

超指向性スピーカ放射角制御と2種のマイクを用いた講演と 特定聴衆へのパーソナル発話切替

山名 友也^{1,a)} 北岸 佑樹^{1,b)} 米澤 朋子^{1,c)}

概要: 大学などで行われる講義や学会などの講演において、講演者が特定の聴衆に対して注意喚起などのメッセージ伝達を行う際に、ラウドスピーカや肉声を用いると会場全体にメッセージ伝達が行われるため、他の聴衆の集中が阻害されてしまう。本研究ではそれを軽減するため、超指向性スピーカの放射角を制御し、特定の聴衆にメッセージを限定した範囲で伝達するシステムを提案する。(1) 講演者に持たせたハンドマイク及びピンマイクへの入力音音量を比較し、講演者の発話対象が聴衆全体か特定聴衆かを判定する。(2) それにもとづき、講演者音声発生スピーカをラウドスピーカか超指向性スピーカかを決定し自動で切り替える。(3) 超指向性スピーカの場合、Microsoft-Kinect を用いて講演者の顔向きを計測し、それをもとに超指向性スピーカの放射角度を発話対象の特定聴衆の方向へと自動で制御する。

キーワード: パラメトリックスピーカ、講演支援、一人対多人数コミュニケーション、2種マイク

Switching Lecture and Personal Utterance by Two-type Microphones and Control of Emission Angles of Super Directional Speaker

TOMOYA YAMANA^{1,a)} YUKI KITAGISHI^{1,b)} TOMOKO YONEZAWA^{1,c)}

Abstract: We propose a flexible switching method between lecture talk and personal message by switching between loud and super-directional speakers with simultaneously comparing two microphones. In normal lectures, it is difficult to continue the lecture talk with an irrelative and personal comment to a particular participant without disturbing other participant's listening to the talk. In order to realize a seamless talk to both the audiences and a particular participant, the system 1) detect the distance from the lecturer's mouth to the hand-held microphone by the difference between the volumes of hand-held microphone and pin-type microphone fixed to the user's bust, 2) switch one speaker from loud or super-directional speaker, 3) control the angle of the super directional speaker corresponding to the user's face angle detected by Microsoft Kinect when the system is in the mode of a personal message. Thus, the voice of the personal message is created by a super-directional speaker, *parametric speaker*, with controlling emission angle of the super-directional speaker in order to focus on a particular audience.

Keywords: Parametric speaker, Lecture support, One-to-many communication, Two microphones

1. はじめに

大学などで行われる多人数の聴衆を対象とする講義や講

演では、講演者の音声会場全体に聞こえるように聴衆全体へラウドスピーカを使用してマイクへの発話音声を拡声するのが一般的である。このような形式の講演や講義において、講演内容について聴衆の中にいる TA などの関係者に個人的な話かけを行ったり、雑談を行っている特定の聴衆に対する注意喚起を行うなど、全聴衆中の特定の対象に対してメッセージを伝達する場面も見受けられる。その場合、講演者はおおまかに分類して2つの方法により

¹ 関西大学総合情報学部
Kansai University, Faculty of Infomatics, 2-1-1, Ryozenji-cho, Takatsuki, Osaka, Japan

a) k687335@kansai-u.ac.jp

b) k030913@kansai-u.ac.jp

c) yone@kansai-u.ac.jp

メッセージ伝達を行うことが多い。1つは講演者がラウドスピーカや講演者の肉声を用いて教室内の聴衆全体へ聞こえる音声でメッセージを発して、特定聴衆へ話しかけるものである。もう1つは伝達の対象となる特定聴衆の近辺へ接近することで、メッセージ伝達の対象を明確に示しつつ、聴衆全体には聞こえない程度の音声で直接的に話しかける形態をとるものである。これらの方法は、メッセージの伝達対象ではない聴衆の集中を大きな音声や中断時間の長さ、及び注目対象の移行により阻害する可能性がある。前者の場合、教室全体へメッセージを大きな音声で発信するため、全聴衆がメッセージを強制的に受信し、そのメッセージへ意識を向けることになってしまう。その結果、メッセージ伝達対象以外の聴衆は、自身に直接的に関係のないメッセージによって講演への集中を阻害される。後者の場合、メッセージ伝達対象の特定聴衆の近辺へ接近する移動が講演者の労力を浪費する要因となるだけでなく、講演者の移動時間分の講演が中断してしまうため、メッセージ伝達対象以外の聴衆の講演への集中が途切れてしまう。また、注目ポイントが講演内容から講演者の移動に移行してしまうため、これらの集中への阻害は講演における聴衆の集中や学習効率を低下させてしまうと考えられる。

