

# 実装基板のハンダ接合部検査システムの研究開発

清水誠司・布施嘉裕・河西伸一

## Development of Inspection System for Solder Joints on Printed Circuit Board

Seiji SHIMIZU, Yoshihiro FUSE and Shin'ichi KASAI

### 要 約

ハンダ接合部検査のための精密XYZステージを作製し、ステージの制御やレーザ変位計による計測のための基礎的なソフトウェアを開発した。これを用いて、実装された基板上的の部品について、緑色の蛍光塗料を基板上に塗布し、精密XYZステージによりレーザ変位計を走査させることで断面形状を測定した。さらに、ハンダ接合部の外観上の特徴(濡れ角)から良否判定を行うため、ハンダ接合部の様々な形状について測定した。その結果、構築したシステムを用いてのハンダ接合部の断面形状測定および接合部良否判定が可能であることが確認できた。

### 1. 緒 言

現在、実装基板の製作工程と検査工程は、大企業においてはインライン化が進んでいる。一方、中小企業においては、製造工程ラインを構築した後に必要に迫られて検査工程ラインを追加したり、設備規模の面から工程が分かれている場合が多い。この場合、製造時の部品の位置情報や回路パターンが検査装置で有効に使用できないことがあり、ティーチングに要する作業が必要となる。

検査工程においては、環境対策からくる鉛フリー化に対応する中で、特にハンダ接合部について良否判定手法に問題が起きている。ハンダ接合部の検査には、インサーキットテスタを用いて電気的な導通で行う方法と、ハンダ接合部の幾何形状から判断する方法があるが、前者は基板の発注企業が回路の電気特性と同時に測定するケースが多く、後者は基板実装を受注された主に中小企業が出荷検査として行うケースが多い。実際、県内中小企業の数社から、出荷検査としての幾何形状から判断できる方法を確認してほしいとの強い要請があった。

そこで、実装基板上面からレーザを照射し、その反射からの距離を計測できる変位計を用いてハンダ接合部の断面形状を測定し、実装基板のハンダ接合部の良否検査への適用を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2-1 ハンダ接合部検査システムの構築

図1に試作したハンダ接合部の断面形状測定装置の外観を示す。



図1 試作したハンダ接合部の断面形状測定装置

この装置は、制御・計測用コンピュータ（以後PC）、精密XYZステージ（図2）、レーザ変位計（図3）で構成されている。PCよりステージの各軸のアクチュエータを制御することでレーザ変位計を所定の位置に移動させ、レーザ変位計の出力（アナログ電圧値）をPCに搭載したADCより取り込むこととしている。



図2 精密XYZステージ

うな試みを行った例は少ない。<sup>2)3)</sup>

近傍磁界測定結果による不要輻射評価が実現すると、電波暗室やオープンサイトなどの大規模な設備を用いず、電子機器の不要輻射評価が可能となり、企業の経済的負担や時間的制約は軽減されるものと考えられる。

そこで、本研究では、近年普及してきた近傍磁界測定を、不要輻射評価に直接活用することが可能か否かを検討した。

## 2. 実験方法

### 2-1. 近傍磁界測定装置の試作

近傍磁界測定を行う際には供試体の近傍を走査する必要があるが、人間がプローブを手を持って行った場合、プローブ~供試体間距離などが不安定になり、定量的な評価には不向きであるため、機械的もしくは電子的な走査が必要となる。今回、部品調達の簡便性と加工の容易性を考慮した、汎用部品によるシステム構築の可能性を探るために、市販のアクチュエータ、磁界プローブ、パーソナルコンピュータを用いて、近傍磁界測定装置の試作を行った。今回用いた構成部品をTable1に示す。

また、試作した装置の外観をFig.1に、用いた磁界プローブをFig.2に示す。

Table 1 List of components of magnetic near-field measurement device

Linear actuator (X-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT45 A B10-030 Stroke length : 300mm Lead : 10mm Positioning resolution : 3.125um
Linear actuator (Y-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT30 A B06-030 Stroke length : 300mm Lead : 6mm Positioning resolution : 3.333um
Linear actuator (Z-Axis)	THK Co.,Ltd. Super FA KT30 A B06-010 Stroke length : 100mm Lead : 6mm Positioning resolution : 3.333um
Servo motor ( $\theta$ -Axis)	YASUKAWA Electric Corp. AC Servomotor Z-II Series SGMAH-A3BAA21 Rated Torque : 0.095Nm Applicable encoder : Incremental encoder (13bits 2048 pulses/rev.)
Magnetic probe	NEC Glass Components, Ltd. CP-2S Measurable frequency range : 10MHz ~36Hz Spatial resolution : 0.25mm
Motor control card	CONTEC SMG-4P (PCI)
GP-IB control board	National Instruments PCI-GPIB



Fig. 1 Appearance of magnetic near-field measurement device



Fig. 2 Magnetic probe (NEC Glass components CP-2S)

### 2-2 ダイボール基板の近傍磁界測定

試作した近傍磁界測定装置により実際に近傍磁界測定を行った。今回は、最も基本的なダイボールパターンをプリント基板試作装置(ミッツ株式会社 FP-21)を用いてフッ素樹脂基板(比誘電率2.6)上に作製したものを供試体(Device under test:DUT)として用いた(Fig. 3)。ボタン長は200mm、ボタン幅は1.5mmである。基板には20mmのスペーサがつけられており測定テーブルと間隔をおいて設置するようにした。

製作した近傍磁界測定装置を用いて供試体の近傍磁界測定を行った。測定系の概略図をFig. 4に示す。供試体のSMA端子に、PADとして装着した6dBアッテネータを介して同軸ケーブルにより信号発生器を接続し給電を行った。測定装置に装着された磁界プローブは30dBプリアンプを介して、マックスホールドモードに設定したスペクトラムアナライザ(アドバンテスト R3261A)に接続し測定を行った。走査は作成した制御プログラムによって行い、データ取得はGP-IB(General Purpose Interface Bus)による自動計測を用いた。

測定は、スペクトラムアナライザをで、磁界プローブを位置分解能1mmで基板全体を走査し、また、 $\theta$ 軸を回転させて、近傍磁界の最大値を測定した。

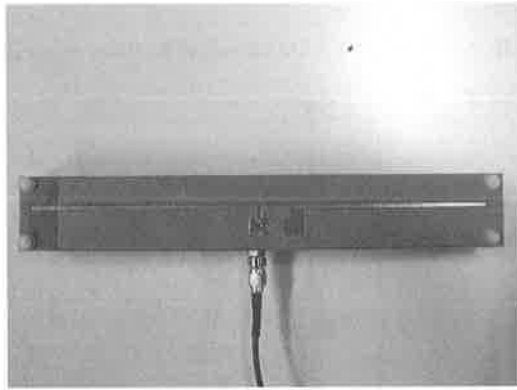


Fig. 3 Device under the test

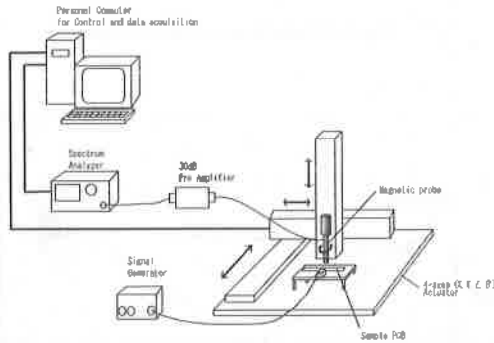


Fig. 4 Schematic of magnetic near-field measurement system

2-3 近傍磁界と放射妨害波測定結果の比較

近傍磁界とEMI規格に沿った放射妨害波測定結果の相関の有無を検討するために、両者の比較を行った。

放射妨害波測定は、工業技術センター電波暗室において、EMI規格に準拠した測定法によった。ただし、DUT-アンテナ間距離は3m、アンテナ走査高は室内寸法に限界があるため1m~2mとした。測定の状態をFig. 5に示す。測定アンテナにはパイログアンテナ(SHAFNNER CBL6111C)、受信機にはプリセクタ(アドバンテスト R3551)を併用したスペクトラムアナライザ(アドバンテスト R3361A)を用いた。検波方式は尖頭値検波を用いた。

次に、近傍磁界測定結果を電界強度に換算した値を放射妨害波測定結果と比較し、相関を調べた。



Fig. 5 Measurement of radiated disturbance

3. 実験結果および考察

3-1 ダイポール基板の近傍磁界測定

近傍磁界測定結果の一例をFig. 6に示す。

磁界プローブは通常のアンテナと比較して小さく作られているため、放射界との結合が少なく外来波の影響を受けにくいと予想されたが、同時に信号に対する感度も小さくなるため、増幅器を使用する必要が生じ、その際に外来波も同時に増幅されてしまうため、今回の実験では暗雑音を測定し、サンプル給電時測定値との差を求めた。また、測定信号は電圧として発生するので、プローブの校正係数を用いて磁界強度に変換した。

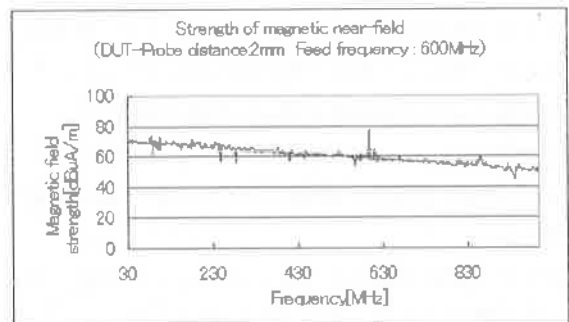


Fig. 6 Measurement result of magnetic near-field

測定されたピーク値はDUTに給電した周波数とほぼ一致しており、測定が可能である事が確認出来た。

3-2 近傍磁界測定結果と放射妨害波測定結果の比較

近傍磁界測定に用いたDUTの放射妨害波測定結果の一例をFig. 7に示す。440MHz及び500MHz付近にあるピークは信号発生器からのものと考えられる。

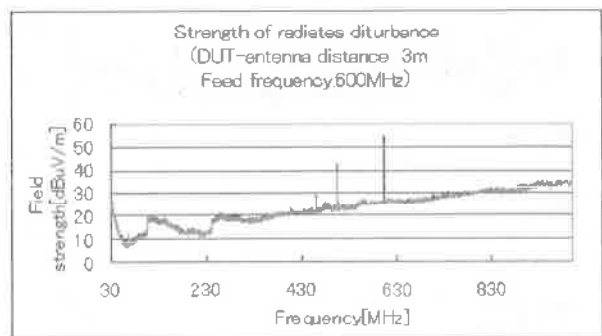


Fig. 7 Measurement of radiated disturbance

近傍磁界測定結果は磁界強度であり、放射妨害波測定結果は電界強度であるため単純に比較することはできない。そこで、測定した近傍磁界強度より、グランドプレーン上におけるダイポールから3m離れた距離での電界強度を計算した。まず、近傍磁界測定に使用したプローブは波長と比べて十分小さいものとして、得られた磁界強度よりアンペールの法則から導出した式(1)を用いて電流

を算出した。このとき、測定テーブルの影響は鏡像ダイポールで置き換えた。

$$I_0 = \frac{H \pi d (2D + d)}{D + d} \quad (1)$$

$I_0$ : ダイポール上の電流の最大値 [A]

$H$ : 磁界強度 [A/m]

$D$ : 測定テーブルダイポール基板間距離 [m]

$d$ : 基板プロープ中心間距離 [m]

次に、ダイポール基板上的電流は算出した電流値を最大値とする正弦分布であるものとして、Fig. 8のような微小ダイポールの電界強度の理論式(2)より、電界強度を計算した。想定した配置の模式図をFig. 9に示す。

計算の際には以下の条件を想定して計算を行った。

- ・ グランドプレーンを基準面として、ダイポールは0.8mの高さに配置し、観測点は高さ1m~2mの範囲で走査する。
- ・ ダイポールはグランドプレーンに対して平行、ダイポールと観測点を結ぶ線に対して垂直に置かれているものとする。
- ・ グランドプレーンは完全導体であるものとして、グランドプレーンによる反射の影響は鏡像ダイポールにより置き換える。
- ・ ダイポールの指向性は $\phi$ 軸に対して等方的であるものとする。

用いた理論式は、

$$\left. \begin{aligned} \hat{E}_r &= 2 \frac{\hat{I} dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \cos\theta \left( \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\theta &= \frac{\hat{I} dl}{4\pi} \eta_0 \beta_0^2 \sin\theta \left( j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) e^{j\beta_0 r} \\ \hat{E}_\phi &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

$$\hat{I} = I_0 \cos(\sqrt{\epsilon_r} k r) e^{j\omega t}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

ただし

$\epsilon_r$ : 基板の比誘電率

$\lambda_0$ : 真空中の電磁波の波長 [m]

$\epsilon_0$ : 真空中の誘電率

$\mu_0$ : 真空中の透磁率

である。

計算ソフトウェアにはMathematica(Wolfram research)を用いた。

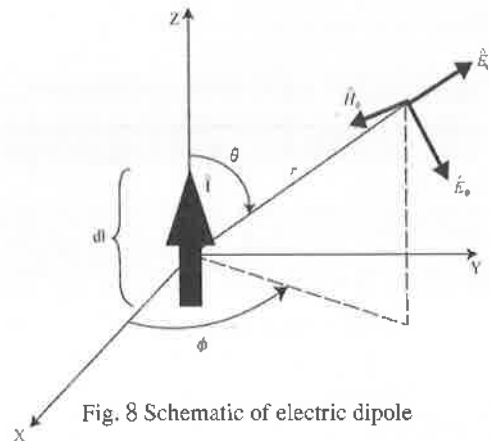


Fig. 8 Schematic of electric dipole

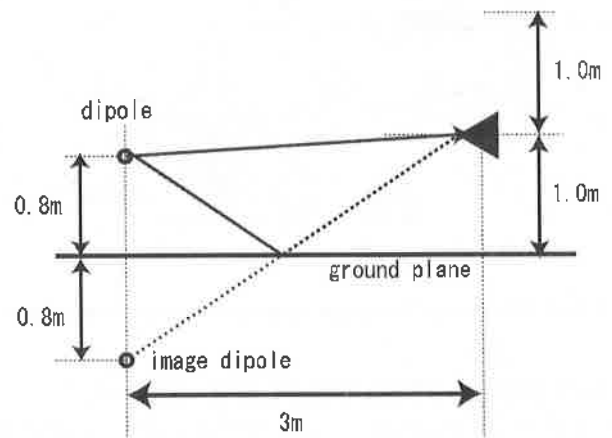


Fig. 9 Schematic of assumed arrangement for calculation of electric field

電界強度計算結果の最大値と放射妨害波測定結果との比較の結果をFig10に示す。計算結果と実測値の差は7dB程度であった。

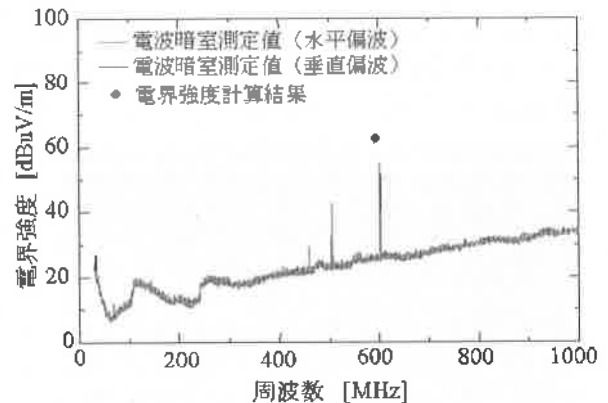


Fig. 10 Comparison of magnetic near-field result and radiated disturbance measurement

実測値と計算値の差は、近傍磁界測定に金属製の測定テーブルを用いたことにより、測定テーブルとDUTの間に寄生容量が生じたことでDUTの入力インピーダンスが低下し、非導電性のテーブル（放射妨害波測定で用いたもの）にDUTを置いたときと比べ、同じ電力を給電した場合に流れる電流が増加することに起因するものと考えられる。

今回は基本的なダイポールパターンについて検討したが、実際の製品に近い複雑な配線パターンを持つ基板については、さらに配線間の干渉等を考慮した計算を検討する必要がある。

#### 4. 結 言

今回の研究では、

- 市販のアクチュエータ、磁界プローブと加工の容易な金属材料を用いて近傍磁界測定装置を試作し、基本的なダイポール形状の基板について近傍磁界測定を行った。
- 得られた近傍磁界強度を用いて、比較的簡単な計算により求めた電流値と、単純なモデルによる電界計算により、実測値と比較し7dBの差で電界強度を計算することができた。

#### 参考文献

- 1) 総務省 情報通信政策局：通信利用動向調査報告書 世帯編 (2004)
- 2) 渡辺哲史, 青山勝, 鳥越誠, 和田修己, 古賀隆治：“プリント回路基板の近傍磁界測定による遠方電界予測法の開発” 山梨県工業技術センター報告, No.23, P35 (1994)
- 3) 黒内利明, 坂本憲弘：“近傍電磁界解析技術に関する研究 (第1報)” 栃木県工業技術センター研究報告, Vol.18, (2002)
- 4) 渡辺毅, 飯塚裕一, 増田則夫：“半導体デバイスのEMC評価法－磁界プローブ法の概要－”：NEC技報, Vol.53, No.4 P132. (2000)
- 5) Clayton R.Paul：EMC概論, ミマツデータシステム (1994)
- 6) 虫明康人：アンテナ・電波伝搬, コロナ社 (1961)
- 7) J.D.Jackson：電磁気学, 吉岡書店 (1994)