

平成21年6月26日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18500446
 研究課題名（和文） 福祉機器の安全性確保を目的とした故障時の機能維持に関する研究
 研究課題名（英文） Fault Tolerance Function for Safety of Welfare Machines
 研究代表者
 榊 泰輔（SAKAKI TAISUKE）
 九州産業大学・工学部・教授
 研究者番号：60373130

研究成果の概要：

障害者・患者・要介護高齢者の介助・支援機器が故障した際の機能維持のための基礎技術として、ユーザの操作の中断及び動作の停止が許容困難な介助・支援機器において、フェールセーフとフォールトトレランスの考え方をベースにユーザの利便性を考慮した安全技術を確立するものである。故障発生を模擬する装置でヒューマンエラーの生起実験を行い、エラー発生を防ぐ手法を開発した。個人差への細かな対応が今後の課題である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,100,000	0	2,100,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	450,000	4,050,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学／リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：健康・福祉工学、安全技術、機能維持、フェールセーフ、フォールトトレラント、医療ロボット、福祉ロボット、介護ロボット、リハビリロボット、自律支援機器

1. 研究開始当初の背景

障害者・患者・要介護高齢者の社会参加促進・健康寿命延伸を目的に、自立支援、介護

支援、健康維持・予防・機能回復を促す介助・支援機器において確立すべき基盤技術のひとつに、安全性がある。

従来、医療福祉機器における安全確保の技術はフェールセーフを基礎にしており、何らかの故障が生じた際には安全側に導いたうえで停止させる。

しかしながら、フェールセーフのみでは介助・支援機器の利便性に問題が生じることが少なくない。例えば、リフトや電動車椅子などの移乗・移動の介助をはじめ、機器による食事・入浴・排泄等の介助・支援を考えた場合、そのような行為は生活に欠くべからざるものであり、かつユーザが途中で当該行為を中断できない。ユーザ単独ではそもそも当該行為の実行が難しく、機器が故障し停止した際には介護者の特別な支援が必要で、実用上の困難が生じる。

従って、障害者・患者・要介護高齢者の自立支援や介護者への支援の場面で使用する機器が故障したとき、フェールセーフ機能による突然の停止を許容することが困難な場合においては、ユーザが当該行為を何らかの形である程度継続して実施することを許容しつつ、安全・安心な状態へ移り本格的な修理をするまでの時間を稼ぐことが求められる。そこで、突然の停止を回避し機能は多少低下しても稼動を維持するフォールトトレランスの考え方が重要になる。

しかし、フォールトトレランスは情報処理分野において実用化されているものの、介助・支援機器において同機能が実装された例は少なく、実装されている場合でもいくつかの場合のみを想定した追加的な機能として装備されたものがほとんどである。また、福祉機器のユーザは、機器の状態を認識することが困難な場合も多い。故障時には、当該行為を継続できるとともに、危険な状態へ陥らないよう、機器の側からの適切な情報提示や操作のガイダンスが必要となる。これらのことから、介助・支援機器を普及させるには、ユーザへの情報提示機能を組み合わせる等の福祉機器に適したフォールトトレランス技術が求められる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、フェールセーフとフォールトトレランスの考え方をベースに、ユーザの操作の中断及び動作の停止が許容困難な介助・支援機器において、ユーザの利便性を考慮した安全技術を確立するものである。

具体的にはヒューマンエラーの原因として不注意やうっかりミスと慣れにより意識低下の2つに着目して、ユーザの注意力を抑制する方法を考案し、1軸リニアスライダを手動操作する実験で有効性を検証する。また、ヒューマンエラー、特に不慣れからくる不注意および過度な慣れによる錯誤に対し、これを抑制する方法を考案するため、1軸リニア

スライダの手動操作実験でエラーの生起状態を観察し、エラーを低減する方法を検討する。

3. 研究の方法

研究内容は、障害者・患者・要介護高齢者の自立支援・介護支援を行う現場において、移乗・移動用のリフト・電動車椅子、食事・入浴・排泄等の介助・支援機器が故障した際の機能維持のための基礎技術であり、具体的には、介助・支援機器のセンサ・アクチュエータ・ソフトウェアおよびCPU等電気ハード・機構の各要素のいずれかにおいて故障が発生した場合において、故障箇所の検出や故障状態の評価、および前記評価結果をもとにした動作出力制限およびユーザへの情報提示と操作制限を行う機能、特にヒューマンエラー防止の機能を開発することを目標としている。

なお、これらはフェールセーフを前提にした機能であり、致命的な故障が生じた場合にはハザード発生を回避するため即時動作停止を基本とする。従来は、致命的故障には至っていないが注意を要する状態において一時停止することが多かったが、これでは上記のように利便性が劣る。そこで、本研究課題では、代替可能な手段がある場合には停止せず、機能を維持することを目標とする。また、故障が生じた後、稼動継続中に致命的故障が生じる危険を回避するため、機器の出力およびユーザ操作を制限する機能を設けることを検討する。このように、本研究課題は、フェールセーフとフォールトトレランスとを統合した技術と位置づけられる。

また、本研究課題では、基礎研究として1自由度の作動機構を対象に、理論・実験の両面から上記機能を開発する。

4. 研究成果

平成18年度は、上記本研究目的のうち故障の検出機能と評価機能について、アルゴリズムの開発と実験装置の準備を行った。まず1自由度の二リアスライダとドライバ、制御系をダウンロードする制御ボックス、制御系を設計するPCから構成される実験系の開発を行い正常に動作することを確認した。ターゲットとする故障箇所として、スライダの両端にマイクロスイッチを配置し、通常は両端にテーブルが接近した際に停止信号を発するシステムとした。ハードウェアは一軸リニアスライダとして、両端にリミットスイッチとして小形マイクロスイッチを取り付けたものを使用した。スライダの先端を停止させる場所として「停止区間」を設け、スライダが停止区間に達するとブザーが鳴るように設定した。(Fig.1)

また、予備実験として、スライダを操作して、どれくらいの時間経過で慣れるか、またどのくらいの時間経過で意識低下をおこすかを見極める実験を行った。実験結果から、操作に慣れるまでには時間がかかり、操作に慣れて、さらに同じ操作を繰り返し行くと、徐々に意識低下をおこすことが示唆された。結果はスライダ操作 300 秒も行えば操作に慣れて、さらに操作を行い 720 秒後付近で慣れによる意識低下をおこすことが判明した。これをもとに故障箇所と故障レベルの検出および致命的故障に対する余裕度を評価するアルゴリズムの開発をおこなった。アルゴリズムについては、次年度にかけて、1 自由度作動機構を対象に故障箇所を確率的に計算する故障検出機能、ハードウェア自体の故障等で分類する故障評価機能としてとりまとめるべく開発を継続している。なお、これらの成果を一部応用し、筋無力症患者（SMA 患者）のための電動ストレッチャーへ応用し、患者が指でストレッチャーの動作を制御する操作デバイスについて概念設計を行った。

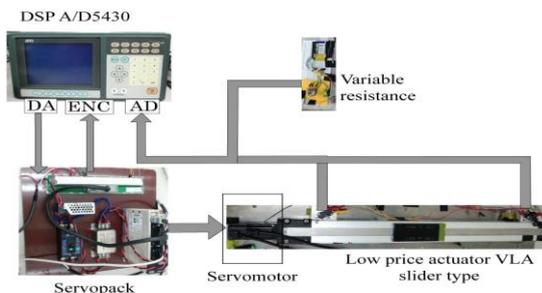


Fig.1 Experimental setup of slider system

平成 19 年度は、上記本研究目的のうちユーザへの情報提示とヒューマンエラー防止機能を開発した。機器故障時に安全機能による停止状態を解除し手動操作することを想定して、前年度準備したリニアスライダシステムで実験した。指定した位置区間への移動と停止を繰り返す課題を被験者に与えどの程度停止区間を超過するエラーを発生するかを調べた。エラー発生の原因として、不注意と意識低下があり、操作の初期では不注意が操作に慣れた後では意識低下が生じやすい。そこで時間経過に応じ停止区間に対する警告を漸次ランダムに与えるアルゴリズムを開発した。このとき慣れの生じる時間と意識低下の生じる時間を実際に計測し、ランダム化のパラメータとして設定した。なお、これらの成果を一部応用し、筋無力症患者（SMA 患者）のための電動ストレッチャーへ応用し、患者が指でストレッチャーの動作を制御する操作デバイスのプロトタイプを試作し基礎的な実験を行った。

上記予備実験の結果を元に、時間経過においての慣れや意識低下を抑制するために、スライダの操作時間において、操作に慣れるまでは常に警告を鳴らし、慣れてくると警告を徐々にランダムに与えて、意識低下を防げるかを検証した。そこで、以下の①～③のようにブザーを変化させる設定を行った。

①開始後5分までは停止区間に達すると常にブザーが鳴る。

②5分後ブザーの鳴る確立を徐々に減らしていく。

③10分後ブザーが鳴る確率を50%まで落としブザーがランダムに発生する。

実験方法として停止区間でブザーが常に鳴る設定(条件A)と、先にあげたブザーが徐々にランダムに発生する設定(条件B)を比較する。実験方法は下記の①～⑥である。被験者が練習終了後③～⑥の操作を15分間ひたすら繰り返してもらう。(Fig. 2)この方法を5人にそれぞれの条件で1回ずつ900秒間行ってもらい、有効性を検証した。

①停止区間を決めて、ブザーが鳴るように設定する。

②被験者に簡単な装置の説明を行い、操作の手順を覚えて、練習する。

③モータ側リミットスイッチにスライダを当てる。

④スライダを動かす。

⑤停止区間で停止する。区間で停止できずリミットスイッチに当たったら失敗とする。

⑥モータ側リミットスイッチに戻って繰り返す。

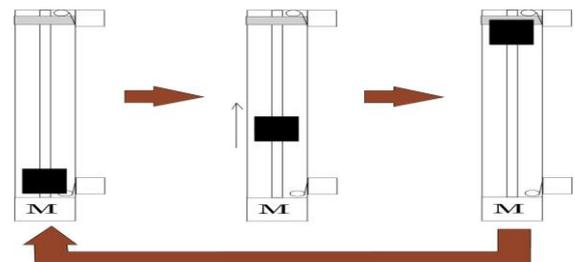


Fig.2 A set of motion of the slider system

実験結果として、5人分のデータの統計処理した結果、以下のことがわかった。条件A・Bの操作ミス回数の平均値は、条件Aで22.6±1.98回、条件Bで14.8±1.46回である。条件A・Bにおける個人差を調べた。図3は、各被験者(a~e)のミスの平均値と標準偏差を表す。被験者を水準とするt検定をしたところ、被験者a・c・dにおいては有意差が認められた。条件A・Bにおける時間別のミス分布を調べた。Fig.4は、各時間帯の(100~900秒における各

