

IEによる作業工程分析及び可視化手法の研究(第2報)

曾賀野 健一 渡辺 博己 棚橋 英樹

Research of Work Analysis and Visualization for IE (2nd report)

Kenichi SOGANO Hiroki WATANABE Hideki TANAHASHI

あらまし セル生産等の作業現場において生産効率の向上を目指し、作業カイゼンの取り組みを重要視する企業が少なくない。IEを活用した作業カイゼンでは作業の現状を分析するために作業時間を調査する必要があるが、ストップウォッチやビデオを持って作業現場に張りつき、作業者の動きを観察するため膨大な時間と手間が掛かることから現状分析に至る前に断念しカイゼンが前に進まなくなるケースも少なくない。そこで本研究では、映像から人の動作を計測・解析する技術を用いて廉価かつ簡便に作業時間を計測し分析できるツールを開発した。さらに、セル生産等の作業現場での利便性を考慮し、従来の2次元平面作業領域の動作計測・解析技術を拡張し3次元空間領域の作業にも対応可能な仕様とした。

昨年度は、動作計測用撮像装置の選考と特性の調査、動作特徴量抽出手法の検討を行った。この検討結果をふまえて本年度は、作業の動作時間計測用プログラムの試作、動作計測実験、取得した動作時間データの分析及び可視化手法について研究開発を進めたので報告する。

キーワード 映像、動作解析、3次元空間、作業時間計測、カイゼン、MZ Platform

1. はじめに

企業の作業現場では、少子高齢化による労働力人口の減少や多品種少量生産の増加に伴い、労働者や労働時間等の限られた生産投入資源を最大限に有効活用し、作業効率を高めるため、積極的に作業カイゼンに取り組まれている^[1]。

作業カイゼンの手法には、IE (Industrial Engineering) と呼ばれる工学的手法がある。IEとは「人、モノ、設備及び情報を統合し、最も経済的な仕事のシステムを設計、改善、確立すること」を意味しており、作業員一人あたりの生産効率を高めるには作業員に無駄な動きをさせてはならないという発想に基づいている^[1]。IEは、作業時間を計測・分析することで、標準的な作業能力の算出、人件費等の原価管理、作業負担の軽減や作業の効率化を図るためのツールとして用いられる^[2]。

IEを活用した作業カイゼンの取り組みにおいて、まずはじめに取り組まなければならないのは現状分析である。これは作業にどの程度の時間がかかっているのかを調査していくことであり、作業カイゼンの担当者はストップウォッチやビデオを持って作業現場に張りつき、作業員が行う作業の様子を観察し作業時間を計測する必要がある。この作業には膨大な時間と手間を要し、計測技術を有する人材の育成や人件費等の問題から現状分析に至る前にカイゼン活動が停滞し、標準的な作業能力を把握できていない企業が大半を占めている^[1,3]。また、人が時間を計測する場合には、長時間(長期)にわたる作業時間

の計測が困難であるため、時間帯や人による作業のムラ等を評価するまでには至っていないのが実状である。そこで本研究では、映像から人の動作を計測・解析する技術を用いて、廉価かつ簡便に動作時間を計測し、作業の分析を可能とするツールの実現を目標とした。

動作計測・解析技術に関しては、これまでに当研究所において研究開発を進めてきており^[4-6]、自動車保安部品のネジ締め作業や梱包作業の現場において検証を行い、その有効性を示してきた。しかし、従来の技術では作業における動作ごとの時間を自動計測することはできない。動作時間を自動計測することができれば、有限の生産投入資源である人的労力を割くことなく工程能力の算出や作業の効率化を図るための情報を取得することが可能となる。また、従来の技術は2次元平面作業領域に対する動作にしか対応できない点に解決すべき課題が残されていた。作業の対象領域を2次元平面から3次元空間に拡張することができれば、作業領域が拡大化・複雑化している作業現場への適用範囲がさらに広がる。

2. 動作計測・解析と時間計測の手法

動作計測・解析の対象領域を2次元平面から3次元空間に拡張するにあたり、動作計測用の撮像装置を検討する必要がある。

従来の2次元平面作業領域における動作計測・解析ではUSBカメラを用いて映像を使用したが、2次元平面に対して垂直(深度)方向の情報が得られないため、通常のカメ

ラで3次元空間作業領域における動作計測・解析を行うことはできない。

動作計測用撮像装置の選考を行った結果、廉価で簡便な装置としてKinectセンサ (Microsoft社製) を採用した。このセンサは1台でRGB画像データに加えてDepth (深度) データを同時に取得可能である。

