

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12752

研究課題名（和文）時空間レジストレーション技術に基づく創傷管理の3次元統合情報提示システム

研究課題名（英文）3D information display system for wound management support based on registration techniques among multi-modal images

研究代表者

野口 博史（Noguchi, Hiroshi）

大阪公立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50431797

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）：撮像対象は同一だが、カメラやサーモグラフィ、圧力分布センサなど異なるデバイスによって撮像された異なる画像を位置合わせして、重畳して重ね合わせるための技術を開発した。その技術の応用として、糖尿病の合併症の一つである足潰瘍の予防のために、外来などで働く看護師の判断支援を念頭に、足底画像を撮影した画像から3Dモデルとして足の形状、温度、圧力分布が確認できるシステムを構築した。また、足サイズや炎症領域の自動判断機能なども構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

創傷の予防や治療などに、様々なイメージング機器が利用されつつあるが、それらを統合して判断することは医療のエキスパートにしか難しい問題がある。その問題に対して、開発した技術により、統合して可視化して情報提示することで、臨床看護師などの判断支援につながると考えられる。また、応用して開発したシステムは、医療的な検証はまだではあるが、将来的な糖尿病足潰瘍予防に役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We developed registration techniques for multi-modal images of the same target using different devices such as a depth-camera, a thermography camera and a pressure distribution sensor. Using the developed techniques, the 3D models with not only color but also temperature and applied pressures are easily constructed. As an application of the developed techniques, we developed the display system to assist nurses' assessment for diabetic foot ulcer prevention. The system can display 3D model with temperature and pressures for detection of inflammation and elevated pressure area, and provide information related to suitable footwear size.

研究分野：看護工学，センシング

キーワード：レジストレーション 糖尿病足潰瘍予防 3Dモデル サーモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

看護師の業務の一つとして、病院や外来、在宅などでの創傷管理がある。創傷管理では、創傷の予防のためのケアや発生後の創傷についてのケアを行う必要がある。その際に、予防時や創傷治療において、それぞれの状態によってケア方法が変わってくるため、それらの状態を正確に把握することが重要である。従来は、判断する方法として、いわゆる目視や触診などが用いられてきた。しかし、医学・看護にかかわる工学技術の発展から、それらをサポートするための機器が利用されるようになってきている。たとえば、触診では確認が難しい炎症状態をサーモグラフィカメラにより判断することができるようになってきているのが一例である。

一方で、それらの機器が増えることによって、看護師はより総合的にそれらの結果を統合して判断する必要性が生じてきている。創傷ケアに関連するエキスパートの看護師などであれば、それらからの判断は容易であるが、一方で、普段からそれらのアセスメントに習熟していない看護師であれば、難しいことが想定される。その判断支援として、計測した情報を統合して、可視化することができれば、判断が容易になると想像される。幸い、現状の計測機器としては、単体の数値を出すものもあるが、看護師が利用可能な機器では、先のサーモグラフィのように画像を計測し、提示するものが多い。そこで、それらの画像を重畳表示することで、それらの判断支援が実現できるのではないかと考えた。

その実現には、画像間のレジストレーションが必要となる。ただし、それらの機器については、画像の見え方やサイズ、また、撮像の条件などが様々である。それらのモジュール間の問題に比べ、同じ画像でも、外来受診など定期的に撮像するものについても日時が異なることから、撮像などの条件が同様に異なる。そこで、それらの条件異なっても、画像間のレジストレーション技術が必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的としては、看護師のケア支援を念頭に、創傷管理で用いられる様々なモジュール画像について重畳表示可能なレジストレーション技術を開発し、その重畳表示技術を用いて、ケアアセスメントに支援のための情報提示システムを構築することが目的である。

ただし、実際には、創傷管理にも様々なターゲットがあり、それに合わせたデータセット等の準備が必要となる。その中で、患者数も多く、比較的多数のモジュールでの計測となる糖尿病足潰瘍予防を対象とすることとした。その中で、更に、潰瘍の発生も多い足底を対象とし、支援システムを構築する。具体的なレジストレーション対象画像としては、変形などの足部形状の3次元計測画像、炎症兆候検出のためのサーモグラフィによる足底温度分布計測画像、創傷発生のリスクとなる足底圧上昇計測の圧力分布計測画像とする。それらを重畳し、3次元で情報提示することでケア判断の支援を実現するシステムを構築するのが目的である。

3. 研究の方法

(1) 計測システムの構築

現状、足底画像を対象としたマルチモジュールなデータセットは存在しないことから、それらを実現するための計測システムを構築した(図1)。構築したカメラシステムは、将来的な外来などをへの持ち込みなどを想定し、サイズをコンパクトとするともに、3次元表示用のソフトウェア稼働PCへ接続し、同時計測可能なように構成した。

