

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11865

研究課題名(和文)力覚フィードバックを用いた人による遠隔ロボット支援の繊細かつ柔軟化

研究課題名(英文)Delicate and flexible support by humans to remote robots with force feedback

研究代表者

石橋 豊 (Ishibashi, Yutaka)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40252308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、各利用者が触覚デバイスを用いて、遠隔にある各自が操作可能なロボットの作業をビデオで確認しながら支援し、そのロボットに付与された力覚センサから得られる力情報を、触覚デバイスを介して利用者に提示(力覚フィードバック)することができるシステムを対象とし、その支援の繊細化と柔軟化を目的とした。ロボットの作業を人が力覚フィードバックを用いて支援を行い、AI技術によってその支援を人が直接ロボットに対して行うかのように繊細かつ柔軟化することにより、ロボット本来の能力を十分に発揮できるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットは、予め定められた作業や、容易に予想できる作業に対して、人以上の能力を発揮できるが、事前に予想できないような状況では、無力となり得る。このとき、インターネットなどを介して遠隔から人がロボットを支援することによって、ロボットが本来持つ能力を十分に発揮することができると考えられる。しかし、ネットワーク遅延の増大等によって、力覚フィードバックを用いたロボット操作が不安定になったり、ユーザ体感品質が大きく劣化したりする。従って、このような状況で、ロボットの安定性を確保しながら、高品質で人のように繊細かつ柔軟な支援を実現することは学術的意義だけでなく、社会的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on a system in which each user can use a haptic device to assist a remote robot that can be operated by the user him, while viewing a video of the robot's work, and force information obtained from a force sensor attached to the robot can be presented to the user via the haptic device (called force feedback). The objective of this project was to make the support more delicate and flexible. The robot is assisted by a person using force feedback, and the AI technology makes the assistance as sensitive and flexible as if the person were providing it directly to the robot, so that the robot can fully demonstrate its original capabilities.

研究分野：通信・ネットワーク

キーワード：遠隔ロボット支援 力覚フィードバック QoS制御 安定化制御 AI技術

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボットの自律動作が可能となりつつあり、多くの場面で活躍することが期待されている。これらは、主に予め定められた作業や、容易に予想できる作業に対してであり、人以上の能力を発揮することが可能である。しかし、事前に予想できないような状況においては、人の助けが必要となることが多い。このとき、インターネットや 5G などのネットワークを介して遠隔から人がロボットを支援することができれば、ロボットが本来持つ能力を十分に発揮することができるようになると考えられる。作業の様子をビデオで確認しながら支援するだけでなく、ロボットに付与された力覚センサからの情報を、触覚デバイスを通して人に提示することによって、ロボットが物体に触ったり、当たったりしたときの反力を人が感じることができると、作業効率の向上が可能となる。しかし、ロボットが置かれた環境によっては、ネットワーク環境が必ずしも良好でない場合が考えられる。このとき、ネットワーク遅延の増大等によって、力覚フィードバックを用いたロボット操作が不安定になること（ロボットや触覚デバイスが大きく振動するなど）、人のユーザ体感品質（QoE: Quality of Experience）が大きく劣化することが知られている。従って、ネットワーク遅延やその揺らぎ、パケット欠落がある状況で、ロボットの安定性を確保しながら、高品質で人のように繊細かつ柔軟な支援を実現する制御をどのように実現するかが本研究課題の核心をなす学問的問いである。安定化制御とサービス品質（QoS: Quality of Service）制御によって安定かつ高品質にするだけでなく、AI 技術等も用いて人のように繊細で柔軟な制御とすることが必要となる。本研究は、そのための基礎的研究を行うものである。

本研究では、各利用者が触覚デバイスを用いて、遠隔にある各自が操作可能なロボットの作業をビデオで確認しながら支援し、そのロボットに付与された力覚センサから得られる力情報を、触覚デバイスを介して利用者に提示（力覚フィードバック）することができるシステムを対象とし、その支援の繊細化と柔軟化を目指す。目視だけでは困難な作業でも、力覚フィードバックを利用することによって、正確で迅速な作業が可能となる。予め定められた作業や、容易に予想できる作業に対して、ロボットは人以上に正確で高速に作業を行うことが可能である。しかし、事前に予想できない状況においては、ロボットは無力になり得ることがある。このとき、ロボットの作業を人が力覚フィードバックを用いて支援を行い、AI 技術によってその支援を人が直接ロボットに対して行うかのように繊細かつ柔軟化することにより、ロボット本来の能力を十分に発揮できるようにすることを目的とする。

