

博士論文審査及び最終試験報告書

氏名：城戸 恵美子

論文題目：人と環境に適応したインタフェース設計の研究

－ 移動システムを事例として －

論文審査委員： 主査 教授 新垣紀子

副査 教授 青山征彦

副査 教授 南山浩二

[論文の内容の要旨]

I. 論文の目的

1. 研究の問題意識と背景

本論文は、自動化された移動システムをユーザにとって快適なものとするためのインタフェース設計について論じた研究論文である。持続可能な社会を実現するためには、多様な人が容易に外出し、社会活動に参加することを支援する仕組みを作ることが必須の課題である。それらを支える高度なセンシング技術などのテクノロジーの発展により、自動運転車に代表される高度に自動化された移動システムが実現可能になった。自動運転車は移動に制約がある人の外出支援となる。自動運転技術を過疎地に導入することができれば地域の活性化も期待される。多くの人が高品質の生活を送り、より良い社会の実現につながることを予想される。このような自動化された移動システムは、様々なセンサや画像処理技術を搭載することにより、周囲の状況を認識し、従来の移動体では実現できなかった細やかな制御が実現可能である。自動運転車を事例とすれば、先行車両や回避すべき障害物に対して、人が運転する場合よりも、かなり短い車間距離での運行制御も可能である。しかしながら、如何に設計すれば自動化された移動システムを利用する人々が快適に、かつ不安感なく利用できるのか、そのためには自動化された移動システムのインタフェースをどのような観点から検討すれば良いのかといったことは、これまで十分に検討されてこなかった。提出者は、これらの問題意識に基づき自動化された移動システムのインタフェース設計に関する検討を進めた。

2. 研究の視点と方法

提出者の研究の視点は、自動化された移動システムのインタフェース設計指針に焦点をあてた点に特色がある。従来のインタフェース研究は、人間の認知活動を支援する人工物を主に対象としてきた。人工物を利用するユーザの意図と、人工物がユーザに示す情報が一致

しなければユーザは人工物の操作が困難になる。従来の人工物のインタフェース研究は、ブラックボックス化された人工物の内部状態をいかにユーザにわかりやすく設計するかということに主眼があり、ユーザと人工物との関係に焦点が当てられていた。これに対して提出者の研究対象は、第3の人工物と言われる自動化された移動システムである。自動化された移動システムは、移動の主導権がシステムにあるため、自律して移動できなくなった時には、ユーザに権限を委譲するという問題が多く扱われてきたが、提出者は、移動システムが不安なく快適に利用されるように設計される場所に焦点を当てた。利用者であるユーザだけでなく、周囲の状況や他者の状況も考慮することにより、不安なく快適に利用するための要件を明らかにした。

本研究の手法は、一般車両を使った公道の走行実験や自動運転車両による走行実験および実寸大のエレベーターのモックアップを用いて構築されたエレベーターホール環境でエレベーターに乗車するという、実環境に近い場面設定での移動実験である。実験では、多様な属性のユーザを対象とし、移動体に乗車するユーザだけでなく、ユーザの周りの他の移動体の視点を含めて不安感の低減を検討するという独自の問題設定を行っている。

3. 研究の経緯

本研究の多くの実験は、提出者が所属している企業の研究所で計画し実施されたものである。提出者は、三菱電機デザイン研究所で、インタフェース研究に長く従事してきた。その中で、ユニバーサルデザインを検討する立場から、ユニバーサル携帯電話の試作機の開発やエレベーター戸開閉ボタンの識別しやすさの検討、エレベーターの行き先ボタンの凸文字の評価など、身体障がい者も含めた多様なユーザにとって使いやすいインタフェースについて研究を進めてきた。これらの成果は多くの学会発表や著書、国際会議での報告としてまとめられている。また提出者は、2007年に「タッチパネルを用いた可変インタフェースによる携帯電話でのユニバーサルデザインの取組」に対して、2007年度グッドデザイン賞ユニバーサルデザイン賞〔経済産業大臣賞〕を受賞している。

