

平成 19 年度研究報告書

研究代表者

島根難病研究所 遺伝体質研究部門

所属 財団法人島根難病研究所

氏名 亀井 勉

1. 研究テーマ

指尖容積脈波を用いた飲酒状態の検知に関する実験的研究

指尖容積脈波を用いた入眠予兆に関する実験的研究(継続)

2. 研究者氏名

村田幸治, 亀井 勉¹

3. 研究概要

) 序論

入眠予兆検知着座センサーによる居眠り運転防止技術を応用したステップアップ研究として、飲酒運転の検知システムの開発にあたり、分担研究として医学的な立場からの調査、検討を実施した。具体的には、アルコール摂取に対する人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別についての調査、検討を行った。さらに、入眠予兆現象と飲酒状態との関連性についての医学的検討を行った。

) アルコール摂取に対する人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別

(目的)

指尖容積脈波から得られた生体信号の解析により、アルコール摂取に対する人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別を行うために、飲酒実験を行った。酒気帯び運転の基準としては、「呼気アルコール濃度」を用い、飲酒の程度を客観的に判断する指標とした。

この実験では、被験者 5 名(20-40 歳台の成人男性)に対し、呼気アルコール濃度の測定と共に、指尖容積脈波、末梢血流速度、心拍などの各生体信号の同時計測を行った。なお本実験は、(株)デルタツーリングと共同で行った。

(測定項目と実験方法)

被験者には、あらかじめ飲酒実験とは別の日にエタノールパッチテストを行い、5 名とも活性

¹ 財団法人島根難病研究所

型であることを確認した。

実験は、リラックスした座位姿勢で行い、指尖容積脈波、末梢血流速度、心拍の計測を行った。これら生体信号の計測は、飲酒前に20～30分間の計測を1回行い、その後飲酒(日本酒: アルコール15度、1合180ml)をして、飲酒後に最も血中アルコール濃度が高くなるとされている20-50分後の30分間(または20-40分後の20分間)に飲酒後1回目の計測を行った。その後、時間経過による変化を見るために、90-120分後(または90-110分後)に2回目、160-190分後(または160-180分後)に3回目の計測を行い、飲酒前後で合計4回の測定を行った(注:5名のうち3名は30分間計測を行い、残りの2名は20分間の計測を行った)。また、生体信号の計測前後には呼気中のアルコール濃度を測定した(呼気アルコール濃度については、各々3回の測定を行い、平均値を算出した)。

次に、飲酒と食事摂取との関連を検討するため、上記の被験者5名のうち、4名については、昼食を摂取後3時間以上あけた空腹状態で飲酒実験を開始した(実験A)。また、残りの1名は昼食を摂取した直後に飲酒実験を開始した(実験B)。

生体信号の採取には、赤外線発光ダイオードとフォトランジスタで構成される指尖容積脈波収集装置の他に、呼吸センサー、レーザー血流計、心電計、呼吸や心拍などによって生じる背部の生体信号を採取するためのエアバック着座センサーを用いた。計測したデータはA/D変換を行った後、PCにて処理を行った。また、指尖容積脈波を2段階微分することにより、加速度脈波を得た。呼気アルコール濃度の測定には、アルコール検出器(CA-2000)を用いた。

(データ解析の方法)

指尖容積脈波の解析

指尖容積脈波は、FFT周波数解析を行い、各測定時間(計4回)でのパワースペクトルを算出した。

加速度脈波の解析

図-1に示すように、加速度脈波の波形は、収縮初期陽性波(a波)、収縮初期陰性波(b波)、収縮後期再上昇波(c波)、収縮後期再下行波(d波)および拡張初期陽性波(e波)に分類される。波形の解釈にはb波からe波までのそれぞれの波高をa波高で除した値(b/a 、 c/a 、 d/a 、 e/a)が用いられる。加速度脈波加齢指数(SDPTGAI: second derivative of photoplethysmogram aging index)(別名、血管年齢)は、 $(b-c-d-e)/a$ で定義される。血管年齢は、器質的な血管壁硬化(生活習慣病における動脈硬化)と機能的血管壁緊張の両者の影響を受けて変化する。

