

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：51401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12702

研究課題名（和文）リアルタイム非接触測定を実現可能な散乱波法を用いた非侵襲血液診断システムの開発

研究課題名（英文）Development of non-invasive blood diagnostic system using scattered wave method that can realize real-time non-contact measurement

研究代表者

菅原 英子（Sugawara, Eiko）

秋田工業高等専門学校・その他部局等・講師

研究者番号：90401950

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、血中糖濃度と誘電率の関係を明らかにし、非侵襲的な非接触型血液診断手法を確立することである。液体試料の散乱波強度と比誘電率の関係を実験的に検証するための測定環境を構築した。また、ヒューリスティックな識別手法を用いて測定した散乱波受信電力から試料の物性判別を行うシステムを構築した。簡素化した測定系において測定したデータに基づき、作動油の劣化判別が可能であることを確認した。グルコース水溶液の濃度識別には、測定データの検証が必要であるものの、同様の手法が適用できる可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在一般的に用いられる血糖値計測法では、採血が不可欠であり、患者の負担となっているが、本研究で提案している散乱波法による測定と階層型ニューラルネットワークによる識別を組み合わせた手法によって、日接触活非侵襲的な計測および診断が可能になる。本研究結果により、測定系の簡素化が実現でき、簡素化前の環境と同様に測定・判別できることが示された。このことはストレスフリーな血糖値計測を実現するための大きな可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the relationship between blood sugar concentration and dielectric constant, and to establish a non-invasive non-contact blood diagnostic method. We have constructed a measurement environment for experimentally verifying the relationship between the scattered wave intensity and the dielectric constant of a liquid sample. In addition, we have constructed a system that discriminates the physical properties of samples from the received scattered wave power measured using a heuristic identification method. It was confirmed that deterioration of hydraulic oil can be determined using the data measured by the simplified measurement system. Although it is necessary to verify the measurement data to identify the concentration of glucose aqueous solution, we found the possibility of applying a similar method.

研究分野：システム工学

キーワード：非侵襲測定 散乱波法 ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、糖尿病の罹患率の増加が深刻な問題となっている。患者やその予備軍は日常的に血液診断が必要であるが、一般的に用いられる血糖値計測法では採血が不可欠であり、これが大きな負担となっている。患者に負担をかけない血糖値計測環境を実現するためには、非接触かつ非侵襲的な測定方法およびリアルタイム診断システムの実現が求められる。

非侵襲血糖値計測に関する研究では、30 GHz 以上のミリ波領域において、グルコース水溶液の濃度変化に対する複素誘電率変化が調べられており、生体組織に対してミリ波の透過および反射率を測定することで非侵襲的な血糖値計測が可能であることが示されている[1]。しかし、この方法では指や耳たぶなどの比較的薄い生体組織を送信部と受信部で挟む接触測定となり、長時間の測定で患者に与えるストレスや衛生面に課題を残す。

一方、液体の高周波誘電率や誘電損失はその物質固有の値を持ち、温度や組成により比較的大きな変化を示すことが知られている。誘電率評価法としては、平行金属板法、導波管法、共振器法が用いられるが、これらの方法は連続的かつ非接触、非侵襲的に測定することには適していない。これらの方法に対し、新しい高周波誘電率測定法として我々が提案している散乱波法[2]は自由空間法に分類される新しいカテゴリの材料定数測定法である。散乱波法は既知の電界中に置いた誘電体から分極の交番により放射される散乱波電界を測定して材料定数を推定する手法である。試料寸法が波長信号に対して 1/10 程度と小さくても測定できる利点もある。散乱波法を用いることで、非接触かつ非侵襲な計測が可能となり、ストレスフリーな血糖値計測を実現するための大きな可能性を秘めていると考える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、血中糖濃度と誘電率の関係を明らかにし、非侵襲的かつ動的な非接触型血液診断手法を確立することである。これまでに、液体試料の高周波誘電率および誘電損失を連続的かつ非侵襲的に測定する測定手法を確立することを目的に、滞留液体の散乱波強度と比誘電率の関係を実験的に検証するための測定系を構築・検証している。また、この測定環境を利用して測定した作動油の散乱波受信電力を用いて劣化度を判別するシステムを構築している。これらの測定系および劣化度判別システムを応用し、電磁波を用いた散乱波測定とヒューリスティックな識別手法を組み合わせさせたグルコース水溶液の濃度識別手法を提案し、その有効性を示す。

