

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 22 日現在

機関番号：94301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650114

研究課題名(和文) 遠隔操作による外部機器への身体感覚転移の解明

研究課題名(英文) Study on body ownership transfer to external equipment by teleoperation

研究代表者

西尾 修一 (Nishio, Shuichi)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・石黒浩特別研究室・主任研究員

研究者番号：80418532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：アンドロイドロボットの遠隔操作時の身体感覚転移錯覚に関し、大きく2点を発見した。1) ブレイン=マシンインタフェースによる遠隔操作系による実験から、運動意図と視覚フィードバックの2つが合致すれば、アンドロイドへの身体感覚転移が生じることを確認した。従来考えられていたものよりも、よりシンプルなメカニズムで自己認識が生じると考えられる。2) 遠隔操作による対話時の身体感覚転移を調べた結果、対話という社会的な行為を自分が行う際に、自分が操作しているアンドロイドを相対する他者が対話相手として認識し、行動する様を見ることが、アンドロイドとの一体感が強くなることがわかった。

研究成果の概要(英文)：We found two topics concerning the body ownership transfer (BoT) illusion to teleoperated android robots. 1) By using a BMI-controlled teleoperation system, we found that intention to operate (agency) and its visual feedback are sufficient for BoT; that is, self body recognition occurs by much simpler mechanism than traditional theory. 2) Besides, we found that top-down stimuli such as social interaction do cause BoT, as well as traditional bottom-up stimuli such as correlated tactile/visual stimuli. From these findings, we proposed a new model of self body recognition.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遠隔操作 身体感覚転移 ブレインマシンインタフェース

1. 研究開始当初の背景

外部の物体を自らの身体の一部のように感じる現象は、ボディスキーマの延長 (Maravita & Iriki, 2004) やラバーハンド錯覚 (Botvinic & Cohen, 1998) などが知られ、近年盛んに研究が行われている。一方、研究代表者らは最近、アンドロイドロボットの遠隔操作時に操作者がロボットの身体を自らの一部のように感じる身体感覚転移の錯覚が生じること (Nishio et al. 1997)、また主観・生理指標からも検証できることを発見した (渡辺、西尾ほか, 2011)。従来研究が触覚と視覚とが共起することで生じるのに対し、この現象は操作者の運動と、操作により対象が動作する様子を観察することで生じる。しかし、この錯覚のメカニズムや、発生・強化の条件などは、未だ解明されていない。

2. 研究の目的

研究代表者らは最近、アンドロイドロボットの遠隔操作時に身体感覚転移の錯覚が生じること、すなわち操作動作と操作結果の観察が同期することで、ロボットの身体を自らの一部のように感じることを発見した。本研究はこの遠隔操作に伴う身体感覚転移のメカニズムの解明を行い、発生・強化の条件を明確化する。具体的には、1) 身体感覚転移の錯覚が生じるメカニズムを明確にし、2) 遠隔操作インタフェースの構成要素が身体感覚転移に及ぼす影響を検証する。この結果から、人がどのように身体を認識するかの知見を得ると共に、この錯覚を一般のロボットの遠隔操作へ応用するための基礎的な知見を得ることをめざす。

3. 研究の方法

(1) ブレイン = マシンインタフェースによる遠隔操作時の身体感覚転移の検証

これまでの研究から、操作者の動きと、これに伴って操作対象が動く様子を視覚的に観察することで、身体感覚の転移が発生することがわかっている。しかし、操作者が動く場合、動かそうとする意図、筋肉の動作、筋肉が動く感覚など、多数の要因が生じる。そのため、どの要因が身体感覚の転移に重要なかは未だ分かっていない。この解明のため、ブレイン = マシンインタフェース (BMI) による遠隔操作を行う。遠隔操作を BMI により行うことで、筋肉の動作と、筋肉が動く感覚を排除でき、身体感覚転移が運動意図と観察の同期により生じるとの仮説を検証できる。また自ら運動する場合と比べて、考えるだけでロボットを思い通りに操作できれば転移が強くなる可能性もある。このように、BMI による遠隔操作を通じて、身体感覚転移が生じるのか、また生じる場合は、動作やボタンによる操作と比べて、どのような変化があるのかを検証し、身体感覚転移のメカニズムを明確化する。

なお BMI は既存の確立された手法 (CSP 法) を用い、BMI 自体ではなく、身体感覚転移の検証に集中する。予備検討では、8 割程度の高い率で、意図したとおりに操作できることを確認している。

