

解説

非接触音響探査法を用いた軟性容器の 内部腐敗ガス検出に関する研究

川井 重弥*、中川 裕**、杉本 恒美***

Study on Internal Decomposition Gas Detection of the Soft Container Using the Non-contact Acoustic Inspection Method

Shigeeya KAWAI*, Yutaka NAKAGAWA** and Tsuneyoshi SUGIMOTO***

軟性容器内で腐敗により発生した気体の検査方法として、金属性缶容器は、電磁パルス法を用いた振動音解析による良否判定が実施されている。一方、軟性容器の場合、紙容器、プラスチック容器等は磁性が無い為、電磁パルス法では振動を与えられなく検査が出来なかった。ところが、音波照射振動を用いれば、磁性の無い軟性容器であっても容易に振動させることが可能である。その為、音波照射振動とレーザドップラ振動計を組み合わせた非接触音響検査が有効である。軟性容器の振動エネルギーを計測することによって、軟性容器内部に発生した気体の検査が可能かどうかについて検討が行われた。供試体を用いた実験結果から、軟性容器内部の気体量に応じた振動エネルギーの差異が検出されたため、非接触音響探査法による軟性容器内部の腐敗による気体発生 of 早期検出が可能である。

As an inspection method of the gas generated by decomposition within the soft container, the quality judgment in the vibration sound analysis for which the metallic can container used the electromagnetic pulse method is carried out. On the other hand, since a paper container, a plastic container, etc. did not have magnetism in the case of a soft container, by an electromagnetic pulse method, a vibration could not be given and a inspection was not completed. However, if the acoustic irradiation induced vibration is used, even if it is a soft container without magnetism, it is possible to make it vibrate easily. For the reason, the non-contact acoustic inspection which combined the acoustic irradiation induced vibration and the laser Doppler vibrometer is effective. By measuring the vibrational energy of a soft container, study was carried out about whether the inspection of the gas generated inside the soft container is possible. Since the difference in the vibrational energy according to the quantity of gas inside a soft container was detected from the result of the experiment using a test piece, an early detection of gas generating by the decomposition inside the soft container by the non-contact acoustic inspection method is possible.

キーワード：非接触検査、非破壊検査、軟性容器、腐敗ガス早期検出、レーザドップラ振動計、音波照射加振、非接触音響探査法、振動エネルギー

Keywords : non-contact inspection, non-destructive inspection, soft container, early detection of decomposition gas, laser Doppler Vibrometer, acoustic irradiation induced vibration, non-contact acoustic inspection method, vibration energy

* ** *** 桐蔭横浜大学 大学院 工学研究科 Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama

1614, Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama, 225-8503

TEL: 045-974-5059, E-mail: *td23b51g@ust.toin.ac.jp, **y-naka27@toin.ac.jp, ***tsugimot@toin.ac.jp

1. 緒言

一般的な飲料容器としてはアルミ製やスチール製といった金属製の缶に加えて、プラスチック製（PET、PP、PE 等）や紙製の軟性容器などが広く用いられている。これらの容器内に入れられた内容物から腐敗ガスが発生した場合、または漏洩によって内部からガスが出た場合、更に気体が外部から混入した場合には不良品として回収する必要がある。

陰圧缶（アルミ缶及びスチール缶）の磁性体容器では、電磁パルスで容器を振動させ可聴音をマイクロフォンで収集し、周波数分析を行うことで周波数及びエネルギーから比較的容易に容器内のガスの存在を検出することが可能である。いわゆる缶打検検査である。インラインでの検査に加え、ケース毎の打検を行う打検検査で品質管理を行っている。陽圧缶や陽圧ボトル缶（主にアルミ缶）などは接触型の触圧検査及び打検検査を用いて缶内圧を検査し品質管理を行っている。

ところが、軟性容器の場合、プラスチック製容器や紙容器は磁性が無く、またアルミ蒸着を施した紙製容器であっても磁性が極端に少ない為に電磁パルス加振を行えない。従来の打検検査による非接触非破壊検査を適用することが出来ないという問題があった。

一方、本研究室で行っている音波照射加振とレーザドップラ振動計による非接触音響探査法^{1)~7)}を用いることにより、

軟性容器のような磁性金属製でない容器対象であっても容器を振動させることが可能である。その為、今回は非接触非破壊の方法である音波照射加振を用い、軟性容器表面振動速度の計測はレーザドップラ振動計を用いて振動速度を測定する方法の検討を行った。この方法で軟性容器内ガス発生量の検出、漏洩や外部吸い込みガス量検査に関する基礎検討を行った。

2.非接触音響探査法の基本構成

軟性容器を対象とした場合の非接触音響探査法の基本構成図を Fig.1 に示す。スピーカーより発生させた音波を軟性容器に照射することにより振動させ、スキャニング振動計 (SLDV: Scanning Laser Doppler Vibrometer)により振動速度分布

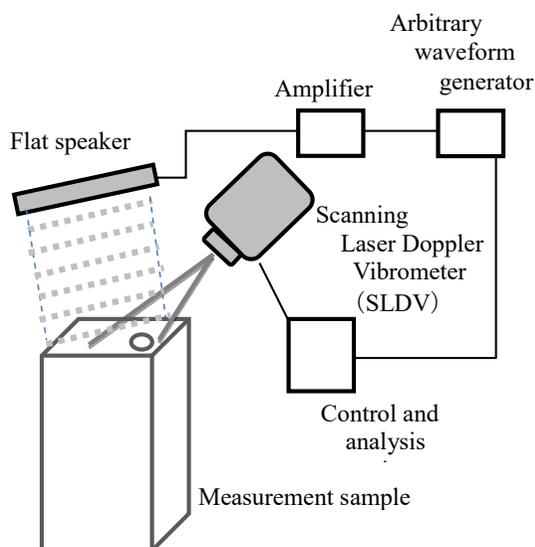


Fig.1 Basic configuration diagram of non-contact acoustic inspection method.

を計測するというものである。なお、スピーカーと容器間の定在波による影響を避ける為に平面スピーカーは軟性容器に対して $0.056\pi \sim 0.1\pi$ rad (10~18 deg) の入射角を付けている。また、任意波形発生装置により加振用音波の信号と同期用のトリガ信号を発生させて、音波照射および SLDV による測定タイミングを制御する。

3. 紙製容器を用いた基礎実験

軟性容器の例として、紙製容器を計測対象とした基礎実験を行った。

3.1 実験セットアップ

Fig.2 に実験セットアップ図を示す。SLDV としては SLDV(PSV400-H4, Polytec Corp.)、音源としては平面スピーカー (FPS2030M3P1R, FPS INC.) を用いた。紙製容器とスピーカーとの距離は 230 mm、紙製容器と SLDV との距離は 500 mm である。ここでは紙製容器に対して SLDV は 0.139π rad (25 deg)、平面スピーカーは 0.056π rad (10 deg) の入射角で設置した。紙製容器はインラインでの測定では樹脂製コンベア上で検査を行うことを前提に、プラスチック板(4 mm 厚)の上に置いて測定を行った。

3.2 紙製容器の供試体

測定に使用した紙製容器としては、紙製容器 (テトラパック社製 Tetra Brik®

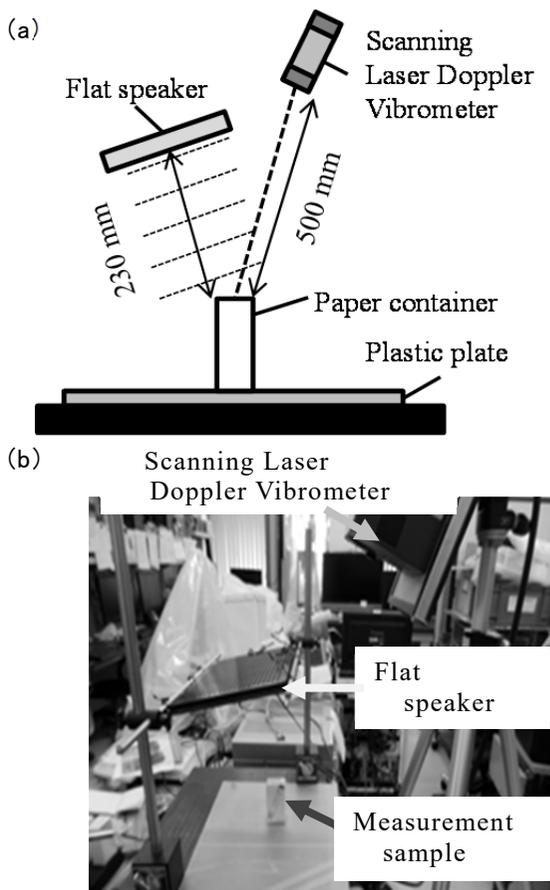


Fig.2 Inspection setup.
(a) Setup diagram,
(b) Setup photograph.

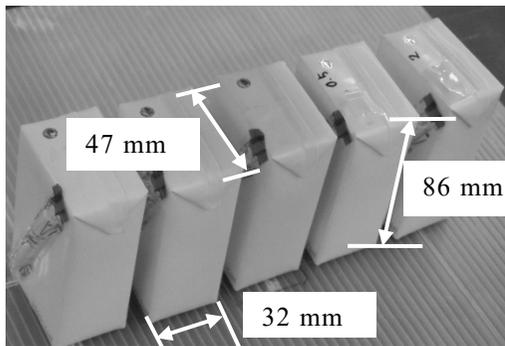
Aseptic 125 Slim、素材シートは PE2 層 + AL + PE + 紙 + PE、シート坪量 80 g/m^2 、内容量 125 ml、シール幅: 縦 4 mm 横 6 mm、総シート厚み $275 \mu\text{m}$) を使用した。内容物は乳飲料 (LL 牛乳: 粘度 20°C $2.12 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、比重 15°C 1.028 以上、酸化を防止する為に脱気処理を行い、 0°C $1.01325 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 状態では、溶存空気量は ppm オーダーに制御) を、殺菌条件 ($130\text{--}150^\circ\text{C}$ 、1~3s) で滅菌し、無菌充填 (充填温度 5°C 、保存温度 10°C) で充

填した。良品としてヘッドスペースに空気が存在しないものを3個、不良品として紙製容器内部に0.5 mlおよび2.0 mlの空気(25°C、 1.01325×10^{-5} Pa)を注射器で注入し、漏洩防止シールを貼り付けたものを各1個ずつの計5個を供試体として準備した。不良品は注射器で紙製容器内部に空気を注入したが、空気の最大溶け込み量からすると空気量は酸素、窒素とも内容物に溶け込む量を下回る。これは内容物の泡立ちの影響や、空気注入後

の容器攪拌を行っていない為、注入した空気が内容物に全て溶け込んでいない状態である。この状態で測定を行うこととした。

Fig.3(a)(b)に紙製容器全体図と上面測定面を示す。紙の重なり部は、接着されていて紙部の約2倍の厚みを有している。また、紙重なり部の内部は折り重なり部が存在し、上面に向かって凸の形状を持っている。初期は、紙製容器を立たせた状態で、次に傾斜させた状態、最後に横置きで傾斜した状態で実験を行った。

(a)



(b)

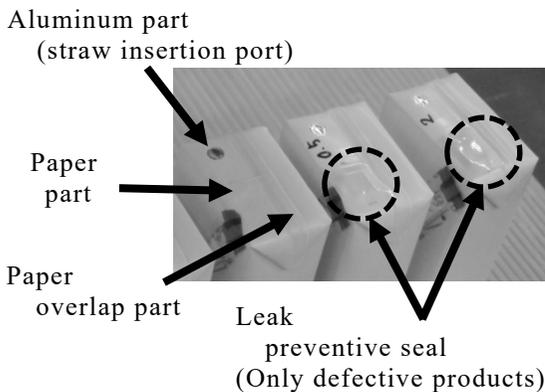


Fig.3 Paper container.
(a)Overall view of paper container.
(b)Paper container top.

3.3 加振用音波

加振用音波としては 500 Hz~10 kHz までの周波数を含むトーンバースト波⁶⁾を用いた。Fig.4 にトーンバースト波の例を示す。

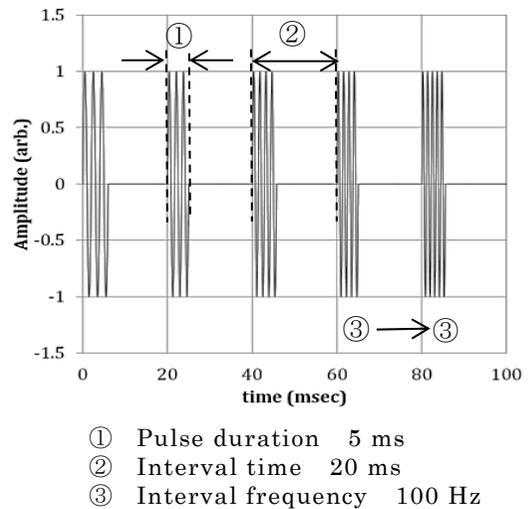


Fig.4 Enlarged view of emission waveform (Frequency range : 500-900 Hz).

加振に用いたトーンバースト波は、パルス持続時間 5 ms、インターバル時間 20 ms、インターバル周波数 100 Hz、周期 1920 ms、サンプリング周波数 40 kHz である。サンプル近傍付近の音波の最大音圧は 96 dB とした。測定時の加算平均回数は 5 回とし、周波数フィルターとしては遮断周波数 50 Hz の High Pass filter を使用した。

3.4 データ評価方法

Fig.5 は 2.0ml の空気が注入された不良品紙製容器上面部のアルミ部（ストロー挿入口）の振動速度スペクトルであるが、複数周波数を含んだ振動であると言える。

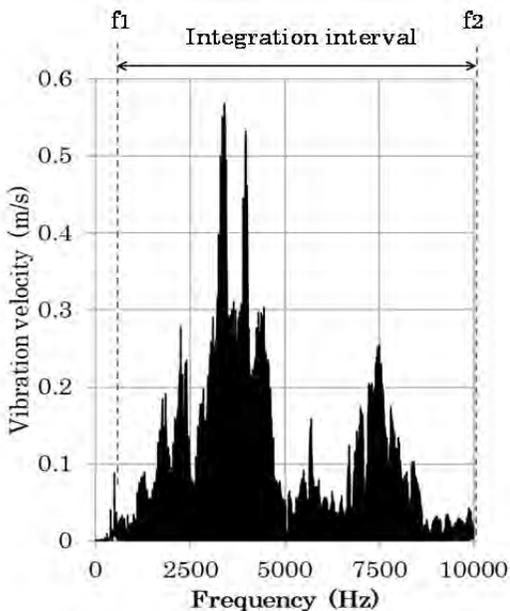


Fig.5 Vibration velocity spectrum example of paper container (internal gas volume is 2.0 ml).

これは紙容器上面部の形状および内部の空気分散面積が影響していると考えられる。このような波形のデータの場合、単一の周波数のみに着目した処理の仕方では周波数の選択の必要があり、正確に容器内部気体の有無を推定することは難しい。そこで、振動速度スペクトルの振幅（振動速度）の 2 乗を積分した値である振動エネルギーを算出し評価を行った。式 (1) に振動エネルギーの定義式を示す。

$$[VE] (m/s)^2 = \int_{f_1}^{f_2} (PSD)df \quad (1)$$

ここで、VE は振動エネルギー、PSD はパワースペクトル密度、 f_1 および f_2 は積分区間の下限および上限周波数である。

4. 実験結果

4.1 紙製容器を縦置きした測定結果

Fig.6 に紙製容器上面の写真を示す。図中の灰色四角点部は SLDV による測定位置、点線で囲んだ場所はそれぞれアルミ部（ストローの挿入口）と紙製容器の接着部で紙重なりがある箇所を示している。また、不良品は空気を注入した漏洩シール部が存在する。

(1) 良品の測定結果

(振動エネルギー分布)

Fig.7 に 3 つの良品（内部空気量 0 ml）の供試体の振動エネルギーの分布図を示す。（区別対応の為に、ここでは 0 ml①、0 ml②、0 ml ③と定義する。）

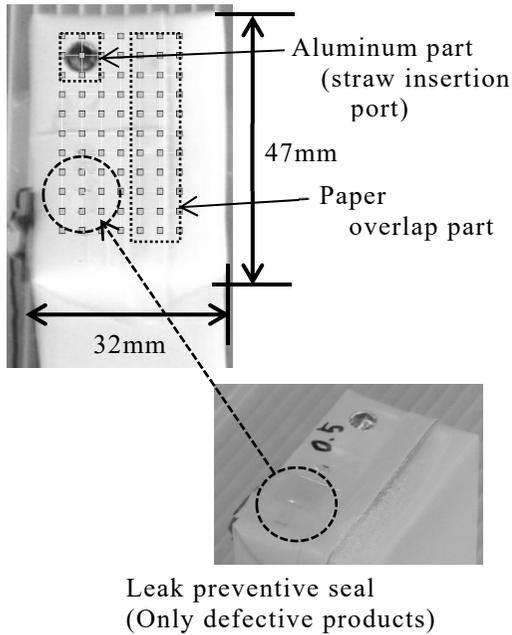


Fig.6 Measurement points on top of paper container.

Fig.7 より、何れも振動エネルギー 10 (m/s)^2 以下となっているが、アルミ部(ストロー挿込み口)はアルミ箔と PE の構成で厚み $55 \mu\text{m}$ であるため、紙部厚み $275 \mu\text{m}$ と比較し振動しやすく、また紙製容器の紙重なり部も 1 辺が自由端である為に振動しやすいことがわかる。それ以外の場所の振動エネルギーはおよそ 2 (m/s)^2 以下となっており、殆ど振動していない。なお、良品は漏洩防止シールが貼られて無い為、漏洩防止シール箇所の振動エネルギーとして影響は検出されていない。

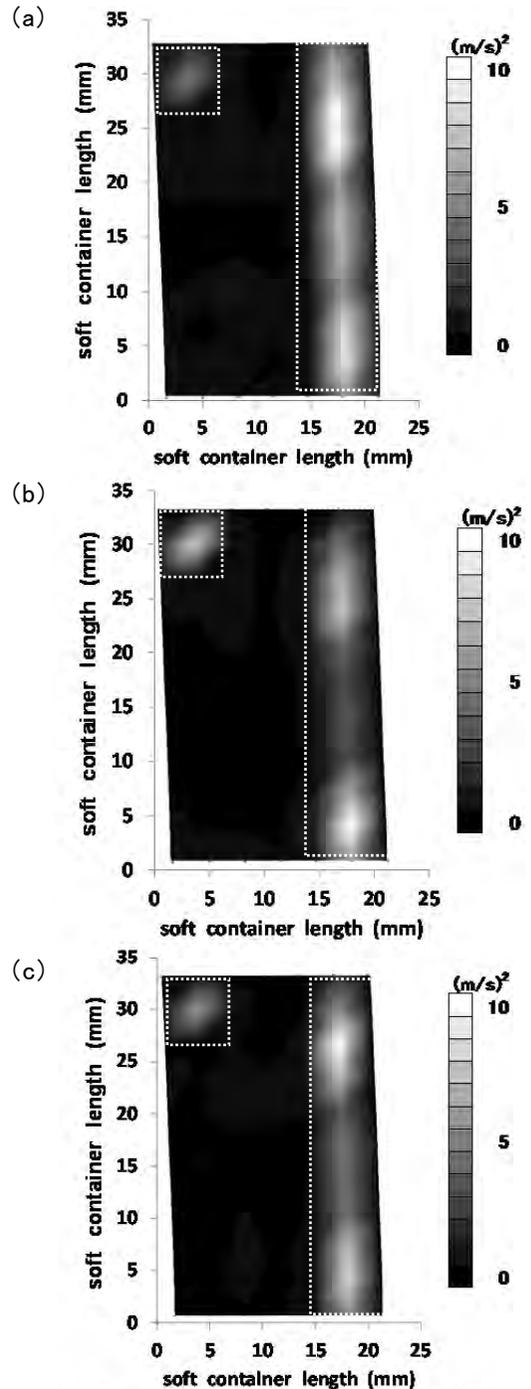


Fig.7 Distribution diagram of vibration energy of good products (internal gas volume 0 ml).

(a) 0 ml ①, (b) 0 ml ②, (c) 0 ml ③

(2) 不良品の測定結果

(振動エネルギー分布)

Fig.8 に不良品 (内部空気量 0.5 ml、2.0 ml) の振動エネルギーの分布図を示す。

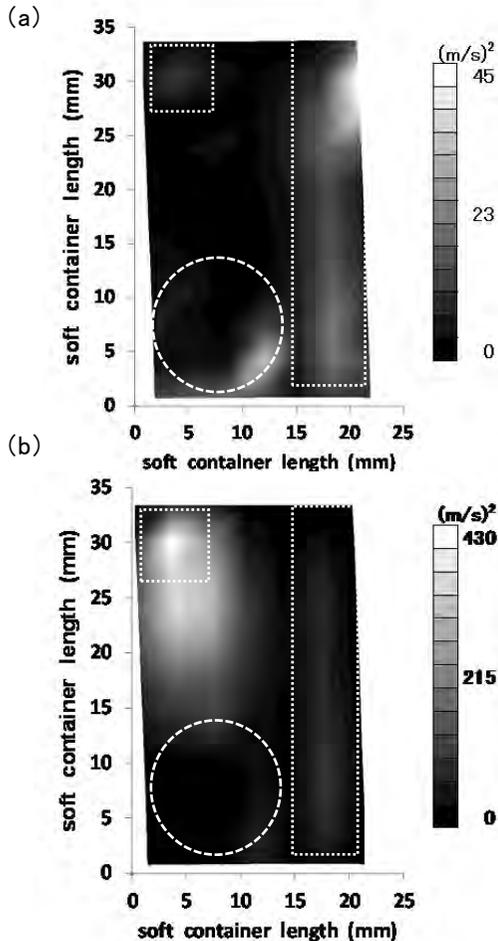


Fig.8 Vibration energy distribution map of defective products.

(a) Internal gas volume 0.5 ml.

(b) Internal gas volume 2.0 ml.

Fig.8(a) (b)より、内部空気量 0.5 ml 及び 2.0 ml の場合の供試体はそれぞれ振動エネルギーの最大値が良品と比較し約 4 倍及び約 40 倍と大きい、内部空気の塊 (気泡)を思わせる分布が確認された。内

部空気がある場合、その表面は振動しやすい状況にあり振動エネルギー値の差は大きいことが確認できる。また、不良品は丸い破線の部分に漏洩防止シールの影響が検出される。

4.2 紙製容器上面を傾斜させた測定結果

次に紙製容器を縦置きした場合には、上面部が水平状態になるため、容器内部に空気が存在しても分散してしまう。ここでは、内部空気をアルミ部 (ストロー挿入口) と反対側 (上面右側 = 紙重なり部) に集めるような傾斜とした。紙重なり部の容器内側は、紙重なり部内部は折り重なり部が存在し、上面に向かって凸の形状を持っているため内部空気が集中する位置が存在する。予備実験で板ガラスの厚みを変化させ傾斜させ確認した結果、紙製容器内部の空気の分散が紙重なり部下部に集まる板ガラスの総厚みが 2.0 mm、容器の傾斜角度は $0.0128\pi \sim 0.0139\pi$ rad (2.3~2.5 degree)であった。

Fig.9 に紙製容器を傾斜させた場合の傾斜状態写真と実験セットアップ図を示す。

紙製容器測定点は縦置き状態と同様である。SLDV は紙製容器上面に対して 500 mm の距離、 0.139π rad (25 degree)の入射角を付けて計測した。なお、スピーカ-の定在波による影響を避けるために、平面スピーカ-は紙製容器上面に対して 230 mm の距離、 0.056π rad (10 degree)の入射角を付けた。

(a)



(b)

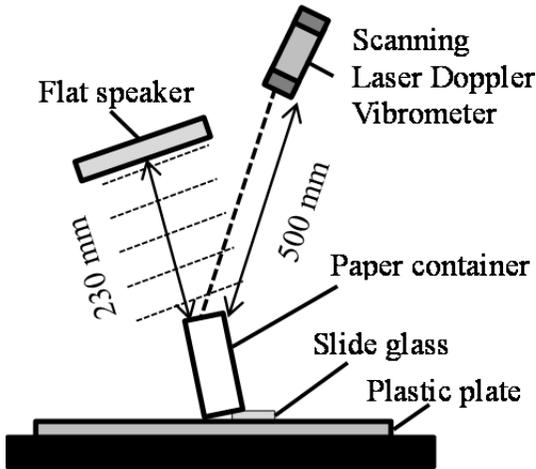


Fig.9 Tilt inspection on top of paper container.

(a) A photograph of a paper container upper surface inclined state.

(b) Inspection setup diagram.

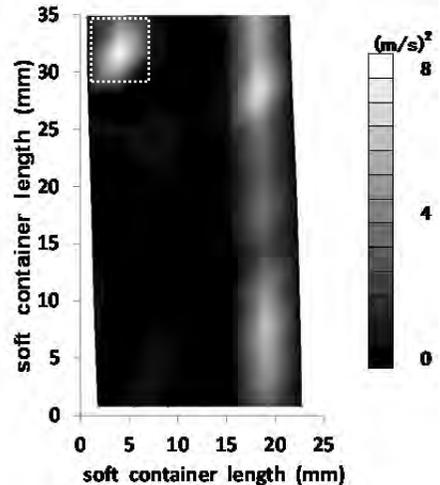
(1) 振動エネルギー分布

良品（内部空気量 0 ml）、不良品（内部空気量 0.5 ml 及び 2.0 ml）の上面部の振動エネルギー分布図を Fig.10 に示す。なお、測定位置は前節 Fig.6 と同箇所である。容器の傾斜角度を $0.0128\pi \sim 0.0139\pi$

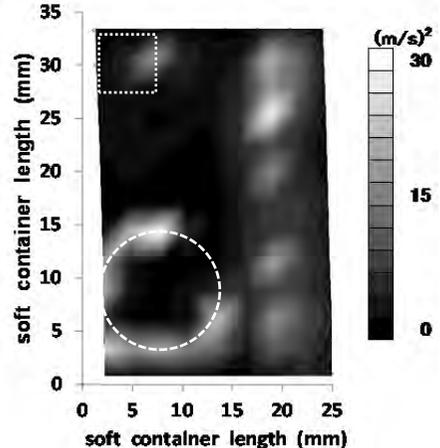
rad($2.3 \sim 2.5$ degree)に設置した場合、内部空気が紙重なり部に集まってきている。不良品は、Fig.10 の丸い破線の部分に漏洩防止シールを貼り付けた影響が観察されている。漏洩防止シールの部分は今回の測定で表面の状態が良品と比較し凹凸を有する為、良否判別から除外し評価を行うこととしている。

周波数特性では特徴的周波数も検出されるが、全体的（500 Hz～10 kHz）に紙

(a)



(b)



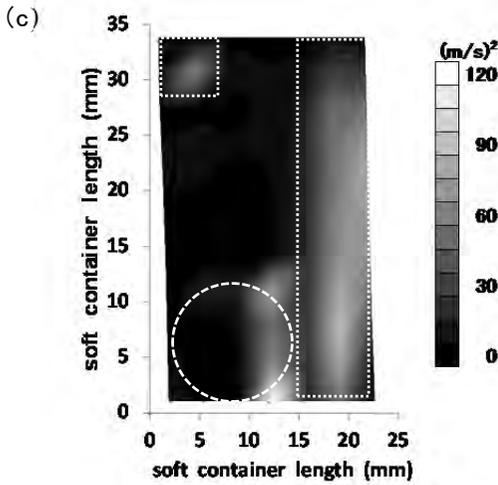


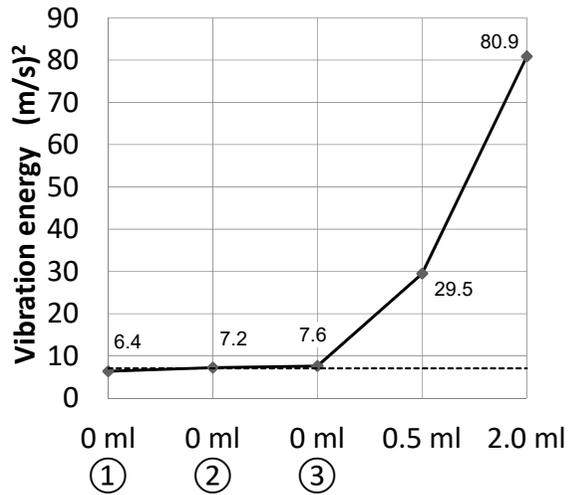
Fig.10 Measurement result of top surface tilt of paper container.

- (a) Internal gas volume 0 ml ③ (good product).
- (b) Internal gas volume 0.5 ml (defective product).
- (c) Internal gas volume 2.0 ml (defective product).

製容器の上面紙部の振動速度が上昇する傾向にある。紙製容器を傾斜することで、内部空気が紙重なり部の形状特性から紙重なり部下部に集中し、紙部の厚みの2倍厚い紙の重なり部でさえも内部空気量0 ml (良品) と不良品 0.5 ml 及び不良品 2.0 ml の振動エネルギー差を得ることが可能であった。

(2) 最大振動エネルギーの比較

Fig.11 に測定された紙製容器の振動エネルギーの最大値を示す。



--- Good products average
Fig.11 Vibration energy characteristics when tilted to paper overlapping part of top of paper container.

紙製容器上面を傾斜角度 $0.0128\pi \sim 0.0139\pi$ rad(2.3~2.5 degree)で設定した。紙重なり部付近に内部空気が移動した状態での測定結果は、内部空気量 0 ml の良品は振動エネルギー値 6.4~7.6 (m/s)²を示し、内部空気量 0.5 ml の不良品は、良品と比較し約 4 倍の 29.5 (m/s)²、内部空気量 2.0 ml の不良品は約 11 倍の 80.9 (m/s)² の値を示していることがわかる。測定条件を揃えることで、紙部の厚みの2倍厚い紙の重なり部での評価でも、良品と不良品の差異を得られることが可能であることがわかる。最大値の振動エネルギー比較で良否の有意差を得ることが可能である。

更に、紙製容器内部空気がアルミ部(ストロー挿入口) 付近へ移動させるため、

容器下部の板ガラスの位置を変更して、傾斜角度 $0.0128\pi \sim 0.0139\pi$ rad (2.3~2.5 degree) で設定した。アルミ部（ストロー挿入口）の上を測定した振動エネルギー最大値を Fig.12 に示す。

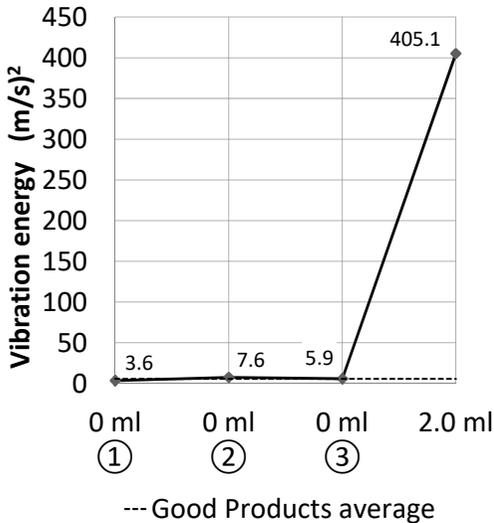


Fig.12 Vibration and energy characteristics of aluminum part when tilted to aluminum top part (straw insertion port) on paper container.

アルミ部（ストロー挿入口）のアルミ部付近に内部空気を集中させ評価を行うと、内部空気量 0 ml の良品は 3.6~7.6 (m/s)² を示し、内部空気量 2.0 ml の不良品はさらにその約 53 倍の 405.1 (m/s)² の値を示していることがわかる。良品と不良品の大きな差異を得ることが可能であることがわかる。

4.3 紙製容器側面傾斜測定結果

紙製容器の上面部ではアルミ部（ストロー挿入口）や紙重なり部、紙部が存在

する。その為、紙部のみで構成されている側面部でも実験を実施した。前節と同様に紙製容器を傾斜させ、側面の紙部を測定した。Fig.13 に傾斜させた紙製容器側面部の測定点と傾斜状態写真および実験セットアップを示す。

(a)



(b)

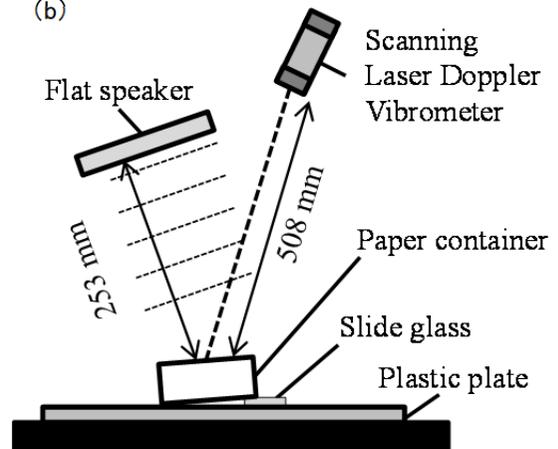


Fig.13 Tilt inspection on side of paper container.

(a) A photograph of the tilted state of the paper container and the measurement points.

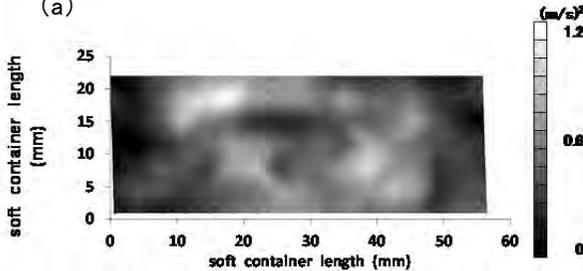
(b) Inspection setup diagram.

測定点は紙部のみの範囲を指定しており、灰色四角点部が測定点位置である。紙製容器内部の空気が上方に集まる紙部の傾斜は板ガラスの総厚みが 4.0 mm で、容器の傾斜角度は $0.0144\pi \sim 0.0156\pi$ rad (2.6~2.8 degree)であった。SLDV は紙製容器上面に対して 508 mm の距離、 0.1π rad (18 degree)の入射角を付けて計測した。なお、スピーカーの定在波による影響を避けるために、平面スピーカーは紙製容器上面に対して 253 mm の距離、 0.1π rad (18 degree)の入射角を付けている。

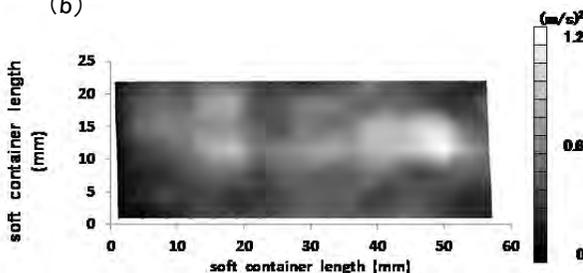
(1) 振動エネルギー分布

良品および不良品の紙製容器を用いた側面傾斜実験による側面部の振動エネルギー分布図を Fig.14 に示す。この部分は、空気を注入した部分の影響を受けない漏洩防止シールが無い部分であり、紙部が一様する箇所である。

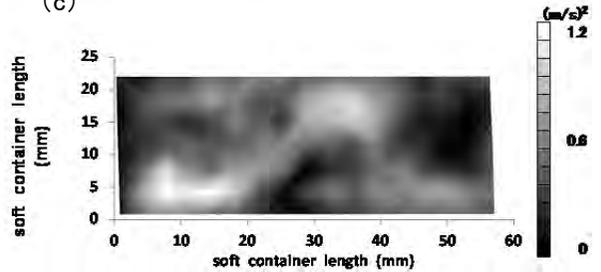
(a)



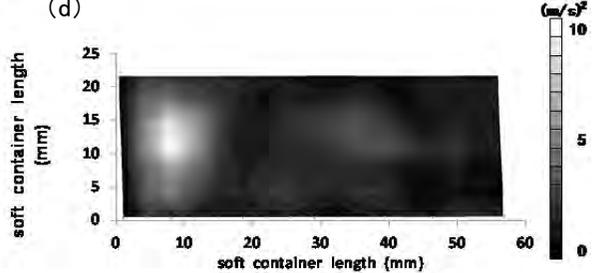
(b)



(c)



(d)



(e)

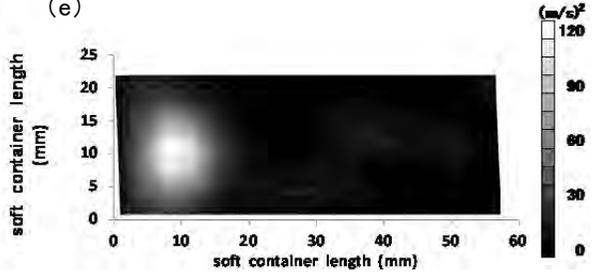


Fig.14 Measurement result of side surface tilt of paper container.

- (a)(b)(c) Internal gas volume 0 ml (good products).
- (d) Internal gas volume 0.5 ml (defective product).
- (e) Internal gas volume 2.0 ml (defective product).

(2) 最大振動エネルギーの比較

Fig.15 に測定した紙製容器の振動エネルギーの最大値を比較したグラフを示す。

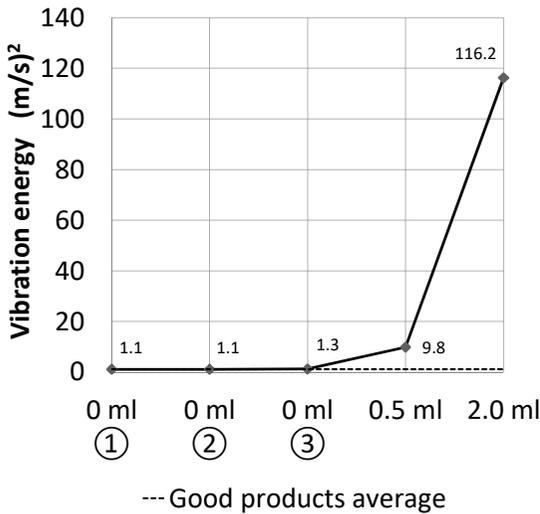


Fig.15 Vibration energy characteristics of paper part when tilted to side part of paper container.

紙製容器側面を傾斜させ、紙部の一方に内部空気が移動した状態での測定結果は、内部空気量 0 ml の良品は 1.3 (m/s)^2 以下を示し、良品と比較し内部空気量 0.5 ml の不良品は 9.8 (m/s)^2 で約 8 倍、内部空気量 2.0 ml の不良品は 116.2 (m/s)^2 で約 89 倍と測定された。

測定条件を揃えることで、紙部の評価でも良品と不良品の差異を得られることが可能であることが確認された。

5. まとめ

不良品は、容器内に空気を注入して腐敗気体が発生したと仮定して実験を行った。内容物は脱気され ppm オーダーに残存気体は制御され、内容物からの気体発生は無いものとした。注入した空気の主

成分である窒素、酸素、二酸化炭素などが内容物に溶け込むが、内容物(LL牛乳)に空気を注入した際に出来る気泡の影響と容器自体の攪拌を行わないために溶け込むが少なかった。計測結果から容器内の空気の移動が観察されるため、ヘッドスペース残存空気とみなす事が出来る。また、空気を注入したことで紙製容器の圧力は極僅かに上昇するが、紙製容器が軟性であることから圧力が吸収されている状態にある。容器圧力測定については、今回の測定では非破壊圧力測定限界値以下なので測定を行っていない。

本測定法では、紙製容器の測定に於いて紙製容器を傾斜させ、容器内部空気を一極に集めることによって、紙製容器の上面または側面部で良品不良品のそれぞれの振動エネルギー量の差異が検出可能であった。

Table 1 に各部測定点の傾斜した場合の、紙製容器上面部の紙重なり部及びアルミ部(ストロー挿入口)、容器側面の紙部の振動エネルギー量測定結果のまとめを示す。

紙製容器を縦方向に置き、紙重なり部に傾斜させ、紙重なり部付近に内部空気が移動した状態での振動エネルギー量の測定結果は、内部空気量 0 ml の 3 個の良品は $6.4 \sim 7.6 \text{ (m/s)}^2$ を示し、内部空気量 0.5 ml の不良品は 29.5 (m/s)^2 (約 4 倍)、内部空気量 2.0 ml の不良品は 80.9 (m/s)^2 (約 11 倍) と測定された。測定条件を揃

Table 1 Vibration energy characteristics of measuring points of each part when paper container is tilted.

Products	Vibration energy (m/s) ² () = Magnification value with good product		
	Top part		Side part
	paper overlap part	Aluminum part (straw insertion port)	paper part
Three Good products 0 ml	6.4~7.6	3.6~7.6	1.1~1.3
Defective product 0.5 ml	29.5 (4)	-	9.8 (8)
Defective product 2.0 ml	80.9 (11)	405.1 (53)	116.2 (89)

えることで、紙部と比較して2倍厚い紙重なり部の評価でも良品と不良品の差異を得られることが可能であった。更に紙製容器の傾斜をアルミ部（ストロー挿入口）に傾けてアルミ部（ストロー挿入口）の上の振動エネルギー量を測定した結果、内部空気量0 mlの3個の良品は3.6~7.6 (m/s)²を示し、内部空気量2.0 mlの不良品は405.1 (m/s)²（約53倍）と測定された。アルミ部（ストロー挿入口）のアルミ部に内部気体を集中させ評価を行うと、紙重なり部より更に良品と不良品の大きな差異を得ることが可能となった。アルミ部は紙素材がなく厚みが薄い為である。紙製容器を横方向に置いた場合、側面は紙部が一枚の安定した部位であり、側面

を傾斜させた振動エネルギー量の測定結果は、内部空気量0 mlの3個の良品は1.1~1.3 (m/s)²を示し、内部空気量0.5 mlの不良品は9.8 (m/s)²（約8倍）、内部空気量2.0 mlの不良品は116.2 (m/s)²（約89倍）と測定された。何れの計測箇所に於いても良品と不良品の差異を得ることが可能であった。

今回は音波照射加振とレーザドップラ振動計を用いた非接触音響探査法により、紙製容器内に腐敗気体が発生した場合の検出が可能かどうかについて検討を行った。紙製容器を少し傾けた状態での振動エネルギー量の測定実験結果から、容器内に封入された空気量に応じた振動エネルギー量変化が検出された。このことは、本手法により紙製容器内に比較的少量の外部空気の進入もしくは腐敗気体の発生量検知が非接触非破壊で可能であることを示している。また、トーンバースト波を加振用音波として用いることで、外部の雑音に対し計測感度を向上させ、軟性容器の共振周波数の把握を迅速に行うことが可能であった。

6. 今後の課題

現在飲食品業界に於いて、軟性容器の内部気体発生検知方法は、主として用いられている手法である接触圧力測定、バキューム漏洩試験および画像処理カメラや距離計を用いた膨張度計測が挙げられる。軟性容器に内容物が充填されてから

時間経過を必要としている上に、外観上の変化が著しい場合にのみ検出が可能であるという問題点がある。今回の結果から、本手法では、非接触非破壊で紙製容器内の比較的少量の気体検出が可能であることが明らかになった。このことから、インラインでの検査及び、倉庫保管後の軟性容器で形状変化が発生するまでの時間後の再検査の時間短縮が期待される。また、少量の気体発生を検査も可能であり、倉庫に保管しての再検査の保全時間の短縮化を計り、検査精度を向上させ、倉庫保管経費を削減することが可能になる。

今回は、レーザドップラ振動計はスキャンタイプの計測器を使用した。が、定点測定用の計測器と、音響探査の周波数の規定を行うことで検査時間の短縮、安定性、ノイズ対策等が可能となる。今後は実際の工場ラインでの実用化を視野に入れた検討を進めていく予定である。

<参考文献>

- 1) Ryo Akamatsu, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, and Kageyoshi Katakura, "Proposal of Non-Contact Inspection Method for Concrete Structures, Using High-Power Directional Sound Source and Scanning Laser Doppler Vibrometer", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.52, 07HC12 (2013)
- 2) 杉本恒美、赤松亮、歌川紀之、片倉景義、“コンクリート非破壊検査のための遠距離非接触音響探査法”、コンクリート工学年次論文集、**36**(1)、pp.2062-2067 (2014)
- 3) Kazuko Sugimoto, Ryo Akamatsu, Tsuneyoshi Sugimoto, Noriyuki Utagawa, Chitose Kuroda, Kageyoshi Katakura, "Defect-detection algorithm for noncontact acoustic inspection using spectrum entropy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.54, 07HC15 (2015)
- 4) 杉本恒美、杉本和子、川上明彦、歌川紀之、“遠距離音波照射加振を用いた非接触探査法の欠陥検出アルゴリズム”、コンクリート工学年次論文集、**39**、pp.1849-1854 (2017)
- 5) 杉本恒美、杉本和子、歌川紀之、川上明彦、“インフラ点検のための音波照射加振による高速非接触音響探査法—マルチトーンバースト波を用いた橋梁における検証”、建設施工と建設機械シンポジウム論文集、pp.149-154 (2017)
- 6) Tsuneyoshi Sugimoto, Kazuko Sugimoto, Nobuaki Kosuge, Noriyuki Utagawa, and Kageyoshi Katakura, "High-speed noncontact acoustic inspection method for civil engineering structure using multitone burst wave", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.56, 07JC10 (2017)
- 7) Kageyoshi Katakura, Ryo Akamatsu, Tsuneyoshi Sugimoto, and Noriyuki

Utagawa, “Study on detectable size and depth of defects in noncontact acoustic inspection method”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.53, 07KC15 (2014)

- 8) 成分組成（日本食品標準成分表 2015 年版）、食品番号：1300、食品群名/食品名：乳類/(液状乳類)/普通牛乳、英名：MILK AND MILK PRODUCTS/Liquid milk/ whole milk、学名：Bos Taurus
- 9) 一般社団法人日本乳業協会、乳と乳製品の知識、LL 牛乳（ロングライフミルク）について

（原稿受付 2018 年 4 月 12 日）

（審査受理 2018 年 9 月 3 日）