2. 研究の目的

力覚フィードバックを用いた、人による高安定で高品質な遠隔ロボット支援を実現するための、安定化制御と QoS 制御に AI 技術を取り入れて、人のように繊細で柔軟な支援を実現することを目的とした研究は世界で初めてであり、独創的である。危険で人が近づけない、廃炉となった原子炉、宇宙空間、新開などで作業するロボットや、地震で被災した人や集中豪雨によって孤立した人を救済し、物資などを届けるレスキューロボットやドローン等に本研究成果を適用すれば、ロボットの活躍の場を大きく拡大すること可能となる。また、遠隔から熟練した医師が手術を行うロボットや、リハビリを支援するロボット等の有用なアプリケーションへの力覚フィードバックの導入が大きく進展すると考えられるので、その意義は大きい。

3. 研究の方法

初年度の 2021 年度には、一人の利用者がビデオを見ながら、触覚デバイスを用いて、力覚センサを有する遠隔の産業用ロボットを操作する現在のシステム（図 1 参照）を一つ用いて、人と一緒に物体を運んだり、手渡したりする作業等を扱う（図 2(a)、(b)参照）。そして、現在の二つのシステムを用いて、ロボット間で物体を運んだり、手渡したりする作業（図 2(c)、(d)）との比較を行い、ロボットが人と同等以上に繊細で柔軟に動作できるようにすることを目指す。これがどの程度実現できたかは、物体にかかる力を力覚センサで測定したり、ロボットの位置などを測定したりするだけでなく、QoE 評価によって主観的な満足度を比較することによって判断する。これらの作業に対して、事前に予測できないことを想定するため、ロボットの自律動作をある程度制限して、ビデオを見ながら力覚フィードバックを用いて動作支援ができるようにしておく。このため、自律動作と支援動作を円滑に切り替える制御も検討する。

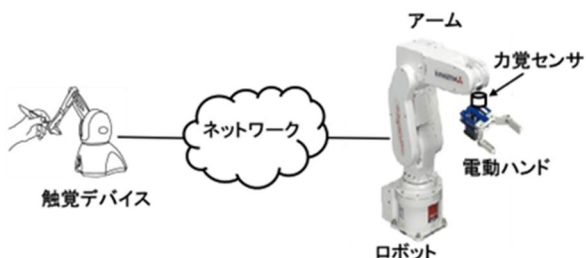


図 1 触覚デバイスを用いて遠隔のロボットを操作するシステム

次年度は、移動ロボットを考慮し、一方のロボットアームを自由に動かしながら、他方のロボットアームと一緒に物体を運んだり、手渡ししたりする作業を扱い、ロボット操作支援の精度を高める。

最終年度は、二人と二つのロボット間で同様の作業(4ヶ所を持って一緒に運んだり、2ヶ所を持って手渡ししたりする)を行い、複数の人とロボット間の協調作業の高度化(高安定化・高品質化・繊細化・柔軟化)を図る。

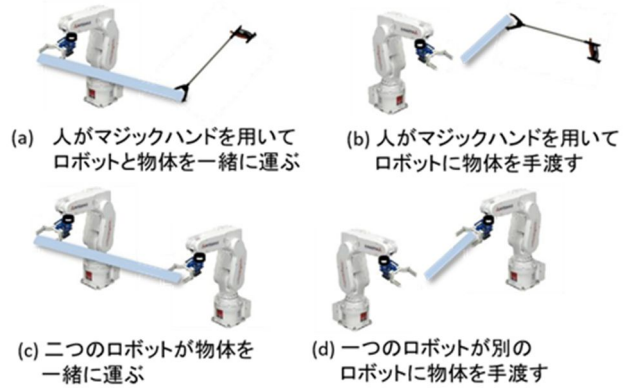


図2 人とロボット間、二つのロボット間で協調作業をしている様子

4. 研究成果

4.1 人との比較

一人の利用者が触覚デバイスを用いて、力覚センサを有する遠隔の産業用ロボットの動作をビデオで見ながら、そのロボットアームを操作するシステム(図3参照)を一つ用いて、人と一緒に一つの物体を運ぶ作業と、二つのシステムを用いてロボットアーム間で物体を運ぶ作業を扱った。そして、物体に加わる力やロボットの位置情報などを測定して、人とロボットの比較を行った。その結果、人の方が柔軟で繊細であることが定量的に明らかとなった。これを改善し、物体の長さや太さなどに応じて物体に加わる力を軽減するため、AI技術としてニューラルネットワークを用いたが、実験によって処理時間が約60msかかることが明らかとなった。そこで、高性能なワークステーションを購入するとともに、ニューラルネットワーク処理の高速化プログラムを開発した。これによって、従来の速度から、60倍程度の高速化を達成した。

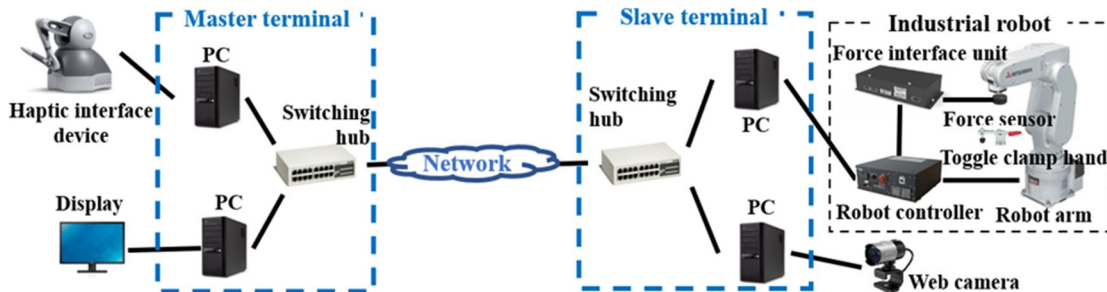


図3 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムの構成

4.2 二人の利用者間の協調

二つのシステムを使用する場合には、ロボット-人、ロボット-ロボットの間だけでなく、二人の利用者間の協調のため、触覚デバイスの操作性を向上する粘弾性の適応制御を実装して、ロボットからの力と人からの力の両方を感じながら作業できるようにし、その効果を確認した。この制御は、ネットワーク遅延や触覚デバイスの操作速度に応じて、粘弾性係数を動的に変更するものである。また、ロボット間の協調のために、時空間同期を実現する適応型因果順序制御を適用し、その有効性を示した。これらによって、利用者-ロボット間だけでなく、ロボット間、利用者間の協調の高品質化・高安定化を図ることができた。

さらに、触覚デバイスに力覚センサを付与して、更なる安定化を実現する研究を新たに開始した。さらに、移動ロボットを考慮した研究を開始した。凸凹した道を移動しながら、協調作業を行えるように、急激な位置変化に対して、力覚センサの値を利用して自動的にロボットアームの位置を変更する制御を拡張した。この拡張では、距離と時間に関する公式と運動方程式を利用してロボットアームの位置を調整するようにした。

二人の利用者がそれぞれの触覚デバイスを用いて一つのロボットアームを遠隔操作する場合(図4参照)と、一人で操作する場合(図3参照)との比較を行い、二人で作業する方が優れていることを明らかにした。また、図5に示すように、各マスタ端末とスレーブ端末間の片方向のネットワーク遅延の和($x+y$)が等しければ、平均力の平均と最大力の平均はほぼ同じになることが判明した。さらに、二人で操作する場合に、ロボットと各触覚デバイス間の遅延に応じて、ロボットの位置を決定する方式を提案し、その有効性を主観的かつ客観的に明らかにした。

4.3 移動ロボットを考慮した取り組み

移動ロボットを考慮し、凸凹した道を移動しながら、二つのロボットアームによって把持され

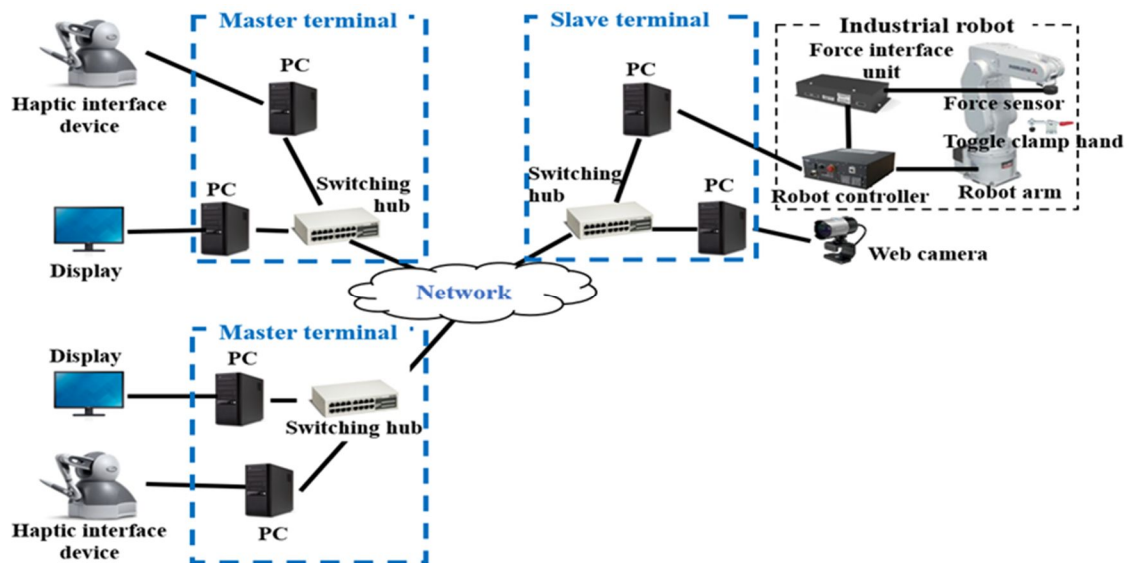


図 4 二人の利用者が一つの遠隔ロボットを操作するシステムの構成

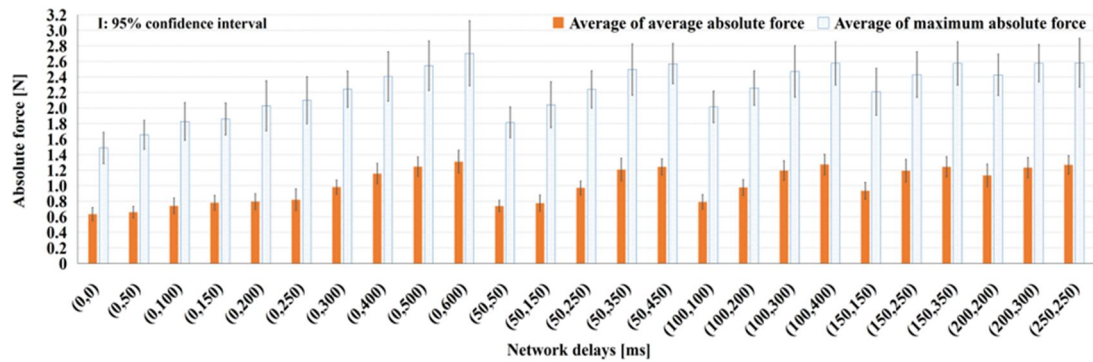
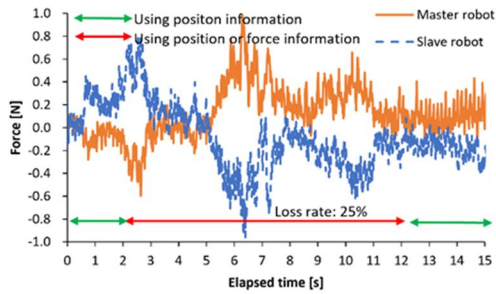


図 5 二人の利用者が一つの遠隔ロボットを操作する場合のネットワーク遅延に対する平均力の平均と最大力の平均 (ネットワーク遅延の表記法: (x,y) の x と y は各マスター端末とスレーブ端末間の片方向のネットワーク遅延 (単位は ms) を示しており、両方向に同じと仮定している)

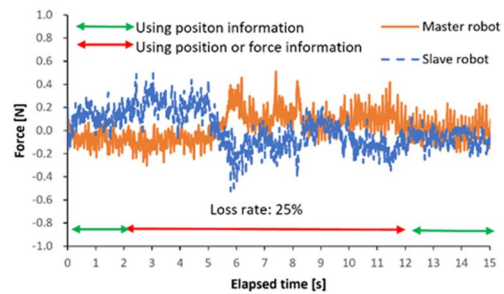
た一つの物体を運ぶ作業において、突然大きな位置変化が生じる場合に、位置変化の方向だけでなく、その他の方向にも大きな力が加わる (具体的には、ロボットアームが大きく下落するときには、左右の方向にも大きな力が加わる) ことが判明したため、距離と時間に関する公式と運動方程式を利用してロボットアームの位置を調整する制御を複数の方向に適用し、実験によってその効果を確認した。また、ロボットアームの代わりに人がマジックハンドを用いて作業する場合との比較も行い、人と同程度以上に作業できることを可能とした。

4.4 劣悪な通信環境での作業

劣悪な通信環境での作業を想定し、作業の途中で通信が途絶したり、パケット欠落率が高くなったりする場合の制御として、通信が可能なときは適応型 因果順序制御によってロボットアームの位置を調整し、パケット欠落が生じる場合には、力覚センサの値を用いた力調整制御によって位置調整を行う切り替え制御を提案し、その有効性を確認した。図 6 の結果に示すように、(b) の切り替え制御の方が (a) の制御なしより力を小さく抑えることができていることが確認できる。



(a) Without switching control



(b) With switching control

図 6 パケット欠落率が 25%のときの経過時間に対する力（2 秒から 12 秒までの 10 秒間はパケット欠落率が 25%、それ以外は 0%）

4.5 強化学習の適用

図 7 に示す、一つの物体を両側から挟んで移動する作業に対して、力調整制御に強化学習を適用し、オフラインでの学習効果を確認した。また、オフラインでの学習効果に加えて、オンラインでの効果も確認した。DQN による強化学習を適用することにより、柔軟化を実現できることが分かった。図 8 に示すように、DQN は、手動でパラメータを最適値に設定したとき（Manual tuning）に近い値を達成していることが確認できる。

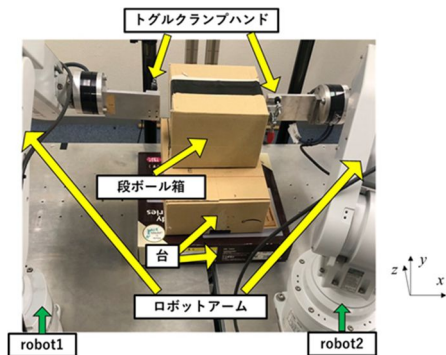


図 7 一つの物体を両側から挟んで移動する作業

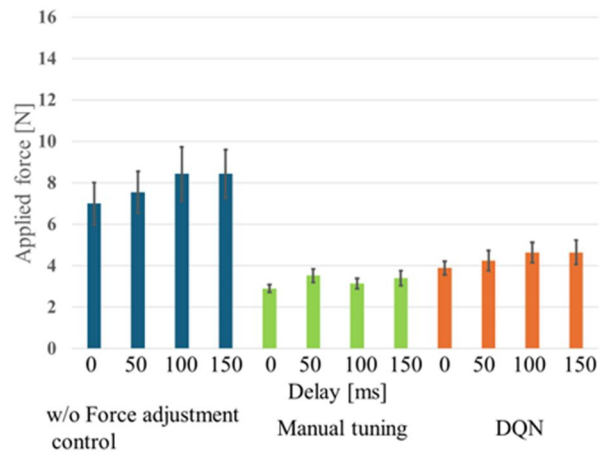


図 8 遅延に対する力の比較

4.6 複数の人とロボット間の協調

力覚フィードバックを用いた二つのシステムのロボットと、一人が一つの物体を同時に把持（3ヶ所把持）して移動させる実験を行った。各ロボットを利用者が遠隔操作しているため、人の数は 3 となる。これまで提案してきた QoS 制御と安定化制御をすべて実装して物体にかかる力を測定し、二つのロボットだけで把持（2ヶ所把持）して物体を移動させる場合との比較を行った。その結果、3ヶ所把持の場合は、2ヶ所把持に比べて、物体にかかる力がわずかに大きくなるが、それほど大きな力が加わることはないことを確認した。さらに、パラメータを調整すれば、改善できることも分かったため、今後は、AI 技術を用いて高度化していく予定である。

研究期間全体を通しては、考案した制御を適用して、人とロボットの比較を行ったり、協調方法を変更したりすることによって、それぞれの得意とする領域（ゆっくり動かす場合はロボット、ある程度早く動かす場合は人が優れているなど）が明らかとなった。したがって、遠隔ロボット支援の繊細化と柔軟化をある程度達成することができた。しかし、今後も改善を行うことによって、考案した制御などの有効適用領域を拡大していくことが重要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 N. A. Hameedha, Y. Ishibashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of local and global adaptive -causality control on cooperative work between remote robot systems with force feedback	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.10.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Z. Oo, Y. Ishibashi, K. T. Mya	4. 巻 10
2. 論文標題 Influence of local lag on human perception of softness in networked virtual environment with haptic sense	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ITE Transactions on Media Technology and Applications	6. 最初と最後の頁 18,25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3169/mta.10.18	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Miyoshi, S. Ishikawa, K. Kanaishi, P. Huang, Y. Ishibashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Improvement of haptic QoE on ball-hitting task for bilateral tele-operation system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research	6. 最初と最後の頁 660,667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18178/ijmerr.10.12.660-667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. M. Mo Mo. Lwin, Y. Ishibashi, K. T. Mya	4. 巻 15
2. 論文標題 Human perception of group synchronization error in remote learning: Dependencies of voice and video contents in one-way communication	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Communications, Network and System Sciences	6. 最初と最後の頁 31,42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ijcns.2022.153003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Tomono, Y. Ishibashi, A. Tomono	4. 巻 21
2. 論文標題 Evaluation of realistic sensation using biological reaction measurements for food videos presented by KMMD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MDPI Sensors	6. 最初と最後の頁 1,18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21227670	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Nishiyori, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa,	4. 巻 15
2. 論文標題 Effect of object movement control for remote robot systems with force feedback	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering and Technology (IJET)	6. 最初と最後の頁 144,148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7763/IJET.2023.V15.1237	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計87件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 55件)

1. 発表者名 K. Nishiyori, Y. Ishibashi, P. Huang, and Y. Tateiwa
2. 発表標題 Influence of change in communication quality on work between remote mater-slave robot systems with force feedback
3. 学会等名 The 5th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Ohnishi, T. Komori, Y. Ishibashi, and P. Huang
2. 発表標題 Effect of force adjustment control in cooperative work between remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Ishibashi, G. Kawamura, and P. Huang
2 . 発表標題 Enhanced robot movement control using force sensor in remote robot systems taking account of mobility
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 R. Ye, J. Soll, and Y. Ishibashi
2 . 発表標題 One user operation versus two users operation in cooperative remote robot systems
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 P. Huang and Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Writing and walking support by haptic and wearable devices
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 P. Huang and Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Study on early detection and prevention of dementia using olfactory and haptic senses
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Ohtani, Y. Ishibashi, P. Huang, and Y. Tateiwa
2. 発表標題 Robot position control in remote robot systems with force feedback: Influence of network delay
3. 学会等名 The 11th International Conference on Computer and Communications Management (ICCCM) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松井丈太郎, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムの協調作業における利用者間協調の高品質化
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤広也, 大西仁, 石橋豊, 黄平国
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおける力調整制御への強化学習の効果
3. 学会等名 映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大谷祥多, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 遠隔ロボットシステムにおけるネットワーク遅延が力情報を用いたロボット位置制御に及ぼす影響
3. 学会等名 電気学会東海支部「超スマート社会実現のための情報通信と信号処理」若手セミナー
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 A. A. Lioupa, V. A. Memos, C. L. Stergiou, Y. Ishibashi, and K. E. Psannis
2 . 発表標題 The integration of 6G and blockchain into an efficient AIoT-based smart education model
3 . 学会等名 The 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 A. Christou, C. Stergiou, V. Memos, Y. Ishibashi, and K. Psannis
2 . 発表標題 Revolutionizing connectivity: The power of AI, IoT, and edge computing for smart and autonomous systems
3 . 学会等名 The 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 G. Minopoulos, G. Kokkonis, P. Sarigiannidis, S. Goudos, Y. Ishibashi, and K. Psannis
2 . 発表標題 Tactile Internet security system architecture for mobile networks
3 . 学会等名 The 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. D. Stergiou, Y. Ishibashi, S. K. Goudos, T. Lagkas, P. Sarigiannidis, and K. E. Psannis
2 . 発表標題 Improving communication systems through federated learning: An optimization of decision-making
3 . 学会等名 The 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 T. Takahashi, S. Ohtani, Y. Ishibashi, P. Huang, and K. E. Psannis
2 . 発表標題 Effect of neural net- work at server on robot position control using force information
3 . 学会等名 The 6th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 H. Watanabe, P. Huang, and Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Stability analysis of multiple terminal systems under communication delay by using deleyed differential equation
3 . 学会等名 IEEE/IEIE The 8th International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 P. Huang and Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Enhancement of dynamic output timing control of fragrance in metaverse
3 . 学会等名 IEEE/IEIE The 8th International Conference on Consumer Electronics - Asia (ICCE-Asia) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Effcient support of early detection, prevention, and recovery of/from frailty using multisensory ICT
3 . 学会等名 The 34th International Symposium on Micro- NanoMechatronics and Human Science (MHS) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Nishiyori, Y. Ishibashi, and P. Huang
2 . 発表標題 Metaverse with olfactory sense for walking support
3 . 学会等名 The 34th International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Ohtani, Y. Ishibashi, and P. Huang
2 . 発表標題 Remote haptic calligraphy measuring deviation from model
3 . 学会等名 The 34th International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 L. N. Gassama, Y. Ishibashi, and P. Huang
2 . 発表標題 QoE assessment of single-user operation and dual-user operation in remote robot systems with force feedback
3 . 学会等名 The 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Nishiyori, Y. Ishibashi, and P. Huang
2 . 発表標題 QoE assessment of scent output in metaverse for walking support
3 . 学会等名 The 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Ishibashi
2. 発表標題 Early detection, prevention, and recovery of/from frailty using multisensory information and communications technology
3. 学会等名 The 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C. Li, Y. Ishibashi, P. Huang, and Y. Tateiwa
2. 発表標題 Influences of network delays on dual-user operation in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 映像情報メディア学会技術研究報告
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Gao, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおけるネットワーク遅延が粘弾性の適応制御による協調作業に及ぼす影響
3. 学会等名 映像情報メディア学会技術研究報告
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋哲太, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力情報をを用いたロボット位置制御の効果: 各システムへの適用
3. 学会等名 映像情報メディア学会冬季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋哲太, 高野映子, 近藤和泉, 石橋豊
2. 発表標題 触覚を用いた仮想書道システムのユーザビリティ調査
3. 学会等名 電子情報通 信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 C. Li, Y. Ishibashi, P. Huang, and Y. Tateiwa
2. 発表標題 Influences of network delays on dual-user operation in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 電気学会東海支部「超スマート社会実現のための情報通信と信号処理」若手セミナー
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石橋豊
2. 発表標題 多感覚通信品質評価: 下位層から上位層へ
3. 学会等名 電気学会東海支部「超スマート社会実現のための情報通信と信号処理」若手セミナー (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石橋豊
2. 発表標題 多感覚 ICT を用いたフレイル予防回復支援システムの研究開発: 仮想空間を利用した取り組み
3. 学会等名 電子情報通 信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Z. Win, Y. Ishibashi, and K. T. Win
2. 発表標題 Influence of local lag on reaction force in networked virtual environment with haptic sense
