

レクチャーシリーズ 「つながりが創発するイノベーション」 [第1回]

人と関わるロボットの研究

Studies on Interactive Robots

石黒 浩
Hiroshi Ishiguro大阪大学大学院基礎工学研究科, ATR 石黒浩特別研究所
Department of Systems Innovation, Osaka University./ATR Hiroshi Ishiguro Laboratories.
ishiguro@sys.es.osaka-u.ac.jp, <http://www.irl.sys.es.osaka-u.ac.jp/>**Keywords:** interactive robots, androids, distributed vision, omnidirectional vision.

1. コンピュータビジョンと視覚移動ロボット

著者が本格的に研究者の道を目指すようになったのは、博士課程進学を決めたときであった。ただ、研究者になりたいと思ってなったというよりは、何になるべきかを決められないまま、大学で研究を続け、その結果研究者になった。そうしたモラトリアムの中で常に興味もっていたのは、自分自身や人間についてであった。「自分とは何か?」、「人間とは何か?」、というぼんやりとした疑問をもちながら大学に残っていた。

すなわち、最初からロボットの研究に興味があり、ロボットをつくりたいと思っていたわけではなく、画家になりたいとかなり真剣に思って、学部生として入学した山梨大学では絵ばかり描いていたのであるが、そのうちに、画家としては十分な才能がないことに気がついて、コンピュータを真剣に勉強するようになった。そして、1985年の4回生のときにカメラで白線を追跡して盲人を誘導する盲導犬ロボットの研究をされていた森英雄先生の研究室に配属され、本格的にコンピュータビジョンとロボットの研究に取り組みだした。

1.1 視覚移動ロボット

4回生と続く修士課程の2年間は、道路上の白線をカメラで見つけながら、その白線に沿って移動する視覚移動ロボットの視覚システムを開発していた。当時は、まだパソコンもなく、またカメラからの画像をコンピュータに瞬時に取り込む安価なメモリもなかったために、画像メモリとコンピュータのインタフェースを自作した。また、コンピュータもさほど早くなかったので、プログラムはすべてアセンブラで記述し、ようやくと人が歩くくらいの速度で、白線を追従するロボットを実現した。

この白線を追跡するロボットの研究は、世界でも取り組まれていた研究で、同時期にドイツ [Dickmanns 86] やアメリカ [Thorp 91] にも同様の研究があった。移動ロボットの研究が実時間処理可能な視覚システムと組み合わせ、大きく発展しようとしていた時期である。そ

してその研究成果は、現在の自家用車の自動運転システムや危険回避システムに生かされている。

著者はこの視覚移動ロボットの研究をきっかけに、人工知能や知能ロボットの研究に強く興味をもつようになった。そして世界においても、そういった研究が注目を集め、BallardのComputer Vision [Ballard 82] やHornのRobot Vision [Horn 86]、ギブソンの生態学的視覚論 [ギブソン 86] というような名著が数多く出版され、著者を含め多くの若手研究者が人工知能や知能ロボットの未来に期待を膨らませた。

その後著者は、大阪大学基礎工学研究科の博士後期課程に入学し、辻三郎先生の指導のもとに、能動視覚 (Active Vision) と全方位視覚 (Panoramic Vision) の研究に取り組んだ。それ以前の視覚移動ロボットの研究では、カメラは移動ロボット上に前方を観察するように固定されていた。人間のように柔軟に環境を観察できる視覚システムを実現するには、能動視覚による環境の一部を詳細に観察する機能と、全方位視覚による環境を見渡す機能が必要だと考えたのである。

この辻先生の研究室で、今の研究者としての素地を築くことができた。辻先生からの教えは「基本問題を考える」というものであり、それは今でも最も大事に守っている教えである。

