—原著—

車のランプ系ガラスの蛍光 X 線分析法および放射光蛍光 X 線分析法による識別の検討

吉田 努^{*1}, 鈴木伸一^{*2}, 矢板 毅^{*3}茨城県警察本部刑事部科学捜査研究所^{*1}, 日本原子力研究開発機構^{*2,*3}〒310-8550 茨城県水戸市笠原町978-6^{*1}〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4^{*2}〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1^{*3}**Discrimination of the Glass of Car Lamps by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Analysis and Synchrotron Radiation X-ray Fluorescence Analysis**Tsutomu Yoshida^{*1}, Shin-ichi Suzuki^{*2} and Tsuyoshi Yaita^{*3}*Scientific Criminal Investigation Laboratory, Ibaraki Prefectural Police H.Q.**978-6 Kasahara-tyo, Mito-shi, Ibaraki 310-8550, Japan^{*1}**Japan Atomic Energy Agency**2-4 Shirakatasirane, Toukai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1195, Japan^{*2}**Japan Atomic Energy Agency**1-1-1 Kouto, Sayou-tyo, Sayou-gun, Hyogo 679-5148, Japan^{*3}**(Received 3 June 2009; accepted 18 January 2010)*

Qualitative analyses of trace elements in the glass for car lamps were performed by wavelength dispersive X-ray fluorescence analysis (WD-XRF) and synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis (SR-XRF) for the discrimination of the car lamps. Glass samples were crushed into powder and a disc of the same shape prepared from the powder of each glass was used for WD-XRF and SR-XRF measurements under the same geometrical condition in order to make the comparison of the spectra more accurate. Comparison of peak intensities for elements (Fe, As, Sr, Zr, Sb, Ba and Pb) detected by WD-XRF was effective for the discrimination of the glasses. In SR-XRF, difference in the peak intensities of Fe, As, Sr, Zr and Pb was found in some of glass samples produced by a same manufacturer. Difference in the peak intensities for elements in glass samples was observed also in the elemental constitutions of glass samples for the same use. The differences in elemental constitution were observed also between the outer glass (bulb glass) and the inner glass (stem glass) within the same lamp. Both WD-XRF and SR-XRF are very powerful analytical techniques to discriminate glass of the car lamps. The constituent of elements obtained by these methods can provide information to some extent to assist in determining the manufacturer and specifications of the glass.

Key words: Car lamp, Glass, Element, WD-XRF, SR-XRF

緒 言

交通事故のなかでも単独、車対車などの物損事故に対して、歩行者や自転車運転者などが死傷する人身事故で被疑者が事故後逃走した場合に、被疑車両が事故に関与したことを立証するために自動車のガラス片が鑑定資料として持ち込まれることがある。交通事故のほか、ガラス片の鑑定は、器物損壊事件などでも囑託される。

ガラスは日常生活の中で広く使われている工業製品である。ガラスは原材料の溶融、成形、冷却、加工などの工程を経て製造されるが¹⁾、用途によって原材料や製造工程が異なる。板ガラスでは透明度の高いものが日常よく利用されているが、透明度の低いくもりガラスも用途に応じて利用されている。一方で、瓶ガラスでは着色や形状なども様々な種類が製造されており、強度と同時に内容物の保持や安全性も重視される。

ガラスの分析方法としては、物理的性質では屈折率、熱膨張分析など、化学的性質では元素組成分析や微量元素分析などがあり、板ガラスなどを対象に分析を行った研究がこれまでに報告されている²⁻⁵⁾。最近、試料中の元素を分析する方法として放射光蛍光 X 線分析法を利用した研究が法科学をはじめ多くの分野から報告されており、ガラスの異同識別にも用いられるようになってきている^{6,7)}。

自動車で使用されるガラス類は大きく分けてウィンドガラスと電球ガラスがある。ウィンドガラスではフロントガラスで使われる合わせガラスや、それ以外で使われている強化ガラスがある。一方、電球ガラスはヘッドランプのほか、プレーキランプ、ルームランプなど電球の種類自体が多い。また、一般的な乗用車のほかバス、トラック、自動二輪、原動機付き自転車、自転車などがあり、それぞれに適合した電球が販売、使用されている。電球ガラスは、①照明を目的とする、②発生する熱に長時間耐えられる、③食器のように食物と直接接触することは少ない、という特徴があるため、板ガラス、瓶ガラスなどでよく使われているソーダ石灰ガラスとは異なり、鉛ガラスや耐熱性のある石英ガラスが使用されている種類もある⁸⁾。また、交通事故で四

輪車や二輪車などが大破すると、それらに装備されている電球ガラスも破損して散乱する場合があります、対象とする電球ガラス同士の異同識別を行う必要も出てくることが考えられる。

本研究では車両に使用されている様々な仕様の電球について、市販の装置を使用した蛍光 X 線分析および放射光蛍光 X 線による定性分析を行った結果を報告する。市販されている自動車用の各電球のほか、バイク用、自転車用の元素を分析し、部位の差、メーカーでどのような傾向の差があらわれるかを比較・検討した。

実 験

1 ガラス試料の作製

市販されている 8 社 27 種類の車両用電球ガラスを準備した。仕様は普通乗用車用、トラック用、二輪車用、自転車用のフォグランプ、テールランプ、ライセンスランプ、バックランプなどの電球ガラスを選択した。試料のラベルは、メーカーの種類で A から H に分類した。また、これらの電球の中にはバルブと呼ばれる外側の電球ガラスのほかに、ステムと呼ばれるフィラメントを支える土台のガラスが存在しているものもあり、それぞれが混ざらないように慎重に分別し、ラベルはバルブとステムで区別した。仕様の詳細を Table 1 に示す。

電球ガラスの破片は、メタノール中で超音波洗浄器を使って洗浄し、乾燥させた後、ボロンカーバイド乳鉢で粉碎した。その粉末の 25 mg を秤量し、バインダーとしてセルロースパウダー 5 mg を加えてよく混ぜ合わせた。これを錠剤成型器と油圧圧縮器でディスク型に成型し、ポリエチレン袋に封をしたものを測定試料とした。

2 分析装置

(1) 蛍光 X 線分析

蛍光 X 線分析は、理学電機製 RIX3001（波長分散型）蛍光 X 線分析装置でおこなった。分析条件を以下に示す。

管球 : ロジウム, 管電圧 : 50 keV, 管電流 : 80 mA

測定雰囲気 : 真空

ビーム径 : 3 mm ϕ

Table 1 List of the car-lamps.

Sample	Vehicle type	Use	Stem ^{a)}
A1	Passenger cars	Turn signal, Back, Cornering	○
A2	Passenger cars	License	×
A3	Passenger cars	Meter, Indicator	×
A4	Passenger cars	Room, Luggage area	×
A5	(1) Passenger cars	License	×
	(2) Mopeds and Motorcycl	Turn signal	×
A6	Passenger cars	Fog	○
A7	Trucks and buses	Stop/Tail	○
A8	Trucks and buses	Turn signal, Back	○
A9	Trucks and buses	Side marker	○
A10	Mopeds and Motorcycles	Stop/Tail	○
A11	Mopeds and Motorcycles	Meter	×
A12	Mopeds and Motorcycles	Head	×
A13	Mopeds and Motorcycles	Head	×
A14	Mopeds and Motorcycles	Stop/Tail	○
A15	Mopeds and Motorcycles	Turn signal	×
B1	Passenger cars	Cornering, Tail/Stop	○
C1	Passenger cars	Room	×
C2	Passenger cars	Cornering, Tail/Stop	○
D1	Passenger cars	Back	○
D2	Passenger cars	Room, Map room	×
D3	Passenger cars	Cornering	○
E1	Bicycles	Head	×
F1	Bicycles	Head	×
G1	Bicycles	Head	×
G2	Bicycles	Head	×
G3	Bicycles	Head	×
H1	Bicycles	Head	×

a) : ○・・・attached, ×・・・not attached.

分光結晶 : LiF

走査速度 : 5～90°

ステップ : 0.02°

時間 : 0.2 sec./step

対象元素 : カルシウムより原子番号の大きい元素

(2) 放射光蛍光 X 線分析

放射光蛍光 X 線分析は、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーのビームライン27B でおこなった。分析条件を以下に示す。

挿入光源 : 偏向電磁石

X 線エネルギー : 15 keV および 20 keV

測定雰囲気 : 大気

ビーム径 : 縦 2 mm, 横 3 mm

検出器 : キャンベラ製 7 素子ゲルマニウム半導体検出器

測定時間 : 600 sec.

対象元素 :

X 線エネルギー 15 keV…鉄, ヒ素, 鉛

20 keV…ストロンチウム,

ジルコニウム

特性 X 線のピークの有無および強度を測定してスペクトルを描き、各試料間の比較をおこなった。

結果と考察

1 蛍光 X 線分析法による分析結果

蛍光 X 線分析の結果を Table 2 に示す．表ではピークの有無をプラスとマイナス，ピーク強度をプラスの数であらわした．分析の結果，全試料を通してカルシウムより原子番号の大きい元素では，鉄，ヒ素，ストロンチウム，ジルコニウム，アンチモン，バリウム，鉛が検出された．

鉄が検出されなかった試料は 1 試料だけであった．この試料は橙色の電球で，鉄のピークは確認できなかったため，検出限界以下だと考えられる．また，メーカーの違い，バルブとステムの違いなどによる鉄のピーク強度の差はほとんど見られなかった．

ヒ素が顕著に検出されたのは自転車用の 2 種類の電球ガラスのみであった．これらの試料はヒ素の含有量が比較的多く，また鉛との識別については鉛の L_{β} 線ピークが検出されていないことから鉛は検出限界以下と判断した．しかし，ヒ素であるか鉛であるかの判定は，これらが重ならないヒ素の K_{β} 線や鉛の L_{β} 線を使用するのが良いが，蛍光 X 線分析の感度の点から，含有量によってはこれらの特性 X 線が検出限界以下である場合があることに注意する必要があった．

ストロンチウムは，自転車用以外の電球では，2000 カウント以上検出された試料が半数以上あり，検出されなかった試料はほとんどなかった．特に，ステムガラス，ステムを持たない電球ガラスでは，すべての試料から検出されたが，ステムを持つ電球のバルブガラスは A 社の 1 試料および D 社を除いて検出されないか，ピーク強度が低かったかのどちらかであった．A 社のバルブガラスでストロンチウムが顕著に検出されたのは，橙色のフォグランプであった．自転車用の電球では，検出されたのは 3 試料で，うち顕著に検出されたのは 2 試料であり，検出されない試料が多かったことは自動車系電球ガラスの傾向とは異なっていた．

アンチモンは，自転車用の電球以外では，ステムを持たない電球ガラスのすべてから検出された．また，ステムを持つ電球のステムガラスとバルブガラ

Table 2 Analytical results of WD-XRF.^{a)}

Sample	Position	Fe	As	Sr	Zr	Sb	Ba	Pb
A1	Stem	+	—	+	+	—	+	—
	Bulb	+	—	+	+	—	—	—
A2	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
A3	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
A4	Bulb	+	—	冊	—	+	+	+
A5	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
A6	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	—	—	冊	—	—	+	—
A7	Stem	+	—	+	+	—	+	—
	Bulb	+	—	—	+	—	—	—
A8	Stem	+	—	+	+	—	+	—
	Bulb	+	—	—	+	—	—	—
A9	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
A10	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	冊	冊	+	—	—
A11	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
A12	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
A13	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
A14	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
A15	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
B1	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
C1	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
C2	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	+	+	+	—	—
D1	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	冊	+	+	—	—
D2	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
D3	Stem	+	—	冊	—	+	+	—
	Bulb	+	—	冊	+	+	—	—
E1	Bulb	+	—	冊	—	—	+	—
F1	Bulb	+	—	—	—	—	—	冊
G1	Bulb	+	+	—	+	—	—	—
G2	Bulb	+	—	冊	—	+	+	—
G3	Bulb	+	冊	+	+	—	—	—
H1	Bulb	+	—	—	—	—	—	冊

a) : + ··· less than 20 counts.

++ ··· 20 to 100 counts.

+++ ··· 100 to 2000 counts.

++++ ··· more than 2000 counts.

スでは検出されたものと，そうでないものがあったが，1 試料を除いて，ステムガラスとバルブガラスの両方から検出されたか，両方から検出されなかつ

たかのどちらかであった。よって、アンチモンの存在はバルブガラスかステムガラスかにほとんど無関係であると考えられた。ピーク強度は何れの試料もほぼ同じであったため、定性分析による識別が効果的であると考えられる。

バリウムは、ステムガラス、ステムを持たない電球のバルブガラスでは、ほとんどの試料から検出されたが、ステムを持つ電球のバルブガラスではほとんどの試料で検出されず、この傾向はストロンチウムと似ている。バリウムのピーク強度は、検出されたほかの試料でほぼ同じであった。バリウムの含有量の比較はガラスの分類に効果的であるという報告があるが⁹⁾、今回の結果では定性分析による識別の指標となり得ると考えられた。

鉛は、自転車用の 2 試料のほか、他系列の 1 試料で検出された。自転車用の電球ではかなり強いピークが検出されたが、通常の車用ランプ電球ではこの条件ではほとんど検出されることがなかった。

2 放射光蛍光 X 線分析による分析結果

放射光蛍光 X 線分析の結果を Table 3 に、各試料のスペクトルを Fig. 1 から Fig. 4 に示す。図はそれぞれ、左から市販の装置、放射光で入射 X 線エネルギーを 15 keV あるいは 20 keV に設定したときのスペクトルを示した。また、Fig. 1 は乗用車用、Fig. 2 はトラックおよびバス用、Fig. 3 は二輪車用、Fig. 4 は自転車用に仕様されているものである。入射 X 線エネルギーが 15 keV では鉄、ヒ素、鉛を、20 keV ではストロンチウム、ジルコニウムをそれぞれ測定対象にした。いずれのエネルギーの場合も、入射 X 線による弾性散乱および非弾性散乱に基づく元素以外のピークが検出されていたため、同時に測定したブランク試料のスペクトルと比較して詳細なピークの帰属を行い、その上で元素ピークの有無および強度による比較を行った。ブランク試料では、鉄、亜鉛、臭素、鉛が検出された。このうち、亜鉛、臭素は実試料とピーク強度が同程度であったため、スペクトル中では BG と示した。これらは、測定試料を封した際に使用したポリエチレン袋、固定するホルダー、固定する際に使用したテープに由来するものと考えられる。鉄、鉛は実試料の方がピーク強度の高いものが多かったため、試

Table 3 Analytical results of SR-XRF.^{a)}

Sample	Position	Fe	As	Sr	Zr	Pb
A1	Stem	+	—	+	卅	+
	Bulb	+	—	+	卅	+
A2	Bulb	+	—	卅	±	+
A3	Bulb	+	—	卅	±	+
A4	Bulb	+	—	卅	±	卅
A5	Bulb	+	—	卅	±	—
A6	Stem	+	—	卅	±	卅
	Bulb	+	—	卅	±	—
A7	Stem	+	—	卅	卅	+
	Bulb	卅	—	—	卅	+
A8	Stem	+	—	卅	卅	+
	Bulb	卅	—	—	卅	+
A9	Stem	+	—	卅	±	+
	Bulb	+	—	卅	卅	卅
A10	Stem	+	—	卅	±	+
	Bulb	+	—	卅	卅	卅
A11	Bulb	+	—	卅	±	+
A12	Bulb	+	—	+	卅	+
A13	Bulb	+	—	+	卅	+
A14	Stem	+	—	卅	±	—
	Bulb	+	—	+	卅	—
A15	Bulb	+	—	卅	±	+
B1	Stem	+	—	卅	±	+
	Bulb	+	—	+	卅	+
C1	Bulb	+	—	卅	±	+
C2	Stem	+	—	卅	±	+
	Bulb	+	—	+	卅	—
D1	Stem	+	—	卅	±	卅
	Bulb	+	—	卅	卅	+
D2	Bulb	+	—	卅	±	—
D3	Stem	+	—	卅	±	—
	Bulb	+	—	卅	卅	+
E1	Bulb	+	—	卅	—	卅
F1	Bulb	+	—	—	—	卅
G1	Bulb	卅	卅	—	卅	—
G2	Bulb	+	—	卅	±	卅
G3	Bulb	卅	卅	+	卅	—
H1	Bulb	+	—	—	—	卅

a) : + · · less than 100 counts.

卅 · · 100 to 250 counts.

卅 · · 250 to 500 counts.

卅 · · more than 500 counts.

料によって個別に判定した。ニッケルはピーク強度がブランクより高いものがあつたが、由来が不明であり、判定には用いなかった。

Fig. 1 The XRF spectra of glass samples of passenger cars.
(Top: WD-XRF, Center: SR-XRF by 15 keV,
Bottom: SR-XRF by 20 keV)

Fig. 2 The XRF spectra of glass samples of trucks and buses.
(Top: WD-XRF, Center: SR-XRF by 15 keV,
Bottom: SR-XRF by 20 keV)

Fig. 3 The XRF spectra of glass samples of mopeds and motorcycles.
(Top: WD-XRF, Center: SR-XRF by 15 keV, Bottom: SR-XRF by 20 keV)

Fig. 4 The XRF spectra of glass samples of bicycles.
(Top: WD-XRF, Center: SR-XRF by 15 keV, Bottom: SR-XRF by 20 keV)

X線分析の場合、照射面積が小さいと、照射部位によるばらつきの影響で測定の実現性が低下する可能性があると考えられる。今回の実験では、同じ方法で作成した3つの試料について2回ずつ測定して対象元素のピーク強度を測定した結果、その標準誤差は平均値のおよそ7%であった。これは、今回のビーム径は2 mm × 3 mmであり、試料の表面は平滑にしてあるため、その試料の平滑面に当たっていれば差はほとんどないためと考えられる。

鉄は、すべての試料でピークが検出され、ブランク試料と比較してもピーク強度が有意に高いものがほとんどであった。市販の装置による分析時には検出が不可能だった試料についてもピークを確認することができた。また、100カウントを超えない試料と、超える試料を識別ができる可能性が認められた。自転車用電球類の一部の試料で、X線エネルギー設定値を15 keVにしたとき、5 keV 付近の非弾性散乱ピーク（エスケープピーク）が、他の電球類より高かったが、これは弾性散乱ピークが他の試料より大きかったことが原因であり、鉄のピークを検出することには影響はなかった。バルブとステムがある電球の場合、同一の試料でもステムよりバルブの鉄のピークが高いものはあったが、ほとんどの試料ではほぼ同じであった。同一メーカー内でもステム同士、バルブ同士で元素ピークが異なるものがあったが、メーカーが異なればガラスのスペクトルは大きく異なるということはなく、種類によっては類似する試料もあった。

ヒ素は、市販の装置で検出された試料ではいずれも顕著に検出されたが、他の試料では検出されず、市販の装置と同じ傾向を示した。

ストロンチウムは、市販の装置とほとんど同様の結果を示した。ステムのない電球のバルブガラスと、ステムのある電球のバルブガラスの比較でも市販の装置とほとんど同じ結果であった。

ジルコニウムは、市販の装置と同様にストロンチウムが顕著に検出された試料ではストロンチウムの K_{β} 線のために検出されたかどうかを判定することは不可能であった。ただ、ストロンチウムが多い試料の中にはジルコニウムの K_{β} 線（17.6 keV）が弾性散乱ピークのショルダーで認められるものがあり

（Table 3 で±と表した試料）、測定条件をさらに改良することで確実に検出できる可能性があると思われる。ジルコニウムが検出された試料ではピーク強度には差がみられたものもあり、試料間の識別に利用できる可能性があると考えられた。

市販の装置で検出されたアンチモン、バリウムは、適切な特性X線のエネルギー値が測定可能なエネルギー範囲内になかったこと、他元素の散乱ピークの影響が無視できないなどの理由のため検出することはできなかった。

鉛は、市販の装置と同様、自転車用で顕著に検出された試料があった。また、他の試料においても、X線エネルギー設定値が15 keVの時には、 L_{α} 線と L_{β} 線の両方のピークが認められた試料と L_{α} 線のピークと L_{β} 線のショルダーが認められた試料が多く、市販の装置より検出できた試料が多かった。

3 考察

通常ガラスの分析には、幅広く高感度で分析できる誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）がよく使用されている。ただしこの方法には、①溶液化するために試料が消費される、②質量数80以下の領域でマトリックス由来の多原子イオンによる妨害のため、原子番号の小さい軽元素の分析が困難という問題点がある。そこで本研究では、試料を消費せず、X線のエネルギー値の設定を変えることで軽元素もターゲットにすることができ、高いX線が利用できれば多元素同時分析も可能な蛍光X線の応用について検討した。なお、放射光蛍光X線分析では波長分散型の装置がよく議論されているが、今回は最も簡素な方法を使ってどの程度の分析および異同識別が可能かを検討するために、エネルギー分散型の検出器を用いた。

電球ガラスには球形や円筒形の部分が多いため、破壊されたときのガラス片も完全な平面を有することは考えにくい。したがって、複数の試料を比較する場合、分析した元素のピーク強度の相対比で表すことが多い。今回の実験ではガラス片を粉碎して表面が平滑なディスク型にしたため、分析試料の形状による蛍光X線の誤差をほとんど無視することができる上、スペクトルの直接比較や定量分析への応用が考えられる。ただ、粉末にして錠剤化する操

作により試料の密度がガラスを粉砕する前より低下するため、感度は若干低下し、ガラスを粉砕する前とピーク強度を比較すると約 1/5 から 1/10 になったが、測定時間を調整することで強度を補うことができると考えられる。検出限界は市販の装置では約 150 ppm (鉄)、放射光蛍光 X 線分析では約 40 ppm (鉄) であった。

放射光蛍光 X 線分析で、X 線エネルギーを 15 keV と 20 keV に設定した場合を比較すると、10 keV 近辺のピーク強度に差があらわれた。X 線を 20 keV に設定するとストロンチウムやジルコニウムが効率よく検出されたが、それよりエネルギーの低い元素のピーク強度は低かった。X 線を 15 keV に変更することで、他の元素のピークを検出することができた。特に、20 keV に設定したときには鉄や鉛のピークがほとんど認められなかった試料であっても、15 keV に設定することで検出できたものが複数あったため、微量の鉄や鉛を目的にするときは 15 keV を選択するのが望ましいと考えられた。また、今回は測定時間を 600 秒でおこなったが、測定時間を長くすることでピーク強度が増して試料間の識別がしやすくなり、さらに計数誤差も小さくなると考えられる。

メーカーや用途の識別に有効な元素を Table 4 にまとめて示す。自転車の電球からヒ素など特徴のある元素の検出されたことや、一般に存在量の多いストロンチウムの含有量が少なかったことなどは、これらの元素が異同識別の有効な指標になりうる可能性を示しており、蛍光 X 線分析の有用性が合わせて示唆された。それ以外の電球では、メーカー特有という元素は特になく、共通して検出された元素が多かった。しかし、同じメーカーでも仕様によって元素の強度が異なる種類が多かった。さらに、フィラメントを支えるステムの存在はその電球ガラスの元素組成に大きく影響していた。ステムはジュメットと呼ばれる導入線と封着させやすくするために以前は鉛ガラスが使用されていたが、最近鉛がほとんど含まれないガラスに替わってきている⁸⁾。今回の結果では、ステムガラスではストロンチウムが顕著に検出された。よって自動車用に使われている同一電球でのバルブとステムの識別では、ストロンチ

Table 4 Useful elements for the discrimination of lamp glasses.

Comparison	Useful elements for the discrimination
Passenger cars of different manufactures	Sr, Zr, Pb
Bicycles of different manufactures	Fe, As, Sr, Zr, Pb
Different vehicle types	Sr, Zr, Pb
Different uses	Sr, Zr, Ba, Pb (Stop/Tail, Cornering, Turn signal)
Bulb and Stem	Sr, Zr, Ba

ウムが最も重要な指標となりうると考えられる。また、鉄については放射光蛍光 X 線分析の時にピーク強度に差があらわれるものがあり、これを対象とした時に識別に利用できると考えられる。

市販の装置と放射光蛍光 X 線には、それぞれ以下のような特徴が認められた。市販の装置では、放射光蛍光 X 線と比較して広いエネルギー範囲の元素を定性分析できるため、鉄、ストロンチウム、ヒ素、ジルコニウム、鉛に加えて、放射光蛍光 X 線分析では検出できなかったアンチモンとバリウムを異同識別に用いることが可能であった。これらはいずれもガラスの分析で異同識別の手がかりになることが多い元素であり、さらに強度を稼ぐことで識別における重要な指標となると考えられる。放射光蛍光 X 線分析では使用したビームラインの制限から元素の種類は限定されるものの、市販の装置よりも高い感度を活用して定性分析にピークの強度を指標として加えることができた。特に鉄と鉛は、市販の装置では判定できなかったピーク強度の差が見られた試料も多く、試料の異同識別に有効な情報を加えることが可能であった。

以上のように、今回の研究では①感度は高いが分析可能元素の領域が限られてしまう放射光蛍光 X 線と、②感度は低い、広範囲に元素を定性分析できる市販の装置を組み合わせ、相互のデータを補完することで、電球ガラスについて Table 2, Table 3, および Fig. 1~4 に示すように、一層詳細な分析結果を得ることができた。

参考文献

- 1) 作花済夫, 境野照雄, 高橋克明: ガラスハンドブック. pp. 281-502, 朝倉書店, (1975).
- 2) John I. Thornton: The use of k value in the interpretation of glass density and refractive index data., *J. Forensic Sci.*, **34**(6), 1323-1328 (1989).
- 3) 田中 実, 鈴木 蕃, 今井俊多, 金子拓己: 都市ゴミ焼却灰を主原料として用いた建材用結晶化ガラスの開発. 東京都立産業技術研究所研究報告, **8**, 31-34 (2005).
- 4) Blacklock E. C., Rogers A., Wall C. and Wheals B. B.: The quantitative analysis of glass by emission spectrography: A six element survey. *Forensic Sci.*, **7**, 121-130 (1976).
- 5) D. A. Hickman: Elemental analysis and the discrimination of sheet glass samples. *Forensic Sci. Int.*, **23**, 213-223 (1983).
- 6) 鈴木康弘, 笠松正昭, 杉田律子, 太田彦人, 鈴木真一, 丸茂義輝: 放射光蛍光 X 線分析法及び誘導結合プラズマ質量分析法によるヘッドライトガラス中微量不純物の分析と法科学的異同識別への応用. 分析化学, **52**, 469-474 (2003).
- 7) Suzuki S., Suzuki Y., Ohta H., Kasamatsu M. and Nakanishi T.: Evaluation of a quantitative method for trace impurities in arsenous acids by synchrotron radiation x-ray fluorescence spectrometry and inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. *Anal. Sci.*, **21**, 775-778 (2005).
- 8) 鈴木英俊: ガラスの百科事典. pp 210-213, 朝倉書店, (2007).
- 9) Hickman D. A.: A classification scheme for glass. *Forensic Sci. Int.*, **17**, 265-281 (1981).