

プランク定数にもとづくキログラムの新しい定義

Planck constant for the new definition of the kilogram

産総研 ○藤井 賢一

National Metrology Institute of Japan, AIST, Kenichi Fujii

E-mail: fujii.kenichi@aist.go.jp

質量の単位であるキログラムは 1889 年にメートル条約にもとづいて開催された第 1 回国際度量衡総会 (CGPM) で定義された。このとき国際キログラム原器 (図 1) が質量の単位として採用されたが、表面汚染による質量変動が避けられない。このため、基礎物理定数を用いて新しい定義を実現するための研究が行われてきた。その結果、2018 年 11 月に開催された第 26 回 CGPM において、キログラム、ケルビン、アンペア、モルの定義をそれぞれプランク定数 h 、電荷素量 e 、ボルツマン定数 k 、アボガドロ定数 N_A にもとづく定義へと改定することが採択された。

キログラムの新しい定義としては、原子の数から質量を決めるアボガドロ定数 N_A にもとづくものと、相対論と光子量子仮説から光子のエネルギーと質量とを関連づけるプランク定数 h にもとづくものとが検討されてきたが、 N_A と h の間には以下に示す関係がある。

$$N_A = c M_e \alpha^2 / (2 R_\infty h) \quad (1)$$

ここで、 M_e は電子のモル質量、 α は微細構造定数、 R_∞ はリュードベリ定数であり、(1)式において h を除く基礎物理定数群は 4.5×10^{-10} の相対標準不確かさで既に求められている。これは N_A や h の測定の不確かさよりも十分に小さいので、何れの定数を用いてもキログラムを定義することができるが、ジョセフソン効果と量子ホール効果によって既に実用化されている電気標準への利便性を考え、キログラムの定義には h が採用された。

アボガドロ定数 N_A の測定については、産総研の計量標準総合センター (NMIJ)、独 PTB、伊 INRiM、国際度量衡局 (BIPM) などが中心となり、 ^{28}Si 同位体濃縮単結晶を用いて N_A を高精度化するための国際プロジェクトを 2004 年から開始し、X 線結晶密度法による格子定数 a 、密度 ρ 、モル質量 M の超精密計測などからアボガドロ定数 N_A を測定した。NMIJ では質量約 1 kg の ^{28}Si 同位体濃縮シリコン結晶球の直径をサブナノメートルの精度で測るレーザ干渉計 (図 2) などを開発し、国際キログラム原器の質量安定性を超える精度で N_A を測ることに成功した。プランク定数 h は式(1)を用いて N_A の測定値から求めた。

X 線結晶密度法とキップル (ワット) バランス法によるプランク定数 h の測定結果にもとづいて、科学技術データ委員会 (CODATA) では、SI の新しい定義で用いられる h の特別調整値を決定した (図 3)。日本が大幅に貢献するかたちで実現する 130 年ぶりのキログラムの新しい定義は 2019 年 5 月 20 日から施行される。

参考文献

藤井賢一: プランク定数を決める! キログラムの定義改定へ, 応用物理, 2018, Vol. 87, No. 10, 774-779.



図1 1889年にキログラムの定義として採用された国際キログラム原器

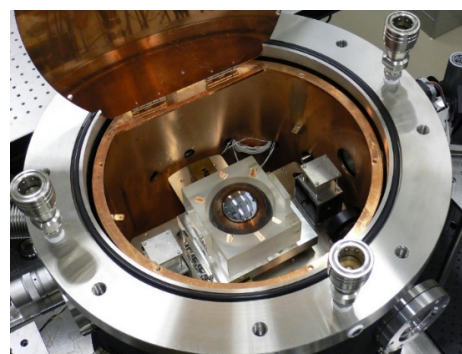


図2 1 kg のシリコン球の直径をサブナノメートルの精度で測るレーザ干渉計

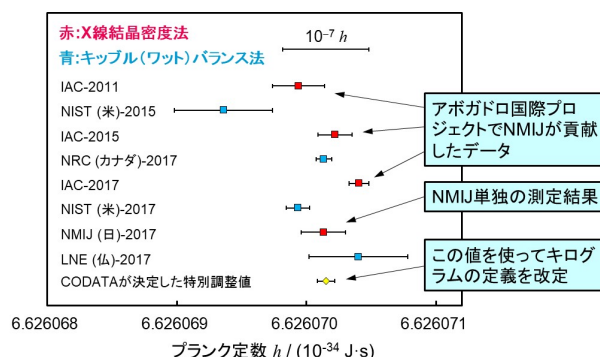


図3 プランク定数の測定結果と CODATA が決定した特別調整値