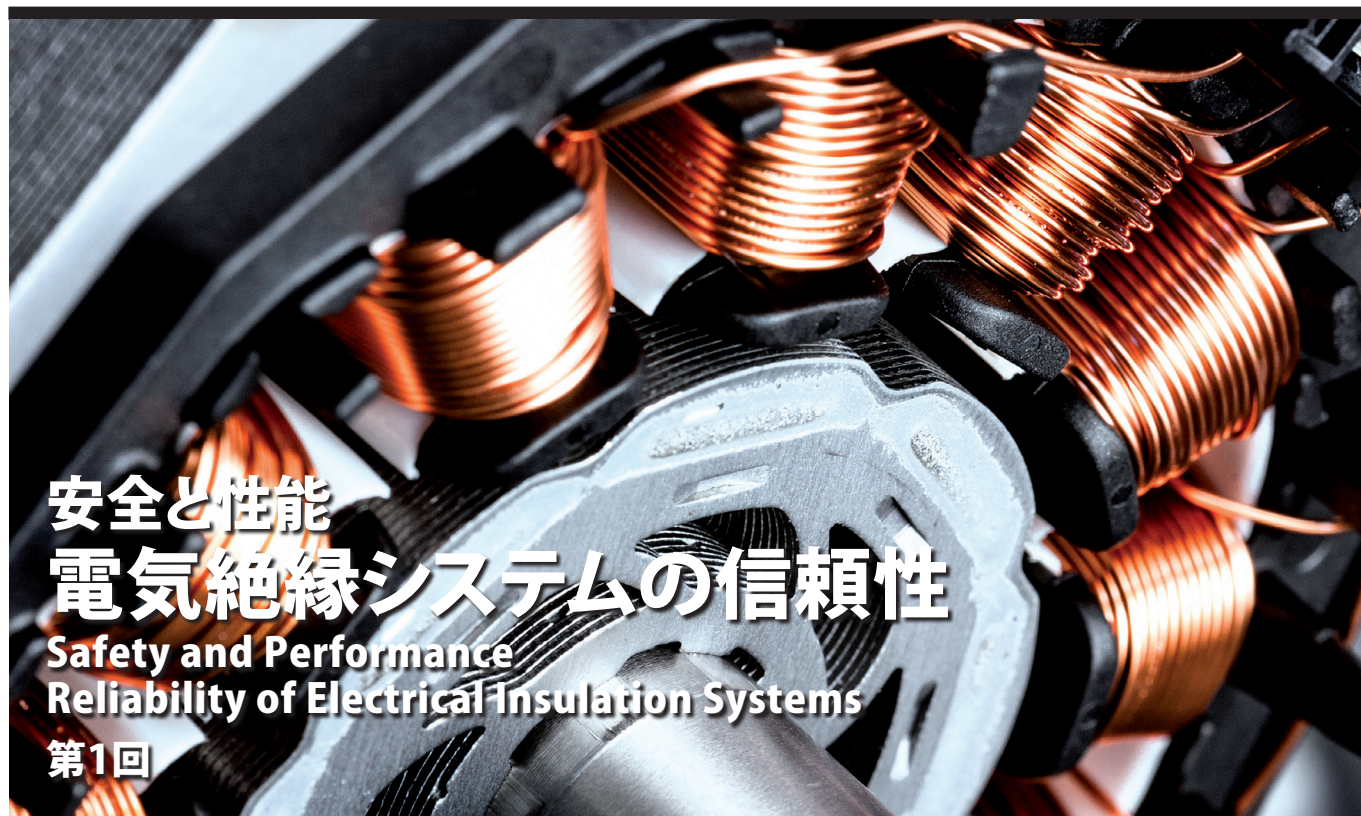




安全と性能 電気絶縁システムの信頼性

Safety and Performance Reliability of Electrical Insulation Systems

第1回

モータ、トランスフォーマ、発電機、ソレノイドなどの電磁気装置において安全性と性能における信頼性は不可欠な要素であり、これらの装置に使われている電気絶縁システム (Electrical Insulation System: EIS) は、要となる重要な機能であると言えます。EISとは、電気機器に使われる電気絶縁材料 (Electrical Insulation Material: EIM) が密接に組み合わせられたもので、その機器の最高動作温度以下で動作することが要求されます。EISの例としてトランスフォーマ内のマグネットワイヤ、接地/巻線間絶縁材料、含浸樹脂などの組み合わせが挙げられます。

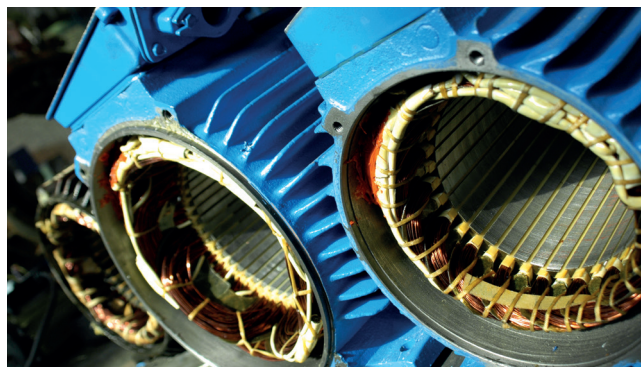
EISは高温で動作するため、EIMの熱劣化がおこりやすく、システムの性能に対する信頼性には、ポリマー材料の耐熱性とその併用適性、並びに、システム全体として稼働することが求められます。これは言うまでもないことであり、簡単にできることに思われますが、現実には、ポリマー材料それぞれの温度定格が異なるため、熱に対して設定どおりにシステムが機能

するとは限りません。すなわち、これら装置に使われている材料の組み合わせの熱的性能を、システムとして評価しなければならないということです。

初回となる本稿では、EIS試験の歴史と開発にいたった理由、並びに、EISにおけるUL規格、UL 1446 (Standard for Safety for Systems of Insulating Materials) をご紹介いたします。

EIS試験の歴史

EIS試験の歴史は、第二次大戦後、米国海軍が戦艦に使用するモータの最新化に向けた研究・開発に着手したところから始まります。当時、温度特性が高いとうたったポリマー材料が数多く現れ、それらを使った新しい絶縁材が登場し、これら新規絶縁材とそれまで使用してきたモータの絶縁材との比較評価の必要性が生じてきました。そのため、海軍内にこれら



の絶縁システムの温度特性を評価する方法を開発するチームが結成されました。

このチームにより、代表モデル¹の絶縁材料の組み合わせを使用する評価法が開発されました。このモデルは、当初はモータレット、現在はGPM (General Purpose Model) と称されています。この方法は、実際のモータを試験するより非常に短時間で絶縁システムの温度定格を判定することができました。

その後の研究²で、ポリマー材料の組み合わせにおける熱劣化状況は、材料単体とは異なることが解明されました。この結果を受け、海軍で使用する船舶用の電動機器を対象とする基本的要求事項を規定する軍事仕様、MIL-E-917D (Navy) は以下のように記しています。

「ある温度に適していると分類された材料が、分類温度より高い・低いに関わらず、絶縁システムの試験によって、異なる温度で適切であるとされる場合がある(第3.5.2.1.10条)³」

材料の性能に関するこの要求事項により、EIMの組み合わせにおいて信頼に足る動作をもたらす温度を検証するため、EISにあらゆる熱劣化試験を行う必要性が示されました。

これを受け、1974年にIEEE規格 117-1974(Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound AC Electrical Machinery)が発行されました。この規格には、モータレットの使用法と熱劣化試験法が規定されました。そして1978年6月、UL 1446 (Standard for Safety for Systems of Insulating Materials - General)が発行され、この規格で評価されたEISはOBJY2というULの製品カテゴリーの下で認証を受けていただくことが可能になりました。

ELTEK International Laboratories⁴が実施した最新の調査によって、EIMの組み合わせで評価することの重要性は確認されています。この調査では、完成品であるEIS内で組み合わせられた材料を試験して得られた温度定格と、各EIMに指定された共通の(つまり、最低の)EIM定格を使用した際に指定されるであろう定格を比較しています。30種類のEISが評価された中で、完成品であるEISの試験により、その半数(50%)は温度定格より高く、14種類(47%)の温度定格はそれより低い結果でした。この結果及び他の同様の研究でも、熱劣化試験プログラムは、電気装置に使用される材料の組み合わせを評価することが重要であると示されています。

UL 1446について

UL 1446は、熱が材料劣化の第一の原因であるEISに対し、評価試験の要求事項を規定しています。これにはまた、熱劣化したEISに使われるマグネットワイヤとワニスの熱評価に関する要求事項も含まれています。現在第7版

となっているこのUL 1446は、以下のリストの規格など数多くの絶縁材料/システムに関する国際規格のモデル規格となっています。

- IEC 62114, Electrical Insulation Systems-Thermal Classification
- IEC 60905, Evaluation and Qualification of Electrical Insulation
- IEC 81857, Electrical Insulation Systems-Procedures Part 1 : General Requirements-Low Voltage
- IEC 61857-21, Electrical Insulation Systems-Procedure Part 21 : Specific Requirements for General Purpose Model-Wire Wound Applications
- IEC 61858, Electrical Insulation Systems-Thermal Evaluation of Modification to an Established Wire-Wound EIS

UL 1446の試験方法は、EISの安全性と性能の評価法として多くの規格に採用されています。同様に、UL 1446の要求事項に基づいて試験を受け、適合していると認められたEISは、電磁気装置の認証を受ける際にそのまま受け入れられる場合が多く、迅速な認証取得が可能になることがあります。

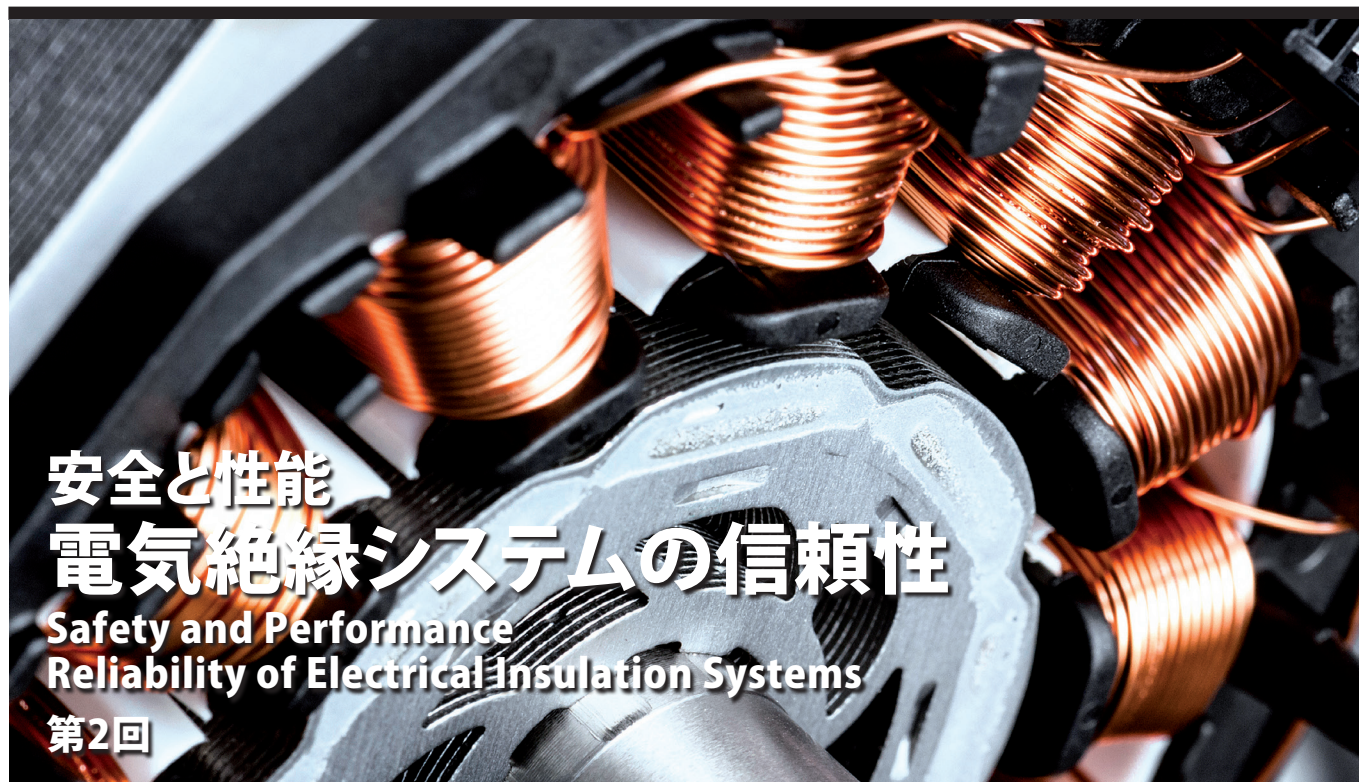
次号では、UL 1446の試験方法について詳しくご案内する予定です。

引用文献情報は以下の参考文献書(White Paper)をご参照ください。

参考文献書

<http://library.ul.com/?document=reliability-of-electrical-insulation-systems>





安全と性能 電気絶縁システムの信頼性

Safety and Performance Reliability of Electrical Insulation Systems

第2回

前回は、電気絶縁システム (Electrical Insulation System:EIS) について、電気絶縁材料 (Electrical Insulation Material:EIM) を個々に評価するのではなく、EISという集合体として評価することの重要性の発見に至る歴史を振り返り、EISの安全/性能規格としてUL 1446 (Standard for Safety for Systems of Insulating Materials - General) を紹介しました。後半となる本稿では、UL 1446に採用されている試験方法をご紹介します。

UL 1446での試験・認証

UL 1446が適用される製品は、105 °Cより高い動作温度に晒される電気機器と部品に使用されるEISです。この規格に準じて試験を受けることで、次のいずれかの製品カテゴリーで認証を取得することができます。

製品カテゴリー	Systems, Electrical Insulation (OBJY2)	System Components, Electrical Insulation (OBJS2)
対象製造者	モーター、トランスなど製品製造者	成形用樹脂、シートフィルム、含浸ワニス、プラスチックなどのEIM製造者
対象製品	OBJS2を採用したEIS、 上記製品製造者が独自の部品を組み合わせて製作・組立したEIS (完成品)	上記EIM製造者が作ったEIS
工場検査	UL フォローアップサービス (工場検査) の対象	UL フォローアップサービス (工場検査) の非対象

表 1 : EISのUL製品カテゴリー

EISを製造する最初のステップは、使用する材料の機能を判定することです。まずは、巻線とEIMについて検証します。巻線はエナメル被覆されたマグネットワイヤである場合も、電気絶縁シートまたはテープで巻かれた裸金属導体、含浸ワニスを含む材料などの様々な組み合わせがあります。EIMは、絶縁シートフィルム、成形樹脂、エポキシパウダーコーティング、含浸ワニスなどです。

EIMの主な機能は、電位間、または、接地またはデッドメタル部分の間に絶縁バリアを形成することです。機械的的支持もしくは構造上必要な材料で、電気絶縁体で

ないものは、非電気絶縁材料 (Non-electrical Insulating Material: NIM) またはマイナー部品と定義します。

EIMとNIMを識別後、次のステップとして、試験を行うべき材料の組み合わせの形体を決定します。これは実機自体もしくは代表モデルである場合もあります。一つの試験プログラムで複数のEIMを評価する際は、代表モデルかGPM (General Purpose Model) で評価します。

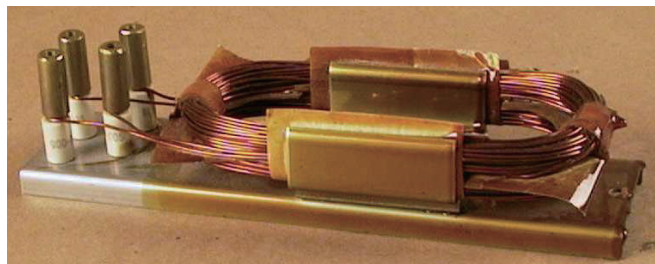


図1:GPM

GPMでは、様々な種類のEIM用のマグネットワイヤ、絶縁シート、成形樹脂を評価します。複数の材料を使用する場合、これは有効となります。例えば、1台のGPMで異なるナイロン樹脂を評価することができ、生産に向け柔軟な材料調達が可能になります。



図2:熱劣化試験サイクル

次に試験時間と温度を決定します。温度と試験時間の決定においては、既に熱劣化試験を評価されたEIS、「コントロール (control) EIS」と「当該 (proposed) EIS」の両方で熱劣化試験を3ポイント以上の温度で行います。各サイクル時間毎に、機械的ストレス、低温衝撃、湿気曝露を行い、その後、耐電圧試験を実施します。

試験が終了すると、当該EISの結果とコントロールEISの結果を比較します。評価には、これらのデータを計算することが含まれます。その計算結果により、表2に示すように相対温度指数 (RTI) 定格はクラス分けされます。

絶縁システムのクラス	最大ホットスポット - 温度
120 (E)	120
130 (B)	130
155 (F)	155
180 (H)	180
200 (N)	200
220 (R)	220
240 (S)	240
Over 240 (C)	Over 240

表2:絶縁システムの相対温度指数 (RTI)

当該EISでは、そのEISを使用している実際の装置の動作温度クラスとホットスポットを示す短期試験データが、既に取得されている場合があります。このクラス定格は、試験における高温度値を決定する時に使用することができます。たとえば、加熱温度が148℃である装置は、クラス155(E)のEISが必要です。EISの熱劣化に関しては、定格(この場合、175℃)より上で、20℃以下である最低温度を選び、その後それより高い温度を二つ選びますが、最高温度と最低温度の差は40℃以下とします。最後に、各温度の加熱劣化サイクルタイムを選びます。一般に、サイクルタイムは最低温度で最長となり、最高温度で最短になります。

さて試験モデルと試験プログラムができあがったので、EISの熱劣化試験を開始します。ある試験サンプルが耐電圧試験に合格しなかった場合、そのサイクル

タイムを記録します。全ての試験サンプルがある温度で不合格であったら、温度レベルに関係なく、その温度での幾何平均時間を計算します。最低劣化温度の幾何平均寿命は5000時間、また、最高温度は1000時間以上でなくてはなりません。

コントロールEISと当該EISの全試験サンプル全てが不合格であった場合は、それぞれの時間値の回帰直線として示し、当該EISとコントロールEISの相関時間との交点によって温度定格を決定します。この回帰直線は絶縁システムのライフラインと呼ばれています。

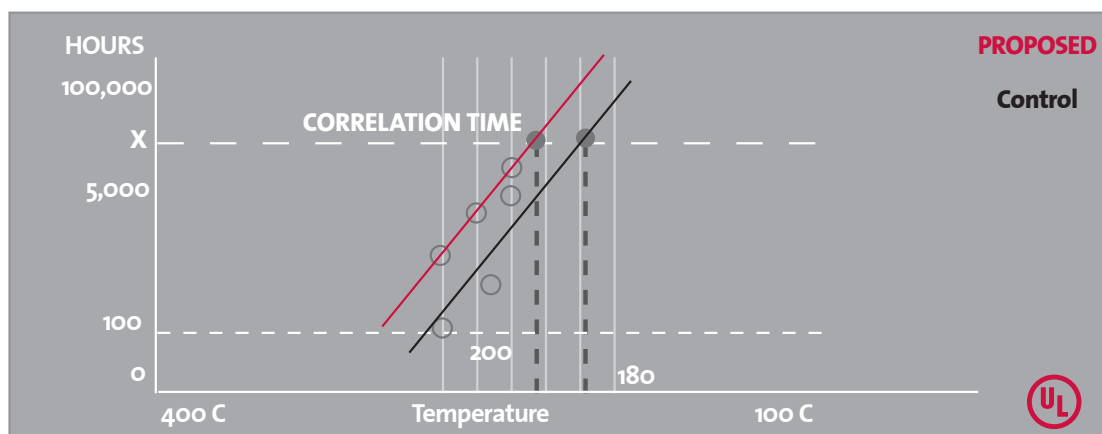


図3：絶縁システムのライフライン分析

最後に

前号で述べたように、UL 1446に示された電気絶縁システムの試験方法は国際規格に広く採用されており、IEC 61857とIEC 61858の試験要求事項は、UL 1446の要求事項とほぼ同等です。よってUL 1446の要求事項に準じた試験を受けることで、熱劣化試験を再度行わなくても、試験レポートをIEC規格への適合証明として活用していただけます。つまり、UL 1446でレコグニション認証を受けたEISは、IECEEのCBスキームによる各国の認証取得への道が開かれると言えます。

最低の定格を有する材料の定格をEISの定格とするという、EISの温度クラス定格をEIMの定格のみから判断することを通常の方法として採用している認証機関もありますが、残念ながらこの方法には、異なる種類の隣接するEIMに化学反応が生じる可能性が考慮されていません。熱によって生じた化学反応はEIMの絶縁特性を劣化させる可能性があり、その劣化状況は一律ではありません。この劣化がEISとしての完全性の低下や性能の劣化を引き起こす可能性があり、製品の危険源となるリスクを高めます。

UL 1446はEISを材料の集合体として試験するものであり、UL 1446に示されている熱劣化試験法は、材料の劣化を加速し、EIS全体の性能低下を引き起こす可能性がある化学反応が各EIM間に潜在しているかを明らかにします。このシステムチェックで包括的な試験手法が、EIS並びにEISを搭載する電気機器の長期安全性と性能に対する自信を高めます。

ULはEISに適用される規格の開発と導入におけるパイオニアであり、様々な絶縁システムおよび部品に試験・認証サービスを提供しています。詳細は下記にお問い合わせください。

お問い合わせ
株式会社UL Japan カスタマーサービス
E-mail: customerservice.jp@ul.com
T: 03-5293-6200 F: 03-5293-6201