

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19700471  
 研究課題名（和文）ネットワークロボットを用いた睡眠を中心とする生活パターン管理・調整支援  
 研究課題名（英文） Life Pattern Management based on Networked Robots

## 研究代表者

氏名 湧田 雄基（WAKUDA YUKI）  
 東京大学・大学院情報学環・特任助教  
 研究者番号 00377847

## 研究成果の概要：

本研究では、覚醒と睡眠を中心とする人の生活パターンを観測し管理するシステムの構築を行った。人の生活パターンは体内時計（以下 Biological rhythm）の影響を大きく受け、このリズムは脳視交叉上核で動作し自律神経系の活動等を通して表出すると考えられる。そこで、本研究ではまず、Biological rhythm の推定と起床信号の送信が可能な腕時計型のウェアラブルデバイス(BRAC4: Biological Rhythm-based Awakening Controller 4)を開発した。また、BRAC4では、加速度センサを搭載したことで人の起床・入眠タイミングの学習を行い、個人に適応した脈波変動パターンを学習することで Biological Rhythm 推定精度を向上した。

また、これらのBRAC4から得られる生体情報はBluetooth経由でメインコンピュータからリアルタイムに遠隔で利用可能であり、データ履歴を蓄積・解析することが可能となった。また、また、人の Biological rhythm に影響を及ぼす起床・入眠時期や運動などの活動に関する行動を画像認識により識別する機能をメインコンピュータに実装することにより、生体情報によるユーザの内部状態の推定結果と、ユーザの行動および状態との対応付けによるパターン認識精度の情報を実現した。以上のことから推定される Biological Rhythm パターンに基づき、任意のタイミングにて起床時期のコントロールを行うことが可能なシステムを構築した。また、起床時期と起床後の身体平衡機能および起床後の Biological Rhythm 変化との関係を実験的に調べることで、BRAC4により推定可能な Biological Rhythm の高い値を示す時期に起床させることが適切であることが示唆された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	0	1,600,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	480,000	3,680,000

## 研究分野：工学

科研費の分科，細目：機械工学，知能機械学・機械システム(5007)

キーワード：(F) 情報機器・知能機械システム

## 1. 研究開始当初の背景

本研究では、研究開始前までに長時間の心拍信号(RR間隔)を用い生体リズム推定する手法に関する研究を実現していた。本研究での目的は、これらの成果を昼間時の生体リズムの観測およびコントロールに応用することであった。このために必要なことには、生体情報を観測可能なウェアラブルセンサデバイスの開発と、ウェアラブルデバイスで観測できないより高次な人行動の情報を推定可能な監視システムの開発が挙げられた。また、これらのシステムはネットワークでリンクされ、観測情報を統合し管理するといったことが求められていた。

一般に体内リズムモデルは、体温リズムや睡眠-覚醒リズムを考慮し数理モデル化されたものが提案されているが、現実には、その他に生活環境における様々な要素が複雑に影響し、特に、人の起床・入眠や身体的負荷や脳負荷なども含まれるが、これらについては、これまで厳密に議論に含まれることはなかった。そこで本研究では、これまでの研究内容に加え情報処理技術および画像認識技術を用い、長期的にユーザの状態・行動の観測が可能な空間包括的システムを構築し、各要素が生体リズムの位相および周期に及ぼす影響を実験的に獲得することにより、我々の従来研究で取り扱ったウェアラブル型機器を用いた睡眠-覚醒リズムの調整手法とシステムの構築を行う。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、生活環境を観測・制御可能な空間型インテリジェントシステムを構築し、人間の生活パターンを管理・調節することである。具体的には、生活パターンの根源となる生体リズムに基づいた生活パターンの変動予測(睡眠・覚醒時期予測、覚醒度変動予測)およびその調節により生活習慣病や睡眠障害の治療を行うことを目標としている。このユーザの状態を、ユーザに装着したウェアラブル型センサ(脈波、加速度、体表面温度)による生体内環境指標と、環境型センサ(マイクروفोन、映像、温度、照度)によるユーザ状態および環境情報をワイヤレスセンサネットワークを介し観測する。次に、構築したシステムで観測される日常生活環境における人間に対する入力刺激(起床、入眠、温度、運動)に基づき、生体リズムの変動の予測するための特性パラメータ(位相反応曲線)を臨床実験により獲得する。以上の成果から、システムによって観測されるユーザの環境(居場所・行動)および生体内環境(生体リズム)に基づき、システムの動作(行動予測、覚醒度変動予測、睡眠時間調節)の変更を行う共に、システムが変更可能な環境(温度、ロボットインタフェースによる対話、照度等)によってユーザの生体リズム