(2) 遠隔操作の影響の検証

テレビゲームなど、従来機器においても、身体感覚転移や類似の現象は操作インタフェースの影響をうけることが知られている。ここではロボットの遠隔操作インタフェースを変えることで、身体感覚転移にどのような影響もたらされるのか、どのような遠隔操作インタフェースが身体感覚転移を強化する上で重要なのかを明らかにする。

この最初のステップとして、まず操作視点の影響を検証する。これまでの遠隔操作アンドロイド研究での経験から、円滑に操作を行う上で操作視点が重要であること、また必ずしも一人称視点が最適ではなく、他者からアンドロイドを見た視点 (二人称視点) やアンドロイドと対話者を端から見た視点 (三人称視点) を組み合わせる方が容易に操作できる、といった知見を得ている。このように操作視点やその組み合わせを変えることで、身体感覚転移がどのような影響を受けるのかを検証する。

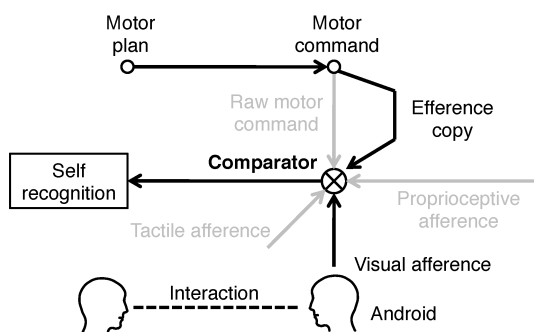
4. 研究成果

(1) ブレイン = マシンインタフェースによる遠隔操作時の身体感覚転移の検証

また、これまでに RHI や自己認識の研究では、常に触覚刺激が用いられている。身体から切り離され、触覚が存在しない義手を用いる RHI 実験においても、義手と自身の腕の双方に同期して触覚刺激が与えられている。ジェミノイドの遠隔操作系では触覚フィードバックはなく、視覚フィードバックしかないため、触覚刺激を与えることはできない。しかし実験では遠隔操作の際に、被験者が自分の腕を動かしていたため、姿勢の変動に伴い、触覚刺激が生じており、これが自己認識に影響したとも考えられる。それでは、身体運動を伴わずに遠隔操作を行った場合でも、身体感覚転移は生じるだろうか？ すなわち、体性感覚と触覚を完全に排除した場合においても、遠隔のアンドロイドを自らの身体と感知することはできるだろうか？

この点を確かめるため、ブレイン・マシン・インタフェースを用いた遠隔操作系を構成し、同様の実験を行ったところ、操作対象のアンドロイドへの身体感覚転移が生じることが確認できた。操作者の脳波から左右の手を握る運動を想起した際の脳波の空間的パターンを判別し、アンドロイドの左右の手を動作させる。アンドロイドの手中の玉が光った場合に、手を握るイメージを想起し、アンドロイドを動かす試行を繰り返す。その後、アンドロイドに注射刺激を与えたところ、主

観評価、客観評価(SCR)の双方で、アンドロイドが動かない場合と比べて有意に高い値が得られた。すなわち、アンドロイドを操作する意図があり、実際にアンドロイドが動く様子が見えた場合にのみ、アンドロイドへの刺激を自らへの刺激のように感じた。この結果から、運動による体性感覚や触覚が生じなくとも、運動意図(もしくは、意図に沿うアンドロイドの動きの予測)と視覚フィードバックの2つが合致すれば、アンドロイドへの身体感覚転移が生じるといえる(図)。RHIとも2入力の合致で生じる点が整合しており、従来考えられていたものよりも、よりシンプルなメカニズムで自己認識が生じると考えられる。



図：遠隔操作アンドロイドへの身体感覚転移のモデル

(2) 遠隔操作の影響の検証

では、アンドロイドへの身体感覚転移は、明示的な身体動作を意図しないと生じないのだろうか？日常生活において、人は歩く際の足の動きや、何かを掴む際の腕の動きといった、身体の詳細な動作を意識することはほとんど無い。あの場所に行く、コーヒーを飲む、といった抽象度の高い目的があり、それに伴って身体が「自動的に」動くことが多い。このような高い抽象度のタスクの実施によっても身体感覚転移は生じるだろうか？また、行為にまつわる社会的な要因によっても影響されるだろうか？

この点を確かめるため、アンドロイドを介した人との対話によって身体感覚転移が生じるかを検証した。この際、対話を身体の運動を伴う行為ではなく、相手とのインタラクティブ性という観点から検証した。すなわち、1.相手への能動的な働きかけの有無(アンドロイドの動きの有無) 2.相手の存在の有無(相手が見えるか否か) 3.相手からの働きかけの有無(相手からの返答の有無)の3要因を操作し、実験を行った。アンドロイドの遠隔操作としては、頭部と口唇動作のみを操作者と同期させている。その結果、身体感覚転移にはアンドロイドを操作することが必要であること、相手が見えることが必要であること、また相手からの反応があることで強

