

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H04560
研究課題名（和文）インピーダンストモグラフィ法に基づくシート型創傷モニタリングシステムの開発

研究課題名（英文）Sheet-type wound monitoring system based on impedance tomography method

研究代表者
森 武俊（Mori, Taketoshi）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：20272586
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：在宅患者・療養型施設患者の抱える褥瘡・スキンテア等の慢性創傷の常時モニタリングシステムの開発を行った。医療プロフェッショナルが頻回に訪問できないような患者の創傷周囲から電気インピーダンスのスペクトロスコピーで逐次計測し創傷周囲取り囲み型トモグラフィにより創部の状態・深度を常時推定する技術を開発し、薄型の創傷被覆材埋込デバイスとして実装可能とした。倫理的配慮のもとで人を対象とした調査へ展開し、健康者を対象とした計測実験を行ったところ、皮膚下組織異常検知、血管周囲組織異常検知の実現可能性が検証できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

在宅患者の抱える褥瘡・スキンテア・静脈性下腿潰瘍など慢性創傷は、痛み・QOLといった本人への影響以外に、社会・経済的なインパクトも大きい。長期間の虚血や圧力等による変形、局所感染などにより、創部はシビアな慢性創傷となっていく。このような外因性の傷は防護と継続的なケアが治癒や悪化の予防のために必須となっており看護師・医師等多職種連携が行われる。本研究ではこの予防や早期ケア介入のために重要となる常時モニタリング技術をデバイスとして実装可能な形で実現し、人を対象として検証したことがポイントである。

研究成果の概要（英文）：We developed a continuous monitoring system for chronic wounds such as pressure ulcers and skin lesions in home and nursing home patients. We have developed a technology to estimate the condition and depth of wounds by using spectroscopic measurement of electrical impedance around the wounds of patients who cannot be visited frequently by medical professionals, and by using wound-encircling tomography. We realized implementing the technology as a thin wound dressing implantable device. We extended the technology to be used for human subjects. And under ethical considerations, we conducted measurement experiments on healthy subjects. The feasibility of detecting abnormalities in subcutaneous tissue and perivascular tissue was verified.

研究分野：看護理工学

キーワード：医療工学 看護工学 イメージング リアルワールドデータ 医工連携 看工連携 トモグラフィ 看護理工学

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎える日本をはじめとする国々では医療，特にケアの質を高く保つことが困難になってきている．日本の要介護・要支援高齢者の増加はここ 3 年で 33 万人を超えている．2020 年には医療介護者の不足は 13 万人，2025 年には 34 万人になると推計されている．2010 年の厚労省調査では療養生活のケアは自宅で受けたいとする高齢者がほとんどであり，日々の健康状態・質を在宅でモニタリングする機器やシステム・サービスへの要求は大きい．

なかでも，在宅患者の抱える褥瘡・スキンテア・静脈性下腿潰瘍など慢性創傷は，痛み・QOL といった本人への影響以外に，社会・経済的なインパクトも大きい．米国でも 700 万人近い人が慢性創傷を抱え 300 億 US ドル近いコストがかかっていると試算されている．健康な皮膚組織は身体の防護に極めて重要な役割を果たしている．皮膚が傷つきダメージを受けても真皮細胞から細胞外マトリクスがすみやかに回復し障害から回復する．ただ，皮膚層が十分適切に働かず，皮膚ダメージが皮膚再生を上回ると，創傷の治癒過程の炎症，細胞増殖，再構築が滞る．長期間の虚血や圧力等による変形，局所感染などにより，創部はシビアな慢性創傷となっていく．このような外因性の傷は，防護と継続的なケアが治癒や悪化（デテリオレーション）の予防のために必須となっており看護師・医師等多職種連携が行われる．

皮膚の細胞質や細胞外液はイオンに満たされており電気的特性としては抵抗と類似の性質を持ち，電気的な流れが生じると導電性として働く．一方，細胞膜は非導電性のバリアとして働きコンデンサとみなせる．これらによりダメージを受けた皮膚細胞は通常の細胞に比べ高いインピーダンスを持つ．すなわち，表皮，真皮，皮下組織の状態をインピーダンス計測により知ることができる可能性を示している．これは微弱な電気を供給した際に出力される信号の強度と位相を計ることで実現される．この考え方に基づき，従来皮膚に直接貼り付ける形で，傷のダメージの有無を識別したり(Kekonen et al., Physio. Meas., 2017)，褥瘡の発生を予測したり(Swisher et al., Nat. Comm., 7575, 2015) する研究がなされてきている．

