

模擬育種法に基づく作曲支援システムの試み

創価大学工学部情報システム学科 畝見 達夫, 中田 詠一

A Support System for Music Composition based on Simulated Breeding

Tatsuo Unemi and Eiichi Nakada

Department of Information Systems Science, Soka University

Abstract: This paper presents a design of support system for musical composition based on Simulated Breeding, a type of interactive optimization technique of Interactive Evolutionary Computing. In our prototype system named Sbeat, each individual in the population is a short musical section of sixteen beats including three parts, guitar, bass, and drums. The melody and rhythm are generated by a type of recursive algorithm from genetic information. By selecting favorite piece among scores displayed on the screen, the user listens to the sounds and decides which should be the parents to reproduce offsprings in the next generation which is generated through mutation and crossover. Embedding some domain specific functions, we can build a useful tool to make it easier for a beginner to compose his/her favorite musical pieces.

1 はじめに

対話型進化計算法 [高木 98a, Takagi98b] は、ユーザの主観的な評価基準による最適化の手法として有効である。通常の進化的計算法とは異なり、前もって定義された評価関数によって各個体に対する適合度を計算するのではなく、ユーザが直接的に各個体に評価をください。対話型進化計算法の一つである模擬育種法 [畝見 94] では、ユーザが気に入った個体を直接選びだし、次世代の個体群を生成するための親とする。つまり、適合度は 1 または 0 である。この方法では親個体の確率的選択はなされないが、ユーザがすべての個体に適合度を割り当てる必要はなく、ユーザの操作量を軽減できるという利点がある。

模擬育種法の応用領域として成功をおさめた分野の一つに CG アートがある。芸術分野では作者あるいは鑑賞者の主観的な判断が最も重要な評価基準となるため、対話型進化計算法の恰好の応用領域とされ、多くの応用が試みられてきた。音楽や効果音の設計も同様に主観的評価が必要な領域である。画像の品種改良システム [Unemi99] では、コンピュータの画面に 1 度に 16~20 の候補画像を表示しても、ユーザは僅かな時間でそれらの優劣を判断することが可能であり、選択に時間を要することはない。しかし、音響情報そのものは同時に複数を 1 人のユーザに提示することは困難であり、各個体の評価には相応の時間が必要となる。このため、次世代の親の候補となる個体の集団サイズは画像の場合よりも小さくならざるを得ない。この点からも、集団内のすべての個体に適合度を割り当てる対話型遺伝的アルゴリズムよりも模擬育種法を用いる方が適切であろうと考えられる。

J. A. Biles [Biles96] は、音楽に固有の問題を解決するために独自の評価インタフェースを提案し、それを実装した

システム GenJam を用いて、作曲および即興演奏エージェントの設計を行っている。GenJam では集団内の各個体が交互に演奏を受け持ち、ユーザは演奏を聞きながら 'g' (= 良し) あるいは 'b' (= 悪し) のキーを押すことにより評価を入力する。ユーザは聞いているフレーズと個体の対応を認識する必要もないし、個体毎の評価を明示的に与える必要もない。

本研究の目的の一つは、音楽の品種改良システムにおいて GenJam と異なる模擬育種法のユーザインタフェースの有効性を検証することにある。先行研究として G. L. Nelson の Sonomorph [Nelson93, Nelson95] があるが、実験的なものに留まっている。ここでは、初心者のための実用的な作曲支援システムを目指す第一歩として複数パートからなる短いフレーズを個体とするシステムの設計を試みる。コンピュータの性能向上とマルチメディアを駆使したウェブを中心とするインターネットサービスの普及によって、非専門家による手軽な作曲支援システムの需要は確実なものとなりつつある。模擬育種法はこのような要請に答えるための有効な枠組みとなりうるものと考えられる。

応用システムの成功のもう一つの鍵は、形態形成、つまり、遺伝型から表現型への変換方法である。人間が作曲した多くの音楽には曲組、コード進行、フレーズといった多重階層構造がある。ここでは、そのような構造を表現型に内包させる仕組みとして、再帰アルゴリズムによる譜面の生成を取り入れる。

