

打ち上げ花火のシミュレーション

1W-1

平嶋 賢史

椿 哲宗

児島 彰

藤野 清次

広島市立大学 情報科学部 情報工学科

1 はじめに

日本の夏の夜空を彩る花火は、花火師によって作られているが、新製品の開発および改良には多大なコストを要する [1]。例えば、花火の乾燥に掛かる時間、花火玉を作るのにかかる金額などの問題点がある。その他に、火薬を扱うことによって生じる危険性もある。その解決策の一つとして、打ち上げ花火をCGによってシミュレーションできるようなシステムを構築した。そこで、以下ではリアルタイムに実行できる打ち上げ花火シミュレーションシステムの概要を述べる。

2 打ち上げ花火システムの構成

今回、構築した打ち上げ花火システムの構成と手順を図1に示す。まず、花火玉の設定を行い、花火の軌道計算を行う。そして、計算結果をレンダリングする。花火玉は星と火薬で作られている。ここで、星とは花火の一つ一つの光を出す固形物のことを指す。花火玉の設定にはGUIを用い、玉の号数や星の色等を決定する。玉の号数は、4号玉、6号玉、8号玉、10号玉からユーザーが選択できる。

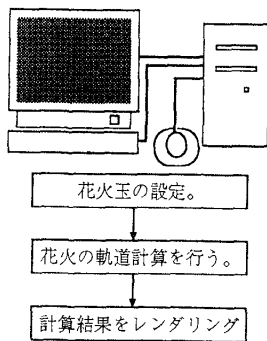


図1: システムの構成と手順

Simulation of the star rocket-type fireworks
 Satoshi HIRASHIMA, Tetsunori TSUBAKI,
 Akira KOJIMA and Seiji FUJINO
 Department of Computer Engineering, Faculty of Information
 Sciences, Hiroshima City University, 3-4-1, Ozuka-Higashi,
 Asaminami-ku, Hiroshima, 731-3194, Japan

3 玉と星のモデル化

3.1 玉と星の軌道計算

花火玉の軌道計算は、代表的な数値解法である4次のルンゲ・クッタ法を用いて、以下の常微分方程式(1a)~(1c)を解くことにより、速度の x, y, z 各成分を求め、求めた各速度成分から星の位置座標が決まる。ここでは、 A_x, A_y, A_z を x, y, z 各軸方向の加速度成分 $[m/s^2]$ とし、 c は空気抵抗係数 $[kg/m]$ 、 v は発射速度 $[m/s]$ 、 v_x, v_y, v_z は発射速度の x, y, z 各成分とする。重力定数は $g[m/s^2]$ とする。玉の重量は $M[kg]$ とする。星の軌道計算も同様に行う。 $[]$ は単位系を表す。

$$A_x = -\frac{c}{M}vv_x, \quad (1a)$$

$$A_y = -g - \frac{c}{M}vv_y, \quad (1b)$$

$$A_z = -\frac{c}{M}vv_z. \quad (1c)$$

3.2 玉の構造

玉の半径を R_1 、星の半径を r_1 とする。図2(左)に玉の水平断面図、同(右)に垂直断面図を示す。層とは同じ水平面上に並べた星のことを指す。また、層の順番は上から1層、2層...とする。

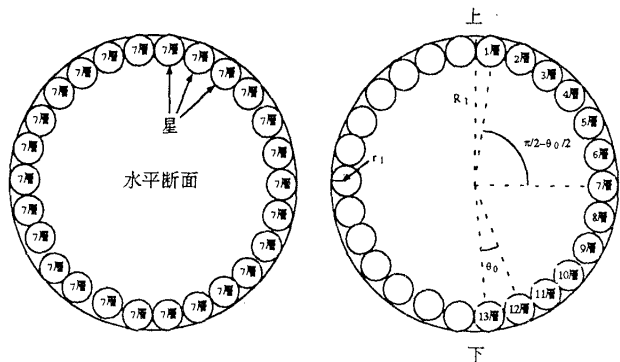


図2: 玉の水平断面(左)と垂直断面(右)

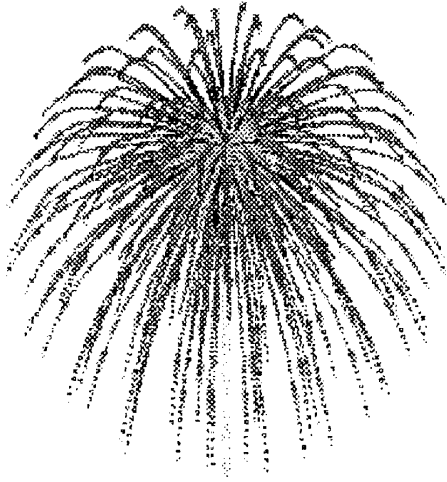


図 3: 「菊」の描画

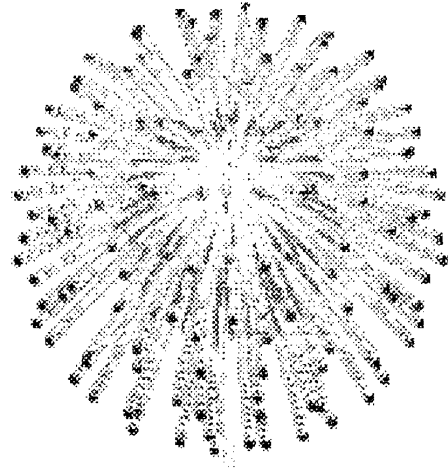


図 4: 「牡丹」の描画

3.3 星の個数と発射角度の算出

最初に、一番個数が多くなる層 (図 2 では第 7 層) の最大個数 *saidaikosuu* を次の (2) 式で求める。ここで、記号 $[a]$ は a を越えない最大の整数を表す。

$$saidaikosuu = [2\pi(R_1 - r_1)/2r_1] \quad (2)$$

求めた *saidaikosuu* で全周 2π を割ると仰角 θ_0 が決まる。また、層の数は最大個数を 2 で割ったものとする。次に最上層の第 1 層の半径を求める。ここでは、層の半径は中心軸からの水平距離とする。星の中心を通る円の半径は $R_1 - r_1$ である。よって、第 1 層の半径は図 2 より $(R_1 - r_1) \cos(\pi/2 - \theta_0/2)$ となる。半径が求めたので、第 1 層の個数 *kosuu1* を次の (3) 式で求める。

$$kosuu1 = [2\pi(R_1 - r_1) \cos(\pi/2 - \theta_0/2)/2r_1] \quad (3)$$

kosuu1 で全周 2π を割ると水平角 ϕ_1 が求まる。以上の計算を、一番下の層まで繰り返すと、各層の星の個数とその発射角度が決まる。

4 描画方法

描画方法はパーティクル (粒子) 手法 [3] を用いている。このシステムでは、レンダリング速度を極力落さないために、先に全ての玉と星の軌道計算を行う。その後、計算結果のレンダリング処理を行っている。その結果、実際の打ち上げ時間 [2] とほぼ同じ時間でレン

ダリングでき、リアルタイムでシミュレーションを行えるようになった。

5 シミュレーション結果と考察

花火の中で最も一般的な「菊」、「牡丹」の描画結果を図 3、図 4 に示す。図は 4 号玉 (直径 11.5cm) の場合である。図 3 の「菊」は、プロットした点を消さずに残すようにして菊を表した。図 4 の「牡丹」は、先端部分だけを大きくプロットし、その他のプロットした点はある一定時間が過ぎると描画させないようにして牡丹を表した。

6 おわりに

本稿では、CG による打ち上げ花火のシミュレーションシステムの概要について述べた。我々が構築したシステムでは、花火の色の変化、速度、大きさは実際の花火にかなり近いと思われる。今後さらに、燃焼反応、大気の乱気流、爆発による煙の描画などについて検討を加え、実際の花火の美しさを再現したい。

参考文献

- [1] 細谷政夫: “花火の科学”, 東海大学出版会 (1983).
- [2] 武藤輝彦, 小野里公成, 川上信定: “花火大会に行こう”, 新潮社 (1997).
- [3] Reeves, W.T.: “Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects”, *Computer Graphics*, 17, 3, pp.359-376 (1983).