

実世界情報システムプロジェクト～VR 研究グループ～
実世界感覚情報の遠隔再構築とその医療応用

満洲邦彦 鈴木隆文
情報理工学系研究科 システム情報学専攻

竹内昌治
情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 (生産技術研究所)

概要

本研究課題は、実世界における各種の物理的刺激を、(例えば遠隔地の) 操作者に感覚情報として伝達し再構築するシステムの開発を目標とするものである。このシステムは、遠隔医療システム等におけるマスタ・スレーブシステムでの触圧感覚提示システム(図1)として利用できるだけでなく、義手や義足表面における機械的刺激の情報を、装着者の感覚神経に触圧感覚情報として直接入力することにより、あたかも自分の手であるかのような、(代替感覚ではない) 自然な感覚を生成する技術にそのまま応用可能なものである。これらのシステムを実現するためのキーテクノロジーとしては、下記の3つの技術が挙げられる。

1. 実世界感覚情報取得のためのセンサ技術: 生体と同等の感度・空間分布で、外部実世界の感覚関連情報を取得しうるセンサ技術
2. 感覚情報の再構築・呈示技術: 生体の感覚受容器や神経系への刺激により、機械系が検出する実情報空間と生体の脳内に構築される感覚情報空間との間で情報の自然な受け渡しを可能とする技術
3. 生体と機械系で情報空間を共有するための神経インタフェース技術: 生体の神経系と外部情報機器との間で直接的な情報入出力を行い、感覚情報の再構築を行う技術

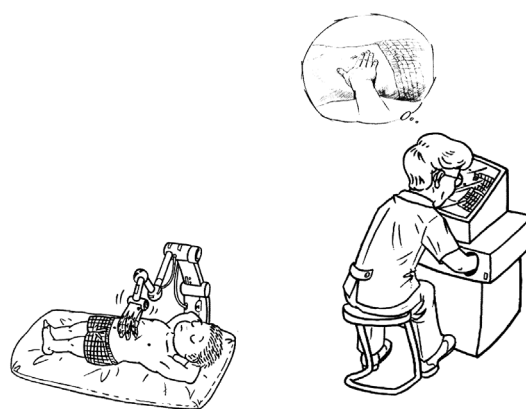


図1: 遠隔医療システムにおける触覚フィードバック

本グループでは、これらのキーテクノロジーの研究を総合的に行っている。

今年度は特に、2) に関しては、感覚の拡大と縮小提示技術の検討に関連してアシストデバイスの開発を行い、3) 生体と機械系で情報空間を共有するための神経インタフェース技術に関しては、神経系と高度な情報入出力を行う多機能神経プロブの開発、そして、ラットの運動野とのインタフェースによる車両操縦システムの開発を行ったので、これらについて報告を行う。

1 力感覚の再構築・提示における拡大と縮小技術

医学・医療分野は、遠隔手術システムや人工感覚器、重症身体障害者のための擬似体験装置など Virtual Reality 技術の応用が最も期待される分野の一つである。これらの装置についてはマスター・スレーブ方式をとるものも多いが、Augmented Reality の言葉が用いられるように、マスター側では必ずしもスレーブ側で検出した物理的刺激をそのままの強度でスレーブ側に提示するのではなく、目的に応じて倍率を変化させ、拡大したり縮小したりして操作者に提示している。

これは感覚のみならず、マスター側とスレーブ側で発生させる力の大きさに関しても当てはまる。例えば、VRを応用したマイクロ手術システムにおいては、スレーブ側では、非常に小さな動きをこれまた非常に小さな力で行なわねばならないが、マスター側では普通の手術の感覚・力で操作を行なう事が術者にとっては望ましいと思われ、マスター側およびスレーブ側で発生させる力・操作量などの比率を変化させ、最適に設定する必要がある。逆に、筋力の弱い人間が大きな筋力を必要とする操作を補助し、あたかも操作者のパワーが倍加したように感じさせるような空間を作り出す場合には、スレーブ側では、マスター側で操作する力に対して大きな力を発生させる必要がある。本研究は、この後者の場合、すなわち、筋力が低下し、日常の生活動作が不自由になってしまった人間を対象として、(その人間の)動作のパワーを補助し、あたかもその人間の力が増加したように感じさせるようなパワーアシストシステムの開発を目的としたものである。

本年度は、計測が容易であり、非侵襲な計測が可能な表面筋電を用いて、アシスト装置を製作し、表面筋電から推定した操作者の発生力の正確さと、この信号を使用したアシストシステムが安定に動作可能か、実験的に検討し、アシストシステ

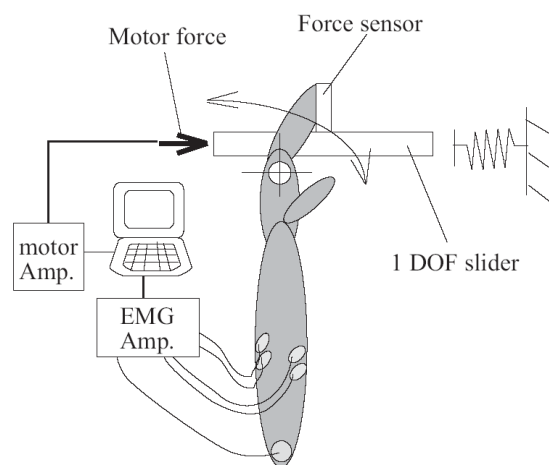


図2: アシストシステムの1自由度モデル

ムを制御を行うための信号として表面筋電が適切かどうかの検討を行なった。

表面筋電と発生力との関係を調べるための予備実験に用いた装置を図2に示す。本装置はDCモータとワイヤ・プーリで駆動する1軸のスライダに、エンコーダと操作力を測定するための力センサを取り付けたもので、1軸スライダにはばねが取り付けられており、操作者が中立位置から変位させた際には負荷となる。操作者の表面筋電をもとに、このばね力が小さく感じられるようにアシストすることを目標とした。操作者の左手の第4指中手指節関節を計測対象関節とし、これに対応する表面筋電は浅指屈筋および総指伸筋から取得した。

この表面筋電を積分してアシストシステムの制御信号として用いる手法を検討した結果、下記のような利点と問題点があることが明らかとなった。

1. 随意的に関節を動かす場合、関節が動く前に表面筋電は発生しているので、100~200ms 力センサよりも情報が早く、動作が起こるよりも前に情報を検出する事が可能である。
2. 反対に、受動的に力が作用する場合、力の発生源に近い分、力センサの方が表面筋電よりも早

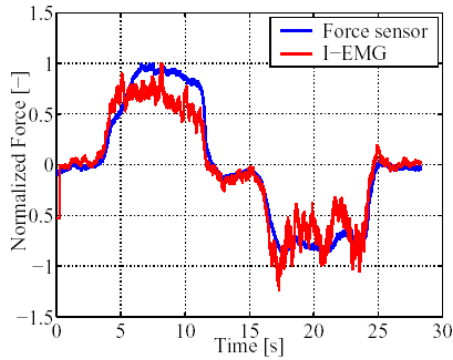


図3：計測された操作力と筋電からの推定値との比較

く反応する。(衝突, 接触動作などがこれにあたる)

3. 表面筋電データは、インパルス状のデータであるので、図3(a)に示すように積分しても起伏が激しいデータとなる。この起伏が本来の筋の運動に基づくものか、あるいは計測系のノイズによるものかは更なる検討を要するが、アシストシステムの指令信号として用いる際には不都合である。また、スムーズにするために、積分区間を長くすると、1. で述べた利点が失われてしまう。

4. アシストは人間の筋力をアシストするために、筋電が出ない方向にモータを駆動する。その結果、表面筋電の S/N 比が悪くなり、制御系が不安定になる。特にアシスト比率を上げた場合、信号検出が困難になる。

筋電信号のみでアシストシステムの制御信号を構成することには困難があるが、筋骨格系などのインピーダンスモデルを制御の中に導入することで積分した表面筋電に現れる振動の軽減が行えるのではないかと考えている。また、アシストを行っている際の筋肉の低活動時の問題は、別のセンシングシステムを使用するなど、センサをハイブリッド化することで解決可能と考えており、この方向での解決を試みている。

2 多機能神経プローブの開発

神経系と外部機器との間で直接的な情報入出力を行うことによって、従来 SF 小説でのみ語ら

れてきたような様々な応用が可能となる。例えば感覚神経に情報を入力することによって、聴覚、視覚などの感覚を人工的に生み出すことが可能であるし、逆に、運動神経の情報によって義肢を、また、自律神経系の情報によって人工臓器を制御することも可能となる。このような応用を実現するためには、長期間安定して、究極的には個々の神経線維に対して情報の入出力を可能とするデバイスの開発が必要不可欠である。我々は、これまでに、様々な種類の神経電極を開発してきた。昨年度はフレキシブル剣山電極として、従来の堅い構造の剣山神経電極の欠点（ずれやすさや、神経組織への侵襲性、2次元的な計測点配置など）を克服する新しい神経電極を提案しパリレンを基板材料として作成を行った。

今年度は、微小な流路を備え、かつフレキシブルな構造を有する神経プローブの試作を行った(図4)。これによって、1) 従来微細ガラス管で行われてきた薬液注入やサンプリングが多点でかつ慢性的に行うことが可能となる。2) 流路内外の任意の位置に電極を配置することによって、薬

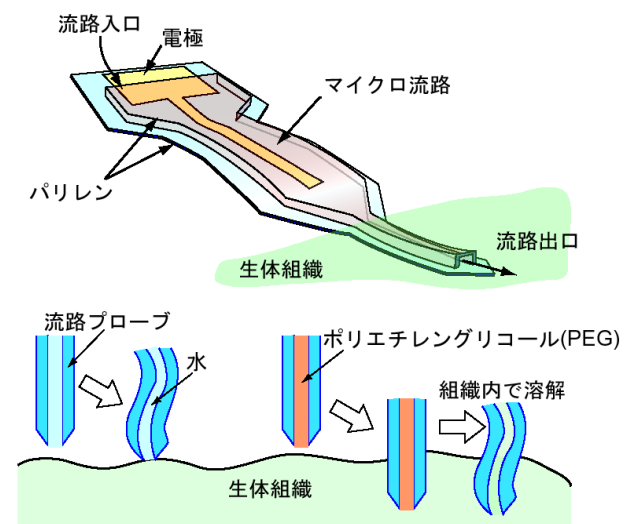


図4：流路を備えたフレキシブル神経プローブの概念図 a) 柔軟な流路の内外に電極が配置可能である b) 流路内に組織内で溶解する物質を注入し刺入に必要な堅さを得る。

液注入に対応した神経活動の変化などを計測できる。3) 流路内にポリエチレングリコール(PEG)などの神経組織内で溶解する物質を注入しておくことによって、刺入時のみ硬化し、溶解後は神経組織への侵襲が少ないフレキシブルな構造に戻ることができる。4) 流路内に再生軸索を誘導することによって、神経再生型電極として使用できる。といった次世代の神経インタフェースデバイスにふさわしい様々な特長を有する多機能神経プローブの実現が期待される。

試作したプローブは、生体適合性の良好な透明な高分子であるパリレンによって金属配線層を挟み込んだ構造となっており、2つのパリレン層の間に封入したレジストを溶解させることによって流路を形成した(図5)。単一の流路内に1チャンネルの電極を有するType Aと、流路外にさらに6チャンネルの電極を配置したType Bの2種類のプローブを試作した(図6)。

試作したプローブを用いて、薬液注入やPEGによる硬化、ラット大脳への刺入と神経信号計測といった基礎的な評価実験を行い、良好な結果を得ることができた。今後さらに、多チャンネル化、再生電極としての性能評価などを行っていく予定である。

3 ラットカーシステムの開発

生体の神経系と外部機器との直接の情報入出

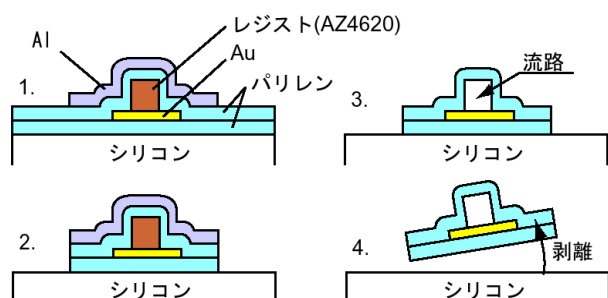


図5：フレキシブル神経プローブの作成方法。レジストによって流路を形成

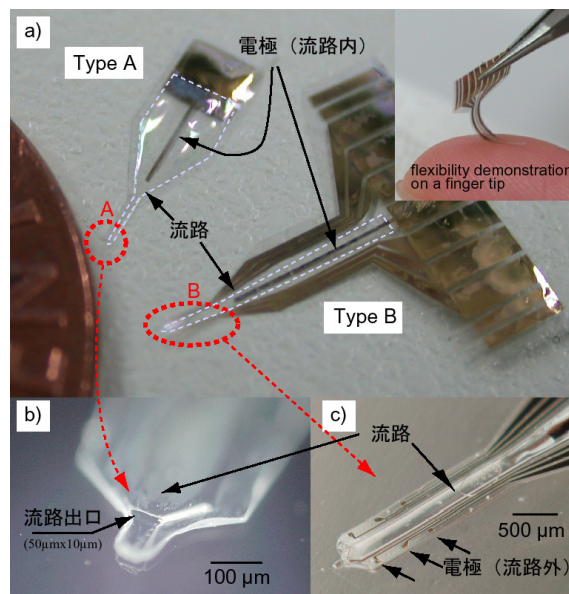


図6：作成したフレキシブル神経プローブ a)全体図, b) Type Aの先端部(流路出口), c) Type Bの先端部(流路外にも電極を配置)

力を行うシステムの実証システムの一例として、ラットカーシステムの開発を開始した。このシステムは、ラット運動野の神経信号によって、自身の乗った車両の制御を行うものであり、自身の四肢と同様に思い通りに動かせる義肢や車椅子への応用を目指すものである。

今年度は、ラット運動野への電極埋め込み手技の確立、四肢に対応する運動野の位置の確認、計測された信号と動作との関係解析など、システム構築の基盤となる研究を行った。

4 まとめ・今後の展望

実世界感覚情報の遠隔再構築とその医療応用を実現するためのキーテクノロジーの中で、特に感覚情報の拡大縮小技術、及び、生体と機械系で情報空間を共有するための神経インタフェース技術について研究を行った。今後、実世界感覚情報取得のためのセンサ技術とも統合する形で、研究を進めていく予定である。