ただ，センサを傷に直接貼り付けるのは，臨床で実際に活用するという点において創部を悪化させる可能性があり侵襲的で，現実に皮膚をケアする際に貼る創傷被覆材の障害になる，重度の褥瘡によくあるポケット(創腔)の部分に適用できないといった大きな問題がある．そこで，我々は創傷の周囲を取り囲むように端子を配置し，随時選択端子をずらしつつ計測してトモグラフィにより内側の創傷状態を復元推定するというアイデアを着想した．

四端子法による電気インピーダンスのスペクトロスコピーによる皮膚内状態復元を研究者自身の皮膚で行う実験，肉片をファントムとしてインピーダンスを数方向から計測し逆演算により肉の傷みの度合いを場所毎に三段階で推定する実験などを予備的に行い(Kang,野寄,野口,森他．Developing skin condition monitoring tool using multi-frequency electrical impedance tomography. 7th 看護理工学会学術集会, 49, 2019) ,実現可能性のあることを検討済みであった．

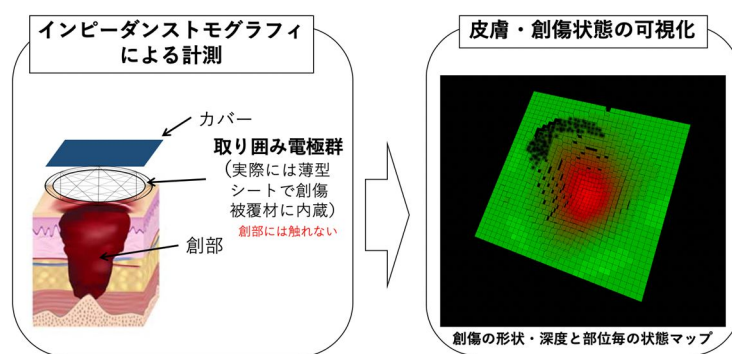


図 1：インピーダンストモグラフィ法に基づく薄型シートデバイスによる創傷モニタリング

2. 研究の目的

在宅患者・療養型施設患者の抱える褥瘡・スキンテア等の慢性創傷の常時モニタリングシステムを開発することとした．医療プロフェッショナルが頻回に訪問できないような患者の創傷周囲から電気インピーダンスのスペクトロスコピーで逐次計測し創傷周囲取り囲み型トモグラフィにより創部の状態・深度を常時推定する技術を開発し，薄型の創傷被覆材（ドレッシング材）埋込デバイスとして実装する（図 1）．常に状態を取得することで重度・治癒度を臨床の場のみならず遠隔からもモニタリングできるようにし，異変時には介護者や医療者へ通知して適切な治療・ケアが早期に施せるようにするシステムである．デバイス設計・開発を専門とする工学研究者と臨床検証を安全・安心環境で遂行する看護研究者・看護師とが協調して研究を進め，創傷オストミー失禁管理学会や日本褥瘡学会の看護師会員を手はじめとする普及を目指し患者と治療・ケア提供者双方の QOL/Well-being に貢献するものとして形成する．

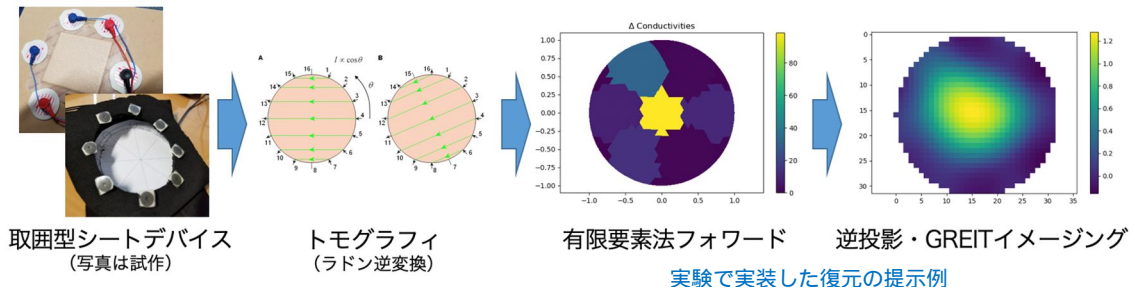


図 2：皮膚下状態推定のイメージ (マップから学習データに基づき深度・部分毎状態マップを推定)

