

2021 年度

博士學位論文

内容の要旨および
審査結果の要旨

第 3 1 号

(2021 年 9 月授与)

北九州市立大学大学院
国際環境工学研究科

目 次

学位の種類	学位番号	氏 名	頁
博士(工学)	甲第 163 号	ソアド アハメド アブデルマウグッド アハメド	1
博士(工学)	甲第 164 号	ホァン アイン ヴィエト	5
博士(工学)	甲第 165 号	キヤム マウラナ ビヌ スサント	8
博士(工学)	甲第 166 号	チョウ ケイ	12
博士(工学)	甲第 167 号	アレクサンダー ラニ スルヤンドノ	16
博士(工学)	甲第 168 号	オウ ルイ	21
博士(工学)	甲第 169 号	カク ウコウ	25
博士(工学)	甲第 170 号	スギヨノ	30
博士(工学)	甲第 171 号	ブン ドウゲン	33
博士(工学)	甲第 172 号	ハウ セツ	36
博士(工学)	甲第 173 号	ヨウ シン	39
博士(工学)	甲第 174 号	ゾウ セツシン	43
博士(工学)	甲第 175 号	ジュ ビーフオン	46
博士(工学)	甲第 176 号	塘田 研仁	53
博士(工学)	甲第 177 号	グエン ヴィエト ホアン	56
博士(工学)	甲第 178 号	チョウ ホウエン	61
博士(工学)	甲第 179 号	シュ チンハオ	65

フリガナ 氏名 (本籍)	ソアド アハメド アブデルマウグッド アハメド (エジプト)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第163号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Design of High-Performance Fiber-optic Sensor Systems for Sensitive and Selective Detection of Ammonia and Creatinine Urinary Biomarkers</p> <p>(尿中アンモニア及びクレアチニンバイオマーカーの高感度かつ選択的検出のための光ファイバーセンサシステムの設計)</p>
論文審査委員	<p>主 査 李 丞祐 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 寺嶋 光春 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士 (学術))</p> <p>審査委員 天野 史章 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士 (工学))</p> <p>審査委員 吉山 定見 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学))</p>

論文内容の要旨

The purpose of this study was to design and characterize optical fiber sensors (OFSs) modified with nanothin film coatings for the sensitive and selective detection of two important renal biomarkers, ammonia and creatinine (CR). Ammonia and creatinine are urinary metabolites that can serve as biomarkers for physiological and pathophysiological conditions associated with kidney disease. Accurate measurement of these metabolites in breath and urine, respectively, has gained great practical significance as a non-invasive and quick biomonitoring approach. High humidity in breath and urine samples, the very low concentrations of the targeted analytes to be detected, and the interference from the sample matrix that sometimes requires a tedious sample pretreatment are still the most critical issues when adopting optical methods for ammonia and creatinine detection. Other sophisticated analytical techniques are expensive, time-consuming, and bulky.

Through its combination with nanomaterials that exhibit sensitivity and specificity to a targeted chemical species, optical fiber provides a powerful, universal platform for chemical and biological sensor fabrication. The primary goal of this work was to create optical detection methods that could overcome the common analytical issues associated with detecting the two analytes. The thesis is divided into six chapters, with a summary of each chapter provided below.

Chapter 1 Is the introduction, which provides an overview of the operating principles of optical fibers as a sensing platform, as well as discussions of the types and design of OFS. It also includes a review of the previously reported methods for detecting ammonia and creatinine in the literature. It is important to compare optical fiber sensing to previously reported methods; this comparison is included. The goal and objectives of the current study are summarized at the end of this chapter.

Chapter 2 Describes the design and performance of an OFS developed for ammonia gas trace detection. This sensor's superior performance is achieved by coating the unclad portion of a U-bent optical fiber with covalently crosslinked porphyrin that has been co-assembled with hydrophobic polymers. A special emphasis was placed on optimizing the sensing film structures To develop a humidity-resistant ammonia sensor. This chapter also covers the optical properties, structure, and morphology of the sensing film, as well as its performance in terms of sensitivity, detection limit, and dynamic range. The developed sensor system

detects ammonia gas that evaporates from liquid samples at a concentration of approximately 30 ppb (parts per billion). This value is appropriate for screening kidney function as well as breath analysis. Very fast response and recovery times of 30 seconds were also achieved.

Chapter 3 Investigates the selectivity and reproducibility of the developed, optimized ammonia sensor. When tested with amine and other common volatile interferents such as methanol, ethanol, acetone, and others, superior sensitivity to ammonia was observed. When sensing ammonia at saturated humidity, the sensor response was stable and reproducible over seven days.

Chapter 4 Explains the issue of humidity effects on ammonia sensing. The developed sensor was examined for different relative humidity (RH) levels and for trace ammonia sensing at various humidity levels to elucidate the correlation between humidity and the developed sensor response. This chapter discussed the effects of humidity on the stability and sensitivity of the sensing system. The stable behavior of the sensor was achieved at relatively high humidity of 30–80%. Furthermore, the sensor's response to ammonia was unaffected by humidity levels ranging from (40–85% RH).

Chapter 5 Describes the design, performance, and characterization of an evanescent wave chemical sensor based on long period fiber grating (LPG) and coated with poly(acrylic acid)-assisted molecularly imprinted (MI) TiO₂ nanothin films prepared via liquid phase deposition (LPD) for the detection of urinary CR). After optimization of the sensing film structure, sensitivity and selectivity of the MI LPG optical fiber sensors were tested using aqueous solutions of CR dissolved in water and in an artificial urine matrix with a similar composition to real human urine. The developed OFS allows for CR sensing in the tens of mM concentration range, which covers the urinary CR concentration range of 8.8–15.9 mM. The obtained results demonstrated the proposed fabrication method's ability to detect creatinine with very low interference from the most commonly co-existing species in urine.

The thesis is concluded in the final chapter, Chapter 6, with a summary and overall conclusion of the work presented in the previous chapters. The developed OFSs' prospects are also discussed. In conclusion, the research presented in this study provides novel methodologies for developing OFSs that were architected by combining the advantages of optical fibers and the advanced coating techniques based on nanothin films to enable non-invasive and cost-effective detection of small metabolites suitable for point-of-care and real-time monitoring.

論文審査の結果の要旨

本学位論文では、二つの重要な腎バイオマーカーであるアンモニアとクレアチニンを高感度かつ選択的に検出することを目的に、ナノ薄膜を修飾した光ファイバーセンサの設計とその特性評価を行った。アンモニアとクレアチニンは、腎臓病に関連する生理学および病理学的側面での重要な尿中代謝物である。尿または呼気からこれらの代謝物を正確に検知することは、非侵襲的な診断方法として、医療分野において非常に興味深い課題である。一方で、呼気または尿検体中のこれらの化合物は濃度が非常に低く、検体に含まれる共存（マトリックス）成分が複雑であることや、高湿度の状態であるなどのことから、一般的に面倒な前処理が必須となる。洗練された分析装置は高価であり、専門性や費用、時間がかかるため、汎用的な技術として普及することは困難である。このような問題点を解決するために、本論文では、テレコミュニケーションのツールでもある光ファイバーを利用し、対象成分である腎バイオマーカーを簡便かつ迅速に検出できる光学検知システムの研究開発を行った。本論文は六章で構成され、それぞれの章の概要を次に示す。第一章では光ファイバーの動作原理と研究目標を実現するためのセンサシステムのプラットフォームの概要を、第二章では、高湿度条件下でのアンモニアガスの微量検出を実現するための研究戦略として、U字型光ファイバーに基づいた光架橋型製膜方法の展開とポリスチレンを用いた湿度干渉の抑制について、第三章では最適化されたアンモニアセンサの選択性と再現性について、第四章ではアンモニア検知に対する湿度の影響を解明するためのセンサシステムの安定性と感度の具体的な相関性について、第五章では長周期グレーティングファイバーに酸化チタンをマトリックスとした分子インプリント技術による尿中クレアチニンの検出方法と、尿中の共存物質の干渉を抑えるための製膜技術の最適化を検討し、最後の第六章では本論文の全体の成果と結論をまとめた。本学位論文で試みた光学センサシステムは、光ファイバーの利点とナノ薄膜の高度な技術を組み合わせることで、実用的な医療デバイス開発につながる具体的な方法論を提案したことに、その学術的意義は大きい。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ホアン イン ヴィエト（ベトナム）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第164号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	Study on Adsorptive Separation of Toxic Heavy Metals from Aquatic Environment (水環境中の有害重金属の吸着分離に関する研究)
論文審査委員	主 査 西浜 章平 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 吉塚 和治 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 寺嶋 光春 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（学術）) 審査委員 岡田 伸廣 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）)

論文内容の要旨

Heavy metals in the water environment, such as arsenic, chromium, lead, zinc, copper, and cadmium, caused great harm to human beings and aquatic organisms. Therefore, removal of the metal ions from wastewater has attracted extensive research interests. In addition, recover of valuable metal together with removal of toxic metals is considered. Among conventional techniques, adsorption technique becomes one of the alternative treatments, due to high efficiency, low cost, and easy operation. In this study, adsorptive separation of heavy metals from aquatic environment was investigated to elucidate the removal efficiency of the metals.

Firstly, adsorptive removal of arsenic was investigated employing two resins CRB05 with *N*-methyl-*D*-glucamine group and Lewatit FO36 with FeOOH group. CRB05 shows high adsorption rate, while FO35 has higher adsorption capacity. Both adsorbents could be applied for iterative use in chromatographic operation. FO36 could be used at high space velocity (S.V.), while CRB05 should be performed at low S.V.

Secondly, reductive adsorption of Cr(VI) was investigated using coal-based activated carbon (AC). AC possesses high adsorption capacity for Cr(VI) (3.43 mmol g⁻¹). During adsorption process, Cr(VI) was reduced to Cr(III) to exist in both of aqueous solution and AC surface. The reduction–adsorption mechanism is elucidated as following: adsorption of Cr(VI) – reduction of Cr(VI) to Cr(III) – release of Cr(III) – adsorption of Cr(VI) cycle. In chromatographic operation, complete removal of Cr(VI) could be achieved at pH = 3.0.

Thirdly, selective adsorption of Pb(II) from aqueous solution containing Pb(II), Cu(II), Zn(II), and Cd(II), was investigated, using chelating resin CR11 with iminodiacetic acid group, goethite (α -FeOOH), and magnetite (Fe₃O₄). CR11 possesses the highest adsorption capacity for these metals. Goethite has high selectivity for Pb(II) and Cu(II). Magnetite possesses high selectivity for Pb(II) and have the fastest adsorption kinetic. In chromatographic separation, magnetite is feasible for selective separation of Pb(II) though elution was hardly achieved.

