

コネクタの特性評価

1810 Oakland Road, B, San Jose Ca 95131
info@rtec-instruments.com

はじめに

コネクタとは、電子システムの2つの要素を分離可能な形で接続する部品であり、理想としては信号の歪みや電力損失がないことが求められます。コネクタの重要な機能は、切り離すことのできる接続と、信号や電力の損失がない、または最小限であることの2つです。これらの重要な機能の理解と開発は、用途、環境、設計に大きく依存します。コネクタアセンブリには通常、接触インターフェース、接点表面仕上げ、接触ばね、およびハウジングが含まれます。IoT、家電、コンピューター、通信機器などの電子機器が個人生活やビジネスの場で重要になるにつれ、コネクタの信頼性は新たな重要性を帯びています。

コネクタの抜き差しが繰り返されると、電氣的接触面が摩耗したり、機械的な損傷を受けたりして、環境劣化や故障が発生しやすくなります。コネクタの劣化は、腐食、摩耗、接触力の低下など、いくつかのメカニズムが重なって起こります。腐食や摩耗は接触面や材料の特性に関係し、接触力の低下はばね材料の選択と設計に関係します。

コネクタの故障により、毎年数十億ドルの無駄が発生しています。コネクタの品質を向上させ、コネクタの故障を防ぐための新しい材料やコーティングを開発するために、多くの研究が行われています。銅や銅合金など、広く使われている素材は、腐食や酸化が起こりやすいのです。コネクタの品質は、特殊な素材を使用することで飛躍的に向上しますが、高価なコネクタがそのコストに見合うだけの販売実績を常に挙げられるとは限りません。

腐食や酸化を防ぐために、コネクタには通常、錫、銀、金、パラジウム、ニッケルなど

のめっきコーティングが施されています。コーティングには高い耐摩耗性と高い導電性が求められます。

このアプリケーションノートの目的は、コネクタの現物を調べる実験室試験の実例を示し、コネクタに関わる様々な部品や材料などの開発や試験を支援することです。

使用器具

コネクタや表面などの特性を効果的に評価するために、テスターは接触力（数 mN～数 N）を正確に監視・制御できるものでなければなりません。また、摩擦係数、摩耗（nm レベルの分解能）、電気接触抵抗（マイクロオーム）のその場測定を高いデータ収集レート（5000 Hz）で行うための精密なセンサーを備えていなければなりません。実際のシナリオをシミュレートするために、テスターはすべての軸の動き（振動、直線、回転軸方向および/または横方向）を小さくかつ正確に変位させることができるものとします。接点は、4線式抵抗または2線式測定システム用に配線されているものとします。また、テスターは様々な接触構造を取り付けて調べられるものが重要です。

本研究では、Rtec instruments 社が開発・製造した MFT-5000 型を使用しました。同機は上記の基準を満たすだけでなく、試験中の表面の変化（粗さ、摩耗、パイルアップなど）を観測するために、インラインの 3D 光学式プロフィロメーター（サブナノメートル分解能）を装備しています。上記のすべての試験セットアップを、コントローラーの環境条件（温度と湿度）で実行できます。高い再現性を可能にし、オペレーターのミスを減らすために、テスト全体がコンピューター制御されています。

実験・フレッティングテスト

フレッティングは、電気コネクタの寿命を左右する大きな問題とされています。フレッティング摩耗は、2つの接触面が小振幅の振動変位を起こすことにより生じるもので、結果として表面の摩耗や疲労寿命の悪化を招きます。一般的に、フレッティング時の摩耗や表面損傷の程度は、摺動距離の大きさからは想像できないほど大きくなる可能性があります。ダウンフォース、発振周波数、およびストローク距離を用途に応じて選択することをお勧めします。

試験セットアップの一例として、10 Nの定荷重を10ミクロンのストロークで15分間、周波数10 Hzにて加えた例を示す。

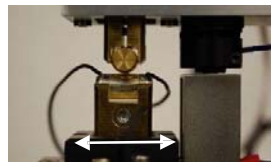


図1 フレッティングテストのセットアップ

テスト中、その場でダウンフォース、電気接触抵抗、摩擦、摩擦係数、摩耗、湿度、温度を測定し、記録します。500サイクルごとに接触面の自動表面分析が行われました。上の図1は試験セットアップの様子です。

さまざまな形状のコネクタを、さまざまな治具を使ってテスターに取り付けることができます。このアプリケーションノートでテストした、コネクタをいくつか図2に示します。



図2 さまざまなコネクタの形状

図3は、テスト中のダウンフォースを一定に制御している様子です。このテストでは、ランダムな力や不正確な力は結果に大きな誤差をもたらすため、正確な力のコントロールが非常に重要です。記録されたデータでは、テスト全体で標準偏差が0.0081

