

回路基板の劣化・寿命診断方法の開発

Life Assessment of Printed Circuit Boards

藤堂 洋子
TODO Yoko

木村 和成
KIMURA Kazushige

浦野 満佐夫
URANO Masao

産業プラント設備の長期安定稼働のためには、電気・電子機器の主要構成部品である回路基板の劣化状態を把握することが重要である。

当社では、精密診断、データベースによる簡易診断、設置環境情報に基づいた診断など、ユーザーニーズに対応できる劣化・寿命診断技術を開発している。回路基板に実装されているIC、アルミニウム(以下、アルミと略記)電解コンデンサなどの部品や、配線パターン、基材など、モジュール全体を対象としている。なかでも、配線パターンなど金属材料の腐食劣化については、フィールドの大気環境ストレスを考慮した新しい劣化・寿命診断方法を開発し、使用環境に応じた劣化・寿命の予測が可能になった。適切な時期に適切な処置を行う予防保全に有効な診断技術である。

In order to prevent operation problems in plants, it is important to predict degradation of printed circuit boards used in electric components. Toshiba has been progressively developing various life assessment methods for printed circuit boards and electronic devices that can meet the needs of users. In addition to precision methods based on tests of samples, we have developed a new life assessment method based on environmental information. The method takes account of the interactive effect on degradation of multiple atmospheric factors. This new method is useful for maintenance and management.

1 まえがき

産業プラントの設備機器は、信頼性を維持して長期間稼働することが求められている。しかし、電気・電子機器は環境ストレス、電気ストレス、機械ストレスなどの種々のストレスにより劣化が進行するので、適切な時期に予防保全及び保守管理を行う必要がある。当社は、電気・電子機器に対して環境情報、既納品情報、定期点検情報などを基に、蓄積したデータベース、ノウハウなどを駆使した保守・保全技術、診断技術を提供している(図1)。

電気・電子機器のなかでも、回路基板は主要構成部品であり、その劣化を予測し、予防保全することは特に重要である。

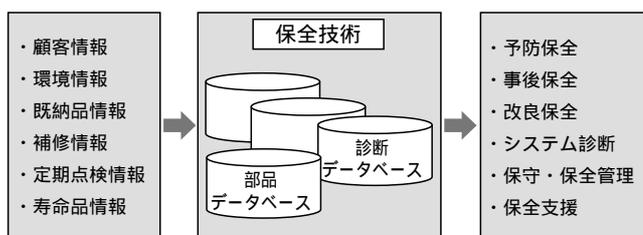


図1 保全体系の概念 システム全体の長期安定稼働を目指した保全サービスを提供する。

Concept of total maintenance and management system

ここでは、回路基板を中心に劣化・寿命診断技術について述べる。

2 回路基板の劣化・寿命診断

回路基板の劣化は、実装部品、配線パターン、及び接続コネクタ部などいろいろな部位に生ずる。いずれの部位にも、劣化状態を詳細に調査・解析する精密診断、及びデータベースによる簡易診断を行うことができる。それに加えて、機器の設置環境診断に基づいた劣化・寿命診断が可能である。後者は新たに開発した診断方法である。

2.1 部品の劣化・寿命診断

診断は、調査部品を引き取り、外観調査、電気特性及び機械特性の測定、構成材料の劣化解析などを実施し、その結果から劣化状態を判定する。次に、実使用環境を考慮した加速劣化試験、又は保有するデータベースにより、劣化の進行を予測し余寿命を推定する。アルミ電解コンデンサやIC、あるいはリレーなどの劣化診断には、この方法が有効である。以下、代表的なものとして、IC及びアルミ電解コンデンサの劣化・寿命診断例¹⁾について述べる。

2.1.1 ICの診断 ICは、品種によって長期間使用するとアルミ配線に腐食が生ずるものがある(図2)。回路基板から数個のICをサンプリングし、封止樹脂を開封してチップ表面のアルミ配線の腐食面積率を計測し、あらかじめデ

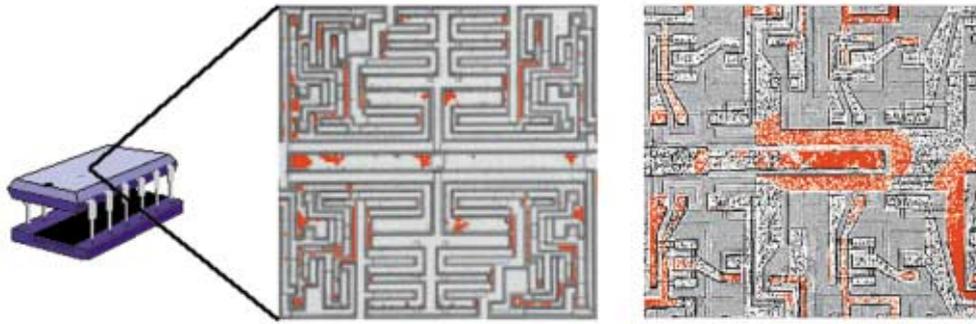


図2 . ICのアルミ配線の腐食 長期間使用中にアルミ配線の腐食(赤色部分)が進行すると、誤動作の原因となる。
Corrosion observed on aluminum pattern of IC

ータベースとして備えてある腐食面積率マスターカーブと照合して、余寿命を判定する。マスターカーブは複数のICについて加速劣化試験を行い作成する。腐食面積率はアルミ配線の腐食画像を画像処理して計測する。

2.1.2 アルミ電解コンデンサの診断 アルミ電解コンデンサの寿命は、内部に使用した電解液の枯渇化によって静電容量などの特性が変化することから、特に静電容量の減少特性に着目して診断する。回収基板に搭載された該当コンデンサの静電容量特性を、あらかじめデータベースとして備えてあるコンデンサの品種別特性マスターカーブと照合して、余寿命を判定する。

コンデンサの劣化については、前記の静電容量特性だけでなく、部品の絶縁性を示す漏れ電流特性の変移などから診断することもできる(図3)。

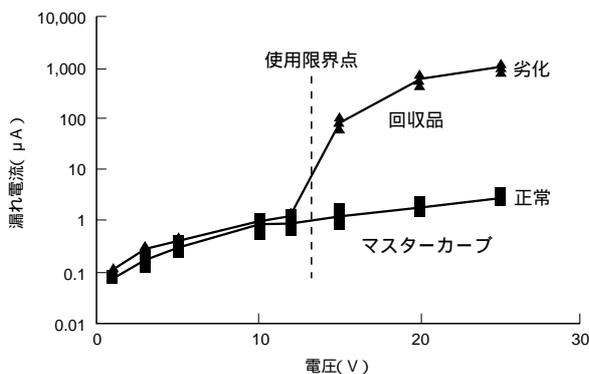


図3 . コンデンサの漏れ電流特性の劣化 漏れ電流特性の変移を計測し、使用限界電圧を診断する。
Change in leak current of condenser due to degradation

2.2 環境情報による劣化・寿命診断

前述の例のような部品の経年的な特性低下のほかに、基板には設置大気環境に存在する腐食性ガスや浮遊塵埃(じんあい)などの影響で、銅配線パターンの腐食断線、コネク

タの接触抵抗増大、絶縁低下、及び短絡など各種の劣化現象が発生する。このような環境ストレスによる劣化は予想以上に短期間で進行し、製品トラブルに至ることがある。そのため、当社は設置環境の温度、湿度、各種腐食性ガス、海塩粒子、降下粉塵量、汚損度の測定や金属材料、絶縁材料、基板などの暴露試験を実施して、回路基板の劣化・寿命診断を行い、対策を提案している(図4)。

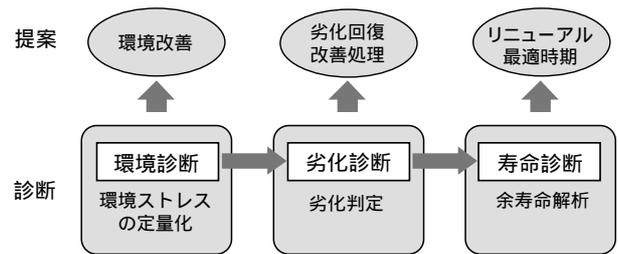


図4 . 回路基板の劣化・寿命診断フロー 環境診断、劣化診断、寿命診断を行い、各診断結果に基づいた対策を提案する。
Flow of degradation and life assessment of printed circuit boards

設置環境による回路基板の劣化現象には、主に絶縁劣化と腐食劣化の二つがある。それぞれの劣化現象を診断するための最適な環境指標値を環境測定により求める。

2.2.1 絶縁劣化診断 部品リード間などの絶縁劣化を診断する場合には、汚損度を指標値とする。汚損度は、回路基板表面に付着しているイオン性物質の量を塩化ナトリウム換算した値である。回路基板表面の汚損度を測定し、あらかじめデータベースとして備えてある汚損度と絶縁抵抗の関係に当てはめて絶縁劣化を判定する。絶縁劣化の多くは、回路基板表面に堆積した塵埃中のイオン性物質が原因である。したがって、定期的な洗浄により堆積塵埃を除去することで、絶縁低下によるトラブルは避けられる。この場合、専用洗浄液トスレッシュTMによる劣化回復洗浄処置を提案している。

2.2.2 腐食劣化診断 配線パターン,コネクタ,リレーなどの腐食劣化を診断する場合には,金属の腐食に与える影響を定量化した環境評価点を指標値とする。環境評価点により診断対象部位を構成する金属の腐食量変化を予測し,劣化を判定する。銅配線パターンや銅が下地金属の金めつき接触端子などは,銅の腐食量変化を予測し,配線パターンの腐食傾向や接触抵抗の増加傾向を診断する。この診断は,金属の腐食量予測評価法がキーとなる技術である。次に,新たに開発した銅の腐食量予測法を中心に,銅配線パターンの診断例を述べる。

3 銅配線パターンの腐食劣化・寿命診断

3.1 環境評価点による設置環境ストレスの定量化

構成金属の腐食に影響を与える温度,湿度,各種腐食性ガス,海塩粒子量を現地で測定し,その測定値に相当する因子別評価点を大気環境区分表(表1)から読み取る。この評価点は,全国多数の環境測定データと各種金属の暴露試験データを基に決めたものである。次に,因子別評価点を合計して環境評価点を求める。環境評価点は,金属全般の腐食に及ぼす大気環境因子の複合的な影響のレベルを表す値である。この環境評価点を応用し,次に述べる銅の腐食予測法を開発した。

なお,当社の環境評価方法は,(社)電子情報技術産業協会産業用情報処理・制御機器設置環境基準 JEIDA-63(増補改訂版 JEIDA-29)⁽³⁾に1990年に採用されている。表1はその後,腐食性ガスの測定方法及び測定値の区分などを変更し,改良したものである。

表1 大気環境区分(抜粋)
Classification of atmospheric factors

環境因子	I		II		
	測定値	評価点	測定値	評価点	
年平均温度()	20	1	25	2	
年平均湿度(%RH)	60	1	65	6	
ガス (mdd)	SO ₂	0.02	1	0.05	4
	H ₂ S	0.02	1	0.05	6
	NO ₂	0.02	1	0.05	3
	Cl ₂	0.02	1	0.05	7
	NH ₃	0.02	1	0.1	3
海塩粒子	海塩粒子(mdd)	0.01	1	0.03	5
	海岸からの距離(km)	>2.0		1.5	

mdd = mg/100 cm²/day

3.2 銅の腐食予測

環境評価点を応用した銅の腐食予測法の概要について述べる。

3.2.1 環境評価点の補正 国内6か所(A:首都圏郊

外,B:地熱発電所,C:アンモニア製造工場,D:塩素製造工場,E及びF:臨海都市)の屋内外で,1年間にわたり大気中に銅板を暴露するとともに,大気環境測定を実施した。

暴露期間ごとに,環境測定結果から求めた環境評価点と銅板の腐食量の関係を調査した。その結果,Bサイト(地熱発電所)以外の試験サイトでは,環境評価点と銅腐食量の関係に相関があることがわかった。Bサイトの環境的な特徴は,地熱発電所では,銅と反応しやすい硫化水素(H₂S)ガスが多く存在することである。

各環境因子の評価点は金属との反応性の大小を考慮して設定されているが,個々の金属の腐食を精度よく推定するために環境評価点を補正した。補正が必要なのは,銅とH₂Sガスの組合せだけでなく,銀とH₂Sガス,アルミと塩素(Cl₂)ガスなど,明らかに反応性が高い材料と環境の組合せの場合である。そこで,金属の腐食量を推定するための環境評価点 e を(1)式で表現することにした。

$$e = \prod_{i=1}^n e_i \quad (1)$$

ここで, e_i は表1の因子別評価点, i は金属の種類と環境因子の組合せで設定された重み係数である。

フィールドデータを解析して求めた重み係数により,(1)式で環境評価点を再計算した結果,環境評価点と銅腐食量の関係はすべてのサイトで同じ相関関係になり,補正係数の効果が確認された。

3.2.2 銅の腐食予測式の策定 環境評価点と同じ条件における銅の腐食量と暴露日数の関係,及びその関係式中の係数と環境評価点の関係を検討し,腐食予測式(2)式を最終的に得た。

$$W = m(\alpha_1 d + \alpha_2) \quad (2)$$

ここで, W は銅の腐食量, m は推定精度を向上するために導入した補正係数, α_1, α_2 は環境評価点 e の関数, d は暴露日数である。

全試験サイトの腐食量実測値と(2)式で計算した腐食量推定値を比較した結果,腐食量の全領域で目標の範囲内で実測結果を推定できることがわかった(図5)。

また,この腐食予測式を検証するために,環境評価点異なるH₂Sガス雰囲気とCl₂ガス雰囲気に銅板を暴露し,腐食量の経時変化を測定した結果,(2)式による予測結果と良く一致した(図6)。

以上から,環境の支配因子が異なる場合でも,環境測定を行い,その環境の有害度のレベルを数値化した環境評価点を求めるだけで銅の腐食量の経時変化を予測することができるようになった。

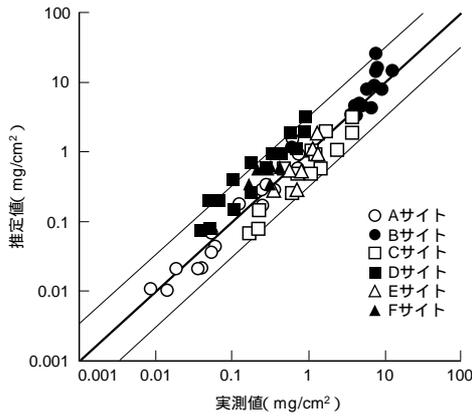


図5．腐食推定値と実測値の比較 腐食予測式(2)の計算値は実測値とよく一致する。腐食量の全領域において、約3倍の範囲内で実測結果を推定できる。

Comparison of measured and estimated weight loss

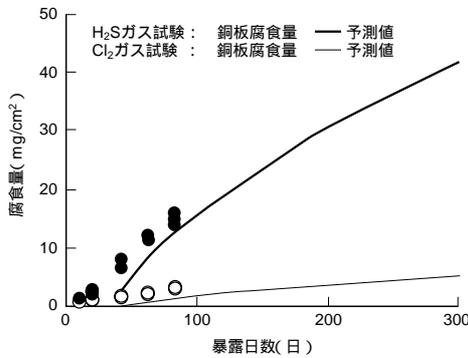


図6．ガス試験による腐食予測式の検証結果 ガス試験における銅板腐食量が腐食予測式の結果(実線)とよく一致し、予測式の実用性を確認した。

Verification of formula for corrosion prediction by gas tests

3.3 銅配線パターンの劣化・寿命診断

まず、回路基板の設置大気環境を測定し環境評価点を求め、銅の腐食の経時変化を予測する。銅配線パターンが腐食する代表的な環境を模擬した数種類のガス試験で、あらかじめ求めておいた各種回路基板の銅配線パターン腐食深さと銅の腐食量との相関曲線に、銅腐食量の予測結果を当てはめて銅配線パターンの劣化を診断する。

この診断方法によると、環境測定を行うだけで銅配線パターンの腐食劣化の進行予測ができ、断線までの余寿命を推定することができる。更に、フィールドの回路基板を実際に調査し上記診断を補正すると、診断精度が向上する。

また、現在使用中の回路基板の部品、配線パターン、コネクタなどの加速劣化試験を腐食性ガス試験で行うことは、従来加速倍率の算出が難しかった。しかし、今回開発した腐食予測法を適用し、設置環境とガス試験の環境評価点を測定して銅の腐食予測値を比較することで、加速倍率を求めることが可能になった。

4 あとがき

回路基板の劣化・寿命診断法について述べた。部品から配線パターン、基材までを網羅した診断技術は、実績のある信頼性評価技術、故障解析技術、環境測定技術などをベースに開発したものである。

特に、当社の保有技術である環境評価点を応用して開発した金属の腐食予測法により、複雑な環境ストレスを考慮した診断が可能になった。銀についても同様の方法で腐食予測式が得られており、リレーの劣化診断など上記方法の適用範囲が広がっている。

今後も、診断技術の開発及びデータベースのいっそうの蓄積により、ユーザーニーズに対応できる劣化・寿命診断及び対策提案ができるよう改良を続けていく所存である。

文 献

- (1) 佐々木恵一,ほか. ICのアルミ配線腐食を劣化指標とする診断法. 日本信頼性学会誌. 18, 7, 1996, p.75 - 78.
- (2) 特許第2957926号.
- (3) 産業用情報処理・制御機器設置環境基準 JEIDA-63.(社)電子情報技術産業協会, 2000, p.71 - 72.



藤堂 洋子 TODO Yoko

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部主務。品質・信頼性技術の研究・開発に従事。日本化学会, 腐食防食協会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



木村 和成 KIMURA Kazushige, D.Eng.

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部参事, 工博。診断技術の研究・開発に従事。日本材料学会, 日本機械学会, 日本ガスタービン学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



浦野 満佐夫 URANO Masao

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場 計測制御機器部主査。CIE 制御機器の品質保証業務に従事。
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems