

関節モジュールと 擬人化ロボットアーム

電気通信大学 脳・医工学研究センター
准教授 姜 銀来

2019年5月14日

社会的・技術的背景

社会的背景

人を支援したり、人とコミュニケーションしたりするための
擬人化ロボットアームの需要が高い。

技術的背景

既存の車椅子や歩行器と組み合わせたり、または患者に
取り付けたりすることが可能で、安全・軽量・高出力の擬人
化ロボットアームが必要

従来技術とその問題点

7自由度動作を再現できるロボットアームは市販されているが、重く、大きく、外観と動きなどは人の上肢と異なる。

JACO²



自由度	7-DOF
可搬質量	1.6kg
本体質量	5.98kg

<https://www.kinovarobotics.com/en>

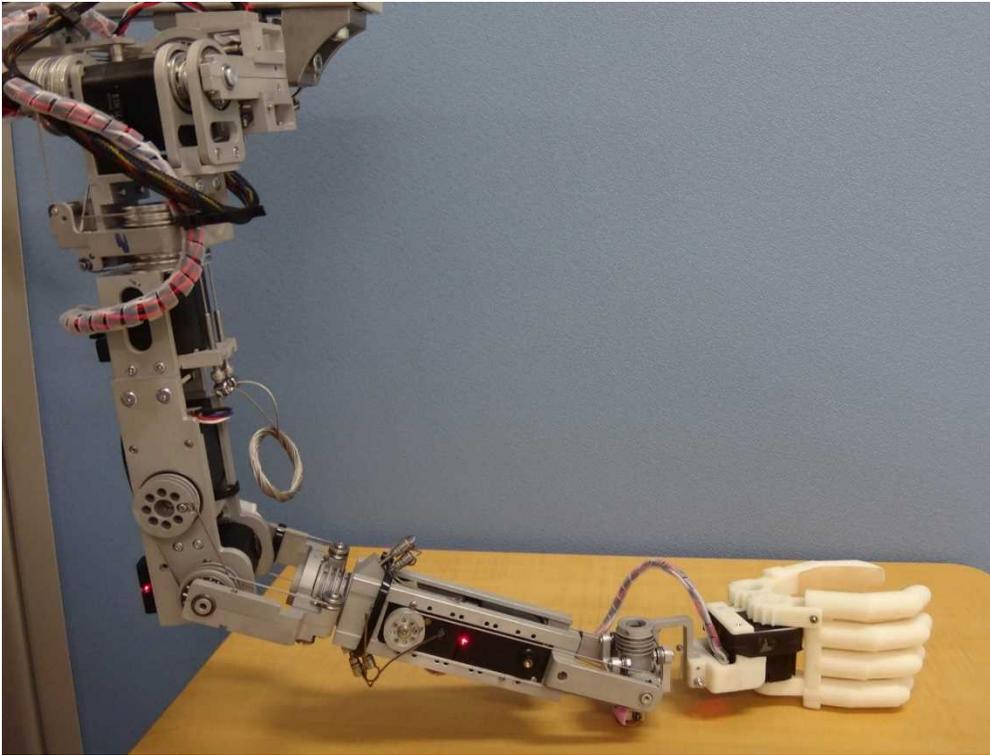
WAM Arm



自由度	7-DOF
可搬質量	3kg
本体質量	27kg

<https://www.barrett.com/wam-arm>

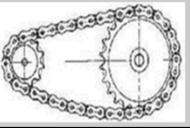
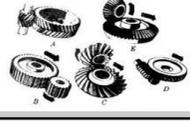
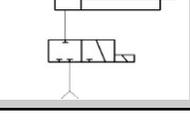
新技術の特徴



7自由度擬人化ロボットアーム

- 人の上腕と同じサイズ、自由度、動きを有するロボットアーム
- ワイヤ干渉駆動による軽量、高出力、安全性
- 福祉機器やロボットなどに装着し易い

主な駆動機構の比較

駆動機構		小型	軽量	高精度	高負荷	耐久性	柔軟性
ワイヤ		++	++	--	-	-	++
チェーン		--	--	-	++	++	--
ベルト		-	--	++	+	++	-
歯車		-	-	++	++	++	--
ボールねじ		-	--	++	++	++	--
空圧/油圧		--	--	-	+	++	+/--

ワイヤ駆動のメリット・デメリット

メリット

1. 機構に柔軟性を持たせる
2. 機構の軽量化
3. 機構設計の自由度

デメリット

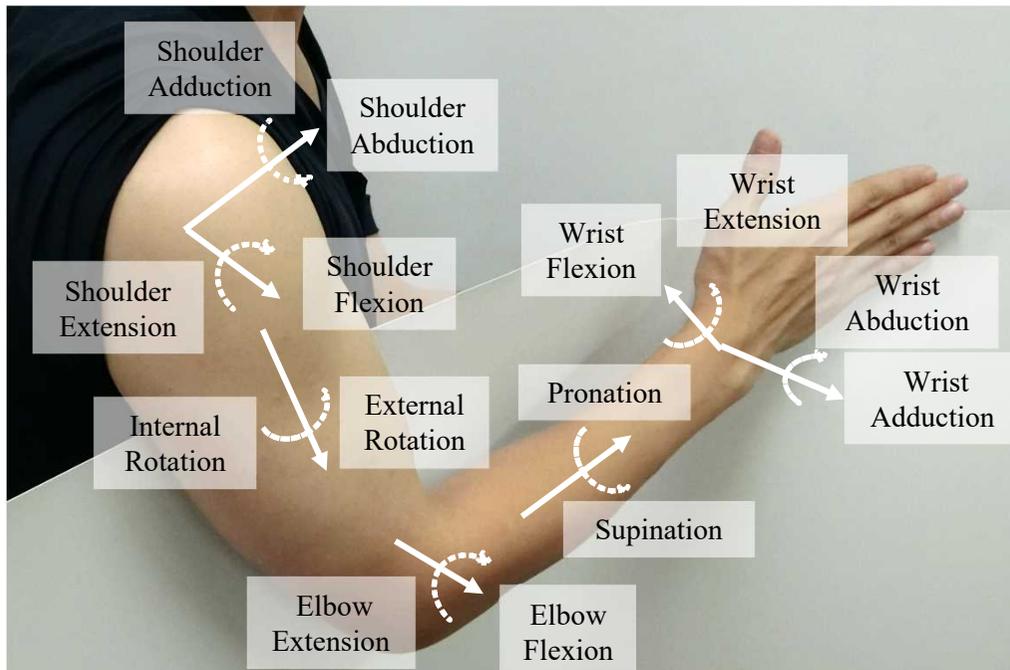
1. 精度が低い
2. 保守性が低い
3. 高負荷に弱い

本研究の解決策:

