

者の運転能力を十分に引き出し安全運転を遂行するだけでなく、健康を維持することができるシステム開発の方向性が考えられる。

例えばアロマには、様々な鎮静効果や興奮効果の存在が指摘されており、ローズ、ラベンダー、ベルガモットなどのアロマには鎮静効果が、レモン、オレンジ、ジャスミンなどには興奮効果が報告されており、交感神経、副交感神経のバランスコントロールに有効である可能性がある。この作用を応用すれば、自律神経を自動的にアロマで制御する乗用車が具体化できる理論の実現が期待されることになる。また、経穴に対する東洋医学的な施術はある程度確立され、欧米では医療費削減の切り札として注目されている。従って、本システムにおける診断の方法論を用い、図1に提示するようにドライバーシート内蔵プログラムで経穴に対する指圧刺激、温灸刺激を与えれば、運転中の健康を守るのに有効である可能性もあるので実業化の将来性が期待できる。

オバマ政権下で医療制度改革が話題になっているが、国民皆保険制度のわが国では、例えば高齢者の場合、保険証に何らかの病名の記載がない症例の方が珍しい。これらある意味での何らかの持病を持っている運転者に対しては、定期処方に準じた温灸治療などの方法論も考えられる。例えば、いわゆるお腹の弱い患者などが、体調の悪い状態で運転を行わなくてはならない場合等でも、安全ベルトなどに内蔵した天枢等の経穴に対する自働温灸治療装置の作動により、運転中に温灸治療を行い、体調を整えるなどの展開も考えられている。

高齢者が乗車するだけで、診断、更には治療まで行うことができる新たなツールとして、東北大学は、多くのメーカーなど企業とともに、空調、アロマ、及び、シート内蔵経穴自動刺激指圧・温灸プログラムによる診断と治療の方法論を装備した新しい自動車の開発研究に着手した。

III. 運転中に適切な診断に基づいた治療を行う方法論の展開

運転者が健康でなければ、当然ながら運転能力は落ちる。しかしながら、運転者の体調状態が最適でない場合、その対策として、ただ運転を禁止するだけでは、現実の世界では応用が難しいことは明らかである。過疎地帯に住居する高齢者が、食糧がないので乗用車を出掛けようとして、体調センサに引っかかって乗用車

が動かないのでは、極端な話、食事すらできなくなり、人道にも悖るという批判にさえ、耐えられないことになってしまう。

つまり、現実を顧みれば、例えば体調不良の場合でも、できるだけ運転を見合わせていただくアドバイスをするだけでなく、必要な場合は、運転者の体調に応じて、体調を整え、できるだけ安全運転をしていただくための何らかの方法論が必要とされるということになる。

温度湿度などをコントロールする空調は、たいへん優れたシステムが各社で開発されており、目標値に設定して自動制御することももちろん、風向きを自動調整することも、心地の良いゆらぎを与えることも技術的に可能である。

過去の知見に基づき、図1に提示するようにドライバーの心臓血管機能、自律神経機能、及び血圧反射機能などを適切に定量診断し、体調を整えるアドバイス、体調に応じた運転のアドバイスをカーナビに表示し、あるいは、音声でアドバイスをを行い、空調からは、体調に合わせた適切な温度・湿度に維持する刺激システム、及び、体調を整え、運転能力を向上させるアロマを供給し、ドライバーシートからは、東洋医学の経穴の部位に対して、体調に応じた適切な指圧、温灸などの刺激が加えられるシステムの発案を行い、特許の申請を東北大学などから行っている⁹⁾。

自動車科学が世界で最も進んでいるとも言われる日本では、過去にこのような方法論で運転中の体調をモニターする方法論はいくつか提案が行われており、デンスーからは、心拍変動でモニターする方法論、ケーアンドエスからは、運転中の発汗などで体調をモニターする装置などが特許申請されている^{20,21)}。

