

# 小型・軽量昇圧コンバータ用リアクトル

Small and Lightweight Reactor for Boost Converter

山本 伸一郎\*  
Shinichiro Yamamoto

草別 和嗣  
Kazushi Kusawake

井戸 順二  
Junji Ido

川口 肇  
Hajime Kawaguchi

伊藤 睦  
Atsushi Ito

加藤 雅幸  
Masayuki Kato

近年、環境への配慮、省エネ志向、原油高騰化などからハイブリッド自動車、電気自動車など自動車の電動化が急速に進んでいる。このような電動化した自動車をさらに普及させていくためには、電動化するためのシステムの小型・軽量化が必要である。一方、ガソリン車並みの走行性能、加速性能を実現するため、システムの高電圧化も必要である。そこで、バッテリー電圧を昇圧するためのコンバータ（昇圧コンバータ）の採用事例が増えている。当社では昇圧コンバータの基幹部品の1つであるリアクトルに新しい磁性材料および新しい放熱構造を適用し、従来と比較して同等性能で10%の小型・軽量化を達成した。

The number of motorized vehicles, such as hybrid and electric ones, has been increasing rapidly due to environmental concerns, energy saving efforts and the increasing oil price. To promote the use of these vehicles, motors need to be reduced in size and weight, while also ensuring driving and acceleration performance comparable to that of gasoline vehicles. We have developed a small and lightweight reactor, a key component for a boost converter used in a motor. Using a new magnetic material and heat dissipation structure, we have succeeded in a size and weight reduction of the reactor by 10%, while maintaining the same performance level as conventional reactors.

キーワード：リアクトル、昇圧コンバータ、純鉄圧粉コア、高熱伝導絶縁性接着剤

## 1. 緒 言

近年、ハイブリッド自動車（HEV）やプラグインハイブリッド自動車（PHEV）、電気自動車（EV）、燃料電池自動車（FCV）など、車両の電動化が急速に進んでおり、更なる燃費向上のためにシステムの小型・軽量化が求められている。一方、ガソリン車並みの走行性能、加速性能を実現するには、システムの高電圧化も必要である。そこで、バッテリー電圧を昇圧するためのコンバータ（昇圧コンバータ）を用いたシステムの採用事例が増えている。

当社では、昇圧コンバータの基幹部品の1つであるリアクトル\*1を開発しており、小型・軽量化に向けた取り組みを行っている。本報告では、新しい磁性材料および新しい放熱構造を用いたリアクトルを開発し、小型、軽量化を達成したので、その詳細を述べる。

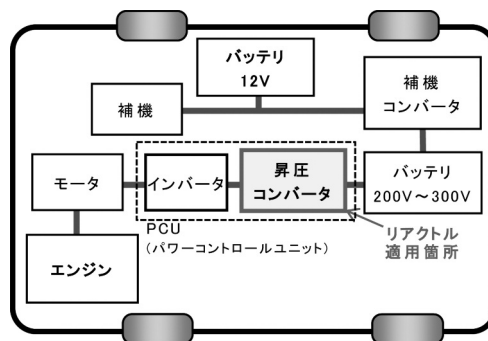


図1 HEVシステムのコンバータ配置例

## 2. リアクトルの構成

HEV、PHEV、EV、FCV等、自動車を電動化するためのシステムにおいて、必要とされる昇圧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、磁性コアに絶縁被覆付きの銅線をコイル状に巻いたものであり、パワー半導体を交互にON/OFFし、リアクトルの磁気エネルギーの蓄積/放出を繰り返すことで、昇圧の働きをする部品である。

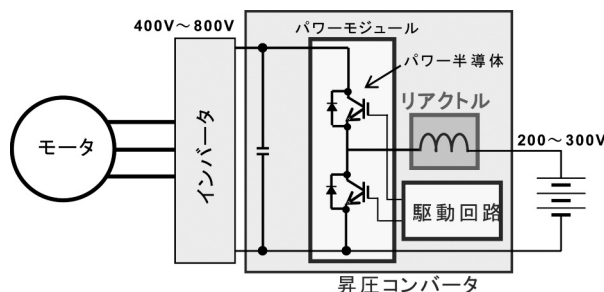


図2 昇圧コンバータの回路図

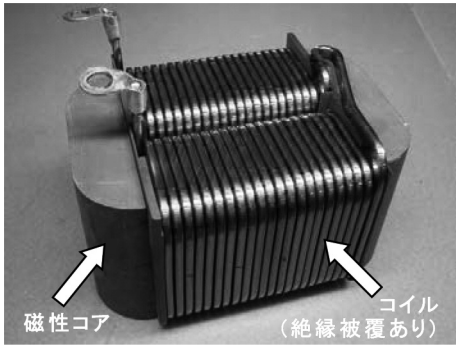


写真1 リアクトルの内部構成

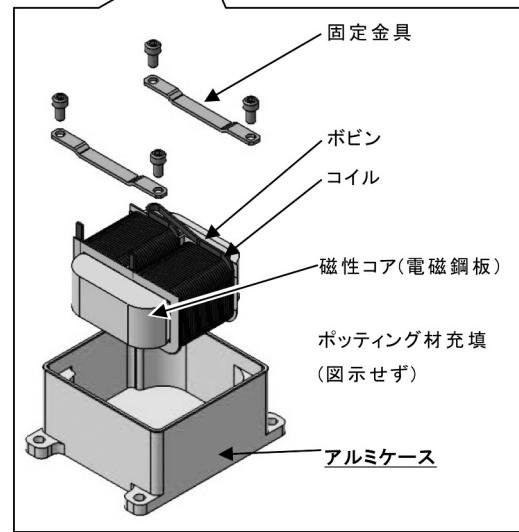
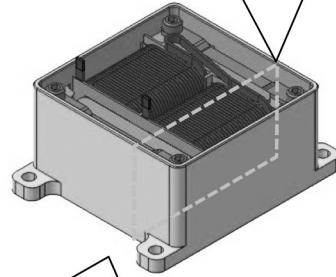
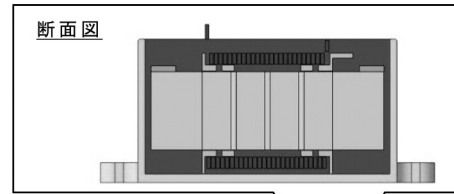


図3 従来型リアクトル

### 3. 新構造リアクトルのコンセプト

#### 3-1 新構造リアクトルの開発方針

当社が開発しているリアクトルは、昇圧コンバータをターゲットとしており、従来と比較して小型・軽量化することを目指している。

リアクトルの性能を表す指標として、インダクタンス<sup>※2</sup>および発熱による温度上昇がある。インダクタンスは、リアクトルの最も基本的なパラメータで、通電電流の最大値まである値以上を確保する必要がある。インダクタンスを維持したまま小型化するには、リアクトルに使用する磁性コアの飽和磁束密度を上げる必要がある。

一方、リアクトルの温度上昇は発熱（損失）と放熱性で決まるパラメータで、各 부품の耐熱温度以下に抑える必要がある。リアクトルは最大数百Aという大電流を流すため、非常に発熱が大きい。そのため、リアクトルは積極的に冷却する必要があり、底面を水冷する放熱構造を採用している。

従来型リアクトルの構造を図3に示す。アルミケース内に磁性コアとコイルを固定し、放熱性と内部の保護を目的に注型樹脂（ポッティング材）を充填する構造となっている。この構造では、コイルとアルミケースとの絶縁をポッティング材に頼っており、絶縁を確保するためある程度の厚みが必要のため、放熱性を低下させる要因となっている。この絶縁性と温度上昇を両立させるためには、リアクトルの発熱を下げる必要があり、従来型のリアクトルでは損失の小さい磁性コアを使用している。

磁性コアはリアクトルの体格の大部分を占めており、磁性コアの小型化はリアクトルの小型化に直結する。飽和磁束密度の高い磁性コアを使用することでインダクタンスを確保したままリアクトルを小型化することが可能だが、そのような磁性コアは逆に損失が大きくなるため、温度上昇にはマイナスとなる。このため、温度上昇を満足するにはリアクトルの放熱性を向上させる必要がある。

以上の通り、リアクトルの小型・軽量化には圧粉コアの飽和磁束密度向上およびリアクトルの放熱性の向上が必要である。

#### 3-2 新構造リアクトルの概要

リアクトルの小型・軽量化を進めるため、下記のコンセプトで開発を進めた。

- ① 純鉄圧粉コア<sup>※3</sup>採用による小型・軽量化  
純鉄圧粉コアは従来の電磁鋼板、合金圧粉コアに比べて損失はやや大きいですが、飽和磁束密度が高い。また3次元的な形状が作製可能である。
- ② 高熱伝導絶縁性接着剤（接着剤）による放熱性向上  
接着剤を介してリアクトルを放熱することで、絶縁性を確保しつつ放熱性を向上させ、リアクトルの温度上昇を抑える。これにより、磁性コアの損失増加による温度上昇を抑制することができる。
- ③ 樹脂ケースによる軽量化  
リアクトルケースの一部を樹脂化することで、従来のアルミケースに比べて軽量化できる。

新構造リアクトルを図4に示す。以下、詳細を説明する。

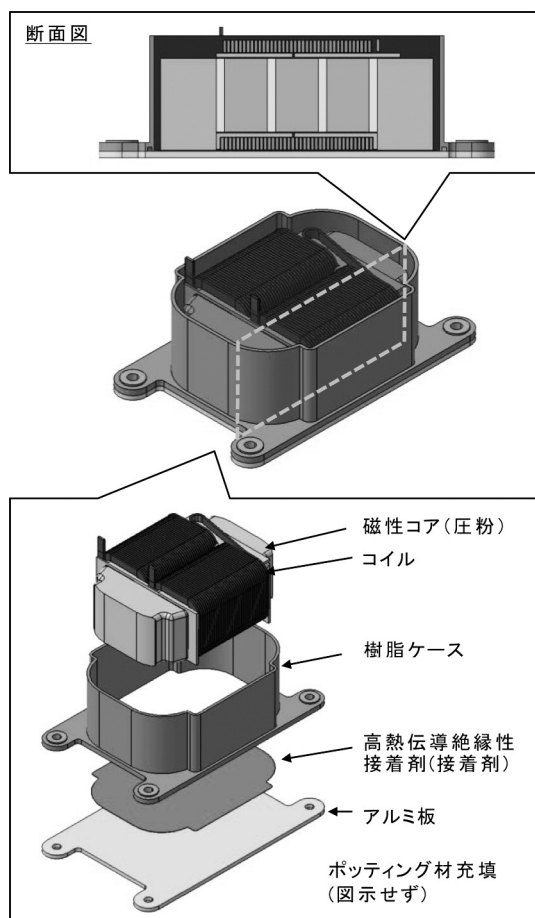


図4 新構造リアクトル

## 4. 新構造リアクトルの開発

### 4-1 純鉄圧粉コアの開発

リアクトル用磁性コア材料の比較を表1に示す。従来型からコア材料として使われている電磁鋼板 ( $t=0.1\text{mm}$ ) は、損失は小さいが、飽和磁束密度が低いため小型化が難しい。合金圧粉コアは、電磁鋼板と同程度に損失は小さいが、飽和磁束密度が低い。一方、純鉄圧粉コアは、合金圧粉コアと比べて損失はやや大きい、飽和磁束密度が高いため小型化が可能である。

磁性コア材料として、小型・軽量化が可能な純鉄圧粉コアを採用した。課題である損失については、後述の高放熱構造により対処する。

また、電磁鋼板と圧粉コアの形状の比較を図5に示す。電磁鋼板は、板面と平行な方向は磁束が通りやすいが、板面に垂直な方向は磁束が通りにくい特性を持っているため、3次元な磁性コアの形状を採用できなかった。それ

表1 磁性コア材料の比較

材料	電磁鋼板 (Fe-6.5wt%Si)	圧粉コア	
		合金(Fe-3.0wt%Si)	純鉄(Fe)
コア模式図			
損失(鉄損)	◎	○	△
飽和磁束密度	△	○	◎
3次元形状	×	○	○

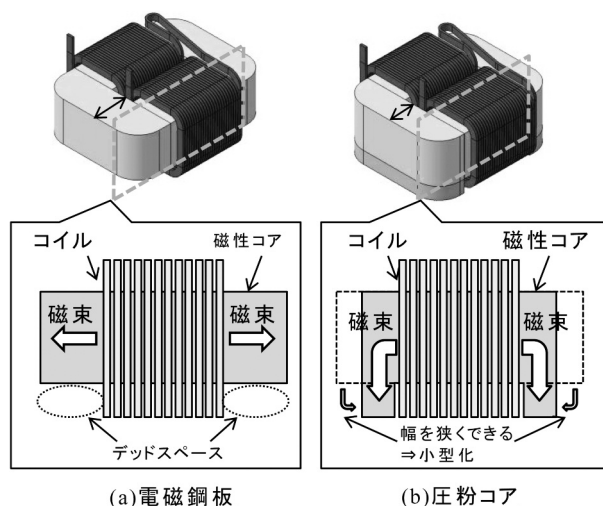


図5 コア形状比較

に対して圧粉コアはどの方向に対しても磁束の通りやすさが同じため、3次元な磁性コアの形状を採用できる。これにより、約10%の小型化が実現できる。

### 4-2 新構造の開発

新構造リアクトルは接着剤を使ってコイルとコアと樹脂ケースをアルミ板に固定し、その後にポッティングをする構造を採用している。従来構造と新構造の放熱経路の比較を図6、7に示す。従来構造と新構造の大きな違いはコイル・磁性コアから水冷部への放熱経路がポッティング材によるものか接着剤によるものである。この部分の放熱性能の違いがリアクトル全体の放熱性に影響する。

ポッティング材と接着剤の放熱性の比較を表2に示す。放熱性は熱伝導率と厚みで決定され、熱伝導率が高く、厚みが小さいほど放熱性が良くなる。

ポッティング材に比べて接着剤の熱伝導率は1.5倍以上にできる。それは、フィラー量の違いによるもので、ポッティング材は注入しやすくするため粘度を小さくする必要があり、接着剤ほどフィラー量を増やすことができないからである。

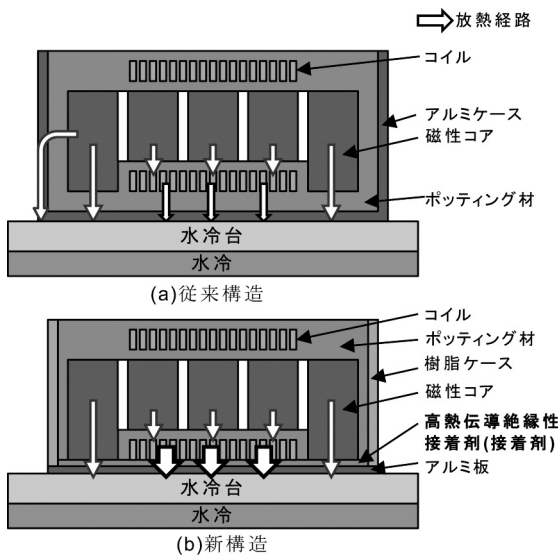


図6 放熱構造比較

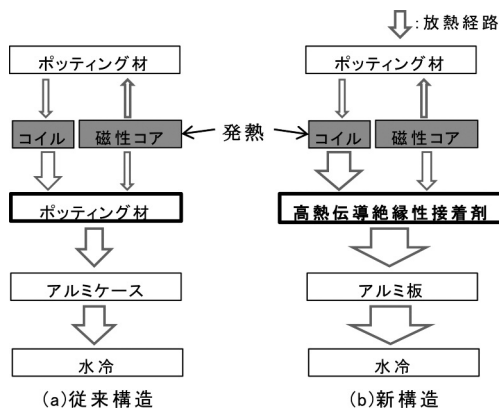


図7 放熱経路比較

表2 放熱性比較

	ポットイング材	接着剤
熱伝導率	~2W/m・K	3W/m・K~
厚み	1.5mm~	0.3~0.5mm
放熱性(熱伝達率)	~1300W/m <sup>2</sup> K	6000W/m <sup>2</sup> K~

※熱伝達率(W/m<sup>2</sup>K) = 熱伝導率(W/m・K) / 厚み(m)

また、ポットイング材に比べて接着剤の厚みは1/3以下にできる。ポットイング材は、気泡が発生した場合でも絶縁性を確保できるよう、厚みが1.5mm以上必要だが、接着剤については、後述する方法で絶縁性を確保しつつ厚みを0.5mm以下に抑えることができる。

以上のことから、接着剤の放熱性はポットイング材に比べて4.5倍以上の大きな放熱性を実現できる。

また、新構造では底面の接着剤部の放熱性が良いため、側面の放熱経路を省略しても良い。そこで従来構造で採用

していたアルミケースを廃止し、新構造では底面をアルミ板、側面を樹脂ケースとした。底面をアルミにすることで放熱性を確保し、放熱性が不要でない側面を樹脂にすることで軽量化することができる。ポットイング材についても同様の理由で熱伝導率の低い材料に変更できるため、フィラー量を少なくできて軽量化に寄与する。

上記の構造を採用することで、従来構造に比べてリアクトル全体の放熱性を少なくとも20%以上向上させることができ、さらに軽量化が可能である。

一方、コイルには高い電圧が印加されるため、コイルとアルミ板との絶縁は特に注意する必要がある。新構造では、接着剤の厚みが薄いため、その絶縁性が非常に重要となる。接着剤の厚みは0.1mm程度確保すれば絶縁抵抗から考えると問題はない。しかし、接着剤を塗布する際に低確率ではあるが気泡（ピンホール）が発生することがある。ピンホールがあると絶縁性が低くなるため、絶縁不良を起こす可能性がある。

新構造リアクトルでは、接着剤の多層構造を採用した。詳細を図8に示す。放熱性確保のため接着剤の厚みを薄くした場合、1層構造ではピンホールが発生すると絶縁不良を起こすが、多層構造ではピンホールが発生してもそれが重なる確率は非常に低く、絶縁不良が起きることはほとんどない。そのため、接着剤を厚みの薄い多層構造とすることで放熱性と絶縁性を両立できる。

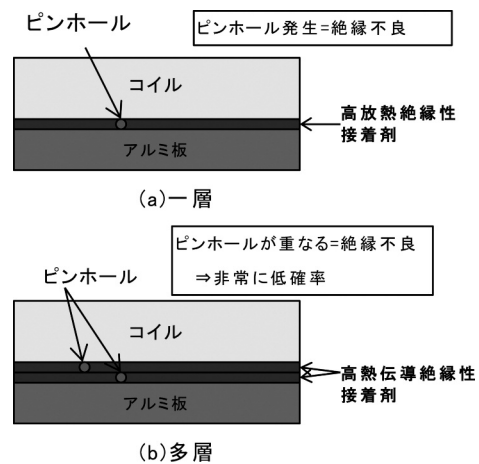


図8 接着剤塗布方法比較

### 4-3 新構造リアクトルの試作・評価

#### (1) 初期特性評価

4-1項および4-2項で説明した技術を用いてリアクトルの試作を行い、従来構造との比較を行った。その結果を表3に示す。純鉄圧粉コア、接着剤を採用した新構造にすることで、損失は10%増加するものの、インダクタンスお

よび温度上昇が同等で10%の小型化を達成した。この結果から、純鉄圧粉コアと高熱伝導絶縁性接着剤の効果を確認することができた。

表3 従来構造と新構造の比較

	従来構造	新構造
サイズ	1	0.9
インダクタンス	1	1
損失	1	1.1
温度上昇	1	1

## (2) 長期信頼性評価

新構造のリアクトルでは純鉄圧粉コア、高熱伝導絶縁性接着剤、樹脂ケースを新たに採用している。高温や外部振動による純鉄圧粉コアの特性劣化、高温あるいは温度サイクル時の接着剤の劣化や剥がれ、外部振動による樹脂ケースの締結部の割れ・破壊等が懸念されるが、表4に示す長期信頼性試験を実施した結果、全ての試験に合格し、問題ないことを確認した。

表4 新構造の長期信頼性試験結果

試験項目	判断基準	合否
温度サイクル試験	・外観 ・電気特性 (インダクタンス) ・温度上昇	○
パワーサイクル試験		○
高温動作試験		○
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

純鉄圧粉コアおよび高熱伝導絶縁性接着剤を用いた新構造リアクトルを開発し、従来と同等のインダクタンスと温度上昇を確保しつつ10%の小型・軽量化を実現した。さらに十分な信頼性を有していることを確認できた。

## 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 インダクタンス

リアクトルにおいて磁気エネルギーを蓄える能力を現す指標。この値が大きいほど大きなエネルギーを蓄えることができる。

### ※3 圧粉コア (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。

## 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、pp.78-83 (Jul. 2009)
- (2) 吉川浩平、「樹脂モールドリアクトルの開発」、SEIテクニカルレビュー第178号、pp.116-120 (Jan. 2011)

## 執 筆 者

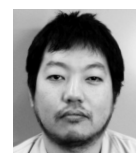
山本伸一郎\*：(株)オートネットワーク技術研究所  
HV研究部



草別 和嗣：自動車新領域研究開発センター  
主査



井戸 順二：住友電装(株) 電子事業本部



川口 肇：住友電装(株) 電子事業本部



伊藤 睦：住友電装(株) 電子事業本部



加藤 雅幸：(株)オートネットワーク技術研究所  
HV研究部 室長



\*主執筆者