

## 領域知識に基づく議論支援システムの開発

小谷 哲郎<sup>†</sup>      関 一也<sup>†</sup>      岡本 敏雄<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 電気通信大学 大学院情報システム学研究科

近年、協調学習環境において、複数の学習者が議論をリアルタイムに行うツールとして、WEB チャットが広く利用されている。本研究では、議論の活性化を目的とし、学習者の議論における役割を“ 好意的発言影響度 ”、学習者個々の持つ領域知識を“ 領域知識マップ ”として明示する議論支援システムを開発・評価した。その結果、“ 好意的発言影響度 ”、“ 領域知識マップ ”を明示することで議論を活性化させることと、それぞれの妥当性を実証する結果が得られた。

### Development of Discussion Supporting System Based on Domain Knowledge

Tetsuro KOTANI<sup>†</sup>    Kazuya SEKI<sup>†</sup>    Toshio OKAMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Information Systems, the University of Electro-Communications

The importance of the WEB chat in discussion has been well known and used in collaborative learning environment. This research proposes the discussion assisting system based on the domain knowledge. The system has two functions, (1) to calculate the value of favorable word's influence; and (2) to understand the domain knowledge. This paper describes the architecture of the discussion assisting system, and reports the result of experiment about extraction of the domain knowledge from WEB chat.

#### 1 はじめに

協調学習において、複数の学習者がリアルタイムに議論を行うツールとして WEB チャットが広く利用されている。しかしながら、WEB チャットでの議論で有効なインタラクション (相互作用) を発生させるには、議論を活性化する仕組みが必要になる。本研究では、議論を活性化するために以下の 2 つの要件を満たす議論支援システムを開発する。

- (1) 全ての学習者を議論に参加させること
- (2) 協調学習の学習効果 (Learning by Teaching や Learning by Observing) を誘発させること

(1) を実現するためには、議論の状態を把握して、議論の滞りを解消したり、学習者の発言を誘発する仕組み、学習者の役割を同定する仕組みなどが必要になる。一方で、(2) を実現するためには、学習者個々の与えられた課題に関する領域知識を把握して、

誰がどの領域知識について詳しいかを提示することが重要になる。

そこで本研究では、議論進行をモニタリングし、リアルタイムに変化する学習者の役割を“ 好意的発言影響度 ”(学習者が議論を好意的に方向付ける影響力) として数値化し、明示する機能と、発言の意味内容から解析を行い、学習者個々の領域知識を“ 領域知識マップ ”として明示する機能を持つ議論支援システムを開発・評価した。

本稿では、2 で関連研究について整理し、3 で領域知識に基づく議論支援システムについて詳述し、4 で評価・考察をし、5 でまとめと今後の課題を述べる。

#### 2 関連研究

CSCL(Computer Supported Collaborative Learning) 研究の中で、コミュニティにおける議論

表 1: 本研究と関連研究の比較

研究	支援方法 媒体 主な解析手段 特徴
本研究	好意的発言影響度, 領域知識マップ WEB チャット 発言意図, 発言内容 リアルタイム性, 発言テンプレート
iDCLE [1]	学習者への助言 WEB チャット 発言意図 議論状態同定
iTree [2]	活性化度, 貢献度の明示 電子掲示板 新規投稿数, 被閲覧数, 返信率 携帯端末, コミュニティ状態可視化
C-CHENE [3]	支援エージェント WEB チャット 発言, 振る舞い 信念のモデリング

の活性化や学習者にとって有益な情報の可視化を目的とした研究は数多くなされている。

稲葉・岡本は, “提案”, “賛成”などの発言意図に着目し, 対話展開モデル, 学習者の役割同定モデル, 自己関与モデルから議論の進行状態を同定して, 議論の発散や行き詰まり状態を解消するための助言を学習者に与える議論支援システムを開発している [1]. 中原らは, 電子掲示板に書き込まれる新規投稿数, メッセージに対する被閲覧数, 返信率から “コミュニティ全体の活性化度”, “学習者個人のコミュニティへの貢献度”として表現するインタフェースを提案している [2]. Lundらは, 学習者の発言, 振る舞いから学習者の信念をモデリングした上で, 問題解決の効率向上を促進する支援を行うエージェント設計を行っている [3].

本研究は, 発言意図, 発言内容などから議論進行をモニタリングし, リアルタイムに変化する学習者の役割を “好意的発言影響度”として数値化し, 明示する。また発言内容から解析を行い, 学習者個々の領域知識を “領域知識マップ”として明示する。ここで表 1 に本研究と関連研究の比較を示す。議論を活性化させる目的はいずれの研究も変わらないが, その支援方法, 媒体, 解析手段が異なっている。[1], [2] は学習者のコミュニケーション, [3] は学習者の問題解決知識に着目している。本研究は学習者のコミュニケーションと問題解決知識の両方に着目し

では〇〇しましょう(提案)	〇〇だと思います(賛成意見)
なぜ〇〇ですか?(質問)	〇〇だからです(回答)
その用語〇〇は何ですか?(質問)	その用語〇〇は〇〇です(説明)
どちらですか?(質問)	それはいい考えですね(同意)
問題を見てください(その他)	間違えました(報告)
いいですよ(同意)	よくないです(非同意)
何ですか?(質問)	はい, でも〇〇(反対意見)
いいですか?(確認)	わかりません(非納得)
わかりました(納得)	そうですね(同意)
待ってください(その他)	参加していますか?(質問)
あなたがどうぞ(その他)	私がやります(その他)
どこから始めましょう?(質問)	何を今しなきゃいけないですか?(質問)

図 2: 発言テンプレート

ている点で特異である。

### 3 領域知識に基づく議論支援システム

#### 3.1 議論支援システムの概要

本システムは, 学習者の議論における役割を “好意的発言影響度”, 学習者の持つ領域知識を “領域知識マップ”として明示する機能で構成される。

学習者は分散した場所から WEB チャットへログインし, 図 1 のインタフェースで問題解決を目的とした議論を行う。学習者の発言は好意的発言影響度算出処理 (3.3) と領域知識把握処理 (3.4) の 2 つの面から処理される。

#### 3.2 発言テンプレート

本システムは, 発言対象と発言内容からなる発言を学習者の入力情報とする。発言対象は, “誰が誰に”送信した発言であるかを示す情報である。発言内容は, “発言テンプレート (図 2)”を用いて入力する具体的な発言である。

本研究の “発言テンプレート”は, 議論を円滑に進めるコミュニケーションインタフェース [3] を参考に, 日本語の議論において, 頻繁に使われる表現を予備実験に基づき整理し, 作成したものである。この “発言テンプレート”を用いることで, 学習者の発言意図を自動決定したり, 領域知識の表出する発言を絞り込んだりすることが可能となる。

#### 3.3 好意的発言影響度算出処理

本システムにおける好意的発言影響度算出処理は, 学習者の発言意図や発言回数などを基に, 好意的発言影響度を算出し, 学習者に明示する処理である。

発言意図は, “提案”, “賛成”, “同意”のような発言内容の形態を示す情報である。本システムでは, 図 2 の () 内で示されるそれぞれの “発言テンプレート”の表現に対応する発言意図をあらかじめ与える。

好意的発言影響度は, 議論の進行状態や学習者の発言に応じて重み付けされた 4 つの観点 (議論を収束/停滞させる発言, 意見を誘発する発言, 議論に

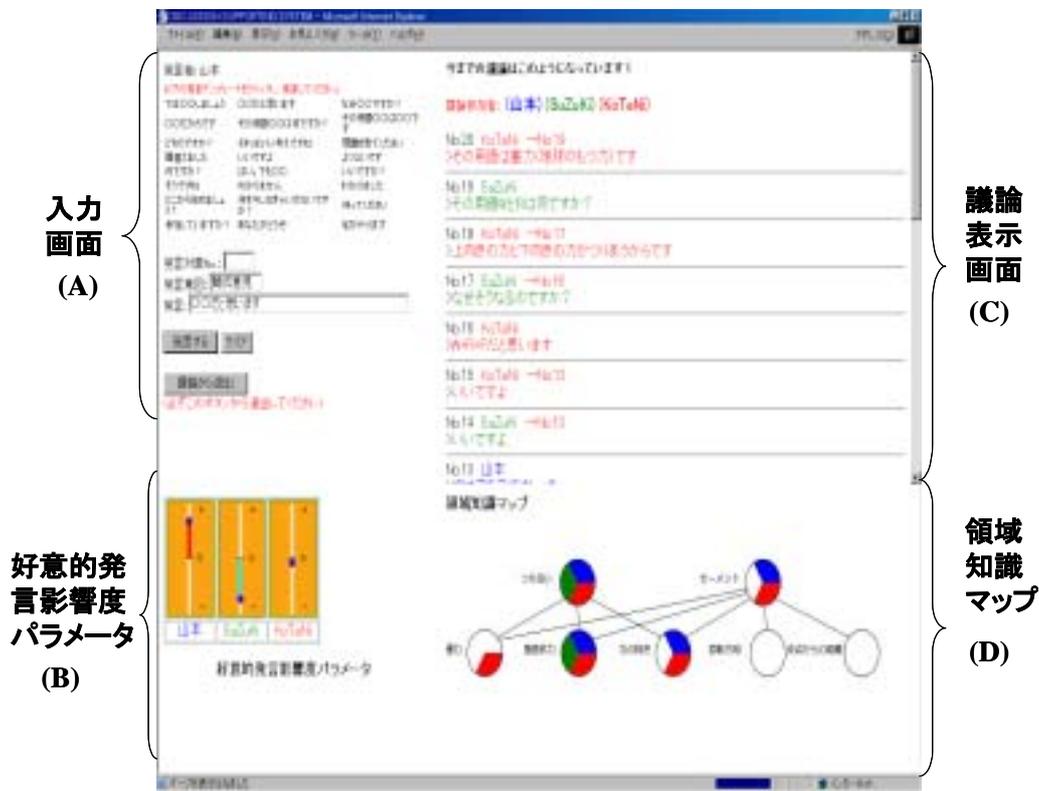


図 1: システムインタフェース

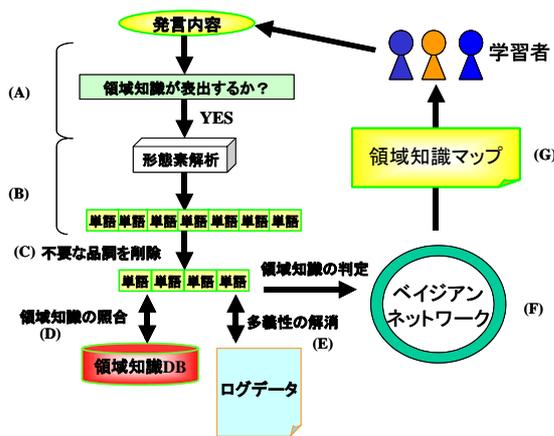


図 3: 領域知識把握処理

おける役割, 相対性 (強調) からなるルールで算出される [4] .

### 3.4 領域知識把握処理

本システムにおける領域知識把握処理は, 図 3 のような流れで処理を行う. 詳細は以下 3.4.1~3.4.8 で説明する.

#### 3.4.1 領域知識の定義と設定

本研究では, 領域知識を“ 個々の学習者が持つ問

題領域に関する知識 ”と定義する. そして, ある問題領域に関する領域知識は, 2 種類の性質の異なる知識によって記述されるものとする. 具体的には, 問題領域の本質を示す領域知識 (以下, 本質的領域知識と称す) と本質的領域知識を知る上で必要となる領域知識 (以下, 必要領域知識と称す) になる. 図 4 に示すように, 学習者が物理学の「力のつり合い」を理解するには, 「重力」, 「垂直抗力」, 「力の向き」を学習する必要がある. すなわち, 本研究の領域知識の定義に従うと「力のつり合い」は本質的領域知識に相当し, 「重力」, 「垂直抗力」, 「力の向き」は必要領域知識に相当する.

本研究では, 大学入試程度の物理 (力学) を問題領域に設定し, 図 4 に示すように領域知識を記述した. 領域知識を記述する際は, 物理学を担当する高校教師に助言を受けた.

#### 3.4.2 領域知識表出判定処理

発言テンプレートをを用いた WEB チャットで行った予備実験より, 領域知識が表出される発言テンプレートは疑問に対する回答である「 だからです」, 「その用語 は です」, 自分の意見を述べる「 だと思ひます」, 「はい. でも 」の 4 つに集中

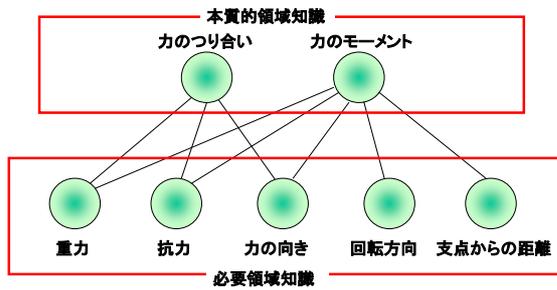


図 4: 問題を解決するために必要な領域知識

する結果が得られた。これを基に「領域知識表出判定処理」(図 3-(A)) では、学習者がこれら 4 つの発言テンプレートを用いたときの発言内容を、領域知識が表出していると判定する処理を行う。

### 3.4.3 形態素解析処理

発言内容の文法的な骨組みを理解するためには、発言内容を形態素解析する必要がある。そこで「形態素解析処理」(図 3-(B)) では、「領域知識表出判定処理」で領域知識が表出していると判定された発言内容を入力情報に、形態素解析ソフト茶筌 [5] を用いて形態素解析を行い、単語の基本形に分解し、それぞれの単語の品詞情報を取得する。

### 3.4.4 不要語削除処理

発言内容に含まれる領域知識を把握するために必要とされる単語は、「名詞」、「動詞」、「形容詞」などの特定の品詞以外に含まれているとは考え難い。そこで「不要語削除処理」(図 3-(C)) では、「形態素解析処理」で取得した品詞情報から不要な品詞である単語を削除し、発言内容を必要な品詞のみで構成される単語の基本形の並びに置き換える処理を行う。

### 3.4.5 領域知識データベースとの照合処理

本研究では、ある領域知識について正しい説明をするとは、「必要な単語を適正な順序で発言する」ということであると定義する。「領域知識データベースとの照合処理」(図 3-(D)) では、「不要語削除処理」で単語の基本形の並びに置き換えられた発言内容を、同様の形式で格納されたある領域知識を説明するために必要とされる領域知識データベースの内容と等しいか照合し、その発言内容がある領域知識について正しい説明をしているかを判定する処理を行う。

### 3.4.6 説明している領域知識の限定処理

ある言葉に多義性があった場合、その言葉がどの意味で使われているのかを限定することは発言の意味・内容を理解する上でも必要である。「説明してい

る領域知識の限定処理」(図 3-(E)) では、過去の議論から取得したログデータとの語の共起性を用いてその発言内容がどの必要領域知識に対しての説明であるかを判定する。

### 3.4.7 ベイジアンネットワークを用いた推論

テキストチャットによる議論では、学習者が問題領域の事項を十分に理解せずに、言葉(専門用語)のみを表面的に用いて発言している場合がある。例えば、問題領域のある事項を理解していると他者に思わせる発言を行った学習者が以降の議論で、それと矛盾する、すなわち理解しているとは思えない発言をすることがある。そこで本研究では、学習者の発言に含まれる知識を不完全なものと仮定する。その上で、議論の中で刻々と変化する学習者の領域知識の獲得状態を学習者モデルに表現する。

先行研究において、学習者の曖昧な知識状態をベイジアンネットワークを用いて表現する学習者モデリング手法が提案されている。「ベイジアンネットワークを用いた推論」(図 3-(F)) では、先行研究の成果を踏まえ、議論中の学習者個々の領域知識獲得状態をベイジアンネットワークによって構築する。ベイジアンネットワークの構築と確率決定

ベイジアンネットワークでは、ネットワークの構成によって、適用するアルゴリズムが異なる。本研究においては、本質的領域知識と必要領域知識の間のみグラフが張られるため、単結合ベイジアンネットワークが基本になる。

本研究におけるベイジアンネットワークは、下式(1)のように示される。ここで  $X$  はある本質的領域知識、 $Y$  はある必要領域知識とする。

$$X \mapsto Y \quad (1)$$

さらに、ある領域知識を知っている場合を  $T$ 、知らない場合を  $F$  とすれば、ベイズの定理により下式(2)のような条件付確率で、ある本質的領域知識を知っている確率  $Bel(X = T)$  を求めることができる。

$$\begin{aligned} Bel(X = x) &= P(X = x|Y = y) \\ &= \frac{P(Y = y|X = x)P(X = x)}{P(Y = y)} \quad (2) \end{aligned}$$

まず条件付確率  $P(Y = T|X = T)$  は、必要領域知識の保持確率で計算する。この必要領域知識の保持確率は、「説明している領域知識の限定処理」までにある必要領域知識を知っていると判定された回数 ( $W^+$ ) をその必要領域知識について発言した総数

( $W$ ) で割ったものである。この必要領域知識について発言した総数をモニタリングするために、発言内容に含まれるある必要領域知識のキーワードと照合させることでその発言総数を得ている。また、ある必要領域知識についての発言が1度もないときは、判定することはできないため、その確率を  $\frac{1}{2}$  と仮定して下式 (3) で示す計算を行う。

$$P(Y = T|X = T) = \begin{cases} \frac{1}{2} & (W = 0) \\ \frac{W^+}{W} & (W \neq 0) \end{cases} \quad (3)$$

次に条件付確率  $P(Y = T|X = F)$  は、本質的領域知識を知らない上で、それに関係する必要領域知識を知っている確率であると考えられ、下式 (4) で示される。尚、 $W_i^+$  は必要領域知識  $i$  においてその必要領域知識を知っていると判定された回数、 $W_i$  は必要領域知識  $i$  においてその必要領域知識について発言した総数、 $n$  はある本質的領域知識と関係のある必要領域知識の数である。

$$P(Y = T|X = F) = \frac{1}{2} \quad (4)$$

また、事前確率  $P(X = T)$  は、その学習者がその本質的領域知識と関係のある必要領域知識を知っている確率であると考えられ、下式 (5) で示される。尚、 $W_i^+$  は必要領域知識  $i$  においてその必要領域知識を知っていると判定された回数、 $W_i$  は必要領域知識  $i$  においてその必要領域知識について発言した総数、 $n$  はある本質的領域知識と関係のある必要領域知識の数である。

$$P(X = T) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^+}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (5)$$

### 3.4.8 領域知識マップ作成処理

「領域知識マップ作成処理」(図 3-(G)) では、これまでの処理で求めた学習者全員の領域知識の有無をリアルタイムに WEB チャットに明示する。本システムでは、領域知識の保持確率が一定の確率を超えた場合に、領域知識の有無がわかる視覚的なインターフェイス(領域知識マップ)を用意している。

## 4 評価・考察

### 4.1 好意的発言影響度の評価・考察

#### 4.1.1 妥当性評価実験

本実験では本研究の妥当性を検証するために、被験者に異なった話題、グループで本システムでの議論を 5 回行ってもらった。

その結果、学習者による順位付けの平均と好意的発言影響度の平均の分布(図 5) は、強い相関(相関係数:0.892)を示し、発言データと好意的発言影響度推移グラフの比較からも妥当性が示された。

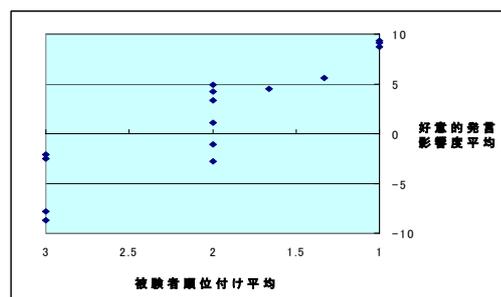


図 5: 順位付けと好意的発言影響度の分布図

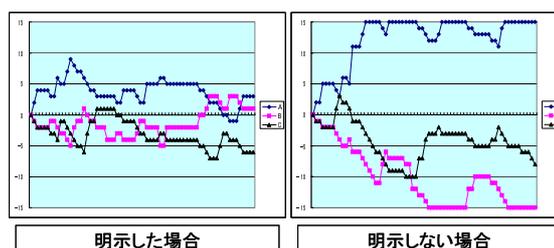


図 6: 好意的発言影響度推移グラフの比較

#### 4.1.2 有用性評価実験

本実験では本研究の有用性を検証するために、被験者が同一の話題で 2 度議論を行った。1 つは好意的発言影響度を明示した本システムで議論を行い、一方は好意的発言影響度を明示しないシステムで議論を行った。

その結果、個々の被験者のグラフ(図 6 縦軸:好意的発言影響度、横軸:時系列)に着目すると、明示しない場合に比べて、明示した場合は全ての学習者が議論を好意的な方向へ向かわせようとしていることが見て取れる。また上下動する頻度(明示した場合:0.397, 明示しない場合:0.338)を見ても明示した場合の方がより頻繁に議論を活性化させる発言が行われていることがわかる。

これらの結果は好意的発言影響度を示すことが、議論を活性化させていると捉えられ、好意的発言影響度の有用性を示すものである。

### 4.2 領域知識マップの評価・考察

#### 4.2.1 妥当性評価実験

領域知識マップの妥当性を検証するために、被験者(予備知識のある被験者 2 名と予備知識のない被験者 1 名)に、本システムを利用する前に、問題領域の知識を問うプレテストを行ってもらった。そして領域知識マップとの比較を下式 (6) で示される領

表 2: 発言データの比較

領域知識マップ 被験者	明示した			明示しない		
	A	B	C	A	B	C
質問数	14	3	4	8	2	2
回答・説明・意見数	4	14	15	2	8	8
領域知識表出発言数	2	10	12	1	5	7

領域知識認識率  $K$  を用いて行った。ここで領域知識の総数を  $N$  とし、ある領域知識に関して、領域知識マップの示す結果とプレテスト結果が同様なものである総数を  $T$  とする。

$$K = \frac{T}{N} \quad (6)$$

実験結果から全ての領域知識に関して領域知識認識率  $K$  を求めると、 $K = 0.810$  となる。この数値はシステムがある程度被験者の領域知識を把握できているものと考えられる。

さらに、プレテスト結果と領域知識マップの相違を見ていくと、被験者がその領域知識に関する発言を全くしていない場合に結果の相違が多く見られる。これには、その領域知識を知らないので発言できない場合とその領域知識を知っていても発言する機会がない場合が考えられ、どちらの場合であるかをシステムが判断するのは難しい。

このことから、本システムの示す領域知識マップには妥当性があると言える。

#### 4.2.2 有用性評価実験

領域知識マップの有用性を検証するために、被験者（予備知識のある被験者 2 名と予備知識のない被験者 1 名）に領域知識マップを明示した本システムでの議論と領域知識マップを明示しないシステムでの議論を行ってもらい、被験者の発言データ（質問数、回答・説明・意見数、領域知識表出発言数）の比較を行った。問題設定として、本システムを利用する場合の問題と領域知識マップを明示しないシステムの場合の問題は、同様の問題構造を持つ異なる物理（力学）問題とした。

実験結果として、表 2 に領域知識マップを明示した議論における発言データと領域知識マップを明示しない議論における発言データを示す。

領域知識マップを「明示した実験」と「明示しない実験」の発言データを比較すると、予備知識のある被験者（B, C）の回答・説明・意見数や領域知識表出発言数は「明示した実験」の方が明らかに多く

なっている。これは質問に対する回答・説明や自らの意見を積極的に述べ、領域知識が表出するような発言を多く行っていることが見て取れる。

また予備知識のない学習者（A）の発言データを比較すると、「明示した実験」の方が質問数が多い。これは領域知識のある被験者に対して質問を投げかけやすくしていることが見て取れる。

これらの結果は、領域知識マップを示すことが、議論を活性化させていると捉えられ、領域知識マップの有用性を示すものである。

### 5 まとめと今後の課題

本研究では、議論の活性化を目的とし、「好意的発言影響度」と「領域知識マップ」をリアルタイムに明示する議論支援システムを開発・評価した。その結果、「好意的発言影響度」を示すことで、全ての学習者がより積極的に議論を行い、「領域知識マップ」を示すことで、学習者が領域知識の表出する発言を多くしたり、質問をなげかけやすくなったりすることが妥当性と共に示された。

しかしながら、一部の議論では、学習者に発言テンプレートの選択に迷う場面が見受けられた。これを解決するには、発言テンプレートの利用に慣れが必要であると同時に、より精度の高い発言テンプレートを用意する必要がある。また領域知識把握するためには大量に領域知識データベースの内容を登録しなければならない問題点がある。これは、領域知識を自動登録する仕組みやより効果的な知識表現方法を検討する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 稲葉晶子, 岡本敏雄: “協調学習における議論支援のための Negotiation Process Model”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D- , No.4, pp.844-854 (1997)
- [2] 中原淳, 八重樫文, 久松慎一, 山内祐平: “iTree: 電子掲示板における相互作用の状況を可視化する携帯電話ソフトウェアの開発と評価”, 日本教育工学雑誌, Vol.27, No.4, pp437-445 (2004)
- [3] Lund, K., Baker, M. & Baron, M.: “Modeling Dialogue and Beliefs as a Basis for Generating Guidance in a CSCW Environment”, Proc. of ITS'96, pp.206-214 (1996)
- [4] 小谷哲郎, 関一也, 松居辰則, 岡本敏雄: “好意的発言影響度を取り入れた議論支援システムの開発”, 人工知能学会誌, Vol.19, No.2, pp.95-104 (2004)
- [5] 茶筌: <http://chasen.naist.jp/hiki/ChaSen/>