

# エア－ハンドル：軽やかな操作で仮想オブジェクトを 回転・移動させるインタフェースデザイン

武野泰樹<sup>†1</sup> 支倉孝光<sup>†1</sup> 兎玉幸子<sup>†1</sup>

本研究では、人間の手に持って空中で操作し、角度の制限なく1軸を中心とした回転運動を作り出すことができる軽量の「エア－ハンドル」をデザインし、モーションセンサの値によって回転運動と位置の移動を検出し、仮想オブジェクトを動かすインタラクションデザインの検討・開発を行った。実験では、モーションセンサを取り付けた「エア－ハンドル」のプロトタイプを作り、空中でのハンドルの操作によってリアルタイムCGアニメーション(歯車、蟻)を動かすアプリケーションを開発した。

## Air Handle : A New Interface Design to Rotate and Move Virtual Objects with Light Operation

TAIKI TAKENO<sup>†1</sup> TAKAMITSU HASEKURA<sup>†1</sup> SACHIKO KODAMA<sup>†1</sup>

In this study, we designed and developed a new interface for an “Air Handle” that can be rotated in the air with a light operation using both hands. A motion sensor attached to the handle is used to detect its movements so that virtual objects in a computer display can be moved according to the movement of the handle in real time. We developed a prototype device and two CG applications in which we can control various-sized gears or ants by operating the “Air Handle.”

### 1. 研究の背景と目的

近年、ボール、ペンなどのオブジェクトにセンサを取り付け、その値を利用することで、リアルタイムに映像に変化を加えるインタラクティブなコンテンツ制作が活発になっている。[1][2] ハンドルにセンサを取り付けた入力デバイスも研究され[3]、ゲーム等にこれまで多く使われてきたが、そのほとんどが車やバイクに使用されている形状で、体幹に対して垂直な回転軸となっており、平行な回転軸にはなっていない。また、ハンドルを無限に回転させるためには、ハンドルから一旦手を離し、持ち替えて回転を継続する必要があった。

本研究では、道具に取り付けられている手回し用のハンドルをそれ単独で空中で使用して回転情報を伝え、コンテンツや他の機器を制御できる新しいインタフェース「エア－ハンドル」について研究を行う。「エア－ハンドル」では、回転運動を素早く正確かつ直感的に制御し、表現することを目的とし、これにより、手をクロスする必要なく、左右の感覚に対して平等に、無限の回転運動を伝えることができるようになると考えられる。研究では、ハンドルにモーションセンサと無線モジュールを取り付けたエア－ハンドルシステムを開発し、ハンドルの運動をCGコンテンツの表現に直結させたインタラクティブコンテンツの制作を行い、それを応用した表現へと発展させることを目指す。

### 2. システム構成

#### 2.1 エア－ハンドル

本研究ではまず、ハンドルにセンサモジュールを取り付けた「エア－ハンドル」と呼ばれる図1に示すデバイスの開発を行った。



図1 エア－ハンドルのプロトタイプ

エア－ハンドルは、木材を組み合わせて作られ、軸の長さが26cm、握り手の部分が10cmで、約85gとなっている。握り手は軸と切り離して回転できるようにされており、滑り止めのグリップが嵌められている。中心の軸には窪みが掘られ、各種モジュールを設置している。

ハンドルのモジュールとして、モーションセンサ：MPU9250(3軸加速度、3軸ジャイロ、3軸コンパス)、通信モジュール：EYSGCNZWY、リポバッテリー：150mAの出力3.7Vを取り付けた。センサの取り付けは図2の向きになるように行い、それぞれの軸に対して加速度、ジャイ

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications

ロ、地磁気のxyz方向の値を検出することができる。

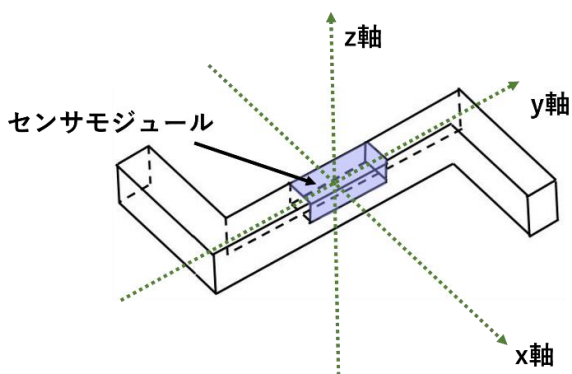


図 2 センサの取り付け位置と方向

このエアハンドルを空中で回転させることで、あたかも機械的なハンドルを回しているかのように運動をCGで表現することができる。

## 2.2 通信システム

エアハンドルとPCとの通信を、BLE通信を用いて行った。1秒間に100回の通信を行っている。

## 3. ハンドル回転の検出手法

ハンドルの回転を検出するにあたって、次の方法が考えられる。

一つ目は、加速度センサを用いて回転を検出する方法である。ハンドルを回転させた際に生じる加速度を用いることで、ハンドルの傾き具合を特定することができる。スマートフォンの傾き検出にも使われており、回転の検出にも利用できると思われる。

