

第7世代「Xシリーズ」1,700V IGBT モジュール “PrimePACK™”

“PrimePACK™” of 7th-Generation “X Series” 1,700-V IGBT Modules

山本 拓也* YAMAMOTO, Takuya

吉渡 新一* YOSHIWATARI, Shinichi

岡本 有人* OKAMOTO, Yujin

近年、地球温暖化防止の観点からCO₂排出量の削減が求められており、太陽光発電や風力発電などといった再生可能エネルギーの導入が伸びている。この分野において進んでいる電力変換装置の大容量化に伴い、大容量IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの需要が拡大している。

大容量化が進む電力変換装置の小型化や低損失化、高信頼性化の要求が高く、それに応えるため、富士電機では第7世代「Xシリーズ」IGBT モジュールの製品系列において、“PrimePACK™” (Xシリーズ PrimePACK™) を開発した。

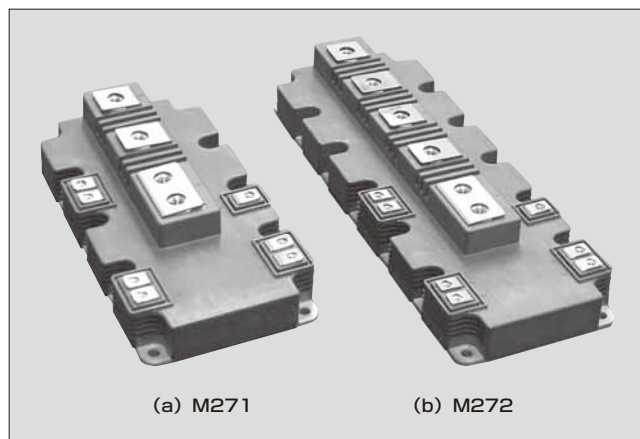


図1 Xシリーズ PrimePACK™

表1 Xシリーズ PrimePACK™ のラインアップ

パッケージ	定格		型式	絶縁基板	絶縁耐圧	CTI*	T _{top}
	電圧	電流					
M271	1,200V	900A	2MBI900XXA120P-50	Al ₂ O ₃	4.0kVAC	>600	175℃
		1,200A	2MBI1200XXE120P-50	AlN			
	1,700V	900A	2MBI900XXA170-50	Al ₂ O ₃			
		1,200A	2MBI1200XXE170-50	AlN			
M272	1,200V	1,400A	2MBI1400XXB120P-50	Al ₂ O ₃			
		1,800A	2MBI1800XXF120P-50	AlN			
	1,700V	1,000A	2MBI1000XXB170-50	Al ₂ O ₃			
		1,400A	2MBI1400XXB170-50	Al ₂ O ₃			
		1,800A	2MBI1800XXF170-50	AlN			

* 対トラッキング係数 (comparative tracking index)

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部産業モジュール部

① 特徴

Xシリーズ PrimePACK™ の外観を図1に、ラインアップを表1に示す。パッケージタイプはM271とM272の2種類で、特徴は次の三つである。

- (1) 定格電流を従来製品の1,400Aから1,800Aに拡大
- (2) 連続動作時接合温度 T_{top} の範囲拡大
- (3) 新規高放熱絶縁基板の採用による放熱性の向上

② 電気的特性

本製品にはXシリーズのチップ技術を適用し、従来製品「Vシリーズ」IGBTモジュールのPrimePACK™ に対して発生損失を大幅に低減した。図2、図3にIGBTおよびFWD (Free Wheeling Diode) のオン電圧とスイッチング損失のトレードオフ特性の比較を示す。

Xシリーズのチップ技術である最新の微細化技術および薄ウェーハ化技術を適用したIGBTは、飽和電圧で約0.7V低減、ターンオフ損失で約11%と大幅に特性を改善した。ドリフト層の厚さを薄くしたFWDは、順方向電圧を約0.15V低減した。また、ライフタイム制御の最適化により、滑らかな逆回復波形を実現するとともに逆回復損失を約16%改善した。

図4に消費電力の計算結果を示す。キャリア周波数1kHzにおいて、Xシリーズ PrimePACK™ は従来製品に対して消費電力を約13.8%低減した。

〈注〉 PrimePACK™ : Infineon Technologies AGの商標または登録商標

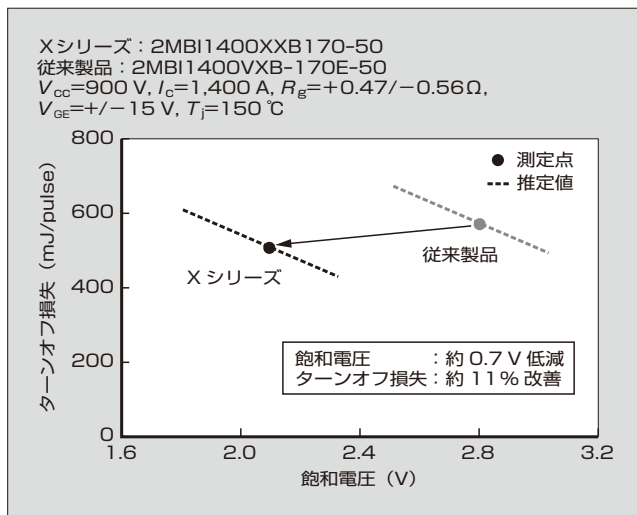


図2 トレードオフ特性 (IGBT)

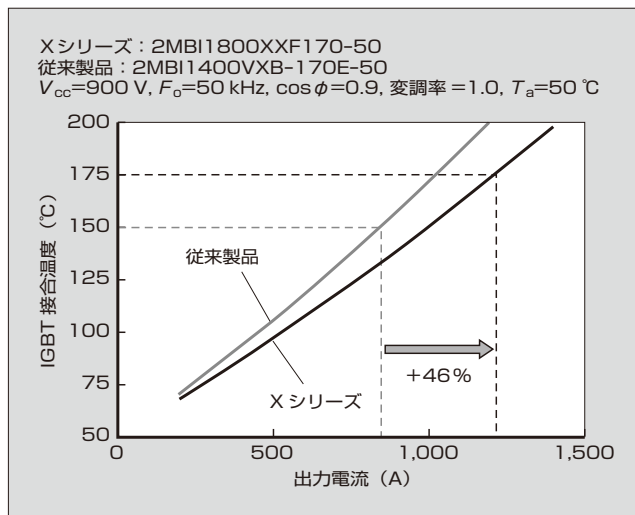


図5 インバータ出力電流と IGBT 接合温度

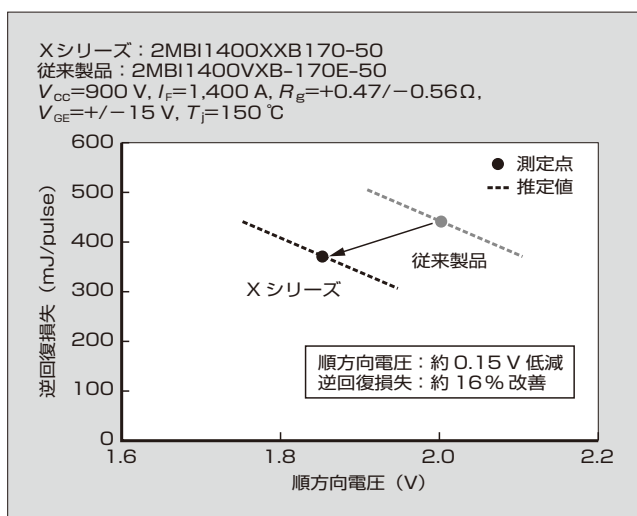


図3 トレードオフ特性 (FWD)

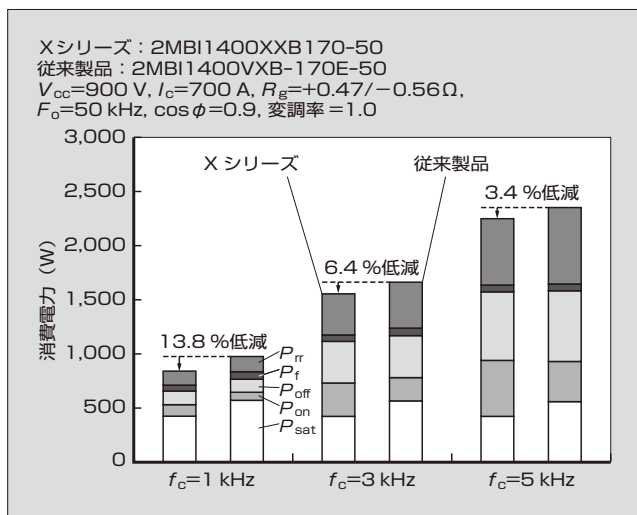


図4 消費電力

③ パッケージ技術

Xシリーズでは、電力変換装置の小型化に寄与するため、さらなる出力電流の向上を目標とした。これを達成するため、連続動作時接合温度 T_{jop} の範囲を従来製品の $150\text{ }^\circ\text{C}$ から $175\text{ }^\circ\text{C}$ に拡大し、新規に開発した高放熱絶縁基板を適用して接合部-ケース間の熱抵抗を低減した。

T_{jop} を拡大するためには、温度変化に対する耐量 (ΔT_j パワーサイクル耐量) の向上や、高温での長期信頼性 (絶縁用シリコンゲルの耐熱性) の改善が必要である。従来製品では $T_{jmax}=150\text{ }^\circ\text{C}$ から $175\text{ }^\circ\text{C}$ に温度を上げると、 ΔT_j パワーサイクル耐量が劇的に低下する。これに対して Xシリーズでは、はんだ材の新規開発と半導体チップ上の新配線接合技術の適用により、 $T_{jmax}=175\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T_j=50\text{ }^\circ\text{C}$ の条件で従来製品に比べて約 2 倍に耐量を向上させた。また、高耐熱性の新規シリコンゲルを採用し、 $175\text{ }^\circ\text{C}$ 環境下でのゲル硬化を抑制し、長期的な絶縁性能を確保した。

さらに、半導体チップの発生損失による発熱を効率よく放熱するため、熱伝導率の高い AlN (窒化アルミニウム) 基板を用いた高放熱絶縁基板を新規に開発した。これにより、従来製品の Al_2O_3 (アルミナ) 絶縁基板と比較して、同一チップサイズにおいて接合部-ケース間の熱抵抗が約 45% 低減した。

図5に、インバータ出力電流と IGBT 接合温度の関係を計算した結果を示す。上述の高 T_j 化と高放熱性により、Xシリーズ PrimePACK™ において、従来製品と比較して出力電流が約 46% 向上した。本製品により、電力変換装置の小型化、低損失化および高信頼性化の要求に応える、安全・安心で持続可能な社会に貢献できると考えている。

発売時期

2018年4月から順次

お問い合わせ先

富士電機株式会社

電子デバイス事業本部事業統括部産業モジュール部

電話 (0263) 27-2943



3レベル用 IGBT モジュール I-type “PrimePACK™”

I-Type “PrimePACK™” of 3-Level IGBT Modules

山本 紗矢香* YAMAMOTO, Sayaka

近年、再生可能エネルギーが注目され、特に太陽光発電や風力発電の市場が伸びている。これらの分野では高電圧化や大容量化が進んでいる。さらに、発電効率の向上に加え、電力変換効率の向上が望まれている。

富士電機は、独自技術であるRB (Reverse Blocking) -IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を中間スイッチに使用し、T-type 3レベル電力変換回路を1パッケージ化した IGBT モジュールを既に量産している。また、大容量化に対応するため、大容量パッケージ“PrimePACK™”^(注)を採用した汎用性の高い3レベル大容量モジュールを開発し、市場から高い評価を得ている。

今回、太陽光発電の高電圧化に対応するため、1,500 Vの直流電源電圧に対応する3レベル用 IGBT モジュール I-type PrimePACK™を開発した。

本稿では、本製品の特徴と電気的特性について述べる。

1 パッケージの特徴と電気的特性

本製品に適用している「M404 パッケージ」の外観を図1に、外形図を図2に示す。

(1) 大容量で並列接続可能なパッケージの実現

I-type PrimePACK™は、T-type PrimePACK™と共通のM404パッケージを使用している。このため、端子に互換性があり置換えが容易である。また、M404パッケージを使用した IGBT モジュールは、次の特徴がある。

- (a) モジュール内部の主端子ブスバーがラミネート構造であり、内部インダクタンスが小さい。

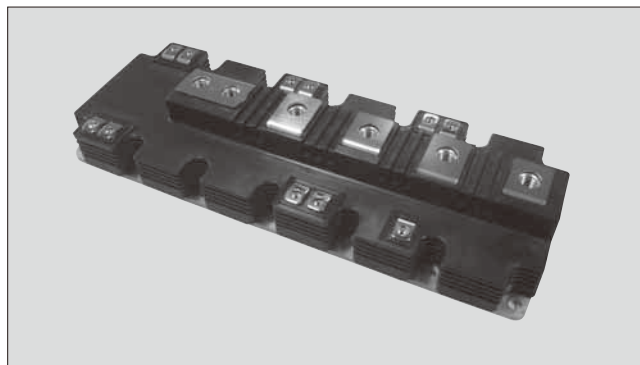


図1 「M404 パッケージ」の外観

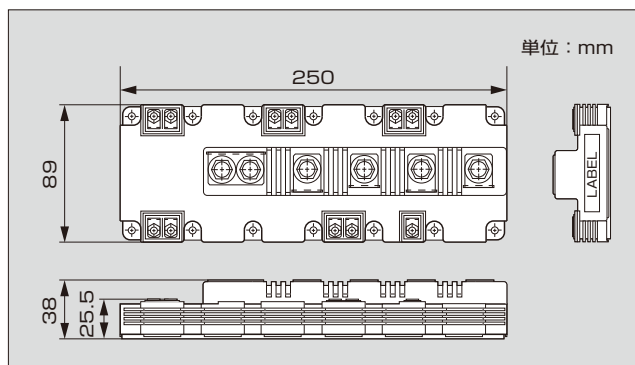


図2 「M404 パッケージ」の外形図

- (b) モジュールの実装面積や冷却フィンの面積が小さくなり省スペースとなるため、装置の小型化が可能である。
- (c) 本パッケージは並列接続に適した端子配列になっているため、並列接続によるさらなる大容量化に対応が容易である。
- (d) 温度検出用のサーミスタを内蔵している。

(2) I-type の電力変換方式

3レベル電力変換方式である I-type と T-type の等価回路を、図3に示す。I-type はスイッチング素子が直列につながっているため、T-type よりも高電圧の機器に対応できる。

(3) トータル発生損失と主な仕様

2レベルと3レベルの電力変換方式のトータル発生損

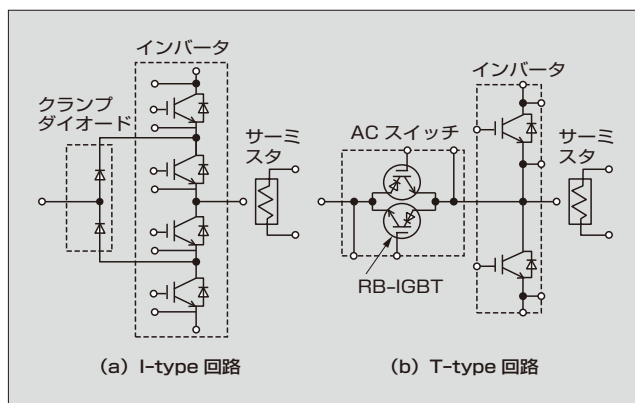


図3 3レベル電力変換方式の等価回路

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部産業モジュール部

〈注〉 PrimePACK™ : Infineon Technologies AG の商標または登録商標

失を図4に、I-type PrimePACK™の主な仕様を表1に示す。2レベルと比較した場合、0.4ポイントの効率向上となる。なお、富士電機ではT-type回路のACスイッチ部にRB-IGBTを使用しているため、I-type回路の場合に比べてさらなる損失低下となるが、高電圧化にはI-type回路の方が適している。I-typeとT-typeを取りそろえた3レベルモジュールの系列とすることで、さまざまな顧客の製品に柔軟に対応できる。

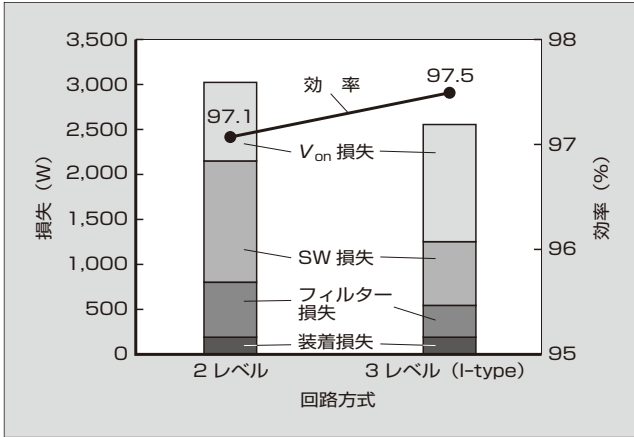


図4 トータル発生損失の比較

表1 I-type PrimePACK™の主な仕様

項目	仕様	
方式	I-type PrimePACK™	
型式	4MBI600VC -120-50	4MBI600VC -120-60
パッケージ寸法	L250×W89×H38 (mm)	
インバータ部	V_{CES}	1,200 V
	I_c (IGBT)	600 A
	$-I_c$ (FWD)	600 A
	V_{GES}	±20 V
	T_j	175 °C
	T_{jop}	150 °C
	$V_{GE(th)}$ (chip) $V_{GE}=20$ V	6.0 ~ 7.0 V ($I_c=600$ mA)
	$V_{CE(sat)}$ (chip) $V_{GE}=15$ V $T_j=25$ °C	typ. 1.85 V ($I_c=600$ A)
	V_F (chip) $T_j=25$ °C	typ. 1.70 V ($I_F=600$ A)
	$R_{th(l-c)}$ IGBT	max. 0.061 °C/W
$R_{th(l-c)}$ FWD	max. 0.092 °C/W	
クランプダイオード部	V_F (chip) $T_j=25$ °C	typ. 1.70 V ($I_F=600$ A)
	$R_{th(l-c)}$ FWD	max. 0.092 °C/W
共通	V_{iso}	4,000 VAC (AC : 1 min)
特性データ表示	なし	あり

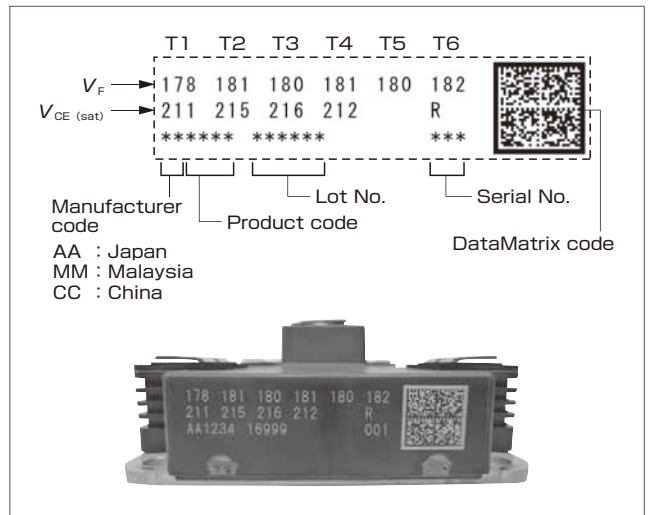


図5 特性データ表示ラベルのレイアウトと外観

② 特性データ表示ラベル

モジュール表面に静特性データの表示が欲しいという顧客の要求に応えるため、静特性をレーザ印字したモジュールも同時にラインアップに加えた。図5に、特性データ表示ラベルのレイアウトと外観を示す。顧客側のメリットとして次のような点が挙げられる。

- (a) 自社でペアリングが可能である。
- (b) 自社で個々のモジュールのデータを確認し、交換メンテナンスが可能である。
- (c) ロット限定ペアリングが不要で、ペアリング残が発生しない。

これにより、パラ接続する際にペアリング残を生じさせずフレキシブルに対応でき、顧客側でのペアリング選別や在庫管理が容易となる。

発売時期

2018年1月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
電子デバイス事業本部事業統括部産業モジュール部
電話 (0263) 27-6958

超高効率モールド変圧器「スーパーエコモルトラⅡ」

“SUPER ECO MOLTRA II” Cast Resin Transformer Achieving Super High Efficiency

宮田 智一* MIYATA, Tomokazu

高压配電用変圧器は、2014年度から「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）のトッランナー変圧器の第二次判断基準（トッランナー変圧器2014）に基づき、従来よりも省エネルギー（省エネ）性能を大幅に向上させた変圧器の切替えが義務付けられた。さらに、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会を契機とした環境配慮の取組みが進められ、トッランナー変圧器2014よりも省エネ性能の高い製品の需要が高まっており、変圧器の省エネ化は次のステージを迎えている。

富士電機は、トッランナー変圧器2014を満たす製品として、2014年に「トッランナーモルトラ2014」を発売した。また、2015年にアモルファス合金を採用して最高変換効率を改善した「アモルファスモルトラ」を発売し、待機電力と呼ばれる無負荷損を大幅に低減した。さらに、2017年6月に発売した「スーパーエコモルトラⅡ」は、トッランナーモルトラ2014と比べて設置スペースは同等のままとし、トッランナー変圧器2014のエネルギー消費効率の基準値に対して、130%の達成率を実現した（図1）。本稿では、スーパーエコモルトラⅡの特徴と導入効果について述べる。



図1 「スーパーエコモルトラⅡ」

1 「スーパーエコモルトラⅡ」の概要

スーパーエコモルトラⅡとその他変圧器の効率曲線を図2に示す。

1.1 特徴

- (a) 全容量平均でトッランナー変圧器2014のエネルギー消費効率の基準値に対して、130%の達成率を実現した。
- (b) トッランナーモルトラ2014に対して、全負荷率域で大幅に効率を改善した。
- (c) トッランナーモルトラ2014に対して、設置スペースを同等とした。
- (d) 全容量において真空注型を採用し、絶縁信頼性の高いモールド巻線を実現した。
- (e) 高い難燃性を実現し、IEC 60076-11の形式認定を取得した。

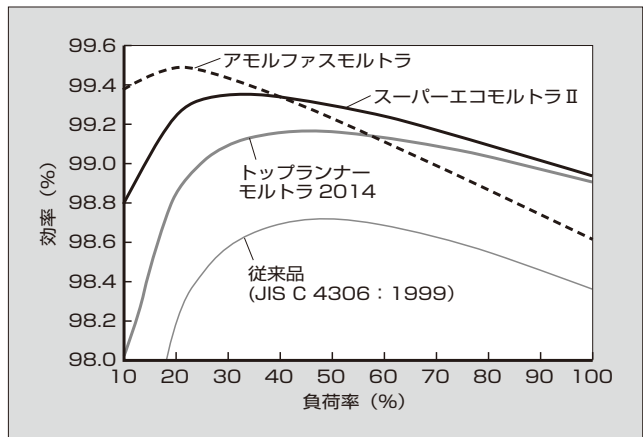


図2 各種変圧器の効率曲線（三相300kVA）

表1 「スーパーエコモルトラⅡ」の仕様

項目	仕様	
	単相	三相
相数	単相	三相
周波数 (Hz)	50/60	
定格容量 (kVA)	50, 75, 100, 150, 200, 300	75, 100, 150, 200, 300, 500
一次電圧 (V)	R6600-F6300-6000 (単相50kVAのみ) F6750-R6600-F6450-F6300-6150	
二次電圧 (V)	210-105	210, 420, 440
耐熱クラス	F	

* 富士電機株式会社パワエリシステム事業本部生産統括部千葉工場設計第一部

(f) JEM-TR252 準拠の優れた耐震性を実現した。

1.2 仕様

表 1 に、スーパーエコモルトラⅡの仕様を示す。

2 背景となる技術

変圧器の全損失は、負荷率にかかわらず一定の無負荷損と負荷損に負荷率の二乗をかけた値の和で表される〔式(1)〕。また、エネルギー消費効率は、基準負荷率における全損失で表される。

$$\text{全損失 (W)} = \text{無負荷損 (W)} + \left[\frac{m}{100} \right]^2 \times \text{負荷損 (W)} \dots(1)$$

m : 基準負荷率 (%)

容量 500 kVA 以下の変圧器 : 40%

容量 500 kVA 超の変圧器 : 50%

エネルギー消費効率を向上させるために、アモルファスモルトラでは無負荷損を低減させたが、スーパーエコモルトラⅡでは、全負荷率域での効率改善を実現するため、無負荷損と負荷損の両方を低減させた。

2.1 無負荷損の低減技術

鉄心材料に薄板で磁区制御を施した高磁束密度鋼板を採用した。さらに、設計磁束密度を最適化することにより、無負荷損の低減と鉄心の小型化を実現した。

2.2 負荷損の低減技術

従来のモルトラでは、巻線の導体にアルミニウムを採用していた。スーパーエコモルトラⅡでは、導電率に優れた銅の採用と巻線導体の断面積を最適化することにより、負荷損の低減と巻線の小型化を実現した。

3 「スーパーエコモルトラⅡ」の導入効果

3.1 変圧器の選定

図 2 に示したように、スーパーエコモルトラⅡは、全負荷率域においてトプラランナーモルトラ 2014 よりも高い効率となる。特に高負荷率域での効率に優れているので、一日当たりの平均負荷率が高いデータセンターや水処理施設などにおいて、高い省エネ性能を発揮する。一方、アモルファスモルトラは、低負荷率域での効率が特に優れているので夜間は電気の使用量が減り、一日当たりの平均負荷率が低いビルや病院などにおいて、高い省エネ性能を発揮する。しかし、負荷率が高くなると効率が低下するので注意が必要である。したがって、期待された省エネ効果を得るためには負荷の実態に合わせた変圧器の選定が重要となる。

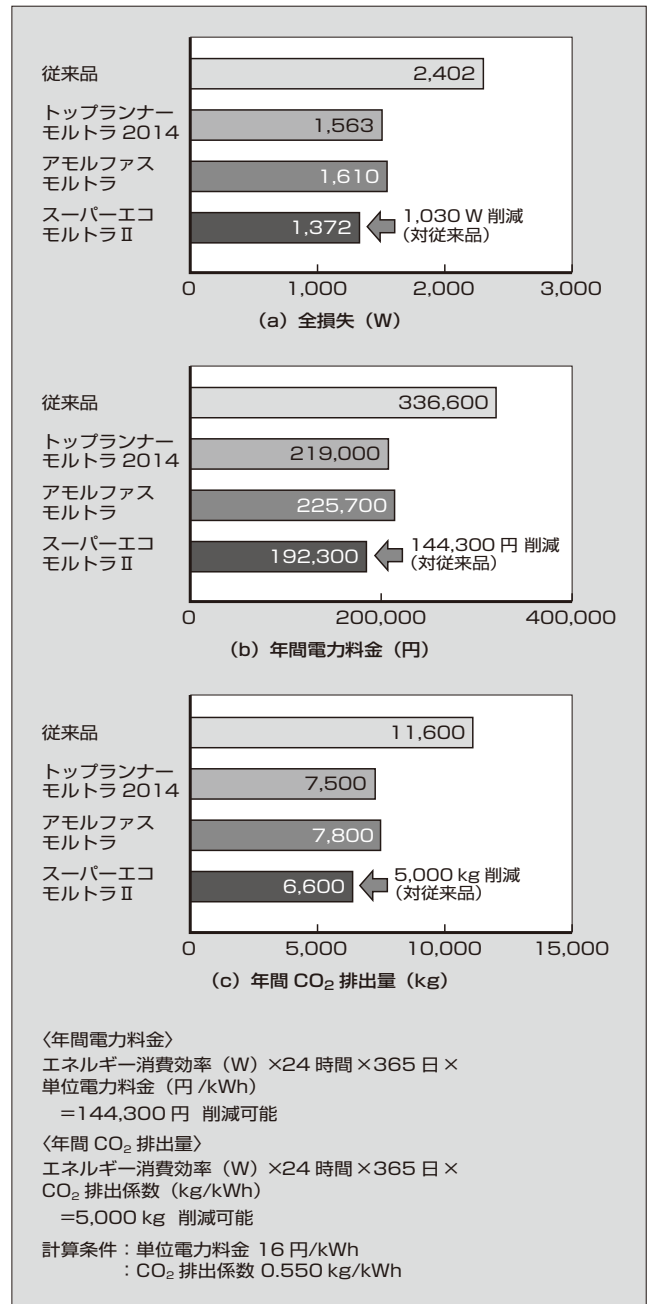


図 3 「スーパーエコモルトラⅡ」の導入効果 (三相 300 kVA, 負荷率 60%)

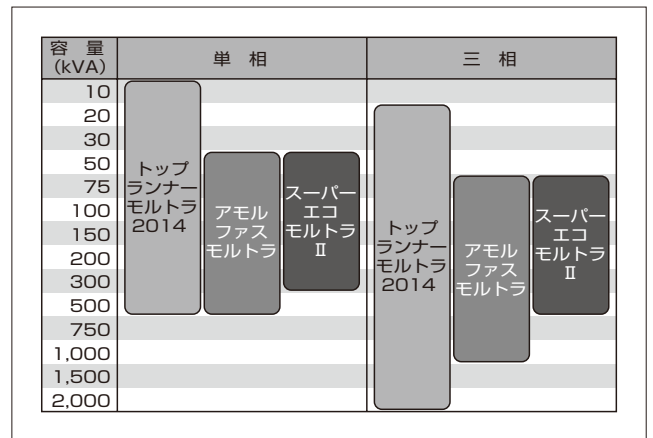


図 4 トプラランナー変圧器 2014 の適合品

3.2 導入効果

従来の変圧器からスーパーエコモルトラⅡに更新した場合の導入効果を、図3に示す。三相300kVA、負荷率60%の場合、従来の変圧器に対して年間電力料金は144,300円、CO₂排出量は5,000kg削減することができる。

時間帯ごとの使用電力量はさまざまであるため、電力会社の時間帯別電力料金も加味して、省エネを図りつつ、運用コストを抑えた最適な変圧器を選定することが望ましい。

富士電機は、ユーザが最適な変圧器を選択できるように、図4のようにスーパーエコモルトラⅡとアモルファスモルトラを含めたトップランナー変圧器2014の省エネ基準適合品をラインアップし、最適なモルトラを提案できる体制を整えている。

発売時期

2017年6月

お問い合わせ先

富士電機株式会社
パワエレシステム事業本部変電システム事業部
施設電機技術部
電話 (03) 5435-7089



(2017年12月14日 Web公開)

第 6.5 世代車載用圧力センサ

6.5th-Generation Automotive Pressure Sensors

西川 睦雄* NISHIKAWA, Mutsuo

現在、自動車には安全性や快適性の向上に加えて、大気汚染物質の排出ガス規制やCO₂の排出規制など、環境負荷低減が強く求められている。これらの規制に対応するため、空気と燃料の混合比を緻密に制御して燃費の向上を図ることや、燃焼後のガスを再循環させて排出ガスをクリーン化する技術の普及が加速している。さらに、燃費の向上や快適性向上のための室内スペース増加を目的として、エンジンルームの小型化や高実装密度化が進んでいる。

これに伴い自動車用圧力センサの使用環境は高温化し、さまざまな電子機器から発生する電磁ノイズに対するEMC (Electromagnetic Compatibility: 電磁両立性) 耐性の要求が厳しくなっている。加えて測定媒体(対象)は、従来大気が主であったものが排出ガスやガソリン、軽油などの気化燃料が混入する過酷なものへと適用範囲が拡大してきている。

富士電機はこのような要求に応えるため、2010年に量産を開始したデジタルトリミング型の第6世代圧力センサ⁽¹⁾をベースに、高性能化を図った第6.5世代車載用圧力センサを開発した。

1 特徴

図1に、第6.5世代圧力センサと、従来品の第6世代圧力センサのセルの外観を示す。表1に、第6.5世代圧力

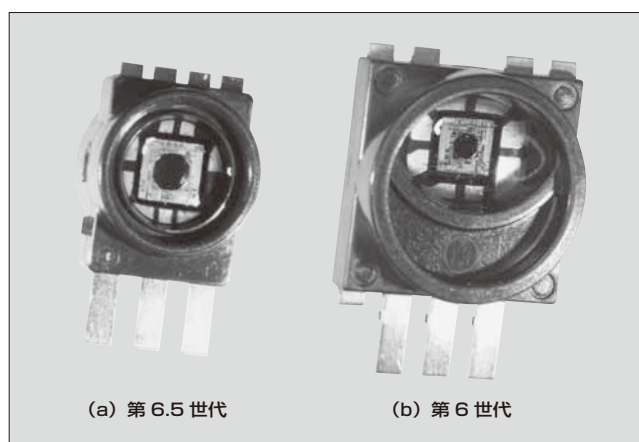


図1 車載用圧力センサ

* 富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部電装ディスクリート部

表1 第6.5世代圧力センサの仕様

項目	仕様	
製品サイズ(樹脂部)	W7.5×H10×D5.6 (mm)	
使用温度範囲	-40~+150℃	
使用圧力範囲(吸気圧センサ)	20~120 kPa	
定格圧力	圧力レンジ×3倍	
電源電圧	5±0.25V	
出力電圧(電源電圧5V時)	0.5~4.5V	
シンク・ソース能力	シンク1 mA, ソース0.1 mA	
クランプ機能	クランプ電圧0.3V/4.7V (typ.)	
耐腐食性能	JASO M 611-92/B法 準拠 (ガソリン・ディーゼル成分)	
ESD (外部インタフェース端子)	MM (0 Ω, 200 pF)	±1 kV以上
	HBM (1.5 Ω, 100 pF)	±8 kV以上
過渡電圧サージ	ISO 7637 (2011) 規格 Pulse 1, 2, 3a, 3b LEVEL-IIIクリア	
インパルス	±1 kV以上	
ラッチアップ(電流注入法)	±500 mA以上	
EMS (G-TEM) (100V/m)	変動: 1%FS以下	
過電圧 (Vcc ~ GND間)	16.5 V (max.)	
逆接 (Vcc ~ GND間)	0.3A (max.)	

センサの仕様を示す。本製品は、従来の圧力検出部と信号処理部とをワンチップにした技術を踏襲しつつ、耐腐食性能・耐帯電性能を付与し、高温動作保証温度を従来製品の125℃から150℃まで上げた。また、故障を検出するため、ワイヤハーネス断線検出領域(ダイアグ電圧領域)と通常使用領域を分離するためのクランプ機能を追加した。センサセルのサイズは、第6世代圧力センサに対して体積比で約48%に小型化している。

2 背景となる技術

2.1 耐腐食性能

図2に、圧力センサにおけるセンサセルの断面構造を示す。すすなどの外来異物に対し、圧力を伝達できるゲル状保護材により、センサチップやワイヤを保護している。本製品では、測定媒体に含まれる排出ガス、ガソリンおよび軽油の気化燃料がゲル状保護材を透過し、チップ表面のワイヤボンディングパッドが腐食することを防止するため、図3に示すように、ボンディングパッドお

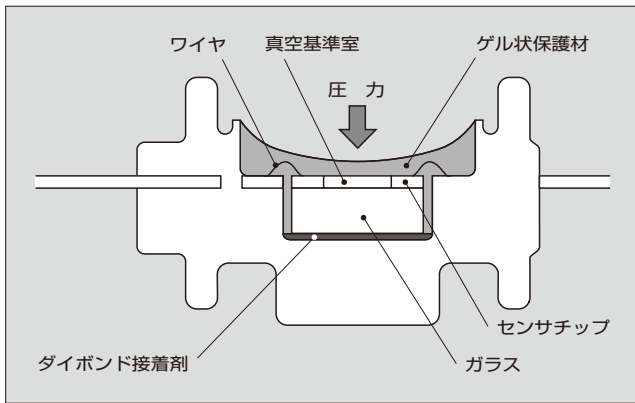


図 2 センサセルの断面構造

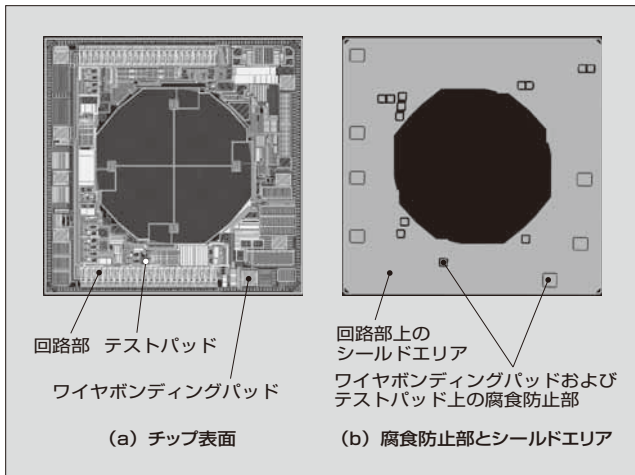


図 3 腐食防止部とシールドエリア

よびテストパッド上に腐食防止部を採用した。

2.2 耐帯電性能

図 4 に、圧力センサに内蔵される圧力検出部の概要を示す。富士電機独自のエッチング技術により、シリコンの一部を薄膜に加工してダイヤフラムを形成する。ダイヤフラム上に配置した拡散配線からなる四つのピエゾ抵抗により、ホイートストンブリッジを構成している。圧力が印加されてダイヤフラムが変形すると、各ピエゾ抵抗値が変化し、ホイートストンブリッジの出力に電位差が生じる。この電位差を増幅して、圧力を電気信号に変換している。

本製品では、電荷を持つ気化燃料がゲル状保護材上に付着することによってピエゾ抵抗値が変動し、センサ特性が悪化することを防ぐために、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の可とう部 (ダイヤフラム部) にポリシリコンを用いたシールド構造を採用した。また、図 3 に示すように腐食防止部と同一の層を用いて、ダイヤフラム部を除く回路部の耐帯電性能を向上するためのシールドエリアを形成した。

この構造を用いた本製品に対して、ゲル表面の電位が数 kV レベルとなるような電荷を印加し、出力特性の変化を取得した結果が図 5 である。シールドがない構造では、

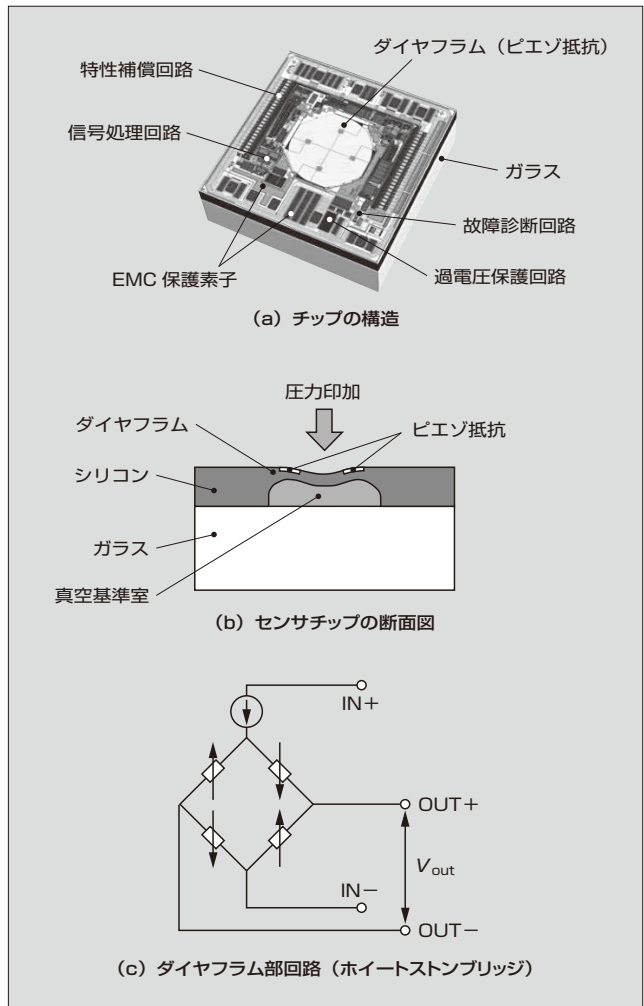


図 4 圧力検出部の概要

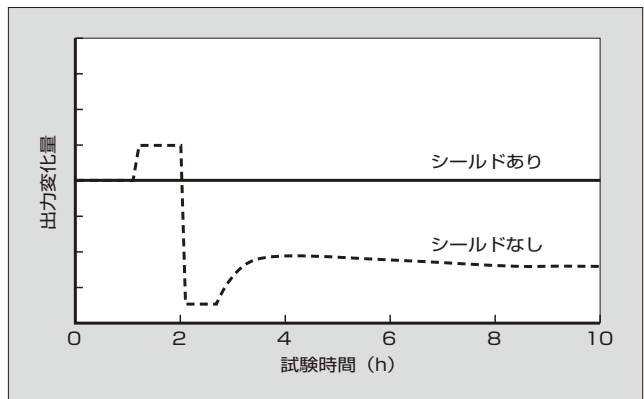


図 5 耐帯電性能試験結果

電荷の印加開始からしばらくすると出力が大きく変動する。これに対して、シールドがある本製品では長時間の印加に対しても出力が変動せず、高い耐帯電性能を実現した。

参考文献

- (1) 西川陸雄ほか. 第6世代小型圧力センサ. 富士時報. 2010. vol.83, no.6, p.420-424.

発売時期

2017 年 11 月

お問い合わせ先

富士電機株式会社

電子デバイス事業本部事業統括部電装ディスクリート部

電話 (0263) 25-2777





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。