

# 高感度磁気特性検査装置の開発

金属材料の劣化を検知する

## Development of Magnetic Property Evaluation System Detecting a Material Damage of Metal

(電力技術研究所 超電導G)

発電設備に用いられる金属材料の劣化や欠陥が、設備の運転に影響を与える程度に成長する以前に、これらを検出することは信頼性確保のため重要な課題である。

その一つの方法として、SQUIDを用いて金属材料の劣化を非接触で調べることのできる高感度磁気特性検査装置を古河電気㈱と共同で開発した。本装置は高感度磁気センサーであるSQUIDが超電導磁気シールド内に設置されたものであり、非常に微弱な劣化の信号を検出することができる。この装置の有効性を確認したので報告する。

(Electric Power Research & Development Center,  
Superconducting Group)

Detection of material damages before these grow to hazard the normal plant operation is an important item to keep reliability of power plants. We, in collaboration with Furukawa Electric Co., Ltd., have developed a magnetic property evaluation system using a SQUID magnetometer which detects material damages of metals contact-freely. This system attained a very high sensitivity by setting the SQUID sensors in a high Tc superconducting shield resulting in detecting a very small sign of damages.

### 1 開発の背景

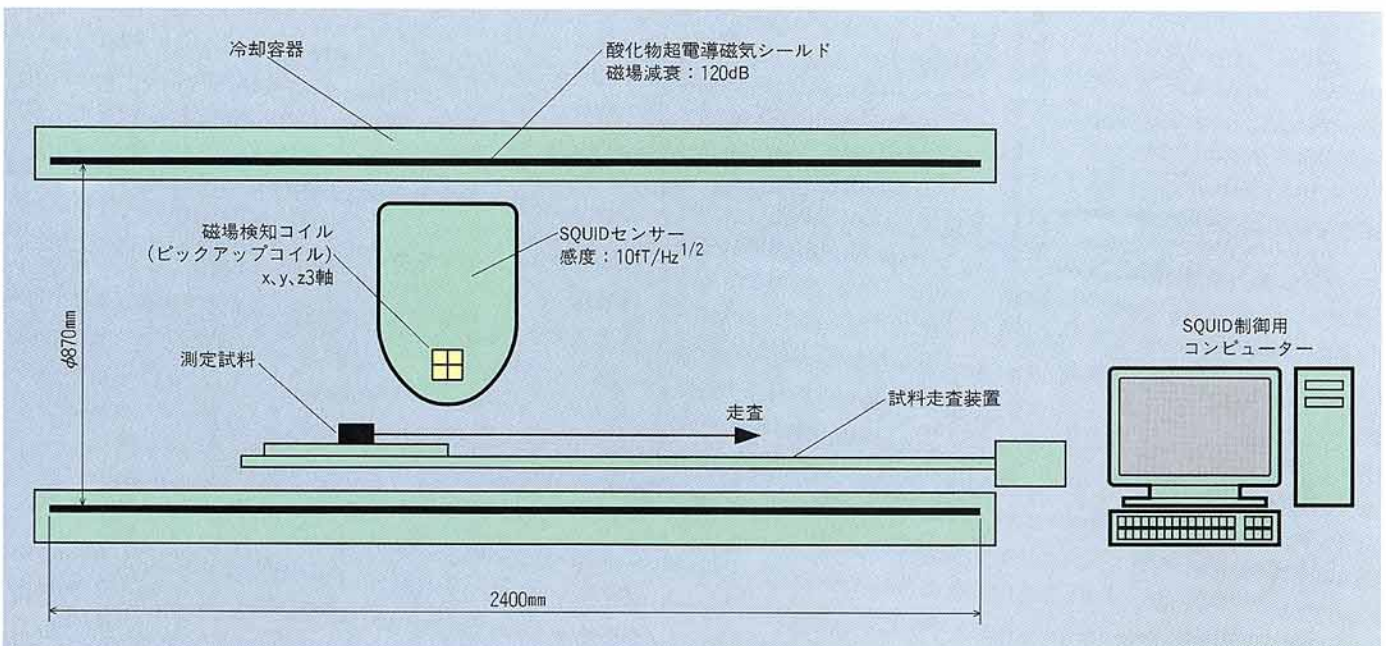
火力発電所などのプラント設備の保全、劣化管理診断技術は、設備の信頼性の確保や余寿命管理の重要性から、近年積極的に研究開発が進められている。特に非破壊でプラントに内在する欠陥を検査する方法は、安全性確保のために不可欠な技術として、種々の方法が開発され、電氣的、音響的、電磁氣的などの検査が行われている。また、近年SQUID（超電導量子干渉素子）により、欠陥や金属疲労、腐食の兆候を検出できる可能性が報告されている。そこでさらに高感度な測定と非接触で欠陥の位置を推定することができ、破壊の前兆段階において劣化を検出することができるSQUIDセンサーと、超電導磁気シールドの組み合わせ

による高感度磁気特性検査装置の開発を行った。

### 2 装置の概要

本装置は第1図および第2図に示すように、酸化物超電導シールド（材質： $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ 、形状： $\phi 87 \times 240\text{cm}$ ）の内部にSQUIDセンサーを設置し、測定試料をこのシールド内で走査させて、試料からの磁気信号をSQUIDセンサーにより検出する。また、非接触で測定が行われるため、複雑な形状の試料でも測定が可能である。

SQUIDセンサーとは、第3図に示すように超電導でできたループの2ヶ所に絶縁物の接合部（ジョセフソン接合）を設け、この部分で電子の波動の干渉を起こ



第1図 高感度磁気特性測定装置の概略構成図



させ、この干渉がループの中を通る磁束により敏感に変化することを利用した磁気センサーである。また、このジョセフソン接合に流すことのできる最大超電導電流（臨界電流）は、ループの中を通る磁束により変化する。そこで外部電流（バイアス電流）をこの臨界電流より少し大きくしておくことで電圧が発生し、その電圧はループの中を通る磁束によって変化することになる。従ってこの電圧を計測することにより磁束を知ることができる。しかもこの干渉現象はループを通る非常に小さい磁束の変化（量子磁束 $\phi_0=2.07\times 10^{-15}\text{Wb}$ ）を周期として起きるため非常に高感度の磁場の測定ができる（感度：約 $10\text{fT/Hz}^{1/2}$ 以上）。

ところで、SQUIDで計測できる微弱な信号は、外部の雑音磁場の影響を受けるために、真の磁気情報を得るには工夫が必要となる。その一つの方法として超電導シールドにより外部の磁場を遮蔽して、シールド内で測定を行う。このことによりシールドを用いない場合に比べ1万倍以上の感度でデータを取ることができる。

試料の劣化の大きさ、および劣化の位置は、測定試料からの磁気信号をSQUIDに配置された3軸の磁場検知コイル（ピックアップコイル）により検出し、磁気モーメントを求めることによって推定される。その位置検出精度は1mm以下である。

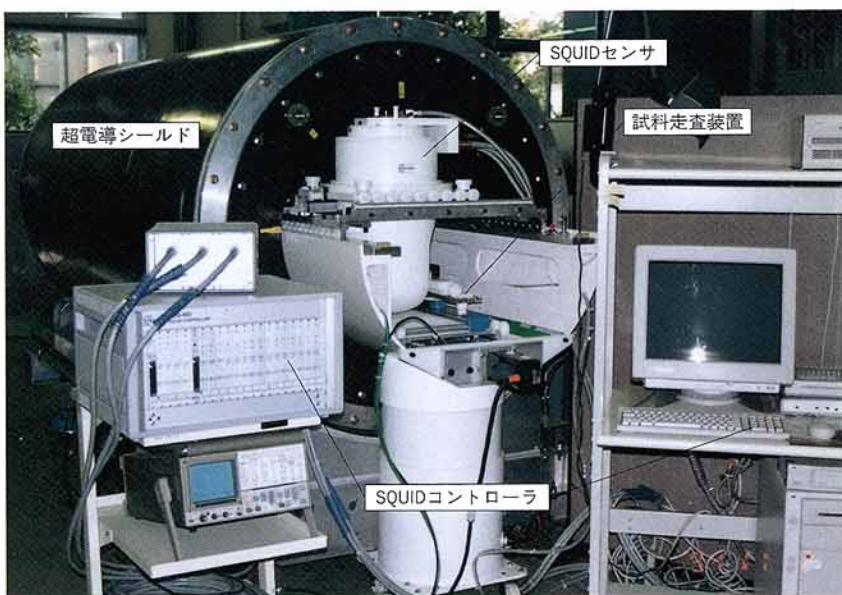
### 3 装置の性能

第4図に種々のレベルの塑性変形を与えたステンレスSUS304の歪みとSQUID出力の関係を示す。図から判るようにSQUID出力は歪量が増えるに従って増加している。この結果は材料破壊に至る以前の歪量においてもその劣化を検出することができたことを示している。

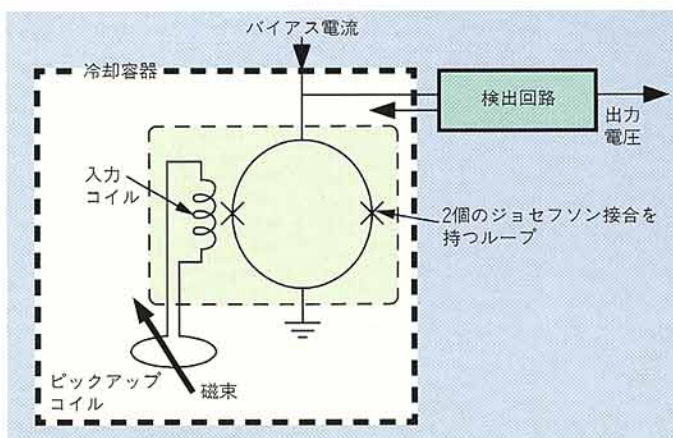
### 4 今後の予定

今後は、本装置を用いて劣化や欠陥の程度が異なる金属材料の測定を行い、損傷の度合いや余寿命を判断する基準となるデータベースの構築を図る。

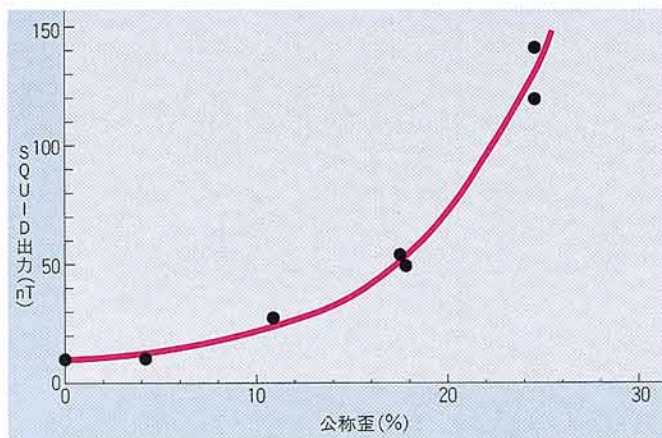
将来的には信号処理技術の工夫などにより、現場で金属劣化の非破壊検査ができるシステムに仕上げていく予定である。



第2図 高感度磁気特性検査装置の外観



第3図 SQUIDセンサーの基本構成



第4図 SUS304試料での塑性歪量とSQUID出力の関係