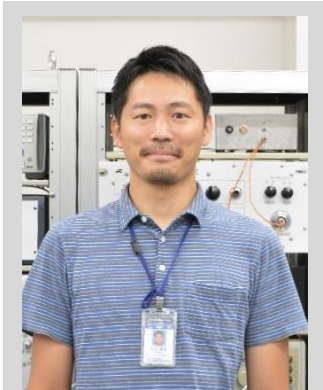


直流抵抗標準の高度化に向けた取り組み



大江 武彦

おおえ たけひこ
 Email t.oe@aist.go.jp
 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
 量子電気標準研究グループ
 主任研究員

プロフィール

2006年に入所し量子ホール素子の作製、直流抵抗標準の維持供給・高度化に携わってきました。2019年度には米国の標準研究所 NIST にて 100 TΩ までの高抵抗範囲を測定可能な測定装置を開発し、世界最高レベルの不確かさで米国の抵抗標準と一致することを確認しました。

共同研究者

金子晋久（産総研）、
 熊谷誠弥、佐藤充、須磨秀之、
 座間松雄（アルファ・エレクトロニクス株式会社）、
 阿部隆行、柴崎洋（株式会社村田製作所）、
 莖澤孝、吉田理人、釣一博（株式会社日本ファインケム）

計測器の内部には基準抵抗器や基準電圧源が内蔵されており、それらの安定性が計測器の性能を決定付けます。多くの物理量は電気量に変換され測定されますので、安定な抵抗器や抵抗標準は、医療・宇宙航空・材料などの研究開発や、安心安全な社会を支えていると言えます。計量標準総合センター(NMIJ)は、量子ホール効果を用いた直流抵抗の国家標準を維持供給しています。本稿では、量子ホールアレー素子を用いた取り組み、精密電気計測コンソーシアムの活動、安定な抵抗器の開発について紹介します。

はじめに

電子機器の小型軽量化に伴い、電子回路を構成する部品も年々微細化しています。同時に省エネルギー化も求められているため、電子部品のサイズを小さくしつつ漏れ電流も少なくするために、より高い絶縁抵抗を有する材料が必要となり、その開発には安定な計測器、ひいては安定な基準抵抗器や抵抗標準が必要となります。また電子部品のより高い絶縁抵抗を保証し世界的なシェアを維持獲得する上でも高抵抗の精密測定能力は重要になります。また、スマートグリッドや電気自動車、蓄電池の研究開発などには安定な低抵抗素子やその測定技術が必要とされており、低抵抗標準も重要であると言えます。それら高抵抗や低抵抗の標準を支える上で、基準となる中抵抗範囲（1 Ω から 100 kΩ）にはさらなる安定性が求められており、このレンジの安定な抵抗素子や標準抵抗は最重要であるといえます。本稿では、量子ホールアレー素子を用いた取り組みや、精密電気計測コンソーシアムの活動に関して、また企業と共同開発した安定な標準抵抗器について紹介します。

量子ホール効果を用いた直流抵抗標準および量子ホールアレー素子を用いた高抵抗や微小電流測定技術の開発

直流電気抵抗の国家標準は、量子ホール効果を用いて現示されています。これは電子の薄い層（2次元電子系）に垂直に磁場を印加した際にホール抵抗が量子化されるというもので、Klaus von Klitzing 氏により発見されました[1]。量子ホール素子が示す約 12 906.403 73 Ω が直流抵抗の一次標準として使用されており、極低温電流比較器という測定装置を用いて 100 Ω などの標準抵抗器を校正しています。この量子ホール素子を直並列に組み合わせることで、任意の量子化抵抗値を示す素子を作製することもできます。図 1 は、産総研で作製

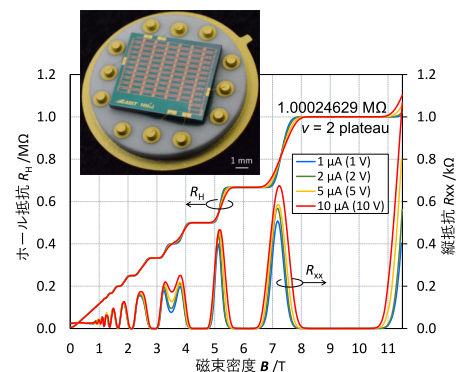


図 1 1 MΩ量子ホールアレー素子とその対磁場特性

した 1 MΩの量子ホールアレー素子の写真とその対磁場特性のグラフです。8.5 T から 10 T の磁場を印加した際に、ホール抵抗が、設計値の 1.000 246 29 MΩに量子化されていることがわかります。ホール抵抗は、ホール素子に流れる電流に垂直の方向の抵抗で、縦抵抗は電流と同じ方向の抵抗です。縦抵抗がゼロに近い素子が良い素子であるとされており、グラフから 8.5 T から 10 T の磁束密度の範囲でほぼ 0 Ωであることがわかります。この約 1 MΩの量子化ホール抵抗について、米国の標準研 NIST (National Institute of Standards and Technology) のグループと共同で、極低温電流比較器ブリッジを用いた精密測定を行い、20 nΩ/Ω未満で測定値が設計値に合っており、良い素子ができていることを確認しました[2]。このような量子ホールアレー素子を用いて、普段高抵抗の校正に用いる測定システムの評価を行い、不確かさの範囲内で良く一致することから測定の信頼性を確認しました[3]。また韓国 KRISS (Korea Research Institute of Standards and Science)のグループと共同で、高抵抗の量子ホールアレー素子が微小電流の精密測定に利用可能であることを示し、1 MΩ素子を用いて 1 μA を 80 nA/A の不確かさで測定できることを示しました[4]。