

VR映像による身体移動感覚の付与が歌唱時の発声に与える 影響の評価

坂名純太¹ 土田修平¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要：歌唱には、音程やリズムなど様々な要素が関わっており、発声の仕方その一つである。良い発声には、身体の重心、目線など音程に合った姿勢を保ちつつ、特定の筋肉に力を入れて、その他の筋肉はリラックスさせることが同時に求められる。しかし、発声の際に重要な筋肉は、普段使わない箇所が多く、意識するだけでは正しく筋肉を使いこなすことは難しい。また重要な筋肉を正しく使うことを補助する目的で、発声者自身の頭の中で特定のイメージを想起しながら練習する手法が用いられるが、この手法では発声への意識が薄れてしまい効率が下がる恐れがある。専門的な知識のない人にとって、歌唱時の発声練習は難しいと考えられる。そこで本研究では、VR映像が与える影響を活用し、歌唱時の発声を暗黙的に支援するシステムの構築を試みる。本稿では高音の発声に注目し、高音の発声がしやすくなると考えられる映像を作成し、見る映像によって高音の発声のしやすさに差異があるかについて調査を行った。アンケート調査の結果、映像なしでの発声練習に比べ、オブジェクトが移動する映像では上方向の移動の方が発声しやすい傾向が見られ、景色が移動する映像では遠ざかっていく方が発声しづらいという傾向が見られた。また、各条件で被験者が発声することの出来た音程の上限を調べたところ、実際に高音がよく発声出来ていた映像にも傾向が見られ、オブジェクトが上方向に移動する映像では、多くの被験者が一番高い音程が出せていた。今回の実験を通して、発声を促す映像の大まかな系統が分かり、今後の映像作成に役立つデータが得られた。

1. はじめに

カラオケの普及に伴い、歌うことが人々にとってより身近なものとなっている。調査によると、カラオケ業界の規模は2010年以降増加傾向にある[1]。人前で歌唱する機会も増え、今より上手に歌唱したいと思う人も多いと考えられる。歌唱には、音程やリズムなど様々な要素が関わっており、発声の仕方その一つである。

良い発声には、発声器官の全体を使い、特定の筋肉に力を入れて、その他の筋肉はリラックスしていることが同時に求められる。良い発声は、声に柔軟性を与え、声帯を効率的に動かすことで少ない力で大きな声を発することができ、歌唱中の喉の負担を軽減できる。フースラーら[2]は、声楽的な発声法について生理学的・解剖学的知見を取り入れ研究し、歌唱中の人体の構造を細部にわたって説明している。その中で、発声器官の能力を十分に発揮するためには、発声器官のすべてが的確な神経支配を受け、またその器官の筋肉が敏速で伸縮自在な張力を最大限に獲得する必要があると述べている。このことから、正しい発声にはいくつもの発声に関わる器官を適切に動かすことが求めら

れる。しかし、発声の際に重要な筋肉は、普段の生活で使う機会の少ない箇所が多く、単に意識するだけでは正しく筋肉を使えない。また専門的な知識のない人には正しく使えているかの判断は難しい。そのため、発声に重要な筋肉を正しく使うことを補助する目的で、特定の姿勢や特定のイメージを持って練習する手法がよく用いられる。ただし、求められる姿勢やイメージは発声パターンごとに異なるため、歌唱時に姿勢やイメージをその都度切り変える必要があり、発声者への負荷が大きい。また、発声者自身の頭の中でリアルなイメージを想起しながらの練習は、発声への意識が薄れてしまい効率が下がる恐れがある。

発声者が意識せずとも発声に重要な筋肉を正しく使うことを促せば、より効果的な発声練習を実現できると考え、VR(Virtual Reality)技術[3]に着目する。VRとは、五感などの感覚を刺激することにより現実に近い環境を理工学的に作り出す技術であり、高い臨場感、現実感をユーザに与えられる。また、視覚刺激によって実際の姿勢などにも影響を与えられる[6]。様々な分野でのVR技術の利用方法が研究されており、例として医療[4,5]や特殊な技能のための訓練[7]などがあり、教育分野に応用することを見据えた研究も行われている[8,9]。このことからVR技術を

¹ 神戸大学大学院工学研究科

用いることで他の専門的な技術を効率的に身に着けることができるものであると考え、VR映像を用いることで無意識のうちにユーザの発声時における身体機能に影響を与え、良い発声を促せると考えた。

そこで本研究では、VR映像が与える影響を活用し、歌唱時の発声を暗黙的に支援するシステムの構築を試みる。本稿では、歌唱時に見るVR映像によって高音の発声のしやすさに差異があるかについて調査した。

2. 関連研究

本章では、良い発声と身体動作との関係、従来の発声支援のための先行研究、および映像などの視覚からの情報が身体動作に与える影響について述べる。

2.1 声楽的な観点から見た発声の際の身体動作

声楽的な観点から見て、歌唱時に求められる発声は発声器官の各役割を理解し、その多くをコントロールすることが求められる。石野 [10] によれば、地声や裏声といった声区は筋肉や呼吸法によって調整でき、声量、母音等によっても声区は変動すると述べている。歌唱者は声区を意識しなくなることが理想であるが、そのためにも筋肉のメカニズムを知ることが必須であり、その後の自然な発声と表現の自在性の獲得という点で極めて重要であると述べている。

良い発声を行うには発声に関わる筋肉が無意識に動かされることが望ましいとされている [10]。理想的な発声は身体全体の筋肉の自然な連携を前提としており、その際に身体のかな部位は無意識的に連動するとされ、意識した身体動作ではごこちない発声となってしまう恐れがある。よって正しい発声には、身体のかな器官が適切に機能することが無意識のうちになされることが必要であると石野は述べている。しかし、現在行われている発声のための姿勢や各器官を適切に動かす練習は手本を見たり聞いたりしてそれを真似るといった手法が用いられており、練習者はこの際必ず意識的に身体動作を行わなければならない。野口 [11] は意識と無意識という観点から発声について考察しており、良い発声に大切なのは、発声に関わる筋肉が最も良好な運動がなされることであるが、これは客観的視点から身体機能面の運動性を述べたことであると考え、発声者からすれば、そのような客観的な視点を意識すればするほど、筋肉は自然な運動性を失っていくと述べている。

つまり正しい発声には、身体のかな発声に関わる各器官が無意識のうちに適切に機能することが必要である。本研究では、無意識のうちに発声に関わる器官が正しく機能することを実現するための手法について提案する。

2.2 従来の発声支援

歌唱時の発声支援のシステムとして、発声者の音声から特徴量を求めフィードバックするといった方法が用いられ

ている。斎藤ら [12] は、歌声に聴感的な響きを与える要因と考えられている 2.4~3.2kHz 付近の周波数帯域に着目し、歌唱指導前後でその周波数帯域の歌唱データがどう変化しているか比較することで習熟度を検討できることを示唆した。また、片岡ら [13] は強弱のある発声について、声楽経験の異なる被験者から音声データを取得し分析することで、習熟度を検討、フィードバックするシステムを提案している。

しかし、これらの手法はその時点での発声者の歌声を評価するものであり、直接的に発声練習の効率を上げるようなシステムではない。また、これらのデータをフィードバックしたとしても、有効に利用するためにはある程度専門的な知識が必要となり、練習者はこれらのデータから得たアドバイスを意識しながらの発声を行わなければならない、1章で述べたように発声そのものへの意識が薄れてしまう恐れがある。本研究では、声楽的な知識を必要とせずに歌唱力の向上が可能となるシステムの構築を目的とする。

2.3 視覚情報が与える影響

2.3.1 VR映像以外による視覚刺激

杉田ら [14] は拡張現実技術を用いた周辺視野が人間の重心知覚に与える影響について研究を行っている。この実験の中で、被験者に実物のアタッシュケースを持たせ、その位置に合わせて拡張現実を用いてバーチャルなアタッシュケースを重ねて表示し、形状・大きさを変化させ表示することで重心がどの位置にあると感じられるか調査を行った。その結果、実際のアタッシュケースに比べ取っ手の位置がずれている表示をした場合、ユーザはずらした方向に重心が傾いていると感じる傾向が見られた。また岡野ら [15] が行った実験では、LEDを用いた周辺視野ディスプレイを被験者に装着させ、ルームランナー上でランニングをさせたところ、LEDの光がランナーに向かってくるよう点滅させた際の体感速度は被験者の走行時の速度よりも速くなるという傾向が見られた。また、吉川ら [16] は断面が半円状のレンズを無数に並べられたシートを用いた歩行誘導の実験を行った。レンズに少しずつ絵柄をずらした画像を格納することで、レンズに対して視線を任意方向に動かしアニメーションを呈示することができ、その結果被験者は絵柄をずらした方向に誘導されて歩行した。これらの研究から周辺視野からの刺激により身体動作に影響を与えることが可能であることが分かる。VR技術も主に視覚に訴えかけてその効果を発揮する物であり、発声時の身体機能に影響を与えることが可能ではないかと考えた。

2.3.2 VR映像による視覚刺激が与える影響

VR技術を用いて、身体機能の向上や特定の運動機能の促進に役立てるシステムを構築する試みは数多くなされている。小貫ら [17] は生体センシングを用いた仮想現実によるゲームを用いて高齢者の運動能力にどう影響するか調

査した。その結果、実験開始から4週間後の被験者の歩行能力やバランス能力が有意に向上し、満足度に関するアンケート調査の結果についても満足した旨の回答が多かった。また遠藤ら [18] は VR による歩行映像、モニターによる歩行映像、静止立位をランダムで被験者に提示した後に歩行させ、その際の重心動揺を計測したところ、前後方向の重心の移動について、VR 映像とモニター映像を提示した時の移動量は静止時の移動量に比べ有意に大きかった。石井ら [19] は HMD の情報処理を用いて人間の焦点に影響を与え、ユーザの歩行時の進行方向を誘導することを可能にした。このように VR 技術を用いて運動機能を向上させることや姿勢や重心に影響を与えることが可能であると考え、これを歌唱時の発声に応用することで練習効率が上がるのではないかと考えた。

3. 映像提示システム

VR 映像による歌唱への影響を調査するために、VR 映像を見ながら発声練習できるシステムを構築した。本システムでは、被験者に VR 提示可能な頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を装着させ、作成した VR 映像を見せながら歌唱を行わせる。VR 映像の作成には Unity [20] を使用し、VR 提示可能な HMD には、HTC 社の VIVE [21] を用いた。図 1 に被験者に装着させた HMD のイメージを、図 2 に今回の実験で用いたシステム構成を示す。



図 1: 被験者に装着させた HMD

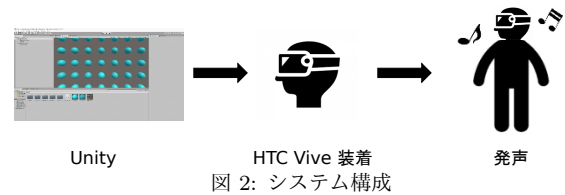


図 2: システム構成

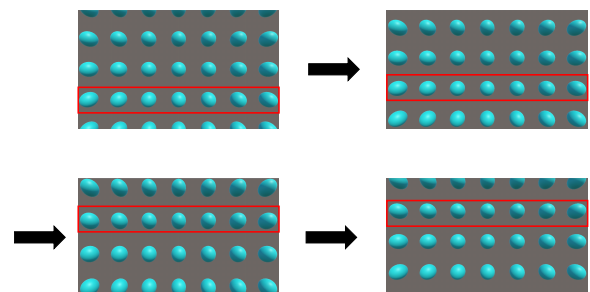


図 3: オブジェクトが上方向に移動する映像のイメージ

3.1 映像の選定

発声に適した姿勢は発する声の音程、強弱などによってわずかに異なり、高音の発声では低重心となるようにし、つま先に体重をかける姿勢が良いとされる。強音量を発声する際は踵に体重をかけ重心を後ろに持ってゆく姿勢が良いとされる [10]。これらの知見を基に、高音の発声に適した姿勢を誘導する映像を調査するための4種類の映像を用意した。

映像 A: オブジェクトが上方向に移動する映像

球体のオブジェクトを配置し、上方向にスライドさせる。ユーザはこの映像を見ることで相対的に自身が下方向に移動する感覚を無意識のうちに覚え、低重心の姿勢をとり、高音を発声しやすくなると予想される。

映像 B: オブジェクトが下方向に移動する映像

映像 1 とは逆にオブジェクトが下方向へスライドさせる。ユーザは相対的に自身が上方向に移動する感覚を無意識のうちに覚え、低重心とは逆の、高音の発声には適していない姿勢になると予想される。

映像 C: 風景が向かってくる映像

ユーザは前に進んでいるような状態となり、歩行スピードよりも速い景色の変化によって電車の中で立っている際にバランスをとるために低重心となるような姿勢が誘発されるのではないかと考えた。また走っているように前傾姿勢をとり、高音の発声に良いとされる姿勢に近づく可能性も考えられる。

映像 D: 風景が遠ざかっていく映像

映像 3 とは反対に風景が遠ざかって被験者は後方に進んでいるような感覚を覚え、重心は後ろに偏り高音の発声がしにくくなると仮定した。

今回作成した映像のうち、映像 A と映像 C、高音の発声を促す効果があると仮定し、映像 B と映像 D は発声がしにくくなるのではないかと想定した。オブジェクトが上方向に移動する映像 (映像 A) のイメージを図 3 に、景色が向ってくる映像 (映像 C) のイメージを図 4 に示す。また、表 1 に作成した映像の名称と説明、想定される効果の対応表を表示す。

3.2 実験方法

本実験では、発声練習の一種で現在広く行われているド・ミ・ソ・ミ・ドの音程を1セットとし半音ずつ音階が上が

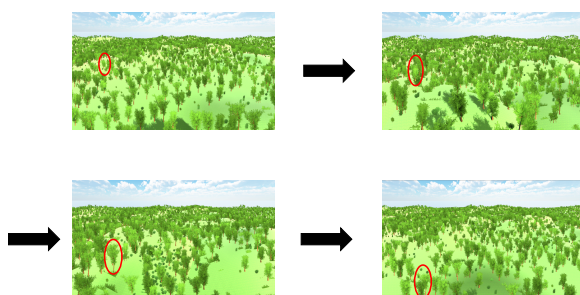


図 4: 景色が向かってくる映像のイメージ

表 1: 作成した映像の説明

映像名	説明と想定される効果
映像 A	オブジェクトが上方向に移動 重心が下に移動し高音が発声しやすくなる
映像 B	オブジェクトが下方向に移動 重心が上に移動し高音が発声が難しくなる
映像 C	風景が向かってくる 前傾姿勢となり発声がしやすくなる
映像 D	風景が遠ざかってゆく 後傾姿勢となり発声が難しくなる



図 5: 実験中の様子

るピアノの伴奏の各セットの間に同じ音階の声を出す練習方法を用いた。被験者には HMD を装着して真っ暗な画面を見た状態で発声練習と、各映像を見ながらの発声練習をさせた。発声練習には録音されたピアノの伴奏を用い、被験者が明らかに発声出来てない音階まで達した時点でそのパートの発声練習は終了とした。また、それぞれの発声練習の間には、2 分程度の休息を与え、被験者ごとに発声練習の条件の順番はランダムに決定した。被験者は 20 代男性 7 名である。発声練習中は動画撮影を行い、撮影した動画を見て、各発声で研究対象者がどこまで高い音を出せていたのか実験者が判断し記録した。実験中の様子を図 5 に示す。実験後、被験者には、「非常に発声しづらかった」が 1, 「非常に発声しやすかった」が 5 の 5 段階のリッカート尺度で各発声練習での発声のしやすさについて回答させた。

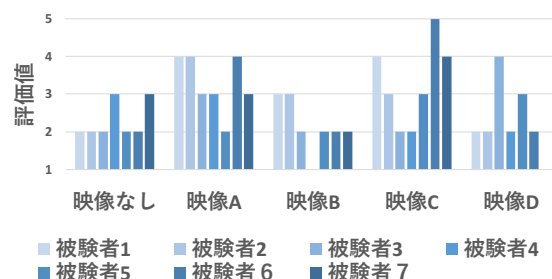


図 6: 発声のしやすさについてのアンケート結果

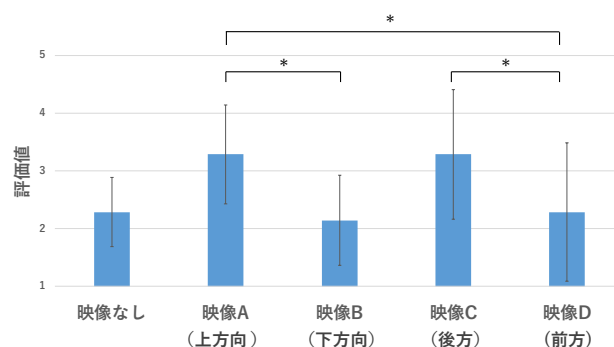


図 7: アンケートの回答結果の平均値

3.3 実験結果と考察

各被験者のアンケート結果を図 6 に示す。また、平均値を図 7 に示す。図 6 のエラーバーはデータの変動性を表したものであり、誤差の不確かさを示す。平均値に被験者内一要因分散分析を行った結果、有意差が見られた ($F(4, 24)=4.74, p<0.01$)。さらに、LSD 法 [22] を用いて多重比較を行ったところ、映像 A は映像 B, D に比べ評価値が有意に高く、映像 C が映像 D に比べ有意に高い評価値となった ($MSe=0.6238, p<0.05$)。オブジェクトの移動では、上方向に移動する映像は映像なしの練習に比べ発声がしやすいという回答が多く、下方向に移動する映像は発声のしやすさに変化が無かったまたは「発声しづらい」という回答が多かった。

被験者の発声することのできた音程の上限を図 8 に、平均値を図 9 に示す。被験者の 86% が映像 A での発声練習において最も高い音程を発声出来ている。これらの結果から、オブジェクトが上方向に移動することで被験者の視線が下がり、無意識のうちに高音の発声に良いとされる低重心の姿勢になったのではないかと考えられる。また、どの被験者においても映像 D よりも映像 C での発声練習より高音が発声出来ており、景色の移動で被験者が前進している感覚を覚えることにより、前のめりとなって重心がつま先にずれ、乗り物の中で立っている際に重心を下げバランスを取るように自然と体が低姿勢になったのではないかと考えられる。

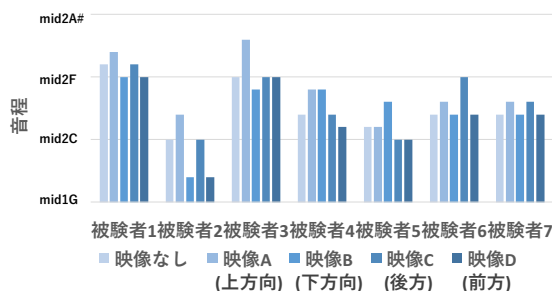


図 8: 被験者が発声出来た音程上限

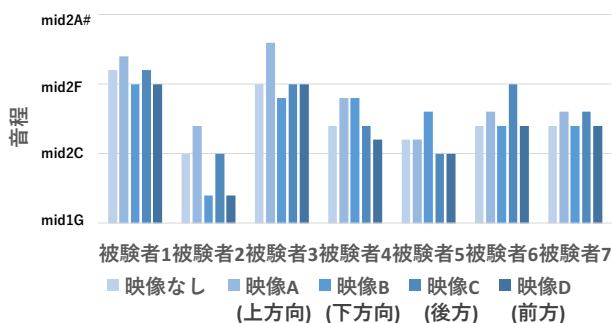


図 9: 被験者が発声出来た音程上限の平均値

4. 議論

3章における実験結果と考察を踏まえ、今回の実験では調査できなかった映像の順番などの要因や、作成した映像についての検討を行う。

4.1 複数の映像の見せる順番と発声との関係

今回行った実験に参加した被験者3において、上移動の映像での発声出来た音程の上限が顕著に伸びているが、映像を見せる順番で下移動の映像の次に逆の上移動の映像を見せたため、上移動の映像効果がより強調されたのではないかと考えられる。今回の実験では被験者に見せる映像一つ一つについて調査を行ったが、異なる映像を2種類順番に見せた時の発声のしやすさについても調査を行う必要があると考えた。

4.2 VR映像の違和感

今回行った実験に参加した被験者1において、映像を見せながらの最初の発声練習では現実との若干の違和感を覚えたが、それ以降の実験では映像に慣れ、違和感が少なくなったという感想があった。この被験者がVR映像を体験するのはこの実験が初めてである。また被験者3からは景色の移動の映像について、自身が宙に浮いている感覚があり、若干の抵抗があったとの報告が得られた。実際に、景色の移動では体感速度を大きくするために視点の位置は人間の標準的な高さよりも高い位置に設定されており、被験者3は軽度の高所恐怖症を持っていた。このことから、

VR映像を用いた実験では始めにサンプル映像を見せるなどしてVR空間に慣れさせ、違和感をできるだけ取り除くことが必要だと考えられる。また、高所恐怖症や閉所恐怖症 [23] など現実で任意の場面、状況に恐怖心を持つユーザも考慮し映像の選定を行う必要がある。

VR映像をユーザに見せる際には、VR酔いと呼ばれる症状が出ないように配慮しなければならない。これは身体の移動に伴う視覚前庭覚及び固有覚の各空間情報の誤認知によって生まれた矛盾が空間認識機能を混乱させ自律神経症状を起こす動揺病に類似しており、VR空間と現実空間との間で、できるだけ物理法則などの違和感を減らすことで影響を緩和できると考えられている [24, 25]。よって映像作成の際には、現実との差異をできるだけ少なくすることを考慮する必要がある。

4.3 ユーザの姿勢の測定

今回の実験のために作成した映像は、主に発声者の姿勢や重心を高音の発声に適したものに誘導することを目的としているが、実際に想定した姿勢、重心の位置に被験者になったかどうかは測定できなかった。よって、今後はVR映像を用いた発声練習の際に重心測定器を用いて、実際に被験者の重心が移動しているのかも調査し、姿勢と発声についてより詳しく調査を行う。

4.4 長期的な練習での効果の違い

今回の実験は被験者一人につき1回のみ行い、作成したすべての映像において発声練習を行ったが、長期的に発声練習を行った際の上達の差異については調査出来なかった。発声練習はもとより繰り返すことで次第に良い発声に近づいてゆくものであり、今回の実験だけでは本当に発声練習に役立つ映像の傾向を掴むことは難しいと考えられる。よって被験者一人当たり一つの条件で長期的に発声練習を行ってもらい、発声の変化をフィードバックすることによって、どの映像を用いたら最も効率の良い練習を行うことができるか調査する必要がある。

4.5 その他の発声を支援するシステム

今回の実験では、高音に着目し作成した映像が発声に影響を与えるか調査した。しかし、実際の歌唱では様々な音程や声量、また、こぶしやビブラートといった技術を習得することでより豊かな表現が可能となり、これらの要素も歌唱力の上達には欠かせないものである。したがって、今後は高音以外の要素をこなすための映像を用いた支援システムを構築することが目標となる。

学校教育などの一環で行われている発声練習は複数の練習者が同時に行う場合が多く、今回のシステムでは練習者一人を想定したのとなっており、今後は複数の練習者が同時に発声を行った場合に効果的な映像の検討なども行っ

てゆく。

5. まとめ

本論文では、歌唱時の発声を促す歌唱時の映像作成を目的として、発声時に望ましい身体機能を無意識のうちに支援するための映像の作成とその評価を行った。今回の実験では、高音に着目し低重心やつま先に重心を持ってゆく姿勢を誘導する効果が期待できる映像と逆の効果が想定できる物を用意し、それぞれ映像なしの発声練習とどのような違いがあるのか調査した。その結果、オブジェクトが上方向に移動し、相対的にユーザが下方向へ移動している感覚を覚えることを狙った映像で最も高音が発声出来ているという傾向が見られ、景色が移動し自身が前後に移動する感覚を覚えることを狙った映像では効果がないもしくは発声がしにくくなったという傾向が見られた。このような結果から、高音の発声を支援する映像に必要な要素がいくつか判明した。また、現実との違和感やユーザが宙に浮いているような感覚を覚えたことなどの、被験者に VR 映像を見せるにあたって考慮すべき点がいくつか判明した。

今後の課題としては、さらに多様な映像、条件を用いて高音以外の歌唱の要素を向上させる映像に必要な要因を調査してゆくと同時に、被験者の発声が妨げられないよう映像の選定を行ってゆく必要がある。また、複数の映像の順番と効果の関係を調べることや、各映像での長期的な練習による上達の程度に違いがあるのかも明らかにし、最終的にはカラオケの歌唱時の映像などにこれらの映像を組み込み、歌唱者が最も良い歌唱が可能となる環境の構築を目指す。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1, JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 業界動向リサーチ, <https://gyokai-search.com/3-karaoke.html>(Accessed on 5/9/2020).
- [2] フレデリック・フースラー, イブオンヌ・ロッド＝マーリング: うたうこと: 発声器官の肉体的特質, 音楽之友社 (Jun. 1987).
- [3] 月尾嘉男: 仮想現実技術の現状と未来の展望, 可視化情報学会誌, Vol. 13, No. Supplement1, pp. 89–92 (July 1993).
- [4] K. E. Laver, B. Lange, and S. George: Virtual Reality for Stroke Rehabilitation, *Journal of Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 11, pp. 130–145 (Nov. 2017).
- [5] R. M. Satava: Virtual Reality Surgical Simulator, *Journal of Surgical Endoscopy*, Vol. 7, No. 3, pp. 203–205 (May 1993).
- [6] 市川真澄, 渡邊 悟: 直立姿勢に対する視覚情報の影響 ((特集) 姿勢制御と感覚情報), バイオメカニズム学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 59–64 (Feb. 1991).
- [7] B. K. Kumar, L. Wei-Kai, and C. Chun-Yen: A Cost-

- Effective Interactive 3D Virtual Reality System Applied to Military Live Firing Training, *Journal of Virtual Reality*, Vol. 20, No. 2, pp. 127–140 (Apr. 2016).
- [8] L. Jensen and F. Konradson: A Review of the Use of Virtual Reality Head-Mounted Displays in Education and Training, *Journal of Education and Information Technologies*, Vol. 23, No. 4, pp. 1517–1529 (Nov. 2018).
 - [9] S. W. Greenwald, A. Kulik, and A. Kunert: Technology and Applications for Collaborative Learning in Virtual Reality, *Proc. of the 12th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL)*, pp. 719–726 (June 2017).
 - [10] 石野健二: 声楽発声のメカニズム, 宇都宮大学教育学部紀要. 第 1 部, No. 1, pp. 105–119 (Mar. 2015).
 - [11] 野口雅史: 意識と無意識からみた歌唱の発声法, 新潟青陵大学短期大学部研究報告, Vol. 41, No. 41, pp. 151–161 (May 2011).
 - [12] 齋藤 毅, 後藤真孝: 歌唱指導による歌声中の音響特徴の変化: 歌唱ホルマントと F0 動的変動に着目した音響分析, 日本音響学会講演論文集, pp. 457–458 (Sep. 2008).
 - [13] 片岡靖景, 伊藤一典, 池田 操: 歌唱支援システム構築のための歌声の分析と評価, 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol. 1998, No. 74, pp. 23–30 (Aug. 1998).
 - [14] 杉田明弘, 溝口晃太, 木村朝子: 複合現実型視覚刺激が重心知覚に与える影響, 情報処理学会全国大会講演文集, Vol. 71, No. 4, pp. 115–116 (Mar. 2009).
 - [15] 岡野 裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希: 速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2008-HCI-127, No. 11, pp. 145–150 (Feb. 2008).
 - [16] 吉川博美, 蜂須拓, 福島政期: ベクシオン場による歩行誘導手法の提案, 情報処理学会 インタラクション, Vol. 2011, pp. 457–460 (Mar. 2011).
 - [17] 小貫睦巳, 有田元英, 井上悦治: 生体センシング技術を使った仮想現実によるゲームが高齢者の運動機能に及ぼす影響について, 理学療法科学, Vol. 30, No. 6, pp. 811–815 (June 2015).
 - [18] 遠藤佳章, 鈴木暁, 糸数昌史: ヘッドマウントディスプレイを用いた Virtual Reality 映像とモニター映像が立位重心動揺に及ぼす影響の違い, 理学療法科学, Vol. 33, No. 3, pp. 457–460 (Jan. 2018).
 - [19] A. Ishii, I. Suzuki, S. Sakamoto and K. Kanai: Optical Marionette: Graphical Manipulation of Human's Walking Direction, *Proc. of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 705–716 (Oct. 2016).
 - [20] Unity, <http://japan.unity3d.com/> (Accessed on 5/9/2020).
 - [21] HTC Vive, <https://www.vive.com/jp/product/> (Accessed on 5/9/2020).
 - [22] js-STAR, <http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star/puma/sa.htm#> (Accessed on 5/9/2020).
 - [23] 特異的恐怖症-ハートクリニック大船, https://e-heartclinic.com/sp/kokoro/yamai/f40/f40_specific_phobias1.html (Accessed on 5/10/2020).
 - [24] 田中信壽: VR 酔い対策の設計に求められる知見の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 129–138 (Oct. 2005).
 - [25] N. Takeuchi, T. Mori, and Yoshimi Suzukamo: Modulation of Excitability in the Temporoparietal Junction Relieves Virtual Reality Sickness, *Journal of Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, Vol. 21, No. 6, pp. 381–387 (June 2018).