

ピアノ演奏支援システムにおける 柔軟な入力楽譜の設計の検討

浅野 桐子^{1,a)} 橋田 光代^{1,b)}

概要: 従来の演奏支援システムの多くは、主旋律または伴奏のどちらかを出力するといった、人間とシステムの演奏上の役割が固定されている。ピアノ演奏の場合、初心者向けに片手弾きだけを実現するといった具合である。しかし、システムの実用面では、対象の楽曲において、演奏者が弾きたいパートと、システムが演奏者に期待する楽譜が必ずしも一致しない。本研究では、演奏者とシステムそれぞれの楽譜を柔軟に設計する演奏支援システムの在り方を検討する。

1. はじめに

さまざまな仕組みを経て音が鳴り、表現されるということに対する人間の興味は尽きない。科学技術の進展とともに、楽器演奏においても情報技術を交えたさまざまな形態の表現技法が開発されてきた。そのうちの一つが自動伴奏である [1]。人間による楽器演奏を入力として、他の楽器パートや声部を伴奏システムが担当し、リアルタイムの同時演奏を実現するものである。近年では、個人練習や学習支援を用途として、一般家庭の簡易な環境においても自動伴奏機能を持つ携帯端末アプリや Web サービスも提供されるようになってきている [2]。

ところで、自動伴奏機能を使った既存曲の演奏においては、システムの制約上、あらかじめ提供される楽譜を使用することになる。このとき、とくにピアノを筆頭とする複数声部対象の楽器においては、演奏者の技能スキルや表現意図、さらには使用する楽器本体の物理的特性との兼ね合いで、必ずしも提供楽譜が演奏の実情に合わない場面に多く遭遇する。自動伴奏システムに面白さを見出し、使いたいと願う演奏者が、結局「自分には使えない」とその利用を諦めてしまう状況は、自動伴奏技術の現場利用の現状において改良の余地があることを示す。そこで本発表では、先に「演奏者が弾きたい曲を弾きたいように弾く」ための専用の自動伴奏システムを構築し、その過程を観察することで、今後の自動伴奏システムに必要な機能について帰納的に議論したい。

2. 事例 I: Spring Waters

本事例は、著者等の所属する研究室で 2022 年 3 月に開催したミニコンサートにおいて、第二著者による演奏を念頭に制作したものである*1。クラシックバレエの小品として知られる「Spring Waters (S. ラフマニノフ作曲)」という約 2 分 30 秒の作品のオーケストラ音楽を題材に、YAMAHA サイレントアンサンブルピアノ (YU50SEB/PPC55R) を演奏用実機として、Max8[3] を用いたピアノ連弾システムとして構築した (図 1)。第二著者は、職業演奏家ではないものの、長年にわたって音楽表現に関する活動に関わっており、演奏・作編曲・演奏システム開発は一通り単独で実現できる状況にある。選曲からシステム構築を経て本番当日までの制作期間は約 3 週間であった。

2.1 システム実演環境

本作は演奏とシステム操作の両方を演奏者自身がすべて単独で行うライブ演奏である。PC 接続した MIDI アップライトピアノでの演奏に加えて、システム画面をスクリーン上に投影した。

登壇時の手順ミスを防ぐためにも、一度設営を完了させたら、ステージ登壇から退場までのすべての一連の行動において、一度も直接 PC を触らずにすむようにする必要があった。そのため、システムへの入力には鍵盤 (MIDI ノート・オンおよびノート・オフ) とダンパーペダル (0~127 の整数値) のみとし、システムの初期設定、リセット、スクリーンに投影したシステム画面の演奏中の切替、リハーサル用のシーン設定なども、楽曲演奏には使用されない音

