

熱硬化性樹脂のモータステータ内 3 次元流動解析

Three-Dimensional Flow Analysis of a Thermosetting Compound in a Motor-Stator

(株)日立製作所 (正)佐伯 準一

A method of three-dimensional flow analysis during filling process of thermosets in motor-stators has been developed. Coils were treated as a porous-media model having different values of resistance in each direction under the consideration of viscosity changes. Using the combination of an epoxy molding compound having high thermal conductivity and a motor-stator model, filling behavior was calculated. The computing time is estimated to have been reduced to 1/2000 compared with methods using precious configurations.

Keywords: Thermosetting compound/ 3-D flow/ Viscosity change/ Porous-media

1. 緒言

モータは電力・産業・家電・交通分野で広く用いられているエネルギー変換機器であり、近年は HEV (Hybrid Electric Vehicle) 車用途への需要も増えている。モータは通常、固定子の金属コアの周りに規則的にコイルが巻かれており、コイルの固定と耐電圧性確保のために所定部を樹脂で封止する。ここでは接着性や耐熱性が要求されるため熱硬化性樹脂を用いるのが一般的である。樹脂の種類とモータ構造の組み合わせにより、モールドやドリップ、含浸などの各種封止法がある。

モータは小型化と性能向上のために狭い隙間にコイルが密に配置される方向にあり、樹脂封止を確実に技術が強く求められている。近年、熱硬化性樹脂の流動解析技術が発展してきている^{1)~6)}が、モータコイルのような複雑な障害物を厳密に取り扱うと計算時間が膨大になり、現実的には解が得られないという問題が生じる。ここでは、筆者らが導いた熱硬化性樹脂の流動解析手法と汎用熱流体解析ソフト FLOW-3D® を組み合わせ、モータコイルのような障害物を含む領域内での迅速な計算を行う手法を検討した。

2. 樹脂パラメータの検討

対象樹脂は高熱伝導性を有するエポキシ複合材料 1 種とした。各種流動・硬化性試験結

果を基に樹脂パラメータを設定した。粘度式は筆者らが導いた時間と温度の関数となるモデル^{2),3)}を用いた。

3. モータ固定子の構造

図 1 に充填解析に用いたモータ固定子の概略を示す。HEV 駆動用程度の大きさのモータを想定した大きさとした。固定子の外形は円筒形状であり、円周上に等ピッチで配列されたコアの突起部の周りに規則的にコイルが巻かれている。

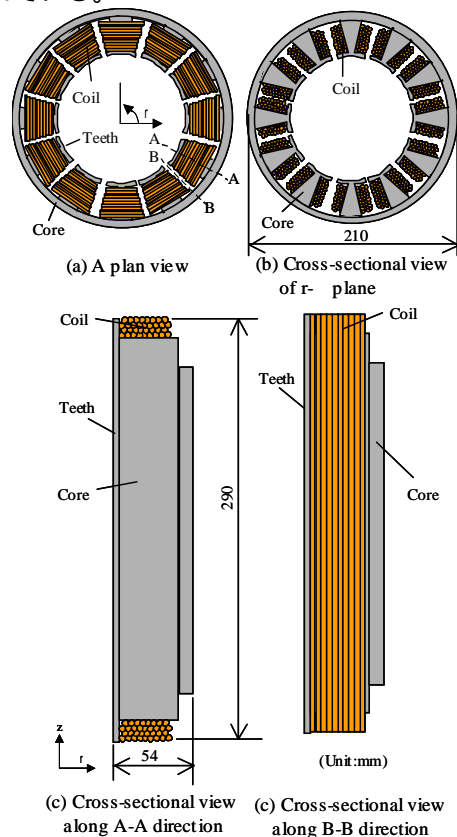


Fig.1 Schematic diagram of the stator

Junichi SAEKI,
Hitachi, Ltd., Production Engineering
Research Laboratory.
292 Yoshida-cho, Totsukaku, Yokohama
244-0817, Japan,
Tel.045-860-3030, Fax.045-860-1627,
E-mail junichi.saeki.fb@hitachi.com

4. コイル隙間のモデル化

障害物が連続的に配列されているとき、障害物の間の狭い隙間の液体の流れを迅速かつ高精度に予測するのに用いられているのがポラスメディアモデルである。これは圧力と速度が比例する非常に遅い流れ場での運動方程式の解と経験則を組み合わせており、モータのように多数のコイルが規則的に並べられている場合の充填解析にも適している。ここでは粘度と断面固有の形状抵抗を分離した形の式を新たに構築し、粘度変化を考慮した形でコイル隙間の流動挙動を計算できるようにした。

5. 樹脂充填解析

解析では、コイル部のみをポラスメディアとし、その他の流動部分はそのままの形状を用いた。熱硬化性樹脂用粘度式と粘度を考慮したポラスメディアの式ならびに FLOW-3D® の機能を組み合わせ 3 次元の充填解析を行った。

図 2 に樹脂充填挙動と圧力プロファイルの計算結果を示す。3-D 表示は金型やコアとの接触面での樹脂の挙動を示す。-z 断面ではコイルとコアが並んでいる箇所の r 方向座標を選び、その位置で r 方向を横に展開した状態を示している。r- 断面では z 方向の中央部付近の状態を示している。

5s では、ゲートから流入した樹脂はゲート近傍の流路から順に充填を開始している。-z 断面では抵抗の少ないコイル間隙を先に充填するが、ゲート近傍ではコイルの一部にも充填を開始している。10s, 15s と時間が経過するにしたがって充填がさらに進行する。流動先端部ではコイル間隙を先に充填するが、ゲートに近い側ではコイル内も充填が進む。20s ではさらに充填が進むが、まだ圧力は非常に低い。25s はコイル間隙に樹脂が充填を完了したところである。この段階では上下のコイル内にも樹脂はかなり充填している。この時刻以降は抵抗の大きいコイル内へのみの充填となるため圧力が上昇し始める。30s は最終充填の状態であり、コイル間隙の部分は樹脂は設定圧まで圧力が上昇し、コイル内の最終充填位置に向けて圧力勾配ができていく。設定移送時間は 30 s であり、その時刻通りに充填完了している。

なお、この解析に要した時間は 4 h 程度であった。筆者らが別途行った依積状態のモデルコイルでの実験と解析の比較ではポラスメディアで表現した解析モデルは厳密モデルに比べ、精度同等で計算時間を約 1/2000 に短縮できており、本報告の手法により、モータコイルのような複雑障害物を含む樹脂充填解析を迅速に行える見通しを得た。

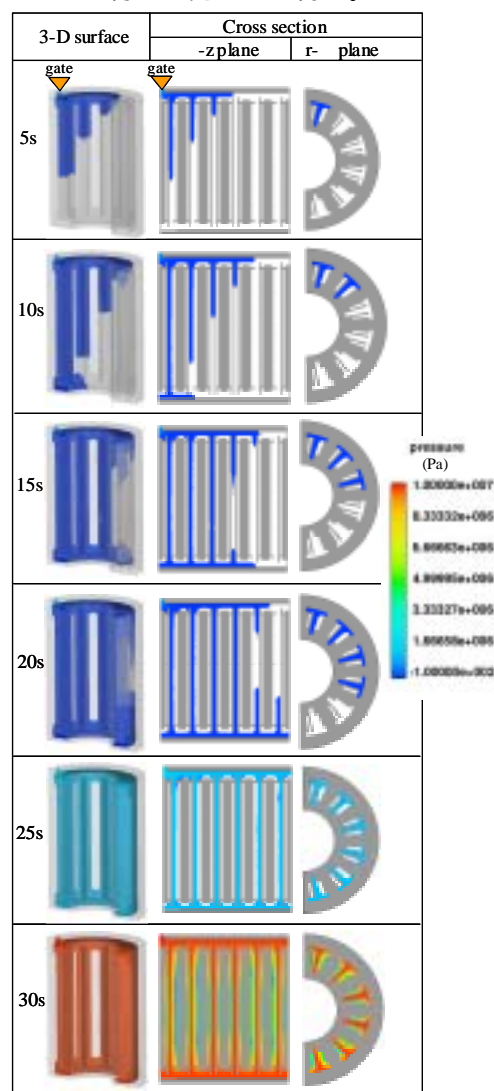


Fig. 2 Calculated results of filling behavior and pressure distribution

参考文献

- 1) 佐伯：成形加工 **18,280** (2006)
- 2) 佐伯、河野：成形加工'01,273 (2001)
- 3) J.Saeki and T.Kono: PPS-18,187(2002)
- 4) 佐伯：成形加工 **13,692**(2001)
- 5) 佐伯、河野、寺前：成形加工 **16, 309** (2004)
- 6) 佐伯、河野、寺前：成形加工, '03,337 (2003)