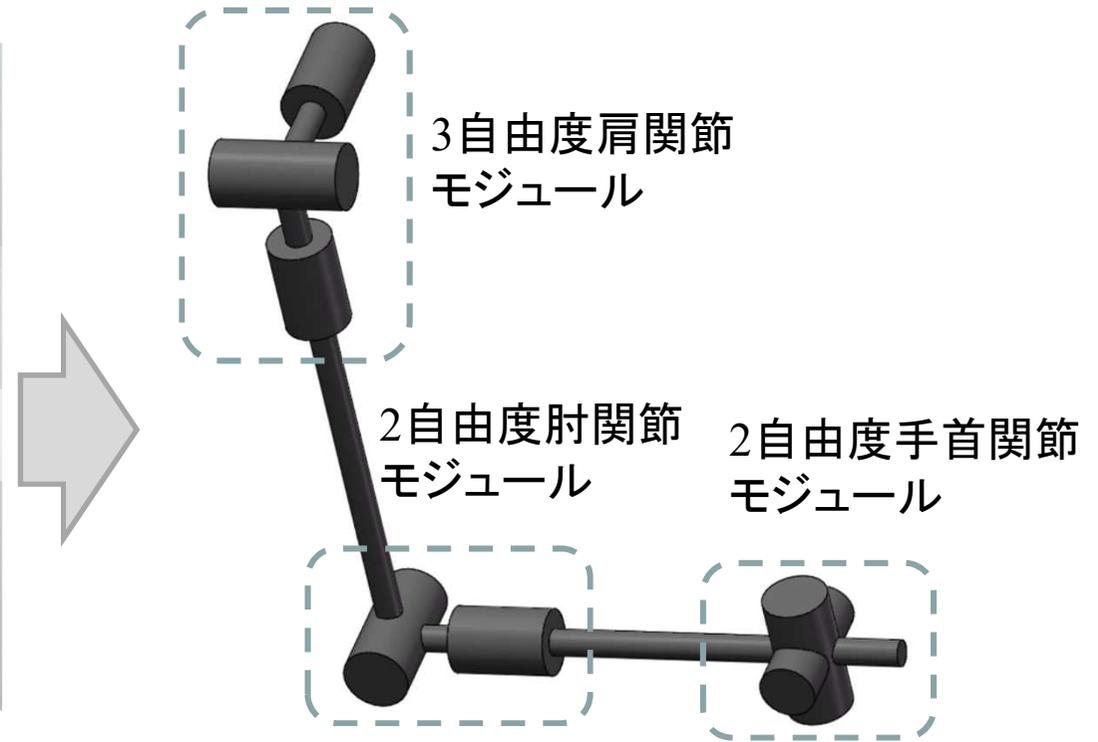
ワイヤを介して、複数のモータの出力を相乗的に働かせるワイヤ干渉駆動を採用する。

ワイヤ干渉駆動をモジュール化することにより、制御精度、保守性の向上を図る。

人の上腕の動きとモジュール分解



上腕の7自由度の動き

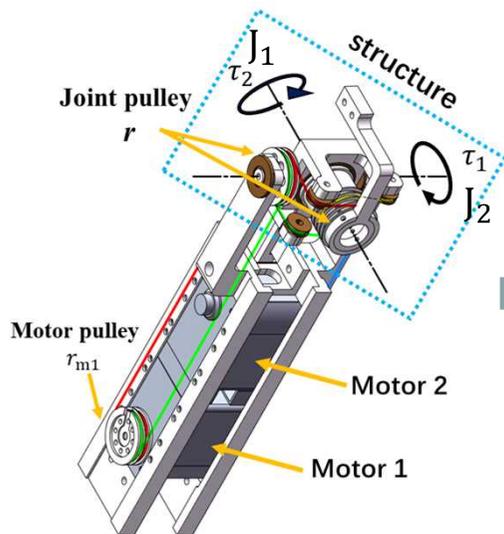


3モジュールに分解

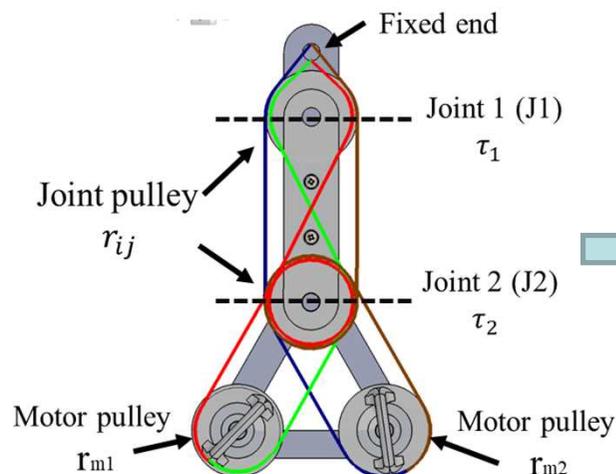
本発表の概要

- 2自由度ワイヤ干渉駆動関節モジュール
- 3自由度ワイヤ干渉駆動関節モジュール
- 7自由度擬人化ロボットアームの開発

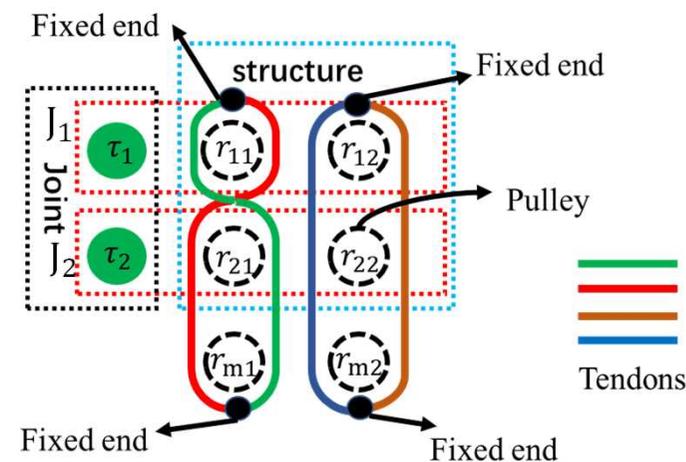
2自由度ワイヤ干涉駆動関節モジュール



関節設計



平面図



ワイヤルーティング図

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_{11}/r_{m1} & r_{12}/r_{m2} \\ r_{21}/r_{m1} & r_{22}/r_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{m1} \\ T_{m2} \end{bmatrix}$$

$$\tau_i = J \cdot T_{mi}$$

J : motor-joint routing matrix

例:

$r_{ij} = r_{mj}$ の場合

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{m1} \\ T_{m2} \end{bmatrix}$$

$T_{m1} = T_{m2} = T$ の時

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 2T \end{bmatrix}$$

$-T_{m1} = T_{m2} = T$ の時

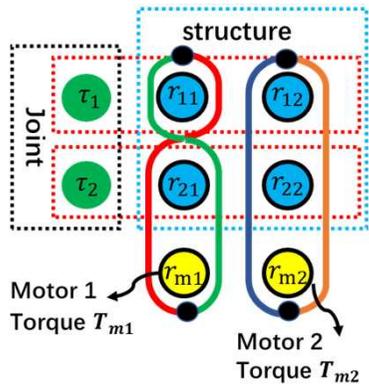
$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2T \\ 0 \end{bmatrix}$$

直接駆動の2倍のトルクを出せる

トルク伝達行列と分類

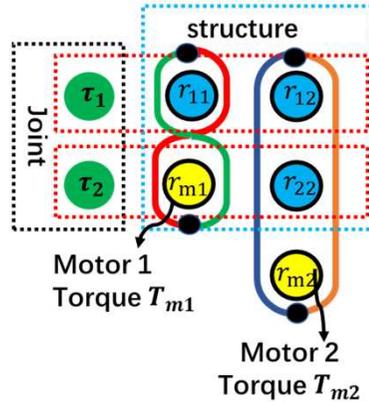
一般的計算式
$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_{11}/r_{m1} & r_{12}/r_{m2} \\ r_{21}/r_{m1} & r_{22}/r_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{m1} \\ T_{m2} \end{bmatrix} \quad \tau_i = J \cdot T_{mi}$$

J : motor-joint routing matrix



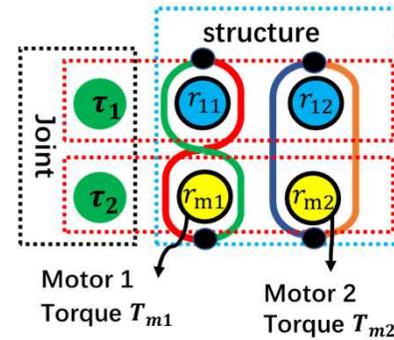
$$J = \begin{bmatrix} -r_{11}/r_{m1} & r_{12}/r_{m2} \\ r_{21}/r_{m1} & r_{22}/r_{m2} \end{bmatrix}$$

2モーター
外付け機構



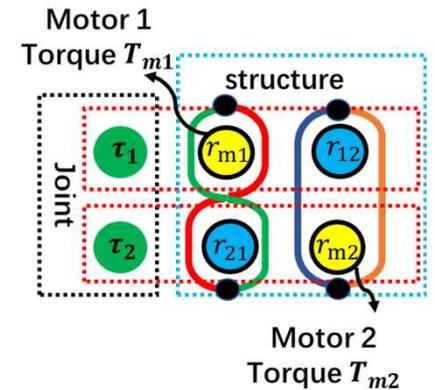
$$J = \begin{bmatrix} -r_{11}/r_{m1} & r_{12}/r_{m2} \\ 1 & r_{22}/r_{m2} \end{bmatrix}$$

1モーター
外付け機構



$$J = \begin{bmatrix} -r_{21}/r_{m1} & r_{22}/r_{m2} \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

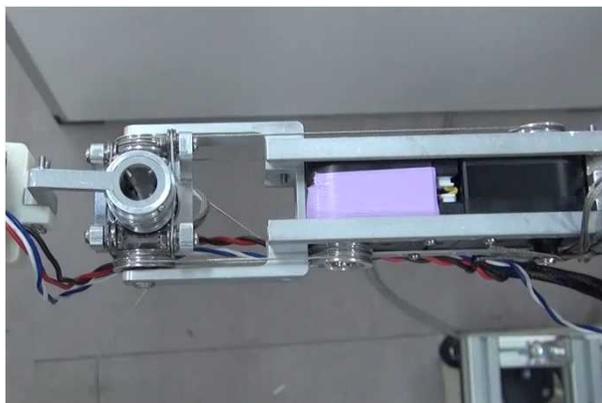
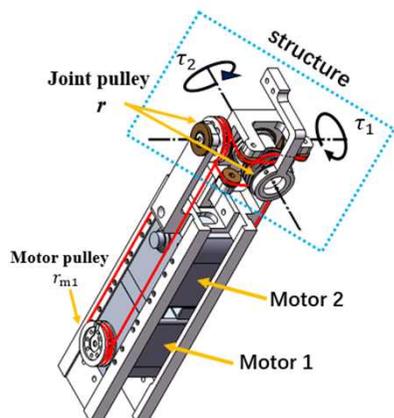
2モーター
内蔵同軸機構



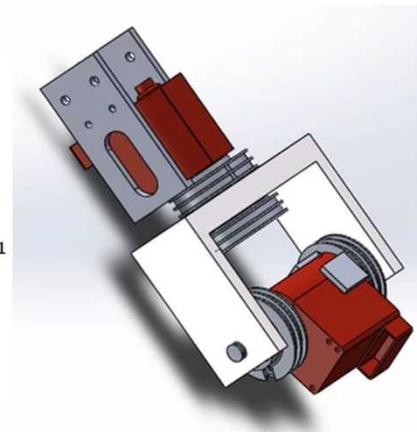
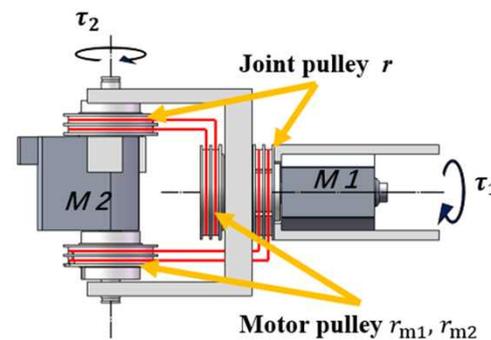
$$J = \begin{bmatrix} 1 & r_{12}/r_{m2} \\ -r_{21}/r_{m1} & 1 \end{bmatrix}$$

