HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	感圧ペンを用いた毛筆文字のオンライン入力・生成システム
Author(s)	時, 崇明; 恩田, 邦夫; 青木, 由直
Citation	北海道大學工學部研究報告, 142, 35-43
Issue Date	1988-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42131
Type	departmental bulletin paper
File Information	142_35-44.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学工学部研究報告
第142号（昭和63年）

Bulletin of the Faculty of Engineering,
Hokkaido University. No. 142 (1988)

感圧ペンを用いた毛筆文字のオンライン入力・生成システム

時　崇明　恩田　邦夫　青木　由直

（昭和63年6月30日）

An On-Line Input and Generation System of Calligraphic Characters Using a Pressure Sensing Pen

Chong-Ming SHI, Kunio ONDA and Yoshinao AOKI

(Received June 30, 1988)

Abstract

This report presents an on-line input and generation system of calligraphic characters, which is realized on a personal computer. An input device named "pressure sensing pen" is developed by installing an infrared sensor inside the stylus pen of a tablet digitizer. We can use this pen instead of a writing bruch to write calligraphic characters and on-line input them into a computer. In writing characters, the vertical movement of the pen, which is proportional to the pressure concentrated on the pen, is measured by the infrared sensor so that not only the X-Y but also the Z information can be meanwhile obtained. In a computer, character strokes are generated from these three dimentional data. A stroke generation method is proposed in which the shape and the size of a brush touch pattern are modified based on the moving direction of the pen and the pressure imposed on the pen, respectively. Because the sensor works under the condition of no touching, writing brushes having different softness can be eaily simulated just by changing the softness of spring. Generated characters can also be actually written out on paper by a brush writing system.

1．まえがき

文字は，人間対人間において最も基本的な情報伝達手段の一つであるが，近年の計算機社会の到来に伴い，人間と計算機間の文字による情報伝達もより人間に近いレベルで行えることが要求されるようになっており，計算機への文字入力に関しては，手書き文字の自動認識の研究などがある。一方文字の生成では，あらかじめ用意された文字フォントをCRTやプリンタなどへ出力することで情報伝達という目的は一応達せられていた。しかし最近ではワードプロセッサにおける毛筆文字フォントなどのように，文字出力にも単なる情報伝達にとどまらない表現手段が求められるようになってきている。また文字には漢字文化圏における書道に見られるように芸術や文芸の側面も持っており，書道の学習や文字デザインなどを計算機によって支援しようとする試みも行われている。

このように計算機による毛筆文字の生成は，漢字文化圏における計算機の新たな利用法を与え

情報工学科　広用計算機工学講座

るものとして興味あるテーマであるが，従来の計算機による毛筆文字の扱いに関しては以下のような問題点も残されている。

(1) 毛筆文字を生成するための基本パラメータをキーボードなどから入力しなければならず，入力が煩わしい。例えば，張ら[1,2]が提案する方法では，簡単な文字の生成にも数10個のパラメータ入力が必要である。

(2) 毛筆文字の出力装置としてプリンタが用いられるため，「かすれ」や墨の濃淡によるコントラストの美しさという毛筆文字特有の性質を表現することが困難である。

(3) 毛筆文字特有の肉厚を持ったストロークは，筆の上下運動，すなわち筆圧と関係が深いが，従来筆圧情報も測定可能な入力デバイスについては，圧力センサを用いた試作システムの報告[3]があるのみで，実際の筆と似たような運筆感覚を持つ毛筆文字のオンライン入力方法がなかった。

本報告では，これらの問題点を解決する新しい毛筆文字のための入力，文字生成および出力方法を提案し，パソコン上に実現したシステムを紹介する。

文字入力では，ディジタイザの入力デバイスであるスタイラスペンの内部に反射型光センサを埋め込み，ペンの上下方向の運動量を光電流の変化によって測定する感圧ペンについて説明し，このペンを用いたオンラインによる毛筆文字パラメータ情報の自動獲得方法を提案する。

感圧ペンから入力された文字は運筆と同時にCRTディスプレイ上へ表示される。この文字生成では，実際の毛筆が紙と接触するときの筆触パターンや摩擦を考慮したストローク生成を行っている。すなわち，実際の毛筆では筆の回転や横向きの移動の際に，筆と紙との摩擦によって筆先の回転には遅れが生じる。そこで，筆触パターンの大きさを感圧ペンから入力された筆圧情報によって，またその主方向をペンの移動方向に遅れ要素を付加することによって実現している。

生成された文字の出力では，先に述べたCRT表示の他，プリンタへのグラフィック表示，さらにXYプロッタのペンホルダー部分にペンの上下運動のための機構を付加し，実際の毛筆を使って文字を書かせることを可能にした。

本システムは書道用のCAIや文字デザインなどへの強力な支援ツールとなると考えている。

2．システムの構成

本システムのハードウェア構成および外観を図1，図2に示す。システムは，パーソナルコン

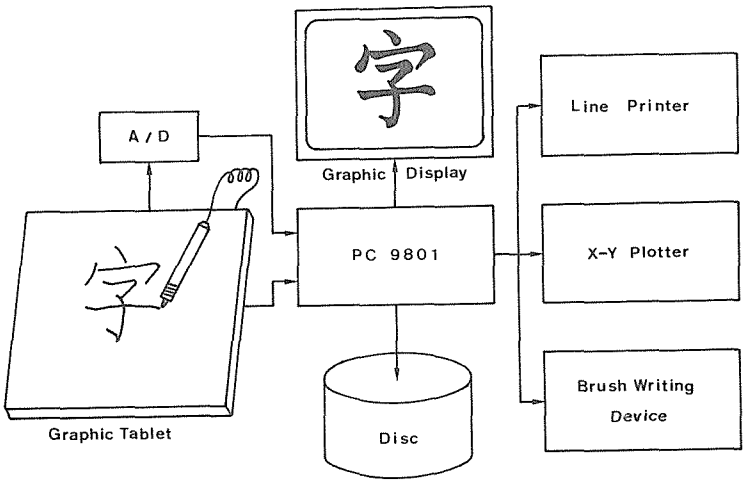

図1 システム構成

図2　システム外観

ピュータ（PC-9801），オンライン文字入力装置および出力装置から構成される。

入力装置には，タブレット型ディジタイザ（DT1000）および毛筆の代わりとしてスタイラスペンを用いる。これらを用いて，ペンのストローク情報であるX，Y座標情報を得ることはできるが，毛筆文字では筆圧情報に関係するZ方向（上下）の運動量も測定する必要がある。しかし従来このような3次元情報を測定する実用的な入力デバイスがなく，本研究ではスライラスペンに改良を加え，筆圧情報も同時に得られるペンを開発した。これを感圧ペンと呼ぶ。

また出力装置としては，CRTディスプレイ，プリンタの他，XYプロッタのペンホルダー部分にステッピングモータによるペンの上下機構を付加したものを開発した。これを用いて実際の毛筆による書出しも行える。

3．毛筆文字の入力方法

3．1　感圧ペン

実際の毛筆で文字を書く場合，文字の肉厚は筆の上下方向に加えられた筆圧にほぼ比例していると考えられる。この筆圧を測定するため圧力センサを用いた試みが報告されているが[3]，これには以下のような問題点があると考えられる。

(1)　一般に圧力センサは，出力信号が数mv程度であり，A/D変換に要求される入力電圧レベルまで増幅する際に雑音の影響を受け易く，安定性がよくない。これを解決することは難しいことではないが，電気回路が複雑になり，コストが高くなる。

(2)　圧力センサは実際に圧力が加えられないと測定できない接触式センサであり，作られたペンの柔らかさや感圧範囲などがセンサの規格に制限される。

我々は筆圧を筆の上下運動量に比例したものとみなし，この運動量を非接触で測定する手段として光センサを利用した感圧ペンを開発した[5,6]。この感圧ペンの内部構成を図3に示す。スタイラスペンの内部にはバネで上下するシリンダがあり，その一端に発光素子と受光素子，もう一端に反射面がある。発光素子からの光は反射面で反射し，受光素子ではその光量に応じたコレクタ電流値が得られる。光素子と反射面の距離はペンに加えられた上下方向の圧力に比例して変化し，

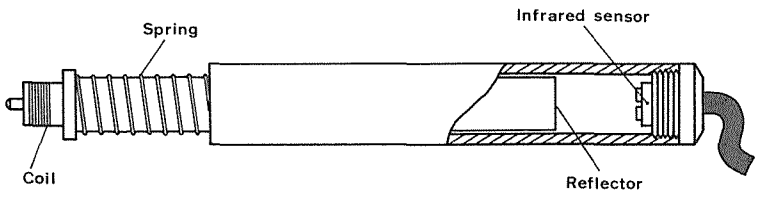

図3　感圧ペンの内部構成

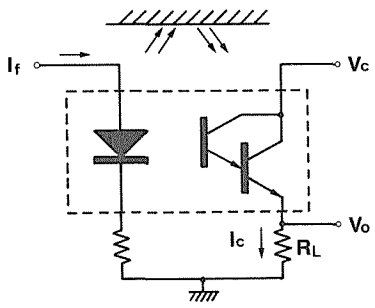

図4　光センサの回路構成

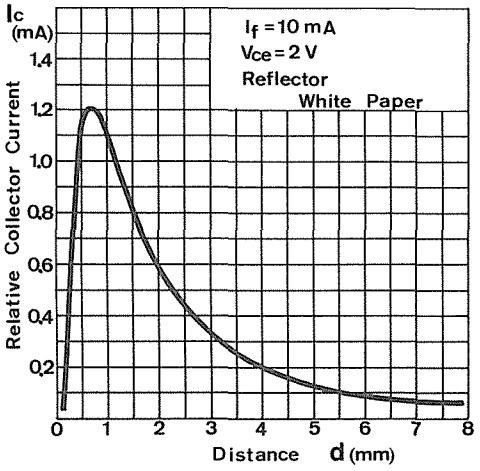

図5　反射面からの距離と相対コレクタ電流の関係

受光素子で得られる光量もこの距離に応じて変化する。すなわち，この光センサからの出力電流によって，ペンに加えられた圧力を測定することができる。

使用した反射型光センサ (TPL907) およびその周辺回路を図4に示す。この感圧ペンでの反射面からの距離dと受光素子からの相対コレクタ電流Icとの関係は図5のようになった。図5から，dとIcは比例関係にはなく，特に同じIc値に対し2つのd値が対応している。しかしdの変化範囲を約6 mm以上になるように制限すれば，dの増加に対しIcは指数関数的に減少するとみなせる。そこでセンサの出力を電圧値に変換し，この出力電圧VoとdのIcの関係を式(1)のような近似式で表す。

$$Vo = C_1 \cdot \exp(-C_2 \cdot d) + C_3 \qquad (1)$$

但し，C_1，C_2 および C_3 は定数である。

一方，筆の上下運動の距離と筆圧とはほぼ比例しており，V_0 とdについても比例関係が得られるように，センサの出力電圧に対し補正式を施すこととした。そのために式(1)における定数を実験的に求めた。

先ず，距離dを十分大きくとったときの出力電圧値 V_0 を，式(1)におけるオフセット値 C_3 とみなす。実験の結果から $C_3 = 0.48$ と決定した。これを式(1)に代入し，dについてまとめると次式が得られる。

$$d = \{\ln(C_1) - \ln(V_0 - 0.48)\}/C_2$$
$$= a_1 \cdot V_t + a_2 \qquad (2)$$

但し，

$$V_t = \ln(V_0 - 0.48)$$

$$a_1 = -1/C_2$$
$$a_2 = \ln(C_1)/C_2 \qquad (3)$$

式(2)はdとV_tについての1次関数となっており，$d-V_t$特性を実験により求め，この結果から最小二乗法によってa_1とa_2を決定する。発光電流$I_F=10$ mAとして測定した$d-V_t$特性を図6に示す。またセンサからの出力電圧V_0と距離dとの関係を与える補正式は次式のものである。

$$d = -3.468 \cdot \ln(V_0 - 0.48) + 7.325 \qquad (4)$$

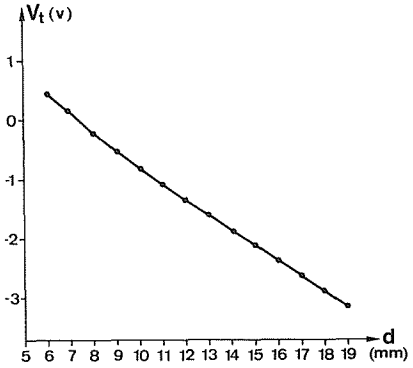

図6　$d-V_t$特性

3．2　感圧ペンを用いた毛筆文字のオンライン入力

開発した感圧ペンをタブレット型ディジタイザ上でなぞることにより，ディジタイザの本来の機能であるペンのX，Y方向の座標情報の入力と同時に，ペンのZ方向（上下）の移動量を測定することが可能となる。タブレットからのXY座標はRS232Cインターフエースを介して計算機に入力する。また感圧ペンからの出力電圧はA/Dコンバータを介して計算機に入力し，式(4)の補正を行ってZ方向の移動量を得る。この移動量dに係数cを掛け，これを肉厚情報Wとする。すなわちストロークの時点iでのサンプリング情報は，ストロークの中心線の座標X_i，y_iおよび肉厚情報W_iの3つの情報で表す。ここでのサンプリング間隔は文字の大きさやストロークの複雑さに応じて使用者が決定する。

感圧ペンから入力された文字は運筆と同時にCRTディスプレイ上に表示する。しかし入力面と出力面が別々であるため，書かれた字のバランスや各ストロークの書き始めの位置を決めるのが難しい。そこで筆圧がある値より小さい時はストロークを生成せず，代りにペンの位置を矢印でCRT画面上に表示することにより書き始めの位置を確認しやすくした。

4．毛筆文字の生成

4．1　筆触パターン

ここでの毛筆は，筆先が先端に向かうに従い徐々に細くなり，また柔らかくなっているものを考える。この毛筆が紙と接している部分を筆触と呼ぶ。実際の毛筆の筆触は図7のような外側に丸みを帯びた三角形に近い形をしている。計算機で毛筆文字を生成する場合も，実際の運筆同様に，このような筆触パターンを連続的に移動させれば，毛筆で書かれたものと同様の文字生成が行われるであろう，というのが文字生成の基本的考え方である。

図7　実際の毛筆の筆触

しかし，このような先端に角のある筆触パターンを用いて実際にこのことを行ってみると，サンプリング間隔を充分に小さく取らないと文字の輪郭にジグザグを生じてしまう。そこで本手法では図8に示すような卵形をし

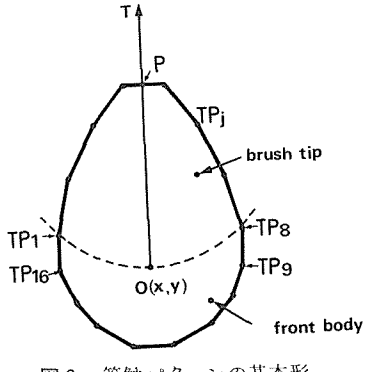

図8　筆触パターンの基本形

た筆触パターンを基本形として用いた。このパターンの中心 O_i の座標は，入力されたペンのX，Y座標(x_i, y_i) により決定される。またその輪郭は16個の点 TP_j ($j=1,..,16$) を結んだ線により得ており，$j=1\sim8$ の点により作られる輪郭線を筆先部，$j=8\sim16$ の点により作られる輪郭線を前腹部と呼ぶ。また TP_4 と TP_5 の中点を筆先部の頂点 P_i とし，$\overline{O_iP_i}$の方向を筆先部の方向 T_i とする。更に TP_j と TP_{j+1} を結ぶ線分の距離を W_i の値によって伸縮することにより，このパターン全体の大きさを決定する。

4．2　筆触パターンの変形

実際の毛筆では筆と紙の間には摩擦があるため，筆が回転する時や横向きに動く時などには，引きずられている柔らかい筆先の回転には幾分の遅れが生ずる。本方法ではこのような文字の生成を，筆触パターンの筆先部を変形することで実現する。

筆の回転や移動に伴って筆触パターンを変形する方法については，すでに同様の提案[1]があるが，

(1)　筆触パターンの中心線を直線ではなく，実際の筆の運動により近い3次曲線とみなしていること，

(2)　筆が回転する時と横向きに進む時に起こる変形を別々に考慮するのではなく，二つの要素が相互に影響していると考えていること，

が先の提案と異なる。一方筆の回転の際に筆触パターンの前腹部の変形はないとする考え方は，先の提案と同様である。

筆の回転において，筆先部は筆触パターンの中心0からの距離が大きいほど曲がりが大きく，前の時点の状態に近い。しかしこのときの筆触パターンの筆先部の中心線は直線とするより，3次曲線とした方がより自然の動きに近い。本方法では図9のように筆先部の中心線を $X=C*y^3$ として決定した。

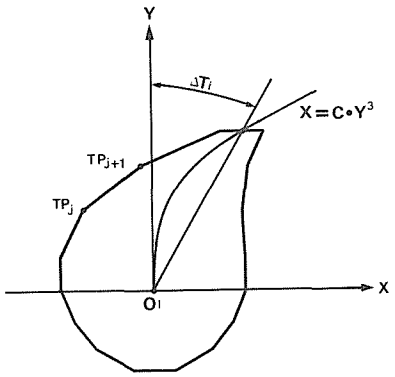

図9　筆触パターンの変形

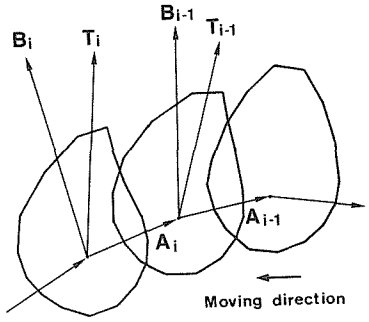

図10　筆の回転に伴う筆触パターンの変形

筆の回転における筆触パターンの変形処理は図10に示すように行う。ここで筆触パターンの主方向 B_i および B_i と T_i とのずれ $\triangle T_i$ は以下のように決定される。

$$\begin{aligned} B_i &= B_{i-1}+K_1(A_i-B_{i-1}) \\ &= B_{i-1}+\Delta B_i \qquad (0<K_1<1) \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_i &= T_i-B_i \\ &= \Delta T_{i-1}+K_2\cdot(B_i-B_{i-1}) \end{aligned}$$

$$=\Delta T_{i-1}+K_2\cdot K_1\cdot(A_i-B_{i-1})$$
$$=\Delta T_{i-1}+K_2\cdot \Delta B_i \qquad (0<K_2<1) \qquad (6)$$

である。但し，A_i はベクトル $\overrightarrow{O_iO_{i-1}}$ である。また，K_1 は筆の前腹部あるいは筆全体の柔らかさに対応するパラメータで筆触の形に大きく影響する。

一方，図11に示すように筆を横向きに運筆する時にも筆触パターンの変形がある。この場合，紙との摩擦によって筆先部の動きが遅れるので，筆先部の頂点は前の時点へ近づくようになる。そこで筆触の中心点 O_i と筆先部の頂点 P_i の前の時点 P_{i-1} との間に線を結び，筆先部の曲がり量を次式のように決定する。

$$\Delta T'_i=K_2\cdot(\overrightarrow{O_iP_{i-1}}-B_i) \qquad (7)$$

式(6)と式(7)の2つの筆触パターンの変形をまとめると，筆先部の総曲がり量は次式で決定される。

$$\Delta T_i=\Delta T_{i-1}+K_2\cdot\Delta B_i+\Delta T'_i \qquad (8)$$

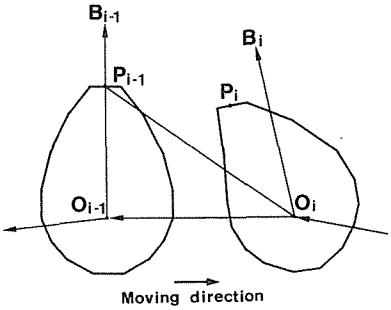

図11　筆の横向き移動に伴う筆触パターンの変形

4．3　毛筆文字の生式例

3．で述べた感圧ペンを用いて文字の入力を行い，提案した筆触パターンの変形によって生成した毛筆文字の出力例を図12に示す。この結果は，一度CRT画面に表示したものを，ハードコピーの要領でXYプロッタから出力したものである。ここで提案した文字入力，生成方法は字体の種類には依存せず，実際の毛筆を用いているのと同様の運筆感覚ならびに結果を与える。但し，結果には若干のギザギザを生じているが，これはCRT解像度の限界により発生したものである。

図12　生成された毛筆文字の例

4．4　生成した文字の毛筆による書き出し

CRTやXYプロッタへ表示・出力された文字は，基本的にはドットパターンで表されたものであり，上述したように，表示画面の解像度の限界からギザギザが生じる。また2値画像として表示しているため，「かすれ」や墨の濃淡によるコントラストの美しさという毛筆文字特有の性質を表現することが困難である。CRT画面であっても多階調の表示によってこれを表示することも不可能ではないが，計算に時間を要し，オンラインでの文字入力，生成は実現しにくい。

そこで本システムでは，入力・生成された毛筆文字を，実際の毛筆を用いて紙の上に出力する装置も用いている。この運筆システムは，図13のようにXYプロッタのペンキャリッジ部分に，毛筆の上下方向の動作機構を付加したものであり，この動作部にはステッピングモータを用いて

いる。

ところで，実際に毛筆を用いて文字を書き出そうとする場合，CRT や XY プロッタからの出力では生じなかった筆と紙との摩擦や筆の柔らかさを考慮する必要がある。すなわち，生成した文字のストロークの心線に沿って筆を移動させただけでは，筆先が柔らかいので心線との間にずれが生じてしまう。このずれの方向は曲線の内側へ，ずれの程度は曲率の大きい所程大きくなる。図 14 は実験の結果を示しており，実線は生成したストロークの中心線，点線は実際に毛筆で書かれた文字のストロークの中心線である。

そこで毛筆での書き出しでは，このずれを計算機側で予測し，ずれの生じる部分で補正

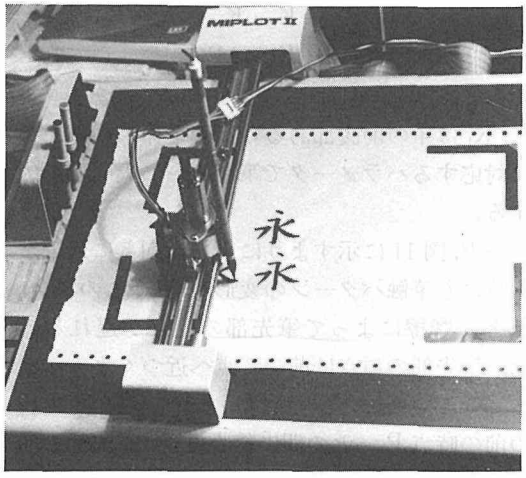

図 13 運筆システム

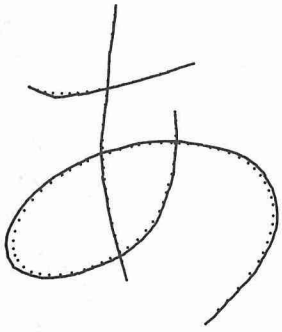

図 14 筆ずれのシミュレーション

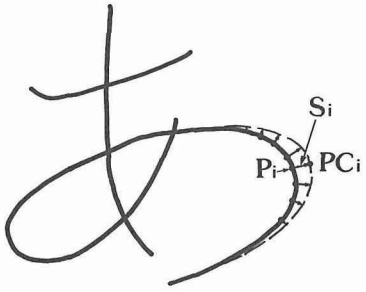

図 15 筆ずれの補正

図 16 運筆システムを用いて生成された文字の例

を行った後のストロークの心線を用いて運筆を行っている。具体的には，図 15 のように，予めに生成したストロークの心線の各点 P_i の法線ベクトルと曲率を計算し，その法線ベクトルに沿って心線を外側へ PC_i まで移動する。

一方生成された文字の筆圧情報を用いちて，ステッピングモータの上下運動の制御を行う。この運筆システムを用いて生成された文字の例を図 16 に示す。

5. むすび

本報告では，感圧ペンと名付けた，毛筆文字のストローク情報および肉厚情報のオンライン入力装置を紹介し，これを用いた毛筆文字の入力および生成方法を提案した。開発した感圧ペンは光センサを用いたことで非接触での計測が行え，圧力の測定範囲を自由に変化できることが利点である。また従来使用していたタブレット型ディジタイザのスタイラスペンを改良したものであり，従来の機能であるXY方向の移動量の測定と，筆圧情報に相当するZ方向の移動量の測定が同時に行え，実際の毛筆に近い運筆感覚を実現することが可能となった。

また文字の生成では，実際の毛筆と紙との摩擦を再現する筆触パターンの変形方法を提案し，より自然に近い毛筆文字パターンの生成が可能となった。生成した文字パターンはCRT，プリンタの他，XYプロッタに筆の上下移動機構を付加した運筆システムによっても出力できる。この運筆システムでは，実際の毛筆を用いていることにより生ずる筆のずれを考慮した，より人間に近い運筆方法についても検討している。

さらに本報告では触れなかったが，本システムには，毛筆文字の基本筆画のストローク情報と筆圧情報がデータベースとして保存されており，これらを組合わせて任意の毛筆文字を対話的に編集・生成する機能もある。これについては別の機会に報告したい。

今後は，CRT表示上での文字の濃淡や「かすれ」の実現，感圧ペンを利用した筆圧を含む個人筆跡の識別などについても検討していきたい。

参考文献

1）張，真田，手塚："漢字楷書毛筆字体の計算機による生成"，信学論(D)，J 67-D，5，pp. 599-606(昭59-05)．
2）張，真田，手塚："階層分解合成法による隷書体漢字の生成"，信学論(D)，J 68-D，8，pp. 1489-1496(昭60-08)．
3）原田，佐伯，中前："手書き文字作成のための筆圧入力装置の開発"，信学技報，IE 87-86，(昭62-11)．
4）C. Shi, Y. Aoki and K. Onda : "A Calligraphic Character Generating and Brush Writing System", Trans. IECE Japan, E-69, 9, pp. 1030-1040 (Sep. 1986).
5）時，恩田，青木："筆圧ペンを用いた毛書システム"，情処35回全大，7D-1 (昭62-09)．
6）C. Shi, K. Onda and Y. Aoki: "An Input Method for Generating Calligraphic Characters", 1987 Sapporo Internal Computer Graphics Symposium, VD-3, pp. 108-113 (1987-10).