

新型脊椎試験機の開発

—試験結果の検証—

藤原基芳*, 池浦良淳**, 稲葉忠司**

Development of a New Spine Tester - Verification of Test Results -

Motoyoshi FUJIWARA, Ryojun IKEURA and Tadashi INABA

1. はじめに

著者らは平成 16 年度から 17 年度にかけてロボットの制御技術を応用した 6 軸材料試験機を開発した¹⁾³⁾。著者らが知る限りでは、このような X, Y, Z 軸の各軸方向/各軸周りに力/トルクまたは速度/角速度を指定できる試験機は日本初であり、現時点においても日本唯一である。

この試験機は 10 年以上にわたり三重大学において脊椎の力学的特性の研究に使用され、多くの医学的知見をもたらした。試験機の動作によって脊椎に生じる変位/角度および力/トルクを計測し、その計測データから椎体の可動性 (ROM : range of motion) を視覚的に示すことにより、脊椎の強度特性、及び脊椎を補強するインプラントの固定性をわかりやすく示すことができた^{4,5)他}。

しかし、研究が進むにつれて改良すべき点も分かってきた⁶⁾。そこで、平成 28 年度から平成 29 年度にかけて、新型 6 軸材料試験機を開発した。

今年度は本試験機を用いてウレタンゴムの曲げ試験を行い、結果を検証した。その結果、想定外の不具合が出たので、それらを報告する。

2. 実験方法

2. 1 試験機について

実験には新型 6 軸材料試験機(図 1)を用いた。試験機には速度(角速度)/力(トルク)のハイブリッド制御を採用している。これにより、試験機上部



図 1 6 軸材料試験機(新型)

に設定した XYZ の各軸に速度または力制御の指定、各軸周りに角速度またはトルク制御の指定ができる。

三重大学では、通常図 2 のように各軸方向・軸周りの制御方法を選択している。ウレタンゴムの曲げ試験でもこの制御方法により脊椎の曲げ試験を行った。各軸方向/軸周りの制御方法及び指令値は下記のとおりである。

X 軸方向：速度制御。指令値は 0 [mm/s].

* 電子機械研究課

** 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻

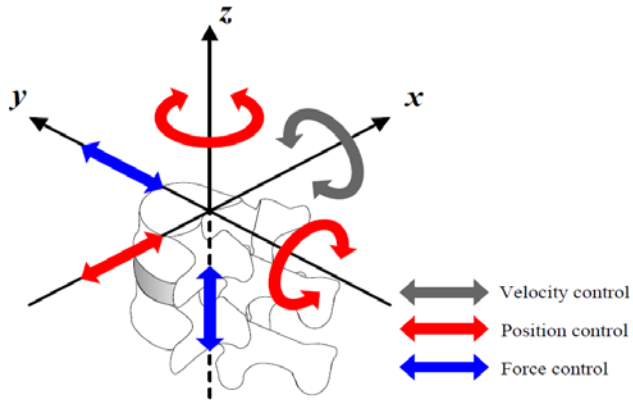


図2 各軸の制御方法

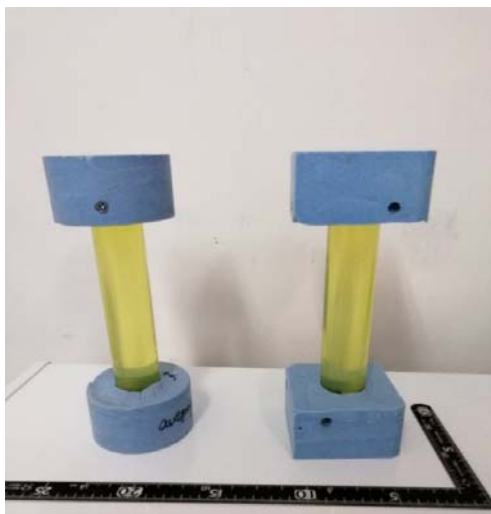


図3 曲げ試験に用いるウレタンゴム
・ 治具に取り付けるために上下をレジンで固めている。
・ 左は旧型試験機用. 右は新型試験機用.



図4 ウレタンゴムに治具を取り付けた状態

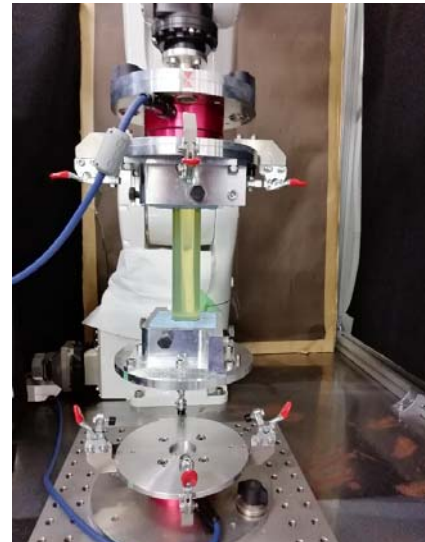


図5 試料を試験機上部に取り付けた状態

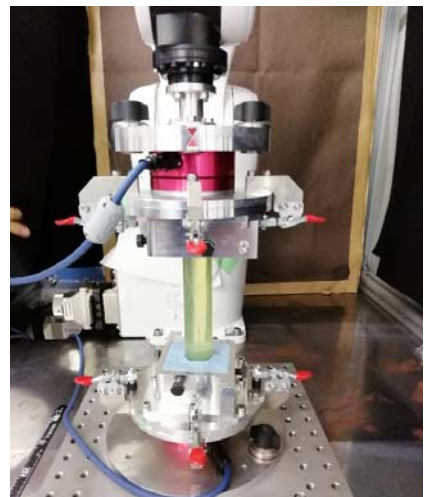


図6 試料を押し付けた状態

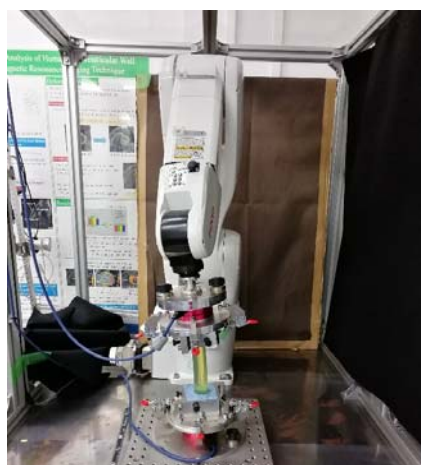


図7 曲げ試験の様子

- Y 軸方向：力制御. 指令値は 0 [N].
- Z 軸方向：力制御. 指令値は 0 [N].
- X 軸周り：角速度制御. 指令値は 0.1 [deg/s].
- Y 軸周り：角速度制御. 指令値は 0 [deg/s].
- Z 軸周り：角速度制御. 指令値は 0 [deg/s].

2. 2 実験の手順

今年度は、試料としてウレタンゴム(図 3)を用いた。実験の手順は、次のとおりである。

- (1) 試料を試験機に固定するための治具を取り付ける(図 4).
- (2) 治具を取り付けた試料を試験機上部に固定する(図 5).
- (3) 試験機を操作し、取り付けた試料を試験機下部に押し付ける(図 6).
- (4) 押しつけ力が 30 [N]で安定したところで、試料を試験機下部に固定する。
- (5) 押しつけ力を 0 [N]に戻す。
- (6) 曲げる方向(X 軸の方向)を設定し、X 軸周りの角速度を 0.1 [deg/sec]に設定して試料を曲げる(図 7)。この間、XYZ 軸方向の変位および力、XYZ 軸周りの角変位およびトルクを計測する。
- (7) X 軸周りのトルクの絶対値が 3 [Nm]になったところで、逆方向に 0.1 [deg/sec]で試料を曲げる。この間、(6)と同様の計測を行う。
- (8) (7)を繰り返し 3 往復行い、最後の 1 往復を試験結果とする。

3. 今年度の進捗

3. 1 2018 年 4 月 5 日の実験結果

2 章の手順により実験をしたところ、以下のような不具合が生じた。

- (1) 旧型試験機は様々な曲げ方向に対して動作範囲がほぼ同じである。しかし、新型試験機は動作範囲が大きい方向と小さい方向がある(図 8)。このため、旧型試験機は試験中に試料を固定したままであるのに対して、新型試験機は試料を曲げる方向が図 8 の縦方向になるように試料を回転させる必要がある。このために試料を 90 [deg]回転させたときに、試験機にうまく固定できないことがあった。
- (2) 試験時の角速度については、0.1 [deg/sec]に設定したが、角度が変わる時間を測ってみたところ、0.1 [deg]変わるのに 3~4 秒を要していた。
- (3) M_x (曲げる方向のトルク)と M_y (曲げる方向

と垂直方向のトルク)の値がほぼ同じ(図 9)。試験機の制御方法や試料の材料特性を考慮すると、 M_y はほぼ 0 [Nm]になるはずである。

3. 2 2018 年 7 月 17 日の打合せ結果

3.1 の実験結果について、ディスカッションを行った。以下のような結論となった。

- (1) 3.1 節の(1)について 試料を 90 [deg]回転させた時に試験機に固定できなかったのは、試料の水平、垂直が出ていなかった可能性がある。
- (2) 3.1 節の(3)について 新型試験機のみの実験では試験機に異常があるのか試料に異常があるのかわからない。今後、新型、旧型の試験機で材料特性が同じウレタンゴムを用いて曲げ実験を行い、結果を比較する。
- (3) 3.1 節の(3)について 力覚センサの X 軸、Y 軸がずれている可能性がある。確認のため、試験機の力覚センサを手で押して、力やトルクが正しい方向に計測されているか確認する。

3. 3 2018 年 11 月 6 日の打合せ結果

10 月に三重大学で行った実験結果についてディスカッションを行った。以下の事を行うこととなった。

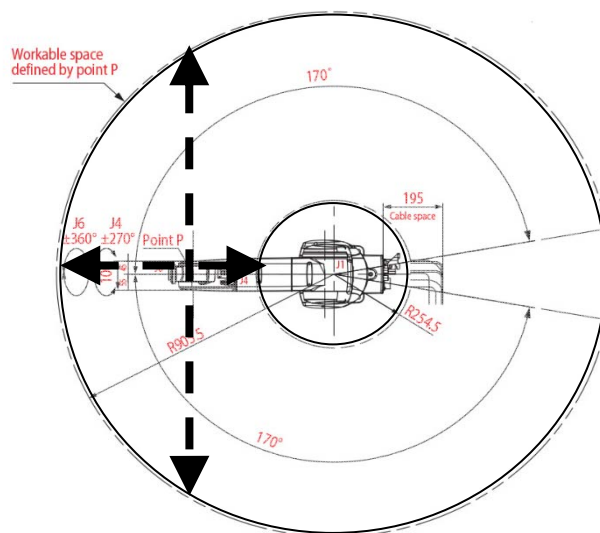


図 8 新型試験機の動作範囲

(<https://www.densorobotics-europe.com/ja/system/files/file/tables/pdf/newvs/Newvs087EN.pdf> に加筆)

図はロボットを上から見たところ。ハッチングの部分がロボットの動作範囲。太い点線が脊椎試験機として使用する場合の動き。動作範囲が図の縦方向に広く横方向に狭い。

(1) 3.1の(2)について 制御周期は100 [msec]を想定していたが、手動計測では制御周期が 300 [msec]~400 [msec]となっている。これは、制御ソフトウェア作成に ORiN を用いていることが原因だと思われる。ORiN を用いることにより、アプリケーションソフトウェア開発の工数削減、アプリケーションソフトウェアの再利用性・保守性向上というメリットがあるが、ORiN を用いている限り現状より制御周期を短くするのは無理だと思われる。制御周期を短くするため、システムの低レベル部分にアクセスする指令方法がないかロボットの製造元に問い合わせる。

3. 4 2019年1月8日の実験及び打合せ結果

実験及びディスカッションの結果、以下の事が分かった。

(1) 3.1の(3)について X軸方向の力を0 [N]にした場合どのような動きが変化するか調べるために、X軸方向を力制御で0 [N]にして実験した。その結果、X軸方向に±2 [mm]程度ずれて動いたが、X軸方向の力、Y軸周りのトルクがほぼ0になった(図10)。

(2) 3.1の(3)について Y軸周りのトルクが0 [Nm]の場合どのような動きが変化するか調べるために、Y軸周りをトルク制御で0 [Nm]にして実験した。その結果、Y軸周りに±0.5 [deg]程度ずれて動いたが、X軸方向の力、Y軸周りのトルクがほぼ0になった(図は省略)。

(3) 以上の結果より、ウレタンゴムの初期位置が数[mm]、あるいはコンマ数[deg]ずれると大きく計測結果が変わるということが推測された。

3. まとめ

新型試験機を用いてウレタンゴムの曲げ試験を行った結果、想定外の不具合が生じた。これらについてディスカッションを行った。これらの不具合については、平成31年度に修正予定である。

参考文献

- 1) 藤原基芳ほか：“脊椎の力学的特性を測定するための6軸材料試験機の開発”。平成16年度三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 29, p41-46 (2005)
- 2) 藤原基芳ほか：“6軸材料試験機の力制御”。平成16年度三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 29, p47-52 (2005)
- 3) 藤原基芳ほか：“脊椎の力学的特性を測定するための6軸材料試験機の開発(第2報)－試験機の改良とイノシシ腰椎を用いた実験－”。平成17年度三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告, 30, p35-41 (2006)
- 4) 茂木万梨子ほか：“6軸材料試験機を用いた脊椎変形挙動の実験的解明(第1報, 脊椎強度測定用試験機の開発)”。日本機械学会論文集 A編, 74, 740, p621-627 (2008)
- 5) 稲葉忠司ほか：“6軸材料試験機を用いた脊椎変形挙動の実験的解明(第2報, 片側PS固定術の脊椎固定性に関する力学的評価)”。日本機械学会論文集 A編, 76, 770, p1373-1378 (2010)
- 6) 増田峰知ほか：“脊椎強度評価試験機により得られた医学的成果と今後の展開”。ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2016, 1A2-02a6 (2016)
- 7) W. Augustus et al.: ”Clinical Biomechanics of the Spine”. Lippincott., p85-125 (1990)
- 8) 森 英治ほか：“腰椎変性すべり症に対する pedicle screw 併用後側方固定術の長期成績”。臨整外 40, p791-798 (2005)

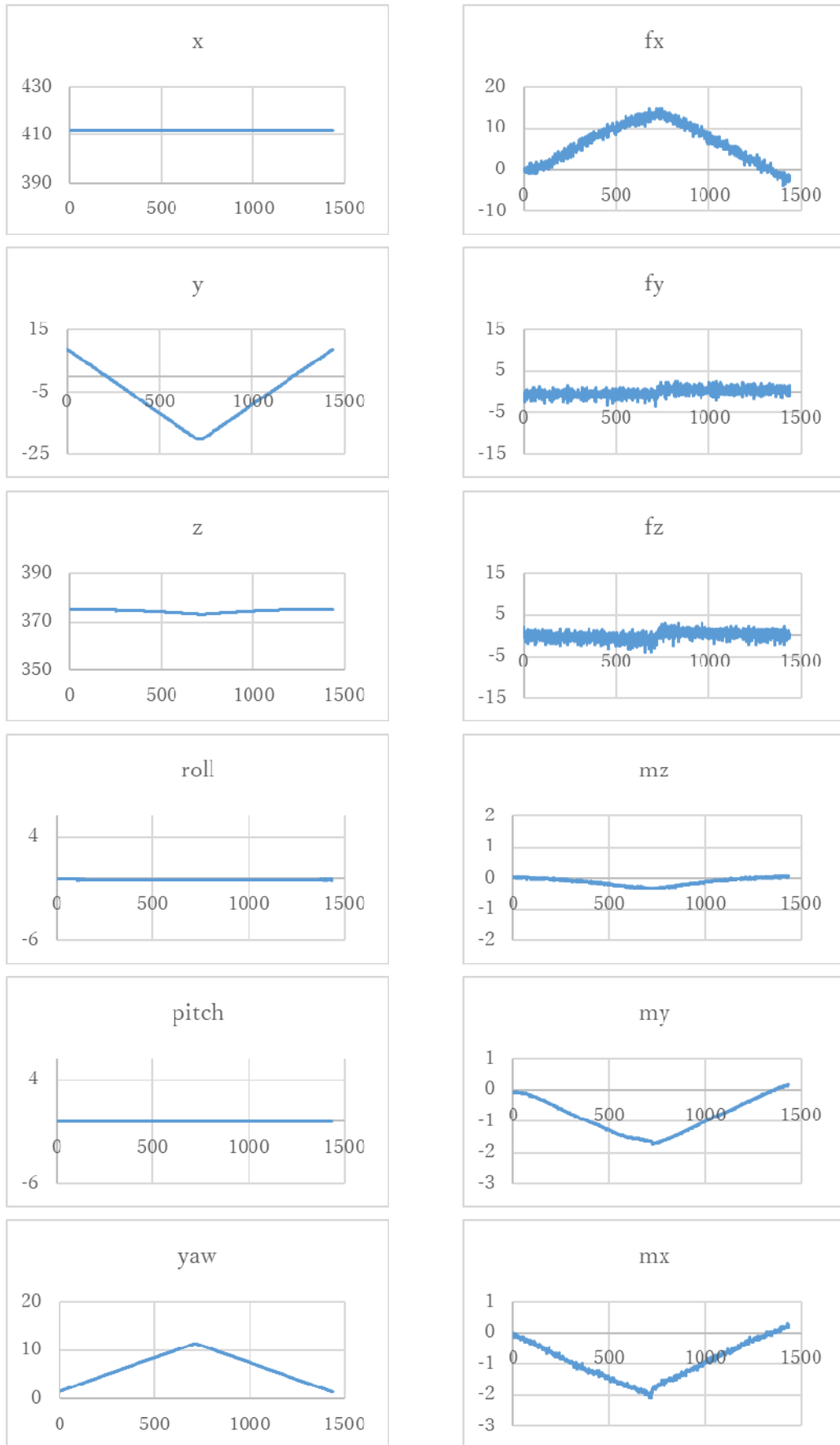


図9 ウレタンゴムの曲げ試験の結果

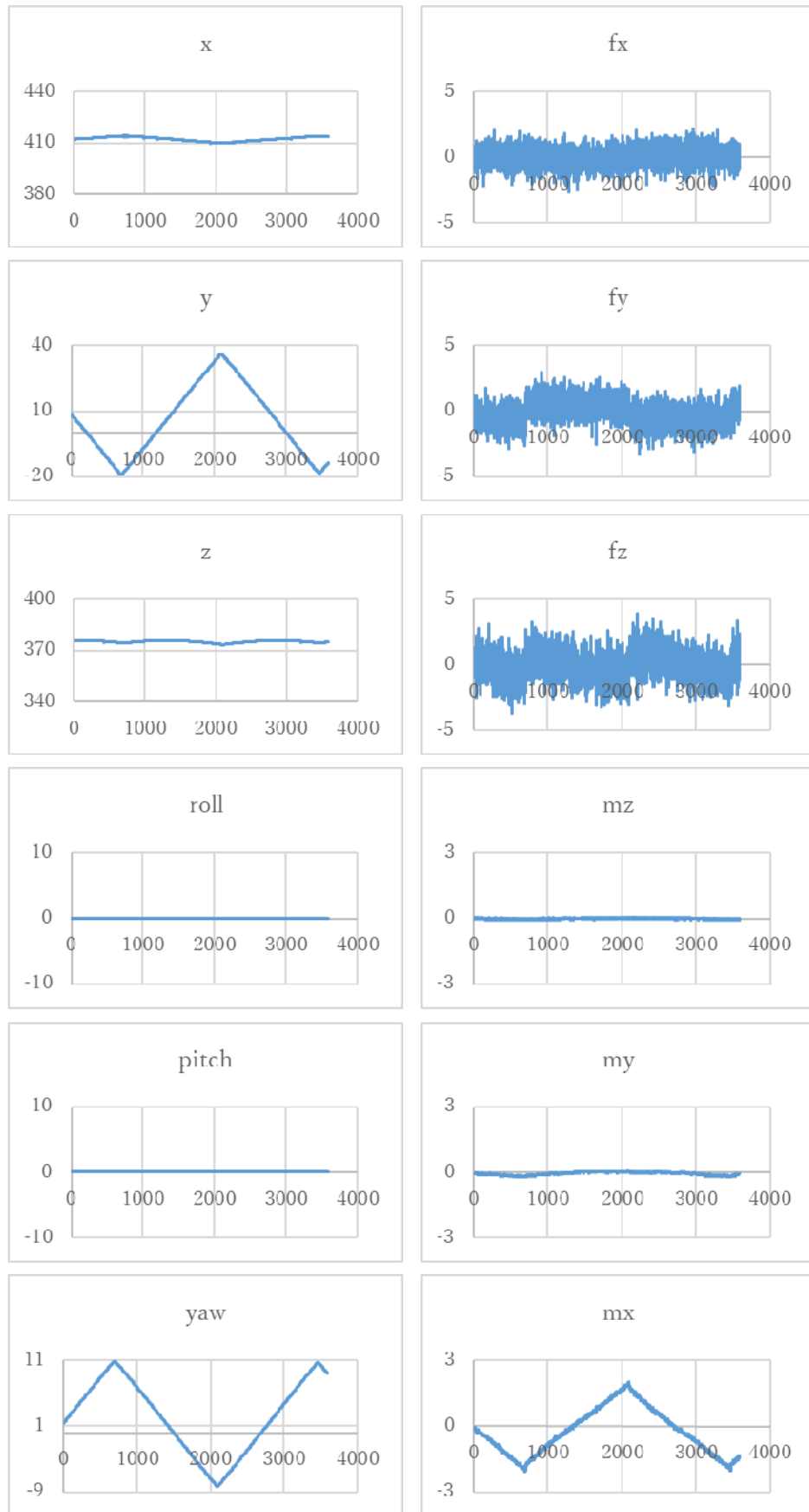


図 10 ウレタンゴムの曲げ試験の結果(x 方向の力を 0 に制御)