研究報告

フィクスト・メディアと楽器演奏を同期させるための手段に関する考察
A study on synchronization for fixed media and instrument performance

蒋 斯汀, 今井 慎太郎
Jiang SITING, Shintaro IMAI
国立音楽大学大学院音楽研究専攻創作領域
Kunitachi College of Music

概要

本研究は、フィクスト・メディアと楽器演奏をライブの中で同期させる手段に関する基本的な考察を行うものである。フィクスト・メディアの再生方法の取り扱い方に応じて、以下の３種類のカテゴリーに分けて検証する。第１に、フィクスト・メディア再生時間は変化させずに、演奏者に指示を出すことによって、同期を実現させる方法である。第２には、事前に断片化させられたフィクスト・メディアを順次に再生させることによって、同期を求める方法である。第３に、フィクスト・メディアの再生時間をタイムストレッチ技術によって、リアルタイムで伸縮させ、同期を求める方法である。本研究ては、上記の観点の下に、各方法の長所と短所を明確に浮き彫りにしながら、客観的なデータを提供してゆきたい。

This research is a basic study on the means to synchronize fixed media and instrumental performance. This method can be divided into three categories, depending on how the fixed media is played back. The first method is where synchronization occurs by instructing the performer to play in time with the fixed media. The second method is to obtain synchronization by fragmenting the fixed media and causing it to be reproduced sequentially in the live performance. The third method is to accelerate and reduce the playback time of the fixed media in live performance by using time stretching technology to obtain synchronization. This research will provide objective data while discussing the advantages and disadvantages of each method.

1. はじめに

「フィクスト・メディア」（Fixed-media）[1] とアコースティック楽器を中心とした楽器演奏を同時に行う際に[2]、同期的な問題が生じる。そのため、ライブ演奏の中で両者のタイミングを一致をさせるために、楽器演奏者に対する支援的手段やツールが必要となる[3]。このような手段については、今日まで専門的な研究が行われてなかったといっても過言ではない、特にこの手

[1]「フィクスト・メディア」（Fixed media）という用語は比較的近年から使用され始めた言葉である。その定義は主にその物理的な特性である。コンピュータのハードディスクやメモリーといった記憶媒体に音楽が記録させる（固定される）ことに由来する。

フィクスト・メディアはまず「テープ音楽」、後には「アクースマティック音楽」、「エレクトロアコースティク音楽」と呼ばれたように、実際のパフォーマーがいらず、スピーカーから鳴らされる音の聴取に着目するような音楽様式の現代的な表現であると言える。

この論文は研究目的のため、フィクスト・メディアを再生時間が固定されている音響音楽作品を指す一般的な用語として使用される。

[2] フィクスト・メディアと楽器演奏を同期させる音楽は、予め作曲した電子音響音楽と楽器演奏をライブの中で組み合わせるような形として、1950 年前後に現れたフランスのミュジーク・コンクレートやドイツの電子音楽が発展する中で出現した。

ピエール・シェフェール Pierre Schaeffer (1910 1995) とピエール・アンリ Pierre Henry (1927 2017) が 1951 年に合作した、声とテープ音楽のための《Orphée 51》（未出版）は、ミュジーク・コンクレートと演奏を組み合わせる形をとりいれた、このような創作形態としての最初の試みとして見られる。K・シュトックハウゼン Karlheinz Stockhausen (1928 2007) の電子楽器（テープ音楽）、ピアノ、パーカッションのための《コンタクテ（Kontakte）(1960)》は、電子音楽と楽器演奏と組み合わせ、そして厳密な同期を求める、実際にライブ・演奏の中で成功に上演した初めての作品であると考えられる。

その後の創作において具体的に使用される音素材は、事前に録音された音素材（フランスのミュジーク・コンクレートの創作アプローチ）であり、あるいは電子楽器（ドイツの電子音楽の創作アプローチ）の音であっても特別な制限がなくなり、基本的に音そのものを扱い、音楽音響的な変化を目指している。

このような創作・上演形態は、スピーカーから発せられた電子音響と楽器生演奏の音響が、同一空間の中で融合する。このようなメディアと実際の音響との関係は、現在のライブ・エレクトロニクス音楽においても、最も基本的な方法として利用されている。

[3] 楽器演奏者によって、このような支援的な手段が必要される理由は、おもに次の３点にあると考えられる。１、フィクスト・メディアとの視覚的な確認ができない。

２、フィクスト・メディアの音楽音響的レベルで変化を行う複雑な時間変化を明確に聴取することが難しい。

３、フィクスト・メディアの再生時間は原則的に固定されている。

段の支援的な特性から、人間の感覚にまで配慮が及ぶことになるので、これまでの理論的な研究を難しくしてきた言えよう。

本研究においては、従来的に使用されてきた方法論における長所と短所を検証しながら、その方法論の正当性を裏付ける客観的なデータを提案することを主要な目的とする。もちろん技術的な側面からの考察を除外することができないが、創作者と演奏者の意見なども視野に入れながら、総合的に論じて見たい。より具体的に言えば、(1) 出版物、(2) 楽譜・プログラムノート・録音および演奏映像、(3) 筆者自らの創作・および演奏経験などの観点である。

2. 分類について

フィクスト・メディアと楽器演奏を同期させるための手段の分類は、原則的にフィクスト・メディアの再生方法を変化させるかどうかという物理的特性によって、三つの領域に分類することができる。すなわち、１）演奏者に指示を与える方法、２）マルチトラック（レイヤー）即時再生システム、３）タイムストレッチ技術を導入したインタラクティヴ・システムの三つである。さらに言えば、演奏者に指示を与える方法においては、演奏者への指示の与え方に応じて、a. 記譜による指示、b. ストップワォーチ（タイマー）、c. クリックトラック、d. スクリーン・スコアズ（Screen Socres）の四つに区分される（これらは組み合わせても使用される）。マルチトラック（レイヤー）即時再生システムとは、フィクスト・メディアを断片化させて、ライブ演奏の中でそれらの断片を順次に再生させる（トリガー）ことによって、演奏者の方に同期を求める方法である。タイムストレッチ・技術を導入したインタラクティヴ・システムは、フィクスト・メディアの再生時間をタイムストレッチ技術によって、リアルタイムで伸縮させ、演奏者の方に同期を求める方法である。本研究では以上の分類にしたって、各方法論に関する具体的な検証を進めてゆく。

3. 演奏者に指示を与える方法

3.1. a. 記譜による指示

記譜による指示は、演奏者に指示を与える方法論のなかで最も伝統的な方法である。この方法は基本的に、譜面上にフィクスト・メディアに関連する必要な情報（音響グラフィック、再生時間、ピッチ、リズム、ダイナミクスなど）を記載し、演奏家が楽譜上での情報に従いながら電子音響を聴取することによって同期を求めるものである。

K･シュトックハウゼン Karlheinz Stockhausen (1928 2007) が 1959 年から 1960 年にかけて作曲した、電子楽器（テープ音楽）、ピアノ、パーカッションのための《コンタクテ（Kontakte）》は、この同期化の方法を使用した先駆的な作品であった。彼はテープ・レコーダーの再生時間（時計時間）を記入したほか、電子音響をイメージできるグラフィックを導入して、二人の演奏者に厳密な同期を求めたのである。しかしこの作品では 0.1 秒単位の同期化が要求されることから、この作品を作曲者が意図したように実現することはきわめて困難であった。

このような記譜による指示は、その後の作品においても一般的な方法論として使用されたのであるが、実際には《コンタクテ》のような同期化の精度は求めずに、実際の電子音響を再生する中で、演奏者にはより自由な、伸縮可能な時間での演奏を認めることが多かった。

記譜による指示はイヤフォーンやモニター･スクリーンといった外部装置を必要としないため、比較的に単純に同期化を実現できる利点があった。しかし楽譜上に記載された情報がライブ演奏の唯一の参照データとなるため、演奏者は事前に電子音響を十分に知っておく必要があった。しかし現代のフィクスト・メディアの創作プロセスはより精緻化、複雑化しており、こうした音楽音響的な変化を楽譜上に記載することには限界があり、また演奏者自身も複雑な音楽音響を聴取するだけでなく、それに対して正確な演奏開始位置を判断しなくてはならず、大きな負担になったことは言うまでもない（McNUTT 2003）(Kimura 2003)（DING 2006）。こうした背景から近年では、記譜による指示がなされていても、絶対的な同期を求めずに、譜面上で提供する情報を制限して、演奏者の自由度を高める傾向が強い。これによって、より柔軟な演奏時間（即興演奏を含め）を引き出すことができるため、使用例も多くなっている（Natasha 1997）（Emmerson 2011）（Truax 2016）。

3.2. b. ストップウォッチ（タイマー）

フィクスト・メディアの再生時間を提示する、もう１つの方法が、ストップウォッチによる指示である。指示される内容が楽譜に記載されていないことから、演奏者は演奏しながら適宜、時計を確認しなくてはならない。実際の初期作品では、前述した記譜による指示とストップウォッチの使用とを併用する形態が採用されることが多かった。また、リハーサルや演奏者の練習段階で、使用されることも多くあった。

基本的にストップウォッチを使用すると、提示されるテンポは毎分「60」となる。従って「60」以外のテンポが指示されると、演奏者は実際の演奏時間と時計の時間という２つの時間に注意を払わなくではならなず、どうしても演奏時間が不正確になるという問題が生じてしまう。

しかしながら即興演奏の時間を正確に提示することが必要な場合には、ストップウォッチの使用は有効で

ある。もっとも現在ではストップウォッチの機能は、主にプログラミング技術によって代替させることが多く、必要とされるような時間精度に合わせる形で時計機能が実装されたり、あるいは視覚的に指示（時間をスライダーの変化に対応させるなど）されたりするのが、主流となっている。

3.3. クリックトラック

クリックトラックを用いた初期の方法としては、イヤフォーンを通して演奏者に連続的なインパルスを提供し、同期を求める方法である。それは、エマニュエル・ゲント（Ghent, Emmanuel）が実践したような、コンピュータのプログラミング技術を取り込んだ、演奏同期システムのきわめて初期の例として見なすことができる。しかし彼がこの技術を使用した最初の目的は、あくまでもフィクスト・メディアと同期させることではなく、楽器アンサンブルのポリテンポを同期させるためであった。ゲント自身も、クリックトラックの使用が “リズムについての問題が実質上消えてリハーサル時間が大幅に短縮され、アンサンブルの全面的な関心は音楽の解釈面に向けられる（筆者訳）”（Ghent 1967）と指摘し、その演奏同期システムを「演奏者調整システム（Performer-coordinating system）」と呼んでいる。彼がこの技術をフィクスト・メディアと楽器演奏を同期させるために使用した最も初期の作品は、トランペットとテープ音楽のための《Hex, and Ellipsis（1966）》である。

クリックトラックの使用は基本的に作品のテンポレベルで厳密な同期を求める際に使用される手段である。音による提示の他に視覚的に提示する方法もあり、その場合には具体的な小節数と拍数が示される。

クリックトラック の問題点は、演奏者たちが演奏中に外部装置から発せられるインパルスに常に注意を払わなくてはならないことである。そのため演奏者は自由な演奏時間を確保することができず（Ford 1993:25）（McNUTT 2003）、更に創作者によってもこの点が制約となってしまうことから、この方法に関しては批判的な意見が多く聞かれる。しかしこの方法は今日に至ってもなお、電子音響音楽と演奏のテンポを最も高い精度で同期できる方法であるため、多くの創作者が使用し続けている。

3.4. スクリーン・スコアズ（Screen scores）

スクリーン・スコアズ[4] は、最近になって使用されるようになった方法である。この方法を採用する場合には、演奏者の演奏楽譜を視覚的に提示するよう事前にプログラミングする必要がある。基本的な方法としては、創作者が演奏者の演奏楽譜をコンピュータのスクリーン上に映し、楽譜の上に視覚化されたカーソル、スライダー、或いは楽譜自体をスクロールさせるような方法でもって、時間の経過を指示する。演奏者はその指示に従って演奏し、フィクスト・メディアの再生時間と同期を実現させてゆく。

スクリーン・スコアズという言葉は、ジョナサン・ベル（Bell, Jonathan）が 2016 年に提出した博士論文「オーディオ・スコアズ : 作曲とコンピュータ支援演奏のためのリソース（Audio-Scores:A Resource for Composition and Computer-Aided Performance）」に由来する。彼が提案した方法は、演奏者が複雑かつ細かいリズムやピッチ変化を含むライブ演奏を実現させる支援的ツール（オーディオとビジュアルを伴う）を提供するというものであった。彼はこのスクリーン・スコアズについて “小節、拍、またはプロラツィオ（Prolation）といった伝統的な概念に依存しない、正確なリズム記譜の原型[5] を明らかにする（筆者訳）”と述べて、その利便性を強調した。

スクリーン・スコアズを使用した演奏例はまだあまり多くないため、演奏者の観点からこの方法について評価することはできない。しかしこの方法を用いると、コンピュータの精度で演奏者の演奏時間をより具体的に提示することから、演奏者は演奏中であっても、同期精度を自ら自由に調節できる。このような特性を考えると、この方法は演奏者に指示を与える方法としては、最も自由度の高い演奏を実現できるものであると筆者は評価する。

3.5. マルチトラック（レイヤー）即時再生システム

マルチトラック（レイヤー）即時再生システムは、コンピュータのハードディスクやメモリ上に事前に分割したフィクスト・メディアの断片を演奏者のタイミングにあわせてトリガーすることで、演奏中に逐次に再生していく方法である[6] 。

フィクスト・メディアの断片（演奏家が自由に演奏時間を伸縮できる時間領域を用意するために長めに制

[4] この方法論は Max/MSP（ビジュアルプログラミング言語）によって実現されることが多い。楽譜データに関しては様々な形態がある。楽譜のグラフィックデータを使用することもあり、あるいは Max/MSP の「Bach」ライブラリ（Andrea Agostini と Daniele Ghisi が 2011 年により開発している Max/MSP のエクスターナル・ライブラリ）の中にある Bach. roll と Bach. score といった、時間の経過を表すことができる楽譜を提示するようなオブジェクトによって実現することもできる。

[5] ここでのベルが示す正確なリズムの原型とは、伝統的な記譜法を用いても明確に表記することは難しい、極めて精密なリズム変化（例えばミリ秒単位での計算によるリズム変化）を指すものである。

[6] 現時点においては、Max/MSP と Ableton Live（2001 年にリリースされ、MIDI とオーディオを楽器のように自由に操作できることを特徴しているデジタル・オーディオ・ワークステーション　Digital Audio Workstation、略称 DAW である）は現時点において、マルチトラック即時再生システムを実現する最も汎用的なツールとして使用されている。

作しておく必要がある）をトリガーする[7]のは、演奏者本人、オペレータ、あるいは自動化されたマシンリスニング技術[8]が担う。各々独立したフィクスト・メディアの断片の開始と終了位置を重ね合わせ（必要なフェードイン / アウト処理を加える）、楽器演奏との同期を求める。

この方法を用いるメリットは、演奏者がより自由な演奏時間で表現できるという点にある。その反面、フィクスト・メディアを事前に分割しておかなくてはならないため、連続的な音響変化を含むフィクスト・メディアと同期させるのは、この方法では不可能である。

より短い独立した電子音響音楽作品との部分的な同期を求めるという点からみると、マリオ・ダヴィドフスキー（Mario Davidovsky）の《Synchronisms》シリーズは、この方法を使用した先駆的な作品である。しかしマルチトラック再生の実現がより現実的になったのは、1990 年代に入って、コンピュータ技術を基本的な再生手段として使用するようになった頃からである。今井慎太郎のチェロとエレクトロニクスのための《青の争い（La lutte bleue）（2000）》とヤコポ・バボニ・シリング（Jacopo Baboni Schilingi）のメゾソプラノのとエレクトロニクスのための《Concubia nocte - in memoria di Luciano Berio (2003)》はこのようなマルチトラック即時再生システムを駆使して、フィクスト・メディアとの同期を試みた名作としてあげられる。

この演奏システムは演奏者やオペレータが自らタイミングをコントロールできる。そのために今現在においても、特に連続的な音響変化を含めるフィクスト・メディアではない時の同期を求める場合に、最もインタラクティブで自由な演奏時間を表現でき、多くの演奏者、創作者に愛用されている同期演奏システムである（Natasha 1997）（Simon 2011）（McNUTT 2003）。

3.6. タイムストレッチ技術を導入したインタラクティブ・システム

タイムストレッチ技術[9]を導入したインタラクティブ・システムは、ここ 10 年くらいから実現されるようになった演奏同期システムである。タイムストレッチ技術をライブ演奏に導入することによって、長い連続的な音響変化を含むフィクスト・メディア作品を、予め分割することなく、その再生時間をリアルタイムで伸縮させ、演奏者の演奏時間に柔軟に合わせることができる有機的な同期を求めることが、理論的にも期待されている。

イルカム（IRCAM）が 2007 年に開始したスコアフォローイング（Score following）技術のプロジェクト Antescofo[10] は、タイムストレッチ技術を導入した演奏同期システムでもっとも先駆的な例として挙げられる。Antescofo では同じイルカムで開発されたタイムストレッチ技術「Super VP」とスコアフォローイング技術とを組み合わせるような仕組みによって同期を求める技術である。その技術は具体的に、ライブ演奏の際、コンピュータが演奏者の演奏音（ピッチ、リズム）をリアルタイムで検出することによって、事前にコンピュータの中に入力した “スコア”（基本的には MIDI データを扱うこと）と連関させる。その連関から生じた “時間情報” を使用し、サウンドファイルの再生速度をリアルタイムで自動的に変化させながら演奏者の演奏時間と有機的に合わせていく。Antescofo は理論的に、演奏者のテンポレベルでの高い精度での同期を期待できる。

コンピュータが演奏者による演奏音を検出するという仕組みとして、近年にはビート・トラッキング（Beat tracking）[11] 技術と DAW ソフトの Ableton Live[12] に内蔵されたタイムストレッチ技術と組み合わせたインタラクティブ・システム（Max for live デバイス）[13] の開発が行われている（Andrew Robertson and Mark D. Plumbley 2013）。その技術は主に、打楽器奏者のために開発されたと見られるものであり、Antescofo と同様にテンポレベルでの高い精度での同期を期待できる。

これまでのタイムストレッチ技術を導入したインタラクティブ・システムはライブ中に演奏音を検出することによって、演奏者の演奏時間（テンポレベル）リアルタイムで追従し、同期を求めていく。これまでにこれらのシステムは、クラシック、ジャズ、ポップス、そしてロック音楽スタイルの中での使用については実例があったが、フィクスト・メディアと楽器演奏との同期を求める作品における使用例はまだ見出すことができなかった。

[7] 例えば、MIDI ペダル（キーボード）などのインタフェースに触れることによって、コンピュータに指示を送る方法がある。

[8] 演奏者の演奏音をリアルタイムでコンピュータにより検出（通常はピッチや、アタック音）することによって、コンピュータに何らかのプロセスを自動的に実行させる技術である。

[9] タイムストレッチ技術は、サウンドファイルの再生時間をピッチと別パラメータとしてコントロールできる、コンピュータのデジタル・シグナル・プロセシング（Digital Signal Processing）（略称 DSP）技術である。本論文でのタイムストレッチ技術は、フィクスト・メディアのピッチを変化させずに、その再生時間を伸縮させるために使用される。タイムストレッチ技術に関する詳細は Stephan Bernsee の「Time Stretching And Pitch Shifting of Audio Signals – An Overview」（http://blogs.zynaptiq.com/bernsee/time-pitch-overview/）を参照するとよい。

[10] Arshia Cont による IRCAM の開発の Max/MSP エクスターナル・オブジェクトである。具体的にはマシンリスニングと特定のプログラミング言語を結合し、ライブパフォーマンス中に、演奏者とコンピュータとのリアルタイムでの同期を求める技術である。（参照：http://support.ircam.fr/docs/Antescofo/manuals/UserGuide/intro/）

[11] マシンリスリング技術のカテゴリの中での一種で、自動的にアタック音を検出する技術である。

[12] 上記の脚注 6 を参照

[13] Max/MSP が Ableton Live の内部に統合されたバージョンである。基本的な機能は Max/MSP とほぼ同じであるが、ここで言及した Max for Live デバイスは、ピートトラッキング技術によって、演奏者のテンポを Ableton Live の内部パラメーター（テンポ）とリアルタイムで連関させることによって同期をもとめる技術である。

4. 各方法に抱える課題

本節ではここまで述べた各手法のメリット、デメリットを振り返り、総合的な比較考察を行う。

演奏者に指示を与える方法を用いるメリットは、フィクスト・メディアの再生時間を変化させることなく、創作段階で決められたフィクスト・メディアの音響、時間構造をそのまま再生できる点である。その反面、演奏者が自発的に演奏時間を解釈することができないという問題点は、依然として存在する。この方法論の中での様々な可能性に関しては、音楽創作のアプローチと緊密に連関するものであるため、直接に比べることは非常に難しい。基本的により精度の高い同期演奏を実現したい時に、外部装置（ストップワォーチ、クリックトラック 、スクリーン・スコアズ）を導入する必要性が高まると考えてよいだろう。近年の方法論としては、その不便さを逆手に取って、指定された再生時間の中で即興演奏を加えることによって、音楽表現の幅を広げる方法が多くみられる。

マルチトラック（レイヤー）再生システムは優れたインタラクティブ性を持ち、音楽的に断片化できるようなフィクスト・メディアと同期させる音楽作品の同期においては、演奏上での高い自由度によって演奏の柔軟性を最大限に拡張することができる。しかし同様に、フィクスト・メディアを断片化させなくてはならないということによって、その創作上の自由度へのリミットが生じてしまう問題点も依然として存在する。この方法の使用においては、それぞれの断片をいかにより音楽的につなげるようにできるかということが、効果的に使用するための重要なポイントとなる。

タイムストレッチ技術を導入したインタラクティブ・システムはこれまでにない可能性を見せてくれたが、しかし、スコアフォローイング、またはビート・トラッキング技術と組み合わせる際での使用に関しては、様々な課題が残っている。筆者はその主要な問題を次のように考えている。コンピュータが演奏者の演奏音を聴取することによって同期を求める仕組みは、演奏者のライブ演奏の高い正確さと精確さ、そしてコンピュータが確実に聞き取れるための音響設備環境に対する高い要求を求められるところにある。従って別の意味においては、より自由な楽器演奏を実現することに対して制限が生じることになり、そして、楽器パートの創作上でより広い可能性（例えば楽器の特殊奏法による表現、即興演奏など）の実現が困難になるという問題が存在する。さらに、フィクスト・メディアと楽器演奏を同期させるための手段は、もちろん演奏者の演奏時間に合わせることが主要目的であるが、しかしこの場合においては、演奏者はフィクスト・メディアの音響レベルで変化を行うリズム構造を明確に聴取できないという問題も同様に本質的な問題であると筆者は考えている。従って、タイムストレッチ技術を導入したインタラクティヴ・システムによる同期を求める際、演奏者が演奏時間に追従することを可能にするのみならず、フィクスト・メディアの音響、時間構造をも最大限に保つことができる時間的なガイドを提供することも同様に重要であると筆者は考えている。

5. まとめと展望

本稿における総合的な考察、特に第 6 節での考察によって、フィクスト・メディアと楽器演奏を同期させる様々な方法論が、ライブ演奏の中で、固定された再生時間と人間の演奏による柔軟な時間変動とを音楽的並びに時間的、有機的に相互連携させるための重要な役割を持つ、ということのみならず、リハーサルの効率をも改善し得るものであり、さらに実際創作への可能性にも深く影響を与えているものであることが明らかになった。しかし、現時点では、指示を与える方法とマルチトラック再生システム以外の方法が考案されることはなかったため、この 30 年間の中で大きな変化がなかったとも言える。この現状を改善するために、より自由な演奏時間とフィクスト・メディアの創作上での自由度を同時に実現できる方法論、演奏支援と同期を同時に実現できるシステムの開発が必要であると筆者は考えている。

参考文献

Roads, Curtis.『コンピュータ音楽歴史・テクノロジー・アート』The Computer Music Tutorial. The MIT Press, 1996. 青柳龍也・小坂直敏・平田圭二・堀内靖雄訳・監修, 東京電機大学出版局, 2001, pp. 557-568.

