

平成 22 年 6 月 18 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860084

研究課題名（和文） 生体信号の長期測定による睡眠覚醒リズムの同定

研究課題名（英文） Identification of sleep-wake rhythm from long-term measurements of biosignals

研究代表者

沢口 義人（SAWAGUCHI YOSHIHITO）

木更津工業高等専門学校・電子制御工学科・助教

研究者番号：50455119

研究成果の概要（和文）：本研究では、睡眠障害の早期検出や睡眠不足等による事故の防止を目的として、日常生活下の生体信号を測定して睡眠覚醒リズムを同定するシステムの基礎要素を開発した。主要な成果は以下のとおりである。(1) 睡眠ステージを2チャンネルの脳波のみから従来手法と同等の精度で推定できる手法を新たに提案した。(2) 被験者の日常活動を可能な限り制約せずに長期間に亘り動作する、世界最小レベルの生体信号測定装置を新たに製作した。

研究成果の概要（英文）： For early detection of sleep disorders, crucial parts of identifying system of sleep-wake rhythm from long-term biosignals were studied. Firstly, a subspace identification method was applied on a two channel electroencephalogram (EEG) for sleep stage classification, assuming that the EEG is generated by a linear stochastic process. Results of 24-hours EEG analysis show the potential of this approach in estimating the sleep stage. Secondly, a midget-type biosignal recorder was developed for long-term biosignal recording during daily lives,. The target biosignals are EEG, electrocardiogram, body acceleration and ambient temperature because these signals enable us to estimate one's sleep depth and physical activities in ordinary days. The size of the device (45mm x 25mm x 65mm, 76g) is more appropriate for ambulatory recording than that of the well-known devices.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：生体信号の測定と解析

科研費の分科・細目：工学・計測工学

キーワード：計測工学, 生物/生体工学, モデル化, 制御工学, 部分空間同定法, システム同定, 脳波解析, 睡眠解析

### 1. 研究開始当初の背景

近年、生活習慣の多様化や労働環境の変化に伴い、睡眠障害を持つ成人の割合が増加している。不意の居眠りによる悲惨な事故も数多く起きており、病的な睡眠障害の早期の発見と治療が望まれている。この睡眠障害の診断に通常用いられる睡眠ポリグラムでは、脳波や眼電図、筋電図、心電図、呼吸運動などを測定する。通常は専用の施設に赴き、日常と異なる環境下での睡眠に対する診断となり、必ずしも正確な診断が得られるとは言えない。また被験者の生活の質の阻害も著しい。

このような背景の下、簡便な装置で睡眠障害の有無や程度を容易に判断できれば、非常に有用であると考えられる。脳波や心電図、身体活動による加速度を単独で測定する装置や、それらを単独で用いて麻酔時鎮静度や眠気、自律神経活動度、身体活動度などを個別に指標化する手法は、既に数多く提案されている。これに対し本研究では、同時に測定した多種の生体信号を組み合わせて指標を構成し、日常生活下の睡眠覚醒リズムを同定する方法を検討する。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、日常生活下の生体信号を測定して睡眠覚醒リズムを同定するシステムを開発することである。用いる生体信号として、脳波、心電図、身体活動による加速度を想定する。これらの生体信号は、充電池で駆動する超小型の測定装置を新たに開発して、被験者の日常生活を可能な限り制約せずに測定するものとする。さらに、周辺環境の温度なども同時に自動記録し、それらが睡眠覚醒リズムに与える影響も検討する。

本研究で開発するシステムにより、日常生活下で簡便な装置を用いて生活の乱れや睡眠障害の発生を検出でき、それらに起因する活動能率の低下や事故の発生を防止できることが期待される。

### 3. 研究の方法

本研究では、睡眠障害の早期検出や睡眠不足等による事故の防止を目的として、日常生活下の生体信号を測定して睡眠覚醒リズムを同定するシステムの基礎的な要素を開発した。具体的な研究内容は以下のとおりである。

- (1) 脳波から被験者の睡眠ステージを推定するための新たな信号解析手法について検討した。
- (2) 被験者の日常活動を可能な限り制約せずに、長期間に亘り生体信号を測定できる、超小型の生体信号測定装置を新たに製作した。
- (3) 前項目の測定装置を用いた長期間の生体

