

## Rencon 環境について - 楽器に関する検討 -

池淵 隆† 片寄晴弘 ††

蓮根 (Performance Rendering Contest) における使用音源に関する種々の問題点を整理した上で、今後の方針について報告する。採用を予定している NemeSys GIGA/PIANO の基本特性、ヤマハサイレントピアノの応答性、特に同音連続打鍵の応答性について紹介する。

### On Rencon Environment -Musical Instrument-

TAKASHI IKEBUCHI and HARUHIRO KATAYOSE

This paper reports what we have to consider regarding music instruments, when holding performance rendering contests. This paper introduces fundamental specifications of NemeSys's GIGA/PIANO, which we adopted for the instrument of IJCAI-Rencon and Yamaha's Silent Piano, which we are going to adopt near future.

#### 1. はじめに

音楽は、通常のサイエンスの領域として進められる多くの研究領域とは異なり、絶対的な評価尺度持つものではない。当然、そのタスクを模したシステムに対しても定量的な評価を行うのは困難である。

我々は、音楽情報処理システムの評価の切り口の一つとして、2000年より、ピアノを対象とした演奏生成システムによる演奏コンクール (Rencon) プロジェクトを開始した<sup>1)2)</sup>。

第一回目は、International Conference on Auditory Display (ICAD) の併設国際ワークショップとして、2002年7月6日に実施し、第2回目は、FIT2002での特別イベントとして実施した。本年度 (2003年度) は、International Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) の Workshop 'on methods for automatic music performance and their applications in a public rendering contest' として、8/11 アカブルコにて開催予定である。

コンテストを実施する際には規則・規定が必要である。この問題は、Rencon 実施にあたっては不可避の問題であり、今後 Rencon を、より一層オープンなイベントとしていくためには、さまざまな視点から、Rencon 実施規則・規定 (以下、蓮根土俵と呼ぶ) を考えていかなければならない<sup>3)</sup>。

本稿では、特に、Rencon で使用する楽器という問題に焦点をあて、考慮事項 (第2章) と、当面の使用楽器として位置づけている NemeSys 社 GIGAPiano (IJCAI-Rencon で使用する) とヤマハサイレントピアノ (MIDI 駆動自動ピアノ) の技術的な仕様と課題について論じる。

#### 2. 蓮根土俵に関する考慮事項

表情付けシステムのパフォーマンスを評価するという目的で聞き比べを行うためには、環境についてはできるだけ公平なものとし、また、規約についても十分に調整を行う必要が有る。まずは、どのような基準で評価するかという問題がある。その前提として、

- 人間の介入に関する規定
- 楽曲 (作曲者) に関する規定
- 音源に関する規定

を設ける必要がある。

このうち、音源については、(1) 出品者からの「自身が続り込みに使用した楽器を用いたい」という要請 (2) 一般初心者が、フレージングより音色 (音源) を聴くという傾向があること。さらに、(3) システムパフォーマンスを検証する立場からは、音源は揃えておく方が

---

現時点では、構造解析の自動化のレベル、レンダリング時の人間の介入の度合いがばらばらである。

例えば、特定の楽曲に対してのみ、徹底的にシステムチューニングがなされると、システム自体の能力が問えない。学習型のシステムにおいて、スタイルの弾き分けを評価するなどの方法がある。

---

† さきがけ研究 21, PRESTO, JST.

†† 関西学院大学, Kwansai Gakuin Univ.

妥当であること、などを考慮しておく必要がある。

これらに対応するためには、エントリー応募の時点で使用音源を前もって指定しておくことが望まれる。

将来的には、Rencon では、人間と同じ土俵でコンテストを実施することを考えている。そのためには、物理的な機構で発音する楽器の使用が望まれる。ここでは、MIDI 信号で、ピアノを物理的に発音するヤマハのサイレントピアノの使用を想定している。

一方、物理的な発音機構を持った音源では、当然のことながら個性も大きく、同じ条件での楽曲（システム）の練り込みが難しい。条件をそろえるための補償処理（各鍵盤ごとの音量バランス、レイテンシ調整）を用意する必要がある。

