

## タッチパネル援用電子楽器 Cymis における最適な五線譜サイズの検討

藤井博之, 奥野竜平, 金寛, 赤澤堅造

大阪大学大学院情報科学研究科

要約: 本論文では, 中高年を対象とした電子楽器 Cymis において音符ターゲットの幅と形状を決定することを目的とした. 中高年者によるポインティング実験を行い, ターゲット幅は 18[mm], 形状は円形とした. また, 簡単な曲の演奏実験を行い, 中高年が 90[bpm]のテンポで正確に演奏できることを示した.

### Study of suitable size of musical score displayed on the touch panel-aided electronic musical instrument Cymis

Hiroyuki Fujii, Ryuhei Okuno, Gwan Kim, Kenzo AKAZAWA

Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

**Abstract:** The purpose of the present study was to determine the width and shape of a target for an electronic musical instrument, Cymis. 18 mm was determined as the best width of the target and a circular was decided as the shape by carrying out pointing experiments. The middle aged persons could smoothly play a song at a tempo of 90 bpm with the interface designed.

#### 1. はじめに

高齢化社会において, 中高年で楽器の演奏を楽しみたいという希望を持つ人が増加傾向にあり, 演奏初心者を対象とした電子楽器が発売されている<sup>1,2)</sup>. 指一本で容易に演奏が可能な Coloring-in Piano<sup>3)</sup> や, TFP<sup>4)</sup> などである. しかし, 一般的な楽器演奏は長期間に渡る練習が必要であり, 挫折する人が多く, 初心者の中高年が手軽に演奏を楽しむには至っていない.

楽器演奏初心者でも容易に演奏ができ, そして上達によって演奏の真の楽しみが得られるような新しい楽器が開発され, 中高年, 高齢者がそれを気軽に利用することが出来れば, 彼らの生活をより心豊かなものとすることができ, QOL向上の観点から重要な意義がある<sup>5)</sup>.

一般的な楽器演奏における過程は, 演奏者が楽譜情報を認識・理解して, 手や口を用いて楽器に働きかけ, 楽器から音を発生させる, とい

うものである. 楽譜を理解し楽器を操作するという一連の動作に習熟が必要であり, これらが楽器演奏を難しくしている.

このような背景から本研究室では, ディスプレイの画面上に楽譜情報を提示し, 同時に, 画面上に対して行う演奏者の運動(ポインティング動作)の情報(位置座標値と圧力値)を検出, 処理し, 楽音制御信号を出力して, 楽音を発生する新しい電子楽器, Cymis (Cyber musical instrument with score)を開発している<sup>6)</sup>. この楽器(以下, システム)においては, 画面上に楽譜が表示されており, 音符を指でリズム良くポインティングすることにより演奏を行う. 楽譜情報の認識, 理解, 楽器操作という一連の過程を, 音符のポインティングという単一の動作に置き換え, 楽器演奏初心者でも容易に楽曲の演奏が可能であることを示した<sup>7)</sup>.

楽譜表示方式を設計するにあたり, 五線譜の

サイズ及び音符のサイズは、演奏者が正確にポインティング出来ること、楽曲を演奏できるような十分な音階を有していることが必要である。以降、音符をターゲットと呼ぶ。

本研究では、中高年が容易に演奏できるような五線譜の線間距離とターゲットのデザインを決定し、演奏が可能であることを示すことを目的とする。

## 2. Cymis の概要

### 2.1 システム構成と演奏の流れ

本システムの構成と演奏における信号の流れを図1に示す。本システムは、タッチパネルを内蔵した液晶ディスプレイ(以下、タッチパネルと略す)、パーソナルコンピュータ(以下、PC)、MIDI(Musical Instrument Digital Interface)規格の音源、スピーカから構成されている。タッチパネルは超音波表面弾性方式でポインティングの検出を行い、圧の検出が可能である。同時に2点以上の検出は不可能である。

本システムを用いた演奏における信号の流れについて述べる。まず演奏者は演奏する曲目、演奏スタイル(楽器音の種類、演奏方法)を選択する。曲目の楽譜データのフォーマットは独自に定義したものであり、PCに保存されている。選択された曲目の楽譜データより楽譜表示信号が作成される。また、演奏制御信号(後述)を受け、表示の更新が必要と判断した場合にも楽譜表示信号が作成される。楽譜

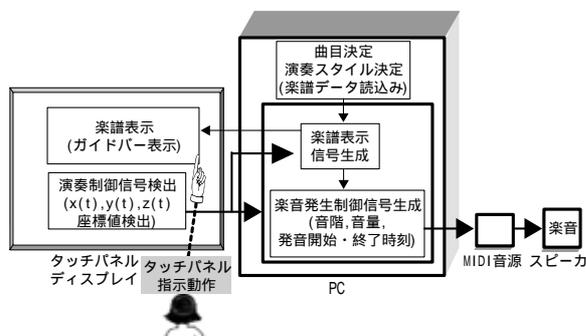


図1 Cymis のシステム構成と信号の流れ

が画面に表示される。演奏者の画面上へのポインティングの信号(x軸、y軸の各座標値  $x(t)$ ,  $y(t)$ , 圧力値  $z(t)$ )をタッチパネルが検出する。この信号を演奏制御信号と呼ぶ。演奏制御信号を用いて、PCが楽音発生制御信号(発音する音の音階、音量、発音の開始および終了時刻)を生成する。本システムでは楽音発生制御信号にMIDIメッセージを用いMIDI音源に送信する。スピーカより発音される。

### 2.2 Cymis の操作・表示インターフェース

本システムの操作・表示のインターフェースを図2(a)に示す。このインターフェースは画面上部の8小節表示部、画面下部の操作部より構成される。8小節表示部には小さな楽譜が表示され、現在演奏中の小節の箇所が明示されている。

操作部には2小節分の楽譜情報が表示される。その2小節には五線譜と、各五線の間際に点線が表示されている。五線譜上には音符符頭を意味する音符ターゲット(円または正方形)が表示されている。円の直径、正方形の1辺を音符ターゲット幅と呼ぶ。音符ターゲット幅は五線譜の線間距離に等しくした。

y軸方向は音階を表す。操作部において、図2(b)の斜線部の領域(y軸方向の幅が五線譜の線間距離の半分である四角形と音符ターゲットの和集合)内をポインティングすると、音符ターゲットの中心に対応する音階の音が発生する。ここでは、五線譜の線間距離の半分の1音階の幅と呼ぶ。

x軸方向は時間に対応し、2つのターゲットの間隔(中心間距離)が音符の長さ(4分、8分など)に相当する。

演奏は次のようにして行う。演奏者はターゲットを左から順にポインティングし、演奏を行う。演奏が進み、ポインティング点が次の右側の小節に入ると、その直前の左側の小節の表示が更新される。ポインティングは、右側の小節の次は、左側の小節である。なお、上達した場

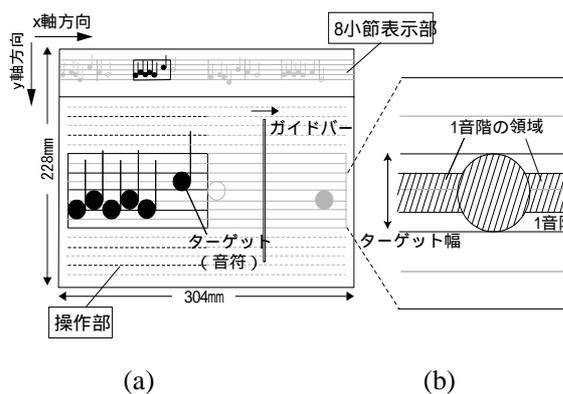


図2 Cymis のインターフェース

合、必ずしも音符ターゲットをポイントすることなく、y軸のみの領域区分で判断できる四角形をポインティングすることにより演奏できるように上記の1音階の領域を設定した。

アシスト機能としてガイドバーの表示を演奏者は選択することが可能である。ガイドバーは図2に示すような操作部に表示された縦線であり、ある一定の速さで左から右へスクロールする。ガイドバーと交差した音符ターゲットをポインティングすることで、一定のテンポで楽曲を演奏することが可能となる。

### 3. 音符ターゲットのサイズ・形状の決定

本システムでは、演奏できる楽曲の種類、演奏できる楽器の種類が多くなるという点において、画面に表示する音階の数は多い方が望ましい。しかし、1音階の幅や音符ターゲット幅が狭すぎれば、ポインティングが困難となる。そこで、本研究では、まず、演奏者がある程度正確にポインティング可能な1音階の幅の下限值を求める。別途、音符ターゲット幅の下限值を求める実験を行う。両者の結果から適切な音符ターゲット幅を決定する。また、音符ターゲットの形状(円形か正方形)についても決定する。

#### 3.1 「1音階の幅」の決定

##### 3.1.1 実験方法

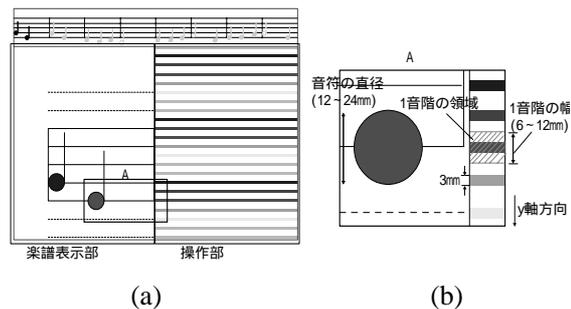


図3 「1音階の幅」を決定する  
実験のインターフェース

1音階の幅の下限值を決定するための実験を行った。被験者は青年5名(22~24歳)、中高年5名(40歳代1名,50歳代3名,60歳代1名)であった。

図3に実験に用いた表示画面を示す。図3(a)の左側は楽譜表示部である。1小節分の五線譜(実線)と音符が表示されている。図3(a)の右側は操作部である。1音階の幅は、楽譜表示部の五線譜の線間距離の半分とした。また各音階の中央に幅3[mm]の横線を表示した。音階毎に異なる色とした(図3(b)参照)。

用いた楽曲は「かっこう(総音符数:26個)」である。被験者には、右手示指にて操作部をポインティングし、楽譜表示部の音符に対応する音階の音が発生するように指示した。その時のポインティング位置(y座標値)を記録した。なお、演奏におけるテンポは自由とした。

1音階の幅を6~12[mm]の範囲で1[mm]毎に変化させた。変更の順番はランダムとした。

##### 3.1.2 処理方法

本研究では、1音階の幅の下限值を求めるために、各幅における( )ポインティング正解率と( )1次元有効ターゲット幅を算出した。ポインティング正解率は、指示された1音階の幅の中のポインティングを正解とし、提示された全音符数に対する正解のポインティング回数の割合である。さらに分布を考慮した、MacKenzieらの1次元有効ターゲット幅も指標として用いた<sup>9)</sup>。この指標は、ポインティング位置の分布を計測し、ある成功率でポインティ

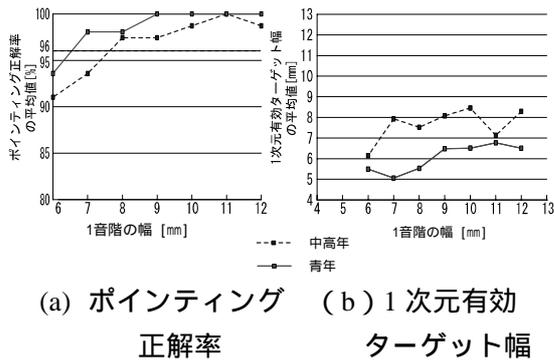


図4 1音階の幅決定のための実験結果

ングできるターゲットの幅（有効ターゲット幅）を表現するものである。ここでは、ポインティング位置（ $y$ 座標値）から標準偏差  $\sigma_y$  を算出した。ポインティングの成功率を 96%とした場合、つまり正規分布の信頼度 96%の値（4.133）を用いて、1次元有効ターゲット幅  $W_1$  を

$$W_1 = 4.133 \cdot \sigma_y \quad (1)$$

として求めた。

### 3.1.3 結果

図4(a)は種々の1音階の幅におけるポインティング正解率で、青年、中高年それぞれのグループの平均値である。正解率は幅が大きくなるとともに増加した。青年では7[mm]において平均98%（標準偏差(SD):2.1）、中高年では8[mm]において平均98%（SD:2.1）の正解率が得られた。

図4(b)は1次元有効ターゲット幅の各グループの平均値である。青年では、1音階の幅が6[mm]以上で、1次元有効ターゲット幅はそれより小さかった。すなわち、1音階の幅が6[mm]以上の場合、96%以上の確率で、1音階の幅をポインティングすることが可能であることを示している。中高年では1音階の幅が8[mm]以上で1次元有効ターゲット幅がそれより小さくなった。

以上の結果から、本システムでは中高年者がある程度正確に演奏できるように、1音階の幅の下限値を8[mm]と決定した。

## 3.2 音符ターゲットの幅および形状の決定

### 3.2.1 実験方法

音符ターゲットの幅および形状を決定するための実験を行った。被験者は青年6名（21~24歳）、中高年4名（40歳代1名、50歳代3名）であった。

実験は、図2(a)に示す表示画面を用いた。被験者には、操作部に表示された音符ターゲットをポインティングし、楽曲を演奏するように指示した。その時のポインティング位置（ $x$ 座標値、 $y$ 座標値）を計測した。演奏におけるテンポは自由とし、右手示指1本のみによってポインティングを行った。演奏した楽曲は、「かっこう（総音符数：26個）」と「はと（総音符数：32個）」の2曲とした。音符ターゲット幅12、14、16、18、20 [mm]の計5種類について実験を行った。

同様の実験を、円形および正方形の音符ターゲットについて行った。

### 3.2.2 処理方法

音符ターゲット幅および形状に対し、ポインティング正解率および有効ターゲット幅を算出する。後者については、岩瀬らの2次元有効ターゲット幅を用いる<sup>10,11</sup>。ポインティングの成功率を96%とした時、 $x$ 軸方向、 $y$ 軸方向それぞれの有効ターゲット幅 $W_2$ 、 $H_2$ は式(2)で与えられる。

$$W_2 = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2} \left\{ \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2 \sigma_y^2 r^2} \right\}} \quad (2)$$

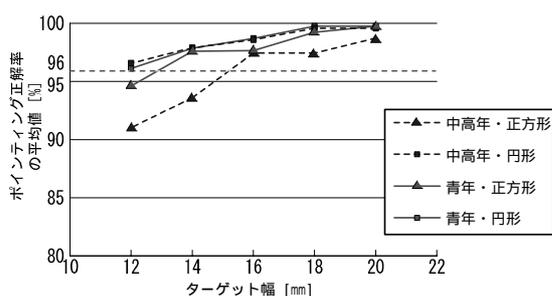
$$H_2 = \sqrt{\frac{2B}{1-r^2} \left\{ \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_x^2 \sigma_y^2 r^2} \right\}}$$

$$B = -2(1-r^2) \log_e(1-A), A = 0.96$$

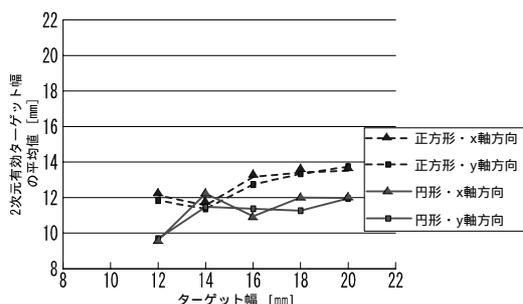
ここでは、 $\sigma_x$ は $x$ 軸方向におけるポインティング位置の標準偏差であり、 $r$ は $x$ 座標値と $y$ 座標値の相関係数である。

### 3.2.3 結果

実験結果を図5に示す。図5(a)はポインティング正解率の平均値である。青年では、円形の



(a) ポインティング正解率



(b) 中高年の 2次元有効ターゲット幅

図 5 ターゲット幅決定のための実験結果

音符ターゲットにおけるポインティング正解率 96%は、ターゲット幅が 12[mm]以上で、正方形においては 14[mm]以上であった。中高年では円形においては 12[mm]以上、正方形においては 16[mm]以上であった。両グループとも円形の音符ターゲットの方が正方形よりも高い正解率であった。

図5(b)は中高年における2次元有効ターゲット幅の平均値である。概ね円形の方が正方形よりも小さい値であった。これは、正確なポインティングの点では、円形が正方形よりも優れていることを示す。また、音符ターゲット幅が 14 [mm] 以上の場合、2次元有効ターゲット幅はそれより小さかった。これは青年についても同様であった。

以上の結果より、音符ターゲットの形状は円形に決定した。音符ターゲット幅の下限値は 3.1 の結果を基にすると 16[mm]以上必要である。画面上の音階の表示は、一般的な管楽器の音域である 3 オクターブ程度あれば十分であると考えられる。15 インチのモニタを使用する場合、下限値よりも大きな値を採用し、音符

ターゲット幅の最適値を 18[mm]と決定した。

## 4. 演奏実験

### 4.1 実験方法

決定した音符ターゲット(1音階の幅 8[mm]、音符ターゲット幅 16[mm]、円形)を用いた Cymis の性能を評価するため、つまり中高年者でも十分な正確さで演奏できるかどうかを明らかにするための実験を行った。被験者は青年(22~24歳)5名、中高年5名(50歳代4名、60歳代1名)とした。課題曲は「大きな古時計(総音符数 150個)」である。演奏におけるテンポは青年、中高年ともに 90[bpm]とし、ガイドバーを用いて演奏した。ポインティングの開始時刻、位置(x座標、y座標)、および指をタッチパネルから離れた時刻(ポインティングの離脱時刻)を計測した。本実験を1日に1回、3日間連続して行った。

### 4.2 処理方法

楽曲演奏評価のため、ポインティング正解率、リズム正解率、デュレイション正解率の3つの指標を算出した。3指標は次のように定義する。

演奏者がi番目の音符ターゲットに対しポインティングを行った時刻が $t_{on}^i$ 、指を離れた時刻が $t_{off}^i$ である。ポインティング正解率は、全ての音符ターゲットに対する音符ターゲット内をポインティングした回数の割合とした。

リズムは、ポインティング開始時刻 $t_{on}^i$ に関する指標である。開始時刻が、ガイドバーが音符ターゲット内にある時間、 $t_s^i < t_{on}^i < t_e^i$ であれば正答とした。1曲内の全ての音符ターゲットにおけるリズムの正答の割合をリズム正解率とした。

デュレイションに関しては、i番目の音符のポインティング終了時刻 $t_{off}^i$ はi+1番目の音符の直前が最善であるが、本研究では条件を緩くした。時刻 $t_d^i$ をガイドバーがi番目とi+1番目の音符ターゲットの中間位置にある時刻とする。 $t_d^i < t_{off}^i < t_s^{i+1}$ の場合、デュレイションは正答で

あるとした .1 曲内の全ての音符ターゲットにおけるデュレイションの正答の割合をデュレイション正解率とした .

青年と中高年のそれぞれについて ,3 指標の平均値を求めた .

#### 4.3 実験結果

図 7 に中高年者における 3 日間の 3 指標の値を示す . ポインティング正解率に関しては , 3 日間を通してほぼ 100%と , 高い値であった . 中高年でも正確にポインティングでき , 楽曲の演奏が可能であることを示した .

リズム正解率に関しては , 75%であった . デュレイション正解率に関しては , 70%程度の値であった . 実験中の演奏を聴いたところ , リズムに関しても大きなずれは感じられなかった . リズム正解率が 75%程度であっても , 曲の演奏としては違和感のあるものではなかった . リズムがどれだけ外れているかを数値で扱っていき , 単に正解か否かの回数で評価しているためである . リズム , デュレイションに関して , 3 日間を通して , 2 日より 3 日目の方が正解率が上昇している . 練習を行うことで , リズム , デュレイションが改善され , 演奏の上達が見られることを示唆している . なお , 数値としては 3 日間という短期間での評価のみ提示するに留まっているが , 曲目演奏において , 2 名の中高年について , 明らかな演奏の上達が確認されていることを明記しておく .

#### 6 . おわりに

タッチパネルを用いて楽譜情報を表示し , 音符ターゲットをポインティングすることにより , 楽曲が演奏できる新しいタイプの中高年向けの電子楽器 Cymis を開発しており , 本研究では正確にポインティングできる音符ターゲットの幅 , 形状を実験を行い決定した .

・青年および中高年を用いた実験を行い , 1 音階の幅の下限値が 8[mm] , 音符ターゲット

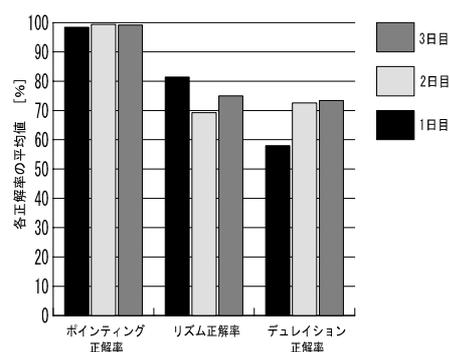


図 7 演奏評価実験の結果

幅が 16[mm]以上必要であることを示した . また , 評価実験より音符ターゲット幅の最適値として 18[mm]を決定した .

- ・音符ターゲットの形状は正方形より円形の方が正確にポインティングが可能であり , 形状は円形と決定した .
- ・決定した音符ターゲットを用いて演奏実験を行い , 中高年が 90[bpm]のテンポで正確に音符ターゲットをポインティングでき , 楽曲の演奏が可能であることを示した .

#### 参考文献

- 1) カシオ (株) , 富田尋 , 本田久美子 : 電子楽器 , 特開 H11-272270 , (1999) .
- 2) WholeTone <http://chromatic-keyboard.com/> .
- 3) 大島千佳 他 : Coloring-in Piano : 表情付けに専念できるピアノの提案 , 情報処理学会研究報告 2001-MUS-42 , 69-74 , (2001) .
- 4) 片寄晴弘 他 : TFP の改良と教育利用における評価 , 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告 , 96-MUS-16 , 21-25 , (1996) .
- 5) 二俣泉 : 音楽療法の設計図 , 春秋社 , 38-39 (1999) .
- 6) 赤澤堅造 他 : 高齢者も演奏可能な新しいサイバー楽器の開発を目指して , 情報処理学会研究会報告 , 2003-MUS-52 , 15-19 , (2003) .
- 7) 藤本慎一郎 他 : 中高年のための符頭表示 PC 演奏システムの評価 , 第 3 回情報科学技術フォーラム講演論文集 397-398 , (2004.9) .