

# 量子電圧雑音源を用いた熱力学温度測定技術



**浦野 千春**  
 うらの ちはる  
 c-urano@aist.go.jp

計測標準研究部門  
 電磁気計測科  
 量子電気標準研究室  
 主任研究員  
 (つくばセンター)

入所当初は抵抗標準を担当。  
 現在は電圧標準の維持・管理・  
 供給および交流電圧標準の開  
 発を担当しています。

抵抗器の両端に発生する雑音電力と温度の間には、抵抗器の種類に依存しない普遍的な関係（ナイキストの関係）が成り立つことが知られています。私たちは、超伝導デバイスを利用してつくられた量子電圧雑音源を用いてこの雑音電力を精密に測定する技術の開発に取り組んでいます。これにより、熱力学温度の精密測定およびボルツマン定数の再定義に貢献したいと考えています。

## 量子電圧雑音源

ジョセフソン接合と呼ばれる超伝導デバイス（図1）に電流パルスを入力すると、量子化された電圧パルスが発生します。一つ一つの電圧パルスの面積は厳密に $h/2e$ の整数倍になっています（ $h$ はプランク定数、 $e$ は電気素量）。毎秒 $f$ 個の電圧パルスを単調に発生させると、平均電圧は $hf/2e$ となります。これが現在の電圧標準の原理です。

ジョセフソン接合に入力する電流パルスを変調すると、オーディオプレーヤーでデジタル信号から音楽を再生するのと同じように、任意の波形を発生させることができます。超伝導デバイスは、オーディオプレーヤーと異なり、出力電圧のスペクトル強度が $h$ 、 $e$ 、周波数 $f$ および任意の数値の積だけで厳密に記述できるという特徴があります。この方法を利用して、時間領域ではノイズのように振る舞い、周波数領域ではどの周波数でも振幅が一定に見える波形をつくることができます（図2）。このような基準信号源は有限周波数領域で機能する計測器を評価

するのに有用です。

## 熱力学温度測定への応用

量子電圧雑音源の興味深い応用例の一つとして、熱力学温度の測定が挙げられます。量子電圧雑音源と量子化ホール抵抗標準を基準とすれば、抵抗器の発生する雑音電力の絶対値を精密に測定でき、ナイキストの関係式から温度を求めることができます。このように、熱力学の関係式から求める温度を熱力学温度と呼びます。

熱力学温度の測定にはさまざまな方法がありますが、量子電圧雑音源を用いてナイキストの式から温度を求める方法は、測定に用いる器物の材質や形状に依存しないため、解析が単純で、広い温度範囲で利用できると考えられています。抵抗器が水の三重点など既知の温度にある場合は、ナイキストの式からボルツマン定数を求めることができます。

今後は、量子電圧雑音源を用いた熱力学温度測定技術によって、ボルツマン定数の再定義や温度定数の再定義に貢献することを目指します。

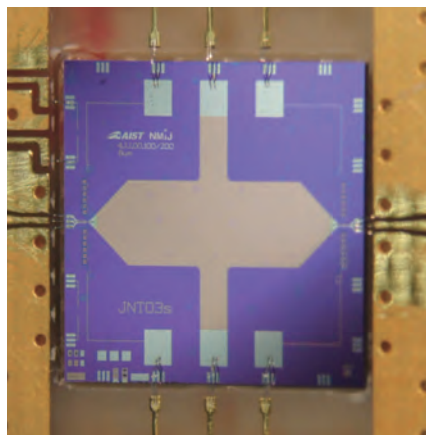


図1 量子電圧雑音源用超伝導デバイス

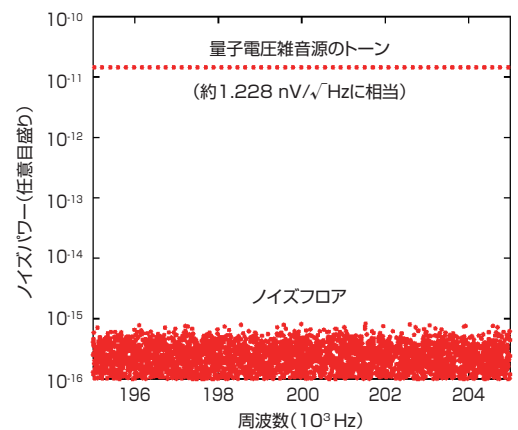


図2 量子電圧雑音源のスペクトル