

## 音楽演奏インタフェース iFP - 演奏表情のリアルタイム操作とビジュアルライゼーション -

奥平啓太<sup>†</sup> 片寄晴弘<sup>†,††</sup> 橋田光代<sup>††,†††</sup>

本論文では、表情のある演奏をテンプレートとして利用し、1) モーフィングを含む演奏表現意図のリアルタイム操作、2) 演奏表現の理解の手がかりとなる情報の可視化を行う演奏インタフェース iFP について述べる。iFP は、拍打と演奏テンプレート中の微細な逸脱 (deviation) のスライダ操作、すなわち、抽象化したレベルによって演奏を行うインタフェースである。予測制御を用いることによって、拍打といった単純な操作で、テンポと音量を与え、また、間を表現するインタフェースを用意している。これらの機能により、iFP のユーザは名演奏家の指揮を行ったり、あるいは、名ピアニストの手を使って演奏を楽しむような感覚を味わうことが出来る。iFP には、エンタテインメントシステムとしての使用の他、音楽教育、音楽解釈研究など、幅広い使用法が想定される。

### iFP : A Piano Performance Interface using Expressive Performance Template

KEITA OKUDAIRA,<sup>†</sup> HARUHIRO KATAYASE<sup>†,††</sup>  
and MITSUYO HASHIDA <sup>††</sup>

This paper reports a performance system: iFP, which supports 1) real-time playing include morphing, and 2) visualization of expressions. iFP is the music interface, the player of which control music performances with tapping and handling sliders, based on expression deviation described in templates, in other words the player performs music with the abstracted control. The scheduler based on predictive control contribute in independence of tapping detection and notes arrangement. Players are allowed to tap on spontaneous beat, and to express "rest" with simple tapping operation. These functions lets the players to enjoy playing the piano using pianist's hands, or conducting the virtuosi. iFP are expected to be used for entertainment, music education, and musicology.

#### 1. はじめに

音楽は、最も先駆的にインタフェース・インタラクションに関する技術開発が行われた領域の一つである。古くはアナログシンセサイザの煩雑なパッチングやパラメータの記録を簡易化することを目的に、インタフェースの開発がなされた。MIDI が制定された 1980 年代には、センサとソフトウェア技術を応用した新世代楽器、自動伴奏やセッションシステムが相次いで開発されている<sup>1)</sup>。

コンピュータを用いた演奏システムのデザインにお

いて、インタラクションをどのように設定するか、そのための演奏表現の操作対象と操作手段をどのように設計するかは、非常に根幹的な問題である。これらは、個々の計算機音楽の制作レベルでは意識されてきたが、一般ユーザを対象とした演奏システムの設計においては、留意されることはほとんど無かった。

我々は、個々の音符そのものではなく、抽象化したレベルでの拍打や演奏表現意図の制御により、演奏を実施・支援するシステムの開発を進めてきた。既存の演奏や演奏モデルを利用することにより、簡単な拍打操作で、名ピアニストの手を使って演奏表現感覚を味わったり、あるいは、名演奏家を指揮したりするような感覚が味わえるようになった<sup>2)</sup>。

本論文では、上記のシステムを発展させ、1) モーフィングを含む演奏表現意図のリアルタイム操作、2) 演奏表現の理解の手がかりとなるビジュアルライゼーション、を実現した音楽演奏インタフェース iFP につい

<sup>†</sup> 関西学院大学理工学部  
School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

<sup>††</sup> 科技団さきがけ研究 2 1  
PRESTO, JST

<sup>†††</sup> 和歌山大学システム工学研究科  
Systems Engineering, Wakayama University

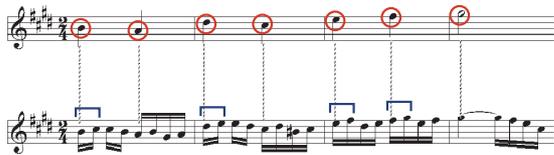


図 1 楽曲のイデオストラクチャ

て述べる。

第 2 章では、システム設計の背景となる、音楽の基本構造と elaboration の関係記述に関する基本的なアイデア、データ記述と処理の概略について述べる。第 3 章では、演奏意図のリアルタイム操作の具体的な処理として、拍打に関する処理、スケジューラについて述べる。第 4 章では、演奏表現意図のビジュアライゼーション処理について述べ、最後に、検討を行う。

