

NAIST-IS-MT0851032

## 修士論文

# リアルタイム協調作曲のための コミュニケーション支援システム

木村 昌樹

2010年2月4日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

木村 昌樹

審査委員：

松本 健一 教授 (主指導教員)

加藤 博一 教授 (副指導教員)

門田 暁人 准教授 (副指導教員)

大平 雅雄 助教 (副指導教員)

# リアルタイム協調作曲のための コミュニケーション支援システム\*

木村 昌樹

## 内容梗概

近年, DTM (Desktop Music) ソフトウェアが, 作曲初学者やプロミュージシャンまで, 作曲スキルを問わず広く利用されている. DTM ソフトウェアは, 作曲に必要な楽譜の編集機能や自動演奏機能を有したソフトウェアである. 既存の DTM ソフトウェアの多くは, 主に個人の作曲を支援するものである. そのため, オンラインで複数人による協調作曲を行う場合, 作曲者の曖昧な楽曲のイメージを共有するために必要な相互理解の手段がなく, 楽曲の制作に困難が伴う. 本研究ではこの問題を解決するために, リアルタイム協調作曲支援システム Marble を提案する. Marble は協調作曲における作曲者間のコミュニケーションを支援するシステムであり, 複数の作曲者がリアルタイムに楽譜を共同編集することができる. 既存の協調作曲との比較実験の結果, Marble によって作曲者間のコミュニケーションを改善できることを確認した.

## キーワード

デスクトップミュージック, 協調作曲, オンラインコミュニケーション, ソーシャルクリエイティビティ, Marble

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT0851032, 2010年2月4日.

# Marble: A Communication Support System for Real-time Collaborative Music Creation\*

Masaki Kimura

## Abstract

In recent years, computer music software has been widely used from novice users to professional musicians. It provides users with the ability to compose that perform and publish digital music. Most of current computer music software mainly focuses on supporting a music creation process of an individual user. Collaboratively creating digital music online is very difficult, because users have no means to communicate and negotiate to share an ambiguous musical idea among users, which is inevitable in collaborative music composition in nature. In this paper I propose a communication support system for real-time collaborative music creation, so called Marble. Marble has a piano roll interface which allows a group of users to collaboratively edit music data created by each user and to synchronize music data among users. I have conducted an experiment to observe how Marble could improve a communication process in music composition. As the result of the experiment, I have found that Marble helped users communicate each other and collaboratively create better music, compared to a traditional way for communication online such as chat-based communication.

## Keywords:

desktop music, collaborative creation, online communication, social creativity, Marble

---

\*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT0851032, February 4, 2010.

# 目次

1. はじめに	1
2. 関連研究	3
2.1 自動作曲に関する研究	3
2.2 個人による作曲の支援に関する研究	3
2.3 複数による作曲の支援に関する研究	4
3. オンライン協調作曲	6
3.1 オンラインでの協調作曲過程	6
3.2 オンライン協調作曲の課題	7
3.3 オンライン協調作曲支援のための要件	8
4. Marble: リアルタイム協調作曲支援システム	10
4.1 システム概要	10
4.2 楽譜データの同期方法	12
4.3 楽譜データ変更メッセージプロトコル	13
4.3.1 音符に関する操作の <i>Property</i>	14
4.3.2 トラックに関する操作の <i>Property</i>	15
4.3.3 楽譜データ全体に関する操作の <i>Property</i>	16
4.3.4 マウスポインタに関する操作の <i>Property</i>	16
4.4 Marble の利用の流れ	17
5. 比較実験	19
5.1 実験概要	19
5.2 タスクと状況設定	19
5.3 実験条件	20
5.4 実験手順	21
5.5 被験者	22
5.6 実験結果	22

6. 考察	25
7. まとめと今後の課題	27
謝辞	28
参考文献	30
付録	33
A. Marble の使い方	33
A.1 各部の名称	33
A.2 再生コントローラ	34
A.3 トラック	35
A.3.1 音符を追加する	35
A.3.2 音符の長さ（発音時間）を変更する	36
A.3.3 音符の位置（音階または発音タイミング）を変更する	36
A.3.4 音符の音の強さを変更する	37
A.3.5 音符を削除する	37
A.3.6 音色全体の音量を変更する	37
A.3.7 トラックの音色を除去して試聴する	38
A.3.8 音色（楽器）を変更する	38

## 目 次

1	DTM を用いたオンライン協調作曲の過程 . . . . .	7
2	Marble のインタフェース . . . . .	11
3	楽譜エディタ上に共有された楽譜データとテレポインタの様子 . . . . .	11
4	楽譜データの同期を実現するためのシステムアーキテクチャ . . . . .	12
5	各ユーザが担当楽器のトラックの楽譜エディタに音符を配置する 様子 . . . . .	17
6	他のユーザの作曲過程を閲覧し, 試聴している様子 . . . . .	18
7	他のユーザの作曲過程に介入し, 代替案を提示している様子 . . . . .	18
8	実験中の被験者の様子 . . . . .	21
9	作曲された伴奏の例 . . . . .	23
10	Marble のメインウィンドウ . . . . .	33
11	再生コントローラに関連する各部の名称 . . . . .	34
12	トラックの各部の名称 . . . . .	35
13	2 小節目の 1 拍目にドを追加する操作 . . . . .	35
14	音符の音の強さの変更操作 . . . . .	37
15	音色の変更操作 . . . . .	38

## 表 目 次

1	操作と <i>Discrimination</i> の対応 . . . . .	14
2	音符に関する操作の <i>Property</i> . . . . .	15
3	トラックに関する操作の <i>Property</i> . . . . .	15
4	楽譜データ全体に関する操作の <i>Property</i> . . . . .	16
5	マウスポインタに関する操作の <i>Property</i> . . . . .	16
6	実験結果 . . . . .	24

## 1. はじめに

近年，DTM (Desktop Music) による音楽創造活動が盛んに行われている．特に日本においては，バーチャル・ボーカリスト「初音ミク」をモチーフとしたDTMソフトウェア VOCALOID2<sup>1</sup>を用いて作曲された楽曲が動画共有サイト「ニコニコ動画」<sup>2</sup>において発表され多くのユーザの共感を呼び大ヒットしたことにより，DTM 市場および音楽創造活動に新たな潮流が生まれている．

DTMソフトウェア（以降では簡単化のためDTMとする）とは，計算機上の楽譜にユーザが音符を配置することで作曲（楽譜データを作成）し自動演奏するためのソフトウェアである．この楽譜作成と自動演奏は主に2つの利用目的がある．利用目的のひとつは伝達である．作曲過程のなかで，楽譜の編集や自動演奏を行うことで個人のイメージとして内在する楽曲を，楽譜や音として外在化し，自分または他人に伝達することができる．もうひとつの利用目的は内省である．作曲過程での中間的産物について考察し，その後の楽曲の構成や修正案について指針を立てる際に利用する．

DTMを利用した作曲は，現実世界の楽器演奏によるオーディオ録音とは異なり，複数の楽器の楽譜を音符一個単位で編集することができ，個人で何度でも修正と確認ができるという長所がある．このため，作曲の効率化や不足楽器の補完などを目的として作曲初学者からプロミュージシャンまで幅広いユーザに利用されている．加えて，作成した楽譜データをネットワークを介してやりとりすることで，空間の制約を超えた複数人での協調作曲が可能であるという長所がある．特に，DTM 初中級ユーザは特定の楽器パートの作曲知識は有しているが他の楽器パートの作曲知識が不足している場合が多く，不足する知識を複数人のユーザが互いに補い合うことで個人の作曲知識のみでは不可能だった楽曲を作曲可能にするという点で，DTMを利用した遠隔地間での協調作曲は有用である．

しかし，協調作曲においては対面/非対面，DTM 使用/非使用に関わらず，作曲者間での楽曲イメージの共有には困難が伴う．作成しようとする楽曲に対するイメージには曖昧さが含まれる [13, 14] ことに加え，楽曲イメージを伝達するた

---

<sup>1</sup>VOCALOID2: <http://www.crypton.co.jp/mp/pages/prod/vocaloid/>

<sup>2</sup>ニコニコ動画: <http://www.nicovideo.jp/>



めに用いる言葉（言語）にも曖昧さが残る [2] ためである．現状の DTM を用いたオンラインでの協調作曲では，作曲者らはメールや IRC (Internet Relay Chat) を用いて楽譜データを共有し，楽譜データに対する意見や要望を言語的に伝達し合うのみである．結果的に，楽譜データの修正や微調整，代替案の作成を何度も繰り返す必要が生じ，作曲者間で納得のいく楽譜データができ上がるまでには多くの時間と労力を必要とする．

このように，DTM を用いたオンラインでの協調作曲は，複数の領域知識や技術を要する問題を複数人が互いに補完しあうことで解決できるようになる (Symmetry of Ignorance) [3, 6] という，グループ全体として発揮される創造性 (Social Creativity) [4] を活用できる．一方で，DTM には楽曲イメージの伝達におけるコミュニケーションの問題により，バンドメンバーが集まり意見を出し合いながら楽曲のイメージを擦り合わせ，徐々に楽曲を完成させていくといった創造的な音楽創作過程が十分に再現できないという課題が存在する．そこでこれらの問題を解決することを目的として，本研究では DTM を用いたオンライン協調作曲のためのコミュニケーション支援システム Marble を提案し，比較実験を通じて Marble の有用性を確認する．

続く 2 章では作曲支援に関する先行研究を概観し研究の位置付けを明確にする．3 章で DTM によるオンライン協調作曲の課題と支援のための要件をまとめ，4 章において支援システム Marble を提案する．5 章では Marble の有用性を確認するために行った比較実験について述べる．6 章で実験結果の考察を行い，最後に 7 章で本研究のまとめと今後の課題について述べる．

## 2. 関連研究

作曲という知的創造活動に対する捉え方の違いにより，計算機を用いた作曲支援には大きく2つの方向性がある．ひとつは，人間の知的創造作業の全てまたは一部を代行する計算機システム（自動作曲）に関する研究である．もうひとつは，計算機を利用することで人間が主体とする創造活動の効率化や高度化に寄与しようとする研究である．前者は計算機の知能や処理能力の向上を，後者は人間の知能の増幅や向上を指向しているという研究上の立場の違いがある．また，後者は個人の作曲過程を支援対象とするか，複数人での作曲過程を支援対象にするかにより二分される．

### 2.1 自動作曲に関する研究

作曲の全てまたは一部を計算機により自動化するアプローチは古くから存在する．計算機を用いた自動作曲は1957年にHillerとIsaacsonが発表したイリアック組曲[8]が世界初とされる．その後，Xenakisが確率過程(Stochastic Process)に基づく自動作曲プログラムを用いて数多くの作品を発表するなど，計算機を用いた自動作曲に対して様々な試みがなされてきた．近年では，歌詞の韻律を用いて歌唱曲を自動作曲するシステム[18]や楽曲の印象に基づいて楽曲を自動生成するシステム[21]などが提案されている．これらの研究は，偶発性から芸術性を見いだすこと，あるいは，何らかの特徴を抽出することでユーザが望む楽曲を予測するといった，作曲行為の代替や補助に主眼が置かれていると言える．本研究は人間が主体となり行う作曲という一種の思考活動を支援することが目的であり，作曲行為そのものを直接的に支援しようとするものでないため，上述のアプローチとは方向性が大きく異なる．

### 2.2 個人による作曲の支援に関する研究

個人による作曲活動の支援を目的とする研究は数多く存在する．網谷らは，作曲過程における中間的産物として生成されるフレーズの集合を，二次元空間上に

配置し構造化することで楽曲の構成を支援するシステムを提案している [20] . 中川は , 計算機援用による個人の作曲過程のモデル化を通じて , 作曲者の内省を助けるとともに他楽器の表情付けにかかる労力を軽減するための枠組みと支援システムを構築している [22] . 西本らは , 即興演奏や作曲といった新たなフレーズやメロディの創作過程を対象とし , フレーズをコンピュータグラフィックスの立体物として表現し提示することにより , フレーズ理解の支援を試みている [16] . Tsandilas らは作曲過程における作曲者の紙とペンの利用に関する観察結果に基づいて , 紙の楽譜と計算機とのインタラクションを支援するためのシステムを提案している [15] . これらの研究は作曲における人間の思考過程を支援するという点においては , 本研究と方向性を一にするものである . しかし本研究はオンライン環境下での複数人からなるグループの協調作曲を支援しようとするものであり , 上述の研究とは支援の対象が異なる .

### 2.3 複数による作曲の支援に関する研究

複数による作曲活動支援を目的とする研究は , 個人の作曲活動支援を目的とする研究と比較して数は少ないが , 一般クリエイターらによる音楽および動画のオンラインでの配信が盛んに行われている現状を鑑みると , 今後の研究成果が期待されている領域であると言える . これまで , 注釈が付加された楽曲断片をユーザが加工し , それらをユーザ間で共有することで協調作曲を支援するシステム [9] や , ユーザ間で議論しながら二次元チャット上に楽曲断片を配置し楽曲を完成させていくためのインタフェース [19] などが提案されている . 楽曲断片をベースに楽曲を完成させていくというこれらの研究のアプローチは協調作曲作業の簡便化には有効な方法であるが , 曖昧性を含む楽曲イメージを徐々に完成させていくといったプロセスを支援するためには粒度が粗いものと言える . 本研究で提案する Marble は楽曲イメージの正確な伝達に重きを置いているため , DTM による作曲において一般的に利用されているピアノロールインタフェースを備えているのが特徴である .

また , 商用のオンラインサービスとして類似するシステムの運用を始めているものとしては , Yourself Music[10] や NoteFlight[11] , 音造 [17] などがある . これ

らのサービスにはオンラインで作曲するためのインタフェースを備え、作曲された楽曲を他のユーザが編集する機能や楽曲に対してコメントする機能などがあり、オンラインでの協調作曲の一形態と捉えることができる。現時点ではオンライン上のユーザ同士で楽曲を作成する「楽しみ」が重視されたものとなっており、楽曲のイメージの伝達やコミュニケーションプロセスの支援に重きを置く本研究とは目的が大きく異なる。しかしながら、実装されているインタフェースやインタラクション方法の完成度は高く、提案システムを設計する上では参考になるものである。

### 3. オンライン協調作曲

本章では，本研究で取り扱うDTMによるオンライン協調作曲の現状と課題について述べ，支援システム構築のための要件を定義する．

#### 3.1 オンラインでの協調作曲過程

本研究は，DTMを用いてオンラインで協調作曲を行う遠隔地間のグループを支援対象としている．一般に，DTMによる協調作曲では，楽譜データをメールやIRCを介してやりとりしながら，各楽器パート担当者がそれぞれの楽器パートの楽譜を作成し，それらをつなぎ合わせて楽曲の完成を目指す．楽器パート担当者とは，担当する楽器の演奏方法や作曲方法についての専門性を有する人物（ここでは担当以外の楽器についての専門的知識は持たないものとする）である．特にDTM初中級ユーザには特定の楽器の演奏および作曲方法は熟知しているが，他楽器については知識が不足している場合が多く見受けられる．このような，各楽器パート担当者が互いの知識や技能を補完し合うことで個人では作曲不可能であった本格的な楽曲を作曲しようとするグループが本研究の支援対象である．

上述のグループによる一般的な作曲過程を以下に示す．ここでは簡単化のために，グループのメンバーは主旋律（例えばピアノ）担当者と伴奏（例えばギター）担当者の2人のみとしている．

手順1. 主旋律担当者は，構想した楽曲全体のイメージに基づいた主旋律を作曲後，伴奏担当者に主旋律を含んだ楽譜データを送信する．

手順2. 同時に主旋律担当者は，楽曲全体のイメージおよび主旋律にふさわしいと思われる伴奏のイメージを伝え，伴奏担当者に伴奏の作曲を依頼する．

手順3. 伴奏担当者は，主旋律担当者の要望に基づいて伴奏を作曲し，楽譜データを主旋律担当者に返信する．

手順4. 主旋律担当者は，受取った楽譜データを試聴し当初描いていたイメージと違っていれば手順2に戻る．

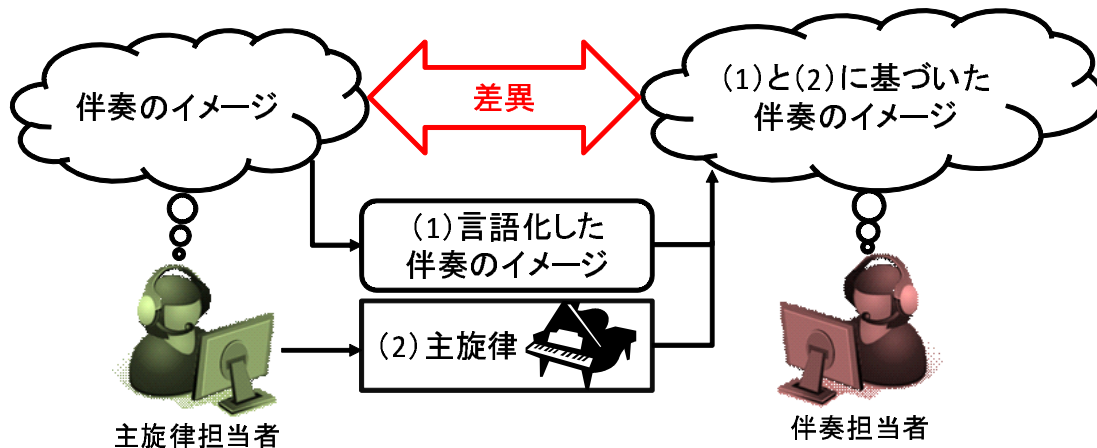


図 1 DTM を用いたオンライン協調作曲の過程

手順 2 と手順 3 において，主旋律担当者の要望通りの伴奏が得られれば作曲はスムーズに進むが，実際には多くの場合，要望通りとはならず手順 2 と手順 3 を何度も繰り返すこととなる．結果として，グループメンバー全員が納得のいく楽曲ができるまでには多大な時間と手間が必要となる．次節ではこの原因について詳述する．

### 3.2 オンライン協調作曲の課題

図 1 は前述のオンライン協調作曲の過程を図式化したものである．主旋律担当者はまず，作成した主旋律に対して期待する伴奏をイメージし，言語化して伴奏担当者にメールやチャットシステムを用いて伝える．しかし，伴奏のイメージは多くの場合，伴奏作曲知識の不足している主旋律担当者にとっては漠然としたものや曖昧なものになりやすい．さらに，主旋律担当者は伴奏の演奏技法などの楽器知識がないため，元々曖昧性を含む伴奏イメージの言語化の際には情報が欠落しがちである．結果として，主旋律担当者が言語化して伴奏担当者に伝える伴奏のイメージは，主旋律担当者の思考を正確に表したものとはならないことが多い．

伴奏担当者は，主旋律担当者から伝えられた曖昧性を含む言語化された伴奏のイメージと主旋律（楽譜データ）から主旋律担当者が期待している伴奏をイメー

ジする。このとき伴奏担当者は、自身の音楽知識や経験に基づいて欠落している情報を補ったり具体化したりする。しかし、伴奏担当者の音楽知識や経験は、専門性の違いから主旋律担当者とは異なるものであることが普通である。結果として、伴奏担当者が抱く伴奏のイメージは、主旋律担当者の伴奏のイメージと異なるものになってしまい主旋律担当者の期待した伴奏は容易には得られない。

互いの専門性や背景知識の違いから意図を正しく伝達することができず、相互理解が困難となる状況は日常生活でもしばしば経験することである [7, 12] が、音楽という創造的産物の協創過程においては顕著にこの問題が現れる。作曲者は曖昧性を含む楽曲イメージから自身の音楽知識や経験に基づいて意識的または無意識的に音の強さといった表情付けを行いながら楽曲を作成していく [13, 14] ため、音楽知識や経験を他者へ正確に言語化し表現するのは困難である。また、意図を伝達するために用いる言語そのものにも曖昧性を含むことが多い [2] ため、楽曲イメージの共有はさらに困難さを増す。

### 3.3 オンライン協調作曲支援のための要件

コミュニケーションの収束モデル (Convergence Model of Communication) [12] で説明されるように、相互理解は繰り返しのコミュニケーションを通じて漸次的に構築されるものである。特に、専門性や背景知識の異なる人々による協調作業では、課題や問題に共に取り組む中で人々の専門性や背景知識が自然に表出 (コンテキストが共有) され、ステークホルダの間で徐々に相互理解が構築されるようなコミュニケーション支援環境が必要である [5]。

この指針にしたがって Arias らは、都市計画を例として、専門性や立場の異なる複数のステークホルダ (住民, 行政担当者, デザイナなど) の間のコンテキストの共有を助け、都市計画という協調作業を支援する計算機環境 EDC (Envisionment and Discovery Collaboratory) [1] を提案している。EDC は特に、テーブルトップインタフェース<sup>3</sup>の上に、建物などの物理的なオブジェクトを配置し計画中の都

<sup>3</sup>正確には、タッチセンター付の電子ホワイトボードの上に、天井に吊るしたプロジェクタから各種シュミレーションを投影するという表示表法をとる。近年主流のタッチパネル式のテーブルトップインタフェースとは異なる。

市設計についての議論を繰り返すことで、コンテキストを共有しつつ徐々に相互理解を深めることを可能にしている。

音楽創造における協調作曲においても、楽曲イメージを共有するためには音楽知識や専門性の違いを相互に理解し、協調的にアイデアを創出しながら楽曲を完成させていく必要がある。本研究では以下の要件を満たす、オンライン協調作曲のためのコミュニケーション支援システムの構築を目指した。

要件 1. 外在化された楽曲イメージが共有できること。

要件 2. 作曲過程がお互いに見えること。

要件 3. リアルタイムに楽譜を共同編集できること。

要件 1 は、協調作曲を行う際にはまず、互いの楽曲イメージを具体的な形で外在化し共有する手段として作成された楽譜データを可視化する必要がある。従来システムでもピアノロールインタフェースなどが採用され、視覚的に楽曲イメージの把握を助けている。要件 2 は、作曲という思考過程の一部を具体的な形で外在化および共有することでコンテキストの共有を促し、音楽知識や専門性の違いを相互に理解するために必要な要件である。従来システムでは、作成された静的な楽譜データを可視化するのみであり、作曲者の思考過程を伺い知ることは困難であった。作成中の楽譜データを時系列に記録することで作曲過程の動的な可視化が可能になる。要件 3 は、リアルタイムに互いの楽譜の微調整や修正を行う中で作曲中の楽曲イメージの「擦り合わせ」を円滑に行うために必要となる要件である。適宜必要に応じて楽曲イメージの「擦り合わせ」が容易にかつ繰り返し行える手段を提供することで、楽曲イメージに対する相互理解が徐々に構築され、協調作曲者全員が納得のいく楽曲を完成させることが可能になる。

本研究では、上記の 3 つの要件を満たすために、リアルタイム共同編集が可能なピアノロールインタフェースを採用した支援システム Marble を実装した。次章では、Marble およびインタフェースについて詳述する。



## 4. Marble: リアルタイム協調作曲支援システム

本章では、オンラインでの協調作曲におけるコミュニケーション支援に必要な要件に基づいて構築したシステム Marble について述べる。以降、4.1 節で提案システムについて概説し、4.2 節で楽譜データをリアルタイムに同期する方法を説明し、4.3 節で楽譜データの同期に用いるプロトコルについて詳述し、4.4 節で提案システムの利用の流れについて説明する。

### 4.1 システム概要

Marble は、楽譜データを複数ユーザ間でリアルタイムに同期させることができるシステムである。ユーザが楽譜データを変更すると他のユーザの楽譜データにも即座に変更が反映される。

図 2 に Marble のインタフェースと各部の名称を示す。Marble は、自動演奏を制御する再生コントローラ、楽器パートを編集するトラック、楽譜データの同期を制御する同期コントローラの 3 つのインタフェースで構成されている。再生コントローラとトラックは、一般的な DTM ソフトウェアが有している機能やインタフェースを踏襲している。

トラックは、楽器の音色や音量を変更する機能および楽譜を編集する楽譜エディタを備えている。楽譜エディタは、ピアノロールと DTM ソフトウェアで広く利用されているインタフェースである。ピアノロールは、縦軸に音階、横軸に発音タイミングと音の長さを表すインタフェースである。ピアノロールを用いることで、音階や音の長さ、音の強さを視覚的に把握することができ、楽譜データとして外在化された楽曲イメージを共有することができる（要件 1）。

楽譜エディタ上での操作はネットワークを介してリアルタイムに同期させることができる（要件 2）。互いの作曲過程をリアルタイムに閲覧することができるため、音楽知識や専門性の違いが反映されやすい他者の作曲方法を伺い知ることができる。加えて、楽譜エディタ内に他のユーザのマウスポインタを表すテレポインタを表示し、現在どこを作業しているかをユーザ間で把握しやすくしている。また、楽譜エディタ上では、他のユーザの作曲過程を閲覧可能なだけでなく、

作曲過程に介入する（楽譜の共同編集）ことが可能である（要件3）。

図3に楽譜データを共有し共同で楽譜編集を行っている様子を示す。楽譜エディタ上には、音符（四角の元素）とユーザのマウスポインタおよび楽譜データを共有する他のユーザのテレポインタが表示される。音符とテレポインタにはユーザごとに固有の色が割り振られる。音符の内側にあるバーはベロシティバーと呼び、音の強さをバーの長さで表現している。

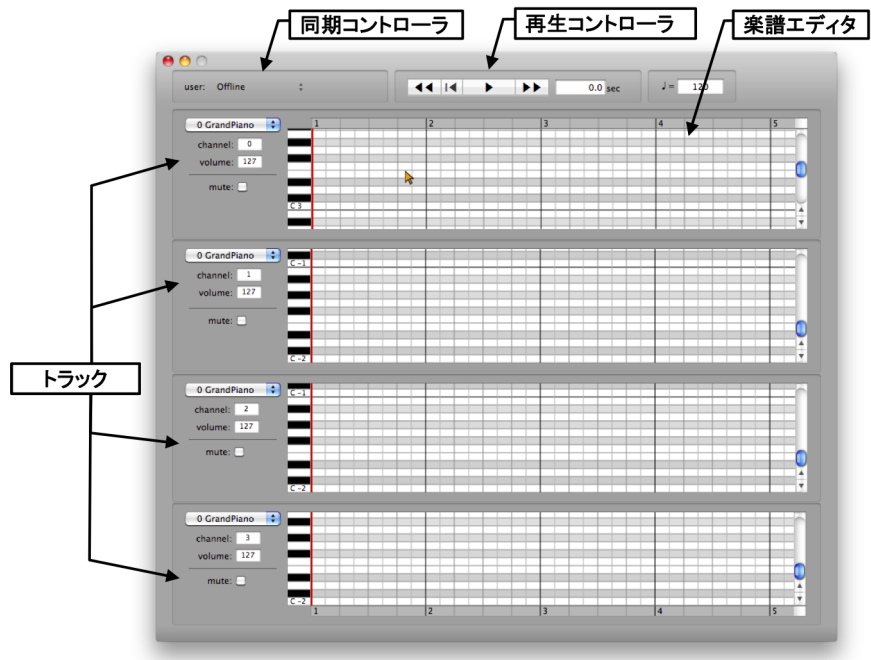


図2 Marbleのインターフェース

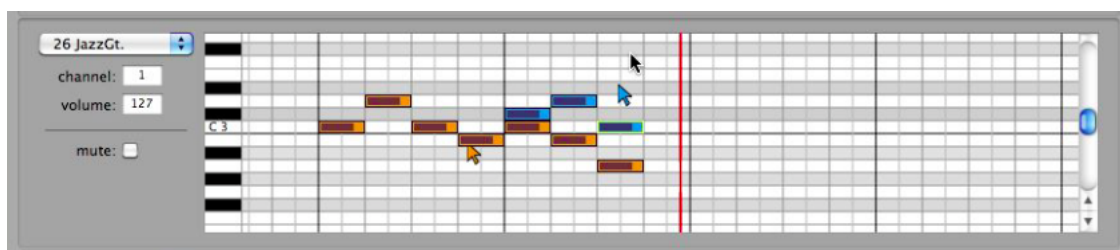


図3 楽譜エディタ上に共有された楽譜データとテレポインタの様子

## 4.2 楽譜データの同期方法

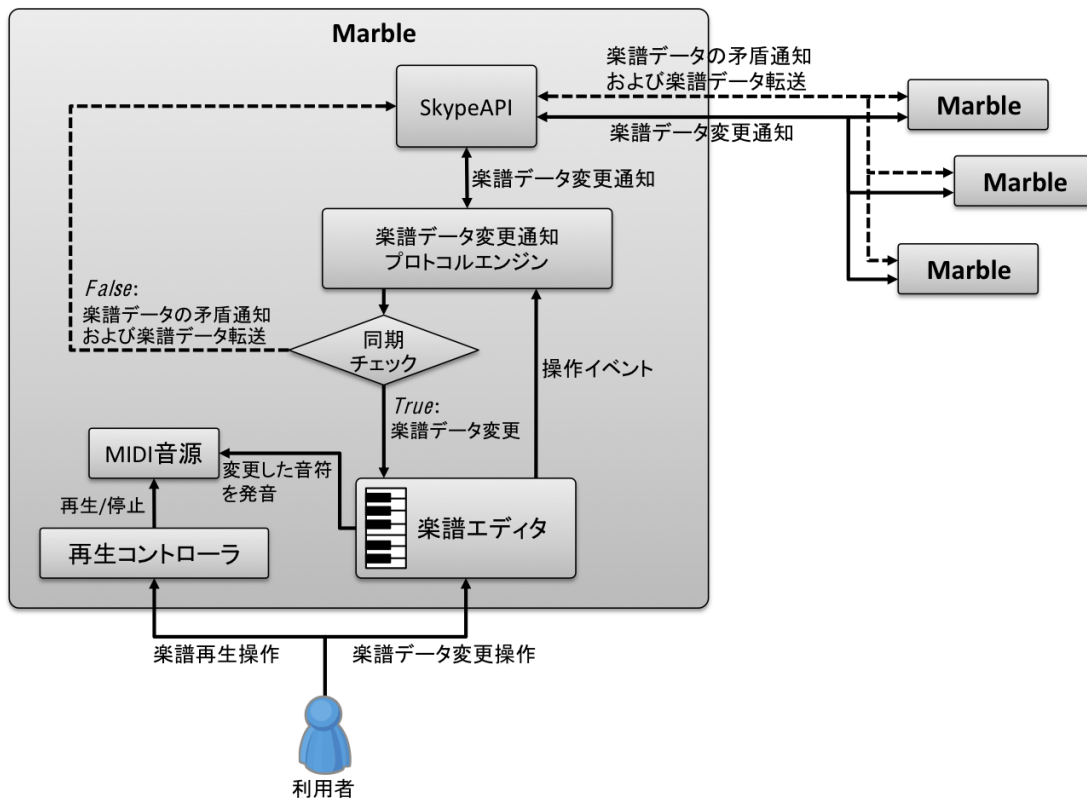


図 4 楽譜データの同期を実現するためのシステムアーキテクチャ

Marble は、楽譜データをクライアント間で逐次送受信することで複数人の楽譜データを同期させる。同期対象のデータはユーザが楽譜データに変更を加える項目であり、具体的には音符の追加、音符の編集（音の発生タイミング、音の長さ、音程、音の強さ）、音符の削除、音色の変更、音色別の音量変更、テンポの変更である。これら楽譜データを SkypeAPI による P2P 通信で送受信する。通信方法を P2P 通信にした理由は、P2P 通信はユーザが別途サーバーを用意する必要が無いという利点があるためである。

楽譜データの同期を実現するシステムアーキテクチャを図 4 に示す。図 4 では、楽譜データを共有する各クライアントにおいて、ユーザが楽譜データに変更を加

えた際に、その変更が他のユーザの楽譜エディタに反映されるまでの流れを表している。ユーザが楽譜データに変更操作を行うと、操作された対象の属性（例えば音符なら音の長さなど）を楽譜データ変更通知プロトコルエンジンによってメッセージ（4.3節にて詳述する）に変換する。このメッセージを SkypeAPI を用いて、楽譜データを共有する他の各クライアントに通知する。メッセージを受けとった各クライアントは、楽譜データ変更通知プロトコルエンジンによってメッセージの内容を解釈し、楽譜データに変更を加える。

また Marble は、前述のように P2P 通信で楽譜データの送受信を行っており、各クライアントがそれぞれ独立した楽譜データを保持している。そのため通信障害が発生した際に楽譜データに矛盾が生じる可能性がある。これに備えて受信したメッセージと楽譜データの音符情報を照合し、矛盾が検知された際は矛盾発生の通知と楽譜データの同期を行う（図 4 中破線矢印）。

### 4.3 楽譜データ変更メッセージプロトコル

楽譜データ変更メッセージは、ユーザによって変更された楽譜データの内容を、他のユーザの楽譜データにリアルタイムに反映するために用いる。Marble の楽譜データは、大別して音符に関するデータ、トラックに関するデータ、楽譜全体に関するデータで構成されている。楽譜データを同期する対象はこれら全てのデータである。このデータの構成に基づいてユーザの操作を分類すると、音符に関する操作（例：音符の追加や編集、削除）、トラックに関する操作（例：音色の変更、トラックの音量変更）、楽譜データ全体に関する操作（例：テンポの変更）となる。さらに、Marble では他のユーザのテレポインタを楽譜エディタ上に表示するため、マウスポインタに関する操作が加わる。楽譜データ変更メッセージプロトコルは、これらの操作分類と操作の内容を基に作成した。メッセージは、操作を識別する *Discrimination* と、操作の内容を表す *Property* をコロンでつないだものとした。

$$Discrimination : Property \quad (1)$$

*Discrimination* は、*Property* の内容を識別するために割り振られた名称が記

表 1 操作と *Discrimination* の対応

操作	<i>Discrimination</i>
音符に関する操作	Note
トラックに関する操作	Track
楽譜データ全体に関する操作	Project
マウスポインタに関する操作	Mouse

述されている。各識別名称は表1の通りである。*Property* は、他のユーザの操作によって変更された変数名や値が記述されており、各 *Discrimination* によって内容が異なる。複数の値を CSV 形式で羅列しており、ひとつの変数は “*VariableName* = 値” の形式で構成されている。以降、各操作で付加される *Property* の内容について順に述べる。

#### 4.3.1 音符に関する操作の *Property*

音符に関する操作の *Property* は表2の変数で構成される。例として、あるユーザ (*userID*=0) が最初のトラック (*trackID*=0) の2小節目、1拍目のド(5オクターブ目)に16分音符を追加した際に、各クライアントに送られる楽譜データ変更メッセージを以下に示す。

```
Note:trackID=0,userID=0,noteID=3,status=ADD,
note=60,time=16,duration=1,velocity=100
```

楽譜データ変更メッセージを受信したクライアントは、まず楽譜データから同じ *trackID*、*userID*、*noteID* を持つ音符を探索する。次に *status* を基に同期チェックを行う。例えば *status* が、削除を表す REMOVE であり、かつ音符が既に存在しない場合、楽譜データがクライアント間で矛盾していることになる。矛盾が検知された際には、各クライアントに通知し、同時にその時点での楽譜データを転

表 2 音符に関する操作の *Property*

<i>VariableName</i>	用途
trackID	音符が属しているトラックを識別する。
userID	操作した音符をユーザ別に識別する。
noteID	操作した音符を音符番号別に識別する。
status	どのような操作をしたかを識別する。
note	音符の音階を表す。
time	音符の発音タイミングを表す。
duration	音符の長さを表す。
velocity	音符の音の強さを表す。

送する。同期チェックにより矛盾が検知されなければ、status 以降の *Property* を基に音符を生成または変更する。

#### 4.3.2 トラックに関する操作の *Property*

トラックに関する操作の *Property* は表 3 の変数で構成される。

表 3 トラックに関する操作の *Property*

<i>VariableName</i>	用途
trackID	トラックを識別する。
tone	選択した音色番号を表す。
volume	トラックの音量を表す。

tone は選択した音色の番号を表している。音色は、Mac OS X に標準で搭載されている QuickTime MIDI 音源の音色 128 種類、ドラム 7 種類から選択できる。トラックの音量は、そのトラックに属する全ての音符群の音量を示す。他のトラックの楽器との音量バランスを整える際に変更する。

### 4.3.3 楽譜データ全体に関する操作の *Property*

楽譜データ全体に関する操作の *Property* は表 4 の変数で構成される。

表 4 楽譜データ全体に関する操作の *Property*

<i>VariableName</i>	用途
bpm	テンポを表す。

楽譜データ全体に関するデータは，テンポなど楽曲全体に影響を与える変数で構成される。現状ではテンポのみとなっており，今後，トランスポーズ（全てのトラック内の音符を半音単位に移動し，移調する），曲名などの変数を拡張する予定である。

### 4.3.4 マウスポインタに関する操作の *Property*

マウスポインタに関する操作の *Property* は表 5 の変数で構成される。

表 5 マウスポインタに関する操作の *Property*

<i>VariableName</i>	用途
trackID	トラックを識別する。
userID	ユーザを識別する。
status	楽譜エディタにおいてマウスポインタの入退出を識別する。
mouseX	楽譜エディタにおけるマウスポインタの X 座標位置を表す。
mouseY	楽譜エディタにおけるマウスポインタの Y 座標位置を表す。

マウスポインタに関する操作のメッセージを受信すると，まず trackID からのトラックに属している楽譜エディタのテレポインタかを識別し，userID から該当するテレポインタを探索する。status は楽譜エディタからの入退出を表す。あるユーザ (userID=2) のマウスポインタが 2 番目のトラック (trackID=1) の楽譜エ

ディタに進入した際に送られるメッセージを以下に示す．

```
Mouse:trackID=1,userID=2,status=IN,  
mouseX=423,mouseY=281
```

#### 4.4 Marble の利用の流れ

以下に Marble を利用して協調作曲を行う流れを示す．詳細な使用方法は付録 A に記載する．

手順 1. Marble を起動し，同期コントローラの同期ボタンを押下し，複数ユーザー間で楽譜データの同期を開始する．同時に，議論を行うためにビデオチャットシステムを起動する．

手順 2. ユーザは作成する楽曲のイメージに基づいて，担当楽器の音色を選択および楽譜エディタに音符を配置し，必要に応じて試聴しながら楽曲のイメージを具体化していく（図 5）．

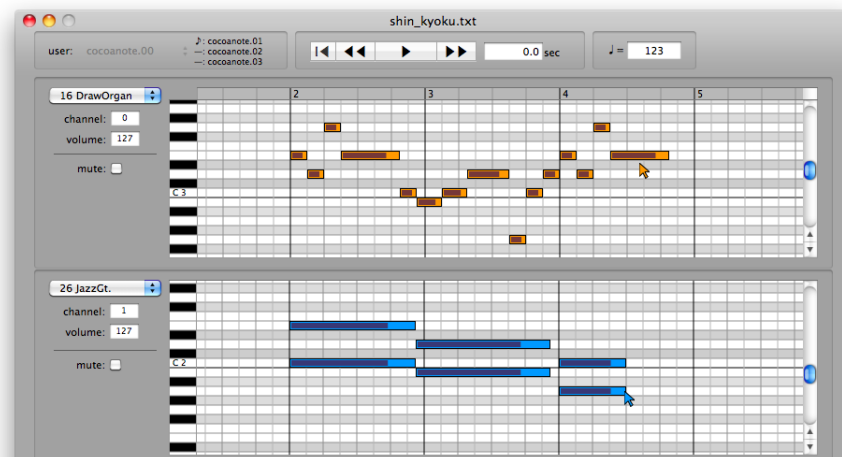


図 5 各ユーザーが担当楽器のトラックの楽譜エディタに音符を配置する様子

手順 3. 他のユーザーの作曲過程を閲覧し，必要に応じて試聴することで，自身の持つ楽曲のイメージと比較する（図 6）．



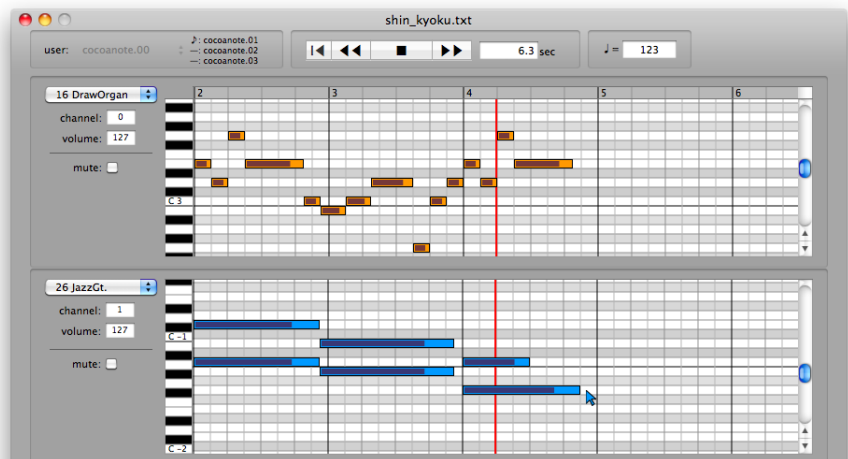


図 6 他のユーザの作曲過程を閲覧し、試聴している様子

手順 4. 他のユーザの作曲過程に介入し、自身の持つ楽曲のイメージを音符の編集によって伝える．必要に応じて議論対象の音符について互いに編集し合うことで綿密な調整を行う（図 7）．

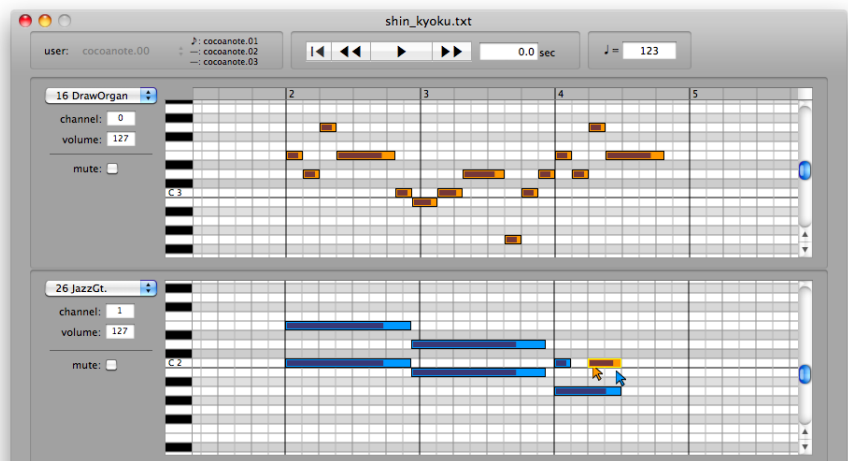


図 7 他のユーザの作曲過程に介入し、代替案を提示している様子

手順 5. 作曲者間で納得のいくまで手順 2, 3, 4 を繰り返す．

## 5. 比較実験

本章では、提案システム Marble の有用性を検証するために行った比較実験について述べる。

### 5.1 実験概要

実験は、2名1組の被験者に Marble の楽譜エディタをリアルタイムに同期させ共有する場合（提案システム条件）と共有しない場合（従来システム条件）を比較するものである。本実験の目的は、以下の2つの仮説を検証し、Marble がオンライン協調作曲におけるコミュニケーションを改善できるかどうかを確かめることである。

仮説 1. 作曲に要する時間は従来システム条件と比較して短縮される。

仮説 2. 楽譜エディタ操作回数は従来システム条件と比較して増加する。

仮説 1 は、楽譜エディタをリアルタイムに作曲者間で共有し作曲過程を相互閲覧することで、作曲者間のコミュニケーション（イメージの擦り合わせ）が容易になるため、結果として楽曲ができ上がるまでに要する時間が楽譜エディタを共有しない場合と比較して短縮されるという考えに基づいたものである。また、仮説 2 は、楽譜エディタを作曲者が相互に操作しながらイメージの擦り合わせが可能になるため、楽譜エディタを共有しない場合と比較して操作回数が増えるという考えに基づいたものである。

### 5.2 タスクと状況設定

仮説を検証するために、Marble を同期して用いた場合と用いなかった場合のそれぞれの環境で2曲ずつ計4曲を、2名1組の被験者で納得のいくまで作曲してもらおうというタスクを与えた。ただし、被験者同士で自由に作曲を行わせた場合、楽曲の仕上がりに納得するかどうかは個人の音楽嗜好や性格などに大きく左

右されるなど、属人性の影響が大きくなることが予想される。そのため、実験では被験者に対して次のような状況設定を与えた。

「ペアとなる被験者2名はDTMを用いて遠隔地間で作曲活動を行っている。2名のうち一方は主旋律を作成する主旋律担当者、他方はギター伴奏を作成する伴奏担当者である。主旋律担当者はこのほど新しい主旋律を作曲したため、伴奏担当者に伴奏の作曲を依頼することにした。主旋律担当者は作曲した主旋律に対して理想的なギター伴奏のイメージを持っている。主旋律担当者と伴奏担当者は、主旋律担当者の描く理想的なギター伴奏のイメージに近づくまで意見を交わしながらギター伴奏の作成および修正を行う。」

これはあくまで実験のための状況設定であり、実際には主旋律担当者が主旋律を作曲したり理想的なギター伴奏のイメージを抱いている訳ではない。実験者が予め用意した課題曲を主旋律担当者となる被験者にのみ聴いてもらい、課題曲で用いられていたギター伴奏に近づくように主旋律担当者が伴奏担当者にギター伴奏の作成および修正を依頼するという方法をとった。また、主旋律担当者にギター演奏および作曲経験がある場合、主旋律担当者自身で課題曲に限りなく近いギター伴奏が作曲可能となってしまうため、主旋律担当者はギター演奏および作曲未経験者から選んだ。

### 5.3 実験条件

実験条件は、Marbleの楽譜エディタを同期させ共有し作曲を行う場合と共有せずに作曲を行う場合である。被験者ペアは前者と後者でそれぞれ2曲、計4曲の協調作曲を行った。ただし、インターフェースの違いという要因を排除するために、どちらの条件でもMarbleを利用し、従来システム条件でのみ楽譜データの同期を行わない非同期環境で利用してもらった。

被験者に与えた課題曲は、主旋律と伴奏の2つの音色で構成された4～5小節の小曲である（ただし、伴奏担当者は伴奏を聴くことはできない）。被験者の音楽経験がタスクに対して影響を及ぼさないようにするために、課題曲は既存の有名な楽曲に類似しないよう実験者が作成したものを使用した。



図 8 実験中の被験者の様子

図 8 は、実験中の被験者の様子である。被験者 2 名が遠隔地に居ることを擬似的に再現するために物理的に隔離された 2 つの部屋で実験を行った。各部屋に Marble をインストールしたノートパソコン 1 台とタスク遂行中の発話と楽譜編集操作を記録するためのビデオカメラを設置した。

#### 5.4 実験手順

被験者に対しそれぞれの役割とタスクを説明し、Marble の楽譜編集操作に十分慣れるまで練習してもらった後、以下の手順で実験を行った。

手順 1. 主旋律担当者に課題曲（楽曲全体と主旋律のみの 2 種類）を与え伴奏を記憶するまで聴いてもらう。

- 手順 2. 主旋律担当者と伴奏担当者に主旋律のみの楽譜データを渡す .
- 手順 3. 主旋律担当者は伴奏担当者にビデオチャットを通じて作曲する伴奏のイメージを伝える .
- 手順 4. 伴奏担当者は主旋律担当者からの要望に基づいて伴奏を作成し主旋律担当者に伴奏を提示する .
- 手順 5. 主旋律担当者は記憶した伴奏と提示された伴奏を比較し修正または修正案を伴奏担当者に伝える .
- 手順 6. 手順 4 と手順 5 を繰り返す .

主旋律担当者が作成している伴奏が課題曲に近づいたと申告した時点で 1 つのタスクを終了した .

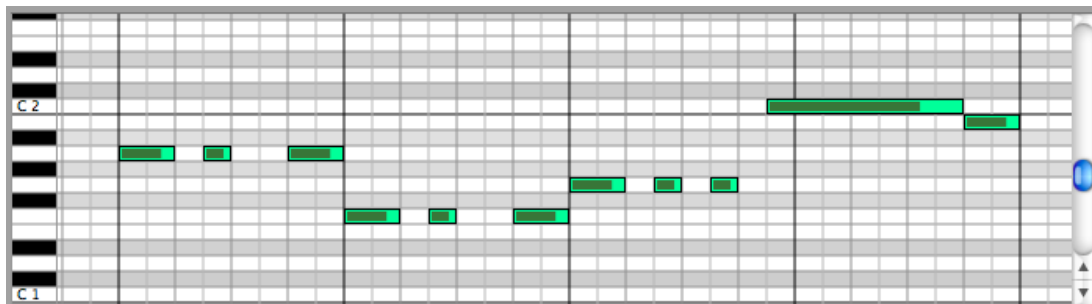
## 5.5 被験者

被験者は、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に在籍している大学院生である . 主旋律担当者役を楽器演奏の未経験者、伴奏担当者役を楽器演奏の経験者とし、10 組延べ 20 名の被験者による合計 40 曲の協調作曲実験を行った .

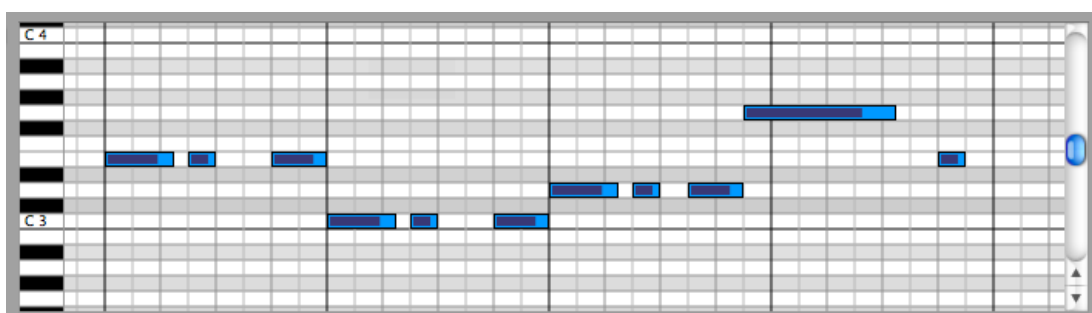
## 5.6 実験結果

図 9 に被験者が作成した伴奏の例を示す . 図 9 (a) は、実験者が主旋律担当者に試聴させた課題曲のギター伴奏の譜面の一例である . 伴奏部分は主旋律担当者のみが試聴できるため、伴奏担当者は主旋律担当者とビデオチャットでコミュニケーションを行いながらギター伴奏のイメージを固めていく必要がある . 図 9 (b) は、Marble の楽譜エディタを同期させて楽譜を共有して主旋律担当者と伴奏担当者が作成した伴奏の一例である .

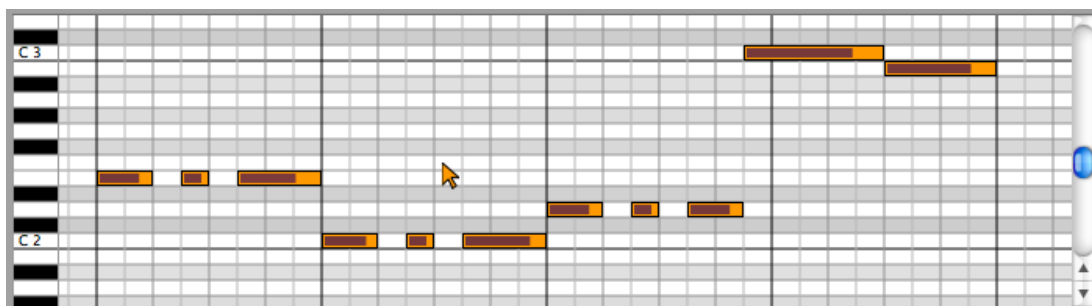
音階や音の長さが多少異なる部分もあるが課題曲の伴奏に近く完成度が高い例と言える . 楽譜を共有した場合の全ての楽曲がこのような例になったわけではな



(a) 課題曲の伴奏（主旋律担当者が試聴した伴奏）



(b) 楽譜エディタを同期させて作曲された伴奏の例



(c) 楽譜エディタを同期せずに作曲された伴奏の例

図 9 作曲された伴奏の例

いが、共有しなかった場合と比較すると多くの伴奏が課題曲の伴奏に近いものとなった<sup>4</sup>。図 9 (c) は、楽譜エディタを同期させず従来システムを模した条件で主旋律担当者と伴奏担当者が作成した伴奏の一例である。課題曲の伴奏から大きく

<sup>4</sup>実験に使用した課題曲および被験者が作曲した楽曲は以下の URL から参照できる。  
[http://se.naist.jp/html/HCI/online\\_communication/marble/exp\\_result.html](http://se.naist.jp/html/HCI/online_communication/marble/exp_result.html)

表 6 実験結果

		1 曲あたりの作曲完了時間	1 分あたりの楽譜編集回数
従来システム	平均値	23 分 01 秒	6.50 回
	標準偏差	7 分 21 秒	2.45 回
提案システム	平均値	16 分 11 秒	7.93 回
	標準偏差	6 分 49 秒	3.19 回
<i>t</i> 検定の <i>p</i> 値		0.004*	0.121

( $n = 20, p < 0.01^*$ )

音階がずれていたり音の長さが大きく異なるなど、協調作曲が上手くいかなかった例である。

本研究における 2 つの仮説を検証するために計測したデータを表 6 に示す。仮説 1 および仮説 2 を検証するために、作曲完了までに要した時間（作曲完了時間）と被験者が楽譜エディタを操作した回数（楽譜編集回数）をそれぞれ計測した。

表 6 より、作曲完了時間の平均値は、Marble の楽譜エディタを同期させた条件（提案システム条件）では 16 分 11 秒、同期させなかった条件（従来システム条件）では 23 分 1 秒である。従来システム条件の場合と比較して、提案システム条件の場合には作曲に要する時間が 6 分 50 秒短縮している。*t* 検定の結果から、従来システム条件と提案システム条件での作曲完了時間に有意差があることが示されており、仮説 1 は支持されると言える。

一方、楽譜編集回数の平均値は、提案システム条件では 7.93 回、従来システム条件では 6.50 回となっており、平均値で約 1.4 回程度の違いしか認められなかった。*t* 検定の結果から、従来システム条件と提案システム条件での楽譜編集回数に有意差はなく、本実験の条件下では仮説 2 は支持されなかった。これらの原因については次章において考察する。

## 6. 考察

以降ではまず、記録したビデオデータから抽出した被験者ペアの会話と楽譜エディタの操作データに基づいて、仮説2「楽譜エディタ操作回数は従来システム条件と比較して増加する。」が支持されなかった原因について考察する。

楽譜エディタを共有した条件での（提案システム条件）ある被験者ペアは以下のような会話と楽譜エディタの操作を行っていた。

1. 主旋律担当者が伴奏担当者に「2小節目と3小節目はメロディ（主旋律）に沿うように、ジャッジャーって」という要望を出す。
2. 伴奏担当者が楽譜エディタ上に音符を配置する。この時、主旋律には3個の音符が配置されていたため、伴奏担当者は「メロディに沿うように」という要望にしたがって伴奏にも3個の音符を配置した。  
（\*）伴奏担当者は、メロディに沿う伴奏のイメージを描きながら主旋律担当者の要望「ジャッジャー」の次にくる音を補間したと考えられる。
3. 課題曲の伴奏試聴経験から、主旋律担当者は2小節目に2個の音符が並ぶことを想定していたため、伴奏担当者が2小節目に3個の音符を配置した後、主旋律担当者は即座に3個目の音を削除した。
4. 伴奏担当者は、主旋律担当者が3個目の音を削除している間に3小節目にも3個の音符を追加しようとしていたが、音符が削除されたのを見て音符追加作業を中断し「なるほどね」とつぶやいた。  
（\*）ここで伴奏担当者は主旋律担当者の要望や伴奏のイメージを正しく理解したと思われる。

このように、伴奏担当者は3小節目の伴奏作成の指針を事前に理解することができたため余分な編集作業が不要になった、すなわち、少ない音符編集回数での作曲完了が可能になったと考えられる。全ての被験者ペアにおいて同様の事象が観察されたわけではないが、いくつかのケースで同様のやり取りが観察できた。楽譜エディタの共有により作曲イメージの擦り合わせが容易になるためインタラクションが増加するものと考えていたが、作曲イメージが従来システム条件より



も容易に共有することが可能になった結果、余分なインタラクションを抑制するという効果が現れることが分かった。

今回の実験では、被験者が作曲する楽曲が4～5小節の小曲であったことや、実際に作曲するのは伴奏のみであったことから、作成された楽曲の質や楽曲の完成度に対する被験者の満足度をはじめとする官能評価は行わなかった。しかし、楽曲の質や満足度などの各種官能評価はもとより、DTMによる作曲初心者への教育効果など、長期に渡るシステムの利用観察を通じて明らかにすべき事柄も多く残されており、これらを確認することは本研究の課題である。

本研究では、マウス操作で楽譜データの編集と試聴を繰り返しつつ楽曲の完成を目指す作曲方法を主な対象に Marble を開発した。DTMによるその他の作曲方法としては、実際にMIDIキーボードなどを演奏して作曲する方法がある。また、現状ではDTMに内蔵しているデジタル楽器による作曲を対象としているが、オーディオ録音に対応することで現実世界の楽器や歌唱を交えた協調作曲が可能になると考えられる。今後はユーザの作曲方法に幅広く対応するために、MIDIキーボードなどの演奏を楽譜データに記録するリアルタイム入力に対応するなど、Marbleの機能を拡張する必要がある。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、リアルタイム協調作曲のためのコミュニケーション支援システム Marble を提案した。Marble の楽譜エディタの有用性を検証するために行った比較実験の結果、協調作曲に要する時間は Marble 利用時の方が従来システム利用時に比べて平均 6 分 50 秒程度短縮できることを確認した。また、1 分あたりの楽譜編集回数は有意な差は見られなかったものの、Marble を利用した協調作曲では、従来システム条件よりも作曲イメージをユーザ間で容易に共有することが可能になるため、余分なインタラクションを抑制するという効果があることが分かった。

本研究の今後の課題としては、システムの長期利用観察を通じて、創作される楽曲の質やでき上がった楽曲に対するユーザの満足度を評価すること、DTM による作曲初心者への教育効果などを評価することが挙げられる。また、ユーザの幅広い作曲方法に対応するためにシステムの機能拡張を行う必要がある。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり，御指導頂いた方々，お世話になった方々に感謝の意を表したいと思います．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 松本 健一 教授に厚く御礼申し上げます．研究を遂行する人間としての考え方を広く深い視野から御指導頂きました．さらに財団法人 NEC C&C 国際会議論文発表者助成への推薦をして頂き，国際会議論文発表ならびに HCI 関連の研究調査活動を行うことができました．深く感謝致します．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 加藤 博一 教授には，本研究の学内発表において適切な御意見を頂きました．深く感謝致します．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 門田 暁人 准教授には，作曲活動経験に基づいた鋭い御意見を頂きました．深く感謝致します．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 大平 雅雄 助教には，研究に対する数々の鋭い御意見，御助言を頂きました．真摯に研究に関して御指導して頂き，曖昧なアイデアを形にして頂きました．また，研究に取り組む姿勢や情熱を学ぶことができました．さらに研究活動以外にも，進路について相談に乗って下さるなど，親しく接して頂きました．深く感謝致しております．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 森崎 修司 助教には，研究の一步離れたところから有益な御意見を頂きました．また，研究室内の研究発表練習において適切な御助言を頂きました．深く感謝致しております．

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 枡本 真佑 氏には論文執筆に関する適切かつ建設的な御助言を頂きました．深く感謝致します．

幼なじみである井上 亮平 氏には，Marble の仕様の細部に関して議論して頂き，さらに博多-奈良間の長距離ネットワークテストに協力して頂きました．氏との共同作曲活動が無ければ，本研究のアイデアは生まれませんでした．深く感謝致します．

独立行政法人情報処理推進機構の 2009 年度下期末踏 IT 人材発掘・育成事業プロジェクトマネージャとして本研究について御助言を与えて下さいました独立行政法人産業技術総合研究所の後藤 真孝 氏に心より御礼申し上げます．

本研究の一部は、独立行政法人情報処理推進機構の2009年度下期未踏IT人材発掘・育成事業「オンライン協調型リアルタイム共同作曲支援システムの開発」による支援を受けました。心より御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、被験者として御協力下さいました奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科の皆様へ深く感謝致します。

Marbleを開発するにあたり、利便性の高いAPIおよびそのAPIに関して分かりやすく詳述しているデベロッパドキュメントを用意してくださっているApple社とSkype Technologies社に感謝致します。また、その軽量極薄ボディによって常に快適なプログラミング環境を提供して下さいましたMacBook Airに感謝致します。

最後に、経済面や精神面において支えて下さいました、父・良樹、母・文枝、兄・友樹に感謝致します。

## 参考文献

- [1] Arias, E., Eden, H., Fischer, G., Gorman, A. and Scharff, E.: Transcending the individual human mind - creating shared understanding through collaborative design, *ACM Transaction on Computer-Human Interaction*, Vol. 7, No. 1, pp. 84–113 (2000).
- [2] Clark, H. H.: *Using Language*, Cambridge University Press, NY (1996).
- [3] Fischer, G.: Symmetry of ignorance, social creativity, and meta-design, *Journal of Knowledge Based Systems*, Vol. 13, No. 7–8, pp. 527–537 (2000).
- [4] Fischer, G.: Social creativity: turning barriers into opportunities for collaborative design, *Proceedings of the 8th Conference on Participatory Design (PDC'04)*, pp. 152–161 (2004).
- [5] Fischer, G., Nakakoji, K. and Ostwald, J.: Supporting the evolution of design artifacts with representations of context and intent, *Proceedings of the 1st Conference on Designing Interactive Systems (DIS'95)*, pp. 7–15 (1995).
- [6] Fischer, G. and Ostwald, J.: Knowledge communication in design communities, *Barriers and Biases in Computer-Mediated Knowledge Communication: And How They May Be Overcome*, Springer, NY, pp. 213–242 (2005).
- [7] Greenbaum, J. and Kyng, M.: *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*, Lawrence Erlbaum Associates, NJ (1991).
- [8] Hiller, L. and Isaacson, L.: *Experimental Music: Composition with an Electronic Computer*, McGraw-Hill, NY (1959).
- [9] Hirata, K., Matsuda, S. and Kaji, K.: Annotated music for retrieval, reproduction, and sharing, *Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference*, pp. 584–587 (2004).
- [10] 音楽共同編集コミュニティサイト Yourself Music , <http://yourselfmusic.jp/>.

- [11] Online Music Notation Noteflight, <http://www.noteflight.com/>.
- [12] Rogers, E. M.: *Communication Technology*, Free Press, NY (1986).
- [13] Sloboda, J. A.: *The Musical Mind: The Cognitive Psychology of Music*, Oxford University Press, Oxford (1985).
- [14] Sloboda, J. A.: *Exploring the Musical Mind: Cognition, Emotion, Ability, Function*, Oxford University Press, Oxford (2005).
- [15] Tsandilas, T., Letondal, C. and Mackay, W. E.: Musink: composing music through augmented drawing, *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'09)*, NY, pp. 819–828 (2009).
- [16] 西本一志, 間瀬健二, 中津良平: フレーズと音楽プリミティブの相互関係の可視化による旋律創作支援の試み, *情報処理学会論文誌*, Vol. 40, No. 2, pp. 687–697 (1999).
- [17] 音楽コミュニティサービス 音造, <http://casual.mgame.jp/onzo/>.
- [18] 深山 覚, 中妻 啓, 米林裕一郎, 酒向慎司, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹: Orpheus: 歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム, *情報処理学会研究報告 (音楽情報科学)*, Vol. 2008-MUS-076, pp. 179–184 (2008).
- [19] 味方秀嘉, 魚井宏高: 二次元チャットシステムを用いた作曲インタフェース, 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 (WISS'05) 予稿集, CD-ROM (2005).
- [20] 網谷重紀, 堀 浩一: 作曲者のメンタルスペースの外在化による作曲支援環境の研究, *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. 10, pp. 2369–2378 (2001).
- [21] 秋口俊輔: ソフトコンピューティング手法を用いた曲印象からの楽曲自動生成システムの構築, *知能と情報*, Vol. 21, No. 5, pp. 782–791 (2009).

- [22] 中川 渉：実演奏の表情情報を利用した作曲支援に関する研究，修士論文，奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 (2001).

## 付録

### A. Marbleの使い方

本書は、Marbleを利用して作曲を行うための基本的な操作方法について説明します。A.1に各部の名称、A.2に自動演奏を制御する再生コントローラ、A.3に楽譜編集を行うトラックについて説明します。

#### A.1 各部の名称

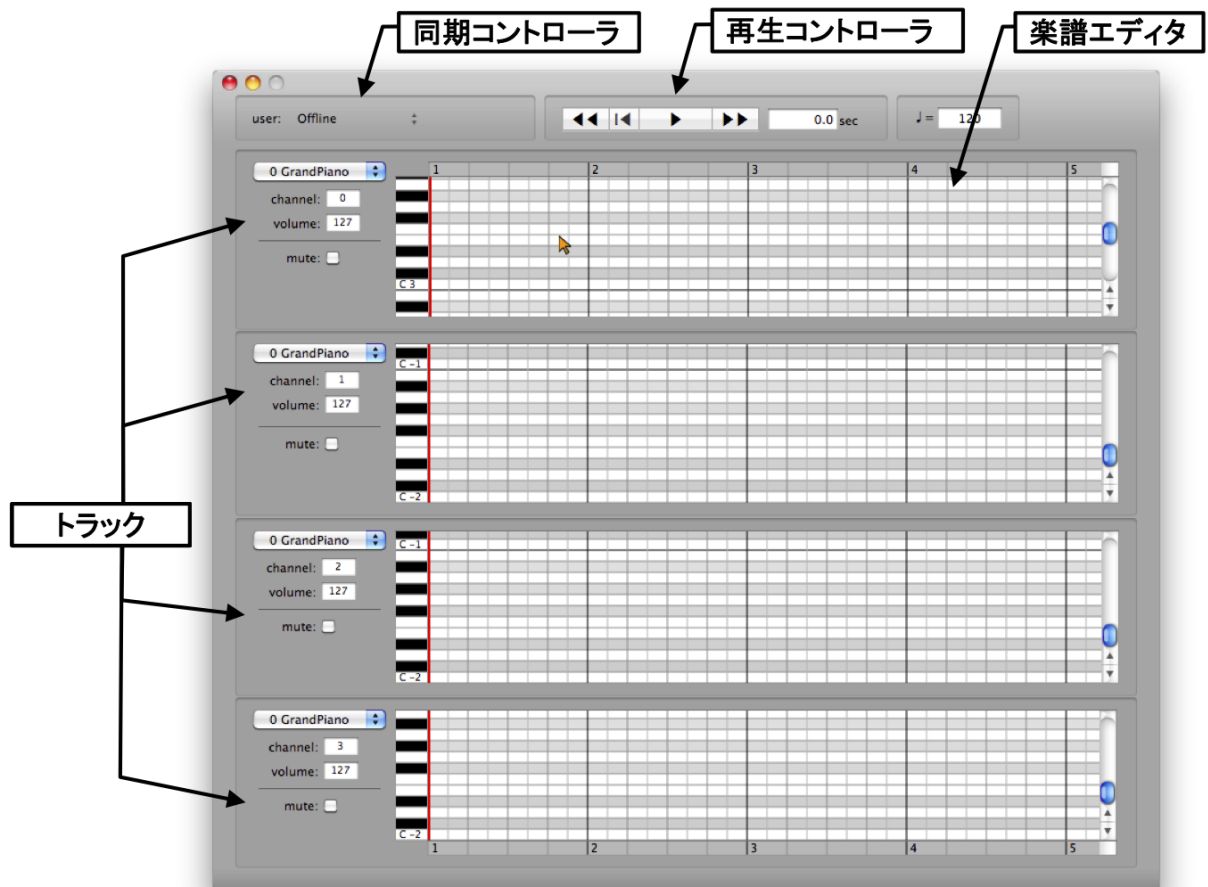


図 10 Marble のメインウィンドウ



Marble は、大きく分けて再生コントローラ、トラック、同期コントローラの3つのインタフェースで構成されています。本書では、作曲作業に必要な再生コントローラとトラックについて説明します。

## A.2 再生コントローラ

再生コントローラは、編集した楽譜を再生するためのコントローラなどが設置されています。関連する各部の名称や役割、操作方法を下図に示します。

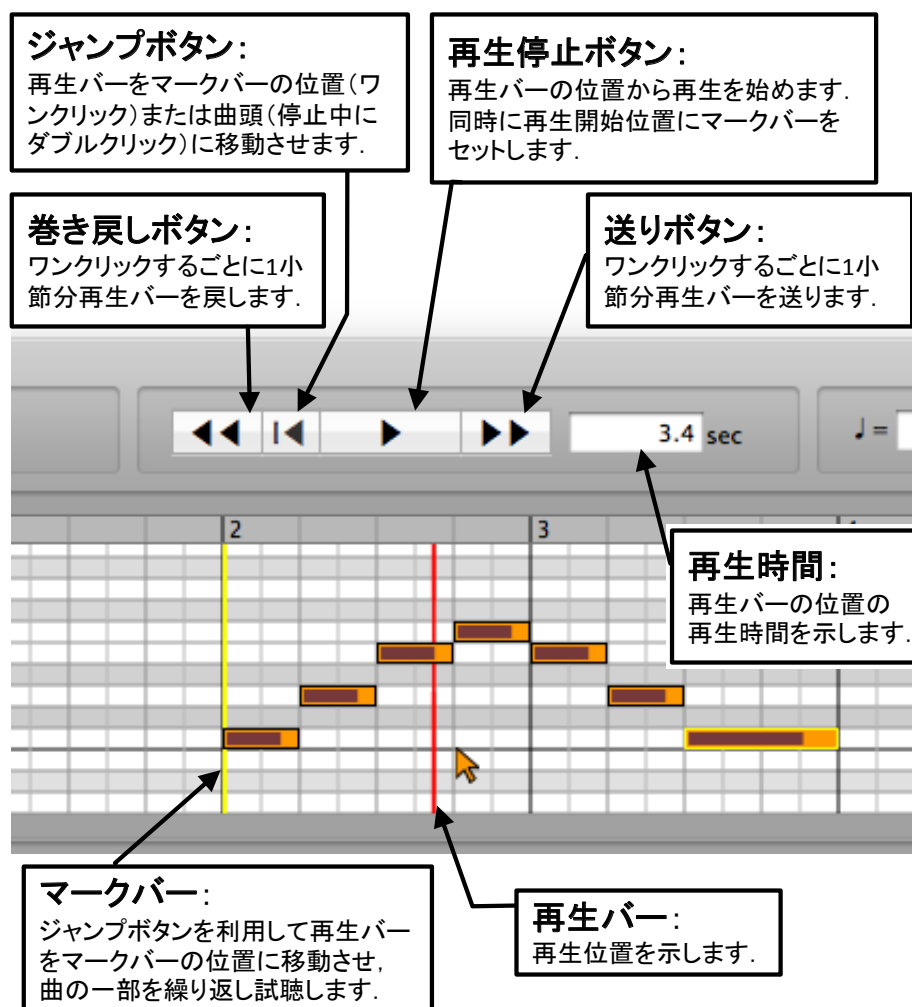


図 11 再生コントローラに関連する各部の名称

## A.3 トラック

Marble は、楽器別に楽譜を編集するトラックが4つあります。トラックは、トラックに関する設定を行うトラックプロパティと、楽譜を編集する楽譜エディタで構成されています（下図参照）。以降、目的別に各部の操作方法について説明します。

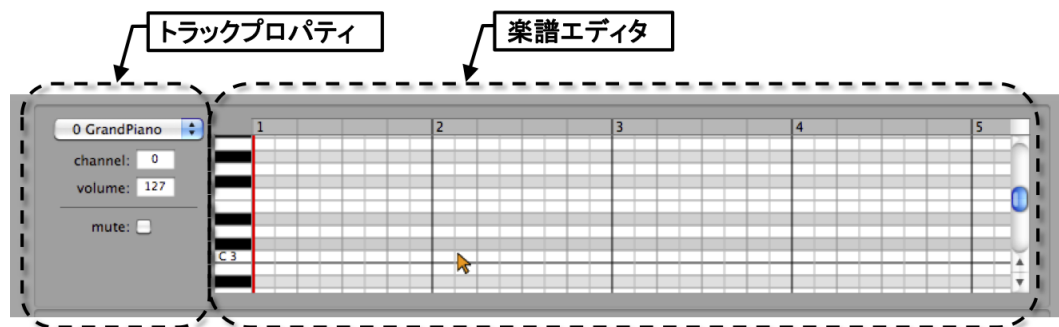


図 12 トラックの各部の名称

### A.3.1 音符を追加する

音符を追加するには、楽譜エディタの任意の位置でマウスポインタをクリックします。例として2小節目の1拍目にピアノの真ん中のドを追加する様子を图示します。

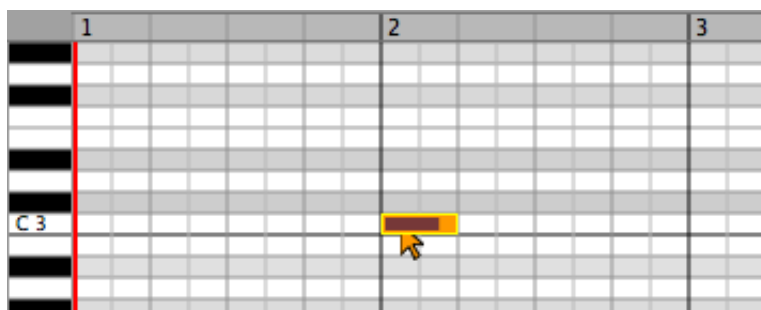


図 13 2小節目の1拍目にドを追加する操作

音符を追加すると、色付きの四角い枠（図ではオレンジ）が現れます。この四角い枠が音符に相当します。音符は、その位置や長さによって音階や発音のタイミング、発音時間が変わります。

楽譜エディタ左端に音階を示しています。C*number* と書かれている白鍵がドにあたり、上に行くほど音階があがります。*number* はオクターブを示します。C3 はピアノの真ん中のドにあたります。

楽譜エディタ上端に小節の区切りなどを示しています。黒い縦線が小節区切りを示し、その直後の数字が小節番号を示しています。また、グレーの縦線は、楽譜エディタ上端では4分音符間隔、楽譜エディタ内では8分音符間隔の区切りを示しています。

### A.3.2 音符の長さ（発音時間）を変更する

音符の長さを変更するには、音符の右端をマウスポインタでドラッグさせます。音符の長さは、16分音符刻みで変更できます（最小16分音符）。また、変更したい音符をクリック（音符の外枠の色が変わります）し、数字キーで音符の長さを変更することができます。数字キーと音符の長さの対応表を以下に示します。

数字キー	音符の長さ
1	16分音符
2	8分音符
4	4分音符
5	2分音符
6	全音符

### A.3.3 音符の位置（音階または発音タイミング）を変更する

音符の位置を変更するには、音符の真ん中にマウスポインタを重ねて（ハンドカーソルに変わります）ドラッグさせます。また、変更したい音符をクリック

( 音符の外枠の色が変わります ) し , カーソルキーで音符を移動させることができます .

#### A.3.4 音符の音の強さを変更する

音符の音の強さ ( 値の範囲 : 30 ~ 127 ) を変更するには , 変更したい音符にマウスポインタを重ね , スクロール操作をします . 音の強さは , スクロール操作中に値が音符上部に表示され , 値に応じて音符内の濃い色のバーの長さが変化します ( 下図参照 ) .

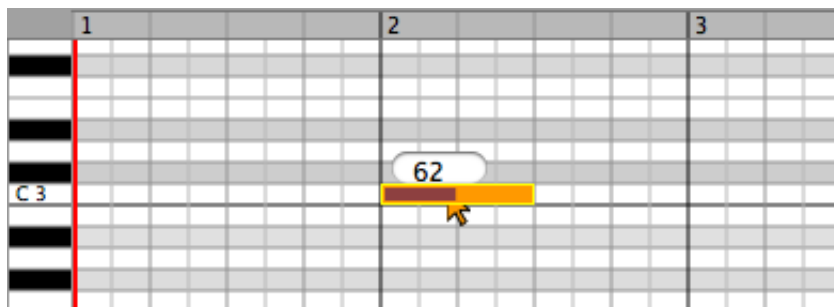


図 14 音符の音の強さの変更操作

#### A.3.5 音符を削除する

音符を削除するには , 削除したい音符をダブルクリックします . また , 削除したい音符をクリック ( 音符の外枠の色が変わります ) し , delete キーで削除できます .

#### A.3.6 音色全体の音量を変更する

音色全体の音量を変更するには , トラックプロパティの volume: の横のテキストボックスにマウスポインタを重ね , スクロール操作をします .

### A.3.7 トラックの音色を除去して試聴する

トラックの音色を除去して試聴するには、トラックプロパティのmute:のチェックボックスをクリックします。他のトラックの音色のみをじっくり試聴する際に利用します。

### A.3.8 音色（楽器）を変更する

音色を変更するには、トラックプロパティ上部の音色セレクタをクリックし、選択します。

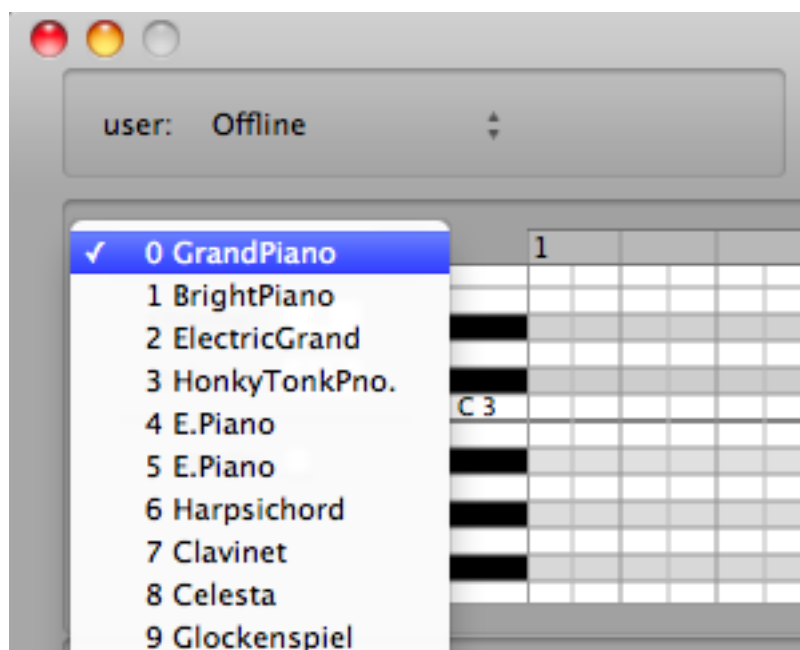


図 15 音色の変更操作