T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	極低硫黄化と高Si化による電磁鋼板の高性能化に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	尾田善彦
Author(English)	Yoshihiko Oda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10471号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 明,赤木 泰文,七原 俊也,安岡 康一,中村 吉男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10471号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	尾田 善彦	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	千葉 明 教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

国内の電力消費量の約 6 割をモータが占めており、地球温暖化防止の観点からモータの効率向上による電力消費量削減が望まれている。モータの鉄心材料として使用される軟磁性材料の中で無方向性電磁鋼板は 9 割以上を占めていることから、モータの高効率化には無方向性電磁鋼板の高性能化、特に素材鉄損低減が重要である。また、モータ高効率化を考える場合、素材の鉄損だけでなくモータコアとしての鉄損を低減することも必要となる。電磁鋼板を用いてモータコアを作製する場合、打ち抜き、かしめ、焼きばめ等が行われるが、この際、材料に圧縮応力が導入されるため、一般に素材鉄損よりもモータ鉄損は高くなる。特に、焼きばめは圧縮応力が大きいことから鉄損を大きく増加させることが知られており、焼きばめによる鉄損増加の少ない材料が望まれている。

本研究はモータ高効率化の観点から、無方向性電磁鋼板の高特性化を目指して行われ、高磁束密度と低鉄損を両立するモータ用新無方向性電磁鋼板の開発、焼きばめ時の鉄損増加を抜本的に抑制できる材料の提案の二点を目的とした。本論文は以下の 8 章から構成されている。

第 1 章では、モータ高効率化の必要性およびモータの鉄心材料として広く使用されている無方向性電磁鋼板の概要について述べ、低鉄損電磁鋼板を開発する重要性について明確にした。

第 2 章では、無方向性電磁鋼板以外の鉄心材料として方向性電磁鋼板、アモルファス、圧粉磁心、パーメンジュールを用いたモータの性能と課題についてまとめた。次に、無方向性電磁鋼板の低鉄損化と圧縮応力下の鉄損挙動に関する従来研究について調査し、高純度化をベースとした低鉄損材開発のメリットと圧縮応力下の鉄損増加を抜本的に改善する必要性について述べた。

第 3 章では、無方向性電磁鋼板の磁束密度低下や打ち抜き性の劣化を招かない鉄損低減手法として高純度化に着目し、近年技術革新の著しい極低硫黄化技術を電磁鋼板に適用し、極低硫黄化による低鉄損化の効果について検証した。さらに、極低硫黄材の高温焼鈍時の鉄損増加の原因が表層窒化によるものであることを明らかにするとともに窒化に及ぼす硫黄の影響を定量化した。

第 4 章では、高磁束密度と低鉄損を両立するモータ用新電磁鋼板の開発を目指し、硫黄同様の表面偏析型元素である Sb、Sn を極低硫黄材に微量添加することを試みた。その結果、開発材では極低硫黄化による結晶粒粗大化と Sb、Sn 添加による表層窒化抑制により、高磁束密度と低鉄損を両立したモータ用新電磁鋼板を開発した。さらに、電動パワーステアリングモータに開発材を適用し、モータ性能改善効果を検証した。

第 5 章では、焼きばめによる鉄損増加を抜本的に抑制できる材料を探索するため、無方向性電磁鋼板の圧縮応力下の鉄損に及ぼす Si 量の影響について系統的に調査し、高 Si 化により焼きばめ時の鉄損増加を抑制できること、その原因は材料の磁歪低下によることを明確にした。本知見をもとに鉄損増加が極めて少ない材料として磁歪がほぼゼロとなる 6.5%Si 鋼を提案し、焼きばめによりモータの鉄損増加が認められないことを確認した。

第 6 章では、第 5 章で得られた知見を発展させ、焼きばめにより焼きばめ前よりも鉄損が低減できる材料の開発を目指し、負磁歪を有する 6.7%Si 鋼を世界で初めて試作した。さらに、6.7%Si 鋼の効果を検証するため、焼きばめモータを試作しモータ鉄損が低減できることを確認した。

第 7 章では、これまでモータコア材料として使用されていなかった Si 傾斜磁性材料のモータへの適用可能性を検討するため、圧縮応力下の鉄損挙動を測定し、圧縮応力下の鉄損増加が極めて少ないことを見出した。そのメカニズムを板厚方向の Si 分布と残留応力の観点から考察するとともに、焼きばめモータへ適用した場合の効果について検証した。

第 8 章では、第 2 章～第 7 章で得られた知見を総括するとともに、今後の展望と課題を示した。

以上まとめると、本研究では、極低硫黄化による結晶粒粗大化と微量 Sb、Sn 添加による表層窒化抑制により、高磁束密度と低鉄損を両立するモータ用新電磁鋼板を開発した。さらに、焼きばめ時の鉄損増加抑制を材料面から検討し、6.5%Si 鋼と Si 傾斜磁性材料では焼きばめによる鉄損増加がほとんど認められないこと、また、世界で初めて試作した負磁歪の 6.7%Si 鋼では、焼きばめにより鉄損が低減できることを明らかにした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).
注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	尾田 善彦	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	千葉 明 教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

Improved efficiency in electric motor operation is important in this time of global warming. Currently, motors account for 60% of electric power consumption in Japan. Non-oriented electrical steel sheets are widely used as core materials for electric motors. In order to improve motor efficiency, it is important to reduce the iron loss of non-oriented electrical steel sheets and to suppress the deterioration of iron loss during motor assembly, especially in heat-shrinking.

A purpose of this thesis is to develop a low iron loss electrical steel and to find a material which can decrease the amount of iron loss during heat-shrinking.

This thesis is composed of 8 chapters.

In chapter 1, the background of the thesis is described.

In chapter 2, I review all literature focusing on the motor core materials and on iron loss reducing techniques during heat-shrinking.

In chapter 3, I applied ultra-low sulfur technology to non-oriented electrical steel to reduce iron loss. The iron loss of the ultra-low sulfur steel is much lower than that of a high- sulfur steel in low-temperature annealing. However, the iron loss of the ultra-low sulfur steel increased with an increase in temperature due to surface nitriding.

In chapter 4, I developed a new type of electrical steel using ultra-low sulfur technology and adding surface segregating elements. The developed material showed low iron loss and a high magnetic flux density.

In chapter 5, I studied the effect of Si on iron loss of electrical steel under compressive stress. The deterioration ratio of iron loss under compressive stress decreased with an increase in Si content. In particular, a 6.5%Si steel showed low iron loss under compressive stress.

In chapter 6, I developed a negative magnetostrictive steel. In the motor using the negative magnetostrictive material, the iron loss decreased after heat-shrinking.

In chapter 7, I evaluated the effect of compressive stress on iron loss of a Si gradient steel sheet. This material showed an extremely low iron loss under heat-shrinking.

In chapter 8, all results were summarized.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).