

# フィードバック機構を用いた量子メトロロジートライアングル実験の高精度化

- 差電圧測定におけるゲインエラーを低減する手法の研究開発
- ジョセフソン効果を用いた量子化電圧の生成技術を応用
- 微小電圧測定における測定の不確かさを低減に貢献

## 研究のねらい

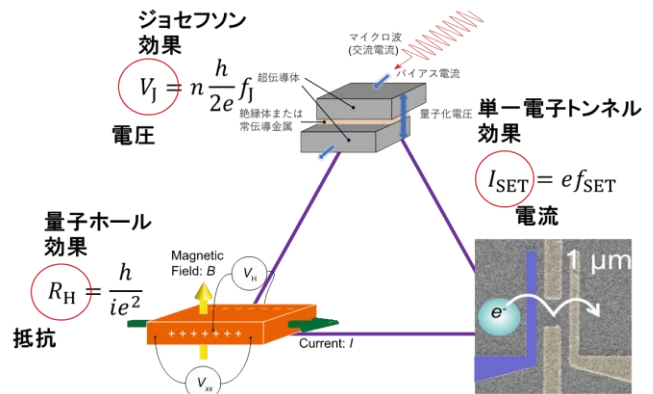
電流・電圧・抵抗の基準となる量子力学的な現象の整合性を、オームの法則に基づいて検証する実験を量子メトロロジートライアングル実験と呼びます。この実験では、電圧計のゲインエラーによる影響が不確かさの要因となります。本研究では、測定回路中に電圧のフィードバック機構を導入することで、ゲインエラーの影響を低減したより高精度な実験を可能とする手法を開発しています。本技術は、微小電圧の測定精度の向上やノイズ測定分野への貢献も可能です。

## 研究内容

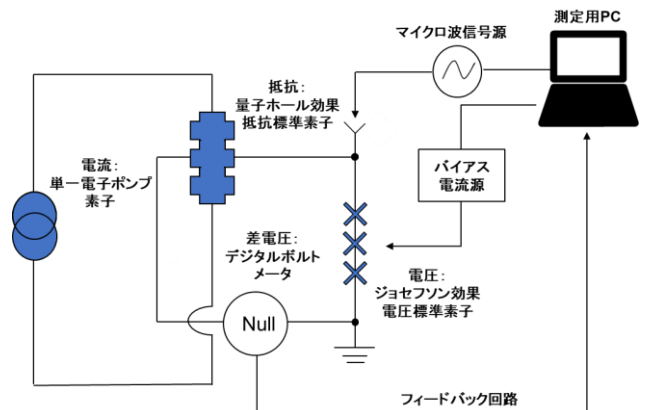
ジョセフソン効果、量子ホール効果、単一電子トンネル効果により、それぞれ電圧、抵抗、電流の標準を量子力学的に実現することが可能です。オームの法則を用いた量子メトロロジートライアングルの検証においては、2通りの方法で生成した電圧の比較つまり差電圧の測定を行います。その際、測定回路中に差電圧のフィードバック機構を導入することで、配線の熱起電力の揺らぎも含めたノイズによって生じる差電圧の揺動やオフセットがほぼ零になるように調整を行います。これにより、電圧計のゲインエラーによる測定の不確かさを低減することが可能です。本研究では、フィードバックにおける遅延時間と測定に含まれるノイズの見積りから得られた情報を基に、不確かさを低減のシミュレーションを行いました。特に $1/f$ ノイズによる影響に着目し、フィードバックの遅延時間と $1/f$ ノイズのコーナー周波数との関係によって得られる結果の変化を調べました。

## 今後の展開

- ・ 校正用電圧標準の実装技術の連携
- ・ 微小電圧測定における測定精度向上
- ・ 微小ノイズ計測への応用
- ・ 本研究の一部は、日本学術振興会の「研究活動スタート支援（2019年度～2020年度）」により行われたものです。

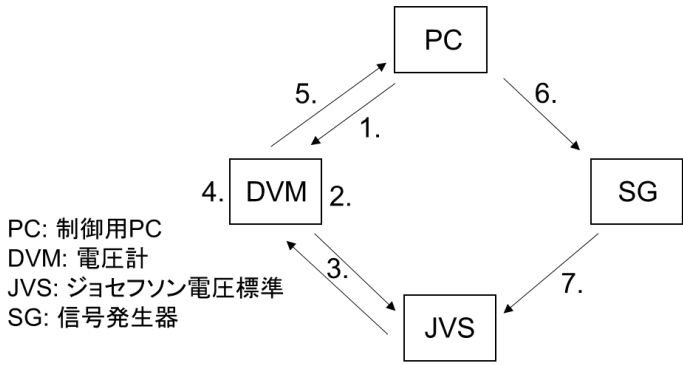


量子メトロロジートライアングルの概念図



量子メトロロジートライアングル実験の測定系

# トラッキングスピードの見積り



PC: 制御用PC  
 DVM: 電圧計  
 JVS: ジョセフソン電圧標準  
 SG: 信号発生器

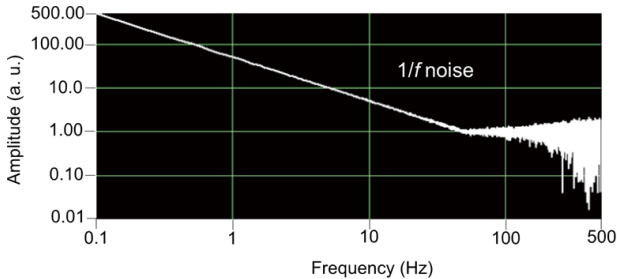
フィードバックシーケンスの模式図

## フィードバックシーケンスの遅延時間一覧

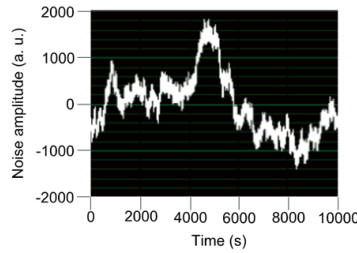
要素	遅延時間	情報元
1. コマンド送信 (100 bytes)	0.014 ms	仕様値
2. コマンド読み取り (100 bytes)	0.010 ms	仕様値
3. 積分時間 (1 PLC)	20 ms	仕様値
4. コマンド読み取り (100 bytes)	0.010 ms	仕様値
5. コマンド返送 (100 bytes)	0.014 ms	仕様値
6. コマンド送信(100 bytes)	0.14 ms	仕様値
7. 周波数変化時間(1 MHz)	10 ms	測定値
合計時間	30 ms	
トラッキングスピード	33 Hz	

推定トラッキングスピード: 30 ms (33 Hz)

# フィードバックのシミュレーション



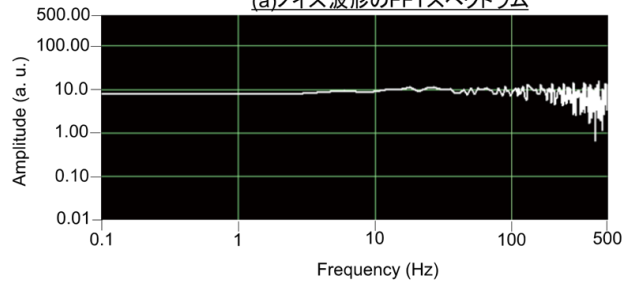
(a)ノイズ波形のFFTスペクトラム



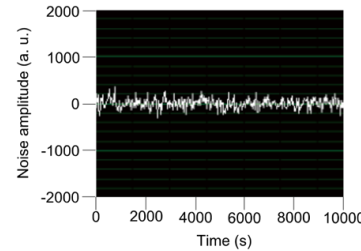
(b)ノイズ波形

コーナー周波数: 50 Hz

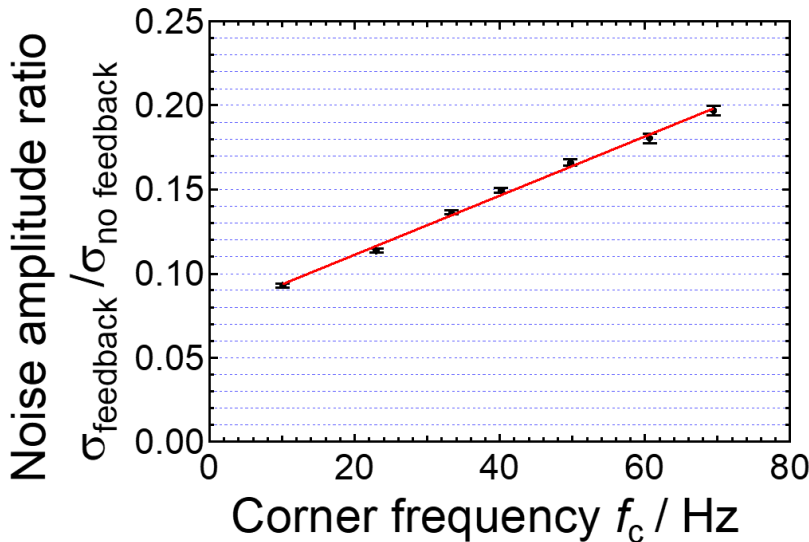
30 ms (33 Hz) のフィードバック速度を仮定



(c)フィードバック後のFFTスペクトラム



(d)フィードバック後のノイズ波形



結果:80% - 90% のノイズ振幅の減衰 (1/f noise)

→ゲインエラーの影響を低減

フィードバックのシミュレーション結果