

# 運転手の意図を考慮した知的駐車支援システムの提案

○的場早紀 澁谷長史 安信誠二 (筑波大学)

## A Proposal of Intelligent Parking Support System Considering Driver's Intention

\*S.Matoba, T.Shibuya and S.Yasunobu (University of Tsukuba)

**Abstract**— The parking support system is developed, because it is difficult for a lot of people to park the car. It is important for a support system to cooperate with human. In this paper, we propose a parking support system which cooperates with human by presuming driver's intention. This is based on human's support method. Driver's intention is presumed from driver's steering. The support system can change an operation command according to the driver's intention. The support is provided by the change in the hardness of the steering wheel. Effectiveness of the proposal system was confirmed by simulations.

**Key Words:** 知的制御, ファジィ制御, ファジィ協調, 意図理解, 駐車支援

### 1 はじめに

ハンドル操作とアクセルブレーキで自動車を所定の位置に移動させる駐車運転は、自車両や周囲の状況の把握が難しく、高度なハンドル操作を要求されるが、自動車を運転する上で重要な運転技術である。しかし、駐車を苦手とする運転手は多く、運転手の負担軽減と事故防止を目的として、駐車を支援するシステムの研究や開発が盛んに行われている。

駐車支援システムは、大きく分けて情報提供型と制御型の二つに分類することができる。

情報提供型の支援システム<sup>1)2)3)</sup>は、映像や音声といった情報の提供によって支援を行う。この方式では実際の運転は運転手に委ねられるため、運転手の意図する運転が妨げられることはない。しかし、運転手の判断ミスや誤操作による事故を防ぐことは難しい。

一方、制御型の支援システムは直接的に車両操作に介入し支援を行う。例えば、ハンドルの操作を自動で行うシステム<sup>4)</sup>や、全自動で駐車を行うシステム<sup>5)6)</sup>が開発されている。この方式では運転手がハンドルに触れないため、運転手の判断ミスや誤操作による事故は起こり得ない。しかし、駐車するという目的は同じでも、その方法は運転手によって様々である。そのためシステムと運転手の判断基準や意図の相違から、運転手が違和感や煩わしさを感じる恐れがある。既存の制御型の支援システムはシステムの意図を優先しており、運転手の意図を優先するためには支援を中止せざるを得ない。

そこで本論文では、人間による駐車支援を参考とし、運転手の運転操作に柔軟に対応する知的駐車支援システムを提案する。助手席に座る支援者がハンドルに手をかけつつ駐車支援を行った場合、良い支援者は自らの意図を優先するだけではなく、運転手の意図を考慮した上で柔軟な操作が可能である。また、仮想の運転手モデルを用いた模擬実験によって提案システムの有効性を検証する。

### 2 人間による運転と駐車支援

人間の運転方法をもとに運転手の意図について考察し、人間による駐車支援の方法について考察する。

### 2.1 運転手の意図

#### 2.1.1 人間の運転方法のモデル化

人間は、戦略と戦術を用いて、最終的な目標である停車目標まで車両を運転していると考えられることができる<sup>7)</sup>。戦略とは大局的な方針であり、例えば停車目標に到達するために「車両を左に寄せる」「目標の左手前に行く」といったものである (Fig.1)。戦略を遂行するために立てる大局的な目標を戦略目標とし、戦略目標に到達するために車両特性を考慮して立てる局所的な途中目標を戦術目標とする。人間は戦略目標を立て、そこに到達するために戦術目標を立てて運転し、戦術目標に到達すると次の戦術目標を考える。そして戦略目標に到達すると、次の戦略目標を考える。このように、人間が戦略・戦術目標の達成と更新を繰り返しながら停車目標へ向かっているとすると、これらの目標は人間の意図であると言える。

