

骨格検知技術を活用した人作業改善

杉村光平^{*1}, 山田理華子^{*1}, 西畑宏祐^{*1}, 鈴木一輝^{*2}, 加藤佳久^{*2}

Improvement of Human Work Using Skeleton Detection Technology

Kohei Sugimura^{*1}, Rikako Yamada^{*1}, Kosuke Nishibata^{*1},
Kazuki Suzuki^{*2}, Yoshihisa Kato^{*2}

要旨

近年、製造工程ではロボット等を使った自動化が進められているが、完全自動化が難しい工程においては、人の手による組立作業が依然として必要である。

一方で、組立工程の生産性向上のために工程改善が行われているが、担当者が対象工程を直接観察、確認する必要があり、非常に工数がかかる。

豊田合成では、骨格検出アルゴリズムを活用した作業定量化を行うことで、技能員の移動距離や作業順序を認識し、作業改善につなげる活動を進めてきた。本稿では、この取り組みを報告する。

Abstract

In recent years, automation using robots and other technologies is increasingly used in production and manufacturing processes. However, in processes where complete automation is difficult, manual assembly operation by humans is still necessary.

With team member, traditional methods of process improvement are employed in order to improve productivity in assembly processes. These methods require the responsible personnel to directly observe the target process, which requires significant person-hours.

At Toyoda Gosei, we have been utilizing a skeleton detection algorithm to quantify tasks. This allows us to recognize the movement distances and operation sequences of skilled team member, thereby leading to improvements in work processes. In this paper, we report on these efforts.

1. はじめに

製造業における人手不足が社会問題の1つとなっている近年、製造工程では、主にロボットを使った自動化が進められている。しかし、ロボット化が難しい領域が存在し、まだまだ人の手で行われていることが実情である。一方で、人材不足を起因とする人件費の高騰はグローバルで見ても不可避であり、生産コストへの悪影響が懸念される。

組立工程の生産性改善のために、QC(品質管理)やIE(生産工学, Industrial Engineering)の手法を活用して工程改善を図っているが、技能員の行動定量化のためには分析担当者が対象工程を直接観察しており非常に工数がかかる。

そこで、豊田合成では近年、骨格検知技術を活用した工程改善を検討している。

2. 背景

2-1. 骨格検知技術

骨格検知技術は、人の動作を認識し、定量化する技術の1つである。骨格検出アルゴリズムに基づいてカメラに映る人の手首や肘等の骨格点を画像上の座標値として推定し、定量化する。

この技術は、医療やスポーツをはじめとするあらゆる分野で活用されており、人の動作への適用という点で共通なことから、手作業による組立工程においても有効性があると考え、導入を検討している。

骨格検出アルゴリズムの中でも本稿では、指の座標が取得できる点や展開性の観点から ViTPose (Vision Transformer Pose Estimation) を検討している¹⁾。

ViTPose で使われている Transformer は、近年話題になっているディープラーニングモデルで

*1 生産技術統括部 IoT 推進室

*2 SS 製造部 エアバッグ第3課

あり、GPT (Generative Pre-trained Transformer) 等の生成 AI モデルにも使われている。性能が高いこともあり、現在の自然言語処理分野では主流となっている²⁾。

コンピュータビジョン分野においては、これまで CNN (Convolutional Neural Network) ベースのモデルが評価されてきたが、Vision Transformer が世に出てからは、画像分類タスクにおいて性能が CNN ベースのモデルを上回っており、注目を浴びている²⁾。

豊田合成では、組立工程における骨格検知技術の活用方法として、以下3つの場面での導入を実施、検討している。

- ① 作業分析による改善
 - ② 標準作業の自動判別による工程飛び / 異常作業検知
 - ③ エルゴノミクスを取り入れた工程づくり
- 本稿では、①作業分析による改善の取り組みについて報告する。

2-2. 工程の課題

社内では、手作業を必要とする工程がまだある。安全性や品質、生産性の向上を狙って工程改善を図ってきたが、これまで担当者が工程に張り付いて観察や計測による調査に基づいて実施してきた。

しかし、更なる改善を図るには調査工数がかかり、改善のリードタイム低減が課題であった。

3. 対策

工程改善を効率的に実施するには、トヨタ生産方式に則した工程づくりを基軸とした上で、新たな技術として骨格検知技術を用いて技能員の動きの詳細を定量評価する必要があると考えた。

豊田合成では、1個流しでサイクリックに自工程完結のできる作業を標準作業として、これを目指す上で検討すべき事項を明確にしている。より安全で品質、生産性の高いものづくりを行う上で、その工程の完成度のガイドとして下記6つの評価項目を定め改善を進めている。

- i. 最短動作
- ii. サイクリックな作業 (安定的な作業)
- iii. 良品作業
- iv. 動作で良品確認
- v. 品違い確認
- vi. 教育、訓練

この着眼点を持って工程づくりをするにあたり、骨格検知技術を活用し、そのレベルを定量化することで、完成度の指標として活用できないかと考え検討を進めてきた。

本稿では、i. 最短動作および、ii. サイクリックな作業 (安定的な作業) の項目に対して活用した事例を下記に記す。

4. 事例紹介

4-1. 対象製品

対象製品であるカーテンエアバッグは、車両ルーフサイドに搭載され、車両に衝突が起きた際にバッグが側面の窓を覆うように膨らみ、頭部を保護する (図-1)。

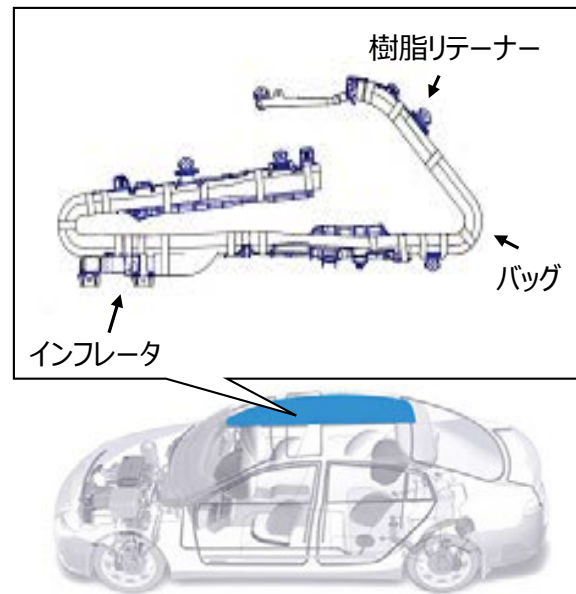


図-1 カーテンエアバッグ

4-2. 対象工程

対象工程は、カーテンエアバッグ組付工程である。バッグ、樹脂リテーナー、インフレーターから構成され、これらの部品を手作業で組付ける必要がある。本工程には、車種によって複数の工程が配置されている。

4-3. ViTPose の構造

本稿で扱う ViTPose について、画像の入力から骨格点が推定され出力されるまでの構造を以下に示す。

まず、入力画像情報を Transformer が扱える形にするために画像を分割し、1次元データ化する flatten 処理をする²⁾ (図-2-a)。

次に、flatten 処理したデータから Encoder により、分割した画像の位置情報を保ったまま特徴を抽出する。Encoder には、正規化処理なども含まれるが、Self-Attention という機構が Encoder の中心的な役割を持ち、これが Transformer の特徴である (図-2-b)。

