



樹脂モールドリアクトルの開発

吉川 浩平*・北島 未規・川口 肇
伊藤 睦・加藤 雅幸・澤井 孝典

Development of Resin Molding Reactor — by Kohei Yoshikawa, Miki Kitajima, Hajime Kawaguchi, Atsushi Ito, Masayuki Katou and Takanori Sawai — Recently, global warming has become a serious social problem. Growing concerns over this issue have prompted us to develop environmental-friendly automobiles such as hybrid electric vehicles (HEVs), plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs), electric vehicles (EVs) and fuel cell vehicles (FCVs). For these eco-friendly vehicles to be widely used, their driving performance and power of acceleration must be equivalent to those of gasoline-fueled vehicles. To meet these requirements, boost converters, which increase the battery voltage, are essential for motors to generate a higher voltage output. Converters are also necessary to recharge the batteries of EVs and PHEVs from household outlets. Currently, these converters have found wider applications outside the automotive field. For example, in photovoltaic power generation, a widely used resource of renewable energy, converters are mounted in inverters to convert sunlight energy into forms suitable for domestic power supply.

At Sumitomo Electric, we are working to develop low-cost and compact reactors, one of the core components of the converter. To achieve such specifications, we have reviewed the conventional structure, which uses aluminum cases, to develop a resin molding reactor that allows the elimination of the cases and some of the other parts. Thus we have succeeded in downsizing the reactor and minimizing production costs. This paper reports the details of the development.

Keywords: reactor, eco-friendly vehicle, resin-molded

1. 緒言

近年、地球温暖化が問題になっており、ハイブリッド自動車（HEV）やプラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車（EV）、燃料電池車（FCV）等の環境対策車の開発が加速している。環境対策車を普及させるためには、ガソリン車並みの走行性能、加速性能が必要であり、モータの高出力化が進められている。このためには、モータを高電圧で駆動させる必要があり、バッテリー電圧を昇圧するためのコンバータが必要となり、更にEVやPHEVにおいては、家庭用電源からバッテリーへの給電用にもコンバータが必要になる。また、再生可能なエネルギーとして普及が進んでいる太陽光発電においても、太陽光パネルからの電力を家庭用電源に変換するためにコンバータが使用されている。

当社では、コンバータの中の基幹部品であるリアクトル^{*1}を開発しており、低コストかつ小型化に向けた取り組みを行っている。本報告では、従来構造を見直し、アルミケース等の部品点数を削減した新構造である樹脂モールド構造を開発し、軽量化とコスト低減を達成したので、その経緯を述べる。

2. リアクトルの構成

HEV、PHEV、EV等のシステムにおいて電圧変換に必要となるコンバータの適用箇所を図1に示す。昇圧コンバータは図2に示すように、リアクトル、パワー半導体、コンデンサ及びこれらを駆動する回路から構成されている。リアクトルは、写真1に示すように、鉄心に絶縁した銅線をコイル状に巻いたものであり、図2の回路を用いて、

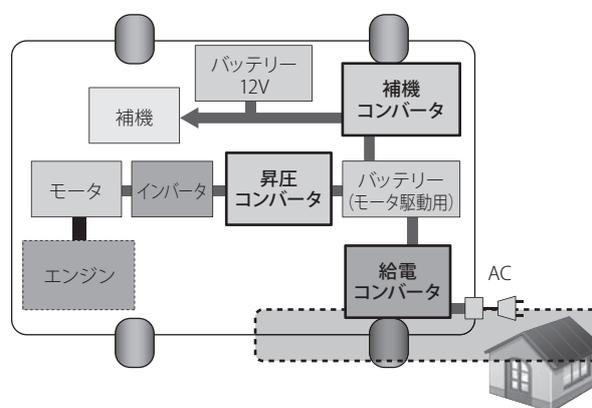


図1 HEVシステムのコンバータ配置例

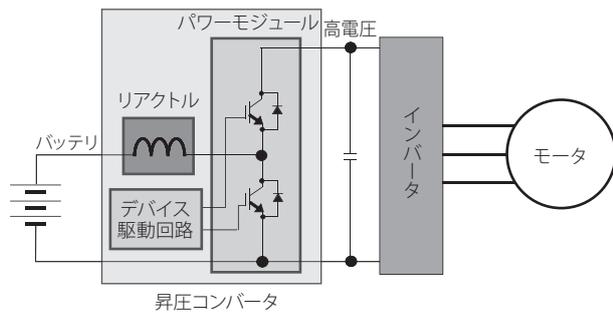


図2 コンバータ回路の一例

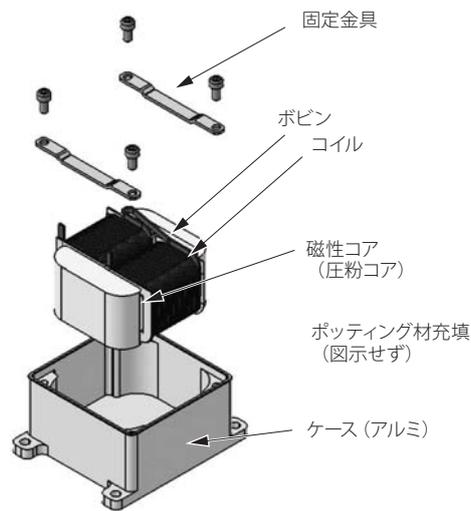


図3 アルミケース型リアクトル

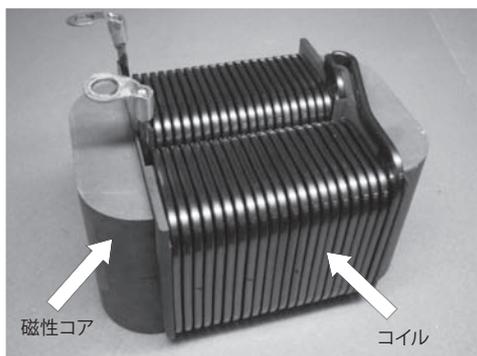


写真1 リアクトルの内部構成

コイルに流す電流をON/OFFすることでエネルギーの蓄積／放出を繰り返す、電圧を昇圧するコンバータにおける基幹部品である。

当社で開発しているリアクトルの仕様の一例を表1に示す。

表1 リアクトルの仕様(例)

インダクタンス	～500μH
入力電流	～350A
周波数	～100kHz

3. 樹脂モールド型リアクトルのコンセプト

3-1 従来型リアクトルの構造と問題点 当社が開発しているリアクトルは、車載リアクトルをターゲットとしており、昇圧コンバータの水冷構造を利用し、リアクトルの底面から放熱する構造である。従来、アルミケース内に鉄心（圧粉コア^{※2}）とコイルを固定し、放熱性と内部の保護を目的に注型樹脂をポッティングする工法を採ってき

た（アルミケース型リアクトル：図3）。この構造では、圧粉コアとコイルの絶縁距離を確保するボビンや圧粉コアをアルミケースに固定するための構造部品が多く、コスト低減及び小型軽量化には部品点数の削減が必要であった。

3-2 樹脂モールド型リアクトルのコンセプト アルミケース型リアクトルの構造部品を削減するために、次の3点をコンセプトとして開発を行った。

- ① ボビンの削減：圧粉コアとコイルの絶縁確保のため、モールドコイルの適用（内装樹脂）
- ② ケースの削減：アルミケース同等の剛性を確保する樹脂モールド構造の適用（外装樹脂）
- ③ 固定部品の削減：モールド樹脂により内部の各部品を固定する構造の適用

樹脂モールド構造の一例を図4に示す。

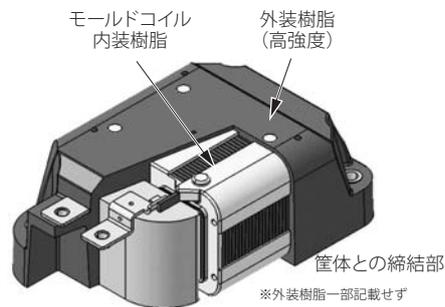


図4 樹脂モールドリアクトルの構造
（内装樹脂を用い、モールドコイル化し、外装樹脂を用い、全体をモールドする構造）

4. 樹脂モールド型リアクトルの開発

4-1 設計 樹脂モールド型リアクトルにおいて、アルミケース型リアクトルと同等以上の性能を満足するために必要な要素は、放熱性能の確保と筐体との締結部の強度確保である。

当社のリアクトルの特長は、磁性コアに圧粉コアを用いていることであり、圧粉コアの特長である磁気の等方性を活かした3D構造の磁気回路を有することである(図5)。この構造により、圧粉コアをリアクトル底面方向に突き出すことが可能となり、圧粉コアで発生した鉄損^{*3}による発熱を効果的に底面の水冷台に放熱することができる。

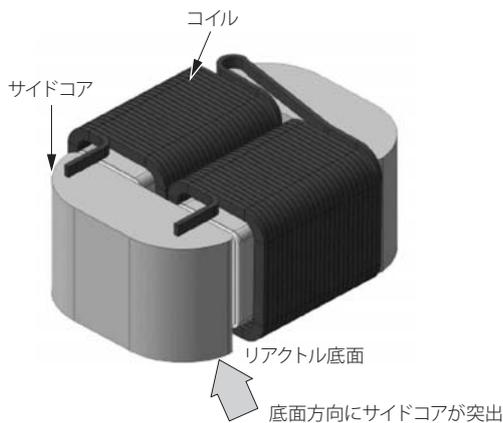


図5 当社のリアクトルコア
(圧粉コアの特長を生かした3D磁気回路を形成)

我々は、熱解析⁽¹⁾を用い、圧粉コアで生じる鉄損による発熱、及びコイルで生じるジュール熱(銅損)の放熱経路を分析し、各部品の放熱経路を明確にした。放熱を効果的に行うために、サイドコア、及びコイルは水冷台あるいは、熱伝導率の大きな金属部品に直接接触していることが望ま

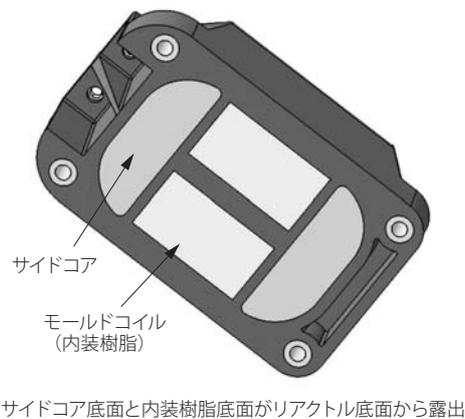


図6 樹脂モールドリアクトルの底面

しい。サイドコアは、水冷台あるいは、金属部品に接触させる構造が可能であるが、コイルは、絶縁を確保する必要があり、水冷台あるいは、金属部品との直接接触を避けるために、樹脂で覆う必要があった。そこで、モールドコイル構造を採用し、図6に示すようにリアクトルの底面(水冷台側)に圧粉コアとモールドコイルの樹脂部が露出する二重のモールド構造を有する樹脂モールドリアクトルを考案し、設計を行った。

まず、二重モールド構造において、通電時のリアクトルの最高到達温度がアルミケース型同等となる樹脂の選定を行うために熱解析を行った。図7に示すように、外装樹脂の熱伝導率の如何に関わらず、アルミケース型リアクトルに対し、温度上昇幅を10℃以内に抑えることができる内装樹脂の熱伝導率を明確にし、内装樹脂の選定を行った。この樹脂を適用した際の熱応力設計を行い、選定樹脂の強度を考慮し、選定樹脂と圧粉コアの線膨張係数の差を緩和する干渉部材を圧粉コア周囲に配置する構造を採用した(図8)。この干渉部材を配置することにより、図8に示す熱応力解析の結果、モールドコイル樹脂部に発生する熱応力を50%低減することができ、内装樹脂の強度確保が可能となった。

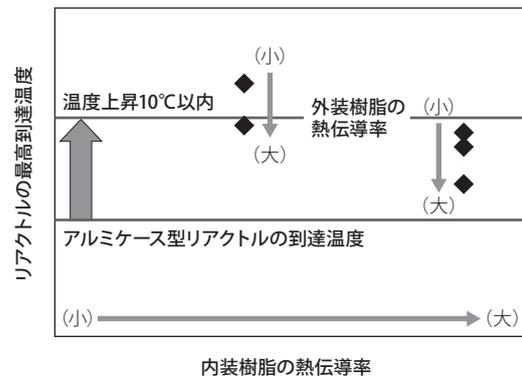


図7 樹脂モールドリアクトルの最高到達温度と樹脂の熱伝導率の関係
(内装/外装樹脂の熱伝導率を変化させた場合のシミュレーション結果)

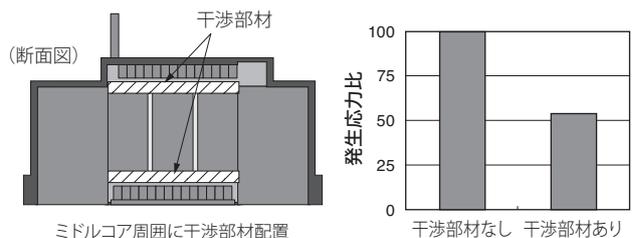


図8 内装樹脂の熱応力低減対策と対策効果

次に、使用環境における外装樹脂の熱応力、及び外部振動に対する耐久強度設計を行った。水冷台への締結部の剛性を上げることで外部振動による応力の低減を図った。一方、熱応力は式(1)、式(2)の通り、樹脂の線膨張係数とヤング率で決まり、剛性を上げることで低減することができない。

$$\epsilon = \alpha \times \Delta T \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma = \epsilon \times E \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで ϵ : 熱ひずみ
 ΔT : 温度差
 α : 熱膨張係数
 E : ヤング率
 σ : 熱応力

そこで、熱応力解析を行い、内部の圧粉コアやコイルと近い線膨張係数を持つ樹脂を選定することで応力低減設計を行った(図9)。

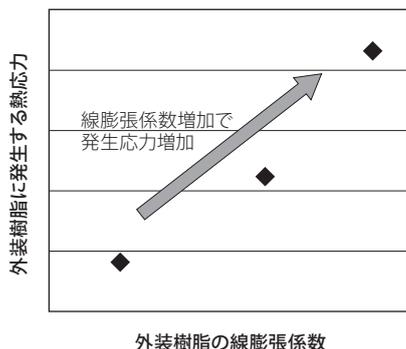


図9 外装樹脂の発生熱応力と外装樹脂の線膨張係数の関係

4-2 成形技術開発 図8に示したように、リアクトルの底面において、サイドコアの底面と内装樹脂が剥き出しになった構造とし、放熱性能を確保しているが、その他の部位に関しては、圧粉コア、及びコイルの保護、絶縁を目的に、完全に外装樹脂で覆う構造を採用している。このため、インサート成形^{※4}する圧粉コア、コイルをリアクトルの上面の一部(モールドコイル)とリアクトル底面のみを金型面で支える成形技術を開発した。

また、樹脂の選定において、外装樹脂については、成形体の強度を確保するために、やや流動性に欠ける樹脂を使用している。このため、成形圧力を大きくする必要があるが、一方ではインサートする圧粉コア、コイルの損傷を避

けるため、インサート部品にかかる成形圧力を低減する工法を開発する必要があった。特に、圧粉コア(サイドコア)とコイル(モールドコイル)の隙間に樹脂が回り込むと圧粉コアを外側に押出す方向に応力が発生する。これを解決するために、成形樹脂のショートショット^{※5}から樹脂の流動経路を評価し、最適なゲート^{※6}配置、形状を設計することで、成形圧力によりインサートが動くのを抑制でき、また、圧粉コア、コイルにかかる成形圧力も低減することに成功した。

4-3 開発リアクトルの特性と長期信頼性試験状況 開発した樹脂モールド型リアクトルの初期特性は、インダクタンス、損失において、アルミケース型同等の性能を満足した。また、アルミケース型リアクトルに対する温度上昇に関しても、10℃以内となっており、先の論文(SEIテクニカルレビュー: July2009 No.175)で示したCAE解析の精度が高いことを改めて示すことが出来た。長期信頼性については、表2に示す試験を実施し、全ての長期信頼性試験を満足することを明らかとした。これにより、今回開発した樹脂モールド型リアクトルが従来構造のアルミケース型リアクトルと同等に扱うことができ、置き換えが可能であることを確認した。

表2 リアクトルの仕様(例)

試験項目	判断基準	合 否
温度サイクル試験	<ul style="list-style-type: none"> ・外観検査 ・電気特性 (インダクタンス) ・熱特性 (最高到達温度) 	○
パワーサイクル試験		○
連続動作試験		○
高温放置試験		○
高温高湿試験		○
低温放置試験		○
高温振動耐久試験		○
低温振動耐久試験		○

5. 結 言

樹脂モールド型リアクトルを開発し、車載での信頼性を確保することができた。この開発により、リアクトルの部品点数を35%削減することができ、低コスト化が期待できる。更に、外装樹脂の成形時に外部接続用の端子台を一体成形することで端子台スペースを削減し、更なる小型化、低コスト化を実現した。

用語集

※1 リアクトル

エネルギーの蓄積／放出を交互に行うために巻線を利用した受動素子

※2 圧粉磁心

絶縁被膜を施した軟磁性粉末を加圧成形して得られる素材

※3 鉄損

磁性材料の鉄心（コア）にコイルを巻き、交流で磁化した時に失われる電気エネルギー

※4 インサート成形

金型内に挿入した金属部品の周りに樹脂を注入して金属と樹脂を一体化する成形方法

※5 ショートショット

成形品の一部が欠け、不完全な形状の成形品を生ずる現象、または、樹脂の流動方向の評価の際に、故意に発生させ流動方向を確認する方法

※6 ゲート

樹脂成形における樹脂の流入口

参考文献

(1) 神頭卓司、「リアクトル開発における電磁気／熱設計技術」、SEIテクニカルレビュー第175号（2009）

執筆者

吉川 浩平*：自動車技術研究所
モータ駆動の環境対策車に搭載される
リアクトルの開発・設計に従事



北島 未規：自動車技術研究所（博士（工学））

川口 肇：自動車技術研究所

伊藤 睦：自動車技術研究所

加藤 雅幸：自動車技術研究所 主席

澤井 孝典：自動車技術研究所 所長

*主執筆者