2モーター
内蔵異軸機構

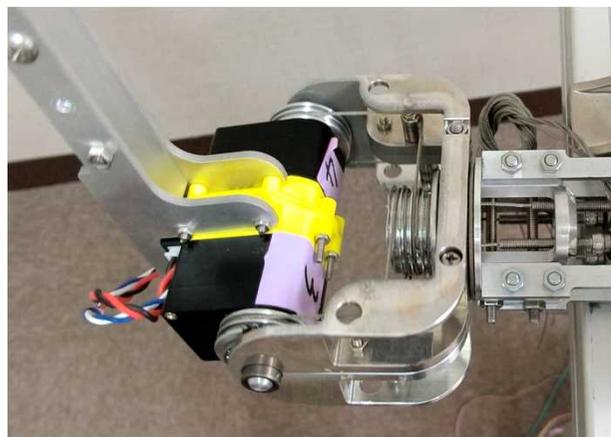
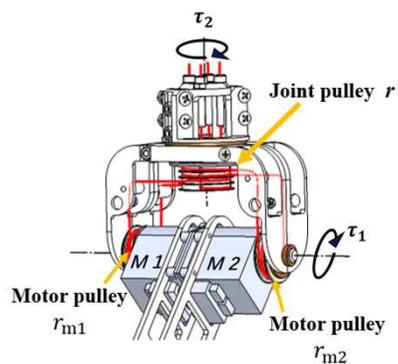
2自由度関節モジュールの実現例



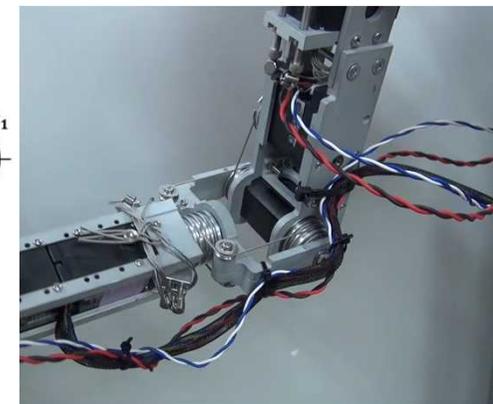
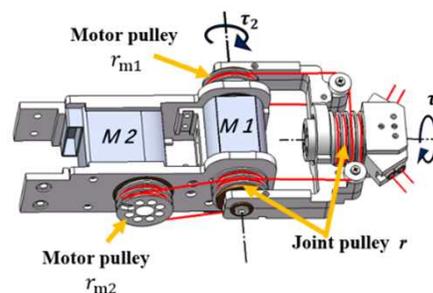
2モーター外付け機構