本論文は、以上のようなバックグラウンドを持った提出者が所属している研究所で行なった研究を通して、第3の人工物である自動化された移動システムのインタフェース設計という独自の視点から実験データを分析し、3本の査読付き学術論文としてまとめた成果を核として構成されている。具体的には、高度なセンシング技術で取得した情報による道案内の可能性に関する研究は、「運転者状態と環境情報を利用する道案内：人による道案内とカーナビゲーションシステムによる道案内の比較から」というタイトルで『ヒューマンインタフェース学会論文誌』に2017年に掲載された。自動運転に関する調査は、「車の運転中に感じる不安要素」というタイトルで2017年にヒューマンインタフェースシンポジウムで報告を行った。自動運転車両の障害物回避距離に関する研究は、「市街地における運転者・歩行者の不安感を考慮した自動運転の検討」というタイトルで2018年に日本認知科学学会誌『認知科学』に掲載された。この論文は、2019年9月に2018年度日本認知科学会奨

励論文賞を受賞した。エレベーターの行き先予報システムに関する研究は、「エレベーター行き先予報システムのユニバーサルデザイン」というタイトルで、2019年に『ヒューマンインタフェース学会論文誌』に掲載された。

この他にも提出者は「エレベーター行先予報システムにおける誘導音の開発」という報告で2018年に日本福祉のまちづくり学会第21回全国大会で大会優秀賞を受賞しており、当該研究分野で高く評価されている研究者であると言える。

II. 論文の構成と概要

1. 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

第1章 序論

：背景，本研究の課題，本研究の目的，関連研究，本論文の構成

第2章 運転者状態と環境情報を利用するカーナビゲーションシステムの道案内の研究

：本章の位置づけ，はじめに，方法，結果，考察，結論，本章のまとめ

第3章 市街地における運転者・歩行者の不安感を考慮した自動運転の研究

：本章の位置づけ，はじめに，方法，結果，考察，結論，本章のまとめ

第4章 多様な身体障がい者の移動負荷を軽減するエレベーター行先予報システムの研究

：本章の位置づけ，はじめに，予備調査，実験，総合考察，本章のまとめ

第5章 総括

：本研究のまとめ，今後の研究課題

2. 各章の概要

本論文の概要は以下の通りである。

第1章では、研究の背景として持続可能な社会を実現するために、移動弱者を含めた多様な人が容易に不安なく街に出かけて働き、社会に参加できる仕組み作りの必要性を述べ、街中やオフィスビルなどでの人々の移動支援の重要性について述べている。次に本研究の目的として、多様な人々の移動支援を実現するために、高度なセンシング技術で取得した情報に基づいて利用者であるユーザに代わって制御される自動運転システムやエレベーターなどのような、従来人が行っていた状況認識や操作を自動化することにより制御される移動体の振る舞いに関して、ユーザにとって受け入れやすいものとするための移動システムのインタフェースの設計要件を検討することを挙げている。検討の際には、移動空間における構成要素とそれぞれの関係性および要素間の情報の流れが自動化された移動システムが変わることによって、どのように変化するかを明確化するための枠組みを構築した。最後に本

研究に関連する研究として、認知モデルに関する研究事例やユーザビリティ評価、人間中心設計、および自動化システムのインタフェースに関する従来の研究成果の整理を行っている。

第2章では、屋外の移動空間における自動化された移動システムによる振る舞いを、移動者あるいは周囲の他の移動者にとって快適なインタフェースとするための研究を行い報告している。第2章での報告は、人の情報処理過程4段階モデルの情報の取得および情報の分析機能を自動化することで、ユーザの判断および行為の選択を支援する移動システムに関する研究である。具体的には、高度なセンシング技術により取得した情報に基づいて経路案内を行うカーナビゲーションシステムが、運転者であるユーザにとって走行経路判断が容易な案内を行うためには、右左折などの行動を起こす地点を特定するための目印の選択と、適切な案内のタイミングが重要であることを明らかにした。本研究は市街地の経路、7キロメートル程度を、従来のカーナビゲーションシステムによる経路案内と経路を学習した人による経路案内に基づいて、スタート地点からゴール地点まで走行するユーザ実験により行われた。実験の結果、高度なセンシング技術により取得した情報が手軽に利用できるようになった際のカーナビゲーションシステムによる経路案内では、ユーザが行動を起こす目標地点を目視によって確認できること、目標が視認できるタイミングで経路情報を提供すること、さらに運転者の認知負荷に配慮した情報量とタイミングで情報提供することが重要であることが示唆された。

第3章では、屋外の移動空間における自動運転車両による振る舞いを、移動者あるいは周囲の他の移動者にとって快適なインタフェースとするための研究を行い報告している。第3章での報告は、人の情報処理過程4段階モデルの全ての機能、すなわち、情報の取得、情報の分析、判断および行為の選択、行為の実行を自動化する、完全自動の自動運転車両における自車と先行車と他の車両との車間距離や障害物を回避する時の回避距離に関する研究である。完全自動運転車両は、従来と比較して他の車両や障害物に対して極めて近い回避距離での走行制御が可能になる。その回避距離が運転席に座る運転者であるユーザや、近くにいる歩行者にとって快適とは限らない。提出者は、不安感を抱かせないような快適な車間距離を検討する際、考慮すべき要因を明らかにするための研究について述べている。具体的には、運転時に不安を感じる状況について提出者らが行なったアンケート調査の結果から、不安感は、運転に対する自信の有無により異なり、自動運転車両と周囲の障害物間の距離に対しても不安感が異なる可能性があることを導出した。さらにプロドライバーが完全自動運転を模した車両を用いて、市街地における自動運転車両とその車両が回避する障害物との間の車間距離に関して、運転者や近くの歩行者にとって、不安感のない快適な距離を検討する実験を実施した。実験の結果、自動運転車両の速度が遅いほど、また、自動運転車両と回避すべき障害物との距離が遠いほど、また自動運転車両と回避すべき障害物が、運転者から直視できる位置関係にある方が、運転者にとっての不安感が低いことが明らかとなった。さらに、運転に自信のない運転者と比較して、自分の運転に自信がある運転者の方が、自動運

転車両と回避すべき障害物との距離が近い場合でも不安感は低かった。高度なセンシング技術により取得した情報に基づいて自動運転システムが制御する自動運転車両と自動運転車両が回避する障害物間の距離を、運転者にとって受け入れやすいものとするためには、自動運転車両の運転者と他の車両や歩行者、および、運転者と道路や駐車場などの周囲の環境との関係における、それぞれの距離や速度、位置関係について考慮することが重要であること、さらに、運転者の特性も考慮する必要があることが示唆された。

第4章での報告は、人の情報処理過程4段階モデルにおける、情報の取得、分析、判断および行為の選択の機能を自動化することでユーザの行為の実行を支援するものである。持続可能な社会の実現のためには、屋外の移動支援だけでなく、屋内の移動に身体的負荷のかかる人の支援を行うことも重要であるため、屋内の移動支援に関する研究を報告している。屋内空間における移動支援として最も重要な上下移動を支援するエレベーター行き先予報システムを研究対象としている。エレベーターの利用者の行き先階や身体障がいなどの身体特性やその場の状況に基づいて、適当なエレベーターのかごを割り当てることで不安感のない快適な移動支援を検討した。具体的には、エレベーターホールを模した実験装置を作成し、視覚障がい、聴覚障がい、肢体不自由、内部障がいなどの身体障がい者に協力してもらうことにより、エレベーターホールの混雑度や、エレベーターのかごの乗車率、エレベーターの待ち時間、乗場操作盤と案内するエレベーターのかごとの位置関係などを変数として、多様な特性がある身体障がい者が、エレベーターホールでの移動時やエレベーターのかごによる上下移動時に、他のユーザとの接触により転倒することに対する不安や、かごが混んでいて乗り込めないのではないかという不安感を抱くことのない、快適な移動状況について検討する実験を行なった。実験の結果、多様な身体障がい属性を網羅した、標準的な指針としては、乗場操作盤から割り当てられたかごへの移動距離が短いこと、乗場操作盤で操作してから割り当てられたかごへ移動する際に、身体特性によっては体の向きを回転する動作の負荷が高いため、振り返り動作の必要性のない位置関係にあること、および、割り当てられたかごにおいて、乗車率が低く、隣の利用者との距離が離れていることが、身体障がい者にとって受け入れやすいインタフェースとなることが示唆された。

第5章では、本研究の総括として、第2章、第3章、第4章で行なった研究成果に基づき、高度なセンシング技術により取得した情報に基づいて移動を支援する自動化された移動システムの実現により、移動者が多様な属性であっても、共通の基盤で制御することにより、不安感の少ない快適な移動を実現する可能性を議論した。

[論文審査の結果の要旨]

