

## 生体小関節のための接触圧力分布測定システムの開発

### Development of Pressure Distribution Measurement System for Human Small Joint

笹川和彦<sup>\*</sup>, 成田純平<sup>\*</sup>

Kazuhiko Sasagawa<sup>\*</sup>, Junpei Narita<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> 弘前大学

<sup>\*</sup> Hirosaki University

**キーワード:** 生体小関節(human small joint), 接触圧力分布(contact pressure distribution), 高分解能センサ(high resolution sensor), 導電性フィルム(electrically conductive thin film), 整形外科バイオメカニクス(orthopedic biomechanics)

**連絡先:** 〒036-8561 青森県弘前市文京町3 弘前大学大学院理工学研究科 知能機械システム工学専攻 笹川研究室 成田純平, Tel/Fax: 0172-39-3690, E-mail: h05gs518@stu.hirosaki-u.ac.jp

### 1. 緒言

生体関節内における接触圧力分布を測定することは、運動機構の解明や関節疾患の病因を明らかにし、その治療法を確立する上で重要である。生体小関節の接触圧力測定に用いるセンサには、複雑な関節面形状に適合するために薄くてしなやかであることが求められる。そこでこれまで、感圧導電インク<sup>1, 2)</sup>や感圧導電ゴム<sup>3, 4)</sup>を利用した圧力センサならびに感圧紙<sup>5, 6)</sup>が、膝関節や股関節などに代表される大関節の接触圧力分布測定に用いられてきた。一方、手関節や手指関節などの小関節に関しては、ほとんど測定が行われていないのが現状である。

従来の圧力センサにより小関節内の接触圧力分布測定を試みる場合、リード線の取り回し部が大きかったり、センサ自体の厚さが関節

間隙部よりも大きいなどのため狭小な関節面へのセンサ設置が困難であった。また、関節面面積に対する空間分解能の低さから、詳細な圧力分布を正確に測定することは極めて困難であった。

本研究では、既存の感圧導電ゴム mesh type センサシステム<sup>3, 4)</sup>を基礎として、圧力変換素子に導電性フィルムを用いた生体小関節のための接触圧力分布測定システムを開発する。これにより、本測定システムは従来法に比し、狭小関節面へのセンサ設置が容易で、かつより高分解能な圧力分布測定を実現する。さらに本システムの適用実験を行って、システムの有効性について検討する。

### 2. 接触圧力分布測定システム

#### 2.1 圧力センサ

本研究ではセンサの圧力変換素子として導電性フィルム(鬼怒川ゴム社製 KZ-45)を用いた。Fig. 1 に示すように、導電性フィルムは作用圧力に応じて厚さ方向の電気抵抗値が変化する特性を有している。1枚のフィルム上に多数の測定点を配置することにより、高い空間分解能が得られる mesh type のセンサを製作した。Fig. 2 に示すように、エッチング処理により櫛目状に加工した銅張ポリイミドフィルム電極(厚さ 85 $\mu\text{m}$ )で導電性フィルム両面を挟み込むサンドイッチ構造を有している。電極間のピッチはウェットエッチングにより自由に設定でき、測定点をマトリクス状に任意の個数配置できる。これにより、測定領域の小さな面に対しても高い分解能での測定を可能にした。リード部の取り回しは、櫛目電極に直接リード線を接合し、一方向にまとめることにより最小限の大きさにとどめることができた。Fig. 3 にセンサの概観を示す。血液や関節液の侵入および表面摩擦の低減のため、電極の外側を延伸性ポリプロピレン(OPP)フィルムで封止した。圧力センサの厚さは 355 $\mu\text{m}$  である。

## 2.2 測定システム

本測定システムは、Fig. 4 に示すように感圧導電ゴムによる mesh type センサシステム<sup>3,4)</sup>

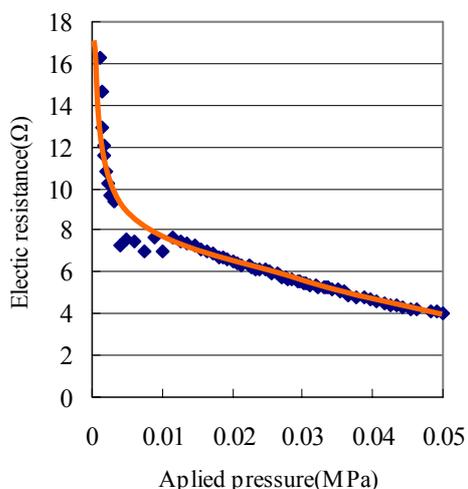


Fig.1 Relationship between applied pressure and electric resistance ( $10 \times 10\text{mm}^2$ ).

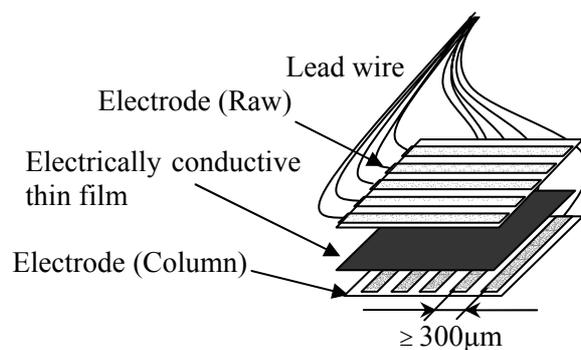


Fig. 2 Pressure sensor assembly.

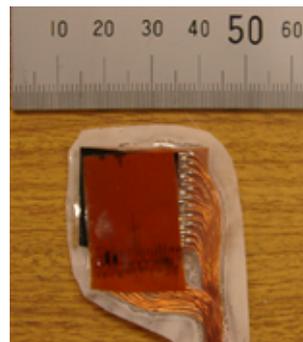


Fig. 3 Photo of pressure sensor.

を基礎としている。リレーボード(CTP-2517 Interface 社製)により、導電性フィルム上面の櫛目電極の1本を選択する。選択された電極に電流が供給され、導電性フィルムの抵抗変化に応じた電圧が対面電極から出力される。導電性フィルム下面の櫛目電極をマルチプレクサ(CTP-3177 Interface 社製)により1本ずつ順次選択し、両面の電極が形成する交点の抵抗値をスキャンする。選択されなかった電極が構成する回り込み回路による干渉を考慮し、Fig. 4 に示すような回路を構成した。測定回路に反転増幅回路を用いることにより、帰還抵抗の調整で圧力の感度をある程度設定できるようにした。またリレーボード、マルチプレクサ、A/D コンバータの制御および出力データの処理はパーソナルコンピュータにて行った。A/D コンバータの分解能は 12bit、 $32 \times 32\text{ch}$  のサンプリング速度は 70msec である。本システムによって得られた作用圧力 - 出力電圧特性(較正曲線)を Fig. 5 に示す。

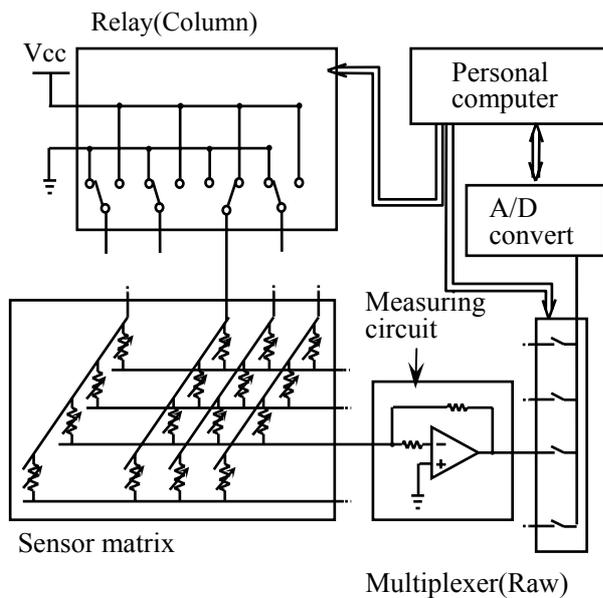


Fig. 4 Measuring system.

### 3. 適用実験

#### 3.1 硬貨押し付け実験

小関節内の接触圧力分布測定にあたっては、小さな接触領域においても詳細な圧力分布を測定できる圧力センサが必要である。そこで本研究では、 $680\mu\text{m}$  ピッチで  $300 \times 300\mu\text{m}^2$  の面積を有する測定点を  $32 \times 32$  個マトリックス状に配置したセンサを製作した。センサ全体の大きさは  $220 \times 220\text{mm}^2$  で、この領域に 1024 個の測定点を有しており、詳細な圧力分布測定が可能である。

このセンサを用いて 50 円硬貨の押し付け実験を行い、圧力分布を測定した。その結果を Fig. 6 に示す。同図に示すように、硬貨中央の空洞部も明瞭に測定することができた。従来の接触圧力センサでは、その分解能に起因して 50 円硬貨中央の空洞部を明瞭に認識することは不可能であったが、本センサシステムでは可能であった。これは本センサの分解能が高いことを示しており、小関節内の接触圧力分布も詳細に測定できると考えられる。

#### 3.2 鶏膝関節内接触圧力分布測定

小関節における複雑な関節面形状にも適合でき、動的に測定が可能であること、狭小関

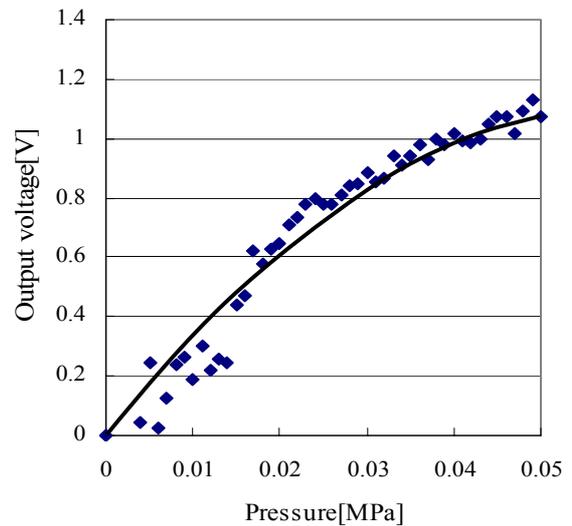


Fig. 5 Relationship between applied pressure and output voltage ( $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}^2$ ).

節内にも挿入できるということを検証するために、鶏膝関節面を対象とした接触圧力分布測定を実施し、ヒト小関節内測定の模擬実験を行った。Fig. 7 に示すように両側側副靭帯と十字靭帯以外の軟部組織を切除し、圧力センサを膝関節内へ挿入した。徒手にて受動的に屈曲伸展運動させた時の大腿 膝蓋関節面上の圧力分布を動的に測定した。測定結果を Fig. 8 に示す。膝関節の屈曲に伴い変化する大腿骨の内外側関節面の圧力分布の様子を測定することができた。このことより、小関節内への

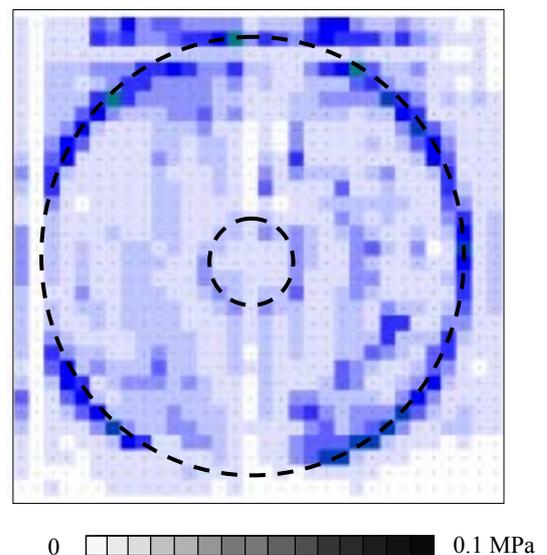


Fig. 6 Pressure distribution under indentation by 50 yen coin.

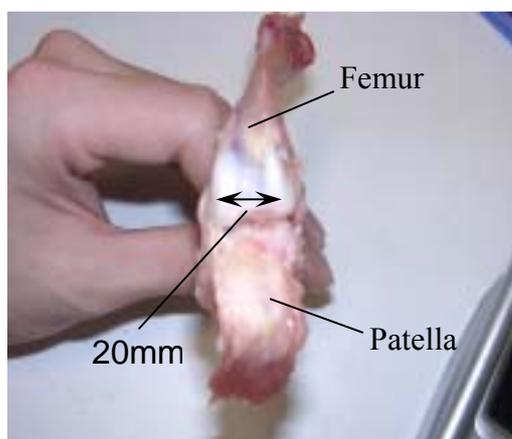


Fig. 7 Photo of fowl knee joint.

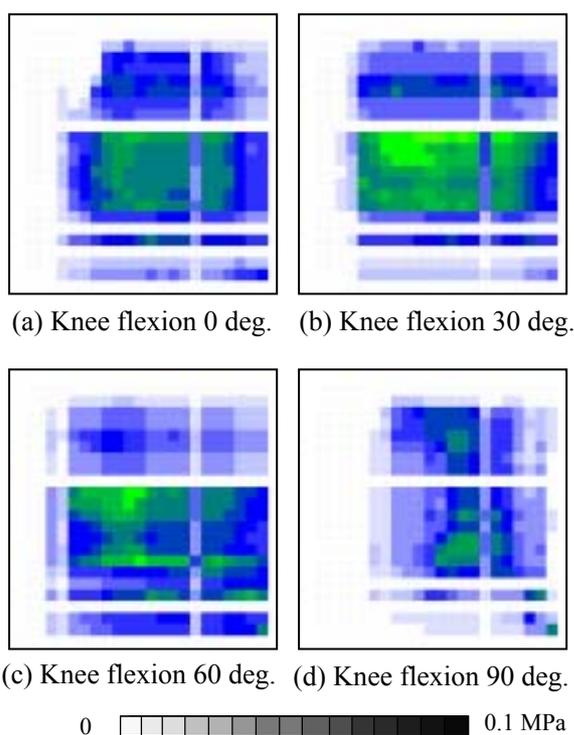


Fig.8 Contact pressure distribution on fowl knee joint.

センサ設置が容易であり，複雑な形状にも良好に適合すること，関節運動中の圧力分布を動的かつ詳細に測定可能であることを示した。

#### 4. 結言

感圧導電ゴム用の mesh type センサ測定システムを基礎とし，生体小関節のための接触圧力分布測定システムを製作した。圧力変換素子に導電性フィルムを利用することにより，狭小な関節面へのセンサ設置が容易でかつ高い空間分

解能を有する接触圧力分布測定システムを実現した。硬貨押付け実験では詳細な圧力分布が測定可能であることを示し，鶏膝関節への適用実験では，狭小関節への設置が容易であり，関節運動時の動的な測定が可能であることを示した。以上により本システムの生体小関節への適用の有効性を示した。

#### 文献

- 1) D. R. Wilson, M. V. Apreleva, M. J. Eichler and F. R. Harrold: Accuracy and repeatability of a pressure measurement system in the patellofemoral joint, *Journal of Biomechanics*, **36**, 1909/1915 (2003)
- 2) L. Teurlings, G. J. Miller and T. W. Wright: Pressure mapping of the radioulnar carpal joint: effects of ulnar lengthening and wrist position, *Journal of Hand Surgery*, **25B**: 4, 346/349 (2000)
- 3) 原利昭, 笹川和彦, 中部昇, 古賀良生, 金谷喜久雄: 感圧導電ゴムを用いた関節内接触圧力分布測定システム, *機論*, **58**-551A, 1154/1159 (1992)
- 4) G. Omori, Y. Koga, J. E. Bechtold, R. B. Gustilo, N. Nakabe, K. Sasagawa, T. Hara, H. E. Takahasi: Contact pressure and three-dimensional tracking of unresurfaced patella in total knee arthroplasty, *The Knee*, **4**, 15/21 (1997)
- 5) J. J. Liao, C. C. Hu, C. K. Cheng, C. H. Huang and W. H. Lo: The influence of inserting a Fuji pressure sensitive film between the tibiofemoral joint of knee prosthesis on actual contact characteristics, *Clinical Biomechanics*, **16**, 160/166 (2001)
- 6) R. Zdero, P. V. Fenton, J. Rudan and J. T. Bryant: Fuji film and ultrasound measurement of total knee arthroplasty contact areas, *The Journal of Arthroplasty*, **16**, 367/375 (2001)