

電子楽器のメタファを取り入れた書道表現ソフトウェア

内平 博貴 宮下 芳明

明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻デジタルコンテンツ系

本稿では、電子楽器のサンプラーやシンセサイザのメタファを取り入れることによる書道の新しい表現手法を提案する。目的は描画ツールで困難であった筆の掠れなどの表現を容易にすることと、電子楽器のメタファを取り入れることにより書道の新しい表現方法を提案することである。サンプラーメタファではモデルとする書をマウスポインタでなぞることによってスキャンし、描画面面でサンプル群を出力することで描画を行う。シンセサイザメタファでは電子楽器で音作りをするように一筆を生成する。掠れや滲みなど制御の難しい要素をデザインできる機能として提案する。またミキサーやエンベロープ・コントローラといった機能を導入し、出力画像の編集を行える。さらにサンプリング元を参照し閲覧できる機能を設け、サンプリング楽曲のように鑑賞時に参照元を発見する喜びを書に付与することで、さらに新しい表現、鑑賞スタイルを提案する。

The Calligraphy System based on the Electronic Musical Instruments Metaphor

HIROKI UCHIHIRA HOMEI MIYASHITA

PROGRAM IN DIGITAL CONTENTS STUDIES, PROGRAM IN FRONTIER SCIENCE AND INNOVATION, GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, MEIJI UNIVERSITY

In this paper, we propose a new calligraphy drawing system based on the principles behind the electronic music sampler and synthesizer. Our purpose is to render the traditional expression of calligraphy brushstrokes digitally and to propose a new mode of expression by taking after the electronic musical instruments metaphor. By sampler metaphor, the user scans over reference calligraphy images by tracing the stroke with a mouse-pointer, and rewrites a calligraphy by outputting sampled images on the drawing window. By synthesizer metaphor, we aimed to create digital brushstrokes as creating sounds by synthesizer. This is proposed as the function that is able to design a scratched or a blurred look expression. We designed the system with the idea of an electronic music device in mind, and built on this metaphor by adding further editing functions; envelope generator and mixer. Moreover, we installed a function that allows referencing back to the original images. This option allows us to relive, in graphic terms, the pleasure of discovering the original work behind a piece of sampled music.

1. はじめに

書については様々に論じられているが、その中でも「書は線の芸術である」という考え方がある¹⁾。前衛書道の先駆者である上田桑鳩も書には筆跡の美しさという独立した性質がある²⁾と述べ、書の造形芸術としての独立性を認めている。上田らの運動もあり、伝統的な古典書道とは異なる価値観の下、書の造形芸術としての美しさは注目されはじめてきた。また近年では新聞や雑誌の題字などで書がデザインとして取り入れられることも珍しくない。日本デザイン書道作家協会³⁾では、このような広告に用いる『デザイン化された書き文字』のことを商業書道や、デザイン書道と位置付け、デザイン書道を専門とした書家を多く擁して書家同士の研鑽、デザイン書道の普及などの活動をしている。このようにデザインとしての書は今後もさらに普及していくと考えられる。また、近年は情報技術の

発達により誰もがコンテンツを容易に制作・発表できる環境が整ってきていることから、自分で書をデザインしたいという創作意欲も、今後高まるのではないかと予想される。しかし、筆を自分の思い通りに操ることは容易なことではない。

そこで筆者らは書の「線」に着目し、困難な筆の操作を描画行為から切り離す手法を提案する。描画中に筆圧や墨の流量を制御するのではなく、あらかじめそれらを制御し、デザインされたストロークを使って描画することとした。このときストロークを生成する手法として、モデルとする書の画像から好みのストロークをそのまま取得して利用するシステム⁴⁾⁵⁾と、自分で掠れや滲みなどをデザインしストロークを生成するシステムの二つを実装した。これらはサンプラーやウェーブテーブル方式シンセサイザという電子楽器のメタファを取り入れることによるインタフェースデザインとなっている。

本稿はモデルとする書を一筆ごとにサンプリングして加工・出力するサンプラーメタファのインタフェース、さらに一筆を生成し、デザインするシンセサイザメタファのインタフェースを提案し、書道における新しい表現手法の可能性を考察するものである

2. 関連研究

筆を用いた描画についてはこれまで多様な研究がなされており、Painter⁶⁾やIllustrator⁷⁾の様にペイントソフトとして市販されているものも多い。これらの研究の多くはシミュレーションによりリアリティの高い表現を探究してきた。早期にこのテーマに取り組んだStrassmann⁸⁾は筆の軌跡を一次元配列を用いるという手法によって表現した。掠れや滲みに着目した研究ではフラクタル計算法⁹⁾、ファジィ計算法¹⁰⁾、くりこみ群計算法¹¹⁾を用いたものなどがある。Nelson S.H. Chuらは高度なシミュレーションによる筆先の形状モデリング¹²⁾や、墨の流れを表現したMoXi¹³⁾によって極めてリアリティの高い描画表現を可能にした。また、筆先の触覚を再現したDAB¹⁴⁾や視覚によって触覚的書き味を表現した味ペン¹⁵⁾は触覚に着目して筆を使った描画の感覚を疑似体験できるようにしたものであり、リアルな操作性を研究している。これらの研究はデジタル環境における書の表現の可能性を広げてきたが、どれも身体と画面の中での筆先の動きを完璧に再現できてはいなく、未だ意のままの結果を得られるほどの段階には到達していない。

書を対象とした研究では、描画の他に書の取得をテーマとしたものがある。Songhua Xuらは、特定の人物が書いた字から特徴を取得し、その特徴を持った字を生成させている¹⁶⁾。Howard Leungらは書から特徴を取得し、筆の動きなどのプロセスを持った書の保存を可能にした¹⁷⁾。書の取得の多くは筆跡の外形を、適切な大きさの楕円を当てはめることにより取得するが、Droplet¹⁸⁾複数の雫の形状を筆跡に当てはめることにより、掠れも考慮した外形の取得を可能にしている。YuとPengは取得した書の形状に別の書のテキストを当てはめるという表現を提案している¹⁹⁾。中小路らは、書の熟達者の筆の動きを取得し、再現することで筆の動きやリズムを取り入れた書道教育を提案している²⁰⁾。

また、一般の描画表現においても他作品や描画行為の取得による新しい表現が提案されている。Sequential Graphics²¹⁾は一筆ごとの動きをそのまま作品に取り入れることによって絵に動きを与えるという新しい表現を提案し、躍動感のある作品製作を可能としている。McCannとPollardの提案する画像編集プログ

ラム²²⁾内のエッジブラシは、対象画像のエッジ部分をポインタでなぞることにより、エッジ情報を取得し描画できる。ThinkingSketch²³⁾は既存の絵画の一部や色調を使うことによって自動的に絵画を生成し、制作工程における内省の活性化を図った。RyokaiらによるI/O Brush²⁴⁾はカメラと一体化したブラシ型インタフェースを用い、実世界にあるあらゆる物を画像として取り込み、さながらインクとして使うという今までにない表現を開拓した。

さらにI/O Brushは描画後に取得した元の画像を参照できる機能²⁵⁾を加えることで、描画のプロセスを可視化させ、それぞれの色が持つストーリーを見せるという表現を可能とした。その他に描画のプロセスに着目したものは、描画に時間情報を取り入れ、描画プロセスの分岐や代替案の比較を行えるようにしたART019²⁶⁾や、木構造を取り入れプロセスの閲覧、編集を容易にしたもの²⁷⁾がある。

3. システムの流れ

本システムは、困難な筆の操作を描画行為から切り離し、あらかじめストロークを生成して、それを描画するというインタフェースデザインとしている。

システムの構成は図1に示す通りである。まず描画するストロークを先に生成する。このストロークの生成手法はサンプラーメタファを取り入れたものと、シンセサイザメタファを取り入れたものの2通りある。

(4章参照)ストロークを生成した後に、それを出力することで描画を行う。(5章参照)描画後は編集機能であるエンベロープ・コントローラやミキサーのメタファを取り入れた機能により、描画したストロークを編集することができる。(6章参照)サンプラーメタファで描かれた作品の場合、完成後にその参照元の作品を閲覧機能²⁸⁾によって見ることができる。(7章参照)