信号測定を実施し、得られた結果から被験者の活動状態を推定するための信号解析手法について検討した。

### 4. 研究成果

前節の各項目について、以下のような成果が得られた。

- (1) 脳波を用いた睡眠ステージの推定法を新たに提案した。これは線形状態方程式を脳波生成モデルとして想定したうえで、部分空間同定法と呼ばれる新たなシステム同定手法を用いて脳波の特徴を抽出して指標化するものである。ここで、脳波生成モデルは下式の離散時間確率システムの状態方程式である。

$$\begin{cases} x[k+1] = Ax[k] + Be[k] \\ y[k] = Cx[k] + e[k] \end{cases}$$

ただし、 $x[k]$ は状態、 $y[k]$ は観測脳波、 $r[k]$ は白色雑音であり、 $A, K, C$ は定数行列である。この脳波生成モデルの概念図を図1に示す。このモデルにより生成される脳波の特徴は行列  $A, K, C$  に現れるものと考え、部分空間同定法によりこれらの行列を同定する。そして同定された観測脳波を生成するモデルと、睡眠ステージごとに設けた規範モデルとのモデル間距離により、睡眠ステージを推定するものとした。

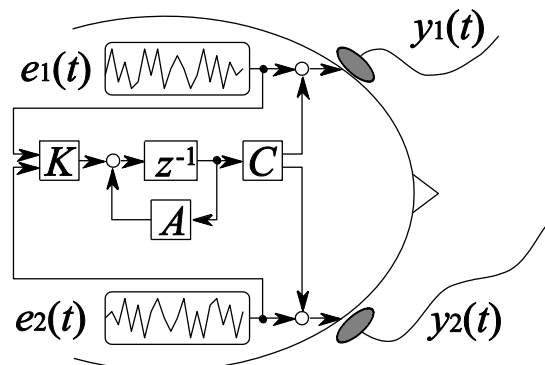


図 1 脳波生成モデル

インターネット上で自由に取得できる睡眠時脳波データを対象として、提案手法により図2のように睡眠ステージを推定した結果、推定精度は84%となった。これは、先行研究で提案されているパワースペクトルに対しファジィ推論を用いる方法(83%)やニューラルネットを用いる方法(72%)と同程度の精度である。また、別種の生体信号を活用することで、推定精度のさらなる向上を期待できることが示唆された。

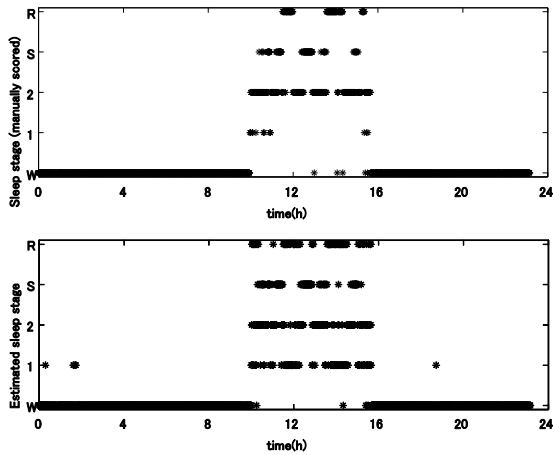


図2 睡眠ステージ推定結果（上段：医師による分類，下段：提案手法による推定結果）

(2) 脳波と心電図，身体運動による加速度および周辺温度を連続して 28 時間程度記録できる，図 3 のような超小型装置を実現した．この装置は単 4 型充電電池 3 本で駆動し，A/D 変換器を備えたワンチップマイコンにより，汎用のメモリカードに測定結果を記録蓄積してゆくものである．装置本体は充電電池と記録媒体を含めて，大きさが 45mm×25mm×65mm，重量が 76g であり，日常生活をほぼ阻害せずに持ち運べるサイズを実現した．24 時間を超えて脳波と心電図を高精度に記録できる装置としては，世界最小レベルのサイズを達成できた．この測定装置による測定時の外観を図 4 に，測定波形の一例を図 5 に示す．

