

直流機及び高圧電動機の電動機仕様作成プラクティスの JEC-TR 起草調査専門委員会
設置趣意書

回転機技術委員会

1. 目的

直流機及び大形電動機である高圧電動機は、価格破壊の趨勢の中で、高度成長期以来永らく遵守されてきた用途別の個別仕様の慣習が形骸化し、期待寿命を全うしない事例も出てきている。一方、米国 IEEE 規格は産業用・商用の電力システムの保護協調や省エネルギーマネジメント等の業務について推奨プラクティス (Recommended Practice) と呼ばれる新しいタイプの規格が登場してきており、そこでは組織的な業務手順の定義等のプラクティスが詳細に規定されている。この推奨プラクティス規格の思想を、直流機及び高圧電動機の電動機仕様作成プロセスに展開し、将来的には JEC 化を念頭において、その推奨プラクティスの JEC-TR を作成することとする。

2. 背景および内外機関における調査活動

(1) 背景

(価格至上主義に歯止めを掛ける耐熱寿命の思想の規格への反映)

電気学会回転機研究会への報告及び、(一社)日本電気協会 PM セミナーでの講演によれば、多数の中大形電動機の修理実績からの統計的分析として、1990 年代以前に製作された電動機の寿命が 30 年前後であるのに対して、1990 年代以降に製作された電動機の寿命が 15 年と半減していることが報告されている。

また近年価格重視で調達した常時全負荷運転の大形電動機で、2 万時間 (2.5 年) の耐熱寿命の 2 倍である数年で絶縁事故に至った事例を報告されている。

1990 年代の冷戦終了に伴う経済のグローバル化の進展と価格破壊の趨勢から始まった価格至上主義の台頭により、それ以前、電力補機・鉄鋼・石油化学などの個々のプラントごとに、さらにその中の特定に用途ごとに厳格に守られてきた個別仕様が全てご破算になっている感がある。

その場合、例えば、電力補機など重要設備で行われてきた絶縁システムの F 種—B ライズ (当時の呼称) の仕様を、価格重視で F 種—F ライズを認めてしまうと、105K ライズ (F 種) と 80K ライズ (B 種) 比の平方根で電気装荷 (ac/cm) を向上できるので、その分体格は小さくなり価格も低減する。しかしながら温度上昇限度の差 25K (=105-80) は、絶縁寿命の 10°C 半減則を適用すると 5~6 倍の寿命短縮となり、30 年の寿命のものは数年になってしまう。

また温度上昇限度の設定の問題以外に、経済グローバル化に前後して、耐熱クラス F の耐熱寿命が米国流の 155°C—4 万時間から IEC 流の 155°C—2 万時間に事実上移行してきている一方、米国規格 IEEE では 2 万時間と 4 万時間を今も併記していることが、前回委員会“直流機及び高圧電動機サステナブル委員会”明らかになっている。上述の寿命 30 年→15 年の変化には、これも影響していると考えられる。

電動機は、常に全負荷運転するとは限らない。負荷 90% では、温度上昇は二乗の 81% となり、100K 前後から 80K 前後と 20K 低下するので、10°C 半減則を適用すれば絶縁劣化 (熱劣化) の進行は 1/4 となる。

米国の API541 “石油化学プラント向け電動機の必須仕様”によれば、寿命 25 年を実現するための寿命推定計算の提出をもとめている。この規格の場合は推定計算の提出は必須要件であるが、一般的には、以上の温度上昇限度の選択、適用される絶縁システムの寿命時間、全負荷時間率などを含めた、推定計算の計算フローの規格化が必要と考えている。

(耐熱寿命以外の電気的要求事項の規格への反映)

耐熱寿命は始動完了後の負荷運転時に生じる絶縁劣化の問題であったが、誘導電動機・同期電動機では、

始動の繰り返しが寿命を制する場合もある。

理論的には、始動の間に電動機で発生する累積損失（損失の時間積分値）は、始動完了後の回転速度における負荷側も含めた全慣性エネルギー $1/2J\omega^2$ に等しい。従って全慣性エネルギー $1/2J\omega^2$ (kJ) を定格出力 (kW) で除したものを単位慣性定数 H (単位：秒) と呼び、その電動機から見た相対的な慣性エネルギーの大きさを示す。

この単位慣性定数によって、カゴ形誘導電動機の適用限度、巻線形誘導電動機の適用是非、1万 kW を超える大形同期機における低周波始動方式（巻線形誘導電動機と始動用同期発電機からなる MG セットによって可変周波数で同期状態を保ちながら始動する方式）の適用などの選択が行われてきた。

カゴ形誘導電動機に限っていえば、1960年代前半には、単位慣性定数 H：5秒前後が限度であったが、1960年代後半から、設計技術の進歩などにより、火力補機の BFP（ボイラフィードポンプ）向け等に、単位慣性定数：10～15に向上して現在に至っている。

この火力補機の BFP 等は、原子力発電が軌道に乗った 1980 代後半には、原子力発電を昼夜運転のベースロードとし、火力発電は毎日夜間停止し、翌朝始動する DSS (Daily Start & Stop) 運用が開始された。

その際、もともと BFP の電動機はこのような高頻度始動に対応する設計ではなかったため、DSS 対応に先立ち、ロータバーを銅合金バー改造し、ロータバー温度上昇による銅材の材力低下に基づくバー切れなどの故障を回避している。

すなわち、産業用電動機の大多数であるカゴ形誘導電動機では、単位慣性定数 H の値によって、始動頻度や一生の累積始動回数に制約を受ける。また始動頻度の問題は、ロータバー・エンドリングの信頼性がかりでなく、始動電流による固定子コイルエンドの固定の信頼性にも影響する。

以上の始動に関わる技術課題は、1970年前後の電機メーカ技術広報誌に繰返し書かれているものの、現在では、相当の年月が経っており、耐熱寿命の問題と同様、規格化すべきものと考えている。

(機械的・構造的な要求事項の規格への反映)

価格上昇が付帯するものの製品が成り立つための重要な仕様として、機械的・構造的な要求事項がある。

これには、一極磁束が大きくなる電氣的条件による構造設計上の制約、高速機であるための機械的強度上の制約やクリチカルスピードの制約のある 2 極機特有の問題がまず挙げられる。

またポンプ駆動用等に多用される縦軸機では、電動機本体およびポンプの自重を受けるスラスト軸受けを電動機下部または上部に配置する等、特殊な構造となるので、価格に反映する関係上、その特徴を明確化しておく必要がある。

同期電動機においては、コンプレッサ駆動用など負荷 GD² (慣性モーメント) の大きい場合、圧延用などトルクの過負荷耐量の大きい場合など、用途別にトルク特性 (始動トルク・最大トルク・脱出トルクの 3 トルク) の推奨値が表形式で NEMA MG1 では紹介されている。この表は同時に短絡比との関係を示唆しており、短絡比は、体格・価格に敏感に反映するので、電機メーカ各社の技術広報誌には従来から紹介されてきているものの、この際、NEMA の了解を得て、公的な文書で紹介すべきものと考えている。

なお、ブラシ回りについても、ブラシを使用する同期機・誘導機にとって信頼性の急所であり、価格にも敏感で、体格 (特に全長) とクリチカルスピード等の特性にも影響するので取り扱う。

電動機構成におけるブラシ回りの配置、すなわち、ブラシ回りを電動機本体機内 (直結側・反直結側の軸受間) に配置する場合と反直結側軸受けの軸端に配置する場合の区別、及び反直結側の軸端に配置する場合の軸受け回り保守との干渉を避ける構成などについて、各種の構成とその特徴を明確化しておくこととする。

(海外製の電動機の調達を考慮したその他の要求事項の規格への反映)

EASA Convention など産業用電気機器の国際展示会によれば、中国・韓国・ブラジル・インド等の電動機製造の新興国の出店攻勢が著しい。そのような新興国から電動機を調達する場合、及び欧米の新興の

電機メーカーから電動機を調達する場合、その他の要求事項、すなわち塗装を含む出荷外装・輸送保護・予備品の支給・現地据付試運転要領書の提供・保守取扱説明書の提供などについて、国内慣行のレベルを維持するため、従来特に仕様書に明記しなかったものを、必要最小限に関して明文化するがあると考え。

また有償で提供するフィールドサービス（アフタサービス）と無償で提供するフィールドサービスの区分については、国内的にも、価格破壊以降曖昧になってきており、メーカー側が苦慮する場合も増加しているので、公的な文書にて、区分を明確にする必要があると考えている。

(2) 内外機関による調査活動

(IEC(JEC)の限界)

IEC・ISO規格には二種類ある。一つは1905年のIEC発足以来の伝統的な規格である電気機器製品の製品への要求事項を規定するIEC60000番台の規格である。他の一つはマネージメント規格とも呼ばれるもので品質のISO9000シリーズ、環境のISO14000シリーズに代表される。

前者は、EUメンバーが主導しているためEU指令に準じて、法律と同様に一元性・一義性を重視するので、個々の要求事項の定義は明確であっても、運用についてはあいまいな点が多い。例えば、回転電気機械の耐熱クラスFの温度上昇限度は抵抗法で105Kであるが、この規定と（別のIEC規格が規定する）絶縁の寿命との関係が示されていない。仮に温度上昇限度と寿命の関係に疑義が生じた場合、法律では、裁判の判例が疑義に対する回答を与えているが、IECの世界には法律の場合の判例に相当する文書が存在しない。

後者は、要求事項を満足させるための体系化された手順が用意されており、その意味では、これから作成しようとしている体系化された電動機仕様作成手順の規格に問題が似ているものの、その要求の満足の是非の検証には外部の認証機関による審査が行われており、電動機仕様の場合、外部認証機関による審査方式はなじまない。

(IEEE・APIで近年続々と制定されている推奨プラクティスの規格の考え方)

一方、一元性・一義性など法律的な厳格性を重視するIECのEU流儀に対して、プラグマティズムによって歴史的に実用性を重視する米国では、Recommended Practice（以下推奨プラクティスとする）と呼ばれ、体系化された手順を分かりやすく定義・解説する規格の作成・制定が、IEEE及びAPI（米国石油学会）で、近年活発に行われている。

IEEEでは、産業用・商用電力設備に対する保護協調実現の推奨プラクティス（IEEE242：1986）、産業用・商用の電力設備のエネルギーマネジメントの推奨プラクティス（IEEE739：1995）、産業用・商用の電力設備の接地方法と接地システムの推奨プラクティス（IEEE142：2007）があり、電動機仕様の規格化に近いものでは、同期機界磁エネルギー放電装置の仕様と設計の推奨プラクティス（IEEE421.6：2017）がある。

APIでは、石油掘削の掘削井ドリルの制御装置の制御システム設計の推奨プラクティス（API-RP16E：1990）、オフショア石油リグ運転のための安全・環境マネジメントシステム（API-RP75：2019）等がある。

これらの実施事例をみると、推奨プラクティス規格の開発思想は、電動機仕様の規格化に適用できると考えられる。

3. 調査検討事項

調査検討事項をとりまとめ、JEC規格票の様式（2020）に従ってJEC-TR原案の作成を進める。このとき章建てとしては下記を予定する。

箇条1：適用範囲

箇条2：引用規格

箇条3：用語及び定義

箇条 4 : 本推奨プラクティスの運用ガイド

箇条 5 : 電氣的要求事項

箇条 6 : 機械的要求事項

箇条 7 : その他の要求事項

附属書 A (参考) : コイル・巻線絶縁の耐熱寿命についての歴史的変遷と現在の IEC (JEC) 方式と米国 IEEE 方式の考え方の差異について

附属書 B (参考) : 単位慣性定数 H の物理的意味と誘導機・同期機始動特性への適用

附属書 C (規定) : 同期電動機の用途別の始動トルク・最大トルク・脱出トルクと短絡比の推奨値

附属書 D (規定) : インバータ駆動の可変速ならびに直接トルク制御の誘導電動機の制御仕様と電動機仕様

解説

なお、箇条 7 のその他の要求事項は、海外からの電動機を調達する場合に、出荷外装・輸送保護、据付試運転取説・保守取説等について国内慣行のレベルを維持し、無償および有償のフィールドサービスの定義を明確にするため設けている。また機械的要求事項にブラシ回りの機構を含むものとする。

4. 予想される効果

電動機といえば出荷台数、プラントでの設置台数で見ると誘導電動機が大多数を占めるが、数の上では少数であるが、プラント稼働の死命を制する高圧同期電動機や中大形直流電動機についても適用対象とすることにより、個々の新規電動機製作や大形機の巻替え修理も含めて、その仕様が組織的に明確化されることにより、その電動機の生涯での運転信頼性が向上し、最終的には、国内のプラントの生産性の向上・信頼性の向上が実現する。

5. 調査期間

令和 3 年 (2021 年) 4 月～令和 6 年 (2024 年) 3 月

6. 委員会の構成 (職名別の五十音順に配列)

職名	氏名	(所属)	会員・非会員区分
委員長	森田 登	(電動機・ブラシ技研)	会員
委員	畔津 慎二郎	(帝国カーボン)	非会員
同	磯田 学	(三谷合金)	会員
同	井上 敏行	(JFE プラントエンジ)	非会員
同	上野 貴博	(日本工業大学)	会員
同	江藤 計介	(出光興産)	会員
同	蛭谷 玄太	(クアーズテック)	非会員
同	遠藤 好昭	(JERA)	会員
同	遠原 直樹	(日本製鉄)	非会員
同	金澤 義昭	(森田電機産業)	会員
同	金川 晃夫	(TMEIC)	会員
同	假谷 晃	(JFE スチール)	会員
同	玄 晁植	(韓国桑原電機)	会員
同	後藤 利彦	(日本製鉄)	会員

同	薦田 尚治	(東洋炭素)	会員
同	澤 孝一郎	(慶應義塾大学)	会員
同	塩坪 英輔	(炭素協会)	非会員
同	條島 勇児	(ダイオーエンジニアリング)	会員
同	田岡 洋	(日本製鉄)	会員
同	高須 昭教	(東芝エネルギーシステムズ)	会員
同	潮湖 肇夫	(明電舎)	会員
同	鶴田 昌則	(桑原電工)	会員
同	長谷 善行	(日本電研工業)	会員
同	中西 悠二	(NME)	会員
同	二藤部 光弘	(日立製作所)	会員
同	野田 英治	(直流機技術支援協会)	非会員
同	早川 忠明	(日本工営)	会員
同	福田 晴行	(三和電機)	会員
同	真下 明秀	(富士電機)	会員
同	増田 匡一	(日鉄テックスエンジ)	会員
同	森宗 浩一	(協和機電工業)	会員
同	山本 眞樹	(神戸製鋼所)	会員
同	渡邊 広人	(JFE プラントエンジ)	非会員
幹 事	安部 勝彦	(日立パワーソリューションズ)	会員
同	渡邊 尚利	(桑原電工)	会員
幹事補佐	藤原 勝行	(日本電研工業)	会員

7. 活動予定

委員会	11回/年	幹事会	1回/年
見学回	1回/年		

8. 報告形態 (調査専門委員会は必須)

JEC-TR をもって成果報告とする