

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23300245

研究課題名(和文) 広角映像を用いた自動車運転認知行動評価の研究

研究課題名(英文) Study of driving simulation test using a wide-angle image

研究代表者

小林 正義 (KOBAYASHI, Masayoshi)

信州大学・学術研究院保健学系・教授

研究者番号：80234847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：ドライバーの危険認知を評価する模擬運転装置を作成した。本装置を使った模擬運転テストでは、被験者に運転映像を提示し映像の動きに合わせて模擬運転操作を行わせ、模擬運転中の手掌部発汗(PSR)と皮膚電位反射(SPR)、ハンドル、アクセル、ブレーキの応答を評価する。
認知機能の低下が疑われる高齢ドライバーでは、SPRとPSRの応答が遅れ、ブレーキの応答は危険な場面とは一致せず正確な危険認知ができていなかった。もう一人は、テストの終盤でSPRとPSRの応答がみられず、危険なシーンを見落としていた。本装置を使った模擬運転テストは高齢ドライバーの運転技能のスクリーニング検査として有効と思われた。

研究成果の概要(英文)：We developed a driving simulator to evaluate driver hazard perception. In a driver simulator test using this simulator, the participant is asked to simulate driving in response to the movement of the image scenarios, while we evaluated palmar sweating response (PSR); skin potential reflex (SPR); and steering wheel, accelerator, and brake response for each participant. Two of the participants for who decreased cognitive function was suspected, response characteristics were considered. SPR and PSR tended to be late for the former, where the brake response did not match the dangerous scenes displayed, suggesting the possibility that hazard was not able to be accurately recognized. For the latter, no SPR or PSR was observed in the final stage of the driving simulation, and the participant may have entirely missed seeing the danger in some scenes. This driving simulation test is an effective means for screening the driving skills of elderly drivers.

研究分野：人間医工学、リハビリテーション科学

キーワード：自動車運転 危険認知 高齢者

1. 研究開始当初の背景

高齢者の運転事故が増加し、背景には加齢による認知機能の低下が関係すると考えられている。現在、75歳以上のドライバーは免許更新時の高齢者講習において、予備検査として認知機能検査が行われている。しかし、この認知機能検査は、時間の見当識、手がかり再生、時計描画という3つの課題からなる紙筆検査で、運転に直接関連する認知行動を測定する検査とはいえない。

研究代表者が平成20年度にシーズ発掘試験で試作した自動車運転認知行動評価装置(特開2011-59269)は、デジタルビデオカメラで撮影した自動車運転映像をモニターに再生させ、被験者に映像の動きにあわせて模擬運転操作を行わせ、危険認知によって生ずる手掌部発汗と皮膚電位反射(SPR)を測定し、同時にハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応を評価するものである(図1)。

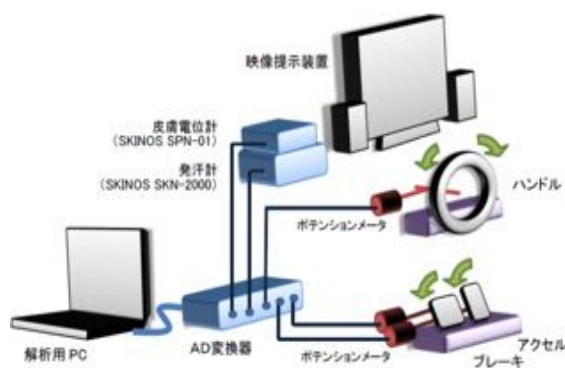


図1 自動車運転認知行動評価装置の構成

2. 研究の目的

本研究課題は、模擬運転装置を改良し、実用化に向けて認知行動評価の妥当性を検証するもので、以下を主要目的とした。

- (1) 広角運転映像の作成
- (2) 模擬運転装置の再構築
- (3) 模擬運転と実車運転による反応比較
- (4) 模擬運転時の視線動作と手掌部発汗反応の関連性の検討
- (5) 危険予測に関わる脳内活動評価
- (6) 高齢ドライバーへの適用と判定プロトコルの検討

