

特集：SQUID 応用の最新動向

「HTS-SQUID を用いた高温超電導線材検査システムの開発」

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所デバイス研究開発部
主管研究員 波頭経裕

HTS-SQUID は液化窒素温度で動作可能である取り扱いや、保守の観点では優位性が考えられるが、10 fT 以下の磁気感度を有する LTS-SQUID と、それより 3 桁以上感度は劣るものの、冷却を必要としないフラックスゲート磁気センサの狭間にある。優位性を見込めるアプリケーションを見いだすには、HTS-SQUID の感度を上げることが必要である。

我々は、これまで培ってきた最大で 4 層の超電導層と 4 層の中間絶縁層の積層構造プロセス技術¹⁾を SQUID に応用することで、高感度な HTS-SQUID を実現し、グラジオメータの多チャンネル化にも成功した。この SQUID を応用して実現したのが高温超電導線材非破壊検査システムである^{2),3)}。

図 1 は積層化技術を用いて作製した SQUID グラジオメータである。ランプエッジ接合を用いているため、多チャンネル化する際にレイアウトに自由度があること、耐磁場性能が高いことが特徴である。さらに、フィードバックコイルを検出コイル上に作製することにより、隣接するグラジオメータとの相互干渉を抑制することができる。

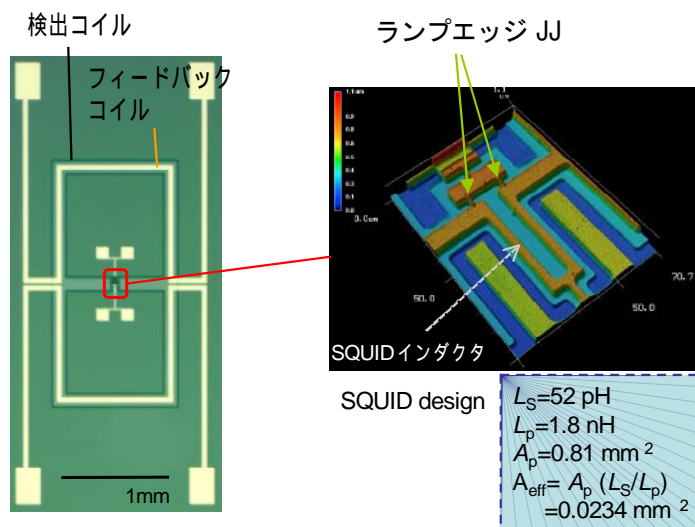


図 1 積層技術を用いた SQUID グラジオメータ

渦電流法非破壊検査装置用高感度センサとしてこのグラジオメータを 5 チャンネル用いたのが、図 2 に示す高温超電導線材検査システムである。この装置はすでに線材開発をサポートするツールとして実際に使用されている。本装置は 500 m の線材に対応するため、直径 480 mm のリール間で線材を送りながら計測できるよう構成されている。超電導テープ線材は、ハステロイ合金基板の上に中間絶縁層を介して Y 系超電導層があり、さらにその上を Ag 安定化層で覆われている。超電導層の欠陥を検出するためには、線材は超電導状態に冷却する必要がある。線材を送りながら 2 台の

冷凍機に接続された冷却ステージと、液化窒素で冷却された補助冷却機構によって熱接触で冷却され、SQUID 下での誘導コイルによる誘導電流は主に超電導層を流れるようになっている。この誘導電流は超電導層内の欠陥を迂回して流れ、そこに生じる垂直磁場成分の傾きを SQUID で検出する。グラジオメータを用いることで、磁気シールドのないシステムを実現している。最大計測速度は 80 m/h である。計測速度は冷却速度に律速されており、低温プローバやサンプラーシステムで培われた熱遮蔽技術が活かされている。電力機器応用を想定し、AC ロスを低減するために 5 mm 幅線材は 1 mm 幅のフィラメント状に分割加工されている。この線材の各フィラメント内の欠陥を、個別に高速で検出できるよう、5つの 1 mm 幅グラジオメータが配置されている。図 3 は 5 分割線材の分割加工前後で計測した例であるが、フィラメント加工後に剥離欠陥やフィラメント間ショートが新たに検出されている。波形形状である程度欠陥種別を判別できる他、長尺線材の評価を効率よく行うため、ロックオフ自動復帰機構や、しきい値設定による自動欠陥分布集計機能を有している。

