

音楽演奏システムにおけるオブジェクト同士の 手軽なネットワーク構築に関する検討

中島 武三志^{1,a)} 後藤 理^{2,b)} 菅野 由弘^{1,c)}

概要: 情報通信技術が我々の生活に浸透している中, Internet of Things (IoT) と呼ばれる思想が, 今後我々の暮らしをより豊かにする情報通信インフラとして提唱されている. こうした IoT の思想に基づき, 実世界に配置されたセンサやアクチュエータなどのネットワークに接続されたオブジェクトを組み合わせることで, 大規模なサービスを構築するアーキテクチャが提案されている. 一方, 音楽の演奏システムやサウンドアート制作の分野においても同様に, 様々なセンサやアクチュエータ, 日常のオブジェクトを用いたパフォーマンスや展示が多くみられる. 本稿では音楽の演奏システムやサウンドアート制作の分野において, 専門的な知識を持たない者でも身の回りのあらゆるモノの状態を取得・制御でき, それらを手軽に組み合わせることができるシステムの設計について検討する. この検討をもとに, 「ユーザがコーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルとして利用する」という具体的なケースを想定し, これを実現するシステムの実装と今後の課題について述べる.

1. はじめに

情報通信技術が我々の生活に浸透している中, Internet of Things (IoT)[1] と呼ばれる思想が, 今後我々の暮らしをより豊かにする情報通信インフラとして提唱されている.

こうした IoT の思想に基づき, 実世界に配置されたセンサやアクチュエータなどのオブジェクト状態をネットワーク経由で取得あるいは制御する処理を, ひとつの独立したサービスと見立て, 個々のサービス同士を組み合わせることで大規模なサービスを構築するアーキテクチャが提案されている [2][3].

一方, 音楽の演奏システムやサウンドアート制作の分野においても同様に, 様々なセンサやアクチュエータ, 日常のオブジェクトを用いたパフォーマンスや展示が多くみられる [4][5][6][7]. こうしたパフォーマンスや展示では身の回りにあるオブジェクトなどを違った視点で捉え, 音楽と組み合わせることで新たな音楽体験の創造を試みている. しかしクリエイターにとって, 実際に作品専用のセンサやアクチュエータを用意し, これらのネットワーク構成や作

品に対する所望の振る舞いについて試行錯誤するには専門的な知識を必要とすることが多く, それらの機器を手軽に組み替えることが出来れば, 創作をより自由に行うことができる.

本研究では様々な日常のオブジェクトがインターネットにつながることで得られる IoT サービスの設計アーキテクチャを音楽演奏パフォーマンスやサウンドアート制作の分野へ応用する. 特に音楽演奏システムやサウンドアート等で用いられるオブジェクト同士のネットワークを手軽に構築するためのシステムについて検討する. すなわち, 専門的な知識を持たない者でも身の回りのあらゆるモノの状態を取得・制御でき, それらを手軽に組み合わせることができるとを目標とする. また音楽演奏システムやサウンドアートを想定した場合, 実体を持つオブジェクトの他にも音響合成や映像生成といった実体を持たないソフトウェア上のサービスも考えられる. 以下ではオブジェクトの状態の取得やそれを制御するしくみを, そのオブジェクトが提供するサービスと呼び, 実体のないソフトウェア上のサービスと同様に扱う. 具体的には, 以下の項目の実現を目指す.

- (1) 身の回りのオブジェクトをネットワークに接続し, サービスを提供可能にする.
- (2) 利用可能なサービスをユーザに提示する.
- (3) 手軽にサービス同士を連携させてクリエイターの意図するネットワークを構築するための仕組みを提供する.

