

自律性や社会性、操作性を兼ね備えた

Sociable Vehicle 〈RunRu〉の提案

“RunRu” :

a Sociable Vehicle combining Autonomy, Sociability, and Operability

上村 綜次郎^{1*} 中園 健児¹ 長谷川 孔明¹ 大島 直樹² 岡田 美智男¹

Sojiro Uemura¹, Kenji Nakazono¹, Komei Hasegawa¹, Naoki Ohshima², and Michio Okada¹

¹豊橋技術科学 情報・知能工学系

¹Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

²豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端融合研究所

²Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute, Toyohashi University of Technology

Abstract: 自動運転システムは、カメラやセンサからの情報に基づいて、多様なアクチュエータを制御している点で、まさに自律的なロボットといえる。この自動運転システムをさらに〈ソーシャルなロボット〉と捉えたとき、搭乗者とはどのようなインタラクションやコミュニケーションが可能となるのだろうか。

本研究では、これらを議論するための研究プラットフォームとして、自律性や社会性、操作性を兼ね備えた Sociable Vehicle 〈RunRu〉を提案し、構築してきた。ここでは本システムのコンセプト、概要を述べ、搭乗者との「人馬一体」に向けたインタラクション手法について議論する。

1. はじめに

高度な自動運転機能を備えるクルマでは、自動運転システムが車外・車内の各種センサ情報を取得し、そこから行動を決定し、エンジンやブレーキ等のアクチュエータを動作させるという一連の制御を行う。その意味で自動運転システムは一種の「自律的なロボット」といえるだろう。一方で、自動運転車の搭乗者(ドライバー)は目的地に移動しようとするクルマを利用する。このように自動運転システムと搭乗者の2つの〈運転主体〉が併存するとき、両者の意志はどのように合わせればよいのだろうか。

本研究では、HAI/HRI 研究の観点から、自律性を備えた自動運転システムを搭乗者とのインタラクションを行う一種の〈ソーシャルなロボット〉として捉え直す。そして、これらのインタラクションや新たなコミュニケーション様式を探るための研究プラットフォームとして、自律性や社会性、操作性を備えたパーソナルビークル 〈ルル〉 (Sociable Vehicle 〈RunRu〉) (図1) の設計と構築を進めてきた。



図1 Sociable Vehicle 〈RunRu〉

本稿では、その基本的なコンセプトとシステム構成の概要について述べる。また構成要素の評価実験の結果に基づき、〈ルル〉と搭乗者との「人馬一体」に向けたインタラクション手法について議論する。

* 連絡先: 豊橋技術科学大学情報・知能工学系
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
E-mail: uemura.sojiro.lj@tut.jp

2. 研究背景

2.1 自動運転における二つの〈運転主体〉

これまでクルマは他の道具と同様に、ドライバーの身体の拡張として機能していたものだろう。いわゆるレベル 2 以下の自動運転車(=サポートカー)は、ドライバーの操作や能力を補助するために車線追従や車間距離制御などの知的機能を持つ。ドライバーはそれらの機能の支援を受けつつも、〈運転主体〉としてクルマを操作していた。

しかしレベル 3 以上の自動運転車では、「ここからは自動運転モードだよ！」とそのボタンを押した途端に、これまで〈運転主体〉であった私の身体から幽体離脱したもう一つの身体が〈もうひとりの運転主体〉としてクルマを操作しはじめる。さっきまで〈運転主体〉としてあったドライバーとしての私と、いまクルマを操作している〈もうひとりの運転主体〉としての自動運転システム、これら 2 つの〈運転主体〉がクルマのなかで混在した状況を生み出してしまう。

2.2 自動運転システムと搭乗者との協調

レベル 3 の自動運転車では、周囲の状況によって搭乗者と自動運転システムでハンドルを渡しあう必要があるため、2 つの〈運転主体〉の間での連携を必要とする。また一方で、「人に寄り添ったモビリティ」として、自動運転システムが搭乗者の意図をくみ取りながら移動を行う、2 つの〈運転主体〉が併存するモビリティの研究も進められている [1]。このモビリティにおいてもスムーズな移動のために〈運転主体〉どうしの協調が重要となる。どうしたら、この 2 つの〈運転主体〉の間で意思疎通や協調が図れるのだろう。

2.3 自動運転システムの認知科学的課題

まずはドライバーにとって、〈もうひとりの運転主体〉である自動運転システムの素性がよくわからないという課題がある。具体的には、「いま、このシステムはどんな状況にあって、なにをしようとしているのか」は、搭乗者からは見えにくい (=透明性の欠如)、「どうしてそのような判断をしたのか、どうしてこのような行動をとっているのか」をシステム自身でも説明できない (=説明可能性の欠如)、その判断プロセスに搭乗者が外から関与する手段も乏しい (=制御可能性の欠如) ということがある。こうした傾向は、最近の深層学習等の導入によって顕著なものとなりつつある。くわえて、こうした「閉じたシステム (closed system)」との関わりでは、その判断や

行動をシステム側に一方的に委ねる必要があり、その信頼性を高めるために高コストになりやすい。また搭乗者は自動運転システム側の独りよがりな判断や行動に一方的に振り回されやすく、クルマの運転を覚える際などに抱いていた「自らの能力が十分に生かされ、生き生きとした幸せな状態」(=well-being [2]) は、低下してしまう懸念もある。

これらの課題解決に向けて、筆者らの研究グループでは、「ソーシャルなロボット」としての自動運転システムやパーソナルビークルの可能性を探っている。その主たるポイントは、自らの中に能力や機能を自己完結させることを目指す「個体能力主義的なアプローチ」ではなく、むしろ外に開くことで、まわりからの手助けや協調を上手に引き出し、一緒に目的を果たしていこうとする「関係論的なアプローチ」 [3] の導入である。また、こうした議論を進めるための研究プラットフォームとして、施設内で動作可能なパーソナルビークル〈ルル〉(Sociable Vehicle 〈RunRu〉)のプロトタイプを構築してきた。

3. Sociable Vehicle 〈RunRu〉

3.1 本システムの基本コンセプト

〈RunRu〉は搭乗者と移動意志に関してのコミュニケーションを行いながら、一緒に移動方向を決定していくパーソナルモビリティビークルである。

〈RunRu〉は一種の「ソーシャルなロボット」として

- センサデータや搭乗者の意志を反映させながら意思決定を行う(=「自律性」)
- 搭乗者に対して内部状態や意志を社会的に表出する機能を備える(=「社会性」)
- 搭乗者が〈RunRu〉に対して自らの移動意志を反映させる機能を備える(=「操作性」)

などの主要な要素を持つ。これにより、コミュニケーションを通して搭乗者と〈RunRu〉がお互いの志向を考慮しながら自らの行動を変えていくという関係性を目指す。その結果として、「あなた」と「わたし」の関係から、目標を共有しあう「わたしたち(we)」の状態を構築することができるのではないかと考える。本研究では〈RunRu〉を馬に、搭乗者を騎手になぞらえて、この状態のことを「人馬一体」の状態と呼ぶ。

3.2 本システム構成

〈RunRu〉はセンサにより周辺環境を知覚した結果を移動に反映させる。移動の結果、〈RunRu〉から見た周辺環境が変化する。そしてその新たな周辺環境を知覚するというように、〈RunRu〉は環境との相互作用の中で移動方向を決定し、動的に調整を行って

いく。これにより自律的なロボットとしてリアルタイムに環境に適応しながら移動を行う。〈RunRu〉はセンサとして2D LiDARを、アクチュエータとして車輪に接続された2つのDCモータを備える。ここで意思決定に「人工ポテンシャル法」を用いる。この「自律性」と生き物のような見た目、それに左右のモータを交互に動かすことで実現する「よたよたした動き」(biological motion)によって、搭乗者やまわりの人からの「志向的な構え」 [4]を引き出す。

この「自律性」を基礎として、〈RunRu〉は「社会性」と「操作性」により搭乗者との間との相互行為を実現する。これにより搭乗者は自律移動を行う〈RunRu〉と関わることができる。〈RunRu〉は社会的表示ユニットである〈NAMIDA〉のふるまいにより「社会性」を持ち、シートユニットからの入力により「操作性」を有する。シートユニットの操作は人工ポテンシャル法における意思決定に反映され、これにより搭乗者は〈RunRu〉との身体的コミュニケーションを通じて運転に参加できる (図 2)。以下では、そのための各要素について説明する。

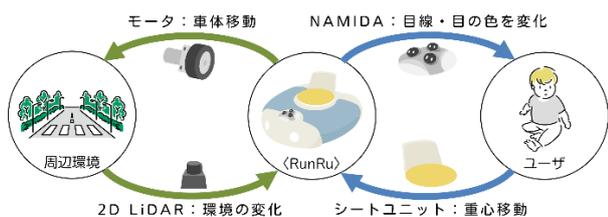


図 2 〈RunRu〉のシステム構成概要

➤ 人工ポテンシャル法

人工ポテンシャル法は、経路計画法の1つである [5]。ゴール地点および障害物ごとに座標にポテンシャル関数を定義し、その重ね合わせを「ポテンシャル場」とすることで、障害物を山、ゴールを穴と考えた際の谷をボールが転がるような経路で移動する。人工ポテンシャル法を用いることにより、障害物を避けながら、J・J・ギブソンらの提案する「安全運行の場 (field of safe travel)」 [6] (=他に衝突することなく安全に進むことのできる空間) を探索する動きを生み出す。

ここで、「ポテンシャル場」はセンサマップであると同時に〈RunRu〉が認識する主観的な世界のすべて(=環世界 [7])でもある。実際に〈RunRu〉によって認識されるポテンシャル場の例を図 3 に示す。

搭乗者は意図的にポテンシャル場を「ゆがめる」ことができ、結果的に〈RunRu〉に意志を伝えるといった形で移動方向決定に参加できる。

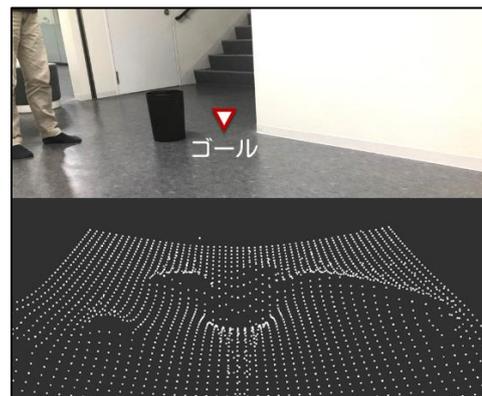


図 3 実環境の例(上) およびその際に〈RunRu〉が生成するポテンシャル場(下)



図 4 ソーシャルインタフェース 〈NAMIDA〉

➤ 〈NAMIDA〉 (ナミダ)

〈RunRu〉の内部状態を社会的に表示する (social displaying) ためのデバイスとして、筆者らの先行研究で開発してきたソーシャルインタフェース〈NAMIDA〉 (図 4) [8]を用いる。

社会的相互行為論などで議論されているように、他者との共同行為のポイントの1つは、「いま自分がどのような状態にあるかを他者からも参照可能なように社会的に表示しておくこと」である。自動運転システムとドライバーとの共同行為を阻んでいる要因の一つは、「相手はなにを考えているのか、伝わってこない」というような、社会的表示の欠如にあると考えられる。

〈NAMIDA〉は、自動運転システムのための社会的な表示デバイス (=ソーシャルインタフェース) として開発されたもので、「いま自動運転システムは、なにに関心があり、どこに注意を向けているのか」を視線や目の色で表示する。また、3つのエージェントから構成されており、それぞれの役割の状態を表現したり、お互いに相談しあう、不安な状態を表出することも可能である。また搭乗者と一緒に前方を眺めながら、目の前の状況を共有し、お互いの志向性を調整しあうなどの関係を想定している。

▶ シートユニット

〈RunRu〉は、これまでのクルマにあるブレーキやハンドルなどの操作手段を持たずに、搭乗者の腰掛ける椅子部分を介して、搭乗者の体重移動等で意思疎通を図ることを計画している。

搭乗者は〈RunRu〉のシートユニット上で重心移動を行うことで、「こっちに行ってほしい」「そっちはダメ!」と移動意志を伝えることができる。これにより、〈NAMIDA〉と合わせて生き物とのコミュニケーションのような身体的動作によるやりとりを構築する。また、直感的に入力が行えることから「ロボットの力を借りていきたいところに行く」ような身体拡張感のある移動ができるようにすることを目指している。

3.3 本システムのハードウェア構成

〈RunRu〉のコンセプトを実現するため、図5のような構成でハードウェアを構築した。制御用PCは〈NAMIDA〉ユニットの下に取り付けられる。シートユニット周辺の青い部分にはマットレススポンジを用い、前後の白い外装部分はウレタンフォームと布カバーの間にスポンジを挟むことにより、衝突時の衝撃吸収を行うとともに柔らかな印象を与えることを期待している。

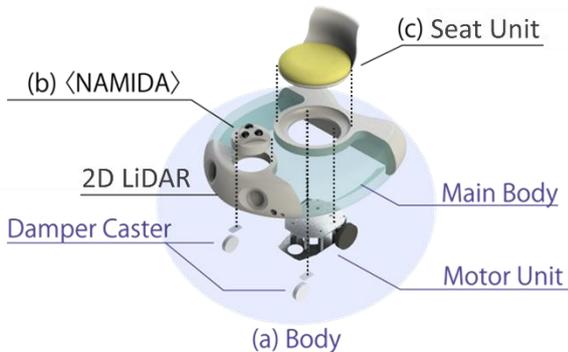


図5 〈RunRu〉のハードウェア構成概要

3.4 本システムのソフトウェア構成

〈RunRu〉のソフトウェアはサブサンクション・アーキテクチャ [9]を参考に、人工ポテンシャル法を利用した階層構造として実現した(図6)。これにより、その時その時で環境を参照しつつ、最適な行動が行える。搭乗者はシートセンサの操作によってポテンシャル場に影響を与えることにより、高次のレイヤを操作することができる。実際のプログラムはRobot Operating Systemを用いて構築した。図7にそのノード構成を示す。

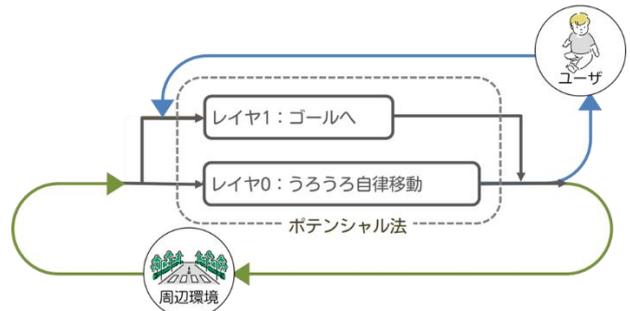


図6 〈RunRu〉のソフトウェア構成

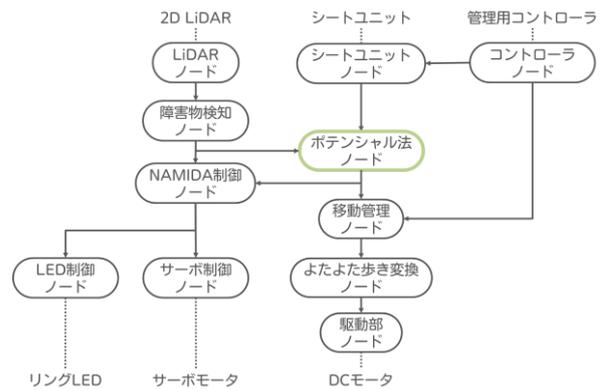


図7 ROSノード構成

4. 評価実験1：自律性の評価

4.1 概要

〈RunRu〉の各構成要素が所望の働きをしているか検証するため、評価実験を行った。評価実験1では、〈RunRu〉の基礎となる要素の「自律性」の検証を行った。本実験は〈RunRu〉の自律的なふるまいにより搭乗者は〈RunRu〉にどのような印象を受けるのか調べることを目的とする。

4.2 実験方法

障害物が複数存在する環境の中を〈RunRu〉に搭乗しながら移動する状況を想定し、図8に示す室内環境において実験を行った。実験協力者には〈RunRu〉に搭乗してもらい、障害物である椅子を回避しながら室内を自由に移動する体験をしてもらった。ただし、後述する3つの実験条件のうち2つは〈RunRu〉が自律移動を行い、実験協力者はシートセンサを含め入力を行うことはできないが、1つは〈RunRu〉が前進動作のみを行い、実験協力者に渡したジョイスティックコントローラの左右入力により旋回動作を操作してもらった。

実験協力者が〈RunRu〉に対して抱いた印象を評価するために質問紙による印象評価を行った。本実験

は被験者内計画で行い、実験協力者はランダムな順番で3つの条件での搭乗を体験してもらった。

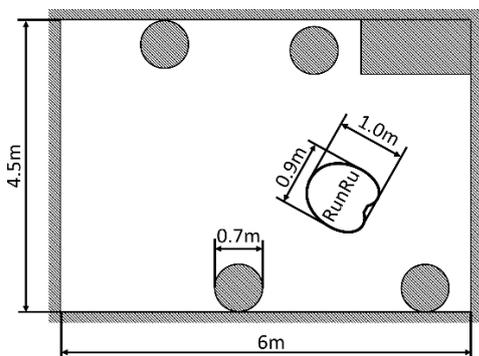


図 8 実験環境

4.3 手順

実験協力者には実験についての説明後、停止している〈RunRu〉に搭乗してもらおう。その後、〈RunRu〉が動き出し、3分間の搭乗体験を開始する。3分の終了後、実験協力者には〈RunRu〉から降りてもらい質問紙への回答を行ってもらおう。この3分間の搭乗体験と質問紙への回答を条件数である3セット行い、最後に口頭で〈RunRu〉への搭乗についての自由な感想を聞いた。

4.4 条件

本実験では〈RunRu〉の「自律性」を段階的に変化させた状態として3つの実験条件を設定した。条件ごとの動作の差異について表1に示す。

表 1 実験1の条件

	自律なし条件	自律あり・NAMIDAなし条件	自律あり・NAMIDAあり条件
移動	直進移動・操作で旋回	よたよた自律移動	よたよた自律移動
NAMIDA	動作なし	動作なし	視線動作 (障害物・進行方向を見る)

➤ 自律なし条件

自律なし条件は〈RunRu〉の〈運転主体〉としての能力をすべて無くしたものである。〈RunRu〉は外界とのやり取りを一切行わず、〈NAMIDA〉ユニットの動作もなくただ直進動作を行う。ただし〈運転主体〉なしで移動を行うことはできないため、実験協力者はジョイスティックの操作により左右の旋回動作を行うことで障害物や壁を回避する。

➤ 自律あり・〈NAMIDA〉なし条件

自律あり・〈NAMIDA〉なし条件では〈RunRu〉は一連の自律移動(環境の知覚・人工ポテンシャル法による意思決定・モータの制御)を行う。ただし

〈NAMIDA〉は固定で〈RunRu〉の内部状態による行動の変化を伴わない。移動の方法は「よたよた歩行」とする。

➤ 自律あり・〈NAMIDA〉あり条件

自律あり・〈NAMIDA〉あり条件では前条件の自律移動に加えて、〈NAMIDA〉の動作も行う。

〈NAMIDA〉はセンサ情報や〈RunRu〉の意思決定に基づいてふるまいを行うため、本実験では「自律性」を代表する機能の1つとしてとらえた。ただし、本実験では〈NAMIDA〉による意志の伝達の可否までは考慮しない。〈NAMIDA〉は基本動作として3体でポテンシャル場の最も低い箇所(=漸次的に変化する移動のゴール)を見る。障害物が近距離に迫った場合には目を赤くしながら3体で障害物のほうを見ろといった動作を行う。

4.5 質問項目

各条件において実験協力者が〈RunRu〉に対して抱いた印象の評価を行うため、BartneckらのGodSpeed質問法を参考にして、「擬人化」・「有生性」・「好ましさ」・「知性認識」・「安全認識」のカテゴリから印象評価に用いる形容詞対として表2に示す12項目を抜粋して5件法による印象評価を行った。また、より具体的な印象を調査するための独自に設定した質問として表3の質問を3項目用意し、5件法(1:当てはまらない 2:どちらかと言えば当てはまらない 3:どちらともいえない 4:どちらかと言えば当てはまる 5:当てはまる)で評価を行った。

表 2 実験1の質問項目: GodSpeed 質問法から抜粋

擬人化	Q1.偽物のような-自然な Q2.意志を持たない-意志を持っている Q3.活気のない-生き生きとした
有生性	Q4.人工的な-生物的な
好ましさ	Q5.嫌い-好き Q6.親しみにくい-親しみやすい Q7.不愉快な-愉快的な
知性認識	Q8.無能な-有能な Q9.知的でない-知的な Q10.愚かな-賢明な
安全認識	Q11.不安な-落ち着いた Q12.冷静な-動揺している

表 3 実験1の質問項目: 独自質問

質問項目	Q13.〈RunRu〉と気持ちが通じていると感じた Q14.〈RunRu〉の意志が伝わってきた Q15.〈RunRu〉にもっと乗ってみたいと思った
------	---

4.6 結果

評価実験には計 16 名(男性 14 名、女性 2 名、平均年齢 18.7 歳) が参加した。実験協力者 1 人に対して 3 つの条件すべての試行を行ったため、質問紙の結果の各項目でルビーン検定を行い分散に有意な差がないことを確認した後、一元配置反復測定分散分析を行い、事後検定としてボンフェローニ法で多重比較を行った。ただし Q3 のみルビーン検定の結果等分散性が仮定できなかったため、ノンパラメトリックなフリードマン検定を行い、コノバーの事後比較を行った。GodSpeed より抜粋した項目の結果を図 10 に、独自質問の結果を図 11 に示す。

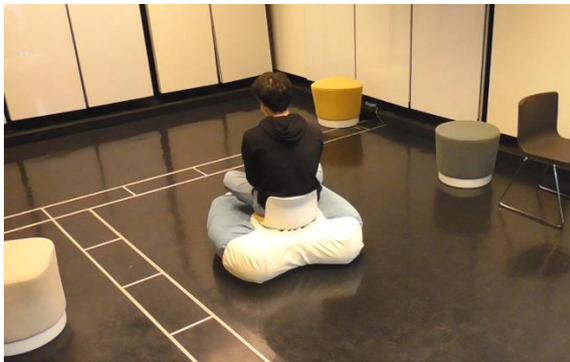


図 9 実験の様子

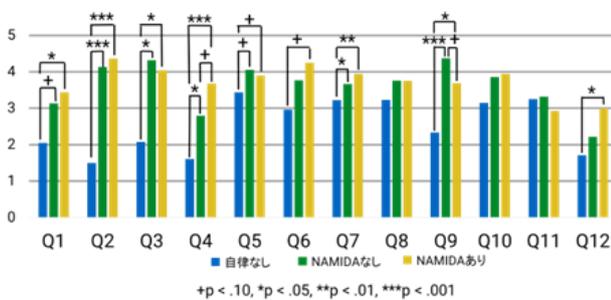


図 10 GodSpeed より抜粋した項目の実験結果

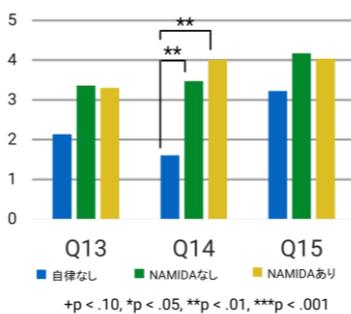


図 11 独自質問の実験結果

4.7 考察

質問紙の結果より、GodSpeed 質問法より抜粋した形容詞対のうち Q1 から Q4 までの「擬人化」・「有生性」に関する項目において、自律なし条件と自律あり・〈NAMIDA〉あり条件との間で有意水準 5% で有意差が認められた。Q2 から Q4 までの項目では自律なし条件と自律あり・〈NAMIDA〉なし条件との間でも有意差が認められた。加えて、独自質問のうち Q14 の「〈RunRu〉の意志が伝わってきた」という項目において、自律なし条件とその他 2 つの自律あり条件との間で有意差が認められた。これらの結果から、実験協力者は自律ありの条件において〈RunRu〉に擬人性・有生性を感じていると言える。よって〈RunRu〉の自律移動やよたよた歩きは、生き物らしさや〈RunRu〉に意志があるような感覚を感じさせることができていると考える。

一方、Q12「冷静な-動揺している」の項目において自律なし条件と自律あり・〈NAMIDA〉あり条件との間で有意水準 5% で有意差が認められた。Q8 から Q10 までの「知性認識」に関わる項目のうち、Q8 と Q10 では有意な差が見られなかった。Q9「知的でない-知的な」の項目では、自律なし条件と他 2 つの自律あり条件との間で、有意な差が見られたものの、〈NAMIDA〉あり条件と〈NAMIDA〉なし条件間では p 値が 0.1 を下回った($p = 0.0895 < 0.1$)。これらの結果から、〈NAMIDA〉の動作によって認識される〈RunRu〉の知性のレベルが低下した可能性が考えられる。要因としては、ポテンシャル場の最も低い箇所を見るという〈NAMIDA〉の基本動作が、せわしない動きとなっていた点が挙げられる。この動作により、〈RunRu〉の生き物らしさはあるが、その意図・目的をくみ取るには至らず、むしろ動物のように大人の人間ほど賢くはない存在と受け取られた可能性がある。これは、実験協力者の感想の中にあつた「片方(=〈NAMIDA〉なし条件)は大人な生き物、もう片方(=〈NAMIDA〉あり条件)は無邪気な子供のように感じた。」という意見からも示唆されていると考える。

