

ケア・レシーバー型ロボットへの直接教示による 幼児の英語動詞学習効果の検証

The Effect of Direct-teaching a Care-Receiving Robot on Learning English Verbs by Children

松添 静子^{1*} 田中 文英^{2,3}
Shizuko Matsuzoe¹ Fumihide Tanaka^{2,3}

¹ 筑波大学大学院システム情報工学研究科

¹ Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 筑波大学 システム情報系

² Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

³ 科学技術振興機構 さきがけ

³ JST PRESTO

Abstract: In contrast to the conventional educational robots that are designed to play the role of human teachers or caregivers, we present here a reverse scenario where the robot is being taught of by children. The goal is to promote the children's spontaneous learning by teaching the robot. In this paper, we describe the implementation of a care-receiving robot (CRR) at an English language school for Japanese children (3 to 6 years old), and report experimental results which show that the CRR helped the children's learning English verbs as we expected.

1 はじめに

近年、養育や教育に関わる環境にロボット技術が導入され始めており、同技術が様々な形で養育や教育の支援に貢献しうる可能性が示されつつある [1]~[15].

こうした中で、これまでの養育・教育支援目的のロボットは、人間の養育者あるいは教師の役割を担うべき存在、つまり、子どもたちのために何かを助けたり教えたりするために開発された言わば Care-giver 型のロボットであった。これに対して我々は、真逆の発想で「子ども」が教師役となりロボットに対して何かを助けたり教えたりすること（ケア行動／教示）が可能な Care-receiver 型のロボット（Care-Receiving Robot: CRR）に注目しており、子どもからの自発的なケア行動や教示を誘発することによって、結果的に子どもたち自身の「教えることによる学習（Learning by Teaching）」を実現させることを目指している。こうした「弱さ／不完全さ」を有するロボットへの着眼は、Sony の AIBO [16] や岡田らの Muu [17] にもみられるが、本研究では幼児教育の目的の下で、効果的な CRR の設計と実フィールドにおける検証を行う。

本論文では、2009 年より実施している CRR プロジェクト [18, 19] の一環として、つくば市内の子ども向け英会話教室にて行われた、CRR のレッスン導入による子どもたちの英語動詞学習への促進効果について、これに先立ち行われた予備実験内容 [20] と併せて報告する。

2 Care-Receiving Robot (CRR)

CRR の基本概念は Tanaka らによって提案された [18, 19]. この概念は様々なタスクにおける具現が考えられるが、本研究では子どもの学習支援の場面を扱う (図 1). ここではまず、大人の教師（保護者）が教育課題（例：挨拶の仕方）を決め、次に子どもに対して「このロボットに挨拶の仕方を教えてあげてね」というように指示を出す。以下に紹介する過去の研究によると、子どもたちはロボットに対してケア行動（Care-taking behaviors）を盛んに行うと報告されており、学習の文脈においても子どもたちは積極的にロボットへケア行動を行うものと仮説を立てた。そして、このロボットに対するケア行動を通じて、結果的に子どもたちの同教育課題（挨拶の仕方）に対する習熟性を高めることを目指す。

Tanaka らは 2004 年から 3 年にわたり、カリフォル

*連絡先：筑波大学大学院 システム情報工学研究科
〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
E-mail: s1130184@u.tsukuba.ac.jp

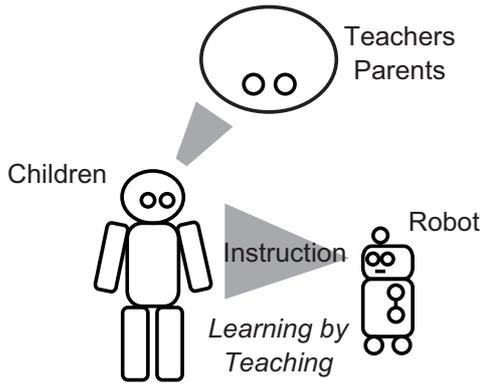


図 1: CRR を用いた幼児の学習支援の概念図 [18, 19]

ニア大学サンディエゴ校の付属保育所内の一教室にて小型ヒューマノイドロボットを用いた長期フィールド観察実験を実施した [3, 4, 7, 9]. この観察研究から得られた知見のひとつに、同ロボットが教室内的子どもたち (2 歳未満乳幼児) から顕著なケア行動を誘発し、この発生頻度は教室内に配置された他の玩具と比較してより数多く、かつ長期間持続して観察されたという報告結果がある [9].