以下の節では、Sbeat と名付けられたプロトタイプシステムの設計について、個体の表現型、遺伝型の構造、形態形成過程、ユーザインタフェース、育種プロセスの例のそれぞれを順に説明する。

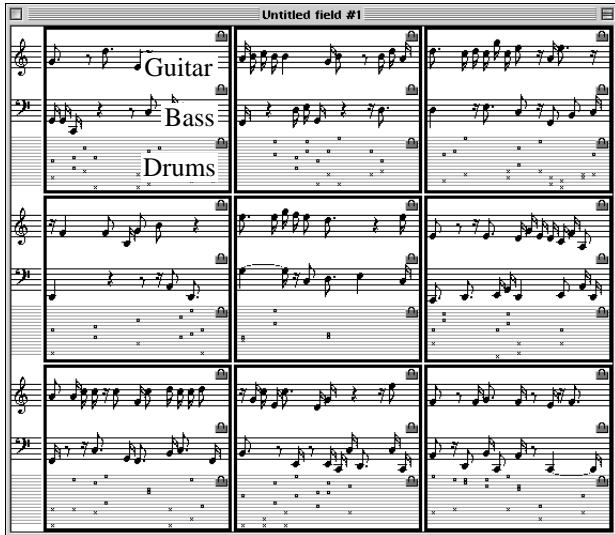


図 1: A typical window of Sbeat containing nine initial individuals as an initial population.

2 個体の表現型

ここでの表現型、つまり選択対象の単位は、ギター、ベース、ドラムスの3つのパートからなる16拍程度の長さの短い小節とする。集団サイズは9程度で、図1にあるようなウィンドウに各個体の譜面を表示する。3×3に配置されたサブウィンドウの1つ1つが各個体に対応する。それぞれ上からギター、ベース、ドラムの3つのパートを並べ、4/4拍子1小節を1個体とし、拍の最小単位を16分音符として表示している。現在のところ3連符や32分音符は実装されていない。ユーザは、表示された譜面およびコンピュータに装備されたGeneral MIDI[MMA95]音源によって再生される音に基づいて次世代の親となるべき個体を選択する。

ギターパートでは、譜面に示された音と同時に2度下の音も同時に演奏される。初期設定での音色はナイロン弦だが、ユーザは5節で述べるパートオプションダイアログを使ってGeneral MIDIに用意されたその他の音色、スチール弦、エレクトリックジャズギター、エレクトリッククリーン、エレクトリックミュート、オーバードライブ、ディストーションのいづれかに変更することもできる。

ベースパートは、譜面に示された音符より1オクターブ下の音が演奏される。初期設定での音色はアコースティックウッドベースだが、ギターの場合と同様、エレクトリックフィンガーベース、エレクトリックピック、フレットレス、スラップ、シンセベースなどに変更できる。

ドラムパートは、表1に示す16種類の楽器から同時に2つを選んで演奏される。General MIDIのドラムキットにはその他のパーカッションを含め、30以上の楽器が用意さ

表 1: Sixteen instruments selected from General MIDI drum kit.

| n | m | instrument name |
|-----|-----|-----------------|
| 0 | 36 | Bass Drum 1 |
| 1 | 41 | Lo Floor Tom |
| 2 | 43 | Hi Floor Tom |
| 3 | 45 | Lo Tom Tom |
| 4 | 47 | Low Mid Tom Tom |
| 5 | 48 | Hi Mid Tom Tom |
| 6 | 50 | Hi Tom Tom |
| 7 | 37 | Side Stick |
| 8 | 38 | Acoustic Snare |
| 9 | 42 | Closed Hi Hat |
| 10 | 44 | Pedal Hi Hat |
| 11 | 46 | Open Hi Hat |
| 12 | 49 | Crash Cymbal 1 |
| 13 | 51 | Ride Cymbal 1 |
| 14 | 55 | Splash Cymbal |
| 15 | 53 | Ride Bell |

n = decimal number of genetic code.

m = General MIDI drum kit number.

れているが、ここでは、通常のドラムセットに装備される太鼓とシンバルから16種類を選択した。

3 遺伝型の構造

ここでは1個体に対応する遺伝情報つまりゲノムは、各パートの各拍に関する情報を格納した2次元バイト配列の上に表現する。図2に、その構造と、要素のバイトのビット割り当てを示す。8ビットで構成される各バイトの上位4ビットはリズムを、下位4ビットは音階に対応する情報を含む。ドラムパートでは音階ではなく楽器の種類を指定する情報とみなす。リズム部分の4ビットは以下のように解釈される。

- (1) もし最上位ビットが1であれば、それまでの音を続ける(継続)
- (2) もし上位3ビットが011₂であれば、音を鳴らさない。(休符)
- (3) いづれでもなければ、音階情報に従って音を鳴らす(演奏)

すなわちランダムに生成された遺伝型では、音の継続の確率は50%、休符は12.5%、演奏は37.5%となる。これらに加え、比較的安定感のあるリズムパターンを生成するために、小節の最初および8拍目では継続を抑止し、休符の確率は12.5%のままにし、演奏の確率が87.5%となるよう

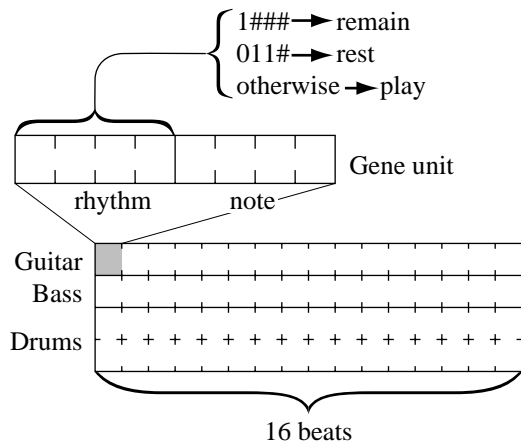


図 2: Structure of genotype.

にした。

ギターおよびベースのパートでは遺伝情報は各拍 1 バイトを割り当てるが、ドラムパートには 16 種類の楽器の中から 2 種類を選択するために 1 拍当たり 2 バイトを割り当てる。ドラムパートの 2 バイト目の上位 4 ビットは無視する。

世代交代時の遺伝操作にはビット反転による突然変異と 1 点交叉を用いる。各ビットの突然変異率は 5% とした。模擬育種法では、少ない個体数の中での多様性を確保するために比較的高い突然変異率を用いるほうがよい。交叉における分割の箇所は拍単位境界、つまりバイト境界のみとし、1 から 15 の中からランダムに選んだ位置で前後に分割する。ユーザが 1 つの個体のみを選択した場合は突然変異のみが施される。2 つの個体を選択した場合には交叉のみが行われる。いずれの場合でも、親個体は、次世代もそのまま残され、選択されなかった個体が新たに生成された子孫に置き換えられる。

4 遺伝型からの譜の生成

遺伝型から表現型を生成する発生過程は、ランダムに初期化された遺伝子から生成される初期集団あるいは突然変異によって生成される次世代集団の中に、より好ましい候補を生成するために重要な役割を果たすものである。ランダムに生成された個体の中から、その後の進化の種として適当なものを見つけられなければ、育種は困難なものとなる。

1 つの有用な方法は表現型に含まれる特徴の発現確率を調整することである。受け入れ可能な解候補についての統計的性質が分かっているならば、遺伝型から表現型への変換手続きの中に、適切な確率分布を埋め込むことができる。上に述べた遺伝型の設計にはこのような考え方が反映されている。

もう 1 つ考慮すべき点は候補の類似性という視点からとれた表現型の構造である。他の分野と同様に音楽の領域

```

fill_notes(gene, width) begin
  w := (width + 1) / 2;
  if w ≤ 1 then set_note((gene[0] & 01112) + 4);
  else fill_notes(gene, w);
  i := w;
  while i < width do begin
    s := (gene[i - w] & 11112) + delta(gene[i]);
    set_note(min(max(s, 0), 15))
  end
end
end

```

図 3: Recursive algorithm to generate the basic score from genotype. The procedure `set_note(k)` stores integer k as the next integer for the basic melody sequence. The function `delta(x)` returns an integer in $[-2, 2]$ based on the note part of the value of argument x .

でもコード、メロディ、テンポ、リズムというように 1 つの音楽を特徴付ける複数の属性がある。すなわち、候補間の類似性は多次元空間を構成する。突然変異体と元の個体とのある程度の類似性を保証するには、遺伝型の構造およびそれを解釈する発生手続きが表現型の構造を反映するものであることが望ましい。この考え方に基づいて、遺伝型から基本となる旋律を生成するための再帰アルゴリズムを設計した。これにより、遺伝型の類似性と聞き手の曲の類似性についての感覚をある程度一致させることができる。再帰アルゴリズムはフラクタル構造に基づくアルゴリズム作曲にも用いられるが、ここでの再帰アルゴリズムの目的は類似性を保証することにあり、フラクタル構造が生成されるわけではない。

図 3 にアルゴリズムの詳細を示す。基本旋律は個体の拍数 (ここでは 16) 個の整数で表現される音階の列である。 i 番目の整数は i 番目の拍に対応する遺伝子と、 $(i - w/2)$ 番目の整数から計算される。 w は j を任意の整数としたときの i よりも小さな最大の 2^j の値である。このアルゴリズムは生成すべき譜の長さが 2 の冪乗でない場合でも、譜を前後 2 つに分割することで適用可能である。長さが奇数の場合には前半を 1 拍長めにすれば良い。これとは別の方法として、2 ではなく割り切れる最小の素数を用いて分割することも考えられる。

生成されたそれぞれの整数は、平均律の半音単位 (1 オクターブ = 12 音階) ではなく、長調 (あるいは短調) の 1 オクターブ 7 音階に対応させる。ここでは整数値の範囲を 0 から 15 に制限しているため、音域は 2 オクターブと 2 度となる。

ギターパートの譜は上記の基本旋律とリズム情報の組み合わせを元に、リズム情報が「演奏」である拍に対応する音

を基本旋律の対応する位置の整数から求めることにより生成する．対応するリズム情報が継続あるいは休符である場合には，基本旋律情報は無視される．ベースとドラムのパートのリズムパターンは，ユーザの指定によりギターパートと共有させることも，各々独立のパターンにすることもできる．ギターパートと共有する場合は，それぞれのリズム情報は無視され，ギターパートと同期したフレーズが生成される．ベースパートの音階は，基本旋律から2オクターブ下の音あるいは，それに ± 2 度ずらした音とする．基本旋律との差は対応する拍の遺伝情報から決定する．

5 ユーザインタフェース

進化的計算法一般において重要なパラメータの1つは集団サイズである．特に対話型進化計算法では，先に述べたとおり集団サイズは直接的にユーザインタフェースの設計に関わってくる．ここで採用する模擬育種法では基本的に集団内のすべての個体を一度に表示する．図1に示したとおり，ここでは集団サイズを9個体とした．この9という数はシステムの試作をとおしていくつかのサイズを試した経験から決めたものである．経験的には12個程度が最大数の限界と思われる．育種対象が画像の場合には，ユーザは20個程度の表現型を数秒で一覧でき，それらの間の比較も容易だが，音楽の場合には判断に時間がかかるため，比較対照のためにユーザが記憶することも考えると，この程度の数が適当と思われる．

SBARTに取り入れられたマルチフィールドインタフェース [Unemi98] の機能も導入した．これは複数の個体集団を同時に独立に育種する方法であり，コピー&ペースト操作による集団間の個体の移住を利用することで，生物における島モデルのように，多様性の維持がはかろうというものである．特に集団サイズが小さい場合には効果は大きい．

個体に対応するサブウィンドウをクリックすることで，その表現型である音を鳴らすという方式は，Sonomorph や GA Music [Moore95] と同様である．高木，大崎の補聴器のパラメータチューニングのためのシステム [Takagi99] にも同様のインタフェースが用いられている．Sonomorphの改良版を除き，これらのシステムはみな単純なボタンを配置しているだけで，それぞれの個体の特徴を視覚的に把握できるような情報は何も示されていない．Sonomorphの改良版では，旋律を単純な線分の配列によって表示し，視覚的もある程度旋律が読み取れるようになっている．ユーザの判断を助けるために視覚的な情報を与えることは重要である．音を聞くには音の長さに対応した時間が必要であるが，視覚情報であれば，慣れも必要だが，数秒で特徴のある程度把握することが可能になる．サブウィンドウのクリックによる試聴は，視覚情報から判断して見込みのありそうな個体だけに限定でき，操作を効率化することができ

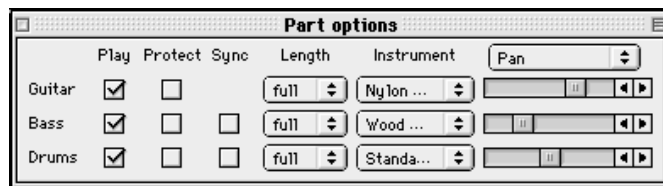


図 4: Part option dialog.

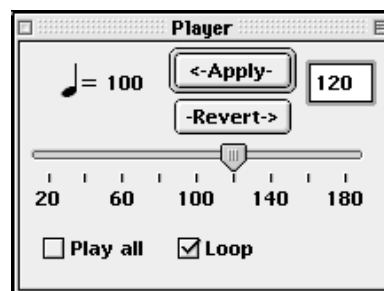


図 5: Player option dialog.

る．譜面を読み慣れたユーザなら，音を聞かずとも表示された情報から音を連想することもできよう．また初心者にとっては，システムを使う中で譜面から音楽の特徴を読み取る能力を徐々に獲得することができるかも知れない．

音の再生のモードとして，クリックした個体をくり返し演奏するモードと，クリックした個体から次々に表示された順に個体の譜面を演奏していくモードを用意した．集団内の全個体を評価するには後者のモードが役に立つ．

ユーザは図4に示すダイアログウィンドウを使って，パート毎の付加的な属性を変更することができる．Playと書かれた桁のボタンのチェックを外すと，そのパートの演奏音を消すことができる．Protectと書かれた桁のボタンをチェックすると，そのパートに対応する遺伝子を突然変異の対象から除外できる．これらの機能を組み合わせることでパート毎に独立した育種が可能となる．Syncと書かれた桁のベースおよびドラムパートのボタンはギターパートとのリズム情報の共有を指定する．前節で述べたとおり，これにより同期したパターンが生成される．Lengthと書かれた桁のポップアップメニューによって小節内のフレーズを2回あるいは4回のくり返しパターンに変更することができる．この場合，前半1/2あるいは1/4の遺伝情報のみが使われ残りは無視されることになる．Instrumentと書かれた桁のポップアップメニューでは2節に述べたように楽器の種類を指定することができる．右端の桁は演奏時の効果を制御するためにある．右上端のポップアップメニューは制御すべき効果の種類を選ぶためのものであり，その下にパートごとに並べられたスライダーは，対応するパートの制御パ

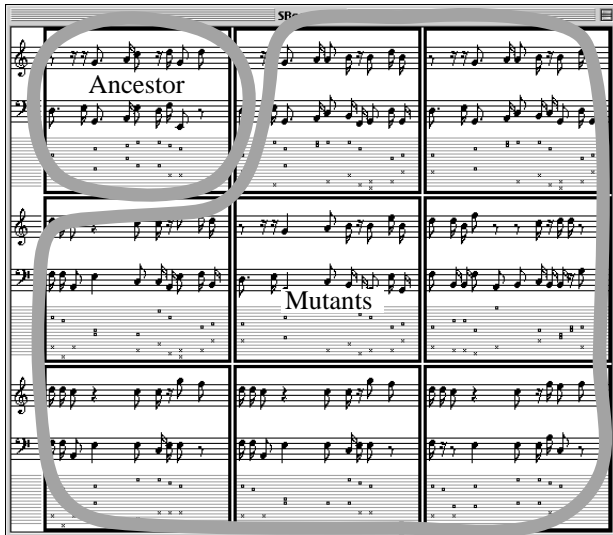


図 6: Individuals after mutation. The individual at upper left corner is the ancestor of mutants.

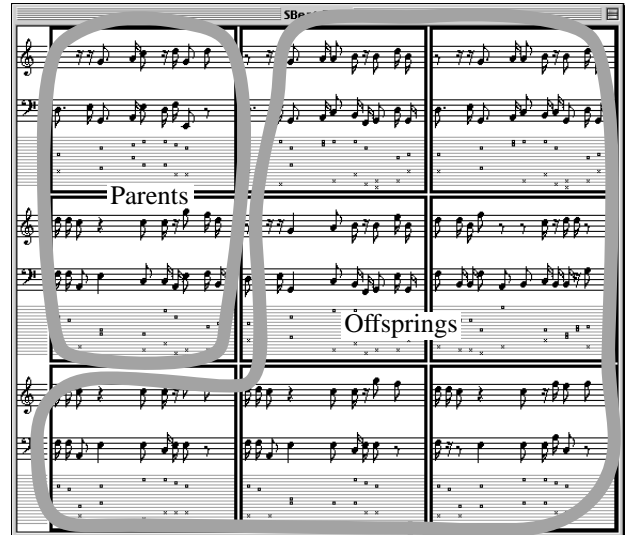


図 7: Individuals after crossover. The individuals at upper left corner and middle left position are the parents.

ラメータを指定するためのものである。制御対象となる効果には、パン（左右バランス）、リバーブ、コーラス、トレモロ、セレステを用意しているが、音源や楽器によってはサポートされない場合もある。

また、ユーザは図 5 に示すダイアログウィンドウを使い演奏のテンポを変更することもできる。1 分当りの 4 分音符の個数を 20 ~ 180 の間の任意の整数値に設定する。

品種改良によって出来上がった 1 小節分の譜面を組み合わせ何小節かにわたる曲を構成するために個体あるいは個体を構成するパートをコピー＆ペーストの操作により移動する機能、および、統合用に用意された別のウィンドウにペーストする機能も用意した。また、出来上がった音符データを別のデスクトップミュージック (DTM) 用のアプリケーションソフトウェアに入力できるよう、MIDI データをファイルに格納するための標準フォーマットである Standard MIDI File (SMF) の形式に保存する機能も用意している。SMF 形式のファイルには、テンポおよびパートオプションダイアログで指定された音色、効果の情報も保存される。

6 育種プロセスの例

育種プロセスはランダムに生成された遺伝情報からなる初期集団の評価から始められる。もし、それなりに気に入ったフレーズが見つからなければ、ユーザは集団を再初期化することで、新たにランダムに生成された遺伝情報で全体を置き換えることができる。集団サイズが小さいため、多くの場合、何回かの再初期化が必要かも知れない。また、初期化の前後で、テンポや音色の種類などの付加的な条件を変更することも有益であろう。

1 個体のみを親として選択した場合には、世代交替によ

て選択されなかった個体が選択された個体の突然変異体で置き換えられる。図 6 は、突然変異直後の集団の例である。ここでは左上角のサブウィンドウに表示された個体が親であり、その他は、その突然変異体である。4 節で述べたように、遺伝型から表現型を生成する再帰アルゴリズムによって、親と子の類似性が確保されている様子が見て取れよう。

ユーザが 2 つの個体を親として選択した場合は、交叉によって次世代の個体群が生成される。図 7 に交叉による世代交代の直後の表示例を示す。ここで、親個体は左上および左中段の 2 個体である。3 節で述べたように、遺伝型を前半と後半に分割するため、新たに生成される遺伝型は 2 つの親の遺伝情報からそれぞれの前半と後半を引き継ぐことになる。4 節で述べた再帰アルゴリズムによって生成される表現型は、前半部分は親の表現型をそのまま引き継ぐことになるが、後半部分は、生成過程で前半の表現型の影響を受けるため、親の形質をそのまま受け継ぐことはない。

3 つのパートのうちの 1 つあるいは 2 つがユーザの満足するものであれば、パートオプションダイアログを使ってそれらを保護し、残りのパートだけを改良することができる。

7 おわりに

模擬育種法を用いて短い音楽を作成するシステムの設計について述べてきた。実用化に向けたシステムの設計はまだ緒についたばかりであるが、模擬育種法が初心者のための作曲支援の手段として有効であろうとの感触を得ることができた。

今後、拡張すべき機能としては、

- (1) 同時に扱えるパート数を最大 16 パート程度まで増やす。

- (2) 強弱やアタック、揺らぎなど楽器に応じた効果についても育種の対象とする。
- (3) コード進行、曲組など、上位の曲構造の育種とも組み合わせる。

などが考えられる。これらの機能の導入には、より多くの遺伝情報が必要となる。特徴毎の育種の方法や、GenJamに用いられたような階層化された集団構造などの導入を検討する必要がある。

また、システムの利用方法として、人間による演奏を前提にした作曲を考えるならば、演奏家による楽器操作の性質を反映した曲づくりが必要となろう。

あるいは Moroni らの Vox Populi [Moroni99] のように、システム自身を新たなタイプの楽器とみなした使い方も考えられる。ここで提案したシステムでも突然変異によって親個体から様々なバリエーションが生成される。短いフレーズのバリエーションの連続という構成自身も、曲の構成方法の1つとして有用である。

今後は、様々なタイプのユーザを想定し、使い勝手についての調査も行いながら実用化を目指したいと考えている。

参考文献

- [Biles96] Biles, J. A., Anderson, P. G. and Loggi, L. W. (1996) "Neural Network Fitness Functions for a Musical IGA," *IIA '96/SOCO'96. International ICSC Symposia on Intelligent Industrial Automation And Soft Computing*, B 39–44.
- [MMA95] Midi Manufactures Association (1995) *The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification*, Midi Manufactures Association, La Habra, CA.
- [Moore95] Moore, J. H. (1995) <http://www-ks.rus.uni-stuttgart.de/people/schulz/fmusic/gamusic.html>
- [Moroni99] Moroni, A., Manzolli, J., von Zuben, F. and Gudwin, R. (1999) "Evolutionary Computation Applied to Algorithmic Composition," *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation (CEC '99)*, Vol. 2, 807–811.
- [Nelson93] Nelson, G. L. (1993) "Sonomorphs: An Application of Genetic Algorithms to Growth and Development of Musical Organisms," *Proceedings of the Fourth Biennial Art & Technology Symposium*, Connecticut College, 155–169.
- [Nelson95] Nelson, G. L. (1995) "Further Adventures of the Sonomorphs," *Proceedings of the Fifth Biennial Art & Technology Symposium*, Connecticut College, 51–64.
- [Rowbottom99] Rowbottom, A. (1999) "Evolutionary Art and Form," in Bentley, P. J. (ed) *Evolutionary Design by Computers*, 261–277, Morgan Kaufmann.
- [高木 98a] 高木 英行, 畝見 達夫, 寺野 隆雄 (1998) 対話型進化計算法の研究動向, *人工知能学会誌*, 13, [5], 692–703.
- [Takagi98b] Takagi, H. (1998) "Interactive Evolutionary Computation – Cooperation of computational intelligence and human KANSEI," *Proceedings of the 5th International Conference on Soft Computing (IIZUKA '98)*, 41–50, World Scientific.
- [Takagi99] Takagi, H. and Ohsaki, M. (1999) "IEC-based Hearing Aid Fitting," *Proceedings of the IEEE Conference on System, Man and Cybernetics (SMC '99)*, 657–662.
- [畝見 94] 畝見 達夫 (1994) 人工生命が作ったアートの世界 – 人工生命とコンピュータグラフィックス, 柴田 崇徳, 福田 敏男 編, 人工生命の近未来 – 新たな生を作るテクノロジー, 時事通信社.
- [Unemi98] Unemi, T. (1998) "A Design of Multi-Field User Interface for Simulated Breeding" *Proceedings of the third Asian Fuzzy Systems Symposium*, 489–494.
- [Unemi99] Unemi, T. (1999) "SBART2.4: Breeding 2D CG Images and Movies, and Creating a type of Collage," *Proceedings of The Third International Conference on Knowledge-based Intelligent Information Engineering Systems*, 288–291.