

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 5 月 7 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560126

研究課題名（和文）

生産工場の生産性と安全性の両立を目指した高齢者デジタルビヘイビアモデルの開発

研究課題名（英文）

Development of elderly digital behavior model for compatibility of productivity and safety at factory

研究代表者

川野常夫 (KAWANO TSUNEO)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：90152983

研究成果の概要（和文）：生産工場における高齢者のデジタルビヘイビアモデルの開発を目的として、作業者の特性値に基づいた作業負荷の定量化、荷役作業姿勢に基づいた腰痛予測システムの開発、長時間作業において下肢に現れる生理的变化に基づいた下肢疲労評価モデルの開発、およびヒューマンエラー発見システムの開発を行った。これらは生産工場の生産性と安全性にかかわる新しい技術であり、高齢社会に貢献する技術であるといえる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop elderly digital behavior model in a factory. The details are as follows: (1) Quantification of work load based on the characteristics of worker, (2) Development of prediction system for low back pain from working posture, (3) Evaluation model of fatigue on lower leg based on physiological variation with the leg in prolonged work, (4) Development of human error finding system. These are the latest methods regarding productivity and safety at factory and are expected to contribute to the aged society.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	300,000	90,000	390,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，生産工学・加工学

キーワード：生産モデリング

1. 研究開始当初の背景

わが国の高齢化率（65歳以上の人口比率）は2009年9月時点で22.7%に達したが、既に2007年の前半には7の倍数の21%を超え、世界の先頭を切って、いわゆる「超高齢社会」を迎えた。2006年4月に施行された改正高齢者雇用安定法では企業にとって65歳まで雇用を確保することが義務化となり、さら

に内閣府では、平成19年度(2007年度)から、「70歳まで働ける企業」推進プロジェクトが立ち上げられた。

しかしながら、一般的に心身機能の低下した高齢者を雇用するには、設備投資や人件費などの費用がかかる上に、生産性や安全性に問題があるため、企業は高齢者の雇用に対して積極的でないのが現状である。

2. 研究の目的

生産工場において高齢者が安全に安心して働ける生産システムを設計し評価するための「高齢者デジタルビヘイビアモデル」を提案し、作業者の特性値に基づいた作業負荷の定量化、荷役作業姿勢に基づいた腰痛予測システムの開発、長時間作業において下肢に現れる生理的変化に基づいた下肢疲労評価モデルの開発、およびヒューマンエラー発見システムの開発を行った。

3. 研究の方法

(1) 生産ラインにおける作業負荷の定量化

実際の生産ラインにおける作業者のビヘイビアとして「取扱い重量」、「取扱い個数」、「昇降高さ」、「部品選択肢」、「微小・薄物取付」など 14 項目を取り上げ、高齢者の体力測定、実作業能力測定などに基づき、60 歳以下および 65 歳以下の作業者にとって適正な基準値を求めた。実際の生産ラインにおける作業が 65 歳以下の基準値以下であれば、「負担なし」すなわち、0 点と定量化する。60 歳以下の基準値以下であれば負担を 0.5 点とする。60 歳以下の基準値と生産ラインに存在する各項目の最大値との間を 2 等分し、低い方から 1 点、2 点とし、最大値を超える値を 3 点とする。これらの点数を労働負担点数と呼ぶ。

以上の定量化により、高齢者の実際の作業を評価し、合計点、すなわち労働負担総評価点を求める。これらの処理をデジタルヒューマン Jack (Siemens 社) で表現し、労働負担総評価点の棒グラフを描く。その値が 2 点以上 5 点未満のとき棒グラフを黄色表示とし、5 点以上のとき赤色表示とする。

(2) 腰痛予測システムの開発

生産工場において安全と生産性に関する重要なものとして作業者の「腰痛」の問題がある。ここでは作業者のビヘイビアとして、実際の作業姿勢を評価し、腰痛発生の危険性についてカウンセリングを行うことのできるツールの開発を目的とする。具体的にはモバイル性に富むタブレット PC を用い、現場の作業姿勢を内蔵カメラで撮影してタッチディスプレイ上に表示し、表示された身体の関節点や端点を順に指でタッチすることにより 2 次元人体リンクモデルを形成する。次に第 4、第 5 腰椎 (L4/L5) の椎間板まわりの力学的釣合い方程式を解くことによって椎間板圧迫力を推定する。その推定値を米国立労働安全衛生研究所 (NIOSH) の基準値と照合し腰痛発生の危険性があるか否かを判定する。これを用いることによって現場作業者の姿勢に関して改善指導を容易に行うことができる。

(3) 下肢疲労評価モデルの開発

自動化や機械化の進んだ生産工場においても、組立ラインに代表されるように、人手に頼らざるを得ない工程は依然として存在し、活動性に優れた立ち作業が中心となっている。長時間の立ち作業の後、ふくらはぎの腫脹やうっ血などが生じること、むくみ量が主観的疲労感と相関があること、さらに、ふくらはぎは第二の心臓と呼ばれるように筋ポンプ作用があるが、長時間静止状態が続くと深部静脈血栓症 (エコノミークラス症候群) を誘発する。

ここではビヘイビアとして静止立位の実験を行って、ふくらはぎ皮下の赤血球分布やふくらはぎの皮膚温の定量化を試みる。

赤血球分布は採血して撮影した顕微鏡画像の歪度、尖度をもとに赤血球の凝集度を求める方法を提案する。皮膚温についてはサーモグラフィを用いて、作業開始前に対する相対皮膚温を求める。

(4) ヒューマンエラー発見システムの開発

生産工場における安全性と生産性にかかわる重要なものとして、ヒューマンエラーがある。ヒューマンエラーが予測できれば問題はないが、過去の統計から予測することが困難であることがヒューマンエラーの特性であるといつて過言ではない。

ここでは、今までに起こったことのない事故を前もって予測することのできるヒューリスティックな方法の開発を行う。新しい事故は過去の事故やその場所や物の関連性によって発生する。そのため事故を予測するために物、人間の動作、人間の正常基本動作と異常基本動作を文字列によって組み合わせることで新たな事故を予測する方法を開発する。また限られた空間の中で人間と物が干渉して発生する事故を予測する方法、および空間スキャナによる事故事例検索によって実世界の空間の過去の事故事例を検索して予測に用いる方法を提案する。

まず、「工場内事故予測ソフト」では作業者の動作と作業者がしてはいけない動作のあらゆる組み合わせが出力される。加工作業、防具、怪我などを文字列で設定した。文字列のあらゆる組み合わせ結果から、作業しているときにどのようにして怪我が発生するのかを予測できる。

「活動空間干渉チェック事故予測ソフト」では、簡易人体リンクモデルにあらゆる動作を行わせ、周囲の物体との干渉をチェックする。干渉箇所は物理的に衝突の可能性がある、それによる負傷が予測できる。

「空間スキャナ事故事例検索システム」では、CCD カメラを用いて空間をスキャンすると、各物体に貼られた認証マークを読み取り、過去の事故例や予測される事故例が PC に表示される。これにより専門家でもなくとも

予測が可能となる。

4. 研究成果

(1) 生産ラインにおける作業負荷の定量化

表1に高齢作業員の労働負担を定量化した結果を示す。ランク a は 60～65 歳の高齢者にとって負担のない作業基準と負担点数を、b は 50～60 歳にとって負担のない作業基準と負担点数を示す。図1は、各評価項目について評価を行い、労働負担総評価点を棒グラフで可視化した例である。これにより高齢者にとって過負荷であるか否かが評価できる。

(2) 腰痛予測システムの開発

図2に本研究で開発した腰痛予測システムにより腰痛判定を行った例を示す。これは若年者の例であるが、荷物が 10kg の通常の姿勢では腰痛の可能性はないが(a)、腕を前方に伸ばすと可能性ありと判定される(b)。また荷物が 20kg になれば腰痛の可能性ありと判定されている(c)。本システムでは、年齢、性別の違いによる判定が可能となっている。

(3) 下肢疲労評価モデルの開発

30 分間の立位姿勢を維持したときの赤血球凝集度を図3に示す。歪度、尖度のいずれの定量化についても 30 分後に有意に増加していることがわかる。図4にはサーモグラフィによるふくらはぎの温度変化を示す。30 分後は有意に低下していることがわかる。なお、脚を水平に伸ばして寝た状態では、30 分経過後も温度は低下しないことを確認した。以上から、赤血球凝集度および皮膚温により作業負荷を評価するモデルが構築できた。

(4) ヒューマンエラー発見システムの開発

図5に工場内事故予測ソフトの実行例を示す。加工作業と防具、怪我のあらゆる組み合わせが表示されている。の中には実際にはあり得ない事象が含まれるが、安全性を検討するときには、それさえも考慮すべきであると考えられる。図6には活動空間干渉チェック事故予測ソフトの実行例を示す。これは机と椅子に囲まれた作業員の例を示している。これにより身体の中の部分が周囲の何と衝突する可能性があるかが発見できる。図7には空間スキャナ事故事例検索システムの使用例を示す。この場合も机と椅子を対象にして、その場所で起こりうる事故例が表示されている。これは思いがけない事故の認識に役立つものである。

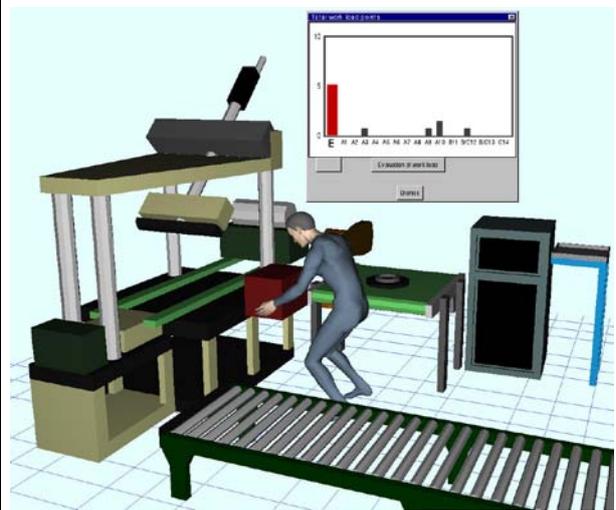
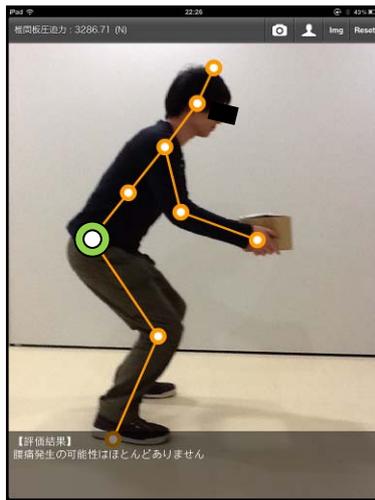


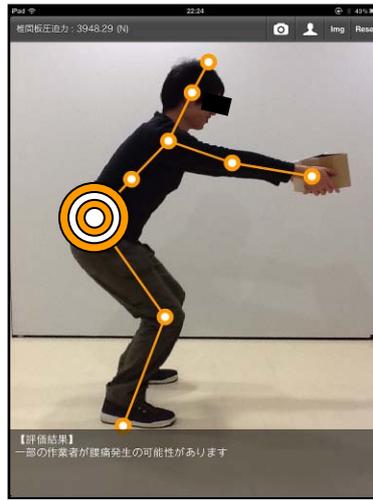
図1 デジタルビヘイビアモデルによる作業負荷の可視化例 (年齢 65 歳)

表1 高齢作業員の労働負担点数

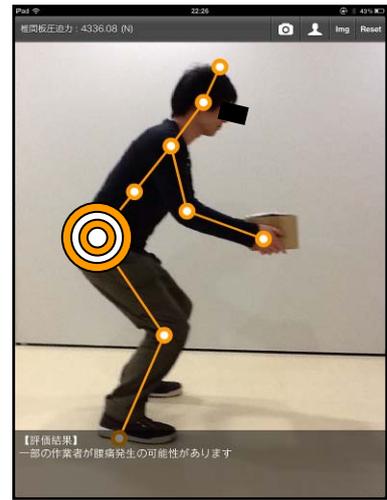
評価項目		ランク	a	b	c	d	e	f	
労働負担点数(WLP)			0	0.5	1	2	3	10	
しんどさ 度合	A1 取扱重量 (kg/個)		0~5	5.1~7	7.1~10	10.1~13	13.1~	-	
	A2 総取扱重量 (ton/日)		0~5	5.1~7	7.1~9	9.1~11	11.1~	-	
	A3 総取扱個数 (個/日)		0~10000	10001~15000	15001~17000	17001~19000	19001~	-	
	A4 総引金回数 (回/日)		0~4500	4501~5000	5001~6500	6501~8000	8001~	-	
	A5 振動工具使用 (h/日)		0~1.8	1.9~2	2.1~2.5	2.6~3	3.1~	-	
	A6 特殊工具使用 (回/日)		0~1300	1301~1500	1501~1800	1801~2100	2101~	-	
	A7 歩行距離 (km/日)		0~4	4.1~7	7.1~8.5	8.6~10	10.1~	-	
	A8 歩行速度 (km/h)		0~4	-	4.1~5	5.1~6	6.1~	-	
	A9 昇降高さ (cm/タクト)		0~20	21~30	31~50	51~70	71~	-	
	A10 姿勢保持時間(秒/タクト)		0~3	4	5~22	23~40	41~	-	
やりにくさ 度合	B11 部品選択肢 (種/タクト)		0~3	4	5~9	10~14	15~	-	
	読取り判断	B12 部品リスト フォントサイズ(pt)		17~	15~16.9	13~14.9	11~12.9	~10.9	-
		C12 数量化不可		不要	-	-	-	-	要
	微小・薄物 取付	B13 数量化可能		5~	4	3	2	~1	-
		C13 数量化不可		不要	-	-	-	-	要
C14 力のいる巧緻性(数量化不可)			不要	-	-	-	-	要	



(a) 危険度:青信号
荷物重量:10kg



(b) 危険度:黄信号
荷物重量:10kg



(c) 危険度:黄信号
荷物重量:20kg

図2 腰痛判定例

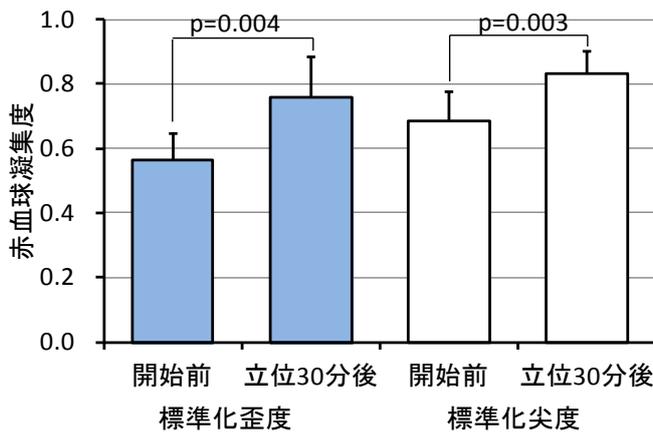
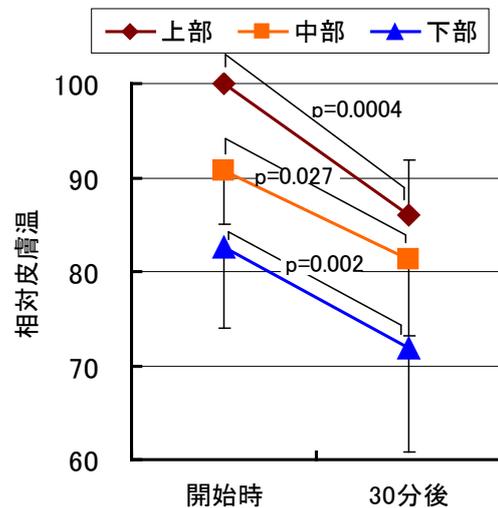


図3 ふくらはぎ皮下血管の赤血球凝集度



(a)長時間立位姿勢

図4 ふくらはぎ皮膚温

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 堀 晴彦, 川野常夫, 白瀬敬一, 大型プレス金型製造業における高年齢者対策の研究, 神戸大学大学院工学研究科・システム情報学研究科紀要, 第2号, 2010, pp.35-42
- ② 田中優介, 福井 裕, 川野常夫, デジタルヒューマンJackによる介護現場の介助者腰部負担評価法の開発, 人間生活工学, 13, 2012, pp.55-61

〔学会発表〕(計5件)

- ① 田中優介, 福井 裕, 西田修三, 川野常

夫, デジタルヒューマン"Jack"による移乗介助動作の腰部負担評価, 平成22年度 日本人間工学会関西支部大会, 2010, pp.149-152

- ② 重久拓司, 川野常夫, 長時間静止立位姿勢における下腿部生理的変化の定量化, 第13回日本電気生理運動学会大会論文集, 2012, pp.14-15
- ③ 田中優介, 福井 裕, 川野常夫, iPadのモバイル性を活かした現場作業用「腰痛判定カメラ」の開発, シンポジウム「モバイル'12」研究論文集, 2012, pp.21-26
- ④ 田中優介, 福井 裕, 川野常夫, タブレットPCを用いた腰痛判定カメラの機能拡張, 平成24年度 日本人間工学会関西支

- 部大会, 2012, pp.109-112
- ⑤ 福井 裕, 川野常夫, 杉村延広, iPadを用いた実オブジェクトとのインタラクションが可能なデジタルヒューマンの提案, 人間工学, 第 48 巻, 特別号, 2012, pp.276-277

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川野常夫 (KAWANO TSUNEO)

摂南大学・理工学部・教授

研究者番号：90152983



図5 工場内事故予測ソフト

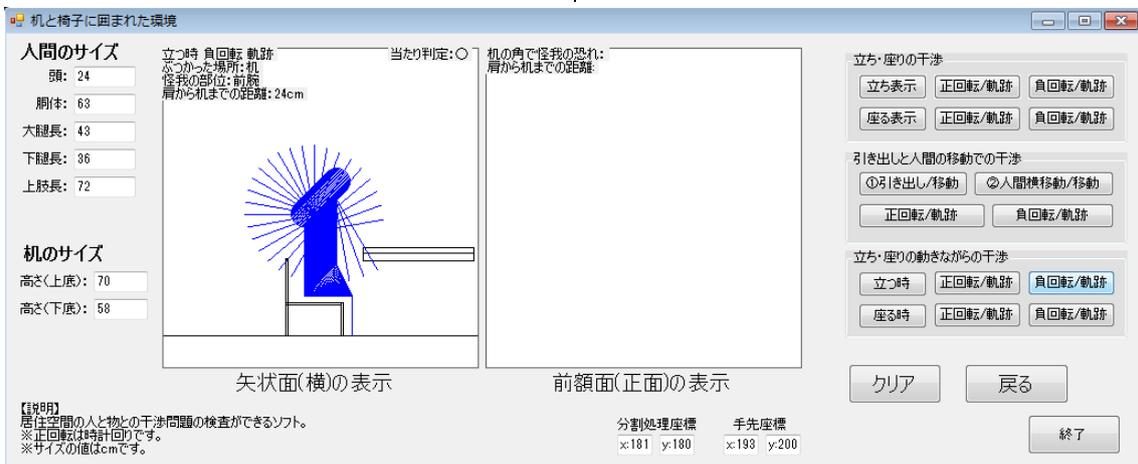


図6 活動空間干渉チェック事故予測ソフト



図7 空間スキャナ事故事例検索システム