

電流、電圧、電気抵抗は、しばしば水の流りに例えられます。電圧は水位差、電気抵抗は水の流れ易さ/難さ、電流は文字通り水流です。そして流れ落ちた水が貯まった水量は、単位時間あたりの水流に流れた時間を掛けたものになります。そうであるなら、そもそも水量を、すなわち貯まった電気量（クーロン）を量って電流を求めれば良いのですが、電気の場合貯めておくことが極めて難しく、先に「電流」を定義したことになります。（この点では Vol. 84 で触れた電気メッキとして電流を定義した「国際アンペア」は、貯まった電気量を電気メッキとして固定化することで逃げないように定量化したわけで、合理的だったと言えます）

そして電流を電磁気による力学的な定義で SI に統合したのも Vol. 84 で紹介したとおりです。水の流りに例えれば、水が流れることで生まれる運動、例えば水車の回転で定義しているようなものです（実際、水道メーターなどの多くの流量計は水車のような仕組みで測定しています）。しかし、現在の定義に厳密に従うのは困難なので、より正確・再現性良く決定できる電圧（水位に相当）と電気抵抗（流れやすさ・水路の抵抗）を定めて、それによってオームの法則に従い電流を（間接的に）実現しよう、というのが現在の体系です。

この実用的な体系は大変安定で、技術的にも完成されており、定義改定後もジョセフソン効果電圧標準と量子ホール効果抵抗標準およびオームの法則によって電流標準が設定・維持される予定です。では改定前後で何が変わるのか。

こみ入った話になりますが、現在電気標準の設定に用いられている、ジョセフソン効果、量子ホール効果に関わる普遍定数、ジョセフソン定数とフォン・クリツィング定数は、現在次のような値とされています。

$$K_{J-90} \equiv 483\,597.9 \times 10^9 \text{ HzV}^{-1}$$

$$R_{K-90} \equiv 25\,812.807 \, \Omega$$

J とつくのがジョセフソン定数、K とつくのがフォン・クリツィング定数ですが、ここに「-90（ハイフン90）」と但し書きがついている一方、不確かさを伴っていません。これは、1990年以降、ジョセフソン定数とフォン・クリツィング定数は不確かさをゼロとする協定値（当時の実験結果から現状合意する値を皆で共有しようという取り決め）としたことを示しています。世界の主要先進国では、現在もこの値を使って電気標準を設定しているのです。

ところがジョセフソン定数とフォン・クリツィング定数はプランク定数の影響を受けるため、プランク定数が見直されると結果として電圧、抵抗も変化することになります。このような危惧があったにも関わらず、協定値に踏み切ったのは、当時電子機器の性能が向上し、電気量の不確かさが大きいと電子機器の性能を最大限に発揮出来ないという危惧があったことがひとつの理由です。つまり、電気標準の閉じた世界の中での再現性や分解能を優先する事で、電子機器の性能を向上させる代わりに、SI との整合性を毀損するリスクを負ったのです。

実際、90年の協定値による電圧、抵抗の標準は、0.1 ppm（一千万分の一）ずれると予想されています。これは2018年に予定される一連の定義改定で、唯一生じるステップ状の変化と言えます。（ただし、熱力学温度の改定により温度目盛の見直しが迫られるが、当面現在の「国際温度目盛」を維持することでステップ状の変化はもたらさない）

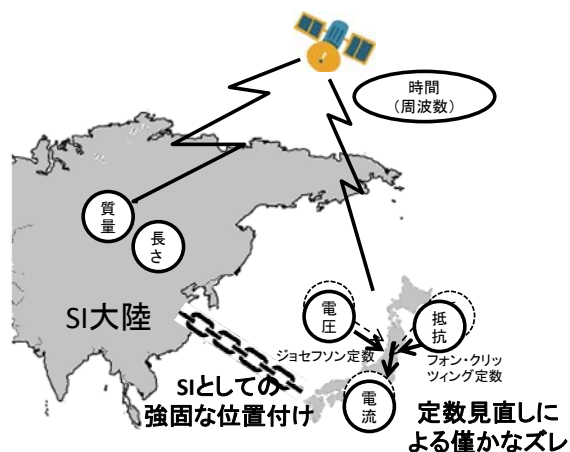


図1. 電気量におけるSI定義改定のメリットとデメリット

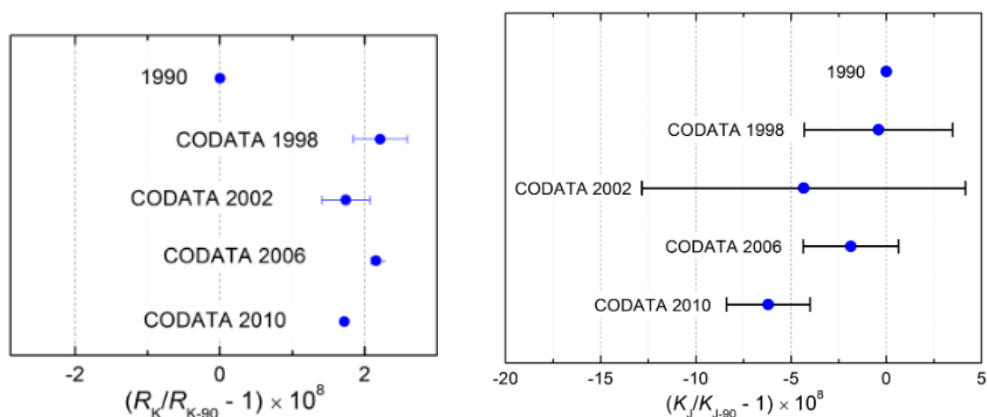


図2. フォン・クリツィング定数（左）とジョセフソン定数の90年からの変遷

ただ、現実的にはユーザが使う標準電圧源や標準抵抗の経時変化の方が大きいので、この程度のずれはまったく問題にならないとも予想されています。一方、プランク定数の決定による見直しを行わないと、電気量と質量を始めとする他の単位との不整合が放置され、また不整合が大きくなる危惧があります。ここで見直しをすることで電気量が他のSI基本量と長期的に整合し、僅かな不連続という一時的問題を上回るメリットが得られます。

より具体的には、MEMSなどの機電一体デバイスなどでは、正確な電気量と機械量の変換やデバイス自体の効率化などが期待されます。センサやアクチュエータの低消費電力化、エネルギーハーベスト（微小振動や温度差を利用した環境発電）の効率化など、モノとモノがインターネットでつながる、いわゆるIoTの時代に向けて、様々な恩恵をもたらすと期待できます。

文責: 臼田孝 本文章は個人の見解であり筆者が属する如何なる組織を代弁するものでもありません。引用明記のない写真・図版は筆者または産業技術総合研究所に帰属します。