

自動車運転環境においてロボットナビゲーターの提案を ドライバーが受諾するメカニズムの検討

Examination on mechanism which a driver accepts a robot navigator's suggestion in driving environment

宮澤 幸希¹ 影谷 卓也¹ 沈 睿¹ 菊池 英明¹

小川 義人² 端 千尋² 太田 克己³ 保泉 秀明³ 三田村 健³

MIYAZAWA Kouki¹, KAGETANI Takuya¹, Raymond SHEN¹, KIKUCHI Hideaki¹,

OGAWA Yoshito², HATA Chihiro², OHTA Katsumi³, HOZUMI Hideaki³, and MITAMURA Ken³

¹ 早稲田大学 人間科学学術院

¹ Faculty of Human Sciences, Waseda University

² 早稲田大学 理工学術院

² Faculty of Science and Engineering, Waseda University

³ 日産自動車(株) 総合研究所 モビリティ研究室

³ Mobility Laboratory, Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.

Abstract: A human user does not accept all suggestions by an interactive agent. In this research, we focus on interaction of human and the robot navigator and we had an experiment observing interaction in driving simulation environment. The navigation sound of the robot is based on human navigator's suggestion. As the results, we confirmed that the neck movement of the robot navigator's head and the intonation of the utterance correlate with rate of acceptance of suggestions.

1 はじめに

対話機能を備えた人工物は、ユーザーに提案や要求を行う場合がある。しかし、ヒトは必ずしも人工物からの働きかけを全て受け入れるわけではない。そのため、ヒトとインタラクションを行う人工物をデザインする際に、ヒトがインタラクションの対象として人工物を受け入れるに至る要因を解明し、それに基づいた対話・行動制御を実現する必要がある。

本研究ではこれまでに、自動車運転環境に焦点を絞ってヒト同士のドライバーとナビゲーターによる提案受諾実験を行い[1]、ナビゲーション発話のどの要素がドライバーの提案受諾行為に影響を与えるのかに関して考察した[2]。2章ではこれらの先行研究について述べる。3章では、本研究で行ったシステム-ヒト間の提案受諾実験に関して述べる。また、3章4節では本研究のナビゲーションシステムの詳細

を述べる。4章では実験結果とともに、そこから得たシステム-ヒト間の提案受諾のメカニズムについての考察を示す。

2 先行研究

2.1 ヒト同士の提案受諾実験

ヒトが相手の提案を受諾するメカニズムについて示唆を得るために、自動車運転環境を構築して、ドライバー役とナビゲーター役の対話を複数組の話者で収録した。その結果、ドライバーの受諾行為に影響を及ぼす要因として、以下を確認した[1]。

- (1) 「内容の信頼性」因子と相関の高いナビゲーターの発話が、最も多く受諾された。
- (2) ドライバーがナビゲーターの存在を感じられる場合において、提案受諾率が上がる。ただし、ドライバーの心的負荷・ストレスも大きくなる。

2.2 ナビゲーション音声の解析

[1]の実験で収録した対話を分析した結果、ドライバーの受諾率を高めるナビゲーション発話の要因として、以下が示された[2]。

(1) 対話的・言語的要因

- ・音声単語親密度表[3]に存在している単語（一般的な国語辞書に記載された単語）が多いこと
- ・単語数が多い（発話時間が長い）
- ・提案の根拠が含まれる
- ・具体的な数量的情報が含まれる
- ・特定の語末表現（～しましょう）が含まれる

(2) 音響的要因

- ・基本周波数の変動が大きい
- ・適度な発話速度（9～11[モーラ/秒]）
- ・適度にフレーズを区切る
- ・句末の伸ばし表現をしない

本研究では、この知見に基づいて人工物のナビゲーターの提案発話を作成する。

3 実験

3.1 目的

走行中の自動車内で人工物のナビゲーターが行った提案がドライバーの行為に影響を及ぼす要因を明らかにすべく、[1]と同様の運転シミュレーション環境を構築してシステム-ヒトの行為を観察する。

3.2 ロボットナビゲーター

本実験では人工物のナビゲーターとして、スピーカーを内蔵しており、胴体と頭の動作の制御が可能な市販のパーソナルロボットを用いた。実験結果にナビゲーターの外見や動作、音声などが与える影響は大きいと予想できる。しかしそうした要因を制御した実験を行うのは時間的・物理的に大きなコストがかかるため、本研究では既製品のロボットをそのまま利用することにした。以下、本稿では実験で使ったロボットを「ロボットナビゲーター」と呼ぶ。

3.3 実験手続

実験は、走行タイムを向上することを対話タスクとし、ロボットナビゲーターからの提案をドライバー役被験者が受諾する状況を用意する。3名のドライバー役被験者がロボットナビゲーターの指示を受けながら運転を行う。ドライバー役には、事前に「自動車を運転して早くゴールすること」が目的である旨を伝え、コースごとに目標タイムを提示した。提

案受諾行為に影響すると考えられる制御因子を設定して、3日間で3回の運転実験を行い、それらを観測するためのアンケートや計測・記録を行った。

3.3.1 制御因子

本実験の制御因子は以下の通りである。

(1) ロボットナビゲーターの存在

ロボットナビゲーターがドライバーの隣に存在する状況と存在しない状況との違いを見る。ドライバーの隣に存在する状況（「存在あり」条件）では、ロボットナビゲーターはドライバーの斜め前方の位置にあり、ボディに搭載されたスピーカーからドライバーに発話を伝える。ドライバーの隣に存在しない状況（「存在なし」条件）では、ドライバー後方のスピーカーを通して発話を伝える。

(2) 首振り動作とスピーカー連動

ロボットのスピーカーはボディに搭載されているが、ヒトに置き換えれば口に相当するスピーカーが首振り動作に連動することの影響を確認するために、(1)の「存在あり条件」については、首振り動作にボディを連動させる（スピーカー連動）条件、連動させない（スピーカー非連動）条件を設けた。

(3) 提案受諾を促進する韻律

2.2節で述べた分析の結果のうち、基本周波数の変動、スピーチレートの効果をあらためて見るために、ヒト同士の実験において提案受諾を促進した韻律（受諾韻律）と、標準的な韻律（標準韻律）を用意し、その効果の違いを比べた（詳細は2.4を参照）。

3.3.2 観測因子

以下に観測因子を示す。この他にも、運転挙動、ドライバー自身の対人心理特性、提案のタイミング、走行タイムなどが、提案受諾行為に関係のある因子として考えられるが、本稿では対象から除外する。

(1) 受諾行為

ロボットナビゲーターの提案に対してドライバー役が受諾したかどうかを評価する。具体的には、実験の様子を収録した映像と、後に述べる実験後の発話プロトコルを参考にして受諾の有無を決定する。

(2) タスクの心的負荷

ドライバー役がタスクを遂行するうえで感じた心的負荷の大きさを、同様のタスクで広く用いられているNASA-TLX法[4]によって測定する。

(3) ストレス

アミラーゼ活性計測器を用いて、タスク遂行によるドライバー役のストレスの変化を測定する。

(4) ロボットナビゲーターに対する印象

ドライバー役被験者のロボットナビゲーターに対する印象をアンケートによって調べる。また、ロボットナビゲーターに対する心理的な評価を得るために、日本語版 Love-liking 尺度をエージェント用に適用した改良版[5]を導入した。

3.3.3 実験環境

実験の様子を図1に示す。ドライバー役被験者は、車内環境を模擬した運転席に座り、スクリーンに映し出されるレースゲーム（ソニー・コンピュータエンタテインメント、GRAN TURISMO 4）をプレイする。スクリーンには、ドライバー頭上後方に設置された液晶プロジェクタ(EPSON B-6)からゲーム画面を投影する。運転席の周囲には 5.1ch サラウンドスピーカ 5 台と、ビデオカメラ 3 台（ドライバー後方からの全景、ドライバー右側からの映像、ドライバー左側からの映像を撮影する）が設置されている。

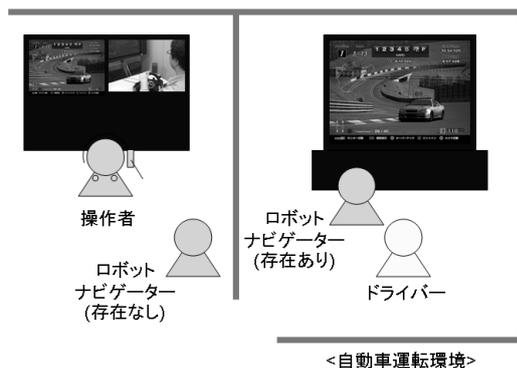


図1 実験環境

存在なし条件においては、ロボットナビゲーターをブースの外に出し、ナビゲーションはロボットを介さずに、ドライバー頭上後方の小型スピーカーから出力した。その際、ロボットナビゲーターはブース外の椅子に配置し、ドライバーには事前に「ロボットが遠隔からナビゲーションします」と伝えた。

3.3.4 実験の流れ

実験の流れを図2に示し、以下に詳述する。

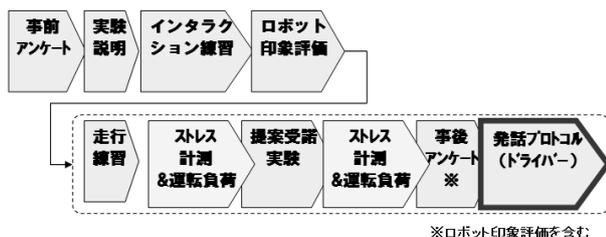


図2 実験の流れ

(1) 事前アンケート

ドライバー役の被験者の対人心理特性を調べるためのアンケートを行った。また、タスクの心的負荷計測に用いる各尺度の順位付けをしてもらった。

(2) インタラクション練習

練習走行を行って、ロボットナビゲーターに対するドライバー役被験者の印象や予備知識を統制した。具体的には、ゲーム画面上で本番では利用しないコースを走行させ、ロボットナビゲーターから簡単なナビゲーションを行うものである。制御因子は「存在あり・スピーカー連動なし」、「標準韻律」とした。

(3) ロボット印象評価

ロボットナビゲーターに対する印象評価を行った。これらは(7)の「提案受諾実験」の後にも行った。

(4) 走行練習

ドライバー役に、コースに慣れるために2週の周回をしてもらい、終了後にラップタイムを記録した。

(5) ストレス計測&運転負荷

走行練習における運転負荷を計測するために、ドライバー役のアミラーゼ活性の値を測定した。また、心的負荷について NASA-TLX 法のアンケート用紙に答えてもらった。これらは(7)の後にも行った。

(6) 提案受諾実験

ドライバー役が自動車を運転して、指定されたコースを周回し、ロボットナビゲーターが随時、レースタイムを速くするための提案を行う。ロボットを操作する実験者はあらかじめ設定されたコースポイントで適宜操作を行う。実験の様子は、設置された3台のカメラとゲーム画面の映像を4画面分割映像にて記録した。また、ラップタイムを記録した。

(7) 事後アンケート

ロボットナビゲーターの評価および運転中のストレスについてアンケート用紙に答えてもらった。

(8) 発話プロトコル

(7)で記録した実験映像を参照しながら、実験者がドライバー役被験者に提案および運転に対する思考過程を質問した。本来であれば運転中のドライバーの発話プロトコルを収集すべきところであるが、実験と同時の発話プロトコル収録は不可能であり、事後的に回想してもらった形で収録を行った。

3.4 ナビゲーター発話詳細

2.2節で述べた、ヒト同士の実験の際に提案受諾に影響を与えた発話の要因に基づいて、ドライバー役被験者の受諾行動を促すようにロボットナビゲーターの発話を設計した。以下に詳細を述べる。

3.4.1 発話テキスト

具体的な発話文設計の手順を以下に示す。

(1) 発話テンプレート作成

ヒト同士の提案受諾実験[1]において、最も発話を受諾されたナビゲーターNHが行ったナビゲーション発話を基にする。ナビゲーターNHと、最も受諾率の低いドライバーDKとの間の対話文を抽出する。受諾率の低いドライバーでも受諾したナビゲーション発話は信頼性の高い提案であると判断して、各コースポイントの5周回分のナビゲーション発話のうち、「ドライバーに受諾され、かつ最も単語数の多い発話」を選択して、そのコースポイントの発話テンプレートとした。なお、そのコースポイントで受諾された発話が存在しなかった場合、人手で判断して最も情報量の多い発話を発話テンプレートとした。

(2) 単語親密度表に存在している単語に変更

発話テンプレート中の音声単語親密度表[3]に記載がない名詞を、記載のある名詞に変更した。

例) パイロン (記載なし) → コーン (記載あり)

(3) 具体的な数量的情報を追加

発話テンプレート中に、走行速度をあらわす具体的な数値が存在しなかった場合、同じコースポイントの別の周回の発話より数値を取り出し、追記した。

(4) 提案の根拠を追加

発話テンプレート中に「なぜドライバーが提案内容の行動をしなくてはならないのか」の根拠が述べられていなかった場合、同じコースポイントの別の周回の発話より根拠を取り出し、追記した。また、「頑張ってください」など曖昧な表現は「減速してください」など、できる限り明確な表現に変更した。

1つのコースには6~8のコースポイントが存在するが、発話時間の制約から、全ポイントで根拠を述べることは難しい。そのため、半数を根拠あり発話、残り半数を根拠なし発話とした。根拠なし発話は根拠に相当する部分を削除することで作成した。

(5) 語末表現を統一

語末を「~しましょう」に統一した。

(6) 特定の語を削除

予備的な検討の結果、合成音声として不自然な印象のある、文頭の「はい」及び「えーと」、「あの」を削除した。また、「左、いや、右」など、言い間違いを訂正した発話は削除して「右」などとした。

以上の処理の例を図3に示す。図3-1が修正前の発話テンプレート、図3-2が修正後の発話文である。

Coursepoint 1

はい で また 右の突き当たりが
左のガードレールが 切れ始めた 辺りから
ブレーキを 全開で えっと
七八十キロくらいまで 頑張ります

Coursepoint 3

で 次の右が 七十キロくらいまで
行っちゃって 大丈夫です

図 3-1 修正前の発話テンプレート

Coursepoint 1 (根拠なし)

右の突き当たりは
左ガードレールが 切れ始めた あたりで
七十キロまで 落としましょう

Coursepoint 3 (根拠あり)

次、右の急カーブは 七十キロまで
おとしましょう
ブレーキが よくきくので
ぎりぎりまで ふまなくて良いです。

図 3-2 修正後の発話文

3.4.2 発話音声合成

前述の手続きで作成した発話文の音声合成には、音声合成ソフトウェアFineSpeech V2.1 (ANIMO)を使用した。2.2の分析結果と、3.3.1の議論をふまえて、提案受諾を促進する韻律(受諾韻律)と標準的な韻律(標準韻律)を用意した。表1にそれぞれの条件における韻律制御パラメータを示す。これらの数値の妥当性は十分に検証していないため、今後長期的な課題として探求すべきと考える。

表 1 韻律制御パラメータ (FineSpeech V2.1 の設定)

| 韻律制御パラメータ | 標準韻律 | 受諾韻律 |
|-----------|------|------|
| スピード | 7 | 6 |
| スピードの変化 | 5 | 10 |
| ピッチ | 3 | 3 |
| イントネーション | 2 | 4 |

音声合成ソフトウェアを用いて、あらかじめロボットナビゲーターの発話文を全て音声ファイルとして作成しておく。なお、各コースポイントにつき発話文は1つずつで、周回ごとに同じ内容のナビゲーションを行う。実験においては、操作者が各コースポイントの適切なタイミングで音声を再生する。

4 結果

4.1 実験で得られたデータ

3.3.2 で示した観測因子ごとに述べる。

(1) 受諾行為

ロボットナビゲーターの提案をドライバーがどの程度受諾したかについて、発話プロトコル収録および実験動画の解析にて記録した。図 4 に結果を示す。

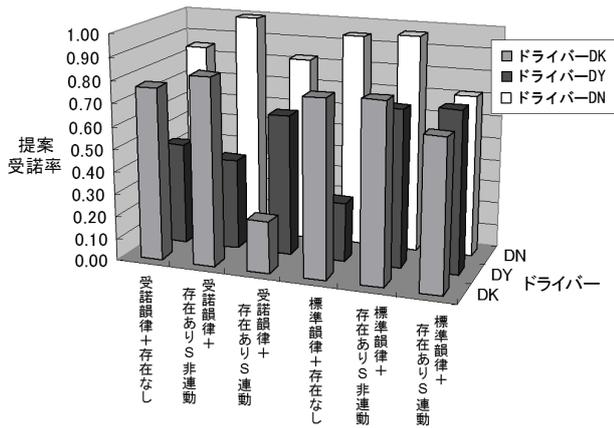


図 4 提案受諾結果

今回の実験において全体の平均受諾率は 70%で、条件によって 56%から 82%の開きがあった。また、ドライバー役によっては 53%から 89%の開きがあった（なお、ヒト同士の提案受諾実験では全体の平均受諾率は 72%で、57%から 90%の開きがあった）。

