

令和元年6月17日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06402

研究課題名(和文) 高衝撃・高周波領域における三軸加速度センサの周波数特性に関する研究

研究課題名(英文) Research on frequency response of triaxial accelerometer in high-shock and high-frequency regions

研究代表者

野里 英明 (Nozato, Hideaki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員

研究者番号：60415726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高衝撃・高周波領域における3軸MEMS加速度センサを評価するため、3台のレーザドップラ振動計(ヘテロダイン式レーザ干渉計)を組み合わせて、1点における3軸加速度の計測機器を開発し、所望の性能を得ることができた。しかしながら、取付ネジを用いた加速度センサと加振器との接触剛性の問題が浮き彫りになったので、別途高周波振動試験を行った。その結果、ある一定の条件下で接触剛性のモデル化について実験結果と一致することに成功した。今後は、その条件をさまざまなケースに適用できるようにして、より信頼性の高い3軸加速度計測につなげていく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高衝撃・高周波領域における3軸加速度計測の信頼性が向上すると、自動車の衝突実験において、実機を用いることなく、製品の安全性を予測可能になる。今後は異方性のある軽くて高強度な材料の使用が増えていくことが予想されるので、それらの安全性評価に寄与できることが考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate a triaxial MEMS accelerometer in the high-shock and high-frequency regions, we combined three laser Doppler vibrometers (almost same as heterodyne type laser interferometers), developed a measuring instrument of 3-axis acceleration at one measurement point. As the result, we obtained the desired performance to the measuring instrument. However, since the problem of the contact stiffness between the accelerometer using the mounting screw and the vibration exciter became apparent, a high-frequency vibration test was differently conducted. Therefore, it was confirmed that the modelling of the contact stiffness was consistent with the experimental results under a certain condition. In the future, we will be able to apply the condition to other cases, leading to more reliable triaxial acceleration measurement.

研究分野：計測工学

キーワード：加速度センサ レーザ干渉計 振動加速度 衝撃加速度 デジタル信号処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年は MEMS 技術の進歩により、高衝撃・高周波領域を計測する 3 軸 MEMS センサが登場してきており、その評価技術が求められるようになった。当研究グループの振動測定装置において、1 軸の加速度センサに対して評価可能な上限周波数は 10 kHz であった。周期的な振動加速度を用いていたので、発生可能な加速度レベルは数百 m/s^2 に限られていた。また、撃力を用いてパルス的な加速度を発生させた場合においても、加速度センサの感度を高精度に評価できるのは 10,000 m/s^2 のピーク加速度が上限であった。

3 軸加速度センサを高精度に評価するためには、受感軸方向に垂直な横感度を評価する必要がある。横感度を評価するためには、1 点における 3 軸加速度を高精度に計測する必要がある。

2. 研究の目的

高衝撃・高周波領域における機械的な加振を可能にするために、低密度高強度の CFRP 製ホプキンソン棒を用意し、1,000,000 m/s^2 のピーク加速度と 40 kHz までの周波数成分をもったパルス的な加速度の発生機構を製作する。

1 点における 3 軸加速度の計測技術を開発するため、3 台の高感度なレーザドップラ振動計を組み合わせた 3 次元レーザ干渉計を構築する。また、その 3 台のレーザドップラ振動系から得られる 3 つ信号を 3 軸の信号へ変換するためのプログラムを製作する。

3. 研究の方法

1,000,000 m/s^2 という高衝撃では高速度に対する計測技術が求められる。従って、20 m/s までの速度計測を可能にするために、80 MHz の搬送周波数で遷移幅が ± 60 MHz 強のスペックを有するレーザドップラ振動計に改造する。また、40 kHz では数 nm の振動変位の計測技術が求められる。そのため、レーザドップラ振動計から干渉信号をデジタル信号として収録して、高精度な変位計測が可能な復調処理を施す。

3 台のレーザドップラ振動計はある角度をもたせて配置する。その角度に基づいて、3 つの信号をベクトル分解することで、3 軸の加速度を得る。そして、その 3 軸の加速度と加速度センサからの電圧を比較することで、3 軸 MEMS センサの主軸感度と横感度の周波数応答を評価する。

4. 研究成果

高加速度を得るため、円柱状 (直径 30 mm、長さ 2000 mm) の CFRP 製ホプキンソン棒を製作した。しかしながら、CFRP 製ホプキンソン棒では高衝撃・高周波を得ることはできたが、非常に直進性が高く、あまり横加速度を発生しなかった。そのため、3 軸加速度を得る際には、ステンレス製ホプキンソン棒を選択することになった。

3 台のレーザドップラ振動計を組み合わせるための光学ユニットを準備した。受感軸方向は 1 台のレーザドップラ振動計で測定するが、受感軸と垂直方向は 2 台のレーザドップラ振動計を用いて、最適な角度をつけて、3 台のレーザドップラ振動計が一点を測定するように設定した。その結果、3 軸の加速度を得ることができた。

高周波振動加速度を用いて、加速度センサを 40 kHz まで評価したが、加速度センサと振動加振器との間にある取付ネジを介した接触剛性が問題となった。そのため、図 1 のとおり加速度センサに付加させる材質を変化させて、接触剛性を評価した。その結果、高周波領域に行くほど、接触剛性の影響が大きくなることが判明し (図 2 のとおり)、その接触剛性にかかるモデル化を行った。現在用いている高周波振動加振器における接触剛性を含めたモデル化は、一定の成功を得ることができたが、さまざまな取付状態における接触剛性をモデル化するには、今後も継続的な検証が必要とされる。3 軸加速度センサの評価を行うことは、現状のデータで可能だが、接触剛性のモデル化が完了した後に、接触剛性の影響を補正して開示したい。

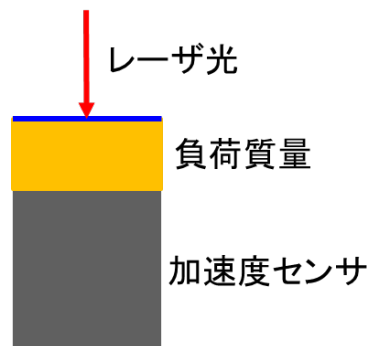


図 1 負荷質量を用いた接触剛性にかかる計測状態の模式図

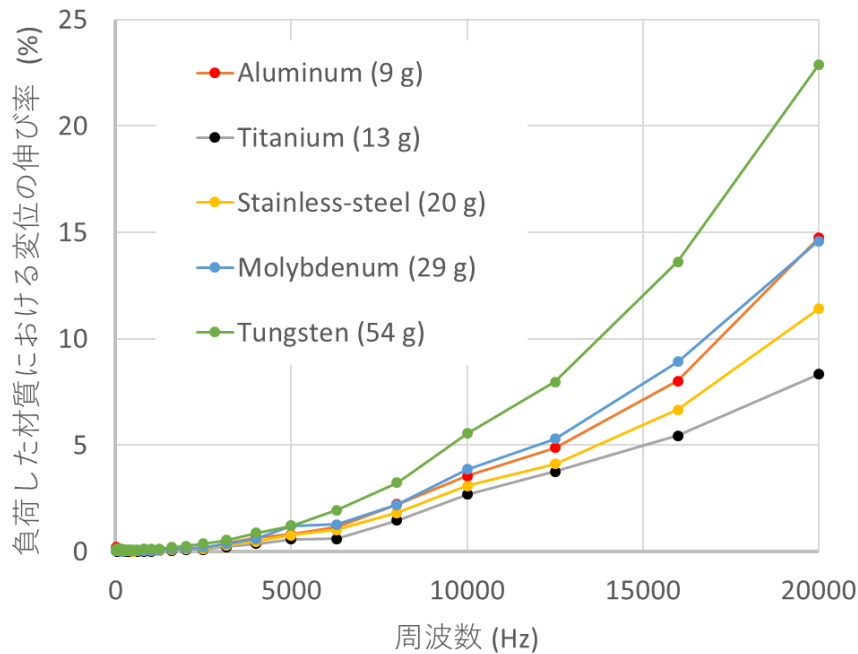


図2 負荷した材質における振動変位の変位の伸び率。加速度センサの感度の変化率に相当。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Hideaki Nozato *et al.*, "A comparison of low-shock and centrifuge calibrations using piezo-resistive accelerometers", *Metrologia* Vol.55, s13-s22 (2018). 査読有
 Hideaki Nozato *et al.*, "An enhanced primary shock calibration procedure to reduce the zero shift effect of piezoelectric transducers by using a virtual amplifier", *Measurement science and technology* Vol. 27, No.9, 095007 (2016). 査読有
 Takashi Usuda, Akihiro Ota, Hideaki Nozato, Tamio Ishigami, Wataru Kokuyama *et al.*, "Final Report of the Key Comparison of APMP.AUV.V-K2", *Metrologia* Vol.54, Technical Supplement 09004 (2017)

〔学会発表〕(計5件)

野里英明、穀山渉、服部浩一郎、「デジタルハイパスフィルタを用いた高周波振動校正装置の開発」精密工学会秋季大会、2016年
 野里英明、穀山渉、服部浩一郎「低周波振動を利用した高周波振動加速度校正装置の開発」精密工学会春季大会、2017年
 野里英明、穀山渉、新谷昌人「レーザ干渉計の一次校正による広帯域地震計の周波数特性評価」JpGU-AGU Joint Meeting (2017)
 Hideaki Nozato *et al.*, "INVESTIGATION OF TRIAXIAL SHOCK MEASUREMENT BY USING THREE LASER DOPPLER VIBROMETERS", IMEKO TC3, TC5 and TC22 international conferences (2017)
 Hideaki Nozato *et al.*, "Time delay evaluation for laser interferometer using electro-optical modulator", *Journal of Physics: Conference Series* Vol.1065 222008 (2018)

〔図書〕(計1件)

野里英明、日本試験機工業会 TEST 51 巻3項~5項 (2019).

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年：
 国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：益子 岳史

ローマ字氏名：Takashi Mashiko

所属研究機関名：静岡大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：70415917

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：穀山 渉

ローマ字氏名：Wataru Kokuyama

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。