未満となっています。

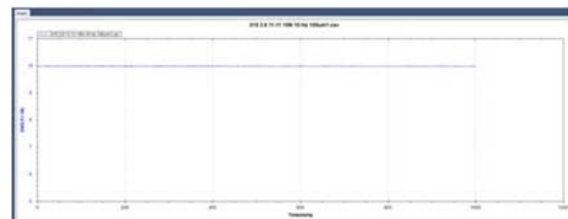


図3 テスト時の荷重をリアルタイム制御

表1 統計データ

チャンネル	ダウンフォース (N)
平均	9.9995
標準偏差	0.0081

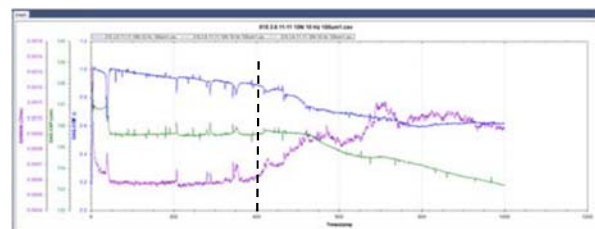


図4 電気特性、摩擦、摩耗対時間

図4では、摩擦係数、電気特性、摩耗を同じ画面に表示し、分析・比較しやすくしています。摩擦係数がテスト中に下がり続けているのがよくわかります。400秒後には抵抗値が上昇し始め、摩耗率や摩擦係数が変化していきます。速度の変化はコーティングの損傷や異変に起因する表面の変化を示している可能性があります。データのスパイクは、界面のデブリに起因すると考えられます。

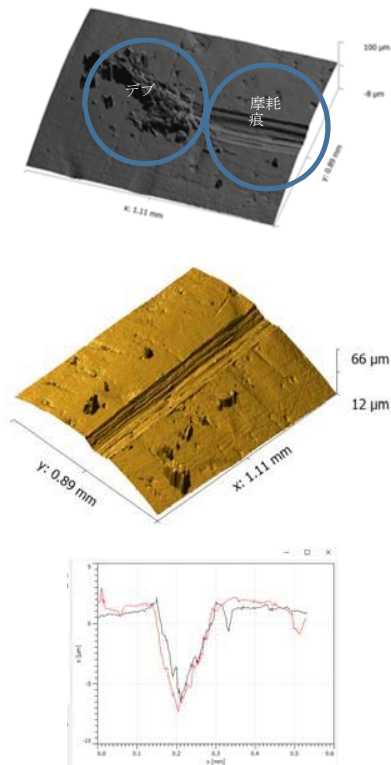
インラインイメージング

このテスターには、カラーカメラを備えたインライン3D白色光共焦点プロフィロメーターが付属しています。サンプルがプロフィロメーターの下を（オペレーターの干渉を受けずに）自動的に移動し、パイルアップ、摩耗量、粗さなどをサブナノメートルの分解能で計算するための表面画像を取得できます。この画像が破損のメカニズムを解明し理解するための助けとなります。例えば、図5はデブリの形成を示していますが、これは接触領域に入り込み、摩耗のダ



メッセージを増大させる可能性があります。

実際の色がわかるカラー画像は、コーティング材を見分けるのに役立ちます（銅に施された錫めっきなど）。



R_a	Roughness average	0.16 μm
R_q	Root mean square roughness	0.25 μm
R_t	Maximum height of the roughness	2.17 μm
R_v	Maximum roughness valley depth	0.92 μm
R_p	Maximum roughness peak height	1.25 μm
R_{pm}	Average maximum height of the roughness	0.89 μm
R_{vm}	Average maximum roughness valley depth	0.45 μm
R_{pm}	Average maximum roughness peak height	0.44 μm
R_{3z}	Average third highest peak to third lowest va...	1.20 μm
$R_{3z\text{ISO}}$	Average third highest peak to third lowest va...	0.31 μm
R_z	Average maximum height of the profile	1.37 μm
$R_{z\text{ISO}}$	Average maximum height of the roughness	0.89 μm
R_{sk}	Skewness	0.423
R_{ku}	Kurtosis	7.835
W_a	Waviness average	1.55 μm
W_q	Root mean square waviness	1.96 μm
$W_z = W_{\text{max}}$	Waviness maximum height	6.87 μm
P_t	Maximum height of the profile	8.11 μm

図 5 3D 画像、インラインプロフィロメーターによる表面データ

実験 - 深さと抵抗の関係

コネクタにおける法線荷重の働きについて基本的に理解することが重要です。この情報で深さによる抵抗の変化を理解できるようになり、複数の負荷サイクルの下での法線荷重の損失が明らかになります。

コネクタにおける法線荷重の影響を理解するために、2つのテストが行われました。テスト1では負荷を直線的に増加させ、テスト2では段階的に増加させています（横方向の動きはありません）。変位、荷重、抵抗の変化を測定しました。得られたグラフを図6と図7に示します。

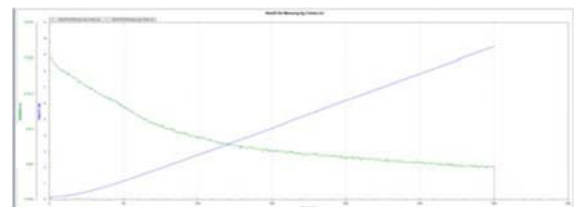


図 6 直線的な荷重の増加と抵抗値の変化

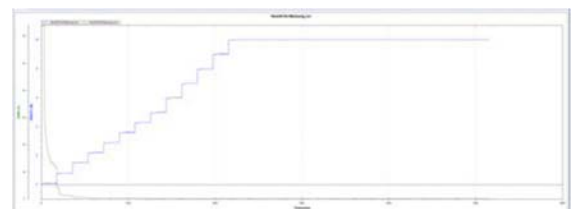


図 7 段階的な荷重の増加と抵抗値の変化

実験 - 回転テスト

図8は、回転するカウンターパーツ上の電気ブラシをテストするためのセットアップを示しています。回転リング/ディスク/コンピューターは、0.001 rpm から 10000 rpm 以上の範囲で、時計回りと反時計回りの両方向に回転することができます。

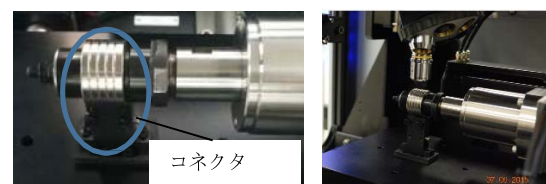


図 8 回転するコネクタのテスト。表面分析のためにプロフィロメーターの下に配置されたコネクタ

このテストでは、1 N の定荷重を 100 rpm で 10 分間加えます。テスト中、その場でダウンフォース、電気接触抵抗、摩擦、摩擦係数、摩擦、湿度、温度が測定され、記録されます。5 分後に接触面の自動表面分析を行いました。

図9は、最初の2分間で摩擦係数と摩擦が5倍に跳ね上がり、高い値で安定したことを示しています（これはテスト中に表面が損傷したか、コーティングが形成されたことを示している可能性があります）。

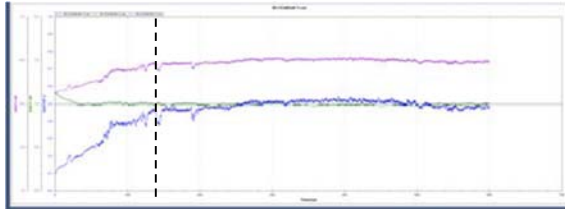


図9 摩擦係数、摩擦の対時間変化

実験・スティックスリップテスト

スティックスリップとは、物体が互いに滑り始めるときに起こる自発的な振動現象のことです。動きの変化が繰り返される試験（フレットングテストや回転テスト）では、スティックスリップ現象の際に摩擦係数が動摩擦係数の数倍になることがあります。5000 Hzで測定しているため、動き始めの数ミリ秒のデータで静摩擦係数と動摩擦係数の比がわかります。下の図10は、フレットングテスト中に観察された静摩擦係数と動摩擦係数のグラフです。

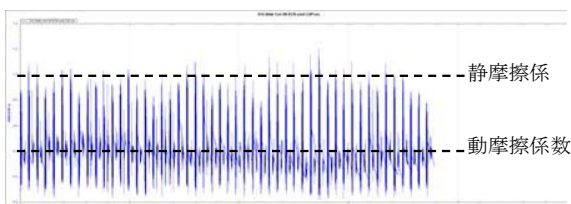


図10 スティックスリップのデータ

追加のテストモジュール

上記のテストは、実験室試験の能力を示すために行われました。同じテスターで、他にもいくつか異なる構成の試験セットアップを扱うことが可能です。図11に、電気コネクタのテストに使用できる追加モジュールの一部を示します。



図11 試験セットアップ追加モジュール各種（環境チャンバー・温度、湿度）。回転運動モジュール

結論

このアプリケーションノートの目的は、コネクタの信頼性の評価や計算を可能にする、同一のテスター（MFT-5000）を使用して行われた実験室試験を紹介することでした。これらの試験は新しいコネクタやコネクタ用の材料などの開発にも利用できます。

実験室試験法によって、例えば以下のようなステップで構成される、信頼性プログラムや研究プログラムを開発することが可能です。

1. テストをアプリケーションに近づける
2. 予想される劣化メカニズムに対処するためにテストプログラムを開発する

また、今回の考察では、実験室試験が、試験法の開発に使用された機器と同様に優れていることが強調されています。実際のシナリオを研究しシミュレートするために、Rtec社のMFT-5000には、閉ループダウンフォース制御、抵抗、摩擦、摩耗の測定、インラインイメージングなど、精密なテスト条件に役立つすべての必要なセットアップが用意されていました。