

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

トラック運転手の業務管理システムに関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-11-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 張, 佳杰 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2260">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2260</a>

修士学位論文

トラック運転手の業務管理システムに関する研究

2021 年度

(2021 年 9 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

張 佳杰



修士学位論文

トラック運転手の業務管理システムに関する研究

2021 年度

(2021 年 9 月)

東京海洋大学大学院

海洋科学技術研究科

海運ロジスティクス専攻

張 佳杰

# 目次

第 1 章	序論 .....	1
第 2 章	基礎理論 .....	3
2-1	トラックへの荷積み作業 .....	3
2-2	DP マッチング[20]、[21] .....	4
2-3	作業プローブシステム[12] .....	6
2-4	移動検出アルゴリズム[23] .....	8
第 3 章	トラック運転手の業務管理システム[24]、[25] .....	9
第 4 章	緊急時通報システム[24] .....	11
4-1	緊急動作 .....	11
4-2	緊急動作推定アルゴリズム .....	13
4-3	性能評価 .....	16
4-3-1	DP マッチング単独 .....	16
4-3-2	動作特徴の併用 .....	19
第 5 章	荷役業務管理システム[25] .....	22
5-1	要素作業 .....	22
5-2	緊急動作推定アルゴリズム .....	23
5-3	報告書の自動作成 .....	24
5-3-1	要素作業に関する報告書 .....	24
5-3-2	作業姿勢に関する報告書 .....	25
5-4	性能評価 .....	26
5-5	可視化 .....	27
5-3-1	要素作業の報告書 .....	27
5-3-2	作業姿勢の報告書 .....	28
第 6 章	結論 .....	29
謝辞	.....	30
参考文献	.....	31

## 第1章 序論

近年、オンラインショッピングが普及するにつれて、物流はますます人々の生活で重要になっている。物流は人々の生活を支える重要なインフラである。特にトラックの輸送分担率はトンベースで国内貨物総輸送量の約9割である[1]。トラック運転手不足が深刻な社会問題となっており、近年、国土交通省が中心となり、物流業界の持続的な発展を目指す「ホワイト物流」を促進している[2]。ホワイト物流とは、トラック運転者不足に対応し、国民生活や産業活動に必要な物流を安定的に確保するとともに、経済の成長に寄与することを目的として、トラック輸送の生産性の向上・物流の効率化や女性や60代以上の運転者等も働きやすい、「ホワイト」な労働環境の実現を図るための取り組みである。

トラック運転手の職業病の一つが腰痛であり、長時間無理な姿勢で労働すると発生しやすい[3]。現状のままでは、高齢者がトラック運転手の仕事を続けることが困難である。さらに、物流生産性の向上が求められる現在、国土交通省による生産性革命プロジェクトが推進されている[4]。しかし、物流業界は主に中小企業で構成され、資金不足でITの導入が遅れている。また、業務管理の多くで現場の経験や勘に頼っており、定量的な数値データの蓄積が乏しく、科学的には未管理状態である[5]。そのため、労働環境の改善を目指して物流業者が発注者である荷主企業に対して、数値データに基づいた契約交渉ができず、なかなか労働環境の改善に結び付きにくいのが現状である。これに加え、人員不足により、管理者自身が現場で作業を行わなければならないことも多く、改善活動の第一歩である現状分析さえ十分に行えないケースも多い[6]。そのため、物流業者は、データに基づいて科学的に分析することができず、労働環境の改善がさらに難しくなっている。

これまでに、現状把握のための作業分析を、ウェアラブルデバイス等を用いて代替的に支援する研究が行われている。例えば、「ろじたん」[7]は、作業員自身がスマートフォン等に作業の種類と時刻を手入力することで業務内容を可視化する。このシステムは計測のための付帯作業（作業員が進捗状況をスマートフォン等に入力）が必要なため、効率低下や人為的ミスが発生する。文献[8]では、加速度センサを両手首に装着し、運転動作の流れを計測する手法を提案・評価している。このシステムは、運転者を着目して行動の計測し、危険な動作と検出する。また、専用デバイスを作成し、工場でのピッキング作業のモニタリングを行うシステムの研究[9]や、スマートウォッチの加速度センサから作業を分析する研究[10]がある。しかし、スマートフォンより、これらのデバイスの応用範囲が小さく、導入費用も大きい。また、手の動きしか検出できないため、姿勢を推定することができず、腰の負荷を評価することができない。一方、姿勢に関する従来研究[11]は、職業病である腰痛リスクを評価するために、筋電位計測を行っている。この手法では、要素作業の内訳を計測することはできない。

我々の研究グループでは、スマートフォンを用いた作業計測システムを開発している。このシステムでは、作業員がスマートフォンを胸ポケットに入れて作業をするだけで、業務を阻害することなく、作業や動作に関する情報と上体の姿勢（腰痛リスク）を定量的に計測できる。例えば、スマートフォンのセンサから、運搬や荷役作業中の姿勢を識別する研究がある[12]。さらに、スマートウォッチ又はスマートフォンを用いて移動に関する動作識別を検討した研究[13]や、スマートフォンを用いてピッキング作業の要素作業推定手

法を実装した研究[14]もある。しかしながら、トラック運転手を対象とした研究はこれまでに行われていない。

ところで、近年日本で凶悪犯罪は減少傾向にあるが、年間では5000件程度発生しており[15]、輸送車襲撃といった、トラック運転手が被害者となる犯罪が今後発生する可能性がある。また、運転者の疾病により事業用自動車の運転を継続できなくなった事案も増加傾向にある[16]。そのため、このような緊急時を想定した研究も重要である。

緊急時通報システムの一つに、高齢者向け集合住宅用緊急通報システム[17]があるが、これは、日常生活を対象にしており、またボタン操作が必要である。また、工場や倉庫の防犯対策を目的として、長時間倒れたままの状態を自動検知もしくは、作業者がボタン操作により、警告音や無線信号を送るシステム[18]もある。さらに、スマートウォッチを活用した子供用の緊急時通報システムに関する研究も行われている[19]。しかしながら、これらは緊急時のみの利用に制限され、また緊急時にボタン操作等が必要なものが多い。

そこで本論文では、平常時・緊急時ともに利用可能な、トラック運転手のための業務管理システムの構築を目的とする。本システムは、倉庫内作業プローブシステム[12]を基に、平常時は業務把握ツールとして要素作業と姿勢を推定し、緊急時は緊急動作を取るだけで緊急時通報を行える、労働者に負担のかからない業務管理システムである。本論文では、本システムの提案を行った上、緊急時通報システムの実装と評価、荷役業務管理システムの実装と評価を行う。

本論文の構成は以下の通りである。2章では、基礎理論について述べる。3章では提案するトラック運転手のための業務管理システムについて述べる。4章で緊急時通報システムの実装と評価を行う。5章で荷役業務管理システムの実装と評価を行う。6章では本論文の結論を述べる。

## 第2章 基礎理論

### 2-1 トラックへの荷積み作業

トラックへの荷役作業には2つの方法がある。フォークリフトを用いるものと人力で行うものである。本論文では、人力で行う荷積み作業を対象とした。この流れは、

- ( 1 ) 準備
- ( 2 ) 移動
- ( 3 ) トラックへの積み込み
- ( 4 ) 片付け
- ( 5 ) 移動

である。( 1 )と( 3 )と( 4 )では、この作業中に複数回の移動が発生することもある。準備では、数量検品や書類記入、ハンドリフトを取りに行く、管理者との会話等を行う。また、トラックへの積み込みでは、段ボールもしくはオリコンをトラックへ積み込む。さらに片付けでは、利用したかご車やパレット等の片付け、管理者への報告等を行う。



## 2-2 DP マッチング[20]、[21]

DP マッチング (Dynamic Programming, DP) とは、2つの時系列データのうちの一方を不均一に時間伸縮してその最小の相違度を求め、マッチングの度合いを計る方法である。DP マッチングは、もし話すスピードが違っていても同じ単語であれば、正しく認識できる。複数の定式化があるが、本論文では、最小コスト弾性マッチング問題の解法を利用する。本問題では以下の式で相違度を定式化している。 $A = (a_0, a_1, \dots, a_{m-1}), B = (b_0, b_1, \dots, b_{n-1})$  の相違度は、各ペア $(a_i, b_j)$ をマッチさせたときのコストを  $c(i, j)$  と表現した場合、

漸化式：

$$dp[i+1][j+1] = \min(dp[i][j], dp[i+1][j], dp[i][j+1]) + c(i, j) \quad \dots (1)$$

コスト：：

$$c(i, j) = \text{abs}(c(i, 0) - c(0, j)) \quad \dots (2)$$

初期条件：

$$dp[0][0] = 0$$

求める値：

$$dp[m][n]$$

で定式化できる。例えば、時系列データ  $A(1, 2, 3, 3, 2, 2)$  と  $B(1, 2, 3, 2, 2, 1)$  の相違度は 1 となる。表 2-1 と表 2-2 を使って説明する。表 2-1 は DP マッチングコスト表である。式 (2) を使ってコストを計算する。コストの値は全部正である。表 2-2 は DP マッチング DP 表である。まず、初期条件は  $dp[0][0] = 0$  である。式 (1) に基づいて計算し、相違度を得る。DP マッチングでは、類似性が高いほど、相違度が小さくなる。

表 2-1 DP マッチングコスト表

	1	2	3	3	2	2
1	$= 1-1 $ $=0$	1	2	2	1	1
2	1	0	1	1	0	0
3	2	1	0	0	1	1
2	1	0	1	1	0	0
2	1	0	1	1	0	0
1	0	1	2	2	1	1

表 2-2 DP マッチング DP 表

初期条件 : dp[0][0]=0	1	2	3	3	2	1
1	0	1	3	5	3	2
2	1	0	1	2	2	2
3	3	1	0	0	1	2
2	3	1	1	1	0	0
2	3	1	2	2	0	0
1	1	2	3	4	1	1

### 2-3 倉庫内作業プローブシステム[12]

本システムは人力による運搬や荷役などの作業を対象とし、とくに現場管理者が主体となった改善の支援を目的としている。システムの概要を図 2-1 に示す。本システムでは、スマートフォンにアプリをインストールすることで、計測器として用い、作業推定等を行う。スマートフォンの各種センサを図 2-2 に示す。

作業者の装着するスマートフォンやウェアラブルデバイスなどから得たデータで時々刻々の姿勢や作業の推定を行い、作業管理者による問題点の判断、修正を支援する。図 2-1 の“調査 (Probe)”では、作業者がスマートフォンを胸ポケットに入れて作業をするだけで、業務を阻害することなく、時々刻々の作業姿勢や移動などの動作を反映する加速度などのデータを取得する。サーバでは、雑音の除去などを行った上、無理な作業姿勢の抽出や動作推定や作業推定、これらの負荷の推定を行う。そして作業管理者に対して作業情報の可視化を行う。“判断 (Judge)”では、作業管理者が前述の情報に基づき、現状の問題点や以前に実施した改善策(例えば作業修正やレイアウト変更など)の効果を判断する。“修正 (Modify)”では、“判断”に基づき、作業修正やレイアウトの変更を行う。これにより現場主体で、無理な姿勢の修正や作業の省力化、安全性の向上や効率化、コスト削減が可能となる。

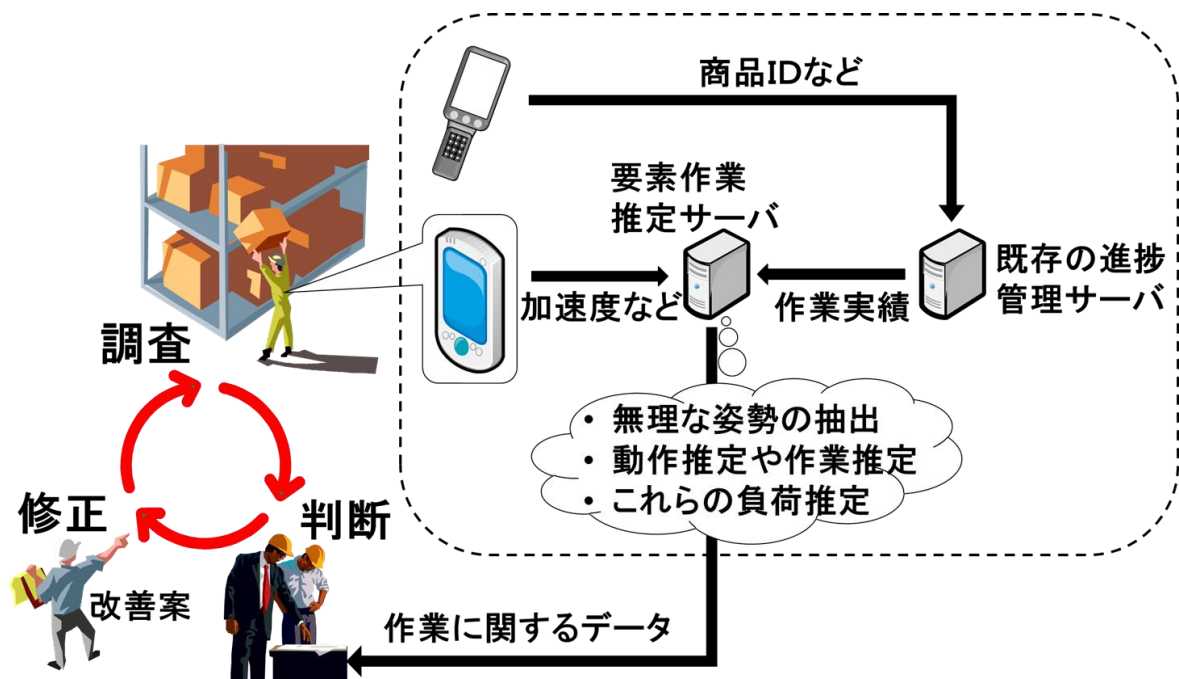


図 2-1 倉庫内作業プローブシステム

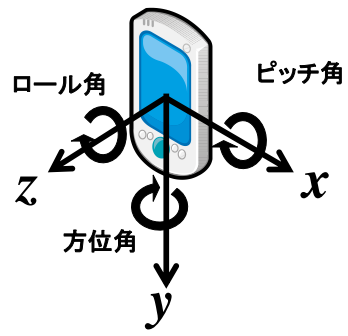


図 2-2 各種センサ

## 2-4 移動検出手法[22]

本論文で用いる移動検出手法[22]について述べる。この手法は、要素作業数が少なく、作業規則が単純な人力作業の要素作業計測への利用を想定している。文献[22]の移動検出手法の処理について図2-3を用いて説明する。胸ポケットにスマートフォンを入れた場合、Y軸はおおよそ地面に垂直方向である。歩行の振動は主にY軸方向に反映されるため、Y軸加速度に着目して移動検出を行っている。この手法はまず、Y軸加速度の時系列データから $L$ 秒長の部分データをオフセット0.1秒で複数作成する。次に、部分データの平均値を基準値として求める。この基準値に幅 $D$ を付与し、 $Th_1$ を超える極大値と $Th_2$ を下回る極小値を求める。文献[23]より、個人差を考慮しても極大値（もしくは極小値）間は最低でも0.3秒以上離れると考え、これよりも短い区間に極値が複数現れた場合、間引く処理を行う。さらに、平均的な歩行周期から、 $L$ 秒間の歩行では、幅 $D$ を超える極大値（図中の○）の数と極小値（図中の△）の数が共に、 $2L \times 0.8$ 以上かつ $2L \times 1.2$ 以下になるものと考え、この条件を満たす場合、この区間は移動と判定する。本論文では $L$ は3秒とした。

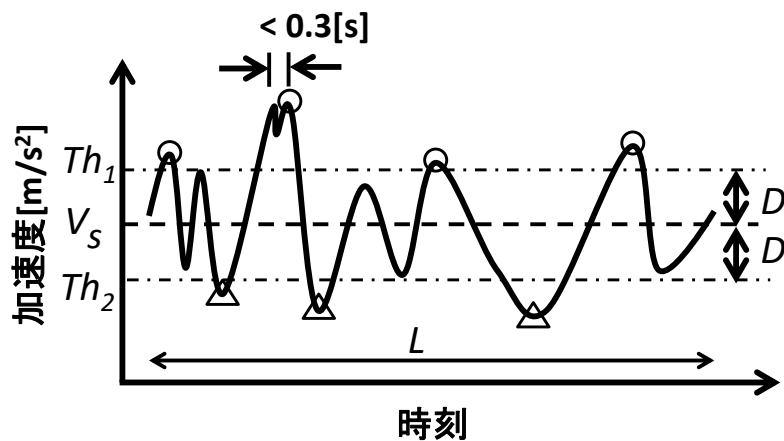


図 2-3 歩行の判定

### 第3章 トラック運転手の業務管理システム[24][25]

本論文で提案するトラック運転手の業務管理システムは、緊急時通報システムと荷役業務管理システムで構成される。本システムでは、専用アプリをインストールしたスマートフォンを胸ポケットにいれ、このセンサで作業者の動きを取得する。平常時は荷役業務管理システムが起動し、動作と姿勢を反映するセンサデータを取得する。もし取得したデータより、緊急動作が発生したと判定された場合、自動的に緊急時通報システムが起動する。そのため、トラック運転手の操作は不要であり、トラック運転手に負担をかけない。システムの概要を図 3-1 に示す。

緊急時通報システムは、トラック運転手の安全のため緊急動作を検出し、会社に SOS メールを自動通報する。緊急動作は、例えばトラック運転手が健康の問題で転倒したり、凶悪犯罪に対する防御動作をしたりすることである。まず、スマートフォンでは、センサデータを毎秒取得した上、この時々刻々のセンサデータを特徴量データに変換する。そして、事前に取得した緊急動作の特徴量データと比較し、類似度を算出する。この類似度が低い場合は、緊急動作は行われていないとし、各種センサデータはスマートフォン内に格納し、例えば、運転手が帰社した際に、このデータを抽出してサーバで作業解析を行うことで、業務把握を行う。一方、緊急動作と類似度が高い場合は、緊急動作をしたとみなし、警告音を鳴らし、数秒後スマートフォンで取得した自位置情報を含む SOS メールを送信する。システムが誤検出した場合（緊急動作をしていない場合）は、運転手がスマートウォッチのボタン操作や事前に設定したキャンセル動作（発声も含む）を行うことで、SOS メールをキャンセルできる機能も実装する。

荷役業務管理システムは、現場分析のためトラック運転手の要素作業を推定し、報告書を自動作成する。そのため、業務の削減と人為的ミスを減少することができる。まず、サーバは、スマートフォンから取得した作業データから部分データを作成する。3 つの要素作業（移動・手続き・手作業）の特徴に基づいて要素作業やその姿勢を推定する。この結果に基づき、Excel ファイル形式で報告書を自動的に作成する。以降、4 章と 5 章でこれらについて詳細に検討する。

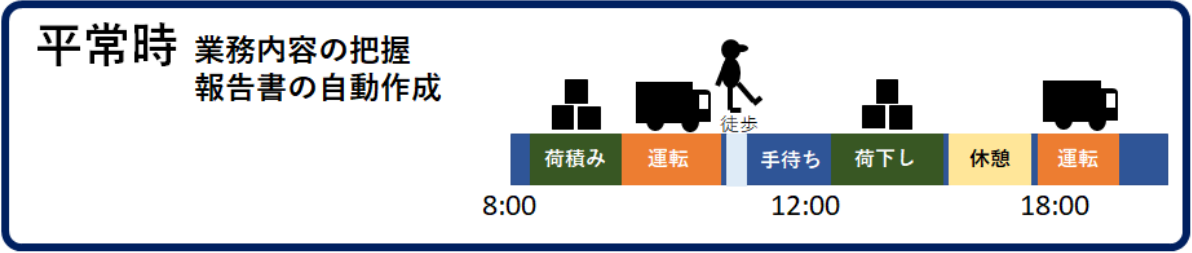


図 3-1 トラック運転手の業務管理システム

## 第4章 緊急時通報システム[24]

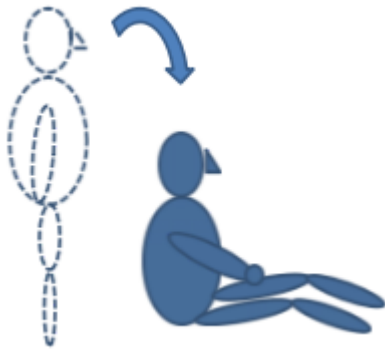
### 4-1 緊急動作

本論文では、以下の7つの動作

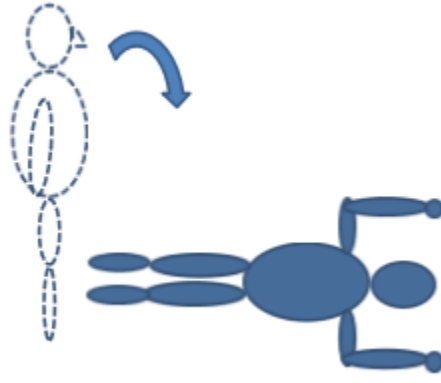
- ( 1 ) 座り込む (緊急動作 1)
- ( 2 ) うつ伏せになる (緊急動作 2)
- ( 3 ) うつ伏せ (緊急動作 3)
- ( 4 ) 仰向け (緊急動作 4)
- ( 5 ) 頭部の防御 (緊急動作 5)
- ( 6 ) 腹部の防御 (緊急動作 6)
- ( 7 ) 足部の防御 (緊急動作 7)

を緊急に助けが必要な状況下で行う動作 (緊急動作) として定義する。これらを図 4-1 に示す。図中の ( 1 ) ~ ( 2 ) と ( 5 ) ~ ( 7 ) は直立の姿勢からそれぞれの体勢に変化するまでの数秒間の動作であり、一方、( 3 ) と ( 4 ) はともに、この姿勢を 10s 以上維持する。特に、( 1 ) ~ ( 4 ) は、体調不良や暴漢等に襲われ、倒れるまたは倒れている状態を想定したものである。一方、( 5 ) ~ ( 7 ) は襲われた際に防御する動作を想定したものである。

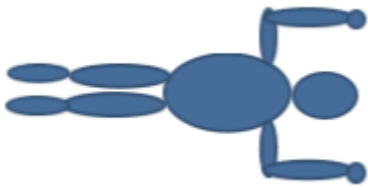




( 1 ) 座り込む



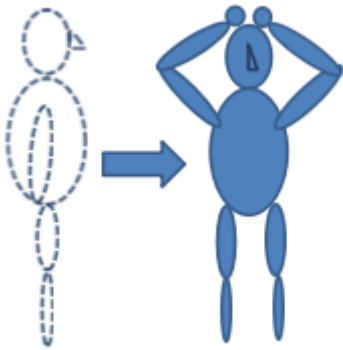
( 2 ) うつ伏せになる



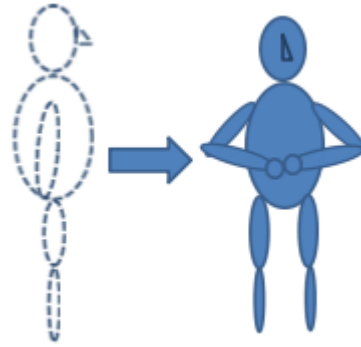
( 3 ) うつ伏せ



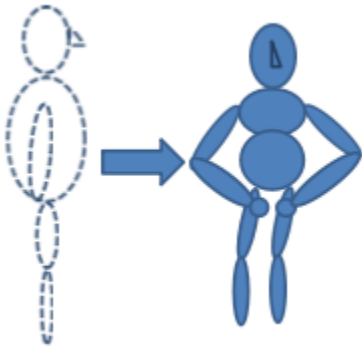
( 4 ) 仰向け



( 5 ) 頭部の防御



( 6 ) 腹部の防御



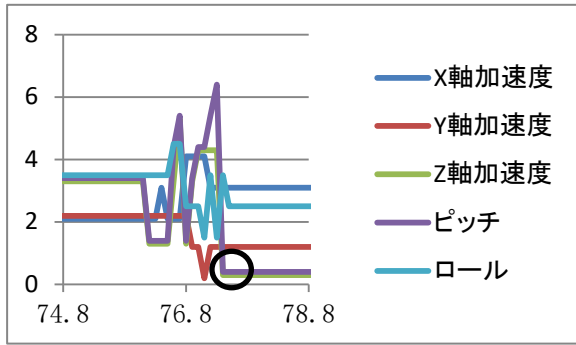
( 7 ) 足部の防御

図 4-1 緊急動作

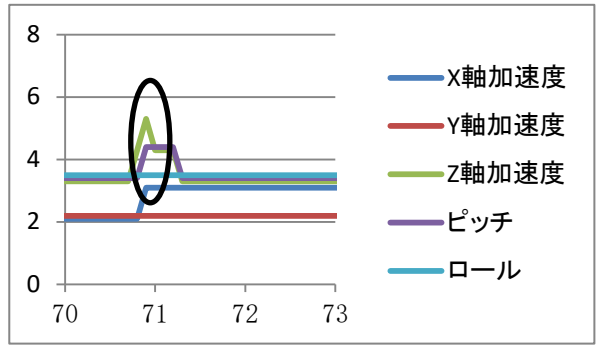
## 4-2 緊急動作の推定アルゴリズム

本論文では、スマートフォンのみを用いて本システムを実装した場合の性能について検討する。まず事前実験を行い、2名の男性(x, y)から基準データを取得した上、これを用いて簡単なプロトタイプを2種作成した。一方は、2.2節で述べたDPマッチングのみを用いたもの(DPマッチング単独方式)で、基準データとの相違度のみから緊急動作を検出する。本論文では、DPマッチングを行う前に線形補間、量子化、部分データの作成を行う。線形補間とは、スマートフォンのサンプリング間隔が不定時間であるため、導入しており、ここでは0.1秒間隔に補間した。また、量子化はセンサごとの数値そのものの影響や作業者毎の違いを小さくするための処理であり、本論文では、基準データの各センサにおいて、最大値と最小値を7分割するステップ幅を求め、これを必要に応じて延長した上、作業データを量子化した。量子化後は、まず同一の緊急動作の基準データにおいてDPマッチングによる相違度を求め、これを閾値とする。次に、各基準データの時間長を基準に作業データを複数の部分データに分割する(オフセット0.1秒)。そして基準データと部分データをDPマッチングし、前述の閾値以下となる部分データを緊急動作として検出する。

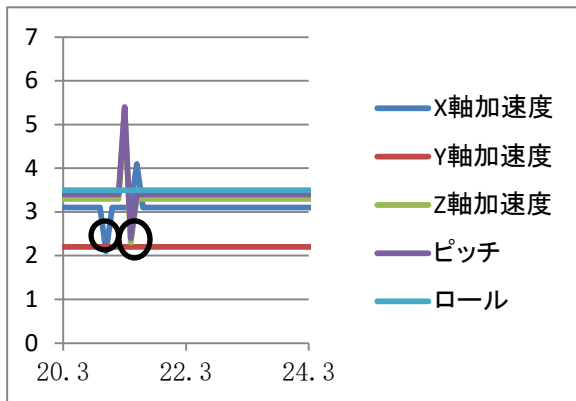
他方は、DPマッチング単独方式で行う閾値処理に加え、各動作特徴とのマッチングから緊急動作を検出する(動作特徴の併用方式)。著者は、以下の4種の緊急動作を定性的に分析し、量子化後の値に以下の特徴があることを見つけた。本論文では、うつ伏せになる(緊急動作2)は、倒れこむ際の変化に着目し、Z軸加速度とピッチ角が0に減少することをこの動作の特徴とした。頭部の防御(緊急動作5)は、腕を挙げる動き、具体的には布地が引っ張られることによるスマートフォンの回転等に着目し、X軸加速度とZ軸加速度とピッチ角の増加をこの動作の特徴とした。とくに、X軸加速度は3に増加すること、ピッチ角は4に増加することを利用した。腹部の防御(緊急動作6)は、上体を倒し、かつ腹部に腕を置くことに起因する変化に着目し、X軸加速度とZ軸加速度とピッチ角が共に2に減少することをこの動作の特徴とした。足部の防御(緊急動作7)は、上体を倒し、かつ足部に腕を置くことに起因する変化に着目し、X軸加速度は3に増加し、かつZ軸加速度とピッチ角は共に1に減少、Y軸加速度は振動することをこの動作の特徴とした。図4-1と図4-2はx, yの二人が緊急動作(2, 5, 6, 7)をする量子化の結果である。黒い丸で囲んだ部分が今回の注目する特徴である。



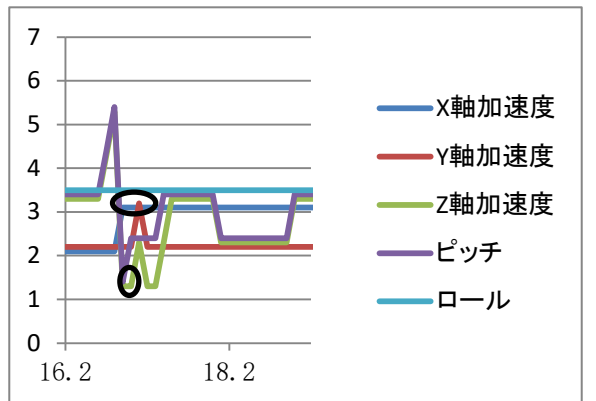
( 1 ) 緊急動作 2



( 2 ) 緊急動作 5

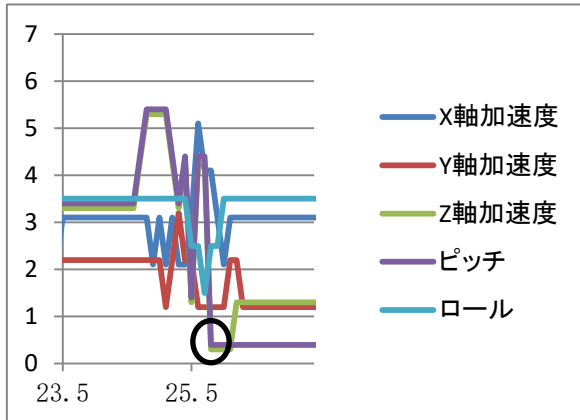


( 3 ) 緊急動作 6

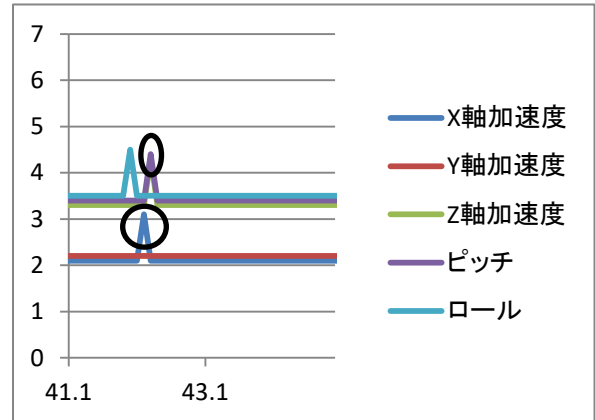


( 4 ) 緊急動作 7

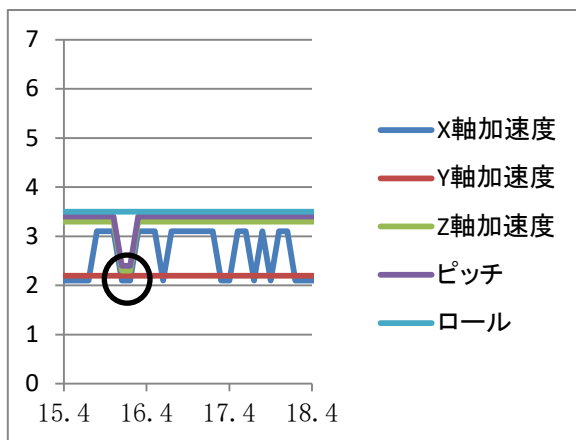
図 4-1 x の動作特徴



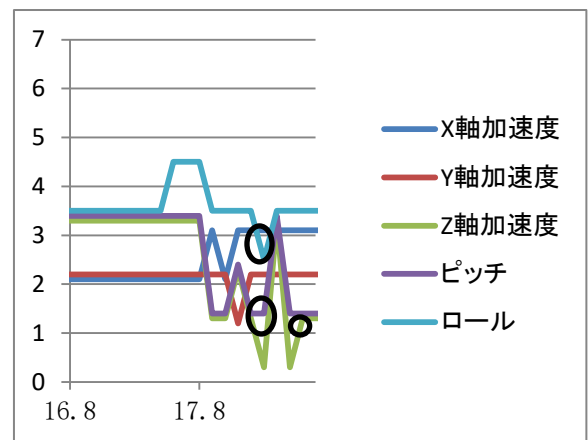
( 1 ) 緊急動作 2



( 2 ) 緊急動作 5



( 3 ) 緊急動作 6



( 4 ) 緊急動作 7

図 4-2 y の動作特徴

### 4-3 性能評価

実際の物流施設において、2名のトラック運転手(A、B)の荷積み作業を計5回計測した。1回あたりおおよそ30分～1時間程度であった。その際、作業の様子を動画撮影した。この計測では、トラック運転手は通常の荷積みのみを行っており、緊急動作は行っていない。そこで本論文では、これらの作業データと前述の2種のプロトタイプを用いて、誤検出に関する評価を行い、本システムの実現可能性について検討する。

#### 4-3-1 DP マッチング単独

DP マッチング単独での誤検出率を図4-3から図4-7に示す。この誤差率とは、本システムが緊急動作として誤検出した部分データ数を全部分データ数で割ったものである。作業データ1と2の部分データ数はおおよそ15000、それ以外は27000程度であった。うつ伏せ（緊急動作3）と仰向け（緊急動作4）の誤検出率がすべて0であったため、図は割愛する。これらの誤検出が0となった理由は、実際の作業では、作業者がうつ伏せや仰向けに類似した姿勢を10秒以上とることがなく、また基準データの違いが他の緊急動作に比べて小さいためである。

図4-3から図4-7より、どちらを基準データにするかによって違いはあるが、座り込む（緊急動作1）と足部の防御（緊急動作7）は他の動作に比べ、誤検出が特に多いことがわかった。動画分析を行ったところ、トラック運転手が荷積みをする際、床に置いてある荷を持つ際等に重心を下げる動きがあり、これを座り込むと誤検出しているのが原因とわかった。本論文では、座り込む（緊急動作1）において、作業とは異なる特徴的な傾向を見つけないことができなかったため、より詳細な検討は今後の課題とする。

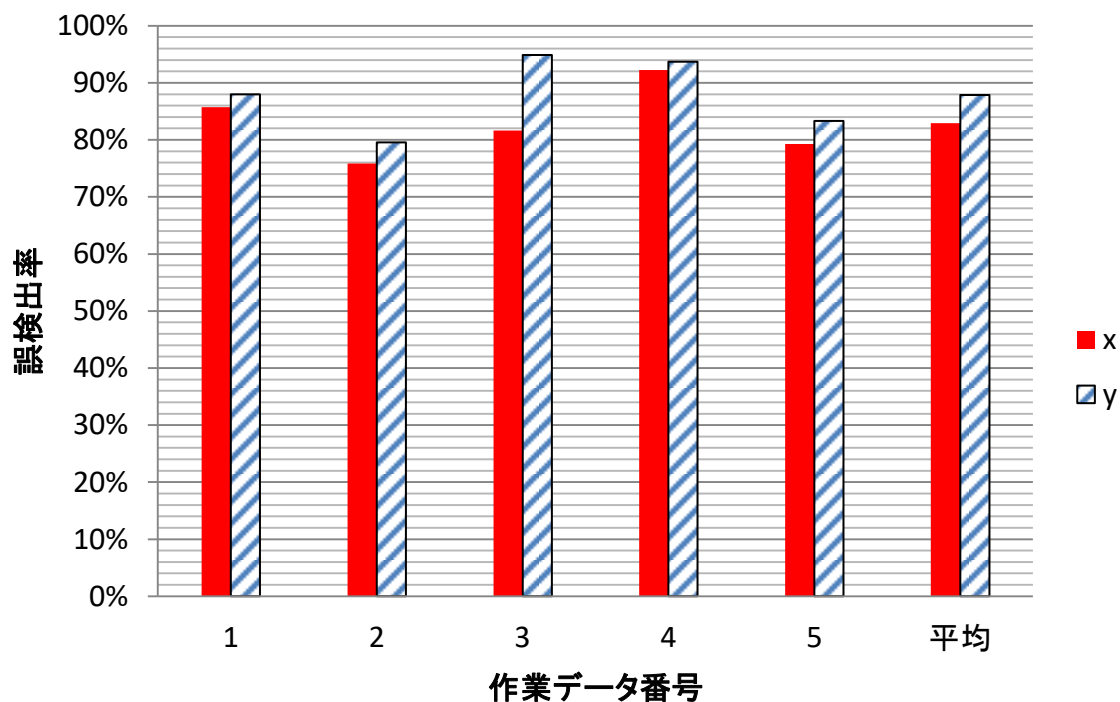


図4-3 DP マッチング単独の座り込む（緊急動作1）の誤差率

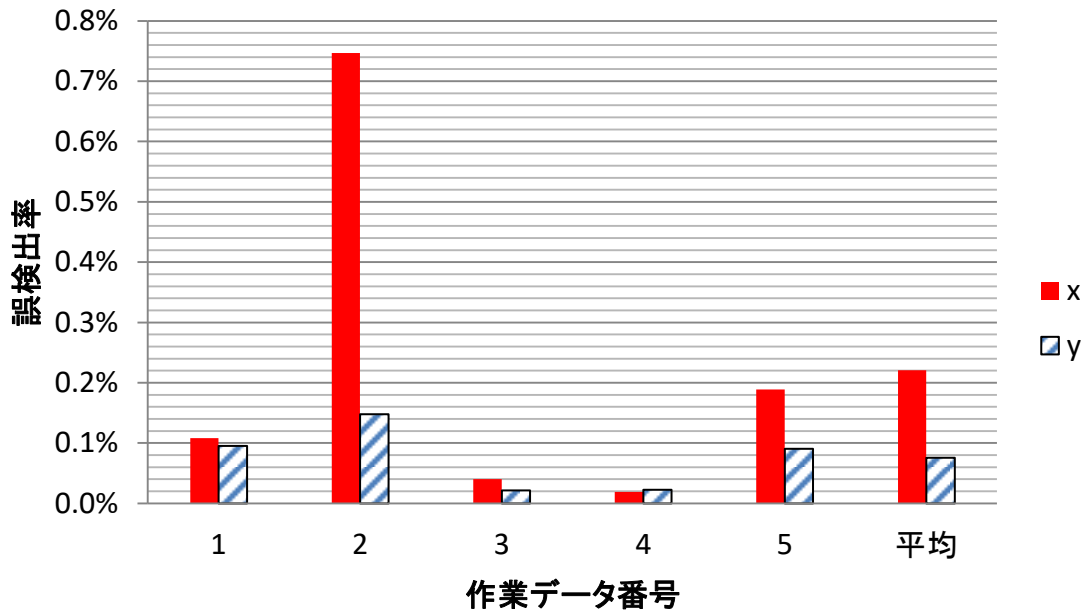


図 4-4 DP マッチング単独のうつ伏せになる(緊急動作 2)の誤差率

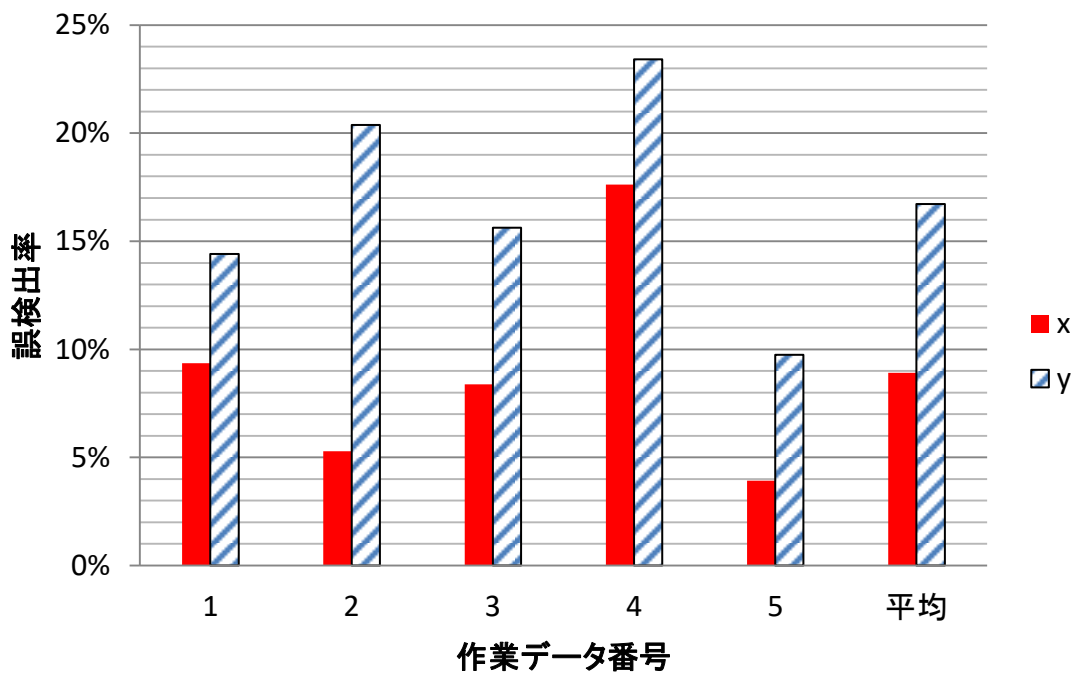


図 4-5 DP マッチング単独の頭部の防御(緊急動作 5)の誤差率

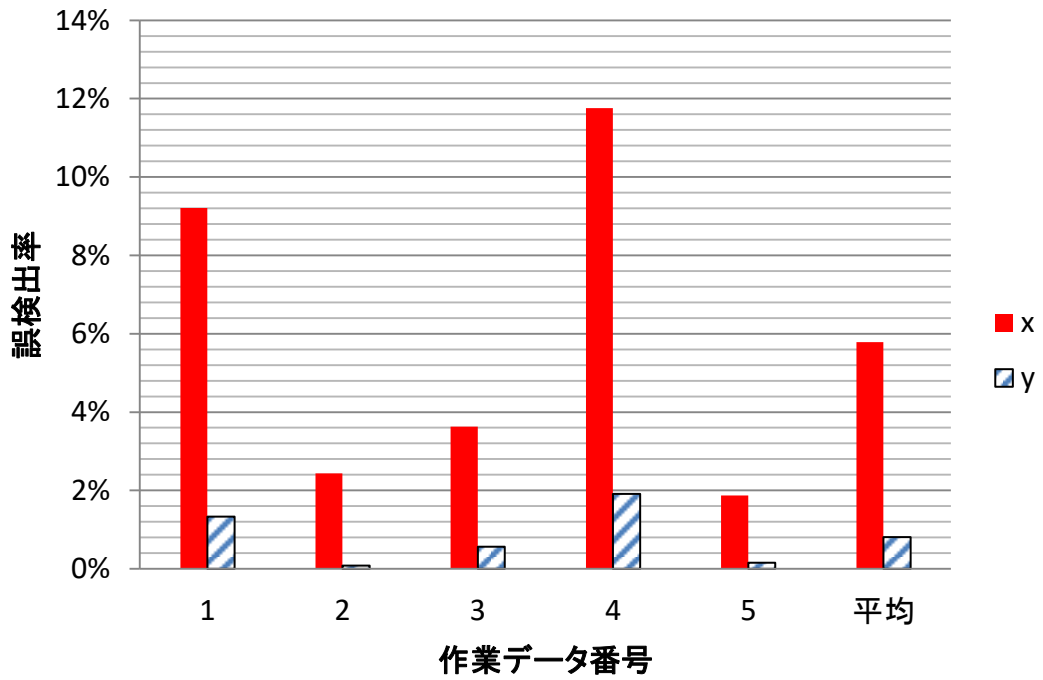


図 4-6 DP マッチング単独の腹部の防御(緊急動作 6)の誤差率

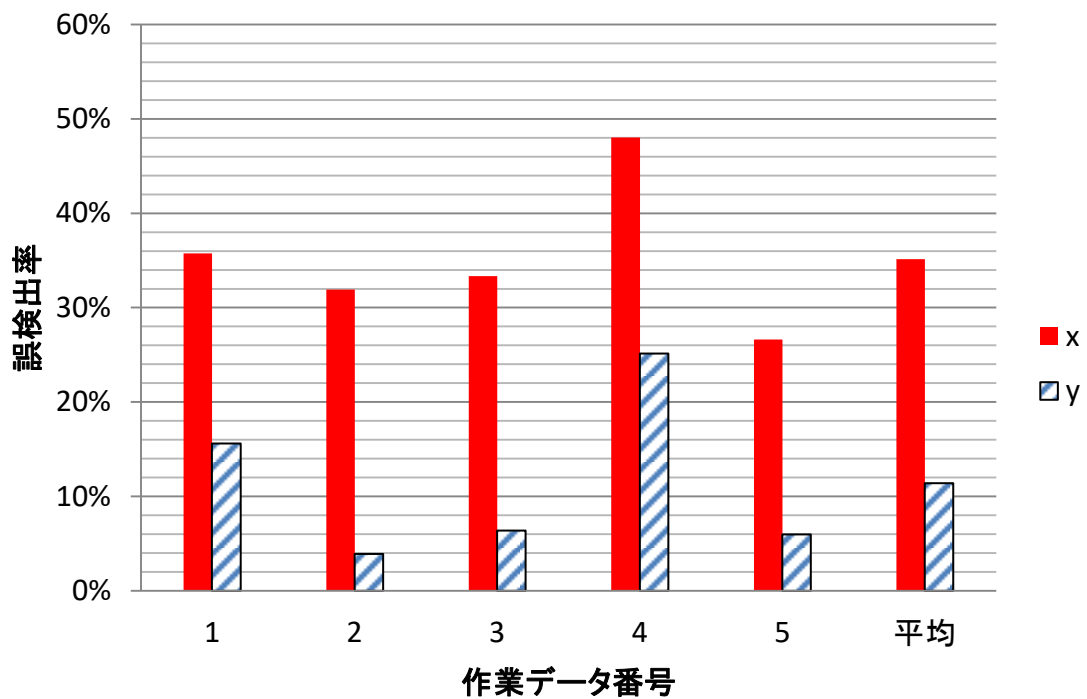


図 4-7 DP マッチング単独の足部の防御(緊急動作 7)の誤差率

#### 4-3-2 動作特徴の併用

動作特徴を併用した場合の結果を図 4-8 と図 4-9 に示す。ただし、頭部と側部の防御以外は誤検出率がすべて 0 であったため、図は割愛した。これらの結果から、動作特徴を併用することで、誤検出率を大きく削減できることがわかった。しかしながら、頭部の防御（緊急動作 5）と側部の防御（緊急動作 7）では、部分データの 0.02% と 0.5% 程度であるが、誤検出が発生した。動画分析を行い、誤検出時の作業内容を調査した。この誤検出時の作業内容の 1 例を図 4-10 に示す。これらの結果より、低頻度ではあるが、床に置いてある荷や上部に置いてある荷を掴む動作を誤検出していることがわかった。

これらの結果より、スマートフォンのみを用いて本システムを実装した場合でも、座り込む以外の緊急動作については低い誤検出率で検出できることがわかった。以上より、本システムの課題を明らかにし、その実現可能性を示した。

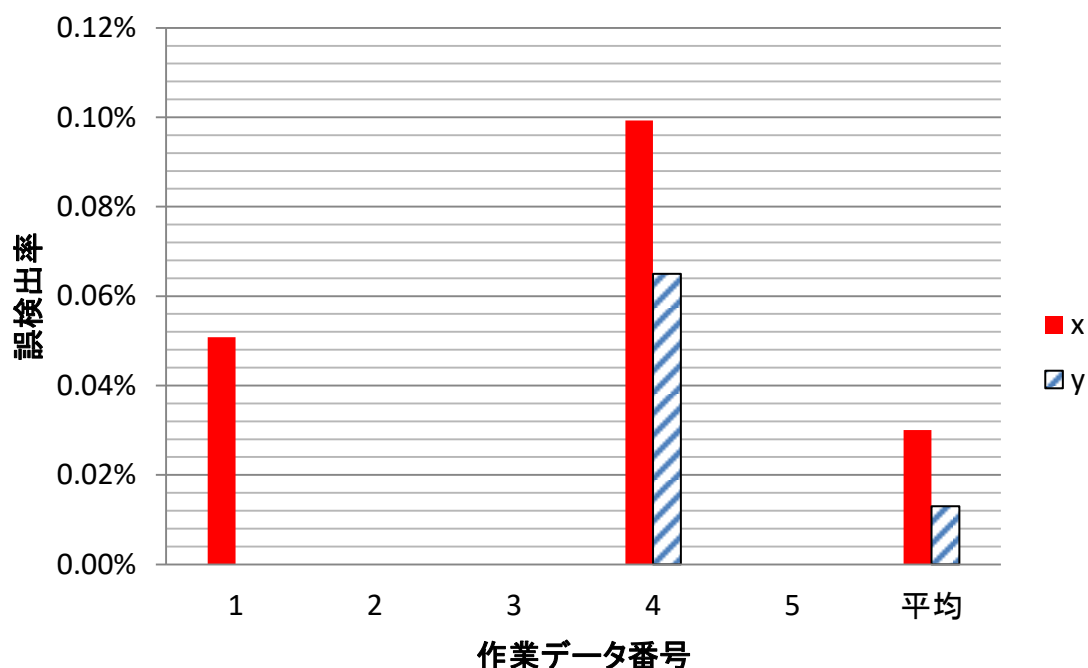


図 4-8 動作特徴の併用頭部の防御（緊急動作 5）の誤差率



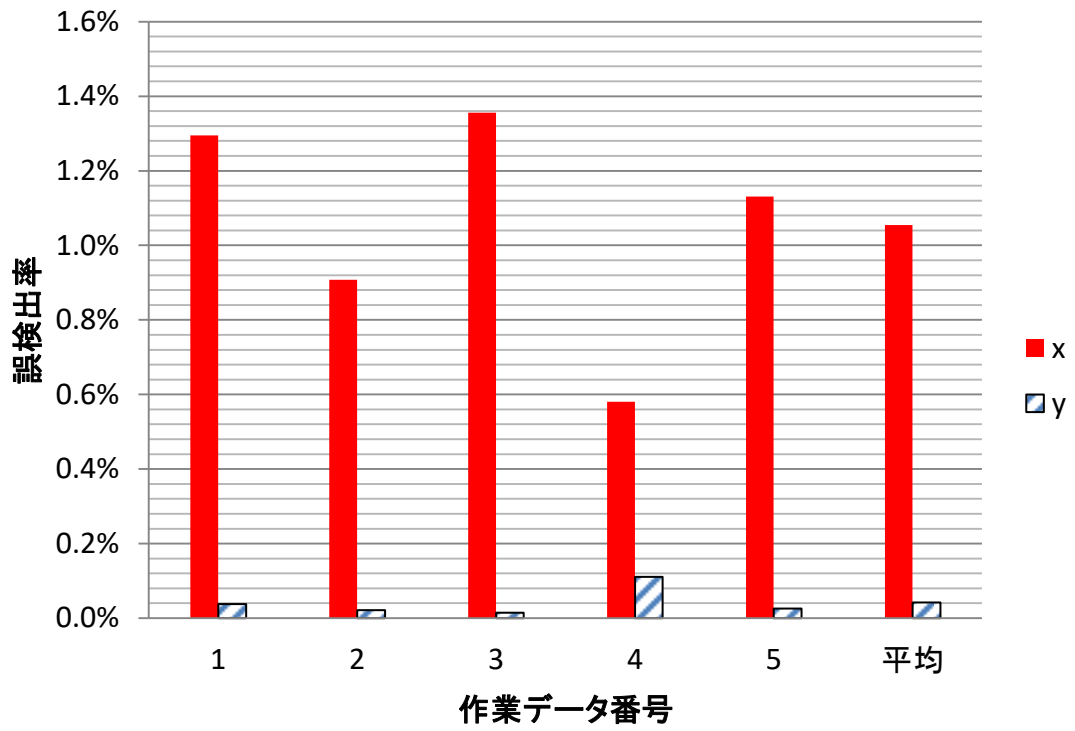


図 4-9 動作特徴の併用足部の防御(緊急動作 7)の誤差率



(1) 頭部の防御の誤検出例 1



(2) 頭部の防御の誤検出例 2



(3) 足部の防御の誤検出例 1



(4) 足部の防御の誤検出例 2

図 4-10 誤検出時の作業

## 第5章 荷役業務管理システム [25]

トラック運転手の荷役業務には荷下ろしと荷積みがある。荷下ろし作業と荷積み作業の動作は非常に似ており、これらの主要な要素作業は、移動と手続きと手作業である。提案システムは、これらの作業計測を対象としている。図 5-1 は荷役業務管理システムの概要である。

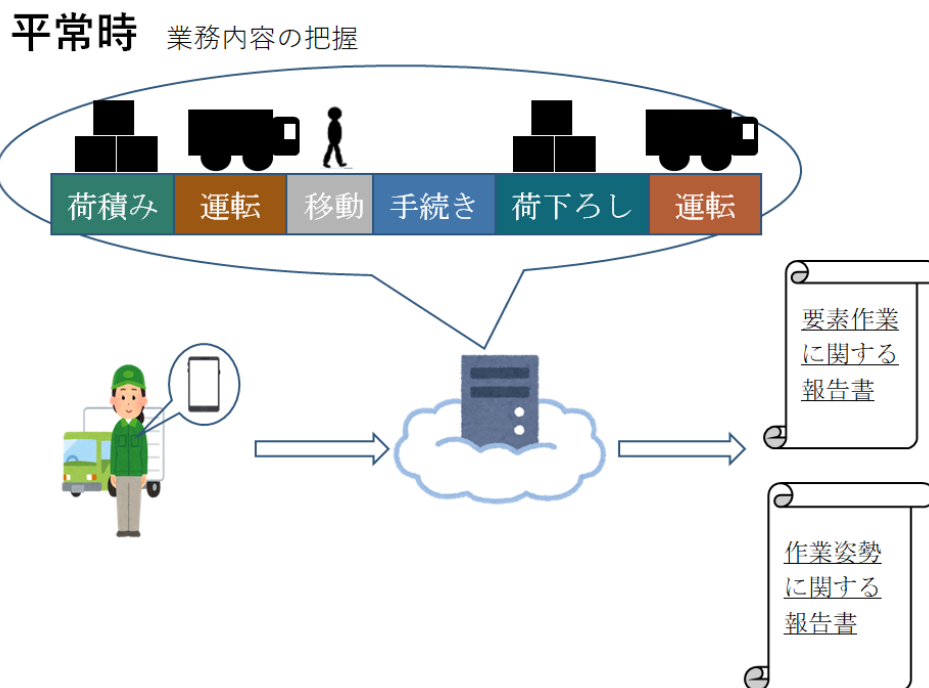


図 5-1 荷役業務管理システム

### 5-1 要素作業

本論文では、以下の3つの要素作業

- ( 1 ) 移動
- ( 2 ) 手続き
- ( 3 ) 手作業

を人力で行う荷積み作業の要素として定義する。

移動は、文献[23]によれば、普通の歩行をした際、2歩歩くのに1秒程度かかり、右（または左）足が離床してから着床するまでの時間（遊脚期）は、平均0.4s程度であることが示されている。

手続きは、大きな動きがなく、作業が止まっている状態と定義している。これは、例えば、書類記入や発（着）荷主企業の処理待ち、管理者との会話などの際に発生する。手続きの特徴は、他の要素作業に比べて、動きが小さいことである。

手作業は、前述の二つの要素作業以外である。例えば、数量検品といった商品の確認やトラックへの積み込みである。

## 5-2 要素作業の推定アルゴリズム

本システムは、専用アプリをインストールしたスマートフォンを利用する。胸ポケットにいたスマートフォンで上半身の動きを取得する。作業データから  $L$  秒長の部分データをオフセット 0.1 秒で複数作成する(本論文では  $L=3s$  とした)。サーバでは、3つの要素作業(移動・手続き・手作業)の特徴に基づいて推定する。以降、これらの推定方法について述べる。

まず、移動は前述の移動検出アルゴリズムを用いて計算する。次に、手続きについては、 $X$  軸、 $Y$  軸、 $Z$  軸の3軸合成加速度を用いて判定する。手続きの時は動きが小さいので、3軸合成加速度の変化量が小さい。部分データの3軸合成加速度の標準偏差が閾値( $Thp$ )より小さい場合、この区間は手続きと判定される。判定結果が重複する場合、移動を優先する。最後に、移動又は手続きと推定した区間以外は手作業と判定する。

### 5-3 報告書自動作成

本論文では、業務の削減と人為的なミスがないように、OpenPyXl[26]を利用して要素作業と作業姿勢に関する報告書を Excel ファイルとして自動的に作成する。報告書はサーバで Excel ファイルとして作成する。報告書を見ることで、管理者はトラック運転手の作業に関する現状把握が可能になる。さらに記載データから問題点を発見し、作業改善を行うことができる。例えば、手続きの簡略化・合理化を行うことが可能である。

#### 5-3-1 要素作業に関する報告書

要素作業に関する報告書については、前述の3つの要素作業分析の結果を自動的に Excel ファイルで作成する。その中には、被験者の番号、推定された各要素の作業時間、百分率棒グラフ、及び説明文が含まれている。

### 5-3-2 作業姿勢に関する報告書

作業姿勢に関する報告書は、トラック運転手の腰痛を軽減する目的で、トラック運転手が手作業の要素作業に従事する際の腰の角度のデータを記載する。報告書には、被験者番号、姿勢の分布、百分率棒グラフ、及び説明文が含まれている。

#### 5-4 性能評価

実際の物流施設において、荷積み作業をしている4名（A, B, C, D。AとBは4-3章と同じトラック運転手である）のトラック運転手を計測した。作業の様子はビデオカメラで撮影した。

前述の移動推定における  $D$  と手続き推定方法における  $Thp$  を検討する。 $D = \{1, 1.5, 2\}$  と  $Thp = \{0.1, 0.2, 0.3\}$  を検討した。9つの組み合わせのそれぞれの誤差率を求める。誤差率とは、推定された各要素作業時間と真値（撮影されたトラック運転手の動画を見て各要素作業時間を計算）の差である。誤差率が正の場合、推定した要素作業時間は真値より大きいことを意味する。逆に誤差率が負の場合、推定した要素作業時間は真値より小さい。

表 5-1 に  $D=1.5$ 、 $Thp=0.3$  の誤差率を示す。この時、誤差率は最も小さくなった。被験者 A、B、D の誤差率は 2% より小さい。他の 3 つの被験者に比べて、被験者 C の誤差率は最も大きく、特に移動と手続き誤差率は約 8% であった。

被験者 C の誤差率が大きい理由を 4 人の被験者の動画を見て調べた。その結果、他の 3 人に比べて被験者 C の移動速度が遅いことが分かった。また、被験者 C は小型で重くない貨物でも常に腰をかがめて引きずっていた。被験者 C の移動速度が遅く、歩と歩の間が長いため、推定結果が真値より小さくなった。手作業は移動と手続き以外の時間として推定するので、移動の未検出により、手作業の誤差率が増加した。移動検出アルゴリズムを改良することで更なる性能向上の可能性はあるが、これは今後の課題とする。

これらの結果より、本システムの推定精度が高いことが分かった。以上より、本システムの課題を明らかにし、その実現可能性を示した。

表 5-1  $D=1.5$ 、 $Thp=0.3$  の誤差率

被験者	移動	手続き	手作業	平均
A	-1.60%	1.00%	0.77%	1.08%
B	0.11%	0.87%	1.06%	0.77%
C	-7.66%	-0.81%	8.54%	5.67%
D	0.35%	0.07%	-0.39%	0.27%
平均	2.43%	0.72%	2.69%	

## 5-5 可視化

### 5-5-1 要素作業の報告書

図 5-2 に要素作業に関する報告書例を示す。図 5-2 は 4 人のトラック運転手の計測結果である。棒グラフは総作業時間における各要素の作業に占める割合を示している。説明文は総作業時間における各要素の作業に占める具体的な割合の数値を示している。この報告書を自動作成することで、現状分析の業務を削減できる。

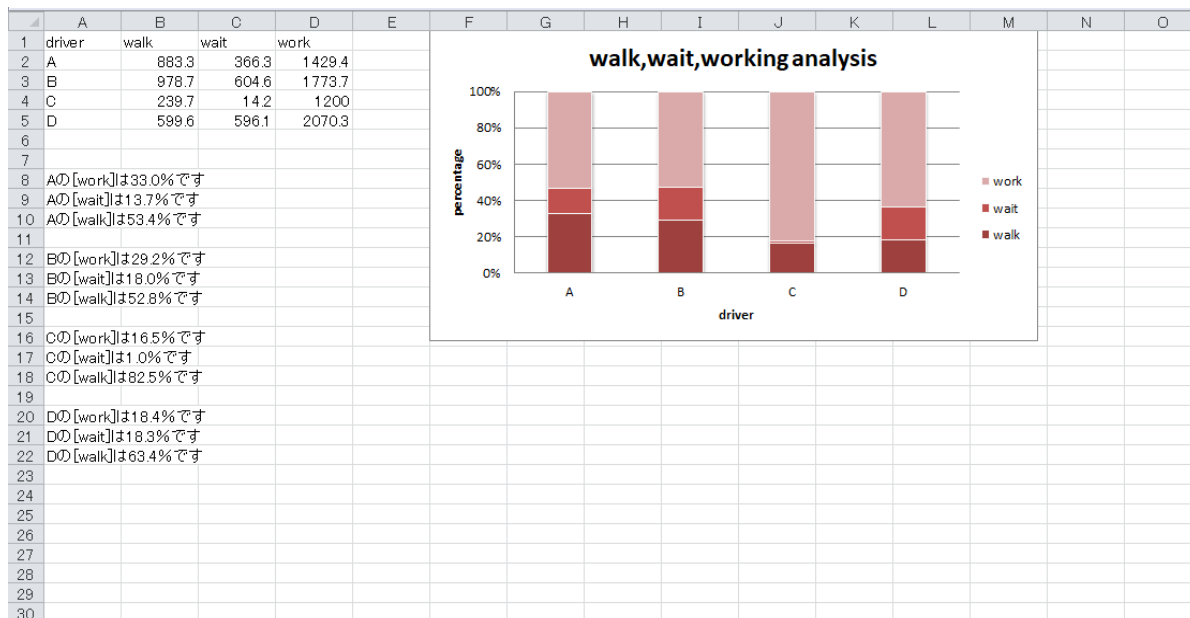


図 5-2 要素作業に関する報告書例



### 5-5-2 作業姿勢の報告書

図 5-3 に作業姿勢に関する報告書例を示す。腰の角度については、人は直立状態で 0 度、腰が前方に曲がった時は角度がマイナス、腰が後方に曲がった時は角度がプラスとなる。図 5-3 の棒グラフは、被験者が手作業をする時の腰の角度の時間を示している。説明文については、全手作業時間に対して腰への負荷が大きい角度（-90 度～-30 度）が占める割合述べている。データによって、腰への負荷が大きい作業の時間は総作業時間の 20%～40% を占めていたことが分かった。腰への負荷が大きい動作は、主に荷物を運ぶ時と荷物を置く時に発生する。参考として、図 5-4 に腰への負荷が大きい動作の 2 例を示す。

以上より、本報告書を利用することで、作業内容を定量的に把握できる可能性が高いことを確認している。

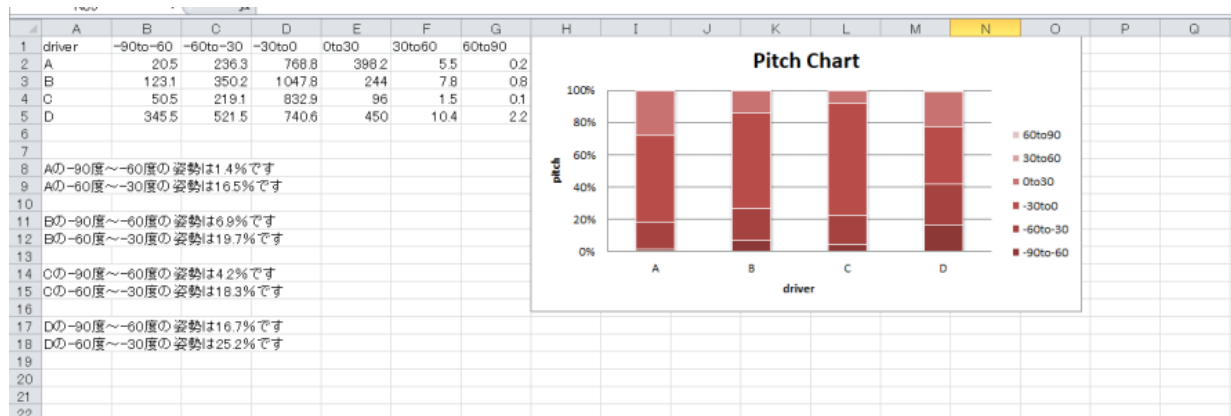


図 5-3 作業姿勢に関する報告書例



(1) 動作例 1

(2) 動作例 2

図 5-4 腰への負荷が大きい動作の例

## 第6章 結論

本論文では、トラック運転手の業務管理システムの提案とその実現可能性の評価を行った。本システムは緊急時通報システムと荷役業務管理システムを構成されている。緊急時通報システムは、トラック運転手の作業を阻害することなく、胸ポケットに入れたスマートフォンで作業計測を行い、さらに緊急動作が発生したと判定された場合、自動的に緊急時通報システムが起動する。7種の緊急動作の基準データを取得した上、2種のプロトタイプを作成し、5つの作業データを用いて誤検出率を評価した。その結果、DP マッチングによる相違度により、昏倒時の、うつ伏せや仰向けの検出が誤検出なしで可能であることを示した。さらに緊急動作の特徴も併用することで、防御動作等の検出精度が向上できることを示した。その結果、緊急時通報システムの平均誤差率は約 0.1%程度であることを示した。荷役業務管理システムは、現場分析のため移動検出による要素作業を推定し、報告書を自動作成する。また、指定作業に対して姿勢分析を行い、作業姿勢に関する報告書を自動作成する。3つ要素作業の推定した上、4つの作業データを用いて誤差率を評価した。その結果、荷役業務管理システムの平均誤差率は約 2%程度であることを示した。

以上より、トラック運転手の安全性向上や業務管理に利用できるシステムについての知見を取得し、本システムの課題やその実現可能性を示した。

今後の課題として、より多くの作業データを用いた評価や、本システムの未検出率に関する検討、被験者の増加、移動のアルゴリズムの改良、荷下ろし作業の計測が挙げられる。また、物流施設の改善、従業員の負担軽減も今後の課題である。

## 謝辞

本研究は、著者が東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科海運ロジスティクス専攻在学中に同学、黒川久幸教授、麻生敏正准教授のもとで行ったものであります。ここに感謝の意を示します。また、日常の議論を通じて多くの意見をいただいた研究室の皆様、被験者として実験に協力・参加していただいた作業者の皆様、副査をしていただいた兵藤哲朗教授に心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] “日本のトラック輸送産業 現状と課題 2018,”  
[https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta\\_theme/pdf/2020yuso.pdf](https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/2020yuso.pdf)
- [2] 国土交通省, “ホワイト物流パンフレット,” <https://www.mlit.go.jp/common/001284400.pdf>
- [3] 厚生労働省, “運送業務で働く人のための 腰痛予防のポイントとエクササイズ,”  
<https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/131025-02.pdf>
- [4] “「生産性革命」プロジェクト,”  
[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei\\_point\\_tk\\_000021.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000021.html)
- [5] 公益社団法人全日本トラック協会, “中小トラック運送事業者のための I T ガイドブック及び I T ベスト事例集, 動画,” [http://www.jta.or.jp/jyoho/ITguidebook/IT\\_guidebook.html](http://www.jta.or.jp/jyoho/ITguidebook/IT_guidebook.html).
- [6] 秋川健次郎, 大江賢治, 實藤政子, “物流センターの改善の進め方がよ〜くわかる本, 秀和システム,” pp.18-19, 2017
- [7] 株式会社 日通総合研究所, “ろじたん,” <https://www.logitan.jp/>
- [8] 多田昌裕, 納谷太, 大村廉, 岡田昌也, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔, “無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法,” 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J91 D No.4 pp.1115-1129 2008/04/01
- [9] 大塚昌太, 佐藤永欣, 村田嘉利, 高山毅, “地磁気・加速度センサを用いた工場でのピッキング作業のモニタリングシステムの開発,” 情報処理学会全国大会講演論文集第 72 回 (ネットワーク pp.521 522 2010)
- [10] 兵頭靖, 小橋武弘, 山中泰介, “IoT 行動センシングを用いた作業分析技術,”  
[https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71\\_05pdf/f04.pdf](https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2016/05/71_05pdf/f04.pdf)
- [11] 田坂晃一, 田中翔, 鶴田三郎, 黒川久幸, “ケースピッキング作業における筋電位と腰の圧力の評価,” 日本物流学会誌第 15 号, pp.97-104, 2007.
- [12] 麻生敏正, 黒川久幸, “スマートフォンを用いた倉庫内作業プローブシステム〜運搬と荷役における作業姿勢の推定可能性〜,” 日本物流学会誌第 21 号 pp.87-94, 2013.
- [13] 荒木彩代子, 池田ななみ, 麻生敏正, “倉庫内作業プローブシステムにおける荷の取り出しと移動に関する一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2016-74, pp.69-74, 2017
- [14] 麻生敏正, 黒川久幸, 上村聖, “倉庫内作業プローブシステムにおける要素作業推定,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J101-D, No.10, pp.1397-1404, 2018
- [15] 警察庁, “平成 29 年の刑法犯に関する統計資料,”  
<https://www.npa.go.jp/toukei/seianki/H29/h29keihouhantoukeisiryou.pdf>
- [16] 国土交通省自動車局安全政策課, “健康起因事故の現状と国の取組について,”  
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03safety/resource/data/r1seminar002.pdf>
- [17] 富士通ソーシャルライフシステムズ, “高齢者向け集合住宅用緊急通報システム,”  
<https://www.fujitsu.com/jp/group/fsls/products/s-service.html>
- [18] セキュリティハウス, “倒れコール,” <https://www.securityhouse.net/location/factory/fall/>.
- [19] Yang Zhenze, Lin Zhengchun, Hong Jiaxin, Zhang Chao, "Research on personal Security

- system of Internet of things," Education and Teaching Forum No. 21, May 2018, pp.103-104, 2018.
- [20] Richard Bellman, "An introduction to the theory of dynamic programming," The Rand Corporation, Santa Monica, Calif., 1953.
- [21] Richard Bellman, "The theory of dynamic programming," Bull. Amer. Math. Soc. 60 (1954), pp.503-515.
- [22] 麻生敏正, "移動検出に基づく要素作業推定," 電子情報通信学会技術研究報告, pp.13-17, 2020.
- [23] 江原義弘, 山本澄子, "臨床歩行計測入門," 医歯薬出版株式会社, pp.34-35, 2016.
- [24] ZHANG JIAJIE, 麻生敏正, 黒川久幸, "トラック運転手のための緊急時通報システム," 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2019-57, pp.7-11
- [25] ZHANG JIAJIE, 麻生敏正, 黒川久幸, "トラック運転手の荷役業務管理システム," 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2020-22, pp.1-4
- [26] Eric Gazoni, Charlie Clark, "openpyxl - A Python library to read/write Excel 2010 xlsx/xlsm files, " <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/>