3. 研究の方法

(1) 広角運転映像の作成

映像作成業者に委託し、ヒトの運転視野に近い160度の広角映像の作成を試みた。次いで、視野角140度の広角レンズを用いた運転映像を作成した。また、市販の広角デジタルビデオカメラによる運転映像(約110度)を作成した。車内にビデオカメラを設置し、市街地を走行する映像(6分)と住宅地内を走行する映像(5分)を撮影し、住宅地映像にはエキストラを配置し、バレーボールまたは横断者が横から飛び出す場面を設定した。

(2) 模擬運転装置の再構築

発汗計、皮膚電位計、ADコンバータ、車載用操作デバイス(ハンドル、アクセル、ブレーキ)等を一体化した模擬運転装置を構築した。映像提示装置は27インチTVモニターを採用し、映像再生とデータ記録を同期させる専用ソフトを作成した。装置とソフト作成は西澤電機計器製作所の協力を得た。

(3) 模擬運転と実車運転による反応比較

健康成人7名(男性6、女性1、平均31±6.9歳)を対象に実験を行った。はじめに実験車両を使って被験者に大学構内の試験コースを走行させた。試験コースは構内を周回する約5分のコースで、見通しの良い直進、見通しの悪い交差点、狭いロータリーが含まれる。走行中の前方の映像をデジタルビデオカメラで撮影し、被験者の左手掌の発汗反応とSPRを記録した。運転後2時間の間隔を空け、撮影した運転映像を用いた模擬運転を行わせた。見通しの悪い交差点の前後15秒間のデータを用い、実車運転と模擬運転の発汗反応の相互相関を求めた。また、交差点と直進の映像で発汗反応量を比較した。

(4) 模擬運転時の視線動作と手掌部発汗反応の関連性の検討

健康成人18名(男性8、女性10、22.3±1.7歳)を対象に、自動車運転認知行動評価装置による模擬運転を行わせ、アイマークレコーダ(NAC EMR-9)を用いて視線動作を分析した。直進走行時の視線動作より被験者を視線多動群と視線安定群に分けて手掌部発汗量を比較した。また、「ボール飛び出し」と「一時停止」場面の視線動作と手掌部発汗反応を比較した。

(5) 危険予測に関わる脳内活動評価

健康成人50名(男性15、女性35名、平均21.7歳)を対象に、模擬運転映像の危険回避場面(ボール飛び出し)と危険予測場面(対向車見送り、交差点右折)の手掌部発汗と前頭前野の脳血流反応を比較検討した。模擬運転時の手掌部発汗は装置内蔵の発汗計SKN-2000で測定し、前頭前野の脳血流量は頭部近赤外光計測装置(HOT121B;日立製作所)を用いて測定した。運転映像は住宅地走行映像(5分)と市街地走行映像(6分)を被験者毎に順に入れ替えて提示した。

(6) 高齢ドライバーへの適用と判定プロトコルの検討

日常的に自動車を運転している高齢者52名(男性23、女性29、60-85歳、平均70.2±6.1歳)を対象に、MMSE-J(認知機能検査)、TMT(注意・視覚探索機能検査)、自動車運転認知行動評価装置による模擬運転を実施し、MMSE-Jで中程度認知障害と判定された被験者2名の模擬運転時の手掌部発汗反応と、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応を他の被験者と比較検討した。