Agostini, A. and Ghisi, D. 2013. “Real-Time Computer-Aided Composition with bach”. *Contemporary Music Review*, 32(1): pp.41–48.

AntescofoDOC. `http://support.ircam.fr/docs/Antescofo/manuals/` (Accessed September 27, 2018.)

Bell, Jonathan 2016. *Audio-scores, a resource for composition and computer-aided performance*. (Unpublished Doctoral thesis, Guildhall School of Music and Drama)

Barrett, Natasha 1997. *Structuring processes in electroacoustic composition*. (Unpublished Doctoral thesis, City University London)

Collins, Nick., Schedel, M., Wilson, S. 2013. *Electronic Music* (Cambridge Introductions to Music). Cambridge: Cambridge University Press.

Cox, Cathy. 2004. “Interactive Technologies in Music Composition: Towards a Theory of Interactivity” *Music research: New directions for a new century*. pp. 333-342.

Dorrnbusch, Paul. 2011. “Early Hardware and Early Ideas in Computer Music: Their Development and Their Current Forms”. in Dean, R.T. ed. *The Oxford Handbook of Computer Music*. Oxford University Press. pp.167-190.

Emmerson, Simon. 2011. “Combining the acoustic and the digital: music for instruments and computers or pre-recorded sound”. in R.T. ed. *The Oxford Handbook of Computer Music*. Oxford University Press. pp.167-190.

Ford, Anderw. 1993. *Composer to Composer: Conversations about Contemporary Music*. London: Quartet Books Ltd. pp. 25.

Ghent, Emmanuel. 1967. “Programmed Signals to Performers: A New Compositional Resource". *Perspectives of New Music*, Vol.6, No.1, pp.96-106.

Hagan, KERRY L. 2016. “The Intersection of ‘Live’ and ‘Real-time”’, *Organized Sound*, 21(2): pp.138-146.

Kimura, Mari. 2003. “Creative process and performance practice of interactive computer music: a performer’s tale”, *Organised Sound*, 8(3): pp.289-296.

Manning, Peter. 2013. *Electronic and Computer Music*, Oxford University Press.

McNutt, Elizabeth. 2003. Performing Electroacoustic Music: A Wider View of Interactivity, *Organised Sound*, 8(3): 297-304.

Roads, Curtis. 2015. *Composing Electronic Music: A New Aesthetic*, Oxford University Press.

Robertson, Andrew and Mark D. Plumbley. 2013. “Synchronizing Sequencing Software to a Live Drummer” *Computer Music Journal*, 37(2): pp.46–60.

Robertson, Andrew. 2015 “Introducing BeatSeeker by Andrew Robertson, A new device that syncs Live‘s tempo with drums” `https://www.ableton.com/en/press/press-archive/introducing-beatseeker-andrew-robertson/` (Accessed September 27, 2018.)

Rowe, Robert. 1993. *Interactive Music Systems. Cambridge*, MIT Press.

Schaeffer, Pierre, Christine North, and John Dack. *Treatise on Musical Objects: An Essay across Disciplines*, University of California Press, 2017.

SHIAU-UEN DING 2006. “Developing a rhythmic performance practice in music for piano and tape”. *Organised Sound*, 11, pp.255-272.

Stockhausen, Karlheinz. 1962. *The concept of unity in electronic music*.

Stroppa, Marco. 1999. “Live Electronics or...Live Music? Towards a Critique of Interaction”, *Contemporary Music Review*, 18:3, pp.41-77.

Truax, Barry. 2016. “Combing performers with Soundtracks: Some Personal Experiences”, *Ideas Sonicas/Sonic Ideas*, CMMAS, 9:17.

6. 参考作品

Chadabe, Joel. 1997.*Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music*, New Jersey: Prentice Hall.

Stockhausen, Karlheinz. 1966. Kontakte. Performance score. Vienna: Universal Edition UE14246.

Stockhausen, Karlheinz. 1993. Kontakte. CD. Stockhausen Verlag: CD 6.

この作品は、クリエイティブ・コモンズの 表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、 `http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/` をご覧頂くか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。