

ドライバの運転支援に対する弁別・適応特性に関する研究

Drivers Discriminative Properties and Adaptation for Driver Support Systems

主任研究員名：金子 哲也

分担研究員名：北澤 章平

1. 研究背景と目的

近年、アクティブセーフティを目的とした様々な運転支援システムの開発や市販車両への実装が行われているが、これらのシステムが想定するドライバの運転行動や操作特性は平均的運転者であり、個々のドライバの状態を把握し十分に対応が出来ているとは必ずしもいえない。また近年の電子制御技術の発展やフェールセーフ等の規格整備により、自動車への多彩なデバイスの搭載が進んでいる。また、これを用いた先進安全技術は市販段階にあり、近い将来にはドライバサポートシステムの集大成として自動運転車両が市場に登場しようとしている。車両の運動はシステムによる介入を受けることで事故を未然に防ぐなど、歩行者を含む道路交通社会への貢献は目覚ましい。しかしながら、これらの制御介入の大きさやタイミングが不適切であればドライバに違和感を与え、制御介入を僅かに抑えれば、その効果も小さく留まることになる。ドライバの個人特性を車両が検出し、車両運動特性を走行環境や車両運動状態、ドライバの属性や操作状況により変化させることで、より多様な場面で高度な運転支援を実現することができるものとする。これらことから本研究組織では①運転者特性抽出のための評価法確立②ドライバの運転支援に対する弁別・適応特性について調査し、車両運動制御介入に対するドライバの適応特性を明らかにする。これにより、個々の運転者特性のモデル化を行い、最適な運転支援手法の構築を目指す。



Fig. 1 Active-steer experimental vehicle

2. 研究テーマ

本共同研究組織は 2 名の研究員により、以下の内容について研究を行った。

2.1 運動特性可変車両を用いたドライバの弁別・適応特性の計測

車両運動特性を変化させることができる実験車両を用い、異なる運動特性で走行した場合のドライバの弁別および適応行動について、実車走行実験により検討した。

使用した実験車両は図 1 に示す小型電気

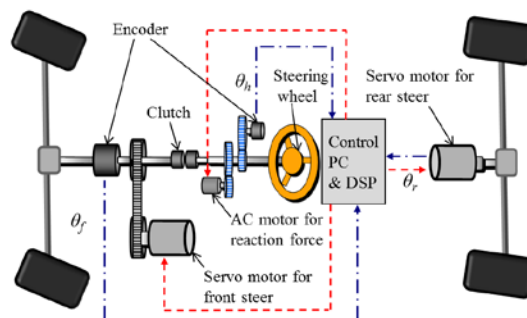


Fig. 2 Diagram of four-wheel steering of experimental vehicle

自動車をベースとし、図 2 のように後輪の操舵機構追加と前輪操舵機構のバイワイヤ化を行った。操舵制御は 4 輪アクティブ操舵制御により、車両のヨー運動と横運動特性を変化させることができるものとした。走行実験においてはこのうち、図 3 に示すヨー運動の周波数応答特性を変化させた。この実験車両を用い、レーンチェンジ走行において車両特性を変化させた場合のドライバの弁別と適応について主観評価と車両状態量により検討した。その結果、①運転者は車両運動特性の変化を弁別していること、②ヨー運動特性が異なる場合であっても、コース内に想定する目標経路を走行しようとし、そのために適応操作を行うこと、③その車両運動特性変化には受容されやすいものとそうでないものがあること、④

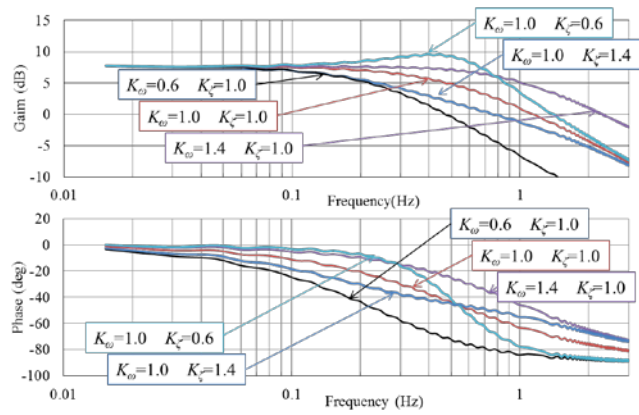


Fig. 3 Comparison of yaw rate frequency responses

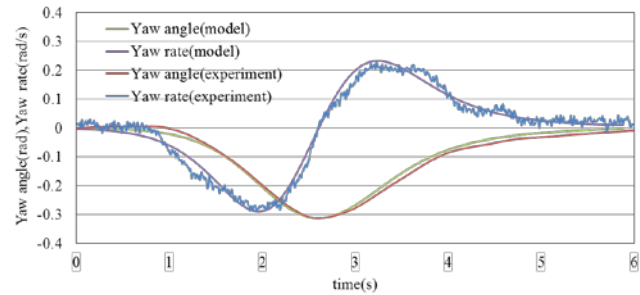


Fig. 4 Comparison between experiment results and model

走行経路にはドライバ毎に異なり、直線路でのレーンチェンジにおいては車線に対する相対ヨー角と左右操舵時に現れる最大ヨー角速度の比に特徴が表れることを明らかにした。また、目標経路を表現するモデルを提案し、ドライバ毎にパラメータを調整することで図 4 に示すように高精度に車両の運動状態を表現できることを示した。

2.2 リスクポテンシャルを用いた運転者特性抽出

2.1 節で述べたドライバ行動の特徴を踏まえ、これに加えてドライバが通常行っている運転行動を考慮し、走行経路を詳細に再現するドライバモデルの構築を行った。また運転支援の最終的な形を自動運転と考え、自動運転車両の操舵制御への適用を試みた。モデルは図 5 に示すように

- ・ 自車周辺の環境とその変化から、自車を安全な経路へ導く判断基準を生成するリスクポテンシャルモデル
- ・ 自車を目標位置へ導く操舵行動を決定する多点注視ドライバモデル
- ・ その運転行動の結果である自車の動きを予測し、適切な運転行動を生成する車両運動力学モデル

により構成した。ドライバ毎にパラメータを調整することでドライバ個々の運転行動の特徴を表現することができる。これに加えて小型電気自動車を改造し、自車周辺環境の検出を行い、自動操舵制御が可能な実験車両を構築した。概略を図 6 に示す。この実験車両を用いて、本モデルの妥当性と有効性を検証した。その結果、①本モデルによってヒューマンドライバ

の運転行動を詳細に模擬することができ、
 ②モデルパラメータを適切に調整することにより、環境情報に対して安全な走行経路の算出が可能であった。③環境情報取得部を含めたアルゴリズムにより、リアルタイムで走行経路の算出が可能であり、単純な操舵コントローラによって実車両の誘導制御を実現した。

3. おわりに

本共同研究組織において実施した研究内容については毎年国内外の学会において発表し、積極的に成果の公表を行った。本研究組織で実施した内容を今後も発展させていく予定である。なお、それぞれのテーマの詳細および外部公表については別頁の通りである。