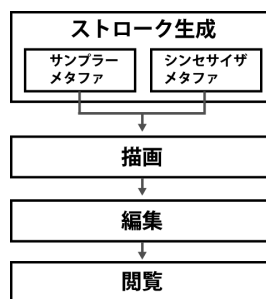


図1 システムの流れ

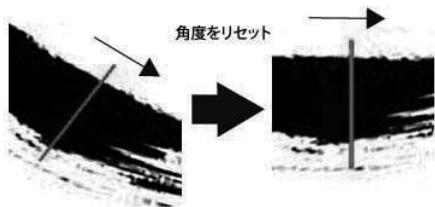


図2 サンプリング時のスキャンライン
(左: サンプリング時 右: 格納時)

4. ストローク生成機能

ストローク生成機能では「サンプラーメタファ」を取り入れたものと、「シンセサイザメタファ」を取り入れたものの2通りの手法によりストロークを生成する。

4.1 サンプラーメタファ

電子楽器のサンプラーは、録音された音波形を元にした自由な音作りを可能にし、20世紀後半の音楽表現に大きな影響を与えた。既存楽曲から印象的な音をサンプリングして、その音源を用いて全く異なる楽曲を作ると、その楽曲は原曲のエッセンスを受け継ぎながらも、文脈や意味は全く新しい価値を持つものとなる。本稿でも同様に既存の書の画像から気に入ったストロークをサンプリングして、元の書とは異なる形状に再描画するという手法をとる。

本手法では、モデルとする画像からサンプリングにより特徴を取得することで書のストロークを生成する。まずサンプリングしたい書の画像を用意してシステムに読み込み、描画したい箇所をスキャンラインでなぞってサンプリングを行う。この時に表示されるスキャンラインはマウスポインタの動きに対応して移動し、進行方向に対し垂直を維持するように回転する。サンプリング時、モデル画像はスキャンラインと同形の二次元画像のサンプルとして順次格納されていく。サンプルはサンプリング時のスキャンラインの回転角度を0度にリセットされた状態で格納される。(図2) このサンプリングによって得られたサンプル群より1つのストロークが生成される。

4.2 シンセサイザメタファ

シンセサイザは、正弦波や矩形波などの波形を合成・加工することで自由な音作りを可能にした電子楽器である。シンセサイザの登場によって、自分でパラメータを設定して音を創り出すことが可能になり、既存楽器に類似した音を作り出すことや、それまでの楽器にはなかった種の音を表現するまでに至り、音楽の

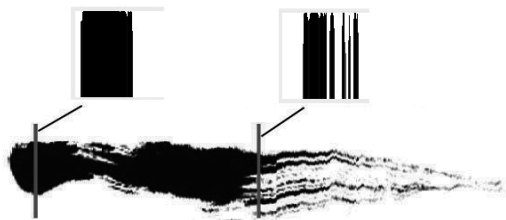


図3 ストロークのウェーブデータ

可能性は大きく広がったといえる。

シンセサイザの方式の中でも、ウェーブテーブル方式は多くの短い波形(ウェーブデータ)をプリセットとして保持し、それらの波形を読み込み編集することで音作りを行う。生の楽器音をサンプリングした波形や、合成されたシンセ波形などのウェーブデータがウェーブテーブルと呼ばれるメモリに格納されている。読み込んだ波形はさらにフィルタやエンベロープを使って加工される。

本手法ではウェーブテーブル方式シンセサイザの様に波形を生成・加工することで、書のストロークを生成する。書のストロークのある時点での濃度変化のグラフをウェーブデータとして取得したウェーブテーブルを用意し、ここから読み込んだウェーブデータを接続することでストロークを生成する。(図3)

まずオシレータによって波形を発生させ、波形のパラメータである周波数、振幅、位相を操作して好きな形状のウェーブデータを生成する。この時、生成されたウェーブデータの振幅に対応した濃度値をもつ二次元画像のサンプルが生成される。また発生したウェーブデータにフィルタをかけることで、波形を加工することができる。最後に生成したサンプルを、エンベロープ・ジェネレータにかけストロークにおける濃度値の減衰を設定することでストロークを生成する。システム構成は図4に示す通りである。

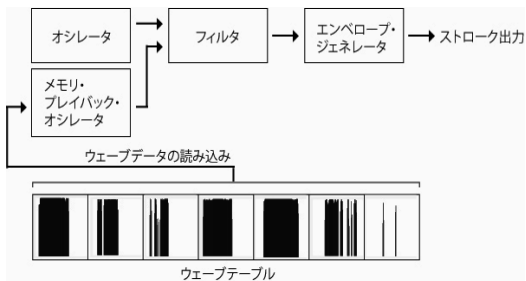


図4 システム構成

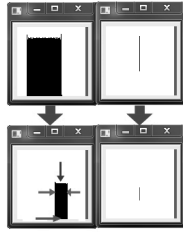


図5 ウェーブデータの変形と対応するサンプル
(右：ウェーブデータ，左：サンプル)

4.2.1 オシレータ

シンセサイザにおいて、オシレータは波形を発生させる音作りの根幹を担う機構である。本システムのオシレータ部では単純な波形のみならず、ウェーブデータを自由に生成する機構を設けた。

本システムのオシレータは、書のごく短いストロークデータであるウェーブデータをプリセットとして多数格納しているウェーブテーブルから読み込むことで、ウェーブデータを生成する（メモリ・プレイバック・オシレータ）。プリセットには実際の書のストロークから取得されたウェーブデータが格納されている。また、自分で生成したストロークからウェーブデータを取り出すことも可能である。

また、これとは別に自分でパラメータを操作しウェーブデータを生成する純粋な波形生成機能も備えている。今回は対象とする波形を矩形波としているが、矩形波の中でも正成分、半周期のみを出力の対象とした。

オシレータで生成されたウェーブテーブルは周波数、振幅、位相のパラメータを操作することで思い通りの形状へと変形することができる。本システムにおけるこれらのパラメータは周波数がストロークの太さ、振幅が濃度値、位相が位置という具合に置き換えられる。(図5)

4.2.2 フィルタ

減算方式シンセサイザは、倍音を多く含んだ波形から、フィルタによって倍音成分を削っていくことで音作りをする。本システムでもこのようにオシレータで生成したウェーブデータにフィルタをかけることで加工を行える機構を搭載している。

現時点ではローパスフィルタ、ハイパスフィルタが実装されており、それぞれのカットオフ周波数を設定することで削る度合いを調整可能である。

4.2.3 エンベロープ・ジェネレータ

シンセサイザにおけるエンベロープ・ジェネレータは音の時間的変化の制御を行う機構である。ここでは

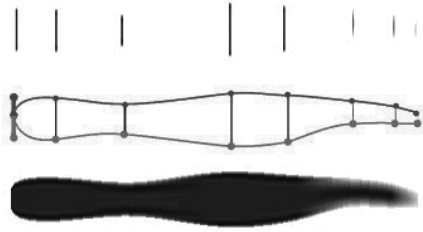


図6 エンベロープ・ジェネレータ

音の立ち上がりから減衰までのダイナミクスの変化を制御できる。本システムではそれぞれの濃度値を持ったサンプルを並べ、補間することでストロークにおける「濃度値の時間的変化」の制御を可能にしている。複数のサンプルを配置した後で、それらを左から順番に補間してつないでいき、最終的にストロークとして出力する。(図6)

2つの隣り合ったサンプルの補間時には、手前のサンプルから次のサンプルまでモーフィングをさせながら補間していく。このとき全体のストロークのアウトラインはスプライン補完によって求められるため、滑らかなアウトラインを持ったストロークとして出力される。これにより実際には連続していないウェーブデータ同士を連続的につなぐことが可能となる。

5. 描画機能

描画は描画画面でドラッグしてサンプル群を出力することで行う。生成したストロークを順次二次元画像のサンプルとして取り出し、マウスポインタの進行方向に応じて回転させながら出力する。これにより直線を曲線として描画したり、逆に曲線を直線として描画するなど自由形状の描画が可能となっている。なお、サンプリング時よりも出力時のストロークが短い場合は、全体像を損なわないようデータを圧縮して出力している。

5.1 補間アルゴリズム

出力するのは二次元画像のサンプル群であるため、離散した状態で出力されてしまう(図7左)。そこで描画後に離散したサンプル間を全て補間していく。隣り合った2つのサンプルの補間は先に出力した方のサンプルをモーフィングさせながら並べていくことにより行う。並べる際は、先のサンプルの角度から後のサンプルの角度へなめらかにシフトするように回転して出力している(図7右)。

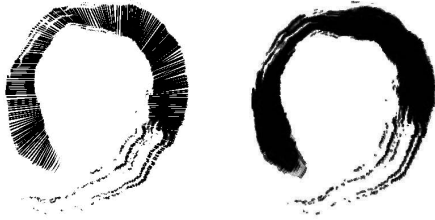


図7 補間アルゴリズム
(左: 補間前 右: 補間後)

5.2 マスク処理・描画モード

様々な画像に対応するために、描画時のマスク処理や、優先輝度値を選択できるモードを用意した。マスク処理ではユーザが設定した閾値に対して高い輝度値と低い輝度値のどちらにマスク処理をするかを選択することができる。これにより黒地に白字のような一般的な書とは逆の画像でも、白字のストロークのみを切り出すことが可能となる。また描画時に優先する輝度値の高低を選択することで、キャンパスに対してどのように描画していくかを決定できる。描画モードには「低輝度値優先」、「高輝度値優先」、「上書き」の3つのモードがある。

6. 編集機能

6.1 エンベロープ・コントローラ

エンベロープ・コントローラは描画したストロークにおける「濃度値の時間的変化」を編集をする機能として実装している。これにより「一度描画した字の掠れている部分をもう少し長くする」など、希望に近い出力結果を得るような編集を可能にしている。

視覚化手法としては、サンプルの全画素から輝度値を求め、グラフとして出力することによりエンベロープを生成している(図8)。低い輝度値が多い箇所は黒く、墨をよく含んだ部分であり濃度値が高い。逆に高い輝度値が多い箇所は、濃度値が低く掠れている部分とみなすことができ、グラフから濃淡の時間的変化を見ることができる。このエンベロープのグラフをマウス操作により伸縮して編集することが可能であり、描画済みの画像もグラフに合わせて変化する。

さらに電子楽器ではエンベロープの制御によって全体の音量の大小も制御できる。本システムも同様に、出力したストローク全体の濃度値を制御できるインタフェースデザインにした。実装はエンベロープ全体の濃度値に対して、任意の割合を掛け合わせるにより行っている。この割合もマウス操作により調整することができる。(図9)

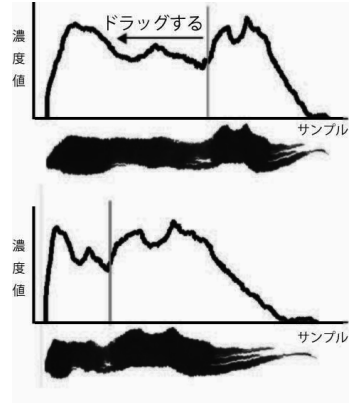


図8 エンベロープ・コントローラによる編集
(上: 編集前 下: 編集後)

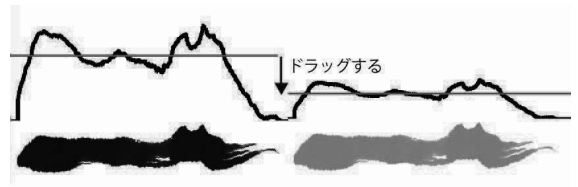


図9 濃度値変化に対応する出力
(左: 編集前 右: 編集後)

6.2 ミキサー

ミキサーでは、サンプル群と任意の画像の画素値を、自由な割合で足し合わせるができる。効果的な足し合わせを行うことで、墨を多く含んだ箇所に掠れや筆割れのような効果を与えたり、様々な表現が可能となる(図10)。

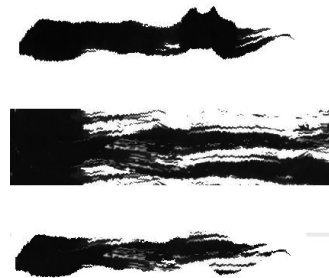


図10 ミキサーによる任意の画像との合成
(上: 合成前 中: 合成対象 下: 合成後)

7. 閲覧機能

サンプリングを用いた音楽には、参照元の楽曲が持つ意味や時代背景を取り込んだメッセージが内包されるものも多く、どのような楽曲を参照したかを知ることによって鑑賞者が制作者の意図をより深く理解でき、参照元の作品に興味をもつことも少なくない。この機能ではこのような参照元作品が持つ影響力を作品に積極的に取り入れる機能として、描画後の作品から参照元作品に自由にアクセスし、表示できる参照元閲覧機能を実装した。

まず、参照元の情報を格納するために、描画画面と同じサイズの参照元マップを用意し、参照元の情報としてサンプリング時のモデル画像とスキャンラインの軌跡の情報を取得しておく。次に描画画面でサンプルを出力する際に、出力座標と同じ参照元マップの座標に参照元情報を埋め込んでいく。これにより、描画画面のストローク上でマウス操作をするだけで、参照元となるモデル画像とその画像の中でどこをサンプリングしたかというスキャンラインの軌跡情報にインタラクティブにアクセスすることが可能となる（図11）。



図11 参照元閲覧

8. 評価と考察

デモや実験を通して得られた意見や作例をもとに本システムについて考察した。

まずサンプリングメタファでは、マウスのドラッグ操作だけでサンプリングが行えるため、誰でも簡単に書家のようなストロークを生成できた。図12はサンプリングメタファによって生成されたストロークで描かれた「心」という作例である。この作品は「道」と「創」という異なる2つの書をサンプリングすることで描かれている。本来は制御の難しい掠れや滲みのあるストロークでも、モデル画像さえあれば容易に取得し、ストロークを生成できる。また図13は「う」と

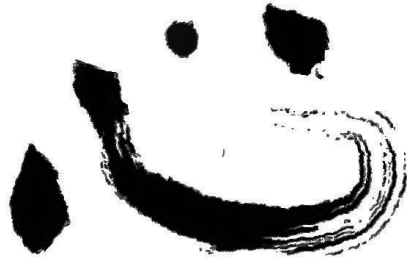


図12 作例1. 「心」
(「道」と「創」をサンプリング)



図13 作例2. 「う」
(鰻の魚拓をサンプリング)



図14 作例3. 「花」
(書のストロークと花火の画像をサンプリング)

描かれた作例で、これは書ではなく鰻の魚拓をサンプリングすることで描かれている。図14は花の絵を描いた作例で、書のストロークと花火の画像をサンプリングして生成されたストロークを組み合わせることで描かれている。このように書のみでなく様々なものをストロークとみなすことで、今までにはない書道表現も実現できる。

シンセサイザメタファは、思い通りのストロークを持つモデル画像が無い場合や、モデル画像が著作権などの問題によって使用できない場合に有効である。ウェーブテーブルに格納された多くのプリセットや、パラメータ設定により生成される単純波形を掛け合わせることで無数のバリエーションのストロークを創造できる。任意の個所で掠れや滲みのウェーブデータを挿入することで、掠れや滲みをもったストロークを自由にデザインすることまで可能となった。図 15 はシンセサイザメタファによって生成されたストロークとそれによって描かれた円の作例である。

また描画後の編集では、エンベロープ・コントローラにより掠れの個所を長くしたり、ミキサーでランダムドットの画像と掛け合わせることで本来の書では描けないようなストロークを生成するなど、デザインの自由度を上げている。

参照元閲覧機能では、参照元の画像を表示することで、モデル画像からどのように変化したかを確認できて良いなど好意的な意見が得られた。この機能によりサンプリングによって描かれた作品の魅力が高まり、観賞行為をより豊かなものにするのができた。また参照元の作品を見た後は作品の印象が変わったなどの意見があり、参照元の作品が持つ造形ばかりでなくメッセージなども複製されて作品に取り入れるということが観察できた。さらに当初は観賞者のためのインタフェースであったが、この機能を実装後、制作者側にも参照元の作品が持つ影響を積極的に利用して、作品制作を行うという変化が見られた。図 16 はこのとき作られた「政」と描かれた作例である。一見すると「政」の持つ意味しか伝わらないが、参照元を表示すると「金」という書で描かれていることが分かり、2つの字から文脈を連想することができる。このときに



図15 作例4. シンセサイザメタファによるストローク
(上：生成ストローク 下：描画画像)



図16 作例5. 「金」によって描かれた「政」

連想される文脈は2つの字の組み合わせからくる文脈のみではなく、参照・被参照という関係から連想される文脈をも含んでおり、作品に複雑な意味付けを行うことが可能となった。

9. まとめと展望

本来、書道表現において筆の挙動が予測できないのに対し、本システムでは、モデル画像やウェーブテーブルを利用したストロークデザインにより、かなり意図通りの表現を実現している。サンプリング操作は簡単であり、誰でも容易に扱うことができ、シンセサイザメタファによるストロークデザインは作る工程は多くなるが、細部まで思い通りに作り込むことができる。筆の操作と描画行為を切り離すという手段は伝統的な技法と大きく異なるアプローチではあるが、これは決して伝統的な書道を否定するものではなく、むしろそれらの書の一画一画や、掠れや滲みなどの細部までを観察する学習効果につながるものであると考えている。

また参照元の閲覧機能では新しい表現の手段にもなりうる可能性を見出すことができた。この機能は参照元を1つ以上さかのぼれるようにすることで1つの作品の背後に参照元の階層構造が生まれ、参照による厚みをもった表現の確立も考えられる。このように文字の持つ意味と純粹造形の芸術性とを併せ持つという書の性質をうまく利用できれば、音楽のサンプリングやトリビュート、映画のオマージュやパロディとはまた違う、書ならではの表現ができる可能性も考えられる。

本システムでは、書家のようなストロークの表現を実現し、思い通りの出力結果を得るという自由度も獲得している。さらに書ではないストロークの利用や参照元閲覧機能により既存の書道にはない新しい表現を提案することもできた。本システムのこのような成果により、今まで書を手く描けなかった人にも書のデ

ザインの可能性を開き、筆を持ったことのない海外の人にも書の文化を浸透させるきっかけになると期待している。また、特徴的なストロークによる描画が行えるため、書にとどまらぬ新しいデザイン手法としての可能性も秘めていると考えている。

現代音楽はシンセサイザなどの電子楽器の出現により全く新しい概念と表現を獲得した²⁹⁾。我々も本稿が描画表現に新しい概念と表現をもたらすことを期待する。

謝辞 本稿は、独立行政法人情報処理推進機構 (IPA)、未踏ソフトウェア創造事業における採択の支援により行っている。

参 考 文 献

- 1) 石田九楊. 書とはどういう芸術か, 中央公論社, pp.12-17.1994.
- 2) 上田桑鳩. 書道鑑賞入門, 創元社, pp.10-16, 1963.
- 3) デザイン書道作家協会:
<http://www.j-d-c-a.com/>
- 4) 内平博貴, 宮下芳明. サンプリング書道:書取得と再描画による芸術表現の提案, 第8回 NICOGRAPH 春季大会 CD-ROM 予稿集, 2009.
- 5) 内平博貴, 宮下芳明. サンプラーのメタファーを取り入れた書道表現システム. 情報研報 2009-HCI-133, Vol.2009, 2009.
- 6) Corel.Painter.:
<http://www.corel.com/international.html>
- 7) Adobe.Illustrator.:
<http://www.adobe.com/products/illustrator/>
- 8) S. Strassmann. Hairy Brushes, *Comp. Graph.*, Vol.20, No.4, pp.225-232, 1986.
- 9) 中村剛士, 松下政親, 野崎勝彦, 世木博久, 伊藤英則. フラクタルを用いた毛筆文字の掠れ表現について, 日本ファジィ学会論文誌, Vol.8, No.3, pp.558-566, 1996.
- 10) 中村剛士, 黒田崇, 伊藤英則, 世木博久. 筆記速度のファジィ評価方法を導入した毛筆文字生成システムについて, 日本ファジィ学会誌, Vol.17, No.2, pp.371-379, 1995.
- 11) 真野淳治, 中村剛士, 世木博久, 伊藤英則. 毛筆書体におけるくりこみ群を用いた掠れ・滲み表現, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.4, pp.806-814, 1997.
- 12) Nelson S.-H. Chu and Tai, C.-L. Real-time Painting with an Expressive Virtual Chinese Brush, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.24, No.5, pp.76-85, 2004.
- 13) Nelson S.-H. Chu and Tai, C.-L. MoXi: Real-Time Ink Dispersion in Absorbent Paper, *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2005 issue)*, Vol. 24, No. 3, 2005.

- 14) W. V. Baxter, V. Scheib, and M. C. Lin. DAB: Interactive Haptic Painting with 3D Virtual Brushes, In *SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings*, pp. 461-468, 2001.
- 15) 渡邊恵太, 安村通晃. 味ペン: 仮想筆先による触覚的「書き味」感覚提示の提案と試作, *インタラクティブ2007 予稿集*, pp.183-184, 2007.
- 16) S. Xu, H. Jiang, T. Jin, F.C.M. Lau and Y. Pan. Automatic Facsimile of Chinese Calligraphic Writings, *Computer Graphics Forum (PG 2008)*, Vol. 27, Issue 7, 1879-1886, 2008.
- 17) Howard Leung, Sam T.S. Wong and Horace H.S. Ip. Preserving archaic Chinese calligraphy and reproducing its dynamic brush writing, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 25, No.4, pp. 49-54, 2008.
- 18) X. Mi, M. Tang and J. Dong. Droplet: A Virtual Brush model to simulate Chinese calligraphy and painting, *Journal of Computer Science and Technology*, Vol.19, No.3, pp. 393-404. 2004.
- 19) J. Yu and Q. Peng. Realistic synthesis of *cao shu* of Chinese calligraphy, *Computers and Graphics* 29, pp. 145-153, 2005.
- 20) K. Nakakoji, K. Jo, Y. Yamamoto, Y. Nishinaka, M. Asada. Reproducing and Re-experiencing the Writing Process in Japanese Calligraphy, *Proceedings of 2nd IEEE Tabletop Workshop, IEEE, Newport, RI, pp.75-78, October, 2007.*
- 21) 櫻井稔, 江渡浩一郎. Sequential Graphics: 描画時の臨場感を再現するペイントソフト, WISS (インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ)2008, pp.29-34, 2008.
- 22) J. McCann and N. S. Pollard. Real-Time Gradient-Domain Painting, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol.27, No.3, 2008.
- 23) 美馬義亮, 木村健一, 柳英克. リフレクションのための抽象画自動生成ツール, *芸術科学会論文誌*, Vol.1, No.1, pp.39-45, 2002.
- 24) K. Ryokai, S. Marti, and H. Ishii. I/O Brush: Drawing with Everyday Objects as Ink. In *CHI'04*, pp.303-310, 2004.
- 25) K. Ryokai, S. Marti, and H. Ishii. Designing the World as Your Palette. In: *CHI 2005*, ACM Press, 2005.
- 26) Y. Yamamoto, K. Nakakoji, Y. Nishinaka, M. Asada, ART019: A Time-Based Sketchbook Interface, Technical Report, KID Laboratory, RCAST, University of Tokyo, 2006.
- 27) 武井英人, 寺田実. 描画内容を木構造でまとめた手書きツール, *インタラクティブシステムとソフトウェア XIV*, pp.35-40, 日本ソフトウェア科学会, 2006.
- 28) 内平博貴, 宮下芳明. 参照元閲覧機能によるユーザエクスペリエンス変化の観察, 第17回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2009), (発表予定), 2009.
- 29) Herbert A. Deutsch (梯郁太郎訳). シンセサイザその革命と歴史と理論, *バイパーズ*, pp. 26-29, 1980.