100秒間)ミスの平均値と標準偏差を表す。条件A・Bにおける時間別でt検定をしたところ、700秒以外に有意差は認められなかった。

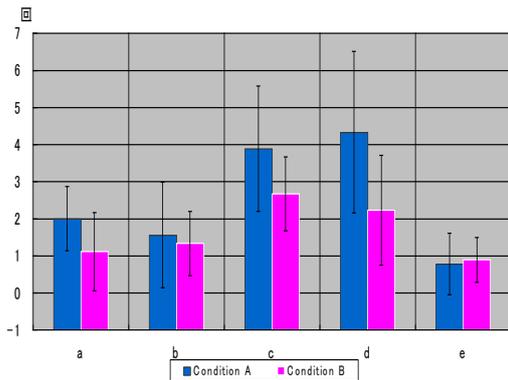


Fig.3 Total error of subjects

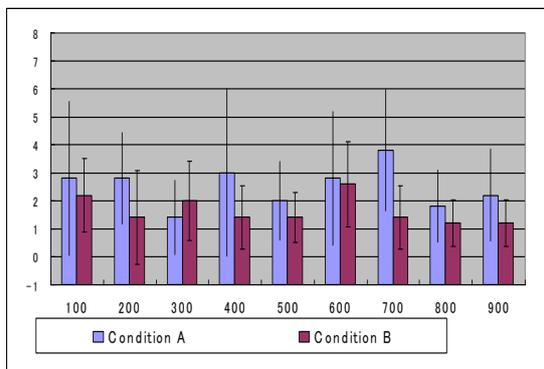


Fig.4 Operation error according to time history

条件A・Bで700秒での有意差があることにより、意識低下が720秒付近でおこるため、ブザーが徐々にランダムに発生する設定は慣れによる意識低下の抑制に効果があると示唆された。

しかし、条件A・Bで被験者5人中3人においては有意差があったが、残り2人において有意差がなかった。今後被験者の人数を増やすことと、慣れや意識低下の定義をより精密に行い、また、時間経過に伴って警告をランダムに与えるシステムを改良すれば、より有効的な結果が得られると考える。

また、「ブザーの全くならない設定」と「ブザーが常にランダムに発生する設定」も今後比較する必要がある。

1軸リニアスライダを前後に動かすという単純な作業ではミスの発生が少ないと考えられ、ヒューマンエラーの抑制方法の検証実験としては不十分であるかもしれない。また、15分以上の長時間操作する場合についてもさらに検討が必要である。

平成20年度は、ユーザへの情報提示とヒューマンエラー防止機能の開発を継続した。機器故障時に安全機能による停止状態を解除

し手動操作することを想定しリニアスライダシステムで実験した。前年度までの研究結果から、エラー発生の原因として不注意と意識低下があり、操作の初期では不注意が操作に慣れた後では意識低下が生じやすいと考えられる。指定した位置区間への移動と停止を繰り返す課題を被験者に与え、どの程度停止区間を超過するエラーを発生するかをさらに調べた慣れや意識低下の生じる時間に応じ漸次ランダムに警告を与えるアルゴリズムを前年度開発したが、慣れおよび意識低下の生じる時間について、被験者を増やし調べたところ個人差が大きく数種のパターンに分類できることがわかった。こうした個人差に対応できるようにアルゴリズムを改良した。また、これまでの結果を食事介助ロボットの設計に一部応用し有効性を検討した。基礎実験と応用の両面から今後の研究課題と考える。

実験装置は前年度と同じ装置を用い同じ条件で実施する。ただし、実験方法で、停止区間でブザーが「常に鳴る条件」と「鳴らない条件」で、以下の操作を1時間行う。

- ①モータ側リミットスイッチにスライダを当てる。
- ②スライダを最高速度で動かす。
- ③停止区間で停止する。区間で停止できなかったor停止区間まで届かなかったら失敗とする。
- ④モータ側リミットスイッチに戻って繰り返す。

実験結果として、実験データは個人差が大きく共通した内容を示すことが困難なため、今回は、各実験結果について特徴を記述することとした。

「ブザーが鳴る条件」での、時間とエラーの関係について述べる、エラー割合の移動平均を5人の各試行のデータを2つに分けた。データの一部をFig.5に示す。A~Cは被験者を示す。開始からエラー割合が減少傾向にあり、割合が増えている時期もあるが、全体としては右下がりの動きがある。また開始からエラー割合が減少傾向にあり、その後2人もほぼ同じ時間から増加傾向にある。

慣れに必要な時間については、スライダの往復回数から推察する。5人の各試行のデータを概略の傾向から2つに分けた。データの一部をFig.6として示す。開始直後のスライダの往復回数は低い、すぐに安定し実験終了まで続く、開始直後のスライダの往復回数は少なく、緩やかに増えていき、その後、回数が安定している。また、実験開始から終わりまで、ほぼ安定して操作をしていた。

「ブザーが鳴らない条件」での時間とエラ

一の関係について述べる、エラー割合の移動平均を、4人の各試行のデータを概略の傾向から2つに分けた。データの一部分をFig.7として示す。A~Cは被験者を示す。開始から10分程経過後から多少の上下はあるが、エラーの割合が安定し、横ばいの傾向がある。時間経過で上下の振れ幅は小さくなっている。開始後すぐに安定するが、後半になるとばらつきが多くなる。

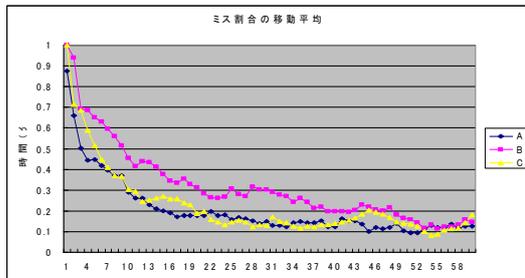


Fig.5 Experimental results of moving average of error ratio in slider system with warning sound

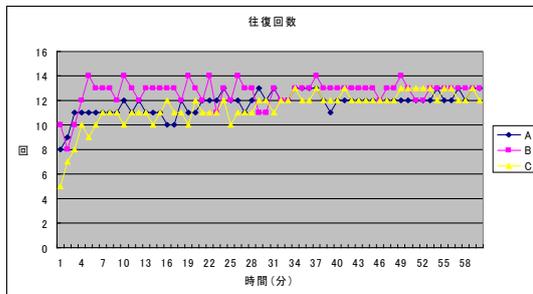


Fig.6 Experimental results of moving average of error ratio in slider system without warning sound

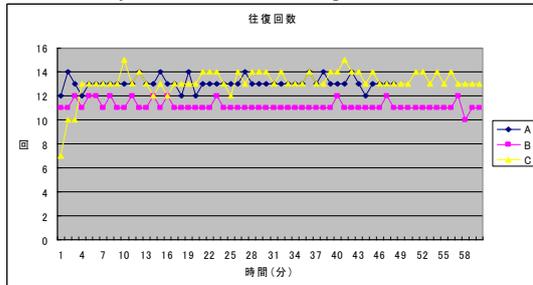


Fig.7 Experimental results of moving average of error ratio in slider system with warning sound

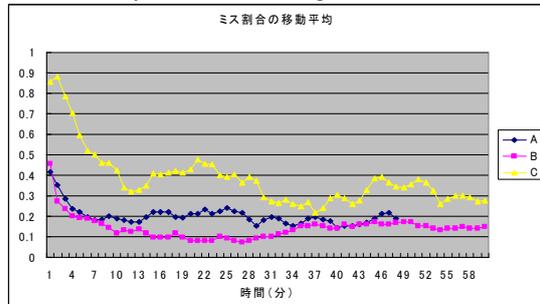


Fig.8 Experimental results of moving average of error ratio in slider system without warning sound

慣れに必要な時間について述べる。4人の

各試行のデータを概略の傾向から2つに分けた。データの一部分を Fig.8 として示す。開始直後から実験終了まで、直後は回数が少ないがほぼ安定してスライダを動かしている。

以下実験結果についての考察を述べる。時間とエラーの割合の関係については、ブザーが「常に鳴る条件」によると、開始から終了まで右下がりの動き、一度減少し、その後増加している2タイプがある。ブザーが「鳴らない条件」によると、ある程度まで減少し、その後横ばいの動き、開始後すぐに安定しているが、後半でばらつきが多くなっている2タイプがある。ただし、似たような傾向をしていても個人差がある。

慣れに必要な時間については、ブザーが「常に鳴る条件」によると開始時は往復回数が少なく、その後安定している動き、開始時は往復回数が少なく、その後緩やかに増加し安定している動き、開始時から終了までほぼ一定の往復回数で安定している動きの3タイプがある。ブザーが「鳴らない条件」によると、常になる条件と同じような傾向をしている。スライダ操作を行う際に、1分あたりの往復回数が安定し始める時期を操作に慣れたとしてよいと思われる。

以上より、昨年度の実験を行う際に、時間とエラーの関係はバスタブ曲線になるのではないかという仮定は、開始直後から減少し、エラーが増加している時期もあるが、今回の実験では確認出来なかった。

操作に慣れるまでの時間として、5分程度の時間がかかるとしたが、開始後すぐに慣れている様子が見せるが、5分とは言い切れない。エラー抑制策を考えるにあたり、個人差による違いを考慮しなければならない。

以上より、研究成果をまとめる。まず、平成18年度は、上記本研究目的のうち故障の検出機能と評価機能について、アルゴリズムの開発と実験装置の準備を行った。まず1自由度のニリアスライダとドライバ、制御系をダウンロードする制御ボックス、制御系を設計するPCから構成される実験系の開発を行い正常に動作することを確認した。ターゲットとする故障箇所として、スライダの両端にマイクロスイッチを配置し、通常は両端にテーブルが接近した際に停止信号を発するシステムとした。ハードウェアは一軸リニアスライダとして、両端にリミットスイッチとして小形マイクロスイッチを取り付けたものを使用した。平成19年度は、上記本研究目的のうちユーザへの情報提示とヒューマンエラー防止機能を開発した。機器故障時に安全機能による停止状態を解除し手動操作することを

想定しリニアスライダシステムで実験した。指定した位置区間への移動と停止を繰り返す課題を被験者に与えどの程度停止区間を超過するエラーを発生するか調べた。時間経過に応じ停止区間に対する警告を漸次ランダムに与えるアルゴリズムを開発した。このとき慣れの生じる時間と意識低下の生じる時間を実際に計測し、ランダム化のパラメータとして設定した。平成20年度は、ユーザへの情報提示とヒューマンエラー防止機能の開発を継続した。機器故障時に安全機能による停止状態を解除し手動操作することを想定しリニアスライダシステムで実験した。前年度までの研究結果から、エラー発生の原因として不注意と意識低下があり、操作の初期では不注意が操作に慣れた後では意識低下が生じやすいと考えられる。指定した位置区間への移動と停止を繰り返す課題を被験者に与え、どの程度停止区間を超過するエラーを発生するかをさらに調べた慣れや意識低下の生じる時間に応じ漸次ランダムに警告を与えるアルゴリズムを前年度開発したが、慣れおよび意識低下の生じる時間について、被験者を増やし調べたところ、個人差が大きく数種のパターンに分類できることがわかった。こうした個人差に対応できるようアルゴリズムを改良した。また、これまでの結果を食事介助ロボットの設計に一部応用し有効性を検討した。基礎実験と応用の両面から、今後の研究課題と考える。

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)

[学会発表] (計7件)

- ① 船崎翔太、榊泰輔、福祉機器のフォールトトレランス機能の開発、日本機械学会 ROBOMECH2009 講演会予稿集, CD-ROM, 2009年5月25日.
 - ② 船崎翔太、石川拓実、榊泰輔、福祉機器のフォールトトレランス機能の開発、日本機械学会九州学生会第40回卒業研究講演会論文集, 2009年3月9日.
 - ③ 榊泰輔、井上敦史他、福祉機器のフォールトトレランス機能の開発、日本ロボット学会第26回学術講演会予稿集、CD-ROM, 2008年9月11日、査読無.
 - ④ Taisuke Sakaki, An Effective Design Method for Welfare Robot and its Application to the Design of Meal-Assistance Robot, Proceedings of IEEE RO-MAN 2008, CD-ROM, 2008年8月2日.
- ⑤ 石井浩介、林久二人、榊泰輔 他、SMA患者のための電動ストレッチャの開発、日本機械学会九州学生会第39回卒業研究講演会論文集, 2008年3月18日.
 - ⑥ 井上敦史、三角尚輝、榊泰輔、福祉機器のフォールトトレランス機能の開発、日本機械学会九州学生会第39回卒業研究講演会論文集, 2008年3月18日.
 - ⑦ 山口輪、水落翔太、盈隼人、日垣秀彦、榊泰輔、宮永敬一、SMA患者のための電動ストレッチャの開発、(社)日本機械学会九州学生会第38回卒業研究講演会論文集, 2007年3月13日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榊 泰輔 (SAKAKI TAISUKE)

九州産業大学・工学部・教授

研究者番号：60373130