

## 液晶タブレットを使用して旋律を生成するシステムに関する研究

出口幸子  
近畿大学工学部

概要： 液晶タブレットのペン入力に関するヒューマンファクタの計測を行った。入力図形の提示時間、大きさ、および移動距離を変化させ、ペン入力の成功率の変化を調べる実験を行った。また、ペンの筆圧の強弱を測定する実験を行った。一方、液晶タブレットを使用して旋律を生成する幾つかのシステムを試作した。(1) 画面上のペン入力位置で音高と音色を変化させ、筆圧で音の大きさを変化させるシステム、(2) 前記(1)に加えて図形を生成するシステム、(3) 入力位置をシステムが提示して旋律を生成するシステム、(4) キーボードでコードを指定しペン入力で演奏する仮想的ギター、および(5) 画面上で旋律パターンとその開始音をペンで選択して即興演奏するシステムを紹介する。

### A Study on the systems for melody generation using LCD tablet

Sachiko Deguchi  
School of Engineering, Kinki University

Abstract: This paper describes the experiments of human factors on pen input of LCD tablet. In the first experiment, one of three conditions (the display time of input area, the size of input area, and the distance between current input area and next one) is changed and correct inputs are counted in each session. In the next experiment, the pressures (strong or weak) of pen input are measured. This paper also describes several prototype systems for melody generation using LCD tablet: (1) The system that controls the pitch and timbre by pen coordinate and that controls the volume by pen pressure, (2) The system that generates figures with sounds, (3) The system that displays pen input areas to generate melodies, (4) The virtual guitar system using keyboard for guitar codes and using pen to play the guitar, (5) The improvisation system where users can select melodic patterns and pitches on LCD tablet.

#### 1. はじめに

液晶タブレットは現在種々の分野で実用的に使用されており、音楽インタフェースとしても使われ始めている。筆者らも液晶タブレットで旋律を生成するシステムを試作して来たが[3][4][5]、その中で、ペン入力に関するヒューマンファクタの計測が必要であった。そこで、本稿では、まず、筆者の研究室で行った入力実験について報告する。次に、旋律を生成するために種々のアプローチで試作したシステムを紹介する。

#### 2. ペン入力実験

本研究では、ワコム製の液晶ペンタブレット DTI-520 を使用し、タブレットインタフェースとして、米 LCS/Telegraphics 社が開発したタブレッ

ト用の API 群である WinTab を使用している[1]。本研究では、ペン入力を得るために、タブレットから WT\_PACKET メッセージを送信させる方法を用いる。

#### 2. 1. タブレットの動作確認実験

ペン入力の際のヒューマンファクタを計測する前に、液晶タブレットがペン入力を正しく検出していることを確認する実験を行なった。実験のために作成したシステムでは、正方形のマスを表示し、一つのブロックを赤く塗りつぶし、その枠内にペン入力があれば次のブロックを赤く塗りつぶす。この時、ペンの入力回数と成功回数をカウントする。本システムを用いて、被験者 6 名に対し、1 セッションあたり 20 回の入力を合

計 55 セッション実施し、以下に示す問題が発生するかどうかを調査した。

- ・ 実際には1回のペン入力に対し、入力回数が複数カウントされる。
  - ・ 入力回数はカウントされるが成功数はカウントされない。
  - ・ 入力回数、成功数ともにカウントされない。
- 実験の結果、上記の問題が生じていないこと、つまり、液晶タブレットがペン入力を正しく検出していることが確認された。

## 2. 2. 提示時間・大きさ・移動距離の実験

### 2. 2. 1. 実験方法

入力図形の提示時間、大きさ、および移動距離を変化させ、ユーザの成功回数がどのように変化するかを調べる実験を行なった。実験のために作成したシステムは、図1のように、画面上に入力図形(円)を、位置を変えて提示し、ユーザが提示時間内に円の中をペンで押した回数を成功回数としてカウントする。

