

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：87103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656269

研究課題名(和文) 搭乗型移動ロボットでの人の不安関数の算出

研究課題名(英文) The calculation of the anxiety function of rider on wheelchair robot

研究代表者

寺岡 章人 (TEROKA, AKITO)

公益財団法人九州先端科学技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80590273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：人は、搭乗型移動ロボットに安心して乗れるのだろうか？その不安を解消する一つとして、ロボットの自動運転時の信頼・安心技術の確立、向上が挙げられる。人が安心して快適に搭乗型移動ロボットで目的地に向かうためには、どのような移動条件が、安心感と関連するのかを調査した。搭乗者が不安を感じる要因を絞り込み、不安を感じる限界値から不安関数を求めた。

研究成果の概要(英文)：I wonder if people ride with confidence to wheelchair robot? As one to eliminate the anxiety, the establishment of safety and security system of automatic operation of the wheelchair robot. In order to be directed to the destination in the wheelchair robot comfortable people at ease, I investigated what move conditions, whether the robot rider is associated with a sense of security. I was calculated anxiety function at the limit conditions that rider feel anxiety.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：不安関数 搭乗型移動ロボット 生体情報

## 1. 研究開始当初の背景

介護・福祉などへの生活支援ロボットの実用化が徐々に行われている。また、人が搭乗する生活支援ロボットの開発も進んでおり、実環境での実証実験も行われるようになってきた。今後、高齢者社会が進むにつれ、介護・福祉分野での生活支援ロボットの実用化は早急に解決すべき問題である。しかし、搭乗型生活支援ロボット(車椅子ロボット)の搭乗者の安全の次にくる安心技術の研究は、未だ、ほとんど行われていない。

このような背景を受け、本研究では「搭乗型生活支援ロボットの移動条件が搭乗者に与える生理的な影響を調べ、安心して乗れる移動手段となりうる条件とは、どういったものであるべきか？」を工学及び人間工学のそれぞれの視点で計測し、その関係を求めることを目指す。

## 2. 研究の目的

人は、搭乗型移動ロボットに安心して乗れるのだろうか？その不安を解消する一つとして、ロボットの自動運転時の信頼・安心技術の確立、向上が挙げられる。人が安心して快適に搭乗型移動ロボットで目的地に向かうためには、どのような移動条件が、安心感と関連するのかを調査した。各種、生体情報データから、搭乗者が不安を感じる要因を絞り込み、人が不安を感じる移動条件の閾値を求め、そこから不安関数を算出することを目的とする。このような研究は、ロボット分野ではあまり行われておらず、今後、病院などの実環境でロボットを動作させるために必要となる基礎研究である。

## 3. 研究の方法

まず、ロボット搭乗時に不安に関わると予想される要因について、ロボットのユースケースを想定し、文献調査をもとにした心理生理学的視点もふまへ検討し、候補要因の抽出・整理を行う。次に、これらの候補要因が不安に与える影響について調べるために、検証実験のための環境整備やシステムの開発を行う。その後、この検証環境を用いて、実験を行い、不安との関係を明らかにする。

## 4. 研究成果

### 4.1 不安に関わる候補要因の抽出

不安とは、個人の認知機能に大きく依存した情動であり、恐怖と比べて脅威の対象がいまいであるとしてされている。

移動型ロボットに搭乗した際の脅威としては、転倒、転落、衝突・接触、立ち往生など、生命の危険を感じさせるものや社会的あるいは経済的な損失を被る可能性があるものだと予想される。また、これらの脅威に対

する被害の大きさや発生確率に対する搭乗者の見積もり、脅威を回避するための制御の余地が不安に影響を与えられられる。

よって、不安に関わる要件としては、

- 1)搭乗者に起因するもの
- 2)ロボットに起因するもの
- 3)走行環境に起因するもの

の3つについて相互作用を含め検討しなければならぬと予想した。ここで、搭乗者に起因するものとしては、搭乗時の身体的・精神的な健康状態、過去の経験に基づくもの、ロボットへの信頼感、不安の感じやすさや脅威を回避する術の有無があげられる。また、ロボットに起因するものとしては、速度や加速度などの駆動性能とその制御方式、安全機構の有無、経路選択や衝突回避、センシングなど知能や情報処理に関わるものがあげられる。走行環境に起因するものとしては、衝突対象物の距離や道幅、傾斜、通行あるいは停止が許可されている場所が否かといったことがあげられる。

