

実用的インバータ駆動モータ絶縁評価法

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

目 次

1. はじめに	3	5. みんなで実際に測定してみよう	
2. 誰でもわかるインバータサージとモータ絶縁	5	ー共通試験ー	48
2.1 インバータによる超省エネ社会の実現	5	5.1 これで明日からあなたも試験ができる	48
2.2 何がモータにとってトラブルなのか？		5.2 誰でもわかる試験方法	48
ーインバータサージ発生と影響ー	7	5.3 何がわかったか？	51
2.3 インバータサージによるトラブル事例	10	5.4 まとめ	60
2.4 モータ寿命を早める複雑な部分放電	11	6. 自動車用モータの絶縁技術とサージ対策	61
2.5 モータ寿命を延ばす期待の巻線	15	6.1 進化する HV, EV モータの絶縁技術	61
3. 誰がモータの国際ルールを決めるのか？	17	6.2 サージ電圧を推定して測って抑制する	65
3.1 国際規格の活動動向	17	6.3 オンラインで部分放電現象を解析する	66
3.2 部分放電フリーの IEC 規格		6.4 まとめ	68
ーIEC60034-18-41ー	21	7. 詳しいサージ電圧波形解析と低減対策	69
3.3 部分放電を許容する IEC 規格		8. その他の最新技術動向	76
ーIEC60034-18-42ー	34	8.1 インバータサージが高圧モータに与える影響	76
4. 実機モータの部分放電をどうやって測るのか？	36	8.2 様々な部分放電計測法について詳しく知ろう	80
4.1 サージを模擬するインパルス試験器	36	9. おわりに	90
4.2 モータ内の微弱部分放電が測れる測定器	39		

インバータ駆動モータコイルの絶縁評価法
調査専門委員会委員

委員長	永田正義(兵庫県立大学)	委員	梅津 潔(電子制御国際)
幹事	広瀬達也(東 芝)		衛藤洋史(桑原電工)
幹事	村上義信(豊橋技術科学大学)		今井裕五(アドフォクス)
幹事補佐	菊池祐介(兵庫県立大学)		福井賢一(帝国電機製作所)
委員	木村 健(奈良高専)		小島啓明(日立製作所)
	匹田政幸(九州工業大学)		菊池英行(Hide Technology)
	早川直樹(名古屋大学)		佐藤尚登(日新パルス電子)
	門脇一則(愛媛大学)		遠藤 桓(遠藤技術士事務所)
	長尾雅行(豊橋技術科学大学)		熊田亜紀子(東京大学)
	松本 聡(芝浦工業大学)		宮崎 光(西芝電機)
	石田隆弘(静岡理工科大学)		上野崇寿(大分高専)
	金澤誠司(大分大学)		五十嵐 博樹(オリエンタルモーター)
	武藤浩隆(三菱電機)		花輪秀仁(日立金属)
	西脇孝一(富士電機)	途中退任	北野武男(富士フイルム)
	藤延博幸(安川電機)		
	大石和城(明電舎)		
	吉満哲夫(東芝三菱電機産業システム)		
	富澤恵一(古河マクネットワイヤ)		
	浦田信也(豊田中央研究所)		
	浅井洋光(デンソー)		
	脇本 亨(日本自動車部品総合研究所)		

1. はじめに

近年、環境調和と省エネルギーに優れたハイブリッドカー(HV)や電気自動車(EV)の実用化が進み、最近では究極のエコカーと呼ばれる水素を燃料とする燃料電池自動車(FCV)が開発されている。今後、電氣的に駆動させるシステムの構成要素である2次・燃料電池、パワーコントロールシステム、モータ本体などの各基本ユニットは高出力化・高効率化に向けて激しい開発競争が進められる。この様な低エネルギー電力社会構築への潮流は昨今のパワーエレクトロニクスの著しい技術発展と大きく連動している。半導体デバイスによる高速スイッチングで回転速度制御されるインバータ駆動モータは、エコカーだけでなく、電気製品、産業用機器、建設機械、鉄道車両、高速エレベータ、航空機等々の幅広い市場で急速に生産が拡大している。しかしながら、このシステムにおける電氣的課題として、インバータから繰り返し発生する立ち上がりが急峻な高いサージ電圧(インバータサージ)によるモータの絶縁破壊のトラブルが頻繁に起きており、時として人命にも関わることからその診断と対策が大きな課題となっている。

インバータサージの電気絶縁問題は1990年代に産業用機器において不具合が顕在化して以来、国内外で研究が開始されてきた。この動向について電気学会ではこれまで調査専門委員会を通じて長年調査が進められて来ている。1997年、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」を設置し、それまでの国内外における研究を調査し、電気学会技術報告 739号「インバータから発生するサージの絶縁への影響」を発行した⁽¹⁾。その後、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」を設置し、最近10年間の研究調査をまとめ、電気学会技術報告 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」を2011年4月に発行した⁽²⁾。その後、多くの委員からの要望を受けて調査活動を継続するため、「インバータ駆動モータコイルの絶縁評価法」の本調査専門委員会を2013年5月から3年間の予定でスタートさせた。委員構成として、従来の大学高専、モータ製造メーカ、電源計測機器メーカだけでなく、新規に自動車関連メーカやユーザ側の専門家からの参加があり、規模も拡大した。委員数は最終的にスタート時から若干増加し、総勢34名となっている。その構成は大学高専13名、企業等21名であり、毎回の高い参加率が委員会への期待度を物語っている。

本委員会設立時、調査内容として以下の各項目が提案された。

- ① 様々な環境条件下でのナノ秒時間スケールで発生する部分放電(PD)現象
- ② 部分放電センサと判定技術
- ③ モータ内部のサージ電圧特性と試験インパルス電圧波形

- ④ 繰返しインパルス電源仕様と部分放電開始電圧(PDIV)との相関
- ⑤ 国内外の部分放電診断装置の評価と比較
- ⑥ モータコイル評価法に対する共同実験の企画と実施
- ⑦ 耐サージ性ナノコンポジット巻線の開発動向
- ⑧ 国際電気標準会議(IEC)の規格動向

委員会では先ずこれらの項目の調査開始にあたりアンケートを実施し、特に関心の高い内容について各委員の意見を集約した。その結果、A) モータの寿命と劣化メカニズム、B) IEC規格に準拠した実機モータの絶縁評価、C) インパルス電源と各種PDセンサの性能評価、D) インバータサージによる不具合事例とその対応策、などが挙げられ、中でも実機モータの絶縁設計・製造とその品質保証について大きな注目が注がれていることがわかった。その背景には、インバータ駆動乱巻きモータの絶縁性能試験に関する国際規格が審議中ということもあった。その後しばらくして、IEC60034-18-41規格が2014年3月に発行された。このIEC-41とIEC-42の規格の詳細は第3章に記載している。

これにより、低圧乱巻モータの製造プロセスにおいて、本規格の骨子である部分放電を許容しない絶縁システムの性能評価試験が要請されることになった。絶縁クラスに応じた試験によって合格した製品には銘板が付与され、国際的販売競争で優位に立つことができる。しかし、今のところ本規格書に記載されているインパルス試験電圧波形、結線方法で実機モータコイルを絶縁試験後、製品化したという話は聞いていない。実際に規格を運用するにあたり、「その試験方法の有用性はどうか、何か重要な技術的課題はないのか？」などは多くの方々が考えていることであろう。このような状況を踏まえ、本委員会では、第3章で記載したようなIEC-41規格の内容について詳しく調査を行い、その規格に基づいた絶縁評価法を実機モータに具体的に適用する共通試験に最大の主眼を置いた。

委員会では、実機モータ(中国製440V, 4kW, ワニス有無)の入手方法の検討から始まり、インパルス電圧波形、結線方法(相間, 対地ターン間)、使用する計測器の選定、各計測器の性能チェック(ノイズレベルと閾値)、繰返しPDIV(RPDIV)の判定条件、接地の影響、環境の影響等々について意見やコメントを出し合って、熱心に議論した。共通実験に参加した企業、大学高専は単独、協同実施を合わせて9機関となり、積極的な相互協力により実り大きな成果が得られた。この詳細については本報告書の第4章と第5章に記載しており、貴重な技術報告内容になっている。また、その一部は2015年10月日本で開催されたIEC-TC2-MT10委員会で紹介し、全日本からの貢献に対し国際的に高い評価を得た。是非、熟読して頂きたい。

本報告書の第3章で解説しているIEC-41規格は、各ストレスカテゴリーに応じて規定された試験電圧に対してPDフリーを実証することを要請しているが、RPDIV値そのものを計測する必要はない。本共通試験ではRPDIV値を実測