

## 万華鏡方式音合成法を使用した音表現作成インタフェース

貝田真啓, 相川清明 (東京工科大・メディアサイエンス)

**概要:** 万華鏡方式音合成法とは, 万華鏡の特性を音のパラメータに対応させた音合成方式である。本稿では新たな音表現を作成するために, この万華鏡方式音合成法を使用したインタフェースを製作した。音パラメータの制御には, 実際の万華鏡の要素の中でも音合成における周波数成分の構成に影響が大きいと考えられる要素を抽出した。本稿ではインタフェース化の実現に向けて, この周波数成分構成に影響を及ぼす万華鏡要素を音パラメータとして利用する方法を考案し, 結果生じる効果とその制御性を分析した。

### Sound expression interface using the kaleidoscope synthesis method

Masahiro Kaita, Kiyooki Aikawa

School of Media Science, Tokyo University of Technology

**Abstracts:** The kaleidoscope synthesis method is the sound synthesis method which applies the characteristics of the kaleidoscope to the parameters for producing sounds. This paper describes a new sound expression interface using the kaleidoscope synthesis method. This paper selected several elements of kaleidoscope that contributed to make major change of sound features. The sound quality and the controllability were tested using subjective tests.

#### 1. はじめに

本稿は万華鏡固有の特性を音合成に利用した万華鏡方式音合成法とそのインタフェース化についての報告である。万華鏡によって映し出されるイメージは鏡像による幾何学的な美しさを有している。この鏡像の特性を音合成に利用すれば特徴的な音の生成が可能ではなからうかと考えた。そこで着目したのは万華鏡では微量のビーズやガラスなどのパーティクルを用意するだけで, 一定の規則性に基づいた調和の取れた複雑なイメージが生成される点である。生成されるイメージはパーティクルの種類や鏡面内位置を変化させることで大きく変化する。この「初期状態の変化が結果として大きな変化を生み出す」とい現象は音合成・音生成インタフェースの観点において効果的であり, 実際の万華鏡が少ない特徴で調和の取れたイメージを生み出すように音合成に関しても少ない特徴で一定の対称関係にあるパラメ

ータを生成できる可能性がある。

#### 2. 万華鏡方式音合成法

##### 2.1. 万華鏡方式音合成の概要

万華鏡は 1816 年スコットランドの物理学者ブリュスターによって考案され, Kaleidoscope という名前で発表された。万華鏡の仕組みは 2 枚以上の多面鏡を用いてビーズやガラスなどの対象となるパーティクルを見るものである。最も一般的な万華鏡はパーティクルを容器に密閉し, 3 枚の鏡から成る多面鏡を使用した 3 ミラーチェーンタイプであり, 多面鏡の仕様や対象となるパーティクルの種類を変化させることで映し出されるイメージにも様々な変化が生じる (図 1)。

万華鏡固有の美しさの根源は多面鏡によるパーティクルの対象移動であり, 多面鏡により反射が繰り返されることでパーティクルの鏡像が幾何学的に配置される。この鏡像特性を音合成のパラメータに利用したのが万華鏡方式音合成法である。

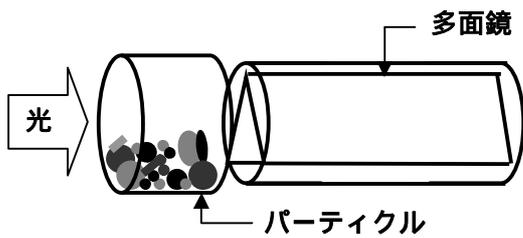


図 1. 万華鏡 (3 ミラーチェーンタイプ).

本方式の基本である光源となるパーティクルとその鏡像を音のパラメータへ利用する方法を図 2 に示す. ここでは mirror0 と mirror1 の鏡 2 枚を平行に並べその間にパーティクルを配置するものとしている. 座標内に光源  $A_0$  を与えると, 鏡面による反射により鏡像  $A_n$  が発生する. この鏡像  $A_n$  の中心の  $x$  座標  $x_n$  を周波数成分の生成に利用することで, 基本周波数  $f_c$  の  $x_n$  倍の周波数成分を発生させる. これにより一定の規則性により並んだ周波数成分が発生する. この周波数成分は特定の周波数の和と差の周波数成分であり, 光源  $A_0$  の中心  $x_0$  の値の変化は隣り合う周波数成分の変化, つまり和と差の周波数の変化となり, 結果としてある種の変調の効果を生じさせる.

