

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 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21510150

研究課題名（和文） 製造企業における中高年齢者活用支援技術の体系化に関する研究

研究課題名（英文） Systematization of support methods for promoting employment of aging workers in manufacturing industries

研究代表者

梶原 康博 (KAJIHARA YASUHIRO)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：70224409

研究成果の概要（和文）：

本研究では、製造業における中高年齢者の活用を促進するための支援技術の開発および体系化が行われた。研究期間内に RFID を用いた作業分析装置および作業負担を考慮した作業計画支援装置が開発された。これらの装置と研究代表者らにより別途開発されている技能分析・訓練装置とを組み合わせることにより、作業負担を考慮した作業計画および技能教育を総合的に支援できる技術が体系化された。

研究成果の概要（英文）：

This research developed and systemized support technology for promoting the full use of aging workers in the manufacturing industry. During the period of the research, it developed a work analysis system using RFID and a work design support system in view of the work load. The research combined these systems with the skill analysis and training system that have separately been developed by the research representative and thus it systemized the technology for comprehensively supporting work design in view of the work load, and skill education.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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

1. 研究開始当初の背景

中高年齢者（45 歳～65 歳）の雇用機会を増やすことが求められている。我が国の製造業は強い競争力を維持しており、中高年齢者を最も多く雇用できる業種である。そのため、製造業において中高年齢者の活用を支援できる技術を開発することの社会的意義は大

きい。製造業における中高年齢者の活用に関する研究は、国内では川上満幸等により過去 30 年間に渡り研究されている。川上等は主として IE 手法を用いて、生産性と疲労を考慮して中高年齢者に対する作業計画（作業域の設計、作業手順の計画および作業負担の評価）を行っている。また、梶原等は中高年齢

者活用の基礎となる身体的機能と加齢の関係に関する調査研究および仮想現実感技術を応用した作業計画支援装置を開発している。海外では、北欧を中心に中高年齢者の活用に関する研究が産官学の協力により活発に行われている。国際人間工学会および北欧人間工学会において毎年多くの研究成果と事例が報告されている。特に、J. Ilmarinen（フィンランド国立産業衛生研究所）は北欧における中高年齢者の活用に関する中心的な役割を果たしている。北欧の研究成果は、中高年齢者の労務管理、心理分析、および作業負担評価が中心である。作業負担評価のためにOWAS法がフィンランドで開発され、今日では世界標準の評価法として用いられている。しかし、OWAS法では目視により作業姿勢が判定されることから、定量的な作業姿勢判定基準を設けることが求められている。そのため、北欧における研究成果を我が国に導入する方策の一つとして、OWAS法における作業姿勢判定基準を定式化し、仮想現実感技術と組合わせた作業計画支援装置を開発することが考えられる。

また、これまでの国内外の研究ではあまり着目されていない課題の重要性が増している。中高年齢者の多能工化を支援できる技術の必要性が高まっている。製造企業は販売終了後も十数年間に渡り補用部品を供給することが求められることが多い。要求があれば過去に使用された検査装置、技能を要する加工・組立・調整作業を行うことが求められる。多能工化には個別の作業・設備に対する技能に加えて広い製造工場内で治工具の段取りおよび5S等の準備作業を効率的に行える能力・技能が求められる。しかし、多能工化のための技能教育を目的とする支援装置はまだない。

以上の背景を考慮し、多能工化を目標とする技能教育支援技術を開発し、さらに作業計画支援技術と合わせて体系化する必要があると考え、本研究課題を着想した。

2. 研究の目的

中高年齢者の活用に必要な技術を技能教育支援技術と作業負担の軽減を目指した作業計画支援技術とに分類し、各技術の開発と統合化を行う。技能教育に関しては、手順の観点からは熟練者の技能の分析と技能を習得するための訓練とに分けられる。また、技能の内容の観点からは品質が重視される個々の加工作業と生産性が重視される準備作業とに分けられる。これらの内、加工作業の分析と技能訓練に関しては既に梶原・滝等により支援装置が開発されている。

そこで、本研究では準備作業に関する技能の分析と教育の支援を目的とする装置を開

発する。作業計画に関しては、OWAS法における姿勢判定基準を定式化する。次に、姿勢判定基準を仮想現実感を用いた作業計画支援装置に組み込む。そして、複数の製造企業をモデルケースとして、研究期間内に装置を実用化する。さらに、技能教育支援技術と作業負担の軽減を目指した作業計画支援技術を統合し、中高年齢者の活用のための支援技術として体系化する。

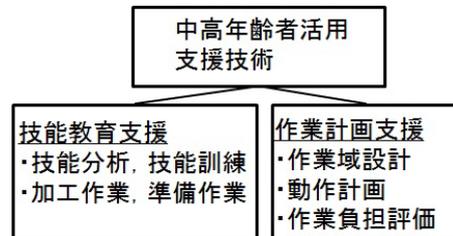


図1 中高年齢者活用支援技術の体系

3. 研究の方法

(1) 技能教育支援技術の開発

準備作業の分析・技能訓練のためにRFIDを用いた作業分析装置を開発する。従来の作業分析には、主としてビデオカメラが用いられている。ビデオカメラを用いた作業分析は、作業者の移動範囲が狭い場合に適用される。準備作業においては、作業者の移動範囲は製造工場全体に及ぶことからビデオカメラによる作業分析法の適用は難しい。そこで、作業者の移動経路、各作業場所での滞留時間等を自動計測できるようにRFIDによる作業分析装置を開発する。

作業者の位置を確認するために電子タグを用いる。製造工場内の作業場所、設備、棚等に電子タグを貼る。電子タグは、特定の場所に到着したことを示すための電子タグとその場所を離れたことを示すための電子タグの2種類を設ける。作業者は、場所を移動する度に到着を示す電子タグ、作業終了後に場所を離れることを示すタグを読み取る。電子タグが貼られた位置は予め測定され、データベース化される。RFIDリーダにより読み取られる電子タグのIDおよび時刻は無線LANによりデータ収集用PCに送信される。1日毎または作業指示書毎に作業者が作業を行った場所、移動経路、各作業場所での滞留時間および移動時間を電子タグの読取り時刻から求める。以上の機能を有する作業分析システムを開発する。本装置により熟練作業者の準備作業の内容、手順（移動経路）および作業時間を明らかにする。そして、訓練者（中高年齢作業者）に準備作業の内容と手順を示すとともに作業時間の比較および準備作業訓練を可能にする。さらに、本装置の運

用試験を行う。運用試験場所として物流倉庫を設定する。物流倉庫は取り扱い品目が多く、取扱量の変動が大きいために機械加工工場と比べて自動化が遅れており、労働集約型の作業方式が多い。そのため、中高年齢者を多く雇用できる部署である。また、物流倉庫では作業者の移動範囲が広いことから本装置の運用試験に適していると考えらる。

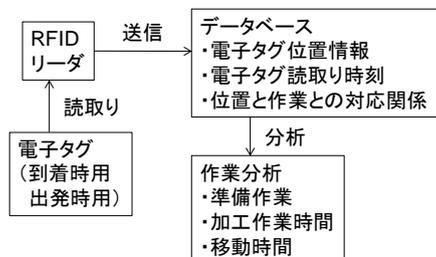


図2 RFIDを用いた作業分析手順

(2) 作業計画支援技術の開発

作業計画支援技術および装置を開発する。仮想現実感技術を用いて作業姿勢の計画と評価を可能にする。作業姿勢の計画を支援するための作業姿勢計画インターフェースを作成する。作業姿勢計画インターフェースの表示画面例を図3に示す。作業姿勢の評価にはOWAS法を用いる。OWAS法で用いられる背部、上肢および下肢の姿勢を判定するための基準を定式化する。次に、手と対象物との接触判定機能を組み込むことにより、手に掛かる荷重の判定機能を実現する。次に、OWAS法に基づく作業姿勢判定機能を作業計画支援装置に組込む。そして、本装置の有効性を検証するための運用試験を行う。運用試験の対象作業として、物流センターにおける荷役作業を設定する。物流センターでは労働集約型の作業方式が用いたために、中高年齢者を受け入れ易い部署である。そして、作業負担を考慮して荷役作業姿勢を計画することは作業効率の向上および腰痛などの健康障害の予防に大きな効果が得られる。以上の理由により、本装置の運用試験対象として荷役作業を設定する。運用試験に於いては、まず、本装置による作業姿勢の判定結果と産業医による判定結果を比較する。さらに、本装置により荷役作業を対象として作業姿勢の再計画および姿勢評価値の改善効果を検証する。

以上の研究成果を基に作業分析支援装置、および作業計画支援装置を統合することにより作業分析から多能工化のための作業訓練、作業計画および作業負担評価までを連続して支援できる装置を実現する。そして、上記の支援装置に組み込まれている手法を整

理することにより、中高年齢者活用支援技術として体系化する。

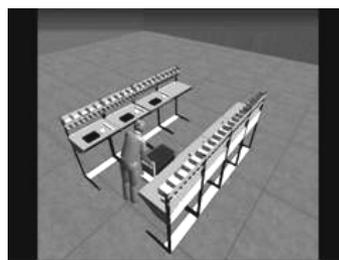


図3 仮想現実感を用いた作業計画

4. 研究成果

4.1 作業分析支援技術

広範囲を移動する作業者の動作を分析するためにRFIDを用いた作業分析装置が開発された。本装置はRFIDリーダ、ICタグおよびデータ収集用PCにより構成される。ICタグは工場内の設備、棚、作業場等に貼られる。作業者は設備、棚および作業場に到着時および離れる時にICタグの読み取りを行う。読取られたICタグのID番号および読取り時刻が取得され、無線LANを介してPCに送信される。PC側にはICタグのIDと設置場所を対応させるデータベースを予め用意しておく。ICタグの設置場所のXY座標を予め測定しておくことにより、作業者の移動経路、移動距離および作業時間を求めることができる。作業内容は位置情報を基に、ピッキング（積卸し）、荷合わせおよび移動に分類して判別する。

本装置の運用試験が物流倉庫において行われた。作業分析の様子を図4に示す。作業者は作業場所に到着した時に、到着を示すためのICタグを読取る。読取られたICタグのIDおよび時刻は無線LANを介してPCに送信される。PCに送信されたICタグの読取り履歴を基に熟練作業者の作業内容が分析された。まず、作業者の移動経路が分析された。結果を図5に示す。次に、作業者が訪れた場所から作業内容が判定された。作業内容は、ピッキング、出荷商品をまとめて梱包するための荷合わせ作業および移動に分けて判別された。さらに、出荷品目ごとにピッキング、荷合わせおよび移動時間を求めることにより、熟練作業者による出荷作業時間の予測式が求められた。出荷品目毎の出荷量を変数として作業工数を予測することが可能となった。結果を図6に示す。作業工数の予測値と実測値との重相関係数は0.91となり高い精度で作業工数を予測できることが確認された。運用試験により、広い作業域を移動する作業者の作業分析に本装置を活用できることが確認された。



図4 作業分析装置運用試験の様子

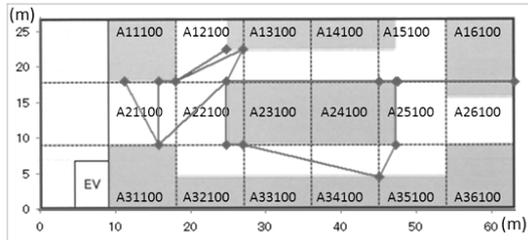


図5 移動経路分析結果

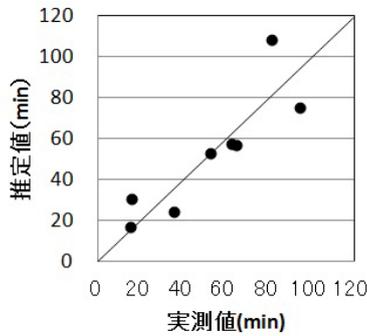


図6 作業工数の予測式と実測値との比較

4. 2 作業計画支援装置

(1) 作業計画インターフェイス

作業姿勢の作成を支援するために4つのウィンドウを有するインターフェイスが作成された。(図7) 仮想空間に作業域が置かれる。作業姿勢を立体的にイメージし易くするために三角法の考え方にに基づき上方、右側方、背面から見えるシーンおよび任意の視点から見えるシーンが表示される。作業姿勢の変更はマウス操作とキー入力により行われる。人体モデルの手には接触を判定するための関数が組み込まれている。この関数により対象物に手が触れたことが判定される。さらに、指の開閉により対象物の把持と離す動作の判定が行われる。分析者は作業の様子が撮影されたビデオ映像を見ながら、一動作ずつ動作の開始と終了時の姿勢を作る。動作の開始から終了までの時間は録画された映像から計測し、本インターフェイス上で入力される。入力された時間に合わせて動作が終了するように、動作開始時の身体各部位の姿勢から動作終了時の姿勢までの間が按分され、途中の作業姿勢が自動生成される。

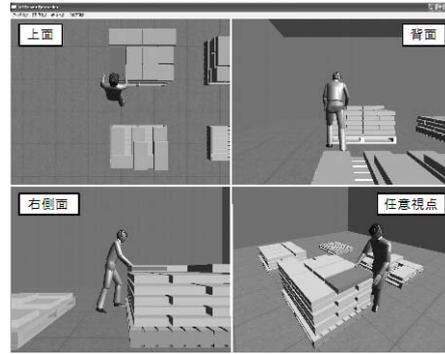


図7 作業計画支援インターフェイス

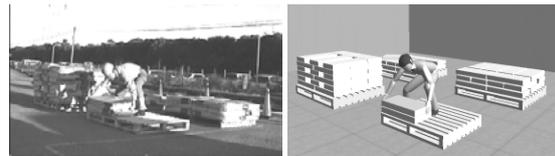


図8 分析対象作業

(2) 作業負担評価基準の定式化

作業負担の評価には OWAS 法が用いられた。OWAS 法では、作業姿勢が背部、上肢、下肢の屈曲状態および荷重により分類され、姿勢コードが付けられている。そして、4つの姿勢コードの組み合わせにより姿勢評価値 (AC コード) が判定される。AC コードは4段階で表わされ、健康障害予防のための作業姿勢の改善要求度が定義されている。本装置では姿勢コードを判定するために次の部位について判定基準が設定された。背部の曲げ角度およびねじれ角度、肘の高さ、両膝の開き角度に基づく姿勢判定基準。さらに、片足立ち姿勢、中腰姿勢、片足立ちでの中腰姿勢、片膝または両膝を床に着けた姿勢の判定基準および手にかかる対象物の重さの判定基準が定式化された。そして、背部、上肢、下肢および重さに関する姿勢コードの組み合わせにより、姿勢評価値が判定される。

(3) 姿勢評価値判定精度の検証

本装置による姿勢評価値の判定精度を検証するために産業医による判定結果との比較が行われた。この産業医は OWAS 法を用いた作業姿勢評価に25年の経験を有している。対象とした作業はある物流センターで行われている荷役作業である。対象物一個の重量は25kgである。

積み換え作業の様子がビデオに録画された。録画された作業姿勢を見ながら作業姿勢計画インターフェイスを用いて作業姿勢が作成された。本装置の操作者は経営工学分野の大学院生である。実作業と本装置により作成された積み換え作業の一場面を図8に示す。

腰を曲げて対象物を置く場面の作業姿勢が作成されている。姿勢評価値の判定結果を図9に示す。横軸は経過時間を表わし、縦軸はACコードを表わす。実線は本装置による姿勢評価値の判定結果を表わす。黒丸は産業医による判定結果を表わす。紙面の制約のため、図4では経過時間100秒までの姿勢評価値が示されている。全体的に見れば、産業医によるACコードの判定結果と本装置によるACコードの判定結果との相関係数は0.85となる。

(4) 荷役作業姿勢の再計画および検証結果姿勢評価値の軽減を目的として作業姿勢の再計画が行われた。特に作業負担がAC3およびAC4となる作業姿勢に対して再計画が行われた。対象物を持ち上げる時には、対象物に体を寄せ、背部がねじれないようにする。そして、背部および下肢を曲げない姿勢を取る。対象物を置く作業姿勢では、背部をねじるまたは横に曲げることがないように置く場所まで近寄る。そして、背部を真直ぐにした姿勢で下肢を曲げて対象物を置く。上記の方針に基づき改善案が計画された。現状作業および改善案についてACコードの比較を図10に示す。改善案に基づき実際に荷役作業が行われた。その結果、AC3以上となる時間の割合が改善前の23%から改善後は13%に半減した。AC4に限れば、改善前の7.7%から1.5%に削減された。

以上の結果、本装置により荷役作業姿勢の再計画が行われ、姿勢評価値の改善効果が確認された。

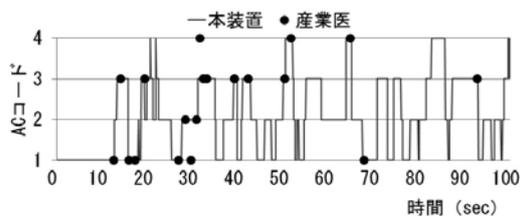


図9 本装置と産業医の姿勢判定比較

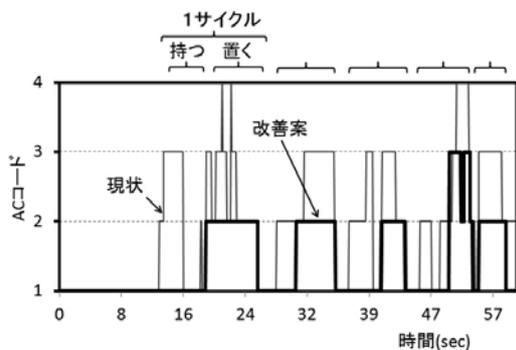


図10 作業姿勢改善前後におけるACコード

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5件)

①Seiko Taki, Yasuhiro Kajihara, Masanori Kadowaki, Evaluation of digital work design supporting system in consideration of work burden analysis, Proc. of 10th International Conference on Industrial Management, pp.43-47, 2010, 査読有り

②Kazuhiko Izumi, Takeshi Okamoto, Yasuhiro Kajihara, Seiko Taki, Yuta Sato, Practicality of the RFID for item check operations in a distribution center, Proc. of 10th International Conference on Industrial Management, pp.735-739, 2010, 査読有り

③Seiko Taki, Yasuhiro Kajihara, Development and practical use of software for work burden analysis, Ergonomic trends from the East, pp.121-128, 2010, 査読有り

④Hajime Yamana, Kazuhiko Izumi, Yasuhiro Kajihara, Seiko Taki, An operation analysis method for distributive processing, Proc. of 11th ICIM, (in press), 2012, 査読有り

⑤Kazuki Miura, Kazuhiko Izumi, Yasuhiro Kajihara, Seiko Taki, Development of a work posture design system, Proc. of 11th ICIM, (in press), 2012, 査読有り

[学会発表] (計2件)

①門脇正典, 梶原康博, 滝聖子, 作業負担を考慮した作業域設計支援手法に関する研究, 産業保健人間工学会第15回大会, 2010年10月3日, 近畿大学

②佐藤優太, 梶原康博, 滝聖子, シミュレーションに基づく流通加工工程改善に関する研究, 日本経営工学会平成23年度春季大会, 平成23年5月29日, 愛知学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶原 康博 (KAJIHARA YASUHIRO)
首都大学東京システムデザイン研究科・教授

研究者番号：70224409

(2) 研究分担者

滝 聖子 (TAKI SEIKO)
首都大学東京システムデザイン研究科・助教

研究者番号：50433181

(3) 連携研究者

該当なし