

# 縫製作業者の技を見える化する

## - 縫製作業の計測と状態推定 -

---

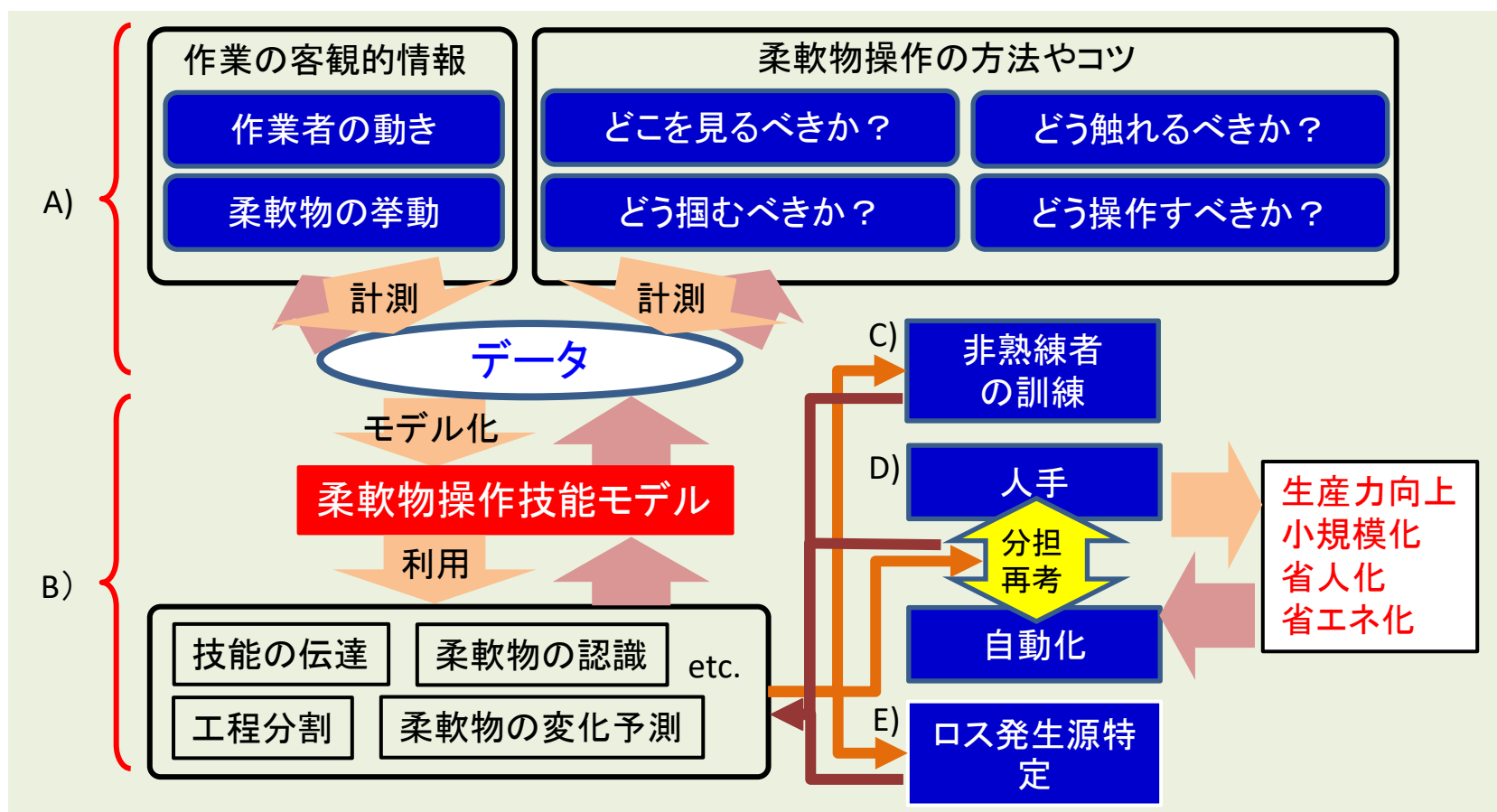
信州大学 山崎公俊

# 研究開発の概要

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

## 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



# 本日のトピック: 作業の計測と状態推定

## 縫製作業

- 対象は布部品: 平面状の柔軟物
- 操作の種類: つまむ, 押し付ける, 引っ張る, 縫う(ミシン)

## 試行錯誤

- 何を, どう測ればよいか?
- どこまで測れれば, 何に役立つか?
- 何を, どう推定すればよいか?
- 推定結果をどう提示すればよいか?

# 最初の試み: モーションキャプチャ

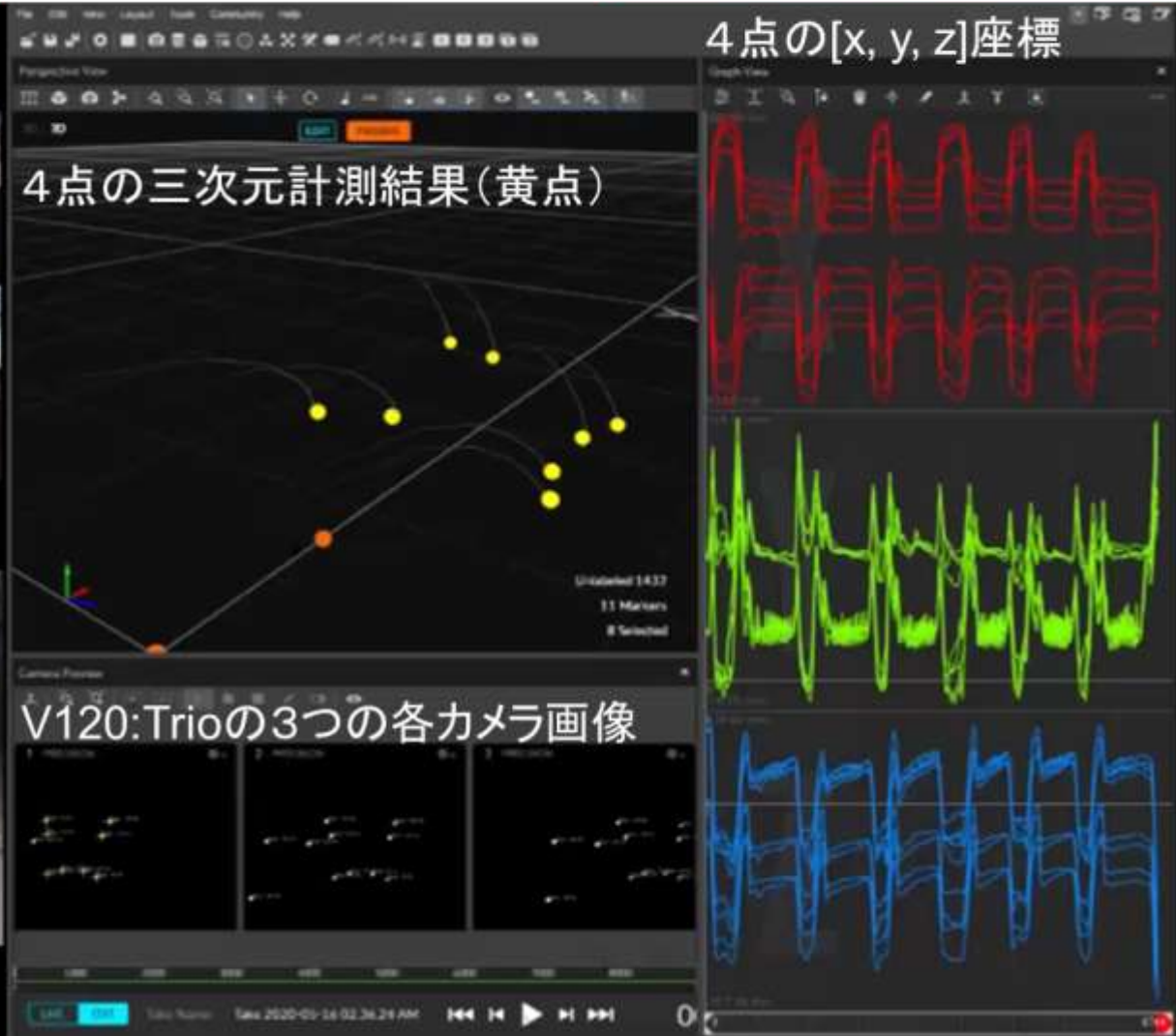
OptiTrack V120:Trio

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



# 考察

## モーションキャプチャの利点

- 指の位置が高精度で記録できる

## モーションキャプチャへの不満

- 力情報や布の形状は計測できない
- マーカーが隠れると計測不能になる
- 準備が面倒(特に視点選び)

## 再考:縫製における布操作

- つまみ, 押し付け, 引っ張りの組み合わせ
- 見た目に加え, 指腹の感覚をフィードバックして操作を実現?

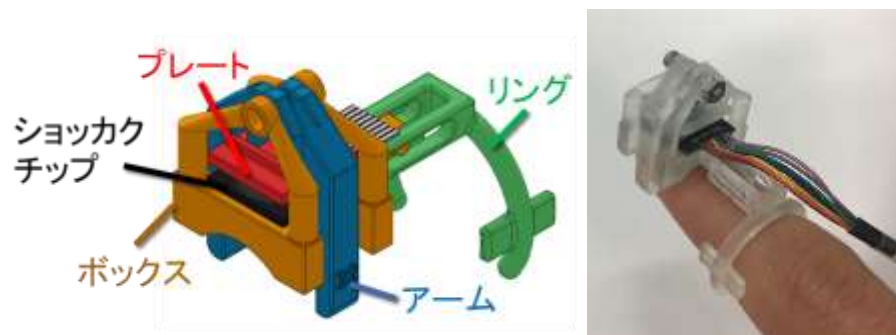
- 指先力を計測するべき
- 指腹の感覚を損なわない計測方式を採るべき

# 指先力センサ (Ver. 1)

コンセプト

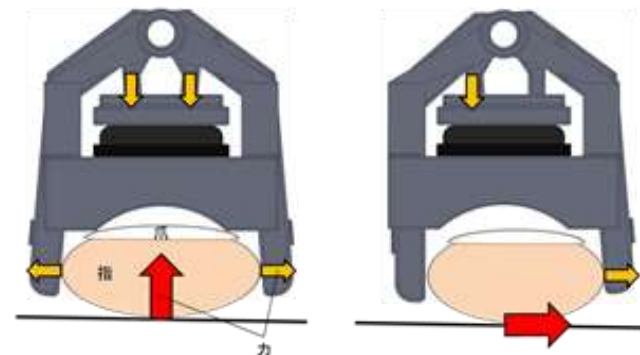
指腹部の感覚を損なわない計測方式

センサの外形



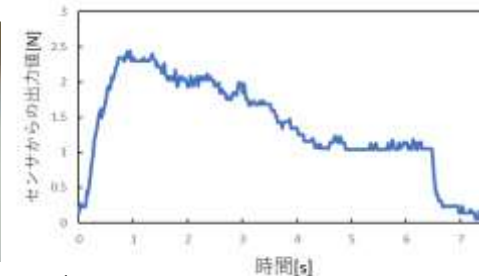
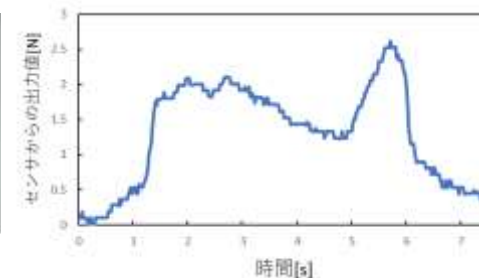
- + 絶対値計測のためのキャリブレーション法
- + 個人差に対応する設計方法

類似センサに対する優位点



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)



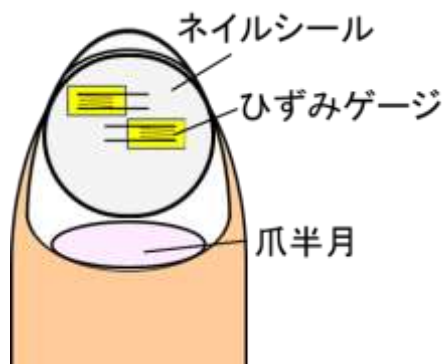
センサデータの例

# 指先力センサ (Ver. 2)

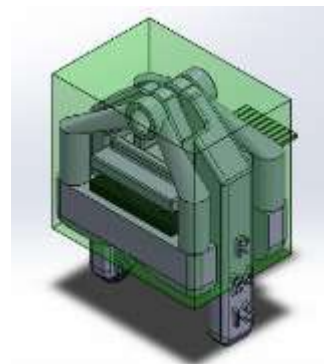
より小型に, より多様な計測を

## センサの構成

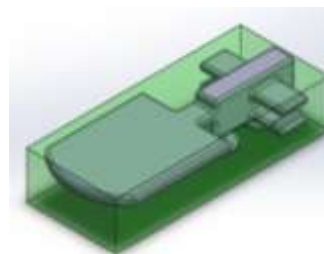
- ✓ ひずみゲージ: 爪の変形量を計測
- ✓ カバー: 爪への外力防止 & ケーブル結束
- ✓ ネイルシール: ひずみゲージの固定



ひずみゲージ:  
共和電業製KFGS-3-120-C1-27



| 項目                    | 特性   |
|-----------------------|------|
| 高さ [mm]               | 26.0 |
| 幅 [mm]                | 19.0 |
| 奥行 [mm]               | 13.0 |
| 体積 [mm <sup>3</sup> ] | 2300 |



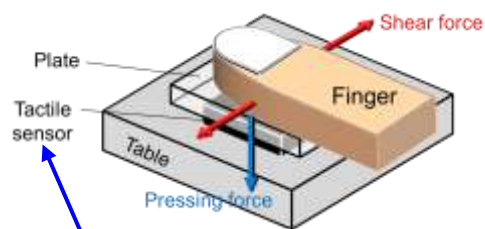
| 項目                    | 特性   |
|-----------------------|------|
| 高さ [mm]               | 5.3  |
| 幅 [mm]                | 10.0 |
| 奥行 [mm]               | 24.0 |
| 体積 [mm <sup>3</sup> ] | 270  |

体積比較: 約0.12倍(88%削減)  
爪上体積: 約0.28倍(72%削減)



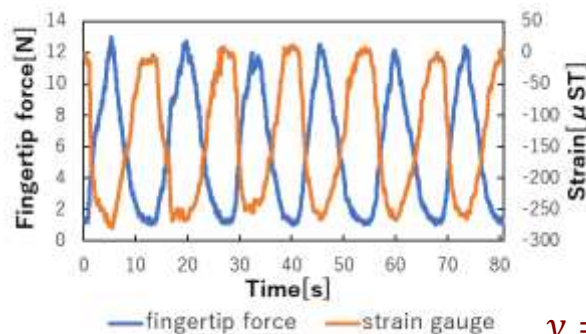
# 指先力センサ 性能検証(1)

## • キャリブレーション

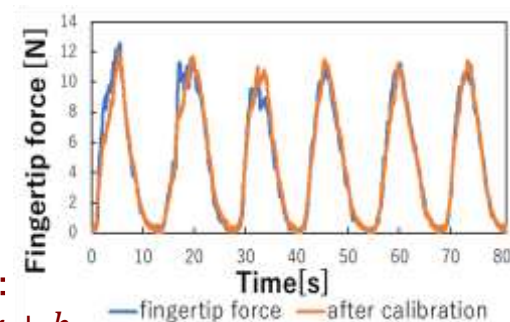


真値計測用  
触覚センサ

校正装置



校正

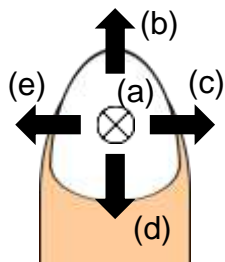


使用式:

$$y = a \log x + b$$

校正後データ

## • 力の方向の推定



力をかける方向

実験内容:

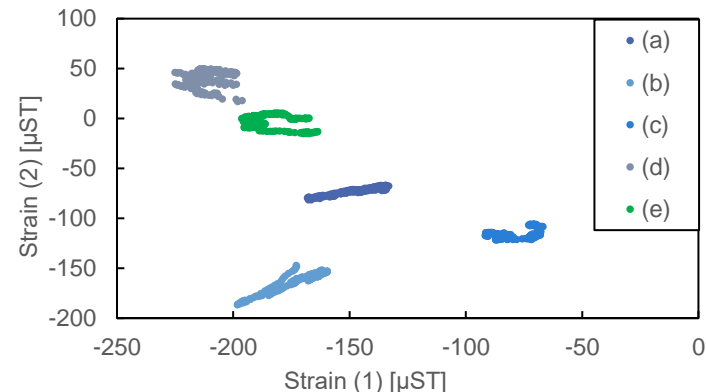
(b)~(e)のせん断方向の弁別性確認

実験方法:

2Nの押しつけ力をかけながら、  
各方向で5secのデータを10個取得

結果:

右グラフのとおり弁別可能性あり  
k近傍法による識別成功率: 100%

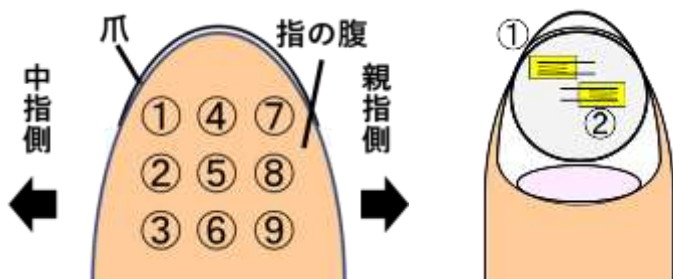
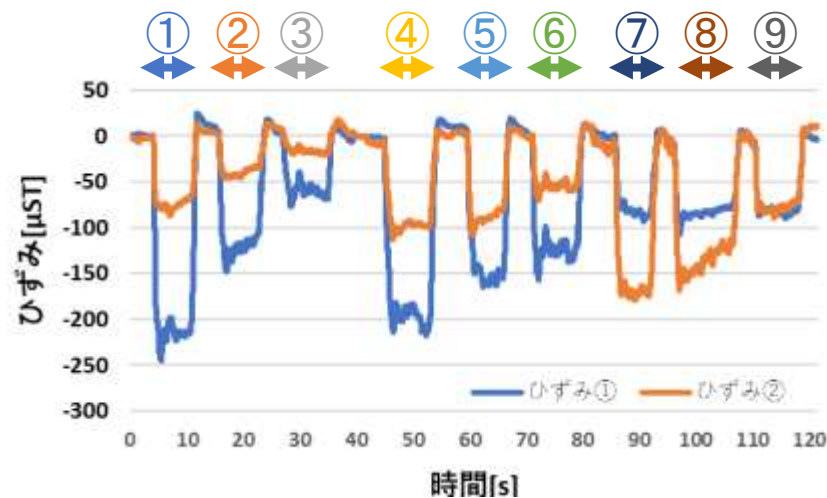




# 指先力センサ: 性能検証(2)

## 押しつけ位置の分類

1. 右手人差し指にセンサを装着
2. 指先を校正装置の上に置く
3. 下図①～⑨の順に板との接触面を変更, 2Nが5秒間以上かかるよう指を押し付け
4. 1回目の5秒間のデータを訓練データに, 2,3回目のデータを5分割してテストデータとし, k近傍法を用いて分類

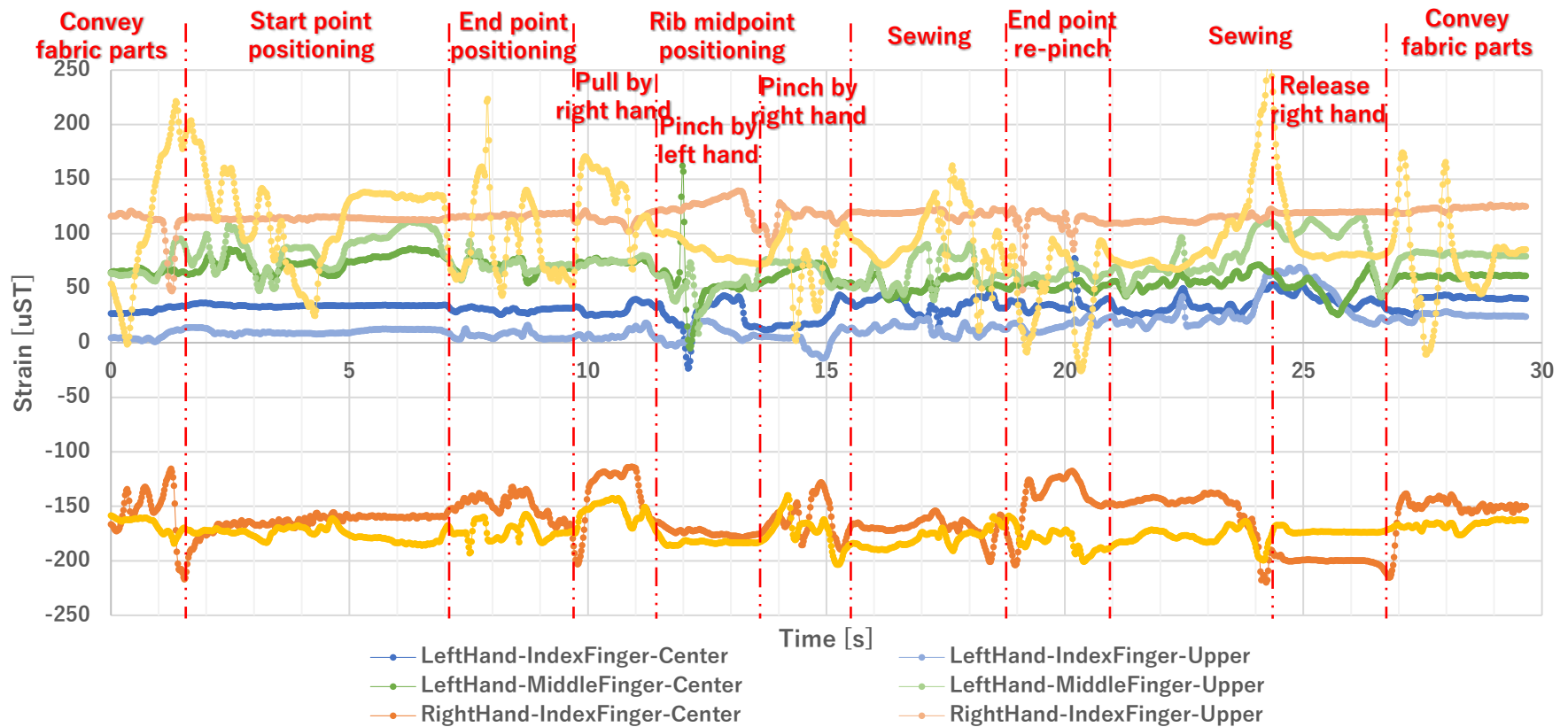


右手人差し指にセンサを装着

|    |   | 予測値 |   |   |   |   |    |    |    |   |
|----|---|-----|---|---|---|---|----|----|----|---|
|    |   | ①   | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥  | ⑦  | ⑧  | ⑨ |
| 真値 | ① | 10  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 |
|    | ② | 0   | 8 | 0 | 0 | 2 | 0  | 0  | 0  | 0 |
|    | ③ | 0   | 0 | 8 | 0 | 1 | 1  | 0  | 0  | 0 |
|    | ④ | 2   | 0 | 0 | 8 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 |
|    | ⑤ | 0   | 0 | 0 | 0 | 5 | 0  | 0  | 5  | 0 |
|    | ⑥ | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0  | 0  | 0 |
|    | ⑦ | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 10 | 0  | 0 |
|    | ⑧ | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 10 | 0 |
|    | ⑨ | 0   | 0 | 0 | 0 | 4 | 0  | 0  | 1  | 5 |

押しつけ位置の推定(正答率88%)

# 縫製作業の計測例



# 縫製動作分類への展開

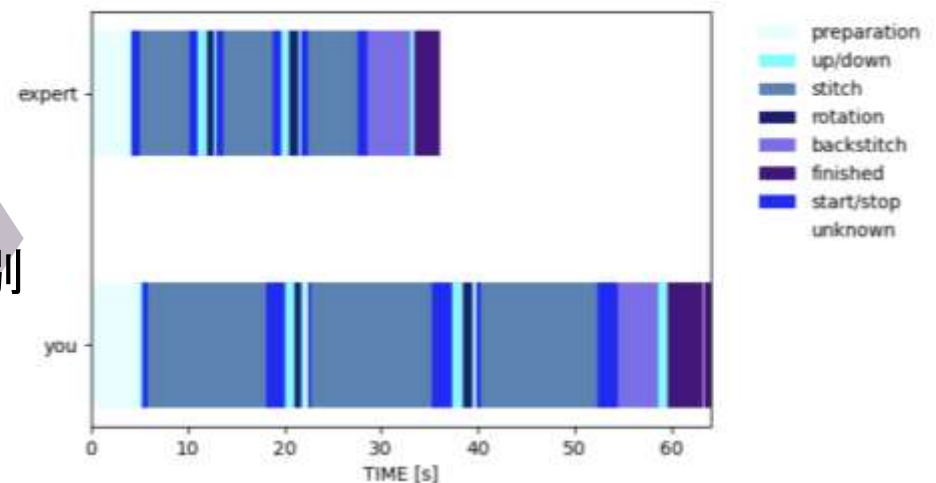
## コンセプト

- 縫製作業を**単純な動作の組み合わせ**として表現
- **視覚・触覚の計測**結果から動作を分類, 可視化
- 動作の**パターン**を可視化し, 作業の**正確さ**や**速度**を判断



縫製作業

計測・  
動作判別

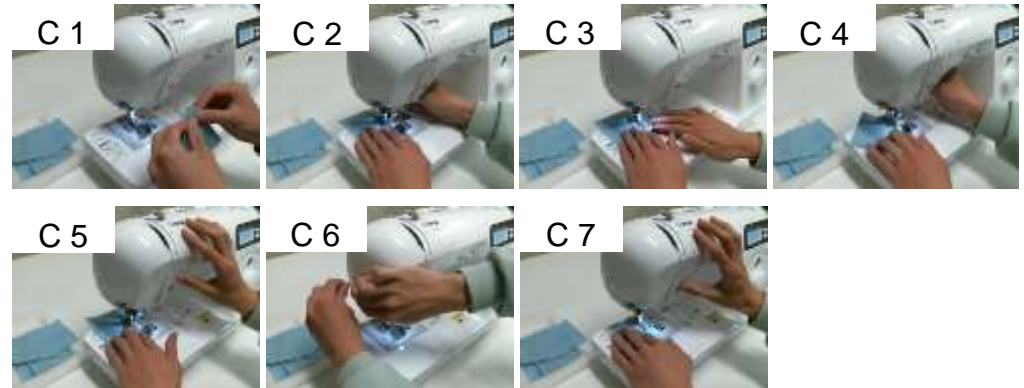


動作パターンの可視化

# 動作分類手法

## 7つの動作要素の定義

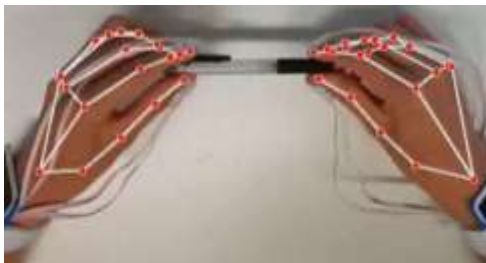
1. Prepare fabric parts
2. Lift/drop presser foot
3. Send fabric parts
4. Rotate fabric parts
5. Make backstitching
6. Cut yarn tails
7. Press start/stop button



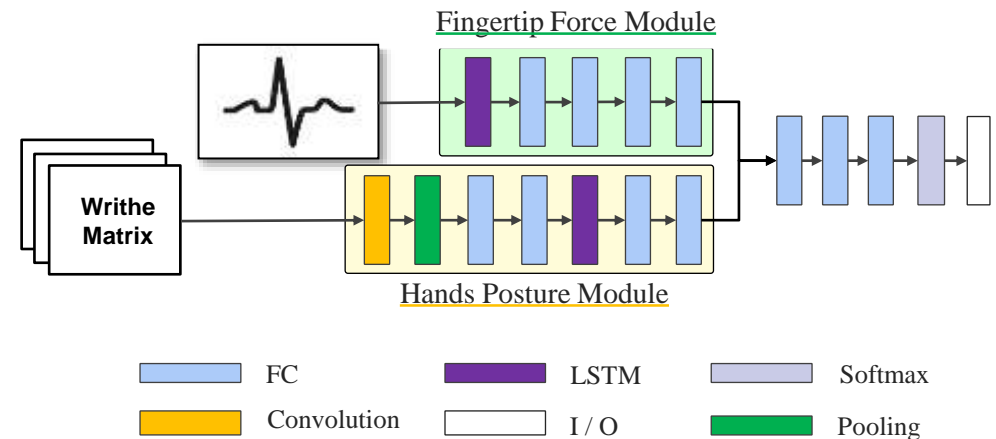
## 分類モデル

入力: 時系列の手指姿勢・接触力

出力: 動作要素のクラス



手指姿勢推定にはMediaPipeを使用



# 動作分類結果

F1-Score: 71.8%

- Writhe: 手指姿勢の特徴表現
- 各モーダル単体より判別精度が向上

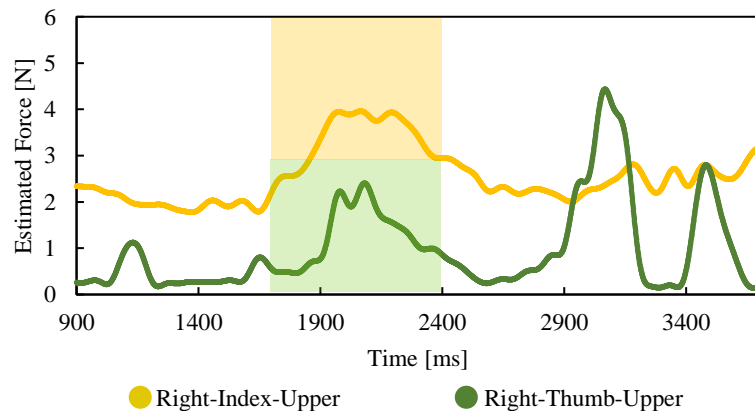
各モーダルにおける再現率・適合率F1-score

|             | recall | precision | f1-score |
|-------------|--------|-----------|----------|
| Writhe      | 0.411  | 0.318     | 0.338    |
| Force       | 0.599  | 0.622     | 0.605    |
| Combination | 0.737  | 0.710     | 0.718    |

## データの観察

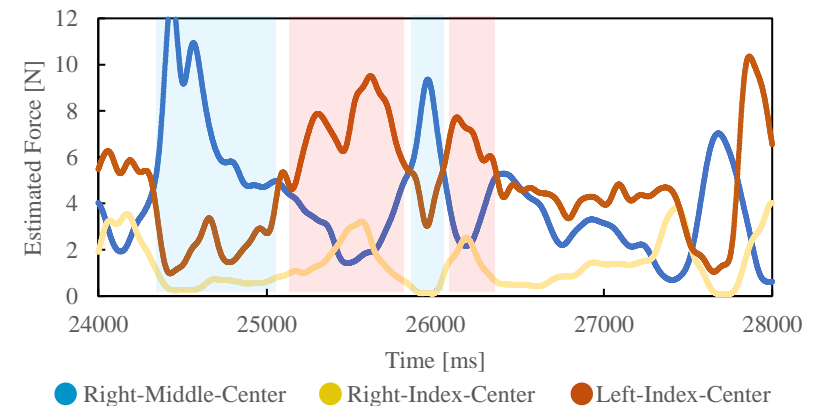
### Class 1: 布部品の準備

- 布部品を弱い力でつまむ
- 右母指・右示指の相互作用



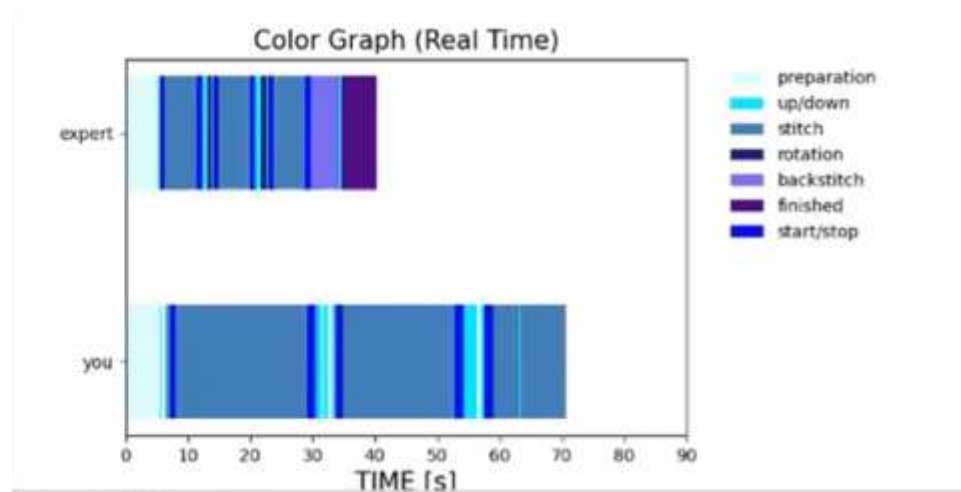
### Class 3: 縫製

- 各指の接触力の強弱顕著
- 1本以上の指で布を操作



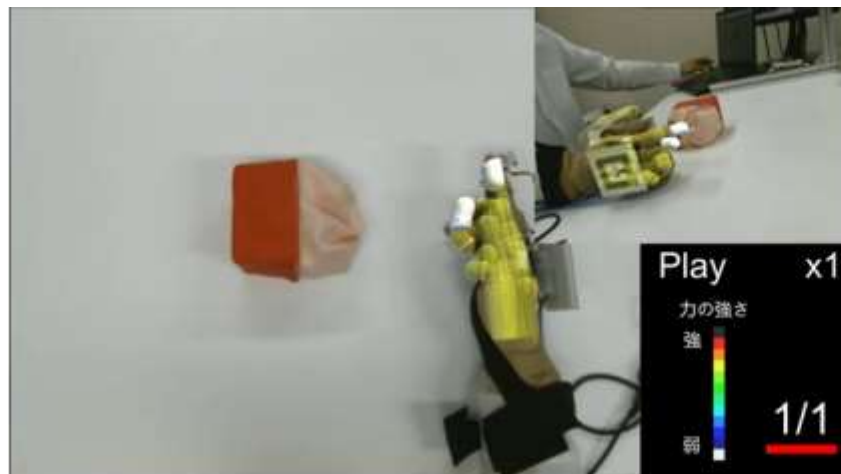
# 【補足】動画像からの動作分類

- 画像列を直接入力する方法
  - 分類モデル: 畳み込み3層, プーリング3層, 全結合・LSTMそれぞれ1層
  - 5枚の画像を一つの時系列データとして入力
  - クラス分類の正解率: 93%
- カラーバー出力までをオンライン化





# その他の試み



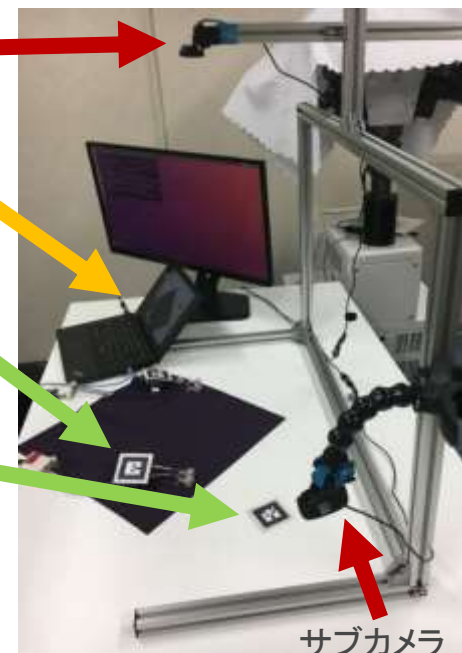
メインカメラ

表示用PC

センサユニット

ARマーカ

※教示者は  
データグローブ  
も着用





# まとめ

- 縫製作業のデータ化に向けた作業計測と状態推定
  - 指先力センサの提案と計測結果
  - マルチモーダル動作分類と作業状況提示
  - (間接的に)自動化技術への展開
- 今後の展開
  - 縫製スキルのデータ化と非熟練者訓練への活用
  - 観察・計測で得た知見で自動化を促進