3. 学会等名 The IEEE 21st International Conference on Computer Applications (ICCA) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Takahashi, E. Takano, I. Kondo, and Y. Ishibashi
2. 発表標題 Usability survey of calligraphy using haptic sense in virtual environment
3. 学会等名 International Conference on Information and Education Technology (ICIET) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Ishibashi
2. 発表標題 Multisensory communication quality assessment: From lower layers to upper layers
3. 学会等名 International Conference on Information and Education Technology (ICIET) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Z. Win, Y. Ishibashi, and K. T. Win
2. 発表標題 QoE assessment of cooperative work in networked virtual reality environment with haptic sense: Influence of network latency
3. 学会等名 The 5th International Conference on Advances in Information Communication Technology & Computing (AICTC) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大西仁, 加藤広也, 石橋豊, 黄平国
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおける力調整制御: 強化学習の適用
3. 学会等名 電子情報通 信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 P. Huang, M. Inui, Y. Ishibashi, and Y. Tateiwa
2. 発表標題 Robot position control taking account of network delays on dual-user operation of remote robot with force feedback
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 M. Z. Oo, Y. Ishibashi, K. K. Wai
2. 発表標題 Effect of adaptive reaction force control on human perception of softness with haptic sense in networked virtual environment
3. 学会等名 The 20th International Conference on Computer Applications (ICCA) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Ishibashi
2. 発表標題 Requirements and challenges in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 The 20th International Conference on Computer Applications (ICCA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Nishiyori, Y. Ishibashi, P. Huang
2 . 発表標題 Comparison of object movement methods for remote robot systems with force feedback
3 . 学会等名 The 8th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. T. Christian, Y. Ishibashi, P. Huang, K. E. Psannis
2 . 発表標題 Human slope perception with haptic sense for networked virtual environments
3 . 学会等名 The 5th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 P. Huang, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Writing and walking support system using haptic sense for elderly persons
3 . 学会等名 The 5th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 G. Minopoulos, K. Psannis, G. Kokkonis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 An artificial intelligence-based tactile internet system for enhanced security over 6G networks
3 . 学会等名 The 5th World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 A. T. Christian, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Human perception of ellipsoids for networked haptic virtual environments
3. 学会等名 The 10th International Conference on Computer and Communications Management (ICCCM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Chen, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Effect of prediction under stabilizing control by viscosity in remote haptic control system
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ishibashi, K. Fujii, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Robot movement control using force sensor in remote robot systems
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ishibashi, J. Ma, K. E. Psannis
2. 発表標題 Effects of haptic and visual senses on angle perception for networked virtual environments
3. 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Stergiou, K. Psannis, V. Vitsas, Y. Ishibashi
2. 発表標題 A federated learning approach for enhancing autonomous vehicles image recognition
3. 学会等名 The 4th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Effects of adaptive viscoelasticity control for collaboration between users in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 The 4th International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邉均, 黄平国, 石橋豊
2. 発表標題 差分微分方程式による通信遅延下における力覚通信の安定性の解析法: 多数端末による合意制御等への応用を含む
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 A. T. Christian, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Dimensional similarity in human perception of slope for networked haptic virtual environments
3. 学会等名 IEICE General Conference
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 L. N. Gassama, A. T. Christian, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 QoE assessment of adaptive -causality control in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 IEICE General Conference
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中川博詞, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 移動を考慮した遠隔ロボットシステムにおける力覚センサを用いたロボット移動制御の効果
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大谷祥多, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 遠隔ロボットシステム間の協調作業のための移動方向変化時における時空間同期制御の拡張
3. 学会等名 映像情報メディア学会冬季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西依航太, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム間の協調作業に及ぼす通信品質の変化の影響,
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang
2. 発表標題 Remote robot operation by two users with force feedback: Comparison with one user operation
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤広也, 石橋豊, 大西仁, 黄平国
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおけるネットワーク遅延が力調整制御に及ぼす影響
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大谷祥多, 石橋豊, 黄平国, 奥田隆史
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステムにおける適応型 因果順序制御の効果: ロボットと人との比較
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西依航太, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力覚センサを用いた遠隔ロボットアームの移動制御の比較
3. 学会等名 映像情報メディア学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤広也, 石橋豊, 大西仁, 黄平国
2. 発表標題 力覚フィードバックを用いた遠隔ロボットシステム間で物体を挟んで運ぶための力調整制御
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Ishibashi
2. 発表標題 Enhanced abilities of humans and robots with force feedback
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Ma, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa, K. E. Psannis
2. 発表標題 QoE assessment of angle perception with haptics for networked virtual environments
