

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Magnetostriction Effect in Motor Vibration and Acoustic Noise
著者(和文)	蔡一飛
Author(English)	Yifei Cai
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12854号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:千葉 明,藤田 英明,赤塚 洋,萩原 誠,清田 恭平,小坂 卓
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12854号, Conferred date:2024/9/20, 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

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	蔡 一飛		審査員主査： Chief Examiner	千葉 明

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、カーボンニュートラルに向けて自動車などの電動化が進みつつある。自動車駆動用のモータには高効率、高出力、広い速度範囲などが要望されるが、低騒音であることも強く要望される状況にある。従来、モータの騒音は、回転子と固定子に発生する電磁吸引力が原因であると考えられてきた。しかし、鉄損が少なく、効率がよいアモルファス鉄心では、磁歪が大きく、電磁力だけでなく、磁歪によっても騒音振動が発生する。

このような状況下で、本論文は、磁歪がモータの振動騒音に与える影響を解析的及び実験的な手法で明らかにした。すなわち、磁歪が大きいアモルファス鉄心、磁歪が極めて小さい高ケイ素 (6.5%) 鋼板、その中間の従来の 3%ケイ素鋼板により、鉄心を構成して磁歪によって発生する振動騒音を明らかにした。磁歪は、磁束が通ると鉄心が伸び、固定子鉄心が膨張する変形を発生する。一方、電磁力は固定子鉄心を中心にに向けて収縮する変形を発生する。

本論文の目的は、モータの振動騒音における磁歪の重要性を解析的及び実験的な検証両方で示すことである。その上、磁歪が各振動成分に与える影響を明らかにした。

第 2 章では磁歪を考慮したモータ振動騒音評価の文献調査を行い、磁歪の影響についてまだ一般論が得られていないことを明らかにした。一般論にまだ至っていない原因の一つは、磁歪の影響がモータ設計、材料、制御、動作点に対する複雑な依存性である。もう一つの原因は、解析で得た発見を実験で検証することが困難である点にある。

第 3 章では、本論文全体の理解を支える基礎理論を明らかにした。

第 4 章では、ひずみゲージを用いた磁歪の測定装置を提案する。提案装置の測定精度は有限要素解析によって検証され、誤差は 0.5%未満であることが示された。提案装置を用いて高ケイ素鋼板 10JNEX900、アモルファス金属 2605SA1、一般ケイ素鋼板 20JNEH1200 の 3 種類の鉄心材料の磁歪特性を評価した。測定の結果、各材料の磁歪特性に顕著な違いがあることが分かった。

第 5 章では、モータ固定子の磁歪変形、振動、騒音を実験的に評価する。第 4 章で測定した 3 つの材料から作られる 3 つの固定子を比較した。固定子は、ヨーク上のトロイダル巻線によって励磁されるため、変圧器のように磁束はヨーク内に閉じ込められている。これにより電磁力の発生が回避されるため、固定子の変形の原因は磁歪のみとなる。実験では、磁歪の大きい材料で作られた固定子はより顕著な変形、振動、騒音を示した。

第 6 章では、磁歪による変形と電磁力による変形の割合を実験的に評価した。一般ケイ素鋼板 20JNEH1200 で作られたギャップ付き変圧器においては、磁歪変形は電磁力による変形の 1.7 倍であることが明らかになった。アモルファス金属 2605SA1 製の固定子鉄心の突極では、磁歪変形が電磁力による変形の 5 倍であることが測定された。これらの結果は、磁歪が固定子の突極変形において電磁力よりも影響が大きいことを示した。

第 7 章では、実際のモータ振動騒音における磁歪の影響を解析的及び実験的に調査する。高ケイ素鋼板とアモルファス金属で 2 台のスイッチドリラクタンスモータを試作し、それらの振動を比較することで磁歪の影響を評価する。電磁力が統一された場合、アモルファス金属機はヤング率が低いいため高い振動を示すと予想される。しかし、有限要素法解析と実験の結果では、磁歪と電磁力は振幅同等かつ逆位相を持つモード 0 振動を励起するため、両振動が互いに打ち消し、合計振動が大幅に抑制されることが明らかになった。

第 8 章では、高ケイ素鋼板とアモルファス金属で 2 台の永久磁石同期モータについて同様の調査を行った。有限要素解析では、磁歪は 6 の倍数次成分において、電磁力振動と同等かつ逆位相のモード 0 振動を励起し、合計振動を大幅に抑制する効果を示した。この磁歪による振動の相殺効果により、アモルファス金属機の剛性が低いにもかかわらず、高ケイ素鋼板機と同等な 6 次の倍数次振動を示す。これらの解析結果は実験的にも検証され、磁歪がモータの振動騒音に重要な役割を果たしていることを実験的に検証した。

以上、本論文はモータ振動騒音で磁歪を考慮する重要性を示す決定的な実験データを示し、今後振動騒音の評価精度をさらに向上させる基礎となる。

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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 電気電子	系 コース	申請学位(専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	蔡 一飛		審査員主査： Chief Examiner	千葉 明	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis investigates the impact of magnetostriction on motor vibration and acoustic noise using both analytical and experimental approaches. Typically, electromagnetic forces are recognized as the primary source of motor vibration; however, this work demonstrates that magnetostriction also plays a significant role, a factor that has been overlooked so far.

Chapter 2 presents a comprehensive literature review on the studies concerning the impact of magnetostriction on electric machine vibroacoustic performance. Chapter 3 lays the foundational knowledge necessary for understanding the subsequent content of the thesis. Chapter 4 details an experimental setup designed for measuring magnetostriction and the measurement results for three core materials. Chapter 5 compares magnetostrictive vibration and acoustic noise among three stator cores fabricated from the three core materials. Chapter 6 experimentally evaluates the relationship between deformations caused by magnetostriction and electromagnetic forces on stator teeth. Chapters 7 and 8 analytically and experimentally investigate the impact of magnetostriction on a switched reluctance motor model and an interior permanent magnet synchronous motor model, respectively. The experimental data presented in these chapters confirm that magnetostriction significantly influences motor vibration and acoustic noise and should not be disregarded in motor design and analysis.

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).