

磁気式モーションキャプチャに関する研究

Improvement of Magnetic Type Motion Capture System

熊谷 正朗* , 赤松 和禎*

Masaaki Kumagai* , Kazuyoshi Akamatu*

*東北学院大学

*Tohoku Gakuin University

キーワード : モーションキャプチャ(Motion capture) , 交流磁界(Alternating magnetic field) ,
励磁コイル(Excitation coil) , ピックアップコイル(Pickup coil) ,
協調磁界(Cooperative magnetic field) , 差動磁界(Differential magnetic field)

連絡先 : 〒985-8537 宮城県多賀城市中央一丁目 1 3 - 1 東北学院大学工学部 機械創成工学科
熊谷正朗, Tel: 022-368-7358 , Fax: 022-368-7070

1. はじめに

近年, マルチメディアやロボットに関する業界では, 人間の動作情報を必要とする機会が多くなってきた. その人間の動作を取得する手段として, モーションキャプチャが使われている. 一般的には体の関節等にセンサ等を取り付けて, センサからの情報を 3次元データに変換することによって, 人間の動作をコンピュータに取り込むことが可能になる. 種類も Table. 1に示すよう, 機械式, 光学式, 磁気式など様々な方式が存在する.

本研究室では, 低コストでのモーションキャプチャの実現を目指して, 磁気式のモーションキャプチャの研究を行っている. センサ単体で 3次元の姿勢・位置を検出する磁気式特有の性能を生かすことで, 将来的には, ヘッド・マウント・ディスプレイ(HMD)とセンサを人間の頭に取り付けて, 人間の立ち位置や向いた方向に応じてHMDに表示される風景が変化するバーチャル・リアリティ(仮想空間)によるビジュアライゼーションを行ったり,

人間の手先にセンサを取り付けて動きに連動してロボットアームが動作する研究などに利用できると考えられる.

本研究では, 今まで取り扱ってきた装置の改良を行った. 特に Fig. 1に示す, 現在使用している装置の一部であり, 測定する空間に交流磁界を発生させる役割の励磁コイルに,

- 立方体形状でしか, 検討してこなかったので, 使用・測定範囲を制限してしまう.
- 組立解体が不可能なため, 非常に多くの空間を占有し, 運搬も困難である.

という問題があったため, 今回新たに励磁コイルの設計を試みた.

本稿では, 励磁コイルが従来の立方体形状以外の直方体形状であっても動作するかの解析を数値計算によって確認してから, 励磁コイルの再設計をして製作し, 実装するまでを報告する.

Table 1 代表的なモーションキャプチャの特徴

方式	機械式(リンク式)	光学式(カメラ)	磁気式
原理	関節を有する対象に固定し、対象物の動きに応じた関節の角度を計測する	対象物に光点等を取り付け、複数のカメラで撮影して解析することで動きを測定する	対象空間に磁界を発生させ、コイルで磁界の違いを読み取り姿勢と位置を観測する
長所	検出が確實 応答性が良好	同時に複数点の観測が可能	運動にともなう死角がない 比較的低コスト
短所	測定物の動作に制限がある	カメラの死角になると計測不可 非常に高コスト	磁性体が近くにあると、磁界が歪み精度に影響する

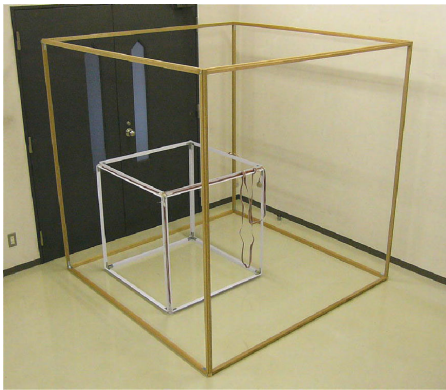
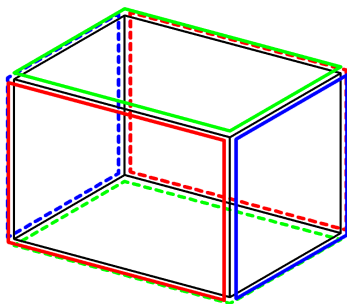
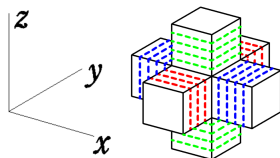


Fig. 1 従来の励磁コイル
骨組みは木材を用いて、立方体形状で組立解体が不可能



(a) 励磁コイル
矩形のコイルに交流電流を流すことで空間内に交流磁界を発生させる



(b) ピックアップコイル
センサとなる部分で、交流磁界内でコイルに電圧が誘起する

Fig. 2 2種類のコイルの概略図

2. 交流磁界を用いた磁気式モーションキャプチャの原理

2.1 システムの概要

この磁気式モーションキャプチャは、Fig. 2(a)に示す測定空間に交流磁界を生成する励磁コイルと、Fig. 2(b)に示す空間内で磁界を拾うピックアップコイルの2種類のコイルを用いることが特徴的である。

この2種類のコイルを用いた本システムの概要を簡単に述べると、以下のようになる。

1. 測定対象空間を囲む励磁コイルに交流電流を流すことで、計測空間に直線的な強度分布特性を持つ交流磁界を発生させる。
2. 交流磁界内で、測定対象に取り付けたピックアップコイルに電圧が誘起する。
3. ピックアップコイルに生じた電圧から、励磁した各成分の振幅を取り出して、処理することで姿勢と位置を求める。

ピックアップコイルに誘起する信号の振幅は、その位置での磁界の大きさと測定対象となるピックアップコイルの方向によって決まるので、空間に姿勢の基準となる磁界と、位置の基準となる磁界の2種類の交流磁界を生成すれば検出が可能となる。そのため、姿勢の検出には空間内で均一で一定方向に向く平行な磁界が、位置の検出には位置

によって直線的な変化が得られるような磁界が望ましい。

ちなみに改良前のシステムで使っていた2種類のコイルについては、励磁コイルは一辺が約2mの立方体で、この立方体の各6面に正方形のコイルを設け、コイルの巻き数は20回である。実際に流す交流電流は40mAP-Pであり人体に悪影響及ぼすほど強い磁界は発生しない。一方、ピックアップコイルには巻き数約8000回の小型円筒空芯コイルを使用することで、起電力を増加させて高感度にするよう設計した。

2.2 コイルに誘起する電圧の関係

交流磁界内でピックアップコイルが誘起する電圧の関係を簡単に説明する。

コイルに誘起する起電力 $e(t)$ は、コイルの巻き数 n と、コイルを貫く磁束 $\Phi(t)$ により、

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

と表される。つまり、磁束の時間変化が誘起する電圧となる。磁束は磁力線の数の多さを意味して、ピックアップコイルのコイル断面積で、各交流磁界の磁束密度ベクトル場 B を面積分したものである。そして、ピックアップコイルが十分小さくて、コイル面内で磁束密度の大きさも方向も一定と見なして考えれば、コイルの断面積 S とコイル面の法線方向と磁束密度の方向がなす角度 θ より、

$$\Phi = S|B| \cos \theta \quad (2)$$

と、簡単にコイルに貫く磁束を求めることができる。これは、ある点での磁束密度の方向に対し、どれだけコイルの角度がずれているかによって磁束変化することを表し、方向が一致している($\theta = 0$)のときは磁束 Φ が最大になり、コイルが直交している場合($\theta = \pi/2$)は磁束 Φ が0となる。さらにピックアップコイルの方向ベクトル v (正規化して $|v| = 1$)

を用いると式(2)は、

$$\Phi = SB \cdot v \quad (3)$$

と、ベクトルの内積により求めることができる。そして、この関係を利用することで次に述のように、ピックアップコイルの姿勢は計算で求めることができる。

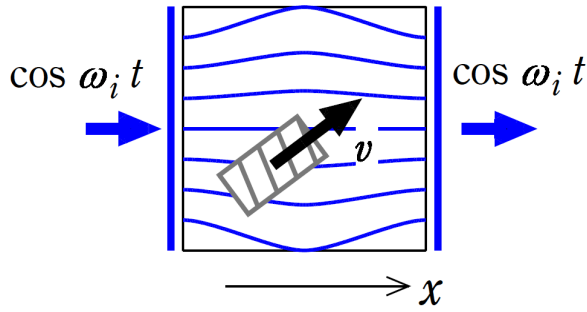
2.3 姿勢の計測

姿勢を計測するためには、式(2)における磁束密度の方向に対して、どの程度測定対象の方向が違つかにより出力が変化することを利用する。そのため、磁束密度つまりは交流磁界の方向ができるだけそろっているものが理想的であるので、ここでは協調磁界と呼ぶ交流磁界を用いた。この協調磁界とは1組の対向する励磁コイルの各々に、同周波数、同位相、同強度の正弦波電流を与えることにより生成した交流磁界である。Fig. 3(a)のように計測空間の両側から同じ方向に磁力を与えるため、内部では横に平行な磁界が作られる。実際に2対の励磁コイルから生成される協調磁界を数値解析したものをFig. 3(b)に示す。図中の矢印は協調磁界の磁束密度の大きさと方向を表している。励磁コイル内部では磁界が同じ方向に整っているが、コイル周辺と外側では磁界が一様になっていないため、測定範囲として使用しない。

