

卒業論文

2009 年度 (平成 21 年度)

SF-KEY :
鍵盤楽器演奏者用譜めぐりシステム

指導教員

慶應義塾大学 環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

重近 範行

Rodney Van Meter

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

慶應義塾大学 環境情報学部

大日野 舞

SF-KEY：鍵盤楽器演奏者用譜めくりシステム

論文要旨

鍵盤楽器には、ピアノやシンセサイザーを代表として、多くの奏者が存在する。楽器演奏をより広め、間口を広くすることは我々の生活をより豊かにし、充実したものにしていく助けとなる。近年、鍵盤楽器はシンセサイザーを中心に MIDI が普及し、計算機を利用したシステムが多く提案されている。具体的な支援の内容としては、楽譜の自動譜めくり、演奏間違い箇所の訂正やアドバイスといったものが考えられる。しかし、既存研究では、楽器演奏初級者を支援するシステムが多く、演奏ミスのアドバイス等が主であるため、楽器演奏上級者の支援には必要のないものが多い。また、入力方法を電子楽器等に限定するものも多く、普段使いなれた楽器を使用できないことは、楽器奏者にとって大きな負担である。

楽器演奏上級者を支援する情報システムでも、前述と同じく楽器奏者が演奏する曲の演奏位置推定機構が重要となる。既存研究ではピッチ解析や音圧による自動採譜の研究が盛んであるが、これらは最終的に楽譜に起こすことを目的としているため、音声解析に高い精度を要求する。

楽器演奏初級者に多くみられる繰り返し練習では演奏ミスの訂正やアドバイスが重要となるため、正確なピッチ取得が必須事項である。対して、発表練習では演奏停止の回数は繰り返し練習に比べて極めて少ない。発表練習での問題の多くは楽譜を覚えるために通し演奏をする際の譜めくりにある。まず、鍵盤楽器は両手での演奏が多く、譜めくりの際に鍵盤から手を離すことは煩わしい。また、練習時や伴奏時につける助手は多くの時間を演奏者の隣で過ごすことになり、時間的な拘束を要求される。

本稿では、鍵盤楽器奏者上級者で、通し演奏や伴奏者を支援するための、自動譜めくりの特化したシステム SF-KEY (Score Following For Keyboard Players) を提案する。本システムは演奏に合わせて楽譜を遷移させることを目的としたシステムであり、鍵盤楽器奏者の発表練習に対して有用なサービスを提供することが実現可能になる。SF-KEY は電子楽器のような特別な楽器を用いず、生音源からの入力に対応する。これにより、演奏者側に専用の楽器を使用してもらう負担無しにサービスを提供することができる。また考察に基づいて設計・実装を行い、最後に評価を行う。評価は定量的評価として、音数解析機能、速度対応機能、システム全体の評価を行う。また、定性的評価として、既存研究と SF-KEY の比較、ORF にて実施したアンケートについてまとめる。本研究は、既存のシステムと比べ、自動譜めくりの特化したことで、ピッチ解析を行わずに演奏位置を特定できる点で有益である。

キーワード：

1 音楽 2 楽譜 3 自動化 4 音声認識 5 信号処理

慶應義塾大学 環境情報学部環境情報学科
大日野 舞

Abstract of Bachelor 's Thesis

Academic Year 2008

SF-KEY:Score Following For Keyboard Players

Summary

Keyboard instruments such as the piano and the synthesizer are played by various users around the world. Spreading the act of music performance done by such instruments would help us achieve satisfaction, and improve our quality of life. In the recent years, MIDI is widely used as a form of musical data representation, and computer based systems for aiding musical performances is a hot topic of research. Among the various researches, automation of flipping musical scores, and correction of incorrectly played scores are a common field of research. However, traditional researches are built among the concept of aiding beginner keyboard players by advising incorrectly played notes, which does not help in aiding expert keyboard players. The music input methodology is also strictly correspondent with each individual playing device, therefore becoming a stress for players who wish to use her familiar instrument.

Beginner players tend to routinely play a single score, which requires miss correction and playing advices. Therefore sound analysis becomes a critical factor among beginner player aiding. On the other hand, expert players focus on memorizing a specific score in preparation for her recital. Because one score often spans across several pages, contrary to beginner player aiding, score flipping the most important factor among aiding expert players. Playing keyboard instruments requires both hands; therefore, it is stressful for the player to disengage in playing to only flip one page of the score. Traditional score flipping also requires a personnel sitting next to the player only present for flipping scores, which could be distracting to the player.

In this thesis, we present a system, Score Following for Keyboard Players (SF-KEY), which is an keyboard instrument player aiding system targeted for expert keyboard players. SF-KEY focuses on tracking the current playing location of the keyboard player, and scroll the score based on her current playing location. SF-KEY does not require the use of electronic instruments for sound input and could adapt to raw music signal input among sound analysis. We have designed and implemented SF-KEY among our insights, and evaluated SF-KEY by expert keyboard players playing the piano using SF-KEY. SF-KEY is beneficial compared to traditional aiding systems from the point that it does not require heavy load pitch analysis, and have focused purely on score flipping.

Keyword :

1 Music 2 Score 3 Automation 4 Sound Recognition 5 Signal Processing

Mai Ohino
Faculty of Environment and Information Studies
Keio University

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究動機	2
1.2 研究目的	2
1.3 本論文の構成	3
第 2 章 背景	4
2.1 楽器奏者支援システムの普及と本研究の目的	5
2.2 演奏者支援システムの少なさ	7
2.2.1 練習者と演奏者の定義	7
2.2.2 練習者と演奏者の違い	8
2.2.3 演奏者支援システムの提供	10
2.3 自動譜めくりの必要性	10
2.3.1 譜めくりにおける問題	10
2.3.2 譜めくりが必要と考えられる者	12
2.4 本章のまとめ	12
第 3 章 既存研究との比較	13
3.1 既存研究と自動譜めくり	14
3.1.1 自動採譜としてのアプローチ	14
3.1.2 半自動譜めくり機	15
3.2 既存研究と SF-KEY の比較	16
3.2.1 既存の支援システム	16
3.2.2 既存研究	16
3.2.3 SF-KEY の利点	17
3.3 本章のまとめ	18
第 4 章 機能要件	19
4.1 自動譜めくりへの要求	20
4.1.1 タイミング	20
4.1.2 環境を特定しない	20
4.1.3 意識させないこと	20
4.2 システムの機能要件	21
4.2.1 譜めくりの自動化	21
4.2.2 ユーザに受け入れられやすいシステム	21
4.3 本章のまとめ	22

第 5 章 SF-KEY の設計	23
5.1 SF-KEY の概要	24
5.2 想定環境	24
5.3 解析手法	24
5.3.1 キャリブレーションフェーズ	25
5.3.2 継続解析フェーズ	25
5.4 モジュールの設計	26
5.4.1 モジュール間のデータの送受信	26
5.4.2 音声入力モジュール	26
5.4.3 マッチングモジュール	28
5.4.4 楽譜表示モジュール	28
5.5 本章のまとめ	29
第 6 章 SF-KEY の実装	30
6.1 実装環境	31
6.1.1 各モジュールの実装	31
6.2 本章のまとめ	35
第 7 章 評価	36
7.1 定量的評価	37
7.1.1 音数解析部の評価	37
7.1.2 速度対応の評価	38
7.1.3 システム全体の評価	40
7.2 定性的評価	41
7.2.1 既存研究との比較	41
7.2.2 SF-KEY の基本機能の定性的評価	42
7.3 本章のまとめ	44
第 8 章 結論	45
8.1 本論文のまとめ	46
8.2 今後の課題	46

目 次

2.1	PORTATONE(ポータトーン)	5
2.2	Portable Grand(ポータブルグランド)	5
2.3	一般小学生と非行小学生の習いごと比較からみる「ピアノなどの音楽」 の増加傾向	6
2.4	「自動譜めくりの必要性を感じるか」についてのアンケート結果 (ORF2009[14] にて実施)	11
3.1	半自動譜めくり機「フメクール」	15
3.2	画面タッチで譜めくりを行うタッチパネル楽譜表示ディスプレイ	15
3.3	既存の演奏支援システムと SF-KEY の対象者の違い	16
3.4	既存研究と SF-KEY の比較	17
4.1	自動譜めくりシステムの流れ	21
5.1	スペクトラム表示で見る音数のカウント手法	25
5.2	スペクトラム表示で見る音数解析と小節数のマッピング	26
5.3	SF-KEY のシステム構成	27
5.4	サーバ・クライアント方式を用いたシステム構成	27
6.1	モジュール構成	32
6.2	実装に使用した楽譜 (1 枚目)	33
6.3	実装に使用した楽譜 (2 枚目)	34
6.4	演奏位置表示の様子	35
7.1	音数解析評価実験結果のグラフ表示	37
7.2	速度対応評価結果	38
7.3	速度対応実験結果の平均のグラフ表示	39
7.4	スペクトラム表示にみる低音部の波長のまとまり	39
7.5	SF-KEY の評価実験結果のグラフ表示	41
7.6	「鍵盤楽器演奏者を支援することが可能か」についてのアンケート結果 (ORF2009 にて実施)	43
7.7	「譜めくりのタイミングは丁度よいと感じたか」についてのアンケート 結果 (ORF2009 にて実施)	44

表 目 次

2.1	練習者と演奏者の演奏特徴	8
6.1	実装に使用する PC の概要	31
7.1	音数解析の結果	37
7.2	速度対応評価結果	38
7.3	SF-KEY の評価実験結果	40
7.4	既存研究との比較	42

第1章 序論

本章では，研究動機について述べ，本研究の目的を提示する．
後半では論文全体の構成についてまとめる．

1.1 研究動機

音楽は我々を楽しませ、そして生活を豊かにしてくれるものである。そして音楽は我々に音楽の創造への興味を持たせる。我々は作曲、演奏、鑑賞の過程のどれかには必ず関わっていることだろう。中でも創造と鑑賞の両方を体感できる演奏の過程は大変魅力的であり、実際、老若男女問わず多くの楽器奏者が存在する。中でも鍵盤楽器には、ピアノやシンセサイザーを代表として、多くの奏者が存在する。楽器演奏をより広め、間口を広くすることは我々の生活をより豊かにし、充実したものにしていける助けとなる。近年、鍵盤楽器はシンセサイザーを中心に MIDI が普及し、計算機を利用したシステムが多く提案されている。Dannenberg[1] や Puckette[2] の研究は、自動採譜としての楽器奏者支援の始まりとも言える。具体的な支援の内容としては、楽譜の自動譜めくり、演奏間違い箇所の訂正やアドバイスといったものが考えられる。しかし、既存研究は楽譜に対して習熟度の低い練習者を支援するシステムが多く、楽譜に対して習熟度の高い、発表を目前に控えたような演奏者を支援するシステムは少ない。

こうした楽器奏者支援システムでは、演奏者が演奏する曲の演奏位置推定機構が重要となる。既存研究ではピッチ解析や音圧による自動採譜の研究が盛んであるが、これらは最終的に楽譜に起こすことを目的としているため、音声解析に高い精度を要求する。

楽譜に対して習熟度の低い練習者は繰り返し練習を多く行う。繰り返し練習では演奏ミスの訂正やアドバイスが重要となるため、正確なピッチ取得が必須事項と言える。対して、楽譜に対して習熟度の高い演奏者は、演奏停止の回数が繰り返し練習に比べて極めて少ない。発表練習での問題の多くは楽譜を覚えるために通し演奏をする際の譜めくりにある。まず、鍵盤楽器は両手での演奏が多く、譜めくりの際に楽器から手を離すことは煩わしく感じる。また、練習時や伴奏時につける助手は多くの時間を演奏者の隣で過ごすことになり、時間的な拘束を要求される。

本稿では、鍵盤楽器演奏者の最たる問題である手動の譜めくりを解決するために、自動譜めくりシステムの提案を行う。

1.2 研究目的

本研究では鍵盤楽器演奏者の環境改善を目的としている。特に譜めくりにおける演奏の停止、演奏支援者(譜めくりのための助手)との連携等の、譜めくりによって発生する問題を解決することが目的である。環境改善のために、本論文では自動譜めくりの特化したシステム SF-KEY(Score Following for Keyboard players) を提案する。本システムは演奏に合わせて楽譜を遷移させることを目的としたシステムであり、鍵盤楽器奏者の発表練習に対して有用なサービスを提供することが実現可能になる。SF-KEY は電子楽器のような特別な楽器を用いず、生音源からの入力に対応する。これにより、演奏者側に MIDI 楽器等電子的な専用の楽器を使用してもらう負担無しにサービスを提供することができる。

1.3 本論文の構成

本論文は、第 2 章において楽器奏者支援システムの普及と、本研究の目的と概要について述べる。第 3 章では、本研究と既存研究を比較し、本研究の有益な部分を述べる。第 4 章では、本研究の機能要件を、第 5 章から第 6 章では、SF-KEY の設計と実装について述べる。第 7 章では SF-KEY の定量的評価と、既存研究と比較した定性的評価を行う。最後に、本論文のまとめと、本研究の課題と展望について述べ、まとめる。

第2章 背景

本章では、背景である楽器奏者支援システムの普及について述べる．後半では本研究で重要な区別である練習者と演奏者の定義を行い，二者の特徴から，本研究の目的と概要を述べる．