2モーター内蔵異軸機構

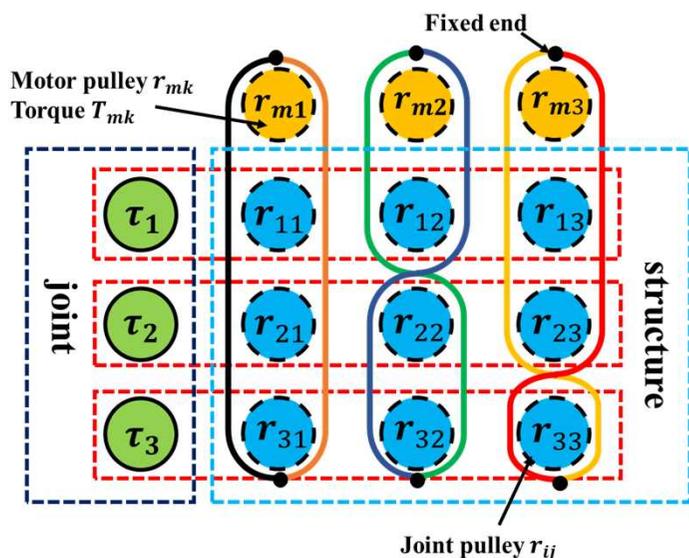


2モーター内蔵同軸機構

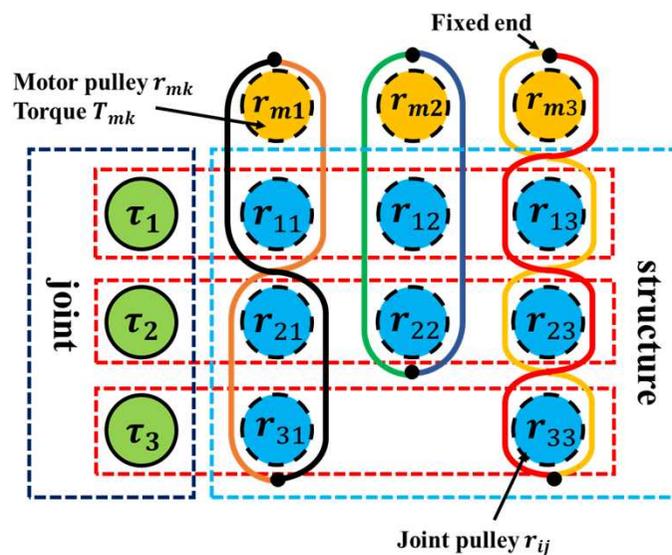


1モーター外付け機構

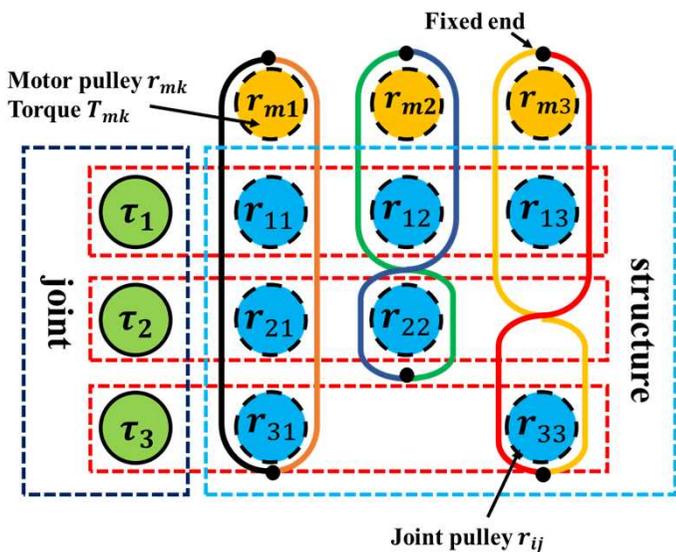
3自由度ワイヤ干渉駆動関節モジュールの分類



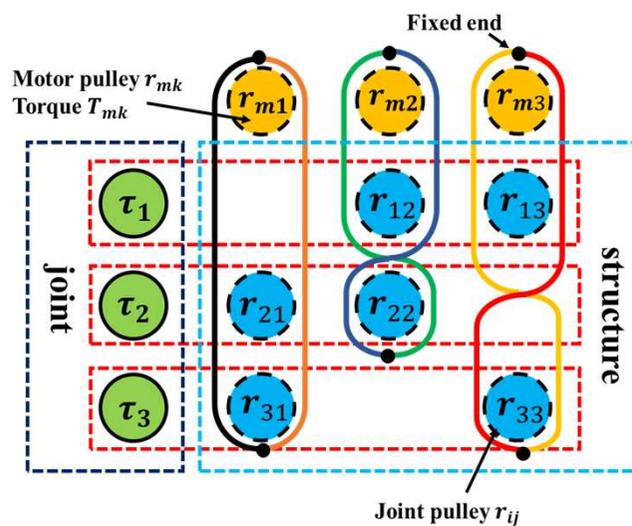
フル・ルーティング形式



1スキップ・ルーティング形式



2スキップ・ルーティング形式

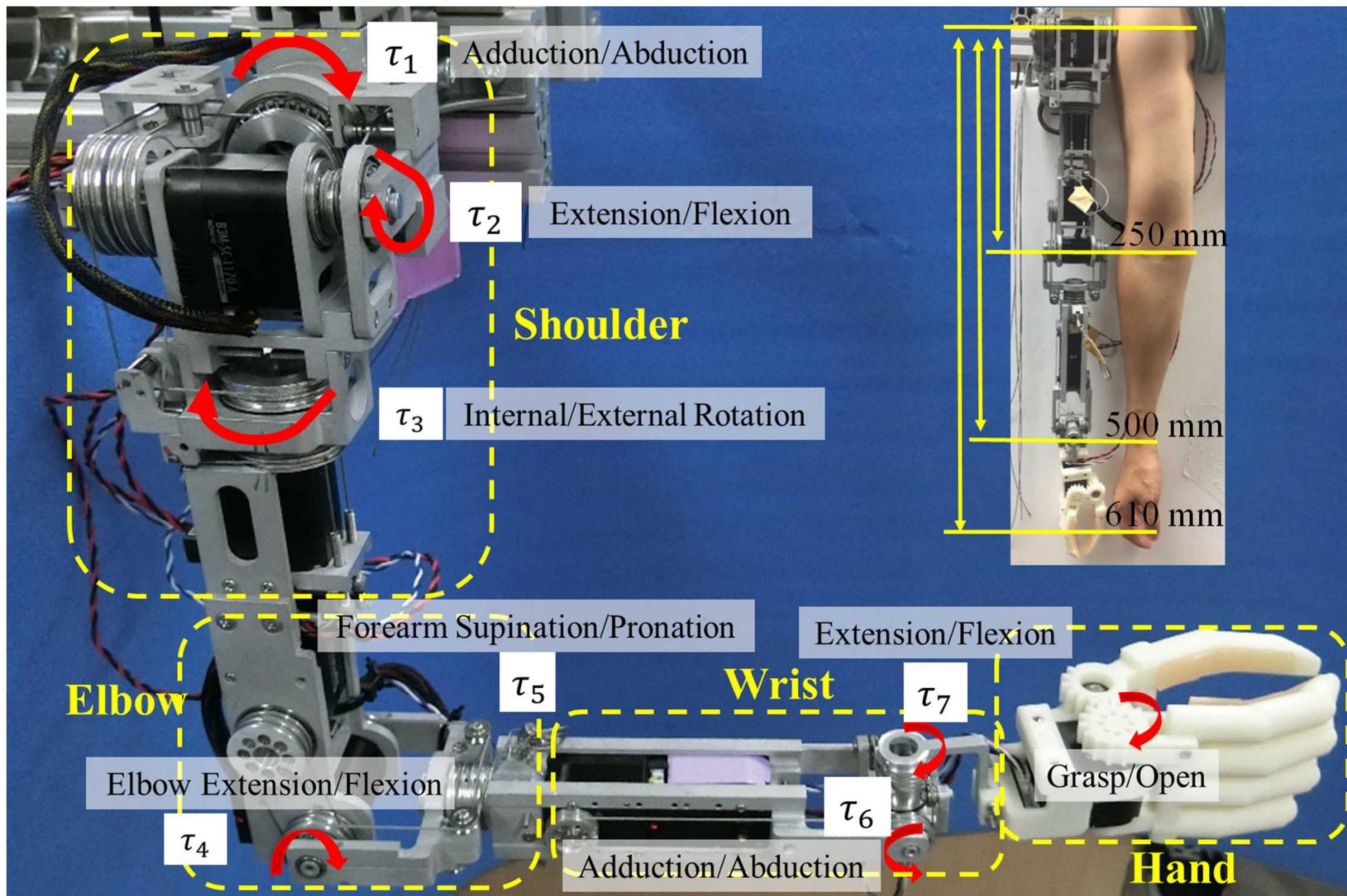


3スキップ・ルーティング形式

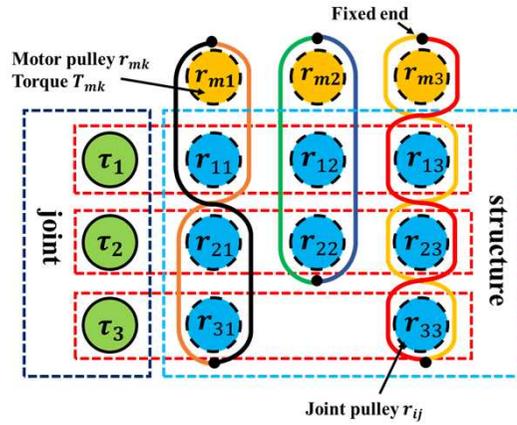
トルク関係の比較

		モータートルク			出力トルク
		T_{m1}	T_{m2}	T_{m3}	
フル・ ルーティング 形式	τ_1	1	1	0	2
	τ_2	0	-1	1	2
	τ_3	1	0	-1	2
1スキップ・ ルーティング形式	τ_1	0.5	1	-0.5	2
	τ_2	-0.5	1	0.5	2
	τ_3	-1	0	-1	2
2スキップ・ ルーティング形式	τ_1	1	1	1	3
	τ_2	0.5	-1	0.5	1.5
	τ_3	0.5	0.5	-1	1.5
3スキップ・ ルーティング形式	τ_1	1	1	1	2
	τ_2	1	-1	1	2
	τ_3	1	1	-1	2

