

〔非公開〕

TR-C-0001

立体画像における
高能率符号化方法の一検討

山口 博幸

秋山 健二

小林 幸雄

HIROYUKI YAMAGUTI

KENJI AKIYAMA

YUKIO KOBAYASHI

1987. 7. 7

ATR通信システム研究所

立体画像における高能率符号化方法の一検討

知能処理研究室

山口博幸

秋山健二

小林幸雄

1. 研究のねらい

テレビ会議、キャプテン、CATV、放送等の画像通信は、ビジネス・社会生活の中に広く受け入れられつつある。然しながら、これまでの画像通信は2次元情報であり、臨場感が薄いという不満があった。一方、立体画像は2次元画像に比べて臨場感が大きく向上し、この問題を解決する有力な手段である。

本研究のねらいはテレビ会議、テレビ電話システムの臨場感を向上させることとし、立体画像の相関等の性質を調べ、この性質に基づいた立体画像の高能率符号化方式を提案する。

2. 研究の位置付け

2.1 従来の技術動向

人間が対象物を立体的に認識することを立体視と言う。立体視の要因として、表1が挙げられる⁽¹⁾。この表について以下に説明する。立体視の要因のうち生理的要因は、人間の眼球の生物的・生理的機能によるものである。焦点調節とは、対象物の鮮明な像を網膜上に結像させるために水晶体の厚さを変えることでありこの厚さの変化を知覚し立体感を得ることである。また、両眼の輻輳とは、対象物を凝視するのに伴う目の回転角を知覚することで立体感を得ることである。更に、両眼視差とは、同一の対象物を両眼で見ると、両眼が離れているために、左右の網膜に投影される像が異なり視差を生じ、これにより対象物を立体的に認識することである。また、単眼運動視差とは、対象物または観察者が移動する場合には単眼で対象物を見ても視差が得られ両眼視差と同じように立体感が得られることである。心理的要因による立体視とは、人間の経験に基づく解釈や推測により対象物の立体感を知覚することである。これらの要因の立体視への寄与を図1で説明する。横軸は対象物体までの距離、縦軸は奥行き感度である⁽²⁾。ここで、奥行き感度は、対象物体距離Dでの前後弁別可能距離を ΔD とすると $D/\Delta D$ により定義されている。同図より、対象物体までの距離が10m以内では両眼視差が奥行き弁別能力が最も高く、他の10倍から100倍の能力があり、最も立体視への寄与が高いと言える。

立体表示方法として実現されているものは、両眼視差を利用して立体視を行うものと空間的に画像を再生するものに大別できる。図2から図8は主な立体表示方法の原理⁽¹⁾、

⁽³⁾、⁽⁴⁾を示した図であり、以下にこれらを説明する。立体鏡方式(図2)は、2台のプロジェクタでそれぞれ視差のある左右画像を投影し鏡により左右両眼にそれぞれ呈示し、

両眼視差を得るものである。偏光方式（図3）は、2台のプロジェクタで投影する左右画像を偏光フィルタにより互いに直交して偏光させ、観察者がかけている偏光メガネで左右画像に分離し両眼視差を得る。また、アナグリフ方式は、偏光フィルタ及び偏光メガネのかわりに赤、青色フィルタをそれぞれ左右のプロジェクタ及びメガネにつけ左右画像に分離するものである。時分割方式（図4）も両眼視差を利用した立体表示方法であり、プロジェクタで時系列に左右画像を交互に表示し、表示に同期して液晶シャッタの開閉を行うものである。パララックスバリア方式（図5）は、スリットを通して表示面を見ると左右の眼が見る表示面の位置が異なることを利用しており、これにより両眼視差を得るものである。レンティキュラ方式（図6）は、カマボコ状のレンズ（レンティキュラ板）を通して表示面を両眼でみると図6-aに示すような光軸となり、左右の眼が見る表示面の位置が異なることを利用し両眼視差を得る。図6-bに科学万博松下館で展示された本方式の実施例を示す。この例では観察者の顔の動きをある程度許容するためにプロジェクタを5個使用している。バリフォーカルミラー方式（図7）は、CRTに表示した画像を、これと同期して振動する鏡（バリフォーカルミラー）に反射させ、像面を空間的に再生するものである。ホログラフィ（図8）は、コヒーレント光を被撮影物体に照射し、散乱された球面波を記録し、これを再生することで立体像を得る。

表2は、各立体表示方法の比較を示したものである。画品質の観点から言うと、まずアナグリフ方式は色フィルタを用いて左右に分離するので本質的にフルカラー化に問題がある。パララックスバリア方式ではバリアが画品質の妨害となっている。また、レンティキュラ方式は水平方向の分解能がレンティキュラ板の凸部の間隔で制限されており、この製造方法がネックとなっている。バリフォーカルミラー方式ではミラーの振動音の抑制とともにCRTのフレーム周波数の上限のために完全な動画を得ることが難しい。また、ホログラフィでは表示装置が複雑になると言う問題点がある。

