

博士論文（要約）

フラクタル次元を用いた時系列データの
異常診断に関する研究

領木 慎一

フラクタル次元を用いた時系列データの
異常診断に関する研究

ー 時系列データの持つフラクタル次元解析の特徴と
それを用いた音・磁場による非接触での状態把握 ー

目次

第1章 序論.....	1
1.1. 研究背景.....	2
1.1.1 はじめに.....	2
1.1.2 基本的な設備保全の方式.....	2
1.1.3 保守現場における課題.....	4
1.2 時系列データ解析.....	6
1.2.1 信号処理.....	6
1.2.2 特徴抽出.....	7
1.2.3 簡易診断.....	8
1.2.4 精密診断.....	9
1.3 フラクタル次元解析の現状と課題.....	10
1.3.1 フラクタル図形とフラクタル次元.....	10
1.3.2 時系列データとフラクタル次元.....	12
1.3.3 フラクタル次元を用いた時系列データの故障解析の現状と課題.....	15
1.4 非接触式センサ.....	17
1.5 本研究の目的.....	18
1.6 本論文の構成.....	20
第2章 時系列データを用いたフラクタル次元の算出.....	25
2.1 はじめに.....	26
2.2 時系列データのフラクタル次元.....	27
2.2.1 算出方法.....	27
2.2.2 サンプリングレート依存性.....	28
2.2.3 データ数 n と平均化数 m	31
2.2.4 ノイズレベル.....	36
2.2.5 異常波形とサンプリングレート.....	38
2.3 回転機の異常状態別におけるフラクタル次元値の変動.....	46
2.3.1 正常波形.....	46
2.3.2 状態異常.....	49
2.3.3 フラクタル次元解析に適した波形.....	55
2.4 公開データによるフラクタル次元解析.....	57

2.4.1 公開データの概要	57
2.4.2 解析手順	57
2.4.3 サンプリングレート, データ数, 平均化数の選定	58
2.4.4 異常波形を含むフラクタル次元分布	60
2.5 考察	65
2.6 まとめ	68
第3章 非接触計測によるフラクタル次元解析と磁場発信機	71
3.1 はじめに	72
3.2 磁場発信機	73
3.2.1 圧電式磁場発信機	73
3.2.2 磁場発信機における共振点の調整	76
3.2.3 実験結果	80
3.3 回転試験機を用いたフラクタル次元解析実験方法	84
3.4 回転試験機を用いたフラクタル次元解析実験結果	85
3.4.1 サンプリングレート, データ数, 平均化数の選定	85
3.4.2 異常波形を含むフラクタル次元分布	89
3.5 考察	91
3.6 まとめ	92
第4章 実環境における音によるフラクタル次元解析	95
4.1 はじめに	96
4.2 実験室環境でのフラクタル次元値の変化	97
4.2.1 実験方法	97
4.2.2 実験結果	97
4.3 実験方法	99
4.4 実験結果	101
4.4.1 サンプリングレート, データ数, 平均化数の選定	101
4.4.2 フラクタル次元値の時間変化	103
4.4.3 振動加速度との比較	106
4.5 考察	108
4.6 まとめ	111
第5章 総括	113
5.1 総括	114
5.2 今後の展望	117
付録	118
A. サンプリングレート依存性における収束点と発散点	119
B. 液体と薄膜を用いたハーベスタの変位計算	130

研究業績	138
謝辞	139

第1章は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

第2章は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

第3章は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

第4章は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

第5章は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

付録は単行本もしくは雑誌掲載等の形で刊行される予定があるため、インターネット公表できません。

研究業績

査読付き学術論文 筆頭

- [1] 領木慎一, 小野寺信, 梶原侑馬, 伊藤寿浩, “フラクタル次元分布を用いた回転機の振動解析,” 電気学会論文誌 E(センサ・マイクロマシン部門誌), Vol.139 No.8 pp.244-251, 2019. (一般社団法人電気学会 : <http://denki.iee.jp/>)
- [2] S. Ryoki, M. Yamamoto, K. Mochizuki, S. Takamatsu, T. Itoh, “Cantilever structure placed in liquid sandwiched between soft-thin membranes to realize wide bandwidth harvester,” Appl. Phys. Lett. 115, 183902, 2019.
- [3] 領木慎一, 柴田克彦, 伊藤寿浩, “フラクタル次元のサンプリングレート依存性を用いた音波によるポンプの状態把握,” 電気学会論文誌 E(センサ・マイクロマシン部門誌), Vol.140 No.6 pp.130-136, 2020. (一般社団法人電気学会 : <http://denki.iee.jp/>)

国内学会発表 筆頭

- [1] 領木慎一, 小野寺信, 梶原侑馬, 伊藤寿浩, “フラクタル次元分布を用いた回転機の振動解析,” 第 35 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 01pm1-PS-173, 2018.
- [2] 領木慎一, 伊藤寿浩, “フラクタル次元分布を用いた真空ポンプの音波解析,” 2019 年度精密工学会春季大会論文集, pp. p. 912-913, 2019.
- [3] 領木慎一, 柴田克彦, 伊藤寿浩, “フラクタル次元を用いたポンプの音波による状態把握,” 第 36 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 20am2-PS3-29, 2019.

表彰等

- [1] 精密工学会 2019 年度春季大会 ベストプレゼンテーション賞, 領木慎一, “フラクタル次元分布を用いた真空ポンプの音波解析,” 2019. 3.

謝辞

本研究を遂行するにあたりご指導を賜りました、
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻（現：工学系研究科 精密工学専攻） 伊藤 寿浩 教授
に厚くお礼申し上げます。

また本論文に対し有意義なご助言をいただきました、
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 保坂 寛 教授
東京大学大学院 工学系研究科 人工物工学研究センター 梅田 靖 教授
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 稗方 和夫 准教授
東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 高松 誠一 准教授
に御礼申し上げます。

高松 准教授には伊藤・高松研究室の教官として、研究におけるご助言など多くのご指導を賜りました。ありがとうございます。

産業技術総合研究所 武井 亮平 博士には、実験装置をはじめ貴重なご助言を数多くいただきました。この場をお借りして感謝を申し上げます。

高砂熱学工業株式会社 柴田 克彦 博士には、実ポンプの実験フィールドのご協力をはじめ、現場での回転機について数多くの知見をいただき、研究を進めるにあたり様々な場面でご協力いただきました。心より感謝を申し上げます。

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 人間環境モニタリング分野(現：工学系研究科 精密工学専攻 マイクロシステム実装研究室)の皆様には研究生活をはじめ大変お世話になりました。特に山本 道貴 博士には実験の進め方などで多大なご助言をいただきました。皆様方に心より御礼申し上げます。

最後に、この研究に従事する機会をいただいた、私の所属会社である東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センターの皆様には深く御礼申し上げます。