

コマスカウター：科学的にコマの回転力をスコアとして提示する 独楽評価システムの開発

鈴木浩¹ 津布久直樹²

概要：CD を利用したオリジナル独楽の制作は、ジャイロ効果や慣性モーメントの学習のため、科学館などの体験講座のテーマとして取り上げられている。著者らはオリジナル独楽づくりとエデュテインメントを繋げるシステムとして「コマスカウター」を開発した。本システムは、CD のラベル面に色つきナットを配置した独楽を USB カメラで撮影することで、その独楽がどのぐらい回りやすい独楽なのかをスコアとして提示できる。これにより、体験者は、自作した独楽がどのぐらい回る独楽であるかを客観的に認識することができるため、回転の理解や作り直し活動への動機になることが期待できる。本論文では、CD に配置された色つきナットを認識する手法と配置されたナットからスコアを評価する手法について説明する。本システムを科学館の体験イベントで利用した結果、約 4 割の体験者を独楽の作り直し活動に導くことができた。

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

Developing evaluation system that scientifically presents the rotation ability of a top as a score: "Koma Scouter"

HIROSHI SUZUKI^{†1} NAOKI TSUBUKU^{†2}

Abstract: Using by the compact disc are able to easily make an original top. This CD top will aid in the learning of the gyroscopic and moment of inertia. Therefore, Sometimes it become to a theme of experience course of Science Museum. We using on this CD tops, has developed a "Koma Scouter" as a system to connect the original tops making and edutainment. This system first shooting top of arranging the color nut on the CD in USB camera. Next, the system presents to user the score of rotation of the tops taken by image analysis. By presenting the rotation score top the user own, the user can recognize performance of the top that own it. We think to present the score can expect the following two effects. The first one, is to give the opportunity to learn the gyroscopic and the moment of inertia through the score to kids. Another is that the kids will challenge many times in the top making in order to increase the score. In this paper, we describe a method for recognizing the color nut, which is arranged in the CD, and a method of evaluating the rotation score of the CD top. As a result of using this system in scientific events, Kids of about 40% has reworked the top.

Keywords: Top, Education, Edutainment, Interaction, OpenCV

1. はじめに

近年、科学館や大型商業施設において、子ども向けの先端技術を利用した体験型のエデュテインメントが数多く見られるようになった[1][2][3]。これらのコンテンツでは、参加する子どもの創作活動や創作物をインタラクティブシステムの演出に取り入れる例が少なくない。代表的なものとして、子どもが描いたお絵かきをコンテンツに取り込み大型ディスプレイやプロジェクションにアニメーションとして表示するもの[4][5]や、子どもが作成したオブジェクトをつかってインタラクティブな体験をさせるもの[6][7]などがあげられる。これらの事例は、先端技術を利用して直感的な体験やコミュニケーションを生み出すことで、子ども

達の興味を刺激し、創造性や身体性を引き出すことを目的としている。

一方で、このようなコンテンツを通じて子ども達がつくる制作物（作品）は、その場の一時的な楽しみの素材として扱われることが多く、コンテンツを体験することの他にユーザがコンテンツから受け取れる学びは乏しいのではないだろうか。実際に、このようなインタラクティブコンテンツで子どもの創作物に対して科学理論に基づいた理解や評価を提示するような事例はほとんどない。

そこで著者らは、子どもの創作物を科学的にスコア化できる「コマスカウター」を提案する。本システムは、CD と色付きナットを利用して制作したオリジナル独楽を USB カメラで撮影することで、作成した独楽の重心や慣性モー

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

メントを測定し、体験者にスコアとして提示することが可能である。このスコア提示により、体験者は、自作した独楽がどのぐらい回る独楽であるかを認識することができる。創作活動の結果を客観的なスコアとして提示できるため、物理法則としての回転の理解や作り直し活動への動機となることが期待できる。また、本システムで測定したスコアをデータベースに格納することで、独楽をつかったインタラクティブな演出を提供する際のパラメータとして利用することが可能となる。

2. 関連事例

昨今の子どもたちの理科離れや、ものづくり離れの指摘から、子ども達に理科のおもしろさや、ものづくりへの興味を刺激する様々なイベントや授業実践などが取り組まれている。また、子ども達に科学や技術の面白さやすばらしさを伝える使命を持つ科学館や企業館では、科学の理論や原理をインタラクティブなシステムを利用して、子どもの驚きや発見を引き出そうとしている。独楽は、このような子ども向けの科学体験講座のテーマとして取り上げやすい身近なサイエンスの1つであり、これまで独楽遊びをデジタル技術によって拡張したシステムも登場している。

switchのまわる、うつる、ひろがる[8]では、プロジェクションされたステージにLEDが内蔵されたコマを回すことで、ステージ上の位置やLEDの色に応じて花や星などの模様を回転している独楽の周辺に重層表示させることができる。また、的場らが開発したコマ遊び体験を拡張する遊具システム[9]では、電動モータを備えた独自のコマまわしコントローラを使って独楽を無接触で回転させるとともに、映像による演出と力学的なフィードバックを加えることでコマ遊び体験を拡張している。著者等が過去に開発したMR spintop[10]では、ベーゴマを模したコマの玩具に3Dキャラクターを重層表示することにより、コマ同士がぶつかり合うベーゴマ遊びを拡張している。このような独楽の回転運動を拡張するインタラクティブシステムでは、あらかじめシステムとして準備された独楽を利用することを前提としており、子どもがオリジナルのコマを作成し、利用することを想定していない。このため、独楽1つあたりのコストが高くなる傾向にあり、だれもが手軽に遊べるシステムとは言いがたい。

3. 「コマスカウター」の概要

3.1 コマスカウターのコンセプト

独楽はシンプルな玩具であるため、子どもで手軽につくられることが魅力の1つであると考えられる。著者らは、子ども達の創作活動を経て作成される独楽の特徴や能力を測定し、回りのやすさをスコアとして体験者に提示するコマ

スカウターを提案する。独楽のスコアを提示することによって得られる利点は以下の3つである。

3.1.1 手軽な創作活動の場の提供

独楽作りは、独楽の模様や重りの配置をデザインする過程でそれぞれの子どもの創造性を発揮することができる。また、回転する的速度によって模様見え方がめまぐるしく変化するため、独楽を回しながら、創意工夫を入れられる余地が多い。

3.1.2 回転についての理解の補助

独楽が良く回転するために主要な要素として、独楽の重心の位置や重さ、そして、慣性モーメントがある。これらの要素を学ぶ実験としてCDにナットなどの重りを中心付近に配置した場合と、端の部分に配置した場合とで比較する比較実験が有名である。コマスカウターではこの実験を参考にし、子ども達が自由に配置した重りの位置や重さから重心の位置や慣性モーメントの値を自動で測定し、スコア化する。このスコアが高いほどよく回る独楽であることを提示することで、コマの重りの位置によって独楽が回る時間が変化することを伝えることができる。また、つくったコマの回転力を客観的に示すことができるため、重りの配置とスコアの因果がつかみやすくなり、よりスコアの高い独楽をつくるために、重りの位置を工夫する試行錯誤に導きやすくなる。

3.1.3 各独楽の特徴に合わせた演出の提供

子ども達が制作した各独楽のスコアをスコアとして測定するために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。

3.2 コマスカウターの要件

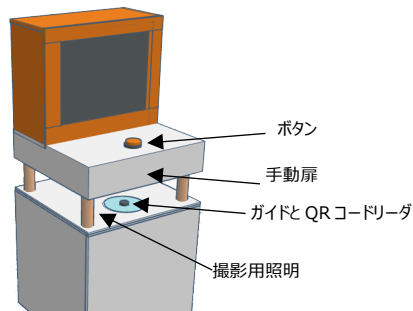
以上の3点の特徴を備えるシステムとするために、子ども達が制作するCD独楽に配置する重りは、自由に配置できるものでなくてはならない。また、配置された重りの位置や重さから、重心や慣性モーメントの値を正確に測定できるしくみが必要となる。さらに測定した独楽のパラメータ値を個別に保存し、演出のために利用できなければならない。そして、多くの体験者が手軽に参加できるように、制作する独楽は、特殊なデバイスや機器などを必要としないづくりであることが望ましい。

3.3 システムの概要

だれもが手軽に独楽づくりができ、その独楽のスコアをスコアとして提示できるようにするために、著者らは独楽制作キット、独楽撮影筐体、そして独楽測定プログラムを開発した。本システムの概要図および、独楽作成キットと独楽撮影筐体の詳細を図1に示す。



1-A オリジナル独楽制作キットの詳細
 CDの裏面にQRコードが貼付されている。CDのラベル面にお絵かきを行い、粘性接着材でカラーナットを配置する。CDの中心の穴にゴム製のアタッチメントと木製の軸を取り付けると独楽になる。



1-B コマスカウターの詳細
 ディスプレイとボタン、撮影のためのUSBカメラと照明が設置されている。遮光のために全面に扉が設置されている。また内部にQRコードリーダが設置されているため、ガイドに独楽を置くことでQRコードを読み込める。

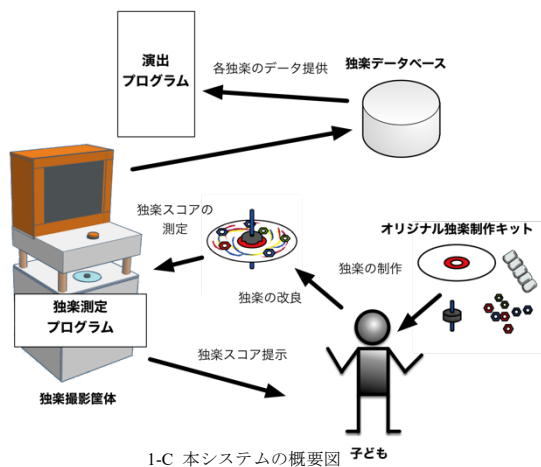


図1 本システムの概要図とオリジナル独楽キットおよび独楽撮影筐体の詳細

3.3.1 オリジナル独楽制作キット

子ども達がオリジナル独楽を作成する本体として、一般の12cmサイズの白地のCDを利用した。子ども達は、白地面にマーカーペンを利用して好きなように絵を描いた上に、それぞれRGBにメッキ塗装したJIS規格のM4,M5,M6ナットを粘性接着材を使って配置する。これにより色ナットは何度でも自由にCD上に再配置することができる。ま

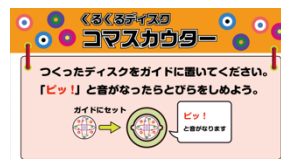
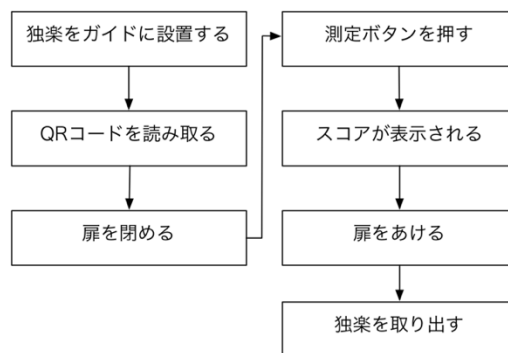
た各CDの測定データを個別に管理するためにCDの裏面にQRコードを貼付してある。CDの中心には回転軸が付いたゴム製のアタッチメントを装着することで独楽として回すことが可能となる。

3.3.2 独楽撮影筐体

独楽制作キットにデバイスやセンサーなど特殊な機器の必要なく、最も手軽に子ども達が独楽の制作できるという理由から、本システムではCD独楽を上部からUSBカメラで撮影し、その取得画像から独楽のスコアを測定する手法を採用した。画像解析にあたっては、環境の違いによる明るさの影響をうけないように独楽を撮影する必要があるため、同条件で撮影可能な独楽筐体を制作した。筐体にはUDBカメラとLED照明器そして、QRコードリーダが設置されている。本筐体のガイド部に子ども達のオリジナル独楽をセットするとQRコードリーダが自動でオリジナル独楽の裏面に貼付されたQRコードを読み込み、個別に独楽を認識できる。また、撮影ボタンを押すことで独楽の画像を取得する。また、扉の開閉部には光センサを備えており、扉の開閉を検知し、扉が閉まっている状態でのみ撮影ができるように制御している。図2に独楽筐体の使用の流れとユーザが利用するGUIを示す。

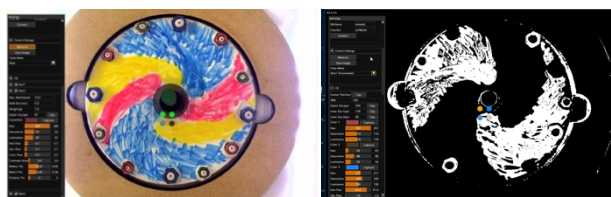
3.3.3 独楽測定プログラム

独楽測定プログラムは、C++とOpenCVを利用して開発された画像認識プログラムである。各ナットの位置取得に関しては、撮影した画像に対してテンプレートマッチングによりナット検出行っているため各筐体で独楽に配置されたナットの色を検出するためのキャリブレーションを必要とする。キャリブレーション設定画面を図3に示す。



2-A コマスカウターのタイトル画面 2-B KomaScoreの表示画面

図2 独楽撮影筐体の使用の流れとGUI



3-A ナット認識のための設定画面 3-B キャリブレーション設定画面

図 3 設定画面とキャリブレーションの例

キャリブレーションの手順として、まず、CDの中心と直径をGUIを利用して取得する。次にナットの大きさとサンプル色をGUIから取得する。その後、取得した画像のノイズ除去のためバイラテラルフィルタをかける。ノイズ除去画像をHSL変換し、閾値を元にグレースケール画像や二値化画像の画像を作成する。取得した画像からナット形状のテンプレートマッチングを実施し、ナットの位置を認識する。このキャリブレーション作業を各ナットの種類ごとに実施する。取得したナットの種類や位置から各独楽のスコア KomaScore を算出する。KomScore 算出のアルゴリズムは以下の通りである。

1. ナットの番号を i 、ナットの位置ベクトルを p 、各ナットの質量を m とすると、独楽の重心ベクトル G は(1)の計算式で求めることができる。このベクトル G をスコア化するために CD の半径をメートル単位に換算し、0.06 として(2)の式により求めている。

$$(1) \quad G = \frac{\sum_i m_i p_i}{\sum_i m_i} \quad (2) \quad GScore = - \left(\frac{|G|}{0.06} - 1 \right) * 100$$

2. ナットの番号 i 、ナットの質量を m 、独楽の中心からの距離を r として慣性モーメント I を(3)の式により求めることができる。算出された I はかなり小さい値となるので、スコアとして利用するために 10000 を乗算する。

$$(3) \quad I = \frac{\sum_i m_i r_i^2}{\sum_i m_i} \quad (4) \quad IScore = I * 10000$$

3. GScore と IScore を加算した値を KomaScore (独楽のスコア)とする。

独楽の回転能力は、軸の長さや先端の角度、回すときのトルク等で回転する時間が変化するが、コマスカウターによって算出する KomaScore に関しては、これらの要素は一定として扱っている。独楽測定プログラムでは、こうして算出した KomaScore の他に各独楽のパラメータとして、QR コ

ードに記録されている ID や、独楽画像に利用されている上位 2 種類の RGB 値などを独楽データベースに格納する。

4. 実験

CD の上部に配置された色つきナットを認識率とスコアの誤差を検証するためにナット検出実験を行った。実験に使用した PC は Dell Inspiron 15 5000 Intel core i5, 4G DDR4 2666Mhz である。

ナットの色は、独楽制作キットと同じく、緑を M4 ナット重さ 0.6g, 赤を M5 ナット重さ 1.0g, 青を M6 重さ 2.0g としている。各ナットを CD の上に粘性接着材をつかって配置し、3 種類の実験用の独楽を作って利用した。作成した 3 種類の独楽を図 4 に示す。それぞれの独楽は、重心のバランスと慣性モーメントの観点から、独楽 A が最も低いスコアとなり、独楽 C が最も高いスコアとなることが予想された。作成した実験用独楽を各種 5 回づつ測定した。また、各独楽とも 2 回目以降の測定の際に 60 度づつ独楽を回転させて配置しなおしている。



図 4 実験のために作成した 3 種類の独楽
 左から独楽 A, 独楽 B, 独楽 C

4.1 ナット検出実験の結果

表 1 に検出実験の測定結果を示す。検出実験からそれぞれの実験用独楽は予想通りのスコアとして検出された。このことから、独楽 C が最も良く回る独楽で、独楽 A が回りにくい独楽であるということが提示された。ナット認識に関しては、検出したナットの総重量から、1, 2 個程度のナットの誤検出や未検出があることがわかった。未検出や誤検出の無い場合でもわずかながら独楽スコアが変化している。この理由としては、計測する際にガイドに設置した時の位置ずれによってカメラから見えるナットの位置や角度が若干異なるため、その誤差がスコアに反映されていると推測できる。それぞれの独楽の KomaScore の中央値からの誤差が -5.6% ~ 4% であり、KomaScore の算出値の幅は 10% 程度となった。

4.2 KomaScore の回転評価実験

独楽測定プログラムによって算出された各独楽スコアが実際に回転させたときに独楽スコアが示すとおり点数が低い独楽はあまり回らず、点数が高い独楽が良く回転するかどうかを評価するために、ナット検出実験で作成した実

表 2 検出実験の結果

独楽A(ナット数5個)					
	ナット重さ	Gscore	Iscore	Koma Score	誤差
1回目	6	76.662	9.59887	86.26087	0.1%
2回目	6	71.3871	9.97592	81.36302	-5.6%
3回目	6	76.7915	9.38751	86.17901	0.0%
4回目	6	77.6025	9.25946	86.86196	0.8%
5回目	6	73.488	9.53189	83.01989	-3.7%
分散値	0	5.58	0.06	4.65	
中央値	6.00	76.66	9.53	86.18	
独楽B(ナット数:10個)					
	ナット重さ	Gscore	Iscore	Koma Score	誤差
1回目	10	89.1558	19.1276	108.2834	3%
2回目	10	85.4299	19.4596	104.8895	0%
3回目	11	80.6565	20.4659	101.1224	-4%
4回目	9	91.8802	15.6079	107.4881	2%
5回目	9	82.1157	18.3928	100.5085	-4%
分散値	0.56	17.68	2.70	10.15	
中央値	10.00	85.43	19.13	104.89	
独楽C(ナット数12個)					
	ナット重さ	Gscore	Iscore	Koma Score	誤差
1回目	13	99.3785	27.5378	126.9163	4%
2回目	12	92.8275	26.3224	119.1499	-2%
3回目	15	96.5022	25.5126	122.0148	0%
4回目	11	94.9467	28.8083	123.755	1%
5回目	12	92.8263	27.0668	119.8931	-2%
分散値	1.84	6.09	1.24	7.84	
中央値	12	94.95	27.07	122.01	

表 2 独楽回転実験の結果

	順番	独楽A	独楽B	独楽C
20代男性A	1	5.54	18.94	47.48
	2	5.21	20.04	51.38
	3	3.8	17.28	59.49
20代男性B	1	3.28	11.6	61.03
	2	3.13	14.93	52.57
	3	1.95	12.05	51.8
20代女性A	1	4.34	16.45	51.23
	2	2.56	17.01	63.33
	3	4.03	15.54	58.78
20代女性B	1	3.22	18.23	55.91
	2	3.76	17.54	49.32
	3	4.03	16.88	54.32
6歳男子	1	3.7	15.21	54.49
	2	4.12	8.43	51.36
	3	6.43	15.15	67
6歳女子	1	3.21	9.32	43.2
	2	3.52	10.55	35
	3	5.13	12.19	48.1
	平均	3.94	14.85	53.10
	分散	1.13	10.89	52.95

験用の独楽を利用して、それぞれの回転時間を計測した。実験にあたっては、独楽の回すときの力や回し方の違いを考慮し、独楽を回す被験者は、20代の男性2名、20代の女性2名、幼児(6歳児の男女)2名とした。それぞれの被験者が各独楽を3回づつ回転させ、独楽の回転が止まるまで時間を計測した。

4.3 KomaScoreの回転評価実験の結果

実験の結果を表2に示す。実験結果から、独楽Aと独楽Bと独楽Cは、いずれの実験者の場合でもKomaScoreの高い独楽ほど長く回るといった結果となった。また、各独楽のKomaScoreの差と独楽の回転時間との間に開きがあることがわかった。さらに、85点前後のスコアとなった独楽Aに

おいて、点数のみに着目すると高得点に感じられるが、実際には、ほとんど回らない独楽であることもわかった。これらの理由から独楽のスコアとしてわかりやすく子ども達に提示するために、独楽測定プログラムから測定されるスコアの80点から130点の幅を30点から100点にスケールして提示することで、スコアと独楽の回転能力の感覚的な差を補正することとした。

以上のナット検出実験およびKomaScore評価実験の結果から、コマスカウターによって測定したオリジナル独楽のスコアは、本独楽キットを使って作成した独楽のスコアの指標になりえると考えられる。

5. イベントの実施

5.1 イベントの概要

本研究にて開発したコマスカウターを実際の子ども向けイベントで使用するために、創作イベント「つくってあそぼう!くるくるディスク」を実施した。本イベントは、令和元年8月10日～18日までの8日間に、東芝来科学館の夏イベントとして行われた。本イベントの流れは、独楽の見本を参考に、作業台で体験者がオリジナル独楽を作成した後、コマスカウターを利用して独楽スコアを表示し、その後、独楽回しテーブルで各自が自分の独楽を自由にあ回して遊ぶというものであった。提示されたスコアに納得できない場合は何度でも再測定することを許可している。図5に体験した子ども達の様子を示す。子ども達が自作した独楽を計測できるコマスカウターは3台準備し、各台には測定するためのオペレーションを補助するスタッフを配置した。



図5 イベントの実施風景

5.2 履歴データの分析と考察

コマスカウターの履歴データからイベント期間中の延べ体験者人数は2854名であり、延べ測定回数は6538回であったことがわかった。体験者の測定回数と各回数の平均独楽スコアを表3に示す。スコアは補正後のスコアである。

表3によると、2回以上の測定を行った体験者(リピート測定者)は1152名であり、約4割の体験者が独楽を作り直していたことがわかる。表3の項目にある改善率とはリピート測定者の初回測定のスコアよりそれ以後のスコアの方が高くなっている割合を示しており、測定回数を重ねるほど改善率が上がっていく傾向があることがわかる。体験者

表3 イベントの履歴と体験者の平均スコア

測定回数	ユーザ数	改善人数	改善率	体験者総数 2852	
				平均スコア	中央値
1	1700			73.65	74.049
2	492	279	57%	73.65	73.988
3	249	192	77%	73.74	74.6
4	119	98	82%	74.44	75.187
5	86	77	90%	76.18	76.758
6	54	47	87%	75.77	75.242

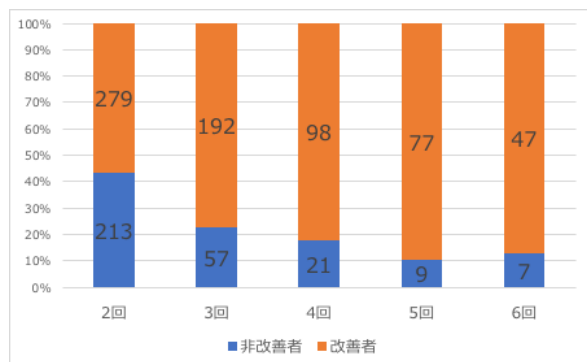


図6 改善者と非改善者の割合

のレポート測定回数の割合を図6に示す。履歴データから、3回以上のレポート測定から改善率が高くなっていることから、3回以上の体験者は意図的にスコアを上げようとしていることが示唆された。

オリジナル独楽の制作に関しては、戸惑うこともなく、幼児から大人までがそれぞれのオリジナル独楽を制作していた。コマスカウターの周りでは、自らつくった独楽の点数に一喜一憂する子どもの姿がみられた。提示された点数が想定よりも低いと感じた体験者は、創作エリアに戻り、どのようにすれば高得点の独楽がつかれるのかをスタッフに聞きながら独楽を作り直し、再びコマスカウターでスコアを計測していた。これらのことから、独楽スコアを提示することが、独楽の作り直しの動機として有効に働いていたと思われる。

一方で現状のシステムでは、測定時の独楽のスコアしか表示できず、独楽スコアを表示するアニメーションのしかけが簡素であることから改善の余地があると考えられる。例えば、履歴データからユーザごとの独楽スコアの推移をグラフ化したり、他のユーザとの独楽スコアを比較し、ランキングなどを提示することができれば、スコアを上げようとする動機をさらに高められる可能性がある。

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システムとして「コマスカウター」を開発した。本システムでは、光学カメラを利用してオリジナル独楽の表面画像を取得し、取得した画像から配置された色付きナットの位置やサイズを認識することで、独楽の重心

や慣性モーメントを測定し、独楽の回転能力をスコアとして提示することができる。本システムを利用して測定したKomaScoreは、実際に独楽が回る能力を知るための指標として機能することがわかった。しかしながら、色ナットの検出において未検出や誤認識することもあり、測定したKomaScoreに10%程度の誤差が生じる。現状では、全く配置を換えていない独楽を再測定した場合でも独楽スコアが変化してしまうため、Deep Learningを適用するなど、新たな手法を使って検出精度を上げる必要があると考える。

参考文献

- [1] Little Planet: 入手先<<http://litpla.com>>.
- [2] あそびパーク PLUS: 入手先<<https://bandainamco-am.co.jp/kids/asobiparkplus>>.
- [3] MOSH!: 入手先 <<https://mosh-jp.com>>.
- [4] Theater Zoo ぼくらのマジカルどうぶつランド: 入手先 <<https://theaterzoo.1001p.jp>>.
- [5] RICOH 紙アプリ: 入手先 <https://www.ricoh.co.jp/rental/paper_app/>.
- [6] ふしぎな紙飛行機: 入手先<<https://www.1-10.com/drive>>.
- [7] ハイパーブルブルスプリント: 入手先<<https://gocco.co.jp>>.
- [8] Switch:まわる,うつ,ひろがる, 入手先<<http://switch-project.jp>>.
- [9] 的場やすし, 佐藤俊樹, 小池秀樹: コマあそび体験を拡張する遊具システム, 情報処理学会論文誌, Vol53, No.3, pp.110-1118(2012年3月)
- [10] Yagimoto, K., Sato, H., Cho, S., Shimojima, A., and Suzuki, H.: MR SPINTOP, Laval Virtual ReVolution 2011, in Press.