



F-REI
福島国際研究教育機構

福島国際研究教育機構（F-REI）における 遠隔操作研究

F-REI ロボット分野
遠隔操作研究ユニット
（工博）大西 公平

December 18th, 2024

© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

人では簡単にできるが 産業用ロボットではできない接触作業

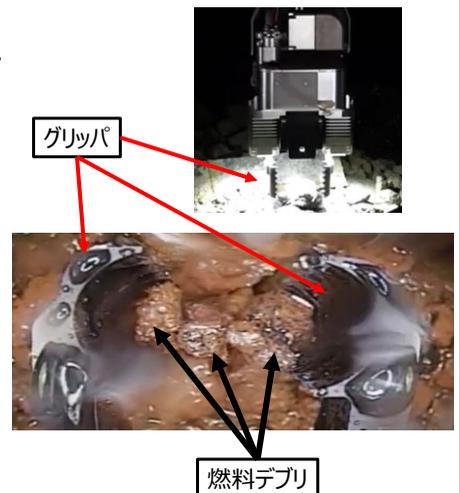
産業用ロボットは 位置決めはできるが 接触作業は困難

- 位置制御ベース .. 力が不定 多くの場合は壊す
- 力制御ベース .. 位置が不定 多くの場合は落とす



Courtesy by Motion Lib Co.

✓ 位置制御ベースの場合 対象を壊してしまう



東電の公開動画より

© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

人でもロボットでも接触作業には力触覚が必要不可欠

- リアルハプティクス技術とは・・・

- 触る感覚（力触覚）を数値化し伝送・記録する新しい技術
 - ✓ 「聞く」(電話 19世紀)、「見る」(テレビ 20世紀)に続く「触る」感覚の伝送技術(RH 21世紀)
- 接触作業を含む非定型作業の遠隔化や自動化には力触覚が必要
 - ⇒ 接触作業を行うロボットにはリアルハプティクスが必須

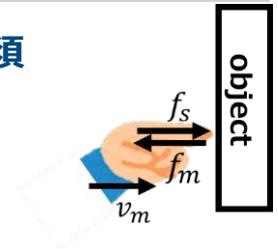


Courtesy by Motion Lib Co.

✓ 力触覚があれば 脆弱物でも優しく掴める

力触覚を数値化しないと ロボットによる接触作業は不可能

- 「視覚感覚」や「聴覚感覚」は見たり聞いたりするのに必須
- 同様に「力触覚」は接触するために必須
- 「力触覚」の強度と質感の数値化に成功



力触覚の強度（= 時間分解能に依存）

力触覚の質感（= 周波数分解能に依存）

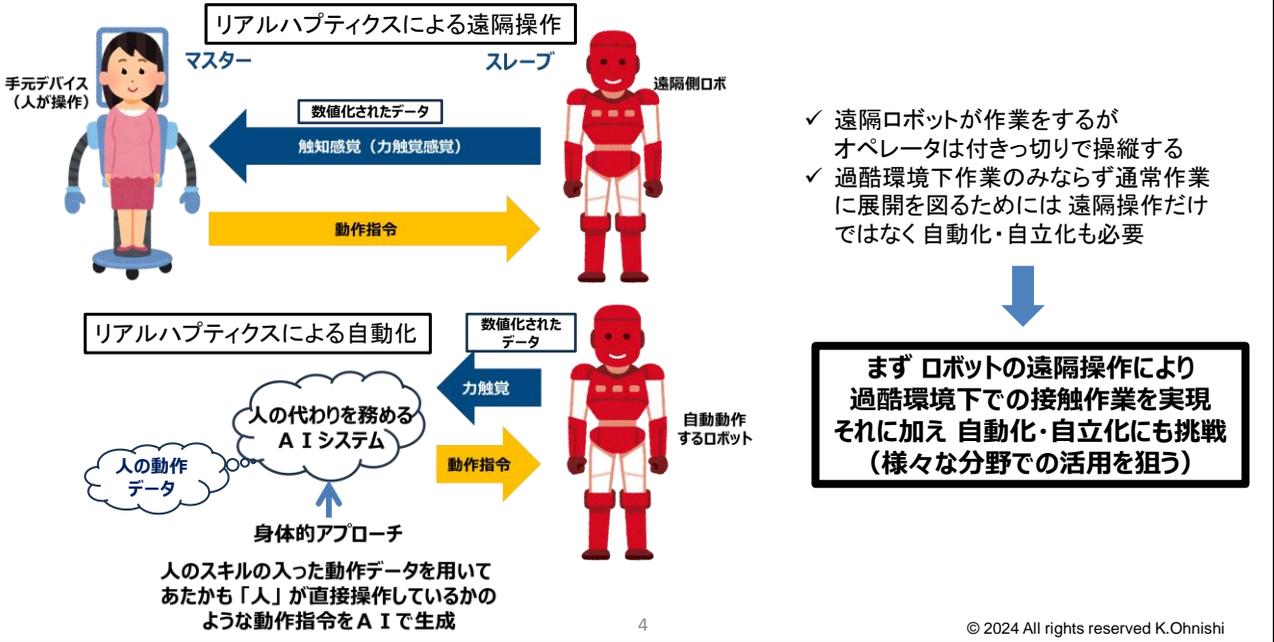
$$|z(t)| = \frac{\sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T}^t f(t)^2 dt}}{\sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T}^t v(t)^2 dt}} = \frac{f_{rms}}{v_{rms}}$$

