

過酷な環境下に設置可能な耐環境インバータ 「FRENIC-eFIT」

“FRENIC-eFIT” Environmentally Resistant Inverter Designed for Harshest Installation Conditions

吉田 敏弘 YOSHIDA, Toshihiro

田久保 拓 TAKUBO, Hiromu

佐藤 圭輔 SATO, Keisuke

近年、インバータはさまざまな分野で用いられるようになってきており、腐食性ガス雰囲気下や屋外などの過酷な環境で、盤に収納せず単体で使用したいというニーズがある。富士電機は、過酷な環境下に設置可能な耐環境インバータ「FRENIC-eFIT」を開発した。冷却ファンレスの全閉構造にして電子部品を保護するとともに、SiC デバイスの低損失・高温動作という特性を利用して熱的課題を解決した。要素技術開発の結果を製品設計に適用して高速スイッチングによるノイズ課題を解決するとともに、富士電機製品のノウハウやフィールドテストの結果に基づき耐環境性能の信頼性を向上させている。

Inverters have been increasingly used in various industrial fields and are sometimes required to endure harsh environmental conditions without being installed in a controlboard. Fuji Electric has developed the “FRENIC-eFIT” as an environmentally resistant inverter especially designed for harsh installation conditions. In addition to protecting electronic components with a totally-enclosed enclosure that adopts a fanless cooling system, the unit has also eliminated thermal issues by utilizing SiC devices, which have characteristics of low-loss and heat resistance. Furthermore, we have applied our developed elemental technologies to mitigate high-speed switching noise while utilizing the technological know-how and field test results of Fuji Electric products to improve environmental resistance reliability.

① まえがき

近年、省エネルギー、生産性向上の観点からインバータはさまざまな分野で用いられるようになってきており、今まで使われていなかった腐食性ガス雰囲気下や屋外などの過酷な環境で、盤に収納せずインバータ単体で使用したいといったニーズがある。このような環境や条件で使用するためには、冷却ファンレスの全閉構造にして半導体デバイスや電子部品を腐食性ガスなどから守る必要がある。加えて、前述の過酷な環境下に大容量クラス（～37 kW）の設備も設定したいという要求も多い。冷却ファンレスの全閉構造を実現するためには、従来のインバータを超えた熱的課題を解決する必要がある。低損失・高温動作という特性を持つ SiC（炭化けい素）デバイスを使用することにより、熱的課題を解決し過酷な環境で設置可能な耐環境インバータ「FRENIC-eFIT」を開発した（図1）。

本稿では、FRENIC-eFIT の SiC デバイス適用技術、耐

候・耐食性における信頼性向上技術、放熱設計技術について述べる。

② SiC デバイス適用技術

SiC デバイスは、低損失という特性と併せて高速スイッチングデバイスであるという側面を持つ（図2）。高速でスイッチングするということは、よりノイズが多く発生することであり、これが適用時の大きな課題となる。表1に、FRENIC-eFIT の主な仕様を示す。FRENIC-eFIT



図1 「FRENIC-eFIT」(37 kW/400 V)

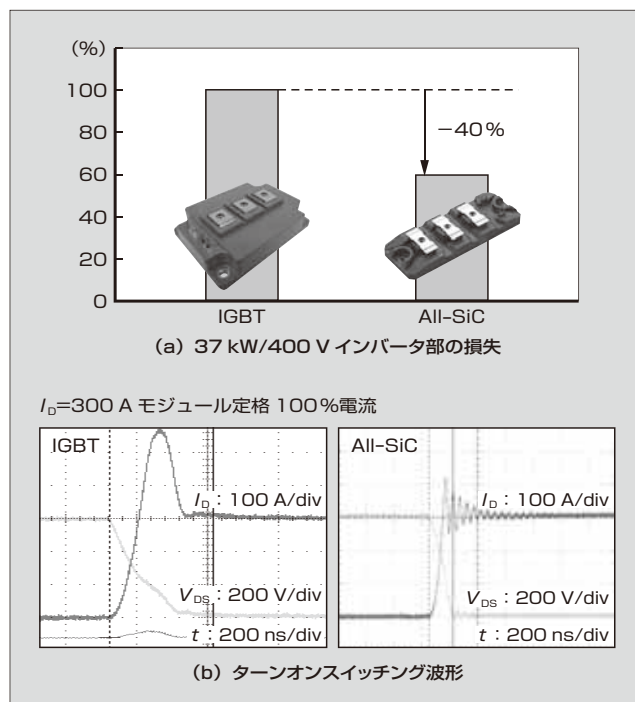


図2 損失とターンオンスイッチング波形

表 1 「FRENIC-eFIT」の主な仕様

項 目	詳 細
採用デバイス	All-SiCモジュール
設置環境	IEC規格の環境パラメータに準拠 屋内・屋外
周囲温度	50℃（出力低減なし）
メンテナンス	設計寿命10年
保護構造	IP55（IEC 60529）
冷却方式	自然空冷（冷却ファンレス）
外形寸法（mm）	W680×D375×H845

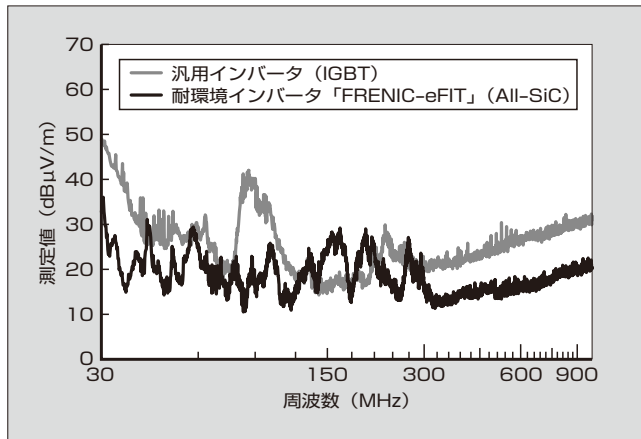


図 3 放射ノイズ比較（37kW/400V）

は、屋外設置を含めた耐環境性を向上するために採用した金属製の密閉筐体（きょうたい）を利用して磁気シールドを行い、開放型の筐体に Si-IGBT を搭載した汎用インバータよりも放射ノイズ発生量を抑制した（図 3）。また、IEC 規格で定められる保護等級で見ると、従来の汎用インバータが防じん・防水性を持たない開放型（IP00）であるのに対し、FRENIC-eFIT は全閉型（IP55）の保護等級を持っている。

③ 耐候・耐食性における信頼性向上技術

欧州メーカーの耐環境性を高めたインバータでは、IEC 規格（IEC 60721-3-4：環境条件の分類）に定められる環境パラメータを、カタログや取扱説明書に表記して設置可能な環境条件をユーザに訴求している。FRENIC-eFIT では、マーケティングに基づいて選定した業種とその工場環境から、IEC 規格に規定される環境パラメータが 4C4 である化学的な汚染物質を放出する工業地域に設置できるようにする必要があった。このため、図 4 に示す腐食性ガス 4 種に加えて一般的な工業環境下で要求される、日射・塩害・油といった環境因子を評価対象とした。これらに対して、自動販売機、屋外盤、太陽光発電用 PCS、鉄道車両機器など過酷な環境下に設置される富士電機製品のノウハウ、テストピースによる基礎実験、ユーザの協力を得てサンプル機のフィールドテストで収集した環境データを用い

