

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500263

研究課題名(和文)人の状態推定技術の開発とこれを用いた効果的な働きかけの研究

研究課題名(英文)Assessment of human mental state and its application to robot

研究代表者

大須賀 美恵子 (Mieko, Ohsuga)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：10351462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットが人に働きかけるタイミングを計るために、人の集中低下を検出する手法を検討した。邪魔にならない計測の可能性の高い心電図と呼吸から得られる指標を対象とした。心電図は椅子の背もたれに付けた容量結合型電極を用いて計測し、呼吸はエアバッグを用いて背面の圧力変化を検出した。PCを用いたデスクワークと居間でのTV視聴を模した実験を行い、集中度と関連して変化する指標を選定した。サポートベクターマシンを用いて、集中低下をリアルタイムで検出し、集中低下時にロボットが働きかけを行うしくみを実装した。人の状態に応じたロボットの働きかけの効果検証は今後の課題である。

研究成果の概要(英文)：We tried to detect a decrease in concentration of human who is working on the desk or doing something not to make an alarm but to capture opportunity to interrupt without giving nuisance. Our attention is focused on the indices derived from electrocardiogram (ECG) and respiration, which are more likely to be measured non-intrusively. For ECG we used the capacity coupled electrodes attached on the back of the chair. Respiration was measured detecting the variations of the back pressure using air bags. Executing the experiments simulating two scenes; working with PC and watching TV in the living room, we confirmed that the selected measures change depending on the degree of concentration. The method was implemented that realize the robot's approaches at the timing of the human's degraded concentration detected using support vector machine. Further study is necessary to validate the effectiveness of robot's approach depending on human states.

研究分野：生理心理工学

キーワード：感性ロボティクス 低負担計測 集中度 心拍 呼吸

1. 研究開始当初の背景

超高齢少子社会を迎え、生活場面で人を支援するロボットに期待が集まっている。このようなロボットを有効に利用するには、人がロボットに働きかけるだけでなく、ロボットの方から人に働きかける場面が想定される。このようなときに、働きかける人の状態を推定し、適切なタイミングで働きかけることでロボットの受容性を高めることができる。人の状態推定では、生理指標や顔表情を用いる研究が行われていたが、ドライバの覚醒状態の評価など特定の場面・現象を対象とした研究や、喜怒哀楽などの基本感情の推定、あるいは感情の2次元モデル(覚醒と快・不快)に基づいた状態推定が主であった。

本研究で主に用いる自律神経系指標の低負担計測は、睡眠中やドライバモニタリングなどで研究されているが、日常生活場面での研究は見られなかった。

2. 研究の目的

生活場面で人の気持ちを汲んで、人を支援する知的システム(ロボット)を開発したい。この目標に向けて、人の状態や情動的な変化の推定を、低負担で推定する手法の研究開発を行う。推定には、センサを装着せずに計測できる生理指標や表情を用いる。情動変化は、本人が気づかないことも多く、あるいは気づいても的確に伝えられない可能性があり、生理指標や表情を用いた計測の利点が活かせる。家庭や職場の椅子や床、道具などに組み込んだセンサで、心拍や呼吸、脈波など自律神経系指標を計測し、壁やモノに組み込んだカメラで表情を捉え、覚醒水準や集中度、イライラ・緊張などの情動変化を検出する。応用事例として、職場のデスクで根を詰めて仕事をしているときに、小休止してリラクゼーションや活性化のための軽い運動を勧めるシステムと、漫然とテレビを見ているときに、ながら運動を勧めるシステムを開発し、人の状態に応じたシステムから働きかけの効用を検証することを目標とする。

3. 研究の方法

(1) 環境埋め込み型センサによる心拍・呼吸の計測手法の開発と評価

居間の椅子、オフィスの椅子にセンサを組み込んで、薄い衣服を着たまでも計測が可能で、座り方、姿勢が変化しても計測できるような手法を開発する。心拍については、容量結合型電極を主に検討する。