および行動(睡眠-覚醒)の能動的調節に関する知見を得る。

## 2. 研究の方法

本研究では、人の Biological Rhythm を観測可能な腕時計型のウェアラブル型起床時期制御システム(BRAC4:Biological Rhythm-based Awakening Controller 4)(図1下部中央)の試作機を開発した。また、BRAC4で観測できない情報として、ユーザの起床・入眠タイミングおよび運動情報について画像認識を用いて解析を行った。これらの情報は、一つのコンピュータに保存・解析されるが、BRAC4からの Biological Rhythm 情報も無線通信によりリアルタイムで利用できる。

以上の Biological Rhythm 情報と画像情報とを統合したシステムにより、ユーザ固有のリズム情報を学習し、その結果を反映した任意のタイミングでユーザを起床させることが可能なシステムを構築し、起床後の身体平衡機能を参照することでシステムの評価を行った。

## 3. 研究成果

BRAC4 に実装するアルゴリズムとして、長期テンプレートマッチングアルゴリズムを実装した。この手法では、少ないデータ数および計算コストにより、数分~数時間の長期的時系列パターンの変動を推定することが可能となった。BRAC4 では、まず、視線脈波から脈拍ピークタイミングを推定することにより、脈波 RR 間隔の推定を行う。次に、抽出された脈波 RR 時系列データを等間隔サンプリングの時系列データに変換し、あらかじめ保存しておいたテンプレートパターンとの相関値に基づいたテンプレートマッチングを行う。

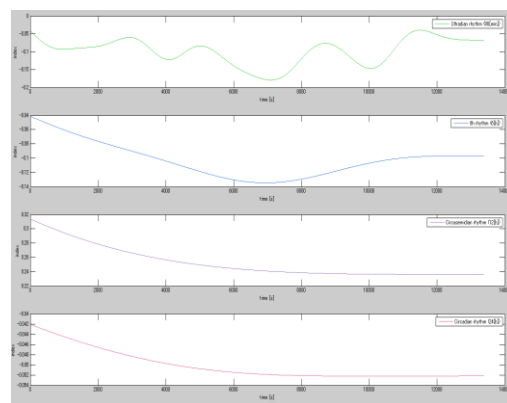


図1 脈波パターンから推定した生体リズム

ただしこのテンプレートは、Ultradian Rhythm, Circasemidian Rhythm, Circadian Rhythmの複数のテンプレートを含み、それぞれ

れ該当したリズムの位相を推定することが可能であり(図1), この結果は, 臨床実験における終夜睡眠ポリグラフィ(Polysomnography)との比較から本手法の信頼精度が高いことを示した。

次に, このBiological Rhythmの推定アルゴリズムを搭載したハードウェアを試作した(図2)。

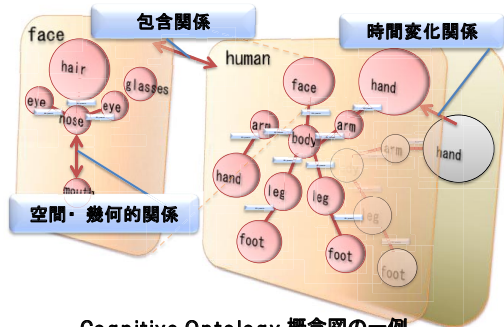


図2 脈波・加速度計測に基づく生体リズム推定を実現したBRAC4: Biological Rhythm-based Awakening Controller 4

BRAC4では, 指先脈波計測用の赤外線フォトカプラセンサを搭載し, ユーザのBiological Rhythmの推定が可能のほか, これらのデータを4GByteまでのSDカードに保存することが可能である。また, 3軸加速度センサおよびBluetooth通信機能を搭載し, ユーザの起床・覚醒時期の推定およびメインコンピュータとの通信機能を有している。

