

# つくって遊ぼう!くるくるディスク：自作独楽を利用した エンタテインメントシステムの提案

清野巧己<sup>1</sup> 鈴木浩<sup>1</sup> 津布久直樹<sup>2</sup>

**概要:** 著者らは、子どもたちが独自の独楽をデザインし、その独楽の回転を科学的に測定できるコマスカウターを開発した。コマスカウターでは、測定した独楽のデータをデータベースに格納することができる。このデータを利用することで各独楽に対応したアニメーションを表示する演出を展開することが可能となる。そこで著者らは、コマスカウターを利用したコンテンツとして「つくってあそぼう!くるくるディスク」を開発した。本コンテンツでは、独楽を回すステージに液晶ディスプレイを設置し、回転している複数の独楽に対してそれぞれ個別のアニメーションを拡張現実として表現することができる。各コマを認識する手法として各コマの模様からカラーコードを生成し、このコードをQRコードと組み合わせることにより、複数の回転するコマを個別に認識することを可能としている。本論文では、開発コンテンツの概要と各独楽の認識手法、及び本コンテンツ実施したイベントで得られた知見について述べる。

**キーワード:** 独楽, 科学教育, エデュテインメント, インタラクション, OpenCV

## Let's Make! and Play! The KuluKulu Disc: Proposing of the entertainment system by using own-made the top

TAKUMI KIYONO<sup>†1</sup> HIROSHI SUZUKI<sup>†1</sup> NAOKI TSUBUKU<sup>†2</sup>

**Abstract:** We design to kids own top, has developed a "Koma Scouter" that can be scientifically measured the degree of rotation of the top. "Koma Scouter" can store data of the measured top to the database. We can make an animation corresponding to each spinning tops by using the database information dynamically. so, We developed a "Let's Make! and Play! The KuluKulu Disc" as a content by using the "Koma Scouter". In this content, it is possible to set up a display under the stage on spinning tops, represent each individual animation for a plurality of top which rotates as augmented reality. Generating color codes from the pattern of each tops of recognizing, by combining the code and QR codes, thereby enabling to recognize tops a plurality of individually rotated. In this paper, we outline recognition method of each tops of the development content, and describes findings of this content exemplary event.

**Keywords:** Top, Education, Edutainment, Interaction, OpenCV

### 1. はじめに

独楽の歴史は古く、世界のいたるところで遊ばれている玩具である[1].日本国内においても伝統的な玩具として江戸時代頃から広く一般市民にも認知されはじめ、曲芸独楽や逆立ち独楽、ベーゴマなど、様々な種類の独楽が生まれながら世代を越えて親しまれている。また、構造が簡単で幼児でも手軽につくることができる。一般家庭で独楽をつくる際に、身近にある正確に早く回る素材としてCDがある。CDを使ったオリジナル独楽は、よく回る独楽を簡単に作るだけでなく、マーカーペンやシールを使って見た目にも魅力のある独楽にすることができる[2].こ

のような理由で、CDを使った独楽制作は、従来から親子で楽しめるサイエンストイの1つとして科学体験イベント等で利用されている。著者らは、こうした特徴を持つCDを使った独楽づくりに着目し、CD独楽による独楽あそびを拡張するインタラクティブシステムを開発してきた[3].このシステムでは、子ども達が制作したオリジナル独楽をインタラクティブテーブルの上で回して遊ぶことで、各独楽が回転する位置にアニメーションを重層表示し独楽あそびを拡張することを試みている。回転しているCD独楽の位置検出には、USBカメラを使った画像認識によって実現していたが、本手法では、回転している独楽の個別認識が難しかったため、各独楽に応じたアニメーションを提供する

<sup>1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa Institute of Technology  
<sup>2</sup> (有)トリガーデバイス  
Trigger Device Ltd.

ことができなかった。

一方では、著者らは、CD 独楽の上に色付きナットを配置することによって、独楽の回転力を測定できる「コマスカウター」を開発した。コマスカウターでは、子ども達が制作した各独楽の回転力をスコアとして測定することができるので、取得した独楽の色や、重心のバランス、慣性モーメントの値などの各独楽のパラメータをいかした演出をすることが可能となる。そこで本研究では、コマスカウターを利用することで取得できる各独楽の特徴を個別認識に利用し、子ども達作成する独楽あそびを拡張するコンテンツとして「つくってあそぼう!くるくるディスク」を提案する。

## 2. つくって遊ぼう!くるくるディスクの概要

### 2.1 コンテンツのコンセプト

本コンテンツは子ども向けの創作イベントを想定してデザインしている。近年では、先端技術を利用したインタラクティブなシステムを通じて子どもの創造性や身体性を刺激するエデュテインメントが様々な場で展開されている。

これらの作品の多くは、創作物をその場のコンテンツとして利用する工夫が多く見られるものの、制作した作品に対して明確な評価を示すしくみはほとんどとられていない。

著者らが開発したコマスカウターは、CD の上に配置したナットの位置から、CD の重心と慣性モーメントを測定し、その値を独楽の回転力としてスコアを子ども達に提示することができる。このようにコマスカウターを利用することで、各独楽の特徴である回転力や独楽に使われている色数などを各独楽ごとにデータベースに格納することが可能となる。このデータベースに格納した各独楽の詳細データをインタラクティブコンテンツに利用することで、各独楽に応じた演出を各独楽の回した場所に重層表示することができる。つまり、よく回る独楽でないと思われる演出を個別に提示することができ、この演出表示の違いが、よく回る独楽を作成することへの動機につながると考える。

### 2.2 コンテンツの概要

本コンテンツは、①オリジナル独楽キットを利用してオリジナル独楽をつくる。②コマスカウターを利用してつくった独楽を測定する。③つくった独楽をつかってインタラクティブ独楽ステージで回して遊ぶ。以上の3つの活動に大別できる。コンテンツの概要図を図1に示す。

### 2.3 コンテンツの要件

各独楽のスコアや特徴に応じた演出をインタラクティブ独楽ステージで表示するためには、子ども達が作成した各独楽を個別に管理する必要がある。この管理手法として本コンテンツでは、QR コードをと各独楽ごとのカラーコードを利用することとした。

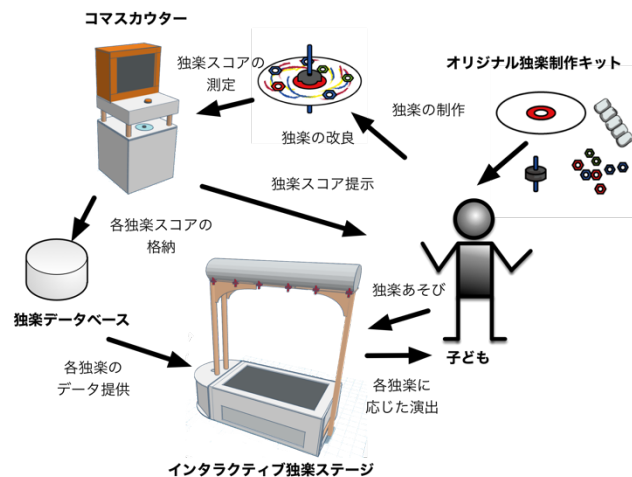


図1 つくって遊ぼう!くるくるディスクの概要図

### 2.3.1 関連事例

本コンテンツでは、各独楽のパラメータごとに独自の演出を表示することを目的としているため、回転している複数の独楽を個別に認識する必要がある。物体の個別認証に用いられる技術としてはQR コード[3][4]が一般的である。QR コードは制止している物体に対しての認証率は高いが、独楽のように回転している物体を認識することは困難である。近年ではプロジェクタの普及や投影技術の向上により、動的対象へのプロジェクション投影のため、深度センサなどを利用して動的物体を検出する手法[5]やハイスピードカメラを利用する手法[6]が考案されているが、これらの手法では認識した物体の個別認証までには至っていない。一方で、バーコードの手軽さに着目し、平面に貼り付けるのではなく、円筒状のバーコードを提案する研究[7]や、線形モーションぶれに対応したバーコード[8]などが提案されている。このようにバーコードはシンプルな認識手法であるために、独自にデザインすることができることが特徴である。そこで本研究では、CD 独楽に描かれたお絵かきの色情報に着目し、独楽に描かれている模様を独楽を認識するためのカラーコードとして扱うこととした。また個別の独楽を認識するための手法としてQR コードとの組み合わせ方法を利用する。

### 2.3.2 各独楽の認識手法

本コンテンツで利用するオリジナル独楽キットのCDの裏面に、QRコード貼付するとともに独楽の軸の色を3種類とCDの穴の周りに同じく3種類の色ラベルを貼付した。オリジナル独楽キットの詳細を図2に示す。これらの情報をコマスカウターで認識することで、QRコードのIDと軸とシールの色パターンをデータベースに格納する。また、コマスカウターでは独楽の回転力を測定するために独楽の画像を撮影する。この撮影時の画像データを利用して各独楽が回転したときのカラーコードを自動で生成する。生成するカラーコードの例を図3に示す。またカラーコードは

次の手順で生成している。

1. 入力画像から独楽の部分を取り出す。



3-a) 回転ブラー処理前の独楽画像 3-b)回転ブラー処理後の独楽画像



3-c) カラーコード化した画像

図 3 生成するカラーコードの例

2. 図 3-b で示すように画像をリサイズして独楽の中心から「回転ブラー」をかける。
3. 図 3-c に示すように独楽の直径分の長さのカラーコード (RGB 値の一次元配列) を切り出す。
4. カラーコードを BASE64 形式に変換する。

以上の行程を独楽の測定時に行い、QR コードの ID とともにコマスカウターで測定されてスコア値と独楽の特徴的な色および、カラーコードをデータベースに格納する。

## 2.4 インタラクティブ独楽ステージ

インタラクティブ独楽ステージは、子ども達がオリジナル独楽を回して遊ぶステージである。独楽回しステージの床面には、ディスプレイが配置されており、このディスプレイ上で独楽を回すことで、各独楽ごとの演出がインタラクティブに表示される。テーブルには現在テーブルで回っている独楽を選別するための QR コードリーダー、回転している独楽の位置やカラーコードを認識するための USB カメラ、USB カメラからの画像を解析する独楽検出プログラムおよび、検出した各独楽の XY 座標とパラメータからアニメーションを表示する演出プログラムから構成されている。インタラクティブ独楽ステージの構成図を図 4 に示す。

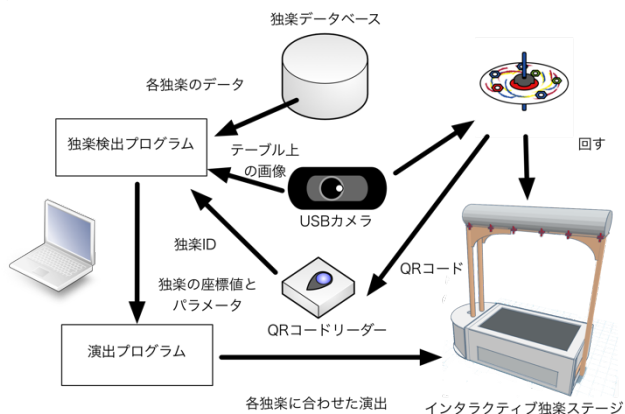


図 4 インタラクティブ独楽ステージの構成図

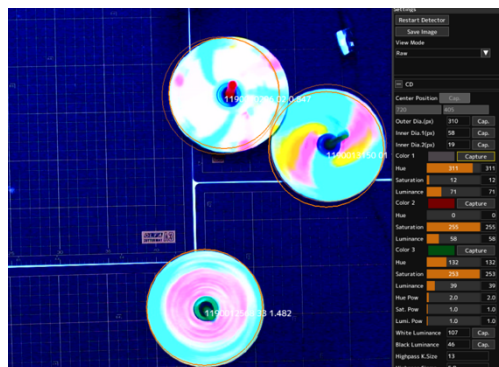


図 5 検出プログラムの GUI

## 2.5 独楽検出プログラム

独楽検出プログラムはインタラクティブ独楽ステージの上部に設置された USB カメラを利用して撮影した画像から回転している独楽を個別に認識することができる。独楽検出プログラムの GUI を図 5 に示す。独楽検出プログラムは、インタラクティブ独楽ステージに設置されている QR コードリーダーによって得られた ID をキーとして独楽データベースから各ステージで回っている独楽のデータを取得する。

ステージ上で回転している独楽とデータベースの独楽データとのパターンマッチングは以下の手順で行っている。

1. データベースのカラーコード C1 を読み込む
2. ステージ上で回転している独楽から先ほどと同じ方法でカラーコード C2 を生成する。
3. カラーコードの RGB それぞれの要素を n 次元のベクトルとみなし、C1 と C2 間のベクトルの長さを RGB ごとに算出する。
4. ステージ上で回転している各独楽のカラーコードと、キーとして得ているカラーコードとを全て比較し、一致率 SP が最も高いものを同一の独楽として扱う。

上記の一致率 SP の算出には以下の(1)の式を用いている。

(1)

$$SP = -\left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (c1ri - c2ri)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (c1gi - c2gi)^2} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (c1bi - c2bi)^2}}{3} - 1\right)$$

