

# 世界の子ども達をつなぐ遠隔操作ロボットシステム： コミュニケーション促進効果の検証

Linking Children across the World by Telerobotics:  
Investigating the Effect of Facilitating Communication

田中 文英\*1  
Fumihide Tanaka

高橋 利光\*2  
Toshimitsu Takahashi

松添 静子\*2  
Shizuko Matsuzoe

田沢 奈緒\*2  
Nao Tazawa

森田 昌彦\*3  
Masahiko Morita

\*1東京大学 大学院 情報理工学系研究科

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

\*2筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

\*3筑波大学 システム情報系

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

The use of a child-operated telepresence robot system for the purpose of facilitating communication between distant classrooms was studied. First, the system was developed with emphasis on the operation interface. Second, an experiment was conducted to clarify the effectiveness of introducing the system into remote communication between a foreign language teacher and students. In particular, it was revealed that young children who had not been able to well communicate with speakers of different languages on conventional video-conference services could establish and keep communication using the telepresence robot system developed through the project. Finally, an international field trial of connecting remote classrooms between Australia and Japan was conducted.

## 1. はじめに

テレプレゼンスロボット (Telepresence Robot) は次世代の遠隔コミュニケーションを提供する技術として注目を集めている。映像音声チャンネルのみを提供するビデオ会議と異なり、操作者はロボットを通じて遠隔地に物理的に働きかけることが可能である。具体的には、物体の受け渡しなどに代表される物体を通じたコミュニケーションが可能となり、操作者はロボットを動かして遠隔地を移動することも可能になる。さらに、テレプレゼンスロボットはその名前の通り操作者の存在感を遠隔地に伝えることも可能であり、この点も重要な特徴のひとつであると言われている。館によって提唱されたトレイグジスタンス [Tachi 03] から、近年では一連のアンドロイド [Ishiguro 06, Ogawa 11] など、これまでも遠隔存在感と関連した多くの研究開発がなされてきた。その一方で近年、アメリカ西海岸のベンチャー企業を中心に、比較的安価な構成でテレプレゼンスロボットを商品化する動きが相次いでいる [Anybots, Inc., InTouch Health, VGo Communications, Inc., Suitable Technologies]。これらの商品のほとんどは、既存のビデオ会議システムに移動機構を加えたシンプルな構成に基づくが、すでにオフィスや病院などの場面で利用され始めている。

テレプレゼンスロボットの有望な応用場面のひとつに教育支援がある。韓国では、ネイティブ英語教師の不足を補う目的でテレプレゼンスロボットの導入が検討されている [Yun 11]。英語圏に居住するネイティブ英語教師に自国から韓国の教室に置かれたロボットを遠隔操作してもらい、英語のレッスンを行ってもらうことを目指している。さて、これらのロボットは全て大人教師をユーザ (操作者) 対象として設計されたものであるが、その一方で、生徒自身による遠隔操作を対象としたテレプレゼンスロボットはこれまで開発されてこなかった。大人の場

合と異なり、とくに年少の子どもの場合は操作インターフェースの見解も少なく開発には難が伴う。しかしながら、もしも子どもによって操作可能なテレプレゼンスロボットが得られれば、子どもたちに対して安全かつ気軽に異言語・異文化と交流できる機会を提供することができるようになり、その意義は非常に大きい。具体的には、ロボットを遠隔操作しながら外国の教室の授業に参加したり、街の中を移動したりする体験が可能となる。さらには、後述するように、テレプレゼンスロボットは異言語コミュニケーションを既存のビデオ会議よりも促進し得る性質も有することが明らかになりつつある。

我々は、2009年から3年半にわたり (独) 科学技術振興機構さがけプログラムからの支援を受けて、こうした子ども向けの遠隔操作ロボットシステムを研究開発してきた。同研究プロジェクトでは、具体的には主に以下3つの目標を立てた。

- 3歳の子どもでも (難しい説明無しに) 遠隔操作可能なロボットシステムを開発すること。とくに操作インターフェースに関しては、教育フィールドでの観察やヒアリングを元に要求仕様を見つけることから始めて、プロトタイプの実験フィールドテストを通じた開発を行う。
- 開発したシステムの有効性を教育フィールドで明らかにすること。具体的には、早期外国語教育の場面において、従来型のビデオ会議を用いた方法よりも教師-生徒間のコミュニケーションを促進し得ることを実証実験から示す。
- 開発したシステムを用いて実際に世界をつなぎ、テストケースとして社会発信すること。異国間にまたがる二教室を同システム上でつなぎ、実際に遠隔授業参加が可能であるか、双方の間に言葉の壁が存在したとしても親密なコミュニケーションが可能であるかを調査する。