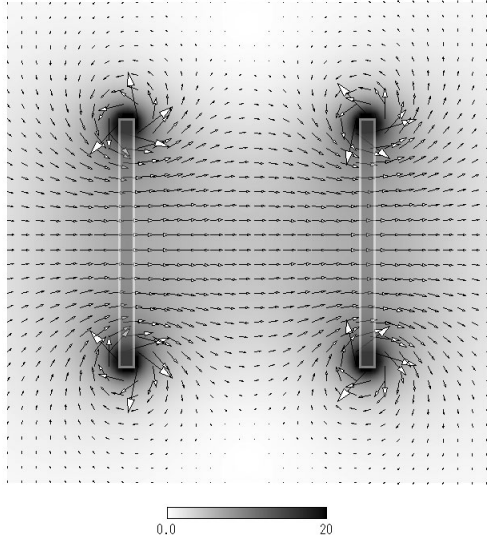
この協調磁界を用いることで、磁界内にあるピックアップコイルの姿勢を求める。まず協調磁界を生成する対向した励磁コイル対の番号を $i(= 1, 2, 3)$ とする。ピックアップコイルもコイルが3軸あるので3個あるものとして $j(= 1, 2, 3)$ とおいて考える。

それで、このピックアップコイルを貫く磁束 $\Phi_{i,j}(t)$ は以下の式で与えられ、

$$\Phi_{i,j}(t) = SB_{C_i} c_i \cdot v_j \cos \omega_i t \quad (4)$$



(a) 協調磁界の生成の概念



(b) 数値計算で得た協調磁界の様子
励磁コイルの内部であれば，横にほぼ平行な磁界分布が表れる

Fig. 3 協調磁界

- S : ピックアップコイルの断面積
- B_{Ci} : 励磁コイルの形状や励磁電流振幅など装置によって決定される定数
- c_i : 励磁コイル直方体中央で大きさ1となるよう正規化した振幅ベクトル場
- v_j : ピックアップコイルの方向ベクトル
- ω_i : 励磁電流の角周波数

ピックアップコイルに誘起する電圧は，

$$\begin{aligned}
 e_{i,j}(t) &= -n \frac{d\Phi_{i,j}}{dt} \\
 &= nS\omega_i B_{Ci} c_i \cdot v_j \sin \omega_i t \\
 &= K_{Ci} c_i \cdot v_j \sin \omega_i t
 \end{aligned} \quad (5)$$

と求められる．

また，式の簡略するため $K_{Ci} = -nS\omega_i B_{Ci}$ と定数部は1つにまとめた．そして誘起した電圧に参

照波 $\sin \omega_i t$ を乗じて，

$$\begin{aligned}
 r_{i,j}(t) &= e_{i,j}(t) \cdot \sin \omega_i t \\
 &= K_{Ci} c_i \cdot v_j \sin^2 \omega_i t \\
 &= K_{Ci} c_i \cdot v_j \{1 - 2 \cos(2\omega_i t)\} / 2
 \end{aligned} \quad (6)$$

角振動数 $2\omega_i t$ の部分をローパスフィルタを用いて除去することで，ピックアップコイルの誘起電圧信号に含まれる励磁成分強度 $R_{i,j}$ を求めることができる．

$$R_{i,j} = K_{Ci} c_i \cdot v_j / 2 \quad (7)$$

この相関値 $R_{i,j}$ は，各励磁コイルにおける磁束密度ベクトル場とピックアップコイルの方向ベクトルの内積を含んでおり，これがモーションキャプチャ上で得られる姿勢に関する検出値そのものとなる．

この9個のパラメータ $R_{i,j}$ をもとにピックアップコイルの姿勢を計算で求める．式(7)をみると $R_{i,j}$ は計測して得られる検出値であり， K_{Ci} は装置定数で， $c_i(x, y, z)$ もあらかじめ数値計算すれば求められる値であるので，未知数であり本来求めるべき方向ベクトル $v_j(v_{jx}, v_{jy}, v_{jz})$ について式を立てればよい．

よって，式(7)より

$$\begin{aligned}
 c_{1x}v_{jx} + c_{1y}v_{jy} + c_{1z}v_{jz} &= 2R_{1,j}/K_{C1} \\
 c_{2x}v_{jx} + c_{2y}v_{jy} + c_{2z}v_{jz} &= 2R_{2,j}/K_{C2} \\
 c_{3x}v_{jx} + c_{3y}v_{jy} + c_{3z}v_{jz} &= 2R_{3,j}/K_{C3}
 \end{aligned} \quad (8)$$

