

# 放射線厚み計

## Radiation Thickness Gauges

鷲見 哲雄\* 船水 正\*  
Tetsuo Sumi Tadashi Funamizu

### 内容梗概

放射線厚み計は  $\alpha$  線,  $\beta$  線, X線,  $\gamma$  線などの放射線の測定物による反射または吸収の性質を利用して厚みを測定するものである。その特長とするところは、測定物に直接接触することなく連続的に測定が可能であり、厚みの自動制御に必要な電気的出力が容易に得られる点にある。本稿では放射線厚み計の概要と、問題となる二、三の点、放射線と測定範囲の関係、放射線の統計的変動現象などについて記述した。

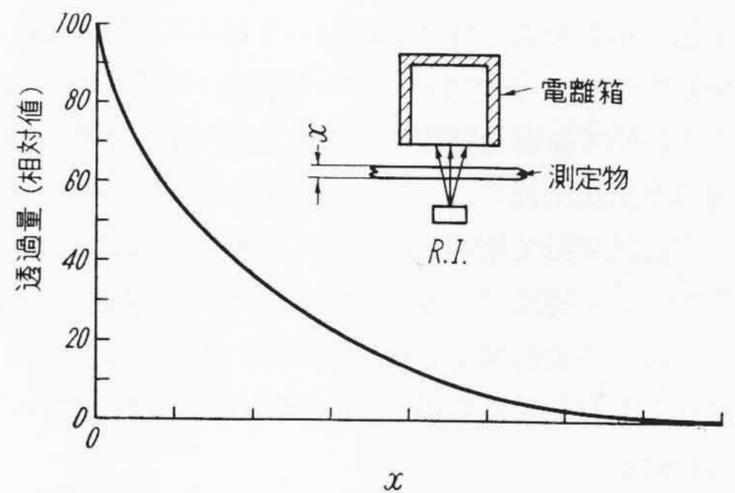
### 1. 緒言

圧延機とともに使用される厚み計として、従来より空気圧を利用したエアマイクロ、あるいは電気式のフライングマイクロなどが使用されてきたが、欧米では10年ほど前よりX線管より放射されるX線を利用した厚み計が使用されており、冷間圧延、熱間圧延の厚み測定に成果をあげている<sup>(1)(2)</sup>。最近、放射線同位元素 (Radioactive Isotopes 以下略して R. I. とする) が容易に生産されるようになったので、これより放射される  $\beta$  線,  $\gamma$  線, X線を利用すれば、X線厚み計より広範囲の測定が可能になり、構造および取り扱いも簡略になる。以下現在日立製作所において製品化されている R. I. を使用した厚み計についてその概要を述べる。

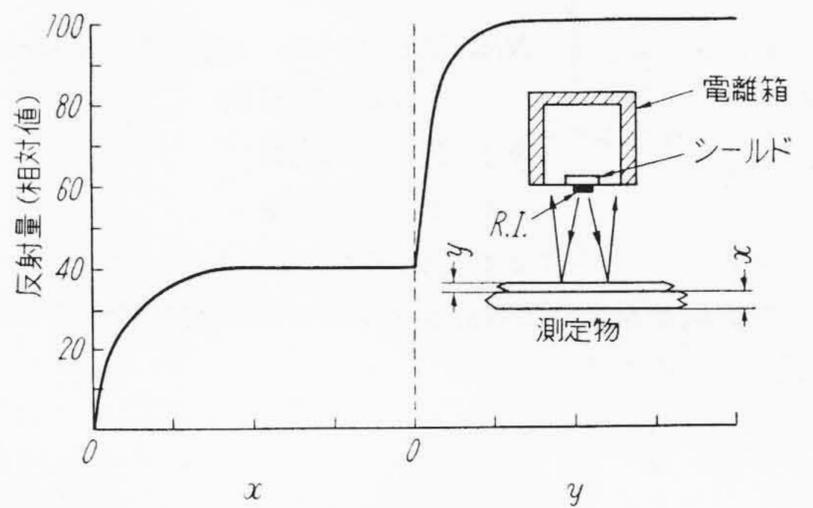
### 2. 放射線厚み計の種類

放射線厚み計をその測定原理より大別すれば、透過形と反射形に分けることができる。透過形は第1図に示すように R. I. と検出器の間に測定物を通し、R. I. より放射された放射線が一部測定物に吸収されて透過した放射線のみ検出器に入射する。この形は検出器に入射する放射線量が測定物の厚さの増加に従って指数函数的に減少する。特殊な用途以外はこの形が最も多く使用される。反射形は第2図に示すように検出器と R. I. を同じ側におき、放射線が測定物により一部反射されてもどってくる反射量を検出器で検出する。放射線がこのように逆方向に反射される現象を後方散乱 (Back Scattering) と呼び、反射量は測定物の厚さにほぼ比例して増加するが、半価層の約2倍以上の厚さで飽和し、それ以上厚さを増しても反射量は増加しなくなる。またこの飽和値は原子番号の高い物質ほど飽和する反射量も大きくなるため、メッキされた金属のメッキ層のみの厚さを測定しようとする場合に使用される。メッキ層の原子番号が地金の金属のそれより高い場合は第2図に示すように、メッキ層

\* 日立製作所多賀工場



第1図 透過形厚み計吸収曲線

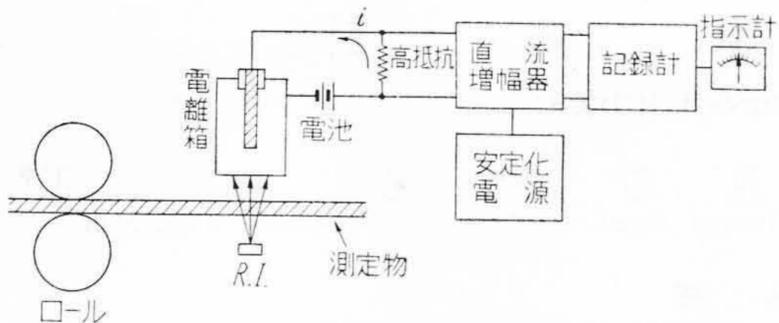


第2図 反射形厚み計吸収曲線

の厚さに比例して増加し、地金の厚さが多少変化しても、反射量に影響を与えない。このほか反射形の用途として金属面の塗装の厚さ、各種 coating の厚さ、カレンダーロール上のゴムの厚さなどの測定に有効である。反射形厚み計は透過形に比べて取付けが簡単であるという利点はあるが、反射量が少ないために多量の R. I. を必要とし、一般に精度はいくらか落ちる。

### 3. 動作原理

第3図に透過形厚み計の原理図を示す。反射形の場合は R. I. の位置が変わるだけである。検出器として使用さ



第3図 厚み計原理図

電離箱は、外側の円筒電極とその中心に位置する棒状電極からなる。入射した放射線が内部の気体を電離すると両電極間の電界によってイオンが集められ、外部にイオン電流を流す。この電流は入射放射線量に比例し、第1図に示したような曲線に沿って厚みの増加に従って減少していく。またこのイオン電流は  $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{A}$  というきわめて微弱な電流であるためこれを  $10^8 \sim 10^{10} \Omega$  程度の高抵抗に流し、この両端に現われる電位差を直結形の直流増幅器で増幅し、さらに指示計または記録計を動作させる。透過形の厚み計では測定物の厚さと、検出器に入射する放射線量とは指数関数の関係にあることは前述したとおりであるが、これを数式で示せば次のごとく表わせる。

$$N = N_0 e^{-\mu \rho x} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに  $N$  : 厚さ  $x$  のとき、検出器に入射する放射線量
- $N_0$  : 測定物がないとき、検出器に入射する放射線量
- $\mu$  : 質量吸収係数
- $\rho$  : 測定物の密度
- $e$  : 自然対数の底

放射線量を半分に減衰させる厚さを半価層と呼び、(1)式よりこの値は

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu \rho x_1/2}$$

$$x_{1/2} = -\frac{\log 1/2}{\mu \rho}$$

$$= \frac{0.693}{\mu \rho}$$

として求められる。質量吸収係数  $\mu$  の値は放射線のエネルギーによって決まり R. I. はそれぞれ一定した値を有する(厳密には測定物の原子番号によって多少異なる)。(1)式より測定量  $N$  に直接関与するのは  $\rho x$  であり、 $\rho$  を一定とみなせるときは幾何学的厚さ  $x$  のみの函数となって厚

み計として使用できる。

#### 4. 測定範囲

3でも述べたように R. I. はそれぞれ一定した  $\mu$  の値をもつから、それに応じた測定範囲をもっている。すなわち厚さ零より飛程厚さ(放射線を完全に遮蔽する厚さ)の間で、どこまでの範囲を使用するかによって決まる。これは検出器の後に続く増幅器の能力、R. I. の量、放射線の統計変動の大きさをどこまで許すかなどによって決まる。大体、半価層付近の厚さが最も精度良く、それより厚くなったり薄くなったり、半価層より離れるに従って精度は落ちる。上にあげた三つの因子より吸収係数  $\mu$  の R. I. は  $x = \frac{1}{\mu} (0.5 \sim 3)$  の間で測定するのが妥当であり、増幅器の能力が上がり、R. I. の量を増加すれば多少この測定範囲を広げることができる。この範囲内では大体精度は測定厚さの1%以下である。第1表に厚み計として適当な各種 R. I. の特性と測定範囲を示す。鉄板を例にとると  $\beta$  線では  $0.001 \sim 1.5 \text{ mm}$  の測定が可能であり、 $\gamma$  線では  $4 \sim 60 \text{ mm}$  まで測定できる。ここに  $1.5 \sim 4 \text{ mm}$  の間は  $\beta$  線でも  $\gamma$  線でも測定困難であるが、X線を使用すれば測定できる。このX線を発生させる手段として考えられたのが第1表の中にある  $\text{Sr}^{90}\text{-BM}$  である。これは  $\text{Sr}^{90}$  より放射される  $\beta$  線を鉛または黄銅板などの薄い金属板に当て、そこから二次的に放射される制動放射(Bremmstrahlung)を利用するもので、ほぼ  $70 \text{ KeV}$  のエネルギーをもつX線に相当する。一般にこの変換効率を低いために厚み計として使用するためには  $100 \text{ mc}$  (ミリキューリー)以上の多量の R. I. を必要とする。また面積あたりの重量を幾何学的厚さに換算するには次式を用いるとよい。

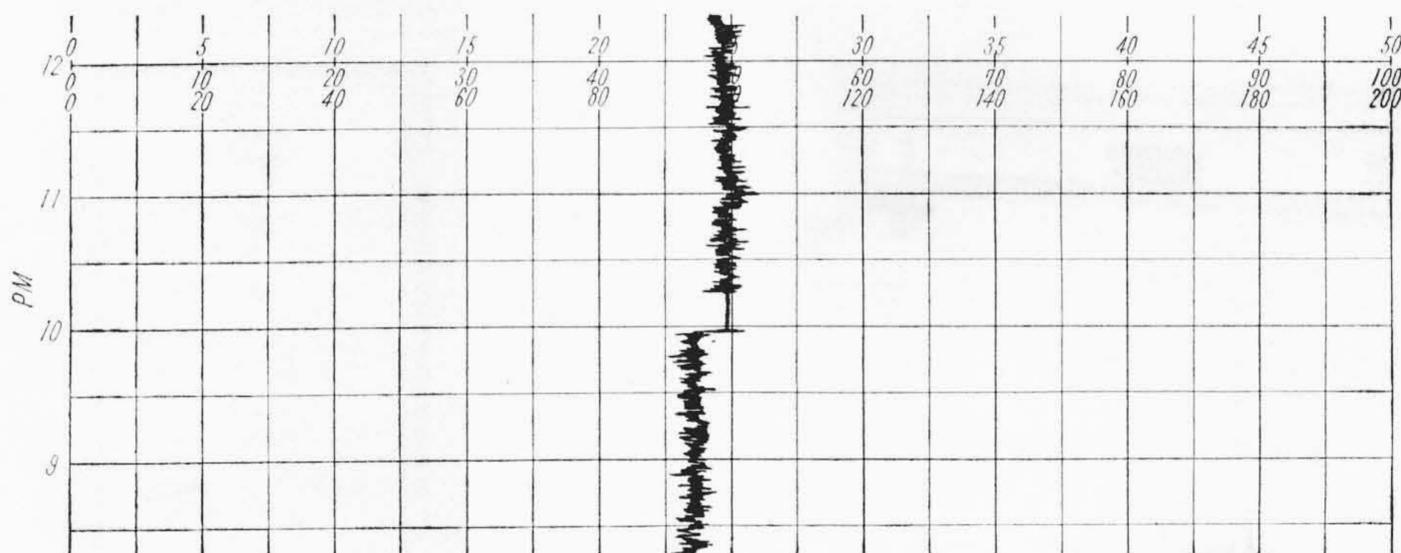
$$A = 100 \rho x \dots\dots\dots (2)$$

- ここに  $x$  : 幾何学的厚さ (mm)
- $A$  : 面積あたりの重量 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )
- $\rho$  : 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

第1表 各種 R. I. の測定範囲

R. I. 名	半減期	* エネルギー (MeV)	半価層 ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	測定範囲		
				$\text{mg}/\text{cm}^2$	Al (mm)	Fe (mm)
$\text{C}^{14}$ ( $\beta$ )	5,720年	0.155	2.6	0.6~10	0.0024~0.04	0.001~0.014
$\text{Pm}^{147}$ ( $\beta$ )	2.6年	0.23	4.5	1~15	0.004~0.055	0.0014~0.019
$\text{Tl}^{204}$ ( $\beta$ )	2.7年	0.78	30	10~30	0.04~0.5	0.014~0.17
$\text{Sr}^{90}$ ( $\beta$ )	20年	2.2	150	50~600	0.2~2.2	0.07~0.76
$\text{Ce}^{144}$ ( $\beta$ )	280日	3.0	220	100~1,000	0.4~4	0.14~1.4
$\text{Ru}^{106}$ ( $\beta$ )	1年	3.5	270	130~1,200	0.48~4.4	0.16~1.5
$\text{Sr}^{90}$ B.M. (制動放射)	20年	0.07	750	400~3,000	3~30	0.5~4
$\text{Cs}^{137}$ ( $\gamma$ )	30年	0.662	5,750	3,000~23,000	10~70	4~30
$\text{Co}^{60}$ ( $\gamma$ )	5.3年	1.17 1.33	11,500	7,800~46,000	10~100	10~60

\*  $\beta$  線では最大エネルギーを示す。



第4図 校正時の測定例

### 5. 放射線の統計的変動

放射線を利用した計測器では必ずこの放射線の統計的変動という現象が生ずる。この結果厚み計の指示には少なからずこの影響が現われ、これを記録すると第4図に示したような測定結果が現われる。もちろんこの変動誤差の少ないのが望ましいが、ふつうこの変動幅は計器の保証精度をこえないように押えてある。この統計的変動の原因として次のことが考えられる。

(1) R. I. より放射される放射線は原子核崩壊の際の産物であるが、単位時間に崩壊する原子の数は一定せず、ある平均値を中心としてばらつき、ポアソン分布に従う。

(2) 放射線の各粒子のエネルギーは一定でなく、あるエネルギー分布をとるため、1個の放射線が電離箱内で作るイオンの数も一定しないこと。

電離箱はそれ自体、積分要素を含む検出器であり、今その後接続される増幅器回路の時定数を  $\tau$ 、計数率(単位時間に電離箱に入射する放射線の数)を  $N$  とすれば、統計的変動の相対標準偏差は  $1/\sqrt{2N\tau}$  である。これより次のことがいえる。

(1) 統計的の変動幅は R. I. の強さを増加し、回路の時定数を大きくすれば、小さくできる。

(2) しかしながら R. I. を必要以上に強くすることは、製品が高価になり、放射線が人体に与える障害の上からも好ましくない。ほぼ 5~50 mc 程度が使用される。また時定数を必要以上に大きくすることも計器の応答を遅くし、ことに自動制御を行う場合には悪影響を及ぼすので、普通 0.1~3 秒程度変えられるようになっている。

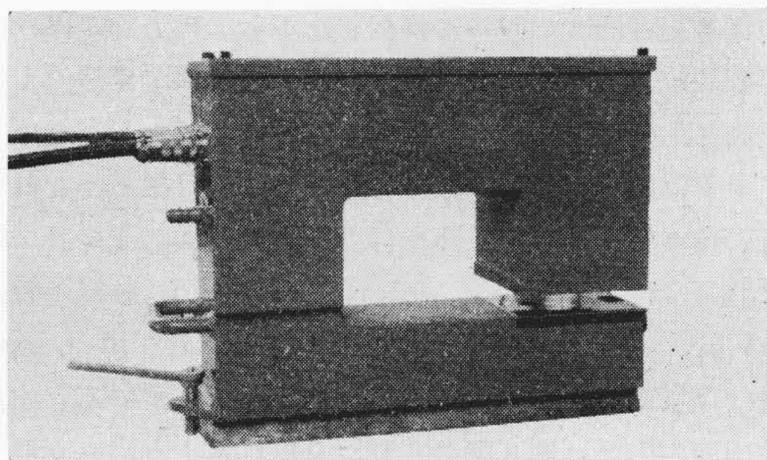
### 6. 校正

計器を常に最良の状態精度良く測定するには、しばしば校正操作を必要とする。誤差を生ずる原因として

は、(1) 放射線の経年的減衰\*、(2) R. I. の放射窓、検出器窓に付着する水、油、塵などによる放射線の減衰、(3) 直流増幅器の零点移動、がおもなものである。(1)、(2) の原因で生ずる誤差は同性質のものであるから1個のつまみで同時に校正され、校正時は検出部の間隙より測定物を取り去った状態か、もしくは標準厚さのサンプルを挿入して行う。この校正回数は取付け現場の周囲状況により多少異なるが1週間に1回くらいの割合で行う。(3) の原因は高抵抗を短絡し、増幅器の入力を零にして校正されるので検出部の間隙に測定物の通過中でも校正することができる。これは1日に2~3回程度行う。第4図は校正時の記録結果である。

### 7. 構造

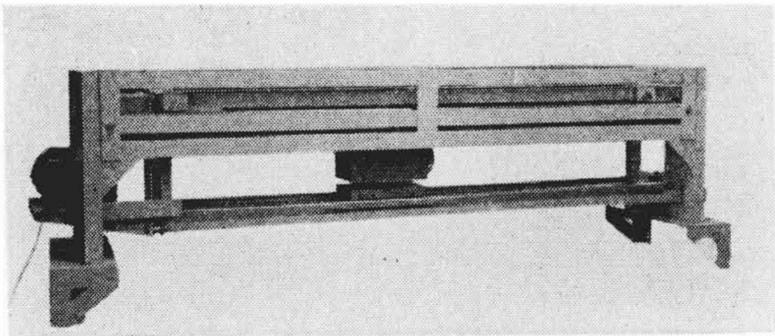
キャビネットと検出部より成り、両者は特殊な同軸複合ケーブルにて接続される。検出部は透過形の場合C形のフレーム構造で上下の間隙に測定物を通す。下部に R. I.、上部に電離箱がはいっている。また検出部の取付け現場が水、油、多量の塵などがあって、計器の精度を



測定物： 洋白 0.2~0.6 mm  
R. I. :  $Sr^{90}$

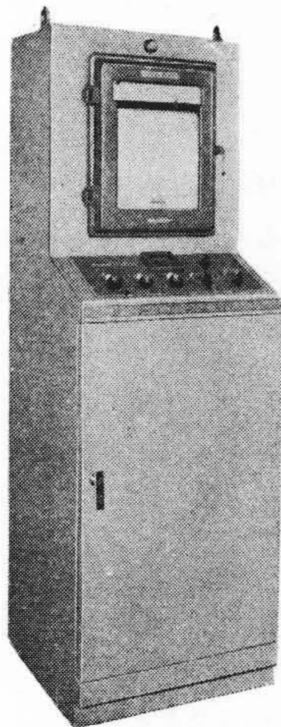
第5図 厚み計 検出部

\* R. I. は常に原子核崩壊を行って放射線を放出しているから放射能力は時間とともに次第に低下していくが、放射線量が半分まで減衰するに要する時間を半減期 (half life) と呼び、厚み計として普通半減期が1年以上のものが使用される。



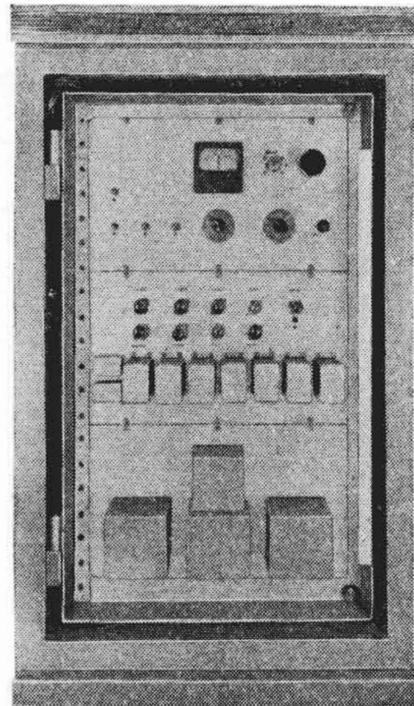
測定物：セロファン 15~45 ミクロン  
R.I. :  $P_m^{147}$

第6図 厚み計 検出部



第7図 キャビネット

はなはだしく低下させるような場合には、R. I. の放射窓および電離箱の窓に空気を吹き付ける構造がとられることがある。第5図に示す検出部はこのような構造に設計されたもので、幅 170 mm の洋白 0.2~0.6 mm を測定する。また特殊な用途として第6図に示してあるのは幅 1,200 mm のセロハン 15~45  $\mu$  の厚さを幅方向にスキャンする検出部の構造で、下部の R. I. 容器と上部の電離箱容器とが同時に移動しながら、幅方向の厚みを連続測定する。キャビネットは第7図に示す構造のもので高さ 1,800, 幅 600, 奥行 550 の大きさである。キャビネットは検出部からの信号を受けて増幅し指示、記録を行い時々校正などの操作を行う。上部前面に記録計または指示計が取り付く。記録計は TVK-B 形電子管式 mV 計、または VKP<sub>31</sub> 形電子管式 mV 計を用い、指示計は S<sub>24</sub> 形、S<sub>62</sub> 形、SR<sub>35</sub> 形などを採用している。また前面扉の内部は第8図の写真に見られるように直立形シャーシを採用し回路の点検に便宜を図った。扉はパッキング押え、内部の増幅器を外部の腐蝕性ガスより守るためにエアパージができる構造になっている。



第8図 キャビネット内部

## 8. 結 言

以上放射線厚み計についてその大要を記述したが、圧延機の自動制御化が進むにつれてその役割は重要である。われわれはさらに技術の向上に不断の努力を傾け、性能の向上に努め、御支援にこたえることを念願している。本文が多少でも圧延機に従事される各位の御参考になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- (1) W. H. Lundahl: Electrical Engineering 349. April (1948)
- (2) C. W. Clapp, R. V. Pohl: Electrical Engineering 441. May (1948)

### 「日立評論綴込カバー」

特価1組 ¥ 50 (送料共)

「日立評論」の綴込み用として綴込みカバーを発売いたしております。  
御希望の方には実費でおわかり致しておりますから下記に御申込み下さい。

東京都千代田区丸の内1の4(新丸ビル7階)

日 立 評 論 社

振替口座東京71824