

# ウェアラブルロボットの制御システム

## Control Systems of Wearable Robots

藤田雄太郎, 葛西昭治, 佐藤千秋, 妻木勇一

Yutaro Fujita, Shoji Kasai, Chiaki Sato and Yuichi Tsumaki

弘前大学

Hirosaki University

キーワード: ウェアラブルロボット (wearable robot), テレコミュニケーター (telecommunicator), テレロボット (telerobot), パーソナルロボット (personal robot), 仮想現実 (virtual reality)

連絡先: 〒 036-8561 弘前市文京町 3 番地 弘前大学理工部知能機械システム工学科  
妻木勇一, Tel: (0172)39-3686, E-mail: tsumaki@cc.hirosaki-u.ac.jp

### 1. はじめに

これまで, 我々はテレコミュニケーターと呼ぶ新しいテレロボットシステムを提案してきた<sup>1)</sup>. これは, 遠隔地に居る人がロボットを通して現地に居る人とコミュニケーションを図る事を目的としたロボットシステムである. 概念図を Fig. 1 に示す. 携帯電話等の無線通信とインターネットを利用することで, 地球規模の自由度の高いシステムが構築可能である. テレコミュニケーターには, ウェアラブル型と移動型の 2 種類のシステムが考えられている. いずれも, 可動式のカメラとポインティング用の腕を有している. これらを利用することで遠隔地に居る人は見たいところを自由に見たり, ジェスチャを交えたコミュニケーションを図ることが可能となる. その結果, 従来の携帯電話に比べ高い臨場感を伴ったコミュニケーションを実現したり, 現地の雰囲気を経験することができる. すなわち, 一種のレイグジスタンスを実現するテレロボットシステムと言える.

これまで, ウェアラブルテレコミュニケーター

として, T1, T2 と呼ぶ 2 台のプロトタイプモデルを設計, 製作してきた. T1 は, 研究用プラットフォームとして高精度なサーボ機構と拡張性の高い制御システムから構成される. 一方, T2 は, 小型軽量化を目指すため, 簡易型のシステム構成となっている. 本論文では, これら 2 台のプロトタイプモデルのハードウェア及び制御システムに関して詳細に述べる.

### 2. ウェアラブルテレコミュニケーター

ウェアラブルテレコミュニケーターは, 小型のロボットを現地に居る人に装着させることで, 遠隔地に居る人がこれを通し, 装着者とコミュニケーションを図ったり, 共通の経験を共有することを目的としたロボットシステムである. また, ロボットを智能化することで, 秘書機能に代表される装着者に対する補助システムとしての可能性も期待できる.

ロボットは, 小型カメラを装備した可動式頭部

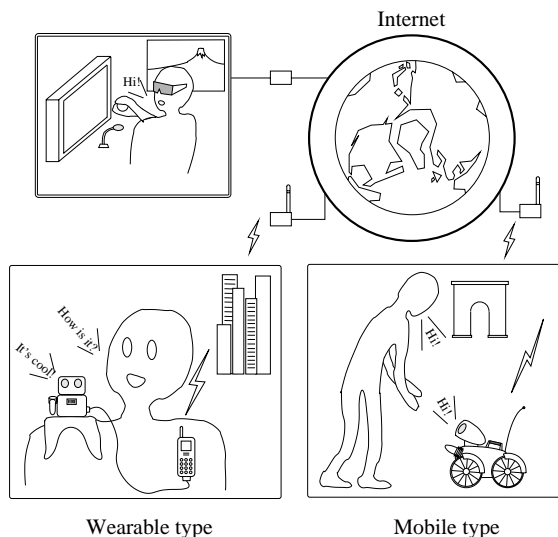


Fig. 1 Concept of Telecommunicator.

とジェスチャやポインティング用に使用される腕部から構成される。携帯電話や無線 LAN によりインターネットに接続し、遠隔地のオペレータは、ロボットを通し見たいところを自由に見たり、ジェスチャを交えて装着者やその周りの人とコミュニケーションを図ることができる。思い通りに視点を変える事ができるため、高い臨場感を持って現地の経験を装着者と共有できることが期待される。ただし、移動手段は、装着者に依存しているため装着者との円滑な関係が重要となる。

このようなウェアラブルロボットを実現するためには、以下の問題を解決しなければならない。

- 装着者の体の動きの影響を補償する制御システムの確立
- 知能化
- 小型軽量化
- 操作性の良い操作システムの確立
- 装着者との円滑なコミュニケーションの実現

最初の問題では、装着者の体の動きによる画像のぶれを補正したり、操作者の空間知覚を喪失させない制御手法を確立することが必要となる。2番目の問題は、ウェアラブルテレコミュニケーター



Fig. 2 Photo of T1.

