原著論文

Vol.21 No.1, 2019

ロボットの言葉足らずな発話が生み出す協調的インタラクションについて

西脇 裕作 *1　板敷 尚 *1　岡田 美智男 *1

Cooporative interactions generated by incompleteness in robot's utterance

Yusaku Nishiwaki*1, Sho Itashiki*1, and Michio Okada*1

Abstract – **The general idea about the human-robot conversations is that the utterances of a robot should be easy to understand. It has been considered robots should provide the complete information, without the necessity of a human asking further questions. On the other hand, considering the human-human conversation, in particular, between a child and a caregiver; even though the child has a limited speaking ability to tell a story entirely, child and caregiver can build deep bonds through the aggressive support of the caregivers. This study aims to analyze the human behaviors when a robot speaks to a human with insufficient words. We built a syntactic method to create a deficiency in the elements of the robot's utterances. We analyzed the human replies in such a human-robot conversation. The results showed that when the robot used "Kotobatarazu Utterance," the human partners increased asking questions to the robot, talked more about the details of the topic and they decreased slight responses. These results indicate that a human can join more actively to the conversation when the robot provides incompleteness in its conversation. Furthermore, the recorded interaction between a human and the "Kotobatarazu" robot was evaluated as cooperative.**

Keywords : **human-robot conversations, deficiency, syntactic method**

1. はじめに

「ハロー，○○！今日の予定は？」「本日は，午後3時から409会議室にて，ウィークリーミーティングがあります」など過不足ない情報交換もいいけれど，幼児などとの少し言葉足らずな発話を介してのやりとりも面白い.「きょうね，いっぱいあそんだ！」（えっ，だれと？）「きみちゃん」（へー，なにしてあそんだの？）「おえかきしたよ」（そうなんだ．たのしかった？）「うん」……など，聞き手の手助けや解釈を上手に引き出しつつ，幼児と聞き手はおしゃべりを続けてしまう．過不足のない情報交換と比べても，むしろ豊かなコミュニケーションを実現しているようにも思われる．

人とスマートスピーカーとの会話を見てみると，多くのシステムは大人のようにしっかりと話し，過不足のない情報交換を行おうとしている．しかし例に挙げたようにコミュニケーションとして会話を考えたとき，幼児の言葉足らずな発話が備える〈不完結さ〉は，他者を上手に巻き込み，一緒に発話を作り上げるような重要な機能を備えているのではないだろうか．

筆者らはこれまで〈弱いロボット〉などの不完全さを備えたロボットとのインタラクションについて着目してきた．また近年，HRI研究では失敗するロボットにも注目が集まっている．これらの研究を踏まえ，筆者らは〈不完結さ〉が聞き手の積極的な手助けや解釈を引き出すための〈余地〉として機能することに着目し，人とロボットとの共創的なコミュニケーションの可能性について探っている．

本研究では，ロボットの発話が言葉足らずで〈不完結さ〉を備えるとき，聞き手からどのような関与を引き出すのかを調べるとともに,〈弱いロボット〉の概念やミハイル・バフチンの対話論などに依拠しつつ，この〈言葉足らずな発話〉の備える他者との関係を引き出す力について考察する．

2. 研究背景

2.1 自己完結した言葉，相手と共に生み出す言葉

ロシアの文芸評論家 Mikhail Bakhtin は対話の参加者が交わす「声 [1]」に着目し社会的な相互作用を二つに分類した [1].「声」が相手と交わることなく常に承認と受容のみを要求する〈権威的な言葉〉と「声」が他者と交わり相手が新たに解釈する余地を持つ〈内的説得力を持つ言葉〉である．

前者の〈権威的な言葉〉は聞き手が話し手の言葉に対して新たな解釈を行うことができない状態を指し，

*1: 豊橋技術科学大学大学院 情報・知能工学系
*1: Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

1: ここでいう「声」とは聴覚的信号以上の意味があるものであり,「人格としての声，意識としての声」という極めて広範囲な現象を含んでいる．

言葉の意味は話し手だけが生み出すものとされる．そして後者の〈内的説得力を持つ言葉〉は聞き手が話し手の言葉を新たに解釈できる余地が残されている状態であり,「意味構造は完結したものでなく，開かれたものである」[1] と言われる．

この論考を人とロボットとのインタラクションとして捉え直すと,〈権威的な言葉〉の特徴を備えることは，社会にあらかじめ意味づけされた振る舞いを使うことであり，多くの相手と安定したインタラクションを構築することが期待できる．一方で〈内的説得力を持つ言葉〉の特徴を備えることは，その時点，その場所の相手との関わりの中で互いに行為の意味付けができる余地を備えることであり，参与者同士特有のインタラクションを作り出すことを期待できるのではないだろうか．

これまでロボットの多くは，機能をサービスとして提供することを目指してきた．人と会話する機能もロボットの会話能力の限界によって，人の発話とロボットの発話に一定の意味を定め，人とロボットとがスピーチコマンドを送り合うことで会話を成り立たせていたものも多い．これによって多くの人がロボットとの会話を成立させることができていたものの，内的説得力は失われ，会話というインタラクションで生まれる新しい意味や関係性について議論することを難しくしてしまっていたと考えられる．

2.2　弱いロボット

筆者らは，これまで〈弱いロボット〉という関係論的なロボットの研究をすすめてきた [2]．多くの機能を個体に備えさせるのではなく，他者との関わりの中で生まれてくる関係論的な能力に着目し，他者からの支えを引き出してしまう設計やデザインを備えるロボットのことを指す.〈弱いロボット〉はそれ自体でできることが限られ，多くの目的を達成することができないものの，周囲からの支えを予期したその設計やデザインは他者の支えを引き出し様々なことを達成してしまう．ここでは〈弱いロボット〉の代表例としてお掃除ロボットと Sociable Trash Box の 2 つのロボットを示し，本研究が依拠する概念について詳しく述べる．

床のゴミを吸い取ってくれるお掃除ロボットは，開発段階では考えられていなかったであろう関係を人と形成し，個体としての能力以上の出来事を達成している例である．iRobot 社の Roomba を代表とするお掃除ロボットは，直線的に動き，その進路に存在するゴミを吸い取りながら，向きを何度も変え部屋全体の掃除を行う．しかし，お掃除ロボットを使っていると，ロボットが家具によって通ることが出来ない場所，またコードなどに引っかかり動けなってしまう場所が見え，お掃除ロボット自身の機能だけでは，掃除能力が限られていることがわかってくる．そのため人が家具を動かし，またコードを整理するなどロボットがうまく掃除できるように助ける様子が見られる．すると，ロボットは人の手助けを得ることで動ける範囲を増やし，床の掃除を十分にできるようになる．また人の協力は部屋の家具や，出しっぱなしのものの整理整頓に繋がる．結果として，人とお掃除ロボットとが共に部屋を片付け，床を綺麗にしてしまっていた．

図 1　ゴミ箱ロボット〈Sociable Trash Box〉
Fig. 1　Sociable Trash Box

そして，この人との関係の中で生まれる能力に着目して開発されたロボットが，ゴミ箱ロボットとも呼ばれる〈Sociable Trash Box(STB)〉である [3]．図 1 に示す STB は腕を備えておらず自身ではゴミを拾い上げることができない．前後左右の移動と体を上下左右に傾ける動きに加え，周囲の人を認識することが可能であるが，STB の周囲にゴミが落ちていても腕が無いロボット自身ではなにかをすることは難しい．しかし STB の近くを通る人が現れると状況が変わってくる．ゴミとその周りで動いている STB の姿を見た後に，ゴミを拾い上げて入れてくれる人が現れ，ロボットはその人にお辞儀をしてお礼をする．そして，そのやりとりを見た人たちがさらにゴミを入れてくれることが観察されている．個体の能力だけではゴミを拾えない STB は人からの手助けを得て，ロボットだけでは出来ないゴミを集めることを人との関係のなかで達成することができていた．

2.3　本研究の位置付け

〈弱いロボット〉は不完全な能力を備え自己完結しないことで，人と共に行為を生み出す事を可能にしていた．会話では，このような話し手と聞き手とが共に行為を生み出す様子は，水谷によって「共話」と名付けられている [4]．この共話は人同士の会話では日常的に見られるものであり，日本語学，社会言語学の研究分野において議論の対象とされてきた．

ミハイル・バフチンの対話論や〈弱いロボット〉の論考に依拠すると,〈不完結さ〉は他者と共に行為を生み出す要因の一つだと考えられるが，工学分野において，不完結さに着目した人とロボットとの会話研究は少なく,〈不完結さ〉を備えることで，人とロボットとの会話にどのような影響を与えるかは未だ議論の余地が残されている．

これまで筆者らが行ってきた研究の一つの人の聞き

手性に応じて発話途中で言いよどんでしまうロボット〈Talking Ally〉は，言いよどんでしまうというロボットの不完全さによって，人は会話に参加していると感じやすくなることがわかっている[5]．また Tanaka らや Hood らによれば，学習環境においてロボットが人の助けを受ける立場（ケアレシーバーの立場）になることで子供がより学ぶようになることや[6],[7]，Mirnig らによって，失敗をしてしまうロボットは人から好かれることが報告されている[8]．

これまでロボットの多くは人の助けを必要としない完璧なサービスを提供しようとしてきた．しかし近年，ロボットが〈不完結さ〉を支えることは，出来ないことを増やすネガティブな意味だけでなく，コミュニケーションとしての積極的な意味を備えることがわかってきている．人とロボットとがより自然なコミュニケーションを行えるようにするためにも,〈不完結さ〉について解明していく必要があるのではないだろうか．そこで本研究では，これまでに行われていなかった発話内容に〈不完結さ〉を備える方略について検討した．〈弱いロボット〉のアプローチを参考に,〈言葉足らず〉に話すロボットを構成し，人からどのような発話や応答，関係を引き出すのか調査を行った．

3. 実験

3.1 発話条件と評価対象について

3.1.1 言葉足らずな発話，前から区切る発話

本研究では発話に不完結さを備えさせるために幼児と養育者との会話を参考にした．幼児の発達途中の言語能力によって，大まかにしか出来事を伝えることができない様子に着想を得て,〈言葉足らずな発話〉方略は発話リソースとなる文の大きな意味から伝えることを目指した．そのために文中の単語，述語，助詞などの関係性を構文解析器を用いて解析し，1 文に含まれる要素の中から一部要素を取り除くことで〈言葉足らず〉になるよう変換を行った．

実験での発話リソースには，Web ニュースの記事を用いた．Web ニュースはロボットの発話リソースとして利用されやすく，またニュース記事は聞き手に対して誤解を与えずに正しく伝わるように書かれたものが多く，必要な情報があらかじめ整理されている．本研究では相手にしっかりと伝えることが目指されているニュース記事に対して，その記事の内容から情報が欠けるように変換することで〈言葉足らずさ〉を生み出した．

本研究で用いた〈言葉足らずな発話〉の構築方法は，まず係り受け解析機 Cabocha[9] を用いて，1 文の係り受け構造を調べる．そして図 2 に示すような文節 1 と述部が係り，文節 1 と述部の間にある要素 X が述部に係る構造を持つ文を対象として，原文から「文節 1 ＋述部」を発話 1，次に「要素 X ＋述部」を発話 2 と分けて発話する．文としての大きな意味を取り出しつつも，欠けた詳細な情報は要素 X に含むこの方法を〈言葉足らずな発話〉方略とした．

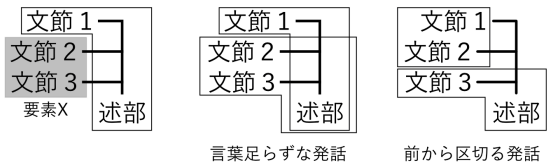


図 2　発話方略説明図
Fig. 2　Robot utterance method.

また〈言葉足らずな発話〉条件に対して〈前から区切る発話〉条件を定めた．前述した〈言葉足らずな発話〉の変換対象文に対して〈前から区切る発話〉条件では，原文から「文節 1 ＋要素 X1」を発話 1，次に「要素 X2 ＋述部」を発話 2 と，分けて発話を行うものとした．

3.1.2 発話を話し言葉にするための変換

しかしニュース記事の文を分割しただけでは書き言葉の文体であり，話すには適していない．そこで，ロボットの発話の語尾には「〜ね」「〜よ」「〜だって」などのモダリティの付与を行い，さらに分割対象となった文の発話 1 を話す前に「あのね」「えっとね」等のフィラーの付与を行った．

本研究では〈言葉足らずな発話〉として処理する文に図 2 に示すように構文的制約を設けため，Web ニュース記事内には,〈言葉足らずな発話〉として処理できる文とできない文が存在する.〈言葉足らずな発話〉として処理できない文に対しては，2 から 4 文節の長さの分かち書きができる単位で区切り，話し言葉に変換して発話を行った．

3.1.3 評価範囲について

本研究では，ロボットの発話に対して人がどのような行動，応答を行うかを調査することが目的である．川口らの研究では，会話中の評価範囲を条件間で異なる部分のみとしたことや[10]，人とロボットとの会話において，ロボットの発話と人の応答を一つのセットとして考えやすいことから，本研究では，局所的な範囲で人の応答を評価することとした．図 3 に示すように,〈言葉足らずな発話〉に変換できる文と，同じ部分で〈前から区切る発話〉に分割した文を用いて人の応答の比較を行った．3.1.1 節に示したように，評価対象部分は 1 文を 2 つに分けて発話しているため,「発話 1」「発話 2」が評価対象発話内に存在する．

3.2 プラットフォーム〈Muu〉

本研究ではプラットフォーム〈Muu〉を用いた．その外見を図 4 に示す．Muu は筆者らが研究開発を進めているロボットであり，そのデザインはミニマルデ

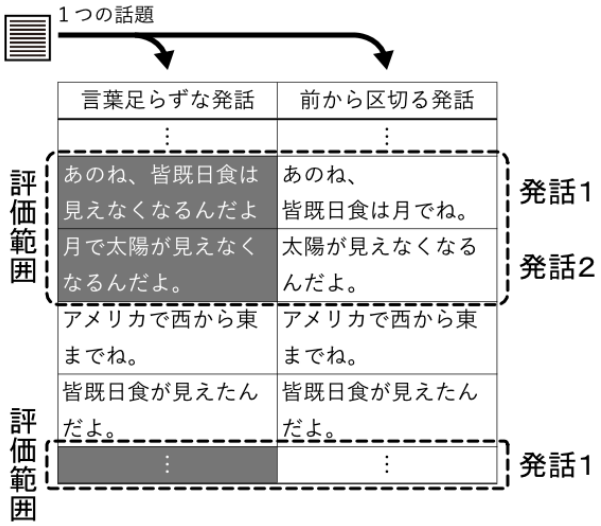


図 3　発話リソースと評価範囲
Fig. 3　Robot utterance resource and targets for evaluation

図 4　プラットフォーム〈Muu〉
Fig. 4　Platform〈Muu〉

ザインに基づいている[11]．クリーチャーのような見た目をしたそのロボットは，何をするロボットなのかの予測を難しくさせ，適応ギャップを防ぐことができると考えている．

内部にある 2 個のサーボモータによって頷きや左右に視線を向けることができ，また目の部分には Web カメラが取り付けられており人の顔を追従することができる．そして Real Sense SDK を用いて音声認識が可能であり，音声合成エンジンには ATR-P 社製 Wizard Voice SDK を使用することで，子供のような声で発話するのがこのロボットの特徴である．

3.3　実験デザイン

本研究では実験を 2 つ行った．実験 1：人とロボットとのインタラクション実験，実験 2：実験 1 で取得した動画を用いた主観評価実験である．

3.3.1　実験 1：インタラクション実験

実験 1 では，人がどのように〈言葉足らずな発話〉条件と〈前から区切る発話〉条件のロボットに関わるかを調査した．実験参加者は実験参加への同意後，ロボットとのインタラクションと休憩のセットを合計 6 回行った．インタラクションを開始する度に「ロボットが話しかけてくるので会話をしてみてください.」と

表 1　話題の内容
Table 1　Speech contents

話題	内容	評価発話数
1	トヨタ自動車とマツダが共同開発	12
2	世界で一番のお金持ち	12
3	フランスのワインの生産量	10
4	上野動物園のパンダの赤ちゃん	10
5	ホンダのジェット飛行機	10
6	アメリカであった皆既日食	12

実験者は教示をした．ロボットは予め決められた発話を行うように設定され，6 つの話題と 2 つの発話条件で合計 12 個の発話リソースを用いて，発話を行った．発話のリソースとして用意した話題は表 1 に示すとおりであり，ロボットの発話条件は〈言葉足らずな発話〉,〈前から区切る発話〉の 2 条件である．表 1 の左の数字はインタラクション順序を示しており，全参加者は一番始めにトヨタ自動車に関する話題，最後に皆既日食に関する話題について話を聞いた．また，表中の評価発話数は，3.1.3 節で示したように，評価対象となる発話の合計である．

参加者が行う 6 回のインタラクションのうち，ロボットが〈言葉足らずな発話〉条件で発話を行うのは半分の 3 回であり，残りの 3 回は〈前から区切る発話〉条件で発話を行った．話題と発話条件のカウンターバランスを取るために参加者を 2 つの群に分け，一つ群には 1,3,5 回目に，もう一つの群には 2,4,6 回目に，ロボットは〈言葉足らずな発話〉で話しかけた．

インタラクション中，人が終始無言であればロボットは 3 秒毎に発話を行うが，人の応答が継続している限り，ロボットは人の発話終了を待ち次の発話を行うようにプログラムした．実験 1 ではインタラクションのビデオ撮影を行い，主観評価を調査するアンケートなどは行わなかった．

実験環境は図 5 に示すように，部屋の一部をパーティションで囲み，スペースの角に Muu と机を設置した．参加者から見て右側にビデオカメラを設置し，実験参加者は机の前の椅子に座り Muu とインタラクションを行った．一つのインタラクションが終わるたびに，実験参加者はパーティションの外に出て休憩を行い，そして任意のタイミングで再び机の前に座り，再度 Muu とインタラクションを繰り返した．

実験では参加者がロボットとどう関わるかを調査するため，IR 分析という手法を用いて人の応答について分析を行った．IR 分析は，Linell によって提唱された方法であり[14]，岩田が日本語会話の分析に用いている[12]．IR 分析は会話の参加者が共同で会話を行っているかを調べるための手法であり，本研究では，分析の一つの軸として用いられる「会話を前に推し進め

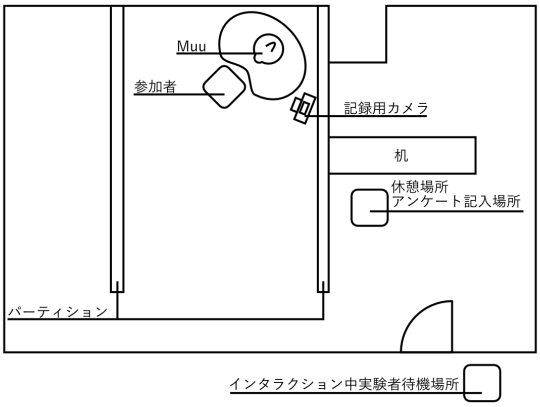


図 5　実験環境
Fig. 5　Experiment field

る働き」を表すイニシアチブ的性質に着目した．イニシアチブ的性質が弱いものには，ターンパス（無言など）や，それまでの話題と関係のない内容の導入が当てはまり，イニシアチブ的性質が強いものには，会話に関連した内容の付与や質問が当てはまる．岩田は，論文の中で「会話に関連した内容の付与」が行われるものをバランスの取れたターンと述べている．