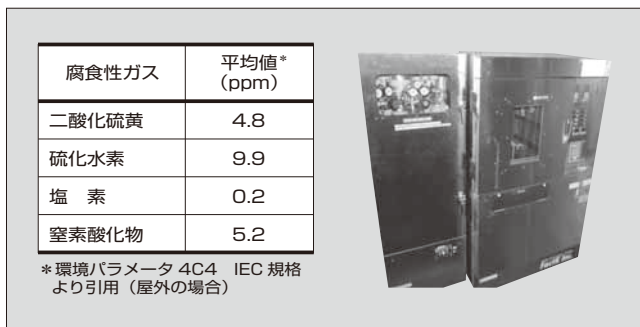


図 4 選定した腐食性ガスと混合ガス腐食試験機

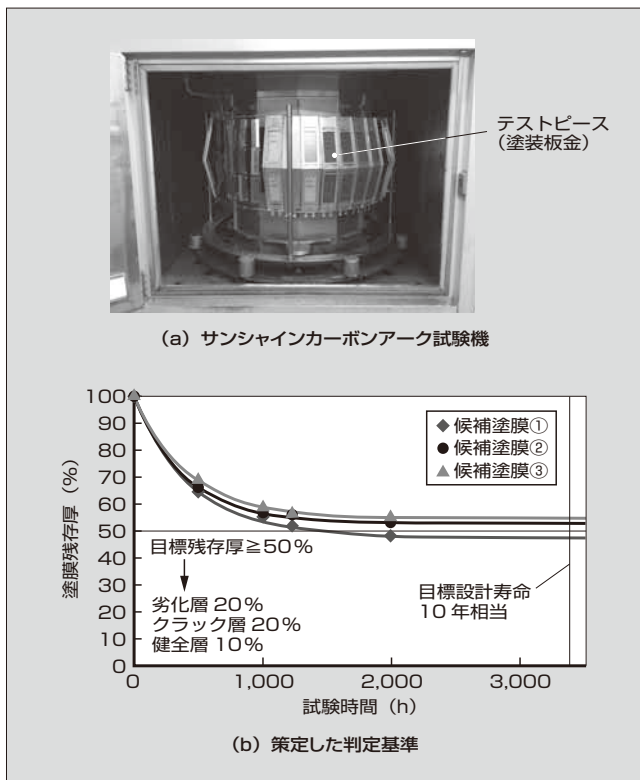


図 5 塗装板金の紫外線劣化試験とその判定基準

て、評価項目・内容と判定基準を策定した。例として図 5 に、サンシャインカーボンアーク試験機による塗装板金の紫外線劣化試験と、策定した判定基準を示す。

策定した評価項目・内容と判定基準を用いて、耐腐食性ガスや耐候性、耐油性などについて複合的に評価試験を行い、結果を定量的に判断することで、過酷な環境下に対する耐候・耐食性⁽²⁾において、従来にない設計寿命 10 年の信頼性を確保した。

④ 放熱設計技術

図 6 に、FRENIC-eFIT の主回路結線と内蔵周辺機器を示す。FRENIC-eFIT を収納盤レスとするため、インバータの周辺機器（EMC フィルタ、直流リアクトルなど）を内蔵した上で、冷却ファンレスでの密閉構造を実現しなければならない。このため、汎用インバータと比較して筐体内部の発熱が大きくなり、温度上昇が懸念されるため、放

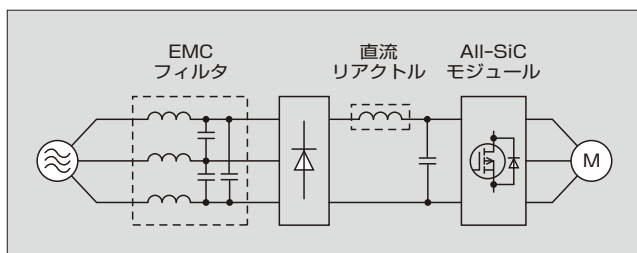


図6 主回路結線と内蔵周辺機器

熱設計が課題となる。デバイスの発生損失による熱が筐体内部に放出されて温度が過度に上昇しないよう放熱設計を行う必要がある。

SiC デバイスを採用することにより、発生損失を大きく低減することができる。筐体内の発生損失の一部を、放熱フィンへ熱伝導させることで筐体外部へ放出し、全体温度の適正化を図った。まず、SiC デバイス、電源基板に次いで損失が大きい直流リアクトルと熱に弱い主回路電解コンデンサに着目した。これらの部品から放熱フィンへの伝熱を大きくするため接触面積が最も大きくなるように配置し、熱伝導シートを介して固定した（図7）。

施策前後において熱シミュレーションを行った（図8）。その結果、本施策だけでは基板実装部品の温度が、所定温度内に収まらなかった。直流リアクトルによって暖められた空気が対流し、基板側へ回ってくるのが要因であるこ

とが確認できた。最も効果的な対策として、筐体内部の攪拌（かくはん）用の冷却ファンを用いて筐体内の温度を均一化して下げること考えた。しかし、有寿命部品である冷却ファンを設けるとメンテナンスフリーが実現できない。そこで、攪拌用の冷却ファンを不要とするために、直流リアクトルに暖められた空気が基板側に回らないよう遮蔽（しゃへい）する仕切り板を設けた。ただし、完全に基板側と主回路部品側の区画を仕切ってしまうと、温度差で起こる対流を阻害し、筐体内の温度に偏りが生じることが熱シミュレーションで確認できたため、対流ルートは残しつつ、直流リアクトルに暖められた空気を筐体の板金天面へ誘導して熱伝導を促した。最終的に各部品の温度上昇を約18%、筐体内の温度上昇を約8%抑えて、冷却ファンレスでの密閉構造を実現した。

⑤ 「FRENIC-eFIT」の仕様と特徴

開発の第1ステップとして、ファンやポンプ系の設備に積極的に普及を図って実績を積み、さらなる信頼性を高めつつ重要設備であるプロセスラインへの展開を第2ステップとして図っていくこととした。このため、第1ステップではファンやポンプの駆動を主体にした汎用インバータの制御機能を搭載し、次ステップで高性能インバータの制御機能を搭載する。また、これらの機能は制御・電源基板の載せ換えて対応できるようプラットフォームとして構成している（図9）。

また、FRENIC-eFIT は屋外や悪環境下においてスタンドアロンで設置されることを想定し、次に示す三つの特徴を持っている。

(1) カスタマイズロジック機能

ユーザが独自に機能をカスタマイズできるカスタマイズロジック機能を搭載している（図10）。ユーザの機械装置や用途ごとに必要な制御機能を、簡易プログラマブルコントローラや外部リレー、タイマなどで構成した外部回路を使用せず、インバータ内部の各種演算機能を組み合わせて実現できる。プログラミングステップ数は最大で200ステップであり、特殊な開発環境は不要で直感的なロジック

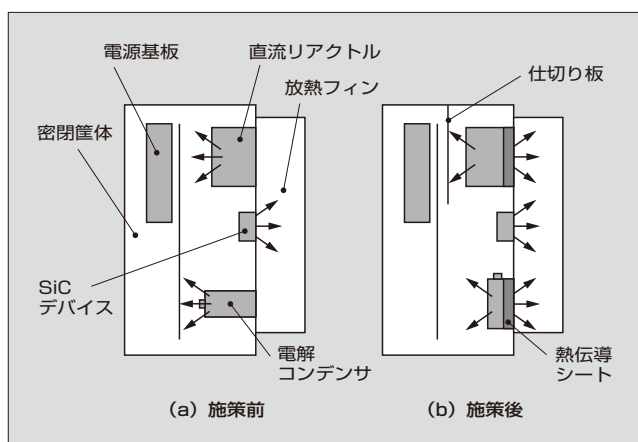


図7 放熱経路イメージ（右側面断面図）

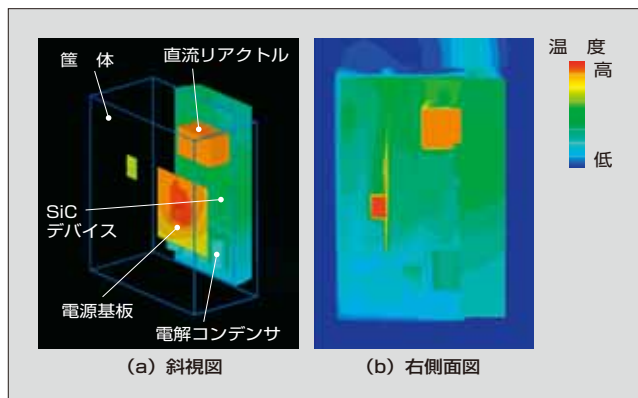


図8 熱シミュレーション（施策実施後）

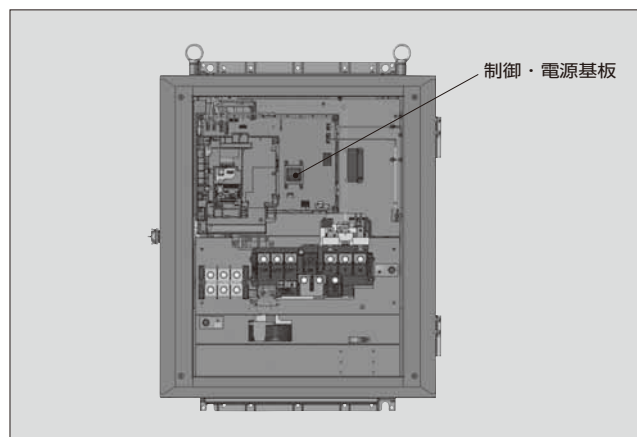


図9 「FRENIC-eFIT」の内部構成（前面扉開放）

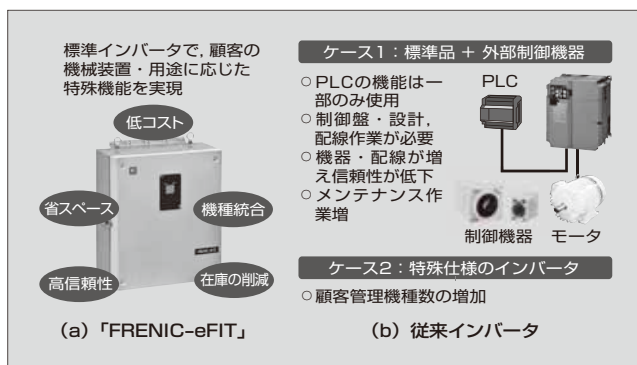


図10 カスタマイズロジック機能

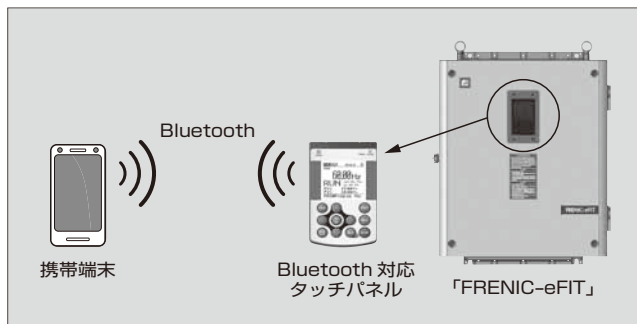


図11 遠隔操作が可能なBluetooth対応タッチパネル

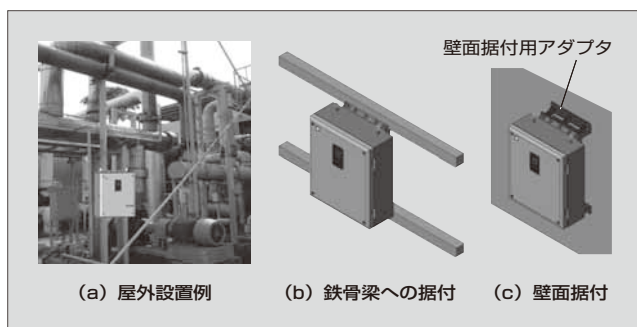


図12 設置イメージ

シンボルを使ったプログラミングツールを、富士電機のホームページにおいて無償で提供している。

(2) Bluetooth対応タッチパネル

遠隔操作が可能なBluetooth対応タッチパネル（2018年度発売予定）をオプションで選択し、収納することが可能な構造としている（図11）。FRENIC-eFITの筐体は金属製の密閉構造であるが、タッチパネル部を部分的に開放している。特殊フィルムとパッキンで防水し、さらに耐候性の高いアクリル製の化粧カバーで保護することにより、耐環境性を確保しつつ、電波妨害などの影響を受けないよう配慮している。このBluetooth対応タッチパネルを装着すると、機能コードの編集や読み込み、インバータの各種情報のモニタリング、電流、電圧、トルクなどのリアルタイム

〈注1〉 Bluetooth：Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標

〈注2〉 RoHS規制：電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についてのEU（欧州連合）の規制

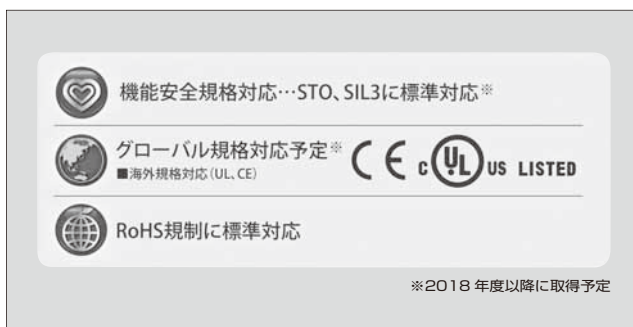


図13 取得海外規格

ムトレース、省エネルギー診断なども離れた場所から携帯端末を使って可能となり、ユーザのニーズに答えている。

(3) 据付構造

汎用インバータと周辺機器を収納した盤を屋外に敷設する場合、コンクリートで基礎を打ち、アンカーボルトを用いて盤を固定するのが標準的な工事であるが、費用と工期が掛かるためユーザにとって非常に大きな負担となっていた。FRENIC-eFITは、この屋外盤と同等以上の機能を備えつつ、体積を約1/4と大幅に縮小しており、既存の構造物などの壁面に設置できる（図12）。標準で付属の据付脚に加え、壁面据付用アダプタなど、設置場所に応じてさまざまな設置方法を選択可能とすることにより、新設時の工事費は70%削減でき、工期は60%短縮できる。

また、設置環境を気にせず、モータ近傍にインバータを設置すると、出力配線が短くなり、配線コストが削減できる。これに加えて、モータサージやノイズの抑制も期待でき、サージフィルタや各種ノイズ対策が不要となる。この点からもユーザの負担が軽減する。モータ近傍に設置することで、ポンプ設備の流量計を見ながらインバータで吐出量が調整できるので、フィールドテストにおいてユーザから非常に使い勝手が良いという感想を得ている。

[6] 海外規格への対応

FRENIC-eFITは、グローバル市場への展開も計画しており、欧州の機能安全規格、CEマーキング、米州のUL規格、RoHS規制などに準拠している。2018年度から順次認証を取得する（図13）。

[7] あとがき

SiCデバイスのインバータ製品への採用に関しては、SiCデバイスの特性を生かした差別化商材の開発からスタートし、さまざまな知見を得た。また、今後はSiCデバイスの複数並列使用による大容量化を指向し、これらの適用技術をプラットフォームとして構築し、汎用機や他のパワーエレクトロニクス機器に拡大していく所存である。

参考文献

(1) 玉手道雄ほか、パワーエレクトロニクス機器の電磁ノイズ

シミュレーション技術. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.1, p.35-39.

- (2) 青山昌弘ほか. 汎用インバータの硫化ガス対策. 富士時報. 2007, vol.80, no.5, p.331-333.



吉田 敏弘

インバータの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発センター駆動機器開発部。



田久保 拓

SiCをはじめとしたパワー半導体デバイスの応用技術の研究に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所エネルギー技術研究センターエネルギー変換技術研究部グループマネージャー。



佐藤 圭輔

材料および生産技術の研究に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部先端技術研究所材料基礎技術研究センター材料基盤技術研究部。工学博士。表面技術協会会員。





＊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。