

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18201031
 研究課題名（和文） 非拘束モニタリングにもとづく追突防止支援と
 過信抑制インタフェース
 研究課題名（英文） Socially Acceptable Forward Vehicle Collision Avoidance with
 Adaptive Autonomy via Non-intrusive Driver-monitoring
 研究代表者
 伊藤 誠（ITOH MAKOTO）
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授
 研究者番号：00282343

研究成果の概要：

本研究では、技術的な問題というよりも、ドライバの過信への懸念というヒューマンファクター的問題によっていまだ実現されていない追突回避支援の実現を目指し、非拘束にドライバをモニタリングして注意低下状態を検出する技術を開発するとともに、注意低下状態にあるときには早期に復帰を促す方策のプロトタイプ構築、過信を伴わない状況認識強化技術の開発を行うことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	14,900,000	4,470,000	19,370,000
2007年度	14,000,000	4,200,000	18,200,000
2008年度	11,000,000	3,300,000	14,300,000
年度			
年度			
総計	39,900,000	11,970,000	51,870,000

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：運転支援，個人適合，追突防止，心的状態推定，脳機能，心的負荷，機能配分，警報システム

1. 研究開始当初の背景

日本では、交通事故による死亡者数は減少傾向にあるものの、事故件数自体は年々増加しており、安全対策の開発・普及が急務となっている。交通安全に対する工学的なアプローチとしての先進安全自動車（ASV）プロジェクトなどでは、運転行動における「認知・判断・操作」のうちの「操作」の支援を「運転負荷軽減」と「事故回避支援」にわけて考えて開発が進められている。すでに、運転負荷軽減においてはアダプティブクルーズコ

ントロール（ACC）など、事故回避支援においてはプリクラッシュセーフティ（PCS）などが実用化されている。

操作支援では、システムに対するドライバの過信が懸念され、ドライバがシステムに過度な期待を抱かないような配慮が求められたことから、従来の開発プロジェクトにおいては、事故の危険性が高まっているときに積極的に安全側に戻そうとする支援は行わないことになっている（表1）。その結果、たとえば、ACCにおいては「最大減速度0.25G」にとどめられ、ACCは追突防止の支援として

は機能しない。また、プリクラッシュセーフティシステムは、事故回避支援といいながらも、実際に作動するのは「衝突が避けられない」ときに限定される。こうした考え方は日本のみではなく、世界的にも同様の傾向がみられる。

しかし、こうした「配慮」が真にドライバの過信の抑制に成功しているかといえば、答えは必ずしも肯定的ではない。事故件数を抜本的に減少させることを第一に考えれば、「衝突が避けられない」状況に至る前の積極的な減速制御が求められる。システムへのドライバの過信や依存を抑制しつつ、追突防止を支援するシステムの実現を目指すことが必要である。

表1 従来の運転支援システムの支援範囲

交通状況	定常的	追突の危険	追突不可避
支援内容	操作負担軽減	追突防止	衝突被害軽減
システム	ACC	なし	PCS

2. 研究の目的

本研究では、従来の「運転負荷軽減」と「衝突被害軽減」との間を埋める追突防止支援を行うことによって、ACCのように安定な状態を維持する（危険な状態へ近づけない）支援から衝突被害軽減支援までの切れ目のない多重防御としての安全運転支援システムを提案する。このとき、追突防止支援に対するドライバの過信や依存をもたらさないように、支援内容とその限界がわかりやすい制御アルゴリズム、状況認識支援インタフェースを開発する。

3. 研究の方法

本研究では、一般車両が高速道路で先行車に追従中である場合を対象とする。追突防止支援に対するドライバの過信や過依存を抑えつつ、必要ならば追突事故を防止するための制御介入も行うことを可能にすることを目指す。単に、追突の危険が高まっているときに機械が操作に介入する、ということだけであるならば、既存の技術でもある程度可能であり、ドライバの過信や過依存を防ぐための機構が重要になる。

ここでは、2つの考え方に立脚する。ひとつは、多層支援の考え方である。一口に「過信」といっても、実に多様な意味合いを持つのであり、過信のそれぞれの側面に対して、対策を講じていく必要がある。図1は、多層支援をどのように行おうとするかを表したものである。周囲の交通環境が平穏な場合に

