

打ち上げ花火シミュレーションシステムの構築

5H-10

小山 敬之

板橋 秀一

筑波大学

1 はじめに

現在、打ち上げ花火のデザインは、主に花火師の感性、創造力、そして経験に委ねられている。さらに、設計された玉の試し打ちは容易ではない。この設計から試し打ちまでの過程を計算機上でシミュレートすることにより、打ち上げ花火のデザインに伴う完成までの時間、労力、コスト、危険性を大幅に減少させることが期待できる。また、熟練を要しないため、花火製作の技術がなくとも花火のデザインが可能となり、花火師の教育や、実際に受注する際にも役立つと考えられる。

本稿では、既に報告した打ち上げ花火CADシステム[1,2,3]の構想をもとに、未完成であった花火創作デザインから試し打ちまでの一貫した支援システム、打ち上げ花火シミュレーションシステムを構築したので報告する。

2 打ち上げ花火の概要

打ち上げ花火はその構造から「ボカ物」と呼ばれる花火と「割物」と呼ばれる花火に分けられる。[4,5]本システムでは、主に花火の花形である「割物」を対象とする。

打ち上げ花火の「玉」の構造を図3に示す。「玉」は厚く強い皮の内側に花卉を彩る「星」と、玉を炸裂させる「割薬」（わりやく）、導火線にあたる「親導」（おやみち）によって構成されている。「玉」は「打ち上げ筒」から打ち上げれると同時に、親導に点火される。この点火された火が「割薬」に達すると「玉」は炸裂する。

「星」の構造を図3に示す。「星」は「掛け星」と呼ばれる芯を中心に、燃焼することによって発光する「和剤」が同心球の層構造をなしている。この「和剤」が外側から燃焼することにより「星」の色が変化する。「星」は「玉」が炸裂することにより、四方八方に燃焼しながら飛んでゆく。この様子が花火の花の開き方になる。つまり、「星」に並び方によって花火の形も変わる。その構造より「芯入り」、「小割り」等の花火に分けられる。

3 システム構成と動作

本システムは、構造を決定するエディタ、花火の構造を記述するディスクリプションファイル、与えられた構造から玉の開き方をシミュレートするプレビューアーの3部からなる。

A Simulation System of Japanese Fireworks,
Takayuki KOYAMA and Shuichi ITAHASHI,
University of Tsukuba

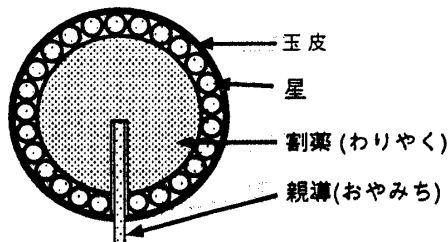


図 1: 最も簡単な花火の構造図

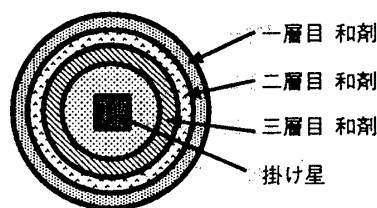


図 2: 星の構造

3.1 エディタ

エディタ部では、ビジュアルな花火の構造を人力として受けとり、構造の記述ファイルを出力する。

3.2 ディスクリプションファイル

本システムでは、玉の構造の記述ファイルをディスクリプションファイルとする。玉の大きさ、発射時間等のパラメータが記述されており、このファイルから、打ち上げられる花火の玉は一意に決まるものとする。

3.3 プレビューアー

ディスクリプションファイルをもとに、計算機上でシミュレートする。玉を玉、星、火薬の集合体とみなし、各オブジェクトごとの振舞いを各々計算して、計算機の画面上に投影する。

3.4 設計の流れ

ユーザーは花火の構造をエディタを用いてディスクリプションファイルとして作成し、プレビューアーで花火の開き方を確認する。もし、それが気に入らなければ、再びエディタで設計し直す。気に入れば、そのディスクリプションをファイルに格納し、それをもとに花火を製造する。

オブジェクト名	事象	振舞い
筒 obj	導火線に点火し、玉を打ち上げる	複合玉 obj を生成し、発射ベクトルを与える
複合玉 obj	割薬に着火・炸裂し、玉と星を飛ばす	星 obj を生成し、初速度ベクトルを与える 玉 obj を生成し、初速度ベクトルを与える
玉 obj	割薬に着火・炸裂し、星を飛ばす	星 obj を生成し、初速度ベクトルを与える
星 obj	燃焼・変色しながら飛行する	星 obj の半径を減少し、対応する和剤の色を発色し、 気体中の球体の放物運動を行なう

表 1: モデル化されたオブジェクトの振舞い

4 花火のシミュレーション

4.1 構造のモデル化

本システムでは、花火の玉の構造をオブジェクトの集合としてモデル化した。各オブジェクトには、振舞いが定義されており、パラメタが入力されている。オブジェクトは生成されると、その定義どおりに振舞う。例えば、筒 obj は生成されると、与えられた発射時刻において与えられた構造の複合玉 obj を生成する。生成された複合玉 obj は、さらに玉 obj や星 obj を生成し消滅する。この一連の流れによって花火の花の開き方をシミュレートすることができる。[6] 本システムでモデル化されたオブジェクトの一覧を表 1 に示す。

4.2 気体中の球体の放物運動

花火のシミュレートでその動きを計算する必要がある玉 obj、星 obj の運動については、気体中の球体の放物運動で近似した。

$$d\vec{v}/dt = \vec{g} + C(\vec{v} + \vec{g})/r^2$$

$$C = -4.5\eta \times (\text{物体の単位体積あたりの質量})$$

ここで、 r は球体の半径、 \vec{v} は球体の速度、 \vec{g} は重力加速度、 η は気体の粘性率、 t は時間を表す。

5 実験結果

本システムを用いて、通常の玉、芯入り（八重芯、三重芯）、小割りが実現できた。本システムで作成した小割りの実行例を図 3 に示す。

6 おわりに

打ち上げ花火の設計から試し打ちまでを支援する打ち上げ花火シミュレーションシステムの概要を示した。本システムを利用する上での利点として、

- ・実際に試作する玉の数が減り、時間と費用の削減。
- ・試作 ↔ 試し打ちの繰り返しによる完成度の向上。
- ・すべて計算機上でシミュレートするので、危険性がなく、労力もほとんどかからない。

が挙げられる。

今後の課題としては、気象条件に関する天候、風速等のパラメタや実測データを蓄積することにより、より現実近く、信頼性の高いシミュレーションを実現することである。

参考文献

- [1] 木本 豪, 板橋 秀一: 打ち上げ花火のシミュレーション, 情報処理学会第 44 回全国大会講演論文集 (分冊 2), pp.355-356(1992.3)
- [2] 木本 豪, 板橋 秀一: 打ち上げ花火の計算機シミュレーション, 情報処理学会グラフィクス CAD 研究会 59-1(1992.10)
- [3] 木本 豪, 板橋 秀一: 打ち上げ花火の CAD, 情報処理学会第 46 回全国大会講演論文集 (分冊 2), pp.469-470(1993.3)
- [4] 細谷 政夫: 花火の科学, 東海大学出版 (1980)
- [5] 小勝 郷右: 花火 - 火の芸術, 岩波書店 (1983)
- [6] Reeves, W.T.: Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects, Computer Graphics Vol.17, No.3, pp.359-376(1983.7)

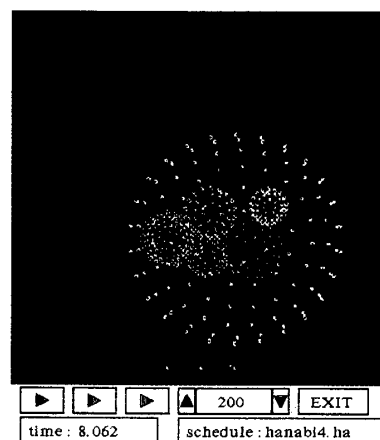


図 3: 小割りの実行例