

# テーラーメイド運転支援システムの研究<sup>\*</sup>

## Basic Study on Tailormade Driving Support Systems

廣瀬 敏也<sup>\*\*</sup> 澤田 東一<sup>\*\*\*</sup> 小口 泰平<sup>\*\*\*\*</sup>  
Toshiya Hirose Toichi Sawada Yasuhei Oguchi

Nowadays, tailormade medical treatment is receiving much attention in the field of medical care. It is also desirable for driving support systems to reflect the driving characteristics of individuals as much as possible, begin monitoring the driver when a driver starts driving and calculates the driver model, and supports them with a model that makes the driver feel quite normal. That is the construction of Tailormade Driving Support Systems (TDSS). This research proposes a concept and a framework of TDSS, and presents a driver model that uses a Neural Network to build the system.

**Key words :** Tailormade, Driving Support System, Neural Network, Driver Model

### 1. 緒言

人にはさまざまな個性があり、自動車の走りは運転者によって微妙に異なっている。高速道路や郊外などの交通流を俯瞰によって撮影した映像を見ると、いずれも同じような走りをしているように見えるが、この一定の交通流の中にあっても個々の運転者行動には個性が存在している。たとえば、助手席に座ったとき、その運転者の車間距離が短過ぎて不安になることがある。また、ブレーキを踏んでほしいと思っても踏まない場合、思わず床を踏んでしまうことがある。これとは逆に、先行車両のブレーキランプが点灯すると、車間距離が十分であっ

ても直ぐにブレーキを踏み、加減速を頻繁に繰り返す運転に疲れることがある。これら運転の物理的なアクションの差異が安全性に影響を及ぼすこともあるが、それ以上に人間の感覚尺度は微妙であるため精神的な負担につながる。

近年、ITS(Intelligent Transport System)の研究<sup>1)~7)</sup>など、そして先進のドライバーモデルなどの研究<sup>8)~13)</sup>などが進み、さらに運転支援システムが一部の自動車に導入され、運転負担の軽減や安全性の向上に寄与しつつある。しかしヒューマンインタフェースに関する課題は多い。その一つは、個々の運転者一人ひとりに対応する運転支援のシステム構築であり、それはやがて自動操縦への道を拓くことにもなる。

すでに医療の分野では、ゲノム研究の進展にともない遺伝情報をもとにした個人に合った予防・治療を可能にする医療、すなわちテーラーメイド医療を目指すプロジェクト研究が進められている。人の生命を対象とする医療のような崇高な領域と自動車の設計を同一の概念でとらえることはできないが、テーラーメイドの考え方はこれからの運転支援システムや自動運転の基本概念として大切なものとなる。

本論文は、個々の運転者に対応した安全で快適な運転支援を自動的に実現するためのテーラーメイド運転支援システムのフレームワークについて提案する。また、このシステムを構築するためのニューラルネットワーク理論<sup>14)、15)</sup>を用いたドライバーモデルおよび実験結果例を示し、その実現可能性について述べる。<sup>16)、17)</sup>

## 2. テーラーメイド運転支援システム の概念

一般に新たなシステムは、社会的意義が大であること、コストパフォーマンスが優れていること、そしてユーザー評価が得られることが重要である。

今日、車両の安全対策や交通環境の改善そして道交法の改正などにより事故死者は減少してきたが、一方で事故発生件数および負傷者数は増加の道をたどっている。自動車交通における安全の確保は図1に示す3Eへの更なる取り組みが不可欠である。その技術(Engineering)においては、特に人と車両のインタフェースが重要なキーイシューズになろう。運転支援は個々の運転者に同意を得る機能、すなわち信頼感や安心感、お節介や違和感のない特性を備えていることが鍵となる。

テーラーメイド運転支援システム(TDSSと略す)は、現在の運転支援システムを進化させるための一つの方法である。図2に示すように、制動操作を支援するテーラーメイド制動支援システム(TBSSと略す)、操舵を

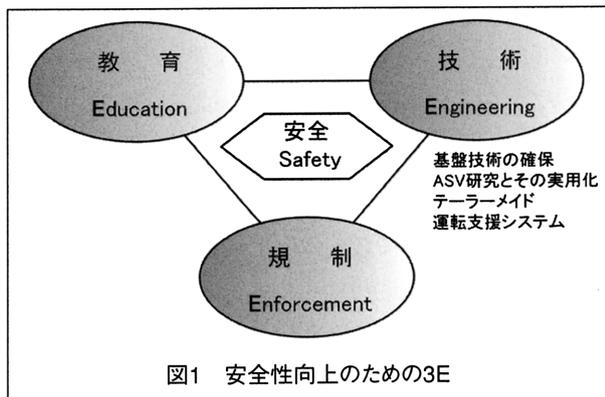


図1 安全性向上のための3E

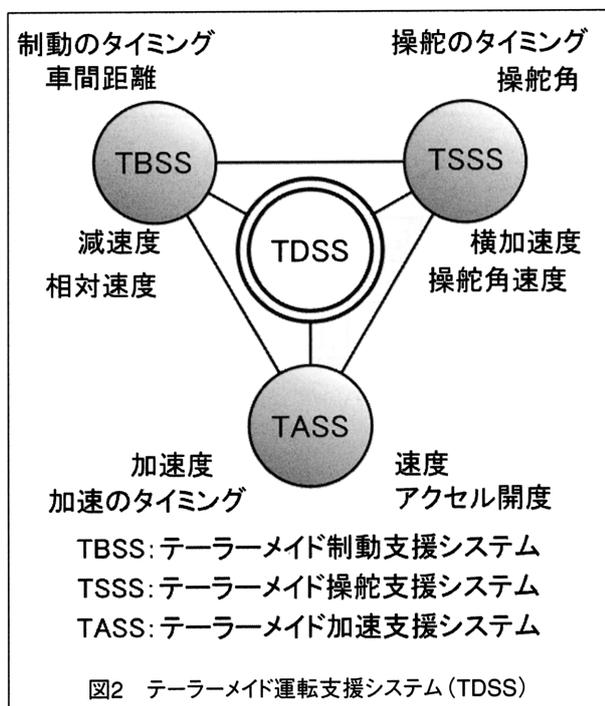


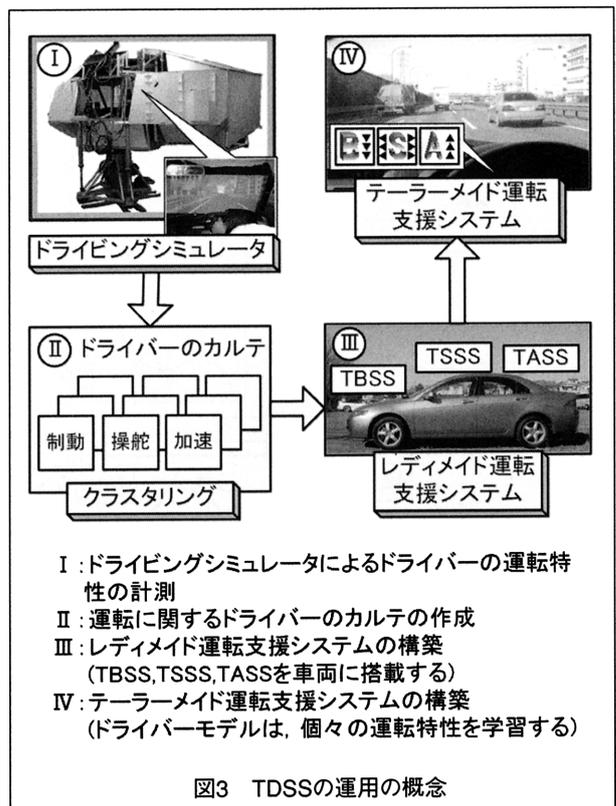
図2 テーラーメイド運転支援システム (TDSS)

支援するテーラーメイド操舵支援システム(TSSSと略す)、そして加速操作を支援するテーラーメイド加速支援システム(TASSと略す)から成る。各システムの制御対象は、図中に添えた項目の通りである。