算出した SP(0~1)と軸の色(0or1)とシール色(0or1)を合算した後に 3 で割った値を比較値とし、回転している独楽の中で最も高い値を取得できた独楽を同一の独楽として認識している。SP 値が 0.3 未満の場合はカラーコードが全く認識できない状態として独楽を無視する。

本手法で独楽の検出を行う場合は、あらかじめカメラからの色情報をコマスカウター側と統一するためのキャリブレーションを必要とする。

独楽検出プログラムは以上の手順によって得られた独楽の XY 座標と独楽のパラメータを演出プログラムに OSCmessage として送信する。

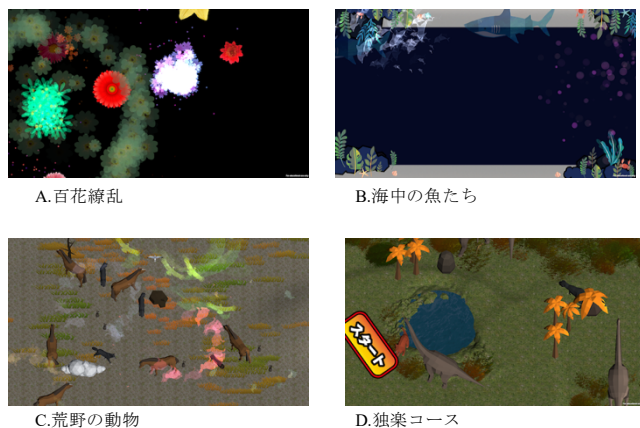


図 6 演出プログラムの4つのコンテンツ

## 2.6 演出プログラム

演出プログラムは、独楽検出プログラムから送信される各独楽のパラメータを受け取り、インタラクティブ独楽ステージで回転している独楽の位置に演出を再生するプログラムである。つくって遊ぼうくるくるディスクでは、再生するコンテンツとして「A.百花繚乱」「B.海中の魚たち」「C.荒野の動物」「D.独楽コース」の4つのコンテンツを作成した。それぞれのコンテンツ画面を図6に示す。いずれのコンテンツもコマスカウターで測定した各独楽の回転力によってアニメーションによる演出が変更される。

## 3. 評価実験

### 3.1 実験の概要

イベントでの使用を想定し、開発したシステムを有効性を確認するために、インタラクティブ独楽ステージを利用した独楽あそびを実験した。実験は以下の通りである。

1. 実験用の独楽を3種類作成する。
2. コマスカウターで各独楽のスコアを測定する。
3. それぞれの独楽を同一のテーブルで回転させて、各独楽に応じて演出が表示されるかを確認する。

評価のために利用した3種類の独楽を図に示す。実験では、インタラクティブ独楽テーブルのコンテンツとして「百花繚乱」を利用した。

### 3.2 評価の結果と考察

3種類の実験用の独楽をコマスカウターで測定したの後



図 7 実験に利用した3種類の独楽

に、インタラクティブ独楽ステージで回した結果、各独楽のIDを取得することができた。百花繚乱のコンテンツは、回転している独楽の周辺に様々な花のパーティクルがアニメーションとして表示される。花の種類や色は、各独楽の回転力が高いほど様々な種類の花が表示され、また色も各独楽の特徴的な色を使用することとなっている。ABCそれぞれの独楽の周りには花のパーティクルが生成されそれぞれ異なった色の花により演出が展開されていた。このことから本システムを利用することで提案していたコンセプトを満たしたイベントを実施できると考えた。

## 4. イベントの実施

開発したコンテンツ「つくって遊ぼう!くるくるディスク」を令和元年8月10日～18日の間に東芝未来科学館の夏休みイベントとして実施した。イベントでは、まず受付でオリジナル独楽作成キットを受け取り、創作コーナーで見本をみながらオリジナル独楽を作成し、その後コマスカウターを利用して独楽スコアを測定する。測定後は自らがつくった独楽をインタラクティブ独楽テーブルで回して遊ぶという流れであった。今回のイベントでは、独楽スコアを測定する「コマスカウター」を3台、インタラクティブ独楽テーブルは4台準備した。図に本コンテンツを体験している子ども達の様子を示す。インタラクティブ独楽テーブルでは、独楽の周辺にインタラクティブに表示されるアニメーションに喜ぶ姿が見られた。また、コンテンツが各テーブルごとに違うため、順番にすべてのテーブルまわって独楽を回して遊ぶ姿がみられた。2つの独楽を同時に回す子どもや独楽の面の上下を反対にして回す子どもなど、想定していた遊び方とはちがった遊びかたをする姿もあった。

## 5. 考察

個別の独楽認識に関しては、実験段階では3つの独楽を別々に認識できていたが、イベントで実施してみると、1つのテーブルに4つないし5つの独楽が代わる代わるに回されてることが多く、確実に個別認識をしていたとは言いがたかった。また制作した4つのコンテンツは、いずれもエフェクトで表示するオブジェクトの大きさや種類、色などを各独楽の独楽スコアによって変更させたり、特徴的な色を使うような工夫を入れたが、上記の理由により、子ども達が自分の作った独楽に対応した演出が現れていること

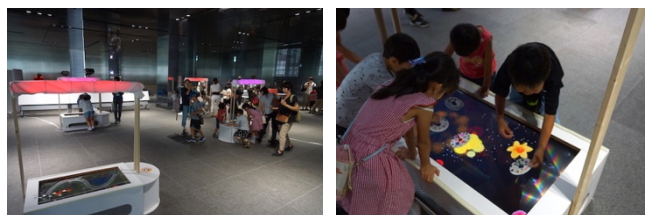


図 8 イベントの実施風景

をほとんど気づいていないようだった。QR コードをテーブルに設置されているリーダーで読み込ませてから遊ぶこと事前に案内していたが、実際には QR コードを各テーブルで通すことなく遊んでしまう子ども達もいた。また、イベント会場が混雑していることもあり、インタラクティブ独楽ステージで遊ぶ時間は5分～10分程度と比較的遊ぶ時間が短かったように感じた。これは、創作コーナーで作成したオリジナル独楽があまり回らない独楽として作ってしまった場合に、独楽をうまく回すことができないため、独楽あそびに飽きてしまうことが原因の1つだと考えられた。現状では、認識したすべての独楽に対してエフェクトが表示されるように設定しているが、今後は、ある一定以上のスコアでないとエフェクトが表示されないなどの演出の工夫が必要であると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、子ども達が制作したオリジナル独楽の回転力を測定できる「コマスカウター」を利用したコンテンツとして「つくって遊ぼうくるくるディスク」を提案した。

本コンテンツでは、インタラクティブ独楽ステージ上で個別に回っている独楽を認識するために、オリジナルカラーコードを利用する手法を用いた。本手法を用いることで特別な備品や装置を利用することなく個別の独楽を認識できることが示唆された。

実装したシステムを利用して創作イベントを実施し、2854名の子ども達が本コンテンツを体験した。イベントを通じて得られた知見として、ステージで回転させる独楽の数は3つ以上が多く、現状のコンテンツでは、認識した独楽に応じて演出を再生しても、それぞれがその独楽独自の演出であることを気づかせることは難しかった。このため、各独楽にあわせて個別のアニメーションを表示する場合は、子ども達がお絵かきした模様や記号、マークなどをパーティクルとして利用するなど、演出が個別であることをわかりやすく提示する必要があることがわかった。上記コンテンツを実現するためにもインタラクティブ独楽ステージ上での各独楽の認識率を向上させること重要であり、今後は深度センサや深層学習による認識手法を試みたい。

## 参考文献

- [1] 八木田美子,山口豊:独楽あそび-回転の秘密-, 平凡社, 1979.
- [2] 山崎詩郎:独楽の科学, 講談社, 2018.
- [3] ISO/IEC 18004:2006 Information technology -Automatic identification and data capture techniques - R code 2005 bar code symbology specification.
- [4] Zhe Yang, Yuting Bao, Chuhao Luo, Xingya Zhao, Siyu Zhu, Chunyi Peng, Yunxin Liu and Xinbing Wang:ARTcode:Preserve Art and Code in Any Image, UBICOMP'16 proceedings, pp.904-915(2016).
- [5] 鷹箸拓也, 秋本雄介, 橋本直己, 佐藤美恵:動対象物へのインタラクティブな映像投影の検討,映像情報メディア学会技

術報告,Vol37.No7,pp.35-38(2013).

- [6] 奥村公平, 奥寛雅, 石川雅俊: 高速光軸制御を用いた動的物体への投影型拡張現実感, 映像情報メディア学会誌, Vol67, N07, pp.J204-J211(2013).
- [7] 奥山瑞希, 的場やすし, 椎尾一郎: M系列円筒バーコードとAR和服帯試着システムへの応用, 入手先 <<http://www.wiss.org/WISS2017Proceedings/oral/04.pdf>>.
- [8] 柴田直樹, 山本真也: 線形モーションぶれに耐性のある円形バーコード, 情報処理学会 DICOMO シンポジウム論文集, pp.216-217(2015).