と，3元1次連立方程式を解けば，方向ベクトル $v_j(v_{jx}, v_{jy}, v_{jz})$ を求めることができる．

ただし，姿勢を求める段階ではピックアップコイルの位置 (x, y, z) がわからず c_i を決定できないので，コイルが励磁コイルの中央にあるものと仮定して姿勢を計算している．よって，正確な姿勢を求めることはできず，あくまで仮の姿勢を求めたにすぎない．そのため，次の過程で得る位置を利用して姿勢を再計算する必要があるが，その前に姿

勢が仮定や磁界の歪みの影響で3軸が直交になっていない場合があるので、求めた方向ベクトルが直交するように補正している。

2.4 位置の計測

次に位置を求めるためには、姿勢の計測で利用した協調磁界とは違う差動磁界と呼ぶ交流磁界を用いる。この差動磁界とは、3組の対向する励磁コイルの各対に、同出力、逆位相の正弦波電流を与えることにより生成した交流磁界のことである。Fig. 4(a)のように励磁コイルの両側から押しつけるように磁力を与えるため、中央に近づくにつれて磁界が打ち消し合って無くなるような磁界が作られる。生成される差動磁界を数値解析したものをFig. 4(b)に示す。特徴としては、向かい合う励磁コイルに対して垂直方向の成分だけ取り出すと、中央に近づくにしたがって大きさが直線的に減少してゼロになるほぼ平行な等高線が描ける磁界分布が得られる。この成分を利用して位置を求める。ただし協調磁界と同様に、励磁コイル近辺と外側は磁界が大きく乱れたりしているため、計測範囲として利用していない。

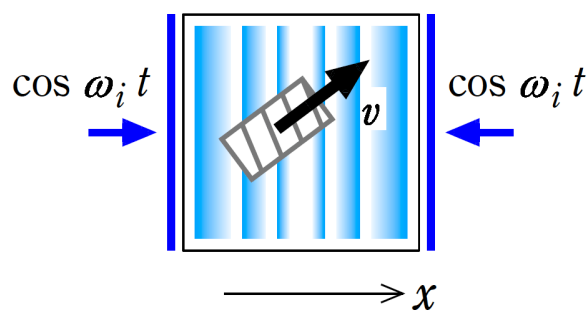
位置の計測では、場所によって線形的な出力が得られる差動磁界と、はじめに求めた姿勢を利用して使って計算する。考え方は姿勢と同じで差動磁界で励磁コイルの面に対向したコイルを1組として $i(=4, 5, 6)$ と添え字をおき、ピックアップコイルもコイルが3軸あるので3個あるものとして $j(=1, 2, 3)$ とおいて考える。

それで、差動磁界内でピックアップコイルを貫く磁束 $\Phi_{i,j}(t)$ は以下の式で与えられ、

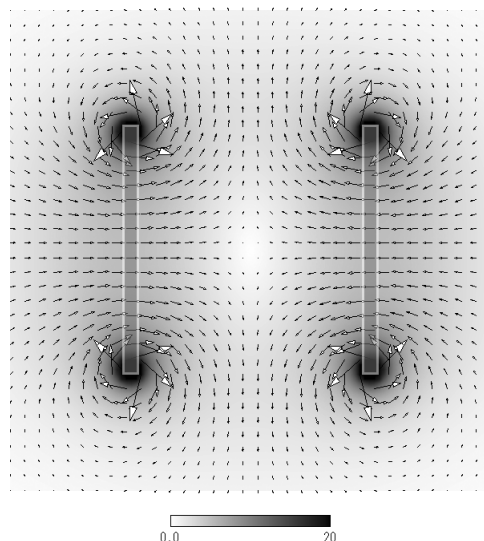
$$\Phi_{i,j}(t) = SB_{Di} \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{v}_j \cos \omega_i t \quad (9)$$

B_{Di} : 励磁コイルの形状や励磁電流振幅など装置によって決定される定数

\mathbf{d}_i : 各励磁コイル矩形部分中央で大きさ1とする正規化した振幅ベクトル場



(a) 差動磁界の生成の概念



(b) 数値計算で得た差動磁界の様子
横方向の成分だけ取り出すと、縦にほぼ垂直な磁界分布が表れる

Fig. 4 差動磁界

磁界内でピックアップコイルに誘起する電圧は、協調磁界と同様に、

$$e_{i,j}(t) = K_{Di} \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{v}_j \sin \omega_i t \quad (10)$$

