ロボット学会オープンフォーラム

「ロボットとAIの融合の最前線
～NEDO AIプロジェクトの産学連携の実例～」

# モデル化難物体の操作知識抽出に基づく柔軟物製品の生産工程改善

2021.9.8

信州大学　山崎　公俊
JUKI株式会社　平山　元樹

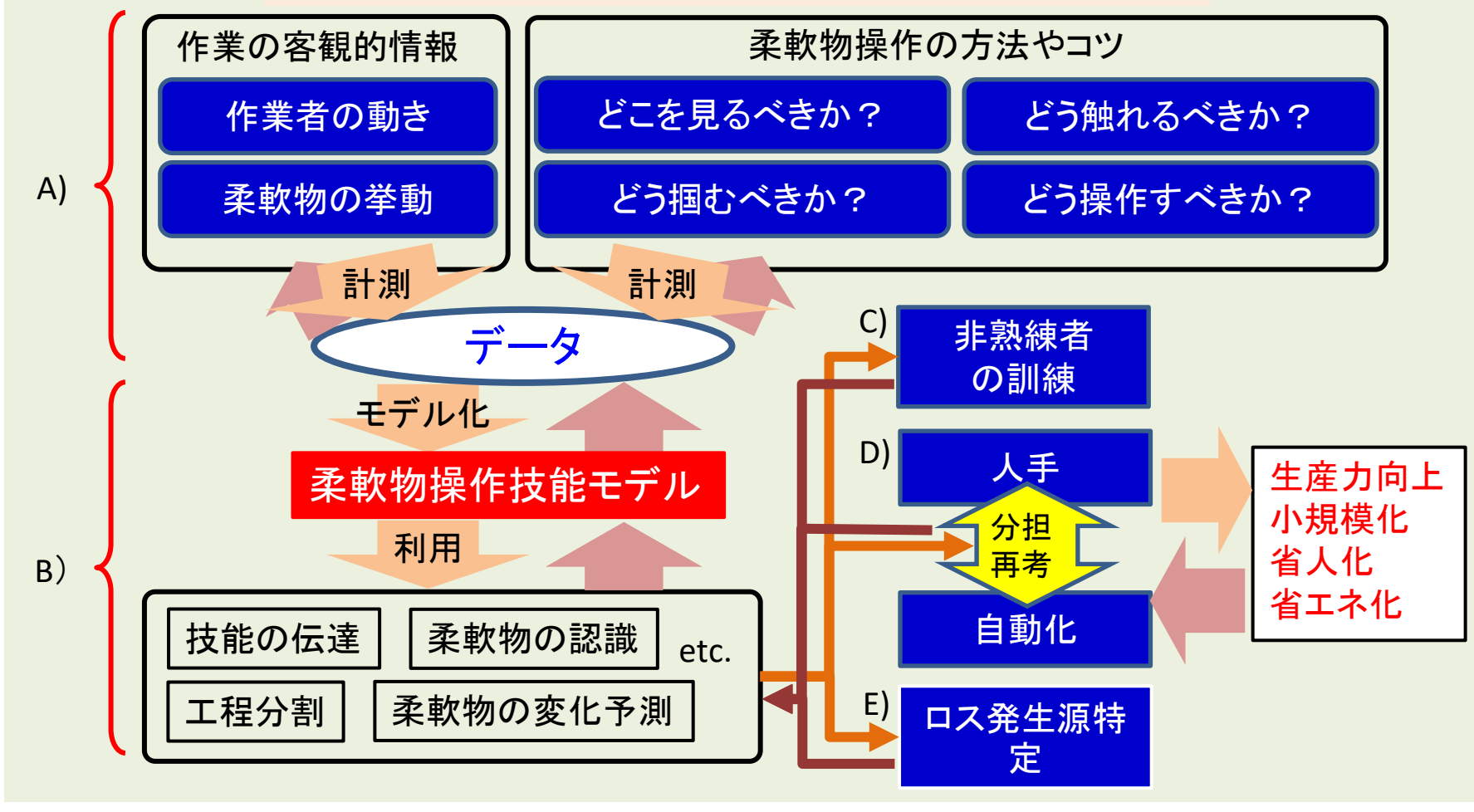
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

# 研究開発の目標

研究開発項目
- A) 加工作業のセンシング
- B) 技能の抽出とモデル化
- C) 操作技能の獲得訓練
- D) 分担推薦システム
- E) ロス減少方策の推薦システム

## 「熟練者の動き」＋「加工に伴う柔軟物の変化」から，操作技能を抽出・可視化

対象作業：布製品製造における裁断・縫製・検査・仕上



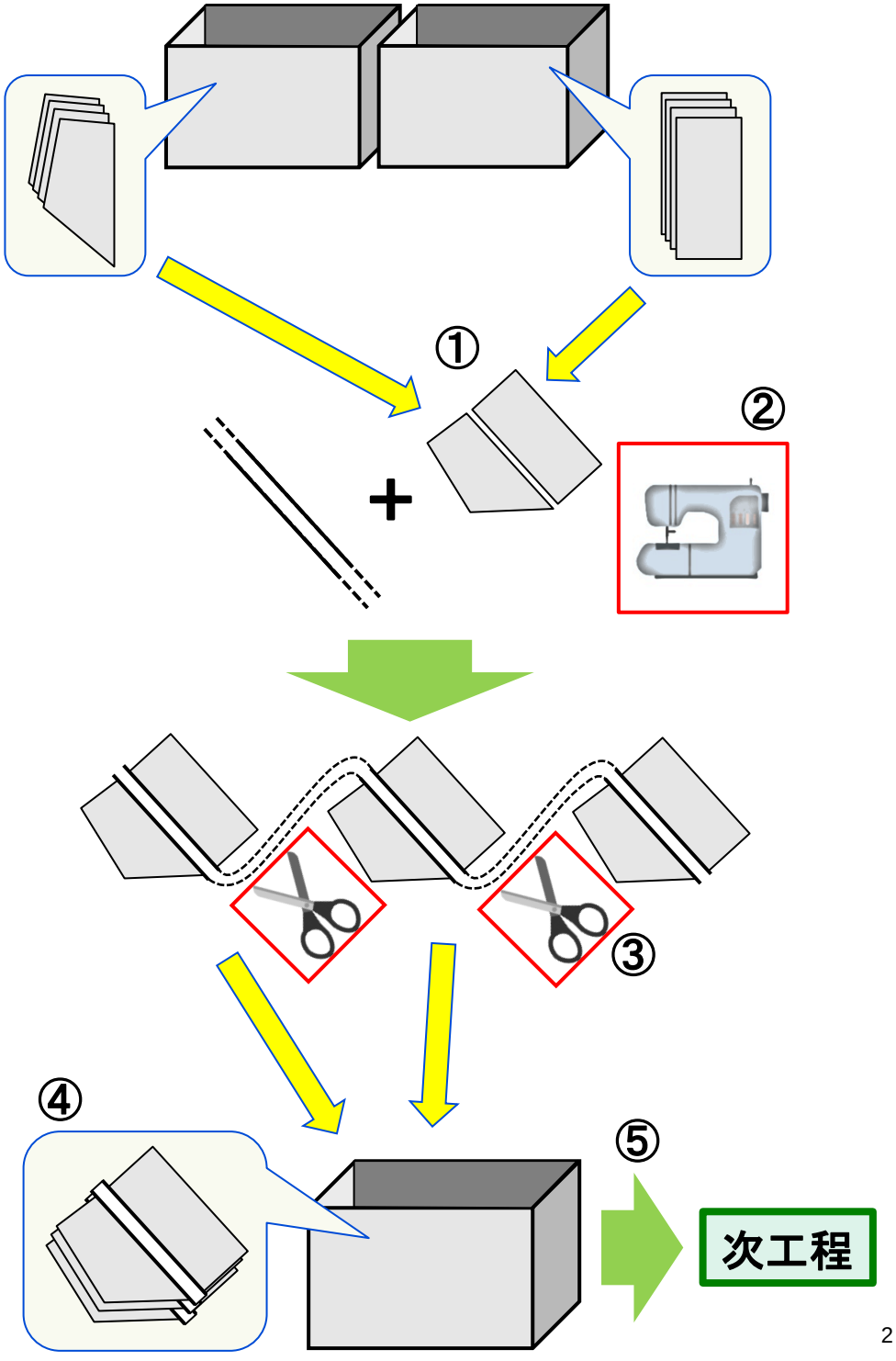
# 布製品製造工程の整理

## 複数個所で見られるパターン

① 布部品を箱からピックアップ
② 別部材との縫い付け
③ 連結部のカット
④ 箱への重ね置き
⑤ 箱を次工程の場所へ移動

## 要素

- 布部品ピックアップ
- 縫製
  - 布部品の取り回し
  - ミシンへの提供
- 切断
- 縫製後部品の積み重ね
- 運搬



# 本研究におけるAIの活用

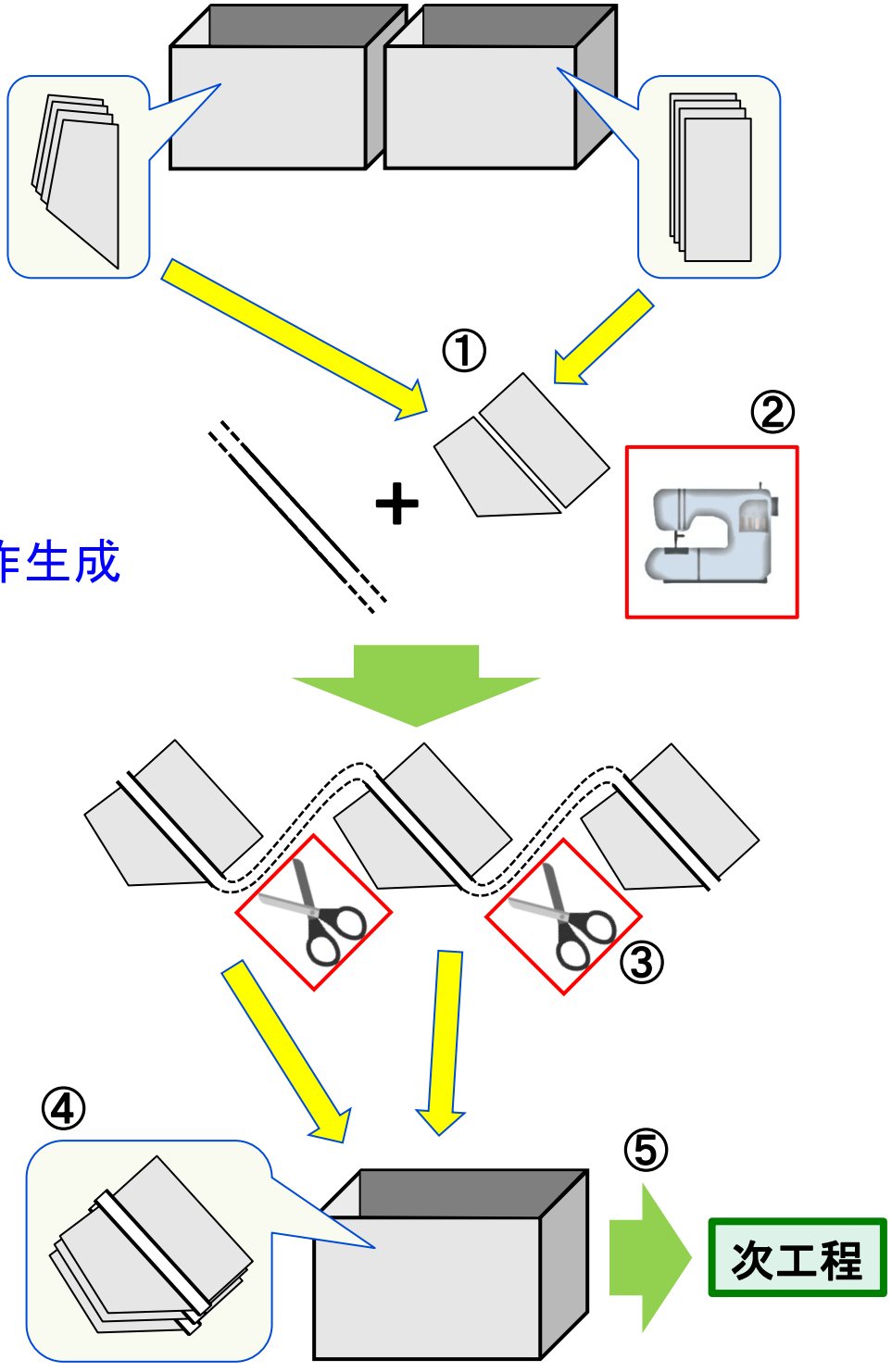
A) 加工作業のセンシング

B) 技能の抽出とモデル化
- 布部品のふるまいのモデル化
- 計測データからの自動機械の動作生成

C) 操作技能の獲得訓練
- 操作技能データの分析
- 操作技能データの提示

D) 分担推薦システム
- 生産データの分析
- 工程の組み合わせと評価

E) ロス減少方策の推薦システム



# 本研究における産学連携の活用

- JUKI株式会社は工業用ミシンでシェア世界No. 1
  - 世界15カ国に販売拠点
  - 利用国180カ国以上（売上85%以上は海外）

- 研究成果の活用
  - 国外の縫製工場への導入
  - 縫製作業の訓練やミシンメカニックの訓練への組み込み
  - 社主催の縫製技術セミナーへ開発成果を導入し，セミナー期間を短縮もしくは習得技能の増加

- スマートファクトリー化活動の後押し
  - (A) デジタル化, (B) 自動化, (C) ネットワーク化, (D) 工場診断

A) 加工作業のセンシング

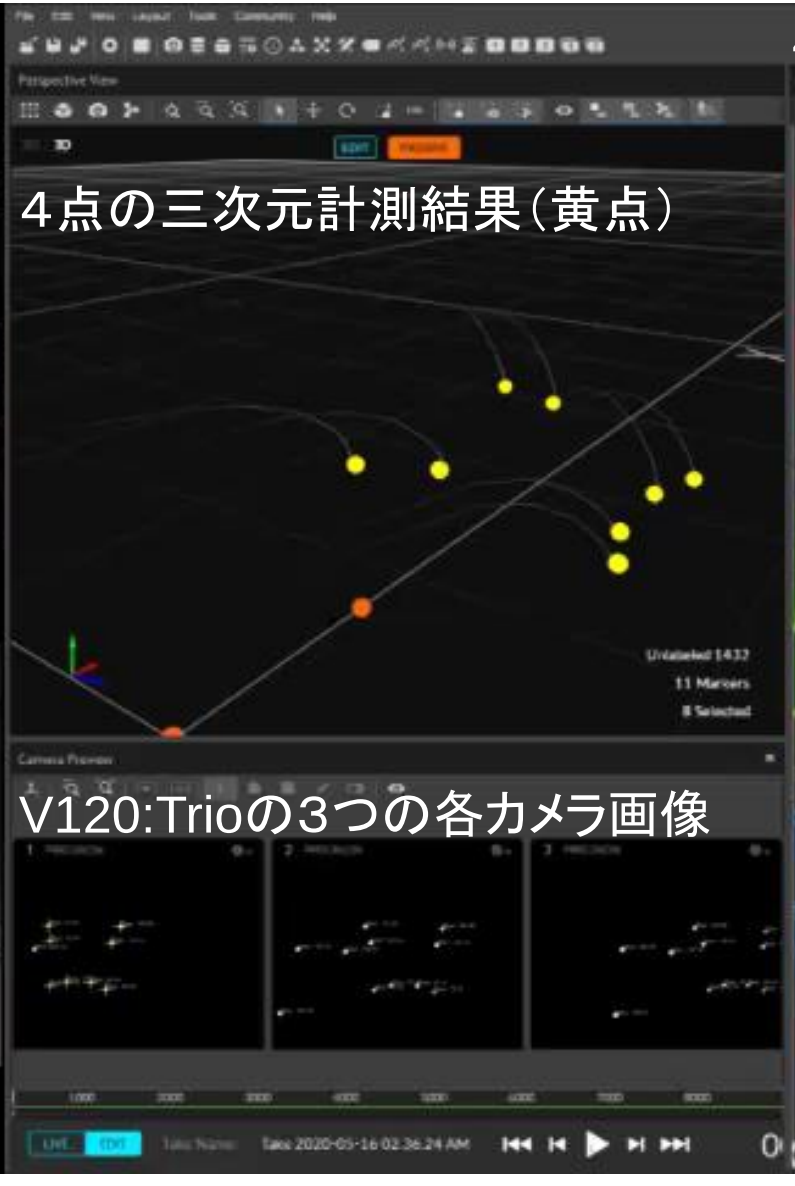
# A-1. 指先の動き情報の取得

OptiTrack V120:Trio

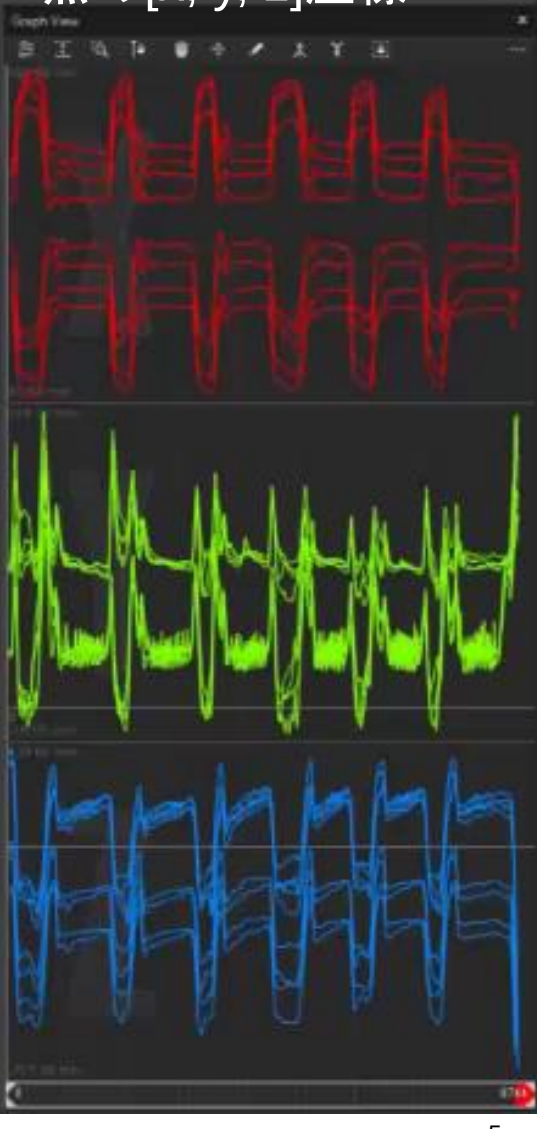
**指先位置の平均誤差 1.23mm**

被験者の動き

被験者の手の動き




4点の[x, y, z]座標

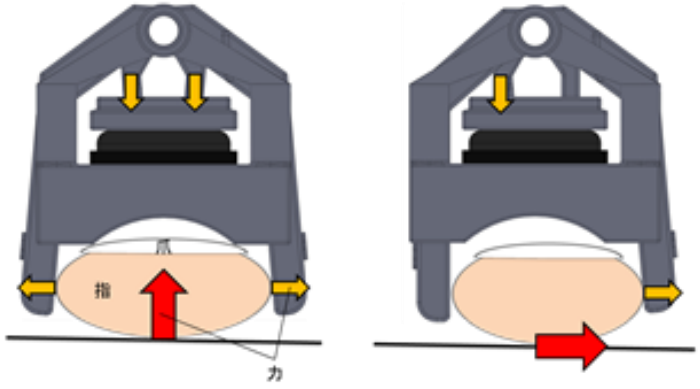


A) 加工作業のセンシング

# A-2. 指先力センサの製作と性能評価

- **コンセプト**
  指腹部の感覚を損なわない計測方式

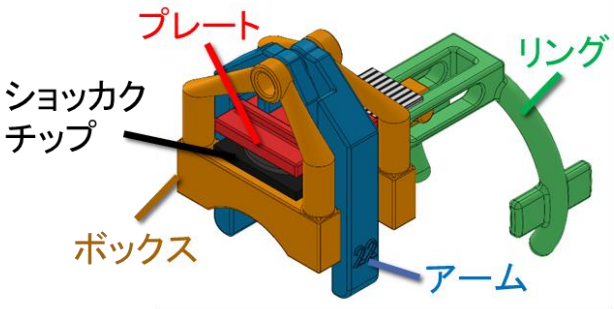
- **指先荷重センサの提案**
  力の測定原理：指の腹に力がかかった際，
  指が横へ広がる性質を用いる

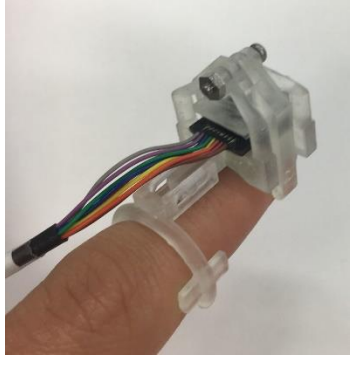



**指を物体に押し付けると荷重に従い**
**腹の変異も増加し，概ね比例する[1]**

[1] 相澤淳平，上條正義，”触察中の皮膚変形量の測定”，
長野県工業技術総合センター研究報告 (12), 23-26, (2017)