以上示したように高品質な立体画像の表示を近い将来に実現出来るのは、立体鏡、偏光、時分割の各方式である。そこで、これらの表示方法に用いられる視差を有する左右2つの画像を立体画像と定義し、これを本検討の対象とする。勿論、このような限定の下でも両眼視差を利用する表示方法であるなら例えばレンティキュラ方式のように2枚以上の画像であってもこれへの検討結果の拡張は比較的容易であると考えられる。

立体画像で要求される画品質は、臨場感を向上させるために、少なくとも単眼で見た場合と比較して、現行のシステム以上の画品質が要求されると考えられる。参考のために、

現行システムの符号量^{(5)・(6)}を表3に示す。立体画像では、その2倍の情報量となり、この低減が課題となる。然しながら、これまでにホログラフィについてデータ圧縮の提案⁽⁷⁾はなされてはいるが、立体画像の高効率符号化は検討された例はない。更に、5方向からの撮影・表示を行ったレンティキュラ方式(科学万博松下館)をも考えると、将来の通信網の大容量化の流れはあるが、符号量の増加はユーザの通信費を圧迫し、立体画像通信の普及の障害となると予想され、高効率符号化は重要な課題となるものと考えられる。

2.2 研究の意義

本研究は、高品質な立体画像の効率的な伝送を可能とする高効率符号化方式を確立することを目的としており、これによりエンド・エンド通信の臨場感の向上を図れる。さらに、本研究は、次世代の人間中心の通信システム研究のステップの一つとなると考えられる。

3. 立体画像の特徴

ここでは、立体画像撮影系のモデルについて考察し、これに基づいて画像の特徴について述べる。

3.1 立体画像撮影系のモデル

両眼視差を用いた立体視の原理より、立体画像撮影系は、図9の様にモデル化出来る。同モデルは、無限遠方向を左右2台のカメラで撮影するものである。左右カメラの機能は同じであるので、ここでは左カメラについて図を説明する。左カメラの視野にある対象物はレンズによりネガ像面に結像される。ネガ像面での像は左右上下が反対になった逆立像であり、図には示していないがテレビカメラの制御装置により、これは正立像に変換される。この正立像は幾何学的には図中のポジ像面内の像と等価である。この左カメラのポジ像面内の像が左画像であり、右画像と合わせて立体表示装置に入力して、立体画像を得る。

3.2 画像上での物体の位置

同一深度の地点に2つの物体がある場合の左右画像の特徴を図9のモデルを用いて考える。図10(a)は、これを説明するもので、物体A及び物体Bが同一深度にあり、この時、左右それぞれのポジ像面でのA像とB像の間隔 d_{left} 、 d_{right} に注目する。図10(b)は(a)の注目すべき点のみを書き抜いたもので $CD = d_{left}$ 、 $C'D' = d_{right}$ である。同

図より、

$$|\triangle OAB| = \frac{h_1}{h_2} |\triangle OCD|$$

$$|\triangle O' AB| = \frac{h_1}{h_2} |\triangle O' C' D'|$$

$$|\triangle OAB| = |\triangle O' AB| \quad \text{であるから、}$$

$$|\triangle OCD| = |\triangle O' C' D'|$$

$$\therefore CD = C' D' \quad (d_{\text{left}} = d_{\text{right}})$$

となるので、左右画像での間隔は等しい。一方、図10(a)に戻ると、物体Aのポジ像面上での位置はそれぞれ左右で異なった位置にあり、この平行移動量は、左右カメラ間の間隔、物体のカメラからの距離、レンズとポジ像面間の距離により決まる。この事を利用すると、左右どちらかの画像を一定量だけ平行移動させることで、他方の画像と対象Aについて位置を一致させることが出来、画像間の差分処理により冗長度を圧縮出来ると考えられる。

3.3 深度方向に物体が並んでいる場合の位置

深度方向に物体が並んでいる場合は、又新たな状況が起こる。図11に、物体A, B, Cが深度方向にある場合のモデルを示す。撮影系モデルは図9と同じである。図11の場合、左ポジ像面に映る物体の配置は図に示した様に左からA, B, Cであるのに対し、右ポジ像面では、この逆の順になっている。これは、物体の列をはさんで左右それぞれの方向から撮影するためである。この様な左右画像間での物体順序の入れ替えが起こるのは、図12の斜線の領域に物体が配列されている場合である。そのため、単なる平行移動処理及びそれに続く差分処理では、符号化効率が上がらない場合も考えられる。これを克服する方法として、一方の画像を予め複数のブロックに分割して、それぞれのブロックについて平行移動及び差分処理を行う事が考えられる。

4. 立体画像における立体画像の高能率符号化方法の提案

4.1 全体移動法

本方法は、単純な対象物の場合では3.3に示した物体の入れ替えがあまり起こらないことを利用し、左右どちらか一方の画像を然るべく平行移動させ、図13の様に画素毎に左右像間の差分を求め、左右どちらかの画像、差分画像及び平行移動量により立体画像を表

すものである。上記移動量を左右画像間の残差が最小となる様に選ぶことで、符号化効率上がる。そのために、予め複数の平行移動量について残差を比較し、最小残差量を与える平行移動量を算出することが必要である。

4.2 ブロック移動法

本方法は、3.3 に示した左右画像間で物体の入れ替えが起こる複雑な対象にも対応出来る様にしたものであり、図14に示すように上記平行移動処理の前に一方の画像を複数個のブロックに分割し、入れ替えが起こる対象物体をそれぞれのブロックに入れるようにしてそれぞれのブロックに対し、平行移動、残差の比較、差分処理をほどこして、高能率符号化を行おうとするものである。図14は4つのブロックに分割する場合について示したもので、以下これを説明する。

ステップ1でカメラにより左右画像を撮影し、ステップ2, 3で右画像を4つのブロック I_{r1} , I_{r2} , I_{r3} , I_{r4} に分割し、平行移動ベクトル d' , d'' , d''' に基づいて $(x, y) \rightarrow (x', y')$, (x'', y'') , (x''', y''') に平行移動し、 $I_{r1}(x', y')$, $I_{r1}(x'', y'')$, $I_{r1}(x''', y''')$ に変換する。それぞれについてステップ5で左眼画像 $I_l(x, y)$ との差分を求め、ステップ6で被差分領域のみを抽出し、差分画像ブロック A' , B' , C' を求め、ステップ7でそれぞれのブロックの残差 (例えば $\sum_{x', y'} |I_l(x, y) - I_{r1}(x', y')|$) を求める。ステップ8でこれらの残差を比較し、最小残差となる差分画像ブロックを得る。

5. 今後の予定

本研究では、立体画像の特徴を利用した高能率符号化方法の確立を目的とする。そこで今回提案した符号化方法を検討の一つの取り懸かりとしつつ、更に、研究の第一ステップとして、標準立体画像を作成し、これにより立体画像の特徴について検討する。

立体画の特徴抽出の検討の後に、その特徴を生かし立体画像に適した圧縮方法の検討を行う。例えば、今回提案した方法の他に、人間の立体視の感覚を利用して、左右一方の画像の情報量を低下させる事も考えられる。そのために、単眼視と立体視の2種について、実験計画法に基づき実施し、人間の立体視と単眼視での画品質の要因分析 (パラメータ: 階調数, 分解能, エッチ強調, 表示方法等) を行い、符号化方法に反映する。

なお、方式の評価項目としては、符号化効率、画像歪、画品質主観評価を考えており、

以下これについて説明する。

①符号化効率 ----- (符号化された画像の情報量) / (原画像の情報量)

当面は、画像歪及び画品質をにらみつつ、符号化効率の拡大を行い、符号化アルゴリズムを確立する。

②画像歪 ----- 符号化処理された画像と原画を比較し、S/N比を測定する。

③主観評価 ----- 最終的な評価として画品質の主観評価を行い、方式、符号化効率、画像歪との関係を明確にする。

5.1 具体的な検討項目

下記の項目について検討を行う。

- (1) 評価用標準立体画像の作成 (計10種位 ; 会議風景、自然風景、物体)
- (2) 立体画像の特徴の抽出 (特徴量 : 大きさ、配置、変形)
- (3) 立体画像品質の検討 (パラメータ : 分解能、階調数、エッジ強調、表示方法)
- (4) 平行移動処理方法の検討 (パラメータ : 全体移動法、ブロック移動法等)
- (5) 立体画像の特徴に基づく最適な高能率符号化方式の提案

検討に際しては、下図の実験系を用いて実施する予定である。

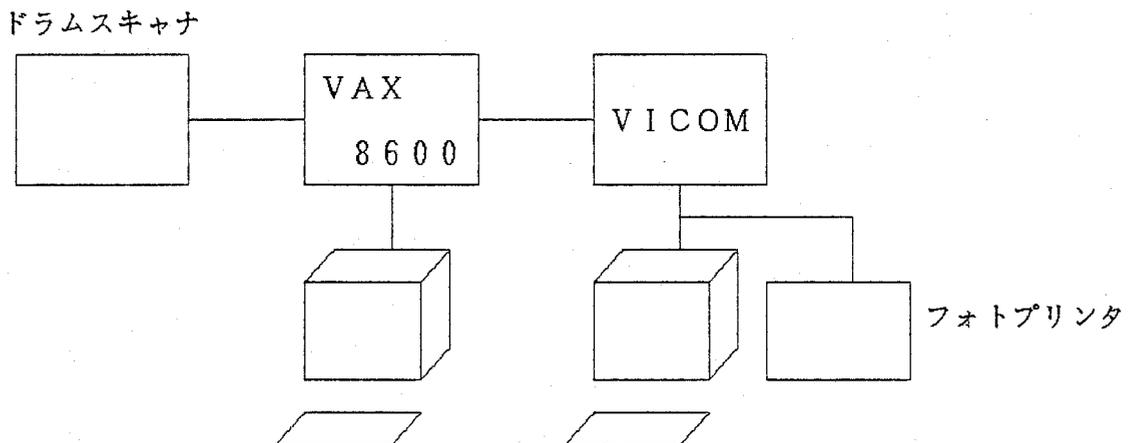


表1. 立体視の要因

要因	項目
生理的要因	① 水晶体の焦点調節 (accomodation) ② 両眼の輻輳 (convergence) (一点を凝視すること) ③ 両眼視差 (binocular parallax) ④ 単眼運動視差 (monocular movement parallax) ⑤ 目の残像
心理的要因	幾何学的立体視 ① 物の大小 (retinal image size) ② 物の高低 ③ 物の重なり (overlapping) ④ きめの粗密 (texture gradient) ⑤ 形状
	光学的立体視 ① 明暗 (陰影) ② コントラスト ③ 彩度 ④ 色相 ⑤ 鮮明度
視覚外要因	聴覚 臭覚 触覚 その他の感覚 (振動, 風, 温度, 流体など)

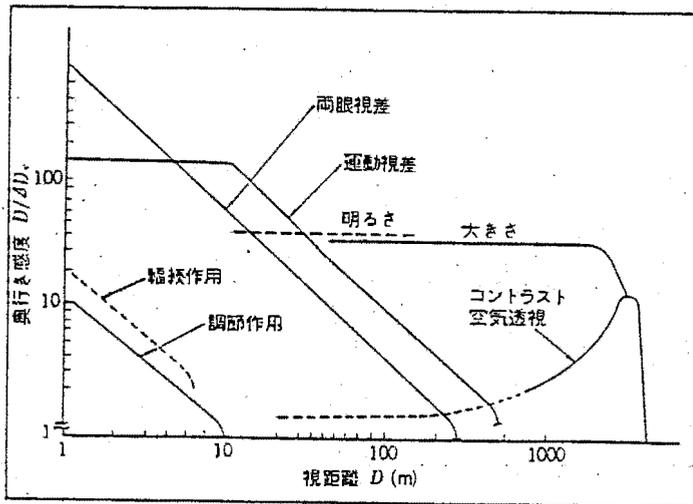


図1.

奥行き知覚に参与する諸要因と奥行き感度の関係

対象物体距離 D での前後弁別距離 ΔD とすると、 $D/\Delta D$ を奥行き弁別の能力を示す奥行き感度と定義し、各要因の奥行き感度に計算値から有効に働く状態が図示してある

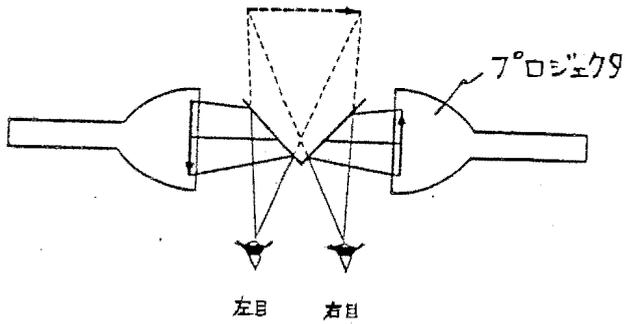


図2. 立体鏡方式

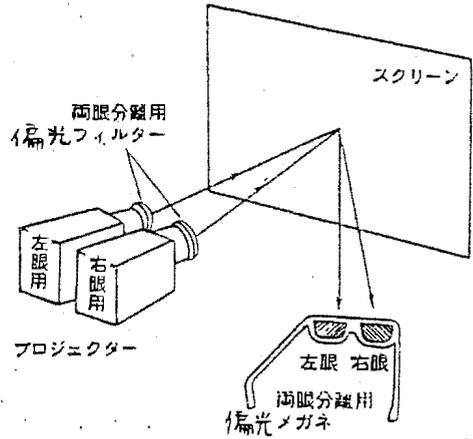


図3. 偏光方式

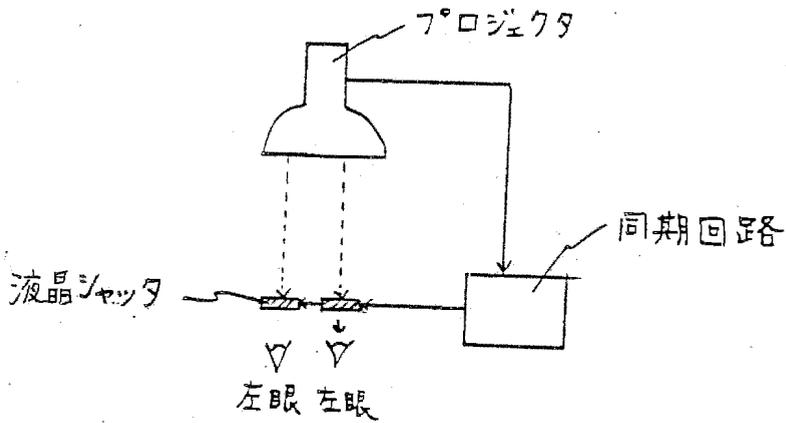


図4. 時分割方式

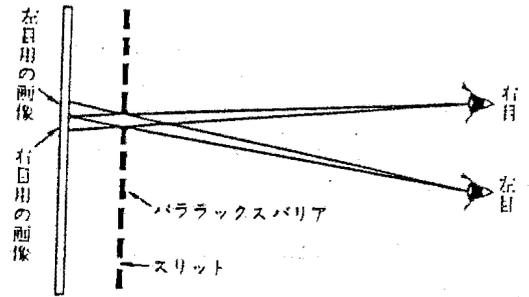
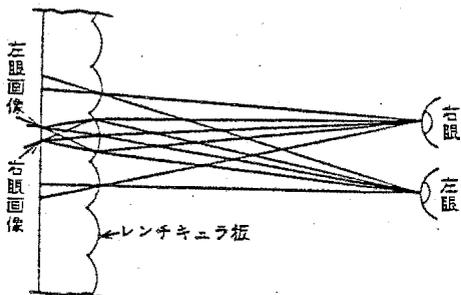
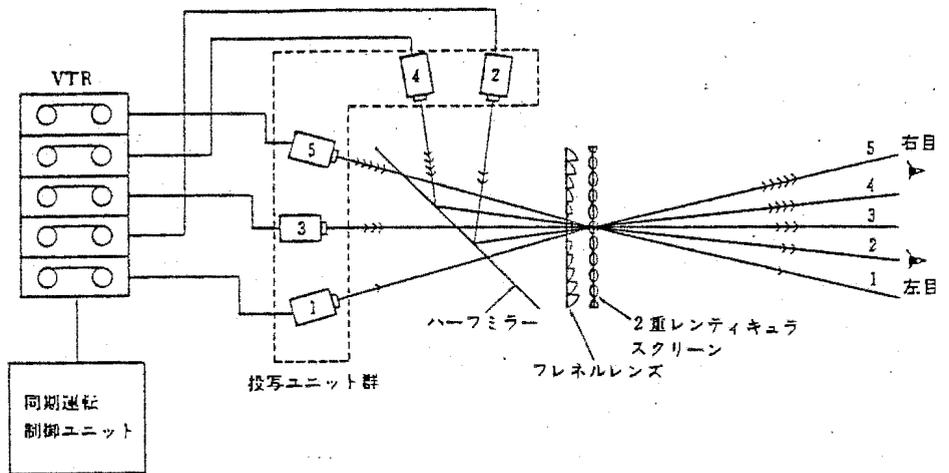


図5. パララックス・バリア方式



(a) レンティキュラ板の作用



(b) レンティキュラ方式の実施例

図6. レンティキュラ方式

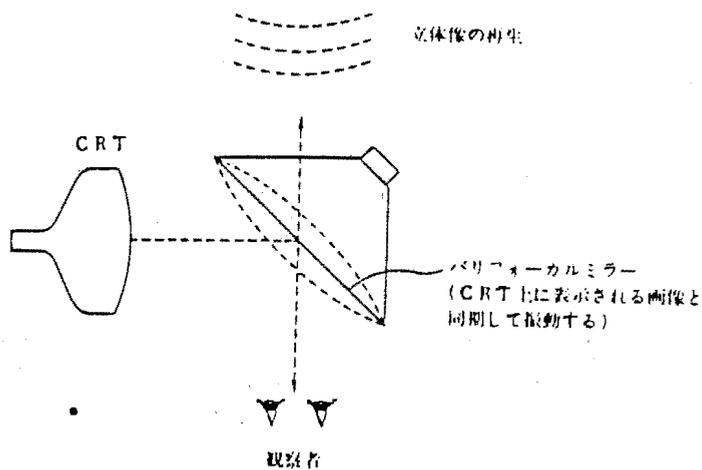
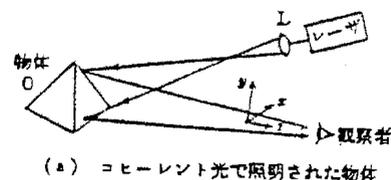
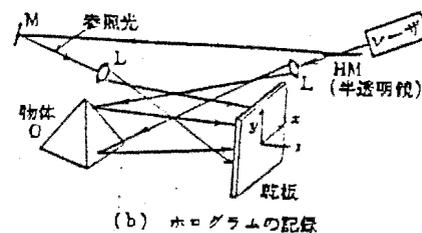


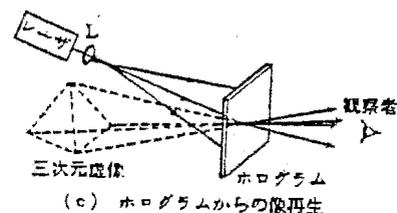
図7. バリフォーカルミラー方式



(a) コヒーレント光で照明された物体



(b) ホログラムの記録



(c) ホログラムからの像再生

図8. ホログラム

表2. 各種立体表示方法

名称	メガネ	カラー化	分解能	視点の自由度	原理	原理図
立体鏡	無	○	○	△	鏡により左右画像をそれぞれの対応する眼に入れる。	図2
偏光	有	○	○	△ ¹⁾	偏光板で左右画像を分離。	図3
時分割	有	○	△ ²⁾	○	左右画像を交互に表示し、光シャッターで分離。	図4
アナグリフ	有	△	○	○	青、赤画像を青、赤色フィルターで分離。	—
パララックスバリア	無	○	△ (バリアが妨害)	△	スリット群により視差を作る。	図5
レンズキラー	無	○	△	△	カメラコ状レンズ群により視差を作る。	図6
バリフォーカルミラ	無	○	△ (画像補正装置)	○	焦点可変鏡により結像位置を変化。	図7
ホログラム	無	○	○	○	コヒーレント光を物体に照射し、散乱された球面波を再生。	図8

凡例 { ○: 良好
△: 問題あり

(脚注)

1) 両偏光を用いると○

2) 60Hz, 1インチラスクRTを用いると○

表3. 現行システムの符号量

システム名	符号量
テレビ会議	1.5 Mb/s
高品位テレビ	200 Mb/s

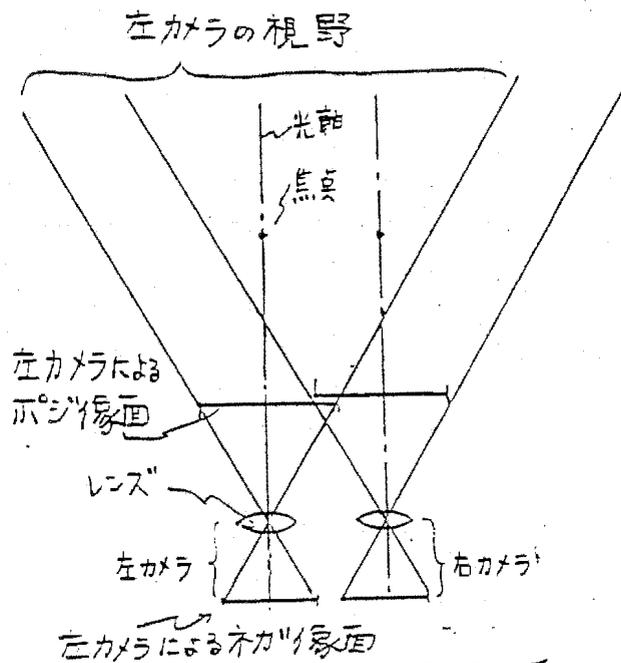
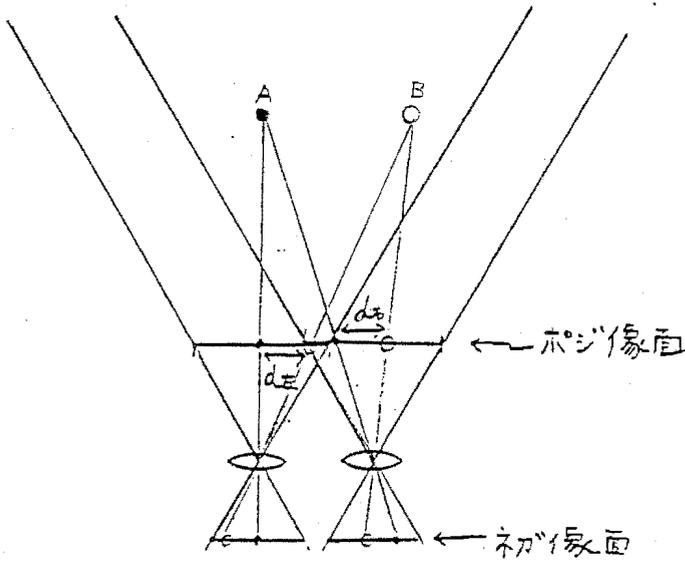
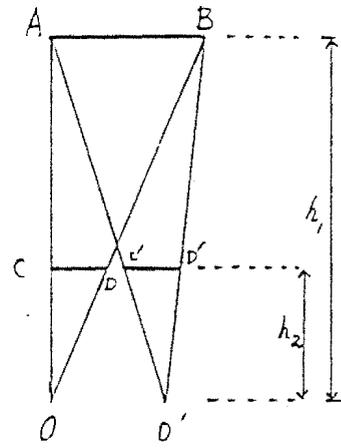


図9. 立体画像撮影系のモデル



(a)



(b)

図10. 同一深度物体の間隔

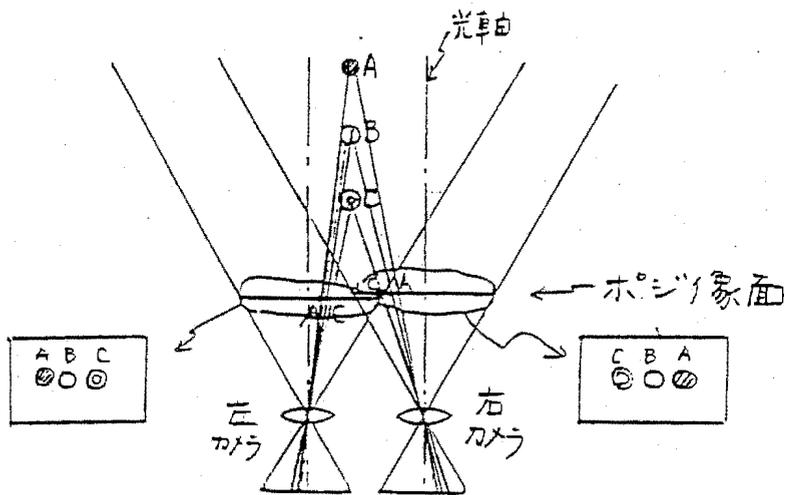


図11. 深度方向に物体が並んでいる
場合でのポジ像面での
物体の位置

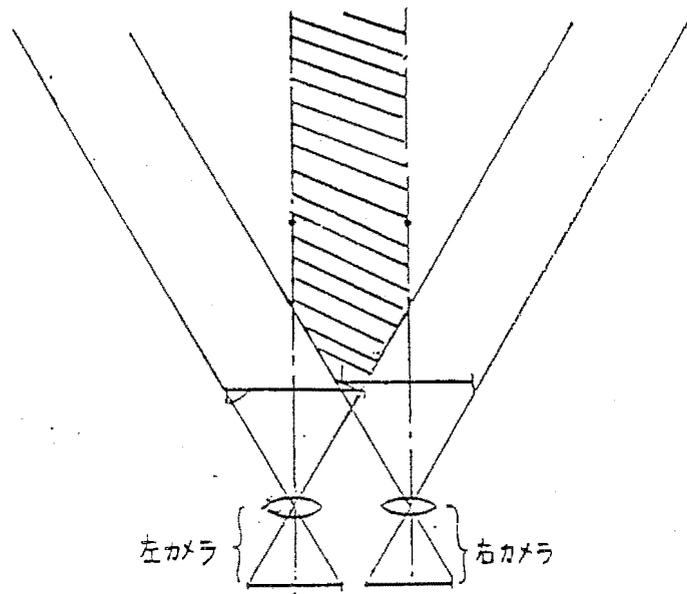


図12. 左右画像間で物体の入れ替えが起こる領域

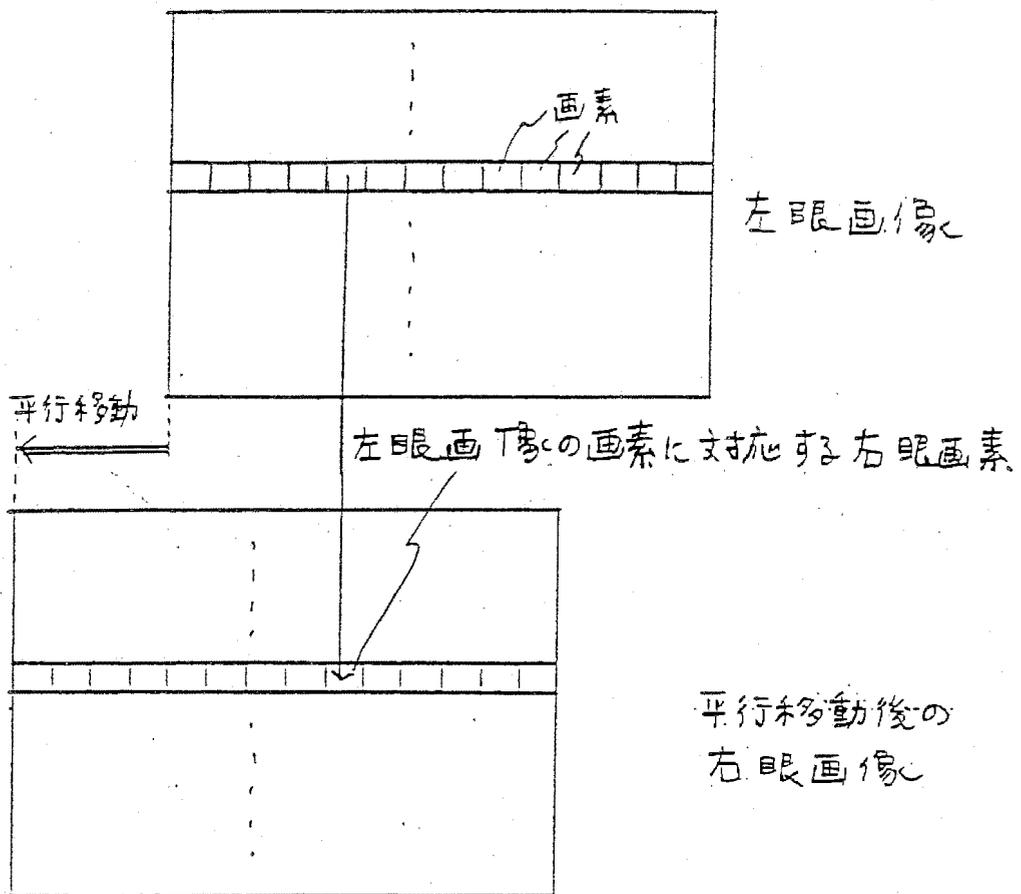
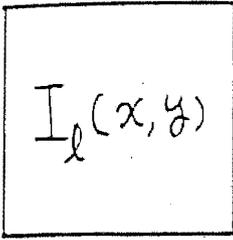
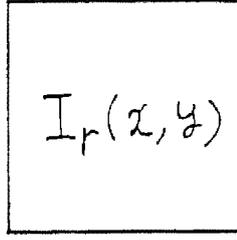


図13. 全体移動法

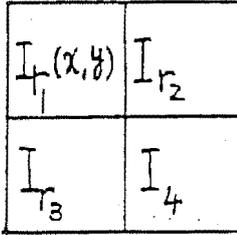
左画像



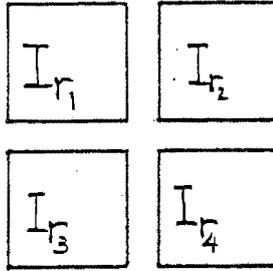
右画像



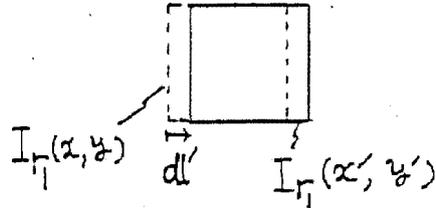
ステップ1



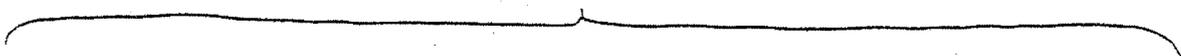
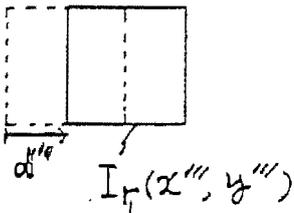
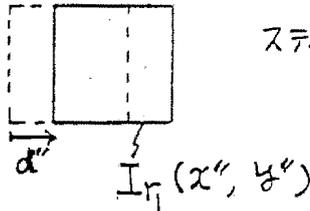
ステップ2



ステップ3



ステップ4



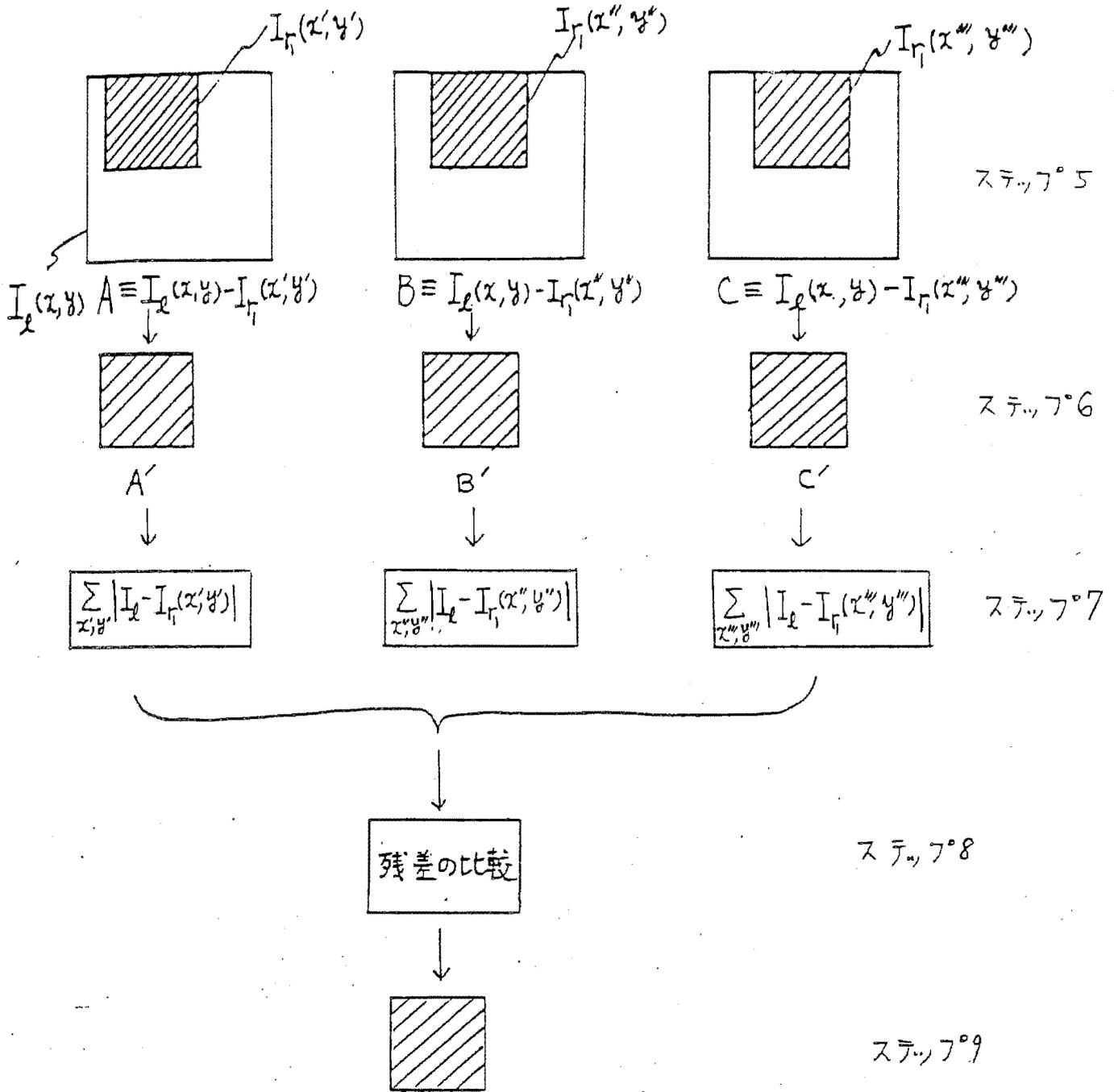


図14. ブロック移動法