HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	手ジェスチャによる移動ロボットの操作
著者	深谷，健一
引用	北海学園大学工学部研究報告，37：59-68
発行日	2010-02-22

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

手ジェスチャによる移動ロボットの操作

深　谷　健　一*

Manipulating a Mobile Robot by Hand Gestures

Ken–ichi FUKAYA*

要　旨

環境内を移動して人間にサービスを提供するロボットの実現が期待されている．このようなロボットでは人間とのコミュニケーションが一つの重要な課題である．人間が日常的に用いている言語によらないインタフェース（ノンバーバルインタフェース）の一つである手ジェスチャを移動ロボットの操作に使うとどのようなコミュニケーションが実現できるのか．最近10年間ほどの当該分野の研究論文を調査し，その現状，課題と今後の方向などをまとめた．

1．まえがき

ロボットの利用が産業用から民生用へと広がり，環境内を移動して人間との相互作用をするサービスロボットが自動車，テレビ，パソコン，携帯電話の次の生活の一部になると予測されている[1]．サービスロボット実現には人間とのコミュニケーション技術の発展が不可欠である．

人間同士のコミュニケーションでは言葉のほかに表情，視線，ジェスチャ，姿勢などの非言語（ノンバーバル）インタフェース[2]を併用してコミュニケーションの効果をあげている．この非言語インタフェースの中で，非接触の画像センシングによる顔とジェスチャの検出・認識はコンピュータビジョンの研究課題として従来から広く取り組まれており[3),4),5)]，その応用分野は監視，情報機器・家電・ロボットの操作と多岐にわたる．移動ロボット操作の非言語インタフェースとして顔，頭のジェスチャが使われることはほとんどなく，主として手ジェスチャが利用されている．**図1**に手ジェスチャによる移動ロボット操作の構成を示す．画像センシング以外の計測手段も使って手ジェスチャのデータを取り込み，解析，識別した結果が操作者の意

* 北海学園大学工学部電子情報工学科
* Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai–Gakuen University

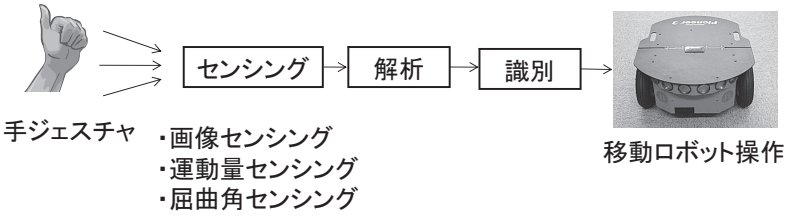


図1　手ジェスチャによる移動ロボット操作の構成

図となり，それに基づいてロボットが操作される．手ジェスチャによる移動ロボット操作に関して，ここ10年間ほどの研究論文を調査した．研究の現状，課題と今後の方向を報告する．

2．手ジェスチャの検出による移動ロボット操作の研究状況

移動ロボットの操作に用いられる手ジェスチャ一覧を**表1**に示す．大きな分類では手の動き（動的ジェスチャ）と手の形（静的ジェスチャ）が使われている．前者では手の移動によって生ずる変位，速度，加速度や指の開閉変位を非接触のカメラを用いた画像センシングや操作者の手の動きを計測する各種センサ（速度・加速度センサ，屈曲角センサ）を用いて検出する．後者では手の開閉，指の数の増減，指の開き角の変化により生ずる手の形あるいは指先方向を静止画像として検出する．また手の傾きを重力加速度の成分として検出することも試みられている．

2.1　手の動きジェスチャによる操作

日常よく使われる手招き，拒否，同意のような手ジェスチャは空中に描く手の軌跡（変位）の形で意図を伝えようとする．手から一定の距離にあるカラーカメラを用いて取り込んだ動画像から肌色領域の抽出で手形状を取り出し，その重心の速度や回転角の時系列特徴を音声認識

表1　移動ロボット操作に用いられる手ジェスチャ一覧

手ジェスチャ分類	手ジェスチャ詳細	検出センサ
手の動き（動的ジェスチャ）	手変位（軌跡）	視覚センサ
	手加速度（動加速度）	加速度センサ
	手回転速度	ジャイロセンサ
	指開閉動作	データグローブ（屈曲角センサ）
手の形（静的ジェスチャ）	手の形	視覚センサ
	指の数，指の開き角	視覚センサ
	指差し	視覚センサ， レーザポインタ併用視覚センサ
	手の傾き（静加速度）	加速度センサ

