

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 18 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2012

課題番号：21510149

研究課題名（和文） 作業負担評価のための操作力データベース構築

研究課題名（英文） Development of handling force database for workload evaluation

研究代表者

瀬尾 明彦 (SEO AKIHIKO)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・教授

研究者番号：80206606

研究成果の概要（和文）：機器を操作する際の身体負担を適切に評価するには、操作力のデータが必要になる。しかし操作力は、人の動作に高い自由度があるために、設計値どおりに発揮されるわけではない。そこで本研究では、主要な操作場面での実際の操作力を収集したデータベースを構築して人間工学的評価の実施に貢献できるシステムを構築した。操作力データベースの概念の整理と実データの収集、およびデータベースを利用した評価システムの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：Handling force data are essential for the ergonomic physical workload evaluation. However, the magnitude and direction of handling forces under certain conditions are not unique because the human motions have many degrees of freedom. The purpose of this study is to develop a database system that contains major types of handling force data and a system that contributes to the reduction in the analysis time for ergonomic evaluation. The basic concept of a force database and an outline of an application using the database system were introduced.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：経営工学，人間工学

1. 研究開始当初の背景

昨今のものづくりの現場では、新製品の開発期間の短縮と迅速な市場への製品投入を推進するため、開発初期の CAD 図面段階でその製品の操作性や生産性を検討するデザインレビューの手法が利用されている。デザインレビューでは、PC 上の 3 次元グラフィックスで製品を表示し、組み立て手順の確認、工具と部品との干渉チェック、人の作業性と

身体負の担評価などが行われる。人の身体負担では、その作業により人が腰痛や筋肉痛にならずに安全に作業できるかがチェックされる。その手法としては、OWAS 法や RULA などがよく利用される。しかしこれらは作業姿勢や取り扱い物重量などを目視でコード化して評価するため細かい評価ができない。それを補うのが、身体の筋骨格系構造を力学的なモデルで表して評価するバイ

オメガメカニカル解析の手法である。この方法では、作業姿勢と手にかかる操作力のデータから、身体各関節のモーメントや腰部の椎間板にかかる力（腰部椎間板圧縮力）を推定し、それにより上肢負担や腰部負担などの身体負担を評価する。バイオメカニカル解析には、姿勢データと操作力データが必須である。姿勢データについては、最適化手法等を使用した自動生成法や実際の人の動作をモーションキャプチャシステムで収集したモーションデータベースが整備されつつある。これに対して操作力のデータは簡便に利用できるデータベース等がなく、これが使用上の大きな制約になっている。

操作力はベクトルデータであり、その大きさと作用方向の両方を常に考慮しなければならない。操作力のうち、荷物運搬のように取り扱い物が周囲の拘束を受けない条件での操作力の大きさと方向は、荷物の質量と動作による加速度とから簡単に推定できる。これに対し、ドアや引き出しのように取り扱い物の移動が蝶番やサイドレールなどで制約を受けている場合は、単に水平に押し引きすれば最低の操作力で操作できる場合でも実際の人が操作するとやや斜めの方向に押し引きすることがある。操作力の大きさも、適切な作業スピードを得るために、本来必要な操作力よりも大きくなる。

このように実際の人の操作力を得るには操作力の実測が必要である。しかし操作力の実測は、取り扱い物にロードセルや6軸力覚センサを取り付けたモックアップを作成する必要があり、簡便なものではない。これらのことより、実測した操作力をデータベースとして整備し、汎用的に利用できる環境を新たに整備することはきわめて重要である。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて本研究では、①操作力データベースの設計とそのデータを得るための計測システムの構築、②構築したシステムを使用した操作力データの収集、③操作力データベースを実際に利用するシステムの開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 代表的な操作力の発揮場面の選定とそれに影響を与える要因の選定：操作力が発生する場面は無数にあるが、ニーズが高いデータを確実に収集し、かつ期間内に確実に研究成果を上げるため、頻度の高い適用場面を事前に選定する。本研究で構築する操作力データベースでは、ある作業での操作力の大きさとその方向の時間的変化をデータベース化することを目指す。その際、操作力の大きさと方向に影響を与える要因を、文献等を参考に選別を行う。

(2) 計測システムの構築：上記の検討をふまえて計測システムを構築する。操作力の測定に必要な6軸力覚センサのデータを計測して記録できるシステムを構築する。必要に応じて、作業姿勢・動作との関係を同時に記録するためのモーションキャプチャシステムとの同期や操作の開始と終了が同時に記録できるようにする。記録データを管理するために、操作力データベースの管理システムの基本ソフトを作成する。

(3) 操作力データの収集：上記の計測システムを利用し、いくつかの操作場面をモデル的に設定して操作力データを収集する。いずれも、6軸力覚センサや接触センサを取り付けたモックアップを作成する。

(4) 操作力データベースの利用システムの試作：操作力データベースの具体的な使用方法としては、①操作力種類の選択→②操作条件パラメータの選択→③出力条件の選定（平均値・ピーク値・経時的データのいずれか）→④結果出力という手順で利用することを想定している。そこで3次元のバイオメカニカル解析が可能なデジタルヒューマンモデル（以下、DHM）に操作力データベースを利用する機能を組み込み、その利用可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 対象とする操作力の発揮場面とその要因の抽出：無数にある操作力発揮場面の中から生産場面および日常生活において代表的な操作力発揮場面を選定し、それらを操作の性質ごとに分類を行った。図1に家電製品での操作場面の分類とその際の手の形を分類した結果を示す。操作に関わる要因としては、表1に示すように、①人的要因（操作する人の要因）、②物的要因（操作対象物の要因）、③環境要因（操作する場所の要因）に分類される。図2は、6軸力覚センサからの操作力と同期信号などのデータを計測するシステムのデータを管理するデータベースシステムの試作版である。

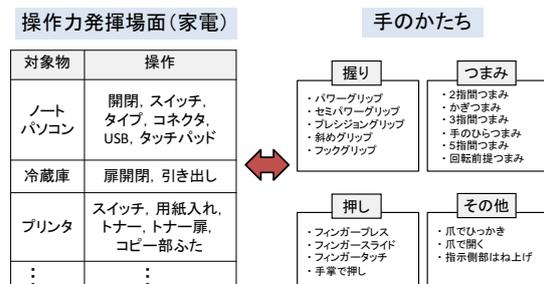


図1 操作力の発揮場面と手の形

表 1 操作力の影響因子

人的因子		物的因子	環境因子
固定要因	変動要因		
年齢	手の姿勢	物品名	足場
性別	作用点	寸法	作業スペース
身長	握りの方向	回転中心	明るさ
体重	作業姿勢	作用点	設置位置
	可視性	質量	
		必要操作力	
		必要操作方向	
		必要操作種類	
		慣性行列	

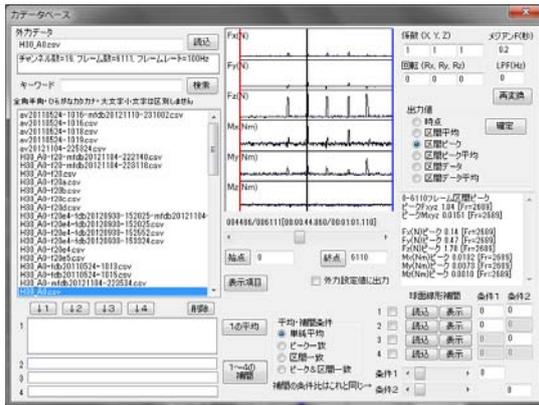


図 2 操作力データベースシステム

(2) 各種操作場面での操作力測定

①引き出しの操作力：本実験は、引き出しの操作力データを収集し、その設置位置の影響および操作性との関係を明らかにすることを目的に行った。実験には市販のファイルキャビネットを加工したモックアップを使用し、健康な被験者 10 名を対象として実験を行った。実験条件は引き出し設置高さ 3 段階、引き出しに対する角度 3 段階の計 9 条件とし、開閉力 20N で引き出ししてもらった。操作力は 6 軸力覚センサで測定し、あわせて姿勢計測、筋電図計測、主観的な作業性と負担感を調査した。操作力の結果を図 3 に示す。図のように操作力は、肘高・正面の位置から肩峰高にかけて操作力が小さく、手首高で大きかった。肩峰高においては主に肘関節の屈曲のみで開閉動作を行ったため、取っ手に対して開閉方向以外の力がほとんど作用しなかったためと考えられる。手首高においては、取っ手を上に持ち上げるように操作したために高い操作力になったと考えられる。また作業のしやすさと負担感の大きさについては、筋電図の結果より、上肢の各関節への負担から強い影響を受けることが明らかとなった。

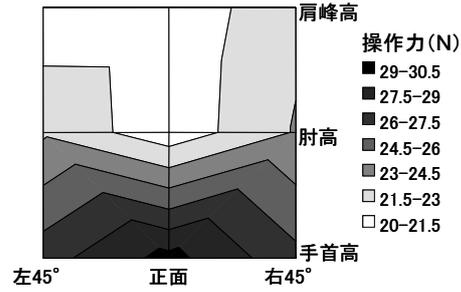


図 3 引き出し操作力と位置の関係

②プッシュスイッチ押し動作の操作力データの収集：指先での押し操作という位置付けのもと、家電製品などのプッシュスイッチ押下時の操作力を実測した。具体的には、実験条件として、プッシュスイッチの設置高さを身長比の 30%から 80%まで 10%ごとに 6 条件、操作面の角度を水平から垂直までの範囲で 5 条件とし、計 30 条件で計測を行った。そして、プッシュスイッチの設置位置が操作力の向きと大きさに及ぼす影響を調べた。また、操作力と関節への負荷及び主観評価の関係を調べた。その結果図 4 に示すように、プッシュスイッチの設置高さが低いと操作力が大きくなること、面角度が水平に近いと操作力が大きくなることが明らかとなった。また、操作力の大きさと主観的な操作性が必ずしも一致しないこと、操作姿勢が大きく変化しても最大操作力は 1 N 程度の範囲内で推移することが示された。

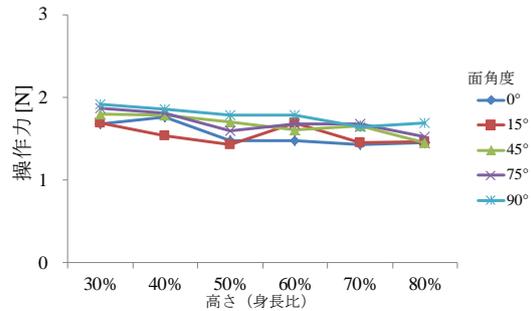


図 4 スイッチ操作力と高さ・面角度の関係

③ねじ締め操作力：本実験は、手持ちドライバ使用場面に着目し、ねじ締め作業時の操作力データの収集と、それに作業面高が及ぼす影響を明らかにすることを目的に行った。ねじ締めを行う作業台の高さ 4 種類を実験条件として、センサが組み込まれた装置に手動ドライバを用いてねじを締結するという作業を 10 名の被験者に行うよう指示した。測定したねじのサイズは M4 で、トルクは標準締め付けトルクの 1.5 Nm とした。操作力は 6 軸力覚センサをナットのほうに固定して測定した。操作力のうちドライバからねじにか

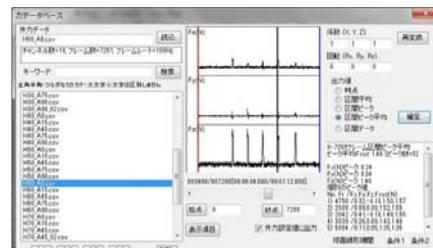
かる押し込み力の成分（押圧力）に特に着目した。また、筋電図、作業姿勢、主観的な負担感及び作業のしにくさも併せて記録した。その結果、押圧力作業面高によらず 5 N 前後でほぼ一定であった。しかし、目の高さの条件においては筋電図と主観的負担感が最も大きくなり、上肢挙上が作業者に与える影響が大きいことが示された。

④手すり使用時：様々な場面で頻見される手すりを対象に、手すり操作力の実測を行った。日常生活場面に多い座面 400 mm の椅子と産業場面に見られる座面 200 mm の作業用チェアを想定した条件で、それぞれ手すり位置が変化した場合の操作力を実測した。手すり位置は椅子の前面からの距離を 150 mm, 250 mm, 350 mm とした。そして力覚センサや床反力計、筋電図などの装置を組み合わせた実験系を構築し、操作力が身体負担に及ぼす影響を考察した。その結果、座面の低い椅子では操作力が大きくなり、特に鉛直方向に引く力が大きくなることがわかった。座面が低くなっても鉛直方向の床反力は変化しなかったことから、手すり操作力の増減によって鉛直方向への移動を補助する傾向が確認された。このことから、起立動作時の身体負荷推定時に正確な手すり操作力データを用いることの重要性が示唆された。さらに手すり位置の影響として、手すりが椅子に近いと鉛直方向への操作力が大きくなり、手すりが椅子から遠いと前後方向への力が大きくなることがわかった。操作力の変動は最大で 30 N 程度、筋電図の結果から上肢の筋負担は 10%MVC 程度増加することがわかった。この結果から、身体負荷演算において手すり位置に応じた適切な操作力ベクトルを与えることで、身体負荷推定精度の向上が見込まれる。

(3) 収集した操作力データのデジタルヒューマンモデルへの利用：操作力データの簡便な利用場面を想定し、まずは所定の作業条件間の比較が可能なシステムを構築することとした。そのため、経時的データから指定された区間でのピーク値や複数の試行による複数のピーク値の平均を求める機能を開発した。また、収集した力データの符号や方位は統一できるのが理想であるが、前項までの実験より、操作力データを実際に測定する場面では、ロードセルの固定上の制約、操作部を持つ実測用のモックアップの制約、測定するデータの確認の制約などにより、力の方角を一定にすることは困難なことが判明した。そのため、データベース側にデータの符号反転や回転処理の機能を組み込んだ。操作姿勢は、モーションキャプチャで得た姿勢データをそのまま使用すると、手や指の位置が操作部にうまく一致しないので、人の実際のリーチ

動作での姿勢を実測し、それを補間して基本的な姿勢を生成し、そこから上肢に IK（逆運動学）を適用して手の位置や方位を一致させる方法を採用した。以上の処理で得られた各作業場面での操作力と姿勢のデータを DHM のスクリプトで処理し、各条件の操作力と姿勢を順次設定して生体力学的モデルで解析し、評価値をテキストファイルに出力できるようにした。以上の操作力データベースを活用できるシステムでスイッチ操作などの操作場面での評価に試験的に利用し、その結果、図 5 に示すように操作力データから評価までの手順を取るシステムにより、各作業場面間の比較に操作力データベースが簡単に利用できることが確認できた。

(a) 操作力データベース



(b) 操作力の確認



(c) スクリプトでの操作力利用



(d) DHM による評価値計算



(e) 評価値のグラフ化



図 5 操作力データベースと DHM との連携による簡易評価システム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 菅間敦, 岩本直樹, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 座面の低い椅子からの起立動作に対する手すりの負荷分散効果に関する研究, 日本経営工学論文誌, 査読有, Vol. 62, No. 5, pp. 213-221, 2011
- ② 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 山口眞美子, 上肢挙上を伴うねじ締め作業時の作業面高が筋骨格系負担に及ぼす影響, 人間工学, 査読有, Vol. 46, No. 3, pp. 223-229, 2010
- ③ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 引き出しの操作性と上肢負担の関係, 人間工学, 査読有, Vol. 46, No. 1, pp. 37-43, 2010

[学会発表] (計 7 件)

- ① 瀬尾明彦, 菅間敦, 操作力データベースを利用した身体負担推定法, 日本経営工学会 平成 24 年度秋季大会, pp. 86-87, 2012 年 11 月 17-18 日, 大阪工業大学, 大阪府
- ② Sugama A, Seo A, Development of handling force database for physical ergonomic evaluation, Proceedings of the 11th International Conference on Industrial Management, pp. 159-163, August 29-31, 2012, Tokyo, Japan
- ③ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 実測データによる身体負荷推定のための操作力データベース構築, 日本経営工学会平成 23 年度春季大会, 2011 年 5 月 28-29 日, 愛知学院大学, 愛知県
- ④ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 低位置でのスイッチ操作力の特性, 日本人間工学会第 51 回大会, 2010 年 6 月 19-20 日, 北海道大学, 北海道
- ⑤ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 人間工学的負担評価のための操作力データベース構築に関する基礎研究, 日本経営工学会平成 22 年度春季大会, 2010 年 5 月 15-16 日, 日本大学経済学部, 東京都
- ⑥ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 上肢を挙上したねじ締め作業が筋骨格系負担に及ぼす影響, 日本人間工学会第 39 回関東支部大会, 2009 年 12 月 4-5 日, 武蔵野大学, 東京都
- ⑦ 菅間敦, 瀬尾明彦, 土井幸輝, 引き出し操作時の上肢負担評価, 第 8 回情報科学技術フォーラム, 2009 年 9 月 2-4 日, 東北工業大学, 宮城県

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬尾 明彦 (SEO AKIHIKO)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・教授

研究者番号: 80206606

(2) 連携研究者

土井 幸輝 (DOI KOUKI)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・助教

研究者番号: 10409667

茅原 崇徳 (CHIHARA TAKANORI)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・助教

研究者番号: 00582967

(3) 研究協力者

菅間 敦 (SUGAMA ATSUSHI)

首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・博士後期課程