

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330171

研究課題名(和文) 重大な交通事故に直結する錯視における脳神経ダイナミクスの検討

研究課題名(英文) Brain dynamics during optical illusions associated with serious traffic accidents.

研究代表者

柏原 考爾 (KASHIHARA, Koji)

徳島大学・大学院理工学研究部・准教授

研究者番号：40463202

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)：自動車の運転中に生じる錯視は、重大な交通事故を引き起こす危険性がある。例えば、夜間運転中には、車の前後の遠近感を把握することが困難となり、衝突事故を誘発する可能性がある。また、坂道勾配の誤認識(縦断勾配錯視)により、アクセルとブレーキの踏み間違いが生じ、衝突事故や渋滞を引き起こす可能性もある。このような錯視は、運転者の経験・知識・注意と関連する脳活動が大きく関与する。本研究では、重大な交通事故に繋がる錯視と高次脳活動の関連性を検討することを目的とした。さらに、錯視と関連する認知心理特性を考慮しながら、錯視事故を未然に防ぐための運転支援システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：Optical illusions during car driving may induce the misjudgment of drivers and serious traffic accidents. For example, a driver may misjudge the positional relation between preceding vehicles at night: the tail lamp illusion based on misreading a depth. Misrecognition of a slope gradient has a possibility to cause automobile crashes because of deceleration delay: the optical illusion of a vertical gradient. Such optical illusions result from the cognitive process based on our experience and knowledge. The purpose of this research was to clarify behavioral and brain activities in optical illusions associated with serious traffic accidents. Moreover, the driver assistance systems with the automatic detection of optical illusions were developed, considering human cognitive functions.

研究分野：認知科学

キーワード：認知科学 脳神経科学 安全 ヒューマンファクターズ

## 1. 研究開始当初の背景

運転中に生じる眼の錯覚(錯視)は、運転者の一瞬の判断ミスを誘発し、重大な交通事故を誘発する危険性がある。錯視が原因となる事故には、坂道勾配の誤認識(縦断勾配錯視)による減速の遅れや並走する複数の車の前後関係の見誤り(遠近錯視)による衝突事故がある。また、見通しの良い交差点で互いの車両の接近に気付かず(コリジョンコース現象)、衝突事故に繋がる場合(十勝型交通事故:(財)日本自動車研究所の調査では、年間400件以上の死亡事故)もある。このような錯視の多くは、我々の経験・知識・注意に基づく脳活動に起因する。従って、運転者の思考過程の把握が不可欠となる。

運転中の錯視に関する脳神経活動のダイナミクスは未だ不明な点が多い。高次な認知処理では、位置や空間の把握を担う背側経路(頭頂葉)や形状の認識を担う腹側経路(側頭葉)が、空間錯視や形状錯視に関与する可能性がある。特に、前頭葉のシータ波(4~8 Hzの脳波)を可視化すれば、錯視と関連する特徴的な脳活動を特定できる可能性が高い。

## 2. 研究の目的

### (1) 錯視と高次脳機能の検討

重大な事故に繋がる錯視と運転者の瞬間的な脳活動(大脳皮質レベル)の関連性に着目した。特に、①遠近錯視と②縦断勾配錯視に焦点を当て、脳波測定と周波数解析により高次脳機能を検討した。また、③コリジョンコース現象では、高次脳機能と関連した眼球運動(サッケード・視点移動・瞳孔面積)の影響が大きいと考えられる。従って、錯視が生じている状態の客観的な評価指標として、瞳孔面積の変化にも着目した。

### (2) 錯視を防止する運転支援システム

運転者の認知心理特性を考慮し、錯視による事故を未然に防ぐユーザインタフェースの構築を目的とした。特に、①夜間運転中のテールランプの誤認(遠近錯視)における警報システムや②坂道勾配の見誤り(縦断勾配錯視)が生じる道路環境を事前に予測できるシステムの構築に焦点を絞った。また、③特別な方向から眺めると立体に見える錯視図形(アナモルフォーズ)がある。このアナモルフォーズを応用して、道路上に標識や人物を描き、運転者の眼の前に立体物があるように錯覚させ、事故リスクの高い場所での減速・徐行を促す効果が期待されている。従って、錯視を積極的に利用したアナモルフォーズの効果を検討できるシミュレータの作成と評価も実施した。

