

生活の自由度の拡大に向けた遠隔教育が身体障がい者の心身に与える影響 の評価 ―心身的負担を軽減した睡眠の質の測定手法と評価機構の構築―

代表研究者 高原 まどか 同志社大学 研究開発推進機構及び理工学部 特別任用助手

1 はじめに

現在は、第4次産業革命を前にIoTやAI技術が普及し、“遠くに居ながら”，いつでも・どこでも・誰とでも、繋がる事が出来る時代である。その中で、ALS患者や身体に困難のある高齢者、不登校の学生など何らかの問題を持つ人々がハンディキャップを意識せず，“外の世界とのつながり”(=ユニバーサル・コミュニティ)を持つことを可能とする仕組みの実現が、強く望まれている。

本研究の最終目標は、問題を抱えているが、学びを得たいと考えている人々に対して、カメラ・マイク・センサのついた遠隔操作が可能な分身ロボットを導入することで、障害を考慮しつつも自由に学ぶための環境や支援などの仕組みの構築・実現である。一方で、この仕組みの実現のためには、身体障がい者の心身的な変化を考慮しなければならない。そこで、睡眠の質は、日々の充足度と相関関係があることが明らかとなっていることから、本研究ではまず、身体障がい者の生活の自由度の拡大を促した際の被験者の心身的な変化を、被験者の睡眠の質に着目し評価する。その為に、本助成での提案研究では、身体障がい者のための、睡眠情報の取得における心身的負担を極力軽減した睡眠の質の測定手法の考案と評価機構の構築に取り組んだ。

2 人びとと睡眠

2-1 睡眠とは

睡眠とは、“眠る”ことであり、周期的に繰り返す、意識を失う生理的な状態のことであり、ひとが睡眠状態の時は、外的刺激に対する反応が低下して意識も失われ、身体の動きも止まっているが、些細な刺激で簡単に目覚めることもある。睡眠は、心身の休息や、身体の細胞レベルでの修復、記憶の再構成など高次脳機能にも深く関わっているとされるため、睡眠不足及び睡眠負債の蓄積はひとの心身に多大な影響を及ぼす。

また、睡眠とは、幅広い脊椎動物にみられる、自発的に生じる静的状態であり、医学的には“まず意識がない事”が睡眠の特徴である。睡眠は生物にとって欠かせない行為であり、また、睡眠は個人の特性に依存したものであるが、現時点で、睡眠のメカニズムは完全には解明されていない。一方で、近年になり科学的技術が発達し、睡眠の研究も進み、意義や目的が少しずつ解明されてきている。

2-2 日本人と睡眠

睡眠とは、脳が自然に反応するというような受け身の現象ではなく、脳の自発的な活動によってもたらされる。睡眠時間に関する国際調査では、日本はいつもワースト1位か2位であり、日本人の睡眠時間は、世界最低レベルで、一日の平均睡眠時間が「6時間以上7時間未満」の人が、男性35.0%、女性33.4%であり、また、「6時間未満」の人が、男性36.1%、女性42.1%、5時間未満の人が、40代、50代で男女各々1割以上もおり、日本人は常に多くの人びとが睡眠不足であり、睡眠負債を抱えている状態である。

更に、睡眠時間の変遷から、日本人の平均睡眠時間は年々減少しつづけている事が分かっている。一方で、生物にとって睡眠はなくてはならないものであり、質の良い睡眠があってはじめて、質の高い生活が実現できる。

2-3 睡眠段階

ひとの睡眠中には、大きく分けて二種類の睡眠がある。一つ目は、急速眼球運動(レム, REM)であり、もう一つがノンレム睡眠である。ノンレム睡眠に至っては、ステージIからステージIVの4段階あり、ひと睡眠中に、ノンレム睡眠とレム睡眠を周期90~110分で反復する。また、睡眠リズムというのは、些細なことでも乱れ、覚醒状態に至ってしまう事もある。医学的には、ノンレム睡眠のステージIII・IVの段階を熟睡と呼んでいる。ひとが熟睡状態に至ると、脳機能の回復と記憶の再構成が行われる。

