ドラム缶式無菌バッグの耐振動衝撃性

河野澄夫*・椎名武夫*・太田英明**・岩元睦夫***

Durability of Bag-in-drum Type of Aseptic Container against Shocks and Vibrations during Transportation

Sumio KAWANO*, Takeo SHIINA*, Hideaki OHTA**
and Mutsuo IWAMOTO***

*National Food Research Institute, Kannondai, Tsukuba 305

**Chugoku National Agricultural Experiment Station
Nishifukatsu, Fukuyama 721

***Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
Kasumigaseki, Chiyoda-ku 100

The durability of a bag-in-drum type aseptic container was examined during transportation for more than 1200 km; this type of container is becoming popular at present for orange juice or tomato puree. The container received severe damage of cracks and pin-holes. The damage was more serious in case of shipment by train than by truck and ferry boat, because the resonance frequency of the products in the aseptic bag was mostly equivalent to the lowest vibrating frequency of transporting vibration in the train. The damage could be reduced by supporting the aseptic bag in the drum with two semicircular plates of polystyrene foam.
(Received Jun. 14, 1988)

最近、ドラム缶式無菌バッグが果汁の保存、輸送容器として用いられ始めている。果汁は、従来、5~6倍に濃縮、凍結されドラム缶などによって冷凍貯蔵されてきた¹⁾が、貯蔵コストがかさむことや、特にストレート果汁の場合、凍結によって風味が低下することなどから新しい貯蔵方式の開発が求められてきた。

ドラム缶式無菌バッグは、アルミニウムをラミネートした袋状の無菌充填用包装容器で、液状食品を室温で長期間保存できる特長をしている。

しかし、バッグインボックス、液状食品用紙容器²⁾と同様、輸送中の振動衝撃によりクラックやピンホールなどの損傷が生じる危険性がある。このような損傷は、バッグ内の無菌状態を破壊するばかりでなく、著しい場合には果汁自身を汚染する恐れがあり、安全性の面から改

善策が求められてきた。

このため、本研究では、同無菌バッグの耐振動衝撃性について解明するとともに、クラックやピンホールに対する緩衝包装の改善策について検討した。

実 験 方 法

1. 供試材料

Fig. 1 に示すように鉄製のドラム缶に無菌バッグを入れ、その中に内容物を充填する方式の容器を用いた。供試したバッグの仕様は Table. 1 のとおりで、内容物、容量及び緩衝方式により Table. 2 のように A~J の 10 とおりの実験区を設けた。

2. 輸送試験

(1) トラックによるモデル走行

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 茨城県つくば市観音台 2-1-2)

** 農林水産省中国農業試験場 (〒721 広島県福山市西深津町 6-12-1)

*** 農林水産省食品流通局 (〒100 東京都千代田区霞ヶ関 1-2-1)

Fig. 1 A bag-in-drum type aseptic container tested

Table 1 Specifications of the aseptic bag

Structure	NY (17 g/m ²)/AL (23 g/m ²) /NY (17 g/m ²)/EVA (20 g/m ²)
Size	191 (H) × 55.5 (L) × 70 (W) (cm)

2t用トラック（いすゞ、貨物）に、ドラム缶8本（約1.6t）を積載し、定速走行時に荷台後部に発生する振動加速度を小型衝撃記録計（吉田精機（株）製、FIR-102）及び歪ゲージ式加速度計（共和（株）製、AS-5C）で測定した。加速度の測定方向は、上下、左右、前後の3方向とした。アスファルト舗装の農道を10 km/hの速度から10 km/hおきに60 km/hの速度まで6段階の速度で定速走行した。

(2) トラック・フェリー輸送

10tトラック（Fig. 2-(1)）により、48本のドラム缶を大分県果実産物加工工場（大分県杵築市）から西宇和青果倉庫（神奈川県海老名市）まで輸送した。輸送経路は、杵築（トラック）-別府（フェリー）-大阪（トラック）-（高速）-岡崎（トラック）-沼津（トラック）-海老名の順で、輸送中にトラック後部荷台に発生する前後、左右、上下の振動加速度を小型衝撃記録計及び歪ゲージ式加速度計で測定した。航海中のフェリーの振動は、乗船した甲板上のトラック荷台上で測定した。フェリーは大型外洋フェリー、サンフラワー2（関西汽船（株））（Fig. 2-(2)）で、総トン数12130t、全長185m、幅24mであった。

(3) 貨車輸送

24本のドラム缶を5t用コンテナ（Fig. 3）により

Table 2 Summary of samples

Samples	Product	Volume(l)	Type of packing*
A	Juice	162	Method 1
B	Juice	162	Method 2
C	Juice	162	Method 3
D	Juice	162	Method 4
E	Juice	162	Frozen in part
F	Water	180	
G	Water	150	Method 4
H	Water	150	
I	Water	120	Method 4
J	Water	120	

* Type of packing

輸送した。輸送経路は、杵築（トラック）-西大分（貨車）-東京（トラック）-海老名倉庫の順で、輸送中にコンテナ底面に発生する振動加速度を小型衝撃記録計で測定した。電気的方法による振動の測定は、コンテナを積載した車両を連結した列車（コキ55000形式、貨物17両編成、約350m）の最後部の車輛（コキフ）で行い、床に発生する上下、左右、前後の振動を歪ゲージ式加速度計により測定し、データレコーダに収録した。測定は西大分駅及び宇島駅間の約85kmの区間で実施した。

3. 加速度の測定及び解析

歪ゲージ式加速度計で検出した振動加速度の電気信号

Fig. 2 A truck and a ferry boat used for transportation

Fig. 3 Shipping container (5t) used for transportation by train

は、データレコーダ（ティアック製、R-71）に記録した。いずれの場合も、シグナルコンディショナ（共和製、CDV-110 A）を増幅器として用い、同器に内蔵されたローパスフィルタ（100 Hz 以下パス）を使用した。記録方式は FM 形式とし、ノイズの影響を除くため、再生時にノイズ補償を行う COMP 機能を併用した。

データレコーダに記録した信号の解析には、リアルタイム信号解析装置（日本無線製、JEF-12 AJ）を用い、瞬時値の確率密度関数、パワースペクトル密度関数について解析した。解析時の主な条件は、ブロックサイズ 1024、サンプリング時間間隔 10 ms、平均回数 8 回とした。また、小型衝撃記録計に記録されたデータの読み取りにはディジタイザ（ヒューレット・パッカード製、9874 A）を用いた。

4. 損傷程度の判定

それぞれの方式で輸送したドラム缶式無菌バッグの損傷程度を、クラックとピンホールの観点から、目視により判定した。損傷程度は、①無、②微、③中、④甚の 4 段階とし、それぞれに評価点 0~3 を与えた。

実験結果及び考察

1. モデル走行中のトラック荷台の振動特性

2 t トラック荷台に発生する上下、左右、前後の振動加速度を電氣的に測定した。トラックの荷台に発生する振動は、3 方向の中で上下の振動が最も激しく、次いで

左右の振動で、前後の振動が最も少ない。左右、前後の振動の強度は上下振動の 1/10 以下である。

Fig. 4 はアスファルト道路を 50 km/h で走行中の上下の振動加速度の解析結果であって、上段より原信号、パワースペクトル密度関数（PSDF）、瞬時値の確率密度関数（PDF）である。すなわち、50 km/h で走行中のトラックの振動は、瞬時値の標準偏差（STD）が 0.12 G で、3.1 Hz 近傍にパワースペクトル密度（PSD）のピークを有する狭帯域の振動であることがわかる。また、この場合、瞬時値の PDF は平均値 0 の正規分布を示す。走行速度を減少させると、18~25 Hz の PSD の強度が低下する傾向にあったが、いずれの速度も、2~3 Hz 近傍に PSD のピークを有する狭帯域の振動であった。

2. 各輸送機関に発生する振動

ドラム缶式無菌バッグ輸送中に各輸送機関に発生する上下、左右、前後の振動加速度のパワースペクトル密度関数及びパワースペクトル分布関数を Fig. 5 に示す。図中、(1) は 60~70 km/h で走行中の貨車の床面に、(2) は 60 km/h で走行中のトラック荷台後部に、そして (3) は 20 ノットで航行中のフェリー甲板上に停車中のトラック後部荷台に発生する振動の解析結果である。解析したパワースペクトル密度関数は、輸送機関及び振動の方向によって大きく異なった。すなわち、トラックの上下振動は、3 Hz の近傍にパワースペクトル密度のピークを有する狭帯域の振動であるのに対し、左右の振動は 1 Hz 以下と 14 Hz 近傍でピークを有する広帯域の振動である。また、前後振動は、左右の振動の同様、1 Hz 以下の比較的ゆっくりとした振動と 12 Hz を中心とした広帯域の振動から構成されている。

一方、貨車の上下振動は、トラックの上下振動と同様、狭帯域の振動であるが、PSD のピーク値を示す振動数はトラックのそれより低い 2 Hz 近傍に存在する。また、左右振動は、1.2, 2.8, 7.8 Hz の近傍に PSD の極値を有する広帯域の振動で、トラックの左右振動と異なったスペクトルを示す。貨車の前後振動は、7 Hz 近傍に PSD のピークを有するものの、20 Hz 以下のほぼ全振動数成分を含んだランダムな波形である。

フェリーの甲板上に停車したトラックの振動は、先に述べた貨車及び国道走行中のトラックの振動と比較して、非常に小さく、その大きさは 1/40 程度である。

3. 輸送後の無菌バッグの損傷程度

輸送後、ドラム缶内の無菌バッグには、Fig. 6 に示すようなクラックが発生し、著しい場合にはピンホール

Fig. 4 Analytical results of vibrating acceleration observed on truck during transportation with the speed of 55 km/h on paved roads

を生じた。Fig. 7 及び Fig. 8 は無菌バッグの損傷程度を目視により判定したものである。貨車輸送とトラック・フェリー輸送を比較すると、前者の損傷程度の方が高い。輸送中のクラックの発生率は、緩衝処置を施すことによって低減できた。緩衝方式 1 (A 区) ではトラック・フェリー輸送の場合、わずかなクラックやピンホールが観察される程度であったが、貨車輸送の場合、8 割のものに何らかのクラックが生じ、また 4 割のものにピンホールが生じた。緩衝方式 1 ではいずれの輸送方式においても不十分と思われる。緩衝処置の中で最も損傷度の小さかったのは、半円状の発泡スチロール板による緩

衝方式 3 (C 区) で、いずれの輸送においてもクラックやピンホールは観察されなかった。

内容物の外周的 10 cm を凍結させる凍結処理も損傷程度を低減させる効果があった。その効果は現行の緩衝方式 4 (D 区) と同じ程度であった。

4. 損傷要因の解明

貨車輸送とトラック・フェリー輸送とでは前者において多くのクラックが発生した。その原因を、輸送シミュレーションを応用して考察する。

考察に必要な振動加速度のピーク値の頻度分布、内容物の振動特性、ならびに S-N 曲線をそれぞれ Table

Fig. 5 Analytical results of vibrating acceleration observed on the freight car, truck and ferry boat used

3, Fig. 9, Fig. 10 に示す。

Table 3は、小型衝撃記録計で記録した全輸送行程の振動加速度の頻度分布である。上下、左右、前後の振動とも貨車輸送よりトラック・フェリー輸送において激しかった。

Fig. 9 は、振動により動揺する内容物表面における波動を波の高さで示したもので、上下振動の場合、2.5, 3, 3.5, 4.25 Hz に共振点が観察される。水平振動の場合は、1 G 以下の加速度でも横向き大きな波が発生し、

1 Hz 近傍に最大の共振点が存在した。濃縮果汁では共振点は低波長側にシフトした。

Fig. 10 は、緩衝処置を施さないドラム缶式無菌バッグの S-N 曲線で、A は上下振動 (3 Hz 用) によって、B は水平振動 (1 Hz 用) によって作成したものである。無菌バッグの損傷は、振動に伴う同バッグの屈曲による疲労破壊で、同バッグは水平振動によって破壊されやすいことがわかる。それぞれの S-N 曲線は次式で示される³⁾。

Fig. 6 Injury observed on the surface of the aseptic bag after actual transportation

Fig. 7 Degree of injury of the aseptic bag transported by train

$$\begin{aligned} \text{上下振動} \quad N \cdot G^{2.58} &= 2043 \quad (3 \text{ Hz 用}) \\ \text{水平振動} \quad N \cdot G^{3.75} &= 1.331 \quad (1 \text{ Hz 用}) \end{aligned} \quad (1)$$

Table 3 からわかるように、全輸送行程における振動は、貨車輸送よりトラック・フェリー輸送において激しかった。また、貨車及びトラックに発生する振動のうち上下振動について、パワースペクトル密度関数 (Fig. 5) と内容物の振動特性 (Fig. 9) を比較すると、以下のようなになる。すなわち、貨車に多く発生する 2 Hz 近傍の振動は、内容物の共振点から少しはずれ、内容物を動揺するに至らないが、トラックの荷台に発生する 3 Hz 近傍の振動は、内容物の共振点の一つと全く一致しており、包装された内容物は激しく動揺する。したがっ

Fig. 8 Degree of injury of the aseptic bag transported by truck and ferry boat

Table 3 Frequency of occurrence of vibrating acceleration during 1 200 km transportation from Kitsuki to Ebina

Acceleration (G)	Truck and ferry boat			Train		
	up-down	side	fore-aft	up-down	side	fore-aft
0.4~0.5	628	64	5	349	24	1
0.5~0.6	560	28	2	208	9	1
0.6~0.7	333	16	0	98	9	0
0.7~0.8	209	1	0	46	6	0
0.8~0.9	130	2	0	26	4	0
0.9~1.0	91	0	0	14	5	0
1.0~1.1	47	0	0	21	1	0
1.1~1.2	32	1	0	8	1	0
1.2~1.3	13	0	0	3	1	0
1.3~1.4	8	0	0	6	3	0
1.4~1.5	2	0	0	2	0	0
1.5~1.6	4	0	0	2	0	0
1.6~1.7	1	0	0	0	0	0
1.7~1.8	2	0	0	0	0	0

Fig. 9 Vibrating characteristics of the products in the aseptic bag

Fig. 10 S-N curve for the aseptic bag used as usual

て、前述した2つの理由から、トラック輸送において、より多くのクラックが生じるはずである。しかし、実際の輸送では、貨物輸送の損傷が多かった。

ところで、内容物は、水平振動の場合、1 Hz 近傍に

大きな共振点を有すること及び同条件において無菌バッグにクラックが生じやすいことを先に述べた。Fig. 5 から明らかなように、水平振動における 1 Hz 近傍の PSD のピークは、貨車輸送の左右振動において存在する。したがって、貨車輸送においては、左右振動が内容物の水平振動と共振しドラム缶内に大きな動揺が起り、それによって無菌バッグにクラックが多く発生すると考えられる。

そこで、以上述べた考察にもとづき、貨車及びトラック・フェリー輸送した試料の損傷度を PLAMGREN-MINER の線形損傷蓄積の法則⁴⁾により推定する。加速度振幅 G_i が n_i 回作用する産物の損傷度は、次式より算出できる³⁾。

$$D = \frac{1}{\beta} \sum_i n_i \cdot G_i^\alpha \quad (2)$$

ここで、 α , β は産物固有の値で、S-N 曲線から求められる値である。

60 km/h で走行中の貨車の左右振動によって生じる損傷の推定の例を Table 4 に示す。表中のピーク値の頻度分布は電氣的に測定した加速度信号からリアルタイム信号解析装置を用いて解析したもので、解析時の条件

Table 4 Degree of damage of the bag estimated from S-N curve and frequency of occurrence of side vibrating acceleration of the train

Acceleration (G)	Percentage (%)	n_i	N_i	n_i/N_i
$0 \times 10^{-2} \sim 1.5 \times 10^{-2}$	57.5	3.13×10^5	1.24×10^8	2.52×10^{-3}
$1.6 \times 10^{-2} \sim 3.0 \times 10^{-2}$	29.8	1.62×10^5	1.85×10^6	8.76×10^{-2}
$3.1 \times 10^{-2} \sim 4.6 \times 10^{-2}$	8.91	4.85×10^4	2.68×10^5	1.81×10^{-1}
$4.7 \times 10^{-2} \sim 6.1 \times 10^{-2}$	2.54	1.38×10^4	7.54×10^4	1.83×10^{-1}
$6.3 \times 10^{-2} \sim 7.7 \times 10^{-2}$	0.700	3.81×10^3	2.85×10^4	1.34×10^{-1}
$7.8 \times 10^{-2} \sim 9.3 \times 10^{-2}$	0.217	1.18×10^3	1.35×10^4	8.74×10^{-2}
$9.4 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-1}$	0.193	1.05×10^3	6.94×10^3	1.51×10^{-1}
$1.1 \times 10^{-1} \sim 1.4 \times 10^{-1}$	0.0241	1.31×10^2	3.24×10^3	4.04×10^{-2}
$1.4 \times 10^{-1} \sim 1.6 \times 10^{-1}$	0.0483	2.63×10^2	1.63×10^3	1.61×10^{-1}
Degree of damage				1.03

Table 5 Estimated degree of damage of the bag after 1 200 km transportation

	Directions of vibration	Degree of damage	Total degree of damage	
Train	Up-and-down	0.28	1.31	Nishioita-Tokyo
	Side	1.03		
Truck	Up-and-down	0.40 (Expressway)	0.79	Osaka-Okazaki
and ferry boat		0.39 (Paved road)		Okazaki-Ebina

は、サンプリング時間間隔 10 ms, ブロックサイズ 1024, 平均回数 50 回であった。それぞれの加速度振幅における n_i は輸送中に生じる全ピークの回数にピークの発生する頻度割合を乗じて求め、許容回数 N_i は S-N 曲線から求めた。(2) 式を用いて算出した結果、貨車の左右振動によって生じる損傷度は 1.03 となった。以下、同様な計算を行った結果を Table 5 に示す。貨車輸送の場合の損傷度は上下振動、左右振動によるそれぞれの損傷度を合計して 1.31, トラック・フェリー輸送の場合の損傷度は国道、高速走行中の損傷度を合計して 0.79 となった。損傷度 1 の時対象物は損傷に至ることから、以上の考察は実際の輸送試験の結果と一致した。

要 約

果汁、トマトピューレなどの液状食品の保存及び輸送容器として用いられつつあるドラム缶式無菌バッグの耐振動衝撃性について解明するとともに、ドラム缶内無菌バッグのクラックやピンホールの防止策について検討し、

次の結果を得た。

(1) ドラム缶式無菌バッグは、大分県杵築市から神奈川県海老名市までの 1 200 km の輸送中にクラックを生じ、著しい場合にはピンホールを生じた。損傷程度はトラック・フェリー輸送より貨車輸送において著しかった。

(2) 無菌バッグの損傷は輸送中の振動に伴って生じる同バッグの屈曲現象による疲労破壊で、上下振動より水平振動によって生じやすかった。

(3) クラックの発生率は、緩衝処置を施すことによって低減でき、特に半円状の発泡スチロール板を用いた緩衝方式 3 (C 区) で緩衝効果が最も高かった。この場合、1 200 km 以上の貨車輸送及びトラック・フェリー輸送の両輸送区においてもクラックやピンホールは発生しなかった。

(4) トラック・フェリー輸送より貨車輸送において多く損傷が発生する現象は貨車の水平振動がドラム缶の内容物の水平振動と共振を起こすことが原因であった。

文 献

- 1) 日本果汁協会監修：果汁・果実飲料事典，p. 436，
（朝倉，東京）（1978）。
- 2) 早川 昭・岩元睦夫・河野澄夫・木村 進：食総
研報，40，89（1982）。
- 3) 岩元睦夫・河野澄夫・早川 昭：農機誌，40（1），
61（1978）。
- 4) 河本 寛ほか：金属の疲れと設計，p. 141，（コ
ロナ社，東京）（1974）。

（昭和 63 年 6 月 14 日受理）

新 刊 紹 介

Food Structure : Its Creation and Evaluation

J.R. MITCHELL and J.M.V. BLANSHARD 編

食品構造の解明は、新食品の開発や既存食品の改良に
欠くことの出来ないものとして注目を集めている。本書
は第 44 回 Nottingham Ester School in Agricultural
Science のプロシーディングである。内容は 26
節からなり、各種のゲル、エマルジョン、泡の構造や安
定性など食品構造の基本的概念について論じたものから、
蛋白質の紡糸による繊維化やエクストルージョンによる
組織化、再構成肉やすり身を原料にした練り製品の製造、
穀類のエクストルージョン処理、脂肪や糖の結晶構造な
どと組織の関係を論じたもの、光学顕微鏡や電子顕微鏡
による食品の構造評価や食品の物理的性質の測定法につ
いて論じたものなど多岐にわたっている。食品の構造に
関する最新の情報が集められている。

16 × 23 cm, 504 頁, 1988 年版, 75 ポンド

Butterworth Scientific Ltd.

Westbury House, Bury Street, Guildford

GU 2 5 BH, England