

2023年1月25日
株式会社 NTTドコモ
慶應義塾大学

5Gの高信頼低遅延通信 URLLC を活用し、ヒトの手を動かして感じ取れる手応えを ロボット上で再現することに成功

～日本初、慶大の独自技術「リアルハプティクス」をモバイルデータ通信で実現～

株式会社 NTT ドコモ（以下、ドコモ）と慶應義塾大学ハプティクス研究センター（以下、慶大）は、慶大が開発したロボティクス技術「リアルハプティクス®」^{※1} を活用したロボットの無線遠隔操作実現に向け、5G 高信頼低遅延通信 URLLC^{※2}（Ultra-Reliable and Low Latency Communications、以下 URLLC）を用いた実証実験（別紙参照）を行い、ヒトの手を動かして感じ取れる手応えを最大 96%^{※3} 再現することに成功しました。URLLC とアプリケーションを接続した実験は日本初^{※4} の取り組みです^{※5}。

「リアルハプティクス」は、ヒトの指先や手のひらを動かして感じ取れる手応えをロボット上で再現可能な、慶大が開発した独自技術です。ヒトが感じる繊細な感覚を遠隔地に伝える「リアルハプティクス」を実現するためには、低遅延な通信状態を変動なく保つ必要があります。遅延時間やその変動が大きき場合、操作側とロボット側で同期がとれず、ロボットが制御不能な状態へ陥ってしまうため、モバイルデータ通信環境における「リアルハプティクス」を用いた遠隔操作ロボットの実現は困難でした。今回、5G evolution^{※6} の実現に必要な要件の一つで、超高信頼かつ低遅延の無線技術である URLLC を活用し、遅延時間の変動を限りなく抑えることで、「リアルハプティクス」を用いたロボットの無線遠隔操作において、本物の物体を直接つかむ手応えに限りなく近い水準である再現度 96% を実現することに成功しました。

この実証実験の成功により、モバイルネットワーク上でヒトの手を動かして感じ取れる手応えを、いつでも、どこでも、ロボット上で再現可能とすることで、屋外での利用はもちろん立ち入ることの難しい場所での活用など、新たなユースケースの広がりやロボット市場の拡大が期待できます。

ドコモと慶大は今後、「リアルハプティクス」をはじめとするロボティクス技術と URLLC に「docomo MEC」や「MEC ダイレクト」を組み合わせ、さらに低遅延かつ高セキュリティな通信を実現するなど、5G evolution & 6G 時代におけるユースケース創出に向け、さまざまな分野における実証実験に取り組んでまいります。

なお、ドコモの技術と「リアルハプティクス」を組み合わせる取り組みは、2023年2月2日（木）からドコモがオンライン上で開催する「docomo Open House'23」にてご紹介します。

<https://www.docomo.ne.jp/corporate/technology/rd/openhouse/openhouse2023/>

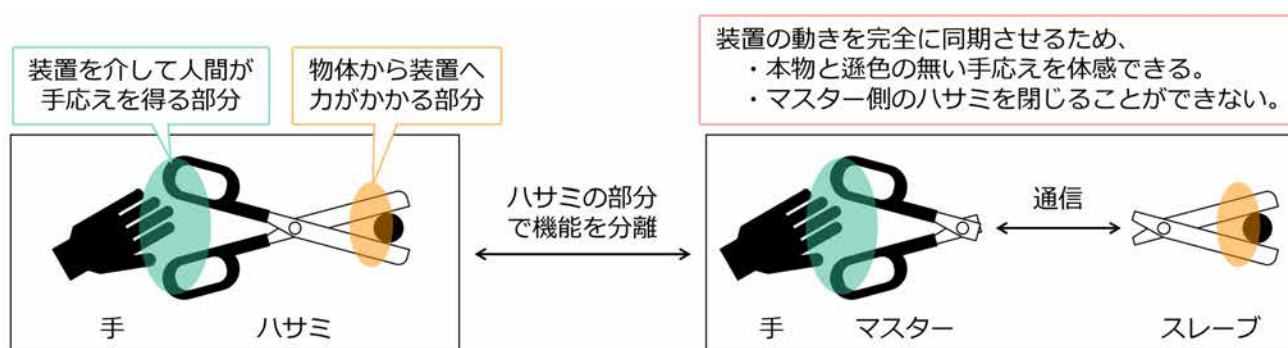
- ※1 慶應義塾大学ハプティクス研究センターの大西公平特任教授が発明した現実の物体や周辺環境との接触情報を双方向で伝送し、ヒトの力加減をロボット上で再現する技術。
- ※2 5G evolution の実現に必要な要件の一つで、超高信頼かつ低遅延な無線通信を実現する技術。
- ※3 遠隔操作ロボットを通じて手元側の操縦装置で得られる手応えの再現度。モノを直接つかむ手応えを 100%とする。
- ※4 日本初。2023 年 1 月 16 日時点、ドコモ調べ。
- ※5 今回の実証実験では、3GPP 標準化仕様に基づく URLLC 要件を満たしているエリクソン（Telefonaktiebolaget LM Ericsson）社製の実証実験用テストベッド装置を用いて実施しています。
- ※6 高度化された 5G システム。現在リリース済みの 5G と 6G 間の位置づけ。

本件に関する報道機関からのお問い合わせ先		
<p>株式会社 NTT ドコモ 6G-IOWN 推進部 方式担当 TEL:046-840-3759 E-Mail:6g-usecase-ml@ml.nttdocomo.com</p>	<p>【配信に関する問い合わせ】 慶應義塾 広報室（担当：宮崎） TEL:03-5427-1541 FAX:03-5441-7640 Email:m-pr@adst.keio.ac.jp https://www.keio.ac.jp/</p>	<p>【研究内容に関する問い合わせ】 慶應義塾大学 ハプティクス研究センター担当 Email:contact@haptics-c.keio.ac.jp</p>

実証実験の概要

1. 実験概要と背景

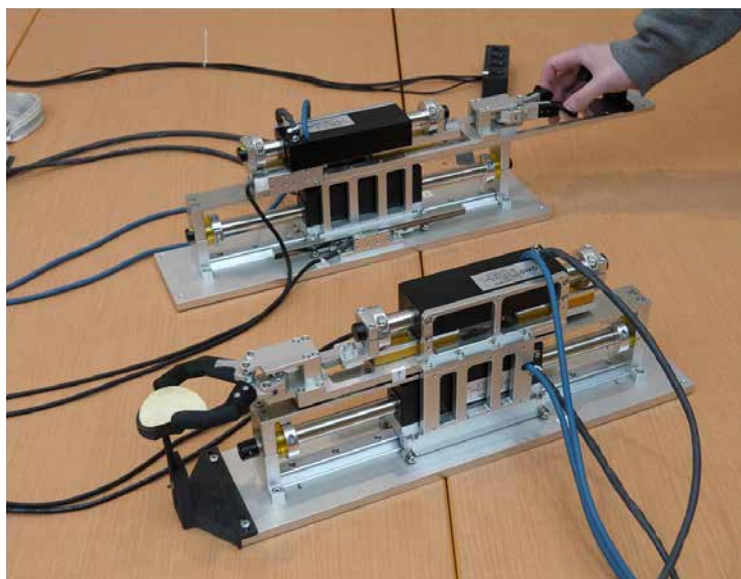
リアルハプティクスは、遠隔操作ロボットにモノの手応えを感じる能力を与え、ヒトの繊細な力加減に基づいた制御を可能にする技術です。操作する側の装置をマスター、操作される側の装置をスレーブと呼び、マスターとスレーブの位置・力・速度を同期し、それらの鮮明な手応えの情報を伝送することで、ヒトの力加減に基づいた遠隔操作を実現しています。したがって、操作する側のマスター装置でモノの硬さや表面の凹凸などを同時に感じながらロボットの遠隔操作を可能にします。しかし、通信遅延がロボットの制御性能に大きく影響を及ぼすことがわかっているため、モバイルデータ通信を介して鮮明な手応えの情報をヒトに違和感無く伝えることが実現できていませんでした。



【リアルハプティクス技術によって指先や手のひらで手応えを感じ取る仕組み】

2. 評価項目

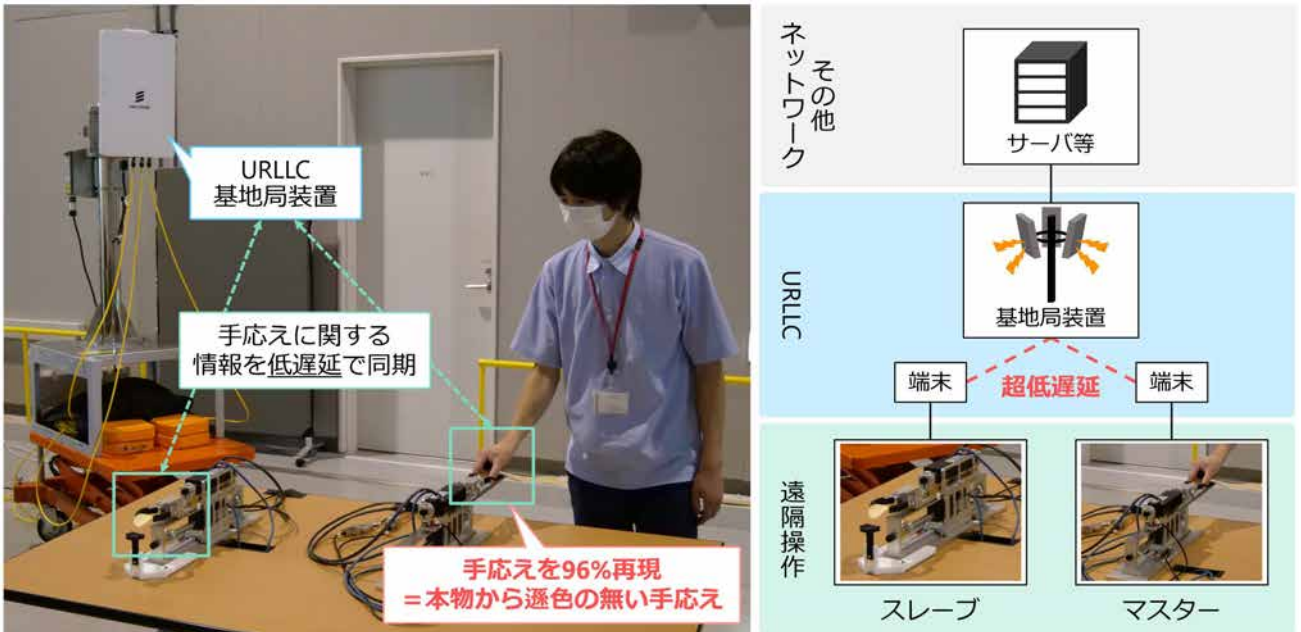
スレーブにかかる作用力をマスターへ再現できている度合いを手応え量と定義し、スポンジを掴む把持動作の手応え量について、URLLCを介した場合、5G 高速大容量通信 eMBB (enhanced Mobile Broadband、以下 eMBB) を介した場合の手応え量の再現率について検証しました。



