

# 演出を用いたヒューマン・ロボットインタラクション Human-Robot Interaction with Directed Dialogue

鳴海 真里子<sup>†</sup> 今井 倫太<sup>‡</sup>  
Mariko Narumi Michita Imai

<sup>†</sup>慶応義塾大学大学院理工学研究科

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Keio University

<sup>‡</sup>慶応義塾大学

<sup>‡</sup>Keio University

<sup>‡</sup>科学技術振興事業団 さきがけ研究 21

<sup>‡</sup>PRESTO, JST

**Abstract:** This paper proposes “i-Director”, a dialog system on a humanoid robot “Robovie”, dealing with sensors’ information and actuator movement of the robot. i-Director generates an utterance which expresses person’s feeling or impression of a physical object or a situation in a real world and makes humans sympathize with robot. In this paper, we have conducted psychological experiment to confirm how “sympathy for robot” affects human-robot interaction using i-Director. The results of the experiment indicate that subjects sympathizing with the robot are significantly attracted to interaction with the robot.

## 1 はじめに

近年、多数の知能ロボットが開発されており、より使いやすい情報端末としてロボットを利用する試みも行われている [wakamaru][Matsui 1999]。一方人間同士の対話では、情報伝達だけでなく感覚を表現した言葉が交わされている。例えば「あ、花が咲いている」「(その花は)きれいだね」という対話である。この対話は互いの感覚を察しながら行われ、人間同士の感覚の共有につながる。感覚の共有 (以下「共感」と呼ぶ) の結果、コミュニケーションする上で重要となる関係が形成される。人間がロボットとより親密なコミュニケーションを実現し、関係を形成す

るためには、人間同士の対話と同様に人間がロボットに対して共感するコミュニケーションが必要である。本研究では、ジェスチャを含む音声対話による人間・ロボット間の関係形成を扱う。

人間はありとあらゆる周囲の情報を用いて、互いに共感し、関係を築いている。人間・ロボット間での関係形成を実現するためには、この人間同士での関係形成に注目して研究を行う必要がある。さらに研究成果をロボットに適用し、人間・ロボット間に関係が形成されるかを検証しなくてはならない。

人間とロボットの関係形成には、従来ジェスチャや視線による共同注意 [Moore 1985] が注目されてきた [Breazeal 1999][Kozima 2001]。またロボットが「人間との間に共同注意を構成し、人間にロボットの感覚を推論させる」という手法により関係を形成している [Ono 2000]。

共同注意に関する研究では、人間同士のコミュニケーションにおける注意といった一部の要因についてのみ扱っており、人間・ロボット間の共感について

鳴海真里子, 今井倫太

{narumi, michita}@ayu.ics.keio.ac.jp

〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

慶應義塾大学理工学部 情報工学科

安西・山崎・今井研究室 Tel 045-560-1070

はいまだに取り扱っていない。特に、人間のロボットに対する共感がコミュニケーションに与える影響については検証も行われていないのが現状である。

本稿では人間のロボットに対する共感がコミュニケーションに与える影響を調査するために、実験システム i-Director を開発した。i-Director は、実世界の状況や物に対して人間が共感しやすい発話(情報ではなく感覚を表現する発話)を生成できる。本研究では i-Director を用いて人間がロボットとのコミュニケーションに集中できるかを検証する。また上記の検証を基に、共感しやすい発話の影響によって人間がロボットの感覚を推測するかどうかに関して検証する。

本稿の構成は以下の通りである。2章では人間・ロボット間の共感を定式化し、i-Director の概要について示す。また、インタラクションへのひきこみについて説明する。3章では i-Director を用いて実施した行動実験について述べ、4章で実験結果に対する考察を行う。最後に5章で結論と今後の課題を述べる。

## 2 演出を用いた音声対話システム

本章では i-Director の概要について述べる。i-Director はコミュニケーションロボット Robovie[Kanda 2002] 上に実装された音声対話システムであり、「演出」を用いたインタラクションを実現する。演出とは、ロボットが注目している事象を人間に知らせるために行われるロボットの動作(発話及びジェスチャ生成)のことである。以下に、i-Director による発話及びジェスチャ生成について説明し、人間とロボットの共感の過程について述べる。

ロボットがある状況  $S$  を感覚  $F$  として認識したとき ( $Robot(S, F)$ ) の人間が共感する過程について示す。i-Director は、演出(発話及びジェスチャ)により人間を自分と同じ状況  $S$  に注目させたのち感覚  $F$  を人間に伝える(1式)。

$$(S, F) \rightarrow \text{direct}(S), \text{affect}(F) \quad (1)$$

ここで、 $\text{direct}(S)$  は状況  $S$  に注目させるための動作、 $\text{affect}(F)$  は感覚  $F$  を表現する動作を表す。

(2)式に、1式の結果起こる共感について示す( $S$ 及び $F$ の添字 $H$ と $R$ は、それぞれ人間とロボットを表す)。(2)式では、 $\text{direct}(S)$ と $\text{affect}(F)$ によって

人間とロボットの  $S$  と  $F$  が同一なものとなった結果、人間がロボットに共感していることを表している ( $Human(S, F)$ )。

$$\begin{aligned} &Robot(S_R, F_R), Human(S_H, F_H) \\ &\text{direct}(S_R) \rightarrow S_R = S_H \quad (2) \\ &\text{affect}(F_R) \rightarrow S_R = S_H, F_R = F_H \end{aligned}$$

例えば机の上に「花」があり「よい香り」であることを共感させるには、花を指して「花があるよ」と発話 ( $\text{direct}(\text{flower})$ ) し、「いい香りですよ」と発話 ( $\text{affect}(\text{good\_smell})$ ) する。

### 2.1 共感の実現

i-Director を用いて前述の「共感」の定義に基づく動作をロボットが行った場合に想定される人間とロボットの状態を図1に示す。

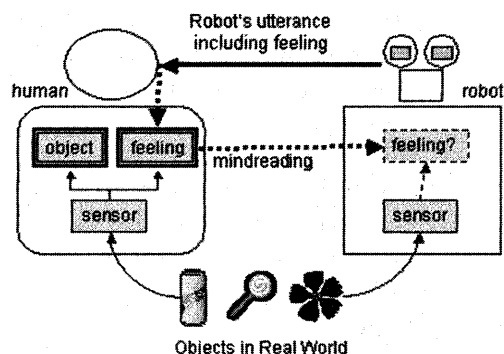


図1: ロボットに対するマインドリーディング

本稿では、実世界の物体に対する感覚(きれい、暑い、冷たい、など)を含む表現を感覚表現、物体の名称などの感覚を含まない表現を情報表現と定義する。人間は感覚器官を用いて実世界の物体を認識すると同時に、無意識のうちにその物体に対する感覚を得る。ここでロボットが同じ物体に関する感覚表現(例:「おいしいね!」)を発話すると、人間はロボットに対してマインドリーディングを行って本来感覚を持たないはずのロボットの感覚を無意識に察してしまう。この他者の感覚を読むという行動によって関係が形成される。

一方、図1の状況でロボットが物体に関する情報表現(例:「鉛だよ」)を発話しても、人間はただ単に

発話と実世界の物体を結びつけるだけで、ロボットへのマインドリーディングを行わない。結果、共感表現の発話に比べて関係形成が起こりづらくなる(図2)。

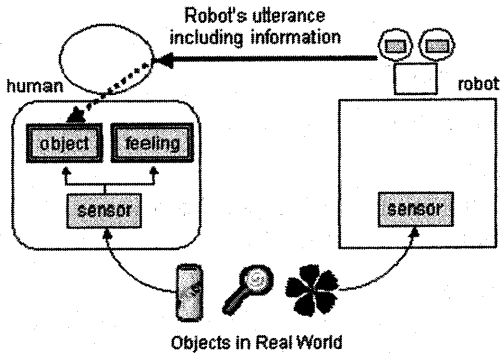


図 2: マインドリーディングが生じない場合

## 2.2 インタラクションへのひきこみ

著者が事前に行った実験から、人間はロボットとのインタラクション中に、インタラクション自体を客観的に観察してしまうことがわかっている。一方で、人間がマインドリーディングを行う際には、視点がインタラクションそのものに移るため、インタラクションへのひきこみが起こる。そこで、i-Director による実験では、ロボットの発話の違い(感覚表現と情報表現)によって被験者のインタラクションへの集中の違いを検証する。つまり、被験者はインタラクション中も「これは実験である」と意識しているが、ひきこみによってその意識が薄れるとロボットとのインタラクションに集中する(図3)。

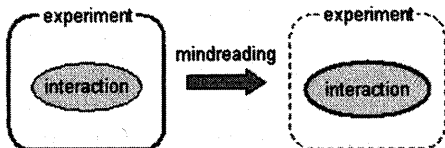


図 3: 実験における共感の影響

## 2.3 コミュニケーションロボット Robovie

i-Director が実装されたコミュニケーションロボット Robovie は、コミュニケーション機能に重点を置いて設計された擬人化が容易なヒューマノイド型ロボットである。Robovie の概観を図4に、ハードウェア構成を表1に示す。

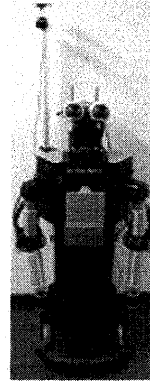


図 4: Robovie

表 1: Robovie の構成

アクチュエータ	頭部 (3 自由度)、腕 (4 自由度) 2 輪独立駆動方式の車輪・キャスター
センサ	ステレオマイクروفोन 全方位視覚センサ ステレオカメラ (両眼の位置、2 自由度で注視方向が制御可能) 接触センサ (上半身 18 個下半身 10 個) 超音波センサ (24 個) 赤外線センサ・温度センサ

## 2.4 i-Director の構成

i-Director の構成を図5に示す。

i-Director は演出モジュールと対話モジュールで構成される。演出モジュールは与えられた  $(S, F)$  に基づいて選択された  $direct(S) \cdot affect(F)$  の実行を管理する。対話モジュールは演出モジュールによって決定された行動を実行し、結果をフィードバックする。

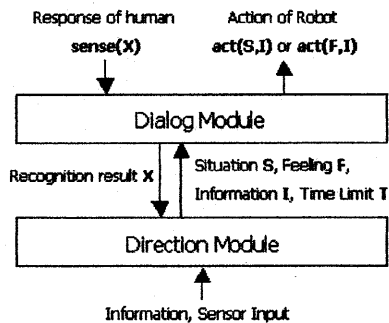


図 5: i-Director のシステム構成

#### [演出モジュール]

演出モジュールは、センサ等ロボット自体が収集する内部情報とインターネットに接続して得られる外部情報を保持する。本システムにおいて  $direct(S) \cdot affect(F)$  は以下のように定式化できる。

$$direct(S) \rightarrow act(S, I), sense(X) \quad (3)$$

$$affect(F) \rightarrow act(F, I), sense(X) \quad (4)$$

$I$  は現在の演出で注目させたい状況  $S$  に応じて選択された情報、 $X$  は人間の反応の認識結果である。 $act([S, F], I)$  は状況  $S$  または感覚  $F$  と情報  $I$  に基づいてロボットの行動が決定されることを表す。 $direct(S)$  及び  $affect(F)$  は必要に応じて繰り返される。演出モジュールは状況  $S$  または感覚  $F$ ・情報  $I$ ・反応の認識に関する時間制限  $T$  を対話モジュールに渡す。

#### [対話モジュール]

対話モジュールは、演出モジュールから受け取った状況  $S$  または感覚  $F$ ・情報  $I$  に基づいて行動（発話及びアクチュエータの動作）を決定・実行し、与えられた時間制限  $T$  内で得られたセンサ入力（音声認識・接触センサ）から最も重要な意味を持つものを選択・抽象化し、演出モジュールに返す。音声認識には Linux 2.2.16-rt12.2 上で動作させた汎用大語彙連続音声認識エンジン Julian[李 2002] を用いた。

## 3 行動実験

本章では、人間のロボットに対する共感が持つ影響を検証するために i-Director を用いて行った行動

実験について述べる。

実験では、「人間はロボットとの対話によって「ロボットと共感した」と感じられる場合、ロボットとのコミュニケーションを作為的にとらえず、コミュニケーション自体に集中できる」という仮説の検証を行う。

### 3.1 実験方法

本実験の具体的な手続きは以下のとおりである。

#### 被験者:

男女の大学生 21 名の被験者を、実験群 11 名・対照群 10 名にランダムに配分する。

#### 実験環境:

図 6 に実験環境を示す。本実験は、慶応義塾大学理工学部内の 4 階または 5 階にある教室において行われた<sup>1</sup>。

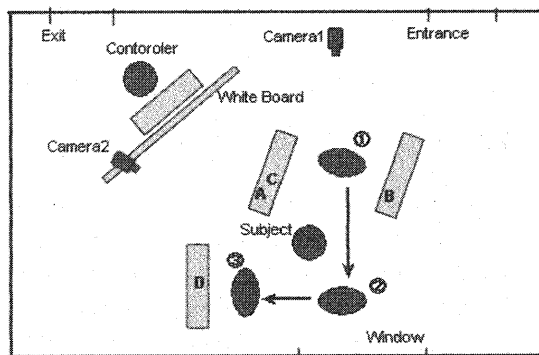


図 6: 実験環境

#### 実験条件:

表 2 に示すトピックについて、ロボットが「感覚的な発話」を行う条件（実験条件）と、「情報伝達」を行う条件（対照条件）を設定した。以降、各条件の被験者は実験群と対照群と呼ぶ。

実験条件別のインタラクションは、図 6 の 1 の位置で、周辺の机の上に置かれた小道具（図 6 の A~C）を用いて行われる。その後表 3 に示す各条件に共通なインタラクションが、図 6 の 2 と 3 の位置に移動し、小道具 D を用いて行われる。ロボットの操作者はホワイトボードで隠されており、被験者からは見えない。

<sup>1</sup>階数による環境の差異はない。

表 2: 実験条件別の演出トピック

トピック	感覚的発話例	情報発話例	小道具 (位置)	ロボットの位置
天気	あったかいね	明日も晴れるよ	-	1
缶のお茶	冷たいでしょ	烏龍茶だよ	お茶 (A)	1
お菓子	おいしいでしょ	チョコだよ	お菓子 (ロボットの手先)	1
花	いい香りでしょ	バラだよ	バラの花 (B)	1
クッション	やわらかいでしょ	クッションだよ	クッション (C)	1

表 3: 各条件共通の演出トピック

トピック	発話例	小道具 (位置)	位置
景色	いい眺めでしょ	-	2
おみやげ	好きな方を取ってね	2つの箱 (D)	3
出口	あっちが出口だよ	-	3

#### 実験手順:

実験は、以下の4ステップで行う。

1. 実験者は被験者をロボットの前に連れていき、「ロボットの相手をするように」と教示して退出する
2. ロボットが動作を開始し、実験条件によって異なる対話シナリオに基づいて被験者とインタラクションを行う
3. 各実験条件に共通な対話シナリオでインタラクションを行う。対話シナリオの最後で、ロボットが被験者に出口から退出するよう指示する
4. 退出した被験者は、別室でロボットとのインタラクションについての質問票に答える

#### 評価方法:

評価は、被験者の行動観察と質問票への回答を用いて行う。質問票では、ロボットの発話の理解度・自分自身のロボットに対する反応とその理由について、被験者に回答を求めた。

### 3.2 仮説と予測

本実験では、以下の仮説に基づく3つの予測の検証を行う。

#### [仮説]

ロボットとの対話によって「ロボットと共感した」と感じられる場合、実験群の被験者はロボットとのコミュニケーションを作為的にとらえず、コミュニケーション自体に集中できる。

#### [予測 1]

いくつかの演出を行った後、ロボットがお菓子を差し出し「食べてみてね」と発話する演出を行う。実験群の被験者がそれまでのロボットの感覚表現の発話によって「ロボットと共感した」と感じられる場合、ロボットから渡されたお菓子を実際に食べる確率は、情報表現の発話を行った対照群の被験者と比較して増加する。

#### [予測 2]

各条件に依存したインタラクションを行った後、ロボットが窓に近付き「いい眺めでしょ」と発話する演出を行う。実験群の被験者がそれまでのロボットの感覚表現の発話によって「ロボットと共感した」と感じられる場合、ロボットの発話に同意する確率は、情報表現の発話を行った対照群の被験者と比較して増加する。

#### [予測 3]

実験群の被験者がそれまでのロボットの感覚表現の発話によって「ロボットと共感した」と感じられる場合、ロボットが渡した「おみやげ」を持って帰る確率は、情報表現の発話を行った対照群の被験者と比較して増加する。

### 3.3 実験結果

表4・5・6に被験者・ロボット間で行われたインタラクションの例を示す。表でRはロボットの発話、Eは実験群の被験者の発話、Cは対照群の被験者の発話を表す。

表4: お菓子に関するインタラクション

<p><b>[実験群]</b>  R: これあげるね (手先につけたお菓子を差し出す)  E: ありがとう (お菓子を取る)  R: 食べてみてね  E: はい、いただきます (食べる)  R: おいしいでしょ  E: うん、おいしい (うなづく)  R: よかった</p>
<p><b>[対照群]</b>  C: (直前の演出で手に取ったお茶の缶を見ている)  R: これあげるね (手先につけたお菓子を差し出す)  C: (無言、お菓子を取る)  R: 食べてみてね  C: (無言、お菓子を見る)  R: キットカットだよ</p>

表5: 景色に関するインタラクション

<p><b>[実験群]</b>  R: わあ(窓の方へ動き出す)  E: (ロボットに先回りして窓に近付き、外を見る)  R: いい眺めでしょ  E: そうですね</p>
<p><b>[対照群]</b>  R: わあ(窓の方へ動き出す)  C: (ロボットの後についていく)  R: いい眺めでしょ  C: (無言、外を見ている)</p>

#### [共感の実現]

予測の検証に入る前に、仮説において前提となっている「ロボットと共感した」かどうかという点について検証する。

(2)式で示した共感は、被験者がロボットの感覚に対する発話に同意することにより成立する。被験者

表6: おみやげに関するインタラクション

<p><b>[実験群]</b>  R: あ、そうだ、おみやげがあるんだ  E: おみやげがあるの?  R: (机の上に置かれた赤と青の箱を指す)  どっちか好きな方を取ってね  E: えー、ほんとに?  R: Robovieは赤が好きなんだ  E: じゃ私も赤が好きだから、赤をもらうね  (赤い箱を手に取る)  R: 今日は来てくれてありがとう  E: こちらこそ、どうもありがとう  R: あっちが出口だよ (出口を指す)  E:ほんとに? どうもありがとう  R: ばいばい (手を振る)  E: ばいばーい、Robovie ばいばーい  (おみやげを持ったまま、出口から退出)</p>
<p><b>[対照群]</b>  R: あ、そうだ、おみやげがあるんだ  (机の上に置かれた赤と青の箱を指す)  どっちか好きな方を取ってね  C: (青い箱を手に取る)  R: Robovieは赤が好きなんだ  C: じゃ、俺は青で  R: 今日は来てくれてありがとう、  あっちが出口だよ (出口を指す)  C: (出口の方を見る)  R: ばいばい (手を振る)  C: ばいばーい (手に持った箱を振る)  (箱を机の上に戻し、出口から退出)</p>

の行動観察によると実験群の被験者全員がロボットの感覚的な発話に発話またはうなづきで同意していたことから、定義された共感は成立していたといえる。

#### [予測1]

行動観察によって得られた、お菓子を食べた被験者の数・食べなかった被験者の数を表7に示す。

この調査結果を分析したところ有意な差が確認された ( $p < 0.05$ ) ことから、演出によりロボットに共感した実験群が、対照群よりもお菓子を食べることが確かめられた。

表 7: お菓子の演出に対する被験者の反応

	食べる	食べない
対照群	5	5
実験群	11	0

**[予測 2]**

行動観察によると、景色に関するロボットの発話の前後で実験群は 11 人全員、対照群は 1 人を除く 9 人が窓の外を眺めて景色を確認していた。景色を見た後、ロボットの発話に同意した被験者の数・同意しなかった被験者の数を表 8 に示す。同意しなかった被験者の多くは、ロボットの発話に答えず無言であった。

表 8: 景色に関する発話に対する被験者の反応

	同意する	同意しない
対照群	4	5
実験群	10	1

この調査結果を分析したところ有意な差が確認された ( $p < 0.05$ ) ことから、演出によりロボットに共感した実験群が、対照群よりもロボットの景色に関する発話に同意することが確かめられた。

**[予測 3]**

行動観察によると、ロボットがおみやげについてジェスチャ及び発話で示した後、両群とも全員の被験者が 2 つのおみやげのうちどちらか 1 つを手にとった。さらにその後、ロボットからの”おみやげ”を持って部屋を退出した被験者の数・机に戻して持って帰らなかった被験者の数を表 9 に示す。

