

# 浮沈子を用いた水中エンターテインメントの新しい表現方法の研究

図書館情報メディア系 デジタルネイチャー研究室 小池 栄美、落合 陽一

## はじめに

近年のヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) やコンピュータグラフィクス (CG) の研究分野では、コンピュータの画面の中でシミュレーションしたものを、画面の外でどうやってその通りの性質を与えるか、どうやってその通りに物理的に動かすかの研究が多く見られる。その中でもコンピュータ上でデザインしたものを、デジタルファブリケーション技術 (3D プリントやレーザーカッターなど) を用いて出力する研究や、空間伝達力を用いて物体を空中浮遊させて動かすような研究がある。

私の卒業研究ではデジタルファブリケーション技術と空間伝達力による浮遊、これら両方を組み合わせて、コンピュータを使って水中でモノを動かす研究をした。

水中でモノを動かすにあたって、パスカルの原理を証明するのによく使われる浮沈子の構造に着目した。浮沈子の内部は空洞と水の出入りできる穴があ

る。はじめは、浮沈子にかかる浮力が重力よりも大きいため容器の上部に浮いているが、水圧をかけることにより穴から浮沈子の内部に水が入り込み、浮力が小さくなる。浮力が重力より小さくなると浮沈子は容器の底にむかって沈み始める。(図1)そこで、容器にかける圧力を連続的に調整することで、浮沈子は容器内で浮き沈みすることができる。

さて本研究ではこの浮沈子の構造と動く仕組みをヒントに、任意の形状のモデルの内部に浮沈子構造をつくるアルゴリズムを開発、さらに水圧の変化を用いて水中で浮沈子を動かす仕組みを実装した。

つまり本研究は、

- 任意の3Dモデルの内部を浮沈子の構造にデザインして3Dプリントするファブリケーションの部分
- 連続的にモータを動かすことで浮沈子を容器内で動かすアクチュエーションの部分

この2つの要素に分けることができる。

## ファブリケーション

ファブリケーションの部分では、任意の3Dモデルを浮沈子にするアルゴリズムを開発した。ボクセルカービングという手法を用いて、浮沈子を満たすための条件式から、モデル内部の適切な位置に適切な量の空洞をつくる。(図2)ボクセルとは、任意のサイズの立方体のことを指す。ボクセルカービングは立方体の塊で3Dモデルを表し、ボクセル単位で空洞を物体の内部に作ることを指す。浮沈子を満たすための条件は①水をはった容器に入れたときに容器の上部に浮くこと(水よりも軽いこと)、

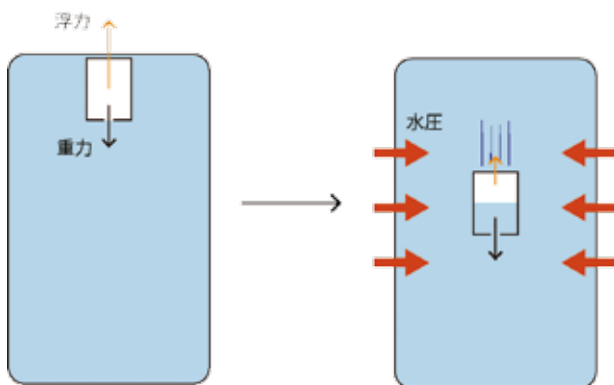


図1 浮沈子の動く仕組み

②物体の内部へ水の入る穴があること、③物体の内部へ水が入る前・入った後で、物体の向きがひっくり返ってしまったりしないこと。主にこの3つである。①は運動方程式を立てることにより、物体の内部に開けるべき空洞の量に関して、任意の物体の見た目の体積、水と3Dプリントのフィラメントの密度を用いた条件式をだすことができる。②③はボクセルの座標からモーメントを求め、モーメントの和が0に近づくようにすればよい。



図2 ファブリケーションの流れ

浮沈子は熱造形式の3Dプリンタで出力した。素材はPLA樹脂とABS樹脂を用いた。水中で動かすことが前提にあるため、水に溶けるような素材を使用することはできない。使用する素材によって密度が異なるため、密度によって物体の内部に開ける空

洞の量が異なる。内部に空洞のある物体をそのまま3Dプリントするとサポート剤が内部に生成されてしまうため、現段階では、デザインした物体を2つ以上に切り分けて出力し、あとから軽めの接着剤で接着している。

### アクチュエーション

アクチュエーションの部分では、浮沈子をコンピュータで制御するための装置をつくった。装置は水圧をかけるためのシリンジポンプと、浮沈子が動くガラスの水槽から成っている。シリンジポンプはコンピュータで制御できるよう、モータで動くようにしたもの自作した。筐体にはレーザーカッターで加工したアクリル板を用いた。ガラスの水槽部分の製作を工作部門に依頼した。(図3) 浮沈子が動くための装置の設計は、本研究で最も苦勞した部分のひとつだ。従来の浮沈子では炭酸飲料のペットボトルに手で水圧をかけるような仕組みで、本研究ではその部分すべてをコンピュータ制御で実現しなければならなかった。計算通りに浮沈子を動かすためには、水圧をかけても変形しない十分硬い容器で、水漏れのないようにする必要がある。水圧に耐えられるような容器は、工作部門と相談・思考錯誤の上、実現することができた。

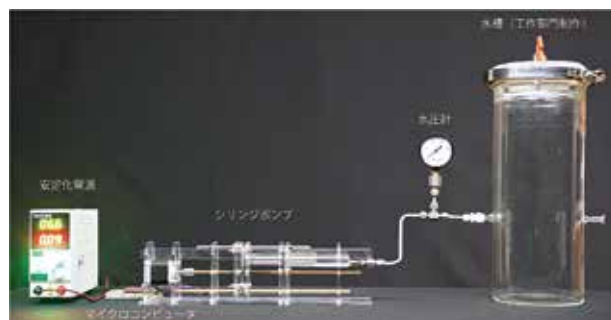


図3 浮沈子を制御するための装置  
ガラス水槽の製作を工作部門に委託した。

また、浮沈子を容器の中央で留まらせるには連続的にちょうどいい具合の水圧をかけ続けることが必要だ。本研究では、それを実現するために Web カ

メラを用いて浮沈子の位置をフィードバックし、シリンジポンプを押す量のPID制御をした。(図4) トラッキングした値をコンピュータへ送る際の遅延により多少のブレはあるが、容器の中央で浮沈子を連続的に浮遊させることに成功した。



図4 浮沈子をPID制御している様子

### アプリケーション

本研究の手法によって様々な形状の浮沈子を作ることが可能になった。図4や図5上段のように、人魚やドラゴンを水中で動かした。糸でつられているわけでも、本体にエンジンがついているわけでもなく、物体そのものが水中で動いているように見えるものは、水族館をはじめとしてテーマパークなどと相性がいいのではないかと考えている。私自身も、水族館で人魚が浮いていたらいいなあという思いからこのプロジェクトを始めた。

また、複数の浮沈子を水槽に入れる場合に空洞の量を変えることによって状況に応じた浮沈子を出現させることが可能だ。先に述べたようなたくさんの人々が見るような場だけでなく、個人の身近な生活に馴染むような応用例として、そういった選択性



図5 応用例

から、情報提示装置としての応用例が考えている。図5下段がそのプロトタイプだ。

### さいごに

本研究は昨年 SIGGRAPH Asia2016の Posters 部門に採択され、発表の場をいただきました。また、今年の2月中旬から3月中旬にかけて六本木ヒルズで開催された Media Ambition Tokyo で展示させていただき、たくさんの方々に触れていただきました。

卒業研究に留まらず対外的に発表・展示する機会があったこと、大変光栄に思っています。これも落合先生をはじめとするデジタルネイチャー研究室の皆のサポートや、それから、工作部門のご協力あつてのことと大変感謝いたします。