

スチール缶対応X線缶巻締測定装置の 開発とそのX線波長について

高本雄治*・中山博司*・袖山敦史**・河西勝興*

The development of an automatic can seam measuring equipment
and a speculation on the X-ray wavelength

Yuji TAKAMOTO* Hiroshi NAKAYAMA* Atsufumi SODEYAMA**
and Katsuoki KAWANISHI*

Aluminum cans (lid, body/aluminum) have been mainly used by beer makers. Recently steel cans (lid/aluminum, body/iron) have been paid attention from the point of recycling systems in environmental problems. In fact, beer makers have tried to use steel cans in packaging.

Generally inspection terms in can seam have been measured by destructive method with persons experienced. We developed a new automatic can seam measuring equipment which measured non-destructively and easily managed the inspection terms for steel cans. The equipment is characterized by a micro-focusing X-ray tube and image processing. In addition we estimated the region of X-ray wavelength for the inspection of steel can from experiments and simulation, and the region was from 0.14 to 0.40 Å.

Keywords : X-ray, Can seam, Steel can, Wavelength

ビール缶としてアルミ缶（缶蓋・缶胴がアルミニウムの缶）が主に用いられているが、近年、環境問題という観点からスチール缶（缶蓋がアルミニウム、缶胴が鉄の缶）が見直され、スチール缶の使用がビール業界で進みつつある。一般に缶巻締部の検査では、缶巻締部を切断・解体する破壊検査が熟練者により行われている。我々は、非破壊検査および省力化を目的として、アルミ缶対応X線缶巻締測定装置の開発経験に基づき、スチール缶対応X線缶巻締測定装置をマイクロフォーカス型X線管および画像処理を用いて開発・実用化した。さらに、その装置を用いてスチール缶の巻締測定をするのに必要なX線波長域を0.14~0.40Åと推定した。

キーワード：X線、缶巻締、スチール缶、波長

*サッポロビール(株) テクニカルセンター (〒332-0033 埼玉県川口市並木元町1-1) : Sapporo Breweries Ltd.
Technical Center 1-1, Namikimotomachi, Kawaguchi, Saitama 332-0033, Japan

**日立エンジニアリング(株) 画像システム部 (〒319-1221 茨城県日立市大みか町5-1-26) : Hitachi Engineering Co.,
Ltd. Image Processor Development Dept. 1-26, Ohmika-cho 5-chome, Hitachi-shi, Ibaraki 319-1221, Japan

1. 緒言

日本では、ビール缶として主にアルミ缶(缶蓋・缶胴がアルミニウムの缶)が使用されており、その缶詰製造における密閉性の保持は、缶胴に缶蓋を二重に巻締める、いわゆる二重巻締め法により行われている。通常その検査に当たっては缶巻締め部を切断・解体する破壊検査が行われているが、缶巻締め部を切断・解体する破壊検査では、ビール缶内にガス圧のかかった本来の状態での測定はできず、またその作業は熟練を要する。このことから、これまでに我々は非破壊検査および省力化を目的として、アルミ缶対応のX線缶巻締測定装置を実用化し¹⁾、従来の破壊検査と同様な巻締め管理を行ってきた。

製鉄メーカーで組織する鋼材倶楽部の96年現在の報告²⁾では、飲料全体のスチール缶(缶蓋がアルミニウム・缶胴が鉄の缶)使用率は約60%で、そのリサイクル率は77%であるのに対し、アルミ缶のリサイクル率は70%と報告されている。環境問題という観点からスチール缶がビールの製造現場においても見直され、さらに製鉄、製缶メーカーがビール用スチール缶の改良を行う等の努力もあり、スチール缶の使用がビール業界でも進みつつある。このような背景に基づき、我々はアルミ缶と同様な検査ができるスチール缶対応X線缶巻締測定装置の実用化の検討を行った。

開発に当たって問題となるのは、アルミニウムと鉄のX線に対する吸収係数の違いである (Table 1; アルミニウム、鉄の密度⁵⁾をそれぞれ 2.69、7.86 g·cm⁻³として文献3、4から計算した。)

Table 1 Absorption coefficients of Al and Fe

| 波長(Å) | (1/cm) | |
|-------|--------|--------|
| | アルミニウム | 鉄 |
| 0.10 | 0.42 | 2.08 |
| 0.20 | 0.75 | 9.12 |
| 0.30 | 1.41 | 27.12 |
| 0.40 | 2.61 | 59.74 |
| 0.50 | 4.90 | 110.83 |
| 0.60 | 8.61 | 187.85 |
| 0.70 | 13.32 | 290.03 |

二重巻締めしたスチール缶の場合、缶胴の鉄材がアルミニウム部を覆い隠している (Fig. 1)。その結果、アルミニウムと鉄のX線に対する吸収係数 (Table 1) の差に起因するX線透過率に大きな差異が生じ、鮮明なX線透過画像が得られない。巻締め寸法値を自動測定するためには、特に巻締め管理上の重要値である UC (Fig. 1) を知ることが課題であり、装置開発のポイントとなる。

我々はマイクロフォーカス型X線管の採用および画像処理により、断面画像の分解能を高め、スチール缶対応X線缶巻締測定装置を実用化した。さらに今後の装置の改良を念頭におき、実用化された本装置を用いてスチール缶の巻締め測定に重要なX線波長域を推定した。

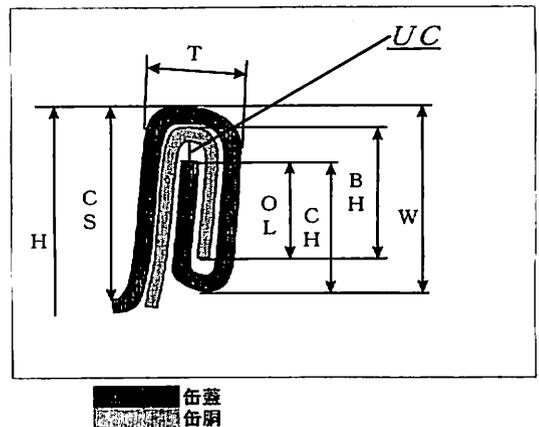


Fig. 1 Cross section diagram showing typical seam

2. 実験

2.1 スチール缶対応X線缶巻締測定装置の概要

開発実用化されたスチール缶対応X線缶巻締測定装置についてその概要を述べる。(本装置は、従来のアルミ缶および缶蓋・缶胴が鉄の缶も測定可能である。)

従来の破壊検査では巻締め断面像による巻締め管理を行っている。そこで従来の破壊検査と対応させるために、X線を缶巻締め部の接線方向から照射して (Fig. 2)、巻締め部断面画像を得ることを試みた。

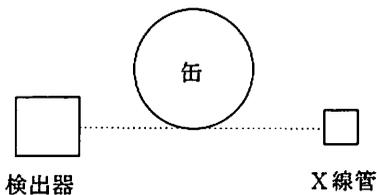


Fig. 2 The outline of measurement

当社で開発・実用化したこれまでのアルミ缶用X線缶巻締測定装置ではX線の焦点が大きく、スチール缶では巻締め寸法値を算出するのに適した断面画像は得られなかった。そこで、焦点の大きさを $10\mu\text{m}$ まで小さくできるマイクロフォーカス型X線管を採用し、像の拡大率を大きくした。撮像は、X線イメージインテンシファイアとCCDカメラの組み合わせで行った。得られた画像は画像処理により、 $20\mu\text{m}$ 以下の精度で巻締め寸法値の自動算出が可能であった。以下の実験はこの装置により行なった。

2.2 スチール缶巻締め部測定に適したX線管の管電圧および管電流の探索

装置の保守、改良さらには巻締め測定を効率的に行うには適切な管電圧、管電流を知ることが重要である。そこで我々は、スチール缶として市販されている種々の飲料缶を用い、その巻締め部を測定するのに適したX線管の管電圧および管電流を探索した。探索に当たっては、X線管の管電圧および管電流をそれぞれ $70\sim 130\text{ kV}$ 、 $30\sim 300\mu\text{A}$ の範囲で種々に組み合わせ実験を行なった。管電圧、管電流の組合せによる巻締め測定の適否は、断面画像の処理が最も困難なUC (Fig. 1)の測定可能性を判断基準とした。

3. 結果

X線管の管電圧と管電流の種々の特定の組合せでUCの画像処理測定が可能であった。その結果、管電圧が高いときには低い管電流、管電圧が低いときには高い管電流という傾向がみられた。Table 1で示したようにX線の透過はそれぞれの波長で異なっている。後述のKramerの式⁶⁾によれば、X線管から発生する波長域は管電圧に依存していることから、管電圧に着目し実験を整理した。その結果、UCが測定可能な画像が得られた最小管電圧は 90 kV で、そのときの管電流は $300\mu\text{A}$ であった。なお、缶蓋・缶胴が鉄の缶と缶蓋がアルミニウム・缶胴が鉄のスチール缶では、同程度の管電圧と管電流で同様な画像が得られた。

4. 考察

4.1 測定結果の解析

タングステンから発生する連続X線スペク

トルについてその波長と強度を Kramer の式⁶⁾を用いて検討した。

Kramer の式

$$I = KiZ(\lambda/\lambda_{\min}-1)/\lambda^2 \quad (1)$$

($\lambda_{\min} = 12.4/V$)

I: X線強度

K: 定数(任意)

i: 管電流 (mA)

Z: タングステンの原子番号 (=74)

λ : X線波長 (Å)

λ_{\min} : 連続Xの最短波長 (Å)

V: 管電圧 (kV)

(1)式において定数Kを100、管電流を300 μ A、管電圧を90、110、130 kVとしたときのX線強度の例を Fig. 3に示した(横軸はX線波長; 単位Å)。

結果で示したように、最小管電圧として90 kV(管電流300 μ A)のときUCが測定可能な映像が得られたが、この場合を(1)式を

用いて検討した。計算に当たって定数Kを100とした。その結果、0.13Å以下のX線強度は0である(Fig. 3)にもかかわらず画像が得られたことから、0.13Å以下のX線は測定には不要であることが分かった。

4.2 鉄のX線透過シミュレーション

結果で述べたように、缶蓋・缶胴が鉄の缶と缶蓋がアルミニウム・缶胴が鉄のスチール缶では、同程度の管電圧と管電流で同様な画像が得られたことから、缶蓋・缶胴が鉄の缶を想定してX線透過のシミュレーションを行った。Table 1の鉄の吸収係数に基づき、缶巻締め部に対して接線方向から各波長のX線を照射した場合(Fig. 2)について、入射X線強度を I_0 、透過X線強度をIとして、巻締め部透過率を

$$\text{透過率(\%)} = I/I_0 \times 100 = \exp(-\mu d) \times 100 \quad (2)$$

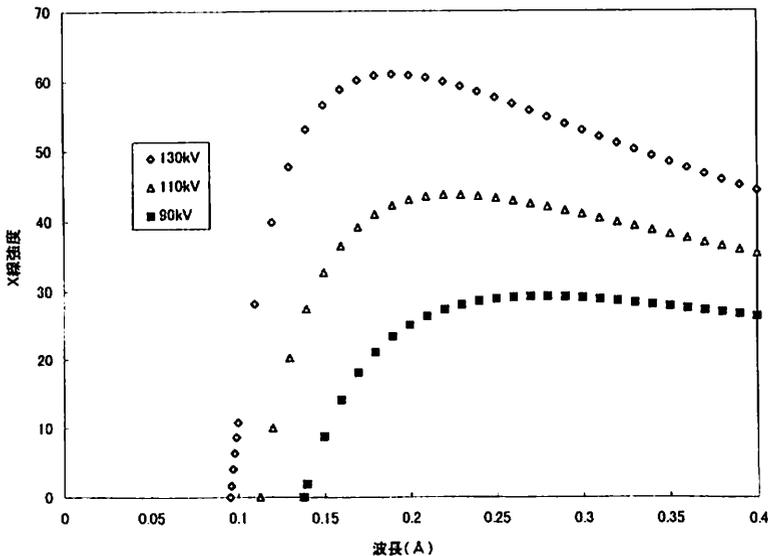


Fig.3 Intensity of continuous X-ray

Table 2 Percent transmission of Fe (%)

| | | 透過距離(cm) | | | | | |
|-------|------|----------|------|------|------|------|------|
| | | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| 波長(Å) | 0.10 | 90.1 | 81.2 | 73.2 | 65.9 | 59.4 | 53.5 |
| | 0.20 | 63.4 | 40.2 | 25.5 | 16.1 | 10.2 | 6.5 |
| | 0.30 | 25.8 | 6.6 | 1.7 | 0.4 | 0.1 | 0.0 |
| | 0.40 | 5.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 0.50 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 0.60 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

として計算した^{3,4)}。ここで μ (cm^{-1}) は Table 1 の吸収係数で鉄の連続体を仮定した。d (cm) は透過距離で 0.5~3 mm の範囲で計算した。透過距離は、206 径缶蓋を基準としてその接線方向の長さを実測して範囲を決めた。その結果、波長が 0.40Å 以上では、ほとんど X 線は透過しないことが示された (Table 2)。

4.3 測定のための有効波長の検討

4.1 および 4.2 の結果を総合的にまとめると、巻締め部測定用の X 線有効波長は、0.14~0.40Å であることが推定された。なお、対陰極に用いているタングステンの $K\alpha$ の特性 X 線は、0.211Å が一番強く、以下 0.209、0.213Å の順である⁷⁾。このことから、0.2Å 付近の X 線が関与している可能性もあり、今後の検討が必要だろう。

5. 結論

焦点の大きさが 10 μm まで小さくできるマイクロフォーカス型 X 線管と画像処理によ

り、缶蓋がアルミニウム・缶胴が鉄のスチール缶対応 X 線缶巻締め測定装置が実用化された。さらにスチール缶の測定に必要な波長域が、0.14~0.40Å と推定されたことにより、今後の装置の改良が容易になった。

<引用文献>

- 1) 中山博司、小山登、門奈哲也、高阪功、第33回全日本包装技術研究大会—研究事例発表資料、p. 165 (1995)
- 2) スチール缶—環境にやさしい21世紀の容器、鋼材倶楽部 (スチール缶委員会) (1997)
- 3) 理科年表 (東京天文台編)、丸善、p. 551 (1992)
- 4) 化学便覧基礎編Ⅱ改訂3版 (日本化学会編)、丸善、p. Ⅱ-634、p. Ⅱ-637 (1987)
- 5) 3) の p. 438
- 6) 大野勝美、川瀬晃、中村利廣、“X線分析法”、共立出版、p. 1-14 (1987)
- 7) 3) の p. 548

(原稿受付 1999 年 11 月 5 日)

(審査受理 2000 年 2 月 17 日)