



工場における作業者の行動分析



工場の現場特性にあわせたセンシング・動画解析・測位技術の複合的な活用が重要



- 作業者の行動範囲に着目した可視化技術の開発
- 可視化技術の現場改善への活用方法



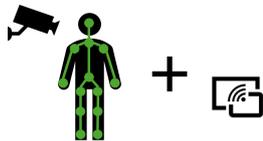
現場レイアウトに応じた可視化技術の開発

ライン生産



手の骨格データとタブレットを用いたリアルタイム動作分析

セル生産



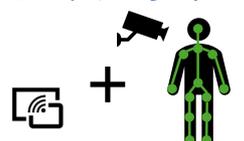
全身骨格データと簡易センサを併用したデータ欠損に強い動作分析

機能別レイアウト



簡易センサと一人称視点カメラを用いた移動を前提した動作分析

据え置き型レイアウト



簡易センサと全身骨格データを複合した個人識別と動作分析



簡易センサ ERI

即時導入可能な位置・動作分析ツール **inQrossカイゼンメーカー®**

作業する場所に置くだけ **置くだけ** | 作業者が持つだけ **持つだけ** | その場で見える化 **見える化**

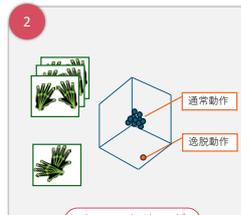
- ①ロケタグ (BLEビーコン)
- ②ヒトタグ (測位+動作データ)
- ③収集アプリ (BLE受信スキャナ)

①リアルタイム動作分析

骨格データの収集



逸脱動作の検出



ガントチャート生成



②移動を前提とした動作分析

動作区間抽出



動作分類



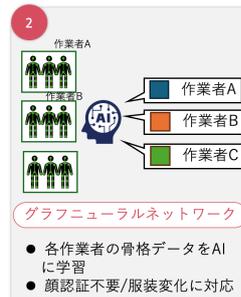
ガントチャート生成



骨格データの収集



個人識別モデルの生成



動線分析 (流れ線図)



【展示目的】 製造現場のニーズ調査・協業いただける製造業様の募集。



地域に未来に多様なアートを
岩手県立大学
Iwate Prefectural University

Cyber Physical System





ライン生産
(組立作業)

工場における作業者の行動分析

①リアルタイム動作分析



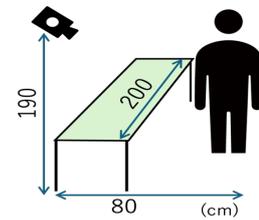
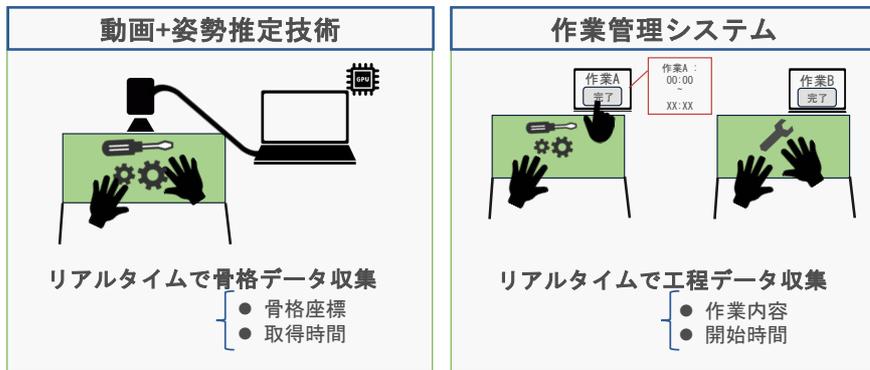
- 作業手順/作業時間の把握が重要
- 複雑な組立作業への画像解析のニーズ



- 姿勢推定技術（骨格データ）を用いた動作推定
- データ駆動型の動作分析

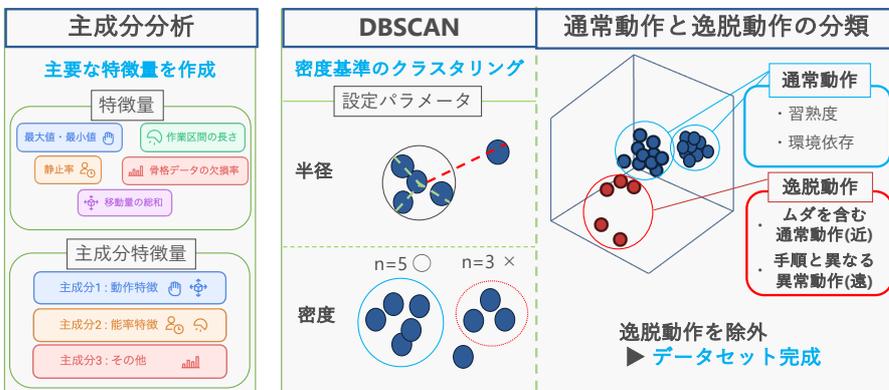


(手順1) 骨格データの収集



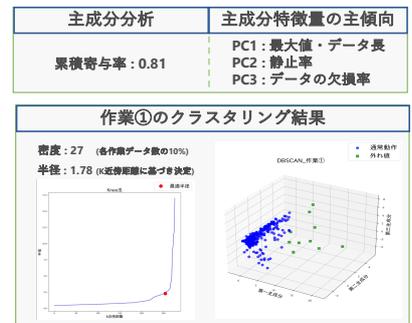
実験環境 (Jetson Orin Nano)

(手順2) 逸脱動作の検出

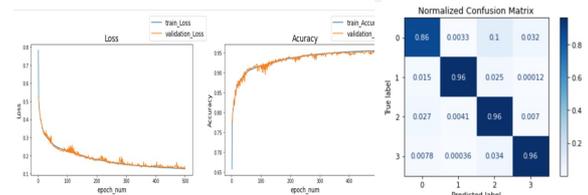
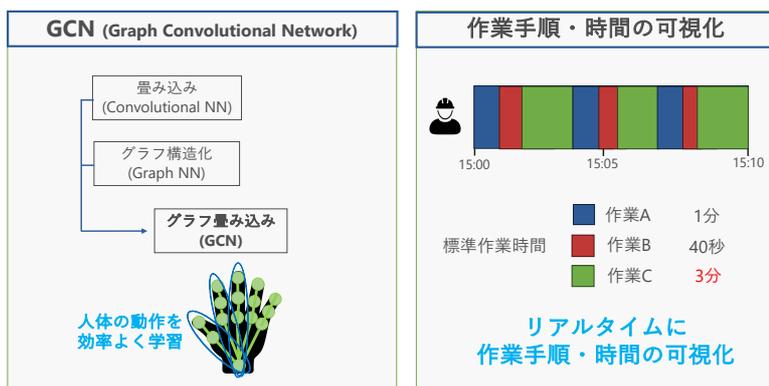


模擬組立作業

(サイクルタイム約1分/270セット)



(手順3) ガントチャート生成



学習曲線と混合行列



作業者のガントチャート

【展示目的】 製造現場のニーズ調査



地域に 未来に 多様なアートを
岩手県立大学
Iwate Prefectural University

Cyber Physical System
Horikawa Laboratory



②移動を前提とした動作分析



- 移動が多い作業者行動は把握が困難
- 固定カメラでの可視化技術の適用が困難



- 簡易センサと機械学習で動作推定
- 一人称視点カメラとの併用で動作分析

手法 (手順1) 動作区間抽出

動作の切り替わり

通常パターンから逸脱する点
 $s(t)$ の予測値と実績値の差 = 残差
残差 > 閾値

モデル **CNN-LSTM**
 入力 加速度 α 角速度 ω
 (平均・分散)
 予測 **統合データ $s(t)$**

1. 残差算出

結合データ $s(t)$ の予測例

残差 = 実績値 $s(t)$ - 予測値 $\hat{s}(t)$

残差の平滑化
時刻 $t-N$ から時刻 t までの平均残差 $\epsilon(t)$

$$\epsilon(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N}^t (s(i) - \hat{s}(i))$$

2. 変化点算出

変化点検知の例

変化点 = 平均残差 $\epsilon(t) >$ 閾値

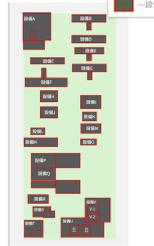
動的な閾値
閾値 = ボリンジャーバンド
移動平均線 + 標準偏差 $\times 1.0 \sim 3.0$

3. 動作区間抽出

区間抽出の例

動作区間 = 変化点と変化点の間

一連の動作が継続している区間として動作分析に利用



実験概要

【目的】 行動分析手法の現場適用が可能かを検証
 ↳ センサデータによるガントチャート生成

【実験環境】 協力企業：株式会社ニュートン様（岩手県）
 - 機能別レイアウト - プラスチック成形加工業

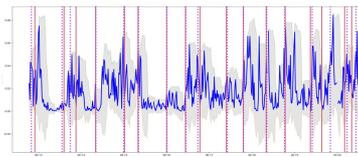
場所 成形工機設備周辺
 対象 設備オペレーター

【業務内容】

- 各設備の故障対応
- 各設備へ材料投入
- 製品回収・運搬
- 作業環境の整備（整理・準備）

各設備にて不定期実施

実験環境



↑ $N=3, \sigma=1.8$
 変化点検知結果 (x =時間, y =絶対誤差)

動作区間抽出の結果

パラメータ決定
 カメラ映像の目視による正解変化点(約10分)
 → 正解変化点からの誤差が最小

評価 (10分間)

正解変化点	17
予測変化点	17
平均誤差	2.81s

テスト
 136分 >> 275区間

(手順2) 動作分類

主成分分析

特徴量抽出 (動作区間毎)

加速度 α × 角速度 ω

平均
標準偏差
最大・最小
平均交差数

主成分分析 図5-使用特徴量

特徴量の冗長性やノイズ削減
クラスターリング結果の解釈

計 17 特徴量 >> 次元削減

クラスターリング

k-means法

各クラスタをサンプリング

- 例) 複数種類作業クラスタ
- 例) 歩行クラスタ

クラスター2(複数動作)をサブクラスターリング

- 例) 作業1-組み立て
- 例) 作業2-検査

サブクラスターリングの例

累積寄与率

PC1	0.751
PC2	0.113
PC3	0.049
合計	0.913

故障対応

クラスタ1動作例

作業支援

クラスタ3動作例

クラスターリング結果 ($x=PC1, y=PC2, z=PC3$)

クラスタ解析結果

クラスタ0	歩行	設備AからBへ移動
クラスタ1	静的作業	姿勢変化の少ない作業 【例】 故障対応・記入・設備操作
クラスタ2	作業歩行	歩行しながらの短い作業 【例】 検査表を設備に置きながら歩行
クラスタ3	動的作業	姿勢変化の激しい作業 【例】 材料投入、作業環境整備

動作分類の結果

(手順3) ガントチャート生成



ガントチャート生成の例 (x=時間)

ガントチャート分析

表2: ガントチャート分析の例

平均	割合
歩行	120s 50%
静止	40s 10%
検査	...

正解

予測

ガントチャート生成結果, x=時間(秒)

正解率 **77.99%**

歩行	28.69%	39分	38.74%
静的作業	12.18%	17分	22.58%
動的作業	32.59%	44分	25.64%
検査	26.54%	36分	33.56%

