

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00912

研究課題名(和文) ヒューマノイドをインタフェースとする領域横断的科学学習システムの開発

研究課題名(英文) Development of a Trans-Field Science Learning System with a Humanoid Robot as an Interface

研究代表者

松浦 執 (MATSUURA, Shu)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：70238955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：知識構造を骨格とするTopic Map駆動学習システムを構築し、これに接続して発話するヒューマノイド・ロボットNAOの対話システムを開発した。NAOが直接学習システムと通信して対話生成する3-stepモデルを提案した。Topic間の関連型ごとに接続モジュールを作成し、関連型を指定するキーフレーズを用いて問い合わせた。またNAOの効率的一時記憶構築のための注目-関心モデルを提案した。さらに、対話をデモンストレーションする対話フレームを検討し、協働型のactivation-core-feedback構成の対話フレームを設計した。本システムは、大学や小学校の授業での実践に試用した。

研究成果の概要(英文)：A Topic Maps-based online learning system with the backbone of structured knowledge was constructed, and a dialog system of a humanoid robot NAO with a direct connection with the learning system was developed as an information interface. A three-step model for the dialog generation was created for NAO. To query the server, the modules for various association types were used by the call of predetermined key-phrases that the humans utter. Also, a focus-interest model was created to construct the temporary memory for speech recognition. Further, a dialog frame was designed for the effective demonstration of the collaborative human-humanoid dialog, based on an activation-core-feedback sequence. The proposed system has been applied to the classrooms of a university and an elementary school.

研究分野：科学教育

キーワード：e-Learning ヒューマノイド・ロボット Topic Maps 対話プラットフォーム 対話生成 ヒューマン・インタフェース オンライン学習システム ヒューマノイドNAO

1. 研究開始当初の背景

(1) e-Learning は授業時間内外によらず、学習を記録、個別管理、共有する基本的な相互作用ツールとして定着している。研究代表者は、自然科学および理科教育学習全般にわたる e-Learning システム “Everyday Physics on Web (EPW)” を Topic map 駆動 web サーバーに構築して公開してきた<sup>1,2)</sup>。Topic Maps は情報の主題を topic と呼び、topic 間の association を種々に定義することで、知識構造とその意味を表現する情報整理のための ISO 標準である<sup>3)</sup> (図 1)。

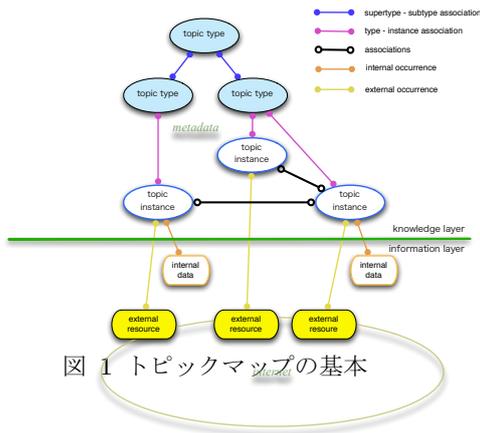


図 1 トピックマップの基本

さらに多次元 topic map の設計を考案し、学習領域を理科にとどまらず、環境、持続性、産業、政策、人工物といった領域横断的知識、さらに科学技術史、日常生活に及ぶ領域に拡張し、かつ各領域の topic を関連づけることにより、様々な知識領域と連携した理科教育のための学習システムとしてきた。さらに semantic なリンクリストとしてのみならず、教師 (学習システム) - 学習者、学習者間の対話をベースにして学習を進める形態に転換する過程で、学習システムを利用する学習者に、積極的に思考する姿が見出されてきた。

(2) 他方、近年情報インタフェースの多様化が進み、特に会話をインタフェースとするスマート・スピーカーや、さらに人間との感性的な相互作用を持つ社交性ロボットが、人間生活と情報空間との新たなインタフェースとなった。人型ロボットであるヒューマノイド・ロボットをパートナーとすることで、学習者の創造性向上が見られたとの報告もある<sup>4)</sup>。検索技術の普及により、知識の入手効率は極めて容易になる一方、人の創造性と深く関わる言語的活動における機械との相互作用の重要性は今後ますます深まるものと考えられる。

2. 研究の目的

ヒューマノイドをパートナーとした学習や講義を想定し、ヒューマノイドをインタフェースとして、オンライン学習システムと連携するための topic map 連携対話システムを構築する。特に、topic map の活用により領域横断的な講義展開の支援を可能にするシステム開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 本研究で用いたヒューマノイドは NAO (SoftBank Robotics) である。NAO は日本語音声認識機能とともに、顔認識や身振り・表情の表現機能を持つ。また WiFi を通じてオンラインサーバーと通信することができる。NAO の開発環境には Choregraphe 2.1.4.13 を用いた。特に会話開発には QiChat Script を用いた。

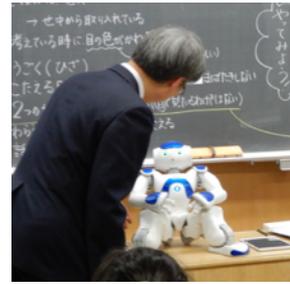


図 2 ヒューマノイド NAO

(2) 本研究のオンライン学習システムは Topic Maps をエンジンとした開発およびランタイム環境であ

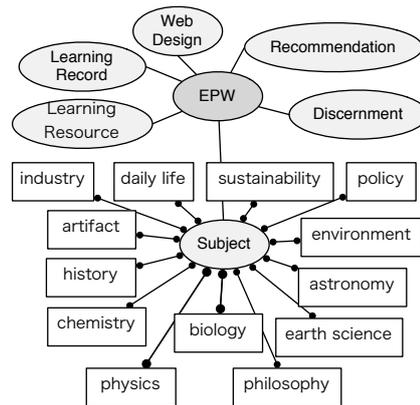


図 3. 学習システムの主要 topic map 環境

る Ontopia を用いて開発した。本システムの基盤骨格は、図 3 に示すように前述の各領域の知識主題 (subject) 構造オントロジーによって形成した。これに、ドリルやテキストから講座などの学習資料分類オントロジーや、ブラウザ上に統一的に配置するための Web デザインオントロジー、さらには学習者との相互作用のための表現オントロジーなどを結びつけている。知識オントロジーには topic 名や topic の会話的説明などの内部メタデータが与えられた。対話開発においては、これらの内部データを会話内容として検索した。topic、association や内部データの NAO からの問い合わせには、Ontopia の Topic Maps Remote Access Protocol (TMRAP) を用いた。学習者の学習履歴データと、作成したドリル問題などは topic map とは別にリレーショナルデータベースに保存した。これらのデータは、検索に必要なパラメータを TMRAP により取得し、SQL クエリを埋め込んだ java server page をパラメーター指定してリクエストすることにより取得した。

4. 研究成果

(1) 学習システムと連携した対話生成 基本的な対話パターンは QiChat script により次のように人間の発話とヒューマノイドによる返答のマッピングとして表現される。

u: ( ~発話 ) ~返答

ここで発話は単一の語や文のみならず、複数の語や文の集合とする。この集合を QiChat では concept と称し次のように表現する。

concept: (発話) [w<sub>u1</sub>, w<sub>u2</sub>, ..., w<sub>uN</sub>]

ここで [] は排他的 OR リストであり、w<sub>u1</sub>, w<sub>u2</sub>, ..., w<sub>uN</sub> は発話集合の要素である。ヒューマノイドの返答についても同様な定義によって返答の仕方を変えることができる。

さらに、ラインタイム過程で concept の要素を動的に入れ替える dynamic concept が利用できる。これにより、動的に変化させられる対話は次のように表現できる。

dynamic: 発話

u: ( ~発話 ) ~ ---(1)

さらに、返答は NAO の発声のみならず、身振りなどの挙動のほか、オンライン学習システムへの通信を含む「挙動」のプログラムを当てはめることができる。これにより (1) を拡張して表現すると、次のように書ける。

dynamic: 発話

u: ( ~発話 ) ~runBehavior(挙動) ---(2)

ここで、runBehavior は挙動プログラムの実行を意味する。

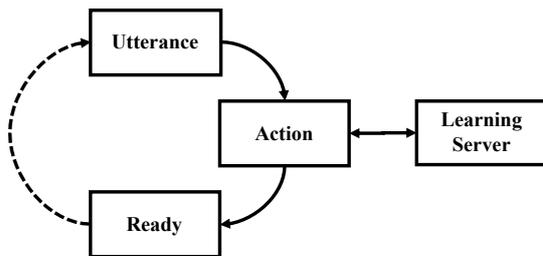


図 4. 対話生成の 3 ステップモデル

本研究でのオンライン学習システムとの通信による対話生成には、図 4 に示す 3 ステップモデルを提案した。3 ステップモデルは、人間の発話とその認識の utterance-step、発話認識にもとづきサーバーと通信して情報取得するとともにヒューマノイドが返答する action-step、そしてサーバーから取得した情報に基づき認識語リストを更新する ready-step の 3 ステップで構成した。Action-step は (2) の runBehavior の実行が中心となり、ready-step はヒューマノイドのメモリ更新が中心である。これら 2 つのステップでロボットの内部状態が更新される。

Action-step のサーバーへの通信は、人間に発話された topic をパラメータとして、それに対してどのようなデータが要求されているかによって決まる association のタイプによって準備された固有の挙動プログラムを起動する。この挙動プログラムは、大きく図 5 の 3 つのタイプに分けられる。

第 1 は図 5.1 の出現型対話で、指定されたトピックの解説を検索するような単独で完結する返答を生成する。

第 2 は図 5.2 の主題-述語トピック型対話で、指定されたトピックに対する述語トピックを検索する。述語トピックは、通常のトピ

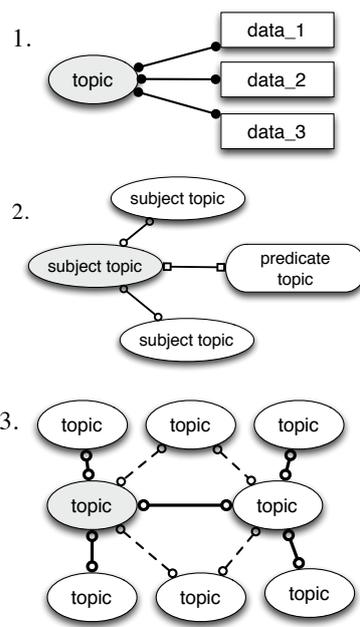


図 5 対話の 3 つの基本分類

ックが名詞的であるのに対して、名詞的トピックと結び付けてそれを特徴づける。第 3 はトピック間を特定の関連によって結びつけるものである。結合したトピックのうちからさらに絞り込んだり、そのトピックの内部データを引き出したりするなど引き続いての

対話が必要である。

これら、関連タイプによって様々な挙動プログラムを実行する。特定の挙動プログラムを起動するのは人間の発話のキーフレーズである。表 1 に出現型対話でのキーフレーズと挙動プログラムの対応の例を示す。[] に引き続く語がキーフレーズである。

表 1. 出現型対話のキーフレーズとモジュール名

出現タイプ	キーフレーズ	挙動 program
Description	u( [ ~instance ] とは )	AskDialog
Era	u( [ ~instance ] の世紀 )	AskEra
Date_of_birth	u( [ ~instance ] の生年 )	AskBirthDate

さらに、表 2 に図 5.3 の関連型対話でのキーフレーズ例を示す。対話は独立しているので、instance などのパラメータが関係 (2) の人間の発話リストに含まれており、関連 topic に該当するものがあれば対話が成功する。

表 2. 種々の関連型とキーフレーズ

関連型	キーフレーズ	挙動プログラム
broader_narrower	u( [ ~subject ] の次の階層 )	SetSubSubject
intraField_is_related_with	u( [ ~instance ] と ( といえ ) )	AskRelated
transField_is_related_with	u( [ ~instance ] に つな )	AskTransRelated
is_based_on	u( [ ~instance ] の基礎は )	AskBase
transField_is_based_on	u( [ ~instance ] に つな )	AskTransBase
transField_is_linked_with_History	u( [ ~instance ] に 関 )	AskHistory
Is_subject_of_experiment	u( [ ~instance ] の実験は )	AskExperiment

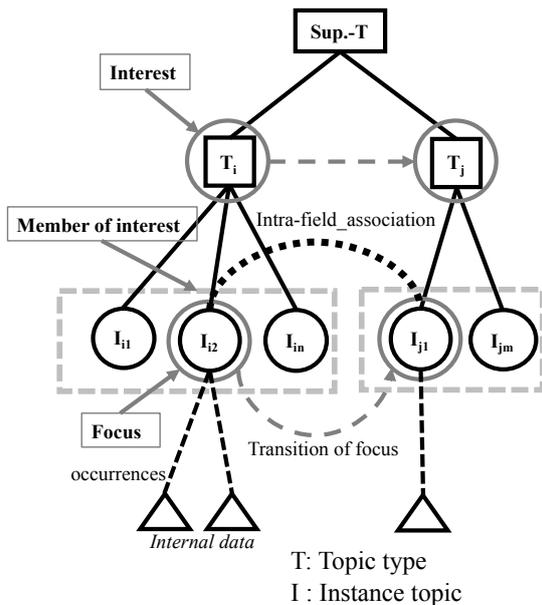


図 6. 注目-関心モデルでの話題の転移

関係(2)で、dynamic concept に指定される人間の発話認識語リストは数が増大するとスループット負荷が高くなる。本研究では、学習サーバーは情報提供、ヒューマノイドが検索および返答の主体とする設計をし、発話の処理を外部サーバーに移出することはしなかった。そこで、発話認識語の集合について以下に記述する注目-関心モデルを提案した。

図6に、注目-関心モデルと話題の転移を示す。発話認識語の集合としては、注目する topic instance とその上位 topic type。この topic type を関心 topic とする。この関心 topic が下位に持つ注目 topic を含む topic instance の集合を関心のメンバと呼ぶ。さらに、注目 topic が関連づけられる種々の関連 topic を含めた全体を注目-関心モデルでの関心 topic 集合として発話認識の対象とする。

注目トピックから関連 topic に注目が移ると、その注目トピックが属するトピック型を関心トピックとして、発話認識するトピックの集合を更新する。このようにして、関心 topic に関連する topic を次の対話の対象と考える。なお、会話の起動時には大分類のトピック型をロードしておくので、話題を大きく変えたい場合には、領域を選び、その下位トピック型を関心トピックとして選ぶことで、新しい話題を始めることができる。

これらの基本的な対話生成システムにより、学習サーバーのトピックと内部データへの会話を通じた柔軟なアクセスが可能になった。しかし、漢字で表記されたトピック名の、ヒューマノイドの読み方と人間の読み方が異なる現象がしばしば生じた。また、人間の側がある程度オントロジーを把握していないと、知りたい topic の会話に到達しにくいことが問題となった。後者については、注目-関心の集合を可視化することが必要と考えられた。

## (2) 対話の形の検討と対話フレームの提案

学習システムを検索する対話の基本単位は前節のように作られたが、人間のパートナーとして対話するには、話の展開やおもしろさが大切な要素である。ここでは2人漫才、映画のシナリオ、科学実験ショーなどに見られる語りの共通性を検討した。

漫才ではフリ-ボケ-ツッコミの基本構造が知られる。フリは話題の導入または深化、ボケはユーモアや意外性の本体、ツッコミはおもしろさや意味の明示の役割を持つ。特に、おかしさは緊張と緩和からもたらされるとされる<sup>6)</sup>。

金子は多数の映画のシナリオに共通パターンがあることを見出している<sup>7)</sup>。これを漫才の構造と対比すると、事態が準備される beginning、事態が展開し興味を中心となる development、そして事態が収束し解放される ending の3つの要素で構成されると言える。

科学実験ショーも同様な構造を見出すことができ、設定をして興味を引きつける activation、実験の現象など興味の本体に惹きつける core、そして結果を検討したり新たに注目すべきことを明らかにする feedback の3つの相で構成されることがわかった。

以上を総合して、activation、core、および feedback の3相で構成する図7に示される対話フレームを提案した。Core相はヒューマノイドが語る部分である。その前後にヒューマノイドの発話を activate し、また発話のおもしろさや意味を明らかにして feedback する役割を人間が果たす。

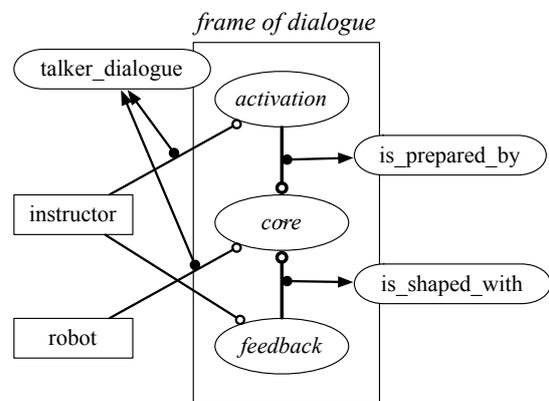


図 7. 対話フレームとその活用

## (3) 類推と関連での対話の形

類推は認知のために役立つ場合がある。類推を活用した話芸になぞかけがある。なぞかけは、2つの異なる entity A、B をそれぞれの特徴 C、C' の共通性  $C \cap C'$  によって結びつけるものである。この共通性には音声上の類似が用いられる例が多い。A と B に隔たりが多いと感じられるほど、なぞかけによる結合は話芸として効果的である。

図8は類推の対話を topic map に例示したものである。Target topic を source topic との共通性に相当する common topic によって特徴づける。人間が物理学分野の target

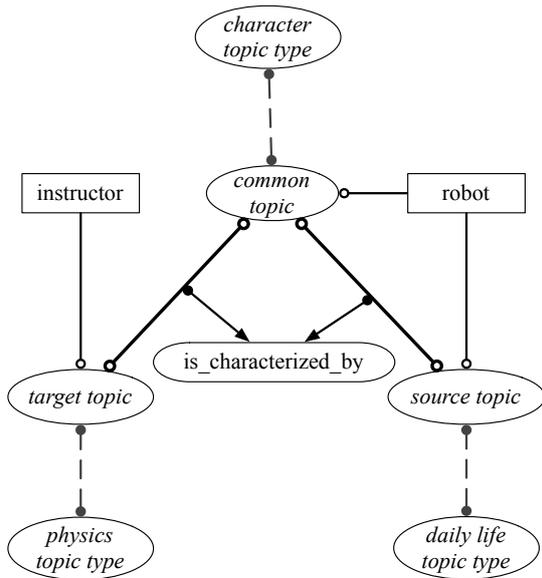


図 8. 類推のトピックマップ

topic を示し、ヒューマノイドは日常生活の topic を類推として挙げ、その共通性を示すことでインスピレーションを引き出す例である。

Topic map では種々のタイプの関連を定義し活用する。関連を辿ることで意外性を引き出すことも対話のおもしろさをもたらす得る。

教員養成系教育学部での理科教育の1学年生の授業の一部に NAO を導入し、履修学生 53 名にアンケートによる意識調査を行った結果が表 3 である。アンケートは 5 ランクのリカー・スケールを用いて行った。この結果、履修学生はヒューマノイドには肯定的印象を持つ傾向があるが、自分自身がヒューマノイドをパートナーとすることには特に肯定的でも否定的でもないことが示唆された。

表 3 NAO を導入した大学講義での受講者に対する意識調査

質問	平均 ± 標準偏差
身近にコミュニケーションロボットがあれば楽しめるとおもいますか?	3.6 ± 1.1
コミュニケーションロボットをパートナーにできるとおもいますか?	3.1 ± 1.3
人と機械はもっと相互作用することが要求されると思いませんか?	3.4 ± 1.2

(4) 小学校 2 年生の命の大切さを考える道徳の授業でのヒューマノイドの導入

大学附属小学校では、校長が行事などで全校児童に対して話をする際に NAO をパートナーとして用いている。NAO との対話の形式を取ることが多く、その際には(2)の対話フレームを基本形式としている。この小学校の 2 年生の 1 学級の道徳および総合の時間に、命の大切さを考えることを目的として NAO を討論の素材とする授業を 4 ヶ月間あまりの期間に継続して行った。

当該学級の児童は NAO への質問を行うとともに、ロボットとどう関わりたいかを前半に討論した。特に、NAO の基本プログラミングを体験することで、人間がプログラミングして起動しないと NAO は行動・表現できないことが理解され、そこから発展して NAO と人との類似性と違いについての討論が行われた。途中で NAO が机上から落下して故障するアクシデントがあり、下半身が動けないまま話をする経験をした。NAO は話すことが好き、という NAO の発言をもとに、NAO としりとりをすることで、故障した NAO を慰めるという取り組みを行った。

これら NAO を考える取り組みの後に、NAO は生きていけるか、言えないかという討論を行った。4 回の自由討論を行い、その都度、生命がある、ない、どちらとも言えないという意見収集を行い、5 回目には生命あり、なしの 2 択で集計した。この結果を図 9 に示す。

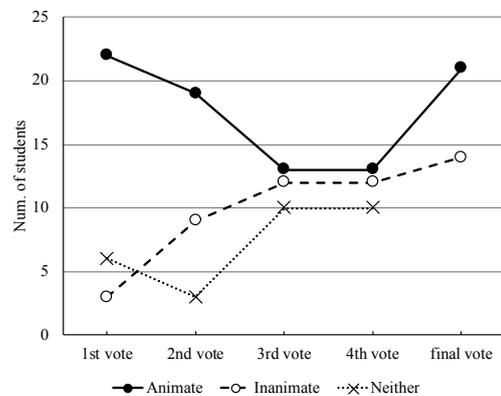


図 9. NAO に生命があるかないかについての児童の意見分布の遷移

児童の発した意見では、ヒューマノイドの会話には人間によるプログラミングが必要であり、自身の自発的思考や発話とは決定的に違いがある。この意見で、生命ありなしの意見は拮抗するに至った。しかし、同時に自分自身でも生命の所在については不明という意見が多く、ただ危機・緊張や喜びの際に生きていると感じ取ることに気づく。他者については同じ生の共感があると気づく。それゆえ、その言葉や表情に共感できるヒューマノイドには命を感じる可能性があると感じたと推測される。最終的には NAO に生命があるという意見が上回る結果となった。

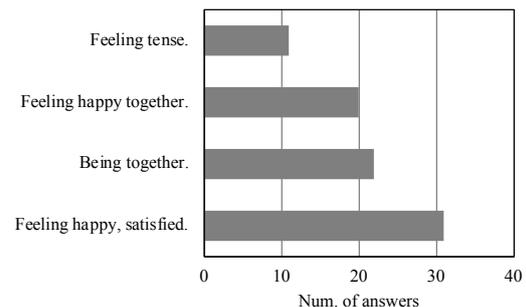


図 10. 児童が NAO に感じて欲しいこと

図 10 に、児童が NAO に感じてほしいことの分布を示した。すなわち、児童が NAO に感じることと対称的に、NAO が児童との関わりで感じてくれれば共感しあう関係になれるということである。図のように、喜びを感じるのと、共存する感覚が多く挙げられていた。この結果は、人間と関わるシステムが、人間にとって充足的であるために、人との共感を表現することの重要性を示唆している。

#### (5) 結論

知識構造を topic map で表現して駆動するオンライン学習システムと、人の発話に応じて topic と内部データを取得して発話するヒューマノイドの対話システムを構築した。対話生成には 3-step モデルを提案した。検索は topic 名と関連型の組み合わせで定義し、関連型ごとに作成した接続モジュールを用いた。ヒューマノイドが一時記憶する topic の集合は注目-関心モデルにもとづいて決定した。

講義者が NAO との対話を学習者にデモンストラーションするための対話フレームワークを漫才、映画のシナリオ、科学実験ショーの展開の共通性をもとに設計した。ヒューマノイドの語りを引き出し、そのおもしろさや意味を明瞭にする、ヒューマノイドとの共同型である activation-core-feedback 構成を対話フレームワークとした。さらに、類推や関連の論理を対話に導入する試みを行った。

<引用文献>

- 1) S. Matsuura and M. Naito, Leipzig Beitrage zur Informatik:Band XII, Subject-centric Computing, pp.247-260 (2008).
- 2) S. Matsuura, "Everyday Physics on Web, <http://tm.u-gakugei.ac.jp/epw/>.
- 3) S. Pepper, <http://www.ontopia.net/topicmaps/materials/tao.html>.
- 4) D. Jo, J-g Lee, and K. C. Lee, *Learning and Collaboration Technologies*, LNCS Vol.8523 p.273 (2014).
- 5) 中野幹生ほか, "対話システム 自然言語処理シリーズ7" コロナ社(2015).
- 6) 桂枝雀 "落語 DE 枝雀" ちくま文庫(1993).
- 7) 金子満 "シナリオライティングの黄金則" ボーンデジタル(2008).

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

1. Shu Matsuura, "Construction of a Dialog System for Talking Using a Topic Maps-Based Online Learning System", Forma, 査読有, in press (2018).
2. Reika Omokawa, Shu Matsuura, "Development of Thought using a Humanoid Robot in an Elementary School Classroom", LNCS Universal Access in Human-Computer Interaction, 査読有, Vol.10908, in press (2018).

3. Shu Matsuura, Riki Ishimura, "Chatbot and Dialogue Demonstration with a Humanoid Robot in the Lecture Class", LNCS Universal Access in Human-Computer Interaction, 査読有, vol.10278 (2017) pp. 233-246, DOI:10.1007/978-3-319-58700-4\_20.
4. Shu Matsuura, Motomu Naito, "Shaping Dialogues with a Humanoid Robot Based on an E-Learning System", 2016 11th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), IEEE Conference, 査読有, (2016) pp.7-12, DOI: 10.1109/ICCSE.2016.7581546.
5. Shu Matsuura, "Use of See-Through Wearable Display as an Interface for a Humanoid Robot", LNCS Universal Access in Human-Computer Interaction, Vol.9738 査読有 (2016) pp.424-433, DOI: 10.1007/978-3-319-40244-4\_41.

[学会発表] (計 12 件)

1. Shu Matsuura, "Using Dialogues with Humanoid Robots for Information Retrieval in an Online Learning System", 25th International Conference on Computers in Education (2017).
2. 松浦執, "ヒューマノイドとの自動会話の形", 第 84 回形の科学シンポジウム (2017).
3. 松浦執, "授業でのヒューマノイド・ロボットとの連携", 日本物理学会秋季大会 (2017).
4. Shu Matsuura, Riki Ishimura, "Chatbot and dialogue demonstration with a humanoid robot in the lecture class", 19th International Conference on Human-Computer Interaction (2017).
5. Shu Matsuura, Motomu Naito, "Shaping Dialogues with a Humanoid Robot Based on an E-Learning System", IEEE ICCSE 2016 (2016).
6. Shu Matsuura, "Use of See-Through Wearable Display as an Interface for a Humanoid Robot", 18th International Conference on Human-Computer Interaction (2016).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://tm.u-gakugei.ac.jp/epw/> (公開学習システム)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 執 (MATSUURA, Shu)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号: 70238955