

多様化するパワーモジュールの構造と材料における電気絶縁信頼性に関する調査専門委員会

設置趣意書

電気学会 誘電・絶縁材料技術委員会

1. 目的

近年、省エネルギーや地球環境保護の観点から、パワーエレクトロニクスによる電力変換・制御技術に対する注目がますます高まっている。適用先として、家電製品、エレベータ、電鉄車両、電気自動車などが代表例として挙げられるが、今後は航空機の電動化や宇宙環境での利用も検討されている。これらの電力変換・制御の中心的な役割を担うのがパワー半導体デバイスであり、複数のパワー半導体を配線してパッケージ化したものがパワーモジュールである。

パワーモジュールの開発においては、小型化、高密度化、高効率化、高信頼性などが求められており、その中でも特に重要な課題の一つが電気絶縁の信頼性である。現行のパワーモジュールには数百ボルトクラスから数千ボルトクラスがあり、前者の低圧クラスと後者の高圧クラスでは絶縁破壊モードが異なる可能性があるが、現在は一般的な評価方法で双方とも同じように対応しているのが現状である。

さらに、アプリケーションの多様化に伴い、車載（自動車、鉄道、航空機）向け、屋外の太陽光・風力・再生エネルギー、洋上風力、宇宙環境、食品工場環境、化学プラント環境など、様々な環境に適したパワーモジュールが求められている。これらの環境下での故障要因として、空間電荷、マイグレーション、デンドライト生成、腐食、AC・DC・パルス周波数による劣化促進などが挙げられる。

これを受け、今回の調査専門委員会では、新たに以下のトピックスを加えて議論と検討を行う：

- ・プリント基板埋め込み形や3次元実装技術
- ・高放熱セラミックス基板や樹脂封止における高耐電圧化
- ・後工程封止技術（アンダーフィルモールドやコンプレッションモールド）

これらの技術の進展とともに、新しい絶縁材料（基板や封止材など）の開発も進められているが、新材料のポテンシャルは未知数であり、その適用可能性を評価するための技術もまだ確立されていない。電気絶縁信頼性の評価方法のニーズ調査は、さらなる高電圧向けパワーモジュールの開発にとって非常に重要である。

したがって、パワーモジュール開発に必要な評価技術動向と新規絶縁材料の適用可能性を検討するため、「パワーモジュールの電気絶縁信頼性に関する調査専門委員会」の後継となる調査専門委員会を設置することを提案する。この委員会を通じて、より高度な電気絶縁信頼性の評価方法を確立し、パワーモジュールのさらなる発展に寄与したいと考えている。

2. 背景および内外機関における調査活動

パワーモジュールの小型化・高電圧化や特殊環境下（高・低温、繰り返しストレス、低気圧、高湿度、など）での利用が進んでいるため、電気絶縁性能の信頼性評価の観点から高電界電気現象の理解が益々重要となってくる。例えば、電力機器ではこれまで交流電圧を用いた絶縁評価が主流であるため、その技術がパワーモジュールに転用されているが、実際のパワーエレクトロニクス機器内部では交流のみならず、直流およびその極性反転、繰り返しインパルス電圧に曝されているため、その高電界電気現象は非常に複雑になると思われる。しかし、これらには未解明な部分が多い。さらに近年では、パワーモジュール製造者のみならず電気絶縁材料の評価技術を十分には持ち合わせていないパワーモジュールの絶縁材料製造者

においても、新規絶縁材料開発の観点から評価技術が必要となってきた。電気学会では、これまでに関連する調査専門委員会として、インバータサージ関係の調査専門委員会が開催され、それらの成果として電気学会技術報告第 1218 号、1407 号があるが、これらはインバータ回路の負荷であるモーター側のアプローチであり、パワーモジュールに関する委員会は皆無であった。これらの現状をしっかりと捉え、次世代パワーモジュール開発に必要な評価技術動向と新規絶縁材料の適用可能性を検討するため、誘電・絶縁材料技術委員会では「パワーモジュールの電気絶縁信頼性に関する調査専門委員会」を 2018 年 12 月に発足させて、活発な調査活動ならびに意見交換を行った。その成果は電気学会技術報告第 1575 号として発刊された。

電気学会外に目を転じると、パワーモジュールに特化した国際会議 (International Workshop on Integrated Power Packaging (IWIPP) など) の開催や、従前の国際会議でのパワーモジュールの絶縁技術に関するセッションの設置などにより、活発な発表が行われている。国内では、エレクトロニクス実装学会 (JIEP) の部品内蔵技術委員会において三次元実装技術を中心としたロードマップが提案されており、これらの技術と高電圧パワー半導体技術が融合されることで製品イノベーションが加速されることが期待できる。

3. 調査検討事項

- (1) 実装形態の現状と将来課題 (プリント基板埋め込み形, 3 次元実装)
- (2) 絶縁材料の開発動向 (セラミック基板および樹脂封止における高放熱・高絶縁の両立)
- (3) 絶縁封止プロセス開発動向 (後工程封止 (アンダーフィルモールド・液体), コンプレッションモールド (半固体))
- (4) アプリケーションの多様化動向 (車載 (自動車, 鉄道, 航空機) 向け, 屋外 (太陽光・風力・再生エネ), 洋上, 宇宙, 食品工場, 化学プラント)
- (5) 過酷環境下での信頼性評価技術の開発検討状況 (温度・湿度・気圧・ガスおよびそれらの複合環境)
- (6) 故障モード・メカニズムに関する研究動向 (空間電荷, マイグレーション, デンドライト生成, 腐食)

上記の調査検討項目を踏まえ、予定する 3 年間の活動における合計 12 回の会合では、情報交換と並行して、毎回特定のテーマを設定して専門家 (委員外を含む) の講演を企画する。講演活動においては、研究会相当の資料を作成し、その後の研究会での招待講演等への展開や技術報告書の作成に資する。さらに、海外の技術開発・研究動向も調査すべく、公知文献をレビューし、最新情報を委員会内で共有する。

4. 予想される効果

以上の研究背景や調査活動を踏まえて、当委員会では、これらをお互いに切磋琢磨していくことも含め、鋭意整理検討していくが、その途中においても近未来の技術開発項目を明らかにして発信するとともに、最終的には提言を含む技術情報を総括する。

5. 調査期間

令和 7 年 (2025 年) 6 月～令和 10 年 (2028 年) 5 月 (3 ヶ年)

7. 活動予定

委員会 4回／年 幹事会 1回／年 研究会 2回／3年

8. 報告形態（調査専門委員会は必須）

技術報告書の作成をもって成果報告とする。

以上