

(3) 分身インタフェース技術 - 実体のあるロボット通信端末で コミュニケーションをリッチに -

将来のワイヤレスネットワークサービスにおいて、ロボットが自分の分身としてコミュニケーションするスタイルが考えられている。その手段として、携帯機を操作インタフェースとしたテレロボットや、生体信号によって人の身振り手振りを伝達するヒューマノイドロボットの検討を進めている。この分身としてのロボットとのヒューマンインタフェースや、ヒューマノイドロボットを介在することによって創出される新しいコミュニケーションスタイルについて概説する。

ひらいわ	あきら	はやし	こうき
平岩	明	林	宏樹
まなべ	ひろゆき	すぎむら	としあき
真鍋	宏幸	杉村	利明

1. まえがき

近年のヒューマノイドロボット研究の進展に伴い、将来的には、ヒューマノイドロボットは各家庭に入り、人間と実生活で共生するものになると考えられる[1]。遠隔臨場制御技術（テレプレゼンス技術）による遠隔制御ロボットや、命令による半自律的制御（スーパーバイザリコントロール）による半自律的ロボットのほかにも、現在、コミュニケーション手段として音声電話やTV電話、PCや携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistant）などで電子メールを使っているように、家庭やオフィスなどでユビキタスに存在するヒューマノイドロボットを介してコミュニケーションするスタイルが考えられる。

本稿では、ロボットが自分の分身としてテレコミュニケーションするための操作インタフェース技術と、それによって創出される新しいコミュニケーションスタイルについて提案する。

2. 分身インタフェースの概念

2.1 知的コミュニケーションから身体的コミュニケーションへ

文字という記号の伝達主体のメールにおいては、声のトーンで感情を表現できる音声電話ではあまり生じなかったメッセージの誤解や、意図しないいさかいが生じることがある。人間のコミュニケーションにおける知情意^{*1}において、情の伝達が十分でないと、本来の円滑なコミュニケーションが達成されない。映像によるTV電話や、VR (Virtual Reality) による化身(アバター)によって、ユーザの姿を伝達することや、ユーザのサイバースペース上での仮想的な移動感覚が実現されているが、それだけではまだ、情の伝達を補完する何かが欠けているように思われる。音声、映像、データに付加して、情を補完するリアルな身体的感覚と、ユーザの周辺の雰囲気や自分自身の身体動作を、実体のあるロボットによって遠隔で伝送できたら、より感情移入できる身体的コミュニケーションのスタイルが確立できるのではないだろうか。

コミュニケーションとは、情報の伝達だけでなく、自分の意図、感情を伝達し共有することである。自分自身の身体的感覚を伝送する実体のあるロボット(化身)によって遠隔操作や身振り手振りの伝達、ロボットのカメラを通して遠隔で視点を動かすといった、ロボット介在型の新しいコミュニケーションスタイルを提供するインターネットを、ここでは分身インタフェースと呼ぶ。

将来の情報通信では、情報の伝達に主軸を置いたパターン認識や理解といった知的認識に加え、より身体的情報処理を行うコミュニケーションへの転換が求められると考えられる。

2.2 リアルオブジェクトインタフェース

遠隔地とのコミュニケーションにおいて、相手と場を共有し、相互に自己を投射できる自分の分身として、ヒューマノイドロボットが考えられる。自分自身の身体的感覚や、感情の投射および移入、五感情報の呈示やセンシングなどをヒューマノイドロボットを介して実現することで、擬似的なテレポーテーションが可能となる。従来から、遠隔制御ロボットによって遠隔作業や遠隔地の探索を擬似的に行う技術として、テレグジスタンス[2]や、テレオペレーション[3]が進展してきた。テレグジスタンス

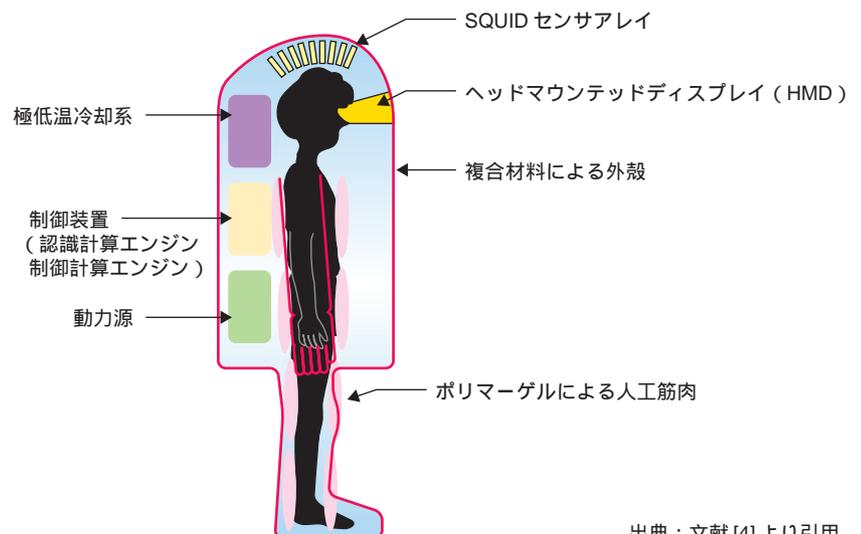
では、スーパーコックピットに没入して、外骨格型のマスターアーム操作で、ネットワークを介したヒューマノイドロボットを遠隔操作する。また、遠隔制御による作業ではなく、没入型の外骨格パワードスーツの実現のために、これまでに、究極のヒューマンインタフェースとも言える脳の電気的興奮を脳磁界信号でとらえて処理することで運動制御を行う、PITMAN 構想[4]、[5]などの概念研究があった(図1、図2)。ドコモでは、こうしたスーパーコックピットのような没入型のヒューマンインタフェースの制約を解放し、自在にいつでもテレグジスタンス環境を、モバイル環境下でも実現するために、オペレータの高密度な生体信号計測により、オペレータ状態を抽出する生体信号や人間の身体的計測による分身インタフェース技術について研究を行っている(図3)。抽出したオペレータの身体的情報は、電子的、仮想的なアバターではなく、大きさや重さのある実体的な分身としてのヒューマノイドロボットに伝送する。このように、分身インタフェースは実体としてのヒューマノイドロボットを介するインタフェースであることからリアルオブジェクトインタフェースと呼ぶことができる。その意義は、実体があるからこそ提供できる存在感である。

2.3 主客非分離型コミュニケーション

主客非分離型コミュニケーションの基本は、「いま、ここ」といった時空間の共有である。

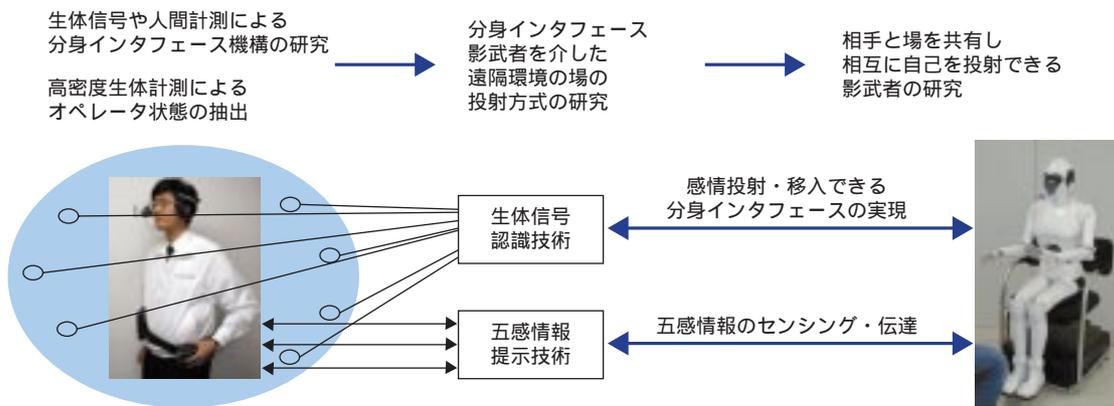
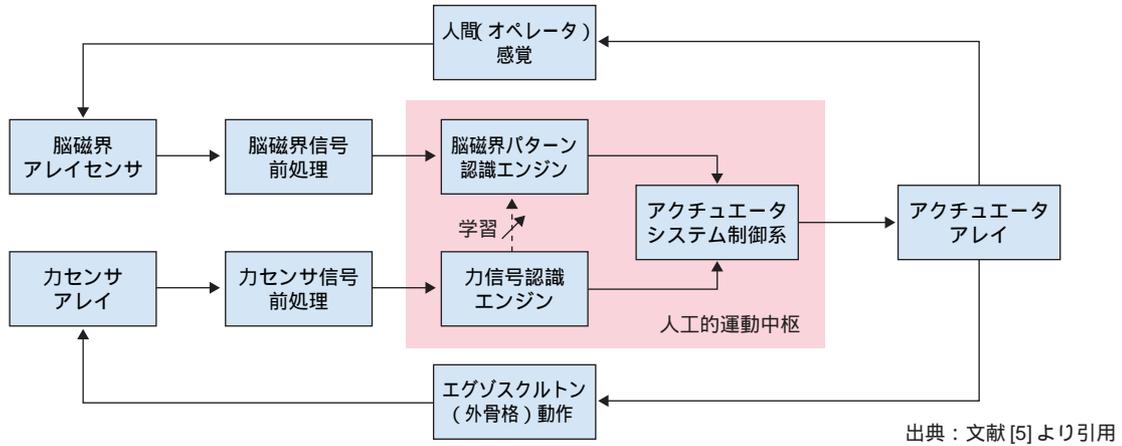
情報通信技術は、基本的にはシャノンとウィーバーのモデルに従って20世紀に発展してきたが、本来このモデルは、人間から切り離された情報をいかに伝えるかという情報理論に拠点を置いたものである。ところが、人間のコミ

*1 知情意：人間の精神活動の根本である知性と感情と意志

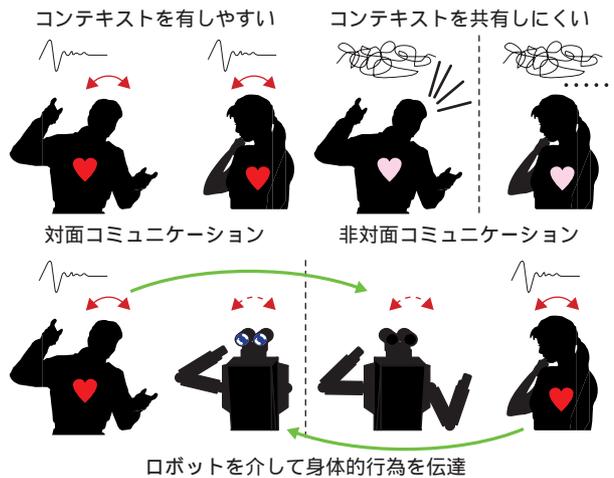


出典：文献[4]より引用

図1 MOORE J. A.らによる1980年代のPITMANの構想図



コミュニケーションは分離不可能で存在化できない部分があり、無理が生じる。生命的な社会においては、自己と切り離された情報によりコミュニケーションされているのではなく、自他非分離なコミュニケーションが基本であり、隠れた情報も伝え合う身体性を考慮したメディア技術が必要である[6]。遠隔地間のコミュニケーションにおいては、相手との共存的な場が一般的に生成されにくく、自分と相手が主客分離的な状態となる。ここに、身体の動きの交流可能性（コミュニケーションビリティ）を支えるコミュニケーションシステムを導入できれば、相互間でコンテキストを共有した主客非分離的で共創的なコミュニケーションが達成できる。例えば図4のように、対面コミュニケーションではコンテキストを共有しやすいが、遠隔で離れている非対面コミュニケーションでは、声やメールだけの通信手段となるため、お互いのコンテキストを共有しにくい[7]。そこで、身体的コヒーレンスを伴った間合いや場の共有を行うためにヒューマノイドロボットを介在した、携帯機による新しいヒューマンインタフェース方式や、生体信号による新しいジェスチャーインタフェースといった種々の方式について検討を試みた。



3. 携帯機による遠隔操作ロボット

3.1 携帯機によるヒューマンインタフェース
 動く視点と、動く分身として、ロボットを携帯機で遠隔操作する各種のバリエーションが考えられ、携帯型TV電話によって犬型ペットロボットを遠隔操作するアプリケーション

人間のテレオペレーションから住設機器のテレオペレーション，ロボットのテレオペレーション，半自律的オペレーション（スーパーバイザリコントロール），自律ロボット間コラボレーションと段階的に進展

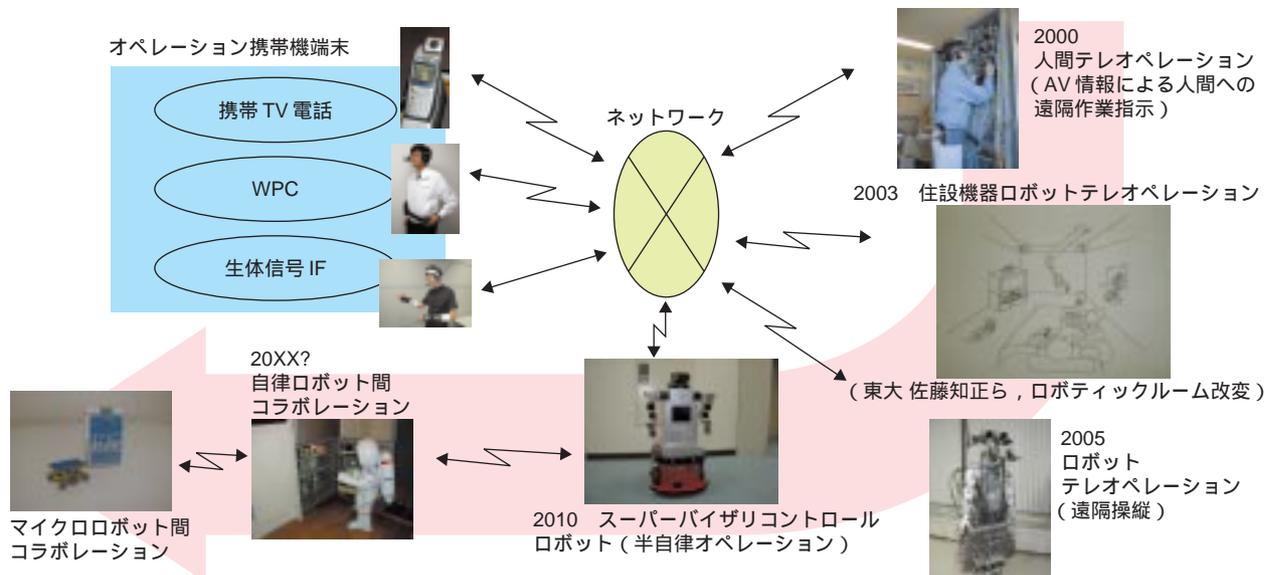


図5 分身インタフェース進化のステップ

ョンがすでに開発されている．スーパーコクピットに没入するのではなく，出先からウェアラブル（装着）な端末や携帯機を使うことによって，モバイル感覚でロボットを遠隔操作するものである．

犬型ペットロボットや恐竜型のロボットなどをネットワークを通して遠隔操作することにより，ロボットの目や搭載されたセンサなどを通して，留守宅や独居老人宅を出先やセキュリティセンタからモニタリングしたり，移動型の両腕のあるホームロボットを遠隔操作して留守宅のペットの世話をしたり，ごく簡単な家事のアシストをするアプリケーションがすでに提案されている．ネットワークに接続するロボットをレンタルして，必要なときに適宜，宅配してサービスを行うビジネスモデルも考案されている．また災害時に，屋外から機動性の高いウェアラブルな端末と遠隔制御するロボットを使い，がれきの中の被災者を捜索したり，上空から遠隔制御無人ロボットヘリコプターで被災地をモニタリングするような，災害対策システムも考えられ，近年の災害対策ロボット競技（ロボカップレスキュー）などによる技術が将来的に有効になるものと考えられる．

3.2 分身インタフェースの進化のステップ

携帯機やウェアラブル端末をロボットのオペレーション端末として考えたときに想定される分身インタフェースの進化のステップを図5に示す．遠隔地にいる同様に携帯TV電話を通して作業指示を与えるといった人間の遠隔操作（テレオペレーション）から始まり，携帯機による住設機器のテレオペレーションへとつながり，人間のオペレータに



図6 TV電話介在型遠隔監視用移動型ロボット実験機

よるロボットテレオペレーションの実現へと発展していく．マスタスレーブアームで手取り足取りロボットを遠隔操作するだけでなく，ロボットにコマンドレベルで作業指示を与えて，ロボットが半自律的に作業を遂行するスーパーバイザリコントロールも実現する．やがては，高い自律性をもった知能ロボットによって複数のロボットがワイヤレスなコミュニケーションをしながら自律的に作業をコラボレーションするフェーズへと発展していくものと思われる．

3.3 TV電話による分身ロボット操作インタフェース

図6に，TV電話を通じた遠隔操作により，遠隔地を移動しながらモニタリングできる移動型ロボットの実験機を示す．ロボットに搭載したカメラの映像を遠隔地でTV電話によってモニタリングしながら，移動方向を遠隔操作するものである[8]．ネットワークやシステムの時間遅れによる

操縦の難しさのほかに、移動型ロボットのカメラの視野角が狭いと遠隔地の状況把握がしづらく、その解決がヒューマンインタフェース上でのキーポイントとなることが顕在化した。前記の問題点を解決するために複数台（ここでは5台）のカメラを円環状にロボットの頭部に搭載し、それぞれのカメラで撮像した映像を、同じく円環状に並べた携帯機のディスプレイにパノラマ的に呈示するものも試みた。画面同士の継ぎ目はあっても、180度に及ぶ広い視野角と、5台の独立したカメラによる水平方向に疑似的にはあるが高い解像度の映像を得ることにより、遠隔地におけるロボットの定位の把握が極めて良好であった[9]。



図7 分身ロボット操作用仮想携帯端末

3.4 携帯機による分身ロボットのスーパーバイザリコントロール

図7、図8に、仮想の携帯機によって分身ロボットをコマンド操作する実験的なシステムを示す。仮想の携帯TV電話の画面には、遠隔地のロボットの頭部に搭載されたカメラの映像が呈示され、分身ロボットにあらかじめ登録されているジェスチャーや作業を命令ボタンから選択して操作させるものである。オペレータの生の顔画像は、携帯機のカメラで撮像されて、分身ロボットの胸部に搭載された画面に呈示される。遠隔地でロボットのそばにいる人が、ロボットのオペレータがどこの誰で、どういう状況かを把握することができる非匿名性の実現を試みた[10]。本システムは、ドコモの横須賀R&Dセンター内にある、お客様用展示ホールで展示中である。



図8 分身ロボット(ドコモ研究所お客様用展示ホール展示物)

4. ヒューマノイドロボットを介在したコミュニケーションスタイル

4.1 感情移入できるロボットを介在した対話

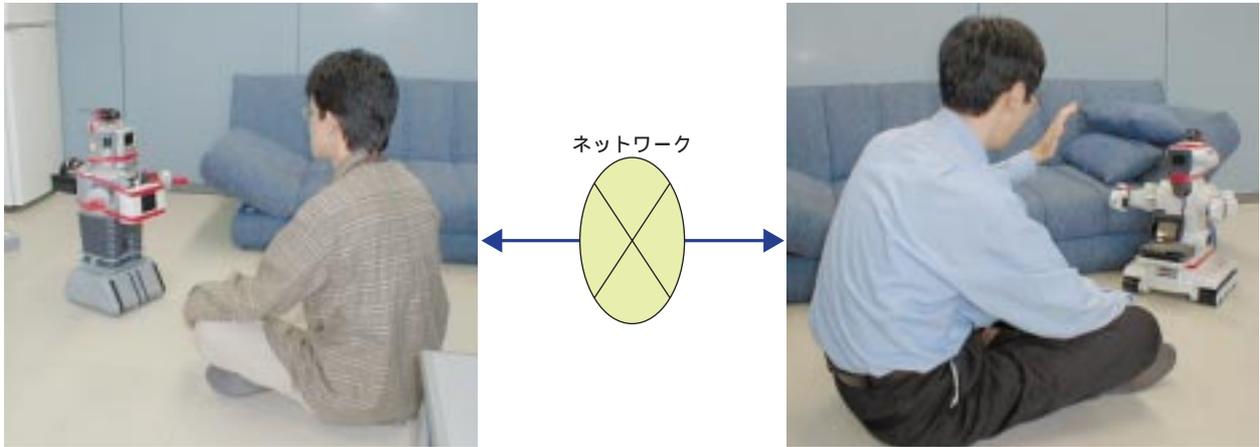
携帯機による遠隔操作は、操作という観点のみで考えた場合は簡便で有効であるが、コミュニケーションシステムとしては主客分離状態であり、主客非分離な共創型コミュニケーションシステムには十分でない。現在、遠隔地の人とコミュニケーションするのに、発声する時系列音声信号を処理して、うなずいたり、身振り手振りを行うロボット介在型コミュニケーションシステムによる円滑な対話環境が提案されている[11]。ドコモでもネットワークを介して、遠隔地の相手と自分自身のいる場の双方にロボット端末において、対話を行う実験を疑似的に試みた[10]。図9に示すロボットは、頭部のディスプレイに相手の顔を提示し、胸部のディスプレイに広角カメラで撮像した相手の周辺環境の映像を提示するものである。単なる対面通話だけでなく、相手の周辺状況が映像で把握できるので、相手が今現

在、落ち着いた状況なのか、まわりがざわざわして忙しそうなのか把握するのに有効であり、場の共有をアシストするものである。しかし、ロボット自体は移動こそするものの、上半身の身振り手振りの再現がないものであったため、感情移入した円滑なコミュニケーションというには体感的に物足りなかった。

4.2 ヒューマノイドロボット通信端末のメリット

前述のロボットの実験において、デメリットとしては、生の顔が出ることの抵抗感、等身大とは異なるサイズや違和感、実体感のなさ、ロボット自体の重量感、身振り手振りの動きがないことによる身体的感覚の不足と慣性（イナーシャ）のなさが挙げられた。また、メリットとしては、双方向のリアルタイムのロボット介在型コミュニケーションの楽しさが感じられた。そこで、こうした課題を解決すべく、図10に示すような外観およびメカニカルな仕様のコミュニケーション介在用の等身大ヒューマノイドロボット実験プラットフォームを構築した[12]。

すでに2足歩行を実現したヒューマノイドロボットも多々あるが、人の身振り手振りの伝送に重点をおくにあた



移動型相互投射分身インタフェースによる双方向コミュニケーション

図9 感情移入できる分身インタフェースを中間介にした相互投射コミュニケーション実験

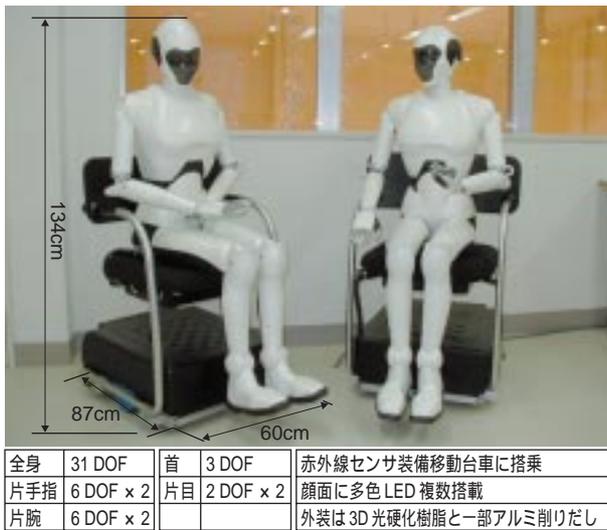


図10 構築した等身大ヒューマノイド

り、上半身のジェスチャーや5本指による手振りの表現の再現に重点をおいた。人がロボットを介してコミュニケーションする時の心理的違和感を少なくするために、ダミーではあるが、2足の脚を有するものとした。現段階での2足歩行の限界と信頼性を考慮して、ヒューマノイドロボットの移動手段は、車輪移動する椅子にヒューマノイドロボットを搭乗させる方式とした。本方式では、上半身の姿勢に制約されることがないため、バリアフリーの空間であればスムーズに移動が可能である。

顔面には、半透明のバイザの内部に複数の色可変できる発光ダイオード（LED：Light Emitting Diode）を装備して、発声音量に応じて口部のLEDの輝度を制御したり、ヒューマノイドロボットが発声する台詞の内容に応じて、色を変化させることで表情の表出を図った（図11）。



緑（ノーマル）



赤（怒り）



青（冷静）

図11 顔面の多色LEDによる表情表出例

4.3 筋電信号で身振り手振りを伝達する 等身大ヒューマノイド

オペレータである自分の身振り手振りを目の前のヒューマノイドロボットに伝えたり、ネットワークを介して遠隔地に存在するヒューマノイドロボットに伝送するためのヒューマンインタフェースとしては、オペレータの皮膚表面筋電信号を検出、認識して行う手法を構築中である。すでに腕時計装着部の皮膚表面筋電信号をニューラルネットで認識して、5本指10関節のロボットハンドの制御を行うことは達成[13]しており、本システムにおいても4.2項の方式を採用した(図12)。また、腕や肩の動作の認識においては上腕2頭筋や3頭筋、肩部に貼布した皮膚表面電極による筋電信号からロボットの片腕6[D.O.F.](ロボットの関節の軸数)のうち、3[D.O.F.]の認識を達成(図13)しており、現在新しい信号処理方式によって6[D.O.F.]へ拡張中である。

モバイル環境において人間の動作を検出するためには、データスーツのような服にセンサを装備したウェアラブルな方法が考えられるが、筋電信号による方法においては、電極の装着を複数の筋肉の一部のポイントに行えば良く、腕輪やサポータのような装着具に皮膚表面電極が内蔵できる。また、カメラによるモーションキャプチャのように、人体から離れた位置で撮像するというような制約を受けることもない。近年は、皮膚表面筋電信号の検出にあたり、電極部にプリアンプを内蔵したアクティブ電極を使用することにより、通常の屋内や屋外、電車内などにおいても低ノイズで安定した筋電信号の検出が可能となっている。電極やアンプのコストも低く、簡便なセンシングが可能であり、PCのCPU(Central Processing Unit)の高速化に伴い実時間で多ch筋電信号の処理が可能である。手指のジェスチャーを検出できる程度の精度と信頼性で十分なアプリケーションであれば、十分実用的な精度(RMS(Root Mean Square)エラーで20[deg]程度)である。今後、腕輪状の装着具に、例えば環状に10ch程度の電極を配置してセンシングするなどさらに高い精度の関節角度の認識が可能と考えられ、現在実験中である。

4.4 ヒューマノイドロボットによる3つの コミュニケーションモード

ヒューマノイドロボットを介したコミュニケーションモード(図14)について、3つのモードを提案する。

(1) 同期チャットモード

ネットワークを介し遠隔地間で2人の人がリアルタイムでチャットするモードであり、自分の身振り手振り動作



図12 オペレータ手指部電極とヒューマノイドの手指



図13 オペレータとヒューマノイド



図14 ヒューマノイドを介したコミュニケーション

が、ネットワークを介して遠隔地の相手のそばにある自分の分身であるヒューマノイドロボットに伝送、再現されるモードである。PCによる通信でいうところのチャットと同じ形態である。いわばマスターの動きに合わせて動くマスタスレーブロボットが、相手のそばのヒューマノイドロボットに乗り移るモードである。テレイグジスタンスロボットを2式用いた双方向通信の形態と同じであり、“同期チャットモード”と呼ぶ(図15)。

(2) 非同期メールモード

PCなどによる電子メールと類似したモードであり、“非同期メールモード”と呼ぶ。自分の身振り手振りと音声を、自分のそばにあるヒューマノイドロボットに伝え、ネットワークを介して、相手のそばにあるヒューマノイドロボットが同じ身振り手振りと音声を再現するものであるが、リアルタイムの伝送ではなく、相手が自分の都合の良い時間に適宜再生するモードである(図16)。

(3) 自律的対応モード

いわば知能ロボットであり、自分の問いかけや発言に、ヒューマノイドロボットが自律的に対応するモードである。ネットワークを介しない場合も考えられるが、「誰それさんに、これこれを伝えておいてね」という伝言を、ヒューマノイドロボットが自律的に判断して、自律的に伝言の内容に応じたジェスチャーをネットワークを介した相手のところにあるヒューマノイドロボットに伝送するものである。これを“自律的対応モード”と呼ぶ(図17)。

自律的対応モードでは、ネットワークで接続した遠隔地のセンタにある大規模知能化エンジンや、自然言語処理データベースに接続する形態も考えられる。

本報告時においては、実ネットワークを介しない形での同期チャットモードにおける身振り手振りと音声の伝送実験および、非同期メールモード、音声認識と音声合成によるヒューマノイドロボットとの自律的対応実験のシミュレーションを実施している。本実験をとおして、音声に加えた身振り手振りによるインタラクションは、従来のTV電話の映像と音声にはない新鮮さと臨場感を秘めており、相手の生の顔は見えなくても、とりわけ等身大ヒューマノイドロボットの実体による身振り手振りと音声の相乗効果によって、CGによるアバターにはない迫力、臨場感、重量感が感じられた。重量を持つ

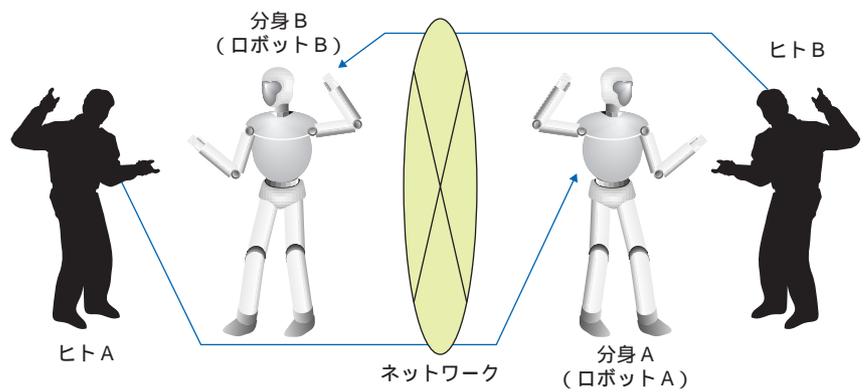


図15 同期チャットモード

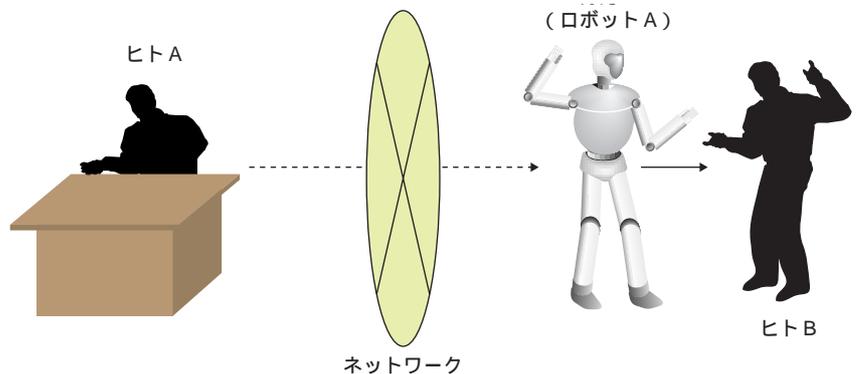


図16 非同期メールモード

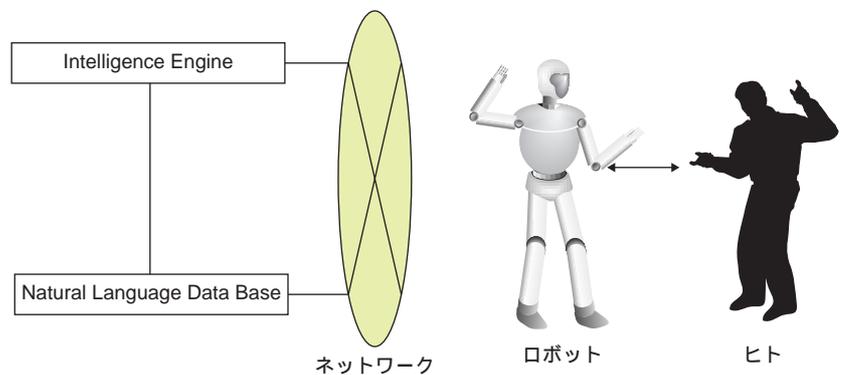


図17 自律的対応モード

た等身大ヒューマノイドロボットが目前で動くことが人間に訴える要素は否定しがたいと感じられた。

4.5 脳波や脳磁界計測による分身ロボットの遠隔制御

自分の意図を分身であるロボットに伝える究極のヒューマンインタフェースは、思っただけで自分の意図が伝わる意図伝達である[14]。人間の運動意図は、補足運動野、前補足運動野などで、複雑な時間構成を必要とする随意運動の動作系列が生成されているといわれており、頭皮で背景脳波に混じって微細ではあるが準備電位や準備磁場という形で、信号を検出できる[15]。現状ではリアルタイムな認識は

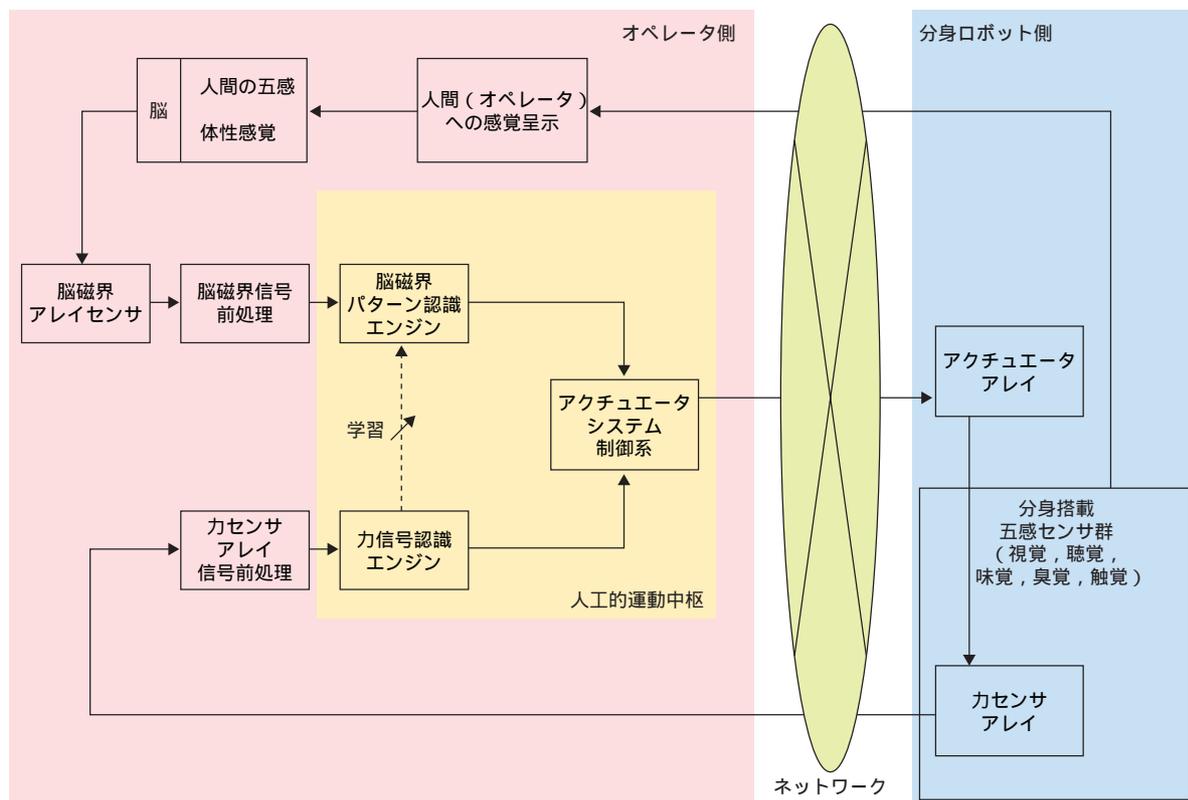


図 18 分身化した遠隔制御ロボットのMEGによる制御系構想例

まだ技術的に困難である。1980年代に脳磁界インタフェースによる外骨格パワードスーツ制御を目指したPIT-MAN構想は、当時の超伝導量子干渉素子（SQUID：Superconducting Quantum Interference Device）磁束計の感度や、磁気遮蔽シールド技術や計算機の性能の限界から研究開発が断念された。しかし、昨今の高温超伝導材料によるマイスナー効果を利用した磁気シールド技術や、今後のセンサや計算機能力の向上や小型化によって、脳磁図（MEG：Magnetoencephalogram）によるヒューマンインタフェース技術実現の可能性がある。MEGによるヒューマンインタフェースによってネットワークを介し、遠隔地にある分身ロボットを制御したり、感覚フィードバックを種々の手段（例えば、正中神経への電気刺激や、中耳への電気刺激、脳への磁気刺激など）で受けることも将来夢ではない。図18は、提案する分身化した遠隔制御ロボットを脳磁界インタフェースで制御する構想例である。脳磁界計測や皮膚表面電極による頭皮の電位分布により、脳内の電気的興奮の時空間パターンを認識し、多chの時空間MEGや頭皮電位分布を認識する方式について検討中である。

5. 今後の課題

5.1 エントレインメントの評価方法の確立

主客非分離なコミュニケーションを目指した等身大ヒュー

マノイドロボットを介したコミュニケーション実験を試み、体感的にはその身体性を持った身振り手振りを交えたコミュニケーションの魅力が感じられたが、定量的評価が十分ではない。円滑なコミュニケーションの現場においては、お互いの身体的動作が同調する現象（エントレインメント）が無意識のうち起こって、呼吸や心拍変動にまで位相の同期関係が形成されると報告されている[16]。今後、こうしたコミュニケーションシステムの定量的評価を行う。

5.2 力覚、触覚ヒューマンインタフェース技術への展開と五感のヒューマノイドへの搭載

ヒューマノイドロボットへの身振り手振りの伝達のヒューマンインタフェース技術として活用した、皮膚表面筋電信号の信号処理技術を深めれば、人の手指の力の入れ具合や、関節回りの緊張度の検出が可能である。ロボットとのヒューマンインタフェースのみならず、腕輪型のウェアラブルな端末への応用も検討課題である。自分の分身としての役割を果たすロボットにおいては、ロボット自身が五感センシングを兼ね備え、相手に呈示伝送することが最終的には必要である。また、身体的なコミュニケーションにおいては、身振り手振りだけでなく、触覚情報（アクティブなタッチ）によるスキンシップも欠かすことができない。電氣的な触覚ディスプレイ技術、センシング技術も今後の課

題であり、取組みを進めている

5.3 ロボットの大きさ

本報告では、主に等身大のヒューマノイドロボットが介在したコミュニケーション方式を提案したが、模型にはさまざまな縮尺があるように、コミュニケーションに介在するヒューマノイドロボットにおいても、どの程度のサイズが許容されるかも課題の1つである。

5.4 人工知能

ロボットの技術は、最終的には人工知能の研究と表裏一体である。記号処理的AIは、一時行詰りを見せたが、センサとアクチュエータを備えた身体性のある実体のあるロボットの上で、知性、知能、意識の人工的な構築の探求は将来避けて通れない究極の課題である[17], [18]。

6. あとがき

等身大のヒューマノイドロボットによる、未来の有望なコミュニケーションスタイルについて提案した。ヒューマノイドロボットは、未来の通信端末として出現するであろう。ワイヤレス通信ネットワークとヒューマノイドロボットとの良好な関係は、今後ますます顕在化していくものと思われる。知能を持ったヒューマノイドロボットが達成されなくとも、等身大のヒューマノイドロボットがマスターレーブとして動作すれば、これまでの通信端末では不可能であった実体のある身体性のあるコミュニケーションが可能となり、十分存在価値をもって発展するだろう。SFにある物理的実体の転送は当分無理でも、ヒューマノイドロボットを介在させることによって、疑似的テレポーテーションが可能となる。人間が古来から持っている身振り手振りによる実体的コミュニケーションは、主客非分離なコミュニケーションを促進するものとして有効である。

コミュニケーション端末としてヒューマノイドロボットを見ると、顔のデザインや表情表出の方法など、「不気味の谷に落ち込まない限界値^{*2}」やデザイン学が今後重要になるとと思われる。通信端末としての複数台ヒューマノイドロボットのコラボレーションのあり方やヒューマンインタフェース方式の研究も重要である。

文 献

- [1] 早稲田大学ヒューマノイドロボットプロジェクト編著：“人間型

ロボットのはなし”，日刊工業新聞社（1999）。

- [2] 館すすむ：“人工現実感”，日刊工業新聞社，（1992）。
- [3] Sheridan T.：“Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control”，MIT Press, (1992)。
- [4] Rosheim M. E.：“Robot Evolution”，pp.348-349, JOHN WILLEY & SONS, INC (1994)。
- [5] DARPA エグゾスケルトンプロジェクト
http://www.darpa.mil/dso/thrust/md/Exoskeletons/
- [6] 清水博，三輪敬之ほか：“場と共創”，NTT 出版。
- [7] Ishibiki C., Itoh H., and Miwa Y.：“Development of Eye-Ball robot serving as a bodily media and its applicability as a communication means; Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems”，pp.1177-1182, (2001)。
- [8] 水川真，平岩明ほか，“物理エージェント（PAS）を用いた遠隔地間人間協調系の基本検討”，SICE SI2000 講演論文集，pp.125-126（2000）。
- [9] 平岩明，杉村利明：“携帯機とテレロボットのヒューマンコミュニケーションのコンセプト”，信学技報 HCS2000-57，pp.7-14（2001）。
- [10] 平岩明，津田雅之，杉村利明：“携帯機による分身インタフェースの提案”，ヒューマンインタフェースシンポジウム2001 論文集，pp.121-124（2001）。
- [11] 渡辺富夫，大久保雅史ほか：“身体的コミュニケーションを支援する Inter Robot/Inter Actor”，ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集，2A1-K7（2001）。
- [12] 平岩明ほか，“通信端末として身振り手振りを伝達し外装デザインを考慮した分身型等身大ヒューマノイドロボットの提案”，日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会2E19（2002.10）。
- [13] 平岩明，内田典佳，下原勝憲，曾根原登：“筋電操作ハンドの制御のための皮膚表面筋電信号のニューラルネットによる認識”，計測自動制御学会論文集，Vol.30，No.2，pp.216-224（1994）。
- [14] ニコレリス M.A.L.，チェーピン J.K.，“思考でロボットをあやつる”，日経サイエンス，2003年1月号，pp.42-51。
- [15] 平岩明，内田典佳，下原勝憲，曾根原登：“随意運動発生直前の頭皮電位分布パターンのニューラルネットによる認識”，電子情報通信学会論文誌 A，Vol.J79-A，No.2，pp.408-415（1996）
- [16] 三輪敬之，石引力ほか：“身体性に着目したエンタテインメント創出過程の計測”，ヒューマンインタフェース学会論文誌，Vol.2，No.2，pp.185-192（2000）。
- [17] ハンス・モラベック，夏目大訳：“シェーキーの子どもたち”，翔泳社，（2001）。
- [18] 喜多村直：“ロボットは心を持つか”，共立出版（2000）。

用語一覧

CPU：Central Processing Unit
 D.O.F：Degree Of Freedom（自由度）
 LED：Light Emitting Diode（発光ダイオード）
 MEG：MagnetoencephaloGram（脳磁図）
 PDA：Personal Digital Assistant（携帯情報端末）
 RMS：Root Mean Square
 SQUID：Superconducting QUantum Interference Device
 （超伝導量子干渉素子）
 VR：Virtual Reality

*2 東京工業大学名誉教授森政弘氏によって提唱されたロボット工学の用語で、ロボットの外觀が人間や動物に中途半端に似ていると、かえって人には気味が悪く感じられるというポイントのこと