

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：84431

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13964

研究課題名（和文）非ガウス分布をベースとした緩衝設計理論の再構築

研究課題名（英文）Reconstruction of cushioning packaging design method based on non-Gaussian distribution

研究代表者

細山 亮（Hosoyama, Akira）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員

研究者番号：10530074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、包装品の固有振動数が製品応答加速度の尖度に及ぼす影響を把握するための指標として、加速度波形が1自由度系モデルに入力されたときの加速度応答の尖度を固有振動数ごとに求めたものである尖度応答スペクトルという概念を提案した。また、尖度応答スペクトルにより包装品の固有振動数が製品の応答尖度に及ぼす影響を把握することで、非ガウス分布に基づく新たな緩衝設計方法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、これまでガウス分布を前提としていた緩衝設計方法を非ガウス分布に拡張することができたため、学術的に意義のある研究成果が得られたと考えられる。また、本研究で提案した非ガウス分布に基づく新たな緩衝設計方法は、従来の緩衝設計方法と比べて実際の輸送環境に即した設計が可能となる。これにより、宅配業者に大きな負担を与える一因となっている輸送中の製品破損事故の削減につながると期待できることから、社会的意義も高い。

研究成果の概要（英文）：In this study, a kurtosis response spectrum was proposed, which is an anti-vibration packaging design index, taking into account the non-Gaussianity of transport vibrations. A kurtosis response spectrum is a plot of the kurtosis of the acceleration response for a series of single degree of freedom (SDOF) systems to the base acceleration input, assuming that the packaged product is the SDOF system. A new anti-vibration packaging design taking into account the non-Gaussianity of transport vibrations was developed by clarifying the effect of natural frequency on the kurtosis response by the kurtosis response spectrum.

研究分野：輸送包装

キーワード：振動試験 非ガウス分布 尖度 緩衝設計 尖度応答スペクトル

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットによる通信販売市場が拡大を続け、宅配取扱個数は増加の一途をたどっている。宅配取扱個数がますます増加する一方で、輸送による製品の破損は一定割合で発生しており、破損に伴う経済的損失は拡大を続けている。また、製品の破損によっては再配達が必要になる場合があり、宅配業者に大きな負担を与える一因になっている。そのため、輸送における破損率の低減は最優先して取り組むべき課題である。輸送中の破損率を低減するためには、製品が輸送中に受ける外力に対して適切に保護されるように緩衝設計を行う必要がある。しかしながら、従来の緩衝設計理論に基づいて適切に緩衝設計を行ったとしても、輸送中に製品が破損するケースがあり、従来の緩衝設計理論には限界があることが指摘されていた。

2. 研究の目的

従来の緩衝設計理論では、輸送中の振動加速度の動きは不規則であり、かつその確率分布はガウス分布(正規分布とも呼ぶ)に従うことを仮定し、理論が構築されている。そのため、発生する加速度は加速度実効値の1倍以内に68.3%、2倍以内に95.4%、3倍以内に99.73%が収まることになる。しかし、現実には路面の凹凸が大きい箇所もあるため衝撃的な振動が発生する。すなわち、輸送中の振動加速度はガウス分布に従わないことも多く、加速度実効値の3倍を超える高い加速度が頻繁に発生する。そのため、ガウス分布を想定する従来の緩衝設計理論では、実際の輸送環境に適した緩衝設計を行うことができなかった。そこで本研究では、実際の輸送環境に即した緩衝設計を目指し、非ガウス分布に基づく新たな緩衝設計理論の構築を目的とする。具体的には、加速度実効値の3倍を超える衝撃的な振動を抑制できる緩衝材の特性を明らかにし、非ガウス分布に基づく新たな緩衝材選定指針を考案する。

3. 研究の方法

(1) 荷台加速度の計測

図1に示す小型車両(車種:ダイハツ ハイゼット、車両総重量:1380 kg、トレッド(前):1305 mm、トレッド(後):1300 mm、ホイールベース:2450 mm)を用い、大阪産業技術研究所の敷地内の路面(図2)を走行させた。走行路面には、ケーブルプロテクタ(図3)を設置してバンプを作成し、20 km/h の速度で走行したときに、バンプを乗り越える際に発生する上下方向の加速度を測定した。なお、加速度センサは図4のように車両荷台の後端に設置し、サンプリング振動数は1280 Hz と設定した。この測定を12回繰り返し、バンプを12回乗り越えるときの上下方向の加速度を記録した。測定したデータには停車時などのバンプ走行以外の区間が多く含まれているため、1 s 間(1280 points)の加速度実効値が 2 m/s^2 以上となる区間を抽出し、バンプを走行した区間を抜き出した。



図1 本研究で用いた車両



図2 走行路面

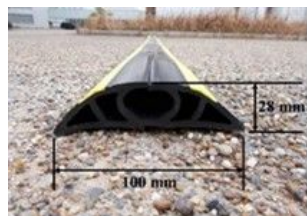


図3 ケーブルプロテクタ



図4 車体に設置した加速度センサ

(2) 非ガウス型ランダム振動入力に対する製品応答シミュレーション

包装品の固有振動数が製品応答加速度の尖度に及ぼす影響を明らかにするために、計測した加速度を非ガウス型ランダム振動入力とし、包装品の応答シミュレーションを実施した。図5のように、製品の上に緩衝材が配置された包装品を想定し、製品をマス、緩衝材をスプリングとダンパーでモデル化して製品応答シミュレーションモデルを構築した。包装資材として一般に用いられることの多い発泡ポリスチレン緩衝材を想定して包装品の固有振動数を1 Hz、2 Hz、...、100 Hz、減衰比を0.1、0.15、0.2、0.25と設定し、衝撃的な振動を含む非ガウス型ランダム

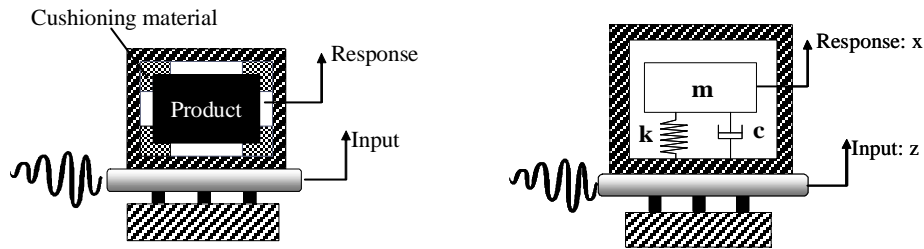


図5 包装品のモデル

振動が入力されたときの製品応答シミュレーションを行い、包装品の固有振動数が製品応答加速度の尖度に及ぼす影響を調べた。

(3) 振動試験機を用いた製品応答実験

製品応答シミュレーションで得られた結果を実験的に検証するために、ダミー包装品を用いた加振実験を行った。アクリルボックス(図6)とコーナーパッド緩衝材(図7)を用意し、それらを段ボール箱で包装してダミー包装品を作製した。図8のように、ダミー包装品を振動台に固縛し、計測した加速度を加振波形として振動台を上下方向に加振し、アクリルボックスに生じる上下方向の加速度を測定した。

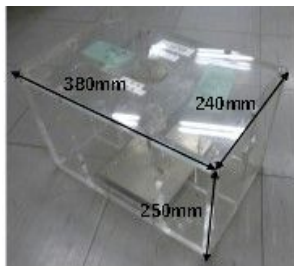


図6 実験で用いたアクリルボックス



図7 コーナーパッド緩衝材



図8 加振実験の様子

4. 研究成果

(1) 荷台加速度の計測

図9および図10に、車両の荷台で計測された加速度データおよびそのPSD(Power Spectral Density)を示す。このとき計測された加速度データの実効値および尖度はそれぞれ 2.4 m/s^2 および5.1である。図9を見ると、衝撃的な振動が時折発生しているがわかる。本研究では、図9に示す加速度を非ガウス型ランダム振動として用いた。

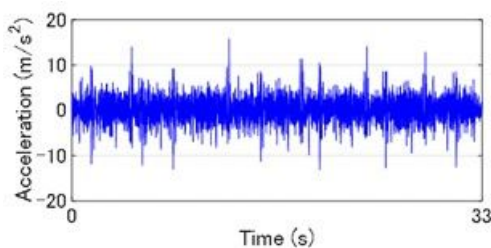


図9 計測された加速度

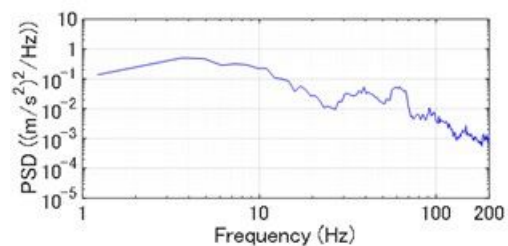


図10 荷台加速度のPSD

(2) 非ガウス型ランダム振動入力に対する製品応答シミュレーション

尖度応答スペクトルの考案

包装品の内容品に伝わる加速度の尖度が包装品の固有振動数によって変化する様子を把握する指標として、尖度応答スペクトルと言う新しい指標を考案した。尖度応答スペクトルとは、衝撃応答スペクトルと類似した概念であり、加速度波形が1自由度系モデルに入力された時の加速度応答の尖度を固有振動数ごとに求めたものである。

図11に、尖度応答スペクトルの概念図を示す。横軸は、1自由度系モデルの固有振動数、縦軸は各固有振動数に対する応答尖度である。なお、尖度応答スペクトルを求める手順は以下の通りである。

1. 1自由度系モデルの減衰比 ζ もしくはQ値($Q = 1/2\zeta$)を設定する。
 2. 1自由度系モデルの固有振動数 f_i を設定する。
 3. 加速度入力 \ddot{z} が1自由度系モデルに与えられたときの応答加速度 \ddot{x}_i を計算し、その応答加速度から尖度 K_i を求める。
 4. 設定した固有振動数と上記で求めた尖度をグラフにプロットする。
 5. 上記の操作を他の固有振動数についても繰り返し行い、プロットした点をつなげる。
- 尖度応答スペクトルでは、1自由度系モデルの各固有振動数に対する応答尖度が得られるため、応答波形の非ガウス性がどの固有振動数帯域で強まるのか、もしくは弱まるのかを把握できる。

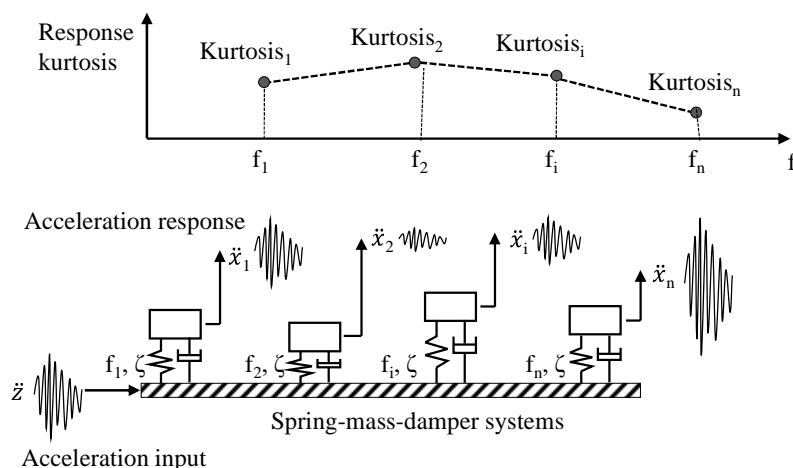


図 11 尖度応答スペクトルの概念図

非ガウス型ランダム振動の尖度応答スペクトル解析

図 12 に、包装品の固有振動数を 1Hz、2Hz、...、100Hz、減衰比 ζ を 0.1、0.15、0.2、0.25 と設定し、図 9 に示す加速度入力に対する製品応答シミュレーションから得られた尖度応答スペクトルを示す。図を見ると、応答尖度は包装品の固有振動数によって異なることがわかる。例えば、包装品の固有振動数が 10Hz から 30Hz 付近にある場合には、応答尖度は 6 より大きくなるのに対し、包装品の固有振動数が 40Hz から 100Hz にある場合には、応答尖度は 5 より小さくなる。いま、計測された荷台加速度の尖度は 5.1 であるため、包装品の固有振動数によって、応答尖度が入力尖度に比べて増幅する場合や減衰する場合があることが認められる。

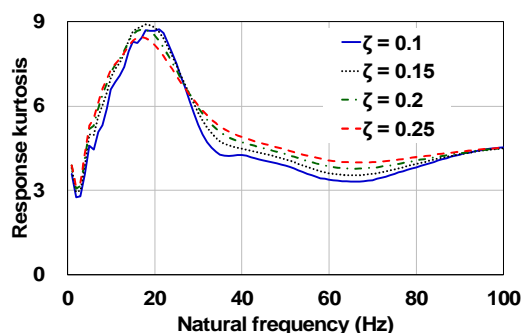


図 12 実輸送データの尖度応答スペクトル

(3) 振動試験機を用いた製品応答実験

図 13 に、ダミー包装品を用いた加振実験で得られたデータを図 12 上に加えた結果を示す。図を見ると、実験データは尖度応答スペクトルで得られた結果と同様の傾向を示しており、概ね一致していることがわかる。したがって、1自由度系応答加速度の尖度が固有振動数によって異なる場合があることが実験的にも確認することができる。

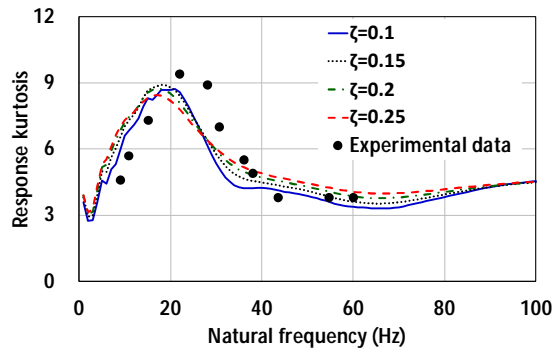


図 13 加振実験で得られた応答尖度と固有振動数の関係

(4) 非ガウス分布に基づく新たな緩衝材選定指針

図 14 に、図 9 に示す加速度の RMS (Root Mean Square) 応答スペクトルを示す。ここで、RMS 応答スペクトルとは、ある加速度が 1 自由度系モデルに入力された時の加速度応答の RMS 値を固有振動数ごとに求めたものである。従来の緩衝設計理論では、RMS 応答が最も低くなる固有振動数となるように、緩衝設計が行われる。いま、図 14 の RMS 応答スペクトルを見ると、固有振動数が 20 Hz から 30 Hz の間における応答 RMS が小さくなることがわかる。したがって、従来の緩衝設計理論では、固有振動数が 20 Hz から 30 Hz の間になるように緩衝材を設計すれば問題ないと言える。

それに対し、非ガウス分布に基づく新たな緩衝設計方法は、1 自由度系応答の加速度実効値だけでなく、新たに尖度応答スペクトルも評価指標として用いることに特徴がある。ここで、図 13 の尖度応答スペクトルを見ると、固有振動数が 20 Hz の場合の応答尖度の方が 30 Hz の場合より高くなる。したがって、固有振動数が 20 Hz の場合の方が 30 Hz の場合に比べ、製品内部に加わる疲労損傷は高くなるため、固有振動数が 30 Hz 付近になるように緩衝設計を行う方が望ましいことがわかる。

従来の緩衝設計理論では、ガウス型ランダム振動を想定していたため、包装品の固有振動数にかかわらず応答尖度はつねに 3 付近の値となり、応答尖度を考慮する必要がなかった。それに対し、非ガウス分布に基づく新たな緩衝設計理論では、従来の緩衝設計理論で考慮していた RMS 応答スペクトルだけでなく、尖度応答スペクトルも評価指標とするため、衝撃的な振動を消失させる緩衝材の選択が可能となる。

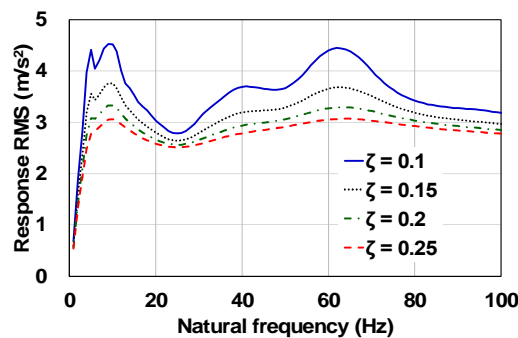


図 14 RMS 応答スペクトル

< 引用文献 >

H. Li and R. Jansen, Mechanical distribution hazards and cushion design. Packaging Technology and Science, vol. 4, 109-115, 1991
 T. Irvine, An Introduction to the Shock Response Spectrum, Revision S, Vibrationdata, June 9, 1-73, 2012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Hosoyama Akira, Tsuda Kazuki, Horiguchi Shogo	4. 巻 33
2. 論文標題 Development and validation of kurtosis response spectrum analysis for antivibration packaging design taking into consideration kurtosis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Packaging Technology and Science	6. 最初と最後の頁 51 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pts.2487	査読の有無 有
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 Hosoyama Akira, Tsuda Kazuki, Horiguchi Shogo	4. 巻 -
2. 論文標題 Non-Gaussian nature of the SDOF response to Gaussian vehicle vibrations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Packaging Science and Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 -
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 有
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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 細山亮、津田和城、堀口翔伍
2. 発表標題 実輸送データから得られるガウス型ランダム振動の尖度応答スペクトル
3. 学会等名 日本包装学会第30回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hosoyama Akira, Tsuda Kazuki, Horiguchi Shogo
2. 発表標題 Kurtosis response spectrum analysis of Gaussian random vibration derived from vehicle vibration
3. 学会等名 22nd IAPRI World Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細山亮、津田和城、堀口翔伍
2. 発表標題 一般道走行時に計測された荷台振動の尖度応答スペクトル解析
3. 学会等名 日本包装学会第29回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hosoyama Akira, Tsuda Kazuki, Horiguchi Shogo
2. 発表標題 Kurtosis Response Spectrum Analysis for Anti-Vibration Package Design
3. 学会等名 29th IAPRI Symposium on Packaging 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細山亮、津田和城、堀口翔伍
2. 発表標題 包装品の固有振動数が製品に伝わる振動加速度の尖度に与える影響
3. 学会等名 日本包装学会第28回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細山亮、津田和城、堀口翔伍
2. 発表標題 確率密度分布を考慮した防振設計のための緩衝材選択指針
3. 学会等名 第56回全日本包装技術研究大会
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
---------	---------