次に、Encoderにより特徴抽出されたデータをDecoderに入力し、骨格座標を推定する(図-2-c)。

このように、画像を単語のように扱うことで、自然言語処理分野で用いられてきた手法の適用が実現している。

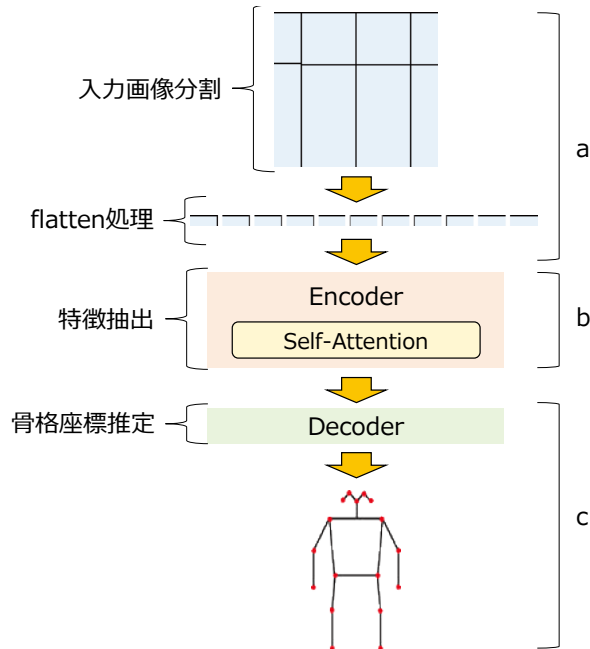


図-2 ViTPoseの構造

4-4. 動作の大きさ定量化

作業が最短動作となる工程づくりをするために、動作の大きさを定量化した。

まず、取得した骨格座標を蓄積し、画像上に表示することで動作の軌跡を表す(図-3)。

次に、時間が進むとともに移動する骨格座標間距離を累計することで、骨格点の総移動距離を算出する(図-3)。

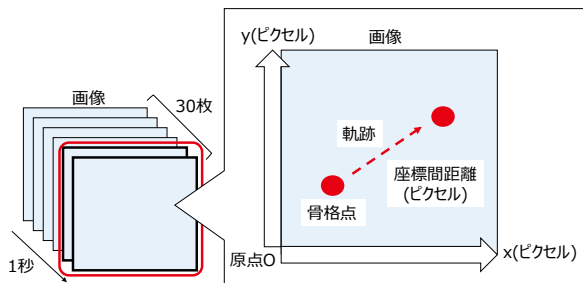


図-3 座標間距離

作業に合わせて確認する骨格点を選択し、動作の大きさを確認する。動作の大きさが極小化されることで、作業が最短動作になると考える(図-4)。

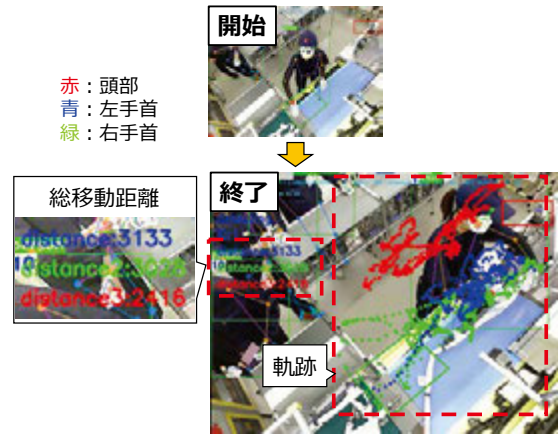


図-4 軌跡と総移動距離

これらを用いて、標準作業完成度が最も高い工程をモデル工程とし、この工程の動作が最短動作であると考え、比較により類似工程の新規立ち上げ工程を改善した。

前提条件として、別の工程同士を比較評価する場合、同一作業に対して同等の距離、角度から撮影する必要がある。これを踏まえて、図-5に示すようにカメラを設置し、撮影した。

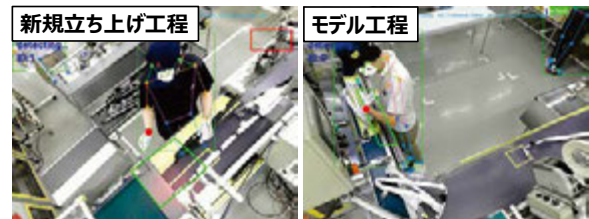


図-5 最短動作の工程づくりのための撮影

まず、モデル工程及び立ち上げ工程の動作の大きさを確認した。作業時の歩行や手元の動作が最短動作を目指すうえで特に重要と考え、頭部及び両手首に着目した。頭部を赤、右手首を緑、左手首を青で表すこととする(図-6, 7)。

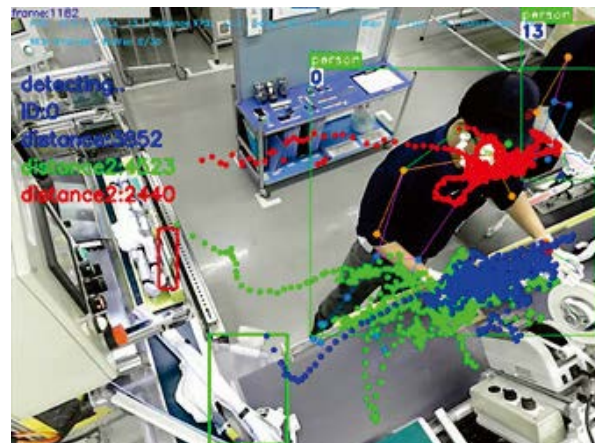


図-6 モデル工程

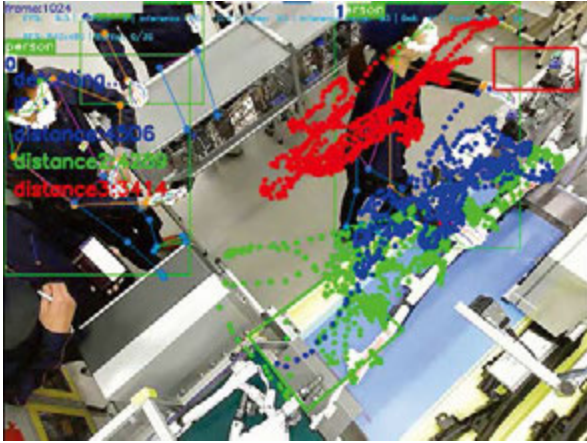


図-7 改善前新規立ち上げ工程

モデル工程と立ち上げ工程の動作を比較すると、頭部の軌跡から、立ち上げ工程の方が作業台に水平方向に大きく歩行していることが明確になった。モデル工程のように可能な限り定点で作業をするには、作業位置の固定やワーク（組付中の部品）をずらしての作業、ワーク初期位置の見直しなどが必要であり、これらの改善事項が浮き彫りになった。

改善後の動作の大きさを確認したところ、モデル工程と同等な値が確認された（図-8, 9, 表-1）。

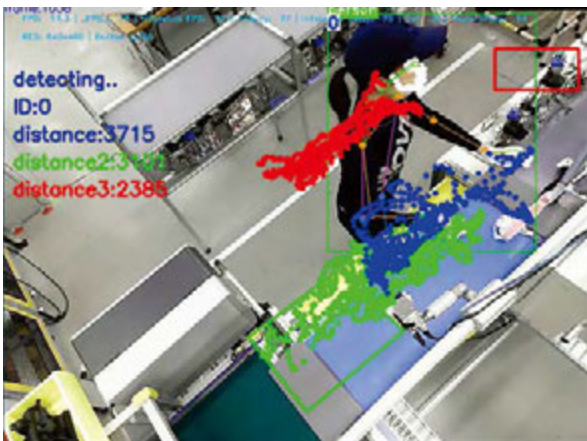


図-8 改善後新規立ち上げ工程

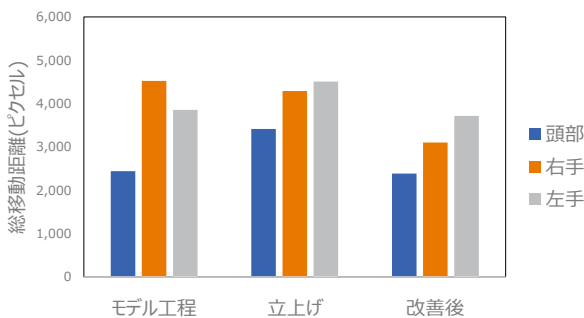


図-9 総移動距離の推移

表-1 頭部の移動距離の変化率

単位：ピクセル

	モデル工程	立ち上げ	改善後
頭部	2,440	3,414	2,385
右手	4,523	4,289	3,101
左手	3,852	4,506	3,715
増減率(頭部)	1	1.40	0.98

動作の大きさ定量化により、部品や作業の位置などの作業環境からの影響を受けやすい歩行やワークの動かし方などの動作において、改善点を容易に発見できるようになり、本工程づくりの基準へ落とし込んだ。これにより、工程新設段階での標準作業完成度が向上した。

4-5. 動作のばらつき定量化

安定的な作業が行えているか評価するために、動作のばらつきを定量化した。

まず、作業時に使用する身体の部位を確認し、その部位の座標データを複数サイクル重ね合わせて折れ線グラフで表示する。しかし、時間の経過に伴い波形がずれてくるため、ばらつく作業の特定が困難である（図-10-a）。

そこで、作業の中で必ず同じ動作をする要素作業を基準に、時間軸を合わせた状態で、波形を重ね合わせる。この波形を用いて、基準前後の作業におけるばらつきの要因を特定し、改善に繋げる（図-10-b）。

これを繰り返すことで、複数サイクルの波形を重ねて表示した時に、1本の線のように重なり合う状態が理想形であり、技能員が最も無理なく、楽に作業できる安定的な作業になっていると考える（図-10-c）。

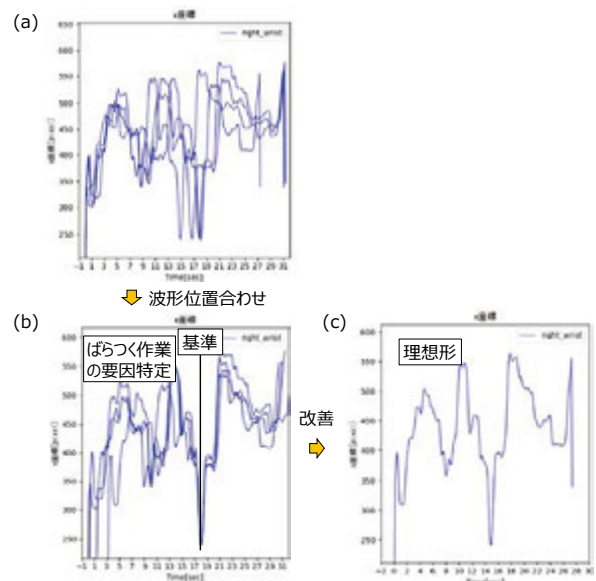


図-10 ばらつき改善の流れ

本工程において、両手首の波形に対して基準の作業を定め、これを軸に重ね合わせた（図-11）。

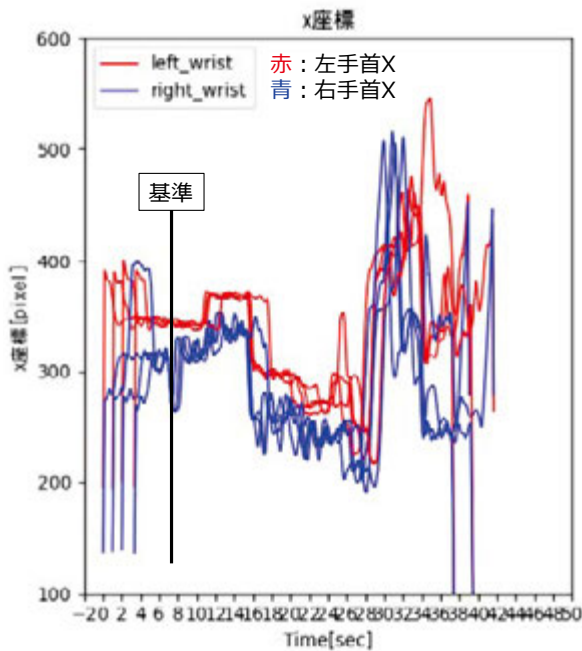


図-11 位置合わせ後両手首波形

波形と動画を対応させて作業を調べていくと、基準の作業の前にある左手で実施する作業でばらつきが特定された（図-12）。

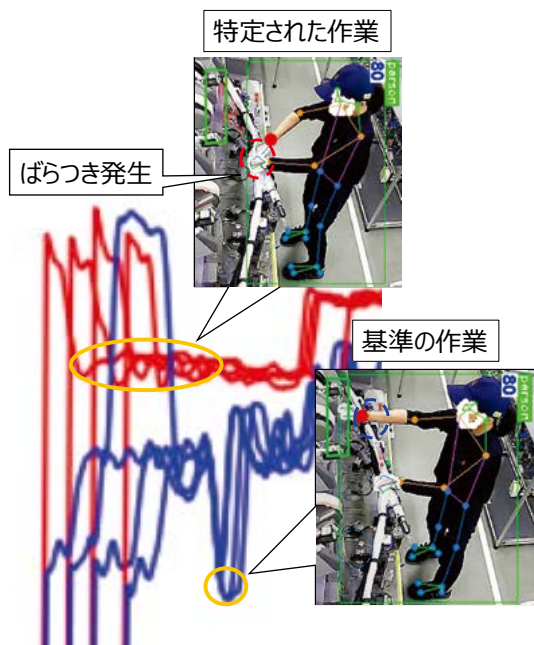


図-12 ばらつく作業の特定

ばらつきの要因を詳細に調査すると、組付時の左手の使い方が一定でないことがわかり、標準の作業としても手指の指定等が細かく定まっていなかったことがわかった。こうした状態を問題と捉え、左手親指を使って作業することを標準とし、手順に落とし込んだ。

改善後の作業を確認したところ、ばらつきが低減され、作業が安定していることが確認された（図-13）。

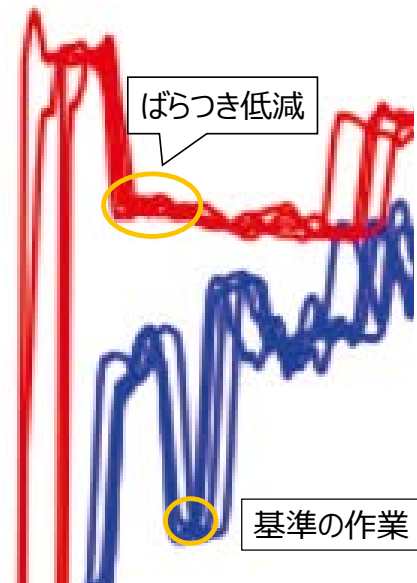


図-13 改善後波形

動作のばらつき定量化により、改善の対象をこれまでより容易に早く発見できるようになり、結果として、改善のリードタイムが半減された。

また、安定的な作業を実現する上で、標準作業を手指の使い方まで細かく定めることが重要であることがわかった。

5. 今後の進め方

人作業工程では、生産性に大きな影響をもたらす要因の一つとして作業のばらつきがある。このばらつきを人の違いに関わらず極小化していくためには、技能員が最も無理なく、楽に作業できる安定的な標準作業を追求していく必要がある。今回、骨格検知技術を用いて完成度の高い標準作業を作り上げた。この完成度を維持するために、技能員への導入教育が重要になってくると考える。今後はこの導入教育で、骨格検知技術を活用し、技能員自身が、自らのレベルを理解し、作業習熟度向上に繋がるツールの開発を進めていきたい。

6. まとめ

人作業工程で標準作業の完成度向上を図るにあたり、骨格検知技術はそのレベルを定量的に評価する有効な手段であることを実事例で示すことができた。本技術は、今までできなかった作業の可視化を実現できることから、製造工程において有効な要素技術であると考え、本技術を生産性向

上での活用に留めることなく、安全面、品質面等、より広範囲での活用の可能性について今後も継続して適用検討を進めていく。

参考文献

- 1) ViTPose,
<https://github.com/ViTAE-Transformer/ViTPose>
- 2) 山本晋太郎, 「Vision Transformer 入門 新しいコンピュータビジョンの世界」, 技術評論社, 2022, P1-71

著 者



杉村光平



山田理華子



西畑宏祐



鈴木一輝



加藤佳久