

名演奏を下敷に演奏表現を行うシステム：punin データ表現とコントローラ

A Performance Interface Utilizing Expression Template : Data Expression and Controller

片寄 晴弘*1*2
Haruhiro Katayose

野池 賢二*2
Kenzi Noiike

橋田 光代*2
Mitsuyo Hashida

奥平 啓太*1
Keita Okudaira

*1関西学院大学
Kwansei Gakuin University

*2科技団さがけ研究 21
PRESTO,JST

This paper describes a music performance system, which enables us to play the full piano pieces with one finger tap. The user can enjoy performances like conducting a virtuoso, or using virtuosi hands to play the piano. The system uses the performance data that contains expressions, and schedules the notes with parameters setting as a manner of PID control. This paper clarifies the relationship between the controller and the expression, and proposes a blending method between user's intention and the prescribed performance model. This paper also presents an interface which distinguishes the insertion of *pause* or the tempo change, when a long *IOI*(Inter Onset Interval) is observed. We verified that 1) the expressions described in the performance data are concerned with the performing taste, and 2) users prefer our system to commercial music games, in terms of controllability and performing taste.

1. はじめに

音楽演奏においては、表現を行う前にまず、楽器の演奏法を習得する必要がある。「こんな演奏表現を行ってみたい」という意図を持っていたとしても、技術が伴わずできないということも少なくない。

我々は、表情を含んだ演奏データを下敷として利用し、さらに、使用感に関するパラメータの設定を行うことで、ピアニストを“手”を使って演奏を行う、あるいは、ピアニストを指揮しているような感覚を味わえることができるシステムの構築を進めている。このうち、特に、演奏表情に関するデザイン再利用に関連したデータ構造とコントローラ的设计について述べ、初期的な評価について紹介する。

2. システムの概要

我々は、下記のような特徴を持つピアノ型演奏インタフェースとして、sfp と punin と呼ばれるシステムの開発を行ってきた。

1. 一本指の打鍵あるいは手振りによる演奏表現
2. 演奏表情テンプレートの使用
3. 演奏者意図と演奏表情テンプレートの混成度合い設定
4. PID 制御パラメータ設定を参考にした予測制御
5. “間”の挿入とテンポ変化の切り分けインタフェース

sfp は指一本でどこまで表現できるかを追及したシステム、punin はスライダを用いて 2 つの演奏テンプレートのリアルタイムモーフィングおよび演奏者意図とテンプレートの混成比率のリアルタイム制御ができるように拡張したシステムである。

3. 演奏表現とデータ記述

3.1 演奏表現の記述

自然楽器の演奏制御対象とそのレベルにはさまざまなものがあり、信号レベルでそのすべてを制御することはきわめて困

連絡先: <http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~katayose/j/>

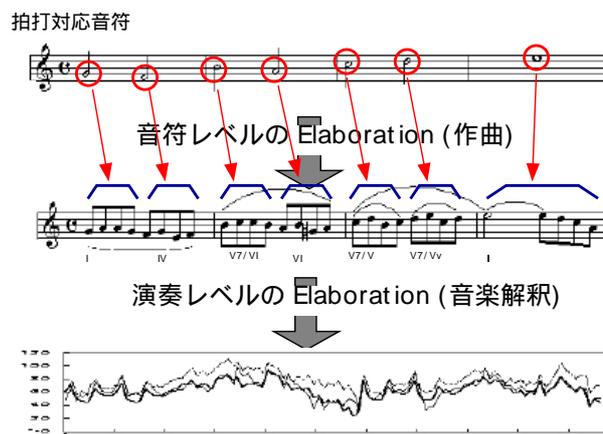


図 1: 拍打による演奏制御

難である。その中で、ピアノを代表とする打鍵楽器における制御対象は、各音の発音時刻、消音時刻、音の強さ (MIDI での velocity 値) に、ほぼ簡約される*1。

一方、音楽的な演奏表現については、スラーやテヌート等の表意記号に関する表現、演奏者によって意識下あるいは無意識下で理解される個々の音符レベル、拍節レベル、フレーズレベルの表現が畳積され、その結果が、それぞれの制御対象に投影されている。

演奏表現インタフェースを設計する際、コントローラに関するデザイン、すなわち、ユーザがどのレベルの表現を制御するかが、システム設計の根幹的な問題となる。ここでは、運動制御の時定数の視点から、拍打 (およびそれ以上) レベルでの表現とそれ以下のレベルでの表現 (拍内表情) に分離して、コントローラを設計することにした (図 1)*2。拍打レベルでの演

*1 実際には velocity による音量制御には限界がある。また、ペダル操作についても考慮する必要がある。精密にいうなら、近似的な簡約である

*2 拍打以下の表現は、フィードフォワードモデルに基づいてスケ

```

.....
.....
2.00 BPM 126 4
2.00 (0.0 E3 78 3.00 0.1)
=2
1.00 TACTUS 2 4
1.00 BPM 128 4
1.00 (0.0 C#4 76 0.75 0.1) (0.0 E1 60 1.00 0.1)
1.75 (0.1 D4 77 0.25 -0.1)
2.00 BPM 130 4
2.00 (0.0 B3 75 1.00 0.1) (0.1 G#3 56 1.00 0.1)
3.00 BPM 127 4
3.00 (0.04 B3 72 1.00 -0.04) (0.04 G#3 56 1.00 -0.04) (D3 57 1.00 -0.04)
=3
1.00 TACTUS 1 4
1.00 BPM 127 4
1.00 (0.0 B3 77 2.00 -0.04) (0.0 G#3 57 2.00 -0.04) (0.04 D3 57 2.00 -0.04)
3.00 BPM 129 4
3.00 (0.0 F#4 75 1.00 -0.04) (-0.04 D4 54 1.00 -0.03)
=4
9.00 BPM 127
9.00 (0.0 D#4 73 0.75 -0.03) (+0.02 C4 65 0.75 -0.08)
.....
.....

```

図 2: 演奏表情の記述

奏制御においては、テンポと拍音量（その拍節全体での音量バランス）が与えられる。拍内表情については、拍以下の微細なリズム表現に加え、和音内の各音の音量バランスをあわせて考えるようにしている。

sfp/punin などのように、拍打レベルで演奏を行うシステムは、それだけでは、拍内表情をつけることができない。これに対し、演奏表情テンプレート（図 2）を用意し、補完的に、その拍内表情を利用することで、すべての表現階層での表情付けを与えるようにした。これが、本研究の基本的なアイデアである。指揮者がテンポと拍音量を与え、楽団員が表現を担う演奏表現形式のアナロジーととらえることができる。

図 2 において、基本的な演奏データ（機械的演奏に相当する）は太字で示されるものであり、「各音符の発音時刻、音高（ノートネーム）、持続時間」の組として記述される。それ以外が、演奏表情に関わるデータである。テンポに関わる情報は、「時刻 BPM テンポ値基準となる音符」の組として記述される。各音の拍内表情に関するデータとしては、括弧中に、発音時刻の deviation, 当該音符の velocity 値, 持続時間の deviation として記述される。

3.2 テンポとタクトス

通常、テンポとは楽曲を演奏する際の速度を意味し、単位としては、1分あたりの単位音符の演奏する数 (bpm) が用いられる。単位音符には、四分音符が割り当てられることが多いが、リズムの表現にあわせ、他の音符が用いられることもある。

テンポが一定の時でも、例えば、ある音楽的な区間においては、半拍レベルで拍打ちをしたり、あるいは、小節レベルで拍打ちをしたいといった要請がある。ここでは、規準拍（例えば、四分音符）に対して、何回の拍打をするかを明示的に記述するタクトス^{*3}という概念を導入することにした。データ中で

ジュリーングされるものである。これは、運動制御にかかわる脳のコンピュータシミュレーションモデルからも支持されるものである [川人 96]。
*3 楽典では、腕の動きによって計量される時間の単位として定義される。その定義からすれば、ここでの定義は、逆数的なものである。

は、TACTUS という記述子を用い、例えば、

```
1.00 TACTUS 2 4
```

のように記述する。この例では、時刻 1.00 以降、四分音符に対し、2回の拍打を対応させる、すなわち、八分音符レベルでの拍打を対応させるということの意味する。

4. システムのデザイン

4.1 演奏表情テンプレートの利用

sfp/punin は、拍打と拍内表情の分離モデルに基づいて構成される演奏インタフェースである。ユーザは、キーボードあるいは手振りによって、テンポと拍音量を与え、演奏表情テンプレートを利用しつつ、演奏を行う。

実際に、演奏表情テンプレートを用いる際には、拍内表情だけでなく、テンポや拍音量の情報を用いるようにしている。微妙な操作感の設定に関連して、概念的には、図 4 に示すように、演奏表情をテンポ、拍音量、拍内表情の 3つの次元で記述し、そのそれぞれに対し重みをかけて得られる演奏表情ベクトルと、ユーザが与えるテンポと拍音量のベクトルの加算によって、演奏表情を算出するようにしている。

punin では、演奏中に実時間で、二つの典型的なテンプレートのモーフィングを行ったり、テンプレートと自身の演奏意図のバランスを変えたりすることができる（図 3）。パラメータの設定については、外挿を認めるようにしている。これにより、演奏表情テンプレートをより強調した表現も可能となっている。

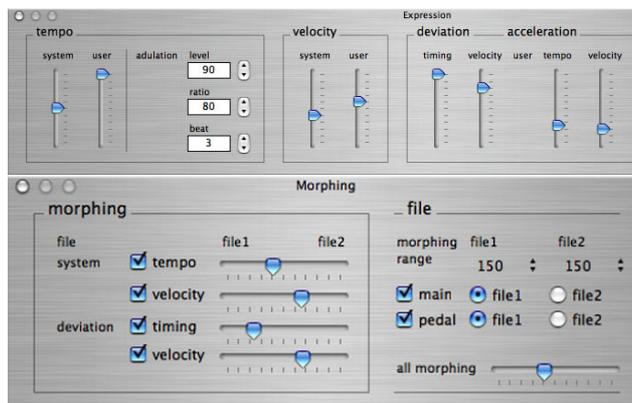


図 3: punin のユーザインタフェース

本システムにおいては、演奏表情テンプレートがどれだけ用意できるかが一つの鍵となる。この問題に対しては、実演奏の解析 [高見 89] によって名演奏の表現事例が利用できるほか、我々が研究を進めている音楽解釈システム [石川 02] の出力結果を用いることもできる。

4.2 スケジュールリングの概要

インタラクティブに動作する音楽システムにおいては、実時間で、各音の具体的な時間配置を計算（スケジュールリング）していく必要がある。

sfp/punin では、拍打が検出された段階で、次拍^{*4}までの予測スケジュールリングを行っている。予測スケジュールリングを行う場合、当該拍の検出とそれに相当する発音のスケジュールリン

*4 次拍での開始音の発音まで含む

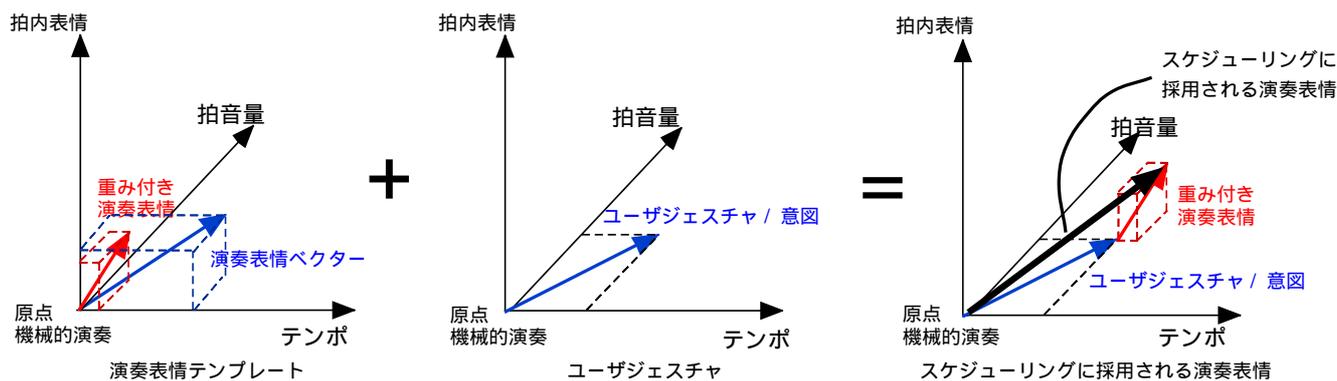


図 4: 演奏表情の計算

グが独立し、必ずしも、タクトに相当する拍打を待つ必要は無い。予測スケジューリングを行うメリットとしては、1) 発音が遅れる楽器使用時の遅れ補償、2) 自走的に演奏を進めるモードが簡単に実装できるということがあげられる。

問題点としては、実際の拍打とスケジューリングのズレが生じた時、どのように対応するかということがある。この問題に対しては、ユーザの拍打がスケジューリングされた時刻より早かった際、どの程度システムが追いつくかを指定する追従パラメータの設定、テンポ更新に影響を与える倍の拍打の許容、によって対処している。

システムの振る舞いを決定するための重要な要素の一つは、図 4 で説明したような重みの設定である。これに加えて、予測スケジューリングを実施する場合、ユーザのそれまでの拍打傾向からテンポと拍音量を推定する必要がある。ここでは、プロセス制御等でよく用いられる PID 制御 [須田 92] をアナロジーとして、テンポ計算、音量配分のスケジューリングを実装している。

4.3 拍打と‘間’の挿入に関するインタフェース

sfp/punin では、楽譜データ上での TACTUS 記述、予測スケジューリング、さらに、タクトの倍打ち検出を導入することにより、任意のビートでの拍打を許容するようにしている。つまり、メロディ列のリズムに対応した拍打入力、あるいは、任意の場所における拍打が可能となっている。

“間”の挿入に関しては、鍵盤を押してから、離すまでの時間情報を積極的に利用することで、“間”の挿入かテンポ変化かを見分けることにした。拍打が確定し次第、次の拍打までのスケジューリングを実施するが、押し込まれた鍵盤が離鍵されるまで、次の拍打に対応する音の発音は見送られる。もし、その鍵盤時刻が、スケジューリングされた次拍の発音時刻より遅れた場合には、ユーザ意図による“間”の挿入と判断し、その拍の占有時間をテンポ計算での計算から除外することで、一時的な“間”への対応が可能となった。

5. 評価と検討

5.1 使用感の調査

sfp/punin は、インタラクションの要素を持った演奏システムである。演奏システムの善し悪しは、認識率や処理速度等の客観的な指標で測定できるものではない。ここでは、評価者(うち著者 4 人含む、楽器演奏経験 0 年～20 年以上) 8 人を対象に、まずはシステムに慣れるための練習を実施した。その上で、sfp

の使用感に関する簡単な調査を行い、続いて、PlayStation2 用指揮演奏ゲーム「ブラボーミュージック^{*5}」[BM 01] を含めて、初期的な比較実験を行った。

使用感に関する初期的な調査

演奏表情テンプレート、各種パラメータ設定の効果を確認するため、被験者が操作者となった際、差が認識できるものかどうかを調べることにした。

システムの応答性を決める各種パラメータについては、被験者からの回答を元に、できるだけ気持ちが良いというタイプのものを選ぶようにした。この際、楽器演奏経験を持つ複数の被験者からは、追従パラメータについては、100%より若干下げた値(使用者のテンポを速くするという要請に対して、ある程度粘りのある演奏)、楽器演奏経験を持たない被験者には、100%(テンポを速くするという要請にすぐに追従する設定)が好まれることがわかった。

演奏表情テンプレートの有無、および、パラメータを変えることによる操作性および演奏の変化については、全員が差を認識出来ることが確認できた。代表的なコメント例を以下に示す。

- 拍内細部については表情データありの演奏の方が自分の演奏感覚と合っている。
- タクトに相当する音符については、発音時刻の deviation 項が無いほうが良い。
- 指揮インタフェースを使用する場合、自分が理想とする演奏表現とは無関係について 1 拍目を強く振ってしまう(振りたくなる)。

一方、聴取系の実験として、表情付きの演奏表情テンプレートを使っているか否かを被験者が聞き分けられるか、に関する試行においては、全員が違いを認識できることが確認された。

操作感に関する比較

sfp を用い、(a) 演奏表情テンプレート不使用、(b) 演奏表情テンプレート使用、(c) 演奏表情テンプレート使用 + 指揮風インタフェース、(d) PlayStation2 用指揮演奏ゲーム「ブラボーミュージック」の 4 つのケースに対して、1) 演奏感(楽器を弾いている感覚) 2) 気持ち良さ、の 2 点に関して、6 人の被験者による順位付けを実施した。

*5 ボタンを押す際の強弱で曲自体の音量、そのタイミングでテンポを操作し、指揮的な感覚を味わう音楽ゲーム。

sfp と同様に、前もって、被験者は使用のために練習を行っている。ブラボームュージックでは、PlayStation 内蔵 PCM 音源で「運命」を、sfp では「星に願いを」ピアノアレンジ版を MacOS X の内部音源ピアノでそれぞれ演奏した。この結果、全員が、演奏感および使用感の両者に対し、 $(d) < (a) < (b) < (c)$ と評定した。すなわち、「演奏表情テンプレート使用 + 指揮風インタフェース」を用いた時に、最も演奏感と使用感が高くなるという結果が得られた。

評価実施を通して、ブラボームュージック、sfp とともに、練習に従って演奏の上達が見られた。sfp については、音楽経験者の方が上達が早く、さらに指揮の経験があれば数回の操作で情緒豊かな表現を行えるようになった*6。

我々のシステムは演奏支援システムではあるが、技能の上達を楽しむことができるという点で、楽器としての特性を持っているといえる。その一方で、鍵盤楽器経験者は、表現レベルでは十分であっても、操作感に抵抗感を持つという傾向があることも確かめられた。また「演奏表情データなし」「演奏表情データあり」の場合の演奏者の印象の差に関しては、生理指標を用いた検証に着手したところ、有望なデータを取得することができている。

以上により、初期的な段階ではあるが「演奏表情テンプレート」の利用、予測スケジューリングが、演奏に関する操作感の向上に寄与する結果が得られたと判断している。

5.2 類似システムとの比較

sfp/punin に最も類似するシステムとして、我々が開発してきた TFP[片寄 96]がある。TFP は、打鍵を待ってスケジューリングを行うシステムであり、ここで提案したシステムのような操作感を味わったり、“間”の表現を行ったりすることは出来ない。

指一本で演奏を入力するシステムとしては、他に、CiP[大島 01]がある。CiP は、単旋律の演奏表現の教育を目的にしたシステムで、まずは、ピッチ入力を行い、次にリズムを、任意のキーで打鍵で修正するというシンプルなインタフェースで構成されている。

機能面では、指揮システム[Mathews 89, 宇佐 97, BM 01]、自動伴奏システム[Dannenberg 84, 堀内 95]が我々のシステムの関連研究となる。

Mathews は、1980 年代に、RADIO DRUM とよばれる楽器を開発し、先駆的に、バトン型による拍打に基づく演奏プログラムを開発した[Mathews 89]。宇佐ら[宇佐 97]は、実際の指揮の感覚を再現することを目指し、加速度センサによる指揮棒の振りを解析し、HMM による拍子の判別など精緻な作り込みを行っている。

自動伴奏システムは、演奏者がどの部分の演奏を行っているかを監視し、それに基づき、伴奏データのスケジューリングを行う演奏システムである。Dannenberg は、自動伴奏システムで解決すべき事項を整理し、演奏者のミスに対応するための手法を示した[Dannenberg 84]。堀内らは、システムが演奏プランを持つことの重要性、追従性と使用感の関係などについて論じた[堀内 95]。

我々のシステムの制御対象は、指揮システムや自動伴奏システムと基本的に同じである。しかしながら、演奏表現テンプレートを利用した演奏家モデルとのインタラクション、PID 制御に基づく操作感の設定、一本指の打鍵による“間”への対応、演奏インタフェースとしての練り込みを行っており、これらの操作感にかかわる工夫が、他の研究例との差異となっている。

6. おわりに

本論文では、指一本の打鍵動作あるいは手振りで、テンポ・音量など指揮的に演奏表現感覚を楽しむための演奏システムについて述べてきた。演奏表情テンプレート、すなわち、情緒あふれる演奏を下敷きとして利用することで、拍以下の微妙な演奏表現が行えるようになった。また、PID 制御をアナロジーとしたパラメータ設定により、さまざまな演奏応答性の設定ができるようになり、ピアニストの手を使っているような表現感覚、あるいは、名ピアニストを指揮しているような感覚が得られるようになった。その他にも、指一本の打鍵操作による“間”の挿入や、自由な拍打が許容されるようなど、演奏インタフェースとしての質的向上がはかられた。

今後は、演奏表情テンプレートの拡充、テンプレート中の演奏意図とユーザ意図のリアルタイムビジュアライゼーションの実装、生理指標計測を用いた使用感に関するさらなる調査を進めていく予定である。

参考文献

- [石川 02] 石川修, 片寄晴弘, 井口征士: 重回帰分析のイタレーションによる演奏ルールの抽出と解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp.68-276 (2002).
- [宇佐 97] 宇佐聡史, 持田康典: HMM とファジィを使った指揮認識システム, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 97-MUS-21, pp. 37-44 (1997).
- [大島 01] 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志: Coloring-in Piano: 表情付けに専念できるピアノの提案, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 2001-MUS-42, pp. 69-74 (2001).
- [奥平 03] 奥平啓太, 片寄晴弘: 指一本によるピアノ演奏システム: sfp, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告 2003-HI-102, No.10 (2003).
- [片寄 96] 片寄晴弘, 竹内好宏, 上符裕一, 井口征士: TFP の改良と教育利用における評価, Vol. 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 96-MUS-16, pp. 21-25 (1996).
- [川人 96] 川人光男: 脳の計算理論, 第 4 章, pp. 75-117 産業図書 (1996).
- [須田 92] 須田信英: PID 制御 -システム制御情報ライブラリ-, 朝倉書店 (1992).
- [高見 89] 高見啓史, 片寄晴弘, 井口征士: ピアノ演奏における演奏情報の抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J72-D2 No. 6, pp.17-926 (1989).
- [Dannenberg 84] R.B.Dannenberg: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment, *Proc. Intl. Computer Music Conf.*, pp. 193-198 (1984).
- [BM 01] 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント: ブラボームュージック, <http://www.scei.co.jp/> (2001).
- [堀内 95] 堀内靖雄, 田中穂積: 自主性を持つ伴奏システム, 人工知能学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 72-79 (1995).
- [Mathews 89] Max V Mathews: The Conductor Program and Mechanical Baton, *Current Directions in Computer Music Research*, Cambridge, Massachusetts, pp. 263-281, The M.I.T. Press, (1989).

*6 本人が満足いくレベルに達するには、何回も試行を繰り返した。