

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

第42編

令和5年度

神奈川工科大学

は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、令和5年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

< 目 次 >

甲第47号	大谷 昌生	埃の静電特性及び形状情報の解析と その埃分布量計測への検討 1
-------	-------	----------------------------------	---------

氏名(本籍)	大谷 昌生 (東京都)
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	甲第 47 号
学位授与日	令和 5 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 電気電子工学専攻
学位論文題目	埃の静電特性及び形状情報の解析とその埃分布量計測への検討
論文審査委員	(主査) 神奈川工科大学 金井 徳兼 教授 神奈川工科大学 瑞慶覧 章朝 教授 神奈川工科大学 黄 啓新 教授 神奈川工科大学 奥村 万規子 教授 北海学園大学 魚住 純 教授

内容の要旨

自然に存在する形状は、特徴的な長さを持たない自己相似で形成されているものが多く、それらをフラクタルとして取り扱うことができる。雲の形状がその代表的な例である。埃の堆積形状も雲のような形状をしていると考える。空間を浮遊する埃は、気流及び静電気力の影響を受け、ゆらぎながら堆積、絡み合い結合し大きな埃へと成長すると考える。埃がゆらぎながら浮遊する運動はランダムウォークであると考え。ランダムウォークする粒子の集合体もフラクタルとして扱わせている。このことから埃の繊維の集合体もフラクタルであると推測した。

ここ数年において埃を構成する主な成分は変化している。室内の密閉性が高まった環境下では、室外から混流する植物の花粉や砂など割合が減少し、衣類から脱着する繊維質の割合が増加している。空調機器の性能向上や衣類の素材の変化から、空間に存在する埃は、ポリエステルなどの化学繊維が中心となっている。電氣的な接点に付着堆積した埃は、機器の故障や火災などの原因となるなどの影響がある。今後は、住宅やマンション・ビル・工場などにも、電源やセンサーネットワークが組み込まれた高機能な床や壁が登場すると予想され、一部その機能提案がされている。埃の堆積課程や形状を予測し、埃を可視化することで、ロボットクリーナーなどの機器の AI 制御に応用できると考える。

本研究では、埃の堆積過程の解明を目的に、初歩的な埃堆積モデルを提案し、そのシミュレーションを行った。埃が気流の影響などによりランダムウォークし凝集した結果、フラクタルを形成すると仮定し、埃堆積の成長を考察する。堆積した埃のフラクタル次元と空間占有率の関係から、埃の堆積形状がフラクタルであることを実験的に確認し、提案する埃堆積モデルの有効性を考察した。

本論文では、埃堆積の静電的特性とフラクタル的特性を活用した空間占有率の推定方法について第1章から第8章で論述する。

第1章「序論」では、この研究を着想するに至った背景や詳細な目的について説明する。埃が生活に及ぼす影響をまとめ、埃の堆積に対する現在の対策方法を調査した。既存の対策では、堆積後の埃の検出ができていないことから、静電的な特性や堆積過程及び形状について後章に論述する。

第2章「堆積した埃とその静電的特性」では、埃の成分や静電的な特徴についてまとめる。埃の構成成分を調査し、静電的特性について実験的に考察する。埃の構成成分が、主に衣類などから抜け落ちたナイロンやポリエステルなどの合成繊維であることから、埃は帯電していると考えられる。堆積した埃を採集しファラデーケージを用いて帯電量を測定する。さらに、採集する埃の堆積時間の変化と帯電量の増加の関係を実験から求め、埃の静電的特性を考察する。

第3章「埃の堆積形状とフラクタル」では、埃の堆積形状とフラクタルについて述べる。埃の堆積形状を顕微鏡によって観察しその形状を特徴を考察する。埃の堆積形状が、フラクタル形状特有の統計的に自己相似的な形状をしていることを明らかにし、フラクタルの基本概念をまとめる。さらに、フラクタルの概念を応用した先行研究の調査に基づき、埃堆積量推定方法の提案へつなげる。

第4章「位置情報を取得するブロック型回路の試作」では、埃の堆積量分布測定を目的とした位置情報とセンサー情報を取得するインテリジェントフロアを提案し、その基本システムをブロック型回路を試作し、その機能を考察する。

第5章「埃のコンデンサーモデルと静電容量のシミュレーション」では、埃の構成成分に着目し、静電的な特性を活用した埃の堆積量の測定及び可視化を目的として、埃のデジタル的なモデルを作成し、埃モデルとその静電的特性から堆積量を推定できることを報告する。シミュレーション及び実験により、埃の堆積量と静電容量の関係などの埃がもつ静電的な特性について考察する。

第6章「埃の3次元堆積モデルとシミュレーション」では、埃の堆積形状の観察からその特性を解析し、ランダムに成長する埃の堆積過程をモデル化する。微細な埃の集合過程として、2次元平面内でランダムに成長し、それが積層化することにより3次元的に成長する埃堆積モデルを提案する。ランダムに成長する3次元埃堆積過程をLabVIEWによるシミュレーションを行い、3次元的な埃堆積画像を生成する。シミュレーションで得た3次元埃堆積画像と実際の埃堆積画像を比較及び解析する。フラクタル次元と空間占有率の関係から、3次元埃堆積モデルの有用性を考察すると共に埃の成長過程がフラクタル的な成長であることを示した。

第7章「埃の分布量計測への検討」では、静電容量や画像を用いた埃堆積量の検出方法の応用について考察・提案する。最近では、家庭内での無線ネットワークが普及、BluetoothやZigBeeといった短距離通信システムなどを活用したデバイスが開発され、様々な製品の

相互通信が可能となっている。第6章での考察から、埃の静電的な特性やフラクタル構造により埃の有無や堆積量を推定することが可能であることが示されている。それらを応用し、センサーネットワークを活用した、埃の堆積量の分布検出や可視化方法について検討する。

第8章「結論」では、本研究全体の総括として結論を述べるとともに、今後の展望や応用方法の検討並びに実用化に向けた課題について言及する。

審査の経過

以下のように本学位申請に対して審査した。

(1) 2023年5月1日(月) 申請者より指導教員金井徳兼に対して学位論文が提出された。

(2) 2023年5月10日(水) 電気電子工学専攻会議において予備審査の開始と審査委員が承認された。

(3) 2023年7月1日(土) 10:00-11:30 予備審査会オンライン形式で開催された。その後、申請者は審査委員から指摘に基づき論文の校閲・改訂をおこなった。

(4) 2023年7月12日(水) 電気電子工学専攻会議における学位論文の受理の可否投票の結果、論文受理を決定した。

(5) 2023年7月13日(木) 専攻主任会議において論文受理並びに審査委員の指名が承認された。翌日7月14日(金) 研究科委員会にて論文受理並びに審査委員の指名が報告された。

(5) 2023年8月5日(土) 10:00-11:00 公聴会を本学K2号館1407教室で開催した。公聴会には学内外から28名の聴講者があり活発な質疑応答がなされた。

(6) 2023年8月5日(土) 11:00-11:30 審査委員による最終審査を行い、研究内容、審査の過程、公聴会における質疑応答の状況を判断し、本学位申請は博士(工学)の学位に十分値すると判定した。

(7) 2023年8月28日(月) 電気電子工学専攻会議において、指導教員から審査の経緯、公聴会の開催結果、審査委員の判定などの報告がなされた。専攻内での可否投票の結果、電気電子工学専攻として学位授与を可と判定した。

(8) 2023年9月8日(金) 専攻主任会議において本学位申請が承認され、その後の研究科委員会にてその結果が報告された。

審査結果

申請者は身近に存在する埃の堆積やその堆積過程に注目し、静電気的な特性とその考察、また幾何学的な構造に着目し理論の構築・シミュレーションおよび実験と多角的に研究に取り組んでいる。先行的な研究事例が少ない中で、埃の堆積に関して物理的なモデルを提案し、それらの有効性を明らかにすること、また、研究成果を埃の見える化への応用繋げる検討するなど各研究結果をまとめかつ各研究成果の関連性を示すなど研究の進め方における工夫が感じられる内容である。数回にわたる審査委員との研究内容や提出された学位申請論文に関する意見交換を通して内容の審議さらに一部修正等もなされ、申請論文に関しては研究成果のまとめとして十分な内容に完成している。

公聴会における様々な質問に対しても、本人の研究から得られた知見をもとに対応するなどの対応力もあった。申請論文を支える学術論文や各学会等での口頭発表の内容や英語論文もあることから表現力や語学力においても博士の学力を十分に修得していると判断した。

以上のことから申請者の一連の取り組みは 博士(工学)の学位に値する内容と審査員は判断した。