

## 自然な運転状況の中での人間 機械双中心型多層的 追突回避マネジメント

|          |   |
|----------|---|
| 著者       | 伊藤 誠  |
| 著者別名     | ITOH MAKOTO   |
| 発行年      | 2012  |
| その他のタイトル | Rear-end collision avoidance with human-machine collaboration under natural driving context |
| URL      | <a href="http://hdl.handle.net/2241/118705">http://hdl.handle.net/2241/118705</a>           |

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月18日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21241041

研究課題名（和文）自然な運転状況中での人間-機械双中心型多層的追突回避マネジメント

研究課題名（英文）Rear-end collision avoidance with human-machine collaboration under natural driving context

研究代表者

伊藤 誠 (ITOHI MAKOTO)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：00282343

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、ドライバの自然な運転状況中での追突リスクの多層的管理を実現するための枠組みと、その実現に必要な要素技術を構築した。具体的には、(1)無拘束実時間ディストラクション検出手法と、香り提示に基づくディストラクション解消技術、(2)追突リスクとその認知の評価のための解析ツール、(3)視覚と聴覚の特性を生かしたリスク認知ギャップの知覚支援技術、(4)警報との接続をふまえた自動ブレーキロジック、である。

研究成果の概要（英文）：

This research project proposed a framework for multiple-layered rear-end collision risk management under natural driving contexts. Concretely speaking, the following four categories of methods and techniques were developed: (1) real-time detection of driver distraction and mitigation of the distraction by supplying aroma, (2) software tools for analyses of rear-end collision risks, (3) attention arousing and/or warning for preventing rear-end collision, and (4) automatic brake logic.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費       | 合計         |
|--------|------------|------------|------------|
| 2009年度 | 10,900,000 | 3,270,000  | 14,170,000 |
| 2010年度 | 11,600,000 | 3,480,000  | 15,080,000 |
| 2011年度 | 13,100,000 | 3,930,000  | 17,030,000 |
| 総計     | 35,600,000 | 10,680,000 | 46,280,000 |

研究分野：認知システム安全工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：交通事故・高度道路交通システム・認知科学・モニタリング・ユーザインタフェース

## 1. 研究開始当初の背景

科研費基盤研究(A) 18201031（研究代表者伊藤誠）の成果を受けて本研究課題は行われた。追突リスクマネジメントを実用に近づけるためには、車両状態としてのリスクとドライバの心的状態変化によるリスクは互いに独立ではなく、相互作用を持つ系であるということを考慮に入れることが必要である。そ

のために、図1の3つの軸（車両状態としての顕在危険軸、潜在危険軸と、心的状態によるリスク軸）に基づく追突リスクの総合的評価手法の構築と、そのリスクに応じた多層的な支援の確立が課題となった。なお、ここでいう多層的支援とは、リスクが上昇しないように保つ、リスクが上昇したときに早期に元のレベルに戻す、緊急性が高まったときに人間の能力をふまえた支援を提供することを

意味するものである。

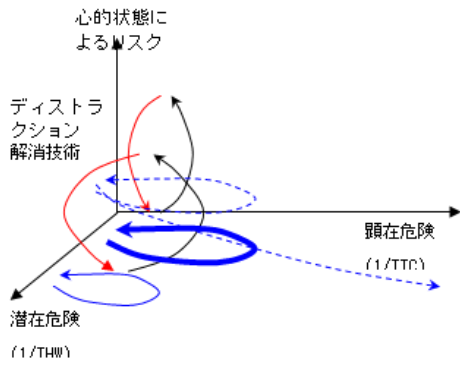


図1 本研究の考察範囲

## 2. 研究の目的

本研究課題は、ドライバの自然な運転状況の中での追突リスクの多層的管理を実現するために、以下の4つに分けて研究を行うことを目的とする。すなわち、(1)無拘束実時間ディストラクション(運転への注意低下)検出手法の構築と、香り提示に基づくディストラクション解消技術の開発、(2)追突リスクとその認知の評価に関するツールボックスの構築、(3)視覚と聴覚の特性を生かしたリスク認知ギャップの知覚支援の開発、(4)警報との接続をふまえた自動ブレーキロジックの開発、である。

## 3. 研究の方法

本研究は、6. に示す研究組織を構成し、図2に示すように研究を推進した。具体的な方法と成果は、「4. 研究成果」にまとめて記す。

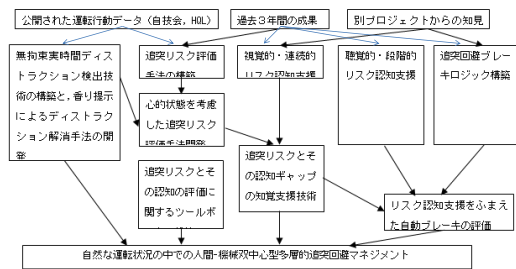


図2 研究体制図

## 4. 研究成果

### 4.1 無拘束実時間ディストラクション検出手法の構築と、香り提示に基づくディストラクション解消技術の開発

ドライバの視線方向は、カメラ画像を用いることによって無拘束に計測でき、ディストラクションを検出するために有効な指標を得ることができる。各時刻におけるドライバの注視点の位置を計測し、そのバラつき度合をエントロピーとして計算する方法を構築

した。ドライビングシミュレータ上での評価実験の結果、メンタルワークロードの上昇が認められないような「つい会話にのめりこんでしまう」ディストラクションが起こっている場合に、運転タスクのみ、運転中に暗算タスクを行う場合などと比べて、この視線エントロピーが増大する傾向があることが確認された。

ディストラクションには、メンタルワークロードの増大をもたらすものもある。メンタルワークロードの増大は、脈波をカオス解析することによって検出することができる。基盤研究(A)18201031の成果によってわかっていたが、算出された値を正規化する必要が示唆されていた。しかし、実験を繰り返したところ、データが十分に蓄積されるならば、正規化は必ずしも必要でないことが明らかとなった。

また、メンタルワークロード変化時の脳活動について、近赤外分光法(NIRS)を用いて計測を行い(図3)、多数の被験者によって統計的な分析を行った。ドライビングシミュレータを用いた実験に8名のドライバが参加した。この実験では、追突警報システムが利用できる場合とできない場合とでの、ドライバの脳活動の違いを比較している。実験の結果、前頭葉右外側部において、酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)の微分値の最大値が、警報システム無(WithoutFCWS)条件と比べて、警報システム有(WithFCWS)条件において統計的に有意に低くなることが確認された(図4)。



図3 NIRSの計測実験

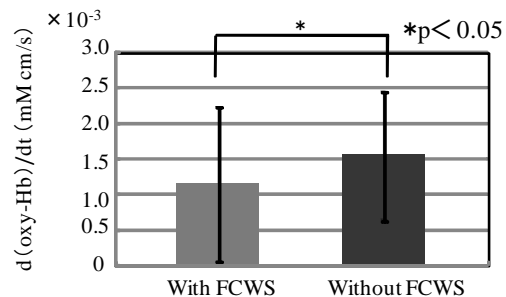


図4 前頭葉右外側部におけるOxy-Hbの微分値の最大値に対する警報システムの効果  
運転行動に対するドライバの注意低下の一つには、覚醒度の低下がある。覚醒度が低

下した場合に、香りを供給することによって覚醒効果が期待されることがわかってきたので、ドライビングシミュレータを用いた検証実験を行った。ここでは、供給する香りは $\alpha$ -ピネンであり、過去の成果に基づいて、供給方法は濃度水準レベル4、供給時間15秒、供給間隔時間を300秒とした。図5に、この実験のセットアップを示す。支援なし、接近車両に対する音声による情報提示、接近車両に対する音声情報と香り提示の3条件を比較する実験を行った結果、接近車両に知覚するまでの時間が、香り提示がある場合に短くなることが分かった(図6)。また、香り供給が事故低減にもたらす効果を定量的に評価するための数理モデルの構築と解析を行った。構築されたモデルに、ドライビングシミュレータ実験の結果を適用したところ、表1のように、香り低減によって事故発生確率が大きく低減されることが示された。

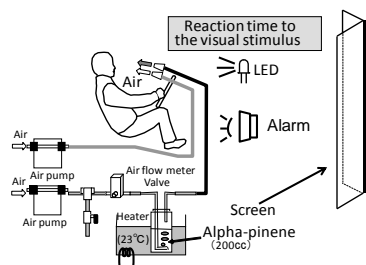


図5 香り供給実験

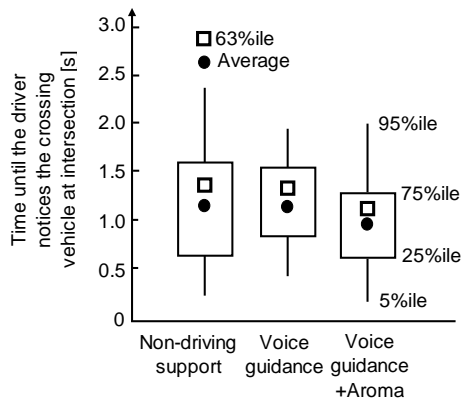


図6 接近車両に気づくまでの時間

表1 事故発生確率

|                            | Probability           |
|----------------------------|-----------------------|
| Non-driving support system | $1.34 \times 10^{-4}$ |
| Voice guidance             | $1.40 \times 10^{-4}$ |
| Voice guidance and aroma   | $0.36 \times 10^{-4}$ |

#### 4.2 追突リスクとその認知の評価に関するツールボックスの構築

種々の追突リスク指標を取り扱うことの

できる解析ツールを開発した。現在、公開の準備をしているところであり、準備が完了でき次第、ウェブサイトにおいて公開を行うことにする。

このツールを利用した解析例を図7に示す。ケース1は、秒速20m/s、車間時間(THW)3秒で追従中の場面において、先行車が $3 \text{ m/s}^2$ で減速を開始し、約3秒後に自車が同じく $3 \text{ m/s}^2$ で減速を開始し、衝突を回避する場合である。ケース2は、ケース1と同様であるが、車間時間1秒から始まり、約1秒後に自車が減速を開始する点が異なる。追突のリスクを、 $RP=1/THW+4/TTC$  (ただし、TTCは衝突余裕時間) で評価する場合、ケース1(車間時間が長い)場合よりも、ケース2(車間時間が短い)場合の方が、図7のように最大の追突のリスクが高くなる場合がある。このことは、車間を広くとるだけでは安全確保には不十分であることを意味している。定速走行中から一定減速度で減速するシナリオにおいては、後続の自車は、車間時間以内に減速操作を開始すれば、先行車と同一の減速度によって追突を免れることはできる(たとえば、車間時間が1秒ならば、先行車が減速を開始してから1秒以内に自車が減速をすればよい)。しかし、図7で象徴的に示されているように、車間時間ぎりぎりまで減速を開始する場合を考えると、車間時間を大きくとっている方が、最大の追突リスクは高い場合もある。米国の100 car-studyなど実世界における追突事故の事例では、初期の車間時間が比較的大きな値を取っているケースが多くみられることが知られているが、図7の解析例が示唆するように、車間をあけておいたとしても、その分デストラクションなどによって反応が遅れるような場合には、かえって追突リスクが高まりやすい。

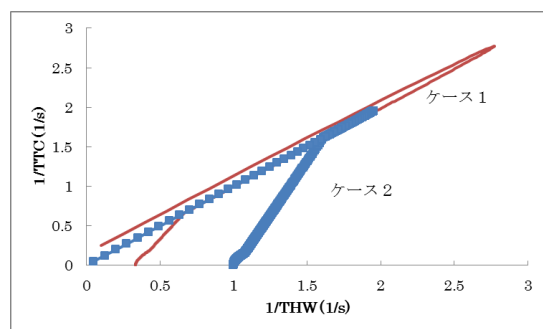


図7 追突リスクの解析例

なお、ドライビングシミュレータを利用した実験の結果、ドライバの反応時間は、追従時のTHWと高い正の相関が認められてもいる。この相関を仮定すると、定常的な追従中に先行車が急に減速を開始するシナリオにおいて、反応速さをも考慮に入れた追突リスクの

