

*Original Paper*

## Effect of Object Size and Grasp Position on Upper Limb Load during Visual Inspection

Takuya HIDA<sup>†1</sup>, Takanori CHIHARA<sup>†2</sup> and Akihiko SEO<sup>†2</sup>

### Abstract

Visual inspection by workers plays a major role in industrial inspection processes. There are many studies on the inspection speed or the visual fatigue of the inspectors but few on the upper limb load caused by maintaining posture and grasping objects, which are also problems in visual inspection. If the object to be inspected is light in weight but large in size (e.g., a plastic part), the workers tend to take an awkward posture because it is difficult for them to handle such an object. In this study, we therefore aim to clarify the effects of the object size, grasp position and inspection speed on the upper limb load. In this experiment, ten healthy male subjects were asked to inspect objects using combinations of three object size conditions (A1, A3, and A5 paper sizes), two grasping position conditions (lateral and bottom sides of the objects), and three inspection speed conditions (1.5 s per inspection point, 1.0 s per inspection point and the maximum effort speed). The muscle activity and the joint moment were used as the evaluation indices. We also investigated the subjective indices of the burden and the difficulty of the task. Electromyography was performed at the sternomastoid muscle, the upper part of the trapezius muscle, the clavicular part of the pectoralis major muscle, the sternocostal part of the pectoralis major muscle, the biceps brachii muscle, the middle part of the deltoid muscle, the flexor carpi radialis muscle and the extensor carpi ulnaris muscle. The joint moment was calculated using the angle of the neck joint, shoulder joint, elbow joint and wrist joint. The results revealed that the object size was the dominant factor affecting the upper limb load.

Key words: visual inspection, upper limb operation, electromyography, biomechanical analysis

---

<sup>†1</sup> Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

<sup>†2</sup> Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University

Received: December 6, 2011

Accepted: June 22, 2012

## 原著論文

# 目視検査作業における検査対象物の大きさと把持位置が 上肢負担に与える影響

肥田 拓哉<sup>1</sup>, 茅原 崇徳<sup>2</sup>, 瀬尾 明彦<sup>2</sup>

本研究では、立位姿勢で検査対象物の取り回しを伴う目視検査作業を想定した実験を行い、そのときの上肢負担を明らかにすることを目的とした。被験者は視力が0.7以上であり、筋骨格系の罹患歴および愁訴のない健康成人男性10名、実験条件は検査対象物の大きさが3水準、検査対象物の把持位置が2水準、検査速度が3水準とし、これらを組み合わせた計18条件で実験を行った。評価項目は、筋電図を用いた筋負担、関節角度を用いた関節モーメント、被験者の主観による評価の3項目とした。実験の結果、検査対象物の大きさは検査対象物の取り回し作業、作業姿勢の維持および主観評価に影響を与える、上肢負担に対する主要な要因であることが明らかとなった。

キーワード：目視検査作業、上肢作業、表面筋電図、生体力学解析

## 1. はじめに

製造業における検査の現状と課題に関するアンケート調査によれば、検査にかかる費用が高い、検査の品質が不十分であるとの課題が報告されている[1]。この理由として、検査にかかる費用については、装置自体や運用コストが高いことが挙げられ、検査の品質については、虚報率や検査漏れ率が高いことが挙げられている[1]。別の課題として、表面検査における画像処理技術が開発されているが、検査対象物表面の外乱（汚れ、加工模様など）によって安定した欠陥検出が困難であり、検査の歩留まりを低下させているとの報告もある[2]。このように、検査の自動化は進められているものの多くの課題があるため、検査工程では人による目視検査に頼らざるをえないのが現状である。

目視検査作業では、検査員が視覚を用いて、検査対象物と規定の外観基準とを比較し、適合しているかを判定する。そのため、検査員は外観基準に適合していない不適合品を検出する能力である検査精度を常に高い状態で維持する必要がある。このことから、検査員の検査精度を維持、向上させるための試みは従来からさまざまなアプローチで研究されている。河原ら[3]は、検査速度が検査ミス率に影響を与える要因であることを明らかにしている。目視検査における眼球運動について、Megawら[4]は、検査時間は注視時間の違いではなく注視回数の違いに依存することを示して

