

2012年度 卒業論文

ディジタル音楽・音響ツールのインタラクション拡張に伴う
音楽エンジニアリングの役割とその機能について

指導教員：伊藤 謙一郎 准教授

メディア学部 ミュージック・アナリシス&クリエイション プロジェクト

学籍番号 M0109023

安藤 健翔

2013年3月

2012年度 卒業論文概要

論文題目

デジタル音楽・音響ツールのインタラクション拡張に伴う
音楽エンジニアリングの役割とその機能について

メディア学部 学籍番号: M0109023	氏名	安藤 健翔	指導教員	伊藤 謙一郎 准教授
--------------------------	----	-------	------	------------

キーワード 電子音楽、音楽エンジニアリング、インタラクション、インターフェイス

今日の音楽制作において、録音技術やミキシング、音響処理などのテクノロジーは必要不可欠である。様々な音響操作が可能になったため、同時に操作すべきパラメータは増加の一途をたどっている。今日ではコンピュータ上で動作する音楽制作ソフトが多く使用されているが、これらは従来のハードウェアを模したインターフェイスが多く、画面上でマウスやトラックパッドを使ってその操作を効率的に行い、求める効果を素早く得るのは困難である。

本研究では、これらの問題を解決するために、より多くのパラメータを同時に操作できるインターフェイスの開発と、多くのパラメータから、特定の音楽的表現を達成するために本当に操作すべきパラメータを明確化することが必要だという仮説を立てた。この仮説に基づき、まず音響・音色面を拡張した20世紀の作曲家・作曲技法と、ポピュラー音楽におけるテクノロジーの活用について調査分析を行うことで、音楽の要素と操作すべきパラメータの関係を明らかにした。次に、音楽の要素とエンジニアリングが高度に融合している楽曲として、湯浅譲二による電子音楽「ホワイトノイズによるイコン」の分析を行い、どのようにして制作作業が行われていたか、いくつのパラメータを同時に操作していたかを明らかにした。そして、調査・分析結果に基づくシステムを開発することで、新しいインターフェイス案の技術検証を行い、その有効性と問題点の考察を行った。

目 次

第 1 章 序論	1
第 2 章 音楽とテクノロジー.....	3
2.1 ポピュラー音楽・芸術音楽におけるテクノロジーの活用.....	3
2.1.1 アナログ技術を用いた電子音響音樂.....	3
2.1.2 ディジタル技術を用いた電子音響音樂.....	6
2.1.3 ミキシングスタジオとエンジニアの調査.....	9
2.2 音響・音色面を拡張した 20 世紀の作曲家・作曲技法.....	12
2.2.1 19 世紀までの芸術音楽.....	12
2.2.2 20 世紀前半.....	12
2.2.3 20 世紀後半.....	13
2.3 各音響アプローチの比較.....	14
第 3 章 芸術音楽としての電子音楽の分析	
～「ホワイトノイズによるイコン」を題材として～.....	16
3.1 「ホワイトノイズによるイコン」について.....	16
3.2 楽譜による分析.....	18
3.3 分析を元にしたインターフェイスの提案.....	23
第 4 章 システムの試作と有効性の考察.....	24
4.1 インタラクティブ制作事例の調査.....	24
4.2 試作システムの詳細.....	28
4.3 システムの挙動検証と考察.....	33
第 5 章 結論.....	35
参考文献・参考 URL	37
付録	41

第1章 序論

今日の音楽制作においては、録音技術や編集技術、コンピュータによる処理などのテクノロジーが必要不可欠となっている。例えば、アンプやエフェクターが楽器の一部となっているエレキギターやシンセサイザーのサウンドを使用したポピュラー音楽や、ミュージックコンクレートやDJプレイのような録音された素材を使用して作られる音楽は、それらの電子技術や録音技術が無ければ作ることはできない。また、ピエール・ブーレーズやヤニス・クセナキスなどが行ったコンピュータを用いた音楽は、コンピュータが生まれなければ作られなかつた。

このように、音楽と深い関係にあるテクノロジーだが、新技術の開発に伴いさまざまな音響操作が可能になったため、操作すべきパラメータは増加する一方である。多数のパラメータの制御手法として、高価なスタジオ機材では豊富なオートメーションなどの機能も有するが、同時に制御できる機能は少ない。また、今日ではコンピュータ上で動作するDAWソフトが多く使用されているが、こちらも操作すべきパラメータは膨大である。かつ、従来のハードウェアをそのままPC上で再現したインターフェイスがほとんどであり、PCの画面上でマウスやトラックパッドを使ってその操作を効率的に行い、求める効果を素早く得るのは困難である。それらの問題を解決するため、X軸、Y軸、それぞれの軸と関連づけられたエフェクトパラメータを直感的に操作し、同時に2つのパラメータが操作できるKORG社のKAOSS PAD¹のようなデバイスや、ソフトウェア上のプラグインをハードウェアから操作できるSTEINBERG社のCMCシリーズ²のようなコントローラも開発され、プロのミュージシャンも活用するに至っている。しかし、KAOSS PADの場合、同時に操作できるパラメータは2つまでに限られ、CMCなどのコントローラの場合、従来のハードウェアの操作性を再現するに留まっていることから、連動した2つ以上のパラメータを効率的に操作するには不十分であると本研究者は考えた。

本研究では、これらの問題を解決するために、より多くのパラメータを同時に操作できる新しいインターフェイスの開発を行う。これらを設計・実装するため、多くのパラメータから、特定の音楽的表現を達成するために必要なパラメータの明確化および連動する同時操作パラメータの関係とその数の明確化を行う。この目的を達成するために、過去の名作

¹ 『KORG KAOSSPAD』 <http://www.korg.co.jp/Product/Dance/KP3/>

² 『Steinberg CMC』 <http://japan.steinberg.net/?id=5559>

の事例から、音響・音色面を拡張した 20 世紀の作曲技法・作曲家や、ポピュラー音楽におけるテクノロジーの活用についての調査分析を行う。これに基づきシステムを開発することで、新しいインターフェイスが音楽表現にどのように貢献するか、その可能性を探る。

第2章 音楽とテクノロジー

本章では、新しいインターフェイスを制作するために必要な、音楽の要素と操作すべきパラメータの関係を明らかにする。具体的には、音楽表現の観点から、電子技術やコンピュータ技術が活用された経緯を文献調査により概観する。また、これらの音楽的表現技法は、電子技術以前から存在したものなのか、あるいは電子技術が表現技術を励起したのかを整理するため、クラシック音楽を中心としたアコースティック音楽における音響・音色面での音楽的表現技法を、歴史的経緯を踏まえて調査、整理する。

2.1 ポピュラー音楽・芸術音楽におけるテクノロジーの活用

本節では、ポピュラー音楽と芸術音楽において、電子技術やコンピュータ技術がどのように活用されてきたかについて記述する。

2.1.1 アナログ技術を用いた電子音響音楽

本項では、アナログ技術を用いた電子音楽と、それに使用される電子楽器について、特にその技術に注目し、どのような活用がなされてきたかについて論述する。

初期の電子技術を用いた楽器には、パリのドラボルト製作の「電子クラヴサン」や、シカゴのエリシャ・グレイ製作の「エレクトロハーモニック・ピアノ」などがある。これらの楽器を用いて、その時代の様式や既成の音を模倣した作曲家もいたが、他の多くの作曲家は、どのような音響も作曲の素材として使おうとした³。

1920年ごろ、レオン・テルミン（1896-1993）はテルミンを発明する。最初は「エーテルフォン」や「テルミノヴォクス」と呼ばれたこの楽器は、2つの波形を合成することで新たな周波数を生成するヘテロダイン効果によって、音高や音高間のグリッサンドを作り出し、演奏者は楽器の周辺で手を動かしてこれを演奏する⁴。

ヨルグ・マーガー（1880-1939）は、1925年に「クラヴィトイア・スペエロホン」を発明した。「クラヴィトイア・スペエロホン」は、可聴周波発振器のインダクタンス・キャパシティ原理を用い、テルミンのグリッサンド効果を避けた。ハインリヒ・ヘルツ研究

³ デイヴィッド・コーブ《訳:石田一志,三橋圭介,瀬尾史穂》: 現代音楽キーワード事典, 春秋社, 東京, 2011, p.247

⁴ Ibid., p.248

所とドイツ電報技術局の後援を受けたマーガーは、この楽器を用い、主に古典的な名曲を演奏した⁵。

「オンド・マルトノ」は、1928年頃にモーリス・マルトノ（1898-1980）によって開発された、電子音響楽器である。テルミンと同じ原理によって音を作り出しが、インタフェイスはクラヴィコードに似ており、より伝統的な外見とタッチをもっている。その単旋律の音高は、金属のリボンの端についていた指輪を横に動かしてコントロールされる。また、演奏者は「トウッシュ」と呼ばれる独特的な音量制御装置を用いることで、テルミンの演奏では避けられないグリッサンド効果を消すことができた⁶。

40年代から50年代初期にかけて、テープレコーダーの導入とともに、電子音楽はさらなる発展を遂げる。従来のテルミンやオンド・マルトノといった電子楽器には音色が少なく、レコードを用いた編集などの音響操作も取り扱いが困難であったため、電子音楽は行き詰まりにあった。それに対しテープは、さまざまな音を録音してストックしたり、再生スピードを変えて音高やリズムを変化させたり、順序を自由に組み替えたりという手段を作曲家にもたらした。これらの技術により、電子音楽はいっそうの発展を可能にする⁷。フランスの作曲家ピエール・シェフェールとピエール・アンリはリズムを作るためにさまざまな速度の自然音を録音し、各種の長さのテープをつなぎ合わせることによるミュージックコンクレートを展開した⁸。こうしたミュージックコンクレート初期の作品には、シェフェールの『鉄道のエチュード』などがある。

上記のように、電子音響音楽には基本的な音源として、電子的に合成された音と、録音された具体音の2つがある。少なくとも50年代初頭には作曲家はこの2つのどちらかを選ぼうとしていたが、シュトックハウゼンの『少年の歌』（1955-1956）を契機として、1960年までには、両方の音源が対等に扱われるようになった⁹。『少年の歌』は自然音（少年の声の録音）と、電気的に作り出した音の両方が使われている¹⁰。また、ミルトン・バビットの『幻視と祈る人』とカールハインツ・シュトックハウゼンの『ミクロフォニーI』は、電

⁵ Ibid., p.248

⁶ Ibid., p.250

⁷ ポール・グリフィス《訳:石田一志》: 現代音楽小史 ドビュッシーからブーレーズまで, 音楽之友社, 東京, 1984, p.165

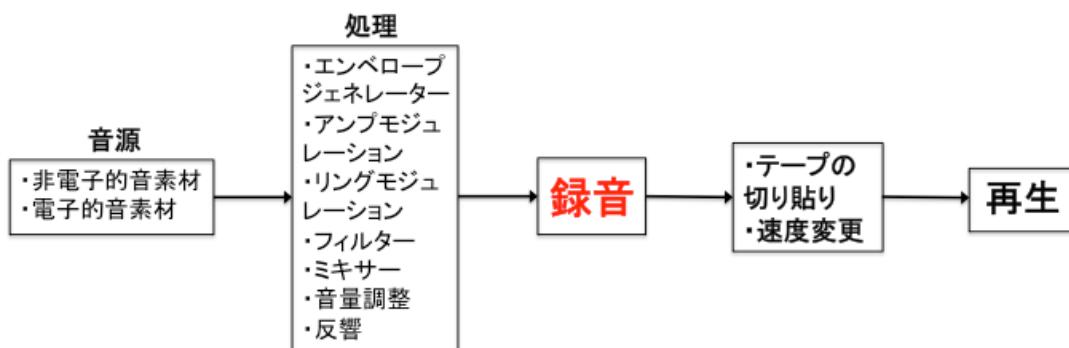
⁸ デイヴィッド・コーパ《訳:石田一志,三橋圭介,瀬尾史穂》: 現代音楽キーワード事典, 春秋社, 東京, 2011, p.250

⁹ Ibid., p.253

¹⁰ ポール・グリフィス《訳:石田一志》: 現代音楽小史 ドビュッシーからブーレーズまで, 音楽之友社, 東京, 1984, p.169

子的に合成された音を使った音楽とミュージックコンクレートとの対面的な側面を強調している。『幻視と祈る人』は、作曲家によって記譜された声のパートを伴う純粋な電子音響からなる。『ミクロフォニー I』は、打楽器奏者がタムタムをさまざまな方法で演奏し、他の演奏者は指向性マイク、フィルター、音量をコントロールする¹¹。

電子音響音楽の作曲家は、残響、変調、速度変更、テープの切り貼りなどの手法を用いて音を具体的に変形させる。その主な手順を [図 1] に示す。



[図 1]

典型的に用いられる音響操作方法には、フィルタリングや残響調整などがある。そして、それらと同じく重要な操作方法が、ミュレーショングである。作曲家が音に変化を与えたとき、増幅器の電圧制御による振幅変調や、発振器の電圧制御による周波数変調によって、トレモロやヴィブレートなどの望む音楽的效果を与えられる。また、周波数発振器をもう 1 つ用い、対象の電圧を制御することにより、上記の振幅変調や周波数変調を周期的に操作できる¹²。

電子音楽作品は、再録音、ミキシング、[図 1] の最終段階である速度変更などの編集により、作曲者の意図する通りに音を組み立て、制作される。ほとんどの電子音響音楽はある程度の編集を経て制作されているが、古典的な電子音楽、特にヴァレーズによる『ポエ

¹¹ Ibid., p.251

¹² Peter Manning : Electronic and Computer Music, Oxford, 1985
J.Nauman and James Wagner: Analog Electronic Music Technologies and Voltage Controlled Synthesizer Studios, New York, 1986
Ronald Pellegrino: "Some Thought on Thinking for the Electronic Music." Proceedings, 7, 47-55, 1973

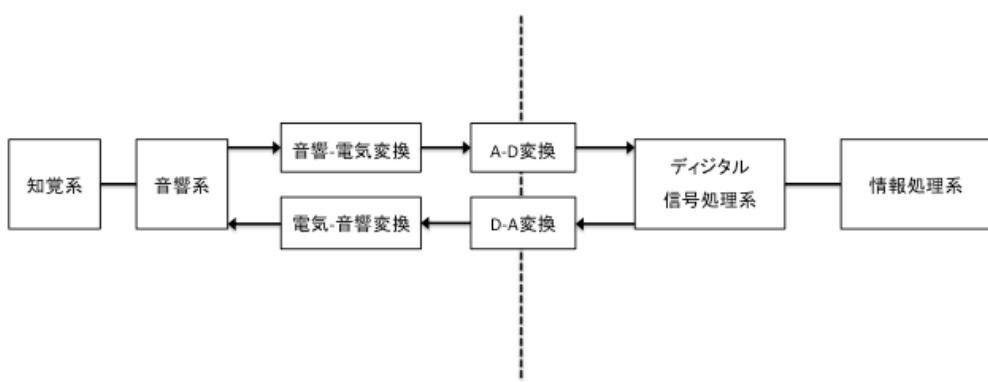
ム・エレクトロニク』のような作品は、テープの切り貼りなどによってタイミングや順序などを発展させる。こうした古典的な方法は現在も用いられているが、キーボード、シンセサイザ、マルチトラックレコーダーなどの導入により、多くのこのような古典的な手段に代わるものが提供された¹³。また、ルチアーノ・ベリオは1950年代初期の電子音楽スタジオについて、「当時、スタジオはおおよそケルンと同じような従来型のスタジオでした。つまり、音楽ではなく他の目的のために使用する機材しかないという意味です。当時、電子音楽の実現のために設計された楽器などなかったのです。オシレータ、フィルター、正弦波発生器、パルス発生器、反響室、テープ・レコーダーのようなものがスタジオの基本的な機材でした。それから数年の間に、われわれはさらに高性能のフィルター、異なる種類の機材などを開発しました。¹⁴」と述べている。

アナログ技術を用いた電子音響音楽に関する調査結果の中でも、フィルター、ボリューム調整、テープ編集の3つの技術は、特に多くの作品で用いられていた。開発当時と形は変わっているものの、これらの技術は現在の電子音響音楽の制作においても頻繁に使用されていることから、音楽エンジニアリングにおいて重要な技術であると考えられる。

2.1.2 ディジタル技術を用いた電子音響音楽

前項で述べた電子音響音楽はアナログ、すなわち時間とともに連続して変化する信号に由来している。一方、ディジタル信号はアナログ信号を、一定時間ごとに読み取った値の連続として表される。ディジタル信号は演算が容易であり、精度が保証でき、再現性に優れているため、信号を蓄積したり送信・加工したりする場合、アナログ信号をディジタル信号に変換したほうが扱いやすい¹⁵。

以下に音響信号のディジタル処理の流れを示す [図2]。



[図2]

コンピュータ技術の進歩により、音の録音・加工もディジタルで扱われるようになった。コンピュータを使用すれば、古典的な電子音響音楽で通常行われている複雑な手作業のテープの切り貼りをせずに、素早く音声の編集を行うことができる。調律とダイナミクスの微妙なコントロールも可能で、実用的である。コンピュータ処理の速さと容量のおかげで、コンピュータは音を作り出す新しい方法を探求するための重要な力となつた¹⁶。

コンピュータを用いた音響合成の技術は1960年代、特にアメリカで主導的に開発された。当時のアメリカでは作曲家たちの多くは大学教員であったため、彼らは大学内に設置されている機器を使用し、さまざまな実験を行うことができた¹⁷。レヤーレン・ヒラー（1924-1994）、マックス・マシューズ（1926-2011）、ジェームズ・テニー（1934-2006）、J.K.ランドール（1929-）、ヒューベルト・ハウ（1942-）などは、コンピュータ音楽を最初に生み出した人々である。ベル研究所での取り組みは啓発的で、マシューズが設計した音響プログラミング言語 MUSIC IV B を含む最初の MUSIC シリーズをもたらした。これらのプログラムは、作曲家に作品の要素全体にわたって幅広いコントロールを可能にした¹⁸。

コンピュータを用いた音響合成の研究はさまざまな大学内のセンターで行われたが、特にスタンフォード大学の「音楽と音響のコンピュータ研究センター」（CCRMA）が代表的である。そこでは、ジョン・チョウニング（1934-）とリーランド・スミス（1925-）により、デジタル録音技術、デジタル信号処理、音響心理学、先進的な合成技術、楽譜の自動制作が研究された¹⁹。また、チョウニングによる初期のソフトウェアは、変調プロセスに重点を置いていた。MUSIC Vでの技術は、複合音を作るという点で、楽器と呼ばれるべきものであった²⁰。それぞれの倍音には、時間のかかる処理が加えられるが、その結果は高度にコントロールできる。これは「高速フーリエ変換」、あるいは「加算合成」と呼ばれるものである。

その一方で、チョウニングは「周波数変調」（FM）の研究にも従事し、プログラムと搬送波を用いた技術を開発した。FMは、短い周期で響く不協和音を含む、高度な複合音を生

¹⁶ A.Brinkman: Pascal Programming For Music Research, Chicago, 1990

Gareth Loy: "The Composer Seduced into Programming." Perspectives of New Music, 20, 184-198, 1981

¹⁷ ポール・グリフィス《訳:石田一志》: 現代音楽小史 ドビュッシーからブーレーズまで, 音楽之友社, 東京, 1984, p.177

¹⁸ デイヴィッド・コーブ《訳:石田一志,三橋圭介,瀬尾史穂》: 現代音楽キーワード事典, 春秋社, 東京, 2011, p.274

¹⁹ Ibid., p.274

²⁰ Ibid., p.275

み出す特性を持ち、コンピュータ・プログラムの開発にとって非常に重要なものとなった。チョウニングの音楽空間に関する研究と、残響、ダイナミクス、方向性、そしてドップラー効果などを相互に関連付けるさまざまな発見は、多くの新しいプログラムや作品の発展に貢献した。残響空間と FM 原理の両方は、『トゥレナス』や『ストリア』に明らかであり、両作品ともコンピュータで作った 4 チャンネルのテープ作品である²¹。チョウニングは『トゥレナス』について、「『トゥレナス』において、私は音を作り出すために FM 技術だけを使いました。和声的音列モードと非和声的音列モードの 2 者間の変換においてです。FM 技術の作曲への応用例の一つとして、音色の変容があります。これは、しばしば空間操作に結び付けられました。音が空間を横切るにつれ、音色が変容したのです。²²」と述べている。

フェーズボコーダは、数多くの音楽ソフトウェアパッケージとともに配布されてきた、有名な音分析・再合成手法である²³。フェーズボコーダは、入力信号を時間によって変化するスペクトルフォルマントに変換する。特に、一連の時間的変化の周波数・振幅曲線を発生する。これによって得られたデータを編集して再合成することにより、特徴的な音変換が数多く得られる。例えばフェーズボコーダはピッチ変化のない時間伸縮に用いられる。この効果では、音のピッチあるいは音色に影響を与えることなく、その音を長くあるいは短くすることができます。

音響合成とは別に、作曲においてもコンピュータの利用が行われている。それが、作曲の規則をプログラムし、その規則に従ってコンピュータ自身に作曲を行わせる「アルゴリズミック・コンポジション」（自動作曲）である。イリノイ大学のヒラーとアイザークソンはさまざまな実験を経て、1957 年に弦楽四重奏のための『イリヤック組曲』を完成させた。この作品は芸術的完成度の高い、コンピュータを用いて作曲された最も古い楽曲として知られている²⁴。また、ヤニス・クセナキスも「推計学音楽」（musique stockastique）の作曲の際に計算の手段としてコンピュータを使用した。そこで音楽形式は、推計学プロセス（確率の法則に規定されるプロセス）との類似を成している。クセナキスはコンピュータに数学の法則やその他のデータを与えてプロセスを制限し、その結果を伝統的な楽器のスコア（ピアノと金管 5 重奏のための『エオンタ』のような作品）か、あるいは電子音楽

²¹ Ibid., p.275

²² Curtis Roads: Composers and the Computer, Madison WI, 1985

²³ カーティス・ローズ《訳:青柳龍也, 小坂直敏, 後藤真孝, 引地孝文, 平田圭二, 平野砂峰旅, 堀内靖雄, 松島俊明》: コンピュータ音楽—歴史・テクノロジー・アート, 東京電機大学出版局, 東京, 2001, p.120

²⁴ NTT インターコミュニケーション・センター推進室 企画: InterCommunication 9 号, NTT 出版, 東京, 1994, p.69

に変換する。ここでコンピュータは、単に計算を容易にするために使われているだけであるが、一方のヒラーの作品におけるコンピュータは『イリヤック組曲』のようにランダムであれ、のちの実験のように管理されたものであれ、いずれにせよ作曲を決定づけるものとなっている²⁵。

2.1.3 ミキシングスタジオとエンジニアの調査

ミキシングスタジオとエンジニアの調査に関し、本研究ではレコーディングエンジニアのビル・パトナムに注目した。ビル・パトナムは、史上初めて人工的なリバーブを用いて曲作りを行ったことや、ボーカルブースによるレコーディング、テープディレイや8トラックレコーダーの開発など、音楽エンジニアリングにおいて重要な数多くのテクノロジーを生み出してきたことから、今回取り上げることにした。また、パトナムが設計を手がけたレコーディングスタジオである、ユニヴァーサル・サウンド・スタジオと、ユナイテッド・スタジオについても取り上げる。これらはパトナム自身が建物の設計から手がけたため、既存のスタジオでは実現できなかつたような音響効果を与えられたことから、エンジニアがスタジオに求めていた要素が分かるのではないかと考え、これらのスタジオについても調査することにした。

ビル・パトナム（1920-1989）はイリノイ州ダンヴィルに生まれ、初めて人工的なリバーブを用いたことで知られる「近代レコーディングの父」である²⁶。1946年にユニヴァーサル・レコーディング・エレクトロニクス・インダストリーズ（UREI）社を設立し、コンソールを始めとする各種のスタジオ機材を開発・販売した。50年代に入るとシカゴでユニヴァーサル・サウンド・スタジオを開業し、即座にアメリカ随一のスタジオと言う定評を得た。しかし1957年にはロサンゼルスに居を移し、最新技術の粋を尽くしたユナイテッド・スタジオ（のちのユナイテッド・ウェスタン）を開設する。70年代から80年代にかけては、パートナーのアラン・サイズとともに次々と近隣のスタジオを買収し、大きなスタジオ複合体を築き上げた。サイズが経営を受け継いだユナイテッド・スタジオは「オーシャン・ウェイ・スタジオ」と改名され、現在もアメリカきっての人気スタジオである²⁷。

²⁵ ポール・グリフィス《訳:石田一志》: 現代音楽小史 ドビュッシーからブーレーズまで, 音楽之友社, 東京, 1984, p.179

²⁶ ジム・コーガン, ウィリアム・クラーク《訳:奥田祐士》: レコーディングスタジオの伝説 20世紀の名曲が生まれた場所, blues interactions, inc, 東京, 2009, p.VI

²⁷ Ibid., p.VI

パトナムが実験し普及させたミキシング技法には、複数の声をテープにオーバーダビングする手法、エコー・センド／リターンを含む人工的なリバーブ、ボーカルブース、ハーフスピード・マスタリング、ディレイラインの使用などが含まれている。パトナム自身はソングライター、シンガー、プロデューサーであるとともに、取引に長けたビジネスマンでもあった。その上で、近代的なレコーディングコンソールの発明者、ミキサー、スタジオ設計者として活躍した²⁸。

ユニヴァーサル・スタジオは、すべてパトナム自身の設計によるもので、シカゴのシヴィック・オペラ・ハウスの最上階に作られた。10~13センチの厚みをもつコルクの上にスタジオが置かれ、ビルの内側にセメントのスラブ²⁹を浮かせた構造上の特徴を持つ。そしてスラブがスタジオの壁を支え、壁と内壁が直に触れるることは一切ない。大きさは約24×18メートル、天井高は9メートルある広いスタジオで、回転式のパネルで音の響きを変えることができる仕組みがあった³⁰。

特筆すべき方法により、ここでレコーディングされた曲に「ハーモニキャッツ」の『ペッグ・オ・マイ・ハート』が挙げられるが、この曲は、リバーブがアーティスティックに使われた最初の曲といわれている³¹。このリバーブはパトナムのアイデアにより、オペラ・ハウスのトイレをエコー・チェンバーとして使い、そこにスピーカーとマイクを入れてレコーディングされた³²。『ペッグ・オ・マイ・ハート』は100万枚を越すセールスをあげたが、「インストゥルメンタルとしても出来は悪くなかったものの、リスナーの心を驚づかみにしたのは、なんといってもそのサウンド——具体的には、きらびやかに広がる天国のようなリヴァーブだった。³³』と言われている。それまでのリバーブは、主にスタジオのサウンドを再現するために使うものであり、なるべく自然な響きになるように使われていたが、この曲のヒットにより、リバーブを積極的に使用して作られるサウンドが、広く受け入れられることとなった。

ユニヴァーサル・スタジオやユナイテッド・ウェスタン・スタジオを含む1950年代ごろに作られたスタジオの多くは、レコーディング・ルーム自体がアーティストにとって演奏のしやすい残響の長さや質感になるように工夫されたり、リバーブを付加するためにエコ

²⁸ Ibid., p.27

²⁹ 床構造をつくり、面に垂直な荷重を支える板

³⁰ Ibid., p.154-155

³¹ Ibid., p.152

³² Ibid., p.154

³³ Ibid., p.152

ー・チェンバーが使用されたりすることが一般的だった。パトナムの弟子であったジャック・ウィーナーが設計したチエス・スタジオは、部屋の中に可動式のパネルを設置して部屋の残響を調節できるような機構をもち、地下室には 2 つのエコー・チェンバーも設置されていた³⁴。ここでは、ボー・ディドリー『セイ・マン』、ハウリン・ウルフ『シッティング・オン・ザ・トップ・オブ・ザ・ワールド』、『キリング・フロアー』などが録音された。

ニューヨークのコロンビア・スタジオは、高さも幅も奥行きも約 30 メートルある完全木造の教会をスタジオに改装し、その大きさと時代ものの建築物であることに起因する独特の響きを利用してレコーディングを行った。ここではビリー・ホリデイ『レディ・イン・サテン』、マイ尔斯・ディヴィス『カインド・オブ・ブルー』などの楽曲が録音されている。

また、コロンビアの別のスタジオでは、階段の吹き抜けをエコー・チェンバーとして使用していた。このスタジオにはチェンバーが無かったため、最上階からマイクを吊るし、10 階分の吹き抜け全体をエコー・チェンバ一代わりに使っていた³⁵。ここで録音された代表曲が、ボブ・ディランの『ライク・ア・ローリング・ストーン』である。コロンビアのアルバムを数多く手がけたスタン・トンケルは、「30 丁目（スタジオ）は、いわゆる『30 丁目サウンド』を求める人たちが行く場所でした——とてもビッグで、開放感がある、スマースなサウンドです。³⁶」「ソロ・ピアノだろうと、ソロ・ヴァイオリンであろうと、大編成のオーケストラだろうと、あの独特的のサウンドを求める人は、みんなあそこにやって来る。³⁷」と述懐している。

これら、空間の響きを活用したサウンドが、一般に普及していた事実から、ポピュラー音楽においてさえ空間の響きは欠かせない要素であるということが言える。今日の DAW においても残響を調整するためにはリバーブエフェクトやディレイエフェクトが使用されるが、これらの操作には、ビル・パトナムが開発したエコー・センド（AUX センド）の存在が必要不可欠であり、音楽エンジニアリングにおいて重要な操作子であると考えられる。

³⁴ Ibid., p.140

³⁵ Ibid., p.232

³⁶ Ibid., p.236

³⁷ Ibid., p.237

2.2 音響・音色面を拡張した20世紀の作曲技法・作曲家

本節では、クラシック音楽を中心としたアコースティック音楽における音響・音色面での音楽的表現技法を、歴史的経緯を踏まえて調査、整理する。

2.2.1 19世紀までの芸術音楽

1830年に作曲された、ベルリオーズの『幻想交響曲』では、奇矯な響きを求め、変則的な楽器編成が用いられた。その頃としては珍しくハープを2台使用し、変ホ調のクラリネットを登場させ、鐘を鳴らし、弦を弓の背で打つなど、当時としては奇抜な手段を使っている³⁸。また、第3楽章『野辺の風景』で、遠くから聞こえる牧笛の音を表現するために、舞台袖の奥にオーボエを配置するという指示があり³⁹、現代におけるリバーブやサラウンドの考え方方に近い手法を展開している。

1888年から94年にかけて作曲された、マーラーの『交響曲第2番』の第5楽章でも、舞台裏に楽器を配置する指示がある。この楽章は、全曲の中で管弦楽の編成を最も拡大したもので、音響の面からも立体的に構想された。第3部の初めでは、トランペット奏者が動機を奏すると、舞台裏に控えているホルン奏者がそれに呼応するように動機を鳴らす場面があるが、このような点に楽曲の構築における音響的な配慮を見ることができる⁴⁰。

2.2.2 20世紀前半

1924年に作曲されたレスピーギの『ローマの松』でも、接近してくる軍隊のファンファーレを表現するため、舞台裏から「ブッチーナ」というトランペット属の古楽器が演奏される⁴¹。ほかにもこのような、楽器の物理的位置を変えることで音色を変化させる歴史的な例は、ガブリエリの8声や12声のカンツオーナ、モーツアルトの『ドン・ジョヴァンニ』、ベルリオーズの『レクイエム』、ベルクの『ヴォツェック』、マーラーの『嘆きの歌』、アイヴズの『交響曲第4番』などに見られる⁴²。

また、音響・音色を拡張した20世紀の技法に「セリエリスム」がある。「セリエリスム」は、セリー（音列）の概念を、音の持続や音色、強度にも適用することによって、響きと

³⁸ 深香淳：作曲家別名曲解説ライブラリー⑯ ベルリオーズ，音楽之友社，東京，1994，p.17

³⁹ Ibid., p.22

⁴⁰ 目黒惇：作曲家別名曲解説ライブラリー① マーラー，音楽之友社，東京，1992，p.40-41

⁴¹ 目黒惇：最新名曲解説全集 第6巻 管弦楽曲III，音楽之友社，東京，1980，p.272-275

⁴² ディヴィッド・コーブ《訳：石田一志,三橋圭介,瀬尾史穂》：現代音楽キーワード事典，春秋社，東京，2011，p.118

いう現象の制御に著しい拡大をもたらした⁴³。持続のセリー化は、ベルクの『抒情組曲』や、ヴェーベルンの『変奏曲』で探求されていた。これに対して、ブーレーズの『ストリュクトュール第1巻』は、持続音価を半音階のように12段階に定義して、時間の領域にセリーの原理を厳格に拡大した例を提示した。アタックの仕方や強度についてセリーを用いているので、その技法は、「トータルセリエリスム」（総音列技法）と呼ばれるようになる⁴⁴。

2.2.3 20世紀後半

「クラスター」は、びっしりと並んだ半音や全音、微分音からなる密集和音の塊であり、ピアノの鍵盤を手のひらや腕で叩いて出される音群も、その一種である⁴⁵。クラスターがきっかけとなり、ピアノ奏法において、多様なアタックや夥しい種類のタッチをめぐる大量の語彙が生まれた。クラスターの音色は極めて複雑であり、構成音の音色によってだけではなく、各音の配置によっても、さまざまな音色が生み出される。例えば、隣り合った音、大なり小なり互いに離れた音が、クラスターとしてまとまった暗い印象を作り出すこともあるし、反対に紗の布のように透けて見えるようなクラスターを作り出すこともある⁴⁶。クラスターの技法を用いた楽曲には、クシシュトフ・ベンデレツキ『広島の犠牲者に捧げる哀歌』、カールハインツ・シュトックハウゼン『ピアノ曲 X』、モーリス・オアナ『24の前奏曲』、ヤニス・クセナキス『ミスト』、ジェルジュ・リゲティ『アトモスフェール』などが挙げられる。

テリー・ライリー、スティーブ・ライヒ、フィリップ・グラスなどが始めた「反復音楽」も、音響・音色面に大きな特徴がある。反復音楽の特徴として、一方には、響きの領域をあらゆる点から制限して極端な節約に及んでいる点があり、もう一方には、調性的あるいは旋法的な素材を、繊細にずらしていく点がある。例えば、テリー・ライリーの『イン C』の場合、奏者たちは楽譜に書かれた53種類の旋律リズム定形を、45分から90分間、繰り返さなければならない。これらの音を緩やかに積み重ね、ずらしていくことを長い間続けていくと、次第に聴覚的な幻惑状態が生まれてくる⁴⁷。スティーブ・ライヒの『ピアノ・フェイズ』では、2人のピアニストが反復音形をユニゾンで演奏し始め、片方のピアニストが

⁴³ ジャン=イヴ・ボスール『訳:栗原詩子』: 現代音楽を読み解く 88 のキーワード 12 音技法からミクスト作品まで, 音楽之友社, 東京, 2008, p.166

⁴⁴ Ibid., p.167

⁴⁵ Ibid., p.29

⁴⁶ Ibid., p.30

⁴⁷ Ibid., p.162

わずかにテンポを変えることで、音形にずれを生じさせる。その際、ずれの大きさに応じて位相が変化し、ディレイやコーラスのような効果が発生する。

2.3 各音響アプローチの比較

ポピュラー音楽および電子音響による芸術音楽の両方で使用されていた技術の一つとして周波数の操作があるが、その使われ方にも 2 通りのものがみられた。一方は、ポピュラーオンのミキシングなどにおいて、楽器の音質を整えるために使われるもので、この際使用されるエフェクターは「イコライザー」と呼ばれることが多い。もう一方は、電子音楽などのなかで、音を積極的に加工するためのものである。この場合は「フィルター」と呼ばれる場合が多かった。それぞれ音質の調整と音色の加工という異なる目的のために使用されているが、周波数領域の操作という点でその本質は同じである。周波数領域の操作には、中心周波数（遮断周波数）、帯域幅、音量などのパラメータがある。

音量の操作は、ポピュラー音楽のエンジニアリングでは、各トラック間のバランスをとる役割として使われ、ステレオ音源の制作においては左右チャンネルの音量調整による定位の変更にも用いられている。電子音響音楽ではさらに、周期的に音量を変化させることで演奏表現としても使用されていた。定位の変更はパン、周期的な音量の変化は変調速度、変調幅のパラメータにより操作される。

20 世紀までの芸術音楽では、物理的に舞台上での楽器の位置を変更していたが、現代の録音音楽においてはサラウンドでその表現が行われている。ライブ演奏と録音された音源という差はあるが、どちらも空間表現のための技術という点で共通である。空間表現には周波数の操作と音量の操作が関係し、それらのパラメータを組み合わせて距離感・立体感の表現が行われる。

サウンドに残響を与えようとする試みは、ポピュラー音楽や電子技術を用いた芸術音楽では、音楽を演奏する場での残響調整や、人工的なリバーブエフェクトの付加によって行われた。アプローチは異なるが、どちらも残響を付与することが目的の技術である。残響の調整では、残響時間、高域周波数の減衰率、初期反射音の遅延時間などのパラメータが考慮される。

アコースティックな芸術音楽では、既存の楽器の演奏表現を追求し、執拗な繰り返しや、和音を固まりとして扱うことにより楽器の音色を拡張した。その音色の変化には位相の変化が伴う。これはポピュラー音楽におけるコーラスエフェクトやフェイザーエフェクトと

同じであり、ミニマルやトーンクラスターの技法でも、電子技術を用いたコーラスエフェクトでも、音色変化の実態は位相の変化である。パラメータとしては、重ねる音の遅延時間、周波数変調の速度、変調する振幅の大きさなどが関係している。

ポピュラー音楽や電子音楽では、マルチトラックの録音やテープ編集により、ライブ演奏では不可能な音事象の操作を行った。音事象の制御を厳格に行う 20 世紀の作曲技法にはトータルセリエリスマがあるが、この 2 つはどちらも、緻密に音楽の要素を組み立てることに使用される技術・技法である。

本章ではさまざまな技術・手法の調査を行ったが、そのうち上記で示したいいくつかは、ポピュラー音楽・電子音響音楽・アコースティックな芸術音楽で、それぞれ呼び名やアプローチが異なるだけで、その本質は同一のものであると考えることができる。各技術において連動しているパラメータは、周波数領域の操作では「中心周波数（遮断周波数）・帯域幅・音量」の 3 つ、周期的な音量の変化は「変調速度・変調幅」の 2 つ、空間表現では周波数操作の各パラメータと音量操作の 4 つ、残響の調整では「残響時間・高域周波数の減衰率・初期反射音の遅延時間」の 3 つ、位相変化では「重ねる音の遅延時間・周波数変調の速度・変調する振幅の大きさ」の 3 つだった。

第3章 芸術音楽としての電子音楽の分析 ～「ホワイトノイズによるイコン」を題材として～

本章では、音楽エンジニアリングのための新しいインタフェイス案を検討するため、湯浅譲二の代表的電子音楽作品である「ホワイトノイズによるイコン」の調査分析を行う。「ホワイトノイズによるイコン」は、前章で比較を行った音響アプローチ手法が、高度に統合され制作されていることから分析対象に選定した。例えばこの楽曲では、周波数操作の技術を、音質調整としてのイコライザーとしても使いながら、同時に音色加工のためのフィルターとしても使用している。今回の分析では、「ホワイトノイズによるイコン」制作にあたり、実際のエンジニアリングではどのような作業が行われ、いくつの操作子を操作する必要があったのかを、文献調査とグラフィック・スコアの分析により明らかにする。

3.1 「ホワイトノイズによるイコン」について

1967年に発表された湯浅譲二の5チャンネル音響による電子音楽作品「ホワイトノイズによるイコン」は、1964年の「プロジェクション・エセムプラスティク」と同じく、ホワイトノイズのみを音素材として作られた、彼の電子音楽作品の中でも最も代表的なものとして知られている⁴⁸。この作品はエンジニアの佐藤茂をチーフミキサーとし、NHK電子音楽スタジオで制作された⁴⁹。

「ホワイトノイズによるイコン」は、作曲に際し、周波数帯域を上段、音量変化を中段、5つのスピーカー間の音像移動を下段に記したグラフィック・スコアが用いられた。このスコアを元に佐藤茂らの手によって制作が行われたが、その際にはいくつかの技術的問題があった。その一つがフィルターである。

「プロジェクション・エセムプラスティク」を制作した時期には、まだ可変周波数フィルターがNHK電子音楽スタジオになかった。そこで、固定周波数のフィルターでカットされたホワイトノイズを、可変速度テープレコーダーによる音程変化の原理を利用して所定の周波数帯域に移動するという手法をとっていた。しかし、この手法で切りだされた音は、周波数の変化のみならず時間軸の変化が生じてしまうので、楽譜に沿った音を作るには非

⁴⁸ 有馬純寿, 電子音楽作品の修復—湯浅譲二《ホワイト・ノイズによるイコン》を例に—, 先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.1 No.4 pp.9–12, 2010

⁴⁹ 音の始源を求めて2—佐藤茂の仕事<内幸町の頃>, サウンド3, 2006

常に複雑な計算をしなければならなかつた。そのため、「ホワイトノイズによるイコン」では、佐藤茂によって開発された可変周波数フィルターが使用された。この可変周波数フィルターにより、初期段階の制作がスムースに行われたと湯浅譲二は記している⁵⁰。

可変速度テープレコーダーの使用の有無に関しては、有馬純寿の論文「電子音楽作品の修復 —湯浅譲二《ホワイト・ノイズによるイコン》を例に—」⁵¹に、湯浅本人の解説として、「音素材としてホワイト・ノイズ、性格の異なるフィルター、その組み合わせ、テープ・スピードの変化などによって、可聴周波数帯域をすべてカバーしているホワイト・ノイズ原音から、さまざまな望む帯域の部分音がとり出された。」との記述が見られる。しかし、「音の始源を求めて 2-佐藤茂の仕事 <内幸町の頃>」⁵²で、エンジニアリングを担当した佐藤茂の解説では、「《イコン》の場合には、テープレコーダーによって周波数を変化させる方法を用いずに、私の開発した可変周波数フィルタを使いました。つまり、《プロジェクト・エセムプラスティク》では、ホワイトノイズにポルタメントがかかっていることが特徴ですが、一方《イコン》では、ホワイトノイズに全くポルタメントがかかっていないのです。」と記載されており、作曲者とエンジニアで制作手法の発言に食い違いが生じている。本論文では、実際に音響制作を行ったのは佐藤であるという点と、その佐藤の、「ホワイトノイズという大きな音の固まりから、フィルターという道具を使って音を切り出して音楽を作ります。その切り出し方について、2通りの実験を行ったのがこの2曲にあたるのです。⁵³」という発言、そしてポルタメントについての事実から、佐藤による解説のほうが、より資料的信憑性が高いと判断し、そちらをもとに論考を進める。

そして最終段階での問題が、5 トラックすべての音が5つのスピーカーから出力されるため、25 チャンネルの音響を同時操作しテープに定着させなければいけないという点であつた。当時、サラウンドパンナーなどは存在しないため、一つのトラックの音を5つのスピーカー間で移動させるには、ミキサーのAUX センドなどを5つ使用し、それぞれの音量を操作しなければならなかつた。これを5 トラックで実現するには、25 チャンネル、25 の操作子を同時操作する必要があり、それはもはや人間の手では扱えない問題だった。そこで佐藤は、まずオートマチックにフェードイン・フェードアウトができる装置を開発し、そ

⁵⁰ Ibid., p.2

⁵¹ 有馬純寿, 電子音楽作品の修復 —湯浅譲二《ホワイト・ノイズによるイコン》を例に—, 先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.1 No.4 pp.9–12, 2010

⁵² 音の始源を求めて 2-佐藤茂の仕事 <内幸町の頃>, サウンド3, 2006

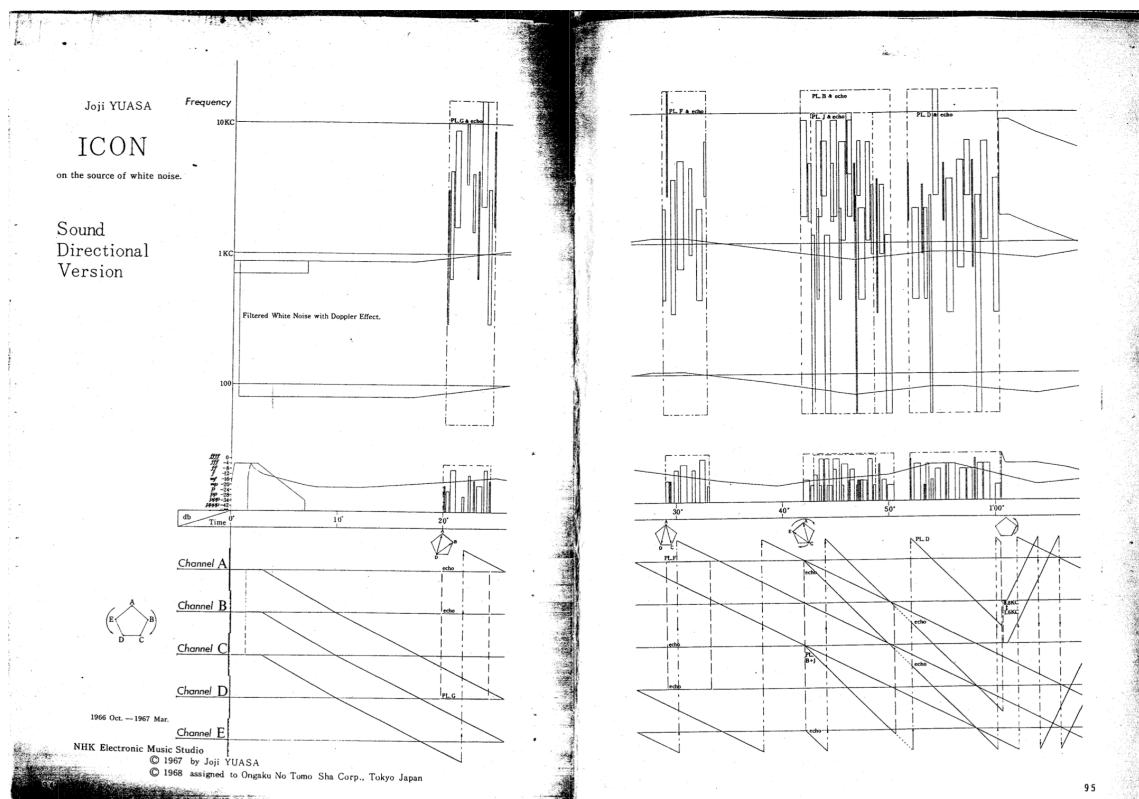
⁵³ Ibid., p.2

の上で、それらが作動するタイミングをコントロールするために、紙製のパンチ・ロールテープによって制御を行う「アナログ的なコンピュータ」を用意した。

これらのアイデアと装置の開発により、「ホワイトノイズによるイコン」の制作が可能になり、世界で初めての 5 トラック 25 チャンネルの作品が生まれることとなった。

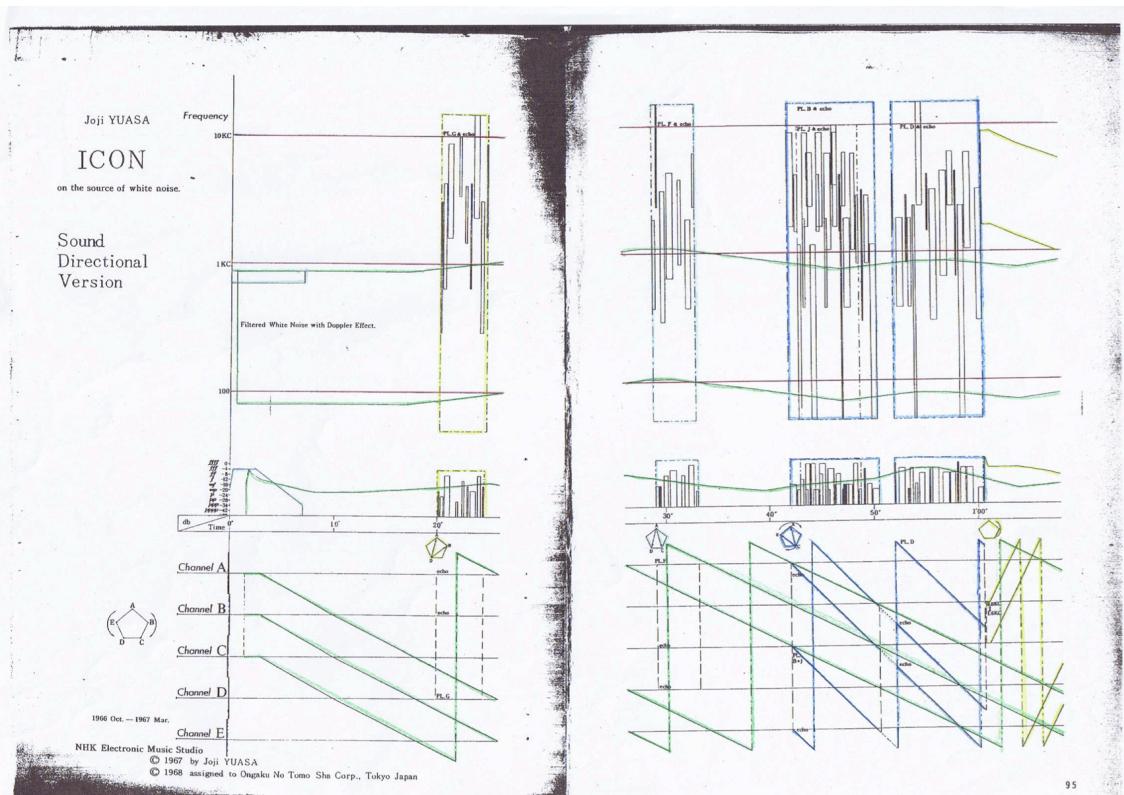
3.2 楽譜による分析

前述のとおり、「イコン」のグラフィック・スコアには、上段に切り出すホワイトノイズの周波数帯域、中段に音量の変化、下段に 5 つのスピーカー間の音像移動が記されていることが分かっている [譜例 1]。



[譜例 1]

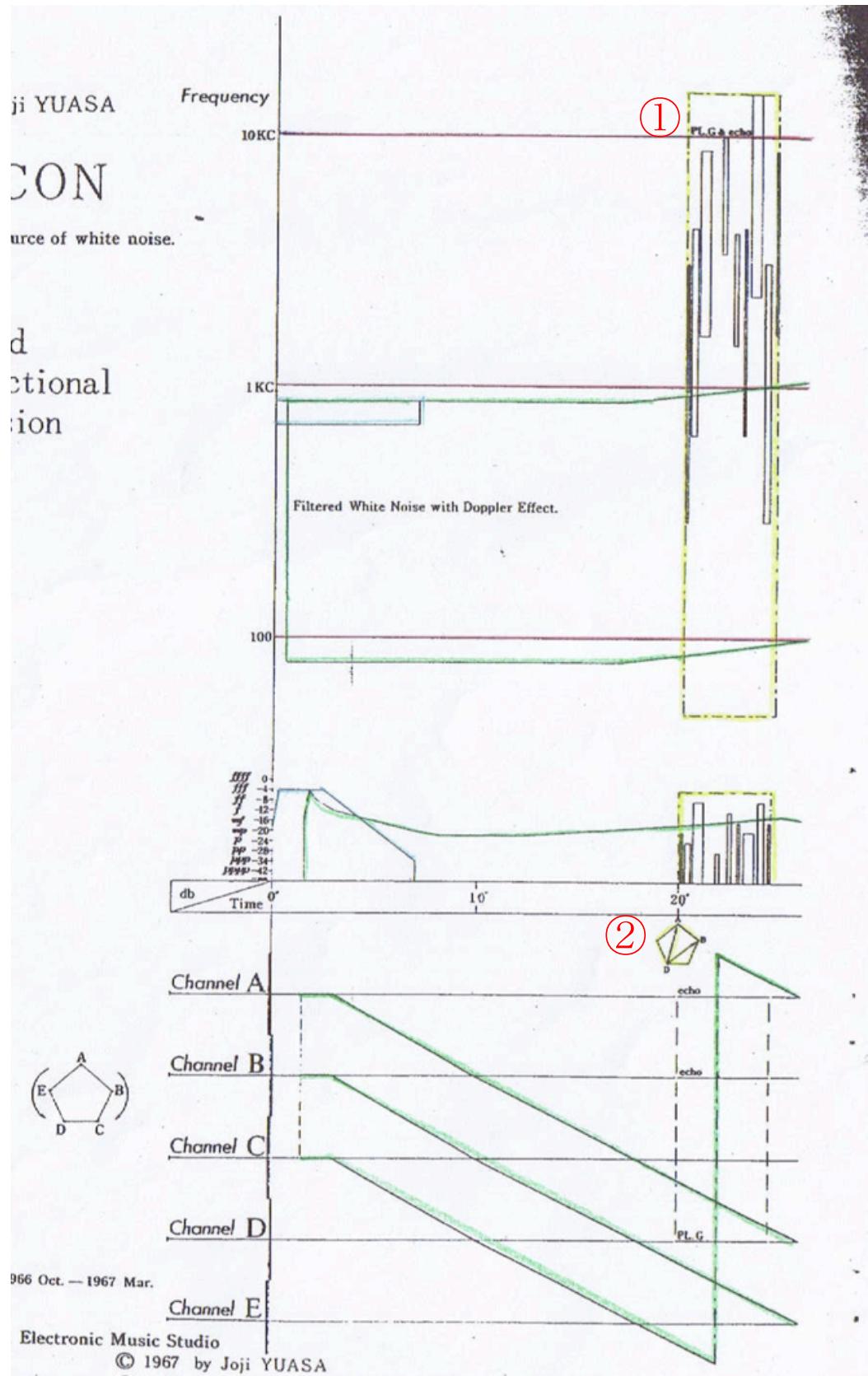
しかし、このままでは各トラックがどのように重なっているか、3 つの要素がどのように対応しているかが分かりづらいため、あらかじめ各音響に対する色分けを行い、それぞれの要素の関係性を一目で把握できるようにした [譜例 2]。



[譜例 2]

この色分けは、1つの音あるいは音のまとまりごとに配色を決め、上段・中段・下段それぞれの表記に同じ色をつけることで、どの音にどのパラメータが対応しているかを明らかにしている。色に関しては、音が重なっている部分で同じ色が使われないようにし、同じ音像移動をしている音には同じ色を割り振った。スピーカー間の音像移動に関しては、2チャンネル版の音源を聴き、推測しながら確認を行ったため、不確かな箇所もあるが、周波数帯域と音量に関しては、ほぼ正確に色分けできたと感じている。今回は、冒頭から2分50秒までの部分に対しこの色分けを行い、それを元にエンジニアリングに関する分析を行う。なお、これらの方法によって分析した楽譜の全ページを付録に掲載したので、こちらも参照されたい。

[譜例 3] は冒頭0秒から25秒付近までの部分である。この部分には大きく分けて3つの音のまとまりがある。水色で示した0秒から7秒付近までの音、緑色で示した2秒から始まる音、黄緑色で示した20秒から24秒までの9つの音のまとまりである。



[譜例 3]

水色の音は、上段を見ると 800~900Hz の帯域でフィルタリングする音であることが分かる。中段は、最初は-20db からフェードインしていき、2 秒ほど-4db を保ったあとフェードアウトしていくという指示である。音源を聴いてみたところ、実際に譜面通りの音の変化がみられた。

緑色の音は 90~900Hz の帯域で 2 秒付近から始まり、18 秒付近から徐々に上昇していく。それに伴い、音量もゆっくりと大小に変化している。楽譜の下段は、左下のスピーカー配置図の A、B、C のスピーカーから音を出し始め、外周を右回りに回るようにして音像を移動させる指示を、ラインを引くことで表現している。22 秒付近で C のスピーカーから出始めた音が鎖線により真上に移動しているが、これは E から A へのスピーカーの移動を表すと思われる。

そして黄緑色で示した音のまとめは、複数音での同じ音像移動を一つの指示で表記するため、鎖線を使用して区切られたまとめであると考えた。鎖線で四角く区切られた上段の上部には「PL.G」(図中①)、「PL.F」などの表記が見られ、必ず下段と対応している。

また、黄緑色で示した音は、緑色で示した音とは音像移動の表記が異なっている。緑色で示した音は、下段のラインにより音像移動を表記していた。しかし、図中②で表されているような D から A、または D から B のような音像移動の場合、ラインを引く方法では移動を表せない。よって、黄緑色で示した音は図中②の図形と下段の破線による指示となっていると考えられる。さらに、A と B のチャンネルに「echo」、D のチャンネルに「PL.G」と表記がある。2 チャンネル版の音源を聴いたところ、左に原音、中心から右にかけては原音にエコーがかかった音が聞こえたため、D のチャンネルから原音、A と B からそのエコ一音を再生するという指示と考えた。また、下段における破線は黄緑色で示した音に限らず、音の始まりと終わりを示すものとなっている。

前節の調査により、フィルターなどのエフェクターやボリュームのコントロールにより、個々のトラックを制作する段階、第一段階で作られた 5 つのトラックを 5 つのスピーカーから出力し、音像移動をテープに記録する段階の大きく分けて 2 つの段階を経て、「イコン」は制作されたと推測される。

最初の段階には音像の移動は含まれないため、主に楽譜の上段と中段部分を参照して各トラックが作られたと考えられる。まず上段に関しては可変周波数フィルターが使われたことが分かっている。このフィルターは、望む帯域の音を取り出す用途で使われたことから、ある帯域の音だけを通すバンドパスフィルターだと思われる。通常の可変周波数フィ

ルターのパラメータは中心周波数、通過帯域幅、音量の 3 つであるが、音量は中段で指定されており、上段に関しては中心周波数と通過帯域幅の 2 つが操作すべきパラメータである。

さらに上段ではエフェクトの指定もされている。[譜例 3] では、「Filtered White Noise With Doppler Effect」や、「PL.G & echo」と表記がある。「Filtered White Noise With Doppler Effect」は、緑色に色分けした音に対しドップラーエフェクトをかけるという指示、「PL.G & echo」は黄緑色で色分けした音のまとまりと、それにエコーをかけた音を再生するという指示だと考えられる。エコーに関する指示は下段の音像移動とも関係し、エコーのかかっていない原音とエコー音を別のスピーカーから出す必要性から、原音とそのエコ一音の 2 つのトラックを制作する必要があったと推測した。エフェクトを曲中で変化させる指示はなく、ドップラーエフェクトなら最初にパラメータを設定し、エコーなら原音トラックからエコー音のトラックを作る段階でパラメータを設定することで制作が可能になると考えられる。

そして中段の音量操作は、[譜例 3] の水色と緑色で示した音の場合、持続してなめらかに音量を変化させる指示のため、操作する操作子はフェーダやゲインノブの一つのみである。対して黄緑色で示した音のまとまりは、9 つの音をそれぞれの周波数帯域、音量で作っておき、それをテープの切り貼りによって時間軸上に配置したと考えられる。現在の DAW などであれば、イコライザーやボリュームのオートメーションを書くことで同様のことが可能である。しかし、当時それらは手動で操作しなければならなかった。よって、該当箇所のように急激に周波数帯域や音量を変化させることはできなかつたと思われる。結果として、テープの切り貼りによる編集で対応した可能性が高いと判断した。

上記の分析をまとめると、初期段階で一つのトラックを制作するのに必要になる主な作業は、フィルターの中心周波数、通過帯域幅、音量の操作、必要に応じたエフェクトの初期パラメータ決定、そしてテープの編集となる。

最初の段階で制作したトラックを元にした、5 スピーカー間での音像移動を記録する段階では、主に楽譜の下段が参照されたと考えられる。3.1 で述べた調査により、アナログミキサーを用いて 5 トラックの音を 5 スピーカー間で移動させるには、最大 25 の操作子を同時操作する必要があることが明らかになっている。25 の操作子の同時操作は手動では不可能であったため、佐藤によって作られたオートマチックなフェードイン・フェードアウトの装置と、フェード装置を制御するコンピュータが使用された。このシステムについては資

料が少なく、どのような作業が行われたかは推測するしかないが、当時の機材を踏まえると、各トラックの出力と 5 つのスピーカーの間にフェード装置が挿入され、各スピーカーにどのタイミングでフェードイン・フェードアウトするかを一つ一つパンチ・ロールに記録していったと考えられる。

3.3 分析を元にしたインターフェイスの提案

「ホワイトノイズによるイコン」の 2 つの制作段階のうち、初期段階で行われた作業は、フィルターの中心周波数、通過帯域幅、音量、エコーヤドップラーエフェクトなどの各パラメータ操作、そしてテープの編集であることが分析できた。エコーヤドップラーエフェクトに関しては具体的なパラメータの指定がないため、いくつのパラメータを操作する必要があったかは分からぬが、フィルターに関しては 3 つのパラメータ、3 つの操作子、またはその組み合わせであった可能性が高い。当時の機材でフィルターの 3 つのパラメータを動かすためには、それぞれに対応した 3 つの操作子が必要だったが、現在のパラグラフィック・イコライザーなどでは、中心周波数と音量を 1 つの操作子で操作できるため、3 つのパラメータを 2 つの操作子でコントロールできるようになっている。「イコン」はフィルターを多用して作られるため、このパラグラフィック・イコライザーを使用すれば制作が容易になると考えられるが、もし 3 つのパラメータを 1 つの操作子でコントロールできるインターフェイスがあれば、より効率的な制作が期待できる。

また、最終段階の音像移動では、手動ではできない 25 チャンネルの同時操作をするためにオートマチックにそれらをコントロールするシステムが使用されていたが、現在ではサラウンドパンナーが開発され、5 つのスピーカー間の音像移動を 1 つの操作子で行うができるようになっている。さらに DAW などでは、1 トラックずつオートメーションを記録することも容易なため、同時に操作する必要もない。しかし、サラウンドパンナーでは音像を移動させる操作子のほかに、複数スピーカー間で音像を広げるための操作子を別に操作しなくてはならないため、それらを含め同時に操作ができるインターフェイスにより、さらなる利便性の向上が期待できる。

第4章 システムの試作と有効性の考察

本章では、現在までに製品化されているインターフェイスの事例や、行われた研究について調査を行う。そして、前章までの調査結果を元に、音楽エンジニアリングのための新しいインターフェイスを開発し、その有効性の考察を行う。

4.1 インタラクティブ制作事例の調査

音楽制作ソフトを、マウスやキーボードではなく物理的なフェーダーやノブでコントロール可能にする製品は数多く存在する。例えば、KORG 社の nanoKONTROL⁵⁴ ([図 3])、AVID 社の Artist シリーズ⁵⁵ ([図 4])、STEINBERG 社の CMC シリーズ⁵⁶ ([図 5]) などである。これらは 1 つの操作子に 1 つのパラメータをアサインし操作する、1 次元型のインターフェイスと言える。



[図 3]



[図 4]

⁵⁴ 『KORG nanoKONTROL2』 <http://www.korg.co.jp/Product/Controller/nano2/nanoKONTROL.html>

⁵⁵ 『AVID Artist Control』 <http://www.avid.com/JP/products/Artist-Control>

⁵⁶ 『Steinberg CMC』 <http://japan.steinberg.net/?id=5559>



[図 5]

1つの操作で1つのパラメータを操作する1次元型のインターフェイスに対し、タッチパネルなどを用い、X軸、Y軸2つの軸と関連させた二つのパラメータを、1つの操作子で操作するインターフェイスがある。これら2次元型のインターフェイスにはJAZZMUTANT社のLemur⁵⁷（[図6]）やKORG社のKAOSS PAD⁵⁸（[図7]）などがある。



[図 6]

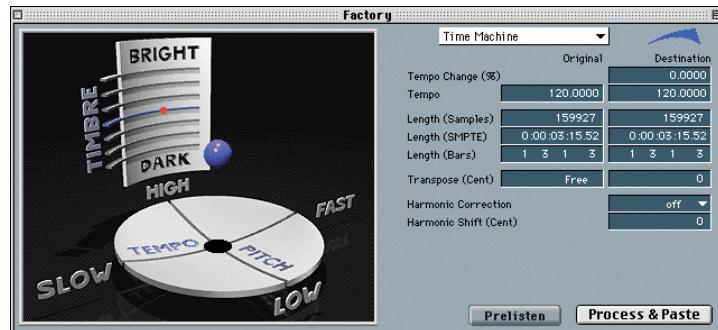
⁵⁷ 『JAZZMUTANT Lemur』 http://www.jazzmutant.com/jp/lemur_overview.php

⁵⁸ 『KORG KAOSSPAD』 <http://www.korg.co.jp/Product/Dance/KP3/>



[図 7]

さらに、PC 内での仮想空間、あるいは実空間において、X、Y、Z の 3 軸にパラメータをアサインし、1 つの操作子で 3 つのパラメータが操作できる、3 次元型のインターフェイスがある。これら 3 次元型のインターフェイスはまだ音楽制作において数は少ないが、例として Emagic⁵⁹ Logic⁶⁰ の「time and pitch machine」という機能で 3 次元型のインターフェイスが用意されている。[図 8] が「time and pitch machine」の操作画面である。



[図 8]

しかし、この機能は PC 内の仮想空間で 3 次元の動作を実現しているもので、本質的に 3 つのパラメータが同時制御できるわけではない。

実空間での 3 次元座標を実際に取得し制御に使用できるものとしては、Microsoft

⁵⁹ 現在は Apple に買収

⁶⁰ 『Emagic Logic』 <http://www.apple.com/jp/logicpro/>

Kinect⁶¹（[図 9]）や、Nintendo Wii Remote⁶²（[図 10]）などの、本来、音楽制作用途ではない、ゲームコントローラとして作られた 3 次元型インターフェイスがある。これらは従来、大掛かりな装置でしか取得できなかつたモーションデータなどを比較的簡単に取得できることから、ゲームだけでなくメディアアートなどでも使用されている。



KINECT
for XBOX 360.

[図 9]



[図 10]

音楽向け GUI の操作を物理的に行おうとする既存研究では、小林茂らの「Spinner」⁶³の研究や、岩島らの「つかみどころ」⁶⁴の研究などがある。これらは画面上の操作子の上に、再構築可能な物理的コントローラを置いてパラメータを操作可能にするデバイスであるが、従来の操作子と同じく、いずれも一つのパラメータに対し一つの操作子を使用し操作を行うものである。容易に再構築が可能ではあるが、複数のパラメータを操作するためにはその数だけデバイスを画面上に置き換えることなく、2つ以上のパラメータを連動させる必要がある場合は、従来のハードウェアと同じく操作が煩雑になる問題が考えられる。

⁶¹ 『Microsoft Kinect』 <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>

⁶² 『NINTENDO Wii Remote』 http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html

⁶³ 小林茂 赤松正行, Spinner:再構築可能なユーザーインターフェースへのシンプルなアプローチ, 岐阜県立国際情報科学芸術アカデミー, 2005

⁶⁴ 岩島伊織 赤羽亨 小林茂 鈴木宣也, タッチパネル上にのせる触知認知可能なコントロールインターフェースの提案とプロトタイプ「つかみどころ」の制作, 情報処理学会, インタラクション, 2012

エンジニアリングに関わる先行研究としては、谷井章夫、後藤真孝、片寄晴弘らの、「ミックスダウンデザインテンプレートの利用に関する提案」⁶⁵や、「事例を利用したミックスダウン支援インターフェース」⁶⁶が挙げられる。「ミックスダウンデザインテンプレートの利用に関する提案」は、技能と経験の乏しいアマチュアがミキシングを行う上での支援を行うため、経験豊富なミキシングエンジニアのもつミキシングのノウハウをテンプレート化しておき、経験の乏しいアマチュアが自分の制作過程で再利用できるシステムを提案するという研究である。「事例を利用したミックスダウン支援インターフェース」は、ミックスダウンのためのソフトウェア環境が、経験の乏しいアマチュアの使用を前提とした支援について十分に考慮していないことから、既存事例からのミックスダウンデザインの転写によって、そのデザインを支援する方法論を提案する。そして、その方策、技術的な準備、基礎的評価、可能性について論じる研究である。どちらもアマチュア向けの制作支援研究であることが特徴で、プロが使用することも考慮しているものの、一般の視聴者が楽しんで使用することを将来的に検討している。

さらに、モーションコントローラを用いたユーザインタフェイスに関しては、鳥取大学大学院工学研究科の岸根和博による「IR センサ出力解析による手の形状と動きの検出およびポインティング操作への応用」⁶⁷などの先行研究がある。「IR センサ出力解析による手の形状と動きの検出およびポインティング操作への応用」は、従来のハンドジェスチャユーザインタフェイスの操作法直観的でなく操作が難しいことから、片手での操作を目指し、手形状と動きに注目しながら、手形状の認識率を考慮したポインティング操作を設計する研究である。この研究には Kinect が使用されているが、従来の Kinect ドライバではできなかった指の認識と、それに基づくポインティング操作を実現しているという点で特徴がみられる。

4.2 試作システムの詳細

本研究では、前章までの調査分析で重要と判断したパラメータを、現在のディジタル音楽・音響ツールで効率的にコントロールするためのインターフェイスを制作する。なかでも、

⁶⁵ 谷井章夫 後藤真孝 片寄晴弘、ミックスダウンデザインテンプレートの利用に関する提案、社団法人情報処理学会研究報告、2003

⁶⁶ 谷井章夫 後藤真孝 片寄晴弘、事例を利用したミックスダウン支援インターフェース

⁶⁷ 岸根和博、IR センサ出力解析による 手の形状と動きの検出およびポインティング操作への応用、鳥取大学大学院工学研究科、2012

従来のインターフェイスでは難しかった「3つのパラメータの同時操作」という目的に焦点を当て、その実現を目指し制作を行う。

3つのパラメータを同時操作するには、1次元型のインターフェイス3つか、2次元型のインターフェイス2つ(あるいは2次元型インターフェイス1つと1次元型インターフェイス1つ)か、3次元形のインターフェイス1つを使用する必要がある。1次元型のインターフェイス3つの操作は従来のハードウェアミキサーなどと同じで、両手を使っても2つまでしか自由には操作できず、3つ以上同時に操作するには複数人で行わなくてはいけない問題がある。2次元型のインターフェイスは、JAZZMUTANT Lemur のようにマルチタッチが可能なデバイスもあり、両手両指を使えば理論上20のパラメータが同時操作できるが、各指を完全に独立させて動かすことは不可能であり、自在に操作するという点では片手で2つ、両手で最大4つのパラメータが限界だと考えた。両手を使えば4つのパラメータが同時操作可能ではあるが、DAWソフトの操作ではキーボードやマウスなど他の入力デバイスも併用するため、両手が塞がってしまうことは操作上のデメリットになる可能性がある。そのため今回は、片手の動作で3つのパラメータが同時操作できる、3次元型のインターフェイスの開発を目指す。

今回は3次元型インターフェイス制作のための入力デバイスとして、Microsoft Kinect を使用し、実装を行う。Microsoft Kinect は、家庭用ゲーム機である Xbox 用に開発された周辺機器で、人体の動きや音声を認識するためのセンサが搭載されており、従来のTVゲームとは異なる、ジェスチャによるコントロールでゲームを楽しむことができるデバイスである。Kinect は一般的なコンピュータに接続して使用もでき、体の各部位の3次元座標を検出できるほか、操作を行うのに何もハードウェアを持つ必要がないこと、ジェスチャによる操作が行えることから、入力デバイスとして使用することにした。Kinect を含めた、システムを制作する上で使用するハードウェア・ソフトウェアは次の6つである。

- ① Microsoft Kinect
- ② ホストコンピュータ(Mac OSX10.8)
- ③ OpenNI (Simple OpenNI)
- ④ Processing
- ⑤ Max
- ⑥ Live

①の Kinect は前述のとおり、操作を行うエンジニアの動作をデータとして取得するためのセンサで、②のコンピュータに接続し使用する。Kinect には距離センサや映像センサが搭載されており、これにより取得したデータがコンピュータ上のドライバソフトウェアに送信される。

②はセンサから入力されたデータをもとに処理を行うシステムの中心である。③から⑥のソフトウェア群はすべてこのコンピュータ上で動作する。

OpenNI⁶⁸は、Kinect を開発している PrimeSense 社が中心となって開発しているドライバソフトウェアである。非公式ながら、Kinect の環境設定をはじめ、各種センサやカメラからのデータ取得を行うことができる。今回使用した Simple OpenNI⁶⁹は、④の Processing 上で OpenNI を使用するためのアドオンである。

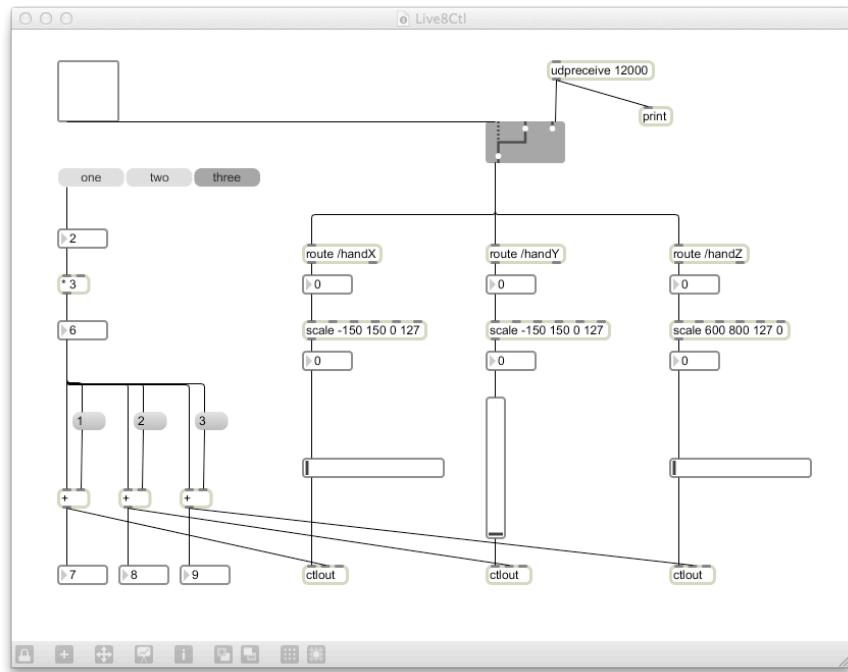
Processing は、画像・アニメーション・インタラクションデザインのためのプログラミング環境である。本システムでは、この Processing と Simple OpenNI を用いて Kinect からデータを読み取り、⑤の Max に送信している。また、画像面でのフィードバックも同時に行なった。

Max⁷⁰は、マルチメディアをリアルタイムに扱うことを得意とするビジュアルプログラミング言語であり、音楽表現に関するデータ処理に強みを持つ。その特徴を生かし、Processing から受け取ったデータを、⑥の DAW ソフトへと送る MIDI メッセージに変換するために使用した。パラメータのオンオフや切り替えを行う操作パネルも Max で実装している。[図 11] が本研究で制作した Max プログラムの全体である。

⁶⁸ 『OpenNI』 <http://www.openni.org>

⁶⁹ 『Simple OpenNI』 <http://code.google.com/p/simple-openni/>

⁷⁰ 『Max』 <http://cycling74.com/products/max/>

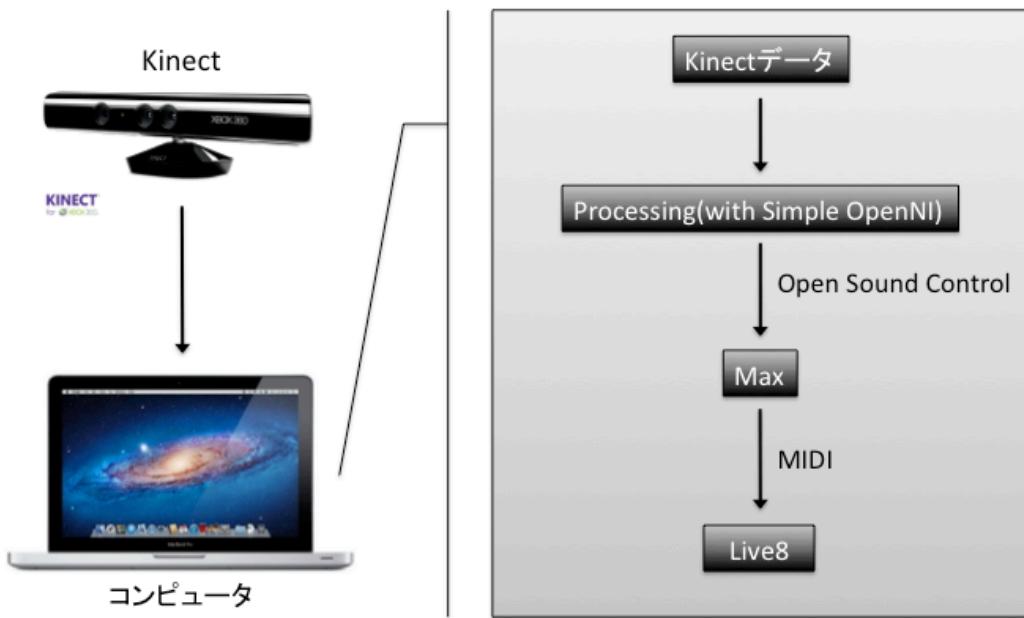


[図 11]

Live⁷¹は、リアルタイムで作曲、制作、演奏ができる DAW ソフトウェアであり、本システムで実際にエンジニアリング作業を行うソフトウェアである。Live には受信した MIDI のコントロールチェンジを、容易に各パラメータへアサインできる機能があり、さまざまなパラメータの組み合わせを試行しやすいことから今回使用した。

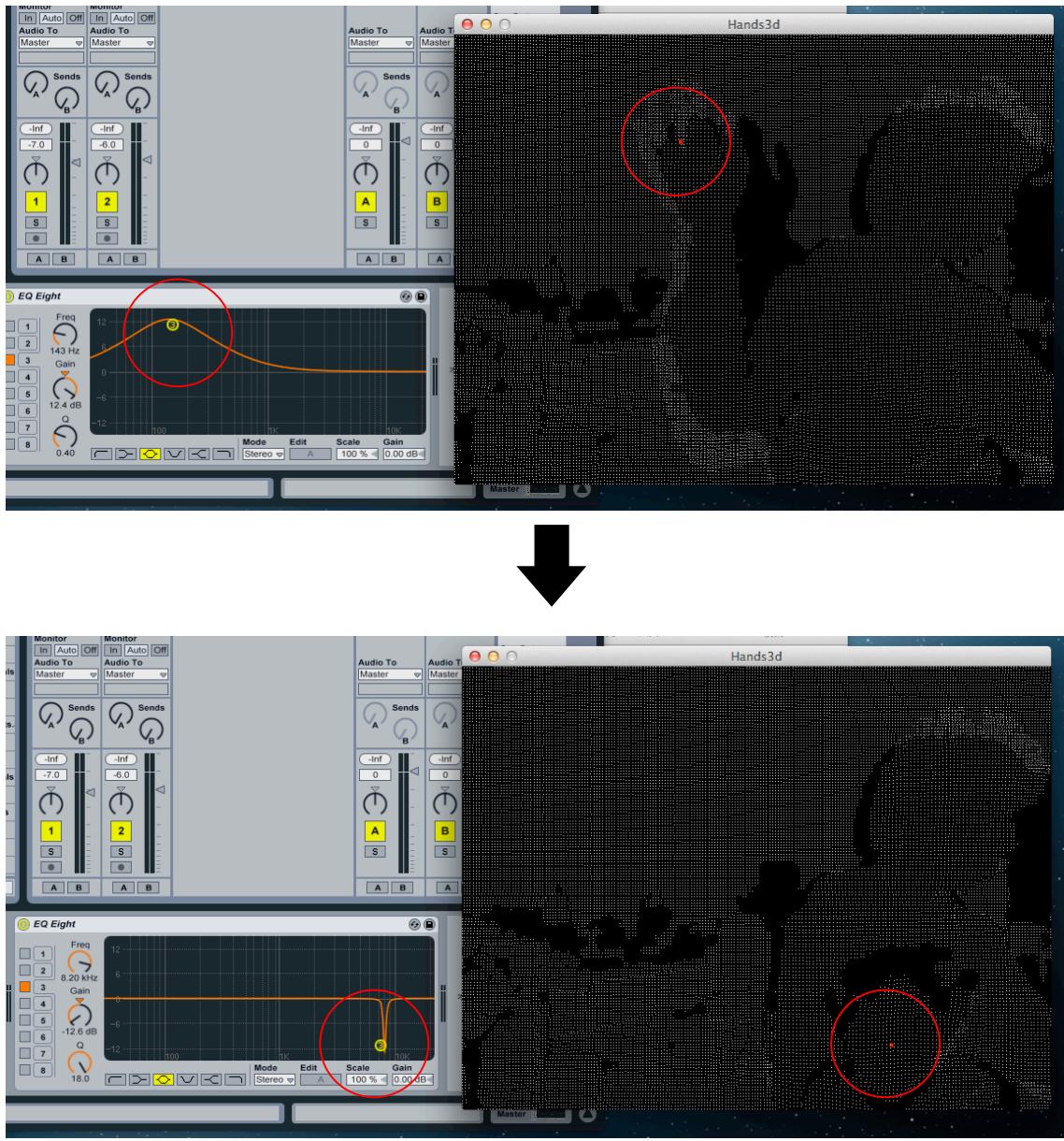
このシステムは大きく分けて 3 つの部分に分けられる。使用者の身体情報を取得するセンサ部分、その情報を音楽エンジニアリングのためのパラメータにマッピングする部分、マッピングされたデータを DAW ソフトに送信する部分である。これらの実装により、3 つのパラメータを動的に制御するためのインターフェイスの開発を行った。[図 12] にシステムフローを示す。

⁷¹ 『Live』 <https://www.ableton.com/ja/live/>



[図 12]

このインターフェイスは、手の 3 次元座標情報を自動的に取得し、X 座標、Y 座標、Z 座標にそれぞれに操作したいパラメータをアサインすることで、「手を動かす」という単一の動作で 3 つのパラメータの同時コントロールができる。例えば X 座標にフィルターの中心周波数、Y 座標に音量、Z 座標に周波数帯域幅にアサインすることで、手を水平方向に動かせば中心周波数が、垂直方向に動かせば音量が、前後に動かせば周波数帯域幅がコントロール可能である。また PC 側の操作パネルでは、トグルスイッチによって取得した座標データをパラメータの操作へ反映させるかどうかのオンオフを切り替えられ、さらにセレクタースイッチにより、操作対象のパラメータを切り替えられる。[図 13] がパラメータ操作の様子である。



[図 13]

4.3 システムの挙動検証と考察

上記の仕様により実装を行い、システムとして動作することを確認した。前章までの調査に基づき、様々なパラメータを 3 つずつ当てはめて動作させてみたが、今回のインターフェイスでは、フィルターの主要パラメータ 3 つ（中心周波数、音量、帯域幅）を連動させて動かすときにもっとも直感的に操作が行えた。

操作上のメリットとしては、3 つのパラメータを操作するのに操作子を一度も触れ変えな

くて良いことや、これまでそれぞれのパラメータごとに 3 回書かなければならなかつたオートメーションデータが一度に制御できることなどが挙げられ、これにより大幅な作業効率の向上につながると考えられる。また、座標情報の取得だけでなく、ジェスチャによる操作との併用や、フィルター以外のパラメータへの応用が考えられ、さらなる音楽的な操作方法への発展が見込まれた。

一方、実装を行って判明した今後の課題としては、Kinect の仕様上、パラメータの精緻な確定が困難であること、パラメータのマッピングが手動であるため煩雑であること、一度認識から外れた手の位置を再取得するのに時間がかかる場合があることなどが挙げられた。これらは使用するデバイスの再考や、プログラムの改良により解決していきたい。

このシステムについてまとめた論文は、芸術科学会 NICOGRAPH 2012 にポスター発表として採録され、実際に京都大学で発表を行った。その中では、以下のような意見や質問が寄せられた。

- 3D マウスなど他の 3 次元デバイスとの差は何か
- 手の開閉でオンオフを制御してはどうか
- Kinect であるメリットは何か
- Kinect を 2 つ使用してみてはどうか
- 手だけではなく指の情報を使用したらどうか
- ライブパフォーマンスでの使用は考えていないのか

3D マウスを用いれば、Kinect で問題だったパラメータの精緻な確定が行える可能性があり、手の開閉が取得出来れば、現在はトグルスイッチによって行なっているオンオフ切り替えが、パラメータの操作と同じ手の動きで行える。今後はこれらの意見も参考にしつつ、使用感の改善やシステムの改良を行なっていく。

第5章 結論

本研究では、より多くのパラメータを同時に操作できる新しいインターフェイスの開発と、多くのパラメータから、特定の音楽的表現を達成するために必要なパラメータの明確化を目指してきた。

ポピュラー音楽・芸術音楽におけるテクノロジーの活用と、音響・音色面を拡張した20世紀の作曲技法、作曲家についての調査、そして「ホワイトノイズによるイコン」の分析を通し、音楽エンジニアリングにおいて重要と思われる技術とそのパラメータを明らかにした。目的とする音楽表現やサウンドの本質は、ポピュラー音楽・電子音響音楽・アコースティックな芸術音楽で同じであり、それぞれ異なる呼び方・アプローチでの実現が行われていたことが分かった。各技術・手法において連動しているパラメータは、周波数領域の操作では「中心周波数（遮断周波数）・帯域幅・音量」の3つ、周期的な音量の変化は「変調速度・変調幅」の2つ、空間表現では周波数操作の各パラメータと音量操作の4つ、残響の調整では「残響時間・高域周波数の減衰率・初期反射音の遅延時間」の3つ、位相変化では「重ねる音の遅延時間・周波数変調の速度・変調する振幅の大きさ」の3つだった。

次に、使用者の手の3次元座標情報を使用することで、3つのパラメータが同時制御できるインターフェイスを制作し、調査分析に基づくパラメータを当てはめて実際に動作させることができた。

3つのパラメータを同時操作するには、1次元型のインターフェイス3つか、2次元のインターフェイス2つか、3次元のインターフェイス1つを使用する必要があるが、1次元型のインターフェイスと2次元型のインターフェイスでは、3つのパラメータを操作するために両手が塞がってしまい、エンジニアリング上のデメリットになる可能性があった。そのため今回は、片手の動作で3つのパラメータが同時操作できる、3次元型インターフェイスの開発を行った。

1つの動作で3つのパラメータを操作すれば、従来3つのパラメータを操作する際に必要だった操作子の持ち替えを行わずに作業ができるようになり、音楽エンジニアリングの効率化につながると考えられる。当てはめたパラメータには「フィルターの中心周波数・音量・帯域幅」、「コンプレッサーのスレッショルド・レシオ・ゲイン」、「フェーダ・パン・AUX センド」などがある。フィルターのパラメータは、画面上のインターフェイスとの関係性も分かりやすく、直感的に操作が行えたが、他のパラメータは手の動きとパラメータ変化の対応が感覚的でなく、動かしづらい結果となってしまった。フィルター以外のパラメ

ータへの応用は、既存の 2 次元型インターフェイスの例などを参考にし、可能性を探っていきたい。

問題点としては、使用した入力デバイスの仕様上、パラメータの精緻な確定が困難であることや、取得した座標情報を、DAW ソフト上の各パラメータへマッピングする作業が手動であるため煩雑であること、手の位置を再取得するのに時間がかかる場合があることなどが挙げられた。これらは今後改善していき、使用者にとってストレスの少ないインターフェイスにしていきたい。

今後の応用の可能性としては、ジェスチャによる操作の追加や、他のセンサ・デバイスとの併用が考えられる。今回は使用者の手の 3 次元座標のみをパラメータの操作に使用しているが、Kinect はその他にも関節の角度やジェスチャ動作なども検出できるため、それらを使用すれば、より多くのパラメータを同時操作できると考えられる。また、実空間での 3 次元座標をもとにすると、同じく 3 次元の移動を必要とする、多チャンネルサラウンド環境での定位移動と親和性が高いのではないかと感じた。

このシステムはまだ試作段階のため、今後はこれらの点を踏まえ、実際の音楽制作現場で使用できるシステムを目指し、研究を進めていきたい。

参考文献・参考 URL

●参考文献

著書

- [1] NTT インターコミュニケーション・センター推進室 企画：InterCommunication 9号, NTT 出版, 東京, 1994
- [2] NTT インターコミュニケーション・センター推進室 企画：InterCommunication 26号, NTT 出版, 東京, 1998
- [3] NTT インターコミュニケーション・センター推進室 企画：InterCommunication 35号, NTT 出版, 東京, 2000
- [4] 有馬純寿・ヲノサトル：『「音楽の民主化」は作曲をどう変えたのか』, アルテス Vol.2, アルテスパブリッシング, 東京, 2012
- [5] Jim Cogan and William Clark : Temples of SOUND, San Francisco, 2003 (ジム・コーラン, ウィリアム・クラーク 《訳:奥田祐士》: レコーディングスタジオの伝説 20世紀の名曲が生まれた場所, blues interactions,inc, 東京, 2009)
- [6] Curtis Roads : THE COMPUTER MUSIC TUTORIAL, Massachusetts, 1996 (カーティス・ローズ 《訳:青柳龍也, 小坂直敏, 後藤真孝, 引地孝文, 平田圭二, 平野砂峰旅, 堀内靖雄, 松島俊明》: コンピュータ音楽—歴史・テクノロジー・アート, 東京電機大学出版局, 東京, 2001)
- [7] 長島洋一ほか：コンピュータと音楽の世界 -基礎からフロンティアまで-, 共立出版, 東京, 1998
- [8] 社団法人 日本ポストプロダクション協会 技術委員会：ポストプロダクション技術マニュアル, 日本ポストプロダクション協会, 東京, 1990
- [9] リットーミュージック出版部：音響映像設備マニュアル 2006, リットーミュージック, 東京, 2006
- [10] David Cope : New Directions in Music Seventh Edition, Illinois, 2001 (デイヴィッド・コープ 《訳:石田一志, 三橋圭介, 瀬尾史穂》: 現代音楽キーワード事典, 春秋社, 東京, 2011)
- [11] Paul Griffiths : A CONCISE HISTORY OF MODERN MUSIC, London, 1978 (ポール・グリフィス 《訳:石田一志》: 現代音楽小史 ドビュッシーからブーレーズまで, 音

楽之友社, 東京, 1984)

- [12] 小泉宣夫 : 基礎 音響・オーディオ学, コロナ社, 東京, 2005
- [13] 目黒惇 : 作曲家別名曲解説ライブラリー① マーラー, 音楽之友社, 東京, 1992
- [14] 淺香淳 : 作曲家別名曲解説ライブラリー⑯ ベルリオーズ, 音楽之友社, 東京, 1994
- [15] 目黒惇 : 最新名曲解説全集 第6巻 管弦楽曲III, 音楽之友社, 東京, 1980
- [16] Jean-Yves BOSSEUR : VOCABULAIRE DE LA MUSIQUE CONTEMPORAINE, Français, 1996 (ジャン=イヴ・ボスール《訳:栗原詩子》: 現代音楽を読み解く 88 のキーワード 12 音技法からミクスト作品まで, 音楽之友社, 東京, 2008)
- [17] Peter Manning: Electronic and Computer Music, Oxford, 1985
- [18] J.Nauman and James Wagner: Analog Electronic Music Technologies and Voltage Controlled Synthesizer Studios, New York, 1986
- [19] A.Brinkman: Pascal Programming For Music Research, Chicago, 1990
- [20] Curtis Roads : Composers and the Computer, Madison WI, 1985

論文

- [21] 菊川裕也, 馬場哲晃, 串山久美子, Hakoniwa -箱庭型テーブルトップ電子楽器インターフェースの研究と制作, 情報処理学会 インタラクション 2012, 2012
- [22] 吉池俊貴, 東藤絵美, 馬場哲晃, 串山久美子, 非接触給電を利用したミュージックシーケンサ型電子楽器の試作, 情報処理学会 インタラクション 2012, 2012
- [23] 谷井章夫, 後藤真孝, 片寄晴弘, ミックスダウンデザインテンプレートの利用に関する提案, 社団法人情報処理学会研究報告, 2003
- [24] 谷井章夫, 後藤真孝, 片寄晴弘, 事例を利用したミックスダウン支援インターフェース
- [25] 松澤朋尚, 赤外線センサを用いた頭部形状検出のユーザ・インターフェイスへの応用, 鳥取大学大学院工学研究科, 2012
- [26] 岸根和博, IR センサ出力解析による 手の形状と動きの検出およびポインティング操作への応用, 鳥取大学大学院工学研究科, 2012
- [27] 井上聰, 吉岡英樹, 伊藤彰教, ライブパフォーマンスにおけるリアルタイム音響処理のための演奏動作解析方法の研究 ~エレクトリックギターと Max/MSP,Jitter を用いた実装~, NICOGRAPH 第 25 回論文コンテスト, 2009
- [28] 小林茂, 赤松正行, Spinner:再構築可能なユーザーインターフェースへのシンプルなア

プローチ, 岐阜県立国際情報科学芸術アカデミー, 2005

- [29] 岩島伊織, 赤羽亭, 小林茂, 鈴木宣也, タッチパネル上にのせる触知認知可能なコントロールインターフェースの提案とプロトタイプ「つかみどころ」の制作, 情報処理学会インタラクション, 2012
- [30] 有馬純寿, 電子音楽作品の修復 —湯浅譲二《ホワイト・ノイズによるイコン》を例に—, 先端芸術音楽創作学会 会報 Vol.1 No.4, 2010
- [31] Ronald Pellegrino, Some Thought on Thinking for the Electronic Music, Proceedings (American Society of University Composers) , 7, 47-55, 1973
- [32] Gareth Loy, The Composer Seduced into Programming, Perspectives of New Music, 20, 184-198, 1981

CD

- [33] 音の始源を求めて 1 -塩谷宏の仕事-, サウンド3, 2006
- [34] 音の始源を求めて 2 -佐藤茂の仕事 <内幸町の頃>-, サウンド3, 2006
- [35] Ohm+ The Early Gurus of Electronic Music, Ellipsis Arts, 2005

DVD

- [36] Modulations, Iara Lee, 1998
- [37] 20世紀ポップ・ロック大全集 プレミアム BOX, ビデオメーカー, 2001
- [38] Ohm+ The Early Gurus of Electronic Music, Ellipsis Arts, 2005

●参考 URL

- [1] 『KORG KAOSSPAD』 <http://www.korg.co.jp/Product/Dance/KP3/>
- [2] 『Stainberg CMC』 <http://japan.steinberg.net/?id=5559>
- [3] 『Microsoft Kinect』 <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>
- [4] 『Processing』 <http://processing.org/>
- [5] 『JAZZMUTANT Lemur』 http://www.jazzmutant.com/jp/lemur_overview.php
- [6] 『NINTENDO Wii Remote』
http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html
- [7] 『SONY Playstation Move』 <http://www.jp.playstation.com/ps3/move/>

[8] 『Wikipedia』

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A1%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B8>

[9] 『KORG nanoKONTROL2』

<http://www.korg.co.jp/Product/Controller/nano2/nanoKONTROL.html>

[10] 『AVID Artist Control』 <http://www.avid.com/JP/products/Artist-Control>

[11] 『Emagic Logic』 <http://www.apple.com/jp/logicpro/>

[12] 『Open NI』 <http://www.openni.org>

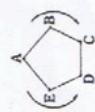
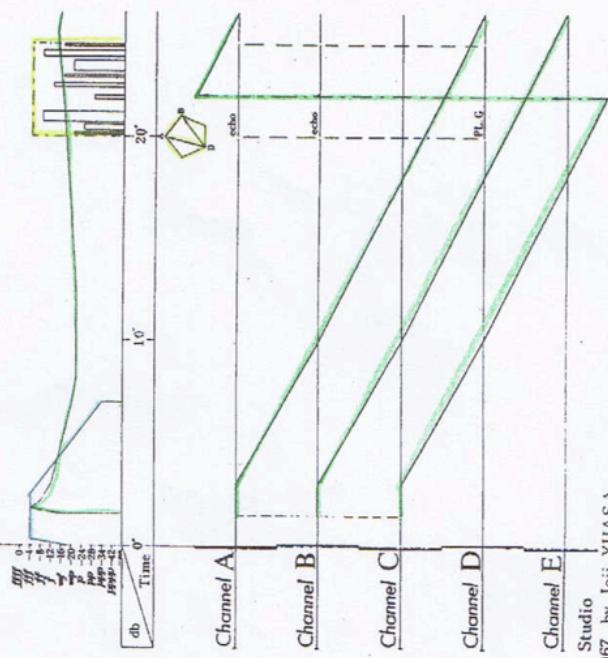
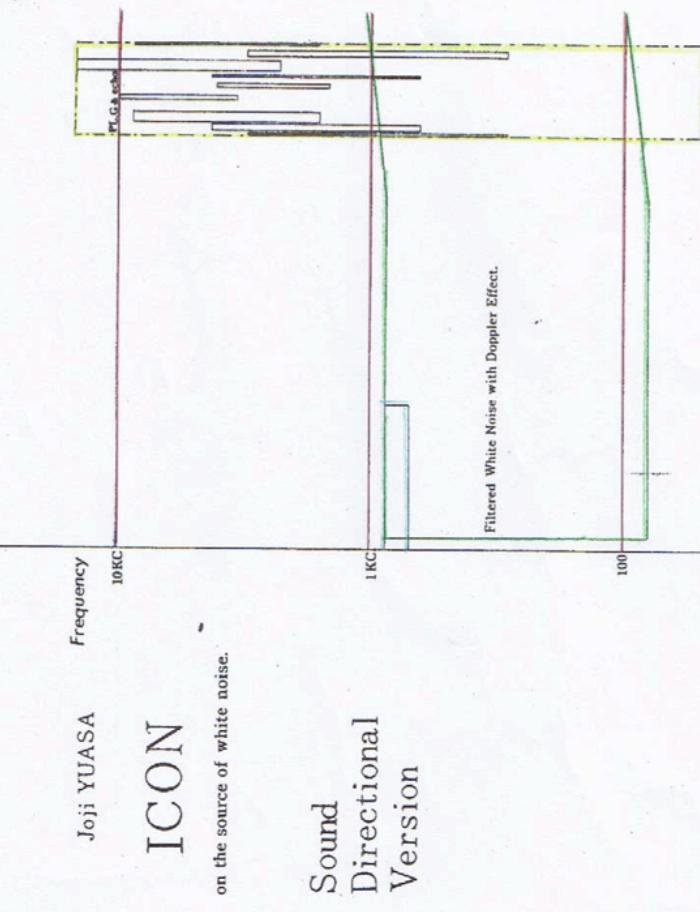
[13] 『Simple OpenNI』 <http://code.google.com/p/simple-openni/>

[14] 『Max』 <http://cycling74.com/products/max/>

付録

- ・「ホワイトノイズによるイコン」分析楽譜

各音響の重なりと、周波数帯域・音量・音像移動の関係性を一目で把握できるようにするため、楽譜の色分けを行った。この色分けは、1つの音あるいは音のまとまりごとに配色を決め、上段・中段・下段それぞれの表記に同じ色をつけることで、どの音にどのパラメータが対応しているかを明らかにしている。色に関しては、音が重なっている部分で同じ色が使われないようにし、同じ音像移動をしている音には同じ色を割り振った。本研究では冒頭から2分50秒までの部分に対しこの色分けを行い、分析を行った。



1966 Oct. — 1967 Mar.

NHK Electronic Music Studio
© 1967 by Joji YUASA

© 1968 assigned to Onagaku No Tono Sha Corp., Tokyo Japan
© 1968 assigned to Onagaku No Tono Sha Corp., Tokyo Japan

