

パラサイトビュー

身体性を利用するウェアラブルインタフェース

NTTコミュニケーションズ科学基礎研究所

科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業

前田 太郎

情報化社会がわれわれの生活にもたらしたものは、一見すると便利さ・快適さを象徴している。しかし、その美態として、我々はより多くの情報を流し込まれ、より多くの判断・応答を強いられている。結局のところ従来の情報化技術は情報の入り口を広げて判断の材料を増やすばかりで、その判断と実行までがサポートしてはくれず、増加した情報の量とスピードにユーザーの意識や注意への負荷は増える一方である。人が情報を使うはずが「人が情報に使われている」時代。結果として現代人は忙しい。最新の情報機器を増やすより、もう一つ体が欲しい、とは誰しもが思うことである。そこで『分身』の創り方を考えたときに、まず期待されるのは近年注目を集める人型ロボット技術であるが、確かに人間の生活空間に入り込んでその活動を支援するための試みは多くなされているものの、想定されている応用はあくまで手足の延長としての機能である。しかもユーザーの手を煩わせることなくその行動を支援する活動が出来るかといえば、その段階からはほど遠く、むしろ多くの認識・判断と行動の選択はユーザーの負担となるため、ロボットが人間を手伝うというよりこれまた人間がロボットを手伝っている状況が多いのが現状技術の美態であると言える。身体よりも意識への負荷の大きい状況で欲しい『分身』とは、面倒を見なければいけない手や足ではなくて、面倒を分かち合う眼や頭のほうである。全てとは言わないが、定番の判断や定番の行動を肩代わりしてこなしてくれる眼と頭があれば、意識や注意の負荷を下げたり、もっと他の必要なたとに割けるようになる筈だ。こんな『分身』を創るにはどうしたら良いだろうか？これは自分の行動/タスクのコピーをどうやって取るかという問題になってくる。このためのアイデアとして我々が提案するのが身体行動を支援してくれる共生体としてのウェアラブルロボット、パラサイトビュー(PH)である。

はじめに

パラサイトビュー(Parasitic Humanoid = PH)は人間の非言語的(nonverbal)な知覚-行動モデルを獲得し、これをもって人間の行動を支援することを目的とするウェアラブルな人型ロボットシステムである。本報告では従来のウェアラブルロボティクスに対してPHにおける人型構造がもたらす意味合いとその効果について述べると共に、この観点から導入された人間類似型の構造を持つPHの感覚-運動学習モデルについて説明する。従来、ウェアラブル技術の応用とし

では最も端的なモジュールコンピュータインテグレーションとしてのハンドリーによる移動ロボット技術を適用する試み²⁾などがなされているが、いずれの研究も人間に装着するための工夫という要素技術的な問題解決の段階に留まっており、人間の形態や機能を積極的に研究・利用するという観点に欠けていた。本研究で提唱するPHはウェアラブル技術によって全身に装着されたセンサ群が、装着者の感覚-運動過程において装着者自身と同一視点からの計測を可能とすることに着目し、これに軽量・小出力のアクチュエータを加えることで人間に装着されたまま安全に稼働する人間類似型ロボットシステムを構成するものである。

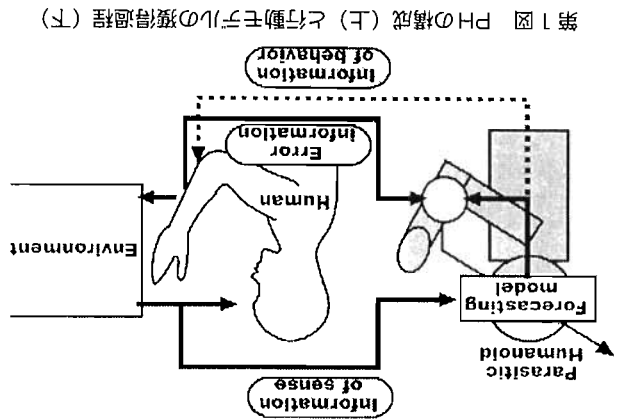
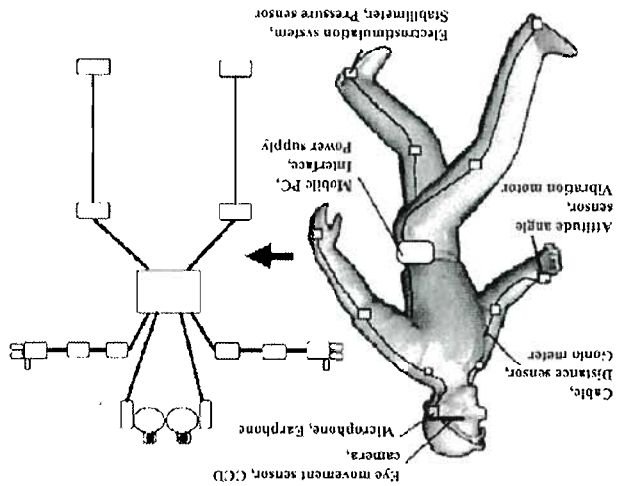
これは最も端的なモジュールコンピュータインテグレーションとしてのハンドリーによる移動ロボット技術を適用する試み²⁾などがなされているが、いずれの研究も人間に装着するための工夫という要素技術的な問題解決の段階に留まっており、人間の形態や機能を積極的に研究・利用するという観点に欠けていた。本研究で提唱するPHはウェアラブル技術によって全身に装着されたセンサ群が、装着者の感覚-運動過程において装着者自身と同一視点からの計測を可能とすることに着目し、これに軽量・小出力のアクチュエータを加えることで人間に装着されたまま安全に稼働する人間類似型ロボットシステムを構成するものである。

ウェアラブルによる行動モデルの獲得

第1図に示すようにPHは人間に装着された状態で、PHはその予測に外れた装着者の運動に対して直接的に自分の運動出力をもって弊を唱えることを始める(第1図下点線)。このとき、装着者がその出力を妥当だと判断すればそれに従い、そうでないときは、装着者がそれを修正し、その新たな行動結果をもとにPHもまた内部モデルの修正の有無を決定する。こうして人間とPH双方において行動の内部モデルを修正・整理することを繰り返す共生系を確立する。同段階においてPHは受動的(第1図下実線)。この段階のPHは受動的

① PHが内部を持つ行動モデルが学習前の状態の場合、直前までの感覚・行動履歴と現在状態からモデルを用いて次の行動を予測し、その正誤に基づいて内部モデルの修正を繰り返す(第1図下実線)。この段階のPHは受動的

② 上記予測モデルが十分な予測性を示すようにPHは人間に装着された状態で、PHはその予測に外れた装着者の運動に対して直接的に自分の運動出力をもって弊を唱えることを始める(第1図下点線)。このとき、装着者がその出力を妥当だと判断すればそれに従い、そうでないときは、装着者がそれを修正し、その新たな行動結果をもとにPHもまた内部モデルの修正の有無を決定する。こうして人間とPH双方において行動の内部モデルを修正・整理することを繰り返す共生系を確立する。同段階においてPHは受動的(第1図下実線)。この段階のPHは受動的



第1図 PHの構成(上)と行動モデルの獲得過程(下)

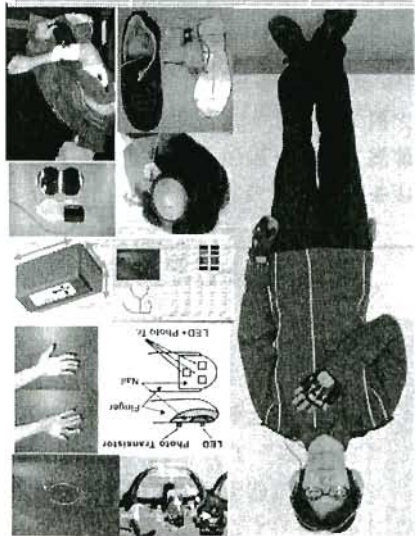
ユニークなシミュンが確立されることになり、装着者がこの共生的なプロセスに馴染んでいくことによってPHによる行動支援の様式が身体学習的に獲得されていくことになる。

運動誘導による行動支援

PHは身体性を利用した予測とモデル化を行うことでその情報を元に装着者の行動を予測し誘導する行動支援ウェアラブルとして機能する。従来、ウェアラブルコンピュータの観点から行動支援ウェアラブルは小型HMDや音声指示を用いた言語的(verbal)な手段に限られており²¹⁾、人間の言語理解を介している点で、身体行動を実行中の装着者にとっては注意を分散する負担が大きいに、装着型の利点である身体性を全くといてよいためと利用していなかった。PHでは身体性を利用した運動誘導の考え方³⁾によって、nonverbalでより直観的な行動支援ウェアラブルとして機能することが可能である。

運動誘導は機能的電気刺激(FES)などに代表されるような運動自体への直接介入ではなく、感覚に対する誘導刺激の付与による感覚-運動サイクルへの干渉をその基礎とする。

① 歩行や船漕ぎ、指揮動作など、反復する周期運動においては意識下刺激を利用した運動誘導が有効である。一般に長時間継続する運動はこうした周期運動が主体である。これは同時に他の動作や活動を並行して行うことが必要とされる動作が多く、このため運動自体には意識的に注意を割くことなくその反復運動を行使し続けられることが必須である。この場合、誘導刺激もまた注意を引くことなくこの感覚-運動プロセスに作用することが要求される。



Type of Sensor	Configuration of Sensors	Number of Sensors
Sensor	Sole Pressure (Heel, 1st, 2nd, 3rd, 4th)	16 (7=4)
Sensor	Each Limb	
Function	Brushing and Touching	3 (2=1)
Sensor	1st 4 Fingers in Each Hand	
Eye Measurement	Each Eye 2-axis Motion	3 (2=)
Sensor	and Size of Pupil	
Biometric	Pressure 6 points, 3.1 hr.	1 (2=1)
Sensor	post Sensor in Each Foot	
Sensor	2 Video	
Audio & Video	2 Color Camera (20Hz)	
Sensor	4-Axis	

第2図 PH試作3号機と各部構成

左上より順に全身像、眼球運動検出器、眼球位置計測結果の検証写真、爪センサの美装概念図、爪センサ美装状態写真、PH稼働状態モニタリング画面、身体運動計測用3軸姿勢センサ外形写真、前庭感覚刺激電極装着写真、身体各部電気刺激電極と電極上に固定された姿勢センサ、重心位置計測用高重センサを配した靴底センサ部写真、装着者が片手で付け出し出来るように工夫された服の構造と電極 姿勢センサの装着過程の作業写真。下部の表は各センサ群の種類とチャンネル数のまとめ。

る。このため、継続的な周期刺激による引き込みなどを用いた非意識的な運動誘導手段がこの適用となる。また、この場合に期待される効果は誘導開始による即時のものではなく次周期以降に位相や周期の変化を実現するとい

パラサイトキューブの各部構成について

一方、周期運動に対してリーチングに代表される単発の運動において、運動自体が短時間の内に終了するため、この場合の誘導は動作終了直後か動作中に効果を現す即時的なものである必要がある。また、動作主の注意も主としてその単発運動自体に向けられていたために、対応体部位に関する意識上への運動指示がその適用となる。

PHは全身に装着されて機能するセンサ系と運動誘導刺激系を持ち、これらそれぞれ人間の感覚系・運動系に相当するように構成される。この試作3号機とその各部構成を第2図に示す。これら装着装置系の総重量は計算機とバッテリーを除けば中継基板や配線を含めても500g以下の構成となっている。これらのチャイプスはウエアラブルな美装のために小型軽量化を図るだけではなく、身体性に基ついたPH特有の要素チャイプスがいくつも提案・開発されている。

PHにおいて採用された爪センサは装着者の手掌部の活動を妨げることなく計測を行うために開発されたセンサである。その特徴はセンサが指の腹側に一切存在せず、全て爪の上に装着されている点にある(第2図右側上から2列目)。原理的には指先端の接触や指の屈曲に伴う爪の色の分布と変化を爪から光計測するものであり、これは爪直下の血行の分布を計測していることに相当する。この構成によって装着者はセンサの存在を意識することなく通常の行動スキルによって手掌部動

爪センサによる指行動の計測

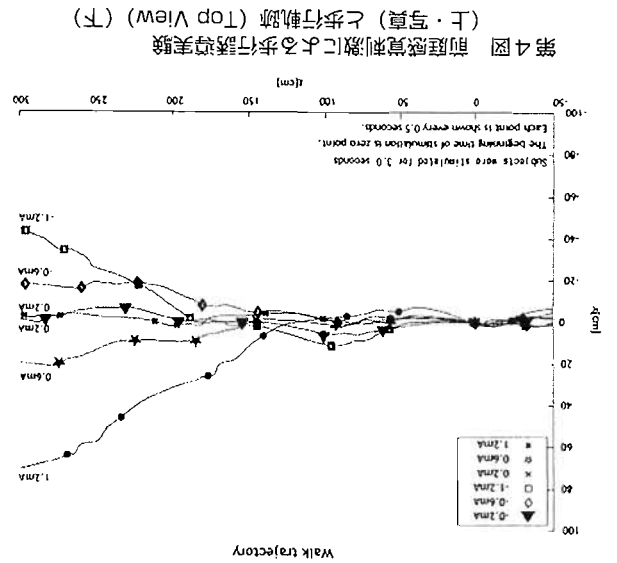
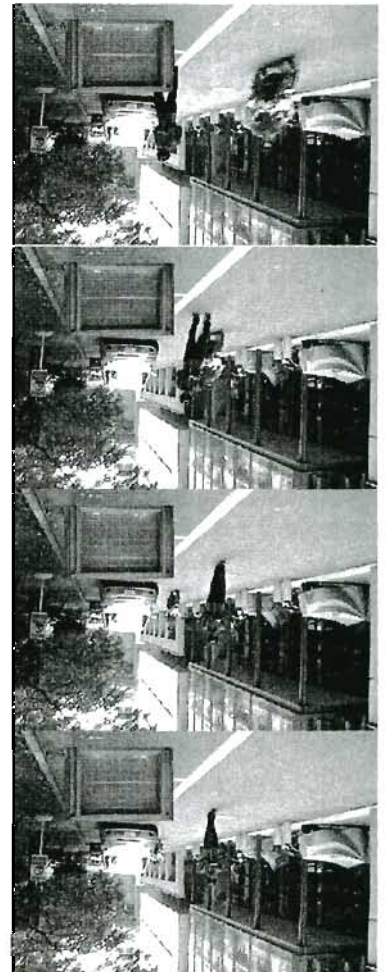
作を行うことが出来る。現段階では指一本あたり3組のフォトリソグラフィを配した状態で、簡単なキヤリブレーションのみで指先端での3軸接触力ベクトルおよび指の曲げ角に関して3-bit程度の有効分解能力が得られている。

PHにおける運動誘導のための感覚入力としては、音、振動モータ³⁾、駆反射利用¹⁾、回転モーメント提示²⁾、電気刺激⁴⁾などの方法を試みている。第2図に示したPH試作3号機の実装では、電気刺激を主体に回転モーメント刺激を補助に使用している。これは表面電極による電気刺激では筋の全てに対して任意に刺激可能なわけではないこと、装着者の意識上においては、個別の筋の活動は表象として捉えられていないことに起因する。そこで開発されたのが回転モーメントによる運動方向提示チャイプスである。このチャイプスでは、回転するホイールに蓄積された角運動量をフレキ機構によって装着フレームに伝達することで任意の方向・強度 タイミングをもったインパルス状の指示トルクを発生させることが可能である。第3図に同試作2号機を示す。この装置においては合成トルクの最大値を3kgf・cmとした場合、有効な提示角度分解能として約20度、すなわち4bit程度が確保されている。



第3図 回転モーメント運動方向提示チャイプス

意識下運動誘導デバイス：前庭感覚刺激



第4図 前庭感覚刺激による歩行誘導実験 (上・写真) と歩行軌跡 (Top View) (下)

前庭感覚刺激による方向誘導の手法はVRにおける加速度感覚提示などへの応用も含めて広い応用範囲が期待される刺激方法である⁶⁾。左右両耳後に装着した電極を介して数mA程度の直流電流を流すことにより、装着者の感している重力方向を電流値に応じて陽極側へとシフトさせる効果が生じる⁷⁾。これを利用して、第4図のように歩行移動中の装着者の歩行を左方に誘導することが可能であることを被験者を用いた実験により確認している。

行動支援のための感覚行動予測：シミュレーション動作における出し手予測

以上の様な運動誘導を有効に行うたためには、装着者の行動を同定し、予測する感覚-運動プロセスのモデルが必要である。PHではこのモデル化において観測・学習・誘導に身体性を利用したウェアラブルシステムならではの利点が生かされる。行動情報からの学習・分類を行う同システム構成には第5図のようにSOM(自己組織化マップ)を始めとした神経回路モデルの処理には神経回路網モデルの等価的な線形近似解としてICA(独立成分分析)を用いて学習の安定性と近

似精度のトレードオフを図っている。シミュレーション動作を用いた評価実験においては、肘角度+手の甲の姿勢3自由度の合計4関節軸の情報から、特定装着者の出し手動作に關して、平均所要時間0.3[s]の全行程中、1 3行程段階で85%、2 3行程段階で95%の成功率で、出し手のリアルタイム予測に成功している。PHでは予測によって稼き出される猶予時間(このケースでは100~200[ms])を用いてロボットの応答遅延時間(動作ごとに違つか概ね150~300[ms]程度)を相殺することで、運動誘導による教示を失動作の修正に利用する戦略をとっている。

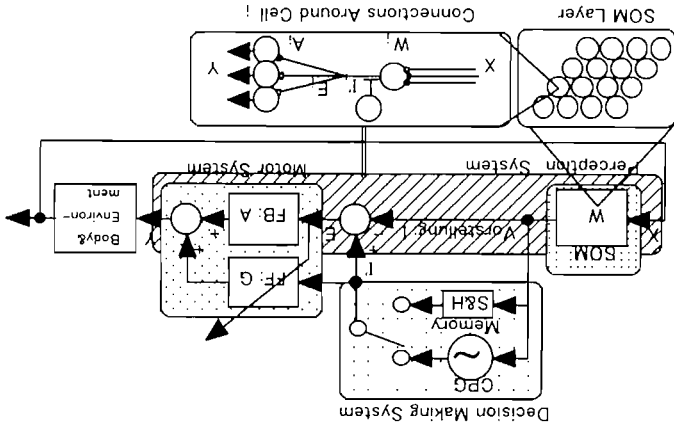
おわりに

本報告では、身体性を利用したウェアラブル技術としてのPHの開発理念と現状について論じた。行動支援インテラスとして以下の様なもの(第6図)が考えられる。

①歩行誘導

最適な歩行経路を辿るようにガイドする。未知ポイントへのGPS情報に

第5図 知覚-運動発現系の構成概念図

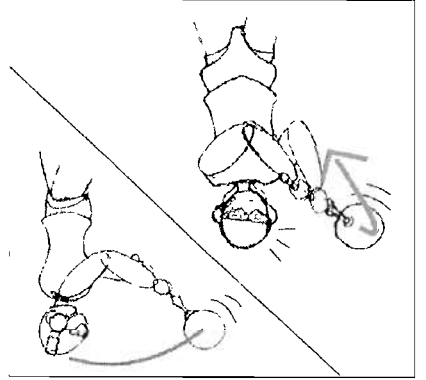
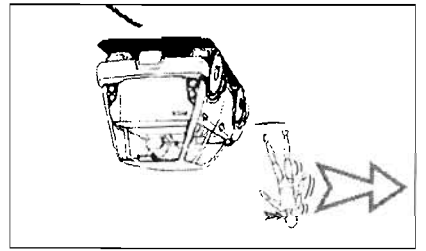


よる経路の誘導や、交通情報による混雑する経路の自動回避、後方センサによる検出された接近中の車の自動回避など、半無意識誘導によって特に注意を払う必要もなく最適な歩行経路を辿ることができる。(第6図E)

②行動のキヤプチャ&フレイミング

行動の記録・再生による特定行動の再利用。例えば偶然に打ったバストシヨットの再生による繰り返しの記録・再生による特定行動の再利用。例えば偶然に打ったバストシヨットの再生による繰り返しの記録・再生による特定行動の再利用。...

こうした直接的に身体性を介した行動支援を通して常時装着と装着者個人への適応を実現することで、PHは装



第6図 PHによる行動支援例

参考文献
1) S. Jacobsen: Wearable Energetically Autonomous Robots: DARPA Exoskeletons for Human Performance Kick Off Meeting, 2001
2) W. W. Mayolt, B. Tordoff and D. W. Murray: Wearable Visual Robots, International Symposium on Wearable Computing, 2000.
3) 渡邊, 他: 腕部と脚部の相関に着目した歩行運動の解析, 生体生理工学シンポジウム論文集, 2001
4) 財津, 他: 腱反射を利用した新たな運動方向提示装置の提案, VRSJ 論文誌, Vol.6, No.2, 2001
5) 尾花, 他: 回転モータメントを利用した機械フ

【筆者紹介】
前田太郎 (昭和40年2月3日生)
NFTコミュニケーション
科学基礎研究所
科学技術振興事業団
戦略的創造研究推進事業
「協調と制御」領域
〒243-0198
神奈川県厚木市森の里岩宮3-1
TEL: 046-240-3169
FAX: 046-240-4716
E-mail: maeda@avg.brln.ttc.co.jp
<主たる業務経歴及び資格>
昭和62東大・工・計数工卒。昭和62
通産省工業技術院機械技術研究所に入

参考文獻
1) S. Jacobsen: Wearable Energetically Autonomous Robots: DARPA Exoskeletons for Human Performance Kick Off Meeting, 2001
2) W. W. Mayolt, B. Tordoff and D. W. Murray: Wearable Visual Robots, International Symposium on Wearable Computing, 2000.
3) 渡邊, 他: 腕部と脚部の相関に着目した歩行運動の解析, 生体生理工学シンポジウム論文集, 2001
4) 財津, 他: 腱反射を利用した新たな運動方向提示装置の提案, VRSJ 論文誌, Vol.6, No.2, 2001
5) 尾花, 他: 回転モータメントを利用した機械フ