論文審査の結果の要旨

水環境中に含まれるヒ素・クロム・鉛・亜鉛・銅・カドミウムなどの重金属の多くは生物に有害である。このため、水環境や廃水からの金属イオンの分離除去は重要な課題の一つである。加えて、資源リサイクルの観点から、有害金属の分離除去と同時に有価金属を分離回収することも望まれている。重金属の分離手法の中でも、吸着法は高効率・低コスト・簡便な操作など多くの利点を有している。以上の背景から、本研究では、水環境中からの重金属の吸着分離に関する研究を行った。

第1章では、水環境中の重金属の影響や、重金属の分離手法等についての既往の知見について紹介し、本研究の目的が述べられた。

第2章では、*N*-メチル-*D*-グルカミン基を有するキレート樹脂 CRB05、および FeOOH 基を有する吸着剤 Lewatit FO36 の2種類を用いて、水環境中のヒ素の吸着除去について検討した。バッチ系での結果から、CRB05 は吸着速度が速い一方で、FO36 は吸着容量が大きいことを明らかにした。また、いずれの吸着剤もカラム操作へ適用可能であり、ヒ素の吸着除去が可能となる操作条件を明らかにした。

第3章では、石炭由来の活性炭を吸着剤として用いたクロム(VI)の還元吸着について検討した。活性炭はクロム(VI)の高い吸着容量を有していることに加え、吸着時にクロム(III)への還元反応も進行することが示された。活性炭によるクロムの還元吸着は、クロム(VI)の吸着ークロム(VI)からクロム(III)への還元ークロム(III)の水溶液中への脱離ークロム(VI)の吸着のサイクルで進行することを明らかにした。また、カラム吸着操作によりクロム(VI)を完全に除去可能な操作条件を明らかにした。

第4章では、鉛・銅・亜鉛・カドミウムが含まれる水環境中からの鉛の選択的な吸着について、イミノ二酢酸基を有するキレート樹脂 CR11、ゲータイト、およびマグネタイトを用いて検討した。CR11 は検討したすべての重金属に高い吸着容量を有していた一方で、ゲータイトは鉛と銅に対する選択性を有していた。また、マグネタイトは鉛に対する選択性を有しており、かつ吸着速度が最も速かった。マグネタイトによるカラム吸着操作により、鉛を選択的に吸着分離可能であることを明らかにした。

第5章では、各章で得られた知見が総括され、今後の展望が示された。

本研究の成果は、水環境中の有害重金属を吸着法により分離することで安全な水の創製に貢献することができるものである。また、本人が筆頭著者として発表した審査付き学術論文数が学位授与基準を満たしており、加えて、審査会においても、分離工学、化学工学、環境工学などの分野からの質問に対して、満足のいく質疑応答が行われた。

よって、学位論文の審査および最終試験は合格であり、本論文の著者は、博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名 (本籍)	キヤム マウラナ ビヌ スサント (インドネシア)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第165号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>THE ROLES OF WASTE BANK AS COMMUNITY-BASED WASTE MANAGEMENT ENHANCING SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA</p> <p>(インドネシアの持続可能な廃棄物管理を強化するコミュニティベース管理としてのごみ銀行の役割)</p>
論文審査委員	<p>主 査 松本 亨 (北九州市立大学環境技術研究所教授 博士 (工学))</p> <p>審査委員 野上 敦嗣 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 加藤 尊秋 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学))</p> <p>審査委員 陶山 裕樹 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士 (工学))</p>

論文内容の要旨

Indonesia is the fourth most populous country in the world. Uncontrolled waste generation has been a continuous problem for both the environment and humans. In developing countries, government waste management is often inadequate. Waste bank is an alternative waste management system implemented to reduce waste and improve the local economy and It can be implemented in developing countries where the local government has inadequate capability to manage waste. Waste bank is one option that can reduce greenhouse gas emissions and possesses economic, social, educational, and technological tools that can establish self-reliance in a community. The existence of a waste bank in Indonesia is supported by the Regulation of the Minister of Environment of the Republic of Indonesia No. 13 of 2012.

This study has objective to investigate the roles of waste banks in reducing waste generation and the correlation between social attributes toward knowledge behavior regarding waste management among the waste bank implementer residents. The second objective of this study was to analyze the environmental assessment and cost benefit impact from the addition of waste banks to the management of municipal waste. This study also aiming to find the key descriptors of intention to recycling behavior among the waste bank community using theory of planned behavior (TPB) approach and structural equation modeling (SEM).

This study found that waste bank as community-based waste management can encourage the number of waste reductions and benefit their participants in the form of economic value. Rewwin residential area in Sidoarjo regency is considered an example of a community that independently manages waste in its local environment. Rewwin residential areas generate approximately 0.205 kg/person/day of household waste. The waste generation levels were lower than the national standard of Indonesia. The BSMS waste bank in Rewwin can reduce the total waste generation in the Rewwin residential area by 2.8 %. Regarding the characteristics of Rewwin residents, this study found that younger residents feel proud to maintain environmental cleanliness. This research indicated that the various level social attributes in community did not have significant effect towards the environmental knowledge and awareness as long as the communities consistent to participate in the activities to protect the environment. The addition of waste banks contributes

in reducing emission in waste disposal process to the landfill. Increasing the number of waste bank could be an alternative to reduce cost needed to dispose waste to landfill.

Furthermore, this study conducted waste bank as intention recycling behavior predictor using structural equation modeling in Semarang City. The effectiveness recognition of waste bank has impact on intention to recycling behavior, with a standardized estimate coefficient of 0.050 and a p-value of 0.631. This finding shows that effectiveness recognition of waste bank as an additional construct on intention to recycling behavior among waste bank communities has an insignificant positive impact.

論文審査の結果の要旨

インドネシアにおいて廃棄物問題が深刻化しているが、行政による廃棄物管理のほとんどは分別されず埋立されるだけであり、リサイクルされることはない。ごみ銀行は、廃棄物を削減し、地域経済を改善するために実装された代替の廃棄物管理システムである。政府の法令によって支持され、現在では、国内 363 都市 11,551 ユニットに拡大している。本研究は、ごみ銀行の効果と活動に関わる住民意識に着目し、ライフサイクルアセスメント (LCA)、費用便益分析 (CBA)、分散構造分析を用いて、その環境面・経済面の効果と意識構造を分析した。

本論文は、全 6 章で構成される。第 1 章では、本論文の背景として、インドネシアの廃棄物管理ならびにごみ銀行の状況と、コミュニティベースの廃棄物管理に関する既往研究レビューを行っている。第 2 章では、本論文の目的及び研究方法について述べている。第 3 章では、シドアルジョ県を対象に、ごみ銀行による廃棄物削減と経済的利益を調査している。また住民に対するアンケート調査を実施し、廃棄物管理に関する知識や行動と社会的属性の関係を分析することで、ごみ銀行に関わる意識・行動特性を見出した。第 4 章では、チマヒ市を対象に、ごみ銀行がもたらす効果について環境面 (LCA)、経済面 (CBA) から評価している。家庭ごみフローの明確化とごみ銀行導入時のフロー変化をシナリオとして設定し、CO₂ 排出量と NPV (純現在価値) によってシナリオ分析を行っている。その結果、地方自治体関与のごみ銀行を増やすことでより効果が高くなることを明らかにした。第 5 章では、スマラン市を対象に、ごみ銀行を活用したリサイクル活動に対する行動理論を構築している。計画的行動理論 (TPB) をベースに構造方程式モデル (SEM) を仮定し、アンケート調査によって得たデータを用いて実証している。その結果、主観的規範が有意であること等を見出した。第 6 章は、本論文の総括である。

以上要するに、本論文は、インドネシアのごみ銀行に着目し、それが有効に機能する要因と果たしている役割について、環境面・経済面、さらに行動理論から分析を行ったものである。本研究の成果は、途上国の都市廃棄物管理システムの新たなアプローチに対する定量評価手法と、そこから得られた含意の新規性・有用性において高く評価され、環境システム工学上寄与するところが大きい。

よって本論文の著者は博士 (工学) の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	チョウ ケイ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第166号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Characteristics of atmospheric aerosols in Kitakyushu, Japan: sources, secondary formation, reduction mechanism, and risk assessment</p> <p>（北九州市における大気中エアロゾルの特徴：発生，二次生成，削減機構とリスクアセスメント）</p>
論文審査委員	<p>主 査 藍川 昌秀 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学） 博士（農学）</p> <p>審査委員 加藤 尊秋 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）</p> <p>審査委員 寺嶋 光春 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（学術）</p> <p>審査委員 高島 康裕 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）</p>

論文内容の要旨

The sampling campaign of atmospheric aerosols (total particulate matter (TPM) and PM_{2.5}) was carried out in Kitakyushu, Japan. For TPM, five main sources (industrial combustion plus ship emissions, secondary sulfates, secondary nitrates plus biomass burning, marine aerosols, and dust) were identified in this study, accounting for 26%, 23%, 22%, 19%, and 10%, respectively. Secondary inorganic aerosols (SIA) had the largest contribution for total particle mass concentration, and its formation process is significantly influenced by Ox, NO₂, NH₃, HNO₃, HCl, T, and RH. Based on the sensitive tests of ISORROPIA II model, it can be known that controlling SIA precursor concentrations was an effective and realistic method to reduce total particle mass concentration in Kitakyushu, Japan. The inorganic aerosol mass concentration (IAM) changed nonlinearly when we reduced TNH₄⁺ and TSO₄²⁻ concentrations, while IAM decreased linearly when we control TNO₃⁻ concentration (the fitting curves: $y = -5.11x - 13.82x^2 + 9.21x^3$, $y = -12.89x + 10.47x^2$, and $y = -6.74x$, respectively (y and x presents IAM variation [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$] and concentration reduction ratio (CRR)/100 [dimensionless]). As the most sensitive aerosol component, aerosol liquid water content (ALWC) was statistically and strongly related to the variations of NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HSO₄⁻, HNO₃, and NH₃ ($P < 0.05$), with coefficients of 1.68, 5.23, 1.83, 2.81, 0.34, and 0.57, respectively.

Except for particle mass concentration, the risk level of toxic components for the ecological system was also one of the parameters for atmospheric particle pollution. As compared with coarse-mode particles, fine-mode particles are easier to adsorb harmful substances due to the higher surface/mass ratio; thus, the risk assessment of PM_{2.5}-bound heavy metals were further investigated in this study. Among 29 heavy metals, Se, Mo, Pb, As, Zn, W, Sb, Cu, V, Cr, Ni, and Cs were mainly from anthropogenic sources, which had the EF values larger than 10, and Igeo values larger than 0. The comprehensive ecological risk index for these 12 anthropogenic metals was far greater than 600. This large index showed the severe metal pollution and very high ecological risk in Kitakyushu, Japan, which should be paid great attention. The human health assessment result further revealed that children living here faced severe non-carcinogenic risk (HI=7.8) and moderate carcinogenic risk (CR=1.2×10⁻⁴), and oral ingestion was basically the most

important exposure pathway, followed by dermal contact and inhalation. The priority control metals included Mo, Se, As, Pb, Sb, and Cr, moreover, the concentration-weighted trajectory analysis (CWT) indicated that Mo, Sb, and Cr were from ship emissions because some shipping routes around Kyushu area were identified as their potential pollution source regions, while Se, As, and Pb were carried by the air masses from Asian landmass. Overall, our results clearly demonstrate the characteristics of atmospheric particles, providing policy makers with basic and effective ideas for mitigating particle pollution.

論文審査の結果の要旨

大気中の粒子状物質（エアロゾル）は、人間への健康影響が懸念されることに加え、生態系へも影響を及ぼすほか気候変動の観点からも、発生源対策、大気中での二次生成機構の解明、大気中濃度の低減へ向けての対策の立案と実行が必要とされている。

本研究では、東アジア地域での著しい大気汚染物質の発生の影響を強く受けるとともに、域内にはローカルな発生源も立地する北九州市における、大気中粒子状物質の化学的特徴を、発生源・大気中での二次生成・削減機構の観点から調査・分析・解析・研究し、人体への健康影響をリスク評価した論文である。

論文においては、大気中の粒子状物質の概要を述べ、世界規模での粒子状物質による大気汚染の現状、日本の監視体制を示し、本研究の目的を記載した（第1章）。

北九州市立大学屋上で試料採取した粒子状物質の化学分析結果（水溶性無機成分組成）に対し、統計解析手法を用いて解析し、その主たる寄与因子が、工業・船舶(26%)、二次生成硫酸成分(23%)、二次生成硝酸成分・バイオマス燃焼(22%)、海塩(19%)、土壌ダスト(10%)であることを明らかとした（第2章）。

採取した粒子状物質の成分及び大気中のガス状物質に対し、熱力学モデルを用い、各成分を削減した場合の、粒子状物質の質量濃度低減効率（感度変化）を明らかとし、粒子状物質の質量濃度を効率的に低減する対策指針の基礎データを示した（第3章）。

粒子状物質に含まれる金属成分が人間の健康に及ぼす影響について、北九州市小倉北区で採取された試料中の金属成分濃度をもとに、人為寄与の程度を評価する濃縮係数等を算出し、先行研究で示された各種パラメータと併せて、生態系影響評価及び成人(adults)と幼児(children)ごとの健康影響評価を行い、幼児の健康影響において非発がん性リスク(severe)と発がん性リスク(moderate)があることを示した（第4章）。

以上、本論文はこれまでその実態が未解明であった北九州市域における粒子状物質による大気汚染の発生から影響までを、粒子状物質の熱力学的解析を含めて、総合的に調査・分析・解析・影響評価した点で、大きな新規性と価値をもつものであると高く評価でき、環境システム工学上大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名 (本籍)	アレクサンダー ラニ スルヤンドノ (インドネシア)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第167号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>The Effect of L-Shaped Mini-Louvers for Building Facades on Indoor Environment and Cost in Hot and Humid Areas (蒸暑地域における建築物のファサードに使用するL型ミニルーバーの室内環境及びコストに与える影響に関する研究)</p>
論文審査委員	<p>主 査 福田 展淳 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学))</p> <p>審査委員 高 偉俊 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 デワンカー バート (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 礪田 隆聡 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p>

論文内容の要旨

The problem of cooling energy consumption growth occurs globally, but much worse in hot regions which have driving factors such as population and economic growth, technological advances, and climate changes. Indonesia is one of the area which show significant increase of cooling energy demands. It is a tropical country which needs cooling energy all year round. Indonesia is the fourth most populous country in the world with more than half of the population live in the city. Indonesia has positive economic growth rate accompanied by increasing of gross national income per capita. Indonesia used 36% of primary energy in Southeast Asia, the largest energy consumption country in that region.

Focusing on Jakarta, Indonesia's capital city, proposed shading devices were simulated using Rhinoceros and Grasshopper with EnergyPlus to show their performance for providing shadow, to improve daylight and reduce cooling energy consumption. The shading design is inspired by traditional Japanese koshi, but using modern L-shaped aluminum profiles as mini-louvers. The L-shaped mini-louvers design is simple, using ready and widely available raw materials. The construction is easy, requires no specific technical skills. The L-shaped mini-louvers can be placed at the outdoor surface of glass window or attached on the window frame. Since it is from aluminum, the L-shaped mini-louvers is lightweight and need no maintenance.

The environmental benefit is obtained from improving daylight condition and saving the cooling energy used. Using a simple box building, several simulations were executed. Attaching L-shaped mini-louvers at the window in one side of the wall can lead the Useful Daylight Illuminance (UDI) to be more than 90. Even when there were four windows in every side of the walls, a combination strategy by modifying window size and attaching L-shaped mini-louvers can optimize the UDI to be 100. Residential and open-office setting were used for simulating annual cooling energy consumption. The star-rated air conditioning unit, which complies with the official government's law was used for monetizing the cooling energy consumption to calculate the annual electric saving. The comparison between electric saving and application cost shows the simple payback period of the simulated sun shadings. The application cost includes price of the sun shading construction, and attachment elements. L-shaped mini-louvers attachment in the exterior

surface of the window cut around 7%-12% while placing them on the window frame reduce 9%-18% of cooling energy consumptions in average of all orientations for residential. Using 15 mm × 15 mm L-shaped mini-louvers on the window frame for office can cut 17%-29% of cooling energy consumption in average of all orientation. Moreover, placing the 15 mm × 15 mm L-shaped mini-louvers in the east and west can meet the simple payback period less than a year in both residential and office.

論文審査の結果の要旨

地球温暖化の進行、人口増加、経済発展に伴い冷房エネルギー消費量の増加は世界的な問題であり、特に急成長が続くアジアの蒸暑地域ではより深刻である。インドネシアは一年中冷房を必要とする熱帯地域で、冷房エネルギーの増加が顕著である。

本研究は、インドネシアの首都ジャカルタにおいて、断面が L 字型をしたミニルーバーをシェーディングデバイスとして用い、照明計算プログラム **Radiance** と熱負荷プログラム **EnergyPlus** によりシミュレーションを行い、冷房エネルギー削減効果と経済性を比較検討し、有効性を示したものである。

第 1 章では、建築における影の役割を概括的に述べ、日本の伝統的な格子のデザインにヒントを得て L 型ルーバーを発案したことに触れ、研究目的、研究構成を述べている。第 2 章では、予備研究として、インドネシアの伝統的なテキスタイルパターンであるバティックを用いたシェーディングによる日射遮蔽効果をシミュレーションから求め、室内に侵入する太陽放射エネルギーの削減効果を分析している。第 3 章では、L 型ミニルーバーによる日射拡散および遮蔽効果を解析し、有用昼光照度 (UDI) をシミュレーションにより求め、片側一窓の場合でも、UDI が 90 以上になること、壁の 4 面に窓がある場合でも、窓の大きさや L 型ミニルーバーの設置方法を組み合わせることで変更することにより、UDI を 100 に最適化できることを示した。第 4 章では、L 型ミニルーバーを設置した木箱を用いた実験を行い、シミュレーションと同じく、実測においても L 型ルーバーが日射遮蔽に有効であることを示した。第 5 章では、インドネシア・ジャカルタに立地する住宅を想定し、L 型ミニルーバーの冷房エネルギー削減率を検証している。住宅では、ミニルーバーを窓の外側近傍に取り付けた場合、約 7~12%、50mm 離し設置した場合、全方位の平均で約 9~18% の冷房エネルギーを削減することを導き出した。第 6 章では、導入コストと冷房エネルギー削減による電気消費量削減値から L 型ミニルーバーの経済的側面を、単純投資回収期間で求め、15mm×15mm の L 型ミニルーバーを東西に配置することで、住宅、オフィスともに 1 年以内の回収が可能であることを示した。第 7 章では、複数の窓がある部屋での L 型ミニルーバーを使用した場合の照度環境の解析を行った。第 8 章では、ジャカルタのオフィスを想定し、L 型ミニルーバーによる冷房エネルギー削減効果を検証し、オフィスでは、ミニルーバーを 50mm 隔離した場合、エネルギー消費量を 17~29% 削減することを導き出した。第 9 章で、全体の総括を行い、結論を述べている。

以上、本研究は、日本の伝統的木造建築で用いられる格子をヒントに安価に製造できるミニルーバーを提案し、アジアの蒸暑地域での住宅およびオフィスにお

いて適正な照度環境を維持し、日射のエネルギー負荷を削減できることを環境面、経済面で示した。冷房エネルギーの増加が顕著な熱帯地域において経済的な日射遮蔽手法を示し、建築分野だけでなく地球環境にも大きく貢献することが期待される。

よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	オウ ルイ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第168号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Research on Spatial Downscale Temperature Prediction by using Machine Learning and its Application in Urban Heat Island</p> <p>（機械学習を用いた空間ダウンスケールの気温予測法及び都市ヒートアイランドへの応用に関する研究）</p>
論文審査委員	<p>主 査 高 偉俊 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p> <p>審査委員 高巢 幸二 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 白石 靖幸 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 吉塚 和治 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p>

論文内容の要旨

This study mainly focused on the urban heat island of metropolitan area in various climatic zones in Japan. Downscaling method based on machine learning model was used to downscale air temperature from 1 km to 250 to analysis the atmosphere urban heat island. Combined with surface urban heat island based on the retrieved land surface temperature from remote sensing, we compared the characteristics and differences of the two types of urban heat islands of each metropolitan areas.

In Chapter One, we demonstrated the research background and significance of urban heat islands and the research development. In addition, we analyzed the importance of air temperature downscaling for the urban climate research and reviewed previous studies about this research. Then, we proposed the research purpose.

In Chapter Two, firstly, we compared three downscaling models and verified the accuracy, so as to select the random forest model based on machine leaning algorithm as the optimal downscaling model. Then, after further comparison and analysis, we found that the extra trees model in machine learning can achieve air temperature downscaling accurately. Finally, based on the high-resolution air temperature data predicted by downscaling models, the final downscaling results were obtained though residual fitting.

In Chapter Three, we used maximum likelihood classification method to identify the urban structure based on remote sensing data, and then prove the accuracy of this classification method. In addition, we used ENVI-met to simulate the micro-climate of some typical urban structure to prove that urban structure has an impact on the urban climate.

In Chapter Four, we choose Kanto Major Metropolitan Area as the case study to verify the accuracy of the downscaling method introduced in Chapter 2. We mainly use two verification methods. The first is k-fold cross-validation, and the second is to compare the downscaled air temperature data with local meteorological station data.

In Chapter Five, we downscaled the air temperature data of five metropolitan areas located in various climatic zones in Japan from 1 km to 250 m.

In Chapter Six, we analyzed and compared the atmosphere urban heat island by calculating the urban heat island intensity and urban heat island

ratio index of each metropolitan area.

In Chapter Seven, we compared the atmosphere urban heat island and the surface urban heat island and found that various urban structure has different effect on these two types of urban heat islands.

Chapter Eight is the conclusion of this research and prospects for the future research.

論文審査の結果の要旨

本研究では、機械学習に基づいた空間ダウンスケール解析法を用いて、都市圏温度データの高精度の予測方法を提案し、リモートセンシングにより得られた表面温度と合わせて、各都市圏のヒートアイランドの特徴と相違の比較を行ったものである。

第一章では、研究背景、既往研究及び研究の意義について述べた。

第二章では、機械学習モデルによりダウンスケール解析法を構築し、都市圏温度データの高精度の予測方法を提案し、都市構造との関連性について検証し、予測方法の有効性を立証した。

第三章では、リモートセンシングデータと最尤法分類を用いて都市構造を分類し、カッパ係数より分類の精度を検証した。都市気候シミュレーションツールを用いて、それぞれの都市構造が温熱環境に与える影響を明らかにした。

第四章では、関東大都市圏を精度検証ケースとして、都市圏の気温を予測し、気象庁の実測データと比較し、ダウンスケール解析法が高い精度を持つことを確認した。

第五章では、上記のダウンスケール解析法を用いて、五つの都市圏（関東、近畿、札幌、新潟及び宇都宮）の気温データを計算し、都市圏の気温特徴等を明らかにした。

第六章では、ダウンスケール解析法より得られた高精度の気温データに基づいて、五つの都市圏の都市ヒートアイランドの特徴を明らかにした。

第七章では、関東都市圏と近畿都市圏を選択し、都市大気及び地表のヒートアイランドの差異を比較し、異なる都市構造が都市ヒートアイランドに与える影響を明らかにした。

第八章では、各章で得られた知識と見解をまとめた。

以上のとおり、本研究は機械学習に基づいたダウンスケール法により日本の五つの都市圏のヒートアイランド現象を分析したものである。この一連の研究成果は、新たな都市気温予測法を提案することにより、都市ヒートアイランド現象の緩和に貢献でき、都市環境への改善に寄与する。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	カク ウコウ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第169号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	Study on adaptive thermal comfort of public buildings with different indoor operation modes in China （中国における異なる屋内運転モードの公共建築物の適応型熱的快適性に関する研究）
論文審査委員	主 査 デワンカー バート （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士） 審査委員 高 偉俊 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士） 審査委員 城戸 將江 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学）） 審査委員 山本 勝俊 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））

論文内容の要旨

Thermal comfort plays a significant role on building indoor environment, it is defined as the state of mind in which occupants satisfied with surrounding environment according to American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE-55). People working efficiency will also be increased by 15% in that status. Therefore, how to pursue the unity of energy conservation and thermal comfort has become an urgent issue in contemporary society.

Generally speaking, the study for thermal comfort can be classified as static and adaptive approach. Fanger's Predicted Mean Vote (PMV) model is based on steady-state heat transfer theory that takes the six body/environmental parameters into consideration. However, it is found not to be an appropriate way to calculate the actual situation as it ignores the ability of occupants' adaptability. Adaptive comfort approach, which focused on the people-environment interaction and takes the occupants' natural tendency of adapting changes in thermal environment as well as restore whom comfort into account, has been regarded as a reasonable and accuracy way. Hence, this study by adopting the methods of qualitative subjective survey and quantitative objective measurements, simulation study and regression analysis to carried out a series of investigation studies for public buildings in China's different climate zones.

In chapter 1, the background is firstly elaborated. In addition, the development status of thermal comfort were reviewed. And then proposed the target of the research based on the questions raised.

In chapter 2, the two main research ideals (adjustment PMV model and adaptive comfort model) of the adaptive approach is presented. And focused on the adaptive model, three aspects namely field investigation, climatic adaptability and application are reviewed, respectively.

In chapter 3, the research methodology is expounded. Firstly, two approaches for climate classifications are introduced. In addition, the establishment of adjustment PMV model and adaptive model are explained. Lastly, combined with the evaluation indexes extracted, the whole research process is described in detail.

In chapter 4, based on adaptive comfort model approach, a systematic investigation is conducted for public building standard rooms with

evaporative cooling air conditioned system (ECS) in Urumqi (China). Meanwhile, the authentic indoor physical environment and actual thermal comfort are surveyed. Through the regression analysis, the neutral (comfort) temperature, preference temperature and acceptable temperature range in ECS buildings are determined, respectively. Ultimately, the adaptive model is established by using the relationship between outdoor prevailing mean temperature and indoor comfort temperature.