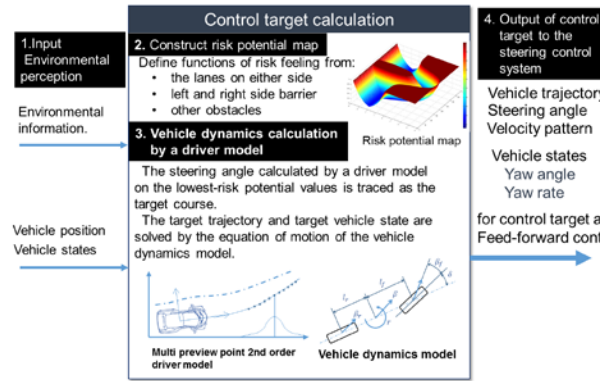


Fig.5 Flow of control target calculation algorithm

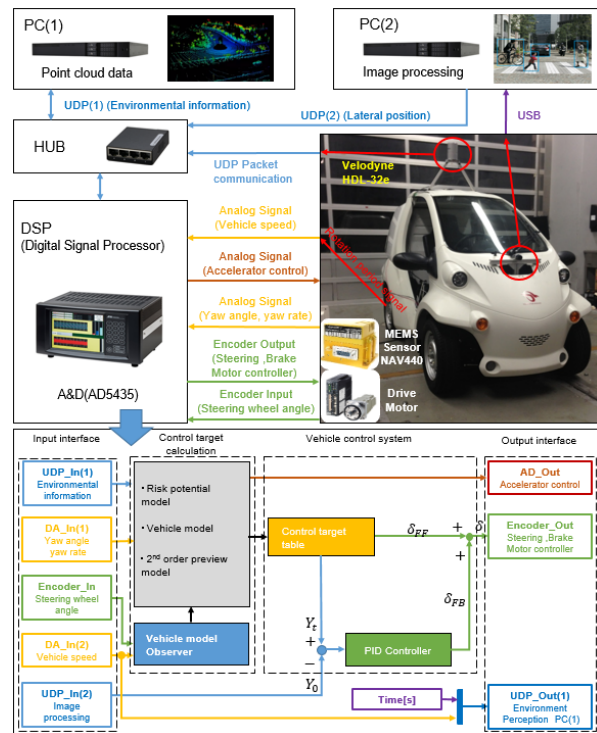


Fig.6 Sensors and hardware components for experimental vehicle

運転者特性抽出のための評価法確立

金子 哲也（工学部交通機械工学科）

成果報告

近年の電子制御技術により運転支援システムの採用が一般的となり、今後もさらに展開するものと考えられる。このとき、支援システムの制御介入はドライバーにとって違和感なく受け入れられることが望ましい。一方で自動車を運転するドライバーは性別、年齢、運転歴などその特性はさまざまであり、運転行動や車両運動の認知特性は個々に異なる。そのため、自動車の特性設計にあたっては一般のドライバーに受容され得るよう配慮されなければならない、車両運動特性の変化に対する一般ドライバーの認知特性を考慮することが重要である。そこで、ドライバーが操行経路を決定する過程に着目し、危険感ポテンシャルドライバーモデルと車両周辺環境および車両状態量からドライバーの特徴を抽出し、ドライバーの属性の定量化パラメータの選定とこれを用いて特定環境における個々の運転行動の特徴を記述出来るモデルの提案を目指す。

本研究ではドライバーの運転行動を再現する実験車両が必要となるため、小型電気自動車を改造し自動運転車両を製作した。その概略を図1に示す。環境情報の認識装置、前後方向および方向制御機構および車両状態量計測装置を搭載した。環境情報認識部ではLiDARを用いたポイントクラウド情報から物体認識を行い、これにレーザレーダ情報、画像処理情報を組み合わせて用いた。

実験車両を用いた走行実験により、運転者の運転行動の特徴抽出を行った。ドライバーは交通環境下の様々な物体から影響を受けて走行経路を生成し、これを追従するように運転していると考えられる。このとき、ドライバーが各物体から受ける危険感覚はドライバーごとに異なり、さらに複数の物体が存在する交通環境下における走行経路生成にはドライバーの特徴が表れる。そこで、図2に示す複数の障害物が存在する交通環境下においてドライバーの運転行動を計測し、ドライバーが感受していると考えられる各物体からの危険感覚をマップ状に再現した。危険感覚の再現にはリスクポテンシャルモデルを用いて図3のようにそれぞれの物体に対して危険感覚を関数化して配置し、このパラメータをドライバーごとにチューニングした。