本研究では Linell，岩田の研究を参考に，会話中の人の関わりについて分析した．人の応答カテゴリの詳細は表 2 に示す．岩田の研究で使われていた応答の 6 つの大分類（表中 1, 2, 5, 6, 7, 8) に加え，これまで筆者らが展示会や地域でのイベントでロボットを展示してきた際に見られた 4 のカテゴリ (表中 3, 4, 9, 10) を加えた 10 カテゴリで人の応答を分類した．人の応答のターンは，IR 分析の手法に従い人の応答に含まれる各発話をアノテーションするのではなく，人が話し始めてから次にロボットが話すまでの人の複数の発話を一つのターンとして扱い，アノテーションを行った．そのため，応答の中で複数の発話が現れていても，最もイニシアチブ的性質が高いものをそのターンの応答カテゴリとして用いた．つまり「あいづち」を行った後に「質問」を行った場合は，そのターンは「質問」のターンとなり，「あいづち」のみが出現した場合には，そのターンは「あいづち」のターンとなる．人の応答ターンのアノテーションは，アノテーションツール ELAN を用いて，責任著者と第二責任著者の合計 2 名でアノテーションを行った．

3.3.2　実験 2：主観評価実験

実験 2 では実験 1 に参加していない第三者が，実験 1 で行われたインタラクションの動画を視聴し，そのインタラクションが会話として成り立っていたか，参与者がどのように関わっていたか等の評価を行った．提示した動画は各条件で 1 つずつであり，1 人の実験

表 2　人の応答カテゴリ
Table 2　Human response category

ID	カテゴリ	発話例
1	ターンパス	無言のターン
2	最小応答	「うん」「ほー」
3	発話内容の一部を繰り返す	「ワイン…」
4	発話をさらに促す応答	「それで」
5	発話内容を踏まえたコメント	「知らなかった」「すごかったね」
6	発話内容についての質問	「何が?」「どこであったの？」
7	それまでの内容に関係しない内容の導入	「今日天気良いね」
8	それまでの内容に関係しない質問	「スポーツ好き？」
9	聞き取れなかったことの表示	「なんて言った？」
10	笑い	笑いのみのターン

表 3　質問項目
Table 3　Questionnarie

人とロボットとの会話の雰囲気に関する質問

Q1	会話は成り立っていた	会話の成立
Q2	会話は自然に行われていた	
Q3	会話は協調的だった	共同性
Q4	会話は一方的だった	
Q5	人とロボットで一緒に話をしようとしていた	

人，ロボットの会話への参加態度

Q6	人はロボットに話しかけていた	参加態度
Q7	人はロボットの話を聞いていた	
Q8	人は積極的に会話に参加しようとしていた	
Q9	人はロボットから話を引き出そうとしていた	アシスト
Q10	人は会話を維持しようとしていた	
Q11	ロボットは人に話を聞いてほしそうだった	

1 の参加者が 2 条件のロボットとインタラクションを行っている様子である．1 つの会話は約 3 分ほどの長さであった．提示した動画については，実験 1 のアノテーション結果を用いて選択するため，4.2 節に後述する．インタラクションの評価を行うために，11 のアンケート項目を用意し「5:そう思う，4:少しそう思う，3:どちらとも言えない，2:あまりそう思わない，1:そう思わない」の 5 件法を用いて評価を求めた．その質問項目を表 3 に示す．アンケートの項目はランダムに提示され，アンケート回答者には，項目についての回答に加え，そのように回答した理由について記述を求めた．

4.　結果

4.1　実験 1：インタラクション実験の結果

実験 1 の実験参加者は男性 9 名，女性 7 名の計 16 名であったが，分析対象の等質性を確保するために 3 名を分析から除外した．男性 1 名，女性 1 名はロボットの発話に対して無言のターンの頻度が半分以上になり，他の参加者に比べて発話が少なくなったため分析対象から除外した．また女性 1 名については他の参加者より発話が著しく多く，参加者の平均が 144 秒のインタラクション時間であるのに対し，彼女は平均 215 秒のインタラクションを行っており，過度な反応が見られたために分析から除外した．

そのため，男性 8 名，女性 5 名の計 13 名（平均年齢 27.7 歳，標準偏差 11.2 歳）を対象としてインタラクションの分析を行った．発話頻度が少ないために除外した男性 1 名と女性 1 名には，似た特徴が見られたため考察を別に行った．

対象者 13 名のアノテーション結果を用いて，ロボットの発話条件間の比較を行った．10 の応答カテゴリについて，1 インタラクションあたりの出現割合を図 6 に示す．表 1 より，ニュース記事毎に評価対象文の数が異なっているためインタラクション毎で対象文の数を用いて正規化を行っている．応答カテゴリ 7 と 8 については一度も出現しなかったため図から省略した．そして，各カテゴリの出現割合の差を確認するため，wilcoxon の符号順位検定を行った．

〈言葉足らずな発話〉条件に対する人の応答では，カテゴリ 5 の「発話内容を踏まえたコメント（図中：情報の追加）」，カテゴリ 6「発話内容についての質問（図中：質問）」の割合が有意に増えることが確認された．そして〈前から区切る発話〉条件への人の応答では，カテゴリ 1「ターンパス（図中：無言）」，カテゴリ 2「最小応答」の応答ターンが有意に多くなることが確認された．

そして，本実験では〈言葉足らずさ〉を生み出す方法としてロボットは対象の文を 2 つに分割したため，人の応答にはロボットの発話 1 に向けた応答と，発話 2 に向けた応答がそれぞれ存在する．ここでは有意な差が見られた 4 つの応答カテゴリについて，2 つの発話条件，2 つの発話タイミングの 4 つの発話に対する，人の応答カテゴリの出現割合について多重比較を行った．Bonferroni の調整法を用いて wilcoxon の符号順位検定を行った結果を図 7 に示す．図中で使われる記号「A, B, C, D」は表 4 に示すとおりである．図 7 の割合は，A，B，C，D のそれぞれの発話に向けて行われた人の応答の中であり，A，B，C，D の各発話に向けた応答の全カテゴリの出現割合は表 5 に示す．

その結果，B の発話に対して行われたカテゴリ 2 の「最小応答」は，他の発話に対して行われていたカテゴリ 2 の割合よりも有意に高いことがわかった．そしてカテゴリ 5 の「情報の追加」の割合については，B < A < C,D の順序で応答の割合が増えていた．そして，A の発話に向けて行われたカテゴリ 6 の「質問」は，他の発話に向けられた「質問」よりも有意に高くなっていた．

表 4　4 つのロボットの発話条件とタイミング
Table 4　Four Condition by two robot utterance condition and two utterance timing

	発話 1	発話 2
言葉足らずな発話	A	C
前から区切る発話	B	D

表 5　4 つのロボットの発話に向けた全カテゴリの出現割合
Table 5　Response Frequency to Four Condition

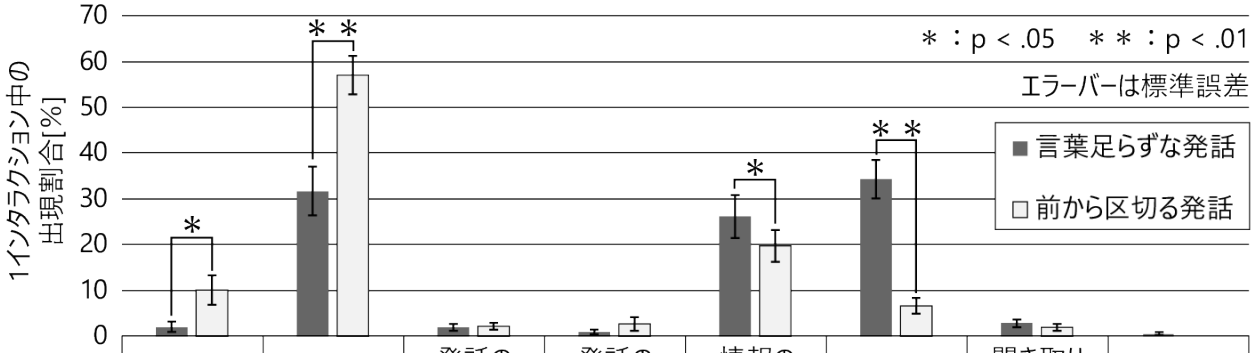
	応答カテゴリ [%]								
	1	2	3	4	5	6	9	10	計
A	2.9	22.9	0.0	1.4	13.2	54.6	4.1	0.9	100
B	16.2	73.4	1.4	5.3	1.5	1.3	0.9	0.0	100
C	1.0	40.3	3.8	0.4	39.1	14.0	1.5	0.0	100
D	3.9	40.6	2.9	0.0	37.8	12.0	2.8	0.0	100

次に，評価範囲内の人のターンパスを除く発話応答の数はそれぞれ，A に対しては 209 回，B に対しては 177 回，C に対しては 213 回，D に対しては 204 回であった．そしてロボットの発話が終了した時刻をゼロとして，人のターンが開始されようとした時刻の評価を行った．ロボットの発話に重複するように人が発話する場合には負の値を取り，ロボットの発話後は正の値を取る．人の応答開始時刻のグラフを図 8 に示す．

この応答開始の時間について，ロボットの発話条件と応答タイミングの条件を合わせた 4 つの条件間で，Friedman 検定をおこなった．発話が行われていなかった応答ターンを含む場合は，分析を行うために欠損値として扱う必要があった．そのため評価データの個数は A,B,C,D それぞれ 166 個となった．検定の結果は，$\chi^2(3) = 45.874, p = .000$ となり，4 つの条件間には有意な差が含まれることがわかった．そして事後検定として，信頼区間の調整には Bonferroni 法を用いて各条件について wilcoxon の符号順位検定を行った．その結果，A-B, A-C, C-D の間で，p < .000 であり，有意な差が検出された．

4.2　実験 2：主観評価実験の結果

最後に，実験 2 の主観評価実験の結果について述べる．提示した動画は，実験 1 の参加者 13 名から得られた計 78 回のインタラクションのうち，〈言葉足らずな発話〉条件，〈前から区切る発話〉条件のそれぞれで



	無言	最小応答	発話の繰り返し	発話の促し	情報の追加	質問	聞き取り不可	笑い
割合(左)	2.0	31.6	1.9	0.9	26.2	34.3	2.8	0.4
割合(右)	10.0	57.0	2.1	2.6	19.7	6.6	1.9	0.0
T(12)	1.5	0	25.5	3	14	0	20	0
p値	.015	.002	.878	.281	.030	.002	.472	.346

図 6　ロボットの発話条件間の出現割合の比較
Fig. 6　Frequency analysis for Human response category between the robot uttrance's conditions

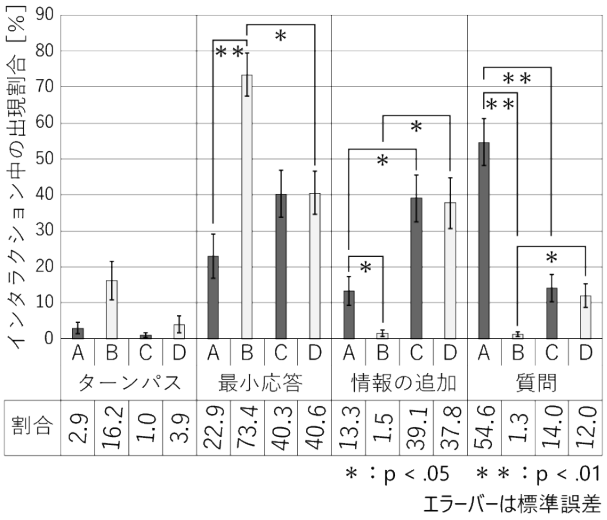


図 7　条件間，応答タイミング間の比較
Fig. 7　Frequency analysis between robot condition and human response timing

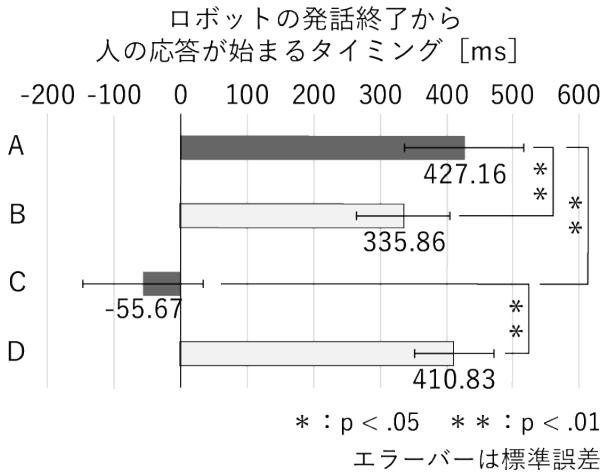


図 8　応答開始時刻の分析
Fig. 8　Response time and delay

平均的なインタラクションが見られるものを用いた．

実験 1 で得られたインタラクションの応答カテゴリの割合を評価範囲だけではなく全ターンを対象として行い，10 の応答カテゴリの割合をそのインタラクションの特徴ベクトルとした．そして 78 回のインタラクションから〈言葉足らずな発話〉条件のロボットの 39 回のインタラクションで平均特徴ベクトルを計算し，同様に〈前から区切る発話〉条件の 39 回のインタラクションで平均特徴ベクトルを計算した．

そして，2 つの発話条件の平均特徴ベクトルと 78 のインタラクションの cos 類似度を計算し，平均との類似度を求めた．提示する動画の選定条件として，インタラクションが平均特徴ベクトルとの類似度が高く，また 2 つの条件でそれぞれ平均的なインタラクションを行っていた参加者であり，そして会話内で聞き取り不可などの明確な会話の崩壊が起きていないものを選出した．

その結果，各発話条件のインタラクションとして，22 歳女性参加者がが言葉足らずなロボットと「世界で一番のお金持ち」の話題で会話したインタラクションと，前から区切る発話ロボットと「ホンダのジェット飛行機」の話題で会話したインタラクションを選択した．〈言葉足らずな発話〉条件のロボットとの会話の cos 類似度は，0.91，前から区切る発話の cos 類似度

は 0.97 であった．動画内で見られた応答の割合を表 6 に示す．表に示すように両条件で笑いだけの応答ターンは出現しなかったが，両条件で「最小応答」や「質問」を行うターン中に笑いも含まれていた．

また提示した動画には，実験 1 の参加者の意向により動画中の顔にモザイクを施した．会話中の表情は表 3 に示す項目を回答するために重要な要素の一つだと考えられるが，笑っている様子や，疑問を感じて質問を行っていたかなどについて，語尾の変化や笑いの出現を頼りに会話中の音声から判断することができたと考えられる．そのため実験 2 の参加者は，会話の中で起こる人の発話応答の種類や，応答タイミングから得られる情報で評価を行ってもらった．

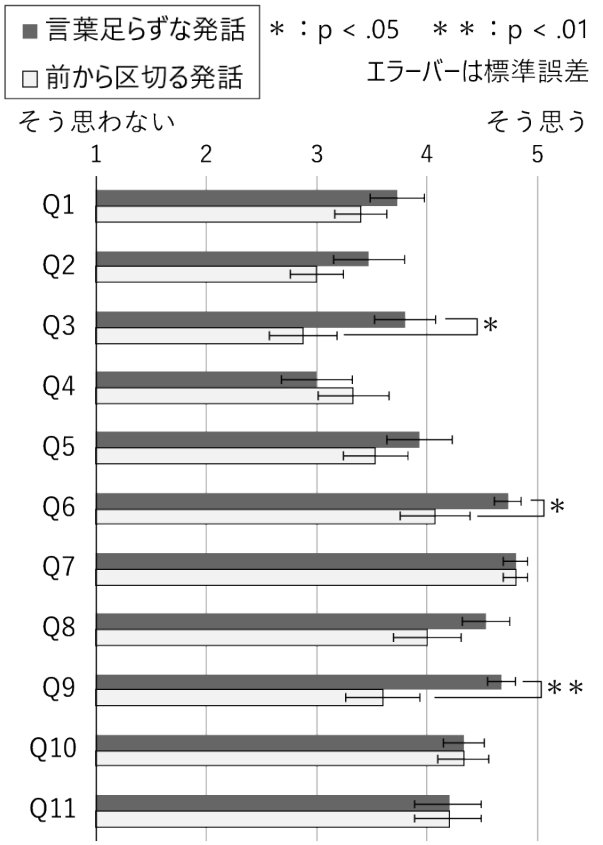
表 6　動画内での応答カテゴリの割合
Table 6　Response Frequency in the videos

		言葉足らず条件動画 [%]	前から区切る条件動画 [%]
応答カテゴリ	1	0.0	0.0
	2	23.5	76.5
	3	0.0	0.0
	4	5.9	0.0
	5	41.2	23.5
	6	29.4	0.0
	9	0.0	0.0
	10	0.0	0.0

ビデオ評価実験参加者は男性 7 名，女性 8 名の計 15 名 (平均年齢 28.4 歳，標準偏差 8.5 歳) である．実験参加者は，表 3 に示した質問項目 11 個に対する回答について，用意した 2 つの動画を視聴し評価を行った．各質問項目について wilcoxon の符号順位検定を行った結果を図 9 に示す．

人の印象評価の結果，Q3「会話は協調的だった」，Q6「人はロボットに話しかけていた」，Q9「人はロボットから話を引き出そうとしていた」の 3 項目で有意な差が確認され，Q8「人は積極的に会話に参加しようとしていた」の項目で有意傾向が確認された．

また，評価理由についての自由記述より，3 名以上から同様に得られた意見を表 7 に示す．両条件の会話において,「人のあいづちに対する反応がない」と述べられていたが，一方で〈言葉足らずな発話〉条件では「会話が成り立っていた」「人の質問にロボットは答えていた」との記述が見られた．



	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11
平均点(上)	3.73	3.47	3.80	3.00	3.93	4.73	4.80	4.53	4.67	4.33	4.20
平均点(下)	3.40	3.00	2.87	3.33	3.53	4.07	4.80	4.00	3.60	4.33	4.20
T(14)	12	32	10	15	14	0	1.5	3	4.5	18	10.5
p値	.211	.193	.018	.401	.333	.019	1	.066	.006	1	1

図 9　視聴した動画についての印象評価
Fig. 9　Subjective evaluation for the videos

表 7　回答理由（括弧内の数字は意見の数を示す）
Table 7　Answer Reason of Questionnarie (the number in brackets is the number of same answers)

言葉足らずな発話	前から区切る発話
人の相槌に対する反応がなかった．人の問いかけに答えているようには思わなかった．(3)	ロボットは人に反応していなかった（3）
ロボットの発話に人が応答しており，人が調整をすることで会話が成り立っていた．(3)	一方的に感じた（4）
会話になっていた．ロボットは人の質問に適切に答えていた．(3)	

5.　考察

実験 1 の結果，図 6 が示すように，人が〈言葉足らずな発話〉条件のロボットに向けて行っていた応答には，会話に関連した情報の追加や質問の割合が増えることが確認された．岩田が論文の中で「会話に関連した内容の付与」をバランスの取れたターンと述べているように，人はロボットと共に会話を前に推し進めるイニシアチブ的性質の高い応答を行っており,〈言葉足らずな発話〉条件は〈前から区切る発話〉条件に比べて，バランスの取れた会話を構成できていたことを示している．

〈言葉足らずな発話〉を使うロボットに対して，カテゴリ 6 の質問が増加したことについて，図 7 の結果によれば発話 A（言葉足らずな発話＋発話 1）の後に有意に多く質問が行われていた．人の質問の多くは，「疑問詞」＋「助詞」の形で質問が行われ，これは鈴木の研究によれば,「先行するロボットの発話に存在しなかった要素があるために修復して欲しい」と示したものである [13]．構文解析によって要素が欠けた言葉足らずなロボットに対して，人は要素が足りていない事を表示するため，質問を行っていた．発話 C（言葉足らずな発話＋発話 2）と発話 D（前から区切る発話＋発話 2）では質問の割合に差が見られなかったことについては，ニュース記事自体に含まれている質問ができる部分をもとに質問が行われていたためだと考えられる．追加で分析を行ったところ，発話 D に人からの質問が行われたロボットの発話は 32 箇所であり，そして，その 32 箇所のうち，同じ発話リソースをもとに作られた発話 C の 29 の箇所で同様に質問が行われていた．

また図 6 において，カテゴリ 5 の情報の追加が〈言葉足らずな発話〉条件で増加した理由として,〈言葉足らずな発話〉条件では発話 1 と発話 2 でそれぞれ述語が語尾に存在するように，区切られていたためだと考えられる．図 3 に発話の一部を示したように,〈前から区切る発話〉の発話 1 は文が助詞＋モダリティで終わっており，人はそれをロボットが発話の継続を示していると認識し，積極的に関わりを見せなかったと考えられる．そのため図 7 に示すように〈前から区切る発話〉条件の発話 1 ではロボットの発話を継続させるカテゴリ 2 の「最小応答」の発話が増え，その他のカテゴリの発話は減少していたと考えられる．人同士の会話では「引き取り」と呼ばれる，話し手の発話を聞き手が途中で引き取って完結させる行為が見られるが，人とロボットとの会話では発話を区切っただけでは「引き取り」は見られず，情報の追加を行う様子は見られなかった．つまり人からの積極的な関わりを増やすための方法の一つとして，内容が欠けていたとしても，述語を含んでターンとして終了させることで，相手が関わる余地を感じることができるようになると考えられる．

そして，図 8 の応答時刻の結果より，ロボットの発話 1 では,〈言葉足らずな発話〉条件で，ロボットの発話終了の時刻から人の応答開始までの時刻が大きくなることがわかった．この発話 1 での条件間の違いには，発話 A に向けられた応答は，発話 B（前から区切る発話＋発話 1）より，質問の割合が多く，また最小応答のターンの割合が少ないことが見られていた．また人が行った質問は，先行発話に欠けた部分があることを示すものが用いられやすかった．

これらの結果からこの発話 A に少し遅れが出現したことについて，Schegloff が指摘した「他者開始修復」の行為から考えた．Schegloff によれば，人同士の会話において，話し手は聞き手に質問される前に，自分で足りない部分を修復すること（自己開始修復）を行いやすいと言われている [15]．しかし本研究では，ロボットは人のように自己修復することはできていない．そのため，情報がかけてしまっていた〈言葉足らずな発話〉に対して，発話が完全に終了したと認識された時点で人が応答を開始していたために，発話 A（言葉足らずな発話＋発話 1）に対して応答の遅れが見られたのだと考えられる．

また，図 8 の応答時刻の結果より，発話 C（言葉足らずな発話＋発話 2）に対して，人はロボットの発話に重なるように発話を行っていた．その要因として考えられるのが，先行するロボットの発話中に人が理解をしめすようなあいづちを行う行動である．実験で見られたそのインタラクションの例を以下の図 10 に示す.〈言葉足らずな発話〉条件では，ロボットの発話中に重なるようにあいづちが示される様子が見られた．これは〈言葉足らずな発話〉条件でロボットが人の質問に答えられていたためだと考えられ，質問に対する答えを含む単語が示された時点で，人は質問に対する回答が得られたことを表現したのだろう．

会話の一部

R：あのね(0.3)21日(0.3)アメリカであったんだよ
H：なにがあったの？
R：皆既日食［があったんだよ
H：　　［あっ
H：知ってる(.)すごく久しぶりにあったんだよね

トランスクリプト記号
[　オーバーラップの開始位置
(0.0) その秒数の間がその位置にあることを示す
(.)　0．2秒以下の短い間合い

図 10　実験で見られた会話例
Fig. 10　Example Conversation in the Experiments

本研究は，ロボットの発話に不完結さを備えることで，人とのインタラクションにどのような関わりが見られるのかを調査してきたが，実験室で行われた影響についても考察する必要があるだろう．インタラクションの開始時に「ロボットが話しかけてくるので会話をしてみてください.」と教示を行ったため，ロボットと何をするかわかっている状況で，ロボットの話に合わせて会話をしようと考えた参加者が多いのではないだろうか．そのため，人の応答カテゴリの 7，8 のような話題の転換を行おうとする応答はインタラクショ

ン全体で極めて少なくなった可能性があり，評価範囲内ではゼロであった．

そして，実験 1 で応答をほとんど行わなかった参加者に関して，二人は一回目のインタラクションからほとんど応答を行っておらず，会話出来る相手として認識されていなかったことが考えられる.「話してくるので会話してみてください」と教示したが，ロボットは人に向かって挨拶や質問などをすることはなく，人同士の初対面の会話で行われる儀式的な行動を行っていなかった．

最後に，実験 2 の第三者の印象評価実験の結果（図 9）より，Q6「人はロボットに話しかけていた」Q9「人はロボットから話を引き出そうとしていた」が〈言葉足らずな発話〉条件のロボットとの会話において有意に高い得点が付けられていた．これは，図 6 にも示したように〈言葉足らずな発話〉条件では質問や情報の追加が多く行われていたことから，実験 1 の結果と一致した．

そして，Q3「会話は協調的だった」について,〈言葉足らずな発話〉条件が有意に高い得点を得た理由を表 7 の自由記述の回答理由から考える．自由記述で見られていたのは，人からの調整が存在したかである.〈前から区切る発話〉では人は一方的にロボットから話しかけられ，あいづちしか行うことが出来なかったとすると,〈言葉足らずな発話〉では質問ができる余地が残されており，そして人が質問を行うことを選択し，会話を前に進めるように働きかけたことで，会話は協調的と評価されたのではないだろうか．

本研究では，ロボットが〈言葉足らずさ〉という不完結さを備えることで，会話が「ロボットによって伝達され，人が受け止める」という人が受動的になるのではなく，ロボットの発話に欠けた部分があることによって，人が会話に参加する振る舞いを増やすことが見られた．しかし，人とロボットとが共に会話を構築していくためには，不完結さによって引き出した応答を,「言葉足らずであってもロボットがさらに人を支える」ことについて検討していく必要がある．このインタラクションの連鎖を考えることで，人とロボットとが共に会話を生み出すインタラクションに近づけると考えている．

6.　おわりに

人同士の会話において不完結さは，参与者同士が共に新たな意味を生み出す機会になると言われている．しかし人とロボットとの会話では，不完結さを扱う方法は多くのことが解明されておらず，人とロボットとがより自然に会話を構築していくためにも，不完結さをどのように備えれば良いのか議論を進めていく必要がある．

本研究では，会話を目的としたインタラクションにおいて，構文解析を用いてロボットが言葉足らずに発話する状態を作り出した．そして，ニュース記事を発話リソースとした人とロボットとのインタラクションを観察し，人とロボットとで共に会話を成り立たせることの可能性を探った．

実験結果より,〈言葉足らずな発話〉ロボットは会話で人々の支えを得られる余地を備えることがわかった．ニュース記事を区切り，話し言葉になるように語尾を変化させて発話した〈前から区切る発話〉条件に比べて，人は言葉足らずなロボットに向けて「質問」と「情報の追加」を増やし，人は会話を前に進める参与を増やしていたことがわかった．そして，第三者が人と〈言葉足らずな発話〉条件のロボットとの会話を観察した結果,「会話は協調的だった」と〈前から区切る発話〉条件に比べて有意に高く評価されており，人が調整して支えていたことで，会話が成り立っていたことが挙げられていた．

自己完結せずに他者からの支えを得ることで意味や能力を生み出す様子は人同士の関係の中ではよく見られ，特に，子どもの未発達で不完全な様子は，周りの助けを引き出し，養育者と共になって会話を成立させてしまう．しかし人とロボットとの会話においては，人からの支えを予期することは考えられてこなかった．その理由の一つには，相手からの支えを得られる確証が無いことがある．本研究のロボットについても人からの支えが無ければロボットの言葉は宙に浮いてしまい，その意味や関係性は失われてしまう．本実験参加者 16 名のうち 2 名はインタラクション時間の半分以上を無言で過ごし，どう対応すればいいか困ってしまっていたように，さらに多くの人が支えやすい，支えたいと思えるようなロボットを生み出すには，まだ多くの課題が残されている．

本研究が残す課題の一つとして，発話に不完結さを備える方略には別の手法もあるだろう．今回は構文解析のみを用いたが，日本語の自然会話のコーパスなどを用いて，コーパスから人同士が備える言葉の不完結さを探し，ロボットに不完結さを備える方略として応用する事ができるだろう．

また本研究は実験室実験であり，そのため参加者は,「会話をすること」に意識してロボットとインタラクションを行っていた．しかし実社会にロボットを出せば様々な思惑の中でロボットは人とインタラクションを取ることになるため，不完結さを備えるロボットをフィールドに持ち出し，人との関わりを調べる必要があるだろう．

本稿で取り扱った不完結さを備えた言葉足らずなロボットは，まだ人と共に会話が出来ている訳ではなく人に頼り切ってしまっている．頼っているだけでは，

会話という次々に展開が進む場において，参与者同士によって新しく生み出される意味や面白さについて議論することは難しい．本研究では，ロボットの発話に不完結さを備えることで，人との関わりが増えることについて調査を行った．今後はロボットが人からもらった支えを，さらに支えることが出来るよう研究開発を進めたい．共に支え合うことで成り立つ会話の構築を目指していくことで，人とロボットとのインタラクションを人同士の自然なものへと近づけることができると考えている．

謝辞

本研究の一部は，科研費補助金（基盤研究 (B) 18H03322），豊橋技術科学大学博士課程教育リーディングプログラム教育研究費によって行われた．ここに記して感謝の意を表す．

参考文献

[1] M. M. バフチン, 伊藤一郎 訳: 『小説の言葉』; 平凡社 (1996)
[2] 岡田美智男: 『弱いロボット』（シリーズ ケアをひらく）; 医学書院, (2012)
[3] Yamaji, Y., Miyake, T., Yoshiike, Y. et al.: STB: Child-Dependent Sociable Trash Box; *International Journal of Social Robotics*, Vol.3, Issue 4, pp. 359–370 (2011)
[4] 水谷信子: 「共話」から「対話」へ; 日本語学, Vol.12, No.4, pp.4–10 (1993)
[5] Hitomi Matsushita, Yohei Kurata, P. Rabindra S De Silva, Michio Okada: Talking-Ally: What is the future of robot's utterance generation?; *24thIEEE International Symposiumon Robot and Human Interactive Communication(RO-MAN)*, pp. 291–296 (2015)
[6] Fumihide Tanaka and Shizuko Matsuzoe: Children teach a care-receiving robot to promote their learning: field experiments in a classroom for vocabulary learning; *Journal of Human-Robot Interaction - Inaugural Special Issue: Intersection of Systems Sciences and Human Sciences*, Vol.1, No.1, pp. 78-95 (2012)
[7] Hood, Deanna and Lemaignan, Séverin and Dillenbourg, Pierre: When Children Teach a Robot to Write: An Autonomous Teachable Humanoid Which Uses Simulated Handwriting; *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction - HRI '15*, pp.83–90 (2015)
[8] Mirnig, Nicole, Gerald Stollnberger, Markus Miksch, Susanne Stadler, Manuel Giuliani and Manfred Tscheligi: To Err Is Robot: How Humans Assess and Act toward an Erroneous Social Robot; *Front. Robotics and AI*, Vol.2017 (2017)
[9] 工藤 拓, 松本 裕治: チャンキングの段階適用による日本語係り受け解析; 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.6, pp.1834-1842 (2002)
[10] 川口 一画, 葛岡 英明, 鈴木祐也, 中尾 誉, 山下 淳, カローラ ピッチ, 山崎敬一: ロボットの発話途中の沈黙と言い直しによる人の注意誘導; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.257–264 (2009)
[11] 岡田美智男, 松本信義, 塩瀬隆之, 藤井洋之, 李銘義, 三嶋博之: ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.3, pp. 189–197 (2005)
[12] 岩田夏穂: 日本語学習者と母語話者の会話参加における変化 ―非対称参加から対象参加へ―; 世界の日本語教育, Vol.15, pp.135–151 (2005)
[13] 鈴木佳奈: 「なにかが欠けている発話」に対する他者開始修復：会話の事例から「文法項の省略」を再考する（〈特集〉相互行為における言語使用:会話データを用いた研究）; 社会言語科学, Vol.10, No.2, pp.70–82 (2008)
[14] Linell, Per and Gustavsson, lennart and Juvonen, PÄIVI: Interactional dominance in dyadic communication: a presentation of initiative-response analysis; *Linguistics*, Vol.26, No.3, pp.415–442 (1988)
[15] Schegloff, Emanuel A. and Jefferson, Gail and Sacks, Harvey: The Preference for Self-Correction in the Organization of Repair in Conversation; *Language*, Vol.53, No.2, pp.361-382 (1977)

（2018 年 07 月 05 日受付，11 月 16 日再受付）

著者紹介

西脇　裕作

2018 年豊橋技術科学大学大学院工学研究科情報・知能工学専攻修了．現在，同研究科情報・知能工学専攻博士後期課程に在学中．2016 年 4 月より豊橋技術科学大学博士課程教育リーディングプログラム履修学生．主に，人が備える不完結さに着目したインタラクションデザインとそのコミュニケーション技術への応用に関する研究に従事．人工知能学会，認知科学会各会員．

板敷　　尚

2015 年豊橋技術科学大学　情報・知能工学課程卒業．現在，豊橋技術科学大学情報・知能工学専攻在学中．社会的ロボティクス，ヒューマンロボットインタラクションに興味を持つ．

岡田　美智男　（正会員）

1987 年東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了，工学博士．NTT 基礎研究所，国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) を経て，2006 年 4 月より豊橋技術科学大学情報・知能工学系教授．専門はコミュニケーションの認知科学，社会的ロボティクス，ヒューマン・ロボットインタラクションなど．主な著書に『弱いロボット』（医学書院），『〈弱いロボット〉の思考』（講談社現代新書）がある．

(C) NPO法人ヒューマンインタフェース学会