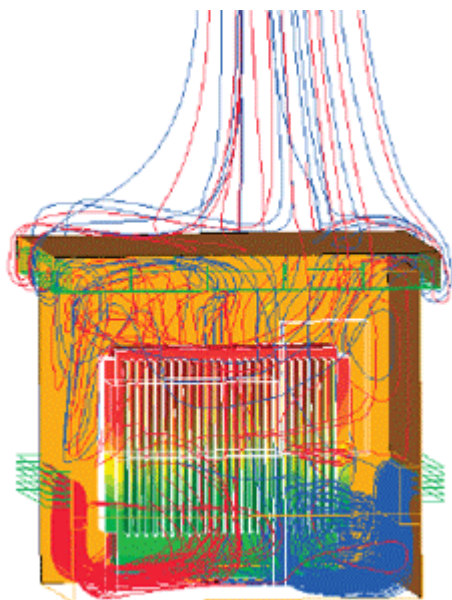
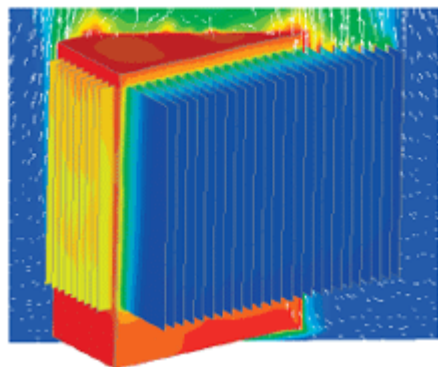


変圧器の最適設計

Laurent Tarbouriech博士 (フランスグルノーブル, Schneider Electric)



変圧器の発熱で自然対流が起き、筐体内部に気流が発生している。変圧器表面の色は温度を示す(最高温度は赤)。右側のルーバーからのパスラインは青色、左側のルーバーからのパスラインは赤色に固定しているので、流れが筐体の中で均一に混合していることが上面から出るパスラインのようすでわかる。



変圧器の表面温度と、変圧器の鉛直対角断面で見た流れの循環



変圧器内部におけるコイルと磁気回路のすき間からオイルが噴出するようす。オイルの流れをパスラインで示す(色は温度)。オイルが噴流となり、コイルの上部にドーナツ状の構造が発生している。

配電と産業オートメーションの分野で世界のトップ企業であるSchneider Electric社は、コンパクトかつ高性能な製品を開発しています。同社の製品は厳格な国際規格に合致し、信頼性、安全性、低メンテナンスコスト、ディペンダビリティといった顧客のニーズにこたえることが要求されます。

このように取り組み甲斐のある製品のよい例は変圧器です。変圧器は30年という想定寿命に耐えるため、高温(材料劣化の主な原因)の影響を受けないようにする必要があります。そこで、開発中の変圧器の試験において、コンクリート製または薄い板金製の筐体内で運転する場合と、開放空間で運転する場合を比較します。両者には同じ電力を印加します。最高温度となる面の温度を計測して比較し、差は10 以内でなければなりません。

筐体内部の温度が高すぎる場合は、筐体を変更しな

ければなりません。ファンによる強制冷却では、メンテナンスコストと信頼性の問題が発生するため、自然対流で冷却するしかありません。そこで、変圧器周囲の気流をモデル化し、筐体の構成を変えながら試験をするため、IcepakによるCFDシミュレーションが実施されました。その結果、筐体側面にあるルーバーの大きさと位置を最適にすることで、国際規格を満たし、同時に製造コストを最小にできることが判明しました。

変圧器は鋼板とコイルからなり、これらがオイルタンクに浸されています。オイルは変圧器の電氣的損失で加熱され、その熱はオイルを通じて自然対流で放散されます。タンクから外気に逃げる熱は自然対流と放射によるもので、固体構造による熱伝導は無視できます。Icepakの変圧器シミュレーションでは、自然対流を空気とオイルの両方で考慮し、空気とオイルの熱慣性はそれぞれの温度依存物性で考慮しました。また、発熱要素(コイルと磁気回路)の表面発熱密度も指定されました。

変圧器の近傍には細かいメッシュを生成しました。全体のメッシュ数を最小にするため、不連続境界を変圧器の周囲に配置し、外部領域は粗いメッシュとしました。コイルと磁気回路は中空のブロックとし、メッシュは六面体セルで86.5万個となりました。Icepakの不連続メッシュ生成ツールでなければ、メッシュはほぼ2倍の大きさになっていたと考えられます。

シミュレーションでは、変圧器の表面温度と内部のオイル流れについて調査しました。その結果、多くの注目すべき流れの特徴が判明しました。中でも特に目を引いたのは、オイルの噴流により、コイルの上部にドーナツ状の構造が発生したことです。同様な調査から、変圧器内部の流れと冷却の様子を把握することが容易になりました。Schneider Electric社では、このような研究が製品を効率よく開発する上で役立っており、プロトタイプの数が減った結果、開発コストを予算の枠内に抑えることも可能となっています。