すなわち、器質的な血管壁硬化のみならず血管内圧の上昇や血管収縮によって生じる機能的な血管壁緊張による血管の硬さの変化を情報として含んでいる。生活習慣病で脈波を用いた血管年齢の検査を行う時にはこの点に十分注意する必要があるといわれている。今回の実験では、この事実を逆に利用することで飲酒の検知に応用できないかと着想した。即ち、器質的な血管壁硬化は長年の生活習慣病の結果として形成されるものであり、飲酒の前後で突然の変化

が生じるとはいえない。一方、アルコールの薬理的作用によって、血管収縮性交感神経の活動が抑制され末梢血管が拡張することが知られている。従って、飲酒の前後で血管年齢の変化を追跡することにより、飲酒の判定が可能となることを見込まれる。また、血管年齢については、すでに医学的には一定の評価がなされているため、末梢循環動態をモニターする指標として活用すること自体には問題が無いと考えられる。

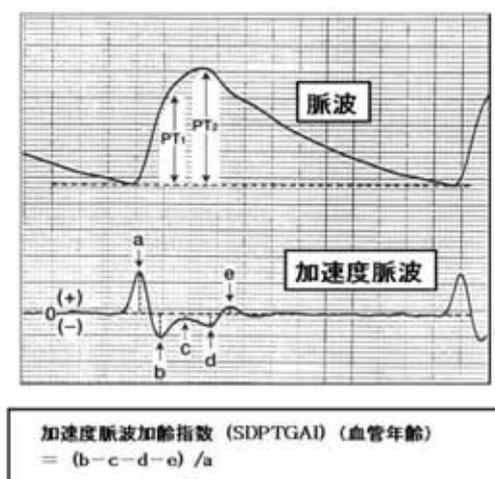


図 - 1 加速度脈波と血管年齢の算定方法

さらに、飲酒前後の生体信号の変化を、できるだけ短時間で定性的なパターン認識により簡便に判定する方法を検討するため、での加速度脈波データ(飲酒前後で計4回の測定)から血管年齢を算出し、その各測定時間の最初の3分間の血管年齢データを用いてカオス解析によるアトラクターを描出し、アトラクターの性状変化に基づいたパターン認識の可能性を検討した。

(なお、エアパック着座センサーにより採取した信号は、島根難病研究所の分担研究の部分とは直接関連しないため、解析結果については当研究所の報告書での掲載を省略した。また、血流速度のデータは、内容的に指尖容積脈波とまったく同じ情報を示していることが確認されたため、報告書への掲載は割愛した。)

(実験結果)

実験Aの結果

図 - 2 に、指尖容積脈波のパワースペクトルを示す。アルコールの摂取によって、指尖容積脈波の揺らぎの中心周波数が一旦高周波数帯にシフトし、時間の経過に伴って元の周波数帯に近づいていく(戻っていく)ことが確認された。また、図 - 3 に、指尖容積脈波中心周波数と呼気アルコール濃度の経時的变化を示す。今回の検討では、脈波の中心周波数の変動が、飲酒の際の呼気アルコール濃度の変動と、動向が一致していることが確認された。また、指尖容積

脈波の中心周波数と呼気アルコール濃度の変化は、飲酒後 200 分(約 3 時間)程度ではほぼ飲酒前の状態に戻ることも確認された。20 分間計測と 30 分間計測で、データの解釈に相異は認められなかった。

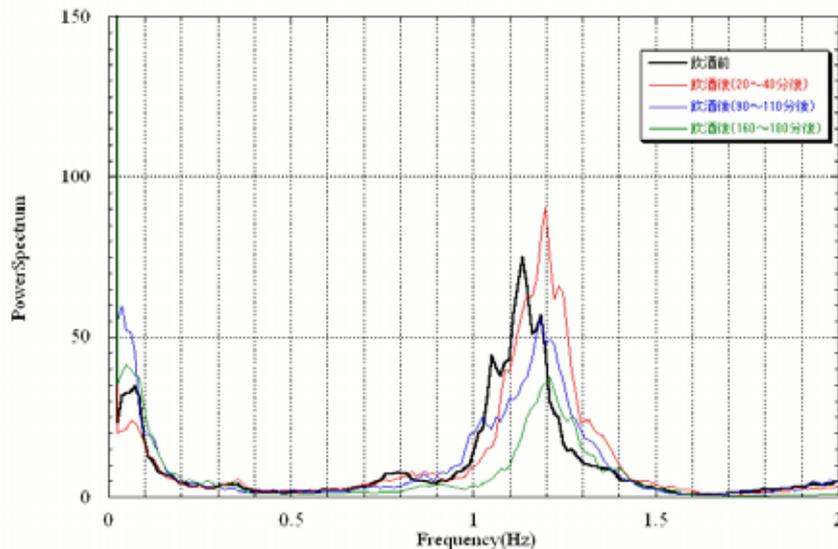


図- 2 指尖容脈波の周波数解析(空腹時)