2.1 楽器奏者支援システムの普及と本研究の目的

近年、計算機の普及により、作曲、演奏、鑑賞の、どの音楽活動においても計算機が導入されるようになった。作曲から観賞まで一貫して行うことのできるシンセサイザーは現代の音楽活動において必要不可欠とも言える。

本論文は前述した音楽活動の中でも演奏の過程に焦点を当てる。

演奏に必要なものとして楽器の選出がある。楽器自体の電子化として、エレクトーン、電子ピアノ、シンセサイザーなどが挙げられる。これらの楽器を利用した音楽活動は幅広く、支援システムも多い。キーボードの鍵盤を光らせることで、次の演奏音を指示する支援システムや、演奏者のペースに合わせて伴奏のスピードを変化させる支援システム等がある。これらはキーボードや電子ピアノに付随したシステムで、かなり普及していると言える。図 2.1 と図 2.2 はこれらのシステムを搭載したキーボードと電子ピアノである。



図 2.1: PORTATONE(ポータトーン)



図 2.2: Portable Grand(ポータブルグランド)

楽器自体にシステムを組み込ませるだけでなく、楽器とシステムが分かれて動作するものも多く研究がなされている。次節で詳しく述べる。

しかし、これらの支援システムの多くは、楽器演奏初級者向けのシステムが多く、ある程度練習を重ねた楽器演奏上級者向けのシステムは少ないと考えられる。

前述のシステムは楽器販売店等でも目にする一般的なシステムだが、これらは明らかに楽器演奏初級者向けのシステムである。実際に、小学生の習いごとでは「ピアノなどの音楽」が上位に上がり [11]、それはまた、上昇傾向にあるように、楽器演奏、特にピアノを練習する者の多くは子供である。図 2.3 で、「ピアノなどの音楽」を習い事とする子供の多さを示す。図 2.3 は内閣府の青少年育成ページ [11] から引用した文献である。実際に高校や大学で音楽を勉強する者は、全体数から見たら極わずかで、さらにプロとして活動する者はほんの一握りである。

だからこそ、初級者向けシステムが多くなるのは当然ともいえるが、演奏上級者にも演奏環境において何も問題がないわけではない。

実際に高校や大学で音楽を勉強する者は、全体数から見たら極わずかで、さらにプロとして活動する者はほんの一握りである。

だからこそ、初級者向けシステムが多くなるのは当然ともいえるが、演奏上級者にも演奏環境において全く問題がないわけではない。

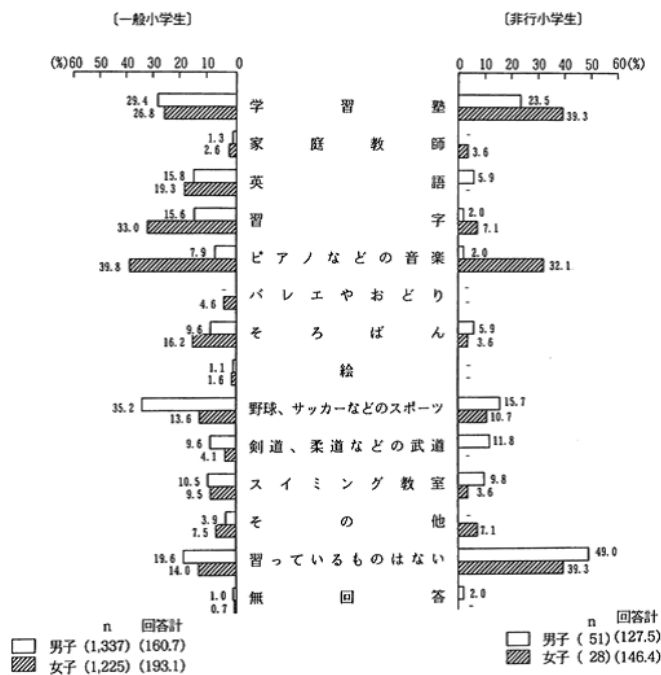


図 2.3: 一般小学生と非行小学生の習いごと比較からみる「ピアノなどの音楽」の増加傾向

また、別の視点として、電子化された楽器を使用することに抵抗がある者も多くあると考えられる。音楽活動への計算機導入(エレクトーン等含む)が普及する一方で、その対局であるピアノを始める者もいるというのは、電子化されていない楽器だけが持つ魅力があるとも言える。

そこで、電子化されていない楽器の楽器奏者支援システムとしてのアプローチも様々な研究がなされている。

竹川らの研究するマーカー認識手法を用いた支援システム[4]は、音楽とは全く違う視点から演奏位置解析による演奏支援を行う手法である。また、三浦らの研究であるオーケストラの全体の音圧を解析し演奏位置を特定する手法[5]は、音圧解析に重点を置いた演奏位置解析手法である。

どちらも演奏位置解析手法であるが、既存研究全体から見た演奏位置特定手法はやはり自動採譜としてのアプローチが多い。音楽を聞きとって楽譜に起こす一連の流れを自動で行う技術が自動採譜であるが、実際の楽音を使うものと、MIDI等ピッチ入力手法が安定している(もしくは精度の高さを要求する)手法と、大きく分かれている。

このように計算機は、楽器自体への参入と、楽器とは別な媒体での支援システムのように、様々な面において音楽活動に導入されている。

本節では、システム対象者とユーザの使用楽器の両方の視点から支援システム数について言及した。前述からわかるとおり、現在は楽器演奏上級者向けの、非電子化楽器を対象とした支援システム数が少ないと感じられる。本研究では、楽器演奏上級者向けの非電子化楽器を対象とした演奏環境改善を目的とする。

2.2 演奏者支援システムの少なさ

本節では、前節で述べた楽器奏者支援システムが、練習者(楽譜に対して習熟度の低い楽器奏者)に対して、より多く研究されており、演奏者(楽譜に対して習熟度の高い楽器奏者)に対しては、支援システム数が少ないということを述べる。また、練習者と演奏者についての言葉の定義についても述べる。

2.2.1 練習者と演奏者の定義

ここでは本論文で使われる言葉を定義する。本論文では、楽譜に対しての習熟度別に「練習者」と「演奏者」という言葉を区別して扱う。「練習者」とは「楽譜に対して習熟度の高い楽器奏者」のことを指し、「演奏者」とは「楽譜に対して習熟度の高い楽器奏者」のことを指す。それとは別に、楽器を弾く者全体をさす場合、すなわち広義での楽器奏者は「楽器奏者」という言葉を使う。

次に、練習者と演奏者の区別について述べる。前述したとおり、練習者と演奏者は楽譜に対しての習熟度の違いで区別する。楽譜に対しての習熟度で区別した理由は次節内の「譜めくりを必要とする者」にて詳しく述べる。楽譜に対しての習熟度とは、楽譜をどれだけ覚えているかということである。ここについての「覚える」は習得する、意識する、認識するという意味での「覚える」である。

新しい曲を弾き始める際、楽譜内でどのように音符が配置されているか、楽器奏者はまだ全く認識していない。だからこそ楽譜を読み(以下、譜読みと呼ぶ)、脳で認識し、手足を動かすために練習を行うのである。この段階での楽器奏者を「練習者」と呼ぶ。練習者は楽譜の1小節や1段等、短いところを何度も弾きなおしたりすることが多い。もちろん、楽器演奏上級者になれば、初見として、練習初期から楽譜を通して演奏を行うこともあるが、それは上級者としてのテクニックを持って楽譜全体を見通すスキルを持ち合わせていることから、練習者ではなく、後述する「演奏者」に分類する。ではどこまでを練習者とするかであるが、本論文においては、通し演奏を行うか否かによって分類することにする。通し演奏をボーダーラインとする理由は、次節内の「譜めくりを必要とする者」にて詳しく述べる。すなわち、例をあげるならば、譜読みに多くの時間をかけていたり、楽譜を一通り弾けるようになっていても、強弱記号決定等のために数小節を何度も弾きなおすような場合は、練習者としての分類になる。

練習者と対極に位置する者を演奏者と呼ぶ。演奏者と呼ぶのは、楽譜をある程度弾きこなしている楽器奏者のことである。楽譜を一通り覚えた楽器奏者は、次のステップとして「憶える」作業に入る。この憶える作業とは音楽用語では暗譜する、といい、楽譜を見ないで弾くこと、またそのための練習のことをいう。発表会や演奏会では、楽器演奏時、主に楽譜を見ないで演奏するため、楽器奏者は練習の段階において、楽譜を憶えておく必要がある。もちろん、クラシックの演奏では1音たりとも奏者の自由で変えることは許されていない(というのが主流な)ため、楽器奏者は暗譜のための時間が必要とされる。クラシックに限らず、暗譜のための練習をしているもの、そこまでのステップには至っていないくとも、楽譜を通して練習を行っているものを本論文では演奏者と呼ぶ。

2.2.2 練習者と演奏者の違い

前項のように楽器奏者の習熟度を楽譜に対しての認識度合で見た場合、練習者と演奏者では違った特徴がある。ここでは、二者の練習上の特徴と、それぞれの要望の違いについて言及する。また、二者の違いから、本研究の焦点となる部分を示す。

本研究における練習者と演奏者の定義において、楽譜に対しての習熟度を基準とした。よって、練習者と演奏者の特徴も主に楽譜に対しての視点から述べる。

練習者と演奏者の演奏特徴の違い

まず練習者について述べる。練習者は楽譜を見るだけでは演奏を最後まで継続出来ない者もしくはまだ全く見たことのない者、とした。演奏を最後まで続けられないということは、すなわち演奏中にミスが発生するという事と同義である。同じ箇所を何度も繰り返すことが多く、楽譜上での演奏位置が進む速度は遅い。楽譜の全体を認識するためには、一定以上のスキルもしくはある程度の練習時間が必要なため、必然的に短い範囲の繰り返し練習が行われ、徐々にその範囲が広げられていく。

まとめると、演奏者の特徴は以下の2点である。

- ミスが多い
- 短い範囲を繰り返し練習する (すなわち演奏範囲が狭い)

次に、演奏者の演奏特徴について述べる。演奏者は楽譜を見るだけで最後まで演奏を継続できる者、もしくは初見で最後まで演奏することができる者、とした。演奏を最後まで続けられるということは、すなわち演奏中にミスがほぼ発生しないとも言える。この段階の奏者は、暗譜するための練習、もしくは他楽器等の伴奏者が主であると考えられる。よって、楽譜上での演奏位置はほぼ一定の速度で進む。楽譜の全体像はすでに認識しているので、通し演奏が多くなる。

まとめると、演奏者の特徴は以下の2点である。

- ミスが少ない
- 通し演奏が多い (すなわち演奏範囲が広い)

最後に、二者の演奏特徴を表 2.1 にまとめる。

表 2.1: 練習者と演奏者の演奏特徴

	練習者	演奏者
ミスの量	多い	少ない
演奏範囲	多い	少ない
演奏時間	短い	長い

練習者と演奏者の要望の違い

ここでは、前項の二者の演奏特徴の違いを受けて、それぞれの要望の違いについて述べる。

前項で、練習者はミスが多く、短い範囲を繰り返し演奏するという特徴があることを述べた。その特徴を受けて、練習者の支援内容として主に以下の3つが考えられる。

1. 演奏停止場所の指摘
2. ピッチの正誤判定
3. 同範囲の楽譜を繰り返し表示

まず、1項目目であるがミスを減らすためには、やはりそのミスした箇所を指摘するアドバイスをするのが一番である。指摘された場所を奏者が再確認することで、上達度があがる。

1項目目と2項目目共に、ミスについてであるが、ミスの種類には次の音がわからないなどなんらかの理由による演奏停止や、謝ったピッチによる演奏などが挙げられる。それらから、前述のとおり演奏停止場所の指摘やピッチの正誤判定を挙げた。

また、前項で、練習者の演奏の特徴として、楽譜の同じ箇所を何度も演奏する、と述べた。もちろん、奏者は楽譜を見て練習を行っているのだから、練習箇所の繰り返し表示を自動で行うものはより環境改善に繋がると考えられる。

練習者と同様に、前項で、演奏者はミスが少なく、通し演奏の回数が多いという特徴があることを述べた。上記の特徴から、主に以下の3つの支援内容が考えられる。

1. 演奏停止場所の指摘
2. 演奏の評価
3. 楽譜の自動表示

1項目目は練習者の支援内容と同様であるが、注意すべき点がある。練習者よりも、演奏者の演奏停止場所指摘要求は高いということである。練習者は短い範囲を繰り返し練習することからも伺えるとおり、演奏停止が頻繁に発生する。対して、演奏者は通し演奏が行えるほどの練習を行った後であるか、もしくは同程度の演奏技術を持っているため、演奏停止頻度は、練習者に比べて極端に少ない。よって、演奏停止場所の指摘は、より重要であると考えられる。

次に演奏の評価である。これは演奏全体に対しての評価である。主に演奏表現として、作曲者の意図を汲んで演奏できたか、情景描写は適切であったか、というものである。しかし、これについては、奏者と評価者について差が発生することはもちろん、どの評価が正しいのか決定することができないため、支援するのも困難であると考えられる。

最後に楽譜の自動表示であるが、これは通し演奏支援には最重要であると考えられる。通し演奏を行う際、数ページに渡る楽譜を用いて練習を行うと、必ず楽譜をめくる作業(以下「譜めくり」と呼ぶ)が発生する。これは楽器奏者にとって大変煩わしい作業である。譜めくりの問題については次節で詳しく述べる。この譜めくりを自動化することは通し演奏支援としては必須事項とも言える。

まとめると、練習者と演奏者では支援内容にも大きく差が出ると考えられる、ということが言える。また、その内容として、練習者は主に演奏ミスについてのアドバイスが演奏上達に重要であるのに対し、演奏者は演奏に対するアドバイスよりも、演奏中の余計な作業の自動化が必要であると言える。

2.2.3 演奏者支援システムの提供

前節で、既存研究の紹介から、初級者支援システムが多く、上級者支援システムが少ないということを述べた。同時に、自動採譜としてのアプローチがほとんどであり、MIDI 等、電子楽器の利用が前提となる研究が多いことも述べた。

確かに、楽器奏者の多くが年齢の低い子供が多いことを考えると、初級者支援システムが多いのは当然であるといえる。しかし、上級者支援システムが無用ではないことは、前項の「練習者と演奏者の要望の違い」で述べたとおりである。

本研究では、その要求の違いと、上級者支援システムの少なさを受けて、どちらかという上級者と言える「演奏者」に対して、楽譜の自動表示による環境改善を行うことを目的と定める。これには結果として自動演奏位置解析が必要となる。けれども、位置解析により演奏停止箇所の指摘も行うことができる。

前項で演奏の評価も問題として挙げたが、評価方法が奏者と評価者によって決定するのが難しいことから、今回は環境改善の目的には含まない。

また、近年、確かに音声解析の精度は上がってきているが、処理の重さなど問題も残っている。高精度のピッチ解析が必要なシステムとしてではなく、普段利用している楽器と、普段利用している PC を使って、ユーザにできるだけ負担をかけないシステムを提供したいというのが本研究のもう一つの目的である。

以上より、本研究では「演奏者」向けのシステムで、かつ、ユーザにできるだけ負担をかけないシステムを目指す。要件定義については 4 章でさらに詳しく述べる。また、要件定義に向けて、譜めくりが必要となる対象者について、次節でさらに詳しく述べる。

2.3 自動譜めくりの必要性

本節では譜めくりにおける問題を、1 人で演奏する場合と助手 (譜めくりをする人) 有りで演奏する場合のそれぞれの視点で述べる。また、譜めくりが必要とされる者、すなわち本研究の対象について述べる。

2.3.1 譜めくりにおける問題

本項では譜めくりにおける問題点を明らかにする。譜めくりが発生する時を、1 人で演奏する場合と助手有りの場合の両方の視点で述べ、譜めくりの必要性について言及する。

ソロ演奏時における問題点

数ページにわたった楽譜を使って、1 人で楽器演奏を行う際、譜めくりは楽器奏者が行うことになる。もちろん、楽器演奏を行いながら、譜めくりを行うことが要求されるため、その難易度は非常に高い。譜めくり位置の数小節前にある休符 (又は片手が演奏停止可能場所) で素早く譜めくりを行うか、譜めくり位置の数小節後まで先に記憶し、数小節後に素早く譜めくりを行うかである。どちらにせよ、急ぐ必要があり、仮に、速度の遅い演奏曲であったとしても、譜めくりの意識は持っていなければならない。では、楽譜を憶えてしまえばいいのではないか、というわけだが、時間の長い

演奏曲であれば、その憶える作業が大変である。だからこそ、練習者と演奏者の区別を行ったのである。楽器奏者にとって譜めくりは、大変煩わしいものである。

表 2.4 は ORF で行ったアンケートである。自動譜めくり装置の必要性について質問した。

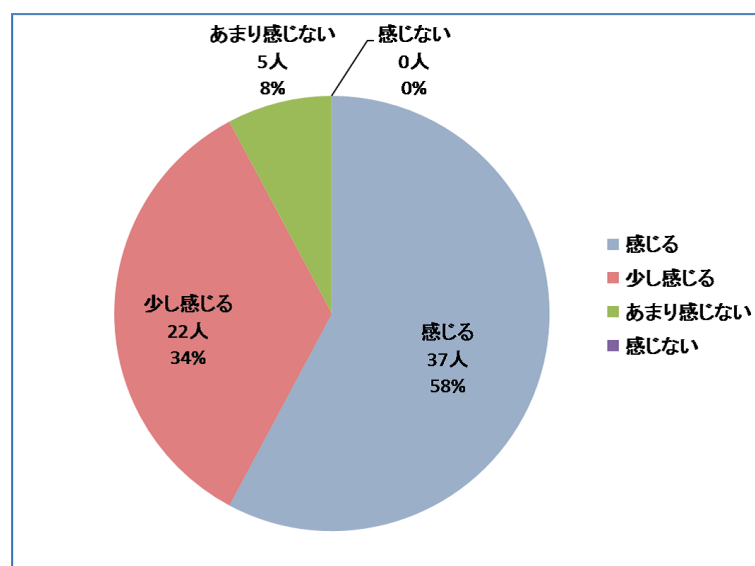


図 2.4: 「自動譜めくりの必要性を感じるか」についてのアンケート結果（ORF2009[14]にて実施）

アンケートからは、楽器演奏経験者だけでなく、楽器演奏未経験者からも譜めくりの煩わしさを感じるという結果が得られた。

それは単純に「譜めくり時に楽器から手を離さなければならない」ということから、既に煩わしいと感じられるということだと言える。楽器から手を離すということは、演奏停止とほぼ同義であり、「譜めくりをしなければならない」という意識を持つのも、純粋な演奏には不要なものであると考えられる。

助手有り時における問題点

譜めくりの煩わしさは前項でも述べたが、譜めくりをするための助手をつければ問題ないと言うわけでもない。実際、他楽器がメインである演奏会の伴奏等で譜めくりの助手をつけたピアノ伴奏者はよく目にするところである。しかし、その助手であっても、「助手に譜めくりのタイミングを覚えてもらう練習」が必要なのである。なぜならば、譜めくりのタイミングは楽器奏者によって微妙に違うものであり、そのタイミングを助手に伝える必要があるからである。よって、「助手の譜めくり練習」という状況が発生してしまう。特に、長時間にわたる演奏では、それだけ譜めくり練習時間も長くなる。長時間の演奏では、自分で譜めくりを行うことはさらに不可能である。仮に、譜めくりの練習を行ったとしても演奏スピードの速い演奏曲では、そのタイミングがさらにシビアになるので、演奏者は余計な緊張感を持って演奏を行わなければならない。

演奏会でなくとも、普段の練習でも問題はあある。普段の練習というものは、20分なり30分なり、一定の時間楽器と向き合うものである。長い人であれば数時間にわたる場合もある。その間、一瞬の譜めくりのために、ずっと横で待機しているのは、助手の時間を浪費しているだけである。小さな子供であれば、練習の付添として保護者が横に待機し、アドバイスと同時に譜めくりを行うこともあるが、そういった子供に譜めくりが必要であるだろうか。幼少期の練習曲はやはり簡単な練習曲が多く、ページ数も少ない。よって、譜めくりの回数も少ないのである。すなわち、子供に付き添う保護者は譜めくりのためにいるのではなく、主にアドバイスのためである。

以上のことにより、助手をつけることは、同時に練習内容を増やしているということ、譜めくり支援の対象者はやはり練習者ではなく演奏者であるということ、と言える。

2.3.2 譜めくりが必要と考えられる者

本項では、前項までの譜めくりの問題点を踏まえて、譜めくりが必要とされる者を、再度考察し、まとめる。

まず、譜めくりが頻発する状況を考える。譜めくりが多く発生する状況は以下の2パターン考えられる。

1. 楽譜下部から次ページの頭の繰り返し練習を行っている時
2. 暗譜のためや全体の演奏表現練習のために通し練習を行っている時

まず、1の繰り返し練習についてだが、これは数小節毎の練習が、たまたま譜めくりの必要な箇所に来た時のパターンで、練習者に分類される。数小節毎なので、その場所の練習を終えてしまえば、同じようなパターンで譜めくりが必要になることはない。また、数小節の練習を何十回も練習することは、特に苦手な演奏表現にあたらなない限り、稀であると言える。数小節の繰り返し練習を行うのは楽器演奏初級者に多いことは前述の通りだが、ある程度楽譜を読むスキルが身についていれば、このパターンに当てはまることは少ないと考えられる。さらに、楽器演奏初級者はそもそもページ数の多い演奏曲を扱う機会は少ない。

2の通し練習については主に演奏者に当てはまるパターンだが、演奏者のほぼ全員が必要とされる演奏である。楽譜を見て一度で全て記憶できる演奏者はかなり稀であると言えるし、譜めくりが頻発する程度のスキルを持った奏者であれば、演奏曲の長さも比例して長くなる。練習者になれば必ず譜めくりの頻度があがるとも言える。

このように、練習者と演奏者共に、譜めくりが発生するパターンがあるが、より頻発する可能性が高く、支援として必要なのは練習者ではなく演奏者であることがいえる。

2.4 本章のまとめ

本章では楽器奏者支援システムについて述べ、その対象が練習者と演奏者によって違う特徴を持つことを述べた。次に、本論文で対象とする演奏者支援システムの中でも、譜めくりについての問題を指摘し、問題点と譜めくりが必要な対象者、すなわち本研究の対象について言及した。

第3章 既存研究との比較

本章では，SF-KEY と既存研究の比較を行い，既存のシステムや研究と SF-KEY の違いについて述べる．最後に SF-KEY の利点をまとめる．

3.1 既存研究と自動譜めくり

本研究では自動譜めくり支援システムによって、演奏環境の向上を行うことを目的とした。そこで、既存研究においての自動譜めくりに必要な技術と、自動譜めくりが既存研究において どういった位置付けであるのかを明確にする。

3.1.1 自動採譜としてのアプローチ

自動採譜とは取得した楽音を自動で譜面に書き起こす技術のことであるが、譜めくりに関しても、この自動採譜が用いられる考え方が多い。自動譜めくりに必要なのはやはり、演奏位置解析である。自動で楽譜をめくるためには、演奏されている曲(音)が、楽譜の中でどの位置を弾いているのか、システムで解析を行う必要がある。そこで、自動採譜の技術が用いられることが多い。音を楽譜に起こすことが演奏と同時に出来るならば、それは演奏位置を解析することにも通ずるからである。

ただし、この「演奏と同時に行う」ことが研究手法として分かれる所以なのである。同時に行う場合、システムへの音声入力方法で考えられるのは以下の二つである。

1. MIDI 楽器等を使って、既に電子化された音声を入力する
2. 生の音源を音声解析して入力する

つまり、システムへの入力の際に電子化されているか否か、というところで大きく違いが出るのである。

1 の手法では、研究の要は楽譜とのマッチング手法である。入力された音は正確であるので、解析中の処理によるロスの軽減や、楽器奏者の演奏ミスをどれだけ正確に楽譜に起こせるか、というところに主な研究目的がおかれる。尾崎らの研究するセルマッチング手法 [6] は、まさにこの手法に迫る研究である。

対して、2 の手法では、音声解析であると、入力されるピッチが不安定なため、ピッチ以外でどのように演奏位置を解析するのか、または、どれだけ楽譜に起こした音が、演奏された音に近づけられるかというところに主な研究目的がある。三浦らの研究するオーケストラ全体の音圧で演奏位置を解析する手法 [5] はピッチ取得ではなく、音圧による演奏位置解析を行っている。

また、これらの研究に共通するのは、1 音ずつ解析を行っているということである。それは、自動採譜としてのアプローチであるため、当然のことと言える。しかし、本研究の目的は自動採譜ではなく、自動譜めくりシステムの支援にある。譜めくりのための演奏位置解析に必要なのは、ピッチ解析ではなく、あくまで「位置」であり、楽譜上での演奏位置が判別できれば譜めくり位置として特定することが可能である。

最後に、自動譜めくりに必要な技術と、演奏位置解析手法の特徴についてまとめる。

- 自動譜めくりによる演奏支援には、演奏と同時に演奏位置解析を行う必要がある
- 演奏位置解析手法には、入力される音が電子化されているか否かで分類が大きく分かれる
- 自動譜めくりの支援だけならば、全ての音を解析する必要はない

3.1.2 半自動譜めくり機

本項では、既に市販されている半自動譜めくり機を2種、言及する。

まず、足で踏んで紙媒体の楽譜をめくる半自動譜めくり機「フメクール」[9]について述べる。図3.1がフメクールである。



図 3.1: 半自動譜めくり機「フメクール」

これは、フットスイッチを踏むと本体から出たアームが旋回し、あらかじめページ隅に貼っておいた鉄片付シール(クリップ)を吸着して、そのクリップごとページをめくる(紹介 web ページ [9] より)、という手法を用いている。奏者の任意のタイミングで譜めくりされるのは良いが、やはり半自動なだけあって、どうしても「足で踏む」という作業がある。作業があるということは、すなわち譜めくりの意識を持ってなければならないということである。本研究ではその意識も問題視したい。また、鍵盤楽器、特にピアノやエレクトーンではペダルを頻繁に使用することから、足の移動も増えてしまう。

次に、画面に触れることで譜めくりを行う、タッチパネルを用いた楽譜表示ディスプレイ MusicPad Pro Plus[10] について述べる。図3.2が MusicPad Pro Plus である。



図 3.2: 画面タッチで譜めくりを行うタッチパネル楽譜表示ディスプレイ

これは、ディスプレイにタッチパネルを使用しており、奏者の任意のタイミングでディスプレイに触れれば表示されている楽譜が次のページに遷移するというものである。紙媒体の楽譜をめくることに比べたら、タッチの一瞬だけなので演奏と同時の譜めくりの難易度は格段に下がっているといえる。それでも、「譜めくりをする」という

意識を忘れてはならないことは、前述のフメクールと同じである。

本研究では、半自動であるこれらの譜めくりシステムを支援するシステム：SF-KEYを提供する。SF-KEYで演奏位置を演奏と同時に解析し、譜めくり位置に来た瞬間にシグナルを送ることで、半自動であったこれらのシステムを全自動化することを視野にいれている。

3.2 既存研究とSF-KEYの比較

前節で、既存研究における自動譜めくりについて述べた。本節では、既存研究とSF-KEYを比較し、自動譜めくりに特化したシステムであることを明確にする。また、SF-KEYが自動譜めくりに特化したシステムであることによって得られる利点を述べる。

3.2.1 既存の支援システム

演奏支援システムの手法が多岐にわたることは前述した。本項では、既存の支援システムや既存研究とSF-KEYの違いについて比較する。

まず、2章で前述した、電子楽器に搭載されている既存の支援システムについて述べる。電子楽器に搭載されている支援システムの例を挙げられる。

- 任意の曲に合わせて、鍵盤を光らせる演奏音提示システム
- 奏者の演奏スピードに合わせて伴奏のスピードも変化させる伴奏システム

どちらも楽器演奏初級者を支援したシステムである。以下にSF-KEYとの対象者の違いを図3.3にて示す。



図 3.3: 既存の演奏支援システムとSF-KEYの対象者の違い

上記の図の通り、既存の演奏支援システムは初級者向けであり、上級者向けのものは少ない。SF-KEYは自動譜めくり支援システムであるため、2章でも述べたように、楽器演奏上級者であり、練習者ではなく演奏者を対象としている。

3.2.2 既存研究

ここでは2章で触れた既存研究について述べる。図3.4は既存研究を楽譜に対する習熟度と入力方法の視点でマッピングしたものである。縦軸は楽譜に対する習熟度として演奏者と練習者に分かれている。横軸は入力方法として同時解析を行う生音源を使う手法と、録音やMIDIの入力を必要とする手法にわけている。

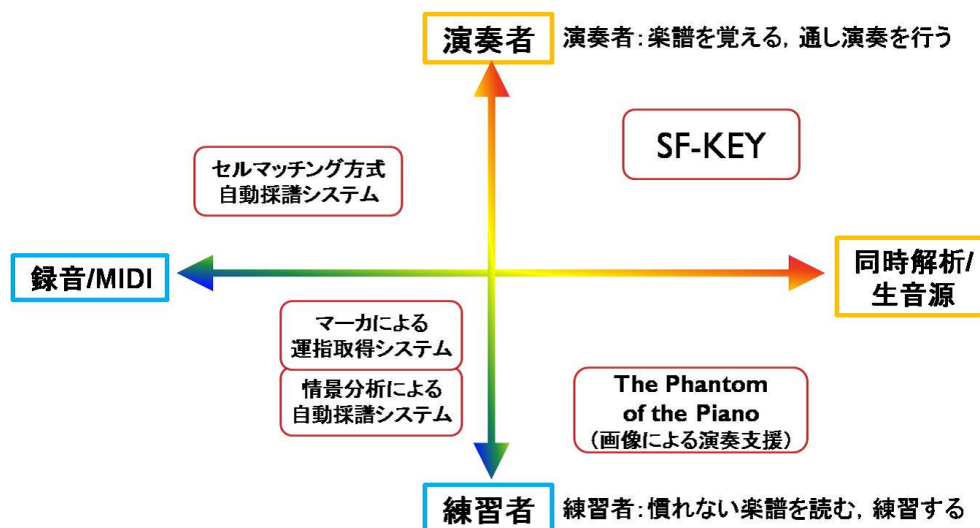


図 3.4: 既存研究と SF-KEY の比較

全奏者を対象とした入力方法に MIDI を使用する手法として、尾崎らのセルマッピングによる解析手法 [6] がある。

また、練習者を対象とした入力方法を MIDI を使用する手法として、竹川らの指にマーカをつけ、そのマーカの動きを追うことで演奏位置を解析する手法 [4] や海野らの楽曲の調性を解析したする手法 [8] がある。

さらに、練習者を対象とした生音源を使用する手法として、樋川らの演奏方法を指の動きで表現し、モニターに出力する手法 [7] がある。

このように多くの既存研究は練習者を対象としている。SF-KEY は演奏者を対象とし、生音源を利用した演奏との同時解析を行う。

3.2.3 SF-KEY の利点

前述のとおり、SF-KEY は自動譜めくりの特化したシステムである。対象者は主に楽器演奏上級者であり、練習者ではなく演奏者である。また、前節で述べた通り、自動譜めくり支援システムに特化するならば、ピッチ解析は必要ない。演奏位置だけ解析出来れば十分である。そのため、精度の高い音声解析を行う必要はなく、MIDI 等による正確な入力を条件とすることもない。

SF-KEY の特徴をまとめると以下のようになる。

- 楽器演奏上級者で、演奏者を支援するシステムである
- 自動譜めくり支援に特化したシステムである
- ピッチ解析を行わない (精度の高い音声解析、MIDI 等の電子化された音声の入力を必要としない)

この特徴をもって、4 章の機能要件につなげる。

3.3 本章のまとめ

本章では既存研究について述べ，SF-KEY との解析手法の比較を行った．既存研究として多く見られる自動採譜としてのアプローチについて言及し，また，半自動譜めくりシステムとして市販されている 2 つのシステムについて述べた．後半では既存研究と SF-KEY の比較を行い，SF-KEY の利点について述べた．

第4章 機能要件

本章では，SF-KEY の機能要件について述べる．自動譜めくりへの要求を明確にし，システムの機能要件を記す．

4.1 自動譜めくりへの要求

本節では自動譜めくりに対する楽器奏者の要求を具体化する。主に、譜めくりのタイミングと、楽器奏者の純粋なニーズについて言及したい。

4.1.1 タイミング

第一に譜めくりのタイミングについて述べる。SF-KEY は演奏「位置」を特定するシステムであると前節で述べた。本項では「位置」について具体化する。

譜めくりには1音単位の詳細な演奏位置は必要ないと考えられる。練習者から演奏者となった楽器奏者は、楽譜の全体像を既に把握している。よって1音1音、丁寧に見ることはほばない。大体小節単位で目線を動かしていると考えられる。

このことから、SF-KEY では1音ではなく1小節を演奏位置結果として出力する単位とする。

4.1.2 環境を特定しない

本項では、使用楽器と、システムを導入する際のユーザの負担について述べる。本研究では「楽譜の譜めくりを意識させない」ことを演奏環境改善の目的の一つとしている。それはハードウェア面についても同じである。

MIDI が利用できる電子ピアノ等の電子楽器を利用すれば、自動譜めくりは容易に達成することが可能である。しかし、2章でも述べたとおり、今でもピアノを習い事として始める小学生が多い現状は、電子化されていないピアノに魅力があるからこそだとも言える。

そこで、自動譜めくりのためとは言え、電子楽器を導入させるのでは目的が変わってきてしまう。したがって、本研究では電子楽器等の用意を必要とせず、普段練習に使っている楽器をそのまま使用できることを要件の一つとする。同時に、SF-KEY もできるだけ処理の軽いシステムにすることで、電子楽器を利用しないことで、生音源の音声解析が必須事項となり、さらに、演奏と同時解析が必要になる。これについては次節でさらに詳しく言及する。

4.1.3 意識させないこと

本項では、楽器奏者の譜めくりに対しての意識について考察する。3章で半自動譜めくりシステムを紹介したが、本研究では、足踏みやディスプレイへのタッチもなくし、全自動での譜めくりを実現することを視野に入れていると述べた。これは、楽器奏者が持つ「譜めくりの意識」を解消させる目的がある。楽器奏者本人の手動による譜めくりだけに関わらず、譜めくり助手による譜めくり補助にも同じ問題がある。3章で述べたとおり、譜めくり助手による譜めくりのためには、「譜めくりの練習」が必要になり、余計な時間を浪費する上、楽器奏者任意のタイミングに譜めくり助手が合わせるの難しい。

よって、本研究では楽器奏者に譜めくりの意識を持たせないことも、自動譜めくり支援システムへの要求と考える。

4.2 システムの機能要件

本節では、前節の譜めくりへの要求をもとに、システムの機能要件についてまとめる。

4.2.1 譜めくりの自動化

本研究では、鍵盤楽器奏者の支援システムとして、譜めくりの自動化による環境改善を目的としている。

最初に、前節の要求をもとに、譜めくりの自動化のための、機能要件を挙げる。

1. 演奏と同時進行で解析を行う
2. MIDI への変換や録音などの必要なく解析を行う

譜めくりを自動化するために、演奏との同時解析が必要とされる。これは演奏された音声、楽譜上でどの位置を示しているのか、ということと、楽器奏者が楽譜を見ながら演奏を行うことが、同時に進行しているために、必須条件である。次に、項目 2 であるが、前節で、楽器奏者に電子楽器の必要性を問わないと述べた。そこで、システムの機能要件として、1 の MIDI への変換や録音の必要性を問わないことを挙げた。電子楽器等から直接ピッチを入力したり、一度録音したものを解析したりすることは行わない。

また、図 4.1 に楽器奏者と同時にシステムが進行する様子を示す。



図 4.1: 自動譜めくりシステムの流れ

楽器奏者が楽器を使用して演奏した音声をマイクで入力し、SF-KEY にて解析を行う。解析結果は楽譜上に演奏位置として出力され、その楽譜を楽器奏者が見て演奏を行う。この一連の流れを繰り返すために、演奏と同時解析がシステムに求められる。

4.2.2 ユーザに受け入れられやすいシステム

本研究はユーザに受け入れやすいシステムであることを必要要件とする。具体的には、電子構造を持たない楽器でも解析可能とするということである。楽器奏者の多くはクラシカルな楽器を使う者が多く、当然だがそれらは電子構造を持たない。楽器奏者は、システム導入のために専用の楽器を負担することなく、システムを利用することができる。もちろん MIDI 楽器等であっても、音声出力されるものであれば、同様に使用可能である。

最後に、ユーザに受け入れられやすいシステムであるための必要要件を以下にまとめる

- 電子構造を持つ楽器を必要としない
- 普段使い慣れた楽器をそのまま使用可能である

このように、普段の練習において使い慣れた楽器をシステムと共に使用可能である、ということは、本研究において必須要件である。

4.3 本章のまとめ

本章については本研究が提案する SF-KEY への機能要件について述べた。まず、自動譜めくりに対しての要求について述べ、次にシステムに対しての必要要件として譜めくりの自動化とユーザに受け入れやすいシステムについて、言及した。

第5章 SF-KEY の設計

本章では，本研究の提案する自動譜めくり支援を実現するシステム：SF-KEY について述べる．最初に SF-KEY の概要と想定環境を述べ，後半では解析手法，モジュールの構成について述べる．

5.1 SF-KEY の概要

SF-KEY は自動譜めくり支援システムとして、楽譜の表示機能と演奏位置解析及び演奏位置表示機能を備えている。SF-KEY では自動譜めくり支援システムとして、演奏位置解析を行うため、音声入力モジュールとマッチングモジュールが存在する。また、解析した演奏位置を表示するための楽譜常時モジュールが存在する。自動で譜めくりを行うため、楽器奏者が演奏した生の音声を解析し、演奏と同時の解析を実現した。FIT2008 第 7 回情報科学技術フォーラム [12] にて本研究の基礎となる部分を実装し、発表した [3]。本論文は、FIT2008[12] で発表したシステムに改良を加えたものである。

5.2 想定環境

SF-KEY が対象として想定する環境について述べる。SF-KEY を利用する上での前提条件として以下の要素をあげる。

想定演奏環境

SF-KEY は楽器演奏を対象としたシステムであるため、騒音の多い環境は想定していない。静かな場所で動作させる必要がある。

対象者

鍵盤楽器を持つ鍵盤楽器奏者であれば、鍵盤楽器の種類は問わない。譜めくりに特化したシステムであるため、演奏者を対象とする。すなわち、一定時間演奏を続けることで譜めくりを頻繁に必要とする者が対象となる。

想定ハードウェア環境

SF-KEY は Processing を用いた実装を行っているので、OS やハードウェアには依存しないが、Java を実行できる環境が必要である。

また、音声解析を行うため、マイク入力ができる環境が必要である。

以上、本節では想定環境についてまとめた。

5.3 解析手法

本節では、SF-KEY の解析手法について述べる。SF-KEY はキャリブレーションフェーズと継続解析フェーズの、2 つのフェーズによって、演奏と同時解析を行う。キャリブレーションフェーズで、楽曲に指定されたテンポもしくはユーザの指定するテンポを設定し、楽譜情報を入力する。継続解析フェーズでは入力されたテンポと楽譜情報をもとに、演奏に合わせた継続的な解析を可能にする。また、継続解析フェーズでは演奏された音声の信号強度によって音数の解析を行う。