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Electronics, Communications and Information Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Comparison of collaboration methods between users in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 The 7th International Conference on Computer and Communications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Stergiou, K. Psannis, M. Roumeliotis, G. Kokkonis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Optimising decision making on communication systems: The federated learning approach
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 G. Minopoulos, K. E. Psannis, S. Goudos, S. Nikolaidid, G. Kokkonis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Efficient integration of XR with haptic feedback and 5G networks
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Plageras, K. E. Psannis, G. Kokkonis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Efficient big data delivery over IoT networks
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 V. A. Memos, K. E. Psannis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Artificial Intelligence ANTi-Attack System (AIANTAS) for IoT cyberspace: An upcoming cloud-based security architecture for police authorities
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Rizou, E. Alexandropoulou-Egyptiadou, Y. Ishibashi, K. E. Psannis
2 . 発表標題 Protecting minors' personal data in IoT-based smart homes according to GDPR
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 C. Metallidou, K. E. Psannis, S. Goudos, P. Sarigiannidis, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Communication and security issues in online learning during the COVID-19 pandemic
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Zhang, P. Huang, Y. Ishibashi, T. Okuda, K. E. Psannis
2 . 発表標題 Effect of neural network on robot position control using force information
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Ishibashi, P. Huang, K. E. Psannis
2 . 発表標題 Enhanced robot position control using force information for mobile robots: Influences of obstacles on cooperative work
3 . 学会等名 IEEE 9th International Conference on Information, Communication and Networks (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 H. Watanabe, Y. Sato, T. Hirano, P. Huang, Y. Ishibashi
2 . 発表標題 Toward the optimal control of haptic communication: Introduction of force prediction to collaborative work
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 X. Wang, P. Huang, Y. Ishibashi, T. Okuda
2 . 発表標題 Robot position control using force information by neural network in remote robot systems
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Z. Win, Su T. Aung, Y. Ishibashi, K. T. Mya
2 . 発表標題 QoE assessment of cooperative work in networked virtual environment with haptics
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 L. Li, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2 . 発表標題 Effect of position follow-up control for hand delivery between remote robot systems with force feedback
3 . 学会等名 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 L. Chen, L. Wen, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2 . 発表標題 Switching scheme between adaptive viscosity control and stabilization control by viscosity in remote control system with haptics
3 . 学会等名 The 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2 . 発表標題 Comparison of stabilization control for writing characters in remote robot system with force feedback
3 . 学会等名 The 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 M. Z. Oo, Y. Ishibashi, K. T. Mya
2 . 発表標題 QoE assessment of human perception of softness in networked haptic virtual environment
3 . 学会等名 The 3rd International Conference on Computer Communication and the Internet (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. T. Christian, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2 . 発表標題 Human perception of curved surface with haptics for networked virtual environments
3 . 学会等名 IEICE General Conference
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊均, 井上大暉, 黄平国, 石橋豊
2. 発表標題 通信遅延下における力覚通信の安定性及び操作性向上の検討: 予測反力フィードバックの効果
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Effects of adaptive viscoelasticity control on cooperative work in remote robot systems with force feedback
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Ye, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa
2. 発表標題 Collaboration between users with haptics in remote robot systems
3. 学会等名 ITE Winter Annual Convention
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川博詞, Li Luozhang, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 移動を考慮した遠隔ロボットシステムにおける力覚センサによるロボット位置修正の効果
3. 学会等名 ITE冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 L. Chen, Y. Ishibashi, P. Huang, Y. Tateiwa, H. Ohnishi
2. 発表標題 Influences of network delay and movement velocity under adaptive viscoelasticity with prediction
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋豊
2. 発表標題 触力覚通信の仕組みと高品質化
3. 学会等名 IEEE LMAG Nagoya オンライン懇談会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤誠志郎, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 力情報を用いたロボット位置制御実験：人とロボットとの比較
3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋豊
2. 発表標題 触力覚コミュニケーションクオリティ研究への期待
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ (CQ) 研究会設立30周年記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金石和也, 中川博詞, 石橋豊, 黄平国, 立岩佑一郎
2. 発表標題 移動ロボットを考慮した力情報を用いたロボット位置制御の拡張
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 P. Huang, Y. Ishibashi	4. 発行年 2022年
2. 出版社 IntechOpen, Human-Robot Interaction - Perspectives and Applications	5. 総ページ数 19
3. 書名 Cooperation among humans and robots in remote robot systems with force feedback	

1. 著者名 P. Huang, Y. Ishibashi	4. 発行年 2021年
2. 出版社 IntechOpen, Robotics Software Design and Engineering	5. 総ページ数 13
3. 書名 QoS control in remote robot operation with force feedback	

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋工業大学石橋研究室 http://nma.web.nitech.ac.jp/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三好 孝典 (Miyoshi Takanori) (10345952)	長岡技術科学大学・技術経営研究科・教授 (13102)	
研究分担者	黄 平国 (Huang Pingguo) (60713154)	岐阜聖徳学園大学・経済情報学部・准教授 (33704)	
研究分担者	大西 仁 (Ohnishi Hitoshi) (40280549)	放送大学・教養学部・教授 (32508)	
研究分担者	奥田 隆史 (Okuda Takashi) (20204125)	愛知県立大学・情報科学部・教授 (23901)	
研究分担者	渡邊 均 (Watanabe Hitoshi) (20439920)	東京理科大学・工学部情報工学科・教授 (32660)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	プサニス コスタス (Psannis Kostas)	ギリシャ・マケドニア大学・応用情報学科・教授	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関