

氏名	ほりぐち ゆきお 堀 口 由 貴 男
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2516 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科精密工学専攻
学位論文題目	Design of Co-Adaptive Interface System for Supporting Joint Task by Human and Machine Autonomies (人間と自律機械による共同作業を支援する共適応インタフェースシステム の設計)
論文調査委員	(主査) 教授 榎木 哲夫 教授 吉村 允孝 教授 松久 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、人間による操作と自動化された機械制御が並立する人間機械系において、相互の干渉や齟齬による過誤を防ぎ円滑な共同作業を達成することを目的に、人間の遂行する操作技能の構造、自動機械との間で共有すべき情報、人間との共同作業のために自動機械が具備すべき適応機能、の3つの観点に立つ新たなインタフェース・システムの設計について論じている。具体的には、人間操作と自律制御が共存する機械システムの検証実験環境となる移動ロボットの遠隔操縦系を構築し、実験からのモデル生成、システム設計、検証実験とその評価、に基づく新たなインタフェース設計法を提案している。本論文は7章から構成されており、前半部の3章から4章では、人間オペレータがロボットをツールとして使いこなす際の技能遂行に関わる特性について論じている。そして後半部の5章と6章では、準自律機能を有するロボットと人間による共同作業の環境下において、人間と機械の各々が得意とする能力を発揮し、欠落する機能を補完し合うシステムの設計について論じている。各章の詳細は以下の通りである。

第1章は序論であり、今日の自動化技術の盲目的な現場への導入が、新たな人的過誤をもたらしている問題を提起し、これらを解消するための人間機械協調系の設計論について述べている。

第2章では、本論文の主テーマとなる「共適応インタフェース」の概念について、従来の方法論や理論との関連性についてまとめている。

第3章では、仮想現実感を用いたロボット遠隔操作系を構成し、仮想現実空間の中での人間オペレータの技能遂行を解析してその構造を明らかにしている。この構造を、遠隔における現実世界でのロボット-環境間の作業に写像するための制約として、異種の行為主体が遂行する作業構造の間の斉一性に関する「同型性」の概念を新たに提起し、オペレータが作業対象を直接知覚し直接操作できる作業感覚を実現するための設計規範としている。

第4章では、遠隔操縦ロボットを用いた探索活動を想定し、人間オペレータが、遠隔地で作業に当たるロボットから送られてくる映像をモニターしながらロボットへの操作指示を行う遠隔作業を扱っている。このような遠隔操縦系では、オペレータの利用可能な知覚情報や行動選択が制限を受け、状況認識に強い制約が付与される。このような限界を克服するために作業に熟練したオペレータが用いている経験的な操作戦略を実験より同定し、カメラ映像から得られる光学的流動の解析に基づいて、生態学的視点からその普遍性について明らかにしている。

第5章では、人間・機械相互の判断整合のための共有情報のモダリティを特定し、これを用いた人間と機械の間での相互主導型の作業場を実現するためのインタフェース設計の提案を行っている。得られた実験データに対して生態学的解析手法であるレンズモデル分析を適用し、共有モダリティ上での作業の相互参照機会が双方に開示されることで、人間オペレータに自律的な判断方策の修正が進行し、共同作業の円滑な遂行のために担うべき役割がロボットとの間で分化していく過程を定量的に明らかにしている。

第6章では、機械の側の自律的判断の機構として、人間の作業に介入する方式を動的に調整するための手法の提案を行っ

ている。さまざまな協調形態による性能比較実験を行い、人間と機械の双方の自律判断系において、常に相手からの操作介入に対して競合と同調の状態を繰り返すことで、単独の系では成しえない、協調系に固有な構造安定が自己組織される適応現象について明らかにしている。すなわち、共同作業の遂行状況や共同作業経験の蓄積に伴って、人間と機械のシステム全体への寄与の様相が変化し、かつその全体からの影響を受けて人間と機械の双方が自律的な調整能力を発揮することで、各々が得意とする役割を見だし、相手に欠落する機能を補完し合う自己組織型のシステムの設計が可能になることを示している。

第7章は結論で、本論文で得られた成果と、今後に残された課題についてまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、人間による操作と自動化された機械制御が並立する人間機械系において、相互の干渉や齟齬による過誤を防ぎ円滑な共同作業を達成することを目的に、人間の遂行する操作技能の構造、自動機械との間で共有すべき情報、人間との共同作業のために自動機械が具備すべき適応機能、の3つの観点に立つ新たなインタフェース・システムの設計について論じている。具体的には、人間操作と自律制御が共存する機械システムの検証実験環境として移動ロボットの遠隔操縦系を構築し、実験からのモデル生成、システム設計、検証実験とその評価を行っている。本論文の主要部分をまとめると以下のようになる。

1. 人間オペレータがロボットをツールとして使いこなす際の技能遂行に関わる特性について論じている。すなわち、仮想現実感を用いたロボット遠隔操作系を構成し、仮想現実空間の中での人間オペレータの技能遂行を解析してその構造を明らかにしている。この構造を、遠隔における現実世界でのロボット-環境間の作業に写像するための制約として、作業構造の間の斉一性に関する「同型性」の概念を新たに提起し、オペレータが作業対象を直接知覚し直接操作できる作業感覚を実現するための設計規範としている。また遠隔操縦ロボットを用いた探索活動を想定し、人間オペレータが、遠隔地で作業に当たるロボットから送られてくる映像をモニターしながらロボットへの操作指示を行う遠隔作業を対象として、熟練したオペレータが用いている経験的な操作戦略を実験より同定している。ここでは、カメラ映像から得られる光学的流動の解析結果に基づいて、生態学的視点からその普遍性について明らかにしている。
2. 準自律機能を有するロボットと人間による共同作業の環境下において、人間と機械の各々が得意とする能力を発揮し、欠落する機能を補完し合う人間-機械協調系の設計について論じている。すなわち、人間・機械相互の判断を整合させるための共有情報のモダリティを特定し、これを用いた人間と機械の間での相互主導型の作業場を実現するインタフェースを設計することでロボットの認識内容に対する共有が改善される。この結果、人間オペレータに自律的な判断方策の修正が進行し、共同作業の円滑な遂行のために担うべき役割が、ロボットとの間で分化していく過程を定量的に明らかにしている。さらに機械の側の自律的判断の機構として、人間の作業に介入する方式を動的に調整するための手法の提案を行い、単独の系では成しえない、協調系に固有な構造安定が自己組織される適応過程について明らかにしている。

以上要するに、本論文は、システムの制御に共に寄与する人間と機械の間で、いかなる相互作用場の設計と適応機能が必要となるかをシステム工学の観点から追究するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年2月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。