

機関番号：34419
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560247
 研究課題名（和文） 工場内三次元姿勢の経時的計測による協調型重労働作業の
 バイオメカニクス解析
 研究課題名（英文） Biomechanics analyses for cooperative heavy working
 by time dependency three-dimensional measuring.
 研究代表者
 村瀬 晃平（MURASE KOHEI）
 近畿大学・工学部・准教授
 研究者番号：80298934

研究成果の概要（和文）：

カメラ画角や位置をコンピュータ制御し工場内での協調的な重労働動作を捕捉できる、三次元動作計測システムを開発した。下肢の屈曲動作計測を X 線透過装置診断と比較したところ、本システムは作業着を着衣時でも良い追従性を有することが証明された。加えて、膝関節の有限要素モデルを作成し非線形構造解析シミュレーションを行なった。靭帯の有無や少しの屈曲角度が荷重支持機能や周辺の最大応力値の増加に強く関与することを明らかにし、協調作業による微妙な姿勢変化が生体内の負担に大きく影響を与えていることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

In this study, the three-dimensional motion capturing system was developed using digital video cameras. This system enables the measurement of the movement and behavior in the subject wearing regular clothing such as working uniform under all measuring circumstances. Using this system, the knee flexion and extension were measured under two wearing clothes conditions: an actor suit and a working uniform. The reconstructed motion results have good agreement with those with X-ray medical judgments. And the load bearing function was analyzed the low-flexion posture under a static load condition using a non-linear finite element analyses of the knee joint. When the medial collateral ligament was removed the knee joint ceased the function as load bearing at applied loads. And the minimum principal stress value of the other ligaments increased compared with that in the normal knee joint.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：バイオメカニクス・生体計測シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国の高齢化の進行は他の先進国に

比べても顕著で、いわゆるヴェテラン製造技術者の一斉退職による技術の喪失が深刻な

社会問題として懸念されている。2007年に経済協力開発機構(OECD)が各国の年齢別人口をもとに2020年までの生産年齢人口(15歳から64歳までの人口)を予測したところ、わが国の減少率は国際的にも突出して高齢化・少子化の段階に入っており、巷間で伝えられているような諸外国からの労働流入でカバーするにも困難な状況にある。

(2) とくにわが国のものづくりでは、熟練に至るまでに経験と歳月が大きなファクターを占める生産技術が多く、高品質なモノづくりの基礎となっている。技能の伝承と生産品質の維持、そして作業者のクオリティオブライフを満足させるためには、社会制度づくりに加え、生体工学的根拠に基づいたバイオメカニクス研究が必要である。

2. 研究の目的

本研究ではこれまであまり取り上げられておらず、わが国特有のチームワーク重作業について、作業者の挙動、筋骨格系へ与えられる身体負荷を調査した。具体的には以下の2つの手法からアプローチした。

(1) 特殊な服装に替えることなく作業着のまま姿勢を計測できるデジタル光学式モーションキャプチャシステムを開発し、作業に従事する際の全身挙動を経時的に計測する。

(2) 経時的な姿勢データをもとに三次元コンピュータモデルとして上に高精度に再現し、作業中の下肢および関節各部負荷される圧縮荷重量や関節内部の応力分布状態などの力学環境を調査する。

これらの結果から、これまで明確でなかった協調作業における疲労、安全の関係を明らかにすることにした。

3. 研究の方法

(1) 開発したモーションキャプチャシステムを図1に示す。本システムは2台の高密度ハイビジョンデジタルビデオカメラを1400mm間隔で設置した光学式で、カメラを含む撮影ユニットはIEEE1394インタフェースで連結され、コンピュータ制御による位置制御が可能である。マーカを識別するターゲット抽出ユニットと、カメラ位置と角度をもとにマーカ三次元座標を復元する座標再構築ユニットから構成される。

識別マーカは通常の球型にくらべ立体計測対象者の動きへの制限が少ないよう、バンド型マーカを使用した。体節の周囲を取り巻くように着衣に縫製することで、体節の屈曲によりカメラ視野からマーカが遮蔽される