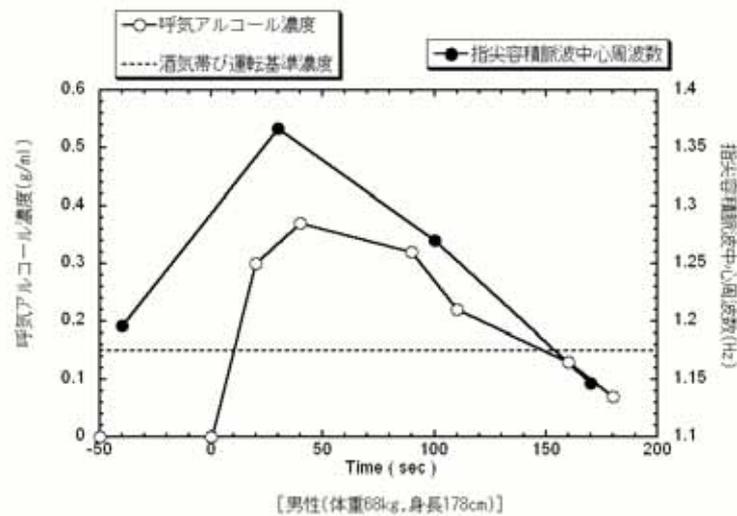
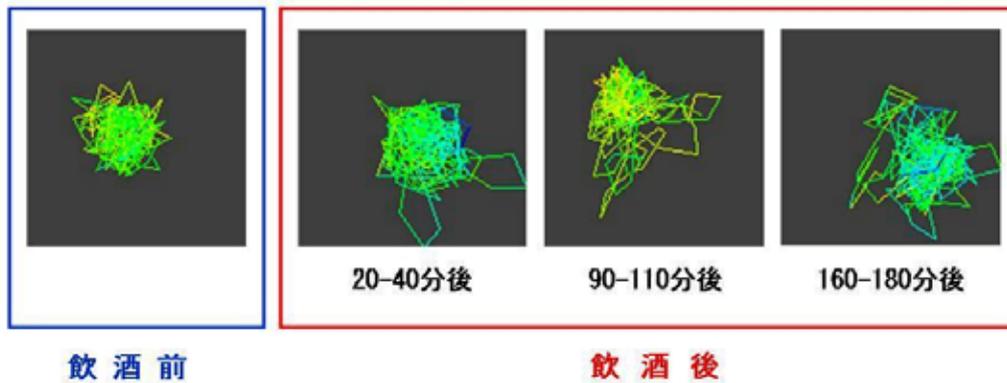


図- 3 指尖容積脈波中心周波数と呼気アルコール濃度の経時的変化(空腹時)

次に、図 - 4 に加速度脈波から算定した「血管年齢」の各測定時間での最初の 3 分間のデータによるアトラクターを示す。飲酒前と飲酒後での比較を行うと、飲酒の前後でアトラクターの性状に相違が認められた(この事例ではアトラクターの性状パターンとして飲酒後に血管年齢アトラクター全体の「揺らぎ」が大きくなることが判明した)。さらに、飲酒による血管年齢アトラクターの性状パターンの変化が、最初の 3 分間の計測で検知できる可能性が示された。



男性（体重68Kg、身長178cm）

図 - 4 血管年齢アトラクターの経時的変化（空腹時）

実験Bの結果

図 - 5 に、指尖容積脈波のパワースペクトルを示す。食事(昼食)摂取直後にアルコール摂取を行った場合でも、指尖容積脈波の揺らぎの中心周波数が一旦高周波数帯にシフトし、時間の経過に伴って元の周波数帯に近づいてく(戻っていく)ことが確認された。次に、図 - 6 に、指尖容積脈波中心周波数と呼気アルコール濃度の経時の変化を示す。今回の検討では、食事摂取直後にアルコール摂取を行った場合に、空腹でアルコール摂取を行った場合と同様に、脈波の中心周波数は変化を示したが、呼気では飲酒の事実を検知されなかった。また、この事例の場合では、脈波の中心周波数変化は、飲酒後 200 分(約 3 時間)が経過しても飲酒前の状態に戻ることは無かった。食事摂取直後では、胃内容物があることでアルコールの吸収が遅延するため、結果的に長時間にわたってアルコールの影響が体内に残留することを示したデータではないかと考えられた。

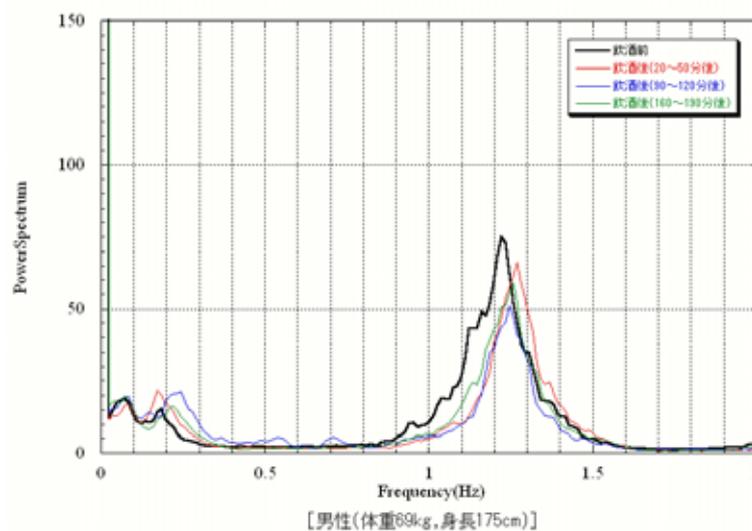


図- 5 指尖容脈波の周波数解析（食事直後）

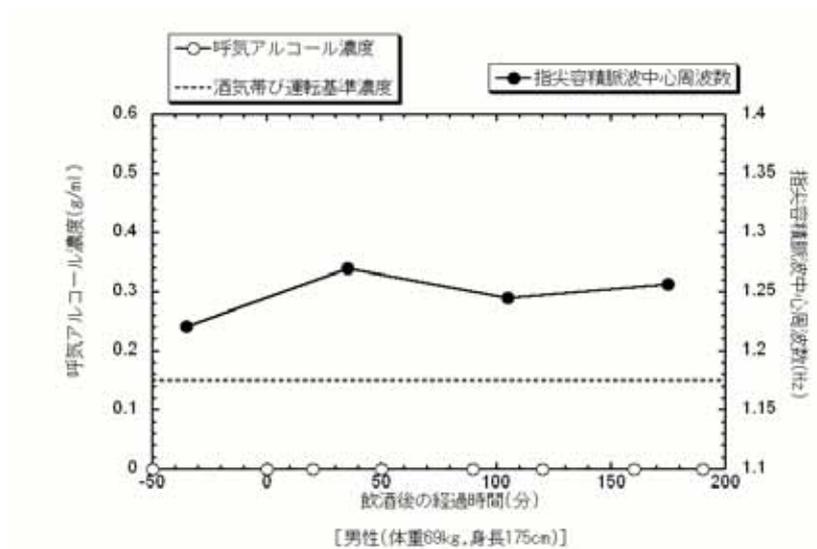


図 - 6 指尖容積脈波中心周波数と呼気アルコール濃度の経時的変化（食事直後）

次に、図 - 7に加速度脈波から算定した「血管年齢」の各測定時間での最初の3分間のデータから構成したアトラクターを示す。飲酒前と飲酒後での比較を行うと、食事直後にアルコール摂取を行った場合であっても、飲酒の前後でアトラクターの性状に相違が認められることが確認された（この事例では、アトラクターの性状パターンとして、飲酒後に血管年齢アトラクター全体の「揺らぎ」が小さくなり、アトラクターの形状が丸くなることが判明した）。また、空腹での場合と同様に、血管年齢アトラクターの性状パターンの変化は、やはり3分間の計測で検出できる可能性があることが示された。

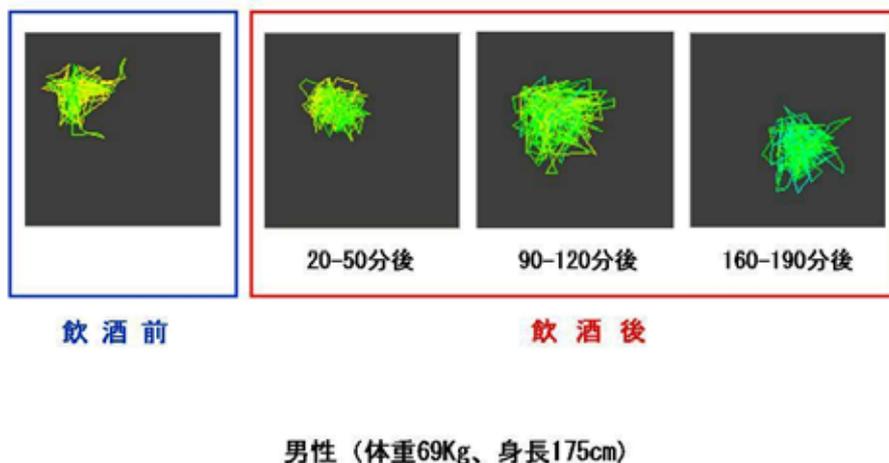


図 - 7 血管年齢アトラクターの経時的変化（食事直後）

（結論）

- (1) 指尖容積脈波や加速度脈波といった生体信号を利用することにより、人の平常状態と飲酒状態の医学的な判別が可能になることが分かった。
- (2) 指尖容積脈波の周波数解析により、アルコールの摂取によって指尖容積脈波の揺らぎの

中心周波数が一旦高周波数帯にシフトし、時間の経過に伴って元の周波数帯に近づいていく(戻っていく)ことが確認された。また、この中心周波数の変動は、飲酒の際の呼気アルコール濃度の変動と、動向が一致していることが確認された。また、加速度脈波から算定した「血管年齢」のカオス解析により、血管年齢アトラクターの性状パターンの変化から 3 分間の計測でアルコール摂取の有無が検知できる可能性があることが示された。

(3) 今回の飲酒実験の過程で、食事摂取直後にアルコール摂取を行った場合に、呼気では飲酒の事実を検知されなかったにもかかわらず、指尖容積脈波の中心周波数の解析や加速度脈波から算定した「血管年齢」のカオス解析では、空腹でのアルコール摂取の場合に認められるのと同様の変化を示した事例が認められた。さらに、今後慎重な検討を行っていかなくてはならないが、今回認めた事例は、食事摂取などの影響や呼気アルコール濃度の検査のタイミングによっては、呼気によるアルコール検知の結果のみで飲酒の事実を否定することには一定の限界があることを示しているものと考えられる。

) 運転者の平常状態および飲酒状態と入眠予兆現象の相関についての医学的な検証

(目的)

昨年度までの研究の中で、指尖容積脈波のカオス解析により末梢循環系の変化から覚醒期において睡眠段階への移行を予兆する現象(以下、入眠予兆現象)が検出できる可能性を報告してきた。今年度の研究では、平成18年度に得られた睡眠実験のデータについて、アルコールの摂取に伴う生理学的な知見(特に、自律神経系への影響に関する知見)等を踏まえて、自律神経系の変化という観点から、入眠予兆現象と心拍パワースペクトルとの関連について、改めて医学的な検討を行った。なお、本検討は(株)デルタツーリングと共同で行った。

(方法)

平成 18 年度に得られた睡眠実験のデータについて、入眠予兆現象(指尖容積脈波の時系列信号をカオス解析して得られた最大リアブノフ指数の傾き時系列波形)と心拍パワースペクトル(心電図の解析から得られる自律神経の活動レベル)(HF:副交感神経活動, LF/HF:交感神経活動)との関連について、自律神経系の変化という観点から再度検討をおこなった。その際、覚醒から入眠への移行と、アルコールの摂取といった異なる行為ではあるが、自律神経系の挙動を見ると、生理学的には類似性した現象であることに着目し考察を行った。

(結果と結論)

覚醒期に最大リアブノフ指数の傾き時系列波形の振幅が最大となる時期(即ち、入眠予兆現象が検知される時期)の前後にほぼ一致して、交感神経の活動を示す心拍パワースペ

クトル成分(LF/HF)に一過性的上昇(バースト)が見られ、その回数やバースト高さの減少、および LF/HF の基線の低下が徐々に進行していることが確認された(図 - 8)。このことは、入眠予兆現象には、覚醒から入眠に至る過程で交感神経の活動レベルが徐々に低下していくという生理学的な事実が反映されていることを示しているものと考えられる。