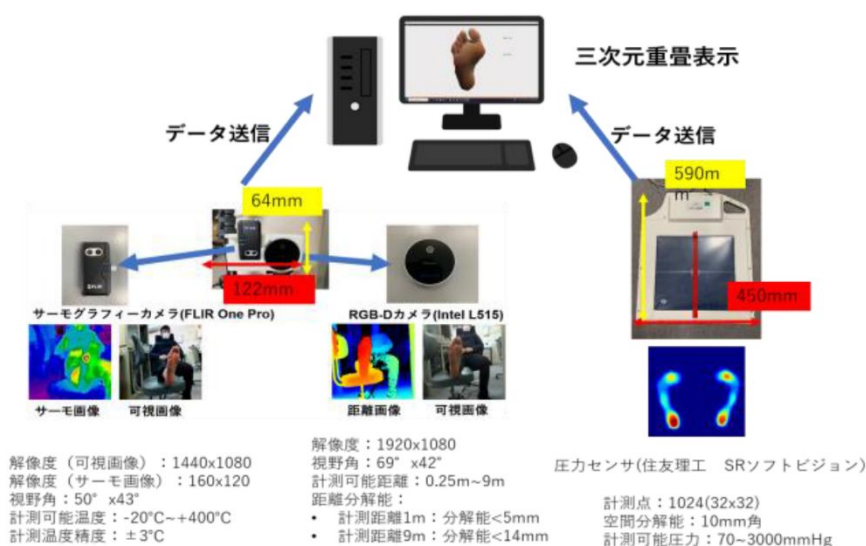


図1: 構築した計測システム

(2) 情報提示システム

情報提示システムとしては、図2に示すように、RGB-Dカメラから取得できる、色付き3次元点群画像、サーモグラフィ画像、圧力分布画像を可視画像の足底領域を中心にレジストレーション

ンすることで、重畳表示を実現した。また、アセスメントに必要な情報提示として、炎症状態と推定される高温領域の自動検出、適切な靴の推薦のための足サイズ計測なども実現した。

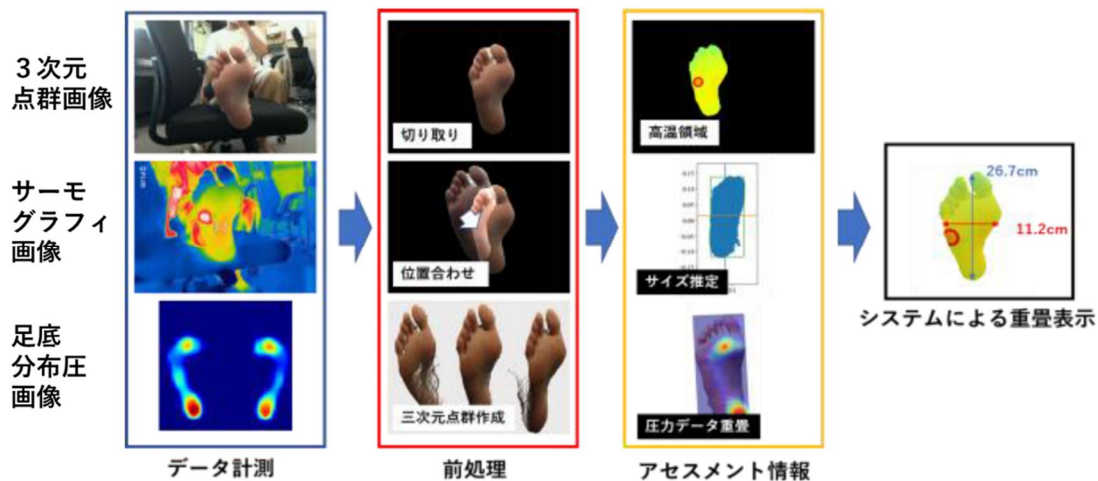


図2：情報提示システムの概要

(3) レジストレーション方法

先の述べた3モードが存在するが、基本的には可視画像が安定して、足底領域を判断できることから、そちらを基準としてレジストレーションする方法を開発した。

可視画像とサーモグラフィのレジストレーション

サーモグラフィカメラには、温度画像だけでなく、可視画像も同時に撮影できることから、その可視画像を元にレジストレーションを行った。ただし、いわゆるステレオ視で行われるチェスボードを見せて行うキャリブレーションには、カメラ距離間が近すぎることや、可視カメラとしては、画素数が限られること並びにレンズ系が異なりすぎることから、撮像後にレジストレーションすることとした。具体的には、RGB-Dカメラ並びに、サーモグラフィカメラの可視画像において、同一のサイズの512 x 512 pixel にリサイズした後に、医療画像でよく用いられる深層学習ベースのセグメンテーション手法であるU-Netを利用し、測定領域を抽出する。その後、抽出画像において、重心を元に中心位置合わせした上で、画像の一致度である Intersection of Union (IoU) が最大になる回転量を探索する方法によって、位置合わせを行った。その位置合わせの並進・回転情報を元に、3次元点群画像に対して、温度情報を付与した。

