

報告番号	※ 甲 第 10683 号
------	---------------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目      Analyses on Harm-Avoidance Actions against a Mechanical Hazard  
                 Suddenly Attacking an Eye for Human-Robot Cooperative Systems  
                 (人間・ロボット協働系のための眼を急襲する機械的危険源に対する  
                 危害回避動作の解析)

氏 名      服部 貴政

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、人間・ロボット協働系のために、人間の危害回避動作の解析と人間・ロボット衝突シミュレーションの提案を行う。まず、暴走状態になったロボットの鋭利なエンドエフェクタが、ロボットの正面に座っている人間の眼を急襲するというシナリオのもと、ロボティクス分野で初めての心理学実験を実施し、人間の危害回避動作の特性と個人差を統計的に明らかにする。そして、人間の危害回避動作を考慮して人間・ロボット協働系の安全性を定量的に見積もる方法を新たに提案する。本研究の成果は、人間の危害回避動作を考慮して安全な人間・ロボット協働系を構築するのに資するものである。本論文は、以下の5章で構成される。

第1章では、本研究の背景と関連研究について述べられる。現在、生産現場において、人間とロボットが協働する生産システムが期待されている。この理由は、この生産システムが高い生産性をもたらすと考えられるからである。このような人間・ロボット協働系では、人間の安全を確保することが不可欠であり、安全を確保するためにライトカーテンなどの保護装置を導入した協働系に関する研究がこれまで行われてきた。しかしながら、保護装置が監視に必要とする安全距離の存在により、生産のために使用できるスペースが減少することで、生産性が低下してしまうという問題が生じる。そこで、保護装置を設置することなく安全な人間・ロボット協働系を構築できないか検討する。その際、ロボットの把持する鋭利な部品が人間の眼に接近し衝突するという事象に着目する必要がある。なぜなら、眼は他の身体部位と比べて重篤な危害を負いやすい特異な部位だからである。一方で、人間は危害を避けようと回避動作をとる通性を持っており、この危害回避動作を考慮したうえで、人間・ロボット協働系の安全条件を見積もる必要がある。しかし、人間の危害回避動作については、統計的な調査がこれまで行われてこなかった。

第2章では、人間の危害回避動作の知覚的特性に関する解析調査について述べられる。まず、心理学実験Iとして、実験参加者が4種類の課題を行っているときに、ロボットのエンドエフェクタを参加者の眼部に突然接近させる実験を実施した。課題の内容はそれぞれ、部品の挿入、部品の除去、文書の黙読、部品の注視とした。実験の結果、回避反応時間は人

間が行う課題の種類に依存するとはいえないことが示唆される。つぎに、参加者の眼部とエンドエフェクタとの初期距離を3パターン設定した心理学実験IIを実施した。その結果、回避反応時間は人間の眼部とエンドエフェクタとの初期距離に依存すること、初期距離が短いほど回避反応時間が短いことが示唆される。また、最大回避加速度と最大回避速さは初期距離に依存するとはいえないことが示唆される。

第3章では、人間の危害回避動作の個人差に関する解析調査について述べられる。まず、心理学実験IIのさらなる解析のために、既存のSteel-Dwass検定を拡張し、多変量データを統計的に検定するためのノンパラメトリック多重比較法を新たに導出する。この検定の結果、回避反応時間と最大回避速さの2変量は多くの参加者の組で異なることが示される。加えて、危害回避動作時の筋電図に着目した心理学実験IIIを実施した結果、2名の参加者間で回避反応時間と筋電図反応時間は異なること、電気力学的遅延は異なるとはいえないことが示される。

第4章では、回避可能性を見積もるための人間・ロボット衝突シミュレーションについて述べられる。まず、人間の危害回避動作モデルを人体の構造に基づいて構築する。そして、心理学実験において危害回避能力がより低かった参加者の運動データに対して、逆運動学と逆動力学を用いることにより、危害回避動作時の関節トルクを算出する。ここで、加齢による危害回避能力の低下を考慮し、加齢した場合の関節トルクと回避反応時間を算出する。この結果に対して、順動力学と順運動学を用いることにより、加齢した場合の危害回避動作を生成する。一方、ロボットについては、可操作性楕円体の概念を用いて、ロボットの暴走時におけるエンドエフェクタ先端の可動ボリウムを算出する方法を提案する。この可動ボリウムと、生成した危害回避動作による人間の眼球の可動ボリウム、さらに両者に共通するボリウムに基づいて、人間の眼球とエンドエフェクタ先端が衝突する確率を見積もる方法を新たに提示する。

第5章では、本論文のまとめと今後の展望について述べられる。