

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02153

研究課題名（和文）磁気センサの高感度化と超低磁場MRI微小樹脂異物検査技術の開発

研究課題名（英文）Development of high sensitive magnetometer and Ultra Low Field MRI System for plastic contaminant detection

研究代表者

田中 三郎（Tanaka, Saburo）

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・教授

研究者番号：10271602

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：近年、食品中のプラスチック小片により幼児の口内が傷つけられる事故があり、食品中の樹脂異物の検出技術が望まれている。金属異物については磁気センサで検出することができるが、樹脂異物は磁性がなく密度も低く、金属検出機やX線検査機では検出が難しい。そこでMRI（磁気共鳴画像）技術を用いてプラスチック片などの非磁性異物を2次元イメージとして検出する技術およびシステムを開発することを目的とし、その実現のために超伝導SQUID磁気センサを高感度化するとともに、画像高品質化技術を開発し、これまでの病院にある数T（テスラ）の医療用強磁場MRシステムの1万分の1程度の超低磁場で検出可能な検査システムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

食品工場では検査装置としては金属検出機やX線検査装置が一般的でMRIなど高度な装置は導入されていない。超高感度磁気センサで水のプロトン振動を高感度で検出する超低磁場MRI食品異物検査法が実現して食品加工工場に導入されれば、我が国の食品の安全性が向上し、世界的に安全な食品ということにより一層、日本製食品のブランド価値を高めることができる。この技術は食品分野以外にも例えば基礎科学分野も含め、次のような応用が考えられる。

1.腕など生体部位の局所MRI検査 2.ペットなど小動物の簡易MRI検査 3.薬内に含まれる微小樹脂異物検査 4. イベント会場等での手荷物簡易検査 5.化学物質のJカップリング評価

研究成果の概要（英文）：Recently, there have been accidents in which infants' mouths have been injured by small pieces of plastic in food, and technology for detecting resin foreign bodies in food is desired. Metallic foreign matter can be detected by magnetic sensors, but resin foreign matter is not magnetic and has low density, making it difficult to detect with metal detectors or X-ray inspection machines. The purpose of this project is to develop a technology and system to detect non-magnetic foreign bodies such as plastic pieces as two-dimensional images using MRI (magnetic resonance imaging) technology. (To achieve this, we developed a high-sensitivity superconducting SQUID magnetic sensor and image quality enhancement technology, and constructed an examination system capable of detecting non-magnetic foreign bodies at an ultra-low magnetic field of about 1/10,000 of the high-field MR systems for medical use that are currently available in hospitals.)

研究分野：超伝導エレクトロニクス

キーワード：SQUID ジョセフソン接合 異物検査 超低磁場MRI YBCO

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

食品工場で広く導入されている X 線検査機では、透過 X 線の強弱からガラス片など非金属異物の検出が可能であるが、プラスチックは密度が低いため検出が難しい(図1参照)。また、近年開発が進んできた CCD カメラ検査機では表面しか検査ができず、近赤外検査機では食品による散乱があり、何れの方法でもハードルは高い。一方、我々は核磁気共鳴(NMR)技術に注目し、数年前から研究を進めてきている。病院にある医療用高磁場磁気共鳴画像装置(MRI)では数 T(テスラ)の強力な静磁場中で勾配磁場を印加して、体組織中のプロトン  $1H+$  の磁気共鳴信号を巻線コイルで検出している(図2(a))。磁気共鳴信号の周波数  $f$  (共鳴周波数) は静磁場強度  $B$  に比例( $f \propto B$ )して大きくなることが知られている。また、検出用巻線コイルの感度(出力電圧  $V$ ) は周波数  $f$  に比例( $V \propto f$ )するので、従来法では強力な静磁場  $B$  を印加することで共鳴周波数  $f$  を高周波化して高い感度を得ている。結果的に装置が大きくなり、また、磁気漏洩を防止するための高価な磁気シールドルームが必要になるなどの課題があり、そのままではコストが高く、異物検査装置には適用できず、食品業界では小型でコストが低い樹脂異物の検出技術が望まれている。

