

作業負担評価システムの開発

畑沢 賢一, 飯田 憲一

Development of the Work Burden Evaluation System

Kenichi HATAZAWA, Kenichi IIDA

抄 録

道内中小製造業においては、床面作業、重筋作業など作業者に負担の掛かる作業形態が多く見られる。加えて労働者の高齢化、労働力の減少が進展しつつある現状においては、生産現場における作業者の作業負担の軽減、無理な作業姿勢の排除が急務となっている。本研究では、作業者の身体的作業負担の軽減、生産性の向上を目的として、作業者の生体情報の測定と作業動作の画像解析により、これまで感覚的にしかとらえることのできなかった作業負担の客観的な判断基準となる定量評価技術を構築した。

キーワード：作業負担，画像解析，定量評価技術

Abstract

In the small and medium manufacturing company in Hokkaido, the workers are faced with the work by floor and excessive physical burden. In addition, the workers are aging and dwindling now, so reducing workburden and eliminating uneasy work posture are necessary urgently for workers.

In this study, the quantitative burden evaluation technology which it was caught sensuously untill now was developed by measurement of the bio-information of the worker and image analysis of the work action in order to reduce the physical work burden of the workers, to improve productivity.

KEY-WORDS : work burden, image analysis, the quantitative evaluation technology

1. はじめに

道内中小企業においては、床面作業、重筋作業など作業者に負担の掛かる作業が数多く見られる。特に、自動化・省力化が容易ではない多品種少量生産形態をとる組立ラインなどでは、労働集約的な作業形態となっている。加えて労働者の高齢化が進展しつつある現状においては、これらの作業形態をとる生産現場における作業者の身体的作業負担の軽減、無理な作業姿勢の排除が急務となっている。

作業者の身体的負担の軽減を目的として、無理な作業姿勢

の排除を行う場合、そのアプローチとして、フィンランドの鉄鋼業における生産現場で発生する作業姿勢の分類を行ったOWAS法(The Ovako Working Posture Analysing System)¹⁾や、長町三生等の負担評価法などの様に「作業姿勢から負担評価を行い、問題点を把握し、改善を図る」²⁾という手法による研究が行われてきた。これらの研究が示すように、生産現場での作業改善を推し進めるための一つの手法として、作業姿勢による負担評価が用いられている。これは、作業現場における作業姿勢の重要性を裏付けるものである。しかし、これらの手法は、ある特定の対象工場にのみ限定された負担評価法であるため汎用性に乏しい、作業姿勢分類の種類数が少ないため正確な負担評価が行えない、ワークサンプリングされた姿勢が再現性に欠けるなどの問題があった。また、「現場から姿勢データを採取して、そのデータを入力すれば

事業名：一般試験研究

課題名：作業負担評価システムの開発

負担度合いが定量化され、改善ポイントが抽出できる」という、システム化された汎用性のあるツールはこれまで存在しなかった。

実際の生産現場で作業改善を行う際に、このようなシステム化されたツールがあれば、作業現場での負担に関する問題点の抽出を容易に行うことが可能となり、さらに、現場で改善を推し進める生産管理担当者や現場監督者にとって、定性的な判断だけでなく定量的な指標を判断材料として提供できるので大きな力になると期待される。

2. 研究目的

本研究では、生産現場における作業者の身体的負担の軽減のために、現場で発生する作業姿勢に対応する身体各部位の筋負担（筋電図使用）から算出された負担指数をデータベース化し、ユーザーが入力する作業姿勢データと出現頻度の照合・計算により作業姿勢の定量的負担評価を可能とし、改善ポイントの指摘および改善後の効果計測に有効に利用できる「作業負担評価システム」の開発を目的とした。

3. 研究方法

研究方法は、1.概念設計、2.調査および実験、3.システムの構築、4.現場への適用と評価の手順で行った。

3.1 概念設計

生産現場において作業改善・工程設計を行う際に必要となる解析項目を洗い出し、

- ・作業者を煩わせることなく、作業姿勢を観察するのみで簡単に負担の度合いを測定できること。
- ・負担度合いの定量化により、改善対象の特定化や効果測定ができること。
- ・多くのユーザーに簡単に利用できるシステムとすること。などの内容を盛り込んだシステムとした。図1にシステムの概念図を示す。

3.2 調査および実験

システム概念設計に基づき、実際の生産現場での調査および作業姿勢ごとのEMG実験（表層筋電図）を行い、作業姿勢、負担の度合いを示す評価指数のデータを収集した。以下に流れを示す。

- (1) 予備調査として労働集約的な作業形態をとる生産現場にて、作業者がどのような作業姿勢をとっているのかビデオ等を用いて調査を行う。
- (2) 作業現場での調査結果を基に、「作業姿勢のコード化」を行う。ビデオから作業の中で発生する各作業姿勢を抽出し、各作業姿勢を身体各部位の組合せでどのように表現す

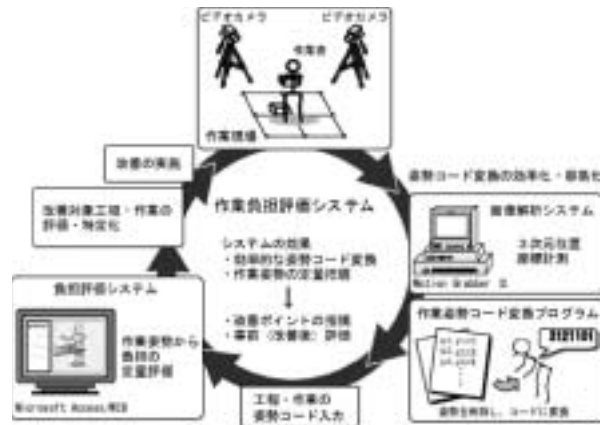


図1 作業負担評価システムの概念図

るか検討し、姿勢コードを決定する。

- (3) 道内の業種別企業数が多い、食料品製造業、金属製品製造業など10数社の生産現場にてワークサンプリングを行い姿勢データを抽出し、作業現場で発生する作業姿勢を明らかにする。(本研究では2,005種類の作業姿勢)
- (4) 2,005種類の各作業姿勢の定量的な負担評価指数を決定するために、各作業姿勢を姿勢コードに基づき再現し、EMG実験と自覚的負担度の測定を行う。その結果から、作業姿勢ごとに負担評価指数を得る。

3.3 システムの構築と評価

作業姿勢ごとのEMG実験から得られたデータを基に負担評価システム、並びに作業姿勢コード変換プログラムの構築を行った。その後、本システムを現場改善に適用し、システムの有効性を検証した。システム構築から適用までの流れは以下の通りである。

- (1) データベースソフトを用いた負担評価システムの構築を行った。これは、生産現場から得られる作業姿勢データと実験室で得られた負担評価指数の2つのデータを基に、プログラム上で照合・計算することによって、作業ごとの負担評価指数の算出とコンピュータマネキンによる作業姿勢を表示する。
- (2) サンプリングされた作業姿勢をコード化する際に、コード表を十分理解しなくても本システムを使用できるように作業姿勢コード変換プログラムを開発した。ハード部分として三次元位置座標計測装置 Motion Grabber II の採用と機器構成を検討し、ソフト部分として装置より出力された身体的位置座標を用いて姿勢コードを算出する。
- (3) 実際の作業現場に本システムを導入して作業姿勢をサンプリングし、得られた負担指数を用いて改善を行い、「作業負担評価システム」の有効性を検証した。

4. 結果および考察

4.1 作業姿勢のコード化

作業現場で撮影されたビデオ画像を用いて現場で発生する作業姿勢のコード化を考え、スナップリーディング法にて作業姿勢を再現できるようにした。作業姿勢は1桁目：上肢，2桁目：腰部，3桁目：前屈（上部），4，5桁目：下肢（膝），6桁目：下肢（足），7桁目：加重（重量・負荷）の7桁のコードで表現できるようにした。表1に本システムで使用する姿勢コード値詳細を示す。

表1 姿勢コード値詳細

桁位置	内容	値
1	上肢	0：両肩0°
		1：両肩前方華上135°
		2：両肩前方華上90°
		3：両肩前方華上45°
		4：片肩135°（右）、片肩90°（左）
		5：片肩135°（左）、片肩90°（右）
		6：片肩135°（右）、片肩45°（左）
		7：片肩135°（左）、片肩45°（右）
		8：片肩90°（右）、片肩45°（左）
9：片肩90°（左）、片肩45°（右）		
2	腰部	1：腰側屈0°
		2：腰側屈30°（右）
		3：腰側屈30°（左）
		4：腰側屈0°，腰回旋30°（右）
		5：腰側屈0°，腰回旋30°（左）
		6：腰側屈30°（右）、腰回旋30°（右）
		7：腰側屈30°（右）、腰回旋30°（左）
		8：腰側屈30°（左）、腰回旋30°（右）
		9：腰側屈30°（左）、腰回旋30°（左）
3	前屈（上部）	1：上体前30°～上体後30°
		2：上体前30°～50°
		3：上体前60°～90°
		4：上体後30°～60°
		5：上体後60°～90°
4.5	膝 （立位もしくは座位・臥位）	00：両膝屈折0～30°
		01：両膝屈折60～90°
		02：両膝付き
		03：両膝付き，90°
		10：片膝0～30°（右）、片膝60～90°（左）
		11：片膝0～30°（左）、片膝60～90°（右）
		12：片膝付 片膝0～30°（右）
		13：片膝付 片膝0～30°（左）
		14：片膝付 片膝60～90°（右）
		15：片膝付 片膝60～90°（左）
		20：しゃがみ
		21：しゃがみ，片膝0～30°（右）
		22：しゃがみ，片膝0～30°（左）
		23：しゃがみ，片膝60～90°（右）
		24：しゃがみ，片膝60～90°（左）
		25：しゃがみ，片膝付き（右）
		26：しゃがみ，片膝付き（左）
		30：両膝屈曲0～30°（右足がラインに乗った場合）
		31：両膝屈曲0～30°（左足がラインに乗った場合）
		32：両膝屈曲60～90°（右足がラインに乗った場合）
		33：両膝屈曲60～90°（左足がラインに乗った場合）
		34：両膝付，ラインに乗った場合
		35：片膝0～30°，片膝60～90°（右足がラインに乗った場合）
		36：片膝0～30°，片膝60～90°（左足がラインに乗った場合）
		37：片膝付 片膝0～30°（右足がラインに乗った場合）
		38：片膝付 片膝0～30°（左足がラインに乗った場合）
		39：片膝付 片膝60～90°（右足がラインに乗った場合）
		40：片膝付 片膝60～90°（左足がラインに乗った場合）
		50：腰下ろし
		51：腰下ろし，片膝60～90°（右）
		52：腰下ろし，片膝60～90°（左）
		53：腰下ろし，両膝60～90°
		54：腰下ろし，両膝，胡座
		60：正座
		61：正座，片膝立て（右）
		62：正座，片膝立て（左）
		63：正座，足崩し（右）
		64：正座，足崩し（左）
		65：正座，這う
		70：椅子，両膝0～30°
		71：椅子，両膝60～90°
		72：椅子，片膝0～30°（右）、片膝60～90°（左）
		73：椅子，片膝0～30°（左）、片膝60～90°（右）
		80：うつむけ
		81：あおむけ
		90：腰下ろし，両膝60～90°，ラインに乗った場合
		91：椅子，両膝60～90°（右足がラインに乗った場合）
		92：椅子，両膝60～90°（左足がラインに乗った場合）
		93：椅子，片膝0～30°（右）、片膝60～90°（右足がラインに乗った場合）
		94：椅子，片膝0～30°（左）、片膝60～90°（右）（左足がラインに乗った場合）
		95：あおむけ，ラインに乗った場合

6	足	1：両足接地
		2：両足爪先立ち
		3：重心の乗っている足が接地
		4：重心の乗っている足が爪先立ち
※4，5桁目が21～25の場合には6桁目はZ		
※4，5桁目が座位・臥位の場合には6桁目はZ		
7	加重 （重量・負担）	0：重量物無し
		1：重量物保持（1kg）
		2：重量物保持（5kg）
		3：重量物保持（10kg）
		4：重量物保持（15kg）
		5：重量物保持（右手 5kg）
		6：重量物保持（左手 5kg）
		7：重量物保持（右手 10kg）
		8：重量物保持（左手 10kg）
		9：重量物保持（右手 1kg，左手 1kg）
		A：重量物保持（右手 5kg，左手 5kg）
		B：重量物保持（右手 10kg，左手 10kg）
		C：重量物保持（20kg）
D：重量物保持（25kg）		
E：物押し（物引き）		
F：蹴り		
G：台車押し		
H：蹴り&押し		

4.2 実験による作業姿勢の定量的負担評価

4.2.1 筋電図（EMG）と自覚的負担度の測定

1つの作業姿勢ごとに、40 sec間のEMG（surface-Electro MyoGraph：表面筋電図）と4段階評価による自覚的負担度の計測を各筋ごとに行った。EMGは、三角筋（前部繊維）、脊柱起立筋（L5）、内則広筋、誹腹筋（内則頭）、前脛骨筋の左右10筋をそれぞれ筋走行に沿ってmotor pointを中心に、電極間距離4cmで双極有線導出し、ポリグラフ（NEC三栄製 BIOELECTRIC AMPLIFIER 4124（336））とコンピュータを用いて各姿勢ごとに計測した。自覚的負担度は、40 sec間のEMG測定後、被験者の主観的な負担度をself rating方式により各被験筋の左右ごとに4段階評価（0～3）でチェックシートに記入した。図2に実験の様子を示す。

4.2.2 EMGの定量化

次に、40 sec間のEMGデータを定量化する解析を行った。定量化は、各作業姿勢ごとに、各被験筋の最大筋力比を求めて行った。本実験では、岡田守彦の姿勢保持における筋負担の方法3）を基に、測定前・後の5 secをカットした、30 sec、1,000 Hz 振幅積分値の平均振幅とその筋の最大発揮時の平均振幅との比（最大筋力比：MMSR）を算出した。



図2 EMGの実験風景

4.2.3 最大筋力比と自覚的負担度との関連性

測定時に実施した各姿勢の各被験筋の最大筋力比と自覚的負担度、ならびに「各被験筋の Total の最大筋力比(MMSR)」と「各被験筋の Total の自覚的負担度」との間に相関が認められた。相関係数は $r=0.61$ であった。相関の有意差検定では n 数が 100 以上のとき $r(100,0.01) = 0.25$ なので、相関は高度に有意といえる。このことは、各被験筋の Total の最大筋力比(MMSR)は、自覚的負担度を十分に反映していると解釈される。作業負担評価指数と自覚的疲労感との相関を図3に示す。

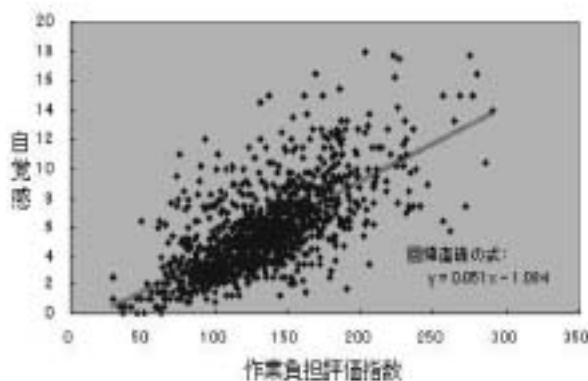


図3 作業負担評価指数と自覚感の相関

4.2.4 負担評価のための定量的評価指数の決定

そこで、本研究での作業姿勢の負担評価指数を「各被験筋 ($m=1,2,\dots,10$) の Total の最大筋力比」に決定した。各作業姿勢の負担評価指数は、以下の式で定義した。

$$(式1) \quad index_k = \sum_{m=1}^{10} MMSR_m$$

$index_k$: 各作業姿勢の負担評価指数

k : 各作業姿勢の負担評価指数の添字

m : 各被験筋の添字

$MMSR_m$: m 番目の被験筋における最大筋力比

4.2.5 負担評価指数に及ぼす作業要因・作業要因の検討

(式1)で定義された負担評価指数を現場で使用する場合、作業者の扱う部品、製品、治工具等の加重ならびに重量物保持に関する作業要因や作業者自身の体格等の個人差、重心、身長・体重に関する作業要因について考慮しなければならない。そこで、これらの影響を把握するための実験を実施した。表2に実験条件を示す。

以上の条件で実験を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 加重の影響では、同一作業姿勢であっても加重が大きくなると負担指数も相対的に大きくなることが認められた。

表2 負担評価指数に及ぼす作業要因・作業要因実験条件

実験項目	検討内容	重さ(加重)	実験姿勢数	被験者数
加重の影響	負荷状態で作業姿勢負担指数を算出する必要性の有・無の解明	【無負荷】何も持たない 【負荷】両手 1kg ずつ	①辛い姿勢 ②やや辛い姿勢 ③あまり辛い姿勢それぞれ 2種類ずつ、合計6種類	1名
重量物保持の影響	10種類の重量物保持姿勢の作業姿勢負担評価指数の算出及びその特質の解明	5 kg 10 kg 15 kg	10 姿勢	4名
筋力の影響	負荷状態で、各作業姿勢ごとに個人間で相関があるかを明らかにする	【負荷】両手1kgずつ	①辛い姿勢 ②やや辛い姿勢 ③あまり辛い姿勢それぞれ 2種類ずつ、合計6種類	10名
重心の影響	重心が作業姿勢負担評価指数に影響を与えるか否かを明らかにする	【負荷】両手1kgずつ	しゃがみ 2 姿勢	10名

また、加重が加わった場合は辛い作業姿勢はさらに自覚的疲労感が大きくなることが明らかとなった。このことから、作業者が工具等を使用している場合は、その加重等を配慮した負担評価指数を使用する必要性が明らかとなった。

- (2) 重量物保持の影響では、重量の増加 (5 Kg , 10 Kg, 15 Kg) に伴い負担評価指数も増加し、実現場作業において重量保持姿勢に対応した負担評価指数の必要性が明らかとなった。すなわち、作業者が重量物を扱う場合はその重さに対応する負担評価指数を使用しなければ正確な評価が出来ないことが明らかとなった。
- (3) 個人差については、しゃがみ姿勢以外は最大筋力比に相関が認められ、個人差がないことが明らかとなった。このことは、本研究での最大筋力比を使用した作業負担評価指数が個人によって影響を受けない一般化可能な指数であることを示している。
- (4) 重心の影響では「しゃがみ姿勢」で影響が認められ、その原因として前脛骨筋の最大筋力比が前に重心を掛けた場合と後に掛けた場合で異なり、前重心にすれば作業負担評価指数へのバラツキの影響が少なくなることが明らかとなった。よって、「しゃがみ姿勢」の作業姿勢負担評価指数は前重心にした指数を使用することとした。

4.2.6 負担評価指数算出実験の実施とデータベース化

これらの検討結果を踏まえて、複数の被験者 (4名) を用いて両手 1 Kg (工具想定) の加重を加えた姿勢と無負荷の

姿勢、それに 5 Kg, 10 Kg, 15 Kg, 20 Kg, 25 Kg の重量物持ち上げ・保持の姿勢、特殊姿勢等、合計 2,005 姿勢の負担評価指数のデータベース化を図った。相関係数は $r=0.68$ (n が 100 以上のとき $r(100,0.01)=0.25$) で、相関は高度に有意と言え、本研究の作業姿勢負担評価指数は作業者の負担感を充分反映しているものと言える。

4.2.7 入力データからの負担評価指数の算出法

本システムでは、「ユーザーからの入力作業姿勢データ」と「データベース化された作業姿勢の負担評価指数」をプログラムで照合し計算することにより、作業や工程の総合的負担評価指数を算出できるようにした。算出式は以下のとおりである。

(1) 各作業の負担評価指数(IW)算出

$$(式 2) \quad IW_i = WR_i \cdot \sum_{j=1}^k (PR_j \cdot index_j)$$

IW_i : 作業 i の負担評価指数

WR_i : 工程 p における作業 i の発生頻度 (%)

i : 作業 i の負担評価指数の添字

k : 作業 i における作業姿勢種類数

j : 作業 i における作業姿勢 j の添字

PR_j : 作業 i における作業姿勢 j の発生頻度 (%)

$index_j$: 作業 i における作業姿勢 j に対応する負担評価指数

(2) 各工程の負担評価指数 (IP) 算出

$$(式 3) \quad IP_p = \sum_{i=1}^n IW_i$$

IP_p : 工程 p の負担評価指数

p : 工程 p の負担評価指数の添字

n : 工程 p における作業種類数

i : 作業 i の負担評価指数の添字

IW_i : 作業 i の負担評価指数

4.3 負担評価システム

本負担評価システムは、データベースソフト Microsoft Access を使用し、各作業・工程の負担評価指数の算出と印刷を可能とした。また、作業姿勢数(入力データ)が多くても使用可能であり、他のアプリケーションソフトとデータの共有を行うこともでき、拡張性の高いものとした。

図 4 は、姿勢入力データから出力結果までのプロセスを示したものである。

本システムは、「生産現場から得られた作業姿勢データ」と「実験によって得られた作業姿勢の定量的な負担評価指数」の 2 つのデータに基づき、これらをコンピュータシステム上

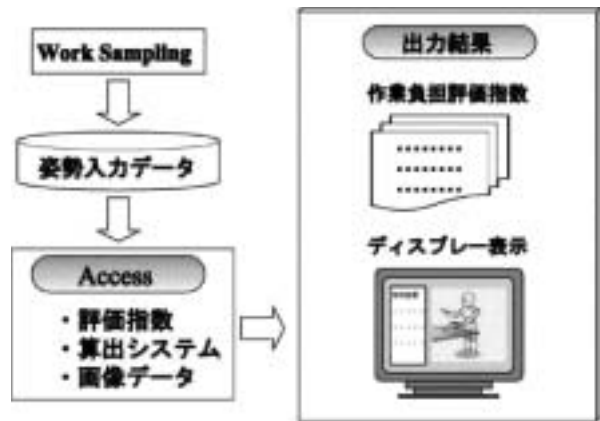


図 4 負担評価システムのプロセス

で照合し計算することにより、各工程・作業における負担評価指数を算出することができる。また、ワークサンプリング時点における作業姿勢をコンピュータマネキンを用いて再現表示することが可能である。さらに、各作業姿勢の負担評価指数、各被験筋ごとの最大筋力比、各被験筋ごとの自覚的負担度も画面面上に表示することを可能とした。図 5 に、システムの入力画面、図 6 に結果の出力画面を示す。



図 5 入力画面の一例



図 6 評価結果の画面表示例

4.4 画像解析装置を利用した姿勢コード化システム

本評価システムをより有効に現場改善に役立たせるためには、現場のユーザでも簡単に利用できるよう、作業姿勢コード変換の容易化、効率化、正確化を計る必要がある。これら問題を解決するため画像解析を利用して作業姿勢のコード化を行う、「画像解析システムを利用した作業負担評価システム」の構築を考えた。

4.4.1 画像解析から指数算出までの流れ

画像解析システムから作業負担評価指数算出までの手順及びデータの流れは図7に示すようになる。

考案したシステムでは、まず、校正計測対象、作業への反射マーク貼付け等の機器の準備を行い、現場作業を撮影する。次いで、撮影したビデオテープを画像解析システムを用いて、校正係数の算出、解析に必要な条件設定、デジタイズを行い、3次元座標データを作成する。次に作業姿勢コード変換プログラムでスティックピクチャーの描画、角度計算を行い作業姿勢コードに変換し、ファイルを作成する。最後に負担評価システムに作業姿勢コードを入力し、作業姿勢負担評価指数を算出するという流れとなる。

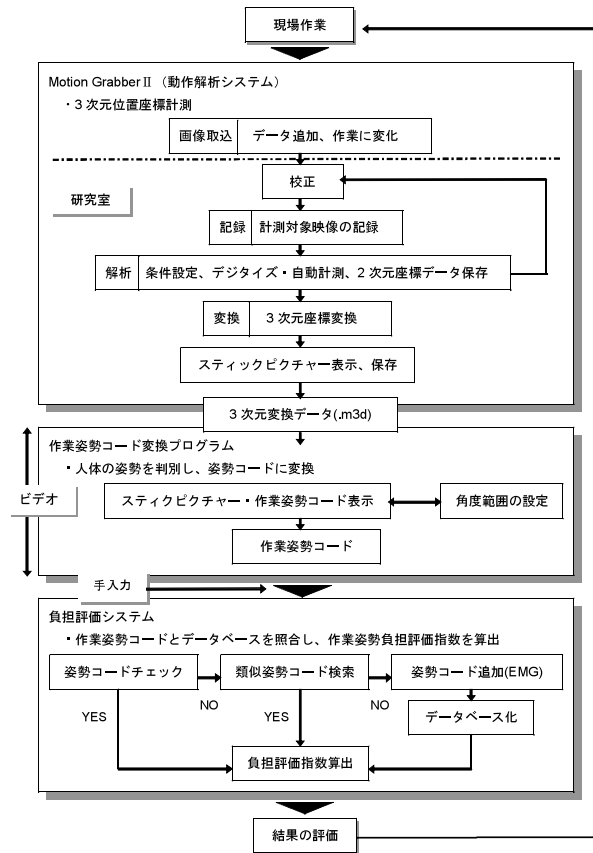


図7 手順およびデータの流れ

4.4.2 3次元位置座標計測システムの構成

画像解析ハードシステムとして採用した Motion Grabber II は、2台のカメラから撮った画像間の対応関係から三角測量の原理で物体の3次元形状を計算するものであり、画像から3次元情報を抽出する手法として最も基本的な手段の一つであるステレオ視（または立体視）の原理を利用したシステムである。画像解析システムには、回転する動きや複雑な動きも見失うことなく計測することができる4カメラシステムによる3次元計測もある。しかし、本研究では、実作業姿勢を作業姿勢負担評価システムで利用する作業姿勢コードに変換する事が目的である。4カメラシステムについての解析に要する時間、設備購入費用、限られた現場領域での設置を考慮すると、2カメラシステムで支障なく作業姿勢のコード化が図れるものと考えた。システム構成を図8に示す。



図8 システム構成図

Motion Grabber II システムはビデオカメラ2台、モニターテレビ、ビデオトラッカ、3次元計測装置本体、ビデオレコーダー、ホストコンピュータで構成されている。一回当たりの取込み画像は、メモリ制約上384姿勢、取込み間隔は1/60~240/60 secの可変式である。取込み画像の位置の検出と追跡をつかさどる3次元計測装置本体は、ホストコンピュータによって制御されている。両者の間のデータのやり取りは、GP-IB インターフェースを介して行われる。対象となる人体の各部位の位置は、二値化画像における輝点から求められる。即ち、演算処理によって求めた輝点の図心を、対象となる人体の各部位3次元座標とみなす。これらシステムの制御は、Motion Grabber II 専用画像解析ソフトウェアによって行われる。

本研究では、Motion Grabber II により求められる3次元座標データを基に、作業姿勢のコード化を図ろうとするものである。

4.4.3 姿勢コード化プログラム

画像解析システムの Motion Grabber II により3次元計測された人体の姿勢データを判別し、作業姿勢コードに変換す

るプログラムを作成した。図9に本変換プログラムの構成を示す。

本変換プログラムは、3次元座標からスティックピクチャを描画する部分と作業姿勢コード算出のために人体の各部位の角度計算及び作業姿勢コードを決定する、2つの計算部分で構成されている。スティックピクチャ描画部は、実作業姿勢や、算出した作業姿勢コードとの整合性を見るために描画している。また、スティックピクチャによって現場作業の一連の動作を時系列に表示することができる。角度計算部は、既存の作業姿勢コード表との整合性がとれるよう角度範囲の条件設定を行い、定量的な角度範囲からコード化を図っている。そして、負担評価システムとリンクさせるため、テキスト形式で作業姿勢コードファイルを作成する様にしている。本変換プログラムは、Borland社のC++Builderを用いて作成した。

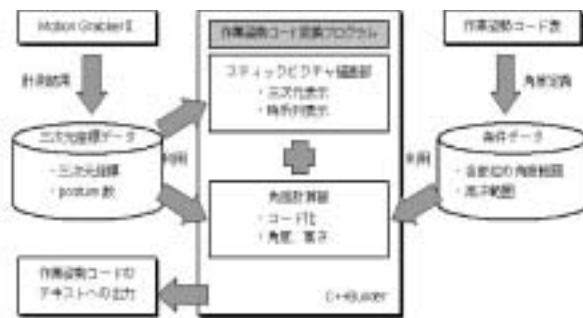


図9 作業姿勢コード変換プログラムの構成

4.4.4 身体各部位の角度・高さ算法

図10に示すスティックピクチャを用いて、作業姿勢コード算出のための角度計算の考えを示す。

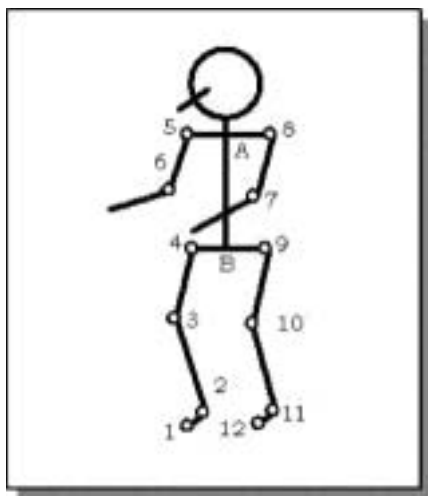


図10 人体の各部位に対応する番号

- ① 肩の midpoint を A、腰の midpoint を B、腰の線(4-9)に垂直な面を C とする。
- ② 上肢の背骨に対する腕の角度は、背骨の線(A-B)と腕の線(右腕5-6, 左腕8-7)との角度[0~180°]となる。
- ③ 腰部の側屈の角度は、Cと背骨の線(B-A)との角度[0~90°]、回旋の角度は、背骨の線(B-A)に垂直な面に、肩の線(5-8)と腰の線(4-9)を射影したときの角度[0~180°]となる。
- ④ 上体の前屈の角度は、Cと腰の線(4-9)を含む床面に垂直な面との交線と、背骨の線(B-A)をCに射影した線との角度[-180~180°(前方为正)]となる。
- ⑤ 下肢の右膝の角度は4-3と3-2との角度、左膝の角度は9-10と10-11との角度[0~180°]、右かかとの角度は3-2と2-1との角度、左かかとの角度は10-11と11-12との角度[0~180°]となる。また、腰の中心・膝の高さは、それぞれのZ座標の値[mm]となる。
- ⑥ 足先のかかと・足先の高さは、それぞれのZ座標の値[mm]として算出するようにした。

上記方法によって得られた各部位の角度と高さからコードを算出するには、作業姿勢コード値との整合性がなければならない。そこで、作業姿勢コード値の各部位ごとに条件の比較を行い7桁のコード算出を行っている。図11に、姿勢コード化プログラムの表示例を示す。

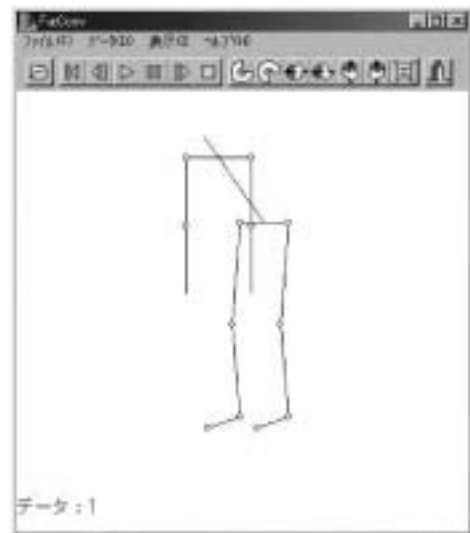


図11 姿勢コード化プログラムの表示例

4.4.5 実作業姿勢との整合性の検討

本研究で作成した変換プログラムの有効性を検証するため、実作業姿勢と変換後のデータの整合性の検討を行った。上半身と下半身に分け、上半身14種類、下半身25種類の作業姿勢を撮影し、変換後データとの比較を行った。いずれの結果も整合性が得られている。

図12に、上半身の実作業姿勢とデータ変換プログラムによるスティックピクチャと出力された作業姿勢コードを示す。実作業姿勢は、腕を下ろし、腰を回旋させた姿勢である。この作業姿勢のコードは、0510010に相応する。

本変換プログラムを使用して算出した、作業姿勢コードは0510010となり、整合性が得られている。

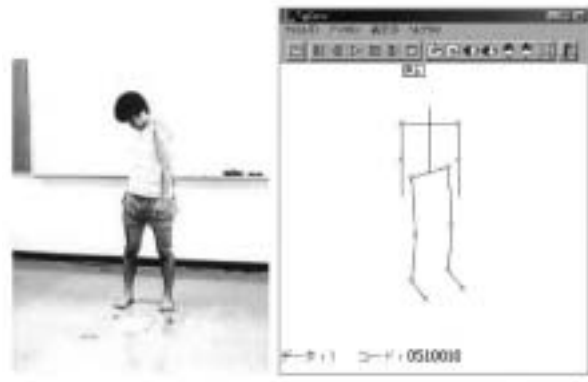


図12 実作業姿勢とスティックピクチャ

4.5 生産現場へのシステムの適用と評価

実際の現場作業に対して本研究で構築した「作業負担評価システム」の適用を試みた。

表3 負担指数算出結果

作業名	作業負担評価指数
スポット溶接作業	102.89
ウレタン注入準備作業	113.57
金型準備作業	125.89
ウレタン注入作業	125.14
端材取り作業	107.68
型枠持ち上げ	159.17
箱詰め作業	156.61

適用した現場は、牛用給水器製造ラインを構成する作業の改善に対して使用した。ラインは、①スポット溶接作業、②ウレタン注入準備作業、③金型準備作業、④ウレタン注入作業、⑤端材取り作業、⑥型枠持ち上げ、⑦箱詰め作業から構成されている。その結果、表3に示すように対象としたラインを構成する7つの作業の作業負担評価指数は、102.89～159.17ポイントの範囲にあり、自覚感と指数の関係から「作業負担評価システム」が改善を推奨している120ポイント以上の作業は4つ存在することが明らかとなった。これらのことより「改善の計画」段階における負荷の定量化と改善対象作業の

特定化に対し「作業負担評価システム」の有用性が確認された。

5. まとめ

本システムは、工程・作業の負担評価指数の算出を可能とし、それに基づく改善ポイントの指摘に極めて有効であることが明らかとなった。また、実際の様々な生産現場で作業改善を行う際に、このようなシステム化された汎用性のあるツールを用いることにより、生産現場での問題点の抽出を容易に行うことが可能となる。さらに、現場での作業改善後、再度、改善後の現場をワークサンプリングして作業姿勢データを採れば、実施した改善の有効性を実証するためのツールとしても利用することが可能である。

今後は、使い易さの向上のためにインターフェイス部分の改良とデータベースの拡充を行い、現場改善の技術支援に役立てる予定である。

引用文献

- 1) P. Oja and I. Kuorinka, A Method for Assessing Postural Stress in Industry, Stress Work Design and Productivity, 1981
- 2) 長町三生他, ダイキン工業における職務再設計, 高年齢者雇用開発協会, 1983
- 3) 岡田守彦, 姿勢保持における筋負担, 第1回姿勢シンポジウム講演論文, 1971