

# IVRC 報告書

企画名：「トブオンブ」  
多摩大学 ROBOT 1 2 3 (出原ゼミ)

代表者：簡野 志保

## 構成員

- |               |        |
|---------------|--------|
| ・ センサプログラミング班 | 大久保 智彦 |
|               | 白土 俊一  |
| ・ 音プログラミング班   | 吉田 裕哉  |
|               | 吉田 真路  |
|               | 高橋 誠史  |
| ・ 電子工作班       | 前田 優   |
|               | 黒川 広隆  |
|               | 田村 由衣  |
| ・ 企画班         | 簡野 志保  |
| ・ 経理、事務班      | 竹田 道郎  |
|               | 田中 エリ子 |
| ・ 装飾、大道具、小道具班 | 甲斐 智子  |
|               | 辻 亜希子  |
|               | 実方 裕樹  |
|               | 天藤 浩志  |
|               | 松川 絵美子 |
| ・ 監督指導        | 出原 至道  |

(順不同、敬称略)

# 目次

- 1 . 企画班報告書
- 2 . センサプログラミング班報告書
- 3 . 音プログラミング班報告書
- 4 . 電子工作班報告書

## ( 企画班報告書 )

### < コンテストまでの行事日程 >

6月28日 企画書提出

7月14日 第一次審査結果発表 通過

7月20日 東京大学 IML にて参加者初顔合わせ、企画概要プレゼン

- 夏休み - 企画練り直し、企画の実装...etc...

9月22~23日 IVRC 岐阜事前合宿

10月28~29日 『トブオンブ』β版 学園祭にて発表

11月27日~ 岐阜入り

12月1日 内覧会

12月2~3日 コンテスト、一般公開、最終審査結果発表

「トブオンブ」に関する詳しい情報は以下の URL をご参照ください。

( <http://www.elm.timis.ac.jp/~idesemi/tobon/> )

## 企画：「トブオンブ」について

### 1. はじめに

“VR”というと画像を使ったものが一般的に多い。それは、視覚というものが五感の中でも一番訴えるからであろう。

しかし、視覚以外の五感は訴える力が弱いのだろうか。

原始的に見ると、光のない時代に頼るものは音だけであった。それは、視覚に頼らなくても聴覚だけで物事を感じ取ることができるということではないだろうか。

IVRCに出展した“トブオンブ”は画像だけに頼りがちな近年の“VR”を聴覚だけに頼る“VR空間”でも再現できないかと考え企画を提出してみた。

### 2. “VR”に必要な要因

“VR”というと“仮想空間”と考えがちだが、そうではない。

実際には、

(ア) **実在感**

(イ) **インタラクティブ性**

が必要な要因だと挙げられる。

「実在感」とは、そこにモノはないのだけれども、あたかもそこにあるように感じられることである。

それは、“VR”とは現実に存在するものでも良いという事になる。重要な事は

**「そこにはないのにもかかわらず、あるかのように感じられる事」**

ということであろう。

一方の「インタラクティブ性」とは、

**「その実在感を与えているモノに対して**

**なにか行動を与えると反応が返ってくること(フィードバック)」**

である。

「実在感」のみだと、ただの鑑賞だけでしかない。

しかし、フィードバックがあることにより、その空間におけるそのものとの架空の一体感が生まれる。それも重要要件であると思われる。

### 3. 「トブオンブ」における VR とは

以上の事をふまえて、「トブオンブ」における VR の必要要件は以下のように考えた。

(**実在感**)? 小屋という空間に音源は動き飛び回っているように聞こえるにも関わらず、その動いている場所には実際にはいない。あたかもそこにいるかのように感じさせるような実在感。

(**インタラクティブ性**)? プレイヤーが、その音源に対して手を触れることにより、音色が徐々に変わってくる。音が変わったことによりそこに音があるように思わせる実在感をさらに高め、且つ、見えない音というものに触れらという実感・体験ができる。

### 4. 「トブオンブ」企画内容

#### (ゲーム性)

プレイヤーは、発光体のついたリストバンドを装着し、3m×3m×2.5mの小屋の中に入る。

小屋に入ると、そこには1つの音がボールのようにとんでいるように聞こえてくる。

プレイヤーはその音に対し、発光体を装着した方の手を「音の軌跡」に聞こえる方向に翳す。

見事、その「音の軌跡」に手が当たった場合、音は徐々に違う音に変化していく。最終的に、きれいな音色の「トブオンブ」に成長する事を目的とする。

#### (技術)

小屋の四隅には4台の CCD カメラがあり、それらは4台のコンピュータに接続されており、リストバンドの発光体の光を位置検出し、焦点計算を行う。

それによって求めた光の位置が音のプログラムの軌跡上にあれば、違う音に変化させていくプログラムを起動させる。

音は、四隅にある4chスピーカーから出す。

(詳しい事は技術班報告書にて)

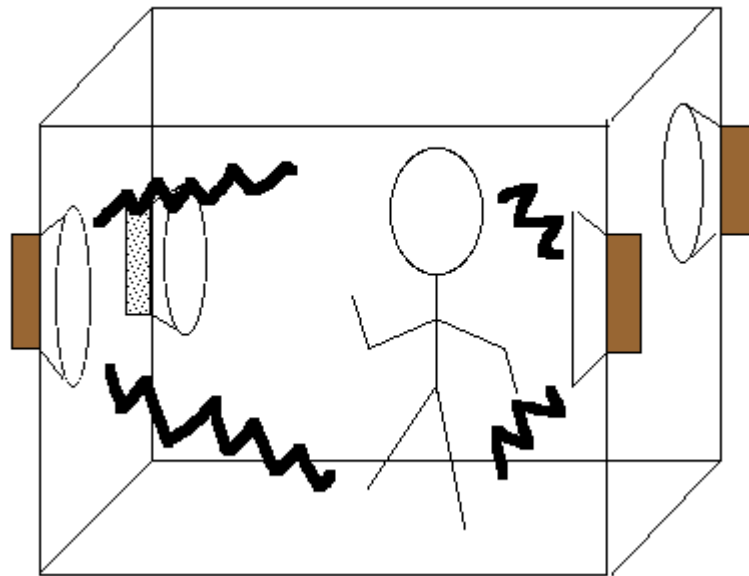


図 小屋の図

## 5. 反省点

「聴覚」のみだけにこだわった今回の企画は、今までに無い違った感覚の面白さをついたはずであったが、従来の「視覚」を用いた VR に匹敵するまでの

**「すぐに楽しめる面白さ！」**

までには到達することができなかったという結果になってしまった。それだけ、「視覚」というものは人に訴えるのであろう。

そして、企画を立てるには「企画方針」をしっかりと見出しておかなければならないとも思った。完成予想図を明確にして、それに向かっていくということが最後の最後になるまでできなかった。

企画を煮詰めきれなかったことが今回の最大原因だと思う。

## (センサプログラミング班報告書)

### 理論設計

カメラの位置座標、カメラの方向ベクトル  $V$ 、カメラ画面上の座標  $S$  という要素をもとに特定の直線を算出する。

方法としてはレイトレーシング<sup>1</sup>の手法を逆方向から使用することによって、平面座標から立体への変換を行う。

全体としては大きく2つのブロックに分割することを考える。

第一のブロックの目的は、あるカメラの画像から一つの直線を引くことであり、他方のブロックの目的は、それらの直線から立体上の一つの頂点を算出することである。

### 基礎設計

カメラプログラムの行うべき作業を以下の4点とした。

- 1) 画像取り込み
- 2) 光点抽出
- 3) 直線計算
- 4) 交点算出

また、使用する CCD カメラの数は4台であるとした。

#### 1) 画像取り込み

CCD カメラの画像をビットマップ形式のデータとして認識するための部分である。

これは予め存在するプログラムを流用することによって、大幅に製作労力を減らすことが出来る。

#### 2) 光点抽出

ビットマップデータから目的となる光点を検索、抽出する。複数の光点が検出された場合はそれらの重心を採用することとした。

#### 3) 直線計算

カメラの位置座標、方向ベクトル、及び画面上の座標より、光点の存在しうる実座標上の直線を計算する。

---

<sup>1</sup> 立体投影法の一つ

#### 4) 交点算出

上記の作業によって算出された直線を元に頂点を算出する。

### 基本プログラム作成

プログラムは大きく2つに分割した。

これは理論設計の段階において分割した2つの部分に相当する。

1つは基礎設計の1)~3)の作業を行う部分でこれは、各カメラPCに配置する。他方は4)の部分で、これは中央で統合的な演算を行うPCに配置することとする。

### 作業日程

最初に作成を行ったのは3)直線計算及び4)交点算出である。この2点からスタートしたのは単純にハード部分の完成前に作成に取り掛かれるからである。

交点算出の部分のプロトタイプは実質的には9月中旬には完成していた。

3)直線算出の部分はカメラ画像の上方向が、現実座標状のベクトルではどうなるかを表すのに手間取ったが、10月中旬にはプロトタイプは完成しており、手直しも11月中旬に完了していた。

1)像取り込み、の部分はCCDカメラ入手後直に出来上がっていた。完成時期は9月の中旬である。

2)光点抽出の作成に当たっては、実際にCCDカメラを使用しての実験と平行して行うこととなり、作業の大部分は10月以降であった。

10月後半からは、クオリティアップ及び、デバッグ作業、各種機能の追加が主な作業内容であった。

### カメラ感度実験結果

まず、幾つかの光源を使用してどれが有効であるかの実験を行った。実験の際に使用された光源は以下のものである。

- ・赤色 LED
- ・緑色 LED
- ・橙色 LED
- ・黄色 LED
- ・赤外線発光 LED



- ・豆電球
- ・サイリウム<sup>2</sup>

この時点では、プレイヤーは左右の手に別々の光源を持つことを前提として設計されていた。そのため、色の識別の難しい赤色 LED、橙色 LED、黄色 LED の 3 種の内から重複して使用することを諦めた。そのためこの中で最も明るい赤色 LED が候補として残ることとなった。

また、色を使用して識別するため赤外線発光 LED 及び色の劣化が激しい豆電球も使用しないこととなった。

この時点で候補として残っているのは、赤色 LED、緑色 LED、サイリウムである。

この時点で、新しい問題が発生した。カメラがカバーできる範囲が予想外にく、4 大のカメラ全てがカバーできる範囲が直径 50 cm 前後であることがわかった。

この問題を解決する方法として以下の 2 つが考えられた。

- ・カメラ数を増やす
- ・カメラ自体に改造を加える。

カメラ数を増やすという手法のメリットとしては、光点座標の割り出しの精度を落とさずに、カバー領域を増やせるというものがある。一方デメリットとしては予算がかかるということが挙げられる。

カメラ自体に改造を加えることのメリットは安価であること、システムが全体としてコンパクトになるということが挙げられる。デメリットとしては画像面積を変化させずに、カバー範囲を増やすため、光点座標の割り出し精度が落ちること、及び、画像が歪むことが挙げられる。

最終的には資金面での折り合いがつかず後者を選択することとなった。そのため、歪みを補正するために画面補正関数<sup>3</sup>というものを作成することとした。

カメラ改造方法は広角魚眼レンズを既存の CCD カメラに取り付けるという方法を使用した。

これによって、全てのカメラのカバーできる範囲は直径 2m 近くまで拡大した。このカメラを使用してどの光源が優れているかの実験を試みた。

## 実験結果

---

<sup>2</sup> CYALUME<sup>?</sup> ホタルの光にヒントを得て、研究・開発された化学発光体

<sup>3</sup>  $f(x)=a \tan^{-1}(x)$  で表せる関数、 $x$  は画面中心からの距離

実験の結果残っていた 3 つ全てがそのままでは暗すぎて感知できないという結果が出た。この問題を解決するための方策として高輝度 LED の使用を試みた。

その結果、赤色 LED に関しては満足の行く結果が得られたが、緑色 LED の認識精度は非常に低く実用に耐えうるものではなかった。

そのため、複数個の発光体使用してのプレイは諦めざるを得なかった。

## 光点抽出の手法

まず目標となる光の色(RGB の値)を作成する。これは実際に光源をカメラに写しその画像の各ピクセルの中から最も RGB の値の合計が大きかったものから 20 個の平均を使用した。その目標となる色を 3 次元ベクトルとして表したものを P とする。

プログラムの稼動中は各ピクセルから同様に取り出したベクトルと P の成す角の  $\cos$  の値が 1 に近い点を拾い出すという作業を行い、そうやって抽出された点の重心を目的となる頂点であるとした。

## 今後の改良点、及び反省点

今後最も改良しなければ成らないのは、キャプチャリングの精度である。装置中央付近での精度は 10cm~30cm なのに対して、周辺部に行くにつれ誤差が大きくなり、最外郭に関しては誤差が 50 cm を超えていた。これは今後この装置を発展させていく上で最も改良しなければ成らない点である。

また、複数の発光体の認識についても改良次第では可能であると考えられる。発光体と PC を同機させて時分割を行う、或いは赤色とそれ以外の色という 2 種類の発光体を認識することは可能であると考えている。

## (音プログラミング班)

### 日程

作業は全て行った順番に基づいて箇条書きとしている。

7月

- ・企画内容決定。全員で勉強会。

8月

- ・ゼミのライブラリの DirectSound プログラムを解析。DirectSound を含む DirectX の学習。  
DirectSound による Wave ファイル再生。
- ・5.1ch スピーカーによる音場の視聴。結果、5.1ch では実質のチャンネル数不足により再現不可能。4ch 対応サウンドカードによる実現に変更。
- ・4ch による音場を実現するため、新しいスピーカーの購入。
- ・枠を組み実際にスピーカーを取り付けて実験を行う。

9月

- ・DirectSound の Listener Position、Sound Position を変更してそれぞれ音の動きを聴き比べる。
- ・Sin 波による wave サウンドを作成し、発音してみる。
- ・前後左右の音の移動は分かるものの、上下移動はわかりにくい事が判明。上下の座標は固定する事で決定。

10月

- ・カメラのプログラムと統合を行う。ネットワーク対応にプログラムを変更。
- ・音の波形をいくつか作成し、適当な音を選定する。
- ・学園祭でバージョンを展示するが、上手く動かなかった。

11月

- ・企画大幅変更。「ボールを投げる」「ボールに触る」等の要素の取り入れにあわせて、プログラムを変更。
- ・プログラム内部のサウンドバッファ関連の整合性を取る。作業効率が大幅に向上。

12月

- ・IVRC 本番。大会当日まで現地でクオリティアップを行う。

## 反省点

- ・既存のプログラムに頼らず、自力で最初から DirectSound 関連のプログラムを作成すべきだった。  
既存のプログラムに頼ると、修正や改修が大変。また、欲しい機能を付加する時も非常に苦労する。
- ・最終的な完成品でも音の位置がわかりづらい。  
そもそも 4 個のスピーカーでははっきりと位置を認識させるには無理がある。最低でも 8 個は必要。
- ・報告書作成の時に、過去の作業内容を覚えていないので困る。  
作業を行っている段階から、報告書作成を見越した作業記録をつけた方が良い。
- ・夏休みと同時に作業を開始するくらいが時間的にちょうど良い。  
ただし、「まだ余裕がある」と思っているとあっという間に時間はなくなってしまう。

## (電子工作班)

### 行程

9月

どのような形で発光体を取り付けるかという案をいくつか出す。

- 案 1. 指の無い手袋
- 案 2. 手首に巻く

また発光体としてどのような物が適当か検討する。

- 案 1. 発行ダイオード(以降 LED と表記)
- 案 2. 赤外線 LED
- 案 3. クリスマスの飾りつけなどに使用される豆電球
- 案 4. サイリウム(祭りの夜店などで見かける物)

10.18

10月には学園祭があるので版として出展するために第一作目の発光体の作成に取りかかる。LEDをCCDカメラで検出できるように、とりあえずLEDを使用することとした。

手袋は圧迫感があるなどの意見により、手首に巻くものを考えた。4点のカメラのうち最低でも2点で認識できるように、光の向いていない方向を減らす事を考えた。そのためにひとつの基盤に対してLEDを三個直列に、それぞれ45度、90度、135度の向きに取り付けた。その基盤を八個直列に並べて配線したものを、布のベルトに縫い付けて手首に巻いてマジックテープで止めるというものを考えた。手首に巻くものを赤色LEDと黄色LEDの二つ(両方の手首に巻くため)を作成する。

この時点では電池ボックス(単三2本)の配置は未定であった。

10.20

実際の作成に取りかかった。まず基盤を必要なサイズに切り出した。

10.22

切り出した基盤への抵抗とLED(赤色と黄色)の取り付けと、基盤同士の配線が終わった。

LEDを出来るだけ明るく使うために抵抗の値を22とした。基盤同士をつなぐものとしては単線のコードを使用した。

また、電池ボックスは布ベルトに輪ゴムで取り付けることになった。

10.23

黄色 LED を取り付けした基盤の布ベルトへの縫い付けが終わり第一作目の黄色は完成した。

10.26

赤色 LED を取り付けした基盤の布ベルトへの縫い付けが終わり、第一作目の赤も完成した。

10.29

学園祭での実際の活動により問題点がいくつか浮上する。

1. 光が弱い
2. 強度がない
3. 修理が困難である
4. 電池が重過ぎるため、振り回す速度によっては手首から外れる。

11.2

サイリウムの検出実験をした。サイリウムは明かりが暗いため CCD カメラで検出が出来ないため、使用不可となる。

11.9

第二作目の作成に入る。

光の弱さを解決するために、超高輝度の LED で抵抗は 10 を使用することにした。また、強度を強くすることは非常に困難なので、修理しやすくすることを考え、配線するコードをより線に、個々の基盤も布ベルトにマジックテープで取り付けることにした。今回作成する色は赤と緑になった、黄色や青という案もあったが黄色の高輝度は店頭になく、青は値段の関係から除外された。

電池が重過ぎる問題は、電池ボックスを手の中に握ってもらうようにした。スイッチも使用した。

11.20

緑の基盤取り付け配線ともに終了するが、企画内容の変更により緑は不要となった。これ以降は赤色のみの作業となる。

11.22

第 2 作目の赤色が完成する。

11.24

基盤を隠そうと思い、黒く塗った不織布で基盤を覆い隠す事を考える。

11.29

基盤を不織布で隠し終わる。仕上がって見ると予想よりも出来が悪いため、これ以降は使用しないことになった。

11.30

第三作目の作成に入る。今回は手首に巻く部分を輪状のゴムバンドにして手首の太さに汎用性を持たせた。また、基盤ごとにマジックテープを持たせる点は 2 作目と一緒だが、ゴムバンドの方にも基盤の数である 8 個に分割したマジックテープを取り付け、伸び縮みを妨げないようにした。さらに、基盤同士の配線は伸び縮み出来るように電話の受話器のコードのようにぐるぐると巻いたものを使用する。

12.1

第三作目が完成する。

12.2(交通事故日)

第四作目(最終作品)も作成する。この時点での変更点は基盤を黒く塗ったことである。今までの作品より一回り小さい子供用と、一般サイズ用が完成する。

反省

最終的には満足いくものが出来あがったと思う。