は、危険な状況に陥らないように、ドライバの運転に対する積極性の低下を検出し、早期に正常な状態に戻すことが第一ステップである。そのために、ドライバの運転への注意をモニタリングする技術の開発が求められる。追突のリスクが高まった場面においては、ドライバがその危険の認識に遅れるような場合には、必要に応じて状況認識の強化支援や警報の提示を行う。ただし、そうした状況認識支援や警報に対する過度な依存が起きないように工夫が必要となる。

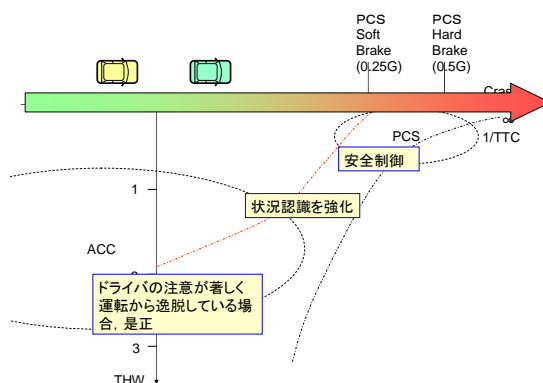


図1 多層的支援

もうひとつの考え方は、システムの機能やその限界を誤解するという意味で過信を論ずるならば、そのような過信は「誰にでも起こりうる」ものであるということである。逆に言うと、インタフェースのデザイン次第で、過信抑制の余地がある。そこで、本研究でも、システムの動作理解を促したり、ドライバが即座に対応しなければならない状況であることの理解を支援する、機能理解・状況認識の支援インタフェースの開発に取り組む。なお、一般車両を運転する場合は、ドライバや交通状況によってはマニュアル運転を選択することも十分にありうる。マニュアル走行中とACC使用中とは、先行車減速などの事象が発生したときの行為系列が一致するとは限らないことから、状況認識支援と警報のデザインをACCの使用の有無によってどのように変えるべきかを明らかにすることも狙う。

以上の考え方にもとづき、本研究では、大きく4つの項目にわけて研究を行った。

- (1) ドライバ心的状態の評価に有用な非拘束運転行動観測技術の開発
 - i 運転への注意低下状態の推定法
 - ii 脳機能からドライバの注意状態の推定
 - iii 脈波からドライバの注意低下の推定
- (2) 運転負荷軽減システム使用時の状況認識強化支援
- (3) マニュアル走行時状況認識強化支援

- (4) 負荷軽減から追突防止へのスムーズな接続のためのドライバ心的状態に応じた制御アルゴリズム開発

本研究の研究関連図を図 2 に示す。

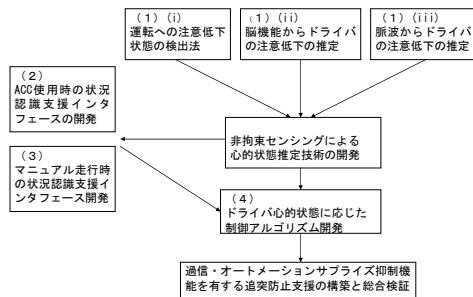


図 2 研究関連図

4. 研究成果

- (1) ドライバ心的状態の評価に有用な非拘束運転行動観測技術の開発

- (i) 運転への注意低下状態の推定法

ドライバが運転に対して十分な注意を払えない状況として、ディストラクションをとりあげる。ディストラクションには、visual (脇見), auditory (ケータイの呼び鈴に反応するなど). Biomechanical(車載機器を操作するなど身体の動きを伴う), cognitive (いわゆる意識の脇見)がある。脇見に関しては既に多くの研究があるので、ここでは biomechanical と auditory/cognitive なディストラクションに焦点を当てている。

実用に耐えうるシステムを構築することを視野に入れると、ドライバの心的状態のモニタリングは、ドライバを拘束しない形で行えるものでなければならない。また、いたずらにコストを高くしないようにしようと思えば、少ないセンサでの検出が求められる。

Biomechanical なディストラクションの検出方法を検討した結果、着座状態での座席にかかる圧力分布を利用することが妥当であろうとの結論に達した。圧力分布センサを用いると、乗員検知、疲労検出を含め、多様な利用法が可能であると考えられるというメリットがあるというのが大きな理由である。

そこで、運転中に行われうる副次行動(助手席に手を伸ばして何かをとる, など)(図 3)を、座面や背面にかかる荷重分布を利用して検出する方法を開発した。たとえば、圧分布データを画像と見なし、高次局所自己相関特徴を画像から抽出して識別空間を構成するという方法を構築した。その方法を用いると、動作の識別が高精度(学習を適切に行えば

90%近い)で可能であることを示す結果を得た。このアプローチは、国土交通省自動車局の ASV プロジェクトの中でも、さらに深く検討すべきものとして取り上げられた。

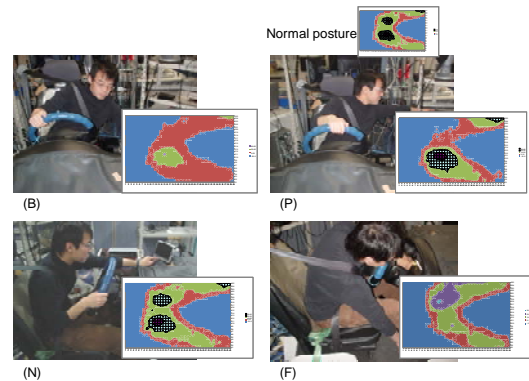


図 3 体の動きを伴う副次行動

つぎに、認知的ディストラクションの検出についてのアプローチと成果を紹介する。運転操作以外に考えるべきことをドライバが持ってしまったときに、ドライバの対応は大きく分けると二つの種類があることを本研究では指摘した。

- (i) 運転ならびにそれ以外のことについて両方とも十分に注意を向け、うまくこなそうとするもの
(ii) 運転以外のことに気を取られ過ぎ、運転を顧みなくなるというもの

従来の研究では上記の 2 者を区別しているものは少ない。しかし、認知的ディストラクションを検出する手法を開発しようと思ったら、これらを区別する必要がある。(i)は、両方ともうまくこなそうと努めるため、一時的には運転パフォーマンスが低下しないということもある。しかし、そのような状態が続けば早くに疲労しやすくなる。また、二つのことに同時に注意を向けることが、何かのきっかけでバランスを失い、認識すべきことに気づかなくなる(赤信号を見落とす, など)ことも起こりやすくなると考えられる。(i)は、全体としての心的負担が増える方向での変化である。これに対し、(ii)は運転にかけるべき労力を捨てているという点で、全体としての心的負担が増えるとは限らない。

(i)の検出については、さまざまな生理指標が利用可能である。本研究では、視行動と脈波に注目した(なお、脈波については後述)。視行動では、視線の停留の仕方を解析することにした。プライバシーの問題はあるものの、脇見検知などのためにインパネ内にカメラを埋め込んでドライバの顔を撮影するもの

は既に実用化されたものもある。本研究では、視線の停留の時間長を指標としたが、その理由は、何を見ているかを具体的に特定できなくてもよく、停留が起きているかどうかだけがわかればいいので、既存の計測技術でも十分対応可能と考えられるからである。メンタルワークロードが高くなることによって、停留時間に変化が生じることがわかったが、その変化には個人差があり、人によっては停留が長くなる（同じところを長く見るようになる）のに対し、別の人は停留が逆に短くなる（キョロキョロと目を動かしやすくなる）ことが明らかとなり（図4）、実用を目指すにあたっては個人を特定した形を取らざるを得ない。

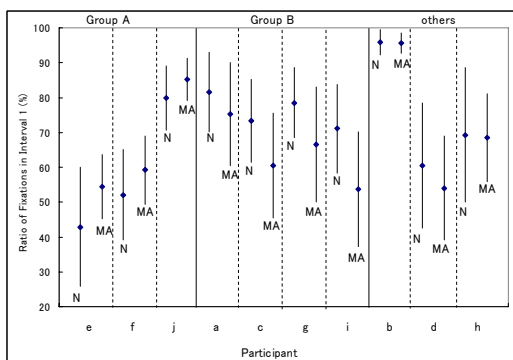


図4 停留時間とその影響の個人差

(ii)の検出は難しい課題である。心的負担としては高まらないと考えられるので、脈波のような生理的指標は適用が困難である。しかし、視行動においては、副次タスクへ注意が集中することによって、運転行動に集中している場合と比べて顕著な違いが現れることが実験の結果わかった。しかし、その影響の現れ方には強い個人依存性、状況依存性があり、体系的に整理することは今後の課題として残ることとなった。

(ii) 脳機能からのドライバ注意状態の推定

ここでは、ドライバの脳活動から、運転時の負担や注意を評価することができるか検証するために、ドライビングシミュレータを用いて、2つの実験を行った。

まず、基本的な運転操作に対応する脳活動を捉えられるかどうかを検討するため、発進停止課題を設定し、運転中の脳活動を計測した。その結果、運転操作に関連して酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)が上昇することがわかった。また、脳機能画像から、走行中に前頭葉両外側部が賦活することが確認できた。さらに、被験者5名の標準得点化による加算平均結果から、一般的な傾向としても、運転操作に関連してoxy-Hbが上昇し、前頭葉両外側部が賦活することが確認できた。

次に、ACCによる運転負担軽減を脳活動から評価できるか検証するために、先行車を追従する課題を設定し、ACCを用いずに被験者自らの操作によって追従する条件とACCを利用して追従する2条件を設定して実験を行った。多重解像度解析の結果、被験者自らが操作するときは、運転操作に対応して前頭葉両外側部が賦活しているのに対して、ACCを利用しているときは運転操作に関連した活動を示さなかった。さらに、標準得点化によって、被験者10名の加算平均を求めた結果、一般的な傾向としても、被験者自ら運転しているときと比較してACCを利用しているときは、走行中に前頭葉両外側部がほとんど賦活しないことが確認できた(図5)。以上のことから、fNIRSを用いた脳機能計測からドライバの負担や注意を評価し、運転支援システムの評価が行える可能性を示した。

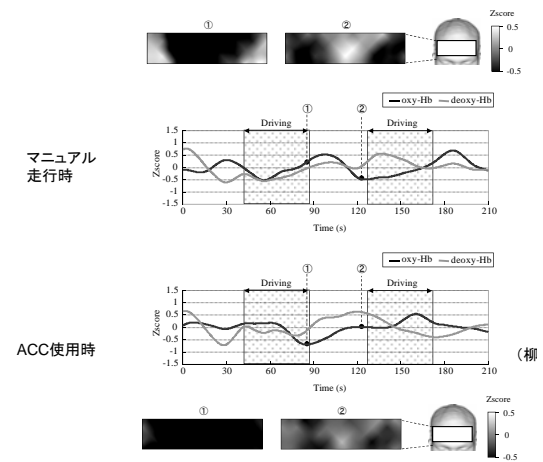


図5 運転支援システム利用による脳活動への影響

(iii) 脈波からのドライバ注意低下の推定

指尖脈波に着目し、そのゆらぎを定量化する指標であるリアプノフ指数から、運転中の心理的負担の程度を推定する妥当性について検討した。運転シミュレータを用いて心理的負担の高い状況と低い状況を設定した実験を行った結果、多数の被験者において心理的負担の高い状況でリアプノフ指数が上昇し、心理的負担の低い状況との間で有意差が確認された。また、指尖脈波のリアプノフ指数は、心理的高負荷状態の検出の精度が心電や、脳波と比較しても十分高いことを確認した。予防安全の観点で危険(対処が必要な心的高負荷状態)と判断することのできるリアプノフ指数の閾値を定量化についても成功する(図6)などの結果を得た。

さらには、心的高負荷状態にあるときに、香りを呈示することによって心的負荷レベルを低減させることができる可能性を示す実験結果も得られた。

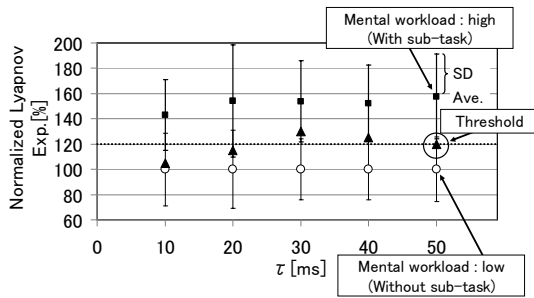


図6 脈波の正規化最大リアプノフ指数についての心的高負荷状態判断閾値

(2) 運転負荷軽減システム使用時の状況認識強化支援

ACCによる制御中に交通状況が定常的でなくなった場合にできるだけ早期に安全な状態を確保するために、状況認識支援の方法を構築した。基本的な考え方として、危険が迫っているときに、その危険への視覚的注意をそらさせるのは好ましくない。そこで、普段の作動において、どの程度シビアな状況で作動しているのかを見せることによって、危険が高まったときにスムーズにドライバーが介入の判断をできるようにする。

具体的には、図7左のようなデザインである。自車の減速度について、現在の値は常に矢印によって表示するのであるが、バグを使って直近10秒内での最大減速度を示す。このメータを見ることによって、危険を回避したあとで、その危険がどの程度の危険であったのかを理解できる。このインタフェースを付与することによって、ドライバーが介入しなければならないときにスムーズに制御の移行ができる(図8右。欠報時でもグループB(図7左のインタフェース使用)は反応が遅れない)ことが示された。

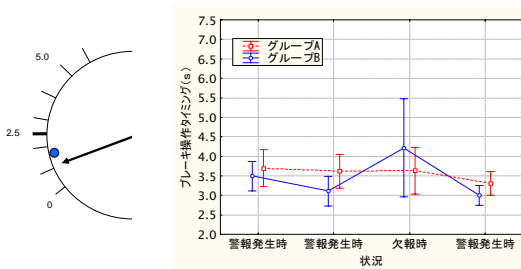


図7 ACC使用時の間接的な状況認識支援とその効果

(3) マニュアル走行時の状況認識強化支援
マニュアル走行時の追突警報はSDA (Stopping Distance Algorithm)を用いるのが一般的である。先行車急減速のシーンでは、SDAで標準的パラメータ設定にすると、ドライバーのブレーキ操作と比べて早い(安全側)タイミングで警報が呈示される。このような警報システムに対してはドライバーが過剰に

依存するケースがある。本研究では、ドライバーのブレーキ開始タイミング(の平均値)で警報を呈示すれば、過度な依存をもたらすことなく、行為実行の遅れによる事故を減らすことができることを明らかにした。ただし、ブレーキタイミングの平均値では、ドライバーから見たときにやや遅く感じられることもわかったので、ドライバーの行動のどこに適合させるべきかについて検討を進めた結果、アクセルオフとブレーキオンの平均的なタイミングの中間に設定することが、安全性の向上と過度な依存を低減するために適切であることが実験によって確認された。

他方、先行車追従中不意に接近するような場合には、ドライバーの普段の追従車間を基準として、ドライバー適合的に警報タイミングを設定することが必要であることを確認した。

(4) 負荷軽減から追突防止へのスムーズな接続のためのドライバー心的状態に応じた制御アルゴリズム開発

(2)、(3)は、ドライバーの過信を抑制しつつ状況認識の強化を図るものであるが、状況認識が適切に達成されてもドライバーの対処の遅れに伴う追突のリスクは残る。そのようなケースでの追突の危険を回避するためには、システムが安全制御に介入せざるを得ない。また、そのような場合に限定すれば、ドライバーは過信に陥ることなく積極的に運転にコミットしているものと考えられるので、システムによる安全確保のための制御介入は許されるべきである。このことが本研究プロジェクトとしての結論である。

なお、本節に示したものは、主要な成果の抜粋であり、より詳細には、さらに様々な個別の研究成果が得られている。それらについては別途研究成果報告書を作成し、ウェブサイトにて公開予定である。

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25件)

- ① 伊藤誠, 羽生裕造, 鈴木意織, 栗田多喜夫, 稲垣敏之, 着座接触圧にもとづくドライバーの動作推定, 自動車技術会論文集, Vol. 39, No. 3, pp. 275-282, 2008. 査読有
- ② M. Itoh, T. Inagaki, Effects of Non-Driving Cognitive Activity on Driver's Eye Movement and Their Individual Difference, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 2, pp. 203-212, 2008. 査読有
- ③ T. Inagaki, Smart collaborations between humans and machines with mutual

understanding, Annual Reviews in Control, vol. 32, pp. 253-261, 2008. 査読有

- ④ 伊藤誠, 状況認識の強化とACC機能限界の理解支援のための減速度表示, 計測自動制御学会論文集, Vol. 44, No. 11, pp. 863-870, 2008. 査読有
- ⑤ G. Abe, M. Itoh, How Drivers Respond to Alarms Adapted to Their Braking Behaviour, Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 3, pp. 331-342. 2008. 査読有
- ⑥ 鈴木桂輔, 岡田雄太, 指尖脈波のゆらぎ解析によるドライバの心理状態の推定, 日本機械学会論文集, Vol. 74, No. 743, pp. 1765-1774, 2008. 査読有

[学会発表] (計 36 件)

- ① 伊藤誠, 非拘束モニタリングにもとづく追突防止支援と過信抑制インタフェース: 全体像と3年間の成果, 第17回交通・物流部門大会, 2008年12月11日, 神奈川県川崎市
- ② 伊藤誠, 平岡敏洋, 丸茂喜高, 稲垣敏之, 追突回避支援に対する過信とその防止, 第17回交通・物流部門大会, 2008年12月11日, 神奈川県川崎市
- ③ 安部原也, 伊藤誠, 山村智弘, 減速行動にもとづく追突警報タイミングの設定方策に関する考察, 第17回交通・物流部門大会, 2008年12月11日, 神奈川県川崎市
- ④ 柳沢一機, 綱島均, 丸茂喜高, 伊藤誠, 稲垣敏之, 機能的近赤外分光法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), 第17回日本機械学会交通・物流部門大会, 2008年12月11日, 神奈川県川崎市
- ⑤ 鈴木桂輔, 岡田雄太, ドライバの心理的高負荷状況の検出と低減の方策, 第17回交通・物流部門大会, 2008年12月11日, 神奈川県川崎市

[図書] (計 6 件)

- ① G. Abe, M. Itoh, and T. 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, et al. (eds.), Human Factors, Security and Safety, Shaker, 2009 (in press).
- ② K. Yanagisawa, H. Tsunashima, Y. Marumo, M. Itoh and T. Inagaki, Effects of a driving assistance system on the driver's functional near-infrared spectroscopy, in D. de Waard, J. Godthelp, F. L. Kooi and K. A. Brookhuis (Eds.), Human Factors, Security and Safety,

Shaker, 2009 (in press).

- ③ T. Inagaki, "Towards Monitoring and Modelling for Situation-Adaptive Driver Support Systems," In P.C. Cacciabue and C. Re (Eds.), Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments, pp. 43-57, Springer, 2007.

[その他]

ウェブサイト

<http://www.risk.tsukuba.ac.jp/~itoh/kaken-kibanA.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 誠 (ITO H MAKOTO)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授

研究者番号: 00282343

(2) 研究分担者

稲垣 敏之 (INAGAKI TOSHIYUKI)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号: 60134219

丸茂 喜高 (MARUMO YOSHITAKA)

日本大学・生産工学部・講師

研究者番号: 00409088

鈴木 桂輔 (SUZUKI KEISUKE)

大同工業大学・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・予防安全研究部・副研究員

研究者番号: 30426259

平岡 敏洋 (HIRAOKA TOSHIHIRO)

京都大学・大学院情報学研究所・助教

研究者番号: 30311749

(3) 連携研究者

綱島 均 (TSUNASHIMA HITOSHI)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号: 30287594

(4) 研究協力者

山村 智弘 (YAMAMURA TOMOHIRO)

日産自動車(株)・技術開発本部 IT&ITS 開発部・主担