(1)から(6)のうち、人を対象とした研究は信州大学医学部医倫理審査会の承認を得て実施した。

4. 研究成果

(1) 広角運転映像の作成。

視野角 160 度の映像を作成するには左右 2 台のビデオカメラで撮影した映像を合成する必要がある。しかし、車載した左右のカメラの揺れの違いから映像の合成は困難であった。次いで 140 度の広角映像を作成したが、左右端に歪みが生じ、前方が遠くに見えるため、実際の動きとは速度感と距離感が違ってしまい、被験者が疲労感や眩暈を生じる可能性があることがわかった。このため、市販の広角ビデオカメラで撮影した運転映像 (110 度) が最も適しているという判断に至った。なお、運転映像には操作音と同期させた方向指示表示 (矢印) を新たに配置した。

(2) 模擬運転装置の再構築。

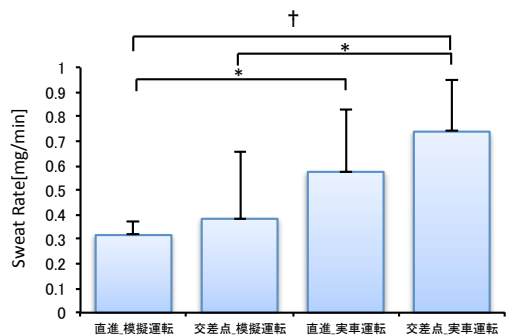
再構成した装置 (図 2) では、ゲーム機を応用した従来型と比較し、ハンドルは可動域が 360° から最大 720° へ、反力は 1N から最大 25.2N へ、ブレーキ反力は 12N から最大 24N へ、アクセル反力は 9N から最大 14N へと改善し、実車レベルの操作感が得られた。



図 2 再構成した装置

(3) 模擬運転と実車運転による反応比較

模擬運転、実車運転ともに交差点やカーブでは顕著な手掌部発汗と SPR を認めた。実車運転時の発汗反応と模擬運転時の発汗反応との相互相関を求めた。その結果、交差点の右左折では、-10 秒付近で強い正の相関 ($r = 0.8 \sim 0.9$) が認められ、模擬運転時の反応が早く生じることが分かった。この時相のズレは模擬運転時の危険予測 (記憶想起) が関係していると思われる。交差点と直進の比較では、発汗量は交差点で多く、実車運転と模擬運転の比較では、発汗量は実車運転で有意 ($p < .05$) に多かった (図 3)。



mean ± SD (n=7), ANOVA: † $p < .01$, post-hoc test: * $p < .05$

図 3 実車運転・模擬運転時の発汗量比較

(4) 模擬運転時の視線動作と手掌部発汗反応の関連性の検討

一方通行 (直進) 場面の視線動作より、被験者を視線多動群と視線安定群に分けて手掌部発汗量を比較した (図 4)。視線安定群は視線停留時間が長く、視線多動群より手掌部発汗反応と SPR (陰性波) が有意 ($p < .0001$) に多く、前方への注意集中の高さが発汗量に関係していると思われる。

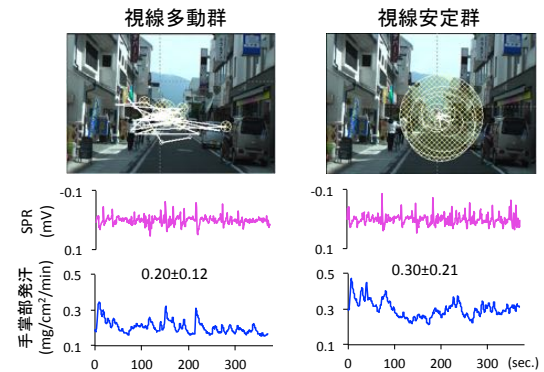


図 4 視線多動群と安定群の発汗量比較

「ボール飛び出し」場面では、全ての被験者で視線がボール周辺に移動し (図 5)、次いで、ハンドル、アクセル、ブレーキ、SPR、手掌部発汗の順に反応がみられた (図 6)。一方、「一時停止」場面では、視線が前方を横切る車両やカーブミラーへと分散し、デバイス操作と SPR、発汗反応には個人差が大きく、反応の順序性もみられなかった。また、発汗量は「ボール飛び出し」が 0.34 ± 0.26 、「一時停止」が 0.27 ± 0.24 ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{min}$) で「ボール飛び出し」場面で有意に多く、運転映像の視覚的認知と手掌部発汗・SPR との関連性が示された ($p < .01$)。