## 2. 演奏表情のデザイン

### 2.1 基本構造と Elaboration

音楽は、通常、アートとしてとらえられるが、デザインとして理解しうる性質がある。

我々は、デザインは、基本構造（骨格部分）と Elaboration（デザインの具体化、詳細化部分）に分けることができる。ある種のイメージを持って、基本構造（骨格部分）に Elaboration を付加するプロセスをデザインプロセスと考える。

ショパンの「別れの曲」を例に、音楽におけるデザインプロセスについて説明する。図 1 は、「別れの曲」における最も情感あふれる部分であり、イデオストラクチャを説明する際の典型例として、村尾によって取り上げられた<sup>3)</sup>。

この部分の各小節毎の構造音は、図 1 の印で囲んだ音列である。最初の B から最後の G# の解決に素直に至らず、八分音符レベルで行きつ戻りつすることが、達成感（情動）の強さにつながっている。さらに印の音列は、B、C#、D#、E、E、F#、G# という上昇系の音列が背景にあり（図中のカギ括弧）、それを变形させていく過程によって、より情動が高められていると解説されている。

図 1 に対応する典型的な演奏例を図 2 に示す。上図は音量（ペロシティ）の推移、下図は（四分音符レベルに換算した）各音の占有時間を示すグラフである。各

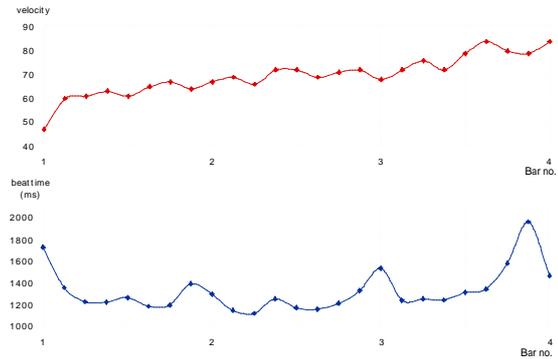


図 2 別れの曲の演奏表現

音の占有時間には揺らぎが存在するものの、双方とも、B から G# に向かって、演奏表現上でのエネルギーが付加されていくことが読み取れる。

演奏表現の基本は、音楽的な構造を聴取者に、より明確に伝えるためのデザインである。以上を整理すると、1) Elaboration の付加が構造上の情動の強さに関連する。2) 情動、すなわち、Elaboration の付加のレベルが演奏表現として反映される、ということになる。Elaboration を実際の演奏パラメータに転換する基本的なルール（演奏ルール）を用意し、その重みを制御することで、今までにない、演奏表現を行うインタフェースを構成することが可能となる。

### 2.2 インタフェースのデザイン

音楽インタフェース特有の要請として、操作の簡便さに加え、演奏感を味わえることが求められる。情緒あふれる演奏データをテンプレートとして利用し、テンポや音量、拍内表情のそれぞれに対し、システム（演奏データ）の演奏意図とユーザの意図とのブレンドを行うということが、インタフェースデザインのもう一つの特徴となっている。さらに、テンプレートを 2 つ用意すれば、テンポ、音量、拍内表情を個別にリアルタイムモーフィングを行った結果も利用できる。

既存演奏をテンプレートとして用いる処理の整合性をとるために、前節で述べた演奏ルールを用いる場合も、一旦、音符レベルに展開して用いるようにしているが、処理の本質は前節と等価である。

### 2.3 演奏データの動的な利用

iFP で使用する演奏データの記述例を図 3 に示す。図 3 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、対象となる音符」の組として記述される。各

一般的には、表現者の問題意識を作品という表現行為で表象したものをアート、与えられた問題意識を、分類学、テクノロジー、インタフェースによって解決を図った表現行為をデザインと、定義することが多い。我々のデザインの定義は、アーティファクトへの具体化の部分に、より留意したものであり、工学の対象となりうる一般性を有しているものととらえる。

スタイルではなく、その曲をその曲たらしめている音楽の特徴。

```

.....
2.00 BPM 126.2 4
2.00 (0.00 E3 78 3.00 -0.11)
=2
1.00 TACTUS 2 4
1.00 BPM 128.1 4
1.00 (0.00 C#4 76 0.75 -0.09) (0.04 E1 60 1.00 -0.13)
1.75 (0.10 D4 77 0.25 -0.14)
2.00 BPM 130.0 4
2.00 (0.00 B3 75 1.00 -0.03) (0.00 G#3 56 1.00 0.03)
3.00 BPM 127.7 4
3.00 (0.00 B3 72 1.00 0.00) (0.09 G#3 56 1.00 -0.12) (0.14 D3 57 1.00 -0.21)
=3
1.00 TACTUS 1 4
1.00 BPM 127.6 4
1.00 (0.00 B3 77 2.00 -0.05) (0.00 G#3 47 2.00 -0.05) (-0.06 D4 57 2.00 -0.32)
3.00 BPM 129.7 4
3.00 (0.00 F#4 75 1.00 -0.15) (0.00 D4 54 1.00 0.03)
=4
1.00 BPM 127.7 4
1.00 (0.00 D#4 73 0.75 -0.38) (0.02 C4 65 0.75 -0.08)
.....

```

図 3 データ記述

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。

iFP 使用者は、基本的には拍打によって演奏を行うが、スライダを操作することによって、演奏中にテンプレート中のデータ使用の重みを調整することができる。

テンポ、音量 (velocity) に関しては、演奏者、テンプレートデータの両者に表現に関する意図が入りうる。ここでは、システム、ユーザの両者に対し、意図をどの程度反映するかを設定するスライダを用意している。拍内表情については、時間と音量のそれぞれに対し、テンプレート値をどの程度反映するかを制御するスライダを用意している。このインターフェースと後述のモーフィング機能によりユーザは、拍打だけでは表現できない拍内表情を与えることができる。例えば、iFP をドラムの演奏に利用する際、8 ビートから徐々にシャッフルにするといった操作も可能となる。

#### 2.4 モーフィングによる操作

iFP では、同一曲の異なった演奏例をテンプレートとして用意し、それらをリアルタイムでモーフィングを行うインターフェースを用意している。テンポ、音量、拍内表情 (時間、音量) の各要素に対して、2 つの演奏の内外分をとることが可能である。この結果と、前述の演奏表情を適用する度合いの掛け合わせにより、演奏表情を決定する。

### 3. 拍打に基づくスケジューリング

#### 3.1 拍打に関する処理

##### 3.1.1 タクトス

テンポが一定の時でも、ある音楽的な区間においては八分音符レベルで拍打ちをしたり、小節レベルで拍打ちをしたいといった要請がある。演奏データ中では、TACTUS という記述子を用い、

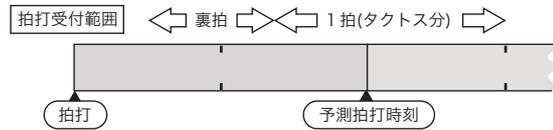


図 4 拍打受付範囲

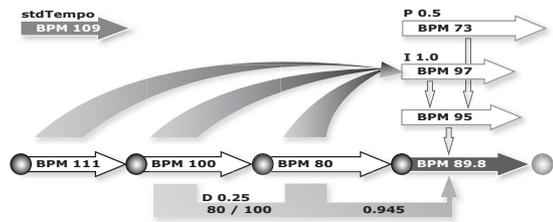


図 5 テンポの計算

#### 3.00TACTUS24

のように記述する。この例では、時刻 3.00 以降、四分音符に対し、2 回の拍打を対応させる、

##### 3.1.2 拍打の検出

iFP において、実際の拍打の検出については、タクトスの倍打ち (裏打ち) まで検出するようにしている。このメリットは、タクトスの詳細な指定の省力化、テンポ計算時の反応の向上の 2 つである。拍打の検出に対応する範囲を、図 4 のように設定することで、他の鍵盤に指が触れたなど演奏ミスの判定と、テンポを 3 分の 2 まで遅くする、あるいは、2 倍まで速くすることが可能となっている。

##### 3.1.3 '間'の挿入インターフェース

拍打間隔だけで '間' の挿入しようとする、意に反して後続のテンポが遅くなってしまう。iFP では、鍵盤を押してから離す (手を振り下ろしてから振り上げる) までの時間情報を積極的に利用し、押し込まれた鍵盤が離鍵される (手が振り上げられる) まで、次の拍打に対応する音の発音は見送られる。これ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、使用者の意図による '間' の挿入と判断し、その拍の占有時間はテンポの計算から除外している。

#### 3.2 テンポの計算

iFP において、スケジューリングの際に利用するテンポは、演奏データ上に記載されたテンポ、ユーザの指定したタクトス分のテンポ履歴の平均、ユーザのテンポの変化から推定される次拍のテンポ (差分項) のそれぞれと、指定した重みを用いた計算によって与えている。パラメータ設定は、PID 制御のアナロジーとして考えられるものである。

図 5 に、テンポを算出する例を示す。この例では、拍打テンポ履歴の平均、演奏データ上に記載された

テンポはそれぞれ、97, 73 である。楽曲全体のテンポ  $stdTempo$  109 を基準として、ユーザテンポ、テンプレートテンポにどれだけ近づけたいかの重み（それぞれ、1.0, 0.5）をかけることで、97, 91 を得る。さらに、これらの重みの比率が 2:1 であるので、まずテンポ値 95 を得る。差分項については、0.8 (80 / 100) に対し、重み 0.25 乗した値を計算し、これと 95 を掛け合わせることで、89.8 を得る。

### 3.3 個々の音符データの計算

#### 3.3.1 各音の発音（消音）時刻

各音の発音（消音）時刻は、上記のスケジューリングからの各音符のズレとして、演奏データ上の発音時刻の deviation, 持続時間の deviation に重みを掛けて決定する。この重みを 0 とした場合、時間に関する拍内表情は反映されない。

#### 3.3.2 各音の音量（Velocity）

iFP では、拍音量を算出した後、拍内の各音の音量の設定を行う。拍音量  $V_{beat}$  は、 $stdVel$  を基準とする音量、 $S_i$  を演奏データに記載された当該拍内での音量の平均、 $U_i$  を使用者の拍打により入力される音量、 $s_i$  と  $u_i$  をそれぞれ、 $S_i$  と  $U_i$  に与えられる重みとすると、

$$V_{beat} = stdVel + \frac{s_i * (S_i - stdVel) + u_i * (U_i - stdVel)}{s_i + u_i}$$

となる。各音の実際に出力される  $V_{out}$  音量は、 $S_p$  を演奏データでの当該拍での相対的な音量バランス、

$$S_p = \frac{V_{score} - S_i}{S_i}$$

( $V_{score}$  とは、演奏データに記載された各音の音量)、 $U_d$  を使用者の与える前拍から当該拍での音量変化値、 $s_p$  と  $u_d$  をそれぞれ、 $S_p$  と  $U_d$  に与えられる重みとすると、

$$V_{out} = V_{beat} + V_{beat} * S_p * s_p + V_{beat} * U_d * u_d$$

となる。

## 4. 演奏表情のビジュアライゼーション

### 4.1 演奏情報のブレンド

微妙な操作感の設定に対して、iFP では概念的に図 6 に示すように、テンポ、拍音量、拍内表情の 3 つの次元で表している。演奏データはこの 3 つのベクトルの要素を全て持ち、モーフィングを行う場合には、その内分（外分）点を決定し、要素ごとに重みを定めてシステムの演奏表情ベクトルとする。使用者の拍打は、テンポ、拍音量の要素を持ち、それぞれに重みを定めて使用者の演奏表情ベクトルとする。この 2 つのベ

クトルの加算によって出力する演奏表情ベクトルを算出する。

### 4.2 ビジュアライゼーション

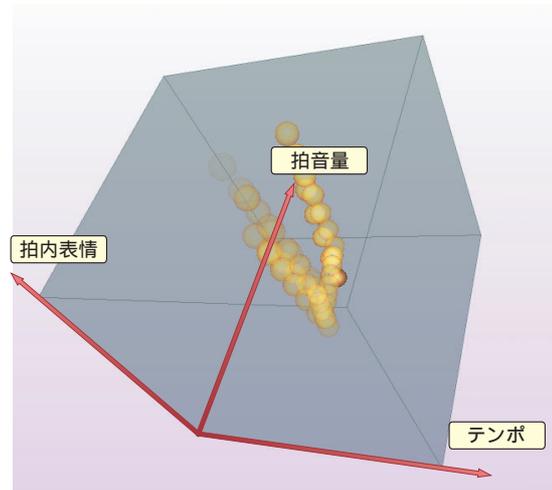


図 7 K.331 (ヘンレ版) の典型的な演奏例

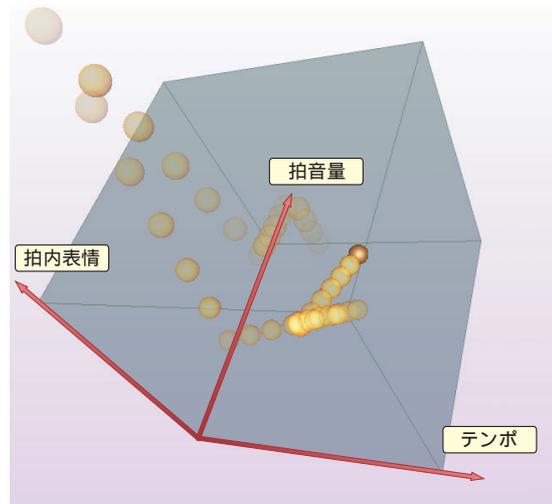


図 8 K.331 ブーニンの演奏例

iFP では、演奏データと使用者の操作を表示し、最終的に演奏データとして採用された演奏表情の軌跡のビジュアライゼーションを行っている。描画点数の設定が出来る他、表情データをさまざまな角度から見られるようにしている。

図 7, 8 に、モーツァルトの K.331 の 9 小節目から 18 小節目にわたっての演奏表情（ベクトルの終点）の奇跡を示す。図 7 がヘンレ版の典型的な演奏例、図 8 がブーニンによる演奏である。その表現が大きく違う

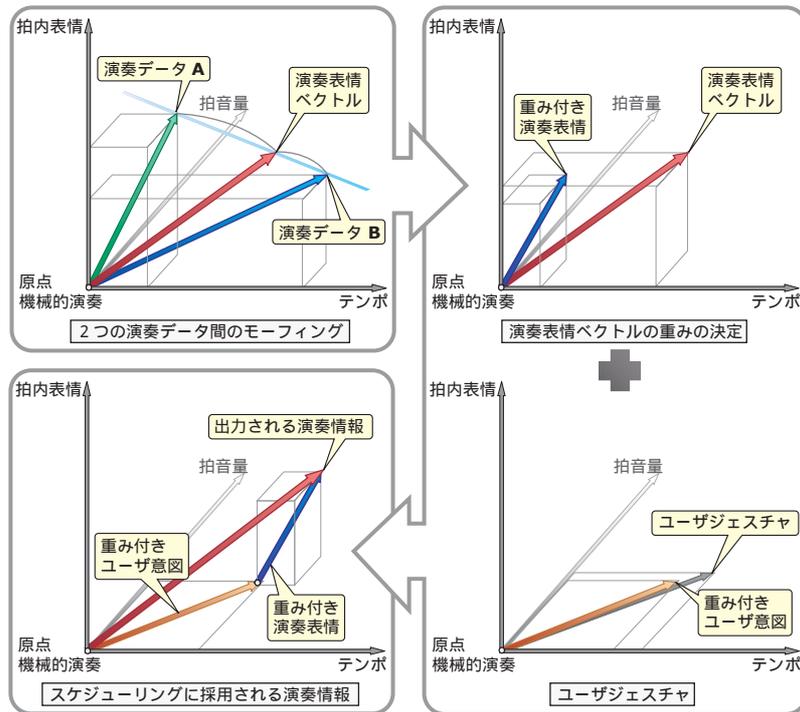


図 6 演奏情報のブレンド

ことが確認できる。

## 5. 実施と検証

iFP は、基本的には、MIDI キーボード、パソコンのキーボードの打鍵とスライダによって操作を行う。加えて、図 9 に示すように、静電容量センサを用いて手の振り幅で音量を制御する手振りインタフェースの実装を行っている。以下、iFP の応用利用に検証、類似システムとの比較を行う。

### 5.1 演奏表現システムとしての利用

iFP は、個々の音符の配置を抽象化した演奏表現システムである。今までに音楽の解釈的な側面に焦点を当てた演奏システムは少なかった。音楽教育の観点からみても、iFP は可能性を持ったシステムである。疑似的な指揮体験、名演奏あるいは演奏表現にかかわるルールの主体的な体験、ビジュアルフォードバックによる音楽表現法の獲得などさまざまな使用法が想定される。

### 5.2 音楽解釈研究への応用

iFP は、音楽解釈研究のためのツールとして大きな可能性を持っている。

第一は、演奏表現法の分析ツールとしての利用である。iFP では、テンポ、音量、拍内表情を独立した情報として扱っている。音楽表現の解析を行う場合、こ



図 9 テルミンを利用した指揮的な入力インタフェース

れらの情報を独立したデータとして、とらえることが望まれるが、生の演奏データを対象とした場合のデータ変換は容易なものではない。iFP では、制御情報として直接的に計測されるため、効率的な解析が可能である。

もう一つは、音楽グループ知覚を代表とする人間の認知構造の理解のための利用である。人間は、さまざまな要因に基づいて、音楽境界の識別空間を構成して

いると考えられる<sup>4)</sup>。従来の研究アプローチでは（人間が実施した）代表的な演奏例についての識別実験が行われておらず、要因を検討するためのデータ取得はほとんど実施されてこなかった。iFP のリアルタイムモーフィング機能を利用すれば、聴取を行いつつ、スライダによって演奏表現の境界となる位置を探すといった検証が可能となる。

### 5.3 類似システムとの比較

iFP は拍打に基づく演奏システムである。拍打に基づく演奏システムの内、先駆的な研究は、Mathews の研究が有名である。Mathews は、1980 年代に RADIO DRUM と呼ばれる楽器を開発し、先駆的にボタン型による拍打に基づく演奏プログラムを開発した<sup>5)</sup>。拍打に基づく制御という点では、指揮システム<sup>6)~8)</sup> も類似研究となる。iFP とこれらのシステムとの最も大きな差は、システム内に演奏者モデル（テンプレート）を持たせ、そのインタラクションプロセスを考慮してスケジューリングを実装した点である。

システムが演奏者モデル（テンプレート）を持つということに関しては、堀内らが、自動伴奏システム<sup>9)</sup> の実装において、その必要性を訴え、追従性と使用感の関係についての実験をおこなってきた<sup>10)</sup>。iFP では、異なる演奏表現間のモーフィング、演奏パラメータのスライダによる設定、'間'の挿入インタフェースなどの新しい演奏コントローラとしての練り込みを行っており、そこが差異となっている。

演奏表現のビジュアライゼーションを扱った研究としては、Mazzola と Goller の、演奏表現を人形の数や動きに対応させて表示した RUBATO<sup>11)</sup> や、Dixon らの研究<sup>12)</sup> などが挙げられる。Dixon らは、演奏表現におけるテンポと音量の関係のビジュアライゼーション処理を実装した。iFP ではテンポと音量に加え、拍内表情という概念を取り入れてビジュアライゼーションを行っている。また、iFP でのビジュアライゼーションは、演奏制御と関連し、リアルタイム表示が行われる。これは、従来の演奏システムには見られなかった機能である。

## 6. おわりに

本稿では、1) モーフィングを含む演奏表現意図のリアルタイム操作、2) 演奏表現の理解の手がかりとなるビジュアライゼーション、を実現した音楽演奏インタフェース iFP について述べた。

音楽の基本構造に対する Elaboration を操作の対象とし、演奏表情を自在に操作することによって、意図する演奏を得ることや、この違いをとらえることを

可能とした。スライダによる操作と拍打による介入、ビジュアライゼーションを一体してリアルタイムに処理することにより、演奏データ間、さらにユーザによるインタラクションをはかり、音楽解釈研究への利用も前提としたものである。

今後の課題として、演奏テンプレートの集積、ビジュアライゼーションの更なる充実、生理指標を用いた評価を実施していきたい。

謝辞 本研究は、科学技術振興事業団さきがけ研究 21「協調と制御」領域研究として実施された。

## 参 考 文 献

- 1) 片寄晴弘. マルチメディア情報学 10 巻, 自己の表現, 「パフォーマンスのためのマルチメディア情報利用」, pp. 67-113. 岩波書店, 1996.
- 2) 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ーフェース研究会報告 2003-HI-102, pp. 57-62, 2003.
- 3) 村尾忠廣. 聴取から理解へ:音楽分析・理解・記憶, コンピュータと音楽の世界, bit 別冊, pp. 70-282. 共立出版, 1998.
- 4) 野池賢二, 橋田光代, 片寄晴弘. 音楽グループ境界識別空間調査ツール webmorton. 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 02-MUS-49, pp. 25-29, 2003.
- 5) Max V Mathews. *The Conductor Program and Mechanical Baton, Current Directions in Computer Music Research, Cambridge, Massachusetts*, pp. 263-281. MIT Press, 1983.
- 6) 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.
- 7) 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント. プラボーミュージック, 2001.
- 8) Teresa Marrin Nakra. Synthesizing expressive music through the language of conducting. *Journal Of New Music Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 11-26, 2002.
- 9) R.B.Danneng. An on-line algorithm for real-time accompaniment. *em Proc. Intl. Computer Music Conf.*, pp. 93-198, 1984.
- 10) 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.
- 11) Mazzola and Goller. Performance and interpretation. *Journal Of New Music Research*, Vol. 31, No. 3, pp. 221-232, 2002.
- 12) Simon Dixon, Werner Goebel, and Gerhard Widmer. Real time tracking and visualisation of musical expression. *Music and Artificial Intelligence*, pp. 58-68, 2002.