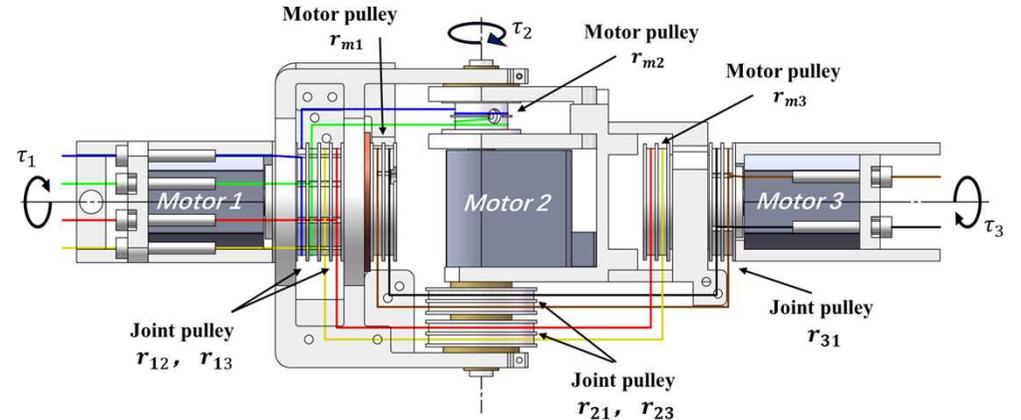
7自由度の擬人化ロボットアーム



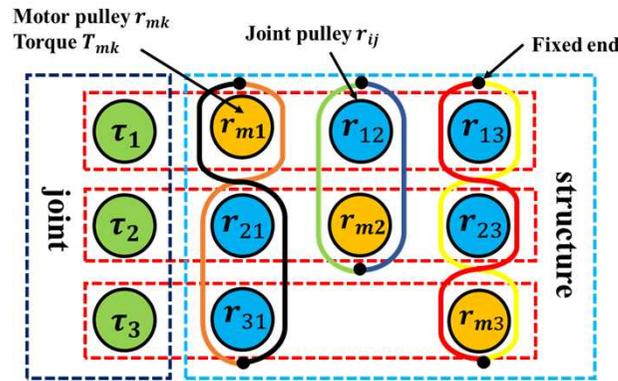
肩関節の実現



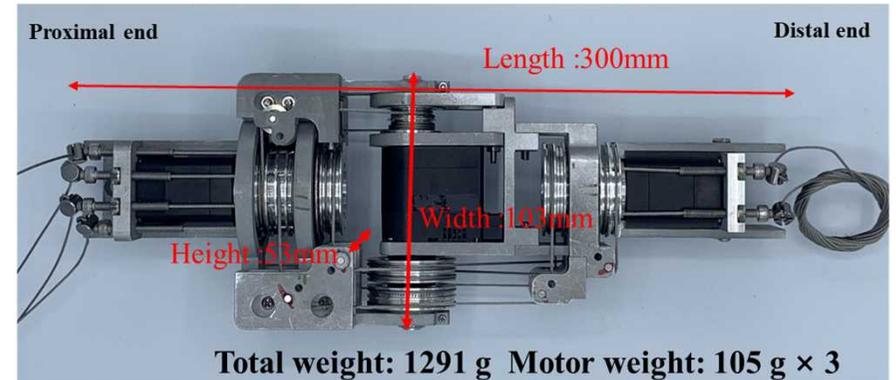
1スキップ・ルーティング形式



設計図

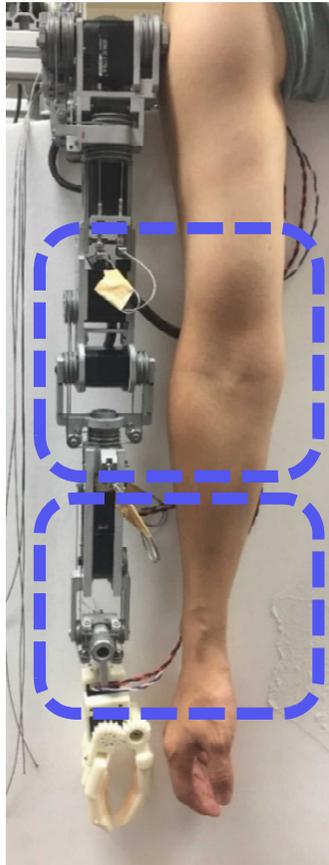


モーター内蔵

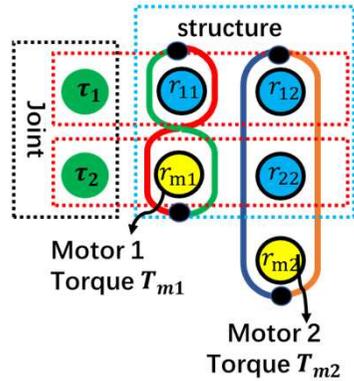


実物写真

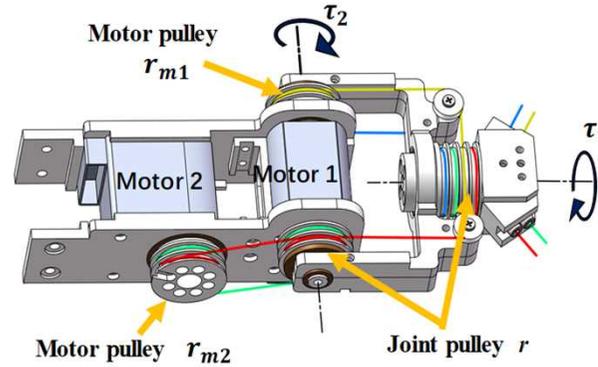
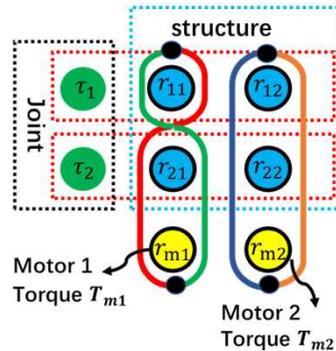
肘と手首関節の実現