1.2 能動視覚

能動視覚の研究は当時ロチェスター大学のBallardやメリーランド大学のAloimonosによって始められた。Ballardは人間が両眼を用いて物体に注視しながら環境を観察する動作について研究を行い、Aloimonosはその注視行動が物体中心座標系で表現を直接得ることに貢献していることを数学的に明らかにした。

彼らが能動視覚の研究に大型のマニピュレータとその先端に取り付けたカメラからなるシステムを用いたのに対して、著者は、移動するロボットに回転台を取り付け移動体における能動視覚の研究に取り組んでいた。偶然にも同様の研究がジェノバ大学のSandini氏らによって行われていたのだが、この頃より現在に至るまで互いに

長く交友関係を続けている。また Sandini 氏らはより人間に近い視覚システムを実現するために、人間の網膜の構造に近い、log-polar mapping の CCD カメラも開発していた。

これらの研究はより人間に近い視覚システムを実現するものとして期待されたが、当時は、人間のような視覚認識機能を実現するまでには至らなかった。人間は1枚の写真を見てもそこに何が映されているかを瞬時に判断することができる。そうした基本的な認識機能がボトルネックとなって、能動視覚の研究は頭打ちになった。

では、現在ではどうかというと、そのボトルネックとされていた認識機能は、クラウドコンピューティングやその上で実装されるディープラーニングによってかなり進歩してきた。特に画像中に何が映っているかを判別する機能については人間に迫るほどになってきている。この認識機能をもとに、今もう一度能動視覚を考えてみる価値は高いのではないかと思う。

1.3 全方位視覚

視覚移動ロボットにとって重要なもう一つの視覚機能が全方位視覚である。全方位視覚のアイデアそのものは、カメラが発明された直後から存在する。カメラが発明される前には、パノラマという風景を楽しむ仕掛けがあった。サーカスのテントのような円形の建物の内側の壁に、その中心から見渡したどこかの風景を描き、その風景を楽しむというものである。例えば、ロンドンにしながらパリの風景を楽しむことができた。このパノラマでは人が絵を描いていたのであるが、カメラが発明されてすぐに、複数台のカメラを円形に並べて全方位の写真撮るシステムが発案された。その後さまざまな研究開発が行われ、近年になって、全方位視覚システムの最も興味深い技術が、米国国防省から提出された特許として現れる。その特許は双曲面の鏡をもつカメラシステムと、楕円面のディスプレイを組み合わせた表示システムを組み合わせたもので、曲面鏡とカメラの組合せによる全方位画像撮影に関する基本的なアイデアを明示している。

知能ロボットやコンピュータビジョンの分野では、著者が所属していた大阪大学の辻先生の研究室が、世界に先駆けて全方位視覚の研究開発に取り組んだ。八木康志氏（現 大阪大学教授）は円錐形の鏡とカメラを組み合わせた移動ロボットのための実時間全方位視覚システムを開発した [八木 91]。Zheng 氏（現 インディアナ大学、パデュー大学ミネアポリス校教授）は、連続的に移動するロボットから撮影したパノラマ画像について研究を行った [Zheng 92]。著者は、カメラを正確に回転させて得られる全方位画像を用いた環境モデルの構築などについて研究を行った [Ishiguro 92]。この研究により、今でも交流を続けている世界のコンピュータビジョン研究者に出会うきっかけを得ることができた。

大阪大学から始まったコンピュータシステムと組み合わせた全方位視覚の研究であるが、さまざまな応用システムも開発された。その一つとして著者はいわゆる Street view のシステムを開発した。あらかじめ環境のあちこちで全方位画像を撮影しておき、特定の経路に従って全方位画像を連続的に切り出し、滑らかにつなげることで、経路に沿って移動した際に見ることができる風景を連続的に再現した。その後同様のアイデアをもとに、Google によって Google Map 上の Street view の機能が世界規模で実現された。

