



## 2009 年度下期未踏 IT 人材発掘・育成事業 採択案件評価書

### 1. 担当PM

加藤 和彦 PM(筑波大学 大学院システム情報工学研究科 教授)

### 2. 採択者氏名

チーフクリエイター: 藤野 真人(フェアリーデバイセズ株式会社 代表取締役)

コクリエイター: 古川 浩太郎(東京大学大学院 情報理工学系研究科  
創造情報学専攻博士課程)

コクリエイター: 吉澤 智也(東京大学大学院 情報理工学研究科  
コンピュータ科学専攻修士課程)

### 3. プロジェクト管理組織

株式会社オープンテクノロジーズ

### 4. 委託金支払額

6,500,000 円

### 5. テーマ名

センサーデバイスを活用した弦楽器の自動演奏の為の基盤ソフトの開発

### 6. 関連Webサイト

<http://d.hatena.ne.jp/nagisasaka/>

### 7. テーマ概要

ロボットが、工業生産の現場で活躍する、製造機械としての役割だけでなく、人間とのコミュニケーションを指向して久しい。ロボットは、人間生活の場において、人間生活をより快適にする役割を持つようになってきた。これらは、当初は、単純なエンター

テイメントロボットとして実用化され、続いて、介護ロボットや、家事ロボットなど、より複雑なタスクをこなす、人間の労働代替手段として顕現しつつある。

また、労働代替手段としてのみならず、近年、ロボットが、人間に似た動き、振る舞い、表情をすることで、人間と、より主体的かつ自然にコミュニケーションを取るという方向性が生まれ、活発に進展している。その一環として、人間の動きを模倣したり、人間の感情を擬似的に「理解」し、擬似的に「表現」という方向性が指向されている。ロボットが人間社会により広範に進出するためには、少なくとも人間に不快感や不気味感を与えないことが前提であるが、近年の開発の方向性は、不快感を与えない、といった消極的な取り組み方を越えて、人間の感情に、ポジティブな影響を与えようとする積極的な取り組み方へとシフトしつつあると言える。

本提案では、人間の感情にポジティブな影響を与える積極的な取り組みの一環として、ロボットによる弦楽器の自律演奏の仕組みを提案する。本提案では、ロボットと人間は、音楽(もしくは音楽的感性)を媒介として、相互にコミュニケーションを図る。具体的には、ロボットは、演奏時の楽器各部の圧力・速度・出力波形などをモニタリングすることができ、人間は、楽器が出す旋律が、自分の感性にどのように響くのか、という心の動きを感じ取ることができる。これらを適切なコミュニケーション基盤上で統合することにより、ロボットが、人間にとって心地よい演奏を行うための基礎データを蓄積し、ロボットと人間が、より良い演奏を実現するための、良きパートナーとなれるような基盤を構築することをねらいとする。

## 8. 採択理由

本提案は弦楽器、特にヴァイオリンの自動演奏を、ハードウェアとソフトウェアの組み合わせによって実現しようとするものである。既にヴァイオリンの鳴る仕組みについて詳細な調査を行い、それに基づきハードウェアとソフトウェアの基本設計を行っている。既にハードウェアは出来つつあり、現在はソフトウェアの詳細設計を進めている段階にある。弦楽器を自動演奏する試みは、キーボード楽器ほどではないにせよ、先行する研究・開発があるが、本開発は、楽譜・奏法・人間の感情表現と、楽器の物理・奏法上の特性を結びつけ、無機質的ではない、表情豊かな自動演奏を可能とすることを目指している点に特徴がある。これまでの実績として、非常に品質の高いソフトウェアを開発し、商品として発売している。提案書内容、および、ヒアリングで聴取した内容から、相当の確度で開発に成功することが期待でき、採択に値するものと判定した。

## 9. 開発目標

本プロジェクトでは、開始時点で以下の実施目標を立てた。

1. コアシステム、および、ユーザインタフェース機能  
本システムの基盤となる機能、および、ユーザ向けのインタフェース機能を開発する。インタフェースとして、具体的には、弓速・弓圧の二要素をグラフィカルに入力することができる仕組みを開発する。
2. ロボット(ハードウェア)の制御機能  
学習アルゴリズムに基づいて、ロボットを制御する機能を開発する。
3. 学習アルゴリズム  
楽譜データを解釈し、センサーデバイスからの入力値に応じて、ロボットの動作を決定する機能、及び、ユーザ(人間)からの入力データの物理量を適切に取り扱う機能を開発する。
4. 実証実験  
本システムの実証実験を行い、実際に、ロボットがより人間らしい自律演奏を実現するための、本システムの有効性を検証する。

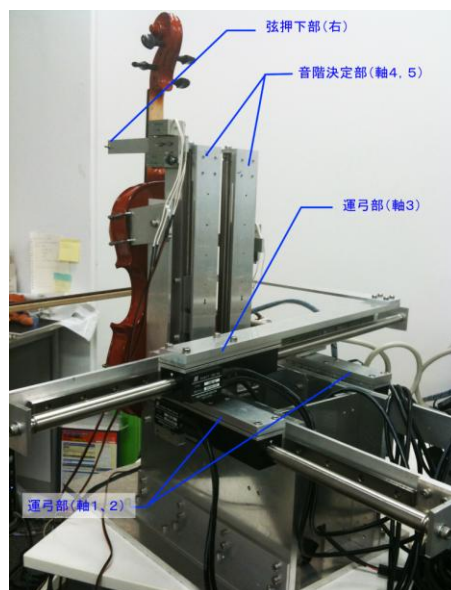
## 10. 進捗概要

各機能の実装を行ったが、ハードウェアの制御が予想以上に難しかったため、当初目的としていた完成度には至らなかった。

## 11. 成果

前提となる、本システムが稼働するハードウェアについて説明する。

- (1) 運弓部—演奏弦選択機構 2軸で構成される。図に、軸1、軸2として示した。軸1と軸2には、それぞれリニアモーターが利用されている。軸1と軸2は250mmのストロークを持ち、それぞれ独立に動作し、位置精度10マイクロメートル、最大10Gの加速度で動作させることができる。軸1、2と軸3は直動ベアリング、回転ベアリングを介して接続され、軸1と軸2が互いの相対位置を変化させることで、軸3の角度を変化させることができる。これにより演奏弦選択を実現した。



弓圧の制御も同様に軸1と軸2によって行った。

- (2) 運弓部－運弓機構 1軸で構成される。図には軸3として示した。軸3は500mmのストロークを持つ。仕様は軸1、軸2と同様。軸3は、弓と直結しており、直接弓速を制御する。
- (3) 音階決定部－音階決定機構 音階決定機構は、図には軸4、軸5として示した。仕様は、運弓部に使用されている軸と同様である。平均律のポジションを、軸4、軸5の動作原点からの変位として事前に記録しておき、音階を指定することで、該当ポジションまで弦押下機構が高速に移動する。左右に二基設置されている。同時にビブラート奏法を実現するため、決定ポジションの上下に、ストローク6mm、周波数6Hzで振動する。ストロークと周波数は自由に設定できる。音階決定時には、一音の演奏時間中に、もう片方の音階決定部が次のポジションを事前に押さえておく動作を行う。和音を演奏する場合に次のポジションをあらかじめ押さえておくことができなくなるが、この場合は、演奏終了後、次のポジションに近い方の弦押下機構が最大加速で次のポジションに移動する。
- (4) 音階決定部－弦選択機構 弦選択機構は、ボールねじ式の直動アクチュエータを用いた。音階決定部軸4、軸5全体を、左右に30mmストローク移動することで、左右の弦押下機構が第1弦から第4弦のどの弦でも押さえることができる。弦選択機構は、リニアアクチュエータ全体を動かすため、相対的に低速な動作となる。音階決定においては、出来る限り弦選択機構の速度に頼らない演奏計画を構築する必要があった。

#### (5) 音階決定部－弦押下機構

弦押下機構は10mmストロークを持つプルソレノイドが二個対向して配置された構造を持ち、弦を押さえる動作と解放する動作を行う事ができる。

弦と接触する部分には、表面を低摩擦に加工したウレタンゴムを用いて緩衝した。

弦押下機構は、異なる弦であればもちろんだが、同一弦上であっても、弦選択機構を動作させることなく、互いに干渉せず、任意の位置を押さえることができる。

本プロジェクトにおいて開発したソフトウェアは以下のとおりである。

#### デバイス制御システム

リニアモーターはコントローラーからの指令パルスに従って動作する。コントローラーは同時にハードウェアタイマーを持ち、制御PC上での正確な時間測定を可能にした。

軸の直直移動命令は、トランザクション処理として取り扱われ、複数軸に渡る一連の動作命令をひとまとめにして、トランザクションの中に入れ、複数軸の完全同時スタ

ートを行うことができる仕組みを開発した。

バイオリンの固定は、専用クランプで行うが、固定時には当然ながら、設計値からのズレが発生する。四弦独立のピックアップからの信号(音)を制御PCに入力し、各部アクチュエーターを動作させることで、アクチュエーター群とバイオリンがどのような位置関係で固定されているかを自動判別し、設計値からのズレを補正するキャリブレーションの仕組みを開発した。

メインの制御ループは、1ループ10ミリ秒単位で実行され、一回のボーイング動作は、10ミリ秒ごとの弓の動きに分解して制御される。

音階決定部音階決定機構は、音階決定動作と、ビブラート動作を行うが、前者は高速かつ正確な位置決めを行う必要があるのに対し、後者は、滑らかな高速往復運動を行うものであり、制御の性質が大きく異なる。このため、リニアモータードライバの各ゲインを動的に変更する仕組みを開発し、音階決定時とビブラート時では、異なる設定ゲインの下、動作制御される。

制御試験用ユーザインタフェースでは、現段階において、連続する三音を演奏することが出来る。各音について、利用する弦と、音階を指定し、前休止、演奏時間、後休止をそれぞれ10ミリ秒単位で指定し、ビブラートの振幅と振動数を指定することができる。同時に、弓圧と弓速を10個の縦スライダーで指定することができる。各スライダー設定値は、スプライン曲線で補完される。制御試験用ユーザインタフェースを通した場合、各音とも全弓を利用して演奏されるため、弓速については、制約条件下での相対変動となる。

本システムは、リニアモーターを用いた制御システムにより、従来の技術に比べ、高速高精度で演奏動作を制御することができるようになった。ロボットによる自然な演奏を実現するために、私たちがとった方針は、演奏の左手系、右手系ともに、微小時間に分解して再現するというアプローチであり、本方針に基づき、自然な演奏を再現するための研究開発を進めるプラットフォームを開発することが出来た。従来においても、弦楽器を演奏するデバイスは研究レベルで存在しているが、我々のシステムは、自然な演奏を工学的に実現するための研究基盤として開発されたものであり、演奏そのものを第一目的としておらず、演奏動作中の各軸の物理状態、各部の状態をセンシングし、それらを用いて、より自然な演奏とはどのようなものであるかを工学的視点で分析するために開発されたという点が、従来技術と異なる点である。

(参考)関連URL

<http://d.hatena.ne.jp/naqisasaka/>

## 12. プロジェクト評価

本プロジェクトは、正に「未踏」と呼ぶにふさわしいシステム開発に挑んだ。ヴァイオリンという、機械的に扱うのには難易度が高い楽器を対象とし、現行の DTM (Desk Top Music)システムを置き換えうるような高品質の演奏を、操作者(人間)と機械(ロボットと彼らは呼ぶ)のハイブリッドシステムによって実現しようとするもので、そのチャレンジ精神、本開発に掛けた情熱、そして本開発の中で益々磨きをかけていったソフトウェアおよびハードウェアの高度なスキルは大いに評価できる。提案の段階である程度の feasibility study はしてあったが、実際に詳細設計・実装を進めてみると、複数リニアモーターの同時制御は予想以上に難しく、高い技術的難易度の壁に直面したようである。

彼らが執筆した成果報告書からも窺えるように、彼らの設計は緻密であり、扱った技術のレベルは非常に高いものがある。技術的な観点から見れば、当初の目的を達成したとは言えないものの、人材育成という観点から見れば、ソフトウェアとハードウェアの双方に深く精通した人材を育成した見ることができよう。

## 13. 今後の課題

本開発者が目指したアプローチをこのまま何年か掛けて進めてよいか、未踏開発を終えた段階で、一度冷静に考察し直してもよいだろう。この短期間の中で、開発者らは非常に多くのことを学んだはずである。開発を継続して、当初の予定通り完成させることも一つの道であるが、冷静な考察のもとで、別の方向からアプローチすること、あるいは別の道にアプローチすることも考えてよいだろう。この未踏事業の目指しているものは、その名の通り、「未踏 IT 人材の人材発掘・育成」にこそあるのだから。