

聴覚障害者を対象とした弾き歌い支援システム A Singing Support System for a Person with Hearing Difficulties

黒川 礼人[†] 土江田 織枝[†] 山田 昌尚[†]
Ayato Kurokawa Oriie Doeda Masanao Yamada

1. はじめに

保育園・幼稚園の教員資格試験受験者のなかには聴覚に障害をもつ人が毎年一定数いる。当該試験には音楽実技としてピアノ弾き歌いの項目があり、童謡などを伴奏しながら歌唱することが求められる。しかし聴覚障害者で自分の声が聞こえない場合は弾き歌いで正しい音程を歌唱するが難しく、教員資格試験の難易度が高くなっているのが現状である。

一般に目的の音程を発声するための手がかりには、聴覚による外部からのフィードバックを含めた認知、理解、記憶にもとづく感覚性のものと、発声する際の舌の動きや筋肉の動きによる運動性のものがある。聴覚障害者で自分の発声を音響信号として知覚するのが困難あるいは不可能な場合は、通常感覚性の手がかりが大きく制約されている状況といえる。そこで本システムでは聴覚障害者が視覚情報によって音程に関するフィードバックを得ることで練習を繰り返し、運動性を主とした音程感覚を習得できるようなシステムを構築することを狙いとしている。

聴覚障害者を対象として、環境音の存在や方角を視覚や触覚に変換して提示する研究はこれまでに数多く行われている [1]。そのなかで音程を扱う研究としては、Sakajiri らが開発した 2 次元触覚ディスプレイに参照音と歌唱音を提示するシステム [2] や、竹原らによる音階ピッチダーツを用いたピッチ訓練ツール [3] の提案がある。本研究は、弾き歌いの際に鍵盤を使用することに注目して、鍵盤上に歌唱音程を表示する練習支援システムを作成するものである。

2. 弾き歌い支援システムの構成

作成するシステムは、電子キーボードを用いて弾き歌いを練習する状況で、歌声のピッチに対応する鍵盤が光ることで、視覚情報として歌唱音を演奏者に外的フィードバックするものである。システムの構成を図 1 に、使用機材を図 2 に示す。ユーザは喉に咽喉マイクを装着して弾き歌いをおこなう。

咽喉マイクは声帯の振動を検出するもので、ユーザの演奏する電子キーボードの音やその他の生活音がマイクからの入力信号に混入するのを避けるために用いる。また、練習の段階ではあまり大きな声が出せずコンデンサマイクでは歌唱音声を正しく拾えない可能性も考慮した。

入力された歌唱音声のピッチ検出と LED 制御には電子キーボード内に収納可能な Raspberry Pi を使用する。電子キーボードには鍵盤が LED で光る機能をもっている CASIO 光ナビゲーションキーボード LK-128 (61 鍵) を使用する。LK-128 の内部には鍵盤 LED を制御できるジャンパーピンがあり、Raspberry Pi からの信号は保護抵抗を介してこのジャンパーピンに接続し歌唱音程の LED が点灯するようにし

[†] 釧路工業高等専門学校

National Institute of Technology, Kushiro College

た。弾き歌いでは左手で伴奏パートを弾きながら右手で歌唱しているメロディーを弾くのが一般的であるため、右手で押さえているキーと自分が歌った音程による LED 表示が一致しているかを確認することで、容易に歌唱音程の確認が可能となる。

3. ピッチ検出

Raspberry Pi で動作するプログラムは Python で作成し、pyaudio, numpy ライブラリを使用してリアルタイムでピッチ検出を行う。ピッチ検出は咽喉マイクから入力した音響信号を高速フーリエ変換する。サンプリング周波数は 44.1kHz とし、1024 点を 1 フレームとしてハミング窓を適用する。高速フーリエ変換した周波数スペクトルデータのピークを取得し、設定した閾値を超えるピークの周波数を検出ピッチとする。

検出した周波数を x Hz とすると、A2 音(110 Hz)を基準とした音程 y [cent] は次式で表される。

$$y = \frac{1200 \log \frac{x}{110}}{\log 2} \quad (1)$$

ピッチ検出の結果を確認するため、1 秒ごとに半音のペースで周波数が連続的に変化する正弦波のスweep音を Audacity で作成し、コンデンサマイクから入力してピッチ検出した結果を図 3 に示す。時刻 5 秒の位置から入力音が始まり 110Hz~880Hz の周波数レンジで測定している。これは音高で A2~A5 の 3 オクターブ 36 半音であり、弾き歌

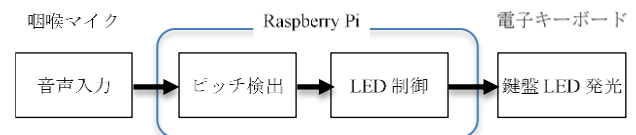


図 1. 弾き歌い支援システムの構成

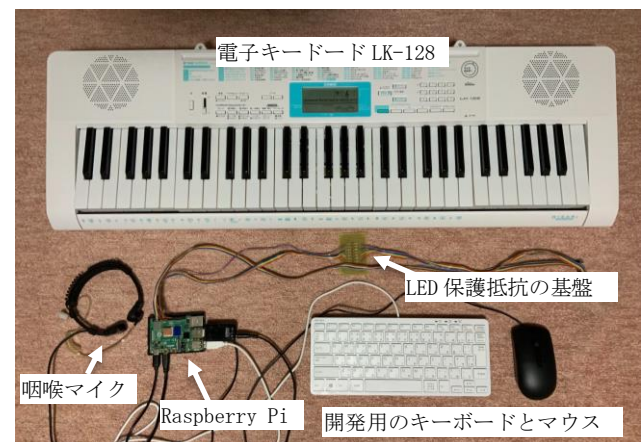


図 2. システムの使用機材

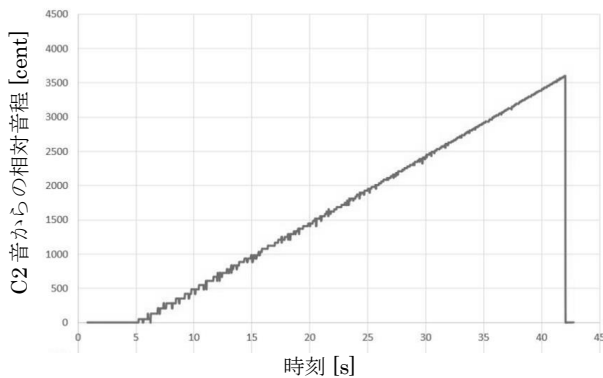


図3. 正弦波入力に対する検出ピッチ

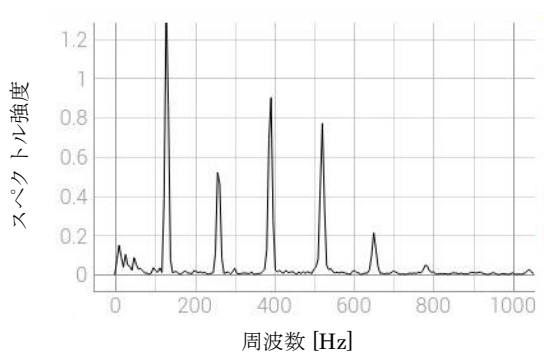


図4. C3音の周波数スペクトル

いで使用される音域をカバーしている。縦軸は 110Hz (A2音) を基準とした cent 値である。図から、概ね正確にピッチ検出できていて周波数が高い側では安定しているものの、低音域では細かい振動が生じていることがわかる。これは実験条件におけるピッチ検出精度が約 5.4Hz であることから、低音域でその影響が大きくあらわれるためと考えられる。

図4は、チューナーを使用してC3音(130.8 Hz)となるように発声し咽喉マイクから入力した音声を高速フーリエ変換した周波数スペクトルである。このときのピーク検出周波数は 129.2Hz となった。他の周波数でも発声音のピーク検出周波数が問題ないことを確認している。

4. LED 制御

前記(1)式で導出した音程 y にもとづいて、電子キーボードのLEDを点灯させた。点灯させるのはピーク検出した周波数に最も近い音高の1つのキーとしている。

光ナビゲーションキーボードLK-128の鍵盤LEDを調査した結果、制御に必要な信号線は16本で、鍵盤との対応は図5に示す8×8のLEDマトリクスであった。縦軸のジャンパー1-8ピンはLEDのカソード、横軸の9-16ピンはアノードである。Raspberry Piからの接続で保護抵抗1kΩを間に挿入している。

LED制御において、たとえばA2音のキーを点灯させるには14番ピンをHighにして2番ピンをLowにする。マトリクスの行ごとにカソードが共通であり、列ごとにアノードが共通であるため、スタティック点灯方式では複数のLEDを同時に点灯させることはできない。たとえばA2音

	9	10	11	12	13	14	15	16
1	C#2	D#2	F#2	G#2	F2	E2	D2	C2
2	F#3	D#3	C#3	A#2	G2	A2	B2	C3
3	G#3	A#3	C#4	D#4	G3	F3	E3	D3
4	C#5	A#4	G#4	F#4	A3	B3	C4	D4
5	N/A	N/A	N/A	G6	F6	F5	E5	E4
6	D#5	F#5	G#5	A6	E6	G5	D5	F4
7	D#6	C#6	A#5	B6	D6	A5	C5	G4
8	F#6	G#6	A#6	C7	C6	B5	B4	A4

図5. LEDマトリクス

とE3音のLEDを同時に点灯させようとすると、B2音とF3音のLEDも点灯してしまうためである。

作成した制御プログラムを用いて3節で述べた110Hz～880Hzの正弦波を入力したところ、対応するキーのLEDが順次点灯することを確認できた。

5. まとめ

聴覚障害者を対象とした弾き歌い練習支援のために、電子キーボードのLEDに歌唱音程を表示するシステムを作成した。リアルタイムで音声を入力し高速フーリエ変換することでピッチ検出し、得られたピッチをもとに最も近い周波数のキーのLEDを電子キーボード上で点灯させることができた。

今回の実験によって、低音域でのピッチ検出精度に課題があることがわかった。実施したピッチ検出の精度は約5.4Hzであったが、確認した音域で低い方の1オクターブにあたるA2～A3での半音の音程は6.5～12.3Hzであるため、精度の向上が必要と考えられる。現在の方法ではピッチ検出の精度を高くするとリアルタイムで実行している高速フーリエ変換の処理に時間がかかってしまうため、今後精度向上の方法について検討したい。LED制御ではスタティック点灯を使用した。ダイナミック点灯方式とすることで、2音の間接的な音程で発声された場合に、対応する両方のキーを点灯させることも可能になると考えられる。ピッチ検出の精度向上とダイナミック点灯の両立を実現したうえで、被験者実験を今後実施したい。

参考文献

- [1] R. Khulusi, J. Kusnick, C. Meinecke, C. Gillmann, J. Focht, S. Jänicke, "A survey on visualizations for musical data," Computer Graphics Forum, Vol. 39, No. 6, pp. 82-110, 2020.
- [2] Masatsugu Sakajiri, Shigeki Miyoshi, Kenryu Nakamura, Satoshi Fukushima, Tohru Ifukube, "Voice pitch control using tactile feedback for the deafblind or the hearing impaired persons to assist their singing," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1483-1487, IEEE, 2010.
- [3] 竹原秀和, 山下賢太郎, 井邊亜由美, 坂田聡, 上田祐市, "歌唱音声の評価と訓練のための支援システムの開発—音階ピッチ・マッチングの検討—," 電気関係学会九州支部連合大会(第64回連合大会)講演論文集講演論文集, pp. 333-334, 2011.