

# 眼病患者の眼球運動を模擬できるバーチャルヒューマン 及びその実験システム

黄河<sup>†</sup> 長谷川 晶一<sup>†</sup> 張 曉林<sup>†</sup>  
東京工業大学<sup>†</sup>

## Abstract

バーチャルヒューマンは現実仮想分野の重要な課題の一つであるが、これまでのバーチャルヒューマンの眼の動きはまだ不自然である。我々は、生理学の知見に基づき、眼球運動に関連する神経経路に逐次対応する両眼運動制御システムのモデルを導入し、人間らしい眼球運動を有するバーチャルヒューマンを実現した。さらに、このバーチャルヒューマンを用いて、生理学のシミュレーション実験を行った。この実験では、眼球運動の生体実験と同じような手法で、椅子に座る受験者を回転させたり、視標を提示したりしながら、眼球運動を算出した。本研究では正常な眼球運動のみならず、眼科疾患患者の眼球運動も模擬可能なバーチャルヒューマンを実現し、臨床診断の補助ツールとしての応用に展開することを目標としている。

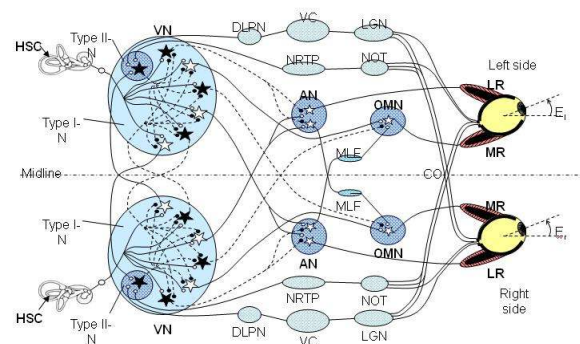
## はじめに

「人間らしい動作」は、バーチャルヒューマン研究課題の一つであり、物理エンジンやモーションキャプチャーなどの技術より人間らしい動作がある程度は実現したが、目の動きはまだ極不自然である。その問題を解決するためには、工学以外解剖学・神経学の知識も不可欠である。本論文では今までの単眼と両眼の眼球制御運動モデルの成果に基づき、人間の生理的特徴を含む眼球運動を持つバーチャルヒューマンを作った。さらに、これを用いて神経眼科患者の眼球運動を模擬する可能性についても述べる。

## 関連する神経経路と数学モデル

眼球運動に関連する神経経路は、主に脳幹と小脳の一部神経である。図1には、脳幹にある水平眼球運動に関連する神経システムである。前庭器からの信号は、前庭核→動眼運動核→内直筋や前庭核→外転神経核→外直筋という経路からなる。視軸と網膜視差信号は、外膝状体→

大脳皮質視覚領→被膝状体→大脳皮質視覚領→被外側橋核という経路を經由して、フィードバックすることになる。



HSC: horizontal semicircular canal水平半規管 VN:vestibular nucleus前庭核  
DLPN: Dorsolateral pontine nucleus被外側橋核 VC: Visual Cortex大脳皮質視覚領  
LGN: Lateral geniculate nucleus外側膝状体 NOT: Nucleus of the optic tract視索核  
NRTPT: Nucleus reticularis tegmenti pontis橋被蓋網様核 AN: abducens nucleus外転神経  
OMN: oculomotor nucleus動眼運動核 MLF: Medial longitudinal fasciculus内側縦束  
CO: Chiasma opticum視交叉 LR:Lateral rectus外直筋 MR: Medial rectus内直筋

図1 関連した眼球運動神経経路

この神経経路は伝達度を調整できる単純な回路として扱おうと図2の通りになる。

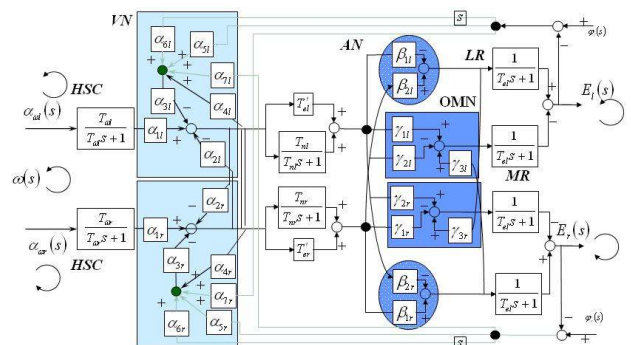


図2 対応した数学モデル

## 生理学実験のシミュレーション

図3に生理学でよく使われる実験の風景を示す。受験者を台の上に乗せて、受動的に並進したり回転したりしながら、ドラムで視覚的な刺激を受けることで、様々な眼球運動を観測・記録することができる。

Virtual Human Ocular Motor system based on human physiology

<sup>†</sup>H. HUANG · Tokyo Institute of Technology

<sup>‡</sup>S. HASEGAWA · Tokyo Institute of Technology

<sup>‡</sup>X. ZHANG · Tokyo Institute of Technology

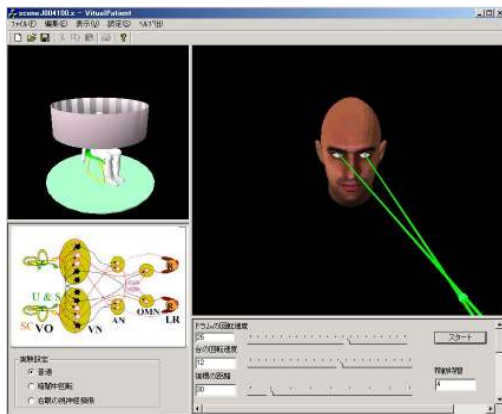


図3 生理学試験の風景

### シミュレーションのフレームワーク

実験システムではバーチャルリアリティ開発環境として Springhead<sup>2)</sup> というシミュレーターを用いた。Springhead は高精度動力学を表現できる上、力学提示装置も実装しているので、将来、システムの改善・新しいモデルと統合することは比較的容易であると考えられる。

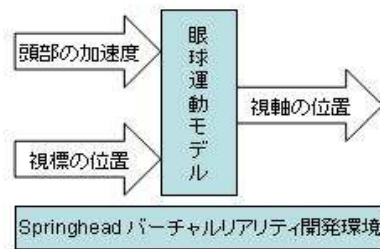


図4 バーチャルシステムの概略

### 実験の結果

ドラム（視覚提示）は 60 度/秒回転する場合の視標と左右眼球の軌跡を示す。提示した視標の軌跡はほぼ三角波の形になる。傾斜の激しい部分は、サカド運動の軌跡であり、滑らかな部分は、追従運動の軌跡である。

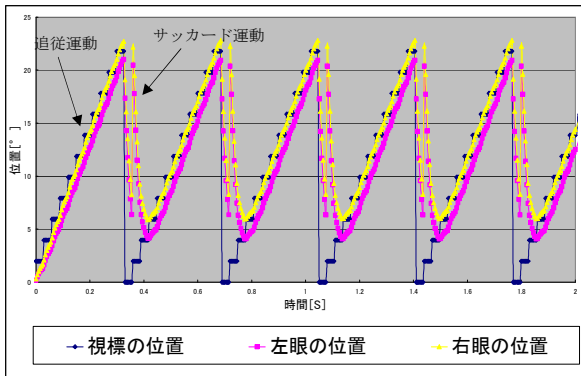


図5 正常の眼球追従運動

図5に示した結果は、視標を追従する正常眼球運動の例である。

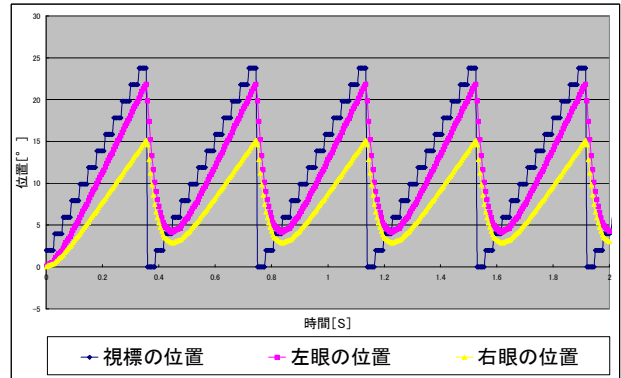


図6 右眼球視神経が損傷する場合の追従運動

図5と同じ条件下で右眼球の視神経が損傷した場合の左右眼球の軌跡を示した。右眼球の視差はゼロになるので、左側から伝達された網膜視差により、右眼球の運動を制御される。そのゲインは図2に AN（外転神経核）と OMN（動眼運動核）などの内部パラメータより支配される。

$$E_r(s) = \frac{\rho_1 P_2 + \rho_2 P_1}{\frac{1}{M} - (\rho_1 P_2 + \rho_2 P_1)} R_l(s) \quad (1)$$

ただし、 $R_l(s)$  は左眼球の網膜視差で、 $E_r(s)$  は右眼球の位置である。

$$M = \frac{T_n}{T_n S - 1} \quad (2)$$

M は VN と AN・OMN 間にある漏積分器である。

$$P1 = \alpha_3 \alpha_5 + \alpha_3 \alpha_6 S \quad (3)$$

$$P2 = \alpha_3 \alpha_7 + \alpha_3 \alpha_8 S \quad (4)$$

$$\rho_1 = (\beta_1 + \gamma_1 + \beta_2 \gamma_2) + \zeta (\beta_2 + \gamma_2 + \beta_1 \gamma_3) \quad (5)$$

$$\rho_2 = (\beta_2 + \gamma_2 + \beta_1 \gamma_3) + \zeta (\beta_1 + \gamma_1 + \beta_2 \gamma_2) \quad (6)$$

$$\zeta = \alpha_2 + \alpha_3 \alpha_4 \quad (7)$$

$P1$ 、 $P2$ 、 $\zeta$ 、 $\rho_1$ 、 $\rho_2$  は図2示された、それぞれ経路パラメータの値である。

### まとめ

シミュレーションにより正常及び眼病患者の眼球運動を模擬する可能性を示し、実験システムの有効性を確認した。今後、実際の生理学実験のデータを比較し、対応できる病気の種類を調べて、理論的に解析・説明をしていきたい。

### 【参考文献】

- [1] 張 曉林両眼前庭動眼反射の数学モデルとその局在診断への応用の試み. 日本臨床生理学誌 1999, Vol. 29, No.2:123-131
- [2] S. Hasegawa and M. Sato. Real-time rigid body simulation for haptic interactions based on contact volume of polygonal objects. Computer Graphics Forum, September 2004.