

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04608

研究課題名(和文) 小口貨物荷扱いレベル高精度解析法の開発による包装適正化と省力宅配輸送への貢献

研究課題名(英文) Contribution to optimum cushioning package and saving transportation by the development of the small parcel handling level high precision analytical method

研究代表者

齋藤 勝彦 (Saito, Katsuhiko)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：70195981

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年ますます急増するネット通販需要に応えるため、ネット通販小口貨物の減容化(適正輸送包装の高度化)を目指した。これまで、回転をとめないながら不安定な姿勢で自由落下している物体で計測された加速度情報から、精度よく落下姿勢と落下高さを解析できる方法はなく、本研究では、ネット通販小口貨物を模した衝撃加速度計測ユニットを仕込んだ包装ダミーによって計測された加速度情報から、包装物の正確な落下姿勢と落下高さを導出する方法論を確立させた。落下姿勢と落下高さが精度よく解析できれば、おのずから貨物の大きさ・形状・重量・製品衝撃強さに対応した適正な緩衝包装が可能となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

輸送中の貨物は、落下方向別の衝撃値(自由落下高さに換算)の大きさを正確に評価できなければ貨物を適正に包装することは不可能である。本研究の成果により、落下姿勢と落下高さが精度よく解析できるようになり、貨物の大きさ・形状・重量・製品衝撃強さに対応した適正な緩衝包装が可能となった。したがって、落下高さ情報があいまいである現況の荷姿から、大きく減容化することが可能となり、宅配輸送システムの省力化に大きく寄与できる。

研究成果の概要(英文)：In recent years, advancement of the appropriate transport packaging of the web-base order small parcel increased rapidly more and more. There was not the method that precision was good, and could analyze a free fall posture and free fall height from acceleration information measured in the freight which free-falling with unstable posture while being accompanied by a turn. In this study, it was established methodology to derive the precise free fall posture and free fall height of the package from acceleration information measured by the packaging dummy which fitted a shock acceleration measurement unit. If precision is good and can analyze a free fall posture and free fall height, appropriate cushioning packaging corresponding to size, a shape, weight, the product shock strength of the freight is enabled naturally.

研究分野：輸送包装

キーワード：包装 宅配便 荷扱い

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

昨今の国内労働力不足を要因とした宅配輸送システムの限界により、ネット通販に対する社会要求が満足されない懸念がある。ネット通販利用者のほとんどが感じることであるが、宅配されてきた包装物は内容物に比べて過剰に大きい。包装物の容積が大きいと、1台の配送車で運ぶ量が少なく配送頻度がかさんでしまうことで配送総量が伸び悩んでいる。ネット通販包装物を適正に小容量化されることによって、配送車1台あたりの取り扱い貨物が増え、配送作業者の作業負担が減り、輸送の効率化に寄与できる。また、更なる省力宅配輸送方式としてのコンビニや鉄道駅構内に設置が進む宅配ボックスの減容化が可能となるとともに、宅配ボックスから自宅へのネット通販利用者の持ち帰り易さが向上する。さらに、ドローンや無人運転車両を用いた次世代型輸送システムに、包装物の減容化と適正包装技術の高度化は貢献できる。輸送中の貨物は、落下方向別の衝撃値(自由落下高さに換算)の大きさを正確に評価できなければ貨物を適正に包装することは不可能である。包装貨物の落下高さを物理的に直接計測することは不可能であり、小口貨物を模した衝撃加速度計測ユニットを仕込んだ包装ダミーによって、計測された加速度情報から解析される(図1)。自由落下した包装ダミーで計測された加速度情報は、ピーク加速度法、衝撃速度変化法、自由落下時間法のいずれかの方法で解析されるが、落下姿勢が安定している場合は3つの解析法による結果はほぼ一致し、自由落下試験装置を用いたラボテストでも精度が確認されている。一方、実際の輸送で計測された加速度値で解析すると、それらの結果は一致せず、どの値を信用すればいいのか判然とせず、その精度がどの程度保証できるのかも明確になっていない。その原因は、回転しながら落下し、その間は重力加速度に加え遠心力による加速度も計測されること、落下着地の姿勢によって衝撃が、角、稜、面と3回発生し、1回の衝撃波形(1回の衝撃で落下エネルギーが消費される場合)で解析可能なピーク加速度や速度変化情報が使えないことが考えられる。また、輸送車両の荷台内で積み上げられたところから車両の振動により落下する場合は、段積みされた下の貨物と衝突しながら落下する場合もあり、そのときには非常に複雑な加速度波形となって事実上落下高さ解析換算が不可能となっている。

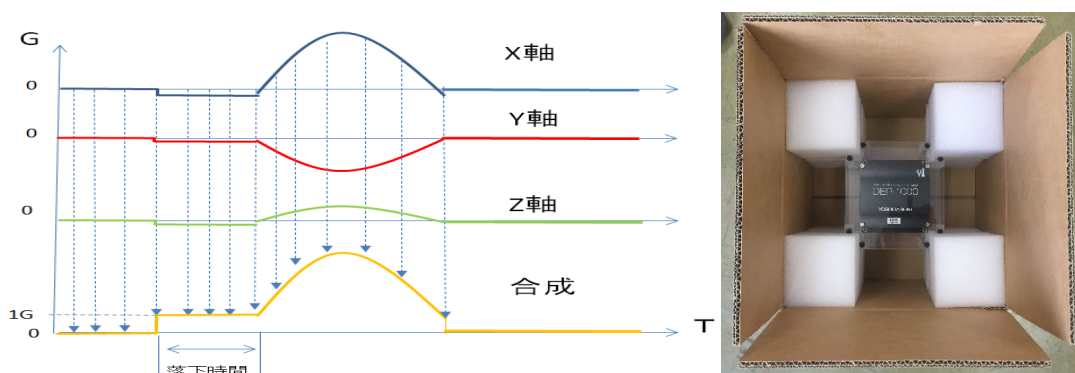


図1 包装ダミー(右)によって計測された落下衝撃時の加速度時系列(左)

2. 研究の目的

以上のような学術的な背景をもって、学術的に問われている点として「回転をとめないながら不安定な姿勢で自由落下している包装品で計測された加速度情報から、精度よく落下姿勢と落下高さを解析できる新たな手法の開発」となる。落下姿勢と落下高さが精度よく解析できれば、おのずから貨物の大きさ・形状・重量・製品衝撃強さに対応した適正な緩衝包装が可能となり、落下高さ情報がいまいである現況の荷姿から大きく減容化することが可能となり、宅配輸送システムの省力化に大きく寄与できる。落下物体の着地前後の加速度情報から、自由落下時の落下姿勢と落下高さを精度よく解析する方法論はこれまで検討されてこなかった(学術的独自性)。また、正確な落下姿勢と落下高さをベースに適正輸送包装(包装貨物の減容化)に応用することで、爆発的に増大するネット通販に対応した小口貨物宅配輸送システムの省力化に技術的な側面で寄与しようとする試みは皆無である(学術的創造性)。

3. 研究の方法

1年目

ネット通販でみられる代表的な3つの大きさのダミー包装物を製作し、荷札の位置、ケアマークの有無、取手や保持しやすい箱形状等の条件が、荷扱いの荒さ(丁寧さ)すなわち:落下方向別の落下高さにどのように影響するのかを、実際の宅配輸送データ計測を通じて明らかにする。このとき各パラメータの影響を明確にするために3つのダミー包装物を同時に多数回の宅配便実輸送(輸送費必要)する必要がある、ダミー包装物の製作と輸送環境記録計3台が必要である。ここでの落下高さ解析(解析補助作業謝金必要)は既存3つの方法によって行い、3つの方法で

得られた解析結果を比較することで、解析法の信頼性について評価する。なおここでの検討内容は、これまでの「輸送貨物の衝撃解析に関する既存研究」成果をベースにスムーズに実行可能である。これにより、次年度に実施する新しい解析法の定量的な目標が明確になる。

2年目

まず、様々な落下姿勢でのダミー包装物に作用する加速度計測を実験室レベルで実施する。使用する機材は、現有の自由落下試験装置および等価落下試験が可能な衝撃試験装置である。室内実験では落下姿勢と落下高さは明確であり、加速度計測により既存3手法で解析された結果との比較によって、既存解析法を用いた落下高さ解析の定量的な誤差評価を行う。続いて、本研究課題の主要な内容である、新しい落下高さ解析法の開発を、室内実験結果を有効に活用しながら進め、現状の輸送環境記録計解析ソフトウェアに実装するアルゴリズムを作成する。さらに、前年度に計測した加速データを新しく開発した解析アルゴリズムを用いて落下高さ解析を再度実施することにより、適正な包装を実施するための前提条件としての高精度な落下姿勢と高さが明確になる。ここで本プロジェクトの研究経過をオープンにし、関連研究者との情報交換によって最終年度の研究プロジェクトへ向かうための方向性を明確に確認する。

3年目

まず、前年度に得た正確な落下姿勢と落下高さ情報にもとづく宅配輸送ダミー物の適正な包装設計と製作をする。次に、製作された適正ダミー包装物を用いた室内包装貨物評価試験を実施し、包装の適正度を実験的に評価する。最後に、製作された適正ダミー包装物を用いたネット通販用宅配実輸送データ計測を実施し、包装の適正度を実証的に評価する。最終的な研究成果は、国際会議で発表し主要国際ジャーナルへ論文投稿し、ネット通販宅配貨物の適正包装を実現させる。

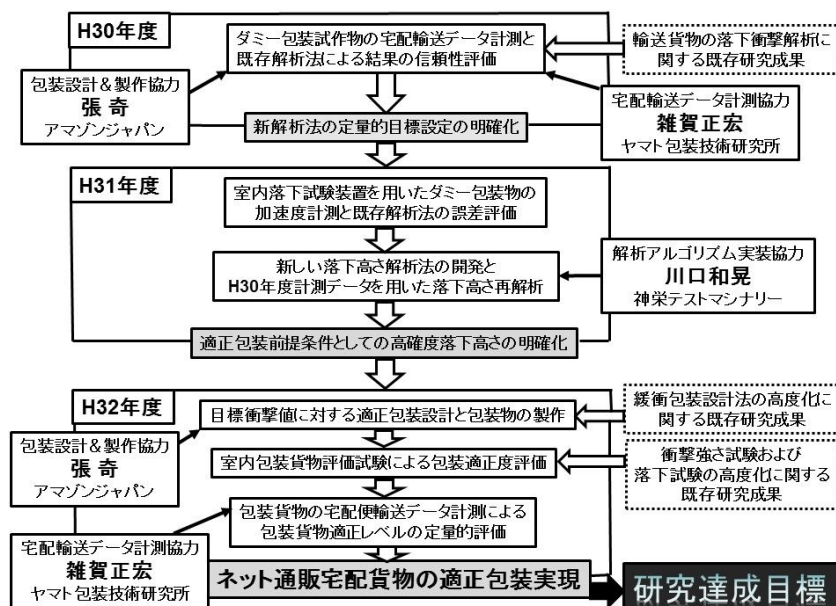


図2 各年度における研究実施内容と達成目標および研究協力者との関係

4. 研究成果

ネット通販ほとんどを占める小口貨物が輸送中に破損する最大の要因は、人力による過酷な荷扱いのために生じる衝撃負荷であり、その際の落下高さを精密に評価する必要があるが、輸送環境調査の計測結果に即して決定すべきである。

1年目は、ケアマークの有無の条件が、荷扱いの荒さ(丁寧さ)すなわち落下方向別の落下高さにどのように影響するのかを、実際の宅配輸送データ計測を通じて検討する中で、回転運動など遠心加速度が混在する加速度波形から落下の波形を同定することが現状では困難であり、複雑な落下を想定される場面では、正確に落下高さを換算することができないことを明らかにした。

表1 神戸・つくば間宅配便輸送試験結果(抜粋)

| | 計測日時 | 合成 G_p | 合成作用時間 | 速度変化 V_c | 落下高さ(cm) | 落下方向 |
|---|-----------------|----------|--------|------------|----------|------|
| ① | 2018/1/25 5:06 | 29.5 | 12 | 1.72 | 103.7 | 3 |
| ② | 2018/1/23 14:08 | 26.6 | 13 | 1.99 | 7.7 | 3 |

2年目は、想定される輸送回数・輸送個数に対する最大落下高さを保障することができる、新たな包装貨物落下高さ決定方法について、現状の輸送環境記録計解析ソフトウェアに実装するアルゴリズムを作成した。さらに、前年度に計測した加速データをここで開発した手法を用いて落下高さ解析を再度実施することにより、適正な包装を実施するための前提条件としての高精度な落下姿勢と高さを明確にした。結果として、回転運動など遠心加速度が混在する加速度波形から落下の波形を同定することが現状では困難であり、宅配便など複雑な落下を想定される場面では、正確に落下高さを換算することができないことが改めて明らかになった。

Table2 Conversion Results of Drop Test NOT considering Initial Velocity (unit : cm)

| | Setting | Vertical Drop | | Rolling Drop | |
|----------|---------|---------------|----------|--------------|----------|
| | | Con. | Relative | Con. | Relative |
| | | D.H. | Error | D.H. | Error |
| Recorder | Piezo. | 20 | 19.1 -5% | 10.2 | -49% |
| | | 50 | 48.3 -3% | 30.8 | -38% |
| Recorder | MEMS | 20 | 18.1 -9% | 11.3 | -44% |
| | | 50 | 46.8 -6% | 36.3 | -27% |
| | | 80 | 76.0 -5% | 62.3 | -22% |

(Piezo. : Piezoelectric, Con. : Converted, D.H. : Drop Height)

3年目は、これまで圧電式加速度計を用いた落下高さ換算の検討がされてきたが、回転を伴う落下では正確な落下高さを解析することが出来なかったことを受けて、DC成分が計測可能なMEMS加速度計を備えた計測器を用い自由落下開始時の落下初速度を解析することで、鉛直落下及び回転落下においても正確な落下高さを換算する手法を提案し、その有効性を実証した。

Table3 Conversion Results of Drop Test considering Initial Velocity (unit : cm)

| | Setting | Vertical Drop | | Rolling Drop | |
|----------|---------|---------------|-----------|--------------|----------|
| | | Con. | Relative | Con. | Relative |
| | | D.H. | Error | D.H. | Error |
| Recorder | Piezo. | 20 | 22.1 +10% | 23.6 | +18% |
| | | 50 | 52.6 +5% | 51.4 | +3% |
| Recorder | MEMS | 20 | 20.7 +4% | 17.6 | -12% |
| | | 50 | 51.1 +2% | 51.3 | +3% |
| | | 80 | 81.6 +2% | 80.5 | +1% |

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 波野野諭志、斎藤勝彦 | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 初速度を考慮した落下高さ換算法 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本包装学会誌一般論文 | 6. 最初と最後の頁 363-374 |
| 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 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Shogo Horiguchi and Katsuhiko Saito | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Obtaining mechanical shock fragility statistics for simple stochastic cushioning design | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Packaging Research | 6. 最初と最後の頁 63-78 |
| 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Nakai, Daichi and Saito, Katsuhiko | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 A Method for Generating Random Vibration Using Acceleration Kurtosis and Velocity Kurtosis, | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Packaging Research | 6. 最初と最後の頁 64-74 |
| 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 オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 田畑綾華、斎藤勝彦、川口和晃 | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 物流包装物の落下高さ換算について | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 日本包装学会誌 | 6. 最初と最後の頁 347-359 |
| 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 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 田畑綾華、斎藤勝彦、秋田直也 | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 宅配貨物荷扱いに及ぼすケアマークの影響 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 包装技術 | 6. 最初と最後の頁 192-195 |
| 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 無 |
| 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7件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Daichi Nakai and Katsuhiko Saito |
| 2. 発表標題 Estimation Method of Velocity on Truck Bed |
| 3. 学会等名 22nd IAPRI World Conference on Packaging (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shogo Horiguchi and Katsuhiko Saito |
| 2. 発表標題 A novel mechanical-shock fragility test of a product for simple stochastic cushioning design |
| 3. 学会等名 IAPRI 2020 22nd World Packaging Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 波多野諭志、斎藤勝彦 |
| 2. 発表標題 初速度を考慮した落下高さ換算法 |
| 3. 学会等名 第29回日本包装学会年次大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 進村竜也、斎藤勝彦、秋田直也 |
| 2. 発表標題 輸送中におけるワレモノ指定貨物の荷扱い |
| 3. 学会等名 第28回日本包装学会年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 田畑綾華、斎藤勝彦、川口和晃 |
| 2. 発表標題 包装貨物落下試験における落下高さについて |
| 3. 学会等名 第28回日本包装学会年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 田畑綾華、斎藤勝彦、秋田直也 |
| 2. 発表標題 宅配貨物荷扱いに及ぼすケアマークの影響 |
| 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 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 斎藤勝彦 |
| 2. 発表標題 包装物落下高さ換算について |
| 3. 学会等名 輸送包装コミュニティ第4回研究発表会（招待講演） |
| 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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|