図3は、TDSSの運用の概念を示す。個々の運転者は、ドライビングシミュレーターによって運転者のタイプすなわちレディメイドを対象としたクラスタリングを行なう。加速操作、操舵操作、制動操作に関するおおよその運転特性を把握する。これは運転教育を行なうものではなく、あくまでもその個人の運転行動の素地、たとえば「せっかち型」「のんびり型」などの主要指標を計量するものである。このカルテを用いてレディメイドドライバーモデルを作成し、このプログラムを運転支援システムに組み入れ、運転者はこれを車両に搭載する。その後、日常の運転操作が計測され、レディメイドドライバーモデルをブラッシュアップしてTDSSのドライバーモデルが自動的に作成されてゆく。

運転操作は交通状況による要因、加齢などによる要因によっても変化するため、これらをモデルに反映させて、その個人に対する一層の適合を目指す。ただし、運転規範の観点から安全を損ねる操作は、たとえ個人特性であってもそれは自動的に制限する所定の範囲を設ける。

TDSSは、これまでの運転支援システムとは異なり、そ



- I: ドライビングシミュレーターによるドライバーの運転特性の計測
- II: 運転に関するドライバーのカルテの作成
- III: レディメイド運転支援システムの構築 (TBSS, TSSS, TASSを車両に搭載する)
- IV: テーラーメイド運転支援システムの構築 (ドライバーモデルは、個々の運転特性を学習する)

図3 TDSSの運用の概念

それぞれの運転者にとって違和感やお節介感のない使いやすいシステムを目指すことに重点をおき、その結果として客観的安全性を確保し、信頼感や安心感を得る。このTDSSの普及は交通事故の低減、とりわけ高齢ドライバーの安全運転への効果、運転負担の軽減、危険な運転行動の矯正と教育などに効果を持つことが期待される。

なお、このTDSSのモジュールは図4に示すように運転免許証のICチップに搭載し、更に車両キーの役割も果たし、車両を乗り換えた場合でもその機能を活かすことが理想である。

### 3. テーラーメイド運転支援システムの構築手法

#### 3.1 ドライバーモデル

図5は、TDSSを構築するためのフローチャートを示す。ドライバーモデルは、レディメイドドライバーモデル (RDMと略す) とテーラーメイドドライバーモデル (TDMと略す) によって構成する。

RDMは、運転者におおむね適応し得るモデルであり、TDMを構築するまでの初期段階において利用されるものである。運転者は、クラスタリングにより例えば「荒い」「普通」「遅い」のモデルに対応づけられる。これは、一律に用意されたドライバーモデルよりは各人に近いものとなる。

TDMは、個々のドライバーに適用するモデルである。運転者は、それぞれの運転動作のクラスターに属して

いても、運転課題によってそのレベルが変わる。そこでニューラルネットワークの学習機能などを活用して、個人の操作の特徴をあらわしたモデルへとブラッシュアップしてゆく。すなわち運転を始めてから様々な状況を経験して習熟してゆく状態と同じであり、それぞれの場面における運転操作を計量し、その場面を再現できるモデルを習熟させながら構築してゆく。

#### 3.2 レディメイドドライバーモデル

RDMは、運転者をおおむねの特徴を表す集合に分類し、その特徴を再現するモデルである。例えば、ブレーキ操作を対象にすると、先行車両のブレーキランプの点灯に伴い即座にブレーキ操作を開始するタイプと先行車両への接近の様子を確認しながらおもむろにブレーキ操作を開始するタイプに分類することができる。これらのタイプは、更に様々なタイプに分類される。このことは、アクセルおよびハンドル操作においても同様である。これらタイプの分類手法としては、クラスター分析を用いる。

クラスター分析は、類似性の指標を決定する必要があり、例えば図2に示した車間距離、加速のタイミング、操舵の速さなどが指標になる。図6は、制動開始時の車間距離についてクラスター分析を行なった結果を示す。このデンドログラムにおけるアルファベッドは個々の運転者を示し、Xのレベルでグループ化すると、グループI (B、H、I、J、K、C、F) およびグループII (A、G、E、D) に分類される。レディメイドドライバーモデルは、このようなグループの代表値を用いて構成する。

