技術論文

アイシングループの技術論文　【株式会社アドヴィックス】

ブラシレスモータ用駆動回路の熱解析モデル

廣瀬　隼　Hayato Hirose
赤尾　和哉　Kazuya Akao

概　要

衝突被害軽減ブレーキの作動対象が拡大されるなか，自動ブレーキの応答性を向上するため，ESC(Electronic Stability Control)モジュレータにブラシレスモータを採用する．ブラシレスモータはインバータ回路により駆動される．ブラシレスモータの駆動回路を検討するに際して，重要な項目の1つが熱の問題である．本稿では，新たに開発した熱解析モデルについて述べる．熱解析モデルでは，回路構成の検討を行う上で十分な解析精度が確保されるとともに，演算処理時間が短縮される．

1.　はじめに

交通事故の発生防止，及び，その被害軽減の対策として，先進安全技術を活用した運転支援機能を備えた車両の普及が進んでいる．そのなかで，衝突被害軽減ブレーキ（以下，“AEB（Autonomous Emergency Braking）”と呼ぶ）は，高齢運転者等による交通事故の削減に向けた車両安全対策等の措置方針に基づき，新車を対象として，その装着が義務化された．さらに，AEBでは，その作動対象が順次拡大されている．2021年9月30日の保安基準の関連規定改正では，図1に示すように，AEBの作動対象に自転車が付け加えられた[1]．

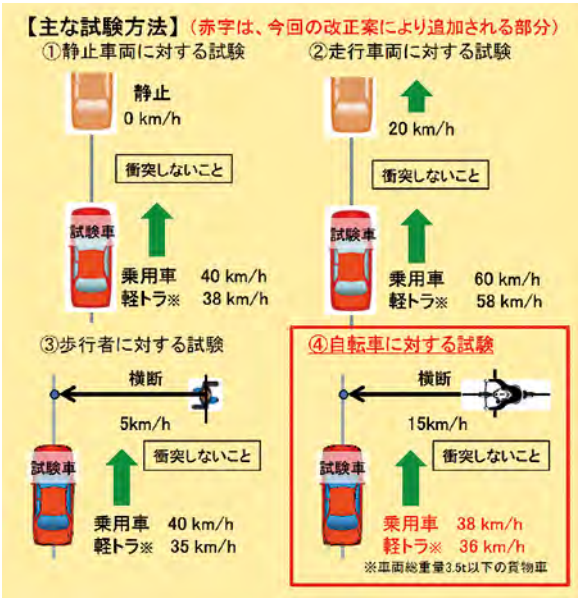


図1　AEBの作動対象拡大[1]

一般的に，AEBの自動ブレーキ機能は，図2に示すようなESCモジュレータによって行われる．ESCモジュレータでは，電動ポンプ（電気モータ＋流体ポンプ）によりブレーキ液の循環流を発生し，リニア弁により循環流の流路を狭めることで，ホイールシリンダの液圧を増加する．AEBの作動対象拡大には，自動ブレーキの応答性向上が必要になる．そこで，我々は，ブラシレスモータを用いたESCモジュレータを開発している[2),3)]．

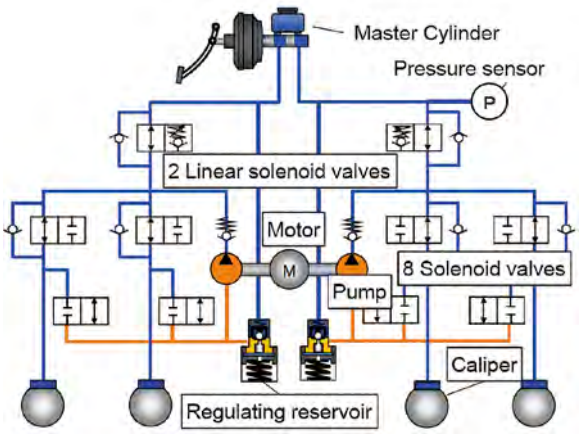
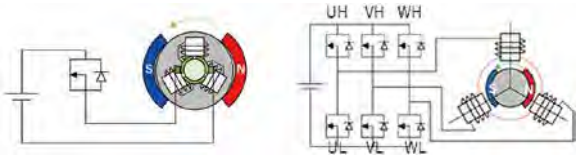


図2　ESCモジュレータの概要

2.　ブラシレスモータの特徴

ブラシレスモータは，ブラシ付モータに比較して，回転子のイナーシャが小さいため，起動応答性に優れる．加えて，ベクトル制御の採用により，高速回転が可能になる．これらの特徴は，モータの駆動方法の違いに起因する．

図3に, ブラシ付モータの駆動方法とブラシレスモータの駆動方法との比較を示す. ブラシ付モータでは, ブラシと整流子により整流が機械的に行われる. これに対して, ブラシレスモータでは, 整流が電子的に行われる. ブラシレスモータの駆動回路には, 6個の駆動素子によりインバータ回路が構成される. インバータ回路により, 3相の交流電流(U相,V相,W相)が生み出され, モータ巻線に供給される.



(a)ブラシ付モータ　(b)ブラシレスモータ
図3. 駆動方法の比較

3. 駆動回路を検討するための熱解析モデル

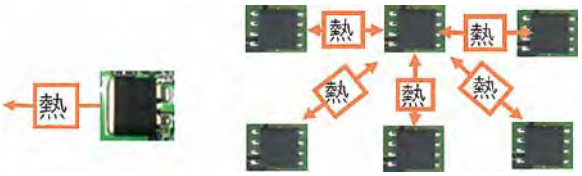
ブラシレスモータをESCモジュレータに適用するに際して, 重要な項目の1つが, 駆動回路の熱的な検討である. 熱解析では, モデルの規模が大きいほど, 解析精度は高くなるが, 演算処理に要する時間が増加する. 加えて, 実験結果とモデルとの合せ込みに要する工数も増す. そこで, 以下の点に配慮して, 熱解析モデルの開発を進める.

・回路構成の良否を判断できる解析精度を確保する
・開発の効率化のために演算処理時間を短縮する

3.1 解析精度の確保

3.1.1 駆動素子間の熱干渉

図4に駆動回路における熱伝達状態を示す. ブラシ付モータは1個の駆動素子により駆動されるため, 単純な熱伝達経路を考えればよい. しかし, ブラシレスモータの駆動回路には, インバータ回路を構成する6個の駆動素子が近接して配置される. このため, 解析精度を向上するためには, 駆動素子間の熱的な影響を考慮する必要がある.



(a)ブラシ付モータ　(b)ブラシレスモータ
図4. 駆動素子の伝熱状態

熱解析モデルでは, 基板同層間の熱伝達, 基板層間の熱伝達, 及び, 基板以外の熱マスを考慮して, 駆動素子近傍の伝熱モデルを作り込んだ.

3.1.2 周囲環境の考慮

ブラシレスモータでは, ブラシ付モータに比較して, 駆動素子の1個当たりの電力が小さい. 駆動素子の発熱が減少するため, 雰囲気温度の影響が相対的に大きくなる. 加えて, ESCモジュレータは, 駆動回路を含めて一体化され, エンジンコンパートメント内に配置される. エンジンコンパートメント内の熱環境(エンジンの発熱, 送風による対流等)がESCモジュレータへ影響を及ぼす.

ベンチ評価では, 熱設計として厳しくなるように, 風よけを設置し, 循環流による影響だけが発生するよう行う. そこで, 熱解析モデルでは, 図5に示すように, 周囲環境として, 恒温槽を強制冷却が起こらないようにモデル化し, 循環風による対流を考慮する.

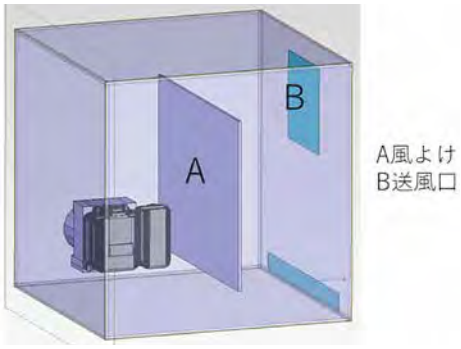
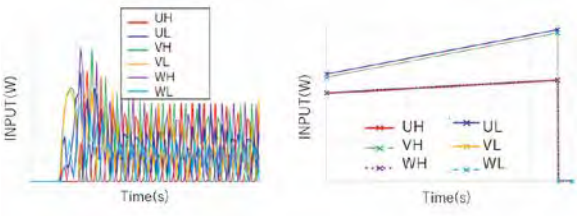


図5　循環流による対流の考慮

3.2 演算時間の短縮

駆動回路では, 3相の交流電流が生成され, モータ巻き線に供給される. 図6(a)に示すように, 各相の電力は, 時々刻々と変化する. この電力変化に応じて熱解析を実行すると, 演算処理時間が膨大になる. そこで, 図6(b)に示すように, 電力を近似することにより, 演算処理時間の大幅な短縮を図る.



(a)実際の交流電力　(b)電力の近似
図6. 処理時間短縮のための電力近似

解析精度に対する電力近似の影響について検証する. 図7は, 熱解析において, 電力近似を行わない場合/行う場合の比較である. 電力近似による解析結果は, 交流電流を用いて演算した解析結果と一致している. 電力近似により, 解析精度を確保した上で, 演算処理時間を短縮できることが確認できた.

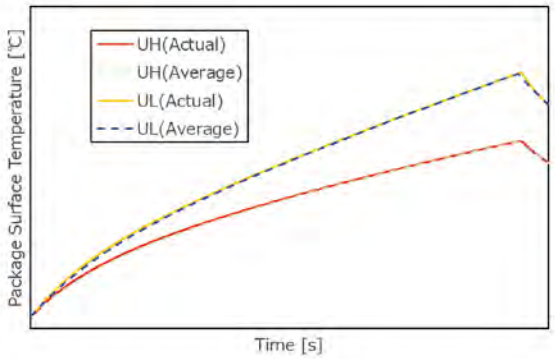
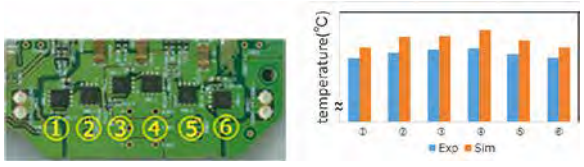


図7　電力近似の影響確認

3.3　実験結果との対比

図8は, 各駆動素子の温度について, 熱解析モデルと実機での結果との比較である. 比較結果が示すように, 熱解析モデルでは, 駆動素子間の相対的な温度の関係が適切に表現できている. なお, 熱解析モデルでの温度誤差は15%以内であり, 演算処理に要する時間は, 1ケース当たり24時間程度である.



(a)駆動素子の配置　　(b)シミュレーション結果
図8. 実験結果との比較

4.　熱解析モデルの活用例

開発した熱解析モデルは, 駆動素子の配置, 冷却用ヒートシンク等の駆動回路に関する構成検討に用いる. 熱解析モデルの活用例として, 冷却用ヒートシンクの配置数検討について紹介する.

図9に, 6個搭載と搭載無しの熱解析の結果を示す. 例えば, 位置⑥の駆動素子は, 銅ヒートシンクを外しても定格に対して熱的なマージンがあることが確認できる. 一方位置④駆動素子は銅ヒートシンクを外してしまうと, 定格を超えてしまう. マージンのある駆動素子のヒートシンクだけを取り外すことで, 定格の範囲内で温度を低くし均一化できると考え, ヒートシンクの要否の検討にシミュレーションを活用した. その結果, 評価を実施するより少ない工数で, ヒートシンクの個数を削減することができた.

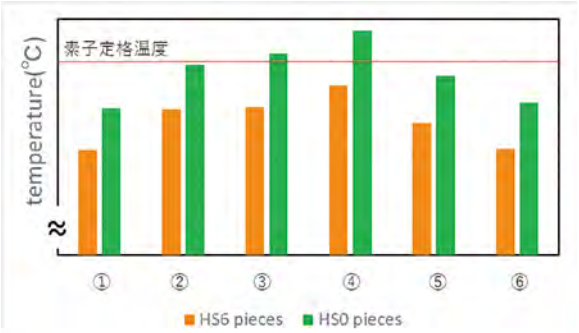


図9　ヒートシンクの配置による温度差

5.　まとめ

AEBの作動領域の拡大を受けて, ESCモジュレータの動力源として, ブラシレスモータが利用される. 本稿では, ブラシレスモータの駆動回路に関する熱解析モデルの開発について紹介した. この熱解析モデルにより, 効率的に駆動回路構成を検討することができるようになった.

参考文献
1) 国土交通省, 令和3年度 第1回車両安全対策検討会 安全資料 3-2, 2021. 6. 28.
2) H. Kawamura, K. Kokubo, M. Naito, T. Iida, A. Takahashi, and T. Takahashi, “Sensorless Control of a Brushless Motor for the ESC Unit”, SAE Paper No. 2023-01-0452, April 2023
3) 株式会社アドヴィックス, 2022. 12. 5.付けNews Release

筆　者

廣瀬　隼
株式会社アドヴィックス
電子基盤技術開発部
ブラシレスモータ採用のESC開発に従事

赤尾　和哉
株式会社アドヴィックス
電子基盤技術開発部
ブラシレスモータ採用のESC開発に従事