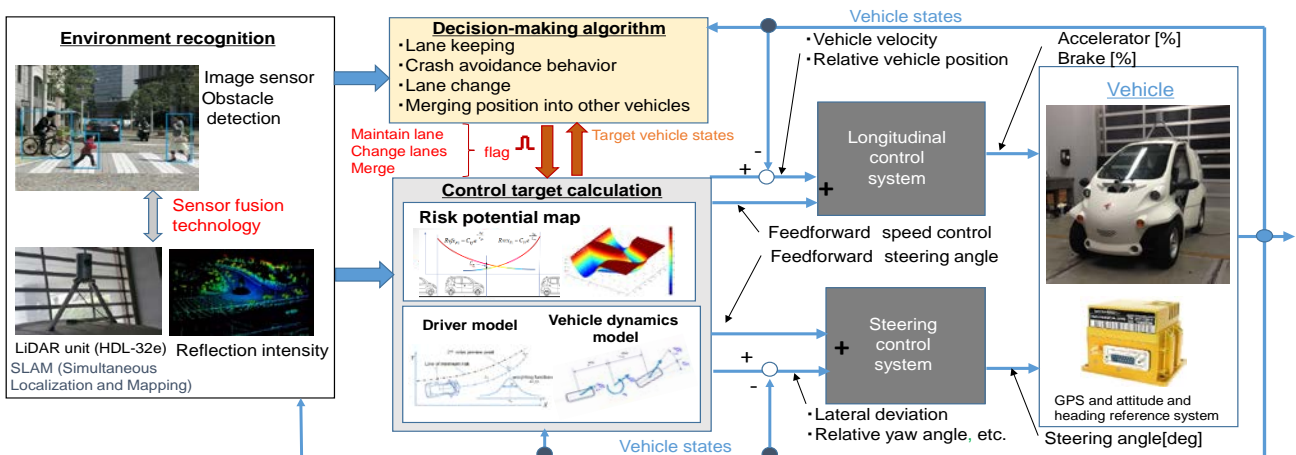


Fig.1 Control System for Autonomous Vehicle

計測した走行軌跡と、この走行軌跡を再現するために作成したリスクポテンシャルマップの例を図4に示す。このように、構築した実験車両に搭載したセンサと危険感ポテンシャルドライバモデルにより、周辺の交通環境情報の取得と危険感ポテンシャルの配置が可能であった。この危険感をもとに、ドライバの運転行動を再現するアルゴリズムを構築し、再現した車両運動状態と計測した結果の比較を図5に示す。この結果から、実際の運転行動を詳細に再現することが可能であることがわかった。以上のことから、構築したアルゴリズムによって複数の物体から受ける危険感を一時的に表現し、さらに危険感ポテンシャルパラメータによってドライバごとの特徴を表現することが可能であると考えられる。

