RHIにおける身体所有感の転移を応用した マスタスレーブシステム操作性向上に関する研究 —能動触による身体所有感の転移増強に関する報告—

Study on Operability Improvement for Master Slave System based on Body Ownership Transfer in RHI — Augmentation of Body Ownership Transfer by introducing Active Touch —

正 荒田 純平 (名工大) 〇学 服部 将士 (名工大) 市川 翔平 (名工大) 正 坂口 正道 (名工大)

Jumpei ARATA, Nagoya Institute of Technology, jumpei@nitech.ac.jp
Masashi HATTORI, Nagoya Institute of Technology
Shohei ICHIKAWA, Nagoya Institute of Technology
Masamichi SAKAGUCHI, Nagoya Institute of Technology

Body ownership transfer in rubber hand illusion is a well known haptic illusion in the literature. In this study, we introduce the body ownership transfer into a master slave system to realize a further operability. As a preliminary test, we developed a 1 DOF rubber hand master slave system and investigated the effect of active and passive haptic interaction on the body ownership transfer.

Key Words: Haptic device, Body ownership transfer, Rubber Hand Illusion, Master slave system

1. はじめに

繊細な作業や遠隔での作業に、マスタスレーブシステム (MSS) を導入することで、より効率的に作業を行うことが可能である。例えば、手術用ロボットでは、多自由度の小型ロボットを体内に挿入し、操作することで、従来の外科手術よりも巧緻な治療を行うことができる。この様に、近年、ロボット工学の発展に伴い、より巧緻な作業が可能とすることが MSS に求められており、高い操作性の実現が課題となっている。MSS の操作性を向上させる手法として、システムの時間応答を高める、良好な視野を確保する、Eye-hand Coordination と呼ばれる、マスタスレーブ間の幾何学関係を一致させる等の試みがある。本研究では、MSS の操作性をより向上させる手法として、他の物体をあたかも自分の身体の一部として感じる心理学的な錯覚現象である、身体所有感の転移現象に着目した。ロボットに操作者の身体所有感の転移が可能であるならば、MSS の操作性が向上が期待できる。そこで本研究では、身体所有感の転移現象の代表的な例として挙げられる Rubber Hand Illusion (RHI) に基礎的な MSS を導入することで、効率的に身体所有感の転移を可能とする条件を調べ、MSS 操作性向上へ活用する手法について研究している。本稿では、開発したシステムによって、従来の RHI よりも効果の高い身体所有感の転移が生起することを明らかにしたので報告する。

2. Rubber Hand Illusion

Rubber Hand Illusion (RHI) とは、Botvinick らにより報告された身体所有感の転移現象である [1]。この錯覚は Fig.1 の様に、机上に見える位置に Rubber hand と、衝立により被験者の視野外に配置した被験者の手 (Real hand) を並べて配置し、Rubber hand と Real hand の同位置に同期した刺激を与えることで、Rubber hand をあたかも自分の身体として錯覚する現象である。

RHI における身体所有感の転移を定量的に評価する方

Fig.1 Rubber Hand Illusion

Fig.2 Drift distance in RHI

法として、ドリフト量評価がある。RHI 実験前後で、机上にある被験者の手の知覚位置を机の裏から指示させることで、実験後には Real hand の知覚位置が Rubber hand 側に移動する。この知覚位置の移動量がドリフト量であり、Tsakiris らの実験 [2] によると、ドリフト量は錯覚の強度により変化し、強い錯覚が起きているほど Rubber hand 側に大きくドリフトするとされる。ドリフト量は、他方の手により机の裏側から被験者自らの Real hand が存在すると思われる点 (本研究では中指付け根部とした) を指示させることにより得られる。本研究では、Fig.2 に示す様に、被験者からは死角となる衝立の奥 (右) 側に被験者の右手 (Real hand)、手前 (左) 側に Rubber hand を 150mm 離れた位置に設置し、実験前後におけるドリフト量を測定することで、身体所有感の転移について検討し

Fig.3 RH-MSS

た. なお, 実験前の知覚位置を基準とし, x 方向 Rubber hand 側を正のドリフト量とした.

