

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：37102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700106

研究課題名(和文) デジタルファブリケーションを応用した古典的装飾文様の手続的生成と出力に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Procedural Generation of Traditional Ornaments and Their Output by using Digital Fabrication

研究代表者

高山 穰 (Takayama, Jo)

九州産業大学・芸術学部・講師

研究者番号：50571907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はゴシック様式のトレーサリーを生成するアルゴリズム開発から着手した。ここではモチーフ指向型のアプローチを用い、アルゴリズムが自動的にモチーフを展開するための二次元の閉空間を探索していく方法をとった。そして、アルゴリズムがモチーフを描くために必要な円と直線を自動的に配置していく流れとなっている。このアルゴリズムはゴシック様式の代表的モチーフを表現でき、これを再帰的に繰り返すことで二次元の複雑なパターンが生成できる。

同アルゴリズムの応用として、二次元の出力結果画像から三次元モデルへと変換することを試み、さらに同三次元データについて、3Dプリンタを用いて実体物として出力を行った。

研究成果の概要(英文)：This research started with developing an algorithm to generate Gothic Traceries. We attempted a motif-oriented approach whereby the algorithm automatically seeks an appropriate position in a closed 2D space for placement of a motif. Then, the algorithm calculates and arranges the necessary circles and lines automatically to draw the motif. This algorithm can produce some principal Gothic-style motifs automatically, and recursive execution of the algorithm can generate 2D complicated patterns. As an algorithm application, a 2D resultant image is converted to a 3D model data by using displacement mapping. Also, the 3D data was printed as a real object by using a 3D printer.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、メディア情報学・データベース

キーワード：グラフィクス 数理造形 装飾美術 ゴシック様式 トレーサリー

## 1. 研究開始当初の背景

手続的なCG生成技法の応用例として、かつては自然物や自然現象が一般的であったが、近年では都市景観や建築物など人工物に手続的なアプローチを試みる研究例も次第に増えつつある。特にCG表現が映画やビデオゲームなど映像コンテンツ分野に欠かせない存在となるにつれ、身の回りのあらゆる諸相の手続化が求められている現状がうかがえ、装飾美術もその対象になると考える。例えば劇場用映画やビデオゲームにおいては中世西洋を舞台としたコンテンツも多く製作されており、アーティストの労力削減のためプロシージャルなオーナメント(装飾品)の生成法を開発することはコンテンツの効率的生産のために有益であると予測できる。また、近代以降は合理化をひとつの理由として装飾は排除される傾向にあったが、装飾を手続的に生成し、さらに近年急速に発達している3Dプリンタをはじめとしたデジタルアプリケーションの技術を応用することで、手間と費用の掛かる装飾を容易に大量生産できる可能性がある。この観点から、本研究では特定の装飾文様を立体形状として効率的に生成することに着目する。

アーティストの感性に基づく純粹芸術(ファインアート)とは異なり、装飾は高度に規則化されたパターンに基づく美術である。そこには明確な生成規則があるものも多く、その規則に従って歴史・文化・宗教などを背景として人間の手で作り上げられ発展してきた。装飾美術は、原始美術より見られる基本的な対称構造や並進に基づくタイリングパターンから始まり、近世西洋に見られた写実的なモチーフを含む複雑なものまで多岐にわたる。しかしいずれの例でも、反復や対称、といったデザインやレイアウトの規則性が明確な場合が多く、何らかの生成規則を抽出でき、手続的に表現できる場合がある。

このような装飾の規則性に着目し、手続的なアプローチでCGとして表そうという試みは1960年代~1970年代のCG黎明期よりいくつかの事例がある。初期の例ではシンメトリックなモチーフの展開など、いずれも幾何学的かつ抽象的なモチーフや単純なタイリングパターンの研究例がほとんどであった。より具体的な装飾として、ギローシュ(guilloche)と呼ばれる組紐紋やイスラム装飾、西洋の中世写本装飾に見られる植物をモチーフとしたフローラルパターンなどの二次元装飾の研究例が1990年代ごろから散見されるようになった。