定量化が可能であることの見通しが得られることになる。

また、実路運転行動データによると、ブレーキ開始のタイミングは、先行車の速度が時速 30km/h 以上ならば  $RP < 2$  で行われるが、時速 30km/h 未満の場合には、 $RP > 2$  となる場合が多数存在することを明らかにした。このことは、追突リスクの指標には、強い速度依存性を持つことを意味するものである。

#### 4.3 視覚と聴覚の特性を生かしたリスク認知ギャップの知覚支援の開発

##### (1) 連続的リスク認知支援手法の開発

追突のリスクが高まらないようにするために、比較的平穏な場面において追突のリスクを視覚的に情報提示することを考える。この場合、TTC などの、リスクの量そのものを提示するよりも、衝突回避のためにどの程度の減速操作が必要であるかに変換して提示することが有効であると考えられる。そこで、先行車と自車の相対運動モデルから導かれる衝突回避減速度 (Deceleration for Collision Avoidance: DCA) を利用する。DCA には、先行車の急減速を仮定した場合の潜在的 DCA (PDCA) と、現時刻の加速度が維持されることを仮定した場合の顕在的 DCA (ODCA) の二つがありうる。図 8 (b) のように、PDCA と ODCA の量を視覚化し、その有効性を評価する実験を行った。警報なし (w/o)、TTC ベースの情報提示 (図 8 (c))、DCA ベースの情報提示の 3 つを比較したところ、DCA を用いると衝突の頻度が有意に低くなり、ドライバーのブレーキ開始時の TTC も有意に高い値となるなど (図 9)、DCA による視覚的情報提示の有効性が確認された。また、DCA の視覚表示を、ナイトビジョンに応用する方法も構築した (図 10)。

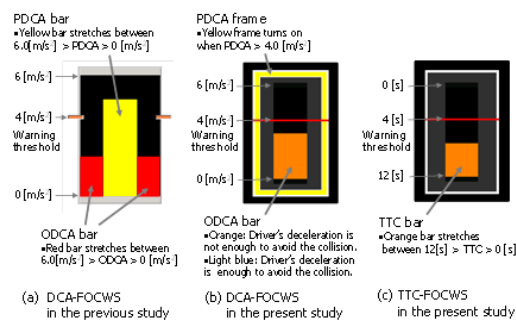


図 8 追突リスクの視覚的連続的表示

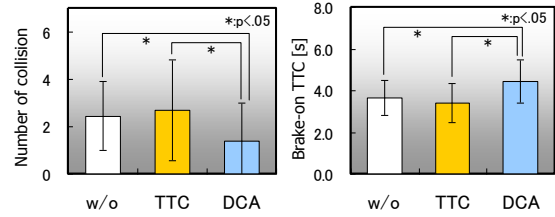


図 9 衝突回避減速度提示の効果

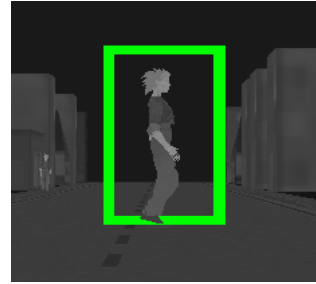


図 10 ナイトビジョンへの応用例

##### (2) 段階的リスク認知支援

追突リスクのマネジメントのためには、危険が顕在化する前に予防的な措置を取ることが必要な場合がある。たとえば、図 11 のように、周囲の状況が変化しつつあり、いずれ先行車が減速を余儀なくされる可能性が高い場合などがある。このような場合に、状況の変化を検知し、ドライバーに注意を喚起することが有効であると考えられる。そこで、図 12 のような注意喚起情報を提示することの効果を検証する実験を行った。その結果、図 13 に示す通り、注意喚起情報が提示されることによって、車間時間を長くする傾向があることが確認された。これは、運転中にディストラクションをもたらさうるサブタスクを行っているか否かによらず、共通して確認される現象である。また、図 14 に示すように、注意喚起がなされることによって、先行車減速が実際に起こった場合でも、早い段階での減速操作につながることを確認された。

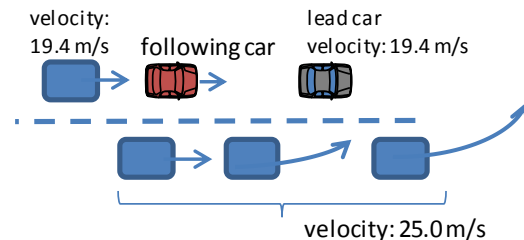


図 11 注意喚起が必要な状況の例





図 12 注意喚起情報の例

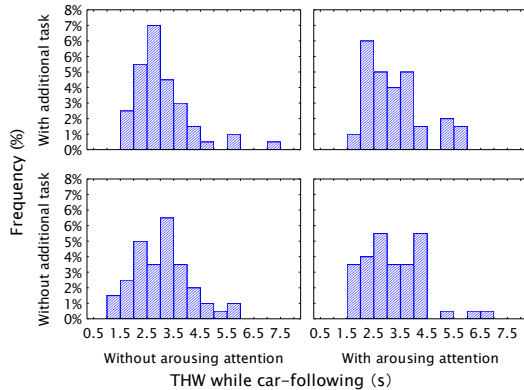


図 13 注意喚起による車間時間への影響

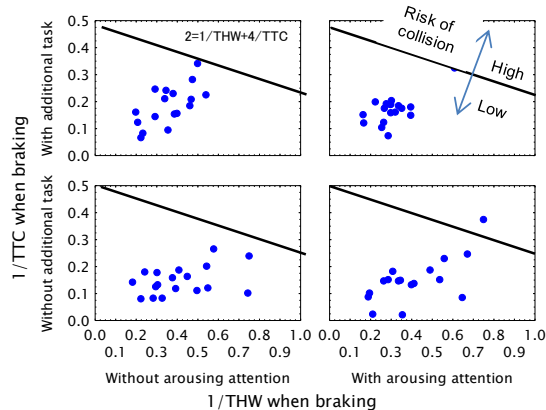


図 14 注意喚起による先行車減速への対処行動への効果

#### 4.4 警報との接続をふまえた自動ブレーキロジックの開発

これまでの成果によって、 $Kd\_B\_c$  という指標を用いると、ドライバのブレーキタイミングをよく説明できることが分かったことから、 $Kd\_B\_c$  に基づく自動ブレーキロジックを構築した。ドライビングシミュレータを用いて検証実験を行ったところ、ドライバのブレーキタイミングよりもやや遅い ( $\Delta \phi = 1$ ) タイミングの自動ブレーキが利用できる条件では、追従中の THW は小さくなる傾向が見られたものの、先行車減速時のドライバ自身のブレーキが、自動ブレーキのない場合と比

べて早い段階で行われることを確認した (図 15)。

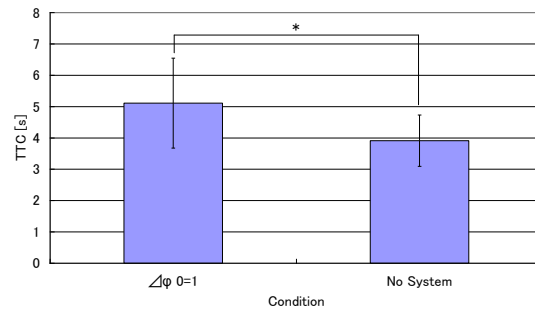


図 15 自動ブレーキによる影響

以上に代表される研究成果は、国内外に大きな影響を与えている。たとえば、これらの成果が認められ、ASV (先進安全自動車) プロジェクトの委員として、伊藤ならびに和田が 2011 年度より参加することになった。ASV において積極的に発言をすることにより、研究の成果を国の施策として適切に反映されるように努めていく。また、企業からの共同研究の問い合わせも相次いでいる。