と求められる。また $K_{Di} = -nS\omega_i B_{Di}$ と定数部は式を簡略するため1つにまとめた。

そして、同様に誘起した電圧に参照波 $\sin \omega_i t$ を乗じ、角振動数 $2\omega_i t$ をローパスフィルタを用いて除去することで、差動磁界内のピックアップコイルの誘起電圧信号に含まれる励磁成分強度 $R_{i,j}$ を求めることができる。

$$r_{i,j}(t) = K_{Di} \mathbf{d}_i \cdot \mathbf{v}_j \{1 - 2 \cos(2\omega_i t)\} / 2 \quad (11)$$

$$R_{i,j} = K_{Ci} \mathbf{c}_i \cdot \mathbf{v}_j / 2 \quad (12)$$

この相関値 $R_{i,j}$ は、各励磁コイルにおける差動

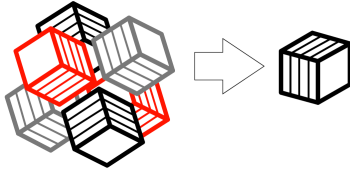


Fig. 5 仮想ピックアップコイルの概略図
3軸分あるコイルを仮想的に1つのコイルにおいて出力強度を評価する

磁界での磁束密度ベクトル場と先に計算したピックアップコイルの方向ベクトルの内積を含む。

そして、励磁コイルに垂直な成分を得るために、Fig. 5のように3軸直交にコイルを取り付けたピックアップコイルを結合して仮想的に1つのピックアップコイルがあるものとして扱う¹⁾。実際のピックアップコイル3軸の出力強度 $P_{i,j}$ と方向ベクトル v_j を利用して、実在するピックアップコイルの中心に位置し、ベクトル v_I に沿った仮想のピックアップコイルの強度を求める。各ピックアップコイルで検出された振幅を

$$P_{i,j} = 2R_{i,j}/K_{Di} \quad (13)$$

とすると、仮想ピックアップコイルで得られる振幅 $P_{i,I}$ は次式で得られる。

$$P_{i,j} = v_1 \cdot v_I P_{i,1} + v_2 \cdot v_I P_{i,2} + v_3 \cdot v_I P_{i,3} \quad (14)$$

ただし、仮想ピックアップコイルの方向ベクトル v_I は、 $|v_I| = |v_j| = 1$ とする。

式(14)から各励磁コイルに垂直な成分を得ることで、Fig. 4(b)でも示した強度分布と照合させて、ピックアップコイルの位置が求められる。

2.5 姿勢と位置の計算手順

上述の原理式より、測定対象となるピックアップコイルの姿勢と位置は、励磁コイルから発生する協調磁界と差動磁界を利用することで得られるが、具体的な流れは以下の手順のようになる。

1. ピックアップコイルの誘起電圧信号に含まれる励磁成分強度 $R_{i,j}$ を求める。
2. ピックアップコイルの位置を励磁コイルの中央に仮定し、協調磁界の磁束密度ベクトルを用いて仮の姿勢を求める。
3. 求めた仮の姿勢の方向ベクトルと、各成分強度及び差動磁界の磁束密度ベクトル場より位置を求める。
4. 得た位置をもとに姿勢と位置を再計算する。

このように、仮の姿勢で求めた位置から姿勢と位置を再計算するが、協調磁界・差動磁界ともに位置に対する磁力の変化が広い範囲で直線的なので、再計算は1回で十分に精度を向上できた。

3. システムのシミュレーション

3.1 磁場演算のシミュレーションの開発

本研究の方式では、励磁コイルの形状が立方体以外の直方体にも対応可能と考えられていた。だが、今まで立方体以外検討したことがなかったので、直方体形状でシステムが働くことを調べておく必要がある。そのため、ある任意の励磁コイル形状における磁場生成をコンピュータ上でシミュレートし、立方体以外で有効な磁界を生成するかを確認することにした。

このシステムのシミュレーションをコンピュータで行う際には、下記に示すいくつかの入力条件を与える必要がある。

- 励磁コイル直方体各成分の長さ $L(l_x, l_y, l_z)$
- 測定対象となるピックアップコイルの姿勢 $v_j(v_{jx}, v_{jy}, v_{jz})$ と位置 $P(x, y, z)$

そして、設定したピックアップコイルの位置に発生する磁束密度を求めるため、ビオ・サバールの法則²⁾を使って励磁コイルからピックアップコイ

ルのある点 P の磁束密度 $B_i(bx_i, by_i, bz_i)$ を計算することにした。こうして、求めた各交流磁界の磁束密度 B_i と、条件として与えたピックアップコイルの姿勢 v_j を内積することで、各励磁成分の強度 $R_{i,j}$ を計算で求めることができる。

実際に直方体形状 $3[m] \times 2[m] \times 2[m]$ の場合で解析した結果をFig. 6(協調磁界), Fig. 7(差動磁界)に示す。これによると、協調磁界では励磁コイル内部で横に平行な磁界が生成されていることや、差動磁界ではコイルに垂直な成分を取ったときの磁界分布など、立方体形状の時と比べてほとんど性質に違いはない。ただ若干、励磁コイル周辺や外側で磁界が歪みの現れかたが目立つ程度で、実際に測定範囲として利用する励磁コイル内部においては、期待する協調磁界と差動磁界が生成されているので問題ないといえる。また他の条件も確認した結果、極端に縦・横・高さの比が違う直方体でない限り、励磁コイルが立方体以外の直方体形状でも問題ないことが確認できた。

3.2 測定対象を計算するソフトウェアの開発

直方体形状での妥当性を調べるためシミュレーションを行ったが、磁界の歪みでどの程度計測誤差に影響するかを確認するため、計算して得た各励磁成分の強度 $R_{i,j}$ から測定対象のピックアップコイルの姿勢と位置を算出するプログラムを開発して、誤差の大きさを調べてみることにした。入力を励磁コイル形状とピックアップコイルの姿勢と位置として、ビオ・サバルの法則より各励磁成分の強度を得て、その検出値を利用して姿勢と位置を求めるといった、実装置のハードウェア部分とソフトウェア部分を一括したプログラムを開発し、任意の励磁コイル形状での入出力の違いを調べることにした。

まず開発したソフトウェアの動作を確認するた

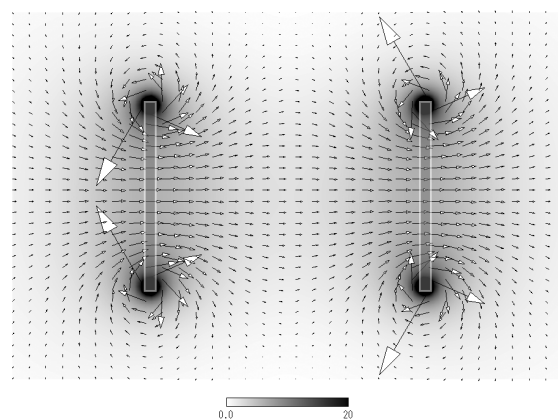


Fig. 6 直方体形状での協調磁界

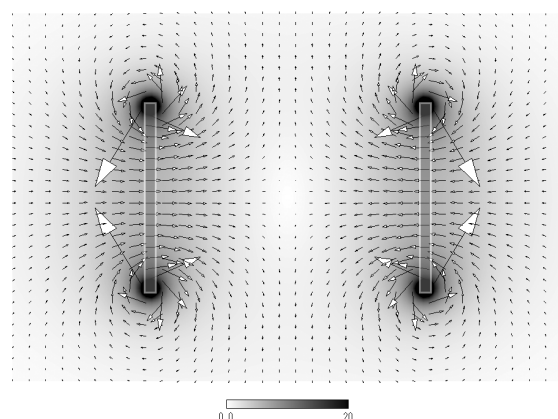


Fig. 7 直方体形状での差動磁界

めに、立方体形状について解析して誤差の度合いを調べてみた。3個の方向ベクトルの角度誤差の平均値をFig. 8(a)に示す。この場合、周辺部に $1[\text{deg}]$ 以上の誤差がみられるが、主に利用する内側ではほとんど誤差が見られない。位置の誤差(Fig. 8(b))も同じく、励磁コイル周辺では $10[\text{mm}]$ 以上の誤差が見られるが、内側では誤差がほとんどない。また、両者の誤差分布傾向が酷似している理由は、計算過程上で先に姿勢を求めてから位置を算出しているため、姿勢誤差の影響がそのまま位置誤差に反映されたためと考えられる。このことから、全体の精度を向上させるためには、姿勢の求め方を改善する必要になってくるが、従来のシステム通り励磁コイルの周辺と内部の精度の傾向は実際のもと同じであることがわかったので、このソフトウェアは致命的な欠点がないことが確認できた。