メインコンピュータでは, これらの全ての情報を統合することで, ユーザの状態を推定することが可能な構成としている。

具体的には, BRACから得られるデータのみでは推定が困難な, ユーザの起床・睡眠に関する状態の推定と, ユーザの運動に関する行動情報の推定を行う。そのために, ユーザを撮影した映像からユーザの位置および身体構造を識別し, それらの動きを認識するために必要となる構造化されたデータベース: Cognitive Ontologyを提案し(図3), これを用いたユーザの検出およびトラッキングを実現した(図4)。



Cognitive Ontology 概念図の一例

図3 Cognitive Ontology

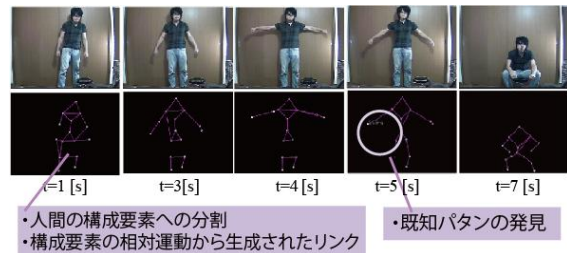


図4 脈波パターンから推定した生体リズム

また, 提案手法を応用し, 提案手法を適用することによりユーザに対し低負荷な生体リズム(自律神経系リズム)の推定と生体リズムに基づいた床時期コントロールを実現した。本研究では, 起床させた時刻におけるBiological Rhythmの位相時期と起床後の立位平衡機能との関連に基づいた解析により, Biological Rhythmパターンに基づいた起床時期制御の有用性を示した。また, 立位平衡機能は, ユーザの足裏圧による重心位置変動と, 画像認識による頭部変動速度に基づいた評価を行い, BRAC4を用いた起床時期制御が起床後の転倒防止に有効であることを示した(図5, 6, 7)。

