

高周波スイッチングに適した新しい軟磁性材料と高電力密度車載充電器への適用

New Soft Magnetic Materials for Higher Switching Frequencies and Their Application for High Power Density On Board Charger

萩原 和弘*

Kazuhiro Hagiwara

西村 和則*

Kazunori Nishimura

三吉 康晴*

Yasuharu Miyoshi

山脇 大造*

Taizo Yamawaki

梅野 徹*

Tohru Umeno

Stefan Endres**

* 日立金属株式会社
機能部材事業本部

Advanced Components and Materials
Division, Hitachi Metals, Ltd.

** Fraunhofer Institute for Integrated
Systems and Device Technology IISB

ナノ結晶合金コア FT-3K50T は広周波数範囲で高いインピーダンス透磁率特性を示し、アモルファスパウダーコア HLM50 および Mn-Zn フェライトコア ML29D は、高い飽和磁束密度と高周波数領域で低損失という特長を持つ。これらはともに日立金属の新しい軟磁性材料であり、スイッチング電源の高周波数化・小型化への貢献が期待されている。本稿ではこれら材料の特長を示し、さらに車載充電器 (OBC: On Board Charger) へ適用させた。その結果、市場先行評価品に対し約 1.3 倍、現市場の製品に比べ約 3 倍の 3.8 kW/L という高い電力密度の OBC を実現した。

Nanocrystalline alloy core FT-3K50T has a high impedance permeability over a wide frequency range, and amorphous powder core HLM50 and MnZn ferrite core ML29D exhibit a high saturation flux density and low loss at high switching frequencies. These cores are Hitachi Metals new soft magnetic materials and are expected to contribute to switched-mode power supplies with high switching frequency and downsizing. In this paper, the features of these materials are described, and they are applied to an onboard charger (OBC) to confirm their impact. The results show that the OBC can achieve a power density of 3.8 kW/L, which is around 1.3 times higher than prototypes from other companies, and around 3 times higher than commercial OBCs.

● **Key words** : 軟磁性材料, 高周波数化, On Board Charger

● **Production Code** : FT-3K50T, HLM50, ML29D

● **R&D Stage** : Mass production (OBC: prototype)

1. 緒言

地球温暖化対策として、CO₂ 排出低減効果の高い電動車 (xEV: x Electric Vehicle) の市場への普及が加速している。この中で、電気自動車 (EV: Electric Vehicle) やプラグインハイブリッドカー (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle) は、駆動エネルギー源であるバッテリーの電気エネルギーを商用電源から供給するための充電器を搭載している。これは車載充電器 (OBC: On Board Charger) と呼ばれ、商用交流電圧 (AC) からバッテリーの直流電圧 (DC) に変換するスイッチング電源であり、ノイズフィルターや電力変換に用いられる素子としてインダクターやトランスといった軟磁性部品が使用される。

OBC には自動車の居住空間確保のための小型化や燃費向上のための軽量化が強く求められている。そのためには、OBC の単位体積当たりの出力電力を上げること、すなわち電力密度の向上が必要となる。現在市場製品では

1.3 kW/L 程度の電力密度が達成されている¹⁾。ここでさらなる高電力密度化のためには、OBC のスイッチング周波数を上げて、体積および質量の大きい軟磁性部品を小型軽量化することが有効である。しかしその際、高周波数化に伴うスイッチングノイズや磁性部品のコアロスの増大が問題となる。

本稿では、OBC の高周波数化に適した日立金属の新しい高周波対応軟磁性コアであるファインメット[®] コア FT-3K50T、アモルファスパウダーコア HLM50 および Mn-Zn フェライトコア ML29D について述べる。FT-3K50T は広い周波数範囲で高いインピーダンス透磁率を有し、OBC から発生するスイッチングノイズを効果的に低減することができる。また HLM50 および ML29D は高い飽和磁束密度と高周波数領域における低損失特性

● ファインメット, FINEMET は日立金属株式会社の登録商標です。

を有する。これらはそれぞれ OBC を構成するノイズフィルター回路、力率改善・AC/DC 変換回路および DC/DC 変換回路用のインダクターやトランスに適した材料となっている。さらにこれら材料を用いて高周波スイッチングで動作する OBC を設計・試作・評価し、OBC の小型化に対する効果について確認する。

2. ファインメットコア FT-3K50T

2.1 背景

xEV では OBC やモーターを駆動するインバーターなどから発生するコモンモードノイズが周辺機器の誤動作の原因となるため、これを低減するためにインダクターであるコモンモードチョークコイルが使用される。2000 年以降、自動車の電動化が進展するとともに、車両に搭載される電子機器は増加し、高密度実装化する傾向にあることからコモンモードノイズの抑制はますます重要となっている。このような背景から、特に 100 kHz から 1 MHz の周波数範囲において高いインピーダンス透磁率を持つ軟磁性材料が望まれている。また高密度実装に伴いコモンモードチョークコイルには一層の小型軽量化が望まれている。

2.2 ナノ結晶軟磁性合金ファインメット

コモンモードチョークコイルのコアとしては従来 Mn-Zn 系のフェライトが用いられてきた。これに対し日立金属では 1988 年に Fe 基ナノ結晶軟磁性合金材料ファインメットを開発し、現在ファインメット FT-3KM コアを用いたコモンモードチョークコイルを量産中である。ファインメットはアモルファス薄帯をトロイダル形状に巻回した後、ナノ結晶化を伴う熱処理を行うことで Mn-Zn 系フェライトを上回る高いインピーダンス透磁率を実現した軟磁性材料である²⁾。図 1 と表 1 に材料別のインピーダンス透磁率を示す。ファインメット FT-3KM のインピーダンス透磁率は Mn-Zn フェライト (日立金属製 MP70D) に比べて 100 kHz において 3.3 倍、1 MHz に

おいて 1.8 倍となっており、コモンモードチョークコイルのコアとして優れた磁気特性を有していることがわかる。

2.3 FT-3K50T

ファインメットではナノ結晶化を伴う熱処理時に磁芯の磁路と垂直方向に磁場を印加する磁場中熱処理を行うことで誘導磁気異方性を制御し、インピーダンス透磁率を調整することができる。コモンモードチョークコイルに対する高インピーダンス化要求に応えるため、日立金属ではファインメットの磁場中熱処理条件について新たな検討を行い、FT-3KM 材を凌ぐ高いインピーダンス透磁率を有するファインメット FT-3K50T を開発した。図 1 に示すとおり FT-3K50T は 100 kHz から 10 MHz までの広い周波数範囲において Mn-Zn フェライトや FT-3KM よりも高インピーダンス透磁率を有することがわかる。また表 1 に示すように FT-3K50T は Mn-Zn フェライトとの比較で 100 kHz において 3.5 倍、1 MHz において 2.8 倍高いインピーダンス透磁率を実現しており、コモンモードチョーク用コアとして優れたノイズ低減効果が期待できる。FT-3K50T と Mn-Zn フェライトを用いた同等特性のコモンモードチョークコイルの寸法比較を表 2、図 2 に示す。FT-3K50T を用いることで Mn-Zn フェライトを用いた場合に比べて体積は 55%、質量は 53% に小型軽量

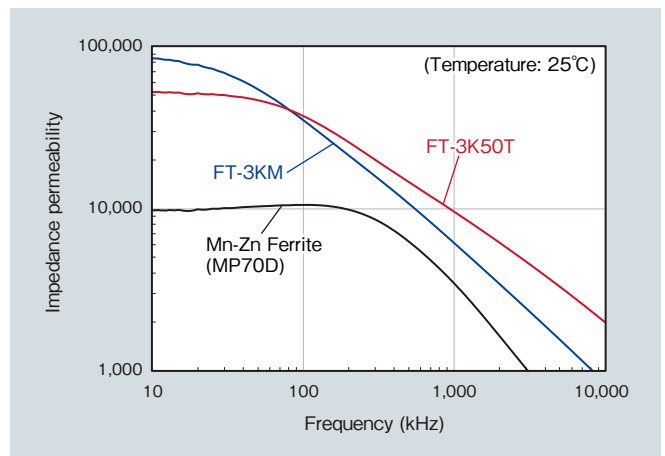


図 1 インピーダンス透磁率の周波数特性

Fig. 1 Frequency dependence of impedance permeability

表 1 材料磁気特性一覧

Table 1 Material magnetic properties

Item	Material			
	FINEMET® (FT-3K50T)	FINEMET® (FT-3KM)	Mn-Zn Ferrite (MP70D)	
Impedance permeability (25°C)	at 10 kHz	50,000	83,000	9,700
	at 100 kHz	37,000	35,000	10,500
	at 1 MHz	9,600	6,100	3,400
Variation range of impedance permeability	-40 to +150°C	26%	11%	77%

化されている。また FT-3K50T は -40℃ から 150℃ におけるインピーダンス透磁率の変化率(対 25℃ 比)が 26% であり、Mn-Zn フェライトに比べて安定した温度特性を有する(表 1, 図 3)。以上により FT-3K50T をコモンモードチョークコイルのコアとして用いることで、従来材である Mn-Zn フェライトよりも優れたノイズ低減効果と安定した温度特性を期待することができる。

表 2 コモンモードチョークコイル寸法比較

Table 2 Size comparison of common mode choke coils

Item	Material	
	FINEMET® (FT-3K50T)	Mn-Zn Ferrite (MP70D)
Volume	24 cm ³ (55%)	44 cm ³ (100%)
Weight	55 g (53%)	104 g (100%)

(Spec. Vac = 250 Vrms. Iac = 20 Arms. L = 3 mH at 100 kHz)

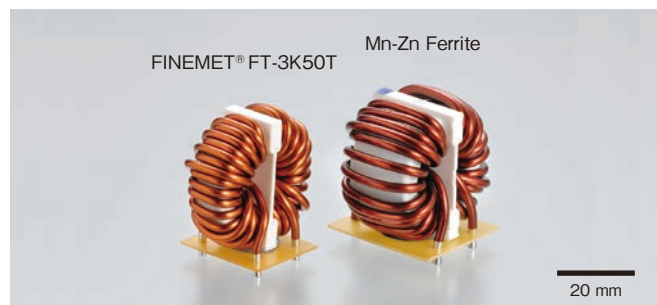


図 2 コモンモードチョークコイルの外観比較

Fig. 2 Appearance of common mode choke coils

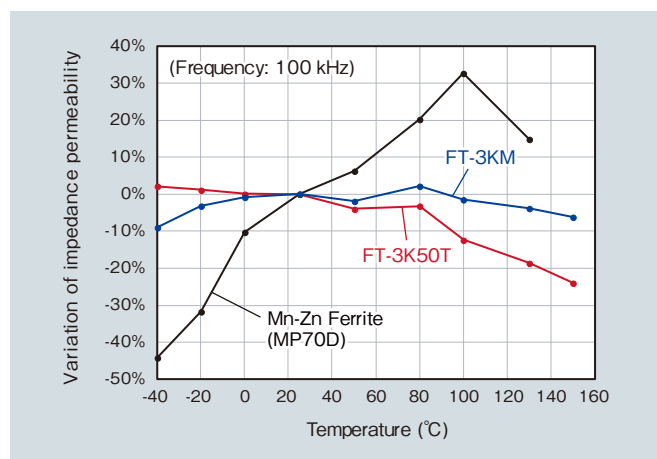


図 3 インピーダンス透磁率の温度依存性

Fig. 3 Temperature dependence of impedance permeability

表 3 各種軟磁性材料の磁気特性

Table 3 Magnetic characteristics of various soft magnetic materials

Item	Si-Steel	Sendust	Amorphous SA1
Composition	6.5mass%Si-Fe	9.6Si, 5.5Al, Bal. Fe (mass%)	Fe ₇₈ Si ₉ B ₁₃ (at%)
Saturation magnetic flux density B _s (T)	1.8	1.1	1.56
Coercive force H _c (A/m)	12	1.6	2
Initial permeability μ _i	1,000	30,000	15,000
Magnetostriction constant λ _s (ppm)	0	0	27
Electrical resistivity ρ (μΩ cm)	82	80	137

3. アモルファスパウダーコア HLM50

3.1 背景

EV や PHEV では商用電源から電気エネルギーを供給する。その際発生する高調波電流には規制があり、制限値以下に抑えることが義務付けられている。そこで高調波電流を抑制するための力率改善回路(PFC: Power Factor Correction)が必要となる。PFCはインダクターの接続状態を高周波スイッチングすることにより入力電流を制御して入力電力の力率を1に近づけるものである。現在 PFC 回路の高効率化・小型化が求められており、インダクターのコアとして低損失・高飽和磁束密度(高直流重畳特性)の両立が求められている。

日立金属はこれまで、PFC用インダクターのコアとして、6.5% Si-Fe 合金からなるパウダーコア KP とセンダスト®合金からなるパウダーコア S1 をラインナップしてきた。しかし高い飽和磁束密度を有する KP は優れた直流重畳特性を示すが、コア損失が大きく高周波化には適していない。一方の S1 は低損失ではあるが、直流重畳特性が低いため大電流用途には適さない。以上により低損失と高飽和磁束密度を兼ね備えたパウダーコアの開発が必要となった。

3.2 アモルファスパウダーコア

日立金属では、電力用トランスのコア材料として、優れた磁気特性を有する Fe 基アモルファス合金 Metglas® リボンを生産している。主力品種のひとつである 2605SA1 (以下 SA1) の磁気特性を表 3 に示す。S1 材を構成するセンダストと同程度の小さい保磁力を有し、かつセンダストよりも高い飽和磁束密度を示している。さらに、SA1 の比抵抗はセンダストよりも高いため、50 kHz 以上の高周波で励磁されるパウダーコア用途に対して渦電流損失の低減効果が期待できる。これらのことから S1 を上回る磁気特性を発現し得るパウダーコアの原料として SA1 は高いポテンシャルを有していると考えら

- センダストは国立大学法人東北大学の登録商標です。
- Metglas は Metglas, Inc. の登録商標です。

れる。一方で、パウダーコア原料にリボンを使用する場合、通常使用される 100 μm 以下の粉末にリボンを粉砕する必要が生じる。さらに、リボン粉砕粉は扁平状になるため、成形体密度 (占積率) が向上しにくい。このようなアモルファスリボンをパウダーコア原料として活用する際に生じる課題に対して、粒度分布の制御や微粉末添加による占積率の向上、粉砕粉の表面処置、成形体保形用のバインダー、成形時の潤滑剤等の種類・添加量の検討を行った。その結果得られた、アモルファスパウダーコア HLM50 の特性を表 4 に示す。また、コアロスの周波数依存性と直流重畳特性について、従来材である KP および S1 と比較したグラフをそれぞれ図 4、図 5 に示す。HLM50 のコアロスは、KP、S1 を下回り、100 kHz 以上の高周波になるほどその差が顕著になる。かつ、直流重畳も KP と同等の高特性であることから、低損失・高直流重畳特性が求められる PFC 用のインダクターとして好適である。

4. Mn-Zn フェライトコア ML29D

フェライトは、金属材料に比べ飽和磁束密度は低いが、比抵抗が高く渦電流損失が小さいこと、低価格であること、さらに比較的自由的な形状に作製するという利点を持つ。また、数 MHz までの周波数領域ではフェライトの中で Mn-Zn フェライトが最も低損失である。OBC の DC/DC 変換回路のスイッチング周波数は現在 50 ~ 100 kHz 程度であるため、そのメイントランスには Mn-Zn フェライトコアが使用されることが多い。

OBC の小型化・軽量化にはスイッチング周波数を上げてトランスを小型化することが有効であるが、高周波化するとトランスコアのコア損失 P_{cv} は急増し電力変換効率の低下を引き起こす。そのため、高周波領域でのコア損失の低減が OBC 小型化の重要な課題のひとつである。

トランスコアに用いられる Mn-Zn フェライトのコア損失は、図 6 および式 (1) ~ (3) に示すように周波数 f に比例する成分がヒステリシス損失 P_h 、周波数の二乗に比例する成分が渦電流損失 P_e 、および残部が残留損失 P_r と考えることができる³⁾。

$$P_{cv} = P_h + P_e + P_r \tag{1}$$

$$P_h = K_h \cdot f \tag{2}$$

$$P_e = K_e \cdot f^2 \tag{3}$$

K_h, K_e : coefficient

比較的低周波ではコア損失はヒステリシス損失の比率が高いが、周波数が高くなるに従い渦電流損失の比率が高くなる。そのため、高周波領域での低損失化には、渦

表 4 アモルファスパウダーコア HLM50 の磁気特性 (従来材比較)
Table 4 Magnetic properties of amorphous power Core HLM50 (in comparison to conventional materials)

Material		Core loss P_{cv} (kW/m ³) 100 kHz, 50 mT	Incremental permeability $\mu \Delta$	
			0 kA/m	10 kA/m
KP	6.5%Si-Fe	360	50	35
S1	Sendust	180	80	22
HLM50	Amorphous	100	50	32

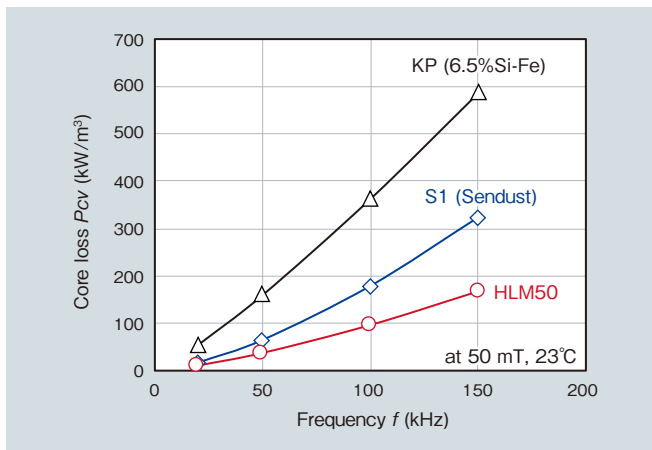


図 4 コア損失 P_{cv} の周波数特性 (従来材比較)
Fig. 4 Frequency characteristics of core loss P_{cv} (in comparison to conventional materials)

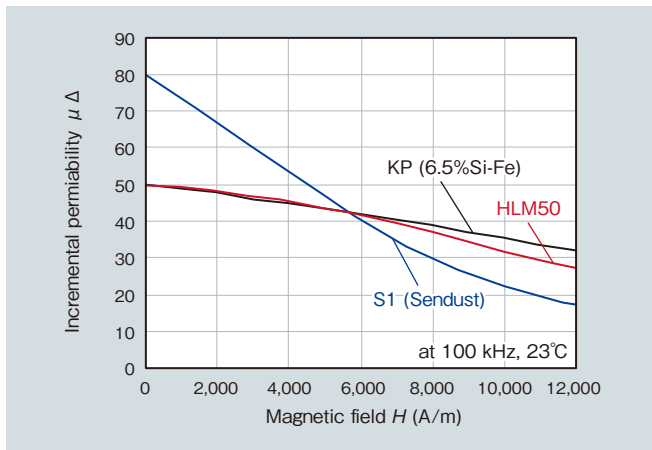


図 5 直流重畳特性 (従来材比較)
Fig. 5 DC biased characteristics of incremental permeability (in comparison to conventional materials)

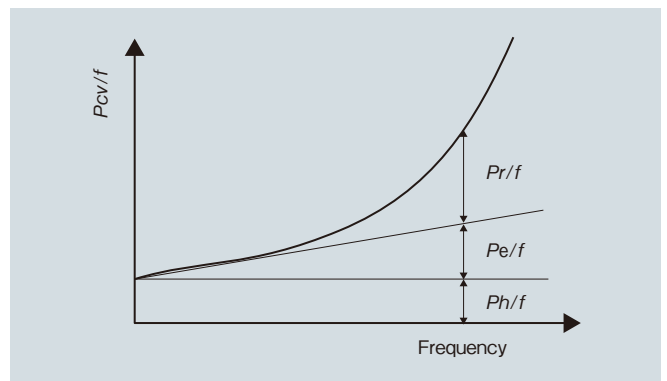


図 6 コア損失の周波数依存性
Fig. 6 Dependence of core loss per unit frequency on frequency

電流損失を低減させることが必要となる。

フェライトの渦電流損失低減には、結晶粒の微細化と高抵抗化が有効と考えられているが、結晶粒の微細化はヒステリシス損失の増加を引き起こしやすい。一方、高抵抗化は微量添加した副成分を結晶粒界に偏析させることで実現でき、その偏析を均質かつ高濃度に制御することでヒステリシス損失の増加を抑制しつつ渦電流損失を低減できると考えられる。Mn-Znフェライトコア ML29D は、結晶粒界に偏析させる副成分の適正化により、日立金属従来材 ML33D に比べ比抵抗 ρ を高め、渦電流損失を低減した材料である。図7にこれらの材料のコア損失の周波数特性を示す。ML29D は低周波域のコア損失を ML33D と同等に保ちつつ、高周波域のコア損失を、特に高温領域で低減させている。また、飽和磁束密度を ML33D に比べ向上(表5)させており、本材料を用いたトランスコアを OBC の DC/DC 変換回路に使用し、スイッチング周波数を高周波化することで、OBC の小型化・高効率化が期待できる。

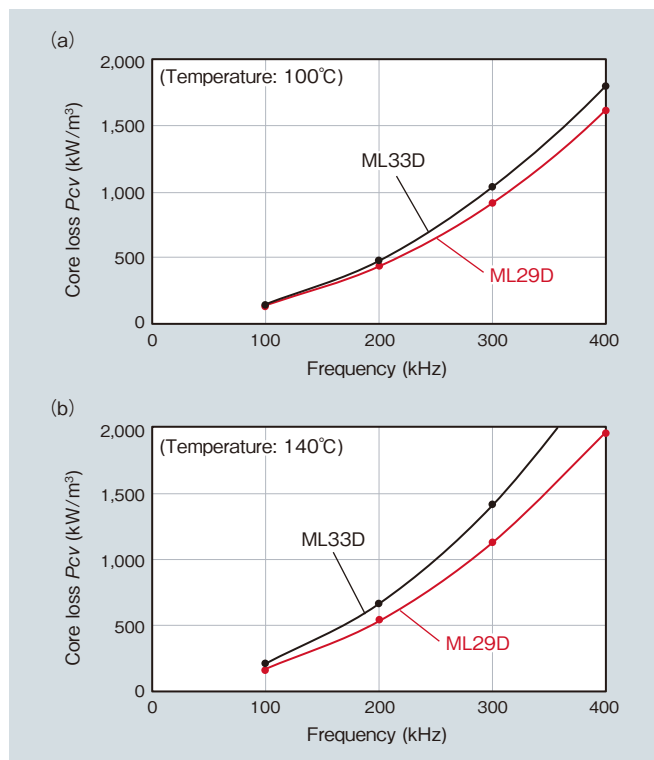


図7 コア損失の周波数特性 ($B_m = 150$ mT)
Fig.7 Dependence of core loss on frequency ($B_m = 150$ mT)

表5 Mn-Zn フェライトコア ML29D の特性 (参考値)
Table 5 Properties of ML29D Mn-Zn ferrite core material (typical)

Item	ML29D	ML33D
Initial permeability μ_i	2,900	3,300
Electrical resistivity ρ ($\Omega \cdot m$)	10	8
Saturation magnetic flux density B_s (mT)	23°C	540
	100°C	430
	140°C	360

5. 高電力密度 OBC

前述の日立金属製軟磁性コアを適用したインダクターとトランスを用いた OBC プロトタイプ機を、欧州の応用研究機関である Fraunhofer 研究機構の集積システム・デバイス技術研究所 (IISB) と共同で設計・試作・評価を行った。本章では、OBC の構成や評価結果について報告する。

5.1 OBC 概要

表6に OBC の諸元を示す。入力電圧は各国の商用交流電源に対応するため $100 \sim 260$ V_{rms} とした。最大出力電力は OBC 1 台当たり 3.6 kW で普通充電に対応し、最大6ユニットまで並列接続することができ、その場合 22 kW の急速充電が可能となる。また、体積は 0.945 L であり、強制水冷下で 3.8 kW/L の高出力電力密度を達成した。なお、本 OBC は自動車内のデジタル制御信号用バス規格である CAN (Controller Area Network) を介して通信・制御される。

図8は OBC のブロック図である。各ユニットは、OBC で発生するスイッチングノイズを低減するための EMI (Electromagnetic Interference) フィルター、力率を改善し電力効率改善とスイッチングノイズ低減に寄与する PFC、入力 AC 電力を DC 電力に変換するための AC/DC 変換回路、AC/DC 変換回路の出力電圧を所望 DC 電圧に変換し、商用電源と車体とを電気的に絶縁するための DC/DC 変換回路から構成され、出力にバッテリーが接続される。図にあるように出力を並列接続し、並列動

表6 OBC プロトタイプの諸元
Table 6 Specifications of OBC prototype

Item	Specifications
Max. output power	3.6 kW/unit (22 kW / 6 units)
Volume	112 × 211 × 40 mm = 0.945 L
Power density	3.8 kW/L
Weight	1.7 kg
Cooling	Water cooling
Control interface	CAN communication

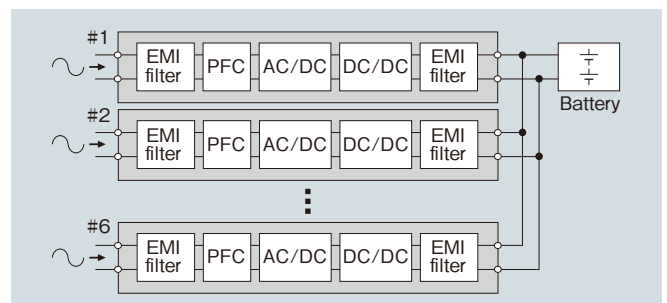


図8 OBC のブロック図
Fig.8 Block diagram of OBC

作させるユニット数により出力電力をフレキシブルに決めることができる。

図9の左側に1ユニット(上蓋を開けた状態)を2台、右側に3ユニットを並列接続時のOBCの外観を示す。冷却水は、Waterと書かれた箇所から流入させることが可能になっている。

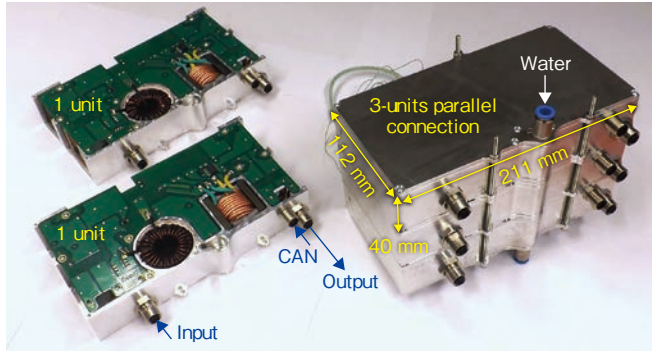


図9 開発した 3.6 kW/unit 0.945 L OBC
Fig. 9 Developed 3.6 kW/unit OBC with volume of 0.945 L

5.2 高電力密度化技術

高電力密度性能を実現するため、OBC回路に以下の技術を適用した。

- ・周波数特性に優れた日立金属製軟磁性材料とSiCデバイスを使用することにより、スイッチング周波数の高周波化を可能としインダクターおよびトランスの体積を低減
 - ・トランスの漏れインダクタンスの活用により、部品点数を削減しインダクターおよびトランスの体積を低減
 - ・DC/DC変換回路にZVS (Zero Voltage Switching)方式を用いることによりスイッチング損失を低減
- 以下、詳細を説明する。

図10にOBC 1ユニットの回路図を示す。赤は日立金属製軟磁性材料を用いた部品を示し、また、すべてのダ

イオード (D_{11} , D_{12} , $D_{31} \sim D_{34}$) とFETスイッチ (S_{11} , S_{12} , $S_{21} \sim S_{24}$) にSiCデバイスを用いた。図11にOBC 1ユニットの外観と日立金属製軟磁性部品の実装箇所を示す。入出力EMIフィルターはスイッチングノイズを低減するため用いられる。インダクターは容量と接続されたLCフィルターを構成するため、高周波までの良好なノイズ減衰特性を得るには高周波までの高いインピーダンスが必要である。そのため、入出力EMIフィルターに高周波インピーダンス特性に優れたファインメットコアFT-3K50Tを用いたコモンモードチョークコイル (L_{CM1} , L_{CM2} , L_{CM3} , L_{CM4}) を適用した。一方、差動ノイズに関しては、小型化のためコモンモードチョークコイルの漏れインダクタンスと容量で構成されるフィルターによる低減を図った。その等価回路を図12(a)に示す。

PFC+AC/DC変換には、部品点数が少なく高効率化に有利な昇圧型変換回路であるTotem-Pole回路を用いた。PFCを構成するインダクター L_1 には大電流が流れるため、直流重畳特性に優れ高周波でも低損失なアモルフラスパウダーコアHLM50を用いたインダクターを適用した。

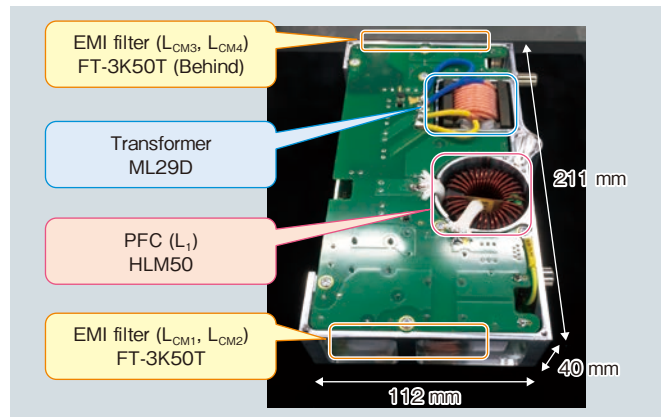


図11 OBC 1ユニットと日立金属製部材
Fig. 11 One-unit-OBC with Hitachi Metals materials

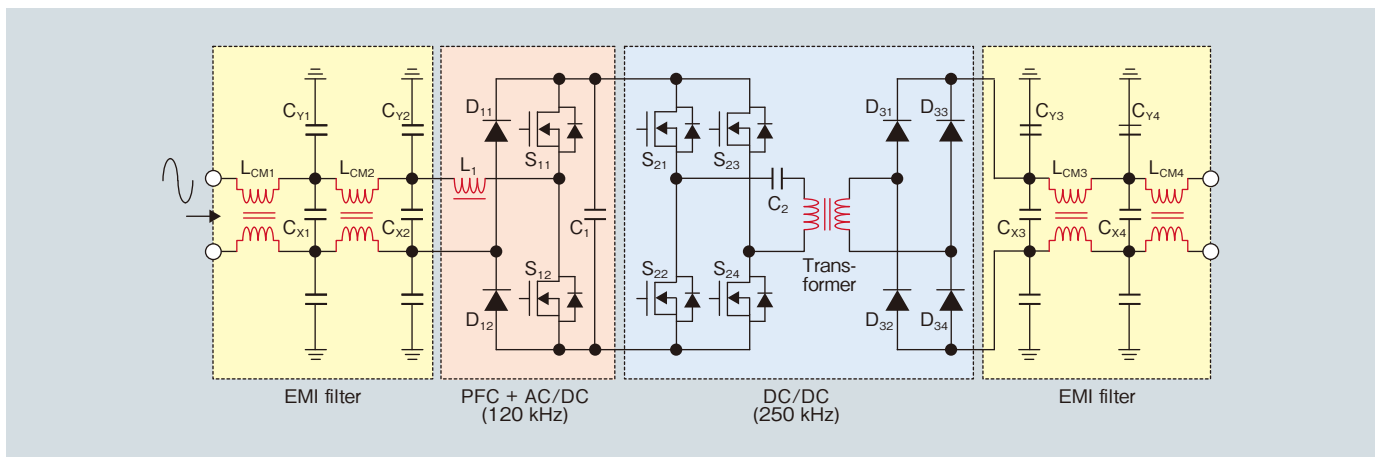


図10 OBCの回路図
Fig. 10 Circuit diagram of OBC

トランスには、複雑形状への成型が容易で高い飽和磁束密度と高周波数領域における低損失特性に優れた Mn-Zn フェライトコア ML29D を用いた。また DC/DC 変換回路にはスイッチング損失低減に効果的な ZVS 方式の一つである LLC 共振方式を適用した。さらにトランス小型化のため、漏れインダクタンスを共振用インダクターとして活用している (図 12 (b) の L_{LK})。

上記構成において、放熱可能な範囲内でスイッチング周波数を最大限に高く設定した。その結果、PFC+AC/DC 変換回路と DC/DC 変換回路において、それぞれ従来 50 kHz、50 ~ 100 kHz 程度であったスイッチング周波数を 120 kHz、250 kHz に高周波化することができた。これにより、インダクターとトランスの体積を従来に比べそれぞれおよそ 50%、40% に低減できた。これに加え、DC リンクキャパシター (C_1) の小型化も可能となった。

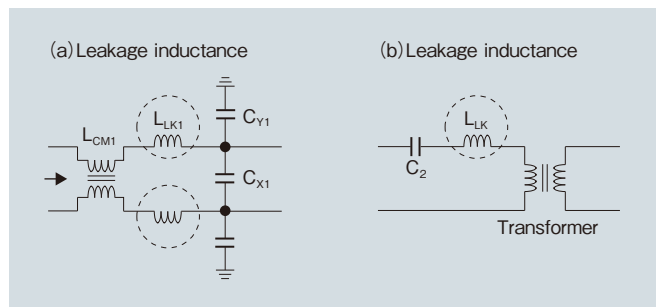


図 12 漏れインダクタンスの活用 (a) EMI フィルター, (b) 変圧器
Fig. 12 Utilization of leakage inductance: (a) EMI filter, (b) transformer

5.3 評価結果とベンチマーク

図 13 に OBC 1 ユニット動作時の電力効率の実機評価結果を示す。入力電圧 230 V_{rms}、50 Hz で、バッテリー電圧 (V_{out}) 350 V、400 V、450 V に対して評価した結果、最大効率 95% 以上を達成することが確認できた。

次に、図 14 に OBC 3 ユニットの並列動作を行い 3 相電圧を入力した場合の電力効率の実機評価結果を示す。入力電圧 230 V_{rms}、50 Hz で、バッテリー電圧 (V_{out}) 300 V、350 V、400 V、450 V に対して評価した結果、最大効率 94.5% 以上を達成することが確認できた。

最後に、図 15 に市場先行評価品を含めた OBC の電力密度推移を示す^{1), 4), 5)}。製品はすべて Si デバイスを使用し、プロトタイプ機は日立金属が SiC、市場先行評価品が GaN を採用している。今回開発した OBC はプロトタイプ機ではあるものの、市場先行評価品に対し約 1.3 倍、現市場の製品に比べ約 3 倍の 3.8 kW/L という高い電力密度を実現することができた。

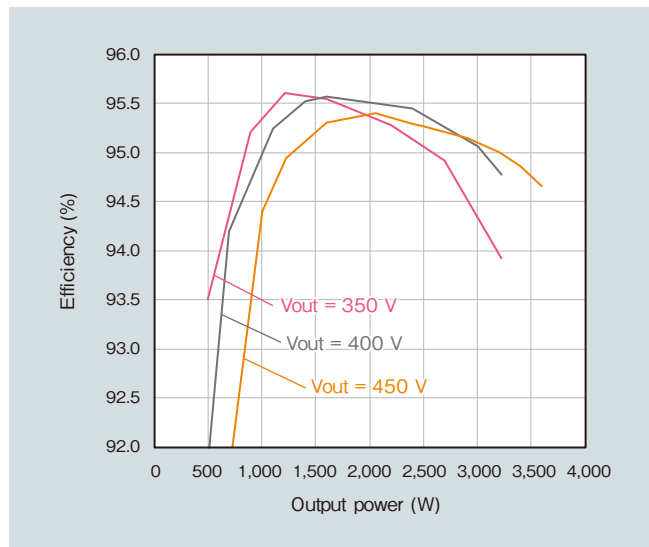


図 13 1 ユニット運転時の効率
Fig. 13 One-unit-operation efficiency

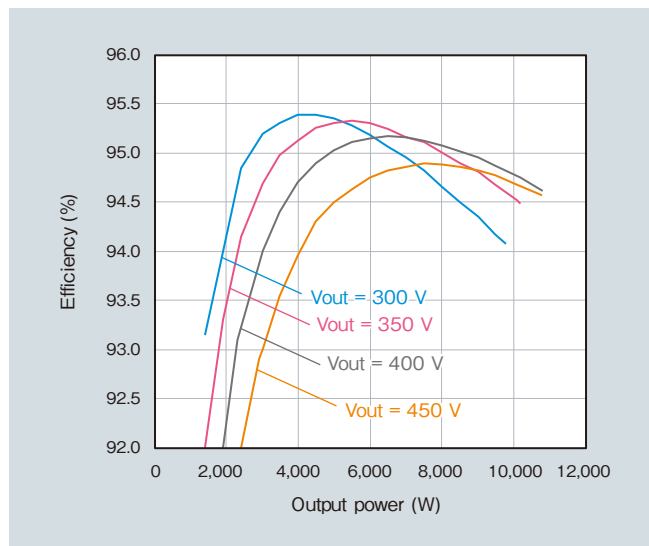


図 14 3 相入力 3 ユニット並列運転時の効率
Fig. 14 Three-unit operation efficiency with three-phase inputs

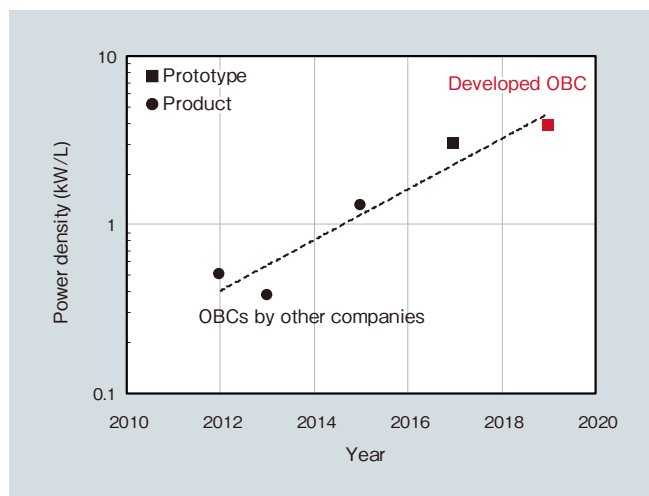


図 15 OBC 電力密度の推移と本開発 OBC 性能
Fig. 15 Trend of OBC power density and performance of the developed OBC

6. 結言

本稿では、日立金属の軟磁性材料であるナノ結晶材コア FT-3K50T、アモルファスパウダーコア HLM50 および Mn-Zn フェライトコア ML29D の特長について述べ、高周波数化に伴うノイズやコアロス増大の低減に有効であることを示した。さらにこれらコアを用いて、OBC を設計・試作・評価し、市場先行評価品に対し約 1.3 倍、現市場の製品に比べ約 3 倍の 3.8 kW/L という高い電力密度の OBC を実現できることを確認した。今後、これら日立金属の軟磁性材料が市場において OBC の小型・軽量化に寄与していくことを期待している。

引用文献

- 1) 望月, 他: Panasonic Technical Journal, Vol.61 (2015/5), No.1, p.47.
- 2) Y. Yoshizawa, et. al.: J. Appl. Phys. 64, 6040 (1988)
- 3) 三吉, 他: 日本応用磁気学会誌, Vol.20 (1996), No.1, p.11-15.
- 4) S. Endres, et al.: 6kW Bidirectional, Insulated On-board Charger with Normally-Off GaN Gate Injection Transistors, PCIM Europe, May, (2017)
- 5) 金山, 他: 三菱電機技報, Vol.87 (2013/8), No.8, p.17-21.



萩原 和弘

Kazuhiro Hagiwara
日立金属株式会社
機能部材事業本部



西村 和則

Kazunori Nishimura
日立金属株式会社
機能部材事業本部



三吉 康晴

Yasuharu Miyoshi
日立金属株式会社
機能部材事業本部



山脇 大造

Taizo Yamawaki
日立金属株式会社
機能部材事業本部



梅野 徹

Tohru Umeno
日立金属株式会社
機能部材事業本部



Stefan Endres

Power Electronic Division
Fraunhofer Institute for Integrated Systems and Device
Technology IISB