

議論での事前学習知識の活用を促す 対面型協調学習支援システム

羽山 徹彩^{1,a)} 徐 利娟^{2,†1} 國藤 進^{2,b)}

受付日 2013年4月10日, 採録日 2013年10月9日

概要: 協調的な学習法では学習者同士が対話によって、自らの学習知識を外化し、体系化していく知識構築の過程が重要であり、そのための質の高い議論が求められている。しかしながら、議論に不慣れな多くの学習者にとっては対話の流れの中で、話題に関連する自らの知識に気づき、活用することが大変困難である。そこで本研究では対面型協調学習での議論の質を高めるために、議論の中で事前学習で得られた知識の活用を促すためのシステム環境を構築するとともに、その効果を検証した。開発システムでは音声認識インタフェースを利用して得られた対話テキストから対話状況を判断し、その状況に関連する事前学習の内容への気づきを各学習者へ与える。評価実験では対面型協調学習の中で本システムを利用しない場合と比較することで、提案システムが議論の対話状況に応じた学習資料の活用を促進させ、活発で満足感の高い議論となることが分かった。

キーワード: 協調学習支援, 対面型議論, 事前学習知識, 音声インタフェース

Face-to-face Collaborative Learning Support System Encouraging Usage of Pre-learning Knowledge in Argument

TESSAI HAYAMA^{1,a)} LIJUAN XU^{2,†1} SUSUMU KUNIFUJI^{2,b)}

Received: April 10, 2013, Accepted: October 9, 2013

Abstract: In argumentative collaborative learning, learners have to externalize their knowledge and construct one knowledge from their knowledge by an argument. Although the quality of the argument is much important to enhance the knowledge construction, it is very difficult for learners without enough arguing-skills to achieve such high quality argument. Therefore, we developed a system that promotes utilization of knowledge conducted in preparation into the argument of face-to-face collaborative learning to enhance the quality of the argument in the collaborative learning. Our system judges real-time argument topics from learners' speech texts obtained by a speech recognizer and then makes the learners aware of learning contents associating with the argument topics during the collaborative learning. In our experiment, we confirmed usefulness of the proposed system by comparing with collaborative learning in an environment without a system.

Keywords: collaborative learning support, face-to-face argument, pre-learning knowledge, speech interface

¹ 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology, Hakusan, Ishikawa 924-0838, Japan

² 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nomi, Ishikawa 923-1292, Japan

^{†1} 現在, 株式会社ヒューマンネット

^{a)} t-hayama@neptune.kanazawa-it.ac.jp

^{b)} kuni@jaist.ac.jp

1. はじめに

本論文では対面型協調学習の中で事前学習に用いた資料の適切な利用を促進させることで、議論の質を高める技術について述べる。

近年の学校教育では学習者の学習能力を高めるために、学習者主体の学習方式が重視されるようになってきた。そ

の中で学習者が数人程度のグループを組み、自ら課題を発見し互いに助け合って問題解決していく協調的な学習方法が有効とされている。その効果としては自らの知識や学習方法を改善していき、学習内容の理解をより深めるといった、能動的かつ効率的な学習効果が報告されている [11], [20]。このような協調的学習法では学習者同士が対話によって、自らの学習知識を外化し、組織化していく知識構築の過程が重要であり、そのための学習者が自らの知識を議論の中で積極的に活用していく質の高い議論が求められている。しかしながら、議論に不慣れな多くの学習者にとっては対話の流れの中で、話題に関連する自らの知識に気づき、活用することが困難である。このような議論スキルは社会活動を協調的に行うために身に付けるべき重要な素養の1つといえる。

これまで協調学習の分野では議論支援に関するシステム研究が行われてきた。その中で、議論モデルを協調学習に取り入れることで、議論を支援する研究がある。一般的な議論モデルでは IBIS [10] や DRL [12] などのように問題解決型の議論を体系立てるために、「問題、意見、見解、その他」や「案、目標、主張、質問、手順」などのノード群とそれらの関係付けリンクからなる規則が提案されてきた。そのような議論モデルを協調学習へ導入した場合には、議論の整理や問題発見に有効であることが報告されている [3], [22]。しかしながら、既存研究の多くは議論に慣れている専門家やテキストコミュニケーションを対象としてきたが、議論に不慣れな学習者が自由対話で行う議論に対して議論モデルを適用することは、規則の複雑化や記録法の高い習熟度を要するため、非常に難しいといえる。その一方で、学習者が事前学習で得られた知識やデータに対し、協調学習の場へ導入しやすくするための情報環境も研究開発されてきた。たとえば、学習教材を物理的なインタフェースとして利用した研究では教材学習で得られた知識の定着を促すために、環境問題を扱ったボードゲーム [17] や人体模型 [4] を対象としたシステムが開発されてきた。また事前学習で収集したデータを協調学習の場で利用しやすくするために、収集した実物体に対する関連データの呼び出しを可能にするテーブルトップインタフェースも開発されている [9]。これらの研究では実物体を介した学習内容の深い理解や学習資料の利便性を促進する効果が報告されているが、協調学習における議論の質を対象としてこなかった。さらに情報ネットワークを用いた協調学習を対象に、学習者の発言を誘発するためのシステムが研究開発されてきた。たとえば、緒方らは討論のきっかけを与えるために知識の存在や学習者の存在の気づきを与えるシステム [13]、林らは議論の中で発言を動機付けるために他の学習者の発言ノート参照動作に基づき各学習者にこれまでの発言の貢献に気付かせるシステム [7]、および小谷らは発言テンプレートを基に好意的発言影響度を提示するシステム [8] を

それぞれ開発し、有効性を示している。しかしながら、本研究では議論の中で各学習者が事前に学習して得られた知識の活用を支援対象としている点で、これら研究とは異なる。

そこで本研究では対面型協調学習での議論の質を高めるために、議論の中で事前学習で得られた知識の活用を促すためのシステム環境を構築するとともに、その効果を検証した。開発システムでは音声認識インタフェースを利用して得られた対話テキストから対話状況を判断し、その状況に関連する事前学習の内容への気づきを各学習者へ与える。本システムを協調学習で利用することで、事前学習で得られた知識を活用した発言が促進され、その結果、議論による学習が活性化されることが期待される。

2. 協調学習での事前知識の活用を促すために

本章では対面型協調学習での議論について述べ、そこで学習者が事前知識の活用を促すためのシステム設計指針について検討する。

2.1 対面型協調学習での議論

本研究で対象とする対面型協調学習は、4人～6人程度の学習者で構成する小グループに対し、任意の学習課題について自由に話し合うことで内容の理解を深め合う学習法である。このような学習法の多くはジグソー法 [2] や LTD 話し合い学習 [14], [21] などのように、学習者が事前に個別学習を行ったうえで、集合し実施される。

この対面型協調学習での議論では、各学習者の事前知識を外化し、それを組織化する過程を通して、学習内容の理解を深めることができる。つまり、各学習者には対話の流れに応じて、事前の個別学習で得られた知識を他の学習者に伝え合うような質の議論が求められる。そのような議論が活発化されれば、学習者が議論の中に事前学習の内容を積極的に導入するために、事前学習で用いた資料の提示数が増加し、また話題が多くなることで学習者の発言数も増加する。その結果、議論による学習が活発となり、議論への満足度が高まることも期待される。

しかしながら、このような議論を活発化することは、議論に不慣れな学習者にとって大変困難といえる。たとえば、対話の中で知識を外化および組織化させるためには、話題に関連する事前学習知識の存在に気づき、瞬時に発言する必要があるが、それは学習知識が定着していない学習者にとって大変難しい。また議論を論理的に展開するためには、議論の論理構造を維持しつつ対話を進める必要がある [1], [18] が、それを一貫して行うことも議論に不慣れな学習者にとって難しいといえる。

2.2 設計指針

前節で述べた対面型協調学習での議論に必要な、事前学

習で得られた知識の外化と組織化，および議論の論理展開を支援するために，以下の項目をシステムの設計指針とする．

- 対話状況に関連した事前学習の内容に気付かせる機能
学習者に対し，現在の対話の話題と関連する事前学習の内容を気付かせることで，事前学習の知識が想起され，それを対話の中に導入しやすくなる．その結果，議論の中で事前学習知識の外化とそれを他の学習知識に関連付ける学習知識の組織化が促進される．
- 他の学習者へ論拠を明示できる環境
対話の中で学習者が主張する際に，その発言の根拠やデータを口頭で伝えるだけでなく，他の学習者に明示的に分かるようにする．それにより，主張への正当性や妥当性を高め，議論の論理性が維持されやすくなる．
- 議論を阻害しないシステム・インタフェース
学習者が議論の中でシステム操作をとまなうことで話題の変移や発言の機会を逃さないような，システム・インタフェースが必要となる．

3. システム実装

3.1 概要

我々は協調学習の議論を行っている学習者に対し，事前学習で用いた資料の中で現在の話題に関連する情報に気付かせるシステムを開発した．実装したシステムは図 1 に示すように，オーバヘッドプロジェクタ，投影用スクリーン，ヘッドセットマイク，情報提示端末，サーバ・コンピュータ，およびクライアント・コンピュータから構成される．ヘッドセットマイクと情報提示端末は学習者ごとに準備され，音声認識器が動作するクライアントに接続される．ま

た，オーバヘッドプロジェクタにはクライアントに接続された RFID リーダが付与され，印刷された各学習資料には RFID タグが付与されている．そのため，そのプロジェクタを使用して学習資料をスクリーンに投影した場合には，RFID リーダが資料に付与された RFID の識別子の値を読み取ることができる．

学習者はまず協調学習を実施するための準備として，事前学習を行う．そして，その時に用いた学習資料ごとに RFID タグを付け，その資料の電子ファイル，タイトル，RFID の識別子を Web ページからサーバ内のデータベースへ登録する．次に，協調学習を実施するために実施環境の中で，事前学習で使用した資料を印刷して持ち込み，ヘッドセットマイクを装着して，情報提示端末の画面の閲覧とオーバヘッドプロジェクタに手が届くことができる位置に着席する．学習者が他の学習者へ学習資料の内容をもとに発言するときには，その資料をオーバヘッドプロジェクタを使ってスクリーンに投影させ，説明することができる．それにより，他の学習者は説明資料の内容まで明確に把握することができる．また，各学習者の情報提示端末の画面には 3.2 節で述べる方法で，対話の状況に関連した各自の学習資料のランキング情報とその関連キーワードの周辺情報が提示され，その情報は逐次更新される（図 2 の右，対話状況に応じた関連資料ランキング部分を参照）．そのため，各学習者は話題に関連する学習資料の内容に気づきやすくなり，その結果，議論の中に事前学習で得られた知識をより多く提供するようになる．

さらに，協調学習の終了後にシステムは学習者が自らの議論スタイルを振り返りやすくするために，議論履歴を生成し，提示する（図 2 の左，資料提示情報を含んだ議論履歴表示部を参照）．この議論履歴では対話の音声認識結果

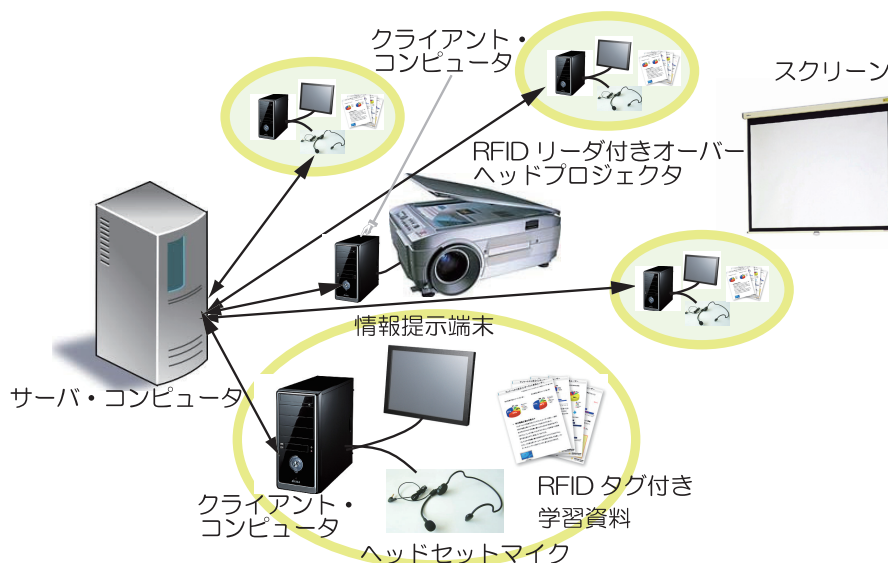


図 1 提案システムの実施環境の構成

Fig. 1 Composition of the proposed system.

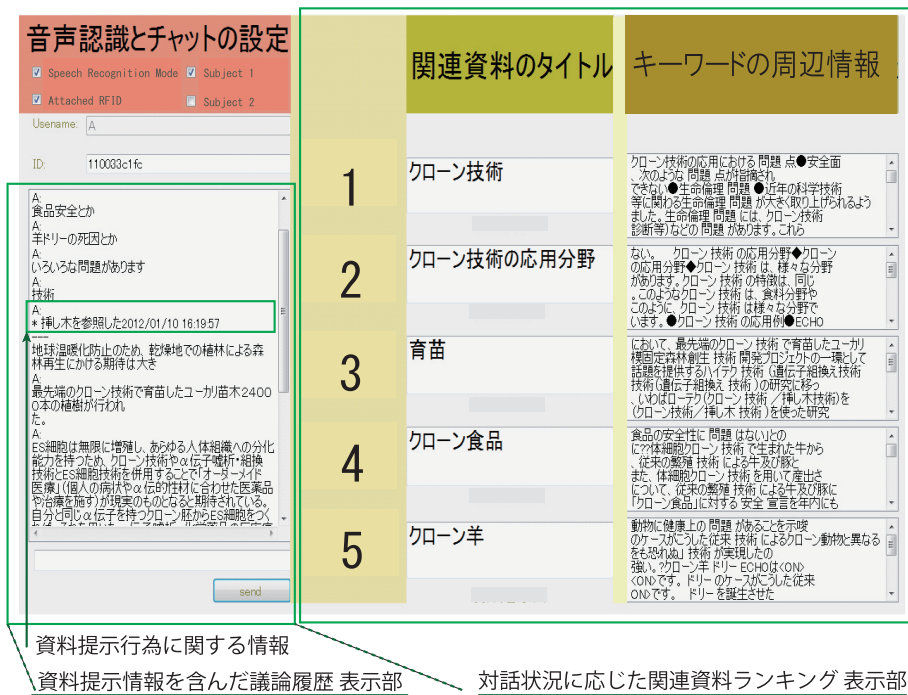


図 2 提案システムのインタフェース

Fig. 2 Interface of the proposed system.

の時系列データおよび RFID システムにより得られた学習者の資料参照行為データから構成される。学習者は自らの議論の仕方やその中での振舞いを閲覧できることで、議論の話題や文脈、およびその論理展開などの適切さを確認することができる。

現状のシステムに組み込まれている音声認識器には、Microsoft Windows7 に標準搭載されている SAPI 5.4 の Windows Speech Recognition が使用されている。しかしながら、その音声認識器の標準の音声辞書を使用した場合には、協調学習の議題に含まれる専門性の高い用語に対して認識率が低くなる。そこで、協調学習を実施する前に、事前学習で用いた学習資料に含まれる単語を抽出し、その音声認識器の音声辞書に事前登録することで、学習資料に出現する用語に対し優先的に認識されるようにする。その音声辞書の単語登録では、学習資料をサーバにアップロードされた学習資料ファイルに対し、フィルタプログラム*1によって内容語を抽出し、形態素解析*2結果に含まれる内容語の読みとともに音声辞書に追加する。図 2 の議論履歴では正確に音声認識した結果が表示されているが、全体の議論履歴には誤認識結果が含まれている。

*1 現在のシステムでは PDF ファイル、HTML ファイル、テキストファイルに対応しているが、ファイル形式に応じたテキスト抽出プログラムを使用することでその他のファイルにも対応可能となる。

*2 形態素解析器には Mecab (<http://mecab.googlecode.com/svn/trunk/mecab/doc/index.html>) を使用している。

3.2 対話状況に応じた関連資料のランキング法

対話で得られた音声認識結果を利用して対話状況を推定し、それをもとに複数の文章資料の関連度を算出してランキング化する手法を開発した。本ランキング手法はチャットの発言履歴と文章との関連度を算出する方法 [6] に基づいている。本研究で扱う音声認識結果の対話履歴にはチャットの発言履歴と異なり、1 話あたりの長さが短く、情報量が少ない発言が多いといった性質を含んでいる。そのため提案手法では、発言単位を出現順でいくつかの発言のまとまりとして扱う。

本ランキング法の計算手順を以下に示す。本手法では協調学習を実施する前に手順 0 が実行され、協調学習中に手順 1-3 が繰り返し実行される。

0) 事前処理

すべての資料に出現する名詞に対し、重み値 $Wdoc(p, n)$ を計算する。重み値 $Wdoc(p, n)$ は、資料 p に含まれる名詞 n の出現頻度として求められる。

1) 現在の対話状況の取得

対話状況を重み付き名詞の集合として求める。これまでの対話の音声認識結果に含まれる名詞に対し、重み値 $Wdis(t, n)$ を式 (1) によって計算する。この式では対話の中で近い時間出現する名詞に対して、重み値が大きくなる。

$$Wdis(t, n) = F^{(t)}(n) + Wdis(t - 1, n) * D \quad (1)$$

ここで変数 t , D , および $F^{(t)}(n)$ はそれぞれ、 b 個のまとまりを 1 つの単位とする発言テキストの出現位

置, 減衰率 (1 以下の定数), および出現位置 t の発言に含まれる名詞 n の出現頻度を表す.

2) 各資料と対話状況との関連度の算出

資料 p に対する現在の対話状況 (発話位置 t) との関連度 $Score(p, t)$ を, 単語の重み値 $Wdoc(p, n)$ と $Wdis(t, n)$ を用いて式 (2) によって計算する.

$$Score(p, t) = \sum_{n \in N(p)} (Wdoc(p, n) * Wdis(t, n)) \quad (2)$$

ここで $N(p)$ は資料 p が含む名詞の集合とする.

3) ユーザごとの資料のランキング化

登録ユーザごとの各資料に対し, 対話状況との関連度の値を利用して降べきの順に並べ替える.

現行のシステムでは定数 D および b に対し, それぞれ 0.3 および 5 が設定されている.

3.3 システム構成

本システムはクライアントサーバシステムとして, Microsoft Visual Studio.NET C# で実装されている. サーバには資料情報データベース, 資料出現単語索引データベース, および議論履歴データベースが含まれている. クライアントにはユーザ用と資料提示読み取り用の 2 種類がある.

協調学習を実施する前に, ユーザは Web ブラウザから, 事前学習で用いた学習資料の電子データ, タイトル, RFID の識別子, および登録ユーザ ID をサーバ内の資料情報データベースへ登録する. そしてすべての学習資料を登録後に, 資料登録データベースのデータを参照しながら, 資料に出現する単語に対する出現する資料の索引を自動生成し, その資料の RFID の識別子と関連キーワードの周辺情報とともにサーバ内の資料単語索引データベースへ登録する.

協調学習を開始するために, ユーザはユーザ用クライアントに接続されたマイクを装着する. ユーザ用クライアントではマイクから入力されたユーザの音声に対し, 音声認識器によってテキスト化し, ユーザ ID とともにサーバへ逐次送信する. サーバではそれらデータを議論履歴データベースに登録するとともに, ユーザ用クライアントへいっせいに配信する. それに加え, ユーザごとの対話状況に基づいた関連資料のランキングを算出し, それぞれのユーザ用クライアントに送信する. それらデータを受信したユーザ用クライアントでは, 情報端末画面に表示されている資料ランキング情報と議論履歴情報を更新する.

また資料提示読み取り用クライアントでは RFID リーダが接続されており, 各学習資料に付与された RFID のタグを認識すると, その RFID の識別子をサーバへ送信する. サーバではその RFID の識別子を受信すると, 資料情報データベースから資料を登録したユーザ ID を取得し, RFID の識別子とともに, 資料議論履歴データベースへ登録し, ユーザ用クライアントへいっせいに配信する. その

データを受信したユーザ用クライアントでは議論履歴情報に対し, 資料参照行為に関する情報の追加を行う.

4. 評価

4.1 実験概要

提案システムを評価するために, 対面型協調学習での有効性, および事前準備に関するシステム運用性についての評価を行った.

4.1.1 対面型協調学習での有効性

本研究では対面型協調学習の議論の中で事前学習で用いた資料の適切な利用を促進させることで, 議論の質を高めることを目的とする. そこで本実験では提案システムの有効性を検証するために, 対面型協調学習における学習者の資料提示数, 発言数, および議論への満足度によって, 本システムを利用しない場合との比較を行った. 本システムを利用しない場合の実験条件では本システムを用いた場合と同様に, 学習者がヘッドセットマイクを装着し, 印刷された RFID タグを付きの学習資料とオーバヘッドプロジェクタを利用して協調学習を行うが, 情報提示端末上のシステムインタフェースに関連資料ランキングが表示されない. 本システムを利用した場合に資料の提示数と学習者の発言数が増加し, 議論へ満足度が高まれば, より多くの学習知識を用いて議論を組み立てているため, 本システムが学習者に対し質の高い議論を与えているといえる.

さらに提案システムの各機能に対しても調査するとともに, 資料参照が付加された議論履歴の閲覧と与える効果についても確認した. 提案システムの機能に対する評価としては, 対話状況に応じた関連資料のランキング法の有効性およびインタフェースのユーザビリティを調査した. 対話状況に応じた関連資料のランキング法の評価では協調学習を実施している中で, 学習者が他の学習者へ提示した資料が本システムが算出した資料ランキングとどの程度一致しているかについて調べた. 実際に提示した資料が資料ランキングの高い順位に位置していれば, 提案手法は対話の中で実際に利用可能な資料を含んだランキング結果を算出しているため, 有効といえる. 特に提案システムを利用しない場合に学習者が提示した資料と資料ランキング結果との一致度が高ければ, 学習者が本システムの影響を受けずに判断した対話状況に対し本システムが算出した対話状況の関連度が高いため, 提案手法は対話状況を反映して算出することが可能であるといえる. またインタフェースのユーザビリティ評価では協調学習の終了後に, 本システムの使いやすさに関するアンケートを実施することで, 調査した.

本実験は大学院生 8 人に対し, ランダムに 2 グループに分けて実施された. 本実験の協調学習にはジグソー法 [2] を採用した. ジグソー法は学習課題に関する異なる情報を持った学習者でグループを構成し, 議論させることで, 学習者が相互的に知識を構築していく過程を促進させる学

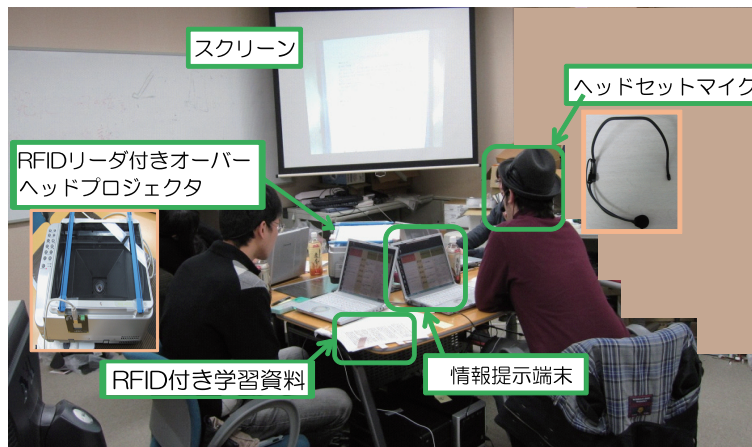


図 3 本実験の協調学習での議論の様子

Fig. 3 Picture of group argument in the experiment.

表 1 本実験での実験環境と課題の組合せ

Table 1 Combination of the condition and exercise in this experiment.

条件\課題	「クローン技術の良い点と悪い点」	「宇宙開発の現状と今後」
提案システムを利用する場合	グループ 1	グループ 2
提案システムを利用しない場合	グループ 2	グループ 1

習法である。このジグソー法を実施するために、本実験では 2 種類の学習課題を設定し、それぞれに関連する資料を Web から収集した。各学習者は事前に配布されたそれら資料をもとに予習を行った後、グループごとに図 3 に示すような環境で本システムを利用した場合と利用しなかった場合での各学習課題についての協調学習を行った。協調学習を終了した後に、学習者は個別に本システムの議論履歴を参照し、自分たちの議論に対して「良かった点」および「改善すべき点」についての自由記述アンケートに回答した。なお各学習資料への RFID タグの付与、および学習資料データのシステム登録はあらかじめ行っておいた。

本実験での協調学習の時間を決めるために、本実験の課題と本システムで関連資料ランキングが表示されない環境において、議論するうえでの適当な時間配分を調査する予備実験を行った。予備実験では、まず本実験と異なる大学院生 4 名に対し、本実験と同じ 2 つの課題と学習資料を使用して、協調学習を実施した。その協調学習を議論に参加しない人が傍観し、議論が収束したと判断したところで、学習者に確認を取り、その同意が得られた時間を求めた。その結果、2 つの課題に対して約 35 分と約 37 分の時間が確認されたことで、本実験の協調学習の時間設定を 1 課題あたり 40 分とした。

学習課題には科学技術系の大学院生を被験者として採用したため、興味と知識に考慮して、被験者の専門分野外である科学技術に関する課題である「クローン技術の良い点と悪い点」と「宇宙開発の現状と今後」の 2 つが設定された。学習資料は各学習課題あたり 40 種類の Web から収集したニュースや解説記事などが用いられ、協調学習の前日

に印刷し、各学習者へ学習課題 1 つあたり異なる 10 種類の資料が配布された。その際、学習者には、議題と協調学習の実施内容についても説明した。具体的には、4 人で議題に対して資料をもとに議論すること、学習者ごとに異なった学習資料を渡していること、および実験環境が伝えられた。また学習者への事前学習の指示として、その協調学習を実施できるように、配布した学習資料を読んでおくことが伝えられた。

実験条件を統制するために、表 1 のように各グループの利用環境と設定課題の組合せで行われた。また話し合い学習が終了するごとに、その議論の印象に関するアンケートが実施された。

また、本実験での提案システムの音声認識精度を確認するために、手作業で本実験での音声認識結果と正解データとの対応付けたデータをもとに単語認識率を調べた。音声認識の単語認識率は、全単語数に対する正解単語数の割合として算出される [15]。

4.1.2 事前準備に関するシステム運用性

本システムの協調学習実施前の準備にともなう作業が、授業での運用が可能であるかを調査した。

協調学習実施前の準備の具体的な手順は、1) 学習資料の準備、2) 各学習資料への RFID タグの貼り付け、3) 各学習資料データのシステム登録、4) 学習資料を用いた個別学習、からなる。学習資料の準備ではジグソー法や LTD 話し合い学習法などが採用しているように、あらかじめ用意された議題に関する資料を使用する。各学習資料への RFID タグの貼り付けでは、印刷した学習資料に対し RFID タグを付ける作業となる。本実験システムでは図 4 の学習資料

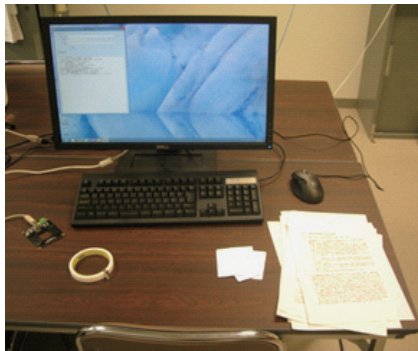


図 4 事前準備における学習資料データを登録するための実験環境
 Fig. 4 Experimental environment to submit information of learning material into the proposed system in preparation.



図 5 学習資料登録インタフェース

Fig. 5 System interface to submit information learning materials into the proposed system.

の登録環境に示すように、カード型 RFID タグとテープを使用した。各学習資料データのシステム登録では図 5 に示すように、学習資料データを登録するためのシステムインタフェースを使用し、学習資料のタイトル、RFID の識別子、およびファイルデータをサーバのデータベースへ登録する。このような登録作業はあらかじめ登録しておくことも、各学習者が登録することもできる。学習資料のタイトルはキーボードを使ってフォームに入力し、RFID の識別子は RFID リーダに RFID タグをかざすことで入力し、ファイルデータはファイル指定ダイアログを使ってアップロードする。学習資料を用いた個別学習では、学習者ごとに割り当てられた学習資料を協調学習の議論の中で利用できるように、各自で勉強を行う。

以上の事前準備において、学習資料の準備および学習資料を用いた個別学習についてはジグソー法を実際に授業の中で使用されている事例が報告されており [16]、授業での運用が可能といえる。そのため、我々はそれ以外の工程である、各学習資料への RFID タグの貼り付け、および各学

習資料データのシステム登録の授業運用の可能性について調査した。

本調査では大学生 5 人に対して、図 4 において学習資料の RFID タグの貼り付け作業とデータベース登録作業を実施し、その作業に要する時間と作業負荷に関する事後アンケートを実施した。被験者は印刷した 10 種類の学習資料にそれぞれカード型 RFID タグをテープで貼り付け、図 5 に示すような学習資料登録インタフェース上の学習資料のタイトル、RFID の識別子、およびアップロードするファイルフォルダを入力し、登録ボタンを押すことを行った。作業時間はシステム上で測定し、作業負荷は事後アンケートにより調査した。

4.2 実験結果

4.2.1 対面型協調学習での有効性

各実験環境に対する学習者の資料提示数と発言数、および議論の印象に関するアンケート結果を、それぞれ表 2 および表 3 に示す。

また話し合い学習の経験に関する事前アンケート、および協調学習における学習資料の提示行動をビデオ分析し、時系列表現したデータを、それぞれ表 4 および図 6 に示す。ここで図 6 の議論の苦手な学習者、および議論による学習経験がない学習者は表 4 の話し合い学習の経験に関する事前アンケート結果より、「満足感」「根拠に基づく発言の意識」「意欲」のすべて項目が 3 以下の学習者とした。

学習者が議論中に資料を提示した回数は、提案システムを利用した方が利用しない方の 1 人あたり平均 2.25 回に比べ、平均 4.5 回と多い結果となり、5%有意水準で有意差があった。学習者が議論中に発言した回数では、提案システムを利用した方が利用しない方の 1 人あたり平均 42.25 回に比べ、平均 100.25 回と多い結果となり、1%有意水準で有意差があった。さらに全体の発言数から感動詞や感嘆詞などの内容を含まない発言数を除いた発言数も、提案システムを利用した方が利用しない方の平均 27.13 回に比べ、平均 72.88 回と多い結果となり、1%有意水準で有意差があった。以上より、学習者が提案システムを利用した場合は利用しない場合に比べ、議論中に資料を提示した回数、発言数、内容を含んだ発言数がそれぞれ多くなることが確認された。

議論の印象に関するアンケート結果では「どの程度、根拠に基づいた発言を意識しましたか」に関して、提案システムを利用した方が利用しない方の 3.50 に比べ、4.38 と高い評価が得られ、10%有意水準で有意差があった。また「どの程度、議論の内容に満足していますか」および「どの程度、議論の中での自分の振舞いに満足していますか」に関して、提案システムを利用した方がシステムを利用しない場合の 2.25 および 2.63 に比べ、それぞれ 4.00 および 3.88 とともに高い評価が得られ、1%有意水準でともに有

表 2 各実験環境に対する学習者の資料提示数と発言数

Table 2 Number of learning material references and remarks in this experience.

	提案システムの利用 (標本数)	平均値	標本標準偏差	P 値 *	U 値 **
資料提示数	あり (N=8)	4.50	1.94	0.019	10
	なし (N=8)	2.25	1.30		
提言数	あり (N=8)	100.25	51.64	0.006	6
	なし (N=8)	42.25	19.69		
内容を含んだ発言数	あり (N=8)	72.88	40.54	0.006	6
	なし (N=8)	27.13	12.84		

* Mann-Whitney 検定結果の P 値

**Mann-Whitney 検定結果の U 値

表 3 本実験での議論の印象に関するアンケート結果

Table 3 Questionnaire results about the argument in the experiment.

	提案システムの利用 (標本数)	平均値 *	標本標準偏差	P 値 **	U 値 ***
どの程度, 根拠に基づいた発言を意識しましたか	あり (N=8)	4.38	0.52	0.070	16.5
	なし (N=8)	3.50	1.07		
どの程度, 議論の内容に満足していますか	あり (N=8)	4.00	0.76	0.002	3.0
	なし (N=8)	2.25	0.71		
どの程度, 議論の中での自分の振舞いに満足していますか	あり (N=8)	3.88	0.64	0.007	7.5
	なし (N=8)	2.63	0.74		

* 5段階リッカート尺度:3を標準とした評価項目「5:とても思う, 4:やや思う, 3:どちらともいえない, 2:あまり思わない, 1:まったく思わない」を使用

** Mann-Whitney 検定結果の P 値

***Mann-Whitney 検定結果の U 値

表 4 話し合い学習の経験に関するアンケート * の結果

Table 4 Results of questionnaire about experience of learning through discussion.

項目\学習者	グループ 1				グループ 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
話し合い学習の経験	なし	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり
その学習で満足感が得られた	-	3	3	2	3	3	3	3
その学習で根拠に基づくことを意識した	-	5	4	3	3	4	5	2
その学習に意欲的に取り組んだ	-	4	4	1	3	3	5	2

* 5段階リッカート尺度:3を標準とした評価項目「5:とても思う, 4:やや思う, 3:どちらともいえない, 2:あまり思わない, 1:まったく思わない」を使用

意差があった。以上より、学習者が提案システムを利用した場合は利用しない場合に比べ、根拠に基づいた発言の意識が高く、また議論の内容と議論での自分の振舞いの満足度が高くなることが確認された。

本実験の協調学習での学習資料の提示行動に関する時系列データでは、本システムを利用した場合には利用しなかった場合に比べ、学習資料を提示する際に「前の話題に対して明示的に関連付けて話す」という行為がグループ1において2回から9回とグループ2において5回から18回と大幅な増加があった。そのような行為において、自分が提供した話題だけでなく、他の参加者が提供した話題に対しても、新たな話題を関連付けて話すということが、すべての学習者に対して本システムを利用した場合のみに確認できた。特にグループ2の議論が苦手な学習者AとDに対しては、本システムを利用しない場合に学習資料の内

容を単発的に提供していたにもかかわらず、本システムを利用した場合にだけ学習資料を提示する際に前の話題に対して関係付けるような行為が確認された。以上のような傾向から、本システムは議論の話題に関連するような学習資料に気付かせ、それを議論の中に提示しやすくしていることが確認された。

学習者が提示した資料と提案システムが算出した資料ランキングとの一致度、および提案システムの使いやすさに関するアンケート結果を、それぞれ表5および表6に示す。

提案システムを利用した場合においては、学習者が議論の中で提示した資料が提案システムが算出した資料ランキングの5位以内に94%の割合で含まれていた。また提案システムを利用しない場合においても、資料ランキングが提示されていないにもかかわらず、学習者が議論の中で提示した資料が提案システムが算出したランキングの5位以内

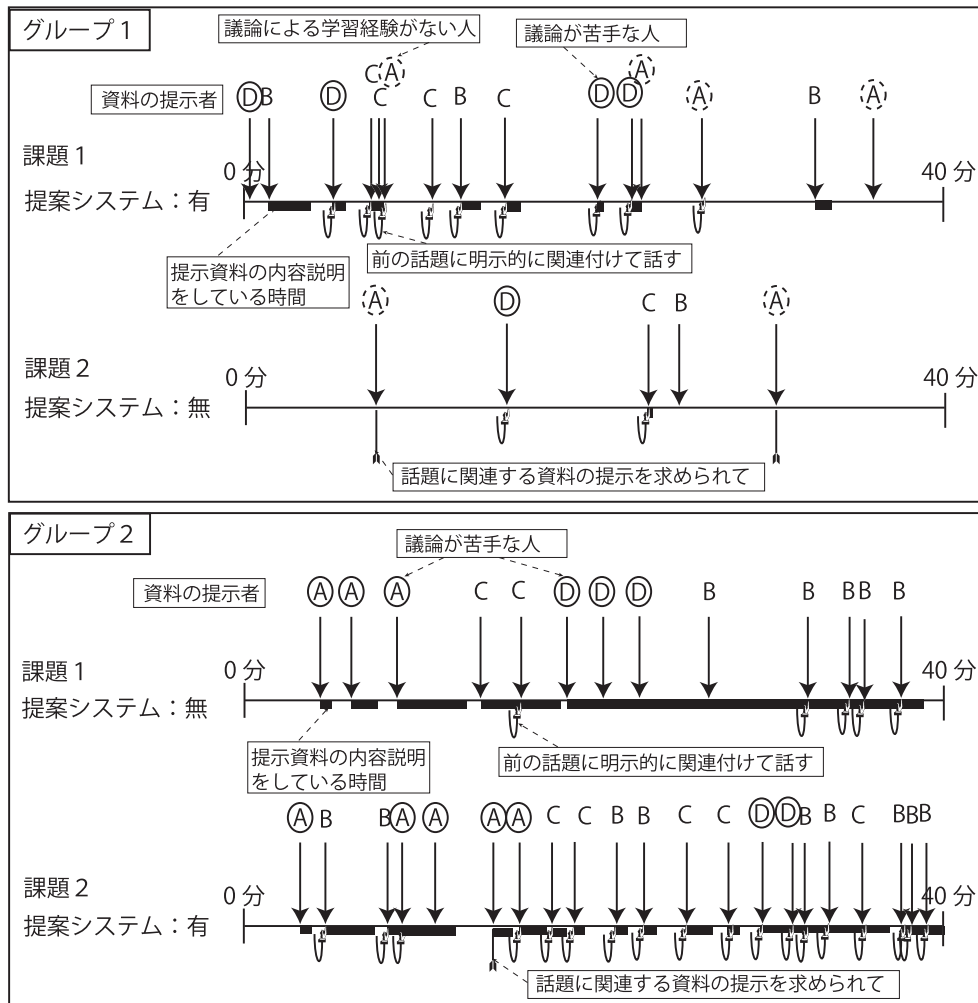


図 6 本実験の協調学習での学習資料の提示行動に関する時系列データ

Fig. 6 Time sequent data of provision behavior of learning materials in the collaborative learning of this experiment.

表 5 学習者が提示した資料と提案システムが算出した資料ランキングとの一致度

Table 5 Degree of correspondences between ranking information which the system calculated in the argument and the materials which the learners used in the argument.

ランキング	提案システムを使用した場合		提案システムを使用しない場合	
	学習資料の提示数	全体の提示数に対する割合 (%)	学習資料の提示数	全体の提示数に対する割合 (%)
1	16	47	7	41
2	7	20	4	24
3	6	18	3	18
4	2	6	1	6
5	3	9	2	12
ランキング 5 位以内	34	94	17	94
ランキング 5 位以下	2	6	1	6

に、本システムを利用する場合と同じ 94% の割合で含まれていた。

次にシステムの使いやすさに関するアンケート調査の結果では、「どの程度、RFID システムは気にならずに議論できましたか」および「どの程度、システムが提示する資料ランキングは議論の話題に関連してたと感じますか」の項目

がともに平均 4.13 と高い評価が得られた。また、「どの程度、議論の中で資料を適切に利用できましたか」に関する結果では、平均 4.25 と高い値が得られた。

議論の終了した後に、本システムの議論履歴をもとに回答した自由記述アンケート結果を図 7 に示す。

提案システムの議論履歴を閲覧した自由記述アンケート

表 6 提案システムの使い易さに関するアンケート結果
Table 6 Questionnaire results about usability of the proposed system.

項目	平均値 *	標準偏差
どの程度, RFID システムは気にならずに議論できましたか	4.13	0.64
どの程度, システムが提示する資料ランキングは議論の話題に関連してたと感じますか	4.13	0.35
どの程度, 議論の中で資料を適切に利用できましたか	4.25	0.71

* 5段階リッカート尺度:3を標準とした評価項目「5:とても思う, 4:やや思う, 3:どちらともいえない, 2:あまり思わない, 1:まったく思わない」を使用

提案システムを利用した場合	提案システムを利用しなかった場合
<p>良い点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.資料に基づいて発言できた 2.相手の発言に対して根拠は何なのを確認する発言をした 3.標榜だけでは発言せず,しっかり根拠があるものだけ発言した 4.他者の発言の内容を受けて,そこから補足するような形で自分の資料内容について発言を行ったこと 5.相手の発言から関連資料を見つけて発言できた 6.課題より端的にまとめて発言できた 7.最初は手持ちの資料を提示して話題を提供した 8.発言の根拠となる資料を提示して発言できた 9.相手の発言に対応した資料を提示している 10.比較的議題に沿って広汎な話をしている 11.ちよくちよく資料をだしている 12.ある程度発言しようと努力している 13.相手の発言のわからない点を質問した 14.相手の記事と真逆のことが書いている点を発言できて違う見解を見せた 15.行った発言は文章で述べる 16.発言に知的さが多い 17.話題に合わせて発言している 18.何かしらの見解を述べている 19.資料に基づいて自分の意見を出す場合が多い 20.発言の中身がある <p>改善すべき点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.資料を説明するために,必要なキーワードをもっと順序立てて,説明するように心がけたいと感じた 2.発言に知的さが足りない 3.思いつきで話している 4.発言数が少ない 5.技術的な話が少しい 6.関連資料を見ている際に,他者の話をあまり真剣に聞いていないときがあった 7.もっと自分の意見を言っで議論すればよかった 8.発言している人の欄を見ていると,あまり自分は発言していない 9.一部の発言は一切の根拠はなかった 10.もう少し議題に沿って話を絞って話すべきだった 11.もっと端的に記事情報をわかりやすく説明できればよかった 	<p>良い点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.資料に基づいて話をしたこと 2.相槌を打つ 3.ある程度以上発言しようと努力している 4.空気を壊さない 5.話題に合わせて発言している 6.何かしらの見解を述べている 7.否定的な意見だけでなく,肯定的な意見も述べている 8.サービスなど他の人とは違う方向からも言及している 9.タイミングを読んでいる <p>改善すべき点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.資料をしっかりと把握していなかったため,発言がまとまらずわかりにくい 2.自分の見解や意見をあまり言わなかった 3.発言の中身がない 4.技術的な話が多い 5.話のおとし所を提示できなかった 6.割り当てられた資料を生かして切れていない 7.行った発言も単語ではなく文章で述べるべき 8.議論に貢献していない 9.発言に知的さが足りない 10.ある一技術の可否といったレベルの矮小化された話をしている

※ 下線は、資料や根拠を意識した発言に関する項目である。

図 7 実験で実施された議論についての自由回答アンケートの結果

Fig. 7 Results of open-ended questionnaire about the argument which was achieved in the experiment.

表 7 本実験での提案システムの音声認識の単語認識率

Table 7 Word recognition rate calculated by the speech recognition engine of the proposed system in this experiment.

	課題 1	課題 2
グループ 1	0.22	0.40
グループ 2	0.30	0.32

では, 提案システムを利用した方が利用しない方の 19 個に比べ, 31 個と多くの意見が得られた. その中で, 資料や根拠を示すことを意識した内容は, 提案システムを利用した方が利用しない方の 3 個に比べ, 14 個と多く含まれていることが分かった.

本実験での本システムの音声認識の単語認識率は表 7 に示すように, 最も悪い場合で 0.22, 最も良い場合で 0.40 であった. このような音声認識率のもとで実施された本実験の適切さについて, 本実験の議論の中で提案システムが算出した学習資料ランキング結果に対し, 正確な音声認識結果を用いた場合に提案システムが算出した学習資料ランキングのシミュレーション結果を用いて調査した. ここで,

正確な音声認識結果には音声認識率を算出するために人手で作成したデータが用られた. 「本実験の議論の中で提案システムが算出した学習資料ランキングの推移」および「正確な音声認識結果を用いた場合に提案システムが算出した学習資料ランキングの推移のシミュレーション」を, それぞれ図 8 および図 9 に示す.

「本実験の議論の中で提案システムが算出した学習資料ランキングの推移」と「正確な音声認識結果を用いた場合に提案システムが算出した学習資料ランキングの推移のシミュレーション」を比べると, 学習者が学習資料の提示行為の全 36 回の中で, その学習資料のランキング位置が変わらない場合が 24 回, ランキング位置が異なるがシステムに表示されるか否かが変わらない場合が 10 回, そしてシステムに表示されるか否かが変わる場合が 2 回であった. そのため, 本実験の議論の中で学習者が提示した学習資料の 94%が本システムが正確な音声認識精度のもとで行った場合でも同じように表示されていることから, 本実験は今回の音声認識精度のもとで問題なく実施されていたといえる.

また音声認識精度の低さから生じる問題としては, 実際

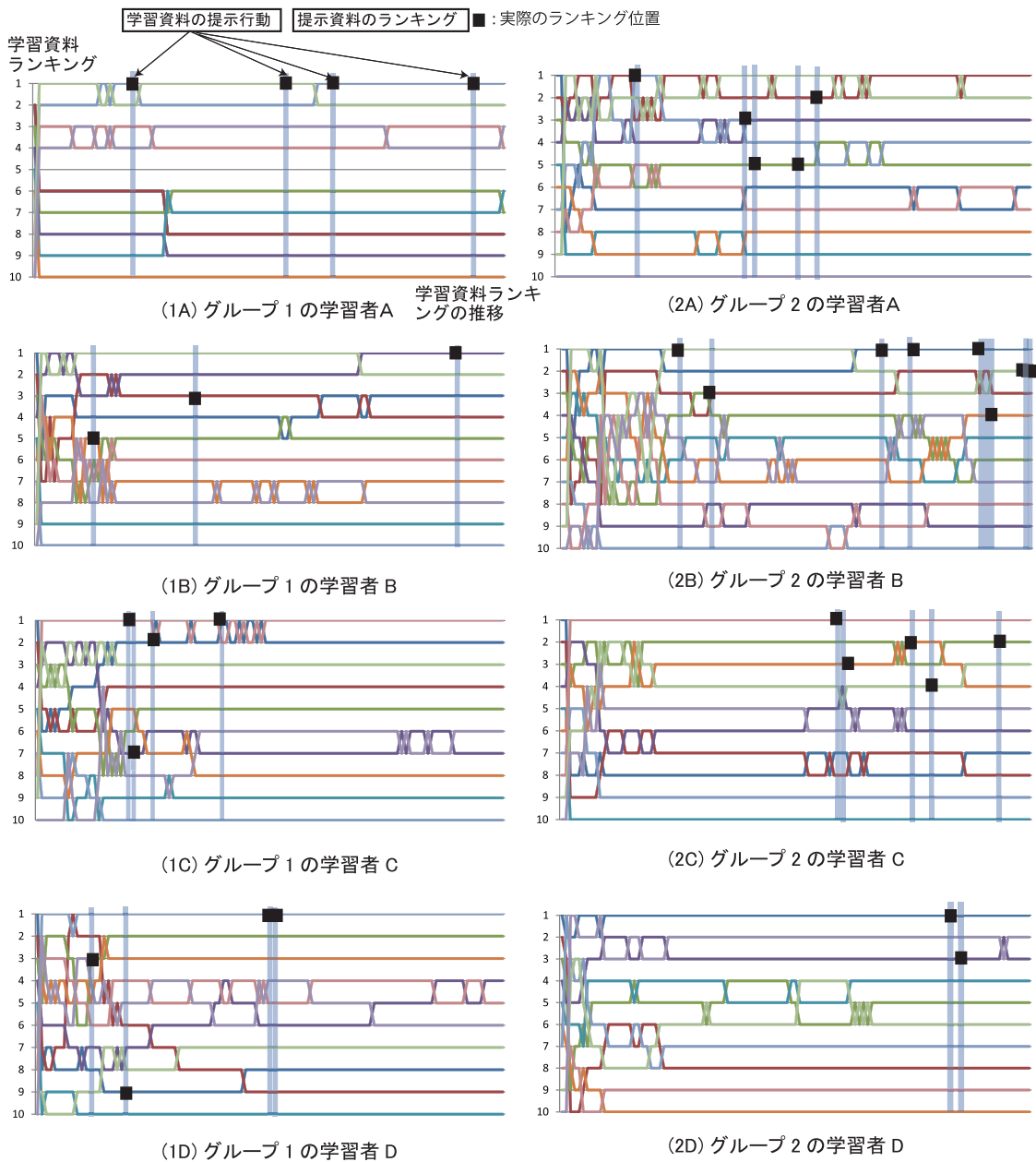


図 8 本実験の議論の中で提案システムが算出した学習資料ランキングの推移
Fig. 8 Transition of the learning material ranking which the proposed system calculated in the argumentation of this experiment.

のデータと正確なデータを用いたときに学習資料がシステムに表示されるか否かが変わる場合 (図 9 の (1C) や (2A) の ×印の箇所) があげられる. その原因として, 実際にデータを調べたところ, 学習資料を特徴付ける単語が認識されず, 多くの学習資料に出現する単語が認識結果に出現した場合に, その認識された単語が頻出する学習資料のランキングが高くなる傾向が確認された. しかし, このことは 2 回の少数例であるため, 本実験を実施するうえで大きな問題となっていないと考えられる.

4.2.2 事前準備に関するシステム運用性

本実験での本システムの事前準備に要する作業時間と作業負荷に関するアンケート結果を表 8 に示す. 平均作業時

間は 730 秒であり, 5 人中 3 人が 10 分 (600 秒) 前後, 残り 2 人が 15 分 (900 秒) 前後の時間を要した. その 2 人が他の被験者より時間を要した理由として, 学習資料のタイトルに含まれている専門用語の読みにくさから, 入力に手間が掛かったためであった. 学習資料登録作業の中で最も負荷を感じた作業ではすべての被験者から, 学習資料のタイトルを入力することであるとともに, すべての作業が容易で負荷に感じないとの意見が得られた. また「もし毎週の授業準備として作業を実施しても容易にできるか」という質問に対し, 5 段階中 4.8 と高い結果が得られた.

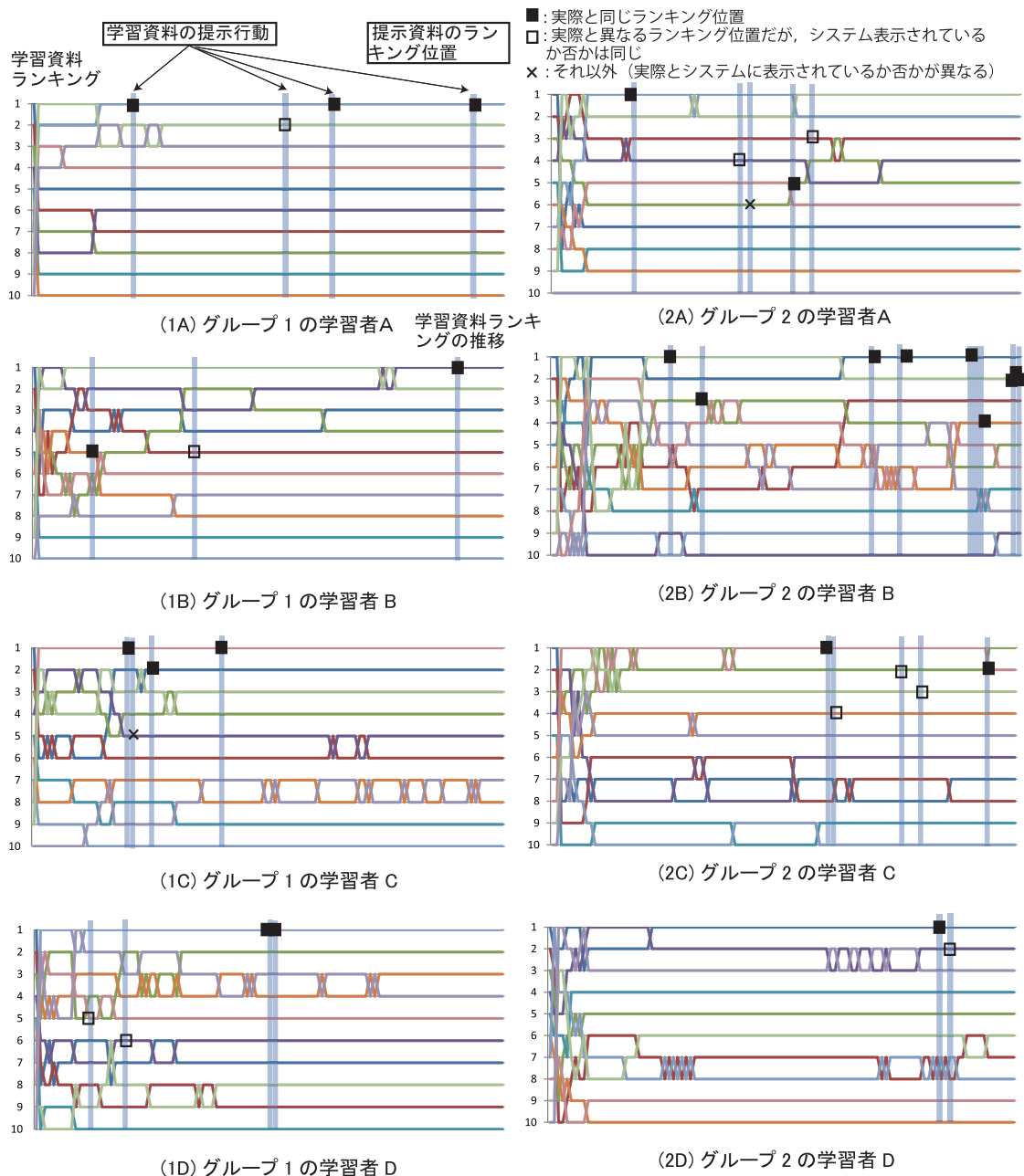


図 9 本実験の議論の中で正確な音声認識結果を用いた場合の提案システムが算出した学習資料ランキングの推移のシミュレーション

Fig. 9 Simulation of transition of the learning material ranking which the proposed system calculates in the argumentation of this experiment by using accurate speech recognition.

4.3 考察

提案システムは協調学習の議論を行っている学習者に対し、事前学習で用いた資料に対し現在の話題に関連する情報に気付かせる機能を持つ。

実験結果より、提案システムを協調学習に利用することで、事前学習の資料を利用して説明する回数および発言数が増加するとともに、議論の内容と振舞いに対する満足度が高まることが分かった。

また、本システムを利用することで、議論の話題に関連する学習資料と関連性を議論の中で、より明示的に言及さ

れることが分かった。このような行為により、学習資料が提示されやすくなるため学習資料の提示数が増加し、それによって学習資料の内容が議論の中で多く扱われるため発言数の増加につながったと考えられる。

また提案システムの要素機能である資料ランキングでは学習者が実際に提示した資料が高い割合で含まれているため、対話状況を反映していることが分かった。またインタフェースのユーザビリティ評価でもアンケート結果により、議論の中で情報提示端末画面を閲覧しながら、RFIDタグが付与した資料を提示して説明することを、議論を阻

表 8 提案システムの事前準備に要する作業時間と作業負荷に関するアンケート*の結果

Table 8 Preparation time of the proposed system and results of questionnaire about load for the preparation.

項目	標準偏差	平均値
作業時間	171.06	730 秒
RFID カードの資料への貼り付け作業	0.63	4.0
タイトル文字のフォーム入力作業	0.80	3.6
RFID 登録作業	0.80	4.4
ファイルのアップロード作業の容易性	0.75	3.8
毎週の授業準備としての実施容易性	0.40	4.8

* 5 段階リッカート尺度: 3 を標準とした評価項目「5: とても容易, 4: まあまあ容易, 3: どちらともいえない, 2: 少し困難, 1: とても困難」を使用

害せずに実施できることが確認された。

以上より, 提案システムは対面型協調学習において, 事前学習知識の活用を促すことで, 議論を支援することに有効であるといえる。

また, 提案システムの資料提示行動を含んだ議論履歴は議論後に見せることで, 自由記述アンケート結果から, 自らの議論への振舞いや根拠に基づく説明方法に対する改善点に気づきやすくなることが分かった。そのため, 本議論履歴の閲覧機能は, 議論スキルの向上のための内省を与える一補助となる可能性がある。

さらに, 本システムの協調学習実施前の準備にとまなう作業の工程が, これまでの協調学習の導入事例と被験者をとまなう調査によって, 授業に導入したとしても運用可能であることを示した。

5. おわりに

学習者同士が対話によって行う協調学習では質の高い議論が重要となるが, 議論に不慣れな多くの学習者にとっては対話の流れの中で事前学習で得られた知識を想起し, それを活用することが大変困難である。そこで本研究では議論の中で事前学習で得られた知識の活用を促すためのシステムの開発した。開発システムでは音声認識インタフェースを利用して得られた対話テキストから対話状況を判断し, その状況に関連する事前学習で用いた資料のランキングを逐次提供する。また RFID センサを利用して議論の中で資料を利用した説明行為を取得し, 対話の音声認識結果と組み合わせることで, 議論履歴を生成し, 提示することも行った。評価実験では対面型協調学習の中で本システムを利用しない場合と比較することで, 提案システムが議論の対話状況に応じた学習資料の活用を促進させ, 活発で満足感の高い議論とすることが分かった。さらに本議論履歴の閲覧機能は, 議論スキルの向上のための内省を与える一補助となる可能性があることも確認した。

今後の課題としては, より内省を促進させる議論履歴閲

覧インタフェースを開発することである。本システムの議論履歴表示では実験後のアンケート結果から, 学習者の資料提示行為の履歴について確実に把握できるものの, 発話内容に関して音声認識精度の低さから特徴的なキーワード程度の理解にとどまっていることが分かった。しかしながら, 本実験での音声認識精度からも分かるように自由対話に対する音声認識の完全な精度を得ることは難しい。そこで, 音声認識結果以外にも様々なマルチメディア情報を相互補間的に利用することで, 議論内容を把握しやすくする方法を開発していきたい。

さらに, 学習資料として電子媒体を用いた場合や資料提示方法としてオーバヘッドプロジェクタ以外を利用した場合に対しての本システムの機能拡張も行っていきたい。本システムでは, 印刷した紙媒体を学習資料として用いて学習者がオーバヘッドプロジェクタで投影しているため, 投影する資料の切り換えが容易であるが, ノート PC やスマートフォンを使った電子媒体の学習資料を用いた場合にはその投影の円滑な切り換えが難しくなるため, 新たな切り換え支援技術 (たとえば, 文献 [5]) の導入が必要となる。また本システムでは学習資料を提示した認識するために学習資料の RFID タグをプロジェクタの RFID リーダで読み取ることで可能としているが, プロジェクタに物理的に近づき難い場合には卓上の自由な位置での認識可能するような技術 (たとえば, 文献 [19]) への拡張が必要となる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 25730210 の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] 足立幸男: 議論の論理, 木鐸社 (1984).
- [2] Aronson, E., Blaney, N., Stephin, C., Sikes, J. and Snapp, M.: *The Jigsaw Classroom*, Sage Publishing Company (1978). 松山安雄訳: 『ジグソー学級』, 原書房 (1986).
- [3] Carr, C.S.: *Using computer supported argument visualization to teach legal argumentation*, Visualizing argumentation, Kirschner, P.A., Shum, S.J.B. and Carr, C.S. (Eds.), pp.75-96, Springer-Verlag (2003).
- [4] Guzman, E.D., Ho-Ching, F.W., Matthews, T., Rattenbury, T., Back, M. and Harrison, S.: EEWWWW!: Tangible interfaces for navigating into the human body, *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems '03*, pp.806-807 (2003).
- [5] 江木啓訓, 重野 寛, 岡田謙一: 距離帯を用いた対面コラボレーション支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.3, pp.711-721 (2006).
- [6] 林 昌弘, 長瀧寛之, 大下福仁, 角川裕次, 増澤利光: 議論活動における調査資料の活用を支援するシステム HAKASE の構築, 情報処理学会研究報告 (2008-CE-93 (17)), No.13, pp.119-126 (2008).
- [7] 林 佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 貢献への気づきを反映した議論支援インタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.4, pp.1461-1471 (2012).
- [8] 小谷哲郎, 関 一也, 岡本敏雄: 領域知識に基づく議論支援システムの開発, 情報処理学会研究報告, GN(30), pp.19-24 (2005).

- [9] 北原圭吾, 井上智雄, 重野 寛, 岡田謙一: 協調学習支援を目的としたテーブルトップインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.3054-3062 (2006).
- [10] Kunz, W. and Rittel, H.W.J.: *Issues as elements of information systems*, Working paper, University of California at Berkeley, pp.1-9 (1970).
- [11] 教育システム情報学会 (編): 教育システム情報ハンドブック, 実数出版 (2001).
- [12] Lee, J.: How can groups communicate when they use different languages? Translating between partially shared type hierarchies, Technical Report SSM WP 3076-89-MS, MIT (1989).
- [13] 緒方広明, 矢野米雄: アウェアネスを指向した開放型グループ学習支援システム Sharlok の構築, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J80-D-II, No.4, pp.874-883 (1997).
- [14] Rabow, J.M., Charness, A., Kipperman, J. and Radcliffe-Vasile, S.: *William Fawcett Hill's Learning Through Discussion*, 3rd Edition, Thousand Oaks: Sage Publications, Inc. (1994).
- [15] 鹿野清宏, 伊藤克亘, 河原達也, 武田一哉, 山本幹雄: 音声認識システム, オーム社 (2001).
- [16] 杉江修治, 関田一彦, 安永 悟, 三宅なほみ: 大学授業を活性化する方法, 玉川大学出版部 (2004).
- [17] 杉本雅則, 楠 房子, 稲垣成哲, 高時邦則, 吉川 厚: ネットワーク型センシングボードを用いることによる協調学習支援システムの構築, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-I, No.12, pp.1152-1163 (2002).
- [18] Toulmin, S.: *The uses of argument*, Cambridge: Cambridge University Press (1958).
- [19] 渡辺晃一郎, 竹内達史, 井上智雄, 岡田謙一: 操作者識別を利用した対面協調作業支援システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.12, pp.2755-2764 (2008).
- [20] Wolfe, J.: Effects of annotations on student readers and writers, *Proc. 5th ACM Conference on Digital Libraries*, pp.19-26 (2000).
- [21] 安永 悟: 実践・LTD 話し合い学習法, ナカニシヤ出版 (2006).
- [22] Zumbach, J. and Reimann, P.: Combining computer-supported collaborative argumentation and problem-based learning: An approach for designing online learning environments, *Proc. Computer Supported Collaborative Learning '99* (1999).



徐 利娟

2009 年大連民族学院日本語学部卒。2012 年北陸先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。同年(株)ヒューマンネット入社。現在は主として、Web アプリケーションの開発に従事。



國藤 進 (正会員)

1974 年東京工業大学理工学研究科修士課程修了。同年富士通(株)国際情報社会科学研究所入所。1982~1986 年 ICOT 出向。1992 年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。1998 年同知識科学研究科教授。2011 年同副学長。2013 年同特任教授。現在は主として知識創造方法論, 発想支援システム, グループウェア, 知識システムの研究に従事。情報処理学会創設 25 周年記念論文賞, 同 DICOMO2012 シニアリサーチャー賞。日本創造学会 2004 年論文賞等を受賞。博士(工学)。電子情報通信学会, 日本創造学会等各会員。



羽山 徹彩 (正会員)

2001 年同志社大学工学部知識工学科卒。2003 年北陸先端科学技術大学院大学博士前期課程修了。2006 年同大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。同年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科助手(2007 年助教)。

2012 年金沢工業大学工学部情報工学科講師。博士(知識科学)。現在は主として、知識システム, 創造性支援システム, ヒューマンコンピュータインタラクションの研究に従事。人工知能学会, 電子情報通信学会, 日本創造学会, 日本工学教育協会各会員。