

# 遠隔操作システムにおける立体視に関する研究

今井 智彦 西嶋 隆

## Research on Binocular Stereo Vision considering Teleoperation System

Tomohiko Imai and Takashi Nishijima

あらまし 従来のネットワークを利用した遠隔操作システムの多くは、遠隔地の作業環境を写した画像情報を操作者に提示する場合、単眼の画像情報を用いていた。この場合、操作者が奥行感を十分に知覚することができず、操作性が低下することがあった。そこで我々は、両眼立体視が可能な画像情報をそのデータ量について考慮して提示することにより、奥行知覚を向上させ、操作性の低下を防ぐことを考えた。本報告では、両眼立体視が可能な画像情報の画質が操作性に与える影響について検討を行った。その結果、操作者が画質劣化を知覚するに従い作業対象の位置を実際より提示画面の手前方向に目測してしまうため、それを実際より提示画面の奥方向に位置決めしようとする傾向があるという知見を得た。

キーワード 遠隔操作, 両眼立体視, 画質, 操作性

### 1. まえがき

情報通信技術の発展に伴い、インターネットを代表とするコンピュータネットワークが社会に広く普及しつつあり、それを通じて遠隔地間で各種情報(文字, 映像, 音声等)のやり取りが可能となっている。また、ロボット技術の分野では、人間が直接立ち入ることができない環境での作業を目的としたテレロボティクスの研究が長い間続けられている。近年、その研究にネットワークを利用して、より身近な作業にも活用することを目的としたネットワークロボティクスという研究が拓かれて、現在盛んに行われている[1]。

人間がネットワークを利用して遠隔作業を行う場合、遠隔地の作業環境を写した画像情報が必須である。例えば、遠隔地からの家庭保守や簡単な介護作業、工場内の機器監視や保守を行う場合、操作者に対して作業対象やその周囲の状況を写した画像情報が提示されていないと十分な状況確認を行えないため作業遂行が困難となる。このとき、提示される画像情報中に遠隔作業を行う際に要求される情報が含まれていないと操作性は低下する。遠隔作業のうち、監視のような見るだけでよい作業の場合、作業対象の形状、色彩が知覚できることが最低限必要であるが、単眼の画像情報だけでもこれらの情報が含まれているためその作業は可能である。また、作業対象の水平移動を行うような比較的簡単な作業の場合、単眼の画像情報だけでもおおよその位置への移動程度の作業は可能である。しかし、作業対象の組立など複雑な作業の場合、単眼の画像情報には提示画面に対して上下およ

び左右方向の情報ばかりで奥行情報は十分に含まれていないため操作性が著しく低下する。そのため、立体的な情報を提示する必要がある。従来の研究として、単眼の画像情報を生成する際に補助情報(ツールの影)を付加することにより、立体的な情報を操作者に提示する試みがある[2]が、これは常に安定した補助情報の提示が難しいという問題がある。またその研究では、2台のカメラを用いて作業環境を二方向から撮影し、それらを提示しているが、これは操作者が作業環境を把握するのに時間を費やしてしまう恐れがある。

そこで我々は、直感的に奥行感を知覚できる両眼立体視を用いることを考える。ここで、ネットワークを利用して両眼立体視が可能な画像情報を伝達するとき、それが膨大なデータ量を持つことが問題となる。そのため、そのデータ量を削減する必要がある。現在、画像圧縮技術により画像データ量を削減できるが、データ量を大きく削減するために高圧縮にするに従い画質が劣化し、反対に高画質にするために低圧縮にするに従いそのデータ量が大きくなる。このように画質と画像データ量はトレードオフの関係にある。従来の両眼立体視を用いた研究[3]の多くは、ほぼ可能な限りその情報を高画質にして提示しており、それは広帯域のネットワークを利用することが前提となっている。しかし、ネットワークを利用するすべての人間が広帯域のネットワークを利用できるわけではなく、またいくらそれを利用できるようになったとしてもより効率的に利用する必要はあると考える。そのため、画像データ量の削減につながる画質の検討が必要不可欠である。

そこで本報告では、両眼立体視を用いて操作性の低下を防ぐと共に狭帯域のネットワークを利用することも想定して、両眼立体視が可能な画像情報の画質が操作性に与える影響について検討を行う。両眼立体視が可能な画像情報の画質に関して主観評価を用いた研究はある[4]が、本報告ではそれも含めた操作性について検討する。

## 2. 実験

両眼立体視が可能な画像情報の画質が操作性に与える影響について検討を行うために以下に示す実験を行い、その作業における目測誤差と位置決め誤差を得る。本実験では、得られるデータに作業環境やネットワークの状態変動に起因する影響が出ないようにするために、以下のような方法を用いる。

### 2.1 実験方法

図1のように直径15mm、高さ100mmの円柱形状の木片を配置した環境を本実験の作業環境とする。図1中で示した木片がAB間を往復運動する動画像を取得するため、2.2.1項で述べる方法により撮影する。撮影した画像情報は2.2.2項で述べる方法により処理し、これらを用いて次の実験を行う。なお、被験者に提示する画像情報の画質は両眼ともに同じとする。

はじめに、被験者は提示画面上を前後に移動している画面中央の木片(以後、作業対象と呼ぶ)をマウスによりあらかじめ指定された位置に停止させる。なお、作業対象を停止させられるのは1回だけとする。次に、被験者は画面左右に一列に並んでいる木片(以後、マーカと呼ぶ)を基準にして、作業対象の位置を口答で報告する。最

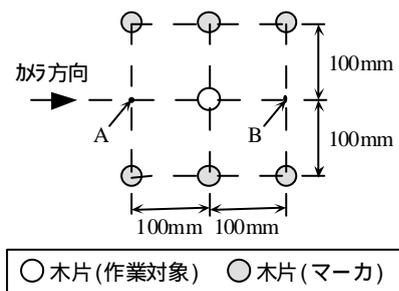


図1 実験用作業環境(上面図)

Fig.1 Working environment for experiment (top view)

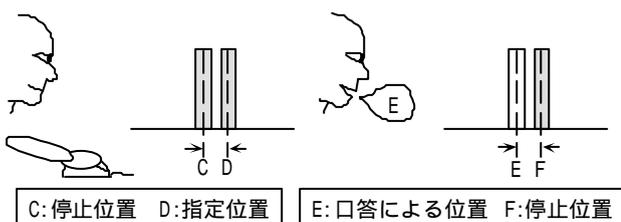


図2 実験データの関係図

Fig.2 Relation of data by experiment

後に、被験者はそのときの画質劣化についての主観評価を後記の尺度に基づいて口答で報告する。

図2に本実験で得られるデータの関係図を示す。実験により得られた、作業対象のマウスにより停止させた位置(図2中C点)とあらかじめ指定された位置(図2中D点)との差より、画質による位置決め誤差を得る。また、作業対象の口答による位置(図2中E点)とマウスにより停止させた位置(図2中F点)との差より、画質による目測誤差を得る。

### 2.2 実験装置

#### 2.2.1 画像取得

図3に画像取得システムの構成図を示す。前節で述べた作業環境の状態を取得するために、2台のCCDカメラを図1で示した方向に向けて配置する。このとき、カメラの輻輳点は図1中A点とする。

2台のカメラより取得した画像情報はフィールド多重化回路[5]を用いて1つに合成してPC上に取り込む。取り込んだ画像情報は、再度2つに分割してそれぞれをビットマップ形式でPCのハードディスク上に保存する。本実験では、クレイアニメーションの要領で、作業対象を1mmずつ動かした画像情報を左右眼用201枚ずつ取得して保存する。図4にその一例を示す。

#### 2.2.2 画像提示

図5に画像提示システムの構成図を示す。本実験では、画像圧縮方式としてJPEGを用いることとし、WWW上で公開されているソースコード[6]を利用する。これは、画質を表す量としてQuality(Q)を用いており、その値を元に画像制御を行っている。なお、Qは1~100の値をとり、Q=100が最高画質となる。Qを変更することにより、圧縮された画像情報に発生するブロックひずみが変わり、人間に検知されるその劣化の度合いが変わる。本実験では

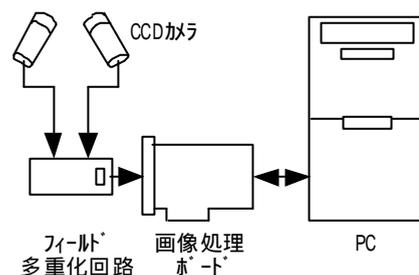


図3 画像取得システム構成図

Fig.3 System configuration of image capturing



(a)左眼用 (b)右眼用  
(a) Left eye (b) Right eye

図4 取得画像例

Fig.4 Example of captured image

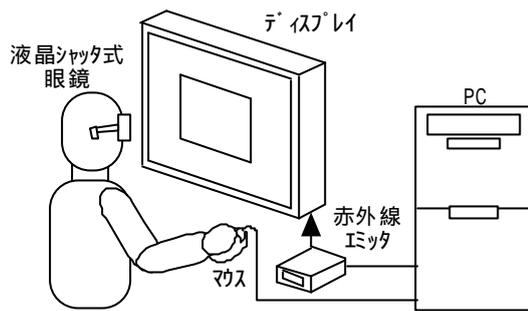


図5 画像提示システム構成図

Fig.5 System configuration of image display



(a) Q=10 (b) Q=100

図6 提示画像例(左眼用)

Fig.6 Examples of displayed image for left eye

このQを画質のパラメータとして扱うこととする。また、実験前に、前項で取得・保存した画像情報をあらかじめQを変更して圧縮・伸張し、ビットマップ形式でハードディスク上に保存しておく。実験時にはそれらをそれぞれの画質に応じてクリアアニメーションの要領で提示する。図6にその一例を示す。

被験者は、液晶シャッタ式メガネ(CrystalEyes, StereoGraphics社製)を装着することにより、ディスプレイに提示された画像情報を立体視することができる。なお、ディスプレイサイズは19インチである。また、マウスをクリックすることにより、提示画像のアニメーション開始・停止を行うことができる。

### 2.3 結果および考察

成年男子4名に対して、表1の実験条件の下、2.1節で述べた実験について、両眼立体視を用いた場合とこれとの比較のために単眼視を用いた場合で行った。なお、単眼視の実験では、両眼立体視の実験時に左眼に提示する画像情報を左右両眼に提示することとし、その他の実験条件は両眼立体視と同様とした。実験に際し、各被験者はあらかじめ画像圧縮していない画像情報を用いて複数回操作練習を行い、その後各画質について5回ずつ実験を行った。

なお、実験結果のグラフにおいて、各誤差の値が正の値のときは提示画面の奥方向に誤差が生じ、負の値のときは手前方向に生じたことを示す。また、誤差を示したグラフにおいて、グラフを見やすくするために横軸の値を若干左右にずらしている。

#### 2.3.1 両眼立体視と単眼視の差異

図7に両眼立体視および単眼視を用いた場合の目測誤差の平均および標準偏差を示す。図7からわかるように、双方のグラフ共に同様の曲線を描いており、高画質にな

表1 実験条件

Table 1 Experimental conditions

提示画像	320×240pixels
画像圧縮方式	JPEG
画質(Q)	10, 15, 27, 37, 55, 79, 100 (7種類)
ディスプレイ解像度	800×600pixels
ディスプレイの種類	19inch (ブラウン管)
照明	蛍光灯
主観評価尺度	5段階 (表2による)

表2 主観評価尺度

Table 2 Subjective rate scale

尺度	カテゴリ
5	(劣化が)わからない
4	(劣化が)わかるが気にならない
3	(劣化が)気になるが邪魔にならない
2	(劣化が)邪魔になる
1	(劣化が)非常に邪魔になる

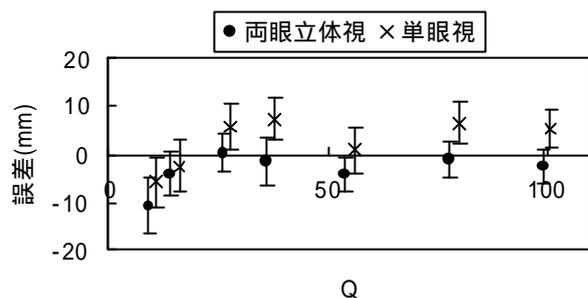


図7 目測誤差

Fig.7 Error of visual measurement

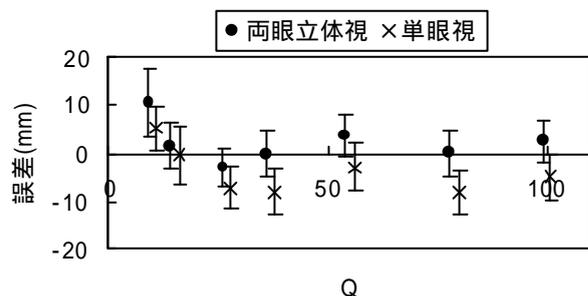


図8 位置決め誤差

Fig.8 Locational error

るに従い誤差がほぼ一定の範囲に留まるが、その値は両眼立体視を用いた場合が単眼視の場合より小さい。図8に両眼立体視および単眼視を用いた場合の位置決め誤差の平均および標準偏差を示す。図8からわかるように、図7と同様にその値は両眼立体視を用いた場合が小さい。

これらは、単眼視の場合は作業対象が床面に垂直に立っているのではなく提示画面の奥方向に倒れこんでいるように知覚されるが、両眼立体視の場合は作業対象と床面との関係をほぼ正確に知覚することができるためと考えられる。つまり、本実験の作業において、単眼視では作業対象の位置が実際より縮小して知覚される傾向があるが、両眼立体視を用いることによりそれを補正できる。

