Vol.2011-MUS-93 No.8
2011/12/12

空間表現に着目した音楽演奏システム

中島 武三志†

本研究では，音の位置情報に関する即興的な操作や、数多くのパラメータを持つシンセサイザー等の分担演奏を可能にする音楽演奏システムを提案する．具体的には音楽演奏システムを役割に基づいて分類しネットワークで結ぶモデルを構想し，これを実現するソフトウェアを制作した．

A music performance system focusd on spatial expression

Musashi Nakajima†

I propose a music performance system which enables us to improvise the positions of sound and share a performance of a synthesizer and so forth which has a lot of parameters. Concretely, I classified a music performance system based on its roles and elaborate a network model of these roles, then I implemented this model in software.

1. はじめに

1.1 電子楽器とコンピュータ技術

現在コンピュータ技術を用いた様々な電子楽器が使われているが，その多くは演奏者の操作を MIDI と呼ばれる演奏データに変換し，音を生成する音源モジュールに送信するまでのインターフェイスである．また音源モジュールで生成した音に対して様々なエフェクトを施す部分や，スピーカーを持つものも存在する．このように演奏者の操作が空気の振動としての音に変換されるまでにはいくつかのプロセスが存在し，電子楽器によってその担当する範囲は変動する．

また，コンピュータ技術とともに発展してきたネットワーク技術がこうした電子楽器の演奏にも応用されるようになっている．ネットワークを介して MIDI と同様の音楽演奏データを送受信する通信プロトコルとして RMCP[1]や OSC(Open SoundControl)[2]などが考案されている他，ヤマハ株式会社はネットワークを介してオーディオデータを送受信し，遠隔地での楽器の合奏を可能にする技術「NETDUETTO」[3]を発表している．

1.2 音楽にまつわる人間の諸活動

音楽にまつわる人間の活動は，大きく「作曲」「演奏」「鑑賞」の３つに分けられる．時代とともに音楽が複雑化し，それに伴って「作曲」と「演奏」は専門的な技術が必要となり，この二つの活動は分離しておこなわれるようになった．また 20 世紀に発達した録音技術やコンピュータ技術により，それまでは同時におこなわれていた「演奏」と「鑑賞」という活動についても時間的隔たりが生まれることとなった．このように，現在の音楽は「作曲」，「演奏」，「鑑賞」という立場が明確に分離され，「作曲」と音楽は楽譜で，「演奏」と音楽は楽器で，「鑑賞」と音楽は空間で結びついている．最近ではこの３つの結びつきにコンピュータが大きく関わっている．（図１）

このように音楽に対する立場が明確に分離され，今後もそれぞれの立場で発展してゆくと思われるが，音楽に対するそれぞれの立場の関わりあいという，一段階高次な視点をはっきり認識する必要がある．そしてこの関わりあいも音楽の重要な要素として捉えるべきだと考える．

1.3 音楽の空間表現

音楽が演奏される空間は様々な形態として存在するが，カールハインツ・シュトックハウゼンは鑑賞者と音源の相対的な位置関係や動きなどを主な要素として取り入れた「Raummusik（空間音楽）」という概念を明確に打ち出し，様々な実験的音楽を試みている[4]．ここでは，音楽の要素として音源の位置情報を秩序づけること，またその

† 早稲田大学基幹理工学研究科表現工学専攻
The Department of Intermedia Art and Science, Waseda University

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MUS-93 No.8
2011/12/12

表れとしての空間を“空間表現”と呼ぶことにする．こうした空間表現は様々な形でおこなわれてきたが，音源と鑑賞者の相対的な位置情報は，鑑賞者が能動的に変更しうる唯一の音楽的要素でもある．すなわち空間表現は作曲者，演奏者，鑑賞者による総合的な表現であると言える．

しかし，鑑賞者の位置によって聴こえてくる音が変化する音響空間，あるいは芸術作品は数多く存在するが、それらはあらかじめ制作しておいた音データをコンピュータ等から複数のスピーカーを通して再生するものが多く，そもそも空間表現を「演奏」する，といった概念が明確に存在しないため，演奏としての即興的な空間表現が可能な電子楽器は少ない．