フィールドテスト用の計測装置を製作し、デスクワーク(PC作業中)と居間でTV鑑賞中の2場面でフィールド実験を行う。

(2) 顔画像利用技術の開発

共同研究者の協力を得て、カメラで取得した顔画像から、覚醒低下、覚醒努力、集中、イライラなどを推定する手法を

討する。

(3) 日常生活でのデータ収集と収集データを用いた状態推定アルゴリズムの開発
低負担計測技術の開発と並行して、装着型のセンサを用いて、デスクワークおよびTV視聴中のデータ収集を行う。このデータを用いて、オフラインで状態推定を行うアルゴリズムを開発する。

(4) 状態依存の働きかけアルゴリズムの開発と検証

前述の2場面ごとに、状態推定結果に応じた働きかけを行うシステムを開発し、デスクワーク中は軽いストレッチを、TV視聴中は「ながら運動」を促す。状態依存の働きかけとそうでない働きかけを比較する検証実験を行ない評価する。

4. 研究成果

(1) 環境埋め込み型センサによる心拍・呼吸の計測手法の開発と評価

呼吸は椅子の背もたれにエアバッグ(0926, パシフィックサプライ)をつけこの圧力変化を空気圧センサ(CQ30A-G102, MKT タイセー)で計測することにした。心拍はドライバ計測で用いていた容量結合型電極(導電テープ, 2191R, 住友3M)を張り付け、自作回路¹⁾を用いた計測から着手した。この方法をTV視聴場面(実験については(3)に記載)に適用し(図1)、装着型センサによる計測結果と比較した。その結果、呼吸は実験参加者5名とも計測でき、2時間の視聴中の半分以上の区間で良好な計測結果が得られたが、心拍は2名でほとんど計測できなかった。これは身体が動くことで接触面積や押圧が変わって電極-衣服間の容量の大きな変化が生じることが原因と考えられた。



図1 計測用椅子(左)と実験風景(右)

次にセンサは同じもので、外注で作成した計測回路と無線ロガー(図2)を用いるシステムに改良し、デスクワークを模した実験を行った(図3)。エアバッグによる呼吸計測は5名中3名はPC作業中も良好に計測できたが、2名は体動が多く計測できたのは全区間の20~30%に留まった。

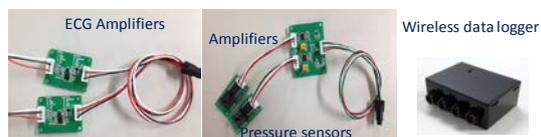


図2 心電アンプ(左)、呼吸計測用回路(中)、無線ロガー(右)



図3 計測用椅子(左)と実験風景(右)

図4に良好な計測例を示す. 心電図は1名はほとんど計測できず, 残りの4名は60~90%の区間で胸部心電図と同等のRR間隔が得られた. 例を図5に示す. (以上, 学会発表⑥)

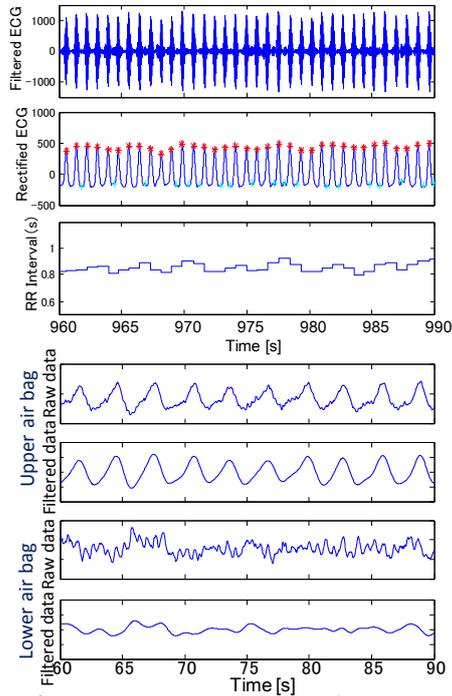


図4 良好な計測例. 上: 心拍 (上段からバンドパスフィルタをかけた心電図, 絶対値変換とローパスフィルタをかけたもの, RR間隔), 下: 呼吸 (上段2つは上のエアバッグ, 下段2つは下のエアバッグの圧力変化, 生波形とバンドパスフィルタの出力)

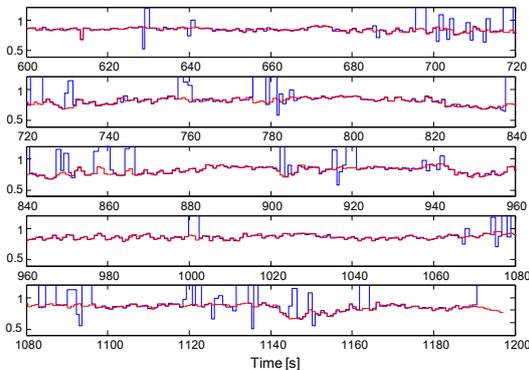


図5 RR間隔の比較 (赤: 胸部心電図, 青: 容量結合型心電図)

最後に, ドライバ計測の共同研究 (科研費研究外)で開発した改良電極²⁾を背もたれと座面に貼り付け, 体格に対応できるように4チャンネルの導出を行った. 背もたれに復元力のある椅子を導入して, デスクワークの実験を再度実施した. 30分ずつの2種類のタスクを8名の参加者に課し4名でR波検出ミスが5%以下, 残りの4名でも20%以下という改善が見られた.

(2) 顔画像利用技術の開発

予定していた共同研究者の協力が得られなかったことと, 眼鏡型の眼電計測装置の発売が公表されたことから, これを用いることを前提に, 眼電図計測を取り入れ, 過去の研究に基づき, 瞬目波形を用いた覚醒状態評価³⁾が可能であることを確認した. 瞳孔系や輻輳など新しい指標の利用も試みたが, 照明条件や作業内容に大きく依存するため, 有効活用には至らなかった.

(3) 日常生活でのデータ収集と状態推定アルゴリズムの開発

本当の意味での日常生活でのデータ収集は実験システムや倫理的問題から行えず, 日常生活を模した2場面でのデータ収集を実施した. 第1実験は大学の研究室でPC作業をしている場面, 第2実験は家庭の居間を模した環境でTV視聴している場面である.

謝金雇用し, 文書によるインフォームド・コンセントを得た若年健康成人8名ずつの協力を得た. 実験1(デスクワーク)は, 20~22歳の男性7名と女性1名, 実験2(TV視聴中)は, 20~25歳の男性8名である.

実験1では, 参加者に, 事前に用意したPCを用いる11種類の作業(文章打ち込み, クレペリン, 文書・グラフ・表作成, プログラミング, エッセイ執筆, TOEIC課題, SPI課題, プレゼンテーション作成, 文献検索)の中から, 集中が持続しそうな作業と持続しなそうな作業を3つずつ計6作業選ばせ, 交互に約20分ずつ, 計2時間行わせた. この間に, 上半身のみ人間型ロボット(NAO, ALDENARAN)を用いて, 7-10分間隔で(各作業2回ずつ), 小休止を働きかけた. 働きかけに応じた場合, NAOの動きに合わせて腕・肩のストレッチをさせた. その後, 働きかけの直前の状態を主観評定させた. 実験2では, 参加者に, 事前に用意した4種類のDVDのコンテンツ(アニメ, スポーツ, 洋画, 音楽)の中から興味があり集中して見ることができそうなものとそうでないものを1つずつ選ばせ, 1時間ずつ, 計2時間視聴させた. 視聴順はカウンタバランスした. テレビは32型で視聴距離は適正距離である画面の高さの約3倍の1.2mとした. 約10分に一度, 参加者の斜め前に置いたタッチパネルLCD(LCD-MF222FBR-T, IODATA)に, 主観評定画面をアラーム音とともにポップアップさせ, 直

前の状態を5点法で評定させた。評価項目は、実験1では「集中」、「眠気」、「緊張」、「イライラ」、「ロボットの働きかけの迷惑度」、実験2では「集中」、「覚醒」、「興味の強さ」、「快」、「主観評価要求の迷惑度」である。

