

基礎論文

デバイスアート・ツールキットの開発

圓崎 祐貴^{*1} 佐藤 亮太^{*1} 矢野 博明^{*1} 岩田 洋夫^{*1}

Development of Device Art Toolkit

Yu-uki Enzaki^{*1}, Ryota Sato^{*1}, Hiroaki Yano^{*1}, and Hiroo Iwata^{*1}

Abstract --- Device art is a new concept of art that shows essence of technology. Works of device art are often created in bottom-up process. The Device Art Toolkit is a tool for creation of these works. It is intended to achieve usability as well as scalability. The toolkit has modular structure consisting of control modules, input modules, output modules and communication modules. It also has actuator modules. The structure enables easy try-and-error in creation process.

Keywords: interactive art, interface device, toolkit, modular structure

1 はじめに

「デバイスアート」とは、メカトロ技術や素材技術を駆使して、テクノロジーを見せる形でアートにしていけるインタラクティブ作品のことを指す[1] [2]。さらに、モノ作りを出発点とする制作過程も、その主要な特徴である。デバイスアート・ツールキットはこのような作品の制作における試行錯誤を円滑に行うための道具として開発された。

デバイスアート・ツールキットは、多種多様な入出力に対応する連結基板モジュールによって構成されている。制御基板の両端に入力基板と出力基板がつながり、制御基板には、P CとU S B接続するための通信基板がつながる。制御基板は背骨のようにいくつも連結することができるので、多くの入力信号と出力信号を取り扱うことができる。接続ミスを防ぐために、基板モジュールのコネクタは、接続相手に応じて形を変え、また、回路製作などの技術的知識を持たない一般の芸術系のアーティストが使うことも想定して、芸術系のユーザが馴染みやすいようにProcessing[3] でプログラムが組めるような環境も用意した。

デバイスアート作品は鑑賞者とのインタラクションを持つことが大きな特徴で、そのために物理的な相互作用をもたらすためのアクチュエータもモジュール化して、制御基板に接続できるようにした。デバイスアート・ツールキットは高帯域で高周波数のデータが扱えるので、人間を持ちあげることができるくらいの高性能モータを、アクチュエータとして使うことができる。このように、デバイスアート・ツールキットは高度なシステムに発展できる拡張性と、初

者にも扱える使いやすさを兼ね備えたものを目指している。

アクチュエータを扱うツールキットに関しては、従来よりロボットの要素技術の開発を通して進められてきており、LabVIEW Robotics等の製品もある[4]。また、初心者向けのロボットパーツのキット化も進められている[5]。しかし、ロボットの実装形態は腕や脚という構造が限定されているのに対し、アート作品の実装形態は格段に多様である。そのため、ツールキットには高い柔軟性が要求される。

知識を持たないクリエイターが、手軽にインタラクティブ作品が作れるツールキットとしては、種々のものが存在し、Arduino [6] や Gainer [7] がよく知られている。簡単な入出力機能であれば、これらのツールキットで十分実装可能であり、低コストという利点もあり、Arduino は現在世界に最も普及している。ただし、デバイスアートの本質である、実世界における物理的相互作用を活かすためには不十分である。具体的には、まず1つ目になめらかに力覚呈示をするために一般的に必要と言われる1kHzの制御周波数を実現する高帯域の性能、2つ目にアクチュエータアレイを利用した作品などのモータ数が数十個となる場合にそれらを制御可能とするだけの入出力数、3つ目に試行錯誤の制作段階で発生しうる装置の構成変化に柔軟に対応する高度な拡張性・柔軟性。これら三つの要素が不可欠である。

デバイスアート・ツールキットは、著者らの研究室で制作された、各種の高機能のデバイスアート作品の制御装置として開発を始めてきた。その機能と信頼性は、2009年に日本科学未来館において4カ月間開催した展覧会「博士の異常な創作」で実証した。本論文は、このデバイスアート・ツールキットの、デバイスアート初心者でも扱えるような使いやすさの向上に関する試みを紹介するもの

*1: 筑波大学大学院システム情報工学研究科

*1: Graduate School of System and Information Engineering, Univ. of Tsukuba

である。

2 デバイスアート・ツールキットの設計思想

デバイスアートの重要な特徴の一つとして、初めはアーティスティックなコンセプトが存在しなかったが、モノを作っていくうちにそれが発生するというものがある。例として、アートと関係のない工学的な目標や目的を持って研究開発を始めたが開発を進めるうちに次第にアートとして評価されるようになることなどが挙げられる。そのためには試行錯誤でモノ作りを行う過程が不可欠となる。その場合、いかに早く試作できるかが、試行錯誤の効率を決定付ける。ここで必要になるのが、制作に必要な要素技術がモジュール化されていることである。

デバイスアートは、(独) 科学技術振興機構(JST)が主導する戦略的創造研究推進事業(CREST)としてプロジェクトを推進してきた[8]。このプロジェクトでは、要素技術のモジュールを整備し、ツールキットとして提供することを行ってきた。このようなツールキットが、初心者でも使えるものであれば、デバイスアートを世の中に定着させるための基盤技術になりうる。その具体的な突破口が、クワクボ氏が開発を進めている Pri/Pro[9] である。

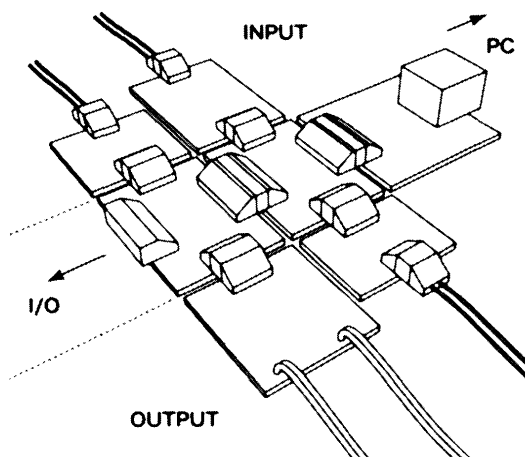


図1 Pri/Pro

Fig.1 Pri/Pro

Pro/Pro は、クワクボ氏がこれまでに美大で各種デバイスを用いたインタラクティブ作品の実習を行ってきた実績に基づき、初心者がコンピュータと実世界を結ぶ、入出力を容易に構成できるようなキットとして設計されている。これは、信号入力部と入出力処理部と信号出力部を、それぞれ脱着可能なモジュールにし、それらを自由に組み合わせることによって多様な機能が実現できる。図1はPri/Proの基本構造を表したもので、入出力処理部を、カスケード状に接続していくことによって多数のセンサやアクチュエータを連動させることができる。接続間違いが起こらないように、各モジュールのコネクタ形状に工夫がされている。

一方、著者らは多様なインタフェースデバイスに対応

可能なソフトウェアのフレームワークとして IOA (Interaction Oriented Architecture)[10] を提案してきた。これは先端的なインタラクティブシステムを効率的に試作することを支援するソフトウェアモジュール群を整理したものである。これによって、複雑で多彩な形態を持つ機械装置を用いて、インタラクティブシステムを構築することが可能になる。

デバイスアートの作品ではしばしば作品自体の大型化、機構の複雑化や使用するモータ数の増加などから制作期間が長くなりやすく、また体験者が作品に搭乗するような作品の安全性の問題や制作者がサポートできない環境での長期に渡る展示などから作品の動作に関して高い信頼性を要求される。

これらを踏まえて技術的な知識を持つユーザにとっては、(1)数十個のモータを同時に制御でき、柔軟に入出力数を変更することができる高い拡張性と(2)長期の作品展示にもなどにも耐えうる高い信頼性を持ち、(3)回路製作での配線のミスや半田付けの際などに接触不良を起こしやすい問題を防止し回路製作に関するトラブルを抑えることができることが重要な要素となる。

つまりデバイスアートの基盤技術のゴールとしては、Pri/Pro のように初心者でも扱える使いやすさを持ち、IOA のように高度な拡張性を有するツールキットが望ましいといえる。

このような観点から、著者らが開発を進めているのが、デバイスアート・ツールキットである。このツールキットの基本構造は、Pri/Pro の連結基板の構成を踏襲している。制御基板の両端に入力基板と出力基板がつながり、制御基板には、PCとUSB接続するための通信基板がつながる(図2)。制御基板は背骨のようにいくつも連結することができるので、多くの入力信号と出力信号を取り扱うことが可能である。

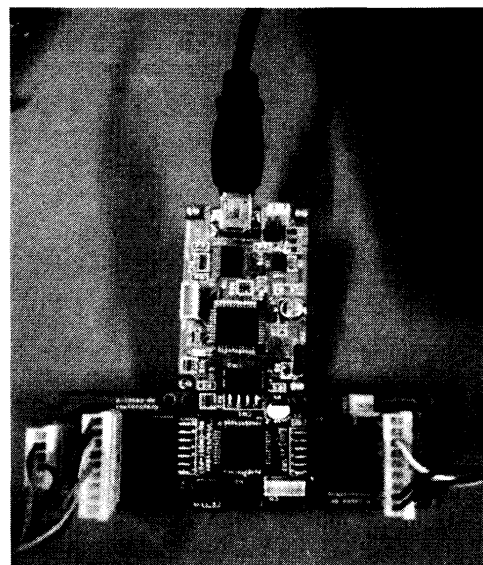


図2 デバイスアート・ツールキット

Fig.2 Device Art Toolkit

3 デバイスアート・ツールキットのシステム構成

3.1 全体の構成

デバイスアート・ツールキットは、システム制御用 PC と入出力装置をつなぐための通信基板、入出力装置単体を制御するための制御基板、入力基板、出力基板およびセンサ、アクチュエータから構成される(図 3)。通信基板及び制御基板は dsPIC30F4011 を搭載し、通信基板には PC との通信用の USB コントローラ IC も搭載している。

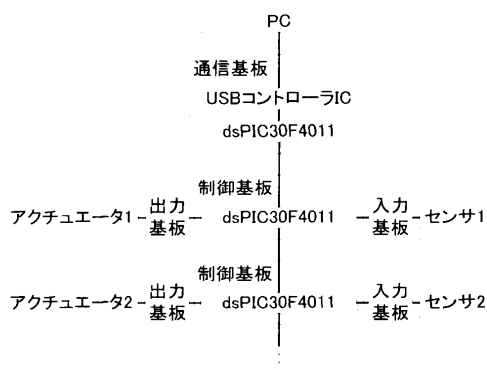


図3 デバイスアート・ツールキットシステム構成

Fig.3 Device Art Toolkit

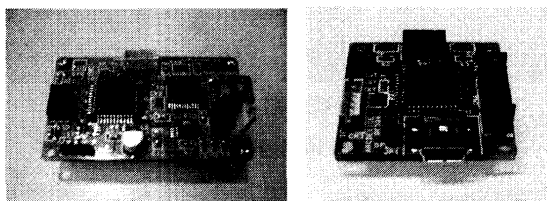


図4 SH 基板(左)および SC 基板(右)

Fig.4 SH board(left) and SC circuit board(right)

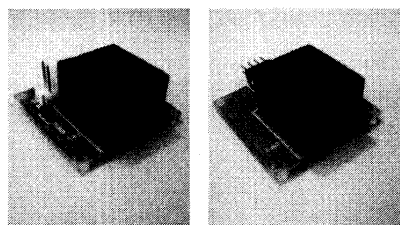
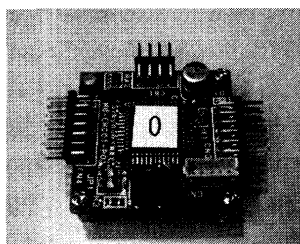


図5 CM 基板(上)と RJ45 基板
(左下:タイプ A 右下:タイプ B)

Fig.5 CM board(upper) and RJ45 board
(bottom left:type A bottom right:type B)

