

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330324

研究課題名(和文) 眠気の主観的評価と心拍・呼吸数変動による客観的評価との関連性の検討

研究課題名(英文) Study of relevance of subjective evaluation of drowsiness and objective evaluation of sleepiness by heart rate/respiratory variability

研究代表者

伊賀崎 伴彦 (Igasaki, Tomohiko)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：70315282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：日本語版カロリンスカ眠気尺度により評価された眠気について、そのときの心拍変動および呼吸数変動によって2段階(強い眠気なし/強い眠気あり)で推定できることを見出した。また、そのときの脳波または眼電図によっても同様に2段階で推定できることも発見した。さらに、圧電センサアレイにより、椅子に座っただけで心拍間隔および呼吸間隔を測定する技術を開発した。以上より、心理学的(主観的)評価である「眠気」を生体信号の定量的解析による生理学的(客観的)評価と結び付けることの可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：It was found that drowsiness, which has been evaluated by the Japanese version of Karolinska sleepiness scale, could be estimated in two stages ("presence of strong drowsiness" or "absence of strong drowsiness") by heart rate variability and respiratory rate variability at that time. In addition, it was also found that drowsiness could be estimated in same two stages by electroencephalogram or electrooculogram at that point. Furthermore, a technique for measuring heart rate interval and respiratory interval by the piezoelectric sensor array, just sitting in a chair, has been developed. As stated above, it has been suggested that drowsiness, which is psychological (subjective) evaluation, would be possible to link quantitative analysis of biological signals, which is a physiological (subjective) evaluation.

研究分野：総合領域

キーワード：感性情報学 人間生活環境 モニタリング 生物・生体工学 医療福祉

### 1. 研究開始当初の背景

当初の眠気の評価は、睡眠のそれと同様に、アンケート(心理学的評価)やポリグラフ(生理学的評価)によりなされていたが、眠気があるとはいっても覚醒中かつ日常生活中に時間をかけてアンケートをとったり、多数の電極を装着して生体信号を計測したりすることは非現実的であった。

### 2. 研究の目的

心理学的(主観的)評価である「眠気」を生体信号の定量的解析による生理学的(客観的)評価と結び付けることが可能であるかを検討した。さらに、生体信号のうち心拍変動と呼吸数変動のみにより、日常生活を妨げることのない現実的な「眠気」の評価ができるかについても検討した。

#### (1)「眠気」という感性量をポリグラフにより客観的、定量的に評価可能か?

ポリグラフから得られた生体信号に対して各種解析を行い、得られる定量値により眠気の評価を試みた。また、どの生体信号にどのような解析を適用すると良い評価が得られるかを明らかにすることにより、信頼性の向上を図ろうとした。

#### (2)心拍変動、呼吸数変動だけでも日常生活を妨げることなく「眠気」を評価可能か?

比較的拘束感が少なく、また安定した信号が得られやすい心電図、呼吸曲線から心拍変動、呼吸数変動解析を行い、これらの信号だけでも眠気の評価できることを明らかにし、日常生活を妨げない現実的な評価方法の確立を目指した。

### 3. 研究の方法

被験者にドライビングシミュレーションを行ってもらい、そのときの眠気を日本語版カロリンスカ眠気尺度(KSS-J)により評価してもらった(心理学的指標)。同時にポリグラフにより脳波、眼電図、心電図、呼吸曲線などの生体信号を計測、解析し、帯域パワー(脳波)、閉眼時間や瞬目頻度(眼電図)、心拍変動(心電図)、呼吸数変動(呼吸曲線)などの生理学的指標を得た。そして、心理学的指標と相関する生理学的指標を見出し、最終的には生体信号による「眠気」の定量化(点数化)を試みた。

つぎに、圧電センサを用いた心拍、呼吸曲線の計測の技術開発を含め、心拍変動、呼吸数変動だけで「眠気」を定量化することを試み、電極の接触による不快感、拘束感から被験者を解放し、目的である日常生活を妨げることのない現実的な「眠気」の評価を試みた。

#### (1)「眠気」という感性量をポリグラフにより客観的、定量的に評価可能か?

##### 1)心拍変動および呼吸数変動

普通運転免許を所持する21~23歳の健康男性8名を被験者とし、13~15時の間にドライビングシミュレータに搭乗してもらい、障害物のない全長2.4kmの楕円形のサーキット

を100km/hで50分間継続運転するという実験を4回課した。このとき、被験者のポリグラフを測定して30秒ごとに5分間の①平均心拍間隔(MeanRR)、②心拍間隔標準偏差(SDRR)、③心拍間隔変動係数(CVRR)、④連続した心拍間隔の差の二乗平均平方根(RMSSD)、⑤平均呼吸間隔(MeanBB)、⑥呼吸間隔標準偏差(SDBB)、⑦呼吸間隔変動係数(CVBB)、⑧連続した呼吸間隔の差の二乗平均平方根(RMSSD-BB)を計算するとともに、顔表情を録画した。実験終了後、録画した顔表情を再生し、被験者にそれを見てもらいながら30秒ごとに日本語版カロリンスカ眠気尺度(KSS-J)に回答してもらった。

##### 2)脳波

普通運転免許を所持する21~24歳の健康男性16名を被験者(うち8名は1)の被験者)とし、1)と同様の実験、測定を行った。このとき、30秒ごとに30秒間の $\delta$ 波、 $\theta$ 波、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波、 $\gamma$ 波の脳波各帯域パワーを計算した。

##### 3)眼電図

普通運転免許を所持する22~24歳の健康男性8名を被験者(2)の被験者16名のうち1)の被験者でない8名)とし、1)と同様の実験、測定を行った。このとき、30秒ごとに5分間の①平均瞬目持続時間、②平均瞬目間隔、③平均瞬目正ピーク電位、④平均瞬目負ピーク電位、⑤瞬目持続時間分散、⑥瞬目間隔分散、⑦瞬目正ピーク電位分散、⑧瞬目負ピーク電位分散、⑨眼振頻度を計算した。

#### (2)心拍変動、呼吸数変動だけでも日常生活を妨げることなく「眠気」を評価可能か?

21~24歳の健康男性9名および女性1名を被験者とし、座面に圧電センサアレイを配置した椅子の任意の位置に着座し、5分間安静状態を保持するという実験を2回課した。このとき、圧電センサアレイからの信号のほか、参照信号として心電図および呼吸曲線を取得した。得られた圧電センサアレイ信号より、心拍および呼吸成分を抽出し、ピーク検出を行い、それぞれの間隔を求めた。そして、心電図および呼吸曲線より得られた心拍間隔および呼吸間隔とそれぞれ比較した。

### 4. 研究成果

#### (1)「眠気」という感性量をポリグラフにより客観的、定量的に評価可能か?

##### 1)心拍変動および呼吸数変動

一般に、KSS-Jが高値を示すほど各指標は低値となることが観察された(図1)。

そこで、KSS-Jが7以上を「強い眠気あり」、7未満を「強い眠気なし」として、ロジスティック回帰分析により心拍変動4指標、呼吸数変動4指標、心拍変動および呼吸数変動8指標から強い眠気の有無を推定することを試みたところ、それぞれ74%、74%、84%の平均推定精度が得られた(図2)。

以上のことから、「眠気」と心拍、呼吸の間には関連性があることが確認されると

もに、心拍、呼吸の計測、解析という客観的評価と「眠気」という主観的評価を結び付けられることが示唆された。

Result (Statistics of HRV/BRV Parameters)

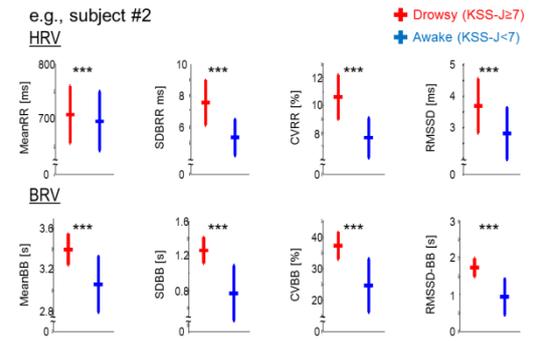


図 1：被験者#2 の各指標値

Result

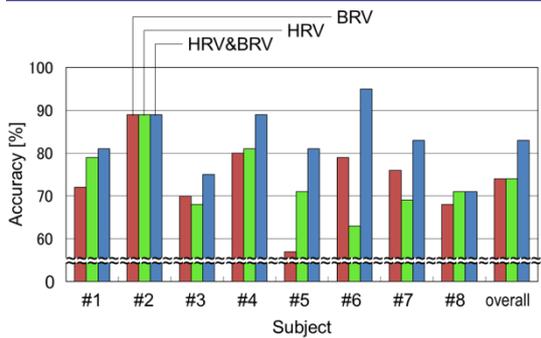


図 2：ロジスティック回帰分析による強い眠気有無推定精度

2) 脳波

KSS-J の経時的変化に対する各部位における脳波  $\alpha$  波帯域パワーの経時的変化の例を図 3 に、部位 O1 における脳波各帯域パワーの経時的変化の例を図 4 にそれぞれ示す。KSS-J は経時的に増加し、それに伴うように各部位における脳波各帯域パワーも経時的に変化していることが観察された。また、KSS-J に対する部位 O1, O2 における脳波  $\alpha$  帯域パワーについてピアソンの積率相関係数がそれぞれ 0.5331, 0.4883 と最大および準最大となり、KSS-J と後頭部における脳波  $\alpha$  波帯域パワーの間に正の相関が観察された。

そこで、KSS-J が 7 以上を「強い眠気あり」、7 未満を「強い眠気なし」として、各被験者の部位 O1, O2 における脳波  $\alpha$  帯域パワーの平均を検定したところ、16 名中 13 名で有意な差を、うち 11 名で極めて有意な差を認めた (表 1)。

以上のことから、「眠気」と脳波の間には関連性があることが確認されるとともに、脳波の計測、解析という客観的評価と「眠気」という主観的評価を結び付けられることが示唆された。

Results

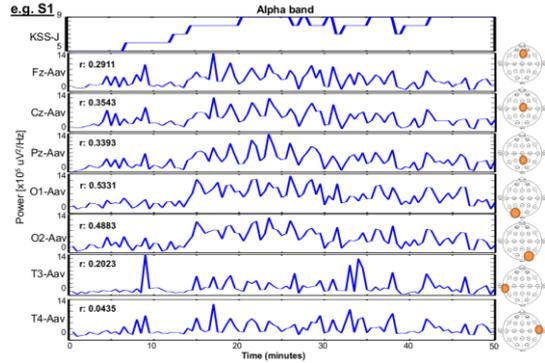


図 3：被験者#1 の KSS-J の変化に対する各部位の脳波  $\alpha$  波帯域パワーの変化

Results

e.g. Subject 1

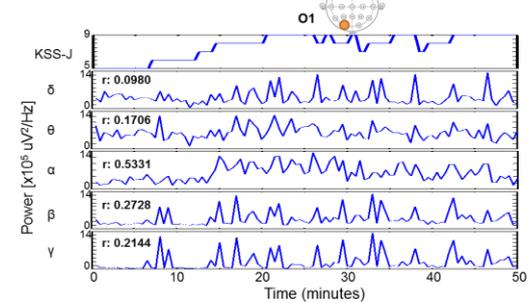


図 4：被験者#1 の KSS-J の変化に対する部位 O1 の脳波各帯域パワーの変化

表 1：各被験者の強い眠気の有無に対する後頭部の脳波  $\alpha$  帯域パワー

Results

	Number of EEG data (N = 400)		Mean $\pm$ SD Alpha band of O1 [ $\times 10^5$ ]		Statistical Analysis Result	Mean $\pm$ SD Alpha band of O2 [ $\times 10^5$ ]		Statistical Analysis Result
	KSS-J < 7	KSS-J $\geq$ 7	KSS-J < 7	KSS-J $\geq$ 7		KSS-J < 7	KSS-J $\geq$ 7	
Subject 1	151	249	2.2 $\pm$ 1.1	2.5 $\pm$ 0.9	< 0.001	2.3 $\pm$ 1.1	2.5 $\pm$ 1.0	< 0.001
Subject 2	138	262	5.3 $\pm$ 3.8	8.1 $\pm$ 5.8	< 0.001	5.5 $\pm$ 3.8	8.0 $\pm$ 6.0	< 0.001
Subject 3	230	170	9.2 $\pm$ 6.1	11.0 $\pm$ 6.0	< 0.001	0.9 $\pm$ 0.2	1.1 $\pm$ 0.6	< 0.001
Subject 4	211	189	6.1 $\pm$ 4.0	6.0 $\pm$ 2.0	NS	6.0 $\pm$ 4.0	6.0 $\pm$ 2.0	NS
Subject 5	217	183	5.0 $\pm$ 1.9	2.1 $\pm$ 0.9	NS	5.0 $\pm$ 1.5	2.0 $\pm$ 1.0	NS
Subject 6	154	246	8.2 $\pm$ 3.3	12.1 $\pm$ 4.1	< 0.001	0.8 $\pm$ 0.4	1.2 $\pm$ 0.4	< 0.001
Subject 7	183	217	0.9 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 2.3	< 0.001	0.9 $\pm$ 0.5	2.0 $\pm$ 2.9	< 0.001
Subject 8	260	140	1.4 $\pm$ 1.0	1.5 $\pm$ 0.4	< 0.001	1.4 $\pm$ 1.2	1.6 $\pm$ 0.1	< 0.001
Subject 9	235	165	6.9 $\pm$ 3.0	7.5 $\pm$ 2.4	< 0.001	6.9 $\pm$ 3.9	7.6 $\pm$ 2.4	< 0.001
Subject 10	148	252	4.9 $\pm$ 2.0	6.8 $\pm$ 2.5	< 0.001	4.9 $\pm$ 3.0	6.8 $\pm$ 3.0	< 0.001
Subject 11	323	77	6.0 $\pm$ 2.6	5.3 $\pm$ 2.7	< 0.05	6.0 $\pm$ 2.5	5.1 $\pm$ 2.9	< 0.05
Subject 12	173	227	1.8 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 2.6	< 0.001	1.7 $\pm$ 0.5	2.9 $\pm$ 2.6	< 0.001
Subject 13	233	167	0.8 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.3	< 0.05	0.8 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.3	< 0.05
Subject 14	169	231	0.8 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 3.5	< 0.001	0.8 $\pm$ 0.2	1.5 $\pm$ 3.5	< 0.001
Subject 15	373	27	1.1 $\pm$ 0.9	0.4 $\pm$ 0.6	< 0.001	1.2 $\pm$ 0.9	0.4 $\pm$ 0.6	< 0.001
Subject 16	184	216	1.2 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.6	NS	1.2 $\pm$ 0.2	1.3 $\pm$ 0.6	NS

3) 眼電図

KSS-J が高値を示すほど瞬目持続時間は平均①、分散⑤ともに高値となることが、瞬目間隔は平均②、分散⑥ともに低値となることが観察された。平均瞬目ピーク電位は正負③④ともに低値となることが、瞬目ピーク電位分散は正負⑦⑧ともに高値となることが観察された。さらに、眼振頻度⑨は高値となることが観察された (表 2)。

そこで、KSS-J が 8 以上を「強い眠気あり」、8 未満を「強い眠気なし」として、サポートベクターマシンにより 9 個の指標から強い眠

気の有無を推定することを試みたところ、89%の平均推定精度が得られた (表 3)。

以上のことから、「眠気」と瞬目の間には関連性があることが確認されるとともに、瞬目の計測、解析という客観的評価と「眠気」という主観的評価を結び付けられることが示唆された。

表 2 : 強い眠気の有無に対する各指標値

Statistics of Each Feature (overall subjects/experiments)				
Strong Drowsiness (KSS-J)		Absence (<8)	Presence (≥8)	P
Mean	Duration	0.28 ± 0.05	0.34 ± 0.07	<0.001
	Interval	3.83 ± 3.85	3.05 ± 1.74	<0.001
	Positive	421.1 ± 108.8	400.5 ± 137.5	<0.001
	Negative	-155.1 ± 51.5	-173.2 ± 60.3	<0.001
Variance	Duration	0.06 ± 0.03	0.11 ± 0.07	<0.001
	Interval	3.18 ± 3.74	2.54 ± 2.09	<0.001
	Positive	75.1 ± 23.7	95.4 ± 31.1	<0.001
	Negative	48.9 ± 20.5	61.3 ± 25.8	<0.001
Nystagmus Frequency		8.4 ± 2.9	9.8 ± 3.6	<0.001

表 3 : サポートベクターマシンによる強い眠気有無推定精度

Classification Accuracy of Strong Drowsiness by SVM (%)					
Subject	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	Mean
#1	91	84	54	74	76
#2	99	95	100	87	95
#3	71	70	64	100	76
#4	73	89	87	71	80
#5	100	100	100	100	100
#6	89	100	80	100	92
#7	100	97	100	81	95
#8	100	100	100	100	100
Overall					89

## (2)心拍変動, 呼吸数変動だけでも日常生活を妨げることなく「眠気」を評価可能か?

図 5 に、被験者#1 の 1 回目の記録開始から 30 秒の波形を示す。Ch4, 5, 6 では、心電図の周期と呼吸曲線の周期と対応していると思われるバーストとその包絡線が確認された。

図 6 に、図 5 から独立成分分析により抽出された波形 (分離数 3, 4, 5 の場合) を示す。分離数 3 の成分 3, 分離数 4 の成分 3, 分離数 5 の成分 5 において心拍に対応すると思われる信号が確認された。また、分離数 4 の成分 4, 分離数 5 の成分 1 において呼吸に対応すると思われる信号が確認された。

表 4 に、独立成分分析により抽出された心拍信号, 呼吸信号から測定された心拍間隔, 呼吸間隔と、心電図, 呼吸曲線から測定されたそれらとの誤差率について、全被験者, 全実験の結果を示す。総合誤差率は、心拍間隔が  $0.9 \pm 0.4\%$ , 呼吸間隔が  $5.2 \pm 3.0\%$ であった。これは、Tanaka ら (2002) が仰臥位にお

いて心音図から計測された心拍間隔および呼吸間隔の最大誤差率 (それぞれ 1.15%および 5.20%) と同程度であった。

これに前述の (1)1) の結果を結び付ければ、心拍変動と呼吸数変動のみにより、日常生活を妨げることのない現実的な「眠気」の評価ができることが示唆された。

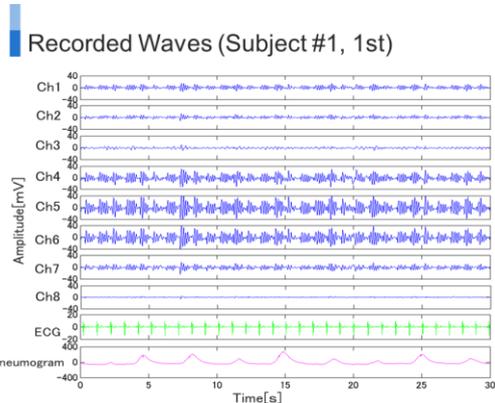


図 5 : 被験者#1 の 1 回目の記録波形 (抜粋)

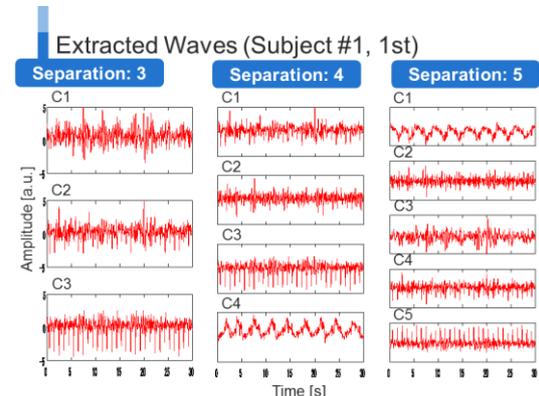


図 6 : 図 5 の独立成分分析抽出波形

表 4 : 測定された心拍間隔および呼吸間隔の誤差率

Result				
Comparison of the selected component with the reference signals				
Subjects	Heartbeat [%]		Respiration [%]	
	1st	2nd	1st	2nd
#1	0.6	0.9	4.4	7.3
#2	0.5	0.9	14.3	6.5
#3	0.4	0.5	2.3	2.0
#4	0.6	0.8	3.0	2.7
#5	0.7	0.7	3.0	2.0
#6	1.2	1.6	6.3	3.8
#7	1.8	1.1	3.8	3.4
#8	1.9	0.6	5.7	6.9
#9	1.4	0.7	9.8	5.0
#10	0.6	1.0	4.4	8.0
Overall	$0.9 \pm 0.4$		$5.2 \pm 3.0$	

