

楽器鍵盤による音楽情報編集システム

中山 圭 野池 賢二 野瀬 隆 乾 伸雄 小谷 善行

(東京農工大学 工学部 電子情報工学科)

本論文では、楽器鍵盤を利用して、音楽情報を計算機上で編集するインタフェースを提案する。利用者にとって、今日用いられている楽器鍵盤と計算機のキーボードを併用する方式は、インタフェース間の移動や慣れの手間を必要とする。そこで、そのような手間を削減するだけでなく、楽器鍵盤特有の打鍵速度を編集作業に利用することで、より効率よく感覚的に作業を行う方法について考案し、システムを実現した。評価実験を行い、システムを利用者の打鍵情報から総合的に評価し、従来の方法との比較評価を行った。その結果、従来の方法よりも作業速度の点で優れていることが示された。実験結果に基づき、打鍵速度を利用するインタフェースの今後の可能性について考察する。

A Musical Information Editing System by Using Musical Keyboard

Kei NAKAYAMA, Kenzi NOIKE, Takashi NOSE, Nobuo INUI, Yoshiyuki KOTANI

(Tokyo University of Agric. and Tech., Dept. of Computer Science)

In this paper, we propose how to use a musical keyboard as interfaces of computer to edit a musical information. Many systems use both musical keyboard and computer keyboard. Such systems require exchange of interfaces and practice of their use to users. Therefore, we propose a editing system which only uses a musical keyboard and some useful function. We made an experiment and gathered the users' key-stroke information against some subjects who have various musical experiences. As the result, we found the availability of our system compared with other traditional methods. Finally, the application of velocity toward future interface is described.

1 はじめに

MIDI を利用した演奏データは、通信技術の発達とともに様々なところで利用されている。

現在、計算機上で音楽情報を入力・編集する作業は、音程などの音楽的要素の強い情報を楽器鍵盤から入力し、計算機のキーボードから細かな修正を行うことで、人間味のある演奏データを製作する方法が一般的である [5] [6]。この方法では、楽器鍵盤と計算機のキーボードという二つのインタフェースを併用することになり、インタフェース間の移動や異なったインタフェースを使うことで、利用者負担がかかる。また、計算機を用いた編集では、音楽とい

う人間の感覚から生み出されるものを数値的に処理しなければならないことから、難しいという印象を与えている [7]。そこで、音楽情報の作成過程をすべて楽器鍵盤インタフェースを用いて行う方針でシステムとして実現する。また、楽器鍵盤特有の機能を取り入れた編集方法を提案し、今後の展望を述べる。

2 システム設計方針

楽器鍵盤から編集作業を行うシステムの設計方針について述べる。

2.1 音楽情報の表示形式

音楽情報の表現形式として一般的なのは、画面の五線譜にマウスで音符を貼り付ける形式か、音符を数値化して演奏情報を記述していく形式である。しかし、五線譜に音符を置いていく形式では、人間味溢れる演奏データを作成することが困難である [6]。本システムでは人間味溢れる演奏データの作成支援という方針で、音符を数値化する形式を採用する。

音楽情報は次の四つの数値パラメータで表す。

- 音程 (Note Number)
- 音価 (Step Time)
- 発音時間 (Gate Time)
- 強さ (Velocity)

単音一つは、これら四つのパラメータで表現される。画面一行に単音一つが表示され、縦にリスト形式で表示することで、演奏データとなる。

2.2 編集機能の設計

一般的にエディタと呼ばれるシステムでは、カーソルキーの使用頻度が約 50% である [8]。目的の場所にスムーズにカーソルを移動させることが、エディタの使いやすさを左右する。また、音楽の作成支援系として音価が 2 のべき乗で表記されていることに着目し、楽器鍵盤の持つ打鍵速度や複数同時打鍵を編集作業に利用することを試みる。

楽器鍵盤インタフェースは、挿入・削除・データの保存、読み込みなど音符を数値化して扱う音楽アプリケーション [6] に採用されている機能に加え、次に示す特殊な編集機能を持つ。

