展 望

カー・ロボティクス調査研究委員会の紹介 —ロボット技術と自動車技術の融合を目指して—

Introduction of Research Committee on Car Robotics
—Aiming at the Integration of Robotics Technology and Automotive Technology—

永井正夫* *東京農工大学大学院工学府機械システム工学専攻

Masao Nagai* *Tokyo University of Agriculture and Technology Graduate School, Mechanical Systems Engineering

1. はじめに

社団法人自動車技術会は昨年度創立 60 周年を迎えて様々な企画を実施した。またここ十年間を見ると毎年会員数が 1,000 名以上増え続けており、会員数では 4.3 万人となり工学系の学会で最大の規模になっている。会員数 4 万人学会として定着したことを契機として、この分野の工学者・技術者に対するリーダーシップを如何に発揮するかが求められている。

自動車は人間の移動する能力を拡大し快適さと便利さを与えるものであるが、安全問題、環境問題、エネルギー問題、さらには高齢社会における移動の問題、といった社会的に重要な分野を左右することから、21 世紀の新たな挑戦が期待されている。いっぽうロボットは生産の現場から、人間活動を支援する様々なリアルワールドに乗りだそうとしており、人間にとっての真のパートナーとして、ロボットと自動車が同じような関係になろうとしている。

そこで昨年からは、自動車技術会と日本ロボット学会との連携関係を強めようとする機運が持ち上がってきた。本稿ではこれらの動きの紹介とともに、自動車の知能化や制御の現状について述べてい

2. 合同委員会の設置とこれまでの活動

日本ロボット学会と自動車技術会の合同委員会として、「カー・ロボティクス調査研究委員会」が、2008 年 4 月に設置され 2 年間の活動を開始した。委員構成は、永井正夫委員長（東京農工大）、森田俊彦副委員長（富士通研究所）をはじめとして両学会の会員からそれぞれ 10 名程度が参加して、合計 20 名程度で活動をしている。

この合同委員会の目的は、理工系の学生にとってロボットと自動車は魅力的であり、技術的にも共通部分の多い分野であるが、これまでは別々の学会で扱われてきた共通部

分である「カー・ロボティクス」の現状と将来について、調査研究する場を提供するとしている。またこの合同委員会では、両学会の会員が集まり、年 6 回程度の調査研究をするための委員会を開催し、

- ① 若手の研究者、技術者の育成
- ② 新しい技術分野・学問分野を融合することによる予防安全や環境技術の発展への貢献
- ③ 学術講演会等でのフォーラムやオーガナイズドセッションなどの合同企画

などが、合同委員会の設置理由である。また自動車技術会においては、ロボット学会対応委員会（大日方五郎委員長）の企画により、本年度パシフィコ横浜で開催した春季学術講演会において、「人と共存するクルマとロボットフォーラム」を開催した。表 1 に示すように、現ロボット学会副会長の内山勝教授による基調講演「ロボット技術の現状と将来展望」をはじめ 6 件の講演が行われ、280 名の参加者があったようにこの分野の関心の高さがうかがい知れた [1]。

次に、本年度神戸大学で開催された第 26 回日本ロボット学会学術講演会においてオーガナイズドセッション「カー・ロボティクス」を企画した。講演内容は、合同委員会メンバーを中心に、表 2 のような内容であった [2]。講演内容に関して合同委員会で議論したが、「カー・ロボティクス」分野の範囲を最初から限定するのではなく、広く議論しようということで、「ロボットによる生産から、自動車のロボット化、運動制御、自動運転、人間中心の運転支援、運転特

表 1 自動車技術会特別フォーラムの企画（横浜，2008.5）

1) 内山勝（東北大学），ロボット技術の現状と将来展望
【基調講演】
2) 及川清志（本田技術研究所），歩行アシスト
3) 山岡正明（トヨタ自動車）モビリティロボット
4) 内山隆（富士通研究所），ロボットにおける視覚認識技術の研究開発
5) 岡田美智男（豊橋技術科学大学），人とロボットのコミュニケーションデザイン—現状と今後の課題—
6) 手嶋教之（立命館大学），人と接触するロボットのための安全技術

原稿受付 2008 年 11 月 7 日

キーワード：Car Robotics, Automotive Engineering, Robot Technology, Safety and Security, Advanced Driver Assist System

*〒184-8588 小金井市中町 2-24-16

*Koganei-shi, Tokyo

表 2 OS「カー・ロボティクス」の企画（神戸，2008.9）

- 1) 永井正夫(東京農工大学), カー・ロボティクスに期待する—自動車技術とロボット技術の融合—【基調講演】
- 2) 大前学(慶應義塾大学), 車車間の情報共有による小型電気自動車の隊列走行の高度化
- 3) 深尾 隆則(神戸大学), 非ホロノミック系制御に基づく自動駐車システム
- 4) 村山英之(トヨタ自動車), 人と協働する作業支援ロボット「ウィンドウ搭載アシスト」
- 5) 大日方五郎(名古屋大学), ヒューマンオペレータの実時間状態推定
- 6) 加藤晋(産総研), ITS 分野における通信を用いた運転支援アプリケーション
- 7) 和田隆広(香川大学), ドライバ減速行動のモデリングと減速支援システムへの応用
- 8) 三田村 健 (日産自動車), Pivo 2 Concept- Car Robotics によるクルマの進化
- 9) ボンサトーン・ラクシンチャランサク (東京農工大学), 超小型電気自動車の通常運転行動モデルに基づく個別適合運転支援システムの開発
- 10) 高野渉(東京大学), 運転行動の統計的記号化・認識・生成に基づく自動車の知能化

性の基礎分析”と様々であった[2].

3. ロボット技術と自動車技術の類似性

現代の自動車には、100 個以上のセンサとアクチュエータがついており、ECU も 50 個以上付いているといわれる。そして最近では PCS（Pre-Crash Safety）と呼ばれる安全装置のように、前車への追突の危険を察知した際には自動的にブレーキが作動する装置が開発され、知能化が一段と進んでいる。

先の自動車技術会フォーラム「ロボット技術の現状と将来展望」によれば、センサとアクチュエータと知能を統合する技術は RT（Robot Technology）すなわちロボット技術と呼ばれる、としている。自動車にはすでに多くのロボット技術が使われているといえるかも知れない。

これまでは、自動車は機械屋が設計するものとの意識が強かったせいか、こうした分野は「カー・エレクトロニクス」として、当初は付属品、電装品程度だったかも知れない。しかし最近ではメカトロニクスの重要性が益々認識され、これを抜きにしては、自動車の制御や知能化はあり得ないところまで来ている。

自動車の技術は最近では、カーナビとか ETC の普及に見られるように、単体の技術から移動体通信を使ったネットワーク型の技術へと進展している。自動車単体でも、50 個以上の ECU が CAN（Controller Area Network）を通して張り巡らされていることを考えると、通常のロボット

図 1 衝突安全と予防安全との関係

以上の情報化が進んでいる。

4. 基本性能と予防安全性

自動車の基本性能は「走る、曲がる、止まる」と言われるように、自ら駆動源を持ちドライバの意思に従って自由に移動する乗り物である。エンジン、変速器等によるパワーレインの駆動性能、ブレーキ等の制動性能、運転者の意図に忠実に動くかどうかを示す操縦・安定性、が基本性能を推し量る尺度となる。自動車は自由に動き回れる快適さを人類に提供しているが、交通事故に遭遇するリスクも大きい。年間 100 万人以上の死傷者、5,000 人以上の死者を数えており、経済的損失は 6.7 兆円という試算もあり、大きな社会的課題である[3].

ロボットと違って自動車は移動速度が大きいため衝突時のダメージは桁外れに大きい。概算をしてみると、衝突時の運動エネルギーは速度の二乗に比例するため、時速 6 キロ以下の車椅子が壁にぶつかるのと、時速 60 キロで自動車がぶつかるのとでは、速度の二乗比で 100 倍、質量比 10 倍とすると合計 1,000 倍の運動エネルギーの差となる。近年、PCS（Pre-Crash Safety）という一種の自動ブレーキ装置が開発されているが、これは衝突が避けられないと判断したときの衝突速度を低下させて、被害を軽減させるものである。追突による犠牲者を大幅に削減することが期待される。

従来の安全技術は主として、「衝突時のダメージを軽減する」技術であり「衝突安全（Passive Safety）」と呼んでいる。エアバッグ、シートベルト、衝撃吸収ボディ、などである。一方近年注目されている安全技術は、「事故を未然に防ぐ」ための技術であり、「予防安全（Active Safety）」と呼んでいる。安全技術のシフトが求められようになった。図 1 は、これらの安全技術の関係を示している。

5. 自動車の知的運動制御の例

5.1 パーソナルモビリティの運動制御

新しいジャンルの乗り物として、パーソナルモビリティが注目されている。さらに一人乗りの電気自動車で速度が市

街地を 30 [km/h] 程度で走れる車両が開発されている。これは、道路交通法の規制で 6 [km/h] 以下でしか走れない電動車椅子などとは異なり、高い安全性が確保されなければならない。大学の研究室では、すでに超小型電気自動車に各種センサやアクチュエータを取り付けた制御により、各種の運転支援や自動運転を実現している。

5.2 自動車の運動制御

普通乗用車においても様々な制御技術の開発が行われ、「走る、曲がる、止まる」の基本性能は大幅に向上している。特に、近年急速に普及している注目技術として、ブレーキ力配分制御による横滑り防止システム ESC (Electronic Stability Control) がある。自動車単独事故の 30%削減効果があるという報告がある。

5.3 高度運転支援システム

交通事故の原因の多くはヒューマンエラーであると言われている。人間の「認知、判断、操作」におけるミスが、交通状況の危険度と絡んで、重大事故、軽度な事故、あるいはインシデント（ヒヤリハット）につながる。図 2 は、人間が自動車を運転するフィードバック制御系（Man-In-The-Loop）であり、人間のミスを補償する運転支援システムにより安全性を向上する系を示している。表 3 は典型的な予防安全技術の略語である。基本的に、車線から逸脱しないための技術、前車への追突を防止する技術、および被害を軽減する技術である。

5.4 個別適合サービス

戦略的創造研究推進事業（CREST）の統合センシング領域の「安心安全のための移動体センシング」（研究代表者：佐藤知正教授）プロジェクトでは、人の移動や自動車運転の支援に、この個別適合サービスを可能にする統合センシ

図 2 人間・自動車系と運転支援との関係

表 3 各種の予防安全システム略語

LKAS:	Lane Keeping Assist System
LDWS:	Lane Departure Warning System
ACC:	Adaptive Cruise Control
FVCWS:	Forward Vehicle Collision Warning System
PCS:	Pre-Crash Safety
CMS:	Collision Mitigation System
BA:	Brake Assist

ング研究に取り組んでいる [4]。

著者らは、道路交通における予防安全技術（Active Safety）と自動車の安心安全設計のために、情報提示装置・警報装置・操作支援装置を含む個別適合（Individual Adaptation）としての運転支援システムの設計基盤の確立を目指している。特に個人の特性が顕著に現れるペダル操作を個人適合支援する予防安全自動車の実現を目指し、まず（1）常時記録型ドライブレコーダの開発、（2）機械学習理論による運転状態のモデリング、等を実施している。

（A）常時記録ドライブレコーダの開発

事故・インシデント時の運転行動の分析や、普段の運転行動の分析のために、ドライブレコーダが有効である。著者らは、GPS、G センサ、速度計、車間距離計、カメラ等の情報を使い、車載 CAN データ併用型と CAN を使用しない後付型の 2 種類のドライブレコーダを開発し、実験車に搭載し公道で走行することにより、通勤経路における普段の運転の実験データを蓄積している。

（B）危険場面運転シミュレータの開発

運転シミュレータは、人間の運転特性の基礎研究に使用されるほかに、危険場面における現象を再現するには必要不可欠な道具として利用される。著者らは危険場面の典型的な例として、先行車急減速場面において、路面状態に適合した追突防止警報アルゴリズムを提案し、図 3 の運転シミュレータにより警報装置の有効性を検証している。

（C）個別適合ブレーキ支援システムの開発

個人・道路環境個別適合サービスの開発に向けて、道路環境・ドライバ・自動車の各状況におけるアクセル・ブレーキ操作特性に着目し、図 4 に示すように市街地における運転状態を 5 種類（先行車追従 F、追突回避 B、単独走行 C、減速 D、停止 S）に分類し、機械学習理論により運転行動モデリングを行っている。各センサの計測データと運転状態ラベルとの対応を付け、系列ラベルブースティング法により、図 5 に示すように運転行動の遷移モデルを内蔵したドライバモデルを作成した。センサデータからリアルタイムで運転状態が推定可能であることを確認している [5]～[7]。

図 3 6 軸電動モーション付き運転シミュレータ（東京農工大学）

図4 加減速度制御における運転行動モード

図5 運転行動遷移モデルによるドライバモデル

6. おわりに

筆者らは、日本学術会議、工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会において、提言「交通事故ゼロの社会を目指して」を取りまとめた[8]。これによると従来の安全対策の延長ではなく、事故を未然に防ぐためのあらゆる努力が必要となる。「ロボット工学の三原則」(アイザック・アシモフ、小尾訳、われはロボット、早川書房)によ

ると、ロボットは人間に危害を加えてはならない、ロボットは人間に与えられた命令に服従しなければならない、などが述べられている。自動車技術とロボット技術を融合させることにより、あたらしい世界が切り開かれることが期待される。

参考文献

- [1] 自動車技術会:「人と共存するクルマとロボット」フォーラム, 5.2008.
- [2] 日本ロボット学会: OS「カー・ロボティクス」, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1B1, 2008.
- [3] 内閣府中央交通安全対策会議: 第8次交通安全基本計画, 3.2006.
- [4] 佐藤知正, 森武俊, 大和裕幸, 永井正夫, 郷原信郎, 菅沼邦夫: “安心安全のための移動体センシング技術プロジェクト”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 2F1-01, 2008.
- [5] 永井正夫, ポンサトーン・ラクシンチャーンサク, 道辻洋平, 前田公三: “自動車における移動体センシング技術の研究概要”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 2F1-04, 2008.
- [6] ポンサトーン・ラクシンチャーンサク, 前田公三, 道辻洋平, 永井正夫, 下坂正倫, 森武俊, 佐藤知正: “市街地走行データに基づく人間-自動-道路系の運転行動遷移モデルの構築”, 自動車技術会春季大会学術講演会前刷集, no.3-08, pp.9-12, 2008.
- [7] P. Raksincharoensak, W. Khaisongkram, Y. Michitsuji, M. Nagai, M. Shimosaka, T. Mori and T. Sato: “Individual Adaptation of Driver Assistance System Based on Real-World Naturalistic Driving Database Part I: Conceptual Framework and Driver - Vehicle - Environment Modeling,” Proceedings of the 9th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC), pp.467-472, 2008.
- [8] 日本学術会議工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会: 提言「交通事故ゼロの社会を目指して」, 6.2008.

永井正夫 (Masao Nagai)

1977年東京大学大学院博士課程修了。1989年より東京農工大学工学部教授。現在大学院工学府機械システム工学専攻に所属。鉄道車両の振動制御、自動車の運動性能・予防安全システム、ITS分野に興味を持ち、車両・モビリティシステムに関して幅広い研究を行っている。工学博士。自動車技術会、日本機械学会、計測自動制御学会、ヒューマンインタフェース学会などの会員。自動車技術会副会長。(日本ロボット学会正会員)