の拡張機能に関する問題で、装着者に対するナビゲーションや危険認識といった機能を実現するために必要となる。3番目と4番目は、基本的な問題であり、最後の問題ではジェスチャを利用した感情表現が重要な役割を果たすと考えられる。

このようなウェアラブルテレコミュニケーターの可能性と基礎技術を確立するため、2種類のプロトタイプモデルを設計、製作した。詳細を次章に示す。

なお、ウェアラブルテレコミュニケーターの装着位置であるが、空間安定性、装着者との関係、視界の広さ、見た目等を考慮した結果、肩が最適であるとの結論を得た<sup>2)</sup>。そこで、製作したウェアラブルテレコミュニケーターは、肩に載せて使用することを前提に設計を行った。

### 3. 研究用プラットフォーム T1

#### 3.1 T1 の本体

高度な制御システムを構築できるよう、研究用プラットフォームとして T1 を設計、開発した<sup>3)</sup>。したがって、大きさにはあまり重点を置かず、高精度なサーボ機構と拡張性の高い制御システムを有する構成とした。T1 の外観を Fig 2 に示す。自由度は頭部、腕部共に 2 自由度の合計 4 自由度である。自由度配置を Fig. 3 に示す。4 自由度の配

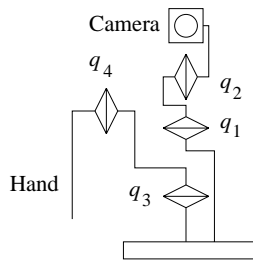


Fig. 3 Kinematic structure of T1.

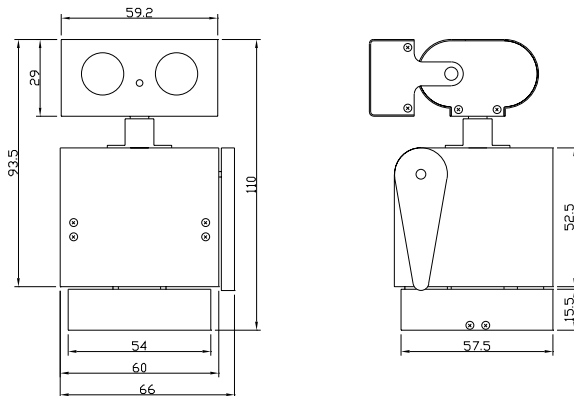


Fig. 4 Dimensional drawing of T1.

置としたのは、頭部の動きと腕部の動きを独立させることにより、ジェスチャによる、より豊かな感情表現を実現させるためである。T1 の仕様を Table 1 に示す。

頭部は、画像ブレを抑えるために高精度な制御システムが要求される。そこで、ハーモニックギアとサーボモータの組み合わせを採用した。ハーモニックギアは、減速比が高いためモータを小型化することができる。ここでは、100:1 のギア比を選択した。これにより、分解能が低いエンコーダを使用しても出力軸では十分な分解能を得ることができる。実際、16 パルスのエンコーダを使用することで小型化にも配慮した。さらに、小型化を実現するために、モータとハーモニックギアを並列に配置して平歯車でモータの出力をギアに伝達する構成とした。平歯車を用いることでバックラッシュが生じるが、減速前のため、出力軸に与える影響は小さい。頭部は小型の CCD カメラと装着者の動きを検出するためのジャイロセンサが

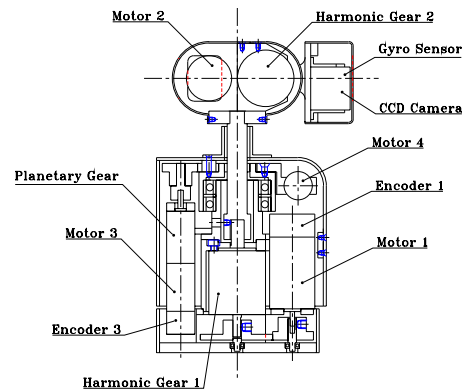


Fig. 5 Assembly drawing of T1 (side view).

Table 1 Specifications of T1.

item	specification
weight	350 g
d.o.f	4
motion range for head (azimuth)	-180 ~ 180 deg
motion range for head (elevation)	-32 ~ 45 deg
motion range for body (azimuth)	-105 ~ 105 deg
motion range for hand (elevation)	$\infty$

搭載されている。

腕部は、ジェスチャ用のため高い精度は要求されない。そこで小型化を考慮し、DC サーボモータと遊星ギアの組み合わせを用いた。減速比は、64:1 で、エンコーダの分解能は 12 パルスである。なお、腕の向きの認識性を向上させるため、上下方向は、腕だけ動くものの、左右方向には体ごと動く構成とした。

最終的に全高 110 mm の大きさとなった。外寸および側面組立図を Fig 4, 5 にそれぞれ示す。

### 3.2 T1 の制御システム

T1 の制御システムは、拡張性を持たせるため PCI バスをベースにシステムを構成した。これに

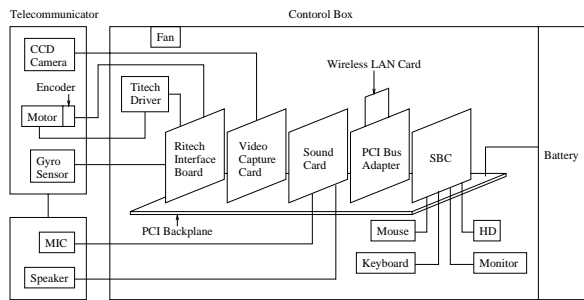


Fig. 6 Details of the T1 control system.

より、現在市販されている画像処理ボード等の導入が容易になる。ただし、PCIバスを用いるため大型化は避けられず、装着者が背負って持ち運ぶ構造とした。

T1の制御システムの詳細をFig. 6に示す。CCDカメラの画像はビデオキャプチャカードに、音声情報はサウンドカードを通して制御用計算機にそれぞれ取り込まれる。駆動部の入出力には、Ritech Interface Boardを使用する。モータンプには、Titech Driverを使用する。無線LANのPCMCIAカードはPCIバスアダプタを使って装着される。制御用計算機には、SBC (Single Board Computer)を使用し、OSにはリアルタイムOSであるRT-Linuxを使用する。現在のCPUは、PentiumIII 700 MHzである。画像及び音声の通信には、ビデオ会議システムであるVIC, RATを利用する。このように、T1の制御システムは、一つの計算機により制御から通信までカバーする構成となっている。

## 4. 小型軽量プロトタイプ T2

### 4.1 T2の本体

T2は、小型軽量化の可能性を検討するために開発した<sup>4)</sup>。このため、機能としてはT1のような高機能化は行わず、自由度数も減らした。T2の外観をFig. 7に示す。

T2は、本体だけでなく制御システムも含め小型軽量化を目指した。このため、RCサーボモータを使用し、制御用CPUとしてPICを用いることにした。これにより、全体として大幅な小型化を

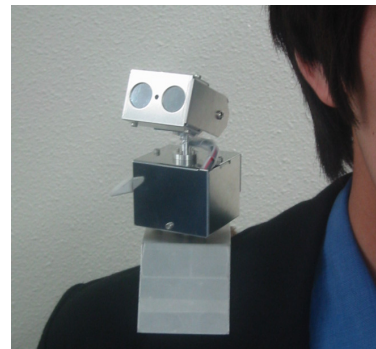


Fig. 7 Photo of T2.

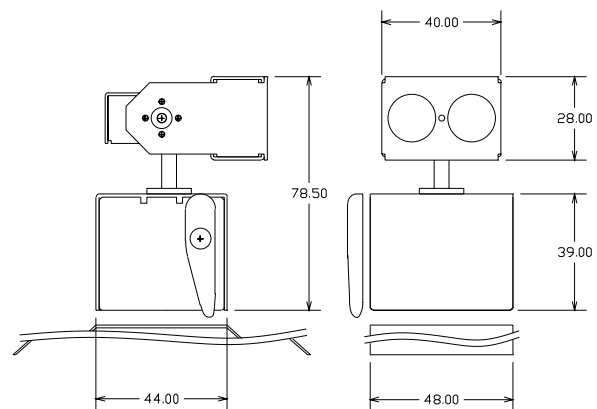


Fig. 8 Dimensional drawing of T2.

実現した。本体の外寸をFig. 8に示す。一方、T2の自由度は3自由度とした。これは、一般に指示方向と視線方向が一致することにより、左右方向の自由度を共通化したことによる。自由度配置をFig. 9に示す。また、T2の仕様をTable 1に示す。

頭部には小型CMOSカメラを搭載し、制御用CPUであるPICは、本体に内蔵されている。PICは、ホストPCであるノートPCとUSBで接続されている。

### 4.2 T2の制御システム

T2の制御システムをFig. 10及びFig. 11に示す。RCサーボモータはそのパッケージにDCモータ、減速機、ポテンショメータ、サーボアンプを含んでいる。外部から電源と制御信号を加えるだけで、回転角度の位置制御が行われる。RCサーボモータの制御は、角度指令値に応じたパルス幅の

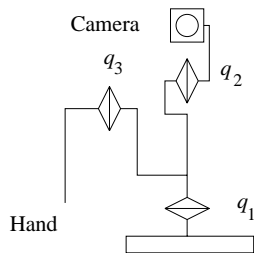


Fig. 9 Kinematic structure of T2.

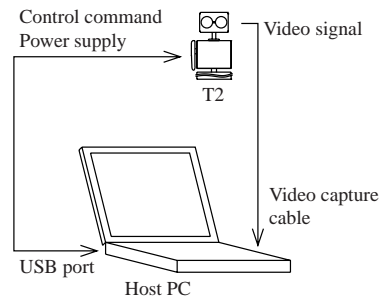


Fig. 10 The T2 system.

Table 2 Specifications of T2.

item	specification
weight	170 g (including harness)
d.o.f	3
interface	USB (LS mode 1.5 Mbps)
motion range for head (elevation)	-20 ~ 40 deg
motion range for body (azimuth)	-80 ~ 80 deg
motion range for hand (elevation)	0 ~ 160 deg

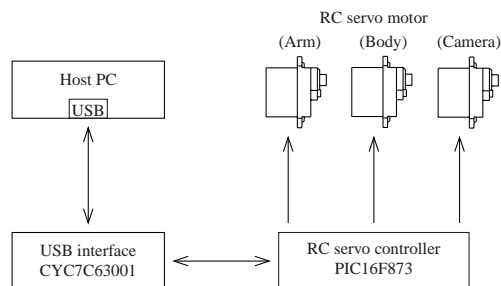


Fig. 11 Details of the T2 control system.

PWM 信号を PIC により生成することで行う。角度制御指令値は、8 bit で構成した。このため、出力軸における角度分解能は、0.6 deg となる。CPU には、Microchip Technology 社の PIC16F873 を使用した。

T2 のシステムでは、PIC が RC サーボモータを直接制御するが、上位の指令生成は、ホスト PC であるノート PC で行う。このため、PIC とノート PC は USB により接続されている。ホスト PC は、ビデオ信号の入力と通信も請け負う。

USB を使用した理由は、現在、広く一般的に使用されていることと、従来あるインタフェースに比べデータ転送速度が速く、PC からの電力供給も小電力であれば可能であることによる。ここでは、Cypress Semiconductor 社の CY7C63001 を利用した USB インタフェースを採用した。なお、バス速度はロースピードモード (LS) で動作し通信

速度は 1.5 Mbps である。

このような構成にすることで、T2 は、制御信号及び電源を供給する USB ケーブルとビデオキャプチャに入力するビデオ信号用のケーブルをノート PC に接続するだけで良い。将来的には、ビデオ信号も USB で取り扱うことも可能であると考えられる。ただし、現状、USB の電源容量だけでは 3 個のモータを同時に駆動するには不十分なため、モータの駆動方式を工夫する必要がある。

## 5. 操作システム

容易な操作を実現するため新しい操作インタフェースを開発した。外観を Fig. 12 に示す。腕部の制御には、本体と同様の自由度配置を持つジョイスティックを使用する。これは、腕部の指す方向を直感的にオペレータが認識できるためである。角度検出用に 2 つのポテンシオメータが内蔵されている。ジョイスティックの側面組立図を Fig. 13 に示す。

頭部の操作には動作検出用マニピュレータを装着したフェイスマウントディスプレイを用いる。

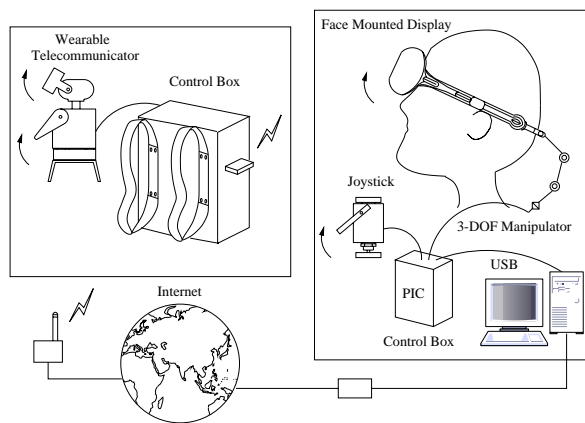


Fig. 12 Overview of the operation system.

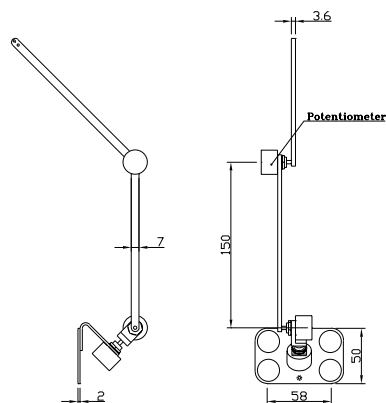


Fig. 14 Assembly drawing of a 3-DOF manipulator.

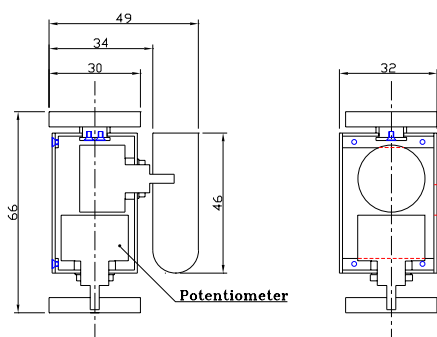


Fig. 13 Assembly drawing of a joystick.

動作検出用マニピュレータを Fig. 14 に示す。これは、操作者の頭部の動きを測定するもので3自由度の自由度を持つ。ジョイスティックと同様にポテンショメータを使って関節角度が計測される。テレコミュニケーターを操作するために必要な角度は頭部の azimuth 角と elevation 角の2自由度だけであるが、直接これらの角度を測定することは困難であるため、今回は、3自由度のマニピュレータを使用することとした。

これら2つの操作インターフェースの情報は、PIC に入力され、USB により操作用 PC に取り込まれる。

## 6. 動作実験

T1 は動作実験を行う段階には至っていない。ここでは、T2 の基本動作の確認を行った。ホスト



Left hand Front side Right hand

Fig. 15 Views from T2 on right shoulder.

PC でビデオ映像を見ながら、カメラ、腕、上体の動きを確認した。T2 から見た画像を Fig. 15 に示す。

## 7. まとめ

ウェアラブルテレコミュニケーターの研究用として高機能化を目指した T1 と十分な小型軽量化を実現した T2 を設計、製作した。両プロトタイプモデルのハードウェアと制御システムに関して述べた。今後、通信を含めた総合的な環境の中で、必要となる基本機能を確立する予定である。

## 参考文献

- 1) 妻木, Nanchev, 内山, テレコミュニケーター, 日本機械学会 [No. 98-4] ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演論文集, 2CI3-6, 1998.
- 2) 妻木, 藤田, 佐藤, ウェアラブルテレコミュニケーターの設計, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 735-736, 2001.
- 3) 藤田, 佐藤, 妻木, ウェアラブルロボット T1 の開発, 日本機械学会 [No. 02-6] ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, 1A1-F06, 2002.
- 4) 葛西, 妻木, 小型軽量ウェアラブルロボット T2 の開発, 日本機械学会 [No. 02-6] ロボティクス・メカトロニクス講演会'02 講演論文集, 1A1-F07, 2002.