我々は、こうした知見を元に、もし特定のロボットが子どもたちからのケア行動を誘発しやすい性質を有するならば、逆にこの性質を利用した教育応用が可能なのではないかと考えるに至った. しかし、上述の研究では実験参加者の年齢は 2 歳未満であり、また明確な学習タスクが設定された文脈ではなかったため、本章の冒頭部に述べたような子どもたちの Learning by Teaching 実現との間にはギャップが大きかった. このことを踏まえ、その後我々の行った予備実験 [20] では、英単語学習が可能な 3~6 歳児の年齢帯において、英単語レッスンの文脈の中で意図的に誤り行動を出力するロボットに対しても、やはりケア行動が数多く発生することが観察され、本研究に対する見通しが深まった.

CRR のもうひとつの背景に、いわゆるロボット倫理の議論がある [21]. 従来型の Care-giver 型ロボットは、人間の教師や養育者をそのまま代替するものと解釈される面において、倫理的問題点を数多く指摘されている. これに対して本研究で扱う CRR は、教師や養育者の存在を前提とした支援ツールであることに加えて、人形遊び等に近い子どもたちのごく自然な世話欲を活かすものであるため、社会的なコンセンサスが比較的得られやすいものと予想される.

3 CRR 導入効果の検証実験

英単語学習の文脈において、CRR の概念は実装可能かつ有効性があるか (子どもたちの自発的な Learning



図 2: 実験の行われた子ども向け英会話教室

by Teaching を促進するかどうか) を確かめる目的で検証実験を行った. また、付随して、子どもたちの実験時における行動分析や保護者へのインタビュー調査を行い、子どもたちのロボットに対する教示の仕方についての知見を深めることも目的とした.

3.1 実験フィールド

つくば市の大型ショッピングモール内にある子ども向け英会話教室にて実験を行った (図 2). 教室は広さが約 70 m^2 で、通常のレッスンが行われているそのままの部屋を用いた. 実験の様子は教室内 2 箇所に設置されたカムコーダで撮影され分析に用いられた.

3.2 実験方法

実験は教室に通う 18 名 (3~6 歳, 女児 13 名, 男児 5 名) の子どもたちに対して行われた. この内で 1 名 (女児) のセッションにおいては実験プロトコルを厳密に順守できなかったため、分析の対象からは外された. また、本実験は筑波大学の倫理審査委員会からの承認を受けた後、実験参加者の保護者への十分な説明と、参加への同意署名を得た上で行われた.

CRR は、Aldebaran Robotics 社製のヒューマノイドロボット Nao の遠隔操作により実装された. 実験者は 2 名で、シナリオ進行および教室内の安全確保を受け持つ教師役の実験者 1 と、別室にて Nao の遠隔操作を担当する実験者 2 を配置した. 実験者 2 は、教室内に配置されたモニターカメラ・マイク (LifeSize Passport) および、通常レッスン時には保護者の観覧に用いられる窓からの様子をもとに Nao を遠隔操作した.

具体的な実験タスクとしては、道具を使ったジェスチャーゲームによる英語動詞の学習を採用した. CRR 導入の効果については、実験前には未知であった英語動詞を実験後にどれだけ覚えていたかで評価した.

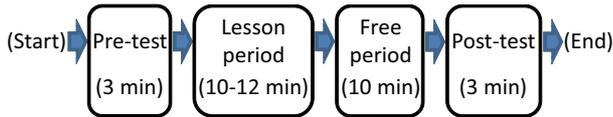


図 3: 実験シナリオの流れ



図 4: 左: 絵柄カード, 右: スペルカード

実験時間は、実験参加者 1 名 (1 セッション) につき 30 分程度とした。実験シナリオの流れを図 3 に示す。次に、各ステップの詳細と実験参加者の保護者に対して行ったインタビュー調査について説明する。

3.2.1 Pre-test

まず、実験参加者の未知英語動詞を同定するために、実際の教室で行われているカードゲームを参考にして設計されたインタビュー形式の Pre-test を行う。実験参加者は実験者 1 と共に教室に入り、事前にランダムに選択し並べておいた 6 枚の絵柄カードを使って、英語でかるた遊びに似たゲームを行う。図 4 にカードの一例を示す。動詞の内容を示す絵柄カード (図 4, 左) とスペルカード (図 4, 右) を用意しておき、実験者 1 がスペルカードを見せながらその単語を発声し、ペアとなる絵柄カードを取るよう実験参加者に促す。正解ペアを 1 回で取れれば正解とし、4 回ミスするまでこのゲームを行う。以後、ここで同定された 4 つの動詞を用いて実験を継続する。

3.2.2 Lesson period

Pre-test 終了後、実験者 1 は別室に待機していた Nao と Pre-test で同定した 4 単語に該当する道具を教室中央に配置した (図 5)。同時に、4 単語を CRR 導入あり/なしの 2 条件に 2 単語ずつランダムに分けておく。

Lesson period では実験者 1 は教師役となり、図 5 の道具と 4 単語のスペルカードを使って以下のゲームを進める。まず、(1) 実験者はスペルカードの中から 1 枚をランダムに選択し実験参加者に見せながら「Show us how to <動詞名>。」と問い、道具を使った動作を促す。(2) 正解を答えられなかった場合は実験者 1 が道具を伴って正解動作を実験参加者に見せ、教示する。ここ



図 5: 実験に使用した CRR 機体と道具 (左から drink, sweep, play, brush に対応)



図 6: 実験の様子 (左: Lesson period, 右: Free period)

で、CRR 導入なし単語の場合は次の単語のために (1) へ戻り、CRR 導入あり単語の場合は (3) 引き続き Nao に対しても同様の質問を行う。ここで Nao は必ず誤り動作をするように遠隔操作される。その後、実験者 1 によって Nao は誤りを指摘され、Nao が「Teach me」と発話した後に実験者 1 は Nao の手をとって直接該当動作を教える (Direct-teaching)。この際、Nao の両腕と首関節のモータは自由に動かせるようになっており、教示中の関節角度変化を記録して、動作の再生に備えることができる。最後に、(4) 実験者 1 は再度 Nao に正解動作の提示を促し、Nao は (3) で記録した正解動作を再生して 1 つの単語のゲームが終わる。この流れで 4 単語それぞれのゲームを 2 回ずつ行う。また、2 周目の (3) では、実験者 1 は実験参加者にも Nao への教示を促す。図 6 (左) に Lesson period の様子を示す。

3.2.3 Free period

Lesson period 終了後、実験参加者は 10 分間、CRR と自由に遊べるようにする。この間、実験者 1 は教室の隅で本を読み、実験参加者へ関心を向けないふりをしながら安全への注意を払い続ける。Free period の間、Nao は手にした道具に対して誤った動作を行い、実験参加者の直接教示を促す。図 6 (右) に Free period の様子を示す。

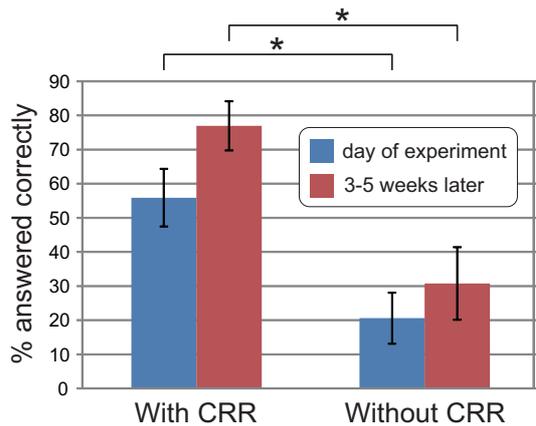


図 7: Post-test の平均正解率（実験直後および1ヶ月後に実施）

3.2.4 Post-test

Free period 終了後、Pre-test と同様の方法でインタビュー形式のテストを再度行う。また、実験に成功した17名の実験参加者に対して、実験参加から約1ヶ月後（3～5週間）に同様のテストを再度実施した。

3.2.5 保護者へのインタビュー調査

1ヶ月後に行った Post-test の後に、実験参加者の保護者に対して下記項目からなるインタビュー調査を行った。

- Q1: お子様には兄弟／姉妹がいますか？
- Q2: 自宅でペットを飼っていますか？
- Q3: これまでにロボットと遊んだ経験がありますか？
- Q4: 自宅等で、玩具等に対して教示行動を行うことがありますか？
- Q5: 実験参加後、何か気付いたお子様の変化等がありますか？

4 実験結果

4.1 Post-test の結果

図7に Post-test の平均正解率を示す。なお、英単語学習時間の差異による影響を考慮し、本実験に複数回参加した4名の1ヶ月後 Post-test 結果は除外している。

CRR 導入あり／なし間の平均正解率に対してウィルコクソン符号付き順位検定 (Wilcoxon signed-rank test) を行ったところ、導入あり単語の平均正解率は、実験直後 ($Z = -2.266, N = 17, p = 0.023$) および1ヶ月後 ($Z = -2.377, N = 13, p = 0.017$) のいずれにおいても有意に高いことが確認された。また、1ヶ月

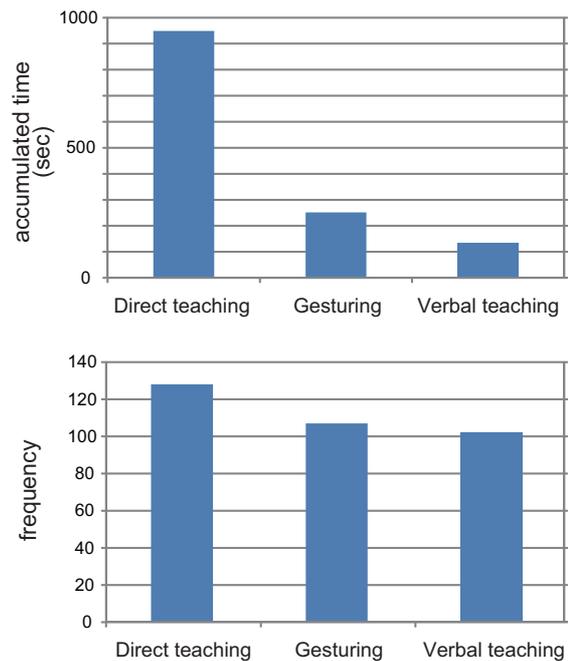


図 8: 3種類の教示行動の発生頻度（累積時間、累積度数）

後の Post-test 結果では、CRR 導入あり／なし共に平均正解率が上昇していたが、この意外にも思える結果の原因については5章で考察する。

4.2 CRR に対する教示行動の分析

実験者1は Lesson period で Direct-teaching による教示指示のみを行っていたにも関わらず、実際には実験参加者である子どもたちからは様々な形態の教示が CRR に対してなされた。それらは大別して以下の3種類に分類できる。

Direct-teaching: 実験参加者が、Nao の手や腕をとって直接動かすことで該当動作を教示するもの。Nao が道具を持たず子どもが道具を持って Nao に直接働きかける（例：歯ブラシを Nao の口に当てる）教示行動もこれに含める。

Gesturing: 実験参加者が、自らの身体動作で Nao に正解動作を教示するもの。例えば、子どもが自身の手を自身の口元に近づける動作（飲むジェスチャー）を Nao の目の前でしてみせる行動などが相当する。

Verbal-teaching: 実験参加者による音声発話で該当動作を教示するもの。例えば「飲むんだよ」といった声掛けが相当する。

図8に、それぞれの教示行動の発生頻度を示す。Direct-teaching は1回当たりの所要時間が長い為、累積時

Source (Frequency)	df	L.R. χ^2	<i>P</i>
Direct teaching	1	32.3	< 0.001
Gesturing	1	1.4	<i>n.s.</i>
Verbal teaching	1	0.3	<i>n.s.</i>
Source (Accumulated time)	df	L.R. χ^2	<i>P</i>
Direct teaching	1	24.8	< 0.001
Gesturing	1	0.3	<i>n.s.</i>
Verbal teaching	1	1.2	<i>n.s.</i>

表 1: 分散分析表 (一般化線形モデル, L.R.: Likelihood Ratio)

間での頻度差は度数よりも大きなものとなっている。

次に、この発生頻度と実験直後の Post-test 平均正解率の関係性を分散分析により調査した。表 1 にこの結果を示す。ここでは、累積時間と累積回数の方において、Direct teaching との間に有意な関連性がみられた。ただし、ここでの結果は 5 章で述べるように慎重に解釈する必要がある。

4.3 保護者へのインタビュー調査結果

調査の結果、17 名中 10 名に兄弟もしくは姉妹がいて、4 名が犬を飼っていることが判明した (Q1,2)。Q3 より、7 名の実験参加者は以前博物館などでロボットと関わった経験があった。そして Q4 より、14 名の実験参加者において、これまで別の場面における教示行動があるとの回答を得た。分散分析の結果、この Q4 と実験直後の Post-test 平均正解率の間に有意な相関がみられた。

Q5 に関連して、実験時に遊んだ道具を自宅等で見つけた際に、行動のリハーサルを行ったり、保護者に該当する英単語名を確認するなどの回答が多くみられた。次章で述べるように、このことが 1ヶ月後 Post-test の正解率上昇に寄与した可能性がある。

5 考察と今後の展望

まず、本実験は、人間の教師によるレッスンに対する CRR の優位性を示そうとしたものでは決して無いことに留意する必要がある。実験では教師役の取りうる行動には実験統制上の制限があり、また、どの実験参加者に対しても一意に固定されたシナリオを厳密に実行していた。実際には、経験を積んだ人間の教師は生徒個々人の性格やその日の状況に応じ、柔軟かつリアルタイムに行動を変えている。この点を踏まえた上で、CRR は人間の教師を代替するものではないが、人間の教師のための教室における支援ツールのひとつとしての有用性には期待が持てるものと思われる。通常、

子どもたちの興味や集中力をレッスンに向けることは、時に現場の教師たちにとって労苦を要するものであるが、CRR をうまく利用することによって、教師たちはより効果的かつ負担も少ないようにレッスンを構成できる可能性がある。

保護者へのインタビュー調査において、多くの実験参加者が、実験後に (Nao が居なくても) 自宅その他で英語動詞のリハーサルを行っていたという報告は、我々にとっても非常に勇気付けられるものであった。残念ながら今回統計的な裏付けは取れていないが、おそらくこうした一連のリハーサル活動が要因のひとつとなつて、1ヶ月後 Post-test の結果が向上したと思われる。CRR の重要な基本概念は、子どもたちの「自発的な」学習を促進するものであることから、ここでのエピソードは同概念が実際に機能していることを示す重要な根拠のひとつと考えている。

本実験には、幾つかの制約 (Limitation) があることを認識しておく必要がある。まず、実験フィールドの性質上、募集できる実験参加者数には限界があり、また、男女比などの統制にも限界がある。関連して、18 名の総参加者のうち 10 名は、以前、予備実験や準備イベントなど何かしらの形で Nao と関わった経験があるため、いわゆる Nao とのインタラクション経験を完全に統制することも困難であった。今回の実験計画が、多条件比較ではなく、単一プロトコル設計 (全ての参加者に対して同一のプロトコルを用いる) となっているのはこれらの制約が元となっている。いずれにせよ、本実験結果の一般性については、こうした条件を認識した上で判断する必要がある。

さて、本実験で用いた CRR の最大の弱点は、CRR 自身に学習機能が無いことである。今回の CRR は、Direct-teaching を受けた直後は教えられた動作を再生できるが、即座に忘却してしまい、その後質問を受けると再び誤り行動を出力するよう遠隔操作されていた。予備実験結果にも一部その傾向がみられるが、この制限が、子どもたちをがっかりさせてしまい (教えても覚えられないので)、セッション後半のインタラクション数減少につながっていた可能性がある。また、本実験は当初 Direct-teaching を念頭に置いた設計がなされていたため、他の形態の教示行動に対する CRR の反応には制限が多くあった。これらの反省を踏まえて、現在、(1) 適切な CRR の学習ダイナミクスの同定と実装、(2) 効果的な CRR への教示方法の同定とそれに対する CRR の設計、に関する研究を開始している。

6 おわりに

本論文では、CRR を用いた新しい教育支援について説明した上で、実際に子ども向け英会話教室にて CRR

を実装し、英語動詞学習の文脈における CRR 導入効果の検証を行った。実験の結果、CRR は子どもたちの自発的な Learning by Teaching を誘発し、学習効果向上にも寄与できることがわかった。CRR の基本概念は非常に一般的なものであると考えられ、単語学習以外にも様々な場面に適用可能なものと期待される。今後は、より好ましい CRR の設計に加えて、新たな適用場面の開拓も行っていく予定である。

謝辞

本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業さきがけ、科研費 (23680020)、および文部科学省グローバル COE プログラム「サイバニクス：人・機械・情報系の融合複合」の支援を受けて行われている。また、実験実施に御協力して頂いている株式会社こども英会話のミネルヴァ、実験参加者の方々に深く感謝する。

参考文献

- [1] T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro. Interactive robots as social partners and peer tutors for children: a field trial. *Human-Computer Interaction*, 19(1-2):61–84, 2004.
- [2] NEC. <http://en.wikipedia.org/wiki/PaPeRo>.
- [3] J. R. Movellan, F. Tanaka, B. Fortenberry, and K. Aisaka. The RUBI/QRIO project: origins, principles, and first steps. In *Proceedings of 4th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL 2005)*, pages 80–86, 2005.
- [4] F. Tanaka, B. Fortenberry, K. Aisaka, and J. R. Movellan. Developing dance interaction between qrio and toddlers in a classroom environment: plans for the first steps. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005)*, pages 223–228, 2005.
- [5] J. Han, M. Jo, S. Park, and S. Kim. The educational use of home robots for children. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005)*, pages 378–383, 2005.
- [6] B. Robins, K. Dautenhahn, R. T. Boekhorst, and A. Billard. Robotic assistants in therapy and education of children with autism: Can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? *Universal Access in the Information Society*, 4(2):105–120, 2005.
- [7] F. Tanaka, J. R. Movellan, B. Fortenberry, and K. Aisaka. Daily HRI evaluation at a classroom environment: reports from dance interaction experiments. In *Proceedings of the 1st Annual Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2006)*, pages 3–9, 2006.
- [8] Z.-J. You, C.-Y. Shen, C.-W. Chang, B.-J. Liu, and G.-D. Chen. A robot as a teaching assistant in an English class. In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)*, pages 87–91, 2006.
- [9] F. Tanaka, A. Cicourel, and J. R. Movellan. Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. (PNAS)*, 104(46):17954–17958, 2007.
- [10] T. Kanda, R. Sato, N. Saiwaki, and H. Ishiguro. A two-month field trial in an elementary school for long-term human-robot interaction. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(5):962–971, 2007.
- [11] J. Han, M. Jo, V. Jones, and J. H. Jo. Comparative study on the educational use of home robots for children. *Journal of Information Processing Systems*, 4(4):159–168, 2008.
- [12] P. Ruvolo, J. Whitehill, M. Virnes, and J. R. Movellan. Building a more effective teaching robot using apprenticeship learning. In *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Development and Learning (ICDL 2008)*, pages 209–214, 2008.
- [13] J. R. Movellan, M. Eckhardt, M. Virnes, and A. Rodriguez. Sociable robot improves toddler vocabulary skills. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2009)*, pages 307–308, 2009.
- [14] 田中文英, 小嶋秀樹, 板倉昭二, 開一夫. 子どものためのロボティクス：教育・療育支援における新しい方向性の提案. *日本ロボット学会誌*, 28(4):87–94, 2010.
- [15] S. Lee, H. Noh, J. Lee, K. Lee, G. G. Lee, S. Sagong, and M. Kim. On the effectiveness of robot-assisted language learning. *ReCALL*, 23(1):25–58, 2011.
- [16] Sony. <http://en.wikipedia.org/wiki/AIBO>.
- [17] M. Okada, S. Sakamoto, and N. Suzuki. Muu: artificial creatures as an embodied interface. In *SIGGRAPH 2000, the Emerging Technologies: Point of Departure*, page 91, 2000.
- [18] F. Tanaka and T. Kimura. The use of robots in early education: a scenario based on ethical consideration. In *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009)*, pages 558–560, 2009.
- [19] F. Tanaka and T. Kimura. Care-receiving robot as a tool of teachers in child education. *Interaction Studies*, 11(2):263–268, 2010.
- [20] M. Ghosh and F. Tanaka. The impact of different competence levels of care-receiving robot on children. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2011)*, pages 2409–2415, 2011.
- [21] N. E. Sharkey. The ethical frontiers of robotics. *Science*, 322:1800–1801, 2008.