

Title	自身の演奏を加工した音源を用いる拡張リフレクションによる表情付け創造支援に関する研究
Author(s)	宮本, 遥奈
Citation	
Issue Date	2026-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	https://hdl.handle.net/10119/20496
Rights	
Description	Supervisor:西本 一志, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

修士論文

自身の演奏を加工した音源を用いる拡張リフレクションによる
表情付け創造支援に関する研究

宮本 遥奈

主指導教員 西本 一志

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術専攻
(知識科学)

令和 8 年 3 月

Abstract

Musical creative activities through piano performance pose significant challenges for many learners, as a lack of experience and the difficulty of acquiring performance techniques often lead them to give up before reaching the stage of “creativity.” Previous research has mainly focused on supporting technical aspects of performance, such as automatic performance, fingering, and rhythm. However, given that music is inherently a form of self-expression, support for the creative aspects of musical performance is also essential. In particular, for beginners and intermediate learners, achieving expressive performance beyond accurate score-based playing remains a difficult task, as it requires extensive experience, including exposure to a wide variety of performances.

In creative aspects of music such as expressive performance, continuous cycles of trial and reflection are required, making reflection an indispensable component of the learning process. However, because expressive performance involves subtle and fine-grained variations, especially for beginners, simple forms of reflection—such as listening to one’s performance while playing or replaying recorded performances—are often insufficient for identifying discrepancies between the intended expressive image and the actual performance, or for determining concrete strategies to resolve such discrepancies. Therefore, reflection methods that can provide more diverse and broader insights are needed.

To address this issue, this study proposes Extended Reflection as a means of supporting the creative aspects of piano performance. Extended Reflection is a method that generates and presents multiple modified versions of a performer’s own performance by applying moderate expressive transformations, thereby encouraging new insights that are difficult to obtain through conventional reflection and mitigating the fixation of expressive exploration. In this study, we developed *Brownies in Piano*, a piano performance expression support system that implements this approach.

To evaluate the effectiveness of the proposed method, we conducted a comparative experiment with 17 participants who had between six months and 21 years of piano experience, comparing an experimental group using Extended Reflection with a control group using conventional reflection. The results showed

that, overall, the proposed method promoted new insights into expressive aspects of performance, such as dynamics and note duration, and shifted participants' attention from an overemphasis on performance accuracy toward expressive elements. This tendency was particularly pronounced among participants with six months to nine years of piano experience. On the other hand, the extent to which participants reflected the presented modified performances in their actual playing behavior was limited, indicating that increased expressive awareness did not necessarily translate into observable diversification of performance at the behavioral level.

Furthermore, some of the generated modified performances elicited negative comparisons (e.g., "I do not want to play like this"); however, these performances appeared to function as negative exemplars, helping performers to re-examine and clarify their own ideal expressive images.

These results suggest that Extended Reflection can be an effective approach for promoting awareness of the creative aspects of piano performance, while also highlighting the need for improved support design to bridge the gap between reflective insights and actual performance behavior. Future work will focus on improving the musical validity of generated performances and on designing interaction mechanisms that more effectively encourage performers to translate reflective insights into practical performance actions, thereby advancing more practical methods for supporting musical creativity.

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	本研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第 2 章	関連研究	4
2.1	ピアノ演奏の学習支援に関する研究例	4
2.2	初心者の表情付けに関する研究として	6
2.3	表情付けを支援するシステムに関する研究例	6
2.4	音楽とリフレクション	7
2.5	LLM と音楽	8
第 3 章	提案手法：拡張リフレクション	10
第 4 章	予備調査	12
4.1	予備調査 1：プロピアニストへのインタビュー	12
4.2	予備調査 2：使用する LLM モデルの検討	18
第 5 章	提案システム：Brownies in Piano	29
5.1	システム構想	29
5.2	ユーザーインターフェース	33
5.3	改変演奏音源の生成・再生方法	33
5.4	システム構成	45
第 6 章	予備実験	50
6.1	実験目的	50

6.2	実験手法	50
6.3	実験結果	51
第 7 章	本実験	57
7.1	実験目的	57
7.2	実験手法	58
第 8 章	結果・考察	63
8.1	生成した音源について	63
8.2	拡張リフレクションの効果について	64
第 9 章	ピアノの経験年数別で分析した結果・考察	76
9.1	経験年数による差異の有無に基づく結果	76
9.2	ピアノ経験年数：半年～9 年に関する結果・考察	80
9.3	ピアノ経験年数：10 年～21 年に関する結果・考察	86
第 10 章	おわりに	91
第 11 章	謝辞	93
	参考文献	94

図目次

4.1	ChatGPT-4o による結果	21
4.2	ChatGPT-5 による結果	22
5.1	システム構成の概念図	30
5.2	演奏録音画面	30
5.3	再生・好感度入力画面	31
5.4	演奏データ表示画面	32
5.5	システムの構成	47
6.1	システム構成の概念図（再掲）	51
7.1	実験群のシステム構成の概念図	59
7.2	統制群のシステム構成の概念図	59
8.1	音源の好感度結果の箱ひげ図	71
8.2	自由記述の分析結果（着目した音楽要素）	74
8.3	自由記述の分析結果（気づきの種類）	75
9.1	ピアノ経験年数：半年～9 年の好感度結果	83
9.2	ピアノ経験年数：半年～9 年における自由記述の分析結果（着目した音楽的要素）	84
9.3	ピアノ経験年数：半年～9 年における自由記述の分析結果（気づきの種類）	85
9.4	ピアノ経験年数：10 年～21 年の好感度結果	87
9.5	ピアノ経験年数：10 年～21 年における自由記述の分析結果（着目した音楽的要素）	88

9.6	ピアノ経験年数：10 年～21 年における自由記述の分析結果（気づきの種類）	89
-----	--	----

表目次

4.1	専門家による拡張リフレクションへの評価（長所・短所）	12
6.1	各セッション後に行ったアンケートの結果（5 段階尺度）	52
6.2	実験終了後に行ったアンケートの結果（f1～f9：5 段階尺度，f10～ f19：7 段階尺度）	53
6.3	最も好感度が高かった音源の一覧	55
7.1	生成した音源の違いに関する質問項目	60
7.2	拡張リフレクションに関する質問項目	61
7.3	システムの使用感に関する質問項目	62
8.1	好感度調査の結果	63
8.2	自由記述結果	65
8.3	統制群と実験群の比較結果	68
8.4	音源の好感度結果	71
8.5	音源の好感度が高い音源群と低い音源群の比較結果	72
9.1	ピアノ演奏経験年数：半年～9 年における統制群と実験群の比較結果	77
9.2	ピアノ演奏経験年数：10 年～21 年における統制群と実験群の比較結果	79
9.3	ピアノ演奏経験年数別にみた効果量中程度以上の結果まとめ	81
9.4	ピアノ経験年数：半年～9 年の好感度結果	83
9.5	ピアノ経験年数：10 年～21 年の好感度結果	87

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景

ピアノを用いて音楽的創造活動に取り組もうとすると、楽器演奏経験の不足や技術習得におけるハードルの高さから、「創造」に到達する以前の段階で挫折してしまう人が多い。そこで、これまで自動演奏やピアノ演奏における運指・リズムなどを対象とした技術的側面の支援が多く行われてきた [1]。しかし、本来音楽は何かを表現するもの、自己表現の一部であることを踏まえると、自動演奏や運指などの楽器の操作技術面での支援のみではなく、音楽の創造的側面に関する支援も重要である。そこで本研究は、ピアノ演奏を対象とした創造的側面を支援する手段を提案する。なお、創造性には超一流のプロレベルから初心者レベルまで多様なレベルが存在するが、本研究では主に初心者からアマチュアの演奏者による little-c と呼ばれるレベルの創造性を支援対象とする [2]。

ピアノ演奏における創造的側面での重要な取り組みの 1 つとして、演奏への表情付けがある。表情付けとは、微細な音量の強弱や音長の伸縮などを調整することによって演奏を表情豊かにすることである。表情付けの流れは、まずどのような表現をしたいのかをイメージした後、そのイメージにあった演奏技術を選択し、演奏音を調整することによって表情を付ける [3]。この表現したいイメージを具体的な演奏へと変換する過程の実践にあたっては、多様な演奏の聴取など十分な経験を要するため、表情付けは容易ではない。また、表情付けの流れは一方通行ではなく、演奏の反復的試行錯誤を通じて最初は大まかであったイメージを徐々に詳細化させつつ、イメージにより適した演奏にしていくことで、イメージ通りの表現に近づけていく。つまり、表情付け

の過程は連続性の思考といえる。

この音楽における連続性の思考に関して、藤本はリフレクションが有効かつ重要であると指摘している [4]。リフレクションとは、自らの行為・思考・経験を振り返り、その過程から新しい気づきや学びを得ることであり、「reflection in action」と「reflection on action」の2種類がある [5]。表情付けにおいては、演奏中に自分がまさに今弾いている音を聴きながら、そこで得た気づきを即座に後続する部分の演奏に活かすのが「reflection in action」であり、自分が弾いた演奏の録音などを事後的に聴き、そこで得た気づきを次回の演奏に活かすのが「reflection on action」である。

しかし、表情付けは微細な変化を伴う要素であるため、特に初心者においては自分の演奏中の音を聴いたり単純に録音を聞いたりするのみのシンプルなリフレクションでは、表現したいイメージとのズレを知覚し解消するための具体的な演奏を考えることは難しい。そのため、より多様で幅広い気づきを得られるようなリフレクションを実現することが求められる。そこで本研究では、通常のリフレクションを強化する「拡張リフレクション」を提案する。拡張リフレクションとは、あくまで個人が行った行為そのもの（本研究ではピアノ演奏）を基にしつつ、その行為を適度に変形した刺激を数種類生成してこれを提示することで、リフレクションにおける収束の過度な固定化を緩和し、さらに通常のリフレクションでは得られがたい新たな気づきを得られるようにすることを目的とした手法である。

1.2 本研究の目的

本研究では、通常のリフレクションでは得られがたい新たな気づきを与える拡張リフレクションを提供するピアノ演奏の表情付け支援システム「Brownies in Piano」を提案する。また、Brownies in Piano がリフレクションにおける収束の過度な固定化を緩和できるかどうか、通常のリフレクションでは得られがたい新たな気づきを得られるかどうかなどを検証する。

1.3 本論文の構成

本論文は、本章を含めて全 10 章から構成される。

1 章では、本研究の研究背景および目的について述べた。2 章では、関連研究について

て記述する．3 章では，研究目的を達成するための提案手法について述べる．4 章では，予備調査として，提案手法の肝である拡張リフレクションに関して，プロピアニストに行った調査結果と LLM モデルの検討結果に関して述べる．5 章では予備調査を踏まえて設計した Brownies in Piano の構成を説明する．6 章では，予備的に行った事前実験の手法とその結果について記述する．7 章では，本実験で行った実験の手法について記述する．8 章では，本実験の結果と考察を述べる．9 章では，ピアノの演奏経験年数別に分析を行い，最後に 10 章でまとめを述べる．

第 2 章

関連研究

本章では，関連研究に関して述べる．

2.1 ピアノ演奏の学習支援に関する研究例

ピアノ演奏の学習支援に関する研究はこれまで数多く行われてきた．以下にいくつかの研究を紹介する．

竹川ら [1] は，ピアノ演奏初期段階の学習者を対象として，リズム（打鍵および離鍵のタイミング）の習得を支援することを目的とした研究を行った．この研究では，五線譜に基づいて演奏中の音長を逐次的にチェックし，打鍵および離鍵のタイミングに関するリズム情報を直観的に提示するピアノ演奏学習支援システムを設計・実装している．これにより，譜読みに不慣れな学習者でも音長を把握しやすくなり，ピアノロール譜を用いた手法との比較実験において，打鍵ミス数およびリズムミス数の低減が確認され，提案手法の有用性が示されている．

さらに，竹川ら [6] は，ピアノ演奏初期段階の学習者を対象として，打鍵位置や運指の習熟を支援することを目的とした研究も行っている．この研究では，運指認識技術を用いて演奏者の運指を逐次的にチェックし，運指や打鍵の正誤，運指情報および打鍵情報を直観的に提示するピアノ演奏学習支援システムを構築している．打鍵情報や運指情報の表示方法は，映像中の鍵盤に表示するフロントモードと鍵盤上に直接表示するダイレクトモードの 2 種類を提案している．これにより，従来の光る鍵盤では把握しにくかった打鍵の流れや運指の正誤を学習者が理解できるようになり，光る鍵盤との比較実験を通して 2 通りとも提案手法の有用性が示されている．なお，ダイレク

トモードの方がより早く演奏を熟達できたと報告している。

田中ら [7] は、保育者養成課程のピアノ初心者を対象として学習者と教員の演奏を「見える化」するシステムを構築した。これは、テンポ、左手音量、右手音量、左手発音長、右手発音長などに関して学習者・教員それぞれの演奏データを時系列のグラフで可視化したものである。これにより、学習者と教員の演奏の違いを視覚的に確認できる。

上田ら [8] は、打鍵情報を基にピアノの練習状況をヒートマップで可視化する機能と、譜面上に気づきや学習方略をアノテーションする機能を持つ学習支援システムを構築した。ヒートマップでは、合計打鍵回数、正解打鍵回数、打鍵ミス回数、演奏の滞留度を譜面上に表示している。アノテーション機能は、学習者が練習中に得た気づきや学習方略を記述することで、練習の省察への新たな着眼点を生むきっかけに繋がる。

Li ら [9] は、幼児を対象としたピアノ教育の文脈において、深層学習および人工知能技術を活用した学習支援の可能性を検討した。この研究では、演奏に応じた音符提示や自動スクロールなどの要素があるスマート楽譜や、得点表示や即時フィードバックなどのゲーム要素を備えたインテリジェントピアノを用い、CNN による音符開始検出を含む AI 技術を組み込んだピアノ教育環境を設計し、幼児向けのピアノ授業に適用している。これにより、学習者の演奏に対する即時的なフィードバックや視覚的支援が可能となり、アンケート調査を通して、幼児の学習意欲や授業への積極性を高めた効果が示されている。

Harrison ら [10] は、ピアノ教師が不在の状況を想定した Mixed Reality (MR) によるピアノ学習において、初心者の演奏技術習得を支援するシステム「Pianoverse」を構築した。この研究では、熟練ピアニストの手の動きを光学式モーションキャプチャによって取得し、演奏音と楽譜情報を時間的に同期させたマルチモーダルな演奏データセットを構築するとともに、教師の手の三次元モデルや動作軌跡を実際の鍵盤上に重ねて提示する MR ピアノ学習アプリケーションを開発している。これにより、学習者は演奏音と同期した教師の手の動きや運指動作を実空間上で視覚的に把握しながら演奏することが可能となる。ユーザテストの結果から、身体や手の位置取り、および手の動きの模倣といった演奏技術の理解を支援する可能性が示されている。

以上のように、ピアノ演奏の学習支援において、様々な取り組みが行われているが、これらの取り組みは、表情の創造よりは演奏の正確性を重視している点で、技術的な学習支援の取り組みであると言える。

2.2 初心者の表情付けに関する研究として

初心者の表情付けに関する研究として以下のような研究が挙げられる。

高橋ら [11] は、熟達者と非熟達者の演奏比較を行った。この研究では、熟達者はフレーズの構造に応じて velocity や duration を柔軟に変化させているのに対し、非熟達者では変化の幅が小さく、結果として演奏が平坦になりやすいことが報告されている。

渡会 [12] は、読譜力不足でも演奏を必要に迫られている演奏者に対して、自前の動画教材を作成し、動画教材が演奏能力の向上にどう役立つのかを検証した。中級者に関しては、曲の流れ・リズム・テンポ・強弱の確認や曲のイメージなど音楽表情に関する部分で参考にしていただくと報告している。また、動画教材に求められることとして、初心者は「鍵盤の位置がわかる」「指づかいを確認できる」が多く、中級に近づくにつれて「表現のつけかたがわかる」の割合が上昇した。

Meissner ら [13] は、9～16 歳の若い楽器演奏者を対象として、表現力のある演奏がどのように学ばれているのかを、学習者自身の視点から明らかにするために、実際のレッスン映像を用いたビデオ刺激再呼出法によるインタビュー調査を通して、学習者の認識を分析している。その結果、若い演奏者は、単に正確な打鍵や技術練習を行うよりも、楽曲の特徴や演奏表現の意図、演奏に用いる表現手段について教師と対話しながら考える活動が、自身の音楽の意味理解を深め、表現力の理解や向上に寄与したと感じていることが示されており、表現力学習における学習者の内省的思考や対話の重要性が示唆されている。

以上のように初心者の演奏では演奏の表情が平坦になりやすく、表情の付け方に関する支援が必要とされているとわかる。また、表情付けを学ぶ際は内省的思考や対話が重要であるといわれている。そのため、演奏表情を豊かにするために、自身の演奏を聴くのみに留まる従来のリフレクションだけでなく、自身の演奏を基に表情を適度に変形した刺激を複数提示し、それらを比較・検討するという対話的な思考を通じて表情付けの学習を支援する拡張リフレクションが有用であると考えられる。

2.3 表情付けを支援するシステムに関する研究例

表情付けの支援に関する研究として以下のような研究がある。

楊ら [14] は、独力では楽曲をうまく解釈できない初心者を対象として、インター

ネットを利用して楽曲と関連する画像を収集して楽曲の各部と関連付けた画像データベースを構築し、画像付き楽譜を提示することによって楽曲の表情付けを支援するシステムを構築している。

大島ら [15] は、楽譜通りの演奏を行うことが求められる再現演奏と呼ばれる種類の演奏を対象として、楽譜に記述されている音高列の再現を計算機支援することによって、奏者が表情付けに直接的に取り組むことを可能とする楽器を提案している。

鈴木 [16] は、演奏表情生成手法を応用した音楽表現の学習支援システムを構築した。教員がシステムに形容詞を入力して生成した音楽表情を手本表情とし、学習者は手本表情を聴いて練習・録音をする。その録音したデータと手本表情の演奏表情パラメータを比較することで、学習者の演奏に関してよかった点、改善点、手本表情を提示している。

このように、初心者を対象とした演奏表情付けとその支援に関する研究例はこれまでも存在する。しかしながら、創造性の発揮を目的としてリフレクションに着目した表情付け支援に関する研究例は、管身の限り見当たらない。

2.4 音楽とリフレクション

ピアノ演奏における表情付け支援ではないが、音楽においてリフレクションが重要であると説いている研究を以下に示す。

Georgii-Hemming ら [17] は、高等音楽教育（大学・音楽専門教育機関）を対象として、音楽教育における「省察（reflection）」という概念がどのように理解され、位置づけられているのかを明らかにすることを目的とした研究を行った。この研究では、音楽教育者の言説や理論的議論を分析し、省察が言語的・認知的な思考としての側面に加え、演奏中の身体感覚や動作に基づく判断といった身体的・身体化された側面、さらには楽曲の意味や表現意図を捉える音楽的側面を含む、多面的な概念として捉えられていることを整理している。その結果、省察は学習後に演奏内容を振り返る行為に限定されるものではなく、演奏中に音や身体感覚を手がかりとして弾き方を判断・調整することや、楽曲の意味や表現の方向性を考えながら演奏することも含む学習プロセスとして理解されており、高等音楽教育における演奏学習や表現理解を捉えるための理論的な視点が示されている。

Esslin-Peard ら [18] は、大学において音楽パフォーマンスを専攻する学部生を対象とし、演奏学習の過程において省察（reflection）がどのような役割を果たしているの

かを明らかにすることを目的とした研究を行った。具体的には、クラシックおよびポピュラー音楽を学ぶ学部生が年間を通して作成した反省的エッセイを分析し、学生が自身の練習や演奏、学習行動についてどのように省察しているのかを検討した。その結果、省察は単なる学習後の振り返りにとどまらず、演奏の意図や課題の認識、練習方略の選択、技術と表現の関係性の理解といったメタ認知的な学習過程と結びついており、ジャンルを問わず演奏学習の質や自己調整的な学びを支える重要な要素であることが示されている。

藤本 [4] は、音楽における連続性の思考について、リフレクションの有効性を指摘している。リフレクションには、①主体にイメージと音を客観的に比較させそのズレを認識させる、②ズレの原因についての手がかりを与え、ズレを解消するための予想を立てさせる、③主体の持つイメージを関連づけたり作りかえたりして、主体の持つイメージを詳細にして広げていく、④主体が表現したいイメージを明確化する、の4つの機能があると述べられている。

この4つの機能を本研究の対象であるピアノ演奏における表情付けに当てはめた場合、③④の機能が演奏へのイメージを詳細化する部分、①②の機能がイメージ通りの演奏ができているのかを確認し、解決策を考える部分に当たると考えられる。しかしながら、特に初心者の場合、イメージと自分の演奏を比較してズレを認識し、そのズレの解消のための方策を考えてさらにイメージを拡げるということは容易ではない。そのため、「表情の違い」や「可能な方向性」などを実感できるようにするための具体例を示すことが有効な支援策になるのではないかと考えられる。

2.5 LLM と音楽

本研究では、拡張リフレクションとして自身の演奏を適度に変形した刺激を数種類生成してこれを提示する。この際、LLM である GPT-5 を使用するため、LLM と音楽に関連する論文をいくつか提示する。

川口ら [19] は、大規模言語モデル (LLM) である GPT-4 を用いた対話的音楽生成を、作曲支援の視点で検討している。具体的には、音楽を ABC 記譜法によるテキストとして表現し、GPT-4 による楽曲生成能力を検証するとともに、感性パラメータを対話的に制御可能な作曲支援システム「Grazie Piano Tuner」を実装している。その結果、GPT-4 がテキスト化された音楽情報を基に、旋律構造や楽曲の基本的なまとまりを持つ楽曲を生成できることが確認され、指示内容に応じて曲調や表情的特徴を調

整する対話的な作曲支援の可能性が示されている。一方で、音楽理論の厳密な遵守や音楽性の高度な制御については今後の検討課題として位置づけられている。

刀祢ら [20] は、大規模言語モデル (LLM) である GPT-4 を用いた作曲支援の文脈において、音楽理論に基づく制約付きメロディ生成がどの程度可能であるかを検証している。具体的には、音楽を ABC 記譜法によるテキストとして扱い、コード進行やスケールなどの音楽理論的制約をプロンプトとして GPT-4 に与えることで、生成されるメロディが指定された音集合をどの程度満たしているかを複数条件で評価している。その結果、音の集合を明示的に指定した場合には、GPT-4 が高い割合で制約を満たすメロディを生成できることが確認され、テキストベースの指示に基づくメロディ生成の実現可能性が示されている。一方で、コード進行から対応するスケールを推論するといった暗黙的・抽象的な音楽理論理解については限定的であり、今後の検討課題として位置づけられている。

木下 [21] は、大学における音楽科教育の文脈において、生成 AI を音楽創作活動に導入することが学習者の学びにどのような変化をもたらすのかを明らかにしている。本研究では、ChatGPT を用いた歌詞生成や、自動音楽生成システム CREEVO を用いた楽曲アイデア生成といった大学での創作実践を対象に、生成 AI を活用した創作活動のプロセスと、学習者の体験や振り返りを考察している。その結果、生成 AI は創作を代替する存在ではなく、アイデア生成を支援する道具として位置づけられ、学習者が生成されたアイデアを評価・選択・再構成する過程を通して、判断力や創造的思考を促す可能性が示されており、音楽科教育における創作活動の新たな在り方が示唆されている。

このように、LLM で音楽を扱う場合はテキスト形式にするなど、LLM で理解できるように工夫している。また、LLM を補助的な役割として用いることで、自身の創造的思考を高める可能性が示されていた。

第3章

提案手法：拡張リフレクション

本研究では、ピアノ演奏における表情付けを対象とし、リフレクションによる気づきの幅を拡張する手法として「拡張リフレクション」を提案する。

ここでいうリフレクションとは、自らの行為・思考・経験を振り返り、その過程から新たな気づきや学びを得る行為を指す。ピアノ演奏においては、演奏中に自分が今まさに弾いている音を聴き、その場で得られた気づきを即座に後続部分の演奏に反映させる即時的なリフレクション（reflection in action）と、演奏後に録音を聴き返し、そこで得られた気づきを次回の演奏に活かす事後的なリフレクション（reflection on action）の2つが存在する [5]。演奏者はこれらのリフレクションを通して、演奏表現や演奏技術における改善点を検討し、それを実際の演奏に反映させることで、段階的な上達を図っていく。特に、表情付けに代表される音楽の創造的側面においては、試行と振り返りを繰り返す連続的な思考が求められるため、リフレクションは不可欠な役割を担っている。

一方で、従来のリフレクションには、初心者から中級者の演奏者に特有の困難が存在することが、プロピアニストへのインタビューから指摘された。プロピアニストは、自身の演奏を聴き返すという行為について、「自分が弾いたものを聴くという行為からは、理想と異なっている違和感には気づくことができて、そこからどのように改善すべきかを導き出すには培ってきた経験が物をいうため、初級者、中級者にとって簡単なことではないと考える。」と述べている。さらに、「初中級者の場合、従来の方法、自身の録音や参考音源を聴くやり方では、それらのレベルが大きく乖離している問題がある。上級者は、様々な論理的思考や経験に基づいて、理想の演奏まで細やかに筋道立てた試行錯誤が可能だが、初中級者が自力のみでそれらを行うのは非常に困難で

ある。」と指摘している。

これらの専門家の意見から、初心者から中級者の演奏者は、実際の演奏とのズレの方向性を把握しにくい状況に置かれていることが分かる。ピアノ演奏における「理想の演奏」は、必ずしも明確な形で演奏者の頭の中に存在しているとは限らず、多くの場合、漠然としたイメージとして存在している。そのため、そのイメージを表現しようとして演奏しても、実際に生じる演奏には何らかのズレが含まれることになる。

熟練した演奏者であれば、豊富な演奏経験や音楽の聴取経験に基づく試行錯誤によって、このズレを修正することが可能である。しかし、初心者から中級者においては、演奏経験や音楽の聴取経験が十分でないため、そのズレが「どのようにズレているのか」、また「理想がどの方向に存在するのか」を把握することが難しい。その結果、「なんとなく違う」という違和感は知覚できるものの、具体的な解決策を導き出すことができない。さらに、修正の方向性が不明確なまま試行錯誤を重ねることで、最終的には個人の癖や慣れに依存した演奏に偏ってしまうという問題が生じる。

そこで本研究では、従来のリフレクションにおいて初心者がピアノ演奏の表情付けを行う際に生じるこれらの困難を軽減する手法として、「拡張リフレクション」を提案する。拡張リフレクションでは、自身の演奏をそのまま振り返るだけでなく、自身の演奏を基に演奏表現を適度に変化させた複数の「改変演奏音源」を提示することで、リフレクションを強化・拡張する。

改変演奏音源とは、音の velocity や duration を微調整して表現を強化または弱化したものや、形容詞による印象変化を反映させた音源である。なお、本研究の対象者は、基本的な運指が可能な初心者から中級者の演奏者である。

第 4 章

予備調査

この章では、システム設計を検討するために行った予備調査を報告する。行った予備調査は、プロピアニストへのインタビューと使用する LLM モデルの検討の 2 つである。

4.1 予備調査 1：プロピアニストへのインタビュー

提案手法の肝である拡張リフレクションという概念の有効性に関して、プロのピアノ演奏家 3 名にアンケート調査を行った。アンケート調査では、従来のリフレクションの限界、それを踏まえて拡張リフレクションを提案する理由や狙い、具体的な拡張リフレクションの手法について説明する文書を読んでもらったのち、拡張リフレクションの長所・短所、またそう考える理由を尋ねた。結果は表 4.1 に示す。以下に、拡張リフレクションでの狙いごとに考察する。

表 4.1 専門家による拡張リフレクションへの評価（長所・短所）

ID	質問項目	回答内容
A	長所	長期的に見ると演奏表現の幅が増える。
A	長所の理由	従来だと、より理想に近づけるという解決方法だが新たなやり方は今までの自分の習慣や癖の外にある演奏方法の可能性を探ることができるから。また、それが自分の演奏の録音をもとに生成されているからそれを聴くことにより身につけやすいと考えられる。
A	短所	演奏の統一感、構成感が欠けやすい

ID	質問項目	回答内容
A	短所の理由	部分部分でいいと思う演奏を結びつけてしまうと木を見て森を見ずのような状況になり即興的過ぎるように聞こえたり、1 曲の中で表現方法がバラバラになってしまうのではないかな。
A	感想	
B	長所	複数の表情付けから自分の理想に近いものを選択していくことによって、少しずつ自分の理想が明確になり、表現方法も身につくことによって自分自身で表現を考えることができるようになるのではないかと期待する。また、1 人で表現を試行錯誤することは苦痛を伴うが、この方法を用いることで音楽表現を楽しんで模索できると思う。
B	長所の理由	自分が弾いたものを聴くという行為からは、理想と異なっている違和感には気づくことができて、そこからどのように改善すべきかを導き出すには培ってきた経験が物をいうため、初級者、中級者にとって簡単なことではないと考える。さまざまな表情付けをした演奏を聴くことによって、自分からは思いつかなかった表現の可能性が広がったり、方法がわからず悩んでいる人の打開策になると思う。
B	短所	表現の可能性を狭めてしまうこと
B	短所の理由	表現というのは制限がなく、そのフレーズごとに表現方法は異なっていくため、どの程度そのシステムで再現できるのか、複数とはどの程度なのかが気になる。また選択肢を与えることによってそれ以外の表現を考えることや、自分の中の想像力を働かせることを止めてしまい、理想よりも、正解に近そうな物、を選んでしまうのではないかと考える。
B	感想	
C	長所	自身の演奏から具体的な変化を視覚化できれば、より筋道だった試行錯誤の方法に気づくことができる

ID	質問項目	回答内容
C	長所の理由	初中級者の場合、従来の方法、自身の録音や参考音源を聴くやり方では、それらのレベルが大きく乖離している問題がある。上級者は、様々な論理的思考や経験に基づいて、理想の演奏まで細やかに筋道立てた試行錯誤が可能だが、初中級者が自力のみでそれらを行うのは非常に困難である。この方法を取ることで、自身の演奏から理想までの段階的なアプローチを、より客観的に行うことができる可能性があると考ええる。また、録音なしでの練習では、具体的に自分が何を变えたのか、変えられたのかが曖昧になりがちだが、拡張リフレクション上で微細に調整できることで、その変化をより強く意識することができることが効果的に思える。
C	短所	表現が作為的なものに偏り、思考力と感覚力の鈍化の可能性
C	短所の理由	このアプローチは新たな視点として一定のポジティブな効果も期待するが、この方法に頼り過ぎることで生まれる弊害もあるように思う。私個人としては演奏表現をする際、数値的な視点で演奏を「作る」ことをしていない。自然な和声進行、フレーズのイントネーション、リズム、拍感、ダイナミクス etc. これらは全て密接であり、ただ一部の音の強弱、長短の変化で生まれるものではない。私の師匠の指導や、私自身が初心者に指導する際も、ほとんど表面的な表現付けの変化を指示することはない。代わりに、何故そこを聞きたいのか、そう進んでいきたいのかなど、その演奏表現の説得力となる要素を提示することで、自然な表現へと改善されていく。経験上、これは上級者のみならず初級者にも有効であり、この方法を普段の練習から心がけることを推奨している。初級者のうちから拡張リフレクションに頼ることで、この思考力と感覚力が鈍ってしまい、演奏表現が作為的不自然なものとなり、自身の演奏欲求とはズレた新たな手癖が身についてしまうことを懸念する。
C	感想	新たなツールの出現は、人を進化も退化もさせるものです。これからも時代はより多くの人に、より容易に演奏を楽しんでもらえるようになっていくでしょう。一方で、便利なツールに頼りきりになり、一人一人の思考力感覚力は鈍ってしまうこともあるでしょう。物は使いようですから、この新たな方法がどのような形になっていくのか、興味深く見させていただきます。

4.1.1 長所

手癖からの脱却と探索範囲の拡張

仮説：従来のリフレクションにおいては、学習者の経験や手癖に依存した試行錯誤に陥りやすく、探索の範囲が限定的になるという課題がある。これに対し、拡張リフレクションは、複数の改変演奏を提示することで、個人の経験や手癖に依存した試行錯誤を緩和し、個人の経験則を超えた探索を可能にすることを意図している。

専門家による評価：この点について、専門家 A は「今までの自分の習慣や癖の外にある演奏方法の可能性を探ることができる」と述べている。また、専門家 B も「自分からは思いつかなかった表現の可能性が広がる」と評価した。これらの意見は、提案手法が学習者の既存の枠組みを揺さぶり、新たな表現の可能性へと開く効果を持つことを示しており、設計意図と整合的である。

理想イメージの明確化と方向性の発見

仮説：初心者にとって「理想の演奏」は多くの場合曖昧であり、現状とのズレを認識できたとしても、それを具体的に「どの方向に」「どのように」修正すべきかを判断することは困難である。このような方向性の不明瞭さに対し、拡張リフレクションでは、演奏者が自身の演奏という一点のみから理想とのズレを推測するのではなく、自身の演奏を基準として生成された複数の改変演奏を提示することで、多様なズレを体験できるようにする。自身の演奏と理想イメージとのズレに加え、改変演奏と理想イメージとのズレも併せて体験することで、演奏者は複数の視点から理想イメージの方向性や具体的な解決策を検討することが可能になると考えられる。また、提示される改変演奏は自分自身の演奏を基に表情を適度に変更した音源であるため、理想イメージ付近に位置する演奏が複数提示されると考えられる。これらの改変演奏は正解候補を提示するものではなく、あくまで複数のズレを通じて理想を探るための材料である。このように、改変演奏音源の分布やその中心を考察することを通して、演奏者が理想の演奏イメージをより捉えやすくなることが期待される。

専門家による評価：専門家 A は「自分の演奏の録音をもとに生成されているから、それを聴くことにより身につけやすい」と述べている。提示される改変演奏が学習者自身の演奏に基づいているため、新たな表現を理解し、取り入れる際認知的負担が軽減されることを示唆している。また、専門家 B は、「複数の表情付けから自分の理想に

近いものを選択していくことによって、少しずつ自分の理想が明確になり、表現方法も身につく」と述べ、選択のプロセス自体も理想イメージの形成に寄与する可能性を示唆した。さらに、専門家 C は「自身の演奏から具体的な変化を視覚化できれば、より筋道だった試行錯誤の方法に気づくことができる」と述べ、漠然とした反復ではなく、論理的な試行錯誤が可能になる点に言及している。これらの評価は、本システムが単なる演奏バリエーションの提示にとどまらず、理想に至るための道筋、すなわち方向性を示す足場かけとして機能するだろうことを示している。

新たな発見：心理的負担の軽減と楽しさ

専門家による評価：当初の仮説には含まれていなかったが、学習者の心理的側面に関する効果の可能性が明らかとなった。専門家 B は「1 人で表現を試行錯誤することは苦痛を伴うが、この方法を用いることで音楽表現を楽しんで模索できる」と述べている。従来のリフレクションは、正解の存在しない中での孤立した試行錯誤を強いるため、学習者にとって高い心理的負担となる場合が多かった。これに対し、本システムは複数の選択肢を提示することで、試行錯誤のプロセスを「苦痛」から「楽しさ」へと転換できる可能性を示している。

4.1.2 懸念される短所と留意点

全体的な統一感の欠如

専門家 A は、「部分部分で良いと感じた演奏を結びつけてしまうと、1 曲の中で表現方法がバラバラになってしまうのではないかと指摘している。これは、木を見て森を見ずのように、局所的なフレーズの改善（木）に注目するあまり、楽曲全体の構成や統一感（森）を見失うリスクがあることを示している。

これに関しては、まずは木の部分の表情付けに関する支援を行うこととして、楽曲全体で曲調が大きく変わらない曲を課題曲として今回は実験を行うことで、この懸念を軽減することができると考えている。この結果で効果が出れば、次に曲全体の統一感を考慮するための手法を提案する必要があるだろうと考えている。

受動的な学習姿勢への懸念

専門家 B は「自分の中の想像力を働かせることを止めてしまい、正解に近そうなものを選んでしまう」と述べ、専門家 C は「思考力や感覚力が鈍り、演奏表現が作為的で不自然なものになる可能性がある」と指摘している。これらの意見は、システムが

提示する選択肢に過度に依存することで、学習者が自ら表現を創造する能動的な思考や内発的な感覚が阻害される恐れがあることを示唆している。

これに関しては、改変演奏はあくまでも自分自身の演奏を基に表情を適度に変更した音源であるため、正解の演奏を提示しているわけではないが、より能動的に演奏表現を考えるよう工夫する。具体的には、音源を生成する際に選択された形容詞などを伏せてブラインド状態で視聴する、最初の視聴時には duration を表示するピアノロールや velocity を示す棒グラフを提示せずに音のみを視聴させる、などである。このように、はっきりと断定はしない設計とすることで、演奏者自身が能動的に演奏表現を考えることを促す。また、視覚的な情報は最小限にすることで、聴覚への意識が増え普段演奏表現を考えている感覚に近づける。

本質的な音楽理解の不足

専門家 C は、「私個人としては演奏表現を行う際、数値的な視点で演奏を『作る』ことはしていない」と前置きした上で、本システムに対する本質的な懸念を述べている。具体的には、以下のように指摘している。

「自然な和声進行、フレーズのイントネーション、リズム、拍感、ダイナミクス etc. これらは全て密接であり、ただ一部の音の強弱、長短の変化で生まれるものではない。

私の師匠の指導や、私自身が初心者に指導する際も、ほとんど表面的な表現付けの変化を指示することはない。

代わりに、何故そこを聞きたいのか、そう進んでいきたいのかなど、その演奏表現の説得力となる要素を提示することで、自然な表現へと改善されていく。」

これらの発言は、音楽表現が複数の要素の相互関係によって成立するものであり、表層的なパラメータ操作のみでは本質的な表現には到達し得ないという立場を示している。その上で専門家 C は、システムによる表面的な操作のみに依存することの弊害として、「初級者の段階から拡張リフレクションに過度に頼ることで、思考力や感覚力が十分に育たないまま、演奏表現が作為的で不自然なものとなり、自身の演奏欲求とは乖離した新たな手癖が形成されてしまう可能性」を指摘している。これは、演奏表現の説得力となる要素を考える過程が省略され、数値的なパラメータ操作による表面的な変化のみで演奏を構築するという、望ましくない学習様式が固定化されるリスクを示唆している。すなわち、本システムの利用方法によっては、音楽的理解を深めるこ

となく、別種の「手癖」を形成してしまう可能性があることが明らかとなった。

これに関しては、操作するパラメータの数を増やしたり特徴量で制御することでより音楽的に生成すること、また自分の中の感覚に目を向けさせることなどの仕掛けも必要であると考ええる。

4.1.3 まとめ

本インタビュー分析の結果、提案システム「拡張リフレクション」は、当初の設計意図であった「手癖からの脱却と探索範囲の拡張」および「理想イメージの明確化と方向性の発見」という点において、熟練したピアノ専門家から一定の有効性が認められた。さらに、当初は想定していなかった効果として、「心理的負担の軽減」という新たな価値も見いだされた。一方で、「全体的な統一感の欠如」、「受動的な学習姿勢への懸念」、「本質的な音楽理解の不足」といった課題も指摘された。「受動的な学習姿勢への懸念」に対しては、音源生成時に用いられた形容詞等の情報を伏せたブラインド状態での視聴や初回視聴時にグラフを非表示とするなどの工夫を行う。「全体的な統一感の欠如」に関しては、本研究ではまず、拡張リフレクションの設計意図が提案システム上で適切に実現されているかを本実験において検証することとし、楽曲全体で曲調が大きく変化しない楽曲を課題曲として設定することで、本実験において影響を軽減する。「本質的な音楽理解の不足」についても、将来的に解消すべき課題として位置づける。

4.2 予備調査 2：使用する LLM モデルの検討

改変演奏音源として形容詞による印象変化を反映させた音源の生成には、LLM を用いる。そのため、本節では使用する LLM のモデルを検討する。検討する LLM は先行研究を参考に ChatGPT-4o と新しく登場した ChatGPT-5 を比較した。

4.2.1 検討方法

Listing4.1 に LLM に指示するプロンプト文を示す。プロンプト文中の「形容詞」の部分に形容詞を当てはめ、ChatGPT-4o と ChatGPT-5 でそれぞれ音源を変化させるフィルターをプログラム形式 (Python) で生成する。その後、両者とも同じ音源をフィルターに通すことで改変演奏音源を生成し、両者の音源を比較する。比較の際は、生成されたプログラムを直接比較するのではなく、生成されたプログラムで音源を変

化させた結果を視覚的に比較する。なお、使用する音源はメヌエット・ト長調を使用し、比較しやすいように velocity のみ機械的に同じ強さに変更したものである。

1 ファイルを「形容詞」調子に変化させるプログラムをで作成してください。

2 MIDIPython注意事項

- 3
- 4
- 5 - 変化させて良い値は、, のみです。他の値はいじらないでください。velocityDuration
 - 6 - 以下のプログラムを用います。関数の中身を変更してください。apply_filter

7

```
8  '''python
9  import mido
10 from mido import MidiFile, MidiTrack, Message
11 import random
12 from dataclasses import dataclass
13
14 @dataclass
15 class Note:
16     """ノート情報を格納するクラスMIDI"""
17     pitch: int # ノートの音程 (0-127)
18     start_time: int # 開始時間 (ticks)
19     velocity: int # ベロシティ (0-127)
20     duration: int # 持続時間 (ticks)
21     channel: int = 0 # チャンネルMIDI デフォルト(0)
22
23 def midi_to_notes(midi_file: str) -> list[Note]:
24     """ファイルのをリストに変換MIDINote"""
25     # 省略
26     pass
27
28 def notes_to_midi(notes: list[Note], output_file: str, ticks_per_beat: int
29                   = 480):
30     """のリストを新しいファイルに変換NoteMIDI"""
31     # 省略
32     pass
33 def apply_filter(notes: list[Note]) -> list[Note]: ノートリストを指定した調子に
34     変換するフィルタ
35     """
36     # ここを生成して！
```

```

36     pass
37
38 def main(input_file: str, output_file: str):メイン関数
39     """
40     # 1. ファイルをノートリストに変換MIDI
41     notes = midi_to_notes(input_file)
42     print(f読み込んだノート数: {len(notes)})
43     # 2. ノートリストを変換
44     converted_notes = apply_filter(notes)
45     # 3. 元のファイルのを取得MIDIticks_per_beat
46     original_mid = MidiFile(input_file)
47     # 4. 変換されたノートリストをファイルに保存MIDI
48     notes_to_midi(converted_notes, output_file, original_mid.ticks_per_beat
49                  )
50     print(f"を保存しましたMIDI: {output_file}")
51
52 # 使用例
53 if __name__ == '__main__':
54     main("menuett_hand_modified.mid", "menuett_指定した調子<>_output.mid")
55
'''

```

Listing 4.1 LLM のモデルを比較する際の形容詞変化フィルターを生成するためのプロンプト文

4.2.2 検証結果

生成 AI の種類を比較検討した一例として、ロマンチックな調子で演奏表現の変化を指示した場合の結果を示す。図 4.1 が ChatGPT-4o で、図 4.2 が ChatGPT-5 によって生成された結果である。図の最上段は pitch（音の高さ）すなわちメロディーラインを示しており、中段は velocity（音の強さ）を表し、最下段は duration（音の長さ）を表している。また、青色は変化前の元の演奏音源、オレンジ色は指示に基づいて生成された変化後の演奏音源を表している。

注目すべき点は、ベロシティの変化の仕方である。ChatGPT-4o による結果では、ベロシティがメロディーラインとの明確な対応関係を持たず、ランダムに近い変化を示していることが確認できる。一方で、ChatGPT-5 による結果では、メロディーが上行する箇所においてベロシティも増加しており、メロディーの頂点とベロシティ

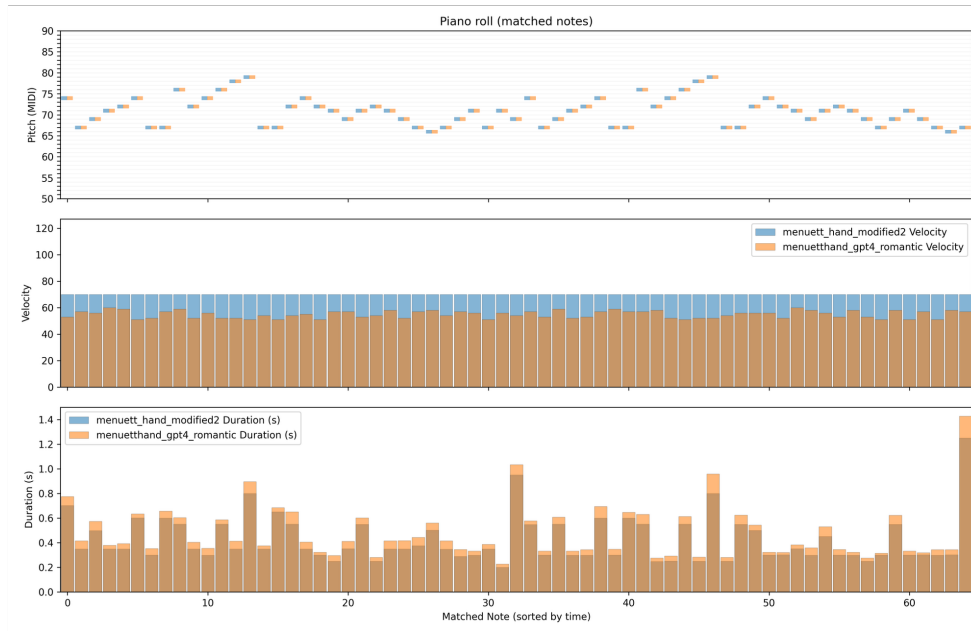


図 4.1 ChatGPT-4o による結果

の頂点が一致していることが分かる．このような関係は，一般的なピアノ演奏における表情付けの手法の 1 つであり，音楽的に自然な表現であるといえる．この差異は，ChatGPT-5 がフレーズの始まりと終わりを考慮した上で演奏変化を生成していることに起因すると考えられる．生成されたプログラムを確認すると（ChatGPT-4o:Listing4.2, ChatGPT-5:Listing4.3），ChatGPT-5 は Inter-Onset Interval (IOI) に基づき，ノートの開始時刻同士の間隔を考慮していた．IOI の隙間が大きい箇所を休符やフレーズの区切りとして推定することで，フレーズ境界を意識した変化が生成されていると考えられる．また，単純にプログラムの行数も多く，LLM がフィルターを検討する際に考慮している音楽的要素の数が多いと推察される．

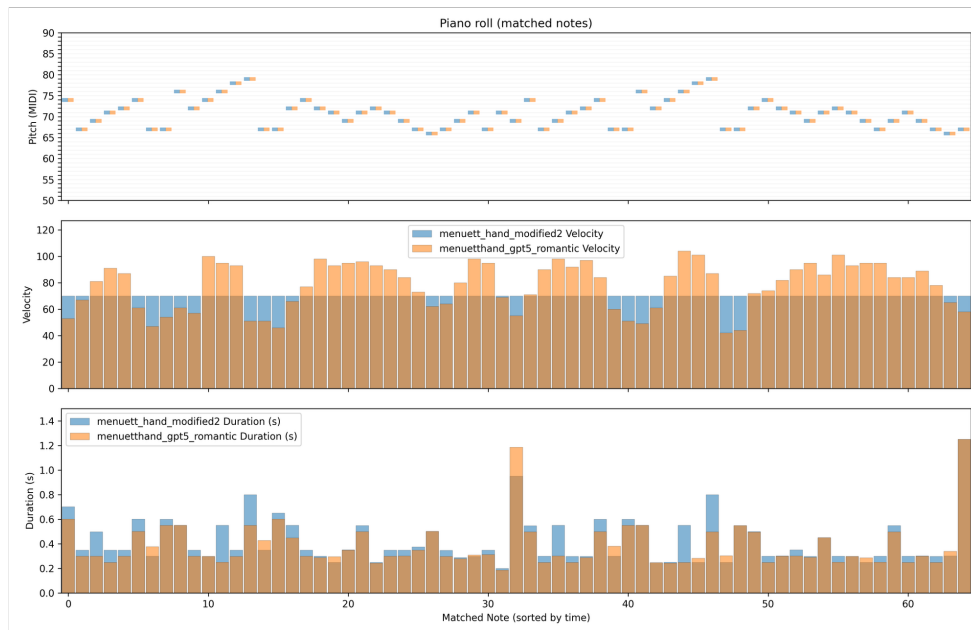


図 4.2 ChatGPT-5 による結果

```

1 import random
2 from note import Note
3
4
5 def apply_filter(notes: list[Note]) -> list[Note]:
6     """ノートリストを『ロマンチックな』調子に変換するフィルタ"""
7     filtered_notes = []
8
9     for i, note in enumerate(notes):
10         # やや大きめの音量と、表現的な揺らぎ（ベロシティ）
11         base_velocity = note.velocity * 0.8 # やや強調されたダイナミクス
12         vibrato = 10 * (random.random() - 0.5) # -5 ~ +5 の小さな揺らぎ
13         new_velocity = max(40, min(100, int(base_velocity + vibrato)))
14
15         # はやや長め（レガート風）、でも一律ではなく自然なバラつきduration
16         duration_factor = random.uniform(1.05, 1.2)
17         new_duration = int(note.duration * duration_factor)
18
19         # 新しいを作成Note
20         new_note = Note(

```

```

21         pitch=note.pitch,
22         start_time=note.start_time,
23         velocity=new_velocity,
24         duration=new_duration,
25         channel=note.channel,
26     )
27     filtered_notes.append(new_note)
28
29     return filtered_notes

```

Listing 4.2 ChatGPT-4o によるロマンチックなのフィルター生成結果

```

1  import random
2  from note import Note
3  import math
4
5
6  def apply_filter(notes: list[Note]) -> list[Note]:
7      """ノートリストを「ロマンチックな」調子に変換
8      - 変更してよいのは velocity, duration のみ
9      - 大きめの抑揚、上声カンタービレ、末尾で余韻（テヌート）、全体はレガート方向
10     """
11     import math
12     import random
13     from statistics import median
14
15     if not notes:
16         return []
17
18     # ----- ユーティリティ -----
19     def clamp(x, lo, hi):
20         return max(lo, min(hi, x))
21
22     # （開始）の列onsettick
23     onsets = [n.start_time for n in notes]
24
25     # （隣接開始の隙間）からフレーズ境界を推定：長い隙間で区切るIOI
26     gaps = [onsets[i] - onsets[i - 1] for i in range(1, len(onsets))]
27     pos_gaps = sorted(g for g in gaps if g > 0)
28     rest_threshold = pos_gaps[int(len(pos_gaps) * 0.75)] if pos_gaps else 0

```



```

29
30 # フレーズ分割
31 phrases: list[list[int]] = []
32 cur = [0]
33 for i in range(1, len(notes)):
34     if (onsets[i] - onsets[i - 1]) > rest_threshold:
35         phrases.append(cur)
36         cur = [i]
37     else:
38         cur.append(i)
39 phrases.append(cur)
40
41 # 同時発音 (和音) 検出のため onset -> indices
42 onset_to_indices: dict[int, list[int]] = {}
43 for idx, n in enumerate(notes):
44     onset_to_indices.setdefault(n.start_time, []).append(idx)
45
46 # 各 onset での最高音 (上声) を特定
47 top_at_onset: dict[int, int] = {}
48 for st, idxs in onset_to_indices.items():
49     max_pitch = max(notes[i].pitch for i in idxs)
50     top_at_onset[st] = max_pitch
51
52 # 全体ピッチのメディアン (単音部での旋律推定の補助)
53 pitch_med = (
54     median([n.pitch for n in notes])
55     if len(notes) >= 2
56     else (notes[0].pitch if notes else 60)
57 )
58
59 # 次音の開始 (重なり防止のための上限)
60 next_start = [
61     notes[i + 1].start_time if i + 1 < len(notes) else None
62     for i in range(len(notes))
63 ]
64
65 # ---- ロマン派テイストの係数群 (調整ポイント) ----
66 # (抑揚) Dynamics
67 base_gain = 0.95 # 全体の基準 (そのまま) 1.0=

```

```

68     arch_gain = 0.40 # フレーズ中央に向けた膨らみ (大きめ)
69     head_breath = 0.92 # フレーズ頭の“息づかい”(わずかに弱く入る)
70     tail_soft_1 = 0.90 # フレーズ末から番目の音の減衰2
71     tail_soft_2 = 0.82 # フレーズ末の音の減衰
72     top_voice_boost = 1.18 # 和音の最高音(上声)へのブースト
73     melody_boost = 1.08 # 単音時に高め音域(>median)を旋律とみなす軽いブースト
74     accom_soft = 0.90 # 伴奏(非上声)のソフト化
75
76     # (長さ) Articulation
77     legato_fill = 0.96 # 次音開始の直前まで伸ばす比率
78     tail_tenuto_1 = 1.12 # 末から番目の音のテヌート2
79     tail_tenuto_2 = 1.25 # 末尾音のテヌート(たっぷり)
80     accom_shorten = 0.92 # 伴奏(非上声)はわずかに短く
81
82     # (微小ゆらぎ) Humanization
83     random.seed(73) # 再現性がなければ外してOK
84     vel_sigma = 5.0 # velocity のガウスゆらぎ(標準偏差)
85     dur_jitter = 0.04 # duration の±比率ゆらぎ(±)4%
86
87     out: list[Note] = []
88
89     for phrase in phrases:
90         n = len(phrase)
91         if n == 0:
92             continue
93
94         for j, idx in enumerate(phrase):
95             src = notes[idx]
96
97             # フレーズ内位置 t in [0,1]
98             t = 0.0 if n == 1 else j / (n - 1)
99
100            # 鐘形アーチ(中央が最大)で大きな抑揚
101            arch = math.sin(math.pi * t)
102            dyn_factor = base_gain + arch_gain * arch
103
104            # 頭は“息づかい”で控えめ、末尾は落として余韻
105            if j == 0:
106                dyn_factor *= head_breath

```

```

107         if n >= 2 and j == n - 2:
108             dyn_factor *= tail_soft_1
109         if j == n - 1:
110             dyn_factor *= tail_soft_2
111
112         # 和音の最高音＝上声は歌わせる
113         is_top_voice = src.pitch >= top_at_onset.get(src.start_time,
114             src.pitch)
115         if is_top_voice and len(onset_to_indices.get(src.start_time,
116             [])) > 1:
117             dyn_factor *= top_voice_boost
118         # 単音部でも、全体メディアンより高い音は旋律扱いで軽く持ち上げ
119         elif (
120             len(onset_to_indices.get(src.start_time, [])) == 1
121             and src.pitch > pitch_med
122         ):
123             dyn_factor *= melody_boost
124         else:
125             # 伴奏（下声）は少し控えめ
126             if len(onset_to_indices.get(src.start_time, [])) > 1:
127                 dyn_factor *= accom_soft
128
129         # 新しい（レンジ厳守） velocity
130         new_vel = int(round(src.velocity * dyn_factor))
131         new_vel = int(round(new_vel + random.gauss(0, vel_sigma)))
132         new_vel = clamp(new_vel, 1, 127)
133
134         # ---- （レガート＋カデンツの余韻） duration----
135         orig_dur = max(1, src.duration)
136         # 次音の開始までを上限に
137         if next_start[idx] is not None and next_start[idx] > src.
138             start_time:
139             avail = max(1, next_start[idx] - src.start_time)
140         else:
141             avail = orig_dur
142
143         # 基本はレガート：次音直前まで伸ばす（ただし上限は） avail
144         if j < n - 1:
145             # 伴奏はわずかに短く、上声旋律は原則しっかりつなぐ/

```

```

143         if is_top_voice or (
144             len(onset_to_indices.get(src.start_time, [])) == 1
145             and src.pitch > pitch_med
146         ):
147             target = int(avail * legato_fill)
148             new_dur = max(orig_dur, target)
149         else:
150             new_dur = int(round(orig_dur * accom_shorten))
151             # あまりに短くなりすぎたら最低限のレガートを確保
152             new_dur = max(new_dur, int(avail * (legato_fill - 0.08)
153                                     ))
154     else:
155         # フレーズ最後はじっくり (テヌート)
156         new_dur = int(round(orig_dur * tail_tenuto_2))
157
158     # 末から番目の音も少しテヌート2
159     if n >= 2 and j == n - 2:
160         new_dur = int(round(orig_dur * tail_tenuto_1))
161
162     # 微小ゆらぎ (±) 4%
163     new_dur = int(
164         round(new_dur * (1.0 + random.uniform(-dur_jitter,
165                                             dur_jitter)))
166     )
167     # 次音に食い込まないようにクリップ
168     new_dur = clamp(new_dur, 1, avail)
169
170     out.append(
171         Note(
172             pitch=src.pitch,
173             start_time=src.start_time,
174             velocity=new_vel,
175             duration=new_dur,
176             channel=src.channel,
177         )
178     )
179
180     return out

```

Listing 4.3 ChatGPT-5 によるロマンチックなフィルター生成結果

以上より，ChatGPT-5 は ChatGPT-4o と比較して，フレーズ構造やメロディーの流れを反映した，より音楽的に自然な演奏表現の変化を生成できる可能性が高いと考えられる．よって，フィルターを生成する際の LLM のモデルは ChatGPT-5 を採用する．

第 5 章

提案システム：Brownies in Piano

5.1 システム構想

システム構成の概念図を図 5.1 に提示する．本システムの使用手順の概略は以下の通りである：

1. 利用者は MIDI データを出力可能なグランドピアノ（ヤマハグランドピアノ C3 自動演奏機能上級仕様）で演奏を行い，その演奏の MIDI データを記録してシステムに入力する（図 5.2）．
2. システムは，GPT-5 の API を用いて演奏データを 5 通りに加工する．
3. 利用者は，自分自身の演奏と加工された 5 つの演奏をブラインドで聴き比べたのち，どれがどのくらい良かったかをパーセンテージで入力する（図 5.3）．
4. 3. で一番好感度が高かった演奏のみを velocity や duration に関して視覚的に表示し（図 5.4），演奏内容を検討する
5. その後，再び 1. に戻って新しい演奏を行う．

以上のプロセスを繰り返して，納得がいくまで表情付けを構築していく．

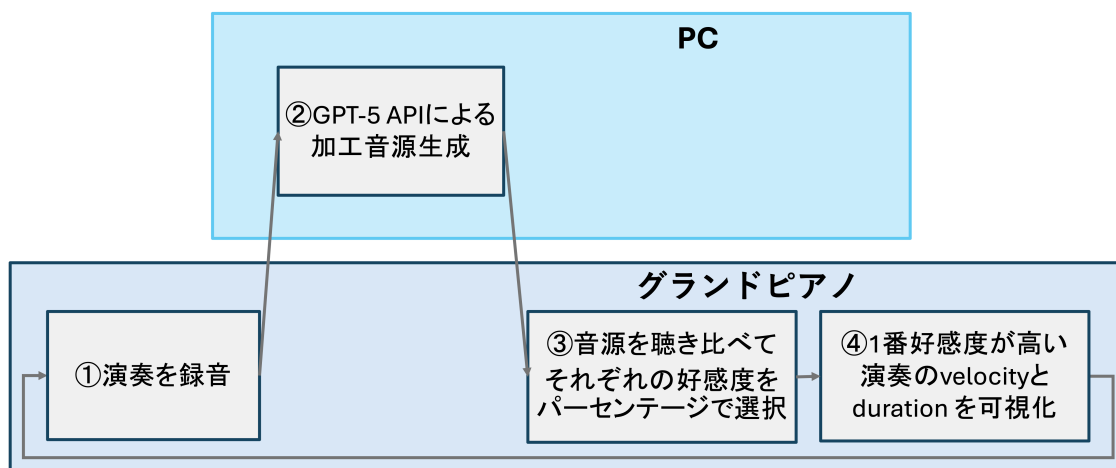


図 5.1 システム構成の概念図

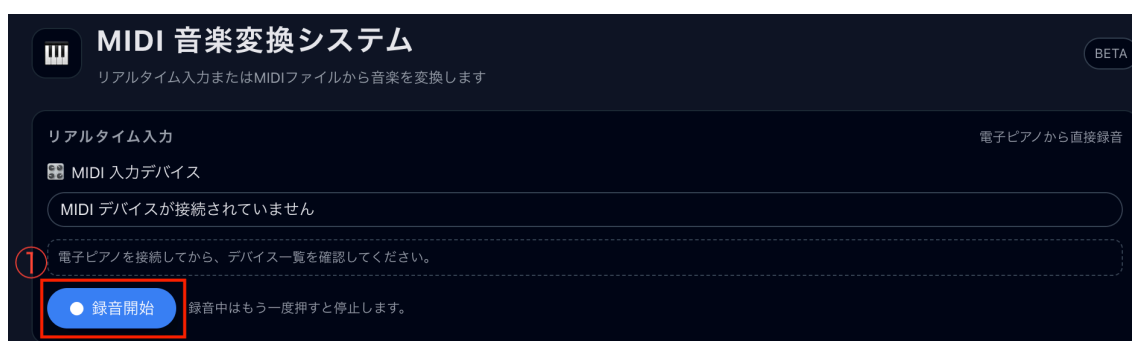


図 5.2 演奏録音画面



好感度入力

それぞれ演奏をきいて、各パターン好感度を入力してください。

パターン A	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %
パターン B	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %
パターン C	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %
パターン D	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %
パターン E	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %
パターン F	▶ 再生 ■ 停止	半角数字 %

🎵 グラフを表示

図 5.3 再生・好感度入力画面

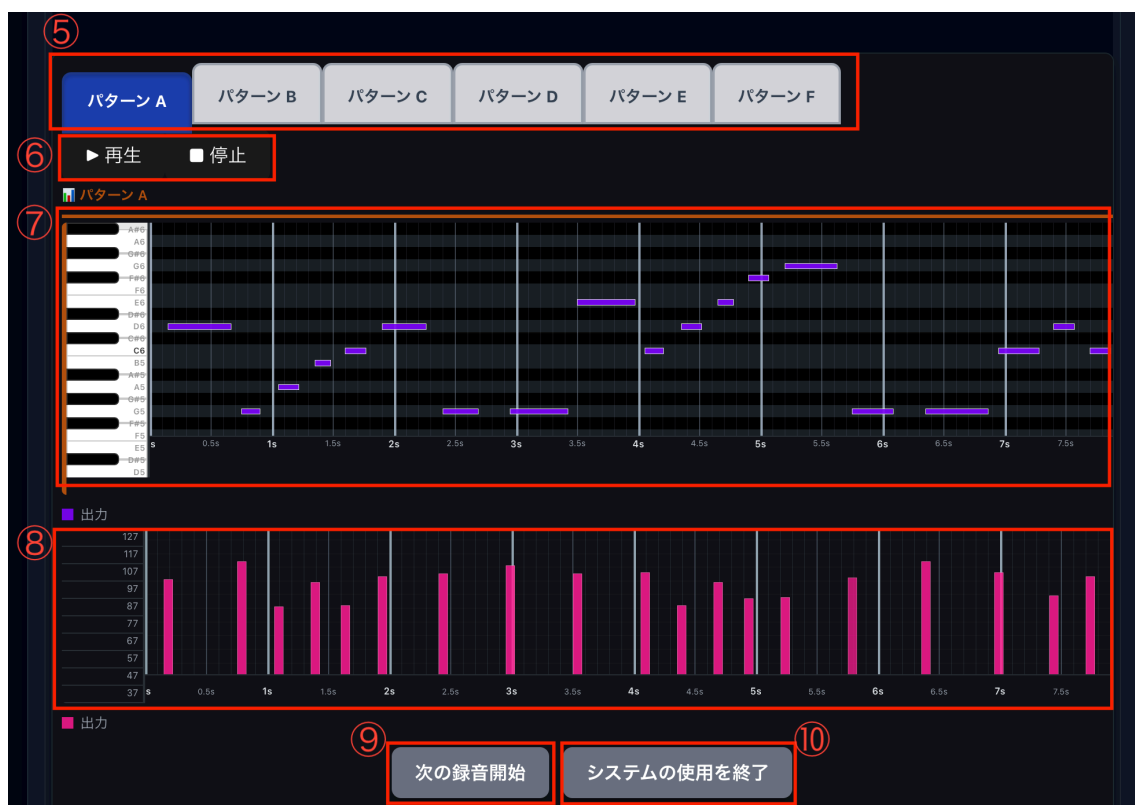


図 5.4 演奏データ表示画面

5.2 ユーザーインターフェース

図 5.2～5.4 の各部の機能は、以下の通りである：

- ① 録音開始ボタン.
- ② 再生・停止ボタン. 録音した演奏と加工した音源を試聴する.
- ③ 好感度入力欄. 視聴した結果の好感度を入力する.
- ④ グラフ表示. 好感度の高かったグラフを表示するページへ移動する.
- ⑤ グラフ表示タブ. 表示したいグラフを選択する.
- ⑥ 再生・停止ボタン. 表示しているグラフの音源を再生・停止する.
- ⑦ ピアノロール. ⑤で選択したパターンピアノロール (duration) を表示する.
再生されている箇所が自動スクロールされる.
- ⑧ velocity グラフ. ⑤で選択したパターン velocity を縦棒グラフで表示する.
再生されている箇所が自動スクロールされる.
- ⑨ 次の録音開始ボタン. まだ、演奏を繰り返したい場合に押す. 録音開始ページに移動する.
- ⑩ 終了ボタン. システムの使用を終了するボタン.

このように、本システムは自身自身の演奏を提示することで通常のリフレクションを提供するとともに、さらに5つの改変演奏音源を提示することで拡張リフレクションを提供する。また、velocity や duration に関して視覚的に表示することで、具体的な方策や方向性考案のための手がかりを提供する。

5.3 改変演奏音源の生成・再生方法

改変演奏音源は、元の演奏データを以下の3つの方法で改変して生成した：

1. 元の演奏の表情を強くする.
2. 元の演奏の表情を弱くする.
3. 表情を＜形容詞 1～3＞の調子に変化する.

1. は、Velocity および Duration の変動幅を増大させ、演奏者の表現意図を強調する処理である。Velocity については、演奏全体の中央値を基準とし、各音の強弱の偏

差を 1.2 倍に拡張することで、強く演奏された音はより強く、弱く演奏された音はより弱く変換する。Duration については、音間隔 (IOI) に対する元演奏の Duration の割合に応じて、0.8~1.2 の範囲で伸縮させる。具体的には、元演奏がレガート寄りの場合は最大 1.2 倍まで延長し、スタッカート寄りの場合は最大 0.8 倍まで短縮する。これにより、レガートな箇所はよりレガートに、スタッカートな箇所はよりスタッカートになり、Duration における表情が強調される。

2. は、Velocity および Duration の変動幅を縮小させ、演奏表情を平坦化する処理である。Velocity については、中央値からの偏差を 0.8 倍に圧縮することで、強弱差を適度に抑制し、演奏全体の起伏を緩和する。Duration については、IOI に対する元演奏の Duration の割合に応じて、0.8~1.2 の範囲で伸縮させる。ただし、強化処理とは逆の制御を行い、元演奏がレガート寄りの場合は最大 0.8 倍まで短縮し、スタッカート寄りの場合は最大 1.2 倍で延長する。これにより、スタッカートおよびレガートの極端な差が緩和され、Duration における表情が平坦化される。

3. では、形容詞の箇所にはあらかじめ用意した 28 語の形容詞の中からランダムに 3 語を選択した。この形容詞 28 語は、東海林の「感性形容詞による自動作曲システム」[22] で使用されている感性形容詞 28 語を採用した。感性形容詞 28 語は形容詞イメージスケール [23] の中から分布を崩さないように選出されたものである。改変演奏音源の生成には、GPT-5 の API を用いた。その際、直接 MIDI データを出力させるのではなく、MIDI データを変換させるような Python のソースコードを出力させた。GPT-5 に与えたプロンプトの例と、それによって生成された Python のソースコード (の一部) の 1 例を Listing 5.1, Listing 5.2 に示す。プロンプトは 4.2 節を参考に関数名に IOI を入れることで、LLM のランダム性に左右されずに毎回必ず IOI の概念に基づいて表情を考えるように工夫した。また、一度言葉で形容詞の意味を考え、それを音楽での変化にどのように反映させるかを考えさせるために、生成するプログラム内にコメントアウトでなぜそう考えたのかの理由を明記するように指示した。

1 方針もコメントで述べる。

2

3

4

- 3つの関数は異なるアプローチでもいいです。共通性は不要です。各形容詞に最適な処理を実装してください。

5

6

- 実装スタイル

7

- セクションごとにブロックコメントを入れ、設計判断の理由を書き残す。

8

- マジックナンバーを避け、意味のある名前を付ける。

```

9      - データ分析や計算が必要な場合は、_percentile()、_compute_context()、
      _uniform_signed_from_note() などのヘルパー関数を定義してかまいません。む
      しろ、複雑な処理は小さな関数に分割してください。
10
11
12  - 出力
13      - apply_filter 関数のコードのみを出力してください（説明文は不要、コメントは
      歓迎）。
14      - コードは必ず'''python ... のコードブロックで囲んでください。'''【実装例】
15
16
17  def 重厚なapply_filter_(notes: list) -> list:
18      result = []
19      iois = compute_iois(notes)
20      avg_ioi = mean(iois) if iois else 480
21
22      for i, note in enumerate(notes):
23          # ベロシティを強化
24          v = min(127, int(note.velocity * 1.2))
25          # デュレーションを延長
26          d = int(note.duration * 1.1)
27          result.append(Note(pitch=note.pitch, start_time=note.start_time,
28                             velocity=v, duration=d, channel=note.channel))
29      return result

```

Listing 5.1 形容詞変化フィルターを生成するためのプロンプト文

```

1  from note import Note
2
3  from typing import List, Tuple
4  import math
5
6  # 想定される Note 互換クラス
7  # - pitch / start_time / channel は変更禁止
8  # - velocity / duration のみ変更
9  # ここでは Note の定義は与えられている前提で、Note(...) コンストラクタを利用します。
10
11  def apply_filter(notes: list, adjective: str) -> list:
12      """
13      adjective に以下のいずれかを指定:
14      - あでやかな"""

```

```

15     - スカッとした""
16     - ダンディな""
17     """
18     if not notes:
19         return []
20
21     # -----
22     # 基本ヘルパー
23     # -----
24     def _clamp(v: float, lo: float, hi: float) -> float:
25         return max(lo, min(hi, v))
26
27     def _i_round(v: float) -> int:
28         return int(round(v))
29
30     def _percentile(xs: List[float], p: float) -> float:
31         # 単純な最近傍補間のパーセンタイル
32         if not xs:
33             return 0.0
34         s = sorted(xs)
35         if p <= 0:
36             return s[0]
37         if p >= 100:
38             return s[-1]
39         k = (len(s) - 1) * (p / 100.0)
40         f = math.floor(k)
41         c = math.ceil(k)
42         if f == c:
43             return s[int(k)]
44         d0 = s[f] * (c - k)
45         d1 = s[c] * (k - f)
46         return d0 + d1
47
48     def _compute_iois(ns: list) -> List[float]:
49         # 各音符の「次の音の開始までの間隔」 (Inter-Onset Interval) を計算
50         iois = []
51         for i, n in enumerate(ns):
52             if i < len(ns) - 1:
53                 ioi = ns[i + 1].start_time - n.start_time

```

```

54         iois.append(ioi)
55     else:
56         # 終端ノート: データ駆動で「代表値」を使う
57         # -> ここでは全体 IOI の 75pct を採用 (自然な余韻確保と終止感の
            ため)
58         tmp = [ns[j + 1].start_time - ns[j].start_time for j in
            range(len(ns) - 1)] or [n.duration]
59         iois.append(_percentile(tmp, 75))
60     return iois
61
62 def _uniform_signed_from_note(note, scale: float) -> float:
63     # 再現可能なヒューマニズ用擬似乱数 (-scale..+) scale
64     key = (int(note.pitch), int(note.start_time * 1000) if isinstance(
        note.start_time, float) else int(note.start_time))
65     h = hash(key)
66     # [-1, 1] に正規化
67     u = ((h % 100003) / 100003.0) * 2.0 - 1.0
68     return u * scale
69
70 def _gate_duration(target: float, ioi_next: float, gate_ratio: float,
    min_gate_ratio: float = 0.12) -> float:
71     # 次の音頭に対するゲート制御。オーバーラップを避け、極端な切りすぎも回避
72     gate_ratio = _clamp(gate_ratio, min_gate_ratio, 0.98)
73     max_len = ioi_next * gate_ratio
74     return min(target, max_len)
75
76 def _make_note_like(orig, new_velocity: int, new_duration: int):
77     return orig.__class__(
78         pitch=orig.pitch,
79         start_time=orig.start_time,
80         velocity=new_velocity,
81         duration=new_duration,
82         channel=orig.channel
83     )
84
85     # -----
86     # データ駆動の全体統計
87     # -----
88     iois = _compute_iois(notes)
89     velos = [n.velocity for n in notes]

```

```

90     durs = [n.duration for n in notes]
91
92     med_ioi = _percentile(iois, 50)
93     short_ioi_thresh = _percentile(iois, 35) # 「短い」認定の境界 (サンプル35)
94     long_ioi_thresh = _percentile(iois, 80) # 「長い」認定の境界 (サンプル80)
95
96     v10 = _percentile(velos, 10)
97     v50 = _percentile(velos, 50)
98     v90 = _percentile(velos, 90)
99
100     # -----
101     # フレーズ文脈の抽出
102     #   - 前 IOI が十分長い→フレーズ頭
103     #   - 短 IOI 連続の検出
104     # -----
105     def _segment_phrases(ns: list, iois: List[float]) -> Tuple[List[int],
106         List[bool]]:
107         phrase_ids = [0] * len(ns)
108         is_phrase_head = [False] * len(ns)
109         if not ns:
110             return phrase_ids, is_phrase_head
111
112         current = 0
113         for i in range(len(ns)):
114             prev_ioi = iois[i - 1] if i > 0 else long_ioi_thresh + 1.0
115             # 閾値: 全体の 80pct より長ければ新フレーズ
116             if i == 0 or prev_ioi > long_ioi_thresh * 1.02:
117                 if i != 0:
118                     current += 1
119                     is_phrase_head[i] = True
120                     phrase_ids[i] = current
121             return phrase_ids, is_phrase_head
122
123     phrase_ids, is_phrase_head = _segment_phrases(notes, iois)
124
125     # フレーズ長とフレーズ内位置 0..1
126     def _phrase_positions(phrase_ids: List[int]) -> List[float]:
127         result = [0.0] * len(phrase_ids)

```

```

127     # 各 phrase_id ごとに index 範囲を抽出
128     pid_to_indices = {}
129     for i, pid in enumerate(phrase_ids):
130         pid_to_indices.setdefault(pid, []).append(i)
131     for pid, idxs in pid_to_indices.items():
132         L = len(idxs)
133         if L <= 1:
134             for i in idxs:
135                 result[i] = 0.0
136         else:
137             for k, i in enumerate(idxs):
138                 result[i] = k / (L - 1.0)
139     return result
140
141 pos_in_phrase = _phrase_positions(phrase_ids)
142
143 # 短 IOI が連続する局所文脈（爽やか切れ味、滑らかさ調整に使う） /
144 def _short_streaks(iois: List[float], thresh: float) -> List[int]:
145     streaks = [0] * len(iois)
146     run = 0
147     for i, t in enumerate(iois):
148         if t <= thresh:
149             run += 1
150         else:
151             run = 0
152         streaks[i] = run
153     return streaks
154
155 short_streak = _short_streaks(iois, short_ioi_thresh)
156
157 # -----
158 # 形容詞: あでやかな
159 #   - 全体的: 柔らかめの強弱、フレーズでの優雅なうねり（緩いクレッシェンド→ディミヌエンド）
160 #   - アタック感: ソフト（強すぎは避ける）
161 #   - 跳ね滑らかさ/: 滑らか寄り（レガート寄りのゲート）
162 #   - 余韻: 長め（gate ~ ）0.88-0.94
163 #   - ヒューマナイズ: 少し（±程度）4
164 # -----
165 def _style_ade(ns: list) -> list:

```



```

166     result = []
167     for i, n in enumerate(ns):
168         ioi = iois[i]
169         is_head = is_phrase_head[i]
170         pos = pos_in_phrase[i]
171
172         # ベースは現行ダイナミクスを尊重しつつ、上限を抑え柔らかく
173         # 中心値に向けた軽いコンプレッション+フレーズうねり
174         # うねり:  $\sin(\pi * pos)$  で山形 (0→1→0)
175         wave = math.sin(math.pi * pos)
176         swell = 6.0 * wave # 優雅なふくらみ
177         head_bonus = 8.0 if is_head else 0.0
178
179         # 過度な強打を避けるコンプレッション (上側を少し抑える)
180         if n.velocity > v90:
181             comp = - (n.velocity - v90) * 0.25
182         else:
183             comp = 0.0
184
185         # 短 IOI ではアタック控えめ (柔らかさ重視)
186         short_soft = -3.0 if ioi <= short_ioi_thresh else 0.0
187
188         # ヒューマナイズ (±) 4
189         hv = _uniform_signed_from_note(n, 4.0)
190
191         v = n.velocity + swell + head_bonus + comp + short_soft + hv
192         v = _clamp(v, 24, 112)
193
194         # デュレーション: レガート寄り
195         # - 短 IOI: 0.86
196         # - 中間: 0.90
197         # - 長 IOI: 0.94
198         if ioi <= short_ioi_thresh:
199             gate = 0.86
200         elif ioi >= long_ioi_thresh:
201             gate = 0.94
202         else:
203             # 中間は線形補間
204             t = (ioi - short_ioi_thresh) / max(1e-9, (long_ioi_thresh -

```

```

short_ioi_thresh))
205     gate = 0.86 + (0.94 - 0.86) * t
206
207     # 元音価を少し伸ばす傾向（華やかさ）
208     base_scale = 1.08
209     # フレーズ山で少しさらに伸ばす
210     legato_boost = 1.0 + 0.05 * wave
211
212     # ヒューマナイズ（±3% of ）ioi
213     hd = _uniform_signed_from_note(n, 0.03) * ioi
214
215     d_target = n.duration * base_scale * legato_boost + hd
216     d = _gate_duration(d_target, ioi, gate, min_gate_ratio=0.15)
217     d = _clamp(d, 1, max(1.0, ioi * 0.98)) # 安全マージン
218
219     result.append(_make_note_like(n, _i_round(v), _i_round(d)))
220     return result
221
222     # -----
223     # 形容詞：スカッとした
224     #   - 全体的：明るく前向きな強さ、抜けの良いアタック
225     #   - アタック感：強め（ベロシティ上げ・短音価で切る）
226     #   - 跳ね滑らかさ/: クリスポ、短 IOI はより短く
227     #   - 余韻：短め（gate ~ ）0.52-0.70
228     #   - ヒューマナイズ：少なめ（±）2
229     # -----
230     def _style_skatto(ns: list) -> list:
231         result = []
232         for i, n in enumerate(ns):
233             ioi = iois[i]
234             is_head = is_phrase_head[i]
235             streak = short_streak[i]
236
237             # ベロシティ：全体を少し引き上げ、短やフレーズ頭にアクセントIOI
238             base_boost = 1.18 # 全体の抜け感
239             v = n.velocity * base_boost
240
241             # フレーズ頭での明確なアクセント
242             if is_head:

```

```

243         v += 14.0
244
245     # 短ほど強調（ただし連続時は徐々に減衰させ過剰な煽りを防ぐ） IOI
246     if ioi <= short_ioi_thresh:
247         v += 8.0 * (0.85 ** max(0, streak - 1))
248
249     # 長 IOI はやや控えめに（余韻勝負なのでアタックは抑える）
250     if ioi >= long_ioi_thresh:
251         v -= 4.0
252
253     # ヒューマナイズ（± 2
254     v += _uniform_signed_from_note(n, 2.0)
255     v = _clamp(v, 36, 122)
256
257     # デュレーション：キレ重視
258     # - 短 IOI: 0.52
259     # - 中間: 0.62
260     # - 長 IOI: 0.70
261     if ioi <= short_ioi_thresh:
262         gate = 0.52
263     elif ioi >= long_ioi_thresh:
264         gate = 0.70
265     else:
266         t = (ioi - short_ioi_thresh) / max(1e-9, (long_ioi_thresh -
267             short_ioi_thresh))
268         gate = 0.52 + (0.70 - 0.52) * t
269
270     # 既存音価に軽い収縮をかけ、ゲートで制限
271     base_scale = 0.92
272     # 極短時はさらに削る IOI
273     if ioi <= short_ioi_thresh * 0.8:
274         base_scale *= 0.92
275
276     # ヒューマナイズ（±2% of ） ioi
277     hd = _uniform_signed_from_note(n, 0.02) * ioi
278
279     d_target = n.duration * base_scale + hd
280     d = _gate_duration(d_target, ioi, gate, min_gate_ratio=0.10)
281     d = _clamp(d, 1, max(1.0, ioi * 0.95))

```

```

281
282         result.append(_make_note_like(n, _i_round(v), _i_round(d)))
283     return result
284
285     # -----
286     # 形容詞: ダンディな
287     #   - 全体的: 抑制の効いた品の良い強弱 (ミッドに寄せたコンプレッション)
288     #   - アタック感: 控えめだが芯はある (フレーズ頭に少しだけ重心)
289     #   - 跳ね滑らかさ/: スマートで余裕 (やや短めのゲート、後ろにスペース)
290     #   - 余韻: 中庸~やや短め (gate ~ ) 0.72-0.84
291     #   - ヒューマナイズ: 微小 (±)、フレーズ内で長短の余裕 (3L-S の呼吸)
292     # -----
293     def _style_dandy(ns: list) -> list:
294         result = []
295
296         # 目標ダイナミクス中心 (データベース中央値とリスニング上の快適点の中庸)
297         target_center = (v50 + 82.0) / 2.0 # 82 は心地よい存在感を想定した
                中心
298         comp_amount = 0.55 # 現在値と中心のブレンド率
299
300         # フレーズ内の「長短」呼吸: 偶数番目をやや長め奇数番目をやや短め/
301         # (start_time を動かさないため、デュレーション比のみでニュアンスづけ)
302         last_pid = None
303         local_index = 0
304
305         for i, n in enumerate(ns):
306             ioi = iois[i]
307             pid = phrase_ids[i]
308             is_head = is_phrase_head[i]
309             pos = pos_in_phrase[i]
310
311             if pid != last_pid:
312                 local_index = 0
313                 last_pid = pid
314
315             # ベロシティ: 上品なコンプレッション
316             v = n.velocity * (1.0 - comp_amount) + target_center *
                comp_amount
317
318             # 頭は控えめに主張、終端は軽く抜く

```

```

319         if is_head:
320             v += 6.0
321         # フレーズ最終 25% で軽くディミヌエンド
322         v += -4.0 * max(0.0, (pos - 0.75) / 0.25)
323
324         # ヒューマナイズ (± 3
325         v += _uniform_signed_from_note(n, 3.0)
326         v = _clamp(v, 40, 110)
327
328         # デュレーション: やや控えめのゲート、長 IOI では余裕を持たせる
329         if ioi <= short_ioi_thresh:
330             gate = 0.72
331         elif ioi >= long_ioi_thresh:
332             gate = 0.84
333         else:
334             t = (ioi - short_ioi_thresh) / max(1e-9, (long_ioi_thresh -
335                 short_ioi_thresh))
336             gate = 0.72 + (0.84 - 0.72) * t
337
338         # ベース音価: 微縮小でタイトさ (品の良さ) を演出
339         base_scale = 0.96
340
341         # フレーズ内「長短」の呼吸 (偶数長め, 奇数短め) =
342         ls_breathe = 1.04 if (local_index % 2 == 0) else 0.94
343
344         # ヒューマナイズ (±4% of ) ioi
345         hd = _uniform_signed_from_note(n, 0.04) * ioi
346
347         d_target = n.duration * base_scale * ls_breathe + hd
348         d = _gate_duration(d_target, ioi, gate, min_gate_ratio=0.12)
349         d = _clamp(d, 1, max(1.0, ioi * 0.92))
350
351         result.append(_make_note_like(n, _i_round(v), _i_round(d)))
352         local_index += 1
353     return result
354
355     # -----
356     # 入口 (ディスパッチ)
357     # -----

```

```

357     if adjective == "あでやかな":
358         return _style_ade(notes)
359     elif adjective == "スカッとした":
360         return _style_skatto(notes)
361     elif adjective == "ダンディな":
362         return _style_dandy(notes)
363     else:
364         # 未知の指定は素通し（安全に原曲を返す）
365         return [n.__class__(pitch=n.pitch, start_time=n.start_time,
                             velocity=n.velocity, duration=n.duration, channel=n.channel)
                 for n in notes]

```

Listing 5.2 生成されたソースコード例

なお、先に示した使用手順の 3. で 6 つの演奏（自身の演奏と 5 つの改変演奏）を聴き比べる際、どれがどの演奏なのか、改変演奏音源の生成にあたってどのような形容詞を用いて演奏を加工したのかは、一切提示しない。これは、生成された音源がその形容詞通りの変化になっているかなどが重要なのではないからである。それぞれの演奏の微妙な違いを感じとり、そこから得られた気づきによって自由奔放に新しく自分らしい表情付けの可能性を拡げていくことを期待している。そのためには、その表情付けがどのような形容詞などに基づいて行われたかという情報によって発想の幅を狭めるべきではないと考えるからである。また、いずれの演奏データについても利用者は満足いくまで聞き直すことができる。各音源の再生の際には、実際に鍵盤が動いた方が演奏のイメージが湧きやすいと考え、グランドピアノの自動演奏機能を用いる。

5.4 システム構成

システム構成を図 5.5 に示す。本システムは、ユーザーが入力した MIDI データに対し、音楽的表現付けを自動的に行うものである。システムは、ユーザーインターフェースを提供するクライアントサイド (Frontend)、表現付けの論理処理を行うサーバーサイド (Backend)、およびコード生成を行う LLM 部分 (OpenAI API) の 3 つの要素から構成される。

ユーザーは MIDI 出力可能なグランドピアノ等を用いて演奏を行い、その演奏内容は MIDI 形式のデータとしてクライアントサイドに入力される。入力された MIDI データはサーバーサイドへ送信され、そこで表現付け処理が開始される。

サーバーサイドではまず、LLM を用いた動的な変換処理が試行される。この処理では、LLM に対してプロンプトを送信し、MIDI データを加工するための Python コードの生成を行う。生成されたコードはサーバー上で実行され、正常に処理が完了した場合には、変換後の MIDI データがクライアントサイドへ返却される。一方、コード生成に失敗した場合や、実行時に例外が発生した場合には、それらのエラーを捕捉し、あらかじめ実装されたルールベースのフォールバック処理へ自動的に切り替えることで、処理の継続性を確保する。

クライアントサイドでは、変換後の MIDI データを再生可能な形で提示するとともに、ユーザーから音源に対しての好感度評価を入力として受け取る。好感度が高いと評価された結果については、Duration と Pitch をピアノロール、Velocity を棒グラフとして可視化し、保存する。

5.4.1 構成要素の概要

クライアントサイド (Frontend)

クライアントサイドは、Electron および React を用いて構築されたデスクトップアプリケーションである。Web ベースのインターフェースを通じて、ユーザーは PC に接続された MIDI 出力可能なグランドピアノ等で演奏を行い、生成された MIDI データを直接システムに入力する。表情付けに用いる形容詞は、ユーザーが選択するのではなく、システム側でランダムに決定される。また、変換後の演奏結果は MIDI プレイヤーによって接続している MIDI 出力可能なグランドピアノで再生され、ユーザーはその結果に対して好感度評価を行う。好感度が高いと判断された場合にのみ、演奏結果を可視化する仕組みを採用している。また、演奏結果を保存している。

サーバーサイド (Backend)

サーバーサイドは、FastAPI を用いて実装された Python 製の Web サーバーであり、本システムの中核となる表情付け処理を担う。クライアントから送信されたリクエストは API エンドポイントを介して受信され、処理結果がクライアントへ返却される。表情付け処理の制御は、フィルタマネージャーが担当する。このコンポーネントは、まず LLM クライアントおよび LLM で生成されたコードを実行する環境を用いて、LLM による動的な変換処理を試行する。その過程で、コード生成の失敗や実行時例外が発生した場合には、それらを例外として捕捉し、ルールベースのフォールバック

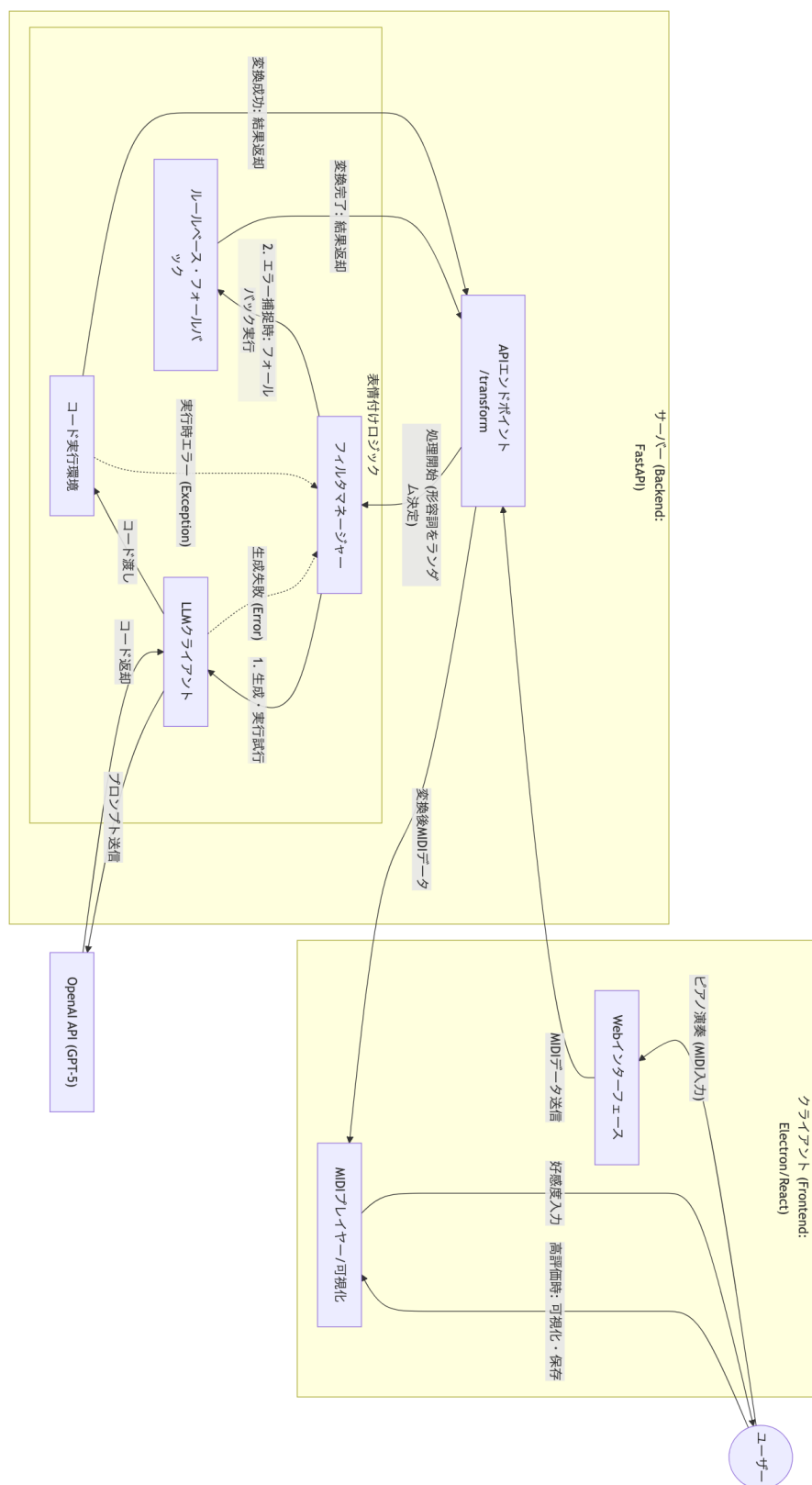


図 5.5 システムの構成

ク処理を自動的に呼び出す役割を担う。LLM クライアントは、OpenAI API を介して外部 LLM と通信し、MIDI データを操作するための Python コードの生成を依頼する。生成されたコードは、セキュリティおよび安定性に配慮した制限付きの実行環境下で実行され、MIDI データに適用される。ルールベースのフォールバック処理は、LLM によるコード生成またはその実行が失敗した場合にのみ用いられる安全策である。この処理では、あらかじめ実装されたアルゴリズムに基づき、MIDI データに対する表情付けを行う。なお、このアルゴリズムは事前に ChatGPT-5 で生成されたものである。

外部 LLM サービス

本システムでは、OpenAI が提供する GPT-5 を利用する。本研究の特徴は、LLM に対して直接音楽データを生成させるのではなく、「入力された MIDI データをどのように加工すれば、指定された形容詞の印象を持つ演奏表現となるか」という処理ロジックを Python コードとして生成させる点にある。これにより、生成結果の透明性および制御性を高めることが可能となる。なお、生成を依頼する際は、プロンプト文と共に演奏された MIDI データを送信する。そのため、毎回異なるデータを送信していることになり、演奏された MIDI データに基づいて Python のコードが変化することを期待している。

5.4.2 表情付けアルゴリズムの流れ

本システムにおける表情付け処理は、以下の手順で実行される。まず、ユーザーが PC に接続された MIDI 出力可能なグランドピアノで演奏を行い、その演奏内容が MIDI データとして入力される。次に、システム内部で適用する形容詞がランダムで 3 つ決定される。この際、被りがないように抽選される。続いて、システムはこれらの形容詞を組み合わせたプロンプトを構築する。この際、過去に成功した変換例を Few-Shot プロンプトとして含めることで、LLM が生成するコードの品質向上を図る。LLM は、構築されたプロンプトと演奏された MIDI データに基づき、note 列（クラス）を出力する Python 関数 `apply_filter(notes)` を生成する。note 列は、MIDI データの内容をプログラム上で扱いやすいように形成したクラスである。本システムでは、原曲のメロディを保持するため、プロンプト上で音高（Pitch）および発音タイミング（Start Time）は変更せず、音の強さ（Velocity）と音の長さ（Duration）のみ

を操作対象とする制約を設けている。生成されたコードはサーバー上で実行され、実際の MIDI データに適用される。この過程において、構文エラーや実行時エラーが発生した場合には、フォールバック機構が作動し、ルールベースの変換処理へ自動的に切り替えられる。これにより、エラーによる処理の断絶を防ぎ、安定した表情付け処理を実現している。

第 6 章

予備実験

6.1 実験目的

拡張リフレクションがピアノ演奏の表情付けの創造に有効に寄与するかどうかを検証する本実験を実施するための前段階として、生成した改変演奏パターンの表情の違いが演奏者に知覚されるかどうかを確認し、その結果に基づいてプロンプト設計の妥当性を判断することを目的として、予備実験を実施した。

6.2 実験手法

実験は、日本語を母国語とする大学院生 2 名（男性 1 名，女性 1 名）を対象に行った。被験者のピアノ演奏経験は 3 年～5 年である。実験には、MIDI 出力が可能なグランドピアノ（ヤマハ グランドピアノ C3 自動演奏機能上級仕様）を用い、防音室内で実施した。課題曲には、高橋らによる熟達者と非熟達者の演奏比較研究 [11] において両者の差が報告されている、音楽之友社刊『子供のバイエル 下巻：付点 4 分音符のおはなし』の練習曲冒頭から第 8 小節までを実験ように修正したものを用いた。実験の手順として、まず実験者がシステムの使用方法について説明を行った。その後、図 6.1 に示すシステム使用の流れに従い、提案システムを用いた一連の操作を 1 セッションとし、これを 5 回繰り返して実施した。また、各セッション終了後に、生成された音源に対する好感度を 0～100 の範囲で評価してもらった。実験中は、被験者が周囲の目を気にすることなく創造活動に集中できるよう、実験者は防音室から退出した。実験終了後、生成した演奏パターンの違いが被験者に知覚されたかどうか、システムの使用感、および表情付けに対する意識の変化について、5 段階リッカート尺度を用いた

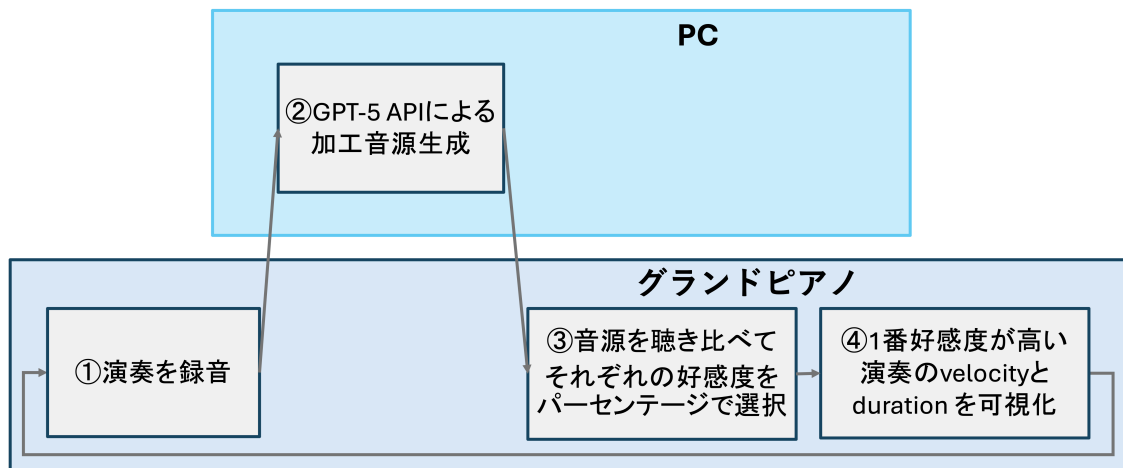


図 6.1 システム構成の概念図（再喝）

アンケート調査を行った。

6.3 実験結果

表 6.1 に各セッション後と実験終了後に行ったアンケートの回答結果を示す。「提示された音源の間に違いがあると感じましたか」という設問への回答の平均は 4.3（5 段階尺度）であった。また、「感じた音源の違いは偶然ではないと思いましたか」という設問への回答の平均は 3.9（5 段階尺度）であった。これらの結果から、提示した演奏音源間の違いは、被験者に概ね知覚されていたことが確認された。このことから、改変演奏音源の生成に用いたプロンプト設計は、演奏表情の差異を知覚可能な形で反映していたといえる。

表 6.1 各セッション後に行ったアンケートの結果（5 段階尺度）

ID	質問内容	被験者 1					被験者 2					平均
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
e1	提示された音源の間に違いがあると感じましたか	4	4	5	4	3	5	4	5	5	4	4.3
e2	音源同士の違いを明確に区別できましたか	2	2	4	4	2	5	4	5	4	4	3.6
e3	音源を切り替えた直後に違いを感じましたか	4	3	5	4	2	5	3	4	4	4	3.8
e4	注意深く聴かなくても違いを感じましたか	3	4	5	4	1	4	4	5	4	3	3.7
e5	繰り返し聴かなくても違いが分かりましたか	4	3	5	4	1	3	4	4	4	4	3.6
e6	音源の違いに関する自分の判断に自信はありましたか	2	2	4	3	1	5	3	4	4	4	3.2
e7	感じた音源の違いは偶然ではないと思いましたか	4	4	5	4	2	4	4	4	4	4	3.9
e8	聴き比べる途中で、音源の違いが分からなくなることはありましたか	5	5	2	4	5	5	4	3	3	3	3.9
e9	音源同士を混同せずに区別できましたか	1	1	4	3	2	2	4	3	4	3	2.7
e10	好感度は直感的に入力しましたか	2	5	5	4	4	2	5	5	5	5	4.2
e11	好感度の値を決める際、判断に迷いましたか	5	2	2	2	4	5	4	2	4	3	3.3
e12	好感度の入力に時間がかかりましたか	4	2	1	2	4	4	4	2	2	3	2.8
e13	好感度の値は、操作上の負担を感じることなく入力できましたか	5	5	5	5	5	3	5	4	5	4	4.6
e14	同じ音源を再度評価した場合も、同じ好感度を入力しそうですか	1	2	2	2	2	4	4	5	4	4	3.0

表 6.2 実験終了後に行ったアンケートの結果 (f1～f9：5 段階尺度, f10～f19：7 段階尺度)

ID	質問内容	被験者 1	被験者 2	平均
f1	今回の実験中の自分を振り返って、「この弾き方が正しい」という考えを、特に疑わずにそのまま受け入れていた	4	2	3
f2	今回の実験中の自分を振り返って、演奏の表情付けについて、複数の弾き方を考えた上で演奏していた	2	5	3.5
f3	今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとは思わなかった	4	2	3
f4	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった	4	1	2.5
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった	4	4	4
f6	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった	5	2	3.5
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった	4	4	4
f8	今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた	2	3	2.5

ID	質問内容	被験者 1	被験者 2	平均
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった	2	4	3
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う	3	6	4.5
f11	このシステムを利用することで、表情付けの完成度が向上すると思う	3	6	4.5
f12	このシステムを利用することで、意図した音楽表現を表情付けとして実現できると思う	5	6	5.5
f13	このシステムを利用することで、表情付けがこれまでより容易になると思う	4	6	5
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う	4	6	5
f15	このシステムの操作方法は、無理なく簡単に習得できると思う	6	6	6
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた	6	7	6.5
f17	このシステムは、操作の流れが分かりやすく、理解しやすいと感じた	7	7	7
f18	このシステムは、使い続けるうちに操作に慣れ、容易に使いこなせるようになると思う	7	7	7
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う	6	7	6.5

ID	質問内容	被験者 1	被験者 2	平均
f20	もし何かあれば（感想など）	表情付けされた曲を聴きながら、途中から続きの弾き方を予測したり、意外な演奏方法を聞いたりして、曲の解釈が広まった感じがして、面白かったです。		

表 6.3 に、どの（改変）音源が最も好感度が高かったかに関する結果を示す。被験者 1 は、5 回の繰り返しのうち 4 回でオリジナル音源の好感度が最も高く、2 回目のみ形容詞「おおらかな」に基づいて生成された改変音源の好感度が最も高かった。被験者 1 は、2 回目に改変音源を聴取した際に、「当初想定していたよりも音を重ねて弾いてもよい」という新たな気づきを得たと述べており、それ以降の演奏では音を重ねることを意識して演奏していた。

一方、被験者 2 では、オリジナル音源の好感度が最も高かったのは 4 回目のみであり、それ以外の回では、「強く」または「弱く」改変した音源の好感度が最も高かった。被験者 2 は、1 回目の演奏では教科書的な演奏を行っていたが、2 回目に改変音源を聴取したことで多様な表情を感じ取り、この時点でさまざまな表情を試してみようと考えたと述べていた。その結果、3 回目および 4 回目の演奏では表現を発散させるよう意識して演奏し、5 回目の演奏では表現を収束させたと振り返っていた。

表 6.3 最も好感度が高かった音源の一覧

被験者 1			被験者 2		
回数	変換方法	好感度 (0-100)	回数	変換方法	好感度 (0-100)
1 回目	オリジナル	80	1 回目	強く	100
2 回目	おおらかな	80	2 回目	強く	95
3 回目	オリジナル	70	3 回目	弱く	95
4 回目	オリジナル	65	4 回目	オリジナル	95
5 回目	オリジナル	80	5 回目	弱く	90

また、被験者 1 は実験全体を通して弾きたい雰囲気が一貫していたのに対し、被験者 2 では、実験の進行に伴って弾きたい雰囲気が徐々に変化していた。両被験者ともに、提示された自分の演奏を変形した音源を聴くことで、「強弱や音長の感じ方が変わった」、および「これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」という設問に対する回答の平均はいずれも 4.0（5 段階尺度）であった（表 6.2）。これらの結果から、本システムの使用により、演奏者の表情付けに対する意識が変化していたことが示唆される。さらに、本システムは、弾きたい雰囲気の拡張のみならず、その雰囲気を実現するための演奏技術への気づきを促す点においても有用である可能性が示唆された。

第 7 章

本実験

前章で予備実験の結果からプロンプト設計の妥当性が確認されたため，本章では Brownies in Piano の有効性を検証する本実験に関して述べる．

7.1 実験目的

本実験では，Brownies in Piano の有効性を検証するため，以下の 3 つの仮説を立てた．

1. 表現への「気づき」

通常のリフレクションよりも，提案手法の方が外部からの多様な刺激を受け取ることにより，新たな気づきが生じやすい．具体的には，演奏者自身の演奏に対する強弱の感じ方や，音の長さの捉え方といった「知覚」そのものなどに変化や内省が生じると考えられる．

2. 演奏の多様化

通常のリフレクションでは，個人の経験や手癖に依存した試行錯誤になりがちだが，提案手法を用いることで，表情付けの探索範囲を自身の経験に基づく範囲よりも広がり，多様な演奏方法を試みる可能性が高くなる．

3. 着目した音楽要素

通常のリフレクションでは，リズムのズレやミスタッチといった「演奏の正確性」に意識が集中しやすい傾向がある．これに対し，提案手法を用いることで，演奏者は表現的側面に意識を向ける．

なお、システムの有用性と使いやすさについても調査を行う（質問項目：f10～f19）．
なお、各質問項目の内容については後述する．

7.2 実験手法

本研究は、知識科学倫理審査会議（承認コード：KSEC-E20250111801）の承認を得て実施した．詳しい実験手法に関して下記に記す．

7.2.1 実験概要

本実験には、17 名（男性 8 名、女性 9 名）の実験参加者が参加した．被験者のピアノ演奏経験は半年～21 年である．被験者は拡張リフレクションを提供する Brownies in Piano を使用する実験群 9 名と、通常のリフレクションとして自分の演奏データの視聴と可視化グラフの表示をするシステムを使用する統制群 8 名に振り分けた．

実験には、MIDI 出力が可能なグランドピアノ（ヤマハ グランドピアノ C3 自動演奏機能上級仕様）を用い、防音室内で実施した．課題曲には、高橋らによる熟達者と非熟達者の演奏比較研究 [11] において両者の差が報告されている、音楽之友社刊『子供のバイエル 下巻：付点 4 分音符のおはなし』の練習曲冒頭から第 8 小節までを実験用に改変したものをを用いた．

まず実験群の実験の手順を示す．予備実験と同様にまず実験者がシステムの使用方法について説明を行った．その後、図 7.1 に示すシステム使用の流れに従い、提案システムを用いた一連の操作を 1 セッションとし、これを 5 回繰り返して実施した．また、各セッション終了後に、生成された音源に対する好感度を 0～100 の範囲で評価してもらった．実験中は、被験者が周囲の目を気にすることなく創造活動に集中できるよう、実験者は防音室から退出した．音源の視聴後、生成した演奏パターンの違いが被験者に知覚されたかどうかをアンケート調査を行った．また、実験終了後に表情付けに対する意識の変化、システムの使用感について、5or7 段階リッカート尺度、自由記述を用いたアンケート調査を行った．さらに、感想も自由に記述してもらった．

次に、統制群の実験の手順を示す．予備実験と同様にまず実験者がシステムの使用方法について説明を行った．その後、図 7.2 に示すシステム使用の流れに従い、提案システムを用いた一連の操作を 1 セッションとし、これを 5 回繰り返して実施した．実験群とは異なり、自分が弾いたオリジナル音源のみ視聴可能にしてあるため、好感度の入力を行わない．実験中は、被験者が周囲の目を気にすることなく創造活動に集

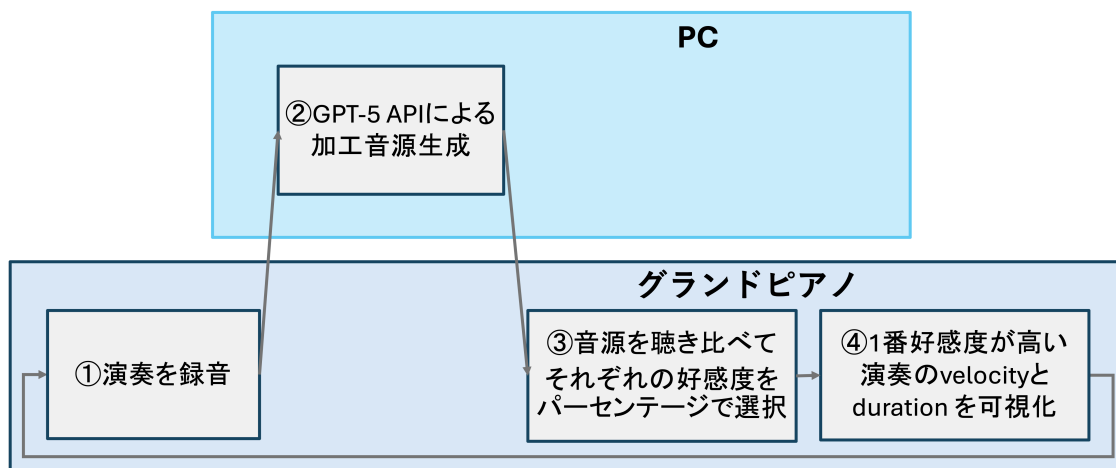


図 7.1 実験群のシステム構成の概念図

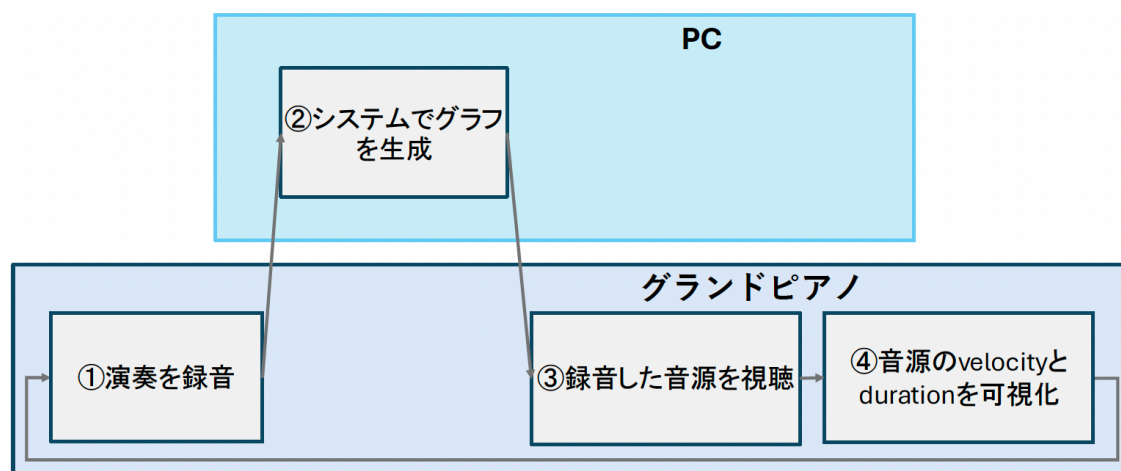


図 7.2 統制群のシステム構成の概念図

中できるよう、実験者は防音室から退出した。また、実験終了後に表情付けに対する意識の変化、システムの使用感について、5or7 段階リッカート尺度、自由記述を用いたアンケート調査を行った。さらに、感想も自由に記述してもらった。

7.2.2 生成した音源の評価

本実験でも確認として予備実験と同様に生成した音源の違いが知覚できているかどうかの調査を行う。そのため、予備実験同様、表 7.1 に提示している内容を次の音源生成の待ち時間に 5 段階リッカート尺度で調査した。なお、LLM での音源変換フィル

表 7.1 生成した音源の違いに関する質問項目

No.	質問項目
e1	提示された音源の間に違いがあると感じましたか
e2	音源同士の違いを明確に区別できましたか
e3	音源を切り替えた直後に違いを感じましたか
e4	注意深く聴かなくても違いを感じましたか
e5	繰り返し聴かなくても違いが分かりましたか
e6	音源の違いに関する自分の判断に自信はありましたか
e7	感じた音源の違いは偶然ではないと思いましたか
e8	聴き比べる途中で、音源の違いが分からなくなることはありましたか
e9	音源同士を混同せずに区別できましたか
e10	好感度は直感的に入力しましたか
e11	好感度の値を決める際、判断に迷いましたか
e12	好感度の入力に時間がかかりましたか
e13	好感度の値は、操作上の負担を感じることなく入力できましたか
e14	同じ音源を再度評価した場合も、同じ好感度を入力しそうですか

ターの生成時間を目立たなくする意味合いもあるため、アンケート項目は多めにしている。また、この評価はあくまでも生成された音源に関する調査のため、実験群にのみ実施している。

7.2.3 拡張リフレクションに関する調査

本実験では、Brownies in Piano がリフレクションにおける収束の過度な固定化を緩和できるか、また通常のリフレクションでは得られがたい新たな気づきを得られるかを検証するため、表 7.2 に示す項目について、5 段階リッカート尺度による調査を行った。また、アンカー付きの質問項目については、漫然とした回答を防ぐため、逆転項目とした。

7.2.4 システムの使用感に関する調査

拡張リフレクションに関する調査に加えて、システムの使用感について、Davis が提唱した Technology Acceptance Model (TAM) に基づき、Perceived Usefulness お

表 7.2 拡張リフレクションに関する質問項目

No.	質問項目 ※は逆転項目
f1	※今回の実験中の自分を振り返って、「この弾き方が正しい」という考えを、特に疑わずにそのまま受け入れていた
f2	今回の実験中の自分を振り返って、演奏の表情付けについて、複数の弾き方を考えた上で演奏していた
f3	※今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった
f4	※提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった
f5-sub	（f5 $\geq$ 4 の場合）それはどのタイミングでどのように変わりましたか
f6	※提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった
f7-sub	（f7 $\geq$ 4 の場合）それはどのような側面ですか
f8	※今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった
f9-sub	（f9 $\geq$ 4 の場合）それはどのような変化ですか

よび Perceived Ease of Use[24] を用いて提案システムを評価した。具体的な評価項目は、表 7.3 に示すように、既存の尺度を提案システムに合わせて修正・削除したものである。

表 7.3 システムの使用感に関する質問項目

No.	質問項目
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う
f11	このシステムを利用することで、表情付けの完成度が向上すると思う
f12	このシステムを利用することで、意図した音楽表現を表情付けとして実現できると思う
f13	このシステムを利用することで、表情付けがこれまでより容易になると思う
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う
f15	このシステムの操作方法は、無理なく簡単に習得できると思う
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた
f17	このシステムは、操作の流れが分かりやすく、理解しやすいと感じた
f18	このシステムは、使い続けるうちに操作に慣れ、容易に使いこなせるようになると思う
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う

第 8 章

結果・考察

8.1 生成した音源について

本節では，生成した音源の違いが知覚可能であったかの検証結果と考察を，違いの知覚に関する項目，判別の容易性に関する項目，判断に対する確信度および判別の安定性に関する項目に分けて述べる（表 8.1）.

表 8.1 好感度調査の結果

No.	質問内容	平均	標準偏差	中央値
e1	提示された音源の間に違いがあると感じましたか	4.13	0.97	4
e2	音源同士の違いを明確に区別できましたか	3.64	1.05	4
e3	音源を切り替えた直後に違いを感じましたか	3.98	1.01	4
e4	注意深く聴かなくても違いを感じましたか	3.53	1.25	4
e5	繰り返し聴かなくても違いが分かりましたか	3.42	1.20	3
e6	音源の違いに関する自分の判断に自信はありましたか	3.36	1.07	4
e7	感じた音源の違いは偶然ではないと思いましたか	4.20	0.97	4
e8	聴き比べる途中で音源の違いが分からなくなることはありましたか	3.33	1.22	4
e9	音源同士を混同せずに区別できましたか	3.22	1.13	3

まず、違いの知覚に関する項目（e1, e2, e3, e7）に関して述べる．結果としては、全体として比較的高い評価が得られた．特に、e1（提示された音源の間に違いがあると感じたか）の平均値は 4.13、e7（感じた音源の違いは偶然ではないと思ったか）の平均値は 4.20 と高く、いずれも標準偏差は 1.0 未満であった．これらの結果から、多くの参加者が音源間の違いの存在を明確に知覚しており、その認識は参加者間で比較的一致していたことが示唆される．一方、e2（音源同士の違いを明確に区別できたか）および e3（音源を切り替えた直後に違いを感じたか）では、平均値がそれぞれ 3.64, 3.98 とやや低下しており、違いの存在自体は知覚できるものの、常に明確に区別できたとは限らない可能性が示される．

次に判別の容易性に関する項目（e4, e5）に関して述べる．結果としては、平均値がそれぞれ 3.53, 3.42 と中程度にとどまり、標準偏差はいずれも 1.2 前後と比較的大きかった．これらは、音源間の違いは知覚可能である一方で、注意深さや繰り返しの聴取を必要としないほど容易に判別できるとは限らないことを示している．また、標準偏差が大きいことから、判別の容易性については参加者間に個人差が存在し、容易に違いを把握できた参加者と、一定の集中を要した参加者が混在していたと考えられる．

さらに、判断に対する確信度および判別の安定性に関する項目（e6, e8, e9）に関して述べる．結果としては、平均値が 3.22 ～ 3.36 と最も低い値を示した．e6（音源の違いに関する自分の判断に自信があったか）および e9（音源同士を混同せずに区別できたか）の結果から、参加者は自身の判別に対して必ずしも高い確信を持っていたわけではないことが示唆される．加えて、e8（聴き比べる途中で、音源の違いが分からなくなることはあったか）は逆転項目であり、高得点ほど混乱を示すが、平均値が 3.33、中央値が 4 であったことから、実験中に判別の不安定さや混乱を経験した参加者が一定数存在した可能性が示される．

以上の結果を総合すると、本実験で提示された音源間の違いは、一定の注意や集中を要するものであったが、多くの参加者にとって知覚可能であったと考えられる．

8.2 拡張リフレクションの効果について

8.2.1 分析手法

拡張リフレクションに関する調査の回答データに関しては、Mann – Whitney の U 検定を用いて検証する．なお、本実験はサンプルサイズが小規模であり、正規分布を仮定することが困難であることから、ノンパラメトリック検定を適用することが適

切であると判断した。また、有意水準は両側 5% とした。

加えて、群間差の大きさを評価するための指標として、Rank-biserial correlation (r) を算出し、統計的有意性と併せて結果の解釈に用いる。なお、分析の前処理として、逆転項目の質問に関しては回答値を反転させ、高い値ほどシステムに対して肯定的な評価を示すように統一した。

自由記述による回答データについては、テキストデータを各要素（コード）で分類し、頻度を比較する。分類の種類は、気づきの種類と音楽要素の 2 軸で分類した。気づきの種類に関しては、Self-Reflection, Visual, Comparison (Negative・Positive) を用いた。Self-Reflection は、自分の中の「理想」や「意図」と照らし合わせて内省し気づきを得た場合、Visual はグラフ表示ページにて視覚的に気づきを得た場合、Comparison は比較によって気づきを得た場合である。音楽要素に関しては、Duration, Dynamics, Expression, Rhythm を用いた。また、頻度の計算は、特定の要素に言及した回答数をその群の全参加者数で割った平均回答数を用いた。

8.2.2 自由記述の分類結果

自由記述の分類結果を表 8.2 に示す。

表 8.2 自由記述結果

Question	Group	ID	Content	Element	Trigger
f5-sub	Experimental	A-001	音源を聴いてももう少し弱く弾いてみようかなと思った。ギリギリまで音を伸ばしてみようかなと思った。	Dynamics /Duration	Comparison
f5-sub	Experimental	A-003	強弱がはっきりとしすぎているタイミングで自分もこのような演奏にならないように気をつけた	Dynamics	Comparison (Negative)
f5-sub	Experimental	A-004	1 回目最後を伸ばしすぎたので短くした	Duration	Self-Reflection
f5-sub	Experimental	A-006	聴き比べることで違いがわかるようになった	None	Comparison
f5-sub	Experimental	A-007	嫌いの音源を聴いた時、自分はそうしないように変わりました。	None	Comparison (Negative)
f5-sub	Experimental	A-008	強弱をどこタイミングでつけるかを考えるきっかけになった	Dynamics	Comparison
f5-sub	Experimental	A-009	強く打つ音源をきいてからかわりました。	Dynamics	Comparison
f5-sub	Experimental	A-010	スラーのがスタッカートに変化していた	Duration	Comparison

Question	Group	ID	Content	Element	Trigger
f5-sub	Control	B-001	1 回目に弾いたあとで自分の音源を聴いた時に、	None	Self-Reflection
f5-sub	Control	B-002	音の長さや音量をバーで視覚的に見れたタイミングで...	Duration /Dynamics	Visual
f5-sub	Control	B-003	4 回目で「慣れてきた時」に聴いたとき	None	Self-Reflection
f5-sub	Control	B-005	二回目の時、なんかスピードがおかしい感じしますので、変わりました	Rhythm	Self-Reflection
f5-sub	Control	B-006	2 回目か 3 回目の演奏で同じ音符に対して音の長さが違うなと感じた	Duration	Self-Reflection
f5-sub	Control	B-007	リズムがずれたと感じたタイミング	Rhythm	Self-Reflection
f7-sub	Experimental	A-001	音の長さや強弱に関する表現が目が向くようになりました	Duration /Dynamics	None
f7-sub	Experimental	A-004	音の短さや強弱	Duration /Dynamics	None
f7-sub	Experimental	A-005	自分が思っていたよりも音の長さが短く弾いており、よく表現できていなかった	Duration	Self-Reflection
f7-sub	Experimental	A-006	リズム	Rhythm	None
f7-sub	Experimental	A-007	音と音の間の連続性	Duration	None
f7-sub	Experimental	A-008	全体のフレーズ感だけでなく個別の音の強弱など	Dynamics	None
f7-sub	Experimental	A-009	音と音の間を聴いてから	Duration	Comparison
f7-sub	Experimental	A-010	強弱や音の長さにより意識して弾くようになった	Dynamics /Duration	None
f7-sub	Control	B-001	ファとソの音が好みじゃないと思ったので、鍵盤の押し方を工夫した	Expression /Dynamics	Self-Reflection
f7-sub	Control	B-002	音の長さを調整するという側面. 短く切って弾くことで明るい Pop な感じになった.	Duration /Expression	Self-Reflection
f7-sub	Control	B-003	楽譜にスラーが書かれていて滑らかに音を繋いでいくように弾いてたものの、実際聴くとあまり伝わってこない箇所に気づいた	Duration	Self-Reflection
f7-sub	Control	B-005	強弱や音長など	Dynamics /Duration	Self-Reflection
f7-sub	Control	B-007	音の強弱	Dynamics	Self-Reflection
f7-sub	Control	B-008	リズムがずれている側面	Rhythm	Self-Reflection
f9-sub	Experimental	A-004	楽譜通りではなくいいと思ったところは取り入れようと意識したこと	None	Comparison (Positive)
f9-sub	Experimental	A-007	頭の中で自分が好きなリズムを意識して弾くようになった	Rhythm	None
f9-sub	Experimental	A-008	今のは微妙だったかもと振り返る時間ができた	None	Self-Reflection

Question	Group	ID	Content	Element	Trigger
f9-sub	Experimental	A-009	優しく演奏する努力ができました	Expression	None
f9-sub	Control	B-002	序盤は音の大きさを変える意識で、後半は音の長さを変える意識だった。	Dynamics /Duration	Self-Reflection
f9-sub	Control	B-003	弾く度に自分の演奏を聴いて、次は弾く度や速さなどこう変えたいと自然に変化した感覚があった	Dynamics /Rhythm	Self-Reflection
f9-sub	Control	B-006	音の強さ、そして拍数も少し注意した	Dynamics /Rhythm	Self-Reflection
f9-sub	Control	B-007	音が柔らかくなっていった気がした	Expression	Self-Reflection

8.2.3 分析結果・考察

まず、U 検定、効果量 (r) の結果を表 8.3 に示す。U 検定に関しては全ての項目で有意差を確認することはできなかった。これは、表情付けという微細な変化を扱っていることが関係している可能性がある。しかし、有意傾向や効果量に関してはいくつかの項目で中程度以上の効果を確認できた。自由記述の内容に関しては表 8.2 に示した通りである。詳しい結果に関して、表現への「気づき」と演奏の多様化、着目した音楽的要素、演奏イメージの確立の順に解説する。

表 8.3 統制群と実験群の比較結果

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	U 値	p 値	効果量(r)
f1	今回の実験中の自分を振り返って、「この弾き方が正しい」という考えを、特に疑わずにそのまま受け入れていた	2.25	1.78	45.5	0.3173	-0.26
f2	今回の実験中の自分を振り返って、演奏の表情付けについて、複数の弾き方を考えた上で演奏していた	3.00	3.11	36.0	1.0000	0.00
f3	今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった	2.88	2.00	50.5	0.1458	-0.40
f4	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった	4.00	4.33	29.5	0.4920	0.18
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった	4.00	4.44	26.0	0.2995	0.28
f6	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった	3.38	2.11	54.0	0.0759	-0.50
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった	3.62	4.22	25.0	0.2320	0.31
f8	今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた	2.88	3.44	27.0	0.3579	0.25
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった	3.62	3.00	47.5	0.2484	-0.32
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う	5.50	5.44	35.5	0.9588	0.01
f11	このシステムを利用することで、表情付けの完成度が向上すると思う	5.62	5.33	37.0	0.9179	-0.03
f12	このシステムを利用することで、意図した音楽表現を表情付けとして実現できと思う	5.75	5.78	35.5	0.9594	0.01
f13	このシステムを利用することで、表情付けがこれまでより容易になると思う	5.50	5.67	33.0	0.7616	0.08
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う	5.50	5.78	31.0	0.6122	0.14
f15	このシステムの操作方法は、無理なく簡単に習得できると思う	6.62	6.78	34.0	0.7951	0.06
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた	6.38	6.33	36.0	1.0000	0.00

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	U 値	p 値	効果量(r)
f17	このシステムは、操作の流れが分かりやすく、理解しやすいと感じた	6.62	6.56	41.0	0.5669	-0.14
f18	このシステムは、使い続けるうちに操作に慣れ、容易に使いこなせるようになると思う	6.62	6.78	34.0	0.7951	0.06
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う	6.62	6.78	30.5	0.5032	0.15

表現への「気づき」と演奏の多様化

まず、表現への「気づき」と演奏の多様化に関して述べる。質問項目 f7「これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」においては、中程度の効果量 ($r = 0.31$) が確認され、Experimental 群の方が高い傾向を示した。一方で、質問項目 f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」(逆転項目)では、Control 群の方が高いスコアを示し、中程度の効果量 ($r = -0.40$) が確認された。さらに、f9「演奏表現が一度で固まらず、徐々に変化していく感覚があった」においても、Control 群の方が高い傾向を示し ($r = -0.32$)、演奏が段階的に変化していく感覚をより強く経験していたことが示唆された。

これらの結果を統合すると、Experimental 群では f7 に示されるように新たな「気づき (Awareness)」は生じていたものの、それが f3 や f9 の結果のように「他の選択肢を実際に試す行動」には必ずしも結びついていなかったことが示唆される。

この背景として、提示された変形音源が強すぎる強弱や過度に短い音といった極端な例であった場合、参加者はそれらを「違い」としては認識したものの、「自分が試すべき選択肢ではない」と判断し、観察に留まった可能性が考えられる。すなわち、本システムは「観察による気づき」を促進する効果は高かった一方で、そこから「能動的な探索」へと参加者を移行させるためには、実際に試してみたいと感じられるように生成する音源の質を向上させる必要がある可能性が示唆される。

そこで、実験中につけてもらっていた提示した音源に対する好感度をまとめてみた。結果としては表 8.4、図 8.1 の通りである。まず、オリジナルと弱化はそれぞれ平均値が 70.07、69.04 とほぼ同等で高く、中央値もともに 70 であった。一方、強化は平均値が 62.58 と、やや低下していた。この結果は、表現を強調する方向の処理が、必ずしも好感度の向上につながらず、場合によっては過剰な強調として知覚された可能性を示唆している。これに対して、形容詞での変化は平均値が 46.60 と最も低く、標準偏差も 23.72 と最大であった。また、最小値が 0 であることから、極端に低い評価を受けた事例も含まれていることが分かる。しかし、最大値はその他の項目と同じ 90 であることから、全く受け入れられていないわけではないといえる。これらの結果は、生成結果の品質に大きなばらつきがあり、安定性に欠けていた可能性を示している。

以上より、オリジナルおよび弱化処理された音源は高い好感度を維持していた一方で、強化処理は評価をやや低下させ、形容詞ベースの生成は不安定であるという傾向が確認された。このことから、表現の変形においては、「どの方向に変えるか」だけで

表 8.4 音源の好感度結果

カテゴリー	平均	標準偏差	中央値	最小値	最大値
形容詞	46.60	23.72	50	0	90
強化	62.58	16.13	60	40	90
弱化	69.04	13.23	70	40	90
オリジナル	70.07	13.63	70	40	90

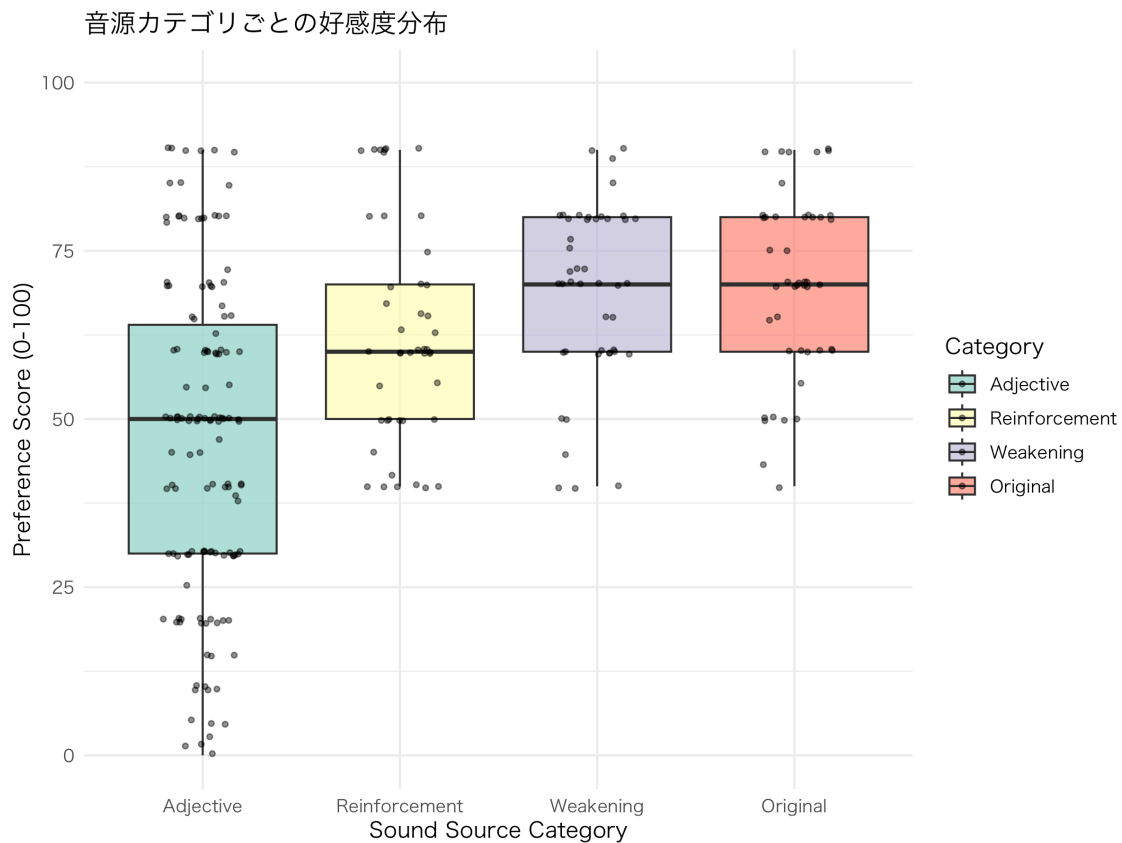


図 8.1 音源の好感度結果の箱ひげ図

なく、「変化量や生成方法の安定性」が課題であるといえる。そのため、極端に低い評価を受けた事例に共通点が見られないか調べた。

好感度が極端に低い音源群 (Low: スコア 25 未満) と、好感度が高い音源群 (High: スコア 75 以上) を比較した結果 (表 8.5), 両群の間には音の強さ, リズム, およびアーティキュレーションに関して差異が確認された。以下では, それぞれの観点から考察を行う。

表 8.5 音源の好感度が高い音源群と低い音源群の比較結果

Feature	High (≥ 75)	Low (< 25)	Diff	Trend
velocity_mean	54.1	78.0	23.9	Low が高い
velocity_std	3.6	11.7	8.1	Low が高い
velocity_max	59.8	97.5	37.7	Low が高い
ioi_std	376.9	511.1	134.2	Low が高い
duration_mean	569.7	569.2	-0.6	Low が低い
duration_std	337.1	451.4	114.3	Low が高い
polyphony_rate	0.8	0.8	-0.1	Low が低い

音の強さ (Velocity)：音の強さに関する指標において、Low 群は High 群と比較して大きな値を示した。平均ベロシティは Low 群が 78.0 であるのに対し、High 群は 54.1 であり、約 24 ポイントの差が確認された。また、最大ベロシティにおいては、Low 群が 97.5、High 群が 59.8 と、約 38 ポイントの大きな差が見られた。

これらの結果から、高い好感度を得るためには、単に全体の音量を抑えるだけでなく、突発的に生じる大きな音、すなわち過度なアクセントを抑制することが重要であることが示唆される。High 群では、最大値においても約 60 に抑えられており、全体として丁寧で抑制された演奏が行われていたと考えられる。

リズム (IOI)：リズムの安定性を示す IOI の標準偏差 (IOI Std) においても、両群の間に差が確認された。Low 群の IOI Std は 511 であるのに対し、High 群は 377 であり、Low 群の方が約 134 ポイント高い値を示している。

IOI Std が大きいことは、音と音の間隔が不均一であり、リズムが揺らいでいる状態を示す。High 群ではリズムの揺らぎが小さく安定した演奏が行われているのに対し、Low 群ではその約 1.3 倍以上の揺らぎが存在しており、リズムの不安定さが低好感度の決定的な要因の一つとなったと考えられる。

アーティキュレーション (Duration)：音の長さに関する指標である平均音価 (Duration Mean) については、Low 群 (569) と High 群 (570) の間にほとんど差は確認されなかった。一方で、音価の標準偏差 (Duration Std) に注目すると、Low 群は 451、High 群は 337 であり、Low 群の方が約 114 ポイント高い値を示した。この結果は、Low 群において音の長さが極端に不揃いであり、ばらつきが大きいことを示唆している。

まとめ：以上の比較から、好感度が高い演奏 (High 群) は、「音量が全体として控えめであり、特に最大音量が抑制されていること」、ならびに「リズムおよび音の長さ

が均一に整っており、ばらつきが小さいこと」を特徴としていることが明らかとなった。本実験で使用された楽曲は、比較的レガートで穏やかな表現が想定される曲調の曲を使用した。そのため High 群の演奏スタイル（静かで安定した演奏）は楽曲の雰囲気と合致し、高く評価された一方で、Low 群にみられた「突発的に大きな音が発生し、リズムや音の長さが不均一である」演奏は、演奏としての自然さを壊すレベルの不均一さとして低評価につながった可能性がある。そのため、音源を変形する際は、極端な変化が起きないように、変化量を制御する必要があるといえる。

表現への「気づき」と演奏の多様化に関して、仮説 1 の「通常のリフレクションよりも、提案手法の方が外部からの多様な刺激を受け取ることにより、新たな気づきが生じやすい」という仮説は成立したといえる。しかし、仮説 2 の「提案手法を用いることで、表情付けの探索範囲を自身の経験に基づく範囲よりも広がり、多様な演奏方法を試みる可能性が高くなる」に関しては、認められなかった。

着目した音楽的要素

次に自由記述から得られた新たな気づきにおける「着目した音楽要素」の分析結果を図 8.2 に示す。本分析から、両群における関心の向け方に差異が確認された。特に Rhythm（タイミング）への言及に関して、Control 群は 0.62，Experimental 群は 0.22 と、Control 群では「走ってしまった」「ズレた」といった演奏の正確性に関する反省が多く見られた一方、Experimental 群では、関心の多くが、表現要素の 1 つである Duration に移っていた。

この差異の背景には、本システムの仕様が影響していると考えられる。本システムは Velocity および Duration のみを変形し、Rhythm（タイミング）を操作しなかった。その結果、変化しない Rhythm（タイミング）への言及が抑制され、システムで変形した要素の 1 つである Duration に注目が移った可能性がある。すなわち、本システムは参加者の関心を「正しく弾くこと」への意識を抑制し、表現要素の 1 つである Duration に注目が移していると言える。

まとめとして、仮説 3 の「通常のリフレクションでは、リズムのズレやミスタッチといった「演奏の正確性」に意識が集中しやすい傾向があるが提案手法を用いることで、演奏者は表現的側面に意識を向ける」に関しては、仮説が成立したといえる。

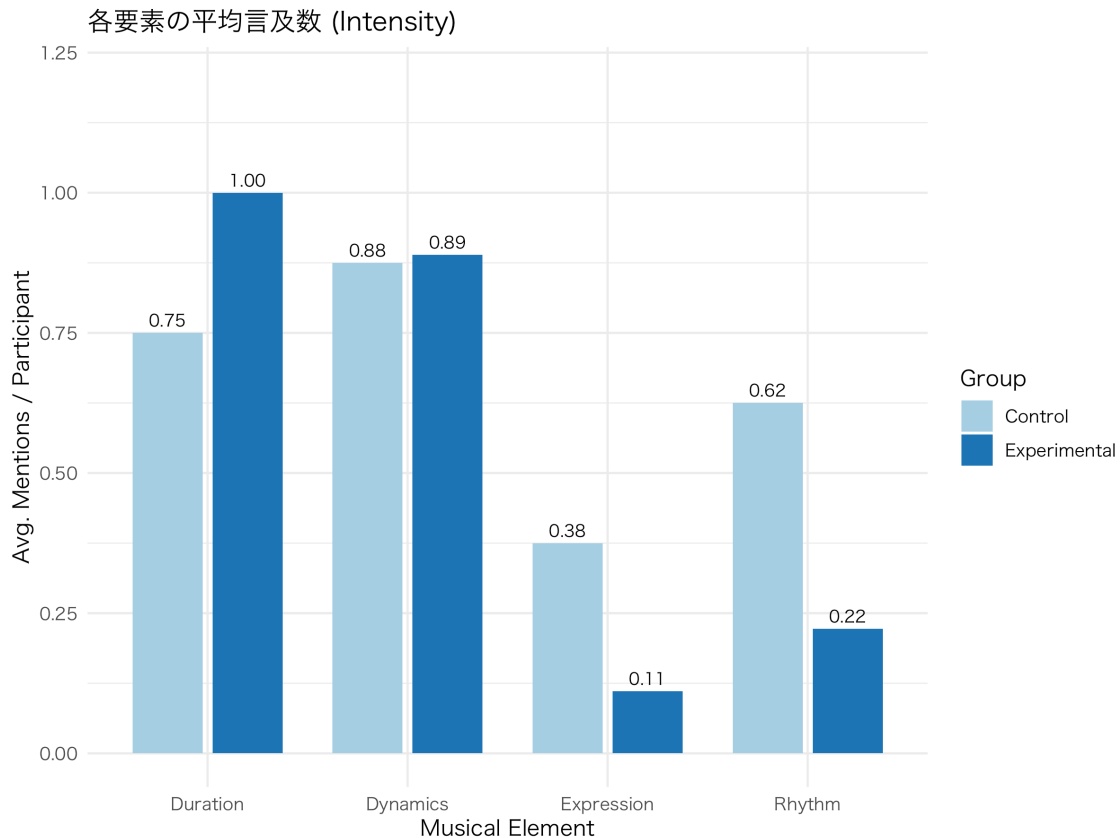


図 8.2 自由記述の分析結果（着目した音楽要素）

演奏イメージの確立

最後に、仮説にはなかったが演奏イメージの確立に関して述べる。質問項目 f6「目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、($r = -0.50$)と Experimental 群が Control 群を下回り、大程度の効果量が認められた。これは、提案システムの方が当初の演奏イメージがより維持されていた傾向が示されている。これは、一見すると、この結果は「システムが演奏イメージに影響を与えなかった」ことを示しているようにも解釈できる。しかし、自由記述から得られた新たな「気づきの種類」の分析結果（図 8.3）では、「Comparison (Negative)」に分類される反応が実験群において複数確認された。例えば、「強すぎる音源を聴いて、自分はそう弾かないように気をつけた」といった記述は、提示された極端な変形音源を好ましくない例として捉えたことを示している。このことから、実験参加者はネガティブな変形音源を聴くことで、「こうは弾きたくない」という境界線を明確に認識し、結果として自身の

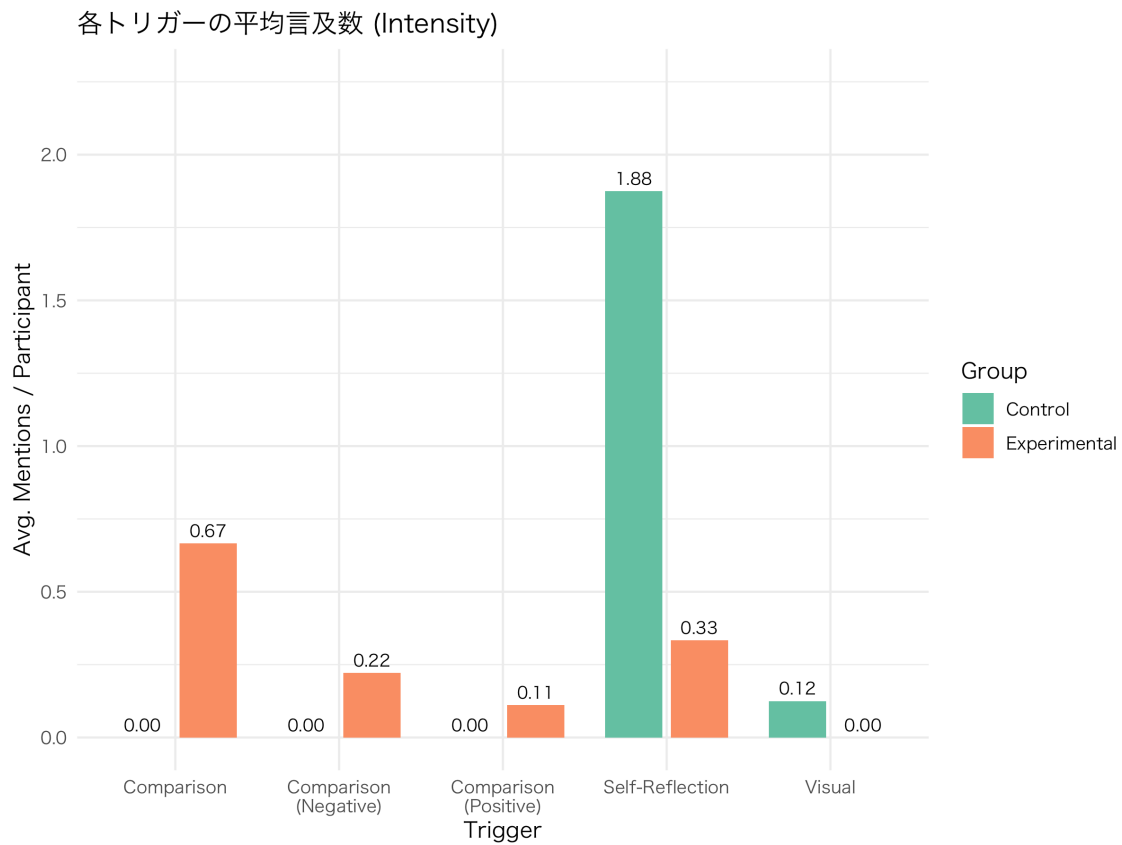


図 8.3 自由記述の分析結果（気づきの種類）

目指す演奏イメージをより強く確信した可能性がある。すなわち、本システムは演奏イメージを揺さぶるのではなく、反面教師として機能することで、演奏イメージの確立を支援していた可能性があると解釈できる。

第 9 章

ピアノの経験年数別で分析した結果・考察

次に本研究の対象者が初心者から中級者であることを踏まえて、ピアノの経験年数が半年～9 年と 10 年～21 年の 2 グループに分けて分析を行った。その結果を表 9.1, 9.2, 9.3 に示す。内訳は、実験群（半年～9 年：6 人, 10 年～21 年：3 人）で統制群が（半年～9 年：4 人, 10 年～21 年：4 人）である。

9.1 経験年数による差異の有無に基づく結果

まず、ピアノ経験年数の違いにかかわらず、同様の傾向が確認された項目を提示する。探索行動に関する質問項目 f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」（逆転項目）、f9「今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった」および演奏イメージの維持に関する質問項目 f6「目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、両経験層とも同様の傾向の結果が得られた。

一方で、ピアノ経験年数の違いによって異なる傾向が確認された項目も存在した。気付きや意識に関する質問項目 f7「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」、および f8「今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた」（逆転項目）、練習効率に関する質問項目 f10「このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う」、ユーザビリティ・

受容性に関する質問項目 f16「このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた」、f19「このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う」、自由記述における「着目した音楽的要素」において経験年数による差異が見られた。

表 9.1 ピアノ演奏経験年数：半年～9 年における統制群と実験群の比較結果

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	U 値	p 値	効果量(r)
f1	今回の実験中の自分を振り返って、「この弾き方が正しい」という考えを、特に疑わずにそのまま受け入れていた	1.50	1.50	15.0	0.4292	-0.25
f2	今回の実験中の自分を振り返って、演奏の表情付けについて、複数の弾き方を考えた上で演奏していた	3.50	3.50	13.0	0.8213	-0.08
f3	今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった	3.00	2.17	17.0	0.2587	-0.42
f4	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった	4.50	4.83	8.0	0.2850	0.33
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった	4.50	4.67	10.0	0.6171	0.17
f6	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった	3.75	2.33	19.0	0.1272	-0.58
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった	3.50	4.17	7.5	0.2779	0.38
f8	今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた	2.75	3.50	7.5	0.3061	0.38

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	U 値	p 値	効果量(r)
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった	4.00	3.17	17.5	0.2078	-0.46
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う	6.00	5.33	16.0	0.3563	-0.33
f11	このシステムを利用することで、表情付けの完成度が向上すると思う	6.00	5.67	14.0	0.6434	-0.17
f12	このシステムを利用することで、意図した音楽表現を表情付けとして実現できると思う	6.00	5.67	14.0	0.6434	-0.17
f13	このシステムを利用することで、表情付けがこれまでより容易になると思う	5.75	5.67	13.5	0.7373	-0.12
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う	6.00	5.83	13.5	0.7285	-0.12
f15	このシステムの操作方法は、無理なく簡単に習得できると思う	6.75	6.83	11.0	0.7595	0.08
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた	6.25	6.50	8.5	0.4094	0.29
f17	このシステムは、操作の流れが分かりやすく、理解しやすいと感じた	6.75	6.67	13.0	0.7893	-0.08
f18	このシステムは、使い続けるうちに操作に慣れ、容易に使いこなせるようになると思う	6.75	6.83	11.0	0.7595	0.08
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う	6.50	7.00	6.0	0.0662	0.50

表 9.2 ピアノ演奏経験年数：10 年～21 年における統制群と実験群の比較結果

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	<i>U</i> 値	<i>p</i> 値	効果量(<i>r</i>)
f1	今回の実験中の自分を振り返って、「この弾き方が正しい」という考えを、特に疑わずにそのまま受け入れていた	3.00	2.33	7.5	0.5857	-0.25
f2	今回の実験中の自分を振り返って、演奏の表情付けについて、複数の弾き方を考えた上で演奏していた	2.50	2.33	6.5	0.8530	-0.08
f3	今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった	2.75	1.67	8.5	0.3543	-0.42
f4	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった	3.50	3.33	7.0	0.6965	-0.17
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった	3.50	4.00	4.0	0.4302	0.33
f6	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった	3.00	1.67	9.0	0.2710	-0.50
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった	3.75	4.33	4.5	0.5541	0.25
f8	今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた	3.00	3.33	5.5	0.8530	0.08
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった	3.25	2.67	8.0	0.4587	-0.33
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う	5.00	5.67	3.5	0.3496	0.42

No.	質問項目	平均(統制群)	平均(実験群)	U 値	p 値	効果量(r)
f11	このシステムを利用することで、表情付けの完成度が向上すると思う	5.25	4.67	6.5	0.8530	-0.08
f12	このシステムを利用することで、意図した音楽表現を表情付けとして実現できると思う	5.50	6.00	4.5	0.5857	0.25
f13	このシステムを利用することで、表情付けがこれまでより容易になると思う	5.25	5.67	4.5	0.5541	0.25
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う	5.00	5.67	3.5	0.3636	0.42
f15	このシステムの操作方法は、無理なく簡単に習得できると思う	6.50	6.67	6.0	1.0000	0.00
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた	6.50	6.00	8.0	0.4302	-0.33
f17	このシステムは、操作の流れが分かりやすく、理解しやすいと感じた	6.50	6.33	7.5	0.5541	-0.25
f18	このシステムは、使い続けるうちに操作に慣れ、容易に使いこなせるようになると思う	6.50	6.67	6.0	1.0000	0.00
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う	6.75	6.33	8.5	0.3074	-0.42

9.2 ピアノ経験年数：半年～9 年に関する結果・考察

9.2.1 表現への「気づき」と演奏の多様化

ピアノ経験年数：半年～9 年では、気づきや意識に関する項目である質問項目 f7「提示された自分の演奏（を变形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」（ $r = 0.38$ ）および質問項目 f9「今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった」（逆転項目）（ $r = -0.46$ ）では、Experimental 群が Control 群を上回り、いずれも中程度の効果量が確認された。一方、探索行動に関する項目において、質問項目 f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」（逆転項目）

表 9.3 ピアノ演奏経験年数別にみた効果量中程度以上の結果まとめ

項目 ID	質問項目	1-9 年 (Short) の傾向	10-21 年 (Long) の傾向
f3	今回の実験中の自分を振り返って、表現について、他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった	統制群が高い ($r = -0.42$)	統制群が高い ($r = -0.42$)
f4	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、自分の演奏について改めて考えることはあまりなかった	実験群が高い ($r = 0.33$)	差なし
f5	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、強弱や音長の感じ方が変わった	差なし	実験群が高い ($r = 0.33$)
f6	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった	統制群が高い ($r = -0.58$)	統制群が高い ($r = -0.50$)
f7	提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった	実験群が高い ($r = 0.38$)	差なし
f8	今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた	実験群が高い ($r = 0.38$)	差なし
f9	今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった	統制群が高い ($r = -0.46$)	統制群が高い ($r = -0.33$)
f10	このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う	統制群が高い ($r = -0.33$)	実験群が高い ($r = 0.42$)
f14	このシステムは、表情付けにおいて有用だと思う	差なし	実験群が高い ($r = 0.42$)
f16	このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた	差なし	統制群が高い ($r = -0.33$)
f19	このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う	実験群が高い ($r = 0.50$)	統制群が高い ($r = -0.42$)

($r = -0.42$) において、Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。

これらの結果を統合すると、8.3 項において述べたように、f7 の新たな「気づき」は生じていたものの、生成した音源の安定性などの問題により f3 や f9 の結果のように「他の選択肢を実際に試す行動」には必ずしも結びついていなかったことが示唆される。

そこでここでも提示した音源に対する好感度をピアノ経験年数：半年～9 年のみで

分析した結果を図 9.1 表 9.4 に示す。オリジナルと弱化はそれぞれ平均値が 71.10, 70.70 とほぼ同等で高く、中央値もともに 70 であった。一方、強化は平均値が 62.00 と、やや低下していた。この結果は、表現を強調する方向の処理が、必ずしも好感度の向上につながらず、場合によっては過剰な強調として知覚された可能性を示唆している。これに対して、形容詞での変化は平均値が 45.93 と最も低く、標準偏差も 25.13 と最大であった。また、最小値が 0 であることから、極端に低い評価を受けた事例も含まれていることが分かる。しかし、最大値はその他の項目と同じ 90 であることから、全く受け入れられていないわけではないといえる。これらの結果は、8.3 項と同じように生成結果の品質に大きなばらつきがあり、安定性に欠けていた可能性を示している。

以上より、8.3 項と同様にオリジナルおよび弱化処理された音源は高い好感度を維持していた一方で、強化処理は評価をやや低下させ、形容詞ベースの生成は不安定であるという傾向が確認された。このことから、表現の変形においては、「どの方向に変えるか」だけでなく、「変化量や生成方法の安定性」が課題であるといえる。

加えて、8.3 項とは異なり、ピアノ経験年数：半年～9 年において質問項目 f8「今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた」（逆転項目、 $r = 0.38$ ）において、Experimental 群が Control 群を上回り、中程度の効果量が認められた。これは、無意識で演奏することを抑制する傾向が示されていた。この結果に関して質問項目 f3 を踏まえると、結果として行動には現れていないが、本システムが表情付けに関して探索する意欲を向上させている可能性が示唆される。

まとめとして、ピアノ経験年数：半年～9 年においても仮説 1 の「通常のリフレクションよりも、提案手法の方が外部からの多様な刺激を受け取ることにより、新たな気づきが生じやすい」という仮説は成立したといえる。また、仮説 2 の「提案手法を用いることで、表情付けの探索範囲を自身の経験に基づく範囲よりも広がり、多様な演奏方法を試みる可能性が高くなる」に関しては、実際には試みられてはいないが、意欲は認められ、一部支持される結果になった。

好感度分布 (0.5-9 years, Experimental Only)

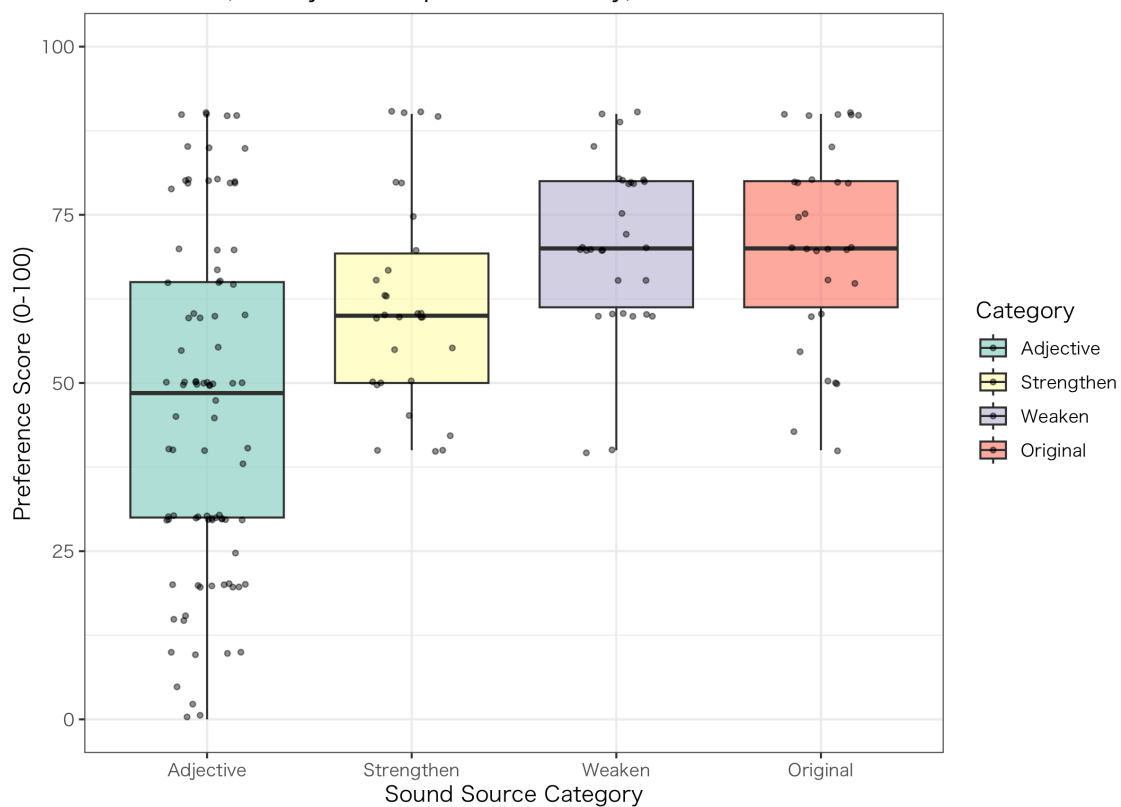


図 9.1 ピアノ経験年数：半年～9 年の好感度結果

表 9.4 ピアノ経験年数：半年～9 年の好感度結果

カテゴリー	平均	標準偏差	中央値	最小値	最大値
形容詞	45.93	25.13	48.5	0	90
強化	62.00	15.42	60	40	90
弱化	70.70	12.53	70	40	90
オリジナル	71.10	14.91	70	40	90

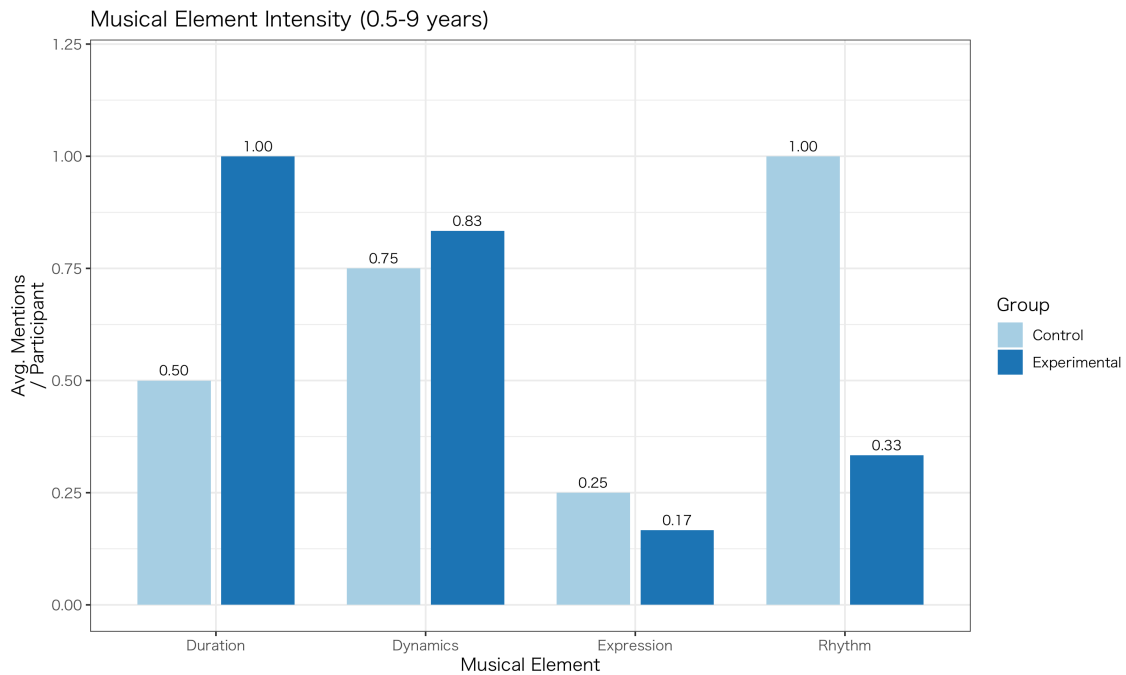


図 9.2 ピアノ経験年数：半年～9 年における自由記述の分析結果（着目した音楽的要素）

9.2.2 着目した音楽的要素

次に自由記述の新たな気づきを得た場合の「着目した音楽的要素」の分析（図 9.2）では、ピアノ経験年数：半年～9 年でも両群の関心の向け方に明確な差異が確認された。Control 群では、特に Rhythm（タイミング）への言及が 1.00 と多く、演奏の正確性に関する反省が多く見られた。一方、Experimental 群では Rhythm（タイミング）への言及は 0.33 にとどまり、関心の多くが強弱や音の長さといった演奏表現に向けられていた。

すなわち、本システムの仕様が影響により、本システムは参加者の関心を「正しく弾くこと」から、「どのように表現するか」へと誘導していたと解釈できる。まとめとして、仮説 3 の「通常のリフレクションでは、リズムのズレやミスタッチといった「演奏の正確性」に意識が集中しやすい傾向があるが提案手法を用いることで、演奏者は表現的側面に意識を向ける」に関しては、仮説が成立したといえる。

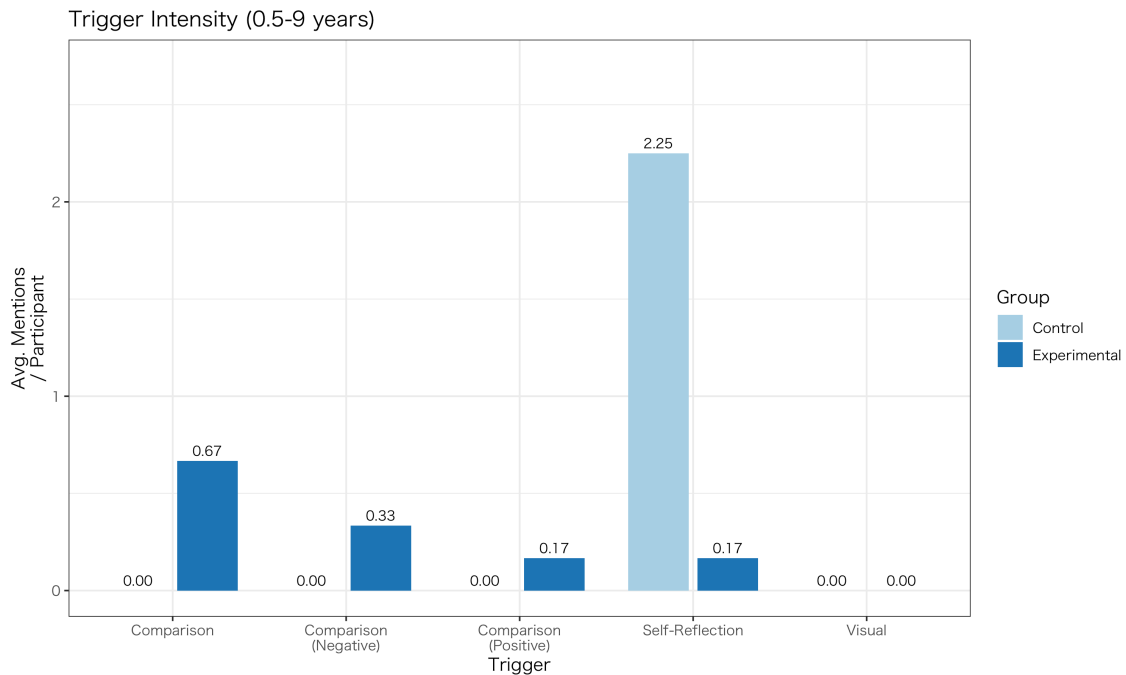


図 9.3 ピアノ経験年数：半年～9 年における自由記述の分析結果（気づきの種類）

9.2.3 演奏イメージの確立

演奏イメージに関する質問項目 f6「提示された自分の演奏（を变形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、($r = -0.58$)と Experimental 群が Control 群を下回り、大程度の効果量が認められた。これは、提案システムの方が当初の演奏イメージがより維持されていた傾向が示されている。また、自由記述の分析でも同様に「Comparison(Negative)」に分類される反応が実験群において複数確認された（図 9.3）。よって、ピアノ経験年数：半年～9 年においても、実験参加者はネガティブな変形音源を聴くことで、「こうは弾きたくない」という境界線を明確に認識し、結果として自身の目指す演奏イメージをより強く確信した可能性があり、反面教師として機能していた可能性がある」と解釈できる。

9.2.4 システムの使用感

システムの使用感に関する質問項目 f10 と f19 において、ピアノ経験年数：半年～9 年では中程度以上の効果量が確認された。質問項目 f10「このシステムを利用する

ことで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う」(逆転項目) ($r = -0.33$)では、Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。しかしながら、質問項目 f19「このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う」では、 $p=0.066$ と有意傾向が認められ効果量に関しても ($M = 7.00$, $r = 0.50$) と Experimental 群が Control 群を大きく上回り、非常に高い評価が得られた。

効率性については低い評価が示された一方で、システム全体としては使いやすいと評価されている。このことは、本システムの使用により新たな気づきが得られ、それに基づいて演奏表現を意識的に検討しようとした結果、確認や判断に伴う認知的負荷が増大し、その負荷が一時的な効率低下として知覚された可能性を示唆している。

9.3 ピアノ経験年数：10 年～21 年に関する結果・考察

9.3.1 表現への「気づき」と演奏の多様化

気付きに関する項目である質問項目 f7「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」では、中程度以上の効果量は確認されなかった。また、探索行動に関する質問項目 f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」(逆転項目) ($r = -0.42$)、f9「今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった」($r = -0.33$)といずれにおいても、Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。この結果は、ピアノ演奏経験が長いグループは通常の練習過程において既に十分に意識的な演奏を行っており、本システムによる気付きの上乗せ効果が限定的であったこと、すなわち天井効果が生じていた可能性を示唆している。また、Control 群に関しては提示する音源が自分の演奏した音源しかなく、どの音源が自分の演奏であるかが明白なため、収束的な試行錯誤がしやすい点で、Control 群のほうが効果量が高くなったと考えられる。参考程度に提示した音源に対する好感度をピアノ経験年数：10 年～21 年のみで分析した結果を図 9.4 表 9.5 に示す。

まとめとして、仮説 1 の「通常のリフレクションよりも、提案手法の方が外部からの多様な刺激を受け取ることにより、新たな気づきが生じやすい」、仮説 2 の「提案手法を用いることで、表情付けの探索範囲を自身の経験に基づく範囲よりも広がり、多様な演奏方法を試みる可能性が高くなる」の両者とも認められなかった。

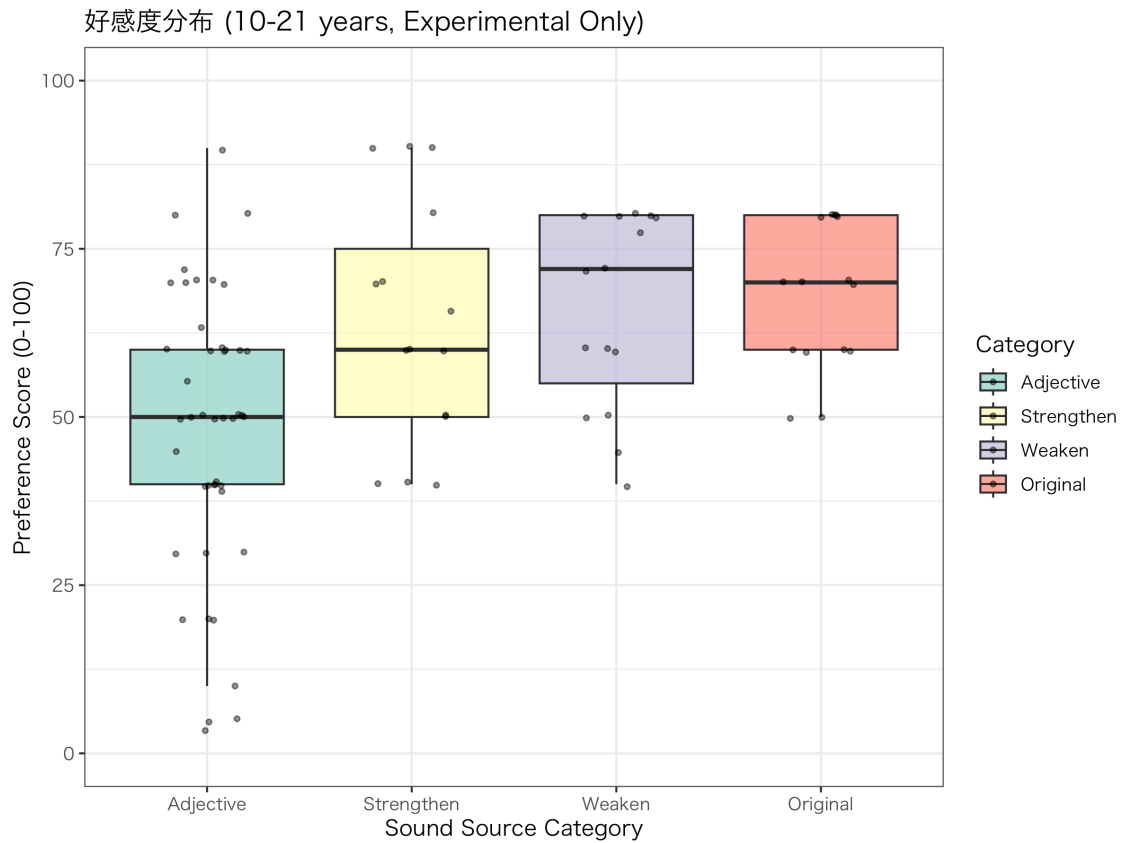


図 9.4 ピアノ経験年数：10 年～21 年の好感度結果

表 9.5 ピアノ経験年数：10 年～21 年の好感度結果

カテゴリー	平均	標準偏差	中央値	最小値	最大値
形容詞	47.93	20.83	50	3	90
強化	63.73	17.98	60	40	90
弱化	65.73	14.41	72	40	80
オリジナル	68.00	10.82	70	50	80

9.3.2 着目した音楽的要素

次に自由記述の新たな気づきを得た場合の「着目した音楽的要素」の分析（図 9.5）では、ピアノ経験年数：10 年～21 年でも両群の関心の向け方に明確な差異が確認された。Control 群では、Rhythm（タイミング）への言及が 0.25 を占め、演奏の正確性に関する反省が見られた。また、Control 群の中で Rhythm（タイミング）への言

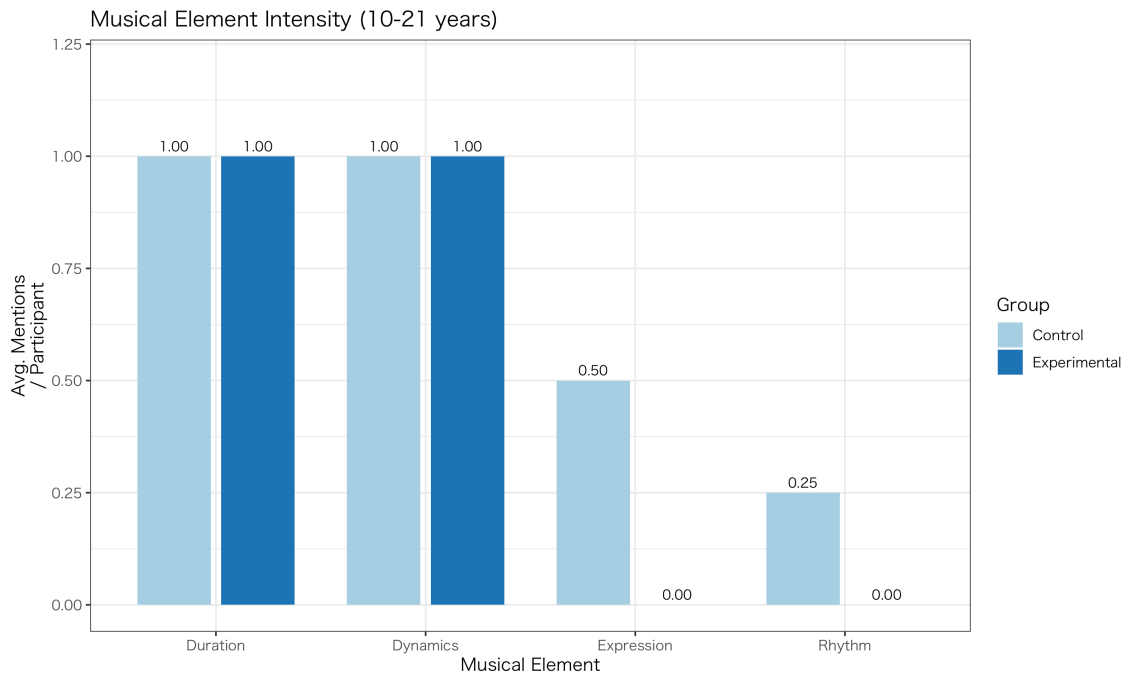


図 9.5 ピアノ経験年数：10 年～21 年における自由記述の分析結果（着目した音楽的要素）

及が占める割合は、そう高くなく、Dynamics や Expression が高いことからピアノ経験年数：半年～9 年に比べて、元々表現面に関して意識が高いことが伺える。しかし、Experimental 群では Rhythm（タイミング）への言及は 0.00 であることから、正確性に関する意識を抑制した傾向が示された。

これは、本システムの仕様が Rhythm（タイミング）を操作しなかったこと、また前節で述べたようにピアノ経験年数：10 年～21 年では元々意識的な演奏を行っており、天井効果の傾向がみえたことなどを踏まえると、変化を加えなかった Rhythm への意識は逸れたが、天井効果により、表情的側面への意識の高まり（新たな気づき）までは至る余地がなかったと考えられる。

まとめとして、仮説 3 の「通常のリフレクションでは、リズムのズレやミスタッチといった「演奏の正確性」に意識が集中しやすい傾向があるが提案手法を用いることで、演奏者は表現的側面に意識を向ける」という仮説に関しては、部分的に成立したといえる。

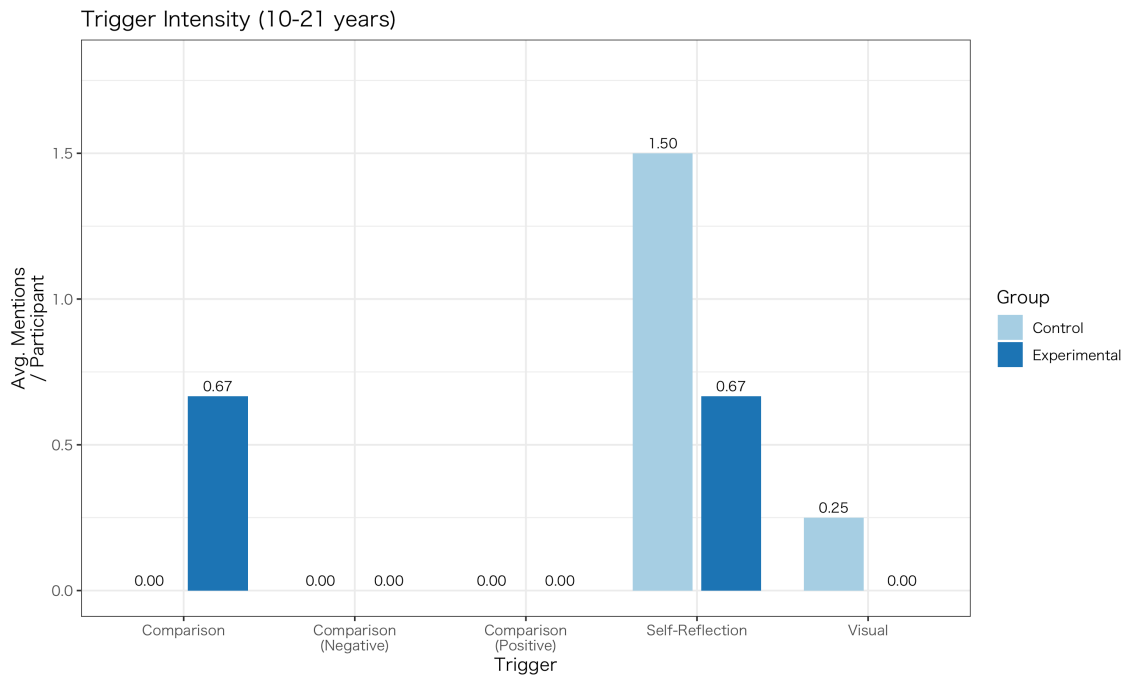


図 9.6 ピアノ経験年数：10 年～21 年における自由記述の分析結果（気づきの種類）

9.3.3 演奏イメージの確立

演奏イメージに関する質問項目 f6「提示された自分の演奏（を变形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、($r = -0.50$)と Experimental 群が Control 群を下回り、大程度の効果量が認められた。これは、提案システムの方が当初の演奏イメージがより維持されていた傾向が示されている。また、自由記述の分析では「Comparison(Negative)」に分類される反応が確認されなかった（図 9.6）。以上を踏まえると、ピアノ演奏経験が長いグループにおいては反面教師効果というよりも、元来の演奏スタイルに対する自信や、確立された解釈に基づくものであると推察される。

9.3.4 システムの使用感

システムの使用感に関する質問項目 f10, f16, f19 において、ピアノ経験年数：10 年～21 年では中程度以上の効果量が確認された。

質問項目 f10「このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進め

られると思う」(逆転項目) ($r = 0.42$) では, Experimental 群が Control 群を上回り, 中程度の効果量が認められた. この結果は, 熟達者が本システムを効率的な練習支援ツールとして評価したことを示している. これは, ピアノ演奏経験が多いグループは, 多様な経験を背景に, 自身の解釈と異なる音源を即座に棄却または活用することができ, 迷いなく練習を進めるためのツールとして本システムを利用できたと考えられる.

また, 質問項目 f16「このシステムでは, 自分が意図したとおりに操作できると感じた」($r = -0.33$) では, Experimental 群が Control 群を下回り, 中程度の効果量が認められた. さらに, 質問項目 f19「このシステムは, 全体として使いやすいシステムだと思う」($r = -0.42$) では, Experimental 群が Control 群を下回り, 中程度の効果量が認められた. これは, Control 群に比べて Experimental 群でシステムの使用感に関して意図通りに操作しやすいわけではなく, システム全体として使いやすいわけではないことを示している. しかし, 平均値を見ると f16=6.00, f19=6.33 であるため, 評価自体が低いわけではない. また, 9.3.3 項で述べたピアノ演奏経験: 10 年~21 年のグループにおいては当初の演奏イメージがより維持されていた傾向が示されていたことを踏まえると, 提示された音源が演奏イメージに影響を与えることができずに, 操作制約として一定の摩擦となっている可能性が推察される.

第 10 章

おわりに

本研究では、拡張リフレクションを提供するピアノ演奏の表情付け支援システム「Brownies in Piano」を開発した。提案システムの有効性を検証するため、ピアノ経験年数が半年～21 年の 17 名を対象に、拡張リフレクションを用いた実験群と通常のリフレクションを用いた統制群の比較実験を行った。その結果、3 つの仮説に関する検証結果に加え、当初の仮説には含まれていなかった効果、および経験年数による差異について以下の知見が得られた。

まず、表現に関する「気づき」について、仮説 1「通常のリフレクションよりも、提案手法の方が新たな気づきが生じやすい」は、全体として支持され、特にピアノ経験年数：半年～9 年においてより顕著に現れた。次に、演奏の多様化に関して、仮説 2「提案手法を用いることで表情付けの探索範囲が広がる」については、必ずしも他の演奏案を実際に試す行動には結びつかなかったため、完全には支持されなかった。しかし、ピアノ経験年数：半年～9 年において無意識的な演奏が抑制された点などを踏まえると、表情付けを探索しようとする意欲そのものは向上している可能性が示唆された。また、着目した音楽的要素に関して、仮説 3「通常のリフレクションでは演奏の正確性に意識が集中しやすいが、提案手法により表現的側面へと意識が向く」は支持された。統制群ではリズムのズレやミスタッチといった正確性への言及が多かったのに対し、実験群では音の長さといった表現的要素への関心が高まる傾向が見られた。これは、システムが提示する Duration の変形が、参加者の注意を表現的側面へと誘導した結果であると考えられる。

さらに仮説には挙げていなかったが、実験群では元の演奏イメージをより強く維持する傾向が確認された。この結果は、生成された不安定な変形音源が「反面教師」と

して機能し、「自分はどのように弾きたいのか」という境界を明確化することで、理想イメージを再確認する効果があった可能性が示唆された。経験年数による差異については、ピアノ経験年数：半年～9年において、新たな気づきや関心の変容といった効果が顕著に現れた。一方で、効率性の評価が低下した点については、新たな気づきによって意識的な検討が増え、認知的負荷が一時的に増大した結果である可能性が考えられる。ピアノ経験年数：10年～21年では、「気づき」に関しては天井効果が見られたものの、演奏の正確性、特にリズムへの過度な意識が抑制される傾向が確認された。

最後に、本研究の課題と今後の展望について述べる。第一に、音源生成精度の向上が挙げられる。好感度の低い音源に見られたリズムの不自然な揺らぎや突発的な大音量を改善し、生成の安定性を高める必要がある。これには、極端な値を制限するなど、の制約条件の導入が有効であると考えられる。一方で、反面教師としての効果を考慮すると、すべての生成音源を自然なものとするのではなく、生成の安定性と反面教師としての有効性とのバランスを踏まえた設計が求められる。第二に、音楽性の向上と新たな手癖形成の回避が挙げられる。プロピアニストからの指摘にもあるように、システムの利用方法によっては、音楽的理解を十分に深めることなく、別種の手癖が形成されてしまう可能性がある。このような事態を防ぐためには、制御パラメータや特徴量の拡張によって生成の音楽性を高度化することに加え、演奏者自身が自身の内的感覚に注意を向けながら表現を考えるよう促す仕組みが求められる。第三に、観察から実践への行動促進が挙げられる。現状では「違いを聴く」段階にとどまりやすいため、得られた気づきを実際の演奏へと反映させるためのインタラクション設計が今後の課題である。

第 11 章

謝辞

本研究を進めるにあたり，多くの方々から貴重なご指導とご助言を賜りました．ここに感謝の意を表します．まず，本研究を通して終始ご指導いただいた西本一志教授には，研究の方向性から論文執筆に至るまで，多くのご助言をいただき，感謝申し上げます．また，研究計画書および研究計画の方向性に関して，副指導教員の金井秀明准教授，ならびに副テーマ指導教員の中分遥准教授には，貴重なご助言を賜りました．ここに御礼申し上げます．さらに，日頃より研究に関する議論やご意見をいただいた西本研究室の皆様には，多くの示唆をいただきました．この場を借りて御礼申し上げます．また，本研究の実験にご協力いただいた実験参加者の皆様には，お忙しい中，調査にご協力いただき，誠にありがとうございました．最後に，これまで私を支えてくださった家族ならびに関係者の皆様に，感謝申し上げます．

参考文献

- [1] 佳成竹川, 努寺田, 昌彦堀本. リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装. 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1383–1392, 04 2013.
- [2] James Kaufman and Ronald Beghetto. Beyond big and little: The four c model of creativity. *Review of General Psychology - REV GEN PSYCHOL*, Vol. 13, , 03 2009.
- [3] Ruisheng Wu. Analysis on the emotion expressing technique in piano performance. In *Proceedings of the 6th International Conference on Education, Language, Art and Inter-cultural Communication (ICELAIC 2019)*, pp. 609–612. Atlantis Press, 2020.
- [4] 藤本佳子. 問題解決としての音楽的思考におけるリフレクションの機能. 学校音楽教育研究, Vol. 23, pp. 1–12, 2019.
- [5] Donald A. Schön. *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books, 1983.
- [6] 佳成竹川, Takegawa Yoshinari. 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築. 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917–927, 02 2011.
- [7] 田中功一, 小倉隆一郎, 鈴木泰山, 辻靖彦. 保育者養成課程のピアノ初心者を対象とした演奏見える化ツールの活用実践. 電子キーボード音楽研究, Vol. 10, pp. 3–12, 2015.
- [8] 健太郎上田, 佳成竹川, 圭二平田, Ueda Kentaro, Takegawa Yoshinari, Hirata Keiji. ピアノ練習状況の可視化および気づきのアノテーション機能を持つ学習支援システムの設計と実装. 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 12, pp. 2617–2625, 12 2016.
- [9] Weiyan Li. Analysis of piano performance characteristics by deep learning and artificial intelligence and its application in piano teaching. *Frontiers in*

Psychology, Vol. 12, , 2022.

- [10] Katerina Labrou, Cagri Hakan Zaman, Arda Turkeyasar, and Randall Davis. Following the master’ s hands: Capturing piano performances for mixed reality piano learning applications. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA ’23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [11] 高橋範行, 大串健吾. ピアノ演奏における熟達者と非熟達者の演奏表現の比較. 音楽教育学, Vol. 34, No. 1, pp. 1–11, 2004.
- [12] 純一渡会. ピアノの演奏技術向上に向けた動画教材の活用の試み – 「表現技術 I (音楽)」での実践より – . 教職研究, Vol. 2019, pp. 163–176, 03 2020.
- [13] Henrique Meissner, Renee Timmers, and Stephanie E Pitts. ‘just notes’ : Young musicians’ perspectives on learning expressive performance. *Research Studies in Music Education*, Vol. 43, No. 3, pp. 451–464, 2021.
- [14] 旭楊, 智也小林, 加奈代小倉, 一志西本. 集合的に収集された楽曲関連画像の演奏表情構築への影響. 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-HCI-147, No. 27, pp. 1–8, 03 2012.
- [15] 千佳大島, 一志西本, 洋平宮川, 隆史白崎. 音楽表情を担う要素と音高の分割入力による容易な midi シーケンスデータ作成システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 7, pp. 1778–1790, 07 2003.
- [16] 未央鈴木. 言葉による印象を反映した演奏表情の生成とその音楽表現学習支援への応用. 釧路工業高等専門学校紀要 = Research reports Kushiro National College of Technology, No. 48, pp. 105–108, 01 2015.
- [17] Eva Georgii-Hemming, Karin Johansson, and Nadia Moberg. Reflection in higher music education : What, why, wherefore? *Music Education Research*, Vol. 22, No. 3, pp. 245–256, 2020.
- [18] Monica Esslin-Peard, Tony Shorrocks, and Graham F. Welch. Exploring the role of reflection in musical learning of performance undergraduates: Implications for teaching and learning, 2016. Arts and Humanities in Higher Education.
- [19] 竜斉川口, 晴弘片寄. Gpt-4 による対話的音楽生成の可能性と課題. 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2024, No. 0, pp. 1O4OS29a02–1O4OS29a02, 2024.
- [20] 刀祢賢志, 北原鉄朗. Gpt-4 におけるメロディ生成能力の検証. インタラクシオン

2025 論文集, pp. 771–776, 2025.

- [21] 和彦木下. 生成 ai は音楽科の創作活動をどう変えるか—chatgpt・creevo を用いた大学での創作実践を通して—. 宮城教育大学教職大学院紀要, No. 5, pp. 23–36, 03 2024.
- [22] 東海林瑞江, 椎塚久雄. 感性形容詞による自動作曲システム. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集, Vol. 23, pp. 30–30, 2007.
- [23] 小林重順. カラーシステム. 日本カラーデザイン研究所, 1999.
- [24] Fred Davis and Fred Davis. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, Vol. 13, pp. 319–, 09 1989.