

# 1606 随意性眼球運動が可能な三次元視線調節ロボットの試作

○桑野 守晶・田塾 真穂・須田 治彦・若松 秀俊 (福井大学 工学部)

## 1. はじめに

生体は、優れた視覚パターン認識能力とともに、精巧な視線調節能力を有している。後者のうち、随意的な眼球運動による調節には、視点を急速に変えて眼球の中心窩で視標を捉えようとするときに起こる Saccade運動による調節と、ゆっくりと移動する指標を追従するときに起こる Pursuit運動による調節とがある。<sup>1)</sup>

著者らは先にこうした眼球の視線調節能力に着目し、二次元的な眼球運動を工学的に実現することを考えた。<sup>2),3)</sup> そのための視線調節ロボットを構成し、ニューラルネットワークを用いて、眼球運動の視線調節機構を工学的に実現した。<sup>4)</sup> ここでは、指標が三次元的に移動したときでも、これを捉える運動が力学的に可能な機構を考え、眼球が本来備えている視線調節が可能なロボットを試作し、その動作を確認した。

## 2. 無軸電動機としての眼球ロボットの構造と動作原理

### 2.1 眼球ロボットの基本構造

生体の眼球は、上下、左右、斜め、さらに回転運動を行い、視線の方向を変えている。こうした運動が可能な基本的な眼球ロボットの構造として、各々の回転軸を独立にモータにより駆動する構造が考えられる。しかしこの構造では、モータ本体を他のモータで回転させる必要があるため、慣性が大きくなり、目的とする動作を行うことが困難であると考えられる。したがって、ここでは眼球運動を円滑に行うために、図1に示すような、軸構造を持たない電動機として、その基本構造を考えた。

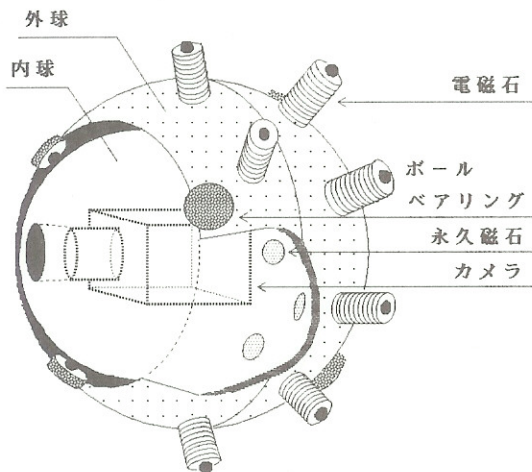


図1 視線調節ロボットの概略図

眼球運動を行わせる視線調節ロボットの構造は、図1に示すように、小型カメラを固定する内球と、内球をボールベアリングにより支持する外球から構成されている。小型カメラは三次元的な指標の運動を捉えることができるように、外球に駆動用の電磁石、内球に永久磁石を配置した。ここで、駆動用の電磁石については、適切な磁力を得るために、熱処理したPBパーマロイにホルマル線を巻いて製作した。永久磁石としてはネオジウム磁石を使用した。また、回転する内球については、慣性モーメントを小さくするために、硬質で軽量のプラスチックを用い、カメラの固定には発泡スチロールを用いた。

### 2.2 内球の運動原理

内球の運動原理を明らかにするために、以下のような幾何学的解析を行った。

#### 2.2.1 電磁石と永久磁石の位置

図2に示すように、正規化した球の空間方程式を考える。

$$x^2 + y^2 + z^2 = 1 \quad \dots(1)$$

式(1)で表される球面上の任意の座標は、X-Y平面上でのX軸からの角度を $\alpha$ 、Z軸からの角度を $\beta$ とすると、

$$(x, y, z) = (\cos\alpha \cdot \sin\beta, \sin\alpha \cdot \sin\beta, \cos\beta) \quad \dots(2)$$

と表せる。

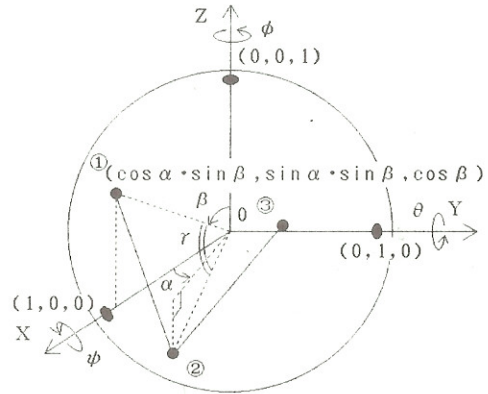


図2 電磁石と永久磁石の球座標表現

ここで内球と外球の境界面は、式(1)を満たすものと仮定し、 $n_{out}$ 個 (ただし $n_{out}$ は偶数) の電磁石を、外球上に左右交互に正三角形となるように配置した場合、 $n_{out}$ 番目における電磁石の座標は式(2)に、

・奇数番目については、

$$\alpha = (2\pi / n_{out}) \cdot i, \quad \beta = \beta_{out} \quad (i=1,3,,n_{out}-1) \quad \dots(3)$$

・偶数番号については、

$$\alpha = (2\pi/n_{out}) \cdot i, \beta = \pi - \beta_{out} \quad (i=2,4,\dots,n_{out}) \quad \dots(4)$$

を代入して求められる。ここで  $\beta_{out}$  は隣り合う3個の電磁石の球座標より与えられる。さらに、外球の中心と2個の隣り合う電磁石とのなす角度を基準角  $\gamma$  とすると、その値が求まる。

次に、 $n_{in}$ 個 (ただし  $n_{in}$  は偶数) の永久磁石を、内球上に左右交互に二等辺三角形となるように基準角を利用して配置する。このとき、 $n_{in}$ 番目における任意の永久磁石の座標は、Z軸からの角度を  $\beta_{in}$  とすると、同様に式(2)に、

・奇数番号については、

$$\alpha = (2\pi/n_{in}) \cdot j, \beta = \beta_{in} \quad (j=1,3,\dots,n_{in}-1) \quad \dots(5)$$

・偶数番号については、

$$\alpha = (2\pi/n_{in}) \cdot j, \beta = \pi - \beta_{in} \quad (j=2,4,\dots,n_{in}) \quad \dots(6)$$

を代入して求められる。ここで  $\beta_{in}$  は、内球の中心と2個の隣り合う電磁石との角度より与えられる。

### 2.2.2 内球の運動によるカメラの方向変化

$n_{in}$ 個で示す永久磁石の数により、図3に示すように、2個の永久磁石とX-Y平面とのなす角度が決まる。これを回転初期角  $\eta_0$  とする。この回転初期角により、隣り合う2個の電磁石を順次励磁することによって2個の永久磁石が引き付けられ、それに伴って小型カメラの向きが変わる。図3の場合、永久磁石の初期設定の位置から、永久磁石1,2を電磁石①,②にそれぞれ吸引させ、次に永久磁石1,2を電磁石①,③にそれぞれ吸引させる。この操作により、カメラの光軸が正面から右方向へ回転動作する。なお、2個の永久磁石と電磁石が重なるので、中心とそれらのなす角度が一致し、この2対の永久磁石と電磁石との位置関係が決定される。

カメラの向きは、永久磁石の初期設定の位置から、励磁した電磁石の位置への回転移動により決まる。すなわち、X軸まわりの回転角  $\phi$ 、Y軸まわりの回転角  $\theta$ 、Z軸まわりの回転角  $\psi$  により定まる。

製作した眼球ロボットは、電磁石18個、永久磁石12個とすることにより、回転初期角を39.5度とした。

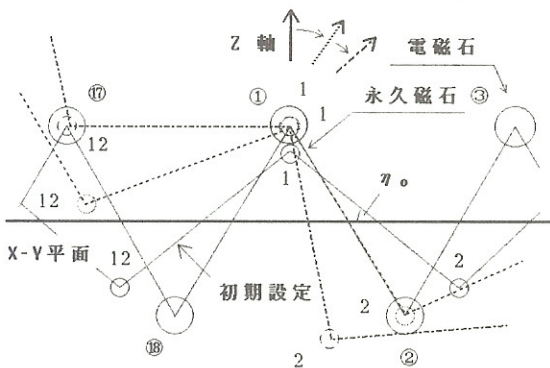


図3 内球の動作原理図

### 3. 眼球ロボットの運動制御

図4に、試作した眼球ロボットを動作させるための制御システムの構成図を示す。

指標は、上下、左右同時に動作可能なものを製作した。また認識を容易にするために、指標は黒色の円、背景は白色とした。

眼球ロボット内の小型カメラから出力された画像データを、コンピュータに取り込み処理を行う。これにより、指標の位置や運動に関する情報を得る。この情報をもとに、カメラが目的とする動作を行うように電磁石を励磁する。このとき、どの電磁石を励磁すればどの方向に動作するかパターンを決めておく。なお、内球の動作ができるだけ円滑に動作するように、必要な箇所は吸引しその他は反発するように、磁界を切り替える装置を製作した。

以上の動作をコンピュータで制御することにより、視線調節を行わせた。

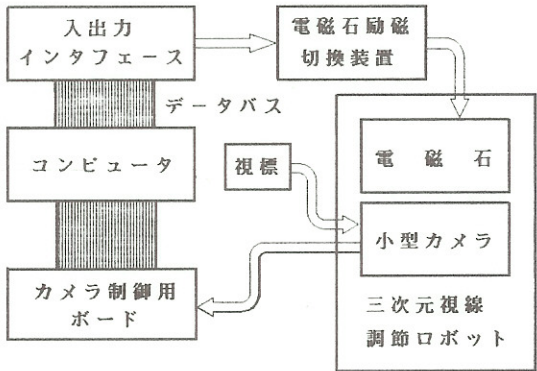


図4 視線調節制御システムの構成図

### 4. おわりに

本研究では、指標が上下、左右同時に移動したときでも、その運動を捉えることが可能な眼球ロボットを試作し、その動作を確認した。

指標の移動速度が速い場合、内球の質量を原因とするボールベアリングの摩擦のために、追従性があまり良くなかった。また、電磁石と永久磁石の個数によって動作パターンが制限されるため、円滑な動作の実現が困難であった。しかしながら、電磁石と永久磁石の個数を変えて基準角の数を増やせば、動作パターンが増加し、円滑な動作を行わせることが可能であると思われる。

### 参考文献

- (1) 小松崎他：眼球運動の神経学，医学書院，東京(1985)。
- (2) 須田他：眼球運動を基にした視線調節ロボットの試作，電気関係学会北陸支部連合大会論文集，204(1990)。
- (3) 須田他：随意性眼球運動を行う視線調節ロボットの制御，電気学会全国大会論文集，13-100(1991)。
- (4) 須田他：随意性眼球運動を基にした視線調節ロボットの学習制御，電気関係学会北陸支部連合大会論文集，160(1991)。