

日本バーチャルリアリティ学会研究報告

The 1st Workshop on Telexistence

第1回レイグジスタンス研究会

2012年12月14日

日本バーチャルリアリティ学会

日本バーチャルリアリティ学会研究報告目次

CONTENTS

〔テレイグジスタンス研究委員会〕

〔Special Interest Group on Telexistence〕

12月14日（金）

TX01-1	TELESAR V を用いた触感の伝送 古川正紘, Charith Lasantha Fernando (慶應義塾大学) 佐藤克成, 黒木帝聡 (慶應義塾大学), 家室証 (東京大学) 中山雅野, 南澤孝太, 舘 暲 (慶應義塾大学) ……………	1
TX01-2	Flying Head: 頭部動作との同期による無人航空機の 操作メカニズム 樋口 啓太, 暦本 純一 (東京大学) ……………	3
TX01-3	ロボットアバタと日常生活支援ロボット 廣井 富 (大阪工業大学) ……………	5
TX01-4	テレイグジスタンス提供者と不法行為責任 赤坂 亮太 (慶應義塾大学) ……………	7
TX01-5	義手の体性感覚フィードバック -ヒトの運動獲得に注目したアプローチ- 望月 大二郎, 加藤 龍, 横井 浩史 (電気通信大学) ………	11
TX01-6	自己運動に基づいた減衰正弦波振動提示による 体性感覚拡張 蜂須 拓, 池野 早紀子, 栗原 洋輔, 梶本 裕之 (電気通信大学) ……………	13
TX01-7	テレイグジスタンス技術を用いた 人-エージェント間のインタラクション探索 大澤 博隆, 飛田 国星, 今井 倫太 (慶應義塾大学) ………	17

TELESAR V を用いた触感の伝送

Transferring Texture Feeling using TELESAR V

古川正紘¹⁾ Charith Lasantha Fernando¹⁾ 佐藤克成¹⁾ 黒木帝聡¹⁾
家室証²⁾ 中山雅野¹⁾ 南澤孝太¹⁾ 舘 暉¹⁾

Masahiro Furukawa, Charith Lasantha Fernando, Katsunari Sato, Tadatoshi Kurogi,
Sho Kamuro, Masano Nakayama, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi

1) 慶應義塾大学

(〒223-0061 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1,

{m.furukawa, charith, sato, kurogi, kamuro, masano, kouta, tachi}@tachilab.org)

2) 東京大学

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, kamuro@tachilab.org)

Abstract: In this paper, we report a result of technical demonstration of TELESAR V in SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies. TELESAR V is a telexistence system focusing on to transfer tactile sensation, which has a dexterous full upper body, tactile sensors and tactile display to transfer haptic sensation to a user side. Designing to realize active touch in a remote place, the system allows the user feel textures such as physical movements and impacts caused by dynamic movement in a grabbed cup, smooth or rough clothes. In the conference, visitors had opportunities to experience haptic transmission and to have a communication such as high touch or hand shaking to confirm transferring the tactile sensation.

Key Words: Telexistence, Haptic, Tactile sensation, Humanoid Robot

1. はじめに

テレグジスタンスとは、眼の前に広がる空間とは異なる空間に自分の存在を拡張することで、高い臨場感を得ながら遠隔地を行動することを可能にする概念である。特に、高度な知識や技能が求められる遠隔医療だけでなく、極限空間での活動が避けられない事故および災害時の救助活動や、体験そのものが価値を持つ遠隔通学やコミュニケーションなどへの応用が期待されている。

本稿では、TELESAR V を用いた触感伝送について、国際会議 ACM SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies での 5 日間の技術展示を経て得られた知見を報告する(図 1) [1]。

2. 触感とは

本稿で述べる触感とは、アリストテレス五感に分類される体性感覚ではなく、多感覚統合を前提として次のように再定義する。つまり触感とは、視覚・聴覚に加えて、能動的な運動で生じる固有受容感覚や、対象物との接触によって得られる皮膚感覚を総合的に含んでおり、最終的に対象物の印象として生じられる感覚である。

触感伝送を行う利点は、触感を得ること自体に価値がある体験を遠隔で実現することにある。例えば、見る・聞くに加えて触って感じることを許された遠隔通学を思い描くと、得られる体験がいかに豊かになるかを想像することは難くない。当然ながらこれは触覚だけを抽出できる状況ではなく、視聴覚と共に体験しなければ意味を成さない。さらに、皮膚感覚を介した非言語コミュニケーションともいえる、握手やくすぐりの実現も期待できる。コミュニケーションとして成立させるためには、力や振動が伝送されれば良いのではなく、前後の文脈に沿った行動と感覚の対として伝送されるべきであり、これらは不可分である。

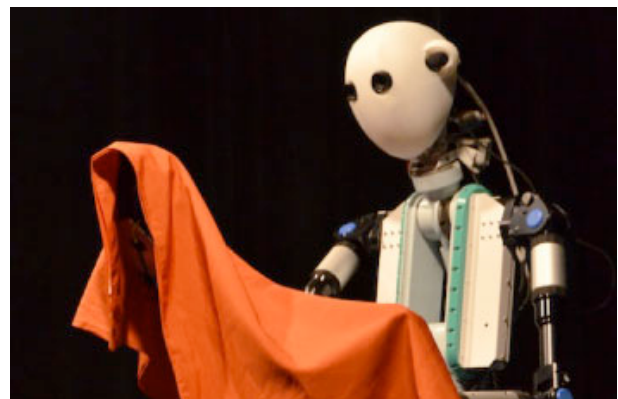


図 1 触感を伝える TELESAR V

3. 触感伝送のための設計論

3.1 能動的な探索運動と多感覚統合

遠隔地へのテレグジスタンスでは、自分の身代わりになる代理ロボットを用いて、遠隔地の環境を主観的に等価な感覚として再構成する必要がある。触感伝送において設計上最もとなる重要な点は、手による能動的な探索運動を実現した上で、視聴覚だけでなく皮膚感覚フィードバックと整合性を保ち続けることにある。特に本稿で取り扱う触感とは、固有受容感覚よりも皮膚感覚が支配的であると仮定し、前者に作用するとされるいわゆる力覚提示は行わない。従って、代理ロボットは実世界に働きかけることができる物理的な存在として、利用者の行動を即座に再現するとともに皮膚感覚を実時間で返す必要がある。

3.2 軽量なマスタックピット

前節から、マスタックピットで利用者の身体運動を計

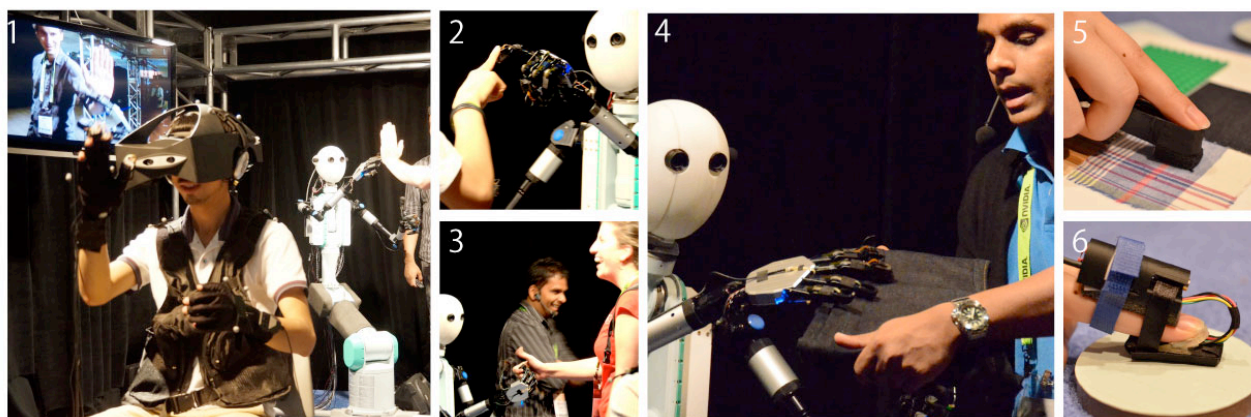


図 2 国際会議 SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies における技術展示の様子

測する手法として、拘束性の低い光学式計測が適しているといえる。なぜならば、外骨格型のマスタックピットは、必然的に装着するだけで人間の腕部の質量を増加させることになる。これは固有受容感覚が結果的に刺激される可能性があるだけでなく、生得的な腕の機械インピーダンスと不整合が生じることを意味する。つまり、仮に皮膚感覚の再現が十分であったとしても、固有受容感覚との不整合を生じさせる可能性があるといえる。一方で、光学式計測は非接触であるため、外乱になりうる固有受容感覚を生じさせる可能性は極めて低いといえる。

3.3 代理ロボットの設計

代理ロボットには、能動的な探索動作を、視、聴、触覚間の整合性を保ちながら、代理ロボットの運動として実現できることが求められる。つまり、視覚追従性を維持するための頭部、探索動作を実現するための腕と手に、それぞれ高い自由度を持つ代理ロボットが必要となる。

4. 触感の伝送

前述の設計論に基づき、TELESAR V を実装した[2]-[5]。コックピットに光学式計測装置を備えているため、利用者が再帰性反射マーカを装着することで、能動的な運動を非拘束に計測できる(図2の1)。代理ロボットは全53自由度であり、人と同等の大きさの上半身を持つ(図1)。手は15自由度を持つため(図2の4)、器用な把持動作に加え、探索動作を実現できる。国際会議の技術展示会場では、図2の1の手前にマスタックピットを配置しその奥に代理ロボットを設置した。来場者は大型モニターで代理ロボットの視界、すなわち利用者が得ている視界を確認できる。ユーザは初日のみ一般来場者に頭部搭載型ディスプレイおよび右手の触覚提示グローブを装着させ公開実験を行った。2日目以降は、代理ロボットとの対面コミュニケーションとしてのデモンストレーションを行った。全5日間を通しブース内の併設テーブル上で、図2の5,6に示した指先装着型の触覚伝送の実演を行った。

初日のデモンストレーションでは、来場者が代理ロボットを介して空のコップを把持し、解説者がガラス玉を中に注ぎ込んだ。このとき、ガラス玉がコップ底面に衝突する



図 3 触感サンプルとしてのデニム(左)と風呂敷(右)

が、この衝撃は代理ロボットに搭載された音響マイクと圧力センサで取得され、実時間で来場者側のグローブへ伝送される触覚刺激として再生される[5]。また図2の4に示すように、布の触感の伝送も行った結果、来場者はデニムらしい粗さを感じたとの回答を得た。また図3に加え、3つ目の素材としてTシャツ地に触れた結果、デニムとの違いが感じられ、Tシャツらしい滑らかさがあるとの回答を得た。2日目以降は、図2の1から3に示すように、対面コミュニケーションでの展示を行った。来場者は代理ロボットとハイタッチや握手を行うだけでなく、同図の2や3に象徴されるような、指先を触れあわせて代理ロボットの反応を確かめる様子が観察された。図2の5,6に示した触覚伝送の実演展示の結果、竹やレゴブロックといった粗い触感も伝わったとの回答を得た。

5. おわりに

本稿では触感を伝送するテレグジスタンスロボットの設計論を述べ、この設計に基づいて実装した TELESAR V の技術展示を行った。この結果、能動的な探索動作と実時間の触覚フィードバックを行うことで、容器内のダイナミックな運動や竹、ブロックや3種類の布の質感を触感として伝送できる可能性が示された。

謝辞 本研究は戦略的創造研究推進事業(JST-CREST)「さわれる情報環境」プロジェクトの助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatosh Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: TELESAR V: TELEXistence Surrogate Anthropomorphic Robot, *ACM SIGGRAPH 2012, Emerging Technologies* (2012)
- [2] 館暲, 南澤孝太, 古川正紘, 佐藤克成: テレグジスタンスの研究 (第 65 報) Telesar5: 触覚を伝えるテレグジスタンスロボットシステム, *EC* (2011)
- [3] 佐藤克成, 南澤孝太, 古川正紘, 館暲: テレグジスタンスの研究 (第 67 報) - カベクトルと温度情報による触感伝送, *EC* (2011)
- [4] Fernando, Charith Lasantha, Masahiro Furukawa, Tadatosh Kurogi, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi: Design of TELESAR V for Transferring Bodily Consciousness in Telexistence, *IROS2012*, pp. 5112-5118 (2012)
- [5] 黒木帝聡, 中山雅野, 佐藤克成, 家室証, Charith Lasantha Fernando, 古川正紘, 南澤孝太, 館暲, 布の触感の違いを伝えられる触覚伝送システム, *SICE SI* (2012)

Flying Head: 頭部動作との同期による 無人航空機の操作メカニズム

Flying Head: A Head Motion Synchronization Mechanism
for Unmanned Aerial Vehicle Control

樋口啓太¹⁾, 暦本純一²⁾

Keita HIGUCHI and Jun REKIMOTO

1) 東京大学, 日本学術振興会

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, khiguchi@acm.org)

2) 東京大学, Sony コンピュータサイエンス研究所

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, rekimoto@acm.org)

Abstract: Flying Head is an unmanned aerial vehicle (UAV) control mechanism, which synchronizes human head and robot motions. The accurate manipulation of such flying robots, is difficult, however, as their control typically involves hand-operated devices such as proportional R/C systems or joysticks. Using the Flying Head system, we can incorporate a robot control using human motions such as walking, looking around and crouching. Our system synchronizes the operator and UAV positions in terms of the horizontal and vertical positions and the yaw orientation. The operator can use the UAV more intuitively, as such manipulations are more in accord with kinesthetic imagery. We will develop additional flying telepresence applications, such as capturing platforms, and teleoperation.

