法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-08-31

障害者のための楽器演奏補助システムの開発：MIDIデバイスによる演奏ロボットの制御と演奏表現の拡大

柳田, 紀之 / YANAGIDA, Noriyuki

(出版者 / Publisher)
法政大学大学院理工学・工学研究科
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
(巻 / Volume)
56
(開始ページ / Start Page)
1
(終了ページ / End Page)
6
(発行年 / Year)
2015-03-24
(URL)
https://doi.org/10.15002/00011058

障害者のための楽器演奏補助システムの開発
-MIDI デバイスによる演奏ロボットの制御と演奏表現の拡大-

A PLAYING ASSIST SYSTEM OF WIND INSTRUMENT FOR HANDICAPPED PEOPLE
-CONTROL OF A SAXOPHONE PERFORMANCE ROBOT BY MIDI INPUT DEVICE AND EXTNED PERFORMANCE -

柳田紀之
NORIYUKI YANAGIDA
指導教員　高島俊

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

It is essential for a saxophone player to have non-disabled ten fingers. If one or the other arm is disabled or even one of ten fingers is disabled, the player inevitably cannot play the saxophone. It is the main purpose of this study that such players can play the saxophone continuously. One of the ways of the solutions is to develop very handy and dexterous artificial hands but it may be very difficult. Another way is to customize the instrument or to make a special device attached to the instrument to make the player possible to perform it only by his single hand or by his own foots alternatively. In this paper, it is considered that by using a MIDI keyboard which can be played by a single hand, the player can perform the saxophone making use of the playing function of the automatic saxophone performance robot. Besides, the system can have a secondary benefit that it can make novice players be able to play the instrument easily.

Key Word: Saxophone, Disabled Finger, Assistant Robot, MIDI keyboard

１．諸論

木管楽器であるサクソフォンを演奏するためには, 両腕および 10 本の指があることが必須である．もし，いずれかの腕か, 指が使用できなくなった場合にはサクソフォンの演奏をすることができなくなる. そのような演奏者が続けて演奏できるようにすることがこの研究の主たる目的である．そのために考えられる方法の一つは，非常に高度な義手を開発することであり，もう一つは，楽器を改造するか，楽器に特別な装置を付けて，片手だけで演奏することができるようにするとか, 足を使って演奏できるようにすることなどである．

当研究室には様々なロボットがあるが, その中の一つにサクソフォン演奏ロボットがある．このロボットは MIDI(Musical Instrument Digital Interface)ファイルのデータを用いて自動演奏することが可能である[1],[2]．一方，人間が簡単にサクソフォンを演奏し, リモート演奏をすることを目的としたキーボードサックス[3]や MIDI 入力デバイスを使った演奏プログラムの開発が行われてきた. また片手だけで演奏可能な MIDI キーボードを入力装置として使用し, サクソフォン自動演奏ロボットの演奏機能を利用して演奏することで, サクソフォンが演奏できない人でも演奏が可能になるという 2 次的な機能も持たせることができる．

本研究では，演奏表現を向上させるために，演奏ロボットの特性を実験的に解析し, プログラム上で音量の制御が可能となる方法を模索した．システムの開発を行った．

２．サクソフォン自動演奏ロボットについて

当研究室のサクソフォン自動演奏ロボットシステムは，人間と同様にサクソフォンを吹鳴させるため，人間の口，呼吸器官，指をそれぞれ人工口顎部装置，送気システム，運指機構に置き換えることにより構成されている[4][5][6]. サクソフォン自動演奏ロボットの外観を Fig.1 に示す.