存在のあり・なしでは、存在あり条件で 71%、存在なし条件で 68%と、存在あり条件が若干上回った。スピーカー連動とスピーカー非連動については、前者が 63%、後者が 78%であった。標準韻律と受諾韻律については、前者が 73%、後者が 67%であった。

(2) タスクの心的負荷

コース特性の差を除去するために、走行練習後から実験後にかけての NASA-TLX 値の増分をとったものを図 5 に示す。標準韻律条件において、存在あり・スピーカー連動条件で全被験者ともに心的負荷が増加している。ただし、受諾韻律条件においては必ずしもこの条件で心的負荷が増加していない。

(3) ストレス

図 6 に、図 5 と同様にアミラーゼ活性値の増分を示す。受諾韻律はエラーが多いため、標準韻律のみを示した。存在あり・スピーカー非連動条件が最もストレスが低く、実験後のほうが走行練習時よりもストレスの値が低い。逆に存在あり・スピーカー連動条件では、実験後にストレスの値が高くなる。

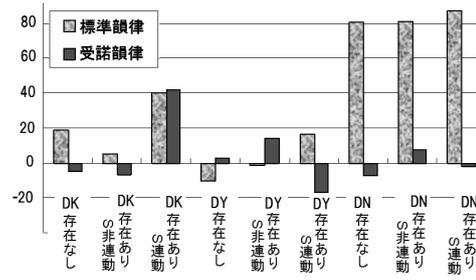


図 5 NASA-TLX 値の増分（実験後-走行練習後）

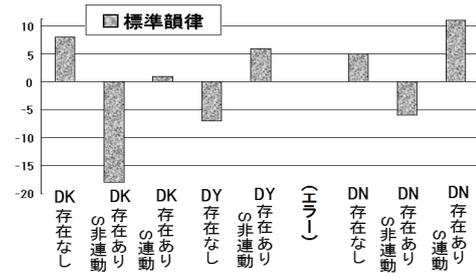


図 6 標準韻律条件におけるアミラーゼ値の増分

(4) ロボットナビゲーターに対する印象

ドライバー役被験者のロボットナビゲーターに対する印象のアンケートの結果を図 7 に示す。

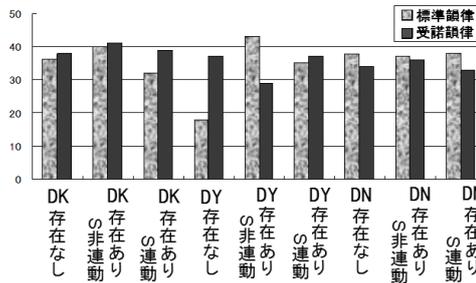


図 7 ロボット印象評価の結果

図の値は、7つの質問項目（「OO と一緒にいても、いつもと変わらない気持ちのままだ」、「OO は適応能力のあるロボットだと思う」、「OO に責任のある仕事を任せてもいい」、「ロボットの中では良くできたほうだと思う」、「OO の判断には全面的信頼をおいている」、「OO はいろんな人に好かれる存在だと思う」、「知っているロボットの中でも OO は最も好ましいものだ」）を、「非常によくあてはまる」を 9 として 9 段階評価した際の合計である（OO はロボットの名前）[5]。被験者・条件間で大きな差はないものの、存在あり・スピーカー連動条件は、必ずしも好ましい印象を与えないことが示された。

4.2 ナビゲーターに対する評価モデル

ドライバー役にとってのロボットナビゲーターに対する評価はどのようなものであったかを、事後ア

アンケートの結果を用いて分析した。事後アンケートを図8に示す。また、アンケート結果について主成分分析を行った結果を図9に示す。

| No | ナビゲーターに対する評価 | | | | | | | | |
|----|--------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| 1 | 親しみやすい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 親しみにくい |
| 2 | 感じのよい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 感じのわるい |
| 3 | 興味深い | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 退屈な(興味深くない) |
| 4 | うちとけた | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 堅苦しい |
| 5 | きちんとした | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | いいかげんな |
| 6 | 積極的な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 消極的な |
| 7 | 明るい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 暗い |
| 8 | あたたかい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 冷たい |
| 9 | 安心な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 不安な |
| 10 | 役に立つ | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 役に立たない |
| 11 | わかりやすい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | わかりにくい |
| 12 | 受け入れられる | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 受け入れられない |
| 13 | 強気な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 弱気な |
| 14 | あっさりした | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | しつこい |
| 15 | 熱心な | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | さぼりした |
| 16 | 優しい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 厳しい |
| 17 | 賢い | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 愚かな |
| 18 | 好ましい | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 好ましくない |
| 19 | 信頼できる | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 信頼できない |
| 20 | 納得できる | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 納得できない |

図8 事後アンケート

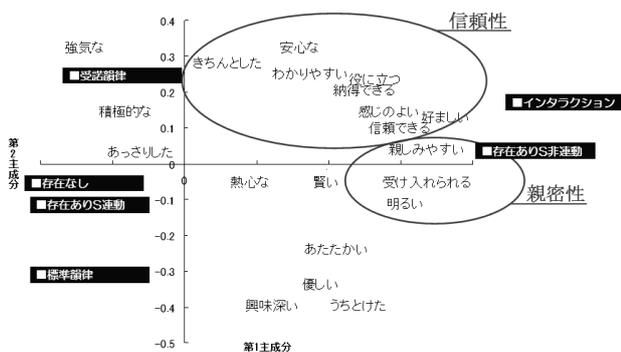


図9 主成分分析の結果(アンケートの各尺度の負荷量と制御因子ごとの主成分得点の平均、JMPによる)

日本版 Love-liking 尺度改良版の得点の合計値と、第一主成分(横軸)との相関が0.65(中程度の相関)であった。そのため、第一主成分がナビゲーターに対する親密性や受け入れやすさの総合指標を表していると解釈できる。また、第2主成分(縦軸)は発話の信頼性を表していると解釈できる。

主成分得点を見ると、「存在あり・スピーカー連動なし」条件は信頼性・親密性因子群との相関が高く、「存在あり・スピーカー連動あり」「存在なし」条件は親密性・信頼性ともに低くなる傾向がある。インタラクション練習の時点では、全ドライバーの親密性・信頼性ともに高い値を示していた。また、受諾韻律条件は信頼性因子群との相関が強い。

ドライバー別にみると、DKはナビゲーターに対する信頼性・親密性ともに低かった。DYは条件により評価が変わるがやや親密性が高く、DNは常にナビゲーターを信頼しているが、親密性は低かった。

4.3 提案受諾に係る制御因子の候補

4.1、4.2の結果より、制御因子のうち「存在あり・スピーカー非連動」条件の受諾率が最も高く、ドライバーに与える心的負荷量も小さかった。また、「標準韻律」条件は受諾率が高かったが、何かしらの心的な負荷を与えていることが示唆される。

ただし、発話プロトコル収録時のインタビューからは、受諾発話が違和感のあるものであったこと、存在あり・スピーカー連動条件のロボットの動きが不自然で目障りだったことが分かっており、これらの条件の対話・行動制御には改良の余地がある。

5 まとめと今後の課題

自動車運転シミュレーション環境内において、ドライバーが擬人化された物体を含むナビゲーションシステムの提案を受諾する行為を観察した。

実験の結果、ロボットナビゲーターが適度な存在感を示した場合、ドライバーが提案を受諾する割合が高くなり、運転の心的負荷も軽減されることが分かった。ユーザがシステムに対して抱く印象を適切に評価することができれば、ヒトがナビゲーションするよりもストレスを与えず、受諾率を高めるデザインがあり得ることが示唆された。

今後の課題として以下の項目をあげる。

- (1) 被験者数を増やした実証
- (2) ドライバーを飽きさせない対話戦略の検討
- (3) 心的負荷を低減する要因の検討

参考文献

- [1] 菊池英明, 宮澤幸希, 大橋浩輝, 網田泰裕, 太田克己, 保泉秀明, 三田村健: 自動車運転環境においてドライバーが提案を受諾するメカニズムの予備的検討, HAIシンポジウム2008予稿集, 2A-3, (2008)
- [2] 宮澤幸希, 影谷卓也, 菊池英明, 小川義人, 端千尋: ドライバーの受諾行動を促すナビゲーション発話の言語的・音響的分析, 人工知能学会言語・音声理解と対話処理研究会, SIG-SLUD-A901, pp.19-24, (2009)
- [3] 天野成昭, 近藤公久: NTTデータベースシリーズ 日本語の語彙特性 単語親密度, 三省堂, (1999).
- [4] 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-, 人間工学, Vol.32, No.2, pp.71-80, (1996).
- [5] 小松孝徳, 山田誠二: 適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響, 人工知能学会誌, Vol. 24, No. 2, pp.232-240, (2009).