

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04180

研究課題名（和文）環境振動下での微小搬送物の動的質量測定

研究課題名（英文）Dynamic mass measurement of micro sample under environmental vibration

研究代表者

山崎 敬則（Yamazaki, Takanori）

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：80342476

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：薬剤などに用いられる試料は微量でも高価なものがあり、創薬の観点から微小試料の質量を手早くかつ精度よく測定することが重要な課題となっている。この実現には優れた質量選別機が必要となるが、一般に各種装置が設置された工場ラインの一部として配置されることから機械振動などで生じる環境振動の影響を免れない。そこで本研究では、環境振動を検出するダミーロードセルの設計製作を行い、この検出を実現するとともに振動補償システムを提案し、低周波領域において十分な補償効果が得られることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境振動は数Hz程度と低周波であることが多いが、市販の装置は加振周波数が5Hz以上といった仕様が多く、そもそも環境振動を再現することができない。そこで、サーボモータと電動シリンダを用いて環境振動を再現できる加振機を自作した。同時に環境振動の検出が可能なセンサ（ダミーロードセル）の設計製作を行い、近年注目されているMEMS型加速度センサとの比較検討も行った。これまで微小試料の質量測定は電子天秤を用いて非常に時間を要していたが、本提案システムにより自動化の道筋が見え、創薬の時間短縮に寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Samples used for pharmaceuticals are expensive even if they are very small in quantity, it is important to measure the mass of minute samples quickly and accurately from the perspective of development of pharmaceuticals. To achieve this goal, an excellent checkweigher is required, but since it is generally installed as part of a factory line where various devices are installed, it cannot escape the influence of environmental vibration caused by mechanical vibration. In this research, we designed and manufactured dummy load cells to detect environmental vibration and proposed a vibration compensation system. And, it was shown that this system can obtain a sufficient compensation in the low frequency range.

研究分野：計測工学，生産工学

キーワード：微小質量 動的測定 環境振動

1. 研究開始当初の背景

微小試料の質量を手早くかつ精度よく測定することは、ますます重要な課題となっている。代表的な例として創薬が挙げられる。薬剤には微量でも効果が大きく異なるものがあり、調剤の現場では、個人の反応に応じた投薬が行われ始めている。微小質量測定の最大の敵は床振動などの環境振動である。高周波成分は測定時間が短くともフィルタなどで除去できるが、低周波成分は測定値へ重畳されてしまう。このため低周波の環境振動下においても測定値に影響を及ぼさない装置が求められている。本研究では、電子天秤に、環境振動を抑制ないしは相殺するアルゴリズムを適用し、1 g 以下の質量を高精度で短時間かつ連続的に測定するシステムの開発を目指す。これまでも動的な質量計測は行われてきたが、環境振動を受けるような領域での動的測定技術は確立しておらず、力学量計測分野において革新的な技術開発であり、新しい計測学術分野を担うものである。

2. 研究の目的

微小試料の質量測定を正確に行うには、床振動などの環境振動を再現する装置、環境振動を検出するセンサに加え、これを補償するアルゴリズムの検討が必要となる。この実現のために、以下の計画を実行する。

- (1) 環境振動を再現する装置の開発
- (2) 環境振動を検出する方法の検討
- (3) 環境振動を補償する方法の検討

3. 研究の方法

(1) 環境振動を再現する装置の開発

環境振動は数 Hz 程度と低周波であることが多いが、市販の加振機は加振周波数が 5 Hz 以上といった仕様が多く、そもそも環境振動を再現することができない。そこで、サーボモータと電動シリンダを用いて環境振動を再現できる加振機を自作した。電動シリンダはモータの回転をボールねじで直動運動に変換する装置であり、今回使用したシリンダはリード 4 mm、サーボモータに付属するロータリエンコーダが 17bit であることから、加振（上下）方向の位置分解能は約 30 nm となる。電動シリンダを上位装置 (PC+LabVIEW) で制御することにより、さまざまな振動が再現でき、0.1-20 Hz の位置追従性能に問題がないことは確認済である。製作した加振機を図 1 に示す。

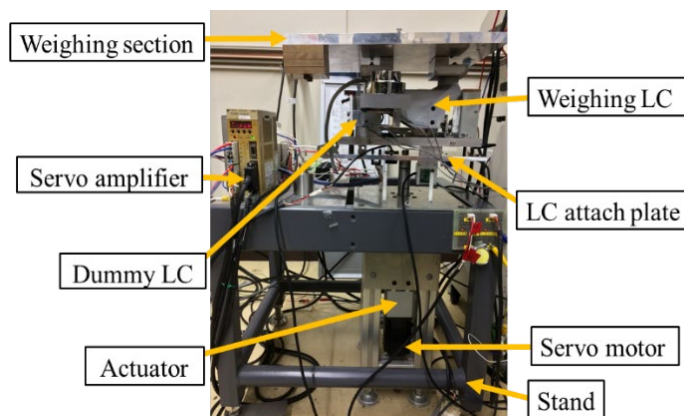


図 1 製作した加振機

(2) 環境振動を検出する方法の検討

環境振動は数 Hz 程度と低周波であることが多く、一般に用いられる圧電式やひずみゲージ式の加速度センサでは検出が難しいことが問題となっている。そこで本研究では、環境振動を測定する方法として、1) ダミーロードセル（以下、ダミーセル）を用いる方法、2) MEMS 型加速度センサを用いる方法、の 2 つで検討を行った。後者は近年、小型化が進み、SN 比が目覚ましく向上しているが、研究室ではさらなるノイズ低減を目的として基盤に改良を加えている。

これら 2 つの方法による振動測定について、従来から低周波の測定に実績のあるサーボ型加速度センサを用いて比較したところ、いずれも 0.01 m/s² 程度の加速度は検出できることが分かった。

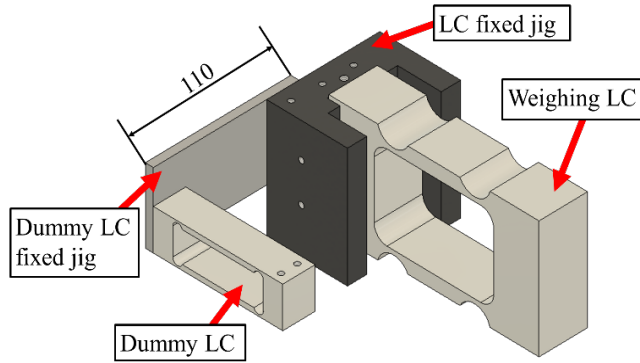


図2 製作したダミーセル

(3) 環境振動を補償する方法の検討

環境振動の検出は、MEMS 型加速度センサでもある程度は可能であることが分かったが、出力信号に含まれるノイズや計量ロードセル出力との間に位相差が生じることから、振動補償はダミーセルで行うこととした。なお、電磁力平衡式の秤では、計量ロードセル (Weighing Load Cell) がロバーバル機構となり、これに取り付けられたレバーの先端を電磁力でバランスさせることで測定精度向上を図っている。そこで本研究では、まず Weighing LC で検知する振動をダミーセルで相殺することを検討した。

提案する振動補償方法を図3に示す。加振が行われると計量ロードセルはがブリッジ回路、ダミーセルはアンプからひずみに応じた電圧が出力される。ダミーセルのルートで1/4が掛かるのは、4ゲージで出力が4倍されるためである。その後、両者はひずみと力との静的な関係で力に換算されるが、各ロードセルは振動による遠心力を受け、両者で遠心力に寄与する質量が異なるためダミーセルのルートで補正を行う。これより得られた計量ロードセルに作用する力 F_W とダミーセルに作用する力 F_D を相殺して振動補償を行うものとする。

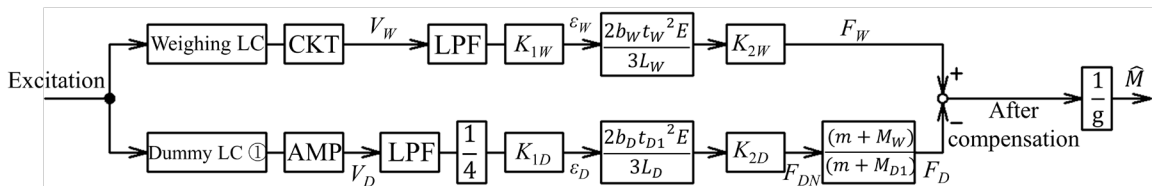


図3 振動補償方法

ダミーセルの改良

ダミーセルは、FEM 解析等を用いて計量ロードセルと固有振動数が等しく、電子天秤に組み込むことを考慮してなるべく小さくなるよう形状の設計を行った。ここで、切り欠き厚さは1.2 mm で変えなかったところ、加振実験の結果、ひずみ量が計量ロードセルに比べて大きくなってしまった。そこで形状は変えずに切り欠きを3.0 mm と厚くした改良形ダミーセルを新たに製作して、併せて振動補償の効果を比較することとした。計量ロードセルと改良形ダミーセルの図面を図4、5に示す。

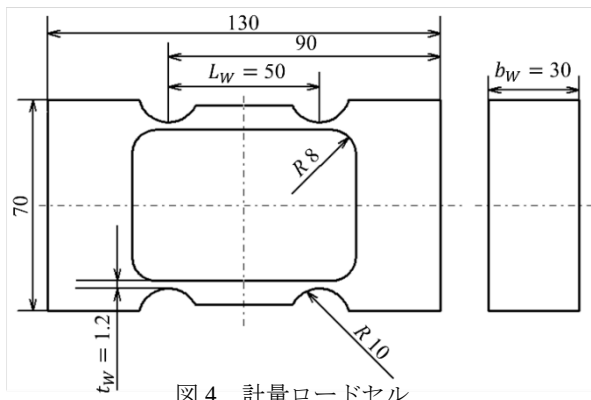


図4 計量ロードセル

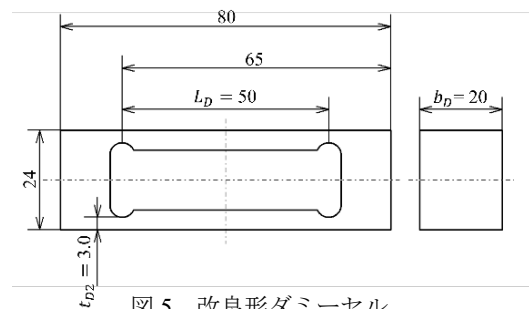


図5 改良形ダミーセル

4. 研究成果

提案した補償方法を適用した実験結果を図6, 7に示す. ここで, 図6は当初設計したダミーセル, 図7は改良形ダミーセルを用いている. 改良形ダミーセルの補償効果をまとめた表1より提案手法を用いることで2 Hz以上の振動で十分効果が得られ, 5 Hzについては90%以上の補償効果があることが示された.

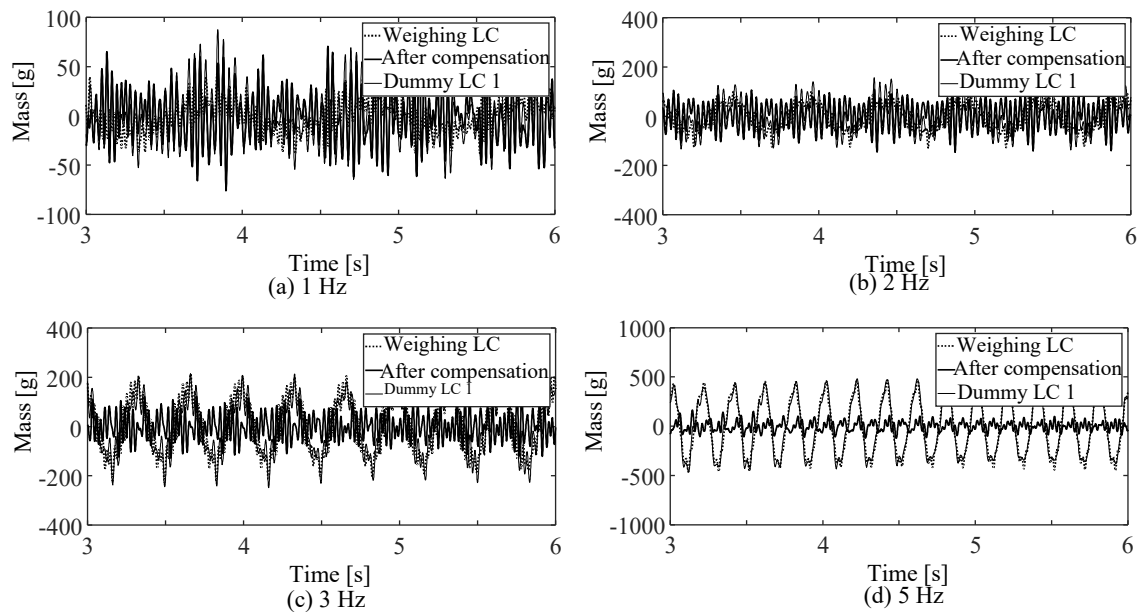


図6 ダミーセルを用いた振動補償

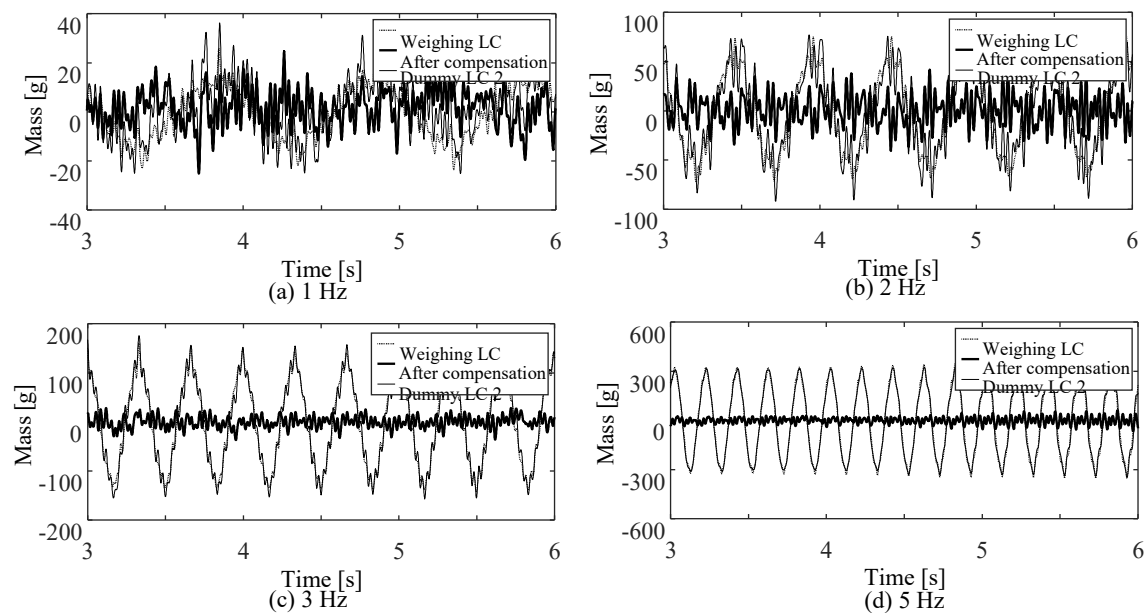


図7 改良形ダミーセルを用いた振動補償

表1 改良形ダミーセルを用いた振動補償効果

Excitation frequency [Hz]	Before compensation [g]	After compensation [g]	Removal rate [%]
1	34.3	28.9	15.8
2	120	42.6	64.4
3	281	46.2	83.5
5	646	55.4	91.4

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 3件）

1. 著者名 Yuji Yamakawa, Hotaka Tozuka, Takanori Yamazaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Mathematical model in dynamic mass measurement with consideration of position variation of fulcrum point	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 100164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.measen.2021.100164	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 Y. Yamakawa, A. Tsuzura, T. Yamazaki	4. 巻 9
2. 論文標題 VIBRATION COMPENSATION USING DUMMY LOAD-CELL IN DYNAMIC MASS MEASUREMENT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACTA IMEKO	6. 最初と最後の頁 75-78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21014/acta_imeko.v9i5.942	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 Kazuki Yamani, Yuji Yamakawa and Takanori Yamazaki	4. 巻 1065
2. 論文標題 Dynamic behavior of mass measurement system using load-cell (2nd report) -Effect of partial load distribution-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1065/4/042048	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yuji Yamakawa and Takanori Yamazaki
2. 発表標題 Simplified model of mass measurement system with consideration of variation of fulcrum position
3. 学会等名 Joint IMEKO TC3, TC5, TC16 and TC22 International Conference 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akinori Tsuzura, Yuji Yamakawa and Takanori Yamazaki
2. 発表標題 Vibration compensation for checkweigher using dummy load cell
3. 学会等名 Asia Pacific Measurement Forum on Mechanical Quantities (APMF 2019) (国際学会)
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	山川 雄司 (Yamakawa Yuji) (90624940)	東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・准教授 (12601)	

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