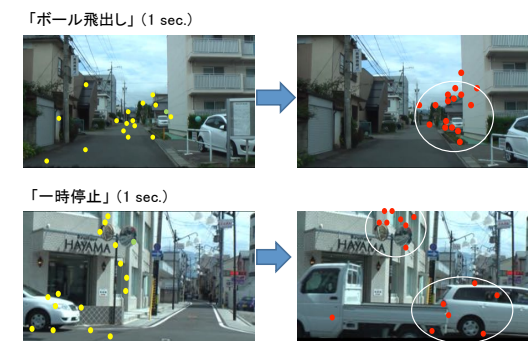


図 5 ボール飛び出し場面と一時停止場面の視線移動

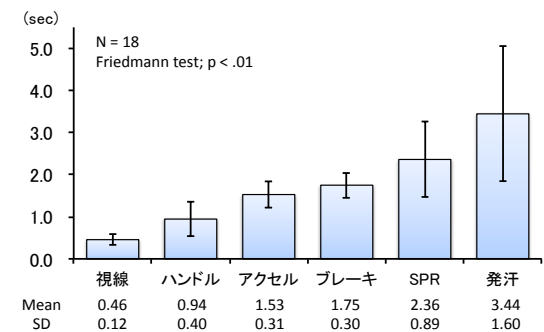
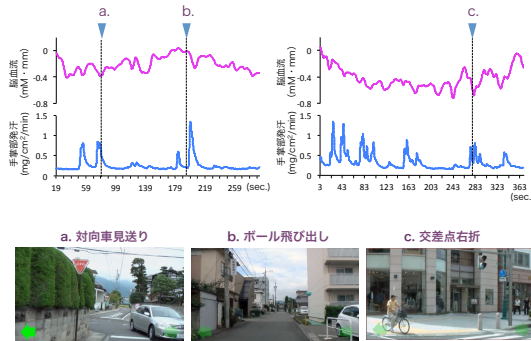


図 6 ボール飛び出し場面の応答潜時

(5) 危険予測に関わる脳内活動評価

図7にa「対向車見送り」、b「ボール飛び出し」、c「交差点右折」場面と手掌部発汗、脳血流反応の一例を示した。この被験者の場合、「対向車見送り」場面では一時停止と同時に手掌部発汗が減少し、脳血流量が増加する傾向を示した。「ボール飛び出し」場面では発汗反応が増加し、脳血流量の減少がみられた。「交差点右折」場面では手掌部発汗が増加したが、脳血流量は交差点に進入する直前に増加し、cの時点で横断者が現れると減少し、その後再び増加する傾向を示した。



(被験者：22歳，女性)

図7 危険予測場面での手掌部発汗と脳血流反応

「ボール飛び出し」場面では被験者の35名(70%)で手掌部発汗が増加し、脳血流は23名(46%)で減少した。「対向車見送り」場面では手掌部発汗は30名(60%)が不変であったが、脳血流は28名(56%)で増加した。「交差点右折」では26名(52%)で手掌部発汗が増加し、22名(44%)で脳血流が増加した。

「ボール飛び出し」場面の手掌部発汗反応は吐嗟の情動変化を反映し、大脳辺縁系の活性が推測される。また、前頭前野の血流低下は、吐嗟の情動変化と同時に起こる“頭がまっ白になる”状態と関連する可能性がある。「対向車見送り」と「交差点右折」は危険予測が可能な場面であり、前頭前野の脳血増加は、交通ルールの想起、対向車や横断者への注意など、危険予測と関連すると考えられる。特に「交差点右折」では「対向車見送り」より手掌部発汗の増加する者が多く、緊張感の強さが影響していると思われる。

