

## 高解像度部分を持つ広写角立体映像システムの開発 とその評価

江渕, 和久

九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻 : 修士課程

松永, 勝也

九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻

志堂寺, 和則

九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻

野瀬, 康弘

九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻 : 修士課程

他

<https://doi.org/10.15017/1498339>

---

出版情報 : 九州大学大学院システム情報科学紀要. 3 (1), pp.57-61, 1997-12-22. Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

## 高解像度部分を持つ広写角立体映像システムの開発とその評価

江 渕 和 久\*・松 永 勝 也\*\*・志 堂 寺 和 則\*\*・野 瀬 康 弘\*  
伊 藤 大 輔\*・井 上 朋 紀\*・源 雅 彦\*\*\*

### The Development and Evaluation of Wide Angle Stereoscopic Video System with High Resolution Area

Kazuhiisa EBUCHI, Katsuya MATSUNAGA, Kazunori SHIDOJI, Yasuhiro NOSE,  
Daisuke ITOH, Tomonori INOUE and Masahiko MINAMOTO

(Received December 22, 1997)

**Abstract:** We have developed a new stereoscopic video system (the Q stereoscopic system) which has higher resolution at the central area than others. The Q stereoscopic video system is composed of four video cameras and four video displays. Two of the four cameras, to which wide-angle lenses are attached, are combined into a stereoscopic camera system. And the remaining two cameras, to which narrow-angle lenses are attached, are adjusted to have the same optical center axis as each of the wide-angle cameras. The Q stereoscopic display system is composed of two large video displays and two smaller video displays. The former receive images from the wide-angle stereoscopic cameras, and the latter receive images from the narrow-angle stereoscopic cameras. With this system, human operators can see wide stereoscopic compound images that have a high resolution center. In cases in which it is necessary to do detailed work with objects that scattered over a wide working space, the Q stereoscopic system is highly effective.

**Keywords:** Stereoscopic video, Stereoscopic camera, Stereoscopic display, Wide and high resolution, Teleoperation, Telerobotics, Telepresence

#### 1. はじめに

原子力プラントの修理・解体作業や火砕流発生地域での防災作業など、危険区域における作業では、現在安全な場所からの遠隔作業が一部で行われている。

遠隔作業を行う場合、3次元空間である作業空間を作業者にどのようにして認識させるかが作業効率を向上させる上で重要となる。人間の眼の網膜上では、外界は2次元平面に投影される。このため作業を行う場合、脳の中で網膜の2次元情報を元に3次元構造の復元をする必要がある。実空間において、人間は両眼視差などの生理学的な手がかりや、線透視画的情報といった絵画的な手がかりなどの様々な手がかりによって、奥行き方向の復元を行う。遠隔作業においてもこのような手がかり情報を操作者に与える必要がある。

立体ビデオシステムは、もっとも有効な奥行き手がかりのひとつである両眼視差手がかりを作業者に与える目的で考案された装置である。人の眼の両眼視差の知覚閾値は10秒前後であり、この両眼視差は理想状態で200m程度まで機能するといわれている<sup>1)2)</sup>。しかし、立体ビデオシ

テム下の作業での作業効率は、実空間を直視しての作業の場合と比較して、作業効率がかかなり悪い事が知られている<sup>3)</sup>。これは輻輳や調節などの他の奥行き手がかりが欠けていることもあるが、現行のビデオシステムの空間的特性が人間の眼の空間的特性にはるか及ばないためであると考えられる。

人間の眼は、両眼でおよそ200度近くにも及ぶ視野を持ち、なおかつ視野中心部は高空間分解能を有している。すなわち、周辺視を利用して自己の周囲に散在する物体の位置認識をおこなう一方、中心視では物体の細かな構造認識が可能である。しかし、従来の立体ビデオシステムでは、この人間の眼のような広視野かつ高分解能という特性を満たすことができない。細かい作業を行おうとして、ビデオカメラのレンズを望遠領域とし対象像を拡大すると、周辺に散在する物体との位置関係の認識が困難になり、その位置関係を把握できるようにビデオカメラのレンズを広角領域にすると細かい作業が困難となる。また物体の位置認識と構造認識を行なうために、ビデオカメラのズーム機能を使用し、写角を変化させて作業を行なった場合、写角を固定して作業を行なった場合よりも作業時間が長くなる事が分かっている<sup>3)</sup>。

