



超電導量子干渉素子 (SQUID)

の社会実装で脱炭素社会の実現を加速

超電導センサテクノロジー株式会社¹⁾

超高感度磁気センサである SQUID²⁾ で脱炭素社会の構築に貢献する株式会社を本格始動しました。CCUS³⁾ や地熱の開発及びモニタリングに有用な地下電磁探査事業を展開します。財団法人-技術研究組合から株式会社への移行期間を終え、この夏から本格始動します。30 年来蓄積してきた高温超電導⁴⁾ に関する研究成果を結集し、ビジネスとして真の社会実装段階に入ります。超高感度性能と経済合理性を両立させた日本独自の技術で、世界のカーボンニュートラルの実現を加速します。

脱炭素社会構築の切り札として全世界で CCUS の取組が活発化しています。また地熱発電は CO₂ を出さないベースロード電源⁵⁾ として再評価が高まっています。両者に必須なのは地下の状態を調べる技術です。従来法としては主に地震波探査⁶⁾ や電磁探査⁷⁾ が用いられてきました。しかし、前者では高コストや環境負荷の問題、後者では精度や感度の問題があり、それらの弱点を補う新しい探査技術が待望されていました。

弊社ではこれまでの高温超電導デバイス化研究開発の集大成として、高温超電導 SQUID センサ作製及びそのシステム化技術によって、地上から深度 3000m までの高精度な電磁探査を可能にする機器の開発に成功しました。⁸⁾ 世界で唯一の多層デバイス作製技術を用いた高い磁場耐性を有する SQUID⁹⁾ 及び特殊な実装技術により、屋外での超高感度計測が可能になりました。軽量コンパクトな機器ですが、¹⁰⁾ 世界中で安価に入手可能な液体窒素¹¹⁾ を朝 1 回充填するだけで終日使用できます。土嚢や風除けで振動対策を施した後に、短時間で計測。少人数のチームで効率的かつ経済的な探査が行えます。¹²⁾ 金属資源や地熱発電用の熱水貯留層の探査において実績を積み重ね、更なる技術のブラッシュアップにより進化を続けています。

CCUS では、圧入した CO₂ の挙動を知ることが不可欠です。油層に CO₂ を圧入する石油増進回収においては、油層状態のモニタリングに電磁探査が有用とされています。¹³⁾ 地熱発電において掘削位置の決定は大きなリスクを伴う重大な問題です。より高分解能で正確な事前の精査が極めて重要となります。弊社は日本発の独自技術で地下探査における事業者様の悩みを軽減し、世界のカーボンニュートラルの早期実現に貢献します。

会社名：超電導センサテクノロジー株式会社（代表取締役 田邊圭一）

所在地：〒223-0051 神奈川県横浜市港北区箕輪町 2-11-19

事業内容：高温超電導磁気センサ及び応用システムの製造・販売・レンタル

連絡先：contact@sustec.jp, tel.045-560-1350（担当 安達）

ホームページ：https://sustec.jp

[注釈]

- 1) 公益財団法人国際超電導産業技術研究センター（1988～2016年）、超電導センシング技術研究組合（2016～2021年）のデバイス部門事業を承継して設立された株式会社
- 2) 超電導量子干渉素子（Superconducting QUantum Interference Device）。超電導特有の量子効果を利用した素子で、1個あるいは2個のジョセフソン接合を含むループ状の超電導配線で構成される。広く実用化されている磁気センサとしては最も高感度なセンサである。
ジョセフソン接合とは、極薄の非超電導体を挟んだ2つの超電導体で構成される接合である。ジョセフソンにより理論的に導かれた（1972年ノーベル物理学賞）。超電導電流のトンネル効果を利用し、スイッチング素子として機能する。

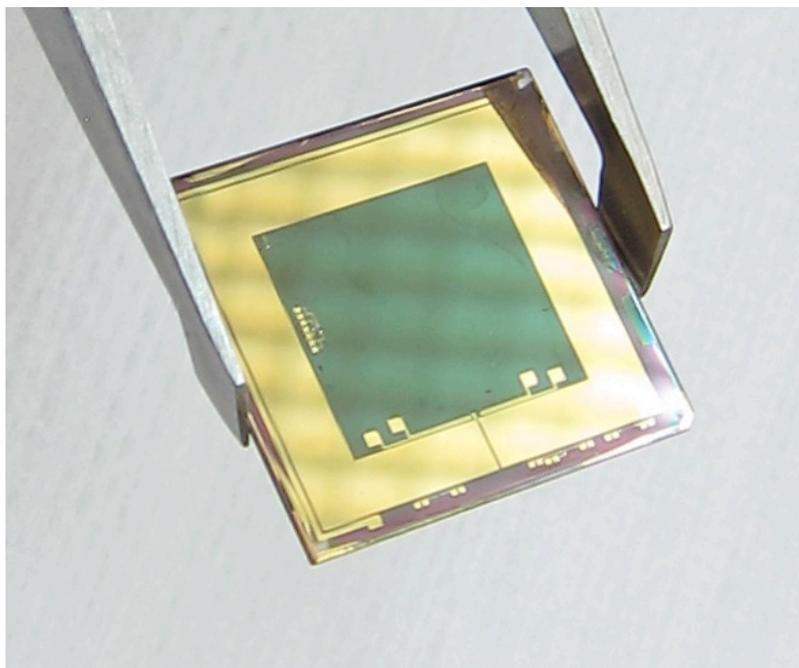


図1 弊社で製造した SQUID チップの外観（15x15mm² 基板使用）

- 3) CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）。CO₂を回収して貯留するだけでなく、積極的に新たな商品やエネルギーに変えることも含めた技術
- 4) 1986年にベドノルツとミュラーによって発見された（1987年ノーベル物理学賞）。液体窒素温度（-196℃）以上で超電導を示す物質もある。
- 5) 太陽光発電や風力発電のように天候によって出力が変動する電源ではなく、変動の少ない安定した出力が期待できる発電電源
- 6) 地上から地面に振動を加え、地層による応答を調べる地下探査手法。起震車や発破によって人工的に地震を起こし、波の反射を捉えて解析する。石油・天然ガスや熱水貯留層の上は硬いキャップ層で覆われており、そのキャップ層を調べるのに最適。

