段ボール原紙及び段ボールシートの強度特性に及ぼす ガンマ線照射の影響^{*1}

静岡大学農学部 鈴木恭治, 高橋幹明, 上埜武夫
レンゴー(株)中央研究所 小役丸孝俊

Effect of Gamma-Irradiation on the Strength Properties of Corrugated Fiberboard Sheets and Their Base Papers

Kyoji Suzuki, Mikiaki Takahashi and Takeo Ueno
Faculty of Agriculture, Shizuoka University

Takatoshi Koyakumaru
Central Research Laboratories, Rengo Co., Ltd.

Corrugated fiberboards of AA-grade and their base papers-i. e., liner and medium sheets, were irradiated with dosages of 10, 25, 50, 100 kGy, and effect of gamma irradiation on the brightness and strength properties were investigated.

Changes in brightness values were within 0.5% for all irradiated sheets studied, and there was no visual change on the surface. Compressive strength and wet tensile strength of paperboards did not deteriorate up to the dosage of 100 kGy. Dry tensile strength of paperboards decreased with increasing dosages after the transient increase at 10 kGy, and reduction rate was kept within 15% even after 100 kGy irradiation. Burst-, tear- and puncture-strength also decreased with increasing dosages, but those reduction rate after 100 kGy were kept in the range of 30—40%. In our studies, only folding endurance markedly decreased with increasing dosages.

Burst strength reduction of corrugated fiberboard was within 10% at 25 kGy (usual sterilizing dosage), and reduction behavior was almost similar to that of base paperboard. However, puncture strength reduction of corrugated fiberboard was lower than that of paperboard. Reduction ratio of compressive strength and that of adhesive strength between liner and medium were within 10% even after 100 kGy irradiation.

In conclusion, there was no significant reduction in the mechanical properties of corrugated fiberboard and paperboards due to gamma irradiation except for folding endurance. Therefore, it is thought to be no problem for the practical use of corrugated fiberboard cases in sterilizing operations by gamma-rays.

Keywords : Gamma irradiation, Corrugated fiberboard, Paperboard, Strength property,
Brighness, Sterilization

^{*1} この報告の一部は第39回日本木材学会大会(1989年, 沖縄)にて発表した。なお, この報文を「紙・板紙の諸特性に及ぼす放射線の影響(第2報)」とする。

1. 緒 言

医療品や食料品の放射線による滅菌は年々重要度を増してきている。医療品の滅菌については前報¹⁾で詳述したように、高圧蒸気、エチレンオキシドガス(EOG)、放射線の3種の滅菌法が用いられてきたが、蒸気滅菌法の不完全さや、EOG自体の毒性与併用されるフロンの地球環境破壊の問題のため、放射線滅菌法が安全かつ確実な方法として欧米では従来以上に、また我が国でも普及の進展が予期される。

一方、食品の放射線照射(以下、「照射」と略す)については、食品成分が毒物に変化しないことの確認を得るために長年月を費やしたが、国連の諸機関の共同審議の結果、10 kGy以下の照射ではいかなる食品でも毒性を生ずる恐れがなく、栄養学的及び生物学的にも特別な問題を引き起こす恐れはないとの結論が1983年に出されている。ところが、ジャガイモやタマネギの発芽防止への放射線利用例は増えてきたが、滅菌を目的とした食品への照射は開発途上国で比較的進んでいるものの、先進国特に放射線に対する対応にとりわけ慎重な我が国では、今のところ普及の動きは見られない²⁾。しかし、開発途上国や低開発国での人口の急増に対処するため、食糧の確保が今後ますます重要度を増すことは必至であり、国連諸機関は照射による食品の腐敗防止ないし保存の普及推進のため啓蒙に努めている。

このように医療品や食品への照射が今後増加の一途をたどると予想され、この処理は出荷前から流通の段階で実施するのが好都合であろう。そして、これらの段階では医療品や食品は通常段ボール箱で包装されているので、段ボールも照射を受けることになる。

段ボールは基本的には3枚の板紙で構成されており、各板紙の主要成分はセルロース、ヘミセルロース及びリグニンである。ところでセルロースやヘミセルロースは照射によって崩壊する物質であり³⁾、これらを主要成分とする紙は照射によって劣化する¹⁾⁴⁾。同様に段ボールも照射による劣化が予想されるが、既往の研究例は見当たらない。上述のように医療品や食品の容器として遠隔地へ輸送され、過酷な取扱いを受けることも今後多くなることが予想されるので、段ボール用の板紙とそれらで構成されるシートに照射を行い、強度特性への影響を追究した。

放射線源としては、最近高エネルギー電子線を用いる滅菌法も研究されているが⁵⁾、本研究では物質透過性のよいガンマ線を放出し、放射能汚染の恐れのない⁶⁰Co密封線源を用いた。

2. 実 験

2.1 試 料

段ボールは表裏に用いるライナーと波形の中しんにより構成されるが、ライナーは比圧縮強さと比破裂強さにより4等級(AA, A, B, C)に、中しんは裂断長と比圧縮強さにより3等級(A, B, C)に区分され、それぞれJIS P 3902, JIS P 3904で規定されている。本実験ではAA級クラフトライナー(坪量220 g/m²)とA級中しん紙(坪量125 g/m²)を用いた。段ボール試料は上記原紙より構成されるAフルートAA級段ボールシートを用いた。なお、本実験ではより正確な強度比較を実現するため、実験に用いた段ボールと段ボール用原紙は同一抄紙機(いずれも実機)、同一ロットのものを使用した。

2.2 ガンマ線照射

前報¹⁾と同様に⁶⁰Co板状線源の照射装置を用い、線量率10 kGy/hrで所定時間、常温で照射した。照射を均一に行うため、試料は板状線源に対して平行に置いた。照射後の試料はafter-effectを考慮し、2週間恒温恒湿室(20℃, 65%RH)に放置した。

2.3 強度試験

板紙についてはT. S. S.型ハンター白色度計により白色度を測定した後、JISに準じて破壊強さ(JIS P 8112及びJIS P 8131)、乾燥引張り強さ(JIS P 8113)、湿潤引張り強さ(JIS P 8135)、耐折強さ(JIS P 8115)、引裂き強さ(JIS P 8116)を測定した。また圧縮強さはリングクラッシュ試験(JIS P 8126)に加えてコンコラライナー試験⁶⁾を行った。

段ボールについてもJISに準じて破壊強さ(JIS P 8131)、衝撃穴あけ(JIS P 8134)、平面圧縮強さ(JIS Z 0401)、垂直圧縮強さ(JIS Z 0401)の各試験に加え、ライナーと中しん間の接着力試験(JIS Z 0402)を行った。

3. 結果および考察

3.1 白色度変化

板紙および段ボール表面の白色度に及ぼす照射の影響を表1に示す。板紙は表面、段ボールは表裏両面を測定した。照射量を増しても白色度の変化は±0.5%以内と極めて僅少であることが分かる。ライナー表層は針葉樹クラフトパルプからなるが、前報¹⁾のLBKPハンドシートにおける白色度変化(±2%)よりむしろ小さい。中しん紙の構成原料はSCPと古紙パルプであるが、これも照射による白色度の低下傾向は見られるものの、その低下率はごく僅かであった。段ボール表面

の白色度変化は当然のことながらライナーとほぼ同等であった。段ボール裏側は製造時のプレスマークが幾分目立ってくるものの、白色度への影響は見られなかった。Kubát ら⁷⁾はガンマ線照射による針葉樹晒クラフト紙の白色度低下防止のため、radical scavengerとしてヒドラジンをを用いて好結果を得ているが、板紙・段ボールではその必要はないと考えられる。

3.2 板紙の諸強度変化

破裂強度は圧縮強度とともに板紙の等級区分の基準に用いられる重要な強度特性である。板紙の破裂強度変化に及ぼす照射量の影響を図1に示す。AA級ライナー(坪量 220 g/m²)の破裂強度は破裂指数換算で 3.24 kPa・m²/g 以上と規定されている(JIS P 3902)。本実験においても未照射の強度はこれを維持しているが、照射量の増加とともに強度は低下し、滅菌線量の

Table 1 Effect of gamma irradiation on the brightness of the corrugated fiberboard and the base papers.

Samples		Brightness by Hunter				
		Dosage (kGy)				
		0	10	25	50	100
Base paper	liner	14.7	14.8	14.4	14.3	14.3
	medium	23.9	23.9	23.8	23.7	23.6
Corrugated fiberboard	surface	14.6	14.5	14.6	14.4	14.4
	reverse	14.7	14.6	14.5	14.4	14.4

Fig. 1 Effect of γ -irradiation dosage on the bursting strength of paperboards for the corrugated fiberboard.

Notes : ● : Liner, ▲ : Medium

25 kGy では約 10%, 100 kGy では 37% 低下した。中しんも 25 kGy で約 7%, 100 kGy で約 27% 低下した。Bors ら⁸⁾は 6 種類の紙に殺菌を目的として 4.5 kGy の照射を行い破壊強度の向上を認めているが、本実験の測定線量範囲ではその傾向は見られなかった。

一方、引裂き強度の低下率は図2に示すように 25 kGy で 16.2%, 100 kGy で 33.8% となり、前報¹⁾の LBKP 手抄き紙の場合より大きい値となった。図3に衝撃穴あけ試験の結果を示す。25 kGy で約 10%, 100 kGy で約 40% 低下している。板紙の衝撃穴あけ強度には、主に破裂強度と引裂き強度が関与すると考えられ、破壊形態は破裂試験に類似する。従って、この低下傾向は妥当なものといえよう。

Fig. 2 Effect of γ -irradiation dosage on the tearing strength of paperboards for the corrugated fiberboard.

Notes : ● : Liner (machine direction),
▲ : Medium (machine direction)

Fig. 3 Effect of γ -irradiation dosage on the puncture strength of liner.

ライナー及び中しんの乾燥引張り強度変化を図4に示し、湿潤引張り強度変化を図5に示す。乾燥引張り強度はライナー、中しんともに幅方向(CD)の強度はマシン方向(MD)の約50%となっているが、線量による変化は同傾向を示す。即ち、10 kGy程度の低線量域で僅かな上昇を示し、その後、線量の増加とともに漸減する。低線量域での一時的強度向上は、後述の圧縮強度や衝撃穴あけ強度にも見られたが、前報¹⁾の紙

Fig. 4 Effect of γ -irradiation dosage on the dry tensile strength of paperboards for the corrugated fiberboard.

Notes : ● : Liner (machine direction),
○ : Liner (cross direction),
▲ : Medium (machine direction),
△ : Medium (cross direction).

Fig. 5 Effect of γ -irradiation on the wet tensile strength of paperboards for the corrugated fiberboard.

Notes : ●, ○, ▲, △ : refer to Fig. 4.

力増強剤添加紙の引張り強度でも僅かな向上が観察されている。Keeny ら⁹⁾も 10~20 kGy の範囲に変則的な強度変動領域の存在を認めているが、紙種による変動も大きく、機構の詳細は今後さらに検討を要する。25 kGy を越えると強度は漸減し、ライナー、中しんともに 100 kGy 照射で 15~20% の低下を示した。

一方、湿潤引張り強度は前報¹⁾のハンドシートと同様、照射により若干の向上が見られた。しかし前報に見られるような照射線量の増加に伴う明確な強度向上ではなく、10~25 kGy の低線量域で上昇し、その後は線量増加と共に漸減した。単一パルプからなる標準ハンドシートと異なり、ライナーは多層抄きで種々の添加薬品を含んでおり、中しんも古紙由来の夾雑物を含んでいることから繊維のみによる明確な湿紙強度変化が現れなかったものと推察される。

耐折強度変化を図6に示す。耐折強度は前報のハンドシートの場合と同様、照射線量の増加とともに著しく低下した。段ボールは使用時に頻繁な折り曲げ操作を受けることはないので、実用上支障はないと考えられるが、シートを構成する繊維自身の劣化が着実に起っていることが伺える。

リングクラッシュ法による圧縮強度試験の結果を図7に示す。ライナー、中しんともに 100 kGy 照射してもほとんど強度低下を起こさない。圧縮強さ試験はリングクラッシュ法 (JIS P 8126) が一般的であり、板紙等級区分にもこれが基準に用いられているが、測定時の試片の状態が強度的に有利なリング状であり、破壊荷重に構造的影響が加わる。そこで段ボールにした時

Fig. 6 Effect of γ -irradiation on the MIT folds of paperboards for the corrugated fiberboard.

Notes : ● : Liner, ▲ : Medium

Fig. 7 Effect of γ -irradiation on the compressive strength of paperboards by ring crush test.

Notes : ●, ○, ▲, △ : refer to Fig. 4.

Fig. 8 Effect of γ -irradiation dosage on the compressive strength of paperboards by concora liner test.

Notes : ●, ▲ : refer to Fig. 4.

のライナーの状態, つまり真直な状態で荷重を加えるコンコラライナー試験の方が実際の強度を示しているとの指摘がある⁹⁾。図8にコンコラライナー法による圧縮強度測定結果を示す。図よりライナーは線量とともにむしろ増加傾向を示し, 中しんはほぼ一定値を維持していることが分かる。板紙及び段ボールの圧縮強度は実用上最も重要な強度とされており, それが照射に対して安定であることは注目に値する。

以上より照射による板紙の各強度変化を比較すると以下の4グループに大別できる。

(1) 100 kGy 以下の照射では劣化しないもの

湿潤引張り強度, 圧縮強度

(2) 低下率の小さいもの

乾燥引張り強度

(3) 100 kGy 照射で3割程度低下するもの

破裂強度, 引裂き強度

(4) 著しく低下するもの

耐折強度

いずれにしても, 引張り強度と圧縮強度に大きな変化が見られないことから, 照射による2次元方向の強度への影響は微小であるといえる。耐折強度の著しい低下は見られるものの, 滅菌線量 (25 kGy) 程度の照射では実用上支障の出る恐れはないものと考えられる。

3.3 段ボールの諸強度変化

照射による段ボールの破裂強度変化を図9に示す。比較のため, 図1に示したライナーの破裂指数変化を破裂強さに換算して同図に併記した。段ボールの強度低下率は滅菌線量 (25 kGy) で10%以内, 100 kGy 照射で35%となり, ライナーの低下割合とはほぼ同じであった。一般に両面段ボールの破裂強度は表と裏に用いられるライナーの破裂強度の和に等しいと考えられることから, この結果は妥当なものである。衝撃穴あけ強さ変化を図10に示す。これも照射量の増加とともに低下するが, 図3のライナーの強度低下が100 kGy 照射で約40%であったのに対し, 段ボールでは20%以内であった。段ボールの衝撃穴あけ強さは, 原紙の破裂強さや引裂き強さに加えて, 段ボールシートの厚さや接着強度 (後述) の影響を受けるとされている。すなわち, 段ボールシートの構造的要因が加わる

Fig. 9 Effect of γ -irradiation dosage on the bursting strength of corrugated fiberboard and its liner.

Notes : ■ : Corrugated fiberboard,

● : Liner (MD).

Fig. 10 Effect of γ -irradiation dosage on the puncture strength of corrugated fiberboard.

といえる。得られた結果から、衝撃穴あけ強さにおいて、ライナーの劣化が段ボールシートの強度低下に直接には響いていないことが分かり、シートの構造がライナーの劣化をある程度補っていると考えられる。

段ボールの圧縮強度変化を図 11 に示す。垂直圧縮強さ、平面圧縮強さのいずれも 10 kGy の照射で若干低下するが、それ以上線量を増しても大きな変化はなく、両強度とも 100 kGy 照射で低下率 15% 以内であった。垂直圧縮強さは段ボール箱の耐圧強度を支配する重要な特性値であるが、ライナーの圧縮強さ(図 7 及び 8)

Fig. 11 Effect of γ -irradiation dosage on the compressive strength of corrugated fiberboard by end crush and flat crush.

Notes : ● : Flat crush strength,
○ : End crush strength.

に関係があることから、大きな強度低下がないのは当然といえる。また、平面圧縮強さは中しんにより形成される段の圧縮強さに支配されることが考えられるが、この場合も放射線の影響が少ないことが伺える。

段ボールのライナー、中しん間の接着力試験の結果を図 12 に示す。これも照射量の増加とともに低下するが、25 kGy で 10% 以内、100 kGy で約 20% であった。ライナーと中しんの接着には、でんぷんが使用されており、このでんぷんは放射線照射によって崩壊するタイプの高分子化合物である¹⁰⁾。でんぷんのガンマ線照射による崩壊に関するデータを求めているが、前報のセルロースの重合度変化から類推して、でんぷんもかなり崩壊していることが想像できる。しかし、段ボールの接着強度に及ぼすガンマ線照射の影響はそれほど大きなものではなかった。強度試験後に試料の破壊面を観察しても、未照射、照射の両方とも接着部分の破壊だけでなく、紙層部分の破断もみられ、接着強度への影響が少ないことと相応している。

以上より段ボールの各強度低下を比較すると、破裂強度は板紙と同程度の低下傾向を示すものの、他の圧縮、接着力、衝撃穴あけの各強度は 100 kGy 照射でも 10% 以内の低下率であり、大きな変化はないといえよう。AA 級ライナーと A 級中しんで構成された本実験の段ボールは、50 kGy 以下の照射では外装用段ボール規格 (JIS Z 1516) の 4 種に適合し、100 kGy 照射でも 3 種の規格に適合する。なお等級区分に関する詳細な検討は次報に譲ることとする。

Fig. 12 Effect of γ -irradiation dosage on the pin adhesive strength of corrugated fiberboard.

Notes : ● : Double side,
○ : Single side.

4. 結 論

段ボールとその構成原紙である板紙の強度特性に及ぼすガンマ線照射の影響を検討し、以下のことが明らかとなった。

(1) 段ボールの表裏を構成するライナーとコルゲート部を形成する中しん原紙の照射による白色度変化は極めて小さく、100 kGy 照射しても $\pm 0.5\%$ 以内であり、視覚的な変化はほとんど見られなかった。

(2) ライナー及び中しんの強度で著しい低下が起ったのは耐折強度のみで、破裂、引裂き及び衝撃穴あけの各強度は100 kGy 照射で40%以内の低下率であった。乾燥引張り強度の低下率は小さく、低線量で若干の向上が見られた。湿潤引張り強度と圧縮強度は100 kGy までの線量では低下しなかった。

(3) 段ボールの破裂強度は板紙とほぼ同様の低下傾向を示したが、衝撃穴あけ強度の低下率は板紙より小さかった。

(4) 段ボールのライナーと中しんの接着剤として用いられるでんぷんは対放射線崩壊性高分子であるが、段ボールの接着強度は照射による低下が見られなかった。

(5) 照射後の段ボールは50 kGy 以下の照射では外装用段ボールの4種の規格を満足し、100 kGy 照射でも3種の規格に適合する。

謝 辞

ガンマ線照射実験に対し御協力頂いた日本原子力研究所高崎研究所の照射スタッフの皆様に深謝致します。

引用文献

- 1) 上埜武夫, 鈴木恭治, 高橋幹明: 木材学会誌, 36 (8), 665-671 (1990)
- 2) 栗飯原景昭: 放射線プロセスシンポジウム講演要旨集, 東京, 1987, p 32
- 3) 例えば, Imamura, R.; Ueno, T.; Murakami K.: Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., No. 50, 51-63 (1972)
- 4) Keeney, N. H. Jr.; Walkinshaw, J. W.: Tappi Journal, 73 (10), 233-236 (October 1990)
- 5) 関口正之ら: 放射線プロセスシンポジウム講演要旨集, 東京, 1987, p 20
- 6) 五十嵐清一: 包装研究, 1, 17-21 (1981)
- 7) Kubát, J.; Martin-Lof, S.; Ruvo, A.: Svensk Papperstidn., 71, 851-856 (1968)
- 8) Bors, W.; Kuhn, W.; Bardon, A.: Das Papier, 22, 180-185 (1968)
- 9) Keeney, N.; Reynolds, H.; Trageser, D.: Tappi, 51, 47 A-49 A (1968)
- 10) Hofreiter, B. T.; Russell, C. R.: Die Starke, 26, 18-23 (1974)

(受理: '91.10.25)