

## 視線検知による3次元画像処理

# Three-dimensional computer graphic process react to point of view

山梨貴弘<sup>††</sup>

Takahiro Yamanashi

加藤厚生<sup>†</sup>

Atsuo Kato

**Abstract** To realize the virtual reality system needs high speed computer graphic processing technology. In a virtual reality system, graphic computers have to compute twenty four hundred million polygons per second to show television like animation. It is impossible for a present computer system.

This paper proposes a improvement method for a three-dimensional computer graphic processing speed by separates two conditions of clear and unclear region of sight. In unclear region we have poor eye-sight. That is able to make reduce polygon data. By some experiments we got a result that the process speed was improved twice.

### 1. はじめに

Virtual Reality (VR)はマン・マシン・インターフェースに関する新しい技術として、各分野での応用が期待されている<sup>1)</sup>。しかしながら、最新の技術をもってしても、十分な成果をあげているとは言えない。たとえば、Computer Graphics (CG)を写真並みの画像にするには、約8000万個のポリゴンで構成する必要がある<sup>2)</sup>。しかも、動画とするには、少なくとも毎秒10コマは必要である。ちなみに、映画は毎秒24コマ、テレビは毎秒30コマである。そのため、VRシステムでテレビ並みの画像を描画するには毎秒24億個のポリゴンを計算し、表示しなければならない。現在、スーパーコンピュータを使用しても、毎秒たかだか1000万ポリゴンまでしか表示できない。毎秒24億個ものポリゴンを計算できるようになるのは数年先

の話になるであろう。

本報は画像処理速度向上のため、人間の視線を検知し、見ていない部分の情報量、すなわちポリゴン数を減らし、画像処理速度の向上を目的としている。人の眼の特性を調べ、明視できない条件について特定し、実験を行った。

### 2. 眼の特性

#### 2.1 視力

図1は眼球固定時の視角に対する視力を示す。周辺視では極端に視力が低下する。<sup>3)</sup>

図1のグラフを最小2乗法により

$$Y = e^{(0.19 - 0.81 \text{Log}(X))} \quad (1)$$

ただし  $X = 0$  の時  $Y = 1$

<sup>†</sup> 電子工学科

<sup>††</sup> 大学院 電気電子工学専攻

と近似できる。さらに、眼球全体の視力を求める。

$$V1 = \pi \int (\text{Exp}(\frac{0.19 - \text{Log}(y)}{0.81}))^2 dy + \pi x^2 y \quad (2)$$

$$V0 = \pi x^2 \quad (3)$$

V1は式①に基づいた視力、V0は眼球の視力がすべて1.0である場合の視力である。

V1/V0により、網膜に映る像の情報量減少率を求めることができる。図2は提示視野角における情報量減少率を示す。人の水平方向の視野角は200度であり、ディスプレイ装置の提示視野角が200度まで保証されているならば、網膜に映る像の情報量は約95%減少することになる。この場合の情報量とは視力のことであり、視力とは分解能の逆数により定義されている。表1は視力と分解能を示す。視力0.03とは視角100度の視力であり、5m先の識別可能な幅は4.4cmまで拡大する。よって、周辺視野ではの像はモザイク画となる。図3に網膜イメージ像を示す。

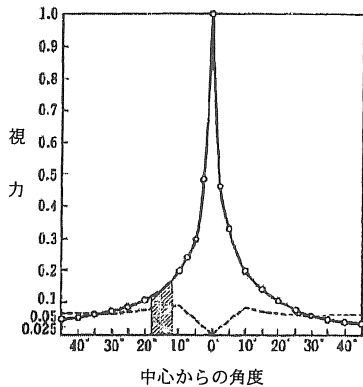


図1 視角による視力の変化 (文献4より)

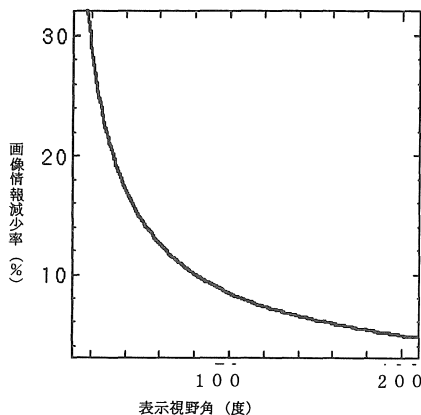
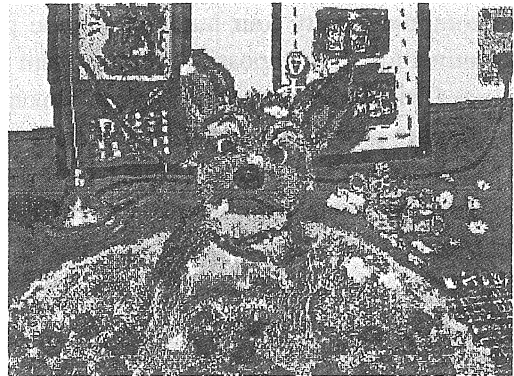


