

# 音楽演奏制御のための電子指揮棒の設計と開発

— 第1報 加速度センサの電子指揮棒への適用 —

堀内 泰輔\*

## Design and Development of an Electronic Baton for Music Performance Control - (1) An Application to an Electronic Baton of Acceleration Sensors -

HORIUCHI Taisuke

In late years, DTM (DeskTop Music) technology progresses. Therefore, development environment to create computer music has been got ready rapidly. However, these applications premise operation and music knowledge of a high PC. On the other hand, in the fierce modern society, it is a fact that needs of pursuing healing in music increases through all generations.

In such situation, a purpose of this study is to offer the computer music creation environment that is low cost for the class of all amateurs who are interested in music appreciation / creation. At first, we decided to develop the system, which could transmit a demand about a music performance to a music performance system when a user waved a baton.

By this thesis as the first report, we discuss about the design/production of an electronic baton and the basic evaluation to the baton.

キーワード：音楽情報処理, DTM, 自動演奏, 加速度センサ, 指揮法, LabVIEW プログラミング

### 1. ま え が き

近年のDTM(DeskTop Music)技術の進展により、コンピュータ音楽を創作するための開発環境は急速に整備されてきている。しかし、アプリケーションの側面からは、高度なPCの操作や音楽知識を前提とする、プロ志向のものが多くは否めない。その一方で、殺伐とした現代社会にあつて、音楽に癒しを求めることのニーズが全世代を通じて増大していることも事実である。

このような状況にあつて、本研究は音楽鑑賞・創作に興味を持つすべてのアマチュア層を対象とした、使いやすくローコストなコンピュータ音楽創作環境の開発を目的とする。

その第一歩として、音楽をひとつのアミューズメントとして捉え、アマチュアが音楽を聞くだけでなく参加(演奏)することによる癒し効果が得られるようなシステムを開発することとした。

本論文では、ユーザが指揮棒を振ることにより、音楽演奏に関する要求を音楽演奏システムに伝達できるようなシステムを開発するために必要となる、電子指揮棒の設計・製作とその基本的評価について論ずる。

### 2. マンマシン・インターフェースの検討

指揮棒の動きをシステムが読み取るためには、一般的に、画像認識による方法と指揮棒自体にセンサを組み込む方法とが考えられる。

前者は昨今の低価格のWebカメラが利用できるためハードウェアは簡単になるが、その分、ソフトウェア開発の難易度が高い。また、1秒あたりのフレーム数に限界があり、計算速度も加味すると、はたしてリアルタイムな演奏ができるか、問題が残る。

一方のセンサ組み込み指揮棒の場合は、最近、2・3軸加速度センサが小型軽量安価となっていることから、指揮棒に違和感なく組み込むことができれば、速度的にかなり有望な方法と思われる。ただ、ノイズによるセンサの誤差対策をしっかりと行わないと、位置を求める際の精度にかなりの影響を及ぼすことが想定される。

以上のことから、本研究においては、加速度センサ

\* 一般科助教授

を指揮棒に適用することとした。

### 3. 2軸加速度センサによる予備実験

最初に、市販の加速度センサの性能を調査するために、秋月電子から市販されている「Windows表示新2軸対応加速度計キット」<sup>1)</sup>を用いて、簡単な実験を行ったので報告する。

#### 3-1 実験目的

本実験の目的は、以下の2点である。

(1) 実際の指揮を行う際に、どのくらいの加速度が生ずるかを調査する。

(2) 2軸センサを1個用いた場合、指揮棒の運動認識がどの程度可能なかを調査する。

#### 3-2 実験方法

本キットは、長方形の基板の形態を採っているため、これに棒を取り付けて指揮棒と見立てた。

センサを指揮棒の先端に水平に取り付けたため、指揮の左右運動はX軸、前後運動はY軸方向の加速度として計測される。ただ、上下運動方向の加速度は、Z軸のセンサを設置していないので測定できないが、指揮棒の運動は一種の球面運動となるから、Y軸にその影響が現れると考えられる。

キットとPCをRS-232Cで接続後、キットに付属のソフトを用いて、PC画面上で計測を行った。そして、このデータをExcelに取り込み、グラフ化を行った。この結果を図1に示す。ここでは、4拍子の指揮を、最初の3回は普通に、次の1回は弱く行った。縦軸は加速度(単位:g)を示す。