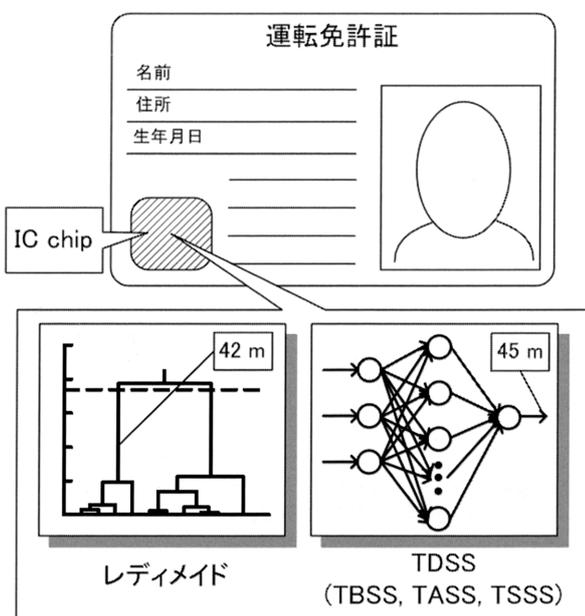


図4 TDSSを搭載した運転免許証の例(仮定)

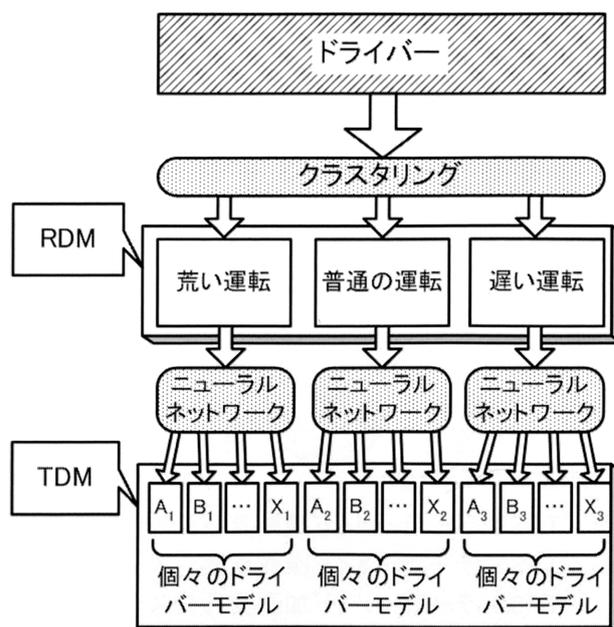


図5 TDSSを構築するためのフローチャート

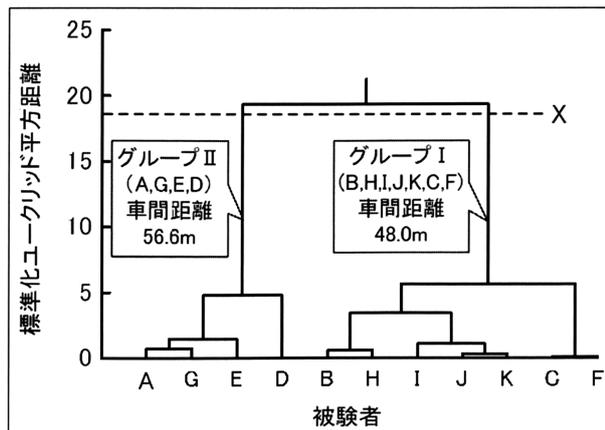


図6 RDMのクラスター分析(制動開始のタイミング)

### 3.3 テーラーメイドドライバーモデル

TDMは、運転者の操作を学習して徐々に個々の運転者に適合してゆくモデルである。モデルの構築手法には、ファジイモデル、学習型ファジイ制御器そしてニューラルネットワークなどがある。これらについて検討した結果、本研究のTDSSにおいてはニューラルネットワークが有効であることを得た。

図7は、入力層、中間層、出力層の3層構造のニューラルネットワークを示す。 $x_i, x_j, x_k$ は入力、 $y$ は出力を表す。例えば、運転者がブレーキを操作する場合において、車間距離の違いによるブレーキの強さ(ブレーキ踏力)の運転者モデルを構築することを考える。ここでは、入力は車間距離、出力は推論値としてのブレーキ踏力となる。このモデルの構築は、あらかじめ計測した運転者のブレーキ踏力(教師信号)と推論値のブレーキ踏力を比較して誤差が小さくなるように推論値を学習させる。学習後のニューラルネットワークは、入力に対して個々の運転者と同じ出力を行うTDMとして扱うことが可能である。なお、運転者の物理的な操作量のみではなく、運転者の主観的な意見を取り入れる対話型の支援システムも有効である。

本研究で用いたニューラルネットワークは、中間層のユニット数を10とし、ユニットの出力関数を式(1)に示すシグモイド関数により構成した。なお、 $\omega$ は結合荷重を示し、 $\theta$ は入力のオフセットを表す。

$$f(X) = \frac{1}{1 + \exp(-X)} \quad (1)$$

$$X = \omega_i x_i + \omega_j x_j + \omega_k x_k - \theta$$

教師信号 $y$ と推論値 $y_R$ の誤差 $E$ は、式(2)を用いて

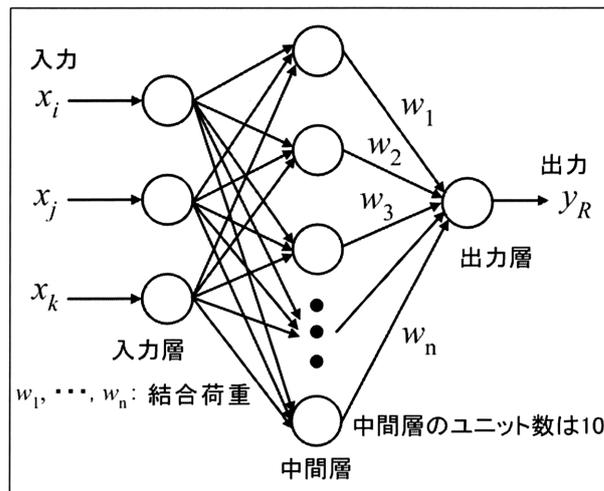


図7 3層構造のニューラルネットワーク

算出した。結合荷重の更新は、式(3)を用いて学習率を比例定数として乗じて更新する。

$$E = \frac{1}{2} (y - y_R)^2 \quad (2)$$

$$\Delta W = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w} \quad (3)$$

## 4. テーラーメイド運転支援システムの実験と考察

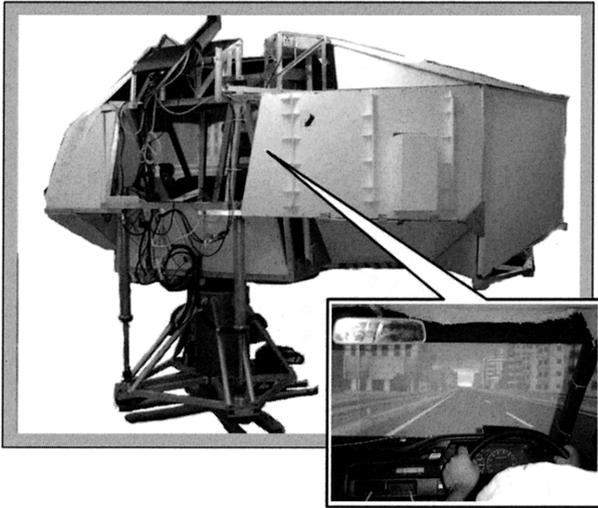
### 4.1 シミュレーターによる検討

運転走行実験は、個々の運転者のデータを取得するために行なう。ここでは誌面の関係から制動を対象にしたTBSSのみについて示す。実験は、被験者への安全の確保および実験条件の変更が容易にできるドライビングシミュレーター(DSと略す)を用いた。図8は、本研究で用いたDSを示す。

実験条件の設定は、先行車両への接近における運転者の制動を対象にする。先行車両と自車両が車間距離を保って走行しているとき、先行車両の制動によって接近する自車両の制御を想定した。車間距離は20、40、60、80(m)、先行車両の減速度1、2、3、4、5(m/S<sup>2</sup>)の組み合わせとした。車速は100km/h、被験者は20代の11名である。

#### 4.1.1 TBSSにおけるレディメイドドライバーモデルの考察

各運転者のクラスタリングとその妥当性の検討を行なった。TBSSについて示すと、先ず所定の車間距離になると自動的に制動を行なうRDMを用いて運転支援システムの機能をシミュレーター上に構成した。シミュレーターが制動を開始する車間距離は、運転者が属するクラスターにより変更される。被験者はシミュレーターに



視野角: 水平方向 2.36(rad), 上下方向 0.52(rad),  
車両: 排気量 2500~3000(cm<sup>3</sup>)

図8 走行実験に用いたドライビングシュミレーター

搭乗し、シュミレーターの制動を観察した後に制動開始タイミングの許容性に関して主観的評価(5段階)を行なう。図9は、主観的評価の結果であり、運転者はシュミレーターの制動を許容出来ると評価している。このことはRDMの有効性を表している。なお、クラスタリングにあたっては、車間距離のような客観的なデータのみではなく、運転者の安全に関する主観的評価を加味することが、このモデルの精度を高めることになる。

#### 4.1.2 TBSSにおけるテラーメイドドライバーモデルの考察

図10はTBSSのTDMを(a)、TSSSのTDMを(b)そしてTASSのTDMを(c)に示す。以下は制動のドライバーモデルについてのみ述べる。入力に車間距離、相対速度、相対減速度とし、出力をブレーキ踏力とする。

図11は、そのモデル構築のシステムを示す。ここでのクラスタリングは、運転者がブレーキを操作するまでの空走時間、ブレーキの強さを表す最大減速度を因子とした。各クラスターのデータは、ニューラルネットワークによる学習データと未学習データに分類する。学習回数は、誤差の最小化をカット&トライによって追求した結果、200回が妥当であることを得た。

次に、これらの条件にもとづき制動のシュミレーションを行なった結果を図12に示す。これは、学習後のニューラルネットワークが運転者と同様な操作を行なうか否かの検証である。図12は、ニューラルネットワークを用いたドライバーモデルと運転者の制動との近似性を確認した実験結果である。同図(a)は、学習データによるもので当然のこととして近似度は優れているが、(b)のよ

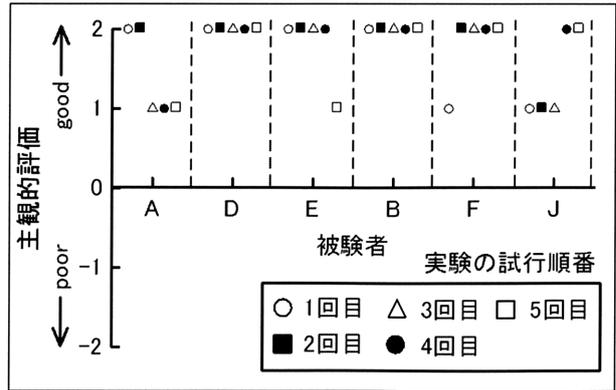


図9 制動開始のタイミングの主観的評価

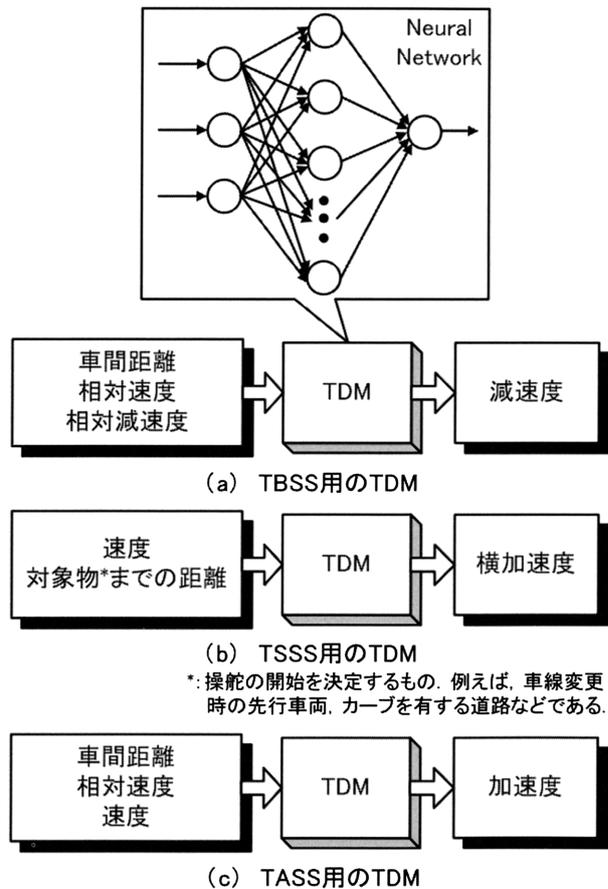


図10 テラーメイドドライバーモデル(TDM)

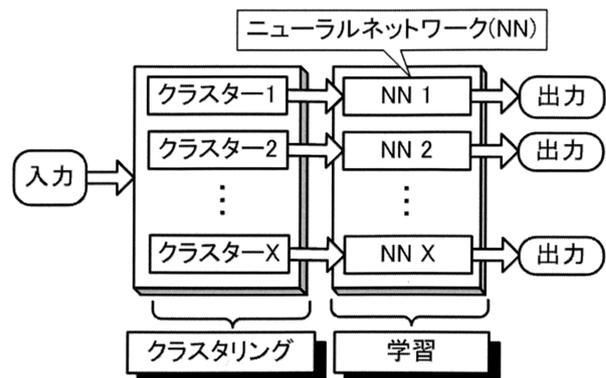


図11 モデル構築のシステム

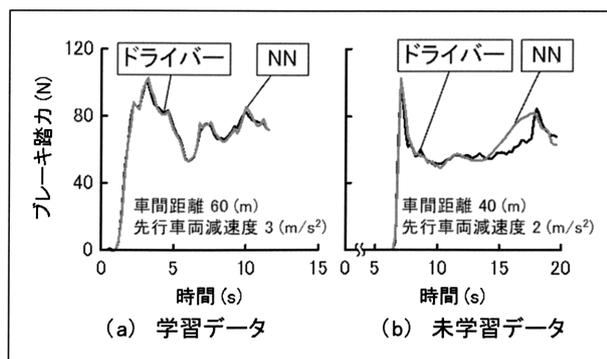


図12 TDSSのシミュレーション結果の例(制動)

うに未学習データであってもニューラルネットワークを用いれば、十分実用に供することを示している。

以上のシミュレーションと実験により、TDMはニューラルネットワークを用いて学習することで、個人に適用したモデルになることが確認された。

## 5. 結言

運転の定式化によって運転支援システムを構築することは、効率的であり経済的である。しかし、物理的に優れた機能を持つ運転支援システムをより有効に活用してゆくためには、使う側の論理である使いやすさ、違和感のないことが重要な鍵となる。TDSSは、日常の運転の場で個々の運転者の運転行動をドライバーモデルに組み込むシステムである。これにより、運転者に安全と安心の付加価値を提供することが可能になる。

本研究は、テラーメイド運転支援システムのコンセプトとフレームワークを提案し、理論とシミュレーションおよび実験により、次の結果を得た。

- (1) テラーメイド運転支援システムは、テラーメイド制動支援システム、テラーメイド操舵支援システムおよびテラーメイド加速支援システムによって構成する有意性とその可能性を得た。
- (2) このシステムを構築する場合、レディメイドドライバーモデルを組み入れることが有効である。
- (3) レディメイドドライバーモデルは、クラスタリングにより運転者を分類することで効果的なモデルの作成が可能となる。
- (4) テラーメイドドライバーモデルは、ニューラルネットワークを用いて作成することが有効である。

終わりにあたり、この種の研究は人の行動特性や感性さらには意思などの論理的定式化、客観的な絶対値の追求に留まることなく、運転現場の事象や操作をクラ

スタリングやニューラルネットワークなどによるモデリングによって定量化し、構築したシステムを現場におろして検証するCut & Tryの手法を育んでゆきたいと考えている。

さらに、個人特性を尊重する観点から将来的には、テラーメイド運転支援システムのドライバーモデルに運転行動に関わる遺伝子情報を組み入れ、その個人により適応したシステムへと発展させてゆくことを目指したいと考えている。

## REFERENCE

- 1) Yamada, K., Development Status of Driving Support Systems - Development of Adaptive Cruise Control-, IATSS Review, Vol.24, No.2: pp.47-52. (1998).
- 2) Shibahata, Y., Progress and Future Direction of Global Chassis Control Technology, JSAE, Vol.57, No.7: pp.8-9. (2003).
- 3) Nagai, M., Prospects of Active Safety Technology, JSAE, Vol.57, No.12: pp.4-8. (2003).
- 4) Takahashi, H., and Sato, H., A Study on Relationship Between Driver and Vehicle in Automatic Controlled System Environments -The Case of Adaptive Cruise Control System from a Cognitive Science Point of View-, JSAE, Vol.52, No.10: pp.74-79. (1998).
- 5) Ishida, S., Tanaka, J., Kondo, S. and Kawagoe, H., Measurement of Effect and Influence of Driver Assistance System, JSAE, Vol.56, No.3: pp.58-63. (2002).
- 6) Kawai, M., Ishida, S. and Tsuji, T., Intelligent Vehicle and Advanced Safety Technology, JSAE, Vol.57, No.2: pp.44-49. (2003).
- 7) Nagiri, S., Amano, Y., Fukui, K. and Doi, S., A Study of the Driving Support System Based on Driver's Behavior Analysis, JSAE, Vol.57, No.12: pp.102-107. (2003).
- 8) Fujioka, T. and Takubo, N., A Driver Model with Neural Network System. JSAE, Vol.22, No.2: pp.69-73. (1991).
- 9) Kageyama, I., Watanabe, Y. and Owada, Y., Modeling of Driver-Vehicle System with Neural Network, JSAE, Vol.48, No.12: pp.5-11. (1994).
- 10) Chikamori, S., Kobayashi, M. and Shimizu, Y., A Study on Neural Network Driver Model in Lane Changing Maneuver, JSAE, Vol.31, No.1: pp.69-74. (2000).
- 11) Takahashi, H., Kuroda, K. and Yasuoka, M., A Study on an Identification Model for Inferring the Driver's Intentions- When Decelerating on a Downhill Grade-, T.SICE, Vol.32, No.6: pp.904-911. (1995).
- 12) Becker, U., Rodic, A. and Schnieder E., Integrated Modeling OF Driver- Vehicle Dynamics for Use in Designing of Driver-Assisted Control Systems, Fortschr Ber VDI Reihe 12, No.485: pp.108 -129. (2002).
- 13) Inokuchi, H., Kawakami, S. and Ogino, H., Development of Car-Following Model by using Fuzzy Neural Network, Journal of Civil Engineering Information Processing System, Vol.7: pp.73-80. (1998).
- 14) Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J., Learning Representations by Back-Propagating Errors, Nature, 323: pp. 533-536. (1986).
- 15) Horikawa, S., Furuhashi, T. and Uchikawa, Y., Composition Methods and Learning Algorithms of Fuzzy Neural Networks, Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems, Vol.4, No.5: pp.110-131. (1992).
- 16) Hirose, T., Sawada, T. and Oguchi, Y., Modeling of Decelerating Action in Driver Vehicle System, Mechanical Engineering Congress 2002 Japan, Vol.: pp.255-256. (2002).
- 17) Hirose, T., Oguchi, Y. and Sawada, T., Framework of Tailormade Driving Support Systems and Neural Network Driver Model, IATSS Research, Vol.28, No.1: pp.108-114. (2004).