特 集 ファジィ理論の交通への応用

ITS 制御における ソフト・コンピューティング適用の視点[†]

高橋 宏*

1. はじめに

従来の車両制御の目的は、LEV (Low Emission Vehicle)¹⁾のためのエンジン制御といった車両機械単独として明確な定量的評価関数が設定されており、この評価関数を改善するために制御設計が行われてきた。また、車両制御の制御手法は、後輪操舵制御に H^∞ 制御²⁾を用いたり、シャシー制御に現代制御適用³⁾などの試みはされているが、PID 制御と入出力関係をテーブルで対応付けるテーブルルックアップ方式の制御が主流である。こうした従来の車両制御系は、明確に定量的観測が可能な物理量によって表現される評価関数が存在する。そして、エンジン回転数の変化率や変速時の前後加速度など明確に制御成績を評価することができる。こうした、従来からの自動車制御設計パラダイムに対して、ITS (Intelligent Transport Systems) における自動車制御の評価指標は、車両機械に関する評価関数のみならず、ドライバの車両挙動に対する期待や自車と他車の空間的、時間的位置関係変化に関する評価指標を導入する新しい制御のフレームワークととらえることができる。

本文では、上述した従来の車両制御に付加され

る ITS 制御の新しい課題を検証する。また、ファジィ制御などのソフト・コンピューティング手法⁴⁾が、こうした新しい自動車制御の枠組みの中にどのように関係する可能性があるかについて解説する。さらに以下の検討では、制御問題のみにとらわれず、センシングやヒューマンマシンインタフェースなどの広い視点から自動車制御を考える。2章で ITS 制御の実例を紹介し、従来の車両制御にない新しい課題を提示する。3章で ITS 制御における構造的な根本課題を整理し、各課題に対するソフト・コンピューティング利用の可能性を検討する。最後に、4章でまとめる。

2. ITS 制御の実例

ITS に関連する自動車制御の具体的システム例を表1に示す。完全にドライバの運転操作機能を機械に置き換えることが、ある意味で ITS の究極の制御形態となる。完全な自律走行には、まだ多少時間がかかりそうであり⁵⁾、その導入段階として部分的にドライバの操作に介入・支援する制御について考える。

ITS の制御において、従来の車両制御課題に付加される新規課題は、以下に示す4つの項目に集約されることが考えられる。

- 1) ITS のための制御構造
- 2) ドライバと ITS 制御の意図の齟齬
- 3) センシングの困難さ
- 4) ヒューマンマシンインタラクションの方法論

[†] The View Points of Soft-Computing Approaches to the ITS Vehicle Control
Hiroshi TAKAHASHI

* 日産自動車(株) 総合研究所
Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.

表1 代表的なITS関連車両制御

制御の種類	制御の概要
専用レーン自動走行制御	レーンマーカなどが敷設された専用レーンをドライバの運転操作を一切介さないで自律走行するための車両制御
車群走行制御	各車両間の車間距離を詰めて自動運転し、道路の利用効率向上を図る
車線維持走行制御	高速道路などで、車線から逸脱しないように、自動的に操舵制御される車両の横方向制御。
前車追従走行制御	レーダなどで前方車両との車間距離を測定し、接近し過ぎないように速度を調整する前後方向の制御、Adaptive Cruise Control (ACC)とも言う
自動ブレーキ制御	前方走路内の障害物をセンサで検出し、自動的にブレーキをかける制御。センシングシステムへの高い信頼性が要求される。

1), 2)は、マクロ的なITS制御の課題であり、3), 4)は、走行環境を制御の評価関数に導入するときに顕在化する課題である。以下に、各課題について、具体的に説明する。

代表的なITS制御の例として、ACC (Adaptive Cruise Control) 制御がある。図1に示すように、前方車両との車間距離を検出するセンサを具備し、車間距離を考慮して自車の走行速度を適応的に変化させる定速走行装置 (Cruise Control) である。従来の定速走行装置では、前の車両に接近するたびに設定速度を手動で変更しなければならないが、ACCでは、車間距離により走行速度が変化するため、前車にほぼ自動追従して走行することができる。たまた、周囲の車両状況によりドライバ自身の減速・停止や加速の手動操作介入が必要となる場合があるが、基本的にアクセル操作からドライバは開放される。ただし、ハンドルはドライバが操作する。また、制動はエンジンブレーキによる減速程度で、前方の車が完全に停止した場合、ACC制御車両のドライバは、ブレーキを踏んで停止する必要がある。このACC制御において、上述した4課題について具体的に説明する。

2.1 制御構造に関しての課題

ACCでは制御が、速度を制御目標とするモードと車間距離を制御目標とするモードが存在する。どちらのモードで制御されるかは、自車、先行車の速度、相対速度などで決定される。従来の自動車制御は、一般的にこうした走行環境状況により

図1 Adaptive Cruise Controlのシステム構成

制御目標が動的に変化する制御系はまれである。ITS制御においては、制御戦略や制御モードといったマクロ的な制御戦略を陽に扱う必要がある。走行環境やドライバの希望などにより制御目標や制御法などが変更される場合が一般的で、制御目標や制御戦略の変化が陽に扱え、かつ、自動車メーカーにとって設計・管理が行ないやすいITSのための制御構造が要求される。

2.2 ドライバとITS制御の意図の齟齬に関する課題

ACCで走行中、特に前方車両との車間距離が変化したように感じないのに、エンジン音が変わりゆっくり加速を始めた。ドライバは、前方車への接近を懸念してブレーキを踏んだ。このケースでは、前方車両がわずかに加速し、車間距離が広がったことをレーダで的確に検知したためACCは自車の加速を開始した。しかし、一般的に、人間は、前後方向の速度変化や車間距離変化に対して検出感度が低いため、ドライバには前車の加速が認識できなかった。すなわち、ドライバの「前の車が加速しないのに、自車を加速して車間距離

をせばめたくない」という意図と車間距離の変化を検出し、「前の車が加速して、車間距離が開いたので、自車も加速する」という ACC の制御機械としての意図の間に齟齬が生じたと考えることができる。この場合、状況の認識が異なることに起因した齟齬であるが、人間の車両挙動への期待と ITS 制御による車両の実挙動との不整合は、ITS 制御において、きわめて重大な課題である。

2.3 センシングの困難さに関する課題

遠方にある物体(通常は、車両)を車載レーダなどで確実に、すばやく捉えることは容易ではない。これは、レーダから得られる情報の S/N 比の劣化により、前方車の存在を確実にすばやく検出するためのアルゴリズム作成の困難さに起因している。すばやく遠方障害物を検出できるように、物体の検出感度をあげた検出アルゴリズムを作成すると、なんら前方に車両がないのに、センサノイズや外乱などで、誤検出してしまうことがある。一方、誤検出を起こさないように確実に検出するようにアルゴリズムを作成すると、S/N 比の悪い情報を時空間的に処理する必要があり、検出までに時間がかかってしまう。このように、第1の過誤と第2の過誤の発生がトレードオフとなり、状況に応じて適切なアルゴリズムを選択することは、容易ではない。

また、レーダやカメラなどの距離情報や輝度画像情報を処理し、その状況を再構成するためのアルゴリズムは、ロボット研究を中心に多くなされているが、背景が時間的に高速に変化し、かつ、光学的な環境も変化する車載システムにおいては、特に困難をきわめる。このように、障害物を確実に知覚し、検出対象が何であるかを確実に、すばやく認識することは非常に難しい課題である⁶⁾。

さらに、図2に示すように、先行車両が隣接レーンから自車レーン自車前方に入ってくる状況を検出する過程において、先行車の挙動意図が問題になる。図2(a)のように、実際自車レーンに車線変更する場合と(b)のように車線変更の意思がなく、ただ、たまたまふらついている場合がある。

ACC 制御にとって、(a)のときは、減速しなければならないが、(b)のときは減速する必要が無い。自車は、先行車のドライバの操作意図を直接知することはできず、その挙動の変化からしか察知できない。そこで、前方車両の挙動変化を高速に検出する必要がある。

2.4 ヒューマンマシンインタラクションの課題

上述したように、ACC システムの制御の意図とドライバの意図が共有される必要がある。しかし、多くの場面で完全な共有を実現することは容易なことでない。そこで、ドライバに ACC システムの意図を伝える手段が必要となる。それが、ヒューマンマシンインタフェースである。ただし、ITS の場合、動的な操作環境下での ITS 制御システムとドライバの接合面での相互関係を強調するため、ヒューマンマシンインタラクションと呼ぶ場合が多い。いずれにせよ、ACC 装置の制御戦略をドライバに伝達し、ドライバが了解する付加的な系が要求される。あるいは、ACC 装置がやろうとしていることをドライバが補正できるインタラクティブな表示、操作系が必要である。こうした、インタラクションを考慮した制御法が必要となる。

以上4つの課題を列挙した。次の章では、これらの課題の根本に存在する問題を整理し、それぞれの問題を解決するためにソフト・コンピューティング手法への期待を述べる。

図2 先行車挙動の検出

3. ソフト・コンピューティングからの検討視点

3.1 ITS 制御の構造に関して

自動車の運転作業は、走行環境—ドライバー—車両からなるクローズドループ制御系ととらえることができる。さらに、運転操作におけるドライバーの役割、機能を詳細に分解すると図3のようになる。ここで、ドライバーと車両の関係に着目する。通常の手動運転では、ドライバーは、前方の車両位置や交通状況を知覚・認識し、車両挙動期待を生成する。そして、その期待に伴い、アクセルやハンドルを操作する。車両側に与えられたこうした操作入力、車両内の制御装置を介して、アクチュエータを起動し、車両が動く。ITSにおける制御では、ドライバーの運転機能と車両の制御機能を融合し、新しい知的な制御機能を車両にもたせる系と考えることができる。よって、上述したドライバーと車両のアクチュエータ操作までの過程は、図4に示す、階層的な制御構造で表象できる。ドライバーは、主に視覚的な情報などにより走行環境

図3 手動運転操作時の運転系

図4 ITS制御のための階層構造

を知覚し、経験などにに基づき状況を判断する。そして、車両挙動を計画する。具体的には、車両に対する制御目標値を生成する。一方、下層に対応する目標値達成系は、生成系から指令された目標値にもとづき、機械的な機能として効率的にアクチュエータを動作させ車両を動かす。こうした、階層的な制御構造は、鉄道の自動運転⁷⁾などで実現されているが、基本的にITSの制御においても、こうした階層的な制御構造が必要になると考えられる。文献8で示されるように、目標値達成系には、いわゆる硬い制御がレギュレータとして適用される。一方、目標値生成系のスーパーバイザーとしての機能は、状況の総括的判断や情報の融合に適したソフト・コンピューティング手法の活躍できる場面であると考えられる。目標値を生成する機能に対するソフト・コンピューティング手法の適用は、制御戦略を決定する手法など多数ある⁹⁾¹⁰⁾。

3.2 ドライバとITS制御の意図共有に関して

ITS制御において、完全に自律的な車両運転制御が行なわれ、かつ、ドライバーがその制御特性に無関心であるならば、ドライバーとITS制御の意図の齟齬は生じない。しかし、アクセルは自動で動作するが、ハンドル操作はドライバーが行なうACCでは、自動制御と手動制御が混在する制御系が構成される。よって、ドライバーは、自動制御系による車両挙動に対して無関心でいられない状況にある。図5に示すように、2.2節で述べたドライバーの意図とITS制御の機械としての意図間の齟齬を解消するためには、的確な目標値を生成する

図5 ドライバ意図とITS制御システムの意図の齟齬の発生

ことであり、そのための一手法として、図5の機械制御の部分にドライバの期待モデルを導入し、ドライバの気持ちを工学的に予測して、ITS制御の特性を決定するアプローチである。

ドライバの状況認識から行動までの過程をメンタルモデル化¹¹⁾する試みとしては、Norman¹²⁾が、人間行動の動作形態(モード)を体験的モードと内省的モードに分類した。体験的モードは、体得された行動であり、あまり意識しないで行動が発生する。一方、内省的モードは、自己の経験の演繹的推論や論理的思考から行動が規定される。また、Rasmussen¹³⁾は、人間の情報処理機能の検討から図6のモデルを提案している。認識・判断・計画などの機能が、スキルベースモデル、ルールベースモデル、そして、知識ベースモデルの3つの階層構造によって表現される。

Rasmussenモデルにおいて、スキルベースモデルから知識ベースモデルに階層が上がるにつれて、高度な認識・判断・行動が行なわれる。アクセル、ブレーキ、および、ハンドルを協調的に操作するためのスキルベースが情報処理機能の最低層に位置し、車両の位置関係や運転計画の多くの部分は、経験的に獲得した帰納的ルールベースによって誘起される。そして、前方車両の挙動から接近危険と感じて車間距離をあげたりする状況予測・複雑な行動計画などは、最上層の知識やそれによって帰納的に類推される知識ベースモデルによって誘発されていると考えることができる。こうした、人間の挙動を表象するための非線形性や非エルゴート性を扱う手法としては、ファジィ理論やニューラルネットワーク理論などが有効な手法になり得え、いくつかのソフト・コンピューティング手法適用例がある¹⁴⁾¹⁵⁾。

図6 Rasmussenモデルによる人間操作のモデル化

ドライバ毎に車両挙動が異なるように、目標値生成系においても目標値の生成プロセスにドライバの個性が介在する。この個性が、走行環境の認識特性に由来するものか、判断、計画特性に由来するものか、あるいは、操作特性に由来するものか詳細を検討することは容易ではないが、目標値生成のプロセスの中に何らかの個性を含む必要がある。この分野では、HFI(Hierarchical Fuzzy Integral)と λ -ファジィ測度によって環境認識の個性を表現した研究¹⁶⁾がある。ITS制御において個性の取り扱いは、ソフト・コンピューティング手法が適用できる有力な研究対象分野であるように感じる。

3.3 迅速・確実なセンシング手法に関して

ITSに利用される車載センサの種類と特徴などを表2に示す。また、走行環境を直接知覚しないが、走行環境に関する知識を有するナビゲーションマップやそのマップ上で自車の位置を同定するGPS(Global Positioning System)などもITSで利用されるセンサとみなすことができる。さらに、道路側に設置されたビーコンや情報提示装置もITS車両制御にとって有効な走行環境センシング情報と考えられる。これらの多数の情報

表2 ITS制御に使われるセンサの特徴

	単眼カメラ	ステレオカメラ	レーザレンジファインダ	レーザレンジ(スキャニング)	ミリ波レーザ	3ビームミリ波レーザ	超音波距離センサ
概要	CCDカメラ	2次元CCDを2層使用して面全身の検出	2次元スキャンしたレーザ光の反射波の到達時間計測	レーザ光の反射波の到達時間計測	パルスドップラー方式77GHz	パルスドップラー方式77GHz 近距離広角検出機能付加	超音波の反射波の到達時間計測
検出距離	—	約30m	1m~100m(目標性能)	コナリフレクに対しては1m~120m	~150m	0m~150m(道路幅ビーム)	0.8~10m程度
距離検出精度	—	精度±1m	—	精度±1m/分解能0.1m	精度±1m/分解能1m	精度±1m/分解能1m	分解能1cm
検出対象の制約	対象、周辺の輝度に影響有 → 低輝度、低コントラスト時には測定難しい	対象、周辺の輝度に影響有 → 低輝度、低コントラスト、く り返しパターンについては計 測不可 横線模様のトラック、路面のセパ レーション、金網(人工的な連続パ ターンに弱い)、橋、構造物がない	黒色の車、泥汚れた車(ボ ディでの拡散反射が弱い)	黒色の車、泥汚れた車(ボ ディでの拡散反射が弱い)	—	—	波長が光より長いので、対象からの 拡散反射が少なくなる → 急 な制込み車検出には不向き
天候の影響	雨天、霧、雪、排ガスなど	雨天、霧、雪、排ガスなど	雨天、霧、雪、排ガスなど	雨天、霧、雪、排ガスなど	影響小	影響小	風により性能劣化

に関して、以下の視点で課題を整理する。

- 1) 得られる情報の信頼性
- 2) 複数情報の総合判断

以下順に説明する。

3.3.1 情報の信頼性について

従来の車両制御では、速度、温度、回転角などの計測が主流で、信頼性の高いセンサが安価に開発されてきていた。しかし、レーダやカメラなどの光学的に距離や物体の存在をとらえる安価なセンサの普及は、まだ黎明期にある。特に、車載用としてのコストパフォーマンスを考慮すると、状況はさらに厳しい。こうしたセンサ環境の下で、障害物の手前で自動的にブレーキをかける ITS 制御を行なうためには、2.3 節で述べたように、ノイズに埋もれた情報をすばやく、確実に検出して、ドライバの介入なしにブレーキアクチュエータを作動する高い信頼性を有したセンサハードとセンシングアルゴリズムが要求される。センサハードの改良は、従来のデバイスの開発パラダイムでパフォーマンスが向上すると思われる。一方、処理アルゴリズムの改善策としては、手続き型の検出アルゴリズムのほかに、カオス、ファジィ連想記憶などを用いて、劣悪な S/N 比の信号から情報を抽出する方法論が期待される。また、部分的な情報から全体像を外挿する技術や時間的、空間的にあいまいなセンサ情報から知識などを用いて状況を類推・理解する知的情報処理などの適用が考えられる。さらに、環境の時間的変化の連続性に着目し、走行環境状況の文脈理解の手法¹⁷⁾¹⁸⁾や状況に関してのメタヒューリスティックなアプローチを工学的に実現する方法としてソフト・コンピューティングが有望である。

3.3.2 複数情報の総合判断について

ITS 制御では、周囲走行環境に関する複数のセンサ情報から制御目標値を決定する。複数センサ情報の融合は、センサフュージョンの問題として扱われる。一般的にセンサフュージョンの方法論としては、複数情報の冗長性や相補性¹⁹⁾²⁰⁾に着目した検出対象の復元・再構成²¹⁾、もしくは、検出対象の物理的特徴量の算出²²⁾が一般的な手法である。

一方、アクティブビジョン²³⁾の研究をきっかけとして、Tarr ら²⁴⁾はこうした従来の状況の復元によらない手法を提案しており、Brooks²⁵⁾の提案するサブサンプリングアーキテクチャに類似した方法論を提唱している。また、自動車へのセンサフュージョンについては、Harmon ら²⁶⁾や Shafer ら²⁷⁾の自律走行車における走行環境認識の研究や浅田²⁸⁾の研究がある。

また、自動車制御に利用される情報融合手法は、図 7 に示すように、 n 個(図では、 $n=3$)のセンサの出力信号を空間軸とする n 次元のセンサ信号空間 S を定義し、 n 個のセンサ信号は、この空間内のベクトルとして表現される。ここで、センサ信号空間 S 内を空間的に分割し、分割空間毎に制御目標値を意味付ける。そして、たとえば、ベクトルの終点が存在する分割空間に意味付けられた制御目標値をセンサフュージョンの結果としている。しかし、センサ信号が拡大すると空間次元が増加し、分割空間への制御目標値の意味付けが急激に煩雑になる。入力情報の追加・削除にも対応しにくい。また、センサ信号空間の中だけで制御目標値が決定されるため、システムにとっての評価基準が陽にあらわれない。実際のコントローラでは、センサから得られる信号を直接的に制御目標値に対応させる過程は、手続き型のプログラム記述により実現される。フォンノイマン型のコンピュータで構成されている制御コントローラには整合性が高いが、各分割空間に意味付けられた制御目標値の相互関係などに矛盾がないように考慮しなければならないため、多くのチューニングを必要とし、全体や細部の関数テーブルの調整・管理が複

図7 従来の車両システムにおけるセンサフュージョン

雑になる構造的な問題点が存在する。この分野に向けてのソフト・コンピューティング手法の適用が検討される。複数のセンサ情報のセンサフュージョンを多目的意思決定問題に帰着させた検討²⁹⁾やニューラルネットワークを用いて入力情報と制御特性の関係を自己組織化する検討¹⁵⁾などがあるが、今後ソフト・コンピューティングの適用により新しい成果が期待できる分野と考えられる。

3.4 ヒューマンマシンインタラクションについて

3.2節では、ドライバのメンタルモデルを検討し、できるだけ人間と同じ判断をする機械の知恵を実現しようとした。しかし、この研究が進んでも完全にドライバの車両挙動期待を推定することは容易ではない。そこで、積極的にドライバと車両の間でインタラクティブなコミュニケーションを行ない、そのコミュニケーションを通じてドライバの意図を車両に伝える試みがある。これは、機械と人間の係わり合いに関する「人間中心の自動化」³⁰⁾の問題として扱われる。

人間の操作と機械の操作の混在について、Sheridan³¹⁾は、表3に示す10段階のレベルによる人間と機械の混在関係を定義している。ITS制御でどのレベルの介入が妥当であるのかは、制御の内容によって大きく変化する。たとえば、前方に障害物が存在し、自動的にブレーキを動作する自動ブレーキの制御であれば、ドライバの操作に関係無く、制動制御を行なう必要があるかもしれない。一方、レーンキープ支援制御の場合³²⁾、ドライバ操作とITS制御による操舵反力が道路白線

と車両の位置関係によって変化する。こうした新しい制御では、ドライバの操舵とITS制御による操舵が共存する形で制御される。この関係は、従来の制御で扱われたバイラテラルな制御系でもなく、また、表3に分類される従来の人間と機械の関係で規定することが難しい。ITS特有のドライバと制御のインタラクションの存在が示唆され、こうしたインタラクションを扱える制御規範の検討は、今後の大きな課題と考えられる。

また、ドライバの意思を車両システムに伝える手段や車両制御の意図をドライバに伝える手段に関してのインタフェースも最適化のための普遍的方法論の設定が難しい。ドライバから車両へのコミュニケーションとしてカメラを介したジェスチャー³³⁾や音声認識などの手法が注目されている。この場合もドライバの意図を推定し、ドライバの車両挙動への期待を的確に推定するためのエンジンが必要となる。ファジィ連想記憶やニューラルネットワークなどにより、優れた汎化性を有したコミュニケーションがソフト・コンピューティング手法によりいくつか検討されており、今後の研究が期待される。

4. まとめ

ITS制御の特徴は、「良きドライブナビゲータを助手席に乗せたようなもの」と考えられる。大事なときだけ、支援をしてくれる。また、必要なときだけ、ドライバ操作に介入し、ブレーキを踏んでくれたり、ハンドル操作を換わってくれる。

表3 自動化レベルの階層

- (Level 1) コンピュータの支援なしに、すべてを人間が決定し、実行する
- (Level 2) コンピュータはすべての選択肢を示し、人間がそのうちのひとつを選択して実行する
- (Level 3) コンピュータは選択可能な選択肢をすべて提示し、その中の一つの選択肢を提案する。
ただし、それを実行するかは人間が決定する。
- (Level 4) コンピュータは選択可能な選択肢の中からひとつを選び、それを人間に提案する。ただし、それを実行するかは人間が決定する。
- (Level 5) コンピュータはひとつの案を人間に提案する。人間が了承すれば、コンピュータがそれを実行する。
- (Level 6) コンピュータはひとつの案を人間に提案する。人間が所定の時間内に提示案に対する実行中止を指令しない限り、コンピュータはその案を実行する。
- (Level 7) コンピュータがすべてを行い、何を実行したか人間に報告する。
- (Level 8) コンピュータがすべてを決定・実行する。人間にたずねられれば、何を実行したか人間に報告する。
- (Level 9) コンピュータがすべてを決定・実行する。報告の必要性をコンピュータが認めたときのみ、何をしたかを人間に報告する。
- (Level 10) コンピュータがすべてを決定し、実行する。

本文では、従来の車両制御のフレームワークに存在しなかった、ITS 制御特有の付加課題を列挙した。そして、各課題についてソフト・コンピューティング手法を ITS 制御に活用するための視点について言及した。ITS は、認知工学、心理学から制御工学までを含む、学際的な研究領域であり、多方面からの検討が期待される。自動車は、一般の人が扱うことができる最も大きい機械であり、この身近な機械に、知能を与え、「良きドライブナビゲータ」を実現するために、ソフト・コンピューティング手法は必須の技術と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 大聖：自動車用原動機の現状と将来，自動車技術，Vol.52，No.7，pp.5-11(1998)
- 2) 藤田，武田他：H[∞]-μ シンセシスを適用したアクティブ後輪操舵システムの開発，自動車技術，Vol. 51，No.11，pp.25-31(1997)
- 3) 安部：操縦安定性と安全のための最近のシャシ制御技術，自動車技術，Vol.51，No.11，pp.11-19(1997)
- 4) 国際ファジィ工学会研究所編：ファジィ思考による知的情報処理，コンピュータエージ社，(1995)
- 5) S.E.Underwood：Delphi Forecast and Analysis 1991，HIS Technical Report 92-II，(1992)
- 6) 高橋，下村：運転支援のための画像処理，映像情報メディア学会誌，Vol. 51，No.6，pp. 746-750(1997)
- 7) S.Sekine et al.：Application of Fuzzy Neural Network Control to Automatic Train Operation and Tuning of Its Control Rules，Proceedings of the International Joint Conference of the Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems and the Second International Fuzzy Engineering Symposium，pp.1741-1746(1995)
- 8) 高橋：自動車の知能化におけるソフト・コンピューティング手法の役割，日本ファジィ学会誌，Vol. 9，No.1，PP.10-20(1997)
- 9) 安信，斎藤：予見ファジィ制御を用いた狭領域における四輪自動車の車庫入れ制御，第14ファジィシステムシンポジウム講演論文集，PP59-60(1998)
- 10) 田中，谷口：4台のトレーラを有する移動ロボットの軌道安定化，第8回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集，pp.219-220(1998)
- 11) 大島 編：認知科学，新曜社(1996)
- 12) D.A.Norman：The design of everyday things，New York，Freeman(1990)
- 13) J. Rasmussen：Skills，rules，and Knowledge：Signals，and symbols and other distinctions in human performance models，IEEE Transactions on Systems，Man，and Cybernetics，Vol.13，pp.257-266(1983)
- 14) 高橋ほか：ドライバの運転意図を推定するモデルの同定手法に関する一考察，計測自動制御学会論文集，Vol.32，No.6，PP.904-911(1996)
- 15) 馬越ほか：環境認識技術とシャシ制御への応用，三菱自動車テクニカルレビュー，No.5，pp.48-57(1993)
- 16) 高橋ほか：ドライバの走行環境認識特性を考慮した自動車制御のための情報空間変換型センサフュージョン手法，計測自動制御学会論文集，Vol. 34，No.10，pp.1271-1279(1998)
- 17) 小泉，松下ほか：立体・距離入力画像を用いた走行車両の知的環境危険度推論システムの構築，第32回知的制御研究会論文集，pp.38-41(1999)
- 18) R.R.Murphy：Sensor and Information Fusion for Improved Vision-Based Vehicle Guidance，IEEE J. Intelligent Systems，Vol.13，No.6，pp. 49-56(1998)
- 19) 浅田ほか：認知ロボティックスの目指すもの，日本ロボット学会誌，Vo.17，No.1，pp.2-6(1999)
- 20) 石川：センサフュージョンの課題，日本ロボット学会誌，Vol.8，No.6，pp.95-102(1990)
- 21) D.Marr.：Vision：A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information，W.H.Freeman& Co.，(1982)
- 22) T.C.Henderson. et al.：Logical Sensor System，J.Robotic Systems.，Vol.1，No.2，pp.169-193(1984)
- 23) 久野：アクティブビジョンー歴史と展望ー，人工知能学会誌，Vol.10，No.4，pp. 493-499 (1995)
- 24) M.J.Tarr， et al.：A computational and evolutionary perspective on the role of representation in vision，CVGIP，Vol.60，No.1，pp.65-73 (1994)
- 25) R.A.Brooks.：intelligence without representation，Artif.Intell.，Vol.47，No.1，pp.139-160 (1991)
- 26) S.Y.Harmon. et al.：Sensor Data Fusion Through a Distributed Blackboard，Proc. IEEE 1986 Int. Conf. on Robotics and Automation，pp.1449-1454 (1986)
- 27) S.A.Shafer. et al.：An Architecture for Sensor Fusion in a Mobile Robot，Proc. IEEE 1986 Int. Conf. on Robotics and Automation，pp.2002-

2011(1986)

- 28) 浅田：センサフュージョン—複数のセンサ情報の統合による物体・環境認識技術—, 電子情報通信学会誌, Vol.75, No.7, pp. 763-769 (1992)
- 29) 高橋：複数の走行環境情報を扱う自動車制御のための情報融合に関する考察, 日本機械学会論文集 C, Vol.63, No.608, pp.146-153(1997)
- 30) 稲垣：人間中心の自動化は何を目指す?, 計測自動制御学会誌, Vol.37, No.8, pp.572-577(1998)
- 31) T.B.Sheridan : Human Centered Automation : oxymoron or common sense?, Proc. IEEE International Conf. on System, Man and Cybernetics, Vancouver (1996)
- 32) M.Ikegaya, N.Asanuma et al. : Development of a Lane Following Assistance System, Proc.

Of 4th International Symposium on Advanced Vehicle Control, pp.473-478(1998)

- 33) 水野, 平山 他：注意機能を用いたロボットビジョンの実現, 第14回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.399-400(1998)

(1999年3月20日 受付)

[問い合わせ先]

〒237-8523

横須賀市夏島町1番地

日産自動車(株)総合研究所

高橋 宏

TEL : 0468-67-5182

FAX : 0468-65-4183

E-mail : taka-hiro@mail.nissan.co.jp

 著 者 紹 介

高橋 宏 (たかはし ひろし)

日産自動車(株)総合研究所

1981年 横浜国立大学工学部情報工学科卒業, 1983年 東京工業大学総合理工学研究科電子システム修士課程修了, 同年(株)東芝入社, 1986年 退職, 同年 日産自動車(株)入社, 現在, 総合研究所 電子情報研究所 シニアリサーチャー. 流通経済大学非常勤講師, 筑波大学先端学際領域研究センター客員研究員. 知識情報処理手法を用いた自動車制御の研究に従事. 日本機械学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, 日本ファジィ学会などの会員. 工学博士.