

学位論文要旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	寝息呼吸音の分類と呼吸の質の評価に関する研究
氏名(Name)	オウ ロズイ
<p>睡眠は人体にとって不可欠な生理学的プロセスである。人は生涯の約3分の1を睡眠に費やす。睡眠時間と睡眠の質は、どちらも人間の健康にとって重要である。睡眠の質とは、睡眠プロセスがどれだけ安らかで回復力があるかを表すものである。80以上の睡眠障害が睡眠の質に影響を与えることが知られている。そのうち、睡眠関連の呼吸障害(SRBD)は、2番目の要因となっている。睡眠関連の呼吸障害は、睡眠中に呼吸の異常が発生する睡眠障害であり、睡眠中の異常ないびきや呼吸停止または異常に低い呼吸などによって血液中の酸素濃度が低下し、うつ病、心血管疾患、脳卒中、さらには死に至るリスクが高まる。したがって、睡眠中の呼吸のモニタリングと分析は、ヘルスケアにおいて益々重要視されている。</p> <p>睡眠ポリグラフ(PSG)は、睡眠障害診断のゴールドスタンダードとされているが、PSGは通常、医療技術者の監視の元で慣れない睡眠検査室で行われ、さらに多くのセンサが着けられたため睡眠の妨げとなる場合も多い。本研究グループでは、一般家庭環境下で睡眠の質を常時にモニタリングする寝息呼吸音計測システムを開発している。本システムは、睡眠の邪魔にならないかつ簡便に終夜睡眠の呼吸音を高精度に計測することが可能である。本研究では、呼吸音の情報から睡眠の状態をより正確に分析するため、寝息呼吸音のパターン分類と呼吸の質を解析する技術の開発を目的とする。睡眠呼吸音には、正常な呼吸音といびき、異常な呼吸音といびきなど様々なパターンがある。これらのパターンを分類する方法、ならびに呼吸音から換気量を算出するアルゴリズムを開発することと、睡眠時無呼吸症候群の指数(AHI)を推定すること、さらに睡眠中の呼吸の質を評価することを試みる。</p> <p>具体的には、寝息呼吸音のノイズをバンドパスフィルターで一部除去したのち、時間特性波形(TCW)を算出する。時間特性波形に基づき、解析に有効な呼吸信号を低レベルの信号から切り出し、呼吸フェーズと無呼吸または低信号にフェーズ分割する。次に、呼吸フェーズに対してメル周波数ケプストラム係数(MFCC)を求め、凝集型階層的クラスタリング(AHC)アルゴリズムを利用して、正常な呼吸/異常な呼吸と正常ないびき/異常ないびき、また、寝返りなど呼吸に関連性の低いものに分類する。さらに、分類された呼吸パターンを30秒ごとに分析し、呼吸の換気量を算出する。これら提案した技術と方法に対して、その有効性と正確性を検証するとともに、無呼吸症候群の指数(AHI)を推定する方法と、換気量をレベルに換算し、睡眠中の呼吸の質を評価する方法を提案し、その有効性を検証する。</p>	

学 位 論 文 要 旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
學位論文題目 (Dissertation Title)	Study on Classification of Sleeping Breath Sounds and Evaluation of Breathing Quality
氏 名 (Name)	Wang Lurui
<p>Sleep is an essential physiological process for the human body. People spend about one-third of their lives sleeping. Both sleep duration and sleep quality are essential to human health. Sleep quality describes how restful and restorative the sleep process is. Over 80 sleep disorders are known to affect sleep quality. Among them, sleep-related breathing disorder (SRBD) is the second factor. Sleep-related breathing disorder is a sleep disorder in which abnormal breathing occurs during sleep. Abnormal snoring, respiratory arrest, or abnormally low breathing during sleep can lead to a decrease in oxygen concentration in the blood, leading to depression, heart disease, et al., Increased risk of vascular disease, stroke, and even death. Therefore, monitoring and analyzing respiration during sleep is increasingly important in healthcare.</p> <p>Polysomnography (PSG) is regarded as the gold standard for diagnosing sleep disorders. However, PSG is usually performed in an unfamiliar sleep laboratory under the supervision of a medical technician and is equipped with many sensors to monitor sleep quality. Therefore, it is often a hindrance. This research develops a breathing sound measurement system that monitors sleep quality in a general home environment. This system can easily measure breath sounds during sleep all night with high accuracy without disturbing sleep. The purpose of this research is to develop a technique to classify patterns of breathing sounds and to analyze the quality of breathing to analyze the state of sleep from breath sound information more accurately. There are various patterns of sleep breath sounds, such as normal breath sounds and snoring and abnormal breath sounds and snoring. This research develops a method to classify these patterns and an algorithm to calculate ventilation from breath sounds. The classification and ventilation are used to estimate the sleep apnea index (AHI) and to assess the quality of breathing during sleep.</p> <p>Specifically, the time characteristic waveform (TCW) is calculated after partly removing the noise of the breathing sounds of sleep with a band-pass filter. Based on the time-characteristic waveform, a respiratory signal effective for analysis is extracted from low-level signals and phase-divided into a respiratory phase and an apnea or low signal. Mel-frequency cepstrum coefficients (MFCC) were then obtained for the respiratory phases. An agglomerative hierarchical clustering (AHC) algorithm was used to determine normal/abnormal breathing and normal/abnormal snoring and categorize them as less relevant to breathing, such as rolling over. In addition, the classified breathing pattern is analyzed every 30 seconds to calculate the respiratory tidal volume. In addition to verifying the effectiveness and accuracy of these proposed methods, a method for estimating the index of apnea syndrome (AHI) and converting the ventilation volume into a level to estimate the quality of breathing during sleep are presented. The effectiveness of the proposed method is evaluated on an open dataset.</p>	

(様式 9 号)

## 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	Wang Lurui
審査委員	主 査：江 鐘偉
	副 査：小河原加久治
	副 査：陳 猷
	副 査：小柴満美子
	副 査：森田 実
論文題目	Study on Classification of Sleeping Breath Sounds and Evaluation of Breathing Quality (寢息呼吸音の分類と呼吸の質の評価に関する研究)
【論文審査の結果及び最終試験の結果】	
<p>睡眠時の呼吸障害は睡眠の質ならびに心身状態に大きな影響を与える。本研究では、在宅で計測容易な呼吸音に着目し、①呼吸音から呼吸の質をより正確に分析するための呼吸音を分類と解析する技術、②その技術の応用として呼吸音から睡眠時無呼吸症候群の指数(AHI)を推定する方法、③寢息呼吸音から睡眠時の呼吸による換気レベルを算出するアルゴリズムを開発することを目的とした。睡眠時の呼吸音信号には、通常の呼吸音といびき音のほか、睡眠の姿勢と体動による呼吸の乱れや寝言、歯ぎしりなどの環境的ノイズが含まれる。このような複雑な呼吸音信号をより効果的に分析するため、次の信号解析技術を導入する。</p> <p>① 寢息呼吸音の一部特殊のノイズを除去したのち、呼吸音の時間特徴波形 (TCW) を求め、解析に有効となる呼吸信号を解析不能な信号から切り出して、呼吸フェーズと無呼吸または低レベル信号フェーズに分割する技術</p> <p>② 呼吸フェーズに対してメル周波数ケプストラム係数 (MFCC)を求め、それを特徴値パラメータとして、凝集型階層的クラスタリング (AHC) アルゴリズムへ適用して、通常の呼吸信号 (正常呼吸と異常呼吸、正常いびきと異常いびき) と、寝返りや環境ノイズなど呼吸に関連性の低い信号に分類する信号処理技術</p> <p>を開発した。終夜睡眠ポリグラフ検査 (PSG) で得られた呼吸音を 30 秒ごとのフレームに分割し、上記の信号処理技術を用いて呼吸状態を分析し、それぞれの呼吸パターンにおける換気量の算出方法を提案した。さらに異常呼吸音と低レベル呼吸音信号に対して、無呼吸症候群の指数 (AHI) を推定する方法と、呼吸音から算出した換気量に基づく睡眠時の呼吸の質を評価する方法を提案し、PSG の結果と比較検討し、その妥当性と有用性を検証した。応用展開として、本研究で開発した技術を心音分析への応用ならびにブロックチェーン技術に基づく呼吸音・心音の聴診データ収集分散システムの構築を試みた。</p>	

(様式 9 号)

本審査会ならびに公聴会において、呼吸音から算出される換気量の校正の必要性、呼吸パターン解析に 30 秒フレームを採用する理由、本方法と関連呼吸音計測デバイスを睡眠以外の日常生活に応用する課題とアイデア、喘息や COPD など肺疾患への応用可能性、呼吸音を含む心音データの抽出に適用可能性、本研究で最も苦勞された点などについて活発な質問があった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 6 編）

- 1) Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Yue Wang, Data Sharing Method for Heterogeneous Medical and Health Databases with Blockchain Technology, International Journal of Engineering Innovation and Management, 10(1), 8-13, 2020.
- 2) Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Overnight Breath and Heart Sound Monitoring with Agglomerative Hierarchical Clustering Method, International Conference on Innovative Application Research and Education(ICIARE2020), 63-64, 2020.
- 3) Penghao Du, Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Evaluation of breathing quality by index of tidal volume during sleep, International Conference on Innovative Application Research and Education 2021, 15-16, 2021.
- 4) Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Analyzable Breath and Heart Sound Extraction for Cardiovascular Disease Monitoring, International Journal of Engineering Innovation and Management, 12(1), 1-6, 2022.
- 5) Lurui Wang, Zhongwei Jiang, DISCRIMINATING SIMPLE SNORING AND APNEIC SNORING FOR SLEEP QUALITY EVALUATION, 16th Regional "Stress and Behavior" ISBS Regional Conference, 21-22, 2022.
- 6) Lurui Wang, Zhongwei Jiang, Tidal Volume Level Estimation using Respiratory Sounds, Journal of Healthcare Engineering, Volume 2023, Article ID 4994668, 12 pages, <https://doi.org/10.1155/2023/4994668>, 2023.