

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00231

研究課題名(和文)粘弾性特性を計測可能な触力覚ハイブリッドセンサシステムの開発

研究課題名(英文) Development of a hybrid sensor system comprising force and tactile sensors that can measure viscous and elastic characteristics

研究代表者

川村 拓也 (Kawamura, Takuya)

岐阜大学・工学部・特任准教授

研究者番号：50313911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、柔軟物の粘弾性特性を計測可能な触力覚ハイブリッドセンサシステムを開発することである。本センサシステムは、触った物体の硬さを判別したり、滑りを検知したりすることが可能である。実験では、100 μm より小さい変形をセンサ素子に繰り返し与え、そのときのセンサ出力を取得した。その結果、センサ素子の変形量に加えて変形速度がセンサ出力に影響を与えることがわかった。その結果、本センサシステムは、人指先のように物体の柔軟性を測定可能であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、人指先と同じように触感覚を認識可能な指先型触力覚ハイブリッドセンサシステムを開発することである。研究期間内には、本センサシステムの粘弾性特性評価装置を開発して、柔軟物の粘弾性を判別する接触センシング技術を開発することを目指した。実験では、約10 μm の周期的な正弦波状の繰り返し変形をセンサ素子に与えて、変形量の増減に加えて変形速度もセンサ出力に影響を与えることがわかった。今後は、ゴムやスポンジなどの柔らかさとセンサ出力との関係を明らかにして、本センサシステムで柔軟物の粘弾性を測定可能にすることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop of a hybrid sensor system comprising force and tactile sensors that can measure the viscous and elastic characteristics of soft materials. This sensor system is able to measure the hardness of a touched object or detect the slip of the object. In the experiments, the sensor outputs were obtained when the sensor element was deformed repeatedly at the volume of less than 100 micro meter. And it is found that in addition to the parameter of deformation volume of a sensor element, its deformation velocity has an influence on the sensor outputs. The results suggest that the sensor system has an ability to measure the viscoelasticity of an object like a human finger tip.

研究分野：センサ工学

キーワード：接触センシング処理 触感覚認識 触覚センサ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人の指先と同じように触感を認識可能な指先型力触覚ハイブリッドセンサシステムを開発して、粘弾性を含めた触覚認識技術の確立を目指す。研究代表者が開発を進めているハイブリッドセンサシステムは、数 μm のコイル状の炭素素材（カーボンマイクロコイル、CMC）を添加した弾力性シリコン樹脂をセンサ素子とする CMC 触覚センサと力覚センサを組み合わせたもので、センサ素子に生じる微小な力変化（5 gf まで）や変形量（2 μm まで）を計測可能である。さらに物体の滑り検知や柔らかさ判別も可能なことがわかってきた。本研究では、粘弾性特性の計測技術を確立するため、まず、微小駆動可能な圧電アクチュエータ等を用いたセンサ特性評価装置を設計・開発する。つぎに、得られた知見に基づいて、粘弾性も含めた触覚認識技術を確立する。また、本センサシステムをロボットハンドの指先に搭載し、柔軟物の性状や形状に応じた把持を実現することを目指す。

2. 研究の目的

(1) CMC 触覚センサのセンサ素子に正弦波状の繰り返し変形を与えたときの CMC 触覚センサの出力特性について明らかにすることを目的とする。

(2) CMC 触覚センサに同量の変形を異なる時間で変形を与えるとき、変形時間ごとのセンサ出力に注目し、CMC 触覚センサの変形速度がセンサ出力に与える影響を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) CMC 触覚センサのセンサ素子に正弦波状の繰り返し変形を与えたときの CMC 触覚センサの出力特性について明らかにするため、まず、CMC 触覚センサのセンサ素子をゴムに 1.0 N になるまで押し付けたあと、振幅 60 μm の正弦波状の繰り返し変形を与えたときのセンサ出力について、素子の変形速度である正弦波状の繰り返し変形の周波数を変更して、センサ素子の変形速度とセンサ出力の関係について検討する。つぎに、CMC 触覚センサのセンサ素子をゴムに 3.0 N になるまで押し付けたあと、振幅 60 μm の正弦波状の繰り返し変形を与えたときのセンサ出力について、押し付けるゴムの硬さを変更して、試料の硬さとセンサ出力の関係について検討する。

(2) CMC 触覚センサに同量の変形を異なる時間で変形を与えるとき、変形時間ごとのセンサ出力に注目し、CMC 触覚センサの変形速度がセンサ出力に与える影響を明らかにするため、以下の 2 つの実験を行う。1 つ目の実験では、CMC 触覚センサ素子に 100 gf の変形を与えた後、異なる等速度で積層圧電アクチュエータを 60 μm まで伸ばす。60 μm まで伸ばしセンサ素子に約 170 gf になるまで変形を与え、60 秒間 170 gf の変形をセンサ素子に与え続ける（この変形を矩形波状の変形と呼ぶこととする）。矩形波状の変形を CMC 触覚センサ素子に与えたときのセンサ出力を取得する。2 つ目の実験では、CMC 触覚センサ素子に 100 gf の変形を与えた後、異なる速度で矩形波状の繰り返し変形を与えたときの CMC 触覚センサのセンサ出力を取得する。得られた出力値をもとに、異なる変形時間で繰り返すときのセンサ素子の出力値の違いを明らかにする。

4. 研究成果

(1) CMC 触覚センサのセンサ素子に正弦波状の繰り返し変形を与えたときの CMC 触覚センサの出力特性について明らかにするために、センサ素子の変形速度とセンサ出力、また試料の硬さとセンサ出力の関係について検討した。実験では、センサ素子をゴムに押し付けて、積層圧電アクチュエータによりセンサ素子に振幅約 60 μm の正弦波状の繰り返し変形を与えて、素子の変形速度である正弦波状の繰り返し変形の周波数を 0.1, 1, 10 Hz にしたときの V_R, V_{LC}, D と、ゴムの硬さを変更したときの F, V_R, V_{LC} を取得した。以下に得られた研究成果を要約する。

積層圧電アクチュエータの先に CMC 触覚センサと力覚センサを取り付け、柔軟物に正弦波状の繰り返し変形を与えたときのセンサ出力を測定して、CMC 触覚センサの出力特性を調べる装置を開発した。

素子の変形速度である正弦波状の繰り返し変形の周波数を変更したときの CMC 触覚センサの出力特性について検討するため、周波数が 0.1, 1, 10 Hz のいずれかで、振幅が 60 μm の正弦波状の繰り返し変形を 5 周期与えたときの V_R, V_{LC}, D を取得した。その結果、変形速度が 0.1 Hz と遅い場合は、変形量の増減に応じたセンサ出力になることがわかった。変形速度が 1, 10

Hz と速い場合は、変形量の増減に加えて変形速度の影響も受けたセンサ出力になることがわかった。

正弦波状の繰り返し変形の周波数を 94 Hz にすると、 V_R と V_{LC} は素子の変形量の増減には応じていないが、センサ出力の変化はみられた。よって、周波数 94 Hz で変位 $60 \mu\text{m}$ ほどの振動であれば反応することがわかった。

素子の直径、高さ、CMC 添加量が同じセンサ素子でも、0.1 Hz で、変形速度の影響を受けたセンサ出力となるものもあった。このことからセンサ素子によっては変形速度の影響を受け方には違いがあり、基本的には、変形速度が速くなるとセンサ出力に影響するが、速度が遅い場合でも変形速度の影響を受けたセンサ出力になる素子もあることがわかった。

押し付ける試料の硬さを変更したときの CMC 触覚センサの出力特性について検討するため、硬さの異なる三種類のゴムに周波数 0.1 Hz、振幅約 $60 \mu\text{m}$ の正弦波状の繰り返し変形を 120 秒間与えたときの F 、 V_R 、 V_{LC} を取得した。その結果、試料が硬いほど F 、 V_R 、 V_{LC} の振幅は大きくなった。このことから正弦波状の繰り返し変形を与えたとき、CMC 触覚センサの出力の振幅は、ゴムの硬さに応じて変化すると考えられる。

(2) 異なる時間でセンサ素子に変形を与えたときのセンサ出力値の違いを明らかにするために、変形時間がセンサ出力に与える影響について検討した。実験では、センサ素子に初期変形を与えた後、異なる複数の一定の速度でセンサ素子に変形を与えた。指定した変形量に達した後、同量の変形を与え続けた。そのときの力覚センサの値である F と、CMC 触覚センサの出力値である V_R 、 V_{LC} を取得した。また、センサ素子をゴムに押し付け、複数の速度で矩形波状の繰り返し変形をセンサ素子に与えた。そのときの F 、 V_R 、 V_{LC} を取得した。この実験から異なる時間で変形を与えたとき、変形速度がセンサ出力に影響を与えていることを明らかにした。以下に得られた研究成果を要約する。

センサ素子に 100 gf から 170 gf まで複数の時間で変形を与え、60 秒間 170 gf の変形を与えた続けたときの F 、 V_R 、 V_{LC} を取得した。その結果、170 gf になった瞬間の V_R 、 V_{LC} は、変形時間が短いほど V_R は大きく、 V_{LC} は小さくなった。6 秒より長い時間で変形を与えた場合、170 gf になった瞬間の V_R は、変形時間が長くなるにつれて大きくなる傾向があった。これにより、一定の速度以上でセンサ素子に変形が与えられる場合のみ、変形速度が速いほど V_R 、 V_{LC} の変化量は大きくなるため、一定の変形速度以上がセンサ素子の出力に影響を与えていることが明らかになった。

170 gf で 60 秒間待機したときの V_R 、 V_{LC} は、ある一定値に収束する傾向があった。このことから、センサ素子の出力は速度を伴う変形が加えられると急激に変化し、一定量の変形を与え続けていくと、センサ素子のインピーダンスは一定値になると示唆される。

センサ素子に同量の変形を同時刻で与えた場合でも、センサ素子をゴムに押し付けた時間が 90 秒と 120 秒の場合では、センサ素子の出力が異なることがわかった。このことから、CMC 触覚センサに変形を与えると、センサ素子に変形の履歴が残り、この履歴がセンサ出力に影響を与えることが示唆される。

センサ素子に矩形波状の繰り返し変形を異なる時間で変形を与えたとき、 A 周期分の F 、 V_R 、 V_{LC} を取得した。1 周期目のセンサ素子を試料に押し付けたときの出力は、いずれの変形時間でも F が変化しているときに V_R 、 V_{LC} も変化した。2 周期以降、1.5 秒より遅い時間で変形を与えたとき、変形直後は V_R は減少し、 V_{LC} は上昇したが、変形開始から数秒経過後に V_R は上昇し、 V_{LC} は減少した。このことから CMC 触覚センサに繰り返し変形を与えられるとき、2 周期以降のセンサ出力の変化に違いがあることから、繰り返し変形時の変形時間がセンサ出力に与える影響が明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 戸谷紀元, 川村拓也, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサを柔軟物に押し付けて正弦波状の繰り返し変形を与えたとき出力特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 永瀬圭一, 川村拓也, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 触力覚センサシステムを搭載した二ツ爪ロボットハンドによる差し込み時のゴムスポンジの曲がり判定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 大口耀示, 川村拓也, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサ素子で挟んだ金属物体を介して得られるセンサ出力による表面粗さの評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 今井貴史, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 触感認識時のCMC触覚センサ出力とセンサ素子のせん断力との関係	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 稲垣隼次, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサを用いた樹脂プレートの表面性状の評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 708
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 戸谷紀元, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 正弦波状の圧縮変形を与えたときのCMC触覚センサによる柔軟物の硬さ判別	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 小林聡, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサ素子を圧縮変形したときの電気的特性の測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 森貴寛, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサ素子の電気的特性と柔軟物の硬さとの関係	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 大口耀示, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 CMC触覚センサ素子で挟んだ物体を介して得られるセンサ出力によるツル・ザラの判別	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 山村昂, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 ロボットハンドによる小型軽量物体のつまみ動作におけるCMC触覚センサの出力	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三浦宏明, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 触力覚センサシステムを搭載した微小駆動可能なロボットハンドによる把持物体の硬さ判別	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 作道大樹, 川村拓也, 大坪克俊, 山田宏尚	4. 巻 1
2. 論文標題 触力覚センサシステムを搭載したロボットによる物体把持動作	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 戸谷紀元
2. 発表標題 CMC触覚センサを柔軟物に押し付けて正弦波状の繰り返し変形を与えたとき出力特性
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永瀬圭一
2. 発表標題 触力覚センサシステムを搭載した二ツ爪ロボットハンドによる差し込み時のゴムスポンジの曲がり判定
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大口耀示
2. 発表標題 CMC触覚センサ素子で挟んだ金属物体を介して得られるセンサ出力による表面粗さの評価
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今井貴史
2. 発表標題 触感認識時のCMC触覚センサ出力とセンサ素子のせん断力との関係
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲垣隼次
2. 発表標題 CMC触覚センサを用いた樹脂プレートの表面性状の評価
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸谷紀元
2. 発表標題 正弦波状の圧縮変形を与えたときのCMC触覚センサによる柔軟物の硬さ判別
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林聡
2. 発表標題 CMC触覚センサ素子を圧縮変形したときの電気的特性の測定
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森貴寛
2. 発表標題 CMC触覚センサ素子の電気的特性と柔軟物の硬さとの関係
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大口耀示
2. 発表標題 CMC触覚センサ素子で挟んだ物体を介して得られるセンサ出力によるツル・ザラの判別
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山村昂
2. 発表標題 ロボットハンドによる小型軽量物体のつまみ動作におけるCMC触覚センサの出力
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦宏明
2. 発表標題 触力覚センサシステムを搭載した微小駆動可能なロボットハンドによる把持物体の硬さ判別
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 作道大樹
2. 発表標題 触力覚センサシステムを搭載したロボットによる物体把持動作
3. 学会等名 日本機械学会東海支部第67期総会・講演会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------