• カーソル移動

打鍵の強さを利用したカーソルの上下左右移動を行う。

楽器鍵盤から送信される Velocity を 3 段階に分け、打鍵する強さによって同一鍵でカーソル移動の距離が変わるように設計した。つまり、利用者が普通に打鍵 (Velocity 1 ~ 64) しているときは 1 音符ずつ移動し、少し強めに打鍵 (Velocity 65 ~ 114) したときは 1 小節、かなり強く打鍵 (Velocity 115 ~ 127) したときはデータの先頭または最後に移動させる。この機能を “Velocity Jump” と呼ぶ。カーソルの左右移動は移動量が少ないため、この機能はデータを上下に移動するときに機能する。

• 音価の入力

音価の入力には、計算機のキーボードでは通常使われない複数鍵の同時打鍵を利用する。

基本的に音符は 2 のべき乗で表記されているので、限られた音価の組み合わせでより多くの音価を表現することができる。楽器鍵盤には基本

となる音価を割り当て、それらを複数同時に打鍵することによって多くの音価を 1 打で高速に入力できる。付点音符ならば、音符に相当する鍵とその右隣の鍵を同時に打鍵することで入力可能で、複付点音符のような特殊な音符も 1 打で入力することができる。

2.3 インタフェースの設計方針

楽器鍵盤を編集作業に使うためには、鍵盤の一部を犠牲にするか、システムに編集作業用のモードを持たせる必要がある。編集作業に楽器鍵盤を使うことで、本来演奏データを入力することができる鍵盤を使用不可にすることは、演奏データの作成支援として好ましくない。そこで、鍵盤をすべて編集作業に使うために、システムは次の三つのモードを持つようにする。

• INPUT mode

通常の演奏を行い、音程を入力する。

• EDIT mode

編集作業を行う。機能は 2.2 節を参照。

• THRU mode

演奏のリハーサルを行う。打鍵情報は、システムに反映されない。

モードの切り替えは、計算機に接続する鍵盤楽器に依存しないように、ダンパー (サスティン) ペダルを使い、ロータリー方式で切り換える。

2.4 編集機能の割当て

2.4.1 楽器鍵盤の使用頻度

EDIT mode において、楽器鍵盤に各機能を割り当てるために、楽器鍵盤の各鍵の使用頻度を調査した。この調査は、166 曲の MIDI ファイルを対象として行った。その結果を図 1 に示す。

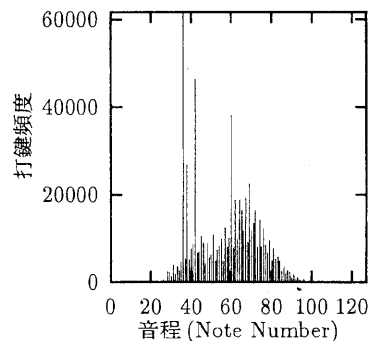


図 1 各鍵の利用回数

図 1 における、Note Number の 36, 38, 42 は、リズムのデータに多く含まれるもので評価対象外と

する。この図 1 から、Note Number の 40~80 に打鍵が集中していることが解る。利用者にとって最も自然に打鍵することができるのは鍵盤の中央付近であり、幅広い鍵盤上を手が大きく移動しないように配慮し、編集機能を割り当てることが最も適当だと考えられる。

2.4.2 楽器鍵盤の割当て

2.4.1 節の結果を考慮して、図 2 のように楽器鍵盤に編集機能を割り当てる。計算機のキーボードの場

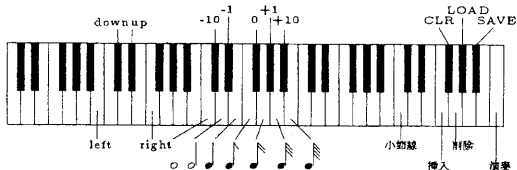


図 2 編集機能の割当て

合、通常、カーソルキーは右手で操作するが、楽器鍵盤の場合は左手で行う。鍵盤楽器を演奏する場合、左手よりも右手の移動範囲が広い。そこで、右手を数多くの編集コマンドの実行に使い、左手はカーソルの移動だけに専念させる。一般的に、右利きの人間は左手での連続打鍵を苦手とするが、打鍵の強さでカーソル移動の距離が変わるため、連続打鍵の必要性はあまり無いと判断した。

3 実験 1: 習熟度の測定

複数の利用者に同一の課題を実行してもらい、その打鍵情報からシステムを評価する。

3.1 実験課題

実験課題は、16 小節の楽譜をシステムに入力し、指示された編集操作を行うものである。課題とした楽譜はすべて未発表で、16 小節の中に単音、和音、アルペジオなど、おおよそ普通の楽譜に登場するような音符列を含んでいる。

同一の被験者に対し、同様の課題をあまり時間を問わずに四回実行させることで、楽器鍵盤インタフェースに対する習熟度を評価する。

3.2 被験者

被験者は音楽経験の異なる五人である。各被験者をそれぞれ A, B, C, D, E とすると、音楽経験の違いから次のように分類することができる。

1. ある程度鍵盤楽器を弾くことができ、従来のシステム使用歴がある (A, B, C)

2. 鍵盤楽器を弾くことはあまりできず、従来のシステム使用歴がない (D, E)

被験者は全員楽譜を読むことができる。しかし、2 の被験者には、データ構造やシステムの使用方法について事前に指導し、理解したことを確認してから実験を行った。

3.3 実験環境

実験は、次のような環境で行った。

- 計算機: NEC PC-9801BA
- 鍵盤楽器: YAMAHA DX-7s(61 鍵)

計算機のディスプレイの正面に楽器を配置し、楽器の真下にダンパーペダルを固定した。

3.4 実験結果

実験中の打鍵情報は、あらかじめシステムに組み込んだ時間計測ルーチンで測定した。打鍵情報は、10ms の精度で打鍵時刻とともに記録される。

各実験課題について、被験者別に平均打鍵間隔時間(ある打鍵から次の打鍵までの時間)を割り出し、グラフ化したものが図 3 である。

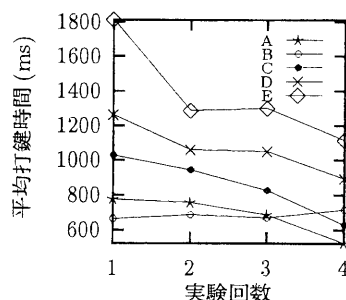


図 3 習熟度

図 3 によると、被験者 B を除いてすべての被験者が課題を実行することに平均打鍵間隔時間が減少している。打鍵情報を解析した結果、打鍵間隔時間の減少は、全作業の約 60% を占めるカーソル移動時間の減少が主な理由であることが解った。カーソル移動用に左手を固定したため、被験者にとって覚えやすく、スムーズに行えたと考えられる。

減少の割合は被験者によって異なるが、楽器鍵盤からの作業は音楽経験のある利用者にとって短時間で慣れることができ、被験者 B のように鍵盤楽器に慣れ親しんでいる利用者は、最初からある程度の速度でシステムを使うことができると考えられる。

4 実験 2: 計算機キーボードとの比較評価

実験 1 では、楽器鍵盤からの全作業を評価した。実験 2 では、楽器鍵盤から編集作業を行った場合と、計算機のキーボードを利用して作業を行った場合を比較し、楽器鍵盤による編集作業の利点について考察する。演奏データの作成は、リアルタイムでフレーズを弾き、それを細かく編集することが主な作業である。そこで、音程の入力に関する打鍵情報は一切考慮せず、編集作業だけを評価対象とする。

4.1 計算機キーボードの編集機能割当て

実験 2 のために、本システムを楽器鍵盤だけではなく計算機のキーボードからも同様の作業を行うことができるように改良した。しかし、“Velocity Jump”や複数同時打鍵を利用した音価の入力方法は、計算機のキーボードでは実現できない。そこで、計算機のキーボードに適した方法で、同様の機能を実現する。

- Velocity Jump

計算機のキーボードでは、二つのキーを組み合わせて実現する。1 音符の移動はカーソルキーを使い、1 小節の移動は SHIFT キーを押しながらカーソルキーを押し、データの最初や最後への移動にはそれぞれ ‘t’, ‘e’ を割り当てた。

- 複数同時打鍵を利用した音価入力

テンキーで直接数値を入力する。ファンクションキーには、全音符から 32 分音符までを割り当てたが、実験 2 では使用しない。

これらの編集機能割当ては、音符を数値化する方式を採用しているシステム [6] とほぼ同じで、比較評価の対象として適していると考えたからである。

その他の機能の割当ては、表 1 に示す。

表 1 計算機のキーボードの割当て

挿入	INS	+1	(+)
削除	DEL	+10	(=)
クリア	CLR	0	(space)
モード切替	TAB	-10	(/)
セーブ	CTRL + (s)	-1	(-)
ロード	CTRL + (l)	小節線	(*)
演奏	CTRL + (p)		

4.2 実験課題

実験 2 では、8 小節の楽譜の入力・編集を各被験者ごとに四回連続で行う。二回は計算機のキーボードから編集作業を行い、残りの二回は楽器鍵盤から編集作業を行う。課題となる楽譜は、すべて未発表で、A1, A2, B1, B2 とし、A1 と A2, B1 と B2 は

ほぼ同じ楽譜である。実験順位依存性をなくすために、まず計算機のキーボードから一回（楽譜 A1）行い、二回目（楽譜 B1）、三回目（楽譜 A2）は楽器鍵盤から行い、最後（楽譜 B2）は計算機のキーボードから行う。

また、実験 2 では“Velocity Jump”と“インタフェース間の移動時間”を評価対象とするために、次の条件を設定した。

1. 楽譜は 1 小節ずつ入力・編集する
2. モードの切替は、編集作業を行うインタフェースで行う
3. 音程の入力は、常に楽器鍵盤から行う

4.3 被験者

被験者は、音楽経験の異なる四人である。各被験者を F, G, H, I とすると、音楽経験の違いから次のように分類することができる。

1. 本システムの利用歴がある (F, G)
2. 本システムの利用歴のない初心者 (H, I)

被験者はすべて楽譜を読むことができる。また、全員本システムの音楽情報の表示形式に類似した音楽エディタ [6] を使った経験がある。実験を始める前に、各インタフェースの機能割当てについて説明し、理解したことを確認した上で実験を開始した。

4.4 実験環境

実験は、次のような環境で行った。

- 計算機: NEC PC-9801BA
- 鍵盤楽器: YAMAHA DX-7s(61 鍵)

計算機のキーボードと鍵盤楽器を並べて配置し、モード切替用のダンパーペダルは鍵盤楽器の真下に固定している。したがって、楽器鍵盤からすべての作業する場合は物理的な移動を伴わないが、計算機のキーボードを併用している場合は、利用者の腕の移動が伴う。

4.5 実験結果

実験 2 によって得られた四人分の打鍵情報の分析・集計結果について述べる。

4.5.1 打鍵速度の利用

打鍵する強さによって変化する機能について評価を行う。実験 2 によって得られた打鍵情報から、“1 小節の移動”を行ったときの打鍵間隔時間を抽出し、表 2 にまとめた。

なお、被験者 H については計算機のキーボードからの編集作業の際に、1 小節の移動を一度も実行しなかったため、比較評価の対象外とした。

表 2 1小節の移動を行うための打鍵間隔時間 (ms)

被験者	楽器鍵盤	計算機キーボード	時間差
F	389.5	732.0	-342.5
G	457.2	611.2	-154.0
I	981.5	1314.0	-332.5

実験2では、楽譜を1小節ずつ入力することを条件としている。被験者が1小節の移動を実行しようとするのは、音程を入力し終わってからその小節の最初の音符にカーソルを合わせる場合か、最後に入力した音符から逆順にパラメータの修正を行い、最終的にその次の小節にカーソルを合わせる場合のどちらかである。そのため楽譜の認知などの思考時間はほとんど含まれず、表2の打鍵間隔時間は1小節の移動を行う方法を思い出す時間と、思い出した方法を実行するためにキーを叩くまでの時間である。

表2によると、同一の機能を複数のキーを組み合わせた場合より、叩く強さで変える方が打鍵時間が短い。楽器鍵盤と計算機のキーボードで完全に思考時間を排除して連続打鍵した場合、その打鍵時間の差は約10ms（楽器鍵盤170ms：計算機160ms）であることが、事前に行った打鍵速度測定実験によって解っている。それを考慮しても、表2から、打鍵速度を利用した方が複数のキーを組み合わせたよりも速く実行できると考えられる。

また、もう一つ重要なことは、打鍵速度によって機能を変化させる方法が理解しやすいということである。被験者Hは、実験開始前に両インタフェースでのカーソル移動方法について理解している。しかし、実験中に計算機のキーボードから1小節の移動を行う機能を使わずに、すべて1音符の移動で済ませてしまっている。打鍵速度と複数のキーを組み合わせたという二つの方法を比べた場合、印象に残りやすい操作方法で無意識に思い出すことができるという点で、打鍵速度を利用する方法が優れていると考えられる。

4.5.2 インタフェース間の移動

楽器鍵盤から作業する場合はダンパーペダルを踏むまでの時間で、物理的な移動を伴わないが、一般に手より反応の鈍い足を使った切り替えとなる。計算機のキーボードで作業する場合、モード切り替えキーを押すことは一般的な打鍵と同じ感覚で実行できるが、その前に体または腕の移動とインタフェースが変わった直後に被験者がそのインタフェースに馴染むまでの時間がかかる。両インタフェースともに利点と欠点があるが、どちらの作業時間が短く作業しやすいかについて評価する。

被験者が音程を楽器鍵盤から入力した後、EDIT modeに移行するまでの時間情報を抽出した。それを表3に示す。表3の値は、モード切替前の最後の打鍵から切替完了までの時間である。

表 3 モード切替時間

被験者	楽器鍵盤	計算機キーボード	時間差
F	942.8	1634.4	-691.6
G	1165.7	1320.0	-154.3
H	3052.5	4470.8	-1418.3
I	2385.4	3139.4	-754.0

表3によると、従来のシステムのように音程を楽器鍵盤から入力し、編集作業を計算機のキーボードで行う方法よりも、すべて楽器鍵盤から作業を行った方が時間は短い。反応の鈍い足を使っても、インタフェース間の移動を行うより速く次の作業に移ることができることが解る。この移動時間の削減によって、複数のインタフェースを併用する場合に発生するインタフェース切り替え直後の“慣れ”にかかる時間や利用者の疲労を軽減できると期待できる。

4.5.3 作業効率

実験2を終了するまでの時間と総打鍵数を、表4、表5に示す。

表 4 実作業時間 (ms)

被験者	楽器鍵盤	計算機キーボード
F	513,980	480,200
G	678,980	660,730
H	1,666,450	1,127,300
I	1,204,320	949,280

実験2を行った被験者は、全員普段から計算機を利用している。そのため、計算機のキーボードで作業を行う方が自然である。表4によると、本システムの利用歴のある被験者F、Gは計算機のキーボードと作業時間を比較してもあまり違いが見られない。楽器鍵盤からの作業は、一見取っつきにくく感じるが、慣れてしまえば計算機とほぼ同等の時間で作業を行える。

また逆に、本システムの利用歴がない被験者H、Iは、作業に時間がかかっている。しかし、被験者の実験後の感想は「慣れると鍵盤から作業しても気にならない」であり、初めて使ったにもかかわらず、不満を訴えた被験者はいなかった。

表5からは、“Velocity Jump”や複数同時打鍵を利用した音価入力機能によって打鍵数を減らすことができることが解る。本システムと同じ音楽データの表示形式を採用しているエディタでは、数値パラ

表 5 実作業総打鍵数

被験者	楽器鍵盤	計算機キーボード
F	783	840
G	739	794
H	969	951
I	875	1011

メータの修正に計算機キーボードのテンキーを使い直接入力する。この場合、音価の入力に必要な1音当たりの打鍵数は2~4打鍵である。このシステムの場合、それを1打で済ますことができるため、より少ない打鍵数で作業を実行することができる。被験者Hだけが、総打鍵数に違いがないが、4.5.1節で述べたように楽器鍵盤の利点をあまり活かせなかった結果であると判断できる。

直接数値を入力する方法は、利用者に対し音楽以外の思考を要求する。例えば、分解能120(四分音符の音価の1/120まで記述可能)のシステムで複付点八分音符を入力しようとしたとき、頭の中で $60+30+15=105$ と計算しなければならぬ。ごく稀にしか現れない音符でも、入力の必要に迫られた場合かなりの時間を要する。単純に打鍵数が少なくなるだけでなく、利用者に音楽以外の思考を発生させないようにするために楽器鍵盤の特殊機能をうまく利用する必要があると考えている。

5 考察

音楽情報をより効率よく計算機に入力するために、鍵盤楽器は計算機に接続され入力デバイスとして利用されている。計算機だけで音楽情報を作成することも可能だが、人間の感覚をうまく表現するには鍵盤楽器が欠かせないものとなっている。しかし、二つのインタフェースを併用することによって、その切替えにかかる時間と手間は増大する。

本研究では、今まで人間がそれぞれのインタフェースの利点を生かすために犠牲にしてきた様々な要素を排除し、より短時間で音楽情報を作成する手法として、楽器鍵盤だけを使った作業環境を実現した。実験からも、楽器鍵盤の持つ特徴をうまく編集作業に利用することによって、計算機のキーボードでは得られない利点が見い出された。計算機のキーボードを使わずに作業できることは、計算機の利用歴がない音楽家や初心者など、純粋に音楽を作るためだけにシステムを使う利用者にとって、特に有効であると考えている。

6 今後の可能性

打鍵速度を利用する機能は、音楽に限らず様々なところで応用することができる。叩く強さという人

間の持つ感覚を、計算機のキーボードやマウスボタンなどに応用することを考えている。

例えば、マウスによるクリックとダブルクリック動作を弱いクリックと強いクリックに置き換えることが考えられる。この置き換えによって、同じターゲットを選択するのかわちて実行するのかわちて分けることができれば、コンピュータの初心者にとってより一層わかりやすくなるかもしれない。グラフィックスを扱うシステムならば、直線を引くときに弱くクリックした後は細い線になり、強くクリックした場合は太い線になるように設計することができる。これは、サインペンで線を引く感覚に似ている。

また、計算機のキーボードに応用することもできる。キーを叩く強さによって同じキーでもアルファベットの大文字と小文字や、日本語の平仮名と片仮名とに分けることで、素早い文章の入力が可能になるだろう。

人間が元来持っている“物を叩く強さ”を利用することで、直感的に理解できるシステムを構築することが可能であると考えている。

7 おわりに

本論文では、音楽情報の作成過程を楽器鍵盤インタフェースだけを使って支援する方法を提案した。また、従来の計算機のキーボードと楽器鍵盤を併用した場合との比較評価を行い、その結果から楽器鍵盤を編集作業に利用することで得られる利点について考察した。

参考文献

- [1] P. A. ハンコック, M. H. チグネル共編: 知的インタフェース, 海文堂出版, 1991
- [2] Stuart K. Card and Thomas P. Moran: The Keystroke-Level Model for User Performance Time with Interactive Systems, Communications of the ACM, July 1980, Volume 23, Number 7, pp.396-410.
- [3] 淵一博監修, 古川・溝口共編: インタフェースの科学, 共立出版, 1987
- [4] Goirgio Nottoli, Lindoro Del Duca: MSYS 7: MIDI Control system, ICMC86 Proceedings pp.71-72, 1986
- [5] Keyboard magazine, 1993年11月号, リットーミュージック, 1993
- [6] 平田潤 著: RCM-PC98 Ver.2.3 数値入力完全マスター, 東亜音楽社, 1991
- [7] 篠田元一 監修: The Best Drums's Programings, リットーミュージック, 1993
- [8] 渡邊, 高田, 小谷: 作曲支援のための楽譜エディタの開発, 情報処理学会第36回全国大会講演論文集(III), pp.2347-2348, 1988