

バルーンアートの構造解析と難易度評価手法の提案

浦正広*

山田雅之**

遠藤守**

宮崎慎也**

安田孝美*

*名古屋大学大学院情報科学研究科

**中京大学情報理工学部

Structure Analysis and Difficulty Rating of Balloon Modeling

Masahiro Ura* Masashi Yamada** Mamoru Endo** Shinya Miyazaki** Takami Yasuda*

*Graduate School of Information Science, Nagoya University

**School of Information Science and Technology, Chukyo University

ura@nagoya-u.jp, {myamada, endo, miyazaki}@om.sist.chukyo-u.ac.jp, yasuda@is.nagoya-u.ac.jp

アブストラクト

バルーンアートは、バルーンにより動物などの形状を制作するアート技法である。1本、もしくは、複数本のバルーンをひねることにより、様々な形状が生成できる。バルーンアートの造形はシンプルであるが、想定された完成形状から制作手順を推測することは容易ではない。そこで、本研究では、バルーンアートのための構造解析手法と難易度評価手法を提案する。1本のバルーンにより制作されるバルーンアートの完成形状をグラフで表現すると一筆書きができることから、グラフからオイラー経路を求め、その経路に基づき制作手順を導出する。また、1つのバルーンアート作品に対し、一般に複数の制作手順が存在するため、制作過程におけるバルーンの変形操作の難しさを定量的に評価し、導出される制作手順の難易度を比較する。実際のバルーンアート作品に提案手法を適用することで、その有効性を確認する。

Abstract

Balloon modeling is an artistic technique to generate shapes such as animals from balloons. Various shapes can be generated by twisting one or more balloons; however, it is not easy to find the sequence of modeling balloons into the given shape. In this study, we propose the structure analysis and difficulty rating for balloon modeling. In the case of using a single balloon, the graph representing the shape corresponds to the Eulerian path, and it decides the sequence of balloon modeling. However, there exist several candidates in some cases. We also confirm effectiveness of the proposed method by applying to actual balloon modelings.

1. はじめに

造形には、材料や道具により、制作過程において幾何学的な拘束が発生する場合がある。たとえば、折り紙やペーパークラフトでは、紙の変形のみにより3次元形状を制作する必要がある。このように、制約により制作方法を推測することが難しい造形において、コンピュータによる造形支援が試みられている[1][2][3]。また、創造性のある造形を対象にしたものには、そこに人の感性を反映させるための工夫が求められている[4]。

バルーンアートは、細長いバルーンを用いて動物などの形状を制作するアート技法、ライブパフォーマンス、また、制作される作品のことを指す。1本もしくは複数本のバルーンにより様々な形状を制作する。バルーンアートはバルーンをひねるといった単純な操作の反復により複雑な形状が制作できるが、反面、完成形状から制作方法を推測することは容易ではなく、コンピュータによる造形支援が有効であると考えられる。

バルーンアートの制作では、解説書等で制作手順が示され、制作者はそれに基づいて形状を制作していく。そのため、コンピュータにより自由な形状の制作を支援するためには、概形を入力することで、その構造を解析して、解析結果に基づいた制作手順を導出する、といった要素が必要となる。コンピュータ上でバルーンアートの造形を支援する試みとして、バルーンアートを題材としたモデリング教育ソフトが存在する[5]。また、バルーンの物理的な特性をシミュレートし、コンピュータ上で対話的にバルーンを操作して、形状を制作するものも存在する[6]。しかしながら、上記の事例では、構造解析により制作手順を提示する機能は実現されていない。

そこで本研究では、制作支援システムへの応用を見据え、グラフ理論に基づいたバルーンアートの構造解析、および、難易度評価手法を提案する。バルーンアートの形状をグラフで表現することで、そのオイラー経路から制作手順の導出が可能となる。また、制作時のバルーンの変形操作の難しさを数値化することで、導出した制作手順の難易度の評価が可能となる。これら提案手法を実際の作品に適用することで、その有効性を確認する。なお、本研究では1本のバルーンによって制作されるバルーンアートについてのみ扱う。

2. バルーンアートについて

バルーンアートでは、バルーンを手でひねることによりパートを生成し、生成したパートの位置と空気圧を利用して、生成したひねり目を固定することで、図2-1のように動物などの様々な形状を制作する。

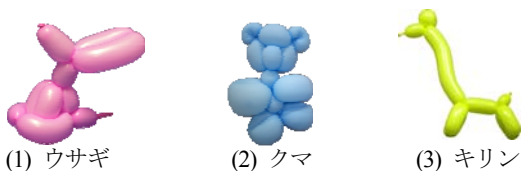


図2-1. バルーンアートの例。

2.1 制作方法の概要

バルーンアートの制作には、一般的に、最大膨張時に幅5cm、長さ160cmとなるツイストバルーンを用いる。図2-2(1)に示すように、バルーンの両端を結び目、先端と呼び、本稿の図はすべて左側を結び目、右側を先端とする。図2-2(2)のように、バルーンをひねることをツイストと呼び、それにより生成されるパートをバブルと呼ぶ。ツイストにより生成されたひねり目は、そのままでは固定されず、ひねり目同士、あるいは、ひねり目と結び目、ひねり目と先端をさらにツイストすることで固定する必要がある。ひねり目を固定することをロックと呼ぶ。

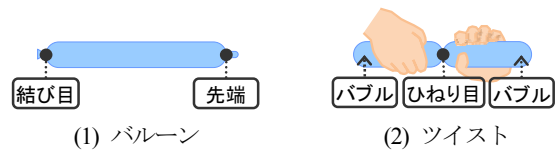


図2-2. バルーンの初期状態とツイスト操作。

2.2 ロック手法

バルーンアートには、ひねり目をロックするための手法がいくつかある[7]。基本的なロック手法を示す。なお、以下の図では、バブルを大文字のアルファベットで、バブルとバブル間のひねり目、結び目、先端を小文字のアルファベットで表す。

2.2.1 ロックツイスト

図2-3のように、cの位置で折り返し、bとdをツイストしてロックする。4個のバブルによりロックする、最も基本的なロック手法である。

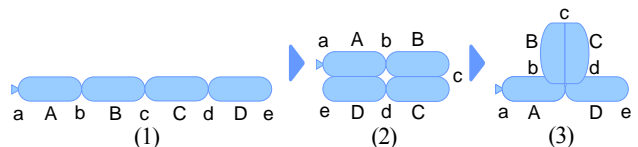


図2-3. ロックツイスト。

2.2.2 ループツイスト・ピンチツイスト

図2-4のようにBのバブルを輪にして、bとcをツイストしてロックする。図2-5のように、中央のバブルが小さい場合はピンチツイストと呼び、バブルが小さい分だけツイストが難しくなる。

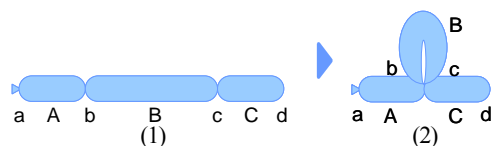


図2-4. ループツイスト。



図2-5. ピンチツイスト。

3. 構造解析と難易度評価手法の提案

バルーンアートの構造を完成形状から導出する方法と、その形状が成立するか判定する手法を提案する。また、そこから制作手順を生成し、その難易度を評価する手法を提案する。

3.1 構造解析

バブルをグラフの辺、バルーンの結び目と先端、および、ひねり目を頂点と見立て、バルーンアートの構造を解析する。1本のバルーンにより作成されるバルーンアートは、グラフとしたときに一筆書きが可能である。このため、グラフはオイラーグラフとなり、オイラー経路を求めることにより、形状制作に必要なバブルの隣接順序とロックする位置が明らかとなる。

3.1.1 構造の導出

グラフの頂点に接続する辺の数を次数という。オイラーグラフとは、頂点の次数がすべて偶数、もしくは2頂点の次数のみが奇数で、他の頂点の次数がすべて偶数であるようなグラフである。グラフの内部表現として隣接行列を用い、例として図3-1(1)に示す完成形状のグラフがオイラーグラフであることを示す。図3-1の(1)は、2箇所がロックされた8個のバブルからなる。これをグラフで表すと(2)になる。このグラフを隣接行列で表すと表3-1となり、aとgの2頂点の次数のみが奇数であるため、(2)はオイラーグラフであるといえる。

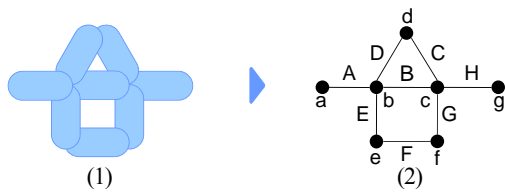


図3-1. バルーンのグラフ化。

表3-1. 図3-1(2)の隣接行列.

	a	b	c	d	e	f	g
a	1	0	0	0	0	0	0
b	0	2	0	0	0	0	0
c	0	0	2	0	0	0	0
d	0	0	0	2	0	0	0
e	0	0	0	0	2	0	0
f	0	0	0	0	0	2	0
g	0	0	0	0	0	0	1

つぎに、グラフのすべてのオイラー経路を求める。オイラー経路は、すべての辺を1度だけ通る頂点と辺の列である。得られた経路における辺の順序がバブルの隣接順序に対応し、経路中に同一の頂点が複数回出現した場合、それらの組み合わせがロック位置となる。図3-1(2)の場合、図3-2で示すように、6通りのオイラー経路が存在する。いずれの経路においても頂点bとcが2度出現することから、それらをロックすることで目的の形状が完成する。なお、図中の点線はロックする頂点のペアを示している。ロック手法は、通常2.1節で示したロックツイストとなるが、ロックする頂点のペアが隣接している場合、バブルの長さにより、ループツイスト、もしくは、ピンチツイストとなる。

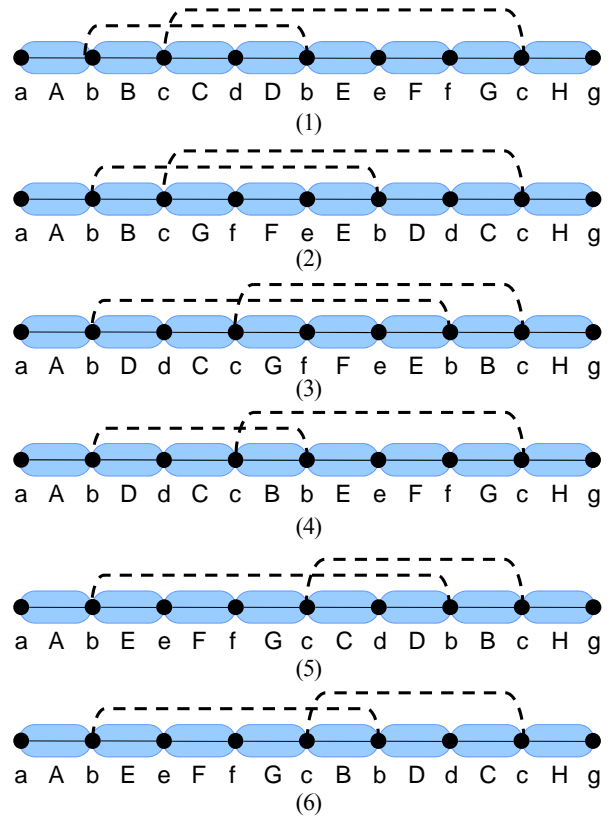


図3-2. 得られた複数のオイラー経路。

3.1.2 形状の成立判定

バルーンアートは、ツイストにより生成された、すべてのひねり目がロックされることにより形状が固定される。グラフの経路において、ひねり目がロックにより固定される条件は、ひねり目に対応する頂点が

- 1) ロックする頂点そのものである
- 2) ロックする頂点のペアの間に位置する

のいずれかを満たせばよい。なお、経路の始点と終点はそれぞれ結び目と先端であり、常に固定されている。非固定頂点が存在する例を図3-3に示す。図中の黒丸が非固定の頂点である。(1)はロックがなく、(2)はロックはあるが、そのロックにより固定されない頂点があるため、完成形状が固定されない状態となる。

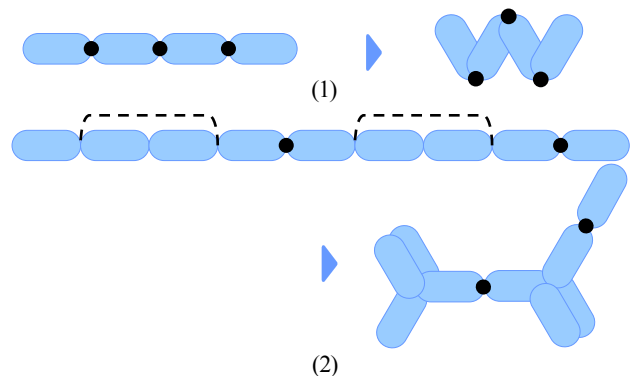


図3-3. 非固定の頂点が存在する形状の例

3.1.3 制作手順の決定

バルーンアートでは、ツイストしてバブルを生成する操作と、ロックしてひねり目を固定する操作を繰り返しながら形状を制作する。その過程において、どのバブルをどのような順序で生成し、どのタイミングでロックするかは自由度があるため、解説書などでは作りやすさを考慮した手順が提示されている。上で述べたオイラー経路は、バブルの個数やそれらの隣接関係、どのひねり目をロックするかを表すのみで、このような制作の手順を明示していない。そこで、導出したオイラー経路に基づき、バブルの生成順序、ロックするタイミングに関する制作手順を決定する方法を提案する。

3.1.1 項では、完成形状をグラフで表現し、オイラー経路を求めている。反対に、オイラー経路から完成形状へ至るための手順は、オイラー経路から元になったグラフを再構成することに対応し、制作手順はこの再構成の過程に必要なツイストやロックの手順に対応する。ここではまず、オイラー経路、バルーンの初期状態、ツイストしてひねり目とバブルを生成する操作、2つのひねり目をロックする操作を形式的に表現する。そのあと、オイラー経路から制作手順を決定するアルゴリズムを示す。このアルゴリズムは、経路の左側、つまり、結び目の頂点側からひねり目とバブルを生成していき、ロックすべきひねり目が出現したら、そのロックを行う制作手順を生成する。

頂点が n 個のオイラー経路を、以下のように頂点 v_i と辺 e_i の列により表現する。

$$v_1 e_1 v_2 e_2 v_3 \dots v_{n-1} e_{n-1} v_n$$

ここで、頂点 v_1 と v_n は結び目と先端に対応する。 v_i や e_i の具体的な値は $f(v_i)$ 、 $f(e_i)$ で表し、図 3-2 (1) の経路ならば、

$$f(v_1) = a, f(e_1) = A$$

である。バルーンアートの初期状態は頂点 $f(v_1)$ 、 $f(v_n)$ と 1 つのバブル e から構成され、オイラー経路と区別するため、以下のようにブラケットを用いて表現する。

$$[f(v_1) e f(v_n)]$$

同様に、頂点 $f(v_i)$ 、 $f(v_n)$ を両端にもつバブル e をつぎのように表す。

$$[f(v_i) e f(v_n)]$$

このバブルに対しツイストを 1 回行い、ひねり目 $f(v_{i+1})$ とバブル $f(e_i)$ を 1 つずつ生成する操作を $\text{Twist}(f(e_i))$ と表し、ツイスト後の状態をつぎのように表す。

$$[f(v_i) f(e_i) f(v_{i+1}) e f(v_n)]$$

完成形状のグラフを $G = (V, E)$ で表す。ここで、 V 、 E はそれぞれ頂点の値の集合、バブルの値の集合である。はじめは $V = \{f(v_1)\}$ 、 $E = \{ \}$ とし、完成形状をつくる過程は、初期状態からツイストを繰り返し、生成されたひねり目の頂点の値 $f(v_{i+1})$ とバブルの値 $f(e_i)$ をグラフに追加することで表現する。また、ロックの操作はツイストにより生成された頂点 $f(v_{i+1})$ と等しい値が、すでに V に含まれているとき行うものとし、このロックの操作を $\text{Lock}(f(v_{i+1}))$ で表す。図 3-4 に、オイラー経路に基づき、完成形状のグラフを構築しながら、制作手順を決定するアルゴリズムを示す。なお、アルゴリズムにおいて $P = [P | x]$ は、リスト P の後方から x を追加することを表す。

入力：オイラー経路 $v_1 e_1 v_2 e_2 v_3 \dots v_{n-1} e_{n-1} v_n$

出力： P (Twist, Lock) のリスト

$$P = [\] , V = \{f(v_1)\}, E = \{ \}$$

```

for(i = 1; i ≤ n - 1; i = i + 1){
    if(i < n - 1){
        P = [P | Twist(f(ei))]
    }
    if(f(vi+1) ∈ V){
        P = [P | Lock(f(vi+1))]
    }
    else{
        V = V ∪ {f(vi+1)}
    }
    E = E ∪ {f(ei)}
}
    
```

図 3-4. 制作手順決定アルゴリズム。

図 3-2 (1) を例にアルゴリズムの実施例を示す。図 3-5 は、図 3-2 (1) の初期状態と、各ロックの前後の状態を示したものである。

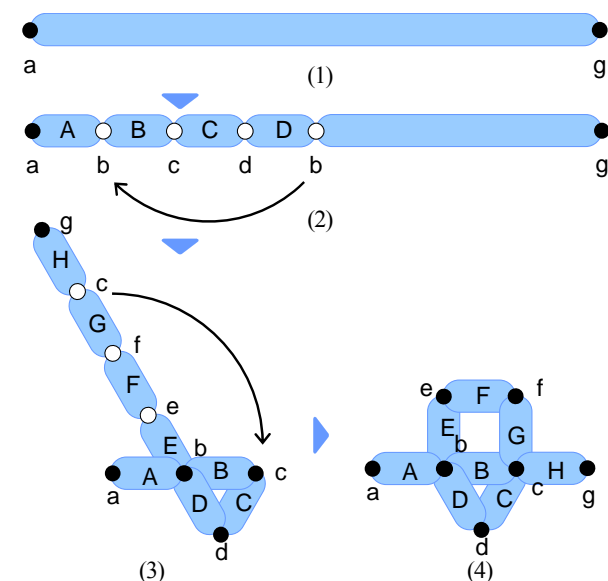


図 3-5 アルゴリズムに基づいた図 3-2 (1) の制作手順。

図3-2 (1)において、アルゴリズムに入力されるオイラー経路は、 $aAbBcCdDbEeFfGcHg$ であり、 $n = 9$ である。このとき、アルゴリズムの各変数の初期値はつぎのようになり、これは、図3-5 (1)で示すような、バブル生成前のバルーンの初期状態に対応する。

$$P = []$$

$$V = \{f(v_1)\} = \{a\}$$

$$E = \{ \}$$

$i = 4$ までループを実施すると、各変数の値はつぎのようになる。このとき P の値は、図3-5 (2)で示すように、ツイストにより A, B, C, D の4つのバブルを順に生成し、その後、 b をロックする制作手順を表す。

$$P = [\text{Twist}(A), \text{Twist}(B), \text{Twist}(C), \text{Twist}(D), \text{Lock}(b)]$$

$$V = \{a, b, c, d\}$$

$$E = \{A, B, C, D\}$$

$i = 8$ までループを実施すると、各変数はつぎのようになる。このとき P の値は、 b をロックしたあと、図3-5 (3)で示すように、ツイストにより E, F, G の3つのバブルを順に生成して、その後 c をロックする制作手順を表す。

$$P = \left[\begin{array}{l} \text{Twist}(A), \text{Twist}(B), \text{Twist}(C), \text{Twist}(D), \text{Lock}(b), \text{Twist}(E), \\ \text{Twist}(F), \text{Twist}(G), \text{Lock}(c) \end{array} \right]$$

$$V = \{a, b, c, d, e, f, g\}$$

$$E = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$$

3.2 難易度評価

3.1.2節では、ひねり目がロックにより固定される条件を示しているが、ここでは、まず、前節で示した図3-2 (1)の制作手順の過程において、ひねり目が固定されるかどうかを確認する。図3-5 (2)の状態では、白丸で表したひねり目 b, c, d, b は固定されておらず、図3-5 (3)のように b をロックして、はじめて固定の条件が満たされる。同様に、図3-5 (3)の状態においても、白丸で表したひねり目 e, f, c も、 c をロックするまで、固定の条件を満たさない。

このように、制作の過程においては、しばし、固定されないひねり目が現れる。このため、ロックを実施して固定の条件を満たすまで、ひねり目が戻らないように手で押さえるなどして、仮固定しながら作っていく必要がある。この、仮固定しなくてはならないひねり目が多いほど、それらへの配慮が必要になるため、一般に制作は難しくなる。また、グラフが経路を複数持つ場合、制作手順により非固定の頂点個数に違いが生じる場合がある。そこで、ロックを1つの単位として、ロックするまで仮固定しておく必要があるひねり目の個数の平均値と最大値を用い、その手順における制作の平均的、および、局所的な難易度を表すこととする。

前回のロックからつぎのロックまでの間に出現する非固定頂点数の平均値、最大値を算出するため、図3-4のアルゴリズムを拡張したものを図3-6に示す。図3-6において、変数 c は前回のロックからつぎのロックまでに出現した非固定の頂点の個数、変数 Q はロック時の c の値を格納するリストとする。

入力：オイラー経路 $v_1e_1v_2e_2v_3 \dots v_{n-1}e_{n-1}v_n$
 出力： P (Twist, Lock) のリスト
 $P = [], V = \{f(v_1)\}, E = \{ \}, c = 0, Q = []$

```

for(i = 1; i ≤ n - 1; i = i + 1){
    if(i < n - 1){
        P = [P | Twist(f(ei))]
        c = c + 1
    }
    if(f(vi+1) ∈ V){
        P = [P | Lock(f(vi+1))]
        Q = [Q | c]
        c = 0
    }
    else{
        V = V ∪ {f(vi+1)}
    }
    E = E ∪ {f(ei)}
}
    
```

図3-6. 図3-4に難易度算出処理を追加したアルゴリズム。

これを図3-2 (1)の経路で実施すると $Q = [4, 3]$ となり、平均値が3.5、最大値が4となる。同様に、図3-2すべての経路についての平均値と最大値を表3-2に示す。表より、すべての経路で平均値は同一であるが、最大値は(1)および(4)の経路が最も少なくなる事がわかる。

表3-2. 図3-2の各オイラー経路への適用結果。

経路	平均値	最大値
(1)	3.5	4
(2)	3.5	5
(3)	3.5	6
(4)	3.5	4
(5)	3.5	6
(6)	3.5	5

4. 評価と考察

実際のバルーンアート作品を対象に、提案手法の有効性を確認する。提案手法により求まる制作手順と難易度が、実際に用いられる制作手順や、人間の感じる難しさと一致するかを確認するため、ロックの順序、オイラー経路、制作物の違いの各観点から評価を行なう。対象とする作品は図4-1に示す、バルーンアートにおける基本的な形状であるベーシックアニマルと、2種類のロック手法が必要なオウムとする。

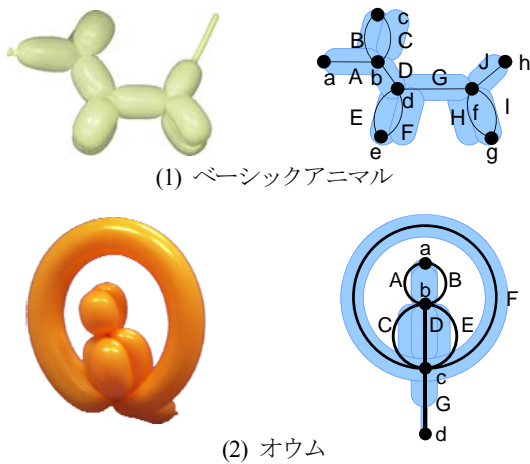


図4-1. 対象とする作品とそのグラフ.

4.1 ロック順序による難易度の違い

ベーシックアニマルは、オイラー経路の始点が2点に限られ、かつ、どちらの経路もロック位置は等しくなるため、図4-2のオイラー経路のみを持つ。ここでは、左端のバブルから順に生成し、i, ii, iiiの3つのロックの実施順序を変えたときの、非固定頂点数の平均値と最大値について比較する。例えば、i→ii→iiiの順でロックする場合には、A, B, Cのバブルを生成したあとでbをロックし、つぎに、D, E, Fのバブルを生成してdをロックし、G, H, Iのバブルを生成したあとfをロックする。また、i→iii→iiの順でロックする場合には、まず、A, B, Cのバブルを生成したあとでbをロックし、つぎに、D, E, F, G, H, Iのバブルを生成してdをロックし、最後にfをロックする。これら手順を比較すると、表4-1に示すように、i→ii→iiiの順に制作する手順が、平均値、最大値ともに非固定頂点数が最も小さくなる。これは、バルーンアートの解説書で推奨する手順でもあり、図3-6のアルゴリズムもこの手順を生成する。一般に、左側からバブルを生成し、ロックできる頂点が現れたらすぐにロックを実施する手順は理解しやすく、また、非固定頂点数も少なくなることから、提案した制作手順決定アルゴリズムは妥当であると考えられる。また、非固定頂点数は、制作手順の難易度を評価するための、1つの基準として用いることができると考えられる。

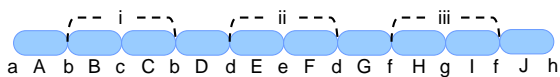


図4-2. ベーシックアニマルのオイラー経路.

表4-1. 図4-2の各制作手順における非固定頂点数.

ロック手順	平均値	最大値
i→ii→iii	3	3
i→iii→ii	4	6
ii→i→iii	4	6
ii→iii→i	5	6
iii→i→ii	6	9
iii→ii→i	6	9

4.2 経路による難易度の違い

図4-3に示すように、オウムには8種類のオイラー経路が求まる。図4-3のロックを表す点線に付加されたローマ数字は、制作手順決定アルゴリズムにより生成された、その経路におけるロックの順序を表している。提案した難易度評価手法により求まる、制作過程における各ロック時の非固定頂点数の平均値と最大値を表4-2に示す。表より、いずれの経路を採用しても、平均値は同一である。一方で、最大値は(1), (2), (3), (4)の経路がそれぞれ最も低い。バルーンアートの解説書では、オウムは一般的に(1)の手順によるものが掲載されているが、これは、最大値が最も低いと評価されたものと一致する。このことから、前節同様に、提案手法により決定される制作手順、および、その難易度は妥当なものであるといえる。

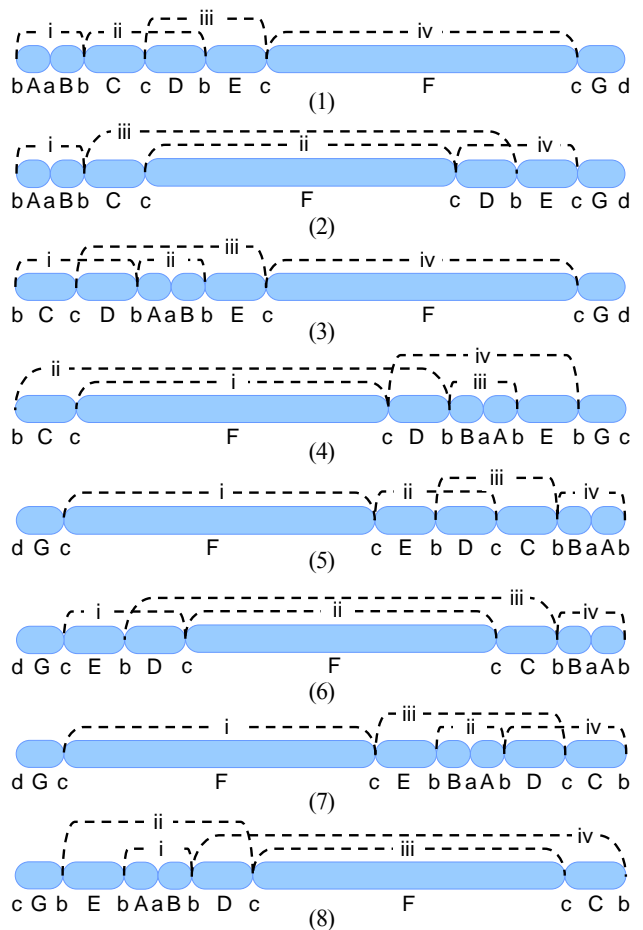


図4-3. オウムのオイラー経路とロックの順序.

表4-2. 図4-3の各オイラー経路における非固定頂点数.

経路	平均値	最大値
(1)	1.25	2
(2)	1.25	2
(3)	1.25	2
(4)	1.25	2
(5)	1.25	2
(6)	1.25	3
(7)	1.25	3
(8)	1.25	4

4.3 制作物による難易度の違い

ベーシックアニマルとオウムの比較を表4-3に示す。表中のロック重複とは、例えば、図4-3 (1)のiiとiiiのようにロックの範囲が重複している回数を指す。平均値と最大値は、表4.1および表4.2において最低値を取った制作手順のものであるが、これらと比較すると、ベーシックアニマルが平均値、最大値ともに3であるのに対し、オウムは平均値が1.25、最大値が2と、いずれもオウムが低い。また、グラフの辺と頂点の個数も、ベーシックアニマルが10と8、オウムが7と4でオウムが少ない。一方で、ロックの回数はオウムが1だけ多く、ロックの種類も、ベーシックアニマルがロックツイストのみの1に対し、オウムはロックツイストとループツイストの2と1だけ多い。また、ロック範囲の重複回数も、ベーシックアニマルが0に対してオウムは1と1だけ多い。これらは、ベーシックアニマルと比較して、オウムは複雑なロックを行う必要性があることを示している。3個のバブルの生成と1回のロックという、同一操作により構成されるベーシックアニマルは、最も制作が簡単な動物の形状であるといわれる。

以上より、異なる形状のバルーンアートを比較する場合には、非固定頂点数の平均値と最大値のみを難易度の基準とするのではなく、表に示したような、バブルとひねり目の個数や、ロックの回数、種類、範囲が重複しているか、といった要素などから、複合的に難易度を評価する必要があるといえる。

表4-3. ベーシックアニマルとオウムの比較.

	ベーシックアニマル		オウム
平均値	3	>	1.25
最大値	3	>	2
辺数	10	>	7
頂点数	8	>	4
ロック回数	3	<	4
ロック種類	1	<	2
ロック重複	0	<	1

5. おわりに

本研究では、グラフ理論を用いたバルーンアートの構造解析および難易度評価手法を提案した。1本のバルーンから制作されるバルーンアートが、その形状を線として考えたとき、一筆書き可能であるという点に着目し、バブルをグラフの辺、ひねり目を頂点と見立て、形状に基づいたグラフのオイラー経路を求めることにより、バルーンアートの構造の導出が可能となった。また、導出したオイラー経路を、グラフへと還元する手法を提案することで、バルーンアートの制作手順の決定が可能となった。この際、複数のオイラー経路が導出される場合があることから、制作時の各ロックにおける頂点の非固定数に着目した難易度評価手法を提案し、バルーンアートにおける制作の難しさを表現した。これら提案手法は、解説書に記載された制作手順と比較することで、実際に用いられる制作手順との同一性を示し、その有効性を確認した。本研究で示すようなアート作品の記号化は、人の感性的要素を解明する上での1つの手がかりとなる、有益なアプローチであると考えられる。

バルーンアートはバルーンの使用本数が増えると作品の幅が広がる。今後は、複数本のバルーンからなるバルーンアートの構造解析もできるよう、手法を拡張したい。また、バルーンアートは練習する際に実際のバルーンを用いるなど、練習環境が整っていないという現状がある。提案手法を用いることで、概形の入力に応じて制作手順を示す作成支援ツールの開発は可能である[8][9]。しかしながら、バルーンアートは手を用いて制作するため、マウスやキーボードではなく、実際の制作と同様に手を用いたインターフェースが望ましいとも考えられるため、今後は、そのようなシステムについても検討したい。その際、現状のグラフによるモデルでは、理論上は制作可能な形状であっても、バルーンの耐久度などから実際には制作が難しい形状もあるため、物理特性を考慮するなど、モデルを現実のバルーンに近づける必要がある。

謝辞

本研究の一部は財団法人栢森情報科学振興財団研究助成、財団法人日比科学技術振興財団研究助成、財団法人JKA補助事業による。

参考文献

- [1] Miyazaki S, Yasuda T, Yokoi S, Toriwaki J, An Interactive Simulation System of ORIGAMI Based on Virtual Space Manipulation, Proc. IEEE International Workshop on Robot and Human Communication '92, pp.210-215, 1992.
- [2] Jun Mitani and Hiromasa Suzuki, Making Papercraft Toys from Meshes using Strip-based Approximate Unfolding, ACM Transactions on Graphics, Vol. 23, No. 3, pp.259-263, 2004.
- [3] Yuki Igarashi, Takeo Igarashi, Pillow: Interactive Flattening of a 3D Model for Plush Toy Design, Lecture Notes in Computer Science 5166, pp.1-7, 2008.
- [4] 遠藤守ほか, 人工知能技術に関する調査等研究委員会報告書, 財団法人人工知能研究振興財団, 2009.
- [5] 畑中啓行, 生田大介, 田中敏光, 杉江昇, 仮想バルーンをモデリングするエデュテイメントソフトの提案, 2000年度電気関係学会東海支部連合大会論文集, p.269, 2000.
- [6] 小坂友里, 風船の物理特性を考慮したバルーンモデリングの制作支援に関する研究, 東京工科大学2008年度卒業論文, 2009.
- [7] 寺崎美保子, 今すぐできる! バルーンアート ひねってつくる魔法の風船, 新星出版社, 2008.
- [8] 浦正広, 山田雅之, 遠藤守, 宮崎慎也, 安田孝美, バルーンアートの構造解析と作成支援ツールの開発, 第8回 NICOGRAPH春季大会論文集, I-1, 2009.
- [9] Masahiro Ura, Masashi Yamada, Mamoru Endo, Shinya Miyazaki, Takami Yasuda, Analysis for Balloon Modeling Structure based on Graph Theory, Proc. of NICOGRAPH International 2009, VII-4, 2009.

浦 正広



2007年中京大学大学院情報科学研究科修士課程修了。同年名古屋大学大学院情報科学研究科博士課程入学，現在に至る。アート，エンタテインメントと科学との融合に関する研究に従事。修士（メディア科学）。

宮崎 慎也



1994年名古屋大学大学院工学研究科修了。93年より中京大学情報科学部助手，97年同講師，99年同助教授，07年中京大学情報理工学部教授，現在に至る。CG，VRの特にソフトウェアによる仮想環境構築，空間操作に関する研究に従事。博士（工学）。

山田 雅之



1994年名古屋工業大学大学院工学研究科修了。同年同大学知能情報システム学科助手，98年中京大学情報科学部助手，99年同講師，07年中京大学情報理工学部准教授，現在に至る。人工知能とメディア技術を融合利用した応用研究に従事。博士（工学）。

安田 孝美



1987年名古屋大学大学院博士課程修了。同年同大学助手。1993年同大学情報文化学部助教授。2003年同大学大学院情報科学研究科教授，現在に至る。ネットワークを利用したマルチメディアにCG，VRの新たな可能性に関する研究に従事。博士（工学）。

遠藤 守



2003年名古屋大学大学院人間情報学研究科修了。同年中京大学情報科学部講師，08年中京大学情報理工学部准教授，現在に至る。仮想空間とネットワークの融合利用に関する研究，およびオープンソースの社会利用に関する研究に従事。博士（学術）。