条件をそろえるという視点では、PCM/サンプリング音源を指定しておくということが有効な手段である。PCM/サンプリング音源にはさまざまなプロダクトが存在するが、ここでは、1) PC 上でのソフトウェア音源として動作すること、2) 流通面で優位であること、3) 音質に関して、評価を得ていること、を考慮し、NemeSys GIGAPiano を、当面の Rencon 用音源として用いることにした。

以下、NemeSys GIGAPiano、ヤマハのサイレントピアノの概要と特性について紹介しておく。

### 3. NemeSys GIGAPiano

#### 3.1 NemeSys GIGAPiano 概要

GIGAPiano とは、NemeSys（現在は TASCAM による買収により消滅）からリリースされたソフト・サンプラー「GIGA Sampler」（現在は GIGA Studio）用の GIGA フォーマットという形式で作成された Piano 音色である<sup>4)</sup>。GIGA Studio の上位バージョンを購入することで、入手できる。

GIGA Studio では、ハードディスクから直接サンプルを読み込んで再生するハードディスク・ストリーミングという方式をとっており、今まで、サンプルの使用容量にかけられていた制約が外されることになった。これにより、例えば、ピアノだけに 600MB を割り当てることが可能になった。ペロシティごとのサンプル数も増やされ、また、オフペロシティに対応したサンプルが収録されたため、他のフォーマットでは収録しきれない楽器音のニュアンスが表現できるようになった。海外のミュージシャンや映画音楽などでの使用実績も高い。なお、GIGAPiano のサンプルは Yamaha Concert Series Grand をサンプリングしたものである。

#### 3.2 GIGAPiano 使用上の注意

GIGAPiano の最も標準的な使い方は、GIGAPiano の開発元である NemeSys 社のソフトウェア GIGA Studio を用いることである。GIGA Sampler は、ハードディスク・ストリーミングという方式をとっているため、性質上、ハードウェア（ハードディスク、サウンドカード）環境の性能や組み合わせに大きな影響を受ける。うまくセッティングが出来た場合は、大容量サンプル音源の音質を享受することが出来るが、うまく行かなかった場合には、レイテンシに乱れが入ったり、音が途切れたりということがある。

##### 3.2.1 マザーボード、CPU

GIGAPiano を使用する際に、気をつけたいといけないうのは、データバス、特に HDD の選択である。まず、ハードディスクの DMA 転送が ON にできるものである必要がある。また、チップセットは Intel、VIA のものが安定して動作するとされており、また CPU については、Intel、AMD のもの以外では動作しない。CPU のパフォーマンスについては、AMD の CPU の方が動作パフォーマンスは高いとされている。

##### 3.2.2 データ用のハードディスク

HDD の回転数については、7200rpm 以上である必要がある。データ用のハードディスクについては、別のドライブにしてしまった方がレスポンスがよくなる。また、これら 2 台の HDD は IDE のバスを分けておいた方がいい結果になる（例えば、OS・アプリケーション用は Primary Master、データ用は Secondary Master など）。

##### 3.2.3 Audio インターフェイス

Audio インターフェイスは、NemeSysmusic.com の hardware compatibility のページ<sup>5)</sup>に記載されるものに限られる。

Audio インターフェイスで、バッファリングサイズの設定ができるものについては、必ず設定すべきである。バッファリングサイズを最小にすることで、レイテンシーはかなり改善される。また、USB 機器を使用する場合、外部電源駆動のものの方が安定性が高い傾向がある。

#### 3.3 他のサンプラーでの GIGA フォーマットデータ使用

最近では、多くのソフト・サンプラーが、パッケージ版あるいはシェア/フリーウェア系としてリリースされている。これらの中で、GIGA フォーマットコンパートとデータの HDD ダイレクト再生に対応しているものであれば、GIGAPiano を使用することが可能である。

Windows/Mac 対応のソフト・サンプラー「KON-TAKT」(Native Instruments)VSTi「HALion」(Steinberg) や, emagic の MIDI/オーディオ・シーケンサー「Logic」専用のソフト・サンプラー「EXS24」が GIGA フォーマットの使用をサポートしたため, GIGA Studio を持っていないでも, GIGA フォーマットのサンプリングデータを利用できるようになった。ただし, GIGA Studio 以外で, GIGA フォーマットデータサンプルをコンバートして利用する場合, オフベロシティに対応したサンプルが変換されないなどの制約が入ることがあり, 注意が必要である。

emagic 社は, 専用の USB オーディオインターフェースを発売している。同一会社のプロダクトの組み合わせの場合, レイテンシの乱れや音の途切れが少ないなどのメリットがある。

### 3.4 GIGA Piano 特性の検討

この節では, この GIGA Piano の仕様についての調査した結果について述べる。まずは, サンプルレベルでの特性について紹介する。

#### 3.4.1 サンプル

サンプラー音源のクオリティは, 使用されている波形(サンプル)によって決まるとしても過言ではない。GIGA Piano の場合, 音域については A0-C8 まで, MIDINoteNo では, 33-120 までが割り当てられている。これは, グランドピアノの音域に相当するものである。

#### 音域毎のサンプル

音域毎のサンプルについては, すべての鍵盤について波形が用意されているわけではない。MIDINoteNo が

21, 26, 31, 36, 40, 45, 50, 55, 58, 60, 64, 66, 69, 73, 78, 85, 89, 93, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108

に対しては, サンプルが用意されている。サンプルが用意されていない NoteNo については, 下の NoteNo の波形をピッチシフトして使用するというアルゴリズムが採用されている。

#### ベロシティ毎のサンプル

上記, サンプルが用意されている各 MIDINoteNo に対して, 3 パターンのデータが用意されている。

音域によって若干の違いはあるが, ベロシティの変化点としては, 1 から 30 まで, 31 から 90 まで, 91 から 127 で分けられている。MIDINoteNo.90 以上については, 1 から 45, 46 から 85, 86 から 127 で分けられている(図 1 参照)。

#### エンベロープエディット

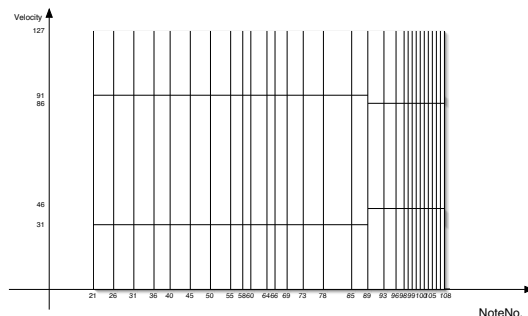


図 1 NoteNo と Velocity 毎のサンプル音

GIGAPiano では, エンベロープなどのエディット等の操作はほとんど行われていないようである。波形を LOOP させるということは一切せず, 減衰して音が消えるところまですべて加工なしにすべてステレオサンプリングされている。

#### リリースについて

NoteNo.89 まではリリーストリガー用に別の波形が用意されている。これは, NoteOff Velocity の 64 以上で鍵盤から指を離したときにトリガーされて発音されるようになっている。

#### サスティンペダル

サスティンペダルを踏んだときの音色についても別途各波形につき 3 パターンの波形が用意されている。これは, On/Off(-63.64-) による変化のみとなっており, それ以外に加工することはできない。

なお, 別途発売されている GIGA フォーマット仕様の『ベーゼンドルファー・ピアノ / GIGA CD-ROM』では, ペダルの上げ下げに対応し, それぞれ 4 段階(= 8)のサンプルが収録されている。今後の RECON 用の(電子)音源の候補として評価を進めていきたい。

#### 3.4.2 組み合わせによる問題

GIGAPiano+GIGASTudio を組み合わせた場合, サンプルの構造上発音数が増大するため, できるだけ GIGASTudio の設定でできるだけ発音数を増やしておく必要がある。ちなみに発音数がいっぱいになった場合は最初に発音されたものから音が消える。

PianoPiano+「Logic」EXS24 の場合, EXS24 の設定で, VMS の設定をしておかないと, HD ストリーミングによるサンプルのモードにならず, メモリにかなりの余裕がない場合, データリードエラーが出ることがある。また, データコンバートを行う場合, サンプルの割り当てアルゴリズムの差によって, 音質に若干の差が出ることがある。

#### 3.4.3 レイテンシ

発音のレイテンシについては, 使用するサウンドデ

パイスのドライバに依存する。レイテンシを小さくするには、オーディオハードウェアのバッファ設定を下げてやること、また、ドライバにレイテンシの設定がある場合はそれをできるだけ小さくすることが有効である。ただし、CPU に負荷がかかるので注意が必要である。基本的に演奏に負荷をかけてもレイテンシが変化することはない。CPU 処理以上の負荷をかけると演奏音にノイズがのることがあるので、これを目安として設定をしてやる必要がある。

12" PowerBook G4MacOS X において、MIDI Services を利用し、MaxMSP と、Logic+EXS24 との、アプリケーション間で MIDI 接続を行って、発音のレイテンシチェックを行った。

まず、聴覚的なチェックとして、高速連続打鍵時にどの程度の発音時刻のゆらぎがあるかを調べた所。打鍵 50ms 間隔（発音から 25ms 後に消音）の試行でも、揺らぎは感知できなかった。

MaxMSP を用い、打鍵間隔: 50ms, 100ms, 500ms, 1000ms（発音から打鍵間隔の半分で消音）に対して、NoteOff イベントから発音（アタック検出）時までのレイテンシを測った結果、 $20\text{ms} \pm 5\text{ms}$  であった。このデータは、音楽の文脈レベルを評価の対象とする我々の目的に対しては、十分なものである。

## 4. YAMAHA サイレントピアノ

### 4.1 サイレントピアノ概要

かねてより、いくつかのメーカーが自動ピアノを販売している。YAMAHA は、MIDI 駆動の自動ピアノを Piano Player（海外では、Disklavier）を販売していた。その後、消音タイプのサイレントピアノとして改良され、現在では、最も入手しやすいタイプとなっている<sup>6)</sup>。

サイレントピアノでは、MIDI の信号により、ソレノイド駆動でハンマーを動かし、物理的な打鍵によって発音を行っている。鍵盤に取りつけられたセンサによって、ペロシティ計測が可能であり、テストプログラムによって、MIDI ペロシティ ハンマーペロシティのパラメータ調整が出来るようになっている。

実際には、打鍵センシングの簡素化（打鍵制御を 0 ~ 127 の一つの変数で表現）、ソレノイドアクションの物理的な制約、厳密に言えば、ソフトウェアレベルの制約も加わるため、MIDI 自動ピアノを用いたとし

MaxMSP を利用し、ソフトウェアによるアタック検出を行っている。数値は、その処理にかかる時間や OS レベルの要因による計測誤差を含んだものになっている。発表時では、複数のマシンを用いた新しい実験結果を報告する予定である

ても、完全に、人間のピアニストの演奏を再現できるものではない。

しかしながら、自然楽器音の音質は、電子的な音源と比べるまでもなく、はるかに、魅力的なものである。Rencon 用の楽器として利用できるよう、技術的な準備を進めていきたい。

サイレントピアノの実際の発音にかかわる特性調査を報告する論文はほとんどない。その中で、Goebel と Bresin は、Disklavier を対象として、ノートオンセットの遅れ、MIDI ペロシティとハンマーペロシティの相関関係と音圧レベルに関する精緻な測定実験を実施している<sup>7)</sup>。

自動ピアノは構造的に MIDI 入力から発音までのレイテンシが非常に大きい楽器である。ただし、レイテンシの大きさ自体はさほど問題にはならない、問題となるのは、レイテンシと音圧レベル (vs 与えた velocity) のばらつきである。

Goebel と Bresin は、legato タッチ、staccato タッチともに  $\pm 10\text{ms}$  のレイテンシの誤差があること、小さな音 (velocity 値が小さい 20 程度) と大きな音 (velocity 値が 100 程度) でのレイテンシ平均を比べた時、小さい音の方が約 10ms 遅いと報告している。

