

# 高齢者同士の TV 会話におけるユーザの参加状態に応じた 介在型ロボット

## A mediating robot in elderly-elderly videophone communication corresponding user's conversational attitudes

米澤朋子<sup>1\*</sup> 山添大丈<sup>1</sup> 神山祐一<sup>2</sup> 安部伸治<sup>1</sup> 間瀬健二<sup>2</sup>

Tomoko Yonezawa<sup>1</sup> Hirotake Yamazoe<sup>1</sup> Yuichi Koyama<sup>2</sup> Shinji Abe<sup>1</sup> and Kenji Mase<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ATR 知能ロボティクス研究所

<sup>1</sup> ATR Intelligent Robotics and Communication Labs.

<sup>2</sup> 名古屋大学

<sup>2</sup> Nagoya University.

**Abstract:** This paper shows the evaluations of the videophone conversation support system with a companion robot in coordination with the user's conversational attitude toward the communication. Our aim is to achieve more comfortable communication between unrelated people. First, a) the system estimates the user's conversational state by a machine learning method. Next, b-1) the robot appropriately expresses its active listening behaviors, such as nodding and gaze turns, to compensate for the listener's attitude when she/he is not really listening to another user's speech, b-2) the robot shows communication-evoking behaviors (topic provision) to compensate for the lack of a topic, and b-3) the system switches the camera images to create an illusion of eye-contact corresponding to the current context of the user's attitude. From the experiments, i) both the robot's active listening behaviors and the switching of the camera image compensate for the other person's attitude, and ii) the topic provision function is effective for awkward silences.

## 1 はじめに

高齢化社会と核家族化により、会話等コミュニケーションが不足した状態の独居高齢者が増えている。他人との対話の機会を増やし、コミュニケーション欲を満たすために、これまでも情報通信を用いた様々なアプローチがあるが、中でもコミュニティTV電話サービス [1] や、対話ボランティアとの遠隔対話システム [2] など、対面状況を模した TV 電話システムの活用に関する研究は、実際に外出せずに対話や自己表現の機会を得る枠組みとして注目できる。ボランティアの不足と独居高齢者や高次脳機能障がい者の増加を考えると、高齢者同士や、障がい者同士の対話ののぞまれるが、遠隔対話システム [2] での対話ボランティアは、視線・うなずき・相槌などにより同調的な態度を示し聞き役に徹しており、対等な会話状態ではない。

そこで本研究では、高齢者同士や障がい者同士が快適な対話を楽しむための、TV 会話介在型ロボットを提

案する。ユーザ自身や相手ユーザの話状態(態度)に応じて仲介役のふるまいを変えることで、継続的に快適な対話状態が保たれることを狙う。ここでは、ユーザの状態を会話参加状態(積極的 or 消極的)と発話主導状態(発話的 or 非発話的)として状況認識を行った結果に基づき、ロボットの態度を変容させる。また、時にユーザは介在型ロボットや周辺に注意を向け、相手画面を見続ける集中度を失うため、ユーザ状態として、注意対象(相手 or ロボット or その他)も取得する。そして、相手の態度や興味が十分でなくても発話の動機を作るため、ユーザ状態(態度)に応じ、傾聴行動(首向きを話し手側に向けたり、うなずいたり、時に相槌をうつ)や、対話誘発(互いの沈黙時に新規話題を問いかける)を、介在型ロボットが示すことにより、対話を保ったり、潤滑にしたりすることを狙う。

提案システムは、TV 会話時に両ユーザに介在型ロボットを備えている。時に、失われたユーザの注意をロボットが引き付けることに成功したり、ユーザの注意対象がロボットになることもある。このような時に相手ユーザに会話への集中度合いが低いなどの不快感を与えないため、カメラをロボット側にも準備し、自

\*連絡先: ATR 知能ロボティクス研究所  
〒 619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2  
E-mail: {yone,yamazoe}@atr.jp

動的にユーザの正面顔を相手画面に映すよう画像を切替え、同時に相手側ロボットも連動することで、相手ユーザにとって対話状態が良好であるように錯覚させるシステムも備えた。

