

輝度比符号化光源による鏡面角度計測

山田啓一, 山本 新

A Method of Specular Surface Direction Measurement Using Brightness-Ratio-Coded Light Sources

Keiichi Yamada, Shin Yamamoto

要 旨

産業の分野には正反射の性質が強い鏡面物体が数多くあり、それらの形状や角度を非接触で計測するニーズは多い。本研究では、はんだの濡れ性評価の指標である溶融はんだ接触角を計測するために、鏡面の角度分布を画像を用いて非接触で高速に精度よく計測する方法を開発した。これは鏡面の正反射の性質を利用した方法で、光源を輝度比で符号化することによって鏡面の角度を計測するものである。輝度比を用いることで、接触角を、計測する鏡面の位置による反射率の違いや光源の発光面の汚れによる輝度の変動などの影響を受けることなく、安定に計測できる。さらに、反射光の検出にダイナミックレンジを拡大したテレビカメラを用いることで、角度分解能の高い計測が可能となっている。本計測方法を鏡面である溶融状態のはんだの接触角の計測に適用し、実験によりこの計測法の有効性を確認した。

Abstract

There is much need for three-dimensional measurements of the specular objects in industrial fields. We have developed a method to measure wetting angle of molten solder, whose surfaces are remarkably specular, for evaluating the solderability of solder materials. This paper presents a method for measuring the angle of the specular surface direction with high accuracy and speed.

The method detects the surface direction by the property of specular reflection at the surface using a set of light sources coded by the brightness ratio for high speed measurements. The surface direction at each point is obtained from the geometry of the specular reflection light source which is identified from the ratio of reflection light intensity. The wide dynamic range vision sensor, which we have developed previously, is employed to increase the number of identifiable light sources for accurate direction measurements. The effectiveness of the proposed method was confirmed by applying it to solder wetting angle measurements.

キーワード

鏡面, 正反射, 角度計測, 画像, 広ダイナミックレンジ, はんだ, 接触角, 濡れ性

1. まえがき

地球環境に優しい電子機器用接続材料として、鉛を含まないはんだの開発が急がれている¹⁾。このような新しいはんだ材料の開発では、はんだの濡れ性の評価が重要である²⁾。濡れ性を定量的に測定するには、溶融状態におけるはんだの接触角の測

定が必要であり、さらに、材料の詳しい特性を知るには、はんだフィレットの角度の分布とその時間的な変化まで計測することが望まれている。しかしながら、溶融状態のはんだは表面が鏡面であり、材料や測定条件によって表面の反射率が必ずしも一定ではないため、このような要求を満たすはんだの接触角の計測例はこれまでに報告され

ていない。

産業応用では、溶融はんだ表面のような正反射の性質が強い鏡面物体が数多くあり、それらの形状や角度を非接触で計測するニーズは多い。そのため、これまでに、鏡面物体の形状や角度を画像を用いて非接触計測する手法として、鏡面の正反射を利用した幾つかの方法が提案されている^{3~9)}。

鏡面の正反射を利用する方法では、基本的には、何らかの方法で光源を符号化することで画像上の点と光源位置とを対応付けし、その光源の位置から面方向を求めている。計測の速度や精度は、光源を対応付ける速度や精度によって決まる。光源を走査する方法³⁾では、複数の点光源を1つつつまたは識別できる組合せて順次点灯して時間で符号化する。疑似照度差ステレオ法^{4, 5)}では、直線光源で照明した拡散板や、透過率がくさび状に変化するフィルタを投光機で投影した拡散板を面光源として用い、面光源を明るさで符号化する。前者の方法は、対応付けは確実にできるが、角度精度を上げるために光源の数を増やすほど画像取り込みに要する時間が長くなる。一方、後者の方法では、面光源の反射像を一度に撮像するので、画像取り込みに要する時間は短い、対応付けの精度はあまり良くない。

このような状況から、筆者らは、溶融状態のはんだの接触角の計測への適用を前提に、鏡面の角度を精度良くかつ高速に計測する計測方法を開発した。この計測方法は、鏡面の正反射を利用した方法で、正反射光の光源を特定するために光源を輝度比で符号化するものである。さらに、反射光の検出に、ダイナミックレンジを拡大したテレビカメラを用いることで、角度分解能の高い計測を可能としている。

本論文では、輝度比符号化による鏡面の角度計測法および、本方法を溶融はんだの接触角の計測に適用した結果について報告する。

2. 従来の計測方法

始めに、従来の計測方法および今回提案する計測方法に共通している、鏡面の正反射を利用した鏡面の角度検出の原理を説明する。そして、次に、従来の計測方法における光源特定法とその課題に

ついて述べる。

2. 1 正反射を利用した鏡面の角度検出

正反射を利用した鏡面の角度検出の原理をFig. 1に示す。同図は、光源の数が7の場合の例である。同図(a)に示すように、光は鏡面で入射角 θ_i と反射角 θ_r が等しく正反射するので、テレビカメラで撮像した鏡面物体の画像の各点が光源1から光源7のうちのどの光源からの正反射光に対応しているかを特定することができれば、光源、テレビカメラおよび対象物の幾何学的配置から鏡面の各点における角度を求めることができる。

Fig. 1(b)に示すように、光源と対象物との距離 $\ell_{\text{lig-obj}}$ およびレンズ開口と対象物との距離 $\ell_{\text{len-obj}}$ を、計測

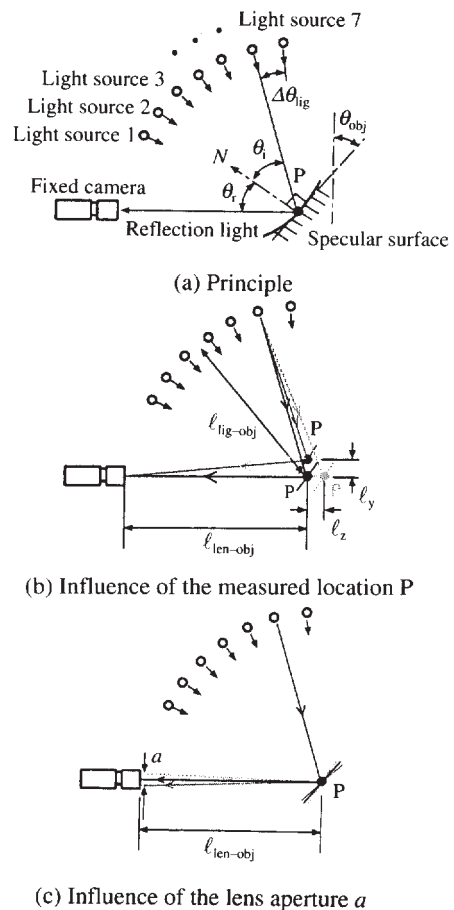


Fig. 1 Principle of specular surface orientation detection using specular reflection light.

領域内の位置の違い ℓ_y および ℓ_z よりも十分長くとることで、計測点Pに対する光源とテレビカメラの幾何学的配置は計測領域内では一定と近似することができる。この近似による角度誤差は、 $\{\tan^{-1}(\max(\ell_y, \ell_z) / \min(\ell_{\text{lig-obj}}, \ell_{\text{len-obj}}))\} / 2$ である。光源の間隔から決まる角度分解能は、隣り合う光源の角度間隔を $\Delta\theta_{\text{lig}}$ とすると、 $\Delta\theta_{\text{lig}} / 2$ である。また、カメラレンズの開口による誤差は、Fig. 1(c)に示すように、開口の半径を a とすると、 $\{\tan^{-1}(a / \ell_{\text{len-obj}})\} / 2$ である。

以上のように、既知の位置にある光源群で照明された鏡面物体の撮像画像の各点に対応する正反射光の光源を特定すれば、上述の誤差以内で鏡面の角度が計測できる。

2.2 従来の光源特定法とその課題

正反射光の光源を特定する方法として、これまでに、点光源を走査する方法³⁾、疑似照度差ステレオ法^{4, 5)}、M系列／配列符号化法^{6, 7)}、周囲の物体の鏡面像を手がかりに形状を復元する方法⁸⁾、位置により色が異なるカラーストライプ光源を用いる方法⁹⁾などが提案されている。

光源を走査する方法は、複数の光源を順次点灯することによって光源を時間的に符号化している。疑似照度差ステレオ法では、直線光源で照明した拡散板などを用いて光源を明るさで符号化している。また、M配列符号化法では光源面の小領域の濃淡パターンで、カラーストライプ光源を用いる方法では光源の色でそれぞれ符号化している。これらのうち、光源を時間的に符号化する方法では、光源の特定は確実にできるが、角度精度を上げるために光源の数を増やすほど画像取り込みに要する時間が長くなる。明るさで符号化する方法では、面光源の反射像を一度に撮像するので画像取り込みに要する時間は短い、光源の明るさの安定性や画像の雑音の影響により光源の特定の精度が落ちやすい。小領域の濃淡パターンで符号化する方法では、計測対象の鏡面が濃淡パターンが復号できる程度に滑らかであるかまたは平面である必要がある。また、光源の色で符号化する方法では、光源の数を増やすほど反射光の色の識別が困難になる。さらに、段差照明を時間的に走査する方法やカラーハイライト法も計測精度と時間との両立

が難しい。

以上のように、従来の光源特定方法では、計測対象の反射率の違いなどの影響を受けることなく多数の光源を同時に特定して精度よく高速な計測を実現することは難しい。

3. 輝度比符号化による光源特定

3.1 光源の輝度比符号化

計測対象の反射率の違いなどの影響を受けることなく多数の光源を同時に特定する方法として、光源を輝度比で符号化する方法を提案する。これは、対象物に複数の光源で同時に光を2回投射し、そのときの対象物の2つの撮像画像の比から光源を特定して鏡面の角度を求めるものである。撮像画像の比から光源が特定できるようにするために、Fig. 2のように、2回の発光輝度の比が各々の光源に固有の値になるように発光させる。計測の手順はFig. 3に示したようになる。まず光源群を第1の発光パターンで発光させたときの対象物の画像と、光源群を第2の発光パターンで発光させたときの画像を撮像する。そして、両画像の明るさの比から各画素ごとに対応する光源を特定し、その光源の位置から角度を求める。輝度比を用いるので、各々の光源の発光面上での位置による輝度の違いや計測する鏡面の位置による反射率の違いおよび光源の発光面の汚れによる輝度の変動などの影響を受けずに光源を安定に特定できる。

各光源の輝度の関係は、以下の理由により、そ

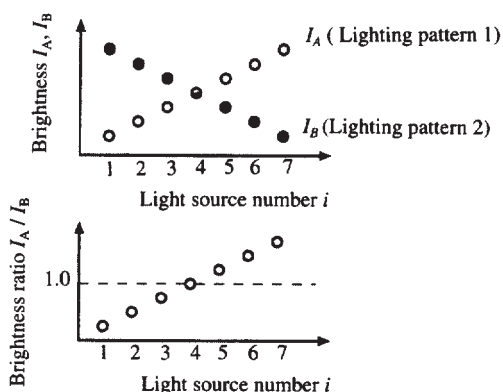


Fig. 2 Principle of brightness-ratio-coded method.

それぞれの発光パターンで、各光源の輝度が等比的になるように設定する。 i 番目の光源からの光がテレビカメラの方向に正反射するとき、この光源を第1の輝度 I_{Ai} および第2の輝度 I_{Bi} で発光させた場合にテレビカメラで観測される鏡面の輝度 $\tilde{I}_{Ai}$ および $\tilde{I}_{Bi}$ は、それぞれ、

$$\begin{aligned}\tilde{I}_{Ai} &= r_i I_{Ai} + N_{Ai}, \\ \tilde{I}_{Bi} &= r_i I_{Bi} + N_{Bi}\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (1)$$

と表される。ここで、 r_i は光源の輝度と対象鏡面の輝度との比例係数（以下、反射率とよぶ）である。輝度 I_{Ai} および I_{Bi} のどちらについても光は光源からテレビカメラまで同じ経路を通るので、反射率は両者に対して同じ値となる。また、 N_{Ai} および N_{Bi} はこのときのテレビカメラの雑音を表す。テレビカメラで観測された輝度の比 $\tilde{I}_{Ai}/\tilde{I}_{Bi}$ から光源が特定できるための条件は、雑音の大きさ $|N_{Ai}|$ および $|N_{Bi}|$ が輝度 $\tilde{I}_{Ai}$ および $\tilde{I}_{Bi}$ よりも十分小さくなければならないことから、テレビカメラの雑音特性を表す定数 c を用いて、

$$\begin{aligned}|N_{Ai}|/\tilde{I}_{Ai} &< c, \\ |N_{Bi}|/\tilde{I}_{Bi} &< c \quad (\text{for all } i)\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (2)$$

と表される。このとき、任意の2光源 i と j ($i \neq j$) が区別できるための条件は、式(1)、(2)より、

$$\left| \log \frac{I_{Ai}}{I_{Bi}} - \log \frac{I_{Aj}}{I_{Bj}} \right| \geq 2 \log \frac{1+c}{1-c} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。添え字 i を $I_{Ai}/I_{Bi} > I_{Ai-1}/I_{Bi-1}$ となる順に付

けると、上式は、

$$\frac{I_{Ai}}{I_{Bi}} = \frac{I_{Ai-1}}{I_{Bi-1}} \beta_i^2, \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、

$$\beta_i \geq \frac{1+c}{1-c} \quad \dots\dots\dots (5)$$

と書き換えられる。上式より、 β_i が $(1+c)/(1-c)$ のとき、光源の輝度の分布範囲が最小になってテレビカメラの同じダイナミックレンジで特定できる光源の数が最大になることが分かる。このとき、各光源の輝度は、

$$\begin{aligned}I_{Ai} &= I_{A1} \beta^{i-1}, \\ I_{Bi} &= I_{Bm} \beta^{m-i}, \\ I_{Ai} &= I_{Bm}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (6)$$

即ち等比的になる。ここで、 β は光源の輝度の増加・減少の割合 $(1+c)/(1-c)$ 、 m は光源の総数である。

計測角度の分解能は、同時に特定できる光源の数が多いほど高くなる。一方、光源の数を増やすほど、光源群の明るさの分布範囲が広がるので、撮像のためのテレビカメラには広いダイナミックレンジが必要となる。式(6)より、光源の輝度の最大値と最小値の比は β^{m-1} となるので、カメラに要求されるダイナミックレンジ D は、

$$D \geq \beta^{m-1} M \quad \dots\dots\dots (7)$$

である。ここで、 $M(>1)$ は、反射率 r_i のばらつきを表す値で、 r_i の最大値と最小値の比である。テレビカメラのダイナミックレンジの不足には、次に述べる方法によってテレビカメラのダイナミックレンジを拡大することで対応する。

3.2 テレビカメラのダイナミックレンジ拡大

露光条件を変化させて撮像した複数の画像を組み合わせることにより、テレビカメラ自体のダイナミックレンジよりも広いダイナミックレンジの画像を得ることができる¹³⁾。例えばシャッタースピードを2種類に変化させる場合、ダイナミックレンジを拡大した画像は、2種類のシャッタースピードの画像を画素ごとに以下の処理で合成することで得られる。シャッタースピードの遅い方の画像で画素値が飽和している画素はシャッタースピードの速い方の画素値を採用し、そうでない場合はシャッタースピードの遅い方の画像の画素値を用いる。ただし、

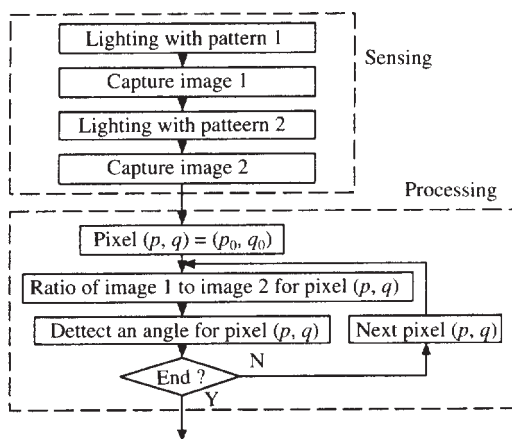


Fig. 3 Flow diagram of the brightness-ratio-coded method.

シャッタースピードの速い方の画素値を用いる場合には、画素値の感度をシャッタースピードの遅い方に合わせるために、その画素値に2つのシャッタースピードの比を掛ける。

このようにして、シャッタースピードを α 倍づつ n 種類 ($n \leq 1$) に変化させて撮像した n 枚の画像を1枚に合成することにより、従来のテレビカメラの α^{n-1} 倍のダイナミックレンジの画像を得ることができる。この合成画像において、雑音特性 (光強度に換算した雑音と信号の比) が c_{eff} 以上であるダイナミックレンジ D_{eff} は、シャッタースピードの比 α が $(L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}})^{1/\gamma} c_{\text{eff}}$ の場合に最大になり、

$$D_{\text{eff}} = \{(L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}})^{1/\gamma} c_{\text{eff}}\}^n \quad \dots\dots\dots (8)$$

である。ここで、 $L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}}$ および γ はカメラのSN比およびガンマパラメータである。

3.3 特定可能な光源数

前節までに、光源を輝度比で符号化して鏡面物体に投射し、その反射光をダイナミックレンジを拡大したテレビカメラで検出して光源を特定する方法を示した。次に、本方法によって特定可能な光源の数について検討する。

画像から光源が特定できるためには、式(5)より、画像の雑音特性 c_{eff} は、

$$c_{\text{eff}} \leq \frac{\beta - 1}{\beta + 1} \quad \dots\dots\dots (9)$$

でなければならない。従って、式(8)、(9)および撮像対象物の輝度のレンジ $\beta^{m-1}M$ が画像のダイナミックレンジ D_{eff} に収まる条件である式(7)より、光源輝度の増加・減少の割合 β 、カメラのSN比 $L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}}$ 、画像の露光条件の数 n および反射率 r_i のばらつき M と、特定可能な光源の数 m との関係は、

$$m = \frac{\log \left\{ \frac{1}{M} \left(\frac{L_{\text{sat}}}{L_{\text{noi}}} \right)^n / \gamma \left(\frac{\beta - 1}{\beta + 1} \right)^n \right\}}{\log \beta} + 1 \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。

Fig. 4に、上式で示される β と m の関係をグラフで示す。同図から、特定可能な光源数 m は光源輝度の増加・減少の割合 β に依存することが分かる。また、テレビカメラのダイナミックレンジを拡大しない場合 ($n = 1$) には最大でも13個の光源しか特定できないのに対し、2枚の画像を合成してダイナミックレンジを拡大した場合 ($n = 2$) には34個

の光源を特定できることが分かる。2枚の画像を合成してテレビカメラのダイナミックレンジを拡大する代わりに光源を2群に分けて交互に点灯する方法も考えられる。しかし、2群に分ける方法によっては特定可能な光源数を2倍にしか増やせないのに比べ、テレビカメラのダイナミックレンジを拡大する方法によれば、上述のように、特定可能な光源数を2倍以上に増やすことができる。

4. はんだの接触角計測への適用

4.1 計測対象

はんだ浴に銅板などの母材を浸漬したとき、溶融したはんだと母材との表面張力の作用により、両者の接触部付近ではんだがFig. 5に示すような曲面形状になる。はんだ溶融状態でのこの曲面部分 (フィレット) の角度は、はんだの濡れ性を定量的

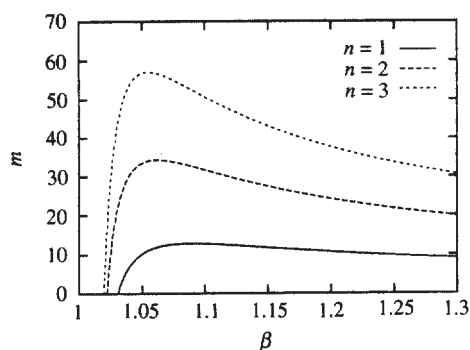


Fig. 4 Relation between square root of the brightness ratio increasing rate β and the number of identifiable light sources m when $M = 2$, $L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}} = 128$ and $\gamma = 1.0$.

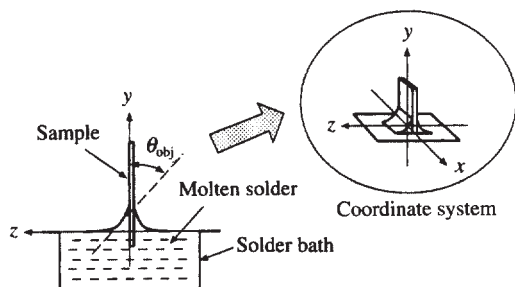


Fig. 5 Object for the measurement.

に表すとされ、はんだ材料の研究開発において重要な評価値である²⁾。

はんだ溶融状態でのこのフィレット部分の角度とその時間的変化を、前述の輝度比符号化による鏡面角度計測法によって計測する。母材には板状のものをを用いるので、計測する面の法線方向は母材の中心付近では $y-z$ 面と平行になる。そこで、 $y-z$ 面に平行な面内での角度 θ_{obj} を計測する。目標とする角度計測範囲は7度から44度、計測精度は3度である。

4.2 計測システム

4.2.1 全体構成

Fig. 6に、計測システムの全体構成を示す。光源には、蛍光灯下で測定できるように、ピーク発光波長880nmの近赤外LEDを用いている。対象鏡面を撮像するためには、通常のテレビカメラではダイナミックレンジが不足する。そこで、筆者らが開発した前述の原理でテレビカメラのダイナミックレンジを拡大する広ダイナミックレンジ視覚センサ¹³⁾を用いている。

LEDは、対象物を中心とした円弧上に等間隔に配置してある。本計測システムの諸定数はTable 1に示した値であるので、理論上の角度計測精度は2.8度となる。7～44度の角度範囲をこの精度で計測するために光源の総数 m は30とした。

4.2.2 輝度比符号化光源

LEDを輝度比で符号化するためのLED駆動回路をFig. 7に示す。各LEDの発光強度は、LEDに直列

に接続された抵抗 R_{Ai} および R_{Bi} により、駆動電流で制御している。Fig. 7の回路において、LEDの順電圧 V_F のばらつきに比べて十分大きい電圧 V を回路の端子間 T_A-G または T_B-G に印加したとき、 i 番目のLEDを流れる電流は $(V-V_F)/R_{Ai}$ または $(V-V_F)/R_{Bi}$ になる。一般に、LEDの発光強度は駆動電流に対して直線性を持つので、LEDの輝度比 I_{Ai}/I_{Bi} は抵抗の比 R_{Ai}/R_{Bi} に等しくなる。各LEDの輝度が式(6)で示した関係を満たすようにするために、それぞれの抵抗値を $R_{Ai} = R_{Ai} \beta^{i-1}$ 、 $R_{Bi} = R_{Bm} \beta^{m-i}$ にする。以上の構成により、LEDを第1の発光パターンおよび第2の発光パターンで発光させることができる。

LEDの電流を決める抵抗には、E-24系列の抵抗を用いている。E-24系列では、10倍の抵抗値をほぼ等比的に24分割しているが、完全な等比的関係にはなっていないので、前章で述べたように β が i によらず一定値とはならない。このような場合には、式(7)は

$$D \geq (\beta_{\text{mean}})^{m-1} M \quad \dots\dots\dots (11)$$

と修正され、さらに、式(10)で表されていた特定可

Table 1 Geometrical specification of the measuring system.

$\Delta\theta_{\text{lig}}$	2.6deg.
$\ell_{\text{lig-obj}}$	84mm
$\ell_{\text{len-obj}}$	75mm
ℓ_y, ℓ_z	$\pm 1.0\text{mm}$
a	3.0mm

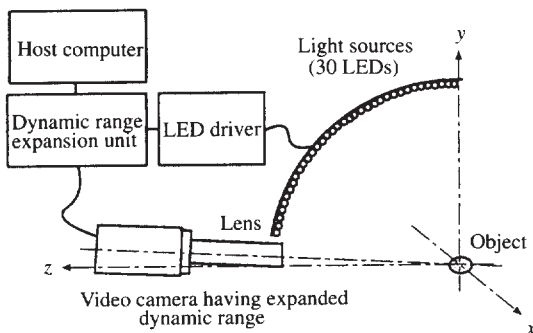


Fig. 6 Constitution of the measuring system.

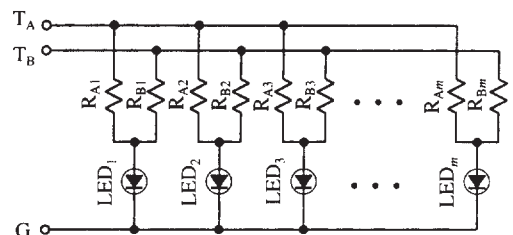


Fig. 7 Electric circuit for LED driving.

能な光源の数 m は,

$$m = \frac{\log \left\{ \frac{1}{M} \left(\frac{L_{\text{sat}}}{L_{\text{noi}}} \right)^n / \gamma \left(\frac{\beta_{\min} - 1}{\beta_{\min} + 1} \right)^n \right\}}{\log \beta_{\text{mean}}} + 1 \quad \dots\dots\dots(12)$$

となる。ただし、 β_{mean} および $\beta_{\min}$ はそれぞれ β の加重平均と最小値を表す。 $\beta_{\min} = 1.09$, $\beta_{\text{mean}} = 1.10$ であるので、光源数 m を30、テレビカメラのダイナミックレンジ拡大のための画像合成枚数 n を2とした場合、許容可能な反射率のばらつき M は1.9になる。

4.2.3 広ダイナミックレンジ視覚センサ

Fig. 8に広ダイナミックレンジ視覚センサのブロック図を、Table 2にその仕様を示す。本視覚センサは、複数の露光条件(シャッタースピード)で順次に画像を撮像するCCDモノクロテレビカメラと、これらの撮像画像からダイナミックレンジを拡大した画像を合成する処理ハードウェアとから構成されている。シャッタースピードの制御には、CCDカメラの電子シャッタ機能を利用している。処理

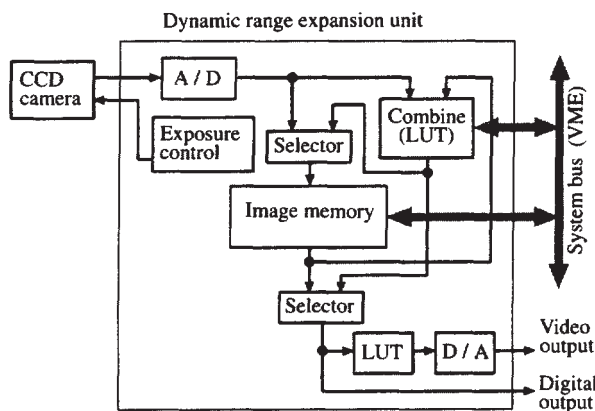


Fig. 8 Block diagram of the video camera having expanded dynamic range.

Table 2 Specification of the vision sensor.

Employed camera	SONY XC-75
Resolution	564(H) × 242(V) pix.
Available exposure time	63.6 μ ~ 1/60sec.
Number of exposure times	2 to 5

ハードウェアでは、CCDカメラの映像出力信号を256階調にデジタル化し、リアルタイムで画像を合成する。画像の合成にはルックアップテーブル方法を採用している。2種類のシャッタースピードは、1/440秒と1/80秒とした。

4.3 計測システムの性能

測定システムの性能を評価するために、表面が鏡面で直径が 5.000 ± 0.005 mmの円筒状金属製ベアリングの角度分布を測定し、測定角度と既知形状から計算した角度との差を調べた。この結果、測定角度範囲7~44度において、測定値と計算値との差の標準偏差 σ は0.9度、差の最大値は3.3度であった。差の最大値3.3度が理論上の最大誤差2.8度より若干大きくなった原因としては、対象物自体の面の精度の影響が考えられる。本測定システムの性能をTable 3に示した。

4.4 溶融はんだの接触角の計測

4.4.1 方法

計測システムを用いて溶融はんだの接触角計測を行った。はんだはSn含有率63%のSn-Pb共晶はんだを、フラックスには非ハロゲン系のものを、母材には銅板を用いた。母材の大きさは、幅10mm、長さ30mm、厚さ0.3mmである。温度を230度に制御したはんだ浴に母材を浸漬し、はんだフィレットが形成されていく過程のフィレットの角度を計測した。

4.4.2 結果

計測結果の例として、浸漬2秒後のはんだの角度をFig. 9(a)に示す。また、 $x = 0$ の $y-z$ 断面における角度の時間的推移をFig. 9(b)に、この角度を積分して求めた断面形状をFig. 9(c)に示す。これらの図において、 y 軸の原点ははんだ浴の液面である。なお、 y がおよそ1400 μ m以下の領域でデータが得られて

Table 3 Performance of the measuring system.

Scope	2 × 2 mm
Measurable angle range	7 to 44 deg.
Accuracy	3 deg
Minimum interval of measurements	0.3 sec.

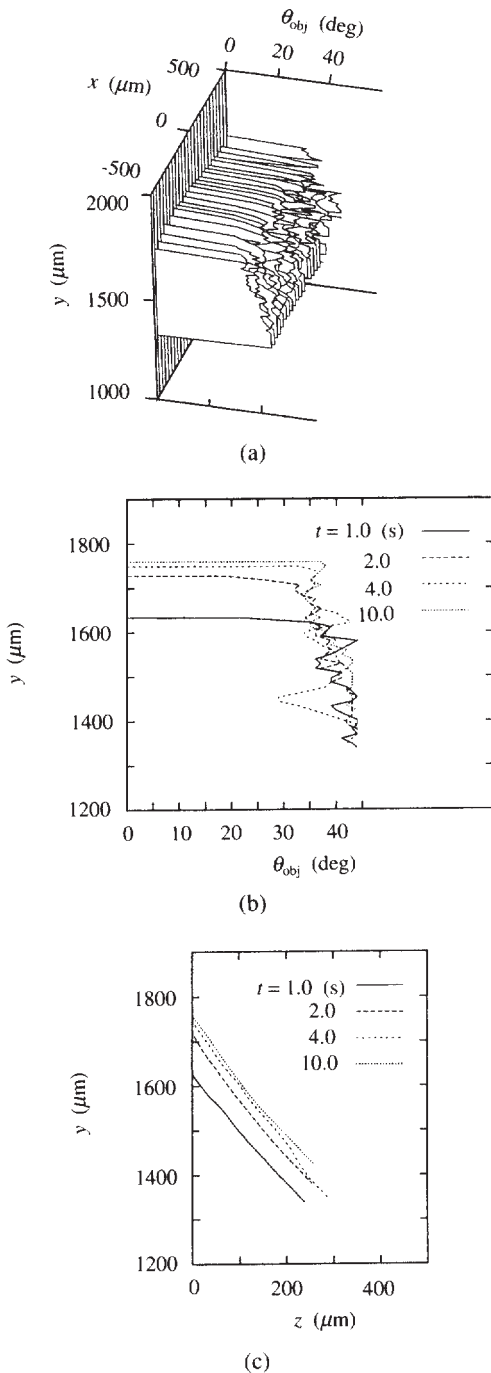


Fig. 9 A measurement result of the molten solder wetting angle. The angle when $t = 2.0$ seconds (a), the angle at a sectional plan $x = 0$ (b), and the shape of the solder surface (c).

いないのは、角度が計測角度範囲44度を超えているからである。

以上のように、本計測方法を用いることによって、はんだ浴に母材を浸漬したときに形成される溶融状態のはんだ鏡面の角度とその時間的推移が計測できることが確認された。

5. おわりに

鏡面の角度を精度よくかつ高速に計測する方法を開発した。これは鏡面で光が正反射する特性を利用したもので、輝度比で符号化した光源を測定対象の鏡面に投射し、その正反射光をダイナミックレンジを拡大したテレビカメラで検出し正反射光の光源を特定して角度を測定するものである。

はんだの濡れ性を評価するために、本方法を用いた溶融状態のはんだの接触角計測システムを開発した。このシステムを用いた実験により、濡れ性評価に必要とされる性能で接触角が計測でき、本計測方法が溶融状態のはんだの接触角計測に有効であることを確認した。

開発した計測システム (Fig. 10) は、現在、当研究所内で、はんだの濡れ時間と濡れ力を測定するメニスコグラフ試験機と組合わせて、無鉛はんだなどの濡れ性の計測や解析に実用化されている¹⁴⁾。

今回の計測では、板状の母材を用いていたので、はんだ濡れ性の評価には、母材の中央付近における面の角度の1方向の成分を測定すれば十分であった。さらに本方法を発展させて、光源群をおわん状に配置するなどすることにより、面の3次元的な方向を測定するように拡張することも可能である。

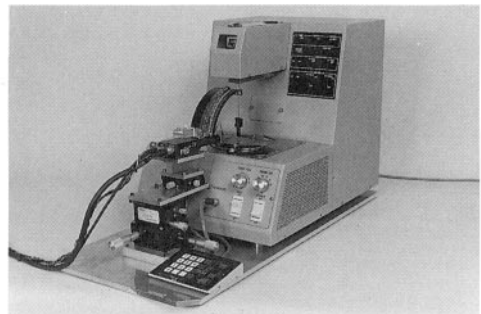


Fig. 10 Wetting angle measuring system combined with a meniscograph testing machine.

また、はんだ以外の鏡面の角度計測へも広く応用展開が考えられる。

参考文献

- 1) 廃棄された機器の鉛が問題に—ハンダ材料の見直しが始まる, 日経エレクトロニクス, **635**(1995), 92~99
- 2) Wassink, R. J. Klein., (竹本正, 藤内伸一 監訳): ソルダリング イン エレクトロニクス, (1990), 日刊工業新聞社
- 3) Sanderson, A. C., Weiss, L. E. and Nayar, S.K.: "Structured highlight inspection of specular surfaces", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell, **10**-1(1988), 44~55
- 4) Ikeuchi, K.: "Determining surface orientations of specular surfaces by using the photometric stereo method", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., **3**-6(1981), 661~669
- 5) 西野悦二, 白井良明: "投影光学系を用いた光度差ステレオ法による金属面の形状決定", 情報処理学会コンピュータビジョン研究報告, (1984), CV31-2
- 6) 葉雄英, 藤村貞夫, 山田範秀: "M系列符号化格子光源の照明による鏡面物体の測定", 計測自動制御学会論文誌, **26**-2(1990), 123~128
- 7) 西村拓一, 藤村貞夫, 伊藤直史, 喜安千弥: "M配列を用いた鏡面物体の三次元形状計測", 電気学会論文誌, **112C**-2(1992), 97~101
- 8) 汪増福, 加藤博一, 佐藤宏介, 井口征士: "鏡面物体の3次元形状計測", 電子情報通信学会論文誌, **J75-D-II-7** (1992), 1177~1186
- 9) 秦清治, 西山雅子: "カラストライブ照明下でのステレオ視による鏡面形状の抽出", 第8回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, (1992), 103~1081
- 10) Nakagawa, Y.: "Automatic visual inspection of solder joints on printed circuit boards", SPIE, Robot Vision, **336**(1982), 121~127
- 11) Kobayashi, S., Tanimura, Y. and Yotsuya, T.: "Identifying solder surface orientation from color highlight images", 16th Annual Conf. of IEEE Industrial Electronics Society, **1**(1990), 821~825

- 12) 村岡建樹: "SMTにおけるレーザ光線を応用したハンダ付外観検査装置の原理及び仕様紹介", 精密工学会画像応用技術研究会報告, (1988), 21~28
- 13) 山田啓一, 中野倫明, 山本新: "車載用カメラのダイナミックレンジ拡大方式", 電子情報通信学会論文誌, **J78-D-II-10**(1995), 1439~1449
- 14) 高尾尚史, 長谷川英雄, 塚田敏彦, 水野守倫, 山田啓一, 山本新: "メニスコグラフ法における接触角測定技術の開発(1)", 第2回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム, (1996), 101~106, 溶接学会

著者紹介



山田 啓一 Keiichi Yamada

生年: 1961年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像を用いた計測・認識技術の研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会会員。

1993年電気学会電子・情報・システム部門大会優秀論文発表賞受賞。



山本 新 Shin Yamamoto

生年: 1942年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像技術を用いた計測と認識および自動車におけるヒューマンインタフェースに関する研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 計測自動制御学会等会員。

1984年IEEE-VIS 年間優秀論文賞受賞。

工学博士。