音圧レベルについては、ソレノイドの動作速度に物理的な限界から、低音 (MIDI NoteNo = 24) では velocity 85 付近、中音 (MIDI NoteNo = 60) では、velocity 87 付近、高音 (MIDI NoteNo = 72) では、velocity 90 を超えた辺りで飽和すると報告している。

我々は、アップライト型サイレントピアノ YU50SEB を用い、Goebel と Bresin の報告の確認調査を行った。その結果、アップライト型の方が若干、打鍵の戻りが早い という傾向があるものの、他の特性に関しては、ほぼ同等であることが確認された。

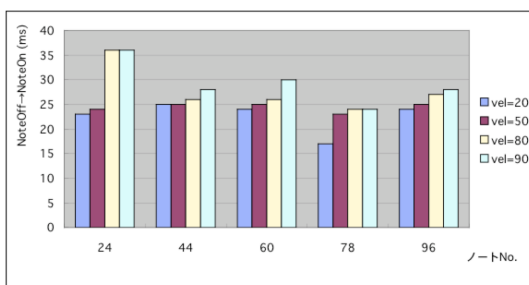
第一回目の Rencon では、試行的に、サイレントピアノ (グランドピアノ) を用いた。この際に明らかになった現実的な問題は、同音の連続打鍵時の発音の乱れである。レガートの発音 (NoteOff から NoteOn までの間隔が短い場合) では、発音に時間遅れがあったり、時には、音が出ないという問題が生じた。これは、電子音源を用いた際には見られない問題である。

以下、同音打鍵において、NoteOff から NoteOn までにどれくらいの時間が確保されれば問題なく発音されるかを、音域、velocity 毎に計測した結果を表 4.1 に示す。この表より、velocity 値が大きい音ほど、No-

グランドピアノ、アップライトピアノの構造上の違いによる可能性もあるが、個々の楽器毎の特性によるものである可能性も否定できない

teOff から NoteOn までの時間をより、長く確保する必要があることがわかる。また、鍵盤毎に特性が異なることについても注意する必要がある。人間のピアニストの場合、数回のリハーサルで鍵盤の物理的特性を理解した上で、動的にフィードバック制御を行っている。計算機での演奏制御を考えた場合、フィードバック制御を行うことは困難である。今後、Rencon の実施においては、パラメータ補償フィルタを用意していく必要があるだろう。

表 1 同音連続打鍵における限界点



## 5. おわりに

本稿では、Rencon での使用を想定している音源として、NemeSys 社 GIGAPiano と Yamaha Silent Piano の基本特性について述べてきた。

これまでに紹介してきたように、発音特性を詳しく調べていけば、さまざまな点で問題点があることがわかる。しかしながら、使用楽器を固定し、現状での問題を明らかにしていくことは、これから蓮根土俵を整備していく上での第一歩になることは間違いない。演奏生成システムの現状の能力を考えれば、上記の音源の特性は、必ずしも悪いものではない。IJCAI-Rencon では、ノートパソコン上で安定して動作することが確認できている PowerBook G4MacOS X + Logic+EXS24 + GIGAPiano を使用するとアナウンスしている。

今後は、演奏生成システムのパフォーマンス向上に応じ、より、適した音源の選択、さらに、エントリーの条件を平等にするための、楽器特性の補償処理の準備を進めていきたい。

## 参 考 文 献

- 1) 平賀, 平田, 片寄: 蓮根, 目指せ世界一のピアニスト, 情報処理, Vol.43, No.2. pp. 136-141 (2002).
- 2) <http://shouchan.ei.tuat.ac.jp/~Rencon/>

- 3) 片寄, 平賀, 平田, 野池, 橋田: ICAD-Rencon - 報告と課題 -, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告, No.47-14, pp. 79-83 (2002).
- 4) <http://www.dtm.com/special/GIGAp.shtml>
- 5) <http://www.nemesysmusic.com/support/hardware.php>
- 6) <http://www.yamaha.co.jp/product/pi/prd/sp/index.html>
- 7) Werner Goebel, Roberto Bresin: Are computer-controlled pianos a reliable tool in music performance research? Recording and reproduction precision of a Yamaha Disklavier grand piano, MOSART workshop, Barcelona, Nov. pp.15-17 (2001)