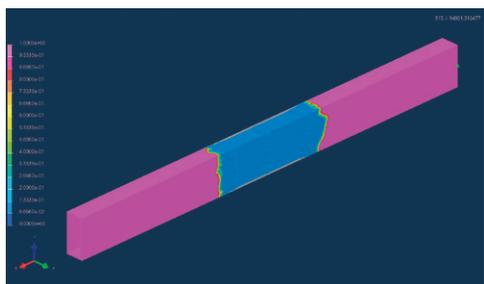


# 絶縁レジン浸透解析技術の確立

山田憲一 Ken'ichi Yamada

キーワード 絶縁, レジン, 解析

## 概要



レジン含浸解析コンター図

高電圧回転機の技術的課題として、固定子コイルへのレジン含浸性が挙げられる。絶縁テープを巻き付けることで構成される高圧回転機の固定子コイル絶縁では、レジンの浸透性悪化による含浸不良は、回転機の電気性能に大きな影響を与える。そのため、含浸性の確認手法確立は大きな課題となっている。

そこで、この含浸性の問題を解決するために、コイルモデリングによる含浸性解析を実施した。その結果、解析によって含浸性を判断できることが分かった。

また、この解析手法を応用することで、含浸の各種条件を変更する場合でも事前にその影響度を知ることができ、開発時間の短縮も期待できる。

## 1 まえがき

現在、高電圧回転機の主要技術課題として、固定子コイルのレジン含浸が挙げられる。レジン含浸の良否判断方法は、含浸時の静電容量測定での管理が一般的ではあるが、含浸不良を判別する方法は十分とは言えない状況にある。

本稿では、この問題を解決する方法として、当社が検討しているコイルモデリングによるレジン含浸性解析方法を紹介する。

## 2 解析方法

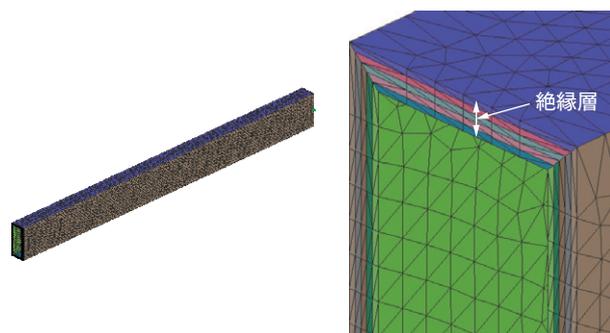
### 2.1 解析仕様ソフト

レジン含浸解析の解析ソフトは、日本イーエスアイ(株)の複合材料製造用成形プロセスシミュレーションソフトPAM-COMPOSITES (PAM-RTM) を

採用した。本ソフトは、RTM (Resin Transfer Molding) 成形などの解析時に使用される。

### 2.2 解析方法

第1図に解析モデルを示す。絶縁を施したパーコイルを3Dメッシュでモデリングする。このモデルに対して、レジン含浸条件や各種物性値をPAM-



第1図 解析モデル

パーコイルを3Dメッシュでモデリングした解析モデルを示す。

RTMに入力し解析する。解析する上で、特に重要な物性値として絶縁層の浸透性が挙げられ、以下のように求める。

まず、フローフロント位置と呼ばれる射出成形などで使われる浸透していく樹脂の先端部分を表す数値を求める。第2図にレジン含浸バーコイルカットモデルを示す。着色したレジンで含浸したコイルのカットモデルを製作し、レジンの浸透（含浸）具合を可視化できるようにしてフローフロント位置を計測する。その後、Darcyの法則に基づき式(1)から浸透性係数を算出する。

$$K = \frac{X^2 \mu}{2Pt} \dots\dots\dots(1)$$

$K$ ：浸透性係数、 $X$ ：フローフロント位置

$\mu$ ：粘度、 $P$ ：レジン注入圧力、 $t$ ：時間

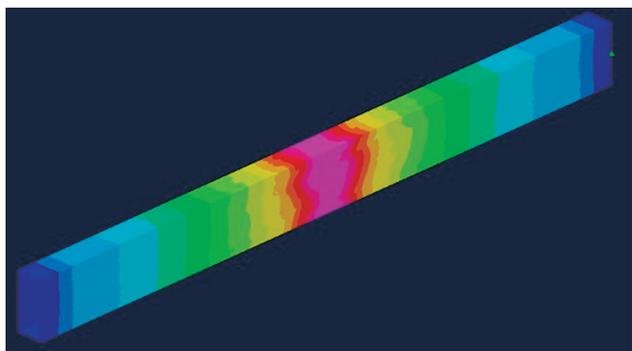
こうして得られた各種条件からPAM-RTMを用いて解析し、含浸時間ごとのレジン浸透性が分かるコンター図が得られる。第3図にレジン浸透（含浸）解析コンター図を示す。

このように本方式を用いて絶縁層の浸透性係数を把握することで、絶縁層の構成が変わっても含浸具合を解析で判断できる。すなわち、絶縁テープ・



第2図 レジン含浸バーコイルカットモデル

フローフロント取得用に可視化したレジン含浸バーコイルカットモデルを示す。



第3図 レジン浸透（含浸）解析コンター図

解析で得られたレジン浸透性が分かるコンター図を示す。

巻回数といったコイルの絶縁構成が変更になった場合にPAM-RTMで解析することで、含浸時間や圧力などの理想的な条件を把握できる。

### 2.3 解析結果の応用

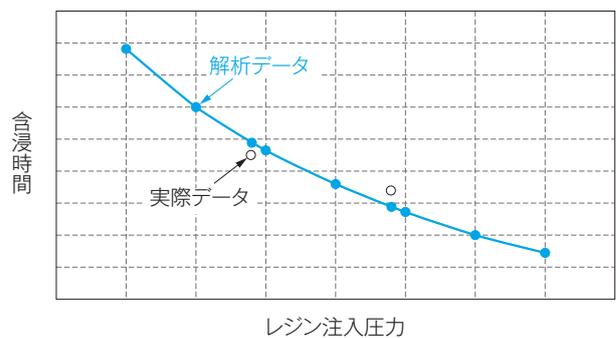
更に本解析を行うことで、レジン含浸の重要なパラメータである以下の二つの条件について、含浸性への影響度合いを調査できる。

まず一つ目は、理想的なレジン注入圧力が検討できる。第1図のモデルを使用し解析結果を応用することで、レジン注入圧力と含浸時間の関係性を把握できる。第4図にレジン注入圧力と含浸時間の関係を示す。また、コイル絶縁層内部のある点のレジン注入圧力も知ることができる。

第5図にコイル内部のレジン注入圧力変化解析コンター図を、第6図にコイル絶縁層内各点におけるレジン注入圧力の時間変化グラフを示す。これにより、コイル長尺化によるレジン注入圧力の減少具合を事前に把握できる。

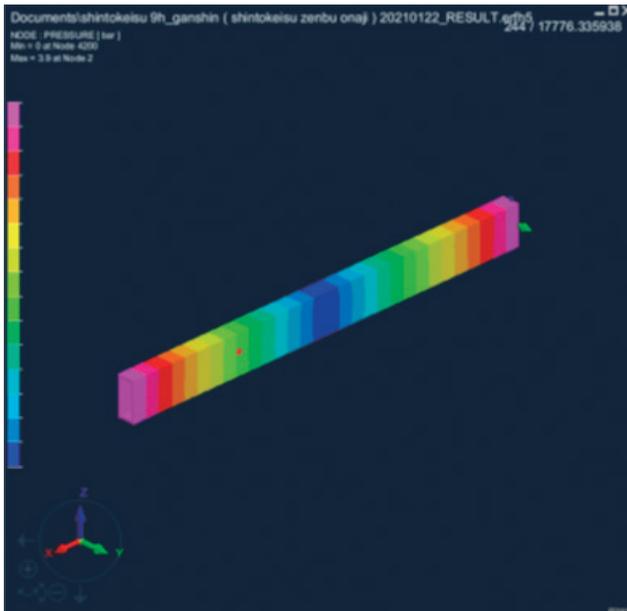
二つ目はレジン粘度についてである。第7図に解析によって得られたレジン温度（粘度）と含浸時間の関係を示す。レジン種類や何らかの環境変化によってレジン粘度が変化しても、それによる含浸時間の変化を事前に把握でき、理想的な含浸時間の検討が容易となる。

以上のように、PAM-RTMによる解析方法は、設備更新などで含浸条件を変更する場合やコイルが長尺となる場合に、含浸時間などの理想的な条件を検討するためのツールとして使用できる。



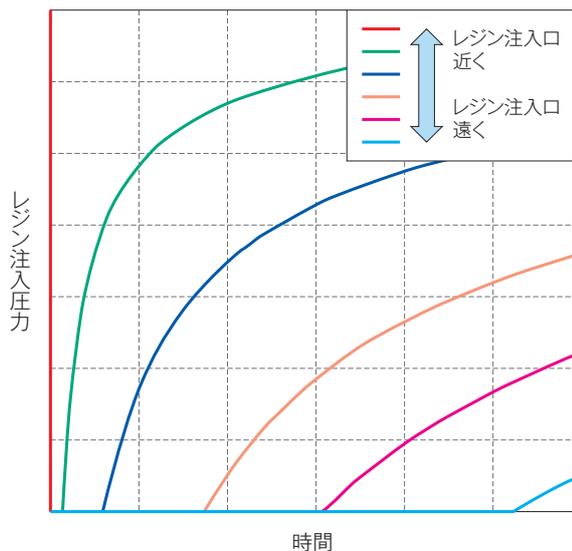
第4図 レジン注入圧力-含浸時間特性グラフ

解析から得られたレジン注入圧力-含浸時間特性グラフを示す。



第5図 コイル内部のレジン注入圧力変化解析コンター図

解析から得られたバーコイル内部のレジン注入圧力のコンター図を示す。

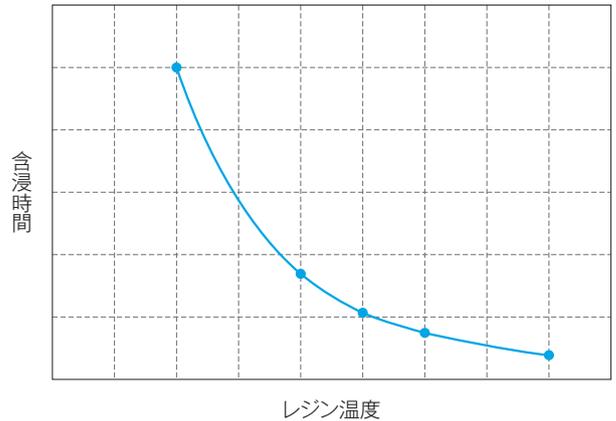


第6図 コイル内部のレジン注入圧力変化グラフ

解析から得られたバーコイル内部のレジン注入圧力変化グラフを示す。

### 3 むすび

日本イーエスアイ(株)の成形プロセスシミュレーションソフトPAM-COMPOSITES (PAM-RTM)を用いたコイルモデリングによる含浸解析方法を紹



第7図 レジン温度-含浸時間特性グラフ

解析から得られたレジン温度別の含浸時間特性を示す。

介した。本コイルモデリングによる含浸解析は、含浸不良を撲滅するための有益なツールとなると考えられる。

また、新規開発絶縁層や含浸条件の検討の際には、理想的な含浸条件を事前に把握できるため、開発時間の短縮も期待できる。

以上のように、レジン含浸に関するあらゆる課題・問題点を解消するための手法として本ソフトは有益であると考えます。今後もコイルモデリングによる含浸解析の精度向上に努め、回転機製品の信頼性向上に寄与していく。

最後に、今回のレジン含浸解析にあたり、並々ならぬご指導・ご尽力いただいた日本イーエスアイ(株)営業本部・技術本部の担当者の方々に、深く感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《執筆者紹介》



山田 憲一  
Ken'ichi Yamada  
製品開発部  
回転機的设计・開発に従事