まず、それぞれのフェーズについて述べる。

5.3.1 キャリブレーションフェーズ

キャリブレーションフェーズでは主に2つの解析を行う。その2つの解析を以下にまとめる。

1. 指定テンポの入力
2. 楽譜情報を入力

指定テンポの入力では、楽譜もしくはユーザの任意の演奏速度 (以下、テンポと呼ぶ) と、楽譜情報を最初に入力する。これによって、継続解析フェーズのための準備を行う。

5.3.2 継続解析フェーズ

SF-KEY はキャリブレーションフェーズで入力された、テンポと楽譜情報を演奏された音声とマッチングさせることで解析を行う。継続解析フェーズでは、音声全体の信号強度による発音時刻から見た音数の解析を用いて、解析を継続する。継続解析フェーズによって、奏者に合わせた解析を実現する。

SF-KEY ではどちらも信号強度を使って解析を行う。ここでは、上記2つの解析手法について詳しく述べる。

まず、信号強度による音数の解析について述べる。図 5.1 に SF-KEY における音声解析での音数のカウント手法をスペクトラム表示 [13] によって示す。

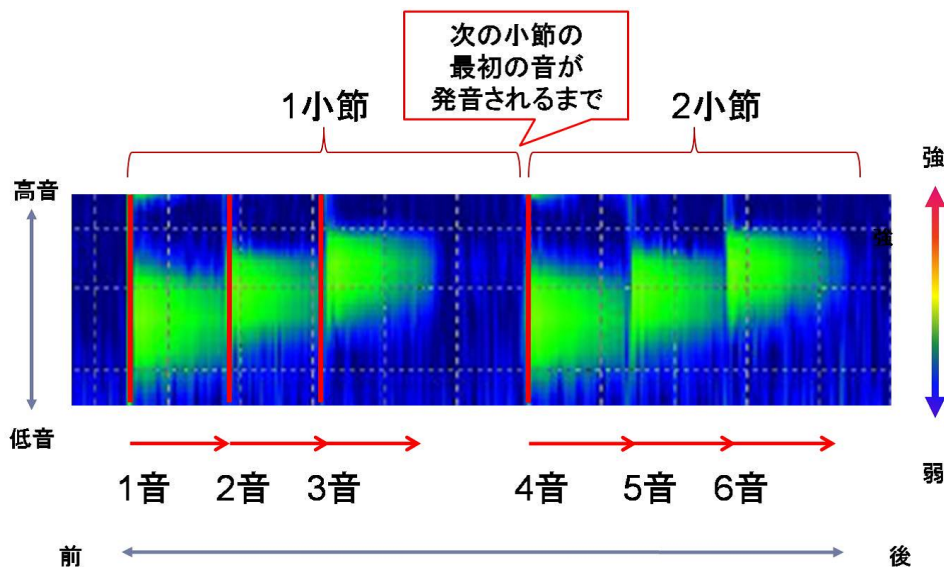


図 5.1: スペクトラム表示で見る音数のカウント手法

一定の間隔で信号強度を取得し、一つ前の信号強度より大きくなった場合に、発音されたと認識する。これは、発音された際の信号強度が一番強いという鍵盤楽器の特徴から得られるものである。ただし、金管楽器や弦楽器等ではこの限りではないが、今回は鍵盤楽器奏者に向けたシステムを提案しているため、この解析手法が効果的である。

最期に音数解析と時刻から見た小節数の解析について、図 5.2 にまとめる。

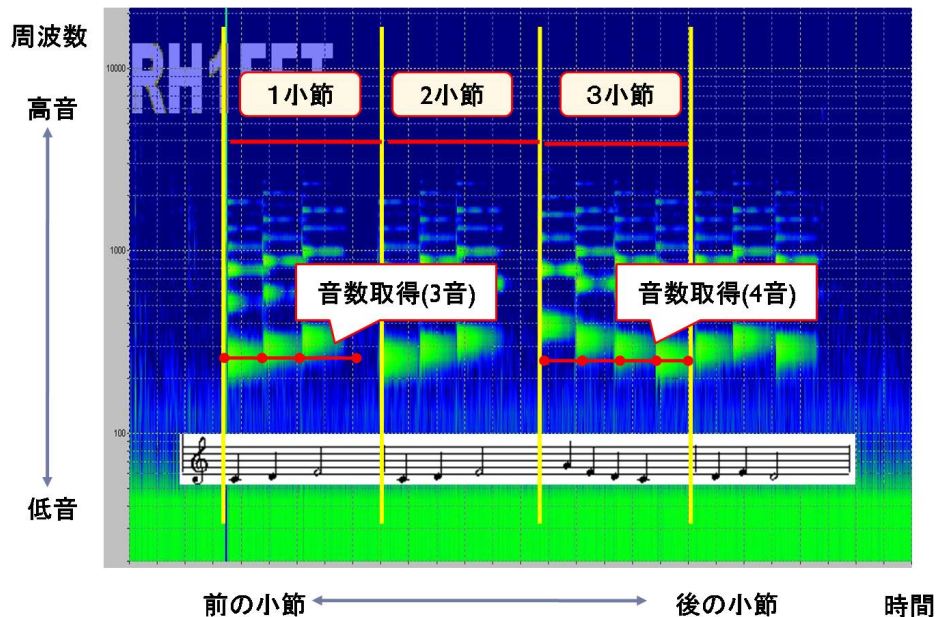


図 5.2: スペクトラム表示で見る音数解析と小節数のマッピング

継続解析フェーズでは、楽譜情報から入力された 1 小節の音数により演奏位置を決定する。

5.4 モジュールの設計

ここではモジュールの設計について述べる。モジュールは、音声入力モジュール、マッチングモジュール、楽譜表示モジュールの三部に分かれている。そのうち、音声入力モジュールとマッチングモジュールは前節での解析部にあたり、楽譜表示モジュールは表示部にあたる。図 5.3 にシステム構成を示す。

5.4.1 モジュール間のデータの送受信

モジュール間のデータ送受信は、サーバ・クライアント方式を用いる。図 5.4 にその構成を示す。

各モジュールは全て socket 経由でデータを送受信する。

5.4.2 音声入力モジュール

最初に音声入力モジュールについて述べる。このモジュールではマイクから音声を取得し、音声解析を行う。以下に入力内容と出力内容を述べる。

入力 マイクから演奏された音声を取得

出力 全体の信号強度と演奏された時刻を Socket 経由で出力する

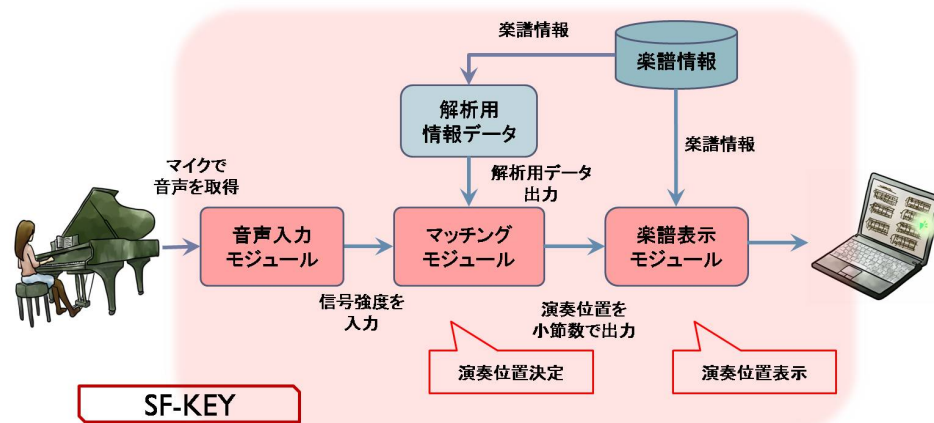


図 5.3: SF-KEY のシステム構成

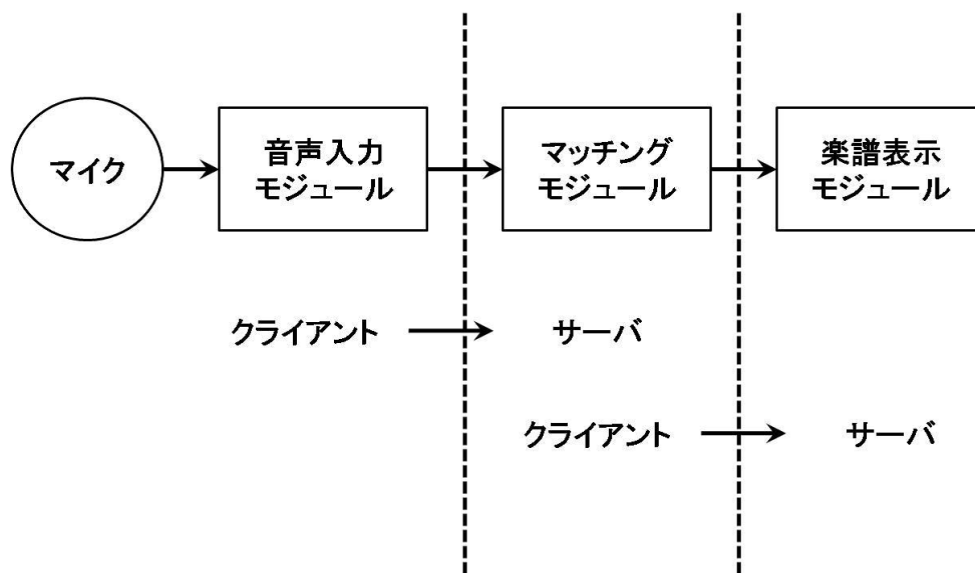


図 5.4: サーバ・クライアント方式を用いたシステム構成

音声入力モジュールでは、大きくわけて 2 種類のデータを出力する。出力内容はある一定の値を超えた音声全体の信号強度と、それを取得した時刻である。

1 つ目は全体の信号強度である。これはマッチングモジュールにて、1 小節内の音数をカウントするために必要である。ある一定の閾値を超えた時に取得する。

2 つ目は全体の信号強度を取得した時刻である。次のモジュールに送信する際に時刻によるズレがあるため、この時刻を元にして解析を行う。

次に全ての出力内容をまとめる

音声解析モジュール送信内容のまとめ

送信時間 (年, 月, 日, 時間 (小数点以下 3 桁)

全体の信号強度

例) 2009,12,23,15,59,12,345,5000

音声モジュールはこれらの出力内容を、一定の時間 (0.05 秒) 毎にマッチングモジュールに送信し続ける。

5.4.3 マッチングモジュール

マッチングモジュールは SF-KEY の、演奏解析部分である。まず、以下に入力内容と出力内容を示す。

入力 Socket 経由で音声解析したデータを受け取る。

(データの内容は前項で述べた「音声解析モジュール送信内容のまとめ」を参照)

出力 出力：Socket 経由で現在演奏位置であるページ数、小節数を送る

信号強度の処理

ここで、音声解析されて取得した、信号強度を処理する。信号強度は、送信されてくるものをその度に毎回比較する。

データは「(日付, 時間, 全体の信号強度)」という順序で送られてくるが、データは一定の間隔 (0.05 秒毎) で送られてくるので、各データはすべて、一度、配列に格納する。一度格納されたものを、次のデータが送られてくる際に比較し、後着のデータが前着のデータより値が大きければ発音したと解析する。

以下にまとめる。

全体の信号強度の比較による音数カウント

マッチングモジュールに格納されている信号強度 $a1$

マッチングモジュールで新規に取得した信号強度 $a2$

としたとき

$a1 < a2$ ならば「発音された」

$a1 = a2$ または $a1 > a2$ ならば「発音されてない、または、音をのぼして演奏している」

受信するデータ毎に比較を行い、その大小によって、音数を数え、継続して解析を行う。

5.4.4 楽譜表示モジュール

楽譜表示モジュールは、演奏する楽譜と、楽器奏者の演奏に合わせて、演奏位置を小節の色を変えることで、表示する。以下に入力内容と出力内容を示す。

入力 Socket 経由で演奏位置 (ページ数, 小節数) を受け取る

出力 ディスプレイに楽譜を表示し、演奏位置 (小節) を赤く変化させる。

また、譜めくり位置にきたら楽譜を次のページに遷移させる。

楽譜表示モジュールは、マッチングモジュールから一定の間隔で継続して送られてくるページ数と小節数を受け取る。受信したページ数に合わせて該当のページを表示し、受信した小節数に合わせて該当の小節を赤く変化させる。

すなわち、受信したページ数が変化すれば、楽譜表示ページも変化するため、譜めくりにつながるということである。

また GUI 部分は全てこのモジュールにある。GUI の設計における必要要素を以下に示す。

- 表示するディスプレイに合わせて、楽譜を最大化する。
- Start ボタンを設置し、クリックによってシステムを動作させる。
- Reset ボタンを設置し、クリックによって連続した練習に対応する。

このように、楽譜表示モジュールでは、楽譜と演奏位置の表示、およびクリックによる連続した演奏への対応を行う。

5.5 本章のまとめ

本章では SF-KEY の概要と想定環境を述べ、次に SF-KEY のシステム構成について述べた。システム構成は 3 つのモジュールから構成されており、各モジュールについて詳しく述べた。

第6章 SF-KEYの実装

本章では、SF-KEYの実装について述べる。SF-KEYの実装環境をまとめ、各モジュールについて説明する。

6.1 実装環境

本節ではハードウェア構成とソフトウェア構成について述べる。まず、ハードウェアの必要条件を述べる。SF-KEY はマイクによる入力が必要であるが、ラップトップ等のマイクが既に搭載されているものでも動作する。

実装に使用した PC の概要を表 6.1 にまとめた。また、SF-KEY の実装は Processing と C 言語を利用した。

表 6.1: 実装に使用する PC の概要

名称	値
モデル	MacBook Pro 15 インチ
CPU	Intel Core 2 Duo 2.8GHz
メモリ	4GB 1067MHz DDR3
OS	Mac OS X 10.5
Processing	ver. 1.0.9

音声解析モジュールと楽譜表示モジュールで Processing を利用し、マッチングモジュールで C 言語を利用した。楽譜情報については、データに変換することなく、本来フメクール [9] 等につなげて紙媒体の楽譜の譜めくりを実現することが目標であったが、今回はディスプレイへの表示として、既に楽譜情報をデータに変換したものを利用し、実装した。

6.2 各モジュールの実装

本節では、SF-KEY を実現するソフトウェアの実装について述べる。次にソフトウェアモジュールについて説明する。図 6.1 はモジュール構成である。

6.2.1 音声入力モジュール

本項では、音声入力モジュールの実装について述べる。音声入力モジュールでは全体の信号強度の解析と、各ピッチ毎の信号強度の解析を行っている。

関数について解説する。

音声入力モジュールでは主に 2 つの処理を行っている。以下にその 2 つの処理を挙げる。

1. 全体の信号強度取得
2. マッチングモジュールへのデータ送信

今回は Processing に用意されている minim ライブラリ [16] を使用した。また 0.05 秒毎に 1 度、マッチングモジュールにデータを送信している。

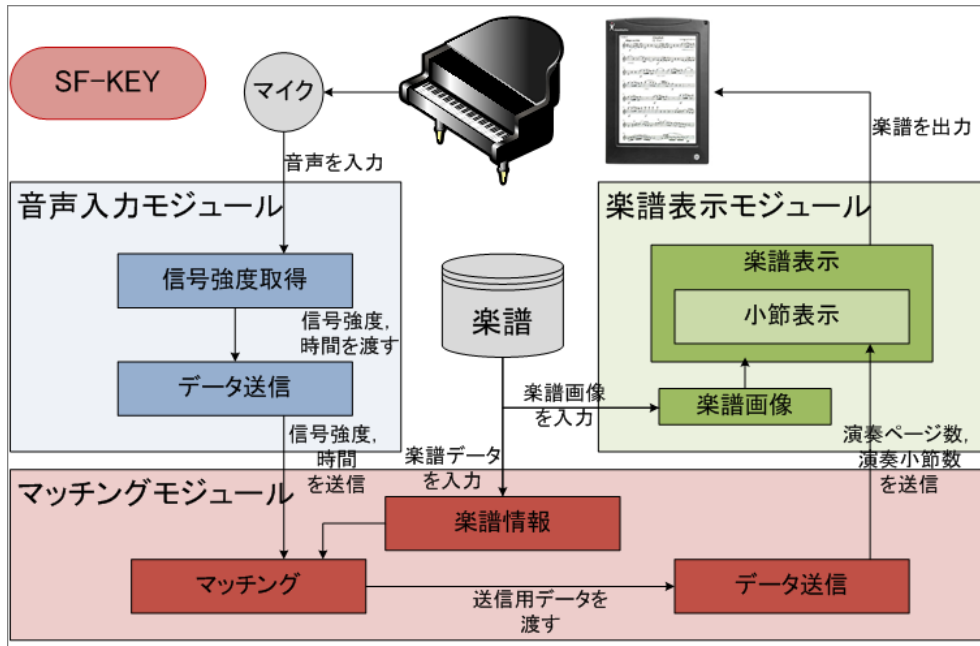


図 6.1: モジュール構成

6.2.2 マッチングモジュール

本項ではマッチングモジュールの実装について述べる。マッチングモジュールでは楽譜情報の入力と、演奏位置の解析を行っている。

マッチングモジュールは 0.05 秒毎に 1 度、音声入力モジュールから送られてくるデータをもとに解析を行う。

楽譜表示モジュールには演奏ページ数と演奏表示数を、音声入力モジュールから送られてきたものが解析終了次第、送信している。

6.2.3 楽譜表示モジュール

本項では楽譜表示モジュールの実装について述べる。楽譜表示モジュールでは楽譜を表示し、演奏位置を赤く示す。

楽譜表示モジュールは次の形式でデータを受信する。

- (演奏ページ数, 演奏小節数)

この 2 つの値をもとに演奏位置をディスプレイに表示する。すなわち、演奏ページ数が増えると譜めくりが起こる。

次に、今回利用した楽譜画像（ペツォールト作曲、メヌエット長調 BWV Anh.114）を図 6.2、図 6.3 に表示する。

メヌエット

バッハ



図 6.2: 実装に使用した楽譜 (1 枚目)



図 6.3: 実装に使用した楽譜 (2 枚目)

受け取ったデータから、楽譜画像上に赤い長方形をのせることで、演奏位置を表示する。図 6.4 に演奏位置を表示した図を示す。

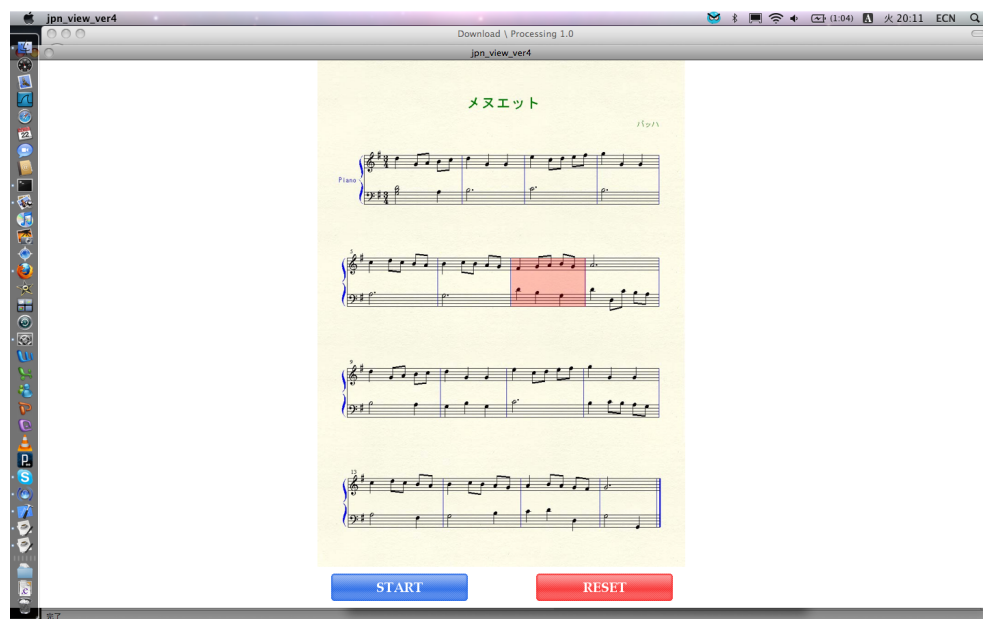


図 6.4: 演奏位置表示の様子

6.3 本章のまとめ

本章では、実装環境と各モジュールについて述べた。SF-KEY は音声解析モジュール、マッチングモジュール、楽譜表示モジュールの 3 つから構成されていることを説明した。

第7章 評価

本章では，SF-KEY のシステム評価を行う．モジュール精度の定量的評価と既存研究との比較と ORF2009[14] で実施したアンケート結果から定性的評価について述べる．

7.1 定量的評価

本節では、SF-KEY の定量的評価を行う。具体的には、マッチングモジュールの中で使用される。音数解析部の精度と、速度対応、システム全体の精度について評価を行う。

7.1.1 音数解析部の評価

最初に音数解析部の精度について評価を行う。

評価は C5 を 20 回ずつ、20 回発音し、その精度をみる。結果を 7.1 に示す。

表 7.1: 音数解析の結果

正解	20 音
誤差	-4 音～+4 音
平均	20.05 音取得

また、図 7.1 で、音数解析結果をグラフに表す。

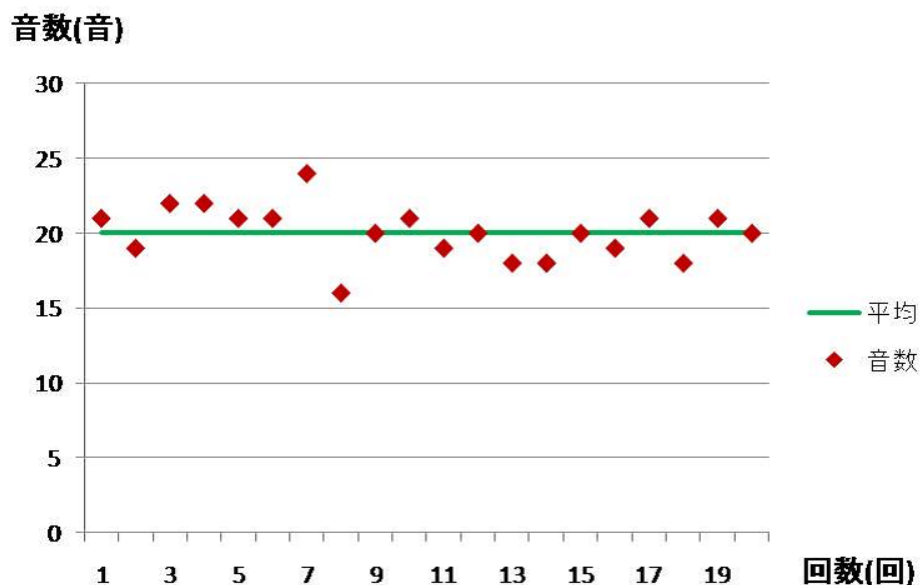


図 7.1: 音数解析評価実験結果のグラフ表示

音数は正解である 20 音とほぼ同数の取得率であり、十分解析に使用できるものであると判断する。ただし、メジアンは 20 音を示したものの、平均が 20.05 音を示している通り、若干ではあるが音を正答数より多くカウントしてしまう傾向があることがわかった。次節のシステム全体の評価で詳しく述べるが、これは楽譜を演奏場所より早く進ませて (譜めくり) してしまうことにつながる。しかし、ばらつきもあまり見られず、継続解析の要素として十分な結果であると考ええる。

7.1.2 速度対応の評価

ここでは、SF-KEY がどの速さ (テンポ) に対して十分な解析を行えるのかについて評価を行う。

評価に使った楽曲は、メヌエット (ベツォールト作曲, メヌエット ト長調 BWV Anh.114) の前半部 16 小節である。テンポは 1 分間あたり 100 拍, 120 拍, 140 拍, 160 拍, 180 拍, 200 拍, 220 拍の 7 段階でそれぞれ評価を行う。各テンポ 10 回ずつ上記の曲を演奏し, 16 小節まで演奏終了時に, SF-KEY が何小節を示したか, 記録する。評価は, 各テンポ 10 回ずつ演奏した平均の小節数で比較を行う。まず, 結果を図 7.2 に示す。

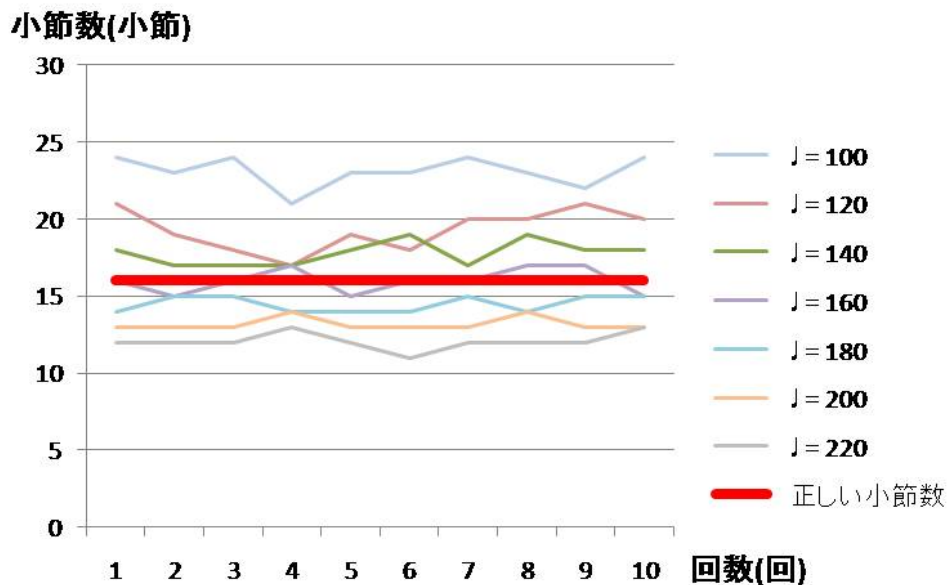


図 7.2: 速度対応評価結果

次に, 各平均の結果を表 7.2 に示す。

表 7.2: 速度対応評価結果

tempo100	tempo120	tempo140	tempo160	tempo180	tempo200	tempo220
23.1	19.3	17.8	16	14.5	13.2	12.1

また, 速度対応実験結果の平均をグラフに表したものを図 7.3 に示す。

図 7.2 より, テンポが遅いと, 正解の小節数 (16 小節) より先に進んだ小節を示し, テンポが速いと, 正解の小節数 (16 小節) より手前の小節を示すことがわかる。