可視画像と足底圧のレジストレーション

足底圧画像については、サーモグラフィ画像と異なり足底全体の領域画像を得られない上に、土踏まずなど画像として欠落した部分が存在するため、そのままの位置合わせを行うことは難しい。そこで、図3のように、足底圧分布と同時に足の外形情報を計測した後に画像化し、そのペアのデータセットから、圧力分布から足底領域全体を推定するU-Netをベースとした深層学習モデルを構築した。そのモデルにより、上記と同様に可視画像を位置合わせすることで、画像との位置合わせを行う方法を開発した。また、その結果を元に、3次元点群画像に足底圧分布画像を重畳した。

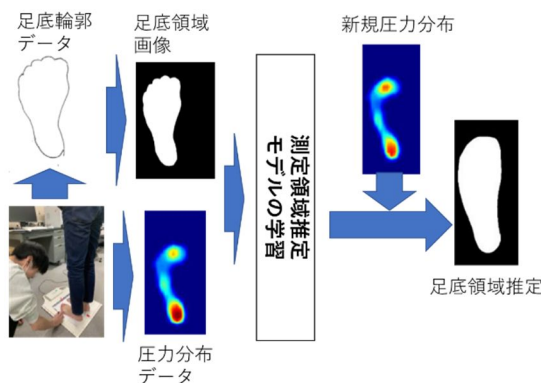


図3：足底圧からの足底領域推定

(4) 情報支援のためのデータ推定

サーモグラフィ画像からの温度上昇領域の自動推定

足底に炎症がある場合は、周辺よりも温度上昇が見られることから、それらを自動的に発見する手法を開発した。具体的には、図4に示すように、温度の類似度からサーモグラフィ画像をSLICを用いてスーパーピクセル領域へと領域分割し、その領域ごとに温度上昇している候補となる領域を検出する。その後、周辺領域との連結性から独立した温度上昇領域化を判断することで特定の温度上昇領域を検出する方法である。

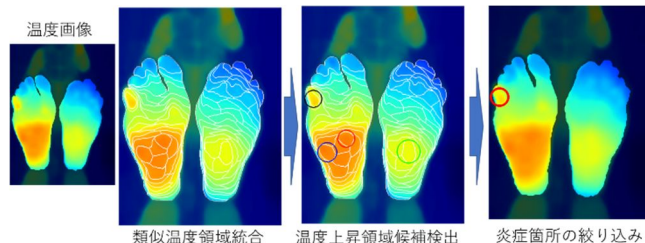


図4：炎症領域の自動検出方法

足長・足幅の自動推定

3次元点群画像から、足底の3次元構造が得られることから、そのデータから足長と足幅を推定する方法を構築した。具体的には、RANSACを用いてロバストに足底平面を推定後、その平面上で、主成分分析から、外接矩形を推定し、足長と足幅と計測するものである。ただし、立位と撮像時で負荷によって足サイズが異なることから、線形回帰モデルで計測結果を補正し、足サイズを推定する方法も構築した。

4. 研究成果

(1) 可視画像とサーモグラフィのレジストレーション結果

背景でも述べた通り時系列的な変化などへのロバスト性も確認するため、健康者3名から撮像条件を変えて、72枚の画像を取得し、データセットした。学習への依存性を検証するために9クロスバリデーションで検証した結果、その画像からの足底領域の推定結果は、領域の重なりを表すIoUにて0.89(1が最も良い)となった。典型的な画像を図5に示す。また、サーモグラフィ画像の位置合わせ後の重なりについては、0.81となった。手動での位置合わせ方法を行った場合には、0.79であったため、手動よりもよいレジストレーションが実現できていると考えられる。

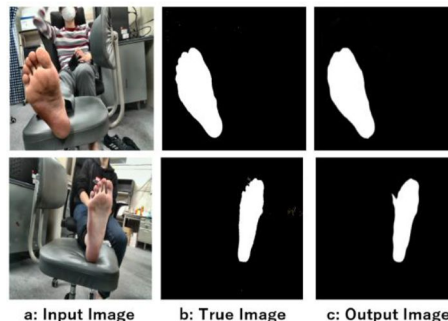


図5：測定領域推定例

(2) 可視画像と足底圧のレジストレーションの検証結果

健康成人男性12名から4回ずつ時期を変えて計測しデータセットを構築した。そのデータセットを元に8クロスバリデーションを行ったところ、圧力分布から生成した足底領域でIoUが0.84となった。また、可視画像との重ね合わせについても、IoUで、0.84となった。重畳表示するのに十分な性能を示していると考えられる。また、目視にて、過剰な圧がかかりやすい第1、第5中足骨部や踵などにおいて位置が合っていることが確認できている。典型的な重畳させた3Dモデル例を図6に示す。