東北大学のスマートエイジングプロジェクトでは、これらの様々な生体情報に基づき、運転者の自律神経機能を制御し、アロマ、経穴物理刺激などの方法論により、自律神経バランスをコントロールし、体調を整えることができる可能性についての研究に着手した。体調を診断する方法論として心拍、脈波、血圧、脈波伝播速度などから解析される循環動態、脈波の二次微分から計算される指数、心拍変動、脈圧変動の周期性解析によるゆらぎ解析、脈波伝播速度から解析される動脈ステイフネスやそのゆらぎ成分、更に心拍に求められる心臓の血圧反射機能や、動脈の血圧反射機能の定量診断指数を、カーナビへのフィードバックや、空調、アロマ、指圧、温灸の稼働開始にスイ

ツチングする方法論を計画している。

IV. 乗用車に内蔵できる診断治療法の具現化の可能性

東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の厳正な審査を経て、健康な男子医学生 21 例のボランティアを対象に、インフォームドコンセントを書面で採取し、様々なアロマが、運転行動中の高次脳神経機能による行動パターンをシミュレートした運転能力機能検査中の自律神経機能や運転実行機能に与える影響について研究を行った。アロマはレモンとローズの市販の芳香剤を用い、運転能力を判定する様々なシミュレーションテスト中に自律神経機能を定量診断するための血行動態時系列計測を試みた。心拍変動は心電図モニタリング装置、脈波は桡骨動脈圧センサ、心拍出量は、インピーダンス式心拍出量モニタリングデバイスを用いて解析した。血行動態定量診断はリアルタイムで可能であるが、ゆらぎ解析、血圧反射機能解析のために、パーソナルコンピュータ内にデジタルデータとして記録し、オフライン解析を試みた。平均年齢は 24.6 ± 1.1 歳、身長は 172.7 ± 4.6 cm、体重は 66.9 ± 6.3 kg、全員男性の医学部学生である。東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の認可の後、インフォームドコンセントを採取し、実験前にアラウザルの反応性のアンケート調査を行っている²⁰。

具体的には、資生堂におけるアロマデータ収集法に準じ、脱脂綿を入れた小瓶にローズ (180 μl) とレモン (60 μl) の精油を滴下し、この小瓶を被験者の頸部にペンダント状に装着させてアロマ刺激を試みた。実験を 3 日間に分け、順序はランダムに、無香料、ローズ香料、レモン香料による刺激を、日を変えて行った。

運転行動における安全性能力をシミュレートする認知機能検査プログラム開発を試み、実験に供している。具体的には、運転中に、空間における異物の注意能力を計測するための、ディスプレイ内でランダムな場所に出現するターゲットにボタン押しでレスポンスする空間注意課題、更に空間注意課題に計算課題を加え、複雑な認知機能能力を定量化する空間注意+加算課題。更に、また、空間配置における 1 つ前の刺激位置を思い出す空間配置 N-back 課題、遮蔽物の中に侵入して一時視界から隠れたポイントの再現のタイミングを推定する能力を検出する速度見越し課題等の 4 つの認知機能テストを行い、自律神経と運転能力の関連性

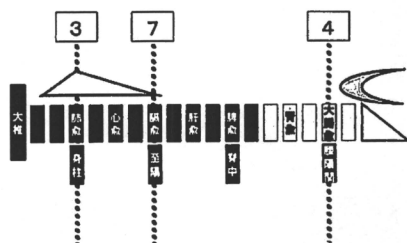


図 6 脊椎と代表的経穴の位置関係

について探求した。

3 日間に分けて実験を行ったところ、風邪をひいて香りがわからなくなった被験者と、約束を守れず計測に來なかった被験者を除き、17 例を対象に解析を行うことになった。