#### 3-3 実験の結果および考察

結果的に、指揮棒の運動をほぼ忠実に捉えることができ、加速度の大きさも知ることができた。今回のキットにはADXL-202E(アナログデバイセズ社)<sup>2)</sup>という、最大±2gまでの測定が可能な加速度センサが組み込まれていたが、少し強く指揮棒を振ると簡単にスケールオーバーしてしまった。よって、2gでは不足であり、10g対応のセンサ(例えばADXL-210E)が必要と思われる。

センサの数については、これにZ軸方向の加速度を計測するためのものを1個加えれば、通常の指揮棒運動の再現には十分と思われる。よって、10g対応の3軸加速度センサを1つ、または2軸加速度センサを2個直交させることにより、指揮棒の役割は果たせると思われる。

センサの取り付け位置は指揮棒の先端であることが望ましいが、指揮棒自体が太くなってしまいうので、握り部の先端(指揮棒との付け根)にセンサを取り付け

るのが現実的と思われる。

今回の実験キットでは、1枚の基板上に5mm角程度のセンサと、その出力信号を処理するためのマイクロプロセッサが近接して組み込まれており、その処理信号はRS-232Cの形式でPCに送られる。

しかし、本システムで構築する電子指揮棒では、指揮棒自体を軽量化し、低ノイズの出力信号をPCに供給する必要があるため、指揮棒部には加速度センサとその出力信号のフィルタおよびアンプのみを搭載させ、アナログ信号をPCに送信する形式が最良と考えられる。

#### 3-4 追加実験

電子指揮棒を用いて、3次元空間内の任意座標をプロットできれば、指揮以外の空間認識用ツールとして、他の用途に流用することも考えられる。加速度を2回積分すれば距離が求まることから、3次元スキャンシステム、身体に取り付けての身体運動の計測システム、などへの応用が有用である。ただし、正確な距離を求めるためには、3軸センサを2箇所以上に取り付ける必要がある。

正確な位置座標を得るためには、センサの誤差が微小であることが絶対条件であるが、図2には積分操作を行った結果を示す。これは、横方向直線往復(左から右、左へ戻る。距離は18+18cm)した場合の、速度と変位をグラフ化したものであるが、予想通り、累積誤差により、変位を求めるには至らなかった。

この結果により、現行の加速度センサを3次元プロッタへ応用することは、精度の面で現状では不可能であることが確認された。

## 4. 実験用指揮棒の設計と製作

以上の試用実験の結果、2軸センサを2個直交させて搭載することで、指揮棒の3軸方向のおよその動きを認識できることが実証された。

しかし、これでは指揮棒上の1点の動きしか捉えることができないため、一定の間隔を置いて、2点に合計4個の2軸センサを搭載することにより、指揮棒それ自体の動きが把握できると考え、これに基づいた実験用の指揮棒を製作したので、以下にその概要を述べる。

#### 4-1 指揮棒の電子設計と計測システムの構築

表1にこの実験で採用した加速度センサの仕様を示す。予備実験の結果に基づいて、10gまで対応できる2軸センサを用いることとした。

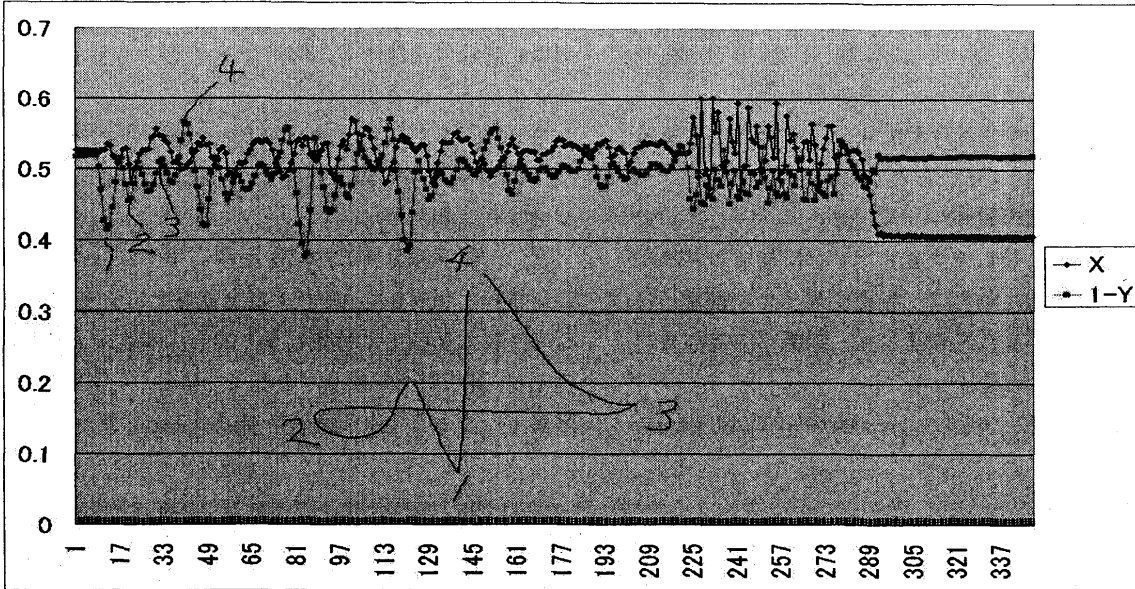


図1 4拍子を指揮運動させたときの、X軸、Y軸の加速度変化

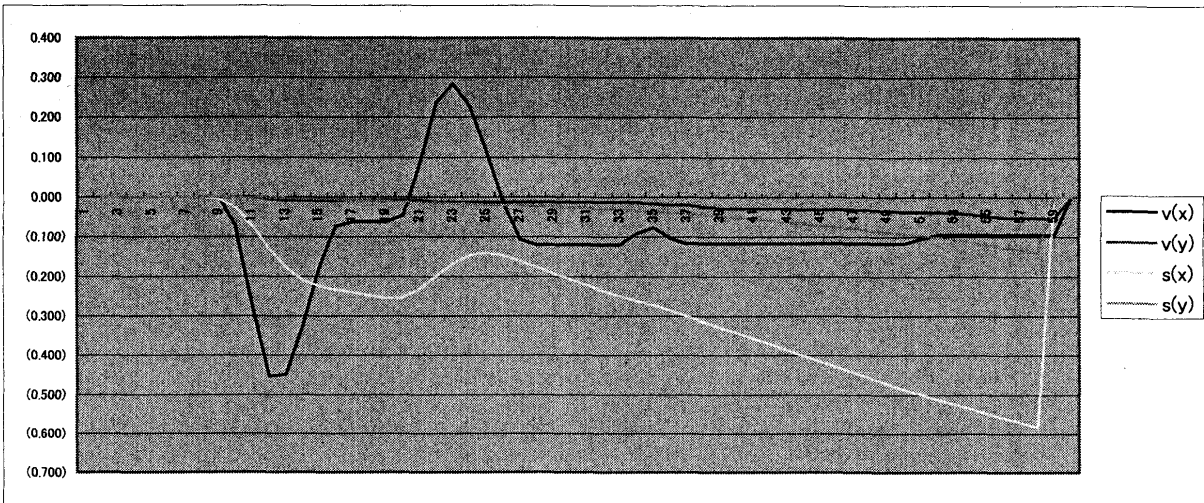


図2 横方向直線往復運動した場合の加速度から積分して得られた、速度・変位

表1 実験用指揮棒に採用した加速度センサの仕様

項目	仕様 (データ)
メーカー	アナログ・デバイス
品名	ADXL210JQC
軸数	2軸
計測範囲	± 2g
アナログ出力感度	100mV/g
ノイズ密度	500ug/√Hz
周波数応答 (3dB 帯域幅)	5Khz
電源	5V
パッケージ	14ピン CERPAK
大きさ	10X10X5

この加速度センサは、デジタルのデューティ・サイクル出力と、アナログ出力の2通りを備えているが、本実験では測定誤差を最小にするため、アナログ出力を利用することとした。

このアナログ出力をそのまま遠距離まで引き出すことはノイズの関係でできないため、実験基板内部においてローパス・フィルタと増幅回路にかけて、外部にアナログ信号出力をするようにした。なお、カットオフ周波数は、指揮棒の動きから1KHzとし、増幅度は2とした。

この出力信号はAD変換器を用いてデジタル信号に変換する必要があるが、今回は8チャンネル・10ビット

ト解像度の AD 変換器を内蔵するマイクロコンピュータ「H8/3052F」を選択した。その際、この種のボードキットとして定評のある秋月電子通商の「AKI-H8/3052F」ボードキットを採用した。

そして、デジタル化された信号を、RS-232C の形式で計測用 PC へ送出することとした。

#### 4-2 実験基板の製作

実験用指揮棒となる加速度センサを搭載した実験基板を製作するにあたっては、加速度データの収集という目的と作成の容易さを考慮して、指揮棒に収めるための高密度化は今回見送った。

この実験で重要となるのは、3軸方向の加速度を知

るための2つの2軸センサをいかに直角に取り付けるか、という点である。部品入手の容易さにより、PCB 基板を直角に接続するためのコネクタ（メーカー：日本航空電子）を選定した。

さらに、2点における3軸方向の加速度を得るために、5 cm 程度の間隔でそれぞれ2個の2軸センサを取り付けることとした。

次に、指揮棒全体の形状を指揮しやすい筒型にするのが良好と判断して、それぞれ2個のセンサを5 cm 放して1枚の基板上に搭載したものを、前述のコネクタにより、基板同士が直交できるようにした。最終的に、写真1、2のような実験用指揮棒が完成した。

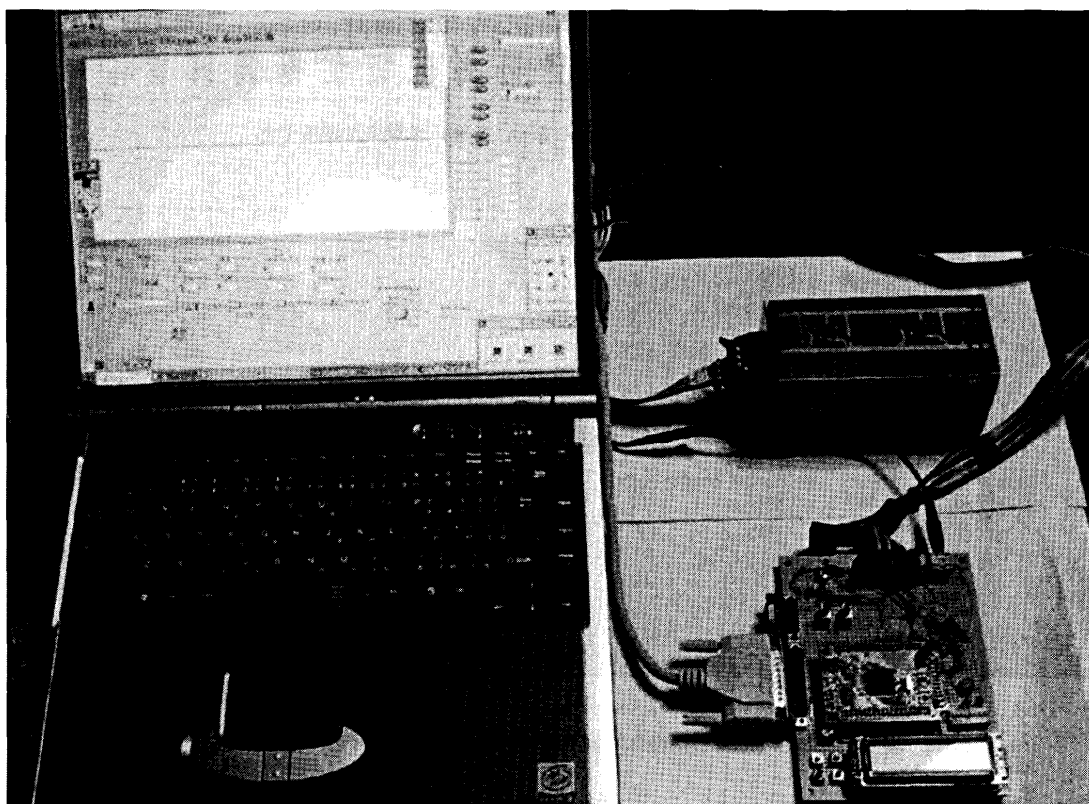


写真1 実験用指揮棒（右上部）と計測システム全景

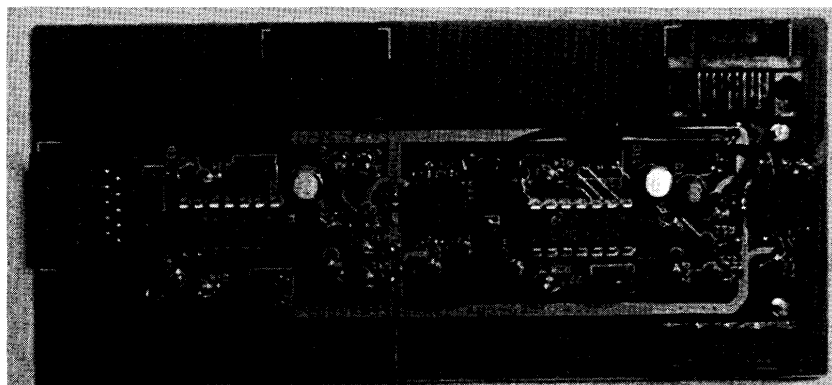


写真2 実験用指揮棒の一部（基板部品面）

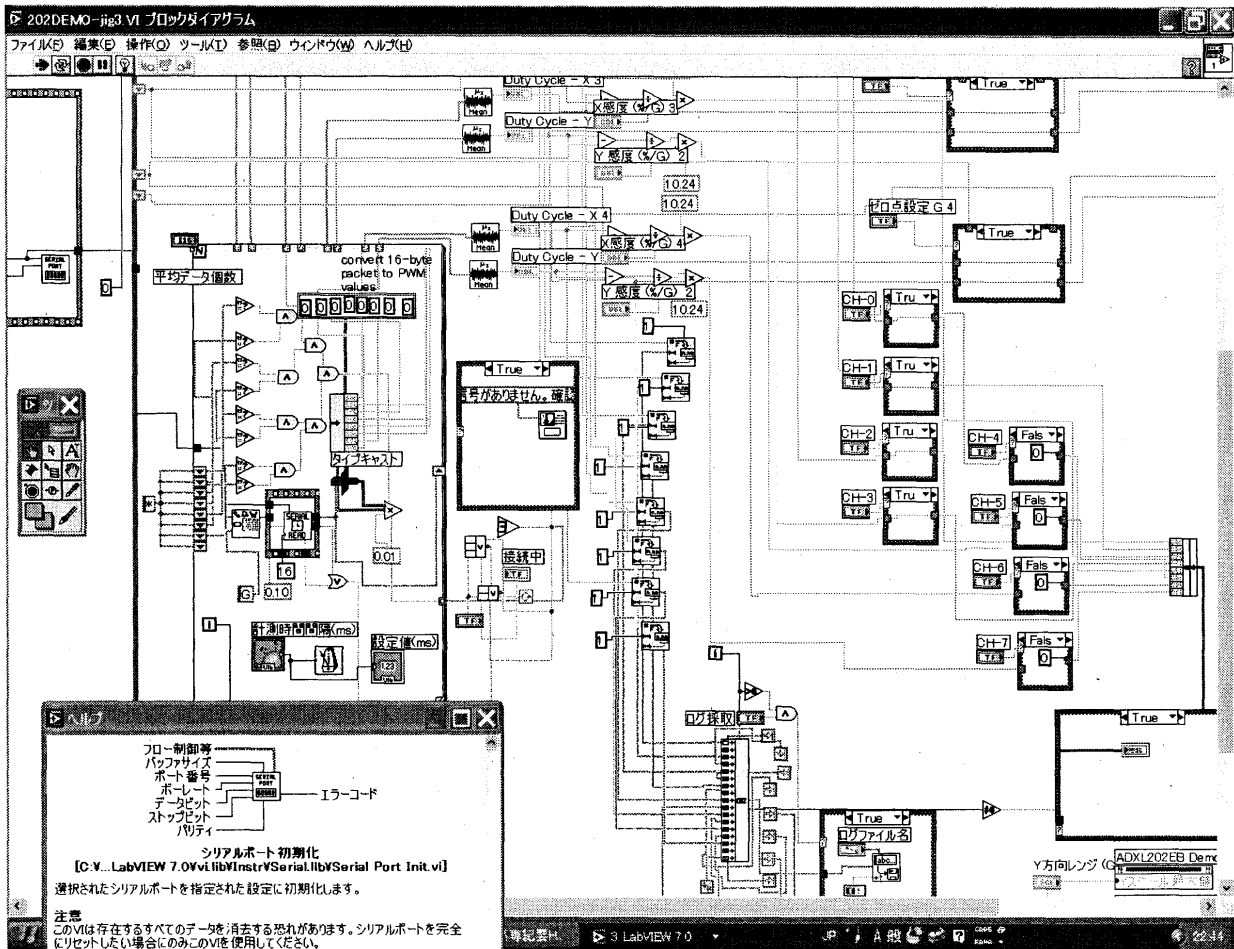


図3 加速度測定用 LabVIEW プログラム[部分]

### 4-3 ソフトウェアの作成

本実験でまず必要となるのは、指揮棒からのアナログ入力を AD 変換し、計測用 PC へ RS-232C の形で出力するための、マイクロプロセッサ用のプログラムである。これには C 言語 (gcc コンパイラ) を用いて作成した。

次に、PC でこの信号を計測するソフトウェアを開発する必要がある。これには、当初 Visual BASIC を用いる予定だったが、予備実験で採用したキットに付属していた計測用ソフトが使いやすいことから、このソフトの開発用言語システムである、LabVIEW (ナショナルインスツルメンツ社製) を用いることとした。図3に、このプログラムを示すが、この言語は通常のテキストではなく、アイコンと線であったかも回路図を作成するような形でプログラミングが行える、特異な言語システムである。今回のような計測専用のシステムを作成するニーズには、開発期間が非常に短くてすむこと、完成後の仕様変更が極めて容易であること、などから最適のものと実感された。

### 5. 実験用指揮棒の評価

図4に、最終的に得られた複数の2軸加速度センサからの計測画面の例を示す。今回の実験では、4個の加速度センサから得られる、合計8方向の加速度を見やすくグラフ化した。

この画面上の結果は、CSV データをしてロギングする機能をつけたため、測定後に Excel を用いてさまざまな加速度の分析を行うことができる。

以上に構築したシステムを用いて、指揮棒に見立てた箱型の実験用基板を用いて実際の指揮動作を行ってみた。その結果、各点・各方向の良好な加速度データを得ることができた。

### 6. 今後の課題

今後は、得られた複数点の加速度データをさまざまな観点から分析することにより、剛体としての1本の指揮棒の動きをリアルタイムに認識できるようなアルゴリズムを創出することが最大の課題である。

これに成功すれば、指揮棒基板の小型集積化を図る

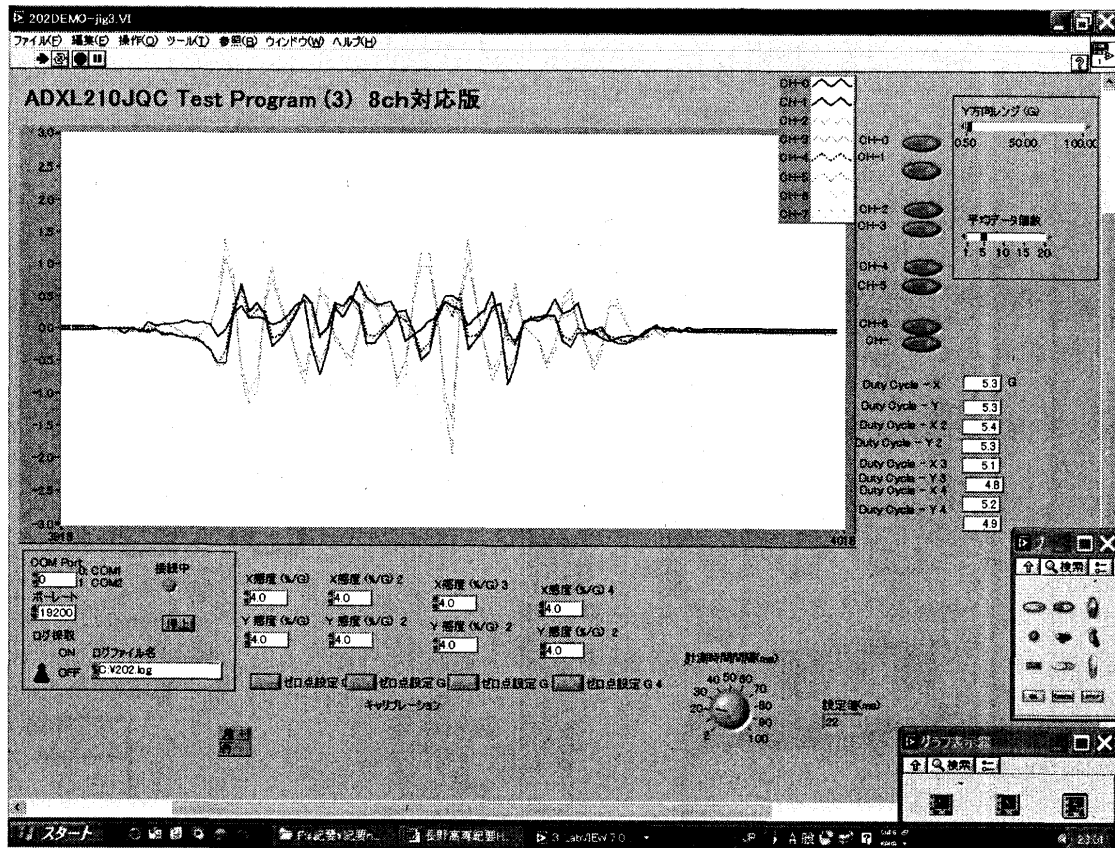


図4 加速度測定場面の一例

ことで、最終的な電子指揮棒として完成させたい。

## 7. あとがき

本報においては、音楽演奏に着目し、万人の癒しを目的とする、簡易に演奏を指揮できるようなアミューズメント性の強いシステムの構築に関する、実験的な電子指揮棒について概要を論じた。

その結果、ハードウェア面での実現性を確認することができた。また、ソフトウェアの面でも、ユーザの指揮棒運動の時間的な軌跡を認識する高速なアルゴリズムが構築できれば、本研究が目論むシステムの開発が可能であることが確認された。

今後は、このアルゴリズムの作成に焦点を絞って、万人に良好な癒しを与えることができる、ローコストな音楽演奏システムの構築を目指して行きたい。

カラオケを「レコード・マイナス・歌詞」システムとすれば、「オーケストラ・マイナス・ピアノ」システムはピアノ練習のためのものである。これに従えば、本システムは「オーケストラ・マイナス・指揮者」を目指すことになる。つまり、人間が指揮棒を振り、それに合わせてオーケストラが演奏する、というものである。

将来的には、単に演奏するだけではなく、演奏者(達)

に何らかのロボット化を行い、指揮者が演奏の反応を音(楽曲)のみならず、視覚的にも受けられるようにしたい。さらには、演奏者を複数のエージェントとして扱い、エージェント間での通信が可能になるシステムを目指したい。

最後になったが、本研究は橋爪宏達教授(国立情報学研究所)のご指導によるところが大きい。この場をお借りして感謝申し上げたい。

## 参考文献

- 1) 秋月電子通商:「Windows表示新2軸対応加速度計キット」マニュアル
- 2) 渡辺明禎:「加速度センサ・インターフェースとウェブ・ファイル再生のテクニック」, pp153-158, トランジスタ技術(2004.5)
- 3) アナログ・デバイセズ社: ADXL202/ADXL210 取扱説明書 ([http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/84362247406034ADXL202\\_210.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/84362247406034ADXL202_210.pdf))
- 4) 矢谷浩司, 岸村俊哉, 田村晃一, 杉本雅則, 橋爪宏達:「Toss-It: モバイルデバイスにおける情報の移動を直感的に実現するインターフェース」, 信学技報, 電子情報通信学会 技術研究報告 vol. 104 No. 169 pp. 19-24 (2004.7)
- 5) 渡島浩健:「バーチャル計測器 LabVIEW 入門」, CQ出版社(2004.8)