化されることが確認できた。

この実験では、これまでとは異なり、タスクは対話を行うことであって、特定の身体部位を動かすことではない。意図した運動ではなく、対話に伴ってうなずきなどの頭の動作や、発話による口唇動作が自然と、無意識に近く生じるだけであっても、遠隔操作の有無によって身体感覚転移の度合いに明確な差が出ること、また相手の視認性や反応、すなわち対話の自然さによって差が出ている。つまり、単なる運動予測と視覚フィードバックの一致という、ボトムアップの機構により自己認識が生じるだけではなく、社会的なインタラクションの自然さというトップダウン方向の刺激によっても自己認識が生じると考えられる。すなわち、対話という社会的な行為を自分が行う際に、自分が操作しているアンドロイドを相対する他者が対話相手として認識し、行動する様を見ることで、アンドロイドとの一体感が強くなると言える。遠隔操作アンドロイドを介した対話時にアンドロイドの表情を変化させると、身体感覚転移の度合いが高まると共に操作者の情動も変化するという、表情フィードバック仮説と同様の効果も確認されていることから、対話という社会的行為が自己認識、さらには情動に至るまで、人の基本的な認知機構に強い影響を及ぼすことがわかる。

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4件)

1. Maryam Alimardani, Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, "Effect of biased feedback on motor imagery learning in BCI-teleoperation system", *Frontiers in Systems Neuroscience*, vol. 8, no. 52, April, 2014. 査読有, doi: 10.3389/fnsys.2014.00052
2. 西尾修一, アリマルダニ マリヤム, 石黒浩, "遠隔操作アンドロイドへの身体感覚転移", *日本ロボット学会誌*, vol. 31, no. 9, pp. 26-29, November, 2013. 査読無, doi: 10.7210/jrsj.31.854
3. Maryam Alimardani, Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, "Humanlike robot hands controlled by brain activity arouse illusion of ownership in operators", *Scientific Reports*, vol. 3, no. 2396, August, 2013. 査読有, doi: 10.1038/srep02396
4. Shuichi Nishio, Koichi Taura, Hidenobu Sumioka, Hiroshi Ishiguro, "Teleoperated Android Robot as Emotion Regulation Media", *International Journal of Social Robotics (IJSR)*, vol. 5, no. 4, pp. 563-573, July, 2013. 査読有, doi: 10.1007/s12369-013-0201-3

〔学会発表〕(計7件)

1. 中道大介, 西尾修二, 石黒浩, "遠隔操作型アンドロイド「テレノイド」の遠隔操作とその訓練", 情報処理学会関西支部 支部大会, 大阪大学中之島センター, 大阪, pp. G-01, September, 2013. 査読無
2. 中道大介, 住岡英信, 西尾修二, 石黒浩, "操作訓練による遠隔操作型アンドロイドへの身体感覚転移の度合いの向上", 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2013), グランフロント大阪, 大阪, pp. 331-334, September, 2013. 査読無
3. Shuichi Nishio, Koichi Taura, Hidenobu Sumioka, Hiroshi Ishiguro, "Effect of Social Interaction on Body Ownership Transfer to Teleoperated Android", In IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Gyeongju, Korea, pp. 565-570, August, 2013. 査読有
4. 田浦康一, 住岡英信, 西尾修二, 石黒浩, "遠隔操作型アンドロイドへの身体感覚転移における対話の影響", HAI シンポジウム, 京都工芸繊維大学, pp. 2C-3, December, 2012. 査読無
5. Shuichi Nishio, Koichi Taura, Hiroshi Ishiguro, "Regulating Emotion by Facial Feedback from Teleoperated Android Robot", In International Conference on Social Robotics (ICSR 2012), Chengdu, China, pp. 388-397, October, 2012. 査読有
6. Kohei Ogawa, Koichi Taura, Shuichi Nishio, Hiroshi Ishiguro, "Effect of perspective change in body ownership transfer to teleoperated android robot", In IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Paris, France, pp. 1072-1077, September, 2012. 査読有
7. Shuichi Nishio, "Transmitting human presence with teleoperated androids: from proprioceptive transfer to elderly care", In CogSci2012 Workshop on Teleoperated Android as a Tool for Cognitive Studies, Communication and Art, Sapporo, Japan, August, 2012. 査読無

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:

権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.geminoid.jp/~nishio/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西尾 修一 (NISHIO, Shuichi)
国際電気通信基礎技術研究所・石黒浩特別
研究室・主任研究員
研究者番号: 80418532

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: