

通信事業者は通信機器がフィールドにおいて常に正常に作動するものと確信しています。そのハードウェアへの信頼は様々な要因の度重なる経験によります。信頼出来る設備の性能は、設備のライフサイクルと製造の段階における耐食性と静電気放電破壊防止の材料使用が重要な要因となります。世界各地での保管・輸送における設備の保護は輸送・保管時の環境設定が重要となります。しかしながら実際に我々が受け入れている設備のなかには、空調条件の無い倉庫やあまり理想的ではない場所に保管されることがあり、そのために設備が腐食している場合があります。そこで我々はスタティック・インターセプト・パッケージプラットフォームの使用でこの問題を解決するための戦略を開発しました。この技術は7年以上、ただ一つの梱包資材で腐食、湿気および静電気放電破壊から設備を保護します。設備の輸送・保管問題に関してスタティック・インターセプトの技術的な長所を紹介します。（スタティック・インターセプトは現在提供されるどの梱包資材よりも腐食防止、静電気破壊対策において最も長期の保護を実現します。）

■スタティック・インターセプト・テクノロジーとは？

ここに紹介する材料は**静電気破壊防止と腐食防止の両方を実現し他の有効的な材料を遥かに凌ぐ特性を持ちます**。電気特性側面での表面抵抗値は湿度に左右されず10の5乗から10の10乗まで設定可能であり、非常に安定します。（NEBS\* GR-1421-CORE ESD指令4.8.1.5.172.準規）また、揮発性添加物を含まないので保護対象物を汚染しません。腐食防止側面では、透過する腐食性ガスに反応して中和する反応性化合物を含むポリエチレン、ポリプロピレン、スチレンなどの重合体マトリクスから成り、袋の中に残留する腐食性ガスもこの反応性化合物が吸着して中和し、云わば袋内の環境を浄化します。この反応性化合物はお互いの相乗効果により永久的な静電気放電を促します。**この材料は腐食性ガスに対し反応する化合物なので反応性ポリマーと呼ばれます。従来の高分子加工技術との違いにより反応性ポリマーが完成しました。**

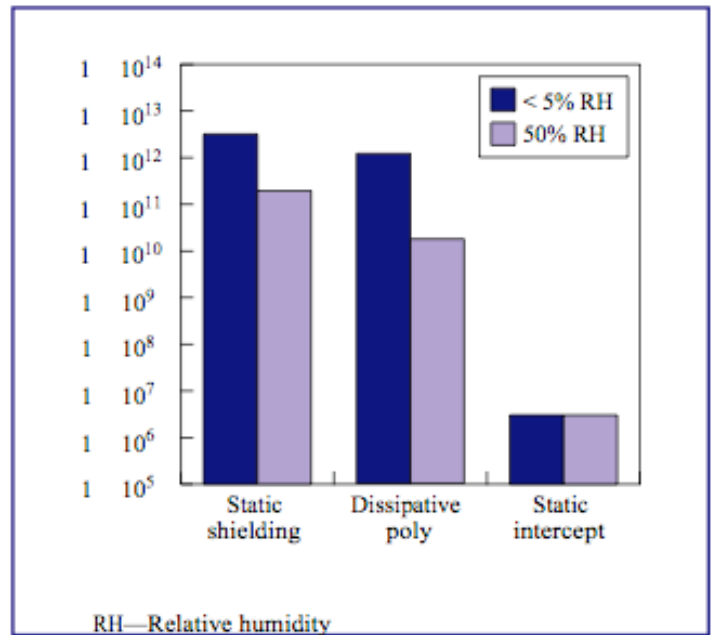
ルーセントテクノロジーベル研究所、E.I.デュポン ヌムールESD Group、ウィルミントン（デラウェア）、バクスターヘルスケア インダストリアル事業部ESD Group（ヴァレンシア、カリフォルニア）はこの優れた技術を確認するために以下の実験と測定を行いました。

