

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330304

研究課題名(和文) 移動ロボットの安全・安心を評価する情報構造化環境

研究課題名(英文) Informational Structured Environment for Estimating Safety and Sense of Secure of Mobile Robotic Systems

研究代表者

木室 義彦 (Kimuro, Yoshihiko)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：30205009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：操作する機械に対する安全性や安心感は、それが動作する環境で大きく異なる。「車いすロボットと搭乗者を取り巻く2重の構造化環境」を構築し、安全性と安心感を評価するシステムを構築した。この環境下で車いすロボットの走行と人間計測を行い、搭乗者の安心感は、「ロボット」単体ではなく、「搭乗者」、「ロボット」、「走行環境」の3つ要因が影響しているであろうことが実験的に確認できた。

研究成果の概要(英文)：Safety and sense of security, whom human feels, are related to the characteristics of environment where the robot is used. Therefore, we have developed the new informational structured environment in order to estimate both safety and sense of security of robotic systems. Using this system, we have obtained an experimental result. It's that the human feels safety and sense of security of person carrier mobile robots through the combination of the user, a robot and an environment surrounding them.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：計測システム センシング情報処理 環境情報構造化 GIS

1. 研究開始当初の背景

生活支援ロボットの実用化のためには、ロボットの安定動作の他に安全安心が求められる。環境情報構造化の研究も技術的課題の解決からロボットの本質安全・機能安全の検証や安全・安心に係る「情報」の提供へと進みつつある。一方、我々は、病院内車いすロボット実験を通して、ユーザは、ロボットにより得られる利便性とそのロボットの安全性とがバランスしているか否かという安心感を重視していることが分かった。この安心感と構造化環境自体とがどのような関係にあるのかを明らかにした研究は、ほとんどない。

このような背景から、生活支援ロボットの実用化には、環境を含めた安全・安心感の提供が必要と考え、機械単体だけでなく、機械と環境を一体として扱った上でロボットシステムの安全・安心を評価する構造化環境とはどのようなものかを明らかにしたいと考えた。

2. 研究の目的

ロボットを含む機械に対する安全性や安心感は、それが動作する環境で大きく異なる。安全・安心を与える情報構造化環境の構成要件を明らかにするために、対象を搭乗型移動ロボットに絞り、ロボット化した電動車いすと搭乗者を取り巻く2重の構造化環境を構築する(図1)。それぞれで、提供情報の制御とロボット制御/人間計測を管理・計測することで、

1. 構造化環境が提供する環境情報
2. 構造化環境下のロボットの動作
3. 人間の感じる安全性、安心感

の3つの観点から、情報構造化環境が安全・安心に与える影響を明らかにする。これにより、人間が安全・安心と感じる心的レベルでの情報構造化環境の構築を目指す。

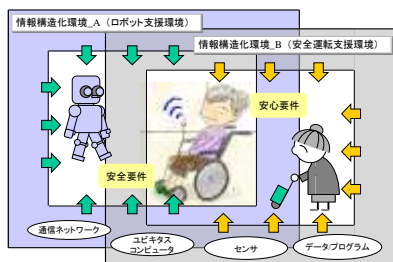


図1 2重の情報構造化環境

3. 研究の方法

2重の構造化環境下でロボットと搭乗者の振る舞いを同期計測し、人間が安心と感じる心的レベルでの情報構造化環境を構築する方法論を明らかにしようと考えた。

先ず、研究の目的で述べた3つの観点のための実験環境の構成要件を抽出した後、情報構造化環境を構築した。これには、我々のロボットタウンプラットフォームおよびロボ

ット用地理空間情報システム(R-GIS)技術を利用した。並行して、搭乗者の視線や身体の動き、生体情報の計測システムを準備した。これにより、ロボットと搭乗者の実験状況の計測データは、全て、位置と時刻情報とに紐づけられたデータベースで管理できる。この構造化環境下でロボット制御/人間計測を行う。

4. 研究成果

(1)情報構造化環境の構築

①実環境における情報構造化環境とGIS

屋内外をGISにより統一적으로取り扱う情報構造化環境を構築した。実験環境は、大学建物内および屋外キャンパスとし、大学の竣工図(1:1000)をベースマップとし、VRS-GPSによる誤差1[cm]の経緯度計測を行い、ジオリファレンス後、それぞれをGISデータ化した。通常、屋外はGPSによる位置計測が用いられるが、屋内外で統一的に車いすロボットの位置計測を行い、構造化環境で扱えるようにするために、測量機器の一つであるトータルステーション(TS)とRTC技術による精密位置計測システムを構築した(図2)。

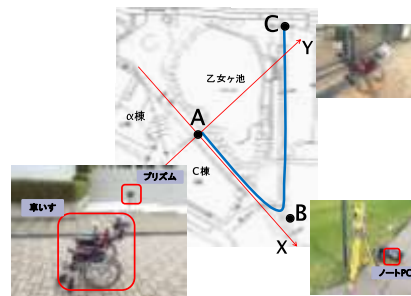


図2 TSによる精密位置計測(屋外)

②仮想環境を用いる情報構造化環境

仮想環境については、実走行との差異が少なくなるよう、HMD等の装着型の機材は用いず、大画面スクリーン(100型)での仮想環境提示を行うこととし、車いすロボットシミュレータとして実環境構造化環境との統合を行った(図3)。



図3 車いすロボットシミュレータと仮想環境

③車いすロボットおよび視線計測システム

車いすロボットシステムは、RTミドルウェア技術により構築し、GISや各種計測装置と接続できるようにした(図4)。この車いすロボットに搭乗者視線計測システムを構築

し、情報構造化環境下で車いすロボットの制御データと搭乗者の視線情報および生体情報（心電、皮膚電位等）を同期計測できるようにした。視線計測装置は、搭乗者に身体的な負荷を与えないという要件を重視し、車いすロボット前方に機器を設置する非接触方式とした。実空間および仮想空間それぞれで、視線計測の精度を求め、車いすロボット搭乗者の外界注視の情報取得に十分なことを実験的に確認した。



図4 車いすロボットと視線計測装置

車いすロボットの自律走行制御は、レーザ距離計による壁面追従走行、ならびに画像処理による路面追従走行 RTC(図5)を準備し、これらの走行制御の切り替えを情報構造化環境内の GIS で登録、実行することとした。複数の自律走行モードでの走行可能範囲は、GIS の機能から求めることができ、視線計測と同期した安全性の評価に用いることができるようになった。

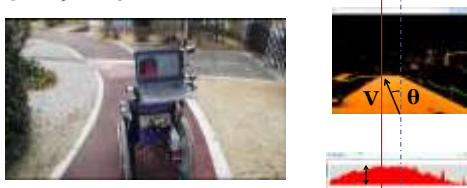


図5 路面追従走行

(2) 安心に関する実験

①不安に関する実験の分析

これまで、車いすロボットに被験者が搭乗した状態で正面の壁まで自動で直進し、衝突の不安を感じた時に停止ボタンを押すという実験を行っていた。この実験では、26名の被験者に対し、速度条件として3条件(0.7, 1.0, 1.3 [m/s])を設定した上で、ロボットの位置や速度、被験者の生体情報(心電、皮膚電気抵抗)などを計測し、併せて、実験の前後にアンケート調査を行った。

実験後のアンケートの「車いすの速度に不安を感じたか?」(不安感)と「車いすの速度をどう感じたか?」(速度感)という質問の回答結果について、速度条件ごとの関係を調べた。各速度条件における速度感と不安感の関係の一部を表1に示す。なお、被験者はどの速度条件で実験を行っているか知らされていないため、被験者自身の体感をもとに速度の順位を判断し回答した。

最も速く感じた条件において、不安を感じた被験者は、いずれも速度を速いと感じていた。一方で、速度が速いと感じていても不安

を感じていない被験者も多くいた。また、速度を遅く感じている被験者で不安を感じている被験者は、いずれの速度条件においても、ほとんどいなかった。この結果から、搭乗者は何らかの視点(例えば起こり得る危険やその被害の大きさ、回避策の有無など)で現状の評価を行い、その結果として不安を感じているのではないかと考えられる。また、速度が不安に影響を与えているものの、速度そのもので不安を感じているわけではないことも推察された。これを受け、以降の②~④の項目は、走行環境、搭乗者の操作インターフェース、搭乗者への情報提示の観点からの検証結果を示したものである。

表1 最も速い条件における速度感と不安感の関係

車いすの速度に	あなたは車いすの速度をどう感じましたか?			
不安になりましたか?	速く感じた	どちらでもない	遅く感じた	計
不安になった	4	0	0	4
どちらでもない	2	0	0	2
不安にならなかった	13	3	4	20
計	19	3	4	26

②仮想環境での搭乗者の臨場感と不安

仮想環境(車いすロボットシミュレータ)での臨場感と不安感について調べた。9名の被験者に対して、被験者は車いすに搭乗した状態で、実験者が操作した映像を見せた上で、臨場感と不安についての主観を調査した。その結果、臨場感と比較して、不安を感じた被験者がやや少なかった(図6)。この原因としては、シミュレーションであるため危険がないことが明白であったこと、提示映像が立体視に対応したものでなく、奥行き情報が欠けていたこと、車いすロボットと連動しておらず衝突等のイメージにつながりにくかったことなどが考えられる。

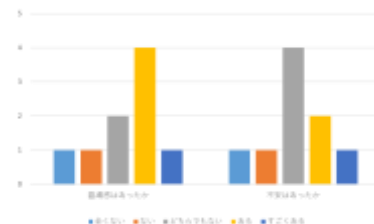


図6 臨場感と不安について

当初の研究計画では大型スクリーンのみとしていたが、より高い臨場感が得られるような没入型の HMD の利用と、さらに車いすロボットの車輪が動くようローラー台の追加といった改良を行った。今後、このシステムを用いた検証も行っていく予定である。

