

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656164

研究課題名（和文）圧電型フレキシブル界面センサの検出原理の構築

研究課題名（英文）Exploration of the detection principle for the realization of flexible piezoelectric sensor

研究代表者

藤本 由紀夫 (FUJIMOTO YUKIO)

広島大学・工学研究院・教授

研究者番号：60136140

研究成果の概要（和文）：圧力を受けて対象物表面が面外変形する界面での衝撃力を計測できるシート状センサの検出原理の探査を行った。シート状センサ素子の周辺に切り込みを入れてリングの尻を包むように面外変形特性を向上させると、ある程度の柔軟センサが実現できることを明らかにした。また、剛性のある小寸法のセンサ素子をマトリクス状に分布配置し、各素子の縁部分を柔軟素材で連結した構成のシート状センサがフレキシブル界面センサとして最善であることの結論を得た。

研究成果の概要（英文）：Exploration of the detection principle of the sheet-type sensor which can measure the impact force at the flexible interface of the object surface under pressure is carried out. It is found that the sensor can achieve a certain degree of flexibility by machining slits around a single sensor element. The slit can play roll to prevent wrinkles which occur when an apple ass is wrapped by a piece of paper. In this research, the sheet-type sensor in which the small sized rigid sensor elements are distributed as a matrix shape and the each sensor element are connected by the flexible edges, is found to be a best sensor structure as a flexible sensor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学

キーワード：圧電センサ、フレキシブル、衝撃力、柔軟センサ、シート型センサ

1. 研究開始当初の背景

(1) 申請者は数年間、圧電フィルムを用いたシート型変動荷重センサの開発を行い、特願 2009-192557、特願 2004-318992 などの特許出願と論文発表で公表してきた。

(2) しかしながら、作用界面が柔軟で圧力を受けてセンサが面外変形する場合は、面外変形の程度が大きくなるほどシート型変動荷重センサの精度が低下するという問題があった。この問題は、数年に渡る研究に於いて

も解決できていない。

(3) 国内外においても、皮膚表面のように面外変形に追従できる柔軟センサが幾つか提案されているものの、それらは荷重の大中小を段階表示できる程度の精度に留まっている。とくに、衝撃速度が速い場合や、窪み変形が大きい条件で使用できるセンサは無く、種々の工学分野、スポーツ科学、医療福祉分野でこの種のセンサ開発が強く望まれている。

2. 研究の目的

(1) 身体に荷重が作用すると皮膚表面は窪む。地面に衝撃力が作用すると地表面は変形する。このように、荷重を受けて対象物表面が面外変形する場合の界面での作用力を計測することは難しいとされている。その理由は図1に示すように、センサ出力に圧縮荷重成分に加えて曲げ成分と剪断（擦り）成分が重畳して出力されるためである。

(2) 本研究は、このような状況で圧力成分のみを検出できる、「フレキシブル界面センサ」の検出原理を構築すること、および試作と実験を通じて性能を検証することが目的である。とくに、荷重が衝撃的であって、表面の窪みや湾曲が大きい場合にも使用できるとともに、回路などに故障の生じにくいセンサ構造を明らかにすることを目的とする。

(3) そしてプロトタイプのセンサ試作と応用実験を通じて、実用化センサの開発に繋げる基本技術を獲得することを目的とする。

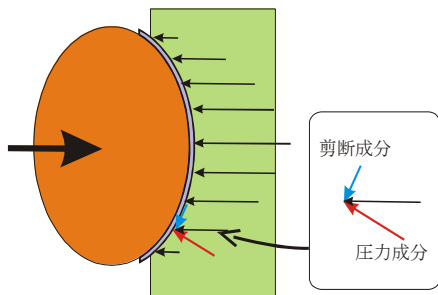


図1 柔軟センサに作用する曲げと剪断成分

3. 研究の方法

(1) 衝撃荷重にも耐える強靱さと柔軟性を併せ持つ「フレキシブル界面センサの実現」を目指して、配線端子の無いセンサ素子の具現化、センサ素子を2次元的に分布配置し、配線以外の手段で確実に信号を取得できるセンサ構造の開発、フレキシビリティと精度の更なる改善、の順序で研究を進めた。

(2) 最初は1枚の圧電フィルムで、どこまで面外変形に追従できるセンサが実現できるかを実験した。圧電フィルムは高分子のシートである。シートは円筒状には湾曲するが、3次元の変形を加えると皺が寄る。この皺を除くために圧電フィルムに切り込みを入れる。そして丁度リングを薄紙で包み込むような変形を可能にする方法を検討した。

(3) 図2は切り込みを入れた圧電フィルムの両面にシリコンゴムシートを接着し、さら

に全体を伸縮布でカバーしたフレキシブルセンサである。

(4) 図3はロードセルの台の上に、厚さ20mmのスポンジゴムを置き、センサを載せて、その上に雑巾布を置き、鉄アレイを落とす実験である。鉄アレイが当たると底面がスポンジゴムのため、センサは湾曲して窪む。

(5) 図4はその時のセンサ出力とロードセルの波形を比較して示す。図において、複数回のピークが生じているのは、鉄アレイが跳ね返りを繰り返すためである。センサとロードセル波形はこの場合ほぼ一致している。実験の結果、衝突体が球面のように滑らかで硬い表面の場合は、良好な衝撃力波形が計測できたが、例えば拳のように凹凸の大きい物体、あるいはボクシングクラブのように変形の大きい対象物が衝突したときの衝撃力波形は良くなかった。

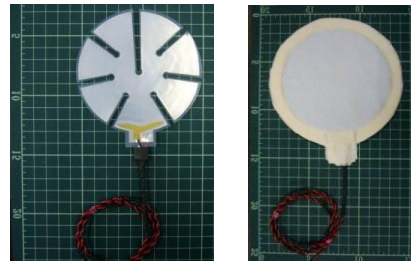


図2 周囲の切込みと伸縮布カバーで柔軟を持たせたセンサ

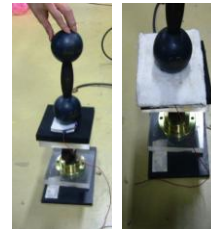


図3 鉄アレイを落下する実験

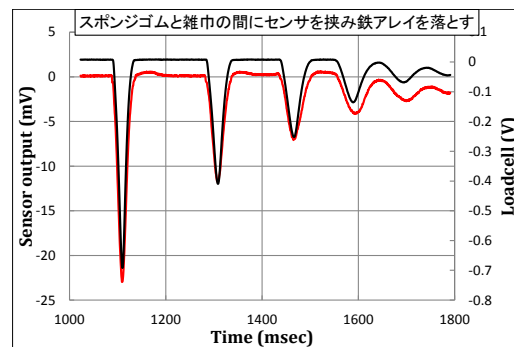


図4 鉄アレイ落下時のセンサとロードセル出力

(6) そこで次に、図5のような切り込みを一層深くした星形センサを試作して、曲面追従性を実験した。図のセンサは、切り込みを深くして面外追従性を向上させたことと、2枚の圧電フィルムを正負極逆転して重ねて曲げ出力を打ち消す構成にした点の特徴である。なお、圧電フィルムにはシリコンゴムシートを接着していない。

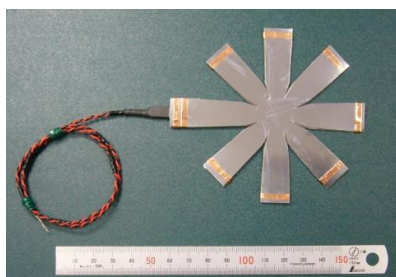


図5 星形センサ

(7) 図6は床にクッション床材、土、発泡スチロール、スポンジゴムシートを置き、センサを載せて、ボーリング球や鉄球（中学生用砲丸）の落下実験を行った様子を示す。

(8) 図7はその衝撃力波形の例を示す。この場合も、球体落下に対するセンサ出力はほぼ良好であった。鉄球を落下すると、大きな衝撃力が発生するが、センサは損傷を受けることなく機能したのは驚きである。しかしながら、衝突体の表面が滑らかでない場合の衝撃力波形は、ばらつきが大きい、波形の原点復帰が悪いなどの問題があつて、必ずしも良好でなかった。

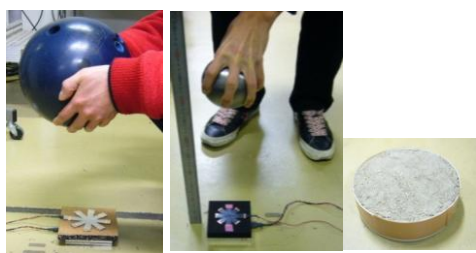


図6 センサへのボーリング球、鉄球を落下実験

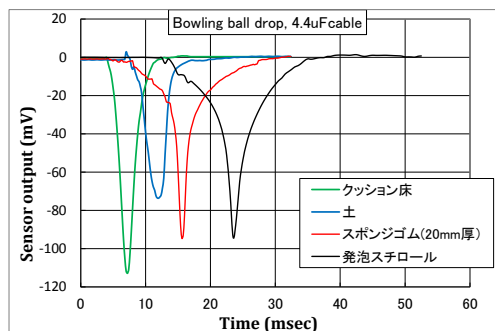


図7 ボーリング球落下時の衝撃力波形

(9) 以上から、一枚のセンサ素子でフレキシブル界面センサを構成した場合、硬く滑らかな衝突体が衝突した場合に限っては使用可能なセンサが実現できるが、凹凸があり接触面が柔軟に変形する対象物、例えば拳や踵などに対して、精度のよいセンサを構成することは困難であるとの結論に達した。

4. 研究成果

(1) そこで、次に複数のセンサ素子を分布配置して、フレキシブルセンサを構成する方法を検討した。このセンサは本研究の成果であつて、精度のよい柔軟センサを実現するには、分布型方式しか考えられないとの結論である。

(2) 分布型センサは、多数のセンサ素子を2次元平面にマトリクス状に分布配置した構成である。個々のセンサ素子には面外変形を生じない剛性板状センサを用い、各センサ素子の境界部分を柔軟な素材で接続して一枚のシート状センサを構成する方式である。そして、各センサ素子の出力の総和を取り出すように電氣的に接続することで衝撃荷重を計測する。

(3) 図8は9個の40mm四角のセンサ素子を3×3のマトリクス状に配置した様子を示す。素子の両側表面は $t=2\text{mm}$ のステンレス板で、素子の全体厚さは約5.5mmである。各素子を電氣的に接続する手段には図9に示す導電不織布を用いた。

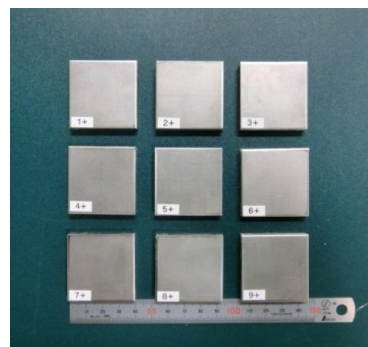


図8 マトリクス配置した9個のセンサ素子

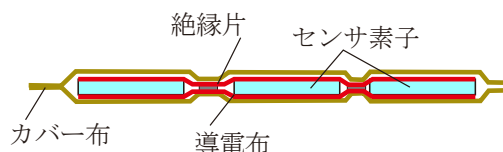


図9 センサ素子同士の電氣的結線手段

(4) 図10は試作した9個のセンサ素子から成る分布型センサの外観を示す。カバー布

はフェルトを用い、中央の絶縁片は薄い布を2重に重ねた。また、各素子の間と周囲は学生が手縫いで作った。注意点は、絶縁片をしっかりと素材で作らないと、両側表面の導電布が短絡する恐れがある点、および、センサ素子の金属の角部分が布を貫通する恐れがある点である。

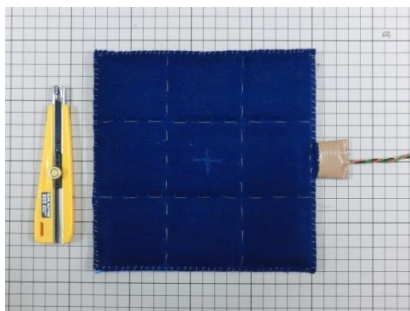


図 10 分布型フレキシブルセンサ試作

(5) 図 1 1 はセンサ素子の写真と、ロードセルの上におよび壁面にはスポンジゴムを置き、その上にセンサを置いて、ゴム底ハンマで素子を軽く叩いた時のセンサとロードセル出力を示す。写真の素子のステンレス板は1mmであるが、センサの表裏を逆転させて実験すると出力が異なることに気が付いた。これはセンサ要素が湾曲するため、ステンレス板を2mm厚にしたところ剛性を確保することができた。なお、スポンジゴムを使用せず、センサ底面をアクリル板の平面にして実験すると、ロードセル波形とセンサ波形がきわめて一致する良好な波形が計測された。

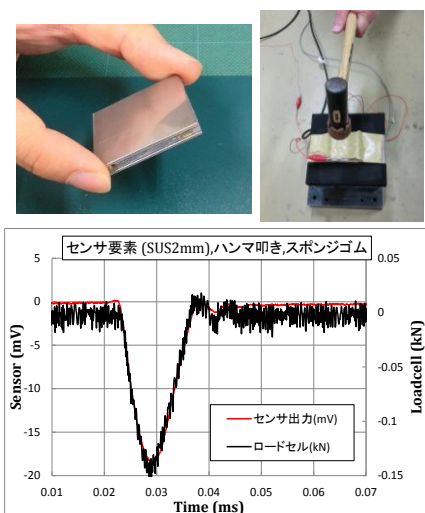


図 1 1 センサ素子の曲げ影響の検討

(6) 試作センサは、図 1 2 に示すロードセルの上においてボクシンググラブで叩く、および、図 1 3 に示す壁面に設置して壁打ちの実

験を行った。柔軟な面での性能を試すために、ロードセルの上および壁面にはスポンジゴムシートを置き、その上にセンサを置いて実験した。

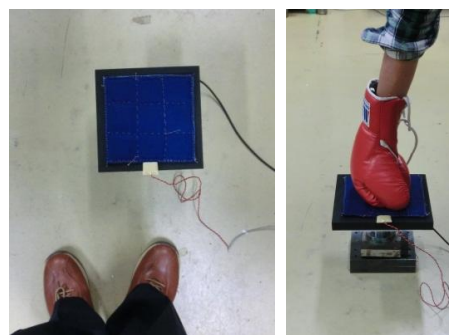


図 1 2 ロードセル上でのセンサの信号チェック

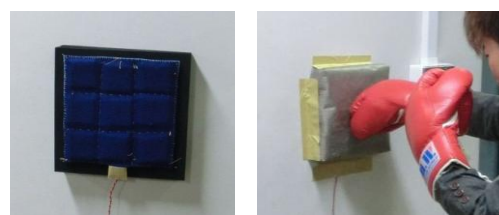


図 1 3 壁打ちで信号チェック

(7) 図 1 4 にロードセルの上で叩いた時の波形例を示す。また、図 1 5 に壁打ちでの衝撃力波形を5つ示す。波形の立ち上がりは良好であるが、除荷時の信号の戻りに少し問題がある。これは後に圧電フィルムに静電気ドリフトであることが分かった。

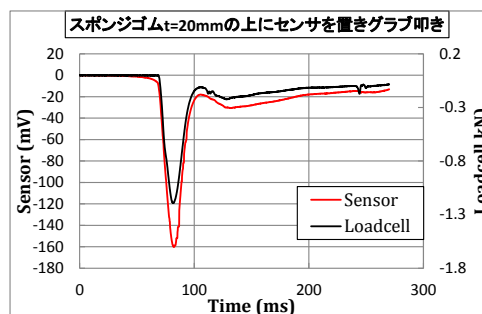


図 1 4 ロードセル上で叩いた衝撃力波形の例

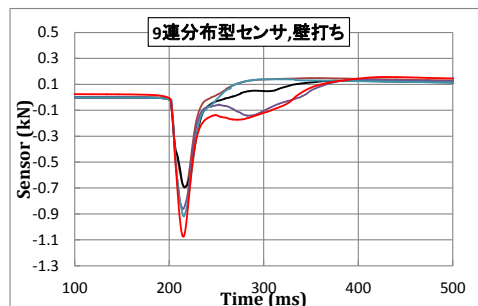


図 1 5 壁打ちでの衝撃力波形の例

(8) 次に図16に示すように、体育館のサンドバッグにセンサを設置してパンチテストを行った。最初は静電気影響を受けてうまく計測できなかったのですが、センサカバーの内部にも導電布を追加して、フェルトの静電気を除くなどの工夫を行った。図は静電気影響を除く配線をした後の波形である。

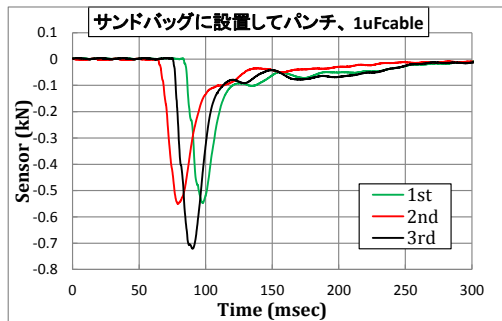


図16 サンドバッグに設置したパンチテスト

(9) 静電気影響は、本研究の分布型センサで最も注意が必要な点である。圧電センサは静電気の影響を受けてドリフトを生じやすいので、静電気を除去する配線方法が大切である。センサはフェルト布で包まれており、その外側を導電布で包んで接地しても内部のフェルトが帯電するので除去することができない。フェルト内部の圧電フィルムに近い位置にも静電気除去のためのシートの配置が必要である。

(10) 図17は3個のセンサ素子（剛性板素子）を直列に並べて、導電布による電極で接続し、全体をゴムカバーで包んだ試作例と、センサを手で持って曲げている様子である。柔軟性は素子間の折れ曲がりで確保しているが、曲げ自由度に限界が生じる。

(11) 実際にボクシングクラブで打撃したときの衝撃力波形を精度良く計測するには、図18に示す5×5個程度の分布が必要と思われる。多数のセンサ素子が必要になるので、各素子を安価に製作する技術も必要である。また、素子と素子の境界部分の柔軟構造にも課題がある。

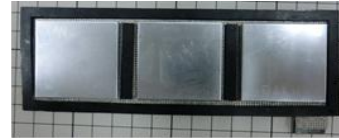


図17 3個の素子を分布配置したセンサ

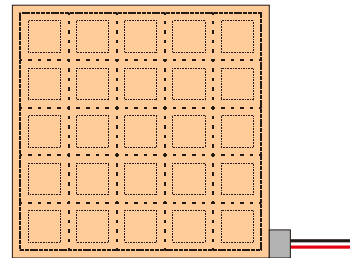


図18 分布個数を増加させたセンサ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

1. 藤本由紀夫、新宅英司、田中義和、藤吉潤：圧電フィルムを用いたシート型剪断力センサ，日本機械学会論文集C編，78巻，789号，1863-1871，2012（査読有）。

2. 藤本由紀夫、新宅英司、田中義和、藤吉潤：高速衝撃力の測定に好適なパッド型圧縮力センサ，日本機械学会論文集C編，78巻，791号，2438-2449，2012（査読有）。

3. 藤本由紀夫，Liu Chen，田中義和，新宅英司：変動荷重検出板を用いた衝撃力の2度打ち現象の計測，実験力学，Vol.13，No.1，112-120，2013（査読有）。

〔学会発表〕(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 由紀夫 (FUJIMOTO YUKIO)

研究者番号：6 0 1 3 6 1 4 0

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：