以下図 1 に睡眠段階のイメージ図を示す。

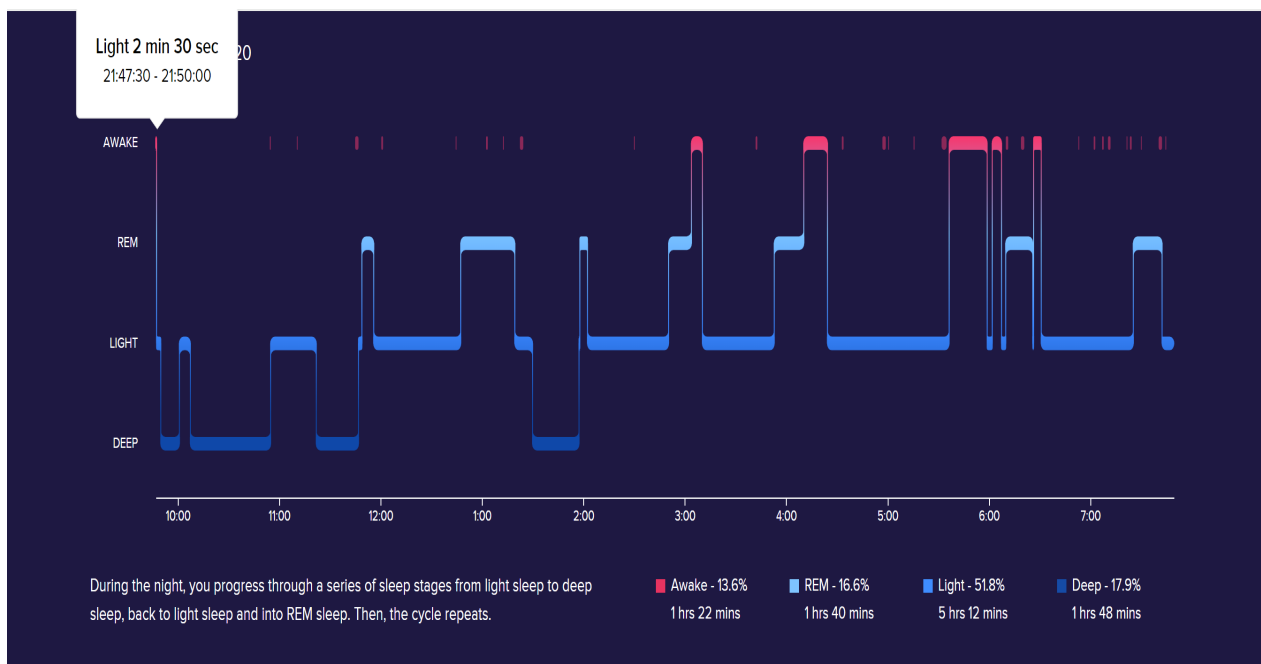


図 1 睡眠段階図 (Fitbit より)

ひとの睡眠においては、脳波と眼球運動のパターンで分類することが出来る。以下に睡眠段階の種類を示す。

- ノンレム睡眠 (Non-rapid eye movement sleep, 通称 Non-REM sleep)
 - 急速眼球運動を伴わない睡眠のこと
 - ・ ステージ I (N1) : 傾眠状態. 脳波上, 覚醒時にみられた α 波が減少し, 低振幅の電位がみられる.
 - ・ ステージ II (N2) : 脳波上, 睡眠紡錘がみられる.
 - ・ ステージ III (N3) : 低周波の δ 波が増える (20% - 50%) .
 - ・ ステージ IV (N4) : δ 波が 50%以上である.
- レム睡眠 (Rapid eye movement sleep, 通称 REM sleep)
 - 急速眼球運動を伴う睡眠のこと

レム睡眠の脳波は、比較的早い θ 波が主体である。レム睡眠中の脳活動は覚醒時と似ており、エネルギー消費率も覚醒時とほぼ同等である。入眠やステージ I - IV とレム睡眠間の移行を司る特別なニューロン群が存在し、入眠時には入眠ニューロンが活性化し、レム睡眠移行時には脳幹に位置するコリン作動性のレム入眠ニューロンが活動することが分かっている。

2-4 身体障がい者の睡眠と測定手法

身体障がい者の睡眠の質の低下を引き起こしている背景として、障害に起因する、①活動不足、②生活の自由度の低下、③交感神経系優位による睡眠の質の低下、などが挙げられる。これらの問題を抱えることにより、身体障がい者は、①ストレスを発散することが難しい、②精神的な活動の場がない、③日中の眠気による意欲低下、等の問題を抱えている。

身体障がい者の睡眠の質の評価には、睡眠中の身体の動き（以下、体動）を指標として用いることが出来ない。そのため非接触型センサなど、可能な限りユーザへ負担を感じさせないツールを用いて、負担が少ない手法にて、ユーザの睡眠の質を正しく評価する工夫が必要不可欠である。

2-5 睡眠の入眠開始から最初の 90 分間

関連研究によれば、睡眠はどの部分も大事であるが、特に入眠直後の約 90 分の最初のノンレム睡眠が重要であり、この入眠開始から最初の 90 分間の睡眠の質をいかに深くするかが、その日の睡眠の質を向上させることに大きく影響することが明らかとなっている。また、入眠開始から最初の 90 分間で深く眠ることが出来ると、その後の睡眠のリズムが整い、眠り全体の質が高まって、翌日の心身状態も良好になる。理由として、入眠開始から最初の 90 分間に、細胞の増殖や新陳代謝を促進させる働きがあるグロース（所謂、成長）ホルモンの、1 日に分泌される量の約 8 割が分泌されるからである。一方で、眠りが浅いとこのホルモンの分泌が促されない。

また深い眠りには、免疫力の増強や自律神経を整えて脳と体を休めたり、アルツハイマーなど認知症の引き金になるとされる脳の老廃物を除去したりする働きもある。よって、入眠開始から最初の 90 分で深い睡眠を取れば、睡眠時間は短くても、睡眠の質は良くなることが分かっている。そこで、本提案研究では、入眠開始から最初の 90 分間の睡眠の質に着目し、入眠開始から 90 分間の睡眠の質の評価機構の構築に取り組んだ。

3 入眠開始 90 分評価機構の提案

3-1 目的

本研究の目標は、生涯教育を望む、ALS 患者や、下半身不随、四肢損傷などの、身体障がい者に対して、身体障がい者のための遠隔教育の仕組みを通じた際の、身体障がい者の日々の充足度の向上効果を、睡眠の質を評価することにより検証することである。そのために、身体障がい者の日々の充足度の向上に、身体障がい者のための遠隔教育の学習支援がどの程度変化をもたらすかを正しく検証するための基盤技術として、入眠開始から 90 分間の睡眠の質の評価機構を構築した。

3-2 入眠開始 90 分間に着目した睡眠の質評価機構

本研究では、睡眠医学より、睡眠の導入 90 分にその日の睡眠特性と睡眠の質の改善のために行う様々な改善手法の Feedback の結果が顕著に表れることから、睡眠の導入 90 分をその日の睡眠状態の評価の指標とする手法を採用した。

また、身体障がい者の身体的負担を出来る限り軽減する為に、睡眠情報の測定及び収集を株式会社 Fitbit が開発した FitbitVersa2 とその提携会社 Fitabase のデータサーバを利用して、心拍等から Fitbit のアルゴリズムより計算されたユーザの睡眠リズムの規則性を抽出したデータを用いて、ユーザの睡眠導入開始 90 分間の睡眠の質を可視化・評価するシステムを構築した。

