

電力用磁性材料の評価・活用技術 調査報告

電力用磁性材料の評価・活用技術調査専門委員会編

目 次

1. 緒言	3	4.3.3 2次元磁気特性測定装置	21
2. 電力用磁性材料の低損失化・高効率化の動向	3	4.3.4 2次元ベクトル磁気特性の評価	23
2.1 方向性電磁鋼板	3	4.3.5 おわりに	24
2.2 無方向性電磁鋼板	5	4.4 偏磁下における磁気特性測定	24
2.2.1 高効率モータ用電磁鋼板	5	4.4.1 まえがき	24
2.2.2 高加工性電磁鋼板	6	4.4.2 偏磁下での磁気特性測定法	25
2.2.3 高周波用薄電磁鋼板	6	4.4.3 偏磁下磁気特性例	26
2.2.4 高張力電磁鋼板	6	4.5 応力印加による電磁鋼板の磁気特性への	
2.2.5 高い素鋼板	7	影響	26
2.2.6 接着コーティング電磁鋼板	7	4.5.1 焼きばめの影響	27
2.2.7 環境対応型絶縁被膜電磁鋼板	8	4.5.2 圧縮力によるヒステリシス損失の	
2.3 二方向性電磁鋼板	8	発生機構に関する検討	27
2.4 電気機器鉄心の損失	9	4.5.3 電磁鋼板の特性評価法	28
2.4.1 ビルディングファクターと磁気特性の		4.5.4 温度勾配の影響	31
劣化	9	4.5.5 消磁後の応力変化による影響	32
2.4.2 電気機器の損失増加要因	10	5. 電力用磁性材料の高効率機器への適用技術	33
2.4.3 鉄損を支配するベクトル磁気特性		5.1 電磁機器の開発動向と電力用磁性材料の	
パラメータ	11	役割	33
3. 鉄心材料の磁気特性測定方法	12	5.1.1 電磁機器と環境関連法令	33
3.1 はじめに	12	5.1.2 電磁機器性能と電力用磁性材料の動向	35
3.2 測定法の分類	13	5.2 変圧器における電力用磁性材料の利用技術	38
4. 電磁鋼板の各種励磁条件下の特性評価	15	5.2.1 磁歪, 騒音, 高調波の影響	38
4.1 歪波磁束波形による特性試験法	15	5.2.2 変圧器への適用事例	39
4.1.1 まえがき	15	5.2.3 変圧器鉄心材料の動向	41
4.1.2 歪波磁束下での磁気特性測定法	16	5.3 回転機におけるパワー用磁性材料の	
4.2 波形歪に対する磁気特性評価法	17	利用技術	42
4.2.1 歪波磁束下での電磁鋼板の磁気特性例	17	5.3.1 家電用モータ	42
4.2.2 歪波磁束下での磁気特性推定法	18	5.3.2 小形回転機 (AC サーボモータ)	44
4.3 2次元ベクトル磁気特性	20	5.3.3 大形回転機	45
4.3.1 はじめに	20	5.3.4 最近の回転機鉄心	46
4.3.2 2次元ベクトル磁気特性の測定条件	20	6. 結言	48

電力用磁性材料の評価・活用技術調査専門委員会委員

委員長 榎園 正人(大分大学)
幹事 富永 琢磨(日本電気計器検定所)
柳瀬 俊次(岐阜大学)
島村 正彦(岩通計測(株))
幹事補佐 谷 良浩(三菱電機(株))
委員 石原 好之(同志社大学)
石山 和志(東北大学)
伊藤 元哉(株日立製作所)
植田 浩司(パナソニック(株))
岡崎 靖雄(岐阜大学)
興法 千洋(岩通計測(株))
尾田 善彦(JFEスチール(株))
栗山 忠士(株ダイヘン)
西條 学(株日本AEパワーシステムズ)
島 和男(金沢工業大学)
霜村 英二(株東芝)
新谷 邦弘(福井工業高等専門学校)

委員 鈴木 宏和(東京電力(株))
中井 英雄(株豊田中央研究所)
能登路 淳(米子工業高等専門学校)
藤原 耕二(同志社大学)
牧野 彰宏(東北大学)
松尾 哲司(京都大学)
松原 和宣(福岡工業大学)
溝上 雅人(新日本製鐵(株))
宮城 大輔(岡山大学)
屋鋪 裕義(住友金属工業(株))
安村 隆明(株安川電機)
柳井 武志(長崎大学)
山本 健一(琉球大学)

1. 緒言

21 世紀に入って地球温暖化を起点とする環境ならびにエネルギー問題は国際的な社会的な重要課題となってきた。これらの問題は相互に関連しあっておりその解決に向かって我々は努力する必要がある。エネルギー消費量の約半分を占める各種モータの省エネルギー化に向けた低損失高効率化は特に重要となってきた。