市販の使い捨て電極(SMP300, 積水化成成品工業)を胸部に貼り付け、腹部に呼吸ピックアップ(TR-751T, 日本光電)を装着して、生体アンプ(実験1:BA1008, デジテックス, 実験2: Polym4とPolyam-RESP, とともにニホンサンテック)を用いて胸部心電図と呼吸を計測した。

呼吸データを5sずつずらしながら、30s分のデータにハミングウィンドウをかけて0を補完し、1フレーム51.2sとしてFFTをかけて振幅スペクトルを求めた。これより、全帯域(ALL), LF・HF帯域の平均振幅と、ピーク周波数(PF), 重心周波数(GF), さらに、呼吸不安定性の指標として、PFとGFの差の絶対値(|PF-GF|)を求めた。心電図より一拍ごとの瞬時心拍を求め、3次スプライン補間で等時間間隔データに変換し、呼吸と同様の方法で振幅スペクトルを求め、心拍変動(HRV)の各帯域(LF:0.039-0.137 Hz, MF:0.078-0.137 Hz, HF:0.156-0.605 Hz, RF:呼吸重心周波数(GF)±0.05 Hz)の平均振幅を求めた。また、心拍等時間間隔データに、カットオフ周波数0.04Hzのローパスフィルタをかけてから5sごとに平均し、平均心拍数(HR)とした。HRV指標をそのときの平均心拍数で除したCV値(%)も求めた。

実験1の主観評定の「集中」のスコアは、必ずしも参加者の予想とは一致しなかった。そこで、参加者ごとに、12回(6作業×2回)の評定の中で、最もスコアの高い回(4点か5点)と最も低い回(1点か2点)を選んだ。同点の場合は、「眠気」「イライラ」(ともに逆転項目)、「ロボットの働きかけの迷惑度」をこの順で比較して高いもの、低いものを選定した。実験2の主観評定値をコンテンツと時間経過を要因とする対応のある2元配置分散分析にかけたところ、すべての評価項目にコンテンツの主効果があり、時間経過の主効果はなかった。興味があり集中して見られると予想したコンテンツを視聴しているときに「集中度」「覚醒度」「興味の強さ」「快」ともに高く、割り込みを「迷惑」と感じていることが示された。

実験1,2で共通の心拍と呼吸の変化が見られた。典型的な例(実験2)を図6に示す。集中しているときには、呼吸が比較的速く、振幅が小さく、規則的である。心拍変動のLF, MF成分とHF, RF成分の出現度合いは参加者によって異なるが、この参加者では、集中しているときには同程度で安定して出現している。一方、集中が低下したときには、一過性の大きな呼吸が混入するなど呼吸が不規則になり、これに伴い心拍変動もLF成分が増大した。

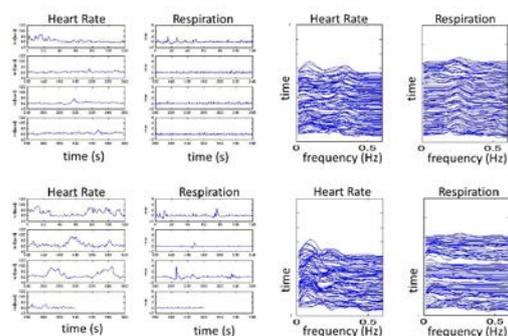


図6 集中しているとき(上)としていないとき(下)の心拍・呼吸の典型例(PC作業中)

実験1では、参加者ごとに主観評定で最高、最低の集中度を示した作業を選び、ロボットの働きかけの直前4minの各指標の平均を求め、対応のあるt検定を行った。実験2では、主観評定直前の4min間の各指標の平均を求め、コンテンツと時間経過を要因とする対応のある2元配置分散分析を行った。これらの結果を表1に示す。2つの実験で、コンテンツによる有意な差を示す指標はほぼ同じで変化方向も一致した。なお、実験2の分散分析では、時間経過の主効果は示されなかった。なお、呼吸周波数の2指標は、集中低下コンテンツでは時間経過とともに下がり、集中コンテンツでは逆に上がったので交互作用が有意になった。(以上、学会発表①~④)

