

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12772

研究課題名（和文）日常生活における非侵襲オンライン尿糖センシングシステム

研究課題名（英文）Noninvasive online urine sugar sensing in daily life

研究代表者

大谷 幸三（Ohtani, Kozo）

広島工業大学・情報学部・教授

研究者番号：40351978

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本課題では、生活環境の中で患者の状態を非侵襲でセンシングし、モニタリングできるシステムの開発を目的とした。本システムは、光センサを腰掛便器に外付けし、尿糖の屈折率及び吸光度を計測することで間接的に濃度を推定する。そして、推定した濃度から尿糖値を導出し携帯端末等で確認できるものである。

申請期間中に、光角度センサと逆光線追跡法を用いた屈折率測定法を確立した。また、尿糖の主成分であるグルコース濃度を吸光度から推定する手法の精度検証を行った。その結果、グルコース濃度を1%程度の分解能で測定できることを明らかとした。なお、推定データを携帯端末等でモニタリングできる機能の開発には至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、尿糖計を腰掛便器に組み込む技術はいくつか提案されているが、その多くは機械的機構によって尿をサンプルして分析ユニットへ送る手法である。したがって、装置が複雑であり、すでに普及している腰掛便器に組み込むことは難しい。それに対し、本研究の成果は、センサユニットを腰掛便器に外付けするだけで計測できる点に大きな特色がある。非接触であり、分析ユニットも不要なためメンテナンス性にも優れている。スマートフォンなどの携帯端末にアプリケーションをインストールすればデータの蓄積、閲覧も可能となり、今後の普及にもアドバンテージがある。将来的には医療機関と連携した健康管理システムとしての有用性も期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we aimed to develop a system that can non-invasively sense and monitor the condition of diabetic patients in their living environment. This system involves attaching an optical sensor to the outside of a seated toilet and measuring the refractive index and absorbance of urinary sugar to indirectly estimate the concentration, deriving the urinary sugar value from the estimated concentration, and allowing it to be checked on a mobile device. In this term, we established a refractive index measurement method using an optical angle sensor and inverse ray tracing. We also verified the accuracy of the method for estimating the concentration of glucose, the main component of urinary sugar from absorbance. As a result, we found that it was possible to measure glucose concentration with a resolution of about 1%. However, we were unable to develop a function that would allow the estimated data to be monitored on a mobile device.

研究分野：センサ工学

キーワード：尿糖 光センシング モニタリングシステム 健康管理

### 1. 研究開始当初の背景

国際糖尿病連合(IDF)の発表によると、世界の糖尿病人口は爆発的に増え続けており、2017年現在で糖尿病有病者数は4億2,500万人に上り、2015年より1,000万人増えた。有効な対策を施さなければ、2045年までに6億9,300万人に増加すると予測している。日本は65歳以上の糖尿病人口が多く、2017年のランキングでは世界第6位の430万人となっている。糖尿病関連の医療費は約83兆円(7,270億ドル)で、2015年から8%増加し、世界の主な国で全医療費の12%を占めている。糖尿病の医療費の負担は世界的に増大しており、そのランキングは、①米国(39.5兆円)、②中国(12.5兆円)、③ドイツ(4.8兆円)、④インド(3.5兆円)、⑤日本(3.2兆円)となっている。

糖尿病対策は日々の生活習慣を改善することが効果的であることから、生活環境の中で患者の状態を非侵襲でセンシングし、その結果を医者および患者自身が管理できるモニタリングシステムが有用である。既存の非侵襲尿糖計では、バイオセンサである電子尿糖計と光学プリズムを利用した尿比重計がある。まず、電子尿糖計はセンサ部分に直接尿を接触させることで計測する。コンパクトな機器で携帯性も高い。一方、光学プリズムを利用した尿比重計は、プリズムに滴下した尿の屈折率から尿比重を測定する。尿比重が1.030以上の場合、糖尿病、腎不全などの疑いがあるとされており、間接的に尿糖を推定することに繋がる。ただし、バイオセンサはセンサカートリッジに寿命があり、標準液による校正も必要なため、恒常的に利用するにはコストと手間がかかる。また、光学プリズムを用いる方法は、尿をサンプルする必要があるため、モニタリングシステムとしては適当でない。理想としては、日常生活の中で患者が意識することなく健康管理を行うことができる尿糖モニタリングシステムが望ましいと考える。

### 2. 研究の目的

本研究では、腰掛便器に組み込み可能な光学式尿糖モニタリングシステムの開発を目的とする。従来、尿糖計を腰掛便器に組み込む技術はいくつか提案されているが、申請者らが調査した限り、機械的機構によって尿をサンプルし分析ユニットへ送る手法がとられている。したがって、装置が複雑であり、すでに普及している腰掛便器に組み込むことは難しい。それに対し、本研究の技術は、センサユニットを腰掛便器に外付けするだけで計測できる点に大きな特色がある。非接触であり、分析ユニットも不要なためメンテナンス性にも優れている。スマートフォンなどの携帯端末にアプリケーションをインストールすればデータの蓄積、閲覧も容易であり、今後の普及にもアドバンテージがある。医療機関と連携した健康管理システムとしての有用性が大いに期待できる。

### 3. 研究の方法

開発する計測技術では、近赤外線レーザー光を測定対象溶液の上部からから投影し、液面と容器底面からの2本の反射光を光角度センサで検出する。まず、液面からの反射光を利用し液面レベルを検出する。次に、容器底面からの反射光を利用して、溶液内部を通過する光線の軌跡を解析し、溶液の屈折率を算出する。この屈折率から尿比重を推定する。さらに、容器底面からの反射光強度は、糖の赤外吸収特性により減衰している。これを利用して糖濃度を算出する。尿を排泄する前後の溶液に対してこれらの計測を行い、それらの結果を融合することで尿糖値を推定する。

まず初年度は、溶液に含まれる糖成分を微粒子としてモデル化し、溶液に投影した近赤外線レーザーの軌跡と強度を光線追跡法に基づき算出するための幾何光学解析シミュレータを作成する。光線の軌跡と光強度から尿比重と糖濃度を求める相関式を確立することが目標となる。このシミュレータは、液体内部の糖(グルコース)成分を微粒子としてモデル化し、液体内部に投影した光の散乱挙動を光線追跡法により解析するものである。粒子に対して反射および透過特性をもたせることで、光線が粒子間で多重反射する軌跡や、光線の行路長を計算することができる。尿中の糖の性質をさらに調査し、粒子のサイズ、個数、反射・透過特性などをモデル化する。

2年目には、光角度センサの試作と精度検証を行う。原理は申請者らが開発したもので、2台の光位置センサとハーフミラーから成る。各センサとハーフミラー間の距離が異なり、それぞれで検出した光入射位置の偏差から、ハーフミラーへ入射する光線の方向ベクトルを算出する。本研究では、光位置センサとしてPSD(Position Sensitive Detector)を用いる点がポイントになる。PSDの高速サンプリング特性を活かし、液面の揺れを考慮した光角度計測法を確立することが目標となる。

次年度以降は、尿糖値の高精度推定法の検討である。尿比重は尿の屈折率と相関があり、糖濃度は赤外吸収量と相関がある。そこで、尿中に照射した近赤外線に対して、幾何光学解析に基づき尿の屈折率を計測し、また、光強度解析に基づき糖濃度を計測する方法をそれぞれ確立する。ただし、糖の赤外吸収による光強度変化だけでは十分な情報が得られないことも報告されている。そこで、計測した尿比重と糖濃度を組み合わせることで信頼性の高い尿糖値推定法を検討することが目標となる。

さらに、センサユニットへAD変換機能と無線通信機能を組み込む。データ解析はサーバ側で行い、蓄積したデータはスマートフォンなどの携帯端末で表示できるようにシステム化を図る。将来的には、医者と患者の双方が利用可能なモニタリングシステムの実現を目指す。申請期間内ではデータ通信・蓄積・表示の機能開発および検証までが目標となる。

#### 4. 研究成果

まず、初年度は、溶液に含まれる糖成分を微粒子としてモデル化し、溶液に投影した近赤外線レーザーの軌跡と強度を光線追跡法に基づき算出するための幾何光学解析シミュレータを作成した。粒子に対して反射および透過特性をもたせることで、光線が粒子間で多重反射する軌跡や、光線の行路長を計算することができる。尿中の糖の性質から、粒子のサイズ、個数、反射・透過特性などをモデル化した。光線の軌跡と光強度から尿比重と糖濃度を求める相関式を確立することが目標であったが、これについてはさらなる検証が必要である。

次に、高速光角度センサの試作と精度検証に取り組んだ。光位置センサとして PSD (Position Sensitive Detector) を用いた。PSD の高速サンプリング特性を活かし、液面の揺れを考慮した光角度計測法を確立し、その精度を確認することを目標とした。その結果、光角度センサの構築はほぼ完了した。光学系のキャリブレーションに時間を要したが精度検証も完了し測定精度 0.1 度を確認した。また、この光角度センサを用いて溶液の屈折率を 0.01 程度の分解能で測定できることを明らかとした。なお、液面からの反射光と容器底面からの反射光の強度に大きな違いがあることから、それぞれを同程度の精度で検出するために光センサの前に物理的なフィルタを設定することとした。

次に、市販の近赤外分光センサを用いてグルコースの赤外吸収特性の実験的検証を行った。1620nm 付近に吸光特性が確認でき、さらにグルコース濃度を 1% 程度の分解能で識別できるだけの吸光特性の偏差を確認できた。しかし、要求される分解能は 0.1% 程度である。一つの解決策として、吸光特性が光路長と相関があることに着目し、既設の 10cm セルと比較して 10 倍の 100mm セルに変更した光学系の設計と試作を行った。現時点で、若干の感度向上は見られたものの、光源の出力を上げるなど、さらなる検討が必要な状態である。また、光角度センサで検知した溶液の屈折率と吸光特性のセンサデータを組み合わせた尿糖値推定の方法を検討していくこと、さらにはセンサデータの通信・蓄積・表示機能の開発が課題として残った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 樽田優一, 大谷幸三
2. 発表標題 日常生活における非侵襲尿糖センシングシステムの検討
3. 学会等名 第31回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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