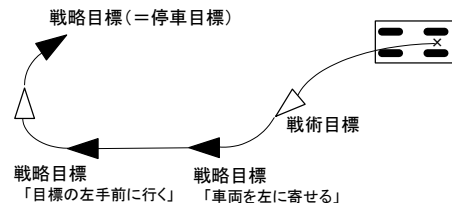


Fig. 1: 停車目標と戦略・戦術目標

#### 2.1.2 本システムで対象とする運転手の意図

本システムでは後退駐車を想定し、戦略を「車庫に入る」とした上で運転手が立てる戦術目標を、運転手の意図として考慮する。Fig.2に示すように、前進から後進へと進行方向を変えて切り返す地点などが戦術目標となる。

一度の切り返しで駐車可能な切り返し地点は、車両の最大操舵角の範囲内で連続的に存在する。運転手によって目指す切り返し地点は異なり、途中で変更される可能性もある。従ってシステムと運転手の意図する戦術目標に差が生じる可能性が高く、本システムで対象とする運転手の意図をこのように設定した。以降、現在状態から停車目標までに立てられる一連の戦術目標を駐車パターンと呼ぶことにする。

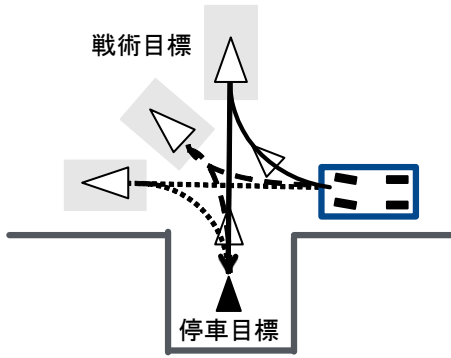


Fig. 2: 本システムで対象とする運転手の意図

### 2.1.3 運転手の意図推定

運転手の意図は、運転手の運転操作に表れる。例として、運転手の意図する戦術目標が支援者の意図する戦術目標よりも右に位置しているとする。この場合、支援者が誘導しようとする操作に対して、運転手の意図はハンドルをより右に回そうとする力として反映され、支援者に伝わる。

このように、運転手がハンドルにかける力は支援者による操作に運転手が変化を加えようとする力であり、運転手と支援者の意図する戦術目標が異なる場合に発生する。この力の大きさと向きによって、運転手が操舵にどのような変化を加えようとしているか支援者は推定でき、また運転手の意図する戦術目標も推定できる。また、この力が非常に小さい、もしくは発生していない場合に支援者は、運転手と意図が一致しているか、運転手に意思がなく運転を任されている状態であると考えることができる。

## 2.2 人間による駐車支援

本研究でコンピュータによるシステム化を想定している、支援者による駐車支援のイメージを Fig.3 に示す。

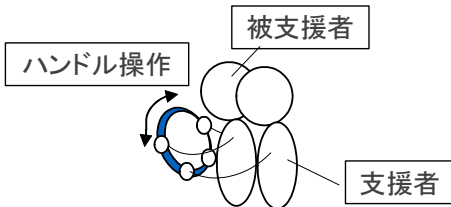


Fig. 3: 人間による駐車支援のイメージ

支援者の駐車支援を以下に示す。

1. 周囲や自車両の状況から、戦術目標候補を限界を含め考える
2. 運転手のハンドル操作から、運転手の意図している戦術目標を推定
3. 安全と運転手の意図を考慮し、各戦術目標を評価して良い操作を考える
4. 支援者が考える操作と運転手の操作を比較し、その差に応じた力をハンドルに加えて誘導
5. 戦術目標に到達した場合と、戦術目標を変更する必要がある場合に1に戻り、戦術目標を改めて考える

## 3 運転手の意図を考慮した知的駐車支援システム

使用した自動車モデルと、構築した知的駐車支援システムについて述べる。

### 3.1 自動車モデル

本システムでは、アッカーマン・ジャントーの操舵機構に基づいた自動車モデルを使用する。アッカーマン・ジャントーの操舵機構とは、前輪駆動の四輪自動車が行う際に、全ての車輪の旋回中心が一点で交わるように、外側の車輪の切れ角が小さく、内側の車輪の切れ角が大きくなるよう調整している機構である。Fig.4 のように旋回中心を一点としているため、滑らかな旋回が可能である。