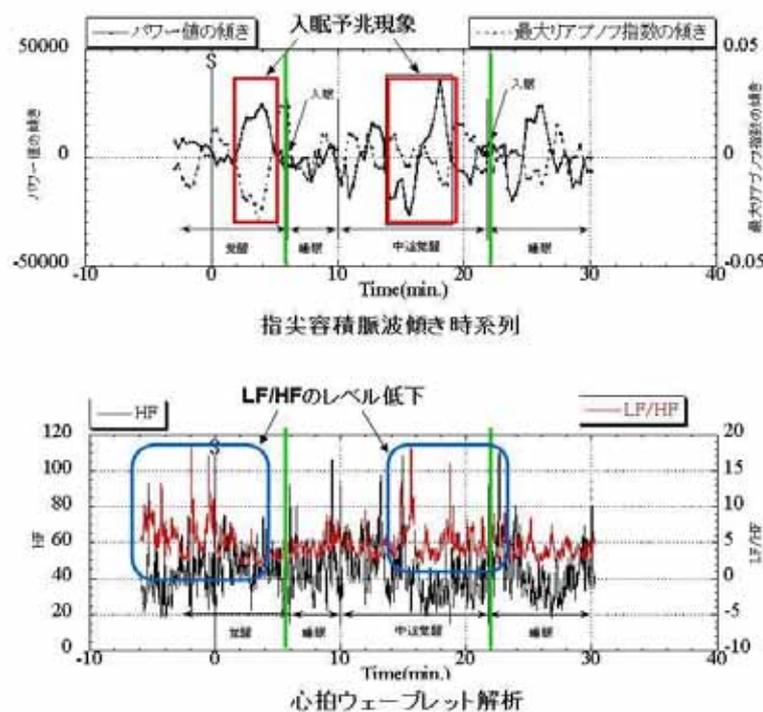


図 - 8 入眠予兆現象と心拍パワースペクトル

一方、アルコールの摂取により交感神経の活動が抑制されることが知られている。今回の再検討の結果は、アルコールの摂取による脳機能の抑制に伴って生じる強度の酩酊や泥酔という状態に至らない程度の飲酒量(例えば、日本酒で1合程度)であったとしても、アルコールの摂取により交感神経の活動レベルの低下が一層強められることを考慮すれば、飲酒状態は「覚醒から入眠に至る過程で入眠予兆現象の発現を促し、平常状態と比較して、覚醒から入眠への移行を生じやすくさせる」可能性があることが示唆された。

4. 学会機関誌もしくは学会への関連論文(演題)発表状況(当該研究テーマに関連したもののみ掲載)

1) 論文発表

国内 1 件、海外 2 件

[1] 村田幸治、小島重行、落合直輝、亀井 勉、藤田悦則: 末梢循環系の変化に関連した生理指標と入眠予兆現象の関連性についての検討. 人間工学 43: 196-197, 2007.

- [2] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, T. Kamei, K. Murata, Y. Ueno, S.Kaneko: Simplified appraisal method for fatigue on sitting for extended periods by using finger plethysmogram. J. Optoelectron. Adv. Mater. (in press)
- [3] E. Fujita, Y. Ogura, N. Ochiai, K. Murata, T. Kamei, Y. Ueno, S.Kaneko: Development of a technique for capturing Sleep Predictor Signals during wakefulness. J. Optoelectron. Adv. Mater. (in press)

2) 口頭発表

国内 1件、海外 0件

- [1] 村田幸治:「入眠予兆現象」入眠予兆現象の検出と医学的検証. 第5回夏の学校「自動車関連技術の基礎から応用まで」, Dynamics & Design Conference 2007. 2007年9月、東広島市.

3) その他(研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等)

国内 2件、海外 0件

- [1] 藤田悦則, 小島重行, 小倉由美, 村田幸治, 亀井 勉, 槌田雄二, 榎園正人, 緑川 洋一, 秋田 昌憲, 金子成彦, “快適シート技術”, 自動車技術, Vol.62, No.2(2008), 33-41.
- [2] 亀井 勉, 村田幸治, “居眠り運転10分前に検知～島根難研「防止座席」実用化へ”、産経新聞、平成20年4月1日(朝刊)