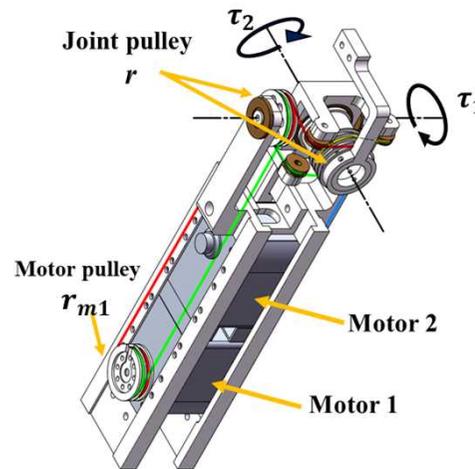
1モーター
外付け機構



2モーター
外付け機構



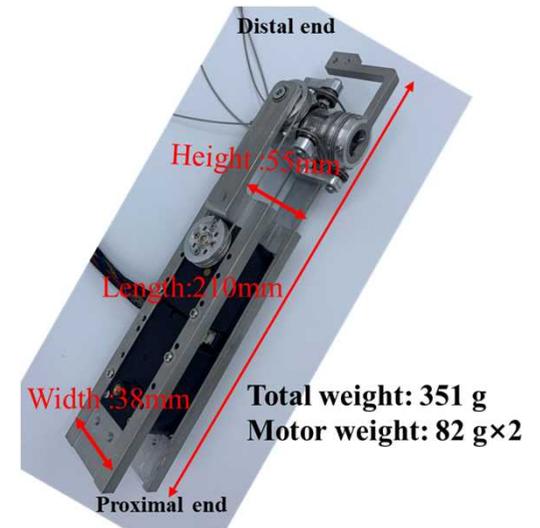
設計図



設計図



写真

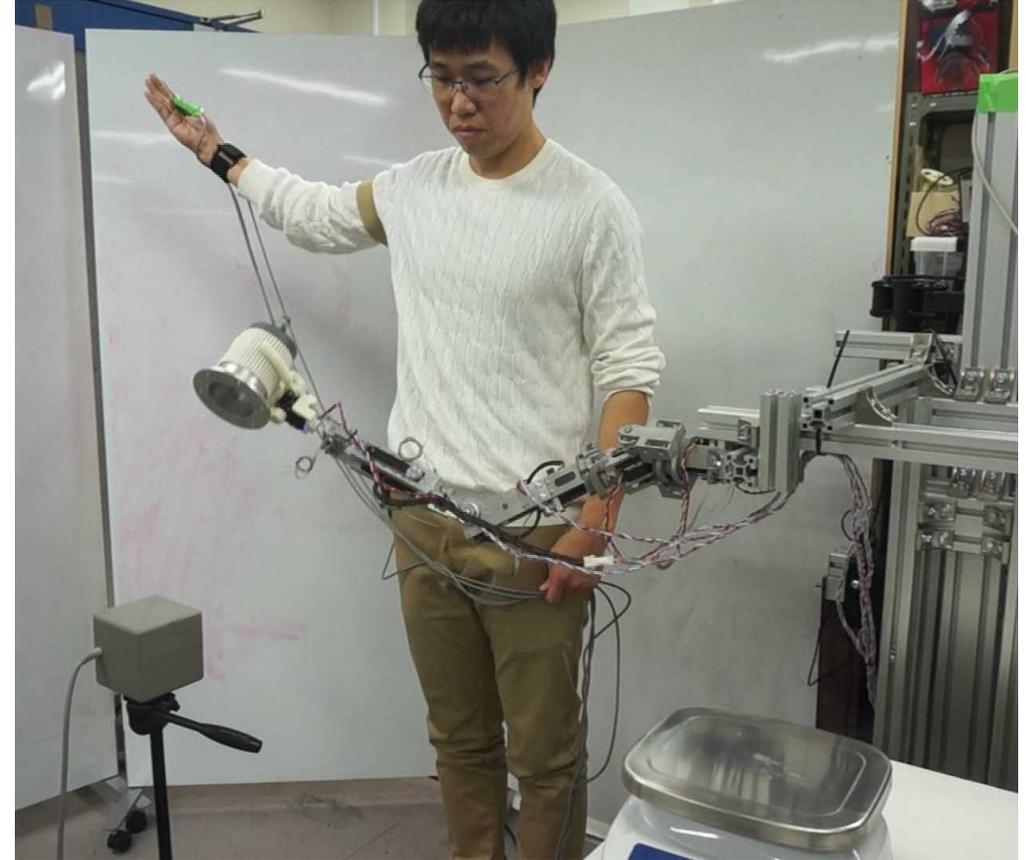


写真

1.5 kgの重りを操作



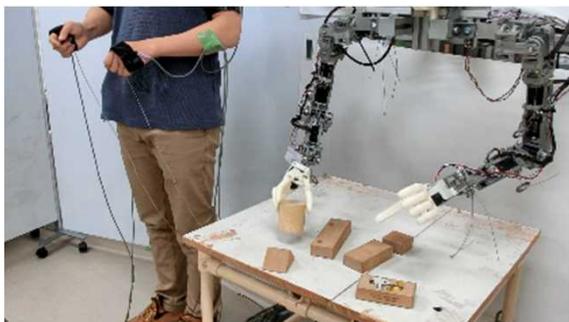
1.5 kgの重りを把持



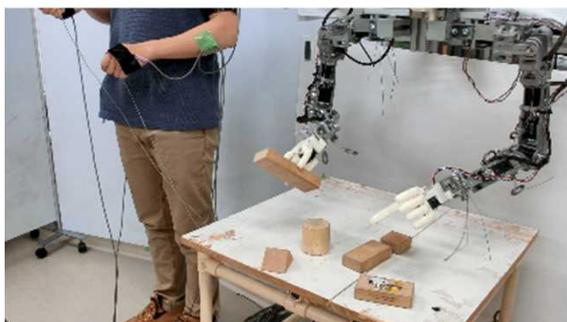
伸展した状態での持ち上げ

アーム全体の重量: 2.2 kg 可搬重量: 1.5 kg, 軽量と高出力を両立

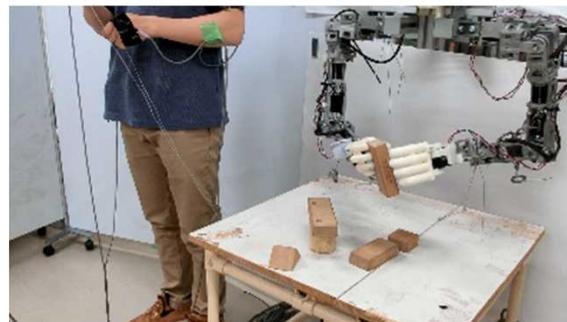
双腕による巧みな操作



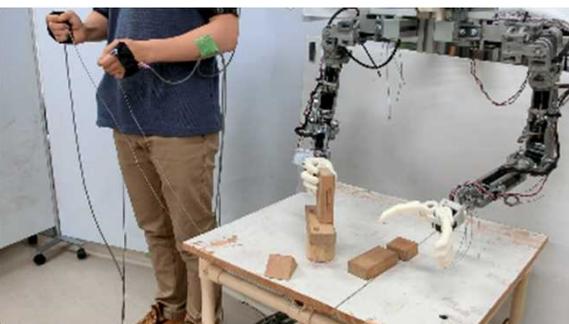
(1)