全方位視覚は従来のカメラの画角の制約を取り払えることから実用化にも大きな期待が寄せられ、大企業やベンチャー企業が製品化に取り組んだ。しかしながら常に、解像度と広い視野のトレードオフに悩まされてきた。一台のカメラで広い視野の画像を撮像すると、解像度が犠牲になる。一方で世の中はさらに高い解像度のカメラを求めていた。そしてそのうちにカメラそのものも安価になり、現在では複数のカメラを円形に並べて解像度の高い全方位画像を撮影する方法が産業界では主流になっている。

この全方位視覚の研究においても、先にも述べたディープラーニングなどによる視覚認識技術を用いれば、人間と同等かそれ以上の環境認識機能、視覚誘導機能が実現できると期待される。

2. 日常活動型ロボットと知覚情報基盤

山梨大学と大阪大学で助手を務めた後、1996年に京都大学の石田 亨先生の研究室に助教として招いていただいた。そして、研究も能動視覚と全方位視覚の研究から、日常活動型ロボットの研究と知覚情報基盤の研究に発展させた。石田先生からの教えは「世の中を変える研究をしなさい」であった。論文をいくら書いても世の中は変わらない。論文がなくても評価されるほどのイノベティブな研究にチャレンジしなさいという教えである。その教えを受けて、当時はまだ取り組まれていなかった、人と関わるロボットの研究と、ロボットと人間の双方を支援する視覚や聴覚のセンサネットワークである知覚情報基盤の研究に取り組み始めた。

その頃同時に、研究者ネットワークも分野を超えて大きく広がってきた。特に、北野宏明氏が声をかけて集まったグランドチャレンジを議論する会は、著者にとっては非常に刺激的であった。当時は人工知能の可能性に多くの研究者が夢を描いており、集まったそれぞれの研究者が次に挑戦すべき研究課題について議論をした。その輪の中に身を置けたことは非常に幸運だった。

こうした研究者の集まりは、自らも企画した。著者は國吉康夫氏（現 東京大学教授）らとともに、けいはんな社会的知能発生学研究会を（株）けいはんなの支援で立ち上げ、年に2～3回、全国から人工知能や知能ロボッ

トの研究者が集まり、脳科学などの関連分野のトップクラスの研究者を招待しながら、知能や認知の深い問題について議論を戦わせた。今から思えば、研究者として深く物事を考えることができるようになったのは、この研究会のおかげである。

そして研究者として一人前になるための次なる場を与えてくれたのが、JSTのさきがけである。著者は安西祐一郎先生が領域代表を務める「情報と知」に採択していただいた。このさきがけのプログラムはまさに研究者のための学校のようなものであった。比較的若い研究者が情報と知に関する幅広い分野から集められ、人工知能や知能ロボットよりもさらに広い分野の中で、自分の研究の意義を主張しあった。このさきがけで一緒に採択されたメンバーは今ではそれぞれに成長し、おのおのの分野で中心的な研究者となっている。

このように、著者が大阪大学の助手や京都大学の助教授として働いていた時期は、博士課程から取り組んできた研究テーマを飛躍的に発展させる時期でもあり、研究者のネットワークを爆発的に広げつつも、より深く人工知能や知能ロボットの問題を考える時期であった。

2.1 知覚情報基盤

京都大学に招かれてから新たに知覚情報基盤と日常活動型ロボットの研究に取り組んだ。知覚情報基盤はそれまでに取り組んできた能動視覚や全方位視覚の研究を発展させたものであり、環境にたくさんのカメラやマイクなどのセンサを配置し、人間やロボットの行動を支援しようというものであった。今ではたくさんのカメラを環境に配置した研究は、さまざまな研究機関で取り組まれているが、著者が研究を始めた1996年頃はまだまだあまり取り組みがなかった。知覚情報基盤の中でもたくさんのカメラを環境に配置した視覚システムを「分散視覚」と名付け、基本アルゴリズムから応用に至るさまざまな研究に取り組んだ。この知覚情報基盤の研究に熱心に取り組んだ理由は、ロボットの認識機能には限界があることを感じていたためである。この研究の方針は今でも続けており、今でも、ロボットを開発すると同時に、センサネットワークの開発も続けている。

2.2 日常活動型ロボット

「世の中を変える研究をなさい」という石田先生の言葉に後押しされて開発を決意したのが、もう一つの研究テーマである日常活動型ロボットである。それまでのロボット研究は、操作（マニピュレーション）と誘導（ナビゲーション）の研究が中心で、著者自身も視覚を用いた誘導の研究に取り組んでいた。そうした中で次にロボットにとって何が重要な課題となるかを考え、それが相互作用（インタラクション）であると気付いた。この人と相互作用しながら日常的な場面で人の活動を助けるロボットを日常活動型ロボットと呼ぶ。

日常活動型ロボットの研究開発は、京都大学だけでなく、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）でも取り組み始めた。ATRには博士課程の頃から出入りしていたのであるが、本格的に自分のグループをもったのは、この日常活動型ロボットの研究からである。ATRは主に総務省や文部科学省の競争的資金で運営されている研究組織である。大学とは異なり、ATRには教育の義務がない一方で、競争的資金のみで組織を運営していかなければならないために、研究者は研究成果のみで評価される。そのため大学よりも皆が研究に対して厳しい姿勢で挑んでいる。

またATRでの活動に加えて、2000年には、大阪市の中小企業グループからの依頼と支援で、著者自身の技術をもとにビジネスを展開するベンチャー企業ヴイストンを創設した。ヴイストンは今も順調に業績を伸ばしながら、産学連携ベンチャー、ロボットベンチャーの先駆けとして活躍を続けている。

そして、それと同時に研究室の研究も3段階の体制にした。まず、発想を重視する研究テーマは大学で取り組み、大きな予算を元に戦略的に研究開発するテーマはATRで取り組み、実用化を目指した研究開発テーマは、ヴイストンと連携して取り組んだ。学生もそれぞれの適性やモチベーションに応じて、発想から実用に至るさまざまな場面で研究に取り組ませた。

日常活動型ロボットの研究では、ロボビー（図1）と呼ぶ、人と関わる機能をもつ人間型ロボット（足は車輪）を開発して、相互作用に関する機能の研究開発に取り組んだ。その同時期にマサチューセッツ工科大学やカーネギーメロン大学でも、人と関わるロボットの研究に取り組む研究者が現れ、それらの人達と、国際会議International Conference on Human-Robot Interactionを立ち上げ、さらには論文誌も刊行するに至った。

この日常活動型ロボットの研究は、今日でもATRで



図1 日常活動型ロボット，ロボビー

盛んに取り組んでいる。そしてその研究が世の中を変える可能性も見えてきた。コンピュータはパーソナルコンピュータになって爆発的に普及し、現在の情報化社会を実現した。日常活動型ロボットも、パーソナルコンピュータと同じように、高機能でありながらも低価格なものになれば、再び世の中を変える可能性がある。そのような、まさにパーソナルロボットと呼べるようなロボットが昨年ソフトバンクから発表された。ロボビーやその他の大学や研究機関で開発されているロボット以上の機能をもちながらも、ロボット本体の価格はパーソナルコンピュータと同じ20万円である。ヴァイストンも小型のパーソナルロボットを発表し、10万円以下で売るとの予定である。2000年前後に始まった日常活動型ロボットの研究は、15年を経て社会を変える可能性が出てきたのである。

3. 人間酷似型ロボット「アンドロイド」

日常活動型ロボットの研究を始めてからしばらくした後、著者自らが強く意識した問題が、「ロボットの人間らしさ」である。もともと自分自身や人間に興味があったので、人と関わるロボットを開発してみても、再び人間に対する興味が強く甦ってきた。ロボビーはどれほど人間らしい姿をしているのがよいのか。人間らしい姿形が重要なのか、ロボットにはロボットらしい姿形がふさわしいのかといった疑問に答えるために、人間に酷似したロボット、アンドロイドの開発に取り組むことにした。

このアンドロイド開発は、人脈においては、それまでの研究よりも格段に幅を広げた。日常活動型ロボットの研究では国際会議を立ち上げるなどして、国際的な人脈が出来上がり、ロボット関係者については世界中の多くの著名な研究者と知り合うことができたが、アンドロイドの研究を始めてからは、芸術家や哲学者にまで人脈の幅が広がった。そして著者自身もそういった幅広い人々との関わりを通して、本来の自分の疑問、「人間とは何か」という問いに、再び素直に向き合えるようになってきた。

3.1 女性型アンドロイド

最初につくったのは、4歳のときの自分の娘のアンドロイドである。ロボビーと同じ大きさで見かけの人間らしさを比較するために、当時ロボビーと身長が同じだった娘をモデルにアンドロイド制作をした。その後、2004年の愛知万博でNHKのアナウンサーをモデルにしたアンドロイドを発表し、さらに普及型のアンドロイドとしてジェミノイドFを開発した。図2は新宿高島屋のショーウィンドを飾るジェミノイドFである。この展示では、カメラや3Dセンサ(キネクト)を用いて来場者の表情や動作を認識し、それに応じて、振舞いを変える自律的に反応できるアンドロイドを展示した。アンドロイドの表情は人間と同じように自然で、少し離れたところから見れば人間と区別するのが難しい。このシステムは今で



図2 アンドロイド, ジェミノイドF



図3 アンドロイド演劇「さようなら」

も改良を重ね、最近では、客とタブレットコンピュータを用いて対話しながら(デパートは環境音がうるさく音声認識機能を用いることができない)、人間の店員と同じくらい商品を売ることができるようになってきている。

こういった実証実験だけでなく、アンドロイドは演劇にも用い、演劇の世界にも変革をもたらした。ロボットやアンドロイドの人間らしい振舞いをつくるには、認知科学や脳科学よりも、演劇の演出家の知識のほうがはるかに役に立つ。一方で、人間を表現する演劇の演出家もアンドロイドを演劇に使いたいと考えている。

そうしたロボット研究者と演出家が、著者と平田オリザ氏であった。著者は日常的な複雑な場面で、ロボットが人間らしく振る舞うためのルールを探すために、演劇を学び始めていた。一方、平田オリザ氏は演劇の新しい可能性をロボットに求めていた。そういった二人で制作したアンドロイド演劇「さようなら」(図3)は、世界的に注目を集め、今でも多くの公演依頼を受けている。特にフランスで高い評価を得ていることは重要で、アンドロイド演劇は新しいメディア芸術の一つではなく、伝統的な芸術として認められていることを意味する。

一方で、技術としても演劇の手法から、日常的な場面

でロボットを人間らしく振る舞わせるルールを抽出し、人間らしく振る舞うロボットやアンドロイドのプログラムに反映している。

このようにアンドロイドは芸術と技術の真の融合、真の文理融合の姿をもたらしている。そして無論そこには、全くの異分野の人間が協働する新しい世界がある。

3.2 遠隔操作型アンドロイド

アンドロイドの開発で最も難しい技術の一つが音声認識である。ディープラーニングなどの技術で音声認識の技術は格段に向上したのであるが、それでも人間同士が話す距離で、人間の日常生活の場で安定に働く音声認識の技術は未だない。それで、対話の部分は遠隔操作で人間に任せる仕組みのアンドロイド、遠隔操作型アンドロイドを開発し、そのモデルに著者自身を選んだ(図4、図5)。

この遠隔操作型アンドロイドのシステムが興味深いのは、アンドロイドと対話する訪問者も、アンドロイドを操作する操作者もアンドロイドの体に適応することである。そしていずれの場合にも非常に哲学的な疑問を投げかけてくることである。例えば、このシステムを使えば、アンドロイドの体で講義をすることもできる。実際に講義をしてみると、学生らは、最初はアンドロイドのぎこちない動きが気になるものの、すぐに慣れてしまい、著者本人が目の前にいるかのように振る舞う。すなわち、「人の存在感とは何か?」という疑問が浮き上がってくる。

また、操作者(著者本人以外も)もしばらく操作をすると、同期して動くアンドロイドの体を、まるで自分の

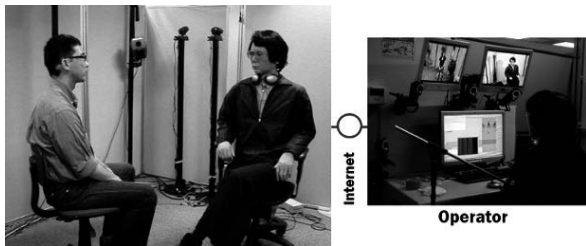


図4 遠隔操作型アンドロイド、ジェミノイド HI-2



図5 カフェの中の遠隔操作型アンドロイド

体のように感じられ、例えば、誰かがアンドロイドの体に触ると、まるで操作者自身が自分の体に触られたかのような錯覚を起こす。「自分の体とは何か?」という認知科学的、哲学的疑問が浮き上がってくる。

この遠隔操作型アンドロイドの研究には、工学者だけでなく、脳科学者、認知科学者、哲学者、芸術家など、さまざまな分野の人間が、「人間とは何か?」という基本的な問いを共有しながら関わっている。

3.3 存在感メディア

人間に酷似したアンドロイドの研究は、人とロボットの関わりに関してさまざまなアイデア、ヒント、直感を与えてくれる。そうした直感をもとに考案したのが、テレノイドである(図6)。テレノイドはアンドロイドとは異なり、人間にしか見えないが、個人としての特徴を全くもたない、性別も年齢も判別できないニュートラルな姿形をもつ。アンドロイドの場合は、特定の人間にそっくりであるため、その人間の見かけが怖ければ、アンドロイドを怖がる者もいる。しかし、テレノイドの場合は、誰もが楽しんで対話することができる。

テレノイドの場合、見かけがニュートラルなので人間の個性を感じるのは声のみである。ゆえに、声を聞いて相手を想像して、その想像した相手が誰にでも見えるニュートラルな見かけのテレノイドに投影される。そしてその想像において人間は常にポジティブになれる。すなわち、自分のポジティブな想像のもとに関われるのがテレノイドであり、少し人間と違うところがあると極端に不気味に感じるアンドロイドとは根本的に関わり方が異なる。

このテレノイドは、高齢者施設などの実証実験において、非常に高い評価を得ており、実用化の一手手前まで開発が進んできた。それと同時に、またさらに異なる分野の人々との交流が始まっている。日本や福祉国家として名高いデンマークの介護施設や病院との連携が進んでおり、介護や医療の分野の人々とも、密な交流が始まっている。



図6 高齢者施設のテレノイド

4. 今後の展望

今年からは、JST ERATOの研究が始まり、また新たなチャレンジに取り組んでいる。その新たなチャレンジとは、これまでのアンドロイド技術、人と関わるロボットの技術をさらに進化させ、人間と自律的に対話できるロボットを実現するというものである。

そのロボットのコアとなる仕組みが、行動、意図、欲求の階層構造である(図7)。これまでに開発した遠隔操作型ロボットのシステムを用いて、多様な対話パターンを収集し、行動、意図、欲求の階層からなる内部表現をロボットに与える。そしてロボットはその階層的な内部表現を基に行動する。また同時に、最先端の音声認識システムによって、相手の音声を認識し、行動を理解するとともに、その行動を自らの階層的な内部表現に照らし合わせて、相手の意図や欲求を推定する。すなわち相手の心を理解できるロボットを実現しようと考えている。

