

# 導電性ファブリックを用いた全身被覆型触覚センサースーツ

稲葉 雅幸\* 星野 由紀子\* 井上 博允\*

## A Full-Body Tactile Sensor Suit Using Electrically Conductive Fabric

Masayuki Inaba\*, Yukiko Hoshino\* and Hirochika Inoue\*

We present design and implementation of a tactile sensor system, sensor suit, that covers the entire body of a robot. The sensor suit is designed to be soft and flexible and to have a large number of sensing regions by using electrically conductive fabric and string. The whole signals from the sensor suit are superimposed on a visual image of the robot. The construction of sensor suit with 160 sensing elements for a full-body humanoid and the experimental results to evaluate electrically conductive fabric and the tactile sensing unit are described.

**Key Words:** Tactile Sensor, Sensor Suit, Electrically Conductive Fabric, Humanoid, Sensor-based Behavior

### 1. はじめに

触覚センサの高性能化、高密度化とともに、ロボットの全身に触覚エレメントを分布させる技術は、人間の生活空間に入り込むことが求められている将来のロボットにとって必要不可欠な基盤技術である。多くの関節をもつロボットの全身に触覚センサを分布させるには、関節の動きを妨げないような触覚エレメントの構造と、多数の配線を行う方式が課題となる。

今までに行われている触覚エレメントには、感圧導電性ゴムを使った触覚センサ[1]、圧電効果を持つPVDF(Polyvinylidene Fluoride)フィルムを用い力覚情報とすべり覚情報を得るセンサ[2]、超音波を用いたもの[3]、静電容量の変化を見るもの[4]、メカニカルスイッチを用いたもの[5]などがある。これらは主に指部やハンド部用に考えられたものが多く、ロボット全体に分布させた例は少ないが、近接センサをロボットアーム全体に分布させた例[6]や、曲がることを考慮して関節部用の接触センサを考えた例[7]がある。

しかし、現状では、各センサの機能面では力覚やすべり覚の検出など多様な研究がなされているが、触覚エレメント自体が柔らかく全身を網羅できる構造を持つものがない。そこで、本研究ではロボットの全身に触覚を分布させるセンサシステムを開発することを目的とし、素材として布に着目し、どのような形状・構造のロボットに対しても、全身を覆うことができるセンサースーツの構成法を提案し評価することを行う。

### 2. 全身被覆型ロボットセンサースーツの設計方針

全身を覆う触覚センサの実現課題と設計方針を以下にまとめる。

- (1) 変形可能で衝撃などに対して破壊しにくいセンサユニット  
全身に分布させるセンサユニットは変形容易な構造とし、衝撃力が加わった場合にも破壊しないような材質の部品を用いる必要がある。そこで、人間の全身を覆う衣服のように、糸が織られてできあがっている布構造に着目し、糸や布に導電性を与えた導電性ファブリックと非導電性のネットと布の積層によって触覚エレメントを実現し、衣服構造を構成することで全身に触覚を分布させる構成法を実現する。
- (2) 柔らかさを損なわない大量の配線法  
センサエレメントを多数分布させる場合の大きな課題は大量の配線方法である。固い配線の束を作った場合には、関節部の運動を妨げてしまうことになる。パラレル配線をシリアル伝送にする処理ユニットを分布させる方法が考えられるが、全身に面状に分布しているセンサシステムには適さない。ここでは、重ね合わせが容易な布を利用し、導電性の糸を面状に分布させた配線層を設けることで大量配線に対処する。
- (3) 多量センサの計算機へのインターフェース  
センサユニットからの大量の配線を計算機に直接接続しようとすれば、計算機に多数の入力ポートが必要となるが、そのような計算機を専用に開発していたのでは、センサユニットの数や配置の変更に対する対応が困難になる。そこで、大量なセンサ情報を規格化された画像信号

原稿受付 1996年12月6日

\*東京大学工学部機械情報工学科

\*Dept. of Mechano-Informatics, The University of Tokyo

に多重化し、その画像信号用の処理システムを用いる方式をとる。これにより、既存の並列画像処理システムも使うことができ、また、マッピング方法を工夫することにより、人が見ても分かりやすい形にすることができる。

#### (4) 修理・改造への対応性

触覚センサに基づいた行動を行うロボットの大きな課題として、センサ自体が破損しにくいことだけでなく、ボディ自体の修復・取り替え作業が容易であることがあげられる。そこで、分布させたセンサと配線を一体とし、ボディの外側を被覆する形とすることで、着せ替え可能な構造とする。これにより、ロボット本体内部の修理を容易とし、試作・実験を繰り返した結果によって、そのロボットの動きに適したセンサースーツを順次制作していくことも可能である。

### 3. 導電性ファブリックを用いたセンサースーツの実現

#### 3.1 導電性ファブリックによる柔構造センサユニットの実現

導電性ファブリックとは、通常の布に導電性をもつような加工をしたもののことである。布を導電性にするには、導電性塗料を布に塗ったり、印刷したりする方法が考えられるが、布全体に均質性を保ち、折れ曲がっても剥がれることのないようになるためには、布の表面に付着する金属材料が薄く、かつ布の微細纖維表面にまで入り込む加工法が必要となる。そこで、本研究では化学メッキによって纖維の内部まで均質にかつ薄く金属を付着させて作られた導電性ファブリックを用いる。

触覚センサユニット部はFig. 1 のように5層構造となる。第1層は、一番外側の布である。普通の布を用いており、配線層の保護と配線の糸のショート防止のためにつけられている。第2層は、配線層である。ここでは、導電性の糸で普通の非導電性の布を縫うことで配線を行っている。スイッチ部との接続は、導電性の糸で、導電性の布を縫うことで実現している。第3層は、スイッチ端子層であり、導電性の布を欲しいエリアごとに

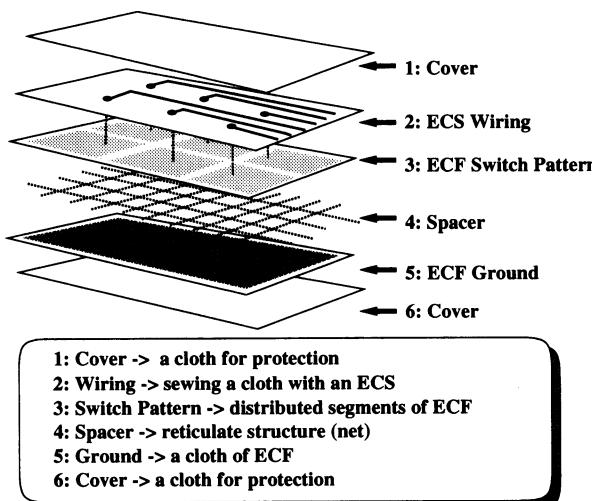


Fig. 1 Layered structure of the tactile sensor units

わけてミシンで非導電性の布に縫いつけている。ここで、スイッチの密度や配置が決定される。第4層は、スイッチ端子間のスペーサである。この部分のスペーサにはネットを用いており、この厚さ、穴の大きさなどで、スイッチの接触感度がかわる。第5層は、接地端子層である。こちらは導電性の布が大きく1枚で非導電性の布に縫いつけられており、かつ導電性糸で第2層の配線層に接続され接地されている。この第5層と第3層が圧力を受けネットの編み目の間で接触すると、スイッチの役割を果し、回路が閉じて電流が流れ、接触していることを表すようになっている。

#### 3.2 スーツへの展開と製作手順

様々な体型を持つロボットの全身に柔軟にフィットさせる方法として、人間に対すると同様に、洋服を仕立てる形で製作する。手順は、型紙を作り、仮縫いで調整し、ミシンで仕立てることになる。このときに、前述の第3層にあたる部分を、必要に応じた大きさの接触領域毎に分割することで、全身に対してセンサを分布させることができる。

Fig. 2 にセンサースーツのレイア構成を示す。基本構造に示すように5層のレイアから成り立っている。前身頃、後ろ身頃、その各左右の6部位に分かれており、製作する際には各部位ごとにレイアを積層して加工した後全体を縫い合わせる(Fig. 3)。

- (1) 型紙を用いて布を裁つ。センサースーツ1着について、非導電性布を4組、導電性の布を2組、スペーサ用のネットを1組用意する。また、配線を引き出すための帯状の長方形の布を、配線を縫いつける布とその表裏をカバーして保護する布の1組3枚として、8組用意する。
- (2) 非導電性の布に導電性の布を縫いつける。ジグザグミシンでまわりを縫う。このときに、前述の第3層にあたる部分の導電性布は接触領域毎に布を裁ちそれぞれ各領域ごとに縫いつけ、第5層に当たる部分は、そのまま大きく1枚縫いつける。
- (3) 非導電性の布に導電性の糸をぬいつけて配線を行う。隣の糸と接触してショートしないように注意する。配線の

Layer	1 Cover	2 Connected Area	3 Switching Area	4 Net	5 Switching Area
Back Body Left					
Sleeve Left					
Front Body Left					

Fig. 2 Layers of each sections of a sensor suit

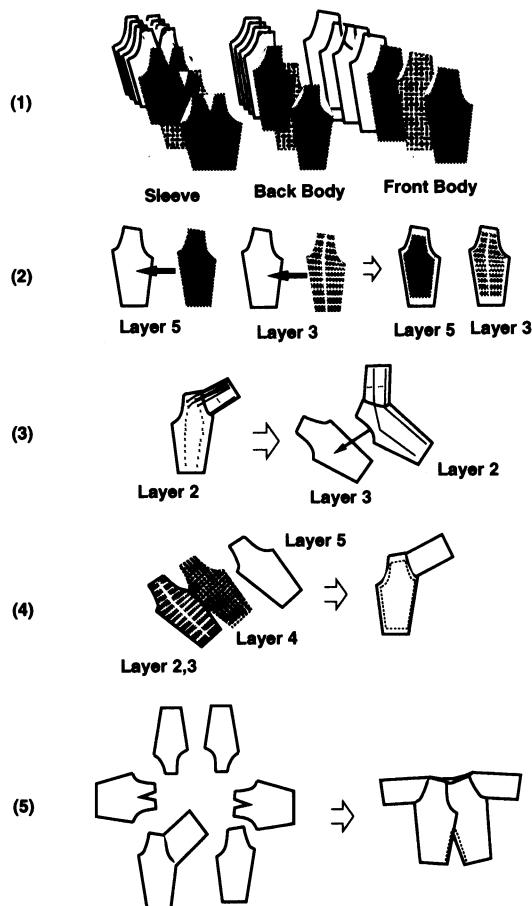


Fig. 3 Procedure to assemble parts of a sensor suit

両端の糸は長めに残しておき、その一方は第3層の導電性布に縫うことで接続する。

- (4) 第2, 3層を重ね合わせた物とスペーサである第4層を重ねる。そこに、第5層を重ね、まわりを縫う。第5層と配線部第2層を結ぶ。さらに、配線部保護の第1層を重ね、再び周りを縫い、配線の引き出し部として帯状に出していた部分も保護のために上下に布を縫い合わせる。
- (5) 前身頃、後ろ身頃、そのそれぞれ左右について以上の手順で製作し、各部位を縫いあわせ、全体の形をつくる。
- (6) 配線のためのスナップをつけ、導電性の糸で数回スナップを縫って接続する。反対側のスナップには、線を半田付けする。これにより、普通の電子回路と接続できるようになる。

以上で、センサースーツ本体は完成である。

#### 4. 導電性ファブリックの特性評価

##### 4.1 メッキ処理による導電性ファブリック

本研究で利用した導電性布と糸は、メッキ加工によって布に導電性を与えたものである。メッキ加工には、電気メッキ、化学メッキがあるが、布全体への均質さを保つために、化学メッキによって作られている。布の材質はポリエチレンで織り方の違いによって各種物理的特性が変わる。導電性糸はアラミド織

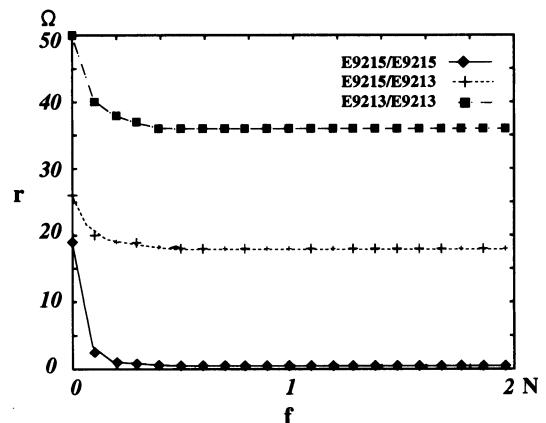


Fig. 4 Resistance between two ECFs in applying force [r: resistance f: applied force]

維40双糸をメッキしたものである。

メッキ用いる金属は、亜鉛、銀、ニッケル、銅などを利用できる。金属の選定には、さびにくさを考慮する必要がある。また、電位差のある異なる金属同士を接触させた場合の腐食現象である電蝕効果も考慮しなければならない。ここでは、比較的電蝕の影響の少ない銅とニッケルをメッキしたものを用いる。

メッキ付着量が異なることによって特性の違う、E9215(銅: 15[g/m<sup>2</sup>], ニッケル: 7[g/m<sup>2</sup>], しゅす織り), E9213(ニッケル: 7[g/m<sup>2</sup>], 平織り)の2種類(神東塗料ケミトロン製)を、折り曲げ、湿度などの観点から実験評価し、センサースーツに適した材質のものを選ぶことを行った。

##### 4.2 圧力による接触抵抗値の変化

本センサユニットは、導電性ファブリック間の接触によってOn/Offの導通判定をする形になっているが、導電性ファブリックを2枚重ねたときにそこに加わる圧力によって接触抵抗が変化するため、ネット層を置かずに直接接触させた場合の特性を調べる。

2枚の5[cm]四方の導電性ファブリックを試験片として用い、おのおのが1[cm]の幅で重なるように配置し、その重なっている部分の上に5[cm<sup>2</sup>]の板をのせそこに分銅を載せるという方法で調べた。試験片の組み合わせは、1) E9215とE9215, 2) E9215とE9213, 3) E9213とE9213の3種類を用意する。

結果はFig. 4である。接触力としては十分小さな値で、2枚のファブリックが安定して導通することが分かる。

また、ヒステリシスの有無に関しての実験も行ったが、加圧時と減圧時においてまったく同じ抵抗変化を示した。

##### 4.3 曲げやこすりに対する耐久性

全身に分布させるために、肘などの屈曲部では折り曲げやこすりが起こると考えられる。そこで、折り曲げやこすりに対する耐久性を調べた。折り曲げ動作やこすり動作に対する耐久性を調べるために試験片として、A) 導電性ファブリック E9213, B) E9215, C) アラミド繊維40双糸単体, D) 糸を布に縫いつけた物を用意した。布は5[cm]四方に切ったものを、糸は10[cm]の長さに切ったものを用意する。それらを、合計1,000回、1) 曲率半径約1.25[mm], 布の横糸方向に繰り返し曲げ伸

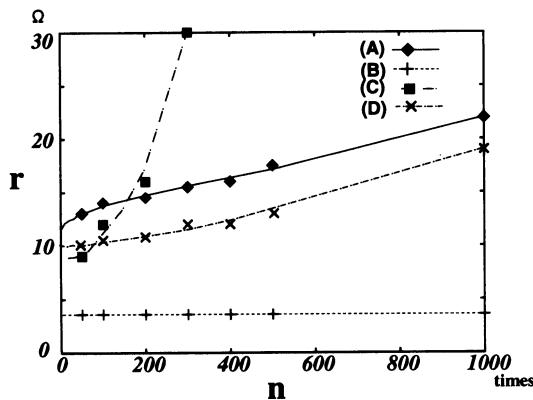


Fig. 5 Durability Experiment (1): repeating fold and unfold [r: resistance n: repeating times]

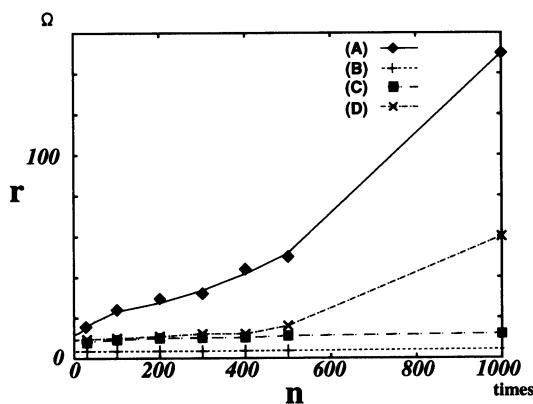


Fig. 6 Durability Experiment (2): rubbing each other [r: resistance n: repeating times]

ばした後と、2) 水平速度約 1.3 [m/s]、周期約 4 [Hz]、垂直荷重約 1[N]で、繰り返しこすった後の各電気抵抗値を測定する実験を行った。また、糸は、単体のほか、非導電性の布に縫いつけた状態のものも実験した。実際のセンサースツ内の状態を考慮したためである。糸はその両端にテスタ端子を当て電気抵抗値を測定する。布は対向する 2 辺の各辺を金属クリップではさみ、このクリップにテスタ端子を当てて電気抵抗値を測定した。

結果の電気抵抗値は、それぞれ、Fig. 5, 6 のようになった。

#### (1) 曲げ伸ばし実験

B) については、1,000 回のテストではまったく変化しなかった。よって素材として非常に適しているといえる。また、C) は、400 回付近で断線してしまったが、D) のように布に縫い込む形にすれば使用可能であると考えられる。A) についても 1,000 回の折り曲げに関しては使用に耐えうるだけの耐久性を持つと考えられる。

#### (2) こすり実験

E9213 はこすりに対して抵抗変化が大きいことが分かる。しかし、E9215 はこすりに対し十分な耐久性を持つと評価できる。本実験に用いた糸に関しては、こすりに対してやや抵抗変化が見られ保護する必要があると考え

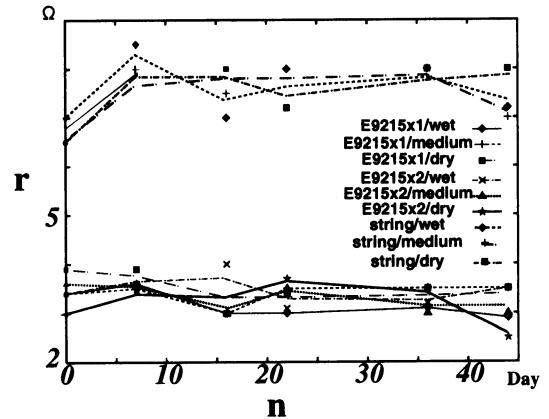


Fig. 7 Humidity test in wet, medium, dry cases of ECF and ECS [r: resistance n: passing days]

Table 1 Sample net for sensitivity check

net sample	thickness [mm]	hole size [mm × mm]	feature
1	0.45	2.3 × 4.35	cotton, oval hole
2	0.15	1.45 × 1.45	nylon, circular hole
3	0.1	1.25 × 1.25	nylon, hexagonal hole

られるが、ここで提案している積層型センサユニット構造とすれば問題はない。

#### 4.4 濕度に対する耐久性

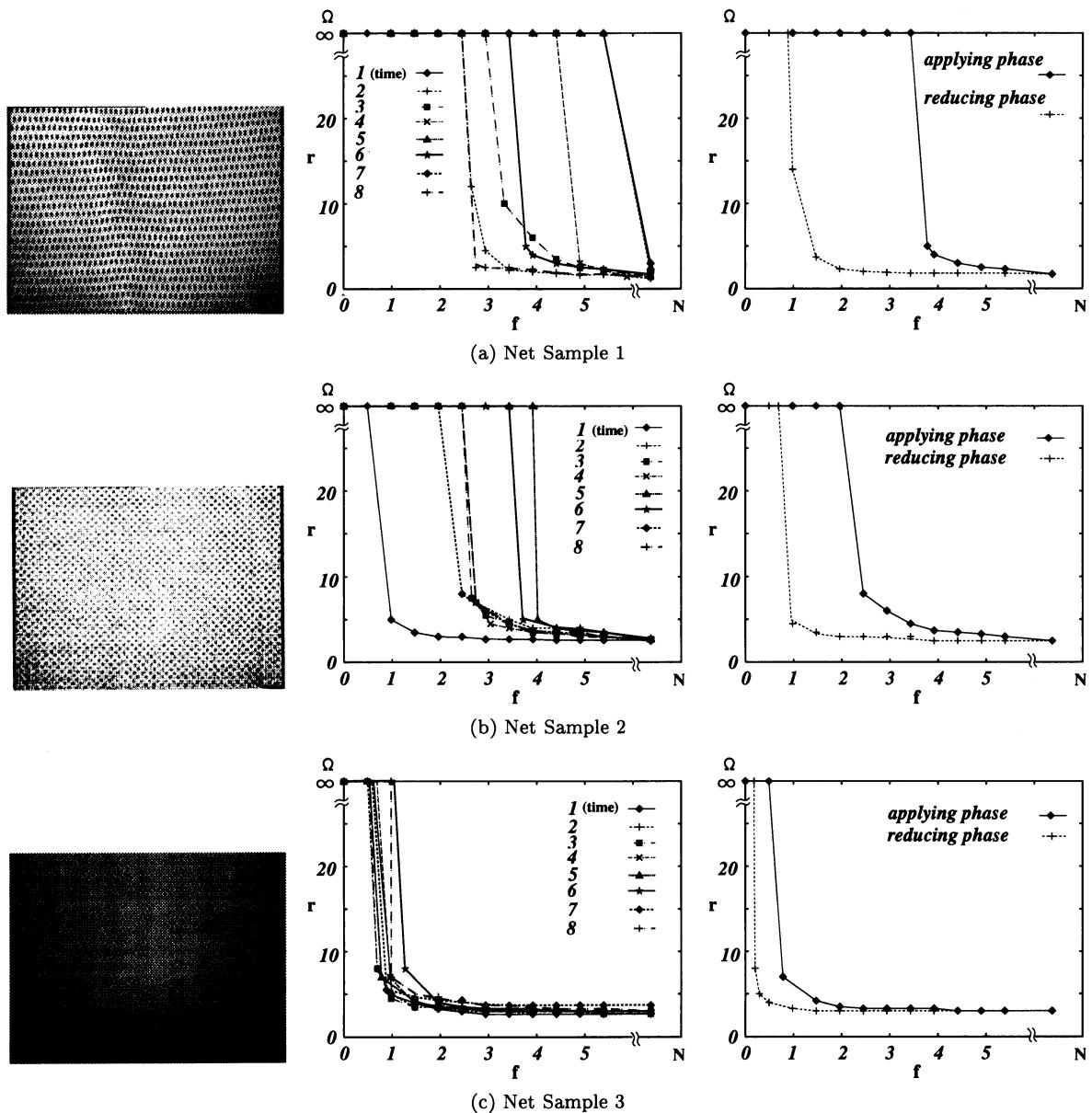
導電性ファブリックと導電性の糸の湿度に対する耐久性として電気抵抗値の変化を調べた。導電性ファブリック E9215 を 5 [cm] 四方に切る。また、導電性糸は 10 [cm] の長さに切る。それらを試験片とする。a) 導電性布を 1 枚、b) 導電性布を 2 枚重ねたもの、c) 導電性糸を 1 本の 3 種類の試験片をそれぞれ密閉容器に入れ、人が普通に生活する環境下での乾燥や湿度に関して調べるために、1) 飽和蒸気圧の状態のもの、2) 室内と同じ状態のもの、3) 乾燥剤を入れるもの、の 3 種類の環境で一定期間放置した。

結果は Fig. 7 のようになった。これによると、ほとんど劣化が起こっていないことが分かり、湿気の有無は影響していないと言える。これはニッケルにより酸化しにくくしてあるためである。またこの実験期間だけではなく半年後においても、室内と同じ状態では酸化による劣化は起こっていない。

#### 5. スペーサ選択による感度設計

本センサユニットの実現法においては、メッシュ状のスペーサによって感度を変えることができる。スペーサの違いによるセンサの基本構造の感度の傾向を調べるために何種類かのネットを用いて圧力と抵抗の関係を調べた。

導電性ファブリック 2 枚の間にネットをはさみ、ある一点をランダムに選び、弾性体で力を加えて抵抗値の変化を見る。押す弾性体は、指に似てかつ再現性のあるものとして、プラスチックゴム（トンボ MONO PE-01A）を直径 6.6 [mm] の半球状に加工して使用した。また、ネットは、Table 1 に示すものを用いた。力の測定範囲は使用したばかりにより、5.39 [N] ま



**Fig. 8** Sensitivity test of three sensor units (left) the image of each sample, (Center) relation between resistance and applied force, (right) hysteresis loop [r: resistance f: force]

でとした。

結果を Fig. 8 に示す。ネットの穴の大きさと穴以外の部分の幅およびネットの厚みに対して、押す弾性体の変形能との関係で、感度自体の変化と押す場所によるばらつきが出る。1番目のネットは、穴の大きさも穴の間隔も大きいので、場所によって値にばらつきが出た。2番目のネットは、ばらつきが出たが、1番目のネットよりも低い力で反応する。3番目のネットは、もっともよい感度だった。薄いことと穴の占める部分が大きいことから小さな力にも敏感に反応する。感度のよさや、ばらつきの少なさから、3がよいことが分かる。また、1もばらつきに注意すれば使用できると考えられる。ただし、ロボット自身に着用させる場合はある程度の不感帯が要求される場合

もあり、用途に応じて選択すればよい。

さらに、人の指で押す場合は、ネットの固有の性質に加え、指による変形も ON/OFF の重要なファクタとなる。指は、かなり柔軟であり、ネットのすきまに合わせて変形することも可能だからである。よって、人とのインターラクションにこのセンサユニットを用いる場合には、ここでの数値よりもかなり小さい値で導通する傾向にある。指の場合は押し方によても、かなり大きく感度が変化する。

また、Fig. 8 右に各ネットを用いたセンサユニットのヒステリシス特性を示す。これは、数回の試行のなかの最も平均的なグラフをとったものである。グラフからも分かるように、どのネットを用いたセンサユニットでも、加圧時にセンサが ON に

なるよりも、減圧時にセンサがOFFになるほうが力が少ないことが分かる。グラフより減圧時に明らかにOFFになっており、ON/OFFスイッチとして利用できる。

また、触覚ユニットのサイズを変えることで空間分解能を変えることが可能であり、スペーサとなるメッシュの厚みと穴サイズを適宜選ぶことで接触感度を変えることも可能[8]となっており、場所によって感度を変えるために異なるメッシュを用いることも有効になる。このように用途に応じた設計が可能な枠組であるところにも特長がある。

## 6. 人間型ロボットにおける着用実験

### 6.1 センサースーツの構成

人のそばで人間との直接の触れ合いをもつロボットとして、子供型の人間型ロボット[9]（体長68 [cm]、肩幅36.5 [cm]、体重約6.6 [kg]）を対象として、ジャンプスーツ形式のセンサースーツを仕立てた。全身に分布した情報を得るために、全体で160領域の接触状態を独立してとれるように触覚エレメントを分布した。その構成は、Fig. 9に示すように、身頃部分に各8ずつ、足の部分に16ずつ、その部分に16ずつとなっている。スペーサ用のネットには感度しきい値の高いサンプル1（Fig. 8）のものを用いた。

配線は左右前身頃から各24、左右後ろ身頃から各24、左右

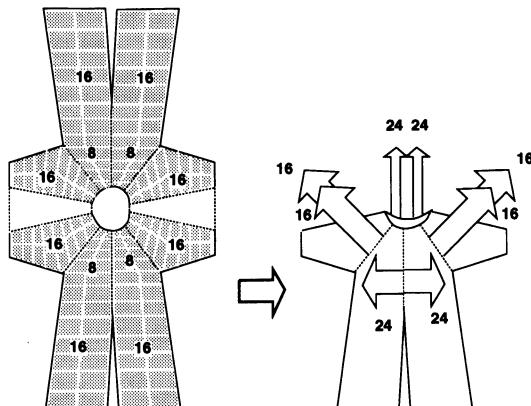


Fig. 9 Structure of the sensor suit for the full-body humanoid

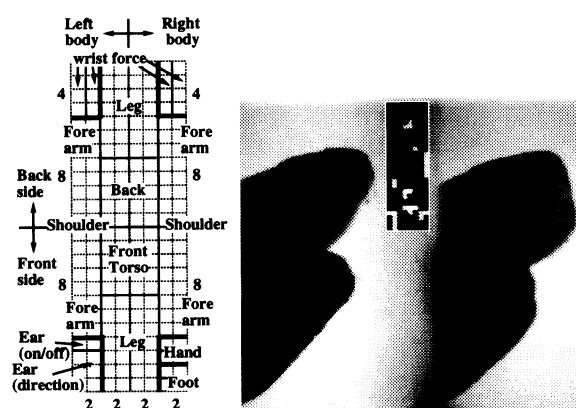


Fig. 10 The sensor image map of the sensor suit and an example superimposed on a stereo image of the robot vision

でから各16ずつ帯状に取り出しており、小型スナップで電子回路に接続している。一つの接触領域の大きさは、身頃部分で $5\text{ [cm]} \times 10\text{ [cm]}$ 、その部分で $5\text{ [cm]} \times 6\text{ [cm]}$ である。また、センサースーツ全体の重さは1.15 [kg]、また背中に背負わせたインターフェース回路部が350 [g]で、システムとして合計1.5 [kg]になった。



Fig. 11 Sensor image of the initial stage

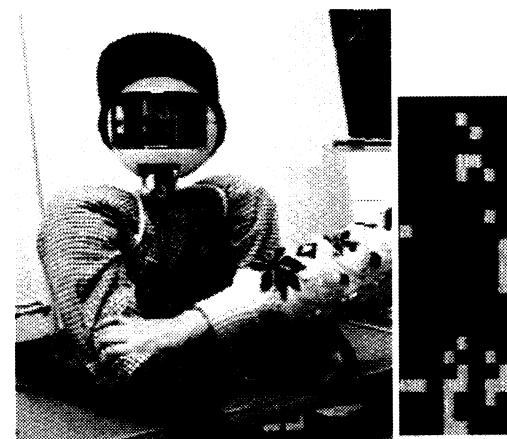


Fig. 12 Reaction (1): when the humanoid is touched on the right fore arm

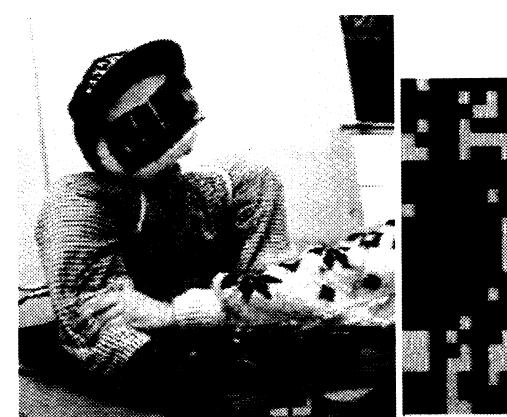


Fig. 13 Reaction (2): when the human holds the both arms of the humanoid

## 6.2 接触情報の画像化

センサスーツの接触情報は、導電性の糸からスナップによるコネクタを通して、画像化ハードウェアによってロボットのカメラ画像上に多重化される。この多重化は、ビデオ信号のタイミングに従って、複数のセンサを順次走査し、カメラのビデオ信号とをアナログスイッチによって切り替えることで行われる[10]。

センサスーツの接触データとそれ以外のセンサ情報もまとめ重畳表示するために、画面中央に横8行縦24列という領域に対応関係が分かりやすい形状と配置の表示部を設けた。実際のボディ上の部位との対応関係と多重化されている画像全体の例をFig.10に示す。

Fig.11に、なにも触られていないときのロボットの状態とセンサ画像部のパターンを示す。図中白いドットはセンサデータONになっている箇所である。座っているために臀部の部分はONになっている。また、画像化回路を入れたショルダーバックを背負っているために肩部もONになっている。人間がロボットの右腕または両腕をつかんだときはFig.12, Fig.13のようにセンサ画像パターンが変化する。何も触られていない状態から、センサ画像パターンの時間的変化に着目することで、その変化に応じた対応行動をとる実験に成功している。

## 7. 結論と今後の課題

人間の生活空間に入り込むことが求められているロボットに対して、直接ロボットに触れることができ、ロボットもそれを感じることができると機能を実現するために全身に触覚を分布させる方法として、布構造をもつ導電性ファブリックを用いたロボット用センサスーツを開発し、その評価実験について述べた。

用いた導電性の布と糸は、化学メッキによって薄くかつ均質に繊維内部まで金属をメッキすることによってできあがったものであり、折れ曲がりや湿度に対して剥がれがおきにくい素材となっている。やわらかさも通常の布や糸と変わりなく、プラスチックフィルムや金属線で作った場合に比べて格段に柔軟性と多数のセンサユニット配線が可能となる。

本センサスーツの構成法は、衣服製作と同じ方式で製作できるため、ロボットの形態によらず、様々な形に対応可能である。ロボットにかぎらず、人間用のスーツや、人間が触れる人工物

の表面にかぶせることで、接触情報を取り出す入力デバイスとして利用することが可能な構成法となっている。

一方、ロボットが着ていて関節を曲げた場合にできるしわによってセンサがONになり、外部との接触によるものか内部の動きによるものかの区別はこのセンサスーツの情報からだけでは判断できない。しかし、自らの動きのない状態からの時間変化具合を利用したり、自らの動き情報と組み合わせて判断したり、視覚などの他のセンサを利用するなどの複合的センサ情報処理を行うことによって対応させれば、全身にセンサを分布し着せ替え可能な特長を有効に利用することができると考えられ、その処理方法については今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Makoto Shimojo, Shigeru Sato, Yoshikazu Seki and Akihiko Takahashi: "A system for simultaneous measuring grasping posture and pressure distribution," In IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.831-836, 1995.
- [2] 山田陽磁, 西誠治, 水口尚宏, 黄声揚, 梅谷陽二: "動的触覚イメージヤ", 第13回日本ロボット学会学術講演会, pp.941-942, 1995.
- [3] Shigeru Ando Hiroyuki Shinoda: "Ultrasonic emission tactile sensor for contact localization and characterization," In IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2536-2543, 1994.
- [4] Howard R. Nicholls and Mark H. Lee: "A survey of robot tactile sensing technology," The International Journal of Robotics Research, vol.8, no.3, pp.3-30, 6, 1989.
- [5] 新和久, 山田陽磁, 土田縫夫, 駒井又二: "回転関節部触覚センサの開発", 第7回日本ロボット学会学術講演会, pp.575-576, 1989.
- [6] Edward Cheung and Vladimir Lumelsky: "Development of sensitive skin for a 3rd robot arm operating in an uncertain environment," In IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1056-1061, 1989.
- [7] Yoji Yamada, Kazuhisa Shin, Nuio Tsuchida and Mataji Komai: "A tactile system for universal joint section of manipulators," IEEE Transaction on Robotics and Automation, vol.9, no.4, pp.512-517, 1993.
- [8] 下条誠, 石川正俊: "薄型フレキシブル位置覚センサとその応用", 計測自動制御学会論文集, vol.21, no.11, pp.114-116, 11, 1985.
- [9] 五十嵐貴, 稲葉雅幸, 井上博允: "35自由度を有する人間型ロボットの開発", 日本ロボット学会第12回学術講演会予稿集, pp.309-310, 1994.
- [10] 長阪憲一郎, 加賀美聰, 稲葉雅幸, 井上博允: "リモートプレインロボットにおけるビデオ信号へのスーパーインポーズを利用したセンサフィードバック", 第13回日本ロボット学会学術講演会, pp.1025-1026, 1995.



稻葉雅幸 (Masayuki Inaba)

1958年5月23日生。1986年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。1989年東京大学工学部機械情報工学科助教授。現在に至る。日本機械学会、情報処理学会、計測自動制御学会、人工知能学会会員。

(日本ロボット学会正会員)



井上博允 (Hirochika Inoue)

1942年7月生。1965年東京大学工学部産業機械工学科卒業。1970年同大学院博士課程修了。工学博士。同年電子技術総合研究所入所。1977年東京大学工学部機械工学科助教授。1984年教授。現在、機械情報工学科教授。ロボット全般、人工知能、情報システム工学の研究と教育に従事。

(日本ロボット学会正会員)



星野由紀子 (Yukiko Hoshino)

1973年5月2日生。1996年東京大学工学部機械情報工学科卒業。現在、同大学大学院修士課程在学中。日常生活に入っていくロボットの研究に興味を持つ。1996年度研究奨励賞受賞。日本機械学会学生会員。

(日本ロボット学会学生会員)