一方、我々の提案する方法(図2(b))では、巻線コイル検出器の代わりに高温超伝導 SQUID 磁気センサ(液体窒素温度 77K で動作する磁気センサで、地磁気の 10 億分の 1 の検出感度を有する)を用いる。このセンサは周波数依存性が少なく、数十 Hz から数百 kHz まで感度が一定で極めて高感度な磁気センサである。従って、高感度で低周波数の信号を検出できるので、低い静磁場においても、高感度で磁気共鳴信号を検出することが出来る。その結果、装置の小型化が可能となる。強磁場 MRI ではその大きな磁場を発生させるだけで何千万円もの費用がかかるが、それが数十分の一で済むメリットは大きい。

世界的には一部研究機関が高温超伝導 SQUID 磁気センサとコイルを組み合わせた教育用システムを開発しているが食品用異物検査には感度が低く適用できない。

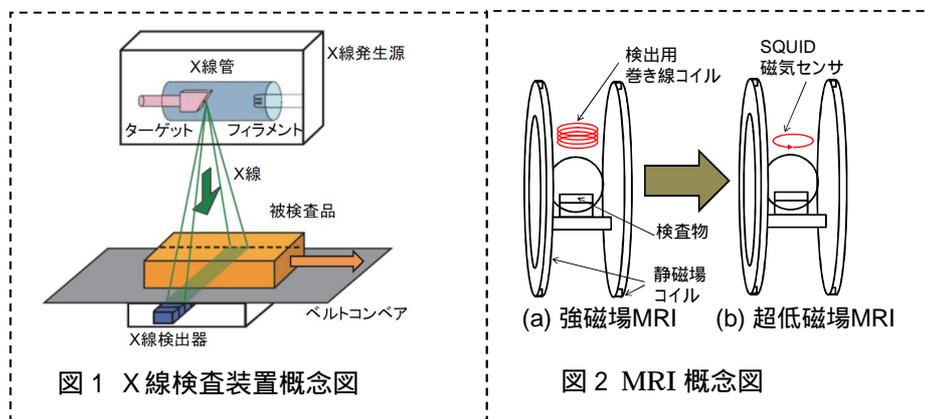


図1 X線検査装置概念図

図2 MRI 概念図

### 2. 研究の目的

本研究では実用上危険とされている 1mm 以上の硬質プラスチックなど、樹脂異物片の検出が可能な食品用異物検査装置の開発を目指して、それに必要な要素技術として、下記(1)および(2)を開発し、(3)を最終目標とした。

- (1) 低ノイズジョセフソン接合を開発して低ノイズ高温超伝導 SQUID 磁気センサを実現
- (2) 超低磁場 MRI 高感度検出技術
- (3) 1mm 以上の検出が可能な樹脂異物検出システムの構築

### 3. 研究の方法

#### 3.1 低ノイズ化の検討

PLD 法による YBCO 成膜の条件出しと FIB により超伝導薄膜がダメージを受ける領域の推定を行い、低ノイズ化の検討として、ジョセフソン接合および SQUID の作製とアンチドットの導入を試みた。PLD 装置による成膜条件の検討および薄膜の電気的特性の評価と表面形状の評価を行い、FIB 照射量と薄膜の常伝導化範囲についての条件出しとジョセフソン接合および SQUID の作製と特性評価を行った。本研究では、KrF エキシマレーザーをエネルギー源とする PLD 法 (Pulsed Laser Deposition) により、YBCO 薄膜の成膜を行った。図3に PLD 装置の全体構成を示す。YBCO 薄膜の成膜温度の最適値は成膜