各制御基板は通信基板を中継してPCと通信する。また、各入出力基板に関しては各入出力基板の種類を制

御基板がIDで認識できる。

また、ソフトウェア開発環境として、Windows 上で利用できる C++用のライブラリを用意した。制御基板にアクセスするためのライブラリはクラス化されており開発者は該当する基板用のメンバ変数を操作することで入出力を操作できる。また、初心者向けに JAVA の Java Native Interface を利用したライブラリも用意し Processing 上での開発も可能である。

以下の節で、それぞれの要素技術の詳細をのべる。

3.2 通信基板

シリアルハブ(以下 SH)基板は、コントロールモジュールのマスタとなって、USB を介して PC から送られてきた指令を RS-485 に変換して各コントロールモジュールへ送信し、コントロールモジュールから送られてきたデータを PC へと送信する。それらの機能を実現するため dsPIC30F4011 と USB コントローラ IC を搭載した。

基板上に実装されている USB 端子には USB ミニ B コネクタを使用しており、反対側にはコントロールモジュールを直接接続するコネクタを実装した。また SH 基板を含む全てのモジュール基板には四隅に M2 ネジを用いた基板の足をつけられるよう直径2mm の穴を用意した。

SH 基板の概観を図 4 左に示す。基板のサイズは約 3cm*6cm である。なお、SH 基板以外のモジュール基板は全て約 3cm*3cm となっている。また最新のシステムでは SH 基板とほぼ同じ機能を持ちながら USB コントローラをより汎用的な IC に変更した約 3cm*3cm サイズの SC 基板(図 4 右)も開発した。

3.3 コントロールモジュール基板(CM 基板)

コントロールモジュール基板(以下、CM 基板、図 5 上)は、dsPIC30F4011 を搭載し SH 基板のスレーブとなって SH 基板からの指令に従って接続された入出力のモジュールの情報を制御する。図 5 (上)の左側の 14 ピンコネクタが出力モジュールを接続するポートであり、右側の 12 ピンコネクタが入力モジュールを接続するポートである。上下の 8 ピンのポートは SH 基板、あるいは他の CM 基板との接続に利用する。

SH 基板や CM 基板同士はコネクタの形状から基本的に平面的に接続するが、立体的な配置や基板同士を離れた配置が要求される場合もある。それら柔軟な基板配置を実現するためにストレート LAN ケーブルを用いた接続モジュール RJ45 モジュール変換基板(以下、RJ45 基板)を用意した。RJ45 基板の概観を図 5 下に示す。RJ45 基板には 8 ピンコネクタがオス(PC 側を上流として下流側基板用)かメス(上流側基板用)かでタイプ A とタイプ B の 2 種類とした。たとえば CM 基板同士を LAN ケーブルで延長接続する場合の接続順序は PC—SH 基板—CM 基板—RJ45 基板(タイプ B)—RJ45 基板(タイプ A)—CM 基板となる。

3.4 入力基板

デバイスアートに利用するセンサとしては、ポテンショメータなどのアナログセンサとロータリーエンコーダの様なデジタルセンサがある。それぞれ扱いが異なるため、本ツールキットでは2種類のセンサ基板を用意した。

アナログセンサデータを取得するためのセンサ入力基板(以下,SENS 基板)は多チャンネルのアナログ入力機能を持ったモジュール基板(図6 左)である。

SENS 基板は計8chの10bitアナログ入力が可能となっている。8chのうちch0からch3の4chはそれぞれ個別に5V電源出力とGND,シールド用GNDのピンを備えたコネクタが実装されており,その他4chはスペースの都合からまとめて1つのコネクタとした。

制御ソフトウェアプログラムでは SENS 基板からの値は,ch0からch8までの値を持った構造体として受け取り,それぞれを参照できるようにした。

センサとしてよく用いられるエンコーダはカウンタ回路が必要のため,SENS 基板とは別にエンコーダ入力基板(以下,ENC 基板)として実現した。ENC 基板は1chのロータリーエンコーダの入力と5chの10bitアナログ入力の機能を持ったモジュール基板(図6 右)である。ENC 基板にはマクソンモータのロータリーエンコーダの10ピンコネクタをそのまま接続することができる。また,SENS 基板と同様にアナログ入力5chのうち1chは5V電源出力,GND,シールド用GNDのピンを備えたコネクタとし,その他4chはまとめて1つのコネクタとした。エンコーダのカウント値はプログラム上32bitまでカウントできる。また,ENC 基板からの値も SENS 基板と同様にエンコーダカウントの値とアナログ入力の値を持つ構造体として PC へ送信される。

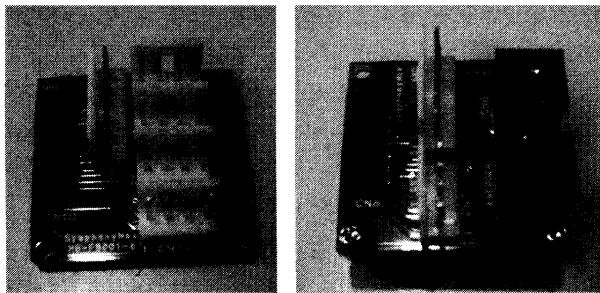


図6 SENS 基板(左)および ENC 基板(右)

Fig.6 SENS board (left) and ENC board (right)

3.5 出力基板

出力装置であるアクチュエータのドライバは,制御信号としてアナログ電圧を入力するタイプとデジタルデータを入力信号とするタイプに分けられる。

D/A 出力基板(以下,DA 基板,図7 左)はアナログ電圧指令で動作するモータドライバと接続するための D/A コンバータを内蔵したモジュール基板である。

D/A コンバータ IC にはアナログデバイス社の

AD5530 を使用し,出力電圧は-10V~10V,分解能は12bit である。1つの基板で1chの信号出力である。基板上には出力電圧オフセット調整用のトリマ抵抗が実装されており,中点電圧の微調整を行うことができる。なお,D/A コンバータ IC の出力用の電源として基板上の3ピンのコネクタから±15V を供給する必要がある。

PC からの指令値としては-2047~2047 として,回転方向と指令電圧を制御する

一方のデジタルデータを出力するための基板である Pulse Width Modulation 出力基板(以下,PWM 基板,図7 右)は3chの10bitPWM 出力機能と1chのPIO を有する基板である。

PWM 基板には5V 電源出力,GND,方向制御信号,ENABLE 信号,PWM 出力のピンを備えた5ピンのコネクタが3つと,2ピンのコネクタが1つ実装されている。2ピンのコネクタのうち片方のピンはGNDで,残りのピンはPIO として使用することができる。

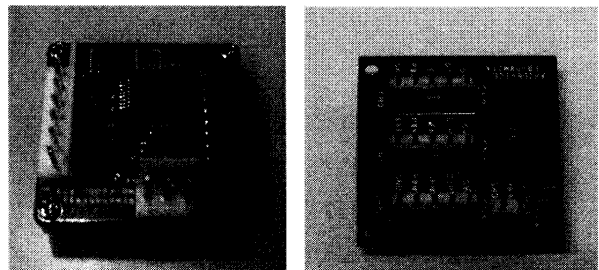


図7 DA 基板(左)および PWM 基板(右)

Fig.7 DA board (left) and PWM board (right)

3.6 デジタル I/O 基板

作品内容によっては,非常に多数のデジタルデータを入出力したい場合がある。そこで多チャンネルのPIO 基板を用意した。PIO 基板は入力側ポート用と出力側ポート用それぞれがある。サイズは3cm*2.6cm である(図8)。

出力側のポートには14ピンのタイプBを,入力側のポートには10ピンのタイプAを接続して使用することができる。これによって,CM 基板の両側にPIO 基板を接続することで1つのCM 基板で計18chのPIO を制御することができる。なお,各チャンネルの入出力方向はプログラムで任意に設定できるため,基板のタイプによらず切り替えることも可能である。

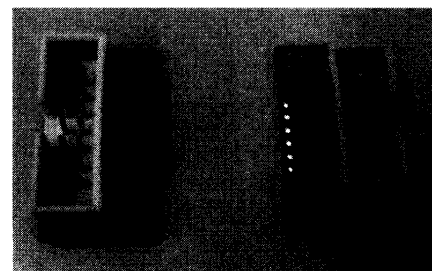


図8 PIO 基板(左:タイプA 右:タイプB)

Fig.8 PIO board(L:type A R:type B)

3.7 一体型基板

初心者にとってアクチュエータの制御回路の開発は、容易ではない。そこでアクチュエータドライバとセンサ類をまとめて制御出来る一体型基板も用意した。一体型基板(以下,MCD 基板)はモータを制御する際によく利用されるENC 基板やPWM 基板の一部機能をCM 基板と一体化した上でモータドライバ IC を搭載することで、モータドライバを用意することなく簡単にモータを制御することを目的とした制御基板(図9)である。

一体化したために入出力の基板は不要で動作するが、それらを使用することができない欠点も持つ。モータドライバを別に用意する必要がないため知識を持たないユーザも利用しやすい。

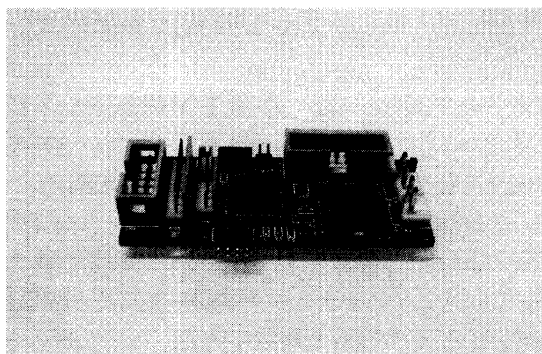


図9 MCD 基板

Fig.9 MCD board

3.8 リンク・アクチュエータモジュール



図10 アクチュエータ・モジュールとリンクモジュール

Fig.10 Actuator module and link module

アクチュエータやセンサ、機構は各自で用意しても良いが、より高性能でスケラブルな駆動機構を実装するためには、リンクやアクチュエータを適切にモジュール化する必要がある。また、一般に普及させることを考慮すると、各モジュールを低コストで実現する必要がある。

これらの条件を考慮して、なるべく市販の部品を多用しつつ、多様な駆動機構が実現可能なアクチュエータ・モジュールとリンクモジュールを製作した。アクチュエータ・モジュールには量産品のDCモータ(日本電産サーボ DMN37)と、軸に後付けできるエンコーダ(CUI INC, AMT modular encoder)を使用し、エンコーダと減速ギア

を内蔵した一体型ブラケットを製作している。減速ギアは段数を増やすことが可能な構造になっており、用途に合わせて減速比が選べる構造になっている。

また、リンクモジュールとして、既製品のミヨシパイジョン製の丸棒と軸受ユニットを用い、リンクの長さを自由に選べるようにした(図10)。

4 デバイスアート・ツールキットの作品制作における拡張性と信頼性

デバイスアートの作品ではしばしば作品自体の大型化、機構の複雑化や使用するモータ数の増加などから制作期間が長くなりやすい。また、体験者が作品に搭乗するような作品の安全性の問題や制作者がサポートできない環境での長期に渡る展示などから作品の動作に関して高い信頼性を要求される。これらの要求に本ツールキットが有効に機能することを示す3例を以下に示す。

4.1 ロボットタイル

ロボットタイルは複数台の正方形全方位車両(タイル)を組み合わせたシステムである(図11)。タイルによって作られた歩行面上をユーザが歩くと、タイルが歩行動作による移動を打ち消すようにユーザの身体を引き戻し、引き戻しが終わったタイルは歩行者の前に回り込むことで無限に歩行面を生成する。

このシステムではタイルそれぞれがバッテリーと無線LAN 接続により独立してそれぞれ5 個のモータ制御している。ツールキットは、一台につきCM 基板、ENC 基板、D/A 基板をそれぞれ5 枚ずつ使用した。またSH 基板の代わりにCM 基板により無線通信ユニットとの通信するようにカスタマイズした。

これはツールキットの持つ拡張性を利用したシステムと言える。また、ロボットタイルはこれまで何回もの実演展示に出展したが、ツールキットに起因するトラブルは発生していない。これはツールキットの信頼性の高さを示す例と言える。

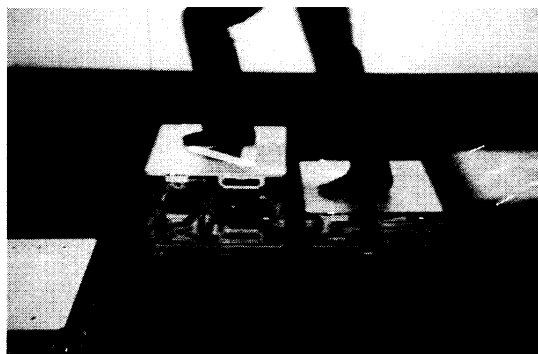


図11 ロボットタイル

Fig.11 Robot Tile

4.2 MediaVehicle

MediaVehicleは4つの3自由度車輪機構を組み合わせたモーションプラットフォームに小型球面ディスプレイ

を載せた装置である(図 12)。車輪により水平方向の全方向移動が可能であり、移動と動揺感覚及び映像を同時に提示することが可能である。

MediaVehicle はシステム全体で 12 個のモータを使用しており、開発中も駆動機構上の不具合によるモータ変更(DC モータから AC モータへ)に伴う仕様変更にも柔軟に対応した。

MediaVehicle は日本科学未来館における 4 ヶ月の常設展示を無事に終了した。また、オーストリアのリンツ市の Ars Electronica Center における 6 ヶ月間の長期展示においても、メンテナンスのために研究室の学生を展示期間中に一度も派遣することなく無事終了した。これもツールキットの拡張性や柔軟性、信頼性を示す例と言える。

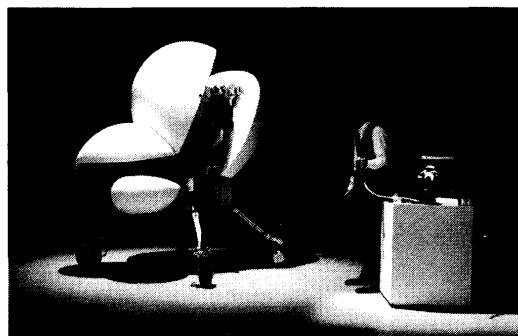


図12 メディアビークル

Fig.12 MediaVehicle

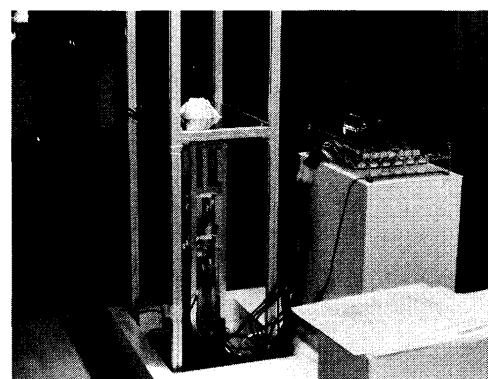


図13 Volflex+

Fig.13 Volflex+

4.3 Volflex+

Volflex+[11] (図 13) は立体的に配置された 10 個のバルーンの大きさと位置を 20 個のアクチュエータで制御することで、任意の形状をユーザに提示することを目的としたシステムである。

この装置は 20 個の直動アクチュエータを使用しており、本来ならパルス制御専用 IC を利用するなど特別な回路基板を用意する必要があった。しかしながら、本ツールキット(CM 基板, PWM 基板それぞれ 7 個)を使うことによって専用の基板を作成することなく 20 個の直動アクチュエータの制御を実現した。

Volflex+を ASIA GRAPH2008inTokyo や先端技術シ

ョークスにおける計 10 日間に渉る展示を行った。

これらの期間中に、Volflex+は大きなトラブルを発生することなく展示を終了できた。これもツールキットの有用性を示す例と言える。

5 初心者を対象とした評価実験

5.1 デバイスアート・ツールキットワークショップ

ツールキットの使いやすさを明らかにするため、技術的な予備知識を持たない学生が限られた時間で、どこまで本ツールキットの組立と動作を実現できるのかを観察する必要がある。そのため知識を持たない芸術系の人たちへのデバイスアート・ツールキットの使いやすさの検証実験として東京芸術大学において 2 回のワークショップを行った。ワークショップは 2 回ともに授業形式で行った。

本ツールキットは筑波大学理工学群工学システム学類 3 年次向けの実験においても使用しており、技術的な予備知識をもつユーザが 1~2 回の講義時間内に十分に使いこなせるようになる。芸術系の人たちが予備知識を取得する時間を含めて、3~4 回分の講義時間であれば使いこなすことができるという経験的仮説と授業時間の制約をから、その内容と回数を決定した。

第 1 回ワークショップは、実習を通して何か 1 つのインタラクティブな作品を製作してもらうことを目的とし 2008 年 11 月 17 日, 12 月 1 日, 12 月 8 日, 12 月 15 日の 17:30 から 1 回 1 時間半, 全 4 回行った。第 2 回のワークショップはモータの制御やリンク機構の動作を体感してもらうことを目的として, 2009 年 6 月 12 日, 6 月 19 日, 6 月 26 日の 17:30 から 1 回 1 時間半, 全 3 回行った。毎回同じ内容ではなく、段階を踏んでデバイスアート・ツールキットの使い方を学んでもらうこととした。ワークショップの様子を図 14, 図 15 に示す。

ワークショップの流れはまず全体で説明を行い、受講者からの質問など必要に応じてケーブル・コネクタなどの配線の説明やプログラミングに必要な文法や関数の説明などを行った。



図14 ワークショップの様子

Fig.14 Workshop



図15 体験の様子

Fig.15 Use of Device Art Toolkit

5.2 結果

5.2.1 第1回ワークショップ

4回のワークショップを通して延べ33人が参加した。参加者のデータを表1に示す。最大の参加人数は13人で最少は5人だった。うち4人は4回全てに参加した。作業は、用意したデバイスアート・ツールキットの数に合わせて5班に分かれて行った。プログラミング経験がある人は7名で、いずれもProcessingを用いたプログラミング経験がある、という程度だった。所属する学科も音楽環境創造科や彫刻科など、多岐にわたるものであった。

以下に1年目の各回の実習内容を示す。

- 1回目:
自己紹介,デバイスアート・ツールキットの基本的な使い方,SENS基板によるポテンシオメータの値読み取り,PWM基板によるモータの動作
- 2回目:
ポテンシオメータの値から角度への変換,複数chの扱い方,ポテンシオメータとギア・モータを組み合わせて簡単な位置制御
- 3回目:
デバイスアート・ツールキットを使った自由な制作
- 4回目:
自由な制作の続き,感想の聴取,アンケート

ポテンシオメータとギア・モータを組み合わせたためにアクリル板で作った簡単な台座を用意した(図16)。また、授業終了時にツールキットを回収するため直接制作に費やせる時間は授業時間中のみとなった。

最終的に何らかの作品を制作できたのは受講人数の減少もあり最終週に残った3班中3班であった。ポテンシオメータを使い映像を縮小拡大するプログラムや体験者が用意したリンク機構を使ってマジックハンドを作った作品、後述するが実際に自分の製作に組み込んだ受講者

がいた。

ワークショップの最後に希望者にはデバイスアート・ツールキットを1セット(SH基板,CM基板,SENS基板,PWM基板を各1枚)貸し出すとアナウンスしたところ、番号4,8,9の3名が希望した。うち1人(番号8の参加者)はPICを用いた作品制作が思うように行かなかったためワークショップに参加したという経緯からデバイスアート・ツールキットを利用した作品作りに非常に意欲的で、自分の作品に導入を試みた。作品にはロボットの手に物を載せると動いて物を磨く作品で、腕の制御にデバイスアート・ツールキットを使用した。

これらの結果からインタラクティブな作品の効率的な制作を支援できたと言える。

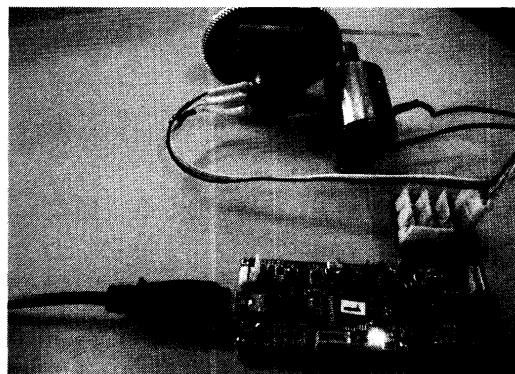


図16 ワークショップで使ったモータとポテンシオメータ

Fig.16 Motor and potentiometer used at workshop

番号	専攻	学年	性別	プログラム経験
1	音楽環境創造科	3	男	少し(Processing実習)
2	音楽環境創造科	3	男	少し
3	油画科	院2	女	少し(Processing実習)
4	先端芸術表現科	院1	男	少し(Processing実習)
5	彫刻科	3	男	なし
6	彫刻科	3	女	なし
7	先端芸術表現科	院	女	少し(Max/MSP)
8	油画科	2	男	少し(PICアセンブリ)
9	油画科	2	男	なし
10	油画科	2	男	なし
11	彫刻科	3	男	なし
12	油画科	4	女	なし
13	油画科	3	男	Processing

表1 体験者内訳(1年目)

Table 1 Itemized participants(1st year)

5.2.2 第2回ワークショップ

第1回ワークショップではインタラクティブな作品の製作を目標としたが、第2回ワークショップではモータの制御やリンク機構の動作を体感してもらうこととした。

3回のワークショップを通して延べ22人が参加した。参加者のデータを表2示す。最大の参加人数は10人で最少は5人であった。うち5人は3回全てに参加した。作業は、1回目は2から3人の班を作り、2回目以降は1人1セットで実習を行った。前回同様プログラミング経験者は少なく、Processingのプログラミング経験があるという受講者は4名のみであった。

以下に第2回ワークショップの内容を示す

- 1回目:
自己紹介,デバイスアート・ツールキットの基本的な使い方,SENS 基板によるポテンシオメータの値読み取り,PWM 基板によるモータの動作
- 2回目:
ポテンシオメータの値から角度への変換,ポテンシオメータとギア・モータを組み合わせる簡単な位置制御,反力呈示,ポテンシオメータの値にモータを追従,往復運動をさせる
- 3回目:
パンチングアルミを用いたリンクを使いリンクの運動の理解,感想の聴取

1年目の実習との変更点

- ウェブページを作成
- パンチングアルミを用いた長さを自由に調整できるリンクの作成.(図17)
- 手元をカメラで撮影し装置の使い方を観察

第2回ワークショップは前回よりも回数が少ないため,操作手順やサンプルプログラム,プログラムの変更点を記載したウェブページを作りこれを参照しながら進めさせた.また,第1回ワークショップの反省として具体的に何をどう動かせば良いのかわからないといった意見があったため,パンチングアルミを利用して制作したリンクを用意した.

以下に典型例として一週目と二週目の体験者番号7,三週目の体験者番号8体験の様子を示す.

- 一週目:
口頭などによる基本的な説明とウェブページの説明を参考にして装置の組み立てやプログラミングを行ってもらった.モータやポテンシオメータの軸を動かしたり,電源コードに触れたりする姿は多く見られたが基板に触れることはほとんどなかった.
- 二週目:
デバイスアート・ツールキットの利用は受講者にとって2回目となるため比較的簡単な説明をするだけですぐ装置の組み立てなどに取り組むことができた.装置の扱い方については説明に来た学生の真似をする姿や動きが悪い時には指ではじくなど無理に動かそうとする姿が見られた.実習を通して説明を聞きながらではあるが,プログラムを変更して目的とした動き(回転する角度や往復の位置)を実現できていた.
- 三週目:
ねじとパンチングアルミで作ったリンクを用いて四節リンク作り,リンクの動きを学習した.パンチングアルミを用いたことで長さを変更し,異なる動きをする

のを手で動かしながら確認した.