5. 評価実験 2：社会性の評価

5.1 概要

実験 2 では、〈RunRu〉が自律的に動く中で搭乗者が〈RunRu〉の内部状態や注意対象を参照するために、それらを表出する「社会性」の検証を行った。本実験は〈NAMIDA〉のふるまいにより搭乗者は〈RunRu〉が「何に注意を向け、何をしようとしてい

るのか」を理解できているのか、また、〈NAMIDA〉のふるまいがどのような搭乗者の反応を生み出すのか調べることを目的とする。

5.2 方法

実験 1 と同様に、障害物が複数存在する環境の中を〈RunRu〉に搭乗しながら移動する状況を想定し、図 12 に示す室内環境において実験を行った。実験協力者には〈RunRu〉に搭乗してもらい、自律移動により障害物を回避しながら室内を自由に移動する体験をしてもらった。このとき、〈NAMIDA〉のふるまいを変化させることで〈RunRu〉が持つ「社会性」を段階的に変化させた。実験 1 では〈NAMIDA〉のせわしない動きによって知性の認識に影響があったため、本実験では人工ポテンシャル法におけるゴールの位置変更で過去のゴール位置を利用した制限を設け、〈RunRu〉および〈NAMIDA〉の動作になるべく連続性を持たせるようにしている。

評価実験中には実験協力者には Tobii Glasses Pro 2 を装着してもらい視線の計測を行った。質問紙により、〈RunRu〉の印象および〈RunRu〉全体と〈NAMIDA〉ユニット単体の意志に関して評価を行った。本実験は被験者内計画で行い、実験協力者はランダムな順番で 4 つの条件での搭乗を体験してもらった。すべての体験終了後には構造化インタビューを行った。

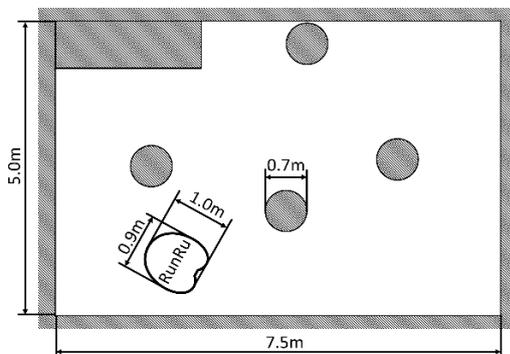


図 12 実験環境

5.3 手順

実験協力者には実験についての説明後、Tobii Glasses Pro 2 を装着してもらい、停止している〈RunRu〉に搭乗してもらい、その後、〈RunRu〉が動き出し、3 分間の搭乗体験を開始する。3 分の終了後、実験協力者には〈RunRu〉から降りてもらい質問紙への回答を行ってもらい、この 3 分間の搭乗体験と質問紙への回答を条件数である 4 セット行い、最後に口頭で 4 条件全体に関する質問を行った。

5.4 条件

本実験では〈RunRu〉の「社会性」を段階的に変化させた状態として 4 つの実験条件を設定した。条件ごとの〈NAMIDA〉のふるまいの差異について表 4 に示す。

表 4 実験 2 の条件

	社会性なし条件	内部状態非表出条件	内部状態表出条件	ユーザ志向条件
NAMIDA	動作なし	ランダム動作	障害物・進行方向を見る	障害物・搭乗者・進行方向を見る

➤ 社会性なし条件

社会性なし条件では〈NAMIDA〉の 3 体の頭はすべて前方を向いたままで固定し、目の色も含め変化しない。これにより〈RunRu〉の自律移動以外に注意対象や意思決定を搭乗者が知る手がかりをすべて無くすことを目的とする。

➤ 内部状態非表出条件

内部状態非表出条件では〈NAMIDA〉は視線方向の変化や目の色の変化(赤または白)を行う。ただし、変化の仕方は〈RunRu〉の内部状態や移動方向に関係なくランダムに行われる。搭乗者は〈NAMIDA〉の動作が変化していることは分かるが、何を見ているのかは分からないという状況を創り出すことを目的とする。

➤ 内部状態表出条件

内部状態表出条件では、〈NAMIDA〉は〈RunRu〉の内部状態・意思決定・注意対象を動作で表す。基本状態では〈NAMIDA〉の 3 体の頭が同じ移動のゴール(=ポテンシャル場の最も低い箇所)を見る。前方にいる 2 体の頭はそれぞれ左右および正面に障害物が近づいてきた場合にその方向を見る。このとき、〈RunRu〉はポテンシャル場の勾配により障害物を避ける方向に移動する。それでも障害物が接近してきた場合には障害物を見ながら目を赤くさせ、〈RunRu〉は後退動作を行う。〈NAMIDA〉の後方中央の頭は周辺環境に合わせて変化する移動のゴールを見続ける。これにより、サブサンクション・アーキテクチャにおける低レイヤの意思決定を前方 2 体の頭が適宜表し、高レイヤの意思決定を後方中央の頭が表出する。

➤ ユーザ志向条件

ユーザ志向条件では、内部状態表出条件での〈NAMIDA〉の動きに加え、3 体の頭が〈RunRu〉の状態によって搭乗者の方を振り向く動作を行う。これにより、〈NAMIDA〉のふるまいが搭乗者に向

けて行われていることを表し、搭乗者の移動に関するエンゲージメントを高めることを期待する。具体的な動作として、シートユニットの圧力センサにより〈RunRu〉が搭乗者の搭乗を検知した際には〈NAMIDA〉の3体の頭が振り返り、搭乗者の方を見る。また、〈RunRu〉が何らかの理由で移動を停止した際にも再び動き始めるまで3体が搭乗者の方を見る。移動時には、左右の回転率が急増すると予想されるタイミングにおいて〈RunRu〉が一旦減速し、〈NAMIDA〉の後方中央の頭が搭乗者の方向を向く。その後再びゴールの方向を向き、〈RunRu〉が加速する。これらの動作により〈NAMIDA〉が搭乗者に伺いを立てるようなふるまいを生む。

5.5 質問項目

構造化インタビューは表5の6項目を聞き、それぞれの回答についてそう答えた理由を併せて聞いた。インタビューは録音を行い、後日書き起こしを行った。

質問紙での評価では、各条件において実験協力者が〈RunRu〉および〈NAMIDA〉に対して抱いた印象を調べるため、表6の質問を14項目用意し、5段階(1:当てはまらない 2:どちらかと言えば当てはまらない 3:どちらともいえない 4:どちらかと言えば当てはまる 5:当てはまる)で評価を行った。これは実験1においてGodSpeed質問法より抜粋した項目で形容詞対の意味する内容が分からないという意見が実験協力者の方から複数挙げられたため、GodSpeed質問法での形容詞対を文形式に置き換えた項目を含む。

5.6 結果

実験には計10名(男性8名、女性2名、平均年齢22.3歳)が参加した。実験協力者1人に対して4つの条件すべての試行を行ったため、質問紙の結果の各項目でルビーン検定を行い分散に有意な差がないことを確認した後、一元配置反復測定分散分析を行い、事後検定としてボンフェローニ法で多重比較を行った。質問紙の結果を図13に示す。

口頭でのインタビューの結果では、「ロボットというより動物の背中に乗っているようだった」という意見が3人から挙げられた。このことから実験1の結果も踏まえて、〈RunRu〉の自立的な動きやよたよたとした歩行は搭乗者の志向的な構えを引き出していると考えられる。

Tobii Glasses で計測した各実験条件における実験協力者の視線データは現在分析中である。

表5 実験2のインタビュー項目

Qi.	〈RunRu〉にもっと乗ってみたいか？
Qii.	〈NAMIDA〉はあったほうが良かったか？
Qiii.	何回目が1番〈RunRu〉が生き物らしかったか
Qiv.	何回目が1番〈RunRu〉の意志を理解できたか
Qv.	何回目が1番〈RunRu〉に安心したか
Qvi.	〈NAMIDA〉の動作で安心したか？

表6 実験2の質問紙項目

Q1.	〈RunRu〉の意志を感じた
Q2.	〈NAMIDA〉から意志が伝わってきた
Q3.	〈RunRu〉に親しみを感じた
Q4.	〈RunRu〉は頼もしかった
Q5.	〈RunRu〉は賢かった
Q6.	〈RunRu〉は生き物のようだった
Q7.	〈RunRu〉は機械のようだった
Q8.	〈RunRu〉に安心して乗っていた
Q9.	〈NAMIDA〉がどこを見ているか分かった
Q10.	〈RunRu〉は活き活きとしていた
Q11.	〈RunRu〉は楽しかった
Q12.	〈RunRu〉を手伝いたかった
Q13.	〈RunRu〉に自分の意志を伝えたかった
Q14.	〈RunRu〉に任せなかった

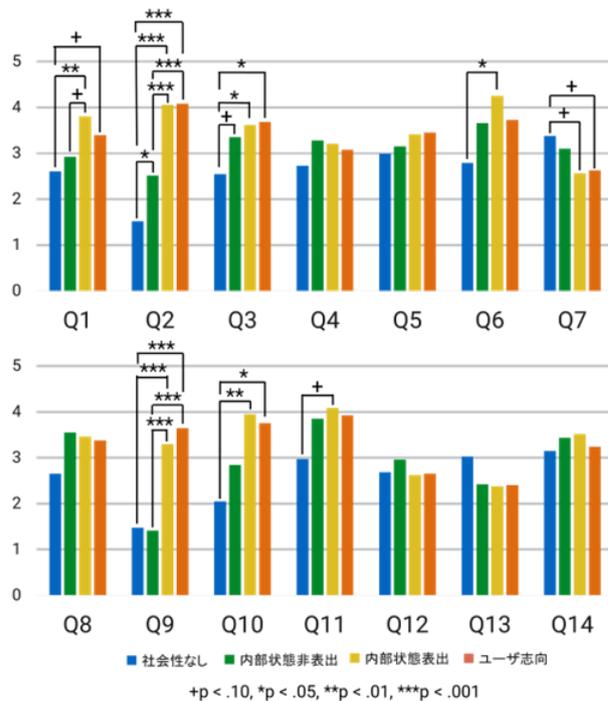


図13 質問紙の実験結果

5.7 考察

質問紙の結果より、Q9の「〈NAMIDA〉がどこを見ているか分かった」の項目において、社会性なし条件と内部状態表出条件・ユーザ志向条件の2つとの間で有意水準5%で有意差が認められた。内部状態非表出条件と内部状態表出条件・ユーザ志向条件との間でも同様に有意な差があった。これらの結果から、実験協力者は〈NAMIDA〉の動作が〈RunRu〉の注意対象と関係がある場合にその注意対象が何かを理解できていると考えられる。また、Q2の「〈NAMIDA〉から意志が伝わってきた」の項目では、内部状態表出条件とユーザ志向条件の間以外のすべての条件間で有意水準5%で有意な差が認められた。Q9での結果と合わせて、〈NAMIDA〉の目線や目の色で実験協力者への移動に関する意志の伝達が出来ていると考える。

一方で、Q1「〈RunRu〉の意志を感じた」の項目においては社会性なし条件と内部状態表出条件の間で有意な差が見られたが、社会性なし条件とユーザ志向条件の間では有意水準5%で有意差が認められなかった。この結果から、内部状態表出条件では〈NAMIDA〉で感じられた意志は〈RunRu〉の移動意志を代表していると考えられるのに対して、ユーザ志向条件では内部状態非表出条件と同じく〈NAMIDA〉の動作と〈RunRu〉の動きが関係していないと捉えられた可能性がある。このことはインタビューのQiiiおよびQivの中で「内部状態表出条件のほうがユーザ志向条件よりも進行方向などを見ていて分かりやすかった」という意見が3人から挙げられていたことから示唆される。

Q12からQ14までの移動へのエンゲージメントに関する項目では、すべての条件間で有意差がみられなかった。本実験ではユーザ志向条件を除いて〈NAMIDA〉が実験協力者を意識する動作を行うことが無く、かつ上記の理由によりユーザ志向条件のふるまいが実験協力者に十分意図した通り伝わっているとは言えないことが理由ではないかと考える。

6. まとめと今後の展望

本稿では、従来の自動運転システムの課題を整理し、HRI/HAI研究の観点から、自動運転システムを「ソーシャルなロボット」として捉え直すための研究プラットフォーム〈RunRu〉(ルンル)のコンセプトとシステム構成、実装内容について述べた。また〈RunRu〉の構成要素を評価するための2つの評価実験とその結果について考察した。

今後は、実験2で計測した視線データの分析を進

め、実験協力者の行動評価から〈NAMIDA〉および〈RunRu〉のふるまいの効果を調べるとともに、もう1つの構成要素である「操作性」の検証を行うための実装改良・実験準備を進める。構成要素の評価・検証の後は、〈RunRu〉と搭乗者の身体的コミュニケーションの結果生まれる関係性について「人馬一体」の構築の観点から調査したいと考えている。

将来的には、一般的なパーソナルビークルとしての応用だけではなく、肢体不自由な子どもたちの療育支援への応用なども考えられる。移動補助手段としての自律性に加え、社会性と操縦性を合わせもつ〈RunRu〉は、他者とのつながり感や有能感を伴い、子どもの能動性や認知的発達などを促す可能性があると考えている。

謝辞

本研究は、科研費補助金(基盤研究(B)22H03677)の助成を受けて行われている。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] Honda. “人と分かり合える独自の AI、協調人工知能「Honda CI」を活用した CI マイクロモビリティ技術を公開”. Honda News Release. 2022-11-02. <https://www.honda.co.jp/news/2022/c221102.html>. (参照 2023-01-26)
- [2] 渡邊淳司, ドミニク・チェン(編著): 『わたしたちのウェルビーイングをつくりあうために——その思想、実践、技術』, BNN 新社, (2020)
- [3] 岡田 美智男: 『ロボット - 共生に向けたインタラクション』 知の生態学の冒険 J・J・ギブソンの継承 1, 東京大学出版会, (2022)
- [4] Dennett, D.C.: Kinds of Minds: Towards an Understanding of Consciousness, Weidenfeld & Nicolson, (1996)
- [5] 彌城, 江口, 岩崎, 山内, 中田: ポテンシャル法によるロボット製品の障害物回避技術の開発, 三菱重工技報, Vol.51, No.1, 新製品・新技術特集, pp. 40-45 (2014)
- [6] 三嶋 博之: 人とクルマの知覚論, 佐々木正人編: 『知の生態学的転回 第1巻身体』, pp.133-146 (2013)
- [7] ユクスキュル, クリサート(日高敏隆, 羽田節子訳): 『生物から見た世界』, 岩波書店, (2005)
- [8] Nihan, K., Tamura, S., Fushiki, M., & Okada, M.: The Effects of Driving Agent Gaze Following Behaviors on Human-Autonomous Car Interaction, Social Robotics, ICSR 2018. Lecture Notes in Computer Science, 11357, pp.541-550 (2018)

- [9] Brooks, R.A.: A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation vol. RA-2-1, pp. 14-23 (1986)