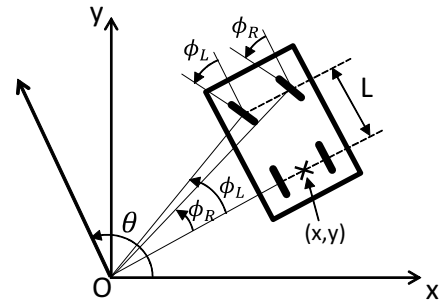


Fig. 4: アッカーマン・ジャントーの操舵機構

ここで、

$(x, y)$ : 現在位置 (後輪軸の中心点の座標)

$\theta$ : 車両の角度 ( $x$  軸と車両の進行方向の成す角度)

$\phi$ : 車両の操舵角 (左右の前輪の舵角の平均)

$L$ : ホイールベース (前輪と後輪の距離)

$v$ : 前輪の平均速度

$O$ : 旋回中心

とすると、以下の拘束条件式が得られる。

$$\frac{dx}{dt} = v \cos(\phi) \cos(\theta)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \cos(\phi) \sin(\theta)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{L} \sin(\phi)$$

また、四輪車の旋回半径は以下の式で表される。

$$R = \frac{L}{\tan \phi}$$

そのため、最大舵角を  $\phi_{\max}$  とすると、車両の最小旋回半径  $R_{\min}$  は、以下の式で求められる。

$$R_{\min} = \frac{L}{\tan \phi_{\max}}$$

### 3.2 システム構成

構築したシステムを Fig.5 に示す。人間の曖昧さを含む知識を組み込むため、ファジィ制御<sup>8)</sup>を用いた。サンプリングタイムは0.1秒とする。

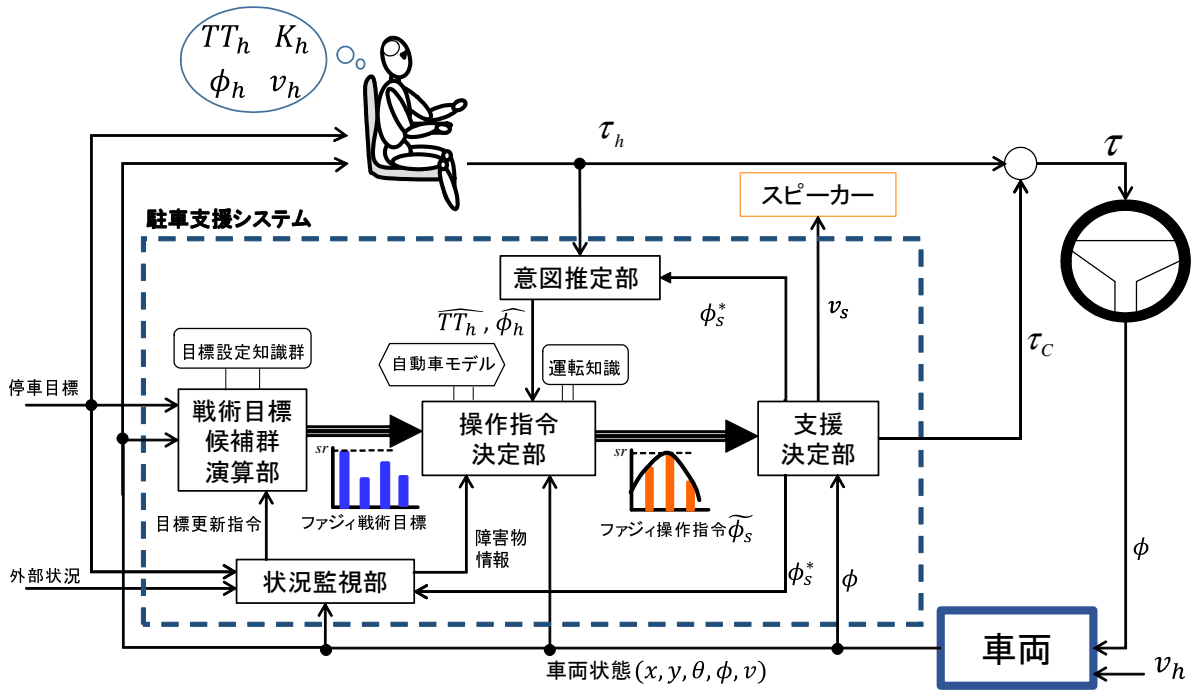


Fig. 5: システム構成

### 3.2.1 状況監視部

状況監視部では、目標更新指令の発令と障害物情報の提供を行う。

停車目標や戦術目標への到達を判断し、各目標へ到達した場合と、何らかの理由で各目標への到達が不可能と判断した場合に戦術目標候補群演算部へ目標更新指令を出す。また、障害物についての情報は車体に取り付けられたセンサ等から取得し、操作指令決定部に提供する。

### 3.2.2 戦術目標候補群演算部

戦術目標候補群演算部では、目標更新指令を受け、限界を含めて複数の戦術目標候補を算出し、その集合をファジィ戦術目標として出力する。

戦術目標候補  $TT_i$  はファジィ推論によって求める。ファジィ推論とは、制御対象の現在の状態を評価し、その情報に基づいて「もし  $x$  が  $A$  であり、 $y$  が  $B$  であるならば、 $u$  は  $C$  とする」といった If-then 型のルールによって結論を導き出す手法である。評価はメンバーシップ関数を用いて行われ、If の部分を前件部、Then の部分を後件部と呼ぶ。

本システムで用いるルールの前件部は停車目標を原点とした現在の車両の「x 軸座標」「y 軸座標」「角度」「進行方向」であり、後件部は戦術目標候補である。このルールを駐車パターンごとに組み合わせたものを、目標設定知識と呼ぶ。目標設定知識を複数用いることによって、複数の駐車パターンにおける戦術目標候補を求めることができる。また、各戦術目標候補  $TT_i$  には、その良さ（満足度）の度合いを、対応する駐車パターンの操舵の簡易さ等に応じて 0~1.0 の範囲で設定する。

### 3.2.3 意図推定部

意図推定部では、2 章で述べた運転手の意図と運転操作の関係を踏まえ、運転手が意図する操舵角  $\phi_h$  と戦術目標  $TT_h$  を推定する。

まず、運転手がハンドルにかける力  $\tau_h$  から運転手が目標としている操舵角  $\phi_h$  の推定値  $\hat{\phi}_h$  を以下の式で推

定する。

$$\hat{\phi}_h = \phi_s^* + \frac{\tau_h}{\tau_{\max}}$$

$\phi_s^*$  は後述の支援決定部にて決定する適切操作指令である。 $\tau_{\max}$  は、 $\phi_s^*$  と  $\phi_h$  が最大操舵角差だけ異なる場合に運転手がハンドルにかける力の強さである。この  $\hat{\phi}_h$  を維持して適当な距離進んだ結果の車両の位置と角度を推定戦術目標  $\widehat{TT}_h$  とした。推定戦術目標は 1 秒ごとに算出する。

### 3.2.4 操作指令決定部

操作指令決定部では、予見ファジィ制御方式を用いてファジィ操作指令を決定する。予見ファジィ制御とは、各制御指令候補に対して対象システムの将来状態を予見し、将来状態を評価する制御知識によって適切な制御指令を求める制御方式である。

ここで用いる運転知識（制御知識）の運転則では、ファジィ戦術目標の各戦術目標候補  $TT_i$  に向かう操作候補  $\phi_i$  を算出し、この操作候補  $\phi_i$  に対して車両の将来状態の予見とファジィ評価を行う。評価基準は、「 $TT_i$  の満足度」「 $\hat{\phi}_h$  と  $\phi_i$  の近さ」、将来状態の「目標との近さ」「障害物との遠さ」である。このような運転則から求めた各操作候補の評価値よりファジィ操作指令を決定、出力する。

### 3.2.5 支援決定部

支援決定部では適切な操作を決定し、それと運転手の操作を比較することで支援に用いる力  $\tau_c$  を決定する。

まず、ファジィ操作指令の中で最も評価値の高い操作を適切操作指令  $\phi_s^*$  とする。そして  $\tau_c$  を、 $\phi_s^*$  と現在の操舵角  $\phi$ 、システムの意味の強さ（操舵ゲイン） $K_s$  を用いて以下の式によって決定する。

$$\tau_c = K_s(\phi_s^* - \phi)$$

また、適切操作指令の速度を運転手に音声で通知する。

## 4 仮想の運転手による模擬実験

構築した知的駐車支援システムが運転手の操作に柔軟に対応できるか確認するため、仮想の運転手を用いて MATLAB 上で模擬実験を行い、システムの評価をした。

### 4.1 実験条件

実験に用いた車庫形状を Fig.6 に示す。車両はホイールベースを 2.6 m、車幅を 1.7 m とし、速度は 0.4 m/s、最大操舵角度は 0.5 rad とした。初期状態は  $(10, 7, \pi)$ 、停車目標は  $(0, 0, \pi/2)$  であり、後退で駐車するものとする。また、車両の四隅に設置されたセンサ等により、周囲 7m までの障害物を検知できるものとする。

目標設定知識は 3 組使用する。各目標設定知識によって導き出される駐車パターンを Fig.7 に示す。駐車パターン a と c が限界であり、b がその中間に位置している。なお、本実験では駐車パターン a では駐車できない車庫形状にした。各駐車パターンに対応する戦術目標の満足度は、駐車に必要な操作量から Table.1 に示すように定めた。また、応答の関係からシステムの操作ゲインを  $K_s = 2$  とした。

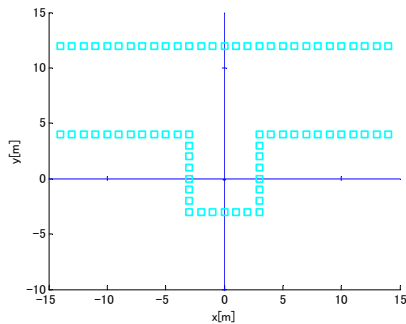


Fig. 6: 車庫形状

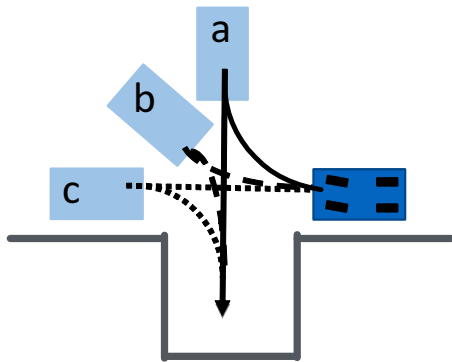


Fig. 7: 駐車パターン

Table 1: 各駐車パターンに対応する戦術目標の満足度

駐車パターン	a	b	c
対応する戦術目標の満足度	0.8	1.0	0.8

### 4.2 仮想の運転手

実験で用いる 4 人の仮想の運転手について述べる。仮想の運転手は、支援システムと同様の目標設定知識群のうちの一つを用いて戦術目標を決める。戦術目標へ向かう操作  $\phi_h$  は、簡単な制御器によって求める。ハンドル操作は比例制御によって行い、運転手の意思の強さ  $K_h$  を比例ゲイン (操舵ゲイン) とする。本実験では  $K_h$  を

定数とし、支援システムの  $K_s$  と同様に  $K_h = 2$  とした。また、その状態で  $\phi_h$  と  $\phi_s^*$  の差を 1.0 rad に設定した実験を行い、 $\tau_{\max} = 1.0$  とした。運転手は、後進指令の音声がかかると停止し、後進に切り替えるとする。