$$Z(j\omega) = \frac{F(j\omega)}{V(j\omega)} = j\omega M + D + \frac{K}{j\omega} + \frac{H(j\omega)}{V(j\omega)}$$



慣性力に起因する成分 + 粘性力に起因する成分 + 剛性力に起因する成分 + 負荷に起因する成分

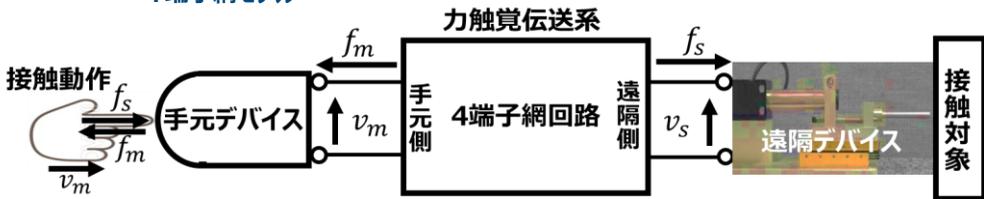
人による「遠隔操作」から AIを使った「自動化」まで



結局 リアルハプティクスでは “何” をしているのだろうか

● 接触時の力と速度の情報を同時に高速で伝送できれば力触覚は伝わる

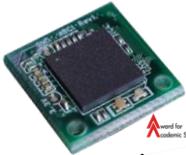
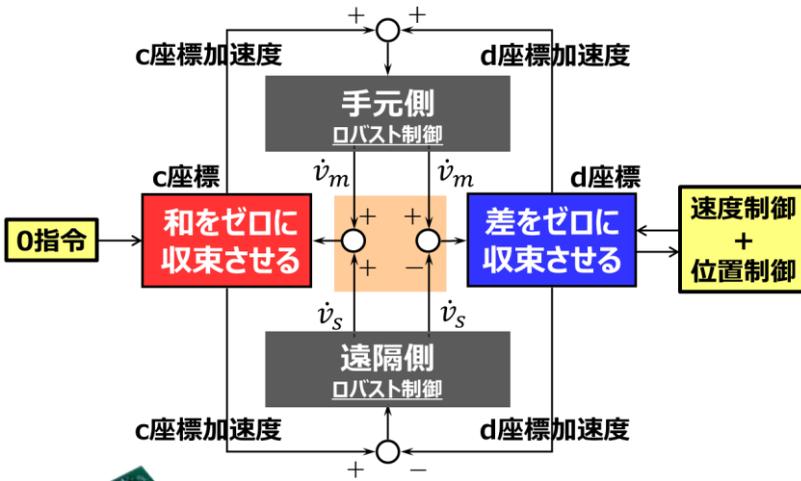
- 手元側の力と速度 および 遠隔側の力と速度を結び付けるモデル
✓ 4端子網モデル