## 2 関連研究

高齢者のためのTV会話に関する研究[1, 2]のようにTV電話システムが対話の需要を満たす反面、サポート人材不足が問題となる。本研究で提案する介在型ロボットはこの人材不足の一部を補う形を目指す。

他のメディアと連携した擬人的な存在のふるまいに関する研究[14, 15]では、情報アクセスの力強い支援をする機能が示されている。TV電話は普及した通信手段ではないが、擬人的なロボットが介在することで、新しい通信手段を用いたコミュニケーションに親和性を生み出すことが期待される。

一方、ユーザの様々な状況に応じたシステムとして、様々なアンコンシャス型・サブコンシャス型インタラクションが議論されてきた[4, etc.]。文脈適応型システム[5, 6, etc.]の考え方は、ユーザの様々なモダリティに適用することも考えられる。“Attentive User Interfaces”[7, 8]で提唱された他ユーザの視線と発話に応じた様々なインタフェースも紹介されている[10, 11, 12, 13]。これらの考え方を、ロボットなどの擬人的媒体のふるまいに適用することで、より自然なコミュニケーション支援を行う存在に近づけると考えた。我々はユーザ行動や状況に気遣い適切なタイミングでメッセージを伝えるパートナーロボット[16]を提案してきた。その応用として、本稿ではTV対話へのユーザの態度に応じたコミュニケーション支援を提案する。介在型ロボットが存在するTV会話では、相手ユーザ側ロボットは見えないため、ユーザは三項関係[17, 18, 19, etc.]にあるとも言える。画面中の相手ユーザと対等ではないにしても、介在型ロボットがコミュニケーションを改善したり保障したりするよう、次のシステムを提案する。

## 3 システム構成

### 3.1 提案システムのコンセプト

傾聴ボランティアと違って、高齢者や特に認知症者にとっては、会話に長時間集中するのは難しい。そのため、遠隔の話し相手が一瞬でも対話への集中を失うと、聞き手を失うため話しくなくなり、会話がなくなってしまう。また、テレビ対話環境においては、利用できるチャンネルが限られているために、相手の状況の把握が難しく、ちょっとした相手の動作から、相手が

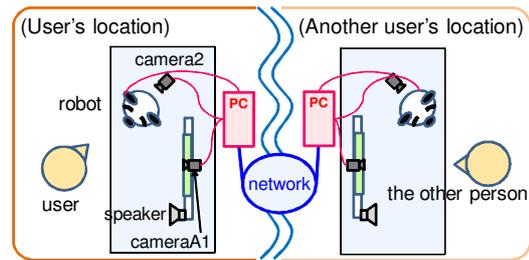


図 1: システム構成



図 2: システムの利用例

対話に興味を失ったと誤解しやすく、気分を害しやすいという問題もあった。

これに対し、提案システムでは、テレビ対話環境における高齢者同士の遠隔コミュニケーションに、ぬいぐるみロボットを導入する。ユーザの会話状況に応じてロボットが振る舞いを変化させ、ユーザに対し適切に働きかけることによって、これらのテレビ対話の欠点を補い、高齢者同士であっても、コミュニケーションが継続しやすい環境を作ることを目指す。

### 3.2 システム構成

提案システムは、通常のテレビ電話システム（モニタ、USBカメラ（モニタカメラ）、マイク）と、ぬいぐるみロボット・USBカメラ（ロボットカメラ）のセットからなる（図1）。ぬいぐるみロボットは、ユーザとモニタから等距離の位置に設置され、ロボットカメラはロボットの真上に設置される。各カメラはユーザの顔領域のみを撮影しており、ユーザから相手側のロボットは見えない。図2に提案システムの利用例を示す。

提案システムの処理の流れを図3に示す。まず、ユーザの行動をもとに、ユーザの会話状態が推定する。ここでは、ユーザの会話参加状態（会話に積極的/消極的）、発話主導状態（発話的/非発話的）、そして、注意対象（相手/ロボット/その他）の3種類の会話状態を認識する。次に、各ユーザの会話状態に基づき、ロボットの行動を決定する。ロボットの動作として、以下の3種類の振る舞い i) ロボットの傾聴動作, ii) ロボットによる話題提供, iii) カメラ切り替えとフォロー動作を実装した。

i) ロボットの傾聴動作: ロボットがユーザの注視対象

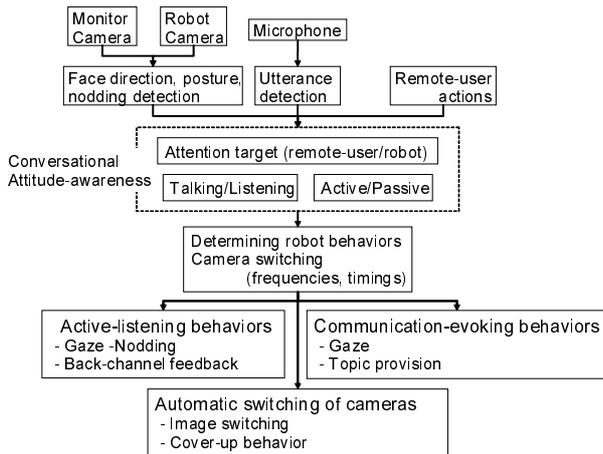


図 3: 処理の流れ

と同じ方向を見る動作（共同注視）とユーザの発話に応じて頷く / 相づちする動作からなる。

ユーザが相手ユーザ（モニタ）に対して話しているときには、ロボットは遠隔ユーザと一緒にユーザの話を聞いていて、会話を邪魔しないようにただ頷くだけであるのに対し、ユーザがロボットに対して話しかけたときだけ、ロボットは相づちを打つ。これにより、相手ユーザが会話に集中していない場合にも、ロボットが代わりに話しを聞くことで、ユーザが話しやすい状態を作ることができる。

ii) ロボットによる話題提供: ロボットがユーザの方を見ながら、「外は寒くなりましたね？ 冬は好きですか？ 相手の人にも聞いてみて」などと話しかける。

ロボットの傾聴動作は、相手ユーザの会話への集中の低下を補うことで、会話の継続を図るものである。しかし、ロボットが受動的に話を聞くだけでは、話題のなくなってしまう、会話が続かなくなってしまうことが考えられる。そこで、両方のユーザがともにある時間以上（例えば 2 秒以上）黙ってしまった場合に、ロボットから話題を提供することで、会話を継続（再開）させる。現在の実装では、あらかじめ準備しておいた話題がランダムに提供される。

iii) カメラ切り替えとフォロー動作: 片方のユーザが会話への集中を失い、話を聞くのをやめてしまった時、ロボットは傾聴動作をしているために、相手ユーザがロボットに向かって話し始めてしまうことが考えられる（図 4 左）。このとき、ユーザにとっては相手ユーザが自分に向かって話していないために、さらに会話への集中・興味を失ってしまう。これに対し、ユーザの注意対象に応じて相手側に映る映像を切り替えることで、図 4 右のように、常に正面顔が相手に映るようにする（カメラ切り替え）。また、カメラ切り替えは、背景などの変化によりユーザに違和感を生じさせるため、カメラ切り替えの前にロボットがユーザを注視（アイコン



図 4: 左:カメラ切替無, 右:カメラ切替とフォロー動作

表 1: 会話状態の認識率

会話状態	認識率 [%]
注意対象	92.1
発話主導	75.5
会話参加	95.6

タクト) することで、ユーザの注意を引き、カメラ切り替え自体を気づかせないようにする（フォロー動作）。

以上 3 種類の動作の頻度やタイミングは、例えば、片側のユーザが一方向的に話しているときには、そちら側のロボットの頷きの頻度を低下させる、といったように、ユーザの会話状態に基づき決定される。