本論文では、以上の研究の最新主要成果について報告する。

連絡先: 田中 文英, 東京大学 大学院 情報理工学系研究科  
ソーシャル ICT 研究センター, 〒 113-8656 東京都  
文京区本郷 7-3-1, f-tanaka@isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp



図 1: 主に 3~5 歳の子どものために設計・開発された三輪車型のロボット操作インターフェース。

## 2. 子ども用の遠隔操作ロボットシステム

2009 年のプロジェクト開始時にまず直面した問題は、小さな子どもを対象とした遠隔操作ロボットの研究や開発はこれまでほとんど行われておらず、とくに操作インターフェースについては必要な仕様などが不明なことであった。そのため我々は、要求仕様の抽出を目的とした探索型のフィールド観察から研究を開始した。ここでは、つくば市にある子ども英会話教室の協力を得て、3 歳から 12 歳まで様々なレッスンを見学し、教師や保護者の方々から多くの意見を得ることができた。

観察を通じて最も印象深かったのは、教室における子どもの行動の多くが何かしらの物体のハンドリングを含んでいるということであった。英会話教室の授業は全て英語で行われていたため、入室したての子どもで会話を全く理解できていないケースも多々あったが、それでも物体を介すことによって、教師はコミュニケーションをつないで授業を行っていた。この観察は我々の研究に重要な示唆を与えた。次章でも説明するように、既存のビデオ会議は早期コミュニケーション教育の現場において問題点が指摘されている。それは、とくに学習初期の場合、生徒である子どもが画面中の外国人教師を目前にして「固まって」しまうケースがとても多いという点である。映像音声のみを介したコミュニケーション中において言語の壁が存在する場合、生徒はどうして良いか分からず発話その他の行動がとれなくなってしまいがちである。ところが、もしもここで物体のハンドリングが可能であれば、上述の事例のようにコミュニケーションが継続できる可能性がある。それは正に、遠隔操作ロボットの利用がもたらす新しい価値に他ならない。

同時に、操作インターフェースに関する要求事項も観察を通じて明らかになってきた。とくに以下の点については設計に際して重要であるように思われた。

1. 子どもの自然な身体動作をなるべく束縛しないこと。とくに年少の子どもの場合、緊張を和らげる意味でも全身動作を活かした入力インターフェースは有効である。
2. 詳しい説明やマニュアル無しで使えること。年少の子どもの場合はとくに、操作方法についての説明は最小限であることが望まれる。
3. 操作に際してある程度の物理的な抵抗を操作者に感じさせること。安全性の観点から、ロボットの遠隔操作時に重量抵抗や動き抵抗を感じさせることが望ましい。
4. 教室環境での利用を踏まえて、ベースとなるインターフェースは一般的で安価に入手可能なものであること。

教室における観察とプロトタイプ作成・テストの繰り返しから、大別して二種類の操作インターフェースが開発された。一種

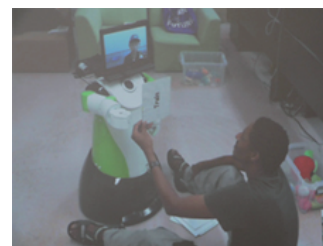


図 2: (左写真) の子どもはロボット (右写真) を遠隔操作しながら外国人教師の英会話レッスンに参加している。子どもは左手のジョイスティックでロボットの移動を制御しながら、右手に着用したデータグローブを用いて把持を制御している。まだ英語を使えない子ども達でも物体把持や身体動作を通じて外国人教師とコミュニケーションをとることが可能で、リラックスしてレッスンに参加することができる。

類目は主に年少 (3~5 歳) を対象に開発された三輪車型のインターフェース (図 1) である。操作者の動き (前後左右移動) は後輪に付けられた二つのロータリーエンコーダによって検知され、遠隔ロボットの移動制御に用いられている。移動方向は二つのエンコーダの値の差に基づき算出される。サドル上に設置されたタブレット PC には Skype ウィンドウが映し出されており、遠隔地のロボットからのカメラ映像を見ることができ、音声によるやりとりも可能である。

その一方で 5~6 歳以上になると、より精緻な動作入力が可能となり、子どもの方からもそうした動作への興味・欲求が高まってくる。そのため、両手同時操作入力が可能なインターフェースも開発した。図 2 はその一例であり、左写真の子どもが右写真のロボットを遠隔操作しながら外国人教師のレッスンに参加している場面である。操作者である子どもは、左手のジョイスティックでロボットの前後左右移動を制御しながら、右手でロボットの把持操作を行っている。右手には曲げセンサーが内蔵されたデータグローブが着用されていて、手の開閉情報がロボットに Bluetooth と TCP/IP 経由で転送されている。操作者には二系統のモニターが与えられており、手元の PC 画面ではロボットに取り付けられたカメラからの映像が、壁に大写しされた映像からは遠隔地の部屋に配置された俯瞰カメラからの様子を見ることができ、逆にロボット側では、頭部にマウントされたタブレット PC の Skype ウィンドウを通じて操作者と映像音声のやりとりを行うこともできる。

図 1 のタイプの操作インターフェースもサドルグリッパやデータグローブを併用することによって把持機能を持たせることができる。三輪車型のインターフェースはとくに年少の子どもに対して非常に有効で、全く説明を与えずとも使えた子ども達もいた。ただし、このタイプのインターフェースを用いるには比較的広い部屋が必要であり、三輪車が壁際に来るとスタックしてしまう問題点もある。それに対して、図 2 のタイプは多少の説明を与えることのできる年齢帯の子どもに有効で、より応用範囲も広い。英会話教育などの用途においては操作に夢中になり過ぎると今度はそのために発話が抑えられてしまうというケースも見てとれたため、適度な操作性に留めておくことが重要である。例えば次章で説明する実験では、図 2 のタイプをさらにシンプルにしてジョイスティックを省き、その代わりに右手

のグローブにモーションセンサを取り付けて右手の動きのみでロボットの前後左右動を制御できるようにした。

### 3. コミュニケーション促進仮説の検証実験

子ども達の遠隔地間コミュニケーションに関する先行研究 [Yarosh 10, Junuzovic 12] でも指摘されているように、ビデオ会議のみでは離れた子ども達同士のコミュニケーションには不十分であることが知られている。我々が様々な教育現場で行ってきた予備実験でも、Skype のみでは画面中の外国人を目の前にして何をして良いか分からず動作が完全に停止してしまう子ども達を数多く目にしてきた。2章前半でも述べたように、遠隔操作ロボットはこの点の改善において有効性を示す可能性がある。物体を介した物理的なやりとりが可能なことによって、その際に外国人から話される言葉が完全に理解できなかったとしても、コミュニケーションは継続できる可能性がある。そして、もしもこの点を立証できれば、とくに学習早期の異言語コミュニケーションの場面等において大きな有用性を提示することができる。そこで本研究では、比較的統制要素を高めたフィールド実験の中で、遠隔操作ロボットの利用が同場面でのコミュニケーションを促進できるかどうかを調査した。

筑波大学システム情報系研究倫理委員会からの実験計画承認を得て、つくば市内合計 4 か所の幼稚園と小学校にて実験を行った。これまでに、予備実験も含めると合計 50 名以上の児童（4 歳～8 歳）に実験へ参加して頂いている。すでに実験自体は終了しているものの、全てのデータ分析が終わっていないため、以下、その途中結果として 26 名分のデータに基づく分析の途中経過を報告する。

本実験の目的は、本研究で開発された遠隔操作ロボットシステム、より正確にはロボット操作入力要因が、実験参加者である日本人の子ども達の対外国人教師コミュニケーションを促進し得るかを調査することである。具体的には、Skype 画面を通じた英会話レッスンをベースラインとし、そこにロボット操作入力が入る（Skype-Robot 条件）か入らない（Skype-only 条件）かの二条件を参加者間配置により比較調査した。

実験の手順は以下の通りである。各セッション 1 名ずつが実験に参加した。実験時間は前後の準備なども含めて 1 セッション約 20 分程度であった。参加者は事前に簡単な英語の会話テストを行い、英語レベルがおおよそ均等になるよう考慮した上で両条件にランダムに振り分けた。Skype-only 条件の参加者は 10 分間続けて Skype モニタのみで英会話レッスンに参加し、Skype-Robot 条件の参加者は開始後 5 分の時点でロボット操作入力を与えられた。実験の様子は図 2 に似た設定で行われ、Skype-Robot 条件の参加者は幼稚園／小学校から筑波大学に置かれたロボットをデータグローブ型の操作インタフェースを用いて遠隔操作した。仮想外国である筑波大学側には英語ネイティブの留学生による教室が用意され、留学生は教師役としてストーリーテリング形式のレッスンを行った。留学生には各セッションの開始時にランダムに選ばれた 3 種類の物体（動物ぬいぐるみ等）が手渡され、それらを用いて即興でレッスンを行うよう指示が与えられた。実験参加者である子どもの多くは英語がほとんど話せないため、留学生からの問いかけに対して何も言えずに詰まってしまう場面もよく見られたが、留学生は英語のみを使うよう指示が与えられた。

図 3 は、教師役と参加者（Skype-Robot 条件）の間の典型的なインタラクション例である。各ドットは、その人物から相手側に対してとられた明示的な行動（発話やジェスチャなど）の開始点を表す。最初の 5 分間（Skype のみ）の様子から見て

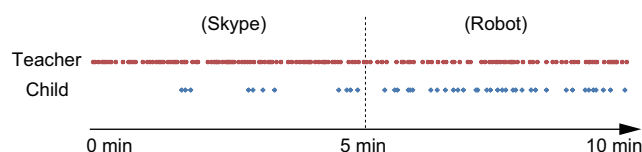


図 3: 教師役留学生と実験参加者の子どもの中で観察されたインタラクションの典型例。各ドットは留学生／子どもから相手側に対して発せられた行動の開始点を示す。

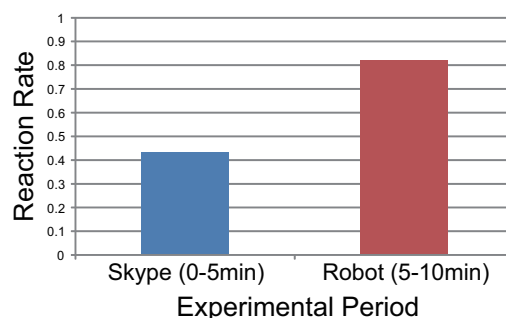


図 4: Skype-Robot 条件の参加者 13 名の、Skype 期間（前半 5 分間）と Robot 期間（後半 5 分間）における平均反応率の比較。反応率は、教師役留学生から子どもに向かってとられた働きかけの回数を分母とし、その働きかけに対して子どもが反応を返せた回数を分子として計算された。行動回数は実験時に撮影されたビデオを用いて計測された。

とれるように、教師役はずっと参加者に対して働きかけを行っているものの、参加者はなかなか働きかけを返すことができていない（固まっている）。それに対して、ロボット操作入力を与えられた後半の 5 分間は、より教師役に対して働きかけを返せていることが見てとれる。じっさい、Skype-Robot 条件に割り当てられた 13 名の参加者のデータを分析してみると、ロボットを使用している間は、使用していない間と比べて、留学生に対して高い頻度で働きかけを返せていることが判明した（図 4）。その一方で、Skype-only 条件の 13 名のデータを分析してみると、前半 5 分間も後半 5 分間も反応率にはさほどの差が無いことが見てとれる（図 5）。既述したように、実験自体は約 50 名の参加者の下で行っており、今回のデータはその内でビデオコーディング等の完了した 26 名までを分析したものである。そのため厳密な統計分析などは未だ行うのは不適切とみなし実施していないが、すでにロボット操作入力もたらす効果について示唆が与えられ始めていると考えている。加えて、教師役の留学生からも、ロボット使用時の方が教師側としてもずっと教えやすいというコメントが得られており、現在、子ども側のみならず教師側の行動分析も同時に行っている。

### 4. オーストラリアと日本の教室をつなぐフィールドテスト

1 章でも記したように、本研究の目的のひとつは、じっさいに本システムで世界をつないだテストケースを示すことであった。そのため、2012 年 11 月にオーストラリアの小学校と日本の小学校をつなぐフィールドテストを実施した。海外との接続トライアルを行うにあたり現実的にまず問題となったのは時差であり、今回は時差の少ない（実施月の時差は 2 時間であった）オーストラリアとの間でテストを実施した。



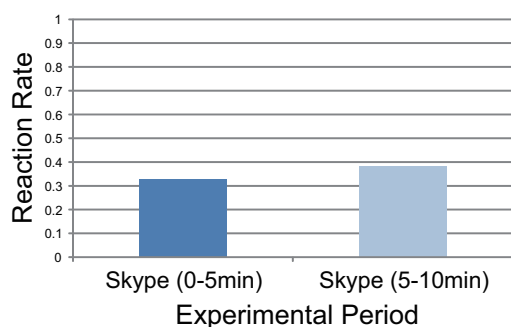


図 5: Skype-only 条件の参加者 13 名の、前半 Skype 期間 (5 分間) と後半 Skype 期間 (5 分間) における平均反応率の比較。図 4 の場合と異なり、前半と後半で反応率に大きな違いは見受けられない。

オーストラリアの首都であるキャンベラから 170km ほど南、冬はスキーリゾートとなる山の街 Jindabyne にある Snowy Mountains Grammar School は、ICT 導入教育の一環としてすでにつくば市の学校とビデオ会議による接続事例を持ち、本計画にも協力して頂けることになった。対する日本側は、つくば市の春日学園 (春日小学校・中学校) に御協力頂いた。つくば市も以前より ICT 導入教育に非常に積極的であり、市の教育委員会からの紹介を経てこの機会を得ることができた。

図 6 に接続トライアル時の写真を示す。今回はオーストラリア側の子ども達が操作者を担当し、つくば市側に置かれたロボットをリアルタイムに遠隔操作して、春日学園の教室の授業に参加した。期間中、双方で合計 200 名以上の子ども達に参加して頂くことができた。同時に複数の子ども達が参加するなど条件の違いは多少あれども、基本的には 3 章の実験で見受けられた傾向と同様の様子がここでも観察された。つまり、それまで全く面識がなく、さらには話す言葉の違いがある子ども達同士でも、物体を介したインタラクションなどを契機に様々なコミュニケーションが生まれ、それが発展し得ることが見てとれた。双方現場の教師からも好評を博し、今後は単なる交流以上の利用が期待されている。

## 5. おわりに

1 章でも紹介したように、現在、各国のベンチャー企業が立て続けにテレプレゼンスロボットの商品販売し始めている。これまでに販売されているモデルは既存技術のインテグレーションによって提供されているものがほとんどであるが、今後は VR/AR 技術や HMD 技術との融合も含めてより高度な技術が従来よりも安価な形で入ってくる可能性がある。

研究のトピックスとしては、今後はテレプレゼンスロボットの個別要素に対する研究が進んでいくものと予想される。本論文では操作者の身体動作入力という要素に注目した実験について報告したが、4 章のフィールドテストで観察された効果の要因としては、この他にもロボット側の表出性など複数の要因が含まれていることに注意する必要がある。今後は、こうした他の要因を療育支援など新しいアプリケーションと関連付けながら研究していく予定である。

## 謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけの支援を受けて行われた。実験に御協力頂いたつくば市の桜幼稚園・東

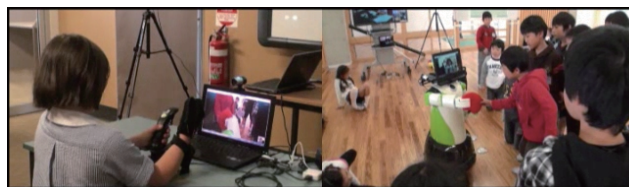


図 6: オーストラリアと日本の小学校をつないだ接続トライアル。左写真がオーストラリア側で、右写真が日本側である。オーストラリア側の子どもが、日本の教室に置かれたロボットを遠隔操作して日本の授業に参加している。双方の間には話す言葉の違いがあったが、物体を介したやりとりやロボットの身体動作を契機に親密なコミュニケーションが生まれていた。

幼稚園・大穂幼稚園・春日学園、春日児童クラブ、オーストラリアの Snowy Mountains Grammar School, (株) こども英会話のミネルヴァ、つくば市教育委員会、実験に御参加頂いた子ども達と保護者の皆様方に深く感謝する。

## 参考文献

- [Anybots, Inc.] : <https://www.anybots.com/>
- [InTouch Health] : <http://www.intouchhealth.com/>
- [Ishiguro 06] Ishiguro, H.: Android Science: Conscious and Subconscious Recognition, *Connection Science*, Vol. 18, No. 4, pp. 319–332 (2006)
- [Junuzovic 12] Junuzovic, S., Inkpen, K., Blank, T., and Gupta, A.: IllumiShare: sharing any surface, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1919–1928, New York, NY (2012), ACM
- [Ogawa 11] Ogawa, K., Nishio, S., Koda, K., Balistreri, G., Watanabe, T., and Ishiguro, H.: Exploring the Natural Reaction of Young and Aged Person with Telenoid in a Real World, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 15, No. 5, pp. 592–597 (2011)
- [Suitable Technologies] : <https://www.suitabletech.com/>
- [Tachi 03] Tachi, S.: *Telecommunication, Teleimmersion and Telexistence*, IOS Press, Amsterdam, The Netherlands (2003)
- [VGo Communications, Inc.] : <http://www.vgocom.com/>
- [Yarosh 10] Yarosh, S., Inkpen, K., and Brush, A. B.: Video playdate: toward free play across distance, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1251–1260, New York, NY (2010), ACM
- [Yun 11] Yun, S., Shin, J., Kim, D., Kim, C. G., Kim, M., and Choi, M.-T.: Engkey: Tele-education Robot, in *Proceedings of the 3rd International Conference on Social Robotics*, pp. 142–152, Berlin, Heidelberg (2011), Springer-Verlag