#### 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 45 件)

1. 柳沢一機, 網島均, 丸茂喜高, 伊藤誠, 稲垣敏之, NIRS を用いた自動車運転時の脳機能計測 (運転支援システムによるドライバの負担軽減の評価), ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 2, 2012 (掲載予定)、査読有。
2. 伊藤誠, 藤原祐介, 稲垣敏之, 追突回避ブレーキに対する行動変容, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 11, pp. 512-519, 2011、査読有。
3. 平岡敏洋, 高田翔太, 衝突回避減速度による衝突リスクの評価, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 47, No. 11, pp. 534-540 (2011. 11)、査読有。
4. Yoshiki Nii, K. Suzuki, K. Yamada: Effectiveness of Supplying Aroma to Drivers for Preventive Safety Based on a Probabilistic Model, Proceedings of FAST-ZERO' 11, TS2-8-3-3, 2011、査読有。
5. 安部原也, 伊藤誠, 山村智弘, 追突防止のための注意喚起とその効果, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 13, No. 3, pp. 79-88 (2011)、査読有。
6. Wada, T., Doi, S., Tsuru, N., Isaji, K., and Kaneko, H., Characterization of Expert Drivers' Last-Second Braking and Its Application to A Collision Avoidance System, IEEE

Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 413-422, 2010、査読有.

7. S. Kitajima, Y. Marumo, T. Hiraoka, M. Itoh, Comparison of Evaluation Indices concerning Estimation of Driver's Risk Perception-Risk perception of rear end collision to a preceding vehicle-, Review of Automotive Engineering, Vol. 30, No. 20, pp. 191-198, 2009、査読有.

[学会発表] (計 46 件)

1. G. Abe, M. Itoh, T. Yamamura, Influences of arousing driver attention on car-following behaviour and the risk of rear-end collisions. Human Factors Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting, Poster Presentation(19-21 October 2011, Leeds, United Kingdom)
2. T. Hiraoka, S. Takada, H. Kawakami, Forward obstacles collision warning system based on deceleration for collision avoidance, SICE Annual Conference 2011, 2011.9.14, 早稲田大学 (東京都新宿区)

[図書] (計 2 件)

1. Genya Abe, Makoto Itoh, Tomohiro Yamamura: "Different Alarm Timings for a Forward Collision Warning System and Their Influence on Braking Behaviour and Drivers' Trust in the System", in D. de Waard, J. Godthelp, F. L. Kooi, and K. A. Brookhuis (eds.), Human Factors, Security, and Safety, pp. 1-12, Shaker Publishing, 2009.

[その他]

招待講演

伊藤誠, 生体信号解釈とドライバの安全実現研究会, 2010年4月30日

受賞

1. 和田隆広, 堤成可, 吉田誠, 土居俊一, 日本機械学会交通・物流部門 交通物流部門大会賞 (2011. 3. 11)
2. 伊藤誠, 2010年度計測自動制御学会論文賞 (友田賞) 受賞(2010. 8)
3. T. Wada, S. Hiraoka, S. Doi, Best Paper Award, Second International Conference on Intelligent Robotics and Applications (2009.12)
4. Tsutsumi, S., Wada, T., Doi, S., Finalist for Best Paper Award, The First International Symposium on

Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident (FAST-zero'11) (2011.9.9)

新聞記事

1. 日本経済新聞 2010年11月23日朝刊(大阪, 中四国版)

アウトリーチ

1. 伊藤誠, 第3回ロボカフェ 2009年11月14日(土)
2. 科学技術週間における研究紹介(2010年度より)

ホームページ

<http://www.risk.tsukuba.ac.jp/~itoh/human-assist.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 誠 (ITOH MAKOTO)  
筑波大学・システム情報系・准教授  
研究者番号: 00282343

(2) 研究分担者

綱島 均 (TSUNASHIMA HITOSHI)  
日本大学・生産工学部・教授  
研究者番号: 30287594  
鈴木 桂輔 (SUZUKI KEISUKE)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号: 80373067  
安部 原也 (ABE GENYA)  
日本自動車研究所・安全研究部・研究員  
研究者番号: 30426259  
平岡 敏洋 (HIRAOKA TOSHIHIRO)  
京都大学・大学院情報学研究科・助教  
研究者番号: 30311749  
和田 隆広 (WADA TAKAHIRO)  
香川大学・工学部・准教授  
研究者番号: 30322564

(3) 連携研究者

稲垣 敏之 (INAGAKI TOSHIYUKI)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号: 60134219  
丸茂 喜高 (MARUMO YOSHITAKA)  
日本大学・生産工学部・准教授  
研究者番号: 00409088

(4) 研究協力者

山村 智弘 (日産自動車)