

## 白内障手術シミュレーションシステムの開発（その2）

1W-11

田中 純 児島 彰 藤野 清次 古川 亮 中村 泰明  
 広島市立大学 情報科学部 情報工学科

### 1 はじめに

医学生の白内障手術実習には動物の眼球が使われているが、限られた実習時間の有効利用のためにも、コンピュータを使った白内障手術のシミュレーションシステムの実現が期待されている。そこで、我々は白内障手術シミュレーションを行うためのVCO(Virtual Cataract Operation)システムを開発している。

### 2 眼球の構造

図1に眼球の構造を、図2に水晶体の平均的な寸法（直径、厚み）を示す。

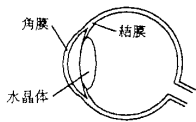


図1: 眼球の構造

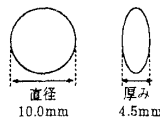


図2: 水晶体の寸法

### 3 白内障と白内障手術

白内障とは眼球の水晶体が白濁し、視界が濁って見えなくなり、ついには失明してしまう病気である。白内障手術の代表的な手法である超音波乳化吸引の手術過程を図3に示す。本稿では、白濁した水晶体を乳化吸引する過程を取り上げる。図4に吸引装置（超音波ハンドピース）の写真を示す。図5に吸引装置による吸引の模式図を示す。超音波ハンドピースは、先端にチタン製外径約1mmの中空のチップが取り付けられ、このチップ先端が軸方向縦振動を行い、振動の衝撃により白濁した水晶体を乳化（破碎）する。同時に、生理食塩水がチップ根元にある2個の孔より軸方向に対し垂直に放出され、前房内を還流し、チップ先端の孔から乳化（破碎）された水晶体の破片とともに吸引除去される。

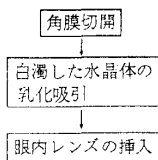


図3: 白内障手術の過程

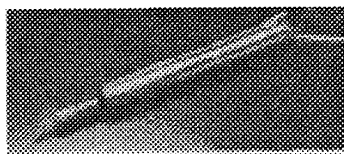


図4: 超音波ハンドピース

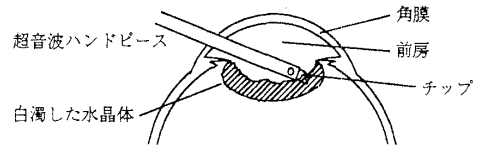


図5: 吸引の模式図

### 4 物質の構造のモデル化

#### 4.1 白濁物質のモデル化

白濁した水晶体は、図6（左）のように一定の間隔で規則的に配置された点の集まりの白濁物質としてモデル化した。レンダリングする点のピクセルサイズを拡大し、描画する点の総数を減らすことにより描画時間の短縮を計った。個々の点は図6（右）のように上下・左右・前後の合計6個の点と連結している。

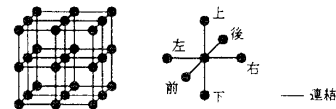


図6: 規則的に配置された点の集合(左)と点の連結(右)

#### 4.2 白濁物質の体積

モデル化された白濁物質の点の総数をその白濁物質の体積とする。白濁物質を構成する点の総数は個々の点の連結の情報から算出した。

### 5 吸引操作のモデル化

#### 5.1 白濁物質の乳化のモデル化

以下の式を満たす点は吸引装置が発する振動により乳化（破碎）されたとし、点の連結が解除される。ただし、白濁物質を表す点の座標を  $(P_x, P_y, P_z)$ 、吸引装置の吸引口の座標を  $(A_x, A_y, A_z)$ 、吸引装置の吸引口の半径  $R_a$  の値を 0.5mm とする [2]。

$$(P_x - A_x)^2 + (P_y - A_y)^2 + (P_z - A_z)^2 \leq R_a^2. \quad (1)$$

#### 5.2 吸引力による白濁物質移動のモデル化

白濁物質が吸引装置に吸い寄せられる際の白濁物質の移動量は、1回の描画ごとに以下の計算式によって求める。計算式に使われている記号の説明を表1に示す。物質を構成している全ての点は、図7のようにその物質の重心点と同じ移動量と移動方向を持つ。ただし、閾値  $T$  の値以上の数の点に

Virtual Cataract Operation System No.2  
 Jun TANAKA, Akira KOJIMA, Seiji FUJINO  
 Ryo FURUKAWA, Yasuaki NAKAMURA  
 Department of Computer Engineering, Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University, 3-4-1, Ozuka-Higashi, Asaminami-ku, Hiroshima, 731-3194, Japan

より構成される白濁物質は移動させない。閾値  $T$  の値を変えることによって、吸引力の強さを調整できる。

$$move = \frac{d \times \frac{T}{M}}{100} \quad (1000 \leq T \leq 1500), \quad (2)$$

$$d = \sqrt{\frac{(2R_i)^2 - D^2}{(2R_i)^2}} \quad (R_i = 0.5). \quad (3)$$

表 1: 記号の説明と単位

記号	記号の説明	単位
$move$	白濁物質の移動量	mm
$M$	白濁物質を構成している点の総数	個
$T$	白濁物質が吸い寄せられるかどうかの閾値	個
$D$	白濁物質の重心点と吸引口の距離	mm
$d$	距離の比例乗数	-
$R_i$	水晶体の半径	mm
$R_a$	吸引装置の吸引口の半径	mm

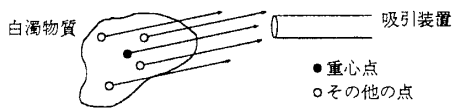


図 7: 重心点とその他の点の移動

### 5.3 白濁物質の吸引のモデル化

図 8 に白濁物質の吸引のモデル化の説明図を示す。吸引装置により吸い寄せられた白濁物質の移動量  $move$  が白濁物質と吸引口との間の距離  $D$  を越えた場合、その白濁物質は吸引装置の中に吸い込まれたものとし以後描画しない。

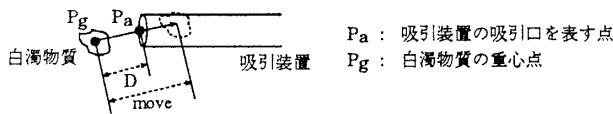


図 8: 吸引のモデル化の説明

## 6 シミュレーションシステムの構築

シミュレーションシステムの構成を図 9 に示す。システムの開発は C 言語を使用した。コンピュータグラフィックライブラリとして OpenGL を使用した [3]。3 次元位置センサーとして、POLHEMUS 社の 3DRAW を使用した。このセンサーは 3 次元位置  $(x, y, z)$  および 3 軸の回転角 (ヨー、ロール、ピッチ) が検出可能である。

## 7 シミュレーションシステムの評価

図 10 に白濁物質の吸引操作例を示す。白濁物質が吸い寄せられながら吸引されている。

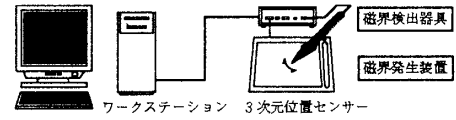


図 9: システムの構成

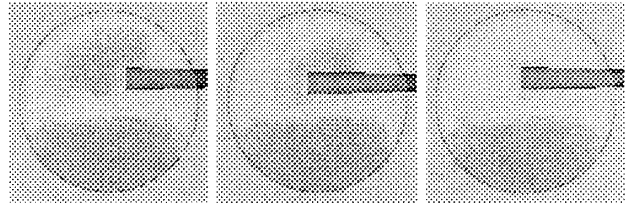


図 10: 吸引操作例

図 11 は、大きさが異なる 2 つの白濁物質の吸引を比較するために、意図的に白濁物質の破片を生成させ吸引操作を行ったものである。この吸引操作は図 11 の (1) から順に (2)、(3)、(4)、(5) と進み、(6) で白濁物質が完全に吸引されている。図より、小さい方の破片が大きい方の破片より早く吸い寄せられ吸引されていることがわかる。

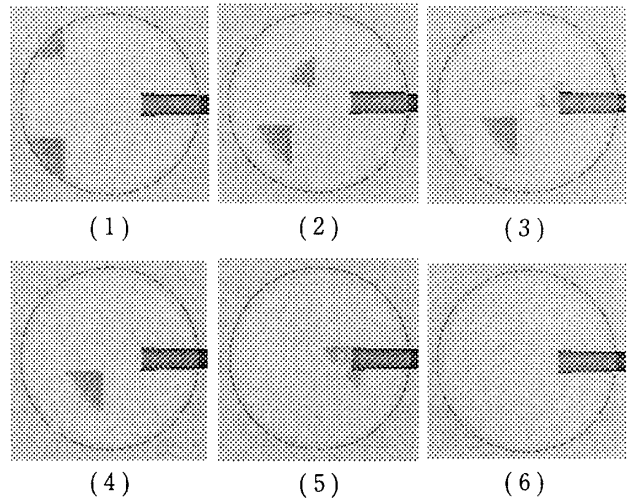


図 11: 大きさが異なる 2 つの白濁物質の吸引

## 8 おわりに

本研究では、白内障手術の乳化吸引操作のシミュレーションシステムを開発した。今後、未完成である人工レンズ挿入のシミュレーションシステムの開発、及び他の手術過程のシミュレーションシステムとの統合を行っていく。

### 参考文献

- [1] 高野 綾子: “白内障手術シミュレーションシステムに関する研究”, 広島市立大学 平成 9 年度 卒業論文, (1998)
- [2] 日本電子機械工業会: “超音波工学”, コロナ社, pp.296-297 (1993)
- [3] Manson Woo 他: “OpenGL プログラミングガイド (原著第 2 版)”, Addison-Wesley Publishing Company, (1997)