おり、Melloyら[5]は、注視回数増加とともに検査精度が向上することを示している。武岡ら[6]～[8]は、検査対象物の供給方法が異なる連続式およびタクト式目視検査と適正検査速度の関係性を明らかにしている。これらの研究は、検査速度と検査精度の関係を明らかにしたものであり、検査速度と検査精度はトレードオフ関係にあることがわかっている。また、目視検査作業と疲労の関係について、斉藤ら[9]は、空びん検査作業と検査以外の作業を組み合わせた場合、連続作業時間が短いほど疲労の訴えが少ないと報告している。Jebarajら[10]は、コンタクトレンズ拡大画像の検査において、視距離が近距離（20 cm）よりも遠距離（60 cm）で主観的疲労が少なく、作業能率が高くなることを示している。堀井ら[11]は、視点の移動方向が水平方向よりも垂直方向において、上位中枢神経系の活動レベルの低下が大きく、視覚的疲労が大きいと結論付けている。三上ら[12]、泉ら[13]は、波形検査作業を対象として、生理的機能や疲労自覚症状などから作業適性について評価した。以上のことから、目視検査作業における先行研究では、検査速度および疲労についての検討が多くなされている。

一方、目視検査作業では、作業姿勢の維持や検査対象物の把持による身体負担も問題となると考えられる。特に、自動車の樹脂部品や家電製品のプリント基板などの軽量であってもサイズが大きい検査対象物の目視検査作業の場合は、取り回しが難しく、無理な検査姿勢を取らざるをえない。しかし、目視検査作業の身体負担に着目した先行研究はみられない。このことから、本論文では模擬的な目視検査作業を対象として、作業時の頸部を含めた主に上肢負担を明らかにす

<sup>1</sup> 首都大学東京大学院システムデザイン研究科

<sup>2</sup> 首都大学東京システムデザイン学部  
 受付：2011年12月6日、再受付（1回）  
 受理：2012年6月22日

ることを目的とした。具体的には、検査対象物の大きさと検査対象物を把持する位置、および検査速度が上肢負担等に与える影響を評価するために、表面筋電図と関節角度の計測および主観調査を実施した。

## 2. 実験方法

### 2.1 被験者

被験者は裸眼視力および矯正視力が0.7以上であり、筋骨格系の罹患歴および愁訴のない健康成人男性10名であった。年齢は $22.9 \pm 1.0$ 歳、身長は $173.6 \pm 5.4$  cm、体重は $64.3 \pm 4.6$  kg（それぞれ平均±標準偏差）であった。また、被験者は全員が右利きであった。なお、本研究は公立大学法人首都大学東京の日野キャンパス研究安全倫理委員会の承認を得て実施した。

事前に被験者に対して実験概要および倫理的配慮の説明をし、実験当日に書面での同意を求め、同意の得られた被験者のみ実験に参加させた。

### 2.2 実験器具

実験で使用する検査対象物は、基板や樹脂部品を模して板状とした。検査対象物の大きさは、ISO 216で規定されている紙の寸法を基準とし、A1（縦：594 mm、横：841 mm）、A3（縦：297 mm、横：420 mm）、A5（縦：148 mm、横：210 mm）の3水準とした。また、厚さはすべて30 mmであり、質量はA1が500 g、A3が200 g、A5が100 gであった。検査対象物には、12か所（3行4列）の検査ポイントが配置されており、検査ポイント間距離は、A1が240 mm、A3が120 mm、A5が60 mmであった（図1）。検査ポイントには穴（直径6 mm、深さ30 mm）がけられており、穴の底面にはLEDを設置した。LEDの発光部は高さが5 mmであるため、検査ポイントの発光部までの深さは25 mmであった。また、このLEDは赤、青、緑の3色のうち、任意の色で光らせることができる。

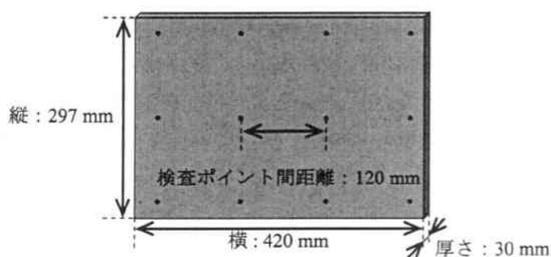


図1 検査対象物 (A3サイズ)

### 2.3 実験条件

被験者は検査対象物の検査ポイントを目視で確認し、検査ポイントの底面に設置されたLEDの色を申告する作業を実施した。実験開始時の初期姿勢は直立姿勢で体幹を前傾させず、肩関節の屈曲角が約0度、肘関節の屈曲角が約90度、手関節が中間位の肢位とした。また、把持位置が側部のときは前腕中間位、下部のときは前腕回外位とし、検査対象物を両手で把持した。LEDは検査対象物の底面に設置したので、一定の範囲内ではLEDの色を確認することができない（図2）。そのため、被験者はLEDの色の確認を行うことによって検査対象物を上下、左右に動かしたり、傾けたりするといった上肢の取り回し動作が必要な作業条件となっている。なお、LEDはその色判別が容易にできるものを使用したので、誤判別はほとんど生じない。そのため、被験者が申告した色の正誤は問わないこととした。実験要因は、検査対象物の大きさ、検査対象物の把持位置、検査速度の3要因とした。実験は、検査対象物の大きさが3水準（A1、A3、A5）、検査対象物の把持位置が2水準（側部、下部：図3）、検査速度が3水準（検査ポイント1か所あたり1.5秒、1.0秒、および各被験者の最大努力速度）の計18条件とした。なお、順序効果を排除するため、実験条件の実施順序は無作為化した。

### 2.4 実験手順

被験者は、作業開始の合図があるまで、既定の立ち位置に直立姿勢で待機させた。作業開始の合図とともに作業を開始し、検査ポイントを決められた順（図

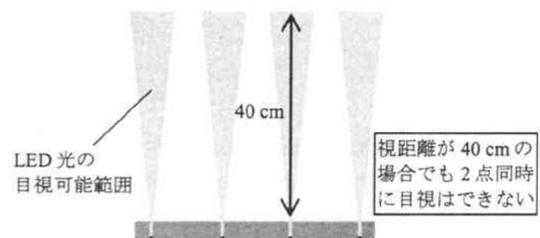


図2 LED光の目視可能範囲 (A3サイズ)

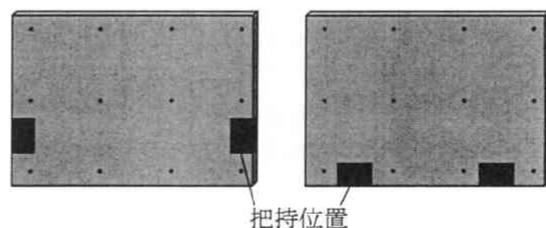


図3 検査対象物の把持位置 (左：側部、右：下部)

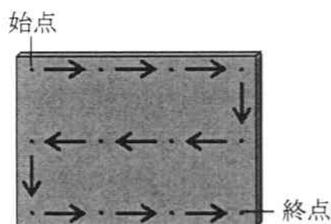


図4 検査経路

4) に目視で確認して検査ポイントのLEDの色を申告させた。12か所の検査ポイントの確認および色の申告を1試行とし、3試行を繰り返して実施して1条件の作業とした。各条件終了後には主観調査を実施した。

## 2.5 計測項目および解析方法

本実験では、表面筋電図法〔14〕,〔15〕を用いて最大随意筋収縮に対する作業時の%値(%MVC)により筋負担を評価した。それと同時に、地磁気・加速度センサにより関節角度を計測し、関節モーメントを推定した。さらに、各関節の最大モーメント推定値に対する作業時の%値(最大関節モーメント比)により身体負担を評価した。これらの定量的評価に加えて、身体各部位の主観的負担感と作業しにくさの聞き取り調査を実施した。また、それぞれの計測項目に対し、検査対象物の大きさ、検査対象物の把持位置、検査速度を要因とする三元配置分散分析を実施した。さらに主効果の下位検定としてTukey法を用いた。なお、有意水準はともに5%とした。

### 2.5.1 筋電図

筋電図はディスプレイ電極(Vitrode F, 19 mm×36 mm, 日本光電社製)を用いて双極電極(電極間中心距離は2 cm)によって計測し、生体計測アンプ(INA121P, パーブラウシ社製)で信号を500倍に増幅した後、サンプリング周波数500 Hzで生波形を記録した。そして、高域通過周波数を10 Hzとして体動ノイズを除去した後に実効値を求め、低域通過周波数を2 Hzとして平滑化した。計測部位は、胸鎖乳突筋、僧帽筋上部、大胸筋鎖骨部、大胸筋胸肋部、上腕二頭筋、三角筋中部、橈側手根屈筋、尺側手根伸筋の計8か所(全て身体右側、図5)とした。胸鎖乳突筋は頭部の前後屈および側屈を行うため、目視で色を確認する頭部動作に作用し、僧帽筋上部は肩甲帯の挙上および上方回旋、大胸筋鎖骨部は肩関節の屈曲および内転、大胸筋胸肋部は肩関節の内転および内旋、上腕二頭筋は肘関節の屈曲、三角筋中部は肩関節の外転、橈側手根屈筋は手関節の橈屈および掌屈、尺側手根伸

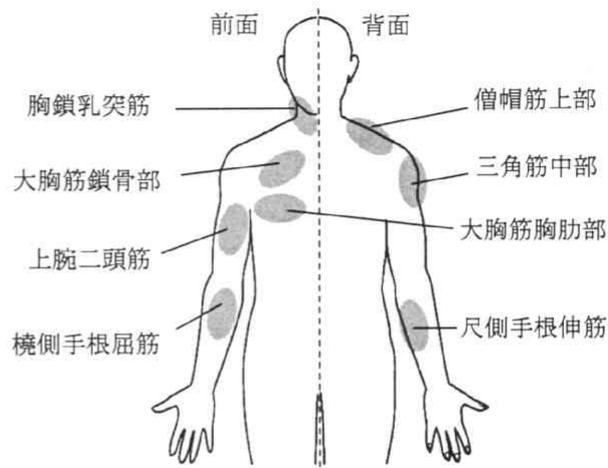


図5 筋電図電極貼付位置

筋は手関節の尺屈および背屈を行うため、検査対象物の取り回し動作に作用する〔16〕,〔17〕。そのため、今回の実験で対象とする作業における頸部および上肢の筋負担を評価することが可能であると考えられる。

計測した筋電図電位は、部位ごとに%MVCに変換し、それぞれの被験者に対し、実験条件ごとに2試行目の%MVCの平均値を算出して、筋負担を評価した。ただし、胸鎖乳突筋は最大随意筋収縮の発揮により頸部を痛める可能性があるため、検査対象物の大きさがA3、検査対象物の把持位置が側部、検査速度が検査ポイント1か所あたり1.0秒の条件を1としたときの割合(以下、筋電図電位相対比率)を用いた。

### 2.5.2 関節モーメント

各関節の関節角度を得るために、3軸方向の地磁気および3軸方向の加速度を計測できる3Dセンサ(TDS01V, バイテック社製)を用いた。3Dセンサを頭頂、右上腕、右前腕、右手背の計4か所に取り付け、センサの方位および傾斜角の変化から各関節の関節角度を求め、3次元の生体力学解析を行った。

関節モーメント推定値は、関節ごとに最大関節モーメントの文献値〔18〕~〔20〕に対する作業時の割合である最大関節モーメント比に変換し、それぞれの被験者に対し、実験条件ごとに2試行目の最大関節モーメント比の平均値を算出して、身体負担を評価した。

### 2.5.3 主観的負担感および操作性

主観的負担感は、手、手首、前腕、肘、上腕、肩、首の計7か所の負担感を、1(全く負担を感じない)から5(非常に強く負担を感じる)の5段階で評価した。作業しにくさは、1(非常に作業がしやすい)から7(非常に作業がしにくい)の7段階で評価した。

### 3. 結 果

被験者 10 名の平均値, および標準偏差について, 検査速度は図 6, 各筋の%MVC は図 7, 各関節の最大関節モーメント比は図 8, 主観評価は図 9 に示す. また, 胸鎖乳突筋の筋電図電位相対比率は A3 の条件, 尺側手根伸筋の%MVC は A1 の条件, それ以外は検査ポイント 1 か所あたり 1.0 秒の条件でグラフ化した.

#### 3.1 検査速度

検査ポイント 1 か所あたりの実際の検査速度は, 1.5 秒条件が 1.68 秒, 1.0 秒条件が 1.16 秒, 最大努力速度条件が 0.66 秒だった. また標準偏差は, 1.5 秒条件が 0.09 秒, 1.0 秒条件が 0.07 秒, 最大努力条件が 0.14 秒であった.

#### 3.2 筋 電 図

検査対象物の大きさについて, 分散分析の結果, 僧帽筋上部, 大胸筋鎖骨部, 上腕二頭筋, 三角筋中部, 橈側手根屈筋, 尺側手根伸筋の%MVC において有意な主効果がみられた. 下位検定の結果, 大胸筋鎖骨部以外では, A1 は A3, A5 より有意に%MVC が高く, 大胸筋鎖骨部においては, A1 は A3 より有意に%MVC が高かった. その他の筋については, 検査対象物の大きさによる有意な主効果がみられなかった.

検査対象物の把持位置について, 分散分析の結果, 僧帽筋上部, 上腕二頭筋, 三角筋中部, 橈側手根屈筋, 尺側手根伸筋の%MVC において有意な主効果がみられた. 下位検定の結果, 僧帽筋上部, 上腕二頭筋, 三角筋中部, 尺側手根伸筋は側部が下部より有意に%MVC が高く, 橈側手根屈筋は下部が側部より有意に%MVC が高かった. ただし, 上腕二頭筋については, 把持位置による差が 0.5% 程度だった. その他の筋については, 把持位置による有意な主効果がみられなかった.

検査速度について, 分散分析の結果, 胸鎖乳突筋の

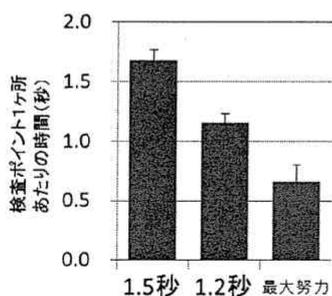


図 6 検査速度

筋電図電位相対比率および尺側手根伸筋の%MVC において有意な主効果がみられた. 下位検定の結果, 最大努力速度は検査ポイント 1 か所あたり 1.5 秒, 1.0 秒より有意に筋電図電位相対比率および%MVC が高かった. その他の筋については, 有意な主効果がみられなかった. また, 胸鎖乳突筋の筋電図電位相対比率

\*: 検査対象物大きさによる有意差あり  
 †: 把持位置による有意差あり  
 ‡: 検査速度による有意差あり

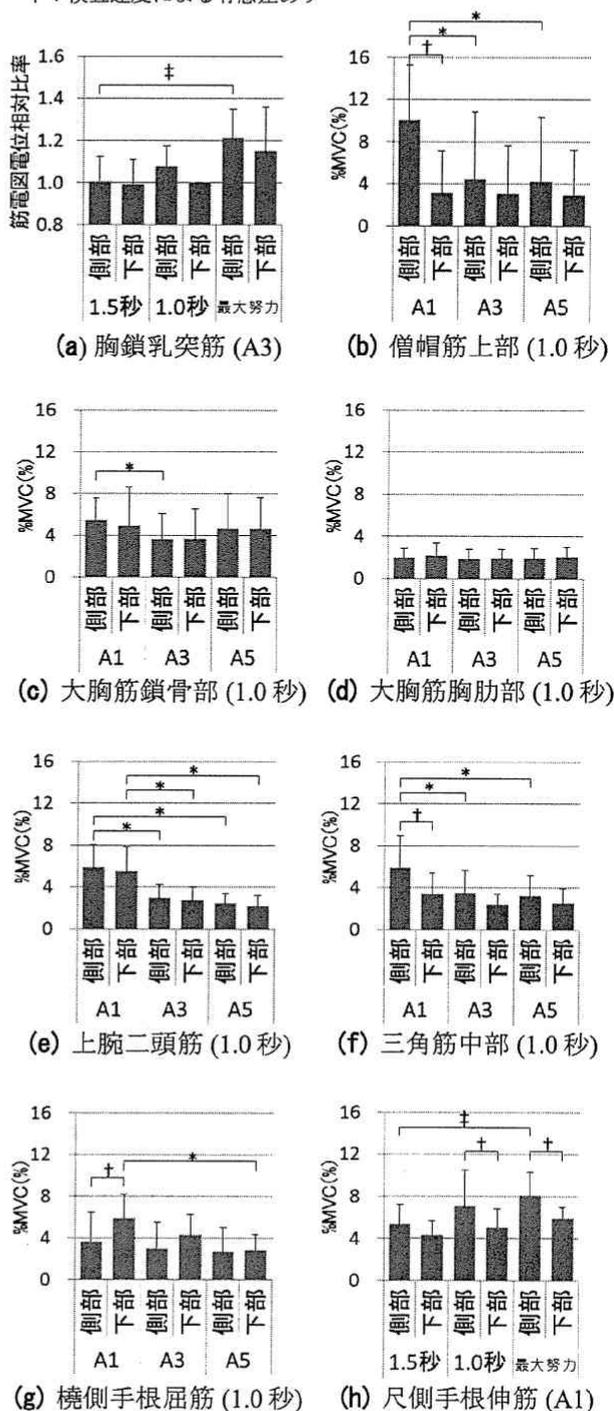


図 7 各筋の%MVC

なるが、肩関節をやや内旋した姿勢となる。一方、A1は、対象物の横幅（840 mm）が肩峰幅よりも大きく、肩関節の屈曲角および外転角がA3およびA5と比べて大きくなる。これにより、検査対象物および上肢の重心位置が肩関節から離れ、肩関節に発生するモーメントが大きくなるため、僧帽筋上部、大胸筋鎖骨部、三角筋中部の%MVCおよび肩関節の最大関節モーメント比が高くなったと考えられる。さらに、検査対象物の大きさが大きくなるにしたがって、検査ポイントを目視するために検査対象物を上下、左右に動かす必要があり、肩関節だけではなく肘関節や手関節の動作も行われる。そのため、上腕二頭筋、橈側手根屈筋および尺側手根伸筋の%MVCが高くなったと考えられる。また、主観的負担感と作業しにくさについても、検査対象物の大きさがA1のときに最も高くなった。これらの結果から、検査対象物の大きさは、上肢負担（筋電図、最大関節モーメント比）と主観評価（主観的負担感、作業しにくさ）の両方に影響を与える要因であると考えられる。

検査対象物の把持位置については、水準（側部、下部）によって負担が高くなる部位が異なっていた。側部は下部よりも把持位置が上方にあり、かつ身体から離れているため、肩関節を屈曲および外転して作業する必要がある。そのため、側部では下部よりも肩関節の屈曲角および外転角が大きくなり、僧帽筋上部と三角筋中部の%MVCおよび肩関節の最大モーメント比が高くなったと考えられる。肘関節の屈曲に作用する上腕二頭筋は、把持位置が側部のときに%MVCが高くなった。把持位置が側部で検査対象物の大きい場合には肩関節の外転角度が大きくなる。そのため、検査対象物を左右に動かすときには、肩関節の内転に加えて肘関節の屈曲が補助的に作用したと考えられる。また、把持位置が下部の場合は前腕の肢位が回外位であるため、検査対象物を引き寄せるときには肩関節の内旋が作用すると考えられる。内旋に作用する大胸筋胸部部は、把持位置が側部よりも下部で%MVCが高くなる傾向を示しているものの有意差はみられなかった。これは、肩関節内旋の主力筋が表面筋電図法では計測ができない肩甲下筋であり、大胸筋胸部部の内旋作用は補助的であったためだと考えられる。手関節の動作に関連する部位については、把持位置が側部のときは尺側手根伸筋の%MVCが高く、下部のときは橈側手根屈筋の%MVCが高くなった。側部では、検査ポイントが上段から中段、中段から下段になるにしたがって、検査対象物を手関節の尺屈方向に倒して目視しているため、尺側手根伸筋の%MVCが高くなったと考えられる。下部では、検査対象物を

把持した時点で手関節は橈屈位となっている。さらに、検査対象物の上段にある検査ポイントを目視するときには検査対象物を手関節の屈曲方向に倒しているため、橈側手根屈筋の%MVCが高くなったと考えられる。また、手および手首の主観的負担感は、把持位置が側部よりも下部で高くなっているが、これは把持位置によって動作の主体がどの関節にあったかに関係している。側部では、主として肩関節、肘関節の動作を行う筋の筋負担が高くなっており、肩関節と肘関節が動作の主体であったと考えられる。一方、下部では、側部よりも左右手の把持位置間の距離が狭く、肩関節の前額面方向の可動域が小さくなる。そのため、肩関節の動作がしにくくなり、手関節が動作の主体となり、手および手首の主観的負担感が高くなったと考えられる。

検査速度が最大努力速度のとき、胸鎖乳突筋の筋電図電位相対比率は高くなったが、肩関節および肘関節の動作を行う筋の%MVCには差がみられなかった。これは、検査対象物を把持している上肢よりも、自由に動かすことができる頸部の動作によって、速い速度に対応したためであると考えられる。また、尺側手根伸筋においても、最大努力速度のときに%MVCが高くなったが、肩関節および肘関節よりも小さなモーメントで手関節を動かすことができるため、手関節の動作によって、速い速度に対応したためだと考えられる。

## 5. 結 論

本論文では、検査対象物の取り回しを伴う模擬的な目視検査作業を対象として、作業時の上肢負担を明らかにすることを目的とした。実験では、実験条件は検査対象物の大きさが3水準、検査対象物の把持位置が2水準、検査速度が3水準、評価項目を筋負担、関節モーメント、主観評価を3項目とした。実験の結果、以下の知見が得られたので、これを本論文の結論とする。

- (1) 検査対象物の大きさは、検査対象物の取り回し作業、作業姿勢の維持および主観評価に影響を与える、上肢負担に対する主要な要因である。
- (2) 検査対象物の把持位置によって、負担が高くなる身体部位が異なる。
- (3) 最大努力速度になると、首関節および手関節への負担が高くなる。

## 参考文献

- [1] 検査技術委員会, 内山浩志: “検査技術の現状と展望”, *エレクトロニクス実装学会誌*, Vol. 12, No. 1, pp. 27-30 (2009)
- [2] 新田雅康: “金属表面検査における画像処理技術動向”, *電気製鋼*, Vol. 79, No. 4, pp. 299-303 (2008)
- [3] 河原 巖, 武川洋三: “検査の経済性—全数検査における検査ミスに関する実験的研究”, *中央大学理工学部紀要*, Vol. 22, pp. 445-447 (1979)
- [4] Megaw, E. D. and Richardson, J.: “Eye Movements and Industrial Inspection”, *Appl. Ergon.*, Vol. 10, No. 3, pp. 145-154 (1979)
- [5] Melloy, B. J., Harris, J. M. and Gramopadhye, A. K.: “Predicting the Accuracy of Visual Search Performance in the Structural Inspection of Aircraft”, *Int. J. Ind. Ergon.*, Vol. 26, No. 2, pp. 277-283 (2000)
- [6] 武岡一成, 田川晋一, 阿久津正大: “目視検査作業における供給方式間の構造比較: 作業の構造と適正速度の研究 (第1報)”, *日本経営工学会誌*, Vol. 37, No. 4, pp. 218-233 (1986)
- [7] 武岡一成, 田川晋一, 阿久津正大: “連続式目視検査における適正検査速度の研究: 作業の構造と適正速度の研究 (第2報)”, *日本経営工学会誌*, Vol. 37, No. 6, pp. 366-371 (1987)
- [8] 武岡一成, 田川晋一, 阿久津正大: “タクト式目視検査における適正検査速度の研究: 作業の構造と適正速度の研究 (第3報)”, *日本経営工学会誌*, Vol. 42, No. 1, pp. 1-7 (1991)
- [9] 齊藤 一, 岸田孝弥, 遠藤幸男, 齋藤むら子: “単調労働に関する研究 (IV) 空びん検査における適正な一連続作業時間について”, *労働科学*, Vol. 48, No. 6, pp. 337-351 (1972)
- [10] Jebaraj, D., Tyrrell, R. A. and Gramopadhye, A. K.: “Industrial Inspection Performance Depends on Both Viewing Distance and Oculomotor Characteristics”, *Appl. Ergon.*, Vol. 30, No. 3, pp. 223-228 (1999)
- [11] 堀井 健, 三浦 葵, 上坂重樹, 小谷賢太郎: “目視方向が目視検査作業者に及ぼす影響”, *人間工学*, Vol. 41, No. 3, pp. 154-160 (2005)
- [12] 三上行生, 泉 総一, 神代雅晴: “婦人労働者の作業能力と負担からみた作業適性に関する研究(1)—波形検査作業を対象として—”, *人間工学*, Vol. 25, No. 1, pp. 41-52 (1989)
- [13] 泉 総一, 三上行生, 神代雅晴, 斎藤和雄: “中高年齢女子の視覚情報処理作業能力と負担に関する研究—手指と視覚の協応作業および手指の視覚判断の波形検査作業を対象として—”, *人間工学*, Vol. 28, No. 4, pp. 175-187 (1992)
- [14] 米国保健福祉省公衆衛生局疾病管理センター国立労働安全衛生研究所: 「表面筋電図の人間工学応用」, 労働科学研究所出版部 (2004)
- [15] Criswell, E.: *Cram's Introduction to Surface Electromyography*, 2nd ed., Jones and Bartlett Publishers (2010)
- [16] 中村隆一, 斎藤 宏: 「基礎運動学 (第5版)」, 医歯薬出版 (2000)
- [17] 森 於菟, 小川鼎三, 大内 弘, 森 富: 「分担解剖学1 (第11版)」, 金原出版 (1982)
- [18] Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Martin, B. J.: *Occupational Biomechanics*, 4th ed., Wiley-Interscience (2006)
- [19] (独)製品評価技術基盤機構: 「NITE人間特性データブック (関節発揮トルク)」, [http://www.tech.nite.go.jp/human/jp/pdf/20FYdata/nite\\_human-databook.pdf](http://www.tech.nite.go.jp/human/jp/pdf/20FYdata/nite_human-databook.pdf) (アクセス日: 2012年5月24日)
- [20] Moroney, S. P., Schultz, A. B. and Miller, J. A.: “Analysis and Measurement of Neck Loads”, *J. Orthop. Res.*, Vol. 6, No. 5, pp. 713-720 (1988)
- [21] 首都大学東京体力標準値研究会編: 「新・日本人の体力標準値II」, 不昧堂出版 (2007)