

肢体不自由者をサポートする パーソナルテレプレゼンスロボットの試作と評価

岡野 圭 安村 通晃

慶應義塾大学 政策・メディア研究科

肢体不自由障害者の移動障害を補うために、自分の身代りとして動かすことのできるパーソナルテレプレゼンスロボット「みがわりくん」を提案し、そのプロトタイプを試作し、評価を行なった。現在、研究開発されているような宇宙用のテレプレゼンスロボットなどを応用し利用すれば、高性能な身代りロボットは実現することができる。しかし、実際に利用することを考えると、コストや重量面が問題となり実用的ではない。そこで「みがわりくん」では無駄な機能を省き、最小限なシステムにし、現存する機器を組み合わせることによって目的の達成を図る。本論文ではまず、「みがわりくん」の要求仕様について述べる。次に、映像情報による遠隔操作の実験と、“サイズと重量”に関する実験についての結果を報告し考察する。

Experiments and Applications of Personal Tele-presence Robot for Supporting Handicapped

Kei Okano, Michiaki Yasumura

Keio University, School of Media and Governance

In order to overcome sufferings of physically handicapped people, we have developed and evaluated a personal tele-presence robot which works as an agent. Some highly-advanced tele-presence robots have been developed for the spatial work so far, however, it is not realistic to apply these expensive robots for personal use because of cost or weight problems. So we have selected minimum factors and integrated with easily available parts such as a CCD video camera, a proportional radio control system, and a video transmitter. In this paper we refer to the required factors of the tele-presence robot, report and discuss the results of some related experiments.

1 はじめに

最近、日本でも福祉に力を入れはじめ、昔に比べて障害者や老人といった社会的弱者にやさしい生活環境になりつつある。しかし、車椅子で生活をしているといろいろと不便な問題が起きてくる。たとえば、次に挙げるような経験を筆者の一人¹がしたことがある。

- マンションのモデルルームの見学では、車椅子のまま部屋に入ると絨毯を汚してしまうからと、中に入ることを断られる。
- 研究所や大学の研究室などの見学では、入口が狭い、通路が狭い、階段(段差)があるなど、車椅子のままで見学できないところが多い。
- 自動車の乗り降りでは、車椅子の積み降ろしに時間がかかり大変なため、コンビニエンスストアでジュースを買うという普通なら1, 2分で済む用事のために、20分もかかってしまう。

この他にも、日頃感じている不便な例をいくつも挙げるができる。そして、他にも、車椅子に長時間乗っていることができない人や、より重度な障害を持ち、苦勞している人は多い。自分の手であり、足であり、耳や目であるような道具があったらどうだろう。本論文では、自分の思いのままに操れ、肢体不自由障害者の能力を拡大してくれるような道具となる、パーソナルテレプレゼンスロボット「みがわりくん」を提案する。

2 テレプレゼンスロボット

現在、宇宙空間や海底など、そのままでは体験できない場所の状況を、臨場感に富んだ仕方で提示することによって、いながらにして疑似的に体験しようというテレプレゼンスの研究開発が多くされている。これらの技術を応用し利用すれば、高性能な身代りロボットは実現することができる。しかし実際に高性能な身代りロ

¹進行性筋ジストロフィー。車椅子使用。

ボットを使うことを考えると、次のような問題が起こると思われる。

- 大きく、重くなり持ち運びができない
- コストが高くなり個人で所有できない

よって、「みがわりくん」では無駄な機能を省き、最小限なシステムにし、現存する機器を組合せることによって目的の達成を図る。

3 みがわりくん

「みがわりくん」は最低限の機能として、自分の目、耳、足の代わりとなる、ビデオカメラ、マイク、アクチュエータ(モーターなどの可動デバイス)、通信機能を備えている。ユーザは「みがわりくん」からの画像や音声情報を元に遠隔操作し、遠隔地の人とコミュニケーションをとるといったことが可能になる。つまり、寝たきりでベッドから動けない人が散歩をしたり、車から降りずにスーパーで買い物をするということを実現できる。

4 みがわりくんの要求仕様

ここでの「みがわりくん」の第一の利用用途は「コンビニエンスストア(以下、コンビニと略す)での買い物」とする。この「コンビニでの買い物」ができるということは、病院へ入院中でベッドから動くことのできない患者が、病棟内を自由に動き回り、他の入院患者や看護婦などとコミュニケーションがとれたり、擬似的な散歩ができ外の景色を楽しむということなどができるということになる。また、車椅子では入ることのできない場所へ自分の代わりに行かせるなど、様々な応用例が考えられる。

4.1 買い物の手続き - 現状

実際に現状においてコンビニで買い物をするという手続きは次のようになる。

1. 車から車椅子を降ろし乗り換える(5分)
2. コンビニのドアを開ける(出入りする客や店員に頼む)

3. 欲しい商品を取る (手が届かない場合は人に頼む)
 4. レジで会計する
 5. 店員にドアを開けてもらう
 6. 車椅子を車へ積み車へ乗る (5分)
- (3) 人への協力依頼をするために、TVカメラ、モニタ、スピーカ、マイクを搭載し、それらの情報を送受信し、TV会議システムとほぼ同等の機能が利用できるようにする。
 - (4) アキュムレータは無線による遠隔操作ができ、5kg程度の荷物を運搬できるものでなくてはならない。

ここで一番負担になるのが車の乗り降りと車椅子の積み降ろしである。この負担を「みがわりくん」を利用することで軽減させようという狙いである。

4.2 買い物の手続き – ロボット利用

「みがわりくん」を利用する場合に予想される手続きを次に挙げる。

1. 車から「みがわりくん」を降ろす
2. 入り口で人を捕まえドアを開けてもらう
3. レジに行き店員に欲しい品物を伝え持ってきてもらう
4. 「みがわりくん」の金庫を開け会計する
5. 店員に荷物をみがわりくんに積んでもらう
6. 荷物とみがわりくンを積み込む

4.3 必要な機能

以上から、コンビニで買い物をするには次のような機能が「みがわりくん」に必要条件となる。

- (1) 車からみがわりくンを降ろす作業が、自分が車から降りるよりも大変であってはならない。よって、小型・軽量であると同時に、ある程度積み降ろしが可能な大きさが必要である。
- (2) 小型、軽量化のために、ロボットによくある「腕」はなくし、物を取るなどといった作業は近くにいる人へ協力を依頼する。腕をなくすことによりコスト削減にもなる。
- (3) 人への協力依頼をするために、TVカメラ、モニタ、スピーカ、マイクを搭載し、それらの情報を送受信し、TV会議システムとほぼ同等の機能が利用できるようにする。
- (4) アキュムレータは無線による遠隔操作ができ、5kg程度の荷物を運搬できるものでなくてはならない。
- (5) 盗難を防ぐための警報システムが必要。
次に各部の細かい機能を挙げる。
 - (a) TVカメラ
TVカメラは操作者の希望する方向に自由に動かせる。人間の首程度の動きができることが理想。また、視野角の広いものが良い。
 - (b) マイク
ロボット周辺の状況を操作者が詳しく知るには音情報が大切になると思われる。カメラの動きに連動するなどの工夫をする。
 - (c) スピーカー
相手に違和感を与えないような配置とボリューム調節。人が騒音の激しい場所や、図書館などの静かな場所といった周辺環境によって声のボリュームを変えるように、ロボットに搭載されたスピーカのボリュームが、マイクからの音情報を元に自律的に調節される。
 - (d) ディスプレイ
相手に文字や図などの情報を伝える。TV会議システムのように操作者の顔を映す。
 - (e) 通信ユニット
TVカメラのコントロール情報、映像、音声情報、各種センサーからの情報などを操作者とロボット間でやり取り。
 - (f) 各種センサー
映像や音情報のみで操作者がロボットを遠隔操作する場合、人に衝突したりする危険性があるので、障害物を検知するセンサーを搭載する。また、それらのセンサー情報