胸部 NASA 誘導による心電図記録 (ECG100C, Biopac system)、桡骨動脈に接触させた動脈圧センサによる動脈圧時系列曲線、胸部インピーダンス法による心拍出量時系列曲線 (Dash3000, GEJapan, Tokyo) の記録を行った。これらの実験と並行して、脈波診断装置 (U-medica Inc, Osaka, Japan) を用い、3 分間前後の軽いシート内蔵自動マッサージ施行前後において、血行動態、自律神経機能の変化を加速度脈波診断と、脈波変動ゆらぎ診断から解析を行っている。実験は、Medical Chair3A (Family, Japan) を用い、様々なモードで経穴指圧刺激を試みている。図 6 に脊椎と代表的経穴の位置関係を提示する。この基本的位置関連に則り作成された経穴のエリア別分類による指圧刺激の概念図を図 7 に提示する。実験では、これらを順次刺激する全身指圧モードも試みている。

体調の勝れない高齢者に対して東洋医学ではルーチ的に百草などを経穴の上で燃やして温熱刺激を行う温灸療法が試みられる。これは、一定の部位を温熱刺激する方法論なので、当然、定量的、科学的な方法論で代替療法を考えることができる。そこで東北大学では、定量的、科学的な温灸療法を目指して新しい方向性による温灸治療装置を発明し、特許申請を行ったが、この方法論はドライバシートに内蔵することもできる。現在、腹部不定愁訴を訴える対象のために、天枢に対する安全ベルト内蔵型の温灸刺激装置を開発しており、健康ボランティアに対し、その上腸間膜動脈血流に対する賦活作用などを究明している。

本稿における実験は、探索的な側面も存在するため、

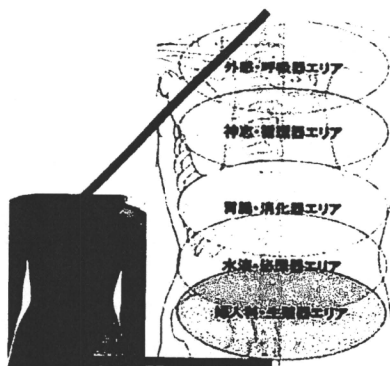


図7 背面と経穴の内臓領域に関する分布

オフラインで行われているが、将来的にはオンライン解析によりリアルタイムフィードバックが行われる予定である。

運転行動をシミュレートする認知機能検査及びアロマ刺激中における記録された時系列の一例を図8に提示する。アロマと認知機能検査の負荷により、循環動態に若干の影響が観測される。そこで、この観測結果における循環動態を、無香料刺激時の時系列データと比較することで、定量的な評価を試みている。

例えば、レモン香料アロマ刺激を行った場合には、無香料の場合と比較して、同じ運転行動をシミュレートした認知機能負荷検査時の心拍数を比較すると、若干の増加傾向が観測されるので、無香料の時系列を基準に換算してみると、レモン香料刺激時には、ローズ香料の刺激時に比較して、増加の傾向が若干認められる。また心拍変動のLF/HFでも、レモン香料では、ローズ香料と比較してやや増加傾向が観測される。血圧反射機能による定量解析では、心拍における血圧反射機能の感受性を示す傾き値や、線形性を表す ρ_{max} にはあまり大きな変化は観測されなかった²⁰⁾。

興味深いことに、運転行動をシミュレートした認知機能テストの結果と、血行動態の反応性には若干の関連性が認められる結果が一部得られている。すなわち、アロマ刺激で血行動態に反応性が観測されれば、その反応性に準じて認知機能テストの結果が変動している。例えば認知機能テストとアロマで心拍数が増加すれば、反応時間が短くなり、心拍が遅くなれば反応時間は遅く、運転が鈍重になる。また、一回拍出量が大

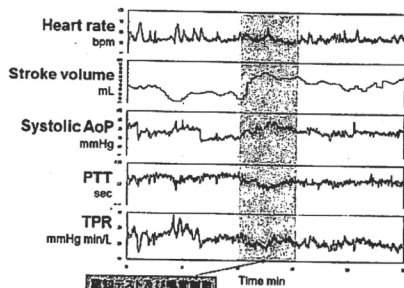


図8 運転行動をシミュレートする認知機能検査とアロマ刺激が血行動態時系列曲線に与える影響の一例

きくなれば、反応が遅くなる。これは、アロマに鋭敏に反応する生体は、アロマに反応して運転行動も変化する傾向を提示していることになる。従って、運転行動を、自律神経機能を介して制御できる方法論の萌芽的な可能性を示唆する面で興味深い。すなわち、交感神経優位になれば運転行動の反応性は素早くなるものと推察されるので、この現象を応用すれば、ドライブ中の体調によって運転が上手になるアロマコントロールシステムの具現化の可能性も期待できることになる²⁰⁾。

これは、アラウザルに顕現される生体反応性を考察する上でも興味深いデータと思われる。アラウザルは覚醒水準とも訳され、心身の活性を指す概念であり、活力アラウザル、緊張アラウザルの二次元で提示されるのが標準的になっている。活力アラウザルは全般的活性と、脱活性（睡眠・眠気）との2つの要素で構成される活性化次元であり、緊張アラウザルは高活性と全般的脱活性（弛緩）で、緊張からリラックスまでの感情やストレスと関与する次元と言われる。すなわち、運転行動をシミュレートする認知機能検査中のアロマ刺激により、図9、10に提示するように香料の種類によりアラウザルの反応性が変化している。この現象と、運転行動の認知行動結果と合わせて考察すれば、最適な運転行動を促す自律神経反応を惹起させるアロマ刺激の実現性を示唆させる面で将来性が期待される。

アロマ刺激も、このように、自律神経機能コントロールシステムとしての可能性を期待させているが、本研究で発明されたシステムでは、更に、ドライバーシート内蔵型のマッサージシステムの自律神経コントロール装置としての実現性を期待している。

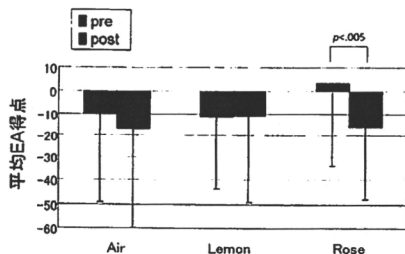


図9 認知機能テスト前後の活力アラウザルの変動

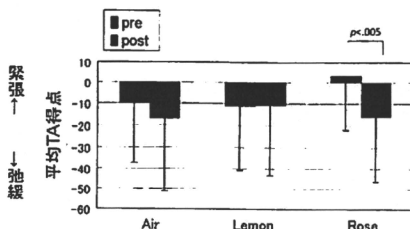


図10 認知機能テスト前後の緊張アラウザルの変動

シート内蔵型の全身マッサージ施行前後で比較を行うと、脈波、加速度脈波の波形に著明な変化が観測される症例も散見された。マッサージ前後における指尖容積脈波から計算された二次微分曲線を観測すると、マッサージの前後における加速度脈波の波形成分、a波、b波、c波、およびd波等の波高に有意の変動が観測される。これらの波形解析により、血管年齢など様々な指標がいくつかの方法論により多くの施設から報告されているが、この波形変化を血管年齢に換算すると、我々の実験では、マッサージ後に血管年齢が若年化しており、動脈系の弾性的な変化が示唆されていることになる。

このように加速度脈波から、ドライバーシート内蔵の指圧による循環動態の変動などが観測されるが、指尖脈波による加速度脈波計測は、その簡便な計測性とクイックな反応性から、生体に対するフィードバック刺激を与える際のモジュールとして有効性が確認される結果が得られたものと思われた。

自律神経機能解析を施行するために脈波変動から、脈波変動指数 LF/HF を計算し、図11に提示する。このようにシート内蔵マッサージにより、自律神経機能のコントロールが具現化される可能性が示唆されたもの

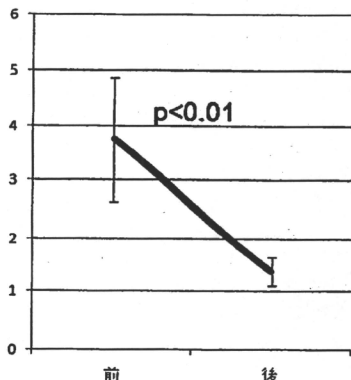


図11 シート内蔵マッサージ前後の心拍変動 LF/HF

Change of SMA Blood Flow Volume

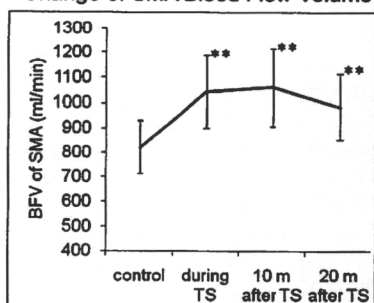


図12 ドライビングシート安全ベルトシステムなどに内蔵可能な温灸刺激装置による天枢刺激に対する上腸間膜動脈血流増加作用

のと判断された。

消化管を支配する経穴の一つである天枢に対する温灸治療をドライバーシート内蔵型や安全ベルト内蔵型に展開した際の、上腸間膜血流量に対する作用を図12に示す。天枢に対する温灸療法は、上腸間膜動脈血流量の増加傾向が観測され、その効果は治療を停止した後も持続されるので、自律神経系などを介した間接作用によるものと推測できるかもしれない。

また、運転中は当然、ハンドルを握っているため、これによる経穴刺激装置の開発も将来性が期待される。入眠補助、あるいは、ビジネスなどに向けた覚醒

度アップの補助のために市販されている掌電気刺激装置ストレスリムパpulse egg (Homer ion)を用いた電気刺激パターンなどの実験も試みられている。健康なボランティア9症例を対象に、大型のドライビングシミュレータを用い、運転シミュレーション前後の掌電気刺激の効果が研究されている。例えば、図13に提示するように、ドライブ後に電気刺激で脈波伝播速度の有意な変化が観測されている。9例の検討では、ドライビングシミュレータはエンターテインメント感覚があるのかむしろ血管は緩んで脈波伝播速度は減少し、掌の経穴に対する電気刺激により、血管緊張は高まって脈波伝播速度は上昇する。従って、運転途中で眠くなった時などには、良い選択肢と言えるかもしれない。

今後、高齢の乗用車運転手は増加傾向になると思われるが、運転中の循環動態を、脈波、呼吸、心電図、脈波伝播速度などを解析して、心臓血管機能・自律神経機能を自動診断するシステムは、原理的には可能である。個々のドライバーの診断データに基づき、適切なアロマ刺激、経穴刺激、温灸刺激、マッサージなどを負荷して、運転者に対して医学的インターベンションを加えることにより、例え高齢者でも、できるかぎり体調を最適に保ち、あるいは、大いに改善し、安全運転を行うことができる乗用車は将来性があるものと期待される。すなわち、スマートエイジングのコンセプトにより、乗車すれば、より健康になる乗用車が実現する可能性は、近未来において否定できないものと期待される。

V. 運転するだけで、より健康に、更に運転がうまくなる乗用車を目指して

早くも18世紀には、蒸気自動車の発明が行われたとの記録もあるが、現在のガソリン自動車は19世紀

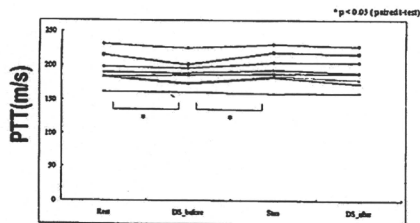


図13 掌電気刺激装置によるドライビングシミュレーション前後の脈波伝播速度比較

にその原型を見た²⁰。20世紀のアメリカでは、現在のガソリン方式が社会的基盤として実用化され、自動車移動社会としての、一大文化圏、一大産業圏を形成し、世界中に普及させてきた。2本の脚を使って歩いていた人体を怠けさせ、機械で移動させているため、健康科学の上では、乗用車はもともと議論の提唱になり得る存在でもあった。

公的移動手段のインフラ整備が遅れる日本では、乗用車がないと生活そのものが成り立たない地域も多く、いくらメタボリックシンドロームが問題になり、いくら環境が重視される社会でも、自動車を制限することは、基本的人権である生存権そのものを脅かすことに直結する。

東北大学加齢医学研究所ではスマートエイジング国際共同研究センターを立ち上げ、自然に抵抗するアンチエイジングではなく、加齢とともに豊かになるスマートエイジングのコンセプトの具現化を目指している。その一環として本稿では、運転者の健康状態をモニターし、治療する試みを紹介した。

例え高齢者であっても、体調を十二分に整えることで、残された運転能力を完璧に発揮させることで、高齢化社会の運転の安全性に寄与するシステムが提案されており、将来性が期待される。

日本には数多くの自動車メーカ及び関連企業があり、運転者の体調モニターのためにハンドル装着型の心電図や脈波計の開発が進められている。RR ゆらぎの判定も可能になるので、交感神経・副交感神経のバランスが判定できることになる。東北大学スマートエイジングプロジェクトでは、自律神経機能の時系列データに基づいて運転者の自律神経機能をコントロールするための方法論開発を進めている。乗用車では空調に芳香剤を負荷することは比較的容易であり、かかる観点からアロマセラピーの可能性の探究を行った。レモンやローズのような芳香剤は、交感・副交感のバランスを整えることができる可能性が過去の知見で得られているが、本プロジェクトにおける血行動態変動、ゆらぎの変動、アラウザル等の指標、唾液中のデータにも、アロマセラピーにより自律神経をコントロールできる可能性が示唆されている。

これらのシステム開発に萌芽が見られるように、乗用車の運転中に、運転者の血行動態から心臓血管機能、自律神経機能診断を行い、カーナビゲーションシステムから適切なアドバイスを与え、体調を整え、運転能力を向上させる。また運転者の体調に応じた自律的な

動作により、ドライバースーツ及び安全ベルトなどに装着した経穴物理刺激装置により、ルーチン加療を行い、体調を整える。また、体調、自律神経バランスに応じた適切なアロマや、経穴に対するマッサージ、温灸などの物理刺激を負荷することで、交感神経・副交感神経バランスを整えることができる新しい健康維持システムの実現性について提案できた可能性があるものと思われた。また、運転の実行機能を判定するための認知機能検査の結果から、アロマにより、運転の実行機能に差が出る可能性が示唆されているので、運転中に自律神経機能を整えることで、運転能力そのものが向上できる可能性も示唆されたものと思われる。

抗加齢医学が話題になる昨今ではあるが、そもそも加齢現象は自然変化であり、不自然な手段、人工的なインターベンションで、老化に対抗しても、必ずしも長期的な、生命あるいはQOLの予後を改善するかどうかについては、定説がないどころか、抗加齢が人体にとって害悪になる可能性も決して低くはない。

そこで東北大学では、高齢者の叡智の尊重を重視し、かつ、高齢者の残存能力を十全に発揮していただく、社会経済活動により大きく貢献していただく高齢者がより幸せになるようなスマートエイジングのプロジェクトを進めている。

自動車は、今後、取り残される地域社会における唯一の生活維持手段になる可能性が高い。このプロジェクトのようなアプローチで運転手の健康状態をモニターし、自律神経機能を整えることで運転能力を向上させ、交通事故を予防し、健康を守り、もし、著しく健康が傷害されている病態では、インターネットを介していち早く病院に通報する全く新しいシステムが具現化できれば、乗用車は高齢者の健康を守る大事なパートナーになり得る将来が開けるものと期待される。

本稿の成果の一部は、東北大学モビリティ&スマートエイジングプログラム、グローバルCOEプログラム「新世紀世界の成長焦点に築くナノ医工学拠点」、先進予防健康社会仙台台クラスター広域仙台地域、及び、これらのプログラムにおける多くのプロジェクト連携企業のご協力によるものです。記して謝意を表します。

文 献

1) Sims RV, McGwin G Jr, Pulley LV, Roseman JM: Mobility impairments in crash-involved older drivers. *J*

Aging Health 2001, 13(3): 430-438

2) Sims RV, McGwin G Jr, Allman RM, Ball K, Owsley C: Exploratory study of incident vehicle crashes among older drivers. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000, 55(1): M22-27

3) Hakamies-Blomqvist L: Aging and fatal accidents in male and female drivers. *J Gerontol* 1994, 49(6): S286-290

4) Wood JM: Age and visual impairment decrease driving performance as measured on a closed-road circuit. *Hum Factors* 2002, 44(3): 482-494

5) Sekuler AB, Bennett PJ, Mamelak M: Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res* 2000, 26(2): 103-120

6) 帯刀益夫・佐竹正延 (編): 加齢医学-エイジング・ファイン, 東北大学出版会, 2007

7) Juszczak NM, Andreassi JL: Performance and physiological responses of type A and type B individuals during a cognitive and perceptual-motor task. *Int J Psychophysiol* 1987, 5(2): 81-89

8) Boufous S, Finch C, Hayen A, Williamson A: The impact of environmental, vehicle and driver characteristics on injury severity in older drivers hospitalized as a result of a traffic crash. *J Safety Res* 2008, 39(1): 65-72

9) 特願 2008-326215, 「車両用自律神経診断装置, 車両用自律神経診断方法」

10) 特願 2000-109601, 「運転者状態監視装置」

11) 特願 2004-34218, 「オペレーター用健康データ管理システム」

12) Smith SM, Potter JF, Samani NJ, Sammons EL, Rathbone WE, Bentley S, Panerai RB: Are baroreflex events detected by invasive and non-invasive techniques coincident? *Clin Physiol Funct Imaging* 2008, 28(4): 262-269

13) Tanaka A, Sugita N, Yoshizawa M, Abe M, Yambe T: Interpolation of the subjective score of visually-induced motion sickness by using physiological parameters. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2008, 1: 4595-4596

14) Selvaraj N, Jaryal A, Santhosh J, Deepak KK, Anand S: Assessment of heart rate variability derived from finger-tip photoplethysmography as compared to electrocardiography. *J Med Eng Technol* 2008, 32(6): 479-484

15) Lieb W, Larson MG, Benjamin EJ, Yin X, Toffler GH, Selhub J, Jacques PF, Wang TJ, Vita JA, Levy D, Vasan RS, Mitchell GF: Multimarker approach to evaluate correlates of vascular stiffness: the Framingham Heart Study. *Circulation* 2009, 119(1): 37-43

16) Yambe T, Yoshizawa M, Saijo Y, Yamaguchi T, Shibata M, Konno S, Nitta S, Kuwayama T: Brachio-ankle pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index (CAVI). *Biomed Pharmacother* 2004, 58: S95-98

17) Monnier M: Changes in pulse wave velocity with age. Longitudinal gerontological research over 10 years. (Basal studies, 1955-1965). *Gerontol Clin (Basel)*

1967, 9(2): 81-86

- 18) Bortolotto LA, Blacher J, Kondo T, Takazawa K, Safar ME: Assessment of vascular aging and atherosclerosis in hypertensive subjects: second derivative of photoplethysmogram versus pulse wave velocity. *Am J Hypertens* 2000, 13(2): 165-171
- 19) 山家智之, 高嶋 充, 田中 明, 南家俊介, 田林晄一, 仁田新一: 自律神経機能非線形解析システムの開発. 日本臨床生理学会雑誌 2000, 30(5): 259-262
- 20) 特願 2004-133974, 「運転者状態検出装置及びプログラム」
- 21) 特願平 9-69893, 「危険予知運転制御装置」
- 22) Ikeda H, Hayashi M: Effect of sleep inertia on switch cost and arousal level immediately after awakening from normal nocturnal sleep. *Sleep Biol Rhythms* 2008, 6: 120-125
- 23) 山家智之, 吉澤 誠. 自律神経機能コントロール装置としての乗用車の可能性. 東北大学モビリティ&スマートエイジングプロジェクト. 自律神経 2009, 46: 308-314
- 24) Eckermann E: 自動車の世界史, グランプリ出版, 1996

