

令和 4 年 11 月 30 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22856

研究課題名（和文）微小面歪み検出のための面状走査型触覚センシングシステムの開発

研究課題名（英文）Tactile Scanning System for Detecting Micro Bumps and Holes by Strain-sensitive Artificial Skin

研究代表者

望山 洋（Mochiyama, Hiromi）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：40303333

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：与えられた曲面上にある微小面歪み（予定された曲率よりも大きく歪んでいる箇所）を検出し、その場所を特定する微小面歪み検出問題に対し、雑巾がけのように対象曲面を隈なく走査することで微小面歪みを検出する「幅のある」面状走査型触覚センサに繋がる基本アイデアを見出し、その有効性を実験により検証することに成功した。この触覚センサは、検出幅が大きく、かつ感度が高くなければならないが、「幅のある」提案センサが高い感度を保つ原理を、定式化することにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この触覚センサは、時間分解能の高い計測が可能であり、走査速度が大きい場合にも対応が可能と予想される。このため、自動車ボディの面歪み検査に利用することが期待される。この成果を特許出願すると共に、英語学術論文として発表済みである。

研究成果の概要（英文）：For the problem of detecting undesirable small bumps and holes on a hard surface, we succeeded to find a basic idea of the tactile sensor and to verify its effectiveness experimentally. The tactile sensor is located between a user's hand and the inspection surface, and the user moves his/her hand with the sensor for scanning the entire surface for detecting small bumps and holes. While such a tactile sensor with the wide detection area must be highly sensitive, we also succeeded to formulate the principle of high sensitivity of the proposed tactile sensor.

研究分野：ロボティクス・ハプティクス

キーワード：ハプティクス ソフトロボティクス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

与えられた曲面上にある微小面歪み(予定された曲率よりも大きく歪んでいる箇所)を検出し、その場所を特定する微小面歪み検出問題は、触覚テクノロジー、特に触覚センシングの基本問題であり、長年の未解決問題であった。この微小面歪み検出問題は、ものづくりの現場において、実際に行われている検査作業が元となっている。典型例は、プレスによって鋼板を成形する車ボディの面歪みの検出である。この作業では、大きく湾曲する曲面を隈なく走査しながら、微小面歪みを高精度に検出することが求められる。現在まで何十年にもわたって、この作業は、ヒトが手で鋼板表面を触って検査をしている。すなわち、微小面歪みを「触覚ではかる」ことが今でも行われている。レーザ変位センサやカメラによる画像処理で検出できそうに思えるが、実際には、検査対象の表面に光沢や汚れがある可能性がある中で、ボディ鋼板の広い曲面を漏れなく走査して、精度よく微小面歪を頑健に検出することが困難であることから、これらの手段はヒトの触覚の代替とはなっていない。車のボディの表に出る部分は、すべてヒトの手で歪みがないかチェックされていると言われている。かなり労力と時間を費やして微小面歪みの検査が行われている上に、この触覚検査のスキルをヒトが獲得するのに、長い年月を要するため、代替技術が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、与えられた曲面上にある微小面歪み(予定された曲率よりも大きく歪んでいる箇所)を検出し、その場所を特定する微小面歪み検出問題を解決するシステムを開発することである。画像処理や音声処理技術が、AIとの融合で円熟期を迎える中、触覚処理技術への期待は大きい。ものづくりにおける大きな問題である微小面歪み検出を解決する触覚技術が生まれることで、触覚学(ハプティクス)にも、大きなインパクトを与えることができる。また、微小面歪み検出を解決する触覚技術が発達することで、カメラやマイクに匹敵する標準的な触覚センサが生まれ、そこからより高度な触感デザインへと発展する可能性を秘めている。

### 3. 研究の方法

研究目的の達成のために、本研究では、雑巾がけのように、対象曲面を隈なく走査することで、微小面歪みを検出する、面状の走査型触覚センシングシステムの開発を目指した。具体的には、以下の課題を設定した。

#### 1. 「幅のある」面状走査型触覚センサ

微小面歪み検出を触覚センシングで行うためには、触覚センサ部は、1) 曲面の大湾曲に沿うことのできるようフレキシブルであること、2) 対象曲面を傷つけないよう接触部がソフトであることに加えて、3) 曲面を短時間で走査できるように、センサ検出部が走査方向に対して幅を持つこと、が求められる。単にセンサ素子を並列化するのではなく、センサ構造を工夫して、シンプルな触覚センシングの原理を探求する。

#### 2. 微小面歪みの場所特定のための触覚情報処理

触覚センサにより検出された面歪みが、曲面上のどの位置にあるかを特定する必要がある。外界センサにより触覚センサの位置をセンシングする方法も考えられるが、システムは複雑化し、余分のコストを要する。そこで、触覚センサの情報のみから、曲面形状を生成しつつ、検出された面歪みの位置推定を行い、既に得られている曲面情報のデータとのマッチングにより、曲面上の場所を特定する。

#### 3. 触覚による微小面歪みセンシング理論の確立

柔らかい触覚センサで微小面歪みを検出する理論を構築する。触覚センサの柔らかい素材の内部に埋め込まれたセンシング素子への影響を力学理論に基づいてモデル化し、柔軟触覚センシングのメカニズムを明らかにする。

### 4. 研究成果

研究の結果、課題1の“「幅のある」面状走査型触覚センサ”に繋がるアイデアを見出すことに成功した。そのアイデアに基づくセンサプロトタイプを作成し、雑巾がけのように走査することで、この微小凸を明瞭に検出できることを実験により確認した。さらに、提案センサにおいて、センサ感度が向上する原理を、定式化することに成功した。これは、課題3の“触覚による微小面歪みセンシング理論の確立”の貢献に相当する。課題2に関しては、基礎的な検討までとなったが、最大の課題である触覚センサの開発で大きな進歩があり、全体としては、十分な成果が得られたと考えられる。なお、この研究成果を特許出願すると共に、英語学術論文に発表済みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ando Mitsuhiro, Tokumine Ryusuke, Takei Toshinobu, Mochiyama Hiromi	4. 巻 6
2. 論文標題 Tactile Scanning for Detecting Micro Bump by Strain-Sensitive Artificial Skin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 7541-7548
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2021.3098473	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ando Mitsuhiro, Takei Toshinobu, Mochiyama Hiromi	4. 巻 7
2. 論文標題 Rubber artificial skin layer with flexible structure for shape estimation of micro-undulation surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1122-1134
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-020-00159-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Masaki Toshiaki, Ando Mitsuhiro, Takei Toshinobu, Fujimoto Hideo, Mochiyama Hiromi	4. 巻 1
2. 論文標題 Surface Undulation Detection System Using Wearable Artificial Skin Layer with Strain Gauge	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 617-622
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ROBOSOFT.2019.8722760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安藤 潤人
2. 発表標題 面歪検出のための面状走査型触覚センシング
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤潤人
2. 発表標題 長尺ひずみゲージを用いた面状走査型触覚センサの提案
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuhiro Ando
2. 発表標題 Amplifying The Output of The Scanning Soft Tactile Sensor with A Flexible Structure
3. 学会等名 “Futuristic Demo Presentations” in IEEE ICRA2020 Workshop “Beyond Soft Robotics”
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤潤人
2. 発表標題 面状走査型柔軟触覚センサを用いた面歪検出システムの提案
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳嶺隆介
2. 発表標題 面状走査型触覚センサ
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	竹田 年延  (Takei Toshinobu)  (60517712)	弘前大学・理工学研究科・助教   (11101)	
研究 分担者	武居 直行  (Takesue Naoyuki)  (70324803)	東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授   (22604)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------