- 7) 地層に向けて外部から磁場（一次磁場）を印加し、地層からの磁場応答を解析することによりの地層の電気抵抗を調べる地下探査手法。一次磁場として自然磁場を用いる MT（Magneto-Telluric）法と人工磁場を用いる TDEM（Time Domain Electro-Magnetic）法などがある。MT 法は深度 10km まで計測が可能。しかし深度 1000m までの浅い部分は不得意。1 点測定するのに 1 日程度必要なため、実用上データ数や計測点を増やすには長時間測定を長期間にわたり計測を行う必要がある。他方、人工磁場を用いる方法では短時間の計測が可能となるが、受信側センサの感度不足により深度 1000m が測定限界。
- 8) 弊社ではセンサに SQUID を用いた TDEM 法を採用している。高温超電導 SQUID を用いた TDEM 法については 1990 年代前半より CSIRO（豪）により行われていた。日本では 2000 年以降に JOGMEC（（独法）石油天然ガス・金属資源機構）により行われてきた。2009 年に ISTEK（（公益）国際超電導産業技術研究センター：弊社の前々身）が JOGMEC からの委託事業で受信側機器の製作を担当した。その後、技術のブラッシュアップにより地上から深度 3000m までの高精度な電磁探査が可能になった。弊社では、独自の革新技术をもとに新規の受信機 SUSTEM® を開発済み。



図2 SUSTEM® の外観

- 9) 高温超電導体を用いて作製するジョセフソン接合の一形態であるランプエッジ型を採用。少なくとも 3 層以上の酸化物積層薄膜で構成され、製造には高度な技術を要する。2021 年現在、世界で製造できるのは弊社のみである。極薄の非超電導体の部分に磁場が侵入しにくい構造を有しているために、1 層の超電導薄膜で構成される他のジョセフソン接合に比べて、外部からの磁場の擾乱を受けにくい特徴がある。

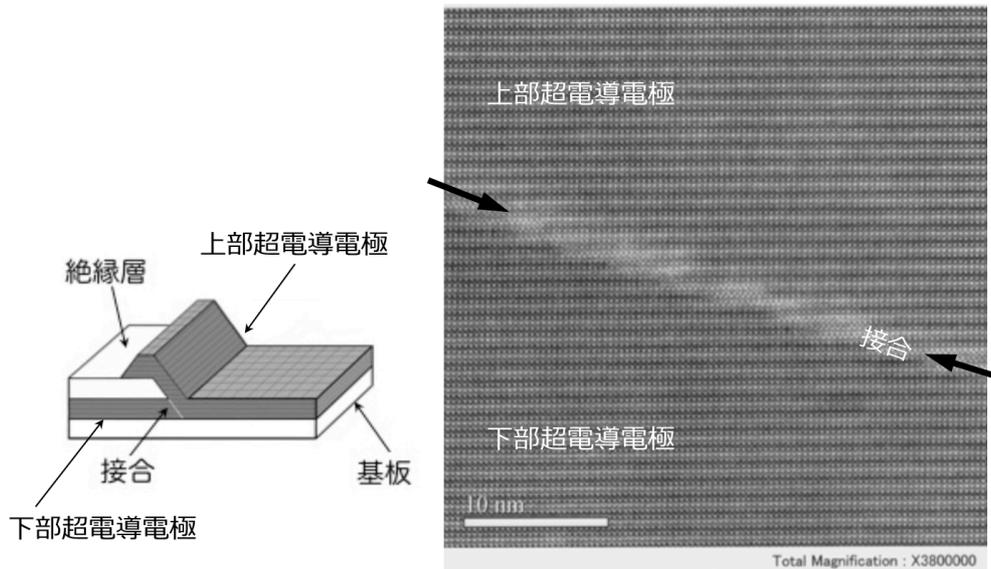


図3 ランプエッジ型ジョセフソン接合

[左] 構成図、[右] 接合部の電子顕微鏡写真（380万倍）

- 10) SUSTEM® のクライオスタット（センサを搭載する容器：図2の黄色い縦型円筒型容器）の重量は 2.5kg（液体窒素を充填して約 3 kg）で極めて軽量。液体窒素を充填して 12h 使用可能（1ch 機）。振動対策として地面に穴を掘って埋める必要なし。1 点の計測時間は 20 分程度。
- 11) 液体状態の窒素。1 気圧下で温度 -196℃。研究並びに産業用の冷媒として広く用いられている。¥200/ℓ 程度で購入できる（2021 年、横浜にて）。Nb や NbTi 等の金属系超電導体の冷媒として用いられる液体ヘリウム（-269℃）は二桁ほど高価である。液体ヘリウムは社会情勢により入手困難となり価格が高騰する場合があるが、液体窒素は世界中で容易に入手でき価格も安定している。取扱も極めて容易。
- 12) 一次磁場発生側に 2 名～、受信機（SUSTEM®）側に 2 名～。探査コストは概算で地震波探査の 1/10、MT 法電磁探査の 1/2 程度。
- 13) B. A. Kirkendall and J. J. Roberts, "Reservoir characterization: Electromagnetic imaging of CO₂ for EOR processes." (Lawrence Livermore National Laboratory, 2002) 油層に CO₂ が圧入されることで電気抵抗が一桁変化することを報告し、電磁探査の有用性を指摘。