## 3. 研究の方法

### (1) 錯視と高次脳機能の検討

①遠近錯視に関する被験者実験(20代男女9名)を実施した。遠近錯視として、夜間運転中、先行する2台の並走車の前後関係を、テールランプだけから判断しなければなら

ない場合を用いた。行動実験(反応時間の測定)を実施後、脳波測定(前頭葉のシータ波の時間-周波数解析)を実施した。

②縦断勾配錯視が生じる場所では、運転者から見ると下り坂が上り坂に見え、誤ってアクセルを踏む危険性がある。最初に、行動実験(20代男性5名)として、種々の坂道勾配の呈示画像を用い、縦断勾配錯視が起こり易い条件を検討した。次に、特定された錯視条件の画像を用い、坂道が上りか下りかを頭の中で判断している際の脳波を測定した。脳波解析では、各脳部位(正中前頭部・正中中心部・正中頭頂部)におけるパワースペクトルを算出した。

③種々の錯視図形(形・明るさ・運動視等)に対する瞳孔面積の変化を検討するため、被験者実験(20代男性5名)を実施した。また、赤外線カメラの映像から、瞳孔面積の変化を自動検出できる解析手法を検討した。

### (2) 錯視を防止する運転支援システム

①遠近錯視に起因した交通事故を未然に防止するため、赤外線カメラにより夜間運転中の車両位置を特定できる運転支援(警告)システムを構築し、その有効性をシミュレーションにより検討した。テールランプの自動検知には、HSV表色系による色の判定やパターンマッチング(画像類似度・特徴量の抽出)等の画像処理を利用した。

②縦断勾配錯視が生じる道路地図上の場所を自動検出できる運転支援システムを作成した。緯度・経度・標高に関する取得データを編集するため、HTML5・JavaScript・OpenLayersに基づくOpenStreetMap(道路地図)により、錯視場所を自動検索できるユーザインタフェースを構築した。

③道路上の錯視ペイント(アナモルフォーズ)の種類や位置(死角や横断歩道付近)による減速効果を検討できるシミュレータ(Python 2.7, OpenCV 2.4, PyOpenGL 3.0)を構築した。また、被験者実験(20代男性5名)による検証実験とデータ解析を実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 錯視と高次脳機能の検討

①夜間運転中に前方を並走する自動車のテールランプ位置の認識時に起こる遠近錯視では、反応時間が遅延し、シータ波により定量化した注意水準が有意に低下(図1, 2)した。運転者の不注意による錯視の事故では、前頭葉とともに頭頂葉の働き(シータ波による注意情報伝達のための相互作用等)が減弱して誘発される可能性もある。

眼に入る光は網膜の光学受容器(杆体・錐体細胞)で感知され、網膜神経節細胞から視床にある外側膝状体を介し、大脳皮質後頭葉の第一次視覚野(V1野)に投射される。そのため、交通事故に関連する複雑な錯視は、眼の網膜上での単なる像の誤検知だけでなく、その後の脳の情報処理過程で生じている可能性が高い。特に、感覚機能に依存する知覚

レベルの錯視では、後頭葉の動き (MT 野) や方向・色 (V2・V4 野) に反応する脳神経活動 (ガンマ波) の関与も考えられる。

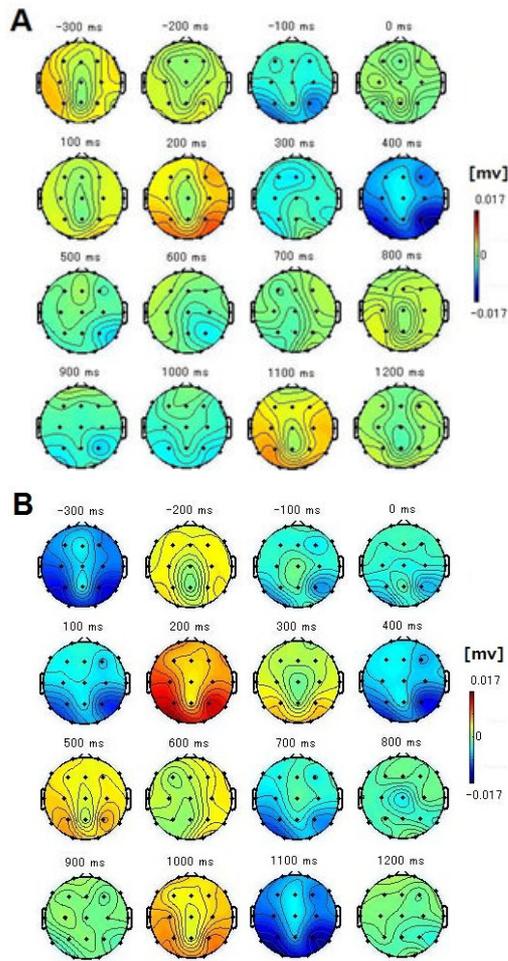


図 1. 錯視画像の提示におけるトポグラフィカルマップ (A: 錯視あり, B: 錯視なし)