In chapter 5, based on adaptive comfort model approach, a pilot study is further unfolded for different indoor operation modes between evaporative cooling air conditioned and naturally ventilated buildings in Turpan (China). The differences of selective behavior adjustment are concluded. Meanwhile, verified the accuracy of recommended models in ASHRAE-55, EN 15251 and Chinese GB/T 50785 comparing to each modes.

In chapter 6, based on adjustment PMV model approach, the optimization of various parameters for Chinese climate zones are carried out with consideration of energy demands and adaptive thermal comfort by simulation study. To be specific, five typical benchmark cases with climatic adaptability are established. At the same time, with the help of numerical calculation, a further coupling calculation of indoor adaptive thermal comfort is conducted to search for the best thermal range with less energy consumption.

In chapter 7, the conclusions of the whole thesis is summarized and the future work of adaptive thermal comfort is discussed.

論文審査の結果の要旨

本論文は、中国の様々な気候帯に考慮した公共建築物の熱環境についてのシミュレーション調査に関する研究である。予測された温冷感指標と実測値を比較することにより快適性と省エネルギー性の評価に関して調査を行った。中国の気候帯について、屋内の環境と熱的快適性を調査し、人間の感覚適応モデルを確立した。ASHRAE-55、EN 15251 及び中国の GB/T 50785 で推奨されるモデルの精度を実際の作業条件と比較して検証を行った。

第 1 章では、研究の背景、目的及び論文の構成が述べられている。

第 2 章では、既往研究について列挙し、本研究における方法論的枠組みを示している。適応型熱的快適性に関する 2 種類の主要なモデルが明らかになり、調整 PMV モデルと適応型快適性モデルの方法について詳しく述べられている。

第 3 章では、論文全体の研究方法を示しており現地調査及びシミュレーションについての基本的な計算プロセスを体系的に述べている。主に適応型熱的快適性の研究方法における気候分類に基づいた現地調査とシミュレーションについて述べており、また、現地調査におけるデータや評価指標を詳細に説明し、パラメータの計算プロセスを体系的に述べられている。

第 4 章では、中国トルファン市の夏季における蒸発冷却空調による屋内環境と熱的快適性を調査することを目的としている。主にアンケート調査、現場での測定により得られた結果を回帰分析により、熱的中立状態と予想の間に偏差が存在することを明らかにした。

第 5 章では、中国トルファン市の夏季における蒸発冷却空調及び自然換気モードによる屋内環境と熱的快適性について調査を行った。現場での測定により得られた結果から、蒸発冷却空調では、ほとんどの被験者が現在の屋内熱環境に満足しているのに対し、自然換気モードはマイナス意見が多かった。中国の基準 (GB/T 50785) はトルファン市に正確に適用できないことを示し、エネルギー効率コードの改訂のため基本データベースの改善を行った。

第 6 章では、中国全土の建物のエネルギー需要と熱的快適性に対する様々な設計パラメータの影響を調査し、主にシミュレーションにより、各気候帯の最適化結果を予測した内容について述べている。一般に、南向きの建物は、5 つの気候帯すべてでエネルギー消費に対して最高のパフォーマンスを発揮することを示した。

第 7 章では、空間の快適性を向上させるために人間の心理的スケールの期待係数の重みを定量化する方法や環境心理学などの他の分野が熱反応に与える影響を調査する方法の発展性について明らかにした。結果は、環境に対する人々の主観的な反応と評価は、3 つの調整方法（行動、生理学的、心理的調整）の組み合わせ

せにより得られることを示した。

第 8 章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、中国の様々な気候帯に考慮した公共建築物の熱環境について実測及びシミュレーション調査結果を比較することにより快適性と省エネルギー性の評価を行ったものである。一連の研究成果は当該分野に新しい知見を与えるものであり、今後の公共建築物の熱環境分野に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	スギヨノ（インドネシア）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第170号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Incorporating Users' Preferences to Develop Improvement Strategies on the Domestic Water Fulfillment in Indonesia （インドネシアにおけるユーザーの環境状況を考慮した生活用水を充足するための改善戦略に関する研究）</p>
論文審査委員	<p>主 査 デワンカー バート （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p> <p>審査委員 高巢 幸二 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 城戸 將江 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 西浜 章平 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p>

論文内容の要旨

The issue of domestic water fulfillment is important to be discussed since water is one of human basic needs that cannot be substituted by other substances. However, the current stage of domestic water fulfillment in Indonesia has not fully sufficed the needs and the situation is worse in the small cities. Moreover, the trend shows that the domestic water utilization is still dominated by individual groundwater exploitation while the use of public water service such as pipe water is very small portion and tend to decrease. A similar trend appears almost all over Indonesia, and Kota Metro in Lampung Province is selected as the case study area. This research focuses on the community preferences in the domestic water utilization and the motive behind the choice. Besides, factors determining the choice such as socioeconomic background, pipe network availability, etc. are also elaborated in the study. Furthermore, the main discussion of the thesis is divided into four parts. First, a preliminary study is conducted through an online survey to grasp initial understanding of the domestic water issue in the case study area. Second, the household survey is also conducted to confirm initial findings gained from the online survey. The Correspondence Analysis, which is assisted by the computer software (SPSS version 23), is employed to analyze the dataset of the online and households survey. Third, the findings are combined with the potentials of Kota Metro to formulate alternatives for improving the current situation of the domestic water sector. Statistical projection and mathematical optimization methods are demonstrated to formulate the strategies. Forth, systematic review, which is assisted by the computer software (NVivo version 12), on the improvement strategies applied in several countries is also done. This stage aims to gain lessons from the selected cases as the inspiration as well as reflection to the proposed alternatives.

論文審査の結果の要旨

本論文は、インドネシアの小都市における家庭用水充足の現状について調査を行い、改善戦略の策定にユーザーの関心度を取り入れた現状の改善に関する研究である。インドネシア・ランプン州のメトロ市は、インドネシアの他の小都市と比較して公共水道のカバー率が最も低く、ケーススタディエリアとして取り扱うものとする。

第1章では、研究の背景、目的および論文の構成が述べられている。

第2章では関連する既往研究について述べ、本研究における理論的枠組みを提示している。ユーザーの関心度に影響を与える主な2つの要因、内部要因（ユーザーの社会経済的背景、習慣、文化など）と外部要因（法律と規制、水道へのアクセスなど）を示している。

第3章では、調査を実施するための方法論を明示している。ケーススタディの選定、データ収集、及び分析のフローを示しており、オンライン調査と現地調査を実施した。

第4章ではオンライン調査により予備調査を実施した。回答者の社会経済的背景、関心度、及び現在の国内使用における満足度について調査を行った。国内の水源に関する選択は、水質、水供給量、水源へのアクセス、価格などが主に関係していることが明らかとなった。

第5章では、予備調査結果を検証することを目的として、メトロ市の22の村に配布された599人の回答者に対する現地調査を実施した。回答者の16.07%が水源の使用で水不足を経験したことがあり、また公共水道を利用していない回答者の93.67%は、公共水道への移行を望んでいないことがわかった。

第6章では、3つのシナリオ（現況通り特に何もしないシナリオ、パイプラインベースの水道サービスを加速させるシナリオ、パイプラインベースと共同井戸の水供給を組み合わせるシナリオ）の下で策定する改善策を提案している。

第7章では、様々な地域で実施された改善戦略を引き継ぐ決定要因と、それらがどのような教訓を引き出すことができるかについて述べている。インドネシア以外8つの国（インド、エクアドル、コロンビア、スリランカ、フィリピン、ブラジル、南アフリカ、モルディブ）を比較調査の結果に基づいて他の地域にも適応できる改善戦略を見出した。

第8章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、小都市の各ユーザーの環境状況を考慮し、様々な水供給システムの分析を通じて、家庭用水の供給モデルを提案している。一連の研究成果は当該分野に新しい知見を与えるものであり、今後の都市計画分野に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ブン ドウゲン（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第171号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>The Impact of Renewable Energy Policies on Solar Photovoltaic Energy: Comparison of China, Germany, Japan, and the United States of America</p> <p>（太陽光発電における再生可能エネルギー政策の影響分析：中国、ドイツ、日本、米国の比較）</p>
論文審査委員	<p>主 査 高 偉俊 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p> <p>審査委員 高巢 幸二 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 陶山 裕樹 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 今井 裕之 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（環境科学））</p>

論文内容の要旨

This paper provides a quantitative assessment of the performance of PV energy policies on PV market development and technological innovation in four PV leading countries, China, Germany, Japan, and the United States of America. The implementation performance of different support policies on PV market growth and PV product cost reduction were examined through a technological learning approach. Following that, residential PV systems and large-scale PV plants in four countries were modeled in the context of current policies. Finally, based on the results of the technological learning analysis and techno-economic analysis, the economic performance of PV energy in the four countries were compared. Detailed policy implication was provided in the context of PV energy development in four countries.

In chapter 1, background and purpose of the research were elaborated.

In chapter 2, the key policies that impacted PV development in the four countries at different periods were identified.

In chapter 3, the data sources, methodological research, and the mathematic models of this paper were presented.

In chapter 4, the performance of different PV policies in four countries using a technological learning model were analyzed. The results show that different PV policies in all four countries have effectively influenced the reduction of PV costs.

In chapter 5, models of residential PV systems and large-scale PV plants were developed for implementation in different policy scenarios in four countries. The techno-economic performance of residential PV systems and large-scale PV plants in the four countries was evaluated using the different software.

In chapter 6, the analysis results of technological learning and techno-economic of PV energy in four countries were compared. After analyzing the impact of energy policies on PV energy development, the policy implication for PV energy in four countries was proposed.

In chapter 7, the conclusions of each chapter were summarized.

論文審査の結果の要旨

本研究は、中国、ドイツ、日本及び米国の4カ国を対象に、太陽光発電の促進政策と技術革新及び市場発展との関係を示している。各国の太陽光発電政策の効果を比較し、効果的な太陽光発電政策の在り方について考察するものである。

第一章では、論文の背景、従来研究及び研究の目的について説明した。

第二章では、中国、ドイツ、日本及び米国における再生可能エネルギー促進政策が太陽光発電の開発に与える影響について述べた。

第三章では、政策効果分析モデルと太陽光発電システムの解析モデルを構築した。

第四章では、太陽光システムの学習曲線に基づいた技術学習のモデルを構築し、異なる政策が太陽光モジュールの生産コスト削減に与える影響を分析した。

第五章では、異なる気候、地理、政策条件の下で、住宅用太陽光発電システムと大規模な系統連系型太陽光発電プラントをシミュレーションした。4カ国の代表的な都市における住宅用太陽光発電システムと大規模太陽光発電プラントの技術・経済分析を実施した。

第六章では、4カ国の太陽光エネルギーに関する技術学習の結果と技術・経済分析の結果を比較検討した。太陽光発電技術開発を推進するためのエネルギー政策のパフォーマンスを国別に比較した。4カ国の今後の太陽光発電開発戦略の概要、太陽光発電開発への政策的影響、デマンドプル型およびサプライサイド型の推進政策を提言した。

第七章では、各章で得られた知識と見解をまとめた。

以上のとおり、本研究は太陽光発電政策の効果に焦点を当て、中国、ドイツ、日本、及び米国の太陽光発電政策を分析評価した。一連の研究成果は、当該分野に新しい知見を与えるものであり、効果的な太陽光発電政策の立案及び太陽光エネルギーの開発の促進に寄与する。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ホウ セツ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第172号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	Study on the Sustainability Performance of Urbanization and its Environment among Megalopolises in China (中国における都市化とその環境の持続可能性に関する研究)
論文審査委員	主 査 高 偉俊 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 龍 有二 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 陶山 裕樹 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学）) 審査委員 藍川 昌秀 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学） 博士（農学）)

論文内容の要旨

This study aims to explore the sustainability performance of urbanization and its environment in the scope of megalopolises in China, based on the proposed assessment system of urban sustainability. That defined as the ratio of the two dimensions: quality of the built environment and environmental pressure. The data of all indicators are in the period from 2010 to 2018, which was collected from the public authoritative China Statistical Yearbook. The empirical results of four Chinese major megalopolises (Yangtze River Delta, Pearl River Delta, Shandong Peninsula and JingJinJi) show that the urban sustainability model is applicable to conveniently combine statistical and GIS methods to help multiple parties reach a common consensus for guiding sustainable urbanization process.