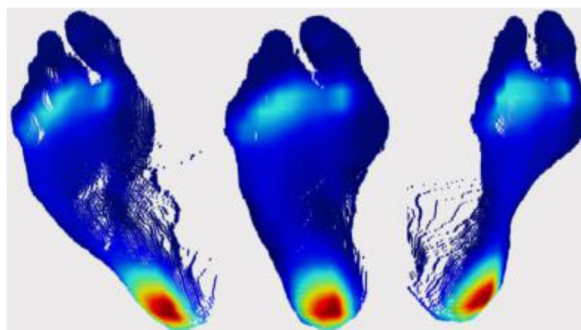


図6：足底3次元モデルとの重ね合わせ例

(3) サーモグラフィ画像からの温度上昇領域の自動推定結果

健康女性1名から、縦断的に計測した4枚の温度上昇画像を含む64枚のサーモグラフィ画像において、温度情報が測定可能かどうかについて、検証した。提案方法で4枚中3枚を自動検出し、また、温度上昇がないものについては確実に無いことを判断できた。臨床的なデータセットでない問題はあっても自動的な検出に利用できる可能性は確認できた。

(4) 足長・足幅の自動推定結果

成人男性9名からにおいて、片足ずつ計18足データを計測し、RGB-Dカメラからの足長・足幅について推定性能を調べた。結果、RMSEで足長3.6mm、足幅3.3mmの誤差に抑えられることがわかった。このことから、通常足長の10mm程度大きいと良いとされる適切な靴サイズの推奨などへの情報提供には十分利用できる可能性があることを確認できた。

(5) 情報提示システムの構築と確認結果

上記の機能を全て統合し、3D表示可能なアプリケーションを構築した(図7)。図に示す通りそれぞれの重畳モードを選択し、重畳画像を切り替えて提示できる機能を実装するとともに、温度上昇領域や適切な靴サイズ情報なども提示できるように構築した。システムの直接の評価はできていないが、今後、フィジビリティ・スタディを行うことを考えている。

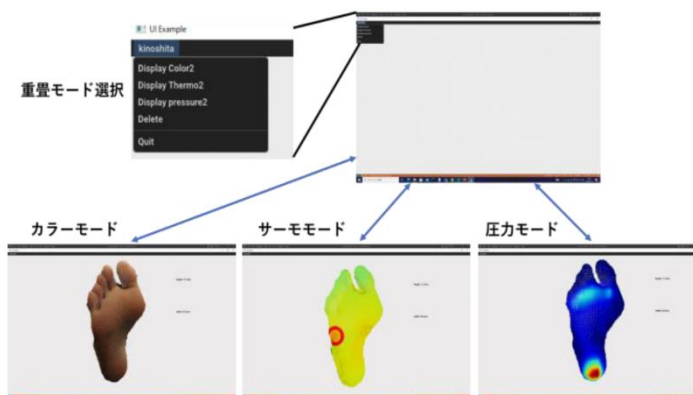


図7：構築したシステムの実行例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 實生 柚斗, 野口 博史
2. 発表標題 糖尿病患者の足潰瘍予防のためのサーモグラフィカメラによる温度情報付き3次元足底モデル表示システム
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Mibae, Hiroshi Noguchi
2. 発表標題 Trial of 3D thermographic data generation by combination of RGB-D and thermography camera
3. 学会等名 the 9th asia pacific enterostomal therapy nurse association conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Noguchi, Makoto Oe
2. 発表標題 Automatic detection of locally temperature-elevated area of foot plantar from thermographic image: Preliminary trial
3. 学会等名 the 9th asia pacific enterostomal therapy nurse association conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Mibae, Hiroshi Noguchi
2. 発表標題 Visualization System of 3D Foot Plantar Model with Temperature Information Using RGB-D and Thermographic Cameras for Prevention of Foot Ulcer in Diabetic Patients
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 實生 柚斗, 野口 博史
2. 発表標題 糖尿病患者の足潰瘍アセスメントのための温度情報付き三次元足底モデル計測システムを利用した足サイズ計測の試み
3. 学会等名 第10回看護理工学会学術集会
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
研究分担者	森 武俊 (Mori Taketoshi) (20272586)	東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・特任教授 (12601)	
研究分担者	真田 弘美 (Sanada Hiromi) (50143920)	東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・教授 (12601)	
研究分担者	大江 真琴 (Oe Makoto) (60389939)	金沢大学・保健学系・教授 (13301)	
研究分担者	仲上 豪二郎 (Nakagami Gojiro) (70547827)	東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・教授 (12601)	

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