### 3.3 ユーザ会話状況の認識

アルゴリズム: ユーザ会話状況の認識については、学習段階と認識段階の 2 つに処理が分けられる。

学習段階では、まず学習用データに対し、手作業で 3 つの会話状態についてのラベル付けを行う。同時に、マイクとモニタカメラ・ロボットカメラで得られたデータから、発話、顔向き（相手ユーザ / ロボット）、頷き、前傾の動作（各時間における動作の有無）を検出し、単位時間ごとの各ユーザ行動の発生頻度を計算し、特徴ベクトルとする。ラベル付け結果と得られた特徴ベクトルから、各会話状態に関する認識器を作る。

認識段階では、学習段階と同様に、発話、顔向き、頷き、前傾の各動作を検出し、単位時間ごとの各行動の発生頻度を計算し、特徴ベクトルを得る。この特徴ベクトルをもとに、学習段階で作成した認識器を用いて、各会話状態を認識する。現在の実装では、認識には基本的な機械学習である k 最近傍法を用いている。

認識実験: 以上のアルゴリズムの有効性を評価するため、以下の実験を行った。実験には、デイケアセンターにおける実証実験時に取得された 12 セットの対話データ（ユーザ 12 名）を用いており、leave-one-out 法により評価を行った。ここで特徴ベクトル計算のための時間窓（単位時間）は 10 秒である。表 1 に実験結果を示し、図 5 には発話主導状態の認識結果の例を示す。今回は、k 最近傍法という基本的な手法を用いているが、70% 以上の認識率が得られており、ロボットの振り舞いを決定するには十分な精度が得られていると言える。

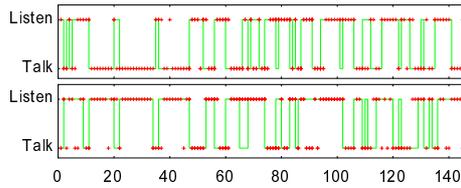


図 5: 会話参加状態の認識例 (点:認識結果, 線:真値)

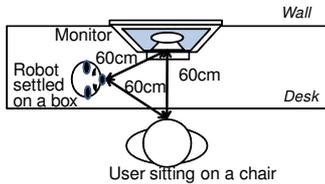


図 6: 実験における配置

## 4 システム評価と検証

提案システムの高齢者間対話における検証を行う前に、まず狭い年齢層で基本的な効果に関する実験を行い、ロボットの傾聴行動とカメラ切替のそれぞれの有効性を検証した。次に、人工的な対話状況を設定し、年齢層毎に詳細の実験を行い、対話におけるユーザ状況(態度)に適応的であることの有効性を検証した。

実験では、実験協力者が話相手となり、条件に応じた教示に基づいて対話が行われた。図 6 に示すようにユーザに對面する 17 インチモニタとロボットを配置した。

### 実験 1 : 傾聴行動とメディア連動の効果

まずロボットの傾聴行動およびカメラ切替の効果を検証するため、次の 2 つの実験を行った。この実験では 18 歳から 26 歳の男性 21 名女性 13 名で合計 34 名の被験者で実験を行った。

#### 実験 1-A : ロボットの傾聴行動の効果

**実験仮説:** ロボットの視線方向の変動やうなずきなどの傾聴行動、および、相手の態度は TV 会話における印象に影響しない。

**実験条件:** モニタ内の相手がこちらを見ている (Op) が見ていない (On) か、また、ロボットが傾聴行動を見せる (Rp) か見せない (On) かにより、相手の態度とロボットの態度の 2 要因 4 条件とした。

**実験手順:** 実験協力者があるテーマ (住居と交通事情など) について被験者に質問し、被験者は 25 秒程度で答える。その間、ロボットと実験協力者は、順序交差をした各実験条件に合わせた行動を示す。実験開始から 30 秒が経過すると自動的に TV 対話システムが終了する。実験後に印象評定を 5 段階で行う。

pa-Q1 相手は話しかけやすかったか

pa-Q2 自分に対する興味はロボットより相手から感じた

pa-Q3 今回の TV 会話をまたやりたいか

**実験結果:** 1 名分のデータ欠損があった。図 7 に MOS

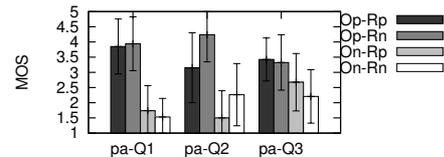


図 7: 実験 1-A における MOS 値

表 2: 実験 1-A の MOS の結果に対する 2 要因分散分析

factor	other person		robot		interaction	
	F(1,32)	p	F(1,32)	p	F(1,32)	p
pa-Q1	171.0	<.001*	1	0.325	3.347	0.077 $\Delta$
pa-Q2	72.07	<.001*	34.98	<.001*	3.99	0.054 $\Delta$
pa-Q3	36.0	<.001*	3.256	0.081 $\Delta$	3.347	0.077 $\Delta$

表 3: ロボットを見た回数の集計

OpRp	OpRn	OnRp	OnRn
ave. (stdev.)	ave. (stdev.)	ave. (stdev.)	ave. (stdev.)
1.088 (1.288)	0.588 (1.158)	1.647 (1.721)	0.971 (1.487)

表 4: ロボットを見た回数に対する 2 要因分散分析

factor item	other person		robot		interaction	
	F(1,33)	p	F(1,33)	p	F(1,33)	p
number	5.651	0.023*	15.1	<.01*	.360	.552

値の平均を示し、表 2 に 2 要因分散分析の結果を示す (有意水準  $\alpha=.05$ , 自由度  $\phi = 1,32$ )。また、ロボットに視線を向けた回数を条件ごとに総計し (表 3)、同じく 2 要因分散分析を行った (表 4)。

まず pa-Q1 では、Op/On 間の有意差と共に Rp/Rn 間と交互作用における有意傾向が確認され、ロボットの傾聴行動が相手の印象自体を変化させる可能性が見られた。pa-Q2 では両要因の有意差と共に交互作用の有意傾向が確認された。OnRn と OpRp の異なる傾向は、表 3 の分析結果 (表 4) と似通っており、相手やロボットからの自分に対する興味は、双方とも適切でないふるまいの場合、ロボットの存在が相手の興味を感じさせる媒体となり、双方とも適切であれば、相手の態度が大きく影響していた。pa-Q3 は継続的なシステム利用の可能性を探るものであるが、Op/On 間で有意差、Rp/Rn と 2 要因の交互作用で有意傾向が見られ、特に On のときロボットが評価を向上させていることを示した。よって、実験仮説は棄却され、2 要因の効果が示された。

#### 実験 1-B: カメラ画像切替とロボットのフォロー動作

**実験仮説:** カメラ画像切替やロボットのフォロー動作は会話中の印象に影響しない。

**実験条件:** カメラ切替の有無 (Sp/Sn) とロボットのフォロー動作の有無 (Rp/Rn) の 2 要因 4 条件で行った。

**実験手順:** まず、被験者が与えられた話題を実験協力者に質問する。実験協力者は返答の後聞き返す。その後被験者がそれに答える。その間、実験協力者はモニタ側からロボットカメラ側へ顔を向ける。この時、条件 Sp であれば、被験者に映す映像を、システムが自動的に正面顔側のカメラ映像へ切り替える。またこのタイミングで、条件 Rp であればロボットがフォロー動作

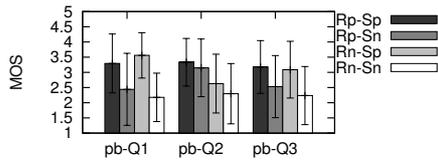


図 8: 実験 1-B における MOS 値

表 5: 実験 1-B の MOS の結果に対する 2 要因分散分析

factor item	robot		camera switch		interaction	
	$F_{(1,33)}$	$p$	$F_{(1,33)}$	$p$	$F_{(1,33)}$	$p$
pb-Q1	0.016	0.899	40.89	<.01*	10.82	<.01*
pb-Q2	22.65	<.01*	3.225	0.084 $\Delta$	0.026	0.873
pb-Q3	3.279	0.079*	19.96	<.01*	1.417	0.242

o pb-Q2 has 7 missing data, so we use  $F_{(1,26)}$ .

表 6: 実験 2 における年齢・性別ごとの参加被験者数

Group	number	(female male)		age
Group Y	15	(8	7)	19-27
Group M	11	(6	5)	40-50
Group E	10	(5	5)	65-74

を示す。実験後、被験者は 5 段階で以下について評価した。

- pb-Q1 相手は話しかけやすかったか
- pb-Q2 ロボットは好ましい態度か
- pb-Q3 今回の TV 会話をまたやりたいか

**実験結果:** pb-Q3 で 7 人分のデータ欠損があったため、分析の自由度を 1,26 とする。図 8 に MOS 値、表 5 に 2 要因分散分析の結果を示す。pb-Q1 と pb-Q3 において Sp/Sn 間に有意差が示され、カメラ切替で相手の正面顔を映すことによる会話の印象の向上が確認された。pb-Q2 において Rp/Rn 間の有意差のみでなく Sp/Sn 間に有意傾向が見られたことから、ロボットの印象も相手の正面顔が映ることに影響されることが示された。2 要因の交互作用は全 3 項目で有意傾向が見られた。これらの結果から、実験仮説は棄却され、カメラ切替とロボットのフォロー動作の有効性が示された。

**実験 2: 状況適応型ロボットの効果と年齢層状況に応じてロボットの行動パターンを変更することの有効性を示すため、特に、発話主導状態に注目し、被験者間(年齢層、表 6)と被験者内(状況など)の混合計画で実験を行った。**

**実験仮説:** 発話主導状態やロボットの傾聴行動の頻度は、会話の印象において年齢層間に差がない。

**実験条件:** 混合計画では、被験者間要因として年齢層グループ Age と、被験者内要因として傾聴行動(視線方向(Gaze)・うなずき(Nod)・会話主導状態(Istat))の各頻度としている。要因 Istat は、被験者が話し手側 it か聴き手側 il の各条件とする。要因 Gaze は、約 3.5 秒毎 gf または 10.5 秒毎 gr にロボットが被験者側を向くとし、要因 Nod もロボットのうなずきを Gaze と同様に nf/nr の異なる間隔とした。

**実験手順:** 15 秒間の会話セッションで、各条件に沿う

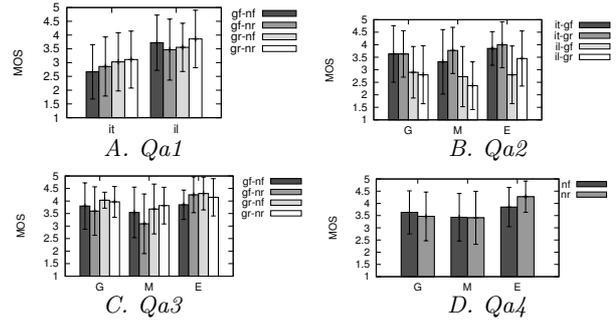


図 9: 実験 2 における有意差のあった MOS 値 (抜粋)

よう被験者・実験協力者に教示した。被験者は実験後に下記の項目について 5 段階で評価した。

- Qa1 相手はもっと話したい様子だった
- Qa2 自分はもっと話したかった
- Qa3 この会話で、相手と話をしたいと感じた
- Qa4 この会話をまたやりたいと感じた
- Qa5 ロボットは自分の話したい気持ちを強めた
- Qa6 ロボットは自分が聞きたい気持ちを強めた

**実験結果:** 実験条件に示す混合計画の分散分析を行った。以降、各項目に対する結果の抜粋を示す。Qa1 ~ Qa4 の詳細結果を図 9 に示す。Qa1 の結果では、Age、Istat および Gaze において有意差が確認され、事後検定で M/E 間の差が確認された。図 9 を見ると il において評価が高く、聞き手側だと相手の主導継続欲を感じやすいことが分かった。Qa2 の結果では、Istat と Age\*Istat\*Gaze の交互作用において有意差が見られ、it が高い値を示した。これは Qa1 の結果と類似しており、話し手側の時は話したい欲が高まっていたことを示す。

Qa3 では Istat と Gaze において有意差、Age における有意傾向が確認された。事後検定で M/E 間に有意差が示された。Age\*Gaze\*Nod の交互作用にも有意差があり(図 9-C)、高齢者は全般的に相手と話をしたいと感じやすく、ロボットの傾聴行動の間隔から受ける影響も他の年齢層と異なる可能性を示している。Qa4 では Gaze と Age\*Nod の交互作用で有意差が認められた。E において nr の値が nf を上回り、高齢層で全般的に会話に対する印象が良いが、ロボットのうなずきは頻度が低い方が好まれている。Qa5 では Istat で弱い有意傾向が示されたほか、全ての要因の交互作用 Age\*Istat\*Gaze\*Nod において有意差が示された。それに対し Qa6 では、Istat、Gaze および Nod において有意差が確認された。Qa5 も Qa6 も被験者の話したい欲求を表すものだが、発話主導状態が聞き手側であるときに聞きたい欲求は高まるが、話し手側である時には高まっていない。上記の結果より、各傾聴行動の間隔と組み合わせにより異なる会話の印象をもたらすことと、年齢層によって異なる印象をもつ可能性が示唆された。

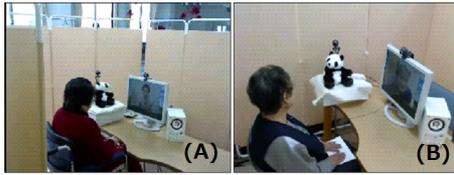


図 10: 実証実験の様子

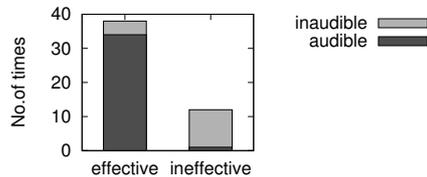


図 11: 話題提供を行った結果の集計 (全 12 実験で 50 回)

### 実験 3 : デイケア施設における実証実験

提案システムを想定するユーザ層の高齢者に利用してもらうため、デイケア施設における実証実験を行った (図 10) . 参加者は 12 名 (70 ~ 90 代, 2 名は健常, 10 名は軽度認知症), システムを用いて一回あたり 15 分の会話セッションを行った . 11 名は 2 度以上体験し, 1 名は 1 度のみ参加した . この実験では, 沈黙時のロボットによる話題提供のタイミングは WOZ 法で決定しており結果約 4 秒程度の沈黙時間となっている . 図 11 に全 50 回の話題提供における会話継続の結果を示す . 話題提供をされても, その内容が聞き取れなければ会話が続き, 聞き取れば会話が続きことが読み取れる . また, 一度話題提供がおこなわれた参加者が, 沈黙時に話題提供をロボットに問かけるシーンもあり, 対話誘発の必要性和有効性が示唆された .

## 5 おわりに

本稿では, 高齢者同士の TV 会話にて, ユーザの会話参加状態および発話主導状態に応じて傾聴行動を示すなどの支援を行う, 介在型ロボットを提案した . 被験者実験の結果より, ロボットの傾聴的なふるまいや, カメラ切替とロボット動作の連動が, 会話に対する印象を高め, システムの継続的利用の可能性を高めることを確認した . また, 年齢層グループを被験者間要因とした実験において, 高齢者が求めるロボットのふるまいは, 若年層や中年層と異なることが示された . 今後は, 高齢者に特化したロボットの傾聴的なふるまいのデザインの精緻化や, TV 会話の利用への自動的誘導などを検討する .

### 謝辞

本研究は総務省の研究委託により行われた . 研究の機会を下さった ATR 知能ロボティクス研究所の萩田紀

博所長, 実証実験にご協力いただいた精華町社会福祉協議会の皆様, 参加していただいた利用者の方々に深く感謝する .

## 参考文献

- [1] H. Ezumi, N. Ochiai, M. Oda, S. Saito, M. Ago, N. Fukuma and S. Takenami, Peer support via video-telephony among frail elderly people living at home, *Journal of Telemedicine and Telecare*, Vol.9, No.1, pp. 30-34, 2003.
- [2] N. Kuwahara, S. Abe, K. Yasuda and K. Kuwabara, Networked reminiscence therapy for individuals with dementia by using photo and video sharing, *Proc. ACM SIGAC-CESS*, pp.125-132, 2006.
- [3] T. Yonezawa, Y. Koyama, H. Yamazoe, S. Abe, and K. Mase, Improving Video Communication for Elderly and Disabled by Coordination of Robot's Active Listening Behaviors and Media Controls, *IEEE IROS 2010*, to appear, 2010.
- [4] D.B. Koons, C.J. Sparrell, and K.R. Thorisson. Integrating Simultaneous Input from Speech, Gaze, and Hand Gestures, *Intelligent multimedia interfaces*, MIT Press, pp. 257-276, 1993.
- [5] B. Schilit, N. Adams, and R. Want. Context-aware computing applications, *WMCSA '94*, pp. 89-101, 1994.
- [6] T. Selker and W. Bursleson. Context-Aware Design and Interaction in Computer Systems, *Workshop on Software Engineering for Wearable and Pervasive Computing*, 2000.
- [7] P.P. Maglio and C.S. Campbell, Gaze and Speech in Attentive User Interfaces, *ICMI2000*, pp.1-7, 2000.
- [8] P.P. Maglio, T. Matlock, C.S. Campbell, S. Zhai, and B.A. Smith. Attentive agents, *Communications of the ACM*, 46(3), pp. 47-51, 2003.
- [9] T. Selker. Visual attentive interfaces, *BT Technology Journal*, 22(4), pp. 146-150, 2004.
- [10] L. Karl, M. Pettey, and B. Shneiderman, Speech-Activated versus Mouse-Activated Commands for Word Processing Applications: An Empirical Evaluation *International Journal on Man-Machine Studies*, 1993.
- [11] L.E. Sibert and R. Jacob. Evaluation of eye gaze interaction, *CHI2000*, pp. 281-288, 2000.
- [12] E. Castellina, F. Corno and P. Pellegrino. Integrated Speech and Gaze Control for Realistic Desktop Environments, *ETRA2008*, pp.79-82, 2008.
- [13] D. Miniotas, O. Spakov, I. Tugoy, and I.S. MacKenzie. Speech-Augmented Eye Gaze Interaction with Small Closely Spaced Targets, *ETRA2006*, pp. 67-72, 2006.
- [14] W. Burgard, A. B. Cremers, D. Fox, D. Hahnel, G. Lake-meyer, D. Schulz, W. Steiner, S. Thrun, Experiences with an interactive museum tour-guide robot, *Artificial Intelligence*, vol.114, issue 1-2, pp. 3-55, 1999.
- [15] T. Yonezawa, H. Yamazoe, A. Utsumi, and S. Abe, Gaze-Roboard: Gaze-communicative Guide System in Daily Life on Stuffed-toy Robot with Interactive Display Board, *IEEE IROS2008*, pp. 1204-1209, 2008.
- [16] T. Yonezawa, H. Yamazoe, A. Utsumi, and S. Abe, Evaluating Crossmodal Awareness of Daily-partner Robot to User's Behaviors with Gaze and Utterance Detection, *ACM Int'l Workshop Context-Awareness for Self-Managing Systems*, pp. 1-8, 2009.
- [17] S. Baron-Cohen, *Mindblindness*, MIT Press, 1996.
- [18] T. Ono, M. Imai, and R. Nakatsu, Reading a Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism, *Advanced Robotics*, Vol.13, No.4, pp.311-326, 2000.
- [19] J. Terken, I. Joris, and L.D. Valk, Multimodal Cues for Addressee-hood in Triadic Communication with a Human Information Retrieval Agent, *ICMI2007*, pp.94-101, 2007.