二つ目はジャイロセンサを用いる方法である。ハンドルの回転で生じる三軸方向の角加速度を検出することで、どの方向にどれほどの速度で回転しているかを検出することができると思われる。

三つ目は、地磁気センサと加速度、ジャイロセンサのいずれかを組み合わせて特定する方法である。地磁気センサを用いれば、ハンドルの向きを特定することができる。地磁気センサを組み合わせることで、ハンドルの表裏や方向に左右されることなく、詳細な回転を検出することができると思われる。

本研究では、二つ目の検出法を利用し、ジャイロセンサを利用することで、三軸方向への回転の検出を行った。

次に、静止状態の検出を行った。センサから得られる加速度のx, y, z成分をそれぞれAx, Ay, Azとし、同様にジャイロをGx, Gy, Gzとした。以下の式を用いて加速度とジャイロの合成成分, Aa, Gaを定めた。

$$Aa = \sqrt{Ax^2 + Ay^2 + Az^2} \quad \dots\dots\text{式}[1]$$

$$Ga = \sqrt{Gx^2 + Gy^2 + Gz^2} \quad \dots\dots\text{式}[2]$$

静止状態は、10フレーム間Aa, Gaが閾値以下であり続けた場合として定め、ハンドルに動作が加わっていない状態を特定することができる。

最後に、振り状態を、5フレーム間、直前の加速度、ジャイロの合成成分をAa', Ga'としたとき、AaとAa'の差、GaとGa'の差が閾値以上になったときと定めた。

## 4. アプリケーション

本研究では、エアハンドルを用いて連動させることができる、「歯車」と「蟻」の2種類のアプリケーションを開発した。

### 4.1 「歯車」

#### 4.1.1 コンセプト

エアハンドルを用いて回転させるオブジェクトとして、回転運動の様子が最も分かり易い歯車を選んだ。本研究で作成したアプリケーションでは、異なる形状、大きさを持つ歯車のCGを三次元空間内に自由に組み合わせることで回転運動を表現することができる。

アプリケーションの開発はUnityを用いて行った。歯車のCGだが、正確に作成するためには、モジュールや歯たけ、ピッチ円直径などを計算して行う必要がある[4][5]。本研究では、細かく計算し、正確に噛み合う歯車ではなく、大まかに歯車のCGをBlenderで作成した。

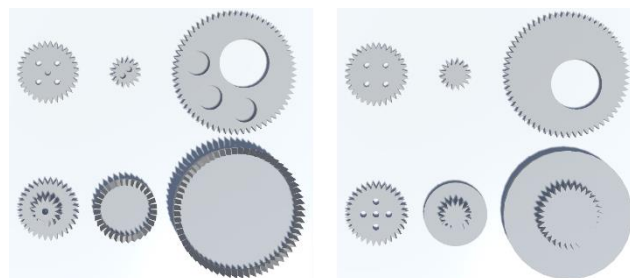


図 3 歯車のCGモデル（表と裏）

#### 4.2.2 アルゴリズム

「歯車」アプリケーションでは、歯車を動かすために下記に示すアルゴリズムを用いた。また、歯車には複数の種類があるが、本研究では平歯車、冠歯車のみを用いたので、その歯車のみを考える。

平歯車とは、歯が軸に対して平行な直線になっており、最もよく目にする歯車である。冠歯車は平面に歯をつけた歯車で、回転運動の方向を90°変化させることができる。

今、平歯車、冠歯車の駆動歯数をZ<sub>1</sub>、駆動歯車の回転数をR<sub>1</sub>とすると、次の式によって被動歯車の速度伝達比K<sub>x</sub>と回転数R<sub>x</sub>を求めることができる。

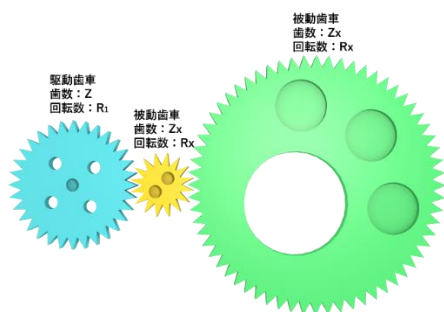


図4 平歯車，冠歯車の回転数

$$K_x = Z_x / Z_1 \quad (x = 1, 2, 3 \dots) \dots\dots \text{式}[3]$$

$$R_x = R_1 / K_x \quad (x = 1, 2, 3 \dots) \dots\dots \text{式}[4]$$

平歯車には平歯車と平歯車を組み合わせた物もあり，本研究では2段減速の平歯車を用いた．速度伝達比と回転数は次の式で求めることができる．

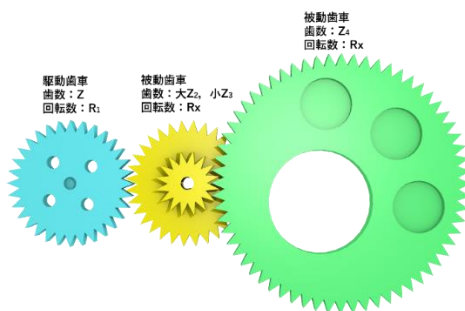


図5 2段減速の回転数

$$K = Z_2 / Z_1 \times Z_4 / Z_3 \dots\dots \text{式}[5]$$

$$R = R_1 / K \dots\dots \text{式}[6]$$

### 4.3.3 アプリケーションの機能

歯車のアプリケーションでは，ユーザがサイズと歯数の異なる歯車を自由に組み立てられるようにした．歯車の色は設置するごとにランダムに決定する．ユーザは歯車を組み立てた後，または組み立てながら，エアハンドルを用いて歯車の回転運動を体験する．

x 軸を回転軸としてハンドルを回転させると，x 軸のジャイロセンサが反応し，x 軸への回転状態と判断される．このとき歯車は通常通りに噛み合い，式[3][4][5][6]に基づいて回転する．逆回転にも対応させた．

歯車の回転速度は2段階用意し，x 軸のジャイロセンサの値によって最初に設置した歯車の回転数が変化し，全体に影響を与えることが可能である．

z 軸を回転軸として回転させると，z 軸のジャイロセンサが反応し，z 軸への回転状態と判断される．このとき，通常の歯車の回転軸とは異なる軸を回転軸として歯車を回転させることができる．

回転速度は，歯車の数が増えるにつれ増加させて，現実

とは違った連動の面白さを感じさせるようにした．

ハンドルを静止させると，静止状態と判断される．このとき，自由に回転させた歯車を設置した初期の状態に戻ることができる．ハンドルを振ると「振り状態」と判断される．このとき，歯車の色の透明度を変化させ，歯車が一瞬にして消えたようにした．

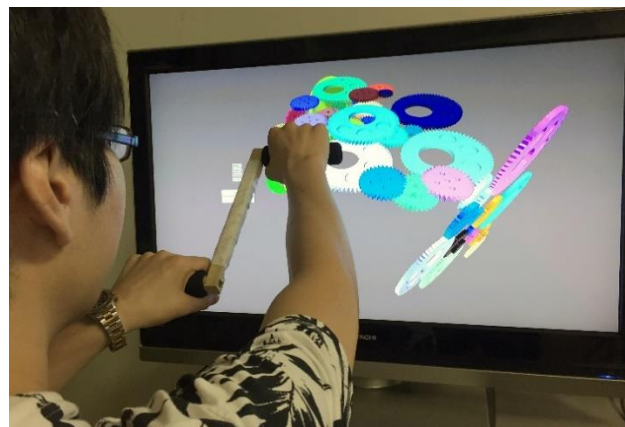


図6 CGの歯車と連動するエアハンドルの操作

## 4.2 「蟻」

ハンドルをインターフェースとして3次元空間で昆虫の蟻を操作し，砂の迷宮を探索するゲームを制作した．ユーザは，ハンドルで蟻を操作して，蟻目線で砂の迷宮を探検する．アプリケーションの開発はUnityを用いて行い，蟻等のCGはblenderを用いて作成した．

アプリケーションの開始と同時に，1匹の蟻がスタート地点に配置され，蟻の背後にカメラを設置し，蟻の移動と共にカメラも移動する．迷宮のマップがメイン画面右上に表示される．



図7 ゲームのメイン画面

ハンドルをx軸を回転軸として正方向に回転させた場合，蟻は初速度を持ち，前進する．また，x軸を回転軸として負方向に回転させた場合，蟻は負方向に初速度を持ち，後退することができ，スピードも調整できる．

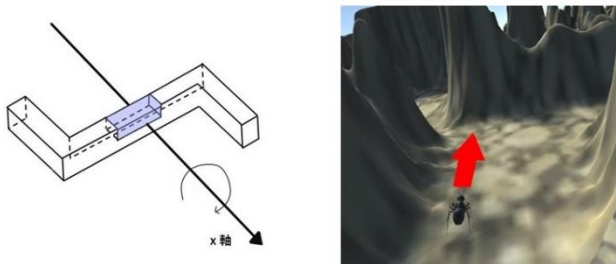


図8 ハンドルのx軸回転による蟻の前進

エアハンドルが静止状態の際は、蟻の初速度は0となり、停止する。

ハンドルをz軸を回転軸として回転させた場合、蟻の向く方向をハンドルの回転方向と連動することができる。

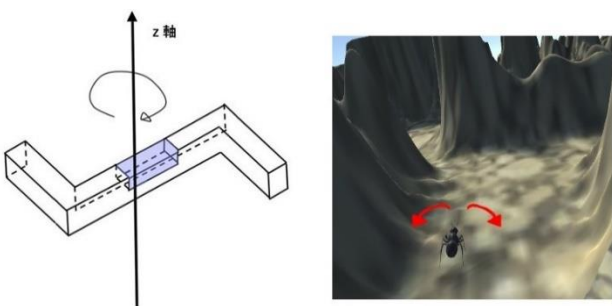


図9 ハンドルのz軸回転による蟻の方向転換

## 5. 結論

### 5.1 エアハンドルについて

本研究では、エアハンドルのプロトタイプと、それ用に開発したアプリケーションを用い、CGの仮想オブジェクトの回転・移動を直感的に軽く操作できるハンドルの操作性と、エアハンドルとCGとの自然な連動を確認した。

エアハンドルについて、今後改良していく点を述べる。

プロトタイプは、現状ではハンドルへの力のフィードバックが無い。慣性や摩擦を擬似的に生み出すことができる機能をもつハンドルを開発したいと考えている。

現在ではハンドルからPCにセンサの値を無線送信しているだけである。この通信を双方向で行うように改良することで、オブジェクトの回転情報をハンドルに伝えることが可能になり、上記で示した慣性や摩擦をコンテンツからのフィードバック表現として伝えることが可能になると考えられる。また、PCだけでなく、スマートフォンやタブレットなどと通信できるように拡張する。

### 5.2 アプリケーションについて

回転を検出する方法として、本研究ではジャイロセンサを用いて各方向への角加速度を検出する方法を用いたが、この方法ではハンドルを同じ方向に回転させても、表側と

裏側とで異なる回転方向として検出されてしまう問題が生じている。そのため、今後ジャイロセンサを地磁気センサと組み合わせて回転を特定する手法を導入する。ハンドルの傾き具合とジャイロセンサとを組み合わせることで、表裏だけでなく、ハンドルがどちらの方向に向いているかも判別でき、さらに詳細な回転を検出することができるようになる。

「回転運動」は普遍的な表現であり、今回作成したCGコンテンツを、パフォーマンスアート、インタラクティブアートに応用することを現在検討している。ハンドルが固定されておらず、使用者は自由に動きまわられるため、エアハンドルを回す操作に振り付けも可能である。改良を進め、「エアハンドル」という新しいインタフェースが応用される領域を広げていきたい。

## 参考文献

- 1) Sachiko Kodama, Shuzo Matsuno, Ryutaro Ogawa, Kenji Inokuchi, Toshiki Sato, Takahiro Shida, Yasuki Takeno, Eitetsu Komiyama: A practical ball sports platform combining dynamic body action with real-time computer graphics during ball play, SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies Article No.1 (2015)
- 2) Scribble: Scribble  
<https://www.scribblepen.com/>
- 3) Colin Ware, Jeff Rose: Rotating virtual objects with real handles, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol.6, No.2 pp.162-180, (1999)
- 4) CRANE-CLUB  
<http://www.crane-club.com/study/crane/cogwheel.html>
- 5) Dimitri Mavriplis, Ronald L. Huston: Computer Simulation of Gear Tooth Manufacturing Processes, NASA Contractor Report 185200 (1990)
- 6) GEAR GENERATOR  
<http://geargenerator.com/#200,200,100,6,1,0,0,4,1,8,2,4,27,-90,0,0,16,4,4,27,-60,1,1,12,1,12,20,-60,2,0,60,5,12,20,0,0,2,-563>