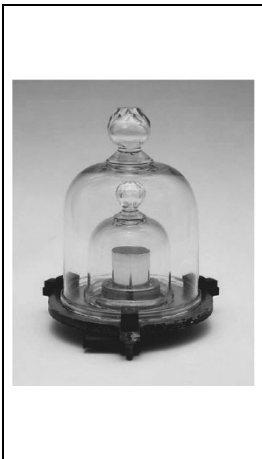


電気標準の改定と今後

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門
金子晋久



1. まえがき

計測、特に精密計測はその出発点としての基準、つまり「標準」の設定の仕方に大きな重点が置かれる。現在の科学技術では全ての標準を基礎物理定数に求めることが理想とされてきた。2019年5月20日から利用開始された改定国際単位系（改定 SI）は、プランク定数、電気素量、ボルツマン定数、アボガドロ定数を、光の速さと同じように不確かさのない定義値として決定し、その理想をある程度実現できたと言える。特に電気計測では、古典電磁気学に基づく定義を形式的な基準としつつ、実体としてはジョセフソン効果、量子ホール効果を記述するジョセフソン定数とフォン・クリッツィング定数を、「協定値」と呼ばれる暫定的な不確かさのない定義値として利用することで産業界の要請にきてきた。しかし、それらの定数は物理学的にはさらにプランク定数と電気素量で記述できるため、より根源的な基礎物理定数の精密計測と定義値としての利用が待たれてきた。拙稿ではこれらの歴史的背景とプランク定数と電気素量の定義による電気標準の現在と未来について概説する。

2. 電気標準の歴史

戦前まで利用されていた、一定の太さ×長さの水銀柱を用いた抵抗標準や銀分離器（硝酸銀水溶液における一定時間での銀の析出量で電流を定義する）による電流標準は、物質に依存し、また化学反応に依存していた。これは様々な外的要因により大きな影響を受け、近代的な精密計測への利用が困難であることは自明となっていた。そこで日本も含め、1930年代にドイツ、アメリカ、イギリス、フランスで電流などの、より原理的な物理法則に基づく測定、つまり「絶対測定」が精力的に行われ^{1,2)}、1948年第9回国際度量衡総会（CGPM）での決議（正式な承認は1954年の第10回CGPM）を得て、国際単位系（SI）における電気標準は近代的なものとなった。その電流標準は真空中に置かれた理想的な二本の電線間に働く力で定義されたものであり、

「アンペアは、真空中に1メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い二本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ1メートルにつき 2×10^{-7} ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流である。」

と表現された。この定義を簡単に図示したのが、図1である。これは真空中の透磁率、つまり磁気定数 μ_0 を定義することと同値であった。

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m.} \quad (1)$$

しかしその定義から直接電流を導くには測定が困難で不確かさが大きい電流天秤を必要とし、その後のアナログ、デジタル回路技術の発展を支えることはできない状況が明らかとなった。その流れの