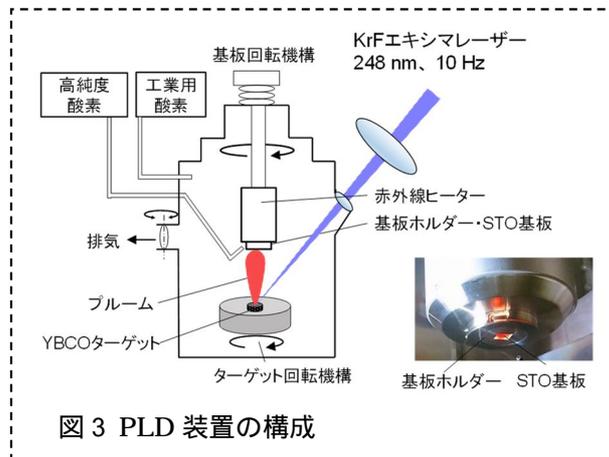


図3 PLD 装置の構成

方法により 500 ~ 800 の間で変化し、PLD の場合は約 700 で酸素分圧数十 Pa 程度が最適となる。この条件では酸素欠損量  $\delta = 1.0$  の正方晶が成長する。成膜温度が酸素分圧を上昇させると、結晶の分解領域に入り、 $Y_2BaCuO_5$  や  $BaCuO_2$ 、 $CuO_2$  等の分解生成物が析出する。成膜後は、はじめに酸素リークを行い酸素分圧を大気圧にする。次に温度を 400 ~ 500 程度に低下させ、酸素アニールを行う。この処理により、YBCO 結晶中に酸素が導入され、 $\delta = 0.1$  の斜方晶とする。図 4 に PLD 成膜で用いた温度プログラムを示す。次に低ノイズ化のために、Ga-FIB ( Gallium Focused Ion Beam ) を用いた微細加工により、超伝導薄膜を幅数百 nm に狭窄させて JJ とする ScS ( Superconductor-constriction- Superconductor ) 接合の一種であるナノブリッジ接合型 JJ を持つ SQUID の作製方法を検討した。また、FIB 照射により、超伝導薄膜に点状の常伝導領域 ( アンチドット ) を導入し、磁束ピンニング効果による磁束の運動の防止と磁束ノイズ低減を試みた。

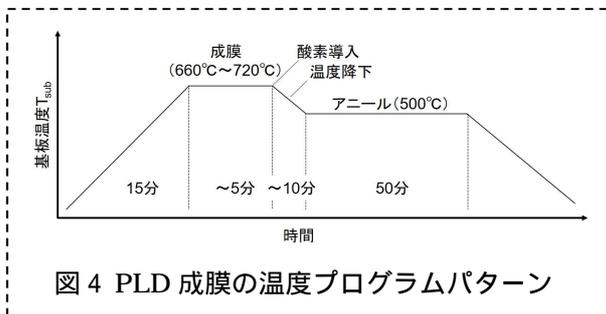


図 4 PLD 成膜の温度プログラムパターン

### 3.2 MRI 装置の試作

本研究では、繰り返し時間が最も短くなると考えられる部分的飽和法を応用した方法で T1 強調画像を取得した。本技術では、特定の分極時間 TP において MR 信号を解析することで T1 強調画像を得る。撮像に使用したスピンエコーパルスシーケンスを図 5 に示す。最初にサンプル(図 6)を 210 mT の分極磁場により一定時間分極する。分極磁場印加後からデータ取得が終わるまでの間、ラーモア周波数  $f_L = 4$  kHz に対応する静磁場 94  $\mu$ T を印加した。分極磁場が十分に立ち下がった後 (30 ms) 90° パルス印加した。制御を簡単にするため、90° パルス印加後から一定強度の読み出し勾配磁場 ( $G_r$  ( $G_V$ ) = 0.37 mT/m) を印加した。同時に位相エンコード勾配磁場 ( $G_p$  ( $G_Z$ )) を一定時間 (50 ms) 印加した。このとき、勾配磁場出力の制限から、視野範囲 FOV は 64 mm<sup>2</sup> とした。位相エンコード勾配の印加後、180° パルスを印加した。このとき、エコー時間 TE は 50 ms とした。その後、スピンエコー信号は磁束トランスを介して SQUID によって計測された。データ取得時間 Tacq は 32 ms ( Tacq = 1 ms  $\times$  32 point、Tdwel = 1 ms ) とした。以上の手順により、k 空間の単一ラインがサンプリ

ングされる。同様の手順を異なる勾配磁場  $G_p$  (  $\pm 0.016$  mT/m の倍数 ) で 16 回繰り返した。繰り返し時間  $T_R$  は分極時間  $T_P$  との Duty 比 (  $T_P / T_R < 0.5$  ) および、パルス電磁石電源の立ち上がり遅延時間の二つによって制限される。  $T_P = 2.0$  s、0.5 s、0.125 s のとき、繰り返し時間はそれぞれ  $T_R = 4.0$  s、1.0s、0.5s とした。見た目の分解能を向上させるために 64  $\times$  64 点のゼロフィリングを行った。最後に Prospa (Magritek、New Zealand) 内の 2D-FFT プログラムを使用して 2-D MR 画像を再構成した。

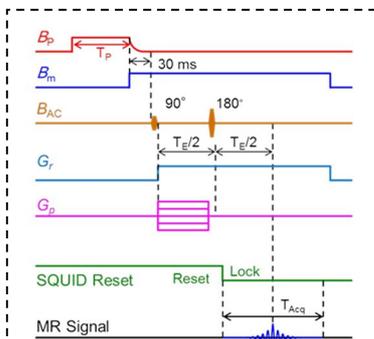


図 5 パルスシーケンス

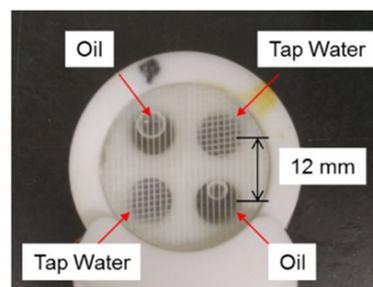


図 6 サンプル形状

## 4. 研究成果

### 4.1 低ノイズ化の検討

FIB による Ga イオンのライン状照射後のマイクロチャネルの V-I 測定を行い、照射前  $J_C$  との比  $J_C/J_{C0}$  を確認した。図 7 に Au 保護層を 20 nm 積層した膜厚 50 nm の YBCO 薄膜の  $J_C/J_{C0}$  を示す。図に関する実験から、 $J_C \approx 5$  MA/cm<sup>2</sup> の Au(20 nm)/YBCO(50 nm)/STO に FIB を照射すると、照射量  $2 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> で非線形の抵抗を示し、 $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> で完全に常伝導化することが明らかになっている。そこで FIB 照射では  $5 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> と  $2 \times 10^{17}$  ions/cm<sup>2</sup> の照射量で 2 段階 ( 図 8 ) の照射を行った。接合の SEM 像を図 9 に示す。接合幅  $W_0 =$

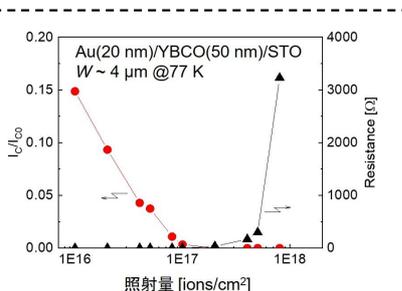


図 7 照射前  $J_C$  との比  $J_C/J_{C0}$

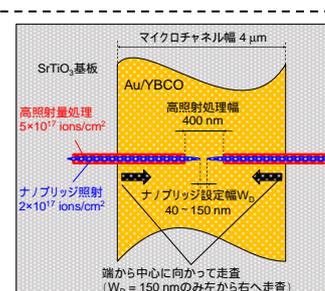


図 8 二段階の FIB 照射法

40 nm のチャンネルに対し、20 GHz (23dBm) のマイクロ波照射によるナノブリッジの観測を試みた。図 10 に示すように、シャピロステップが観測された。20 GHz のマイクロ波を照射した際のシャピロステップの理論電圧 $\Delta V$ は、プランク定数  $h$  と電気素量  $e$  およびマイクロ波周波数  $f_{rf}$  を用いて  $\Delta V = (h/2e)f_{rf}$  と表される。 $f_{rf} = 20$  GHz の際の理論ステップ電圧は 1 段目が 41.4  $\mu V$ 、2 段目が 82.7  $\mu V$  となる。