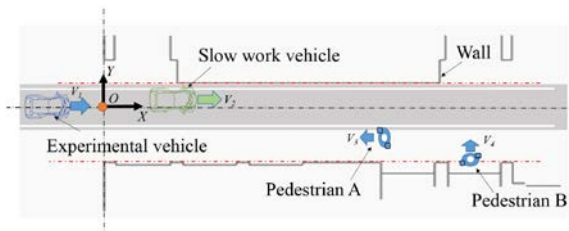


Fig.2 Experimental condition of complicated situation

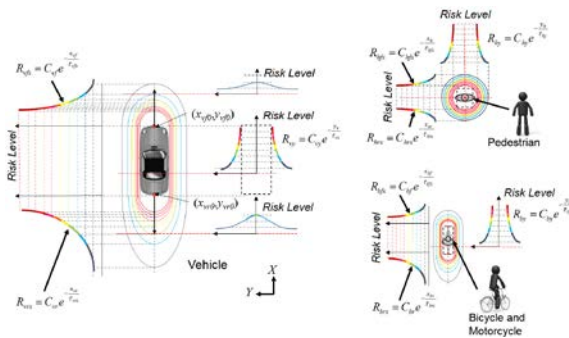


Fig.3 Schematic of risk potential from obstacles

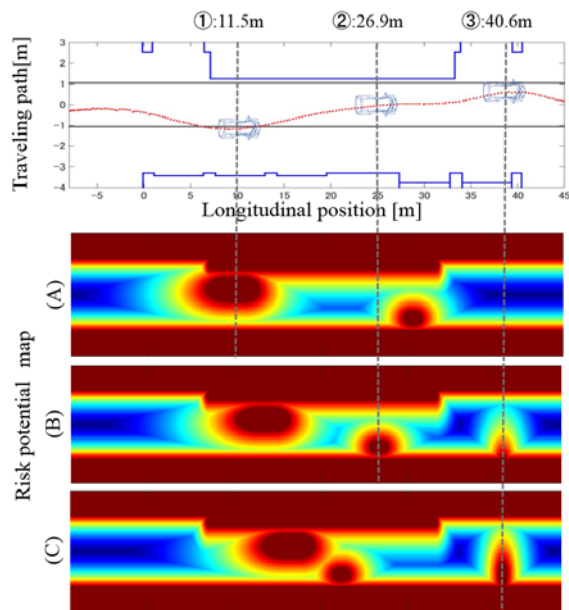


Fig.4 Variation patterns of risk potential map in an experiment

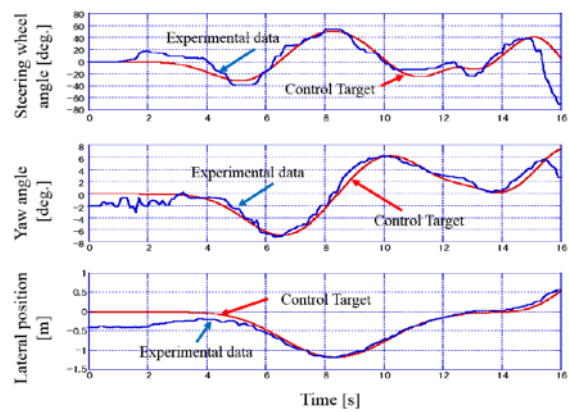


Fig.5 Comparison with vehicle motions (human operation) and control targets

研究発表

- 北澤 章平, 金子 哲也, 蓋 云天: 周辺交通との相互調和を考慮した自律走行車両の制御目標生成に関する研究 (第1報) - リスクポテンシャルおよび車両運動モデルを用いた操舵目標生成について -, 自動車技術会 2016年春季大会, パシフィコ横浜
- ガイ ウンテン, 北澤 章平, 金子 哲也: 車両周辺交通との相互調和を考慮した自律走行車両のための制御目標生成アルゴリズム, システム制御情報学会 第58回 自動制御連合講演会, 神戸大学
- 金子 哲也, 北澤 章平, ガイ ウンテン : 混在交通下リスクポテンシャル空間と車両運動性能を考慮した自動運転経路生成, 第15回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会, 東京ビッグサイト
- ガイ ウンテン, 北澤 章平, 金子 哲也: 自律走行車両のための複数移動物体存在下での目標軌跡生成に関する研究, 日本機械学会 第23回 交通・物流部門大会 (TRANSLOG2014), 東京大学 生産技術研究所

車両運動制御介入に対する運転者の弁別特性、適応特性の計測

北澤 章平 (短期大学部自動車工学科)

成果報告

近年の電子制御技術により，車両運動特性設計の自由度は拡大し，車両安定化制御や緊急回避制御など運転支援システムの採用が一般的となり，今後もさらに展開するものと考えられる．このとき，支援システムの制御介入はドライバにとって違和感なく受け入れられることが望ましい．一方で自動車を運転するドライバは性別，年齢，運転歴などその特性はさまざまであり，運転行動や車両運動の認知特性は個々に異なる．そのため，自動車の特性設計にあたっては一般のドライバに受容され得るよう配慮されなければならない，車両運動特性の変化に対する一般ドライバの認知特性を考慮することが重要である．この検討の一つとしてドライバの車両特性変動に対する弁別と適応行動について検討した．

検討対象とした車両特性変動はヨー運動の周波数応答とし，パラメータを変化させた場合のドライバの弁別と運転行動について調査した．実験に用いた車両は周波数応答特性を可変とするため4WS機構を搭載した．この制御則は次のとおりである．図1に示す平面二輪モデルにおいて，車両横すべり角およびヨーレイトの伝達関数は(1)式で表される．

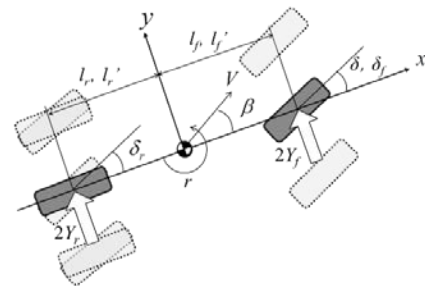


Fig.1 Equivalent bicycle model of 2WS and 4WS

$$\begin{bmatrix} \beta(s) \\ \delta(s) \\ r(s) \\ \delta(s) \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta(s)} \begin{bmatrix} I_s + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V} & -mV - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{V} \\ -2(l_f K_f - l_r K_r) & mVs + 2(K_f + K_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2K_f \\ 2l_r K_r \end{bmatrix}$$

ただし，

$$\Delta(s) = mVs^2 + 2\{m(K_f l_f^2 + K_r l_r^2) + I(K_f + K_r)\}s - 2mV(K_f l_f - K_r l_r) + \frac{4K_f K_r l_f^2}{V} \quad (1)$$

ここで，それぞれの伝達関数を(2)のように整理し，固有振動数 ω_n および減衰比 ζ に特性変化パラメータ K_ω ， K_ζ を乗じて特性変化とした．

$$\frac{\beta(s)}{\delta(s)} = G_\beta^\beta(0) \frac{1 + T_\beta s}{1 + \frac{2\zeta s}{\omega_n} + \frac{s^2}{\omega_n^2}} \quad \frac{r(s)}{\delta(s)} = G_\delta^r(0) \frac{1 + T_\delta s}{1 + \frac{2\zeta s}{\omega_n} + \frac{s^2}{\omega_n^2}} \quad (2)$$

このような運動が得られる前後輪の実舵角は(3)式で示される．この実舵角が得られるよう，車両前後操舵機構に備えたモータを制御した．

$$\frac{\beta'(s)}{\delta(s)} = G_{\delta}^{\beta}(0) \frac{1+T_{\beta}s}{1+\frac{2\zeta' s}{\omega_n'} + \frac{s^2}{\omega_n'^2}} \quad \frac{r'(s)}{\delta(s)} = G_{\delta}^r(0) \frac{1+T_r s}{1+\frac{2\zeta' s}{\omega_n'} + \frac{s^2}{\omega_n'^2}} \quad (3)$$