Key Words: Head Coupling Robot, Unmanned Aerial Vehicle.

1. はじめに

遠隔操作型のロボットは遠隔コミュニケーション[1]や災害救助支援[2]などの分野で発展している。無人航空機(UAV)も遠隔操作型ロボットの一種であり, 空中を移動するため路面環境に依存せずに運用することができる。2011年の東日本大震災では, 遠隔操縦されたヘリコプタが福島第一原発の状況を撮影した。また, UAVに搭載されたカメラで撮影した映像から3次元再構成をするための研究も盛んになりつつある[3]。

しかし, UAVは複数の制御パラメータを同時に操作しなければならないため, 安定した運用をすることは地上移動型のロボットよりも難しい。現状のUAVは, R/Cプロポーションシステムやジョイスティックなど, 手動のデバイスにより操作される。このような操作デバイスでは, 複数のレバーやボタンを同時に操作しなければならない。また, レバーの操作量に対して, UAVが実際に移動する距離を把握することは難しい。そのため, 正確に操作できるようになるためには, 長期の訓練を必要とする。

2. Flying Head

本研究では頭部動作との同期によるUAVの操作メカニ

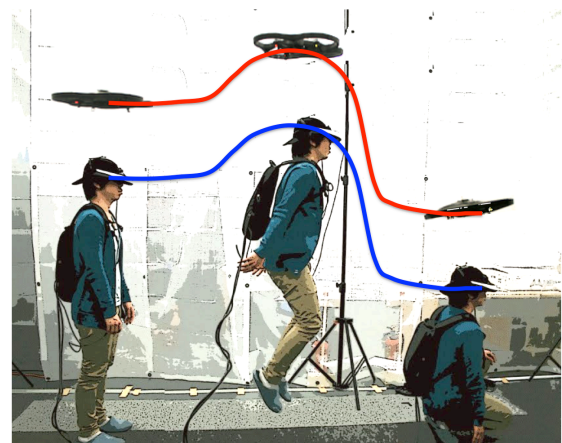


図1 Flying Head: 頭部同期によるUAV操作

ズムである“Flying Head”を提案する。本メカニズムは人間の歩行, 見回す, 屈むといった身体動作をUAVの操作とするより, 直感的な操作を実現する(図1)。オペレータはHMDを装着し, UAVに搭載されたカメラが撮影した映像を見ながら操作する。本研究は人間と異なる身体性を持つ

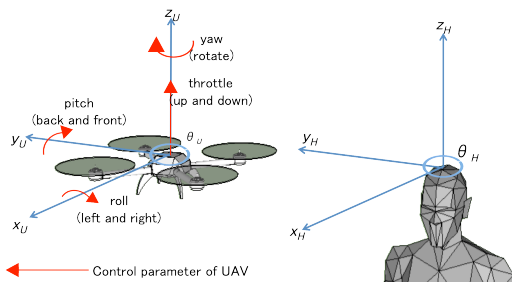


図 2 Flying Head の操作モデル. 頭部位置の差から UAV の制御パラメータに変換する

UAV を、オペレータが自分の体のように操作できることを目的としている。そのためには、UAV を身体動作により操作するための環境と、オペレータと UAV 間にある身体性のギャップを埋める手法が必要である。

Flying Head メカニズムによって身体動作で UAV を操作する利点を以下に示す。

- 複数の制御パラメータを頭部動作で並列決定できる
- 身体感覚から移動量の見積もることができる

本メカニズムでは、オペレータの歩行や見回し、屈むなどの身体動作に伴う頭部の移動により UAV の制御パラメータを決定できる。人間は歩きながら周囲を見回すなど、複数の身体動作を同時にすることができるため、複数の制御パラメータを並列的に決定することができる。Flying Head は人間の移動距離を、UAV の移動距離にマッピングするため、オペレータは移動した際の身体感覚から、UAV の移動した距離を見積もることができる。

3. プロトタイプシステム

Flying Head のプロトタイプシステムは、オペレータの頭部と UAV の x , y , z 座標, yaw 角を同期させる (図 2)。プロトタイプの目的は、人間の移動量と UAV の移動量が 1 対 1 でマッピングされる環境を構築することで、本手法の有効性を検証するためである。また、人間と UAV の身体性のギャップを埋める手法の提案と実装をした。本システムでは UAV の高さの制御を、身体動作とデバイスを併用することにより、オペレータの身長を超えた高度に UAV を移動させることができる。また、オペレータに UAV の遅延を通知するために、映像の形状変形による遅延提示を実現した。

本システムは、カメラを搭載した UAV と、オペレータに装着したヘッドマウントディスプレイ (HMD)、位置を測定するための光学式モーションキャプチャから構成される。プロトタイプシステムでは同一部屋にオペレータと UAV に存在する。オペレータと UAV に取り付けられた再帰性反射材マーカを 8 台の赤外カメラにより撮影し、位置を計算している。本システムではオペレータと UAV、それぞれの移動可能範囲を $3\text{m} \times 1.5\text{m}$ に設定している。また、UAV は最大 2.8m まで上昇することができる。

4. 議論

4.1 プロトタイプの制限事項

屋外環境においては光学式モーションキャプチャを利用できないため、他の位置測定技術を導入しなければならない。今後は GPS や ultra-wideband による位置測定を可能にして、屋内外問わず本手法を利用できるようにしたい。

本手法の有効性は、狭い空間における探索作業などにおいて、発揮されると考える。しかし、UAV を遠くへ飛ばす場合などはジョイスティックなどこれまでの操作手法が優れた面もあるため他の操作手法との併用を実現したい。

4.2 身体性の拡張

プロトタイプシステムでは、人と UAV の移動量マッピングが 1 対 1 で同期される環境を構築した。もし、人間と UAV の移動量マッピングが 1 対 x となる環境を構築したら、身体性が水平方向や高さ方向に拡張された環境における操作性を検証できると考える。

4.3 アプリケーション

本メカニズムは遠隔地探査の他にも、遠隔マニピュレーションのインタフェースとしても応用できる。Lindsay らは、UAV に小型のクレーンを取り付けることにより、UAV による構造体構築のデモを可能にした。今後、UAV にマニピュレータが取り付けられることになれば、Flying Head では体の移動と首の動きで移動を実現できるため、移動とマニピュレータの操作を平行作業することが可能である。

5. まとめ

本研究では頭部動作により UAV を同期させる操作メカニズムである Flying Head を提案した。オペレータは身体を使って操作することができるため、UAV の持つ複数の制御パラメータを並列的に決定することができる。また、体感感覚から UAV の移動量を簡単に見積もることができる。

謝辞 本研究は、日本学術振興会特別研究員奨励費 24-10424 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Lee, S.: Automatic gesture recognition for intelligent human-robot interaction, FGR 2006. pp. 645-650 (2006).
- [2] Kamegawa, T., Yamasaki, T., Igarashi, H. and Matsuno, F.: Development of the snake-like rescue robot, Robotics and Automation 2004, Vol. 5, pp. 5081- 5086 (2004).
- [3] Wendel, A., Maurer, M., Graber, G., Pock, T. and Bischof, H.: Dense reconstruction on-the-fly, CVPR 2012, pp. 1450-1457 (2012).
- [4] Lindsey, Q., Mellinger, D., and Kumar, V. Construction of cubic structures with quadrotor teams. Proc. Robotics: Science & Systems VII (2011).

ロボットアバタと日常生活支援ロボット

Robot Avatar and Daily Life-Support Robot

廣井 富

Yutaka HIROI

大阪工業大学 工学部

(〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16-1, hiroi@med.oit.ac.jp)

Abstract: This paper introduces robot avatar and daily-life-support robots. A robot avatar is a small robot mounted on a main robot and equipped with minimum function to play some gestures according to every scene of the task execution of the main robot. Daily life-support mobile robots Goyane and ASahi are equipped with a robot avatar, which converses with the user using speech and gesture. They can perform a simple support task, such as bringing an object, as well as following the user to move around the floor. I propose a mobile communication robot on the handrail. I assume the handrail as being installed in indoor corridors in a building such as a hospital or a shopping mall.

Key Words: Human-Robot Interaction, Robot Avatar, Daily-Life-Support Robot, Gesture Recognition, Handrail

1. はじめに

筆者は、日常生活支援ロボットの研究・開発を行っている[1-3]。このようなロボットは人間の身近で実作業を行うため、単に性能が高いだけでは十分ではなく、「親和性」が要求される。筆者は、日常生活支援ロボットの「親和性」向上手法としてロボットアバタを提案している[4]。本稿では、ロボットアバタの紹介と筆者が研究・開発に携わっている日常生活支援ロボットについて紹介する。

2. ロボットアバタ

筆者は、病院や介護施設等で被介護者のための日常生活を支援するロボット IRIS (以後、IRIS と記す) の開発に携わった[1]。IRIS は、構造化された環境下において音声の指示を理解しタスクを実行する(図1)。

しかし、このロボットの開発から(1)何を行っているか、または何を行おうとしているかが直観的にわかりにくい、(2)物理的な機能の制限により、ジェスチャやアイコンタクトなどコミュニケーションに必要な非言語情報を扱いにくい、(3)機械が剥き出しの外観であるために、親しみを感じにくい、という問題点が明らかになった。

これらの問題を総合的に解決するために筆者は、ロボットアバタという概念を発想した。ロボットアバタとは、作業をする大ロボットに付加して人間との「コミュニケーション」を受け持つ小ロボットである。ロボットアバタの利用により、大ロボットとの役割分担(実作業とコミュニケーション)が可能となる。人間との「コミュニケーション」の際に、ロボットアバタを適切に動作させることによって、大ロボットを含めたロボット全体の親和性(親しみ感)を

向上させることができる。ロボットアバタには様々なメリットがあるが、詳細は文献[4]を参照願いたい。例えば、図2に示すような日常生活支援ロボット(IRIS)にロボットアバタを装備し、対話に合った動作を行うことで、ロボット全体の親しみ感が向上することを示した。

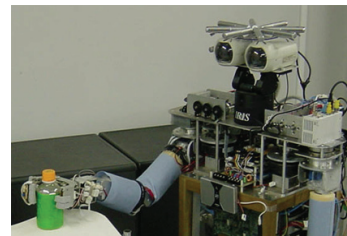


図1 IRIS：お茶を運ぶところ

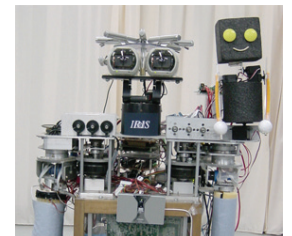


図2 IRISに実装したロボットアバタ

3. 日常生活支援ロボットの開発

3.1 日常生活支援移動ロボット Goyane

IRIS は、親和性を配慮するために上半身ヒューマノイド型にしたが、ロボットアバタと連携することを前提とすれば、作業を担当するロボットは必ずしもヒューマノイド型である必要はない。そこで、作業に特化した大ロボットとロボットアバタの構成にしたのが、Goyane (図3)である[2]。なお、Goyane においてもロボットアバタを用いた親しみ感の上は認められている。全体の寸法は約 450×700×600[mm] (WDH:ロボットアバタを含むと高さ 1030[mm]) である。質量は 45kg である。これらの大きさは、IRIS の開発で得た知見と、ロボットサイズがユーザに与える心理的影響[4]を考慮して設定した。

Goyane は、IRIS では実現できなかった重量物の運搬

(20kg 程度)および人を追従可能な移動速度(1.5m/s)を実現した。

3.2 日常生活支援移動ロボット ASAHI

Goyane と並行して日常生活支援ロボット ASAHI の開発を行っている[3](図4)。このような日常生活支援ロボットは、人間がロボットに対して自然に命令を与えることが可能な必要がある。筆者が開発しているロボットは、音声による指示を理解し、タスクを実行する。しかし、「あれ取って」というような曖昧な指示をされた場合には、簡潔な音声情報のやり取りでは判断できない。人間同士であれば、「あれ」が何かというのを指差して示のが普通であろう。そこで、我々は、このような問題に対し、音声情報と指差し(ジェスチャ)を併用して解決を試みている。例えば、ある地点へロボットを移動させたい時に、「そこへ行って」というように発話し、同時に指差しをする。システムは音声情報と指示された座標を認識し、次にロボットアバタが認識した座標を指さすことによって、人間はロボットが進むべき地点を理解でき、移動する前に間違いを修正できる。ASAHI にはレーザレンジファインダを用いた人追従機能が実装してある。例えば、人が他の地点にロボットを誘導する際に、人はただ歩くだけで、自然にロボットは後を付けてくる。全体の寸法は、約400×540×1450mm(WDH:高さはマイクまで)質量は約30kgであり、Goyaneより小型化した。

3.3 手すりを移動するロボット

筆者は前述した実作業を行う日常生活支援ロボットを開発している。しかし、道案内の様な実作業ではないタスクを想定した場合、必ずしも大きなロボットは必要ない。そこで、病院や介護施設等の廊下に設置してある「手すり」に注目し、手すりを移動するロボット(図5)を提案した[6]。手すりを移動するロボットは壁沿いを移動することになるため、ロボットが人と衝突しにくい。また、現在位置の情報を得ることが容易である。なお、手すりは必ずしも連続的に設置されているとは限らない。そこで連続する手すりがない方向へ移動する場合には別の手すりを移動するロボットと連携し、道案内を続ける。場面によっては実作業ができるロボットの方がよい場合があり、その場合には、手すりを移動するロボットとそのロボットとの間で情報を共有し、タスクを実行する。その他、ロボットが実物体であることを活かす用途を考えている。例えば、リハビリ支援、警備、美術館での絵の説明、手すりの掃除、避難誘導等における使用を想定している。

4. おわりに

本稿では、筆者が提案したロボットアバタについて紹介し、次にそれを実装した日常生活支援ロボットについて解説した。最後に新しい試みとして、手すりを移動するロボットについて紹介した。これらのロボットの開発を通じて人に役立つロボットを実用化したい。

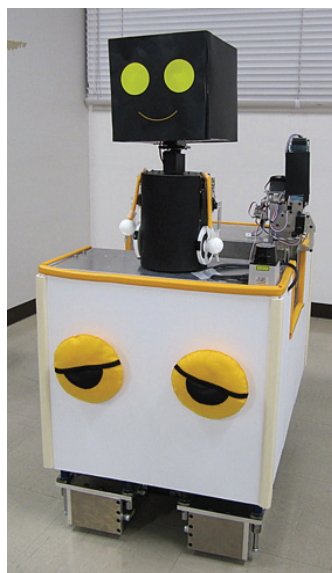


図3 日常生活支援移動ロボット Goyane



図4 日常生活支援ロボット ASAHI

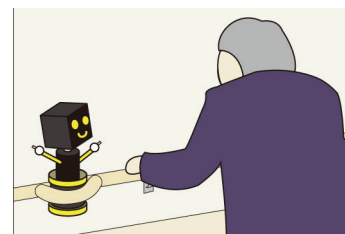
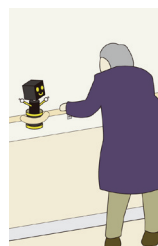


図5 手すり移動ロボットによる道案内の例

参考文献

- [1]Y. Hiroi, E. Nakano, T. Takahashi, S. Makino, A. Ito, K. Kotani, N. Takatsu and T. OhmiA: Patient Care Service Robot System Based on a State Transition Architecture, Proc. of ICMIT2003, pp.231-236, 2003.
- [2]廣井富, 伊藤彰則, 他: 日常生活支援移動ロボット ASAHI の開発-全体構想とハードウェア構成-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集 DVD-ROM, 2A1-P03, 2012.
- [3]廣井富, 伊藤彰則, 他: 日常生活支援移動ロボット Goyane の開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集 CDROM, 2A2-A21, 2010.
- [4]廣井富, 伊藤彰則, 中野栄二: 人間共存型ロボットのためのロボットアバタを用いた親しみ感の向上, 感性工学研究論文集第7巻4号, pp.797-805, 2008.
- [5]Yutaka Hiroi and Akinori Ito: EFFECT OF THE SIZE FACTOR ON PSYCHOLOGICAL THREAT OF A MOBILE ROBOT MOVING TOWARD HUMAN, KANSEI Engineering International, vol. 8, no.1, pp.51-58, 2009.
- [6]廣井富, 伊藤 彰則, 他: 手すりを移動するコミュニケーションロボット—全体コンセプト—, ヒューマンシンポジウム 2012 論文集, 1223S, pp. 101-102, 2012.

トレイグジスタンス提供者と 不法行為責任

Tort liability of Telexistence providers

赤坂亮太¹⁾

Ryota AKASAKA

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1, r-akasaka@z2.keio.jp)

Abstract: Tort liability of robot providers is not argued yet. In this paper, I researched tort liability and limitation of liability of Telexistence providers based on Japanese ISP law “Provider Liability Limitation Act(プロバイダ責任制限法)”. Telexistence providers can be considered as “providers” in the law, but there are some problems to limit liability of Telexistence providers. To solve these problems, I suggested creating new guideline for Telexistence providers within the framework of “co-regulation”.

Key Words: robotics law, ISP law, tort liability, co-regulation

1. はじめに

非製造業分野で人間の生活圏において活躍するロボット(経済産業省ではサービスロボットのうち、その稼働領域を人間の生活領域と共有するものを「次世代ロボット」と定義している)と関係する法的問題としては、海外においてはその自律的動作と不法行為責任主体はどこにあるのか、といった問いから[1]全自動走行車両の合法性に関する研究[2]、インプラント・サイボーグ技術による人間の能力の拡張と平等性に関する研究[3]等、幅広い法分野で議論されはじめている。我が国においては以前より主に「物理安全」「情報安全」「輸出規制」の3点から議論されていた[4]。

特に、前者2点については様々なレベルで当該ロボットの自律的動作をはじめとする非過失的諸動作により侵害される人々の権利利益とそのリスク管理に焦点が当てられている点、(当然操縦者がいる場合は操縦者の責任が追求されるが)その損害賠償権が被害者にあるとして責任主体たる開発・製造元の製造物責任の問題と考えられる点において同形の問題であると考えられる。また、輸出の主体が開発・製造業者であることから過去の我が国における次世代ロボット関連法の研究は開発・製造に関する規制について論じられてきた。

次世代ロボット分野の製造物責任については、経済産業省が設置したロボット産業政策研究会による「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」[5]をはじめとする安全基準や、NEDOや電気安全環境研究所(JET)が第三者認証事業を開始している。これらが即ち欠陥の不存在を証明する

絶対の証拠となるわけではないが、米国における判例においてそれら基準の有用性を示すものも散見されることから[6]、今後日本法における位置づけについてもそのような判断がされることも考えられる。

しかしながら、これらの安全基準が法的に十分な証拠として認められたとして、それを遵守したトレイグジスタンスの提供における法的問題がすべて解決されているわけではない。むしろ、トレイグジスタンス特有の問題が生じると考えられる。

即ち、トレイグジスタンスが利用者をあたかも遠隔地にいるかのように没入させ三次元空間を移動できるシステムである以上、製造物としてのロボットとは別にマスタースレーブの機器間の通信をサービスとして提供する役割をおっている。サービス提供者がその利用者による不法行為について賠償責任を問われるケースは、パソコン通信提供事業者や初期のインターネットサービスプロバイダがそのネットワーク上で生じた利用者による名誉毀損事件等で訴訟の対象となったことからわかる通り、レアなケースとは言えないだろう。

しかしながら、通常のプロバイダについては「特定電気通信役務提供者の損害賠償責任の制限及び発信者情報の開示に関する法律(平成十三年十一月三十日法律第百三十七号)」(以下、プロバイダ責任制限法とする)によって一定の措置を行えば不法行為責任を制限される。本報告はトレイグジスタンス提供者がプロバイダ責任制限法の範囲において不法行為責任を制限されるのかを調査し、報告するものである。

2. 調査方法

まず、プロバイダ責任制限法においてプロバイダがどのように規定されているかを読み解き、トレイグジスタンスの一般消費者への提供がプロバイダとして不法行為責任を負うか否かを判断した。次にプロバイダ責任制限法における権利侵害の範囲と、プロバイダとして判断される場合に現行法規において責任が制限されるための責務はいかなるものかを検討した。なお、本研究にあたっては、プロバイダ責任制限法の所轄官庁である総務省が発行する逐条解説[7]を主な解釈論として採用し、その解釈の範囲においてトレイグジスタンスをどのように扱うのか、という観点から調査を行った。

3. プロバイダ概念とトレイグジスタンス提供者

3.1 プロバイダ責任制限法におけるプロバイダ

プロバイダ責任制限法において、プロバイダは特定電気通信役務提供者として定義されている。トレイグジスタンスを一般消費者に提供する行為がプロバイダに該当するかは、従って特定電気通信役務にトレイグジスタンスの提供が含まれるか否かが問題となる。

特定電気通信役務とは条文においては「特定電気通信設備を用いて他人の通信を媒介し、その他特定電気通信設備を他人の通信の用に供する者をいう。」(法2条3号)と定義され、一般には、ウェブホスティングを行う者や電子掲示板の管理者等と解釈される。(逐条解説)特定電気通信設備とは電気通信を行うための機械、器具、線路その他の電氣的設備(電気通信事業法2条2号)のうち「特定電気通信の用に供される」もの(法2条2号)である。

特定電気通信とは、「不特定の者によって受信されることを目的とする電気通信(電気通信事業法(昭和五十九年法律第八十六号)第二条第一号に規定する電気通信をいう。以下この号において同じ。)の送信(公衆によって直接受信されることを目的とする電気通信の送信を除く。))をいう。」(法2条1号)とされている。電気通信事業法において、電気通信は「有線、無線その他の電磁的方式により、符号、音響又は影像を送り、伝え、又は受けることをいう。」(法2条1号)とされている。

ここで「不特定の者によって受信される」ものであり、「公衆によって直接受信される…送信を除く」とされているのは、後者が電気通信役務利用放送も含めた広義の放送を意味し、個別に法律で規定されているからである。(逐条解説)「公衆」と「不特定の者」の区分については、同様の表現が見られる著作権法の定義を援用すれば「公衆」概念は不特定の者又は特定・多数の者を意味し、特定の人物であってもそれが多数であれば含まれるという差異がある。また「直接」の意味は、例えばケーブル業者が番組制作者と公衆向け発信者の間をつなぐ役割をする場合など[8]、導管の役目をする場合においては直接とはいわないとされている。

不特定の者によって直接受信される目的か否かは、逐条

解説においては「送信に関与する者の主観と関わりなく、その態様から客観的、外形的に判断される」とされている。

3.2 テレイグジスタンスの提供とプロバイダ

トレイグジスタンスシステムはその技術的態様においては電気通信設備であるから、利用シーンにおいてスレーブロボットの行為対象が不特定の者か否かが、プロバイダ責任制限法上の特定電気通信役務にあたるか否かの判断基準となる。

不特定と特定の区分については放送法の学説を援用するならば、送信者と受信者の紐帯関係の強さの程度、通信の事項、秘匿性等によって判断されるとされる[9]。「その態様から客観的、外形的に判断される」場合における判断としてそれらが考慮されることが考えうる。例えば、トレイグジスタンスシステムを用いてジャーナリストが遠隔地の市民生活取材するといった場面を想定するならば、これは対象と送信側の利用者の紐帯関係は強くなく、また秘匿性も高くないことから、不特定を対象とした特定電気通信役務とみなしても良いと考えられるだろう。

このように、すべてのトレイグジスタンス提供者がプロバイダ責任制限法上のプロバイダになるわけではなく、その一部がプロバイダとして取り扱われ、不法行為責任を制限されうることになると解釈できる。

4. プロバイダの責任が制限される場合

4.1 プロバイダ責任制限法における責任制限規定

プロバイダ責任制限法は、利用者の行為によって権利が侵害された被害者がいる場合と、利用者の行為を止めようとして措置を行った場合に利用者に損害が生じる場合について、プロバイダの責任を制限する旨が規定されている。

条文では前者について、情報の流通によって他人の権利が侵害されたときは、送信を防止する措置を講ずることが技術的に可能な場合であって(法3条1項)1、情報の流通によって他人の権利が侵害されることを知っていたとき(法3条1項1号)、2、情報の流通を知っていた場合であって、当該特定電気通信による情報の流通によって他人の権利が侵害されていることを知る事ができたと認めるに足りる相当の理由があるとき(法3条1項2号)のみ賠償責任が生じるとされている。

後者については、情報の送信を防止する措置を講じた場合において発信者に生じた損害については当該措置が不特定の者に対する送信を防止するために必要な限度において行われた者である場合であって(法3条2項)1、他人の権利が不当に侵害されていると信じるに足りる相当の理由があったとき(法3条2項1号)2、情報の流通によって自己の権利を侵害されたとする者から情報送信を防止する措置を講ずよう申し出があった場合に、発信者に対し当該送信防止措置を講ずることに同意するかを照会し、7日を経過しても同意しない旨の申し出が無かったとき(法3条2項2号)には責任がないとされている。

前者2において「認めるに足りる相当の理由があるとき」とは公式には「通常の注意を払っていれば知る事ができたと客観的に考えられること」と説明されており、これは調査義務等を課したのではなく「合理的に考えれば権利侵害があることを蓋然的に示す重要な事実に認識が前提」となるものである[9]。

後者1においては似た表現で「信じるに足りる相当の理由」というものがあるが、これは前者2とは違い「たとえ客観的には他人の権利を侵害する情報ではなかったとしても、あくまでもプロバイダの主観的認識を基礎として合理人を基準に判断した場合には、権利侵害情報と判断したことが相当であるといえるような場合」(下線部、引用者)として理解されるべきとされている[10]。

実際の情報削除プロセスについては当該情報の権利侵害性が一定程度明らかで無い場合、最後の規定にあるように7日間の反論期間を経て削除されると考えられる。このようなプロセスは(通常、Notice-and-takedownとよばれるのに対し)「Notice-wait-and-takedown」[11]ともよばれ、他国の規定よりも情報の流通防止措置において慎重な規定となっている。これは情報の過剰な削除を防止するためである。

4.2 テレイグジスタンスの提供者と責任の制限

では、プロバイダ責任制限法上のプロバイダとしてのテレイグジスタンス提供者はどのような場合にその不法行為責任を制限されるのだろうか。そのためには、そもそもここでいわれている「権利の侵害」とは何をさしており、どの範囲において既存の法の中で責任が制限されるのか、その輪郭を探る必要がある。なぜなら、プロバイダ責任制限法が想定しているとされるインターネット上のBBSやSNSにおける権利侵害と、実際に3次元空間においてマニピュレータを操作するテレイグジスタンスの間では侵害しうる権利の幅に差異があるように思われるからである。

逐条解説においては「権利の侵害」を「個人法益の侵害として、民事上の不法行為等の要件としての権利侵害に該当するものである。ここで、侵害されることとなる「権利」については、著作権侵害、名誉毀損、プライバシー侵害等様々なものが想定され、特に限定をすることなく、それらについて、横断的に対象とするものである。」とされており、特定分野の権利への特化やブラックリスト方式のように列挙したものに限定したものではないと解釈されている。比較法学的にも単一の立法で幅広く対応する分野横断的な立法と分類されている(類似のアプローチは2000年の「域内市場における情報社会サービス、特に電子商取引の特定の法的側面に関する欧州議会および理事会のEC指令」(以下、「情報社会サービス」EC指令)があり、個別分野において立法した米国における「デジタルミレニアム著作権法」(以下、DMCAとする)と対比して語られる事が多い。[10][12]等)。

ここで例示されている著作権、名誉毀損・プライバシー

関係と、商標権関係についてはその具体的な行為基準が(特に法3条で扱われている「相当な理由」の判断において)ガイドラインとして明確化されている。従って、本法で想定されているインターネット上おBBSやSNS等のプロバイダに関してはこれらのガイドラインに従って措置を行う事で、不法行為責任を制限される可能性が高くなる。しかしながら、テレイグジスタンスは遠隔地において身体に危害を加える、財産権を侵害しうる等、プロバイダ責任制限法制において考慮されていない権利侵害を及ぼしうる。条文とその公式的な解釈において分野横断的に、限定することなく権利侵害を規定しているうえ、前節で確認した通りテレイグジスタンスの提供の一部がプロバイダ責任制限法上のプロバイダとして解釈されうる以上、条文をたよりに権利侵害に対して措置を施さなければ、テレイグジスタンス提供者は不法行為責任を負わされることになる。

条文をそのまま当てはめて考えるならば、前項で紹介した通り、情報の流通防止措置を講ずるためにはテレイグジスタンス提供者の主観的認識を基礎に判断して権利侵害と判断した場合をのぞき、発信者に7日間の反論期間を与えることとなる。しかしながら主観的認識を基礎に判断してもそれを誤るか、齟齬が生じる可能性は否定できない。また、そもそもロボットによって生じる権利侵害に対して反論期間を設ける事にどれほどの意味があるのかも定かではない。

権利侵害の被害者に対してはまず技術的に当該侵害行為を回避可能であり、その上で侵害行為を認識できない状況において責任が制限される。ここで技術的な回避可能性については、逐条解説において「技術的に可能かどうかは客観的に判断されるべきものであり、通常の技術力のある関係役務提供者であれば措置を講じることが可能であるが、当該関係役務提供者の技術力では必要な限度で措置を講じることが不可能であるというような場合については、本項による責任の制限には該当しないものと解される」と解釈されている。ここでいう「客観的な判断」がテレイグジスタンスについてどのように判断されるのかは定かではない。また、侵害行為を認識できたとする相当な理由の判断についても該当性の判断にステークホルダー同士で齟齬が生じる可能性がある。

5. 共同規制としてのガイドライン

以上で見てきた通り、我が国におけるプロバイダ責任制限法の範囲内においてテレイグジスタンス提供者は定義上プロバイダとして扱われうるものの、その不法行為責任の制限規定においては公的なガイドラインの不在を含め、具体的な責任制限のための措置について不明確な部分も多い。

プロバイダ責任制限法ですでに制定されているガイドラインは、プロバイダ責任制限法ガイドライン等検討協議会により行政とともに立法過程における交渉により策定

された。この協議会の構成員はプロバイダの電気通信事業者団体のみならず、著作権および商標権の権利団体も加わったとされている[10]。業界団体や権利者による自主規制をベースに、行政が一体となって規制を行うこのような規制のアプローチは「共同規制」とよばれ、近年情報通信分野等の技術的發展のスピードが早い分野において注目をあつめている。このアプローチは柔軟な自主規制のメリットを活かしつつも、適切な政府関与をすることで確実に目的を達成するという政府規制のメリットも持ち合わせている[13]。プロバイダ責任制限法のガイドラインについても、ガイドラインに従って権利者が送信防止措置を求めたにも関わらず放置した場合、ガイドラインにそっていることをもって「相当の理由」（法3条1項二号）があると認められ、プロバイダは不法行為責任をおうとされることから、ガイドラインが法律でなくともそれ相当の実効性をもっていることが伺える。

これらの自主規制をベースとする規制のあり方については、通常の民主的立法過程を経ないで策定されるほか、公法的制約を無視し得る等の「自主規制への逃避」[14]と呼ばれる事態を引き起こすこともありうる。

しかしながら、所轄官庁の解釈が無く判例法も定まらない状況において、予防法学的な観点からレイグジスタンスの法的リスクを管理することを考えれば、既存のガイドラインの策定にあたって行われたような共同規制の枠組みによって法的ガイドラインを策定することは意義のある事のように考えられる。

6. 結びにかえて

本研究においては、日本のプロバイダ責任制限法におけるプロバイダの不法行為責任とその制限がレイグジスタンスの提供者についても同様に生じうるのか、どのような問題があるのか、といった点から研究を行った。従って本研究においては日本法における不法行為という法的責任の一部について論じるに留まった。しかしながら、日本のプロバイダ責任制限法が「情報社会サービス」EC指令やDMCAを参考に作られていることを鑑みれば、比較法学的な研究によって海外においてレイグジスタンスの不法行為責任はどのように解釈されているのか、といったアプローチによる研究も必要だと考えられる。また、遠隔で生じる法的問題については不法行為の他にも遠隔地での犯罪等、刑事的なものも含まれる。例えばアンチグアとアメリカで起こったギャンブルやオンラインハンティングの合法性に関する問題についての研究が発表されており[15]、今後我が国でも検討すべき課題ではないかと考えられる。

参考文献

[1] Asaro, P.: Robots and Responsibility from a Legal

Perspective, Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation, Workshop on Roboethics, Rome, 2007.

- [2] Bryant Walker Smith: AUTOMATED VEHICLES ARE PROBABLY LEGAL IN THE UNITED STATES, Report/white paper, Stanford University The Center for Internet Society, 2012.
- [3] Bert-Jaap Koops, Ronald Leenes: Cheating with Implants: Implications of the Hidden Information Advantage of Bionic Ears and Eyes, Human ICT Implants: Technical, Legal and Ethical Considerations, pp113-134, 2012.
- [4] 小林正啓: 次世代ロボットの直面する法的課題について, 計測と制御, 49(6), 373-378, 計測自動制御学会, 2010.
- [5] 経済産業省: 次世代ロボット安全性確保ガイドライン, http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/pdf/guideline.pdf, 2007.
- [6] 平野晋: ロボットの安全性確保——製造物責任と安全基準, 都市問題研究, 61 巻 8 号[通巻 704 号], pp80-94, 都市問題研究会, 2009.
- [7] 総務省: 特定電気通信役務提供者の損害賠償責任の制限及び発信者情報の開示に関する法律-逐条解説-, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/chikujyokaisetu.pdf, 2002.
- [8] 加戸守行: 著作権法逐条講義, 社団法人著作権情報センター, 2003.
- [9] 金澤薫: 放送法逐条解説, 財団法人電気通信振興会, 2006.
- [10] 森田宏樹: プロバイダ責任制限法ガイドラインによる規範形成, ソフトロー研究第 12 号, pp73-102, 商事法務, 2008.
- [11] Beer, J and Clemmer C: Global Trends in Online Copyright, IRIS plus, Issue 2008-5, 2009.
- [12] 生貝直人: プロバイダ責任制限法と自主規制の重層性 -欧米の制度枠組と現代的課題を中心に-, 情報通信政策レビュー Vol2, pp1-29, 2011.
- [13] 生貝直人: 情報社会と共同規制-インターネット政策の国際比較制度研究, 勁草書房, 2011.
- [14] 原田大樹: 自主規制の公法学的研究, 有斐閣, 2007.
- [15] Asaro, P.: Remote-Control Crimes: Roboethics and Legal Jurisdictions of Tele-Agency, " Special Issue on Roboethics, Gianmarco Veruggio, Mike Van der Loos, and Jorge Solis (eds.), IEEE Robotics and Automation Magazine, 18 (1), 68-71, 2011.

義手の体性感覚フィードバック

- ヒトの運動獲得に注目したアプローチ -

Somatosensory feedback of prosthetic hand
- an approach focused on acquisition of motor system -

望月大二郎, 加藤龍, 横井浩史
Daijiro MOCHIZUKI, Ryu KATO and Hiroshi YOKOI

電気通信大学 情報理工学研究科
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, mochizuki@hi.mce.uec.ac.jp)

Abstract: The sensory feedback technology of hand posture and gripping force of myoelectric hand prosthesis gives useful information for operations of activities of daily life. However, the conventional studies mainly have dealt with only in the tactile feedback, and ignored importance of deep sensation on motor control. In this paper, authors focused on feedback of deep sensation related to the finger motion of myoelectric hand prosthesis, and developed deep sensation feedback system using vibrator array affixed to the skin surface of forearm. As a result, six simple postures of robot hand were identified with the probability of more than 70% using proposed feedback system.

Key Words: Sensory Feedback, Deep Sense, Prosthetic Hand

1. はじめに：義手に求められる性能

欠損した身体の補助を目的とする義手には、多くの機能が求められる。日常生活の補助のためには多種の把持姿勢を実現する機能的・操作的自由度が必要である。また、触知覚を得るセンサとしての機能も重要である。さらに、ロボットハンドではない義手には特に必要とされる機能として、“自分の体のように感じられる”ことが挙げられる。例えば介護ロボットは、どれほどの機能があっても使用者とは完全に独立した他者である。これに対し、義手は生活の補助と同時に、心理的な意味でも身体の補綴を行うことのできる特異な機器である。事実、価格や重量の影響があるとはいえ、金属のフック型の能動義手よりも、見た目が自身の身体に近い装飾義手が好まれるなど、義手に対して“身体らしさ”の要求は高い。そこで本研究では、身体の一部として感じられる義手の実現を大目標とする。

2. 感覚フィードバックによる身体獲得

義手は自己の身体として受け入れられる必要があるが、一方でヒトはどのようにその身体を“自己の物である”と感じているのか。これに対しては、逆に自身の身体を自分のものではないと感じる事例が参考になる。脳出血などにより脳内のボディスキーマ(身体図式)に障害を受けると、身体失認(自身の身体が無使用、無視、忘却など)や病態失認(身体の障害の否認)などを引き起こす。この身体図式とは、各自が自己の身体にもつ空間像と定義されている[1]。

実態としては、身体運動にかかわるマルチモーダルなセンサ情報が無意識に統合される神経マップであると表現され[2]、具体的な脳部位としては一次運動野、運動前野、補足運動野を中心とした神経回路である。これらの部位は運動指令を伝える末梢への接続のほかに、運動にかかわる情報の入出力として、運動の開始に関わる基底核ループと、随意運動の実行、自身の身体認識に関わる小脳ループという2つの大きな神経接続がある[3]。そして、後者はそのループに体性感覚野からの大きな入力を持つ。

これらのことから、義手から体性感覚に相当する情報を適切にヒトにフィードバックすることによって、義手をヒトの身体に内部化し、ひいては使いやすい義手を実現できると考えられる。実際、感覚入力によって身体像が変化することは、ミラー訓練による幻肢の消失やラバーハンドイリュージョンなどから知られている[4]。また感覚フィードバックの実装によって、センサとしての機能の実現や操作習熟の短期化など、実用上の操作性向上が期待される。

3. 最適刺激の設計と評価尺度

本研究には、最適刺激の設計と内部化の評価尺度について課題がある。まず義手の体性感覚フィードバックを実現する上では、侵襲性と感覚モダリティの違いが制約となる。ヒトへの情報提示を侵襲的に行うのは、衛生的な安全性や被験者の心理的抵抗などを鑑みると、現状では現実的でない。そこで視聴覚への情報提示が考えられるが、周辺環境

や操作対象の状態確認の妨げとなるし、ヒトの自己身体認識に関わる神経回路から、体性感覚の情報をこれらの手法で提示することは適切でないと考えられる。よって、情報提示手法は皮膚表面の刺激が適当ということになる。電気刺激や振動を用いた情報提示手法は多数研究されている。義手に適用する場合は情報伝達の即時性が求められるため、時間的な刺激パターンは目的に適さない。結果として空間的な刺激パターンを用いることになるが、この場合刺激のモダリティが提示位置と刺激強度の2つに制限される。位置と強度という表在感覚に対して、筋張力や関節角度といった深部感覚を、適切に提示しなくてはならない。

次に感覚フィードバックが与える影響の評価尺度であるが、Pick & Place タスクのパフォーマンス向上[5]や、定性的な「安心感」が得られることなどは報告されている。しかし、外部機器の内部化の明示的な指標は明らかでない。これに対しては、感覚フィードバックの実装によって期待される行動の変化と脳活動の変化から評価尺度を設計する。具体的には、各種運動タスクのスコア、習熟によるスコア向上の短期化、義手操作の安定性、提示される情報の認知タスクなどが行動的指標となるだろう。脳活動に関しては、振動子を用いたフィードバックと併用するため、PET や NIRS を用いるのが適当だと考えている。

4. 装置とタスクに関する予備実験の結果と考察

4.1 感覚フィードバック装置の試作と評価

振動子アレイを用いた感覚フィードバック装置を試作し、評価を行った。装置は、本研究室で開発した5指型筋電義手の各指に曲げセンサを設置し、指姿勢情報として曲り量を得る。マイコンを介して、センサの値に応じて振動モータを制御し、刺激位置として義手姿勢を提示する。振動モータの配置を図1に示す。健康な女性2名と前腕切断の女性1名を被験者として姿勢の提示実験を行い、5指のうち、1つの屈曲した指を回答させたところ、70 から 93% と高確率で識別に成功した。これにより、本装置を用いて情報提示が可能であることを確認した。

4.2 運動タスクの条件と評価指標の検討

運動タスクを行う上での条件検討と、評価指標の検討を行った。実験を行うためには、まず義手が運動中にも安定して動作することが必要である。なわとびをタスクとして、筋電パターンと義手動作の適当な対応付けを検討した。

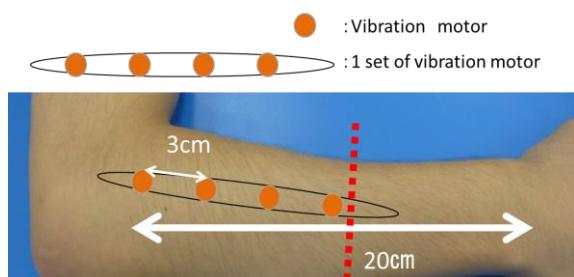


図1 振動モータの配置図

結果として、脱力に対して義手の姿勢維持を対応付けることが適当であると結論した。また、運動習熟の評価指標として期待できる結果が得られた。

タスク成功まで試行を繰り返すにしたがって、筋電出力が小さくなるチャンネルがある。余計な力が抜けていくと考えられ、運動習熟の指標となり得るであろう。初期の試行の筋電を図2に、最後のタスク成功時の試行の筋電を図3に示す。横軸はタスク開始からの経過時間(秒)である。縦軸は筋電位をチャンネル毎に増幅し、電位差0を125として標準化した値である。

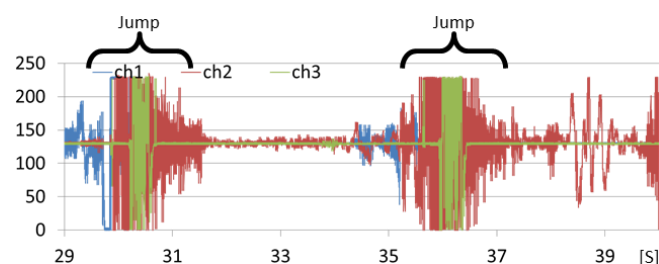


図2 試行初期の筋電

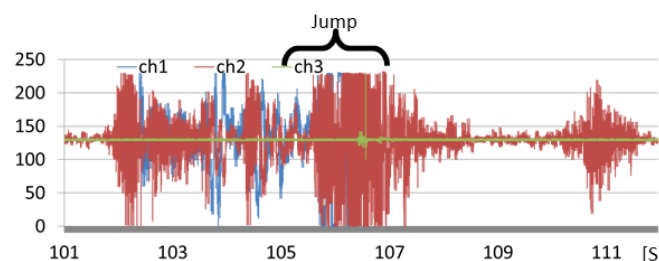


図3 最後の試行の筋電

4.3 考察と今後の展開

以上の予備実験によって、試作した装置が情報提示可能であることを確認した。また運動タスクの実験環境が整い、習熟の評価指標として動作時の筋電パターンの変化が抽出できた。今後は、感覚フィードバック装置を小型化して義手に搭載し、前述した各種行動評価を行う。

参考文献

- [1] 南山堂 医学大辞典, 南山堂, 19 版, p 1273, 2006.
- [2] 浅田稔: 身体・脳・心の理解と設計を目指す認知発達ロボティクス, 計測と制御, Vol. 48, No.1, pp. 11-20, 2009.
- [3] M.F.ベアー, B.W.コノーズ, M.A.パラディーゾ著, 加藤宏司, 他監訳: 神経科学 -脳の探求-, 西村書店, 初版, pp. 369-371, 2007.
- [4] V.S.ラマチャンドラン, サンドラ・ブレイクスリー著, 山下篤子, 訳: 脳の中の幽霊, 角川書店, 初版, pp. 78-107, 2011.
- [5] 奥野竜平, 吉田正樹, 内山孝憲, 赤澤堅造: 可聴周波数以下の皮膚振動刺激を用いた義手感覚フィードバック装置, ME とバイオサイバネティクス, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 96, No.581, pp. 99-106, 1997

自己運動に基づいた減衰正弦波振動提示による 体性感覚拡張

Augmentation of Somatic Sensation by Presenting Decaying Sinusoidal Vibration according to Self-Motion

蜂須拓^{1),2)}, 池野早紀子¹⁾, 栗原洋輔¹⁾, 梶本裕之^{1),3)}
Taku HACHISU, Sakiko IKENO, Yosuke KURIHARA, Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {hachisu, ikeno, kurihara, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会

3) 科学技術振興機構さきがけ

Abstract: This paper proposes three haptic augmented reality techniques to simulate or modulate the material of the object; 1) the augmentation of material property for tapping, 2) the simulation of pouring liquid sensation with tokkuri and 3) the alternation of body material for elbow bending. Our proposed approaches employ decaying sinusoidal vibration that conveys material sensation and is presented according to users' motion. While so far we have demonstrated that users feel the intended sensation, we would like to study whether our proposed approaches affect users' behavior such as motion.

Key Words: Decaying sinusoidal vibration, haptic augmented reality, material, self-motion.

1. はじめに

触覚提示は立体映像提示等と並んで、対象物と自己の物理的距離を端的に表現できる手段である。なぜなら対象物の性状の認知は、触れる、つまむ、なでる等の能動的な動作とそれに対する対象物の反応を皮膚感覚や固有感覚等から統合的に知覚する、といった能動性を伴うからである。このことは、触覚提示が受動的な鑑賞にとどまらず相互作用を伴うコンテンツの創造に結びつくことを意味し、ゲームや遠隔コミュニケーション等のコンテンツをより高品位にする技術であることを意味する。

著者らは、これまでにユーザの自己運動に応じた触覚提示により対象物あるいはユーザ自身の性状を提示・変調する手法を提案してきた。本稿では、特に減衰正弦波振動を用いた触覚的材質感提示による感覚変調手法について述べる。具体的には、叩き動作に対する実物体への材質感重畳手法、注ぎ動作に対する振動提示による徳利のトクトク感再現手法、肘屈伸運動動作に対する振動提示による関節材質感変調手法について報告する。

2. 減衰正弦波振動

固い物体の表面に指で、あるいは道具を介して触れた時、我々は視聴覚に頼らずとも触覚の手がかりによって触れた物体の材質を識別することができる。物体を叩いた際の

触覚の手がかりは力覚（低周波成分）と振動覚（高周波成分）の二つから成り立つ。

これまでに、この皮膚感覚と力覚を同時に提示する手法が提案されている。Wellman らはボイスコイルを搭載した力覚提示装置より[1], Okamura らは単一の力覚提示装置より[2]力覚および振動覚の提示を行った。彼らは振動覚提示に式(1)に示す減衰正弦波モデルを採用し、固い物体に触れたときから時間 t が経過した振動 $Q(t)$ を再現した。

$$Q(t) = A(v) \exp(-Bt) \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

ここで、 A は衝突速度 v によって決定される初期振幅係数、 B は減衰係数、 f は振動周波数である。 A , B , f の値は対象物体の材質によって定まる変数である。

3. 叩き動作に対する実物体への材質感重畳

前節で述べた Wellman ら[1], および Okamura ら[2]の触覚提示手法はいずれも力覚提示装置を用いるためコスト面で使用できる場面に限定的であった。本章では力覚提示装置を使用しない簡便な材質感提示手法[3][4]およびそれを実現するためのタッチセンサの開発について述べる。

3.1 材質感重畳手法

力覚提示を簡便に行うために、著者らは実物体を叩いた

際に生じる実際の反力を利用することを考えた。さらに、同時にバーチャルな振動を重量することで材質感を変調することを考えた。しかし実物体を叩いた際、実際に振動が生じるため所望の振動提示が困難になる。そこで著者らはゲルシートを利用し実際に生じる振動を吸収した上で、バーチャルな振動を付加する手法を提案した[3][4]。

3.2 高速タッチセンサ

本手法を実現するためには、ユーザが実物体に触れた瞬間に振動を提示する必要がある。ヒトの触覚の遅延検知能力を考慮した際[5]、接触検知から振動提示までをミリ秒単位で高速に行う必要がある。さらに、よりリアリスティックな振動提示をするために、衝突速度 v の計測、余計な振動の生起を避けるために非接触で接触検知を行う必要がある。

そこで著者らはこれらの設計要請を満たすタッチセンサの開発を行った。高速かつ非接触で接触検知を行うため、著者らは光遮蔽式を採用した。一般的な光遮蔽式のタッチセンサでは二次元平面上の対辺に発光素子と受光素子を配置し、接触物体の x 座標と y 座標位置を取得する(図 1 左上)。著者らは図 1 左下に示すように、二つの対辺の発光・受光素子群を分離、積み重ねることで z 軸方向の位置検出を行う手法を提案した。これにより上層と下層の発光・受光素子群の遮蔽時間を計測することで衝突速度の計測を行う。さらに、下層と接触面の距離が既知であることから、本タッチセンサは接触時間予測が可能である。

本タッチセンサとボイスコイル (TactileLabs, Haptuator) を内蔵したスティックを組み合わせて、LCD 上の材質感を変調するシステムを構成した。図 2 に示すように、LCD にはゴム、木、アルミニウムが描画されており、その上には振動吸収用のゲルシート、本タッチセンサが固定されている。

図 3 に実際にスティックで叩いた際に内蔵されたボイスコイルに印加される電圧を示す。本システムにより叩いた位置および叩く速度によって適切な減衰正弦波を提示することが可能である。

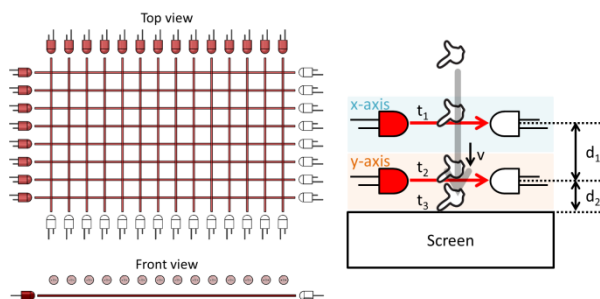


図 1 高速タッチセンサの構造 (左図) および衝突速度計測・接触時間予測の仕組み (右図)

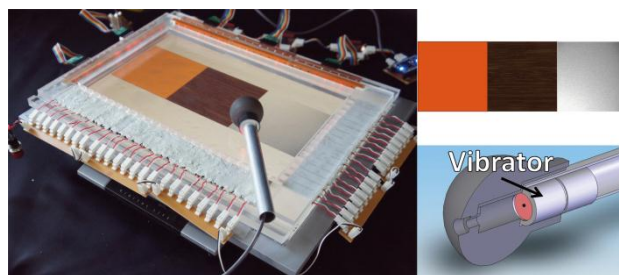


図 2 実物体への材質感重量システム

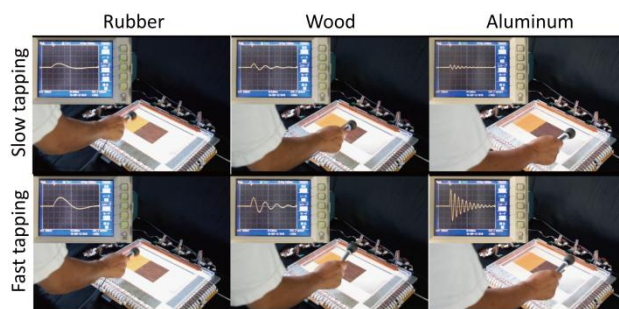


図 3 叩く位置と速度に応じた減衰正弦波振動

4. 注ぎ動作に対する振動提示による徳利のトクトク感再現

徳利で液体を注ぐ際、「トクトク」という振動が容器を介して手に伝わる。この振動は徳利の傾きや内部の液の量や質に応じて変化し、その液体を口に運ぶ前の演出の一つとして楽しまれている。本章では、このトクトク感の人工的な再現を目的に、振動の計測、モデル化および提示手法[6]について述べる。

4.1 計測・モデル化

著者らはまず、徳利から液体を注いだときの振動の記録を加速度センサ (Kionix, KXM52-1050) を用い行った。計測の様子を図 4 に示す。徳利の口を真上に向けた状態で台に固定し、水を満水になるまで注いだ。その後、徳利の口に蓋をして徳利を傾けた。徳利を傾ける角度は、徳利の口を真上にした状態を 0 度とし、90 度、115 度、135 度、155 度、180 度の 5 種類を用意した。蓋を外すと同時に計測を開始した。計測は、1 つの角度に対して、5 試行ずつ、計 25 試行を行った。

計測結果の一例として、徳利を 180 度傾けて水を注いだ場合の計測結果を図 5 左に示す。傾き角度を変えた場合、角度に応じて振幅などに変化はあるものの同様の波形が計測された。図 5 左より、計測結果は同一の波形が一定の間隔で出力されているため、ここでは、その内の 1 つの波形を取り出して解析を行った。図 5 左から 1 周期 ($T = 0.1$ 秒) 分の波形を取り出したものを図 5 右に示す。取り出した波形に対しフーリエ変換を行ったところ、観測波形は 2 つの異なるピークを持つ正弦波の合成波であることがわかった。また図 5 右の波形は徐々に減衰しているため、取り出した波形は 2 つの異なる周波数の減衰正弦波の合成波でモデリングが可能であると考えられる。同様の傾

向は、角度の異なる計測結果からも観察された。

以上の観測結果を基に式(2)に示す減衰正弦波の合成波をモデリング式に採用した。

$$Q(t) = \sum A_n(\theta) \exp(-B_n(\theta)t) \sin(2\pi f_n(\theta)t) \quad (2)$$

ここで、 A_n は初期振幅係数、 B_n は減衰係数、 f_n は振動周波数、 θ はとっくりの角度、 t は継続時間を表す。 A_n 、 B_n 、 f_n は θ に応じて定まる変数である。また、この減衰正弦波振動は周期 T で繰り返され、 T も θ に応じて定まる変数である

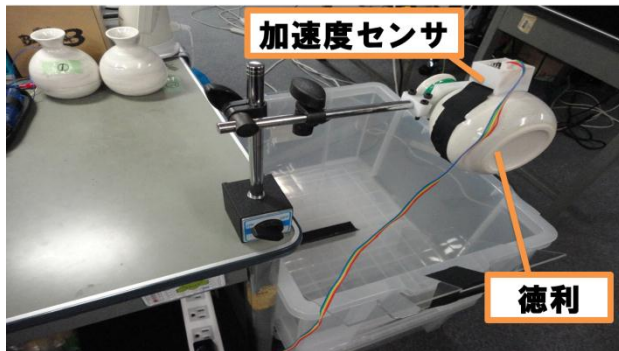


図 4 徳利で液体を注いだ際に生じる振動の計測

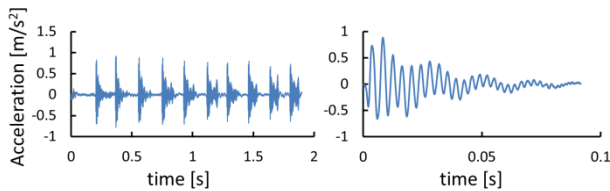


図 5 計測結果

4.2 提示装置

式(2)を用いて、徳利から液体を注いだ際の振動を人工的に再現できるかを確認するため徳利型の触覚提示デバイスを製作した。本デバイスは図 6 に示すように、ボイスコイル (TactileLabs, Haptuator Mark II)、加速度センサ (Kionix, KXM52-1050) から構成される。ユーザが本デバイスを傾けた時、加速度センサの値に応じた減衰正弦振動を PC のオーディオジャックより出力、オーディオアンプ (RASTEME SYSTEMS, RSDA202) で増幅することでボイスコイルを駆動する。

本デバイスで徳利から液体を注いだ際の振動を再現した時の様子を図 7 に示す。本デバイスによるトクトク感再現を体験したユーザから水を注いでいるような感覚がしたという感想が得られた。



図 6 トクトク感提示デバイス



図 7 注ぎ動作に対する振動提示によるトクトク感再現

5. 肘屈伸動作に対する振動提示による関節材質感変調

我々は筋感覚や関節受容器等から身体の運動状態を知ることができる。一方で、身体動作は一般的に平滑であるため、普段それらの感覚を意識することは稀である。そこで著者らはこれまでに関節運動に伴ってロータリスイッチのカチカチ感を提示することで身体運動知覚の鮮明化を試みてきた[7]。本章ではこのカチカチ感に減衰正弦波振動を付加することで関節の材質感を変調する手法[8]について述べる。これによりサイエンスフィクションにしばしば登場する身体がゴムや金属等で構成されたキャラクターの身体感覚を体験できるシステムの構築を試みる。

5.1 ロータリスイッチのカチカチ感

ロータリスイッチを手で回すと、カチカチとした周期的な触覚が手に返される。このカチカチ感は、周期的な抵抗感の変化と衝撃感で構成されており、ダイヤル型スイッチなどの操作性向上に応用されている。例えば自動車内のダッシュボードに取り付けられたロータリスイッチによって、運転者は手元を見ることなくダイヤルを所望の位置に調整することができる[9]。

このカチカチ感は運動の結果を伝える触覚の手がかりであり、運動感覚の拡張であるといえる。著者らはヒトの関節部屈伸運動にカチカチ感を適用することで、関節部の運動感覚を鮮明にできるのではないかと考えた。

著者らは図 8 左に示す肘部装着型のカチカチ感提示デバイスを作成した。図 8 右に示すように、本デバイスは押しバネとスチールボールを利用したカムスイッチ機構により肘屈伸に伴って周期的な触刺激を提示する。