In Chapter one, the background and significance of the study are elaborated. The purpose of and research structure is put forward after reviewing previous studies.

In Chapter two, the urban sustainability assessment system is established benefits from the public consensus on the SDGs, the critical literature review, our previously published studies. Other used spatio-temporal methodologies based on statistics and geoinformatics are also introduced.

In Chapter three, the statistical data of relevant indicators across China (except for individual autonomous regions) are analyzed and the basic status of the four studied megalopolises is understood.

In Chapter four to seven, the sustainability evaluation results of each megalopolis are analyzed in each chapter separately. The detailed research flow includes: (1) the general introduction of each megalopolis, (2) evaluation results of each city in the corresponding region and their coupling interaction mechanism, (3) spatio-temporal variation patterns of results and their evolution track characteristics, and (4) the countermeasures for cities in the corresponding megalopolis.

In Chapter eight, the performance comparison of the four studied megalopolises in China is analyzed. Moreover, corresponding characteristics and implications are discussed according to the classification of geographic location, urban population, and the sustainability performance.

In Chapter nine, the conclusions of each chapter are summarized.

論文審査の結果の要旨

本研究は、SDGsに基づき、新しい都市環境の持続可能性を評価する手法を提案し、それを中国の四大都市群に適用し、都市化の特徴とその環境指標に関する研究をしたもので、数理統計モデルと地理情報学の空間分析方法を用いて、都市環境の品質とその環境圧力（負荷）の性能と相互関係、および都市計画施策を分析するものである。

第1章では、論文における研究背景、目的と意義を述べ、従来研究について総括した。

第2章では、新しい都市環境の持続可能性を評価する手法を提案し、数理統計モデル、地理情報学、空間計量モデルなど、研究に用いた方法を述べた。

第3章では、中国の都市化の進展と問題点をビジュアル化して分析し、中国全土各省の必要な指標の基礎的データを収集し調査した。

第4章から第7章では、中国において経済が発達し、都市人口規模の大きい四大都市群（長江デルタ「第4章」・珠江デルタ「第5章」・山東半島「第6章」・京津冀「第7章」）の持続可能性の評価を行い、(1)各都市群の発展状況、(2)各都市群の都市環境の品質とその環境圧力の相互関係、(3)各都市群の時空間特徴、及び(4)将来に向けた都市計画の施策、を明らかにした。

第8章では、四大都市群間の評価結果を比較分析し、その特徴を探った。さらに、地理的位置、都市人口規模及び持続可能性評価の結果に基づいて、都市化の各指標の影響を明確にした。

第9章では、各章で得られた知識と見解をまとめた。

以上のとおり、本研究は都市の持続可能性を評価するツールを開発し、総合的な分析により都市群の特徴と施策を分析したもので、一連の研究成果はこの分野に新たな知見をもたらし、中国の都市化とその環境性を把握し、SDGs達成に向けた都市発展に寄与する。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ヨウ シン（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第173号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Empirical Study on Energy Saving and Thermal Environment Improvement of Existing Residential Buildings After Interior Insulation Retrofit in Chengdu, China</p> <p>（中国成都の躯体断熱改修による既存住宅の省エネルギー効果と熱環境の改善に関する実証的研究）</p>
論文審査委員	<p>主 査 福田 展淳 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 高 偉俊 （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p> <p>審査委員 白石 靖幸 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 森田 洋 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（農学））</p>

論文内容の要旨

The indoor thermal environment in the Hot Summer Cold Winter (HSCW) region is the worst among the five climate zones in China. Increased demand for indoor thermal environments has led to a rapid growth in air conditioning energy consumption, placing significant pressure on the region's energy efficiency. Residences in the region are mainly externally insulated and do not perform well in the local pattern of intermittent use of air conditioning in individual rooms. This study proposes that interior insulation is more suitable for such a pattern of air conditioning use. A high-rise residential unit in Chengdu, a typical city in the HSCW region, was selected for the interior insulation retrofit of bedrooms. Comparative experiments were performed during the cooling and heating seasons to quantify the improvement in air conditioning energy consumption and indoor thermal environment of the retrofitted residence.

Chapter 1, Research Background and Purpose of The Study. International, domestic, and regional background research were conducted to clarify the research background. After that, the definition of interior insulation, the purpose and framework of this study, and its innovation were presented.

Chapter 2, Literature Review. Firstly, the climate and energy use characteristics of the HSCW region (including Chengdu), the physical and indoor environment characteristics of existing residential buildings, and the air-conditioning usage patterns were summarised and presented. Secondly, the building energy codes for residential buildings in this region were collated and shown. Finally, common measures to improve the insulation performance of the existing building envelope were summarised and analysed. The above literature review showed that interior insulation is a more appropriate approach under the climatic and air-conditioning usage patterns of the HSCW region.

Chapter 3, Research Method. This chapter includes the framework of the research methodology, the description of the selected case building, the renovation process and the construction of the building envelope, and the description of the experimental conditions.

Chapter 4, Improvements After Interior Insulation Retrofit Under Intermittent Cooling Condition. Under three typical local intermittent cooling modes, actual measurements were conducted in experimental and comparison residences in summer 2019. The main findings of the comparison experiment are as follows. The retrofitted south bedroom showed a good energy-saving effect. The average daily energy-saving rate was 42.09% and the highest daily energy-saving rate was 48.91%. During the

cooling time, compared to the original south bedroom, in the retrofitted one: the indoor temperature was more stable, and closer to the set point (26 °C). Horizontally, the temperature difference between the indoor temperature and the inner surface of the external wall was quite small. Vertically, the indoor temperature was more concentrated after retrofit. Besides, indoor relative humidity was higher and much more stable after the retrofit.

Chapter 5, Improvements After Interior Insulation Retrofit Under Intermittent Heating Condition. Under three typical local intermittent heating models were measured in the winter of 2020 in experimental and comparison homes, with 10 of the coldest days selected for the comparison experiment. The main findings of the intermittent heating comparison experiment are as follows. The retrofitted room showed a good energy-saving effect. The total heating energy saving rate was 45.10%. The average daily energy saving ratio was 41.58%, the maximum energy savings of 55.53%. During the heating time, compared to the original bedroom, the temperature was well controlled at 1.1 m and 2.7 m. But the temperature in the retrofitted bedroom showed a greater range of fluctuations. The statistical analysis shows that when the heating temperature is 24 °C, the overall average indoor temperature was 0.7 °C higher. Besides, indoor relative humidity was lower and fluctuated more after the retrofit.

Chapter 6, Impact of Orientation and Set Temperature on Energy Consumption and Indoor Thermal Environment. In the first part, intermittent cooling experiments in 2019 were carried out in both the north and south bedrooms and the results of the comparison experiments were shown below. The retrofitted south bedroom outperformed the north bedroom in terms of both energy saving rate and indoor thermal environment, with the average daily energy saving rate for the retrofitted north-facing bedroom being 28% compared to 41% for the south-facing bedroom. In terms of temperature difference between the inner surface of the external walls and the indoor temperature, the vertical indoor temperature difference, and the range of temperature fluctuations, the south bedroom was significantly smaller than the north one. In the second part, in the intermittent heating experiment of 2020, three days with the same operating mode were selected to compare the impact of set point temperature on the retrofit effect. The results showed that a 2 °C difference in set temperature had a less noticeable effect on energy consumption and indoor temperature.

Chapter 7, Conclusion. The results in every chapter were summarized and discussed, and future work was proposed.

論文審査の結果の要旨

本論文は、中国の気候区分の暑夏寒冬地域の成都を対象に、この地域での空調使用特性に適した断熱方法として、外壁だけでなく、床、天井、内壁に断熱材を付加することで、躯体の熱容量の影響を低減し、既存の住宅の断熱性能と省エネルギー性能の両方を最適化することを提案している。実際に既存の集合住宅の居室を改修し、未改修の居室との比較を空調エネルギー消費量と室内熱環境の観点から行いその効果を実証的に検証している。第1章では、研究の背景と目的を述べている。将来人口と経済成長の地域差などの世界的な状況を分析し、将来、世界のエネルギー消費の中で、経済成長が急速に進む中国の消費が最大となり、省エネルギーの推進が危急の課題であること、特に都市部の既存建物の外皮熱性能の大幅な改善が必要であることを示している。第2章では、文献調査から、まず、暑夏寒冬地域の住宅特性とエネルギー使用特性を分析し、外断熱が一般的であるが、実態として断熱を軽視する傾向にあり、室内の熱環境が悪いこと、近年エネルギー使用量が急激に増加していること、この地域の居住者の空調使用習慣は、個別間歇空調が一般的であることを述べている。第3章では、既存高層住宅の新たな断熱法として室内側の躯体を断熱する改修方法を示し、改修プロセス、既存建物の壁構成と断熱性能、測定期間、測定機器のレイアウトなどの調査方法を示している。第4章では、夏季の調査結果を示し、平均の1日の冷房エネルギー削減率が42.09%、最大で48.91%であったこと、改装後は、改修前と比較し室内の温度が安定し、居住域での室内気温が、空調設定温度に近づくこと、水平方向では、室内温度と外壁の内面との温度差が非常に下がり、垂直方向では、上下温度差がなくなることを明らかにした。また、室内の相対湿度はより高く、温度と同様安定することを示した。第5章では、冬季の調査結果を示し、暖房エネルギー削減率は平均45.58%、最大で55.53%、暖房時間中は、居住域も上部も温度は安定するが、暖房時間外を含めると改修後は温度変動が大きいこと、暖房設定温度が24°Cの場合、改修前と比べ室温が平均0.7°C高くなったが、室内の相対湿度は低まり、変動幅も広がることを明らかにした。第6章では、方位と設定温度がエネルギー消費と室内熱環境に与える影響を分析し、夏季は、1日の平均エネルギー削減率が、北向きで28%、南向きで41%となり、南向きの部屋で有効であることがわかった。また、冬季に設定温度を変えて比較した結果、設定温度2度の差は、改修後のエネルギー消費量や室内温度にほとんど影響を与えないことがわかった。第7章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、中国の暑夏寒冬地域において、既存の外断熱に躯体断熱を行なった場合の空調エネルギー消費量と室内熱環境の改善効果を実証的に検証し、その有効性を示しており、断熱改修に関する新たな知見を与えるものであり、今後の高層住宅の省エネルギー化、屋内熱環境の改善に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ゾウ セツシン（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第174号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	A Hardware-aware Neural Network with a Look-up Table Decomposition Algorithm (参照テーブル分解アルゴリズムを伴うハードウェアを意識したニューラルネットワーク)
論文審査委員	主 査 中武 繁寿 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 高島 康裕 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 杉原 真 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）) 審査委員 保木 和明 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学）)

論文内容の要旨

Neural networks are one of the most rapidly developing machine learning techniques in recent years and have been used with impressive success in a wide range of fields, especially in electronic design automation. Neural networks are not only involved in the design, optimization and implementation of logic circuits to improve efficiency, but have also been successfully implemented on various mobile hardware platforms. However, the high computational cost of neural networks, the large difference in computational accuracy with hardware, and the low structural similarity are often obstacles to be overcome in research.

This thesis presents the knowledge and research development on the cross-application of neural networks and logic circuits, and divides the main related research into three chapters, which are as follows.

(1) An experimental procedure on how to implement the logic of multiple lookup tables, a common basic unit in logic circuits, by employing neural networks in a function-fitting manner is presented. The accuracy advantages and applicability of neural networks are demonstrated by comparing them with the traditional machine learning method, polynomial regression, the tuning of neural network parameters and the comparison of results.

2) An approximate decomposition method is introduced, focusing on decomposing a larger size look-up table (LUT) into smaller individuals. A depth-first search divide-and-conquer algorithm is used to search for the best decomposition scheme and generate approximate LUTs with an acceptable error tolerance to make it easier to implement on memory cell-based logic devices.

3) A novel neural network is introduced that incorporates the structural features of recently proposed memory-based programmable logic devices. A hardware-aware structure, sparser connections and a smaller weight matrix are used and can provide near full precision performance and acceptable binary precision performance.

In summary, the cost of implementing bidirectional interaction between neural networks and logic circuits can be effectively reduced by benefiting from the logic learning capability of neural networks, the decomposition method of large-size LUTs, and the hardware-aware structure of neural networks.

