

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 多地点遠隔講義環境における つぶやき共有手法に関する研究  |
| Author(s)    | 原, 智英   |
| Citation     |   |
| Issue Date   | 2018-03   |
| Type         | Thesis or Dissertation  |
| Text version | author  |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/15212">http://hdl.handle.net/10119/15212</a> |
| Rights       |   |
| Description  | Supervisor:長谷川 忍, 情報科学研究科, 修士   |

# 修士論文

多地点遠隔講義環境における  
つぶやき共有手法に関する研究

1510045 原 智英

主指導教員 長谷川 忍  
審査委員主査 長谷川 忍  
審査委員 白井 清昭  
池田 心

北陸先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科

平成 30 年 2 月

# 目次

|       |                 |    |
|-------|-----------------|----|
| 第1章   | はじめに            | 1  |
| 1.1   | 背景              | 1  |
| 1.2   | 目的              | 3  |
| 1.3   | 論文の構成           | 3  |
| 第2章   | 既存の遠隔講義について     | 4  |
| 2.1   | 遠隔講義の分類         | 4  |
| 2.1.1 | 時間軸による分類        | 4  |
|       | 同期型             | 4  |
|       | 非同期型            | 5  |
| 2.1.2 | 受講者の空間的自由度による分類 | 5  |
|       | 集合型             | 5  |
|       | 個別型             | 5  |
| 2.2   | 既存の同期型遠隔講義システム  | 6  |
| 2.2.1 | ビデオ会議システム       | 6  |
| 2.2.2 | Web 会議システム      | 6  |
| 2.3   | 本研究における対象講義     | 7  |
| 2.4   | 想定する環境          | 7  |
| 第3章   | 関連研究            | 9  |
| 3.1   | 遠隔講義の課題に関する関連研究 | 9  |
| 3.2   | 音声情報に関する関連研究    | 10 |
| 第4章   | 提案手法            | 11 |
| 4.1   | つふやき共有モデル       | 11 |
| 4.2   | つふやきの取得         | 12 |
| 4.3   | つふやきの可視化        | 12 |

|       |                                   |    |
|-------|-----------------------------------|----|
| 第 5 章 | システムの設計                           | 15 |
| 5.1   | ユースケース図 . . . . .                 | 15 |
| 5.2   | 状態遷移図 . . . . .                   | 15 |
| 第 6 章 | プロトタイプの実装                         | 19 |
| 6.1   | API . . . . .                     | 19 |
| 6.1.1 | WebRTC . . . . .                  | 19 |
| 6.1.2 | Web Speech API . . . . .          | 20 |
| 6.1.3 | ニフティクラウド mobile backend . . . . . | 22 |
| 6.2   | 開発環境及び実行環境 . . . . .              | 22 |
| 6.3   | 機能 . . . . .                      | 22 |
| 6.3.1 | ユーザインタフェース . . . . .              | 22 |
| 6.3.2 | ログイン機能 . . . . .                  | 22 |
| 6.3.3 | Web 会議モジュール . . . . .             | 23 |
| 6.3.4 | つぶやき共有モジュール . . . . .             | 23 |
| 6.4   | 性能試験 . . . . .                    | 24 |
| 第 7 章 | ケーススタディ                           | 25 |
| 7.1   | 目的 . . . . .                      | 25 |
| 7.2   | 方法 . . . . .                      | 26 |
| 7.2.1 | 被験者 . . . . .                     | 26 |
| 7.2.2 | 手順 . . . . .                      | 26 |
| 7.3   | 結果 . . . . .                      | 27 |
| 7.3.1 | 理解度や興味とつぶやき量の関係 . . . . .         | 27 |
| 7.3.2 | 音声認識精度 . . . . .                  | 27 |
| 7.3.3 | つぶやきの表示方法による印象の違いについて . . . . .   | 29 |
| 7.4   | 考察 . . . . .                      | 30 |
| 7.4.1 | 理解度や興味とつぶやき量の関係 . . . . .         | 30 |
| 7.4.2 | 音声認識精度 . . . . .                  | 30 |
| 7.4.3 | つぶやきの表示方法による印象の違いについて . . . . .   | 30 |
| 第 8 章 | おわりに                              | 32 |
| 8.1   | まとめ . . . . .                     | 32 |
| 8.2   | 今後の課題 . . . . .                   | 33 |
| 謝辞    |                                   | 34 |

|           |    |
|-----------|----|
| 参考文献      | 37 |
| 付録 A 付録 1 | 38 |
| 付録 B 付録 2 | 47 |

# 第1章

## はじめに

### 1.1 背景

情報通信技術 (ICT) の高度化とインターネットの普及により情報量が爆発的に増大しているグローバルな現代社会においては、情報の量や質だけでなく、情報の伝達速度が重要な要素となっている。こうした社会的要望の高まりから、時間や空間の制約を超えて学習機会を提供したり、学習の質を向上させたりすることを目的とした「遠隔講義」が注目されている [1]。なお、本研究では、「遠隔講義」を「ICT を活用して地理的・時間的に離れた拠点を接続することにより、教育や学習、会議の機会や質の向上を促進する取組の総称」とする。

近年では、国立情報学研究所 (NII) が 2016 年度より提供を開始した、日本国内の高等教育機関を 100G フルメッシュで接続する基幹回線網である学術情報ネットワーク SINET5 の運用拡大や、専用機器によるビデオ会議システムの高性能化、PC ベースの Web 会議システムの低価格化などに伴い、地理的・時間的な制約を受けずに遠隔地で講義を受講できる環境が整いつつある [2]。

こうした技術革新の中、通学制の大学においては平成 10 年 3 月より遠隔教育による単位が認定され [3]、全日制・定時制課程の高等学校においても平成 27 年 4 月より遠隔教育の導入が解禁されている [4]。更に平成 29 年 4 月の内閣府による「規制改革推進会議」では中学校でも単位認定の検討が進められている [5]。遠隔教育の活用が、不登校や病気療養中の生徒への学習ニーズの対応や図 1.1 のように少子化による生徒数の減少を原因とする教員不足といった問題への有効な解決策となり得るとされ、社会的にも遠隔講義の必要性が高まっていると言える。そういった状況の中、文部科学省に設置された「高等学校における遠隔教育の在り方に関する検討会議」では遠隔教育導入にあたっての留意点として「配信側の教員が、生徒との間で十分に質問等のやりとりを行うとともに、適切に学習評価を行うことができる環境であること」や「これま

での直接対面の授業を再現するだけでなく、授業の在り方を再構築すること」が上げられており [6]、インタラクティブ性や既存の学習法とは異なったアプローチが求められている。

遠隔教育には様々な形態が存在するが、本研究では映像・音声情報をリアルタイムに拠点間で通信するシステムを中核として、異なる拠点間の参加者が同時帯にコラボレーションしながら教育・学習活動を行う同期型遠隔講義を主な対象とする。こうした同期型遠隔講義の特徴の一つとして、地理的に離れた拠点間の全てのコミュニケーションがシステムを経由して行われることが挙げられる [7]。しかしながら、こうしたシステムの構成や性能に起因する遠隔拠点間のコミュニケーションの品質や頻度の制約により、従来の対面型講義と比較して、講師が受講者側の理解状況や反応を把握することが困難であることや、受講者の質問への躊躇、講義への参加意識の低下、臨場感の不足といった問題点が指摘されている [8]。

さらに、現在一般に利用されているビデオ会議システムにおいては、不要なノイズを低減するノイズリダクション機能だけでなく、スピーカの音声をマイクが拾って増幅を繰り返すハウリングや、ある拠点の音声が他拠点で拡声・集音されて自拠点に戻ってくるエコーなどといった現象を防止するためのエコーキャンセラ機能が十分でなく、発言中の拠点以外のマイクをミュートにして遠隔講義を実施するケースも少なくない。これにより、特に3つ以上の拠点が同時に接続される多地点遠隔講義において、講師側で複数の拠点の受講者の状況を把握することや、受講者が他の拠点との一体感を感じる事が非常に困難となっている [9]。

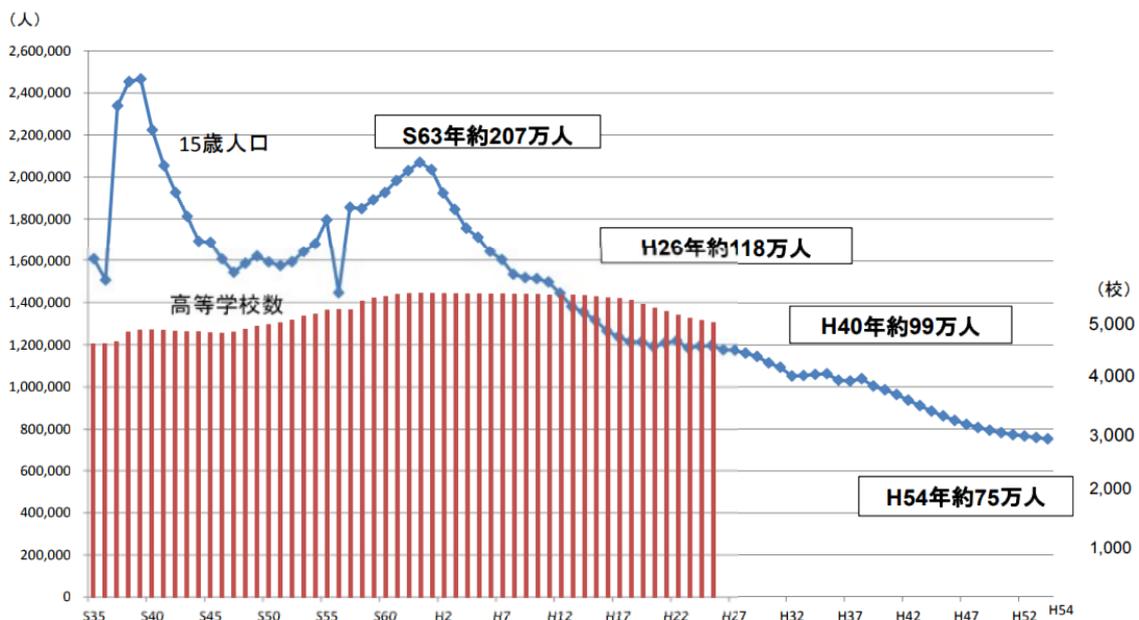


図1.1 15歳人口の推移と高等学校数推移  
引用元: 文部科学省「遠隔教育関連データ」

## 1.2 目的

本研究の目的は、音情報による参加者間のインタラクションが難しい多地点遠隔講義環境において、通常他地点に配信されていない音声を含めた音情報に着目することで、遠隔地の受講者の講義に対する反応を収集し共有するシステムを開発することである。これにより、遠隔講義中に講師が受講者の状態を把握して講義内容に反映させたり、受講者間で反応を共有することによる講義の臨場感向上を支援したりすることが期待できる。

## 1.3 論文の構成

第1章で本研究の背景および課題と目的について述べた。続く第2章では、遠隔講義の分類と既存の遠隔講義システムについての特徴と問題点について述べる。その後第3章で関連研究について紹介し、第4章は問題点の解決のため本研究で提案する手法について述べる。第5章ではシステムの設計を述べ、続く第6章で作成したプロトタイプについて述べる。第7章では提案手法を評価するためのケーススタディについて述べる。第8章では、本研究のまとめ、今後の課題についてまとめる。

## 第 2 章

# 既存の遠隔講義について

本章では，遠隔講義の構成に関する分類を行い，その特徴や課題について特に同期型遠隔講義の観点から議論する．また，現在一般に利用されている遠隔講義システムについて紹介するとともに，本研究における講義対象について詳述する．

### 2.1 遠隔講義の分類

ここでは，参考文献 [10][11] を参考に，拠点間コミュニケーションを時間軸と受講者の空間的自由度を遠隔講義を議論する際の分類軸として採用する．

#### 2.1.1 時間軸による分類

##### 同期型

同期型遠隔講義では，映像や音声，プレゼンテーション等といった情報をリアルタイムに拠点間通信することで，異なる拠点の講師や受講者が同時時間帯にコラボレーションを行う．これらの形態が有効な場面として，(1) 複数拠点の受講者に教授活動を同時配信，(2) 講師や受講者の物理的移動が困難な場合，等が学習機会の増加に資するものとして挙げられている [11]．しかしながら，講師側と受講者側がコミュニケーションの量や質の面で非対称であるため，講師側において受講者側の状況や反応を把握することが難しい場合や，受講者側の臨場感，特に講師から見られているという感覚，が低く緊張感を保ちにくいといった，同期コミュニケーションに関わる課題も指摘されている [12]．典型的には，後述するビデオ会議システムや Web 会議システムが利用されている．

## 非同期型

非同期型遠隔講義では、あらかじめ収録されてサーバ上で蓄積された講義コンテンツを、受講者がいつでもどこからでも学習できる形態である。こうした学習環境は、(1)多くの受講希望者に時間や場所の制約なく講義内容を配信する場合、(2)繰り返し視聴や隙間時間視聴など、学習者のニーズに合わせた主体的な学習を行う場合、などで重要な役割を果たす。しかしながら、全ての参加者が非同期で参加するため、参加者間のコミュニケーションは相対的に低くならざるを得ず、これらを掲示板やソーシャルネットワークサービスによって補完する手法などが取られている [13]。

### 2.1.2 受講者の空間的自由度による分類

#### 集合型

集合型とは拠点毎に受講者が集まって講義を行う形態である。このような形態では一般に講義室に設置された専用のビデオ会議システムを利用して接続される。講師側の拠点に受講者がいる場合といない場合、受講者の拠点が1つの場合と複数の場合、情報伝達のために主に利用されるメディア等の違いで、システムの構成や要求される機能が異なることが指摘されている [11]。非同期で集合型の形態は、免許更新時の講習会等、講義内容が事前に収録されたビデオを受講者が集まって視聴するといった形式で利用されることがある。

#### 個別型

個別型とは、受講者がそれぞれ PC 等を利用して接続することで異なる場所で学習することができる形態である。同期かつ個別型の遠隔講義の実現方法としては、後述する Web 会議システムが挙げられる。また、3D 仮想空間である SecondLife などといったメタバースを利用することで、講師や受講者がアバターとして参加することで、参加者間のプレゼンスを高めたり、スムーズなコラボレーションを実現しようとする研究も行われている [14]。非同期の場合はほとんどのケースで個別型が想定されており、高等教育機関においてシラバスや講義ノート・スケジュール・演習問題・試験問題・講義映像等をフリーかつオープンに公開する OCW [15] や、短時間に分割された動画に加えて、受講者コミュニティやオンラインテスト等から構成される大規模オンライン教育プラットフォームである MOOC[16]、講義室で行われる対面講義をデジタルデータとして収録し、講義の予復習や対面講義の代替として利用する講義アーカイブ [17] などが挙げられる。

## 2.2 既存の同期型遠隔講義システム

### 2.2.1 ビデオ会議システム

ビデオ会議システムとは，自拠点の映像音声を収録するカメラ・マイク，他拠点の映像・音声の出力，アナログ／デジタル信号変換やデジタル信号の送受信を行うコーデックといった機能を比較的小さな筐体にまとめた専用機器である．映像・音声の送受信にあたっては，IP（Internet Protocol）ベースのマルチメディア・リアルタイム通信に関する標準規格である H.323 プロトコルや同じく IP ベースのテレビ会議・電話のための呼制御プロトコルである SIP プロトコルに対応することで，ネットワークやプラットフォーム，アプリケーションから独立した形で P2P による相互接続性が担保されている．さらに，近年の講義で多用されるようになったプレゼンテーションを配信するために，テレビ会議で 2 つ以上の映像を同時配信するために国際標準化された規格である H.239 プロトコルにより，異機種間での接続性が向上し，遠隔講義の実現が容易となった．ビデオ会議システムは基本的に P2P による接続が行われるため，そのままでは複数拠点を接続することができない．この問題を解決するために，多地点接続装置（MCU）が必要となる．ビデオ会議システムから独立した専用 MCU の場合は，接続される複数拠点のビデオ会議システムのプロトコルの違いを吸収し，それぞれに最適な品質の映像音声を送受信することができる．一方，ビデオ会議システムに MCU 機能が付加されている場合は，気軽に多地点接続が実現できるが，接続拠点数の制約が大きかったり，異なる品質の拠点がある場合に最も低い品質の拠点で接続されるなど性能面でのデメリットもある．2007 年頃からは HD(High Definition) 品質の映像の送受信が可能な機器が市販されるようになり，また，エコーキャンセラやノイズキャンセラなどの機能が豊富であるため，講義室や会議室にインテグレーションされ，同期集合型の遠隔講義のインフラとして利用される．[2]

### 2.2.2 Web 会議システム

Web 会議システムとは，PC 向けアプリケーションや Web ブラウザに対するプラグインなどの形でコーデックが提供されるシステムであり HTML5 ベースのリアルタイム通信プロトコルである WebRTC や専用プロトコルにより，サーバ-クライアントで複数の端末を接続する仕組みとなっている．PC1 台につき 1 人または少人数で利用することが多く，一つの遠隔講義に数台から数百台が同時に接続して参加することができるが，異なるアプリケーション間での互換性は低い．市販品だけでなく国立情報学研究所で開発された WebELS ようなオープンソースによるプロジェクトも存在し

ており [18], ビデオ会議システムと比較すると映像・音声の品質や安定性にはやや劣る傾向があるものの, ファイル共有や画面共有, チャット等といった拠点間のコラボレーションをサポートする機能を有しているため, 同期型個別 (または少人数) の遠隔教育のインフラとして活用されている. [2] また, 近年ではゲートウェイを導入することで, ビデオ会議システムと Web 会議システムのそれぞれの特徴を活かした運用の事例も報告されている. [19]

表2.1にビデオ会議システムと Web 会議システムの特徴を比較したものを示す.

表2.1 システムの比較  
引用元: 「eラーニング/eテストング」

|    | ビデオ会議システム   | Web 会議システム   |
|----|---|--|
| 接続 | H.323, SIP 等による P2P<br>上下対称通信・互換性高<br>多地点接続には MCU が必要 | サーバ-クライアント (独自規格)<br>上下非対称通信・互換性低<br>ライセンスによる多地点接続 |
| 性能 | ハードウェアコーデック<br>専用 DSP により高品質・安定性                      | ソフトウェアコーデック<br>クライアント CPU 性能に依存                    |
| 用途 | 集合・同期型  | 個別・同期型   |
| 機能 | H.239 によるデュアルストリーム<br>エコー・ノイズキャンセラ                    | アプリケーション・ファイル共有<br>http トンネリング                     |
| 利点 | 高品質・安定性・低遅延   | 低価格・手軽・協調作業可                                       |

## 2.3 本研究における対象講義

既存の専用ビデオ会議システムはハードウェアとソフトウェアが密接に結合されており, 新たな機能の追加が困難である. そこで, 実装が容易でかつ必要となる端末が最小限となるように本研究は同期, 個別型の Web 会議システムを用いて行われる講義を対象とする. またこの講義を多地点遠隔講義と呼称する.

## 2.4 想定する環境

本研究において想定する多地点遠隔講義環境を図2.1に示す. インターネットに接続された PC のみで実現できる遠隔講義環境となっている. 講師による講義の映像と音声をリアルタイムに多地点に配信し, 受講者はカメラとマイクのあるラップトップ PC 等の端末上で視聴する. また, 受講者自身の顔周辺の映像を講師, 他受講者へと配信し, 質問等は任意のタイミングで発言可能であるものとする.

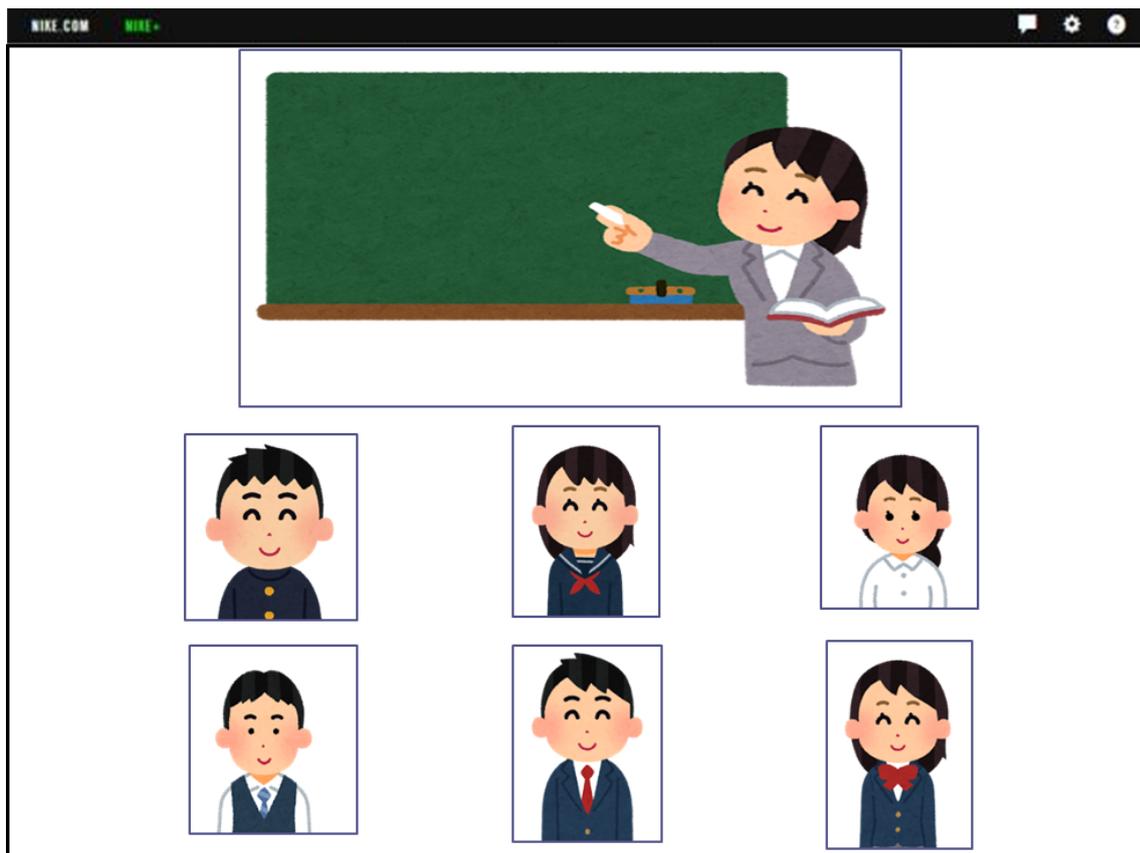


図2.1 想定する多地点遠隔講義環境

## 第 3 章

# 関連研究

### 3.1 遠隔講義の課題に関する関連研究

遠隔講義に関する研究は，2000年代初頭の離れた拠点間コミュニケーションのインフラとしての効果や評価に関する実践的な研究から，コミュニケーションの品質や頻度をいかに改善し，遠隔講義そのものをいかに促進するかを目指す研究にシフトしている [2].

映像面に関する研究としては，半透過スクリーン（ハーフミラー）を利用して，他拠点の画面表示の後方に講師用カメラを設置することで，講師の視線を受講者に向けさせて臨場感を向上させる試み [8][20] や，没入型ディスプレイに相手拠点の広視野角映像を実時間で生成することで臨場感を実現する手法 [21] 等，主に同期集合型の遠隔講義を対象とした研究が行われている。

一方，物理的なデバイスや協調作業環境を活用することでソーシャルテレプレゼンスや遠隔協調活動を向上させる取り組みも行われている [22][23]. 加えて音嶋らは，同期型遠隔講義における講師の感情やニュアンスを映像エフェクトとして，受講者の理解度や関心度などをボタンによるフィードバックとして表現する遠隔教育システムを実装し，受講者の反応により授業の臨場感が再現できたことを示している [24]. また，伊藤らは，遠隔会議においてアバターを利用することにより，発言者や意見の指示状態を視覚化することで，全参加者が同じ空間に存在する感覚を表現している [25].

さらに大西らは，非同期型遠隔講義環境においてマルチモーダルインタフェース (Kinect® など) を用い，顔表情，姿勢，動作，音声などを観測して雰囲気情報を取得，可視化することにより，別々の時刻に受講している受講者間の横のつながりを持った学習体験の実現可能性を示している [26].

しかしながら，本研究が対象とする多地点同期型遠隔講義環境において雰囲気を取得，可視化する研究は，従来には見られないものであるといえる。

## 3.2 音声情報に関する関連研究

音声情報を利用した雰囲気推定に関しても様々な研究がなされている。

田中らは非同期遠隔講義において、学習者の日々の学習活動を支援するメンタリングに活用するため、負荷の小さい意思表示として、学習中の呟きに注目し、記録するシステムを構築し、振る舞いと呟きの記録を合わせて観察することで意思表示の強さが推察できることを示している [27].

酒造らは、スマートフォンを用いて、音声情報を分析することによるストレス等の気分状態の判別を行い、アンケートによる主観評価と相関があることを示している [28].

秦らは、心拍数を目標変数、緊張と関連すると思われる音声パラメータを説明変数とする重回帰分析により、音声より推定された心拍数と実際の心拍数変化の類似を指摘している [29].

乙井らは、対面型講義環境において受講者のささやき声等の私語によるざわめき情報の大きさと直感的理解度に相関があることを示している [30]. 岸らは、対面型講義環境において、学生と講師がどのように講義の雰囲気を認知しているのかの検討、分析を行い、講義の雰囲気を「統制的雰囲気」、「自由・積極的雰囲気」、「喧騒的雰囲気」の3因子で説明可能であることを示唆している [31].