■静電気放電(ESD)の考察

ESDはエレクトロニクスの製造において品質と信頼性に圧倒的な影響を及ぼします。ESDは不適切な材料の使用や腐食によるエレクトロリカル・オーバー・ストレス(EOS)に起因される場合があります。その結果、ESDはエレクトロニクス産業では重要な問題です。電子装置はその感度をESDが最小になるように設計された回路を組みますが、通常、輸送・保管期間については十分考慮されたものではありません。従って、これら敏感なコンポーネント、アッセンブリーは、製造・保管・輸送時に静電気散逸性の材料に接触させます。装置サイズが小さく薄くなるに従って、材料の表面は導電による腐食に影響されやすくなります。ハードウェアの表面メッキは導電性の低下やEOSによるハードウェアのESD保護能力を減少させることとなり、ESD破壊を増加させます。ESDの散逸性は材料の表面抵抗値により決まります。Electrostatic Discharge Association の設定した業界基準は表面抵抗値が10e5から10e10Ω/Sq の材料を指定します。この範囲の材料は数多く存在しますが、一般的に使用された材料で数多くの損害を被ることも報告されています。一般的にESDの散逸性材料の製造はプラスチック表面の有機化合物を飽和状態にする事です。これらの有機化合物は吸湿性です。この有機化合物が湿気を吸着するとその表面はESD範囲内で導電します。例えば商品名で「ピンクポリ」「ブルーポリ」などは着色剤を有機剤を添加しポリエチレン表面にコーティングさ

れたり、「帯電防止、散逸性ポリ」などは着色剤を含まずコーティングされたものがあります。これらの静電気保護バッグはバッグの内側の層にこの有機剤がブレンドされたレイヤーを使用します。ただし、ESDコントロールにおいてこの方法では以下の通り主に3つの欠点が挙げられます。

1. 有機化合物は酸化性のため、高温下に数ヶ月、低温下に数年でコーティングの多くは酸化し、絶縁体となります。[下図参照]ただし、帯電防止効果が無くなっても目視では確認出来ません。
2. 有機化合物は吸湿して導電性を得るため低湿度では機能しません。相対湿度30%以下の乾燥地、ドライパッケージでは絶縁体になってしまいます。（Figure 1. 参照）
3. 有機化合物は光学機器のレンズやファイバーの接合面に堆積し、性能を低下させます。



■環境汚染

通信業界や電子業界の製造拠点、サプライチェーン、顧客開発の設備における**ライフサイクルのグローバル化により、製品・設備はますます保管・輸送時で腐食を誘発する環境汚染に晒されます**。同時にこれらの製品・設備は整備された電話局の環境からより顧客に近い遠隔地へ移送されます。このような遠隔地では中央電話局の環境に比べ実質的に環境ストレスで負荷が掛かります。並行して腐食防止剤からは六価クロム、プリント基板や最終製品のハンダから鉛が使えなくなりました。スタティック・インターセプトは銅の金属酸化膜半導体と腐食性ガスを中和する特許取得した添加物（特殊銅粒

子) から成ります。永久的な帯電防止に加え北米においては76ミクロン厚のバッグで20年以上の腐食性ガスの中和能力があります。(環境により短期になる) この材料はアウトガスもありません。(光学機器で必要) イオンフリーです。(通信事業での高信頼性電子工学製品に必要) また、スタティック・インターセプトは硫化水素、硫化カルボニル、塩化水素などによる腐食から製品設備を保護します。これはメッキを施す前後の電子部品(キャビネット、ハウジング、アセンブリ、輸出時)に非常に重要です。スタティック・インターセプトのバッグは他の資材を必要とせずに製品設備の劣化を防ぎます。

導体表面を被うことで起こる腐食は製品の信頼性にも重大な問題です。腐食劣化速度は遅いが、腐食は累積されます。保管・輸送時の部品は特に影響を受けます。銅と銀は硫化水素、硫化カルボニル、亜硫酸ガス、塩化水素に最も影響を受ける素材です。これらは微量に広範囲に存在します。硫化水素を例に見ると、北米では0.1ppbから10ppbの範囲で硫化水素は大気中存在しますが、化石燃料消費量が高く環境規制の厳しくないアジア地域では30ppbから200ppbと劇的に濃度が高くなります。銅、銀およびその合金の硫化水素による腐食検査では、金属表面に出来る腐食生成皮膜の形成は4ppm時から最大1000ppmまで比例して増大しました。1ppbの硫化水素に1年間暴露すると銅には50nmの酸化皮膜が形成されます。腐食性ガス濃度の高いアジアでは深刻な問題です。

電子部品を腐食から保護する方法の一つが、気化性防錆剤を浸透させた防錆紙に包み、密閉されるかまたは、プラスチック材料に塗装またはコンパウンドされ、成形された密閉される方法があります。これらのVCI(気化性防錆剤)はそれぞれの材料から気化して製品の表面で凝固し皮膜を作ります。VCIは非常に薄い汚染皮膜を製品表面に形成することになります。(それは水分と腐食性ガスを製品表面から分離させます) この方法は有機材料の有効期間(約30日)であり、気化は直ちに始まり、形成された皮膜は製品表面に絶縁皮膜として残留しハンダ濡れ性を低下させたり、長期間の残留で水分と反応して新たな腐食性ガスを濃縮させます。結局VCIを使用しない方が金属表面を傷めることがないという結果になります。また、有機化合物は光学機器の透過率に悪影響を与え光学部品には使用できません。

### ■ESD テスト

我々はいかに非コンタミ、永久帯電防止、非コンタミ且つ腐食防止を実現しました。研究の結果としてスタティック・インターセプト(反応性高分子ポリマー)を開発しました。スタティック・インターセプトは乾式保護方法のフォイルバッグに置き換わると立証され指定されました。また、これまでESD対策材料(シールドバッグ、ピンクポリなど)や気化性防錆剤よりも優れます。

スタティック・インターセプトの表面抵抗値測定は相対湿度、50%、12.5%、5%で行われました。結果は、50%から12.5%のRHではどんな変化も測定されませんでした。5%の環境下では0.3%の表面抵抗値が減少しました。この現象はフィルム表面の水分子が気化する際の抵抗率と判断しました。表面抵抗値の減少は、重合体マトリクスが電気導電率を水分に由らない事が証明され、重合体マトリクス固有の導電率の結果と考えられます。

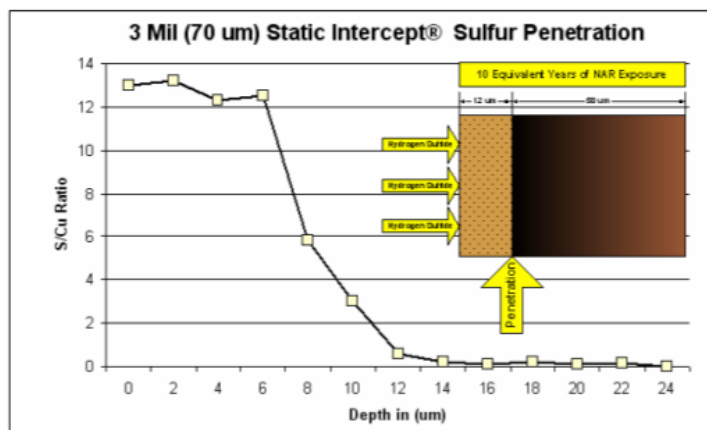
スタティック・インターセプトのサンプルは連邦政府のテスト法101と8211,4046に準じて軍用規格B81705C(温度テスト: 70°C/12日間と水洗浄/24時間)評価試験を行い、サンプルのいずれからも影響を受けませんでした。

スタティック・インターセプトの減衰時間は軍用規格B81705Cに準じ、ETS 406C測定器によってテストされました。通常、減衰時間は湿度と関連するので、全てのサンプルは相対湿度5%でテ

ストされ最も過酷な環境での結果が得られるでしょう。すべてのサンプルは20KVの電圧を0.01秒で減衰しました。(減衰時間は短い方が有効です) テストの最長許容減衰時間は2秒ですが、ピンクポリ(導電率ポリエチレン)は5%RHでは2秒を大幅に超過しました。

### ■腐食 テスト

硫黄、塩素を含む汚染ガスである硫化水素、硫化カルボニル及び、塩化水素は、安定した非揮発性化合物に腐食性ガスを変換する電子対を共有して接合されたゲッター(銅粒子)との反応で中和される。反応性ポリマーの腐食ガス中和の有効性は、硫化水素が充満したチャンパー内に銅板をいれたインターセプト袋を置き、中和性を測定しました。チャンパー内暴露試験後に走査型電子顕微鏡とエネルギー分散方式エックス線分析を行い、フィルムを透過した硫黄の拡散レートを測定しました。結果は下図の通り、70ミクロンのフィルムは17%しか透過しておらず、北米の環境下に置き換えると実に10年間で12ミクロンしか透過しない事が示されました。これにより添加物のない通常のポリエチレンに比べ、スタティック・インターセプトは1000倍の硫化水素の非透過能力を立証しました。



別のテストでは、ASTM(米国材料試験協会)の水分重量減衰測定に使用する様な「クラムシェル」(プリスターパック)によって行われました。(プリスターパックにフィルムを挟み、片室に100%の塩素ガスを充満させ、もう片室に10ppbの塩素に反応する塩素探知機を置き、フィルムを透過した塩素を測定する) 通常のポリエチレンでは50ppbを測定するのに16から18分掛かりましたが、スタティック・インターセプトでは173から473時間掛かりました。下図は50ミクロンのフィルムを1ppmの塩素が透過するのに要する時間を示します。データは北米環境下に合わせて塩化水素1ppmでは35年間の腐食防止効果があると結論しました。また、北米以外の環境下ではその1/3~5になるとされました。このテストの結果、スタティック・インターセプトの自然反応とこれまでの梱包材を上回る保護性が立証されました。

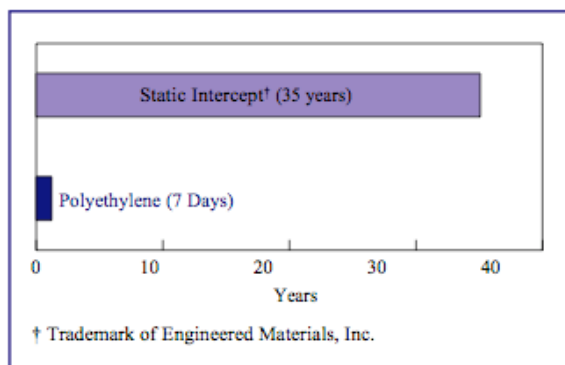
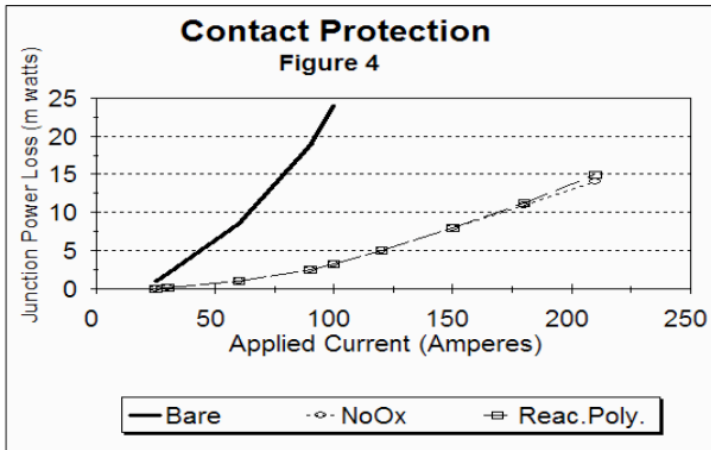


Figure 3. DuPont chlorine test.

## ■銅の接触抵抗

1988年、48本の銅ブスパー（3x20x75mm）が準備され酸洗浄されました。そのうち12本のブスパーは電動パワァーでバフがけされ、No-Ox7（抗酸化グリス）でコーティングされました。それぞれのブスパー全ては電氣的接触する様に2本づつボルトで接合されました。6本の接合されたブスパーは75ミクロンのスタティク・インターセプト袋に入れられ、約4ppmの硫化水素に4週間さらされました。この環境は北米で10年間、北米外で2-3年に暴露されたと同等の環境です。この腐食性ガス暴露試験につづき、接合抵抗がテストされました。テストには試験機 # 398Rで直流電流200アンペアの電流を、接合点電圧低下の測定にはFluke #8840 デジタルマルチメーターを使用。接合点抵抗はR<sub>E\_I</sub>により、漏電はW<sub>I</sub>Eにより計算されました。結果は下図に見られる通り、保護しないブスパーでは抵抗値が上がり、対照的にスタティク・インターセプトに入れたブスパーだけが検査前のバフがけしたもの、NoOxでコーティングしたものと同様の結果とまりました。



## ■銅のハンダ濡れ性

銅は電気通信装置に非常に多く使われる金属です。銅とその合金ははそのコスト対効果において全ての導電体として最も望ましい金属です。しかしこれらの金属は大気中での腐食に非常に影響され易い金属でもあります。多くのエンジニアリングソリューション（防錆剤など）は銅とその合金を大気中での腐食防止に用いられます。しかし銅は機材における相当の割合で暴露された状態にあります。これらの金属表面は輸送、保管期間に酸化皮膜を形成します。我々はマーベリック・テクノロジー研究所において、酸化皮膜の形成を抑えるスタティク・インターセプトがハンダ濡れ性に影響を及ぼすかを標準的な評価試験を実行しました。テストは前章の1988年の実験から使用されインターセプト袋に保管されていたサンプルを使用し、2005年に行なわれました。これらのサンプルは実際に17年間北米の室内環境で保管されたものを使用しています。

## ■17年間保管の銅のテスト

スタティク・インターセプトに保管されていたサンプルナンバー1から7までは同様の酸化レベルを示しました。それは有鉛ハンダの極僅かなハンダ濡れ性偏差と同様です。サンプルでは以下のコンディションの違いに関わらず酸化レベルはほぼ同等でした。サンプル1から4は、3mil(75μ)のスタティク・インターセプト袋にヒートシールされ、サンプル5は数カ所フィルムに破損があり、サンプル6と7は、2001年から4年間開かれました。サンプル8は1988年に標準的なポリマー袋に入れられたプレートです。このサンプル表面には重度の酸化が確認されました。サンプル6は表面の極細な酸化も取除く為に軽い酸（酢）でエッチングされ、残りのサンプルのハンダ濡れ性適正レベルの比較用とされました。このテストの目的は、様々な異なる包装に基づいて各々のハンダ濡れ性適正

を比較するものでした。そのなかでスタティク・インターセプトは主要な包装として使用されました。

ハンダディップ槽条件と目視試験方法はThe IPC/EIA/JEDEC J-STD-002B テストに照らし合わせ、以下の条件で実施されました。

- ・フラックスタイプ：ROL 1 Type
- ・ハンダタイプ：Sn60/Pb40
- ・フラックス時間：7秒
- ・フラックス乾燥時間：20秒
- ・ハンダ浸漬時間：5秒

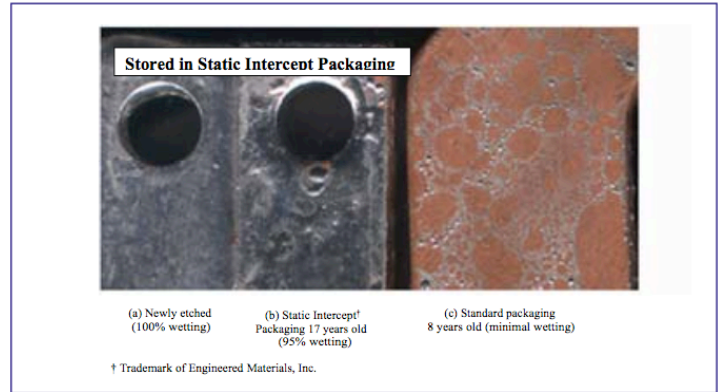


Figure 5. Copper bars following the solder dip tests.

## ■結果

本テストのブスパーの梱包はバラエティに富み、以下の結論が導かれました。

- ・サンプル6(酸で洗浄された)は100%ハンダが付着しました。
- ・サンプル1, 2, 3, 4, 5, 7はスタティク・インターセプトにて保管されたもので、95%ハンダが付着しました。
- ・サンプル8は標準的ポリマー袋で保管されたのもで、全くハンダが付着しませんでした。

17年間スタティク・インターセプトに保管されていたブスパーはハンダ付け適正テストにパスしました。そして、上図に示す様に表面のごくわずかな適正減衰だけが示されました。これは酸化皮膜の無いハンダ適正レベルを100%としたときに5~10%減衰に留まります。また、この減衰レベルはIPCの必要条件の範囲内です。封印されない通常のポリマー袋に保管されていたサンプル8はハンダ濡れ性が0%であり、軽い酸での拭き取り後においてもハンダ適正レベルをクリア出来ませんでした。

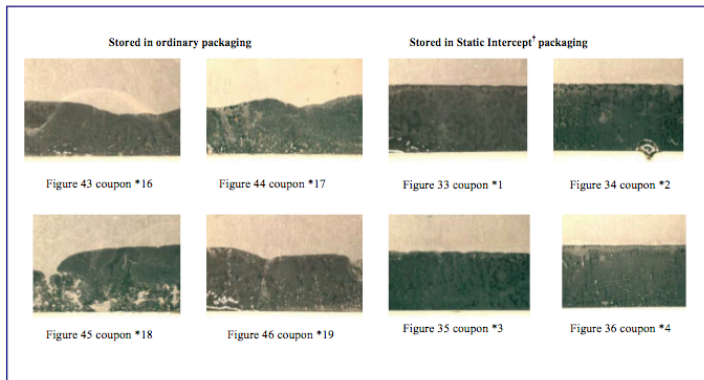
スタティク・インターセプトで保管したサンプルは時間の経過とともに銅の腐食防止レベルが高くなりました。結露が生じたものも含んでいます。スタティク・インターセプトは残量鶏ガスを優先的に中和し、腐食性ガスの無効化を実行します。この機能は袋が多少裂けていても腐食性ガス濃度を下げ、中和します。これは導電性ポリマー袋で保管されたものと同様のハンダ適正を維持します。

## ■銀

エレクトロニクス製造での無鉛材料への移行は腐食保護がさらに必要となります。無鉛材料では表面のコンタミ同様、腐食（変色）にも問題が出ます。今日で主要な基板は無電解銀メッキが使用されています。無電解銀メッキはホットエア・ラベラー処理の様に基板回路の表面の平面性を維持し、小さなビア穴を塞がず、ギャップを埋めます。電子機器がより高密度、高性能になり、導電間隔より狭くなります。この減少はスペースと特性はHASL仕上げをより厳しくします。プリント基板の仕上げにおけるHASLは輸送や保管においてImAgを凌ぎますが、ImAgの有用性と効果は無鉛傾向により重要な利点をもたらしました。スタティク・インターセ

プトはこのHASLよりImAgの方が取扱での懸念を除く様に設計されました。

スタティック・インターセプトの効果を評価する為にImAgメッキ、ImAgのハンダ適正レベルテストがACL (American Competitiveness Institute、独立系研究所) で行なわれました。比較用サンプルは袋に密閉されるまで窒素キャビネットに置かれました。サンプルは標準的は102 $\mu$ 導電性ポリマー袋と76 $\mu$ スタティック・インターセプト袋を使用し、密閉した後にASTM (アメリカ材料試験協会) 基準の塩水噴霧槽に7日間放置されました。その後、IPC/EIA/JEDEC J-STD-002B基準によりハンダ適性テストAを実施しました。結果は図6に示されます。黒い部分がハンダになります、その面の粗さが大きい程腐食が進行している事を示します。標準的な導電性ポリマー袋ではハンダ適性テストの範囲外となりました。一方、スタティック・インターセプトは最大限のハンダ適正を保持する事が出来ました。



† Trademark of Engineered Materials, Inc. ASTM—  
American Society of Testing and Materials

Figure 6.  
Immersion silver plated copper surfaces following ASTM B117 standard salt fog testing.

## ■応用

反応性ポリマー (スタティック・インターセプト) の特性は多種多様なアプリケーションにとって魅力的です。産業レベルでの静電気破壊防止、商業、消費レベルでの腐食防止などあらゆるカテゴリーで有用性があります。会社が輸出時、保管時にスタティック・インターセプトを使用する事でコスト削減、より良い腐食防止に貢献します。電子部品産業における静電気破壊防止では、袋、フィルム、ストレッチフィルム、クッション材、パレットラップなどに応用出来ます。これらの材料は元来の静電気破壊防止に腐食防止効果を加える事により商品の包装パフォーマンスを強化します。また、世界的な製造と配置 (物流) において環境劣化の影響を最小にします。

銀と銅の腐食は多くの産業にとって必要不可欠です。電子部品において銅と銀に基づくコネクタとプリント基板は腐食し易く、特に表面に露出するすべての銀が腐食します。腐食の減少はコネクタ関連の回路故障の数を減少させ、ハンダ付け適正レベルを強化します。綺麗な度に依存している産業は電力産業 (非常に多くの銅を使用します) であり、メッキ産業では出荷までの部品保護が必要とされます。より幅広いアプリケーションで使用されております。例えば、銀・銅の宝石。家庭の銀食器、楽器、博物館のコレクションなど。

## ■費用対効果でメリットあるソリューションとして

現在、機材またはその構成要素 (部品など) の長期保管と腐食性ガスの必要条件を定める業界基準がありません。保管状況は初期に設定された期間より100倍悪くあります。そしていざ使用の段になり腐食の為廃棄する事もあります。これらの問題は保管・輸送期間での腐食により影響される可能性のある機材・部品の導入で

製品の劣化を促進する可能性があります。費用対効果でメリットある解決策は構成要素/製品レベルで保護をすることです。これは各々の部品/製品をスタティック・インターセプトにて保管する事で達成されます。パッケージは根本的にサプライチェーンを通じて構成要素/製品にあった制御された環境をつくります。そして製造と保管期間のギャップを埋めます。

スタティック・インターセプトと通常の導電性ポリマー袋を比較したとき、通常の導電性袋がどこにでも使用される今日ではそれをスタティック・インターセプトに交換することに抵抗は無いでしょう。スタティック・インターセプトは静電気破壊防止に加え、腐食防止効果があり、保管期間でも製品の信頼性と製品寿命の減少を防ぎます。例えば、回路基板の梱包ミスを犯し、返品される事になった場合、返品輸送も工程の一部となります。返品された基板は修理、分析を経て再配達されます。これに顧客の為に輸送、修理コストと不満を含みません。スタティック・インターセプトはこの様な事態を起こることを防ぐことができます。

## ■結論

我々はスタティック・インターセプトを使用する梱包によって製品の保管期間と輸送の間、大気の腐食性ガスに対処する能力を高めました。スタティック・インターセプトは費用対効果でメリットがあり、非常に有用性が高い製品です。また、大気の腐食防止と静電気破壊、防止を同時に実現出来る独特の劣化防止システムを兼ね備えた梱包材です。この材料は、製造、保管、輸送と分類される一般的な環境要因の為に製品を廃棄と潜在的な欠陥から保護します。我々は、この梱包戦略が信頼性を改善し、製品保管寿命を延ばし、製品故障を減らす事によって製品とサービスの供給者にトータルコストを削減する事を証明しました。

## ■著者紹介:

John P. Franey



1970年ルーセント・テクノロジーベル研究所入所、現在アルカテル・ルーセントテクノロジー社信頼性物理グループ、テクニカルスタッフ。主に人類と大気的环境下における材料の劣化分析の相互作用を研究してます。Stevens Technical Institute でエレクトロニクス学位取得、Edison State

Universityで化学、材料科学学位取得。ニューヨーク、自由の女神の腐食コンサルタントとして修復に参加。ワシントンDC国務省ビルの腐食コンサルタント。腐食、静電気破壊防止について36の米国/国際特許取得。同カテゴリーでは100以上の著書。現在、腐食/静電気破壊の問題で将来的に問題を解決する道筋をつけるとともに、ルーセント社製品の故障の根本原因を解決する責任者として従事しております。

Dawn - Marie Sutton



1985年AT&Tベル研究所に入所後、アルカテル・ルーセントテクノロジー社信頼性技術部テクニカルスタッフ。サットンさんは根本原因分析調整、ルーセント社のインターセプトテクノロジーの使用の実行における分析などの様々は責任を持つ信頼性エンジニアです。Purdue university 産業工学理学修士取得、マサチューセッツLouwell University 経営学修士、電気工学学士取得。