以上から,デバイスアート・ツールキットを用いることでリンク機構の構築などやそれと関わるモータの制御の実現などを容易に体感させることができたと言える.

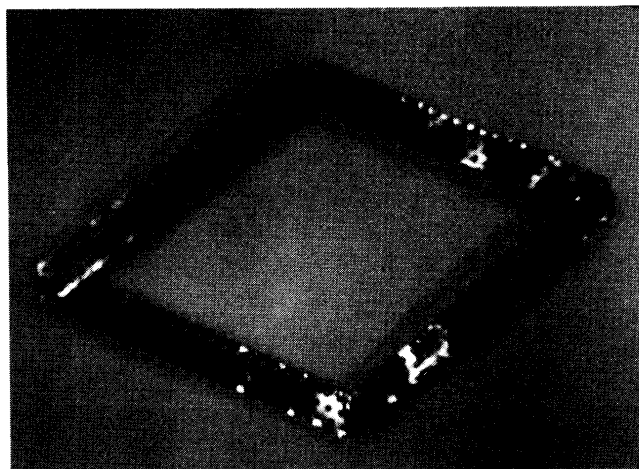


図17 ワークショップで使用したリンク

Fig.17 Link used at workshop

番号	専攻	学年	性別	プログラム経験
1	音楽環境創造科	不明	女	少し(Processing実習)
2	油画科	4	男	なし
3	油画科	4	女	なし
4	音楽環境創造科	2	男	なし
5	油画科	2	男	なし
6	デザイン科	不明	男	少し(Processing実習)
7	彫刻科	4	男	なし
8	音楽環境創造科	3	女	少し(Max/MSP)
9	不明	不明	男	少し(Max/MSP)
10	油画科	院1	男	なし

表2 体験者内訳(2年目)

Table 2 Itemized participants(2nd year)

6 展示における一般来場者を対象とした評価実験

6.1 先端技術ショーケース 2010 における展示

知識を持たないユーザがツールキットを簡単に利用できるということは,どれだけ短い時間でツールキットを理解できるかということでもある.そのため展示において知識を持たない一般来場者が短い時間でどこまでツールキットの動作を理解できるのかという観点から評価を行った.

先端技術ショーケースは,文化庁メディア芸術祭の協賛展であり,未来のアート表現に用いられるテクノロジーを紹介することを目的としている.この展覧会でデバイスアート・ツールキットの展示を行った.会期は2010年2月3日から2月14日で,会場は国立新美術館である.文化庁メディア芸術祭には多数の来場者があり,一人一人の来場者に十分な体験時間を確保するのは事実上不可能という制約がある.さらに,予備知識のない多数の体験者が操作しても壊れないものを用意しなければならない.したがって,前章で紹介したようなワークショップ形式を展

示室で行うことはできない。このような制約の中で、ツールキットの組立体験をどう提供するか、という課題に対して、デバイスアート・ツールキットの各機能モジュールをそれぞれアクリルケースに入れ、強固なコネクタで連結できるような、体験セットを製作した(図 18)。この体験セットでは入力ボリュームと力センサ、出力が LED とモータを用意し、それぞれ一つずつ選んで組み替えて、入力に応じて出力が変わることを体験できる。展示においては、電源が上がった状態で基板の抜き差しをやる、という通常の使い方とは異なる状況になるため、制御基板のソフトウェアをそれに対応できるように変更した。

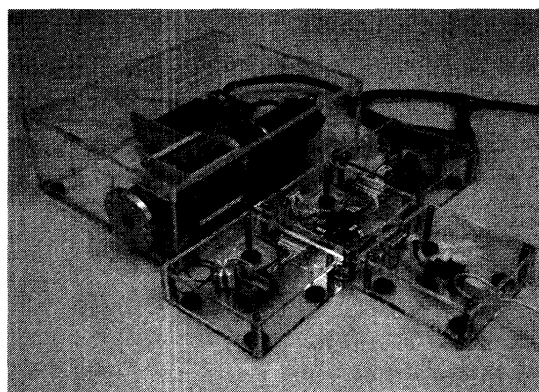


図18 体験セット

Fig.18 Device used at Leading Edge Technology Showcase

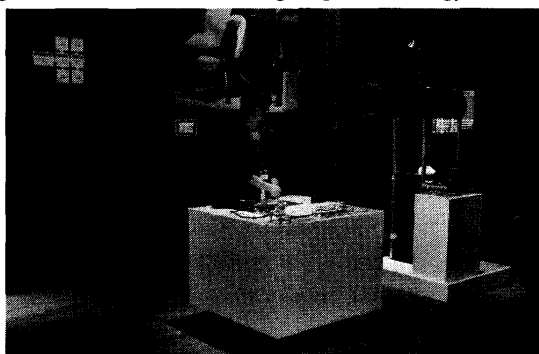


図19 展示の様子

Fig.19 Demonstration at Leading Edge Technology Showcase

デバイスアート・ツールキットの展示スペースは、壁面に概要を説明するパネルを貼り、上記の体験セットはテーブルに載せ、組立方を簡単に書いた絵文字も表示した。このテーブルの隣には、デバイスアート・ツールキットを使った作品例として、前述の Volflex+を展示した(図 19)。

6.2 ビデオ記録の分析

2月3日から2月14日までの展示期間中に2月6日から2月14日の8日間ビデオカメラによる記録を行った。その内2月6日から2月8日までの3日分のデータに関して参加者の総数、組立または組み替えを行ったかどうかを体験時のグループごとに数えるなどのビデオ分

析を行った。

その結果を表3に示す。

表中の説明員の説明がない時は壁面に記載されている説明や体験セットの台に記載されている説明を元に参加者が自ら行った。それ以外は説明員が実際に組み立てながら体験セットの機能や組み立て方を説明した。

	2月6日	2月7日	2月8日	3日間合計
参加者総数	685	782	362	1829
動作することを体験しただけ	124	123	64	311
組立または組み替え	51	111	86	248
(上記のうち成功した)	46	106	77	229
説明員による説明なしの組立及び組み替え	12	17	16	45
(上記のうち成功した)	9	14	9	32
(上記のうちさらに組み立てが不完全な状態から成功した)	2	2	2	6

表3 参加者の行動

Table 3 Behavior of participants

3日間の合計では参加者はのべ1829人となった。装置に入力を行って動作することを体験しただけのグループが311組であった。組み立てまたは組み替えを行ったグループが248組でその内完成させて動作を体験できたグループは229組。説明員による説明などなしで組み立てまたは組み替えを行ったグループが45組でその内完成させて動作を体験できたグループは32組であった。さらにこの中で初期状態がモジュール毎に分離した状態であったにもかかわらず組み立てて動作を体験できたグループは6組であった。

組み立ての結果は248組中229組(92.3%)となり高い成功率であったが説明がない場合には45組中32組(71.1%)に下がった。これは多数の体験者が予備知識を持っていなかったためと考えられる。そのため、多数の体験者が予備知識をもっていなかったにもかかわらずスタッフによる実演付き説明なしに組み立てまたは組み替えが7割以上の成功率になったことは、体験セットの組立体験をどう提供するかという課題に対して一定の成功を収めたと言える。

組み立ての失敗の主な例は以下の3つになる。

- ・組み合わせ方の間違い
- ・不十分な接続
- ・DA モジュールの接続不良によるモータドライバのエラー

このうち組み合わせ方の間違いについては壁面の図の向きと体験セットの向きが一致していなかったことが原因で、実物との対応関係の分かりにくかったことが考えられる。そのため図の向きを揃え、対応するモジュール同士を同じ色を用いて色分けするなどの対策が考えられ

る。それに加えて確実に接続させることを促すように注意を書き加えたりすることで不十分な接続に対しても対策をとることができる。しかし、最後の DA モジュールの接続不良によるモータドライバのエラーは DA コンバータの仕様に起因する問題のため回路の変更やコネクタの変更等が必要である。

7 結論

本研究では、初心者でも扱える使いやすさを持ち、高度な拡張性を有するデバイスアート・ツールキットの開発を行った。また、実際にデバイスアート作品等で使用し、高性能なモータの制御や基板の連結により多数のモータの制御ができる拡張性を持つことを確認し、ワークショップや先端技術ショーケース 2010 における展示を通して初心者でも基本的な機能を利用できる使いやすさに関して一定の成果を得ることができた。

本ツールキットによって技術的な知識のなかったユーザがより大がかりなデバイスアート作品の制作にチャレンジしやすくなることがデバイスアート・ツールキットの最大の特徴である。この特徴がデバイスアート分野の裾野を広げ、デバイスアート全体の作品の質の向上につながると期待できる。

今後はソフトウェアの開発環境をより整備し、デバイスアート作品のソフトウェアの開発をより行いやすくし、また同時にアクチュエータ・モジュールやリンクモジュール等を充実させてハードウェアの面からもデバイスアート作品の制作を支援して、一般の人でも容易にデバイスアート作品を制作できるようツールキットを充実させていきたい。

謝辞

本研究は(独)科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業(CREST)「デバイスアートにおける表現系科学技術の創成」の支援に基づいて行われた。この場を借りて感謝する。また、基板設計・製作や基本プログラムの開発等を担当したアークデバイスの内海真氏に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 岩田洋夫, デバイスアート: 日本文化としてのインタラクティブテクノロジー, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.10, No.1, pp.59-62 (2005)
- [2] 岩田洋夫, デバイスアート: インタラクティブテクノロジーの美学, 情報処理 Vol.48, No.12 pp.1343-1350 (2007)
- [3] <http://processing.org/>
- [4] <http://www.ni.com/ja/>
- [5] 城井田 勝仁, ロボットキット完全マニュアル, オーム社 (2000)
- [6] <http://www.arduino.cc/>
- [7] Gainer Book Labo + ぐるぐる研究室, +GAINER, オーム社 (2008)

- [8] 岩田洋夫, デバイスアート: インタラクティブテクノロジーの美学, 情報処理, Vol.48, No.12, pp.1343-1350 (2007)
- [9] <http://www.vector-scan.com/>
- [10] 岩田洋夫, 多様なインタフェースデバイスを統合するソフトウェアアーキテクチャ IOA (Interaction-Oriented Architecture), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.5, No.4, pp.1113-1120 (2000)
- [11] Yu-uki Enzaki, Hiroaki Yano and Hiroo Iwata, "Volflex+", ASIAGRAPH 2009 Proceedings, Vol.3, No.1, pp.21-24 (2009)

(2010 年 3 月 26 日)

[著者紹介]

圓崎 祐貴(学生会員)

2008 年筑波大学第三学群工学システム学類卒業。2010 年同大学院システム情報工学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院システム情報工学研究科博士後期課程在学中。力覚呈示に関する研究に従事。



佐藤 亮太(学生会員)

2009 年筑波大学第三学群工学システム学類卒業。現在、同大学院システム情報工学研究科博士前期課程在学中。力覚呈示に関する研究に従事。



矢野 博明(正会員)

1997 年筑波大学大学院工学研究科修了。同年日本学術振興会特別研究員(PD)。99 年筑波大学講師、現在、同大准教授。力覚呈示、移動感覚呈示に関する研究に従事。博士(工学)。



岩田 洋夫(正会員)

1981 年 東京大学工学部機械工学科卒業、1986 年 東京大学大学院工学系研究科修了(工学博士)、同年筑波大学構造工学系助手。現在筑波大学システム情報工学研究科教授。バーチャルリアリティ、特にハプティックインタフェース、ロコモーションインタフェース、没入ディスプレイの研究に従事。2004 年より、デバイスアートのプロジェクトを主導。日本バーチャルリアリティ学会副会長。

