

© 1984 ISIJ

赤外線塗膜厚センサ

技術報告

浜田 史朗*・栗井 清*・山本 啓二*・平田 政治*²

Infrared Thickness Sensor of Paint Film

Shiro HAMADA, Kiyoshi AWAI, Keiji YAMAMOTO and Masaharu HIRATA

Synopsis:

For the quality control of colored sheets, a film thickness sensor applied to a coil coating line has been developed. The thickness is related to the amount of infrared energy absorbed in the film. Infrared reflectivity of coated coils in the two wavelengths is measured in order to obtain an accurate thickness with reducing the errors caused by the variation of steel surfaces.

Continuous and noncontact measurement of coated film thickness has been made within an accuracy of $\pm 0.3 \mu\text{m}$ of σ for primer films of about $6 \mu\text{m}$ in thickness and of $\pm 1.0 \mu\text{m}$ of σ for top films of about $20 \mu\text{m}$ in thickness.

1. はじめに

塗装鋼板の主たる用途は、従来は建材の内外装用であつたが、近年は自動車・家電製品などの耐久消費財用に移つてきた。このような自動車・家電製品の需要の増大は、塗装鋼板を多品種少量・高品質化の時代へと引き込み、塗装ラインにおいても、ラインの自動化、省力化が迫られてきた。

本報告は、ラインの自動化に欠かせない塗膜厚測定装置に関するものである。従来の塗膜厚計測はオフラインによる重量法あるいは電磁式計測方法が採られており、ライン自動化の障害になつていたが、塗料の赤外線吸収原理に基づく本センサは、非接触かつ連続的に計測できるため、オンラインで塗膜厚さのフィードバックセンサとして適用でき、ライン自動化への道を開いた。ここでは本センサのハード及びソフト上の特徴と2コート2ベークの実ラインに適用した結果を報告する。

2. 測定原理

2.1 相関性調査

Fig. 1はカラー鋼板の赤外線透過率スペクトルを表している。3枚のサンプルは塗膜厚さがパラメータになつており、いずれの赤外線波長に着目しても、塗膜厚さが増加すれば、透過率が減少する相関があることがわかる。

2.2 理論式

Fig. 2に、測定原理の概念図を示す。

塗料に赤外線を投射すると、塗料は赤外線を吸収する。

(1) 透過型の場合

赤外線の透過量と塗料の厚みとの間には、塗料表面の反射を無視するならばランベルト・ベールの法則が成り立ち、次式を得る。

$$\frac{\phi}{\phi_0} = e^{-Kt} \dots\dots\dots (1)$$

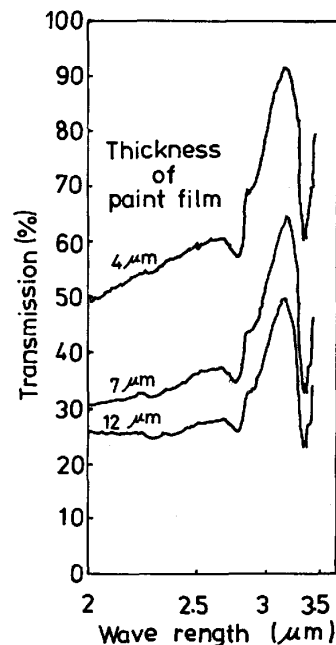


Fig. 1. Spectral transmittance of various colored steel sheets.

昭和 58 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 59 年 6 月 20 日受付 (Received June 20, 1984)

* 住友重機械工業(株)新居浜研究所 (Niihama Research Laboratories, Sumitomo Heavy Industries, Ltd., 5-2 Soubiraki-cho Niihama 792)

*² 大洋製鋼(株)船橋工場 (Funabashi Works, Taiyo Steel Co., Ltd.)

- ϕ_0 : 赤外線投射エネルギー量
- ϕ : 赤外線透過エネルギー量
- K : 塗料の赤外線吸収係数
- t : 塗膜厚さ (光路長)

(2) 反射型の場合

鋼板に塗られた塗料では、鋼板面で赤外線の反射が起こり、透過型と比べて、近似的には、鋼板の反射率 R の項と、2倍の光路の項を含む次式が得られる。

$$\frac{\phi}{\phi_0} = Re^{-2Kt} \dots\dots\dots (2)$$

R : 鋼板の赤外線反射率

この式に注目すると、吸収係数 K は塗料固有の値であるので、1つの検出量 (ϕ/ϕ_0) に対して2つの変化量 (鋼板の反射率 R と膜厚 t) があることがわかる。

すなわち、この式は、鋼板の反射率 R あるいは反射率の変動を除去しない限り、1つの赤外線検出量だけでは一意的に膜厚を求めることができない、ということを示している。

3. 外 乱

センサの実用化に当たっては、Table 1 に示す外乱に対して、適切な対策を施す必要がある。

特に、塗装処理前の加工履歴により被塗装鋼板の表面状態 (主に凹凸形状) が著しく変化するコイル塗装ラインにおいては、鋼板の表面反射率変化による外乱の除去が、センサ実用化の重要なポイントである。

Fig. 3 は鋼板の赤外線反射率スペクトルを示す。

このデータは、鋼板が鋼板によつて、個々の反射率をもっていることを示し、鋼板の種類が異なれば数十%もの反射率の差があることを、また、同種の鋼板であつても数%の反射率のばらつきがあることを示している。

4. センサの特徴

4.1 2波長方式

本センサでは、測定光以外に、鋼板の表面反射率変動を検出する参照光を併用した、いわゆる2波長方式を採用することで検出精度の向上を計つた。

Fig. 4 に、2波長方式の概要を示す。

測定光は、塗料に吸収されやすい波長を持った赤外光である。一方参照光は、測定光に比して、塗料に吸収されにくかつ、鋼板での反射率が、測定光の反射率と同等であるような波長、すなわち、測定光波長近傍の波長を持った赤外光である。

したがつて、測定光と参照光の比をとれば、鋼板の反射率の影響は除去できる。

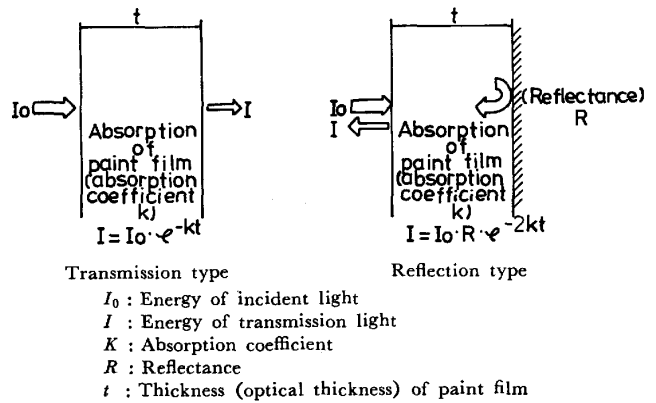


Fig. 2. BEER'S law.

Table 1. Noise factor.

Noise source	Noise factor
Detector	Lowering of sensitivity Temperature characteristic
Atmosphere	Absorption by H ₂ O Absorption by CO ₂ Absorption by solvent vapor
Boundary between atmosphere and paint film	Scattering on paint film
Paint film	Absorption by pigment Scattering by pigment Absorption by solvent
Boundary between paint film and steel sheet	Fluctuation of reflectance
Moving condition of steel sheet	Vibration of steel sheet

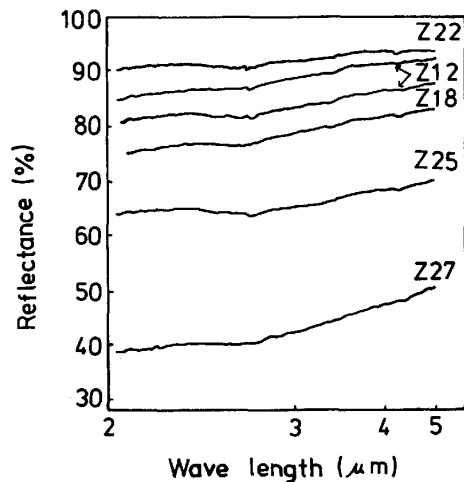


Fig. 3. Spectral reflectance of galvanized sheet.

4.2 2波長方式の実ラインへの適用

Fig. 5 は、オンライン計測において2波長方式で鋼板の反射率の影響が除去できることを示すデータである。

このデータに注目すると、参照光に現れている鋼板の反射率の変動が、測定光にも現れているが、2波長比演算による膜厚値には現れていないことがわかる。(このデータは塗装条件を一定にしてとつたデータであるので、膜厚変動はない。)

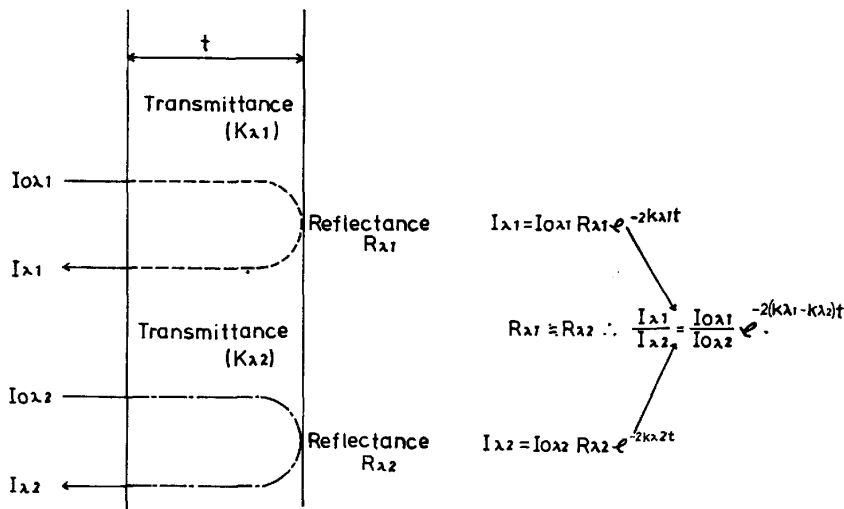


Fig. 4. Principle of double beam system.

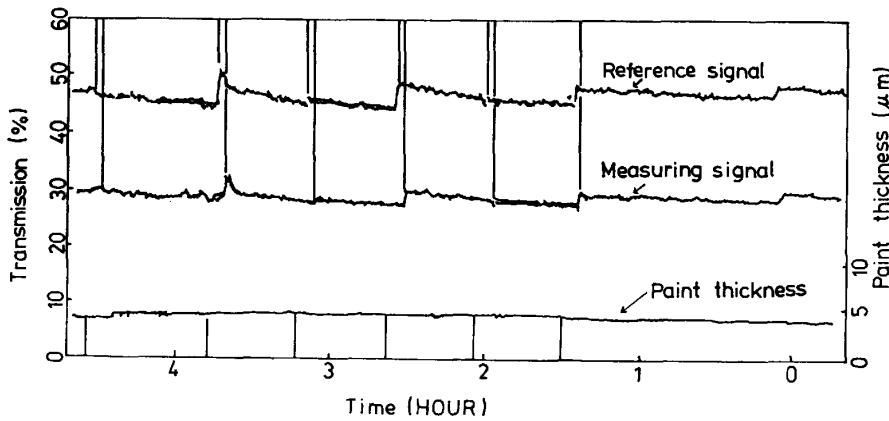


Fig. 5. On line data by double beam system.

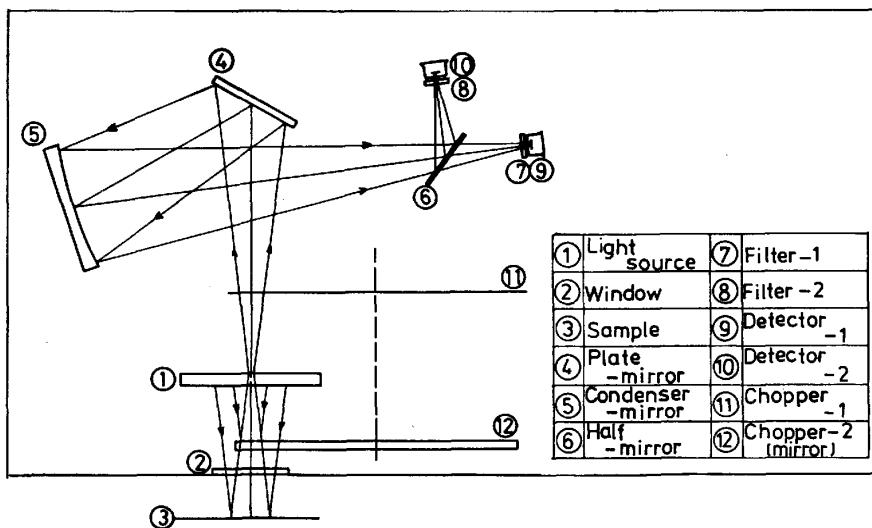


Fig. 6. Schematic of the double beam system.

したがって、このデータは、測定光だけの1波長計測においては、鋼板の反射率変動の影響は受けるが、2波長計測では受けないことを実証している。

なお、Fig. 5中の縦の線は、鋼板コイルの継目の塗料が塗られていない部分がセンサを通過した時、その未塗

装部の鋼板の反射率が現れたものである。

4.3 センサの構造

Fig. 6に、センサの構造を示す。本センサには3つの特徴がある。

- (1) チョッパー1による零レベル補正とチョッパー

2による100%レベル補正を1回の測定ごとに行っていることである。

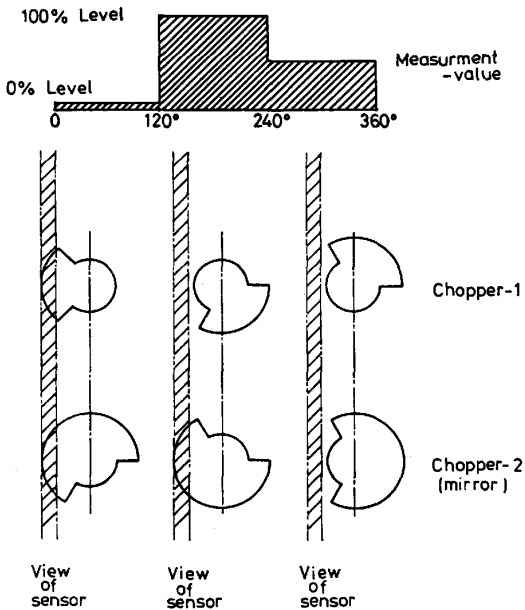


Fig. 7. Output of sensor and rotation mode of choppers.

したがって、光源の温度変動、光学系の経時変化検出素子の温度特性等の外乱に対して、影響を受けない機構になっている。

(2) 2波長が同一場所を測定するように、ハーフミラーを用いて光を2つに分割している。

(3) フッ化カルシウム (CaF₂) の窓および内圧構造にすることによつて、溶剤蒸気の侵入を防止し、溶剤蒸気がセンサ内部にたまることによる爆発の危険性をとり除いている。

Fig. 7はチョッパーによる補正の機能を詳しく示した図である。

5. 実ラインへの適用と測定精度

2コート2ベークのラインへの適用例を Fig. 8 に示す。2台のセンサを使用し、トラッキング手法を用いて、各層の塗膜厚さを求めている。

Fig. 9, Fig. 10 はセンサより求めた各層の膜厚値と重量法による膜厚値との比較である。

一層目(プライマー層)では標準偏差(σ)が0.3 μm 、二層目(トップ層)では標準偏差(σ)が1 μm の結果が

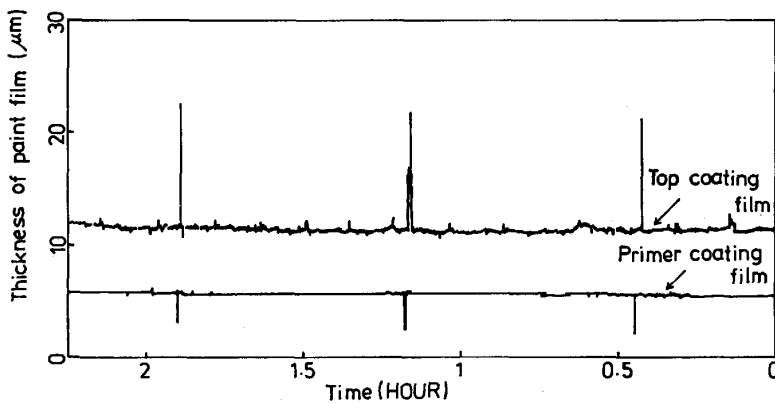


Fig. 8. On-line data of top and primer coating film.

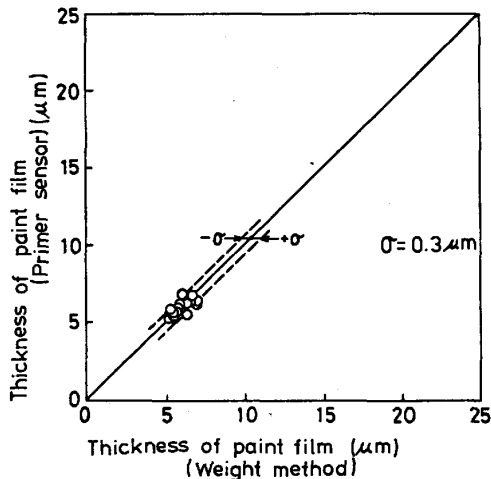


Fig. 9. Comparison of sensor and weight method.

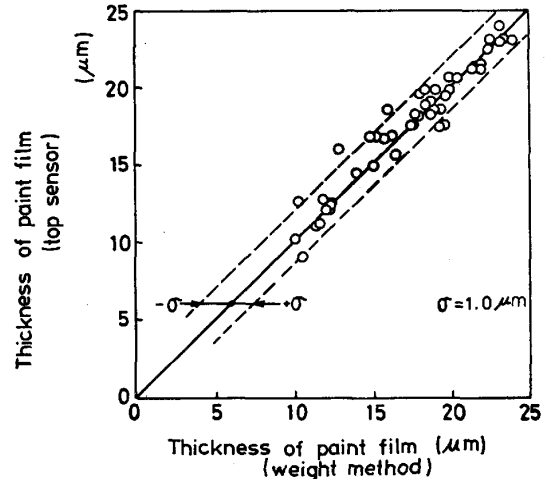


Fig. 10. Comparison of sensor and weight method.

得られた。

6. ま と め

本センサにより、従来オフラインでしか計測できなかった塗膜厚さを、オンラインで、非接触に、しかも精度良く測定することが可能となり、作業性の向上、および

カラー鋼板の品質向上が可能となった。

このセンサは、現在のところ、亜鉛めつき鋼板および冷延鋼板の塗膜厚さの検出に用いられているが、カラーアルミ、カラーステンレス等、他分野への適用も十分可能であり、用途は広い。

統 計

特殊鋼の最終用途別需要の推定

わが国の特殊鋼の最終用途別需要について、通産省の指導のもとに、関係諸団体の協力を得て、特殊鋼倶楽部の内に特殊鋼用途別需要調査委員会を設け調査が実施された。その結果下図のごとく、最終需要部門の明らかなものは（図の左の用途別受注統計上欄の土木建築用以下その他まで）47.9%あり、2次加工を経由して最終需要部門にまわるもの（前述下欄の線材二次製品以下その他まで、最終需要部門への配分は矢印で示す）は40.4%ある。

例えば自動車は、メーカーから直接納入されるものが

21.3%、2次加工を経由するものは、今回の実態調査から販売業者向け1.3%、線材製品2.0%、みがき棒鋼2.3%、ボルト・ナット・ネジ3.0%、鍛工品1.5%、ばね4.0%、軸受け2.4%、及び用途不明分3.1%以上集計すると40.9%になる。

この自動車の40.9%を筆頭に、産業機械に21.9%、建設部門に12.1%向けられている。本統計で、軸受け、ばねなどの用途別需要が明らかにされている。

（出典：特殊鋼，33（1984）5，p. 59「昭和58年度特殊鋼の最終用途別需要調査報告書（2）」

（三菱製鋼（株）技術開発センター 望月俊男）