¹ 早稲田大学理工学術院基幹理工学研究科
Graduate School of Fundamental Science and Engineering,
Waseda University

² 埼玉大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

a) 634.nakajima@aoni.waseda.jp

b) goto@cv.ics.saitama-u.ac.jp

c) ykanno@waseda.jp

(4) 各サービスが共通のプロトコルで通信可能である。

こうしたIoTインフラの実現により、ボタンやフェーダといった従来の入出力インタフェースが身の回りのオブジェクトに置き換わり、クリエイターの自由な発想を促すことが期待される。また様々なオブジェクトが提供しているサービスを新しい形で再利用し、共通のプロトコルで通信可能になることにより、クリエイターが細かな技術的知識に悩まされることなく手軽にアイデアの実現が可能となることが期待される。

本稿ではまず関連研究について触れ、上記目的を実現するための手段について検討する。さらに「ユーザがコーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルとして利用する」という具体的なケースを想定し、これを実現するシステムの実装について述べる。さらにシステムの動作に関して考察し、今後の課題について述べる。

2. 関連研究

身の回りにあるオブジェクトを音楽演奏システムやサウンドアートに応用したものは数多く存在する。アルヴィン・ルシエの Music on a Long Thin Wire[8] は、室内に設置された2台の机の間にワイヤーを張り、電磁波を与えることで発生するワイヤーの振動をマイクでピックアップし音響機器から再生する。また Ishii らによる Music Bottles[4] は、ガラス製ボトルの蓋を開けると、ボトルによって異なる音楽が再生される作品である。また、音を題材としてはいないがネットワークをコンセプトにしたメディアアートとしては、Keene らによる Aristotle's Office[9] が挙げられる。この作品では、扇風機やライト、ゴミ箱といったオブジェクトからケーブルが伸びており、それらをパッチベイでつなぐことで、あるルールに基づいてオブジェクト同士が相互作用する作品である。

このように、身の回りにあるオブジェクトがサウンドアートやメディアアートの題材として用いられているが、それらはその作品専用を用意されたものであり、クリエイターはアイデアを実現するために、一からオブジェクトの状態をデータ化し、制御する方法を検討している。そのため、アイデアの実現には専門的な知識や試行錯誤が必要となる。様々なモノの状態をネットワーク経由で取得し、制御することが可能なインフラが整うことで、クリエイターは一からオブジェクト状態のデータ化、制御方法を検討せずとも、ネットワーク上のサービスとして利用でき、作品アイデアを手軽かつ迅速に実現できる。

モジュール同士を連結させることで大規模な音楽作品等を構築するためのシステムも多く開発がなされている。コンピュータ上で音響合成をおこなうビジュアルプログラミング言語である Max[10] は、GUI上で特定の機能を持つモジュール同士を線でつなぐことでプログラムを構築する。ReactTable*[11] はテーブルに特定の機能を持つオブジェク

トを配置し、オブジェクト同士を近接させたり、移動・回転させることで入出力をおこなうシンセサイザ・シーケンサであり、接続しているオブジェクトの関係性によって様々な機能が構築される。

このようにモジュール同士を連結させて大規模な作品や機能を構築していくシステムも様々な存在し、わかりやすくモジュールを表示して連結させることが可能となっている。本研究ではこれらの研究を応用し、音響合成といったソフトウェア上のサービスに加え、身の回りのオブジェクトのサービスを手軽に組み合わせてクリエイターの意図する作品を創作する仕組みを提供することを目的としている。

3. 自由なオブジェクトを用いた音楽演奏システムのための手軽なネットワーク構築

本研究の目的は、音楽の演奏システムやサウンドアート制作の分野において、専門的な知識を持たない者でも身の回りのあらゆるモノの状態を取得・制御でき、それらを手軽に組み合わせることができることである。その場にあるものを自在に音楽に利用できることは音楽演奏の自由度を増すとともに作品制作の可能性を広げることが考えられる。Cope は音楽の創造性を「これまで他にさかんに関係付けられてきたと考えられるものではない、2つ以上の多方面にわたる物や考え、現象間の関係性のイニシャライゼーション」(訳は著者による)と定義している[12]。身の回りに溢れるモノを今までと異なった視点で捉え、組み合わせることを促進するという意味において、本研究の思想が音楽の発展に大きく貢献すると考えられる。

本章では、以上の目標を実現するためのインタフェースおよびインタラクションの設計について検討する。本研究では具体的に以下の項目の実現を目指している。

- (1) 身の回りのオブジェクトをネットワークに接続し、サービスを提供可能にする。
- (2) 利用可能なサービスをユーザに提示する。
- (3) 手軽にサービス同士を連携させてユーザの意図するネットワークを構築するための仕組みを提供する。
- (4) 各サービスが共通のプロトコルで通信可能である。

(1) に関して、オブジェクトが常にネットワークに接続されており、ユーザが利用したいときにいつでも利用することが求められる。その際オブジェクトに応じてサービス提供方法が異なってくる。家電製品などの比較的大型なオブジェクトやデジタル機器は機器内部にサーバを設けることが可能であるが、電子機器を埋め込むことが困難なオブジェクトも多く存在する。解決手段としては、サーバを担当する機器の小型化や、非接触でオブジェクト状態を取得・制御する手法を用意し、サーバ部分をオブジェクトとは別の箇所に設置するなどが考えられる。本研究では小型のオブジェクトを用いることを想定し、オブジェクト状態の取得とサーバ部分を分離する手法を採用する。

(2) に関して、ユーザが利用したい情報をわかりやすく表示できることが求められる。その際サービスをどのような手段でユーザに提示するかはケースバイケースである。Web のように膨大な量のサーバが存在する場合は、特定のキーワードで所望のサービスを検索し、GUI で表示するようなスタイルが考えられる。一方、実体を持つオブジェクトのサーバでは実際にオブジェクトに近接することによってオブジェクトのサービスが提示される方法も考えられる。また、従来の GUI による表示に加え、オブジェクトに対してはメガネ型デバイス等を用いた AR 技術によるサービスの提示も考えられる。しかし本研究では実体のないサービスの提示が必要となること、またサービスの数が少ないことを想定し、あらかじめネットワーク内に存在するサービスを全て GUI で表示する手法を採用する。

(3) に関して、実際にオブジェクトに触れながらネットワーク構成を考える上で、サービス同士の連結が煩わしい操作なく直感的におこなえることが重要である。サービス同士をつなぎ、サービス同士のネットワークをビジュアライズする手段としては GUI が一般的に用いられている。GUI 以外にも、「つなぐ」行為をより直感的に表現した TUI (Tangible User Interface) [13][14] による手段が研究されているが、サービスを実体を持つオブジェクトで表現するには、サービスの入出力の数やサービスを表すオブジェクトの数などに関する物理的制約が生じる。他にも、先述したように AR 技術を応用したサービス同士のネットワークビジュアライゼーションが考えられるが、実体のないサービスをオブジェクトのサービスと同様に扱うには不向きである。本研究では TUI のような物理的制約が少なく、指のみを用いて手軽にサービス同士を連結可能であるタブレット型端末による GUI を採用する。

(4) に関して、リアルタイムで手軽にネットワーク構成を組み替えられるためにはオブジェクトの各サービスが共通のプロトコルを持ち、互いに通信可能な状態であることが求められる。信頼性が重視される Web とは異なり、音楽演奏システムやサウンドアートではリアルタイム音響合成や、単なるトリガとして小サイズ of データ通信を頻繁におこなう。そのため、3ウェイハンドシェイクによる接続や誤り検出、フロー制御等をおこなう TCP ベースのプロトコルは信頼性が確保されるものの、こうした用途には不向きである。実際にこうした分野では OSC[15] と呼ばれる UDP ベースのプロトコルが多く用いられている。しかし利用可能なサービスを提示するための情報や、サービスが出力するデータの宛先を指定するための通信にはリアルタイム性より信頼性が求められる。そのため本研究では OSC を用い、通信内容によって TCP と UDP の 2 種類の下位プロトコルを使い分けることとする。

上記項目で検討した手法を用いることで、専門的な知識を持たない者でも身の回りのあらゆるモノの状態を取得・



図 1 システムで用いた機材
Fig. 1 System materials

制御でき、それらを手軽に組み合わせるシステムを実現できると考えられる。この検討を元に、実際にシステムを実装する。

4. システムの実装

本章では 3 章で述べた検討をもとに、日常にあるオブジェクトとしてコーヒーマル、音楽を奏でるものとしてオルゴールに着目し、「ユーザがコーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルとして利用する」という具体的なケースを想定し、これを実現するシステムの実装について述べる。