我々は昨年度までにKinectセンサの深度計測精度を調査したところ全画素における平均値と標準偏差に良好な結果を得たことから、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを用いて3次元空間領域における動作計測・解析を行うための手法を考案した。さらに、パソコンからKinectセンサの撮像部 (IR light, Depth Image CMOS, Color Image CMOS) と駆動部 (motor) を制御し、KinectセンサからRGB画像データとDepthデータを同時に取得可能なプログラムを試作した^[7]。

本年度は、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを入力データとして作業の動作時間を計測するプログラムを試作した。ここで動作とは、図1に示すように「手を伸ばす」等の基本的な動作のことをいう。

2次元平面作業領域における動作計測・解析の手法に関しては、観測領域や作業者の服装の変化、照明変化等の影響を受けにくい局所特徴の統計量を用いるアプローチ^[8]とした。局所的な動きベクトルとしてオプティカルフローを用い、その統計量である動作の大きさと方向分布を表す方向ヒストグラムを動作特徴量として用いた。映像データから動作特徴量を抽出し動作を分割する手法については、文献5において開発した手法を用いた。

まず標準作業手順の動作を登録する。Kinectセンサから取得したRGB画像フレームから特徴点を抽出し、映像の連続する2つのフレーム画像についてオプティカルフローを検出する。得られた方向ベクトル成分を8方向に分解し、動作ごとに各方向のベクトル量の和を計算する。この数値

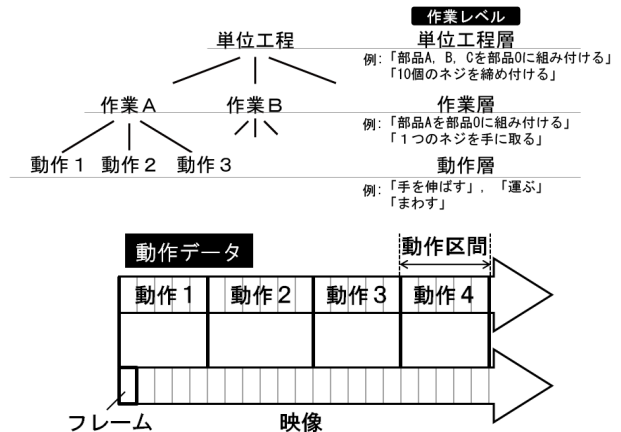


図1 作業の階層構造と映像の分割

を2次元平面作業領域における動作特徴量として扱う。動作を分割したフレーム番号を参照することにより動作区間の時間を抽出する。

予め標準作業手順として登録した動作特徴量と評価作業の動作特徴量を比較することにより、動作単位で動作の種類及び時間データを出力する。2次元平面作業領域における動作特徴量の比較は、登録作業と評価作業の動作ごとに動作特徴量 (8方向ベクトル) の類似度を余弦で求め閾値処理を行う^[5]。

Kinectセンサから取得したDepthデータに関しては、フレーム単位で深度の最小値を抽出し、フレーム間差分を計算する。そして動作単位でフレーム間差分の和を求め、この数値を深度方向の動作特徴量として扱う。深度に関する動作特徴量の比較は、登録作業と評価作業の動作区間ごとに動作特徴量 (最小距離のフレーム間差分和) を求め閾値処理を行う。

KinectセンサからRGB画像データとDepthデータを取得し、動作時間を計測・出力するシーケンスを図2に示す。

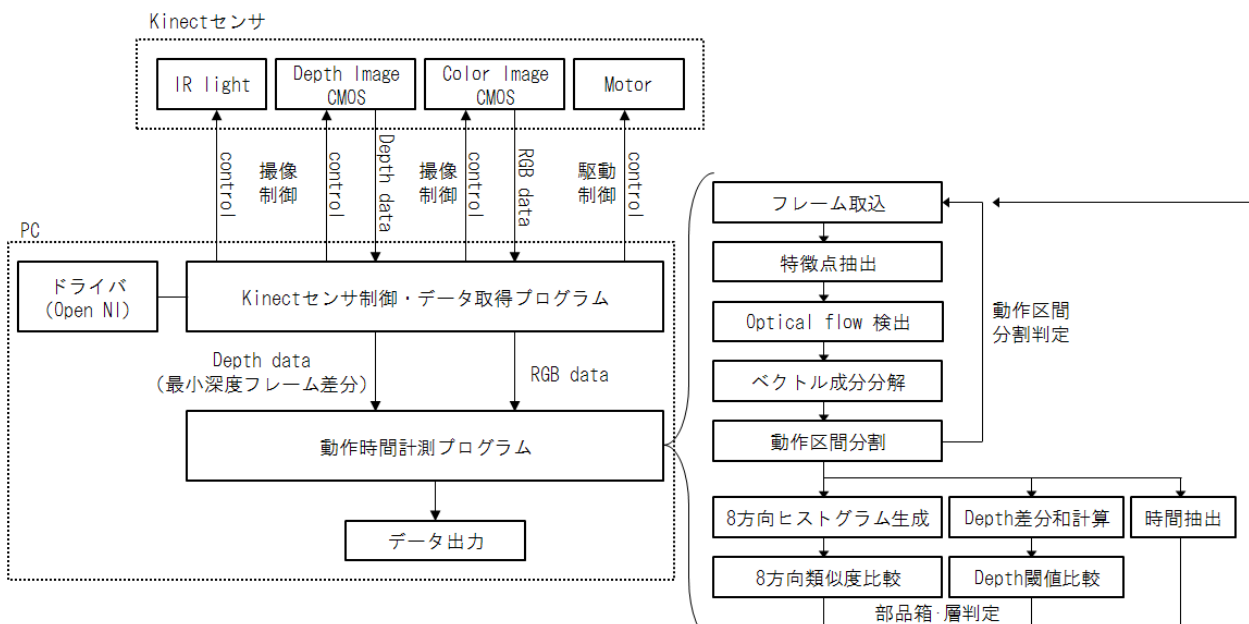


図2 RGB画像データ及びDepthデータの取得と動作時間計測シーケンス

3. 動作計測実験

試作したKinectセンサ制御・データ取得プログラム及び動作時間計測プログラムを用いて3次元空間領域における動作計測・解析を行うための実験を行った。実験環境を図3に示す。セル生産の作業現場において部品の組み立て作業で用いられる作業架台を想定し、部品箱を6箱（上層3箱，下層3箱）配置する構成とした。

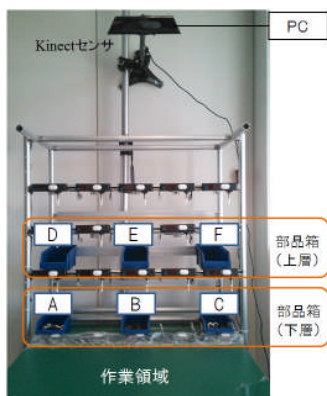


図3 実験環境

対象とした作業工程の流れは、「部品Aを取りに行く」→「部品Aを組み付ける」→「部品Bを取りに行く」→「部品Bを組み付ける」→「部品Fを取りに行く」→「部品Fを組み付ける」という計6種類の動作とした。

従来の2次元平面作業領域における動作計測・解析では、「部品Cを取りに行く」と「部品Fを取りに行く」動作は同じと判定されて評価できない問題が残されていたが、本研究ではKinectセンサを用いて2次元平面作業領域に対して垂直（深度）方向の情報を加えた評価を行うことにより、この問題を解消した。

実験を行う前に、実際にストップウォッチで計測した各動作の時間とKinectセンサ制御・データ取得プログラム及び動作時間計測プログラムを用いて計測した値が一致していることを確認した。

実験では、前述の作業工程の流れに関して6種類の動作を1回の作業工程（図1の単位工程）と考え、被験者は当研究所の職員とし、作業に慣れていない作業員Ⅰと作業に慣れている作業員Ⅱが同じ作業工程をそれぞれ20回繰り返し、Kinectセンサ制御・データ取得プログラムを用いてRGB画像データとDepthデータを取得した。

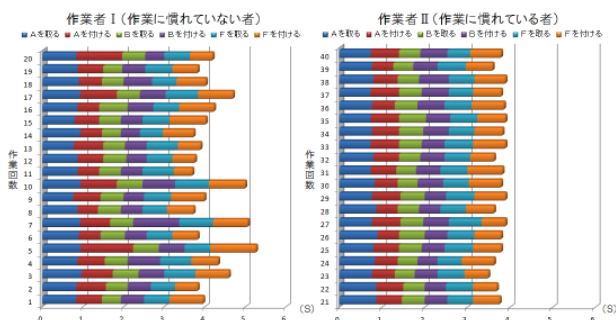


図4 動作時間データログ

次に、取得したRGB画像データとDepthデータを入力データとして動作時間計測プログラムを用いて動作時間データログを取得した。取得したデータをグラフ表示した結果を図4に示す。作業員Ⅰのデータは、特に作業回数5回目、7回目及び10回目のように1回の作業工程に約5秒を要したデータが含まれており、作業時間のバラツキが大きく見える。一方、作業員Ⅱのデータは、各作業工程に要した時間がほぼ均一（3秒台）となり作業時間のバラツキが小さく見える。しかし、動作時間データログの数値やグラフの情報のみを見て作業工程に潜在する障壁を見出し、カイゼン策を究明することは容易ではないため、次章で作業分析の一例を示す。

4. 作業分析

動作時間データログから作業カイゼンに資する情報を取得することを目的とした作業分析の一例を示す。

図5は「部品Aを取りに行く」等の動作ごとに作業工程20回の動作時間データを累積したグラフであり、作業員Ⅰと作業員Ⅱのデータを並列表示した。このグラフでは動作別に負荷量（時間）を確認することができる。負荷が最も大きい動作は「部品Aを取りに行く」であり、負荷が最も小さい動作「部品Bを取りに行く」と比較すると作業工程20回あたり約6秒の差が生じている。

図6は動作ごとに作業工程20回の動作時間データ分布を箱ひげ図で表現したグラフであり、動作時間のバラツキを確認できる。作業員Ⅰのデータは「部品を組み付ける」動作時間にバラツキが生じている傾向がある。これは部品を掴んだ時に正しい部品か戸惑い動作が停滞したためであり、その要因は作業の不慣れや集中力の散漫によるものと解釈しがちであるが、現状の作業工程に戸惑いやすい手

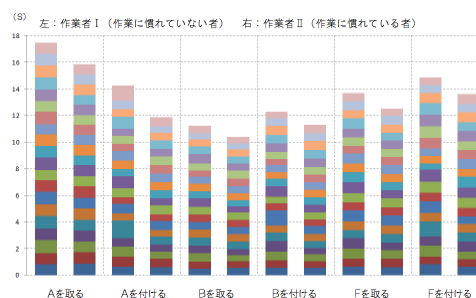


図5 作業の負荷状況（作業動作別）

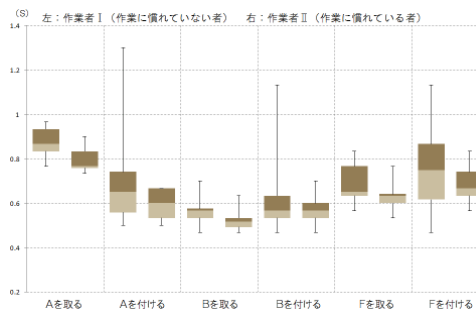


図6 動作時間の分布傾向（作業動作別）

順が含まれていないか、作業台や部品箱は作業者の作業域に対して余りがない配置としているか等、作業工程や製品設計を見直す手がかりとしても重要な情報と考えることができ、それがカイゼンの糸口に繋がる可能性がある。

また、作業の負荷量や動作時間のバラツキ度の情報は、標準作業時間を把握し、作業のムラや作業の習熟度を評価するための情報としても利用できると考えられる。

図5において「部品Aを取りに行く」動作の負荷が最も大きいことがわかり、パレート分析を行うと約20%と全体に占める比率が大きい。「部品Aを取りに行く」動作に作業者の作業域や作業姿勢に余りがないか見直してみると、作業者の利き腕（右）に対して部品箱Aに手を伸ばす動作は筋負担が大きいことが一因と考えられる。そこで作業者の作業域に適した部品箱の配置替えを行い、例えば図3において「A→B→F」の作業の流れを「B→E→F」に変更することで作業工程20回あたり15.83秒費やしていた作業時間を10.40秒とすることが可能となり、約34%の作業時間削減効果が期待できる。