3. 研究の方法

これまでの研究では、送受信アンテナを分離して 2 本のアンテナを L 字に配置したバイスタティック配置の測定系において、散乱波スペクトル分布と作動油の汚染度の関係を調べ、油の汚染度が 2.0~2.5 GHz のマイクロ波帯域の散乱電磁波のスペクトラム電力の平均値と高い相関があることを明らかにした。また、階層型ニューラルネットワークを用いた油劣化診断システムを構築し、バイスタティック配置の測定系で測定した散乱波受信電力を入力として、作動油の劣化度判別が可能であることを示した。本研究では、測定系の簡素化を図り、1 本のアンテナを送受兼用とするモノスタティック配置の測定系を構築し、バイスタティック配置の測定系と同様の測定を行う。階層型ニューラルネットワークによる劣化度判別も行い、バイスタティック配置と同様の結果が得られるかを検証する。次に、液体試料を作動油からグルコース水溶液に変え、同様の測定・識別を行い、グルコース水溶液での提案手法の有効性を検証する。

図 1, 2 に示す測定系はどちらもシールドルーム内に構築し、測定を行った。周囲に電波吸収

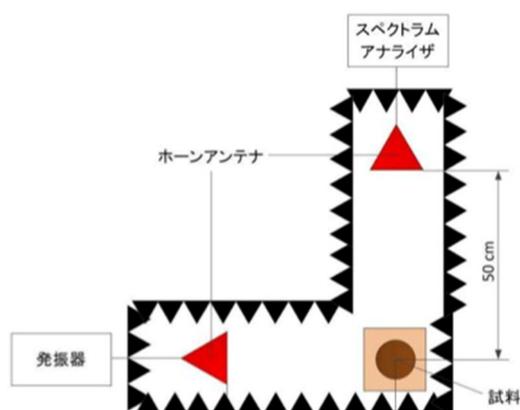


図 1: バイスタティック配置の測定系

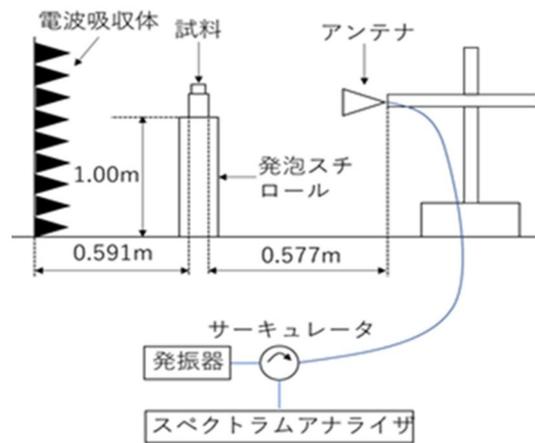


図 2: モノスタティック配置の測定系

体(TDK 社生 IS-015A)を配置して直接波, 壁面からの反射波を抑制している。

(1)モノスタティック配置の測定系の構築と測定

はじめに, 図 2 に示すモノスタティック配置の測定系をシールドルーム内に構築し, 先行研究と同様, JIS ISOT 試験により強制劣化させた作動油 9 種類を測定試料として散乱波受信電力を測定する。バイスタティック配置の測定系での測定データと比較し, その妥当性を評価することが目的である。

アンテナは ETS・LINDGREN 社製ダブルリジッドホーンアンテナ 3117 を用いる。ROHDE&SCHWARZ 社製発振器 SMBV-100A の出力レベルは 0 dBm とし, 周波数を 2.0 GHz から 2.5 GHz まで 1.96 MHz 間隔で変化させて試料に照射する。ADMOTEC 社製サーキュレータ ADC225CSCQ(500)を用いて送受信波を分離し, ROHDE&SCHWARZ 社製スペクトラムアナライザ FSW26 で試料からの散乱波電力受信電力 256 点を測定する。試料は JIS ISOT 試験により最大 192 時間まで強制劣化させ 24 時間ごとにサンプルした作動油 9 種類を円筒型樹脂容器に 100 cm³ ずつ封入している。各試料 5 回ずつの測定を行う。測定データの平均を図 3 に示す。

図 3 との比較のため, バイスタティック配置での測定データを図 4 に示す。測定機材は上記と同様であるが, 発振器の周波数は 2.0~2.5 GHz を 10 MHz 間隔で変化させて 50 点測定している。また, 各試料 3 回の測定データの平均である。図 4 に示すバイスタティック配置での測定データは周波数に対して増加傾向のグラフであり, 特定の周波数で試料ごとの差が見られる。これに対し, 図 3 に示すモノスタティック配置での測定データは試料ごとの電力変化が多少見られるものの, 周波数に対するグラフの傾向が複雑で, バイスタティック配置での測定データとは明らかに異なる。測定データの検証が必要であることがわかった。

(2)グルコース水溶液の散乱波受信電力測定

前述のモノスタティック配置の測定系での作動油の散乱波受信電力測定と並行して, 濃度の異なるグルコース水溶液を試料とした測定を行った。測定系は前述の通りである。試料はグルコース濃度を 50 mg/dl, 90 mg/dl, 120mg/dl, 160mg/dl とした 4 種類のグルコース水溶液と蒸留水の計 5 種類である。それぞれ円筒型樹脂容器に 100 cm³ ずつ封入している。

測定結果を図 5 に示す。また, 使用したサーキュレータのアイソレーションの制限による送信波成分と反射波の干渉による影響を除去するためにケプストラム領域においてリフタ処理を行った結果を図 6 に示す。図 5 では, 試料ごとの散乱波受信電力の違いがわかりづらいが, リフタ処理により, 試料ごとの差がわかりやすくなっている。

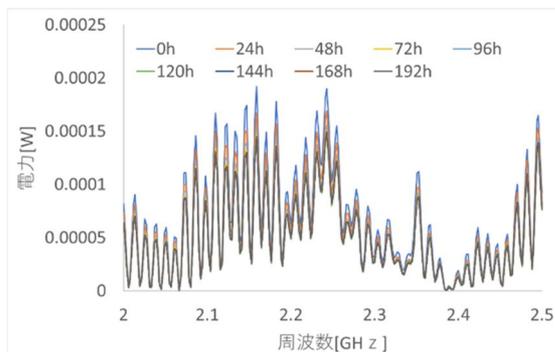


図 3: モノスタティック配置での測定データ

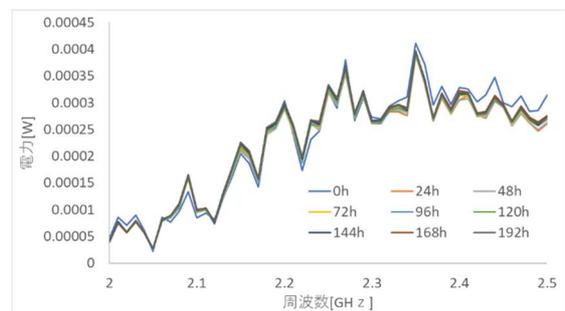


図 4: バイスタティック配置での測定データ

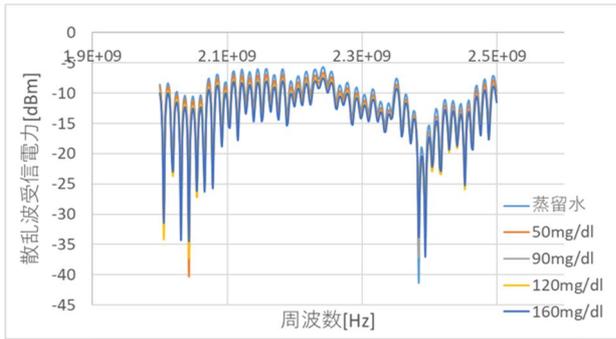


図 5: グルコース水溶液の測定データ (モノスタティック配置)

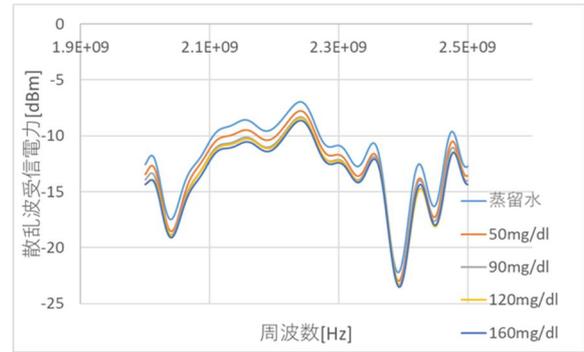


図 6: リフト処理後の測定データ

表 1: 劣化油の判別結果

学習回数243回	最終誤差0.079371					
劣化時間[h]	測定1	測定2	測定3	測定4	測定5	平均
24	0.1049	0.1152	0.0389	0.1404	0.0395	0.0456
48	0.1005	0.2329	0.1969	0.3544	0.1248	0.115
72	0.2745	0.4619	0.5204	0.5753	0.3468	0.2806
96	0.2875	0.8344	0.7599	0.6602	0.5066	0.3851
120	0.6739	0.9635	0.8589	0.5903	0.5822	0.5847
144	0.8509	0.9719	0.8983	0.899	0.6212	0.7307
168	0.9003	0.9723	0.9269	0.9045	0.7982	0.7697
192	0.9432	0.9713	0.9451	0.9295	0.8611	0.7925

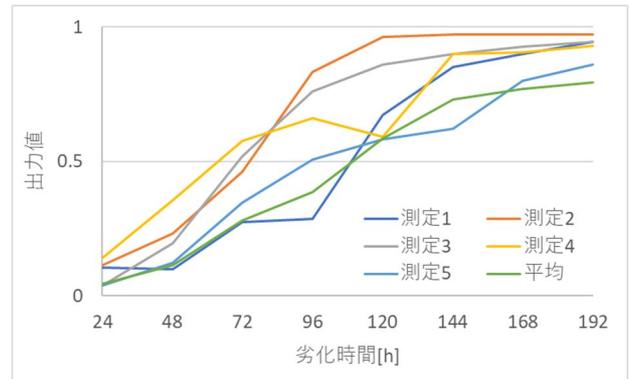


図 7: 劣化油の判別結果

(3)階層型ニューラルネットワークによる識別

散乱波測定により、試料ごとの電力変化が多少みられるものの、周波数に対する傾向が等しく、従来の平均受信電力法による識別は困難と考えられる。そこで、本研究では階層型ニューラルネットワークを用いた識別を試みる。ネットワーク構成は、入力層、中間層、出力層の3層構造とし、各層のニューロン数はシミュレーションを通じて学習時間、識別精度等から決定する。ニューロンの活性化関数にはシグモイド関数を用いる。また、学習には、階層型ニューラルネットワークの学習として一般的な誤差逆伝播法を用いる。学習の終了条件は、期待出力との誤差が許容誤差 0.08 よりも小さくなるか、学習回数が最大学習回数 50000 回を超えた場合とする。

作動油の劣化判別では、劣化時間 24 時間の試料と劣化時間 192 時間の試料の測定データをそれぞれ新しい油、古い油として学習させる。学習後の階層型ニューラルネットワークに書く試料の測定データを入力し、それが新しい油か古い油かを判別する。出力値が 1 に近ければ新しい油、0 に近ければ古い油と判別されたことを示す。入力データは劣化時間 24 時間の試料と劣化時間 192 時間の試料の測定データを比較し、差が大きい 80 点を抽出する。このことから、入力層のニューロン数は 80、出力層のニューロン数は 1 となる。中間層のニューロン数はシミュレーションの結果から 50 とした。

5 回の測定データとそれらの平均データを用いて判別した結果を表 1 および図 7 に示す。どの測定データにおいても、資料の劣化時間が長くなるにつれて出力値が 0 から 1 に近づいていくことがわかる。また、出力値が 0.5 付近となった試料は多少ばらつきがあるものの、おおよそ劣化時間 72 時間～96 時間の試料である。これらのことから、劣化時間 24 時間の試料を新しい油、劣化時間 192 時間の試料を古い油として学習すると、劣化時間 72 時間～96 時間のあたりを境に新古の判別ができていると言える。

4. 研究成果

作動油の劣化度判別において実績のあるバイスタティック配置の測定系を簡素化したモノスタティック配置の測定系を構築し、その妥当性を評価するために、モノスタティック配置による測定データ(図 3)およびバイスタティック配置による測定データ(図 4)と理論値とを比較する。図 8 に示す試料の劣化時間ごとの散乱波電力の理論値から、周波数に対して増加傾向のグラフであることがわかる。図 3, 4 と比較すると、バイスタティック配置での測定データは理論値と同じ増加傾向のグラフであることが分かり、このことからバイスタティック配置での測定データは妥当であると言える。それに対し、モノスタティック配置での測定データはデータが周期的になっており、グラフ全体の傾向が分かりづらい。そこで、図 9 に示すように、測定データ 50 点ずつ

で移動平均を求めた。図9から、モノスタティック配置での測定データは2.0~2.1 GHz付近と2.4 GHz付近で理論値と同じ増加傾向にあることが分かる。一方、2.1~2.4 GHzでは理論値と逆の減少傾向であることがわかる。さらなる測定環境の評価として、劣化時間0時間の試料を置いた状態と試料を置かない状態とで測定を行い、試料を置いたときのデータを試料を置かないときのデータで割った結果を図10に示す。図10より、2.1~2.4 GHzでは値がほぼ1となっており、試料の有無が測定データに表れていないことがわかる。この周波数帯で、なんらかの理由で散乱波を受信できていない、もしくは限りなく弱くなっていると考えられる。

モノスタティック配置での測定データに問題があることが明らかになったが、階層型ニューラルネットワークによる識別では作動油の劣化度がうまく判別できていた。階層型ニューラルネットワークの入力データとして抽出した80点の周波数を調べてみると、2.2~2.4 GHzのデータは抽出されていないことがわかった。測定データに難があったものの、その周波数帯のデータを避けて学習していたことから、うまく判別できたと考えられる。

グルコース水溶液の濃度判別も行ったが、学習がうまくいかず、蒸留水とグルコース水溶液の判別は可能だが、濃度の判別に至っていない。作動油の劣化度判別と同様に測定データの解析と階層型ニューラルネットワークのパラメータ設定が必要である。

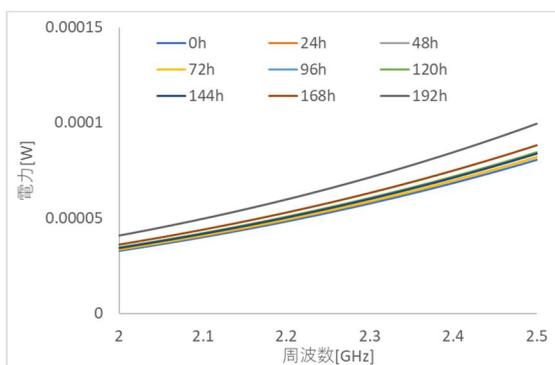


図8: 散乱波受信電力の理論値

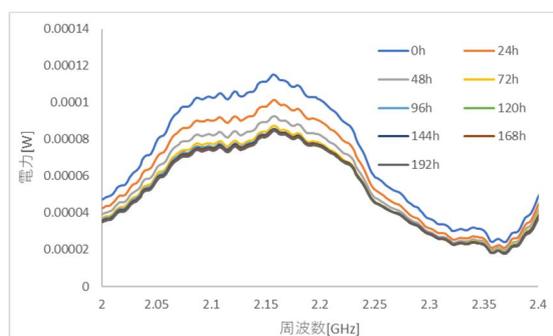


図9: 移動平均

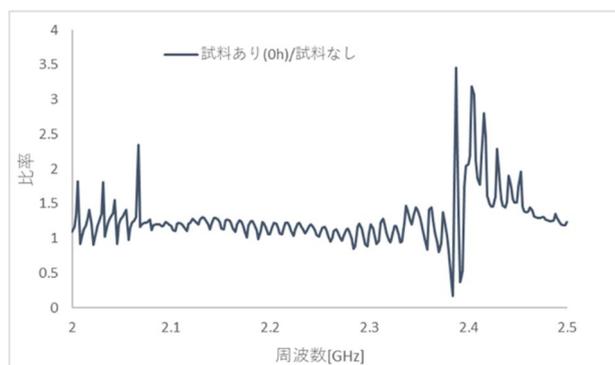


図10: 試料の有無による測定データの比較

< 引用文献 >

- [1] 二川佳央, “ ミリ波透過および反射を用いた非侵襲血糖値の計測 ”, 国土館大学理工学部紀要, 第4号, 94-100, 2011.
- [2] T. Komakine, T. Kurosawa, K. Miyayaga, and H. Inoue, ”A Novel Estimation Method of Dielectric Permittivity by using Scattered Waves” ,IEEJ Trans.FM,Vol.131,No.4,pp.277-282,2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 館岡陸, 菅原英子, 伊藤桂一, 春日貴志
2. 発表標題 物性評価のための散乱波測定と作動油劣化度判別
3. 学会等名 第80回機能集積情報システム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤凜平, 菅原英子, 伊藤桂一, 春日貴志
2. 発表標題 グルコース水溶液の散乱電磁波測定
3. 学会等名 令和4年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村木聖矢, 菅原英子, 伊藤桂一, 春日貴志
2. 発表標題 FDTD法を用いた電磁波測定環境の評価
3. 学会等名 令和4年東北・北海道地区高等専門学校専攻科産学連携シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 館岡陸, 菅原英子
2. 発表標題 モノスタティック配置による散乱波受信電力測定とその評価
3. 学会等名 令和4年東北地区若手研究者研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤祐美吉, 村木聖矢, 菅原英子
2. 発表標題 散乱電磁波を用いた液状物質の非侵襲検査のための測定環境構築
3. 学会等名 第27回高専シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤凜平, 菅原英子
2. 発表標題 散乱電磁波を用いた液状物性評価のための予備実験
3. 学会等名 第27回高専シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 館岡陸, 菅原英子
2. 発表標題 散乱マイクロ波スペクトルを用いた油劣化度判別法
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 館岡陸, 山平崇喜, 渡邊雄斗, 駒木根隆士, 菅原英子
2. 発表標題 散乱マイクロ波スペクトルを用いた非侵襲油劣化評価
3. 学会等名 第26回高専シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	伊藤 桂一 (ITOHI Keiichi) (20290702)	秋田工業高等専門学校・その他部局等・教授 (51401)	
研究 分担者	駒木根 隆士 (KOMAKINE Takashi) (40370241)	秋田工業高等専門学校・その他部局等・教授 (51401)	
研究 分担者	黒澤 孝裕 (KUROSAWA Takahiro) (60370243)	秋田県産業技術センター・先端機能素子開発部・上席研究員 (81406)	

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
---------	---------