## 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 4 件)

(1) 八江優輝, 延本周仁, 伊賀崎伴彦, 村山

- 伸樹, 胡振程 : 運転中の眠気と瞬目との関連性—眼電図からのパラメータ抽出の検討—. 電子情報通信学会技術研究報告 113(409) : 85-88, 2014.
- (2) Akbar IA, Igasaki T, Murayama N, Hu Z : Drowsiness assessment using electroencephalogram in driving simulator environment. Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Biomedical Engineering and Informatics : 150-154, 2015, 査読有.
- (3) Igasaki T, Nagasawa K, Murayama N, Hu Z : Drowsiness estimation under driving environment by heart rate variability and/or breathing rate variability with logistic regression analysis. Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Biomedical Engineering and Informatics : 189-193, 2015, 査読有.
- (4) 島井祥伍, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹, 小林牧子 : 圧電センサアレイを用いた心拍・呼吸情報の測定に関する研究—独立成分分析による心拍・呼吸成分の自動判定法の開発—. 電子情報通信学会技術研究報告 115(413) : 83-86, 2016.

[学会発表] (計 12 件)

- (1) 八江勇輝, 小川雄太, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹 : 瞬目情報のロジスティック回帰分析による運転中の眠気推定. 第 66 回電気関係学会九州支部連合大会 : 熊本市, 2013 年 9 月 24~25 日.
- (2) 伊賀崎伴彦, 張英男, 村山伸樹, 胡振程 : 脳波のリアプノフ指数解析を用いた運転中の眠気弁別. 第 30 回日本脳電磁図トポグラフィ研究会 : 福岡市, 2014 年 1 月 11~12 日.
- (3) 八江優輝, 延本周仁, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹 : 垂直眼電図のロジスティック回帰分析を用いた運転中の眠気推定に関する研究. 平成 26 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 飯塚市, 2014 年 3 月 1 日.
- (4) 長澤一樹, 延本周仁, 八江優輝, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹 : 心拍変動を用いた運転中の眠気推定—ニューラルネットワークによる強い眠気の種類—. 第 67 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 鹿児島市, 2014 年 9 月 18~19 日.
- (5) 伊賀崎伴彦, 八江優輝, 村山伸樹, 胡振程 : サポートベクターマシンを用いた垂直眼電図による眠気分類に関する検討. 生体医工学シンポジウム 2014 : 小金井市, 2014 年 9 月 26~27 日.
- (6) 伊賀崎伴彦, 八江優輝, 村山伸樹, 胡振程 : 垂直眼電図のサポートベクター分類を用いた眠気推定に関する検討. 第 44 回日本臨床神経生理学学会学術大会 : 福岡市, 2014 年 11 月 19~21 日.
- (7) 長澤一樹, 延本周仁, 八江優輝, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹 : 心拍変動と呼吸変動を用いた運転中の眠気推定—ロジスティック回帰分析を用いた眠気の種類—. 平成 27 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 福岡市, 2015 年 3 月 7 日.
- (8) Igasaki T, Yae Y, Enmoto N, Murayama N, Hu Z : Study on strong drowsiness classification by vertical electrooculogram using support vector machine. 2015 The International Conference on Complex Medical Engineering : 岡山市, 2015 年 6 月 18~21 日.
- (9) 島井祥伍, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹, 小林牧子 : 複数の圧電センサと独立成分分析による心拍・呼吸間隔測定の検討. 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2015 : 飯塚市, 2015 年 9 月 2~4 日.
- (10) Igasaki T, Nishiyama H, Murayama N, Hu Z : Examination of automatic eyeblink detection by horizontal-vertical electrooculograms under driving environment. 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2015 : 飯塚市, 2015 年 9 月 2~4 日.
- (11) 長澤一樹, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹, 胡振程 : ロジスティック回帰分析を用いた呼吸による運転中の眠気分類. 第 68 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 福岡市, 2015 年 9 月 26~27 日.
- (12) 島井祥伍, 伊賀崎伴彦, 村山伸樹, 小林牧子 : 圧電センサアレイを用いた心拍・呼吸情報の測定に関する研究—独立成分分析における最適分離数および成分判定法の検討—. 2016 年日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 佐賀市, 2016 年 3 月 5 日.

[図書] (計 1 件)

- (1) 林光緒, 伊賀崎伴彦, 他 50 名 : ドライバ状態の検出, 推定技術と自動運転, 運転支援システムへの応用. 技術情報協会 : 219-233, 2016.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊賀崎 伴彦 (IGASAKI TOMOHIKO)  
 熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授  
 研究者番号 : 70315282