

楠本化成エタック事業部

先端機器を駆使して故障原因を解明 設計段階における信頼性向上に貢献

可視化技術で原因究明の手がかりをつかむ

高信頼性設計の技術を向上するうえで欠かせないのが、故障原因を究明することだ。そのために実際に故障が発生した機器は極めて貴重な材料である。しかも、そこからの原因究明は相当な困難を伴う場合が多い。楠本化成エタック事業部顧問の井原惇行氏は、発火事故例の解析手順をはじめ、X線やX線CT、SEM、EDX、FIBなど最先端の分析装置を使った故障の解析例を紹介。併せて信頼性技術にもとづく製品開発の方向性と課題について述べた。

楠本化成エタック事業部 顧問 井原 惇行氏



35年以上前に製造された扇風機の部品が経年劣化で発火。これが原因で発生した火災で犠牲者が出るという事故が先頃発生した。製品評価技術基盤機構(NITE)の「事故情報収集制度報告書」によれば、こうした家庭用電気製品に起因する事故は、長期的に見ると増加傾向にある。製品事故の中でも発火事故は、深刻な被害を家財や人に及ぼす。発火事故の原因としては、はんだ付け部、接続端子部、電源プラグ・コード、電子部品、の大きく4つが上げられる。講師を務めた井原氏は、これらの原因が発火事故に至る仕組みを、再現試験の映像を交えながら説明した。

長期間にわたって、はんだ付け部に応力が加わると、クラックが発生する。そのクラックのすき間で何度も放電が起きると発熱し、その熱で周囲のプリント基板が炭化。さらに放電が続くと発煙・発火に及ぶ。接続端子部では、接続用のネ

ジが長期間の使用で緩み、接触不良となり、その個所で発熱。その熱で基板が炭化して発煙・発火に至る(図1)。電源プラグでは、コンセントにプラグを長期間差し込んだまま使っていると、配線の絶縁部が炭化して導電部を形成。そこで放電を起こす、いわゆるトラッキング現象が原因で発火する可能性がある。コンデンサやトランス、電源のサージ保護用に使われるバリスタといった電子部品は、過電圧やサージ電圧が繰り返し加えられた場合、発火することがあるという。

事故原因の究明では手順が重要

製品事故が発生した場合、事故原因の究明はリコールなどの対策を判断する上で、極めて重要な作業だ。その解析は、事故品の履歴確認、光学顕微鏡による焼損状態の外観観察、電気的特性確認、製品内部の解析、



図1 ネジの緩みによって発火したアーク放電の例

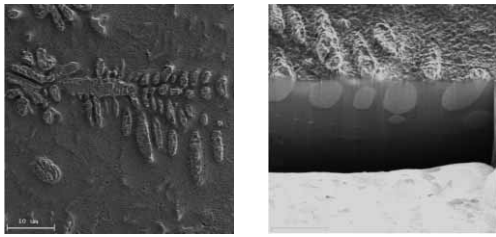
踏んで行われる。

「事故原因を究明するためには、様々な分析装置や加工装置が必要です。例えば、ビデオカメラによる動態観察、高速度カメラによる動態観察、赤外サーモグラフィによる温度計測、高温観察装置による試料作成・観察、X線透視装置による非破壊解析、X線CT装置による非破壊解析、SEM(走査型電子顕微鏡)/EDX(エネルギー分散型X線分析装置)による詳細解析、FIB(収束イオンビーム)装置などです(井原氏)。

例えば、高速度カメラを使った動態観察は、短絡による構成部品の破壊順序や部品・材料の破壊プロセス、短絡・発煙・発火に至るプロセスを観察するうえで有効である。赤外サーモグラフィを使えば、対象物に触れずに、機器内部の局所的な発熱などの異常の有無を正確にとらえることができる。今回の講演で井原氏は、電源に過電圧が加わった機器を高速カメラで観察した例、赤外サーモグラフィによるプラグ差し込み部の発熱とACアダプタ内部の温度分布の計測例、高温観察装置による溶融痕生成例をそれぞれ動画で紹介した。

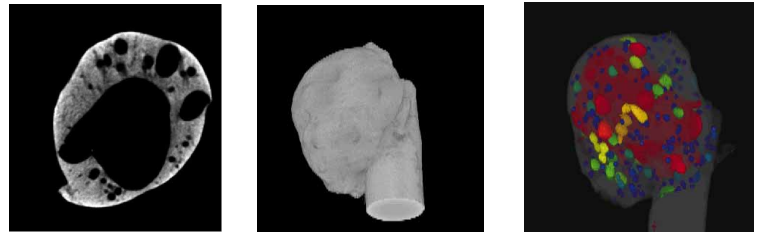
X線応用機器を駆使して解析

焼損した製品の解析では、対象物を分解する前にX線透視装置で全体を撮影する。この段階で短絡箇所や溶融痕が見つければ、その後の解析が進めやすくな



(a)表面のSIM画像 (b)断面のSIM画像

図3 FIB装置による dendrait の断面加工・観察



(a) X線CT画像 (b) 3次元画像 (c) ボイドを可視化した画像

図4 X線CTによる溶融痕内のボイド解析例

る。X線透視装置は最近、急速な技術進歩によって、高分解能での撮影が可能になっており、かなり深い部分まで解析ができるようになってきている。そして、X線透視で発火点と推測される個所や故障部品が見つかった場合には、さらにX線CT装置で断面像を撮影する。X線CTを使うと、任意の個所の断面を表示することができる。さらに画像処理によって、3次元CT画像を見ることもできる。井原氏はその具体例として、配線短絡個所のX線3次元画像、アルミ電解コンデンサのCT画像と3次元画像を紹介した。

さらに、低加速電圧SEMでは無蒸着状態での観察、低真空SEMでは燃焼物の解析、EDXによる元素分析では溶融金属の有無や異物の同定が可能だ。今回は積層セラミックコンデンサの内部で発生したクラックに起因する短絡個所のSEM画像とEDX分析例を示した(図2)。また、FIB装置による加工・観察では、表面に縞模様が浮かび上がる溶融痕の断面加工例を紹介した。

溶融痕の識別手法に言及

一般に、溶融痕は一次痕と二次痕に分類される。一次痕は火災の直接の原因となった短絡痕、二次痕は火災の熱で二次的に発生した短絡痕である。配線に残った複数の電氣的溶融痕の中から、直接発火の原因となった一次痕を特定できれ

ば、発火原因を解明する大きな手がかりとなる。その識別方法として、NITEが開発したDAS(dendrite arm spacing)法とCS(cell size)法がある。

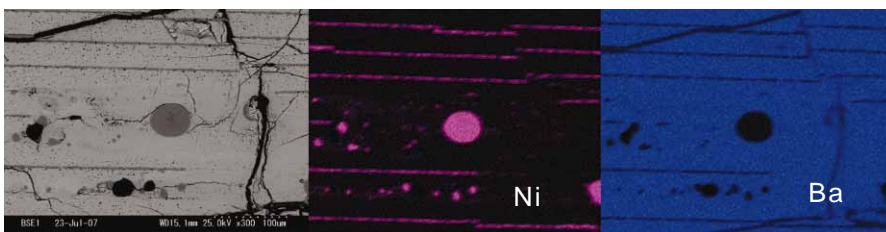
DAS法は短絡痕の断面に dendrait 組織が確認できた場合、 dendrait 組織の枝の間隔により、一次痕、二次痕を判定する。井原氏はFIB装置を用いた溶融痕の断面加工の観察例として、加工前の表面のSIM(scanning ion microscope)画像と加工後の断面のSIM画像を紹介した(図3)。一方、CS法は dendrait が確認できなかった場合に用いられる手法で、結晶粒の大きさを判定する。

一次痕と二次痕を識別するもう一つの手法として、短絡痕内に生じるボイドを観察する方法を東京消防庁が提案している。これは火災現場から採取した短絡痕の観察から明らかになった、一次痕は細かいボイドが全体に広がっており、二次痕は中央部に大きなボイドができやすい、という分析にもとづいている。「これまでのボイド観察手法は樹脂埋めした後に、断面研磨して中心部を観察するものでした。それに対して、現在、X線CT装置を用いた解析法の研究を進めています。これは溶融痕内のボイドをすべて抽出できるため、解析精度の向上が図れるほか、3次元画像でボイドの分布を可視化できます(井原氏)(図4)。

課題は耐用寿命の明確化

発火事故を契機に、いま大きな問題になっているのが製品の耐用寿命だ。電気製品の構成部品は必ず劣化するものである。その劣化寿命をストレス・強度モデルや累積損傷モデル、反応論モデルや故障率モデルなど故障物理のモデルで推定する必要がある。「扇風機やテレビ、冷蔵庫など長期で使用する製品は十分に注意すべきです。これからはライフエンド設計法の確立が重要になります。ライフエンド設計では耐用寿命の明確化と消費者教育、寿命とともに製品が使えなくなるといった自動停止、タイマーの装着などの対策が求められます(井原氏)。

そのうえで今後の課題として、長期使用製品の残存寿命調査やライフエンド設計法の研究を中心とした製品耐用寿命の研究、海外調達品や新技術・新工法など実績の少ない製品の安全性確認、一次痕、二次痕識別精度の向上や再現試験方法の研究など事故原因究明技術の開発、の3つを挙げた。「すでにライフエンド設計法の研究に着手した大手家電メーカーもあります。部品は必ず劣化し、製品事故の原因になりうるという観点から、どのように信頼性を確保するかを考えていかなければなりません」と井原氏は強調して、講演を終えた。



(a) SEM像 (b) EDX分析。クラックの近くにNi原子やBa原子が存在している。

図2 SEM/EDXによる短絡個所の解析例

お問い合わせ先

「よいもの作り」に貢献する

ETAC®

楠本化成株式会社 エタック事業部

〒101-0047

東京都千代田区内神田1-11-13 楠本第1ビル

TEL.03(3295)8681(代) FAX.03(3233)0217

<http://www.etac.kusumoto.co.jp/>