予備実験を行った結果に基づき、提示時間 500[ms]、半径 50[pixel]、および移動距離 200[pixel] (角度はランダム)を基本設定とした(画素ピッチ: 0.297[mm])。基本設定2つを固定し、他の1つを変化させて入力実験を行なった。提示時間は 550[ms]から 300[ms]まで 50[ms]ずつ変化させ、半径は 60 [pixel]から 10[pixel]まで 10[pixel]ずつ変化させる。また、移動距離は 100[pixel]、250[pixel]、4 隅、およびランダムの4つの設定とする。大学生 26 名の被験者に対して実験を行なった。入力図形の提示回数を 20 回とし、基本設定で 20 回成功するまで練習した後に実験を開始した。

### 2. 2. 2. 実験結果

提示時間を変化させる実験では、図 2.1 に示すように 450[ms]から個人差が現れて成功回数が減り始め、平均成功回数は、350[ms]では 8.9、300[ms]では 3.3 である。半径を変化させる実験では、図 2.2 に示すように 30[pixel]から成功回数が減り始め、平均成功回数は、20[pixel]では 14.6、10[pixel]では 6.0 である。移動距離を変化させる実験では、図 2.3 に示すように 4 隅に円を表示した場合には平均成功回数が 16.3 に減少するが、移動距離を長くしても成功回数の変化はあまり見られない。本実験結果から、液晶タブレット上で位置を変えながらインタラクティブにペン入力する場合、時間は 500[ms]以上、および半径は 40[pixel]以上が

望ましいことが分かった。

## 2. 3. 提示時間の追加実験

### 2. 3. 1. 実験方法

前節で述べた入力実験では入力図形を表示する位置を変化させて実験を行ったが、この場合、円の表示位置を確認した後に、ペンを移動させて入力する必要がある。そこで、提示時間に関する人間の特性を調べるため、固定された箇所に入力する場合、および決まった2箇所交互に入力する場合について実験を行った。

入力図形の円の半径は 50[pixel]、円 2 個の場合の距離は 200[pixel]とする。同一箇所に提示するため、円を 2 色で交互に表示する。提示時間は 350[ms]から 200[ms]まで 50[ms]ずつ変化させる。入力図形の提示回数は 20 回とする。大学生 16 名の被験者に対し、まず、円 1 個の実験を行い、その後に円 2 個の実験を行なった。

### 2. 3. 2. 実験結果

実験の結果、1つの円の場合は提示間隔を短くしても成功回数はわずかに減少しただけだった。一方、2つの円の場合は、250[ms]で成功回数が大きく減少した。

## 2. 4. 筆圧測定実験

### 2. 4. 1. 実験の目的

筆者らは、以前の研究でペンの筆圧の時間変化を調べたが、被験者に対して実験中に入力された筆圧値をグラフ表示していた[3]。しかし、一般にペン入力において、視覚的フィードバックがない場合が多い。また、先の実験から筆圧値を音量に用いることの問題点が以下のように示された。

- ・ 入力後、どの時点の筆圧値を用いるか。
  - ・ 筆圧値に比例した音量にすると、ユーザの入力した感覚と異なる大きさの音が生成される。例えば、一定の強さで入力しているつもりでも生成される音量のばらつきが大きい。
- そこで、今回は以下の方針で実験を行なった。
- ・ 入力中の筆圧値を画面上に表示しない。
  - ・ 筆圧値を強と弱の2通りとし、被験者に自分で強と思う筆圧、および弱と思う筆圧を入力してもらう。
  - ・ 実験結果から、筆圧の強弱の分離が可能かどうか、また入力後のどの時点から可能となるかを調べる。

つまり、ユーザが強い/弱いと感じる筆圧を、シ

システムが強い／弱いと判定し、大きい／小さい音を生成できるようにすることを目的としている。

#### 2. 4. 2. 実験方法

被験者3名(以下、A、B、Cとする)に対して、自分で強い／弱いと感じる筆圧でペン入力してもらった。Aは強弱それぞれ400回、BとCは強弱それぞれ100回入力し、ペン入力の読取点ごとに筆圧値を記録した。なお、DTI-520の筆圧は512レベルであるが、タブレットドライバから渡される値の最大値は1023である。また、DTI-520の読取速度は100点/秒であり、1秒間に正確に100回筆圧値を読取っていることを実験前に確認した。

#### 2. 4. 3. 実験結果

以前の実験において、筆圧の平均値を求めるには100回入力で十分であることを確認したが[3]、今回もAの実験で、100回入力の平均値と400回入力の筆圧の平均値が、全ての読取点においてほぼ一致することを確認した。3名の筆圧値(平均値)の時間変化を図3.1, 3.2, 3.3に示す。グラフから分かるように個人差は大きい。Aは100[ms]以降ほぼ一定の値であり、Bも150~200[ms]以降ほぼ一定の値であるが、Cは200[ms]以降も緩やかに上昇している。また、最終的な筆圧値も個々に異なる。

次に筆圧値の分布と標準偏差を求め、強弱の分離について検討した。Aの400回入力の結果を用いて、100, 200, および300[ms]におけるヒストグラムを作成したところ、単峰で左右対称に近い分布であることが確認できた。そこで、以下の2通りを検討した。

- (1) 強の平均値から標準偏差を引いたものと弱の平均値に標準偏差を足したものを比較。
- (2) 強の平均値から標準偏差の2倍を引いたものと弱の平均値に標準偏差の2倍を足したものを比較。

その結果、(1)(2)何れの場合にも、10[ms]以降で強弱の分離が可能であることが分かった。

BとCは100回入力であるが、Aと同様に強弱の分離を検討した。Bは(1)の場合は10[ms]以降、(2)の場合は120[ms]以降で分離可能、Cは(1)の場合は10[ms]以降、(2)の場合は20[ms]以降で分離可能であることが分かった。このように個人差はあるが、強弱の分離は上述した範囲で可能であることが分かった。

### 3. 旋律生成システム

筆者らは液晶タブレットを用いて旋律を生成するシステムを試作してきた。ここではそれらを紹介する。システムの作成において、WAVEおよびMIDIについて[2]を参考にした。

#### 3. 1. 基本演奏システム

液晶タブレットを用いて簡単な演奏ができるシステムを作成した[3][4]。本システムは、音を正弦波の合成で生成する。音量は、ペン入力後100[ms]時点の筆圧値を用いて決める。音の基本周波数は、y軸方向に音階を構成する音を並べておき、ペンで指定することにより決める。音色は、x軸方向にユーザが音色の設定をしておき、ペンで選択する。ユーザ設定では、倍音の合成方法(i倍音のiは小数も可)と減衰関数を指定できる。図4に音を生成するためのユーザインタフェースと音色設定用ダイアログを示す。ユーザインタフェース画面上の各セルに音高と音色が割り当てられており、ユーザがペンで指定したセルの音が生成される。ペンの指定の度に正弦波を合成し、それをサンプリングしてWAVEデータを作成し、音を生成している。

本システムは簡単な楽器として使用できると同時に、音の仕組みを説明する教材としても使用可能である。本システムの問題点は、筆圧値を音量に用いたため、そのばらつきが大きい点である。またペン入力後100[ms]の筆圧値を取得したため、入力から音の生成までの時間遅れが知覚されることも問題である。

#### 3. 2. 旋律生成と図形生成

前述した基本演奏システムを基に、ペン入力に対して、音を生成すると同時に図形を生成するように拡張した[4]。図5の例では、ペン入力に対して、入力座標を中心とし、筆圧に比例した半径の円を、セルと同じ色で表示している。このように単純な方法でも、図形表示がない場合に比べて、ユーザの受ける印象が強いことが分かった。

#### 3. 3. インタラクティブな旋律の生成

提示された図形をペンで順に入力していくことで演奏できるインタラクティブな演奏システムを作成した[5]。音はMIDIで出力する。液晶タブレット上に入力用ウィンドウを作成して入力用図形を提示し、ユーザがその図形内の領域にペ

ン入力すると、音を生成し、図形を変形する。図6の左が入力用図形の提示、右が入力後の図形を示している。入力用図形は、その大きさ、提示時間、移動距離をそれぞれ設定できる。また、入力用図形を提示する順が、既存楽曲の旋律となる方式も試作した。Humdrum形式の楽譜データから、音高と音価の列を作成し、それに基づき、提示図形の位置を変化させている。

前述のシステムで筆圧を音量の決定に使用することの問題点が指摘されたため、本システムでは音量は一定としてペン入力直後に音を生成し、筆圧は図形の変形に用いている。なお、筆圧値取得の度(10[ms]毎)に図形を再描画している。また、先に試作したシステムは、通常の楽器と同様、演奏に練習が必要であるが、本システムは、入力位置が提示されるため、演奏の練習が不要である。リハビリテーションやエンターテインメントへの応用を目指している。

### 3. 4. 仮想的ギター

液晶タブレットの画面上に書かれた弦をペンでなぞることによって演奏することができる音楽インタフェースを図7のように作成した。キーボード(左手)でコードを指定し、ペン(右手)で弦を指定する。キーボードのA~GのキーにギターのA~Gのコードを対応させ、またスペースと同時に押すことでマイナーコード、シフトと同時にセブンスコード、およびスペースとシフトの両方と同時にマイナーセブンスコードを指定する。現在押えているコードがどのコードかということ、そのコードがどの弦の何フレット目を押しているかを画面上に表示している。音源にはMIDIを使用し、画面上の弦に対応したセルにペンが触れたとき音が鳴る。また筆圧によって出力する音量を変えている。

本システムは、現実の楽器をコンピュータ上で仮想的に実現する1つの試みとして作成した。電子楽器に比べてリアリティは低いが、別のエンターテインメントの要素が期待できる。

### 3. 5. 旋律パターンを用いた即興演奏システム

旋律パターンを用いて、楽器演奏経験のない人でも即興演奏が可能となるシステムを試作した。本システムでは、液晶タブレット上で旋律(音高列)パターンを選択し、その開始音および各音の生成タイミングを指定することにより、旋律を合

成する。図8の画面左側が旋律パターンの領域であり、4音旋律をその形状(上行、ゆれ、等)により図9のように分類して配置している。例えば(-n-m l)は3音下がって1音上がるパターンを表す。図8の画面右側が開始音の領域であり、1オクターブ中の5音を2オクターブ分配置している。旋律パターンを選択しておき、開始音領域を4回ペン入力すると、選択された旋律パターンの音が順次生成される。旋律パターン、開始音、共にファイル読み込みで設定を変えることができる。今回、旋律パターンは筆者らが作成したものを、開始音はハ長調の{ド、レ、ミ、ソ、ラ}とした。

筆者らは、同様に旋律パターンを使用し、キーボードをユーザインタフェースとするシステムを試作したが[6]、今回は液晶タブレットをユーザインタフェースにすることで、操作性が向上した。本システムは音楽療法のセッションにおいてクライアントが使用することを目指している。なお、現在、リズムパターンを用いて入力のタイミングを指示するように拡張中である。また、既存楽曲の旋律分析結果を旋律パターンに利用することも検討している。

## 4. おわりに

本研究は近畿大学工学部電子情報工学科の卒業研究として行なった。本稿の2. 1. ~2. 3. は古田直也君(05年度)と弘田達夫君(06年度)、2. 4. は高林明広君(04年度)と和田純一君(05年度)、3. 1. は高林明広君(04年度)、3. 2. ~3. 3. は古田直也君(05年度)、3. 4. は井出宇俊君(05年度)、3. 5. は平岡晋也君(06年度)の卒業研究を基にしている。

本研究では、液晶タブレット上で入力図形の提示時間、大きさ、および移動距離を変化させ、ユーザの成功回数の変化を調べる実験を行い、位置を変えながらインタラクティブにペン入力する場合の入力に適した条件を求めた。また、筆圧のばらつきが大きいことから、筆圧値の強弱の分離が可能であるかを調べる実験を行なった結果、一定の条件で分離可能であった。しかし、強中弱の3段階の分離は難しいと予想され、筆圧値をアプリケーションに用いる際には、大きな制約があることが分かった。

一方、液晶タブレットを使用して旋律を生成する幾つかのシステムを試作した。(1)画面上のペン入力位置で音高と音色を変化させ、筆圧で音の

大きさを変化させるシステム, (2) 前記(1)に加えて図形を生成するシステム, (3) 入力位置をシステムが提示して旋律を生成するシステム, (4) キーボードでコードを指定しペン入力で演奏する仮想的ギター, および(5) 画面上で旋律パターンとその開始音をペンで選択して即興演奏するシステムを試作した. それぞれ使用目的が異なるが, どれもキーボードやマウスに比べ, 液晶タブレットを用いることで操作性が向上している. これらのシステムは音楽家の演奏には使用できないが, 一般のエンターテインメントや音楽療法の一部, 等には応用可能と考える.

今後の課題として, これらのシステムを使用してもらい, 評価する必要がある. また, 筆圧の実験結果を基に, 筆圧の利用方法について検討したい.

### 参考文献

- [1] LCS/Telegraphics:  
<http://www.pointing.com/Resources.html>
- [2] 田辺義和: Windows サウンドプログラミング, 翔泳社, 2001.
- [3] 出口, 高林: 液晶ペンタブレットを用いた音の生成システムの試作, 人工知能学会全国大会(第19回)論文集, 2E2-05, 2005.
- [4] 出口, 古田: 液晶タブレットを用いた音と図形の生成に関する検討, 情報処理学会研究報告 HI-115, pp.7-12, 2005.
- [5] 出口, 古田: 液晶タブレットを用いたユーザインタフェースの試作, 電子情報通信学会 2006 年総合大会講演論文集 A-15-18, 2006.
- [6] 出口, C. Sapp: 旋律パターンを応用した旋律合成システムの試作, 情報処理学会 第 67 回全国大会講演論文集 2, pp.17-18, 2005.



図 1: ペン入力実験画面

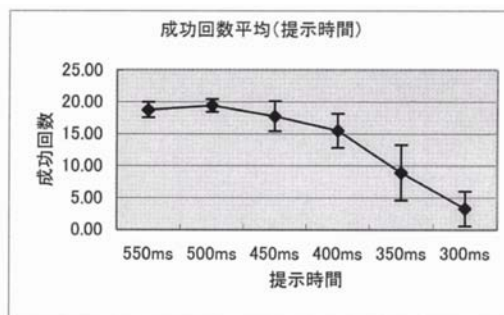


図 2.1: ペン入力実験結果—提示時間の変化

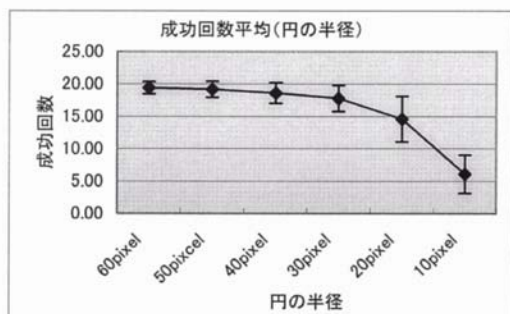


図 2.2: ペン入力実験結果—円の半径の変化

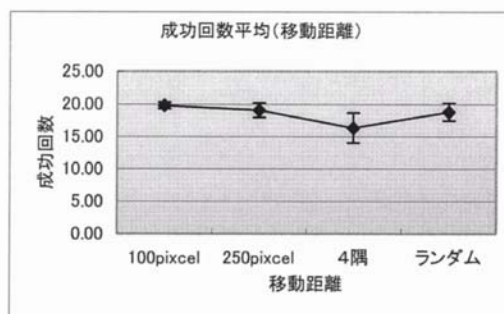


図 2.3: ペン入力実験結果—移動距離の変化



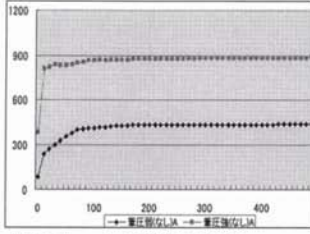


図 3.1 : A の筆圧推移

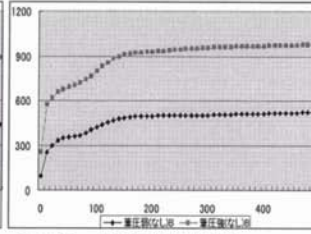


図 3.2 : B の筆圧推移

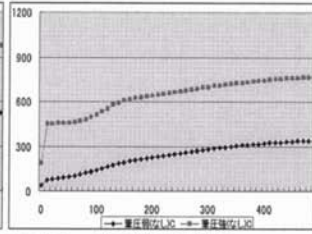


図 3.3 : C の筆圧推移



図 4 : 音生成のユーザインタフェースと音色設定用ダイアログ

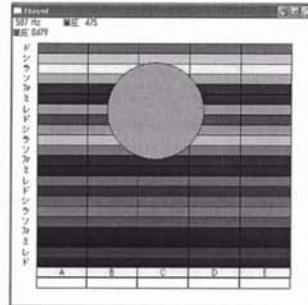


図 5 : 音と同時の図形生成

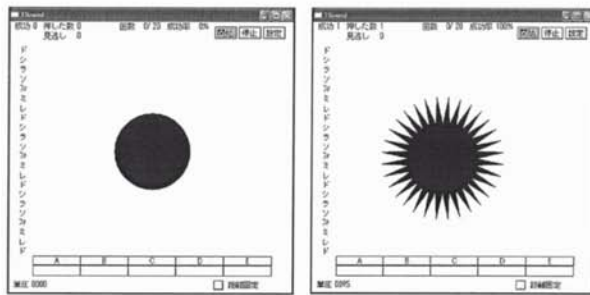


図 6 : ペン入力前画面 (左) と入力後画面 (右)

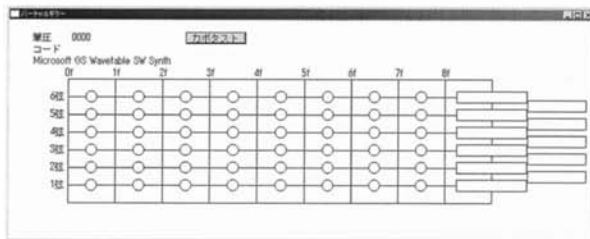


図 7 : 仮想的ギター

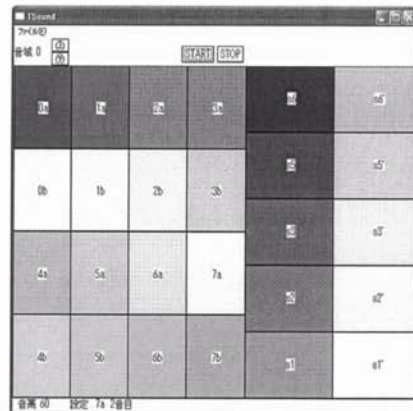


図 8 : 即時演奏システム

0 a	1 a	2 a	3 a
(- n - m - l)	(- n - m m)	(- n n - m)	(- n n m)
0 b	1 b	2 b	3 b
(- n - m - l)	(- n - m l)	(- n m - l)	(- n m l)
4 a	5 a	6 a	7 a
(n - n - m)	(n - n m)	(n m - m)	(n m l)
4 b	5 b	6 b	7 b
(n - m - l)	(n - m l)	(n m - l)	(n m l)

図 9 : 旋律パターンの配置