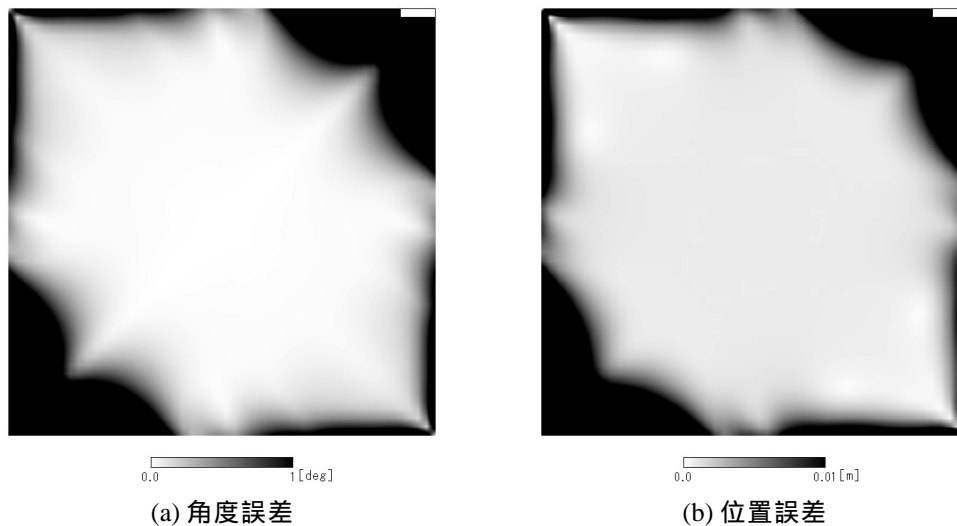


Fig. 8 2[m]の立方体コイルの誤差分布

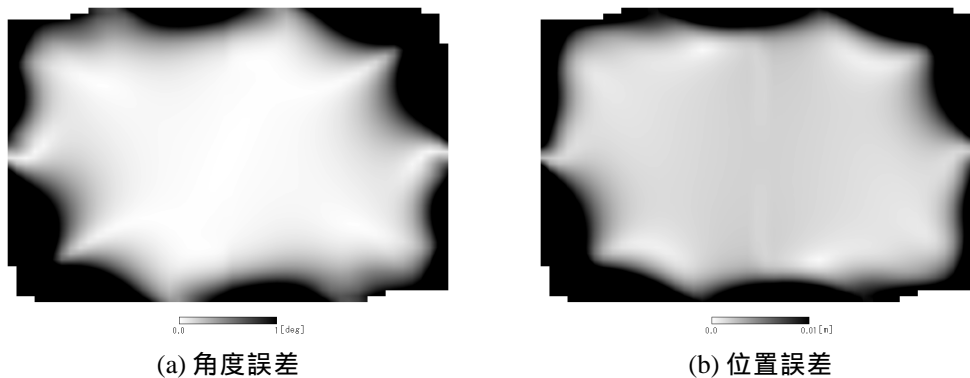


Fig. 9 直方体励磁コイル3[m]×2[m]×2[m]の誤差分布

次に、直方体形状での励磁コイルの誤差分布を調べてみた。3[m]×2[m]×2[m]の直方体励磁コイルの誤差分布をFig.9に示す。立方体形状と見比べれば、分布が横に広がったような感じで若干誤差が目立ってくるものの、内側では誤差はなく十分扱うことができる。ただ、全体的な形状比率のバランスが悪くなると、出力不足しているためか励磁コイルの内部までしっかり磁界が生成されないため、内側の誤差が見られるようになったが、誤差といっても非接触での姿勢・位置検出で1[deg]、10[mm]未満なので、直方体形状でも想定している用途には十分な精度は得られると考えてよいと言える。とりあえず、シミュレーションを行うことで、直方体励磁コイルでもシステムが動作することが確かめることができた。

4. システムの実装

4.1 励磁コイルの設計

シミュレーションで立方体以外の励磁コイルでも動作することが確認できたので、新しい励磁コイルの設計を行った。今回は励磁コイルの長さを変えることを目的とするので、直方体の辺と頂点を別々に作り、組立解体できるように設計した。

まず直方体の辺となる部分是非磁性体である紙管を利用して、その両端に穴を開けてコイル部分となる40本のフラットケーブルを通して、その両端に着脱用のコネクタを取り付けた。直方体を成すには同じ長さのものを4本を3組用意する必要がある。次に直方体の頂点部分は、コイルとなる辺を構造的かつ電氣的に3軸直交に接続させる必



Fig. 10 励磁コイルの頂点となるジョイント部分．コイル(紙管)をさすと直交に連結される



Fig. 11 本研究で作成した励磁コイル

要がある．なおかつ4本からなる矩形部分はコイルを巻いた状態にしなければならない．そのため、ケーブルを単に接続することで一周させるコネクタを6個と、給電点付きのコネクタ2個の計8個用意した．実際にジョイント部分にケーブル付き紙管を取り付けるとFig. 10のようになり、コイルがきちんと3軸を直交に接続することができた．また、一辺で40本あるケーブルは隣接する矩形面にそれぞれ20本ずつ使用され、1面のコイル巻き数は20回となる．すべて2[m]長さのコイルで組み立てると、Fig. 11のような立方体形状を作ることができる．

4.2 直方体形状コイル対応システムの実装と検討

解析を行うことで直方体形状で組立解体可能な励磁コイルの妥当性を調べ、実際に励磁コイルの設計・製作を行ったので、本システムに実装を試み

た．ただし、従来のシステムは各成分同じ計算として扱って簡略化しているので立方体形状でしか動作せず、直方体形状には対応してないため、直方体に適用するためにはソフトウェアの改良が必要である．従来の実システムは計算過程上、相関値に対して姿勢と位置に関するテーブルを必要とし、このテーブルは励磁コイルの形状によって決まる固有なものなので、コイル形状が変わるたび用意しなければならないので面倒である．そこで、テーブル参照をせず、直方体形状に適応している今回作成した解析用プログラムを試験的に本システムに組み込んで、実際の直方体形状でのシステムの動作をみることにした．

まず組み込んだプログラムの動作を確認するため、2[m]の立方体形状で従来のプログラムと同時に動かし比較した．結果、姿勢・位置両方ほぼ近い数字になったので問題ないと確認できた．次に、このプログラムで高さだけ1[m]に変えた直方体形状で計測したところ、若干精度が下がったものの十分利用可能な姿勢・位置が検出できた．

今回解析で使ってきたプログラムを利用して直方体形状励磁コイルの実装は一通り実現できたが、位置の演算部分は差動磁界の強度を利用して収束計算をしているのでテーブル参照法と比べて非常に処理速度が劣っている．そのためリアルタイムを要求されるモーションキャプチャではこの手法は実用性に欠けるので、既存のシステムで行われていたテーブル参照を使い高速化をはかる必要がある．現段階ではまだ作成してないが、従来のソフトウェアを基礎にして直方体形状でも利用できるようにし、システムの起動段階でその形状に応じた参照テーブルを自動作成するように改良すれば、汎用性のあるモーションキャプチャの実現が可能になると考えられる．あるいは、今回の手法のほうが計測精度が高いので収束計算を最適化する方法もあるが、どの方法が有効なのかは今後評価して要検討する必要がある．

5. 測定誤差の検討

今回、直方体形状の励磁コイルの実用化を検証している間、励磁コイル周辺で常に決まった誤差分布が見られることがわかったので、条件を色々変えてデータを集め解析することにした。その結果、以下のような原因があると判明した。

- 励磁コイル周辺での磁場の歪みによる誤差
- 姿勢の直交補正の手法による影響
- 姿勢・位置の繰り返し計算回数による影響

励磁コイル周辺では協調と差動で必要とされる磁界分布と大きく異なり、またコイル内部と比べて出力が強すぎるために分解能の都合によりもともと無視しているので考慮する意義は少ない。

また、姿勢と位置の計算途中で行われる姿勢の直交補正については、求めた3つの方向ベクトルの合ベクトルは正しいものとして補正しているので、一部の方向ベクトルが極端に誤差が含まれると全体的にずれてしまう欠点がある。この直交補正が及ぼす誤差の影響はまだ厳密に解析してないが、誤差が多く含まれるところは上述した無視してよい場所とほぼ一致するので、直交補正による誤差も無視することにした。

姿勢・位置の繰り返し計算部分については2回行えば十分な精度が得ると考えられてきたが、回数を増やすとより励磁コイル周辺の誤差を小さくすることが可能だと判明した。何よりこの処理部分は(テーブル参照を用いれば従来のシステムで姿勢・位置演算は0.02[ms]以下と)時間を要さないので、回数を増やせば簡単に安定した測定空間を広く確保することができる。ただ、ある一定以上になると精度の向上も期待できなくなるので、あとは応答性と精度の調整を行う必要がある。

6. おわりに

本論文では、磁気式モーションキャプチャの装置の改良として、直方体形状での励磁コイルの実現のためシミュレーションを行い検証して、実際に組立解体可能な励磁コイルの設計・開発・実装を行ったことについて述べた。今回は、直方体形状の励磁コイルを今回作成した解析用のプログラムを用いて実装したが、特に応答性に問題があるので、従来のソフトウェア部分をベースに本格的に改良しようと考えている。また今回、検証の過程で本システム特有の測定誤差があることが判明し、原因を追及してそれに対する対策方法を考えてみたので、これらも考慮して改良を行いたい。

また、今回はハードウェア部分のデジタル回路については触れていなかったため、検出部となるピックアップコイルの追加や装置のコンパクト化など、より使いやすいシステムで、高性能なモーションキャプチャの実現を目指したい。

最後に、励磁コイル装置周辺部品の開発に協力していただいた本研究室と東北学院大学工学部ロボット研究会一同に、感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 熊谷正朗: 交流磁界を用いたモーションキャプチャの開発, Interface 2004年11月号, pp.107-122, CQ出版(株)
- 2) 宮田浩: わかる! コイルと磁気と回路の世界, トランジスタ技術 2004年8月号別冊付録, CQ出版(株)