(6) 高齢ドライバーへの適用と判定プロトコルの検討

被験者52名のうち、MMSE-Jの得点がカットオフ(23点)に満たなかった被験者が2名みられた。被験者A(83歳男性)はMMSE-Jが18点で中程度認知障害に分類され、TMTにより注意機能の低下が認められた。被験者B(71歳男性)はMMSE-Jが20点で中程度認知障害に分類され、TMTは長時間を要し完遂できなかった。

市街地映像を使った模擬運転時の被験者Aと被験者Bの手掌部発汗、SPR、ハンドル、

アクセル、ブレーキの反応と、被験者AとBを除く50名の平均波形を図8に示した。被験者A(赤線)のSPRと発汗反応は平均波形とのズレが大きく、状況認知のズレを表しているものと思われる。ハンドル、アクセル、ブレーキの大きな反応と、アクセルとブレーキの同時操作などは、状況認知の困難さを裏付ける。被験者B(青線)はハンドル操作が殆どみられず、運転映像の危険場面と一致しないSPRの陰性極波が複数箇所で見られ、そのタイミングはアクセルの踏み込みと同期しており、被験者Bのアクセル操作の多くがブレーキとしての誤操作と考えられる。

これらの反応にみられるように、認知機能の低下した高齢者の模擬運転では、運転映像の危険場面に対応するSPRと手掌部発汗反応、ハンドル、アクセル、ブレーキの反応から、被験者の危険予測などの状況的認知とデバイス操作の特徴を評価できることが分かった。

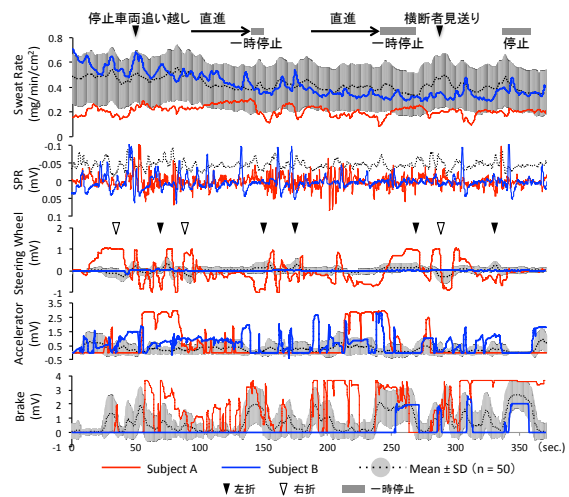


図8 被験者Aと被験者Bの反応波形と平均波形の比較

模擬運転テストの判定プロトコルを検討するために、危険認知を評価する6場面を抽出し(図9)、SPRとブレーキの応答潜時を比較した(表1)。「ボール飛び出し」場面は、SPR、ブレーキともに応答が最も早く、個人の危険認知による反応速度を評価するのに適している。「ランナー発見」と「歩行者飛び出し」では、ランナーと歩行者までの距離が保たれているため、「ボール飛び出し」と比較するとSPRとブレーキ操作に個人差が表れやすく、危険に対する反応の個人差を調べるのに適していると思われる。「対向車すれ違い」と「自転車追い越し」では、(映像中の)自車は一時停止か徐行しており危険度は少ない。これらの場面ではブレーキ応答の個人差が大きく、アクセルを放すタイミングとブレーキを踏むタイミングを評価するのに適していると思われる。「交差点の右折」ではSPRの応答潜時が年齢およびTMTの成績と相関があり、危険に対する被験者の注意機能を評価するのに適していると思われる。

本研究の成果は、現在、“Driving Simulation Test for Evaluating Hazard Perception: Elderly Driver Response Characteristics”として Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 誌に投稿中である。



図9 危険認知を評価する6場面

表1 SPRとブレーキの応答潜時

	SPR (s)		Brake (s)		p
	M	(SD)	M	(SD)	
1. ランナー発見	2.08	(1.53)	1.29	(2.52)	.04
2. 対向車すれ違い	2.05	(1.73)	3.61	(2.90)	.003
3. 自転車追い越し	2.05	(1.24)	7.97	(4.42)	<.001
4. ボール飛び出し	1.27	(1.06)	.81	(1.57)	.07
5. 歩行者飛び出し	1.93	(1.41)	2.94	(3.85)	.08
6. 交差点右折	1.57	(1.45)	3.11	(4.75)	.03
ANOVA	F	2.36		25.74	
	p	.04		<.001	

N = 52

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 8 件)

- ① 高橋理沙、小林正義、佐々木努、他、高齢者の模擬運転時の発汗反応と認知・注意機能との関連、発汗学、22 巻、(受理済)、2016、査読有
- ② 小林正義、藤井恭平、佐々木努、他、ドライブレシミュレータ操作時の手掌部発汗と脳血流量の変動、発汗学、22 巻、(受理済)、2016、査読有
- ③ 小林正義、山鹿隆義、黒川卓、他、自動車運転映像による手掌部発汗・SPR と脳波周波数成分の変動、発汗学、21 巻、37-40、2014、査読有
- ④ 百瀬英哉、高橋理沙、小林正義、他、自動車模擬運転時と実車運転時の手掌部発汗反応比較、発汗学、20 巻、37-39、2013、査読有
- ⑤ 高橋理沙、百瀬英哉、小林正義、他、改良型自動車運転認知評価装置の試験-手掌部発汗比較、発汗学、20 巻、40-42、2013、査読有
- ⑥ 高橋理沙、百瀬英哉、小林正義、他、自動車運転認知行動評価装置による手掌部発汗反応-高齢者と若年者の比較-、発汗学、

19 巻、21-23、2012、査読有

- ⑦ 百瀬英哉、高橋理沙、小林正義、他、自動車運転映像を用いた模擬運転操作時の手掌部発汗反応と SPR の関係、発汗学、19 巻、24-26、2012、査読有
- ⑧ 小林正義、佐々木努、千島亮、他、手掌部発汗反応を用いた自動車運転認知行動評価システムの開発研究、発汗学、18 巻、31-34、2011、査読有

[学会発表] (計 20 件)

- ① 小林正義、岩波潤、佐々木努、他：危険認知を評価する模擬運転テストの開発研究：高齢ドライバーの応答特性、第 50 回日本作業療法学会、2016. 9. 10、札幌 (発表確定)
- ② 岩波潤、小林正義、佐々木努、他：模擬運転における危険予測場面のブレーキ応答：高齢者と若年者の比較、第 50 回日本作業療法学会、2016. 9. 9、札幌 (発表確定)
- ③ Kobayashi M、Takahashi R、Sasaki T：Relationship between cognitive function and skin sympathetic responses in the elderly induced by simulated driving, 6th Asia-Pacific Occupational Therapy Congress, 2015. 9. 16, Rotorua, New Zealand
- ④ 小林正義、藤井恭平、佐々木努、他：ドライブレシミュレータ操作時の手掌部発汗と脳血流量の変動、第 23 回日本発汗学会総会、2015. 8. 28、千葉
- ⑤ 小林正義、佐々木努、高橋理沙、他：ドライブレシミュレータ操作時の手掌部発汗と脳血流変化の測定、第 22 回日本発汗学会総会、2014. 9. 18、長崎
- ⑥ Kobayashi M、Sasaki T、Takahashi R、et al：Analysis of eye movements during drive simulator operation using the video recording, 16th International Congress of the World Federation of Occupational Therapists, 2014. 6. 19, Yokohama, Japan
- ⑦ 高橋理沙、小林正義、佐々木努、他：高齢者の模擬運転時の発汗反応と認知・注意機能との関連、第 21 回日本発汗学会総会、2013. 8. 31、松本
- ⑧ 小林正義、山鹿隆義、佐々木努、他：自動車運転映像による手掌部発汗・SPR・脳波周波数成分の変動、第 21 回日本発汗学会総会、2013. 8. 31、松本
- ⑨ 小林正義、佐々木努、内堀志野、他：ビデオ映像を用いた自動車模擬運転時の視線動作と手掌部発汗反応、第 47 回日本作業療法学会、2013. 6. 29、大阪
- ⑩ 高橋理沙、百瀬英哉、小林正義、他：改良型「自動車運転認知行動評価装置」の試験-手掌部発汗比較、第 20 回日本発汗学会総会、2012. 8. 25、奈良
- ⑪ 百瀬英哉、高橋理沙、小林正義、他：自動車模擬運転時と実車運転時の手掌部発汗

反応比較、第 20 回日本発汗学会総会、
2012. 8. 25、奈良

- ⑫ 小林正義、百瀬英哉、高橋理沙、他：自動車模擬運転時の視線動作と手掌部発汗反応、第 20 回日本発汗学会総会、2012. 8. 25、奈良
- ⑬ 小林正義、佐々木努、高橋理沙、他：自動車運転に関わる認知行動評価システムの開発-高齢者の模擬運転特性、第 46 回日本作業療法学会、2012. 6. 16、宮崎
- ⑭ Kobayashi M, Takahashi R, Momose H, et al: Development of cognitive - behavioral assessment system for driving-related functions by skin potential reflex and palmar sweating responses, 第 89 回日本生理学会大会、2012. 3. 31、松本
- ⑮ 小林正義:手掌部発汗現象を用いた自動車運転認知行動評価装置の開発研究、第 4 回運転と認知機能研究会、教育講演、2011. 11. 26、東京
- ⑯ Kobayashi M, Sasaki T, Chishima M, et al: Development of cognitive behavioral assessment system for driving related functions. 5th Asia Pacific Occupational Therapy Congress, 2011. 11. 24, Chiang mai, Thailand
- ⑰ 百瀬英哉、小林正義、高橋理沙、他：自動車運転映像を用いた模擬運転操作時の手掌部発汗反応と SPR の関係、第 19 回日本発汗学会総会、2011. 9. 2、愛知
- ⑱ 小林正義、百瀬英哉、高橋理沙、他：「自動車運転認知行動評価装置」による高齢者の動作反応と手掌部発汗反応、第 19 回日本発汗学会総会、2011. 9. 2、愛知
- ⑲ 高橋理沙、百瀬英哉、小林正義、他：自動車運転認知行動評価装置による手掌部発汗反応-高齢者と若年者の比較-、第 19 回日本発汗学会総会、2011. 9. 2、愛知
- ⑳ 小林正義、佐々木努、千島亮、他：自動車運転に関連する認知行動評価システムの開発、第 45 回日本作業療法学会、2011. 6. 25、大宮

[図書] (計 1 件)

- ① 小林正義：コラム 1【自動車運転認知行動評価装置】、日本作業療法士協会、作業療法マニュアル 53、認知機能障害に対する自動車運転支援、2012、27 頁

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称：自動車運転認知行動評価装置

発明者：小林正義

権利者：国立大学法人信州大学

種類：特許

番号：特許第 5366248 号

取得年月日：平成 25 年 9 月 20 日

国内外の別：国内

[その他] (計 2 件)

- ① 小林正義：自動車運転認知行動評価装置、NHK 長野イブニング信州、2012. 6. 20 放送
- ② 小林正義：高齢者の「運転力」判定、信濃毎日新聞 (朝刊)、2012. 5. 26

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 正義 (KOBAYASHI, Masayoshi)
信州大学・学術研究院保健学系・教授
研究者番号：80234847

(2) 研究協力者

百瀬 英哉 (MOMOSE, Hideya)
株式会社西澤電機計器製作所
技術部研究開発室・部長