3-3 入眠開始 90 分間に着目した睡眠の質評価機構

以下図 2 に、本提案システムのイメージ図を示す。本研究では、Fitbit が開発した Fitbit Versa2 を通じて、入眠開始から最初の 90 分の「時間」「睡眠段階」等の被介護者の睡眠データを取得した。そして、取得した睡眠データから入眠開始から最初の 90 分の睡眠の質を評価するアルゴリズムを組み込み、睡眠の最初の 90 分から睡眠の質の規則性を抽出した。

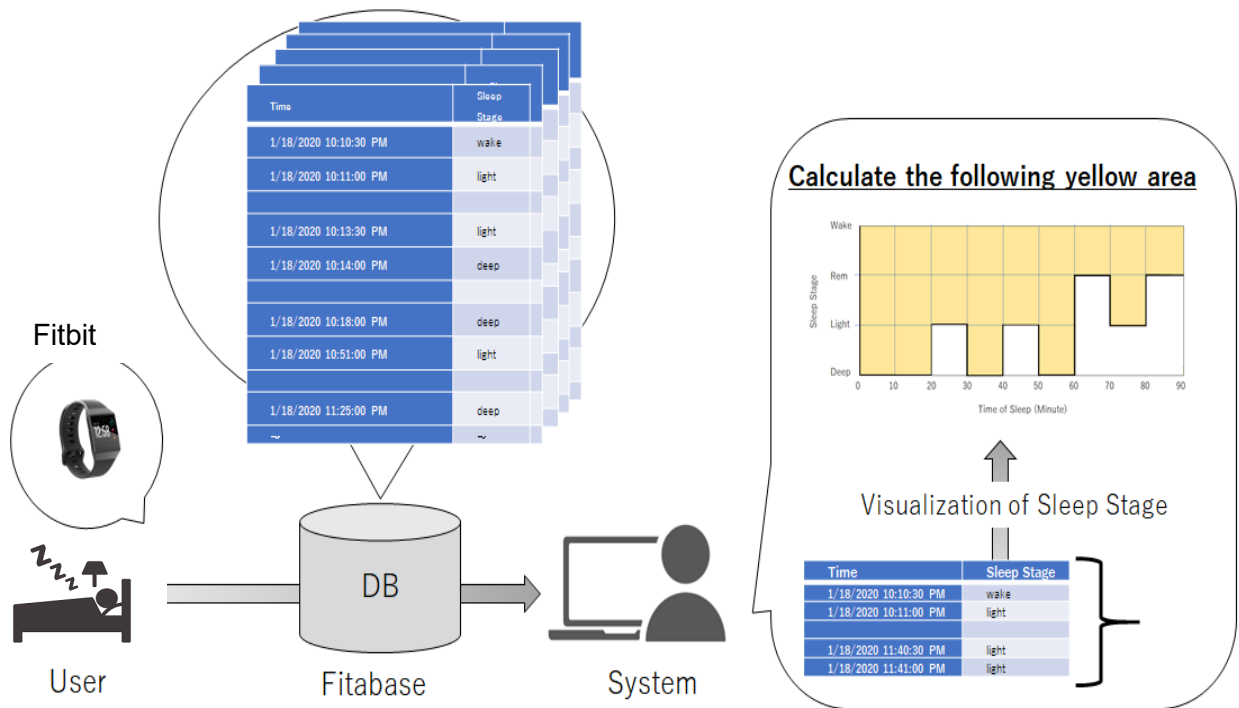


図2 睡眠導入開始90分間の睡眠の質の評価機構のイメージ図

4 提案手法

本提案研究では、ユーザの入眠開始 90 分間の睡眠の質の評価機構を構築した。

4-1 使用するツール

- Fitbit Ionic (ウェアラブルスマートウォッチ)

Fitbit はセンサを備えたウェアラブルスマートウォッチである。本提案研究では、Fitbit Versa 2 を利用することにより、被験者の睡眠データを収集し、システムを開発した。

- Fitabase (データベース)

Fitabase には、Fitbit 製品を通じて取得される睡眠データのデータベースがある。Fitbit から直接 Low data を取得することは出来ないが、Fitabase を利用することで、Fitbit で取得した被験者の 30 秒毎の睡眠データを取得することが可能となる。そこで、本提案研究では、このサービスを通じて参加者の睡眠データを取得した。

4-2 システム構成

以下図 4 は、Fitbit を使用して収集したデータを Fitabase を用いて取得したデータのイメージ図を示す。

	Time	Sleep Stage
Sleep onset	1/18/2020 10:10:30 PM	wake
	1/18/2020 10:11:00 PM	light
Sleep Stage Changed	}	
	1/18/2020 10:13:30 PM	light
Sleep Stage changed	1/18/2020 11:01:30 PM	deep
	}	
Sleep Stage changed	1/18/2020 11:25:00 PM	deep
	1/18/2020 11:25:30 PM	light
Sleep Stage changed	}	
	1/18/2020 11:39:30 PM	light
Nocturnal Awakening	1/18/2020 11:40:00 PM	wake
	1/18/2020 11:40:30 PM	light
Sleep Stage changed	1/18/2020 11:41:00 PM	light

入眠開始
90 分間

図 3 睡眠データのイメージ図

また、次の図 4 に、睡眠導入開始 90 分間の睡眠段階のイメージ図を示す。

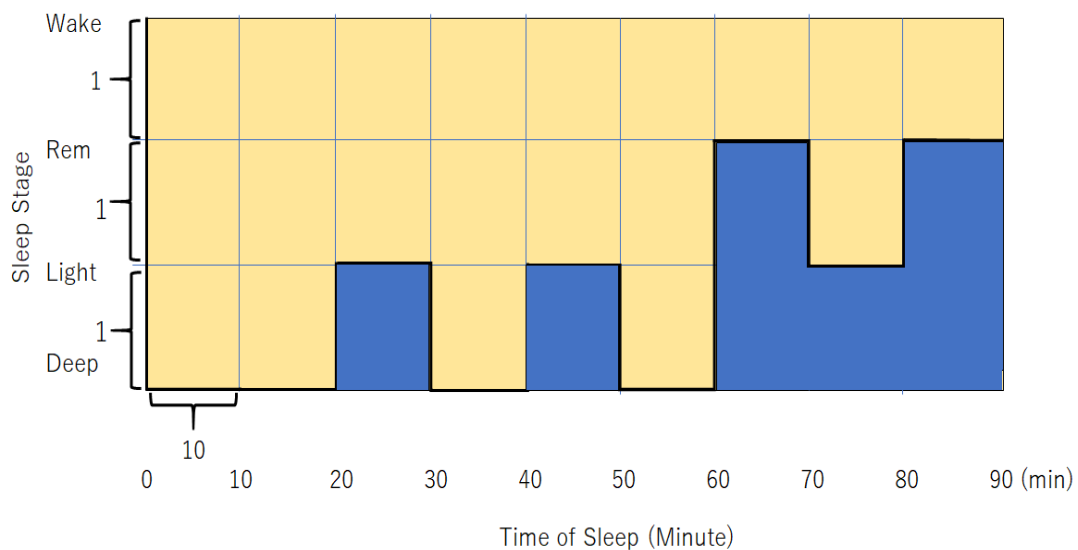


図 4 入眠開始 90 分間の睡眠段階のイメージ図

本提案システムでは、図4のような睡眠段階グラフを作成し、ユーザーの入眠開始から最初の90分の睡眠データを使用した。その為に、入眠開始から最初の90分の睡眠グラフの面積を計算するために、次の値を設定した。

- 長さ（睡眠段階）
 - Wake - レム睡眠：1点
 - レム睡眠 - ステージ I (N1)：1点
 - ステージ I (N1) - ステージ II (N2)：1点
 - ステージ II (N2) - ステージ III (N3)：1点
 - ステージ III (N3) - ステージ IV (N4)：1点
- 幅（睡眠時間）
 - 10分：10点

4-3 システム実装結果

上述のアルゴリズムを用いると、90分の睡眠グラフの最小値は0スコアであり、90分の睡眠グラフの最大値は270点である。睡眠スコアが高い場合、ユーザーの睡眠の質は高く、睡眠スコアが低い場合、ユーザーの睡眠の質は低くなるので、比較的簡便に睡眠の質の評価が可能である。構築したシステムは、睡眠の質の評価をFit bit Versa2とFitabaseを用いることにより、自動算出した。

また、今回はWakeからレム睡眠までを一点としているが、今後の実験結果により0.5点等調整を加えることとした。以下図5にシステムが自動生成した入眠開始90分間の睡眠段階図、図6にシステムが1か月の睡眠スコアの範囲を示した図とスコア図を示す。

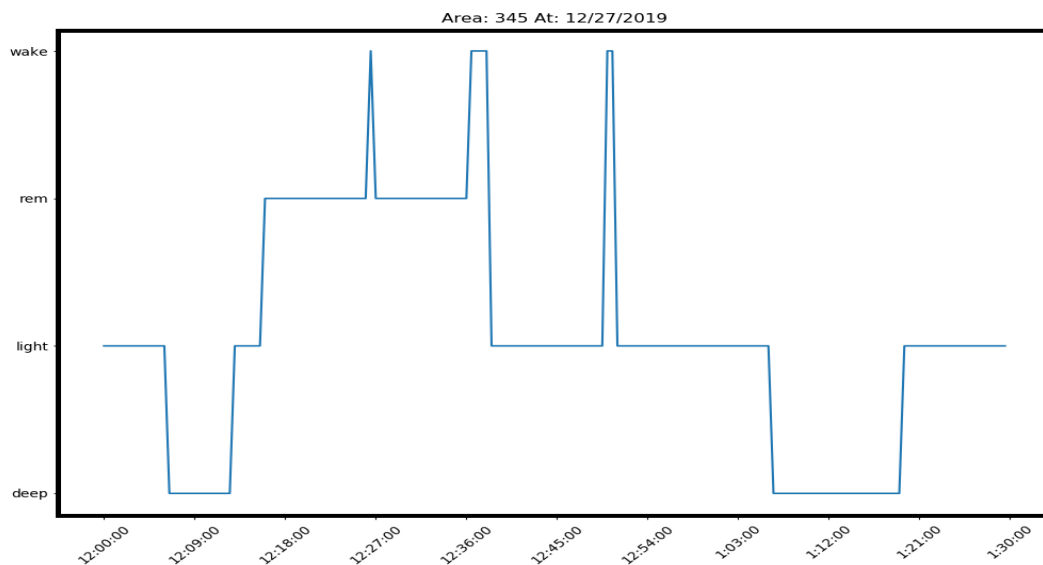


図5 システムが自動生成した入眠開始90分間の睡眠段階図

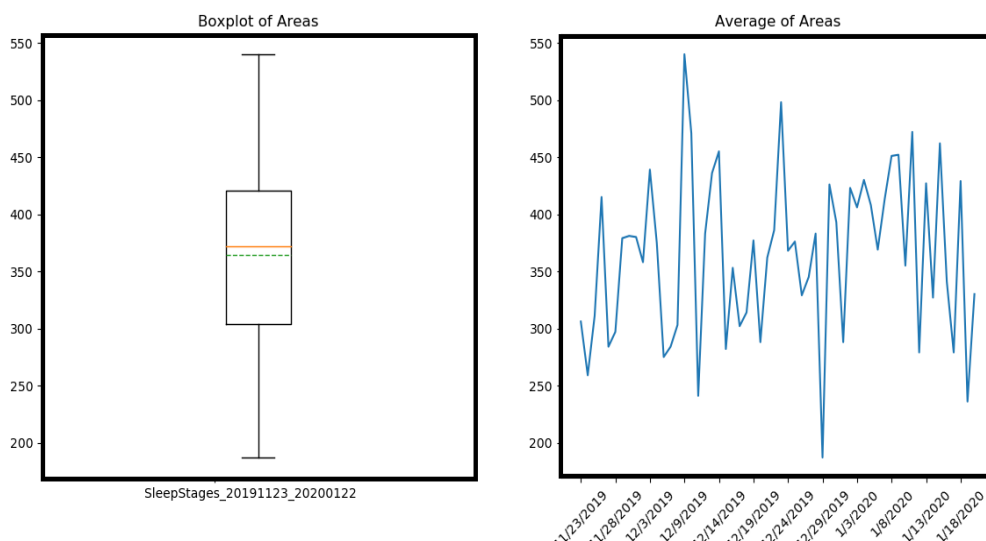


図6 システムが自動生成した1か月の睡眠スコアの範囲図とスコア変動図

5 おわりに

本論文では、本研究の最終目標である、身体的な問題を持つ人々を対象とした、障害を考慮しつつも自由に学ぶための環境や支援などの仕組みの構築・実現により、身体障がい者の心身的な変化を睡眠の質で評価する為に、心身の負担を軽減した睡眠の質の測定手法の考案と評価機構の構築に取り組んだ。

具体的には、ユーザの入眠から最初の90分間に、その日の睡眠の質の特性が顕著に表れることより、入眠開始90分間の睡眠の質の評価機構の構築に取り組んだ。

睡眠測定を90分間に限定することにより、ユーザの、機器装着やバイタルデータ測定による心身の負担を軽減可能となった。

本助成期間では、本提案研究機構の構築まで実現益多賀、フィールド実験までには至らなかったもので、今後、被験者数を増やしてフィールド実験を行う。将来的に、本提案機構が、身体障がい者等、身体的に問題を抱えた人びとに対する可能な限り負担を軽減した睡眠の質の評価指標としての有用性の検証と、本提案指標を用いることで、身体障がい者の在宅介護や、身体障がい者睡眠の質を向上させるサポート体制を構築することを目指す。

【参考文献】

- 睡眠, <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%9D%A1%E7%9C%A0>
- 谷田 恵子, “看護研究における睡眠評価方法の現状と課題”, UH CNAS, RINPC Bulletin Vol.16, 2009
- 伊藤 洋, “熟睡は健康のもと”, 日医ニュース(日本医師会), Vol.350, 2011.
- 別府重度障害者センター, 自律神経可反射の対処法, No.25, 2015
- 西野 精, “スタンフォード大学教授が教える 熟睡の習慣”, 株式会社P H P 研究所, 2019.
- Nishino, S.: The Stanford Method for Ultimate Sound Sleep, Sunmark Publishing, 2017.
- Nishino, S., Taheri, S., Black, J., and Nofzinger, E.: The Neurology of Sleep in Relation to Mental Illness, Neurobiology of Mental Illness, Oxford University Press, New York, pp.1160-1179, 2004.
- Mignot, E., Taheri, S., Nishino, S.: Sleeping with hypothalamus, emerging therapeutic targets for sleep disorders, Nature Neuroscience 5, pp.1071-1075, 2004.

Shimamoto, H., and Shibata, M.: The relationship between physical activity and sleep, A literature review, Center for Education in Liberal Arts and Science, No.2, pp.75-82, 2014.
 Harada, T., Ueno, F., Komine, T., Tajima, Y., Kawashima, T., Morishima, M., Takadama, K.: Real-Time Sleep Stage Estimation from Biological Data with Trigonometric Function Regression Model, AAAI Spring Symposium Series, pp.348-353, 2016.
 Takadama, K., and Tajima, Y.: Sleep Monitoring Agent for Care Support and its Perspective, IEICE ESS Fundamentals Review, vol.8, no.2, pp.96-101, 2014.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Home Care System for Supporting Caregivers and Elderly Care Receivers	The 22 th International Conference on Human-Computer Interaction	2020年7月発表予定
分身ロボットを介したロボット操作者と対話者のコミュニケーション	ヒューマンインターフェースシンポジウム2019	2019年9月
高齢者の介護負担軽減システムの提案 - 音声によるフィードバック -	ヒューマンインターフェースシンポジウム2019	2019年9月