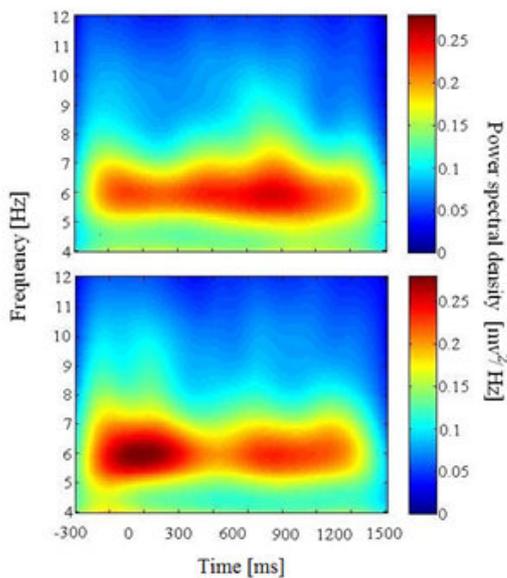


図 2. 前頭葉正中中部でのシータ及びアルファ帯域の時間-周波数解析 (上: 錯視あり, 下: 錯視なし)

②行動実験により、連続する2つ (手前と奥) の下り坂の勾配差が  $20^\circ$  以上になるとき、奥の下り坂を急な上り坂と判定する傾向がみられた。また、縦断勾配錯視における脳活動を脳波計測 (注意レベルに関与する前頭葉正中部のシータ波に着目) 及び周波数解析により検討した。しかし、通常の運転時と錯視条件との間で顕著な有意差は認められなかった。画像提示中は、全体的にシータ波よりベータ波が大きくなる傾向がみられた。この縦断勾配錯視で、脳活動の差が生じなかった要因として、手前の急激な下り坂にいる運転者の視点からは、奥の緩やかな下り坂は相対的に上り坂 (地理的には下り坂) になるためと考えられる。

③リアルタイム解析が可能な測定システムを構築することで、錯視の種類に依存した瞳孔面積の変動 (図 3) を検出できた。また、コリジョンコース現象に着目し、周辺視野に凶形を呈示した際の瞳孔面積の応答特性は、中心窩のみならず周辺視野への刺激にも変化する兆候が生じた。従って、運転者の瞳孔面積の変化を自動検知できれば、錯視の発生を早期段階で警告するフィードバックシステムへ応用できる。

使用図	形の錯視	明るさの錯視	運動視の錯視	その他の錯視
錯視				
非錯視				

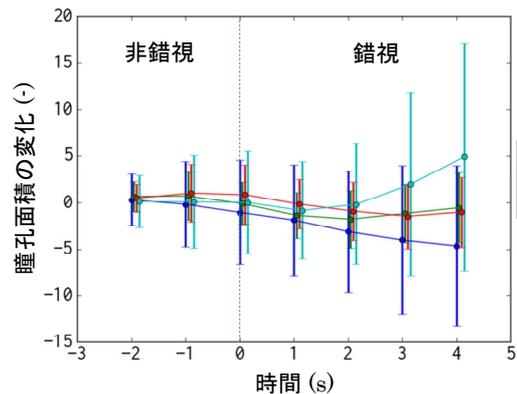


図 3. 使用した種々の錯視図形 (上) と瞳孔面積の変化 (下)

## (2) 錯視を防止する運転支援システム

①錯視に直面しているシーンを自動判定し、運転者に注意喚起を促す警告システム (図 4, 5) を構築した。夜間運転中の動画を用いたシミュレーションにより、テールランプの位置情報を精度良く検知し、警告音により運転者に危険を知らせることができた。このシステムは、注意・集中力の低下や眠気による交通事故の防止にも役立てられる。

