

# ハードフェライトを用いた大電流対応積層パワーインダクタの開発

## Development of Multilayer Power Inductor Supporting Large Current with Hard Ferrite

NJコンポーネント株式会社

奥田 健二 山内 清久 北岡 幹雄  
Kenji Okuda Kiyohisa Yamauchi Mikio Kitaoka

### 要 旨

当社は、Ni-Zn（ニッケル・亜鉛）フェライト<sup>1</sup>を用いた積層パワーインダクタを2003年に開発し、携帯電話向けとして実用化に成功した。その後も、「小型」「低背」「低損失」「高い直流重畳特性」を重視した製品開発を進めている。近年のスマートフォンの普及に伴い、パワーインダクタに対するニーズの重点は「大電流への対応」へシフトしている。このニーズを踏まえ、当社は「大電流に対応するフェライト積層タイプのパワーインダクタ」の実現を目標として新たなパワーインダクタを開発した。開発に際しての課題は、電流が流れる際にパワーインダクタ内部で発生する磁気飽和の抑制であり、当社は「ハードフェライト（永久磁石）」をパワーインダクタンスに組み込み、インダクタ内部の磁気飽和を防ぐために磁気バイアスをかける方法を採用した。

### Abstract

NJ Components developed a multilayer power inductor using Ni-Zn (nickel-zinc) ferrite in 2003 and successfully put it into practical use for cell phones. Since then, NJ Components has continued to develop products emphasizing “compact,” “low profile,” “low loss,” and “high DC superposition characteristics”. With the spread of smartphones in recent years, the focus of needs for power inductors has shifted to “supporting large currents”. Based on these needs, NJ Components has developed a new power inductor to realize a “ferrite multilayer type power inductor supporting large currents”. The challenge during development was to suppress the magnetic saturation that occurs inside the power inductor when current flows. NJ Components has incorporated a “hard ferrite (permanent magnet)” into the power inductance and adopted a method of applying a magnetic bias to prevent magnetic saturation inside the inductor.

## 1. まえがき

近年では“Society 5.0”<sup>2</sup>とされる新たな社会形態が築かれつつあり、日常生活や企業活動へのデータサービスの普及や、ものづくり産業における自動化を始めとして、社会におけるデジタル化の流れがますます加速している。

デジタル化社会の発展に伴い、様々な電子機器に内蔵される電源装置の性能向上が求められており、電源装置の性能向上を実現するうえで、装置の主要構成要素であるパワーインダクタの高耐圧化と大電流対応の両立が課題とされていたが、従来はこの解決が困難とされていた。当社は50年以上にわたり培ってきたフェライト材料設計技術を生かしてこの課題解決に臨み、従来困難とされていた「高耐圧化と大電流対応の両立」を実現したパワーインダクタの開発と製品化を実現した。本稿ではこの経緯について紹介する。

## 2. パワーインダクタの概要

スマートフォンを始めとするモバイル機器、ワイヤレスイヤホンやスマートウォッチなどのウェアラブル機器、パソコンなどの電子機器には、電源としてDC-DCコンバータ回路が用いられ、入力電源電圧を機器の動作に必要な電圧に変換する。DC-DCコンバータの種類は多様であるが、スイッチングレギュレータ方式の降圧タイプが最も一般的である。降圧タイプのDC-DCコンバータの基本回路を図1に示す。電源回路に使用されるパワーインダクタは、安定な電源供給のうえで重要な役割を担っている。パワーインダクタに電流を流すと磁気エネルギーが蓄えられるが、この際の自己誘導作用（電流の変化に対し逆起電力を発生させ、誘導電流を流す作用）により、パワーインダクタが充放電制御を行う。この動作により、入力電源電圧に変動が生じても安定した所望電圧を得るとともに、高い電圧変換効率を実現する。

<sup>1</sup> Ni-Znフェライト：ニッケル亜鉛フェライト

<sup>2</sup> Society 5.0：サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会」であり、第5期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿

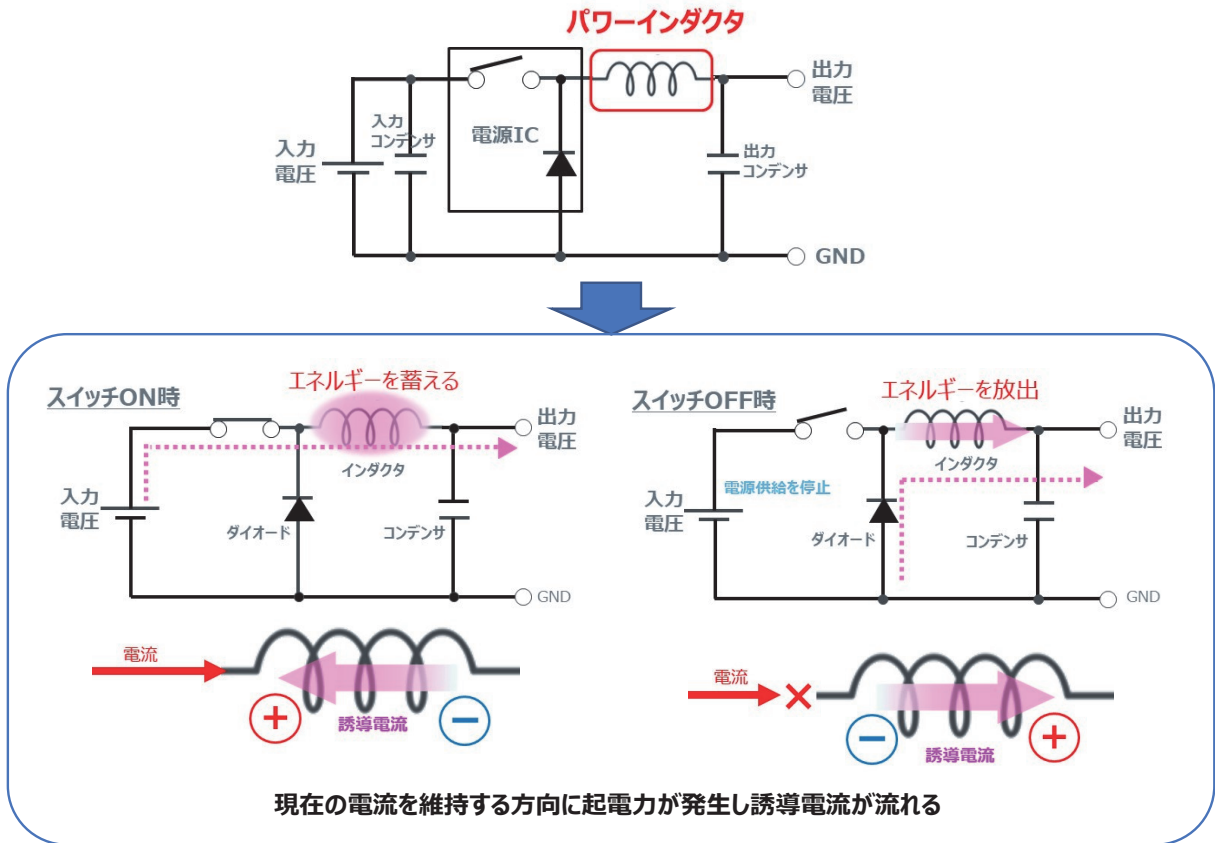


図1 降圧タイプのDC-DCコンバータの基本回路

Fig.1 Basic circuit of step-down type DC-DC converter

民生向け製品を代表するスマートフォンにおいて、多機能化に伴うCPU<sup>3</sup>の高性能化により消費電力が増加している。また、CPUの動作電圧の低下に伴い所要電流が大きくなる傾向にある。この結果、DC-DCコンバータ回路内のパワーインダクタに求められる電流容量が大きくなっている。スマートフォンを構成する回路のイメージを図2に示す。

一方、産業向けアプリケーションにおいては、一般的に入力電圧が高く、時に60 V以上となる場合がある。パワーインダクタには入出力電圧の差が印加されるため、このような用途に用いられるパワーインダクタには高い耐電圧性能が求められる。

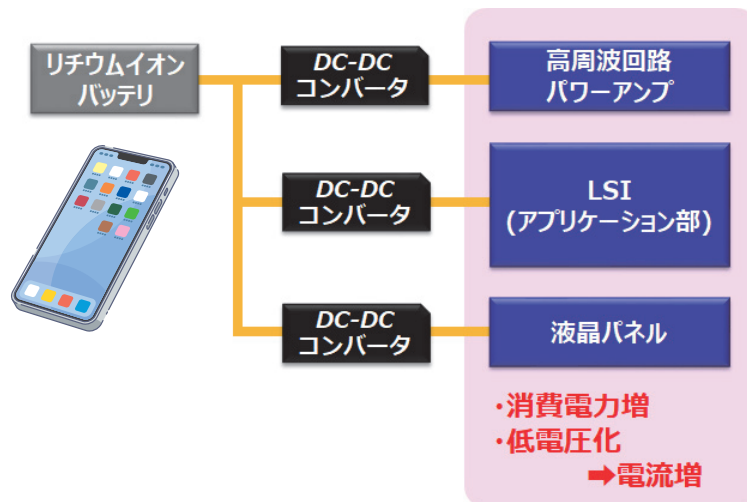


図2 スマートフォンを構成する回路のイメージ

Fig.2 Image of the circuits that configure a smartphone

<sup>3</sup> CPU (Central Processing Unit):中央処理装置

### 3. パワーインダクタの種類

パワーインダクタは、コアを形成する材料の種類や用途などにより複数のタイプに分類される。パワーインダクタの種類と各々の長所・短所を図3に示す（赤枠内が当社の対応製品であるフェライト積層タイプ）。

当社製のパワーインダクタは「フェライト積層タイプ」で、小型・低背でありながら高い耐電圧性能を持つ。このため、部品の配置スペースが制約されるような機器や出力電流が比較的小さいアプリケーションに適している。

コア主材料	タイプ	長所	短所
フェライト	巻線	・高いインダクタンス値まで実現可能 ・高い耐電圧	・漏洩ノイズが大きい ・小型化・低背化が困難
	積層	・小型化・低背化が可能 ・高い耐電圧	・大電流への対応が困難 (直流重畳特性*が悪い)
メタル	巻線	・大電流に対応 (直流重畳特性*が良い)	・耐電圧が低い ・低背化が困難
	積層薄膜	・大電流に対応 (直流重畳特性*が良い) ・小型化・低背化が可能	・耐電圧が低い

※直流重畳特性：電流の増加に対しインダクタンスを保持できる度合を示す特性

図3 パワーインダクタの種類と各々の長所・短所

Fig.3 Types, and their advantages and disadvantages of power inductor

### 4. 次世代パワーインダクタの開発目的とコンセプト

当社は、「大電流に対応したフェライト積層タイプのパワーインダクタ」の実現を目標として新たなパワーインダクタを開発した。開発のポイントは、電流が流れる際にパワーインダクタ内部で発生する磁気飽和の抑制である。一般的な積層パワーインダクタの構造と磁気飽和のメカニズムを図4に示す。

電流の増加によるインダクタンスの低下を防ぎ、大電流

に対応するため、当社は「ハードフェライト（永久磁石）」をパワーインダクタに組み込み、インダクタ内部の磁気飽和を防ぐために磁気的な逆バイアスを与える方法を採用した。トロイダルモデルのインダクタにおける磁気的な逆バイアスの原理を図5に示す。Ni-Znフェライトのみを用いたトロイダルモデル（図5）において、磁気飽和しない磁界強度の範囲は①～②の範囲となるが、ハードフェライトを組み込むことにより、磁気飽和が生じない磁界強度の範囲を①～②に広げる効果が得られる。

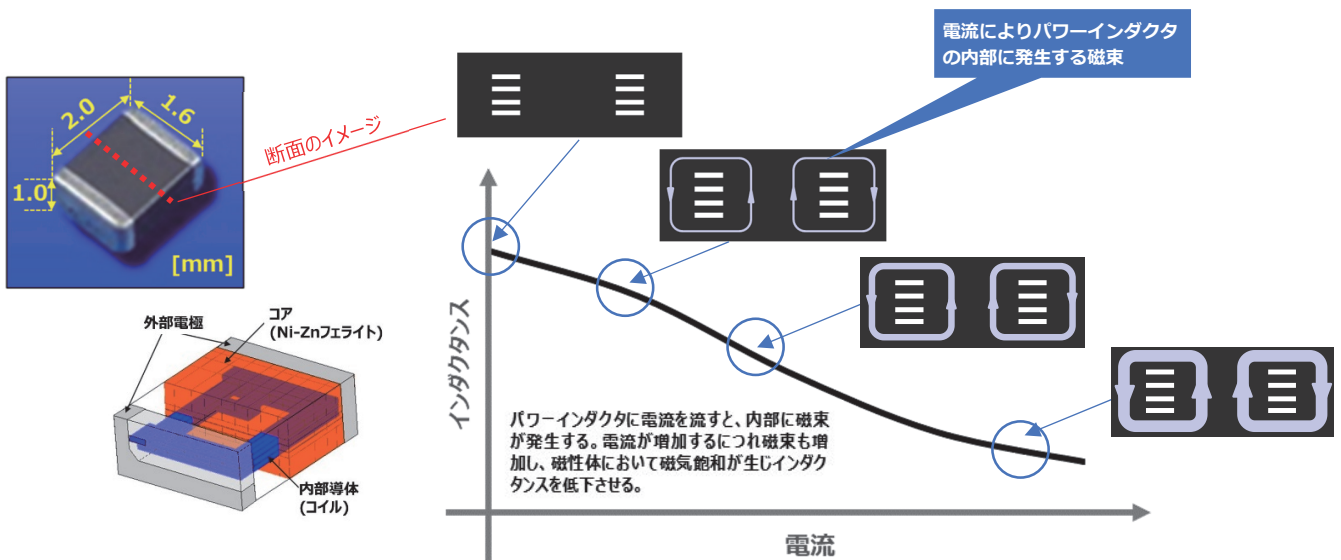


図4 積層パワーインダクタの構造と磁気飽和のメカニズム

Fig.4 Structure of multilayer power inductor and mechanism of magnetic saturation

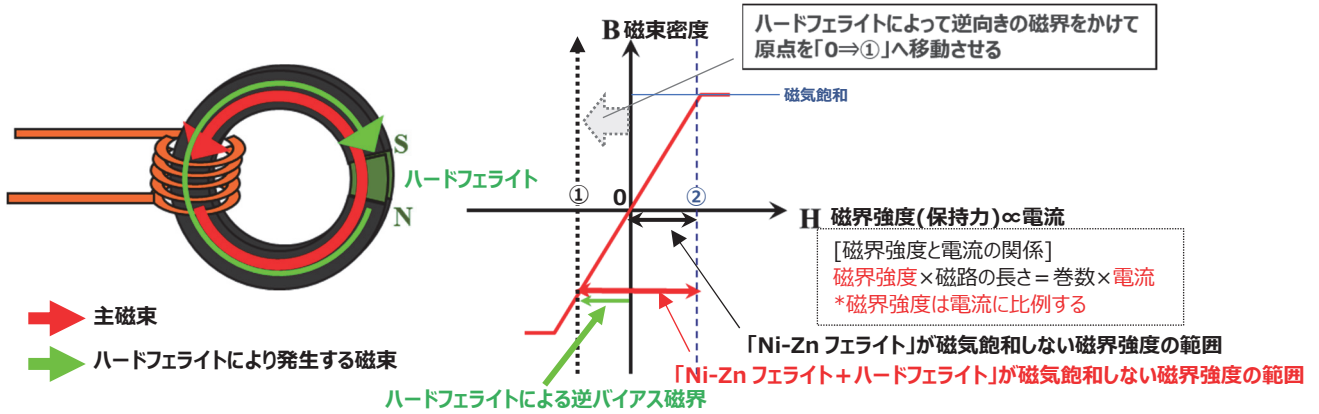


図5 トロイダルモデルのインダクタにおける磁氣的な逆バイアスの原理  
Fig.5 Principle of magnetic reverse bias in toroidal model inductor

新たに開発した次世代型パワーインダクタ「MCPシリーズ (以下MCP)」は、図5に示すトロイダルモデルを実現するため、主磁束と逆向きの磁束を発生させるようコア内部にハードフェライトを組み込んだ。MCPの外観と構造を図6

に示す。MCPは、従来型パワーインダクタの直流重畳特性カーブを磁氣的にシフトさせ、図7に示す高い直流重畳特性を実現する。

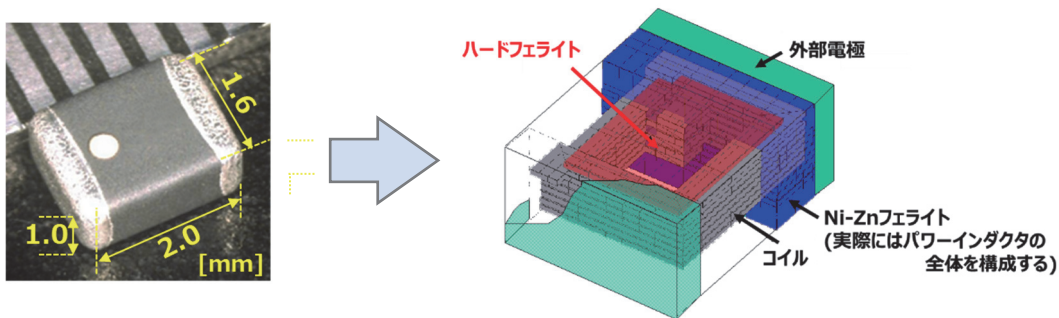


図6 次世代型パワーインダクタ「MCPシリーズ」の外観と構造  
Fig.6 Appearance and structure of next-generation power inductor "MCP series"

[直流重畳特性の比較]

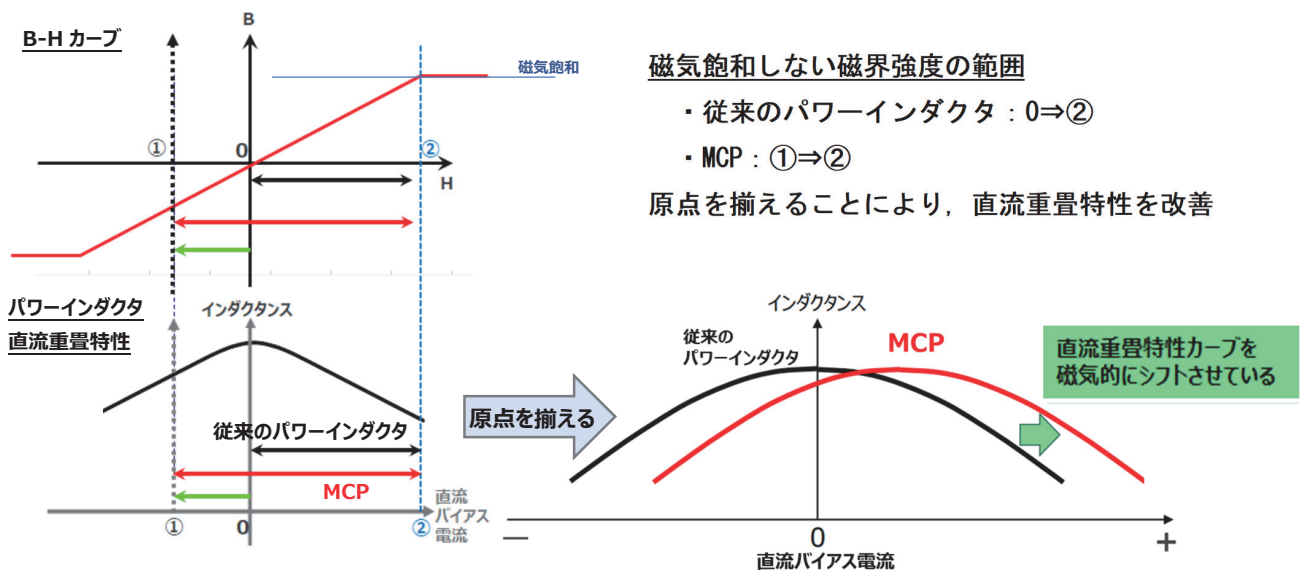


図7 従来のパワーインダクタとMCPにおける直流重畳特性の比較

Fig.7 Comparison of DC superposition characteristics between conventional power inductors and MCP

## 5. 製品化の過程における課題とその解決

製品化の過程において特に重要視した課題とそれらの解決方法について述べる。

- 課題1) 減磁<sup>4</sup>しないハードフェライト材料の選定と形状設計
- 課題2) 異なる材料の同時一体化焼成の実現
- 課題3) 最適な内部構造によるパワーインダクタ損失の低減

### 5.1 課題1) 減磁しないハードフェライト材料の選定と形状設計

MCPに組み込まれるハードフェライトには、定格電流を超えない使用環境下においては減磁しない（磁力特性が永久に劣化しない）ことが求められる。減磁が生じると所望の直流重畳特性が得られなくなるため、減磁を生じさせない設計が非常に重要である。

当社は、MCPの設計段階でシミュレーションを行い、反磁界の影響を考慮してハードフェライトの材料選定および形状設計を行った。

### 5.2 課題2) 異なる材料の同時一体化焼成の実現

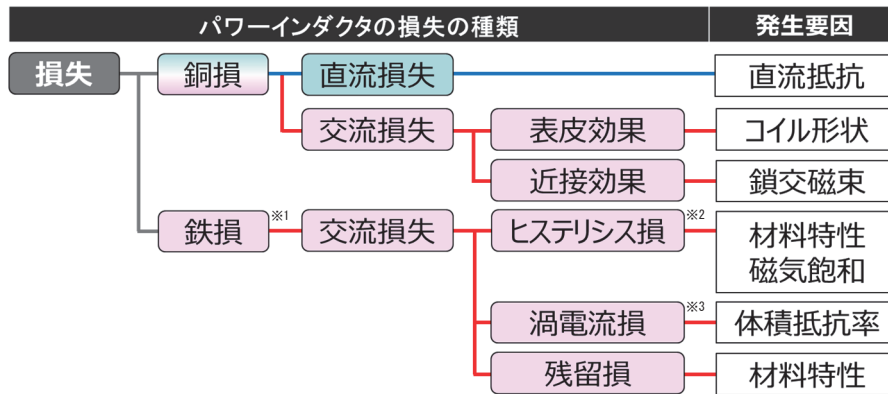
従来の積層パワーインダクタにおいては、コアを形成するNi-Znフェライトと内部導体を形成するAg（銀）を一体化させ、同時焼成による生産を行っていた。しかし、フェライトとAgの焼結温度が異なるため、同時焼成を行うために

は、材料組成や仮焼プロセスなどの最適化技術が必要とされていた。さらに、ハードフェライトを加えた3種類の材料を同じ温度で焼結させることが非常に困難であった。当社が新たに採用したBaM（バリウム）フェライト<sup>5</sup>を主成分としたハードフェライト材料において、添加剤の種類、添加量、粉碎状態、焼成条件などを最適化し、製品化に成功した。

### 5.3 課題3) 最適な内部構造によるパワーインダクタ損失の低減

DC-DCコンバータ回路には、エネルギー損失を抑えた電圧変換が求められる。この要求を満足するためにはパワーインダクタにおけるエネルギー損失を抑えることが非常に重要である。MCPには、直流重畳特性改善のためハードフェライト層を組み込んでいるが、試作当初はインダクタにおけるエネルギー損失の増加が避けられず、CAE（Computer Aided Engineering）を用いたシミュレーション解析によりエネルギー損失の発生原因を究明し、対策を立案した。判明したエネルギー損失発生原因の主たるものはインダクタ内の銅損<sup>6</sup>（巻線の抵抗による電力損失）であり、銅損を低減させる以下2項の対策を立案・実施した。

- ①ハードフェライト層の位置の最適化
  - ②ハードフェライト層と隣接するコイル構造の最適化
- パワーインダクタにおけるエネルギー損失の種類と発生要因を図8に示す。



※1 鉄損：磁性材料の物性のために発生する損失

※2 ヒステリシス損：磁界の方向および磁束の大きさの変化により発生するエネルギー損失

※3 渦電流損：磁性体内に発生した渦電流により消費される損失

図8 パワーインダクタにおけるエネルギー損失の種類と発生要因

Fig.8 Types and generating factors of energy loss in power inductors

<sup>4</sup> 減磁：磁力が低下する現象

<sup>5</sup> BaMフェライト：バリウムフェライト

<sup>6</sup> 銅損：内部導体の抵抗によって消費される電力損失

## 6. MCPの特長

### ①高い直流重畳特性：

MCPはハードフェライトを組み込んでいるため、直流電流の重畳による磁気飽和を抑え、同じサイズの従来型パワーインダクタと比べて約1.5~2倍の電流に対応する。

### ②高耐圧：

Ni-Znフェライトを用いたMCPは耐電圧が高く、電圧変動やサージに対する高い耐性を実現している。

### ③小型：

MCPは従来型パワーインダクタ（フェライト巻線タイプ）と比べ小型のチップ形状で、電源のモジュール化にも対応する。また積層チップ構造であるため樹脂モールドにも適している。

以上の特長を有するMCPは、従来の民生向けパワーインダクタの主流であるメタル製品と比べ優れた性能を持つ。MCPとメタル製品の特性比較を図9に、パワーインダクタの適用アプリケーションを図10に示す。

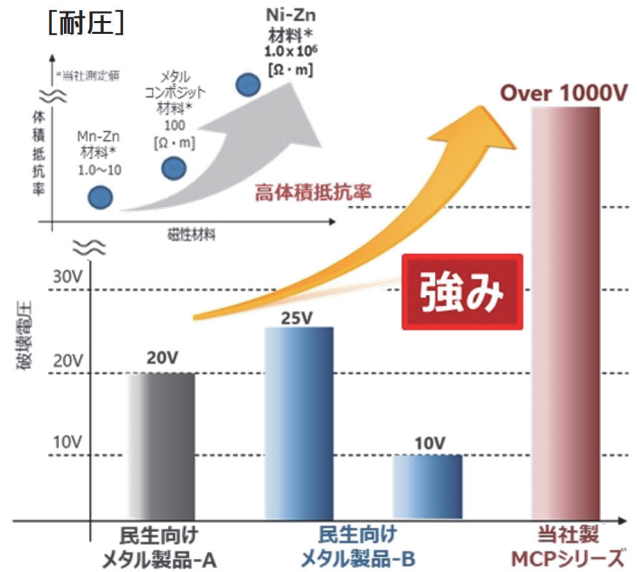
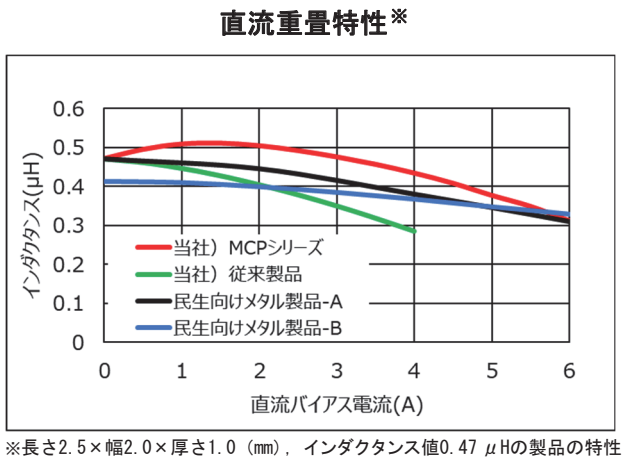


図9 MCPとメタル製品との特性比較

Fig.9 Comparison of characteristics between MCP and metal products

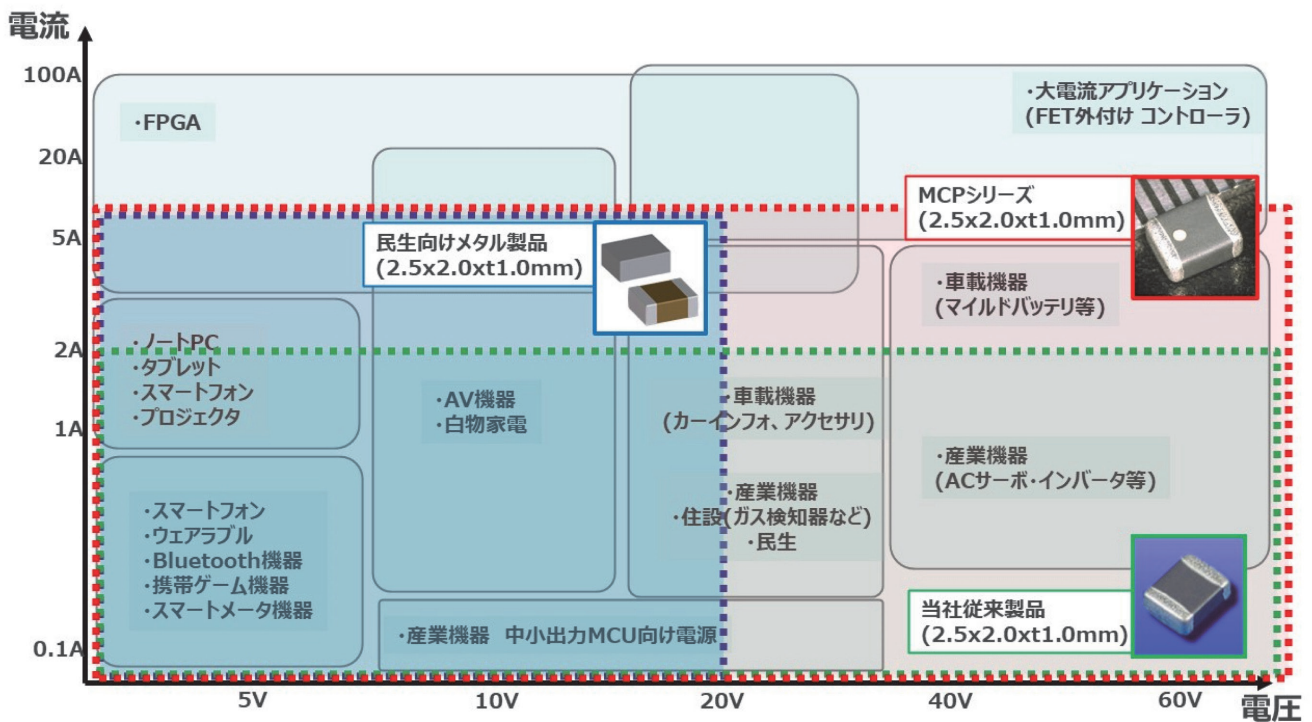


図10 パワーインダクタの適用アプリケーション

Fig.10 Applications for power inductors

## 7. あとがき

当社の強みであるフェライト材料技術を生かし、幅広いアプリケーションにも対応可能な高効率積層パワーインダクタ「MCP」の開発について述べた。

今後、当社は以下の取り組みを進めていく予定である。

### ①アプリケーションの多様化:

産業分野や車載機器分野を始めとするMCPの適用アプリケーションの拡充を図り、市場の更なるニーズに応える。

### ②更なる小型化による付加価値向上:

小型化を更に進め、電源モジュールへの融合を図り、システム設計の自由度向上に貢献する。

### ③新たな技術の開発:

高温環境下における安定な動作や高周波応答性の向上など、より厳しい要件を満たす新たな技術開発を進め、パワーエレクトロニクス分野の進化に対応する。

以上の取り組みにより、より多くのお客様にとっての価値を創出し、市場における地位を高めてゆく。

## 関連情報

### (1) 内閣府ウェブサイト” Society 5.0”

[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html)