本論文の特色と独創性、学会・社会等に対する貢献は以下の通りである。

本研究における独自のアプローチは、以下の3点に整理できるだろう。

1点目は、近年増えつつある第3の人工物といわれる自動化されたシステムのインタフェース設計を検討した点である。本研究では、その中で、自動化された移動システムによる制御の快適さに焦点を当てている。従来のインタフェース研究は主に第2の人工物である認知的な人工物が対象であり、ブラックボックス化されたシステムの内部構造の想像しやすさや、操作のわかりやすさについて主に議論されてきた。第3の人工物は、自動化された人工物で、人工物はユーザに代わって、移動体を制御するようになる。この第3の人工物がユーザに受け入れやすいものとするには、移動空間における構成要素やその関係性、さらに新しい情報の流れを検討する必要がある。従来は個々の人工物とユーザのインタフェースに焦点が当てられてきたが、提出者は、人工物とユーザだけでなく、その周辺の他の移動体や状況にも焦点を当てる必要性を明らかにした。これを自動化のレベルに応じて整理をした。このような視点の調査はあまり見られない。提出者の独創的な視点と言えるだろう。

2点目は、インタフェース研究に、多様な立場の視点を取り入れたことである。本研究では、多様性を、ユニバーサルデザインとして取り組まれてきた身体的な属性の違いだけでなく、運転技術に対する経験や自信などの内面的な視点の違いや、車の中の視点と歩行者からの視点などの人工物に対する立場の違い、というさまざまな視点を検討対象とした。また多様な視点を検討しつつ、それぞれの項目で弱者の視点に焦点を当てることにより、共通のインタフェースとして、移動システムを提供することが可能であることを示した点は、公共空間における人工物のあり方を検討する上で社会に貢献できる成果であると考えられる。多様な身体障がい属性の人々に対して、快適なインタフェースを検討した。身体障がい属性はそれぞれ多様であり、エレベーターの利用においても、身体状況に応じて、かごの乗車率の感じ方は異なっていた。多様な身体障がい属性の人がいたとしても、共通の制御により、不安感の少ない快適な移動を実現する可能性を示したことは重要な成果である。さらに本論文には、身体障がい者が実験を遂行する上で感じた困難さについてのさまざまな発話内容が丁寧に記録されている。これらの記録は、多様な身体属性がある人々が社会に参画することを検討する際の知見としても貴重な資料となりうると考えられる。

3点目は、実環境に近い場面を作ることにより課題を検討したことである。実際の市街地を車で走行することにより、その場の状況に応じた環境情報の利用や周辺状況に応じたタイミングの道案内が、運転者には快適なインタフェースの要因となるという知見が得られた。プロドライバーが自動運転を模擬することにより、実験参加者に疑われることなく自動運転車両が日常的に市街地を走行する状況を作り出し、その際の不安感の測定を可能とした。また、実物大のエレベーターのモックアップを用いて、オフィスビルの混雑したエレベーターホールでの移動場面における困難を現実場面に近い形で再現することを可能とした。混雑時における身体障がい属性の違いによるかごへ乗車行動の違いは、その状況を作らな

いと得られない貴重な知見であると考えられる。身体障がい者が乗場操作盤で操作をするときに、後ろで他の利用者に待たれることが気になるという発言がみられたが、このような心理的な負荷を再現することができたのも、実環境に近い実験場面設定によるものであろう。本研究は、このような現実の場面に即した実験状況の設定や実験協力者を得られなければ、実現できなかつたと考えられる。

本研究を構成する論考は、先に述べたように3本の査読付き学会誌に掲載されたものである。その中の1つは、日本認知科学会より奨励論文賞を受賞している。この論文は、インタフェースの検討において、多様な視点を取り入れるという問題設定や、実環境に近い実験を設定するという実験方法の斬新性が評価された。この点からも、本研究の特色が学会に貢献していると言えるだろう。

本研究には、課題もある。本研究で対象としている人工物は移動体であるが、一般的な人工物に関して論文を書き進めているために、わかりにくい表現となっている箇所がある。人工物の違いや、自動化の段階をより体系的に整えて書く必要があったと考えられた。また本研究は、提出者も認識しているように、限られた場面で実験が行われている。より一般的な知見を得るためには、今後さらなる実験行い知見を積み重ねていく必要がある。

審査では、以上の課題も指摘されたが、これらの課題は、本論文の長所を損なうものではなく、むしろ本研究の今後の発展が期待されることを示している。本研究は、社会に広がりつつある第3の人工物をどのように設計すべきであるかという重要な問題に取り組み、一定の成果をあげていることは高く評価できると判断された。以上のことから、本論文について、審査委員は全員一致して合格とするにふさわしいとの見解に至った。

[最終試験の結果の要旨]

審査委員は、2020年1月8日に論文の内容及びこれに関連する口述試問を行い、全員一致して合格との見解に至った。