図のシャピロステップを確認すると、10  $\mu V$  程度の誤差はあるものの、おおよそ理論値に近い電圧値にステップが見られる。この結果から、作製したナノブリッジがジョセフソン接合として機能していると考えられる。次に本手法で作製した接合を SQUID に適用した。その結果、温度 77K で接合幅  $W_D = 280$  nm の SQUID は、 $2I_C = 3.9 \mu A$  を示し、外部磁場を印加すると、 $V$ - $\Phi$  曲線と見られる  $\Phi_0$  周期の波形が現れた。図 11 に  $V$ - $I$  特性および  $V$ - $\Phi$  特性を示す。1  $\Omega$  程度の  $R_N$  が確認でき、 $V$ - $\Phi$  曲から、 $\Delta V = 2.9 \mu V_{pp}$  が得られた。アンチドットに関しては膜厚 200 nm の YBCO 薄膜を成膜して SQUID に加工し、照射量  $5 \times 10^{18}$  ions/cm<sup>2</sup> と  $1 \times 10^{19}$  ions/cm<sup>2</sup>、間隔 1  $\mu m$  の正方格子状アンチドットパターンを導入したところ、66  $\mu T$  の磁場を印加して冷却した際の低周波ノイズの上昇が、アンチドット未導入のチャンネルと比較して 1/10 程度に抑えられた。

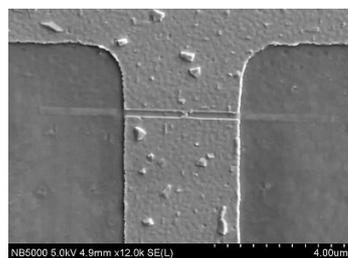


図 9 SEM 像 ×12000 倍

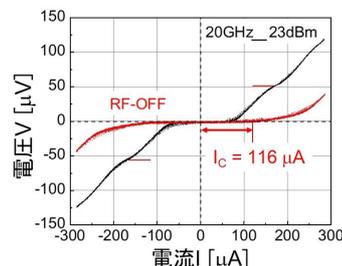


図 10 接合の V-I 曲線

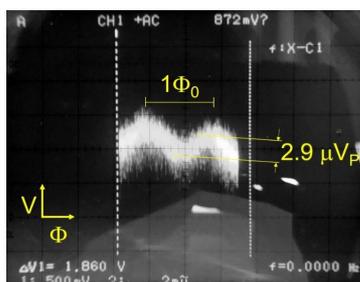
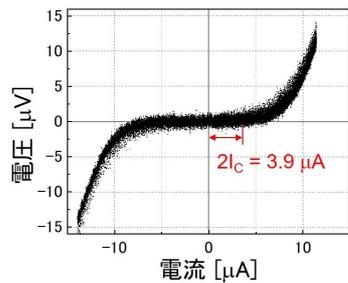


図 11 SQUID の V-I 特性 (左) V- $\Phi$  特性 (右)