### 2.3.2 画質が操作性に与える影響

図9に両眼立体視を用いた場合の画質による目測誤差および位置決め誤差の平均および標準偏差を示す。図9からわかるように、画質が劣化するに従って目測誤差が提示画面の手前に向かって大きくなる傾向がある。これは、画質の劣化に伴い作業対象およびマーカの輪郭がはっきりしなくなるため、立体感が乏しくなると同時にそれらが肥大して知覚されるためと考える。また、図9からわかるように、画質が劣化するに従って位置決め誤差が提示画面の奥に向かって大きくなる傾向がある。これは、画質の劣化に伴い、前述のように目測では作業対象が実際より拡大して知覚されるので、位置決めを実際より提示画面の奥方向に行おうとしたためと考えられる。

図10に画質劣化の主観評価の平均を示す。図9および図10からわかるように、目測誤差および位置決め誤差が大きくなるとともに、画像劣化の主観評価値が急激に悪化していることがわかる。

以上より、次のような過程で実験結果の現象が起こったものと考えられる。画質が劣化すると、作業対象およびマーカの輪郭がはっきりしなくなり、立体感の知覚が難しくなるため、画質劣化の主観評価が悪化した。それに伴い作業対象を実際の位置より提示画面の手前方向に目測してしまうため、被験者は実際の位置より提示画面の奥方向に位置決めした。

また、 $Q=100$ を基準として各 $Q$ における目測誤差および位置決め誤差のF検定を行った。なお、検定に用いたデータ数は20(被験者4人×5回)である。その結果、 $Q=15$ 以上のときは5%の有意水準で有意差が見られなかったが、 $Q=10$ のとき有意差が見られた。このことから、本実験の作業において操作性の低下を防ぐためには、画質劣化の主観評価において許容限(主観評価値 3.5)以上の画質が必要であると考えられる。

### 3. まとめ

ネットワークを利用した遠隔操作システムにおいて、遠隔作業の操作性の低下を防ぐために、作業を行う操作者が直感的に奥行感を知覚できるように、両眼立体視が可能な画像情報を操作者に提示した。両眼立体視が可能な画像情報の画質が操作性に与える影響については、操作者が画質劣化を知覚するに従って作業対象の位置を実

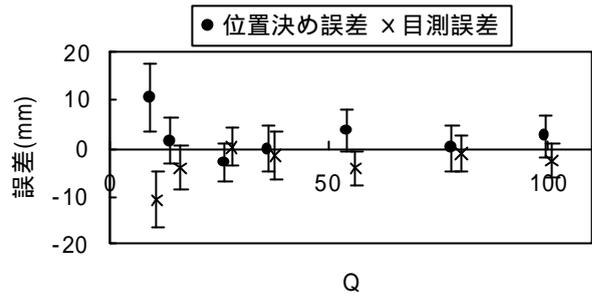


図9 目測誤差および位置決め誤差

Fig.9 Error of visual measurement and location

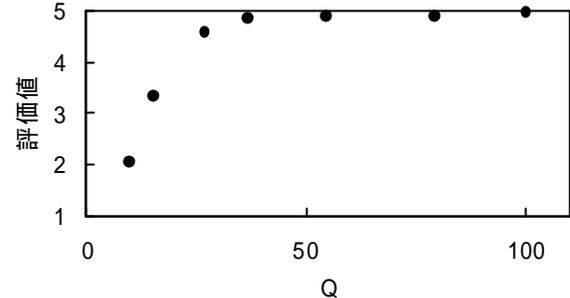


図10 画質劣化の主観評価

Fig.10 Subjective evaluation of image quality

際より提示画面の手前方向に目測してしまうため、それを実際より提示画面の奥方向に位置決めしようとする傾向があるという知見を得た。また、本実験の作業において操作性の低下を防ぐためには、画像劣化の主観評価において許容限(主観評価値 3.5)以上の画質が必要であるという結果を得た。

### 文献

- [1] 比留川博久, “テレロボティクスからネットワークロボティクスへ”, 日本ロボット学会誌, vol.17, No.4, pp.458-461, 1999
- [2] 富崎真, 吉留巧, 光石衛, 藤原一夫, 橋詰博行, “微細血管縫合用遠隔手術システムの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99講演論文集, 1P2-10-006, 1999
- [3] 金谷一朗, “通信衛星による遠隔診断プロジェクト”, 情報科学研究会講演集, pp.30-36, 1998 など
- [4] 河合良直, 堀田裕弘, 村井忠邦, “ステレオ静止画像における画質評価モデルの構築”, 映像情報メディア学会技術報告, pp.17-24, 1999
- [5] [http://robotics.aist-nara.ac.jp/~yoshio/research/system/mix/mix\\_j.html](http://robotics.aist-nara.ac.jp/~yoshio/research/system/mix/mix_j.html)
- [6] “JPEG ソースコード”, <ftp://ftp.uu.net:/graphics/jpeg/ jpegsrc.v6b.tar.gz>