表1 指標変化の検定結果(実験1:対応のあるt検定, 実験2:対応のある2元配置分散分析)

Indices		Exp.1	Exp.2
Mean HR	HF	<i>n.s.</i>	C < D
Heart rate variability	LF(CV), MF(CV)	C << D	C << D
	HF(CV)	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
	RF(CV)	<i>n.s.</i>	C << D
Respiratory amplitude	ALL, LF	C << D	C << D
	HF	C < D	C < D
Respiratory frequency	PF	C >> D	C >> D
	GF	C >> D	C > D
Respiratory irregularity	PF-GF	C << D	C < D

実験1で有意な変化を示した指標のうち、HR, HRV_LF, HRV_HF, 呼吸PF, 呼吸不規則性の5指標を選定して、全作業を対象に主成分分析を行ったところ、表2に示すように、2つの主成分で80%の分散が説明できた。t検定で用いた最高・最低の集中度の作業時のデータの主成分得点を図7に示す。第2主成分が集中度を反映していることが伺える。(学会発表⑦)

表 2 主成分分析結果

index	1 st pc	2 nd pc
HR	0.200	0.756
HRV_LF	0.539	-0.181
HRV_HF	0.206	-0.614
RSP_PF	-0.612	-0.114
PF-GF	0.503	0.006
explained variance(%)	52.9	27.1

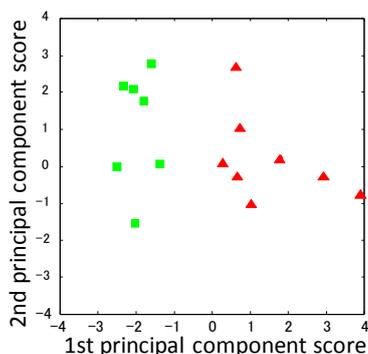


図 7 主成分得点の相関図(▲高集中, ■低集中)

一方、実験 2 では、分散分析でコンテンツの主効果があつた指標のうち相関の高い指標グループより 1 指標ずつを選び、HR, HRV_MF, HRV_RF, 呼吸 LF, 呼吸 PF, 呼吸不規則性の 6 指標を用いてサポートベクターマシン (Support Vector Machine : SVM) を用いた推定を試みた。カーネル関数には、Radial basis function (RBF) カーネルを用い、カーネルパラメータとソフトマージンは交差検定により最適値を定めた。SVM は個人ごとに作成し、Leave one out 方式で SVM 作成データに適用して評価したところ、8 名の平均正判別率は 79.2 % (集中 : 83.3 %, 集中低下 : 75.0 %) となった。

次に、8 名中 5 名の参加者に対し、再度、同様の TV 視聴実験を実施した (実験 3)。コンテンツは集中低下しやすい風景映像と集中できるコンテンツ (アニメ、スポーツ、お笑い、ドキュメンタリー) を約 10 分に一度切り替えた。実験 2 のデータで作成した SVM を用いて、集中・集中低下の判別を行った。5 名の平均正判別率は 68.8 % (集中 : 65.2 %, 集中低下 : 72.4 %) となった。個人ごとに予めモデルを作成しておけば、7 割程度の正判別率が得られるという結果になった。

(4) 状態依存の働きかけアルゴリズムの開発と検証

開発したアルゴリズムを用いて集中低下時に働きかけるときとランダムなタイミングで働きかけるときと比べて、働きかけが受け入れられやすくなるか調べた。この実験は、実験 3 の参加者のうち 2 名を対象に TV 視聴場面で「ながら運動」を働きかける実験を行

