

(社) 日本ロボット学会 第 68 回ロボット工学セミナー  
「ロボティクスにおける認識や操作のための触覚技術」開催レポート

日時：2011 年 11 月 21 日（月）10:00～18:00

会場：東京電機大学

参加者数：52 名

オーガナイザー：山野辺 夏樹（産総研）

**概要：**

我々は、様々な感覚情報を利用して環境を認識し、巧みな動作を実現しています。その中でも物を掴んで操作したり、その物の状態を認識したりする際には、触覚が大きな役割を果たしています。近年、日常生活支援、介護・介助等、ロボットはヒトのように様々な作業を器用を実現することが求められており、触覚技術に対する期待はますます大きくなってきています。本セミナーでは 6 名の講師の先生方に、「触覚技術のロボットマニピュレーションへの応用」の観点から、ヒトの触感覚のメカニズム、触覚センサ、センサを利用したロボットシステム等について紹介・解説をして頂きました。

**第 1 話「ヒトの触覚認識メカニズムと触覚センサ・触覚ディスプレイ」**

慶應義塾大学の前野隆司先生より、ヒトの指腹部における触覚認識メカニズムと触覚センサ、触覚ディスプレイについてご講演頂きました。まずヒトの指の構造や触覚受容器の応答特性について説明され、4 種類の触覚受容器がそれぞれの応答特性に応じて感度が極大となる位置に配置されていること、指腹部の有限要素解析から指紋や真皮乳頭は触覚の感度向上の役割を担っていることを解説して頂きました。次に、触覚をモデル化するためにはヒトの触覚の解析や受容システム・触覚認識のモデル構築が必要であるとして、官能評価と因子分析によって抽出したヒトの触覚因子や、ヒト指の知見に基づいて開発された触覚センサについてご紹介頂きました。この触覚センサは様々な素材に対してヒトと同様の触覚を検出でき、官能評価の自動化といった応用についても期待できるとのことでした。充実した内容を分かりやすく解説して頂き、参加者の触覚に対する理解が深まったと思います。



ご講演中の前野先生

**第 2 話「柔軟センサスキン開発の現状と課題」**

東京大学の篠田裕之先生より、ヒトの皮膚のような柔軟な薄型触覚センサについて、近年活発に開発されている様々なセンサの事例を含めてご講演頂きました。まず、ヒトの皮膚と同等の触覚情報を得るための単層センサアレイの機能条件を紹介され、高機能な完全触覚センサを目指すのでは無く、センサを用いる用途に応じて情報の優先順位を明確化して必要な条件を選定することが重要であると説明頂きました。また、ヒトの皮膚は 3 次元的な構造を持ち様々な受容器がその中で上手く配置されているため、高精度の認識や硬さ・摩擦の知覚を可能としていることを説明され、開発された 2 層の単純構造で高解像度を実現する触覚



ご講演中の篠田先生

センサについてもご紹介頂きました。最後に、柔軟な薄型触覚センサを実現するためには柔軟材料に対する高密度配線が課題であるとし、無配線触覚素子を用いたセンサについてもご紹介頂きました。近年の国内外の有望な取り組みも数多くご紹介頂き、触覚センサの現状を把握することのできる大変興味深いご講演でした。

### 第3話「近接覚・すべり覚センサと、それらを実装したロボットハンドシステム」

電気通信大学の下条 誠先生より、触覚、近接覚、すべり覚センサに関して、各センサの原理やそれらを実装したロボットハンドによる把持実験についてご講演頂きました。開発されている触覚センサと近接覚センサは基本的な要素をネット状に接続するという同様の構造で構築されており、すべり覚センサは感圧導電性ゴムの抵抗値変化を利用して初期すべりを検出するもので、全てのセンサで省配線、柔軟・薄型、高速応答性を実現していることをご紹介頂きました。視覚センサではハンドが近付くと物の隠ぺいが起こり、触覚センサでは物とセンサが接触するまで情報を検出できませんが、近接覚センサやすべり覚センサ等を組み合わせることによって知覚範囲を補完し、器用なマニピュレーションが可能になることを説明され、触覚・近接覚・すべり覚の3種類のセンサを実装したロボットハンドで、重さの異なる対象物や移動物体を上手く把持する実験等をご紹介頂きました。理論的原理から実験まで詳しく解説して頂き、非常に参考になるご講演でした。



ご講演中の下条先生

### 第4話「バイオニックハンドによる対象への働きかけを利用した知覚について」

大阪大学の細田 耕先生より、柔らかい皮膚内にひずみゲージ等の多数の受容器を配置したバイオニックハンドについてご講演頂きました。ヒトが対象物に能動的に働きかけることによって高度な認識を実現しているように、触覚センサから得られる情報と動作や視覚情報といったその他の情報とを統合し、それらをどのように理解するのか、「文脈」に応じた認識が重要であると説明され、バイオニックハンドを用いて行われた対象物のすべりや形状、内容物の推定等の知覚実験についてご紹介頂きました。なお、バイオニックハンドの持つ多数の受容器からの情報と知覚との関係性は複雑であるため、学習手法を用いて獲得されているとのことでした。物体形状の推定については、対象物を何度か掴み直していくと形状に応じた安定した姿勢に遷移していくことを利用し、その過程の情報を基に関係性を獲得しているとのことでした。内容物の推定については、対象物を振ってみた時の情報を利用して獲得しているとのことでした。センサ情報をどのように使うのかという観点からのご講演で、大変興味深く、様々なタスクについて試してみたいと思わせて頂きました。

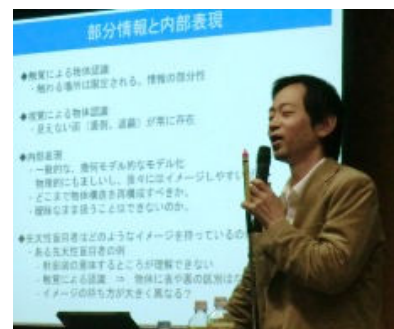


ご講演中の細田先生

### 第5話「触覚にもとづく相互作用研究と触覚センサシステム」

産業技術総合研究所の長久保晶彦氏より、触覚による環境との相互作用に着目した認知発達研究とその過程で開発された触覚センサについてご講演頂きました。触覚は即時的な反応であるため反応運動と状態変化の連鎖が発生しやすく、身体や環境の制約とも相まって動作の自己組織化を促進する重要な要

素であること、またヒトの発達初期には、何か触ったり動かしたりといった触覚相互作用によって身体や視覚情報に対する知識を獲得していることを説明され、全身に触覚センサを配置した等身大ロボットの起き上がり動作の解析や、触覚を持つ胎児・新生児の身体モデルのシミュレーションにおいて手で顔を触る動作が獲得される等の研究内容を紹介して頂きました。またヒトやヒューマノイドの体表面装着用に開発された薄型のツリー状で切断や折り畳みが可能な触覚センサや、導電性材料の周囲から複数の電流を流して逆問題として内部電位分布を推定することにより実現した内部配線の無い伸縮可能な触覚センサについてもご紹介頂きました。これらのセンサは市販化も目指されているとのことで、期待の広がるご講演でした。



ご講演中の長久保氏

## 第6話「触覚技術の産業・医療応用」

名古屋工業大学の佐野明人先生より、産業分野や医療分野における触覚技術についてご講演頂きました。まず、触覚の本質は能動触であり、ヒトは対象物自体ではなく運動感覚も合わせた現象を認識していると説明され、実際とは異なった物に対しても同等の感覚を提示したり、感覚を増幅したりすることが可能であることを解説頂きました。医療分野では安全性が重視され、様々な制約のもとで新たな計測手法が提案されているとのことで、バルーンの膨張現象を利用した表面性状計測等をご紹介頂きました。また産業分野では、元の触知覚現象に手を加えることなく簡単な仕組みで付加価値を生み出すことが求められているとのことで、物体表面の凹凸感を増幅する触覚コンタクトレンズや指先の触覚の感度を調整する触覚ネイルチップ、プラスチック等の素材にソフトな感触を与える物体表面の細かな凹凸形状に関する研究についてご紹介頂きました。またご講演中には、様々な触覚イリュージョンについてデモンストレーションも行って頂きました。何とも言えない感覚に驚かされ、ヒトの触知覚の面白さと奥深さを一層感じたご講演でした。



ご講演中の佐野先生

## まとめ

本セミナーでは近年活発に研究が進められている触覚技術について、全体的な解説から各々の先端的な研究内容についてまで幅広くご講演頂きました。触覚が他の感覚と異なるのは、対象に触れることが必要で、対象に対する動作が認識に大きな影響を与えるところだと思います。そのため、対象とのインタラクションが必要不可欠なロボットマニピュレーションにとっては非常に重要な感覚ですし、触覚技術にとっても任意の動作を実現可能なロボットは有用なアプリケーションであると思います。今後それぞれの分野が一層連携し、ますます発展していくことを願っております。

最後に、ご講演頂きました講師の先生方、会場のご提供と運営・準備にご協力頂きました東京電機大学中村研究室の皆様、本セミナーにご参加頂きました全ての方々に心より感謝いたします。

文責：山野辺 夏樹（産総研）



# ロボティクスにおける認識や操作のための触覚技術

日時：2011年11月21日(月) 10:00~17:50

会場：東京電機大学 神田キャンパス 11号館 17F カシオホール (〒101-8457 東京都千代田区神田錦町2-2)  
※11号館入口は少し分かりにくいです。本館玄関を通り、つきあたりを右に曲がり、数段の階段を下りて図書室脇のエレベータで17Fに上がって下さい。

アクセス：<http://atom.dendai.ac.jp/info/access/index.html>  
[http://atom.dendai.ac.jp/info/access/kanda\\_map.html](http://atom.dendai.ac.jp/info/access/kanda_map.html)

JR：御茶ノ水駅(中央線・総武線) 徒歩8分/神田駅(山手線・京浜東北線) 徒歩8分

地下鉄：淡路町駅(丸ノ内線) B7出口・徒歩3分/新御茶ノ水駅(千代田線) B7出口・徒歩3分/小川町駅(都営新宿線) B7出口・徒歩3分/神保町駅(半蔵門線・都営三田線) A7出口・徒歩8分/神田駅(銀座線) 1番出口・徒歩8分/竹橋駅(東西線) 3B出口・徒歩8分

定員：60名(定員になり次第締め切ります)

参加費：会員/協賛学会員 8,400円, 学生(会員, 非会員問わず) 4,200円, 会員外 12,600円(税込)

口上：我々は、様々な感覚情報を利用して、環境を認識し、巧みな動作を実現しています。中でも、物を掴んで操作したり、その物の状態を認識したりする際には、触覚が大きな役割を果たしています。近年、日常生活支援、介護・介助等、ロボットはヒトのように様々な作業を器用に実現することが求められており、触覚技術に対する期待はますます大きくなってきています。本セミナーでは、「触覚技術のロボットマニピュレーションへの応用」の観点から、ヒトの触覚のメカニズム、触覚センサ開発、センサを利用したロボットシステム等について、6名の先生方にご講演頂きます。オーガナイザー：山野辺夏樹(産業技術総合研究所)

WEBサイト：「日本ロボット学会主催・共催行事 最新情報」よりご確認ください。

<http://www.rsj.or.jp/events/index.html>

## 講演内容：

<開会挨拶・講師紹介> 10:00~10:05

### 第1話 ヒトの触覚認識メカニズムと触覚センサ・触覚ディスプレイ

10:05~11:05 慶應義塾大学 前野隆司

ヒトの指腹部における触覚認識メカニズムと触覚センサ、触覚ディスプレイについて概説する。まず、ヒトの触覚受容器および皮膚の応答特性について述べる。また、ヒトの触覚知覚機構に関する心理物理実験結果について述べる。さらに、これらのヒトの知見に学んで筆者らが作成した多様な触覚を検出できる触覚センサについて述べる。最後に、複合的な触覚をヒトに提示できる、力覚ディスプレイと超音波振動子を用いた触覚ディスプレイについて概説する。

<休憩> 11:05~11:10

### 第2話 柔軟センサスキン開発の現状と課題

11:10~12:10 東京大学 篠田裕之

薄くて伸縮性があり、どこにでも装着できるロボット用人工皮膚は、ロボット工学の黎明期から切望されながらもまだに満足のいく実現には至っていない。本講演では、人工皮膚に求められるセンシングのスペックとその必要性の優先順位を明確にするところから始め、センシングの機能を柔軟な皮膚デバイスとして統合する際の問題点と、その解決のために提案されてきた手法を整理して紹介する。特に近年における有望な取り組みを紹介し、現時点での課題と将来展望を解説する。

<休憩(昼食)> 12:10~13:20

### 第3話 近接覚・すべり覚センサと、それらを実装したロボットハンドシステム

13:20~14:20 電気通信大学 下条誠

触・すべり覚、近接覚センサと、それらを実装したロボットハンドによる把持実験について述べる。視覚センサは、ハンドを把持目標物体に近づけるにつれ物体の隠れ目が起こり、また触覚は接触するまで検出できない。この物体近傍での両

センサからの情報欠如を補完するのが近接覚センサである。近接覚センサは、センサ表面から数cmの範囲を検出するので、視覚センサによる計測誤差の修正や、衝突前検知が可能となる。また報告するすべり覚センサは、初期すべりを検出するセンサで、柔軟薄型省配線なものである。本講演では、これらセンサの原理と、これらを実装したロボットハンドによる把持実験について述べる。

<休憩> 14:20~14:25

### 第4話 バイオニックハンドによる対象への働きかけを利用した知覚について

14:25~15:25 大阪大学 細田耕

ヒトは、柔らかい皮膚の内部に多数の受容器を備えた手によって、環境の触覚情報を収集し、知覚に利用している。このような機能を再現するために、ワイヤで駆動される骨格と、それを覆い多数の受容器を内包する皮膚からなるバイオニックハンドが開発されている。このようなハンドの場合、従来のように、各々の受容器から得られる情報から、どのように知覚を構成するかが単純ではなく、学習などの過程を経ることによって、これらの間の関係を獲得する必要がある。本講演では、対象への働きかけを利用し、このように構造化されていない多数の受容器を用いてさまざまな知覚を実現する方法について説明する。

<休憩> 15:25~15:40

### 第5話 触覚にもとづく相互作用研究と触覚センサシステム

15:40~16:40 産業技術総合研究所 長久保晶彦

ロボットでの触覚センサ利用の要望は高いが、コストや利用性の問題のため普及には至っていない。本講演では、筆者らが行ってきた、知的行動の要と言える物理的な環境相互作用と触覚重視のロボットや認知発達研究、そして、その過程で開発された実運用性重視の触覚センサについて紹介する。人間やヒューマノイドの体表面装着のため、柔軟性、曲面形状、領域形状、伸縮性、カスタマイズ性、コストなどに特徴がある。また市場化への取り組みなども紹介する。

<休憩> 16:40~16:45

### 第6話 触覚技術の産業・医療応用

16:45~17:45 名古屋工業大学 佐野明人

触覚の本質は能動触である。触覚技術の応用のヒントは、研究室内のデザインされた実験環境よりも、ものづくりや医療の現場に隠れている。そこには、触覚知覚に関わる原理が存在している。ここで重要なのは、気づきの心を忘れずに、既成概念に囚われず一見不可能に思えるが実は可能であるかも知れないと信じることである。産業分野では、できる限り元の触覚現象に手を加えることなく、簡単な力学的作用で新たな付加価値を生み出すことに強い関心が寄せられている。また、医療分野では、安全性を重視し、これまでにはない計測手法が提案されている。本講演では、いくつかの事例を分かりやすく紹介する。

<閉会挨拶> 17:45~17:50

## ロボット工学セミナーのご案内

主催:一般社団法人 日本ロボット学会

協賛(予定):計測自動制御学会, 精密工学会, 電気学会, 電子情報通信学会, 土木学会, 日本機械学会, 日本ロボット工業会, 農業機械学会, 自動化推進協会, バイオメカニクス学会, 産業技術連携推進会議, 機械・金属連合部会/福祉技術部会, 機械技術協会, 応用物理学会, 人工知能学会, 日本神経回路学会, システム制御情報学会, 情報処理学会, 日本人間工学会, 日本時計学会, 日本バーチャルリアリティ学会, 日本設計工学会, 日本コンピュータ外科学会, 日本シミュレーション学会

# 第68回シンポジウム ロボティクスにおける認識や操作のための触覚技術

日時: 2011年11月21日(月)10:00~17:50

会場: 東京電機大学 神田キャンパス 11号館17F カシオホール(〒101-8457 東京都千代田区神田錦町2-2)

※11号館入口は少し分かりにくいです。本館玄関を通り, つきあたりを右に曲がり, 数段の階段を下りて図書室脇のエレベータで17Fに上がって下さい。

アクセス: <http://atom.dendai.ac.jp/info/access/index.html>

[http://atom.dendai.ac.jp/info/access/kanda\\_map.html](http://atom.dendai.ac.jp/info/access/kanda_map.html)

JR:御茶ノ水駅(中央線・総武線)徒歩8分/神田駅(山手線・京浜東北線)徒歩8分

地下鉄:淡路町駅(丸ノ内線)B7出口・徒歩3分/新御茶ノ水駅(千代田線)B7出口・徒歩3分/小川町駅(都営新宿線)B7出口・徒歩3分/神保町駅(半蔵門線・都営三田線)A7出口・徒歩8分/神田駅(銀座線)1番出口・徒歩8分/竹橋駅(東西線)3B出口・徒歩8分

定員: 60名(定員になり次第締め切ります)

参加費: 会員/協賛学会員8,400円, 学生(会員・非会員を問わず)4,200円, 会員外12,600円(税込)

口上: 我々は, 様々な感覚情報を利用して, 環境を認識し, 巧みな動作を実現しています。その中でも, 物を掴んで操作したり, その物の状態を認識したりする際には, 触覚が大きな役割を果たしています。近年, 日常生活支援, 介護・介助等, ロボットはヒトのように様々な作業を器用を実現することが求められており, 触覚技術に対する期待はますます大きくなってきています。本セミナーでは, 「触覚技術のロボットマニピュレーションへの応用」の観点から, ヒトの触覚のメカニズム, 触覚センサ開発, センサを利用したロボットシステム等について, 6名の先生方にご講演頂きます。

オーガナイザー: 山野辺夏樹(産業技術総合研究所)

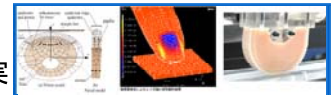
講演内容:

10:00-10:05 <開会挨拶・講師紹介>

## 第1話「ヒトの触覚認識メカニズムと触覚センサ・触覚ディスプレイ」

10:05-11:05 慶應義塾大学 前野隆司

ヒトの指腹部における触覚認識メカニズムと触覚センサ, 触覚ディスプレイについて概説する。まず, ヒトの触覚受容器および皮膚の応答特性について述べる。また, ヒトの触感知覚機構に関する心理物理実験結果について述べる。さらに, これらのヒトの知見に学んで筆者らが作成した多様な触覚を検出できる触覚センサについて述べる。最後に, 複合的な触覚をヒトに提示できる, 力覚ディスプレイと超音波振動子を用いた触覚ディスプレイについて概説する。



11:05-11:10 <休息>

## 第2話「柔軟センサスキン開発の現状と課題」

11:10-12:10 東京大学 篠田裕之

薄くて伸縮性があり, どこにでも装着できるロボット用人工皮膚は, ロボット工学の黎明期から切望されながらいまだに満足のいく実現には至っていない。本講演では, 人工皮膚に求められるセンシングのスペックとその必要性の優先順位を明確にするところから始め, センシ

#### 第4話「バイオニックハンドによる対象への働きかけを利用した知覚について」

14:25-15:25 大阪大学 細田耕

ヒトは、柔らかい皮膚の内部に多数の受容器を備えた手によって、環境の触覚情報を収集し、知覚に利用している。このような機能を再現するために、ワイヤで駆動される骨格と、それを覆い多数の受容器を内包する皮膚からなるバイオニックハンドが開発されている。このようなハンドの場合、従来のように、各々の受容器から得られる情報から、どのように知覚を構成するかが単純ではなく、学習などの過程を経ることによって、これらの間の関係を獲得する必要がある。本講演では、対象への働きかけを利用し、このように構造化されていない多数の受容器を用いてさまざまな知覚を実現する方法について説明する。



15:25-15:40 <休息>

#### 第5話「触覚にもとづく相互作用研究と触覚センサシステム」

15:40-16:40 産業技術総合研究所 長久保晶彦

ロボットでの触覚センサ利用の要望は高いが、コストや利用性の問題のため普及には至っていない。本講演では、筆者らが行ってきた、知的行動の要と言える物理的な環境相互作用と触覚重視のロボットや認知発達研究、そして、その過程で開発された実運用性重視の触覚センサについて紹介する。人間やヒューマノイドの体表面装着のため、柔軟性、曲面形状、領域形状、伸縮性、カスタマイズ性、コストなどに特徴がある。また市場化への取り組みなども紹介する。

16:40-16:45 <休息>

#### 第6話「触覚技術の産業・医療応用」

16:45-17:45 名古屋工業大学 佐野明人

触覚の本質は能動触である。触覚技術の応用のヒントは、研究室内のデザインされた実験環境よりも、ものづくりや医療の現場に隠れている。そこには、触知覚に関わる原理が存在している。ここで重要なのは、気づきの心を忘れずに、既成概念に囚われず一見不可能に思えるが実は可能であるかも知れないと信じることである。産業分野では、できる限り元の触知覚現象に手を加えることなく、簡単な力学的作用で新たな付加価値を生み出すことに強い関心が寄せられている。また、医療分野では、安全性を重視し、これまでにはない計測手法が提案されている。本講演では、いくつかの事例を分かりやすく紹介する。

17:45-17:50 <閉会挨拶>

[\(申込方法\)](#)

[ロボット工学セミナートップページに戻る](#)