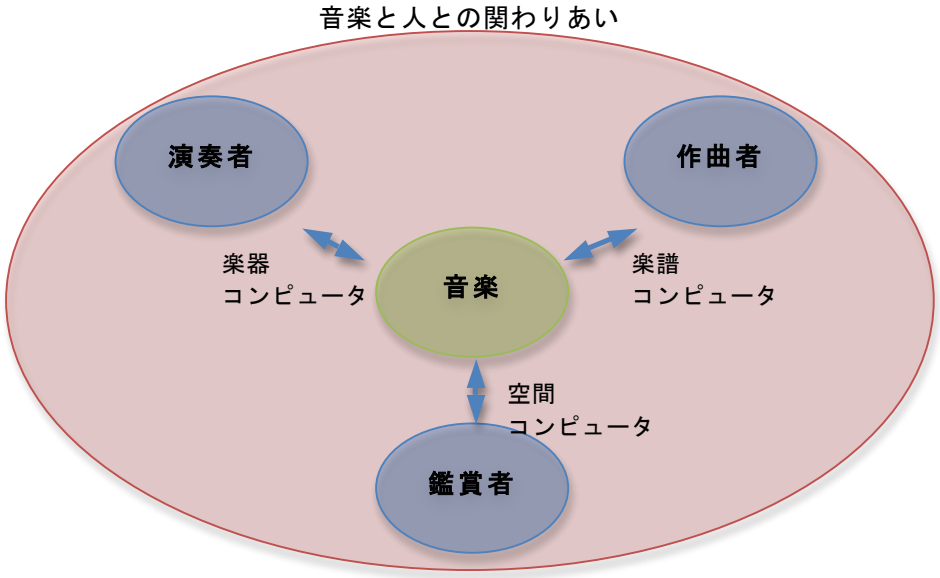


図１音楽にまつわる諸活動

1.4 楽器と演奏者の関係

楽器とは本来一人で演奏するものである．ピアノの連弾などは例外であるが，基本的に楽器は一人で演奏するために作られ，音楽を演奏する際は一人一人が自分の楽器を持って演奏するのが普通である．

ところが電子楽器となると必ずしもそうである必要はない．シンセサイザーでは音高やボリュームの他，エンベロープやフィルターなど操作すべきパラメータが数多く存在しうるので，同じ楽器を複数の演奏者で分担して演奏することが必要になってくる．演奏者と電子楽器をつなぐインターフェイスが必要に応じて複数用意され，何らかの形で演奏情報がやりとりされれば、複数の演奏者で分担して演奏することが可能になる．（図２）

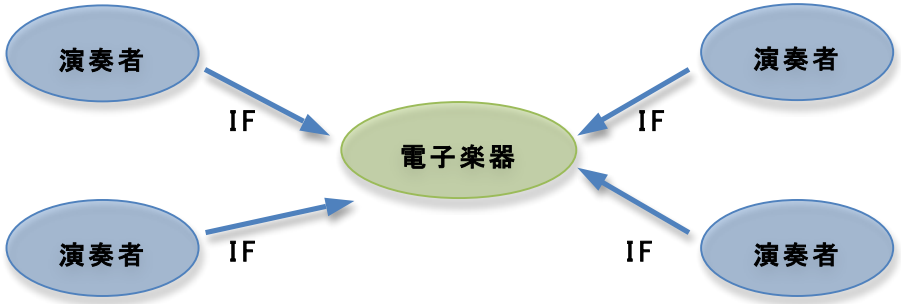


図２ 電子楽器の分担演奏

1.5 本研究の目的

本研究ではコンピュータ同士を結ぶネットワーク技術を用いることで，「作曲」，「演奏」，「鑑賞」の間に生じる時間的，空間的，立場的隔たりを見つめ直し，音楽の分担演奏を通じた演奏者同士の新しいコミュニケーションや演奏の一部としての空間表現，ひいては新しい音楽体験を実現するための音楽演奏システムを提案する．