4.1 システムの概要

このシステムでは LAN に接続されたコーヒーマルのサーバ、2 台のスピーカのサーバ、「キラキラ星」のオルゴール音を生成する音源 (以下キラキラ星) のサーバ、およびサービスを選択し、それらを組み合わせてネットワークを構築するタブレット端末用アプリケーションからなる (図 1)。ユーザはタブレット端末上のネットワーク構築用アプリケーションからコーヒーマル、キラキラ星、スピーカのサービスを選択し、ノードで表現されたこれらのサービスをつなぎ合わせることで、コーヒーマルのハンドルを回してキラキラ星を再生するシステムを構築する。全てのサーバおよびネットワーク構築アプリケーションは OSC で通信をするが、利用可能なサービスを提示するための情報や、サービスが出力するデータの宛先を指定するための通信には TCP ベースの OSC を用いている。逆にサービスが実際に入出力をおこなうデータの通信には UDP ベースの OSC を用いている。また今回はサーバ機能にノートパソコンを用いているが、OSC 通信が可能な最小限の通信機器で小型化が可能である。

4.2 コーヒーマルサーバ

コーヒーマルサーバはハンドルの回転状態を利用可能にする。コーヒーマルサーバはハンドル回転検出部と、サーバ部からなる。図 2 はコーヒーマルの外観、図 3 はコーヒーマル内部の回転検出部の回路である。コーヒーマルの



図 2 コーヒーミルサーバ
Fig. 2 Coffee mill server

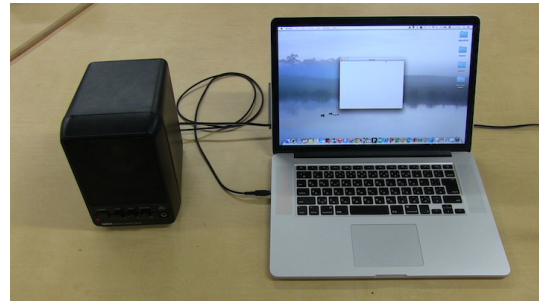


図 4 スピーカサーバ
Fig. 4 Speaker server

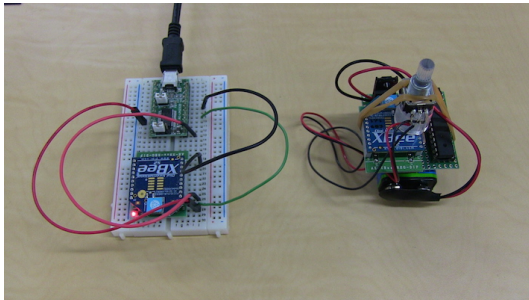


図 3 コーヒーミルの回路
Fig. 3 Circuit of the coffee mill

ハンドル回転の検出にはロータリーエンコーダと AVR マイコン (ATMEGA328P-PU) を使用し、ハンドルが 45° 回転する毎にシグナルを出力する。今回はコーヒーミルとは別に設置したコンピュータ (Apple 社 MacBook Pro) をサーバ部として担当させた。ハンドル回転のシグナルは Xbee ZB を用いてサーバ部に送信する。コーヒーミルは小型のため、回転検出部とサーバ部を一つの基板として内部に組み込まず、回転検出部のみミル内部に組み込んでいる。

サーバ部では、ハンドル回転検出部から受信したシグナルを、接続している別のサーバに対して UDP ベースの OSC パケットとして送信する。

4.3 スピーカサーバ

スピーカサーバはオーディオデータを受信し、実際に音を再生するサービスを提供する。図 4 はスピーカサーバの外観である。スピーカサーバのサーバ部についてもコンピュータに担当させ、コンピュータのオーディオ端子にスピーカを接続することで音を再生する。スピーカは 2 台用意し、1 台のスピーカサーバ用にはコーヒーミルと同一のコンピュータを使用し、もう 1 台には別のコンピュータ (Apple 社 MacBook Pro) を用意している。

サーバ部では、オーディオ情報のリアルタイム性を重視し、UDP ベースの OSC パケットを受信する。

4.4 キラキラ星サーバ

本研究では仮定のオルゴールとしてきらきら星サーバを作成した。キラキラ星サーバはシグナルを受信すると、キ

ラキラ星のメロディを一音ずつオーディオデータとしてリアルタイムに出力するサービスを提供する。キラキラ星はソフトウェア上のサービスであり、MacBook Air 上で動作させた。オーディオデータは 44.1kHz, 16bit モノラル PCM データを 256byte ずつ送信している。

サーバ部では、シグナルの受信およびオーディオ情報の送信に UDP ベースの OSC を用いている。

4.5 ネットワーク構築アプリケーション

ネットワーク構築アプリケーションは iPad 上で動作するアプリケーションである。本アプリケーションはサービス選択画面とネットワーク構築画面の二種類の画面からなる。

サービス選択画面 (図 5) では、LAN 上に存在するサービスの一覧を表示する。アプリケーションは起動時にサービス情報の送信依頼をブロードキャスト送信する。サーバは依頼を受信すると、アプリケーションに対して自身のサービス情報を返信する。アプリケーションはサーバから受信したサービス情報から、サービス一覧を画面上に表示する。今回の実装では、コーヒーミル、キラキラ星、2 台のスピーカが表示される。ユーザは表示されたサービスをタッチするとサービス情報の詳細が確認できるウィンドウが合わられる。「Add」ボタンをタッチするとネットワーク構築画面に移動する。

ネットワーク構築画面を図 6 にあらわす。図 6 では、左図に示すように、サービスが画面上にノードとして表示される。ノードを指で移動させ、入力を表す点と出力を表す点同士を近づけると、右図のように各ノードの入出力が線で結ばれる。同時にアプリケーションは出力側のサーバに対し、入力側のサーバへの接続依頼を送信する。出力側サーバは依頼を受信すると、出力データを入力側サーバ側に送信しはじめる。

サーバからアプリケーションへのサービス情報、および出力サーバに対する入力サーバへの接続依頼は信頼性を確保するため、TCP ベースの OSC プロトコルを用いている。



図 5 サービス選択画面
 Fig. 5 Services window

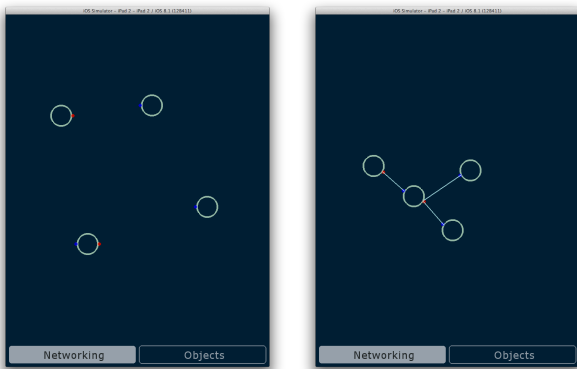


図 6 ネットワーク構築画面
 Fig. 6 Networking window

5. 考察

本章では実際にシステムを構築した上で明らかになった課題について考察する。

本システムを用いてサービスを組み合わせることにより、コーヒーマルのハンドルの回転に応じて、スピーカからキラキラ星のオルゴール音が自由な速度で再生されるシステムが構築できた。また、ネットワーク構築アプリケーション上でスピーカを選択することで、任意のスピーカから再生することができた。またタブレット端末を用いることで、簡単なタッチ操作でスピーカをつなぎかえて音楽を再生してみるなどのネットワーク構築をおこなうことができた。

現在コーヒーマルが提供しているサービスはハンドルが45°回転する毎にシグナルを送信するのみであるが、他にもハンドルの角速度やハンドルの位置、ミルの蓋、あるいはミル内に残っている豆の量などの状態を送信することも考えられる。このような状態を取得できれば、「豆を挽き終わった後、蓋をあけると音楽が再生される」といったアイデアも手軽に実現可能である。本研究の目的は「コーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルにする」作品を構築

することではなく、あくまでも「コーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルにする」というアイデアや「豆を挽き終わった後、蓋をあけると音楽が再生される」というアイデアなど、クリエイターがオブジェクトから想起するあらゆるアイデアを手軽に実現するための仕組みを提供することである。現段階では手軽にオブジェクト同士のネットワーク構築できる仕組みまで構築できたが、今後はサービスの種類を増やしてゆくことが重要になると思われる。

また、現状ではサービスのバリエーションが少ないため、サービス同士の組み合わせの自由度が非常に低い状況である。そのため、今回はLAN上に存在する全てのサーバを一覧表示する形を採用している。一方、今後サーバの数が膨大になることも考慮すると、キーワード入力により所望のサービスを検索する手法や、ユーザの位置付近に存在するオブジェクトのみサービス情報を取得するなどのインタラクションを取り入れる必要があると考えられる。

さらに、現状ではノート型パソコンをサーバ機能として用いているが、OSC通信が可能な最小限の通信機器が備わっていれば十分である。したがってスピーカやコーヒーマル内に小型のWi-Fi通信機器を直接組み込み、オブジェクト単体で機能するよう改良することが課題として挙げられる。

6. おわりに

本研究では、音楽の演奏システムやサウンドアート制作の分野において、専門的な知識を持たない者でも身の回りのあらゆるモノの状態を取得・制御でき、それらを手軽に組み合わせることができるシステムの設計について検討した。この検討をもとに、「ユーザがコーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルとして利用する」という具体的なケースを想定し、これを実現するシステムの実装をおこなった。このシステムを用いて、実際にユーザの手によって、コーヒーマルのハンドルをオルゴールのハンドルとして利用し任意のスピーカから自由な速度で再生するシステムを構築することができた。現状のシステムではサービスの種類が少ないため、サービスの組み合わせの自由度が低い状況である。しかし今後様々なサービスを用意してゆくことで、クリエイターの自由な発想をより促すことができると考えられる。

身の回りに溢れるモノを今までと異なった視点で捉え、組み合わせることを促進するという意味において、本研究の思想が音楽をはじめとしたアートの創造行為に大きく貢献できると考えられる。また程度の差こそあれ、創造はあらゆる人々が生活の中で実践していることである。自分の生活を豊かにしたり効率よく作業をおこなうための些細な工夫やライフハックなどにも本研究を応用していきたい。

参考文献

- [1] Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G.: *The internet of things: A survey*, Computer networks, 54(15), 2787-2805 (2010).
- [2] Spiess P., Karnouskos S., Guinard D., Savio D., Baecker O., Souza L. M. S. D., and Trifa V.: *SOA-based integration of the internet of things in enterprise services*, Web Services, 2009. ICWS 2009. IEEE International Conference on (pp. 968-975). IEEE (2009).
- [3] Cannata A., Gerosa M., and Taisch M.: *SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing*, Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on (pp. 1904-1908). IEEE (2008, December).
- [4] Ishii H., Mazalek A., and Lee, J.: *Bottles as a minimal interface to access digital information*, Proceeding of the CHI EA '01, CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.187-188, New York, NY, US, 2001.
- [5] Andy Cameron, Systems Design Limited.: *The Art of Experimental Interaction Design*, Gingko Press, 2005.
- [6] 金井隆晴, 菊川裕也, 鈴木龍彦, 馬場哲晃, 串山久美子: PocoPoco: 実物体の動きを利用した楽器演奏インタフェース, 情報処理学会論文誌, 53(3), 1050-1060 (2012).
- [7] Okude, E., Kakehi, Y.: *Rainterior: an interactive water display with illuminating raindrops*, Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces. ACM (2011).
- [8] Alvin Lucier: *Album Notes for Music on a Long Thin Wire*,
入手先 (<http://www.lovely.com/albumnotes/notes1011.html>) (2015.04.20).
- [9] Keene T., and Kyprianou, K.: *ARISTOTLE'S OFFICE*, Proceedings of the 2009 international conference on Electronic Visualisation and the Arts (pp. 285-287). British Computer Society (2009).
- [10] Cycling '74: *MAX 7*,
入手先 (<https://cycling74.com/max7/>) (2015.04.20).
- [11] Jordà S., Kaltenbrunner M., Geiger G. and Bencina R.: *The reacTable**, Proceedings of the international computer music conference (ICMC 2005), Barcelona, Spain, pp.579-582, Aug (2005).
- [12] Cope D.: *Computer models of musical creativity*, (p. 11). Cambridge: MIT Press (2005).
- [13] Merrill D., Kalanithi J., and Maes P.: *Siftables: towards sensor network user interfaces*, Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction (pp. 75-78). ACM (2007).
- [14] Jeffrey Traer Bernstein:
THE TANGIBLE SEQUENCER,
入手先 (<http://murderandcreate.com/tangiblesequencer/>) (2015.04.20).
- [15] Wright, M.: *Open Sound Control-A New Protocol for Communication with Sound Synthesizers*, Proceedings of the 1997 International Computer Music Conference (1997).