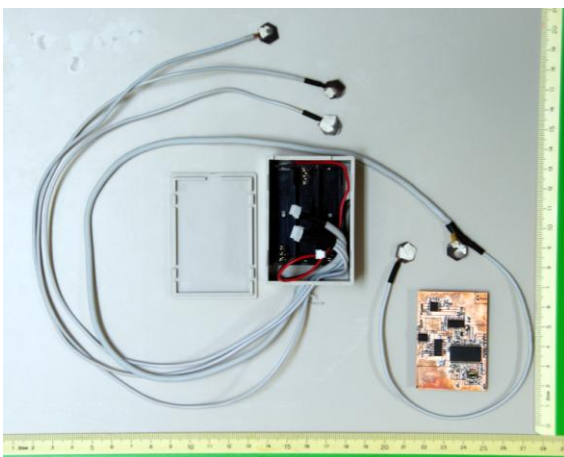


図3 生体信号測定装置

なお生体信号測定に際して，前額部と耳葉部に装着する脳波用電極とその接続ケーブルが周囲に違和感を与え通常の社会活動を阻害すること，および入浴や洗

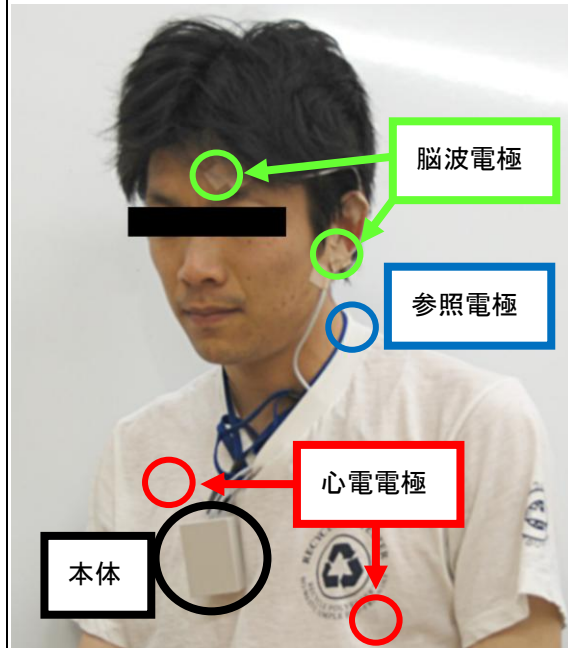


図4 測定時の外観

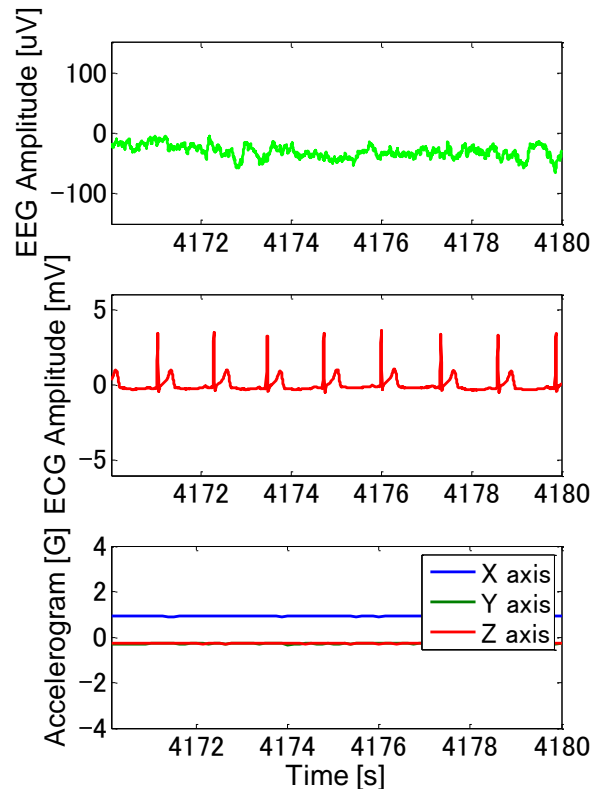


図5 睡眠時波形例（脳波，心電図，加速度）

顔等の日常活動を阻害することから，日常生活下での一日以上の測定継続が困難であった．この解決には，脳波用電極のサイズや装着位置，装着方法の改善が必要である．これらの改良と同時に，近年急速に高機能化が進む大規模集積回路の活用により測定装置のさらなる小型化・軽量化を図ることで，より長期間の生体

