

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12753

研究課題名（和文）PCR検査検体前処理自動化システム用柔軟把持デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of flexible gripping device for PCR test specimen pretreatment automation system

研究代表者

山本 郁夫（YAMAMOTO, Ikuo）

長崎大学・海洋未来イノベーション機構・教授

研究者番号：10392953

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：従来人手によるPCR検査を自動化するためには様々な形状の検体回収容器を安定して把持しセットアップ等の作業ができるロボットハンドが必要であると考え、柔軟把持デバイスの開発に至った。併せて、検体容器の仕様およびPCR検体前処理自動化装置試験機の検討を行った結果、様々な形状の検体回収容器を検査装置に自動でセットアップできるシステムが確立でき、PCR検査の完全自動化が実現した。また、CAD図面から3Dプリンタにてハンドデバイスを製作できる仕組みを構築し、短時間での大量生産が可能となった。さらに容器形状や材質についても特許取得と容器リユースのための新たな技術の産業財産権の出願を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、PCR検査でボトルネックとなっている検体前処理工程において、検体容器の形状に合わせて柔軟把持できるロボットハンドを開発し、PCR検査前処理自動化装置に組み込んで自動化実験検証を行う。これにより病院から搬送される様々な形状の検体回収容器を検査装置に自動でセットアップできるシステムが確立でき、PCR検査の完全自動化が実現する。また、柔軟把持を有するハンドデバイスは新しい医療機器となる可能性が広がる。

研究成果の概要（英文）：We developed a flexible gripping device, believing that a robot hand capable of stably grasping and setting up variously shaped specimen collection containers is necessary to automate conventional PCR testing done by human hands. Concurrently, through the consideration of specimen container specifications and the examination of an automated device for PCR specimen pretreatment, we established a system capable of automatically setting up variously shaped specimen collection containers on the inspection device, thereby achieving complete automation of PCR testing. Furthermore, we established a mechanism for producing hand devices via 3D printing from CAD drawings, enabling rapid mass production. Additionally, we were able to apply for industrial property rights for new technologies for patent acquisition and container reuse, considering container shapes, materials, and patents.

研究分野：ロボット工学、システム工学、力学、制御工学

キーワード：PCR検査 検体前処理自動化システム 柔軟把持デバイス ロボットハンド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

新型コロナウイルスは、日本で2020年1月に感染確認以来、長崎でも大型クルーズ船内クラスターの発生など感染が蔓延している。症状を持つ患者診断のためにPCR(Polymerase Chain Reaction)検査が行われる。これはポリメラーゼ連鎖反応法により病原体の遺伝子が僅かでもあれば増幅させることで病原体を検出し特定する検査方法である。医療機関では患者の鼻腔スワブ液と唾液の検体を採取し、検体回収容器にてPCR検査機に搬送する。検体からPCR検査は、検体前処理、RNA抽出セットアップ、RNA抽出、PCRセットアップ、PCR検査の工程で行うが、検体前処理は人手により行われているため工程のボトルネックとなっている。(RNA抽出以後の工程は自動化されており、検体前処理は他の工程に比べ約8倍の処理時間を要する。)そこで、PCR検査の効率化、標準化、検査作業員の感染防止を目的として、検体回収容器から検体を検査容器に自動で移すPCR検体前処理自動化装置を開発中である*1*2。(図1)



図1 PCR 検体前処理自動化装置

本装置は移送ロボットがシリンジを掴み、検体用容器から検体を抽出して、検査用容器に検体と不活性化用溶解剤を注入して、自動でPCR検査前処理を行う。(図2-1、図2-2)

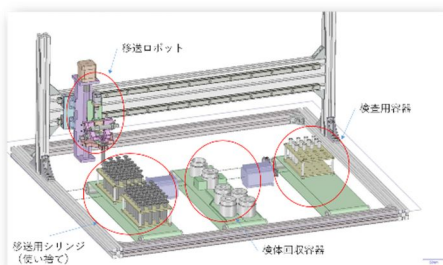


図2-1 PCR 検体前処理自動化装置 CAD イメージ

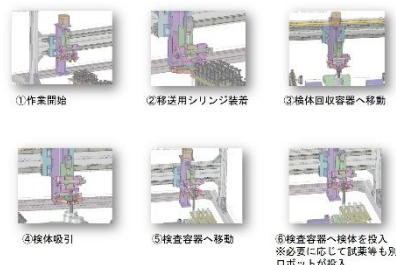


図2-2 移送工程

本装置を運用するためには、病院から搬送される様々な形状の検体回収容器を自動でセットアップしなければならず柔軟把持ハンドデバイスが必要となる。

*1 山本郁夫, “新型コロナ PCR 事前処置を自動化 長崎大学研究「職員感染防止も」”, 読売新聞 27 頁地域欄, 2020 年 8 月 30 日

*2 山本郁夫他, “唾液回収容器”(装置特許も含む), 特許 7448204, 2024 年 3 月 4 日登録, 特願 2020-114201, 2020 年 7 月 1 日出願

2. 研究の目的

本研究では、PCR 検体前処理自動化装置において、病院から搬送される形状の異なる検体回収容器をセットアップする折の形状に合わせて把持できる柔軟把持デバイスを開発することを目的とする。これまでに、唾液 PCR 検体前処理自動化装置の実験機は開発されている。(図1)しかし、検体用回収容器は人手によりセットアップしなければならず、検査作業員のコロナ感染の危険を考え、検体回収容器はロボットハンドにより自動で把持されて装置に設置される必要がある。さらに検体用回収容器は病院により形状が異なるため、容器の形状に合わせて安定して把持する必要がある。これらの課題を解決するハンドデバイスはなく、新たな発想を持って開発するものである。

3. 研究の方法

本研究では、検体用回収容器の形状に合わせて、均一荷重で柔らかく容器を把持できるハンドデバイスを開発することを目標とする。そのため、(1)柔軟な機械メカニズムを有するハンドデバイスの設計製作、(2)ハンドデバイス内部の制御機構の開発、(3)PCR 検体前処理自動化装置での実験検証の3つのステップで開発を行った。

(1) 柔軟な機械メカニズムを有するハンドデバイスの設計製作

図3に示すように弾性振動翼の原理研究より生み出された生物運動型水中ロボット(魚ロボット)の鰭(ひれ)を2翼使用した鉗子(山本郁夫、特許第5388033号「鉗子制御装置、鉗子制御方法と鉗子部材及び挟持力可変鉗子」)を応用して、容器形状に合わせて柔軟に把持できるロボットハンドを開発し、検体容器把持ハンドデバイス先端に取り付ける。



図3 弾性振動翼応用鉗子

検体容器として、直径40mmのカップ型円筒容器(図4)、20mmのシリンダ型円筒容器(図5)が代表的であるが、開発されたロボットハンドは形状にあわせて優しく低圧力で把持することができる。例えば、弾性振動翼2枚を用いて、図6、図7のように様々な形状に合わせて把持することが可能となる。

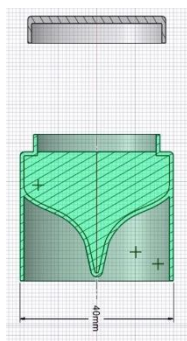


図4 カップ型円筒容器



図5 シリンダ型円筒容器

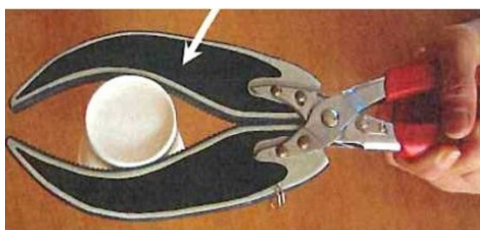


図6 円筒形状物把持状態



図7 直方体形状物把持状態

(2) ハンドデバイス内部の制御機構の開発

ハンドデバイスの把持部内側に磁性流体を入れ込んだシートを張り付ける。磁性流体により内部流体圧を高めて、小さな直径の容器の細微な押し付け保持機能を有するロボットハンドが実現できる。(図8)尚、開発した磁性流体シートは微細な押し付け調整と固定が可能のため医療試験用ラットの頭の固定などの小動物実験固定器にも活用できる。