速度によって小節数が変化する現象は, 波長のまとまりによって予測できた。その様子を 7.4 に示す。

小節数が増減するということはすなわち, 速度が速いと音数の検知を逃してしまい, 速度が遅いと音数を多く検知してしまうということである。これは, SF-KEY が信号

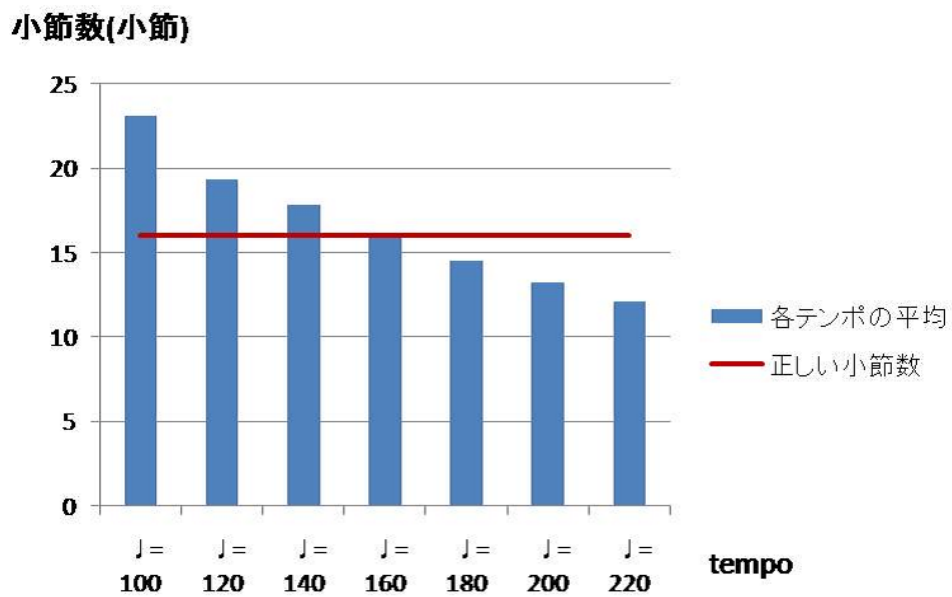


図 7.3: 速度対応実験結果の平均のグラフ表示

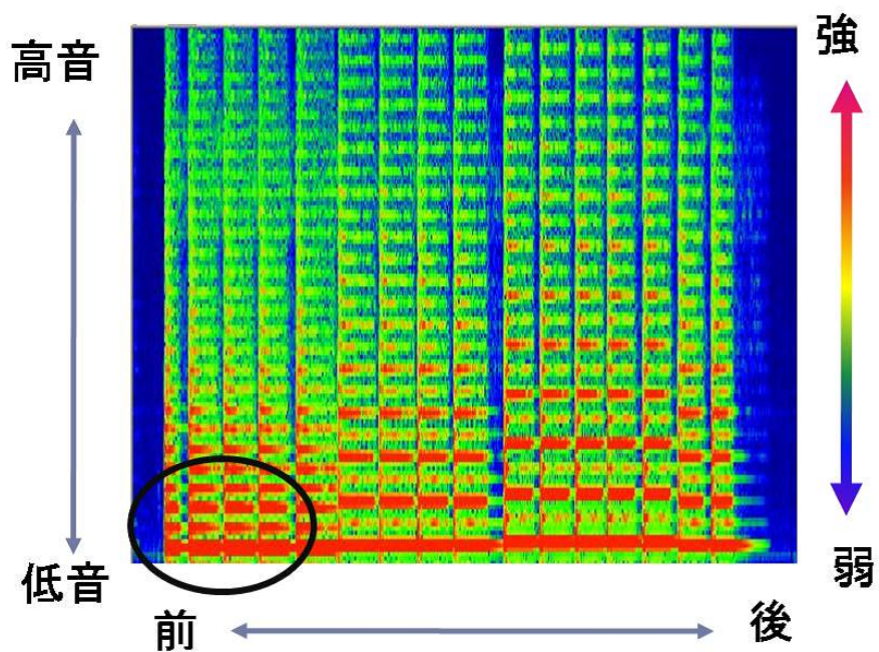


図 7.4: スペクトラム表示にみる低音部の波長のまとまり

強度をうまくカウントできていないことと同義である。低音部は信号強度が強く、特に、音をのばしている時にシステムが誤って再度検知してしまうと考えられる。これによって、演奏が遅くなると音数を多く検知してしまい、結果として小節数は正解の小節数より先の小節数を示すことになる。また、速度が速いと、前の音の波長が残ったまま次の音を演奏することになり、システムが検知できないと思われる。これによって、演奏が速くなると音数を少なく検知することになり、結果として小節数は正解の小節数より前的小節数を示すことになる。

さらに、表 7.2 や図 7.3 からは、SF-KEY は演奏が速すぎても遅すぎても対応が困難であるということがわかる。一番対応しやすいのは、1 分間に 160 拍の速さであり、この速さであれば、かなり精度の高い譜めくりが期待できる。

また、図 7.3 からは、速さが遅くなるにつれ、小節数を多く検知し、速さが速くなるにつれ、小節数を少なく検知するということがよくわかる。図 7.2 からは、同じ速度であれば小節数の検知は同じような値を示し、安定しているといえる。このことから、奏者の演奏の揺れに対しては、「遅くなったら小節数を減らし、速くなったら小節数を増やす」といったように、譜めくり位置修正の要素としても使用できる可能性があると考えられる。

最後に、速度対応の評価についてまとめる。

- 速度が速くなると小節数を少なく検知する
- 速度が遅くなると小節数を多く検知する
- 同速度であれば一定の検知数なので、位置修正の要素になりうる

7.1.3 システム全体の評価

本項ではシステム全体の評価を行う。評価は、価に使った楽曲は、メヌエット (ベツォールト作曲、メヌエット ト長調 BWV Anh.114) の前半 16 小節目の演奏が終了した時に SF-KEY が示した小節数を計測する。正しく演奏されれば、システムは 16 小節を示す。この評価実験は上記の計測方法で 20 回行った。

結果を表 7.3 に示す。また、各回の計測結果は図 7.5 にである。

表 7.3: SF-KEY の評価実験結果

平均	16.25 小節
誤差	-1 小節～+2 小節

平均値とメジアンを見ると SF-KEY は自動譜めくり支援システムとして、有用であるといえる。しかし、表 7.3 と図 7.5 が平均 16.25 小節を示している通り、正しい小節数 (16 小節) より多く検知していることがわかる。小節数を多く検知しているということは、演奏より早く譜めくりをしてしまうということであるが、これは実際の譜めくり指示を早めに楽譜表示モジュールへ送ることで対応できる。また、このばらつきは、音数解析の誤差が積もって発生したものだと考えられる。したがって、本システムは各解析部の精度をあげることによって、さらに精度の高いシステムになると考察できる。

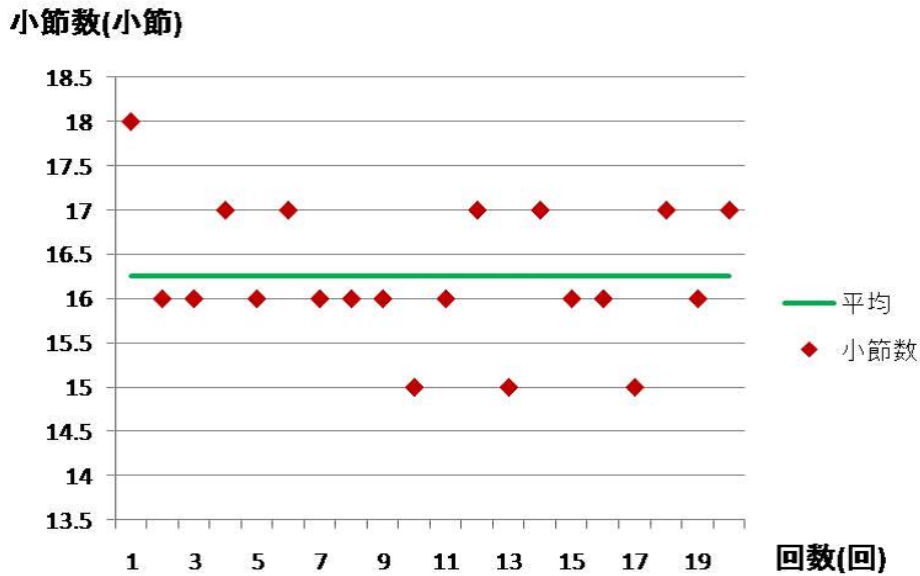


図 7.5: SF-KEY の評価実験結果のグラフ表示

7.2 定性的評価

本節では、既存研究との比較と、ORF2009[14] で実施したアンケートから定性的評価を行う。

7.2.1 既存研究との比較

SF-KEY の定性的評価として 3 章にて前述した関連研究との比較を行う、評価する項目を次に挙げる。

ユーザの負担度合

システムを導入する上での、ユーザへの負担を比較する。システム導入のために必要なハードウェアの数で比較を行う。

MIDI 等による正確なピッチの必要性

MIDI による入力のみで制限していないか、ピッチの正確性がシステムの解析に求められるか、という点で比較を行う。

ピッチの採譜機能

ピッチを楽譜に起こす機能を設けているかという点で比較を行う。自動採譜機能があればもちろん可能であると判断する。また、ピッチに関わる音声解析を行っているかという点も考慮する。

演奏位置としての小節数の検出

小節数による演奏位置解析を行えるかという点で比較する。自動採譜が可能であれば小節数解析も可能であると判断する。

表 7.4: 既存研究との比較

解析手法	ユーザ負担	MIDI 入力必要性	計算量
SF-KEY	なし	なし	少ない
画像処理 [4]	カメラ	なし	多い
音圧解析 [5]	なし	なし	多い
セルマッチング [6]	なし	必要	多い
情景分析 [8]	なし	必要	多い

以上の項目 4 つを、3 章にて前述した既存研究と比較する。比較結果を定性的評価として表 7.4 に示す。

表 7.4 を、4 章で述べた本研究の機能要件と照らし合わせて述べる。

画像処理による演奏位置解析を行っている竹川らの研究 [4] は、マーカーを指に貼り付け、そのマーカーの動きを画像処理して演奏位置を特定する手法である。音圧解析による楽譜とのマッチングを行う三浦らの研究 [5] は、オーケストラ全体の音声を取得し、音声解析を行った後、音圧にて演奏位置を解析する手法を採用している。尾崎らの研究 [6] は、MIDI による入力方法（もしくはそれに準ずるピッチの正確な入力）に限定するが、セルマッチングによる自動採譜機能は大変有用である。海野らの研究 [8] は、楽譜情報から取得した情報をもとに、調性によって解析を行っている。

まず、尾崎らの研究 [6] と海野らの研究 [8] は、入力方法を MIDI に限定しているところで、本研究の機能要件の一つである「ユーザに受け入れやすいシステム」を、電子楽器を使用しているという点で満たしていない。普段使いなれた楽器をシステム導入後も変わらず使用できるという点で、SF-KEY は有用である。

また、竹川らの研究 [4] も同様に、本研究の機能要件の一つである「ユーザに受け入れやすいシステム」を、ユーザ負担が大きいという点で満たしていない。このシステムを利用するためには、カメラの設置とマーカーの使用が必須となる。SF-KEY はマイク機能のある PC であればシステムが動作するという点で、竹川らの研究 [4] よりも有用である。

最後に三浦らの研究である音圧を利用した解析の研究 [5] であるが、本研究でも全体の信号強度による音数解析を行っているように、似ている部分は多い。しかし、本研究では鍵盤楽器奏者に特化したシステムであるため、最終的な目的の違いがある。同様のシステムではあるが、本研究は鍵盤楽器奏者にとってはより有用なシステムであると言える。

さらに、紹介した既存研究と比較して、SF-KEY は計算量が少ない。本研究は紙媒体の楽譜を対象とした自動譜めくりも視野に入れていたが、紙媒体の楽譜を譜めくりするには組み込み系のシステムになることが予想される。組み込み系のシステムではハードウェアによる制約が生じると考えられ、今後の展望のために、計算量は少ない方が良好だろう。

7.2.2 SF-KEY の基本機能の定性的評価

SF-KEY は ORF2009 にて、SF-KEY の説明とデモを行った。デモ終了後、64 人に対してアンケートを実施した。そのアンケート結果をもとに、基本機能の評価を行う。

まず、以下にアンケート項目を記す。

1. 鍵盤楽器で演奏をしたことがありますか？(簡単な曲＝デモで使用した曲程度)
 - a, 簡単な曲なら楽譜を見れば弾ける
 - b, 簡単な曲なら楽譜を見て練習すれば弾ける
 - c, 練習したことはあるが今は弾けない
 - d, 弾けない, 弾いたことがない
2. 自動譜めくり装置の必要性を感じますか？
 - a, 感じる b, 少し感じる
 - c, あまり感じない d, 感じない
3. 鍵盤楽器演奏者を支援することのできるシステムだと感じましたか？
 - a, 感じる b, 少し感じる
 - c, あまり感じない d, 感じない
4. 譜めくりのタイミングは丁度良いと感じましたか？
 - a, 丁度よい b, ほぼ問題ない
 - c, 少しズレがある d, ズレがある

本節では主に、第3項目と第4項目の結果について述べる。

まず、第3項目である「鍵盤楽器演奏者を支援することのできるシステムだと感じましたか？」についての結果を図7.6にグラフで示す。

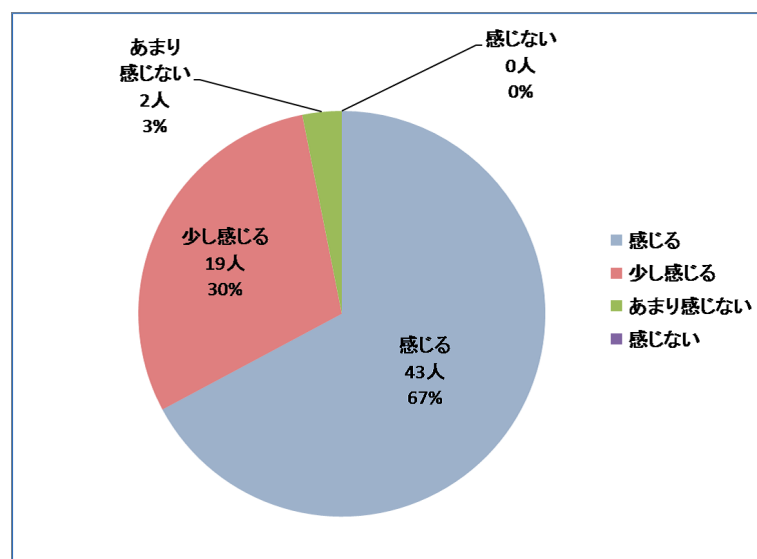


図 7.6: 「鍵盤楽器演奏者を支援することが可能か」についてのアンケート結果 (ORF2009 にて実施)

アンケート実施人数 64 人のうち 43 人が「支援できると感じる」と答えた。また, 19 人が「少し支援できると感じる」と答え, 「あまり感じない」「感じない」と答えた人は 2 人とどまった。

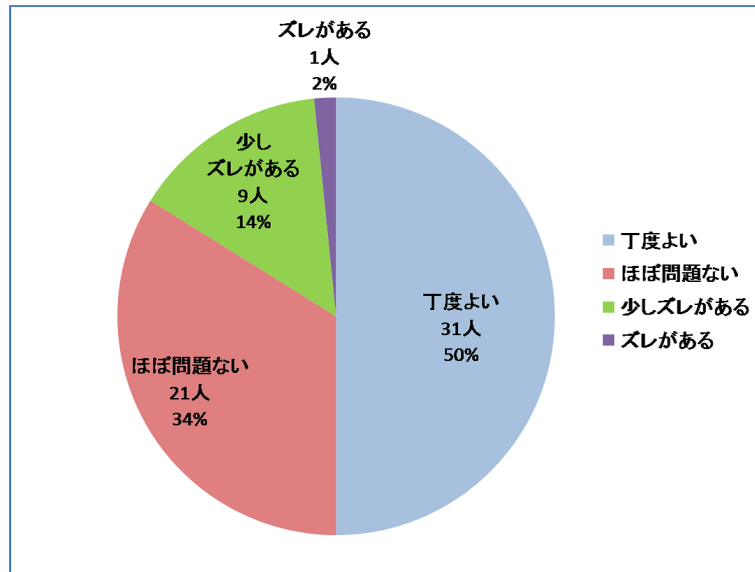


図 7.7: 「譜めくりのタイミングは丁度よいと感じたか」についてのアンケート結果 (ORF2009 にて実施)

次に、第 4 項目である「譜めくりのタイミングは丁度良いと感じましたか？」についての結果を図 7.7 にグラフで示す。タイミングについての設問には、31 人が「丁度よい」、21 人が「ほぼ問題ない」と答えたが、「少しズレがある」「ズレがある」と答えた人はそれぞれ 9 人、1 人であった。

ここでアンケート項目 3 の人数と比較を行うと、「鍵盤楽器演奏者支援できるシステムではあるが、ズレがある」と答えた人が多くいるということがわかる。ORF2009 では研究目的等を話した後にでもを行ったため、「理論としては支援できるが、システムの精度は問題がある」と感想を持った人がいると考えられる。

よって、本項では理論としてはシステムの有効性を多くの人に示せたが、精度の点でまだ若干問題があると評価する。すなわち、精度を高めることが今後の展望である。

7.3 本章のまとめ

本章では、まず SF-KEY の持つモジュールの定量的評価を行った。次に既存研究との比較と、ORF2009 で実施したアンケートによる定性的評価を行い、考察を述べた。それによって、鍵盤楽器演奏者向け、自動譜めくり支援システムとしての有用性を示した。同時に、自動譜めくり支援システムの残された課題についても言及した。

第8章 結論

本章では，本論文にて述べた鍵盤楽器演奏者用譜めくりシステムの考察を行い，今後の課題について論じる．最後に，本論文全体のまとめを述べる．

8.1 本論文のまとめ

本論文では、鍵盤楽器演奏者の演奏環境改善を目的として、自動譜めくり支援システム SF-KEY の提案と実装を行った。楽器奏者にとって、譜めくりは大変煩わしいものである。演奏停止か助手の譜めくり補助か、どちらにせよ奏者にとっては大きな負担であり、その譜めくりの自動化は大変有用であると考えられる。本研究では、ユーザに負担の少ない支援システムであることを目標に、自動譜めくり支援を SF-KEY によって実現した。SF-KEY では電子構造を持たない楽器であっても、解析を行うことができる。また、既に市販されている半自動譜めくりシステムと連携させることで、全自動の譜めくりも実現可能である。SF-KEY の評価としては、全体の精度は有効であるが、個々の解析部にはまだ改善の余地が見られ、それぞれの精度を上げることで、ばらつきの少ないシステムに改善されると考察する。さらなる改善を加え、全自動の譜めくりによって楽器奏者を支援できるようになることが、本研究の最終的な目標である。

8.2 今後の課題

設計と SF-KEY の実装、システム評価から得られた結果について考察し、今後の課題を以下に列挙する。

解析部の精度向上

7 章では、SF-KEY の定量的評価と定性的評価を行った。定量的評価においては、音数カウント部の精度は精度はとても良く、システム全体の評価も悪くはなかったが、システム全体の評価で 2 小節の誤差がごく稀に出てしまうことがあり、課題は残る結果となった。同様に、ORF2009 で実施したアンケート結果でも「理論としては支援できるが、精度に疑問がある」という評価が一部見られた。2 小節の誤差は、奏者によっては違和感を感じる値であると考えられる。速度対応としては、SF-KEY が得意なテンポがあることがわかったものの、速度の変化によってシステムの示す小節数が変化してしまうことがわかった。しかしこれは、速度と一定に変化することがわかったため、その特徴を逆に利用することで、奏者の演奏の揺れに対応した演奏位置修正を行うことも検討でき、さらなる精度向上が望める結果である。システム全体としては悪くない値を得ることができたので、解析部の精度向上によって、システム全体の評価実験結果の課題として残った誤差のばらつきに対応することも可能であると考えられる。機能要件に「譜めくりの意識を持たせない」ことを挙げている以上、安定したシステム稼働を行いたい。よって、各解析部の精度向上により、全体としてばらつきの少ないシステムを目指すことを本研究の今後の展望としたい。

他のアルゴリズム導入の検討

SF-KEY は音数解析によって演奏位置を特定するシステムである。音数解析のみによって解析を行うことで、計算量は大幅に削減できた。解析部の精度の向上と並んで、他のアルゴリズムを導入することで、さらに精度の向上が望めるが、同時に計算量は

増加する。他のアルゴリズムの計算量を調査し、SF-KEY へ導入した際の現時点でのシステム精度と計算量のトレードオフを検討することも今後の研究として必要であると考えられる。

譜めくりのタイミング設定

現時点での SF-KEY は譜めくりのタイミングについて詳細な設定を行うことができない。しかし、譜めくりのタイミングは個人差が大きい。各ページの末尾まで演奏してから次のページへ移って欲しい奏者や、各ページの末尾より数小節前で楽譜をめくって欲しい奏者など、奏者によって譜をめくる場所は様々である。ORF2009 で実施したアンケート結果からも、譜めくりのタイミングについての回答はばらつきが見られた。よって、SF-KEY の精度向上の一つとして、奏者の任意のタイミングで譜めくりを行うために、設定可能なシステムにすることが必要であると考えられる。

全自動譜めくりシステムの実現

本研究では、鍵盤楽器演奏者の演奏環境改善として、全自動譜めくりを目標としてきた。SF-KEY は全自動譜めくりを可能にするための一つのステップであったと考えている。未だ、楽器奏者は紙媒体での練習を行う者が大変多い現状である。実際にペンで書き込めることは大変有益なことであるが、その点を考慮すると、やはり紙媒体での全自動譜めくりを実現したい。前述したフメクールと SF-KEY の連携は、紙媒体を用いた全自動譜めくりを可能にできると考えている。また、Music Pad Pro Plus との連携によって、電子楽譜を使用する奏者の支援も同時に実現したい。よって、電子楽譜、従来の紙の楽譜と、どちらでも全自動譜めくりを実現することも、同じく本研究の今後の展望である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導を賜りました、慶應義塾大学環境情報学部 教授 徳田 英幸博士に深く感謝致します。また、貴重な御助言を頂きました慶應義塾大学環境情報学部 准教授 高汐 一紀博士、慶應義塾大学環境情報学部 准教授 中澤 仁博士に感謝致します。

また、研究方針、論文執筆について大変多くの御助言を頂きました、間 博人氏、斉藤 匡人氏、森 雅智氏、金澤 貴俊氏と、徳田・村井・楠本・中村・高汐・重近・バンミーター・植原・三次・中澤・武田合同研究プロジェクト の皆様には、いつもあたたくご指導ご鞭撻を賜り、深く御礼申し上げます。

さらに、多くの時間を共に過ごした、天野 賢二氏、蛭田 慎也氏、星 北斗氏、前田 裕佳氏をはじめとする慶應義塾大学徳田・高汐・中澤研究室 ECN 研究グループの諸氏、離れた環境でありながら絶えざる励ましを頂いた、飯島 さおり氏、稲山 友希絵氏、米原 大樹氏、そして看護医療学部の友人に心から感謝致します。

最後に、いつも私を大切に想い、支え励まし続けてくれた母と祖父母に深謝と敬愛を表し、謝辞と致します。

平成 21 年 1 月 20 日

大日野 舞

参考文献

- [1] Roger B. Dannenberg. An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. In Proceedings of the ICMC, s 193–198, 1984.
- [2] Miller Puckette. EXPLODE, A User Interface for Sequencing and Score Following. In Proceedings of the ICMC, pages 259–261, 1990.
- [3] 大日野舞, 森雅智, 金澤貴俊, 徳田英幸, 生音源を使った現在演奏位置解析システム, FIT2008, 情報科学技術フォーラム (FIT2008) 論文集, pp.249-250 (2008).
- [4] 竹川佳成, 寺田努, 西尾章治郎, 鍵盤奏者のための実時間運指取得システムの設計と実装, 日本ソフトウェア科学会第 13 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2005) 論文集, pp.93–98 (Dec. 2005).
- [5] T. Miura, A. Akabane, M. Sato, T. Tsuda and S. Inoue : ”Score Following of Orchestral Music Using Acoustic Pressure Peak-Tracking and Linear Stretch Matching”, Proceedings of the 2006 International Computer Music Conference (ICMC 2006), pp.624–627
- [6] 尾崎昭剛, 原尾政輝, 平田耕一, 演奏習得支援システムのために効率的な演奏現在位置解析アルゴリズム, エンターテインメントコンピューティング 2003 論文集, IPSJSymposium Series, Vol.2003, No.1, pp.41-46 (2003) .
- [7] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀, The Phantom of the Piano : 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, IPSJ Symposium SeriesVol.2006, No.4, pp.69-70, 2006.
- [8] 海野由紀子, 鈴木啓高, 斎藤博昭, 中西正和, 音楽情景分析における楽音認識と自動採譜, インタラクション 99, 予行集 1999. 情報処理学会論文誌, Vol.46,No.1, pp.157-171 (2005) .
- [9] 株式会社インフォレント 「これは便利! 自動譜めくり機「フメクール」」 <<http://infoレント.dreamblog.jp/blog/78.html>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [10] FreeHand Music Inc. 「MusicPad Pro」 <<http://corporate.freehandmusic.com/products-musicpadpro.php>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [11] 内閣府「第 2 部 調査の結果: 第 1 章 青少年・小学生」 <<http://www8.cao.go.jp/youth/kenkyu/hikou3/html/html/2-1-3.html>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [12] 社会法人 情報処理学会 「FIT2008 第 7 回情報科学技術フォーラム」 <<http://www.ipsj.or.jp/10jigyo/fit/fit2008/>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)

- [13] RH1 Lab 「RH1FFT」 <<http://www.asahi-net.or.jp/~es3t-kbt/fft/>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [14] 慶應義塾大学 SFC 研究所「慶應義塾大学 SFC ORF2009 【Gardens for Ingenuity-断面の触感-】」 <<http://orf.sfc.keio.ac.jp/>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [15] Processing 「Processing 1.0」 <<http://processing.org/>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)
- [16] Code Log 「Minim」 <<http://code.compartmental.net/tools/minim/>> (最終アクセス 2010 年 2 月 10 日)