3. 研究の方法

在宅あるいは療養型施設患者の抱える慢性創傷を常時モニタリングするシステムを開発することである。1) 患者の創傷周囲から創部に接触することなく取り囲むようにインピーダンススペクトロスコピーで逐次計測し、トモグラフィにより創部の状態・深度を常時推定する手法実現をできるか、2) それを皮膚に貼る創傷被覆材 (ドレッシング材) の周辺部に埋込・貼付可能な薄型シートデバイスとして実装することができるか、3) 常に創傷状態を取得できるモニタリングデバイスとして構成することで人において安全・有効・有用に用いられるか実証検証するという3点である。

4. 研究成果

インピーダンストモグラフィ法について、電気インピーダンススペクトロスコピーにより創傷の重度・治癒度を計測可能とし、特にトモグラフィにより創面の部分毎の状態・深度のマップを推定する技術を実現した。

また、トモグラフィで復元されるマップから創傷の深度と重度・治癒度状態のマップを推定するため、計測データと手入力正解データとを対応させた教師付機械学習に基づく手法の作成も、形状や状態が既知のゼリーファントムのデータなどを利用したものから人の皮膚データまでをまず行った。その上で、創面状態・深度マップ推定技術の基礎評価を行い、創傷の重症度や治癒進行度の評価に役立ちうることを確認した。なお、創傷の深度と重度・治癒度状態のマップ推定の教師付機械学習による手法の精緻化のためのより詳細な収集データの収集を継続し、創傷関連の医学系・看護学系学会における組織的なデータ収集の必要性の提言を行った。

また、薄型小型化の初期試作とトモグラフィ演算のマイクロコントローラ実装を行った。試作を重ね、薄型フレキシブルシートデバイスターミナルとしての実装を進め、システムの頑健な実現可能性を確認検証した。

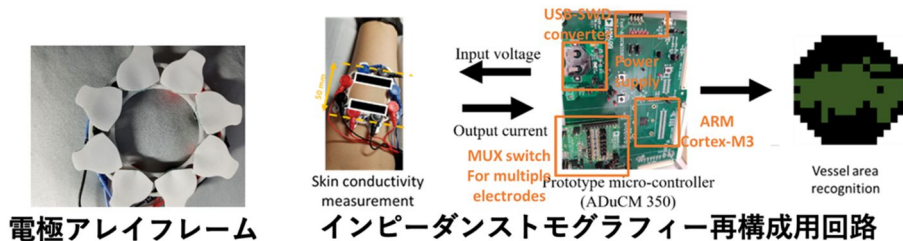


図 3：実現したシステム

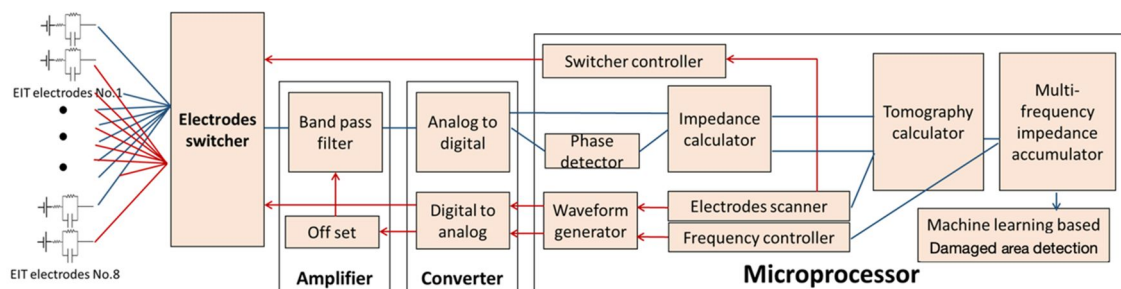


図 4：システムの主要構成

人を対象とした基本機能検証や安全性検証を可能とする技術開発を進めた。システムの健常者を対象とした基本機能検証に2020年度より着手したが、当初の想定に反し試作システムのモニタリング精度が不足したことにより、2021年度後半から2022年度にかけてシステムの性能評価をやり直して実施することとした。これらに基づき、研究グループの健常な研究者による初期的なシステムの基本機能検証や安全性検証を行った上で、COVID-19の影響等で進めにくかつ

た人を対象とした計測、調査へと展開し、東京大学大学院情報理工学系研究科と東京大学全学の倫理審査を受け、健常者を対象とした計測実験を行った。皮膚下組織異常検知、血管周囲組織異常検知の実現可能性が検証できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8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 森 武俊	4. 巻 9
2. 論文標題 看護ビッグデータの利活用の現状と展望	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 看護理工学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24462/jnse.9.Supplement_S1	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 -
1. 著者名 Noguchi Hiroshi, Miyahara Maki, Takahashi Toshiaki, Sanada Hiromi, Mori Taketoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Modeling for Change of Daily Nurse Calls After Surgery in an Orthopedics Ward Using Bayesian Statistics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CIN: Computers, Informatics, Nursing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/CIN.0000000000000712	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 Nagata T, Noyori S, Noguchi H, Nakagami G, Kitamura A, Sanada H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Skin tear classification using machine learning from digital RGB image	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Tissue Viability	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Makoto Oe, Kahori Tsuruoka, Yumiko Ohashi, Kimie Takehara, Hiroshi Noguchi, Taketoshi Mori, Toshimasa Yamauchi, Hiromi Sanada.	4. 巻 -
2. 論文標題 Prevention of diabetic foot ulcers using a self-monitoring device smartphone and mobile thermography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Wound Care	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 森 武俊	4. 巻 35
2. 論文標題 看護プロフェッショナルと協働するAI	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 487-494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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16件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T
2. 発表標題 Wound Image Segmentation Based on Region Proposal Network For Measuring The Size Of The Dermal Exposure Area
3. 学会等名 44th EMB Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T.
2. 発表標題 Multi-frequency impedance tomography for velocity estimation of vein blood flow.
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T.
2. 発表標題 Wound image segmentation for measuring the size of wound using U-Net combined with object detection
3. 学会等名 第31回日本創傷・オストミー・失禁管理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T.
2. 発表標題 Vessel recognition using multi-frequencies of skin impedance and signal similarity of photoplethysmography
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taketoshi MORI
2. 発表標題 AI-Based Classification of DESIGN-R and Skin Tear
3. 学会等名 The 9th Asia Pacific Enterostomal Therapy Association Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 武俊
2. 発表標題 ビッグデータIoTが変えるケア・看護
3. 学会等名 日本機械学会IIP2021 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T.
2. 発表標題 Segmentation of Pressure Ulcer Images for Estimation of Wound Status Using Residual Convolutional Neural Network
3. 学会等名 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kang S.I., Mori T.
2. 発表標題 Pressure ulcer segmentation to record wound size using recurrent residual convolutional neural network
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 野寄 修平, 野口 博史, 森 武俊, 鈴木 基文, 真田 弘美.
2. 発表標題 シンポジウム4「超高齢社会の排尿障害」最前線 排尿ケアを支えるセンサー開発の最前線
3. 学会等名 (第37回日本ストーマ・排泄リハビリテーション学会総会(招待講演))
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kang Sooln, Noyori Shuhei, Noguchi Hiroshi, Takahashi Toshiaki, Sanada Hiromi, Mori Taketoshi.
2. 発表標題 Developing Wound Monitoring System Using Electrical Impedance Tomography Spectroscopy: Preliminary Trial
3. 学会等名 第29回日本創傷・オストミー・失禁管理学会学術集会,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kang Soo In, Noyori Shuhei, Noguchi Hiroshi, Takahashi Toshiaki, Sanada Hiromi, Mori Taketoshi
2. 発表標題 Development of an Electrical Impedance Tomography Spectroscopy for Pressure Ulcer Monitoring Tool: Preliminary study
3. 学会等名 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noguchi Hiroshi, Miyahara Maki, Kang Soo In, Noyori Shuhei, Takahashi Toshiaki, Sanada Hiromi, Mori Taketoshi
2. 発表標題 Bayesian statistic model for nurse call data considering time-series, individual patient variabilities and massive zero-count call data
3. 学会等名 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森 武俊
2. 発表標題 全員参加型ーみんなでAIを使う！(DESIGN-RとSTAR分類) DESIGN-R
3. 学会等名 日本創傷・オストミ - ・失禁管理学会第29回学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taketoshi MORI
2. 発表標題 Development of AI Nursing in Geriatrics
3. 学会等名 ストックホルム3大学群・東京大学Sustainable Development講演会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学次世代知能科学研究センター森研究室
<https://www.ai.u-tokyo.ac.jp/>

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	山田 憲嗣 (Yamada Kenji) (70364114)	大阪大学・情報科学研究科・特任教授(常勤) (14401)	
研究分担者	野口 博史 (Noguchi Hiroshi) (50431797)	大阪公立大学・大学院工学研究科・教授 (24405)	
研究分担者	真田 弘美 (Sanada Hiromi) (50143920)	石川県立看護大学・看護学部・教授 (23302)	
研究分担者	高橋 聡明 (Takahashi Somei) (50824653)	東京大学・大学院医学系研究科(医学部)・特任助教 (12601)	
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)・准教授 (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		
米国	Massachusetts Institute of Technology		