

氏名	後藤 眞二
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第125号
学位授与の日付	令和2年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	マイクロ波ドップラーレーダを用いた生命信号検知システムの開発と臨床応用に関する研究
論文審査委員	主査 教授 松井 岳巳 委員 教授 田川 憲男 委員 教授 鈴木 敬久 委員 教授 二川 佳央（国士舘大学）

【論文の内容の要旨】

本研究の直接の発端は、1995年の阪神・淡路大震災であった。多数の人々が家屋の倒壊によって下敷きとなり犠牲となった。その当時瓦礫下の生存者を探索する技術が乏しく、救助犬を除けば物理力によって瓦礫を撤去する以外に生存者を発見する手法がなかった。この問題を解決する一手法として瓦礫を透過して生命信号を検出する方法を提案した。本論文は災害対応に端を発した、マイクロ波ドップラーレーダ（MDR）を用いた生命信号検知システムの開発とその臨床応用について述べている。臨床応用として、睡眠時無呼吸症候群（SAS）の入院検査について記述している。従来のSASの入院検査ではポリソムノグラフィ（PSG）が用いられている。PSGは、多くのセンサーを頭部と胸部に装着するため患者の負担が大きい。提案システムは、ベッドのマットレス下に設置したMDRのみを用い、患者に一切センサーを装着する必要がない。一方、MDRには、体格や呼吸運動の個人差に起因するアーチファクトが生じるという問題があった。提案システムでは、これらのアーチファクトを自動的に除去するアルゴリズムを構築した。提案システムはSASの入院検査において、100%の精度でスクリーニングが可能であった。

第一章は緒論であり、論文全体の構成とMDRを用いた生命信号検知システムを開発した背景について述べている。

第二章では、MDRを用いた非接触・生命信号モニターの理論的裏付け、回路構成、及びその特徴について述べている。本システムの特徴は、①連続波位相干渉法を用いていること、②生命活動に由来しない反射波をキャンセルする回路を採用していることである。生命活動に由来する周期的動きのみを増幅可能であるため超高感度（受信感度を最大としたとき、18cmのコンクリート壁越しに15m先の被験者の呼吸計測が可能）であることを述

べている。

第三章では、MDR を用いた生命信号検知システムの医療分野への応用に先立ち精度検証を行った。人体の表面には、1 分間に 15 回程度の 10 mm 程度の呼吸性変動と 1 分間に 60 回から 80 回程度の 1 mm 未満の心拍性変動が混在する。生命信号検知システムは呼吸性変動と心拍性変動を分離するために設計した専用フィルター、高速フーリエ変換 (FFT) を採用している。生命信号検知システムは、模擬患者 (健常者) の呼吸数と心拍数を、計測対象者の体に電極を一切貼ることなく、レファレンスの呼吸センサーや心電計と同等の精度で測定可能であった。これにより、病院における患者を対象とする臨床試験が実施可能であることを述べている。

第四章では、生命信号検知システムの病院における臨床応用について述べている。第三章で精度検証を行った生命信号検知システムを、病院の倫理委員会の承認が得られた SAS のスクリーニングに適用した。SAS は日中に耐え難い眠気をもたらす交通事故の原因となることが知られている。潜在的患者は数百万人以上とされているが、診断・治療に進むケースはまだまだ少ないと推計されている。自宅や産業現場にて非接触で SAS がスクリーニングできればこれらの状態の改善につながる。SAS の検査においては、入院を伴うポリソムノグラフ (PSG) 検査が国際的な基準となっている。一方、PSG 入院検査患者にとって非常に負担の多い検査であり、これが SAS の検査を受ける大きな心理的抵抗となっており、SAS の潜在患者が多い原因となっている。

東名厚木病院において、27 名の SAS 入院検査受診者 (49±12 歳) を対象として臨床試験を行った。ベッドマットレス下に設置した 2 台の小型 MDR を用い、就寝時の呼吸波形を測定した。MDR の問題として、体格や呼吸運動の個人差に起因するアーチファクトが生じることが挙げられる。SAS のスクリーニングにおいては、無呼吸の検出と呼吸数の計測に加え、低呼吸の有無を検出する必要があるため、呼吸性変動の振幅が極めて重要な意味を持つ。第四章後半では、MDR 出力振幅閾値・自動決定アルゴリズムについて述べている。

本アルゴリズムを搭載して SAS スクリーニング精度を検証した。1 時間ごとの無呼吸・低呼吸回数を示す指標、Apnea Hypopnea Index (AHI) ≥ 30 の重症 SAS 患者のスクリーニング精度を求めたところ、感度、特異度ともに 100% という結果が得られた。これにより、生命信号検知システムを用いて PSG 入院検査と同精度で SAS スクリーニングが可能であることが示された。

第五章は結論である。予備的精度検討と病院における臨床試験を通して、災害時における使用を目的に開発した生命信号検知システムが、SAS 等の病態の把握に有効であることを実証した。生命信号検知システムが実用化されると、患者はただベッドに寝るだけで SAS のスクリーニングが可能となるので、重大疾患や居眠り運転事故の原因となる SAS の潜在患者の減少に寄与することが期待される。