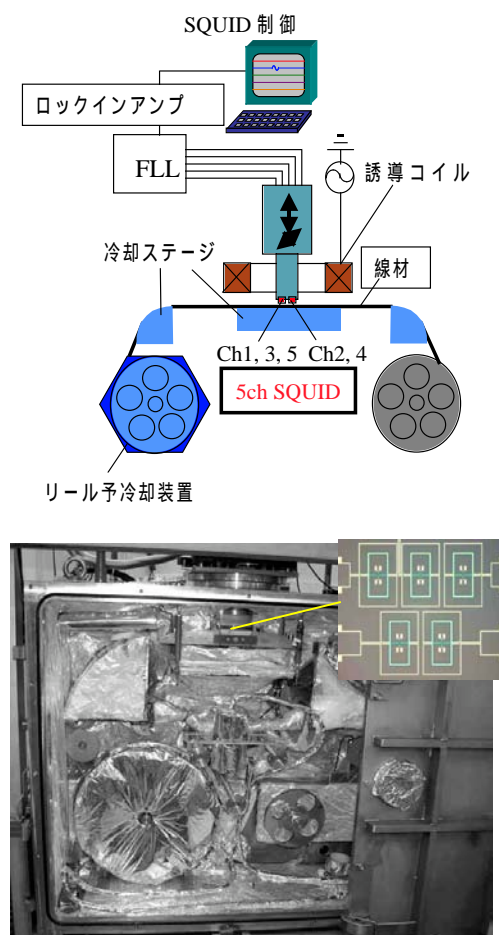


図 2 システム構成と真空チャンバー内およびグラジオメータアレーの写真

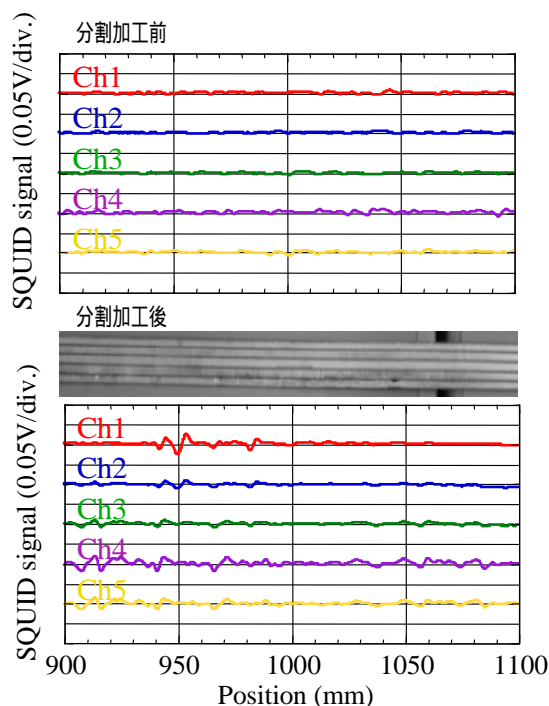


図 3 超電導テープ線材の検査例

参照：

- 1) K. Tanabe *et al.*, "Advances in High- T_c single flux quantum device", IEICE Trans. Electron., vol.E91-C, p.280, 2008.

- 2) T. Hato *et al.*, "NDE of coated-conductor using HTS SQUID array", Physica C 469 (2009) 1630-1633.
- 3) T. Hato *et al.*, "Non-Destructive Testing of YBCO Coated-conductor by Multi-Channel HTS SQUID Gradiometers", IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 804-807, June 2009.

[超電導 Web21 トップページ](#)