

Graduate School of Creative Science and Engineering  
Waseda University

博士論文審査報告書  
Doctoral Dissertation Review Report

論文題目  
Dissertation Title

Design of Supernumerary Robotic Limb Interface Considering Attention  
Allocation in Dual-presence Task

Dual-presence Taskにおける注意分配を考慮した拡張肢インタフェースの  
設計

申請者  
(Applicant Name)  
Yukiko IWASAKI  
岩崎 悠希子

Department of Modern Mechanical Engineering    Research on Neuro Robotics

February, 2022

## (1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す。

- 2021年11月25日 予備審査会
- 2021年12月2日 教室会議受理決定
- 2021年12月16日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- 2022年1月10～15日 博士論文読み合わせ会
- 2022年1月10・13日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施
- 2022年1月19日 公聴会
- 2022年2月8日 審査分科会
- 2022年2月25日 研究科運営委員会予定

## (2) 論文背景・内容・評価

多忙な現代社会の日常生活では、一人の人間が同時に行うことのできるタスクの数を増大させて「ながら作業」を可能にすることにより、作業時間を短縮して QOL の向上に貢献することができる。近年、全自動システムでは対応しにくい日常生活における多様な作業要求にアプローチするため、拡張身体としてユーザが自分の身体のように用いることのできる装着型ロボットアームの開発が盛んになっている。しかし、このような拡張身体システムを生来の身体と同時に操ることは人間にとってデュアルタスクとなるが、人間の注意リソースには限界があるために従来の操作型ロボットアームを装着しただけではこのようなデュアルタスクを効率よく遂行することは難しいとされている。また、拡張身体システムのほとんどは装着型を基本として設計されているが、日常生活では離れた二つの部屋で同時に作業の要求が発生することがある。このような状況に対応するためには、身体は一か所にのみ存在できるという既存の発想を打破し、自分が二か所に同時に存在しているという Dual-presence の状態で効率的ながら作業が可能な新しい拡張身体システムが必要である。

以上の背景から、本論文では、場所を問わずにしながら作業である Dual-presence タスクの達成を目的として、人間の注意特性に基づいた拡張身体的设计論の構築を行っている。具体的には、Dual-presence タスクのための拡張身体システムとして着脱可能な拡張身体 Detachable body という新しいアプリケーションを提案している。また、これを用いて Dual-presence タスクを行う際にタスク効率を低下させる三つの要因を(1) 継続的な操作行動による注意負荷、(2) 拡張身体への不信感による注意負荷、(3) 環境情報の同時処理による注意負荷と仮定して、人間の注意分配特性に基づく三つの设计論の導出を行っている。(1) では、従来のマスタースレーブ式の操作に対して少ない注意で指示が可能な随意操作システムとして、顔の向きで対象を指し示し、音声命令で動作を行う半自動の間欠指示システムを提案した。

これは眼鏡型インタフェース装置に実装され、1cm程度の精度で指示を可能とした。一方、指示位置を視覚的に示す目的で導入したレーザーポインターは、指示の精度は向上するものの、自然体でのタスクのパフォーマンスを低下させることを示した。この結果から、操作では多少の誤差を許容しても可能な限り少ない注意力で操作できる方法を選択することが望まれるという設計思想を示唆した。(2)では、半自動制御中に拡張身体の状態が不明になることへの不安感を低減するため、体性感覚により拡張身体の姿勢情報を知ることができるフィードバック(FB)システムを提案した。これは振動子配列を内蔵したベルト型装置に実装され、エンドエフェクタの位置を10cm程度の精度で特定可能とした。また、本システムによって作業中の拡張身体が目視確認の回数を低減しタスクのパフォーマンスが向上する傾向にあることを実験によって示した。この結果から、拡張身体の実操作に自動制御が含まれる場合、ロボットアームの状態を体性感覚系で伝達することで動作中の不安感を低減できるという設計思想を示唆した。(3)では、二地点からの環境情報を混乱させずに提示する方法として、両眼視差によって重畳表示された環境の半透明映像を識別可能なDual-presenceシステムを提案した。これは視点からの提示距離を変化させた二枚の環境映像をヘッドマウントディスプレイ内に提示することで実装された。視差ありの状態では、ユーザは現在地の物体と遠隔地の物体を即座に識別でき、約90%の正答率を示した。また、Dual-presence課題の遂行においても、タスクのパフォーマンスとNASA TLXによるユーザビリティの主観評価は、視差があるときに最も優れていることが分かった。このことから、Dual-presence状態ではすべての情報が平等に与えられるよりも、ユーザが自身の注意の焦点の所在を明確にできるような情報の与え方が望まれるという設計思想を示唆した。

以上を要するに、本論文は、Detachable bodyという新しい拡張身体の実現によって離れた二地点で同時に発生するDual-presenceタスクの達成を掲げ、人間の注意特性に基づいた拡張身体の実設計論を提案している。これまでも拡張身体システムに関する研究は行われているが、両腕を用いない操作手法の模索や装着型のハードウェア設計に重点が置かれ、ながら作業そのものの成立性やそのための設計要素に関しては明らかにされてこなかった。これに対して、ながら作業の成立性の観点から人間の注意特性を考慮した設計思想を示したこと、またそれを離れた二地点におけるながら作業に適用して切り離せる身体という斬新なコンセプトを示したことは画期的な成果であり、今後の拡張身体研究の実発展に新しい方向性を示すとともに次世代の人間機械共創社会の実発展へ大いに貢献するものである。よって、本論文は博士(工学)早稲田大学の学位論文として価値のあるものと認める。

(本文終わり)

2022年2月

審査員

主査 早稲田大学 教授  
博士（工学） 早稲田大学  
岩田 浩康

---

早稲田大学 教授  
工学博士 早稲田大学  
菅野 重樹

---

早稲田大学 教授  
博士（工学） 早稲田大学  
上杉 繁

---

豊橋技術科学大学 教授  
博士（学術） 東京大学  
北崎 充晃

---