論文審査の結果の要旨

本研究は、論理関数のハードウェア実装において、参照テーブルを導入し機械学習によるハードウェア化、およびテーブルの縮退アルゴリズムの提案を行っている。

第1章では、近年の深層学習等に代表される人工知能の発展について触れ、応用分野や既存研究における本研究の位置付けについて述べる。

第2章では、現在提案されている様々なニューラルネットワーク (NN) の構造を紹介する。その中で、多層 NN と二値化 NN の組み合わせが、ハードウェア軽量化を目的とする論理合成問題の近似解法を与えることの着想について述べている。

第3章では、論理関数をメモリユニットで構成される参照テーブルを用いて実装する方法を提案している。ここでは、機械学習を用いて論理シミュレーション結果の一部を機械学習し、不定の入力と出力の対を推定し、参照テーブルの値を完成させる。従来の回帰関数を用いた推定方法と比較し、機械学習ではより複雑な論理関数についても高い近似値が導出可能であることを実証している。

第4章では、Memory Reconfigurable Logic Device (MRLD) と呼ばれるハードウェアモデルに基づく論理合成手法を扱う。ここでは、ハードウェアの入出力を巨大な参照テーブルで表現し、それを入出力数が制限された参照テーブルに分解・マッピングし、ハードウェア実装する。提案方法では、必要な参照テーブル数と論理の近似度のトレードオフを制御することができ、論理関数の精度を犠牲にして、ハードウェアの軽量化を図ることができる。また、機械学習で頻出する乗算回路の論理関数を題材として、計算機シミュレーションによりその効果について実証している。

第5章では、MRLD のハードウェアモデルを NN のアーキテクチャに反映した MLUTNet を提案し、MLUTNet を用いた機械学習の精度について検証している。また、MLUTNet を二値化することで、ハードウェアの軽量化に大きな効果が期待できるが、一方で許容できない精度の劣化が見られ、今後の課題としている。

第6章では、全体を要約し今後の課題に触れている。

以上を要するに、本研究は、機械学習ハードウェアの軽量化につながる基礎的な技術を提案し、その有用性を実証している。アプローチとしては前例がなく、また本研究から示唆される NN アーキテクチャの課題も新しく、その貢献は大きいと言える。

よって本論文の著者は博士 (工学) の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	ジュ ビーフォン（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第175号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	A Comparative Study on Campus Evaluation Standards for Green Campus Construction (グリーンキャンパス建設のためのキャンパス評価基準に関する比較研究)
論文審査委員	主 査 デワンカー バート (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士) 審査委員 福田 展淳 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士(工学)) 審査委員 保木 和明 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士(工学)) 審査委員 野上 敦嗣 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)

論文内容の要旨

Sustainable campus has become a hot issue of global sustainable development. Firstly, the research of sustainable campus involves the sustainable construction of colleges and universities, namely: the construction of green and ecological building environment, the intelligent management and low-carbon operation, and the integration of sustainable concept into education to realize the sustainable development of education. Secondly, as an experimental site for continuous exploration of sustainable technologies and concepts, campus will eventually play a vanguard role in achieving the global sustainable development goals (SDGs), so as to gradually promote campus sustainable development to the whole society.

Therefore, all countries carry out sustainable campus construction according to their own situation, and have successively issued relevant evaluation standards (system) of sustainable campus. Among them, sustainable campuses in America and China have their own characteristics on a global scale, and there is a big gap between them. Sustainable campus in China takes "energy saving" as the core, while sustainable campus in America take "environment-friendly" as the core. By comparing the sustainable campus evaluation standards and development characteristics of China and America, this study carries out in-depth research on the sustainable campus of the two countries, aiming to summarize the experience of sustainable campus construction in China and America, optimize the sustainable campus construction in China, and provide reference for the development of sustainable campus in the world.

This research is divided into three parts:

The first part mainly compares the development process and related policies of sustainable campus in China and America, summarizes the characteristics of sustainable campus development in two countries, and provides the basis for the latter parts. Under the guidance of campus energy-saving policy, China's green campus mainly focuses on campus's energy-saving. In contrast, the green campus in the United States pays more attention to environmental problems.

The second part studies the evaluation standards of sustainable campus in America, China and Japan. This research makes a comparative study on the latest version of green campus evaluation standard between China and America: *Green Campus Evaluation Standard (GB/T51356-2019)* and *STARS 2.2*. It is carried out from 1) the content of evaluation standards and 2) the characteristics and current application of standards. It's concluded that: 1) The similarities and differences of the evaluation

standards of sustainable campus between China and America and their respective characteristics. 2) The hot spots and overall development trend of global sustainable campus. 3) Specific optimization strategies for Chinese standard. This research expands the scope of the study to the whole campus, discussing the campus building's energy conservation while paying attention to the campus green consciousness, green management and green planning. And based on the relevant data currently used by STARS in the global evaluation, the hot spots and shortcomings of the current global sustainable campus construction are analyzed, so as to put forward some optimization suggestions for standards. As for Japan, this research mainly studies the construction situation and evaluation system of sustainable campus in Japan. Combined with the evaluation and application of practical cases, this research discusses the differences between green campus evaluation standards and green building evaluation standards, in order to put forward suggestions on the optimization of it through the conclusion of the comparison between America and China.

Future construction in China should learn from foreign advanced development experience and achievements. On the one hand, STARS, a global advanced green campus evaluation system, should be introduced to China's green campus construction and on the other hand, the suitability for China's actual needs should also be considered. Therefore, this part mainly studies the suitability of STARS indicators for green campus in China. Taking a representative university of green campus in China as a specific case, starting from the demand side, this paper uses the fuzzy comprehensive evaluation method to evaluate the users' satisfaction of green campus construction. Comparing the result of satisfaction assessment with the result of STARS's sustainable evaluation, the STARS's indexes are divided into four regional grades by two-dimensional suitability evaluation coordinate system. The results show that STARS is generally suitable for green campus evaluation in China, but two of the evaluation categories need to modify the evaluation scores and weights; the other two categories are not suitable and need to be removed or changed.

The third part studies the sustainable campus cases of China, America and Japan, aiming to further analyze the construction measures and achievements of sustainable campus based on their own characteristics, so as to explore the specific sustainable campus construction strategies worthy of promotion.

As for China, the research focuses on the impact of "energy saving" on the sustainable development of green campus. It studies the motivation of "energy saving" to "sustainability" in the construction of green campus in China. In terms of

research methods, this study selects Zhejiang University, a typical representative of China's green campus that combined with the comparative group of four American universities, and conducts a quantitative analysis of G-value and S-value represented energy consumption and sustainability, respectively. Zhejiang University's G-value (0.019) in 2016 is one sixth of that of the comparative group in the same period, indicating that the implementation effect of the energy-saving monitoring platform is remarkable. From 2014 to 2017, the G-values are basically stable at 0.02, indicating that its future development potential is insufficient. Zhejiang University's scores in the four categories of S-value are significantly lower than those in the comparative group, showing that there are great differences in the construction achievements of the five universities. According to the score rate of 17 sub-items of S-value, the five universities have different advantages and disadvantages. Therefore, the green campus construction of China's case university is too one-sided and only stays at the level of energy conservation. The diversification of construction and the balanced development of all aspects should be paid more attention in the future. At the same time, the research also focuses on two typical Chinese universities, in order to study the current situation of green campus in China. Firstly, the two campuses are evaluated by introducing STARS, and the quantitative evaluation results of two campus are obtained as the basis for analysis and demonstration. Secondly, through the comparison of the evaluation results of two cases, the construction level of China's green campus is clearly defined, and the specific suggestions are put forward based on the optimization of China's green campus evaluation standards. The results show that the development of green campus in China is still in the preliminary stage, and the overall level of construction is weak. The construction lays particular stress on academics and education, and is seriously inadequate in infrastructure and environment-friendly facilities. Some of top Chinese universities can actively explore green technology and facilities in the light of their own research advantages.

As for America, this research takes Stanford, one of the best green campuses in the world assessed by STARS, as a case study in three steps. Firstly, it introduces the Academics, Energy supply & Demand, Water & Land, Waste, Management, Food & Living, Buildings and Transportation of its campus construction in detail; secondly, it uses STARS to make a comprehensive sustainable evaluation of Stanford; finally, it discusses the development relationship between Stanford and local community. The four characteristics of its green campus development model are summarized, namely, (1) based on its own scientific research; (2) from the aspect of environmental friendliness; (3) to achieve joint participation and (4) forming complementary

development with the community. In addition, the construction of green campus has changed from a single triangle framework composed of SDGs, STARS and universities to a compound triangle framework composed of SDGs, universities and communities on the existing basis, greatly expanding the way to realize SDGs. The purpose of this part is to focus on the way to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs).

As for Japan, based on the analysis of the sustainable construction of Japan's Kitakyushu Science and Research Park and the green building evaluation of Hibikino campus 's main building, this research combs and summarizes the characteristics of sustainable campus construction in Japan. It puts forward the sustainable development mode of "Industry & University & Research" integration. Furthermore, through the comparison with Stanford University, it analyzes the differences in the construction and development of the two universities, aiming to explore the different way compared with the Stanford to realize global SDGs from the perspective of sustainable campus, that is: to build a "science and research park" integrating universities, enterprises and research platform to achieve sustainable development.

Based on the data of sustainable investment from 214 universities in the United States, this research conducts a study on the sustainable investment willingness of colleges and universities. Firstly, according to the sustainable investment concept of ESG, the influencing factors of sustainable investment are classified. Then the important variables are selected by Cp method. Finally, Logit regression model is used to study the influencing factors and the willingness proportion of sustainable investment. The results show that most universities take sustainable industry as their investment object, and promote their own sustainable investment by making a series of policies. The maximum affordability of sustainable investment of universities is 30.3% of the total investment, and about 94% of universities ' actual proportion is lower than this willingness value. And the most important factors affecting the sustainable investment are: (1) size of the school; (2) sustainability instruction training for new employees; (3) the encouragement of employees to participate in community service; (4) whether the school establishes CIR (Committees on Investor Responsibility). It clarifies the determinants and maximum affordability of sustainable investment willingness, so as to provide the direction for promoting sustainable investment, and provide suggestions for the formulation of guiding policies.

論文審査の結果の要旨

本論文は、アメリカ、中国、日本の持続可能なキャンパス（以下、グリーンキャンパス）の評価基準と開発特性を比較することにより、三ヶ国におけるグリーンキャンパス建設のプロセスを要約し、グリーンキャンパス建設の最適化を目的としている。グリーンキャンパスの改善策の提案のための有用な方法論的枠組みについて明らかにした。

第1章では、研究の背景、目的及び論文の構成が述べられている。

第2章では、グリーンキャンパス及び国際的評価基準に関連した既往研究を調査し、分析している。中国とアメリカのグリーンキャンパスの開発プロセスと関連する政策に焦点を当て、中国とアメリカのグリーンキャンパス開発の特徴について明らかにした。

第3章では、浙江大学と浙江工業大学（中国）、スタンフォード大学（アメリカ）、北九州学術研究都市（日本）を用いて、事例調査及び分析方法について述べている。

第4章では、中国とアメリカのグリーンキャンパスの評価基準に焦点を当て、評価方法、評価基準の内容について比較している。ファジィ総合評価法を採用し、キャンパス利用者の視点から基準の適合性について検討を行い、いくつかのカテゴリーについては調整を行う必要があるがアメリカの評価基準である STARS が一般的に中国のキャンパス評価に適していることが分かった。

第5章では、主に日本のグリーンキャンパスの建設状況と評価システムについて述べている。そして日本と中国のグリーンキャンパス評価基準、環境性能評価システム（CASBEE）、とグリーンビルディング評価基準の分析に焦点を当て、評価システムの提案を行った。

第6章では、アメリカ、中国、日本のグリーンキャンパスのケーススタディについて述べている。ケーススタディより明らかになった各国の特徴について詳しく提示している。中国では、省エネ監視プラットフォームが省エネルギーに重要な役割を果たしていることが明らかになった。中国、日本及びアメリカのケーススタディの比較を通じて、6つの大学の建設と開発の違いを分析し、SDGs を実現する方法論について提示している。

第7章では、アメリカの214の大学において、グリーンキャンパス建設における資金の投資動向に関しての調査を行った。ESG（E：環境、S：社会、G：ガバナンス）の持続可能な投資の概念に従い、投資の影響要因について分類化を行った。要因の重要なファクターとして（1）大学の規模、（2）持続可能性についてのトレーニング、（3）コミュニティサービスへの参加を奨励すること、そして（4）大学が CIR（Committees on Investor Responsibility＝投資家責任に関する委員

会) を設立するかどうかの 4 項目が重要であることが分かった。

第 8 章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、アメリカ、中国、日本のグリーンキャンパスにおいて様々なデータを用いて総合評価及び分析を通じて、キャンパス総合評価モデルを提案し、今後の大学キャンパス計画の分野に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	トモダ ケント 塘田 研仁（熊本県）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第176号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>土壌熱交換システムの長期性能予測手法の開発及び同手法を用いたシステム性能の最適化</p> <p>(Development of Long-Term Performance Prediction Method for Earth-to-Air Heat Exchanger and Optimization of System Performance)</p>
論文審査委員	<p>主 査 白石 靖幸 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）)</p> <p>審査委員 龍 有二 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 陶山 裕樹 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学）)</p> <p>審査委員 杉原 真 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学）)</p>

論文内容の要旨

本論文では、再生可能エネルギーを利用して外気負荷の削減を図る土壤熱交換システムを対象に、**Computational Fluid Dynamics (CFD)** をベースとした同システムの長期性能予測手法の開発、並びに同手法を用い、システム設計変数の最適化及び強化学習による動的な制御則の構築を行う。

土壤熱交換システム、特に建物の地下ピットを利用するシステムの場合、形状が複雑であるなどの理由から三次元かつ非定常の **CFD** による熱伝達性状等の詳細な再現が望ましい。しかし、**CFD** の計算負荷等の兼ね合いもあり、予測精度と計算コストを両立させた解析手法の確立が十分になされていない。更に、竣工後、微生物の増殖などに伴う空気質汚染といった問題が生じる場合がある。また、性能に対する各設計変数の寄与の程度が明らかにされておらず、設計・運用時の指針などは確立されていない上に、システム自体の熱容量の特性上、制御結果の応答スケールが極めて長大であり、将来的な影響を加味した上でのリアルタイムの最適制御が困難である。本論文ではこれらの課題を解決すべく、開発及び検証等を実施する。

第 1 章では研究の背景及び目的を示す。第 2 章では研究対象である土壤熱交換システムを扱った既往研究レビューを行う。第 3 章では、本論文での開発等に関連する **CFD**、最適化、強化学習についての理論的な背景の解説を行う。第 4 章では、土壤熱交換システムの長期性能予測手法の開発・検証を目的として、現実的な解析時間で予冷・予熱効果の熱的な性能予測を行うことのできる計算手法の提案を行い、実在オフィスの地下ピットを対象に年間性能予測を実施すると共に、従来の手法との比較により提案手法の有効性を検証する。更に、同性能予測手法を用いた結露評価手法の提案を行い、真菌の増殖予測モデルと連成させることで、空気質汚染リスクと予冷・予熱効果の両面から外気導入手法の検討を行う。第 5 章では逐次近似最適化によるシステム設計の最適化を主な目的としており、土壤熱交換システムの設計段階で、設計者側の要求性能に応じて設計変数を検討できる応答曲面や解の候補の提示による設計資料等の整備を行う。第 6 章では、強化学習を用いた土壤熱交換システムの最適制御則の構築を目的として、同システムの運用最適化問題を解くために長期性能予測手法を強化学習の環境として、強化学習による運用制御の有効性を検証する。強化学習の報酬の設計に際しては、反事実の行動の結果を報酬計算に組み込む **Factual and Counterfactual Reward Estimation** を提案する。第 7 章では論文の総括を行い、それぞれの開発・提案した技術の今後の課題や展望を述べる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、建物の地下ピット空間を構成する躯体や隣接する土壌の熱容量を利用して外気負荷の削減を図る土壌熱交換システムを対象に、非定常 CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析をベースとした高精度な長期性能予測手法を構築し、同手法を用いた対象システムの最適な設計手法並びに運用手法の提案を行うものである。

第 1 章では、研究背景と目的、必要性、新規性について示している。

第 2 章では、国内外の既往研究を整理した上で、本研究の特徴を明らかにしている。

第 3 章では、本研究にて主に取り扱う CFD 解析、最適化手法、強化学習の概要について示している。

第 4 章では、CFD 解析において流れ場とスカラー場（温度場、湿度場）の解析を分離することにより、対象システムの諸性能（外気の予冷・予熱量、ピット内の結露性状）の長期予測手法を提案すると共に、実在建物の実測結果との比較を通じて、提案手法が実用上十分な予測精度を有することを明らかにしている。更に、提案手法と真菌増殖予測モデルとの連成解析により、空気質汚染リスクの評価も行っている。

第 5 章では、第 4 章にて提案・検証を行った長期性能予測手法によりサンプリングを行い、逐次近似最適化手法を用いて、対象システムの最適設計を可能とする手法を提案している。設計変数として、ピット内の面風速及びシステム直上の床面からの熱抵抗値（断熱材厚さ）を採用した場合の一連の解析結果を用いて、対象システムの最適設計の手順を具体的に示すと共に、設計資料の整備も行っている。

第 6 章では、第 4 章にて提案・検証を行った長期性能予測手法を環境とした強化学習により、対象システムの省エネ性能と結露抑制を両立する制御則の構築を試みると共に、強化学習の報酬の設計にあたっては、反事実の行動の予測・評価を加味することで、学習の収束性が大幅に改善されることを明らかにしている。

第 7 章では、各章で得られた知見及び今後の課題をまとめ、総括している。

以上、本論文は土壌熱交換システムの最適設計・運用手法を確立することにより、当該分野における新しい知見を与えるものである。一連の研究成果により、土壌熱交換システムの導入促進や運用改善が期待でき、今後の建築環境・設備工学分野の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	グエン ヴィエト ホアン（ベトナム）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第177号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Mathematical model-based dynamic influent characterization to design biological wastewater treatment plants （生物学的排水処理施設の設計に資する汚水組成の動的把握に関する数学モデルの研究）</p>
論文審査委員	<p>主 査 安井 英斉 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 加藤 尊秋 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 寺嶋 光春 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（学術））</p> <p>審査委員 長 弘基 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学））</p>

論文内容の要旨

Chapter 1: Viet Nam as an emerging economy could grow at 5% or more per annum until 2030 resulting in an improvement of living standards gradually. This leads to an increase of the demand for water and wastewater treatment as a consequence. To date, there are numerous significant achievements obtained from the unceasing efforts of water sector development in Vietnam. The portion of access to toilets is 94% with approximately 90 percent of urban households have septic tanks receiving domestic wastewater. Although 60 percent of households dispose of wastewater to a public system, much of this is directed informally to the drainage system and only 17 percent is treated adequately in some 43 wastewater treatment plants (WWTPs) in urban areas. The combined sewerage system (CSS) is the main method for sewage collection in Vietnam. Septic tank is obligated to be installed prior to public sewerage systems for each household in Vietnam, known as the most popular pre-treatment method can remove approximately 30 - 40 percent of the BOD. These leads to a consequence that very low organic content (BOD) is typically found in the influent of the urban WWTPs in Vietnam. Also, there was a clear distinction in wastewater characteristics between combined sewerage (CSS) and separate sewerage systems.

Chapter 2: In design of wastewater treatment facilities, the typical standards are normally recommended from the guidelines/handbook to estimate the average flow and pollutant load of influent wastewater. However, these recommended standards are slightly different between the guidelines due to the variation of wastewater characteristic from location to location. In case of Vietnam, the applying these recommended standards is infeasible due to the fact that domestic wastewater in Vietnamese urban areas is not comparable to those in the guidance and also varied over region to region. These backgrounds lead to challenges for projection and design of new WWTP in Vietnam. In this regards, either a proper instruction of estimation or an innovative and simple method to measure influent concentrations when inflow data is not available or limited is highly desired.

Chapter 3: In normal, to characterize the concentration of wastewater composition, conventional method of water sampling and analysis is offered. However, the composition of municipal wastewater varies significantly from location to location. Also, the characteristic of wastewater generated from a

residence fluctuates with time on a given location. These fact lead to a consequence that a considerable number of water samples must be surely collected and immediately analyzed in laboratory due to the rapid decomposition of organics. Thus the conventional method becomes impossible to meet the demand of long time monitoring wastewater characteristic (e.g. monthly variation or annual variation). To cope with this, back-calculation method using IWA Activated Sludge Model integrated field experiment using lab-scale activated sludge reactors can meet and address the above-mentioned purpose. To demonstrate the approach, the weekly concentration of influent biodegradable organic and nitrogen were back-calculated, on the basis of Activated Sludge Model No. 1 (ASM1), from the field experiment results of activated sludge constituents. The back-calculation manner was operated by an optimization tool (Dynamic Parameter Estimation - DPE). Additionally, the proper selection of the variables from that the influent biodegradable nitrogen was back-calculated was also comparatively discussed.

Chapter 4: The estimating hourly concentration of influent biodegradable compositions was derived from the technique used in the estimating weekly concentration of influent biodegradable materials. From the field experiment, the hourly concentration of influent biodegradable organic and nitrogen were back-calculated from the dynamic response of DO concentration in the activated sludge reactors and nitrate concentration in the effluents. The feasibility of the developed method was demonstrated by the outcome that the hourly estimated concentrations of influent materials were comparable to those measured in the 1-day intensive sampling.

Chapter 5: The extended application of the new approach in wastewater characterization was also described by developing a novel method to determine the blower capacity of wastewater treatment plants for dry and wet weather conditions. Using EVD and the median-rank estimator, the blower power versus the probability of oxygenation shortage was simulated on the virtual wastewater treatment plant in the computer. Based on the ASM1, the required blower power per influent flow rate to meet the daily maximum influent oxygen demand was predicted.

Chapter 6: The sensitivity of the optimization tool used in the developed approach thoroughly examined. The comparative analysis of several factors that might influence the operation of optimizer, through which effects on the quality of estimating influent concentrations, was conducted. The obtained

results highlighted the significant dependence of the estimating hourly concentration of influent biodegradable constituents on the data density, the objective function and the time step required to setup when running the optimizer.

Chapter 7: the key findings throughout the research are summarized. Simultaneously, the recommendations for further studies were also deliberated.

論文審査の結果の要旨

本研究は、下水処理システムの高精度設計を念頭に、システムの入力値となる都市汚水の組成を理論的に算出する手法を開発するものである。

第1章では、下水処理システムの導入が急ピッチで進んでいるベトナムを例として都市汚水の組成が地域や集水システムで著しく異なることを文献調査で示した。

第2章では、欧米や日本の下水処理システムの設計で多用される都市汚水の代表値とベトナム等の組成が乖離しており、ベトナムで下水処理システムを合理的に建設するためには多大な労力を要する汚水分析が必要になる課題を示した。

第3章では、現場に設置したバイオリアクタの応答を逆算することでバイオリアクタの入力値である汚水の組成を推定する基本的な考え方とその実験手法をまとめた。

第4章では、ベトナム国ハイフォン市とホイアン市の都市汚水を材料とし、当該汚水の「週平均」代表値を求めるための実験結果を述べた。これによって、従属栄養細菌と硝化細菌の増殖・死滅に関する動力学パラメータの分析精度が代表値の算出精度に直結することを示した。

第5章では、算出手法を更に高度化するために汚水の「時間平均」代表値を得る手法を検討した結果を述べた。これによって、分析誤差の大きい硝化細菌の動力学パラメータを把握する代わりにバイオリアクタの硝酸態窒素と溶存酸素濃度を計算のパラメータに含めることで時間平均濃度も精度良く算出できることを明らかにした。

第6章では、前章で開発した手法で得た「日最大」「日平均」の汚水濃度を統計的に解析した。これによって、上記の2地域と日本の1地域における汚水組成の変動パターンを明らかにするとともに、下水処理システムで最も電力を消費するブローアの容量を算出する新たな手順を開発した。

第7章では、開発の算出手法において計算誤差となりうるバイオリアクタ測定データ数や演算用パラメータの感度分析をおこない、手法の最適化を進めた。

第8章では、研究成果の実務への応用面や更なる精度向上の課題を概括した。

本学位論文で述べた「汚水をサンプリングすることなく組成を把握する方法」は、査読付国際学術誌(2報)に掲載された。また、これらの実験的検討もそれぞれ本人が国際学会(4件)で発表した。これらは十分な学術成果と判断される。

よって本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	チョウ ホウエン（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第178号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Study on Indoor Environment and Indoor Humidity Distribution using Computational Fluid Dynamics (数値流体力学を用いた室内環境と室内湿度分布に関する研究)</p>
論文審査委員	<p>主 査 龍 有 二 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 高 偉 俊 (北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士)</p> <p>審査委員 保木 和明 (北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士 (工学))</p> <p>審査委員 上原 聡 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (情報工学))</p>

論文内容の要旨

According to statistics, people will spend 80% of their lives indoors. With the development of air conditioning technology, research into the indoor air environment has shifted from comfort to healthy air conditioning. Effective ventilation and reasonable airflow organization are important for improving indoor air quality. Humidity is an important parameter for evaluating indoor air quality, not only affecting the thermal comfort of humans, but also seriously limiting the performance of buildings.