4 人の仮想の運転手は、それぞれ以下のようにした。

#### Driver-Auto

自動運転に任せるが、駐車パターン a を想定している  $K_h = 0$  の運転手

#### Driver-a

駐車パターン a で駐車しようとする  $K_h = 2$  の運転手

#### Driver-b

駐車パターン b で駐車しようとする  $K_h = 2$  の運転手

#### Driver-c

駐車パターン c で駐車しようとする  $K_h = 2$  の運転手

### 4.3 実験結果

各運転手に対して支援を行った結果を示す。各運転手の走行軌跡を Fig.8 に示す。

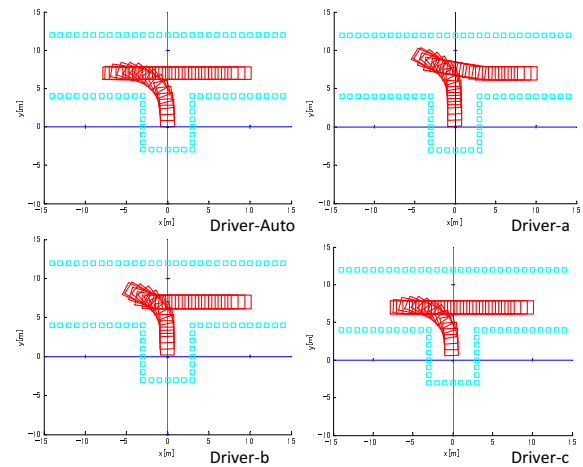


Fig. 8: 各運転手の走行軌跡

#### 4.3.1 Driver-Auto

Driver-Auto の操舵角とトルクの変化を Fig.9 に示す。

Fig.8 の Driver-Auto が示すように、駐車パターン c で駐車している。意思のない運転手であるため  $\tau_h = 0$  であり、 $\tau_c$  のみで操作が行われている様子が Fig.9 に示されている。