本研究では、遠隔作業の効率を向上させるため、人の眼のような広視野、高空間解像特性を持つ新方式の立体

平成9年12月22日受付

\* 知能システム学専攻修士課程

\*\* 知能システム学専攻

\*\*\* (株)Fujita イチケン

ビデオシステムの開発を試みた。

## 2. 新システムの開発

### 2.1 従来システムにおけるズーム機能使用の問題点

ビデオカメラのズーム機能を使用すると、必要時に写角を変えることで、広い空間に散在する物体の位置認識と作業対象となる細かい物体の構造認識の両方が断時的にはあるが可能となる。しかし、これまでの著者らの研究において、ビデオカメラのズーム機能を使用した可変写角映像下の遠隔作業は、固定写角映像下での遠隔作業と比較して、作業時間が長くなることが明らかとなっている(Fig. 1)<sup>3)</sup>。

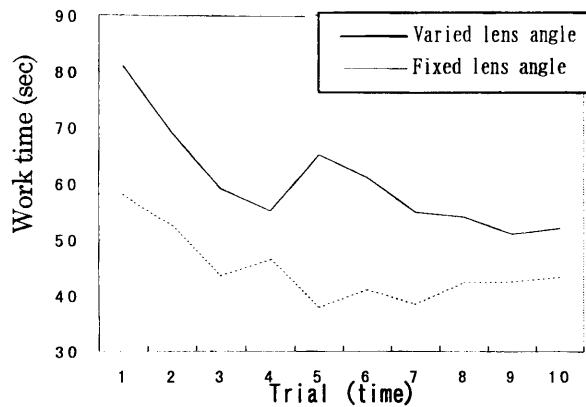


Fig.1 The difference between the work time under varied lens angle and that under fixed lens angle

ズーム機能の使用による可変写角映像による遠隔作業では、写角を変更することに視覚情報と運動量の対応関係の修正が求められ、これが作業効率を低下させていると考えられる。

このことから、遠隔作業において作業効率を高めるには、広視野、高分解能を固定写角で実現する立体映像システムを実現することが必要であるといえる。

### 2.2 4眼式立体映像システム

人の視覚は、広い視野を持ちながら細かい空間構造の認識も可能である。ただし、解像度が高いのは中心視領域のみである。したがって、立体映像システムにおいても、人間が中心視する領域のみの解像度を高くすればよいこととなる。そこで、広画角の映像装置において、その映像の一部が高解像度であるような立体映像システム(4眼式立体映像システム)を開発した。

### 2.2.1 映像撮影部

片眼の映像を撮影するために、広写角ビデオカメラと狭写角ビデオカメラを1台ずつを組み合わせ1組とした(Fig. 2)、立体映像とするため、この組が左右に一つずつあり、合計4台のカメラで映像撮影部を構成した。広写角ビデオカメラと狭写角ビデオカメラはビームスプリッタを用い光軸が一致するように組み合わせた。

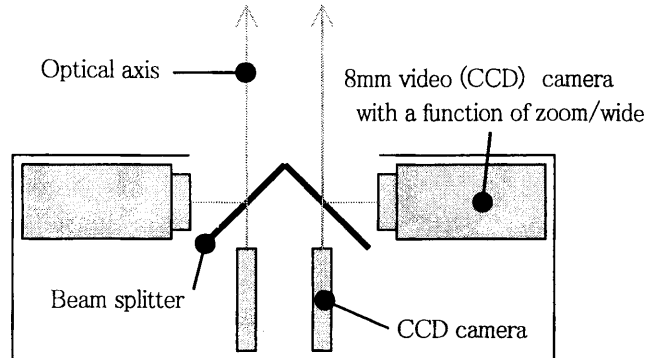


Fig.2 The new stereoscopic camera system consists of four video cameras.(The Q stereoscopic video camera system)

### 2.2.2 映像表示部

映像表示部は、広画角映像表示装置として31inchディスプレイを2台、狭画角(高解像度)映像表示装置として14inchディスプレイを2台の計4台の表示装置で構成した(Fig. 3)。

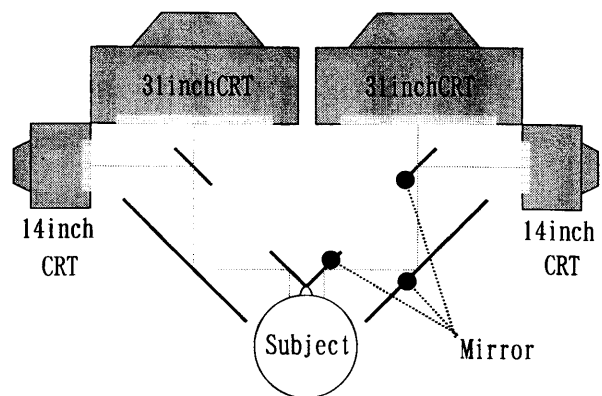


Fig.3 The new stereoscopic video display system consists of four video display.(The Q stereoscopic video display system)

31inchディスプレイと14inchディスプレイはブラウン管面が直角になるように配置した。小さな鏡を広画角映像

表示装置の中心領域の手前にディスプレイ面に対し45度の角度で傾けて設置した。この鏡は狭画角(高解像度)映像を被験者に反射する。このような配置をとることで、広画角映像の中心領域に周辺領域より部分的に解像度の高い映像を嵌め込むことができる。

この重ね合わせた映像の作成においては、狭写角用ビデオカメラの撮像写角を調節し、広画角映像と狭画角映像とが連続した1枚の映像として見えるように調整した。この映像を複合画像と呼ぶ。複合画像の概念図をFig. 4に示す。複合画像の広画角映像とその中心領域に嵌め込んだ狭画角映像は、共にNTSC規格であるため、走査線数は同じである。故に、狭画角映像の単位面積当りの解像度は周囲の広画角映像よりも高くなり、映像全体としては広画角で、その中心領域は高解像度な映像となる。

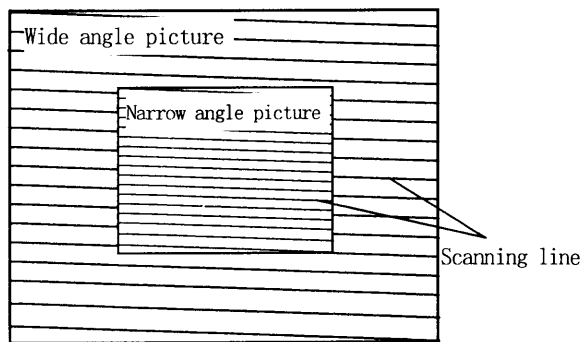


Fig.4 Illustration of a compound image of the Q display

左右眼用の複合画像を立体視できるように表示装置を配置し、立体映像表示システムを構成した。

### 3. 4眼式立体映像システムの評価実験

従来の立体映像システムと今回開発した4眼式システムの比較実験を行なった。以下では、従来の立体映像システムを2眼式立体映像システムと呼ぶ。今回、実験には広写角用CCDカメラに水平写角46度固定の広角レンズを用いた。

#### 3.1 実験装置

4眼式立体映像システムの広画角映像の水平画角は34度、狭画角映像の水平画角は19.4度であった。2眼式立体映像システムの画角は、4眼式システムの広画角と同一とした。この4眼式システムの構成では、狭画角映像部は広画角映像部の約3.0倍の画素密度を持つことになる。また、作業を行なうための遠隔操縦装置(スレーブ)としてバックホーを使用した。映像撮影部はバックホーの

操縦席の上、ブロックを35度の俯角で見下ろす位置に設置した(Fig. 5)。作業者は遠隔作業現場を直視できない所にある室内で、立体映像システムを利用してバックホーの操縦桿と同仕様の操縦桿を操作し、現場のバックホーを操作した。

#### 3.2 作業課題と被験者

バックホーのアームは、バケット背面を地面につけた状態で所定の位置に設置した(初期位置)。被験者には、この初期位置から、アームを上げ、バックホーを旋回して、バケットの先端に取り付けたフックでブロックの取っ手をひっかけて、ブロックを釣り上げるよう指示した(Fig. 5)。2眼式システム下と4眼式システム下でこの釣り上げ作業を行わせ、作業時間と誤り(フックがブロックの取っ手以外の部分に当たった、取っ手にうまく引っかからなかった等)回数を測定し、両システムで比較を行なった。

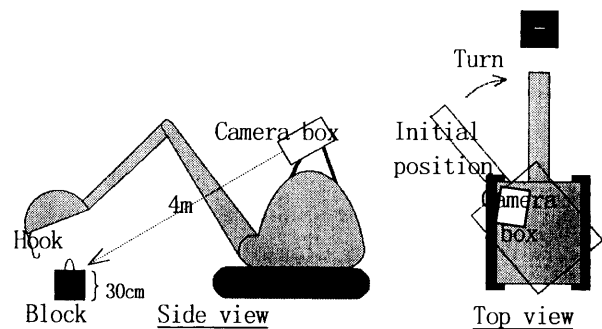


Fig.5 Work theme

被験者は22歳から55歳までの男性9名、女性1名、計10名であり、バックホーの操縦経験はなかった。バックホーの操作法を習得するため、実験前にバックホーの操縦席からの直視による練習試行を20回行なった。本試行では、各被験者は2眼式、4眼式の両システムで、それぞれ13試行ずつ釣り上げ作業を行った。最初の条件下での学習が、後の条件下の作業に影響を及ぼすであろうことを考慮し、両条件の実施間に半日~1日の間隔をおいた。また被験者10名のうち、5名には2眼式下での実験を先に行い4眼式を後で行わせた。残りの5名は4眼式下の実験を先に行い2眼式を後で行わせた。

#### 3.3 結果と考察

Fig. 6に各条件下における1試行あたりの作業の誤り回数を示す。この作業の誤り回数に関して、「システムの種類」(被験者内、2眼式・4眼式)と「試行回数」(被験者内、1回目~13回目)の2要因による分散分析を行なった。Table-1にその結果を示す。

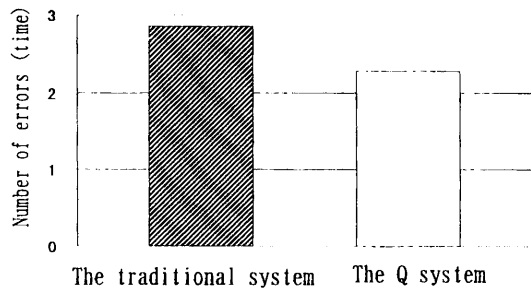


Fig. 6 The number of errors of work

Table-1 Table of Analysis of Variance

Source	SS	df	MS	F	p
Subject	137.02	9	15.22		
A:システムの種類	17.78	1	17.78	5.98	0.037*
Error[AS]	26.75	9	2.97		
B:試行回数	91.08	12	7.59	1.23	0.274
Error[BS]	667.68	108	6.18		
AB	47.12	12	3.93	0.72	0.727
Error[ABS]	587.35	108	5.44		
Total	1574.78	259			

\* p<.05

分散分析によると、2眼式システムによる作業より、4眼式システムによる作業の方が、作業誤りが有意に少ないことが分かった（1試行あたりの平均誤り回数は2眼式が2.9回、4眼式が2.3回）。また、誤りの回数にのばつきも2眼式に比べて4眼式の方が少なかった。

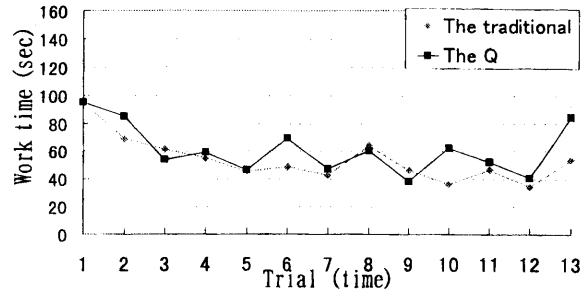
Fig. 7に各条件における平均作業時間の変化をシステムの実施順序毎に示す。

図から4眼式下の作業では、条件の実施順序は作業時間に影響を与えないが、2眼式下の作業では、2眼式を先に行くと作業時間が長くなる傾向がある。この作業時間に関して、「システムの実施順序」（被験者間、2眼式→4眼式・4眼式→2眼式）、「システムの種類」（被験者内、2眼式・4眼式）、「試行回数」（被験者内、1回目～13回目）の3要因について分散分析を行なった(Table-2)。

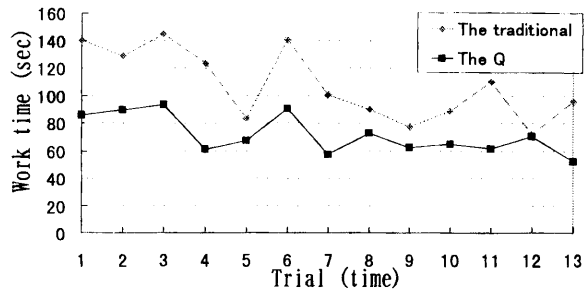
その結果、「システムの実施順序×システムの種類」の交互作用が有意であった。交互作用における単純主効果の検定結果についてTable-3に示す。

2眼式システムで作業を行った場合(b1)の「システムの実施順序」の単純主効果および2眼式の作業の後に4眼式の作業を行った場合の「システムの種類」の単純主効果が有意であった。一方、4眼式システムで作業を行っ

た場合の「システムの実施順序」や、4眼式の後に2眼式で作業を行った場合の「システムの種類」の単純主効果は有意でなかった。



The Q → The traditional



The traditional → The Q

Fig. 7 Change in mean work time

(The traditional means the traditional stereoscopic system. The Q means the Q stereoscopic system)

Table-2 Table of Analysis of Variance

Source	SS	df	MS	F	p
A:システムの実施順序	65641.59	1	65641.59	3.49	0.0989+
Error[S(A)]	150693.56	8	18836.70		
B:システムの種類	13168.87	1	13168.87	11.38	0.0097**
AB	30425.84	1	30425.84	26.28	0.0009****
Error[BS(A)]	9261.57	8	1157.70		
C:試行回数	56754.98	12	4729.58	2.41	0.0089**
AC	13135.28	12	1094.61	0.56	0.8702
Error[CS(A)]	188280.80	96	1961.26		
BC	6777.05	12	564.75	0.43	0.9482
ABC	8560.68	12	713.39	0.54	0.8818
Error[BCS(A)]	126300.98	96	1315.64		
Total	669001.19	259			

+ p<.10, \*\* p<.01, \*\*\*\* p<.001

Fig. 8にシステムの実施順序毎に分けた両システムの平均作業時間を示す。このグラフや統計の検定結果から、1) 4眼式、2眼式の順に作業を行った場合は両者の作業時間に差はない（2眼式は平均53.9秒、4眼式は平均61.3秒）、2) 2眼式、4眼式の順に作業を行った場合は先に行

Table-3 Means for interaction

Effect	SS	df	MS	F	p
A(b1)	92723.77	1	92723.77	9.28	0.0077**
A(b2)	3343.67	1	3343.67	0.33	0.5711
error		16	9997.20		
B(a1)	41814.20	1	41814.20	36.12	0.0003****
B(a2)	1780.51	1	1780.51	1.54	0.2501
error		8	1157.70		

\*\* p&lt;.01, \*\*\*\* p&lt;.001

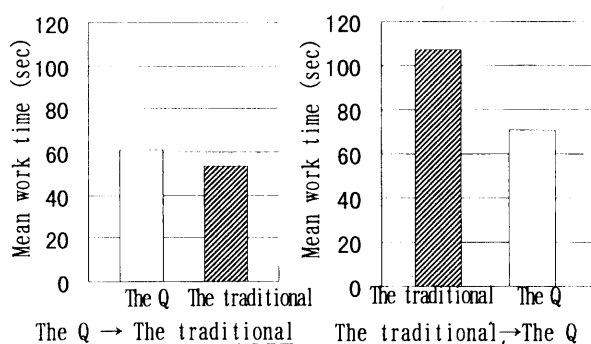


Fig.8 Trial order of systems and mean work time

った2眼式システムによる作業は多くの時間を要した(2眼式は平均107.3秒, 4眼式は平均71.4秒), 3) 4眼式システムによる作業は, どちらの実施順序でもほぼ同程度の作業時間であることが分かった。

また試行回数について, 有意な主効果が認められたので, ライアン法による多重比較を実施した。しかし, ライアン法ではどの試行の間にも差はみられず, どの試行間に差があるのか特定できなかった。

#### 4. 総合的考察

実験の結果から, 4眼式下の作業では, 2眼式下の作業と比較して, 作業の誤りが少なく, 作業開始当初から作業時間が短かめで安定していることが分かった。これは, 4眼式では, 画面の中心部には高解像度の映像が与えられているために, 作業の遂行に十分な細かい3次元構造の認識が可能であり, 作業者は日常生活で形成され

た処理プログラムに基づいて作業を行うことが出来たと考えられる。4眼式に比べ, 2眼式では情報が不十分であるため, 試行を繰り返すなかで新たな処理プログラムを形成する必要があったと考えられる。また, 4眼式は2眼式と同様に画面全体には広画角の映像が与えられており, 空間における物体の位置関係の認識も容易であった。一方, 2眼式下の作業では, 4眼式下の作業よりも, 作業の誤りが多く, 4眼式による作業の先行経験がない場合には2眼式において試行をある程度繰り返さないと4眼式の作業水準に達しなかった。これは2眼式システムでは, 4眼式システムに比べ作業者に作業遂行に必要な空間分解能となっていないためであると考えられる。最初に2眼式システムによる作業を行うと, 被験者はブロックの細かい構造を見分けられず, 試行錯誤的に作業を行ったため, 誤りが多く作業時間が長かかった。試行を重ねるに連れ作業空間や作業対象物の奥行きについての新たな処理プログラムが形成され, 作業時間が短くなったと考えられる。

我々の開発した4眼式立体映像システムは広視野と高分解能という本来相反する要求を同時に満たす有用な立体映像システムであるといえる。

#### 5. まとめ

高解像度の中心領域と広い視野角を持つ4眼式立体映像システムの有用性が明らかとなった。4眼式立体映像システムにより, 作業者は細かい3次元構造の認識が可能となる。また, 広い範囲の作業空間の構造の把握も容易である。従って, 本システムは高精度の作業が要求される場合や作業対象の空間位置が変化する場合にも有効であるといえよう。

#### 参考文献

- 1) 萩原朗: 深視力, 萩原朗(監修) 眼の生理学, 医学書院, pp.403-405, 1966.
- 2) Nagata.S: How to reinforce perception of depth in single two-dimensional pictures, Ellis.S ed, Pictorial communication in virtual and real environments, Taylor & Francis, PP527-545, 1991.
- 3) 松永勝也: 遠隔操縦機器の映像環境と操作環境, 九州技報, No.17, pp.43-48, 1995.

#### 付記

この論文の一部は情報処理学会第55回全国大会にて発表した。