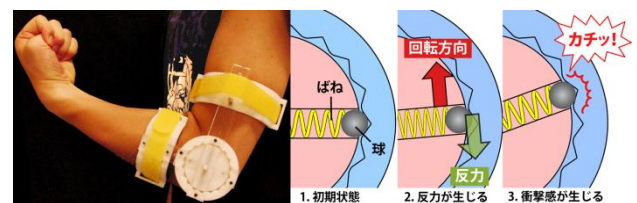


図 8 カチカチ感提示デバイス

5.2 減衰正弦波振動付与による関節材質感変調

著者らは前節で述べた周期的な触覚刺激に減衰正弦波振動を付加することで、あたかも関節の材質が変わったように感じられるのではないかと考えた (図 9)。

本提案手法を実現するために図 10 左に示すシステムを構築した。本システムは Microsoft Kinect, PC, マイクロコントローラ (NXP Semiconductor, mbed NXP LPC 1768), オーディオアンプ (RASTEME SYSTEMS, RSDA202), ボイスコイル (TactileLabs, Haptuator Mark II) から構成される。Kinect によって取得されたユーザの骨格の三次元位置から PC によって肘関節角度が計算される。PC よりユーザの肘関節角度がマイクロコントローラに送信され、マイクロコントローラは D/A コンバータを介して 10 度おきに減衰正弦波振動を出力する (図 10 右)。出力された減衰正弦波振動はオーディオアンプで増幅され、リストバンドでユーザの肘部に固定されたボイスコイルを駆動する。

本システムを用いて所望の材質感を提示可能か被験者実験より検証したところ、3 種類の材質 (ゴム, 木, アルミニウム) が識別可能であることが明らかとなった。

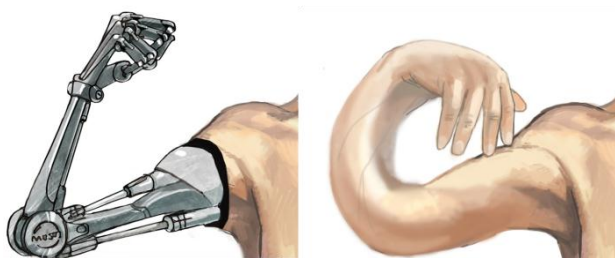


図 9 関節材質感変調

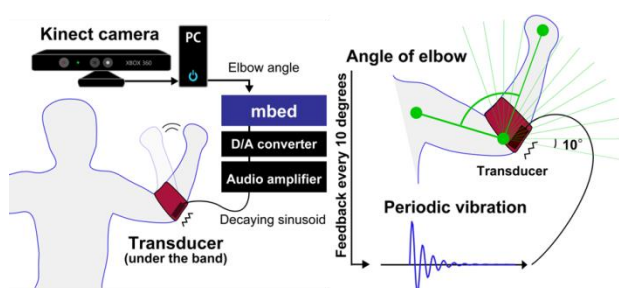


図 10 関節材質感変調システム

6. おわりに

本稿では自己運動に基づいた減衰正弦波振動提示による感覚拡張手法について述べた。これまでの報告では提案手法に対する評価として、材質感ないし感触が所望の提示通り変調されているかを被験者実験により検証してきた。

今後はこれらの感覚変調がユーザの物理的・心理的行動に及ぼす影響を調査する予定である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 24004331 の助成による。

参考文献

- [1]Wellman, P., and Howe, R.D.: Towards Realistic Display in Virtual Environments, Proceedings of the ASME Dynamic System and Control Division, Vol. 57, No. 2, pp.713-718, 1995.
- [2]Okamura, A.M., Cutkosky, M.R., and Dennerlein, J.T.: Reality-Based Models for Vibration Feedback in Virtual Environments. IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol. 6, No. 3, pp.245-252, 2001.
- [3]Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H.: HaCHISick: Simulating Haptic Sensation on Tablet PC for Musical Instruments Application, Proceedings of Symposium on User Interface Software and Technology 2011, pp.73-74, 2011.
- [4]Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H.: Augmentation of Material Property by Modulating Vibration Resulting From Tapping, Proceedings of EuroHaptics 2012, vol.1, pp.173-180, 2012.
- [5]Ohnishi, H., and Mochizuki, K.: Effect of Delay of Feedback Force on Perception of Elastic Force: A Psychophysical Approach, IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-B, No. 1, pp. 12-20, 2007.
- [6]池野, 岡崎, 蜂須, 佐藤, 福嶋, 梶本: 徳利の「トクトク感」のモデル化および再現, エンタテインメントコンピューティング 2012, pp.296-300, 2012.
- [7]Kurihara, Y., Kuniyasu, Y., Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H.: Augmentation of Kinesthetic Sensation by Adding "Rotary Switch Feeling" Feedback. Proceedings of Augmented Human 2012, 2012.
- [8]Kurihara, Y., Hachisu, T., Sato, M., Fukushima, S., and Kajimoto, H.: Virtual Alternation of Body Material by Periodic Vibrotactile Feedback, Proceedings of IEEE VR 2013, 2013. (printing)
- [9]Badescu, M., Wampler, C., and Mavroidis, C.: Rotary Haptic Knob for Vehicular Instrument Controls, Proceedings of the Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 342-343, 2002.

トレイグジスタンス技術を用いた 人-エージェント間のインタラクション探索

Exploring Human-Agent Interaction using Telexistence Technology

大澤博隆¹⁾, 飛田国星²⁾, 今井倫太¹⁾

Hirotaka OSAWA, Kunitoshi TOBITA, and Michita IMAI

1) 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, osawa@ayu.ics.keio.ac.jp)

2) 慶應義塾大学 理工学研究科 開放環境科学専攻

(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, tobita@ayu.ics.keio.ac.jp)

Abstract: We propose an alternative approach to find each agent's unique interaction strategies in human-agent interaction field, called Immersing Discovery Method. In this approach, the human manipulator behaves as if she/he becomes the robot and finds the appropriate interaction strategies based on each robot's shape and modalities with Telexistence technology.

Key Words: Human-agent interaction, Immersing

1. はじめに: HAI とインタラクションデザイン

ヒューマンエージェントインタラクション(HAI)はユーザに対し社会的なチャンネルを介して働きかけるエージェントを用いた情報提示手法である[1][2]. HAI で使われるエージェント達は人間の社会的チャンネルに働きかけるための多様な外見・振る舞いを備えており, エンターテインメント分野, 情報低自分, 認知症・自閉症の改善といった医療分野まで広く使われている[3][4][5][6].

エージェントが人間に対し働きかける際のインタラクション設計は重要である. 特に, 形態を変化させられるバーチャルエージェントと異なり, 実世界上で動くロボットタイプのエージェントの場合には, 形態を変化させるコストが大きく, 実行するタスクに入出力が制約される. このような条件下では, エージェントの取りうるインタラクション戦略を注意深く設計する必要がある.

実世界エージェントであるロボットの形態設計手法としては, 人間同士のインタラクションを模範とし, それを模倣するというアプローチが主流である. 人間同士のインタラクションにおいて観察された心理学・認知科学的知見を元とし, これを再現するようなモデルをロボットに実装し, 評価として, 人間同士のインタラクションで得られる効果が, 人間-ロボット間で同じように得られることを検証するという形で進められてきた[7]. これは, 人間同士の行なっているインタラクションが, 人間とロボット間においても最適な手法である, という前提に基づいている.

しかしこのやり方では, 人間形状以外のロボットエージェントにおいて, どのような振る舞いが相対的に効率の良

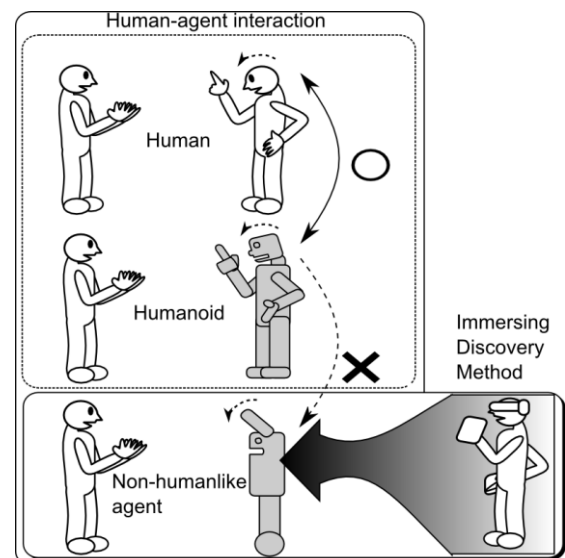


図1 没入型発見法による
エージェント固有のインタラクションの発見

いコミュニケーションを行えるか厳密に知ることができない. エージェントのデザインはタスクに密接に依存しており, 人間-人間間のインタラクションと同程度の情報伝達を達成する擬人化条件を揃えられない場合もある. 人間-人間間のインタラクションの知見を目標にするというやり方は, 図1上部のような人間に近いエージェントのインタラクションは設計できても, その結果を図1下部のような, 人間と異なる形状を持たざるを得ないロボットへ適用するのが難しかった. また, タスク実行時のマニピュレータや, 独自のセンサを用いたロボットが持つ独自の

入出力を用いた新しいインタラクション戦略も潜在的に達成可能であるのにもかかわらずこのような潜在的なインタラクションが評価できていない。例えば、ロボットがマニピュレーションを行うための腕は、必ずしも人間と同じ2腕である必要はなく、もっと多くても少なくともタスクは実行可能である。このような腕を人間に見せることで、共同注意やポインティングという動作が発生しうが、従来手法では人間型のインタラクションしか評価できない。また、ロボットは可視光以外のセンサに反応したタスク遂行も可能であり、センサ取り付け位置も自由だが、どのようにセンサを動かし、人間と注意を共有するか、という戦略も、人間型以外では行いづらい。

エージェント独特のインタラクションを設計するため、本研究ではレイグジスタンスの考え方を応用し、人間がエージェントに成り代わってエージェントのコミュニケーションプロトコルを評価する没入型発見法を提案する。没入型発見法では、図1下部のように、操作者がエージェントを操って人間と直接インタラクションを行い、そこでロボットの入出力に合わせた独自のインタラクション戦略を考える。この際、あたかもユーザがその場におり、エージェントに変化したかのように感じさせる。これによって、人間同士のやり方とは異なる、新たなインタラクション戦略を探索できる。

2. エージェントの様態とインタラクション

HAI 研究におけるエージェントとは、道具と対比される概念であり、人間の脳にとって他者として認識される存在である。エージェントの行う振る舞いがユーザの社会的な需要を引き起こすのに十分であれば、HAI は達成される。わずかな行動から意図を見出す人間の性質は様々な研究で報告されている。メディアイクエーションの研究では、情報の媒体となる道具が社会的存在として扱われることが指摘されている[8]。Sung らによるロボット掃除機 Roomba の調査研究では、人間がいかにもロボットの振る舞いから社会的な態度を読み取り、エージェントと見做すかが指摘されている[9]。del Pobil らは、様々なロボットを比較しつつ、現状のロボットの取りうる形状を人間類似、動物類似、簡素化、道具の4点に分類した[10]。本研究では HAI におけるエージェントを、その振る舞いによって人間の脳の認知的なチャネルを発火させ、人間の社会的な行動を引き起こすツールと定義する。

ロボットやバーチャルエージェントのようなエージェントは、ペットと同じく、人間社会の中で他者として振る舞う。これは、Denette の主張する Intentional stance の立場でエージェントが捉えられていると考えられる[11]。しかしながら、エージェントが Intentional stance を用いて認識されるからといって、エージェントが人間と同じようなインタラクション戦略を必ずしも用いる必要はない。実際に、人間と異なるインタラクション戦略を持ちつつ、人間に対して効用を与えるエージェントが存在す

る。Paro や AIBO のような動物型のロボットは、動物に付随する要素と、ロボットにしかなしえない動作を用いてユーザを惹きつけ、ユーザの精神状態に有効な効果をもたらしている。また、このようなエージェントは、技術的な特性を生かしつつ、人間ともペットとも異なる社会的な立場を取って人間に働きかけることも可能である。Mu や Social Trash Box のように、人間の持つ要素の一部を誇張して、ユーザをインタラクションに誘導する戦略を持ったロボットも提案されている[12][13]。

これら人間形状を離れたロボットのインタラクション戦略は、人間一人間間のインタラクションをベースにロボットのデザインを考える、という従来の HRI 研究の思考法では到達しづらいものであった。そのため、人間型を離れて形状や入出力のモダリティをどう設計するかは、これまで個々の研究者のアイディアに依存する所が大きかった。我々は、このようなエージェントのインタラクション戦略を考えやすくするため、設計者がエージェントに没入する、という手法を提案する。

3. 没入型発見法とその関連研究

3.1 没入型発見法の要点

没入型発見法は、人間を HAI における解を求めるための計算資源とみなす。そして、この計算資源から効率的に情報を取り出すため、人間の入出力をロボットの入出力に射影する、という考え方を行う。人間がロボットの立場で振る舞い、周囲とコミュニケーションを取ることで、人間同士のやり方とは異なる、新たなインタラクション戦略発見することができる。同様の手法は高齢者の立場になる「高齢者擬似体験セット」を用いたデザイン手法として、有効であることが示されている[14]。また言語学習の分野においては、学習対象者を外国語環境に置き、没入させて学習を早める、という教育手法が検討されている[15]。

本研究ではこのような人間の可変性、環境適応の素早さを利用し、入出力として高齢者のような人間のバリエーションや、外国語のような言語コミュニケーションではなく、人間とは違うロボットの入出力を当てはめ、人間という計算資源にインタラクション戦略を発見させる。

3.2 Wizard of Oz 法との関連性と相違点

人間-計算機間のインタフェースを内部から改良する手法として、Kelly らが提案してきた Wizard of Oz 法 (WoZ 法) が挙げられる[16]。Kelley らは UI を直接設計・実装して結果を評価するのではなく、まずキーボード等の入力装置を用いて人間が返答するシステムを作り、このプロセスを繰り返し改良することで UI の改良を行うことを提案した。WoZ 法はまた、HRI、HAI のインタラクションモデルを被験者実験で評価する際、実験阻害要因となる雑音や認識ミスなどを排除し、提案モデルを評価するためにもつかわれる。

WoZ 法は、対象となるインタラクション戦略をあらかじめ

め決定し、その動作が適切か評価を行う手法であり、発見的に探索する手法ではない。したがって、人間のコミュニケーション戦略を元にロボットのコミュニケーション戦略を評価するには適切な手法だが、エージェント独自のコミュニケーション戦略を発見的に探索するには、適切ではない。また、Kelley らの想定している WoZ 法では、人間の入力に対し応答を返すという、明確な状態遷移のある計算機上の対話インタフェースの設計を中心としている。そのため、ロボットが行うような、実環境上で同時並行的に多数の情報がやりとりされる動的なインタラクションの場合、操作者の入力が間に合わなくなってしまう。操作者である人間の反応から、エージェントのインタラクション戦略を効率良く得るためには、操作者がエージェントそのものであるかのように見せかける必要がある。HAI の評価法である没入型発見法では、HCI の評価法である WoZ 法を拡張し、操作者に対しエージェントの立場へと没入させるための手法が必要となる。

3.3 テレグジスタンス研究との関連性

テレオペレーション研究において、操作者側の現実空間と遠隔地の現実空間をどのように接続するかは重要な課題である[17]。また人間以外の形状のロボットやエージェントを人間が適切に操るシステムとして、マリオネットのシステムに近いものが研究、商用含め存在する[18][19]。特にテレグジスタンス研究においては、遠隔地に存在するかのように振る舞うためのセンシング、アクチュエーションの技術について注意が払われている[20]。我々の提案する没入型発見法ではこれらのテレグジスタンス技が蓄積していた遠隔存在感のための基礎技術を WoZ 法に適用し、WoZ 法をより動的な評価手法として拡張することを提案する。

4. 没入型発見法の適用例

4.1 ヒューマノイドの要素変化によるインタラクションの変化

本研究者らは没入型発見法を用い、まずヒューマノイドエージェントのバリエーションとして、首が動くロボットと動かないロボットでのインタラクション戦略の変化を調べた[21]。設計者をエージェントに没入させるため、図2のように、モーションキャプチャシステムを使用して各々の設計者の出力部である手や頭をエージェントの手や頭に割り当てた。また、エージェントと同様の視点をカメラにより共有した。出力の割り当ては検討したいエージェントの様態に応じて自由に接続/切断が可能であり、首が動く設定と動かない設定を切り替えることができる。その上で、各設計者を操作者側、ユーザ側の2人ずつのグループに分類し、積み木の組み立てさせ方をエージェントからユーザに素早く組み立てさせるための手段を検討させた。首が動作するかしないかで、情報理論的に失われる情報はほとんどない。しかしながら、ユーザ側が受け取る様

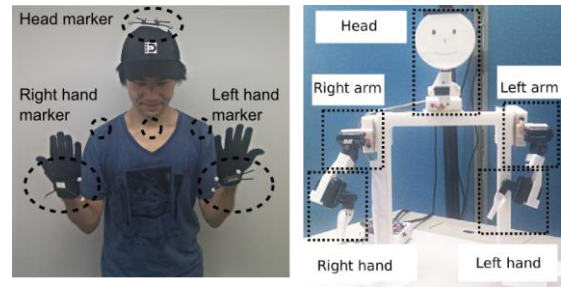


図2 モダリティ選択可能なエージェントと操作者のマッピング

態は異なるため、適切なインタラクション戦略は変化する。

結果、首が動かないロボットでは確認動作が行われなかったため、人間のような顔きを主にした情報伝達ではなく、物真似を主にした情報伝達が支配的となった。また、全体の情報伝達が人間手動でなく、ロボット主導で情報伝達が進むことが分かった。このように、様態の変化が社会的なコミュニケーションプロトコルの変化を生み出し、従来のエージェントの設計手法では発見できなかった、独自の新しいインタラクション戦略が発見できた。

4.2 2軸のエージェントにおけるインタラクションの達成と自律モデルの生成

次に我々は、より人型から離れたエージェントのインタラクション発見のため、二軸のロボットにおけるインタラクション戦略を探索した[22]。本バリエーションではシステムからユーザへの出力は2軸のモータのみに限定されている。そして、ユーザからシステムへの入力ユーザの顔の位置・向きと両手のそれぞれの位置・向きのみである。2軸のモータが達成する振る舞いは非常に簡略化されているが、ヒューマンロボットインタラクションの既存研究より、このような簡略化された動作であっても十分に意図を伝えられることが示されているため、我々は2軸の動作がチューリングテストを満たし、十分に簡略化されており、かつ現在のロボットやエージェントの設計に対し、十分に貢献できる条件であると判断した。

本実験では、操作者である人間が、音声を使わず遠距離からカメラの映像を見ながら、インタラクション対象者の前に置かれた2軸のロボット箱を操作した。この操作によって、ロボット箱の側に置いてある物体を箱の中に入れるように誘導した。実験結果より、うなずきや首振りをもとにした単純な動作であっても、ユーザのタイミングに合わせた適切な動作で十分に指示が伝達されることがわかった。また、この研究では得られたコミュニケーションモデルを元にして、自律的な動作モデルを実装し、チューリングテストを行なって、最終的に人間と同じような自律エージェントを作成することができた。

5. 結論

我々はヒューマンエージェントインタラクションにお

けるインタラクション戦略の探索手法として、テレイグジスタンス手法を応用した没入型発見法を提案している。本稿では没入型発見法の内容とその成果を説明した。没入型発見法の将来的な拡張として、出力だけでなくカメラ以外の入力技術を用いてエージェントに没入させるための手法を検討する予定である。

謝辞 本研究は独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（さきがけ）領域「情報環境と人」の援助を受け行われました。

参考文献

- [1] J. S. Edited by Justine Cassell, *Embodied Conversational Agents*. MIT Press, 2000.
- [2] D. A. Norman, “How might people interact with agents,” *Communications of the ACM*, vol. 37, no. 7, pp. 68-71, Jul. 1994.
- [3] N. Suzuki and Y. Yamamoto, *Pursuing entertainment aspects of SONY AIBO quadruped robots*. IEEE, pp. 1-5, 2011.
- [4] J. Dimas, I. Leite, A. Pereira, P. Cuba, R. Prada, and A. Paiva, “Pervasive Pleo: Long-term Attachment with Artificial Pets,” in *Workshop on playful experiences in Mobile HCI*, 2010.
- [5] K. Matsukuma, H. Handa, and K. Yokoyama, “Subjective Evaluation of Seal Robot: Paro – Tabulation and Analysis of Questionnaire Results –,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol. 14, no. 1, pp. 13-19, 2002.
- [6] I. Werry, K. Dautenhahn, B. Ogden, and W. Harwin, “Can Social Interaction Skills Be Taught by a Social Agent? The Role of a Robotic Mediator in Autism Therapy,” in *4th international conference on cognitive technology: instruments of mind*, pp. 57 - 74, 2001.
- [7] 石黒浩, 宮下敬宏, 神田崇行: コミュニケーションロボット一人と関わるロボットを開発するための技術。オーム社, 2005.
- [8] B. Reeves and C. Nass, *The Media Equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places*. Stanford, 1996.
- [9] J.-Y. Sung, R. E. Grinter, H. I. Christensen, and L. Guo, “Housewives or technophiles?,” in *Proceedings of the 3rd international conference on Human robot interaction – HRI ’08*, p. 129, 2008.
- [10] del Pobal A. P. and S. Sudar, “Lecture Notes of the Workshop on the Interaction Science Perspective on HRI: Designing Robot Morphology,” in *ACM/IEEE Human Robot Interaction*, 2010.
- [11] D. C. Dennett, *The Intentional Stance*. A Bradford Book, 1989.
- [12] N. Matsumoto, H. Fujii, M. Goan, and O. M., “Minimal communication design of embodied interface,” in *International Conference on Active Media Technology (AMT)*, pp. 225-230, 2005.
- [13] Y. Yamaji, T. Miyake, Y. Yoshiike, P. R. S. Silva, and M. Okada, “STB: Child-Dependent Sociable Trash Box,” *International Journal of Social Robotics*, vol. 3, no. 4, pp. 359-370, Oct. 2011.
- [14] 田村徹, 牛田典彦, 大石巖: 擬似高齢者メガネ装着時における可読性の評価, 東京工芸大学工学部紀要, vol. 23, no. 1, pp. 76-82, 2001.
- [15] A. Uhl Chamot and P. B. El-Dinary, “Children’s Learning Strategies in Language Immersion Classrooms,” *The Modern Language Journal*, vol. 83, no. 3, pp. 319-338, 1999.
- [16] J. F. Kelley, “An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications,” *ACM Transactions on Office Information Systems*, vol. 2, no. 1, pp. 26-41, 1984.
- [17] H. Kuzuoka, S. Oyama, K. Yamazaki, K. Suzuki, and M. Mitsuishi, “GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor’s Actions,” in *ACM Computer Supported Cooperative Work*, pp. 155-162, 2000.
- [18] J. K. Lee, W. D. Stiehl, R. L. Toscano, and C. Breazeal, “Semi-Autonomous Robot Avatar as a Medium for Family Communication and Education,” *Advanced Robotics*, vol. 23, no. 14, pp. 1925-1949, 2009.
- [19] Disney, “Turtle Talk with Crush,” 2004. [Online]. Available: <http://disneyland.disney.go.com/disneys-california-adventure/turtle-talk-with-crush/>.
- [20] S. Tachi, K. Tanie, K. Komoriya, and M. Kaneko, *Tele-existence(I): Design and Evaluation of a Visual Display with Sensation of Presence*. pp. 245-254, 1985.
- [21] H. Osawa and M. Imai, “Possessed Robot : How to Find Original Nonverbal Communication Style in Human-Robot Interaction,” in *International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, pp. 632-641, 2012.
- [22] H. Osawa, K. Tobita, Y. Kuwayama, M. Imai, and S. Yamada, “Behavioral Turing Test using Two-axis Actuators,” in *International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, pp. 328-333, 2012.

日本バーチャルリアリティ学会研究報告

VR 学研報 Vol.17, No. TX01

第1回レイグジスタンス研究会

©2012 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)

発行者 日本バーチャルリアリティ学会
〒113-0033 東京都文京区本郷 2-28-3 山越ビル 301
TEL 03-5840-8777 / FAX 03-5840-8766
e-mail office@vrsj.org

The Virtual Reality Society of Japan
Yamakoshi Bld. #301, 2-28-3 Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo, 113-0033 Japan

禁無断転写・転載