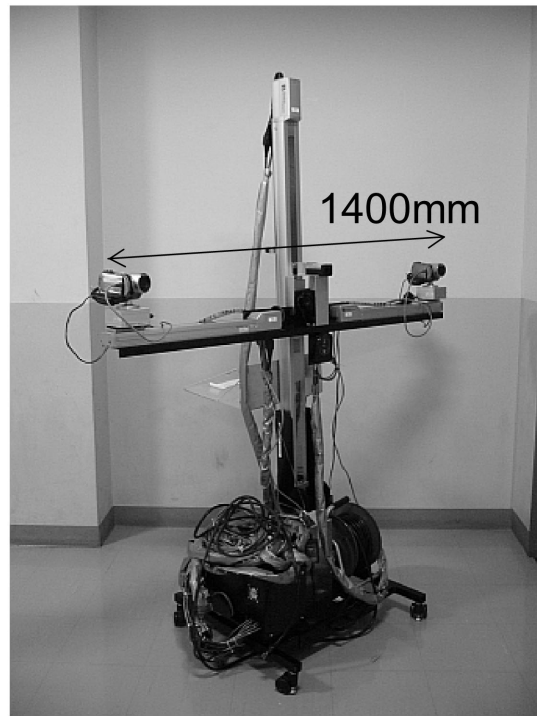


図1 開発した計測システム

ことを防ぎ、少ないカメラ台数での計測が可能である。

(2) 本システムで得られた再構築位置座標の精度を検証するため、作業用ユニフォームを着用した状態で、膝関節の屈曲・伸展の動態計測を行った。実験の様子を図2に示す。作業ユニフォームでは青色フェルト布製のバンドを踝部、脛部、および大腿遠近位部の4箇所に縫製しマーカとした。これらマーカ識別部の中央を通る2線の交点を膝関節部と定義した。

(3) 被験者に作業ユニフォームを着用してもらい、膝屈曲・伸展動作を撮影後、三次元姿勢に再構築し、経時的な関節角度の変化を調査した。一連の実験はX線透過装置により関節矢状面を撮影しつつ行ない、計測結果と比較した。

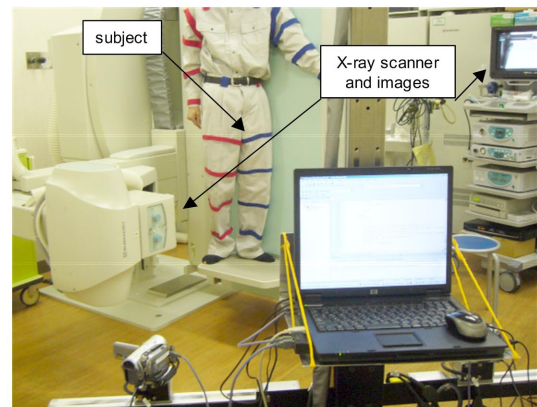


図2 ユニフォーム実験の様子

(4) 実際の膝関節屈曲を数値シミュレーションで再現できるよう、三次元有限要素モデルを作成した。CT 断層画像を用いて構築したモデルは、関節部を中心に大腿骨 420mm、脛骨 380mm の規模である。

モデル内部は皮質骨、海綿骨、軟骨、軟骨下骨のほか、骨髄および半月板により構成されている。また膝関節を支える靭帯として膝蓋腱、側副靭帯および前後十字靭帯を再現した。構築した有限要素モデルを図3に示す。

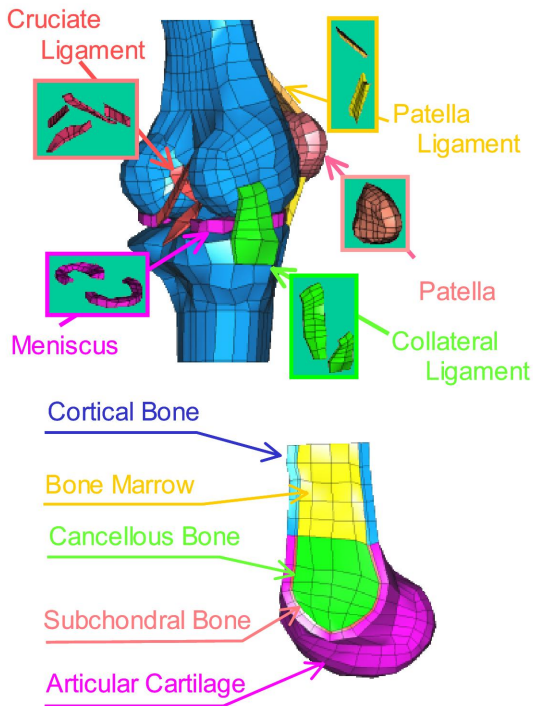


図3 膝関節 3次元モデル

(5) 今回は起立時を想定し、関節面を基準に 10° の屈曲を与え正立時を模擬したモデル、歩行時を想定し、関節面を基準に 22° の屈曲を与えた浅屈曲モデルを準備した。作成した生体膝関節モデルを図4に示す。

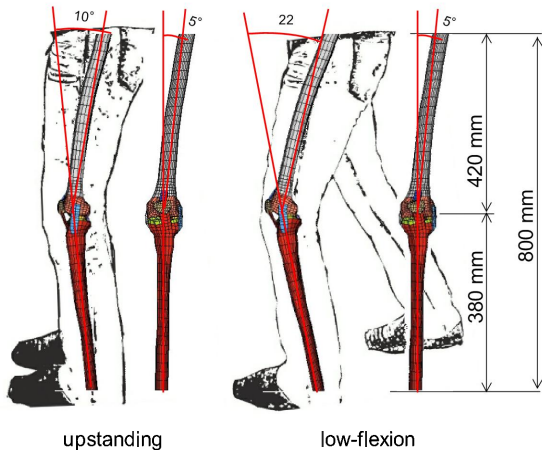


図4 直立と浅屈曲のレイアウト

(6) 膝関節の靭帯の中で内側側副靭帯と前十字靭帯は、とくに障害が起こりやすいと考えられている。そこで今回の解析では大腿骨軟骨表面、脛骨軟骨表面、および半月板表面にはコンタクト要素を設定し、関節面の接触を再現できるようにした。

靭帯および腱が取り付けられた健全時のほか、側副靭帯および十字靭帯を切除した状態で有限要素解析を行ない、応力分布状態および変位にどのような変化が見られるか調査した。

4. 研究成果

(1) 今回は、モーションキャプチャシステムから得られるデジタル映像を、明度と色差で表現する「YCrCb 分離」にて処理した。その結果、黄、青、赤色をマーカとして使用することで、映像から作業者を認識することが可能になった。しかしこのうち赤色と黄色では、光沢紙と蛍光紙など、素材による影響が大きかった。

通常の工場現場の作業着でよく使われている青色については、計測空間内の照度がやや暗いと感じられる 140ルクス、一般的な照明の 240ルクスの場合には、カメラから 5m までの距離で色差が十分大きく、認識性能はとくに良好であった。

図5に、各マーカ素材を屋内照明下で撮影した高密度デジタル映像の認識結果を示す。図左上のように遠方に置かれた青色ターゲットについて、映像の Cr 値と Cb 値の色差を横方向ピクセルで比較したところ、周辺の値と比較し 20~40 以上の色差があり、マーカの有無を正確に識別することができた。

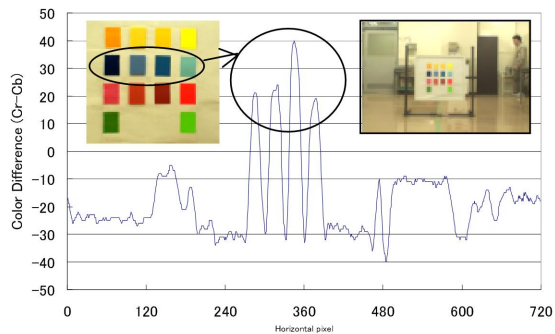


図5 デジタル映像の「青」色判別結果。

(2) ユニフォーム着衣時の屈曲動作を2台の高密度デジタル映像から三次元再構築した結果と、矢状断面から同時に計測した X 線透過映像を比較した結果を図6に示す。アクタースーツに装着した球型マーカ、および作業用ユニフォームに装着したバンド型マーカそれぞれを抽出ターゲットとしたところ、それぞれの復元結果から屈曲角は 24° と推定され、X 線投影結果とほぼ一致した。とく

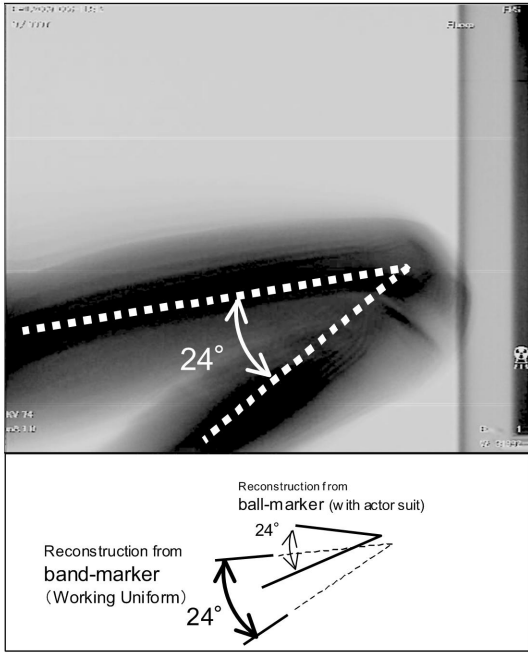


図6 X線透過画像と計測システム結果の比較

にバンド型マーカでは、ターゲット認識されたバンド領域の面中心から三次元位置再構築を行っているため、球型マーカによる復元に比べ、よりX線投影図に近似した結果が得られた。

(3) アクタースーツおよび作業ユニフォームにバンド型マーカを縫着し、膝屈伸した際に再現される屈曲角度の経時変化を図7に示す。身体に密着していない作業ユニフォームの計測でも屈曲角度が60°以下の場合にはアクタースーツとほぼ同等の計測結果を得られた。

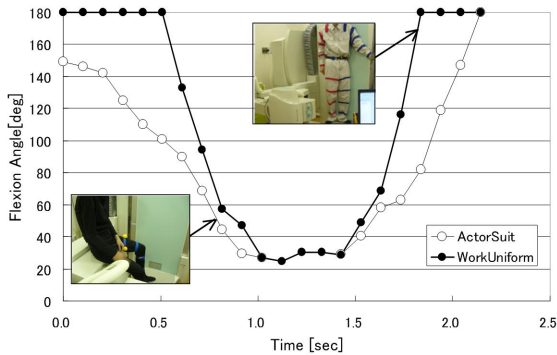


図7 アクタースーツと作業着着用の屈曲計測結果

これらの結果は、通常の作業現場でも身体負担を評価するのに十分な三次元動作計測が可能であり、これまでの実験室レベルでの身体挙動解析をさらに広範囲で利用できることを示している。本システムではさらに、重量物挙上の初動時や蹲屈位での溶接等の作業などの重労働作業において、着衣の影響

を受けることなく挙動を再構築できることがわかった。

(4) 協調動作を想定し、直立状態と下肢をやや屈曲させた数値シミュレーションをおこなった結果を図8に示す。大腿骨と脛骨の相対変位は負荷される荷重により非線形に増大していく。また関節内側と外側の変位量も異なっていく様子が予測できた。

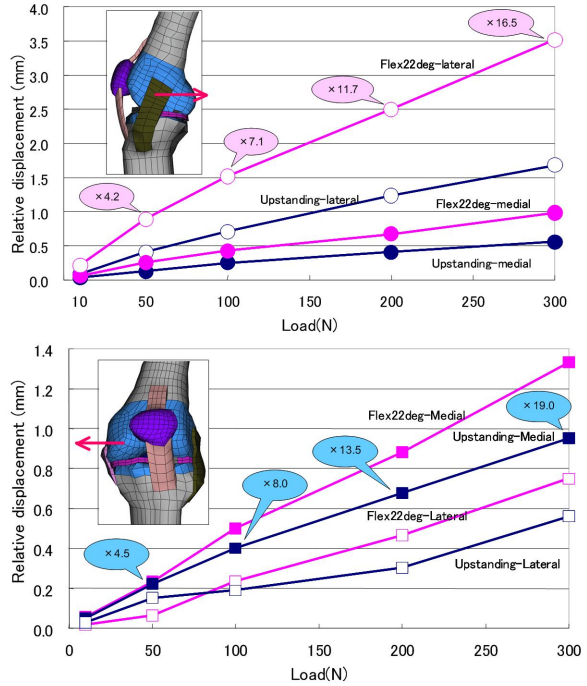


図8 関節部の相対変位結果

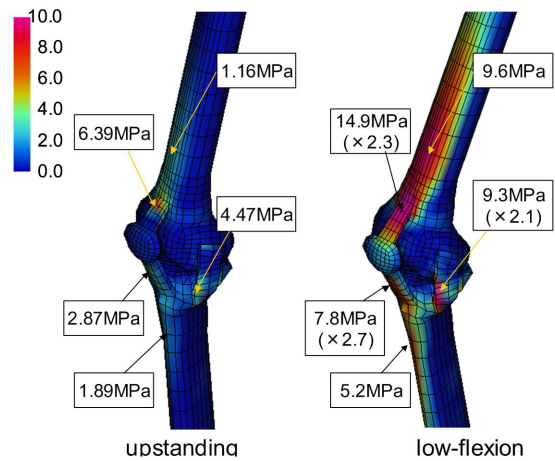


図9 直立時と浅屈曲時の応力分布

(5) 300N 荷重時の健全正立および浅屈曲モデルにおける関節近傍部の最大主応力(引張応力)分布を図9に示す。浅屈曲モデルは直立時に比べ、とくに靭帯部分での応力分布が大きく異なっている様子が確認できる。浅屈曲時には膝蓋腱および側副靭帯における最

大主応力値が正立時の 2.1~2.7 倍に増加した。

(6) 錘を入れた運搬箱を胸の高さまで持ち上げて地面に降ろす、一般的な挙上動作についても計測した。運搬箱の中が空の状態から 20kgW まで増やし、重量変化による挙上動作の影響を調べた。計測した姿勢から得られた膝関節のトルクと腰椎椎間板の圧縮力をシミュレーションにより予測した。解析の結果は膝関節にかかるトルク、腰椎椎間板圧縮力ともによく運搬重量に合わせて増加し、実際の負荷をよく模擬していると予想された。また運搬箱の積載量に応じて増加する腰椎圧縮力が持ち上げ、持ち下ろしの違いで変化すること、動的解析では作業動作速度の違いにより筋肉負荷、膝トルクが増大することが示された。

本研究では作業時の動作計測を可能にするモーションキャプチャ装置を開発し、その有効性を明らかにした。また計測値をもとにコンピュータシミュレーションをおこない、実際に即した身体負担評価が可能であることを示した。

チームワークを活かした協調作業はわが国のものづくりの根幹を成しており、今後も高品質のプロダクトを生み出していく基礎技術であろう。本研究は、今後の生体工学的根拠に基づいたものづくりのための基礎的知見となると考えられる。

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 2 件)

- ① 村瀬晃平, 吉野信之: デジタル映像による作業ユニフォーム着衣時の三次元動作の再構築, 臨床バイオメカニクス, 査読有, Vol. 31, 2010, pp. 369-375.
- ② 村瀬晃平, 吉野信之, 福田幸久, 堤定美: 静荷重下における生体膝関節の FEM 浅屈曲シミュレーション, 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 査読有, Vol. 29, 2008, pp. 253-260.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 村瀬晃平, 屋外での協調運搬作業の姿勢計測, 日本機械学会年次大会, 名古屋工業大学, 2010 年 9 月 8 日.
- ② 村瀬晃平, デジタル映像による着衣時の三次元動作の再構築, 第 36 回日本臨床バイオメカニクス学会, 愛媛ひめぎんホール, 2009 年 10 月 16 日.
- ③ 村瀬晃平, 人体動作の計測とシミュレーション(講演), 九州大学応用力学研究

所・佐賀大学医学部整形外科研究集会, 九州大学応用力学研究所, 2009 年 9 月 26 日.

- ④ 村瀬晃平, 協調的な重量物持ち上げ作業の動作解析(第 1 報 照明変動した時の作業者追跡), 日本機械学会 2009 年度年次大会, 岩手大学, 2009 年 9 月 17 日.
- ⑤ 村瀬晃平, 重量物持ち上げ作業時の下肢力学シミュレーション, 日本機械学会第 21 回計算力学講演会, 琉球大学, 2008 年 11 月 2 日.
- ⑥ 村瀬晃平, 触覚デバイスによる生体軟材料の識別, 日本機械学会 2008 年度全国大会, 横浜国立大学, 2008 年 8 月 3 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村瀬 晃平 (MURASE KOHEI)
近畿大学・工学部・准教授
研究者番号: 80298934

(2) 研究分担者

なし ()
研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ()
研究者番号: