

# 包装設計における設計検証技術

潮 敬之\* 武田正臣†  
 佐々木栄二\*\* 山崎正博††  
 室園 透\*\*\*

## Design Verification Technologies for Packaging

Takayuki Ushio, Eiji Sasaki, Toru Murozono, Masaomi Takeda, Masahiro Yamazaki

### 要 旨

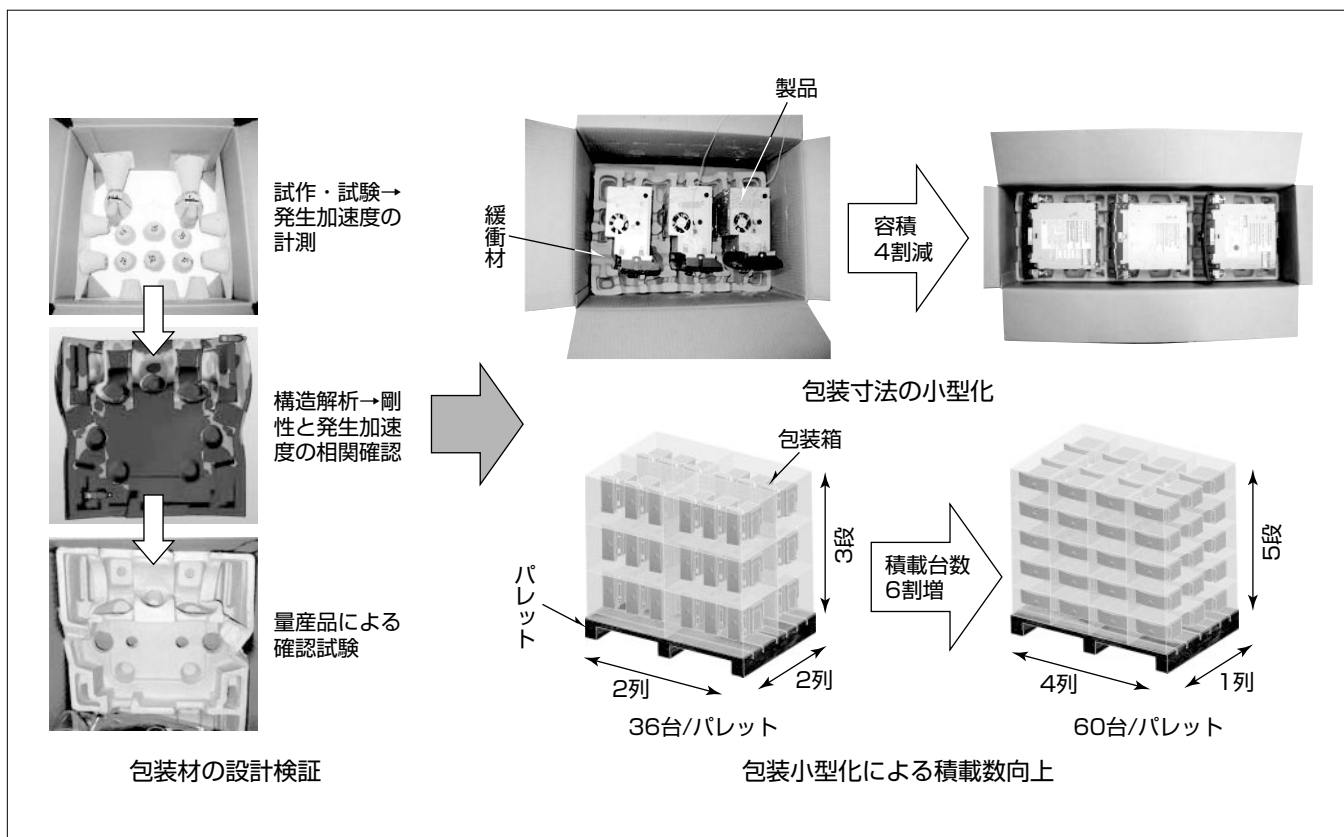
物流費は、輸送費、包装費、保管荷役費等で構成される。物流費を削減するには、包装寸法を小型化して輸送効率を向上させる方法や、繰り返し使用可能なリターナブル包装を使用する方法がある。本稿ではこれらの方法を具体例とともに述べる。

はじめに緩衝設計検証事例について述べる。発泡スチロールなどの緩衝包装設計は古くから行われている。近年、環境負荷軽減意識の高まりから、紙系材料であるパルプモールドの使用機会が増えているため、この設計検証技術の確立に取り組んだ。緩衝特性の計測とCAEで計算した包装材剛性から発生加速度を推定することで、包装の小型化を実現し輸送効率を向上させた。

次に三菱電機が推進するユニットロードの事例について述べる。ユニットロードとは、海上コンテナやトラック寸法から決定した標準寸法のボックスパレットを使用して輸送効率を改善する施策である。従来個産製品では積載効率が悪かったため、標準ボックスパレットを活用するためのアタッチメントの設計と検証を行った。

最後に包装設計を行う上で必要となる輸送振動評価について述べる。輸送振動試験規格はJISを始め国際規格にも定義されているが、輸送実態と乖離(かいり)しているケースもある。当社では輸送振動を実際に計測し、振動試験規格の開発に取り組んでいる。

現在、これらの技術を当社製品に展開している。



### 包装設計における設計検証技術

試作・試験で測定した発生加速度と構造解析で算出した剛性の相関から、落下時の発生加速度を試作前に予測することが可能となった。この設計検証技術を用いて、包装箱の寸法を小型化しパレット上の製品積載台数を増やした。

### 1. ま え が き

物流費は、輸送費、包装費、保管荷役費等で構成される。物流費の削減を行うには、次の施策が有効である。

- (1) 省包装材料, 低グレード包装材料使用による包装費の削減
- (2) 小型梱包による輸送費, 保管荷役費の削減
- (3) リターナブル包装による包装費の削減

(1), (3)では包装材料費を削減でき, (2)ではトラックなどの輸送機器に対してより多くの製品を積載することで輸送費・保管荷役費を削減できる。

包装の主たる機能は物流環境における製品の保護であり, 包装設計では必ず達成しなければならない機能であるが, 製品の保護と物流費削減とは, 一般にトレードオフの関係となる。

本稿では, 先に述べた(2)と(3)に該当する設計検証技術を実例とともに述べる。

### 2. 緩衝設計検証技術

#### 2.1 紙系緩衝材パルプモールド

緩衝包装材料として従来多く使用されているのが, 発泡スチロールなどの樹脂系発泡緩衝材である。樹脂系発泡緩衝材は衝撃に対する緩衝性が良好であり, 緩衝設計理論は古くから確立されている<sup>(1)</sup>。

近年包装材の環境負荷低減意識の高まりから, 客先から紙系緩衝材としてパルプモールドを指定されることが多い。

パルプモールドとは金型を用いて成形される紙器であり, 古紙を水溶きし, 網目状の金型で抄(す)き上げて脱水・乾燥して製造される。パルプモールドは発泡樹脂系緩衝材のように緩衝設計理論が確立されていないため, 開発が試作/試験評価のトライアンドエラーになって最適な包装設計が難しい。そこでパルプモールド材の緩衝設計技術の確立に取り組んだ。次にその手法について述べる。

#### 2.2 緩衝設計の手順

緩衝設計とは, 包装に衝撃が加わった際に内容物に発生する加速度を規定値以下に抑えるのに必要十分な緩衝材の寸法を決定することである。

次の事例では, 海外向け自動車用電子機器でパルプモールド材の緩衝設計検証技術を確認し, トラック1台あたりの製品積載数を増やすことで物流費を削減した。

図1に箱高さと緩衝空間の関係を示す。製品積載数を増やすためには包装箱内の緩衝空間を削減する一方で, 製品保護の観点から製品に加わる衝撃を緩衝材によって吸収する必要がある。

図2に包装材の構成を示す。製品は底面と天面をトレイ状のパルプモールド材で固定され, 段ボール箱に収納される。底面のパルプモールド材には緩衝部が設けられ, 包装箱が衝撃を受けた際に緩衝部が塑性変形することで衝撃を

吸収して製品を保護する。一般に広く使用される発泡スチロールなどの緩衝材では, 緩衝特性が材料メーカーから提供されるため, 試作前に落下時の発生加速度を計算することが可能である。

図3に樹脂系緩衝材の緩衝特性の一例を示す。ある領域に生じる動的応力がわかれば緩衝係数を求め, 発生加速度を計算できる。緩衝係数と発生加速度は式(1)の関係にある。

$$T = C \frac{H}{G} \dots\dots\dots(1)$$

T: 緩衝材厚さ, C: 緩衝係数, H: 落下高さ, G: 発生加速度

紙材料であるパルプモールド材については緩衝特性が不明瞭であり, 設計時における発生加速度の設計検証が困難であった。そこで, 次のステップでパルプモールド材の緩衝設計検証技術を確認した。

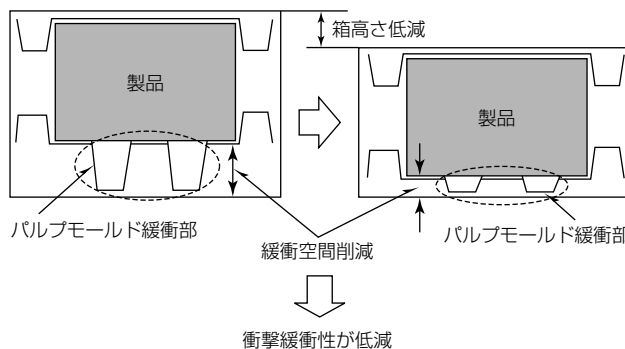


図1. 箱高さと緩衝空間の関係

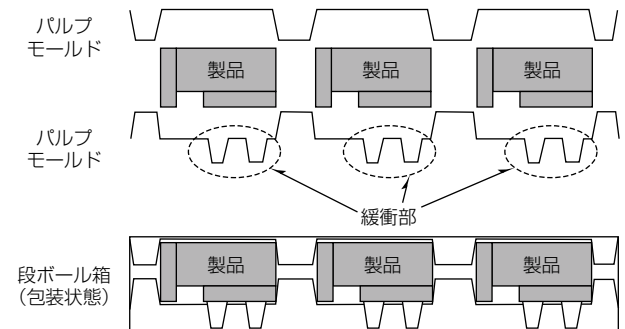


図2. 包装材の構成

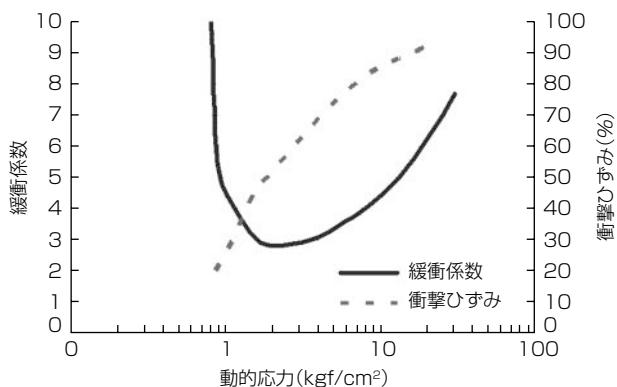


図3. 緩衝特性

## 2.3 設計と検証の流れ

### (1) 試作・試験

パルプモールド材の緩衝特性を把握するため、パルプモールド材の緩衝部形状を単純な円錐(えんすい)台形状とした。この円錐台緩衝部だけで構成されるサンプルで、円錐台緩衝部の数を変えて落下試験を行い、発生加速度を計測した(図4)。

### (2) 構造解析

試作・試験で測定した発生加速度と、このパルプモールド材に強制変位を加えたときの反力をCAE上で計算して比較すると、正の相関関係を確認した。この関係を用いて、CAE上で反力が小さくなる緩衝部の形状を検討した(図5)。

### (3) 確認試験

最も反力が小さくなる緩衝部形状で金型を製作し、落下試験で製品発生加速度が許容加速度以下であることを確認した(図6)。

これらの取組みによって包装を小型化し、パレット1個あたりの積載数を倍増させた。結果を図7に示す。

### (4) 設計基準化

現在、種々の円錐台径・高さで緩衝特性試験を行い、加速度と変位のデータを蓄積している。製品質量・許容加速度に応じて円錐台緩衝部の寸法が選択可能な線図を作成し、社内設計基準として運用している。

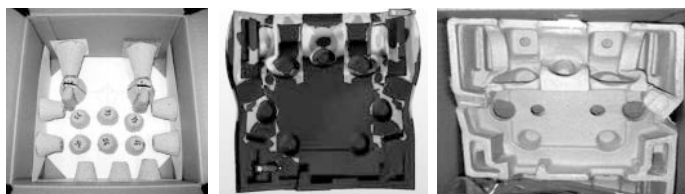
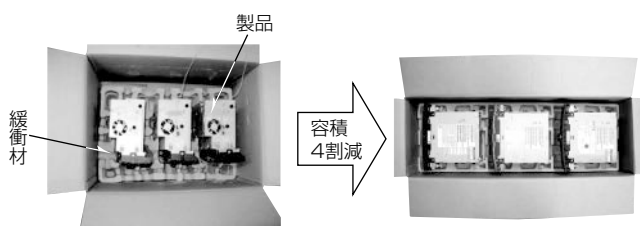


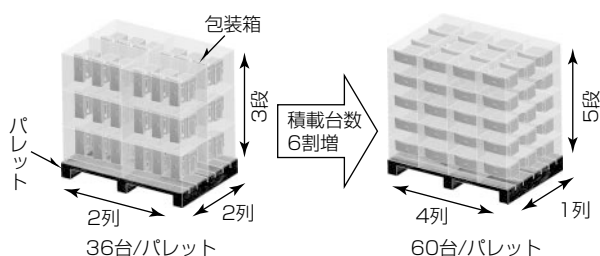
図4. 試作・試験

図5. 構造解析

図6. 確認試験



(a) 包装寸法の小型化



(b) 包装小型化による積載数向上

図7. 包装体積・積載数比較

## 3. ユニットロードと設計検証

### 3.1 ユニットロードによる積載効率の向上

ユニットロードとは貨物をトラックや海上コンテナ寸法に適合したサイズにして輸送効率化を図る施策である(図8)。これまで当社では、量産製品の包装では輸送効率を意識した包装設計がなされていた。一方、出荷台数が少なく比較的質量の大きい個産製品では、一品一様の包装・梱包になって輸送効率が悪かった。

そこでユニットロード寸法の標準ボックスパレットを活用した輸送効率化に取り組んでいる。標準ボックスパレットは、1,100×1,100×1,100(mm)を基準寸法として数種類開発しており(図9)、海外を含めた向け先及び生産拠点間で繰り返し使用することを前提としている。

この標準ボックスパレットに異なる形状の製品を固定するためには、製品ごとにアタッチメントの開発が必要となる。

### 3.2 アタッチメントの開発事例

具体的なアタッチメントの開発事例について述べる。この事例で述べる製品は吊(つ)り下げ型の表示器である(包絡寸法1,000×200×400(mm)、質量40kg)。従来、このような製品の場合、強化段ボールと発泡スチロール製緩衝材による梱包が一般的であった。

吊り下げ型表示器用アタッチメントを設計するにあたり、組立・試験、輸送、据付工事まで一貫して使用できることをアタッチメントの仕様とした。

図10に標準ボックスパレットへの積付け状態を示す。

アタッチメントは表示器を懸架するためのハンガー形状とした。これによって、組立・試験時の架台からアタッチメントごと標準ボックスパレットへ梱包できる。さらに、据付工事の際にはハンガーごと製品を下ろし、据付場所へ搬入可能となる。

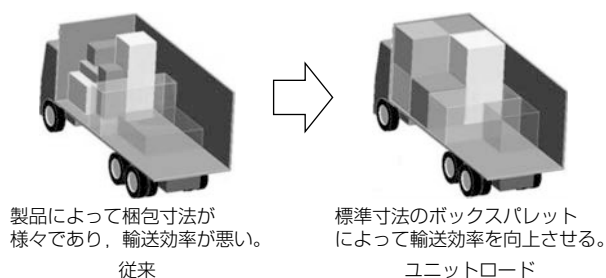


図8. ユニットロードによる積載効率の向上

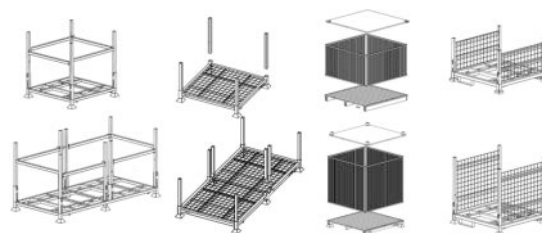


図9. ボックスパレットの例

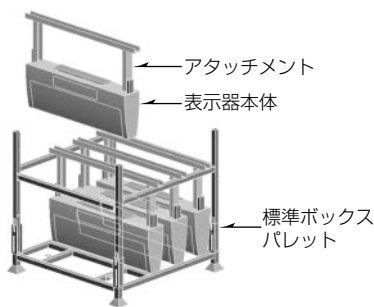


図10. 製品積付け

### 3.3 アタッチメントの設計検証

アタッチメントを含めた標準ボックスパレットを積載状態で試験を行い、アタッチメントの有効性を確認した。

ユニットロードで想定している試験項目は、水平衝撃試験、片支持落下試験、輸送振動試験である。水平衝撃試験・片支持落下試験は、輸送時・荷扱い時に強い衝撃が加わった際の製品損傷有無を確認するための試験である。輸送振動試験は輸送時に製品が受ける外力を再現するものであり、共振、こすれ傷、締結部の緩み等を事前検証するための試験である。

この表示器の例では製品積載状態での振動試験によって、この問題のないことを確認した。

### 4. 輸送振動試験による評価

先に述べたように輸送振動試験による評価は、輸送時の問題を事前に洗い出すための試験である。ここでは輸送振動試験について述べる。

従来の輸送振動を模擬した振動試験では、単一周波数の正弦波、又は周波数を時間で変化させる掃引振動試験が一般的であった。実際の輸送振動環境では異なる振動数を持つ正弦波の重ね合わせであるため、近年はランダム振動試験を行うのが一般的である。

例えば、ある製品の近接した部分にそれぞれ異なる共振点が存在したと仮定する。掃引振動試験では各々の共振周波数で各々応答するので問題ないかもしれない。しかし、二つの共振周波数を含む振動が加わった場合、各々が応答し破損する可能性がある。

ランダム振動試験では通常、PSD (Power Spectral Density) で振動の特性が表現される(図11)。横軸は周波数、縦軸は振動強度を示す。輸送機器の3軸方向についてそれぞれ示している。

ランダム振動試験規格は、JIS (Japanese Industrial Standards)<sup>(2)</sup>、ISO (International Organization for Standardization)<sup>(3)</sup>を始め、ASTM (American Society for Testing and Materials)、ISTA (International Safe Transit Association)<sup>(4)</sup>等、国内外の公的規格によって定められている。しかし、あらゆる輸送経路・手段における輸送振動を網羅しているわけではない。特定の輸送経路・手段で頻繁に輸送する場合は、自社で計測した振動データに基づき、

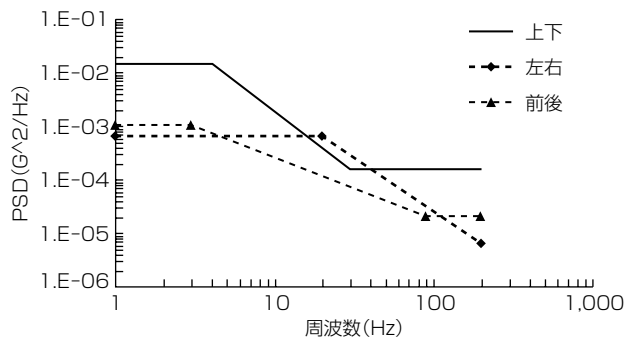


図11. ランダム振動試験条件の例

振動試験用PSDを作成することが有効である。当社では関係部門で実輸送における振動計測を行い、主要な輸送経路に応じたPSDを作成している。

振動試験基準の作成手順は一般に、①振動データの計測、②停車中の振動データ削除、③FFT (Fast Fourier Transform) 変換・平均化、④走行時間(加振時間)の短縮<sup>(5)</sup>となる。③、④の手法は各社・研究機関によって考え方が異なっており、輸送実態を再現できる手法を開発中である。

### 5. むすび

海外事業展開を進める企業では、資材の現地調達、労働力確保、未開拓市場への参入等の課題がある。物流分野における課題は、物流費の削減と輸送品質の確保である。新たな製造拠点、新たな顧客では、輸送時に加わる外力や荷扱い等の物流環境がわからないケースがほとんどである。

これらの課題を解決するためには、設計初期段階での検証技術の確立と輸送実態に見合った評価・検証技術の確立が必須となる。

今後、輸送振動下における紙系包装材の疲労設計、段積み時の共振による擦れを考慮した設計を検討し、物流費用の削減と輸送品質の確保を推進する。

### 参考文献

- (1) 木村年治監修：精密機器・電子機器包装ハンドブック、フジ・テクノシステム (1991)
- (2) JISハンドブック 63包装、一般財団法人日本規格協会 (2012)
- (3) ISO 4180:2009 Packing-Complete, filled transport packages-General rules for the compilation of performance test schedules (2009)
- (4) ISTA RESOURCE BOOK version 2012, International Safe Transit Association (2012)
- (5) Kipp, W. I.: Vibration Testing Equivalence, ISTA Con 2000 (2000)  
[http://www.ista.org/forms/Vibration\\_Testing\\_Equivalence-Kipp\\_2000.pdf](http://www.ista.org/forms/Vibration_Testing_Equivalence-Kipp_2000.pdf)