

風力発電用パワーモジュール向け絶縁基板

大橋 東洋

Insulating Substrate Used in Power Module for Wind Power Generation

Touyou OHASHI

Abstract

Because of low installation cost and high conversion efficiency, the global cumulative wind power generation capacity has grown exponentially in recent decades. For the power control of the wind power generation, power modules are key components. As the output of wind power systems increases, power modules are also expected to achieve high-density packaging. In accordance with that trend, we are developing the insulating substrate to apply for those modules.

キーワード：風力発電，パワーモジュール，絶縁基板，固相拡散接合，熱抵抗

1. はじめに

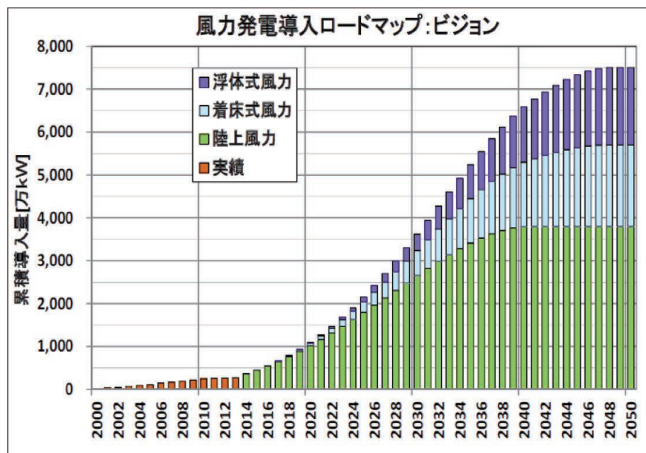
気候変動問題に対し世界的に関心が高まる中，2016 年 11 月に温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとしてパリ協定が発効された。パリ協定においては，各国の温室効果ガス削減目標が具体的に定められているが，その目標達成のためには再生可能エネルギーの利用を促進していくことが不可欠と考えられる。再生可能エネルギーの中でも，比較的発電コストが安いこと，変換効率が高いこと，夜間でも発電が可能なこと，などの理由から，ここ数十年の間に風力発電の設備容量が急増している。

本稿では，風力発電システムの中で使用される電力変換用パワーモジュール及びモジュール用絶縁回路基板の

特徴について触れ，それに関連した現在当社で開発中の絶縁回路基板を紹介する。

2. 風力発電で使用するパワーモジュール

日本を代表する風力発電の業界団体として 2001 年に日本風力発電協会が設立されている。協会の主な活動内容としては，風力発電の中長期的な導入目標を設定し各種法規制の緩和や適正化等に関する提言を行い，国のエネルギー政策の見直しを促しながら各種ガイドライン策定に取り組んでいる。図 1 に日本風力発電協会が設定した風力発電導入ロードマップを示す¹⁾。2050 年には 7500 万 kW の導入予定としているがこれは全発電量の約 20% に相当する。今後に向けて風力発電関連の新規機器導入が急増するものと予想している。



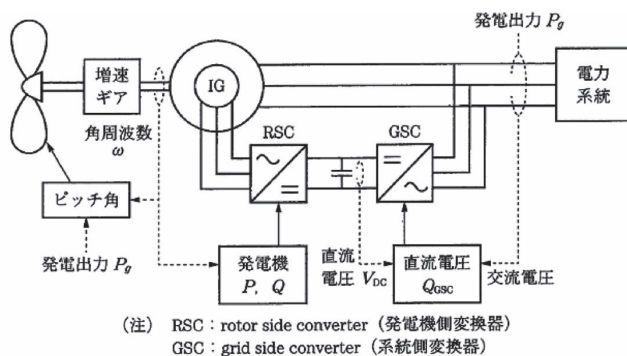
年度	風力発電導入実績と導入目標値[万kW]				発電電力量 [億kWh]
	合計	陸上	着床	浮体	
2010	248	245	3	0	43
2020	1,090	1,020	60	10	230
2030	3,620	2,660	580	380	810
2040	6,590	3,800	1,500	1,290	1,620
2050	7,500	3,800	1,900	1,800	1,880

図 1 風力発電導入ロードマップ (JWPA ビジョン 4.3)

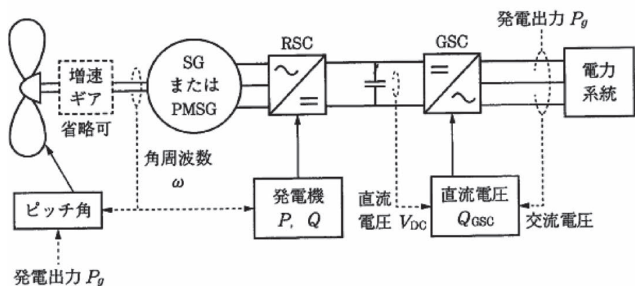
Roadmap for the introduction of wind power (JWPA vision 4.3)

風力発電においては、かつて発電機を直接電力系統に連系する方式が一般的であったが、回転子の磁束と電力系統に直結された固定子の回転磁界の周波数の双方いずれも制御できなかったことから、効率面からも運用面からも課題が多かった。そこで、現在ではパワーエレクトロニクス技術を活用して発電機を制御する方式が主流となっている。その方式として、DFIG (Doubly Fed Induction Generator) 方式とダイレクトドライブ方式の2種類がある²⁾ (図2)。

DFIG 方式とは巻線型誘導発電機の回転子側を励磁して可変速制御を行う方式で、固定子は系統に直接接続され、回転子はコンバータとインバータが背中合わせに接続される変換器を介して電力系統に接続される。発電機側のコンバータで回転子磁束を適切に制御することで、



DFIG方式



ダイレクトドライブ方式

図2 風力発電のパワーエレクトロニクス技術を活用した出力制御方式

Output control systems of wind power utilizing power electronics technology

効率の高い運転条件での発電が可能である。発電電力の大半は変換器を介することなく系統に出力するので、変換器の容量を発電機出力の約30%程度と小さく抑えることができるメリットがある。

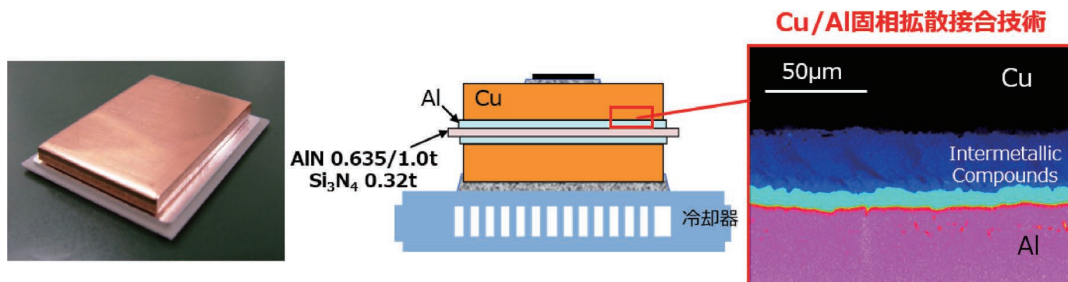
一方、ダイレクトドライブ方式は、主により高効率な永久磁石発電機を用いた風力発電に適用されていて、発電機の出力をコンバータで直流に変換した後にインバータを用いて交流電力とし電力系統に連系する方式である。コンバータ及びインバータは発電機及び電力系統と直接接続されるため発電機出力相当の定格出力のものを用意する必要がある。発電機の回転数範囲を大きく設定するため融通に富んだ効率の高い運転が実現可能である。

上記二つの制御方式のコンバータ及びインバータとしては共に汎用のパワーモジュールが採用されることが多く、発電容量に応じて必要数を並列に接続して使用方法が一般的にとられる。汎用パワーモジュールとして、例えば三菱電機製 LV100 や富士電機製 HPnC 等が挙げられる^{3,4)}。筐体寸法は共に 100 mm × 140 mm, 定格電圧は 1700 V, 定格電流は 1000 A 以上で汎用パワーモジュールの中でもとりわけ大型のものであり、風力発電の他に太陽光発電や電鉄向けにも使用される。

風力発電の今後の傾向として、陸上に比べ風況が良好な点、広大な面積で大規模開発が可能などから洋上発電の増加が予想されている¹⁾。洋上発電では設備・機器がアクセス困難な場所に敷設されることがある。そのためシステムの一部に何らかの障害が発生する場合に備えて設備の冗長化を図る等の対策は講じられるものの個別の機器に対してより高い信頼性が求められる。パワーモジュールに関しても例外ではなく過酷な環境下で連続運転し続ける必要がある。また別の傾向として、既設の設備容量の増大も含めた設備の大型化も予想されている¹⁾。これに伴いパワーモジュールの高容量化・高出力密度化が進むと考えられる。

3. 当社が開発する絶縁基板

パワーモジュールの高容量化・高出力密度化が進むとその部品である絶縁基板に対する要件も厳しくなるが、

図3 DBAC 基板
DBAC substrate

それに適合するため当社は既存製品である DBA[®] 基板に Cu 回路層を接合した DBAC 基板を開発している (図 3)。Cu 回路層と Al との接合には当社独自の固相拡散接合技術を用いている。また絶縁材のセラミックスとしては AlN (0.635 t/1.0 t) と Si₃N₄ (0.32 t) が選択可能である。例えば高い絶縁性が要求される場合は絶縁材を厚くするため AlN1.0t を使用し、高い冷熱信頼性が要求される場合は破壊靱性の高い Si₃N₄ を使用する等、要求仕様に応じて自由に組み替えることが可能である。

基板の特性評価の例として、図 4 に冷熱サイクル試験の結果を示す。AlN の DBA[®] 基板の上に厚さ 3 mm の Cu を接合して、-40℃～125℃の冷熱サイクルを実施したが、3000 サイクル後においても AlN 割れは発生せず、Cu/Al 界面の剥離もなく良好な接合状態が維持されるこ

とを確認している。通常の DBC 基板においては回路材の Cu が厚くなると冷熱サイクル時に Cu から直接受ける応力によりセラミックスが破損する可能性が高くなるが、本基板では Cu とセラミックスの間に軟らかい Al が接合されており、これが応力緩衝効果をもたらしている。そのため 3 mm の厚い Cu を使用した場合においてもセラミックス割れは発生しなかったと考えられる。

次に放熱性に関する検討結果として、図 5 に FEM による伝熱計算の例を示す。計算モデルとしては最上段の素子が発熱しその熱が基板及びヒートシンクに伝搬してヒートシンク下部から冷却される構造を想定した。また Cu の厚さを 2.0 mm と仮定し、リファレンスの DBC では 0.8 mm とした。計算結果からリファレンスの DBC に対し AlN、Si₃N₄ のタイプとも 15% 以上の低減が見込ま

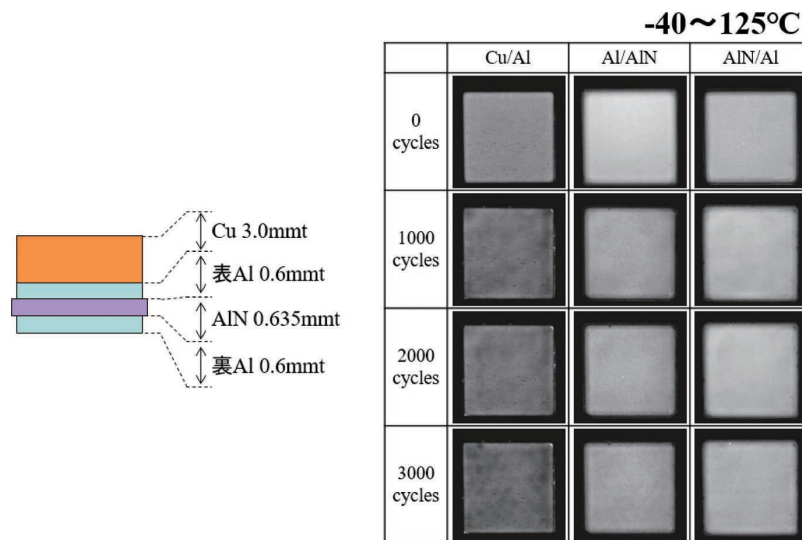


図 4 DBAC 基板の冷熱サイクル前後の SAT 像

SAT images of the interfaces on DBAC substrates before and after thermal cycling

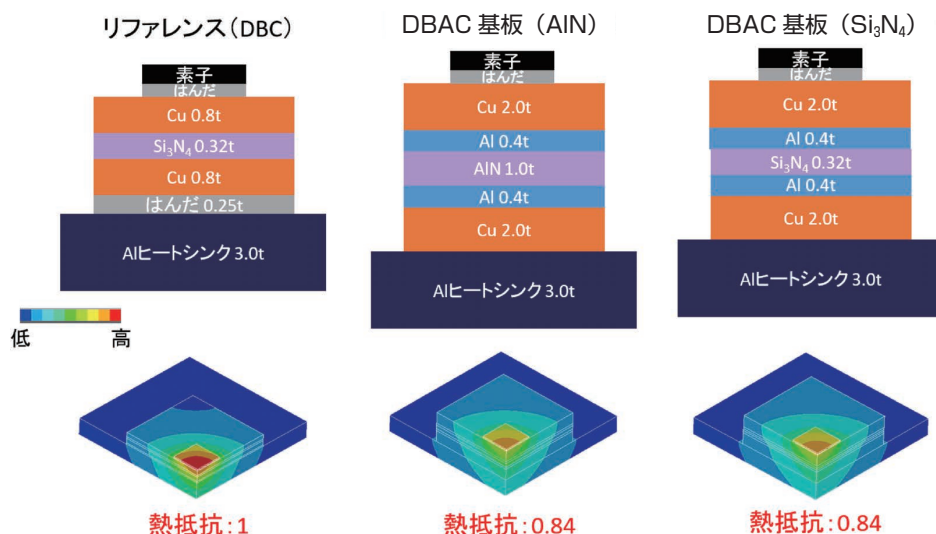


図 5 DBAC 基板の熱計算結果

Thermal calculation results of DBAC substrates

れる。これは発熱源により近い回路材の Cu を厚くすることでヒートスプレッドの役割が効果的に発揮されたためと考えられる。

以上、DBAC 基板は高い設計自由度を持ち、絶縁性・信頼性・放熱性を同時に向上させることも可能である。風力発電用パワーモジュールに今後要求される高容量化・高出力密度化・高信頼性化に対しても柔軟に対応可能な優れた基板であると考えられる。

本稿作成にあたり、適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さい東北大学加藤修治先生に感謝します。

文 献

- 1) 一般社団法人日本風力発電協会, “JWPA Wind Vision Report ～真に信頼される電源を目指して～” (2016 年 2 月)
- 2) 七原俊也, “風力発電とその電力システムへの連系”, コロナ社 (2020).
- 3) コーラブ マジウムダール, 山田順治, 三菱電機技報, **92**(3), 158-162 (2018).
- 4) 三友 啓, 市川裕章, 原田孝仁, 富士電機技報, **92**(4), 268-270 (2019).



大橋 東洋 Touyou OHASHI
中央研究所 界面接合領域