このように、音声情報には、学習者の雰囲気を推定する上でのポテンシャルがあると考えられることから、本研究では多地点同期型遠隔講義で普段あまり利用されていない受講者の音情報を有効活用しながら講義中の状態を推定することを目指す。

## 第 4 章

# 提案手法

本研究では，多地点遠隔講義環境において通常他地点に配信されていない受講者の音声を含めた音情報に着目する．具体的には，講義中に受講者が講義内容に関連して発した独り言やフィラー，オノマトペのような音声をつぶやきと呼び，これを収集するとともに，可視化することで参加者間でその内容を共有できるようにする．これにより，従来の遠隔講義において課題となっていた，講師が受講者の状態を把握して講義内容に反映することや，受講者間の参加意識の向上を支援することが期待できる．

### 4.1 つぶやき共有モデル

図4.1に本研究で提案する多地点遠隔講義におけるつぶやき共有モデルを示す．ここでは，講師 1 拠点と受講者 2 拠点から構成された遠隔講義の例となっており，講師側の映像・音声は講師側端末のカメラおよびマイクを入力源として，P2P 接続された受講者側に遠隔講義システムを通じて配信される．受講者側の映像についても受講者側端末のカメラを入力としてそれぞれ他の拠点へ配信されるが，受講者の音声については受講者が指定したときのみ配信される．つぶやき共有システムは，受講者の端末のマイクから音データを取得し，文字情報に変換して他の拠点へ配信することで，講師，各受講者に共有される．なお，受講拠点が増減しても同様の形式で接続することにより講義の配信およびつぶやきの共有が可能である．前節の関連研究で述べた通り，非同期遠隔講義における負荷の小さい意思表示や対面講義における直感的理解度につぶやきや私語が利用されていることから，同期型遠隔講義においても同様の情報は有望であると想定される．そこで，本研究では以下の 2 つの課題を解決することを目指す．(1) 受講者のつぶやきをいかに共有可能な形で取得するか？(2) 取得したつぶやき情報を講義の進行やコミュニケーションの妨げにならないようにいかに可視化するか？

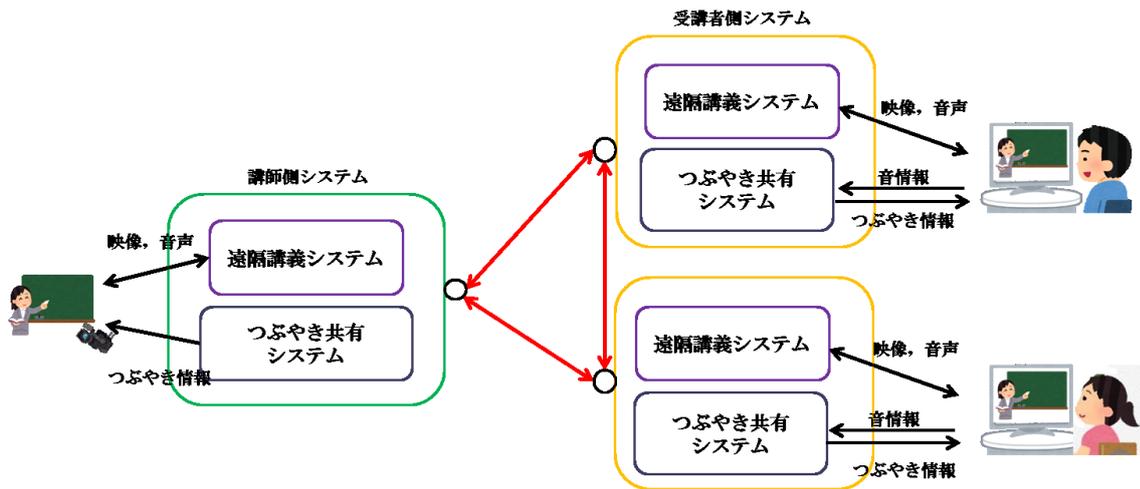


図4.1 つぶやき共有モデル

## 4.2 つぶやきの取得

本研究における多地点遠隔講義では、前述したエコーやハウリングの問題に対処するために、通常の設定では受講者側の音声を他の拠点に配信しない。これは、受講者側の端末でマイクをミュートにするわけではなく、図4.2に示すように受講者側の遠隔講義システム上で音声情報を受け取らずに、つぶやき取得処理を行う。一般に受講者側の音情報は音声情報だけでなく、キーボードやマウスなど端末周辺機器の操作音や受講者側の環境音など様々なものが考えられるが、ここでは特別な機器を利用せず端末のマイクで取得した音情報を入力として扱う。音情報を共有可能な形に変換するために、本研究では近年性能向上が著しい音声認識手法を適用する。近年の対話型音声操作が可能なスマートスピーカやスマートフォンを見てもわかる通り、人間の音声をかなり高い精度で認識できるようになっている。本研究は音声認識そのものの研究ではなく、遠隔講義の制約のために欠落しがちな音情報をいかに有効利用するかという立場の研究であるため、利用可能な音声認識 API を活用して音声認識を文字情報としてデータベースに蓄積できるようにするというアプローチを採る。

## 4.3 つぶやきの可視化

音情報を文字情報として蓄積することによって、テキストデータとして各拠点に提示することは容易となる。しかしながら、特に講師の立場では端末画面を講義中ずっと注視できるわけではなく、ホワイトボードや書画カメラへの筆記作業や、多くの受講者の映像確認等も行う必要があり、図4.3左に示すようにつぶやきを単純にリス

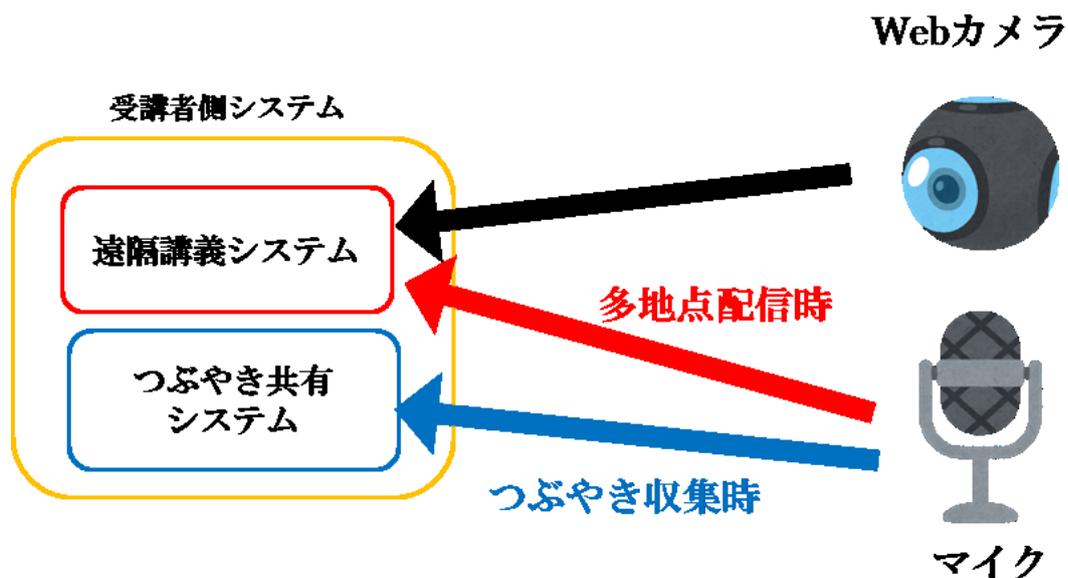


図4.2 マイク音声の出力先切替

ト表示するだけでは、講師が受講者の状況を的確に把握するのは困難ではないかと思われる。特につぶやきの数が増加するにつれて、コメントが流れてしまうような表示方法は受講者が多くなる可能性のある多地点同期型遠隔講義では十分ではない。また、ニコニコ動画に代表されるようなコメントを映像の中に埋め込む手法は多人数の視聴者がいる環境でも利用されているが、講義中の映像が多数のコメントで視聴しづらくなったり、やはり短時間でコメントが流れてしまったりといったデメリットがあり、講義という文脈の中では適用が困難であると思われる。これらのことから本研究では、図4.3右に示すような階層的なつぶやきの可視化手法を提案する。本手法はユーザ毎に最新のおつぶやきを表示するとともに、ユーザ画面右上におつぶやきの数を提示する。これにより、画面を注視していなくても件数の多いユーザが直感的に理解でき、また、セレクトでユーザをクリックすることで選択したユーザのおつぶやきが一通り表示できるため、時系列よりも効果的な可視化が可能になる。

```

student_ddd:本当のせ解では大又天
student_fd:結婚
student_fd:スマステ 札幌周辺でも2で貼れる 1月のアイコンに変更を行った状
況になっています
student_ddd:充電できない
student_ddd:怒ってるところもあるんですけども
student_fd:助けられているところもあると
student_fd:どちら でも ない
student_fd:アイコン 変更
student_fd:北海道のエリアではちっちゃい子が流れ込んでいて検索してくださ
い
student_ddd:桃の木まで
student_ddd:ございます
student_ddd:ポケモンに強いからゆっくり撮っちゃった
student_ddd:流れ込む 展開でしたので そちらでは エアコン 大きめに立ってい
てもなくて
student_ddd:ここでは
student_fd:天気アプリをドコモ発信し始めてくる
student_fd:カーピィ マスコットになったのに来ないや この辺りでは歓喜の小物
セット
student_fd:ここに掛けてはだんだん入っていくやつ
student_ddd:ここに掛けてはだめ
student_fd:ともこに
student_fd:初めて来ましてもしっかりしたいですね
student_fd:ハルカス 周辺
student_fd:適当な彼は当たりですして扱われてきたりなんだから
student_fd:京都 花灯路 幸手
student_fd:周辺で発見しまして こちらの事故
student_fd:アイコンどうでした
student_ddd:超本格的
student_fd:この近所は今もありそうでしたので

```

タイムライン表示



```

student_ddd View
赤ちゃんでも - 2018-02-06T12:06:33.687Z
どこまでも - 2018-02-06T12:06:40.273Z
朝7時に - 2018-02-06T12:06:52.465Z
あいうえお - 2018-02-06T12:07:05.052Z
本当のせ解では大丈夫 - 2018-02-06T12:07:08.453Z
充電できない - 2018-02-06T12:07:27.863Z
怒ってるところもあるんですけども - 2018-02-06T12:07:32.191Z
桃の木まで - 2018-02-06T12:07:55.085Z
ございます - 2018-02-06T12:08:54.421Z
ポケモンに強いからゆっくり撮っちゃった - 2018-02-06T12:09:26.754Z
流れ込む 展開でしたので そちらでは エアコン 大きめに立っ
ていてもなくて - 2018-02-06T12:09:35.259Z
ここでは - 2018-02-06T12:09:47.508Z
ここに掛けてはだめ - 2018-02-06T12:11:16.495Z
でも - 2018-02-06T12:15:19.498Z
思ったんですけども - 2018-02-06T12:15:50.069Z
電話 - 2018-02-06T12:16:40.649Z
おバカ レポーター - 2018-02-06T12:17:54.935Z
大脱走 - 2018-02-06T12:19:02.753Z

```

階層表示

図4.3 表示比較

## 第 5 章

# システムの設計

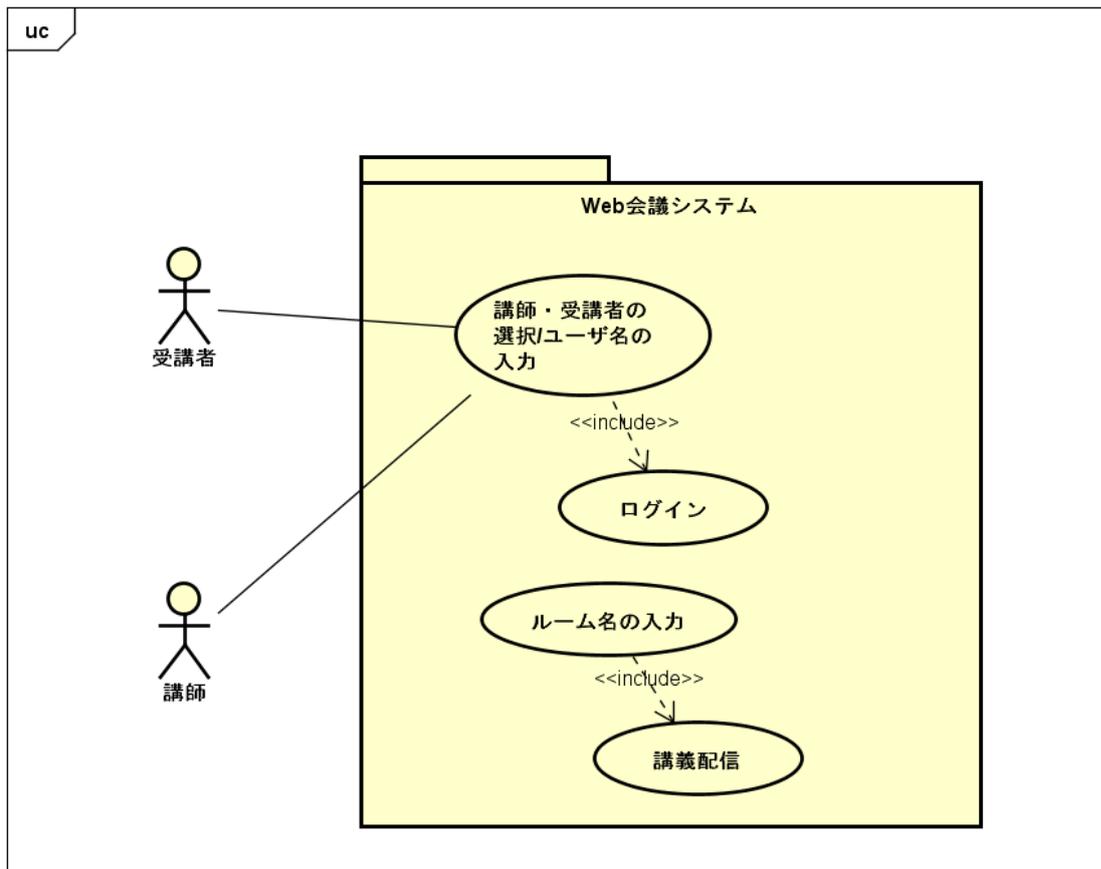
5.1 システム要件 遠隔講義における受講者のつぶやき情報を取得，可視化する際の技術的な要件は以下の通りである．(a) PC 上の簡易なアプリケーションとして，低遅延高品質な多地点の遠隔講義が実現できること．(b) 受講者端末のマイクから音情報を取得してつぶやき情報を文字情報として取得・蓄積できること．(c) 受講者端末から取得されたつぶやき情報を参加者端末に指定されたレイアウトで提示できること．

### 5.1 ユースケース図

開発する多地点遠隔講義システムのユースケース図を図5.1図5.2に示す．システムは Web 会議モジュールとつぶやき共有モジュールに分割される．講師および受講者は Web 会議モジュール上でログインを行った上で，遠隔講義を行う仮想的なルーム名を入力する．また，文字認識の評価を行うために音声録音機能も付加している．これらの設定終了後に映像・音声の送受信が行われる．つぶやき共有モジュールは，Web 会議モジュールからユーザ情報やルーム名を取得し，受講者の音声を Web 会議モジュールから横取りして音声認識を行ってその結果をつぶやき DB に保存する．同時に講師および受講者の端末に収集されたつぶやきを表示する．

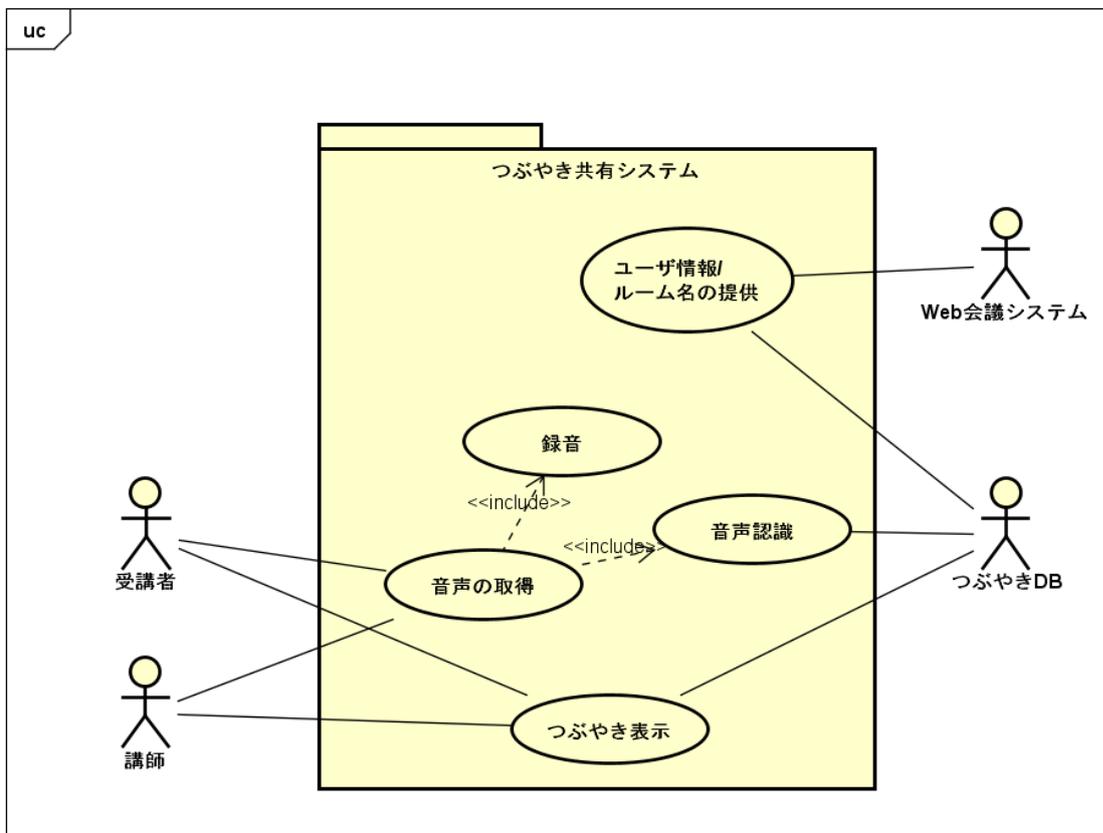
### 5.2 状態遷移図

図5.3に状態遷移図を示す



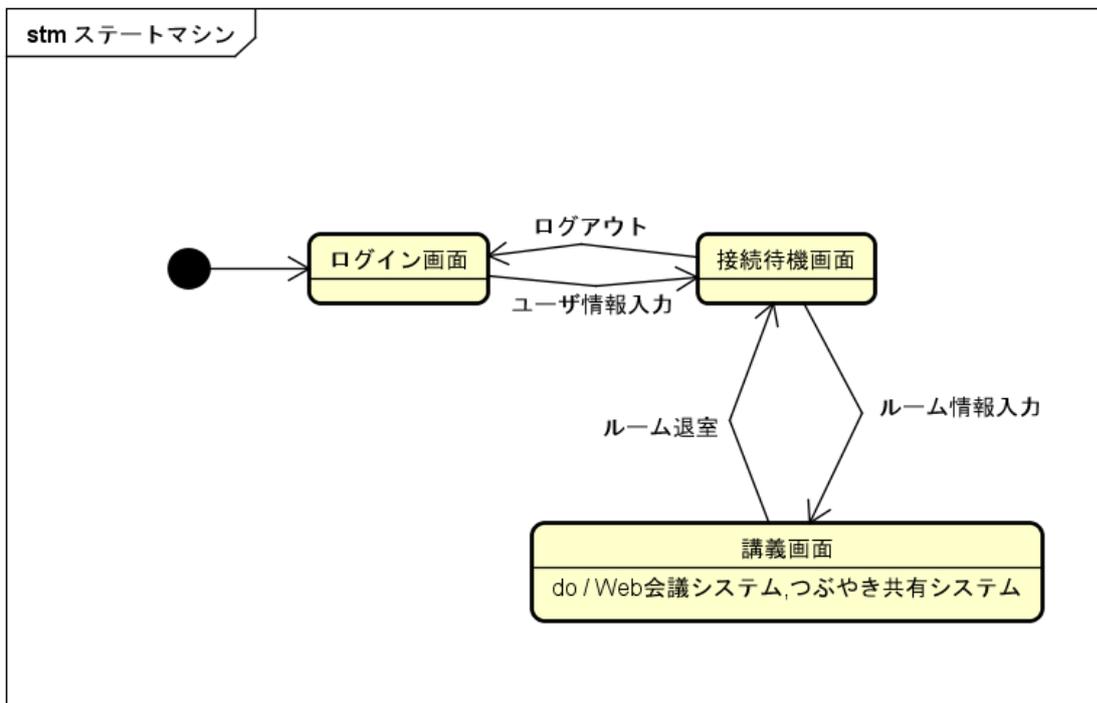
powered by Astah

図5.1 ユースケース図 (Web 会議システム)



powered by Astah

図5.2 ユースケース図 (つぶやき共有システム)



powered by Astah

図5.3 状態遷移図

## 第 6 章

# プロトタイプの実装

### 6.1 API

提案する機能を実現する上で、Web 会議モジュールやつふやき共有モジュールのうち汎用性の高い機能は開発工数の低減のために既存の API を活用した。本節では特に重要な役割を果たす三つの API について概説する。

#### 6.1.1 WebRTC

WebRTC とは、W3C が提唱する音声、映像、データのリアルタイム通信のオープン規格であり [32]，図 6.1 に示すように音声と映像のコーデック，P2P 通信手順，暗号化等のプロトコルから構成されている。対応ブラウザであれば OS を問わずプラグインなしで遠隔コミュニケーションを行うことができ，PC では，Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox, Safari, Opera の各 Web ブラウザに対応している。UDP ベースで通信されるため遅延が比較的小さい点に特徴がある。図 6.2 に示す通り，WebRTC は 2 つのチャンネルを持ち，メディアチャンネルは RTP/RTCP (Real-time Transport (Control) Protocol) を利用し，映像，音声を配信し，データチャンネルは SCTP (Stream Control Transmission Protocol) を利用し，データ交換を行う。また，本研究では図 6.3 のようなフルメッシュ接続ではなく図 6.4 のような SFU を利用した通信を使用する。サーバ (SFU) に対してのみ情報を送信することでフルメッシュ接続に比べて端末負荷軽減講義や各受講者の映像・音声をメディアチャンネルで送受信可能である。

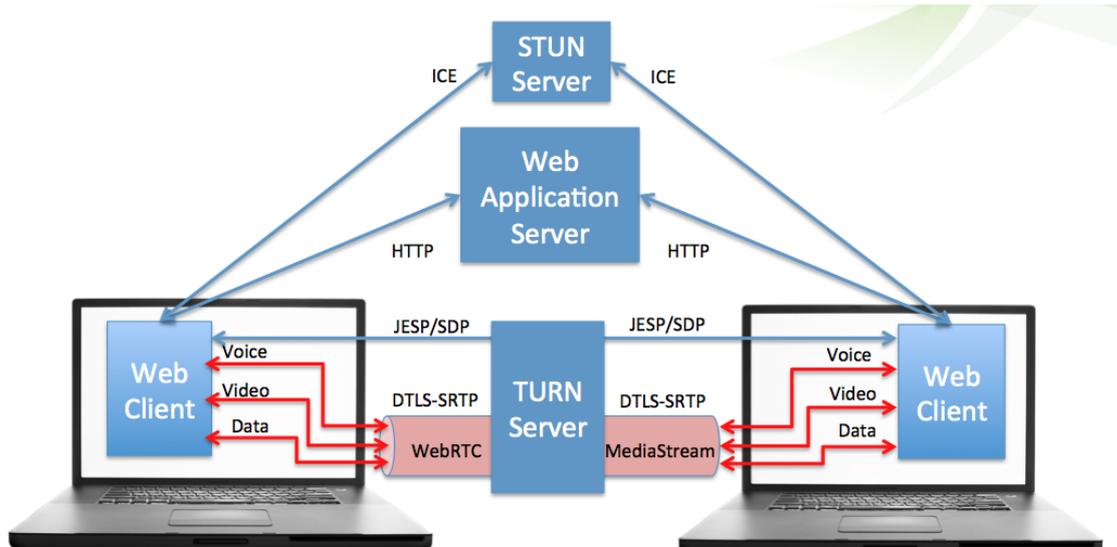


図6.1 WebRTC による接続の概念図  
 引用元:<https://www.script-tutorials.com/step-by-step-webrtc/>

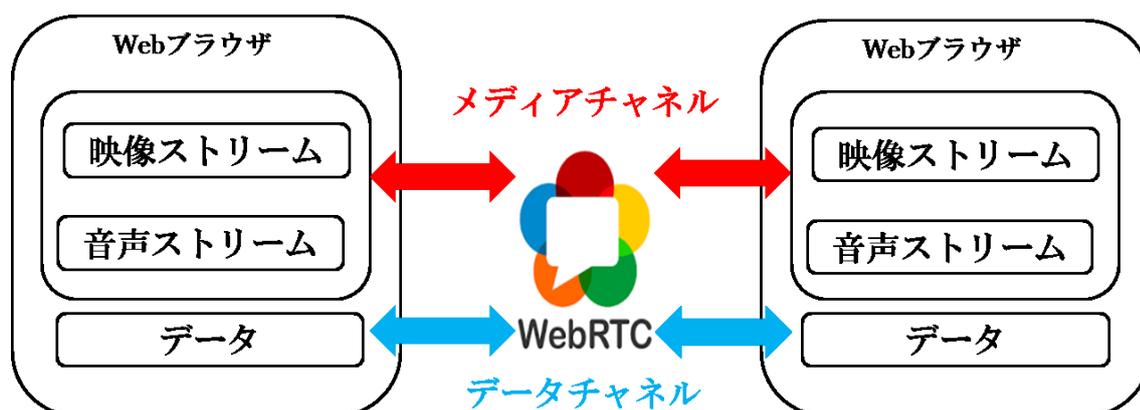


図6.2 2つのチャンネル

### 6.1.2 Web Speech API

Web Speech API とは、W3C が提唱する音声認識と音声合成を実現する Web アプリケーションを容易に開発できる Javascript API であり [33], PC では現時点で Google Chrome と Mozilla Firefox に対応している. 多くの音声認識 API で必要となるファイル化や認識処理のためのサーバが不要で、ストリーミングで音声認識が行える点が特徴である. また、8 か国語以上に対応しており、音声認識時に複数の候補の認識信頼度を取得することも可能である.

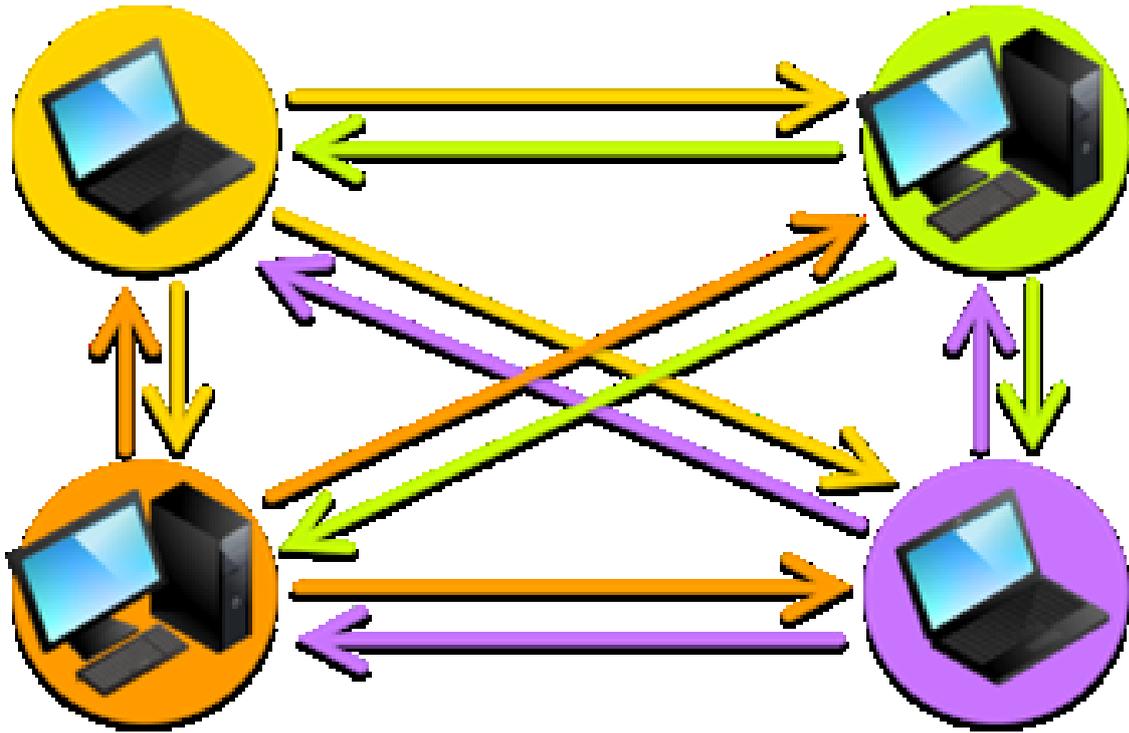


図6.3 フルメッシュ接続による多人数通話  
 引用元:<https://webrtc.ecl.ntt.com/sfu.html>

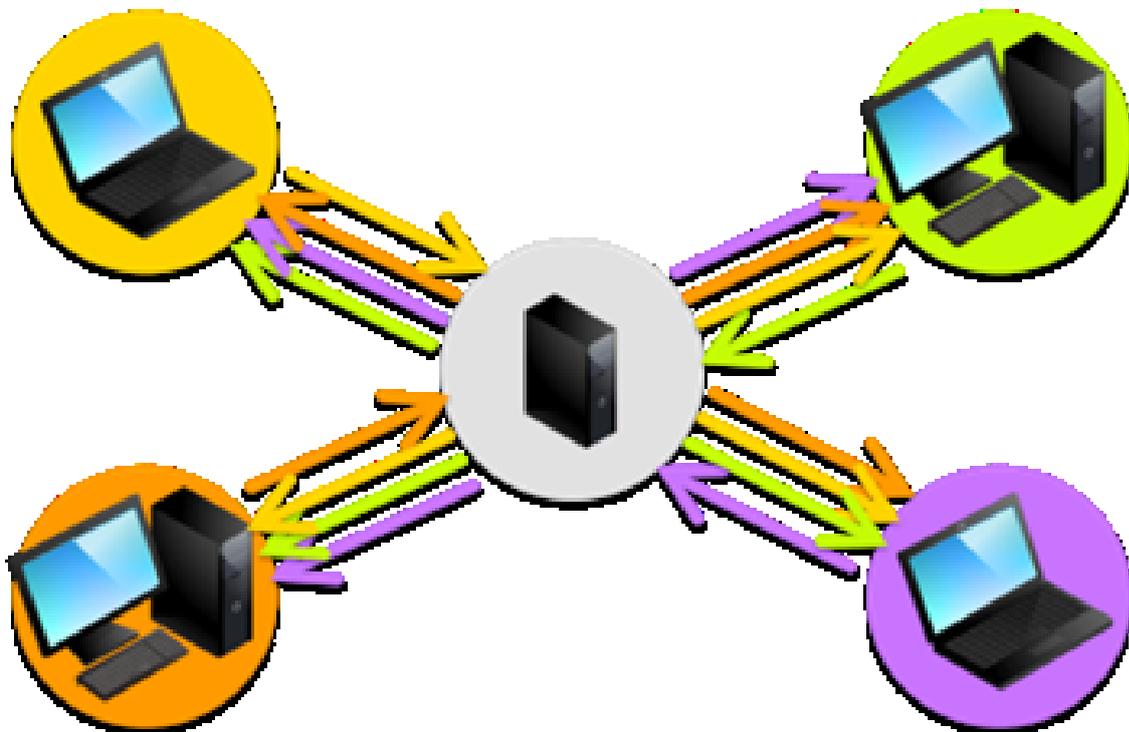


図6.4 SFU を使用した多人数通話  
 引用元:<https://webrtc.ecl.ntt.com/sfu.html>

### 6.1.3 ニフティクラウド mobile backend

「ニフティクラウド mobile backend」は、サーバーサイドの機能を、API や SDK を用いてクラウド上で提供する mBaaS (mobile Backend as a Service) である。多様なサーバーサイド機能を簡単に実装できるので、アプリ開発者はクライアントサイドの開発に専念できる [34]。本研究では、システムで利用されるつぶやきデータを保存、共有することができるデータベース機能を提供するデータストア機能を利用した。

## 6.2 開発環境及び実行環境

プログラム開発環境にはテキストエディタ「Atom」を利用した。開発言語は JavaScript であり、WebRTC のマッチングサーバ及び SFU には CPU に Core i5-2500S, メモリ 8GB を搭載した OS:Ubuntu(16.04.3 LTS (Xenial Xerus) に Apache2 をインストールし、html, javascript, css 各ファイルを配置することで実現した。開発したプロトタイプは API が対応している Web ブラウザ上であれば OS を問わずプラグイン不要で動作する。現時点で以下の環境で正常に動作することを確認している。

- OS:Windows 10,Browser: Google Chrome
- MacOS X,Browser: Google Chrome

## 6.3 機能

### 6.3.1 ユーザインタフェース

図6.5に開発したプロトタイプシステムのユーザインタフェースを示す。画面左側は Web 会議モジュールが表示されている。上部は講師側映像であり、1280\*720 ピクセルのサイズで固定表示されている。下部は受講側映像であり、受講者の映像が参加者分横に並ぶレイアウトとなっている。画面右側はつぶやき共有モジュールで、発言者 + 認識されたつぶやきが表示される。

### 6.3.2 ログイン機能

講師、受講者の選択及びユーザ名を送信することでログインできる。この時すでに使用されているユーザ名はエラーが表示され使用できないようになっている。接続待機画面では講師と各受講者が同じ文字列のルーム名を入力し、Join ボタンを押すことで6.3.1に接続できる。

The screenshot shows a web conference interface. On the left, a slide titled "Agenda" is displayed with a list of items:

- ◆ 背景
- ◆ 目的
- ◆ 関連研究
- ◆ 提案手法
- ◆ 評価実験
- ◆ まとめ

Below the slide is a small video window showing a participant. On the right, a chat window is open, displaying a conversation between several participants:

```

student_hara: 順番で書いていこうと人々で書いし 身書
student_miura: あーもういもうち
student_miura: すごい時間なのでけいさすときます
student_miura: ささき
student_hara: 家でもなんかこう 実験的には何か
student_hara: 山のデータの方が
student_miura: あーもうですね そういことは
student_miura: スマホ
student_miura: はい
student_hara: それと あと車検について
student_hara: 2時間
student_hara: ホンダ大学
student_hara: 私も
student_hara: あれ アンケート なんですけど正直
student_hara: 千鶴
student_hara: ポート 買ってもらったら
student_hara: 見つかったって言うにはありますか
student_hara: マイナスの方の解凍した際にはできるだけ
student_hara: プラスの方の配当した場合には
student_hara: 買った時は
student_hara: 大丈夫でしょうかね
student_muramatsu: はい
student_miura: なんです
student_hara: 最後なんか質問 みたいのないんです
student_hara: もし何か アンケートに不備とか買ったりしたらライブを投げてください
student_muramatsu: はい
student_miura: はい
student_hara: それでは
student_hara: 終了させていただきます
student_miura: ございました
student_hara: しゃべってくださいます
student_miura: はい お疲れ様です

```

図6.5 プロトタイプ (タイムライン表示)

### 6.3.3 Web 会議モジュール

Web 会議モジュールは、SFU モジュールで接続され、メディアチャネルで講師および受講者の映像・音声情報が配信され、データチャネルで文字化したつぶやき情報を相互に送受信している。なお、現在は 1 端末につきモジュールで設定したカメラ映像およびマイク 1 系統のみの送信が可能であり、PC 画面共有などの機能を実装していない。受講者の音声は通常次節のつぶやき共有モジュールに送信されるが、自身の映像の上部にある Speech ボタンを押すことで他の拠点へ音声を配信することができる。

### 6.3.4 つぶやき共有モジュール

つぶやき共有モジュールは Web 会議モジュールから受け取った受講者の音声ストリームを WebSpeech API を通して文字情報に変換し、ニフティクラウド mobile backend に保存する。つぶやきの表示は図6.5に示すタイムライン型の表示方法と図6.6に示す階層型の表示方法が実装されており、対象の URL に移動するすることで表示方法を変更できるようになっている。

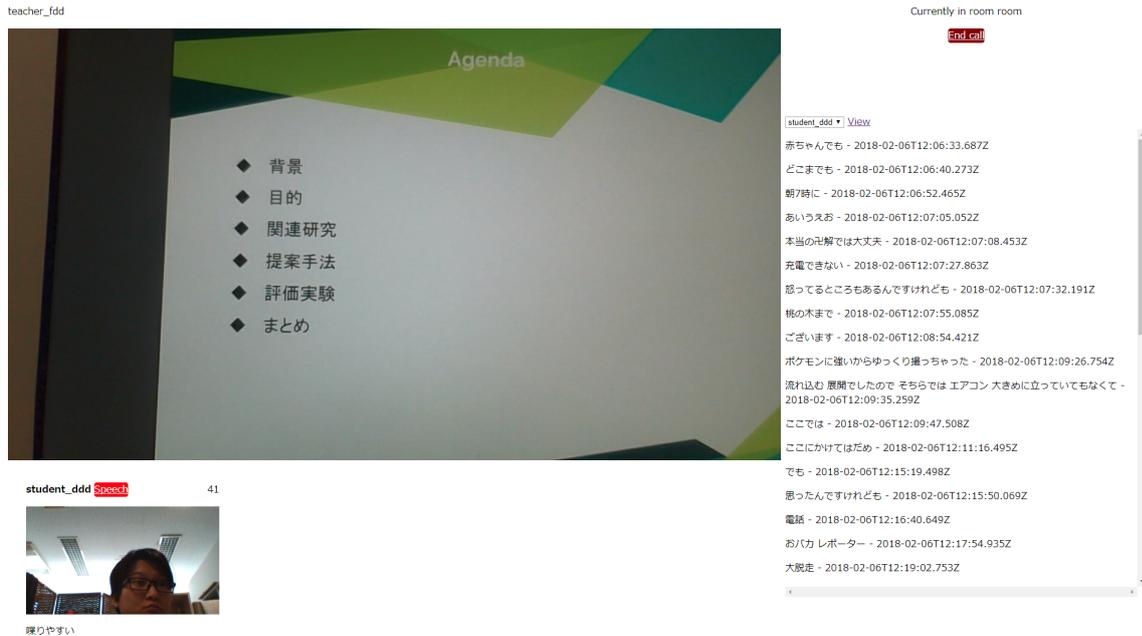


図6.6 プロトタイプ (階層表示)

## 6.4 性能試験

開発したプロトタイプが正常に動作するかどうかを確認するために簡単な性能試験を行った。具体的には、プロトタイプシステムがどの程度の端末と接続可能であるかについて CPU 使用率とビットレートの測定を行うことで検証した。また、各端末のつぶやきに対して全端末で同期がとれているか及び発声が終わってから表示するまでのタイムラグを確認した。なお、測定に使用した端末は CPU に i7-5500U、メモリを 8GB 搭載した VAIO 製 VAIO Pro 13 |mk2、性能試験に利用した端末は 3 台で、OS は Windows 10、Web ブラウザは Google Chrome を利用した。

1. 講師の動画送信は 2.7Mbps であり、エンコードに CPU22% 受信側のデコードは 10% であった。
2. 受講者の動画送信は 0.7bps であり、エンコードに CPU3% 受信には 1 端末あたり CPU6% であった。
3. つぶやき終わって約 1 秒後には全ての端末で文字に変換されたつぶやきが表示された。

## 第7章

# ケーススタディ

本章では，開発した遠隔講義システムのプロトタイプを利用して模擬遠隔講義を行い，受講者のつぶやきを収集・共有することで，提案手法の効果と課題に関する予備的な検討を行った．

### 7.1 目的

予備実験の目的は，以下の2つのリサーチクエスチョンに対してそれぞれ設定した副目的を模擬講義を通じて調査することであった．

- (1). 受講者役のつぶやきをいかに共有可能な形で取得するか？
  - (1-1). 講義に対する理解度や興味がつぶやきの量にどの程度現れるか？
  - (1-2). 音声認識 API の認識精度はどの程度か？
- (2). 取得したつぶやき情報を講義の進行やコミュニケーションの妨げにならないようにいかに可視化するか？
  - (2-1). つぶやき表示のあり/なし，表示方法の違いが受講者役の印象にどう影響するか？
  - (2-2). ユーザインタフェースは遠隔講義の実施にどのような影響を与えるか？

なお，当初は講師役の講義進行についても調査を行う予定であったが，実験環境とシステム上の制約から講師役が講義中に画面を確認できる機会が少なかつたため，今回の目的の対象外とした．

## 7.2 方法

### 7.2.1 被験者

模擬講義の被験者は修士課程の学生 4 名であった。また、被験者は事前に自身の研究テーマに関して 7～10 分程度で紹介するシナリオとスライドを準備するように指示した。

### 7.2.2 手順

- (1) 模擬講義に関する説明【5分】本ケーススタディの概要及び手順について説明した。なお、つぶやきについては受講者役の時には他の受講者に配信されることもあるが思ったことはいつでも自由につぶやいて良いということを伝達した。
- (2) システムの接続テスト，使い方の説明【10分】4名のうち1名は大学から，残りの3名はブロードバンドインターネットで接続された自宅から参加し，物理的に離れた環境でシステムの接続を行った。遠隔講義に利用したラップトップ PC はそれぞれ Apple Macbook (Mac OS) 2 名，Microsoft Surface Pro3 (Windows OS) 1 名，lenovo Thinkpad X250 (Windows OS) 1 名であり，Web ブラウザは Google Chrome を利用した。システムが正常に接続できた後，使い方の説明を行った。
- (3) 模擬講義【20分\*4セット】被験者4名のうち1名が講師役となり，残り3名が受講者役となる模擬講義を4セット行った。このため，全ての被験者が講師役を1回，受講者役を3回割り当てられた。受講者役は，a) 従来の Web 会議システム（つぶやきの音声配信されず，文字情報としても共有されない設定），b) つぶやきのタイムライン表示，c) つぶやきの階層的表示，の3条件をランダムかつ重複しない順序で割り当てた。
  - (I). システムへの接続【2分】被験者は割り当てられた条件が設定された URL にそれぞれ接続した。なお，映像および音声の入力はそれぞれの端末に標準で付属しているカメラおよびマイクを利用した。また，受講者はつぶやき入力時に講師の音声が入り込まないようにするために，原則としてイヤホンを利用してもらったこととした。
  - (II). 講師役の研究テーマの説明【7～10分】講師役は遠隔講義用とは別のスライド提示用モニタを準備し，そのモニタを講師役端末のカメラで収録することで講師映像とした。受講者役は模擬講義を聞きながら自由なタイミングでつぶやきを行った。受講者役は終了後にテーマについての5個以上の

キーワードと 30～50 字の短いサマリを作成することが求められており、模擬講義をじっくり理解することが必要な状況を設定した。

- (III). 質疑応答【3分】受講者役からの音声入力を可能にして受講者役の質問に講師が答える時間を作った。
  - (IV). 研究テーマに関するアンケート，休憩【5～8分】模擬講義が終わる毎に受講者役に内容の理解度を把握するために，キーワードやサマリ，テーマに対する事前知識，理解度，関心度について回答する付録 1 のアンケート調査を行った。
- (4) 実験後アンケート，音声データの回収【10分】全ての模擬講義が終わった後に，被験者の遠隔講義に関する経験や，講師役・受講者役における各条件に関する評価およびその理由を回答する実験後アンケートを実施した。また，音声認識 API の精度を確認するために録音した音声データを各端末から回収した。

## 7.3 結果

### 7.3.1 理解度や興味とつぶやき量の関係

図7.2に各被験者毎のつぶやき数と研究テーマに関する事前知識，理解度，関心度を示す。なお，2名の被験者について特定の模擬講義で受講者役の時にイヤフォンをするのを忘れておりに正常なデータが取得できなかったため，そのデータを除いた集計結果となっている。また，目的 1-1) 講義に対する理解度や興味がつぶやきの量にどの程度現れるか？を評価するために，模擬講義毎に収集した研究テーマに関する事前知識，理解度，関心度に関する 5段階評価の結果を横軸，つぶやきとして認識された音声の数を縦軸にプロットしたものを図 7.1 に示す。それぞれピアソンの相関係数を計算したところ，事前知識に対するコメント数の相関が-0.09，理解度に対するコメント数の相関が-0.24，関心度に対するコメント数の相関が 0.63 であった。

### 7.3.2 音声認識精度

図7.3に各被験者毎に収録した音声を人手で文字に起こしたものと文字認識の結果についての一致率を示す。目的 1-2) 認識 API の認識精度はどの程度か？を評価するために，一致率は完全一致と意味がほぼわかる部分一致の二通りを求めた。なお，こちらについても 2名の被験者について特定の模擬講義で受講者役の時にイヤフォンをするのを忘れていたために正常なデータが取得できなかったため，そのデータを除いた集計結果である。結果としては端末付属のマイクでは環境の影響による差が大きく，部分一致で 0%～ % という幅のある結果となった。

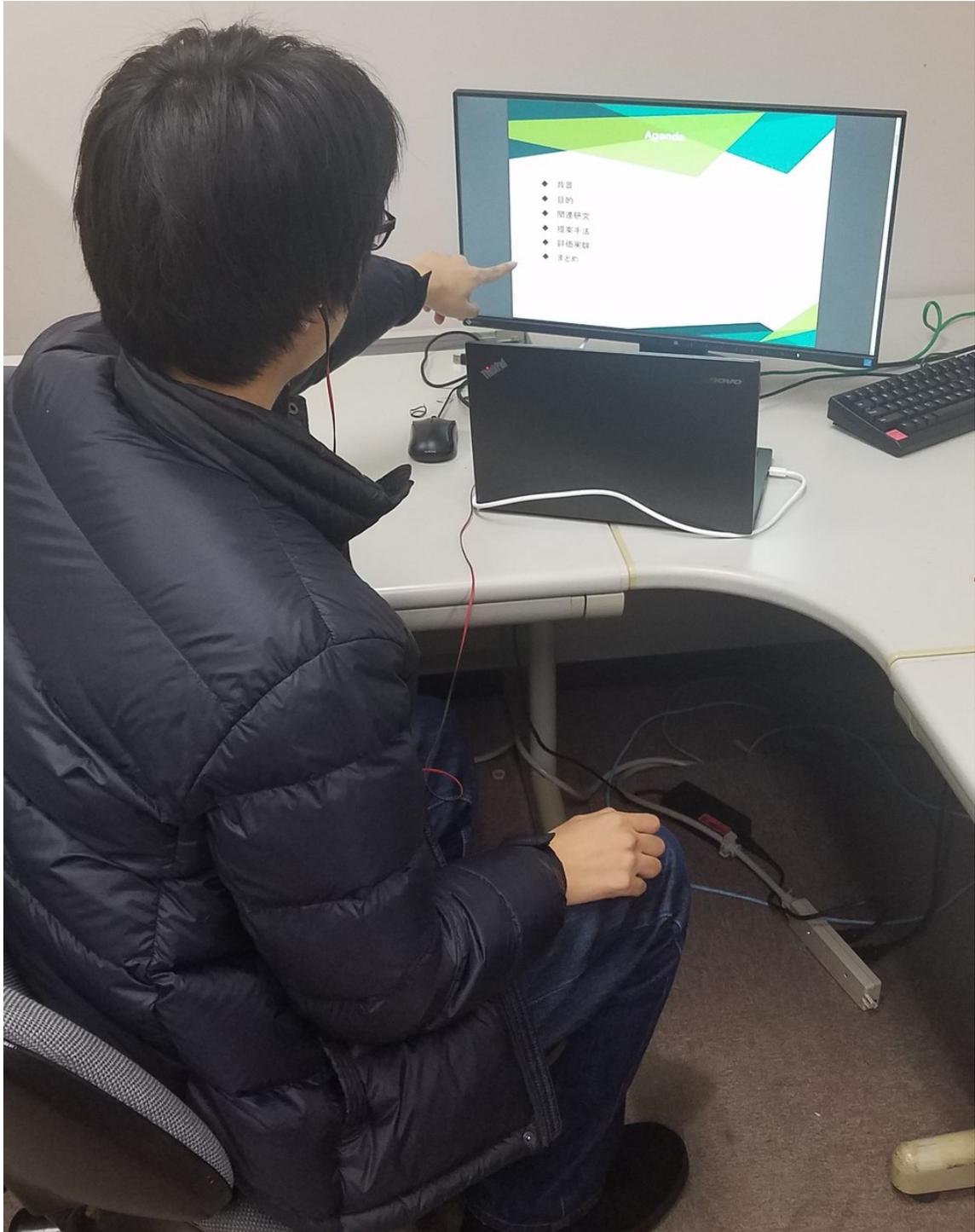


図7.1 実験の様子

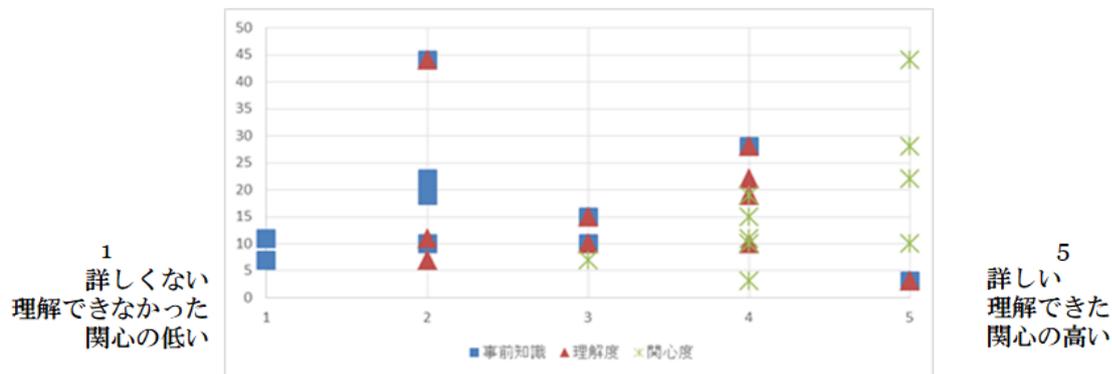


図7.2 各項目とつぶやき数の相関係数

| 被験者 | つぶやき | 部分一致 | 部分一致率 | 完全一致 | 完全一致率 |
|-----|------|------|-------|------|-------|
| A   | 34   | 11   | 32%   | 4    | 18%   |
| B   | 39   | 58   | 68%   | 17   | 44%   |
| C   | 13   | 9    | 69%   | 8    | 62%   |
| D   | 83   | 60   | 72%   | 48   | 58%   |

図7.3 音声認識精度結果

### 7.3.3 つぶやきの表示方法による印象の違いについて

目的 2-1) つぶやき表示のあり/なし，表示方法の違いが講師役，受講者役の印象にどう影響するか？については，講師側におけるつぶやき表示の有効性に関する印象 (Q6) はいずれもポジティブであり，全員がタイムライン表示のほうが「有効」または「どちらかといえば有効」である (Q7) という結果となった。また，つぶやきにより講義の進行に変化があるかという設問 (Q8) も全員が「ある」または「どちらかといえばある」という回答であった。受講者側におけるつぶやき表示については，臨場感と場の共有感に関してシェッフェの一対比較を行った (Q14-Q19)。その結果，臨場感についてはタイムライン表示，場の共有感については階層表示が支持される結果となった。

目的 2-2) ユーザインタフェースは遠隔講義の実施にどのような影響を与えるか？については，システム全体の機能の使いやすさ (Q23)，表示のわかりやすさ (Q22) に加えて，タイムライン表示と階層表示における他受講者役のつぶやきが見やすさと気になったかどうか (Q9-Q12) を尋ねた。機能の使いやすさについては，使いやすさと表示のわかりやすさについてはいずれも 1 名の被験者からややネガティブな反応が見られた。見やすさと気になり方については，タイムライン表示の気になり方がポジティブな反応が多かった。

## 7.4 考察

### 7.4.1 理解度や興味とつぶやき量の関係

7.3.1の結果から、コメント数は事前知識や理解度と比較して関心度に対して高い相関を示すことが示唆された。一人（または少人数）の環境で遠隔講義を受講している場合には、意識下・無意識化を問わず行われる発言量がある程度受講者の関心度を反映しているものと考えられる。このため、つぶやき量に比例する形で受講者の映像のサイズを変化させることによって、講師が講義全体でバランスの取れた講義参加を促すためのきっかけとして利用することができる可能性がある。

また、7.3.2の結果から、文字化されたつぶやきには一定数の理解度を表現する発言が含まれていることがわかった。例えばこれらの発言の極性を判定して提示することで、講師から見て受講者が理解しているかどうかを把握する情報源の一つとして利用するといった活用が期待できる。

### 7.4.2 音声認識精度

7.3.2の結果から、音声認識の精度は想定していたよりも端末による個体差が大きいことがわかった。音声認識の精度を上げる観点からはヘッドセットなどの利用が推奨される。また、実験後アンケートの結果から、自身のつぶやきに関しても他受講者のつぶやきに関しても全ての被験者が誤検知が多いと感じており、今後の改善が待たれる。ただし、今回のプロトタイプでは Web Speech API を利用したが、近年では IBM Watson の Speech to Text [参考文献として URL をつけるワトソン] や ○○ [他の何か MS か Amazon Alexa 要 URL] などのクラウドベースの音声認識 API も手軽に利用できるようになってきており、さらなる音声認識精度の向上が期待できる。なお、今回はフィルター等については認識結果としては表示しなかったが、音声認識 API 上ではデータとして取得できているため、こうした情報を活用することで受講者の理解度や雰囲気等を推定する情報源として利用することも考えられる。

### 7.4.3 つぶやきの表示方法による印象の違いについて

7.3.3の結果より、講師側のつぶやき表示の有効性には被験者から一定の共感を得た。アンケートのコメントでは「リアクションを見ることで授業の方向性等がわかるから」、「受講者の疑問点を把握できるため」などのポジティブな意見が得られた。また、想定と異なりタイムライン表示の評価が高い理由として、「多くの受講者の考えを照らし合わせるができる」「階層表示は操作が必要なので面倒」などが挙げられ、操作を行

うことなく表示できるタイムライン手法が、講義に集中する必要がある講師に受け入れられやすかったものと思われる。講義の進行への影響についても「受講者の多くが疑問に感じている部分を再度説明できる」「後の質問時間よりもその都度補足する方が良い」などと一定の評価が得られ、講師が受講者の状況を把握するのに有効であることが示唆された。

一方、受講者側のつぶやき表示については臨場感の観点ではタイムライン表示、場の共有感については階層表示が支持される結果となった。臨場感についてはタイムライン表示は「切替操作が必要なため他の発言が見えなかった」など即時性の観点での評価が高かった。場の共有感については「他の人の意見が知りたい」や「気になる発言は見てしまう」など、誰が発言したかがわかりやすいことが場の共有につながるという意見が得られた。

使いやすさや表示のわかりやすさについては、「画面サイズによってタイムラインが見えなくなる」「チャットの文字が小さい」などといった改善点が指摘された。さらに提案システムのポジティブな点として、「他の人がちゃんとリアクションをしているから自分もやろうという気持ちになる」「他人の意見がわかる、やりとりができる」「音声認識ではチャット形式よりもお互いの意見をリアルに言い合える」などといった期待通りの意見もあったが、「音声認識の精度が悪いことが気になった」「録音されていると思うと気を使う」「つぶやきに気を取られて説明を聞き逃すことがある」など改善が必要な点も明らかになった。

以上より、おおむね期待する効果が得られたが、表示方法については多くの改善の余地があり、特に操作の簡略化と発言者の容易な特定を以下に行うかが今後の課題である。

## 第 8 章

# おわりに

### 8.1 まとめ

本研究では，同期型の多地点遠隔講義環境における音情報を利用した受講者のひとり言やフィルター，オノマトペ等のつぶやきの収集及び共有手法を提案した．特に Web 会議システムを利用した多地点遠隔講義環境においては，ノイズの増幅によって起こるハウリングや，受講者の音声が必要な端末で拡声され受講者拠点に戻ってくるエコーなどの問題を軽減するために，受講中にマイクをミュートするケースが多い．このような形態の遠隔講義では，受講者側の音情報が欠落することにより，講師が受講者の状況を把握しにくい，受講者同士で場を共有している感覚が少ない，などといった課題があった．本研究ではこうした課題を解決するために，受講者側の音情報を既存の音声認識 API を利用して文字情報に変換し，その内容をタイムラインおよび受講者単位の表示方法で共有する，つぶやき共有モジュールを開発し，音声，映像，データのリアルタイム通信のオープン規格である WebRTC で開発したプロトタイプシステム上に実装した．

また，提案手法の効果と課題に関する予備的な検討を行うことを目的として，模擬遠隔講義によるケーススタディを実施した．その結果，受講者役の被験者から収集されたつぶやき数は，遠隔講義のトピックに関する関心度と高い相関を示すことが示唆された．また，今回利用した Web Speech API では受講者側端末の音声入力環境によって文字認識率に大きな幅があり，本システムを効果的に利用するためには，受講者側のマイク環境も重要であることが示された．さらに，実験後アンケートの結果から，少人数の結果ではあるが，講師役・受講者役の双方の観点から，つぶやき表示が有効であるという評価を得た．特に，臨場感についてはタイムライン表示，場の共有感に関しては階層表示が支持された．なお，ユーザインタフェースについてはプロトタイプであることもあり，使いやすさ・わかりやすさに関する改善点も明らかになった．

以上のことから、提案手法は多地点遠隔講義において従来十分に活用されてこなかった受講者の音情報を「つぶやき」として利用することで、講師による受講者の関心度の把握や、遠隔講義の臨場感や場の共有感の向上に寄与する可能性が示唆された。

## 8.2 今後の課題

今後の課題としては、先行研究 [31] を参考に、講義中のつぶやきから各受講者の「講義への緊張感」、「講義への参加意欲」、「講義への理解度」を受講者の雰囲気として推定することを検討したい、雰囲気情報の定量化を行うにあたり、図 8.1 に示すような、0 と 1 の 2 値で表現されるクリस्प集合ではなく、0 から 1 の中間値を取る集合を使用することで、曖昧さを含む雰囲気を表現することが可能となると考えられる。

### 例:復唱型呟きの回数と緊張感

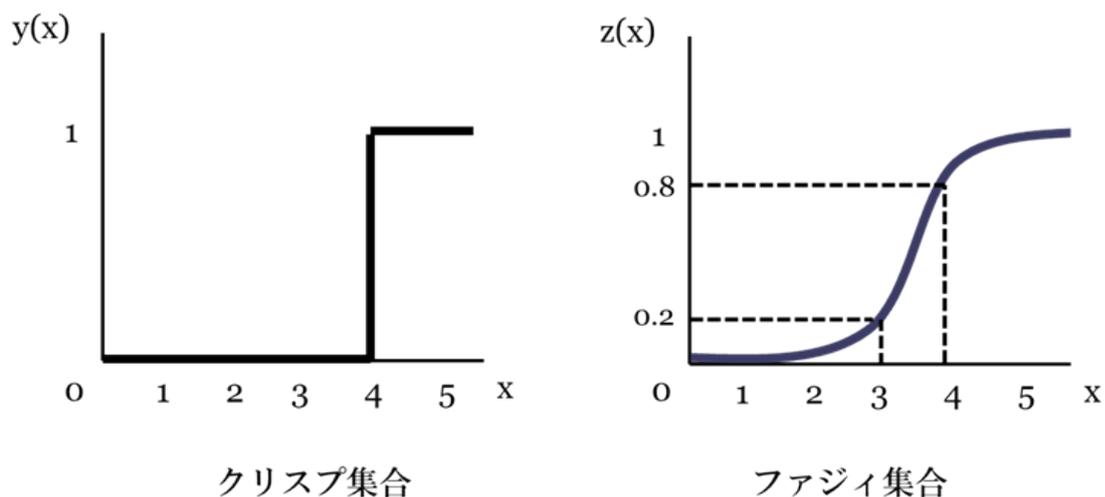


図8.1 ファジィ推論

また、雰囲気情報の可視化をするにあたり、受講者映像の配置やサイズを「講義への緊張感」、「講義への理解度」、「講義への参加意欲」に大小により変更することが考えられる。例えば、参加意欲の低い受講者を目立たせるところで、講師が設問の解答や意見等を当て易くすることや、表示が大きくなる前に受講者自身が積極的に講義参加して、難問に当てられる前に表示を小さくするといった講義全体でバランスのとれた受講者の講義参加を促すことが期待できる。最後に、本研究のケーススタディは被験者数が限られており、提案手法の妥当性が十分に評価できていないと言えない。そのため、特に共有手法の妥当性という点に関して、システムを利用する場合と利用しない場合のより大規模な模擬講義を実施し、つぶやきの量やつぶやきの認識による講師や受講者の行動変化について調査を行う必要がある。

# 謝辞

本論文を作成するに際して、多くのご指導を頂きました長谷川忍准教授に深謝いたします。また、アドバイスをいただいた長谷川研究室の先輩方や同期の皆様、実験時に被験者を快く引き受けてくださった皆様に深く感謝いたします。

# 参考文献

- [1] 岡田安人. 遠隔学習システムの最新動向. 経営システム, 17(2):165–170, 6 2007.
- [2] 長谷川 忍. ユニークな eラーニング利活用, volume 1 of 教育工学選書 II, chapter 2, pages 39–55. ミネルヴァ書房, eラーニング/eテストニング edition, 2016.
- [3] 文部科学省. 遠隔教育関連データ, 2014. [http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2015/01/05/1354256\\_2.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/01/05/1354256_2.pdf).
- [4] 文部科学省. 全日制・定時制課程の高等学校の遠隔教育, 2015. [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/kaikaku/1358056.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/kaikaku/1358056.htm).
- [5] 規制改革推進会議. 遠隔教育の推進に関する意見, 2017. <http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/suishin/meeting/wg/toushi/20170509/170509toushi07.pdf>.
- [6] 文部科学省. 高等学校における遠隔教育の今後の在り方に関する主な論点, 2016. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/104/shiryo/attach/1352880.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/104/shiryo/attach/1352880.htm).
- [7] 敖特根 朝魯 and 長谷川忍. 遠隔教育システムのデザインパターン検索フレームワークの提案. 人工知能学会研究会資料, ALST67:47–52, 2013.
- [8] 田上博司. 遠隔授業における視線一致の必要性とその問題点解決のための一手法. 教育システム情報学会誌, 25(4):394–402, 2008.
- [9] 原 智英. 多地点遠隔講義環境における音情報を用いた雰囲気の推定と可視化手法の検討. 信学技報, 117(335):1–4, 2017.
- [10] 三輪勉, 寺嶋浩介, and 田口真奈. 学習形態からみた高等教育における遠隔学習の動向分析. 日本教育工学会大会講演論文賞, 17:749–750, 2001.
- [11] 長谷川忍, 但馬陽一, ニツ寺政友, and 安藤敏也. 多様なメディアを利用した同期型遠隔講義環境の構築・実践. メディア教育研究, 2(2):79–91, 2006.
- [12] 村上正行, 八木啓介, 角所考, and 美濃導彦. 受講経験・日米受講習慣の影響に注目した遠隔講義システムの評価要因分析. 電子情報通信学会論文誌 D,

- J84-D1(9):1421–1430, 2001.
- [13] 石井 嘉明, 久保田 真一郎, 北村 士朗, 喜多 敏博, and 中野 裕司. 柔軟な協調学習環境を実現する学習管理システム用モジュールの開発と実践. 情報処理学会論文誌, 55(1):105–114, 2014.
  - [14] 中平勝子, 田口亮輔, N. R. Rodrigo, 兼松秀行, サハファルジャミ, and 福村好美. 異なる母語を持つ者の交流を意識したメタバース内 pbl 学習環境の構築. 電子情報通信学会技術研究報告 *AI*, 110(428):81–86, 2011.
  - [15] 福原美三. オープンコースウェア / 大学の講義アーカイブ. 報処理学会研究報告, 60(11):464–469, 2010.
  - [16] 永田裕太郎, 村上正行, 森村吉貴, 椋木雅之, and 美濃導彦. Mooc における大規模学習履歴データからの受講者の学習様態獲得. 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B403(5):25–30, 2015.
  - [17] 長谷川忍, 辻誠樹, 但馬陽一, 宮下和子, and 安藤敏也. 講義アーカイブを活用したコミュニティ動画掲示板システムの構築. 電子情報通信学会技術研究報告, ET2010(11):25–30, 2010.
  - [18] 上野晴樹. 音声に基づく気分情報の取得とその提示手法. 電子情報通信学会技術研究報告, 112(178):11–16, 2012.
  - [19] 讃岐勝, 浜野淳, 吉本尚, 鈴木英雄, and 前野哲博. 遠隔医療教育システムの利用と問題点. 教育システム情報学会研究報告, 30(1):23–28, 2015.
  - [20] 谷田貝雅典・坂井滋和・永岡慶三・安田孝美. 視線一致型および従来型テレビ会議システムを利用した遠隔授業と対面授業によるダイベート学習の教育効果測定. 教育システム情報学会誌, 28(2):129–140, 2011.
  - [21] 本多健二, 橋本直己, and 佐藤誠. 動的な奥行きモデルを用いた時系列映像からの実時間広視野映像生成手法. 電子情報通信学会技術研究報告, 106(338):59–62, 2006.
  - [22] 田中健二 and 近藤喜美夫. 大学間衛星ネットワーク (スペース・コラボレーション・システム) の構成. 電子情報通信学会論文誌, J82-D-I(4):1–58, 1999.
  - [23] 中澤明子, 奥林泰一郎, スペンスゼオースキ, and 前迫孝憲. 異なる遠隔共同作業環境を併用した実践の試み. 教育システム情報学会誌, 25(3):329–334, 2008.
  - [24] 音嶋肇, 水野忠則, and 佐藤文明. 講師のニュアンスおよび授業の雰囲気再現する遠隔教育システムの実装と評価. 情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理研究会報告, 2002(12):181–186, 2002.
  - [25] 伊藤冬子, 廣安知之, and 三木光範. 雰囲気の視覚化機能とアバターの利用による合意形成のためのオンライン会議システム. 人工知能学会第 20 回全国大会論文集 (*CD-ROM*), 2C2(2):1–4, 2006.

- [26] 大西一貫, ヘスス A. ガルシア-サンチェス, 董芳艶, and 廣田薫. ファジィ推論による雰囲気推定と可視化およびその遠隔教育への応用. 第 30 回ファジィシステムシンポジウム, ME1(5):218–223, 2014.
- [27] 田中 亜璃紗. 学習中の振る舞いおよび発声の記録を用いたメンタリング支援に関する研究. Master's thesis, 高知工科大学大学院, 2015.
- [28] 酒造正樹, 荒川豊, 下地貴明, and 柴崎望. 音声に基づく気分情報の取得とその提示手法. *DOCMAS*, B302, 2014.
- [29] 秦淳一郎 and 竹内由則. 音声分析による精神緊張度評価の試み. *人間工学*, 44(3):171–174, 2008.
- [30] 乙井悟志, 高山茂, and 苅屋公明. 多人数講義教育における学生の理解度把握計測システムの研究: ざわめき計測法 (第 1 セッション (大学高専等における教育 = 評価方法など)). *工業教育研究講演会講演論文集*, 1990:7–8, 1990.
- [31] 岸俊行, 澤邊潤, 大久保智生, and 野嶋栄一郎. 学生・教師を対象とした異なる学級における授業雰囲気の検討—授業雰囲気尺度の作成と授業雰囲気の第三者評定の試み—. *日本教育工学会論文誌*, 34(1):45–54, 2010.
- [32] W3C. WebRTC 1.0: Real-time communication between browsers, 2017. <https://www.w3.org/TR/webrtc/>.
- [33] W3C. Web speech api specification, 2014. <https://w3c.github.io/speech-api/webspeechapi.html>.
- [34] ニフティ株式会社. ニフティ、スマートフォンアプリ開発に特化したクラウドサービス「ニフティクラウド mobile backend」を提供開始, 2013. <http://www.nifty.co.jp/cs/newsrelease/detail/130925004259/1.htm>.

付録 A

付録 1

## 実験後アンケート

2018/02/07

氏名：

本日は、長谷川研究室 修士 2 年 原 智英の実施する実験に協力いただきありがとうございます。下記のアンケートについて回答をお願いいたします。

Q1. 今回の実験を除いて遠隔地にいる講師のリアルタイム映像を視聴し、受講者も講師にリアルタイムに質問等を行える双方向の遠隔講義を受講した経験はありますか？  
(※講師とマンツーマンのものは除く)

1:ある                      2:ない

(1:あると答えた方は Q2 から、2:ないと答えた方は Q5 から回答してください)

Q2. 経験した遠隔講義は受講者が講義室等の 1 か所に集まって行う集合型のものですか、受講者が自室等に分散している個別型のものですか

1:集合型                      2:個別型                      3:両方経験がある

(1:集合型のみと答えた方は Q3 のみ、2:個別型のみと答えた方は Q4 のみ、3:両方経験があると答えた方は Q3,4 に回答して、Q5 に進んでください)

Q3. 集合型遠隔講義をこれまでに経験した時間はどれくらいありますか。

1: 10 時間未満                      2: 10 時間以上 100 時間未満                      3:100 時間以上

Q4. 個別型遠隔講義をこれまでに経験した時間はどれくらいありますか。

1: 10 時間未満                      2: 10 時間以上 100 時間未満                      3:100 時間以上

Q5. あなたは日常生活（一人でテレビを見ている時など）で独り言をしていますか

5:多い方だと思う      4:どちらかというともい方だと思う      3:どちらでもない

2:どちらかというとも少ない方だと思う      1:少ない方だと思う

Q6. もし、講師役で説明している際に受講者のつぶやきを表示していたら講師側の問題点（受講者側の理解状況や反応を把握が困難）の解決に有効であると考えますか、理由も併せてお答えください

5:有効である      4:どちらかと言えば有効である      3:どちらでもない

2:どちらかと言えば有効でない      1:有効ではない

理由：

(Q6. 5:有効である,もしくは4:どちらかと言えば有効である,と答えた方のみQ.7に回答してください)

Q7. 有効であるとする場合タイムライン表示と階層表示どちらが有効であると思いますか理由も併せてお答え下さい

5:タイムライン表示が有効

4:どちらかというともタイムライン表示が有効

3:どちらでもない

2:どちらかというとも階層表示が有効

1:階層表示が有効

理由：

Q8. もし、講師役として説明している際、つぶやきを表示していたら得らてる情報よって説明の進行に変化（説明に補足を入れる等）があると思いますか？理由とともにお答えください

1:ある      2:どちらかと言えばある      3:どちらでもない

4:どちらかと言えばない      5:ない

理由：

Q9. タイムライン型の表示で受講者役として説明を聞いている際、他受講者のつぶやきは見やすかったですか？理由も併せてお答えください

5: 見やすかった 4: どちらかといえば見やすかった 3: どちらでもない

2: どちらかといえば見にくかった 1: 見にくかった

理由：

Q10. タイムライン型の表示で受講者役として説明を聞いている際、他受講者のつぶやきが気になりましたか？理由も併せてお答えください

5: 気になった 4: どちらかといえば気になった 3: どちらでもない

2: どちらかといえば気になった 1: 気にならなかった

理由：

Q11. 階層型の表示で受講者役として説明を聞いている際、他受講者のつぶやきは見やすかったですか？理由も併せてお答えください

5: 見やすかった 4: どちらかといえば見やすかった 3: どちらでもない

2: どちらかといえば見にくかった 1: 見にくかった

理由：

Q12 階層表示型の表示で受講者役として説明を聞いている際、他受講者のつぶやきが気になりましたか？理由も併せてお答えください

5:気になった      4.どちらかといえば気になった      3.どちらでもない

2:どちらかといえば気になった      1:気にならなかった

理由：

Q13. 受講者としてとして説明を聞いていた際、他の受講者のつぶやきが見られることに対して良かった点、悪かった点を3つずつ記入してください

良かった点

- 
- 
- 

悪かった点

- 
- 
-

Q14,,Q15,Q16 は受講者として説明を聞いていた際の、講義の対面で講義を受けているような臨場感について尋ねます

Q14. つぶやき表示なしとタイムライン表示を比べてより臨場感があったのはどちらですか

5. つぶやき表示なしの方が臨場感があった
4. どちらかというつつぶやき表示なしの方が臨場感があった
3. どちらともいえない
2. どちらかというタイムライン表示の方が臨場感があった
1. タイムライン表示の方に臨場感があった

Q15. 階層表示とタイムライン表示を比べてより臨場感があったのはどちらですか

5. 階層表示の方が臨場感があった
4. どちらかという階層表示の方が臨場感があった
3. どちらともいえない
2. どちらかというタイムライン表示の方が臨場感があった
1. タイムライン表示の方に臨場感があった

Q16. 階層表示とつぶやき表示なしを比べてより臨場感があったのはどちらですか

5. 階層表示の方が臨場感があった
4. どちらかという階層表示の方が臨場感があった
3. どちらともいえない
2. どちらかというつぶやき表示なしの方が臨場感があった
1. つぶやき表示なしの方に臨場感があった

Q17,Q18,Q19 は受講者として説明を聞いていた際の、他の受講者と一緒に講義を受けているという感覚（場の共有感）について尋ねます

Q17. つぶやき表示なしとタイムライン表示を比べてより場の共有感があったのはどちらですか

5. つぶやき表示なしの方が場の共有感があった
4. どちらかというつぶやき表示なしの方が場の共有感があった
3. どちらともいえない

2. どちらかというタイムライン表示の方場の共有感があった
1. タイムライン表示の方に場の共有感があった

Q18. 階層表示とタイムライン表示を比べてより場の共有感があったのはどちらですか

5. 階層表示の方が場の共有感があった
4. どちらかという階層表示の方が場の共有感があった
3. どちらともいえない
2. どちらかというタイムライン表示の方が場の共有感があった
1. タイムライン表示の方に場の共有感があった

Q19. 階層表示とつぶやき表示なしを比べてより場の共有感があったのはどちらですか

5. 階層表示の方が場の共有感があった
4. どちらかという階層表示の方が場の共有感があった
3. どちらともいえない
2. どちらかというつぶやき表示なしの方が場の共有感があった
1. つぶやき表示なしの方に場の共有感があった

Q20. 自身のつぶやきに対する音声認識の結果について誤検知は多いと感じましたか？理由も併せてお答えください

5:感じた      4:どちらかといえば感じた      3:どちらでもない

2:どちらかといえば感じなかった      1:感じなかった

理由：

Q21. 他受講者のつぶやきに対する音声認識の結果について誤検知と思われるものは多いと感じましたか？理由も併せてお答えください

5:感じた      4:どちらかといえば感じた      3:どちらでもない

2:どちらかといえば感じなかった      1:感じなかった

理由：

Q22. システム全体の表示は分かりやすかったですか？理由も併せてお答えください

5:わかりやすかった                      4:どちらかといえばわかりやすかった

3:どちらでもない

2:どちらかといえばわかりづらかった                      1:わかりづらかった

理由：

Q23. システム全体の機能は使いやすかったですか？理由も併せてお答えください

5:使いやすかった                      4:どちらかといえば使いやすかった

3:どちらでもない

2:どちらかといえば使いにくかった                      1: 使いにくかった

理由：

Q24. つぶやきの共有に関して、こういった機能、こういった表示法があるとより遠隔講義の問題点（講師側：受講者側の理解状況や反応を把握が困難，受講者側：講義への参加意識の低下，臨場感の不足）の解決を図れるというアイデアがあれば教えてください

自由記述：

Q25. 実験の感想を教えてください

自由記述：

アンケートは以上です。

今回収集したデータは匿名化し、研究の評価のためにのみ利用させていただきます。

ご協力ありがとうございました。

付録 B

付録 2

被験者 A:1 セット目

場所:遠隔ルーム

役割:講師

表示方法 : タイムライン表示

URL: <https://meccha.dip.jp/timeline/>

ルーム名:set1

被験者 A:2 セット目

場所:スタジオ

役割:受講者

表示方法:タイムライン表示

URL: <https://meccha.dip.jp/timeline/>

ルーム名:set2

以下は研究テーマの説明を聞きながら記入してください

- ・テーマについてキーワードとおもわれる単語を5個以上記入してください

- ・
- ・
- ・
- ・
- ・
- ・

以下は質疑応答終了後に記入してください

- ・研究テーマはあなたにとって事前知識のある分野でしたか

5:詳しい      4:どちらかといえば詳しい      3:どちらでもない

2:どちらかといえば詳しくない      1:詳しくない

- ・研究テーマについて理解できましたか

5:理解できた      4:どちらかといえば理解できた      3:どちらでもない

2:どちらかといえば理解できなかった      1:理解できなかった

- ・研究テーマはあなたにとって関心の高いものでしたか

5:関心の高い      4:どちらかといえば関心の高い      3:どちらでもない

2:どちらかといえば関心の低い      1:関心の低い

- ・研究テーマをあなたなりに30~50文字程度でまとめてください

被験者 A:3 セット目

場所:3F リフレッシュルーム

役割:受講者

表示方法:階層表示

URL: <https://meccha.dip.jp/stratum/>

ルーム名:set3

以下は研究テーマの説明を聞きながら記入してください

- ・ テーマについてキーワードとおもわれる単語を 5 個以上記入してください

- ・
- ・
- ・
- ・
- ・
- ・

以下は質疑応答終了後に記入してください

- ・ 研究テーマはあなたにとって事前知識のある分野でしたか

5:詳しい      4:どちらかといえば詳しい      3:どちらでもない

2:どちらかといえば詳しくない      1:詳しくない

- ・ 研究テーマについて理解できましたか

5:理解できた      4:どちらかといえば理解できた      3:どちらでもない

2:どちらかといえば理解できなかった      1:理解できなかった

- ・ 研究テーマはあなたにとって関心の高いものでしたか

5:関心の高い      4:どちらかといえば関心の高い      3:どちらでもない

2:どちらかといえば関心の低い      1:関心の低い

- ・ 研究テーマをあなたなりに 30~50 文字程度でまとめてください

被験者 A:4 セット目

場所:2F リフレッシュルーム

役割:受講者

表示方法:つぶやきなし

URL: <https://meccha.dip.jp/none/>

ルーム名:set4

以下は研究テーマの説明を聞きながら記入してください

・ テーマについてキーワードとおもわれる単語を 5 個以上記入してください

- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

以下は質疑応答終了後に記入してください

・ 研究テーマはあなたにとって事前知識のある分野でしたか

5:詳しい      4:どちらかといえば詳しい      3:どちらでもない

2:どちらかといえば詳しくない      1:詳しくない

・ 研究テーマについて理解できましたか

5:理解できた      4:どちらかといえば理解できた      3:どちらでもない

2:どちらかといえば理解できなかった      1:理解できなかった

・ 研究テーマはあなたにとって関心の高いものでしたか

5:関心の高い      4:どちらかといえば関心の高い      3:どちらでもない

2:どちらかといえば関心の低い      1:関心の低い

・ 研究テーマをあなたなりに 30~50 文字程度でまとめてください