● 目標とする具体的な制御式 ⇒ チップ化する

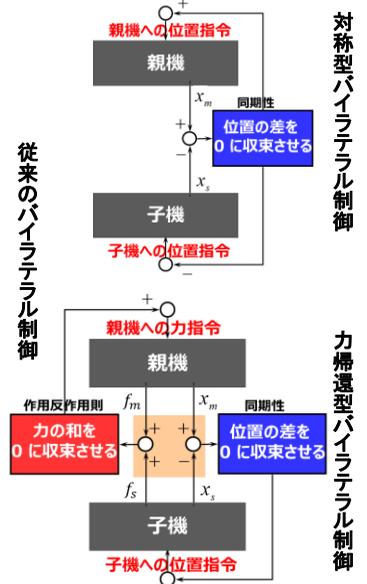
- $f_m + f_s = 0$ 作用反作用則の成立
- $v_m - v_s = 0$ 追従則(同期則)の成立

力触覚を伝送するリアルハプティクス概略図



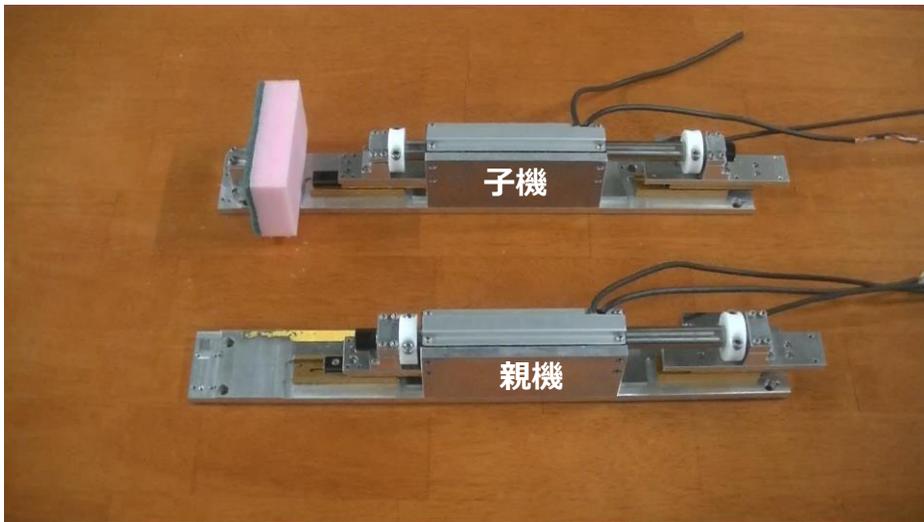
- リアルハプティクスを実現する制御システムをLSI化
- 必要な演算をパッケージ化 チップ+S/W
- AbcCore = Acceleration-based Bilateral Control Core

大学発ベンチャー表彰
Innovators Under 35 Japan 2021 (AI/ロボット工学部門) 受賞



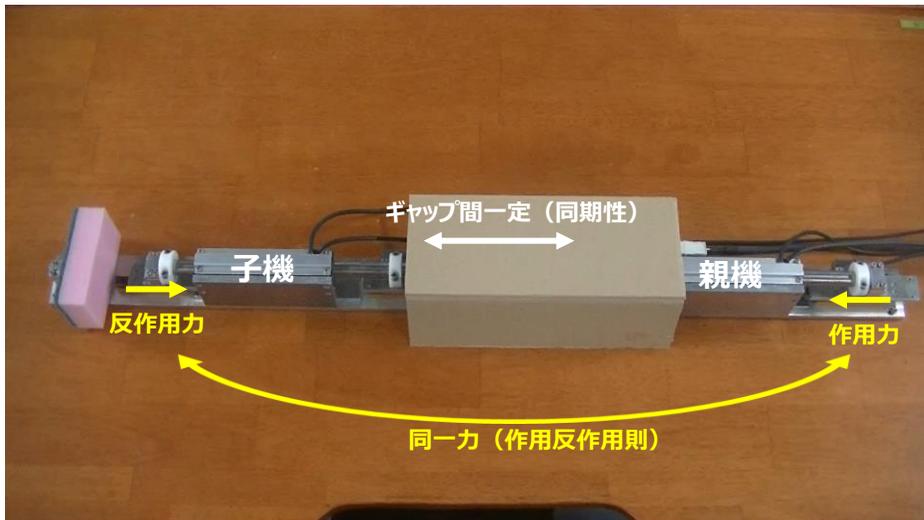
© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

