

製品をささえる部品の品質検証技術

The verification technology for the quality and reliability of part

秋元 清春 Kiyoharu Akimoto, 小山 慎司 Shinji Koyama

[要 旨] 昨今、電子計測機器等の軽量・薄型化にとまない、半導体や高周波アクティブ部品のほか、電気部品類の小型化は著しく進展している。また、プリント基板の高密度化・高速化、内部接続コネクタの多極化・狭ピッチ化により構造も複雑化し、部品の信頼性や品質の見極めは難易度を増している。さらに部品調達グローバル化し、品質リスクも高まっていることから信頼性の高い部品の選定、量産後の安定した品質を得るため、開発上流から市場出荷後において部品の品質検証に取り組んでいる。
本論では、部品の構造解析や検証から得られた品質向上に効果的な事例について報告する。

1 まえがき

2013年4月から、製品に使用する購入部品の信頼性確保や品質改善のため、従来独立していた材料分析チームを資材部門の開発購買チームへ一元化し、開発上流設計の部品選定段階から積極的に部品解析を行う評価体制を整備した(図1)。

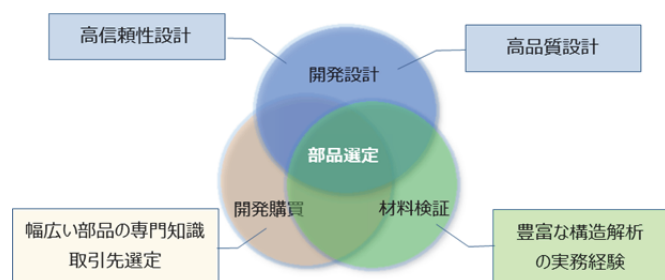


図1 部品評価の体制整備

その背景には、電子計測器や食品検査機の開発途上国への輸出拡大にとまない、劣悪な使用環境(ほこり・ごみ、大気汚染)や乱暴な取り扱いによる製品の故障発生頻度の上昇がある。

この一元化により、部品選定に携わる開発購買と蓄積された材料検証経験を活かし、開発上流の部品選定で、内在する故障リスクの改善を目的とした品質検証を展開している。品質検証結果は、設計や製造および取引先さまにもフィードバックし、信頼性向上に取り組んでいる。

2 品質検証のしくみ

部品の信頼性や品質を確保するには、開発上流の部品選定段階から、内在する故障リスクを洗い出し、その対策を事前に講じる活動が効果的である。

そのため、新規採用時の認定評価方法等を開発部門と早期に取り決め、DR3設計審査への検証資料準備、品質改善が生じる場合でも商品化までに終える活動を行っている。

品質検証は、図2のとおり、開発上流からの「良品解析」や量産・出荷後の「故障解析」に大別される。

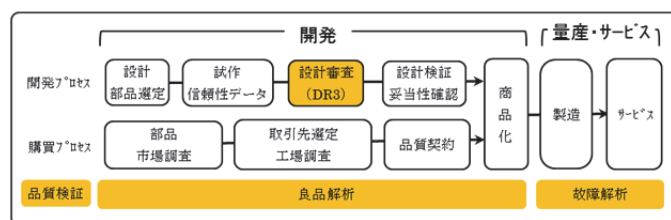


図2 品質検証のしくみ

以下に各々の活動内容を述べる。

(1) 良品解析のポイント

正常状態から故障リスクを診断する解析である。この解析には、高い専門知識や経験および構造理解を必要とする。評価は、表1の信頼性試験設備を用いて品質や信頼性の劣化状態を再現し、後述するSEMおよびEDX、X線CTスキャン装置の内部構造解析で故障リスクを究明する。経時性劣化による部品故障などを未然防止するための対策へ繋げることができる。

表1 信頼性試験設備

環境要因	想定劣化	試験設備
環境劣化 および 経時性劣化	温度による劣化	恒温槽、乾燥機
	温湿度による劣化	恒温恒湿槽
	急激な温度変化による劣化	熱衝撃試験機
	紫外線による劣化	ウェザーメータ
	硫化ガスによる劣化	硫化加速試験機
機械的劣化	振動による劣化	振動試験機
	落下衝撃による劣化	落下試験機

例えば、プリント基板の内層パターンは、量産時に性能や品質を確認することは困難である。そのため、設計時のプリント基板の内層パターン精度が十分実現されているかクロスセクション分析(横断面分析)により検証し、品質の安定化や設計時保証をサポートする役割を担っている。

(2) 故障解析のポイント

故障現象から原因・要因を故障の木解析(FTA: Fault Tree Analysis)を用いて体系的に分析し、真の原因を見極める解析である。製造時および出荷後における部品の故障発生は、まず迅速な原因究明が必要とされるため、原因や発生メカニズムの解析を主体とする。

解析結果から、早急に再発防止策に繋げ故障の広がりを最小限に抑えることで、生産工程の安定化や出荷後の市場事故回避に繋げる。

3 主な検証設備

社内で検証設備を保有することにより、低コストで短時間に詳細解析が可能で、結果を取引先を含めリアルタイムに共有できる。

さらなる詳細分析が必要な場合は、外部機関の設備を活用し、内部の設備で効果的な検証を進めている。主な検証設備を紹介する。

3.1 走査型電子顕微鏡(SEM)

走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)の外観を図3に示す。電子銃からの電子線を試料上に走査させ、試料から放出される2次電子および反射電子を検出することで像を得る電子顕微鏡である。本装置は、約2万倍までの拡大観察ができ、腐食、クラック、内部欠陥などの詳細な検証に活用している。



図3 SEM/EDX装置外観

図4に、SEM像の例としてBGAの破断面(150倍)、40μmのウイスカ(1500倍)を示す。

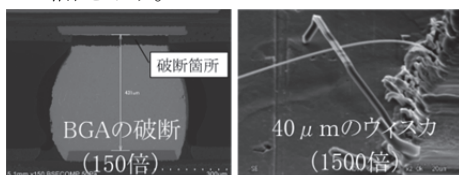


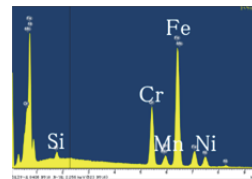
図4 SEM像の例(SEM像)

3.2 元素分析装置

(EDX: Energy dispersive X-ray spectrometry)

EDXは、電子銃からの電子線を試料上に走査させ、試料から放出される特性X線(元素特有のX線)を検出し、構成する元素を瞬時に判別する装置である。EDXはSEMの電子銃を共用するため、併設して使用する(図3)。

金属、セラミック等の無機材料の構成元素から、指定材質の真偽判定に活用している。図5にJIS規格品のSUS304ステンレス材の真偽分析事例を示す。分析結果からJIS規格相当品と判断できる。



EDX分析結果[mass%]

検出元素	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
検出量	0.7	17.7	0.8	73.1	7.7

図5 SUS304ステンレス材のEDX分析例

3.3 硫化加速試験装置

火山性ガス、排気ガス等に含まれる硫黄成分による金属腐食を短時間で検証する装置である。図6に装置外観を示す。

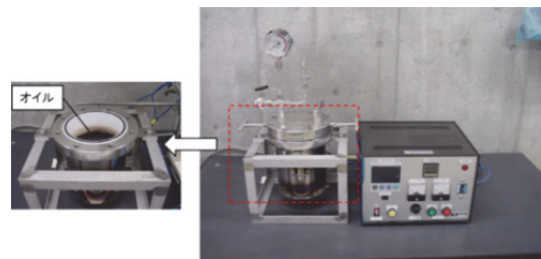


図6 硫化加速試験装置

硫黄成分を含んだオイルを加温し、部品を規定時間浸漬する。4.5項で各種チップ抵抗器の本装置を用いた硫化加速試験結果を示す。

インド、中国、東南アジア等の地域では、大気汚染に起因する電子部品の硫化腐食が近年顕在化している。そのため、設計基準として「活性ガスの耐性基準」を整え、部品の新規採用時に耐硫化性の評価を必須としている。

3.4 X線CTスキャン装置

(CT: Computed Tomography コンピュータ断層投映法)

X線で全方向の撮影により得られた断層画像を元に立体的な画像を合成し、部品の内部構造を詳細に検証する装置である。部品を破壊せず外面から内部構造を透視できるため、構造設計の妥当

性検証や異常状態を直接観察できる利点がある。

部品メーカーが開示しない内部構造を知ることで、部品に内在する故障リスクを見つけ出すことが可能で、部品の新規採用時や故障解析時に活用している。

4 部品解析事例

部品の信頼性や品質検証結果は、製品の出荷後の経時劣化防止、長期安定品質維持のために、開発、購買、製造およびサービスヘフィードバックし、高品質・高信頼性の部品選定に活かしている。解析で効果的であった事例を以下に示す。

4.1 多層プリント基板の内層構造検証

多層プリント基板のパターン間寸法精度が設計値どおりであるか検証した事例を図7に示す。この図は、多層プリント基板のクロスセクションである。内層構造を精度よく詳細に検証できることから、設計値との差異を判定できる。

多層プリント基板の新規取引や特殊な層構成のものを採用するときは、このクロスセクション分析を必須とし、製造メーカーと協力して信頼性および品質の安定性を確保している。

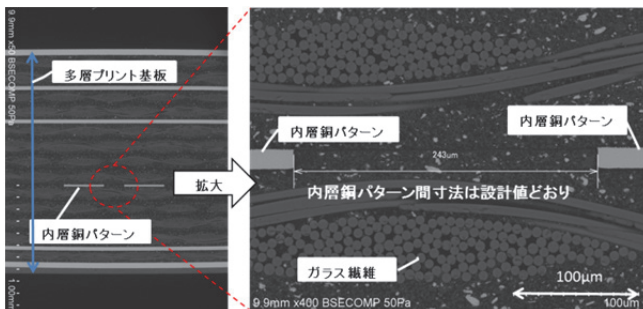


図7 多層プリント基板 クロスセクション

4.2 ワイヤボンディングの断線解析

RFモジュールで連続的に内部結線の断線故障が発生した。図8に故障品の断線状態を示す。



図8 ワイヤ断線状

図9は、事故品と良品ロットの基板側ワイヤボンディング部である。事故品は先端が凸で、良品ロットは凹んでいる。

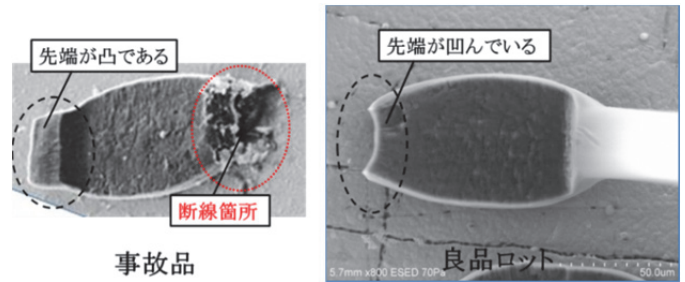


図9 ワイヤボンディング部拡大

ワイヤボンディングは1stボンド、2ndボンドの順で接合し、2ndボンド作業後にワイヤを切断する。2ndボンド部には、先端が凹みとなる切断痕が残ることから、事故品は1stボンド、良品ロットは2ndボンドであり、ワイヤボンディングの順番が逆になっていることが判明した。

良品ロットは、図10のように2ndボンドの傾斜角度が緩やかなため引張応力が小さい。

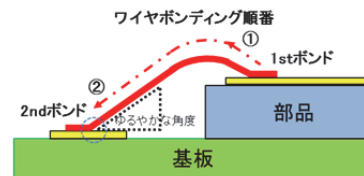


図10 良品ロット模式図

一方、事故品は、図11のように1stボンドから2ndボンドへのワイヤ角度が急峻なため、良品ロットに比較して引張応力が1stボンドの根元部分で大きくなりワイヤのクリープ断線が発生した。

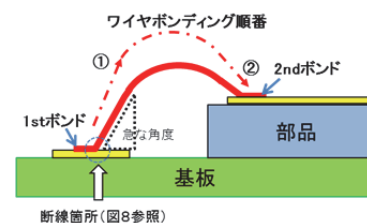


図11 事故品模式図

今回の断線解析結果を製造メーカーと共有し、良品ロットのワイヤボンディング順番を標準作業とするよう指導し、品質の安定化を図った。

RFモジュール等には、ワイヤボンディングが使用されているケースも多く、この経験を活かしワイヤボンディングの事前評価へ水平展開している。

4.3 半導体スイッチの静電破壊解析

ICの低電圧化にともなう回路の微細化によって静電耐圧も低下し静電破壊が増えている。SEMを活用し、静電破壊の解析ができた事例を図12に示す。

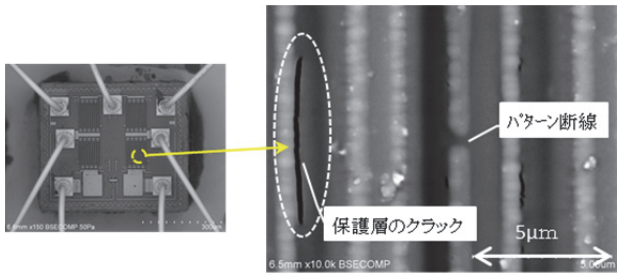


図 12 IC チップ断線箇所(SEM 像)

IC のパッケージを開封後、SEM 観察によりパターン断線、保護層のクラックを発見した。極微小な破壊状態から原因は静電破壊と判断した。静電破壊は IC のほか、高周波モジュールでも急増している。これら急増する高集積回路の静電破壊解析は社内設備だけでなく外部機関の使用・納入メーカへの検証依頼を併用して、評価体制を充実させている。

4.4 厚膜チップ抵抗器の硫化解析

厚膜チップ抵抗器の内部電極材には、銀が使用されているものが多い。わずかな硫化ガス雰囲気でも銀の硫化腐食で針状結晶が成長し、内部電極の銀がなくなり断線不良が起こりうる(図 13)。

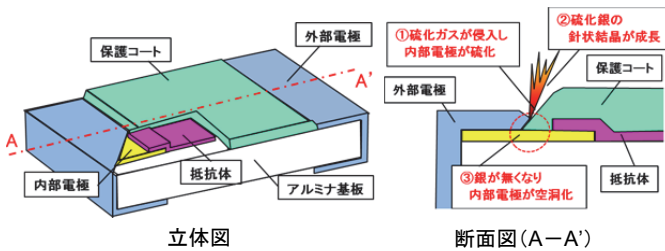


図 13 厚膜チップ抵抗器の断面状態

図 14 に、厚膜チップ抵抗器上に成長した針状結晶を示す。

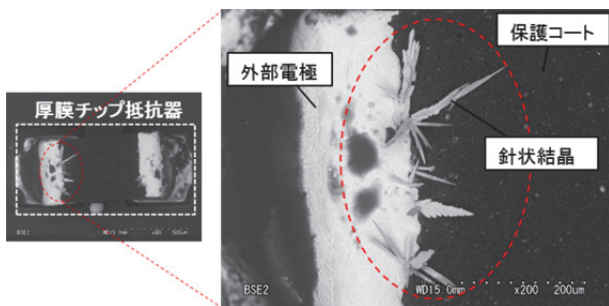


図 14 硫化銀の針状結晶(SEM 像)

EDX 分析(表 2)で、針状結晶から銀(Ag)と硫黄(S)の検出を確認し、硫化銀腐食が明確となった。

表 2 針状結晶 EDX 分析結果[mass%]

	C	O	Si	S	Ag	Sn	トータル
異物	16.5	13.2	3.6	9.3	51.7	5.7	100.0

4.5 各種チップ抵抗器の耐硫化加速試験

耐硫化加速試験は 3.3 項の試験装置で行い、あらかじめ求めた加速係数により耐用寿命を推測した。図 15 に各種チップ抵抗器の評価事例を示す。

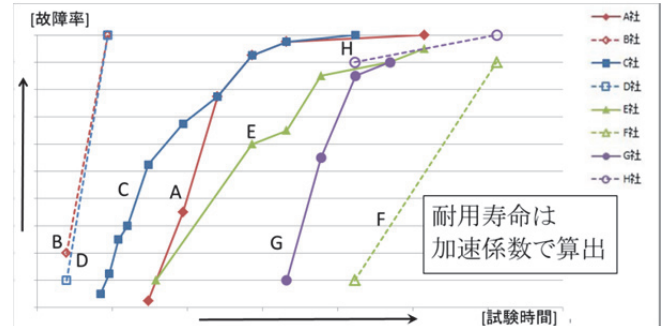


図 15 耐硫化加速試験結果

チップ抵抗器以外に標準部品等でも同様の評価を進め設計にフィードバックしている。

4.6 電源ユニットの腐食解析

機器には電源ユニットからの熱を放散する空冷ファンが使用されることが多く、機器外部からほこりやゴミが吸引され故障に至ることがある。図 16 は、電源のプリント基板が腐食し故障となった事例である。写真で見られるとおり、チョークコイルとプリント基板周辺に多量の綿ごみが見られ、この綿ごみを EDX 分析(表 3)した結果、塩素(Cl)成分が多く含まれていることが明らかとなった。

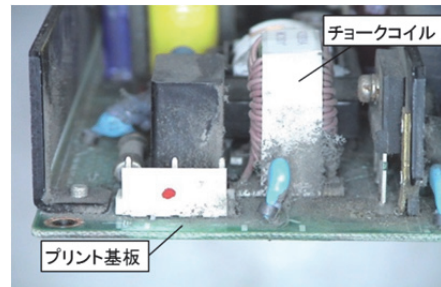


図 16 電源ユニット外観

表 3 綿ごみ EDX 分析結果[mass%]

	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
綿ごみ	12.0	2.3	4.9	11.4	8.0	15.6	4.6	29.0	12.2

腐食は綿ごみに含まれる塩素と空気中の湿度によって発生したものである。開発途上国ではゴミやほこりが多いことも想定される。設計段階で、防塵フィルターやプリント基板の防湿コーティング等による保護を行うのが効果的であり、部品納入メーカ選定時の構造検証項目としている。

4.7 ACアダプタのDCプラグ絶縁樹脂の安全性検証

絶縁用の樹脂に赤リンが含まれると、絶縁劣化の原因となり ACアダプタのDCプラグの外部電極と内部電極がショートする懸念がある。内部構造を図17に示す。

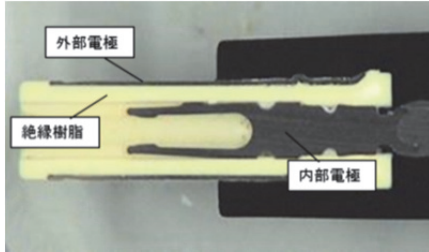


図17 DCプラグ内部構造

絶縁樹脂の赤リン含有をEDXで検証した結果、リン(P)を含有していないことが実証できた(表4)。

表4 DCプラグ絶縁樹脂 EDX分析結果[mass%]

	C	O	Si	Ca	Cu	Zn	Br	Sb	トータル
絶縁層	58.2	29.5	2.2	1.2	1.5	0.5	5.8	1.2	100.0

4.8 DC/DCコンバータの内部解析

プリント基板実装時のリフロー加熱により、内部構成部品の接続で使用しているBGA(Ball Grid Array)電極が部品の重みで潰れ、内部パターンがショートするリスクがある。

この解析には、産業用のX線CTスキャン装置を活用した。BGA電極の状態が分かる拡大図を図18に示す。不良発生リスクが高い構造を避け、構造上安定している部品を採用し事故の未然防止に活かしている。

DC/DCコンバータの採用時は、X線CTスキャン装置による内部検証を設計段階で必須としている。

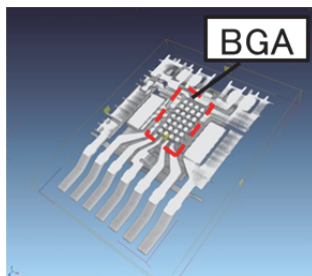


図18 X線CTスキャン拡大図

4.9 高密度実装用多極コネクタの接触不良解析

コネクタの接触機構の解析には、以下のような問題がある。

- ・外面から接触機構や接触不良状態を観察できない。
- ・コネクタのプラグとレセプタクルの嵌合を外すと、コンタクトはバネ性により初期状態へ戻ってしまい異常状態を観察できない。

そこで、X線CTスキャン装置を高密度多極コネクタの接触不良の原因究明へ活用した。図19、20にCTスキャン立体像および断層像を示す。

このコネクタは、スタッキング接続(上下に水平配置されたプリント基板同士を接続)構造である。接触不良の原因は、オス側コンタクト間にメス側コンタクトが入り込みショートしたことであった。

図19の左図は、コネクタのプラグ側とレセプタクル側を嵌合した状態のX線CTスキャン立体像で、右図にその拡大を示す。

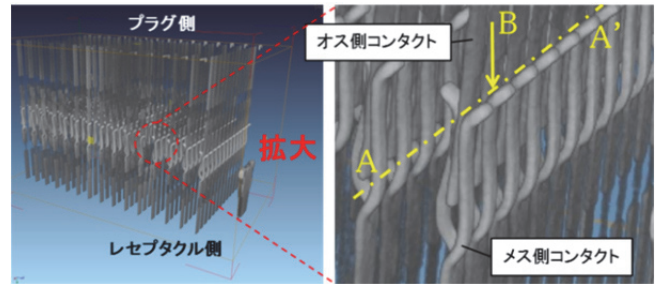


図19 コネクタ(嵌合状態)CTスキャン立体像

図20は、コンタクト接触部のCTスキャン断層像である。図19右図のA-AをB方向から観察した。その図解を図21に示す。オス側コンタクト間にメス側コンタクトが入り込んだ異常な嵌合を確認した。

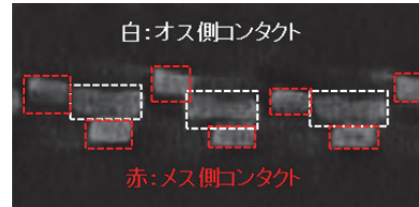


図20 接触部のCTスキャン断層像

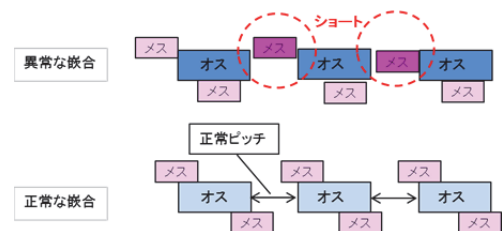


図21 接触不良発生状態

高密度実装用多極コネクタの接触不良を防止するには、実装時や固定時の変形応力を少なくする設計や取付時工法の確立が必要である。また、コンタクト間を絶縁した構造の多極コネクタを採用する方法もある。X線CTスキャン装置は、嵌合状態のまま内部検証が可能であり、異常な嵌合状態の検証に非常に効果的である。

5 むすび

小型化する部品類や材料, 構造, および製造プロセスが技術革新によって一変する現状において, 対応する解析や検証技術の向上も必須である。これらに対応するため, 部品の内部検証を詳細に把握し, 適正な信頼性試験方法を確立することが早急の課題である。

検証活動は, 社内 Web サービスで運用中の「材料・部品検証サービスガイド」に引き続き, 検証事例を情報共有化した「材料調査報告書検索システム」のデータベースを簡易検索できるよう機能の充実化を図り, 設計から営業まで幅広く活用できる体制整備を進める。

執筆者



秋元 清春
資材調達本部グローバル資材部
グローバルソーシングチーム



小山 慎司
資材調達本部グローバル資材部
グローバルソーシングチーム

公知