2. 音楽演奏システムの分散ネットワークモデル

2.1 音楽演奏システムの分類

音楽の分担演奏を通じた演奏者同士の新しいコミュニケーションや，演奏としての即興的な空間表現を実現するために，まず音楽演奏システムの役割を以下の４つのモジュールに分類する．

(1) 演奏インターフェイス

演奏インターフェイスは演奏者の操作と直接関わる部分である．この部分で後に述べる各モジュールの動作を制御する．各モジュール用の演奏インターフェイスは，必要に応じて複数用意される．

(2) 音源モジュール

音源モジュールは，演奏インターフェイスから演奏データを受け取り，それをもとに

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan

オーディオデータ（リニア PCM）を生成する部分である．

(3) **エフェクトモジュール**

エフェクトモジュールは，音源モジュールで生成したオーディオデータにエフェクトを施す部分である．

(4) **再生モジュール**

再生モジュールは，音源モジュールまたはエフェクトモジュールからオーディオデータを受け取り，実際にスピーカーから再生する部分である．各モジュールの関係図を図３に示す

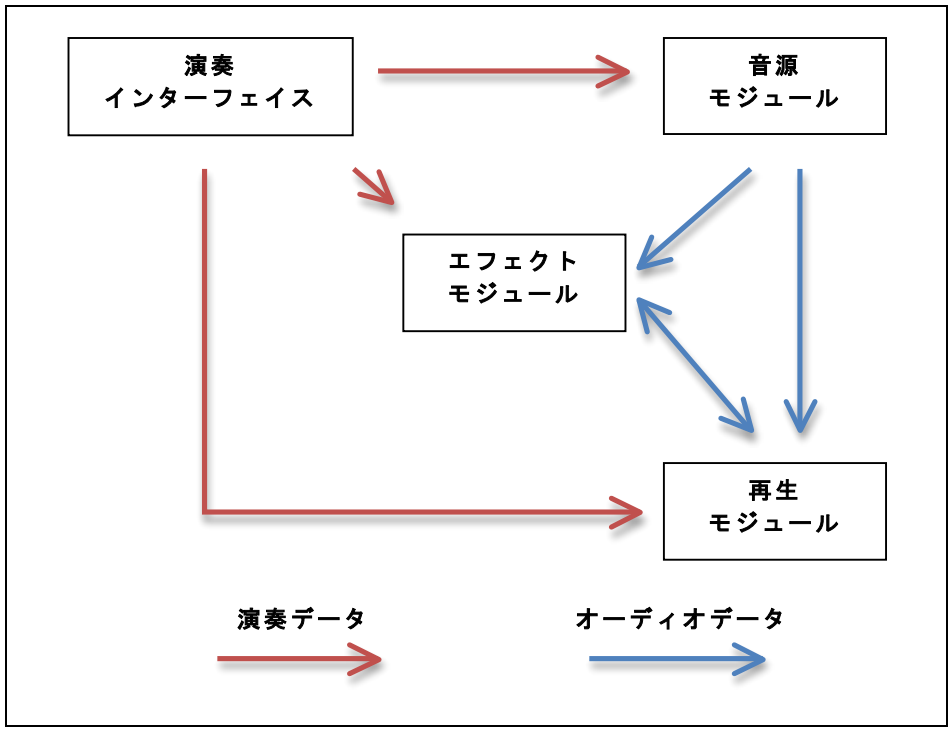


図 3 各モジュールの関係図

演奏インターフェイスによる演奏データが音源モジュールに送信され，音源モジュールで生成されたオーディオデータがエフェクトモジュールまたは再生モジュールへ送信される．その際，別の演奏インターフェイスで音源モジュールやエフェクトモジュール，再生モジュールに対して演奏データを送り，各モジュールの動作を自由に制御できる．

2.2 各モジュールの分散ネットワーク化

これらのモジュールを必要に応じて複数の機器に分散化し，ネットワークを通じて機器同士の通信をおこなう．各機器は最低ひとつ以上のモジュールを持ち，ネットワーク通信機能を有するものとする．