5. 動作時間データログの可視化

作業現場において、作業工程の負荷状況や作業時間のバラツキ度等、カイゼンに資する情報を可能な限り手早く把握できるようにするため、動作時間データログから作業分析結果を可視化するためのツールを開発した。

開発には、情報システムを廉価かつ簡便に開発・運用できる「MZ Platform」⁹⁾を活用した。

「MZ Platform」を用いて開発した作業分析ツールを図7に示す。動作時間データログをデータベース(MySQL)に登録することで作業分析ツールと連携してデータの受け渡しが行われ、データの集計やグラフ表示が即時に実行される。このツールでは、作業期間を指定した場合に期間内の作業負荷量や時間データの分布傾向を動作単位で表示する機能を例示した。「MZ Platform」を活用したことで、新しい機能が必要となった場合は外注に頼ることなく自ら適宜構築することが可能であるため、商用(外注)システムと比べて現場の要望に対応しやすいメリットもある。

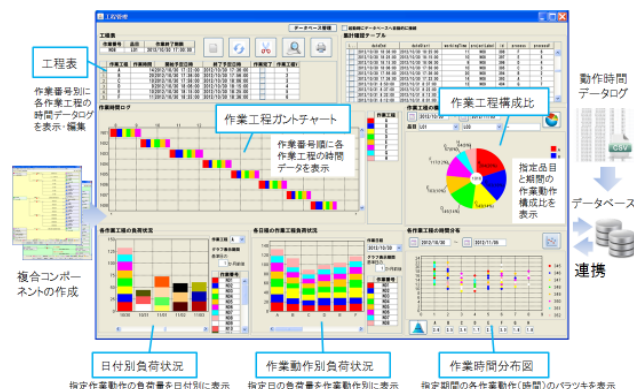


図7 MZ Platformを用いた作業分析ツールの例

6. まとめ

3次元空間領域における動作計測・解析を目的とし、動作計測用撮像装置及び動作特徴抽出手法の検討結果をふまえて動作時間計測用プログラムを試作した。Kinectセンサの撮像部と駆動部を制御し、Kinectセンサから取得したRGB画像データとDepthデータを入力することで動作時間を抽出し出力することが可能となった。

セル生産作業現場の立体的な部品組み立て用作業架台を実験環境として動作計測実験を行い、取得した動作時間データから作業の負荷量やバラツキ度を分析した。また、作業者の作業域に適した部品箱の配置替えを行うことで作業時間を削減するカイゼン例を示した。

さらに、「MZ Platform」を用いて作業分析ツールを開発した。このツールは動作時間データログを登録したデータベースと連携することで、データの集計やグラフを表示する機能を備えており、作業の負荷状況等を可視化することが可能である。作業現場において廉価かつ簡便に作業のムラ等を把握しカイゼンに資する情報分析ツールとして運用できる。

文献

- [1] 鈴木準, “IEを活用した現場改善のススメ”, ロジスティクス・ビジネス, 2005.
- [2] 藤田彰久, “IEの基礎”, 建帛社, 1997.
- [3] 水野芳昭, “ムダの発見・排除によるヒト、モノ、カネの有効活用”, カイゼン推進研修, 2010.
- [4] 清水早苗, 平湯秀和, 浅井博次, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—締め付け作業への適用—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第10号, pp.1-6, 2007.
- [5] 松原早苗, 渡辺博己, 棚橋英樹, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—汎用的な作業への拡張—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第11号, pp.21-26, 2008.
- [6] 曾賀野健一, 渡辺博己, 松原早苗, 棚橋英樹, “映像の動作解析技術を用いた「ポカよけ」手法の研究開発—梱包作業への適用—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第12号, pp.13-18, 2009.
- [7] 曾賀野健一, 渡辺博己, 棚橋英樹, “IEによる作業工程分析及び可視化手法の研究”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第13号, pp.47-50, 2010.
- [8] T.Kobayashi and N.Otsu, "Action and Simultaneous Multiple Persons Identification Using Cubic Higherorder Local Auto-Correlation", Proc.ICPR, 2004.
- [9] MZ Platform研究会 (産業技術総合研究所), http://www.monozukuri.org/mzpf/mz_top.html.