無論、人間と同じレベルでこの野心的なロボットを実現することは不可能であろうが、状況や目的を限定すれば、実現可能性はあるだろう。そしてそのような人の心を理解し、より深く人と意思疎通できるロボットが実現できれば、人工知能はより人間の知能に近づくことになる。そして、そこでは再び、哲学、脳科学、認知科学といった人間を理解する研究と、人工知能や知能ロボットといった人工物を創造する分野の研究が、より深い議論を交わすことになる。

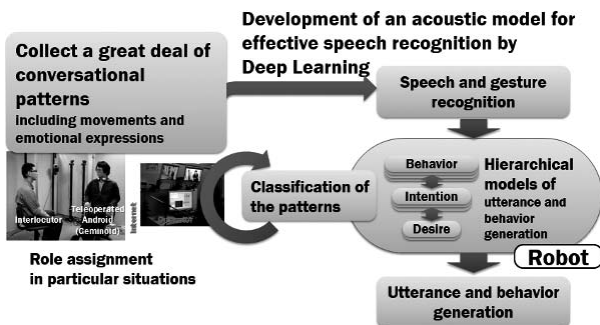


図7 行動、意図、欲求の階層構造をもつ自律ロボット

◇ 参考文献 ◇

- [Ballard 82] Ballard, D. H. and Brown, C. M.: *Computer Vision*, Prentice Hall (1982)
- [Dickmanns 88] Dickmanns, E. and Graefe, V.: Dynamic monocular machine vision, *Machine Vision and Application*, Vol. 1, pp. 223-240 (1988)
- [ギブソン 86] J. ギブソン 著, 古崎 敬, 古崎愛子, 辻 敬一郎, 村瀬 旻 訳: 生態学的視覚論, サイエンス社 (1986)
- [Horn 86] B. Horn: *Robot Vision*, MIT Press (1986)
- [Ishiguro 92] Ishiguro, H., Yamamoto, M. and Tsuji, S.: Omnidirectional stereo, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, pp. 257-262 (1992)
- [Ishiguro 07] Ishiguro, H.: Scientific issues concerning androids, *Int. J. Robotics Research*, Vol. 26, No. 1, pp.105-117 (2007)
- [石黒 09] 石黒 浩: ロボットとは何か—人の心映す鏡—, 講談社 (2009)
- [北野 93] 北野宏明: グランドチャレンジャー—人工知能の大いなる挑戦—, 共立出版 (1993)
- [西尾 13] 西尾修一, 山崎竜二, 石黒 浩: 遠隔操作アンドロイドを用いた認知症高齢者のコミュニケーション支援, システム/制御/情報, Vol. 57, No. 1, pp. 31-36 (2013)
- [瀬名 04] けいはんな社会的知能発生学研究会: 知能の謎 認知発達ロボティクスの挑戦, 講談社ブルーバックス (2004)
- [Thorpe 91] Thorpe, C., Hebert, M., Kanade, T. and Shafer, S.: *IEEE Expert*, Vol. 6, No. 4, pp. 31-42 (1991)
- [八木 91] 八木康史, 川戸慎二郎, 辻 三郎: 全方位視覚センサ COPIS を用いた衝突回避, 信学論, Vol. J74-D-II, No.7, pp.908-917 (1991)
- [Zheng 92] Zheng, J. and Tsuji, S.: Panoramic representation for route recognition by a mobile robot, *Int. J. Computer Vision*, Vol. 9, No. 1, pp. 55-76 (1992)

2015年4月16日 受理

著者紹介



石黒 浩 (正会員)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、京都大学情報学研究所助教授、大阪大学大学院工学研究科教授などを経て、2009年より同大学院基礎工学研究科教授。2013年大阪大学特別教授。ATR 石黒 浩特別研究所客員所長 (ATR フェロー)。専門は、ロボット学、アンドロイドサイエンス、センサネットワークなど。2011年大阪文化賞受賞。2015年文部科学大臣賞受賞。