The main methods used to study the indoor environment from a ventilation and air conditioning perspective are model experiments and computational fluid dynamics methods. CFD is increasingly favored for its unique advantages of low cost, speed, complete information and the ability to simulate a variety of different operating conditions. Airpak is a CFD system analysis software that simulates the temperature, humidity, velocity, air mean age, pollutant concentration, PMV and PPD fields of a room under different airflow organization of the air conditioning system to make a comprehensive evaluation of the airflow organization, thermal comfort and indoor air quality (IAQ).

This paper uses CFD technology and the Airpak software to numerically simulate the indoor microclimate environment. On the basis of the simulation results, the thermal comfort indexes of the human body are compared and evaluated.

In order to test the feasibility of CFD method, the simulation result was analyzed and checked by experiment data, and the results are validated by actual experiment. It is hoped that the research results can control the decision-making of indoor temperature and humidity distribution.

After induction, in chapter 2 this paper analyses the factors affecting indoor humidity distribution from a mathematical theoretical point of view, describes the principles and methods of calculation based on the CFD method and on this basis, determines the feasibility of the technique for indoor air temperature and humidity simulation. CFD simulations of indoor temperature and humidity in the laboratory were carried out and field measurements were taken. The simulation results were compared with the experimental measurements. The results show that the CFD simulation results are in good agreement with the actual test results. The calculation of

indoor air ambient temperature and humidity is feasible and accurate.

In Chapter 3, a simple physical model was developed to study the influence of different ventilation methods on the humidity distribution and condensation formation conditions in the room. The simulation results show that the ventilation method has a significant influence on the condensation time, the amount of condensation and the distribution pattern of condensation on the indoor wall surfaces. The best way to control indoor air humidity is to use the bottom-in, top-out method with supply and return air outlets on both sides of the room, which can significantly reduce the occurrence of condensation. The analysis of the indoor air mean age also demonstrates the higher indoor air quality with the bottom air supply method.

Based on the simulation results in Chapter 4, a small bachelor flat was used to study the effect of the placement and height of the humidifier and the arrangement of the room supply and return air outlets on the indoor humidity distribution in winter. And it was obtained that by placing the humidifier at a height of 0.5 m, the average humidity in the room was higher than if it was placed on the floor. Placing the humidifier at the entrance of the room did not significantly improve the overall humidity in the room. It is also important to avoid placing humidifiers near windows to avoid condensation.

Currently, the common central air conditioning systems used in offices are all-air primary return air system and VRV multi-connector plus fresh air air-conditioning system. In chapter 5 ,Airpak-based VRV plus fresh air air-conditioning system model and primary return all air air-conditioning system model were established to simulate the temperature field and velocity field distribution of indoor airflow under the two working conditions in winter, and PMV-PPD and air age indexes were used to evaluate the thermal comfort of indoor personnel and air quality. The results show that the air velocity in the working area of the two solutions can meet the requirements of comfort air-conditioning, personnel do not have obvious blowing sensation, primary return air air-conditioning system compared with VRV plus fresh air air-conditioning system: airflow disturbance is smaller, temperature fluctuation in the breathing area of personnel is smaller, fresh air can be delivered in time, and indoor air quality is better.

論文審査の結果の要旨

室内の湿度は、人体の温熱環境や健康に大きな影響を及ぼすが、その評価には一般に室内代表湿度が用いられる。一方、室内に発湿がある場合の湿度分布と結露の問題や、換気・空調時の湿度性状を扱う場合、空間内の湿度分布を考慮したより詳細な検討が求められている。

本研究は、数値流体力学（CFD）に基づくシミュレーションにより、加湿、換気、空調方式等の条件が異なるケースについて、室内湿度分布、温度分布、気流分布を求め、室内の湿度性状や居住者の温熱環境を定量的かつ詳細に解析するものである。

第1章では、研究の背景、目的及び論文の構成を述べ、第2章では、本研究で使用した熱・空気・水蒸気の移動に関する数式モデルと基本的境界条件について記述するとともに、加湿器を設置した空間の湿度分布実測値とシミュレーション結果の比較によりプログラムの精度検証を行った。第3章では、加湿器を室中央に設置した単室を対象に、空調の給気及び還気的位置が、湿度、温度、気流の分布、さらには、結露発生状況に与える影響を定量的に明らかにした。第4章では、共同住宅の小住戸を対象に、湿度分布及び結露の発生状況を評価指標として、望ましい加湿器の位置と換気経路の関係を示した。第5章では、一般事務室を対象に、高効率空調として普及しつつある可変冷媒量（RVR）空調と標準的な全空気空調の比較により、RVR空調では空気質や熱的快適性が相対的に低下する地点が生じ、新鮮空気給気口的位置決定の重要性を確認した。第6章は、成果のまとめと今後の課題を総括した。

以上、本論文は、建築における室内の温熱環境、特に湿度分布に焦点を当て、結露や快適感も指標に加え、加湿、換気、空調の手法について評価を行ったものである。一連の研究成果は当該領域に新しい知見を与えるものであり、今後の建築熱環境工学及び空調技術の分野の進展に寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

フリガナ 氏名（本籍）	シュ チンハオ（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位番号	甲第179号
学位授与年月日	2021年9月24日
学位授与の要件	学位規則 第4条 第1項 該当
学位論文題目	<p>Experimental Study on Responses of Physiological and Thermal Sensation during Exercise in Indoor Thermal Environment</p> <p>（運動時の室内熱環境における生理学的および温冷感の応答に関する実験的研究）</p>
論文審査委員	<p>主 査 デワンカー バート （北九州市立大学国際環境工学部教授 工学博士）</p> <p>審査委員 福田 展淳 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 保木 和明 （北九州市立大学国際環境工学部准教授 博士（工学））</p> <p>審査委員 孫 連明 （北九州市立大学国際環境工学部教授 博士（工学））</p>

論文内容の要旨

With the development of technology, indoor temperature regulators such as air conditioners and electric heaters have become essential appliances in homes and provide year-round temperature adjustment to a comfortable range. However, the thermal sensation and the comfort of the human body often change significantly because of changes in environmental conditions or the different activities in the building. From the viewpoint of heat transfer, the various factors that affect human thermal comfort and thermal sensation are influenced by the heat transfer methods such as evaporation, convection, and radiation between the body and the surrounding thermal environment, affecting human thermal comfort and thermal sensation. There are two common directions in which human thermal sensation and thermal comfort are often assessed and discussed: one is to study thermal sensation by exposing the body to specific thermal environments (e.g., different temperatures, humidity, thermal radiation, and air velocities). The other is to establish an intrinsic relationship with thermal sensation from the viewpoint of human physiological parameters. This work falls into the second category.

Few studies currently involve thermal sensation and thermal comfort at moderate-high exercise intensity. Such research is necessary for places such as construction sites, gyms, and urban fitness trails. Even in recent years, there have been many cases where the thermal environment has significantly impacted athletes' sports competitions. However, previous research has mainly focused on changes in the human body's physiological parameters in exercise in a thermal environment and less on changes in thermal sensation. This study began with the idea of building comfortable thermal environments in exercise scenarios. Various physiological indicators in an exercise state are significantly different compared to the static state. In particular, the changes in the physiological parameters are more involved around the dynamic-static step. This paper focuses on three core questions. How can physiological parameters and psychological factors adjust and change after exercise state change affects exercise thermal sensation? Second, whether it is possible to use physiological parameters closely related to metabolic rate and be easily measured, and relate these parameters to thermal sensation to predict thermal sensation. Third, whether EDA and HRV indices can be used to characterize exercise thermal sensation?

This research provides a comprehensive and systematic review of the concepts, evaluation methods, and the evolution of classical models of exercise thermal sensation. Two exercise intensities were selected in a steady-state environment using a physiological indicator recorder and a thermal sensation questionnaire in a climate chamber. The experimental data were analyzed and processed using Origin 2018, IBM SPSS Statistics 25, and Gephi, including linear correlation analysis, stepwise regression analysis, etc. The specific physiological parameters and thermal comfort changes during the experiment were explained and discussed in more detail. The influence of psychological factors on the exercise thermal sensation was considered.

The methodology and significant findings point to important factors and complexities that influence exercise thermal sensation. This study's results provide an important reference for designing experimental protocols to study exercise thermal sensation. Besides, the study is highly practical as it attempts to use physiological indicators that are easily measurable and can effectively predict thermal sensation. It also provides basic research for the further development of smart bracelets and the rational design of urban fitness trails.

論文審査の結果の要旨

本論文は、定常状態の室内環境においてウェアラブルデバイスを使用した人間の温冷感及び快適さについての生理学的パラメータと室内空間の評価指標に関連した方法論的枠組みを提案することを目的とした研究である。生理学的パラメータと室内空間の評価指標の関係について明らかにした。

第1章では、研究の背景、目的及び論文の構成が述べられている。熱環境を効果的に制御する上で、運動が引き起こす温冷感について詳細な実験調査を行うことが重要であることが述べられている。

第2章では、人間の温冷感における調査に関する基礎的な知見を示し、温冷感の実験調査における歴史についても詳しく述べられている。

第3章では、温冷感における既往研究を調査し、分析している。人体が運動しているときの温冷感に対する生理学的パラメータの影響があることを提示している。温冷感に密接に関連する3つの生理学的パラメータは、皮膚温、深部体温及び発汗率であることを明らかにした。

第4章では、人体の多様な状態での生理学的パラメータと熱感覚の変化に関し、ある一定の運動を行なった場合の実験を行っている。運動量と生理学的パラメータの変化、性別及びBMIの項目に着目した調査内容を詳述し、実験の結果、性別及びBMIの違いによって、温冷感の差異があることを明らかにした。

第5章では、運動に関連した温冷感を予測する際の生理学的パラメータの変化率の重要性について明らかにした。生理学的パラメータの変化率を用いて、運動による温冷感をより正確に予測でき、温冷感と生理学的パラメータの間に有意な相関があることがわかった。

第6章では、生理学的パラメータと熱的快適性に関し、実験で特別な変化を示したケースについて、より詳細な考察を行った。単に室内の環境条件だけではなく、運動強度が、運動後の感覚や快適さに支配的であること、室内環境の変化によって、運動温熱感覚も変化するため、温熱環境の範囲が異なると、運動温熱感覚の予測方法やモデルも変化することを明らかにした。

第7章では、調査の主要な問題について要約し、調査結果に関して総括及び考察を行った。本研究における調査が実用的かつ今後継続して研究が行われる内容として有用性が高いことを述べており、本研究が、人間の温冷感を予測するウェアラブルデバイスの開発の基礎的研究の一端になることを示唆している。

第8章では、各章で得られた知見をまとめ、総括としている。

以上、本論文は、室内環境において、運動時の人間の温冷感及び快適さの状況をウェアラブルデバイスを使用し、運動温熱感覚の新たな予測方法を示した。一連の研究成果は当該分野に新しい知見を与えるものであり、今後の屋内熱環境分野に大きく寄与するものである。

よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。

博士學位論文 内容の要旨および審査結果の要旨
第 31 号 (2021 年 9 月授与)

発行日 2021 年 10 月
編集・発行 北九州市立大学 学務課
〒808-0135
北九州市若松区ひびきの 1-1
TEL 093-695-3330