図2 視野範囲に対する像情報量減少率

図3のモザイク画では全体の画素数が減少する。画素数を削減することが可能であれば、計算量も削減することが可能となる。また、分解能が減少したことにより像内の物体の形は大まかなものとなる。よって、物体を形成するデータであるポリゴンデータも削減することが可能となり、その結果として処理速度は向上する。

表1 視力と分解能

視力	分解能 (分)	5 m先の識別幅
1.0	1.0	1.5mm
0.1	10.0	2.9cm
0.03	33.3	4.4cm



↓モザイク処理

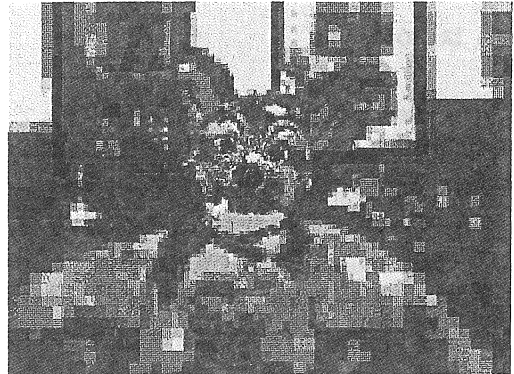


図3 モザイク処理による像の変化

## 2. 2 視野

図4は視野を示す。両側の半月形の部分は単眼視を示している。見えない範囲は表示する必要がなく、見えない範囲を削除する分、処理速度は向上する。

視野は色により変化する。図5は色に対する視野を示す。緑、赤、青の順に視野の範囲が広がる。

色についても情報量を削減することが可能となる。

周辺視野では視力は低下し、色の知覚も不可能となる。しかしながら、周辺視野は時間的に変化する刺激、例えば点滅する光や運動物体を検出する能力は優れている。<sup>4)</sup> また、周辺視野は物を知覚する役割も果たしている。仮に周辺視野を失うと我々人間は物を知覚する能力を失う。画像情報には削減可能と不可能なものがあり、可能なものは、視線の動きと物体の知覚に影響を与えないものである。

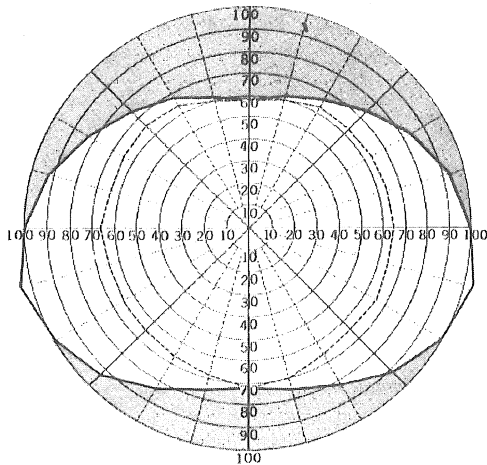


図4 眼球固定時の視野（文献5より）

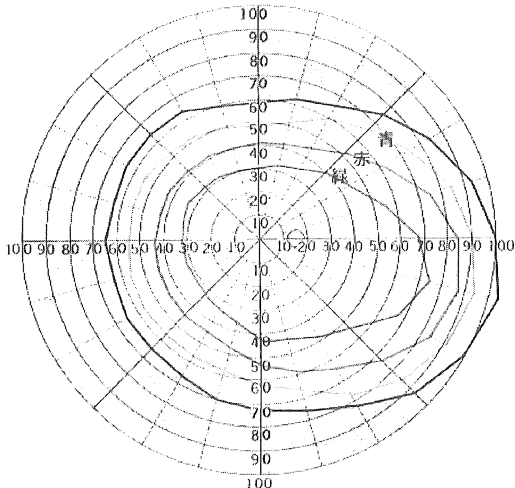


図5 色に関する右目単眼の視野（文献5より）

### 2. 3 有効視野

読み慣れた母国語の文章を読むときの視線の動きを観察すると、1文字づつ読むのではなく、数文字ごとに視線が跳躍していることがわかる<sup>3)</sup>。この時の有

効視野角が約10度であり、文字数で言えば12文字である。有効視野角10度のなかに12文字以上の文字を配置したとすると、有効視野角は小さくなる。この場合、有効視野角が網膜の能力を示すのではなく、脳の認識能力を示していると言える。また、文章を読むとき、2行にわたって同時に読むことはできない。つまり、脳の認識能力と目標物により有効視野の大きさと形状は変化するのである。有効視野内のオブジェクトは簡略表示するべきではない。

### 2. 4 眼球運動

眼球運動には数種類あるが、本報では衝動性運動と焦点調節運動について注目している。

#### 2. 4. 1 衝動性運動

視点を移動させる運動には追従性運動と衝動性運動がある<sup>6)</sup>。前者は低速で移動する目標物体をスムーズに追従する運動であり、限界速度は低く30度/秒程度である。目標物体が限界速度を超えると追従できなくなり衝動性運動となる。衝動性運動とは視点がある点から別の点に跳躍する運動であり移動時間が10msec~100msec、眼球を固定し像の認識に200msec~400msec費やしている。平均すると跳躍は1秒間に約3回行われている。

図6は視線跳躍中の光点知覚確率を示す。視線がA点からB点に移動する前後は光点の知覚確率が低下しており、像の認識が不可能となる<sup>3)</sup>。周辺視野でのモザイク処理を行い視線を移動させると、モザイクの範囲が変化することになり画像のちらつきが気になる。しかし、跳躍運動中に画像を切り替えることによりちらつきが軽減される。

#### 2. 4. 2 焦点調節運動

図7は物体間の距離と被験者との距離による焦点ずれの関係を示す。実験は紙に書いた‘あ’という文字を縦に2等分し、板A、Bに貼りその板を遠近方向に間隔をあけて配置し、文字を明視できる距離を測定して行った。被験者は3人である。実験結果から最小二乗法で推定した一次関数式は、

$$L = \frac{1}{14} X$$

である。Xは被験者と物体Aとの距離、Lは物体Aと物体Bとの距離である。

この式を有効視野内での焦点ずれオブジェクトの

情報量削減の基準とする。

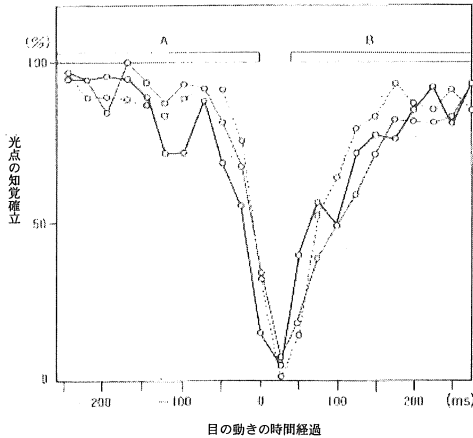


図6 衝動性運動中の光点知覚確率 (文献3より)

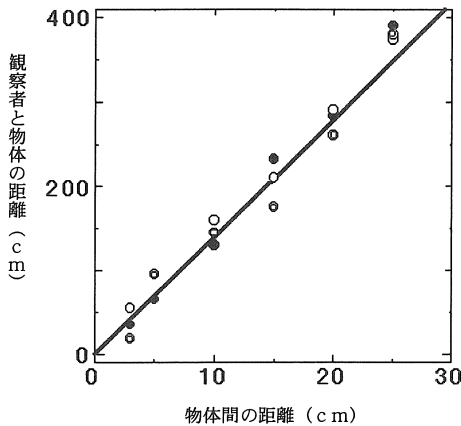


図7 焦点ずれによる物体間の距離

### 3. 実験

#### 3.1 実験条件

- ・ポリゴンデータは各オブジェクトで2種類用意し、レベル1オブジェクトはレベル0のポリゴン数に比べ1/2~1/10のポリゴン数に設定してある。ここで、オリジナルデータ=レベル0、簡略化済みデータ=レベル1とする。
- ・バーチャル空間には、机、テレビ、ラックなどのオブジェクトがある。
- ・有効視野を10度に固定し、その中に入ったオブジェクトはレベル0とし、それ以外はレベル1にする。ただし、体験者からの視点と有効視野範囲のオブジェクトの距離を計算し焦点が合っていないものは、レベ

ル1とする。

- ・シェーディング処理はフラットシェーディングとする。
- ・テクスチャマッピングは使用しない。
- ・視線検知装置が無い場合、視点はマウスカーソルで代用する。
- ・視線検知は1秒間に約3回とする。
- ・視野固定とする。
- ・Zバッファ時的高速化は行わない。
- ・視線検知しない場合、総ポリゴン数760、フレームレート約13 (fps)、1秒間の計算ポリゴン数9880 (polys/sec)である。

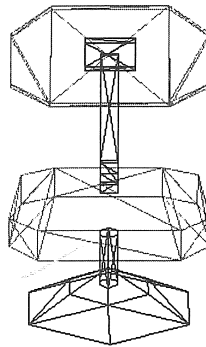


図8 レベル0

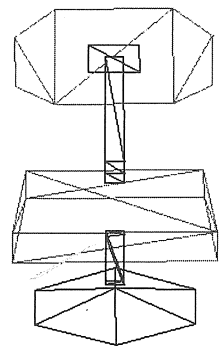


図9 レベル1

#### 3.2 実験環境

コンピュータ:

A T 互換機 ペンティアム 1 3 3 MHz

グラフィックボード:

Fire Bord (SPEA Co.)

グラフィックライブラリ:

World Tool Kit (SENSE 8 Co.)

#### 3.3 実験結果

表2は視線検知による3次元画像処理速度を測定した結果である。測定は約2.5秒間行った。polysは画面上のポリゴン数、freme rateは一秒間の描画枚数、performanceは一秒間に計算できるポリゴン数を示し、polys performance、freme rate performance、polys freme performanceはそれぞれ視線を検知しない場合の値で割った値を示す。

実験においてフレームレートは平均1.5倍のスピードアップになり、目的である視線検知によるパフォーマンスの向上は達成した。ポリゴンの数を削減するほどフレームレートは向上し、複雑な形の物体ほどポリ

ゴン数を削減しやすく、高いパフォーマンスを発揮する。本実験ではグラフィックボードの性能を考慮し、複雑な物体は使用していない。

画面上のオブジェクトのポリゴン数は約 50%まで削減したのだが、1秒間に計算できるポリゴン数は約 70%に減少している。ジオメトリ演算はCPUが負担しており、視線検知、レベル操作の処理にCPUが奪

われている為である。視点にオブジェクトが存在する場合と存在しない場合など、ケースにより処理が大きく異なり、polys/sec の値が激しく変動している。現在、レベル操作のアルゴリズムは最適化できておらず、最適化によりパフォーマンスは向上し、polys/sec 値も安定する。

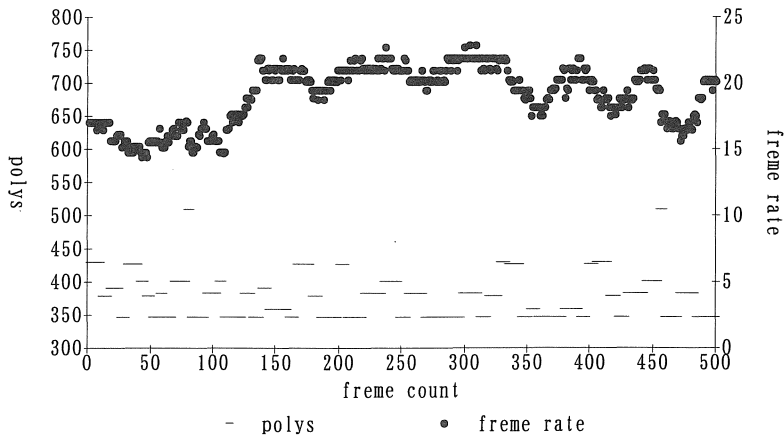


図 1 0 フレームレートと画面内ポリゴン数の変化

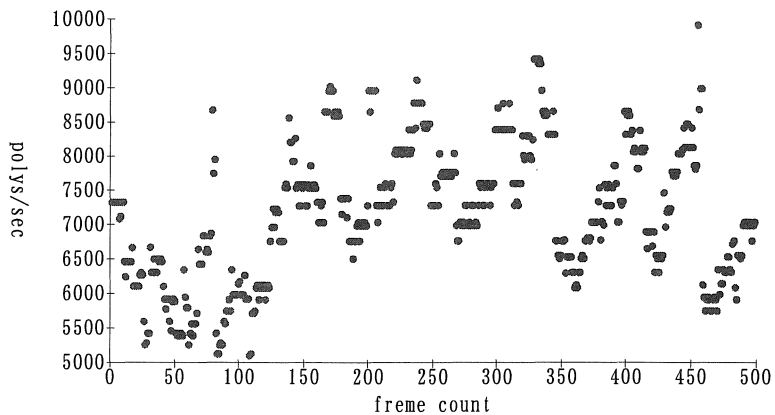


図 1 1 1秒間に表示できるポリゴン数の変化

表 2 視線検知による速度向上の結果

	polys (polys)	freme rate (fps)	performance (polys/sec)	polys performance	freme rate performance	polys freme performance
average	373.96	19.39	7247.81	0.49	1.49	0.73
munimun	347.00	14.42	5104.37	0.46	1.11	0.52
maximum	509.00	22.90	9915.32	0.67	1.76	1.00

#### 4. 結論

本研究では、視線感知による3次元画像の描画速度向上法を提案した。人の眼の特性を調べ、何が見え、何が見えないのか議論した。眼の最大の特徴は中心部のみ視力が優れており、周辺視では極端に視力が低下する。この特徴を最大限に利用し計算量の大幅削減が可能であることが解った。

実験において1.5倍ではあるが、高速化に成功した。理論的にはオブジェクトが複雑になり、多数のポリゴンを使うほど処理速度は向上する。実験では1000ポリゴン程度しか使用していないため、1.5倍は最低の基準とも言える。現時点でポリゴンデータは2段階であり、視野角に対し連続的なデータを作成し、描画する課題が残っている。また、実際に視線入力装置に対処させ実験する必要がある。

オブジェクトのテクスチャへの置き換えについては、ハードウェアの仕様により大きく変わる。テクスチャを使用することにより、逆に遅くなる場合がある。Fire boardでのテクスチャマッピングの使用は遅くなる。しかしながら、最近高速にマッピングできるボードも開発されており、有効な技術となり、更なる高速化が可能となる。

現時点で、この視線感知による3次元画像の描画速度向上については、2通りの考え方がある。1つは、ポリゴン数変換時の画像のちらつきを無くし普通の3次元CGに見せること、もう1つは低レベル情報から高レベル情報へのリンクとすること、と考えられる。前者はもっと詳しく目の動きについて調べる必要がある。ポリゴンレベル変換時のちらつきが気になり、なるべく目立たなくする努力が必要である。仮に、視点の移動先が予測できるのであれば、ちらつきは軽減できる。

後者はハイパーテキスト的な(この場合はグラフ

ィック)考え方である。見たい情報をより詳しく見るために高レベルへリンクする。近年では、アポロ13 ジュラシックパークなどの映画にもCGが採用されており、レイトレーシング法、ラジオシティ法を適用することにより、より鮮明な画像を描画できる。これらの処理は時間がかかり現在の技術ではリアルタイム処理は不可能である。しかし、有効視野の限られた範囲に使用することにより、リアルタイム処理することが可能となる。

我々の実験では、オブジェクトの切り替えが目立ってしまい、後者の部類に属する。人の目については明らかになっていないことがあり、今後の追求により高速化とスムーズ化に期待が持てる。

#### 参考文献

- 1) 廣瀬 通孝: パーチャル・リアリティ, 産業図書(1993)
- 2) W. Wayt Gibbs 原文: パーチャルリアリティと現実のギャップ, 日経サイエンス 2月号, 111-112(1995)
- 3) 池田 光男: 目は何を見ているか, 平凡社(1988)
- 4) 斎藤 進: 人の感覚とそのしくみ, 人間工学, 朝倉書店(1993)
- 5) 真島 英信: 生理学, 文光堂, 41-263(1987)
- 6) 田崎 京三, 大山 正, 樋渡 涓二 編集: 視覚情報処 朝倉書店(1982)
- 7) 佐藤 方彦監修: 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂出版, 79-80(1992)
- 8) 野呂 影勇: 人間工学入門, 日刊工業新聞, 23-30(1983)
- 9) 池田 光男, 芦沢 昌子: どうして色は見えるのか, 平凡社(1994)
- 10) World tool kit Hard Guide: SENSE8 Corporation(1993)

(受理 平成8年3月19日)