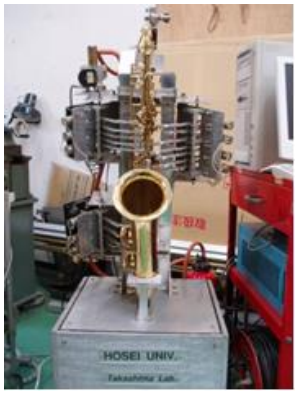


Fig.1 Automatic performance robot of saxophone

３． 演奏ロボットの制御

人間がサクソフォンを演奏するとき，最低限必要とされる操作は，次の 3 つである．(1)運指，(2)アンブシュア，(3)送気．これに対し，MIDI キーボードは，キー入力,ピッチベンドホイールによって(1)ノートオン･ノートオフ，(2)ピッチベンド，の MIDI コマンドを送出する．これらのコマンドからリアルタイムでサクソフォン演奏ロボットを動作させるためのプログラムの処理の流れを Fig.2 に示す．

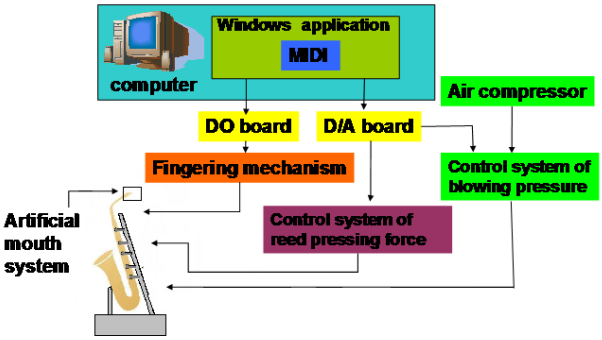


Fig.2 Signal flow diagram of the remote playing system

人間が演奏操作をすると，MIDI キーボードから MIDI イベントを表すデータがコンピュータに送出される．コンピュータでは MIDI インターフェースから入力された MIDI データをプログラムで解析し，各イベントを認識する．各イベントの内容に従い，演奏ロボットの制御装置に，リードの押え圧，送気の圧力，運指のコマンドを送り出す．インターフェースとして，DO ボードが運指機構を制御するコマンドを送出し，D/A 変換ボードが口顎部装置のピッチ制御の目標値，送気圧制御装置の目標値，タンギングパッドの作動指令を送出する．それにより，制御装置がサクソフォン演奏ロボットを作動させる．

４． MIDI 入力装置による演奏制御

（１）MIDI 入力装置について

本研究で用いる MIDI 入力装置はキーボード型の株式会社コルグ社製 microKEY-37 である．過去に MIDI キーボード型のコントローラであるローランド株式会社製 EDIROL PCR-50 とウインドシンセサイザーであるヤマハ株式会社製 WX5 を用いた研究が各々行われている[1][2]．MIDI キーボードは過去に行われた研究で用いた装置と異なるが，制御方法は変わらない．

（２）microKEY-37 の特徴

演奏中に主として送出される MIDI メッセージは，ノートオン，ノートオフ，ピッチベンド，モジュレーションホイールである．キーボードの設定でブレスコントローラーの送出も可能．弾く強さにより音量の強弱変化ができる．また，左部にあるホイールを用いることでピッチベンドやモジュレーションホイール，設定によりブレスコントローラーの値も送出できる．外観を Fig.3 に示す．

Fig.3 Midi input keyboard, microKEY-37(Korg)

（３）MIDI キーボードによる制御の説明

MIDI キーボードを弾いた時にノートオンいう鍵盤を弾いたことを表す MIDI メッセージが発せられる．このメッセージによりロボットに演奏指示を行う．

MIDI メッセージはそのメッセージの種類を表すステータスバイトと，データの中身を表すデータバイトから構成されていて，ステータスごとに継続するデータバイトの数が規定されている(基本的には 3 バイト)．ノートオンの場合は一つのステータスバイトと，ノートナンバーというどの鍵盤が弾かれたかを示すデータバイト，そしてベロシティを示すデータバイトによる計 3 バイトで構成される．ベロシティはキーボードを弾いた時の強さを表すもので，このベロシティにより音の強弱が変化する．ノートオンメッセージの構成を図にしたものを Fig.4 に示す．

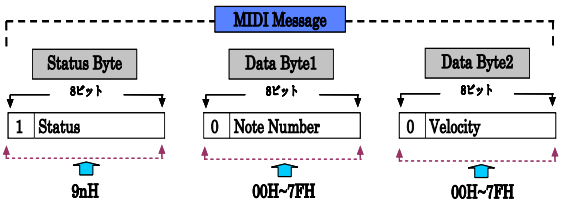


Fig.4 Structure of “Note on” message

５． 演奏制御プログラムについて

（１）制御プログラムの概要

リアルタイム演奏制御プログラムは，当研究室の宮脇[1]が開発した“MIDI を用いた管楽器自動演奏システムメインプログラム” 「happymusic」をベースとして高際[2]，

宮村[3]らによって制作されたものである．このプログラムは Visual Studio6.0 を用いて書かれている．

この制御プログラム「happymusic」は以下に示す3つから構成されている．

① メイン関数

エントリポイントである Winmain 関数，ウィンドウクラスの設定・登録，MIDI 入力デバイスに関する記述

② ウィンドウプロシージャ関数の実態

Windows から送られてくるメッセージ処理と，本プログラムではここで MIDI データの解析が行われる．MIDI データの解析後，送られたデータに対応した動作を行うよう各インターフェースを制御する．

③ チューニングダイアログプロシージャ

チューニングダイアログに関する記述．ここでチューニングを行う．

Fig.5 にプログラムの外観を示す．

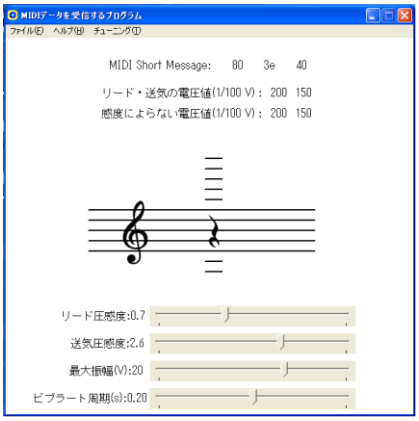


Fig.5 Main window layout of the program “happymusic”

(2)midi キーボードの演奏データ及び電圧値情報

MIDI キーボードより送出される MIDI データは図 3 に示される本プログラムのメイン画面上部に表示される．これにより，吹鳴中でも送出されているメッセージの確認が行え，ロボットの動作確認等を行い易くなった．また，同時に吹鳴中の各音に対し，D/A 変換および DO ボードが出力する電圧値も表示される．

(3)チューニングプログラムに関して

まずプログラムのチューニング画面を Fig.6 に示す．

チューニングはサクソフォンが演奏できる音毎に，リード圧，送気圧の設定値をプログラムのチューニング画面調整することにより行う．また，調整時，サクソフォン演奏ロボットは調整を行っている音に対し吹鳴を行うため，別途用意したチューナー等を用いて行うことになる．

チューニング作業時にリードと人工唇の状態を安定させるために，タンギングボタンより任意のタイミングでタンギングを行える．

サクソフォン演奏ロボットで使用するテナーサクソフォンは B♭ 管の移調楽器であるが，本アプリケーションでは C の楽器であるピアノと同じ譜面をキーボードで演奏することにより，その譜面の音と同じ演奏をロボットにさせている．しかし，この設定のままであると移調されている楽譜を演奏した場合，ロボットの吹鳴するサクソフォンの音が楽譜の音とずれてしまう．その問題を解決する為に，チューニングダイアログ下部に「移調ボタン」を設置した．また違う移調楽器に対しても対応のできるように，移調ボタンを 11 個設けている．

Fig.6 A screen display of tuning dialog

６． 演奏ロボットの特性調査

ロボットによる演奏表現を豊かにするためにはまず演奏ロボットの特性を知る必要がある．

(１)送気圧制御装置の特性調査

プログラムにより送気圧の設定値を変えたときに実際の圧力がどのように変化しているか調べた．そのための実験は圧力センサを使い設定値を変えたときの実際の圧力変化を測る形で行った．その結果を Fig.7 に示す．

グラフから設定値に比例して送気圧が変化していることが確認できる．

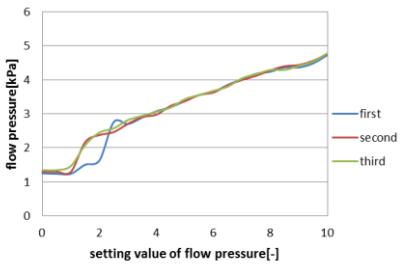


Fig.7 Relation between flow pressure and setting value

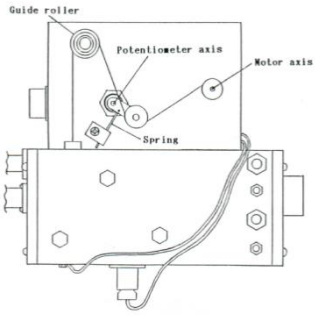
(２)設定値とリード圧の関係

リード圧制御機構は DC サーボモータ，ポテンショメータを用いたテンションセンサ，そして伸びの少ない釣り糸から構成される．このリード圧制御機構を Fig.8 に示す．

リード圧の制御は巻き上げたときの釣り糸の張力をポテンショメータにより検出し，サーボモータにより，目標電圧に釣り糸の張力が追従するようにフィードバックをかけてリード圧の制御を行っている．

実験はバネばかりに釣り糸を結びリード圧の設定値を変化させて引っ張ったときの荷重を測定した．この実験結果

を Fig.9 に示す.



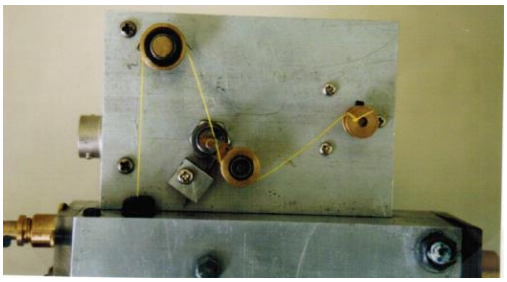


Fig.8 Control unit of reed pressure

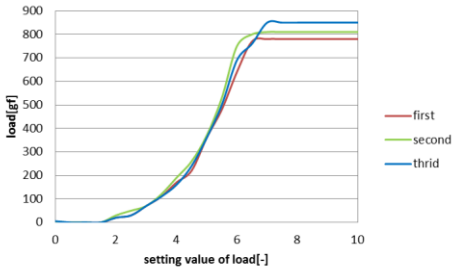


Fig.9 Relation between load and setting value

（3）送気圧と音量の関係

制御プログラムはノートオンのベロシティ値を送気圧の設定値に反映し，ノートオンのベロシティ値は 0～127 までの数値であることから，64 を中心に，それ以上であれば口顎部装置への送気圧を増加し, 以下であれば減少するようになっていた. この設定によりキーボードを弾いた時の強弱により音量が変化するになっているはずだったが, 実際にロボットの出す音の大きさがほとんど変化していなかった．Fig.7 を見ればわかるように送気圧は変化しているはず. ならば送気圧を変えただけでは音量はかわらないのではと考え，吹鳴実験を行い，送気圧を変えたときの音量の変化を調査した. チューニング画面で送気圧の設定値を 0 から 0.5 刻みで変化させてゆき，その時の音量変化の計測を行った.

結果送気圧を変化させても音量にほぼ変化が見られなかった．結果をグラフにしたものを Fig.10 に示す.

送気圧を変えることにより音量が変わると考えていたが送気圧を変えても音量にほぼ変化が見られないということが判明した. また送気圧の設定値が 6. 0 から急激に増えているのは，6. 0 を超すあたりから倍音が出でしまった影響であると考えられる.

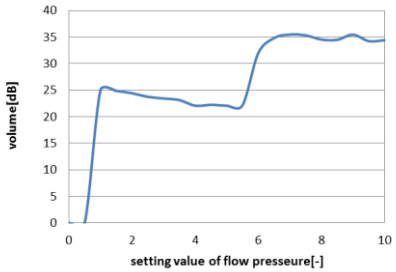


Fig.10 Relation between tone volume and setting value

（4）リード圧を変化させた時の音の変化

リード圧の設定値を変更することによる音量の変化を調査するための吹鳴実験を行った. リード圧を変化させたときの音の音量だけではなく, ピッチの測定も行う必要がある．どのようなピッチのときに音が最大になるか，どのくらいの範囲ならばピッチを変化させても音が変わらないか等を知るためである.

実験で使用する音階は国際式表記で C#4 とする．C#4 は全開放となるため運指による影響がないためこの音を使用する．リード圧を変えたときの音量の変化を Fig.11 に，ピッチの変化を Fig.12，ピッチ変化により音が変わってしまった場合を Fig13 に示す.

Fig.11 と Fig.12 を見ると約-20cent の時に音量が一番大きくなることがわかる．理想としては 0cent，つまり最も音が安定して発せられているときに音量が最大になっていることが望ましい. しかし音を大きくしようとするとピッチが下がってしまうのは今使用しているサクソフォンの特性のようなものなので現時点での解決策がない.

音楽では音の高さを 2 つの音の基本周波数の相対的な差を比の形で表現し, 音階上でいくつかの音の隔たりに対応するかを音程という言葉で呼ぶ．音楽工学においては，小さな音高の違いを表現したり, 音程に演算を施したりするのにセント(cent)という単位を用いている．これは音高が周波数比で表されたもので, 次式を用いて音高の差を線型的に表現している．[7]

$$\text{音高の差} = K \cdot \log\frac{f_2}{f_1} \quad [\text{cent}] \qquad (1)$$

$$\text{ただし，} K = \frac{1200}{\log 2} \qquad (2)$$

ここでf_1, f_2は 2 つの音のぞれぞれの周波数で log は 10 を底とする対数である．音楽で用いられている音階には，オクターブをどのように分けるかにより，純正律音階，ピタゴラス音階，平均律音階など様々な形があるが，現在では

1 オクターブを対数的に 12 等分した平均律音階を用いるのが普通である. 上記のように定数 K の値をおくことで, 隣り合う音の音程は常に 100cent になり, 1 オクターブの音程は 1200cent と表せる. 今回周波数の変化の比較にこの平均律音階を用いている.

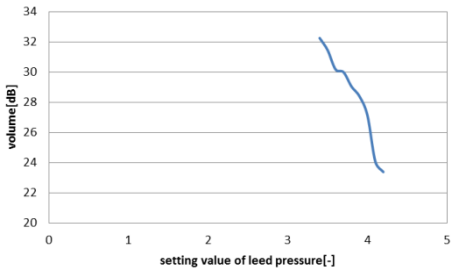


Fig.11 relation between tone value and reed pressure

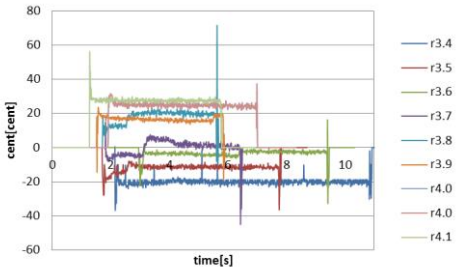


Fig.12 Pitch change1

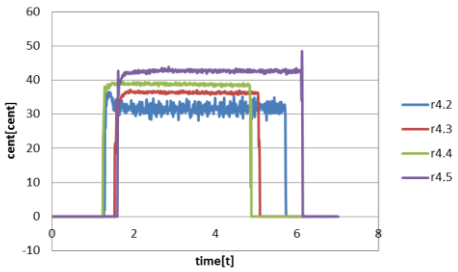


Fig.13 Pitch change2

(5)吹鳴実験の結果と考察

リード圧を変えることにより音量が大きく変わることが実験結果からもわかった. また単純にリード圧をだけではなく送気圧を同時に変えた時の方が正しい音が吹鳴できる範囲が広がる. しかしリード圧を変えることによりピッチが変わってしまうという問題がある. そのためただリード圧を変えればいいというわけではない. 各音のリード圧を変えてもピッチの変化しない範囲を調べる必要がある. またもっとも音量が大きくなるときに音が安定した状態でなるようにする方法を考えなければならない.

7. ベロシティによる音量変化

実験結果と集まったデータを反映させることによりキーボードのベロシティによってロボットの演奏する音の音量が変化するようにプログラムを変化させた. プログラムを変更したことによりベロシティの変化に対応してリード圧もするようになった. またリード圧や送気圧の変化を倍音の発生や音が変わらない範囲内に収まるようにした.

結果ベロシティが変わったときに音量が変化するようになった. かつ音も正しいものが出ていた. プログラム変更前と変更後の音量変化を比較したものを Fig.14 に示す.

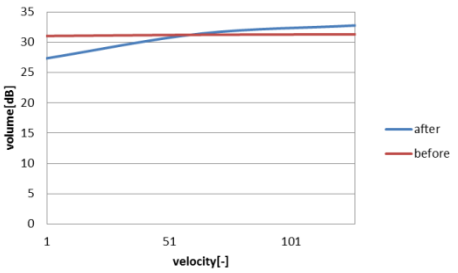


Fig.14 change in volume

Table.1 Empirical blowing range of C#5

Reed	Flow	Cent	Volume
4.1	1.0～3.5	28	24
4	1.0～4.0	25	27
3.9	3.0～6.5	17	28
3.8	4.5～8.0	13	29
3.7	6.5～10	2.6	30
3.6	7.5～10	-3.2	30
3.5	8.0～10	-12	31
3.4	8.0～10	-20	32

8. 結論

キーボードによるベロシティ変化により音量を変化させることが可能になった. このことによりロボットによる演奏表現を少し拡大できたが, まだまだ改良の余地は残っていると考えられる.

現在の口顎部はリードの加え位置は基本固定で, 手動でのみ変えることでできる. 演奏表現を拡大するためには演奏に合わせてリード加え位置を変えることのできるようにすることは必要不可欠だが, そのためにはそのような仕組みをもった人工口顎部装置の開発とリード加え位置ごとの吹鳴可能なリード圧と掃気圧の範囲か調べる必要もある. そうすることで更なる演奏表現の拡大ができると考えられる.

謝辞　本研究の遂行にあたり終始, 御指導, 御鞭撻下さいました, 法政大学理工学部機械工学科　高島俊教授には, 深く感謝の意を表すとともに, 厚く御礼申し上げます.

参考文献

（1）宮脇毅，高島俊:サクソフォン自動演奏ロボットの制御 スタンダード MIDI ファイルを用いた演奏制御，日本機械学会 Robomec2003 講演論文集，1P1-1F-A2，pp.33，2003

（2）高際泰之:MIDI を用いた管楽器自動演奏システムーMIDI キーボードによるリアルタイム演奏制御ー，法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文, 2006

（3）Takashima S. ”Control of an Automatic Performance Robot of Saxophone: Performance Control Using Standard MIDI Files”, IROS 2006 Workshop: Musical Performance Robots and Its Applications,PP30-35，2006

（4）宮村合氣:wx5 を用いた自動演奏ロボットのリモート演奏，法政大学工学部機械工学科卒業論文，2006

（5）竹内慧:自動演奏ロボットの高度な演奏制御ーMIDI 入力装置による制御と自立合奏のためのシステムー，法政大学工学部研究科機械工学専攻修士論文，2012

（6）下田浩史:木管楽器の自動演奏システムの開発，法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文，1993

（7）小橋豊:音と音波，裳華房，1969