報 文

ケイ光 X 線分析法による板ガラスおよびその原料の迅速分析

今野 重久, 永 島 簀*, 阿部 文男, 浅田 栄一**

ケイ光 X 線分析法による板ガラスおよびその原料の迅速分析について検討し, クロム対陰極の X 線管球を使用することによって, ほぼ実用化しうる見通しを得た. すなわち分析精度は, 板ガラス中の二酸化ケイ素で $\sigma=0.06\%$ (化学分析法では $\sigma=0.05\%$), 酸化マグネシウムで $\sigma=0.06\%$ ($\sigma=0.03\%$), 原料では, 苦灰石中の酸化マグネシウムで $\sigma=0.09\%$, 酸化カルシウムで $\sigma=0.08\%$, ケイ砂中の二酸化ケイ素で $\sigma=0.10\%$ ($\sigma=0.10\%$), 酸化アルミニウムで $\sigma=0.03\%$ ($\sigma=0.03\%$) などである.

また, 従来あまり検討が行なわれなかったナトリウムのケイ光 X 線分析について, 板ガラスについて試験し, $\sigma=0.1\%$ ($\sigma=0.04\%$) 程度の値を得ることができた.

なお, 長石質原料中の酸化アルミニウムの分析では, マトリックスの相違による影響の大きいことが認められ, 検討の必要が指摘された.

1 緒 言

近年, ケイ光 X 線分析法による元素分析は, その迅速性と精度の面とから有用視され, すでに鉄鋼, セメント関係などで利用されている.

板ガラス工業においては, 他のケイ酸塩工業に比べてよりいっそうの精度を必要とするうに, ナトリウム, マグネシウムなどの軽元素の分析を欠かせることのできないものとするために, X 線管球, 分光結晶, ふんい気などに難点が予想され, その利用は遅れている.

著者らは, 板ガラス製造の工程管理を主目的として, ケイ光 X 線分析法の適用の可能性について検討した.

一般にケイ光 X 線分析法においては, 試料の鉱物学的性状の相違による影響¹⁾ (特に原料について著しい), 共存元素の影響などいわゆるマトリックスの相違に基づくいくつかの困難に遭遇する. しかし, この板ガラス工業では一般に, 原料, 製品ともにその成分利用範囲が狭く, かつ原料のケイ砂, 長石類, 苦灰石などは, その鉱物学的性状も類似の試料ではほぼ同様であると考えられるうに, さらに製品の場合にはほぼ理想的に近い均質かつ平滑な試料であるために, これらマトリックスの影響は小さいものと期待された. いっぽう, 分析操作はできるだけ簡易化することが望ましいので, 試料の熱処理などの前処理は避け, 単純な加圧成型法 (製品は板状のま

ま) によることとした.

また金対陰極管球による測定の結果, 検量線からの偏差が大きかった試料については, クロム管球による再検討を行ない, これらの精度について比較した. すなわち, 実験 I においては金対陰極により, 製品の板ガラスおよび原料について, また実験 II では実験 I で偏差が大きかった成分について, クロム対陰極を用いて試験した.

さらにまた, 実験 III では従来あまり報告のみられないナトリウムのケイ光 X 線分析を板ガラスについて行なった.

以下, これらについて報告する.

2 測定装置

オランダのフィリップス社製全真空式ケイ光 X 線分析装置 (Generator : PW 1010 型, Spectrometer : PW 1540 型, Electronic Circuit Panel : PW 1051 型).

3 実験 I ——金対陰極管球による測定

3.1 試料調製

3.1.1 板ガラス 各種板ガラス試料のなかから, Table I に示した成分範囲のものを選り, 28×20 mm の大きさに切断して分析用試料とした.

3.1.2 原料 ケイ砂, 長石質原料, 苦灰石を対象とし, それぞれの成分範囲を Table II に示した.

試料調製は混合法によった. すなわち, 3~5 種の成分既知の試料を準備し, 成分が適当にずれるように適宜

* 日本板硝子 K.K. 四日市工場 : 三重県四日市市千才町

** 東京工業試験所 : 東京都渋谷区本町 1 丁目

Table I 板ガラス試料の成分範囲

成 分	範 囲 (%)	試料数	化学分析回数
SiO ₂	71.30 ~ 72.23	11	1
Al ₂ O ₃	1.32 ~ 1.86	12	1
Fe ₂ O ₃	0.112 ~ 0.127	9	1
TiO ₂	0.04 ~ 0.06	5	1
CaO	7.87 ~ 8.20	9	1
MgO	3.90 ~ 4.28	9	1
SO ₃	0.19 ~ 0.25	6	1
Al ₂ O ₃	0.05 ~ 0.09	5	1
K ₂ O	0.50 ~ 0.72	9	1

Table II 原料試料の成分範囲

成 分	範 囲 (%)	試料数	化学分析回数
ケ イ 砂	SiO ₂ 97.56 ~ 98.79	8	1
	Al ₂ O ₃ 0.69 ~ 1.36	10	1
	Fe ₂ O ₃ 0.06 ~ 0.10	7	1
	TiO ₂ 0.03 ~ 0.07	5	1
	K ₂ O 0.16 ~ 0.48	7	1
長石質原料	SiO ₂ 74.52 ~ 77.24	8	1
	Al ₂ O ₃ 13.67 ~ 14.68	7	1
	Fe ₂ O ₃ 0.07 ~ 0.35	9	1
苦 灰 石	MgO 17.42 ~ 18.95	9	1
	CaO 33.46 ~ 35.35	10	1

混合した。これらの粉末試料は 200 メッシュ以下に粉碎し、アルミ製リング（内径 26 mm，高さ 5 mm，肉厚 2 mm）に詰め、全圧 10 t で 60 秒保持し成型を行なった。成型後弾性による試料の盛り上がりが見られることがある。本試験では、ケイ砂、長石質原料にこの盛り上がりが見られたが、誤差の原因になると思われるので、試料の分量を調節して入れ過ぎないように特に注意し、これを防止することができた。

試料の乾燥については特に考慮しなかったが、全試料を同一条件に維持した。

3.2 測定条件

X線管球：金対陰極，40 kV，20 mA。

分光結晶：MgK α に対して ADP，SiK α ，AlK α ，CaK α ，SK α ，KK α に対して EDDT，FeK α ，TiK α ，AsK α に対して LiF。

波高分析器：SiK α ，AlK α ，MgK α ，SK α ，KK α に対して微分方式，その他はすべて積分方式。

X線通路：FeK α ，AsK α に対して空気，その他はすべて真空。ただし、原料中の CaK α の測定は空気中で行なった。

検出器：AsK α に対してシンチレーション・カウンタ— [NaI(Tl)] 印加電圧 750 V，その他はすべてガスフロー型比例計数管（アルゴン 90%，メタン 10%）印加電圧 1560 ~ 1600 V。

強度測定法：定時計数法で、比較標準試料と測定試料との強度比を算出する対比法によった。最大含有量のことを標準試料とし、各試料を交互に測定した。測定値は 1 試料につき 3 回測定したものの平均を用いた。

3.3 測定結果と考察

ケイ光 X 線強度比と成分%との関係はいずれも直線性を示した。

検量線からのバラツキをケイ光 X 線分析の誤差と考え、現在の化学分析誤差との比較を、板ガラスについて Table III，原料について Table IV に示した。

Table III 分析誤差の比較（板ガラス）

成 分	X線分析誤差 (%)	化学分析誤差 (%)	変 動 率			1 回の計測に要した時間 (秒)
			X線分析誤差 (%)	化学分析誤差 (%)	計数誤差 (%)	
SiO ₂	0.085	0.052	0.12	0.07	0.30	64
Al ₂ O ₃	0.030	0.027	1.6	1.5	2.1	"
Fe ₂ O ₃	0.001	0.003	0.8	2.4	—	32
TiO ₂	0.004	—	6.8	—	—	64
CaO	0.030	0.035	0.37	0.43	0.14	"
MgO	0.084	0.034	2.0	0.80	3.6	"
SO ₃	0.010	—	4.0	—	3.4	"
As ₂ O ₃	0.005	—	5.6	—	—	32
K ₂ O	0.011	0.043	1.5	6.0	0.59	64

Table IV 分析誤差の比較（原料）

成 分	X線分析誤差 (%)	化学分析誤差 (%)	変 動 率			1回の計測に要した時間 (秒)	
			X線分析誤差 (%)	化学分析誤差 (%)	計数誤差 (%)		
ケイ砂	SiO ₂	0.209	0.095	0.22	0.096	0.23	64
	Al ₂ O ₃	0.052	0.031	3.82	2.28	1.98	"
	Fe ₂ O ₃	0.003	0.005	3.0	5.0		32
	TiO ₂	0.002		2.86		2.02	64
	K ₂ O	0.047		9.8		0.89	"
長石質	SiO ₂	0.274		0.36		0.23	"
	Al ₂ O ₃	0.088		0.60		1.06	"
	Fe ₂ O ₃	0.016		4.57		0.40	32
苦灰石	MgO	0.177	0.94		1.58		64
	CaO	0.113	0.32		0.17		"

ここで、計数誤差の変動率は次のようにして求めてある。

すなわち、計数値は 3 回の測定の平均をとってあり、かつ本法では比較標準試料との比を算出する対比法を採っている。比較試料の強度を、X線分析装置の電気的な変動を点検するためのモニターの強度と同様に考えると、変動率 $\sigma\%$ は²⁾

$$\sigma\% = \frac{\left(N_l + N_b + \frac{N_l^2 + N_b^2}{N_m} \right)^{1/2}}{N_l - N_b}$$

となる. ここで, $N_l = 3\bar{N}_l$, $N_m = 3\bar{N}_m$; $\bar{N}_l$, $\bar{N}_m$ はそれぞれ試料および比較試料の平均の計数値; N_b はバックグラウンドの計数値である. いま $N_b = 0$, $N_l = N_m$ とすれば,

$$\sigma\% = \sqrt{\frac{2}{3\bar{N}_l}}$$

となる. したがって, Table III, IV では平均の計数値の変動率の $1/\sqrt{2}$ 倍を計数誤差の変動率としてあらわした.

Table III, IV において, ケイ素, アルミニウム, マグネシウムなどの軽元素の分析では, X線分析の変動率が化学分析の場合に比べて大きく, 実用上十分な精度が得られていない. そしてまた同時に, これらの場合には計数誤差の変動率が高いことが知られる.

したがって, この計数誤差を少なくすることが精度を改善するための方法と考えられ, 計測する total count 数を増加させる必要が生ずるわけであるが, 計数時間を増すことは迅速性, 装置の電気的な安定性などの点からあまり適当でない. そこで, この試験でおもな対象となっている軽元素の固有X線に対して, 励起効率の高いX線管球を使用することによって, この誤差を改善する方法を試みることにし, 次の実験を行なった.

4 実験 II——クロム対陰極による検討

実験 I で指摘された軽元素の固有X線に対して励起効率の高いX線管球として, クロム対陰極の管球を試みることにした.

すなわち, クロム管球は $\text{CrK}\alpha(2.29\text{\AA})$, $\text{CrK}\beta(2.09\text{\AA})$ などの固有X線を強く放射するが, クロムが低原子番号 (#24) の金属であるために連続X線の強度は他の対陰極に比べてはるかに弱い. したがって, バナジウム以下の軽元素はきわめて励起しやすくなるのに, マンガン以上の重元素は逆に励起しにくくなり, スペクトルが重複する場合にはこれを避けることもできる.

本試験の目的は, 金対陰極によって得られた分析結果に対して, クロム対陰極による分析結果との比較およびその精度の追求にある.

4.1 試料調製

測定した試料の成分範囲を Table V に示す.

試料調製法および成型法は実験 I と同じである.

4.2 測定条件および測定法

X線管球: クロム対陰極, 40 kV 20 mA.

Table V 試料の成分範囲

成 分	範 囲 (%)	試料数	化学分析回数
ガ ラ ス	SiO_2 71.30~72.23	8	1
	MgO 3.90~4.28	9	1
ケ イ 砂	SiO_2 97.47~98.33	8	1
	Al_2O_3 0.74~1.37	10	3
長石質原料	Al_2O_3 12.81~14.29	6	3
苦 灰 石	MgO 17.43~18.94	12	2
	CaO 33.50~35.35	10	2

分光結晶, 波高分析器, 検出器などについては実験 I と同じ. ただし, 苦灰石中の酸化カルシウムについては強度が大きすぎるため空气中で測定した.

強度測定法: 実験 I と同じく, 定時計数法で対比法に

Fig. 1 板ガラス中の二酸化ケイ素の測定結果

Fig. 2 板ガラス中の酸化マグネシウムの測定結果

よった。

4.3 測定結果

測定結果を金対陰極を使用したときと比較して、Fig. 1~7 に示す。ここで (a) は金対陰極、(b) はクロム対陰極を使用した場合である。

4.4 考察

4.4.1 検量線 ケイ光X線強度比と成分%との関係は、長石中の酸化アルミニウム{Fig 5(b)}を除いて、

Fig. 3 ケイ砂中の二酸化ケイ素の測定結果

* 印は検量線の対象から除く。

高度の直線性を示した。

4.4.2 分析誤差 クロム対陰極を使用した場合のX線分析誤差およびX線強度を Table VI に示した。参考として金対陰極を使用した場合のデータも併記した。Table VI にみるように、クロム対陰極を使用することにより分析精度は向上した。これはおもに、X線強度が5~6倍程度に増大することにより計数率の統計変動が小さくなったことによると思われる。また、これにともなって計数時間が短縮（たとえば、ケイ砂中の二酸化ケイ素の場合1回の測定時間 64 秒から 32 秒へ短縮）したため、装置の電氣的な変動の影響が少なくなったことも原因していると考えられる。

さらに、原料に比べてガラスの精度がやや高いのは、表面性がよいこと、鉱物学的性状の相違がないこと、均質なことがあげられる。すなわち、マグネシウム、アル

Fig. 4 ケイ砂中の酸化アルミニウムの測定結果

ミニウム, ケイ素などの軽元素を定量する場合には, 固有X線は低エネルギーとなるので, 試料中の測定に関与する層はきわめて薄くなる. それゆえ, 微視的には不均一試料である原料の場合においては, 全体の組成を代表するはずの測定層の組成が偏差をもつようになることが考えられるからである. この点はさらに検討が必要であるが, 今回は特別には行なわなかった.

4.4.3 試料調製方法 試料調製は既知試料による混合法で行なったが, 特に長石中の酸化アルミニウムにおいては, 好ましい方法でないことがわかった.

すなわち, Table VII に示す試料を用意し, これらを Table VIII に示すような組み合わせで混合したが, Fig. 5(b) にみるような2群の測定値が得られた. この原因として, (1) 試料間の粒度の相違に基づく影響⁴⁾, (2)

Fig. 5 長石質中の酸化アルミニウムの測定結果

(b) 中の数字は Table VIII の試料番号に対応する.

Table VI 金およびクロム対陰極による分析誤差の比較

試料の成分	金 対 陰 極		クロム対陰極		
	cps ^{a)}	検量線からのバラツキ (%)	cps ^{a)}	検量線からのバラツキ (%)	1回の計測に要した時間 (秒)
ガラス {SiO ₂ MgO}	1260 9	0.085 0.084	8000 50	0.063 0.060	32 64
ケイ砂 {SiO ₂ Al ₂ O ₃ }	2101 29	0.209 0.052	13200 130	0.100 0.026	32 64
長石質原料 {Al ₂ O ₃ ^{b)} }	100	0.088	530	0.060(I) 0.074(II)	64
苦灰石 {MgO CaO}	45 40180 ^{c)}	0.177 0.113d)	150 208000 ^{e)}	0.094 0.078d)	64 16

a) 各最大含有量のもののX線強度を示した. 3回の平均値.

b) Fig. 5 から知られるように, 長石中の酸化アルミニウムはマトリックスの影響を受け, 検量線は (I), (II) の二つに分かれるのでそれぞれについて求めた. なお, 金対陰極で検討したものは現場の試料であるが, 量的に (I) に近いものと推定される.

c) 真空中の測定値.

d) 空気中での測定値. 強度は真空中に比べて 1/3 に下がるが, なおクロム対陰極の場合強すぎて数え落としの現象がみられ, こう配が少なくなる傾向が認められる (Fig. 7(a), (b) の比較).

Fig. 6 苦灰石中の酸化マグネシウムの測定結果

Table VII 代表試料の化学成分

	良質部分 (%)	一部風化 (%)	泥質部分 (%)
Al ₂ O ₃	13.35	12.76	14.20
Fe ₂ O ₃	0.07	0.12	0.34

共存元素の影響, (3) 鉱物学的性状に基づく影響が考えられたが, (1) については, アンドレアゼンペット法による粒度測定の結果, 特に試料間に粒度の差はみられなかった。(2) については, 一般的には AlK α に対する酸化鉄の吸収効果の大きさの相違による影響や二酸化ケイ素の励起効果による影響などが考えられるが²⁾, この場合には, 酸化鉄の含有量は Table VIII のように, 大きな差は観察されず, また二酸化ケイ素の成分範囲も 77~94% のように狭いので, これらの原因であるとも考え

Fig. 7 苦灰石中の酸化カルシウムの測定結果

Table VIII 試料の組み合わせ

No.	良質部分	一部風化	泥質部分	Fe ₂ O ₃ (%)
1		◎ (10)		0.12
2		○ (8.7)	○ (1.3)	0.15
3		○ (8)	○ (2)	0.17
4	○ (8)	○ (2)		0.08
5	◎ (10)			0.07
6		○ (5)	○ (5)	0.24
7	○ (6.7)		○ (3.3)	0.16
8	○ (5)		○ (5)	0.20
9	○ (3.3)		○ (6.7)	0.25
10	○ (1.3)		○ (8.7)	0.31
11			◎ (10)	0.34

◎: 単独, ○: 混合したもの, (): 成分比

られない。

しかし、いずれにしても Fig. 5 の検量線は、良質部分と泥質部分との混合物のものと、風化部分と泥質部分との混合物のものと 2 種類に分けられることは明白である (Fig. 5, Table VIII)。

結局、これは良質部分と風化部分とで鉱物学的性状が異なるためと推定されるが、この点については、さらに検討を要するところであり、したがってまた、長石中の酸化アルミニウムの分析のための標準試料作成については、さらに実際の試料などについて研究を進める必要があると考える。

5 実験 III——板ガラス中の酸化ナトリウムの分析

ケイ光 X 線分析法によるナトリウムの定量については、 $\text{NaK}\alpha$ のエネルギーが弱いために計測しにくく、その測定例はあまりみられないようである。

ナトリウムは板ガラスの主要構成元素の一つであり、これについての検討も必要である。そこで、板ガラスの酸化ナトリウムを対象にクロム対陰極、石こうの分光結晶を使用して予備試験を行なったところ、およそ 30 cps が得られ分析の可能性があることを示した。

以下、板ガラスの酸化ナトリウムの分析について述べる。

5.1 試料調製

各種ガラス試料の中から、酸化ナトリウムの含有量が 12.83~13.85% のもの 18 点を試料とした。

試料調製法は実験 I と同じである。

5.2 測定条件と測定法

X 線管球: クロム対陰極, 40 kV, 20 mA.

分光結晶: 石こう.

波高分析器: 微分方式.

検出器: 実験 I, II に使用したのと同じ比例計数管, 印加電圧 1650V.

強度測定法: 定計数法で, 8000 カウントに達するまでの時間を測定した。また実験 I, II と同様に対比法によった。ただし標準試料には, 測定試料のなかから含有量が中程度のものを選んだ。

5.3 測定結果

測定結果を Fig. 8 に示す。

検量線からのバラツキを求めたところ, $\sigma=0.098\%$ となった。これは化学分析誤差 $\sigma=0.043\%$ に比べると

Fig. 8 板ガラス中の酸化ナトリウムの測定結果

* 印は検量線の対象から除く。

誤差は大きい, 酸化ナトリウムについての実用もきわめて可能性のあることを示した。

この精度をさらに上げる方法として

(1) 定計数値 (ここでは 8000 カウント) をさらに大きくすること。

(2) 容量の大きいクロム管球を使用すること。

などが考えられ, ガラス中の酸化ナトリウムに対する適用の可能性もさらに大きくなると期待される。

6 測定時間について

6.1 試料調製に要する時間

6.1.1 板ガラス 普通板ガラスは前処理不要, 型板も平滑面は研磨せずに使用できるものと思われるが, おうとつの大きいものおよび型面は研磨を要する (研磨時間 20~30 分)。

6.1.2 原料 粉末試料は粉碎, 成型などに 1 試料につきおよそ 50 分を要するが, 高性能の処理装置を使用すれば, この点は大幅に短縮できよう。

6.2 ケイ光 X 線の計数に要する時間

比較標準試料および測定試料について, 各 3 回計測するために, ガラス中の酸化ナトリウムについては, 一つの分析値を得るのに約 30 分, その他の成分については, それぞれ 5~12 分を要した。

7 実用の可能性について

この試験において, さらに精度的に向上しうる余地など若干の未検討部分を残すが, 総括すると, ケイ光 X 線分析法の板ガラス工業への適用は, ほぼ実用化できる見通しを得たといえよう。

おもな未検討部分は次のとおりである。

(1) 長石中の酸化アルミニウムの分析のための標準試料の作成法。また、良質部分と一部風化部分のマトリックス効果の相違について検討を要する。

(2) 板ガラス中の酸化ナトリウムの分析は、さらに高容量(本試験では 0.8 kW)のクロム対陰極管球の使用により、さらに改善しうる可能性をもつ。

なお、長石中の二酸化ケイ素について、クロム対陰極による測定をしなかったが、共存するアルミニウム、鉄の影響を考慮すると、誤差はケイ砂中の二酸化ケイ素より若干大きくなると推定される。

(昭和 39 年 11 月, 第 2 回 X 線
工業分析討論会において講演)

文 献

- 1) 内川 浩, 猪股吉三, 井上 亨: 本誌, **11**, 558 (1962).
- 2) L.S. Birks: "X-Ray Spectrochemical Analysis", p. 54 (1959), (Interscience Publishers Inc., New York).
- 3) 河崎 仁, 浅田栄一: 本誌, **12**, 501 (1963).
- 4) H. A. Liebhafsky, *et al.*: "X-Ray Absorption and Emission in Analytical Chemistry", p. 200

(1960), (John Wiley & Sons Inc., New York).
5) H. A. Liebhafsky, *et al.*: *ibid.*, p. 222.

☆

Rapid analysis of sheet glass and its raw material by fluorescent X-rays. Shigehisa KONNO, Atsusi NAGASHIMA*, Fumio ABE and Eiichi ASADA** (Nippon Sheet Glass Co., Yokkaichi Plant, Yokkaichi, Mie-ken; **Government Chemical Industrial Research Institute, Tokyo, Shibuya-ku, Tokyo)

Fluorescent X-ray analysis has found its narrower applications in the field of glass industry compared with other silicate industries as the cement manufacture, because the accurate determination of lighter elements as Na and Mg by the X-ray method was rather difficult. The possibility of the fluorescent X-ray analysis as the practical method was examined by using an X-ray tube with a chromium anti-cathode recently practiced. The comparisons of the Cr anti-cathode with Au anti-cathode are shown in Figs. 1~7, and those of chemical analysis with X-ray analysis in Table VI. Fig. 8 gives a calibration line for the sodium oxide in sheet glass. The fluorescent X-ray analysis seems to prove to be a practical method for the rapid determinations in the glass industries.

(Received Jan. 4, 1965)

ケイ光 X 線分析法による鉄板上の亜鉛, カドミウム, スズメッキ層の厚さ測定

浅田 栄一, 安達 孝明*

鉄板上の亜鉛メッキ, カドミウムメッキ, スズメッキの厚さを, 下地のケイ光 X 線 $\text{FeK}\alpha$ を計測することによって測定する方法について検討した。

その結果, これらの試料では, 一次 X 線のメッキ層による吸収効果はほぼ無視することができ, それゆえ, $\text{FeK}\alpha$ のメッキ層による質量吸収係数, ケイ光 X 線の取り出し角およびメッキ金属の密度が既知であれば, 純鉄板の $\text{FeK}\alpha$ の強度とメッキ試料の $\text{FeK}\alpha$ の強度値とから, 標準試料と比較することなしにメッキ層の厚さがほぼ推定できるものと結論された。

なお, さらに精度を高めるためには, 一次 X 線の吸収・励起効果について考察を深める必要がある。

1 は し が き

ケイ光 X 線分析法を, メッキ層など薄膜の厚さ測定に利用することは, 定性・定量の分野などへの利用とともに研究され, すでに数多くの応用例が報告されている^{1)~5)}。

これらの事例はいずれも厚さ既知の標準試料により。

* 東京工業試験所: 東京都渋谷区本町 1 丁目

検量線を作成・使用する 方法に基礎をおくものであるが, いっぽう, 吸収係数などの値から検量線を求め, これを基準として厚さを算出する方法についての指摘もなされている³⁾。

ここではその可能性を調べることを目的として, 鉄板上に各種の厚さの亜鉛メッキ, カドミウムメッキ, ならびにスズメッキをそれぞれ施し, それらのメッキ層の厚さを, 下地の鉄板のケイ光 X 線の強度から決定する方法