の分野で有効なDPマッチングや隠れマルコフモデル手法を使って，予め登録しておいた教師特徴とマッチングして識別する．**図 2** に示すような識別しやすい５，６種類の手ジェスチャが選ばれている．田中ら[6]は移動ロボットに搭載したカラーカメラを使って，直感的なCome ON（前進）やBye Bye（後退）の手ジェスチャにより移動ロボットを操作した．カメラと手の距離が２mと近く，練習をした場合にはロボット操作成功の可能性が高い．しかし，移動ロボット上に設置したカメラに向かってジェスチャをするため，ロボットが離れると，手ジェスチャの画像が小さくなり識別誤差が大きくなる．M.Ehrenmannら[7]，陳ら[8]は移動軌跡が異なる２次元の手ジェスチャをカラーカメラで取り込み，隠れマルコフモデル手法を用いて識別している．いずれも移動ロボットの操作を目的としているが，ロボット操作実験をしているわけでなく，この意図的な軌跡とロボット操作の関連づけはなされていない．

カメラを用いる方法ではジェスチャがカメラから一定距離にあり，カメラ視野に入ることや手の肌色を抽出できる背景と明るさの環境が必要となる．**図 3** に示す固定カメラの下で手ジェスチャをすることで，このような問題を回避できるが，操作者の位置が限定され移動ロボットとの直接のコミュニケーションにはならない．

手を前後，左右，上下に振る，あるいは水平に回すジェスチャをすることで生ずる加速度，速度の運動量を計測できればジェスチャ検出に使える．この場合，加速度センサ，ジャイロセンサを装着した機器を手に持つ必要がある（**図 4**）．**図 5** にX，Y，Z軸方向の加速度実測波形

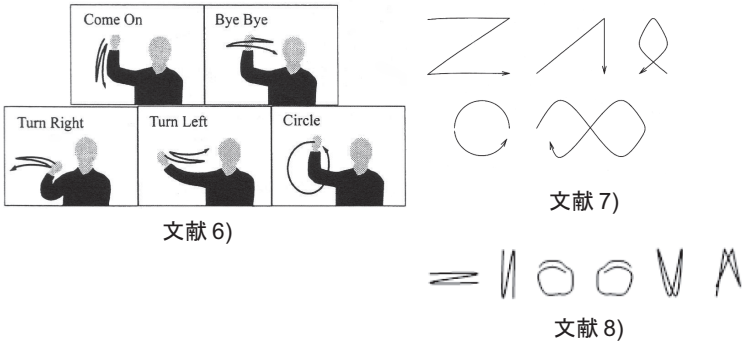


図 2　手の動きジェスチャ

図 3　固定カメラの下の手ジェスチャ検出

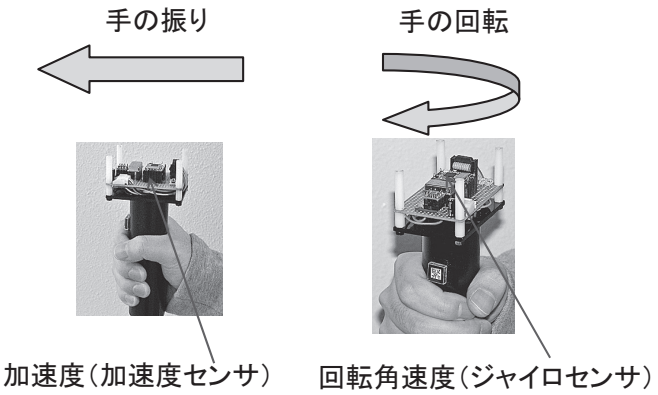


図 4　動的手ジェスチャと利用センサ

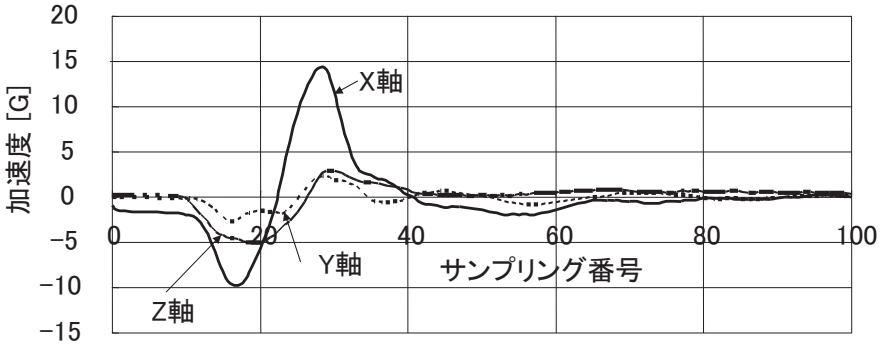
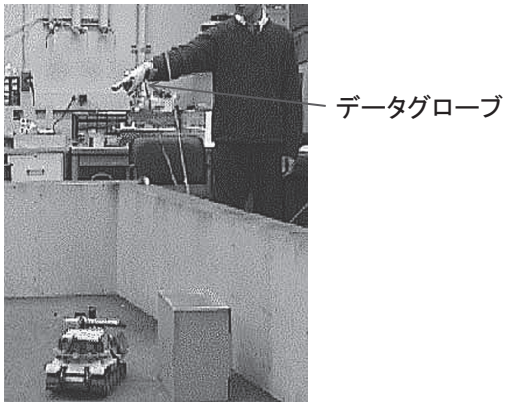


図 5　加速度実測例

の実例を示す．これらの運動量の時系列データを解析することでジェスチャの種別を識別できる．前後，左右，上下，水平回転といった単純な動きジェスチャを使っており，これに対応して移動ロボットに固定されたローカル座標系にもとづく前進，後退，回転，速度増減，斜め方向への前進といった直感的な対応をする移動ロボット操作が可能となる[9),10),11)]．画像センシングと違い，ロボットと手の相対位置の制約（相対角度，相対距離）や手の肌色抽出時の画像背景の影響を受けず，操作機器に無線を使えば20mロボットから離れても操作できる利点を有する．このような運動計測センサとデータ処理用のマイコンを搭載した操作機器は近年，ゲーム機，モバイル機器，家電製品などの操作[12),13)]にも応用されており，有望なヒューマン・ロボットインタフェースになりうる．しかし，移動ロボットと操作者の相対位置を計測しているわけではないので，廊下，部屋などの移動空間に固定された世界座標系にもとづくロボット操作，例えば特定の位置への移動はできない．

S.Ibaら[14)]は手に装着したデータグローブの指を開閉する時の屈曲角センシングを利用して，手ジェスチャを識別し，移動ロボットの前進，後退，回転および可減速走行をさせている（**図 6**）．データグローブはバーチャルリアリティの分野で利用されてきた特殊な装置である．デ



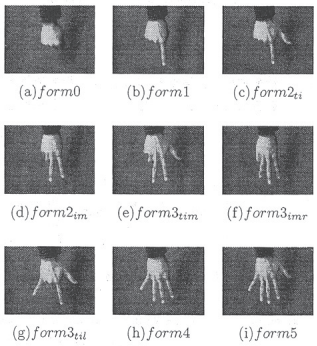
文献14)

図6　データグローブを用いた手ジェスチャによる移動ロボット操作

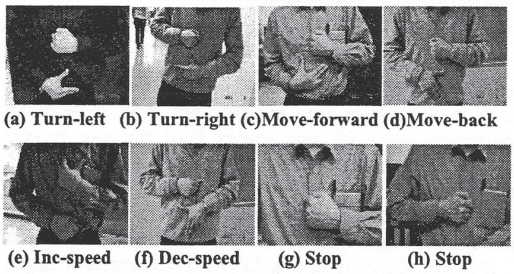
ータグローブ上に装着したPolhemus 6 自由度位置センサを用いて，移動空間の世界座標系に基づくロボット操作も可能としている．

2.2　手の形ジェスチャによる操作

図7に示す指の本数や丸めた手の形が移動ロボット操作の手ジェスチャとして用いられている．日常生活でも親指と人差し指で○（丸印）を作って了解の合図をしたり，指の本数で数字を示したりとよく使われる手ジェスチャである．カラーカメラを用いてこれらの手指の形状を肌色抽出で取り出し，2値化して手指画像の輪郭線を求める．手指形状に特有な曲率変化に着目した特徴量を求め，これを予め登録しておいた教師データと照合する．丸谷ら[15]は両手を使い，右手で指の数を設定し，左手の親指と人差し指の開き角度を速度増減に使うことで，移動ロボットの固定座標系での操作を試みている．手指撮影のカメラはロボットには載せず，単純な背景中に手指をおいているので，カメラの視野，照明，距離の問題は生じない．指の数や手



文献15)



文献16)

図7　手の形ジエスチャ

の形がロボットの移動命令と直接的な関係がなく，直感的にどのジェスチャがどの動き命令に対応するのかわかりにくい．またロボットと操作者の相対的な動きを直接指示することにはならない．C.Huら[16]の研究では遠隔地からロボットを操作する目的でカメラの前の手ジェスチャを手の輪郭線の解析により検出しているが，ロボット操作は試みられておらず，その有効性は不明である．

指先で指示した位置へ移動ロボットを移動させる研究がなされている．**図 8** にJ.Richarz[17]らの操作例を示す．これは日常「そこ，あそこ」と声を出しながら，指を差して場所を示すのによく使われ，直感的にわかりやすい手ジェスチャである．ロボットに搭載するステレオカメラを使って指先の３次元位置と指の方向を求め，その延長線上の床との交点が指示位置となる．水野ら[18]は指示代名詞「これ」「それ」「あれ」を音声認識させ，指先の指示と併用するマルチモーダルなインタフェースを試み，位置伝達の曖昧性を減少させている．このようなマルチモーダルなインタフェースとして，手ジェスチャに加え音声コマンドとPDA（Personal Digital Assistant）機器上の目標位置指定ジェスチャを併用する移動ロボット操作も試みられた[19]．

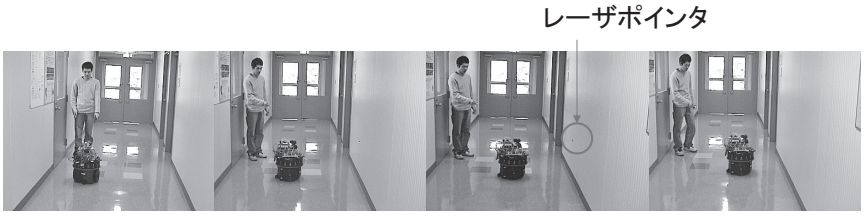
スイッチのある壁やドアの位置を指示する方法として，操作者が持つレーザポインタを目的の位置に照射して明るい光の点として示し，移動ロボット搭載のカメラで検出する方法が提案されている（**図 9**）．人工光の点が明瞭にカメラに捕らえられるので，ロボット搭載の単眼カメラでも位置抽出は容易である[20),21]．

以上の指差しジェスチャのコンセプトは1980年代にMITメディアラボのグループが可視化したメディアルームの「put that there」[22]のロボット版といえるものである．

手を前後・左右・斜めに傾けると加速度センサを載せた手操作装置（**図10**）の重力加速度成分が検出できる（**図11**）ことから，容易に複数の手ジェスチャを抽出することができ，これを利用してロボットを操作できる．前に傾けると前進，右横に傾けると右回転と，直感的な操作

文献17)

図 8　指差した位置へのロボット移動



1）携帯電話操作　2）接近場所指示　3）接近動作　4）接近停止

図 9　レーザポインタ照射壁面位置への接近実験

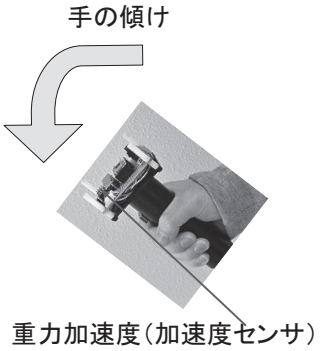


図10　静的手ジェスチャと利用センサ

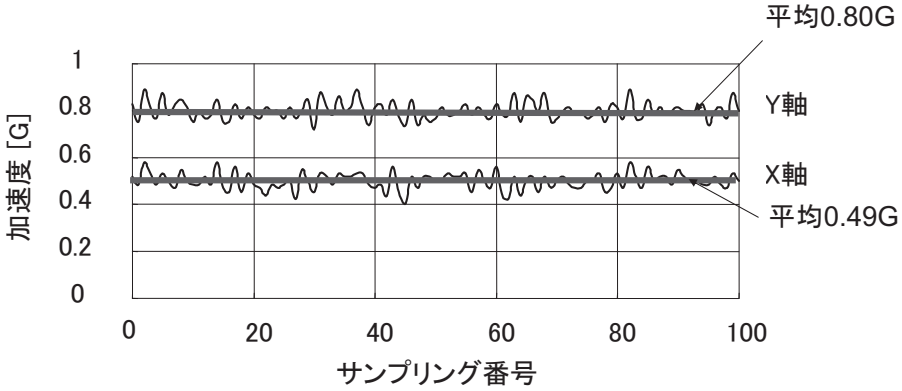


図11　重力加速度成分実測例

が可能である[10]．

3．手ジェスチャによる移動ロボット操作の問題点と解決策

3.1　センシング

非接触で手ジェスチャを検出できることから，画像センシングが多数研究されてきた．手の肌色抽出，重心の移動と回転，輪郭形状といった特徴量を予め登録した教師データとマッチングさせることで手ジェスチャを識別できる．しかし，明るさの変化，背景画像の変化する環境

では肌色の抽出が再現できなかったり，教師データとマッチングできず検出に失敗することもある．またカメラの視野に手が入る前提条件が満たされないこともある．ロボット搭載のカメラに向かって一定距離から人間が手ジェスチャをする，あるいは固定カメラの下で手ジェスチャをするという限定された状況が要求されており，適用範囲が制限されている．

運動量センシングの手操作機器やデータグローブの利用ではこのような制限が小さいが，操作者に特別な機器を使ってもらうため，いつでもどこでもというわけにはいかない制約がある．ゲーム機や携帯電話の操作付加機能として加速度計を使った手ジェスチャが使われており，特に携帯電話は常時携帯する装置となっていることから，移動ロボット操作に利用できる可能性がある．坂口ら[21]は携帯電話のリモコン機能を使って移動ロボットを操作している（図９参照）．

3.2 移動ロボット操作

手ジェスチャ操作装置を用いて，移動ロボット上の固定座標系に基づく前進後退・回転移動操作をする時にロボットと操作者が相対する場面では手ジェスチャの操作方向とロボット移動方向が一致しない．操作者と移動ロボットの自己位置との相対関係が求められれば移動空間に固定した世界座標系に基づく移動が可能でこの問題を解決できる．S.Ibaら[14]のデータグローブ上の３次元位置検出装置はこの目的に使われている．移動ロボットは自己位置推定のために内界センサだけではなく，測距センサ，カラーカメラ，超音波センサなどの外界センサを搭載しており，これを用いて手ジェスチャ操作者との相対位置関係を計測できれば世界座標系に基づく移動が可能になる．さらに，手招き，拒否，同意などの，より自然な手ジェスチャを手操作装置を用いて実現する場合にも，この世界座標系に基づく移動が必要となる．

人間は相互にコミュニケーションする中で手ジェスチャを使っている．移動ロボット操作でもロボットからの反応を操作者に伝えることで，手ジェスチャ識別誤りへの対処が可能となる．一方的に操作者がやり直しをするだけではなく，ロボットから人間への働きかけを音声やロボットの動きで示す双方向のインタフェースも今後必要であろう．

3.3 移動ロボット応用

移動ロボットを応用する一貫したシナリオを描き，その中での手ジェスチャの使い方を想定してシステムを組み上げるのではなく，設定した研究課題が遂行しやすい前提条件の下で手ジェスチャ識別を試みている．そのような都合のよい状況を切り出して有効性を示しても果たしてどのようなシーンで手ジェスチャが利用できるのかが明確ではない．移動ロボットを使ったサービス（例えば荷物運搬，人間追尾，案内など）のシナリオを設定して，その中で手ジェスチャの利用シーンを考え，全体としての評価をするなどの試みが今後なされる必要がある．

4．あとがき

北海学園大学ハイテク・リサーチ・センターの発足に伴い入手できた実験用移動ロボット（Nomad200, Scout, Pioneer）を操作するには，パソコン画面上で移動命令コマンドを打ち込むかマウス操作をする，あるいはひも付きジョイステックを操作して移動させる必要があった．近年，安価な加速度センサが入手できるようになり，これを使って手ジェスチャを検出してマイコンでデータ解析することで同様な操作が可能と考え，手操作装置を可視化してきた．装置の発展を考えた時の進むべき方向を知るべく，手ジェスチャによる移動ロボット操作に関しての全般的な情報を探したが該当する解説記事は見当たらなかった．今回，オンラインデータベース検索を活用した文献調査を実施した．広い範囲の文献が入手でき，現状，方向などをまとめることで今後の研究の手がかりを得ることができた．

謝辞

本研究は北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究費の支援を受けて行われた．

参考文献

1）R. D. Schraft and G. Schmierer : Service Robots, Products Scenarios Visions, A K Peters, 2000.
2）黒川隆夫：ノンバーバルインタフェース，オーム社，1994.
3）V. I. Pavlovic, R.Sharma and T. S. Huang : Visual Interpretation of Hand Gestures for Human−Computer Interaction : A Review, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.7, pp.677−695, 1997.
4）間瀬健二：顔とジェスチャの検出及び認識，日本ロボット学会誌，Vol. 16，No. 6，pp. 745－748，1998.
5）谷内田正彦：顔とジェスチャの認識，システム／制御／情報，Vol. 44，No. 3，pp. 97－101，2000.
6）田中信也，梅田和昇：ジェスチャ認識を用いた移動ロボットの操作システム，電気学会論文誌C，Vol. 121－C，No. 9，pp. 1457－1463，2001.
7）M. Ehrenmann, T. Lutticke and R. Dillmann : Dynamic Gestures as an Input Device for Directing a Mobile Platform, Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.2596−2601, 2001.
8）陳彬，沢崎直之：周期性ジェスチャによるロボットとのコミュニケーション，第23回日本ロボット学会学術講演会，1I18，2005.
9）深谷健一，山田暁人，佐々木政年：手ジェスチャを用いた移動ロボットの直感的動作指示インタフェース，北海学園大学工学研究科紀要，第6号，pp. 39－43，2006.
10）深谷健一，渡部敦，佐藤俊輔，斉藤大紀：手ジェスチャを用いた移動ロボットの直感的動作指示インタフェース（第2報），北海学園大学工学研究科紀要，第8号，pp. 41－46，2008.
11）多田玄，丹野拓人，横田和隆，尾崎功一，山本純雄：球形ユーザ・インタフェース・デバイスの開発と移動ロボットへの応用，2006年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，F63，pp. 469－470，2006.
12）矢谷浩司，田村晃一，杉本雅則，橋爪宏達：ユーザの位置，方向，ジェスチャを認識することによるモバイルデバイスのための情報移動手法，ヒューマンインタフェース学会研究会，Vol. 6，No. 4，pp. 31－36，2004.
13）塚田浩二，安村通晃：Ubi−Finger：モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究，情報処理学会論文誌，

Vol.43，No.12，pp.3675－3684，2000.

14）S. Iba, J. M. Vande Weghe, C. Paredis and P. Khosla : An Architecture for Gesture−Based Control of Mobile Robots, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'99), pp.851−857, 1999.

15）丸谷誠慶，西川敦，宮崎文夫：２次元画像からの指先位置検出に基づく実時間手形状認識と移動ロボット遠隔操縦タスクへの応用，情報処理学会研究報告コンピュータとイメージメディア2002（34），pp.145－152，2002.

16）C.Hu, M. Q. Meng, P. X. Liu and X. Wang : Visual Gesture Recognition for Human−Machine Interface of Robot Teleoperation, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1560−1565, 2003.

17）J. Richarz, A. Scheidig, C. Martin, S. Muller and H. Gross：A Monocular Pointing Pose Estimator for Gestural Instruction of a Mobile Robot, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.4, No.1, pp.139−150, 2007.

18）水野智康，竹内義則，大西昇：指先指示と指示代名詞を用いたロボットへの物体位置情報伝達，信学技報HIP2002－56，pp.13－18，2003.

19）D. Perzanowski, A. C. Schultz, W. Adams, E. Marsh and M. Bugajska : Building a Multimodal Human−Robot Interface, IEEE INTELLIGENT SYSTEMS, pp.16−21, 2001.

20）鈴木敬弘，大矢晃久，油田信一：投射光を用いた移動ロボットへの動作指示システムの開発－コンセプトの提案と基礎実験－，第21回日本ロボット学会学術講演会，３F22，2003.

21）坂口祐樹，深谷健一：レーザポインタが指示する人間の追尾走行および目標への接近走行を実現する自律移動ロボットシステム，北海学園大学工学部研究報告，第34号，pp.91－96，2007.

22）スチュアート・ブランド：メディアラボ，福武書店，1988.