表 9: おみやげに対する被験者の反応

	持って帰る	持って帰らない
対照群	2	8
実験群	7	4

この調査結果を分析したところ差が少ないながらも有意な差が確認された ( $p < 0.1$ ) ことから、演出によりロボットに共感した実験群が、対照群よりもロボットからのおみやげを持って帰る傾向があるといえる。

質問票でおみやげを持って帰らなかった理由を尋ねたところ、「実験だから」「また後で使うと思ったから」というように実験であることを意識した回答が多く見られた。

以上の結果から、実験群の被験者は対照群の被験者よりも「ロボットの相手をする」という役割を確実に演じており、インタラクションへひきこまれていたといえる。

## 4 考察

本章では、実験結果を踏まえ i-Director による共感が人間・ロボット間のコミュニケーションに与える影響について考察を行う。

「ロボットの景色に関する発話に同意する (予測 2)」という行動は、ロボットが感覚を持つことを人間が想定した結果であるといえる。また「ロボットからもらったお菓子を食べる (予測 1)」「ロボットからもらったおみやげを持って帰る (予測 3)」という行動は、ロボットの「(お菓子を) 食べてほしい」「(おみやげを) 持って帰ってほしい」という意図を人間がくんで行われたものである。

よって、i-Director によってロボットに共感した被験者は、無意識にロボットに対してマインドリーディングを行うことによって、ロボットが感覚を持つことを想定し、意図を積極的に推測したと考えられる。

さらに、おみやげを持って帰らなかった被験者が特に「実験である」ことを意識していたことから、図 2 に示したマインドリーディングによるインタラクションへのひきこみが起こっていたといえる。

演出の各トピックで被験者が発話する確率は実験群の方が高かった ( $p < 0.05$ )。ただし、これは対話シナリオの関係上実験群の方がロボットの発話に対する返答を求められる機会が多いことの影響も考えられる。対照群の被験者の発話確率は演出が進むほど下がっていったが、実験群の被験者の発話確率は実験の最後まで高い数値で推移していた。これはロボットの発話に対して常に何らかの返答をすることで対話が成立し、よりインタラクションにひきこまれていた結果といえる。ひきこみが起きたことで、人間・ロボット間で関係が形成されていたことがわかる。

## 5 むすび

本稿では、人間とロボットの間に関感を成立させるという観点から行動実験を行い、人間とロボットのインタラクションの分析を行った。また、関感を実現する実験システムとして、音声対話システム i-Director を実装した。実験結果より、人間はロボットと関感することによってロボットに対してマインドリーディングを行い、コミュニケーションへひきこまれることがわかった。

今後は演出トピックの拡張及び大規模な行動実験を行い、関感によるインタラクションへのひきこみについて検証する予定である。

## 参考文献

- [wakamaru] 三菱重工業株式会社:  
<http://www.wakamaru.net>
- [Matsui 1999] Toshihiro Matsui, Hideki Asoh, John Fry, Youichi Motomura, Futoshi Asano, Takio Kurita, Isao Hara and Nobuyuki Otsu: "Integrated Natural Spoken Dialogue System of Jijo-2 Mobile Robot for Office Services", Proceedings of AAAI-1999, pp.621-627, 1999.
- [Moore 1985] C. Moore and P. Dunham: "Joint attention: Its origins and role in development", Lawrence Erlbaum Associates Inc., 1985.
- [Breazeal 1999] Cynthia Breazeal and Brian Scassellati: "How to build robots that make friends and influence people", Proceedings of IROS99, 1999.
- [Kozima 2001] Hideki Kozima and Hirokyuki Yano: "A Robot that Learns to Communicate with Human Caregivers", The First International Workshop on Epigenetic Robotics (Lund, Sweden), 2001.
- [Ono 2000] Tetsuo Ono, Michita Imai: "Reading Robot's Mind: A Model of Utterance Understanding based on the Theory of Mind Mechanism. Proceedings of AAAI-2000, pp.142-148, 2000.
- [Kanda 2002] Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, Tetsuo Ono, Michita Imai and Ryohei Nakatsu:

"Development and Evaluation of an Interactive Humanoid Robot "Robovie", IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2002), pp.1848-1855, 2002.

- [李 2002] 李晃伸, 鹿野清宏: "複数文法の同時認識および動的切り替えを行う認識エンジン Julius/Julian-3.3", 日本音響学会研究発表会講演論文集, 3-9-12, 秋季, 2002.