

# 楽団向け電子譜面システムのための演奏者モデルと代表端末 選定アルゴリズムの提案と試作

飯島 安恵<sup>1</sup> 今野 将<sup>2</sup> 藤井 良知<sup>3</sup>

**概要**：近年、iPad などのタブレット型端末の普及に伴い、電子譜面が注目・開発されてきている。電子譜面は、紙の譜面と比較して劣化・黄ばみ・破損が少ない上に、保管・管理が容易であるという点でメリットがある。また、電子譜面システムを演奏会（特に吹奏楽団など）で利用すると、紙の譜面を利用する際に演奏者にかかる負荷の軽減が期待できる。しかし、現状の電子譜面システムは個人使用を想定して開発されているため、楽団で使用した際にいくつかの問題が生じる。また、アプリケーション内の機能が端末内のみで完結するため、タブレット型端末の特性を活かしきれていないと考えた。そこで、本研究ではタブレット型端末の特性を活かした楽団向け電子譜面システムの提案を行う。本稿では、吹奏楽団における譜めくり作業の負荷軽減に着目し、楽団全体での譜めくり回数を削減する方法を提案する。システムの具体的な内容は、演奏者や譜面から譜めくりに関するパラメータを抽出、それに基づき譜めくりタイミングが同じ演奏者をグループ化、グループ内で負荷が最も低い演奏者を代表者とし、グループの代表者以外の端末を代表者の端末に同期させて譜めくりを行うというものである。

## Design and development of the electronic music score system for WindOrchestra to reduce the load page turning

IJIMA YASUE<sup>1</sup> KONNO SUSUMU<sup>2</sup> FUJII YOSITOMO<sup>3</sup>

### 1. はじめに

近年、iPad などのタブレット型端末の普及とそれに伴うユーザー数の増加により、タブレット端末の特性を生かしたアプリケーションが開発されてきている。電子書籍や電子譜面アプリケーションもその中のひとつである。

電子譜面とは、音楽の授業や楽器の演奏会などで使用する譜面を電子データ化したものであり、それをタブレット端末上で使用できるようにしたものが、電子譜面アプリケーションである。現在の電子譜面アプリケーションは紙の譜面と比較して、譜面データの保管・管理や譜面の持ち運びなどが容易になる。

その一方で、既存の電子譜面アプリケーションは個人使

用（主にピアノ）を想定して開発されているため、アプリケーション内の機能が一つの端末内で完結してしまう。そのため、吹奏楽団などで電子譜面システムを用いた場合、演奏者には通常の紙の譜面を使用する際と同様の負荷がかかると考えられる。

本研究では演奏者にかかる負荷の一つとして、譜めくり作業に着目した。譜めくり作業が演奏者の負荷となっている事の根拠として、ピアノ演奏の際に譜めくりをする助手（ページターナー）が挙げられる。これは、楽器演奏時に演奏者にとって譜めくり作業が負荷になっているため設置されたものであると考える。この事より、譜めくり作業が少ない方が演奏者の負荷は軽減できるのではないかと考えた。しかし、既存の電子譜面アプリケーションでは、紙の譜面と同様に各個人が譜めくり作業を行わなければならないものが多い。そこで、本研究では演奏者の譜めくり作業の負荷を軽減するための電子譜面システムを提案する。

<sup>1</sup> 千葉工業大学 大学院 工学研究科 電気電子情報工学専攻  
Chiba Institute of Technology

<sup>2</sup> 千葉工業大学 工学部 電気電子情報工学科  
Chiba Institute of Technology

<sup>3</sup> 株式会社 ローテク  
LOWTECH, Inc.

## 2. 関連研究・アプリケーション

1. で述べたように、タブレット端末の普及によるユーザとアプリケーションの増加に伴い、電子譜面アプリケーションの開発・普及が進んできている。電子譜面アプリケーションが利用されている例として、電子譜面を用いた演奏会の実施(2001年)や、電子譜面セミナー(2012年, plusadd, Inc)などがある。関連研究論文と、実際の電子譜面アプリケーションをいくつか紹介する。

### 2.1 関連研究論文

関連研究論文として、小坂谷らの「演奏者に優しい『電子譜面』の研究と成果 [1]」がある。小坂谷らの研究は、従来演奏者(特に両手仕様の楽器奏者)の手操作譜めくりに関わる負荷を軽減するため、楽器を演奏する側と譜面を製作する側の双方の問題点に着目をして、電子譜面システムを開発したものである。デモ機による実装例と、「譜めくり比率の可変と時間差による先攻譜めくり方式」を中心に述べている。

紙媒体の譜面の問題点(不便性)として以下の点が挙げられている。

#### 【演奏する側の問題点(不便性)】

- (1) 譜めくりによる演奏の中断
- (2) 譜面の摩擦・汚れ
- (3) 譜めくり音
- (4) 譜面管理が繁雑
- (5) 暗闇での演奏が不可能(照明効果の反転困難)

#### 【譜面を製作する側の問題点(不便性)】

- (1) 作譜の際の譜めくりのタイミングを考慮した編集(頁によっては小節の粗密がアンバランスになってしまう＝頁がかさんでしまう)
- (2) 休止符(何も音を出さない部分)がない場合、比較的譜めくりのしやすい音符の配列にしなければならない  
また、次世代譜面機能として次の機能を目標に掲げている。

#### 【次世代譜面機能(目標)】

- (1) フットスイッチ, ハンドスイッチ, タッチスイッチによる各種譜めくり方式
  - (2) 譜面に書き込み, 保存, 読み出しができる機能を実装
  - (3) 暗闇演奏(譜面のバックライト表示)の実現
  - (4) 譜めくり比率の可変と時間差による先行譜めくり方式の実現
  - (5) 譜面コンテンツ管理の簡素化
  - (6) 譜めくり指示や指揮コメントの一斉(制御)送出方式
  - (7) 譜めくりコンテンツの分割(総譜⇒パート譜)送出方式
- 以上の項目の実現に際し、小坂谷らは譜面管理装置を開発した。譜面管理装置は楽曲の譜面情報を記憶する処理

部、演奏パート別に分配する処理部、送信データに編集無線送信する手段に分かれており、これらの譜面情報をディスプレイに表示するものである。指揮者(教育者)などが楽曲の進行状況に応じて同情報の更新(譜めくりなど)指示やメモの配送を行う。

### 2.2 現状の電子譜面アプリケーション

タブレット端末を用いた電子譜面アプリケーションとして、piaScore HD(plusadd, Inc)[2], finaleSongbook(MakeMusic, Inc.)[3], AvidScorch(AvidTechnology Inc)[4], MusicOne - Digital Sheet Music Solution(SightRead Ltd)[5]などがある。また、アップライトピアノに直接電子譜面の液晶を据え付けたDigiScore Series(Roland Corporation)[6]などがある。今回は、iPad向け電子譜面アプリケーション「piaScore HD -音楽を演奏する人のための電子譜面ビューア-」(以下、piaScore)の機能について紹介する。

piaScoreの主な機能として以下のものがあげられる。

- (1) 譜面ダウンロード(インターネット, オンラインストレージサービス, カメラなどから読み込み)機能
- (2) 譜面表示機能
- (3) 譜めくり機能(手動・自動)
- (4) 書き込み機能(譜面上)
- (5) メトロノーム機能
- (6) チューナー機能
- (7) キーボード機能
- (8) レコーダー機能
- (9) 模範演奏(MIDI), 動画サイト再生機能

piaScoreでは、アプリケーション内へ保存した譜面をタブレット端末の画面上へ表示し、手動または自動で譜めくりを行う。上記で紹介した機能の中に「譜めくり機能(手動・自動)」とあるが、手動譜めくりの場合は、タブレット端末の画面をフリック操作・タップ操作・画面下に表示されているボタンのスライドを操作する事によって譜面をめくる。自動譜めくりの場合は、(タブレット端末に付属しているカメラを用いた)ジェスチャー譜めくりやAirPageTurning(別途iPhoneと譜めくりのためのアプリケーションが必要), Bluetoothを用いたフットペダルでの譜めくり(別途AirTurnが必要)等を用いて譜面をめくる。また、タブレット端末上へ表示している譜面へ直接メモをすることができる。アプリケーション上でメトロノームやチューナーといった機能も使用することができる。

### 2.3 関連研究・アプリケーションの問題点

1. や2.1, 2.2で述べたように、既存の電子譜面は紙の譜面と比較して劣化や破損が少ない上に、保管・管理が容易である。しかし、現状の電子譜面システムは個人使用を想定して開発されているため、吹奏楽団などで既存の電子譜

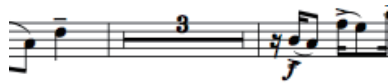


図 1 パート譜の全休符



図 2 スコア譜の全休符

面システムを用いた場合、演奏者には通常の紙の譜面を使用する際と同様に、譜めくり作業を行わなければならない負荷がかかるという問題点がある。また、アプリケーション内の機能が端末内のみで完結するため、タブレット型端末の特性を活かしきれていないと考えた。

そこで、本研究ではタブレット型端末の特性を活かした楽団向け電子譜面システムの提案を行う。特に、吹奏楽団における譜めくり作業の負荷軽減に着眼をし、楽団全体での譜めくり回数を削減する方法を提案する。

### 3. 楽団向け電子譜面システムの提案と設計

#### 3.1 提案内容の概要

吹奏楽団などで楽曲を演奏する際に、演奏者用のパート譜と指揮者用の(フル)スコア譜を使用する。パート譜は、演奏者が担当する楽器のパート1種類の情報のみが記されており、それぞれのパートごとに1種類のパート譜が存在する。紙面にすると数枚～数十枚程度になる。スコア譜は、楽曲で使用する楽器(パート)の情報がすべて記されており、1つの楽曲に大抵1種類のスコア譜が存在する。紙面にすると数十枚～数百枚程度になる。譜面に記されている全休符(1小節間何も音を演奏しないという記号)が複数小節に渡って連続している場合、パート譜では全休符の小節がまとめて省略されることがあるが(図1)、スコア譜では全て省略されずに記される(図2)。そのため、それぞれのパート譜は譜めくりタイミングが異なる。しかし、同パートや別パートの譜面の譜めくりタイミングが一致する場合がある。本研究では、その譜めくりタイミングに着目をした電子譜面システムを提案する。

提案システムについて簡単に述べると、パート譜の譜めくりタイミングが一致した演奏者をグループ化し、グループ内で譜面めくり以外の負荷が最も低い演奏者を代表者とする。そして、代表者以外の端末を代表者の端末に同期させて、譜めくりタイミングが同じグループごとに譜めくりを行うというシステムである。具体的なパラメータや式、アルゴリズムは3.2、3.3で述べる。

#### 3.2 演奏者の負荷値の計算方法

演奏者の負荷軽減のための電子譜面システムにおいて使用するパラメータは、以下のとおりである。

$NP_{inst}$  : Number Part instrument (パートの人数)

$LI$  : Load Instrument (楽器の負荷値)

$Pt$  : Page turner ((標準)譜めくり回数)

$Lm$  : Load member (個人の負荷値)

$Fing$  : Fingering (譜めくり直前の運指)

$Lt$  : Load turner (ひとりの譜めくり負荷値)

$Lp$  : Load part (パートの譜めくり負荷値)

$NP_{inst}$ とは、パートの人数(定数)である。本研究におけるパートとは、同じ譜面を演奏する演奏者の事を指す。そのため、同じ楽器を演奏している場合でも、パートが異なる場合がある(例:フルート1stパート,フルート2ndパート)。

$LI$ とは、楽器の負荷値(定数)である。楽器を演奏する際に用いる部位(楽器演奏部位)と、楽器を支えるために用いる部位(楽器支持部位)の和で算出する(例:フルート楽器演奏(右手左手)2+楽器支持(右手左手)2=4,トランペット楽器演奏(右手)1+楽器支持(右手左手)2=3)。

$Pt$ とは、個人の譜めくり回数である。初期値は提案システム導入前の譜めくり回数である。

$Lm$ とは、演奏者の個人の負荷値である。個人の負荷値は、演奏者自身の楽器歴(どの程度楽器を演奏できるか)と音楽歴(どの程度譜面を読むことができるか)の和で算出する。細かいパラメータは以下のようになる。

##### 【楽器歴】(演奏レベル)

負荷値:1 何の問題もなく楽器を演奏できる

負荷値:2 運指や演奏方法を思いだしながら演奏できる

負荷値:3 運指や演奏方法を確認しながら演奏できる

##### 【音楽歴】(譜読レベル)

負荷値:1 数時間～数分で譜読みができる

負荷値:2 数日かけて譜読みができる

負荷値:3 音階を書き込む等をして譜読みができる

$Fing$ とは、各演奏者の譜めくり直前の運指(楽器を演奏する際の指使い)を数値化したものであり、今回新たに追加したパラメータである。運指パラメータは、楽器演奏の際に右手のみを使用しているか、左手のみを使用しているか、両手を使用しているか、休符(またはどちらの手も使用していない)かの4種類に分類した。運指パラメータの詳細を表1に示す。

表 1 運指パラメータ

| 運指  | 右手 | 左手 | 両手 | 休符 |
|-----|----|----|----|----|
| 負荷値 | 1  | 1  | 2  | 0  |

また、運指パラメータについて詳細は4.3でも述べる。

$Lt$ とは、演奏者ひとり当たりの譜めくり負荷値であり、(1)式を用いて算出する。

$$Lt_y = \{(LI_x \times Lm_y) \times Pt_x\} + Fing_x \quad (1)$$

$Lt_y$ とは、ひとり当たりの譜めくり負荷値を示している。

パートごとの楽器の負荷値 ( $Lt_x$ ) と個人の負荷値 ( $Lm_y$ ) を積算し、その結果へパートごとの標準譜めくり回数 ( $Pt_x$ ) を積算し、その結果へ運指パラメータ ( $Fing_x$ ) を加算したものである。なお、パラメータの後ろの添え字について、 $x$  はパートごとの識別、 $y$  は個人の識別を表すものである。

$Lp_x$  とは、パートの譜めくり負荷値であり、(2) 式で示す通り、同じパート全員の譜めくり回数を足し合わせた値である。

$$Lp_x = \sum_{m \in NP_{inst}} (Lt_y)_m \quad (2)$$

$Lp_x$  とは、パートごとの譜めくり負荷値である。(1) 式で算出した  $Lt_y$  を、パートの人数 ( $NP_{inst}$ ) 分足し合わせたものである。(2) 式の左辺  $Lt_y$  を展開したものが (3) 式である。

$$Lp_x = \sum_{m \in NP_{inst}} \{ \{ (LI_x \times Lm_y) \times Pt_x \} + Fing_x \}_m \quad (3)$$

(3) 式における譜めくり回数 ( $Pt$ ) は本提案システムを導入する以前のパートの譜めくり回数に依存する値  $Pt_x$  を用いて算出される。これに対し、提案システム導入後の譜めくり回数 ( $Pt$ ) は (4) 式に示す通り、個人の譜めくり回数に依存する値  $Pt_y$  を用いて算出される。

$$Lp_x = \sum_{m \in NP_{inst}} \{ \{ (LI_x \times Lm_y) \times Pt_y \} + Fing_x \}_m \quad (4)$$

本研究では、(4) 式における譜めくり回数 ( $Pt_y$ ) を削減し、楽団全体で演奏者の譜めくり負荷を軽減することを目標としている。

### 3.3 代表端末選定アルゴリズム

代表端末決定のためのアルゴリズムを以下に示す。

#### STEP 1. 【譜めくりに関するパラメータを算出】 3.2

で述べたパラメータを譜面や演奏者などから算出する。

**STEP 2. 【演奏者をグループに分類】** 譜面から抽出した譜めくりタイミングを考慮し、演奏者を譜めくりタイミングが同じグループへ分類する。

**STEP 3. 【代表端末を決定】** STEP 1. で算出したパラメータと、STEP 2. で分類されたグループを考慮しながら、グループ内で譜めくりをする代表端末を決定する。

**STEP 4. 【グループ内で譜めくりを同期】** STEP 2. で決定したグループ内で、STEP 3. で決定した代表端末とその他の端末の譜面を同期をさせ、譜めくりをする。

### 3.4 BNF を用いたモデルの定義

本研究では、次に示す楽団モデル・演奏者モデル・楽曲モデルを使用する。BNF(Backus-Naur Form) を用いて定

義した各モデルについての詳細を以下に示す。

#### 【楽団モデル】

楽団は、複数の演奏者から構成されている。よって、楽団モデルを以下のように定義する。

<楽団> ::= <演奏者>+

#### 【演奏者モデル】

演奏者は、それを識別するための個人識別子、それぞれの担当楽器、基礎負荷値により構成されている。演奏者モデルを以下のように定義する。

<演奏者> ::= <個人識別子> <担当楽器> <基礎負荷値>

個人識別子は、演奏者ごとに異なる個人 ID が割り振られている。

<個人識別子> ::= “個人 ID”

担当楽器は、その演奏者が何の楽器を担当しているかという情報を定義している。

<担当楽器> ::= ... | Piccolo | Flute1st | Flute2nd | ...

基礎楽器負荷値とは、その演奏者の楽器演奏・譜読みレベルを数値化したものと、楽器を演奏している際にかかる負荷、楽器を持つ(支える)際にかかる負荷を数値化したものの和で定義されている。

<基礎負荷値> ::= <演奏レベル> + <譜読レベル> +

<楽器演奏部位> + <楽器支持部位>

演奏レベルと譜読レベル、楽器演奏部位と楽器支持部位の各負荷値については、3.2を参照されたい。

<演奏レベル> ::= <レベル>

<譜読レベル> ::= <レベル>

<レベル> ::= 1|2|3

<楽器演奏部位> ::= [右手] [左手] [足]

<楽器支持部位> ::= [右手] [左手] [足] [首]

#### 【楽曲モデル】

楽曲は、曲名と小節数、複数の構成楽器で構成されている。よって、楽曲モデルを以下のように定義する。

<楽曲> ::= “曲名” <小節数> <構成楽器>+

小節数は楽曲毎に異なるため、ここでは“n”という文字で定義する。

<小節数> ::= n 小節 (楽曲ごとに異なる)

構成楽器とは、その楽曲を演奏するにあたって使用する楽器の編成を定義するものである。構成楽器は、楽器(の種類)、譜面のページ数から構成される。なお、今回ここで定義する楽器の種類とは、同一楽器であっても、担当しているパートが異なる場合は異なる楽器の種類とする。

例) フルート 1st パートと、フルート 2nd パートは異なる楽器の種類とする。

<構成楽器> ::= <楽器> <ページ数>

また、提案システムにおいて代表端末を決定する際に、譜めくり直前の運指を考慮するため、楽器の種類を管楽器と打楽器の2種類に分類した。これは、管楽器は大抵、両手(あるいは片手)の指を用いて楽器に取り付けられてい

るキを押すか、楽器にあいている穴をふさいで音を出す  
が、打楽器は、大抵の楽器が両手(あるいは片手)でマレット  
やバチを持ち、楽器を叩くことで音を出すため、その楽  
器奏法を区別をするためである。

<楽器> ::= <管楽器> <打楽器>

管楽器は、運指と担当楽器から構成されており、運指は  
音階と、それぞれの音階が右手と左手を用いているかどう  
かで構成される。音階は、演奏者の担当楽器が出せるすべ  
ての音の情報を含んでいるため、担当楽器ごとに異なる。

<管楽器> ::= <運指> <担当楽器>

<運指> ::= <音階> [右手] [左手]

<音階> ::= ...<C> <C#> <D> <E> <E#> <F>...

<担当楽器> ::= ...|Piccolo|Flute1st|Flute2nd|...

<打楽器> ::= <楽器演奏部位> <担当楽器>

<楽器演奏部位> ::= 右手 [左手] [足]

<担当楽器> ::= ..|Drums|Tympani|Glockenspiel|...

ページ数についても、小節数と同様に楽曲ごとに異なる  
ため、ここでは“m”という文字で定義する。

<ページ数> ::= mページ (楽曲ごとに異なる)

## 4. シミュレーションによる評価実験と考察

### 4.1 提案システムの効果を検証するための

#### シミュレーション

前節までの設計に基づき、提案システムの効果を検証す  
るためにシミュレーションを行った。

シミュレーションに用いた楽団モデルは団員数：57名、  
曲の概要は、全小節数：314小節、ページ数：4ページ(た  
だし、Basson,S.Sax：3ページ、DrumSet：6ページ)、パート  
：36パートである。図3にシミュレーションに用いた曲  
の譜めくりタイミング表の一部を示す。譜めくりタイミン  
グ表には、演奏者(パート名)、小節数(通し番号・練習番  
号ごとの小節数)、譜めくりタイミング、楽器の負荷値・個  
人の負荷値(楽器歴、音楽歴)、譜めくり負荷値(代表端末  
決定前・後)の情報が記されている。表の左端にそれぞれ  
演奏者が担当するパート名が示されており、表の上2行は  
練習記号ごとの小節番号と、通しの小節番号が記されてい  
る。また、1マスが1小節となっており、赤く色のついて  
いる部分が譜めくりタイミングである。提案システム導入  
前後の負荷値の合計と負荷軽減率を表2に示す。

表2 システム導入以前の譜めくり負荷値

| ページ数     | 1   | 2   | 3   | 4  | 5  |
|----------|-----|-----|-----|----|----|
| 負荷値合計(前) | 57  | 57  | 54  | 1  | 1  |
| 負荷値合計(後) | 23  | 27  | 22  | 1  | 1  |
| 負荷軽減率    | 40% | 47% | 41% | 0% | 0% |

表2の「ページ数」は譜めくりをする直前のページ数  
を示している。最大ページ数はDrumSetの6ページなの  
で、表中の「ページ数」は1~5となっている。「負荷値合

計(前、後)」は提案システム導入前後の楽団全体の譜めく  
り回数、「負荷軽減率」は提案システム導入前後の負荷値  
合計を比較し、導入後の負荷値の軽減率を示したものであ  
る。表2に示す通り、DrumSetのみ譜めくりがある場合  
(4,5ページ)を除き、負荷が40%程度に軽減していること  
がわかる。これにより、提案システムが楽団全体の譜めく  
り負荷を軽減することが確認できた。

### 4.2 代表端末決定アルゴリズムの検証

代表端末決定アルゴリズム中のSTEP2.【演奏者をグ  
ループに分類】のグループ分類方法について、4通りのシ  
ミュレーションを行った。シミュレーションに用いた楽団  
モデルは4.1と同様に団員数：57名、実際の吹奏楽団を想  
定した演奏者モデルを使用した。楽曲の概要は、こちらも  
4.1と同様の、全小節数：314小節、パート数36パートで  
ある。このシミュレーションでも譜めくりタイミング表を  
使用した。シミュレーションを行った代表端末割り振り方  
法は以下のとおりである

#### 【代表端末割り振り方法(4通り)】

- 小節ごとに演奏者の負荷値を比較(譜めくりタイミン  
グ表を前方[A]、後方[B]から見る)
- パートごとに譜めくりタイミング表の負荷値を比較  
(譜めくりタイミング表を前方[C]、後方[D]から見る)  
[A][B]の方法は、譜めくりタイミング表を縦(小節ごと)  
に見ていき、譜めくり負荷値の低い演奏者へ代表端末を割  
り振るという方法である。

[C][D]の方法は、譜めくりタイミング表を横(パートご  
と)に見る。譜めくり負荷値が低いパートから順番に譜め  
くりタイミングを割り振るという方法である。表3に、シ  
ミュレーション結果を示す。

表3 代表端末決定アルゴリズムの検証シミュレーション結果

| 振り分け方法       | [A]          | [B]  | [C]  | [D]  |
|--------------|--------------|------|------|------|
| 譜めくり人数(人)    | 57(演奏者モデル人数) |      |      |      |
| 軽減率の平均(%)    | 60.8         | 61.4 | 61.4 | 61.4 |
| 楽団全体での軽減率(%) | 67.3         | 68.8 | 68.5 | 68.5 |

シミュレーションを行った結果、4つの方法ともほぼ同  
様の軽減率を得られた。傾向としては、方法[A][B]は代表  
端末が音楽歴・楽器歴の長い演奏者へ偏る形となった。方  
法[C][D]は方法[A][B]よりは比較的負荷がばらける結果  
となった。

### 4.3 運指パラメータを加味した

#### 代表端末決定アルゴリズムの検証

次に、運指パラメータを加味した代表端末決定アルゴ  
リズムの検証シミュレーションを行った。

運指パラメータとは3.2で簡単に述べたが、各演奏者の  
譜めくり直前の運指を数値化したものである。今回は、各

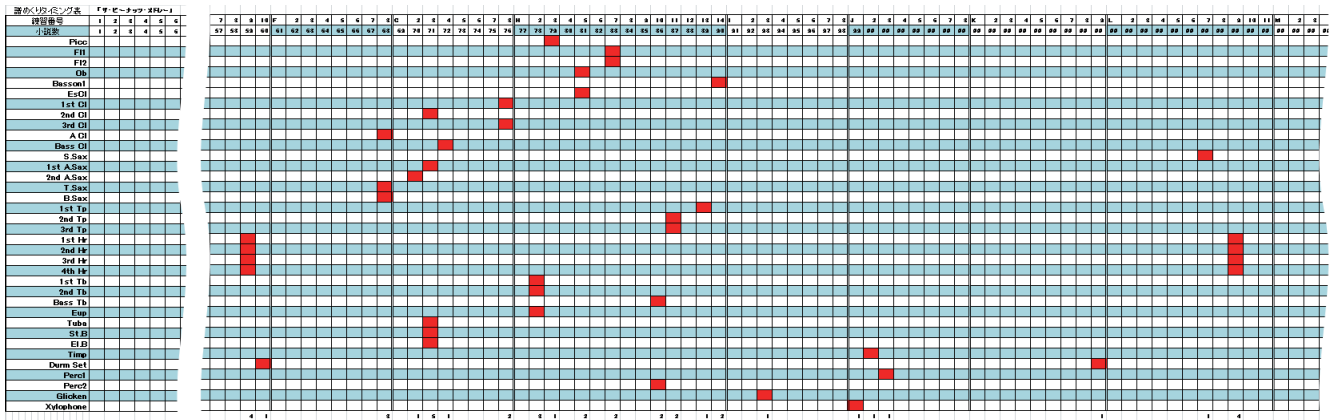


図 3 譜めくりタイミング表 (一部)

演奏者の譜めくりタイミング直前の 1 小節 (4 拍) 間の運指を抽出・数値化し、その値を運指パラメータとして譜めくり負荷値へ加算した。

1 拍ごとに、4 拍間の運指を抽出しているため、1 拍間に 2 つ以上の音 (八分音符以下の音価) があつた場合は、運指の負荷値が高い方を運指パラメータとして使用する。シミュレーションに用いた楽団モデル、楽曲は 4.2 で用いたものと同じものを使用した。代表端末割り振り方法も 4.2 で用いたものと同じ方法 (4 通り) を使用した。表 4 にシミュレーション結果を示す。

表 4 運指パラメータを加味した

代表端末決定アルゴリズムの検証シミュレーション結果

| 振り分け方法        | [A]          | [B]  | [C]  | [D]  |
|---------------|--------------|------|------|------|
| 譜めくり人数 (人)    | 57(演奏者モデル人数) |      |      |      |
| 軽減率の平均 (%)    | 60.8         | 60.8 | 60.8 | 59.7 |
| 楽団全体での軽減率 (%) | 77.1         | 77.7 | 77.3 | 71.0 |

運指パラメータを加味しない時と比べ、楽団全体での負荷軽減率が若干高くなることを確認できた。これは、負荷値に運指パラメータを追加することで、各演奏者の譜めくり直前の譜面のめくりやすさを数値で確認することができ、負荷が少ない演奏者へ代表端末が割り振られたためだと考える。また、今回のシミュレーションでも [B] の方法が楽団全体の負荷軽減率が最も高かった。これは、他の方法に比べて一度も譜めくりをしない演奏者が多かったことが原因と考えられる。

#### 4.4 電子譜面使用実験パラメータと軽減率

実際の楽器演奏者による電子譜面使用実験を行った。被験者はアマチュアの吹奏楽団に所属する楽器演奏者 7 名である (楽器経験年数 8 年~12 年)。楽器構成は、以下のようになつており、木管楽器のみの構成である。

- フルート 1 名
- クラリネット 3 名
- アルトサクソ 1 名



図 4 実験の様子

- テナーサクソ 1 名
- ファゴット 1 名

実験に使用した端末は iPad、端末間通信は Wi-Fi を使用した。代表端末割り振り方法は 4.2 のシミュレーションで使用した方法の中から [A] の方法を選択した。また、今回の使用実験では運指パラメータは加味していない。図 4 に実験の様子と、図 5 に実際に実験に使用した iPad を示す。表 5 に、電子譜面使用実験の細かなパラメータと軽減率を示す。

使用実験の結果、パートごとの負荷軽減率の平均は 28.6%、全体での負荷軽減率は 32.3% となった。負荷軽減率は小さく見えるが、7 名中 4 名の譜めくり負荷値が 50% 軽減することができた。使用実験後にアンケート調査を行った結果を表 6 に示す。

また、アンケート調査で以下の項目についてコメントを得た。各項目について以下に示す。

#### 【譜面の見やすさ、サイズ、解像度】

- 解像度は丁度良いが、A4 サイズの譜面に慣れてしまったため画面が小さく感じる
- タブレット端末を近くに置けば譜面を見るのに支障の

\*1 軽減前譜めくり回数  
\*2 軽減前譜めくり負荷値  
\*3 軽減後譜めくり回数  
\*4 軽減後譜めくり負荷値

表 5 代表端末決定アルゴリズムの検証シミュレーション結果

| ID | 楽器の種類  | 楽器の負荷値 | 個人の負荷値 |     |     | 軽減前  |       | ページ数 |    |     |    | 軽減後  |       | 軽減率 (%) |
|----|--------|--------|--------|-----|-----|------|-------|------|----|-----|----|------|-------|---------|
|    |        |        | 楽器歴    | 音楽歴 | 負荷値 | 回数*1 | 負荷値*2 | 1    |    | 2   |    | 回数*3 | 負荷値*4 |         |
|    |        |        |        |     |     |      |       | 小節   | 代表 | 小節  | 代表 |      |       |         |
| 1  | Flute  | 4      | 1      | 1   | 2   | 2    | 16    | 74   | ◎  | 139 | ◎  | 2    | 16    | 0.0     |
| 2  | Cl 1st | 4      | 1      | 2   | 3   | 2    | 24    | 63   |    | 128 | ◎  | 1    | 12    | 50.0    |
| 3  | Cl 2nd | 4      | 1      | 2   | 3   | 2    | 24    | 61   | ◎  | 128 |    | 1    | 12    | 50.0    |
| 4  | Cl 3rd | 4      | 1      | 1   | 2   | 2    | 16    | 75   | ◎  | 133 |    | 1    | 8     | 50.0    |
| 5  | Asax   | 4      | 1      | 1   | 2   | 2    | 16    | 63   | ◎  | 129 | ◎  | 2    | 16    | 0.0     |
| 6  | Tsax   | 4      | 1      | 2   | 3   | 2    | 24    | 75   |    | 133 | ◎  | 1    | 12    | 50.0    |
| 7  | Bsn    | 4      | 1      | 1   | 2   | 2    | 16    | 72   | ◎  | 126 | ◎  | 2    | 16    | 0.0     |



図 5 実験に使用した iPad

表 6 電子譜面使用実験アンケート結果

|                                   |                      |                |
|-----------------------------------|----------------------|----------------|
| Q1. 譜面の見やすさ                       | 見やすい<br>丁度良い<br>見づらい | 1(人)<br>4<br>2 |
| Q2. 譜面の大きさ                        | 大きい<br>丁度良い<br>小さい   | 0<br>2<br>5    |
| Q3. 解像度 (譜面)                      | 良い<br>丁度良い<br>悪い     | 2<br>5<br>0    |
| Q4. 譜めくりのしやすさ                     | しやすい<br>しづらい         | 7<br>0         |
| Q5. 譜めくりタイミングのわかりやすさ              | わかりやすい<br>わかりにくい     | 4<br>1         |
| Q6. 自分がめくっていない時に譜面がめくられることに対する違和感 | あった<br>なかった          | 2<br>3         |
| Q7. 譜面がめくられたタイミング                 | 同じだった<br>違った         | 3<br>1         |



図 6 譜めくりタイミング (アプリケーション中)

ないサイズである

【譜面のめくりやすさ】

- タップ操作で譜面がめくれるのでめくりやすいが、ページをめくる感覚(フリック操作)でめくれるとなお良い

【譜めくりタイミングのわかりやすさ】

- わかりやすいが、譜面の上の方へは自然と目はいかないので、例えば譜面の右下に V.S.(Volta Subito, (音楽記号)「譜面を早くめくる」の意)と表示したら良いのではないか(図 6: 譜めくりタイミング(アプリケーション中)の表示方法)

【自動で譜面がめくられることに対する違和感】

- 違和感があったが、電子譜面を使用する内に徐々に慣れるのではないかと

【譜面がめくられるタイミング】

- ほぼ適切であった

【その他の意見】

- 自動譜めくり機能を活かすには、譜面の譜めくりタイミングを揃えておく事が必要なのではないか
- 画面が小さく感じるので、横向きでの使用を検討したほうが良いのではないかと

5. おわりに

本研究では、演奏者の譜めくり作業に着目し、譜めくり作業の負荷軽減のためのシステムの提案をした。また、代

表端末選定アルゴリズムに用いるパラメータの紹介や、シミュレーションに用いる楽団モデル・演奏者モデルをBNFを用いて定義した。提案システムの効果を検証するためのシミュレーションと代表端末決定アルゴリズムの検証、実際の楽器演奏者による電子譜面使用実験を行い、提案システムによる譜めくり作業の負荷の軽減を確認した。

今後の課題として、パラメータと式、アルゴリズムの妥当性の確認と、モデルの定義についての検証、実際の楽器演奏者による実証実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 小坂谷壽一, 宮沢美由貴, 木寄増美: 演奏者に優しい『電子譜面』の研究と成果, 情報処理学会音楽情報処理学会研究会研究報告, Vol. MUS-52-17, pp. pp.119-124 (2003).
- [2] plusadd, I.: piaScore, plusadd, Inc (online), available from (<http://piascore.com/>) (accessed 2014-04-23).
- [3] Inc., M. J.: Finale SongBook | フィナーレ・ソングブック, MI7 Japan Inc. (オンライン), 入手先 (<http://www.finalemusic.jp/products/songbook/>) (参照 2014-04-23).
- [4] Avid Technology, I.: Avid Scorch, Avid Technology, Inc. (online), available from (<http://www.sibelius.com/products/>) (accessed 2014-04-23).
- [5] Ltd, S.: MusicOne from SightRead Ltd, SightRead Ltd (online), available from (<http://www.sightread.co.uk/musicone.html>) (accessed 2014-04-23).
- [6] Corporation., R.: HPi-50e, Roland Corporation. (online), available from (<http://www.roland.co.jp/PIANO/digi/>) (accessed 2014-04-23).
- [7] 飯島安恵, 今野将: 楽団向け電子譜面システムのための演奏者モデルと代表端末選定アルゴリズムの提案と評価, 技術報告, 情報処理学会第76回全国大会講演論文集 (2013).