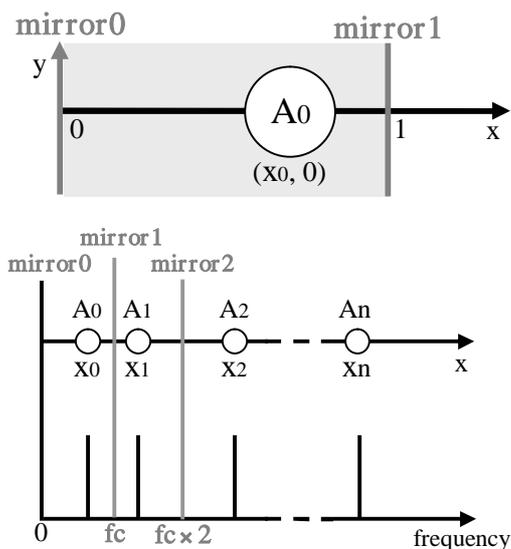


図 2. 光源と鏡像の周波数成分への利用.

本方式で生成される音はパーティクルと鏡面の距離の変化により大きく分けて金属系, 鋸歯状波・矩形波系の音に分けられる. この中でも金属的な響きを持つ音に関すれば, 実際の金属音と同等の音の生成が可能であることが明らかになっている.

## 2.2. 万華鏡と音合成の対比

表 1 は実際の万華鏡が有する要素と, これを音のパラメータに対応させる際に考えられる利用方法を表している. 表 1 にあるように, パーティクルの大きさとパーティクル同士の位置関係というパーティクルの鏡面内での位置関係してくる要素は周波数成分の分布に, パーティクルの数と反射回数は周波数成分の数に, パーティクルの明度と色は周波数成分の振幅構成に, そしてパーティクルの形状や材質などパーティクルの動きに関係してくる要素は時変のパラメータや変調の機能に利用できる可能性が秘められている.

ここでパーティクルの明度と色について解説する. 明度についてはパーティクル自体が明るさを持っているとし, その明るさが鏡面の反射により減少すると考える. 色については, 鏡面に透過率を与えることで鏡面にフィルタのような機能を付加させる. 例えば「赤色は反射率 30%」, 「白色は反射率 100%」というものである. これらを使用すると反射が行われる度に, あるパラメータの値が徐々に減少するような効果が期待できるため, これを周波数成分の振幅に対応付けた. これは高周波数成分になるにしたがい振幅が減少するような音を生成可能とさせる.

万華鏡	音合成
鏡面	キャリア周波数
反射回数	周波数成分数
	2 鏡面を平行に並べパーティクルを 1 つ使用した場合 ( 水平方向の反射のみ ) 反射回数 1 回 : $f_1 = 2$ 反射回数 2 回 : $f_2 = 4$ 反射回数 n 回 : $f_n = f_{n-1} \times 2$ ( $f_n$ : 反射回数 n 回のときの周波数成分数 )
パーティクルの大きさ	キャリアとの差の周波数
	パーティクルが円形の場合パーティクルの大きさ、つまり半径によって、パーティクルの中心の鏡面からの距離が求められるため、大きさを変化させることはキャリアとの差の周波数に対応
パーティクルの数	周波数成分数
	周波数成分の発生源の数に対応
パーティクル同士の位置関係	周波数成分分布
	パーティクル同士の位置関係はパーティクルの中心の距離関係であるため、周波数成分分布に対応
パーティクルの明度	周波数成分の振幅
	鏡面での反射率として考えることで、反射の都度、鏡像のパワーが減少するものとする、周波数成分の振幅に対応
パーティクルの色	周波数成分の振幅
	鏡面での透過率がパーティクルの色により変化すると考えることで、明度と同様に周波数成分の振幅に対応
パーティクルの形状	変調効果
	パーティクルの動きに影響を及ぼすと考えられるため、時変のパラメータや変調機能に利用可能
パーティクルの材質	変調効果
	摩擦力などパーティクルの動きに影響を及ぼすため、時変のパラメータや変調機能に利用可能
鏡面の仕様 ( 3 面鏡 , 4 面鏡 )	周波数成分分布
	周波数成分の分布の形態に対応

表 1. 万華鏡の要素と音パラメータの対比 .