他方、自動車のハイブリッド化や電気自動車の出現は加速しつつあり、大きな転換期を迎えようとしている。これら電気機器の高効率化は従来技術を一新する取り組みが求められている。それは、体格・重量を増加させることなく低損失・高効率化を実現することである。電気機器の損失は鉄損と銅損が支配的であり、鉄損の低減化は銅損の低減化にもつながる。この鉄損の低減化には電気機器鉄心として使用される電力用磁性材料の有効活用技術が重要となってくる。

我が国は磁性材料の開発、特にその磁気特性においては国際的にも高く評価されている。ところが必ずしもそれが電力用電磁機器の高性能化に直結していない。これは、これまで量産化と低価格化が重要視され過ぎ、技術本来の良い材料を使って良い製品を造ることから遠ざかっていたことに依ると考えられる。ただ、良い材料を使って良い製品を造るという事は、言うは易いが行うは難しく、多くの新たな技術の創出が必要とされる。さらに電磁機器単体の高効率化よりは制御によって省エネルギー化技術の開発に重点が置かれ、電磁機器の高品質化は後回しにされた。

また、近年、電力エネルギー使用量は、増加量の変動はあるものの、年々増加の一途をたどっている。他方、地球環境を取り巻く状況はより深刻度を増し、京都議定書に盛り込まれた目標を達成するには厳しいものがある。政府はその対策として、電磁機器の省エネルギー化に向けたトップランナー方式の導入を図っている。この目標を達成するには、変圧器及び回転機等の電力用電磁機器では、鉄心に使用される電力用磁性材料の特性を向上させ、機器稼動状態での鉄心材料の磁気特性を把握して、鉄心の設計・開発を行い、機器の高効率化を図ることが重要である。それと同時に、高品質電力用磁性材料を有効活用した高性能電力用電磁機器の設計・開発のできる評価方法と、高価値を得るための高精度な測定法の確立が強く求められる。

上記の目的の下に設置された電力用磁性材料活用技術調査専門委員会は、電力用電磁機器の鉄心材料として広く利用されている電力用磁性材料について、その開発動向を把握するとともに、材料特性測定法及び評価法、材料特性を最大に生かす電磁機器鉄心としての材料選択法や鉄心構成法を調査・検討するなど、電力用磁性材料の高度活用技術の構築を目的とした調査活動を行なった。そして、我が国における電力用磁性材料とその活用の現状と動向を明確にする中で、電力用磁性材料の主要な応用分野である、回転器・変圧

器の重量・容量あたりの効率など、これからの高度活用に対して必要となるデータを収集し、そこから今後の解決点を探る基礎的な情報が得られる。更にこの領域における調査・検討をさらに継続して行なう必要がある。

国際的な地球温暖化防止の動きを背景にして、平成 9 年には省エネルギー法が改正され、各事業所などでは 1%以上のエネルギー削減が義務づけられた。これをうけて電力用電磁機器分野では、平成 12 年に JIS C 4212「高効率低圧三相かご形誘導電動機」および JEM 1474「配電用 6 kV 高効率油入変圧器の特性基準値」が、平成 13 年に JEM 1475「配電用 6 kV 高効率モールド変圧器の特性基準値」が、平成 15 年には JEM 1482「特定機器対応の高圧受配電用油入変圧器におけるエネルギー変換効率の基準値」並びに JEM 1483「特定機器対応の高圧受配電用モールド変圧器におけるエネルギー消費効率の基準値」が制定された。

我が国における電力用磁性材料の開発は、高磁束密度方向性電磁鋼板の開発以後、常に世界をリードする立場にある。今後ともこの状況を維持していくためには、我が国の研究者が、電力用電磁機器の開発・設計に向けた材料の活用法を確立し、世界に情報を発信する必要がある。本委員会の活動はそれらの情報発信のサポートとなる。

電磁鋼板の測定法に関しては、IEC の場において高周波までの磁気特性測定法が標準化され、二次元磁気特性測定法についても検討の方向にある。また、単板磁気試験法も見直し作業が進んでおり、我が国から提案した H コイル法の IEC での規格化を進めていかねばならない。また、電磁機器製造における加工ひずみや、電磁機器駆動回路の半導体化による電磁機器に印加される様々な電圧波形など、規格化された電磁鋼板磁気特性測定の実環境条件とは異なる場合が多く、このなかでも PWM 電圧励磁下での磁性材料特性評価法については IEC でも検討されようとしている。

また、新たな技術の構築の必要性が電気自動車、ハイブリッド車や高出力風力発電機の分野で浮上しているが、これらの分野では電力用電磁機器のさらなる高効率化・軽量化・高密度化が要求され、高品質電力用磁性材料の活用技術の開発が必須・急務の情勢にある。磁性材料の開発動向の把握、標準測定法の検討及び各種磁化状態での特性把握に基づく活用技術の構築は、今後益々高効率化が要求される電磁機器で使用するべき材料の選定に寄与でき、新たな高品質電磁鋼板の開発を促すとともに、それを活用して電磁機器の最適設計に貢献できるであろう。

2. 電力用磁性材料の低損失化・高効率化の動向

2.1 方向性電磁鋼板

従来の方向性電磁鋼板は表面に硬いフォーステライト被膜を有するため、打ち抜き加工を行うと金型の損耗が激し