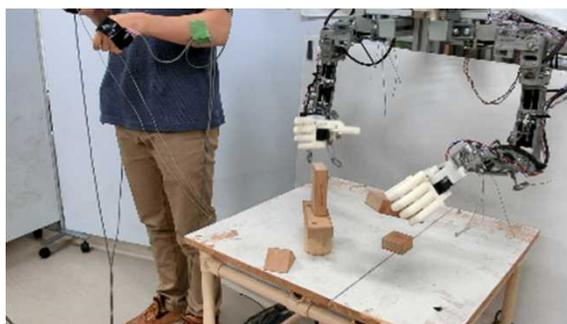
(2)



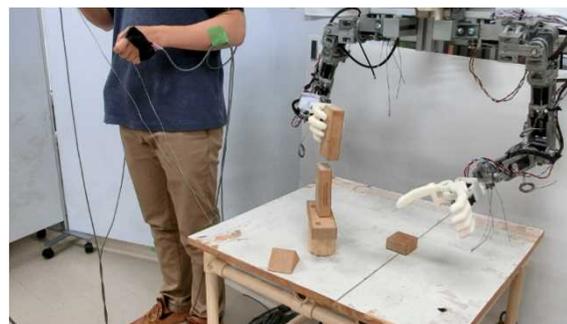
(3)



(4)



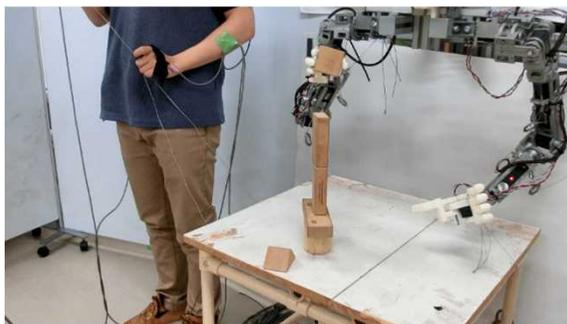
(5)



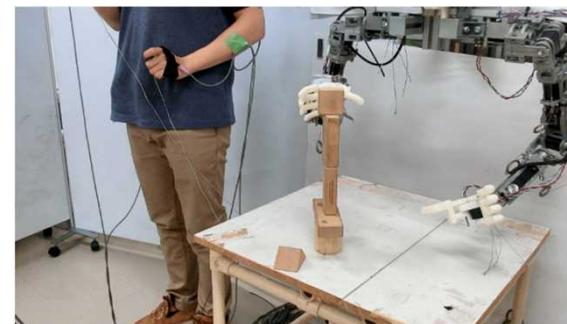
(6)



(7)



(8)



(9)

ロボットアーム2台を用いた積み木の積み上げ

従来ロボットアームとの比較

従来の軽量アームとの比較



JACO²



WAM Arm

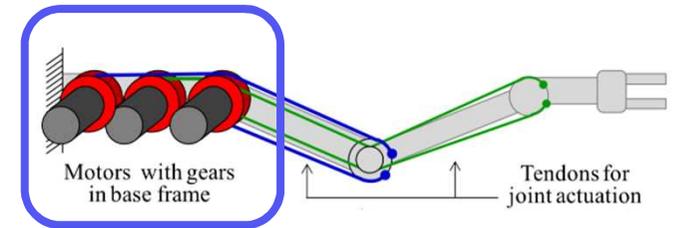
	JACO ²	WAM Arm	本研究
動作自由度	7	7	7
本体質量 [kg]	6.18	27	2.2
最大可搬重量[kg] (アーム伸長時)	1.1	3	1.5
出力/重量比	0.17	0.11	0.68
自由度数/重量比	1.13	0.25	3.18

本研究

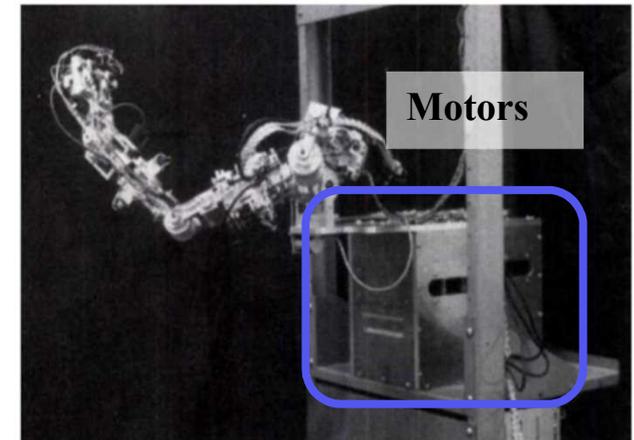


モーター内蔵
モジュール化

従来のワイヤ駆動アームとの比較



Motors



7 DoF Tendon-Driven Arm [大鐘 1996]

モーター外付け
モジュールなし

想定される用途

- 擬人化ロボットアームは、軽量・高出力・安全であるため、人の近くで作業する福祉介護機器、サービスロボット、ヒューマンロイドロボットなどの一部として利用できる。
- 関節モジュールは要素技術としても、ロボットの研究開発に幅広く応用できる。例えば、ロボットの腕、首、腰などの関節機構として有用。

実用化に向けた課題

- さらなる高出力・高精度・高耐久性。
- ロボットビジョンによる知能化。
- 擬人化ロボットの表皮(カバー)の開発。

企業への期待

- ロボットビジョン技術・柔軟性材料の加工技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 福祉介護ロボット、サービスロボットを開発中の企業とともに、関連分野の応用展開。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : マニピュレータ
- 出願番号 : 特願2018-520708
- 出願人 : 電気通信大学
- 発明者 : 横井浩史、姜銀来

支援を受けた研究費

- H30～H35 科研費基盤研究(A)
導電性高分子を用いた感覚フィードバック付き筋電義手の開発
- H24～H29 脳科学研究戦略推進プログラム
BMI制御のためのインテリジェント電動補助装置の開発
- H24～H28 研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)
個性適応機能を有する筋電義手の開発と一般流通化
- H25～H27 科研費基盤研究(A)
脳の適応を誘導する人・機械・相互適応技術の開拓

お問い合わせ先

電気通信大学 産学官連携センター
コーディネーター・今田 智勝

TEL 042-443-5871

FAX 042-443-5726

e-mail imada@sangaku.uec.ac.jp