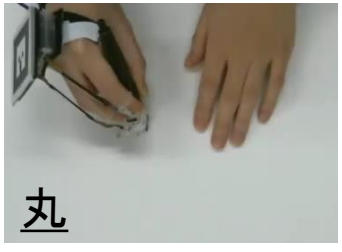
## センサの外形

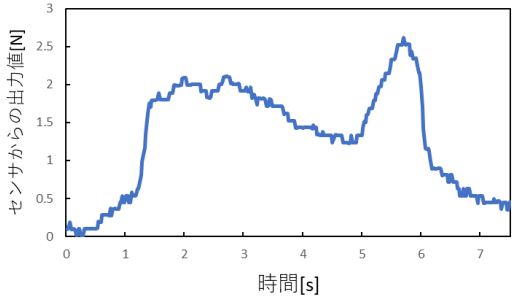


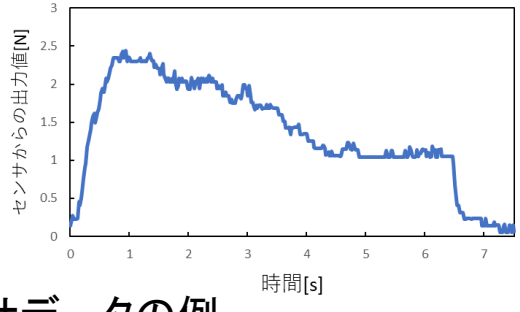



＋ 絶対値計測のためのキャリブレーション法
＋ 個人差に対応する設計方法

**類似センサに対する優位点**






センサデータの例

B) 技能の抽出とモデル化

# B-1. 点群からの形状推定

## Voxel-to-Meshを用いた布地の形状推定

**推定精度**
**誤差の平均4.4mm, 標準偏差0.2mm**

### 訓練データの収集

画像処理によりマーカーを検出

↓

画像におけるマーカー(x,y)座標

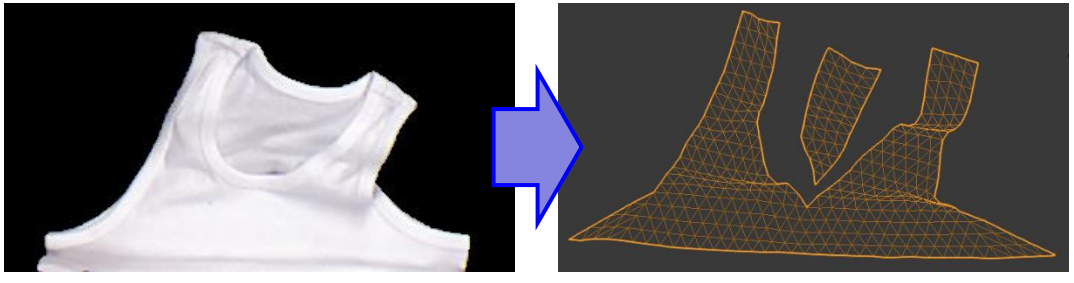
↓

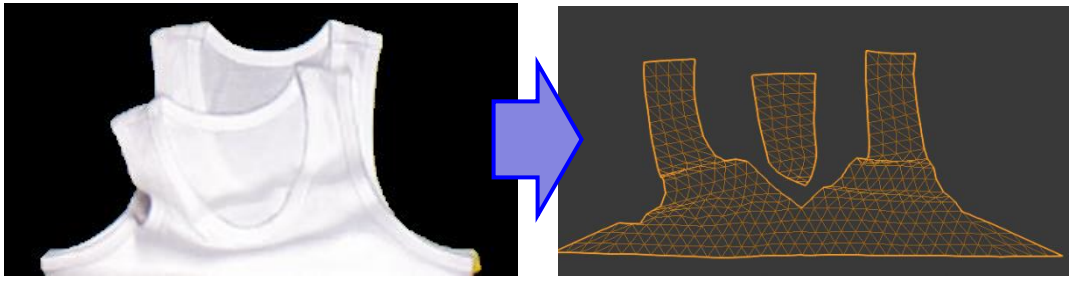
その位置の深度画像の値を参照
マーカーのxyz座標を取得

ランニングシャツでの
データ収集の様子

赤丸はメッシュ頂点として
貼付したマーカ

### 形状推定結果





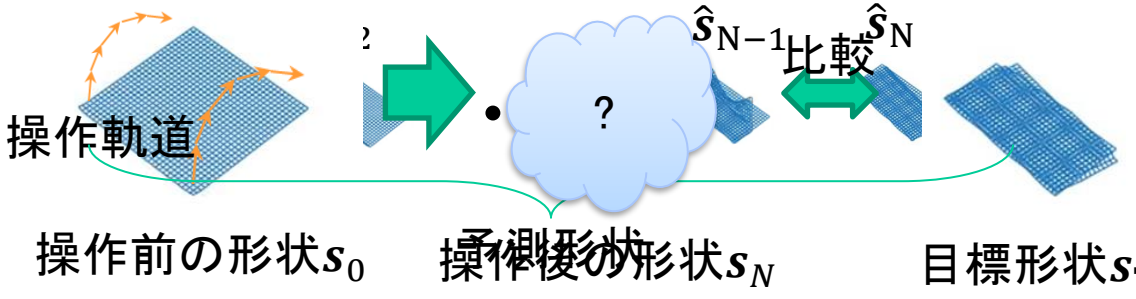
活用例：形状を整えるための
操作方向を自動で計画

B) 技能の抽出とモデル化

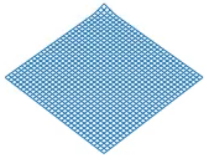
# B-1. 布地の形状変化予測と操作軌道修正

**形状推定：200ms/frame**
**形状予測：1ms/frame**

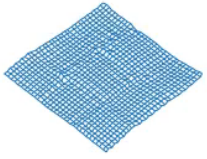
- ある形状に対して把持位置と操作軌道を与えると，操作中の布地の形状を予測
- 目標形状を達成できるように，操作中の形状予測に基づいて操作軌道を調整



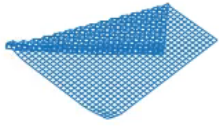

実際の形状変化



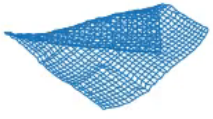
予測



実際の形状変化

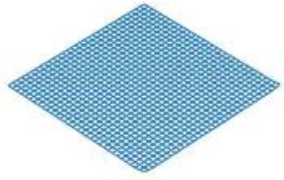


予測

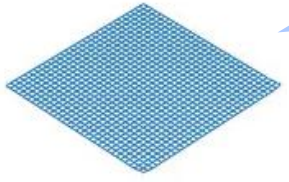


目標形状

不測の滑りあり



軌道修正有り

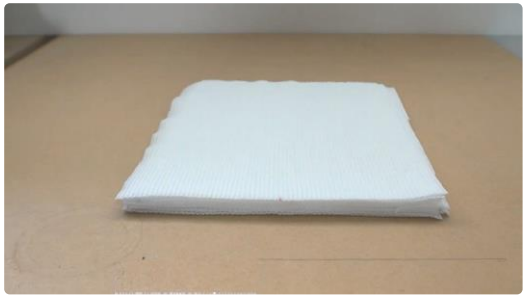


- 操作後形状が改善
- 布の剛性や周囲環境との摩擦はタスクごとに定める

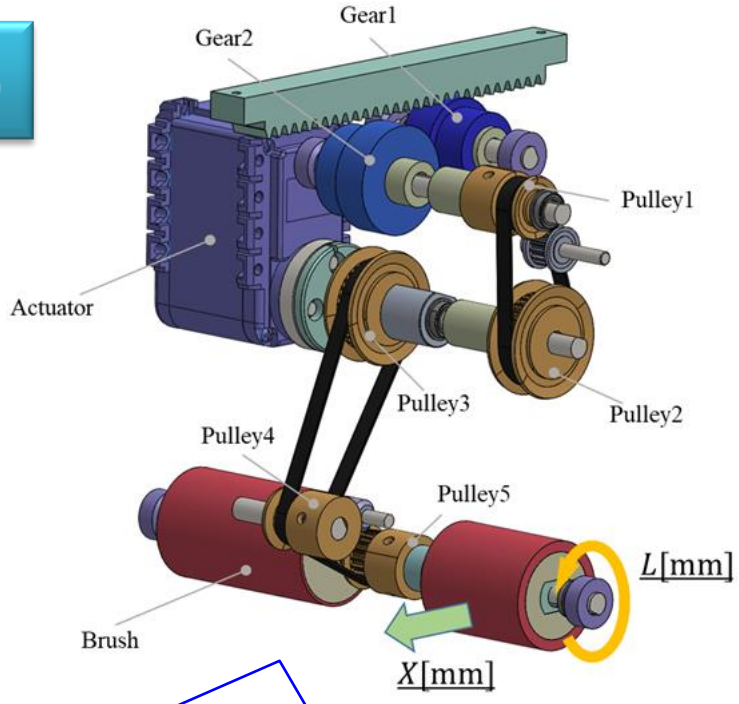
# B-3. 布部品ピックアップ装置(1/2)

## ミシンへの布部品の供給を自動化

作業の例



綿布：軽量，接着しやすい




「引っ張りながら巻き上げる」動きを実現

- 巻取り式エンドエフェクタ製作
- 接触位置の決定（カメラ・距離計）
- 照明設置による認識のロバスト化
- 汎用マニピュレータへの搭載
- システムインテグレーション

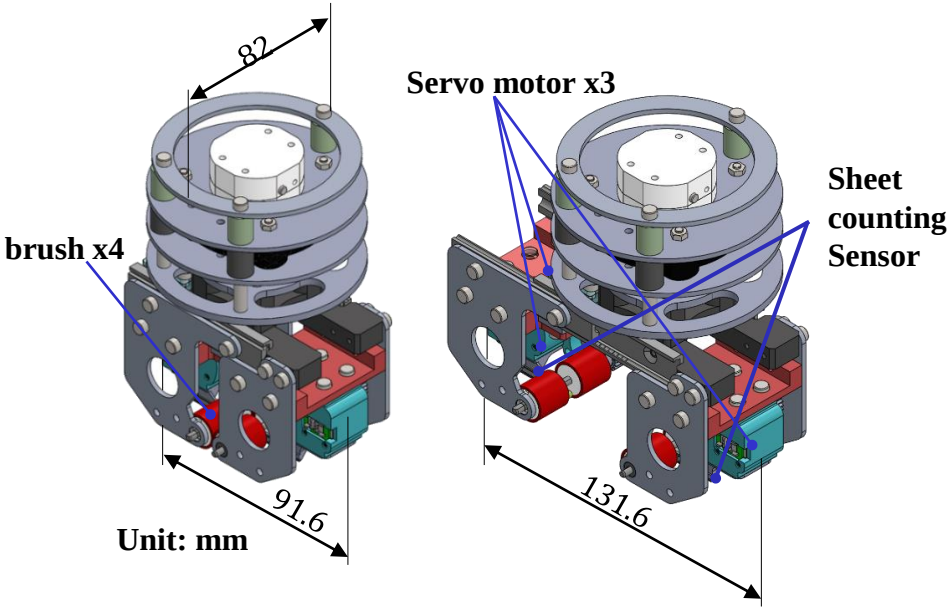
ピックアップ作業の自動化

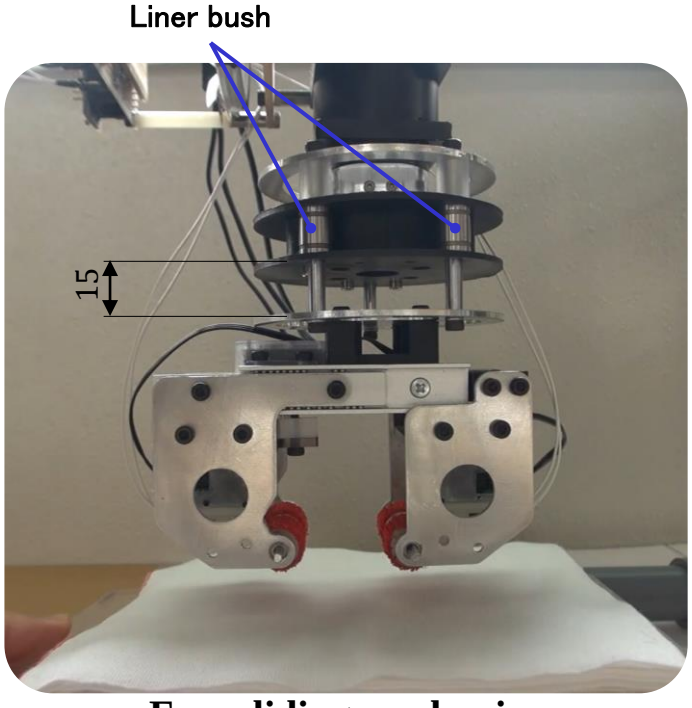
# B-3. 布部品ピックアップ装置(2/2)

**5種類の布部品/布製品部位をピックアップ＆リリース可能**

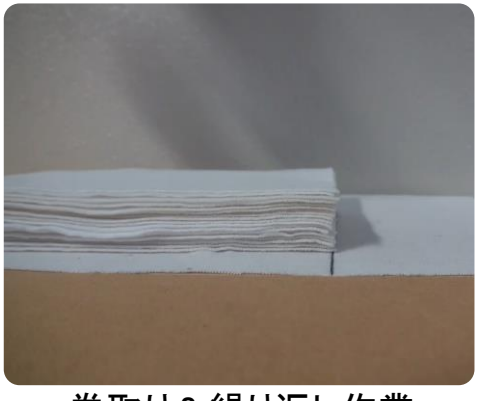
## 多用途ハンドへの展開

- 小型化した二本のブラシ向かい合わせに設置
- 開閉機構の追加

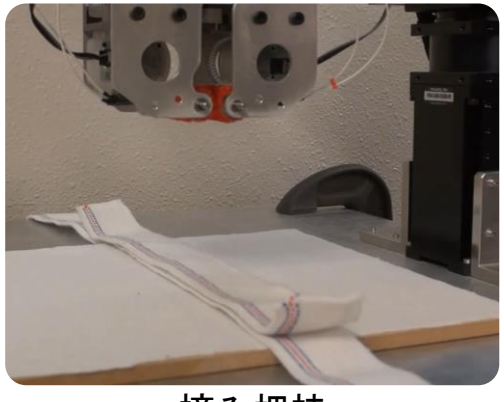


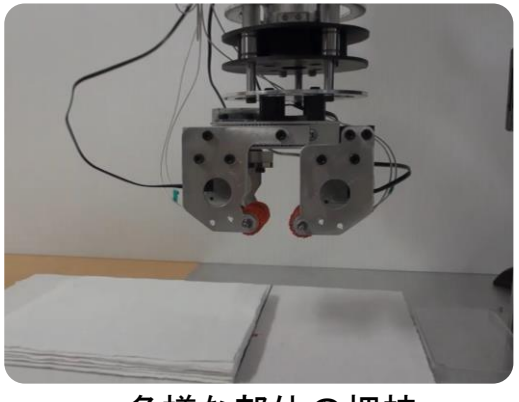

**Free sliding mechanism**



巻取り＆繰り返し作業



摘み把持

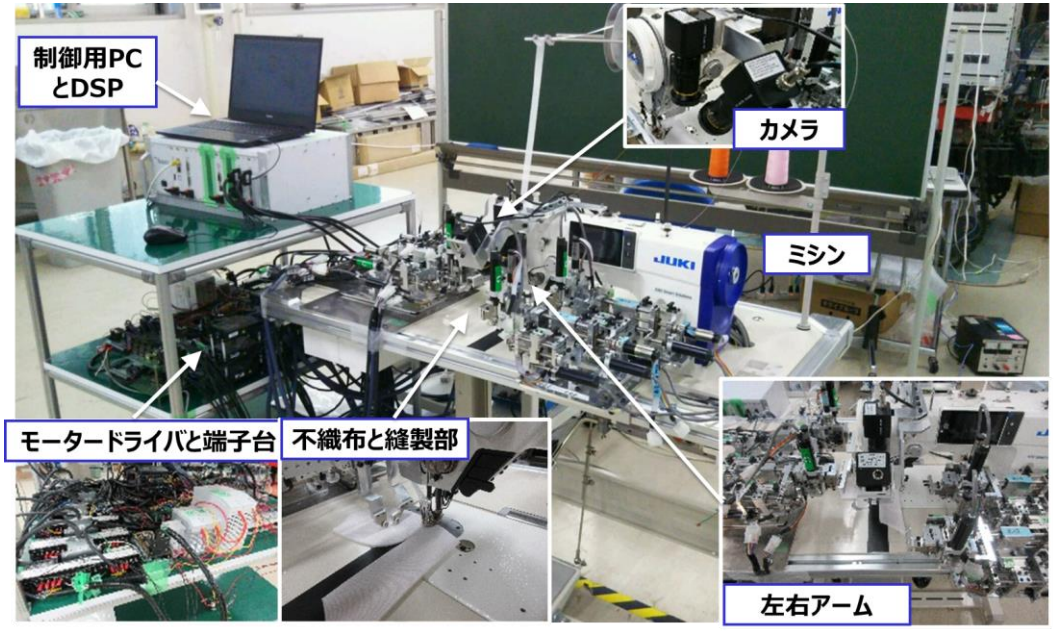


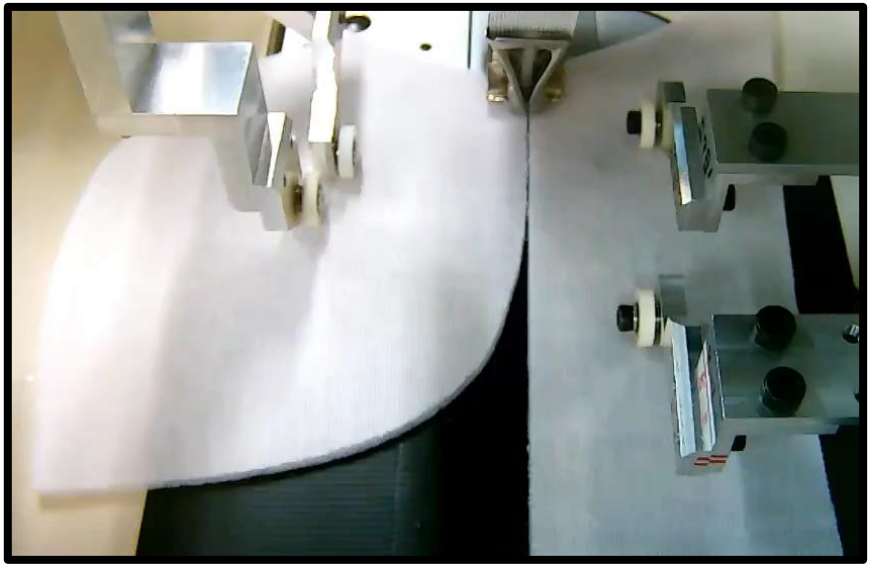
多様な部位の把持

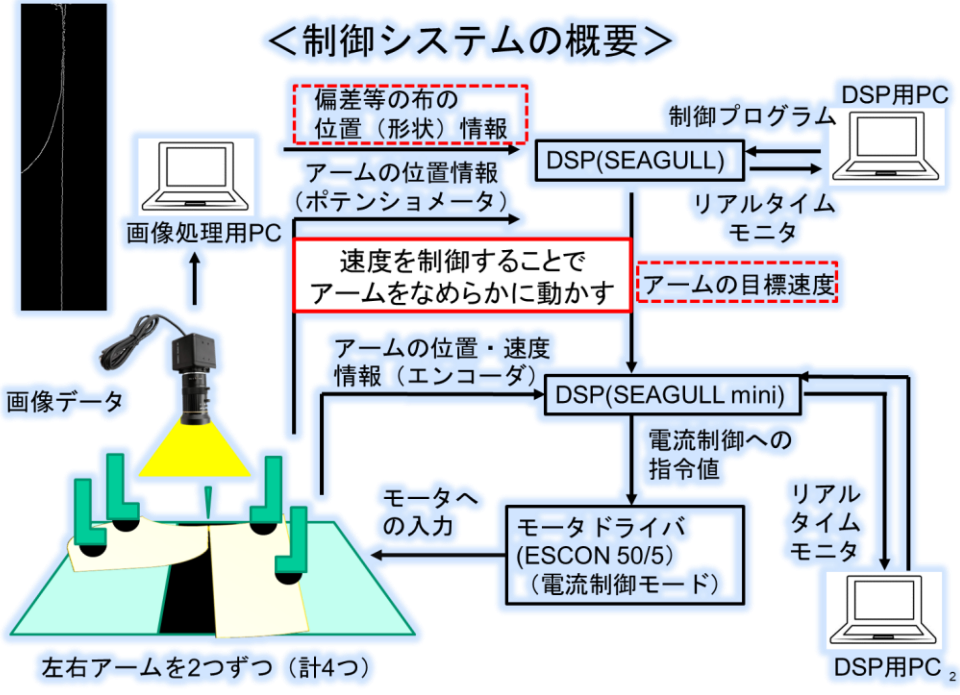
Pick and place

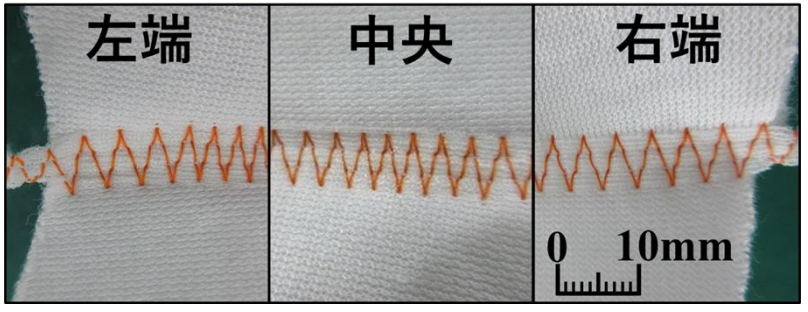
# B-4. 縫製サポート装置の設計製作

**自動縫製システムの開発**





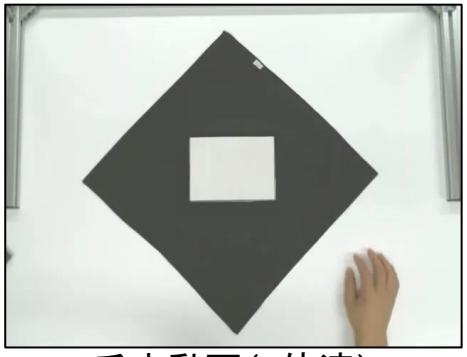



C) 操作技能の可視化

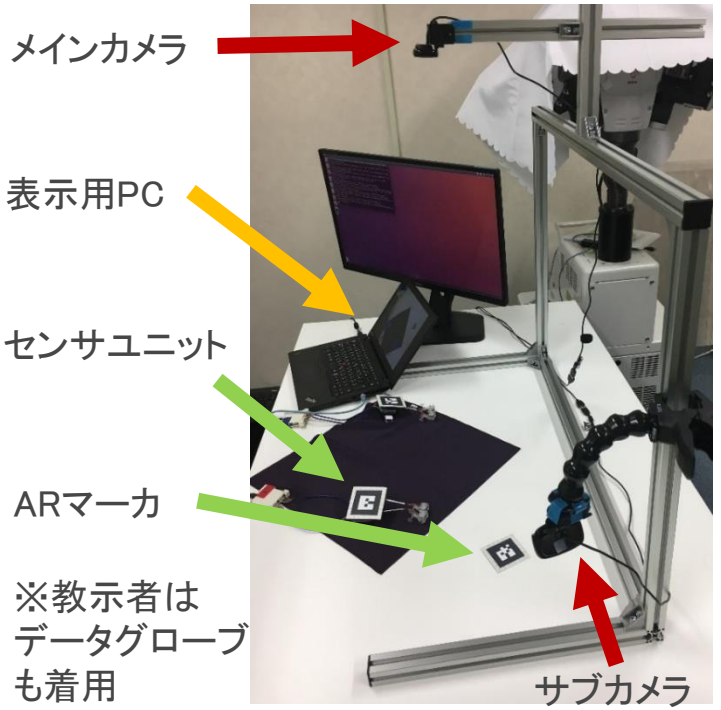
# C-1. 布操作の手順教示

## 視触覚提示による作業教示

### 教示作業例1：風呂敷包み

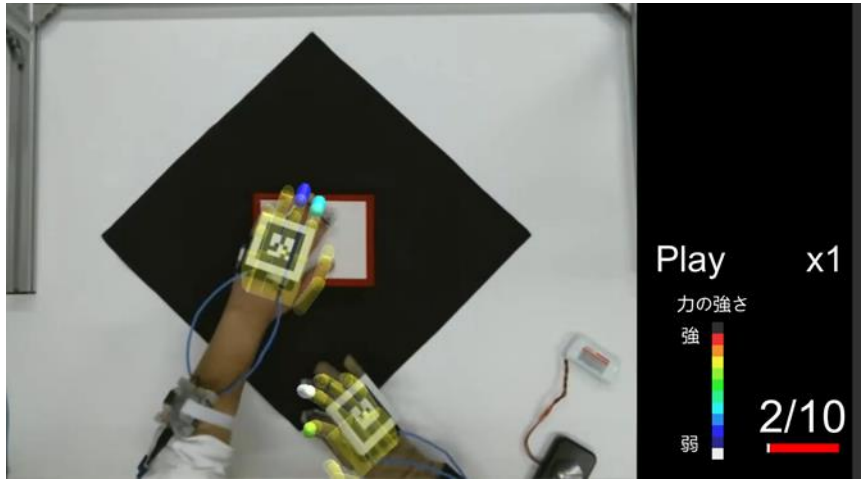


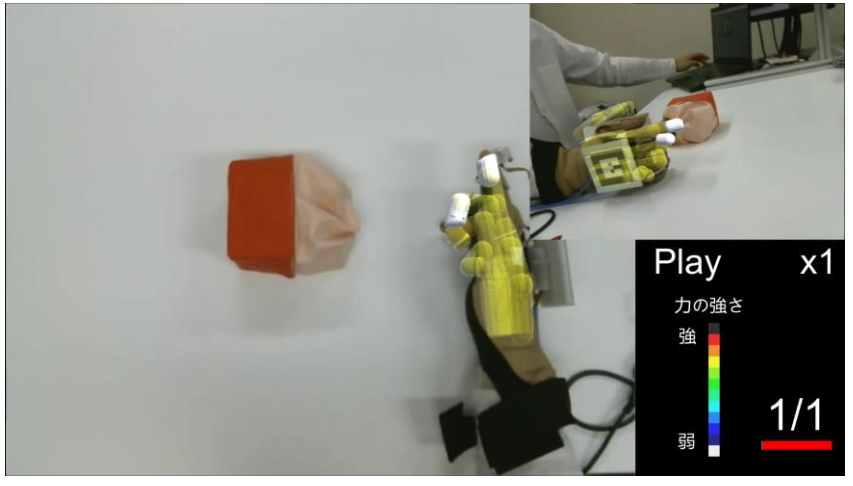
手本動画（3倍速）




計測システム外観

### 教示作業例2：袋の裏返し




**効果①：動画のみ提示と比較し，7名中6名(21項目中20項目)が教示システムを肯定的に評価**
**効果②：被教示者の試行回数の削減（平均10～20%減）**

# 得られた知見

- 布操作自動化の解決アプローチ
  - 操作方針：機械学習による解決
  - 操作の安定化：ハードウェアによる解決

- 布操作のモデル化
  - 予測と認識の高速性・正確性の両立
  - 物理シミュレーション利用の有効性と限界

- 今後のチャレンジ
  - 熟練者の技能の計測とデータ分析
  - 布操作モデル化への融合

# まとめ

- **研究開発の目的**
  - 対象作業：布製品製造における裁断・縫製・検査・仕上
  - 布操作をモデル化し，熟練技能取得や作業自動化へ

- **これまでの研究開発成果のご紹介**
  A) 加工作業のセンシング
  B) 技能の抽出とモデル化
  C) 操作技能の獲得訓練

- **今後の展開**
  - 実際の縫製工場への成果導入・検証

# END