ただし,

$$\omega_n' = K_{\omega} \omega_n \quad \zeta' = K_{\zeta} \zeta$$

この実験車両を用いて、シングルレーンチェンジによる走行実験によりドライバの弁別・適応特性を調査した。

図2は3名のドライバによる車両応答パラメータを変化させた場合の主観評価の結果であり、いずれのドライバもその変化を弁別することが可能であったことがわかる。このときの運転行動と主観評価の関係を調査した。一例としてレーンチェンジ時の車両ヨー角と主観評価の関係を図2に示す。車両応答の変化にかかわらず、ドライバごとにある値に近い場合に良い評価を与えており、このことからレーンチェンジにおいて、いずれのドライバも目標とする車両ヨー角を得るために運転行動を変化させて車両特性の変化に適応し、それぞれ異なる目標車両ヨー角に制御できた場合に「運転しやすい」と感じる事がわかった。その他の結果も含め、レーンチェンジにおける運転行動を詳細に分析した結果、ドライバごとに異なる運転行動をとることが分かり、その特徴は車線を乗り移る際のヨーレイト、ヨー角に強くあられることを明らかにした。また、運転行動の特徴は車両の走行軌跡と車両状態量に現れることから、走行データの蓄積によってドライバの属性分類が可能になることを示し、走行軌跡を表現するモデルを提案した。

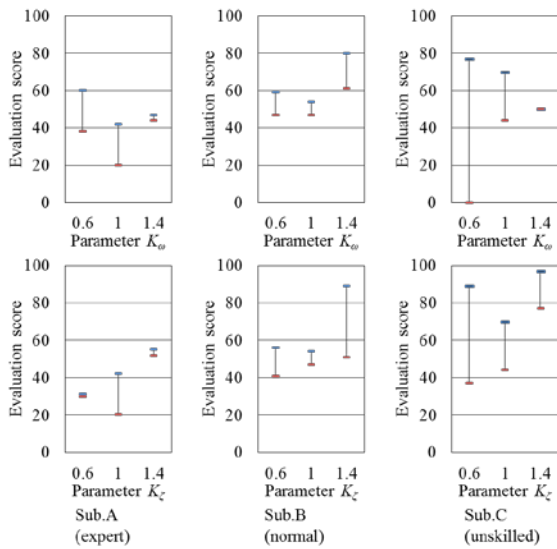


Fig.2 Subjective evaluations

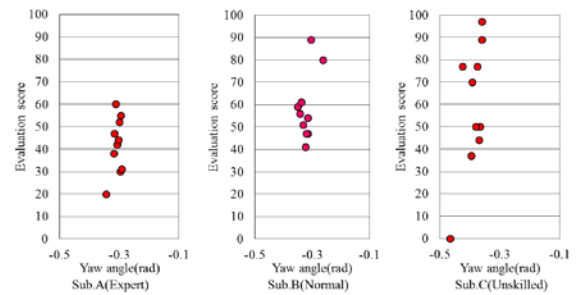


Fig. 3 Relationship between relative yaw angle and subjective assessments of each subject

研究発表

- Shohei Kitazawa and Tetsuya Kaneko : Study on Difference of the Traveling Trajectory with Change in Vehicle Response Characteristics in the Lane Change Situation, FAST-zero 2015 Symposium(Future Active Safety Technology Towards zero traffic accidents), Gothenburg, Sweden
- 北澤 章平, 金子 哲也 : レーンチェンジ時の車両応答特性に対するドライバの受容性に関する検討, 日本機械学会 第 23 回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2014), 東京大学 生産技術研究所
- 北澤 章平 : 自動車の運動特性変動に対するドライバの弁別・適応に関する研究, 第 46 回全国自動車短期大学協会研究発表会, ホテルオークラ新潟
- 北澤 章平, 西治 智道, 金子 哲也 : 小型車両を用いた平面運動特性変化に対するドライバの受容性に関する検討, ADVANTY2013 シンポジウム, 金沢大学
- 北澤 章平, 金子 哲也 : ドライバ属性を考慮した車両特性変動に対する運転行動変化の一考察, 日本機械学会 第 22 回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2013), 東京大学 生産技術研究所