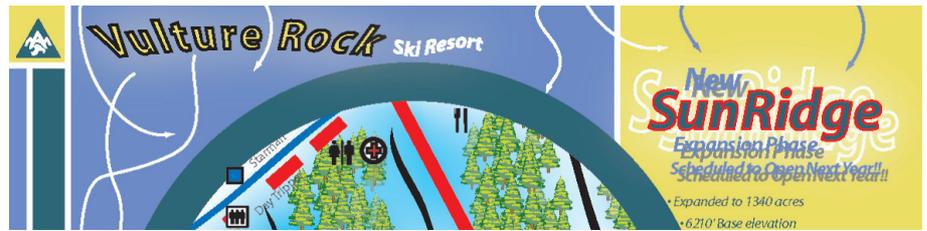


特集 3



人とロボットとの触覚インタラクション

納谷 太

ATR 知能ロボティクス研究所
naya@atr.co.jp

篠沢 一彦

ATR 知能ロボティクス研究所
shino@atr.co.jp

小暮 潔

ATR 知能ロボティクス研究所
kogure@atr.co.jp

ロボットの触覚の重要性

近年、エンタテインメントロボットやペット型ロボット、ヒューマノイドなどの研究開発が盛んに行われ、ロボットは我々に身近な存在となりつつある。このように人と共存・共生するロボットは、家庭やオフィスなどのオープンな環境で、身体接触を用いた多様なコミュニケーションを行う能力が望まれる。また、医療や福祉の分野では、人体に直接触れる手術マニピュレータや、リハビリテーション用途のロボットが開発されており、触覚を持つロボットのニーズは年々高まりつつある。本稿ではこのような人とロボットとの触覚によるインタラクションについて概観する。

触覚とは？

ロボットの触覚技術について述べる前に、人の触覚とはどのような感覚であるのか簡単に述べておきたい。

人は体の至るところで接触や外力によって生じる感覚を得ることができる。我々が通常触覚と呼んでいるこの感覚には、生理学的には、触・圧覚、温度感覚、痛覚な

ど、皮膚表面に散在する受容器で感知する皮膚感覚^{☆1}と、体の位置や運動感覚、緊張・抵抗力・重力など、筋肉、腱、関節の深部受容器で感知する自己受容感覚の2種類があり、これらは総称して体性感覚と呼ばれる(図-1)。これらに対応するロボット用センサには、触圧情報を測定する触覚センサ、外気や表面の温度を測定する温度センサ、モーター位置を測定するエンコーダ、姿勢を測定するジャイロ、運動加速度を測定する加速度センサ、関節などに加えられる力やトルクを測定する力覚

体性感覚

1. 皮膚感覚
 - (a) 触・圧覚(触れたり圧迫される感覚)
 - (b) 温度感覚(温覚と冷覚)
 - (c) 痛覚(痛みの感覚)
2. 自己受容感覚
 - (a) 位置感覚(身体部位の位置や方向感覚)
 - (b) 運動感覚(身体部位の運動の感覚)
 - (c) 深部圧覚(身体部位の緊張・抵抗・重量感覚)

図-1 人の体性感覚、皮膚感覚、自己受容感覚の関係

^{☆1} 皮膚では、ほかにもざらざら、ねばねば、かゆみ、くすぐったさなどの感覚が起こるが、これらは独立した感覚ではなく、触・圧覚、温度感覚、冷覚、痛覚の複合的結果として知覚される。

センサなどがある。

以下、本稿では、触・圧覚に注目した狭義の触覚と、力覚を中心に取り上げる。

触覚は、視覚や聴覚などのモダリティと比べて以下の特徴がある。まず、視覚や聴覚が、遠隔にある外界情報のセンシングであるのに対し、触覚は、対象物との直接的な接触によって生じる皮膚（＝自己）の力学的変化のセンシングである。すなわち、視覚や聴覚は大局的な情報を与えるのに対し、触覚は局所的である。

また、3次元形状の物体を知覚する際、視覚や聴覚では無意識的に3次元情報を構成している。しかし、触覚では対象の表面に沿ってなでたり、椅子に背中をなじませるなど、意識的に手や体を動かさないと、接触対象の詳しい形状情報を得ることは難しい。このような意識的な探索行動による知覚を能動触と呼ぶ。能動触では、運動による自己受容感覚と、同時に起こる皮膚感覚の時系列情報が統合処理されることによって形状が知覚される。これに対し、受動触は、皮膚感覚のみで自己の運動を伴わない知覚である。

分解能についてはどうであろうか。人の視覚の空間分解能は1/60度、すなわち、1m離れたところで0.29mmという高い分解能を持つのに対し、触覚の空間分解能（2点に与えられた刺激を個別に知覚し得る閾値：触2点閾と呼ぶ）は、最も感度の高い指腹部でも1.5mm程度でしかない。他方、時間分解能は、視覚が数10Hz程度であるのに対し、触覚は振幅1μm以下の振動刺激を数100Hz程度まで知覚できる。この高い時間分解能のおかげで、つるつる／ざらざらといった表面の微細なテクスチャ感覚については、3μm程度の違いをも知覚できる。つまり触覚は、空間パターンを振動の時系列パターンとして知覚する。

触覚インタラクションの分類

このように優れた特性を持つ触覚を用いて、我々は日常生活においてさまざまな対象と触覚インタラクションを行っている。触覚インタラクションの形態には、相互への**a) 直接的接触**と、物を介した**b) 間接的接触**の2つ

に分類される。また、触覚インタラクションの役割は、**1) タスク指向**と**2) コミュニケーション指向**の2つに大別できる。タスク指向の触覚インタラクションは、作業の遂行上必要となる接触であり、物の授受・運搬、医師の触診などが含まれる。一方、コミュニケーション指向の触覚インタラクションには、握手、相手の肩や腕などに軽く触れたり、ペットをなでるなど、お互いの親密感の醸成や感情の表出手段として行われるものがある。

このような人の触覚インタラクションの分類を人とロボットの場合に当てはめると、表-1のようになる。人とロボットとのタスク指向の直接的接触には、災害救助・介護ロボットによる人の運搬や体の支持、医療ロボットによる人の触診などが想定される。また、家庭やスポーツ施設などにおいては、ロボットの身体への直接接触によるスキル教示や、逆にロボットが人に教示することも考えられる。これらのインタラクションに共通するのは、人に危害を加えないための安全な機構や制御が必要なことである。人に接触するには、ロボットは軟らかく、軽量であることが望まれる。また、人の運搬やサポートはパワーを有する作業であり、適切な力制御が必要となる。しかし、人を支えられるほどの軽量・高出力のアクチュエータはいまだ実現されていない。

一方、タスク指向の間接的接触は、我々が日常頻繁に行っている物の授受や協調運搬、手で物を支えるなどの物理的な作業補助が典型的である。ホームロボットや介護ロボットでは、特に人に物を取って手渡す作業を遂行できることが期待される。そのためには、対象物の属性（サイズ、形状、軟／硬、軽／重）などの違いに応じて、器用に把持・操りができるハンド機構が必要となる。しかし、現在の技術では、さまざまな対象を同様に扱える汎用的なハンドは存在しない。もちろん汎用的なハンドではなく、対象や目的に応じてハンドを交換することも考えられるが、この際、作業内容に応じた触覚情報処理や制御機構のソフトモジュール化、ハンドの相互運用性の確保に向けたこれらの標準化なども考慮する必要がある。また、人に物を手渡したり協調運搬するには、人が物を持ったことを反力として検知し、人の動きに同期して追従動作したり、適切な段階で手を離すなどの、力制

		役 割	
		1) タスク指向：作業遂行	2) コミュニケーション指向：親密感醸成・癒し
接 触 形 態	a) 直接的接触	人の運搬・支持 [救助, 介護] 人からの教示・人への教示 [ホーム, スポーツ] 触診 [医療, 介護] マッサージ [ホーム, 介護, リハビリ]	握手 [ホーム, ペット] 肩や腕、背中などへの軽い接触 [ホーム] なで(られ)る・くすぐ(られ)る [ペット, ホーム] じゃれあい、遊び・スポーツ [ペット, ホーム, 教育] マッサージ [ホーム, 介護, リハビリ]
	b) 間接的接触	物の授受・協調運搬 [ホーム, 介護] 作業補助 [ホーム, 介護] 物を介した人からの教示・人への教示 [ホーム, 教育]	物を使ったじゃれあい・遊び・スポーツ [ペット, ホーム, 教育] 器具によるマッサージ [ホーム, 医療, 介護]

表-1 人とロボットの触覚インタラクションの役割と接触形態に関する分類：[]内はその典型的なロボットの例



© 産業技術総合研究所

図-2 メンタルコミットロボット：パロ(産総研)
http://www.aist.go.jp/aist_j/museum/jyoho/robo/robo.html

御を用いたスキルが重要となる。

コミュニケーション指向の触覚インタラクションについては、その多くが身体への直接的接触を伴うものである。握手やペットをなでるなどの行動は、人が親しみを示す上で非常に有効である。家庭内ロボットやペット型ロボットにおいても、人からの接触行動パターンを識別し、その識別結果に応じて行動生成することは、人との親密感を醸成する上で重要な機能である。したがって、触覚を介した人の行動意図の理解と、それに基づくインタラクションの設計が大きな課題となる。また、この文字通りの触れ合いは、人とロボットとのインタラクションを多様化し、人同士や人と動物とのコミュニケーションと同様の心理的・生理的効果を与えることが期待される。こうした効果を検証する試みとして、柴田らは、人を楽しみや安らぎなどの癒しと精神的安定をもたらすメンタルコミットロボット「パロ」(図-2)を開発している。実際にパロを高齢者施設に長期導入し、人がパロとの触れ合いを通じて受ける主観的印象や精神的効果を測定するため、生理指標などを用いた評価実験を行っている⁵⁾。

触覚インタラクションを支える 技術と課題

上記のような触覚インタラクションを実現するための要素技術は、1) 力覚・触覚センサ、2) 柔らかいアクチュエータ、3) 力覚・触覚の情報処理および行動制御、の3つに大きく分けられる。以下では、それぞれの技術動向と課題について概観する。

力覚・触覚センサ

力覚センサは、ロボットアームやハンドなどの関節部に取りつけられ、リンクを介して与えられる力とトルクを計測するセンサである。その構造は歪みゲージ式のものが大半であり、最近ではハンドの指先に取り



© (財) 製造科学技術センター

図-3 HRP-2 による協調搬送(産総研)
<http://www.is.aist.go.jp/humanoid/>

付けられる直径が1円玉程度の小型で、6成分の力とトルクを数kHz程度で計測するものが開発されている^{☆2}。NEDOのプロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステムの研究開発」にて作成されたヒューマノイドHRP-2は、手首の関節の力覚センサとモーターの軸の姿勢センサを用いて、人とのパネルの協調搬送を実現している(図-3)。

一方、触覚センサについては、 piezo電気式、感圧導電ゴム/インク式、静電容量式、光学式、音響式など、さまざまなものが開発されており、一部商用化されている(なお、触覚センサの技術動向に関しては、文献3)、6)に詳しい)。これらの多くは、センサエレメントを平面的に並べることによって分布情報を得るが、従来の研究ではロボットハンドの指や手の表面のごく一部に適用したものがほとんどであった。その理由には、触覚センサのa) 柔軟性・伸縮性の欠如、b) エレメント間の配線問題、c) 接触検知以上の触覚情報の獲得が困難なこと、の3つが挙げられる。以下、それぞれの問題について詳しく触れる。

a) 柔軟性・伸縮性の欠如

ハンドに限らず、ロボットの身体の複雑な形状に分布した触覚情報を獲得するには、センサおよびセンサを覆う素材の柔軟性が必要である。平面的に曲げられる、薄さ0.1mm程度の圧力分布センサシートが商用化されている^{☆3}。しかし、ロボットの自由曲面への適用や、身体の変形にも対応するには、エレメント間の伸縮性が必要であり、このような一体構造のセンサシートでは実現が難しい。

b) 配線問題

触覚の分布情報を広範囲および高密度で取得するには多数のセンサエレメントが必要であるが、この際に問題となるのがエレメント間の配線の複雑さである。配線の単純化は触覚分布センサの主要な技術的課題である。稲

☆2 <http://www.bl-autotec.co.jp/>

☆3 <http://www.tekscan.com/>

葉らのセンサスーツ¹⁾は、導電性の布・繊維を用いて配線のかさばりを削減した柔軟構造を持ち、小型ヒューマノイドロボットの全身触覚に適用された初期の事例である。センサ情報は192個所のON/OFFの接触分布であり、ヒューマノイドの肩への接触に対する顔向け反応や、ボール抱きかかえなどを実現している。

また、最近の動向として、篠田らは、LC発振回路素子をシリコンゴムのような弾性体に分散させて埋め込み、電源供給と信号送信のいずれも完全に無線化した「テレメトリックスキン」³⁾を開発している。センサ素子間にまったく配線を必要としないため、センサを覆うシリコンゴム形状をロボットの骨格に合わせて自由に形成でき、またそれ自身の自由変形が可能である。つまり、a)の伸縮問題も同時に解決した数少ないセンサ技術の1つであり、今後の発展が期待される。

c) 触覚情報の質的レベル

これまでに開発されている触覚センサで獲得できる情報は、接触の有無(ON/OFF)、サイズ、位置、形状、すべり、温度などである。一方、つるつる／ざらざらといったテクスチャ、ねばねばといった粘性、軟らかさ／硬さなどの情報の抽出は非常に困難であり、有効な手法はいまだ確立されていない。これらの情報は、近年発達しつつある低侵襲外科手術ロボットの手先に最も必要とされる情報でもあり、今後のさらなる技術的発展が期待される。

柔らかいアクチュエータ

ロボットが人や物体に対して外力に追従した接触を制御するには、柔軟な皮膚センサと同様に、柔軟な制御のできるソフトアクチュエータ機構が必要である。これまでに提案されているソフトアクチュエータの素材には、形状記憶合金、ER流体、高分子ゲル、ゴム等がある。その代表例として、ゴムチューブを空気圧で伸縮制御するマッキベン型人工筋があり、最近では、医療・福祉・リハビリ用途として研究が行われている。

一方、メカニカルなモーターを用いてしなやかな機構を実現する試みも行われている。稲葉らは、体幹に多自由度の脊椎構造を持たせた全身腱駆動型のロボット「腱太」を開発している^{☆4}。10自由度の柔軟な脊椎を腱(40個のモーター)で駆動し、腱の張力を測るテンションセンサを組み込むことにより、脊椎の硬さの自在な制御と多様な動作を実現している。また、テンションセンサを一定に保つ制御モードで人が腱太の身体を動かし、その時のモーターの位置情報を記録することにより、姿勢や動作の教示を可能にしている。

このように、人への親和性・安全性を考慮すると、ロボットのアクチュエータは、柔らかい素材や機構でできており、力や速度が必要な場合に、状況に応じてその硬

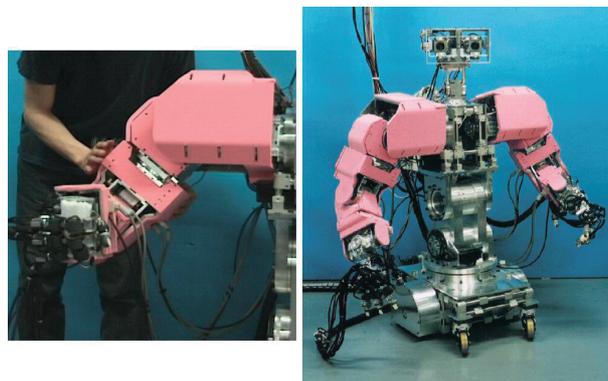


図-4 Wendyと力覚センサ内臓型カバーセンサ(早稲田大学菅野研究室) <http://www.sugano.mech.waseda.ac.jp/>

さを変化できることが望ましい。特に人と接触する機会が多いであろう医療・介護ロボットにとって必要不可欠になると予想される。そのための技術的課題は、これらアクチュエータ機構の小型軽量化と、出力・速度追従性の向上である。

力覚・触覚の情報処理および行動制御

これまでセンサやアクチュエータといったハード面の現状と課題について述べてきた。以下では、力覚・触覚センサやアクチュエータに関する情報処理や制御など、ソフト面の課題について述べる。

冒頭で述べたように、触覚による知覚のモードには、a) ロボットが人や物から触られる受動触と、b) ロボットから人や物に触る能動触がある。また、受動触と能動触の組合せによるc) インタラクションの設計とその評価手法についての課題もある。以下では、これら3つの分類に基づき、それぞれにおける事例と課題について紹介する。

a) 受動触における情報処理/制御

受動触における基本的な処理は接触の検知である。ON/OFFの接触検知は最も単純だが、力覚センサを用いることでカベクトルと接触位置を検出することができる。岩田らは、ロボットと人との意図的な触れ合い、不測の接触・衝突など、すべての接触状況を「舐触」と定義し、ヒューマノイドの双腕全身における舐触状況の検知を目的とした力覚センサ内臓型のカバーセンサ(図-4)を開発している²⁾。6軸力覚センサを、関節ではなく、中空構造を持つカバーとアームとの取付部に用いることにより、カバー表面上のカベクトルと接触位置を1.6mm以下の精度(ほぼ人の指先の分解能に相当)で検出している。また、コーヒーなどが入ったコップの搬送作業中に、人のロボットの肩や腕への不意な接触に対して、コップの中身をこぼさずにアームを追従動作させる

☆4 <http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/msm/>

など、作業内容に応じた舐触への適応行動制御も実現している。

受動触における情報処理の次の段階は、被接触パターンの識別である。被接触パターンには、接触が静止／運動しているかの2つの場合が考えられるが、通常は、人による接触行動など、運動を伴うことが多い。特に、ペット型ロボットなど、コミュニケーションを目的としたロボットには、人のなでる、たたくなどの触行動パターンを識別する能力が不可欠である。このような触行動は、ロボットの体の任意の部位に対して行われ、また、くすぐりなどの細かな指の動きを伴う行動を識別することが求められるため、広く分布した触覚情報を用いた処理が必要である。納谷らは、小片に分割された圧力分布センサシートをぬいぐるみ型ロボットの全身曲面に装着し(図-5)、人のペットに対する典型行動である「強くたたく」「軽くたたく」「ひっかく」「なでる」「くすぐる」の5種類の識別手法を提案している⁴⁾。識別には、手が接触している領域の重心のトラッキングと、その領域における圧力分布の総和圧力・面積および、これらの時間微分の4次元特徴ベクトルを用いる。

このように、触覚分布情報の特徴処理には、重心抽出、トラッキングや空間的フィルタ操作など、画像処理技術を適用できるものが多いが、その際に、触覚の局所性に留意する必要がある。たとえば、人の触行動では、指や掌の部分的な接触が断続的に生じ、手の全体的な形状情報が連続的に得られるわけではない。したがって、触覚分布という空間情報の時間的な微分情報や、フーリエ解析、畳み込み積分などの時系列情報を用いた特徴抽出処理が必要である⁵⁾。また、「なでる」1つの行動をみても、頭や背中など、接触する部位の形状や機能に応じて手の形状や力が異なるため、部位に応じた識別処理や触覚感度の調節が重要になる。

b) 能動触における情報処理／制御

一方、ロボットから人や物体に触る能動触では、接触対象の形状の2D/3D情報を得るために運動情報を用いる研究や、対象の把握や操りを行うハンドの研究がある。受動触の場合では接触が断続的であることが前提であったが、能動触の場合には、物体の形状特徴を抽出するために、対象との連続的な接触を保つように運動を制御することが重要である。対象とセンサ面との接触条件については、点接触、線接触、面接触があるが、従来の研究は、剛体に対する点接触の検出を扱ったものが大半であり、手先ツールによる「ならい制御」や、多指ハンドによる「器用な操り」、「包み込み把握」など数多くの研究が進められている⁶⁾。

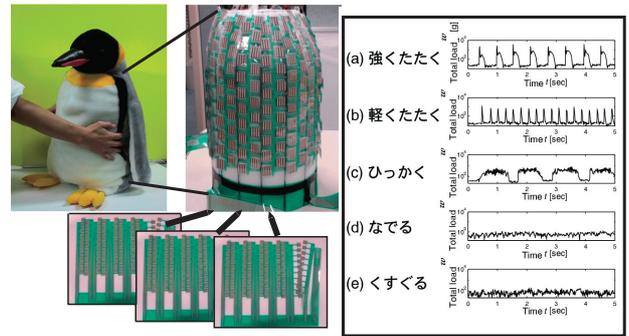


図-5 小片分割型触覚分布センサによる人の触行動識別 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

しかし、人との触覚コミュニケーションにおける能動触、たとえば、ヒューノイド型ロボットとの握手や抱擁、ペット型ロボットの全身を用いた擦り寄り行動などでは、人の手や体のように柔軟に変形する対象に対して、面接触と力制御を行わねばならない。これには、柔軟な人体になじむ弾性的性質を持った柔かい手指や、しなやかに変形できるアクチュエータ、また、面接触情報が得られる触覚分布センサや力覚センサが必要となる。

柔軟物同士による接触は、接触面が互いに変形するため、その厳密なモデル化や解析は困難である。このため、触覚分布センサ面(=ロボット)と、接触対象面(=人)の双方の力学的性質(変形、滑り、摩擦)を、接触面上の複数の代表点と、その点における力触覚情報を用いた簡略モデルとして取り扱うアプローチがとられる。この力学的性質を考慮した上で、触覚分布の時系列情報を用いたセンサ表面の接触運動と力制御を行う必要があり、非常に複雑なタスクである。

しかし、人はいとも容易に握手やマッサージなどの接触行動を行っている。このような人の触覚技能に学ぶべきところは多い。そのためには、人の触覚技能を計測する手法や、計測した技能をロボットの制御として焼き直す研究が必要である。その一貫として、人の指を有限要素法でモデリングし、その力学的性質の解析を目的とした研究や、人の把持戦略の観察に基づくハンドの制御方式の研究⁶⁾などが行われている。

c) 触覚インタラクションの設計と評価

次に挙げられる課題は、受動触と能動触の組合せによる、人とロボットのインタラクションの設計である。宮下らは、人とのスキンシップコミュニケーションを主眼とした日常活動型ロボット Robovie-IIS(図-6)を開発している。全身を、分布型触覚センサ(ピエゾフィルム)が内蔵されたシリコンゴムと発泡ウレタンからなる柔軟な皮膚素材で覆い、ソフトな触感を呈しつつ広域での接触圧を検知する。全身の触覚センサと、多自由度の頭や腕を用いて、「なでられる／たたかれる」などの識別と、それに応じた「喜び／痛み」のジェスチャや抱擁行動な

☆5 実際、人間の皮膚には、変位の速度成分や加速度成分といった微分値を検知する受容器が存在する。また、空間的には皮膚はローパスフィルタとして機能する。

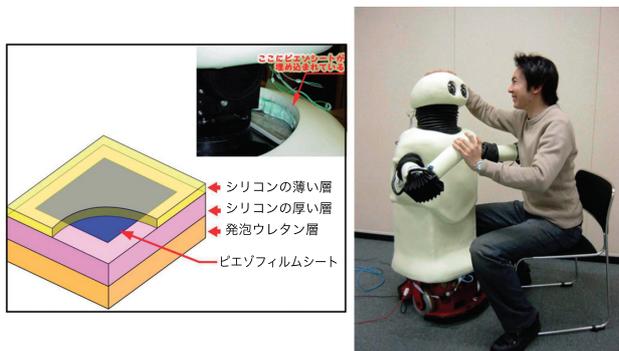


図-6 Robovie-IIIによるスキんシップ・コミュニケーション(ATR 知能ロボティクス研究所)



図-7 全身触覚ロボットによる自己の境界の学習 (NTTコミュニケーション科学基礎研究所)

などを音声とともに表現し、人との親和性の高いインタラクション制御を実現している。

さらなる課題としては、視覚などの他のモダリティを用いて接触を予測し、部分的に触覚感度を上げたり、老人や子供などの人の属性に応じた、触覚情報を受けやすいような姿勢制御や、接触行動における力の調整など、コミュニケーションに特化した情報処理や制御がある。

また、このような触覚インタラクションは、視線や音声によるインタラクションと同様、自分の行動に対する相手の反応を観察することで変容しながら継続する。コミュニケーションにおける人の触覚行動は、その形態や伝える意図も実に多様であり、認知科学や社会心理学的な知見をも交えた観察実験や解析が必要である。さらに、先のパロの例で述べたように、触覚インタラクションを通して、ロボットが人に与える心理的・生理的影響を評価する手法や、触覚インタラクションの自然さ・円滑さを評価する手法を確立することも、重要な課題として挙げられる。

今後の課題と展望

ロボットの身体性の獲得に向けて

視覚や聴覚に障害がある乳児は問題なく成長できるが、ごく稀に触覚を持たずに生まれてくる乳児はほとんど生存できないという。人は胎内にいて視覚や聴覚がきちんと機能する前から、触覚によってその身体イメージを学習しているのである。そして生後、体を動かし、触覚を含む体性感覚と視覚・聴覚・平衡感覚などのあらゆる感覚を統合することによって、自己の身体を知覚し、外界を理解し、運動スキルを獲得していく。ロボットにこのような「身体性」を獲得させることは可能であろうか？

このためには、ロボットの全身に触覚を持たせることが先決である。先に述べたテレメトリックスキンのような技術を用いれば、近い将来、全身が柔軟な皮膚センサーで覆われたロボットを実現できるであろう。その際、触

覚密度を部位に応じてどう分布させるか、また、その分布情報をいかに効率的に伝送するかなどの課題も解決されねばならない。

次に、全身の触覚座標系の構成法の課題が挙げられる。身体表面に任意に分布させたセンサエレメントの位置情報と、触覚座標系との幾何学的な写像の学習が必要である。さらに、ロボットに、自分で自分を触ることや、自分以外を触ることによって、視覚・触覚情報と運動との関係を学習させる課題が挙げられる。これは、触覚の境界としての自己の境界の獲得であろう(図-7)。自己の境界を知り得たロボットは、外界の情報表現や物理法則、物体の操作技能などを、視覚・触覚・運動などを含む、ロボット自らの身体感覚を用いて獲得することに繋がるのではなかろうか。

触覚技術には、バーチャルリアリティにおける触感提示技術や、医療工学における筋電義手・感覚代行器、センサフュージョン技術など、今回深く取り上げなかった研究も数多く含まれる。今後、脳科学、生理学、発達心理学なども取り入れた幅広い知見を基に、ロボットの触覚技術がさらなる発展を遂げ、機能的に人に近づき、より身近に触れ合える、コミュニケーションパートナーとしてのロボットが実現されることを期待したい。

参考文献

- 1) Inaba, M., Hoshino, Y., Nagasaka, K., Ninomiya, T., Kagami, S. and Inoue, H.: A Full-body Tactile Sensor Suit using Electrically Conductive Fabric and Strings, Proc. IEEE/RSJ IROS'96, pp.450-457 (1996).
- 2) 岩田浩康, 星野勇人, 森田寿郎, 菅野重樹: 人間共存ロボットのための全身触覚インタフェース, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.5, pp.543-549 (2002).
- 3) 篠田裕之: 柔らかい機械の人工皮膚, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.7, pp.814-817 (2001).
- 4) 納谷 太, 篠沢一彦, 大和淳司, 小暮 潔: ペット型ロボットのための全身触覚インタフェースによる人の触行動識別, 信学技報, Vol.102, No.470 (PRMU2002-119, HIP2002-26), pp.37-41 (2002).
- 5) Wada, K., Shibata, T., Saito, T. and Tanie, K.: Robot Assisted Activity to Elderly at a Health Service Facility for the Aged, Proc. IEEE EMBS Conf. on Neural Engineering, pp.470-473 (2003).
- 6) 小俣透他: 特集「器用な手」, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.9, pp.759-808 (2000).

(平成 15 年 10 月 29 日受付)