¹ 福知山公立大学情報学部

^{a)} 32145004@fukuchiyama.ac.jp

^{b)} hashida-mitsuyo@fukuchiyama.ac.jp

*1 <https://youtu.be/pmeRm0h22Ls>

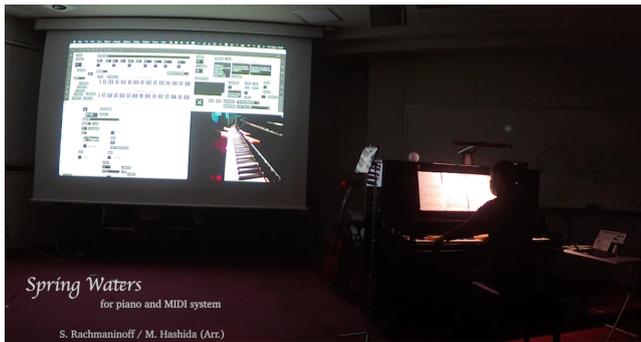


図 1 「Spring Waters」演奏ステージ. PC 接続した MIDI アップライトピアノでの演奏に加えて、システム画面をスクリーン上に投影した。

域の鍵盤をボタン代わりに割り当てている。

2.2 演奏者用の楽譜

「Spring Waters」の音楽は、本来、ピアノ伴奏を伴うソプラノ歌曲の独奏が原曲である。歌曲版の譜面は所有していたが、演奏者がかねてより記憶していたのはオーケストラ編曲版の音源であり、演奏したい声部構成もオーケストラ版を起点としている。オーケストラスコアは入手できていない。そのため、本事例においては、オーケストラ音源に基づく独自の編曲を行った。

全体の約 7 割は自身で弾くが、(a) 同時に鳴らしたいものの手数の足りないパートや、(b) フレーズの掛け合いをしたい部分をシステムパートが担うというピアノ連弾の形式である。自身用の実演パートについては、ほとんど把握できているため紙面を用意する必要はなかったが、演奏ミス防止のために、本番では、カンペとして歌曲版の譜面を譜面台に置くこととした。

2.3 システム用の譜面

特定の楽曲を演奏対象とする伴奏システムにおいて、システムが当該楽曲の楽譜情報を持っておくことは一般的に必要な不可欠である。システムが楽譜情報を要する処理には二種類ある。(1) システム自身が担当するパートを発音するためのシステム用譜面と、(2) 演奏者が楽曲のどの部分を弾いているかを特定するための追跡用譜面である。(1) は用意されて然るべきであるので、楽譜ソフト等を通じて作成する。しかし、(2) に関しては、次項とも関連して、演奏者には不要な演奏者用譜面をシステムのために作成しなければならないという、量的、心理的負荷が非常に大きいという問題が生じてしまう。ここでは、試みのひとつとして、最小限の鍵盤入力のみで (1) を実行できる手法を構築することで、追跡用の全曲譜面は用意しないという方針を取った。

図 2 冒頭部分での楽譜追跡処理. 演奏者は、赤丸で示した鍵盤だけは確実に弾く必要があるが、それ以外については通常のピアノ独奏と同じ感覚で、その場での即興的な強弱緩急も可能である。

2.4 簡易な楽譜追跡

現在流通している電子ピアノであれば、システムは鍵盤の打鍵（ノート・オン）を受けて別の音高を送信すると、鍵盤 1 本で複数の音高をほぼ同時に発音させることが可能である。しかし、本事例において用いたサイレントピアノは 20 年以上前の製品であり、当時の仕様として、PC (Max) から打鍵情報が送信され、実際に鍵盤が動いて発音されるまでに約 0.5 秒を要するという絶対的な物理制約があった。つまり、鍵盤入力をトリガーとした、人間とシステム演奏の同時演奏は事実上不可能である。システムパートの発音には、過去の鍵盤入力に基づいてテンポまたは発音時刻の予測処理が必要となった。

テンポ予測、発音タイミングの予測処理自体は、従来からの自動伴奏研究において多数の手法が取り組まれている。その基本は入力演奏のビートトラックあるいは拍の推定であるが、それにはビートの役割を担う鍵盤入力を前提とするか、追跡用譜面の存在が不可欠である。本事例では、追跡用譜面を作成する負担を軽減するため、楽曲の各パートにおいて必要となるテンポ予測処理を 2 パターン用意し、特定の鍵盤のみをそれらの処理に必要な入力情報とすることとした。

(1) 直近 2 拍上の発音時間からの次拍予測 システム用譜面の発音に必要な直近 2 拍上にある演奏者パートの 2 音のみを入力として、その Inter-onset Interval (IOI) を直前の拍時間 Δt として、 Δt 秒後にシステム譜面を開始する (図 2)。

(2) **リズム低音の平均拍時間による次拍予測** 後半部分において、八分音符単位で概ね等間隔に、人間はリズム和音を、システムが高音域のフレーズを奏でる箇所がある。ここでは、先に人間演奏の2拍分（八分音符4音分）の所要時間から平均の拍時間を求めることで、システムパートのテンポを定めた。

(3) **直前2音の所要時間算出** 終盤部分において、演奏者がそれまでのテンポから大きく速度を落としてフレーズをシステムパートに渡し、その後システムパートが高音域から低音域に向けてテンポアップしながら駆け降りていくという箇所がある。その開始タイミングと初期速度を、システムパートの直前にある演奏者パートの2音の所要時間をもって定めた。

最終的に、スクリーン投影等に関する画面操作を含めて、システムにおいて構築したシーンは7つとなり、そのうち、演奏追跡にかかわるテンポ予測処理は3種類となった。

3. 事例 II: 黒鍵のエチュード

二つ目の事例として、第一著者によるライブ演奏を想定した伴奏システムの制作について述べる。本事例は、EC2023にむけて新たに制作したもので、「黒鍵のエチュード」として知られるショパン作曲の「練習曲 作品10 第5番」を題材とする。伴奏システムは、Max8を用いて、電子ピアノ(CASIO S1100S)を演奏用実機として構築する。

第一著者は中高6年間吹奏楽部に所属し、また習い事としてピアノ演奏に約10年間取り組んできた。ただしピアノ演奏で扱ってきたのは比較的難易度の低い曲が中心で、ショパンのような本格的なクラシック音楽作品には馴染みがないといった状況である。

選曲の要件は以下の3点とした。事例Iと同様に、人間演奏とシステムの構築が負担にならない楽譜設計と実装を進めていく。

- (1) 自身にとっては「いつか弾いてみたかった憧れの曲」であること
- (2) 自身が一人で全てを弾きこなすには演奏技術的に困難な部分があること
- (3) 簡易な楽曲分析を通じて、比較的シンプルにシステム構築が可能であると見込まれること

3.1 演奏方針と楽譜の設計

楽曲の特徴として、全曲にわたって三連符が連続している上に、1小節内でオクターブ以上の跳躍進行を幾度も求められることが挙げられる。難易度の高い楽曲であり、独力で全てを弾きこなすのは困難であるために、システムとの協奏という形で演奏を実現させてみることにした。

楽譜の設計として、次の手順を踏む。まず、一通り楽譜に目を通し、軽く試奏する。その際、(1)手の大きさが足りず到底弾けそうにない箇所、(2)連符の跳躍の大きさが



図3 「黒鍵のエチュード」実演譜（下）とシステム出力譜（上）

小節	システムパターン
theme	後続補完
17小節目～	後続補完
29小節目～	後続補完
33小節目～	演奏（出力なし）
45小節目～	後続補完
56～64小節目	音高補正
56～65小節目	音高補正
65～74小節目	演奏（出力なし）
75～78小節目	音高補正

図4 「黒鍵のエチュード」における追従機能

大きい箇所、(3) 運指が複雑な箇所、といった、演奏者にとって演奏が困難な箇所を挙げていく。次に、リストアップした箇所をシステムが演奏するパートとし、残りは自分が演奏するパート、つまり、システムの入力部分とする。図3は実際に演奏する箇所とシステムに出力してもらう箇所を示すものである。

3.2 演奏追従機能

演奏者用譜面の設計を踏まえ、システム譜はMax8による実装と合わせて大きく2つの追従機能を組み立てることとした。図4に、楽曲全体において適用した追従機能の対応表を示す。

- 後続補完機能：一定の長さの音符列を人間が弾くと、続く後半部をシステムが演奏する。
- 音高補正機能：人間演奏の音高そのものを適切に補正する。

3.2.1 後続補完機能

曲全体を通し、出力するテンポやタイミングは高音部譜表での1小節あたりの音数を利用している。「黒鍵のエチュード」は4分の2拍子であるが、前述のように全面的に三連符が連続しているため、1小節あたりが12音の刻みである場合が大半を占めている。そこで、7音目が入力された時点で1音目からの所要時間を計算し、6で割った



図 5 後続補完機能

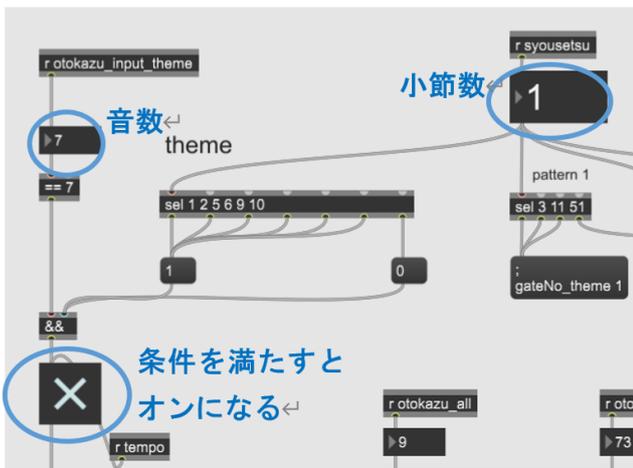


図 6 後続補完機能での入力演奏 (下) と出力演奏 (上)

時間を出力テンポとして指定する (図 5)。システム譜面が出力するタイミングについては、冒頭 1 小節目を例にとると、7 音目が演奏された時点で、システムパートのトリガーがオンになるといった仕組みである (図 6)。

3.2.2 音高補正機能

音高補正機能の基本的な仕組みについては、INSPIRATION[4] に準ずる形で実装する (図 7)。

システムには、あらかじめ演奏させるフレーズの音高を格納しておき、鍵盤を押したタイミングで楽譜に記載された音高が順次出力される。演奏者の鍵盤入力は、単旋律であること、かつ、楽譜通りのリズムで演奏しなければ、然るべき音高は上手く出力されないというしくみである。そのため、演奏楽譜としては図 8 のようになる。入力するタイミングに合わせて楽譜にあった音高が出力されるため、演奏者はどの鍵盤を弾いていても楽譜通りの音高に補正される。

システムに音高補正を求めた理由は、音域が広く運指が複雑であったため、リズムのみ適切であれば、入力した音高が大雑把であったとしても適切な音に補正し出力してほしかったためである。

4. まとめに変えて

既知の楽曲演奏を前提としたリアルタイム伴奏システム

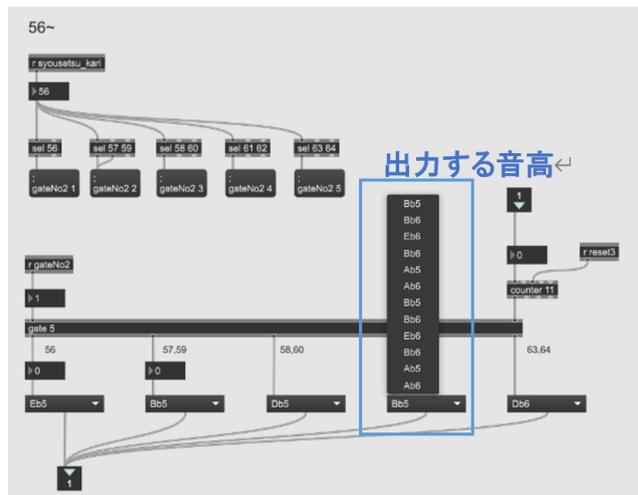


図 7 音高補完機能のシステム画面



図 8 音高補完機能での入力演奏 (下) と出力演奏 (上)

として、従来のシステムでは、対象楽曲に用いる楽譜の入出力形態についての検討が少なかった。本稿では、演奏者の弾きやすさという観点から、二つの自動伴奏システムをそれぞれに構築してみることで、システム本体、および、演奏者自身にそれぞれ必要な楽譜の機能をいくつか洗い出すことができた。

EC2023 では、発表を通じて、今後の自動伴奏技術に必要な機能について議論をすすめたい。

参考文献

- [1] 前澤 陽: 2021 年度情報処理技術研究開発賞受賞記念招待講演 人間の演奏者に同期する合奏システムの開発とその水平展開, 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2022-MUS-135, No. 14, pp. 1-1 (2022).
- [2] Antescofo SAS: Metronaut: Music Practice App for Classical Musicians, <https://metronautapp.com/en/>.
- [3] Cycling '74: Max, <https://www.mi7.co.jp/products/cycling74/max/>.
- [4] 谷井 章夫, 片寄 晴弘: 音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム "INSPIRATION", 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp. 256-259 (2002).
- [5] 有田光希, 馬場隆, 片寄晴弘: スコアインターフェースを用いたジャズピアノ練習におけるタイムフィール獲得について, 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2014-MUS-102, No. 9, pp. 1-8 (2014).
- [6] 中村 栄太, 太田 悠紀, 中西 圭太, 北原 鉄朗, 平井 辰典, 浅倉 駿, 毛利数馬, 武田郁弥: デモンストラーション: 音楽情報処理の研究紹介 XVIII, 研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 2019-MUS-122, pp. 1-3 (2019).