

### 耐圧計とオシロスコープを使った モーター・ステーターの部分放電試験

耐圧計とオシロスコープを使ったモーター・ステーターの部分放電試験で、異相コイルの触れを検出しました。  
またコイルとコアの接触、絶縁紙のずれや破れが検出できる可能性があります。

#### インバータ電圧と部分放電、 そして絶縁破壊

パワーエレクトロニクスアプリケーションは内燃機関や油圧アクチュエータなどの古い技術から、多くの産業で電動化を進展させています。EVカー、航空機、建機、家電、発電、変電などの産業でインバーターやコンバーターを使ったアプリケーションが存在します。この技術の進展とともに問題視されているのが、インバーターサージによる部分放電に起因する絶縁破壊です。部分放電は最大電圧が350Vを越えると起こりうる現象で、最終的には空気や絶縁物の絶縁状態を破壊してしまいます。インバータ電圧はEVも家電も高圧化の方向にあり、最新の製品ではこの350Vをほとんど超えてしまっているのが実情です。

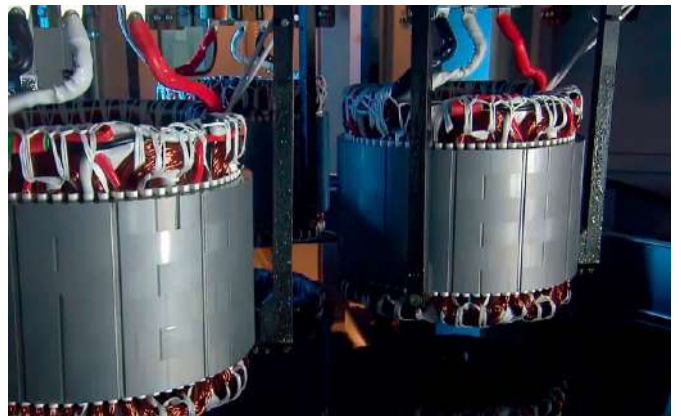
本書では、この問題化している部分放電に関して、耐圧計やオシロスコープなど、比較的客人様が所有している設備を用いて可視化できないか試験を行いましたのでレポートいたします。



家電モーターも部分放電が起こりうる

#### 耐圧試験と部分放電

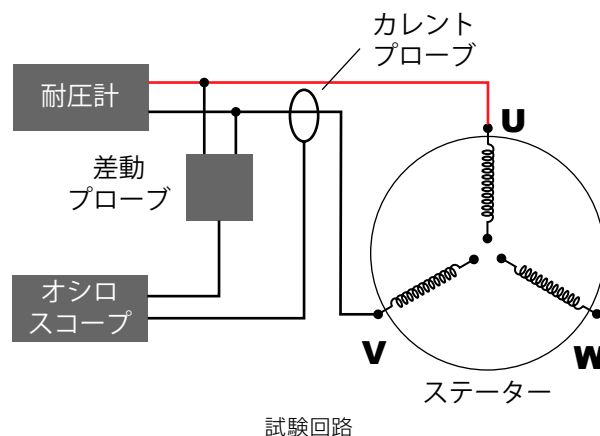
私がこの試験を行うきっかけになったのは、「耐圧試験中に放電音を確認している」という、弊社の耐圧計ユーザーのご意見でした。確かにステーターのコイルとコア間で耐圧試験を行うと、ある限界の電圧値まで電圧を上げると「ジー・ジー」という放電音が聞けます。この放電音をお客さまは規定の試験電圧値で発生しているか否かを「耳」で確認しているのですが、聴力による検査では、騒音レベルが高い工場では不確かさがあります。また耐圧試験は最終検査であり中性点が接続されているので、異相コイル間に印加できず、異相コイルの「接触」状態は検出できません。



## 耐圧計を印加源にした 部分放電試験の概要

試験回路は中性点が未接続状態のステーターを使い、耐圧計の+側をU相へ、-側をV相に接続し高電圧を印加します。絶縁が良好な状態と、U相とV相コイルを触れさせた状態の部分放電開始電圧の変化を比較することで行いました。

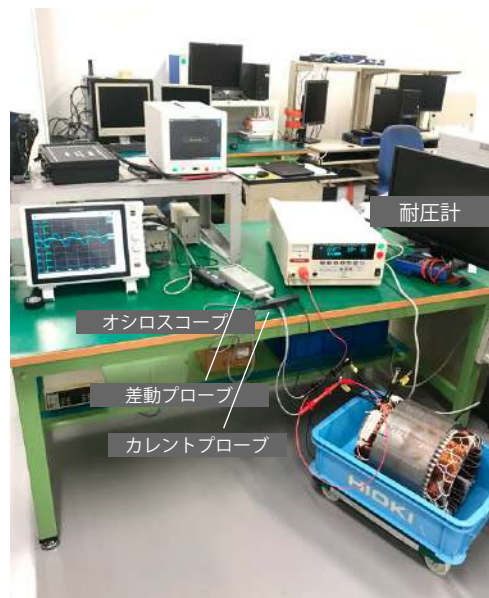
部分放電現象の確認には、部分放電電流パルスのカレントプローブとオシロスコープを用いて観測しました。