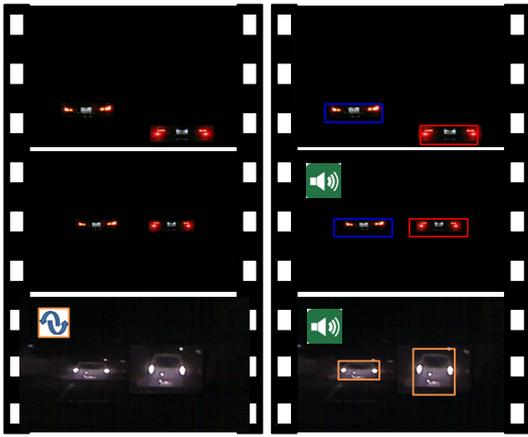


図4. 赤外線カメラによる夜間車両（テールランプと車高）の位置検出とフィードバック警告（左：元動画，右：画像処理後）

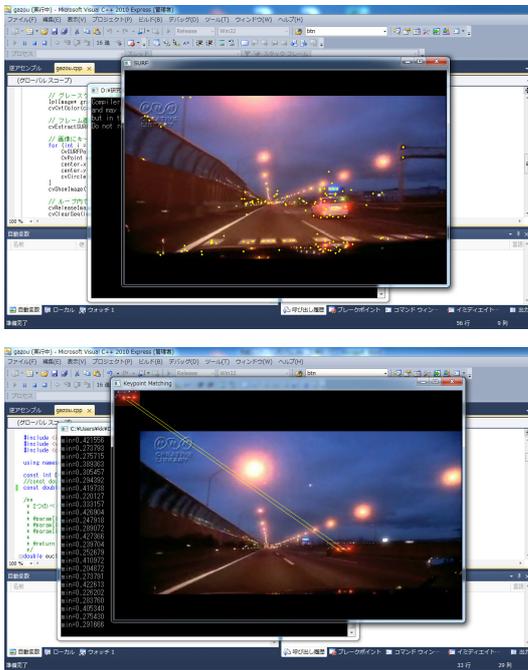


図5. テールランプに関する画像特徴量のリアルタイム検知  
（上：SURF 特徴量，下：画像特徴量に基づくパターンマッチング）

②道路地図上の標高データから、縦断勾配錯視が生じやすい道路構造を持つ場所を検索できるユーザインタフェースを構築（図6）した。この成果は、ハザードマップやリアルタイムでの警告システムに応用できる。錯視場所の自動検出は、効果的な運転支援インタフェースを実現させ、正しい交通情報を運転者にフィードバックできるため、危険な自動車事故の減少に繋げられる。

また、高速道路のサグ部（坂道勾配の変化地点）やトンネルの入口付近では、錯覚に起因して加減速の操作を誤ることで、大規模な渋滞や衝突を引き起こす可能性がある。従って、運転者の認知心理特性（疲労や焦燥感）

を考慮し、衝突の危険性を回避するための戦略を検討できるユーザインタフェースを構築した。

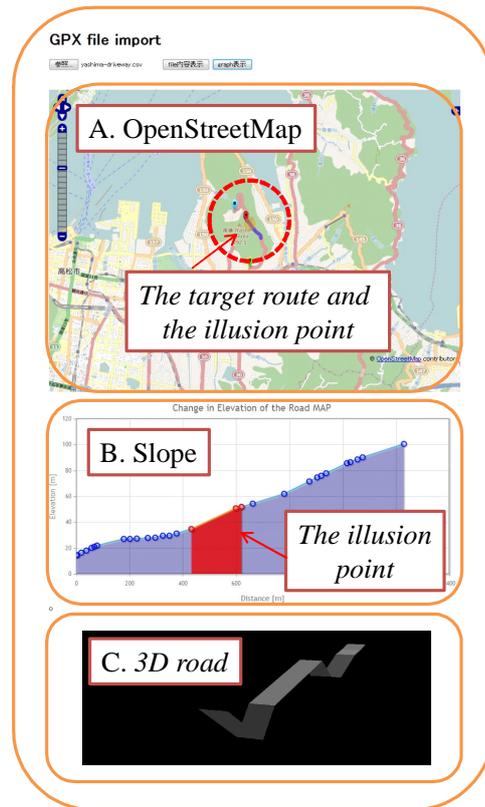


図6. 縦断勾配錯視を検出するためのユーザインタフェース  
（A；OpenStreetMap，B：対象ルート上の勾配，C：道路勾配の3D情報）

③種々の錯視ペイントを道路上に呈示し、死角や信号がある交差点を周回するシミュレータを作成（図7）した。このシミュレータでは、操作者の加速や減速を記録できる。被験者実験により、アナモルフォーズが減速や停止に有効で、種類による効果の違いがあることを明らかにした。このアナモルフォーズの効果は、初見の場合に最も大きくなった。

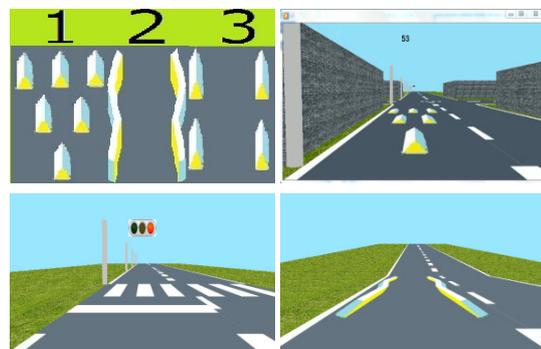


図7. 作成した錯視シミュレータの走行コースの一例

また、実際に錯視ペイントを利用している道路の調査(徳島市内)を行った。その結果、長期間の使用によるペイントの劣化が、アナモルフォーズによる減速効果を妨げる要因の一つ(図8)となることが示唆された。

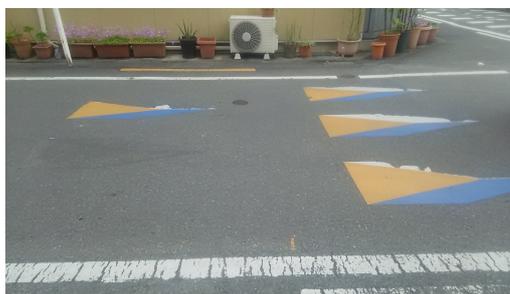


図8. ペイントが劣化したアナモルフォーズの例(徳島市内)

#### 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3件)

- ① Koji Kashihara and Masashi Iwase, Automatic design of an effective image filter based on an evolutionary algorithm for venous analysis, Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics, 査読有, Vol. 5(1), 2016, pp. 1-14  
DOI: 10.1007/s13721-015-0108-z
- ② Koji Kashihara, Hybrid intelligent controllers for a multiple drug delivery system in acute heart failure, Biomedical Engineering: Applications, Basis, and Communications, 査読有, Vol. 27(5), 2015, pp. 1550043-1-14  
DOI: 10.4015/S101623721550043X
- ③ Koji Kashihara, A brain-computer interface for potential nonverbal facial communication based on EEG signals related to specific emotions, Frontiers in Neuroscience, 査読有, Vol. 8, 2014, pp. 1-12  
DOI: 10.3389/fnins.2014.00244

[学会発表](計27件)

- ① 柏原考爾, 深層強化学習に基づく高速道路の合流地点における自動運転の最適走行経路の検討, 第44回知能システムシンポジウム, 2017年3月14日, 東海大学(東京都港区)
- ② 柏原考爾, 転移学習に基づく深層畳み込みニューラルネットワークによる静脈形状の超解像処理, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, 2016年12月6日, 滋賀県立体育館(滋賀県大津市)
- ③ Koji Kashihara, Deep convolutional neural networks improve vein image

quality, 17<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, 2016年11月18日, Obuda University (Budapest, Hungary)

- ④ Yutaka Kameda and Koji Kashihara, Study of a human interface based on transfer gain between controlled respiration and pulse wave features, SICE Annual Conference 2016, 2016年9月23日, つくば国際会議場(茨城県つくば市)
- ⑤ 武市和也, 重田和弘, 柏原考爾, 道路上の錯視ペイントによる速度抑制の効果, 平成28年度電気関係学会四国支部連合大会, 2016年9月17日, 徳島大学(徳島県徳島市)
- ⑥ 柏原考爾, 畳み込みニューラルネットワークによる静脈画像の超解像処理, 電子情報通信学会SIP研究会, 2016年8月26日, 千葉工業大学(千葉県習志野市)
- ⑦ Yoshio Kan and Koji Kashihara, Evaluation of temporal change in heart rate variability during the advanced trail making test, 5<sup>th</sup> IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, 2016年7月12日, 熊本市国際交流会館(熊本県熊本市)
- ⑧ 柏原考爾, 自己符号化器による静脈画像の雑音除去, 第9回コンピュータショナル・インテリジェンス研究会, 2016年7月9日, 千葉大学(千葉県千葉市)
- ⑨ 菅祥雄, 柏原考爾, ATMT法を用いた心拍変動の経時的変化の評価, 日本生理人類学会第73回大会, 2016年6月4日, 大阪市立大学(大阪府大阪市)
- ⑩ 名越琢真, 柏原考爾, 錯視図形に対する瞳孔面積の変化, 日本人間工学会第24回システム大会, 2016年3月10~11日, 早稲田大学(東京都新宿区)
- ⑪ Koji Kashihara, Dynamically assessing the arterial baroreflex by examining ramp responses to vasoactive agents, 2015 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2015年12月11~13日, 名城大学(愛知県名古屋)
- ⑫ 柏原考爾, 道路地図から縦断勾配錯視の位置情報を自動検出するための手法の検討, 第58回自動制御連合講演会, 2015年11月14~15日, 神戸大学(兵庫県神戸市)
- ⑬ Yoshio Kan and Koji Kashihara, Automatic detection of ST depression on ECG, 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, 2015年10月27~30日, 大阪府立国際会議場(大阪府大阪市)
- ⑭ Koji Kashihara, A driver support interface to detect optical illusion places on a road map, 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2015年10月9~12日, City University of Hong Kong

- (Hong Kong, China)
- ⑮ 菅祥雄, 柏原考爾, ATMT 法を用いた疲労度の推定, 生体医工学シンポジウム 2015, 2015年9月25~26日, 岡山国際交流センター (岡山県岡山市)
  - ⑯ 亀田泰, 柏原考爾, 呼吸と脈波波形の関連性に基づく健康モニタリングシステムの構築, 生体医工学シンポジウム 2015, 2015年9月25~26日, 岡山国際交流センター (岡山県岡山市)
  - ⑰ 岩瀬将嗣, 福見稔, 柏原考爾, EM アルゴリズムに基づく静脈解析のための Android アプリケーション開発, 電子情報通信学会 KBSE 研究会, 2015年1月26日, 機械振興会館 (東京都港区)
  - ⑱ Koji Kashihara, Development of a real-time analyzer for peripheral venous evaluation during blood pressure measurement, 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2014年12月13日, 中央大学 (東京都文京区)
  - ⑲ 柏原考爾, 血管作動薬のランプ入力による動脈圧受容器反射系の評価, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2014年11月22日, 東北大学 (宮城県仙台市)
  - ⑳ 柏原考爾, 高齢ドライバーの注意レベルが道路標識の認識能力に及ぼす影響, 日本生理人類学会第71回大会, 2014年11月2日, 神戸大学 (兵庫県神戸市)
  - ㉑ Koji Kashihara, A driver support system to prevent traffic accidents caused by optical illusions, 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2014年10月8日, Paradise Point Resort and Spa (San Diego, USA)
  - ㉒ Yutaka Kameda, Minoru Fukumi, and Koji Kashihara, Development of a healthcare monitoring system based on pulse wave analysis, 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics, 2014年10月7日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)
  - ㉓ 菅祥雄, 福見稔, 柏原考爾, 心電図の ST 低下を自動判別する解析手法の検討, 平成26年度電気関係学会四国支部連合大会, 2014年9月13日, 徳島大学 (徳島県徳島市)
  - ㉔ 柏原考爾, 穴吹晴信, 夜間運転中の奥行錯視に起因した交通事故を防止する運転支援システム, 第41回知能システムシンポジウム, 2014年3月13~14日, 筑波大学 (東京都文京区)
  - ㉕ Koji Kashihara, Automatic creation of an efficient image filter based on the genetic algorithm for evaluation of veins, 7th International Conference on Health Informatics, 2014年3月3~6日, ESEO (Angers, France)

- ㉖ 森本健太, 福見稔, 柏原考爾, 運転時の縦断勾配錯視における脳活動の検討, 2013年度計測自動制御学会四国支部学術講演会, 2013年11月29日, 香川大学 (香川県高松市)
- ㉗ 柏原考爾, Automatic creation of an original image filter based on the GA with EM algorithm for vein shapes, SICE ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013, 2013年9月12~14日, 慶應義塾大学 (神奈川県横浜市)

[その他]

ホームページ等

<http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/214639/work-ja.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

柏原 考爾 (KASHIHARA, Koji)

徳島大学・大学院理工学研究部・准教授

研究者番号：40463202