以上のように候補となる要因は多い。そのため、不安関数を求めるにあたり、複数の移動・環境条件が絡むと、それらの条件を切り分けることが難しくなり、不安関数を求めるようになる。よって、実験条件は、不安を感じる要因をできる限り少なくする必要がある。そこで、以下のように条件を単純化したもので、不安の条件を調べられるか検証することとした。

- 脅威の種類：衝突・接触
- 被害予想：速度条件次第
- 脅威の発生確率：ほとんどなし
- 搭乗者に起因するもの：被験者依存
- 搭乗者の対処の余地：あり(停止行動)
- ロボットの動作：直進し急停止
- センシングの困難さ：低い
- 走行環境：平坦かつ前方のみ障害物有り

### 4.2 検証環境の構築

検証実験を行うためには、どのように不安を検出するかを考える必要がある。我々は、被験者が不安を感じた場合、ストレス反応が見られるのではないかと考えた。これらは、ストレス源からの回避行動(例えば、ロボットへの停止命令)や生理的な反応としてみることが出来ると予想した。

そこで、これを実現するために1)生体情報の取得用システムと解析用のシステム及び2)搭乗者の停止命令を受け付けるロボットシステムの開発を行った。同時に、ロボットへの停止命令を行った際のロボットの制御情報と走行環境の情報を取得できるものとして実現した。

#### (1)生体情報の取得・解析用システム

搭乗者の生体情報をリアルタイムでワイヤレス計測・観測ができるシステムを構築した。ロジカルプロダクト製ワイヤレス ECG ロ

ガで心電図を計測し、実験終了後、心拍変動から時間情報と周波数情報に分けて解析を行い、ストレスの指標とした。また、ワイヤレス GSR ログで皮膚電気活動(SPA)を計測した。電位法で手掌部の精神性発汗活動を計測し、リアルタイムで実験者が観測できるシステムを構築した(図 1)。

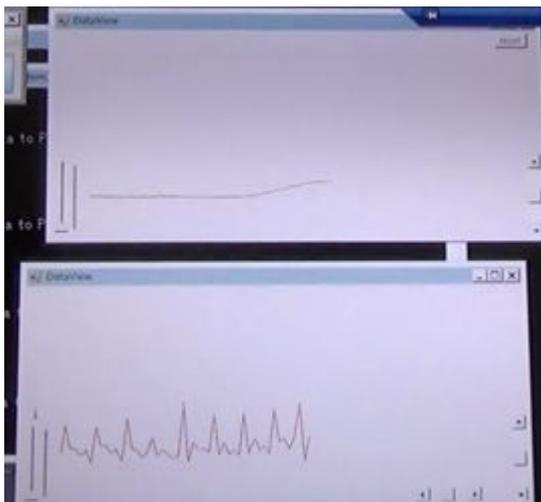


図 1 皮膚電気活動(上)及び心電図(下)の画面

## (2)ロボットシステム

検証用ロボットは、病院などの実環境での使用を考えると、幅広く市販されているものを利用することが望ましい。そこで、ヤマハ製の電動車椅子(JW アクティブ, Pタイプ)を使用することにした。オプションで販売されているアカデミックパックを接続すると、簡単な改造で電動車椅子を外部の PC で制御することが可能となる。この電動車椅子に各種センサを取り付け、検証用の車椅子ロボットとした。ロボット用ミドルウェアである OpenRTM-1.0 で実装し、ノート PC で制御した。移動ロボットに取り付けたセンサは、車軸にオドメトリを計測するため、ロジカルプロダクト製ワイヤレス 9 軸モーションセンサ(±5G/300dps 仕様)を取り付けた。このモーションセンサで地面に対して垂直方向にある 2 軸の重力加速度から、車輪の相対回転角度を求め、オドメトリに利用した。また、これらとは別に同製品を車椅子ロボットに取り付け、ジャイロとして利用した。ジャイロで地面に対して垂直方向の向きの補正を行った。また、壁や障害物などの環境情報を取得するため、スキャナ式レンジセンサ(北陽製 UTM-30LX)を使用した。これらのセンシングされたデータを元に車椅子ロボットが毎回一定の動作をするように検証を行った。また、搭乗者が不安を感じた瞬間、手元の押しボタンスイッチを押すことで、車椅子ロボットを即座に停止できるシステムを構築し、ボタンを押した前後の時間帯の車椅子ロボットの走行情報(速度、加速度、位置情報など)および周囲の環境情報(レンジセンサによる車椅子ロボ