③実空間における操作量の期待値と個人差

不安を生じる要因の一つとして、搭乗者が期待している操作の量と実際のロボットの動きのずれが想定される。そこで、ロボットの動きを想定した際に、個人毎に操作量の期待値が異なるか実験的に調べた。

車いすロボットをタブレットの傾きで操

作することを想定し、被験者9名に対し、自然と思える前後左右方向の範囲を調べた。なお、本実験では操作の期待値を知ることが目的であったため、ロボット自体は実際には動作していない。

それぞれの方向に対する平均の傾き量を図7に示す。グラフより左右方向については同程度の操作量であることがわかる。前後方向については、初期状態をタブレットと地面が水平にした状態としていたため、前方には傾けにくく、後方には傾けやすかったことから、差が生じたと考えられる。

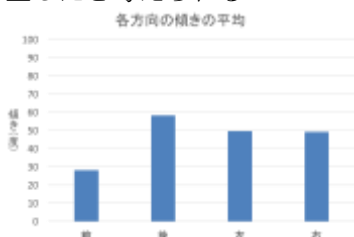


図7 各方向に対するタブレットの傾き

次に、被験者個々のデータを図8に示す。グラフより、操作量の大きい被験者と小さい被験者がおり、その傾向は方向によらないことが示唆された。

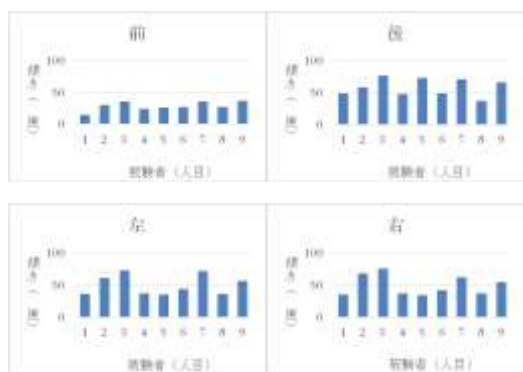


図8 各方向の個人毎の傾き量

今回の実験では、実際に車いすロボットは動作させていなかったことから、期待する操作量を実際のロボットの動きに合わせて修正するというプロセスがなく、個人毎の期待値の差がより強く反映されたと考えられる。今後、ロボットを動作させた状況、すなわち操作量の期待値と実際の制御量の対応付けが行える状況下においても、同様の結果が得られるか、検証が必要だと考えている。

④実空間における情報提示と不安感

車いすロボットに搭乗している際の不安の要因の一つとして、ロボットの内部状態、すなわち外部環境の認識状況や動作計画を搭乗者が知るすべがないという点が想定された。そこで、ロボットの内部状態を提示することで不安に影響があるかを調べるために、まずは進行方向を床面に提示できるシステムを開発した(図9)。今後、情報提示が搭乗者の不安に与える影響について、実機を用いて検証していく必要がある。また、その効果をシミュレーション環境でも検証可能であるか調べる必要があると考えている。

ユレーション環境でも検証可能であるか調べる必要があると考えている。



図9 床面への進行方向提示システム

(3)まとめと今後の課題

安全・安心を評価することができる情報構造化環境構築を目指し、車いすロボットを取り巻く2重の構造化環境を構築し、ロボット制御/人間計測を行った。人間計測については、視線計測を除いて、屋内実験が主となった。

搭乗者の安心感については、「ロボット」単体の要因ではなく、「搭乗者」、「ロボット」、「走行環境」の3つ要因に着目すべきだという仮説を立て、研究を進めた。これに対し、搭乗者の不安がロボットの動作以外に、環境の自己評価からも影響を受けていることが示唆され、ロボット以外の要因も含めた統合的な研究の必要性や意義を示せたと考えている。また、我々は搭乗者の不安の要因の一つに、搭乗者の期待値とロボットの動作のずれがあるという仮説を立て、その「ずれ」の補正方法として、構造化環境(シミュレータなど)を用いて搭乗者が期待値を調整する経験的手法、ロボットの制御量を搭乗者によって調整する制御的手法、情報提示によってロボットの動作計画を明示的に示す情報的手法を考え、いくつかの実験を進めた。それぞれをこれらと搭乗者の安心感の関係について、今後の検証が必要だと考えている。

本研究では、残念ながら、構造化環境構築の要件収集に留まっており、現在、引き続き、生体情報の収集および整理、実空間とこれに対応する仮想空間でのデータ収集を継続している。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 1件)

①"快適な搭乗型ロボットの実現に向けた取り組み",寺岡, 家永, 木室, 有田, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会(SS12014), SS14-6, 2014, 岡山大学(岡山).

6. 研究組織

(1)研究代表者

木室 義彦 (KIMURO, Yoshihiko)
福岡工業大学・情報工学部・教授
研究者番号: 30205009

(2)研究分担者

家永 貴史 (IENAGA, Takafumi)
福岡工業大学・情報工学部・准教授
研究者番号: 00393439