### 3. パラメータ制御

本稿では万華鏡の要素と音パラメータの関係の中でも、パーティクルの位置、パーティクルの明度、反射回数、パーティクル同士の位置関係といった周波数成分構成に関連する4要素に着目し、その制御方法について考えてみた。

#### 3.1. パーティクルの位置

パーティクルの位置は鏡面との距離、即ちキャリアの周波数との差を表すことになる。また、パーティクルの位置はパーティクルの大きさに影響を受ける。これはパーティクルが鏡面内を移動する際に、パーティクルが大きい、つまり半径が大きい場合にはパーティクルの中心が鏡面に接近できないといった移動範囲が制限を受けるためである(図3)。

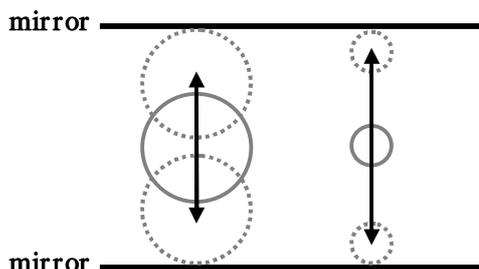
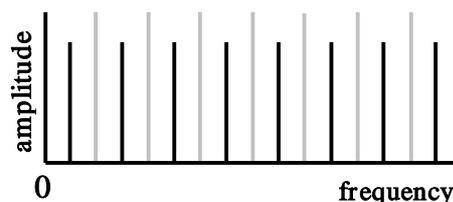
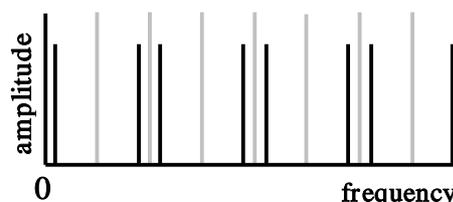


図 3. パーティクルの大きさと移動範囲

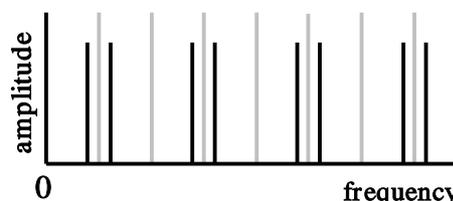
こうして決定するパーティクルの位置は音合成において周波数成分の分布に直に働きかける。図4はパーティクルの位置と周波数成分の関係を表しており、パーティクルの位置は2鏡面内(0-1)の値で設定するものとしている。パーティクルの位置が変化することで、周波数成分分布は大きく変化する。これは、生成される音全体の印象、特に音色や響きに大きな影響を与える。



a) パーティクルの位置 0.5



b) パーティクルの位置 0.2

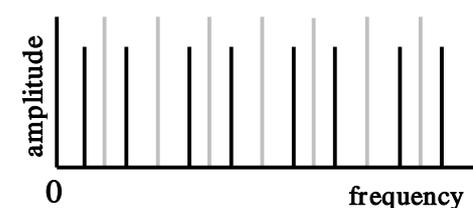


c) パーティクルの位置 0.8

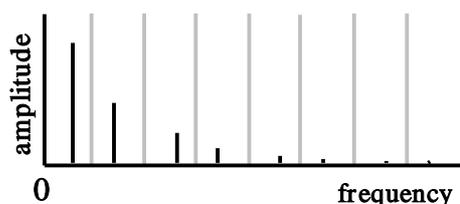
図 4. パーティクルの位置と周波数成分分布

#### 3.2. パーティクルの明度による反射率

2.2で述べたようにパーティクルの明度は鏡面での反射率として考えることができる。このとき反射の度に鏡像のパワーが減少すると捉えることができるため、この反射率は周波数成分の振幅のコントロールに利用可能となる。図5は反射率による周波数成分の振幅の変化を表している。図5(a)は反射率100%で全く周波数成分の振幅に変化が起こらない様子が表れている。図5(b)は反射率50%のため、周波数成分の振幅は1/2のべき乗となっている。実際の楽器音や自然界の音などの音色を決定付けている重要な要素の1つは倍音構成であるため、この反射率による周波数成分の振幅の制御は生成音の音色や自然性に影響を与える。



a) 反射率 100%

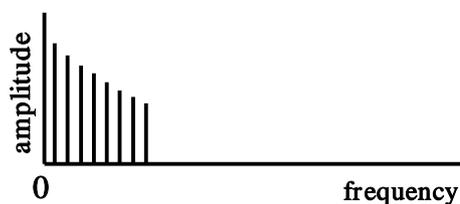


b) 反射率 50%

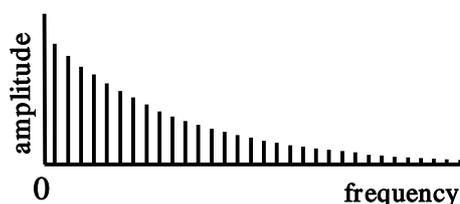
図 5. 反射率による周波数成分の振幅構成 .

### 3.3. 反射回数

反射回数は発生する周波数成分の数の増減をコントロールする . 反射回数が増加するにつれて発生する周波数成分も増加するので高周波数成分を多く含んだ音の生成が可能となる ( 図 6 ) .



a) 反射回数 3 回



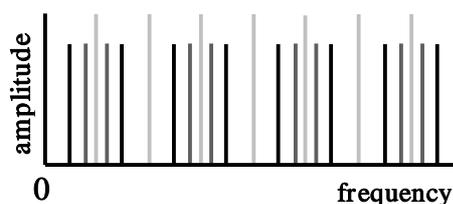
b) 反射回数 5 回

図 6. 反射回数と周波数成分分布

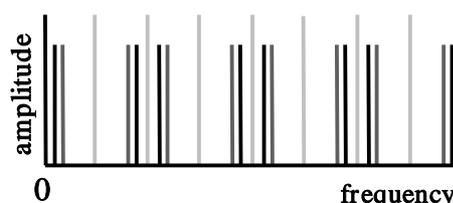
### 3.4. パーティクル同士の位置関係

3.1. によるパーティクルと鏡面の位置関係と合わせて , 異なるパーティクル同士の位置関係も

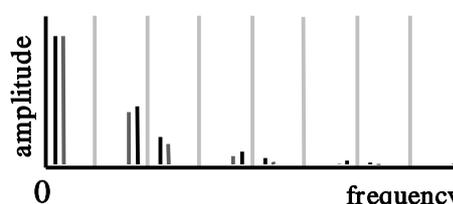
周波数成分の構成に影響を及ぼす . 図 7 はパーティクル P1 , P2 の 2 つを使用した際の周波数成分構成を表している . 図 7 ( a ) では 2 つのパーティクルの中心の位置は一定間隔を保っている . このような場合は複数の音が混ざったような音が生成可能である . 図 7 ( b ) は 2 つのパーティクルの中心同士が極めて近い場合の周波数成分の分布を表している . このような 2 つのパーティクルの中心の間隔が極短い場合 , ビートが発生する . この効果は , 生成音にゆらぎを与えることを可能にする . よって , 2 つのパーティクルの中心点の間隔が徐々に離れるにつれてゆらぎのスピードが高まり一定の距離を越えると複数の音が混ざったような音が発生する . 図 7 ( c ) は 2 つのパーティクルにそれぞれ反射率を与え周波数成分の振幅構成を変化させたものである .



a) P1の位置 0.5, P2の位置 0.8.



b) P1の位置 0.2, P2の位置 0.3.



c) P1の位置 0.2, P2の位置 0.3,

P1の反射率 45% , P2の反射率 40% .

図 7. 2 つのパーティクルを使用した際の周波数成分分布 .

#### 4. 評価実験

以上のパラメータ変化が音生成において効果的な働きを持つかどうかを調査するため評価実験を行った。評価実験には機能を限定した評価実験用音 GUI を使用した (図 8)。

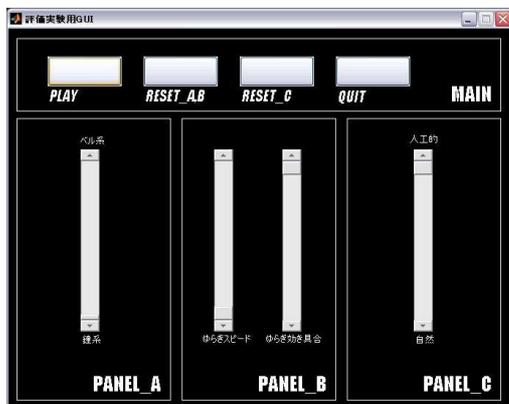


図 8. 評価実験用音 GUI

評価実験用音 GUI はパネル A, パネル B, パネル C の 3 つで構成されている。A ではパーティクルの位置を利用して、鐘からベルといった出力音の質感変化, B ではパーティクル同士の位置関係を利用してゆらぎの発生具合とゆらぎのスピード変化, C では反射率と反射回数を利用して、出力音の響きの自然 / 人工性の変化を行う。パネル上のスライダの操作による出力音の変化の大きさ, またスライダの操作が出力音に効果的に反映するかどうかを, 表 2 の a から i の 9 項目で評価した。

スライダー	変化量	効果的
質感変化 (鐘-ベル)	a	b
ゆらぎスピード	c	d
ゆらぎ効き具合	e	f
自然性	g	h
出力音	i	

表 2. 評価項目

評価方法は評価実験用音 GUI を被験者 29 人に実際に使用してもらい, 評価項目を「1:非常に悪い, 2:悪い, 3:普通, 4:良い, 5:非常に良い」の 5 段階で MOS 評価するものとした。表 3 は各評価項目に対する評価結果を表している。表 3 より, 全ての項目で一定以上の効果が得られることが明らかになった。また出力音にも一定以上の評価が得られた。

評価項目	MOS
a	3.72414
b	3.31034
c	3.65517
d	3.79310
e	3.37931
f	3.75862
g	4.06897
h	3.37931
i	3.75862

表 3. 評価実験結果

#### 5. 万華鏡方式音合成 GUI の実装

以上を踏まえて万華鏡方式音合成 GUI を MATLAB で実装した (図 9)。本 GUI ではパーティクルを 5 つまで使用することが可能であり, パーティクル毎に明度や鏡面内での位置などのパーティクルのパラメータの設定を行うものとしている。GUI 上部で万華鏡とパーティクルの設定, 下部でエンベロープや基本周波数といった音合成の基本的なパラメータを設定するものとしている。

図 10 はパーティクルの設定を行う部分を拡大表示したものである。この部分はパーティクルの明度や色などのパーティクル自体を変化させる際に使用する。繊細な変化を可能とするために設定にはスライダーとエディットボックスの双

方を使用するものとした。スライダーを操作し、その値によって決定されるパーティクルの状態が視覚的に判断できるようにするため、スライダー群の隣にパーティクルの状態をグラフィクス表示させている。次に鏡面内でのパーティクルの位置の設定は図 11 にて行う。鏡面内での位置設定には生成したい音の種別により位置を決定するスライダーと、実際に鏡面内の位置を決定する 2 通りの方法を用意している。またパーティクルを移動させる場合は移動範囲を限定させることで生成される音の音色や響きをコントロールす

る。また 5 つのパーティクルの状態を個別にチェックできるようにするため、パーティクルにそれぞれ A, B, C, D, E の名前を付け、これをフレームによって切り替える方法を取った。これにより、パラメータ値の確認・修正の作業を簡略化させている。

基本周波数やエンベロープなど音合成の基本的なパラメータの設定には一般的なソフトウェア・シンセサイザーの方法を取り、スライダーの利用、エンベロープの視覚表示を行った。

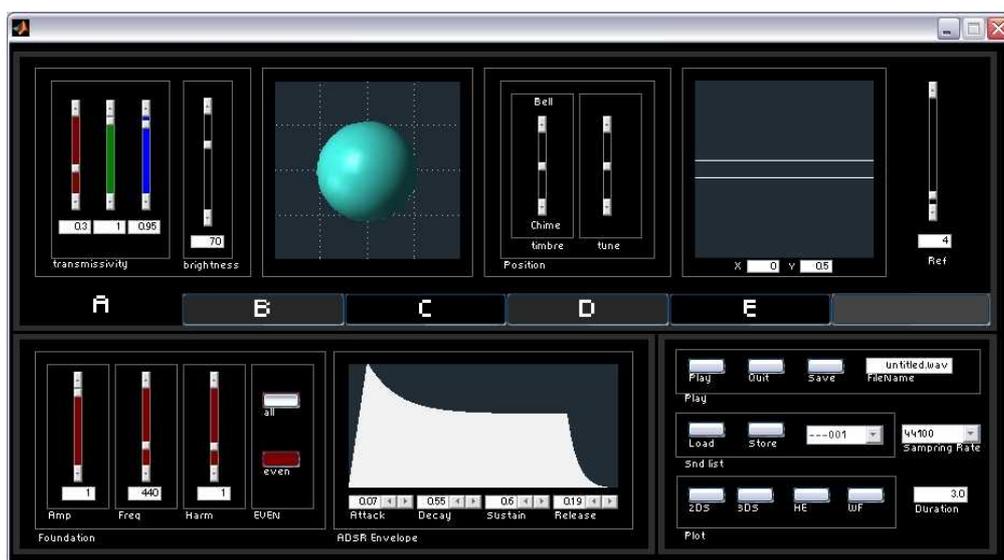


図 9. 万華鏡方式音合成 GUI

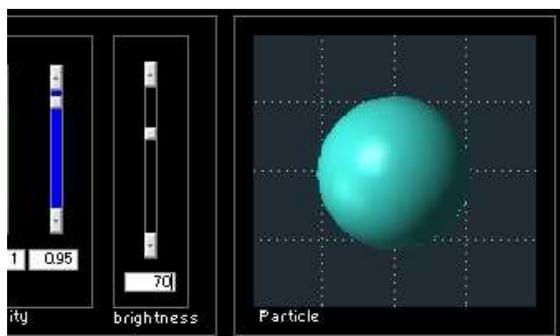


図 10. パーティクルの設定

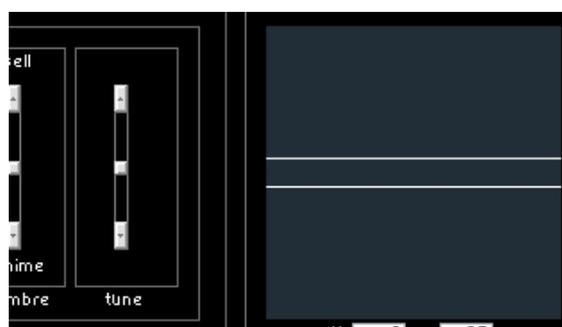


図 11. パーティクルの位置設定

## 6. まとめ

本稿では万華鏡方式音合成法を音表現作成インタフェースとして利用するためのパラメータの利用方法と GUI として実装を行う方法の報告を行った。音パラメータに対応させると周波数成分の構成に影響がある要素として、パーティクルの位置、明度による反射率、反射回数、パーティクル同士の位置関係の4つを取り上げた。

評価実験より、パーティクルの位置は周波数成分分布の変化となり音の質感に、パーティクル同士の位置関係はゆらぎの発生に、そしてパーティクルの明度は反射率として利用することで周波数成分の振幅の変化となり出力音の響きの自然性に一定以上の影響を及ぼすことが明らかになった。また、実際の万華鏡にはまだまだ多くの要素を音合成に利用できる可能性が秘められており、新しい要素を使用することは音合成と音表現作成インタフェースの両方の側面において興味深い働きが期待できる。

## 参考文献

- [1] 長嶋洋一, “音楽インターフェースとしての Scanned Synthesis,” 2004 情報処理学会 研究報告 - 音楽情報科学, Vol.2004 No.41, 2004 - MUS - 055.
- [2] 江渡浩一郎, “アート・エンターテインメントにおける音インタフェース,” 2004 情報処理学会 研究報告 - 音声言語情報処理, Vol.2004 No.74, 2004-SLP-052.
- [3] Curtis Roads (著), コンピュータ音楽-歴史・テクノロジー・アート, 青柳龍也 (訳・監修), pp.110-212, (社)東京電機大学出版局, 東京, 2001.
- [4] 貝田真啓, 相川清明, “鏡像特性を用いた万華鏡方式音合成法,” 2005 信学技報, EA2005-31, pp.7-12, (2005 - 7).
- [5] 貝田真啓, 相川清明, “鏡像特性を用いた万華鏡方式音合成法のパーティクル操作,” 日本音響学会講演論文集, pp.719-720, (2005 - 9).