3. Rubber Hand-Master Slave System

本研究では, RHI 実験環境へ, 基礎的な MSS を導入することで, MSS における身体所有感の転移について検討する. さらに, 得られた知見をもとに, 巧緻な作業を可能とする MSS の開発を目指す. そこで, 基礎的な MSS として, 1 自由度 Rubber Hand-Master Slave System (RH-MSS) を開発した (Fig.3). マスタには, 光学式エンコーダを搭載し, 人差指 MP 関節の回転角度を取得可能である. スレーブは, 人手を模した形状であり, 人差指 MP 関節を DC サーボモータにより駆動する. スレーブの指はウレタン樹脂により製作し, 人の指と同等の硬さとなっているため, 人の指が物体に触れた場合とほぼ同様の変形等を示す. なお, 実験時には, スレーブに従来の RHI と同様の Rubber hand を装着する. システムの機械的仕様は, マスタ, スレーブ間の位置に関する時間遅れが 2ms, 角度誤差が 0.017deg であり, 高い追従性を示した.

4. MSS における身体所有感の転移

触覚には, 外界から物に触れられる受動触と, 自ら物に触れる能動触がある. 従来の RHI では Rubber hand は静止しているため, 能動的な動作を伴う能動触における身体所有感に関する影響は検討されてこなかった. 本研究では, 開発した RH-MSS により, この影響について検討する.

4.1 方法

本実験では, 健常者 9 名 (男性 8 名, 女性 1 名, 22-25 歳, 右利き) に対して, 以下の様に行った. なお, 実験中は被験者にイヤホンによりホワイトノイズを提示した. また, Fig.1 の様に, 腕と Rubber hand の付け根部に覆いを施した.

(a) 従来の RHI : Fig.1 に示す構成により, RHI 実験を行った. Rubber hand と Real hand の同位置に同期した触刺激を, ブラシのストロークにより 5 分間与えた. 刺激前後には, 机の裏面より被験者の右手中指の付け根を左手で指示させ, ドリフト量を測定した.

(b) RH-MSS による受動触 : 従来の RHI 実感環境に RH-MSS を導入し, 実験 (a) と同様の試行を行った. なお, この時 RH-MSS は動作させなかった.

(c) RH-MSS による能動触 : 実験 (b) と同様の構成において, 被験者に 1~3 秒のピッチで机面を 5 分間タップ動作するように指示した. また, スレーブも同期して机面をタップしていた. この時, タップした時の能動触感覚は被験者にも提示される点に注意されたい.

(d) RH-MSS による受動触と能動触の混合 : 実験 (b) と同様の構成において, 被験者に 1~3 秒のピッチで机面

Fig.4 Result of drift evaluation

を 30 秒間タップ動作するように指示した. その後, スレーブと Real hand の同位置に同期した触刺激を, ブラシのストロークにより 30 秒間与えた. これら計 1 分間の刺激を 5 回繰り返し, 合計 5 分間の刺激とした.

4.2 結果・考察

実験結果として, それぞれの試行で得られたドリフト量と標準誤差, 試行間の有意差 ($p < 0.05$) を Fig.4 に示す. 実験結果より, 基準となる (a) と比較して, (b) ではドリフト量が低下したが, (c) と (d) では, ドリフト量は増加し, 従来の RHI である (a) を大きく上回る結果が得られた. このことから, 従来の RHI に能動的な運動と触感覚が付加された RH-MSS による, 身体所有感転移の増強効果が得られることが明らかになった.

試行別に基準 (a) と比較すると, (b) では, マスタの装着感, 拘束感によりドリフト量は減少したと考えられる. (c) では, 能動運動と触感覚のみで, (a) を上回る結果を得ていることから, 能動的動作の身体所有感の転移に関する増強作用が特に示されている. (d) では, (a) の結果と有意差が生じ, 能動触刺激と従来の受動触刺激との混同が, 身体所有感転移において有効であると示された. よって, 能動, 受動それぞれの刺激が独立し, また, 相乗する効果を持つことが示唆された.

5. まとめ

本研究では, MSS の操作性を向上させる手法として, RHI に見られる, 身体所有感の転移現象に着目し, RH-MSS を RHI 実験環境へ導入することで, その影響について検討した. 本稿では, 結果として, 能動的な動作を伴う触感覚が, 身体所有感の転移を増強することを明らかにした. 本研究で明らかにした内容は, 従来の RHI 発生メカニズム解明においても有用な知見となる可能性がある. 今後はこの発見を基点に, より多自由度の MSS へ発展した場合について研究を進めたい.

文 献

- [1] Botvinick, M., and Cohen, J., "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, Vol.391(1998), pp.756.
- [2] Tsakiris, M., and Haggard, P., "The rubber hand illusion revisited: Visuotactile integration and Self-Attribution", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol.31, No.1(2005), pp.80-91.