それぞれのモジュールはネットワーク上で一意に識別できるアドレスを持ち，データ通信の相手先を演奏者が自由に決定できる．

2.3 分散ネットワーク化の利点・欠点

音楽演奏システムの各モジュールを分散化し，ネットワークでつなぐことで，演奏者の意図を反映した，より柔軟な音楽演奏システムが構築できると考えられる．また複数人による演奏の幅を広げ，音楽を通じたコミュニケーションといった新しい音楽表現の可能性を生み出すとも考えられる．また無線 LAN を用いればケーブルの使用による空間的制約も小さくなる．

欠点としてはまず，安定したネットワーク環境が必要となることである．つまりネットワーク環境の善し悪しによって，演奏が円滑におこなわれない可能性がある．また演奏データやオーディオデータが経由する機器の増加に伴って，演奏者の操作が実際の音になるまでの遅延も大きくなることが考えられる．

3. 各モジュールのソフトウェア制作

先に述べたモデルに基づいて，ソフトウェアを実装した．実装したのは音源モジュールと，演奏インターフェイスと，再生モジュールの３つである．

3.1 OSC (Open SoundControl)

各モジュールで演奏データ，オーディオデータをやり取りするプロトコルとして OSC を用いる．OSC とはコンピュータやシンセサイザー，マルチメディア機器間の通信プロトコルである．主に UDP/IP をベースに実装され、電子楽器の制御やマルチメディア処理などの用途に用いられる．リアルタイム性が必要とされるこのシステムにおいては発音の遅延は致命的であり，オーディオデータの少々の欠損はやむを得ないとしてこれに適した OSC を用いて通信をおこなうことにする．また OSC は URL 形式の命名規則が特徴で，この URL 形式のアドレスと端末の IP アドレスを組み合わせて各モジュールを一意に識別する．

3.2 音源モジュールの概要

音源モジュールを Apple 社 Mac OS X のアプリケーションとして制作した．この音源モジュールは単純な PCM 音源の方式を用いており，音高，ボリュームに関する演奏データを受け取るとそれに対応したエレクトリックピアノまたはスチールドラムの

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan

音が生成されるしくみとなっている．具体的には，演奏インターフェイスのアドレスによって届いた演奏データを識別し，演奏データに基づいたオーディオデータを 16bit 44.1kHz モノラルのリニア PCM データにミキシングし，指定したモジュールに向けて定期的に送信する．またこの音源モジュールは異なるオーディオデータを最大３つのモジュールに対して送信できるようになっており，送信先は演奏インターフェイスからの演奏データに基づいて決定される．

3.3 演奏インターフェイスの概要

3.1 で説明した音源モジュールに対して演奏データを送信するための演奏インターフェイスを Apple 社 iPhone (iPod Touch, iPad)用アプリケーションとして制作した．具体的には，画面の上下が音高，左右が音源モジュールのオーディオデータ送信先情報となっており，タッチすると演奏データが指定した音源モジュールに向けて送信されるしくみとなっている．

また MIDI キーボードから音源モジュールに対して演奏データを送信するための演奏インターフェイスを Apple 社 Mac OS X のアプリケーションとして制作した．特定の鍵盤が音源モジュールのオーディオデータ送信先情報に対応しており，その鍵盤を押さえながらキーボードを弾くと，演奏データが音源モジュールに向けて送信されるしくみとなっている．

3.4 再生モジュールの概要

再生モジュールを Mac OS X および iPhone(iPod Touch, iPad)用アプリケーションとして制作した．再生モジュールでは複数のモジュールからデータが送信されることを考慮し，定期的に送信されるオーディオデータを受信した後，送信元モジュールのアドレスをもとにオーディオデータ他を識別して各チャンネルに振り分け，逐次再生する．チャンネルは最大で４チャンネル用意されている．

ネットワークを介したストリーミング再生という性質上，受信側は常に一定のデータを受信できるとは限らないため，バッファリングをおこない，オーディオデータが途切れないようにしてある．そのためネットワーク部分での遅延に加え，オーディオデータを受信してから実際にスピーカーから再生されるまでに遅延が生じる．この再生モジュール部分での遅延は最大約 70ms，最小で約 35ms である．

4. 考察

制作したモジュールを複数の端末に組み込んで実際に演奏した．使用した端末は Apple 社の第３世代 iPod Touch，第４世代 iPod Touch，iPad 2，（図４）MacBook Air，iMac である．使用した MIDI キーボードは AVID 社 M-Audio Oxygen 8（図５）と KAWAI 社 Stage Piano MP5（図６）である．またネットワークは家庭の無線 LAN を用いた．端末に組み込んだモジュールは次の通りである．

(1) 第３世代 iPod Touch
- 演奏インターフェイス（タッチディスプレイ）

(2) 第４世代 iPod Touch
- 演奏インターフェイス（タッチディスプレイ）
- 再生モジュール

(3) iPad 2
- 演奏インターフェイス（タッチディスプレイ）
- 再生モジュール

(4) MacBook Air
- 演奏インターフェイス（MIDI キーボード MP5）
- 音源モジュール（スチールドラム）

(5) iMac
- 演奏インターフェイス（MIDI キーボード Oxygen 8）
- 音源モジュール（エレクトリックピアノ）
- 再生モジュール

また演奏データ，オーディオデータの送受信先を図７に示す．



図４（左から）第３世代 iPod Touch，第４世代 iPod Touch，iPad 2

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-MUS-93 No.8
2011/12/12



図 5　AVID 社　M-Audio Oxygen 8



図 6　KAWAI 社　Stage Piano MP5

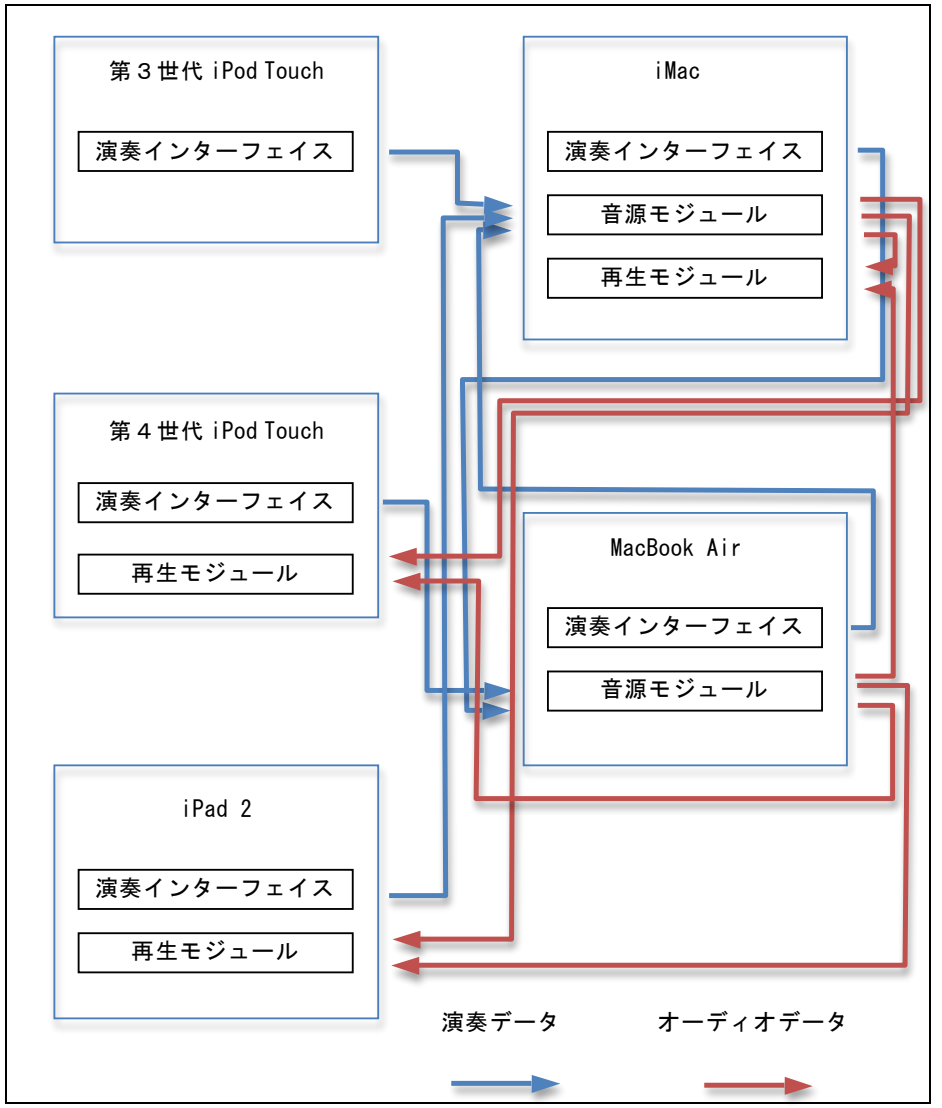


図 7　システム構成

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan

再生モジュールについては，端末に限りがあるため４チャンネルでの再生が可能であることは確かめられなかったが，２つの音源モジュールからのオーディオデータが正しく識別・再生された．

演奏インターフェイスについては，タッチディスプレイ，MIDI キーボードともに適切に演奏データが送信された．

音源モジュールについては，演奏データが正しく受信され，オーディオデータが適切にミキシングされ，３つのモジュールに対して正しく送信された．

全体としてはおおむねうまくいったが，演奏中にノイズがいくらか入ることが確認された．原因としては音源モジュールでの処理やネットワークの状況が考えられる．今回はオーディオデータのサンプリング周波数を 44.1kHz としていたが，以上のようなノイズが発生したため 22.05kHz にしたところ安定性が向上した．

また演奏インターフェイスを操作してから実際にスピーカーから再生されるまでの遅延が少々気になった．遅延時間は（ネットワーク部分を含まない）再生モジュール部分だけで最大約 70ms，最小で約 35ms であるが，再生モジュールでのバッファリングを改良することが必要であると考えられる．また遅延を小さく抑えるだけでなく，ネットワークの状況や端末の処理能力など様々な条件を考慮して動的にバッファの陵を変更し，安定して再生させるような工夫が必要である．

5. 今後の課題

今後の課題としては以下の４点が挙げられる．

- エフェクトモジュールを制作すること．
- 再生モジュールの遅延を小さくし，安定性を向上すること．
- 高機能な情報端末ではなくスピーカーに無線 LAN 通信機能を取り付けた再生モジュールを制作すること．
- 各モジュールのデータの送信先を動的に変更できるようにするしくみと、そのためのインターフェイス．

6. まとめ

今回，様々な音楽表現の中でも特に複数のスピーカーを用いた空間表現や，複数の分散配置された演奏者による演奏の分担に着目し，これを容易にする音楽演奏システムを実現するためのアイディアとして，音楽演奏システムの分散ネットワークモデルを提案した．このモデルをもとにソフトウェアを制作したが，このシステムが新しい音楽体験の足がかりとなることを期待している．

謝辞 本研究を進めるにあたって様々なご指導をいただいた指導教員の菅野由弘教授に深く感謝いたします．また本研究に対して様々な意見をくださった菅野研究室の皆様に感謝いたします．

参考文献

[1] 後藤 真孝, 根山 亮, 村岡 洋一, “RMCP : 遠隔音楽制御用プロトコルを中心とした音楽情報処理”, 情報処理学会論文誌 40(3), 1335-1345, 1999-03-15
[2] Wright, M., Freed, A., "Open Sound Control: A New Protocol for Communicating with Sound Synthesizers", International Computer Music Conference, Thessaloniki, Greece, 1997.
[3] ヤマハ株式会社 ニュースリリース
http://www.yamaha.co.jp/news/2010/10100501.html
[4] 長岡都, “シュトックハウゼン「ラウム・ムジーク(空間音楽)」の理論と実践 -EXPO'70 における「オーディトリウム」の音響空間-The Theory of Raummusik and Its Use by Karlheinz Stockhausen: Acoustic Space in an Auditorium at Expo 70”, 學苑 848, 78-90, 2011-06-01

ⓒ2011 Information Processing Society of Japan