

佐賀大学
理工学部集報

第49巻 第2号

目次

博士論文要旨及び審査要旨公表 1

令和2年12月

佐賀大学理工学部

博士論文要旨及び審査要旨公表

佐賀大学大学院工学系研究科において、博士の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨をここに公表する。

氏名(本籍) 胡 叢余 (中華人民共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第 662 号
学位授与の日附 令和 2 年 9 月 30 日
学位論文題名 Low temperature growth of gallium
oxide based wide bandgap
semiconductors
(酸化ガリウム系ワイドギャップ
半導体の低温成長)

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	郭 其 新
(副査)	〃	〃	大 石 敏 之
〃	〃	〃	田 中 徹
〃	〃	〃	高 橋 和 敏

論文内容の要旨

Wide bandgap semiconductors have been an area of research that received great amount of attention from researchers due to their potential application in solid-state lighting, high power devices, ultraviolet region optoelectronic devices and efficiency host materials for rare earth (RE) ions. Among various wide bandgap materials, β - Ga_2O_3 stands out due to its large bandgap, chemical and physical stabilities, and robustness in extreme environment (high temperatures, intense radiation, and corrosion). However, development in deposition technology for β - Ga_2O_3 still largely in laboratory phase. Pulsed laser deposition (PLD) technology is a potential useful for β - Ga_2O_3 deposition. Problems in PLD such as crystalline quality and growth rate can be resolved by adding a remote plasma generator to provide radical oxygen growth background.

In Chapter 1, background information will be provided relating to topic in this dissertation.

In Chapter 2, growth mechanism and film characterization method used in this dissertation are introduced.

In Chapter 3, we investigate gallium oxide deposited on c-plane sapphire substrates by oxygen plasma-assisted

pulsed laser deposition. Oxygen radical was generated by an inductively coupled plasma source and effect of radio frequency (RF) power on growth rate was investigated. Film grown with plasma assistance showed 2.7 times faster growth rate. X-ray diffraction and Raman spectroscopy analysis showed that β - Ga_2O_3 films can be grown with plasma assistance at 500°C is single crystal. Roughness of films decreased when the RF power of plasma treatment increased. Transmittance of these films was at least 80% and showed sharp absorption edge at 250 nm which was consistent with data previously reported.

In Chapter 4, monoclinic β - Ga_2O_3 thin films with (-201) orientation have been fabricated at substrate temperature as low as 200°C by using plasma assisted pulsed laser deposition. The film showed high transmittance of over 80% with clear fringes in the wavelength range from 300 to 1000 nm. Structural characterization from X-ray diffraction as well as Raman spectra analysis demonstrated the monoclinic structure of the films grown at a substrate temperature of 200°C . Crystalline β - Ga_2O_3 film deposited at 200°C showed similar growth rate as well as optical bandgap values with films grown at higher temperatures from 300 to 500°C , indicating the enhanced reaction between gallium and oxygen species during the deposition process with the assistant of plasma at low temperature. The low temperature growth of β - Ga_2O_3 film paves the way to be compatible with the established lithography of semiconductor microfabrication processes.

In Chapter 5, we report on impacts of oxygen radical ambient for $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ films grown on sapphire substrates by pulsed laser deposition. All the films showed monoclinic crystal structure and high transmittance in the ultraviolet and visible wavelength range. The surface roughness was less than 3 nm for all films and the surface morphology has changed by

applying oxygen radical ambient. The growth rate was faster in oxygen radical ambient comparing with conventional oxygen ambient. Oxygen radical ambient has influences on the crystal quality of the $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ films. The Ga content in β - $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ films grown with oxygen plasma assistance was higher than that without oxygen plasma, indicating the suppression of the re-evaporation of Ga related species from the film surface by plasma assistance during the PLD process.

In Chapter 6, low temperature growth of β - $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ films has been realized by oxygen radical assisted pulsed laser deposition. The prepared films show good (-201) orientation perpendicular to the (0001) sapphire substrate even at a deposition temperature as low as 200°C . The influences of substrate temperature on structural and optical properties of the films have been systematically investigated. All the films grown at substrate temperatures from 100 to 500°C possess high transmittance of over 90% in the ultraviolet and visible range. Abrupt bandgap value variation has been observed for films deposited at substrate temperatures higher than 100°C , which agrees with the amorphous to crystalline transition temperature evidenced by X-ray diffraction. The film thickness decreasing speed with substrate temperature is much slower for $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ films grown with oxygen radical assistance, indicating the suppressing of the evaporation of volatile species with the help of oxygen radical. The low temperature growth of β - $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ film paves the way to be compatible with the established lithography of semiconductor microfabrication processes.

In Chapter 7, a summary of this dissertation is presented.

論文審査結果の要旨

酸化ガリウム(Ga_2O_3)化合物半導体は、安定な単斜晶系構造を有しており、直接遷移型のバンド構造を持ち、バンドギャップが 4.9eV であることから、パワーデバイス材料として期待されている。また、波長に換算すると約 253nm と深紫外 (Deep UV: DUV) 光に相当し、高輝度 DUV 固体光源材としても有用である。さらに、この Ga_2O_3 材料に Al を添加すれば、ウルトラワイドバンドギャップを持つ $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 半導体薄膜の作製ができ、大きな注目を集めている。本論文では、酸素プラズマアシストによるパルスレーザー堆積法を用いて Ga_2O_3 及び $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ の薄膜成長を行い、成長速度等の特性、得られた膜の結晶性及び光学特性などを明らかにし、酸素プラズマの導入により、薄膜の結晶成長の低温化の実現が可能であることを見出している。

本論文は、第 1 章から第 7 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、目的及び内容を概説している。

第 2 章では、本研究で用いられた薄膜の成長方法及び各種評価方法を述べている。

第 3 章では、酸素プラズマアシストによるパルスレーザー堆積法を用いて、サファイア基板上に Ga_2O_3 薄膜成長を行い、X線回折法、ラマン分光法等の分析手法を用いて評価することにより、酸素プラズマを使わない従来手法に比べ 2.7 倍の速度で高品質の Ga_2O_3 薄膜が得られることを見出している。また、原子間力顕微鏡により、作製された Ga_2O_3 薄膜の表面形態と酸素プラズマに印加された高周波電力パワーとの相関性を明らかにしている。

第 4 章では、酸素プラズマに印加された高周波電力パワーを 300W 一定とし、基板温度を変化させ Ga_2O_3 薄膜成長を行い、 200°C という低い基板温度で Ga_2O_3 薄膜結晶の作製に成功している。また、薄膜

の成長速度の基板温度依存性を調べた結果、ほとんど変化しないことが分かり、酸素プラズマを使わない従来手法に比べ薄膜の成長プロセスにおいて高温領域での基板上の原子の再蒸発が抑制されていることを明らかにしている。

第 5 章では、酸素プラズマアシストによるパルスレーザー堆積法を用いて $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜成長と評価について述べている。X線回折法、ラマン分光法等で得られたデータを解析した結果、酸素プラズマを導入することにより、 $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜の結晶性、光学特性が改善されることを見出している。また、X線光電子分光法を用いて、 $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜の Al と Ga 原子の化学結合状態及び組成比について調べ、Al 原子に比べ Ga 原子の再蒸発がより効果的に抑制されていることを明らかにしている。

第 6 章では、酸素プラズマアシストによるパルスレーザー堆積法を用いて $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜成長過程での温度効果について述べている。酸素プラズマの高周波電力パワーを一定とし、基板温度を 100 から 500°C まで変化させて成長された $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜について、原子間力顕微鏡、X線回折法、X線光電子分光法より調べた結果、基板温度が成長された薄膜の組成、結晶性、光学特性に大きな影響を及ぼしていることを明らかにし、酸素プラズマの導入が $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 薄膜の結晶成長の低温化の実現に有効であることを実証している。

第 7 章では、本研究で得られた成果についてまとめられている。

以上のように、本論文の研究内容は工学的に貴重な知見が多く含み、工学の進展に寄与するところが大きいと認められる。また、これまで、3編の査読付論文が国際的に著名な学術論文誌に掲載され、高く評価されている。令和 2 年 8 月 17 日に実施した学位論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。以上の審査結果に基づき、本論文は博士 (工学) の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一

致で合格と判定した。

氏名(本籍) 謝冉(中華人民共和国)
 学位の種類 博士(学術)
 学位記の番号 甲第663号
 学位授与の日附 令和2年9月30日
 学位論文題名 中国化粧品流通のメーカー主導
 チャンネル分析

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	張	韓	模
(副査)	〃	〃	宮	脇	博
〃	〃	〃	小	島	昌
〃	〃	〃	中	尾	友香梨

論文内容の要旨

近年、中国の化粧品業界は急成長を遂げた業界の一つとして注目されている。1978年の改革開放政策の実施により、外資系化粧品企業や外資系小売企業が中国市場に進出し、中国は流通近代化の新たな段階に入った。日本では30年~40年ほどかけて進行してきた流通チャンネルの進化が、この10年で一度に起きていられると言われる。しかし日本やアメリカとは異なって、中国においてはチャンネル戦略に関する研究は殆ど進んでいない。

このような問題意識を持ちながら、本研究は中国化粧品の製・配・販・消費の4つのそれぞれの段階において、流通チャンネルの特徴を分析し、化粧品流通チャンネルの中国モデルを明らかにすることを目的とする。本研究は7章の構成である。

第1章では、本研究の問題意識と背景、研究の目的、研究方法について述べた。

第2章では、中国化粧品流通チャンネルの歴史を考察し、地方都市と大都市では化粧品が流通しているチャンネルが異なっていることを明らかにした。

第3章では、化粧品流通の中で、卸売業者の実態を分析した。その結果、従来の卸売業者との取引が減少する一方、地域代理商という新たな卸売商が増加していることが明らかになった。従来の独立した卸売業者を通して製品を小売業者に販売する流通経路は、メーカーが管理、コントロールできる地域代理商を通じて小売業者に販売する流通経路に転換している。つまり、化粧品メーカーは地域代理商を通じて、卸売段階まで流通チャンネルをコントロールすることになった。

第4章では、小売業者や大型小売店が成長している中で、化粧品流通チャンネルの主導権の所在について分析した。小売市場が成長し、小売企業の販売力・仕入れ力・納入業者との交渉力が増加する中で、化粧品販売はまだ主にカウンセリング方式で販売されている。中国の化粧品販売の大部分は従来のようにメ

ーカーが価格を規定し、自らの手で販売する。化粧品メーカーはスーパーにおいてさエコーナー販売を通して、大型小売店まで自社がコントロールしているチャンネルを実現したことを明らかにした。

第5章では、2003年以降各化粧品メーカーが多く利用する化粧品専門店の実態を分析した。化粧品専門店は地方都市の中低所得層をターゲットにするものだけではなく、高価格帯を中心とする化粧品専門店も存在している。また、化粧品専門店は地方都市だけではなく、大都市においても成長していることを明らかにした。つまり先行研究が指摘した中低価格帯=地方都市と中高価格帯=大都市図式だけでなく、中低価格帯=大都市のいずれも、化粧品専門店チェーンが成長してきたのであり、これが2003年の急激な生産増、2005年以降の成長につながっていることを明らかにした。

第6章では、化粧品を購入する消費者購買の特性を明らかにするために、中国消費者を対象にアンケートを実施し、統計分析を行った。Hawkinsらの研究によると、購買行動は購買関与度と製品判断力の2要因で規定される。日本の場合、化粧品購買は消費者の高関与と低判断力から低関与と高判断力に変化してきたことがわかっている。この点に関連して、中国を対象にアンケート調査をして分析した結果、中国の消費者はチャンネルごとに信頼性を求めていること、またチャンネルを問わず節約志向が盛んであることが明らかになった。このことは消費者の高関与と低判断力の購買行動を意味し、また現在進行しているメーカー主導型チャンネルが成り立っていることを裏付ける。最後の第7章は本研究のまとめと課題である。

以上、本研究は、中国化粧品の製・配・販・消費の4つのそれぞれの段階においてチャンネルを分析し、メーカー主導の流通チャンネル、すなわち化粧品流通チャンネルの中国モデルを明らかにした。このような研究結果により、地元化粧品メーカーがシェアを伸ばすための施策を提案するなど有用な知見が示されている。

令和2年8月3日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。また、本研究は、審査付学術論文3編、学会発表5件等で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士(学術)の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

論文審査結果の要旨

学位申請者、謝冉氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験を行うことを事前に通知し、令和2年8月3日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連する内容について行った。流通チャネルの定義、関与度の測定方法、大都市と地方都市の流通チャネルの違い、化粧品専門店の状況について質問が行われ、申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から経営学やマーケティング学に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) MD. MAHBUBUR RAHMAN BHUIYAN
(バングラデシュ人民共和国)
学位の種類 博士(理学)
学位記の番号 甲第664号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 Study on magnetism in
kagome-lattice compound
MgMn₃(OH)₆Cl₂
(カゴメ格子物質 MgMn₃(OH)₆Cl₂
の磁性に関する研究)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 鄭 旭 光
(副査) " " 杉 山 晃
" 准教授 山 内 一 宏
" " 真 木 一

論文内容の要旨

幾何学的フラストレーション磁性体は、スピン相互作用の競合のために通常の磁気秩序相には転移せず、スピンアイス、スピン液体、部分秩序状態、スピン・ネマティックのような新奇な量子磁気状態の出現が観測または予想されている。一方でマルチフェロイックと言われる強誘電・磁性共存現象の原因であり、相互作用の競合の不安定性が電気磁気関連物性に劇的な変化をもたらすと予想されるため、応用面でも注目されている。新奇フラストレーション物性が期待される磁気モーメントの配置としては、三角格子、カゴメ格子、四面体構造を持つパイロクロア格子等が挙げられる。中でもカゴメ格子系については強いフラストレーションの存在と及びスピン液体等の新規量子特性の出現からもっとも盛んに研究されているが、スピン液体の発生機構などに関してはまだ理論的に解明されていないところが多い。

一方、佐賀大学グループは近年新しい幾何学的フラストレーション物質として遷移金属水酸ハロゲン化合物群 $M_4(\text{OH})_6X_2$ (M : 3d 遷移金属イオン、 X : ハロゲンイオン)の磁性に着目し、物質創製と磁性解明を進めてきた。本物質群の特徴はd電子磁性イオンが三角格子や四面体構造を形成するため多様な結晶構造を持ち、豊富な磁気特性を示す点である。特に四面体構造は三角格子面とカゴメ格子面の交互積み重ねから構成されていると見なせるため、三角格子サイトの磁気イオンを非磁性イオンで置換することによって理想的なカゴメ格子の創製および磁性発現

も期待できる。今まで $M_4(\text{OH})_6X_2$ シリーズにおいてカゴメ格子系物質 $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, $\text{nCo}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, $\text{MgCo}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, $\text{MgFe}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ 等が合成され、磁気モーメントの増大に従い、スピン液体→部分スピン液体→長距離秩序と磁性が系統的に変化する傾向が見出されている。本論文は上記磁性変化傾向を確定させるために、遷移金属水酸ハロゲン化合物群でもっとも磁気モーメントの大きい

$\text{MgMn}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ の創製を行い、この物質創製と磁性解明を行ったものをまとめたものであり、全4章で構成されている。第1章は序論として幾何学的フラストレーションが引き起す新奇磁性について概論した後、本研究の目的と意義を記している。第2章では本研究に用いた物質合成法、結晶構造解析法と各種磁性評価法が記述されている。第3章ではカゴメ格子物質 $\text{MgMn}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ の結晶構造の解析を行い、目的物質の合成に成功したことを明らかにしている。更に、基本磁性をマクロ及びミクロな実験手段により調査し、磁気フラストレーションの存在及び低温での反強磁性転移を明らかにしている。 $\text{MgMn}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ は古典ハイゼンベルグスピン系と見なすことができ、母体物質と比べてフラストレーションは軽減されることを明らかにしている。更に、中性子回折実験より磁気構造を精査し、カゴメ格子反強磁性体特有の磁気構造として理論的に予測されたスピカイラリティ+1磁気構造の形成を実験的に初めて示している。第4章では以上の研究結果をまとめ、フラストレーション磁性研究領域に対する貢献と影響について述べている。以上、本論文は新規幾何学的フラストレーション磁性体を創製し、結晶構造および基本磁性を解明した。本研究は幾何学的フラストレーション研究に興味深い新物質系を提示し、新奇磁気状態を解明する上で有用な知見が示されている。

論文審査結果の要旨

学位申請者、MD. MAHBUBUR RAHMAN BHUIYAN氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験をおこなうことを事前に通知し、令和2年8月28日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。幾何学的フラストレーショ

ンについて、特に、物質構造と磁気秩序との関係や研究手法について問うたところ、申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から物性物理学に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) HE YUNAN (中華人民共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第665号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 Cognitive System for the Control of Myoelectric Hands (筋電ハンド制御のための認知システム)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 福田 修
(副査) " " 奥村 浩
" " 准教授 山口 暢彦
" " " 中山 功一

論文内容の要旨

世界には、事故や疾病などで手や足を失った切断者が1000万人程存在し、そのうちの300万人が上肢の切断者である。本論文は、上肢切断者が失った自身の手の代用として使用する筋電ハンドに関するもので、5章から構成されている。

第1章では、まず人間の手と脳の関係から議論を深めている。人間は手や道具を使うことで、他の動物には類をみない程の進化を遂げたが、事実、脳の運動野における手・指の領域は、他の身体部位に比べて極めて大きな割合を占めている。これは、人間の手・指の制御が如何に多様・柔軟で複雑であるかを示すと同時に、失った手を工学的に再現することの困難さを説明している。従来から、筋電位信号を電動義手のインタフェースに利用することが数多く試みられてきたが、未だにその自由度は10動作程度にとどまっており、この技術の発展は大きな困難に直面している。本論文は、この問題に対して、近年、パターン認識などの分野で、その精度を飛躍的に向上させた深層学習の技術を導入し、切断者の動作意図を高精度に推定することを試みている。この方法では、筋電位信号の静的なパターン情報と、時系列的な動的情報を組み合わせることを提案しており、著名なデータセットを用いたベンチマークでは、従来手法を上回る推定精度を実現している。この成果は、世界的にも極めて高いレベルのパフォーマンスを実現したが、その一方で筋電位信号のみをインタフェースに用いる従来手法の限界と、新たなインタフェースシステムを開発する必要性を強く示唆する結果となった。

第2章では新たなインタフェースを実現するブレークスルーとして、システムにビジョンセンサを導入することを提案し、筋電位信号とのセンサフュージョンシステムを構築している。ビジョンセンサから得られた情報から、把持対象物を認識する仕組

みを、深層畳み込みニューラルネットに基づく物体認識アルゴリズムにより実現し、さらに、計算負荷を分散する観点から、ネットワークを利用したクライアント・サーバーシステムを構築している。クライアントには、シングルボードコンピュータを利用している。このコンピュータは、ビジョンセンサによる対象物撮影と、撮影画像のサーバーへの転送を管理するとともに、サーバーコンピュータから受信した制御コマンドに応じて、電動義手の関節角を制御する。サーバーには、汎用GPUプロセッサを搭載しており、転送された画像から対象物を認識する深層学習のプログラムが高速に実行される。物体を認識するという能力は、単にその物体のラベルを分類するだけにとどまらず、その物体が有する属性を理解し、義手がとるべき動作を計画することを可能にする。プロトタイプを使った実証実験では、一般対象物の認識を高精度に実現するとともに、その物体の属性に応じた把持動作の制御を実現している。また、サーバシステムを利用することで、高速な画像認識処理を実現している。以上の実験を通して、提案システムの性能を明らかにしている。

第3章では、物体認識に加えて空間認知機能の導入を検討している。この機能では、対象物のカテゴリを認識すると同時に、その対象物の6自由度の位置・姿勢(x, y, z, ロール, ピッチ, ヨー), および筋電ハンドの6自由度の位置・姿勢(x, y, z, ロール, ピッチ, ヨー)を推定する。これらの情報に基づいて相互の位置や姿勢の関係を把握するために、慣性計測ユニット(IMU)センサを新たにシステムに導入し、より高度なセンサフュージョンを実現している。また、システムが空間認知した対象物をデジタルツインとして、実空間に拡張現実表示し、操作者に視覚フィードバックする方法についても提案し、プロトタイプに実装している。この技術では、推定した対象物の3D CADデータから、対象物のコンピュータグラフィックスを生成し、このグラフィックスを実世界の映像の上に重畳させることが可能である。実システムによる検証実験を行い、物体の認識に加えてその6自由度の情報の推定、および拡張現実による情報のフィードバックが精度良く実現されることを実証した。この実験を通して、提案手法の妥当性・有効性を明らかにしている。

第4章では、提案システムを汎用化し、作業現場における実践的な道具として利用する可能性について検討している。ここでは、ビジョンセンサで部品などを認識し、ピッキングを誤りなく実施する把持ツールを開発している。このツールは画像認識の機能により、環境に置かれた見分けのつきにくい対象物を正しく認識し、作業中にエラーが起こらないようにハンドの制御を監視することができる。具体的には、誤った対象物を把持しようとしても、システ

ムが誤りを検知し、把持動作が実行されない仕組みになっている。実験では、実環境での作業実験を通して、提案するツールがピッキング作業におけるエラー軽減に寄与する可能性を示している。この技術では、画像認識機能を備えたロボットハンドが、人間の作業を知的な側面からアシストすることができる。近い将来、人間とロボットとが協働作業を行うと予測されている製造ラインなどへの応用が期待される技術である。

第5章では、最終章として、本研究の意義や成果について結ぶとともに、将来のオンライン学習の可能性についても言及している。本論文では、まず従来の筋電位信号を使ったインタフェースに、近年注目されている深層学習によるパターン認識技術を導入し、世界的にも最高峰レベルでのパフォーマンスを達成した。しかしながら、これと同時に、筋電位信号のみに基づくインタフェースの限界についても言及し、新しいブレークスルーの必要性を示している。本論文の核論は、この考えに基づいて義手システムに、センサフュージョンと人工知能に基づく認知機能を導入するものであり、新規性・独自性を有している。また、実証実験の結果からその有用性も期待できる。認知機能を備えたハンドツールを実空間で使用することを通して、作業空間や対象物の情報を計算機上に取り込み、それらを学習することで人工知能の能力を高めるというアイデアは極めて斬新であり、本研究の発展性を強く示唆するものである。

なお、本研究は審査付学術論文2件、国際会議発表1件、学会発表2件等で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

論文審査結果の要旨

審査過程と審査結果の概要は以下の通りである。令和2年7月の研究科委員会審議において、主査を福田修教授、副査を奥村浩教授、山口暢彦准教授、中山功一准教授を委員とする論文審査委員会の設置が承認された。その後に申請者が提出した学位論文を受け付け、主査・副査において、学位申請論文の査読を行うとともに論文内容を審査した。さらに、令和2年8月6日に公聴会を実施し、学位論文審査終了後には最終試験を実施し、試験終了後、委員会による学位審査を行った。学位申請者、HE YUNAN に対しては、学位論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する科目について口述試験を行うことを事前に通知した。

口述試験は、博士論文「Cognitive System for the Control of Myoelectric Hands (筋電ハンド制御のための認知システム)」を中心として、特に筋電位信号に基づく人間の動作意図推定に関する研究、画像情

報からの深層学習に基づく物体認識に関する研究、拡張現実を利用した視覚フィードバックに関する研究などについての質問がなされた。全ての質問に対して、申請者自身の知識、研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに、口述試験から、申請者が、人工知能、画像処理、生体信号処理、機械制御に関する十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上のとおり、学位申請論文は審査員会において、十分な新規性、独自性、有用性が認められた。また、本申請者は博士論文を中心とした専門分野の最終試験に対しても、いずれも十分な内容の回答を示し、研究能力、幅広い知識と判断・対応力を備えていることが確認された。論文審査委員会は、審査員全員一致で HE YUNAN が提出した学位申請論文が博士(工学)を授与するに値すると判定した。

氏名(本籍) Liu Yang (中華人民共和国)
 学位の種類 博士(工学)
 学位記の番号 甲第666号
 学位授与の日附 令和2年9月30日
 学位論文題名 Experimental study on transient boiling heat transfer around wetting front during subcooled jet impingement quenching (サブクール衝突噴流冷却中のウェッティングフロント近傍の非定常沸騰熱伝達に関する実験的研究)

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	光武雄	一
(副査)	〃	〃	池上康之	
〃	〃	〃	木上洋一	
〃	〃	准教授	有馬博史	
〃	〃	名誉教授	門出政則	

論文内容の要旨

水噴流による高温面冷却は、材料製造プロセスをはじめ幅広い工業的分野で利用されている。しかし、水の自発核生成温度(約300℃)を超える高温面の冷却では、安定な固液接触面、いわゆるぬれ面では単相対流伝熱と核沸騰が共存し、その外側には固液接触が生じない乾き面が高温面上に同時に形成される。ぬれ面と乾き面の境界は、濡れ先端:Wetting Front(以下、WFと記す)と呼ばれる遷移沸騰領域で、不安定な固液接触で生じた発泡により噴流は全て飛散される。WF位置は冷却の進行に伴ない高温面上を移動して実質的な冷却領域が拡大する。このため、工業的に必要とされる冷却速度の予測・制御の実現には、WF挙動の把握は非常に重要である。しかし、本質的に固体側の熱伝導と強く連成した空間的不均一性と非定常が強い伝熱過程で計測上の困難さも相まって、十分な解明が進んでいない沸騰伝熱研究分野である。本論文では、WF挙動を支配する物理モデル構築に不可欠なWF近傍の不安定な固液接触領域での非定常沸騰特性について、新しい計測法を用いて解明を行ったものである。

本論文は全8章で構成されている。

第1章は序論として、本研究が対象とする衝突噴流冷却の基本特性として重要な定常状態での単相強制対流熱伝達、核沸騰熱伝達、限界熱流束の特性に関する従来の研究を概説した。さらに、急速冷却(クエンチ)中の安定な固液接触域での冷却速度を支配するWF位置の挙動モデルに関する従来の研究とその問題点を指摘し、本論文の研究目的について述べている。

第2章では、WF近傍のぬれと乾きに応じた局所熱伝達計測を行うため、ニッケル円板表面にクロメル細線とNi薄膜で形成した表面熱電対製法について述べた。熱電対の応答時間の検定結果、半無限体一次元熱伝導逆問題の解析的解法による表面温度・表面熱流束の推定精度の補償手法を示した。表面から深さ3μmの熱電対は数kHzのぬれと乾き変化に対応した不規則な温度変動を捕捉して十分な逆問題解析精度が得られることを明らかにした。

第3章では、第2章で述べた高速応答表面温度計測法を用いた高温面非定常冷却実験装置、衝突噴流供給システム、光学観察システムおよび計測機器の構成と測定精度について述べた。

第4章では、下向きNi高温面上で、初期温度、噴流速度、噴流サブクール度を実験パラメータとする一連の高温面噴流冷却実験結果を取りまとめた。また、高速ビデオ観察と非定常測定結果から、遷移沸騰での固液接触は、WFに伝播する円形噴流自由界面に生じるRayleigh不安定で誘起される擾乱と強い相関性を明らかにした。固液接触に伴うぬれと乾きに応じたループ軌道を描く非定常沸騰曲線は、移動時間平均を施すと従来の定常条件に対する核沸騰、単相強制対流伝熱の相関式と一致し、非定常熱伝達の基本特性は定常状態と同様であることを示した。

第5章では有限体または半無限体の固液接触に伴う一次元非定常熱伝導問題の厳密解を導出し、WF近傍の遷移沸騰領域で固液接触後の短時間の界面温度と熱流束の非定常特性を議論した。特に鉄鋼材料冷却で顕著な酸化膜が母材金属表面に存在する三層非定常熱伝導の無限級数解とその漸近解の特性に基づき、酸化膜の厚さや熱物性などが固液界面温度に及ぼす影響を評価し、酸化膜が固液接触界面温度の低温化に寄与する度合いを示した。

第6章では、固体側の軸対称二次元非定常熱伝導計算に基づき、衝突噴流冷却中の高温水平円板上でよどみ点から外周部へのWF半径位置の時間進展予測モデルを提案した。その特徴は、WF近傍の遷移沸騰での伝熱を噴流界面の不安定周期毎に生じる固液接触非定常熱伝導の時間平均熱流束で評価し、WF位置の前進・後退の判定を時間平均熱流束と核沸騰の上限である限界熱流束に基づき行う点にある。

第7章ではWF位置挙動の測定と予測結果を比較し、観察から時刻のべき関数で表現されるWF位置の挙動をモデル計算で定性的に再現できることを確認した。

第8章では、本論文の結論について述べ、さらに残された課題に対する研究展望を記述している。

以上述べたように、本論文は局所高速温度計測法と逆問題解析を用いた実験手法に基づき、従来混沌としていたぬれ面先端のWF近傍の非定常熱伝達特性を明らかにした。さらに、噴流の界面不安定で誘起

される擾乱が WF 先端の固液接触周期と強い相関を示すことから、WF の時間進展の新しいモデルを提案している。従前の根拠が不確かな WF 挙動の支配式に代わる固液接触の素過程に基づく予測実現の可能性を示した点が高く評価できる。また、材料製造プロセスなどの応用面への展開も十分期待される。

論文審査結果の要旨

令和2年8月4日に実施した博士論文公聴会において発表終了後に種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。また、本研究は、審査付学术论文2編、学会発表3件で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。以上の審査結果に基づき、本論文は博士（学術）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

学位申請者、LIU YANG 氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験をおこなうことを事前に通知し、令和2年8月4日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。WF 位置の挙動の予測手法に関して従来のモデルの問題点と本論文で提案したモデルの相違点と新規性、酸化膜が存在する高温面上での三層接触熱伝導の厳密解導出の解析的手法などについて問うたところ、申請者自身の研究成果を踏まえて適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から伝熱工学や数値計算法に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験で、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) Fu Hongtao (中華人民共和国)
 学位の種類 博士(工学)
 学位記の番号 甲第667号
 学位授与の日附 令和2年9月30日
 学位論文題 Techniques for increasing efficiency of PVD induced consolidation and the analysis method
 (PVDによる圧密の効果増強テクニック及び解析法)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 柴 錦 春
 (副査) // // 伊 藤 幸 広
 // // // 日 野 剛 徳
 // // // 講 師 根 上 武 仁

論文内容の要旨

バーチカルドレーン(PVD)による圧密促進法は経済的・効果的な軟弱地盤改良法の一つであり、世界中で幅広く使われている。近年沿海都市の発展・拡張により浚渫粘性土を用いた高含水比、自重圧密が完了していない埋立地が多く造成されている。このような地盤にはPVDによる圧密促進法は設計効果を達していなかったケースが増えている。その原因はPVD周囲の粘性土の不均一な圧密等による見かけの“詰まり”と指摘されている。Fu Hongtao氏の研究は実験・解析によってこのような見かけの“詰まり”の影響を低減する効果的な方法を検討したものである。物理的な方法として普通のPVDより圧密効果が良い羽付きPVD(WPVD)を開発し、化学的な方法として陽イオンを持つ化学物質の添加でPVDによる圧密効果を促進する方法を提案した。これらの成果は速やかに社会実装が可能なので、軟弱地盤改良法の発展に貢献できる。さらに、PVDによる圧密理論に見かけの“詰まり”の影響が考慮でき、圧密過程において圧密係数の変化を考慮できるものを導いた。

Fu Hongtao氏の学位論文は6章の構成である。

第1章では、研究の背景と目的を述べている。

第2章はリテラチャーレビューである。まず文献調査により、PVD周囲の見かけの“詰まり”の原因として、圧密過程における細かい土粒子のPVD周囲への移動、一本のPVDの影響範囲(PVDユニットセル)中圧密度の不均一性が指摘されているが、どちらが主な原因であるかまだ不明であることが分かった。対策方法として、フェース的にPVDの打設、真空圧密の場合、段階的に真空圧を増やす方法等があるが、効果が限定的であり、施工費用も増える欠点がある。また、既存PVDによる圧密理論に見かけの

“詰まり”の影響が考慮できないことも分かった。

第3章は新しい羽付きPVD(WPVD)の開発とその性能評価。PVDの見かけの“詰まり”はPVD周囲に低透水性土層の形成が原因である。ドレーン材がこの土層を通過できれば、圧密速度にその影響が低減できる。この観点から普通のPVDに一定の間隔で羽を付けるWPVDを開発し、現場の施工法も提案した。室内モデル試験、数値解析によってその有効性を確認した。また、WPVDの等価直径予測法も提案した。

第4章は陽イオンを持つ化学物を添加した粘性土によるPVDユニットセルの挙動に関する実験検討。まずNaCl, CaCl₂, FeCl₃三種類の無機化学物質を粘土の間隙水に幾つかの濃度(0.1 - 1 M/l)で添加して、圧密試験を行った。陽イオンの価数と濃度が高い程、粘土の圧密係数が高くなることが分かった。その原因は高価陽イオンが粘土粒子周囲の電気二重層(DDL)に入り、DDLの厚さが減少し、凝集的な微視的土構造を形成するためである。凝集的な微視的土構造では間隙の分布は不均一化し、一部の大きい間隙が形成され、土の透水係数が増加したと考察している。次に、PVDユニットセルのモデル試験を実施し、その結果から、PVDユニットセル内PVDに向かって水平方向の土の移動、PVDユニットセル周辺の沈下量は、PVDの近くの領域より大きいことが分かった。また、陽イオンを持つ化学添加物によってこのようなセル内の不均一性が低減できた。さらに、モデル試験結果では、PVDによる圧密過程において、PVDユニットセル中土粒子の分離現象が発生しなかったことが分かった。これは、見かけの“詰まり”の主なメカニズムが、セル内の不均一な圧密と水平方向の土の移動によるものであることを明らかにした。

第5章は新しいPVDによる圧密理論。まず有限要素法(FEM)数値解析により、PVDユニットセル中のひずみ・応力分布状況を検討した。水平ひずみについては、PVD付近は圧縮(10%以上)、他のゾーンでは伸張(2-3%)、垂直有効応力については、PVD付近の値はユニットセル周辺の値の約3倍になっていることが分かった。これらの結果は見かけの“詰まり”はユニットセル内の不均一圧密によるものであることをさらにサポートしている。次に、圧密過程において、土の圧密係数(c_h)はどう変化(増加・減少)するかを予測式を理論的に導いた。さらに増分法によって、PVDによる圧密理論に c_h の変化、見かけの“詰まり”とその変化を考慮できる方法を確認した。提案法の有効性について、解析結果と有限要素法による数値解析結果及びモデル試験結果との比較によって確認した。

第6章は本研究の成果のまとめと将来の展望について述べている。

論文審査結果の要旨

本研究の成果は圧密促進による軟弱地盤改良法及びPVDによる圧密理論の開発・改善に貢献があり、社会実装面での価値も高いと審査員全員一致で評価している。また、本研究では、審査付学術論文3編が発表された。

令和2年8月6日に実施した博士論文公聴会において種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

以上の審査結果に基づき、本博士論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) MAYA AMALIA ACHYADI
(インドネシア共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第668号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 IMPLEMENTATION OF TIDAL
IRRIGATION IMPROVEMENT
STRATEGY UNDER CLIMATE CHANGE
SCENARIO IN SOUTH KALIMANTAN,
INDONESIA
(インドネシア南カリマンタンに
おける気候変動シナリオ下の潮
汐利用灌漑の改善戦略の実装)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 大串 浩一郎
(副査) " " 山西 博幸
" " 准教授 押川 英夫
" " " V. ナルモン

論文内容の要旨

気候変動は世界のさまざまな分野に影響を及ぼしている。降雨パターンの変化や気温上昇など気候変動の影響により流域の水利用可能性にも大きく影響が予想される。農業分野では、灌漑可能な条件、作付パターンやそのスケジュール、収穫量にまで気候変動の影響が及ぶ。東南アジア南部のインドネシアは、気候変動により食糧安全保障が脆弱となりやすい国の中で世界第9位にランクされている。降水量や気温などの正確な予測は、持続可能な農業生産にとって重要な鍵であり、これらの変化は作物の収量に大きな影響を与えるであろう。

インドネシアは、また水田不足にも直面している。国最大の米生産島であるジャワ島では、人口増加により水田地帯が住宅地へと変貌を遂げてきた。このため、ボルネオ島南カリマンタンが1つの代替穀倉地帯として選ばれ水田耕作が拡大されてきた。この地の灌漑は潮汐を利用する灌漑であり、インドネシア政府のパイロットプロジェクトが進められている。しかし、水需給のアンバランスな関係によりこの地の米の生産性は十分な水準に達していない。この分野における研究が不十分なため、灌漑ネットワークから得られるはずの多くの利益が損なわれている。

以上のような背景より、本論文では、インドネシア南カリマンタンにおける灌漑用水の必要量に対する気候変動の影響を定量的に評価し、灌漑ネットワークの改善戦略を見出すことを目的として研究を行ったものである。

本論文は全9章で構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景、解決すべき課

題、本論文の目的、検討の範囲と仮定、そしてアウトラインを示している。

第2章は既往研究のレビューであり、本論文に関連するこれまでの研究成果を示し、さらに気候変動が灌漑用水の必要量と潮汐灌漑に及ぼす影響に関して日本とインドネシアの状況を比較している。また、気候変動と気候変動モデル・代表濃度経路についても概説している。

第3章では、本論文で用いた研究方法について述べている。気候変動予測に用いる大気大循環モデルの概要、現地調査、そしてMIKE11による水理シミュレーションについて説明している。

第4章では、研究対象地であるテランタン地区の概要と当該地区における観測データを示している。また、当該地区における気候条件の現況を示し、さらに2つの気候変動シナリオ下の未来の気候変動シミュレーションのデータについても示されている。

第5章は、気候変動が灌漑用水の必要量に与える影響と、2つの異なる水田耕作における将来の気候変動シナリオ下における変化について記述している。

第6章ではMIKE11を用いてテランタン地区における灌漑ネットワークの水利用可能性に関して水理シミュレーションを行った結果について議論している。さらに本章ではモデルの校正と検証が行われている。

第7章では、未来の2つの時期におけるシミュレーションについて議論している。本章においても水理モデルMIKE11による灌漑ネットワークの水深の変化に関して分析が行われている。

第8章は、当該地区において小容量のポンプや簡単な堰の運用による灌漑ネットワーク改善の実装について議論している。

第9章は結論であり、前章までに見出された成果をまとめ、今後の研究展望についても述べている。

論文審査結果の要旨

本論文は、インドネシアの南カリマンタンのテランタン地区における灌漑用水の必要量への気候変動の影響を大気大循環モデルならびに現地調査と水理解析により定量的に評価している。RCP4.5とRCP8.5のそれぞれのシナリオにおいて将来的に1.5°C~3.0°Cの気温上昇と雨期の降水量減少が予測されている。灌漑のために必要な水位は2050年代には確保できないが、2090年代には回復する予測となっている。さらに、本論文では小容量のポンプならびに簡単な堰を用いて灌漑のための水位を確保する検討を行っているが、簡単な堰では状況が改善されることが明らかとなった。小容量のポンプでは改善が見られたが、動力が必要となる。潮汐灌漑ネットワークを用いた当該地区の灌漑改善のためにはさらにい

くつかの解決しなければならない問題が残されているが、それらの存在を明らかにした本研究の成果は工学的に高い意義を有している。

本研究のこれまでの成果は、審査付学术论文1編、審査付国際会議シンポジウム論文6編などに報告されている。令和2年8月6日に実施した博士論文公聴会では、学位申請者により研究成果が分かりやすく発表された。公聴会には多数の参加者があり、種々の質問がなされたが、そのいずれに対しても学位申請者からの的確な回答が示された。

本論文は工学的・学術的価値が高く、博士（工学）の学位に十分値すると判断され、審査委員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) MD ABDUL MAJED PATWARY
(バングラデシュ人民共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第669号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 Fabrication and characterization of
copper oxide thin films for
photovoltaic device application
(太陽電池応用のための酸化銅薄膜
の作製と評価)

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	田中	徹
(副査)	"	"	大石	敏之
"	"	"	郭	其新
"	"	"	高橋	和敏

論文内容の要旨

Copper and copper oxide thin films are studied due to their potential application in semiconductor electronics as photovoltaic device application, long before the Ge and Si era started. The *n*-type window layer such as ZnO or GaN semiconductors with large bandgap energies, are transparent with respect to visible and IR spectral range and own outstanding electronic transport properties. Consequently, the effort of detecting new, prospective *p*-type absorber layers for heterojunction solar cells has led to intensive study. Copper oxide appears to be an attractive substitute in terms of sustainability, abundance, nontoxicity of the elements, and numerous methods for thin film deposition that facilitate low-cost production. However, the future and prospect of a copper oxide based thin film solar cell system has to be established by a critical look at its recognized physical properties, and at those that essential to be further investigated and developed, and by spotting properties that are unsettled so far. Therefore, as a part of continuous development, the improvement of new Cu₄O₃ photovoltaic devices are necessary for employing cheap, abundant, and non-toxic materials prepared by energy efficient techniques.

In the beginning of this research, Cu oxide thin films have been deposited by radio frequency (RF) magnetron sputtering in an ambient of Ar and O₂ using a pure Cu target. The structural, electrical and optical properties were investigated systematically as a function of O₂ flow rate and substrate positions, revealing that the O₂ flow rate and substrate positions have a strong influence on both composition and functional properties of the resulting Cu oxide films. Particularly, the films tend to change towards Cu₂O, Cu₄O₃ and CuO single- and bi-phases with increasing the O₂ flow rate. Optical absorption properties were analyzed for the single phase Cu₂O, Cu₄O₃, and CuO films prepared in this study, demonstrating the potential of Cu₄O₃ and CuO as an absorber material for the photovoltaic application.

Secondly, Cu₄O₃ thin films have been synthesized in an ambient of Ar and O₂ plasma using a pure Cu target by RF magnetron sputtering. The structural, electrical, and optical properties of the films were studied systematically as a function of O₂ gas flow. The study reveals that O₂ flow rate during sputtering has major impacts on both the composition and functional properties of the resultant Cu₄O₃ thin films. X-ray diffraction and Raman spectroscopy measurements suggest that the parameter window for the growth of single-phase Cu₄O₃ thin films was very narrow. Oxygen partial pressure of 7.9%–9.1% was required to grow the pure phase of Cu₄O₃. From optical absorption analyses, pure phase Cu₄O₃ films exhibited a direct transition at $E_g = 1.52\sim 1.62$ eV. All the Cu₄O₃ thin films showed *p*-type conductivity with resistivities in the order of $10^2\sim 10^3$ Ωcm. An increase of the O₂ flow rate resulted in the increase of the Hall mobility from 0.01 to 0.25 cm²/Vs, which is the highest mobility reported so far for this material.

Then, N-doped Cu₄O₃ thin films have been deposited by RF magnetron sputtering in an ambient of Ar, O₂, and N₂ using a pure Cu target. The structural, electrical, and optical properties were investigated systematically with the variation of N₂ gas flow during deposition. Results revealed that N₂ flow rate has a strong influence on both the composition and functional properties of the resulting Cu₄O₃ films. X-ray diffraction and Raman spectroscopy indicated the formation of the single phase of N-doped Cu₄O₃ at a low N₂ flow rate of up to 4.3 sccm. From the optical absorption analyses, both undoped and N-doped Cu₄O₃ films showed a direct forbidden transition at $E_g = 1.34\sim 1.44$ eV. All the undoped and N-doped Cu₄O₃ thin films showed *p*-type conductivity, and N-doped Cu₄O₃ showed lower resistivity on the order of $10^1\sim 10^2$ Ω cm.

Finally, the insertion effect of Cu thin layer during Cu₄O₃ thin film deposition on the structural, surface, electrical and optical properties were investigated systematically as a function of the insertion time of Cu thin layer. Results revealed that the insertion of Cu thin layer has a strong influence on both composition and functional properties of the resulting Cu₄O₃ thin films. From the optical absorption analyses, the Cu₄O₃ films showed a direct allowed transition at $E_g = 1.52\sim 1.72$ eV. All the Cu₄O₃ thin films with or without the insertion showed *p*-type conductivity. The resistivity of the Cu₄O₃ thin films were gradually decreased with increasing the thickness of insertion time of Cu layer. The Hall mobility of the films were increased from 0.01 to 6.12 cm²/Vs with the increase of the insertion time of Cu layer, which is the highest mobility reported so far for Cu₄O₃. These results indicate clearly that the insertion of Cu thin layer during Cu₄O₃ deposition increases the potentiality of the material and renovate it to a promising material for the absorber in low-cost thin film photovoltaics.

論文審査結果の要旨

酸化銅は、原材料が地殻埋蔵量の豊富な銅であり、安価で毒性がなく環境に優しい材料であることから太陽電池への応用が期待されている。酸化銅には酸化数の違いにより複数の化合物が存在しており、酸化第一銅(Cu_2O)や酸化第二銅(CuO)は半導体の黎明期から光起電力特性の研究が開始され、高い理論変換効率が期待されることから、長く研究されてきた材料である。これに対して、 Cu_2O と CuO の中間の組成を有する Cu_4O_3 は準安定相であるため報告例が少なく、基礎物性の解明や移動度など諸特性の改善が必要な材料であった。本論文では、比較的低温で良好な結晶を得ることのできる高周波マグネトロンスパッタ法により種々の作製条件下で酸化銅薄膜を作製し相分析を行うことで、安定的に Cu_4O_3 相を得るための作製条件を明らかにしている。また、得られた Cu_4O_3 薄膜の結晶性、光学特性、電気特性などを詳細に分析することで、その基礎物性を明らかにするとともに、デバイス応用上重要な移動度の向上についても指針を示している。

本論文は、第1章から第7章で構成されている。

第1章では、本研究の背景、目的及び内容を概説している。

第2章では、本研究で用いられた薄膜作製方法及び各種評価方法を述べている。

第3章では、高周波マグネトロンスパッタ法を用いて基板位置や酸素流量を変化させながら酸化銅薄膜の堆積を行い、X線回折法、ラマン散乱分光法等の分析手法を用いて評価することにより、安定的に Cu_4O_3 相を得るための作製条件を見出している。また、作製した単相の Cu_2O 、 Cu_4O_3 、 CuO 薄膜に関して、結晶性、光学特性、電気特性などの基礎物性を明らかにしている。

第4章では、第3章で明らかにした単相の Cu_4O_3 薄膜が得られるスパッタ成膜条件において、酸素分圧をさらに変化させることにより、単相の Cu_4O_3 薄膜が得られる酸素分圧範囲が7.9~9.1%であることを明らかにしている。また、酸素分圧の増加により正孔濃度が減少し、移動度が増加することを明らかにし、これまでの報告例の中で最も大きい移動度である $0.25\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成している。さらに、アクセプタのイオン化エネルギーが約 0.12eV であること、直接遷移型で高い吸収係数を有し、バンドギャップは $1.52\sim 1.62\text{eV}$ であることを明らかにしている。

第5章では、 Cu_4O_3 への不純物ドーピングとして窒素ドーピングを行い、その特性への効果を検討している。窒素はスパッタ時の反応ガスとして導入し、その流量を増加することにより Cu_4O_3 薄膜中の窒素濃度が増加し、それに伴ってキャリア濃度が増加することを本材料で初めて明らかにしている。

第6章では、高周波マグネトロンスパッタ法による Cu_4O_3 薄膜成膜途中におけるCu層の挿入効果について検討を行っている。挿入されたCu層は、引き続き堆積される Cu_4O_3 薄膜成膜中に拡散、酸化し Cu_4O_3 となることをX線光電子分光法により確認するとともに、Cu層の挿入により結晶粒径が増大することを明らかにしている。また、Cu層の挿入時間が長くなるにつれ、正孔濃度は減少し、移動度が上昇することを明らかにし、本材料で過去最高の $2\text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上の移動度を実現している。その他、電気特性の温度依存性、光学特性を評価し、基礎的な知見を得ている。これらの結果は本材料を太陽電池に応用する上で非常に重要な成果である。

第7章では、本研究で得られた成果についてまとめられている。

以上のように、本論文の研究内容は工学的に貴重な知見を多く含み、工学の進展に寄与するところが大きいと認められる。また、これまで、3編の査読付論文が国際的に著名な学術論文誌に掲載され、高く評価されている。令和2年8月17日に実施した学位論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。以上の審査結果に基づき、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値すると判断され、審査委員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) Teguh Hady Ariwibowo
(インドネシア共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第670号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 Influence of Discrete Double
Inclined Ribs on Performance of
Ground Heat Exchanger for Ground
Source Heat Pump
(地中熱ヒートポンプ用地中熱交
換器の性能に及ぼす離散二重傾
斜リブの影響)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 宮 良 明 男
(副査) " " 光 武 雄 一
" " " 松 尾 繁
" " 准教授 仮 屋 圭 史

論文内容の要旨

In this study, three-dimensional low flow rate heat transfer has been analyzed for the flow in Slinky-coil Ground Source Heat Exchanger (GHE) with the addition of Discrete Double Inclined Ribs (DDIR) to several geometry configurations. This study is divided into two parts, namely the analysis of the flow of phenomena in the pipe (ideal conditions, no heat loss and steady-state) and the analysis of phenomena in the flow of water in the pipe and heat transfer on the ground (transient). The continuity, momentum, energy, turbulence equation is solved by a commercial software Computational Fluid Dynamics ANSYS Fluent 17.2.

In the first analysis, the study aimed to look at the potential use of DDIR in several geometry configurations, namely ribs height, axial ribs pitch, angle of ribs, and curvature coil.

Two pairs of DDIR-coil on one perimeter only produce one pair of vortex compared to DDIR-straight, which is capable of producing two pairs of the vortex. However, DDIR-coil can distort secondary flow and strengthen turbulent flow. Heat Flux on the DDIR-coil wall experiences significant fluctuations compared to DDIR-coil. In general, the heat flux in the plain coil becomes smaller with increasing axial length coil. This phenomenon is due to the difference between Bulk and wall temperature. The bulk temperature becomes closer to the set point than that of

plain-coil.

The effect of increasing Ground Source Heat Pump (GSHP) performance due to GHE modification was evaluated using COP Improvement Factor, which is calculated based on energy loss due to pressure drop and energy saving due to heat transfer enhancement. COP Improvement Factor has increased along with increasing ribs height. However, the COP improvement factor decreases with increasing flow rate.

Based on the DDIR-coil flow structure, the longitudinal vortex is clearly visible around the ribs and has almost the same strength as DDIR-straight. The combination of secondary flow from coil and flow generated causes the path of water particles to be longer than plain-coil. This flow increases better thermal mixing than plain-coil.

DDIR-coil performance is always lower than DDIR-straight with the same axial tube length. This behavior is because in DDIR-straight flow is only dominated by primary and secondary flow due to curvature coil, while in DDIR-coil water flow is a combination of primary, secondary flow from the coil and flow generated by ribs. These three streams interfere with each other. COP improvement factor increases with decrease in axial pitch between ribs. DDIR has the highest COP improvement factor at an angle of 20 ° ribs. Whereas the 2.66 /m curvature coil has the highest COP Improvement factors among the other curvature coils.

The second analysis looks at the thermal behavior of GHE and its impact on the soil. In this research, DDIR-coil performance was only superior during 149 minutes of operation compared to turbulent flow plain-coil. Whereas the DDIR-coil laminar flow has higher performance than plain-coil at all operating times.

GHE operation is carried out in continuous and 120-minute intermittent mode variations. At the end of the operation, intermittent operation showed a heat transfer rate of 17.3% greater than that of continuous operation. The intermittent mode also gives time to the ground for thermal recovery.

Three pipe materials, namely copper, composite, and HDPE, is tested to determine the effect on coil performance. Copper has the best thermal performance compared to the other two materials, especially in the first 60 minutes of operation.

However, the remaining operating time of the copper coil has almost the same performance as other materials. It was found that the use of pipe material did not significantly influence the performance of DDIR-coil and plain-coil.

Based on observing the flow structure in the pipe, DDIR-coil should have a higher performance than plain-coil. However, the effect of soil conductivity is so large that DDIR-coil does not have a significant effect on GHE slinky-coil performance in general.

論文審査結果の要旨

地下数メートルから約 100 メートルの地中の温度は年間をとおしてほぼ一定に保たれているため、地中熱を空調機の熱源として利用すれば、夏季には外気温より低い温度の熱源が、冬季には外気温度より高い温度の熱源が利用できるようになり、システムのエネルギー効率を高めることができる。しかし、地中との熱交換を行う熱交換器の設置コストや熱媒体の流動に伴うポンプ動力が課題となっている。

本研究では、設置コストを削減するために浅層の地中を利用する水平スlinky型地中熱交換器を対象とし、ポンプ動力を削減する目的で低流量域でも伝熱性能が低下しない離散傾斜リブを有する銅製円管を考案し、その熱流動特性と伝熱性能改善について数値計算を主に用いた解析を行うとともに、実験結果を用いた検証も行った。

第 1 章では、エネルギー問題や省エネルギーなどの研究背景と地中熱利用の有効性について説明されている。

第 2 章では、地中熱利用システムに関する従来の研究をまとめるとともに、本研究の主題である地中熱交換器については、地中熱交換器の研究に限定せず、地中熱交換器として利用できる種々の伝熱管に関する従来の研究の詳細な調査結果をまとめている。

第 3 章では、緩やかな曲率を持つ離散傾斜リブ付きコイル状円管の熱流動特性に関する詳細な特性が示されるとともに、数値計算の信頼性についての検証も行われている。解析の結果、離散傾斜リブ付き円管では熱交換量が向上する一方で圧力損失が増加するが、圧力損失によるポンプ動力増加よりも伝熱促進による性能改善効果が高く、空調機の成績係数が向上することが示されている。

第 4 章では、ポンプ動力を削減できる層流域の流量条件に特に着目し、層流から乱流に遷移するまでの条件で傾斜リブ付き円管の性能を詳細に解析している。一般に、流体の流れは層流域では伝熱及び圧力損失はともに低い値を示し、乱流に遷移すると高い値に遷移するが、解析の結果、傾斜リブ付き円管

の効果はこの遷移域で高く、空調システムの成績係数の改善率が最大値を示すことを明らかにしている。

第 5 章では、傾斜リブ付き円管のリブ高さやリブ角度などのリブ形状パラメータ、またコイルの曲率を変化させた解析を行い、傾斜リブ付き円管を設計し、実用化する際に必要となる基礎的な解析結果を示している。

第 6 章では、傾斜リブ付き円管を地中に設置し、地中側の熱移動も考慮した数値解析を行っている。また、銅管を地中に設置する場合には腐食防止のため管外に樹脂皮膜を付けるが、その分だけ伝熱性能が低下する。数値解析ではその影響についても考慮した解析、さらに地中熱交換器に広く使用されている高密度架橋ポリエチレン管を用いた場合の比較も行っている。解析により、土壌の伝熱性能の低さが全体の熱交換全体の性能に大きく影響するが、傾斜リブ付き管により熱交換量が改善され、成績係数改善率が高まることが示されている。

第 7 章では、本論文で示された研究結果の総括が行われるとともに、今後の研究課題、方向性に関する提言を行っている。

本研究で得られた成果は、独創的な新しい結果を含んでおり、工業的に広く応用できるものである。

令和 2 年 7 月 30 日に実施した博士論文公聴会では、これらの内容が分かりやすく丁寧に説明され、質問に対しても適切な回答がなされた。

なお、本研究の内容は 2 件の査読付き Journal 論文に掲載されるとともに、1 件の国際会議、2 件の国内会議で発表されている。

以上のことより、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員の一致で合格と判定された。

氏名(本籍) KHAING MYINT MO (ミャンマー連邦)
 学位の種類 博士(工学)
 学位記の番号 甲第671号
 学位授与の日附 令和2年9月30日
 学位論文題名 STUDY ON URBAN MORPHOLOGY FROM
 PERSPECTIVE OF THERMAL
 ENVIRONMENT MITIGATION FOR A
 GRID PATTERN CITY IN TROPICAL
 ZONE
 (熱帯地域のグリッドパターン都
 市における熱環境緩和からみた
 都市形態のあり方に関する研究)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 三島 伸雄
 (副査) " " 小島 昌一
 " " 准教授 後藤 隆太郎
 " " " 宮原 真美子

論文内容の要旨

The aim of this research is to clarify the role of urban morphological elements from perspective of thermal environment mitigation for grid pattern city in tropical zone. This study had focused in two main parts (1) evaluation of colonial grid pattern city by effect of types of colonial style building facets and effect of tree pattern with different types of tree species considering shading condition and (2) correlation between urban morphology and thermal environment mitigation through building morphology and green morphology considering urban thermal comfort. The study area is Kyauktada township, which is one of the central business districts of Yangon, Myanmar. The significant of study area is the city is designed by British Planner in British colonial time and recognized as historical area of Yangon City. Also, the city is similar to New York grid pattern city planning.

In this research, firstly, different types of building's facets which are existing in colonial grid pattern city and trees pattern and types were categorized and calculated the shading magnitude ratio. After that, the result of calculated data came out and the hierarchical orders of shading magnitude ratio along to North to South direction and East to West direction were proposed. It can be strongly proved that the hierarchical orders of the effect of facet types on shading are

correct. In addition, the hypothesis of the relationship between building height and type of building facet were investigated by statistical analysis. Moreover, according to the result of anova statistical analysis, the height of building is not highly influencing on the shading magnitude of grid pattern city in tropical zone and it is highly relying on the type of building facets. Therefore, facet design is very important for tropical city which has strong sunshine.

In order to explore the effect of tree pattern and tree species of colonial grid pattern city, tree species of the study area were categorized. Overlay method and buffer method of QGIS program were used to analyze the tree pattern and planning system. From the result of calculation, the hierarchical order of the shaded area of different kind of tree species was resulted and found that big tree which has a big crown area can give more shading. Banyan tree is the highest tree and crown area and its leaves are also big so that its shaded area is wider than the other trees. Moreover, the magnitude of shaded area by tree species is depending on the tree height as percentage of R square value is high. The results of the anova strongly prove that hypothesis of finding the relationship between tree height and shaded area magnitude is correct.

To prove that different tree species has different shading magnitude along street direction, the exploration of tree shaded magnitude was continued by anova single factor analysis and result of Various (one way) presents F normal is greater than F critical and P-value is lower than 0.05. Therefore, hypothesis of differences in tree species is correct and the study area has differences in receiving shadow highly depending on the different tree species.

This study could reveal the original image of tree pattern of Yangon grid pattern city. Tree shadings are very useful for helping to cool the street platform and it is the most cost effective. This research will give better design guideline to achieve enough shading in the area.

The investigation of evaluating Yangon grid pattern city is executed through preparing overall shading map. From map, it can be said that Yangon grid pattern city has continuity of shading in narrow street along North to South direction as shading can get alternatively depending on building. So, pedestrians can get

shading in one side in the morning and another side in the evening. However, at noon, area which has big canopy and shaded tree can only get shading. Along East to West direction, the middle main street has enough shading from trees, and it has large tree as well. Most of the platform of main street has continuous tree shading and secondary and tertiary streets do not have trees.

Numerical analysis is carried out for investigating the correlation between urban morphology and microclimate considering human thermal comfort in ENVI-met 4.4 science license. Simulated hour is 11 hours from 7:00am to 5:00pm as peak of the temperature is in daytime especially from 12:00am to 3:00pm and total simulation hours took about 30 to 48 hours depending on model. Measured weather data (temperature, wind speed, wind direction, relative humidity) from Yangon meteorological department was used.

Two reference points; point A and B were selected from the study area. A is the current trending building type which is more than 6 stories and few neem trees are surrounding and B is the original grid pattern city building type which is not more than 6 stories which is around big shaded trees. Those two reference points were simulated and compared by thermal comfort indices. Buildings of point B have low floor area ratio than point A. By mean of point B, MRT at 15:00 pm was 20' C and lower than point A. The results have proven that the point that has original building type which has more big shaded trees surrounding can give better thermal comfort. Since, it is difficult to distinguish the main causes whether it is due to building height or trees, two scenarios and comparisons; (1) comparing point A with current condition and point A with low building height, 6 stories and (2) comparing point A with current condition and point A with more shaded trees were conducted. Thermal comfort indices were calculated in Biomet and simulated data were analyzed in ENVI-met Leonardo analysis. The stimulation results showed prompt reduced PMV value when comparing with point A with some more shaded trees although there were only small changes when point A with lower building height. Then, current main road conditions for N-S and E-W directions and two scenarios with recommended tree species for the main road of N-S and E-W directions are simulated and compared

respectively. Therefore, the simulation result again reaffirms that building height is not governing human thermal comfort same as shading and trees can control the microclimate.

According to the result, the benefit and detriment of existing condition of Yangon grid pattern city and requirements are generalized. Therefore, this study provides suitable design suggestion considering urban microclimate to inhabitants and local government for future development. These suggestions are offered to be supportive data for designing the ancient grid pattern city which is in tropical zone to get comfort in old urban area.

論文審査結果の要旨

古代以来、文明がいち早く成立した地域を中心に、グリッドパターンで形成された都市は多くある。その多くは為政者の権力を誇示する形で行われ、近代においても効率的な都市形成のためにグリッドパターンが用いられた。本研究で対象とする熱帯地域にでも、植民地時代にヨーロッパ人によって計画整備されたグリッドパターン都市がある。熱帯地域で赤道直下にあることから、太陽が真上から直射する。ヨーロッパとは異なる酷暑の条件下でのグリッドパターン都市としては、建築物のファサードや植樹などの都市形態の計画設計が重要である。本論文は、熱帯地域のグリッドパターン都市の都市形態における熱環境上の重要なファクターを建築物等のファサード形状および樹木の配置等に限定し、熱環境分析ソフトである Envi-Met や GIS 等を用いて数値的に分析評価し、その都市設計のあり方の考察を試みている。このような都市設計に対する熱環境工学を用いた研究は、近年の地球温暖化で注目されており、今後も更なる研究展開が期待される分野である。

本論文は、全7章で構成されている。

第1章は序論として、研究の背景、問題意識、目的について記述している。

第2章は、既往研究のレビューである。グリッドパターン都市の歴史と各都市の特質、都市形態のあり方、気候学、都市の日影、外部空間の熱環境などについて研究のレビューを行い、研究の位置づけ、方法論の整理などを行っている。

第3章は、研究対象地であるミャンマー国ヤンゴン市について、必要となるデータの整理を行なっている。ヤンゴン市は、1850年代にイギリス軍技師によって計画された都市であり、南北に長い街区がならぶグリッドパターン都市である。前提として開発の歴史、都市計画等を整理し、保存地区と再開発地区が接する地区を分析地区に設定し、その街区形状、

個別の建築物の高さ及びファサード形状、樹木の分布等を現地調査によって明らかにしている。

第4章は、ヤンゴン市において、外部空間に日影を作り出す個別要素の種類と影の大きさ等の抽出および評価を行なっている。基準時は体感温度が最も高い15時とし、建築要素については、ファサード面積に対する日影面積を分析し、キャノピーやバルコニーなどの突出物の評価を行なっている。また、樹木についても、ヤンゴン市に植樹されている樹種毎の樹冠とその日影について分析を行なっている。

第5章は、建築物の形態や樹木等が熱環境に及ぼす影響について分析を行なっている。ヤンゴン市から入手した最も暑い4月の平均気温、相対湿度、風速などを設定し、Envi-Metを用いて地表面の体感温度分布のシミュレーションを行っている。その結果、体感温度分布への影響が最も高い建物形状や樹木の位置等について明らかにしている。

第6章は、保存地区と再開発地区に接する通りにおいて、道路上の熱環境を改善するための建物形状と樹木配置の代替案を作成し、熱環境シミュレーションを行なっている。その結果、東西道路と南北道路のそれぞれについて、より体感温度が低くなる建物形状と樹木配置を明らかにしている。

第7章は結論であり、熱帯地域のグリッドパターン都市における熱環境改善に即した都市形態のあり方と今後の課題について述べている。

令和2年8月5日に実施した博士論文公聴会においても種々の質問がなされ、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

また、本研究は、審査付学術論文2編、国際会議発表4件等で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

氏名(本籍) Niloy Chandra Saha
(バングラデシュ人民共和国)

学位の種類 博士(工学)

学位記の番号 甲第 672 号

学位授与の日附 令和 2 年 9 月 30 日

学位論文題名 Electrical Properties of NO₂-Doped Diamond MOS Interface and Its Application to Diamond MOSFETs
(NO₂ ドープダイヤモンド MOS 界面の電気的特性とダイヤモンド MOSFET への応用)

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	嘉数 誠
(副査)	〃	〃	大石 敏之
〃	〃	〃	田中 徹
〃	〃	〃	高橋 和敏

論文内容の要旨

ダイヤモンド半導体は、高出力および高周波デバイス応用に適した物理的特性を持つ。水素表面終端法は、高濃度の NO₂ 気体の吸着と、Al₂O₃ 層の堆積によるパッシベーションが必要だが、その構造における金属酸化膜半導体 (MOS) 界面での伝導の機構解明と構造の最適化がデバイスにとって最も重要な課題である。

この論文では、界面での NO₂ ドーピングの影響を理解し、高出力と高出力に向けた界面ホールチャネルを最適化するために、Al₂O₃ 層を備えた NO₂ ドープ水素終端ダイヤモンド (H ダイヤモンド) で構成される MOS 構造の移動度を定める要因を調べ、その結果に基づき金属酸化半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) を作製した。本論文は 9 章で構成されている。

第 1 章は論文の序論であり、ダイヤモンド MOS 構造に関連する文献を説明し、未解決の問題を特定した。

第 2 章では、ダイヤモンドの結晶格子定数に焦点を当て、ダイヤモンドの物理的特性とともに、予想される用途と性能指数について説明した。

第 3 章では、ダイヤモンドの導電率と、NO₂ p 型ドーピングによるその濃度の増加について説明した。ダイヤモンドは絶縁体であるので、不純物のドーピングは、ダイヤモンドには効果的ではない。しかし H ダイヤモンドは高い二次元濃度を示した。

第 4 章では、堆積技術、特性 Al₂O₃ 層とその形成、H ダイヤモンド MOSFET の Al₂O₃ 層の目的について簡単に説明した。Al₂O₃ 層は、ダイヤモンド MOSFET を使用する重要な材料である。Al₂O₃ 層は、正孔チャ

ネルを不動態化し、熱的に安定させた。

第 5 章では、Al₂O₃ 層構造を備えた H ダイヤモンド MOS 構造が、NO₂ p 型ドーピングの有無にかかわらず作製され、界面状態がコンダクタンス法を使用して定量的に推定した。NO₂ ドープ MOS の静電容量-電圧 (C-V) 特性は、NO₂ ドーピングなしの場合と比較して正の電圧シフトを示した。NO₂ によりホールシートキャリア濃度が高くなったため、キャリアを枯渇させるために高い正電圧が必要だった。界面状態密度、D_{it} はダイヤモンドのエネルギーギャップの関数として推定された。比較的低い D_{it} は、NO₂ ドーピングなしの場合よりも、NO₂ ドーピングありの MOS で見られた。さらに、界面トラップが抽出された。これは、NO₂ ドープの MOS の場合も低く、界面条件の改善を示した。

第 6 章では、Au、Al、Ti などの異なるゲート金属を使用して、Al₂O₃ / NO₂ ドープ H ダイヤモンド MOS 界面と MOSFET へのゲート金属の影響を調べた。C-V 特性から、Au ゲートを備えた MOS は、界面でのホールキャリアの蓄積が高いため、フラットバンド電圧が高いことが観察された。作製された MOSFET のドレイン電流は、Au ゲートを備えた MOSFET がそれぞれ Al および Ti ゲートを備えた MOSFET よりも高いドレイン電流密度を示したため、MOS C-V 特性と一致した。

第 7 章では、H ダイヤモンド / Al₂O₃ 界面での NO や SO₂ などのさまざまな無機分子の影響が、シンクロトン放射 X 線光電子分光法 (XPS) によって調査された。無機分子は界面で分解され、N または S などの解離性成分が検出されなかったため、C-H 結合が C-OH 結合で部分的に置換されたと推測された。どちらの場合も、価電子バンドオフセットは、NO および SO₂ 暴露でそれぞれ 3.7 eV および 3.5 eV であり、NO₂ のそれよりも低いタイプ II (スタaggerドタイプ) であると確認された。

第 8 章では、高品質のダイヤモンド MOSFET を高品質のヘテロエピタキシャル単結晶ダイヤモンド上に製造した。ここでは、NO₂ ドーピングと 2 層の Al₂O₃ 層でホールチャネルを最適化した。MOSFET のソースゲート間隔はゼロで、オン抵抗が低くなり、ドレイン電流が増加した。低い比オン抵抗で高いブレークダウン電圧が得られ、最終的に、バリガの性能指数 145 MW / cm² が実証された。さらに、MOSFET の特性は高 RF 動作に有望であることが明らかになった。

第 9 章では、H ダイヤモンド MOS 構造と MOSFET 構造で観察されたインパクトのある結果を説明して、論文を締めくくる。

論文審査結果の要旨

学位申請者、Niloy Chandra Saha 氏に対して、博

士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述で行うことを事前に通知し、令和2年8月17日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。半導体デバイスの物理の原理について問うたところ、申請者自身の知識、研究成果を踏まえた適切な説明がなされ、申請者は電気電子工学、具体的には半導体デバイス工学に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした電気電子工学、具体的には半導体デバイス工学の十分な知識と理論構成力を有していると判断され、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

氏名(本籍) Md. Khairul Bashar
(バングラデシュ人民共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第 673 号
学位授与の日附 令和 2 年 9 月 30 日
学位論文題名 Heat Transfer and Pressure Drop
of Boiling and Condensation in
Small Diameter Smooth and
Microfin Tubes
(細径平滑管及び溝付き管内の沸騰及び凝縮の熱伝達と圧力損失)

論文審査委員

(主査) 佐賀大学 教授 宮 良 明 男
(副査) " " 光 武 雄 一
" " " 松 尾 繁
" " 准教授 仮 屋 圭 史

論文内容の要旨

Air conditioning, refrigeration and heat pump systems make a significant contribution to greenhouse gas emissions, equipment with both lower global warming potential (GWP) refrigerants and a higher level of performance should be used. So far, many of the AC manufacturers have used refrigerants with a high GWP such as R134a for stationary and automotive AC and R410A for room and packaged AC. However, R134a is gradually phasing out due to its high GWP and R1234yf could be a viable low GWP alternative. The study of heat transfer and pressure drop characteristics of R1234yf is of great importance and is necessary because reliable data are not available in the open literature. In this study, the heat transfer and pressure drop performance of R134a and R1234yf are tested.

Additionally, the trend for the last couple of years in refrigeration and air-conditioning systems have been to use small diameter tubes because they are advantageous in many respects. Mostly because they provide higher heat transfer performance and require less refrigerant. Moreover, microfin tubes are a better option to increase heat transfer than smooth tubes. However, in small diameter tubes the effects of gravity, surface tension, shear stress and flow regime are different than that of large diameter tubes. In open literature, some studies on heat transfer and pressure drop performance in small diameter tubes are available although some of the results

are discrepant with one another. In this study, heat transfer and pressure drop performance of small diameter tubes are studied. Comparison between microfin tube and smooth tube are reported in terms of heat transfer and pressure drop.

To precisely investigate the pressure drop and heat transfer coefficient of refrigerants with horizontal smooth and microfin tubes, a test facility is fabricated. The total test section length is 852 mm and the effective heat transfer length is 744 mm. Test tubes are made of copper. Smooth tube with an outer diameter of 2.5 mm and microfin tubes with an outer diameter of 2.5 mm and 3.0 mm are used for this study.

In this present study, huge new boiling, condensation heat transfer coefficient and frictional pressure drop data of smooth and microfin tubes are presented using R134a and R1234yf refrigerants. For pressure drop study, the mass velocity is varied between 50 and 200 kg m⁻²s⁻¹, saturation temperature ranges 20 to 30 °C, vapor quality varies 0.1-0.9. For boiling study, the mass velocity is varied between 50 and 200 kg m⁻²s⁻¹, heat flux from 5 to 30 kW m⁻², vapor quality from 0.05 to 0.95. The saturation temperature is 13 °C. Condensation tests are carried out for mass velocities from 50 to 300 kg m⁻²s⁻¹, vapor qualities from 0.1 to 0.95, saturation temperature ranges 20 °C to 30 °C. The effect of mass velocity, vapor quality, saturation temperature, tube diameter and refrigerant performance on heat transfer and pressure drop are clarified.

Finally, new two-phase frictional pressure drop and condensation heat transfer correlations are developed for small diameter smooth and microfin tubes based on the experimental data. The proposed correlations showed good agreement with the experimental data as well as other researcher's data. The proposed correlation can be applied to the small diameter smooth and microfin tubes in a wide range of mass velocities and for many kinds of refrigerants. Furthermore, some literature correlations are implemented to predict the pressure drop, boiling and condensation data and their deviations are reported.

論文審査結果の要旨

人間の経済活動により二酸化炭素の排出量が増加し、地球温暖化につながっていること、また近年の異常気象の原因が地球温暖化とも言われていることを考えれば、二酸化炭素の排出量削減は緊急の課題である。現在冷凍空調機に多く使用されている冷媒の温暖化への影響は二酸化炭素の数百倍から1万倍以上に及ぶものもあり、新規冷媒の開発やそれに対応する機器の開発が進められている。

本研究で対象としている外径 2.5~3.0mm の細径伝熱管は、冷媒充填量の削減により地球温暖化防止につながようとするものであり、溝付き管を用いた伝熱促進は熱交換器を小型化できるため、さらなる充填量削減が達成できる。また、研究対象としている冷媒 R1234yf は、近年開発された地球温暖化係数の小さい冷媒であり、実用化が期待されているため、詳細な伝熱性能に関する情報が必要とされている。

第1章では、研究の背景となる新規冷媒への転換と冷媒充填量削減の必要性が説明されるとともに、内面溝付き管における沸騰及び凝縮の伝熱促進メカニズムや流動様相が分かりやすく解説されている。また、種々の冷媒や伝熱管を用いて実験が行われた過去の研究について詳細な調査結果をまとめている。

第2章では、実験装置の構造、温度や圧力、流量の測定方法、熱伝達率及び摩擦圧力損失の求め方が詳しく説明されている。管内を流れる冷媒の局所熱伝達率は、測定した管壁温度と熱源水との熱交換の関係から独自に開発した方法で求めている。また、測定の不確かさの算出についても詳細な説明が示されている。

第3章では、既存冷媒 R134a と新規冷媒 R1234yf の断熱気液二相流における圧力損失の実験結果が示され、平滑管及び溝付き管の摩擦圧力損失に関する新たな相関式が提案されている。提案された相関式は、これまでに報告された研究結果を参考に導出されたものであり、従来の相関式は本実験で得られたデータを正確に予測できないが、新たに提案された式は本実験結果だけでなく、他の研究者による種々の冷媒の摩擦圧力損失も高い精度で予測できる。

第4章では、R134a と R1234yf の細径平滑管内及び溝付き管内の凝縮熱伝達の実験結果が説明されている。新規冷媒 R1234yf の熱伝達率が、熱物性値の関係から R134a より 20~30%程度低い値を示すこと、管径が小さくなるほど熱伝達率が高くなること、溝付き管の伝熱促進効果が 1~4 倍程度あることなどを示している。また、平滑管内凝縮については、管内径の影響を考慮するパラメータを導入し、新たな相関式が提案されている。提案された予測式は、本実験データだけでなく、他の研究者による実験結果

も含め、約±30%以内の誤差で予測できる。

第5章では、平滑管及び溝付き管内の沸騰熱伝達に関する実験結果が報告されている。沸騰熱伝達においても溝付き管の熱伝達率は 1~4 倍程度平滑管より高い値を示すことが報告されている。R1234yf の熱伝達率は R134a より低い値を示すが、熱物性値から予測できる範囲であることが報告されている。

第6章では、本論文で示された研究結果の総括が行われるとともに、今後の研究課題、方向性に関する提言を行っている。

本研究で得られた成果は、独創的な新しい結果を含んでおり、工業的に広く応用できるものである。

令和2年7月30日に実施した博士論文公聴会では、これらの内容が分かりやすく丁寧に説明され、質問に対しても適切な回答がなされた。

なお、本研究の内容は2件の査読付き Journal 論文に掲載されるとともに、3件の国際会議、3件の国内会議で発表されている。

以上のことより、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員の一致で合格と判定された。

氏名(本籍) DERBEL MOHAMED RAMI
(チュニジア共和国)
学位の種類 博士(工学)
学位記の番号 甲第674号
学位授与の日附 令和2年9月30日
学位論文題名 STUDY ON PERCEPTION OF URBAN
HERITAGE TOWNSCAPE BY DEEP
LEARNING COMPUTER VISION
METHODS
(深層学習コンピュータビジョン
手法による歴史的都市景観の認知
に関する研究)

論文審査委員

(主査)	佐賀大学	教授	三島	伸雄
(副査)	〃	准教授	平瀬	有人
〃	〃	〃	中大窪	千晶
〃	〃	〃	中山	功一

論文内容の要旨

歴史的都市景観の整備は、我が国においても観光立国に向けた重要施策の一つとして取り組まれている。そういう中で、地区における建築物の新築・増築等においては、屋根勾配や軒の出等の定量的基準は評価しやすいものの、周囲の歴史的景観に合わせることにいった定性的基準は曖昧であり、その判定が常に問題になっている。そうした問題に対して、これまではSD法等を用いた人間の認知に対する分析をもとにした評価が主流であったが、近年、AIを用いた機械的な認知の手法が着目されつつある。将来的には、どのような建築物が適切なのかを予測することも期待できる。以上を踏まえ、本論文では、深層学習コンピュータビジョン法を用いた歴史的都市景観の認知の可能性について明らかにすることを目的としている。都市や建築の分野においてもAIを用いた分析は増えつつあるが、建築年代や大工・建築家等によってデザインが異なる建築物で構成される景観に対して適用することはまだ新しく、歴史的都市の景観整備のための建築要素の抽出や景観コントロールにおける有用な手法への発展への端緒となる研究として、今後も更なる研

究展開が期待されるものである。

本研究は、全7章で構成されている。なお、研究モデル地は、重要伝統的建造物群保存地区(重伝建地区)である佐賀県鹿島市肥前浜宿である。

第1章は序論として、研究の背景、問題意識、目的、論文の構成等について記述した。

第2章は、都市景観を構成するファサードに対する建築専門家の認知について分析を行ったものであり、深層学習アルゴリズム TensorFlow Image Classification1.6を用いてファサード評価の認知が一致するかどうかに取り組んだ。専門家の回答の分類ルールを3種類行い、その正答率がどのようにすれば高くなるかについて検討した。その結果、個別回答の学習よりも集約した回答の学習の方が正答率が高いが50%弱であり、専門家との違いは±2程度であった。これは、AIは概ね伝統的建造物か非伝統的建造物かを判断できたが、専門家とは正確に同じではないことを示した。

第3章は、深層学習アルゴリズム YOLOv3を用いて、屋根や窓などの建築要素の抽出に取り組んだ。120のフレームに対して8200回の反復処理を行った結果、70%程度の正答率であった。400のフレームで10,000回の反復にしたところ、74%に改善した。ある程度の抽出は可能であることが示された。しかし、まだアルゴリズムの改善が必要であると考えられる。

第4章では、肥前浜宿と塩田津の2つの異なる重伝建地区を対象に、それらの景観写真の判別ができるかどうか、アルゴリズム TensorFlow Image Classification2.2を用いて分析を行った。現地の複数の街路沿いに動画撮影して1秒ごとの写真を取り出し、512組のデータを用意して訓練を行った。その結果、過学習になっていた。これは類似した写真が多かったためと考えられる。そこで、データ拡張処理を行なって同様に分析した。その結果、過学習は改善されて、正答率は理想的なカーブを描いて緩やかに上昇するようになり、500

エポックで正答率 87-93%程度に達した。

第5章は、第4章の結果に対してヒートマップを作成して特徴量を分析し、AIが着目した建築エレメントを分析している。すなわち、アルゴリズム Grad CAM を用いて特徴部位の可視化を行った。その結果、真と偽の検知があり、関係の強いエレメントとしては、建物全体の形、木板などの材料要素、屋根の勾配要素、庇の先端等の水平ライン要素、柱等の垂直ライン要素、窓や扉などの柱間装置要素などが着目されていることを明らかにした。

第6章では、第2章から第5章の結果を用いて、これらの異なる深層学習アルゴリズムの統合の可能性を議論している。具体的には、YOLO を用いて窓や扉などの部分予測とヒートマップを用いた特徴量分析の統合について議論した。

第7章は結論であり、深層学習コンピュータビジョン法を用いた歴史的都市景観の認知について明らかにし、その可能性と今後の課題を示した。

論文審査結果の要旨

このように本研究は、歴史的都市における景観コントロールで課題になっている定性的基準の評価に対して、深層学習による景観認知とそれによる支援システム構築に向けた基礎的知見を得たものであり、そうした ICT 活用型まちづくりデザイン学の構築に向けた新しい研究として、工学的価値の高い研究と評価することができる。

本研究は、審査付学術論文3編、国際会議論文4本で報告されており、著者は研究者としての十分な能力を有していると言える。

以上の審査結果に基づき、本論文は博士（工学）の学位を授与するに値すると判断され、審査員全員一致で合格と判定した。

学位申請者、DERBEL MOHAMED RAMI 氏に対して、博士論文審査終了後に最終試験を実施すること、および試験の内容は博士論文に関連する内容について口述試験をおこなうことを事前に通知し、令和2年8月5日に実施した。

口述試験は博士論文を中心として、これに関連ある内容について行った。歴史的町並み景観の保存への適用について、特に、専門家としての伝統的要素認識との差異の問題、ヒートマップと YOLO の統合の可能性、開発されている新しい AI アルゴリズムの利用の可能性について問うたところ、申請者自身の研究成果を踏まえた適切な説明がなされた。さらに申請者は、口述試験から歴史的町並みにおける計画設計、ならびに人工知能による分析等に関して十分な知識と理論構成力を有していると判断された。

以上に述べたように、本申請者は博士論文を中心とした最終試験では、いずれも十分な内容の知見を示し、最終試験の結果は合格であると審査員全員で判定した。

令和2年度理工学部
集報・サイエンテック編集専門委員会

委員長 上 田 俊 (情報部門)
委員 市 川 尚 志 (数理部門)
江 良 正 直 (化学部門)
山 内 一 宏 (物理学部門)
村 上 天 元 (機械工学部門)
堂 蘭 浩 (電気電子工学部門)
三 島 悠 一 郎 (都市工学部門)

令和2年12月28日 発行

編集兼 〒840-8502 佐賀市本庄町1
発行者 佐賀大学理工学部

Reports of the Faculty of Science and Engineering,
Saga University, Vol. 49, No.2, December, 2020

Contents

Summary and examination of doctoral thesis..... 1