

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21246041

研究課題名（和文）

人間の危険源回避行動に着目した正味リスクの評価に関する研究

研究課題名（英文）

A study on net risk estimation taking human harm avoidance characteristics into consideration

研究代表者

山田 陽滋 (YAMADA YOJI)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：90166744

研究成果の概要（和文）：本研究は、危険源を回避しようとする人間の回避行動特性に関するもので、人間が受傷する際の正味のリスクが評価でき有用であることを、鋭利なハンドをもったロボットが人間と共働する実験状況下で達成することを目的とした。まず、健康な青年を対象とした心理学実験を実施し、回避反応特性に有意な個人差があることを示した。つぎに、コンピュータ上が人間の認知特性を考慮しつつ、眼部に衝突する状況を外挿シミュレーションにより調査した。さらに、ダミー眼を開発し、人間の眼部における傷害の重篤度を調査した。

研究成果の概要（英文）：The study concerns investigation into human harm-avoidance action characteristics for estimating a net risk when a mechanical hazard attacks human eyes. A psychological experiment is conducted in the situation where a sharp endeffector tip of a robot suddenly approaches the eyes of healthy young facing participants. First, we found by a nonparametric test a significant difference of the characteristics between individuals. Second, we developed an extrapolation simulation to observe a virtual collision between the robot and a human model with human cognitive aspect taken into account. Finally, we developed a dummy eye to investigate the avoidance/mitigation possibilities for estimation of the severity of eye injury.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	25,500,000	7,650,000	33,150,000
2010年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
総計	36,500,000	10,950,000	47,450,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学、機械システム

キーワード：回避可能性、リスク見積り、反応時間、ダイナミックダミー、眼瞼

1. 研究開始当初の背景

機械安全の分野において、機器の設計段階におけるリスクアセスメントは、必要欠くべからざるプロセスである。しかし、リスクアセスメントの結果が合理性を欠き、社会的に受け入れられない状況を招くことがしばしばある。たとえば、人間と共存できるように、華奢でかつ柔軟被覆等で覆って安全な形態

をとるロボットでも、その作業仕様から、把持部品に鋭利な形状部が含まれる場合、以下に示す、現実とかけ離れた安全方策が要求される。すなわち、「もし、ロボットによって把持された部品が作業者の目を突いたら」とのシナリオに基づき、人間は、防護メガネをかけることなくロボットと共存することが許されなくなる。

われわれは、このシナリオが現実に即さない原因のひとつとして、迫る危険源に対して人間自身が回避行動を起こそうとする通性が、リスク頻度の見積もり考慮される第3の要素である回避可能性として考慮されていないことに着目し、本研究課題の提案を行った。このように、回避可能性に着目し、リスク評価に資する実験に裏付けられた定量的なデータと解析手法を提供する研究課題は、これまで世界的に報告された例が存在しない。

2. 研究の目的

本研究では、機械安全のためのリスクアセスメント過程において、人間が受傷するリスクを見積もる際に、危険源を回避しようとする人間の行動をも考慮に入れた正味のリスクが評価でき有用であることを、鋭利なハンドをもったロボットが人間と共働する実験状況下で達成することを目的とする。正味リスクを議論するためには、ロボットとの干渉によって危険源が現実化し重篤化することを人間が避けようとする、ぎりぎりの(臨界の)状態を実験的に作り出さなければならない。そこで、シミュレータおよび、ダイナミックダミーと申請者が呼ぶ実験ツールを用いることによって、臨界状態を安全に作り出すことができる実験スキームを確立する。そして、そのような実験に基づいて、正味リスクを適正に評価するデータを生成できるような数学モデルを構築しその有用性を示すこと、それが本研究の全体構想である。

3. 研究の方法

(1) 心理学実験

人間の回避動作の特性を調査するために、下記①②の観点から考慮したうえで、実験参加者を公募し心理学実験を実施した。安全に十分留意して実験環境を構築し、名古屋大学工学部倫理部会の承認を得た。実験では、図1に示すように、作業中の参加者の眼部に向かってロボットのエンドエフェクタを突然接近させ、そのときの人間の回避動作をモーションキャプチャシステムにより捉えた。

① 作業の違い

参加者に2種類の作業を指示し、作業の違いが人間の回避動作の特性に与える影響を調査した。作業として、ピンセットを用いてベアリングのリング間に機械部品を挿入する作業Aと、リング間の機械部品を取り除く

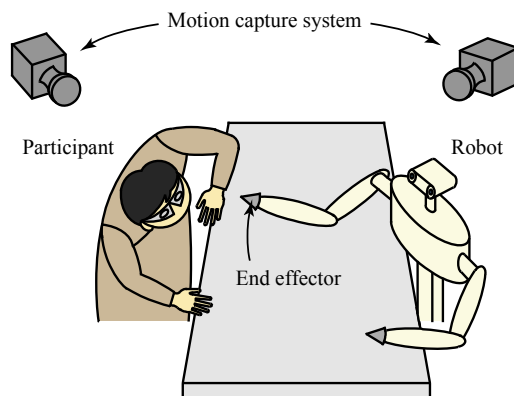


図1 心理学実験のイメージ

作業Bを設定した。

その後、追加実験として、4種類の作業を設定する実験を実施した。上記の作業A、Bに加え、液晶ディスプレイに表示される文書を黙読する作業Cと、ベアリングのリング間の部品を注視する作業Dを設定した。

② エンドエフェクタの初期位置の違い

エンドエフェクタの初期位置を3パターン設定し、人間の眼部とエンドエフェクタ先端との初期距離が人間の回避動作の特性に与える影響を調査した。

(2) 回避反応時間の解析

人間の回避動作の特性を表すパラメータとして、エンドエフェクタが接近運動を開始してから参加者の頭部が運動を始めるまでの時間を「回避反応時間」と定義した。心理学実験で得られたデータから、カーネル密度推定法を用いて回避反応時間の確率分布を推定した。また、ノンパラメトリック検定を実施し、条件の違いにより回避反応時間に有意差があるかや、回避反応時間に有意な個人差があるかを調査した。

(3) 外挿シミュレーション

心理学実験では、参加者の安全に配慮し、参加者の眼部の手前でエンドエフェクタを停止させた。そのため、エンドエフェクタが参加者に衝突する状況を観測することはできなかった。そこで、コンピュータ上でエンドエフェクタが人間の眼部に衝突する状況をシミュレートした。シミュレーションでは、エンドエフェクタの接近運動を延長させ、心理学実験で観測された参加者の回避動作と同様に運動するヒューマンモデルに衝突させた。このようなシミュレーションを、心理学実験の結果を外挿するという意味で「外挿シミュレーション」と名づけた。

(4) エンドエフェクタによる眼部衝突実験

人間の眼部における傷害の重篤度を調査するために、ダミー眼を開発した。ダミー眼

は、豚の眼球、人工眼瞼およびこれらを動作させる機構などで構成された。このダミー眼に、人間の回避・軽減動作を考慮して設定した衝突条件のもと、ロボットの鋭利なエンドエフェクタを衝突させる実験を実施し、予想される傷害の重篤度を調査した。

① 静的眼部衝突実験

静止状態のダミー眼にエンドエフェクタを衝突させた。人間の回避・軽減動作を考慮して、衝突位置、衝突角度、開瞼・閉瞼の三つの衝突条件を変化させ、各条件が重篤度に及ぼす影響を調査した。

② 動的眼部衝突実験

閉瞼に伴って眼球が上転する Bell 現象を考慮し、眼球が上転しているときにエンドエフェクタを衝突させ、Bell 現象が重篤度に及ぼす影響を調査した。

4. 研究成果

(1) 人間の回避動作特性

3. (2)の解析の結果、図2および図3に示す回避反応時間分布が得られた。図2より、分布のピークの位置は作業の種類によって著しくは異なることがわかった。図3より、分布のピークの位置はエンドエフェクタの初期位置のパターンによって異なり、人間の眼部とエンドエフェクタ先端との初期距離が短いほど回避反応時間が短い傾向が見られた。

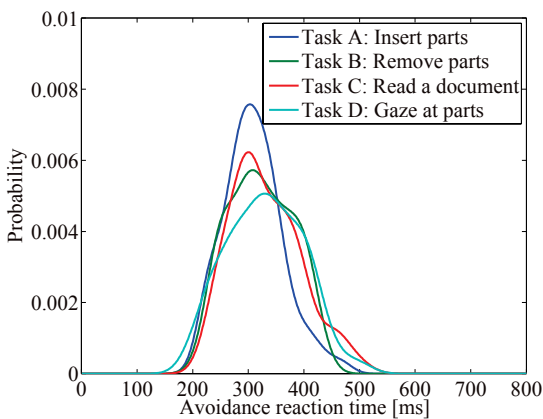


図2 作業別の回避反応時間分布

また、ノンパラメトリック検定の結果、回避反応時間は、作業の種類に依存するとはいえないこと、および人間の眼部と接近物体との初期距離に依存することが示唆された。さらに、回避反応時間には有意に個人差が認められた。これまで未知であった人間の回避動作の特性に関する知見が得られた。今後も心理学実験を実施し、人間の回避動作の特性についてさらに調査していく必要がある。

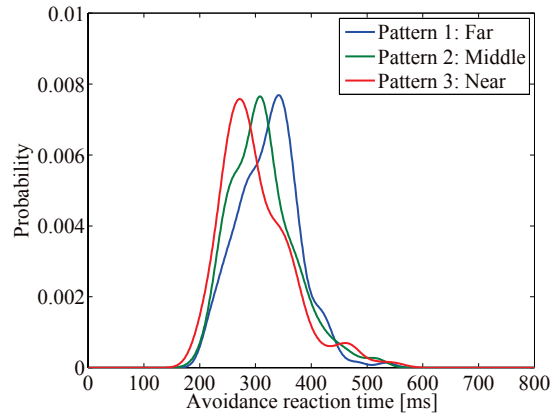


図3 エンドエフェクタの初期位置別の回避反応時間分布

(2) 衝突条件

3. (3)のシミュレーションの結果から、人間の眼部に衝突してしまうエンドエフェクタの運動条件を導出した。そして、人間とロボットが安全に共存できる、ロボットの運動条件と人間との相対位置関係を定量的に示した。エンドエフェクタの制限速度が1m/s、人間の眼部との初期距離が450mmの条件では、10mm程度エンドエフェクタの可動域を延長したとしても人間の回避動作により安全であるとの結果を得た。眼部への傷害に関して、この10mmの差が危害の重篤度に大きな差異をもたらす可能性もあり、今後考察を深める必要がある。

これまで、人間の回避行動を考慮して生産現場の環境が設計されることはなかった。本研究は、回避可能性を考慮したリスク見積もりや生産現場の環境設計に貢献するものである。

(3) 眼部における傷害の重篤度

3. (4)の衝突実験により、各衝突条件が重篤度に差異をもたらすことが確認された。

① 静的眼部衝突実験

実験結果を表1に示す。衝突位置については、強膜のほうが角膜よりも重篤度は低く見積もられた。衝突角度については、眼球の法線方向からの角度が大きいほど重篤度が低く見積もられた。また、眼瞼が安全防護に寄与することがわかった。

表1 衝突実験の結果

		0°	30°	45°
Cornea	Open eyelid	×	△	△
	Close eyelid	×	△	△
Sclera	Open eyelid	△	○	○
	Close eyelid	○	○	○

- ：肉眼では傷を確認できない
- △：表面に受傷
- ×：眼球に穿孔し、硝子体が漏れ出す

② 動的眼部衝突実験

Bell 現象によって眼球が上転しているときに衝突した場合に傷の形状が変化したことから、Bell 現象が重篤度に影響を及ぼす重要なファクターの一つであることがわかった。

回避・軽減動作は、これまでの眼部衝突実験では考慮されてこなかったが、正確にリスクを見積もるためには必要不可欠であると判断された。今後は、エンドエフェクタの接近に関する運動パラメータや人間が回避動作をとるタイミング等の衝突条件、および実験の試行回数を増やして、当該リスクをより統計的に見積もる必要がある。

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 服部貴政、山田陽滋、森周司、岡本正吾、原進、眼への衝突による危害の回避可能性を見積もるための回避動作特性に関する心理学実験、日本ロボット学会誌、2012、査読有 (in press)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 服部貴政、山田陽滋、岡本正吾、森周司、原進、山田峻輔、個人に着目した眼に迫る機械的危険源に対する回避動作特性に関する研究、第 17 回ロボティクスシンポジウム、2012 年 3 月 15 日、萩
- ② 山崎良太、伊藤聡一郎、服部貴政、山田陽滋、岡本正吾、原進、機械的危険源に対する人間の閉眼に伴う Bell 現象を考慮した眼部衝突実験、日本機械学会東海学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会、2012 年 3 月 14 日、名古屋
- ③ 伊藤聡一郎、山田陽滋、服部貴政、岡本正吾、原進、人間の回避・軽減動作を考慮した鋭利物体の眼部衝突実験による重篤度調査、第 29 回日本ロボット学会学術講演会、2011 年 9 月 7 日、東京
- ④ 砂田宏二、山田陽滋、服部貴政、岡本正吾、原進、人間の回避動作特性を考慮した眼部へのロボット衝突シミュレータ、第 29 回日本ロボット学会学術講演会、2011 年 9 月 7 日、東京
- ⑤ 服部貴政、山田陽滋、森周司、岡本正吾、原進、眼に迫る危険源に対する人間の回避動作に関する反応時間分布の推定とモデリング、第 29 回日本ロボット学会学術

講演会、2011 年 9 月 7 日、東京

- ⑥ 服部貴政、山田陽滋、森周司、岡本正吾、原進、眼に迫る危険源に対する人間の回避動作に関する心理学実験、日本視覚学会 2011 年夏季大会、2011 年 8 月 3 日、福岡
- ⑦ 服部貴政、山田陽滋、森周司、岡本正吾、原進、危害の回避可能性の見積もりを目的とした回避動作特性解明のための心理学実験、安全工学シンポジウム 2011、2011 年 7 月 7 日、東京
- ⑧ 服部貴政、山田陽滋、森周司、江崎翔、原進、人間・ロボット共存系を対象とした心理学実験に基づく危害回避行動特性に関する研究、電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会、2010 年 6 月 24 日、弘前

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/research/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 陽滋 (YAMADA YOJI)
名古屋大学・工学研究科・教授
研究者番号：90166744

(2) 研究分担者

森 周司 (MORI SYUJI)
九州大学・大学院システム情報科学研究科・教授
研究者番号：10239600
(H22→H23)
原 進 (HARA SUSUMU)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：40329850
岡本 正吾 (OKAMOTO SYOUGO)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：10579064
(H22→H23)
長谷 和徳 (HASE KAZUNORI)
首都大学東京・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：10357775

(3) 連携研究者なし