った。コンテンツは第 3 実験と同種の異なるものを用いた。30 分を 1 試行とし、一人 4 回ずつ実施、前半・後半で、判別アルゴリズムによる働きかけと、ランダムな働きかけを切り替えた。いずれも約 10 分間隔で、音と画面で試作器具を用いるつま先の上げ下げ運動をするように働きかけ、運動後に主観評定させた。参加者 1 人につき、働きかけごとに 6 回ずつ、計 12 回のデータが収集されたが、参加者の集中低下が早く生じたため、ランダムな働きかけの際に、判別アルゴリズムで「集中」となる時に働きかけしたのは、1 回だけとなってしまった。この 1 回では参加者の評価はタイミングが悪いとなり、「集中低下」のときの働きかけは、よい 14 : 悪い 9 となった。人の状態を推定して「集中」時を避け、「集中低下」時に働きかけるしくみは実現したが、このことによる効果を示すにはデータが不十分である。

なお、本研究に関わる実験の計画は大阪工科大学ライフサイエンス実験倫理審査委員会の承認を得た。

<引用文献>

- 1) 棒谷英法, 小林裕之, 大須賀美恵子, 栗谷川幸代, 景山一郎, 伊藤生佳, 杉山慎二 : 容量結合型電極を用いたドライバの心電情報計測 (第 3 報), 自動車技術会春季学術講演前刷集, 88-13, pp. 5-8 (2013)
- 2) 大須賀美恵子, 杉山慎二 : 容量結合型電極を用いたドライバの心電情報計測 (第 4 報), 自動車技術会春季学術講演前刷集, 7-15, pp. 184-187 (2015)
- 3) Mieko Ohsuga, et al: Classification of blink waveforms toward the assessment of driver's arousal levels—an EOG approach and the correlation with physiological measures. In Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Springer Berlin Heidelberg, pp. 787-795 (2007)

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)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 大須賀美恵子, 棒谷英法 : 心拍・呼吸を用いた人の状態推定, 第 31 回生理心理学会, 生理心理学と精神生理学, Vol. 31, No. 2, p. 117, 2013. 5. 18, 福井大学教育地域科学部 (福井)
- ② 松尾真吾, 大須賀美恵子, 森田恵理 : 心拍・呼吸を用いたテレビ視聴をしている人の集中度推定, ヒューマンインタフェ

ースシンポジウム 2013 論文集 (CD-ROM), pp. 743-744, 2013. 9. 13, 早稲田大学 (東京)

- ③ Mieko Ohsuga, Shingo Matsuo, Hidenori Boutani : Assessment of Human State Using Physiological Measures Toward Affective Human-Robot Interaction, OIT INTERNATIONAL WORKSHOP ON ROBOTICS, 2013. 11. 9, 大阪工業大学 (大阪)
- ④ 大須賀美恵子, 松尾真吾, 棒谷英法 : 人と知的システムのインタラクションのための人の状態推定, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2013 講演論文集, pp.951-952, 2013. 11. 20, ピアザ淡海 (滋賀)
- ⑤ 松尾真吾, 大須賀美恵子 : テレビ視聴中の人に集中低下状態を推定し, ながら運動を働きかけるシステム, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.731-732, 2013. 12. 18, 神戸国際会議場 (兵庫)
- ⑥ Mieko Ohsuga, Hidenori Boutani : Preliminary Study on Nonintrusive Measurement of ECG and Respiration while Sitting on a Chair for Human States Estimation, Proceeding of ACED2014 (1st Asian Conference on Ergonomics and Design 2014), 2014. 5. , (Pamada Plaza Jeju Hotel, South Korea)
- ⑦ Mieko Ohsuga, Hidenori Boutani : Detection of a Decrease in Concentration Using Indices Derived from Heart Rate and Respiration Toward Affective Human-Robot Interaction, Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics AHFE 2014, pp. 1462-1467, 2014. 7. (Jagiellonian University, Krakow, Poland)

〔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〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大須賀 美恵子 (OHSUGA MIEKO)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号 : 10351462

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 協力研究者

棒谷 英法 (BOUTANI HIDENORI)

大阪工業大学大学院・工学研究科・後期課程

松尾 真吾 (MATSUO SHINGO)

大阪工業大学大学院・工学研究科・前期課程