## 使用測定器と測定器設定 および DUT 情報

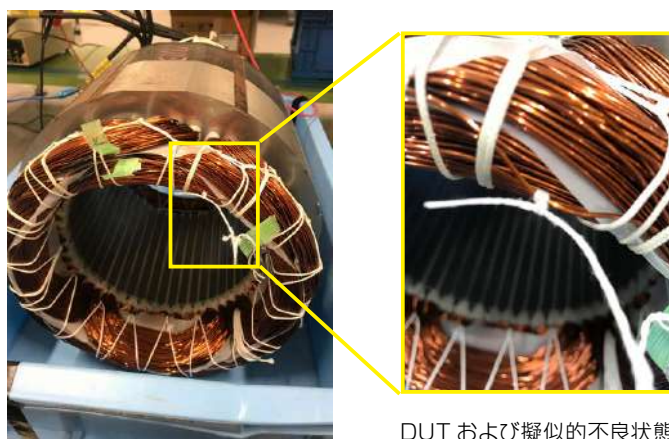
使用した測定器と、その設定情報、スペックは以下になります。

耐圧計	絶縁耐圧試験器 3153 (日置電機製) 試験電圧: AC60HZ, 1000V から 100V 刻みで上昇
オシロスコープ	メモリハイコーダ MR6000 (日置電機製) サンプリングスピード: 200MS/s ストレージ時間: 2.5 秒 カップリング方式: AC カップリング (*設定を推奨)
カレントプローブ	電流プローブ CT6711 (日置電機製) 使用レンジ: 0.5A 出力レート: 10V / A 周波数帯域: DC ~ 120MHz
差動プローブ	7kV 70MHz 高電圧差動プローブ (キーサイト社製)
DUT	3相誘導モータ用ステータ



試験現場写真

絶縁良好な状態とU相とV相コイルを接触させた擬似的不良状態で比較試験を行います。



DUT および擬似的不良状態

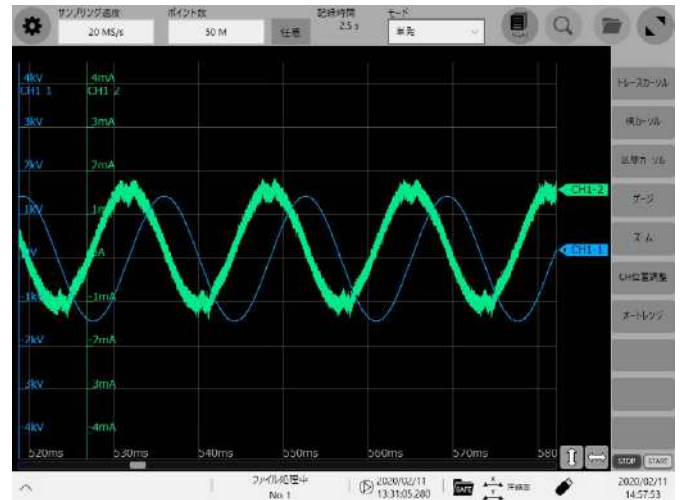
## 部分放電試験の結果

良品のステータに AC1.0kV を耐圧計から印加し、電流（緑線）、電圧（青線）の波形を観測しました。

### 良品に AC1.0kV 印加では異状はなし

メモリハイコーダ MR6000 は、サンプリングスピードを最高で 200MS/S (= 5ns) で設定しても、2.5 秒間のストレージ (= デジタル記録) ができるので、記録した 2.5 秒間の波形を追って確認したところ、電流波形に部分放電パルスらしき現象は見当たりませんでした。

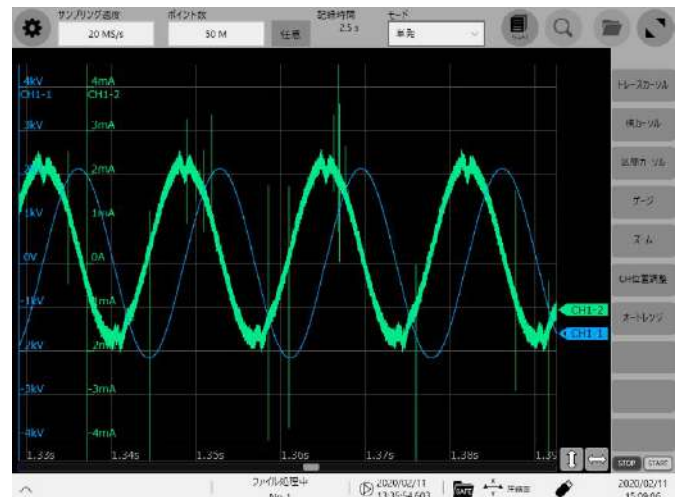
電流波形のピーク to ピーク値は 1mA ほどの微小信号ですが、電流プローブ CT6711 は 10mV/mA で出力できるので、このような漏れ電流を観測する上で非常に有効に使用できました。ただ DC ドリフトが激しいので (実際、右図で OA 位置がズレている)、メモリハイコーダは「AC カップリング」を設定することが望ましいです。



良品の AC 1.0kV 印加時の電流・電圧波形

### 良品に AC1.5kV 印加で部分放電パルス検出

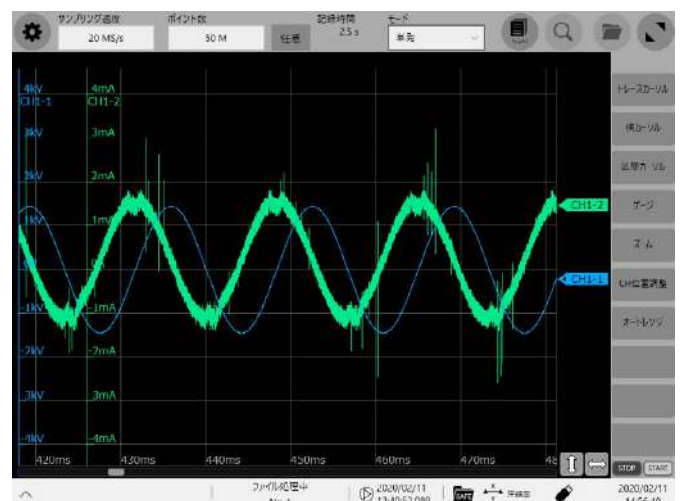
耐圧計からの印加電圧値を徐々に上げていったところ、AC1.5kV ほどで良品のステータの電流波形に部分放電パルスが現れました。ただし 2.5 秒間のうち右図の区間のみで現れていて、すなわち PDIV (放電開始電圧) は 1.5kV だと言えます。



良品の AC1.5kV 印加時の電流・電圧波形

### 疑似不良品では AC1.0kV 印加で部分放電パルス検出

次に疑似不良品に対して AC1.0kV から電圧印加を行いました。いきなり右図のように部分放電パルスが現れました。すなわち PDIV は 1.0kV 以下であり、明らかに良品と差が出ました。



疑似不良品の AC1.0kV 印加時の電流・電圧波形



## 耐圧試験を波形観測することでコイルの異常が分かる

今回の試験では、エナメル被覆に傷がない異相コイルの触れの状態が検出できました。さらにこの試験方法は以下の潜在的不良状態の検出に可能性があります。

- コイルとコアの接触
- 絶縁紙のズレ・破れ
- 同相コイルの距離を置いた区間の触れ

また、メモリハイコーダ MR6000 のワイドメモリ（サンプリングスピードを速くしてもロングにデジタル記録ができる点）と、CT6711 の高 S/N 比（微小電流がはっきりわかる点）の有効性が証明できました。



インバーター電圧による部分放電や絶縁破壊にお困りの方は、弊社までお問い合わせください。

### 関連製品



### 耐圧と絶縁抵抗の交直両用オールインワンモデル

#### 自動絶縁耐圧試験器 3153

- 絶縁 (DC 50 ~ 1200 V) / 耐圧 (AC/DC) のプログラマブル試験可能
- 試験種類、試験ポイント (50 ステップ)、測定設定を 32 ファイルまでプログラム
- オプションのスキュナにより、多点ポイントの自動試験が可能
- PWM 方式により、電源電圧に依存しない正確な試験電圧を発生
- 耐圧試験の印加電圧を任意時間で上昇 / 下降ができるランプタイム機能



### シリーズ史上、最高の測定能力と最速の転送速度

#### メモリハイコーダ MR6000

- 思いどおりにサクサク操作できる大画面タッチパネルの直感操作
- 一瞬を逃さない高速 200MS/s 絶縁測定 (高速アナログユニット U8976 使用時)
- 保存にかかる時間を劇的に改善し、ストレスフリーな快適性を実現
- 測定しながら保存する高速リアルタイム保存
- ファームウェアバージョンアップによる新機能を追加 (2020 年 4 月)

## 日置電機株式会社

本 社 〒386-1192 長野県上田市小泉81

製品に関するお問い合わせはこちら

本社 カスタマーサポート

☎ 0120-72-0560

(9:00~12:00, 13:00~17:00, 土日祝日を除く)

☎ 0268-28-0560 ✉ info@hioki.co.jp

詳しい情報はWEBで検索

お問い合わせは ...