/cc/CCEM/Allowed/26/CCEM-09-05.pdf>
7. [http://www.bipm.org/cc/CCT/.../MeP-K-14\\_DRAFT\\_Dec\\_2015.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCT/.../MeP-K-14_DRAFT_Dec_2015.pdf)  
Note: The document is updated  
[https://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/28/MeP-K-19\\_June\\_2017\\_DRAFT.pdf](https://www.bipm.org/cc/CCT/Allowed/28/MeP-K-19_June_2017_DRAFT.pdf)
8. [http://www.bipm.org/cc/CCQM/Allowed/22/CCQM16-04\\_Mole\\_m\\_en\\_p\\_draft.pdf](http://www.bipm.org/cc/CCQM/Allowed/22/CCQM16-04_Mole_m_en_p_draft.pdf)

This note was prepared by the Consultative Committees of the CIPM in 2017 for the purpose of creating awareness of the revision of the International System of Units expected for 2018.

本日本語版に関する問い合わせ先

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

計量標準総合センター 計量標準普及センター 計量標準調査室

代表電話 029-861-4346

電子メールによる問い合わせ [nmij-info-ml@aist.go.jp](mailto:nmij-info-ml@aist.go.jp)