を元に操作者が細かな操作を行なうには負担が大きくなるため、ある程度自律的にロボットが危険を回避する。

(g) 貴重品保護、防衛

買い物に必要となる金銭やクレジットカード、商品、また本体そのものを盗まれないようにしなくてはならない。

(h) アクチュエータ

理想は、空中に浮かぶものである。しかし、コントロールが難しく危険でもある。小型軽量で、5kg程度のものを動かせるパワーがあり、小さな段差のクリアができれば良いと思われる。

5 実験 1: 試作 1 号機の試作

「みがわりくん」で根本的な問題となる「TVカメラからの情報で遠隔操作は可能か」ということを試験するために1号機を試作した(図1)。

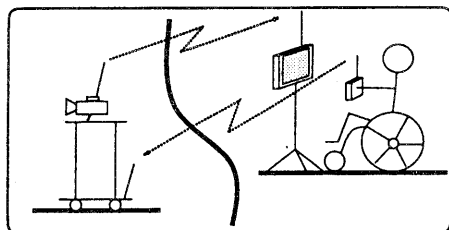


図1:みがわりくん1号

5.1 みがわりくん1号機の仕様

本体側	
重量:	約 1kg
寸法:	幅×奥行き×高さ 30cm × 35cm × 80cm
駆動部:	電動ラジオコントロールカー (4WD)
情報部:	CCD カメラ
通信部:	ピアオトランスミッター (無線)
電源:	バッテリー、乾電池
操作側	
操作部:	RC カー用プロポ 7 インチ液晶 TV

みがわりくん1号機は、電動ラジコンカーに台を取り付け、TVカメラ、映像無線トランス

ミッターを搭載している。操作者は、トランスミッターからの映像を液晶TVで見ながら、プロポで操作する。

5.2 実験結果

試作機1号を利用し、TVカメラ固定(ズーム、パンの機能なし)、音声情報なしという条件で、どの程度の操作が可能かを実験したところ次のようなことが分かった。

1. TVカメラを床から70cm程度の高さに固定した場合、足元や真横が見えないために障害物を回避するのに慣れが必要
2. TVカメラを床から15cm程度の高さに固定し、車体の一部がTVカメラに映るようにすると、車幅が分かり操作性が向上する
3. ズームやパンなどの操作ができなくとも基本的な移動操作は可能

TVカメラの位置を低くするほど操作性は向上したのだが、それでは人とコミュニケーションが取れないため、低くせずに補助ミラーを取り付けることで車幅を分かるようにした。

6 実験 2: サイズと重量の検証

みがわりくんは、小型軽量でなくてはいけないのだが、その許容範囲はどの程度なのかを実験する。

6.1 方法

被験者

車の乗り降りに15分(A)、5分(B)、1分(C)かかる車椅子利用の障害者3名

実験計画

運転席に座った状態で、各種の大きさ、重さの段ボール箱を、車の後部座席、助手席への積み降ろしをするのにかかる負担がどの程度かを見る。

手続き

箱 1: 30cm × 30cm × 120cm

箱 2: 30cm × 30cm × 80cm

箱 3: 30cm × 30cm × 40cm

の 3 種類の箱に対して 1kg, 3kg, 5kg, 7kg, 10kg の重りをつけ、

1. 箱を車から降ろすのにかかる時間
 2. 箱を車へ積み込むのにかかる時間
- を調べる。

6.2 結果

表 1~4 が各被験者の積み降ろしにかかる時間(秒)である。“-”は積み降ろしができなかったことを示している。

表 1:後部座席から降ろす時にかかる時間(秒)

	1(30 × 30 × 120)			2(30 × 30 × 80)			3(30 × 30 × 40)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1kg	-	31	19	390	14	11	-	12	11
3kg	-	25	21	286	17	10	-	28	8
5kg	-	93	18	290	40	9	-	66	8
7kg	-	-	11	202	69	13	-	-	10
10kg	-	-	20	270	-	13	-	-	12

表 2:助手席から降ろす時にかかる時間(秒)

	1(30 × 30 × 120)			2(30 × 30 × 80)			3(30 × 30 × 40)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1kg	-	13	9	95	10	7	-	15	5
3kg	-	10	9	75	12	10	-	14	5
5kg	-	24	14	93	14	8	-	54	8
7kg	-	41	11	158	21	8	-	67	7
10kg	-	36	16	140	25	11	-	-	8

表 3:後部座席へ積み込む時にかかる時間(秒)

	1(30 × 30 × 120)			2(30 × 30 × 80)			3(30 × 30 × 40)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1kg	-	15	11	251	20	8	-	16	5
3kg	-	22	8	190	24	7	-	32	5
5kg	-	77	8	233	41	10	-	-	6
7kg	-	-	10	205	70	10	-	-	11
10kg	-	-	14	311	-	13	-	-	9

表 4:助手席へ積み込む時にかかる時間(秒)

	1(30 × 30 × 120)			2(30 × 30 × 80)			3(30 × 30 × 40)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1kg	-	9	10	137	7	6	-	9	3
3kg	-	8	12	94	12	5	-	11	3
5kg	-	20	10	115	25	6	-	63	5
7kg	-	28	14	88	41	9	-	-	4
10kg	-	43	12	141	50	9	-	-	8

被験者 A

指先や腕の機能に障害があるため、箱 1 は大き過ぎるために積み降ろしすることができなかった。また、箱 3 は小さいため、降ろす時は地面にゆっくり置くことができなく、積み込みの時は体を傾けることでバランスを崩してしまい箱に手をかけることができなかった。また、凹凸のない段ボール箱のままではうまく掴むことができなかったために、段ボール箱に穴をあけ、指をかけられるように工夫した。

被験者 B

筋力が弱いために重くなると困難となった。また、箱 3 は軽い状態では扱いやすいのだが、重くなると膝の上まで持ち上げることができなかった。

被験者 C

上肢の機能がしっかりしているために、どの箱も簡単に積み降ろしできた。

7 考察

7.1 実験 1

映像情報による遠隔操作の実験では、オートフォーカス、ズームの機能もなく、向きも固定されたシンプルな CCD カメラからの情報だけでも基本操作は可能であることが分かった。これは我々の仮説「固定された CCD カメラの映像のみでは操作は困難だろう」を覆すものである。仮説が覆されたことにより、より簡易なシステムでの実用化も可能であることが分かった。広角レンズ利用による視野拡大、カメラの方向やズームの機能、音情報やセンサー情報などを加えることで、より操作性は向上し、十分実用に耐えうるものと思われる。

次に操作側であるが、操作者から 1メートルほど離れた場所に置いた液晶 TV を見ながら操作を行なうことは十分に可能であった。ヘッドマウントディスプレイや、立体 TV などを利用

することで、より臨場感が出て操作性が向上するのではないかとと思われる。

また、操作に用いたプロポについてであるが、指先に障害がある場合、現状の仕様では操作するのは難しいと思われる。操作部のインターフェイスデザインも考えていかなければならない。

7.2 実験 2

この実験によって、大きくなると積み降ろしの負担が重くなるのは予測できたが、小さくなることでも積み降ろしが困難になるという意外な結果がでた。これは、我々の仮説「小さく軽いほど積み降ろしの負担は軽くなる」を覆すものである。

箱 3(30 × 30 × 40) を積み込む時は、まず膝の上まで持ち上げなければならない、という点が大変である。しかし、ある程度の長さのある箱 2(30 × 30 × 80) の場合、体に沿わせながらひきずり上げるということが可能になる。また、降ろす時も箱 3 の場合、体を屈めて地面へ降ろさなければならないが、箱 2 では重いものでも比較的楽に降ろすことができる。

しかし、箱 1(30 × 30 × 120) ほどの長さがある場合、逆に多き過ぎて狭い車の中では扱いにくくなる。

また、今回の実験では凹凸のない段ボール箱を用いたが、実際には凹凸のある物になるわけであるから、積み降ろし方法が今回の実験と異なってくることが予想される。よって、体に沿わせながらひきずり上げるという方法をとれなくなることもあり得るため、一概に箱 2 程度の大きさが好ましいとも言えない。

8 今後の課題と考察

現在、先に挙げた「みがりくん」に必要な機能の大部分が未実装のままである。今後の課題と要件付事項について以下で述べる。

8.1 試作 2 号機

ロボットを介したコミュニケーションではどのような問題が起こるのかを試験するために、

2号機を試作し、評価中である。(図2) 追加機能は次の通り。



図 2:みがりくん 2号

1. TV カメラにより双方の映像獲得
2. マイクにより双方の音声獲得
3. 双方の映像、音声をトランスミッターにより相手に送信
4. 液晶 TV、スピーカにより相手からの情報を出力

このように試作 2 号機は、1 号機をベースに、双方向性を中心とした上記の機能を搭載し、お互いに映像や音声情報をやり取りできるようにしたものが 2 号機である。

この 2 号機を利用し、ロボットを介したコミュニケーションについて信頼度と違和感について以下の評価実験を行なう。

1. 信頼度

- (a) みがりくんの存在を知らない人/知っている人での、みがりくんに近寄られて声をかけられた時の対応比較

2. 違和感

- (a) 操作者の顔映像がある場合とない場合の比較
- (b) 操作者がどこにいると感ずるか(目の前、遠隔地)

8.2 ネットワーク面

現状では、映像と音声の情報はビデオトランスミッタにより無線でやり取りしている。この方法では、操作中に電波の届かない場所へ行ってしまう、操作不能になってしまうという危険性がある。ラジオコントロールカーのプロポによる操作も、また同じ危険性を持っている。

そこで、ロボットに小型コンピュータとPHS²を搭載し、PPP³などを用いて操作者とロボット間の情報をやり取りできるようにする。これによりビデオカメラの操作やスピーカの操作など様々なコントロールが行ないやすくなる。また、コンピュータを搭載することで、自律性を持たせるといったことも出来るようになる。

このPHS利用の一番の利点は、いくら操作者とロボットの距離が離れても操作ができるということであろう。現時点ではまだPHSの使用できる地域が限定されてしまっているが、今の携帯電話のように使用可能地域が拡大すれば十分実用に耐えられると思われる。しかし、PHSのデータ転送速度は理論上64KByte/sec程度とされているため、画像や音声情報をやり取りするには難しいと思われる。

PHSの前段階としてPCMCIAカード式無線Ethernetを利用した試作機を作る予定である。映像や音声データの転送はビデオトランスミッタを利用し、ビデオカメラのズームやパンなどの操作を行えるようにする。また、無線Ethernetの実質転送速度は1MByte/sec程度なため、画像や音声データも工夫すればビデオトランスミッタを頼らずに済むようになると思われる。

8.3 デザイン面

現状のデザイン(外見)は、強度や携帯性、人に与える印象などを考慮してない。今後、次に挙げる点を検討しデザインしていく予定である。

- 車への積み込み作業などの負担軽減
- 人へ与える印象をよくするには、どのようなフォルムがよいのか(より違和感のないコミュニケーションができるデザイン)

²Personal Handy phone System

³Point to Point Protocol

- 機器の配置デザイン(より自然にコミュニケーションがとれるカメラ位置など)

8.4 安全面

安全面では、人や物への衝突回避と、盗難防止の二つを考えていかなければならない。

(1) 危険回避

人に怪我を負わせてしまったり、商品を壊してしまったりということが起こってはいけない。そのために、各種センサを搭載し危険を操作者に警告することや、自律的に危険を回避させるということを考えている。

(2) 盗難防止

外で利用する場合、現金やクレジットカード、ロボットそのものが盗まれてしまうという危険性が起きてくる。

現金やカードなどはロボットに金庫を取り付けるのが良いと思われる。金庫の開閉は遠隔操作でコントロールできるようにする。その遠隔操作も安易な機構ものでは危険度は低くならないと思われるので、特殊な機構を考えなくてはならない。例えば、暗証番号方式の利用などがある。

そして、いくら安全な金庫などが搭載されても、本体ごと盗まれてしまう危険性がでてくる。考えられる策としては、痴漢撃退に使う大きな音の出る護身道具の利用などがある。

8.5 臨場感

より臨場感に富んだものにするほど、相手とのコミュニケーションも違和感なく行なえるようになるのだろうが、身代りロボットにそれほどの臨場感が必要なと思われる。目的は買い物であり、相手に依頼することができればいいだけであるからである。

しかし、相手への依頼をスムーズに行なうためには、ある程度臨場感を持たせる必要があるだろう。ロボットが依頼しているのではなく、人が依頼しているのだということを理解させなければならぬ。よって、どの程度の臨場感が

あれば依頼が成功する可能性が高くなるのか、妥協点を見つけなければならない。

また、操作側の問題として、操作し易い環境に必要な臨場感ということがある。これは、ロボットに搭載されたマイクロフォンの位置や、ビデオカメラの位置などを工夫することで十分であると考えているが、将来、立体TVやHMDなどが安価になった時の事を考え、それらの利用も検討する。

9 まとめ

テレプレゼンスロボットは、人間が行くことのできない場所に疑似的に行くことができるようにするためのシステムである。その「人間」という言葉を肢体不自由障害者に置き換えることができる。体の障害によって行くことのできない場所に疑似的に行くことができるようにすることで、障害をカバーするシステムを作ることができる。

しかし、現在、研究開発されているテレプレゼンスロボットの多くは、宇宙空間や海底などでの利用を目的とした高機能な物である。これらを、個人で所有し使用することは不可能である。そこで、我々は、よりパーソナルでシンプルなテレプレゼンスロボット「みがわりくん」を提案し、肢体不自由障害者の日常生活を支援できる可能性を示した。

現段階では、まだ実用レベルまで到達していない。実用運用していくためには、病棟内や大学内などで実際にモニターしてもらい、問題点をより深く研究する必要がある。

謝辞

本研究の「みがわりくん」を提案するにあたって討論して頂いた慶應義塾大学アクセス研究会の皆様へ感謝致します。また実験の手伝いをして頂いた当研究室の皆様へ感謝致します。並びに被験者になって下さった都立村山養護学校卒業生の滝沢秀一氏、田中正樹氏に感謝致します。

参考文献

- [1] 山本吉伸, 佐藤充, 開一夫, 山崎信行, 安西祐一郎, “人間とロボットの協調作業は可能か?”, 情報処理学会研究報告, HI41-16, 1992.
- [2] 安西祐一郎, “パーソナルロボットとそのインタフェースについて”, 情報処理学会研究報告, HI47-4, 1993.
- [3] 岡田孝文, 山本吉伸, 安西祐一郎, “アクティブインタフェースの研究”, 情報処理学会研究報告, HI46-1, 1992.
- [4] 大庭有二, 三上憲一, 斉藤実, “会議システムにおける映像の役割”, 情報処理学会研究報告, HI51-6, 1993.
- [5] 熊野和恵, 山本吉伸, 安西祐一郎, “シールロボットの機能獲得に関する研究”, 情報処理学会研究報告, HI48-6, 1993.
- [6] 開一夫, 佐藤倫太, 安西祐一郎, “パーソナルロボットのための音声対話インタフェース”, 情報処理学会研究報告, HI47-5, 1993.
- [7] 小野敏郎, “生活支援パーソナルロボットの一構想”, 日本ロボット学会誌, Vol.12, no.1, pp.11-12, 1994.
- [8] S. オークスタカルニス / D. プラットナー 著, 安村通見 他訳, “シリコン・ミラージュ - 仮想現実の科学と芸術”, トッパン.