図5: 動作の分類とマップ

図6: 動作の分類とマップ

作業者のガントチャートおよび分析結果



③個人識別

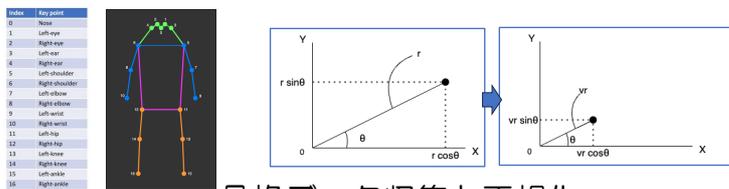


- 外観情報からの個人識別が困難
- 個人識別モデルの生成負荷が大きい



- 姿勢推定技術（骨格データ）を用いた個人識別
- 簡易センサとの併用によるアノテーション

手法 (手順1) 骨格データの収集



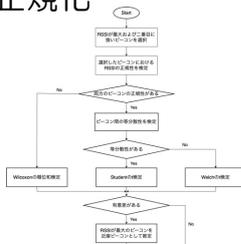
骨格データ取得 (YOLO v8) 骨格データ収集と正規化



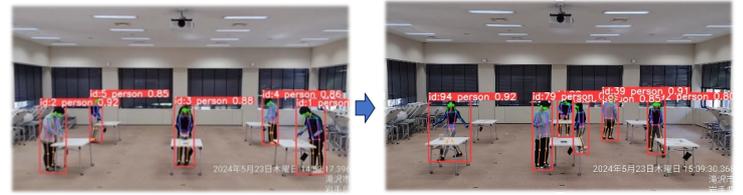
実験環境



InQross (左: 簡易センサ 右: BLEビーコン)

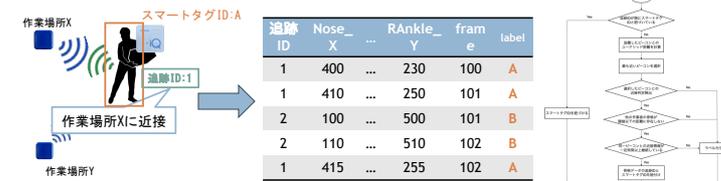


簡易センサでの測位 近接ビーコン判定手順

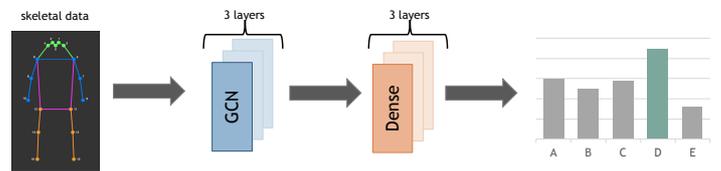


骨格データの収集 (オクルージョンによる追跡IDスイッチ)

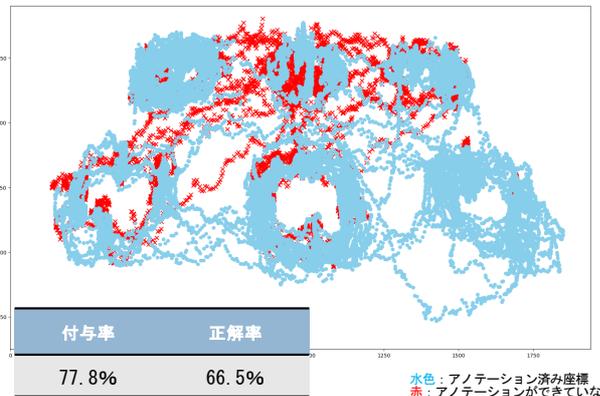
(手順2) 個人識別モデルの生成



簡易センサと物体追跡を用いたアノテーション

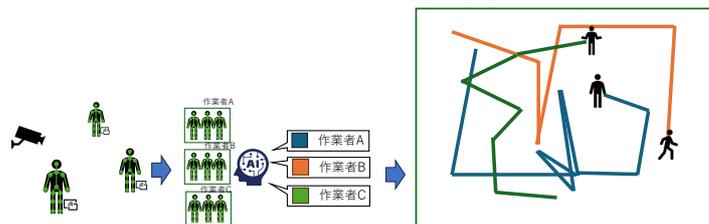


GCNを用いた個人識別 Graph Convolutional Networks



簡易センサと物体追跡を用いたアノテーション結果

(手順3) 動線分析



個人識別の精度