【把持動作】

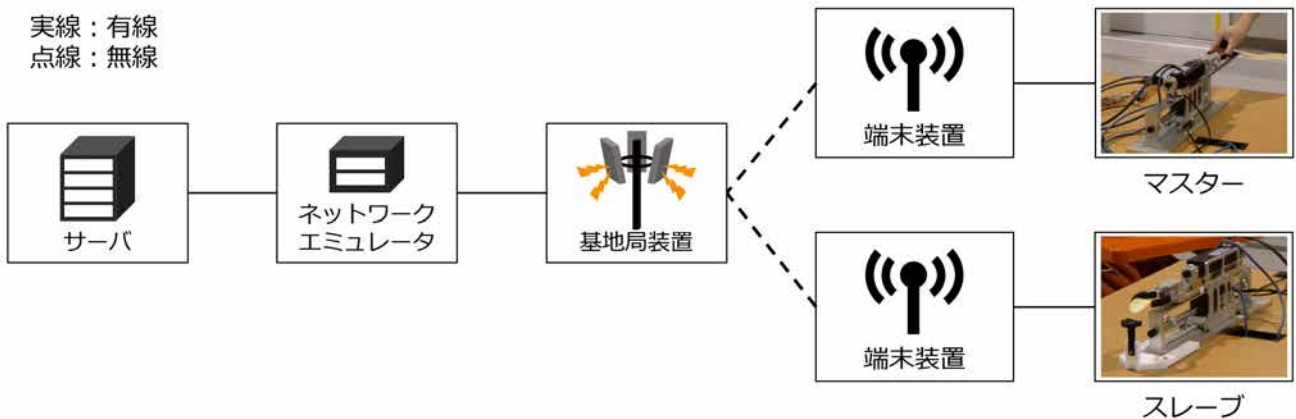
3. 実験装置の構成

本実験では、URLLC 要件を満たす実験装置を介して、リアルハプティクスを用いたロボットの遠隔操作が可能ないようにネットワーク装置を構成しています。マスターとスレーブは手応え情報を双方向に共有するため、サーバはマスターから受け取ったパケットをスレーブへ、スレーブから受け取ったパケットをマスターへ転送する制御を行っています。さらに、伝送距離の長さを模擬するために、ネットワークエミュレータ^{※7}による固定遅延の追加で再現しています。



実線：有線、点線：無線

【URLLC 実験装置を介したリアルハプティクス制御ロボットの遠隔操作】



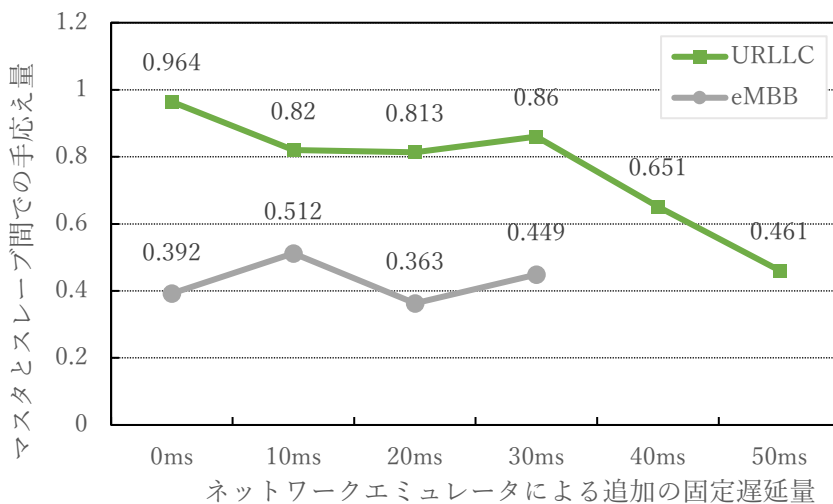
【ネットワーク構成】

4. 結果

URLLC を介し固定遅延を追加しなかった場合、96%の手応え量を再現できました。さらに、固定遅延の追加量が 30ms 以下であれば、80%以上の手応え量を再現できていることも確認しました。この数値は、有線通信で得られる手応え量とほとんど同じであり、本物の物体を直接つかむ手応えに限りなく近いといえます。一方、eMBB では、固定遅延量に限らず手応え量が平均 43%でした。この結果は、無線区間で発生している

ゆらぎが要因で、現在の商用 5G では精細な手応えの再現が困難であることを裏付けます。以上の結果から、URLLC を用いることで直接モノをつかんだ手応えを遜色なく再現できるようになり、現在の商用 5G では困難であったリアルハプティクス制御を実現することができるといえます。

本実験結果により、有線通信では実現が難しかった屋外での利用や、立ち入ることが難しい場所において、ヒトが行う精細な力加減を必要とする作業を遠隔ロボットが成り代わって行うことが可能となります。このように、ヒトの力加減を再現するロボットのモバイル通信での利用が広がれば、機械、ヒト、操作コンテンツをネットワークで連結し、いつでも、誰でも、どこでもさまざまな動作情報を相互利用できるような世界が広がると考えられます。



【マスターとスレーブ間における手応えの再現度】

※7 ネットワーク上で発生する遅延、ゆらぎ、パケット損失などのさまざまな事象を再現できる装置。