

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

本研究課題では、実世界における各種の物理的  
刺激などの感覚情報を、遠隔地の人間に伝達し再  
構築するシステムの開発を目標としている。この  
ようなシステムは、遠隔医療システムをはじめと  
したマスタ・スレーブシステムでの触圧感覚提示  
システムに利用できるだけでなく、義手表面にお  
ける機械的刺激（触圧覚センサ）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よう  
な自然な感覚を生成するような次世代義手シス  
テム（図1）へも利用できるものである。こうし  
た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・提示技術：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

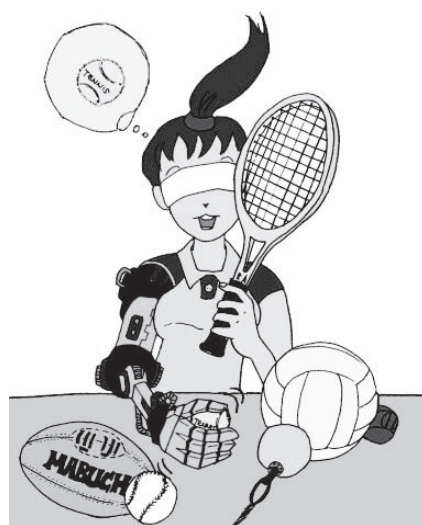


図1：触覚提示機能を備え、運動神経の  
情報で動く次世代義手システム

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が、今年度は特に 2)  
に関しては、感覚神経への直接の入力信号とそれ  
によって生じる触圧覚との関係を定量的に検討  
した。さらに 3)の神経インタフェース技術に関し  
ては、昨年引き続き、神経系と高度な情報入出  
力を行うための多機能神経プローブの試作と改  
良を行い、また、神経信号による外部機器制御シ  
ステムの一例として、ラットの運動野から計測し  
た神経情報によりラット自身の乗った車両を操  
縦するシステム(ラットカー)の開発を行ったので、  
これらについて報告を行う。

## 1 感覚神経への入力信号と生成触圧覚との定量的関係の解明

本研究は、義手表面における触覚情報（機械的刺激）を自然な触圧感覚として装着者に提示する義手システムの開発を目的として、末梢における機械受容ユニット（特に遅順応機械受容ユニット タイプ I (SAI ユニット)）の特性を調べたものである。感覚神経線維への信号入力方法としては、微小刺激法を用いた。これはタングステン製の針型の電極を経皮的に刺入して行うものである（図2）。この方法による感覚生成については、これまで我々を含めたいくつかの研究グループによる報告があり、刺激する機械受容ユニットの種類によって生成する感覚が異なること、また電気刺激パルス単位時間当たりの頻度によって生成する感覚の強度が変化することが明らかになっている。しかしながら、刺激信号と生成感覚の強度との定量的な関係についての報告はなされていなかった。本研究は SAI ユニットの電気刺激することによって生成された圧覚の強度を、反対側の手の表面における実際の機械的刺激と比較することによって定量化を行った点に特長がある。図3は、信号が計測されたユニットの受容野を示している。さらに刺激実験のあとに両側の手への機械的刺激に対する感覚強度を調べることによって、前述の定量化データの補正も行った（図4）。その結果、SAI ユニットへの電気刺激頻度（パルス周波数）と生成感覚強度とのコーディング則が明らかになり（図5）、これによって、義手表面での触覚情報を装着者に提示する際の基礎的なデータになるものと考えている。



図2：経皮的に電極を刺入して感覚神経の信号計測と刺激を行う。



図3：信号が計測された SAI ユニットの受容野



図4：両側の手への機械的刺激を行い、感覚強度が等しいと感じるときの刺激強度を調べた。

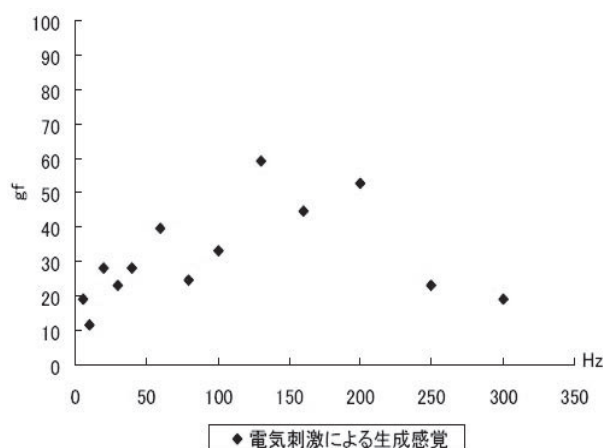


図5：刺激パルス頻度と生成感覚強度との関係

## 2 多機能神経プローブの開発

生体の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自在に操り、また、自律神経系の情報によって人工臓器を適切に制御することも可能となると考えられる。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が、例えばフレキシブル剣山電極として、従来の堅い構造の剣山型神経電極において指摘されてきた課題（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 C (poly-monochloro-para-xylylene) を基板材料

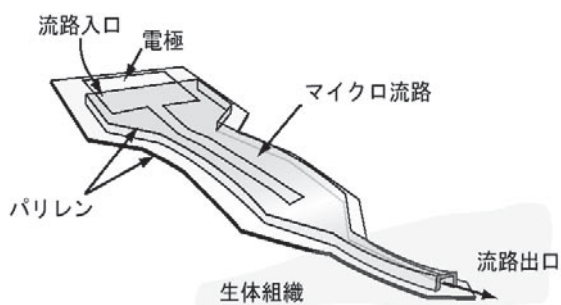


図6：流路を備えたフレキシブル神経プローブの概念図

として作成を行った。

今年度は、昨年度に引き続き、微小な流路を備え、かつ柔軟な構造を有する神経プローブの開発（図6）、及び神経再生型電極への応用の検討を行った。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) 流路出口近傍に電極を配置することによって、薬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すことができる。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サンドイッチ型の構造に微細流路構造を統合した構造となっている。これまでは、2つのパリレン層の間に封入した厚膜型のレジストを犠牲層として溶解させることによって流路を形成してきたが、パリレン層同士の接着強度の不足のため、薬液注入時に液圧に耐えられず、流路が破損しやすいという問題があり、昨年度は、2つのパリレン層に圧をかけた状態で電気炉に入れ160°C程度の高温にすることで、接着強度を飛躍的に向上させることに成功してきたが、プロセスの複雑化が問題となっていた。今年度は、従来の方法において、2つ目のパリレン層の蒸着の前に、1つ目のパリレン層の表面をRIEによって荒らし、また、カップリングを促す薬剤を使用することで薬液の安定注入を実現する程度の強度向上が可能であることを示した。

さらに今年度においては、微細流路を再生軸索のガイダンスとして利用する新しい神経再生型電極を提案し試作に成功した。今後は実際にラット坐骨神経などの末梢神経に埋め込んで評価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力を行うシステムの実証システムの一例として、昨年度に引き続き、ラットカーシステムの開発を行った(図7)。このシステムは、ラット運動野から計測した多チャンネルの神経信号によって、ラット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。

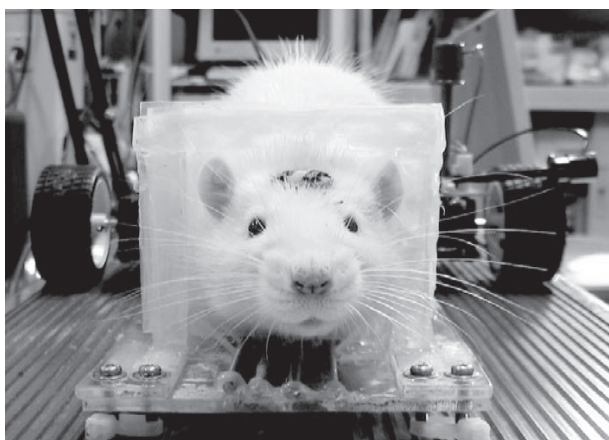


図7：ラットカーシステム

昨年度は、ラットが1次元の歩行を行う際の神経信号を計測し、その信号から歩行速度を推定することを検討し、各電極からの計測信号を波形によってある程度弁別してユニット毎の発火頻度を求め、その線形和の係数を調整するという単純なモデルであっても、ラットの歩行速度をある程度推定できることを示してきたが、今年度には、ラットがY字型の通路(図8)において歩行方向を変える際の神経活動を計測し、同様のモデルを用いることで、これらの神経活動から歩行方向の変化を予測できることを示した。これらの成果を統合することによって、2次元平面上でのラットの歩行速度と歩行方向とを予測できるものと考えられる。今後さらに一次運動野以外の部位から計測した神経信号を用いることによって、より高次の運動パラメータを利用し、推定精度の向上をはかることを計画している。

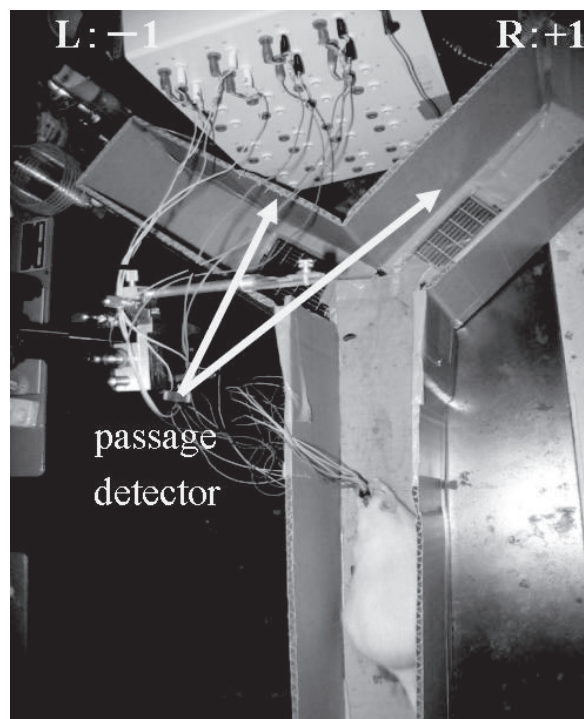


図8：Y字型通路を用いた歩行方向推定実験

### 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、特に感覚神経への入力信号と生成される触圧覚強度との関係を定量的に検討した。また、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、流路を備えた多機能神経プローブの改良およびラットカーシステムの開発を行った。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。