簡単な実験装置で機能を確認 (1)



親機は手元デバイス 子機は遠隔デバイス
© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

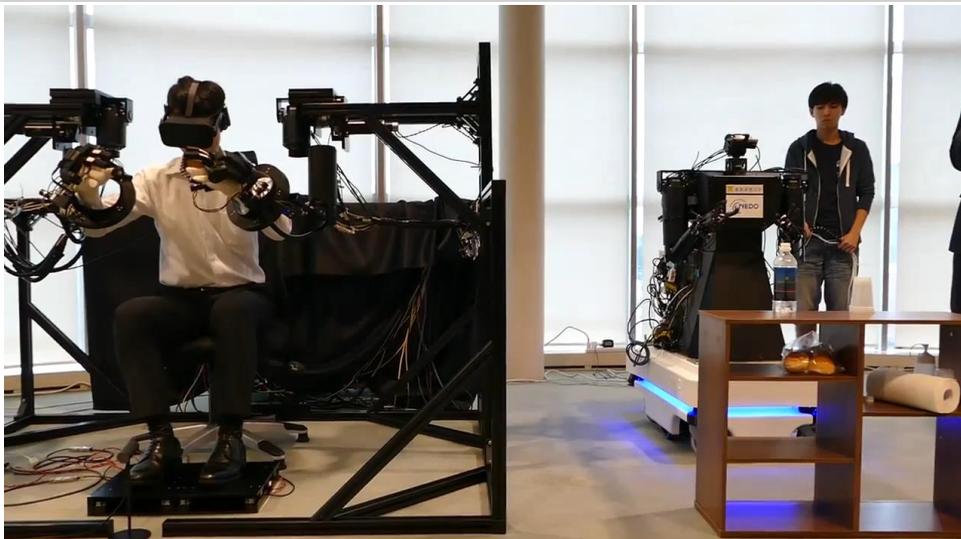
簡単な実験装置で機能を確認（2）



親機は手元デバイス 子機は遠隔デバイス
© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

8

外骨格型マスターデバイスによる遠隔操作GPアームによる動作例



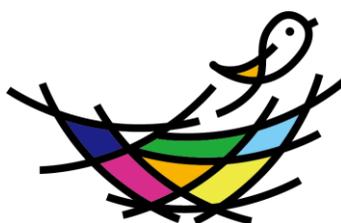
慶應義塾大学工学部野崎准教授のご厚意

画像は Youtubeで公開済 <https://www.youtube.com/watch?v=XPE1wB1f1D4>

© 2024 All rights reserved K.Ohnishi

F-REIの遠隔操作研究における5~6年後の成果（社会還元）

- 過酷環境において 未知の物体の物理情報を取得しながら 遠隔作業を行う
 - ◆ 過酷環境や災害環境における遠隔操作による必要作業
ピッキング グラスピング プッシング インサーティング トランスポーティング等の作業
 - ◆ 環境情報のタギング
接触対象や周囲環境の物理情報を同定し タグ付け
 - ◆ 未知環境の移動
未知の移動環境を同定しながら地図を作製（slam+tagging）
 - ◆ 繰り返し作業の自動化
未知環境 ⇒ 既知環境 にすることで ルーティンワークとして自動化が可能に
- ロボットによる自動化を導入して 産業の振興を図る
 - ◆ 屋外環境、屋内環境における作業の自動化
果実、野菜、稲麦等の栽培の自動化 将来的には 産業における非定型作業の自動化も狙う



F-REI

福島国際研究教育機構