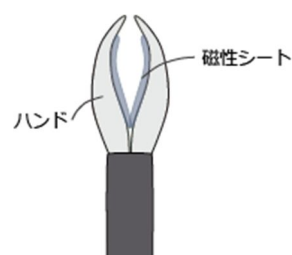


図8 ロボットハンド内部デバイス

(3) PCR 検体前処理自動化装置での実験検証

上記(1)(2)を総括し、柔軟把持ハンドデバイスを製作して、PCR 検体前処理自動化装置(図1)に組み込んで、直径が異なる検体容器が検査に運ばれた折、順次PCR 検体前処理自動化装置に容器を設置し、シリンジにて検体吸収処理後、検体容器を再度把持してごみ箱に廃棄するロボットハンドを開発し、一連の作業シーケンスを自動で行えることを実験検証する。

4. 研究成果

PCR 検体容器形状に合わせて把持できるように、柔軟な機械メカニズムを有するハンドデバイスの設計を生物運動型水中ロボットの鰭2枚を応用した機構にて行った。また、ゴムや磁性シートによる把持圧力向上試験も行った。さらに、検体容器の仕様およびPCR 検体前処理自動化装置試験機の検討を行った。設計開発コンセプトは IMETI2021 国際学会にて発表

し、学会チェアより高評価を得た。

柔軟把持ハンドデバイスを設計して、PCR 検体前処理自動化装置に組み込んで、シリンジにて検体吸収処理後、検体容器を再度把持してごみ箱に廃棄する一連のロボットハンド作業シーケンスを円滑に行えるシステム検証を行い、結果を論文にまとめ、SCI 国際ジャーナル Science Progress に投稿し、採択掲載された。

柔軟な把持メカニズムを有するハンドデバイスの製作、および実験検証と改造を行い、検体容器形状に合わせて把持できるロボットハンドを開発できた。成果は台湾にて開催された The 12th International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation 2023 国際学会にて発表し、技術性と有用性に関し高評価を得た。また、CAD 図面から 3D プリンタにてハンドデバイスを製作できる仕組みを構築し、短時間での大量生産が可能となった。(図9)さらに容器形状や材質についても特許取得と容器リユースのための新たな技術の産業財産権の出願を行うことができた。

以上の研究成果を踏まえ、様々な形状の検体回収容器を検査装置にセットアップできるシステムを確立し、同時に開発したハンドデバイスは柔軟把持を有する新たな医療機器としての可能性を見出すことができた。

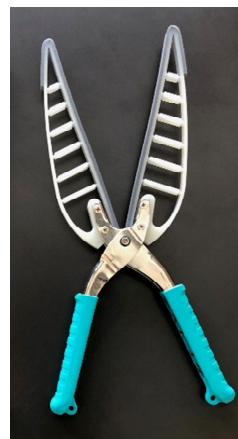


図9 開発した柔軟把持デバイス

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamamoto Ikuo	4. 巻 104 (S3)
2. 論文標題 Research on automatic preprocessing equipment of salivary analyte for PCR inspection of coronavirus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Progress	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/00368504221115513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Ikuo Yamamoto
2. 発表標題 Development of Automatic Preprocessing Equipment of Salivary Analyte for Polymerase Chain Reaction Inspection of Coronavirus
3. 学会等名 IMETI2021, The 10th International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation, Session A1 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikuo Yamamoto
2. 発表標題 Development of Soft Grasping Hand Device for Inspection Cup
3. 学会等名 IMETI2023, The 12th International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation, Session A6 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 唾液回収容器	発明者 山本郁夫, 大田廉, 柳原克紀, 河野茂, 盛永明啓	権利者 国立大学法人 長 崎大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願PCT/JP2021/024253	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 検体前処理装置、検体前処理方法、及び制御プログラム	発明者 山本郁夫, 河野 茂, 柳原克紀, 太田賢治, 佐々木大介	権利者 協和機電工業株 式会社, 国立大 学法人 長崎大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-149982	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 生物学的検体の分析方法及び検体回収容器の再生方法	発明者 山本郁夫、関四郎、 依田慎二、吉田英 樹、中山美奈子	権利者 国立大学法人 長 崎大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2024-046813	出願年 2024年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 唾液回収容器	発明者 山本郁夫、大田廉、 柳原克紀、河野茂、 盛永明啓	権利者 国立大学法人 長 崎大学
産業財産権の種類、番号 特許、7448204	取得年 2024年	国内・外国の別 国内

〔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	盛永 明啓 (MORINAGA Akihiro) (20781008)	長崎大学・工学研究科・助教 (17301)	

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