目で位置をフィードバックする コミュニケーションロボットの開発

東　隆太郎 [1] *　瀬島　吉裕 [2]　青柳　西蔵 [3]　山本　倫也 [4]
Ryutaro Azuma[1]　Yoshihiro Sejima[2]　Saizo Aoyagi[3]　Michiya Yamamoto[4]

[1] 関西学院大学大学院理工学研究科
[1] Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University
[2] 関西大学総合情報学部
[2] Faculty of Informatics, Kansai University
[3] 東洋大学情報連携学部
[3] Faculty of Information Networking for Innovation and Design, Toyo University
[4] 関西学院大学理工学部
[4] School of Science and Technogy, Kwansei Gakuin University

Abstract: Eyes play an important role in human communication. In this study, we developed a tablet-based communication robot “kiroPi” with the function of feeding back user’s position. First, we performed some experiments to determine parameters of eyes on the display. Then, we performed interaction experiment assuming shopping scenery, and demonstrated the effectiveness of the eye-based interaction in comparison with typical push communication.

1 はじめに

近年，生活の様々な場面にコミュニケーションロボットが普及してきた．例えば Softbank 社の Pepper は，店頭での呼び込みや，タッチ操作による予約確認などで，一定の実績を上げている [1]．研究面でも，石黒らが開発しているジェミノイド「ミナミちゃん」による百貨店での接客販売 [2] など，Sota によるココスでのおもてなし実証実験 [3] など，様々なアプローチが試みられている．これらのコミュニケーションロボットは，パブリックな状況で，特定の用途で用いられていることが多く，定型的なプッシュ型のインタラクションが多いのが特徴である [1]．

一方で，個人を対象とするコミュニケーションロボットに着目すると，Sharp 社のロボホン [4]，SONY 社の aibo[5]，など，インタラクションの形態がより多様になる．とくに，人と人をつなぐメディアであるのか，あるいは，対話相手としてであるのか，ロボットの役割や位置づけ，その対話戦略のデザインなどが重要となる．

著者らはこれまで，腕型のハードウェアを付加することで，タブレットをロボット化した「きろぴー」を開発してきた [6]．ここでは，写真撮影や閲覧時に，キャラクタ性を付与できることが明らかになった一方で，パートナー的な位置づけとするのか，道具的な位置付けとするのかで，ユーザの感じ方が変わることが明らかになった．そこで，より広いアプローチで HRI を研究するプラットフォーム「きろぴー v2」を開発し [7]，たとえば悪いことを「する」とユーザに感じさせられることができるかなど，人とロボットの関係性に関する研究を進めてきた．

この中で，本研究で着目したのは，ロボットの目の効果である.「目は口ほどに」「目と目で通じ合う」などと言われるように，目は人のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている．実際，目の輝きが魅力を生むという報告や，目の形のロボットに様々な情報を提示することで，新たなコミュニケーション効果を生むという報告もある [8]．

本研究では，コミュニケーションロボットにおける目の効果を明らかにする第一歩として，パブリックな状況で，ユーザの位置，ここでは距離と角度を目でフィードバックすることで，さりげないインタラクションを実現することとした．以下ではまず，きろぴー v2 のタブレットの画面上に目を表示するためのパラメータを決定する実験について述べる．次に，これらを実装したきろぴー v2 を用いて行ったインタラクション実験について述べる．

*連絡先：関西学院大学大学院理工学研究科
〒 669-1337 兵庫県三田市学園 2 丁目 1 番地
E-mail: fuk96396@kwansei.ac.jp

2　目による位置のフィードバック

2.1　きろぴー v2

本研究では，コミュニケーションロボットのプラットフォームとして，図 1 のきろぴー v2 を用いた [7]．タブレット（Apple 社 iPad Air 2）を横向きにし，肩に 2 個，肘に 1 個のサーボ (ハイテックマルチプレックスジャパン社 HS-5035HD) が内蔵されたアームを左右に取り付けた．画面表示は Apple 社の iOS SDK で，サーボの動作は Raspberry Pi 2 Model B と Microsoft 社の Windows IoT SDK でプログラムできる．また，ロボットの右手付近にフロントカメラがあり，ユーザを撮影できる．

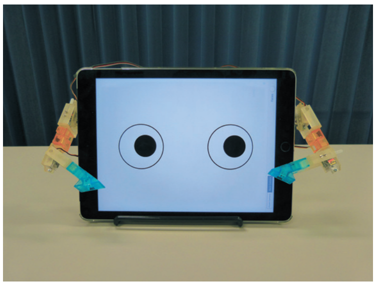


図 1: きろぴー v2 の概観

2.2　コンセプト

本研究で提案するのは，ユーザの位置，つまり距離と角度を目でフィードバックするロボットである．プッシュ型のロボットでは，ロボットが人に対して語り続けるのに対し，目によるフィードバックでは，移動中のユーザがロボットを見る度に，ユーザがそこにいることを気づき，気にしているように，常にユーザに目を向ける．2.1 節で述べたきろぴー v2 のフロントカメラでユーザを撮影し，ユーザの位置に対応させて目を表示する．これにより，自然なインタラクションの実現が期待できる．

3　システム開発

3.1　位置の算出

位置の算出では，iOS SDK の顔認識機能 (CIDetector) を用いた．顔が認識されると，カメラ画像上の顔の位置，大きさが求まる（図 2）．

この顔の位置 (fx, fy)，顔の大きさを fs を用いて，人までの距離 X と角度 R を式 (1)(2) のようにして求めた．ただし t は CIDetector で使われている単位 pt を cm に変換する値で $t = 0.0192$ とした．また，距離は，人の顔の大きさの平均を 16 cm とし，距離が 1 m，2 m の場合の顔の大きさを事前に測定した結果から算出した．単位は cm である．角度は，ディスプレイ上の顔の中心位置をディスプレイの横幅で割ることで正規化し，その数値とカメラの画角から算出した．正面が 0 度で，きろぴーから見て左手側が正の値である．

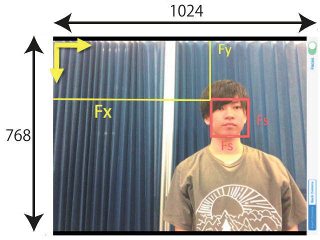


図 2: フロントカメラの画像例

$$X = (978 * (16/(fs * t))) * t \qquad (1)$$
$$R = 55 * ((fx + fs/2)/1024) - 35 \qquad (2)$$

この位置の算出方法に対して評価実験を行った．フロントカメラの画角が左右 25 度であるため，この範囲内の距離が 1 m，1.5 m，2 m，角度が正面，左右± 10 度，± 20 度の合計 15 の位置にユーザに立ってもらい，上述の式で位置を算出した．ユーザは男性 7 人，女性 3 人であった．図 3 はこの結果である．算出した位置は，立った位置の周囲に見られたが，立った位置が異なれば，異なるクラスタとして判別できたことから，ここで想定した程度の位置であれば，十分な精度で判別できると判断した．

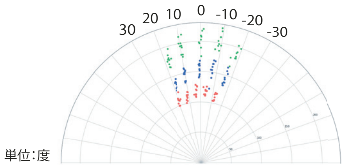


図 3: 評価実験で算出された位置

3.2　目の大きさと描画位置

次に，目の表示を定める実験を行った．まず，白目に相当する○と，黒目に相当する●の大きさと描画位置を自由に変更できるようにスライドバーを実装した（図 4）．なお，以下では，白色の背景と 2 個の○，2 個の●からなる画面表示を，きろぴー v2 の「顔」と記載する．

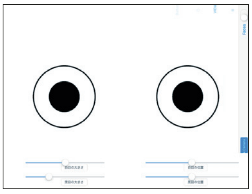


図 4: 目の表示を変更するスライドバー付きの画面

多くの人々の意見を集めるために，2019 年 9 月 19 日から 4 日間，グランフロント大阪で公開デモンストレーションを行い，このシステムを用いた実験を行った．図 5 に示すように，きろぴー v2 を机に設置し，約 30 cm 離れた位置からスライドバーを操作してもらい，きろぴー v2 にふさわしい目の大きさと描画位置をデザインしてもらった．協力者は 99 人（男性 57 人，女性 42 人）であった．

図 5: グランフロントでの公開実験の様子

協力者による目の大きさと描画位置は，人によって様々であった（図 6）．たとえば黒目が白目の外になるなど，顔として成立しない場合を除く 76 人（男性 44 人，女性 32 人）による結果を集計し，最もふさわしい顔として，それぞれの値の中央値を用いることとした．この結果を図 7 に示す．白目の直径は 670 px，中心は左右の端から 512 px かつ画面上部から 778 px であった．次に黒目の直径は 350 px で，中心は左右の端から 619 px であった（図 7）．なお，iPad Air 2 の解像度は，横 2048 px，縦 1536 px である．

図 6: 協力者が作成した顔の例

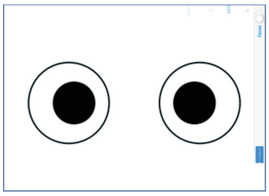


図 7: 中央値を用いて作成した顔

3.3 距離のフィードバック

3.2 節の実験で白目と黒目の描画位置を定めたが，これは距離が 30 cm の場合のふさわしい描画位置であったと考えられる．結果を見ると，目が中央寄りで，輻輳角があるように見える．一方で，人の視覚特性では，1 m を超えると輻輳角の影響が小さくなっていくとされることから [9]，30 cm から 2 m に遠ざかるにつれて寄り目のピクセル数が減少していき，2 m で寄り幅がゼロになるモデルで距離をフィードバックすることとした（図 8）．

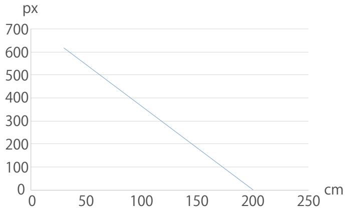


図 8: 距離による輻輳角の変化

3.4 角度のフィードバック

次に，ユーザが正面からきろぴー v2 から見て左に移動した場合に，白目を固定した上で，どの程度，黒目を移動させれば角度をフィードバックできるかを定める実験を行った．実験のために，まずリモコンで黒目の描画位置を移動させられるシステムを開発した．次に，距離を 2 m に固定し，角度が 10 度と 20 度の位置にユーザに立ってもらい，目が合う描画位置にリモコ

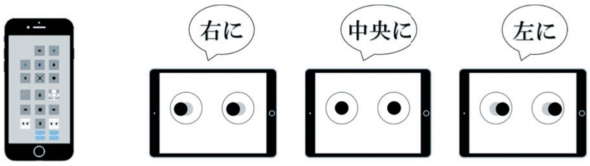


図 9: リモコンによる黒目の描画位置の操作

ンで黒目を移動させてもらった．黒目の移動量は左右で同じで，図 9 のように，白目の左端から，中央から，右端からの 3 パターンを用意した．実験協力者は 12 人（男性 6 人，女性 6 人）であった．

実験結果を図 10 に示す．結果の中央値は，6 px と 12 px で，角度に換算すると，10 度の位置で 2 度，20 度で 4 度となった．先行研究で報告されているように，眼球の動きは実際より大きく見えるため，目が合うと感じる角度は，逆に，位置よりも内側になった．

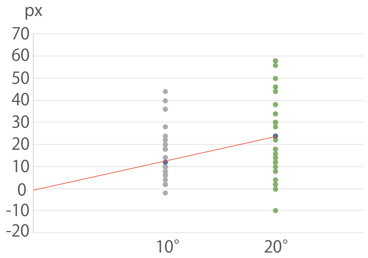


図 10: 目が合う描画位置の結果

4　フィードバック実験

4.1　フィードバック時の画面表示の評価

3 章で開発したシステムを用いて，ユーザの位置をフィードバックする際，どのような画面表示がよいかを評価する実験を行った．ここでは，フィードバック時の画面表示に焦点をあてて，コントロールとして黒目に距離に応じて大きさの変化する人影を映すこととした (図 11 左：距離 1 m，図 11 右：距離 2 m)．

実験は，開発者がどの画面表示がよいかを選定する場面を想定した．まず，机の上にきろぴー v2 を配置し，移動できる範囲を，距離 1 m〜2 m，角度は左右 20 度ずつの扇形 ABCD の範囲に定めた（図 12）．画面表示は，寄り目と人影の組み合わせで，A: 寄り目なし・人影なし，B: 寄り目なし・人影あり，C: 寄り目あり・人影なし，D: 寄り目あり・人影ありの 4 条件とした．いずれの条件でも，角度をフィードバックする黒目の左右の動きは表示した．実験では，扇型の範囲を自由に

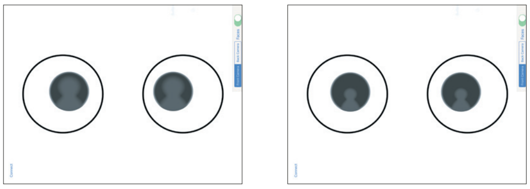


図 11: 人影によるフィードバック画面

動きまわりながら画面表示をみて，評価するよう概要を説明した．そして，4 条件からランダムに 2 条件を提示し，各条件の説明をした上で，どちらが自分自身の動きにより反応しているかを問う一対比較を行った．実験協力者は 20〜23 歳の 24 人（男性 12 人，女性 12 人）であった．

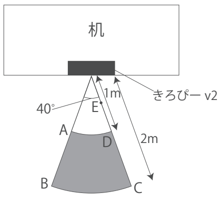


図 12: 配置図

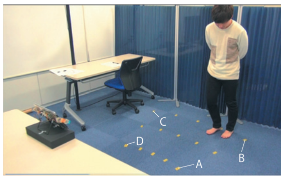


図 13: 実験の様子

この結果を図 14 に示す．表中の数字は各条件における選択した回数を表している．これをもとに，Bladley-Terry モデル [10] により強さ π の値（合計 1）を求めた結果も表に示す．この結果に対して適合度検定を行った結果モデルは棄却されず，妥当性が保証された．結果をみると，輻輳角を調整するシンプルな手法が最も高く評価された．

	A	B	C	D	合計
A		14	5	10	29
B	10		5	6	21
C	19	19		14	52
D	14	18	10		42

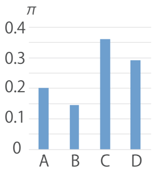


図 14: 画面表示の一対比較の結果と強さ π の推定結果

4.2　フィードバック量の評価

3 章で行ったシステム開発のための実験や，4.1 節の画面表示の評価実験はいずれも，きろぴー v2 を常に注視しながらの，少し不自然な状況下でのパラメータ設定であったと考えらえる．パブリックな場所におけるさりげないインタラクションを想定すると，フィードバック量の調整により，気づきを与える必要がある．そこ

で，実際に人に目を向けるロボットを使用する場面を想定し，ロボットを注視せず移動している際に，ユーザの動きに最も反応していると感じられるフィードバック量を評価した．

実験では，図 13 の配置で，きろぴーの左側 50 cm の位置に点 E を設けて，C → A → E と歩いていった場合に，C から A に歩く際は横目で見て，A から E に歩く際は注視するように指示した．フィードバック量は，3 章で定めたパラメータ (1 倍) と，黒目の移動量を 2 倍，3 倍，4 倍にした条件の計 4 条件で一対比較を行った．ここでは 4 条件からランダムに 2 条件を提示したが，各条件の説明はせず，どちらが自分自身の動きにより反応しているかを問う一対比較を行った．実験協力者は 10 人（男性 5 人，女性 5 人）であった．

比較結果と Bladley-Terry モデルによる強さ π（合計 1）の推定結果を図 15 に示す．移動しながら見た場合には，3 倍の移動量の条件が最も評価が高くなった．

	1倍	2倍	3倍	4倍	合計
1倍		1	3	1	5
2倍	9		4	7	20
3倍	7	6		9	22
4倍	9	3	1		13

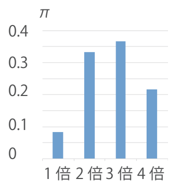


図 15: フィードバック量の一対比較の結果と強さ π の推定結果

5　ロボットによる商品紹介実験

5.1　想定した場面

ユーザがショッピング中にロボットを見かけて，インタラクションする場面を想定し，評価実験を行った．図 16 はこの実験の配置図である．ユーザは，(1) ロボットが商品紹介していることは事前に気づいている，(2) ショッピング中，棚から商品を取りカートに入れ，その後，ロボットのことが気になるのでチラチラと軽く見ながら歩く，(3) 少し通り過ぎた段階で，ロボットが紹介している商品が気になり，商品のほうに近づく，(4) ロボット（≒商品）に近づいて止まる，という設定である．ユーザがこのルートで歩きやすいように床にはテープを貼っている．なお，(3) から (4) の地点はきろぴー v2 の正面から 20 度の位置であり，ここを通過中は，ユーザの位置は算出されている．

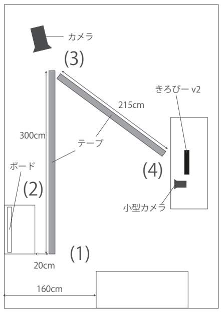


図 16: 配置図

5.2　方法

実験では，プッシュ条件と，距離と角度を目でフィードバックする提案条件の 2 通りを比較した．各条件の発話内容を表 1 に示す．プッシュ条件では，強めにインタラクションしてくる 4 発話を設定し，(1) と (2) の間で 1 回 (台詞 1～4)，(3) と (4) の間でもう 1 回（台詞 1～4），話しかけてくるようにした．提案条件では，(2) で 1 発話（台詞 5），(3) で 1 発話とした (台詞 5,6)．プッシュ条件では目は 2 m の位置の輻輳角で固定，提案条件は 4.2 節のように動かした．どちらの条件でも，iRT[11] を導入し，発話中はうなずきのタイミングで腕を動かすようにした．また，商品紹介を行う発話は，ロボットを遠隔操作して行わせた．実験協力者は 21～24 歳の 24 人（男性 12 人，女性 12 人）であった．

表 1: 台詞

	プッシュ型		提案手法
1	僕きろぴーだよ	5	こちらでゴーフルを販売しています
2	ゴーフルはいかが	6	時計台がプリントされています
3	今日の天気は晴れ		
4	一緒にゲームできるよ		

実験協力者には，条件を変えて 2 回，インタラクションを行わせた．まず，いずれかの条件でインタラクションを行わせ，その試行が終わると，図 16 の 9 項目について，7 段階でアンケート用紙に回答させた．その後，もう片方の条件でインタラクションを行わせ，同様に

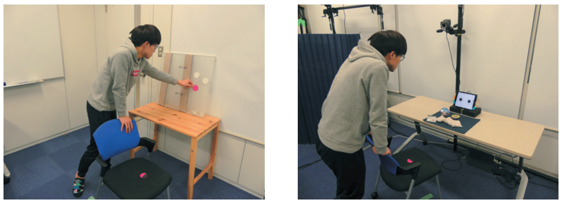
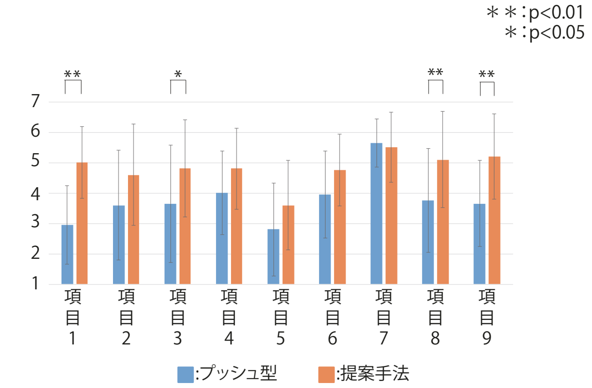


図 17: 実験の様子

アンケートに回答させた．この実験中の（2）の様子を図 17 左，(4) の様子を図 17 右に示す．

5.3　結果

アンケート結果を図 18 に示す．Wilcoxon の符号付順位検定を行った結果，項目 1，8，9 において有意水準 1%で，項目 3 において有意水準 5%で，それぞれ有意差が認められ，提案手法が高く評価された．ロボットの一体感，生命感は従来のプッシュ型と変わらない一方で，自然で商品を引き立てるインタラクションが実現できた．



1. ロボットの接客は自然だった	2. ロボットは自分の動きに反応していた
3. ロボットに見られていると感じた	4. ロボットは魅力的だった
5. ロボットと一体感を感じた	6. ロボットに生命感を感じた
7. ロボットは目立っていた	8. ロボットは商品を引き立てていた
9. 今後もこのロボットに商品紹介をしてほしい	

図 18: 実験結果と質問項目

6　おわりに

本研究では，人の位置を認識し，それを目でフィードバックする新しいロボットのコンセプトを提案し，システム開発と評価実験を行った.「目と目で通じ合う」新しいインタラクションの実現に向けて，シンプルなインタラクションであるにもかかわらず多くのパラメータを設定する必要があるなど，難しさの一部も垣間見えたが，その有効性が示された結果となった．

謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 16H03225 等の支援による．

参考文献

[1] 三石徹：Pepper 事業を通して見えた等身大ロボットの強み，あさってロボット会議，入手先〈https://mtg.softbankrobotics.com/forum/212/〉(参照 2020-01-29).

[2] 株式会社高島屋：大阪大学石黒教授チームが開発したアンドロイド「ミナミちゃん」がメンズシャツを販売 高島屋大阪店, DigitalPRPlatform, 入手先〈https://digitalpr.jp/r/11413〉(参照 2020-01-29).

[3] 森山和道 卓上ロボットがファミレス「ココス」でおもてなし実験を実施，入手先〈https://pc.watch.impress.co.jp/docs/news/1053626.html〉(参照 2020-01-29).

[4] SHARP 株式会社：RoBoHoN, 入手先〈https://robohon.com/〉(参照 2020-01-29).

[5] SONY 株式会社：aibo, 入手先〈http://aibo.sony.jp/〉(参照 2020-01-29).

[6] 奥田悠資, 青柳西蔵, 山本倫也, 福森聡, 渡辺富夫:きろぴー：腕型ハードウェアによりキャラクタ性が付与されたタブレットベースのロボット, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.20, No.2, pp.209-220, (2018).

[7] 東隆太郎, 大西奏太郎, 山本倫也, 青柳西蔵：悪いことを“する”コミュニケーションロボットの開発, 第 165 回ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.21, No.3, pp.79-80, (2019).

[8] 川本宙輝, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 渡辺富夫：瞳孔反応インタフェースにおける瞳孔面積の違いが人の印象に及ぼす影響, ヒューマンインタフェース学会研究会, Vol.21, No.7, pp.9-14, (2019).

[9] 宮川宏太, 別府聡, 田中康寛, 高田達雄, 冨田信之, 柳原好考：2 眼式立体画像撮像カメラの輻輳角効果についての一考察, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.25, No.38, pp.69-78, (2001).

[10] Ralph. Allan. Bradley, and Milton. E. Terry: Rank analysis of incomplete block designs: the method of paired comparisons, Biometrika, Vol.39, No.3, pp.450-470, (1995).

[11] 渡辺富夫, 大久保雅史, 小川浩基：発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム, 日本機械学会論文集, Vol.66, No.648, pp.2721-2728, (2000).