ット後方 90 度を除く周囲 270 度, 30m まで)を取得できる。

以上により、搭乗者の生体情報、移動ロボットの走行情報、周囲の環境情報が取得できるシステムが構築できた。

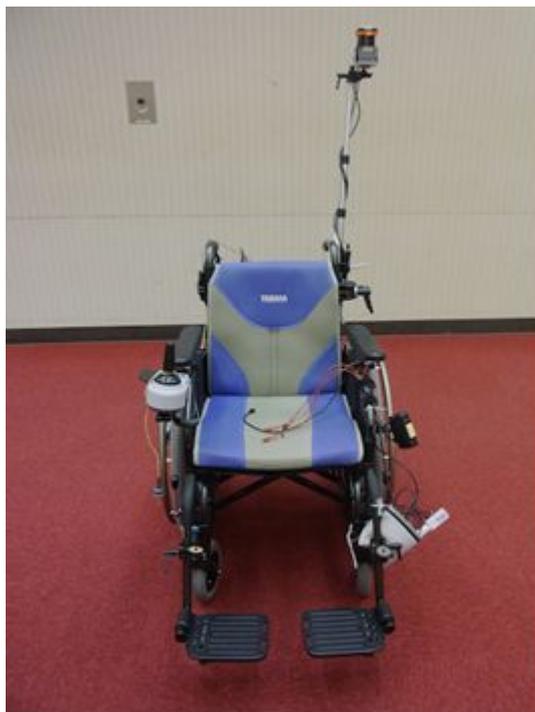


図 2 検証用ロボット

## 4.3 実験

### (1)目的

本実験の目的は、「搭乗者」×「ロボット」×「走行環境」を考慮することで、不安関数を求められる可能性について検証することであった。

### (2)方法

#### ・装置

実験装置としては、前述の生体情報解析システムとロボットシステムを用いた。

#### ・実験条件

「走行環境」として、風や天候などの影響を受けず、天井が十分に高く、窓がないため、太陽光などの外的要因も無く、照度、温度、湿度を一定に保てる空間である屋内の講堂を採用した。走行路も段差のないフラットな平面である。また、進行方向に対して、左右に設置された壁面までの距離は 6[m]以上離れており、左右の壁の存在は、あまり気にならない。

「ロボット」の要因としては、発進及び停止条件を不安の要因から除外し、等速運動中の不安について調べることにした。壁から約 14[m]離れた所を起点とし、壁に向かってロボットが直進する。ロボットは動き始めると、直ぐに等速度運動になる。また、ロボットの速度条件として、等速度運動の速度条件を 3 つ設定した。それぞれの速度は、0.7[km/s]、

1.0[m/s] , 1.3[m/s]であった。

・手順

まず、車椅子ロボットがどのような動作をするのかを確認してもらうための予備試行を行った。各速度条件で2試行、前方に壁などの障害物がない状況で行い、停止ボタンの使い方などの練習を行った。その後、本試行を行った。

本試行では、被験者は壁に向かって一直線に車椅子ロボットを進ませ、不安を感じた瞬間、停止ボタンを押す。

前方の壁に近づくと、ロボットは停止処理を行わない(衝突直前で自動停止処理が作動し、安全に停止する)。乗客は壁との距離が狭まるにつれ、ロボットが減速しないため、不安を感じる。乗客が不安を感じた瞬間、ロボットの停止ボタンを押すことで不安を回避し、ロボットが安全に停止するようにした。車椅子ロボットの速度を移動条件のパラメータとし、ロボットの速度と壁までの位置関係が不安を及ぼす影響を調査した。

同じ速度で10試行連続して実験を行う。そして、速度条件に変更し、同様に10試行を連続して行う。最後に、残りの速度条件で10試行を行い、計30試行とした。速度条件の実験順序による違いが実験結果に影響を及ぼさないように、循環法を利用した。速度は3条件あるため、計6通りの速度順序の組み合わせとなる。6通りに、それぞれ4人の被験者を当てはめたため、被験者数は24人となった。

・測定項目

実験では、ロボットの停止ボタンを押した時刻、被験者の生体情報(心電及び皮膚電位)、ロボットの位置や速度などの情報、障害物(壁)までの距離を計測した。また、ビデオカメラを用いて、実験の様子を撮影した。

・被験者

実験の被験者は、19~23歳の男性24人である。実験時間は約1時間で、被験者への実験内容の説明、実験前後の内観報告、予備試行と本試行を行った。

(3)結果と考察

被験者が不安を感じ停止ボタンを押した時点での壁までの距離及び車椅子ロボットの停止位置(壁からの距離)を求め、それぞれの距離に差があるかどうかを調べた。表1,2は各速度条件での被験者全員の距離の平均値及び標準偏差、中央値の結果である。また、図3~5は速度条件毎の被験者がボタンを押した距離のヒストグラム(720試行)である。

表1 ボタンを押した距離(壁までの距離)

	平均値[m]	標準偏差	中央値[m]	データ数
0.7[m/s]	0.9114	0.41270	0.8062	240
1.0[m/s]	1.0848	0.38352	1.0271	240
1.3[m/s]	1.4546	0.45819	1.3836	240

表2 停止距離(壁までの距離)

	平均値[m]	標準偏差	中央値[m]	データ数
0.7[m/s]	0.4229	0.39141	0.3210	240
1.0[m/s]	0.5026	0.36975	0.4497	240
1.3[m/s]	0.6267	0.44985	0.5467	240

3つの速度条件でボタンを押した距離に差があるかどうかを検定する。まず、得られた距離データが正規性の仮定をできるかどうかの検定を行ったが、正規性が保証されなかった(有意確率1%)。よって、ノンパラメトリック検定であるフリーマン検定で停止ボタンを押した距離と停止距離、それぞれの速度条件で距離の中央値に差があるかどうかの検定を行った。その結果、ボタンを押した距離の中央値に有意な差があった(有意確率1%)。よって、ボンフェローニ法で多重比較を行ったが、全ての条件間で有意な差があった(有意確率1%)。次に、停止距離についても、同様に検定を行った。その結果、停止距離の中央値にも有意な差があった(有意確率1%)。よって、ボンフェローニ法で多重比較を行ったが、全ての条件間で有意な差があった(有意確率1%)。この結果より、速度が速くなるにつれ、不安を感じる壁までの距離が長くなるのが分かった。次に、表2の停止距離について考察を行う。停止距離は全ての速度条件で同じではなかった。全ての被験者をまとめて考えると、速度に関わらず、停止距離を揃えていないことが分かった。

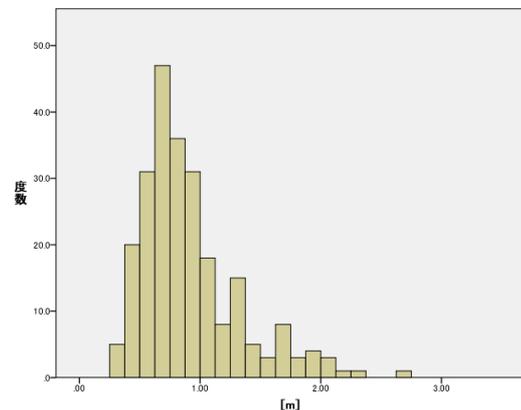


図3 0.7[m/s]でのボタンを押した距離のヒストグラム

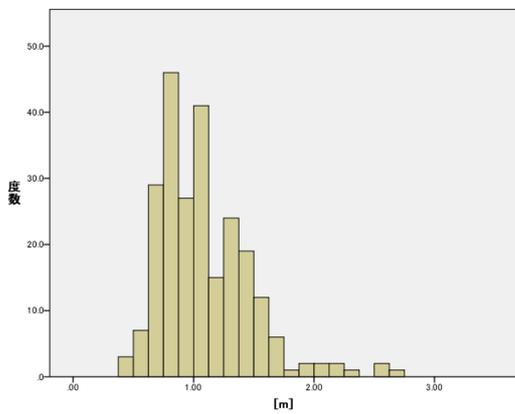


図 4 1.0[m/s] でのボタンを押した距離のヒストグラム

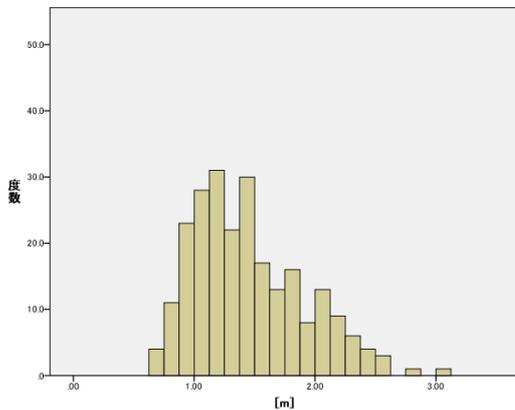


図 5 1.3[m/s] でのボタンを押した距離のヒストグラム

計測した生体情報をもとに、心電図と皮膚電気活動の変化を調べた。心電図からは、心拍変動を求めた。心電図の R 波ピーク時間を検出し、R-R 間隔を求める。そして、時間情報と周波数情報に分けて分析を行った。時間情報は、心電図 R-R 間隔変動係数(CVrr)を 1 分毎に求めた。図 4 に被験者 22 名分の CVrr 平均値の結果を示す。実験が始まると 3 分後に CVrr が約 1.5[%]減少することが分かったが、それぞれの時間で平均値に差があるかどうかを分散分析で検定したが、その結果では有意な差がなかった( $F(17, 378)=1.064$ )。実験開始直後に CVrr が減少した原因は実験によるストレスによるものと思われる。次に、周波数情報の分析では、スペクトル解析を行った。まず、R-R 間隔は等間隔でないため、R-R 間隔を 3 次スプライン補間で関数を当てはめ、10[Hz]でリサンプリングを行うことで等間隔データに変換した。その等間隔データを FFT で分析を行い、パワースペクトル密度を求めた。低周波成分(LF:0.05~0.15[Hz])と高周波成分(HF:0.15~0.4[Hz])に分け、ストレス指標となる LF/HF を計算した。LF/HF は速度条件毎に分析した。その結果を分散分析で検定を行ったが、速度条件の違いによる LF/HF の差はなかった( $F(2, 63)=0.043$ )。

皮膚電気活動は、電位法で手掌部の精神性

発汗活動を測定した。被験者毎にみると、停止ボタンを押した直後に、精神性発汗が見られた被験者は全体の 8 割弱であった。また、一番遅い、0.7[m/s]の速度条件では被験者全体の約 23[%]に精神性発汗が見られた。速度が遅い場合、ストレスを感じる人が少なくなることが分かった。

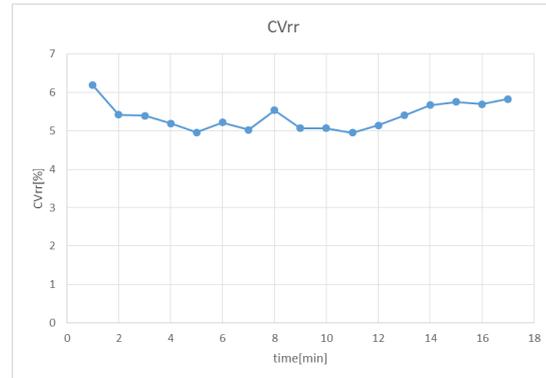


図 6 心電図 R-R 間隔変動係数の時間経緯

#### 4.4 不安関数の算出

本研究の目的である不安関数の算出方法について述べる。搭乗者が車椅子ロボットに搭乗中に感じる不安要因として、搭乗者の予想通りに動作しなかった場合や転倒、転落、衝突などの身の危険を感じた場合が挙げられる。今回の実験条件では、搭乗中のロボットが壁との距離が短くなっても、ロボットが停止動作にならないことに起因する不安、壁と衝突するかもしれないという不安を調査した。これらの要因で感じる不安は、個々の過去の経験によるところが大きいのと思われる。ここで、各速度条件で被験者全員の停止ボタンを押した距離の最大値と最小値を表 3 に示す。その差は各速度条件で 2.33[m]と非常に大きく、個人が不安を感じる距離感、個々の判断に大きく依存することが分かった。

不安関数を求めるにあたり、被験者全員の停止ボタンを押した時点での壁までの距離の平均値や中央値を閾値として利用した場合、不安を感じやすい人にとって、その距離では短すぎ、安心して搭乗できない。そこで、不安を感じやすいグループ、すなわち、壁から離れた位置で停止ボタンを押した搭乗者上位 5 人(全搭乗者数の約 2 割)のデータを利用することにした。これらのデータ群は、1.3[m/s]のデータ以外は正規分布ではなかった(表 4)。そこで不安関数を求める各速度の代表値は平均値を利用せず、中央値を用いることにした。

その結果、今回の実験条件では、ロボットの速度と壁までの距離で不安を感じる限界は、

$$(\text{壁までの距離[m]}) = 1.0608 \times (\text{速度[m/s]}) + 0.6117$$

という不安関数(図7)が算出された。

表3 ボタンを押した距離の最大値, 最小値の結果

	最大値[m]	最小値[m]	差[m]
0.7[m/s]	2.65	0.32	2.33
1.0[m/s]	2.72	0.39	2.33
1.3[m/s]	3.00	0.67	2.33

表4 正規性の検定

Shapiro-Wilk の正規性検定			
	統計量	自由度	有意確率
0.7[m/s]	0.951	50	0.038
1.0[m/s]	0.884	50	0.000
1.3[m/s]	0.969	50	0.213

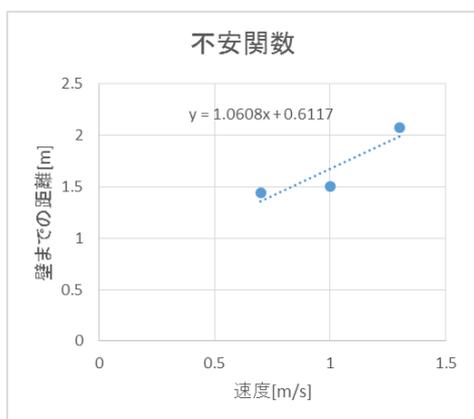


図7 不安関数

#### 4.5 まとめと今後の課題

安心・安全かつ快適に搭乗できる移動ロボットの実現に向けて, その基礎となるシステム構築ができた。今後は, 環境条件を様々に変化させ, より多くの基礎となるデータ取得を目指す。そして, 移動条件も直進のみではなく, 実環境に合わせた条件設定を行い, 効率的に基礎データを獲得できるようなシステムへと改良を行う予定である。また, 不安を感じやすいグループとそうでないグループとの心理的な差は大きいことが分かった。将来は, このグループ分けを, 搭乗中の生体情報のデータなどを用いることで, リアルタイムで判断できる搭乗型移動ロボットの開発を目指す。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

寺岡 章人, 松岡 毅, 家永 貴史, 有田 大作, 荒屋 亮, 木室 義彦  
 地図コンテンツ業界の方法論によるロボット用環境情報の構築と利用の分離-マップデジタイズ法によるロボットを用いない環境情報構築-  
 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.3, 2012, 324-331, 査読有

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

寺岡 章人 (TERAOKA, Akito)  
 公益財団法人 九州先端科学技術研究所・研究員  
 研究者番号: 80590273

##### (2)研究分担者

有田 大作 (ARITA, Daisaku)  
 公益財団法人 九州先端科学技術研究所・室長  
 研究者番号: 70304756

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

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