このように、二次元の装飾文様を手続き化する研究例はいくつかあるものの、建築装飾など三次元の装飾を扱った研究例はさほど多くない。そこで本研究では三次元の装飾を取り上げ、それを手続的に生成し、さらに3Dプリンタによって実体物として出力して応用することについて研究を行うこととした。

## 2. 研究の目的

本研究は装飾を手続的に生成することを試み、さらに生成結果について3Dプリンタを用いて実体物として出力し、その応用性について検討を行うものである。

本研究で取り上げる装飾様式について古今東西の様々な装飾モチーフを検討した結果、幾何学的規則が明解でありながら単純なモチーフが生成され、なおかつ装飾モチーフ同士が重なることがほとんどないゴシック様式のトレーサリーを取り上げることにした。トレーサリーとは窓枠に用いられる装飾で、主にキリスト教圏の宗教建築においてステンドグラスを支持するために用いられてきたものである。ゴシック様式におけるトレーサリーの特徴として、ほぼ全ての装飾が円弧と直線のみで構成されている点が挙げられる。その円弧の巧みな配置により多様なモチーフが作り出され、そのモチーフの組み合わせにより様々なバリエーションが生まれ、さらにそのうちのいくつかは宗教的な意味をも保持する。一般的なトレーサリーは、ランセット(lancet)と呼ばれる尖塔アーチを擁する閉領域内に構成されるものが多く、そのアーチもまた、円弧と直線の組み合わせによって表現される。

ゴシック様式は西洋で12世紀後半~15世紀にわたって数百年間続き、その間トレーサリーの表現も大きく変化してきた。初期のトレーサリーは、単純なアーチのみ、もしくは円のみが配置されたものであった。これらの要素の間隔も広く、モールディングによる凹凸も付加されていないシンプルなものであった。次第に、そこにフォイル(foil)と呼ばれる葉飾りや、カスプ(cusp)と呼ばれる棘のような装飾が付加されるようになる。これらはいずれも円弧の組み合わせによって表現されており、時代が下るにつれ構成の巧みさが増していく。後期ゴシック時代には、さらにモチーフは洗練され、一見して円弧による構成であることが分からないほど複雑になってくる。具体的には、ダガー(dagger)やムシュット(mouchette)と呼ばれるモチーフが多用され、それらのモチーフが互いに絡み合う構成となっている。しかし、いずれのモチーフも円弧とわずかな直線で構成されることには変わりはない。

本研究では、上記ゴシックのいずれの時代の様式も対象として含め、同一のアルゴリズムでモチーフが多様に自動展開されるアルゴリズムの開発を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究の流れは次のようになる。まずゴシック様式におけるトレーサリー文様の生成アルゴリズム開発を行い、次に得られた出力結果を立体化し、最後に3Dプリンタを用いて立体出力した形状を応用する。以下に各項目について述べる。

### (1) 文様生成アルゴリズムの構築

トレーサリー文様の生成アルゴリズムを構築するにあたって、本研究ではモチーフ指向型のアルゴリズム開発を試みた。先に述べたように、トレーサリーは主に円弧の組み合わせにより表現されるが、配置された円からの部分の円弧を抜き出すかによって結果は大きく異なることから、思い通りの結果を得るためには、適切な位置に円が配置されていなければならない。円の配置は、主に幾何学的・宗教的法則に基づいてなされるが、これらの円の配置を完璧に規則化し、自動的に配置できるようにするのはバリエーションが大きく異なることと、円弧の取捨選択に人間の感性的要素が関わるためアルゴリズム化が難しい。これを実現するためには、幾何学的・解析的アプローチだけでなく、出力結果をアルゴリズム自身が観察して判断するコンピュータビジョン的なアプローチが必要になると予測できる。そこで本研究では、モチーフ指向型のアプローチを試み、与えられた円群からモチーフを見出すのではなく、与えられた閉空間に適切なモチーフを自動配置する方法をとっている。そのモチーフに応じて、必要な円弧や線分を判断して自動配置する方法をとっている。モチーフによって空間が切り取られたら、その余白に別のモチーフを配置しようとする。これを、余白が一定以下の面積に到達するまで繰り返すのである。また、配置されたモチーフは、それ自身が新たな領域としてモチーフ配置の対象となる。このプロセスを再帰的に繰り返すことで、複雑なトレーサリーが表現できる。以下に同アルゴリズムを中心とした研究の流れについて説明する。

#### ① 各モチーフの描画

トレーサリーにはいくつか代表的なモチーフが存在する。本研究のアルゴリズムでは、これらのモチーフを自動的に配置し、その後円弧を定める流れとなっている。ここでは以下の(図1)に示す10種の代表的モチーフ形状を取り上げた。

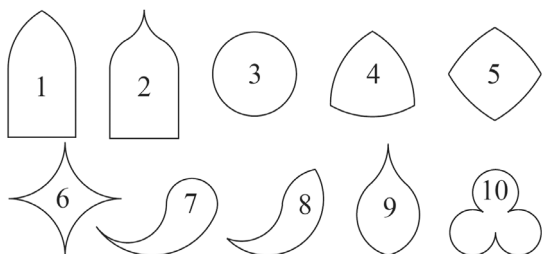


図1 モチーフ形状の例

いずれのモチーフも、与えられた領域内において必要な円弧と直線を自動設定するよう、解析的なアルゴリズムを用いており、パラメータ制御により、モチーフの幅などを制御できるようにしている。

### ② モチーフの配置アルゴリズム

前項目①で説明した各モチーフは、適切な位置に配置されなければならない。本研究では与えられた余白の大きさと位置関係から適切なモチーフを自動的に配置する方法をとった。与えられた空間からモチーフの領域が切り取られ、残された余白にも新たなモチーフが配置される。このプロセスを余白が一定以下となるまで繰り返す。余白が一定以下であるかどうかの判断については、現在の領域に内接する最大円を自動探索し、その最大円の半径と余白の形状から判断している。内接する最大円の半径が一定以下であれば、モチーフが過密状態であると判断し、それ以上現在領域にモチーフを配置しないようにする。また、配置されたモチーフがシンメトリーである限り、余白も対称性を保つので、シンメトリックにモチーフを配置していくことが可能である。以上のプロセスを再帰的に繰り返すことで、(図2)のようにモチーフを適切に配置していくことが可能となる。

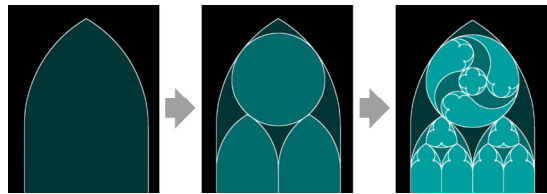


図2 モチーフ展開の流れ

なお、モチーフによっては配置場所に制限を設け、実際の様式と整合性を保つようにした。また、親モチーフの種類によって選択される子モチーフの種類に制約や優先順位を設けており、これにより実在するゴシック様式に近いモチーフ展開が可能となっている。

#### (2) 実装と画像出力

次に、これまで述べた技法の実装を行った。得られたプログラムの機能としては画像ファイルを書き出すだけのシンプルな構成となっている。なお、配置されたモチーフは二次元のフレーム構造しか保持しておらず、凹凸情報を持っていない。しかし擬似的に三次元の陰影処理を施すことで、レリーフ調の浮き彫り効果を得ることができる。まず、得られたフレームに対し高度情報を与えると(図3)のようにグレースケールの画像を得ることができる。

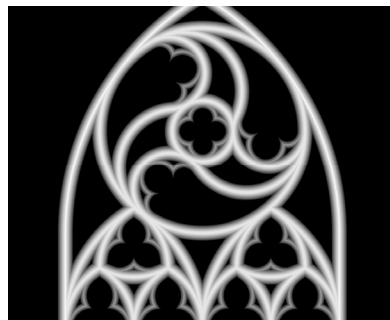


図3 グレースケール画像の出力例

このようにして得られた画像に基づき、各画素において近接する画素との輝度差から法線ベクトルを求め、この法線に基づき任意に設定した光源により光学的な陰影計算を行う。このようにして得られた表現の例を(図4)に示す。



図4 シェーディングの適用例

### (3) 三次元モデルへの変換

トレーサリーの高度情報を白黒画像として描き出すこともでき、それを用いることで(図5)のようにディスプレイメントマッピングへと応用することも可能であり、これにより立体的な三次元モデルへ変換することができる。

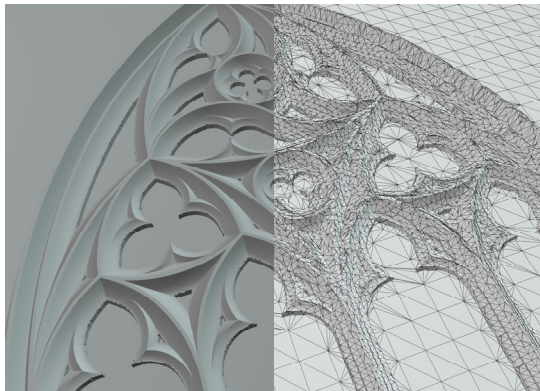


図5 三次元モデルへの変換例

### (4) 3Dプリンタを用いた出力と応用

前節(3)で三次元モデル化されたトレーサリーは3Dプリンタを用いて立体形状として出力を行った。(図6)に出力結果を示す。

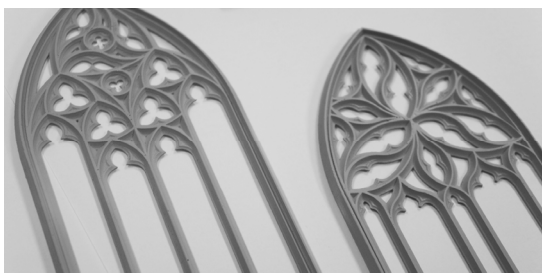


図6 3Dプリンタによる出力例

出力には主にFTI方式の3Dプリンタである3D Systems社製ProJet1000を使用した。FTI方式は液体樹脂に紫外線を当て

硬化させるもので、平面の出力を高精細に行うことができることから本研究のようなレリーフ状のオブジェクトに最適と考えた。

### 4. 研究成果

本研究で開発されたアルゴリズムを用いることで、限られた数のモチーフではあるが、その構成の違いによって様々なバリエーションが展開されていることが見て取れる。実在する歴史的建築物のトレーサリーと寸分違わぬものが出力されているわけではないが、ゴシック様式の特徴である円弧によるモチーフ構成により、同様式の特徴を備えるものとなっていることが確認できる。

また、得られた結果を三次元化し、さらに3Dプリンタを用いることで立体出力することまで成功した。これをより効率化することで、あらゆる閉領域に装飾を容易かつ経済的に展開できる製造工程の構築ができる可能性があると考えられる。

本研究の制限と問題点としては次のようなものが挙げられる。まず、現時点ではアルゴリズムによる出力結果はグレースケールの画像であるため、表現できるのは単なる凹凸のみに限られる。そのため、他の様式でみられるようなモチーフ同士が重なりあったような表現が難しい。また、出力結果の画像を三次元モデル化するにあたって、本研究では便宜的にディスプレイメントマッピングを使用した。しかし得られた三次元モデルではポリゴンの流れが整っているとは言い難い。今後はリトポロジーの問題も考慮した効率的な三次元モデル生成が必要となる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Jo Takayama, “Computer-generated Gothic Tracery with a Motif-oriented Approach”, IASDR2013, pp.2489-2500, 2013, 査読あり

〔その他〕

公募展受賞：本研究の技術を使用した成果物が「2013アジアデジタルアート大賞展」において、「カテゴリーA 静止画部門」に入賞し、平成26年1月30日～2月4日にかけて、福岡アジア美術館で展示された。

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

高山 穰 (TAKAYAMA JO)

九州産業大学・芸術学部・講師

研究者番号：50571907