信号収録が可能となるものと考えられる。さらに、比較的容易に測定でき睡眠覚醒リズムの同定に有用と考えられる、腋窩体温や眼電図等の他種の生体信号や、周辺環境の照度や音圧などの環境情報も収録できるように改良することで、さらに高性能な睡眠覚醒リズム同定システムを実現できることを期待できる。

- (3) 開発装置による測定を3例実施した。これらの測定では、脳波用電極が周囲に与える違和感や衛生上の問題により測定継続が困難となり、測定期間はいずれも1日程度となった。ここで得られた測定結果について、被験者自身による活動記録と比較した結果、図6のように
- ① 脳波のパワーや心拍数の変化により、睡眠状態と覚醒状態を弁別できること、
  - ② 心拍数や加速度の絶対値により、身体活動の内容や強度を推定できること、
  - ③ 脳波電極から得られる咀嚼時筋電や瞬目時筋電により、食事時刻や覚醒状態を推定できること、
- などが示唆された。

より長期間の生体信号測定が可能となれば、上記のような信号解析法を用いて被験者の睡眠覚醒状態や身体活動状態を指標化することで、睡眠覚醒リズムを同定でき、日中眠気の強度や日中眠気を出現させない夜間睡眠時間の予測が可能になり、生活の乱れや睡眠障害に起因する能率低下や事故の防止に寄与できるものと考えられる。

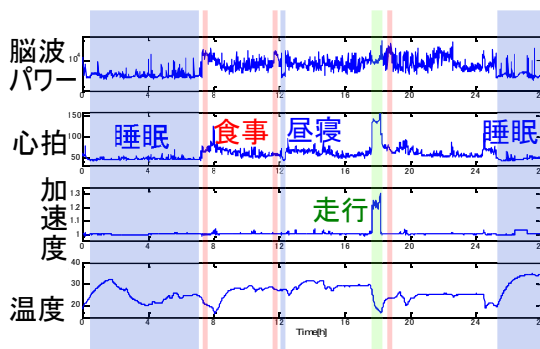


図6 開発装置による測定結果の指標化

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

- ① Yoshihito Sawaguchi, Ambulatory Bio-signal Recorder for Individualized

Healthcare, First AMA-IEEE EMBS Medical Technology Conference On Individualized Healthcare, 2010年3月23日, Renaissance Mayflower Hotel (Washington DC, USA)

- ② 久野良介・沢口義人, 携行型生体信号記録装置の開発, 2009年(第5回)電気学会東京支部千葉支所研究発表会, 2009年12月12日, 日本大学理工学部船橋校舎(千葉県船橋市)
- ③ 沢口義人, 脳波解析への部分空間同定法の適用—睡眠診断支援システムの実現を目指して—, 第51回自動制御連合講演会, 2008年11月23日, 山形大学工学部(山形県米沢市)
- ④ 沢口義人・久野良介, 部分空間法による脳波生成モデルの同定とそのインパルス応答列を用いた睡眠時脳波の解析, 生体医工学シンポジウム2008, 2008年9月20日, 大阪大学基礎工学部(大阪府豊中市)

[その他]

- ① 木更津工業高等専門学校 技術振興交流会 第5回医療・福祉機器分科会にて事例報告(2010年3月26日)
- ② 木更津工業高等専門学校 技術振興交流会 第12回テクノセンターフォーラムにてパネル展示(2010年3月9日)
- ③ 木更津工業高等専門学校 技術振興交流会 第4回医療・福祉機器分科会にて事例報告(2009年3月27日)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

沢口 義人 (SAWAGUCHI YOSHIHITO)  
木更津工業高等専門学校・電子制御工学科・助教  
研究者番号: 50455119

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし