

適用拡大が進むインバータ駆動回転機の 絶縁の現状

適用拡大が進むインバータ駆動回転機の絶縁の現状調査専門委員会編

(発行日 2022年8月24日)

目次	
1. 序論	03
2. インバータサージと回転機に掛かる絶縁ストレス	04
2.1 ワイドバンドギャップ半導体の最新動向	04
2.2 インバータサージの特徴と発生原理	06
2.3 回転機絶縁に与える影響	09
3. 関連する IEC 規格	15
3.1 はじめに	15
3.2 関連 IEC 規格の概要	15
3.3 IEC60034-27-5 の概要	17
3.4 IEC60034-18-41 の概要	19
3.5 IEC60034-18-42 の概要	22
4. 部分放電現象を理解するための理論とシミュレーション	26
4.1 緒言	26
4.2 放電理論	27
4.3 光電離現象のモデル化	30
4.4 絶縁劣化・破壊	32
4.5 ヘルツベクトルを用いた部分放電パルスによる放射電磁界解析	35
5. 低圧乱巻モータにおける部分放電特性	39
5.1 部分放電計測技術	39
5.2 試験用電源の開発状況	41
5.3 部分放電特性に与える様々な要因	47
5.4 課電寿命特性	51
6. 高圧型巻モータの絶縁評価技術	53
6.1 型巻モータに対するインバータサージの影響	53
6.2 電界緩和システムの表面電位分布	53
6.3 電界緩和システムの温度上昇と部分放電	56
6.4 シミュレーションによる電界緩和挙動の再現	58
6.5 電界緩和システム以外の絶縁課題と評価	59
6.6 型巻モータにおける絶縁診断	64
7. 産業分野の適用拡大	67
7.1 自動車分野	67
7.2 航空分野	74
7.3 まとめ	81
8. 結言	82

適用拡大が進むインバータ駆動回転機の絶縁の現状

調査専門委員会委員

委員長	熊田 亜紀子(東京大学)	委員	瀬戸本 勝(西芝電機)
幹事	菊池 祐介(兵庫県立大学)		竹野 正宏(東芝三菱電機産業システム)
幹事	脇本 亨(S O K E N)		徳嵩 文男(日置電機)
幹事補佐	梅本 貴弘(三菱電機)		富澤 恵一(古河電気工業)
委員	明石 康行(明電舎)		豊田 昭仁(安川電機)
	浅井 洋光(デンソー)		永田 正義(兵庫県立大学)
	五十嵐 博樹(オリエンタルモーター)		西脇 孝一(富士電機)
	石田 隆弘(静岡理科大学)		早川 直樹(名古屋大学)
	今井 裕五(アドフォクス)		原 洸(ヤンマーホールディングス)
	上野 崇寿(大分高専)		匹田 政幸(九州工業大学)
	内田 諭(東京都立大学)		廣瀬 達也(東芝インフラシステムズ)
	梅津 潔(電子制御国際)		松本 聡(芝浦工業大学)
	浦田 信也(豊田中央研究所)		村上 義信(豊橋技術科学大学)
	衛藤 洋史(桑原電工)	途中退任	柴田 匠(本田技術研究所)
	金子 遼太郎(本田技術研究所)	委員	田所 妙実(明電舎)
	菊池 英行(Hide Technology)		中村 隆央(東芝三菱電機産業システム)
	木村 健(元奈良高専)		福井 賢一(帝国電機製作所)
	小島 啓明(日立製作所)		藤延 博幸(安川電機)
	小室 淳史(東京大学)		宮崎 光(西芝電機)
	佐藤 尚登(日新パルス電子)		吉満 哲夫(東芝三菱電機産業システム)
	柴田 浩昌(帝国電機製作所)		

1. 序論

カーボンニュートラルの実現に向けて、電力部門の脱炭素化と、いっそうの電化設備の普及、設備の高効率化が求められている。機器設備の一層の省エネ・高効率運用を成すには、産業用モータのインバータ駆動化が欠かせない。また輸送手段の電化が強く後押しされるなか、自動車業界では、環境調和に優れたハイブリッドカーや電気自動車のニーズが拡大しており、モータの高出力・高効率化が強く望まれている。さらには電動航空機の実現に向けた高効率なモータ開発も、現実味を帯びた技術課題として議論されるようになった。

インバータ電源に用いられるパワーデバイスは、従来のSiデバイスにかわり、さらなる低損失化・高周波スイッチング化をめざしたSiC, GaN, ダイヤモンド等のワイドバンドギャップパワーデバイスの開発が進められ、製品化もなされている。これらのデバイスは高温・高電流密度動作が可能であり、モータの高出力、高効率動作に資するものである。

一方で、モータ、インバータ電源、及びそれらを繋ぐケーブル間のインピーダンス不整合に起因する急峻パルス波形（インバータサージ）による電気絶縁劣化が、以前から指摘されており、1990年代には産業用モータで不具合が顕在化している。

これら技術課題および研究動向について電気学会では放電技術委員会（放電プラズマパルスパワー技術委員会）下、及び誘電・絶縁材料技術委員会下の調査専門委員会を通じて種々の調査を進めてきた。1997年に誘電・絶縁材料技術委員会は「インバータサージ絶縁調査専門委員会」を設置、1998年までの国内外におけるパワエレ技術、サージが絶縁に与える影響、各機器の研究動向を総括的に纏め、電気学会技術報告739号を発行している⁽¹⁾。2007年には放電技術委員会で「繰返しインパルスにおける部分放電計測調査専門委員会」を設置、主として部分放電計測手法に関する直近10年間の研究動向をまとめ、電気学会技術報告1218号を発行している⁽²⁾。そして2013年に誘電・絶縁材料技術委員会は「インバータサージ絶縁調査専門委員会」を設置、2015年までの国内外における関連文献の調査、実モータを用いた共通試験を実施し、電気学会技術報告1407号を発行した⁽³⁾。この共通試験を通して、実モータにおける部分放電発生条件に関して種々の知見が得られた一方、環境条件の影響や絶縁材料の劣化要因の明確化等、未解明な課題が残された。

近年インバータ電源に適用が進められているワイドギャップパワーデバイスは、デバイス内部の絶縁や、モータの“絶縁”にはよりシビアな要求をつきつけることになる。さらに前述したように電動航空機用のモータなど、今までにない過酷な環境下でのモータの運用が見込まれている。このような増大する電氣的ストレスに対してモータの絶縁信頼性を担保するには、放電現象・劣化メカニズムに立脚した絶縁

設計手法の確立が必要であり、そのためには絶縁劣化の現象理解と深掘り・革新的な評価手法の開発を担う学界と、製品開発・技術動向の把握に長けた産業界の密な情報共有が不可欠である。

このような背景から2018年12月に電気学会放電技術委員会(現放電・プラズマ・パルスパワー技術委員会)下に「適用拡大が進むインバータ駆動回転機の絶縁の現状調査専門委員会」が発足し、2021年11月までの3年にわたり、インバータサージ電圧に対するモータコイルの絶縁評価法、機器に応じた様々な環境下での部分放電現象把握を目的とした実験・シミュレーションの最新技術動向、また関連規格に関する審議状況や課題などを整理するとともに、自動車業界における最新の技術動向、絶縁評価のための測定・解析技術の研究動向、モータ絶縁の部分放電特性・劣化特性の解明に関する最新の研究動向を調査した。

本報告はこの調査結果をまとめたものである。

参考文献

- (1) インバータサージ絶縁調査専門委員会(編)：電気学会技術報告 第739号 インバータサージの絶縁システムへの影響、電気学会 (1998)
- (2) 繰返しインパルスにおける部分放電計測調査専門委員会(編)：電気学会技術報告 第1218号 繰返しインパルスにおける部分放電計測とインバータサージ絶縁、電気学会, (2011)
- (3) インバータ駆動モータコイルの絶縁評価法調査専門委員会(編)：電気学会技術報告 第1407号 実用的インバータ駆動モータ絶縁評価法、電気学会, (2017)