#### 4.3.2 Driver-a

Driver-a の走行中の様子を Fig.10 に示す。また、操舵角とトルクの変化を Fig.11 に示す。

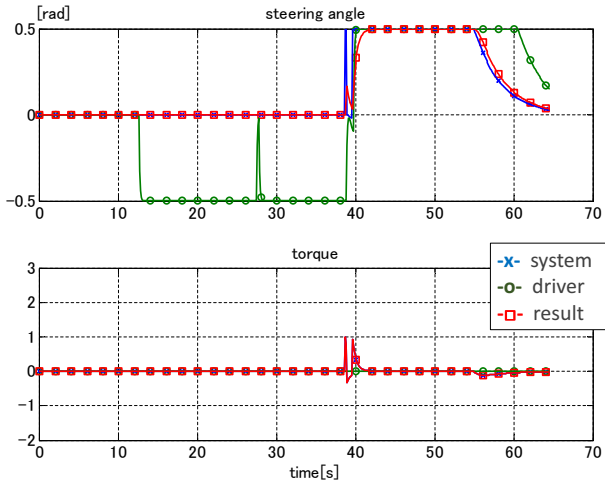


Fig. 9: Driver-Auto の操舵角とトルクの変化

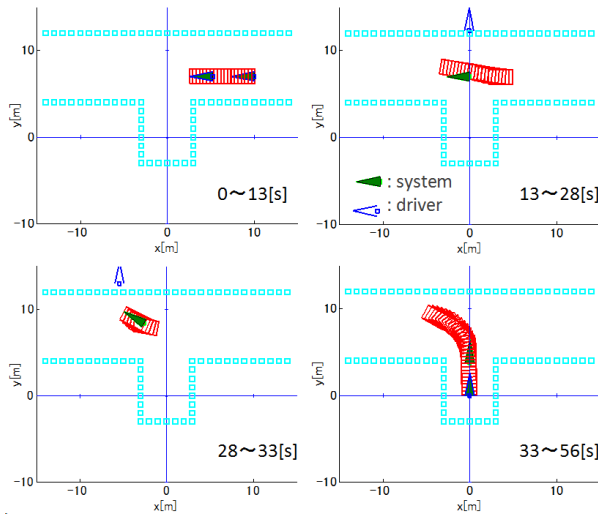


Fig. 10: Driver-a の走行中の様子

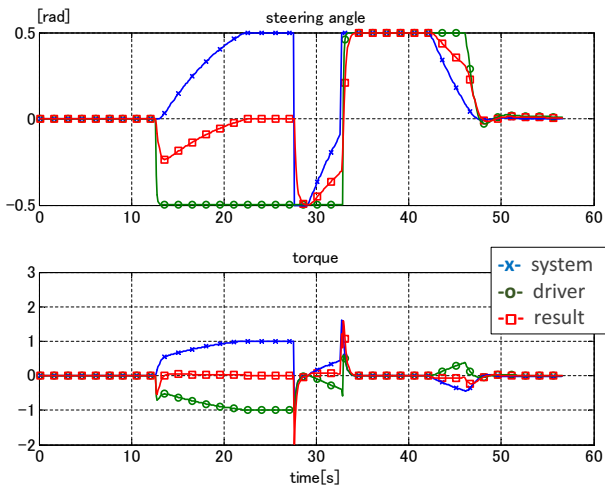


Fig. 11: Driver-a の操舵角とトルクの変化

Fig.8のDriver-aが示すように、駐車パターンbで駐車している。Fig.10の13~33秒の間、運転手の意図する戦術目標が壁の向こうに存在している。そのため、支援システムは運転手の意図に近く安全な戦術目標への誘導を行っている。誘導の様子はFig.11にも示されている。

### 4.3.3 Driver-b

Driver-bの走行中の様子をFig.12に示す。また、操舵角とトルクの変化をFig.13に示す。

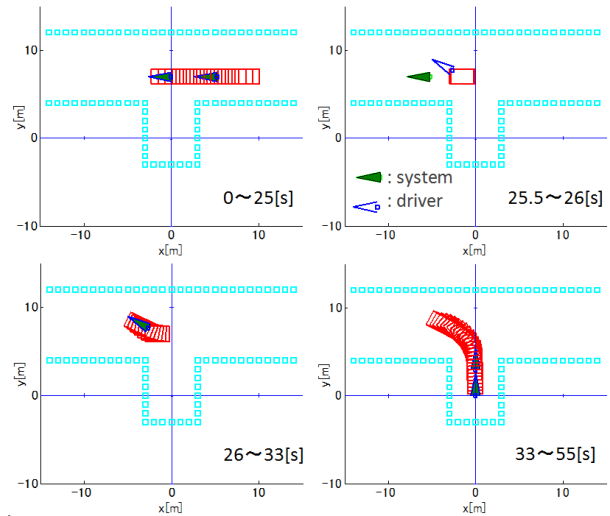


Fig. 12: Driver-b の走行中の様子

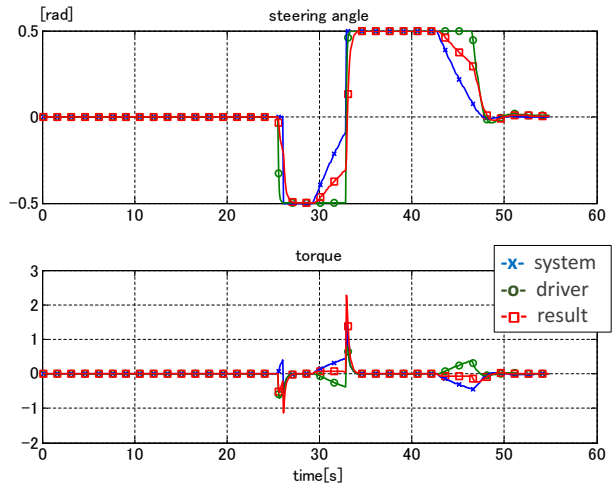


Fig. 13: Driver-b の操舵角とトルクの変化

Fig.8のDriver-bが示すように、駐車パターンbで駐車している。Fig.12の25.5~26秒の間で意図に相違が生じているが、26秒になると支援システムの意図が運転手の意図に合わせて変更されている。Fig.13には、25.5~26秒の間は運転手に対抗する力が発生しているものの、すぐに $\phi_s^*$ が $\phi_h$ と一致し、その力がなくなっている様子が示されている。

### 4.3.4 Driver-c

Driver-cの操舵角とトルクの変化をFig.14に示す。

Fig.8のDriver-cが示すように、駐車パターンcで駐車している。Fig.14には、 $\phi_s^*$ と $\phi_h$ の間に差が少なく、トルクの変化がほとんどないことが示されている。

## 4.4 システムの有効性の評価

Driver-Autoの結果から、従来の制御型の支援システムのように、運転手がハンドルに触れないもしくは軽く触れている場合に、自動操舵での駐車が可能であることを確認できた。

Driver-aの結果から、運転手が物理的に不適切な意図を持っていた場合に、支援システムによる誘導で安全に

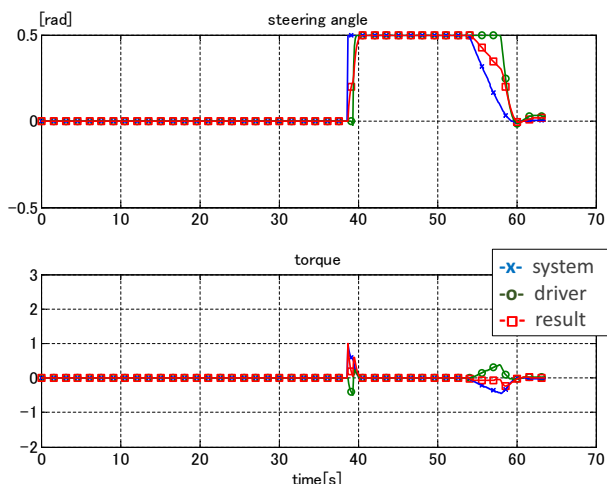


Fig. 14: Driver-c の操舵角とトルクの変化

駐車できることを確認できた。

Driver-b の結果から、支援システムは自らの意図する戦術目標を運転手の意図に応じて変更できることを確認できた。

Driver-c の結果から、支援システムと運転手の意図が一致している場合には運転手に余計な負荷がかからないことを確認できた。

以上の結果に、いずれの場合も障害物にぶつかることなく駐車できていることを加味すると、構築した支援システムは運転手の様々な操作に柔軟に対応した駐車支援を行っていることが確認できた。従って、提案システムは有効であると言える。

## 5 おわりに

本論文では、運転手の意図を考慮した知的駐車支援システムを提案した。提案システムではハンドルに加える力の固さを変化させることで支援を行い、運転手がハンドルに触れていない場合には自動操舵を行う。運転手がハンドルに触れて力を加えた場合は、その意図を読み取り安全性と合わせて考慮し、システムの操作指令を変化させる。

また、仮想の運転手に対する模擬実験により、提案システムが運転手の操作に柔軟に対応した駐車支援を行っていることを確認し、その有効性を示した。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 24500272 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 鈴木政康, 知野見聡: アラウンドビューモニタの開発, 日本機械学会誌, **111**-1073, 332(2008)
- 2) MAZDA : パーキングセンサー | ドライビングサポート, <http://www.mazda.co.jp/accessories/safety/driving/sensor.html>, (参照:2014-02-03)
- 3) 橋本尚久, 加藤晋, 美濃部直子, 津川定之: 駐車時のドライバへの車両操作指示方法に関する HMI の構築と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, **106**-537, 73/78(2007)

- 4) 里中久志, 岩田洋一, 岩切英之, 岩崎克彦, 遠藤知彦, 田中優: 自動操舵後退駐車支援システム, 計測と制御, **45**-3, 227/230(2006)
- 5) VOLVO : ボルボ、無人の自動運転で駐車場に自動駐車する技術を発表, 2013-06-24, <http://www.volvocars.com/jp/top/about/news-events/pages/default.aspx?itemid=145>, (参照:2014-02-3)
- 6) 谷添鉄平, 河本晶晴, 武藤大治, 横井博一: 多様な運転操作が可能な自動駐車システム, 電子情報通信学会技術研究報告, **105**-419, 93/96(2005)
- 7) S.Yasunobu, K.Kinoshita : Development of Intelligent Parking Support System for Welfare Vehicle, IEEE international Symposium on Computational Intelligent In Robotics And Automation, 682/687(2003)
- 8) 安信誠二: 『ファジィ工学』, 昭晃堂 (1991)
- 9) H. Zhou, S. Yasunobu : A Cooperative Auto-driving System Based on Fuzzy Instruction, Proc. of the 7th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(ISIS2006), 300/304(2006)