#### 4.2 MRI 装置の試作

超低磁場 MRI 装置の概略を図 12、装置の外観を図 13 に示す。本システムは液体窒素冷却された分極磁場コイル ( $B_p$ ) ヘルムホルツ型の測定磁場コイル ( $B_m$ )、2 組の勾配磁場コイル ( $G_x$ 、 $G_z$ )、ヘルムホルツ型の AC コイル ( $B_{AC}$ )、ピックアップコイルと HTS-SQUID から成る。静磁場コイルと分極コイルは同軸に配置しており、分極磁場立上げ時の非断熱過程での磁化の緩和を回避している。サンプルに印加できる磁場を大きくするため、分極コイルは液体窒素冷却を行った。ソレノイド型の分極コイルは特別に設計した  $\phi 51$  mm  $\times$  L 234 mm の室温ボアを持つクライオスタットの内側 (ID.min  $\phi 150$  mm) に設置した。勾配磁場  $G_z$  は反対方向に電流を流す円形コイル対から発生させた。円形コイルの直径は  $\phi 270$  mm とした。勾配磁場  $G_y$  は 4 つの鞍型コイル (直径  $\phi 49.5$  mm) から構成される単純な Gölly コイルから発生させた。ピックアップコイルが挿入された  $G_y$  コイルは室温ボアの中心に設置した。ピックアップコイルは AC コイルと静磁場コイルに対して直交するように配置した。AC コイルはマッチング回路を介して AC パワーアンプに接続した。SQUID は環境磁場ノイズの影響を低減するため、BSCCO 製超伝導シールドの中に設置した。SQUID と超伝導シールドは厚さ 5 mm のアルミ製電磁シールド内に収められたガラスデューワー内の液体窒素 (77 K) で冷却を行った。信号はフィルターを通過させ (Stanford Research System、

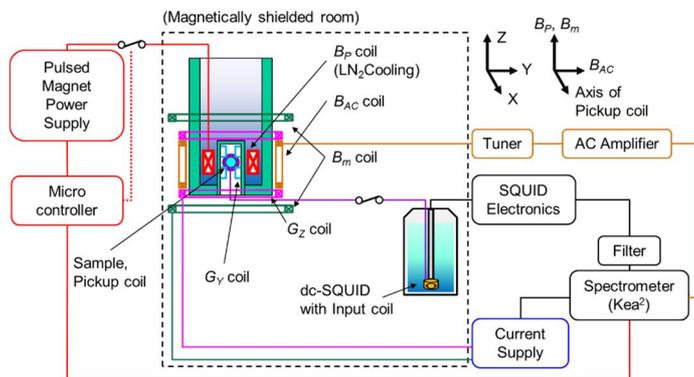


図 12 超低磁場 MRI 装置の概略

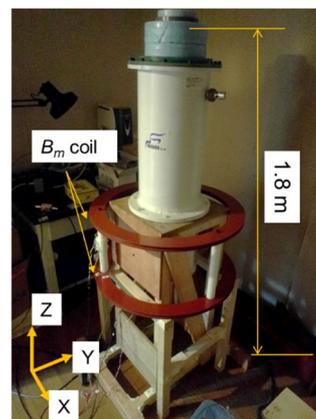


図 13 超低磁場 MRI 装置の外観

SR650、HPF = 3.0 kHz、LPF = 5.0 kHz、Gain= +40 dB) Nuclear Magnetic Resonance (NMR) スペクトロメータ (Kea2、Magritek、New Zealand) で記録を行った。

サンプルには4つのセル(φ8 mm×19 mm、0.95cc/cell)があり、右上と左下には水が満たされ、右下と左上には異物に見立てた油 (Johnson's、baby oil) が満たされている。このサンプルを用いて、異なる分極時間で撮影した画像を評価した。なお、短い分極時間ではSNRが低下するため、分極時間 TP = 2.0s に合わせて、NEX (Number of excitations) = 8 の平均化を行った。

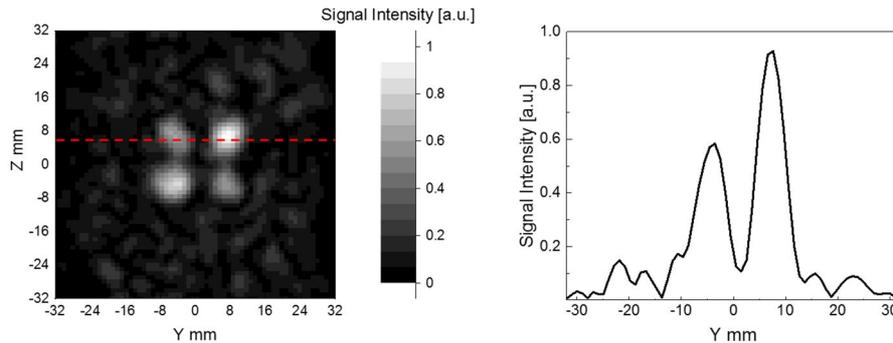


図 14 取得した T1 強調画像と点線部 (Y = +6 mm) の 1D プロファイル

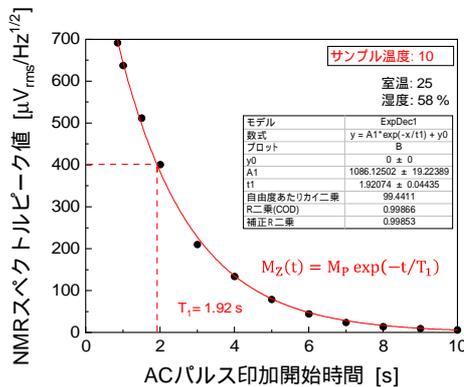


図 15 サンプル温度 10 の T1 緩和時間

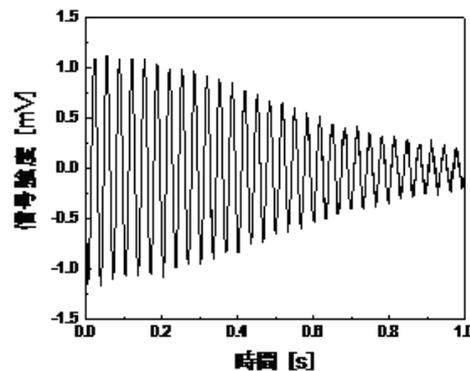


図 16 FID 信号 (AC パルス開始: 0.8 s)

図 14 に  $T_p = 2.0s$  のときに撮影されたサンプルの画像を示す。水と油の強度比は Water : Oil = 1.0 : 0.7 と示すことが出来た。また、当初計画していなかったが、食品内異物検査において信号と食品温度依存性を評価すべきと思われるため、超低磁場 SQUID-NMR 装置を用いて、温度が異なる場合の  $T_1$  緩和時間の温度依存性を評価した。本システムではサンプル移動時間 (約 0.8 s) および移動後から AC パルス磁場を印加するまでの時間の間に  $T_1$  緩和が生じており、結果得られる信号強度はこの 2 つの時間の和に依存する。そこで、AC パルス磁場を印加するタイミングの時間を変化させた時に得られる NMR スペクトルピーク値を記録し、その時間から  $T_1$  緩和時間を求めた。AC パルス印加開始時間を 0.8 s~10 s で変化させたときの NMR スペクトルピーク値を測定して指数減少近似曲線を得た。図 15 に代表としてサンプル温度を 10 で保温した時の  $T_1$  緩和時間を示す。また、NMR スペクトルピーク値が最も大きくなった AC パルス印加開始時間: 0.8 s の時の FID 信号を図 16 に示す。次に水サンプル温度を変化させた時の  $T_1$  緩和時間の温度依存性を調べるため、サンプル温度をそれぞれ 10, 20, 30, 35, 40, 50, 60 と恒温槽で 1 時間保温した後、図 15 と同様に  $T_1$  緩和時間を測定した。図 17 に水サンプル温度と  $T_1$  の関係を示す。図より、サンプルの温度が高くなるに伴い  $T_1$  緩和時間が長くなった。 $T_1$  は温度  $1/T$  に対して直線的に変化すると強磁場法で報告されており、この結果と一致する。以上のことから、本研究の装置で水サンプルの  $T_1$  緩和時間の温度依存性を取得できたといえる。

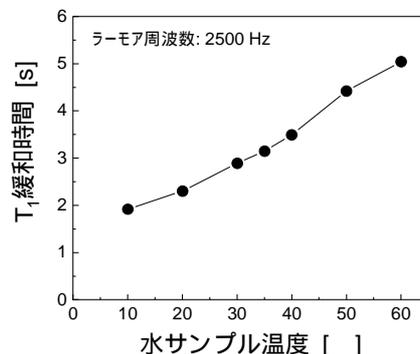


図 17 サンプル温度と  $T_1$  緩和時間の関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kanji Hayashi, Teppei Ueda, Ryo Ohtani, Seiichiro Ariyoshi, and Saburo Tanaka	4. 巻 31
2. 論文標題 Fabrication of HTS Low-noise Nanobridge Josephson Junction by Gallium FIB	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 110164_1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2021.3072009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 R Ohtani, K Hayashi, M Sagawa, S Ariyoshi and S Tanaka	4. 巻 1975
2. 論文標題 Estimation of Critical Current of HTS RF-SQUID	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012022_1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1975/1/012022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Hayashi, T. Ueda, R. Ohtani, S. Ariyoshi and S. Tanaka	4. 巻 12044
2. 論文標題 A Study of the HTS Josephson Junction Formed by a Ga Focused Ion Beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1590/1/012044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Demachi, K. Hayashi, S. Adachi, K Tanabe, and S. Tanaka	4. 巻 2902772
2. 論文標題 T1 Weighted-Image by Ultra Low Field SQUID-MRI	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Appl. Supercond.	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2019.2902772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計20件(うち招待講演 3件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Kanji Hayashi, Ryo Ohtani, Yuki Tottori, Seiichiro Ariyoshi and Saburo Tanaka
2. 発表標題 Flux Noise Reduction of HTS SQUID Using Josephson Junctions Made by FIB
3. 学会等名 MMM-Intermag Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 幹二、大谷 涼、有吉 誠一郎、田中 三郎
2. 発表標題 FIBによる高温超伝導ナノブリッジジョセフソン接合作製の検討
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田島 惇平, 林 幹二, 田中 三郎
2. 発表標題 超低磁場SQUID-NMR法によるT1緩和時間の温度依存性評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林 幹二, 大谷 涼, 鳥取 優樹, 有吉 誠一郎, 田中 三郎
2. 発表標題 Ga-FIBを用いて作製したHTS-SQUIDに関する研究
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷 涼, 林 幹二, 佐川 優, 有吉 誠一郎, 田中 三郎
2. 発表標題 高温超伝導RF-SQUIDのICの非破壊評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanji Hayashi, Teppei Ueda, Ryo Ohtani, Seiichiro Ariyoshi, and Saburo Tanaka
2. 発表標題 Study of Fabrication Method of HTS Nano-bridge Josephson Junction by Gallium FIB
3. 学会等名 Applied Superconductivity Conference 2020 (ASC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanji Hayashi, Teppei Ueda, Ryo Ohtani, Seiichiro Ariyoshi and Saburo Tanaka
2. 発表標題 A Study of the HTS Josephson Junction Formed by a Ga Focused Ion Beam
3. 学会等名 32th International Superconductivity Symposium (ISS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Ueda, K. Hayashi, R. Ohtani, S. Ariyoshi and S. Tanaka
2. 発表標題 Property of HTS Josephson Junction irradiated by Ga Focused Ion Beam
3. 学会等名 10th East Asia Symposium on Superconductor Electronics (EASSE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

## 〔図書〕 計3件

1. 著者名 Saburo Tanaka 他	4. 発行年 2021年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 1776
3. 書名 Handbook of Superconductivity: Theory, Materials, Processing, Characterization and Applications (3-Volume Set)	

1. 著者名 田中三郎、他210名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 1489
3. 書名 「2020版 薄膜作製応用ハンドブック」、4編1章4節1項、「量子効果デバイス - SQUID」	

## 〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 超伝導磁気センサ用冷却装置及びその制御方法	発明者 田中三郎	権利者 国立大学法人豊橋技術科学大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-180848	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

## 〔取得〕 計0件

## 〔その他〕

-

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	有吉 誠一郎 (ariyoshi seiichiro) (20391849)	豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・准教授 (13904)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

## 〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

ロシア連邦	Moscow Institute of Phys & Tech (MIPT)	NRC Kurchatov Institute		
-------	--	-------------------------	--	--