そこで本研究では、講演者が聴衆全体へ向けて発話したいか、特定の個人へ向けて発話したいかを選択し、シームレスに切り替えができるシステムを検討した。時に講演者は周囲の個人へあてた発話の際にハンドマイクを口元から離し拡声音量を下げることがある。よって、提案手法では講演者にピンマイクを身に着けさせ、ハンドマイクとの音量差を比較することにより、ハンドマイクを遠ざけるしぐさを検出する。講演者がハンドマイクを用いて話す通常時は、ラウドスピーカから発音する。また、講演者がハンドマイクを下げて個人へ向けた発話をする場合には、その時講演者が見ている対象の人物のみに音声を放射する。Microsoft-Kinect（以下、Kinect）を用いて講演者の顔向きを得ることでメッセージ伝達対象の聴衆を推測し、ラウドスピーカから高い指向性を持つパラメトリックスピーカでの拡声へ切り替え、パラメトリックスピーカの放射角をパラメトリックスピーカに取り付けられた2軸サーボモータの角度を制御することで変更する。このように、講演者が発信する音声メッセージの伝達を狭い範囲に限定することで、特定の聴衆に対してのみ音声メッセージの伝達を実現する。本提案システムの実現により、メッセージ伝達対象ではないその他の聴衆の講演への集中の阻害を軽減することを目指す。

2. 関連研究

2.1 講演中の聴衆の集中度に関する研究

近年、大学講義における受講生の私語の問題が指摘されていて [1], [2], そのような私語は、教室環境における騒音であるという指摘がある [3]。また、富浦の授業中の騒音に関する研究 [4] と、講義中の私語が騒音であるという指摘を合わせると、講義中の私語は他の学生の集中などを乱す環境要因となると考えられる。このような受講生の講義中の私語に対して、授業提示教材や学生とのやり取りに関する様々な対策手法が提案されている [5], [6], [7], [8], [9] が、講演者が行う注意の労力に関する問題や、講演者が注意することでメッセージ伝達対象以外の聴衆の集中を乱すことについてはあまり言及されていない。そこで、本研究では上記のような問題に対して、講演者が注意する際の労力と、メッセージ伝達対象としない聴衆全体の集中阻害を、それぞれ軽減する。

2.2 パラメトリックスピーカの利用に関する研究

パラメトリックスピーカ（超指向性スピーカ、超音波スピーカ）とは、超音波をオーディオ信号で振幅変調し、超音波エミッタからほぼ平行なビームとして伝搬することで、強い指向性を持つ音が出力されるスピーカである [10]。パラメトリックスピーカの利用法として、音源としたい位置に超音波を直接放射する方法 [11], [12], [13] や、超音波の反射特性を利用して反射位置に音源を生成する方法 [14], [15], [16] がある。

パラメトリックスピーカを用いた講演の支援システムとして、石野らはサーボモータをパラメトリックスピーカに搭載、回転させることで、教室内の任意の聴衆のみに講演者の音声を伝えるシステムを提案した [11]。石野らの提案システムは手動操作によりサーボモータを制御していたが、本システムでは Kinect を用いて、講演者の向いた方向にサーボモータが自動で回転する機能を実装した。さらに、全体への発話とメッセージ伝達対象へ向けた発話をシームレスに切り替えるため、パラメトリックスピーカとラウドスピーカを併用し、2種類のマイクの音量差による起動スピーカの切り替えを行う。

また、久保田ら [12] はパラメトリックスピーカとサーボモータを顔認識で得られた聴衆の顔座標をもとに回転させ、聴衆に音声を伝えるシステムを提案している。しかし、本研究では講演者の意図を元に特定聴衆者を選択するため、講演者の顔向きを Kinect により推測しその結果からメッセージ伝達対象の方向を決定する。

2.3 空間音響とコミュニケーションシステム

伊納ら [17] はパラメトリックスピーカではなく、聴衆の持つ携帯端末を利用して局所的に音場を生成する手法を提案した。この手法は教室内の任意の位置を音源とすることができるため、本研究と同様に聴衆全体ではなく、特定の

聴衆にメッセージを伝達できると考えられる。しかし、伊納らの提案システムは携帯端末の無指向性ラウドスピーカを用いているため、狭い範囲ではあるがメッセージ伝達対象ではない聴衆にも音声メッセージを伝えることになる。これにより、メッセージ伝達対象ではない周辺の聴衆は講演への集中を阻害されてしまう可能性がある。

3. システム

3.1 システム概要

本システムはラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ音量切替制御部、パラメトリックスピーカ放射角度制御部、音量比較部から構成される。ラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ切替制御部は、講演者の音声入力をラウドスピーカで出力することで聴衆全体へメッセージを伝達するか、パラメトリックスピーカによる超指向性音声を放射することで特定の聴衆へメッセージを伝達するかを切り替える。パラメトリックスピーカ放射角度制御部は、Kinectによる顔向き推測の結果をもとにパラメトリックスピーカの放射方向を2軸のサーボモータで制御する部分であり、講演者が選択的に見ている特定の聴衆へメッセージを伝達するための制御部分である。音量比較部は、講演者の音声をピンマイクとハンドマイク両方で取得し、音量を比較して、ハンドマイクを口元の付近で持って講演しているか、ハンドマイクを下げてパーソナルな発話を行っているかを判断する。ここでは連続値として比率を出すことと、2値化していずれかの状況を判断することができる。これらにより、まず音量比較部の結果に応じてラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ音量切替制御部を動作させ、パラメトリックスピーカ放射角度制御部によりパーソナルな発話状況で音声メッセージ伝達対象を直観的に選択し超指向性音声を放射することができる。その結果、講演者の音声伝達対象を、聴衆全体と特定の聴衆で切り替えられるようになる。なお、本システムは講演中の講演者位置として、常に教卓などの定位置から大きく外れた位置にはおらず、Kinectの認識範囲内に居ることを前提として設計を行う。

本システムは Pd-extended0.43.4^{*1}, ARDUINO1.8.1^{*2}, C++^{*3} によって実装した。

また、本システムを構成するハードウェアとして、

- ハンドマイク：iCON D1^{*4}
- ピンマイク：SONY ECM-PC50^{*5}
- ラウドスピーカ：SANWA SUPPLY MM-SPU8BK^{*6}
- パラメトリックスピーカ：有限会社トライステート

- パラメトリックスピーカ実験キット，増設キット^{*7}
- サーボモータ：GWS S03T 2BBMG^{*8}
- サーボモータ制御用マイコン：Arduino Uno
- Kinect for Windows v2
- システム制御 PC：CPU: intel®Core™i7-3517U, 1.90GHz, RAM: 4.00GB

を用いる。

システム全体の処理フローを図1に、システム構成を図2に示す。

3.2 ラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ切替制御部

ラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ切替制御部は講演の拡声声出力用のラウドスピーカと超指向性音声を放射し特定箇所での音声を発生させるパラメトリックスピーカを用いている。内部の処理フローで、音量比較部からの信号に応じ、音声発生対象としていずれかのスピーカを選択したり、それぞれのスピーカの音量比率を変更したりする。

この際、本稿で用いたパラメトリックスピーカの製品特性を考慮して、パラメトリックスピーカからの音声には400Hz以下の周波数に対してハイパスフィルタ処理を行っている。

3.3 パラメトリックスピーカ放射角度制御部

パラメトリックスピーカ放射角度制御部はパラメトリックスピーカの下部に取り付けられたパラメトリックスピーカ放射角度制御用のサーボモータ2基(図3, 仰角(Pitch)と方位角(Yaw)を制御できるよう2軸になるよう固定されている[18]), 各サーボモータ制御用のマイコンとしてArduino2基, 及び講演者の顔向き認識用のKinectで構成される。Kinectの制御及びデータ処理はC++によって行われる。

まず、ラウドスピーカ・パラメトリックスピーカ切替制御部においてパラメトリックスピーカの音量が0ではなくなった時に、パラメトリックスピーカの放射角度制御を同時に行う。

このとき、Kinectで取得した講演者の顔の向きの情報をPCに取り込み、現実の聴衆位置に合うよう補正した後、頭の回転方向のPitchとYawに対応する2基のサーボモータを制御する。2基のArduinoは、PCから送信された顔の回転方向を補正したPitchとYawのデータを取得し、それぞれに対応する2基のサーボモータを制御する。まず、Kinectが得た講演者の顔向きのPitchデータとYawデータをPitch側のArduinoに送信する。そして、Pitch側Arduinoが受信したYawデータをI2C通信によ

*1 <https://puredata.info/>

*2 <https://www.arduino.cc/>

*3 <https://isocpp.org/>

*4 <http://iconproaudio.com/product/d1/>

*5 <http://www.sony.jp/microphone/products/ECM-PC50/>

*6 <https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=MM-SPU8BK>

*7 <http://www.tristate.ne.jp/parame.htm>

*8 <http://www.gws.com.tw/english/product/servo/standard.htm>

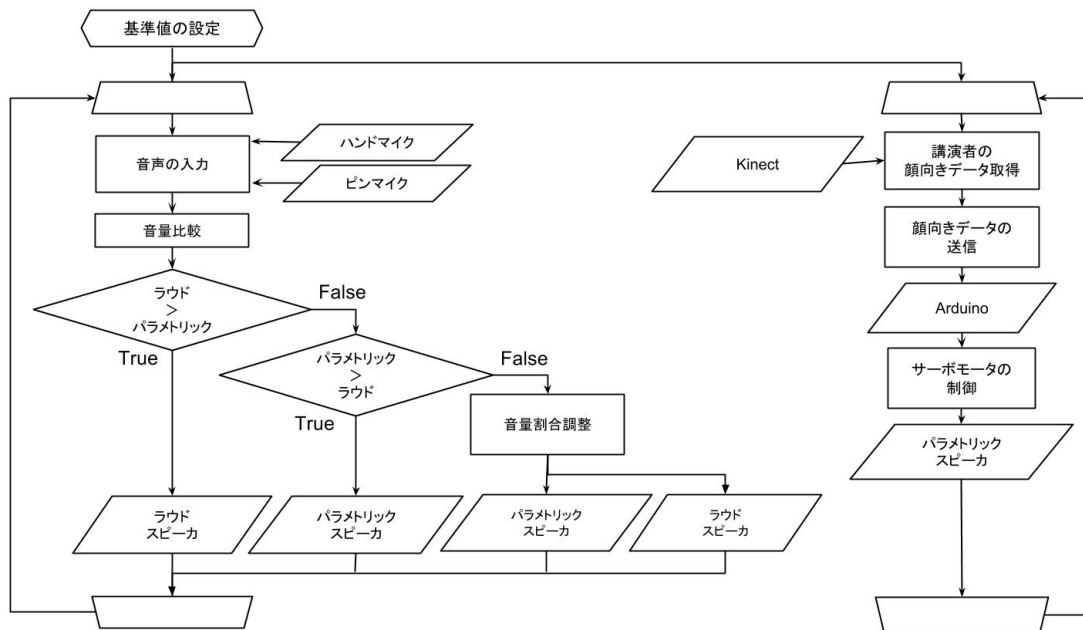


図 1 システム全体フロー

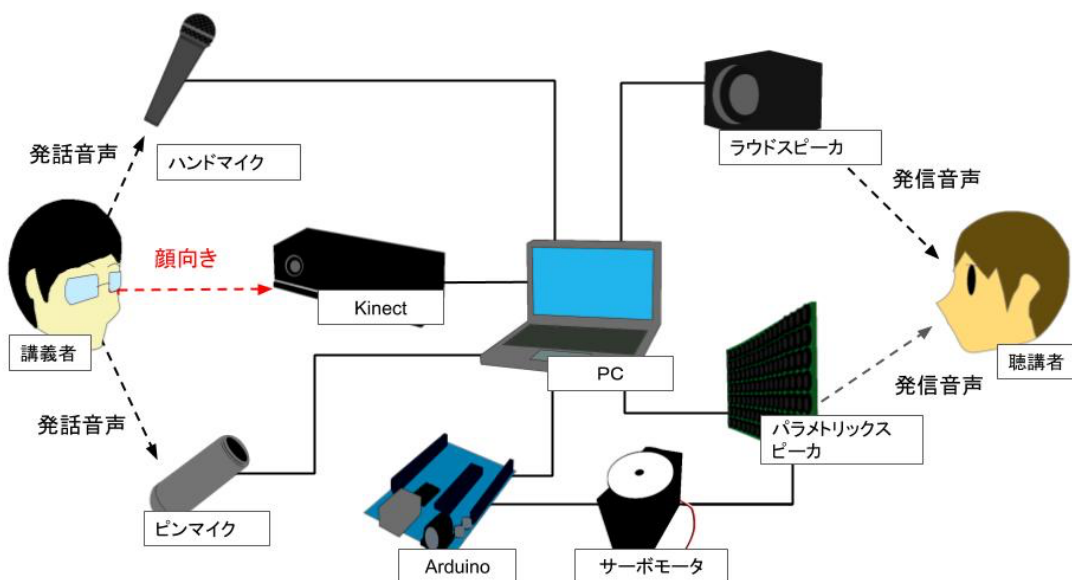


図 2 システム構成

て Yaw 側 Arduino へ送信する．これにより，講演者の顔が向いている方向にパラメトリックスピーカの音声を放射することができる．

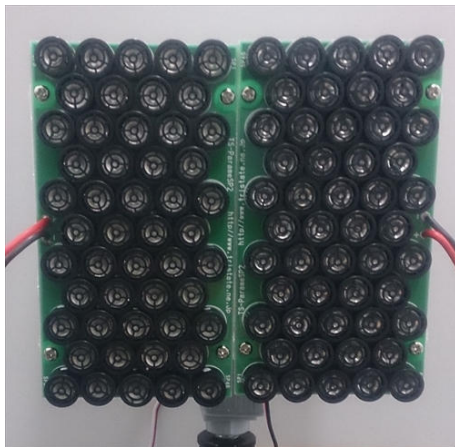
3.4 音量比較部

ハンドマイクは講演者が手に持つ形で使用され，ハンドマイクから入力された音声信号はラウドスピーカからの出力に対応する．ピンマイクは講演者の胸元など，口元に近い場所に装着する．ピンマイクから入力された音声信号はパラメトリックスピーカからの出力に対応する．

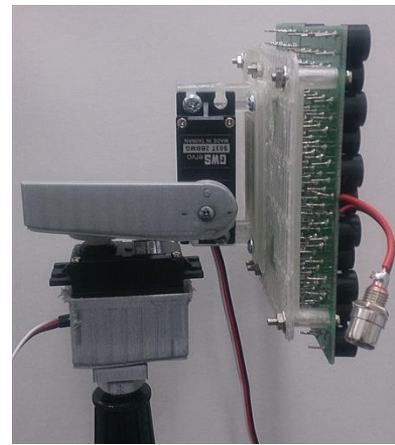
ピンマイクは講演者の胸元など定位置に固定されている

ため，講演者の口とマイクの距離がほとんど変化しない．一方，ハンドマイクは講演者が手に持っているため，講演者のマイク保持位置を変更する動作によって口との距離は変化する．これらより，Pd-extended が取得する 2 つのマイクのそれぞれの音量を RMS (Root Mean Square: 二乗平均平方根) で求めて比較することで，ハンドマイクが講演者の口元に近い (ハンドマイクを下げている) のか遠い (ハンドマイクを口元に近づけている) のかを推定することが可能だと考えた．本システムではこの推定結果を利用して 2 つのスピーカの音量を決定する．

初期のキャリブレーションとして，システム使用前に，



[1] 前面



[2] 側面

図 3 パラメトリックスピーカとサーボモータ

パラメトリックスピーカのみから音声出力されるハンドマイクの持ち方として、肘を伸ばしきってハンドマイクを下げる状態で発話を行い、その時のハンドマイクとピンマイクの音量差を基準値 B とする。このとき、Pd-extended で 2 つのマイクから入力されたそれぞれの音声の音量を計算する。それぞれのマイクからの音量は、瞬間的な静音区間などで入力音量が急激に増減する影響を緩和するため、2 秒程度平滑化する。そして、平滑化された現在の音量と事前計測による基準値 B をもとに、2 種のスピーカそれぞれの出力音量を決定する。

3.5 動作パターン

3.5.1 ラウドスピーカのみからの音声出力

講演者が聴衆全体に発話内容を伝えるため、ラウドスピーカのみから音声出力する場合、ハンドマイクを口元に近づけて発話する。システムはハンドマイクからの音量がピンマイクからの音量を上回る時、ラウドスピーカのみから音声出力する。

3.5.2 パラメトリックスピーカのみからの音声出力

講演者が特定の聴衆のみにメッセージを伝えるため、パラメトリックスピーカのみから音声出力する場合、ハンドマイクを口元から十分に遠ざけて発話する。システムは、ハンドマイクからの音量が事前測定した基準値 B を下回る時、パラメトリックスピーカのみから音声出力する。

3.5.3 2 つのスピーカからの音声出力

講演者が聴衆全体に加えて、特定の聴衆に強制的に自分の発話内容を伝えるため、ラウドスピーカとパラメトリックスピーカの両方から音声出力する場合、ハンドマイクを少し遠ざけて発話する。システムは、ハンドマイクからの音量がピンマイクからの音量を下回り、かつ事前測定した基準値 B を上回る時、ハンドマイクの音量に応じて 2 つのスピーカそれぞれの出力音量を決定する。

3.6 動作確認

3.6.1 講演者としての使用感

システムの動作と使用感の確認を行うため、3 名の被験者に本システムを使用させ、その後使用感を聴取した。音量比較部とパラメトリックスピーカ放射角制御部の動作確認を行うため、被験者にはシステムの使用方法を教示するとともに、パラメトリックスピーカ、ラウドスピーカ、両方のスピーカからの音声出力が起きるようにハンドマイク位置を上下させ、それぞれ発話を行わせた。加えて、実験室内の様々な場所に顔を向けるように指示した。

被験者に体験させた結果、パラメトリックスピーカ放射角制御部に関して被験者の顔向きにパラメトリックスピーカが追従して回転することが確認できた。また、音量比較部に関して、被験者はハンドマイクを上下することにより 2 つのマイク音量差が生じていることを（直感的に、使用していくうちに）理解し、両スピーカの出力レベルを切り替えられていることが確認された。また、被験者から

- 切り替えの方法は事前に習得しておくために練習が必要である。
- 切り替えの方法を知っていれば少ない動作で切り替えられるのは有用である。
- 切り替えに一瞬のタイムラグが発生するため、そこが使いにくい。
- 顔向きの追跡とパラメトリックスピーカの向き制御は上手くいっている。
- 顔の向きを傾けすぎると Kinect の認識範囲から頻繁に外れてしまう。
- サーボモータの駆動音が気になる時がある。
- ラウドスピーカとパラメトリックスピーカを併用しているとき、きちんとパラメトリックスピーカが作動しているかわからない。

という意見が得られた。

3.6.2 聴衆としての使用感

本システムの音声出力切り替えの効果を確認するため、3名の被験者に対し、1)ラウドスピーカのみからの音声出力、2)パラメトリックスピーカのみからの音声出力、3)ラウドスピーカとパラメトリックスピーカの両方からの音声出力を聴かせ、その後感想を聴取した。尚、被験者には、講演中の聴衆として傾聴するよう教示した。

聴取の結果、

- パラメトリックスピーカの音声はラウドスピーカの音声と聞こえ方が異なるので講演の音声とは異なる音声が自分に向けて発信されているのがわかりやすい。
- パラメトリックスピーカが自分以外の場所へ音声を発信している場合は、近隣の席で小声で誰かが話しているように聞こえる。
- パラメトリックスピーカが向けられた場所が自分から十分に遠いと、パラメトリックスピーカからの音は微かにしか聞こえない。
- パラメトリックスピーカによる伝達内容を明確に伝えるために音質の改善が必要。
- パラメトリックスピーカの音声を直接向けられた場合は特有の超音波の発信音が若干不快に感じることがある。
- 教室の狭さが原因なのかもしれないが、パラメトリックスピーカを使っているときの声が直接聞こえたので、違和感があった

という意見が得られた。

4. 考察

4.1 システム動作

システムの動作確認や、システムを使用した感想を被験者から聴取した結果より、Kinectによる顔向き推測に基づくパラメトリックスピーカの放射角制御において、概ね被験者の意図する対象へ音声を放射するための角度追従ができていた。顔の傾けすぎによる顔認識の失敗については、顔認識が失敗した際に顔向き検出ではなく横顔の検出を行うことや複数台数のKinectで講演者を囲む等で対応可能だと考える。

また、2種類のマイクの音量差を用いたスピーカの切り替え手法について、事前に使用方法を伝える必要はあるものの、一旦分かればマイクの上げ下ろしという単純な動作で切り替えを行えるため使い易いといった感想が得られた。しかし、各マイクに入力される音量の比較で出力スピーカを切り替える際に、2つのマイク音量比較のための音声処理時間による遅れに伴い、発話した音声のごく初期の部分が、非出力スピーカ側から出力されるという問題点が指摘された。

よって、単純に2つのマイクの入力音量を比較するのではなく、話速や音量変化を用いて切り替えを事前に予測し

たり、比較的処理速度の速いマイク上下運動検出用3軸加速度センサを用いたり、顔向き検出用Kinectを上半身トラッキングに変更しマイクを保持する手の高さを計測するなどの対処が必要である。さらに、スピーカ切り替え時にフェードをかけることで急激な変化による不自然な音源定位発生感覚を抑制することも考えられる。

また、2つのスピーカを同時に併用している際に、パラメトリックスピーカが正常に作動しているかわからないというコメントが得られた。これは、ラウドスピーカからの音が実験室内全体に響いておりパラメトリックスピーカとの音量差があることからラウドスピーカが優位になっていることや、パラメトリックスピーカが被験者の近くに設置されていたため、被験者が両スピーカから発せられる音に包み込まれているように感じたことが原因であると考えられる。この対策として、パラメトリックスピーカからの音声を提示したいときのラウドスピーカの音量の上限を設定することが有効である。

なお、サーボモータの駆動音に関する指摘については、常に気になるものではないという意見を得たため現段階では制御音の対策は準備しないこととした。

4.2 スピーカの切り替え効果

被験者からの聴取結果より、本稿で提案するシステムにより特定の聴衆に限定的に、また強制的に講演者からのメッセージを伝達できたことが予備的に確認できた一方で、パラメトリックスピーカの音質や、超音波放射による不快感といった問題点が残る。

このうち、音質については超音波発信子の増設により改善可能だと製品サイト^{*9}で述べられている。現在、本システムのパラメトリックスピーカの超音波発信子は100個であるが、これを150個、もしくは、200個に増設することで対応する予定である。また、超音波発信子の増設により可聴距離も増加するため、多人数講演を行うような広い会場にも対応可能であると考えられる。

超音波放射による不快感については、高周波によりモスキート音^{*10}に類似した音が発生していたことが原因と考えられる。これについては、現在製品特性を考慮して行っている400Hz以下の周波数に対するハイパスフィルタ処理に加えて、人の平常時の発声周波数を超える周波数(約1000Hz)に対してローパスフィルタ処理を行うことで、ある程度のノイズ軽減が期待できる。

5. おわりに

本稿では、多人数を対象とした講演中に、他の聴衆の集中を阻害せずに特定聴衆のみに音声メッセージを伝達するシステムとして、ハンドマイク、ピンマイク、ラウドスピー

^{*9} <http://www.tristate.ne.jp/parame.htm>

^{*10} 17000Hz程度の高周波音

力, パラメトリックスピーカ, Microsoft-Kinect から構成される講演者用発話対象切り替えインタフェースシステムを提案した. Kinect が認識した講演者の顔向きに合わせてサーボモータを搭載したパラメトリックスピーカを回転させ, 講演者が持つハンドマイクとピンマイクの入力音量を比較して, パラメトリックスピーカとラウドスピーカの出力音量を決定する.

提案システムの動作確認を行い, Kinect による顔向き推測を用いたパラメトリックスピーカの回転制御やマイク音量の比較によるスピーカ音量切り替え制御の動作を確認した. また, 予備的検討において, パラメトリックスピーカとラウドスピーカの併用により聴衆がメッセージを強制的に受け取ったり, 講演とパーソナルな発話がシームレスに織り交ぜられたりする, 有用なシステムであるという評価を体験者から得た.

今後はシステムの口バスト性の改良に加えて, 提案システムを用いて特定聴衆のみにメッセージを伝達することで他の聴衆の集中を妨げないで特定聴講者へパーソナルな発話を行うことができるかなどを被験者実験を通じて検証していく.

謝辞 本研究は科研費 25700021 及び科研費 15H01698 の助成の一部を受け実施したものである. ハードウェア実装や 3D プリンタ用モデルを作成いただいた吉田直人氏に感謝する.

参考文献

- [1] 北折充隆: 授業中の私語に関する研究: 悪質性評価の観点から, 金城学院大学論集. 人文科学編, Vol. 3, No. 1, pp. 1-8 (2006). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110005859634/>.
- [2] 黒木哲徳, 西森敏之, 成木勇夫, 川崎徹郎, 蓮井 敏: 大学の数学の授業で起きていること: 日本数学会のある調査より, 高等教育ジャーナル, Vol. 8, pp. 31-38 (2000). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110000576649/>.
- [3] 宮原道子: 大学の授業における私語の経験頻度と迷惑の認知-騒音感受性と友人との付き合い方からの検討-, 京都聖母学院短期大学研究紀要, Vol. 41, pp. 8-18 (2012). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009443166/>.
- [4] 富浦麻穂: 通常学級の音環境基準の国際比較: 騒音・残響時間の低減と SN 比の保障による音環境の整備, 公教育システム研究, Vol. 14, pp. 45-67 (2015). <http://ci.nii.ac.jp/naid/120005617297/>.
- [5] 松下 裕, 三上拓真: 4-344 教室内私語による学習妨害に対する授業スライドの抑止効果 ((01) 基礎科目の講義・演習), 工学教育研究講演会講演論文集, Vol. 25, No. 61, pp. 590-591 (2013). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009731057/>.
- [6] 宇田 光, 市川千秋: 26-J-13 FD 研修 大学講義の改革: 大教室での私語対策と BRD 方式 (自主企画), 日本教育心理学会総会発表論文集, No. 53, pp. 668-669 (2011). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009630564/>.
- [7] 磯部昭二: 学生の私語騒音防止策論考, 工業教育, Vol. 41, No. 2, pp. 3-7 (1993). https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsee1953/41/2/41_2_3/_article/-char/ja/.
- [8] 佐藤 寛, 佐藤美幸: P1-12 大教室の講義における大学の私語のマネジメント: 集団随伴性による他行動分化強化を用いた介入の有効性 (ポスター発表 I), 日本行動分析学会年次大会プログラム・発表論文集, No. 29, p. 42 (2011). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009617108/>.
- [9] 中村博幸, 秋尾保子: 3 私語に対する教師の対策と学生の反応: 事例報告: 短大の講義を中心に (III-3 部会 大学生), 日本教育社会学会大会発表要旨集録, No. 43, pp. 157-158 (1991). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110001890744/>.
- [10] 鎌倉友男, 酒井新一: パラメトリックスピーカの原理と応用 (音響・超音波サブソサイエティ合同研究会), 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響, Vol. 105, No. 556, pp. 25-30 (2006). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110004075782/>.
- [11] 石野 力, 伊納洋介, 中谷友香梨, 吉田直人, 米澤朋子: 複数パラメトリックスピーカを用いた一対多コミュニケーション手法の提案 (人体・動作の認識と理解, 福祉と共生, 国際会議報告), 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 113, No. 402, pp. 53-58 (2014). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009825813/>.
- [12] 久保田崇, 牧桂太郎, 吉崎 航, 加賀美聡, 溝口 博: 2P2-L03 パラメトリックスピーカを用いた対人伝達システムの研究 (デジタルヒューマン), ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2011, pp. "2P2-L03(1)"-"2P2-L03(3)" (2011). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009711692/>.
- [13] 栗原一貴, 塚田浩二: イグノーベル賞受賞研究 Speech-Jammer, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 2, pp. 318-325 (2013). <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009594469/>.
- [14] 宮里 勉: 音響 Augmented Reality により障害物自体に警告音を発声させる視覚障害者歩行支援装置, 映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No. 9, pp. J352-J355 (2013). <http://ci.nii.ac.jp/naid/130003369112/>.
- [15] 伊藤仁一, 中山雅人, 西浦敬信, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: X-Media Galaxy における移動音像実現のための音像補間, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 3, pp. 405-414 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009657343/>) (2013).
- [16] 中垣 拳, 寛 康明: 指向性スピーカを用いた空間拡張デバイス SonalShooter の基礎検討, インタラクシオン 2011, デモ発表 (2011). <http://www.interaction-ipsj.org/archives/paper2011/interactive/0221/1LNG-7.pdf>.
- [17] 伊納洋佑, 石川佑樹, 中 祐介: 複数の携帯端末の同期・位置推定手法による閉鎖空間の音響環境構築 (応用音響) - (音響・超音波サブソサイエティ合同研究会), 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 115, No. 424, pp. 19-26 (2016). <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020736743/>.
- [18] 北岸佑樹, 米澤朋子: 多人数授業における聴講姿勢に対応する AR 型足音 TA の提案 (教育工学), 電子情報通信学会技術研究報告 = IEICE technical report : 信学技報, Vol. 116, No. 438, pp. 7-11 (2017).