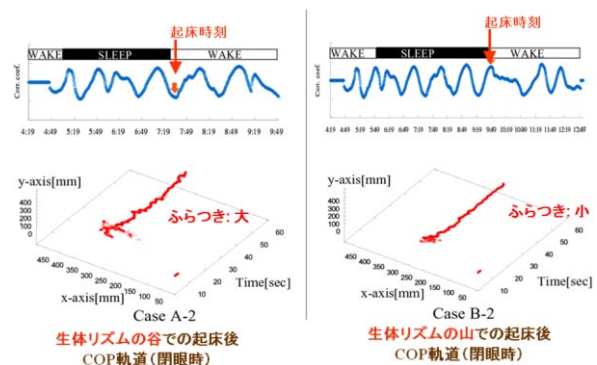


図5 Biological 起床後の立位平衡機能評価指標

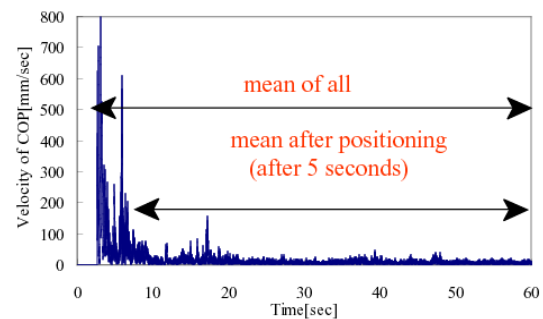


図6 起床後の立位平衡機能評価指標: COP軌道速度の時系列変動

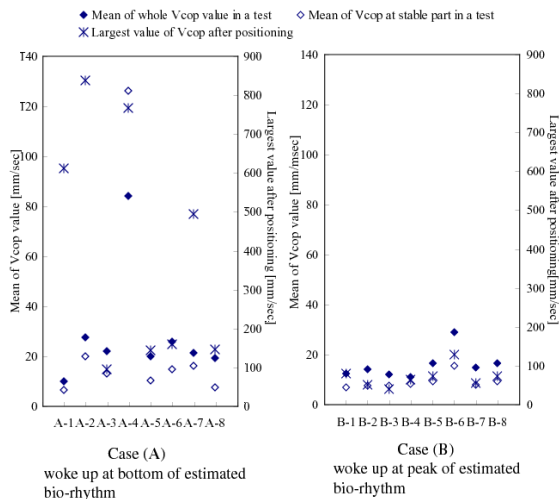


図7 起床させた Biological Rhythm 位相と起床後の立位平衡機能 (COP 軌道速度) との比較

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 8 件)

国際学会 (査読有)

[1] Yuki Wakuda, Kosuke Sekiyama and Toshio Fukuda: "Cognitive Ontology: A Concept Structure for Dynamic Event Interpretation and Description from Visual Scene", The 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems 2008 (DARS2008), November 17-19, 2008, Paper No. 104Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 2008.

[2] Yuki Wakuda, Masahiro Kojima, Kosuke Sekiyama and Toshio Fukuda: "Dynamic Description of Event on Desktop Environment Based on Cognitive Ontology", The SICE Annual Conference 2008 was held in the Univ. of Electro-Communications (UEC), Paper No. 1A05-3Chofu, Tokyo, Japan, 2008.

[3] Yuki Wakuda, Akiko Noda, Kosuke Sekiyama, Yasuhisa Hasegawa and Toshio Fukuda: "Biological Rhythm Based Awakening Timing Controller", Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2007), paper No. 428, 2007.

国内学会 (査読無)

[4] 湧田雄基, 関山浩介, 福田敏男: "Cognitive Ontology を用いた動画イベントの動的な解釈と記述手法", ロボティクス

メカトロニクス講演会 2008 (Robomec2008) 長野 ビッグハット長野日本機械学会, Paper No. 2P1-H08, 5-7 Jun. 2008.

[5] 湧田雄基, 関山浩介, 福田敏男: "人物部位の動的軌道に基づく行為の特定", 第 8 回 計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) 広島国際大学 国際教育センター広島計測自動制御学会, Paper No. 1C1-4, 20 Dec. 2007.

[6] 野田 明子, 湧田雄基 (登壇者), 小島 隼, 原 祐樹, 助川 真代, 宮田 聖子, 中田 誠一, 尾崎 紀夫, 福田 敏男, 古池 保雄: "睡眠-覚醒コントロール法", 日本睡眠学会第 32 回定期学術集会 第 14 回日本時間生物学会学術大会 合同大会京王プラザホテル東京日本睡眠学会・日本時間生物学会, Paper No. 1-S-051, 7 Nov. 2007.

[7] 湧田雄基, 小嶋真弘, 関山浩介, 福田敏男: "背景から分離された動的パタンのクラスタリングに基づく人物動作の特定", 第 23 回ファジィシステムシンポジウム (FSS2007) 名城大学愛知日本知能情報ファジィ学会, Paper No. TB2-1, 30 Aug. 2007.

[8] 湧田雄基, 関山浩介, 福田敏男: "周波数パタンの特徴評価による現象の分類と現象列の予測に基づく能動的観測手法", ロボティクスメカトロニクス講演会 2007 (Robomec2007) 秋田拠点センターALVE 秋田日本機械学会, Paper No. 2A2-M02, 11 May. 2007.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

湧田 雄基 (WAKUDA YUKI)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号: 00377847

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

名古屋大学 医学系研究科 野田明子