

2022 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 3 号

(2022 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 198 号	Nguyen Khanh Linh (グエン カイン リン)	1
博士(工学)	甲第 199 号	Prasitwuttisak Wipoo (パシットフティサク ウィプー)	5
博士(工学)	甲第 200 号	彭 媛 (ホウ エン)	9
博士(学術)	甲第 114 号	孙 萌璐 (ソン メル)	13
博士(工学)	甲第 201 号	张 佳文 (チョウ カブン)	16
博士(工学)	甲第 202 号	Islam Muhammad Minarul (イスラム ムハマド ミナルル)	20
博士(工学)	甲第 203 号	谭 杨 (タン ヨウ)	23
博士(工学)	甲第 204 号	袁 馨 (エン シン)	27
博士(工学)	甲第 205 号	王 璐 (ウ ロ)	30
博士(工学)	甲第 206 号	朱 悦玮 (シュ エツイ)	34
博士(工学)	甲第 207 号	Dadang Hartabela (ダダン ハルタベラ)	38
博士(工学)	甲第 208 号	Tran Le Na (チャン レ ナ)	44
博士(工学)	甲第 209 号	陈 伟伦 (チン イリン)	47
博士(工学)	甲第 210 号	侯 佳汶 (ホウ ジアウエン)	50
博士(工学)	甲第 211 号	杨 思敏 (ヤン スーミン)	55
博士(工学)	甲第 212 号	冷 逸 (リョウ イー)	61

学位の種類	学位番号	氏名	頁
博士(工学)	甲第 213 号	林 航葳 (リン ハンウェイ)	65
博士(工学)	甲第 214 号	Rendy Perdana Khidmat (レンディ ハルダナ キドマツト)	69
博士(学術)	甲第 115 号	陈 钰 (チン キョウ)	74
博士(工学)	甲第 215 号	卢 韵琴 (ルー インチン)	78
博士(工学)	甲第 216 号	江 功艺 (コウ コウゲイ)	82
博士(工学)	甲第 217 号	王 晓轩 (オウ ショウケン)	85
博士(工学)	甲第 218 号	何 嘉昊 (カ カコウ)	89
博士(工学)	甲第 219 号	陈 雨 (チン ウ)	94

フリガナ 氏名 (本籍)	ゲン カン リン Nguyen Khanh Linh (ベトナム)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第198号
学位授与年月日	2022年9月26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	Assessment on the sampling artifact related to HNO <sub>3</sub> in the filter pack method (フィルターパック法における HNO <sub>3</sub> に係るサンプリングアーティファクトの評価)
論文審査委員	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)) 審査委員 安井 英斉 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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 泉 政明 (北九州市立大学国際環境工学部教授 学術博士)

## 論文内容の要旨

Filter pack is a convenient and useful device in sampling atmospheric components including particulate matter and gaseous compounds. The typical and the most common assembly is a four-stage filter pack, which consists of four in-line filter papers to collect particulate matter and gaseous compounds. Particulate matter is collected by the first filter and gaseous compounds is by the subsequent filters. In other words, gaseous compounds pass through the particulate matter collected by the first filter before reaching its designated filters. This mechanism leads to the most serious disadvantage of the device, being artifact, i.e. the error during sampling operation. Nitric acid gas ( $\text{HNO}_3$ ) is an important gas in both atmospheric chemistry and the scavenging of nitrogen from the atmosphere, and its concentration needs to be determined precisely. On the other hand, there is no commercially available device to determine the  $\text{HNO}_3$  concentration in ambient air. In such a situation, filter pack is frequently applied to measure the ambient  $\text{HNO}_3$  concentration all over the world. However,  $\text{HNO}_3$  concentration determined by the filter pack is highly affected by sampling artifact. This study provides an assessment on the artifact of  $\text{HNO}_3$  in the filter pack in different approaches (using a four-stage filter pack and in the employment of multi-stage filter packs).

In the first part, a validation method for  $\text{HNO}_3$  concentration to correct the sampling artifact and the chlorine loss in ambient air was proposed. A one-year of daily samples collected by a four-stage filter pack was taken into consideration. Three parameters were introduced to evaluate the loss of ambient  $\text{HNO}_3$  step-by-step:  $Total\ \text{NO}_3 = \text{NO}_3^- + \text{HNO}_3$ , “*Initial*”  $\text{HNO}_3 = \text{HCl} - \text{nss-Cl} + \text{HNO}_3$ , and “*Primary*”  $\text{HNO}_3 = \text{“Initial”}\ \text{HNO}_3 - (\alpha/(1-\alpha))\ \text{NO}_3$ , ( $\alpha$ : the loss rate of  $\text{NO}_3$  in the dissociation of  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). “*Primary*”  $\text{HNO}_3$  concentration, representing the concentration of  $\text{HNO}_3$  before receiving the comprehensive impact from both sampling artifacts and chlorine loss reaction from the atmosphere, showed a distinguished seasonal pattern in comparison to “*Initial*”  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HNO}_3$  determined directly from the four-stage filter pack. This result indicated the seasonal characteristic of the comprehensive impact on  $\text{HNO}_3$  concentration, which showed the strongest affect in spring. My proposed approach via “*Initial*”  $\text{HNO}_3$  and “*Primary*”  $\text{HNO}_3$  can be applied to a validation on the  $\text{HNO}_3$  concentration accumulated by the common four-stage filter pack method in the past.

Secondly, the artifact on  $\text{HNO}_3$  was considered in a sampling campaign including the simultaneous employment of the original four-stage filter pack and a five-stage filter pack, which can eliminate several gas-to-particle reactions causing sampling artifacts. Sampling artifact on  $\text{HNO}_3$  concentration was detected due to the difference in  $\text{HNO}_3$  concentration between the two systems. Besides, the existence of ambient  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in the survey site was revealed and observed more frequently in summer (August) than in winter (January). Trajectory analysis was applied to identify the source of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in summer and  $\text{SO}_2$  released from a domestic volcano was responsible for the ambient  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , while in other seasons except summer,  $\text{SO}_2$  was carried to the survey site by northwestern airmasses.

Finally, the thesis was wrapped up as conclusions; (1) the development of methodology for the precise determination of  $\text{HNO}_3(\text{g})$  concentration in the filter pack and the existence of  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$  in the ambient air. In addition, the future prospects were described as a potential for further improvements in the methodology.

## 論文審査の結果の要旨

大気中硝酸ガス ( $\text{HNO}_3(\text{g})$ ) は、主には大気中で二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) が酸化されることにより生成する。 $\text{HNO}_3(\text{g})$ はその反応性や水溶性から、大気中化学反応や大気からの窒素酸化物の除去過程において重要な役割を果たす。一方、その大気中濃度は、汎用の測定機が開発されていないことから精確な定量が困難である。世界の観測網ではフィルターパック法 (FP 法) が大気中  $\text{HNO}_3(\text{g})$ 濃度定量に広く用いられている。FP 法は比較的安価で、操作の簡便性から有用な手法であるが、試料採取時にアーティファクトと呼ばれる、ガス・粒子間反応や粒子の再飛散の影響を受け、FP 法による定量結果には試料採取時の避けがたい誤差を含む。

本研究では、4段 FP 法で定量された  $\text{HNO}_3(\text{g})$ 濃度の補正方法を検討し、さらには4段 FP 法と5段 FP 法における  $\text{HNO}_3(\text{g})$ のアーティファクト量の違いから大気中粒子状  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$ ) 濃度の算出を試みた。

論文においては、大気中  $\text{HNO}_3(\text{g})$ 濃度定量の意義と FP 法の長所・短所、精確な定量の困難さを述べるとともに、本研究の目的を記載した (第1章)。

北九州市立大学屋上で4段 FP 法により、1年間、24時間試料採取 (daily サンプリング) を行ない化学分析した結果から、新たなパラメータを導入し、大気中  $\text{HNO}_3(\text{g})$ のアーティファクトの影響を取り除いた精確な濃度値を提示し、従来の定量値からのずれの要因とその季節変動について明らかとした (第2章)。

さらに、4段及び5段 FP 法の並行試料採取と化学分析の結果及び両手法における  $\text{HNO}_3(\text{g})$ のアーティファクト量の違いから、これまで大気中では存在量が少ないとされてきた  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$ 濃度の算出・評価を試みた。その結果、北九州市立大学屋上では特に夏季に大気中での中和反応を受ける前の  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$ が存在していることやその季節変化を示すことに成功した (第3章)。

FP 法における大気中  $\text{HNO}_3(\text{g})$ 濃度定量におけるアーティファクトの補正方法の開発及び大気中  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$ の存在と実測についてまとめるとともに、それらの大気科学研究における意義・重要性と今後の研究の課題と発展性を記載した (第4章)。

以上のことから、本論文は大気科学の分野において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)	ハシットフティサク ウィプー Prasitwuttisak Wipoo (タイ)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第199号
学位授与年月日	2022年9月26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	Diversity of methanogenic archaea in the natural subsurface sediments revealed by culture-independent genomic approaches (堆積物に生息するメタン生成古細菌のメタゲノム解析に関する研究)
論文審査委員	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)) 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)) 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 清田 高德 (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

Methane metabolism involves diverse groups of bacteria and archaea, which are responsible for the biological decomposition of organic matter under certain anoxic conditions. Recent advances in environmental omics revealed the phylogenetic diversity of novel microbial lineages, which have not been previously placed in the traditional tree of life. This study aimed to verify the key players in methane production, either well-known archaeal members or recently identified lineages, in brackish water sediments of the Onga River, northern Kyushu, and in peat soils collected from the Bogatsuru wetland. Based on an analysis of the microbial communities using 16S rRNA gene sequencing and molecular cloning of the functional gene, McrA, a marker gene for methanogenesis, members of Methanosarcinales were only detected in brackish water samples based on the 16S rRNA gene amplicon, while the taxonomic classification of the functional genes showed the existence of diverse archaeal lineages, particularly hydrogenotrophic Methanomicrobiales. Furthermore, yet-uncultivated methanogens such as Verstraetearchaeota, Methanofastidiosales were also detected, indicating the importance of hydrogen-dependent methane generation from methanol, methylated amines, and dimethyl sulfide. Estuary methane production might be conducted by more phylogenetically widespread archaea than previously thought. For peat soils, methanogenic archaea belonging to Methanomicrobiales, Methanosarcinales, Methanobacteriales, and Methanomassiliicoccales were detected in anoxic peat soils, suggesting the potential of CH<sub>4</sub> production in this natural wetland. Interestingly, the “*Candidatus Bathyarchaeia*”, archaea with vast metabolic capabilities and widespread in anoxic environments, was highly observed in subsurface peat soils (up to 96% of the archaeal community) based on microbial gene quantification by qPCR. Interestingly, we discover partial fragments of the McrA gene, belonging to the Bathyarchaeia, based on the functional gene search from an unassembled metagenome of the peat soil, as well as the closely related group that diverge from the well-known McrA-containing methanogenic archaea. Methane-metabolizing archaea that possess McrA have been thought to be restricted to only the phylum Euryarchaeota (now classified into 3 phyla, Halobacteriota, Thermoplasmata, and Methanobacteriota). Our metagenome-assembled genomes (MAGs) analysis

provides gene-based evidence of the diversity of divergent McrA-containing archaea outside of the Euryarchaeota, reported only once in 2015 from a microbial metabolism research. These findings emphasize the importance of discovering archaea members outside of the Euryarchaeota lineage that may have significant functions in the wetland biogeochemical cycle and the consequence of our interpretation on the origin and evolutionary history of the McrA and MCR complex.

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、河川土壌や泥炭地の堆積物におけるメタン生成古細菌の多様性を遺伝子分析によって解析したものである。

第1章では、地球の温室効果に及ぼすメタンの発生について、生物代謝に由来する量と化石燃料等に由来する量を文献調査で比較し、自然環境の堆積物におけるメタン生成古細菌が生成するメタンの割合が無視できないことを示した。

第2章では、様々なメタン生成古細菌の代謝経路に関する細胞生理学ならびに種の多様性に関する分類学を文献で整理し、当該微生物の多様性に関する研究の歴史的な発展経緯をまとめた。更に、古細菌のほとんどの種は単離培養ができず、それ故に複数の種が同時に存在する試料を分析対象とせざるを得ない技術上の問題点を指摘した。そして、これは種の固有遺伝子配列に着目した解析で対応可能なことを示した。

第3章では、水系で発生するメタンのおよそ3/4を占める河川（汽水域）の底泥に生息するメタン生成細菌の多様性を調査した結果を述べた。これは遠賀川汽水域に生息するメタン生成古細菌の多様性を系統樹として整理したものである。この結果、従来に知られていない複数のメタン生成古細菌が同定された。

第4章では、泥炭地が生物由来のメタン起源となっていることから、大分県坊ガツルの泥炭を試料として当該の泥炭に付着増殖しているメタン生成古細菌の種を調べた結果を述べた。この結果、一般的な水域ではわずかにしか存在しない *Bathyarchaeota* 属のメタン生成古細菌が泥炭に多く存在することが明らかになった。

第5章では、当該の泥炭で同定された *Bathyarchaeota* 属メタン生成古細菌の種を詳細に調査した結果を述べた。このメタン生成古細菌は世界で1例しか報告されていない種であることを明らかにした。

第6章では、*Bathyarchaeota* 属のメタン生成古細菌の存在が地球における生物由来のメタン発生に無視できない可能性を指摘し、上の研究成果をもとに当該微生物のを試料から同定する手法を説明した。

本学位論文で述べた「堆積物に生息するメタン生成古細菌のメタゲノム解析に関する研究」は、査読付国際学術誌(2報)に掲載された。これらはメタン生成古細菌に関する微生物生態学の学術的発展に大きく寄与する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)	村 エン 彭 媛 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第200号
学位授与年月日	2022年9月26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 controlling factors of air pollution in northern part of Kyushu, Japan - Transboundary transportation and local meteorology condition - (九州北部地域における大気汚染の支配要因に関する研究- 越境移動と地域気象 -)
論文審査委員	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)) 審査委員 大矢 仁史 (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 白石 靖幸 (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

This study investigated the effects of transboundary transport and local meteorological conditions on air quality in Kitakyushu, the northern part of Kyushu, Japan. The presence and sources of anthropogenic/non-sea-salt inorganic chloride (nss-Cl) in ambient air were studied at the survey site, a suburb of Kitakyushu. By applying the four-stage filter pack system, samples (both particulate matter and gaseous species) were collected daily (24-hour sampling) over one year (December 2016 to November 2017).

Anthropogenic/nss-Cl concentrations were generally low and were detectable for only 263 days (approximately 72% over one year). Anthropogenic/nss-Cl concentrations above  $20 \text{ nmol}\cdot\text{m}^{-3}$  were observed over 50 days, and the 72-h backward trajectory results suggest a strong correlation with transboundary transport in the west/northwest rather than with domestic/local emissions from waste incineration, coal combustion, and volcanic eruptions. The PSCF and CWT results indicate that northeastern and southern China, Mongolia, Russia, and the Sea of Japan were important potential source areas for anthropogenic nss-Cl at the survey site.

On the other hand, the atmosphere's stability is an essential parameter in controlling air pollution. This study monitored local air pollution problems by measuring atmospheric methane concentrations. Methane concentrations around urban and suburban areas were also investigated based on (1)  $\text{CH}_4$  fluxes/emissions, (2) vertical profiles of air temperature, and (3) land use. Methane fluxes/emissions from automobiles were not ignored in the heart of industrialized cities, although it was not a significant contributor globally; in addition, the contribution of landfills related to wind direction. In contrast,  $\text{CH}_4$  fluxes/emissions were a mixture of  $\text{CH}_4$  from automobiles and rice paddies in suburban areas. The atmosphere in the urban center area was stable at ca. 200 m, during daytime and even in the summer; this elevated temperature inversion layer prevented air pollutants and the air itself from vertical mixing/diffusion/transportation; meanwhile, the atmosphere in the suburbs formed the grounded temperature inversion layer at night in the summer. Interestingly, it was not formed in winter all day, likely because of the strong wind velocity due to the monsoon. Land use also influenced the  $\text{CH}_4$  concentrations; especially in suburban areas, where rice fields remained undeveloped. The  $\text{CH}_4$  concentrations increased significantly from midnight to

early morning in summer, while the atmosphere was stable.

Finally, the thesis was wrapped up as conclusions; (1) the impact of the transboundary transportation on nss-Cl component and (2) the influence from the local meteorology on the air pollution in Kitakyushu, Japan. In addition, the future prospects were also described.

## 論文審査の結果の要旨

大気汚染は日本の典型7公害の一つであり、公害の歴史を克服した日本の現状においても、重要な環境問題の一つであり続けている。大気汚染の程度は、大気汚染物質の排出量・排出強度、大気中での化学反応、大気汚染物質の移流・拡散、大気からの除去（沈着）の過程を通して決定される。

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九州北部地域（北九州市）における、大気汚染の程度に影響を及ぼす要件のうち、大気汚染物質の移流・拡散および地域規模での気象要因（特に大気の三次元的空間構造・気温逆転層）について、調査・分析・解析・研究した論文である。

論文においては、大気汚染の特徴・現状の概要を述べ、大気汚染に影響を与える要因について示すとともに、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及びガス状物質の化学分析結果を、統計解析手法を用いて解析し、これまで解析・評価事例が少ない非海塩性塩素成分が北九州市内で高濃度となる主たる要因が中国をはじめとする大陸からの越境輸送であることを明らかとした（第2章）。

北九州市内での大気汚染物質濃度の変動要因を地域規模での気象要因の観点から解析するために、大気中平均滞留時間が長い（10年程度）のメタン濃度の測定結果を解析した。皿倉山（北九州市）及び北九州市立大学ひびきのキャンパスでの高度別の気温測定結果から気象要因を解析した結果、都市中心部では地表面から約200 mの高さの、郊外地域では地表面に接地した気温逆転層がメタン濃度の日内変動及び日内変動の季節変化に強く影響していることを明らかとした（第3章）。

研究事例の少ない非海塩性塩素成分の越境汚染の実態の解明及び地域気象が大気汚染に与える影響についてまとめるとともに、それらの大気科学研究における意義・重要性と今後の研究の課題と発展性を記載した（第4章）。

以上のことから、本論文は大気科学の分野において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)	孙 萌璐 (中国)
学位の種類	博士 (学術)
学位番号	甲 第114号
学位授与年月日	2022年9月26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	Analyzing the water environment and social-economic effects for integrated water resource management (統合的な水資源管理のための水環境に対する社会的・経済的影響の分析)
論文審査委員	主 査 加藤 尊秋 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 審査委員 松本 亨 (北九州市立大学環境技術研究所教授 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)) 審査委員 小山田 英弘 (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

Because of urbanization and climate change, the water environment faces a terrible vulnerability trend. This study focused on the evaluation of the water environment in China and identified the effects of social-economic factors using recent statistical methods.

Chapter 1 stated the objectives of this study and Chapter 2 summarized the literature regarding integrated water resource management and relevant indicators. New indicators for assessing urban water vulnerability were introduced in Chapter 3 and used for analyzing the temporal change in two large cities in Shandong Province and the urban part of the provinces in China. This analysis showed that the fluctuation of the indicators across provinces was larger than in previous studies that used province-level data. In Chapter 4, the new indicators considered both development pressure and management capability, namely urban resource stress, urban development pressure, urban ecosystem health, and urban management capability. Four province-level municipalities, Beijing, Tianjin, Shanghai, and Chongqing, and their neighboring provinces were studied. Vector autoregression models were used for analyzing spatial-temporal characteristics of the urban water resource management indicators. Regression analysis was used to study the relevance of the indicators under the urban water environment and the spatial correlation of the indicators. Chapter 5 showed results from analyses of agricultural water stress, its influencing factors, and the influence of urbanization. The study areas consisted of 30 cities in four provinces in North China: Beijing, Tianjin, Hebei, and Shandong. Spatial agglomerations of urban and agricultural activities affected agricultural water stress. Chapter 6 concluded this study and provided policy implications.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、多くの地域で水資源が希少な中国に着目し、統合的な水資源管理のために必要な指標を作成し、その地域的連関等を最新の統計手法を用いて分析している。

第1章では、研究の背景と目的を示し、第2章では、統合的な水資源管理や関連指標についての既存研究を整理した。第3章では、都市の水資源の脆弱性を測る指標を作成し、山東省の二都市、また、中国各省都市部について分析した。都市単位、あるいは、各省都市部に着目したことが本研究の特徴である。後者では、近年15年間の当該指標の推移を調べ、省単位の既存研究と比べて水資源脆弱性指標の地域差が大きいことを示した。第4章では、水資源の脆弱性指標を用い、北京市、天津市、上海市、重慶市と各都市に隣接する省を対象に、都市・隣接省間での水資源脆弱性の時間的・空間的連関度合いを分析した。特に、都市化によって水需要が拡大し、水資源が不足する一方、都市化が水資源の管理能力を向上させ、水不足を緩和させる可能性を考慮した。このために、各大都市と隣接省の水資源脆弱性指標（水需要圧力、および、水資源管理能力）のパネルデータを用いてベクトル自己回帰モデルを推定し、グレンジャー因果性の観点から各大都市の特徴を分析し、上海市の水資源管理能力が十分に発揮されていない可能性を示した。第5章では、大都市周辺の農業地における技術革新が農業地や都市部の水資源脆弱性に与える影響を水資源の地域内供給率を指標として分析した。空間的な自己相関を重視し、大域的モラン係数、および、3種類の空間的自己相関モデルによる分析を行い、農業地の人口変化や農作物の種類変更が農業地の水資源脆弱性に与える影響等を明らかにした。第6章では、全体の結論をまとめ、政策提言を行っている。

以上、本論文は、水資源の脆弱性について中国都市部と周辺地域の時間的・空間的な連関関係を中心に新たな知見を示している。これは、環境システム工学において、都市とその周辺部の連携による統合的水管理体制を改善するために有用であり、高く評価される。また、この研究には、経済学、統計学、工学の知識が融合的に用いられており、本論文の著者は博士（学術）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 カブン 张 佳文 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第201号
学位授与年月日	2022年9月26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	Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost of Sewage Sludge Recycling System Considering Technology Selection and Implementation Scale (技術選択と実施規模を考慮した下水汚泥リサイクルシステムのLCAとLCC)
論文審査委員	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)) 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)) 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 井上 浩一 (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

With the acceleration of economic development and urbanization in China, wastewater generation has sharply increased. The wastewater system begins to change from “emphasizing the sewage, despising the sludge” to “emphasizing both the sewage and sludge”. With the stricter emission standard and waste management policy in China, the landfill of sludge disposal is expected to be restricted in the future. Previous studies mostly focused on the environmental and economic performances of the sewage sludge recycling system, in which sewage sludge is solid waste by a biological treatment of wastewater. The State Council of China published the first relevant industrial policy in 2015. Subsequently, relevant policies including technological guideline, emission standards and subsidy are promulgated from 2015 to 2020.

However, policy impacts and comparative analysis integrating environmental, economic, and social performances of the applications to the potential resource recovery were ignored. Therefore, this dissertation considered the following: (1) environmental and economic performances of sewage sludge recycling scenarios, such as sludge-to-electricity, fertilizer, building material, and biogas, were evaluated by life cycle assessment and life cycle cost approaches by replacing the traditional and similar commodities on the market with a system expansion. (2) The whole life cost of these scenarios was applied to include externality, which represents the monetization of emissions to integrate environmental and economic impacts. Major pollutants that contributed to the external costs of these scenarios were identified. The net present value of each sewage sludge recycling scenario was compared, which provided the basis for technology improvements and policymaking. (3) Through a life cycle cost of policy scenario analysis, we found that waste disposal subsidy was more vital for sewage sludge recycling system than the corporate income tax and environmental protection tax. Based on this, an evaluation system of sewage sludge recycling system integrating environment, economy, and policy aspects were proposed.

In previous studies, researchers have investigated a variety of approaches to the environmental and economic analysis of sludge treatment and recycling systems but lack universal law of different capacities for environmental impact and economic of sewage sludge recycling system. The aim of the study

is the analysis the scale effect of sewage sludge recycling with different technological selections on the environment and economy. Moreover, to achieve carbon neutrality, the cost-benefit impact of introducing a carbon trading mechanism into sewage sludge recycling was analyzed. The avoided carbon emission by by-production of sewage sludge recycling system becomes a part of the income of sewage sludge recycling system via selling carbon emission quota. The results show that the break-even scale of incineration, aerobic composting, used in material (brick), and anaerobic digestion are 54,899, 6707, 48,775, and 4425 t/y, respectively. The break-even scale of each system decreased with the introduction carbon trading system to the sewage sludge recycling system. These findings could provide some fundamental and technical information for the decision-making of sewage sludge recycling systems.

Finally, the environmental and economic evaluation system of sewage sludge recycling system, which focuses on energy and resource recovery, is constructed considering the technology selection, the implementation of scale, and introduced carbon trading mechanism. The policy analysis proves the market potential under the support of relevant policies. The evaluation system provided references for governments and industries and promote the construction of “zero-waste” city with the wastewater system.

## 論文審査の結果の要旨

中国では、経済発展にともなう下水処理場の整備により、下水汚泥が急速に増加しているが、その多くが適切に処理されていないのが現状である。一方で下水汚泥は、素材としてもエネルギー源としても有用な資源であり、適切な処理・再資源化が求められる。本研究は、中国の下水汚泥を対象に、①焼却、②好気性堆肥化、③建築資材（ブロック）、④嫌気性消化、⑤嫌気性消化＋焼却、⑥嫌気性消化＋液肥の6つの再資源化シナリオを設定し、環境的・経済的影響を評価したものである。

本論文は、全6章で構成される。第1章では、中国における下水汚泥リサイクル(SRS)のこれまでの処理状況を概観し、この研究の意義と目的を述べている。第2章では、SRSの環境的および経済的影響評価の方法論をレビューし、特にライフサイクルアセスメント(LCA)とライフサイクルコスト(LCC)を適用したSRSの既往研究を確認した上で、本研究の方法論を決定している。第3章では、ライフサイクル環境影響評価手法(LCIA)の1つであるReCipe法を用いて、6つのSRSのシナリオを対象にLCIAを実施している。主要な環境カテゴリを分析した結果、人間健康が最も影響の大きいカテゴリであることを明らかにした。また、シナリオの中では、好気性堆肥化が最も環境影響の小さいシナリオであることを見出した。第4章では、外部性の貨幣換算によって環境影響の統合化を行った上で、LCCにより評価し、外部費用と政策(税、補助金)の影響を考慮した投資回収年を分析した。その結果、建築資材への活用が、優先されるべきシナリオであることを明らかにした。また、焼却と好気性堆肥化を除いた4つのシナリオに市場化の可能性があることを見出した。第5章では、SRSのGHG排出量、初期費用、エネルギーおよび化学物質の費用、炭素排出費用、副産物による収入について、実施規模とそれぞれの関係を分析した。焼却、好気性堆肥化、建築資材および嫌気性消化の損益分岐点(実施規模)は、それぞれ54,899t/年、6,707t/年、48,775t/年、4,425t/年であることを示した。第6章は、本研究の結論である。

以上要するに、本論文は、中国のSRSに着目し、LCAとLCCを用いることによって望ましい処理システムを提示する手法を構築したものである。本研究の成果は、下水汚泥の処分量削減と低炭素化に資する対策の評価手法と、分析結果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多い。

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)	イسلام ムハマト ミナルル Islam Muhammad Minarul (バングラデシュ)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第202号
学位授与年月日	2022年9月26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	Analytical Investigation on the Underexpanded Jet Issuing from Circular and Elliptic Nozzles (円形および楕円形ノズルからの不足膨張噴流に関する解析的研究)
論文審査委員	主 査 宮里 義昭 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 審査委員 仲尾 晋一郎 (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 吉山 定見 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 審査委員 櫻井 和朗 (北九州市立大学環境技術研究所教授 理学博士)

## 論文内容の要旨

The shock containing free jet emerging from a convergent-divergent nozzle with circular or elliptic shape at the exit has been investigated experimentally and theoretically. In the experimental investigation, the blowdown wind tunnel is used to generate supersonic jets from a round Laval nozzle with a design Mach number of 1.5 followed by a cylindrical duct with an inner diameter of 10 mm, and length of 50 mm. Density measurements, and internal flow feature of the jet have been conducted using a rainbow schlieren deflectometry combined with the computed tomography to observe the three-dimensional structure of overexpanded and underexpanded jets. The effect of cylindrical duct on jet flow properties are examined. Contour, isopycnic visualizations and favorable flow characteristics of the cylindrical duct exit surface are also shown and discussed to compare the analytical results.

In the theoretical analysis, a modified vortex sheet model taking viscosity into account has been proposed. The first Fourier mode of eigenvalues expansion, and recurrence relations with orthogonal properties of Bessel's functions for circular jet and Mathieu functions for elliptic jet are executed to evaluate the explicit solution for inviscid and viscous jet respectively. The flow characteristics through convergent-divergent cylindrical and elliptic nozzle such as centerline pressure and density, density contours, density mesh have been calculated for the inviscid and viscous jet separately. Comparing with the Tam's and Emami et al.'s models, the results of modified model for both circular and elliptic jets are exhibited quantitatively good agreement with the rainbow schlieren deflectometry. The shock-cell spacing, and size measuring of elliptic jets have also been examined theoretically by aspect ratios ( $AR$ ), nozzle pressure ratios ( $NPR$ ) and design Mach numbers ( $M_d$ ) arbitrarily and favorable output is shown in first time by comparing with the Rao's experiment for  $AR = 7.72$ . Finally, it has found that the modified elliptic model is presented more effective flow than the circular flow from their comparison. The calculated theoretical results may contribute to future investigate of the internal shock structure for large aspect scale, design of the advanced aircrafts with vessels, and so on where the effect of screech tones or noise, leakage, exhaustion, and plumes are momentous.



## 論文審査の結果の要旨

本研究は円形および楕円形ノズルから流出する超音速噴流の構造について、実験的および解析的に調べたものである。本論文は5章で構成されている。

1章では、超音速噴流について、基本的な構造、工学的応用、光学観察法について、従来の研究を調査した結果と本研究の目的を述べている。超音速噴流は機械工学や航空工学の分野で数多くの研究がなされているが、ノズル出口近くで衝撃波が支配的な領域の噴流の三次元構造を実験的に詳細に調べた研究はほとんどないことが分かる。また、楕円ノズルから流出する超音速噴流の内部構造については、実験的にも解析的にもほとんど明らかにされていないことが示される。

2章では、論文で使用される音速、マッハ数、超音速流れ等の学術用語の定義を述べ、次に連続の式、運動方程式、エネルギー式、状態方程式から成る支配方程式を記述している。また、先細ノズルと先細末広ノズル（超音速ノズル）の内部を流れる気体の特性について記述している。

3章では、円形ダクトを伴う設計マッハ数が1.5の超音速ノズルから流出する噴流について、レインボーシュリーレン偏向法による流れの定量的可視化とピトー管を用いた噴流中心軸上の全圧測定実験について言及している。その結果、ノズル出口圧力が背圧（大気圧）よりも低い状態（過膨張噴流）と高い状態（不足膨張噴流）について、噴流の三次元密度場を明らかにしている。また、噴流の中心軸上の速度分布とマッハ数分布に及ぼすノズル圧力比の影響を示している。

4章では、楕円ノズルから流出する超音速噴流について、粘性を考慮した場合と考慮しない場合の3次元流れ場を解析的に調べている。その結果、楕円ノズルから流出する噴流構造に及ぼすノズル圧力比、アスペクト比（ノズル出口における楕円面の長軸方向と短軸方向の長さの比）、および設計マッハ数の影響を明らかにしている。

5章では、円形および楕円形ノズルから流出する超音速噴流の構造について、本論文から得られた結論を述べている。

このように、本論文は、円形および楕円形ノズルから流出する超音速噴流の構造を実験的および解析的に詳細に調べており、工学的に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)	谭 杨 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第203号
学位授与年月日	2022年9月26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 Evaluation of Willingness to Pay for Urban Low-carbon Strategies in China based on Contingent Valuation Method and Theory of Planned Behavior (仮想評価法と計画的行動理論に基づく中国における都市低炭素化戦略への支払い意思の評価に関する研究)
論文審査委員	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)) 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 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 大矢 仁史 (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

This study selects Hangzhou, Zhejiang Province, and Qingdao, Shandong Province, were selected as cities for the study, and environmental value indicators for three low-carbon strategies were established and evaluated using the conditional value approach for assessing the willingness-to-pay amount. The study also examines the factors influencing public willingness to pay and the factors that predict each variable of willingness to pay. It will contribute to the construction of low-carbon cities in China and the formulation of related policies.

Chapter 1 : Background and purpose of the study. This paper introduces the importance of building low-carbon cities in the current international context and describes the lack of research on the willingness to pay and environmental value assessment of low-carbon cities in China.

Chapter 2 : A review of the literature on the environmental value of urban low-carbon measures and virtual market valuation methods is summarized. First, the review of the literature identifies common data collection and estimation methods, from which a broad and stable set of research methods is selected. The rest of the paper identifies gaps in the literature so far and introduces means to fill them. The goal is to improve the accuracy of the evaluation of research results and to contribute to future research.

Chapter 3 : There are two parts. The first part describes the rationale for low-carbon urban measures with environmental value, environmental value assessment methods, shortcomings of the assessment methods and how to deal with them, and the theory of planned behavior. It provides the theoretical basis for the study. The second part of the paper details the experimental methodology of the study. The virtual market valuation method and the theory of planned behavior will be introduced. Using a spike model based on the above method, the zero-response group was asked additional questions, and a lower bid price was offered to see if the respondents would accept it. Respondents who refused to pay again were then determined to respond with a protest. The protesting respondents were excluded from the sample, and the method was used to improve the virtual market valuation method. The goal is to improve the accuracy of the evaluation results.

Chapter 4 : Low-Carbon City-Building Measures in Hangzhou, China- Assessing the Willingness to Pay for Vertical Greening Specific figures were

obtained for the environmental value of the Hangzhou Low-Carbon City-Building Measure in Hangzhou, China, with a willingness-to-pay of \$104.12 for vertical greening. The environmental value is \$268 million.

Chapter 5 : Low-Carbon City Creation Measures in Hangzhou, China-Assessing Families' Willingness to Pay for the Construction of Battery Swapping Stations. Specific figures were obtained for the environmental value of the Hangzhou, China Low-Carbon City Creation Measure. The willingness to pay for the construction of the battery Swapping station is \$59.35. The environmental value is \$240 million.

Chapter 6 : Assessing Families' Willingness to Pay for CO<sub>2</sub> Emission Reductions and Environmental Protection Measures in Urban Qingdao, China. The willingness to pay for CO<sub>2</sub> emission reduction and environmental conservation measures in urban areas is compared with the willingness to pay for CO<sub>2</sub> emission reduction and environmental conservation measures in urban areas, and the factors influencing this willingness are discussed. The willingness to pay for environmental conservation measures in urban areas is \$42.55, while the willingness to pay for CO<sub>2</sub> emission reductions is \$43.50. The results of the comparison show that individuals' perceptions of policies have a significant impact on their willingness to pay for the construction of a low-carbon city. Respondents were found to be more willing to pay for CO<sub>2</sub> emission reductions than for environmental protection.

Chapter 7 : Conclusion, summary of the chapters and policy recommendations. This study first evaluates the public's willingness to pay for low-carbon measures in Chinese cities and examines the factors influencing willingness to pay. Second, further assess the environmental value of these measures. The study also makes a significant contribution to the development of low-carbon cities in China and the quantification of the environmental value of related measures.

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、中国浙江省杭州市、山東省青島市を調査対象都市として、3つの都市低炭素化戦略に対し、環境価値指標を設定し、支払意思額を条件付価値アプローチ法によって評価している。また、住民の支払い意欲に影響を与える要因や支払い意欲の各変数を予測する要因についても検討し、中国における低炭素都市の推進と関連政策の立案に寄与する研究を行なっている。

第1章では、研究の背景と目的を述べ、現在の国際情勢において、都市の低炭素化対策推進の重要性を述べ、中国における同施策に対する支払い意思額を指標とした環境価値評価に関する研究が不足していることを指摘している。第2章では、都市の低炭素化対策の環境価値指標と仮想評価法（仮想市場評価手法）に関する文献を整理した。第3章では、実験方法を述べ、仮想評価法と計画的行動理論について詳述している。仮想評価法の問題点（ゼロ回答が推定結果の精度に与える影響、政策認識変数が支払いに与える影響）を示し、環境価値評価に最適な推計方法であるスパイクモデルを選択することを述べている。このスパイクモデルによって、ゼロ回答の回答者に追加質問を行い、より低い条件価格を提示し、回答者がそれを受け入れるかどうかを観察する方法などで仮想評価法の改良を行っており、評価結果の精度向上を図っている。第4章では、中国杭州市の低炭素都市づくり施策として壁面緑化(垂直緑化)に対する支払い意思額評価を行い、壁面緑化の支払い意思額が一世帯当たり104ドルという具体的な数値を算出し、都市全体での環境価値は約2億6800万ドルであることを示した。第5章では、同都市の施策として、電気自動車に用いるバッテリー交換ステーションの建設に対する家庭の支払い意思を調査し、建設に対する支払い意思額は59ドル、都市全体での環境価値は約2.4億ドルであると算出している。第6章では、中国青島市の都市部におけるCO<sub>2</sub>排出削減と海岸保護対策への家庭の支払い意志を比較し、その意志に影響を与える要因について考察している。海岸保護対策への支払い意志は43ドルであり、都市部におけるCO<sub>2</sub>排出削減への支払い意志は44ドルであった。比較の結果、個人毎の政策に対する認識の差が、低炭素都市建設への支払い意志に大きな影響を与えることを明らかにしている。第7章:結論、各章のまとめと政策提言を行なっている。

以上、本研究は、中国都市における低炭素化対策に対する国民の支払い意思を評価し、支払い意思に影響を与える要因について考察し、これらの施策の環境価値を経済的価値として示し、この手法の有効性を示している。様々な都市施策の環境価値の定量化につながるとともに、中国の都市の低炭素化推進に大きく貢献する研究である。

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)	エン シン 袁 馨 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第204号
学位授与年月日	2022年9月26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	Investigation and Evaluation of Thermal Environment for Living Space of Infants in Nursery Schools (保育施設における乳幼児の生活領域を対象にした温熱環境調査とその評価に関する研究)
論文審査委員	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) 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) 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)) 審査委員 黎 曉紅 (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

The indoor environment has a great influence on the physical and mental efficiency of the resident. On the other hand, infants lack autonomy in terms of thermal adaptive comfort behavior. Hence, to provide a suitable indoor environment for children, the evaluation of indoor thermal comfort and the cognition of children's thermal comfort by teachers engaged in nursing work are more important. Through a questionnaire survey of teachers, this research analyzed and compared the relationship between teachers' thermal adaptation behavior and children's thermal sensation. Compared with the traditional fixed-point measurement method, a method of wearable sensors for children was proposed to measure the indoor temperature distribution in summer and winter. Finally, this research proposes measures to improve the architectural design of the nursery to create a comfortable thermal environment for young children. The structures are explored as follows:

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

In Chapter 2, literature reviews of children's thermal environment were sorted out.

In Chapter 3, research methods of questionnaire survey and measurement on children's facilities of the research were described.

In Chapter 4, the results of the questionnaire showed that nursery teachers' thermal adaptation behavior may not be based on children's thermal sensations and the thermal environment in the classroom is not always comfortable for children.

In Chapter 5, the actual thermal environment of a nursery school classroom was evaluated. The results of traditional measurement methods and wearable sensor measurement methods showed that there are horizontal and vertical temperature differences in the classroom in both winter and summer.

In Chapter 6, the actual thermal environment conditions in a nursery school classroom were evaluated based on the thermal model. The results showed that depending on the place and behavior of the children in the classroom children may have different thermal experiences.

In Chapter 7, measures to improve the design of the nursery school building are proposed.

In Chapter 8, the conclusion and prospects were summarized.

## 論文審査の結果の要旨

室内温熱環境は居住者ならびに室利用者の健康、快適性、作業効率等に大きな影響を与える。とりわけ乳幼児は体温調節機能が未発達であり、着衣調節や体温調節の欲求を人に伝えることが困難であるため、保育者は乳幼児の温熱環境に注視する必要がある。本研究は、乳幼児にとって健康で快適な温熱環境の形成を目的として、保育施設における乳幼児の生活領域を対象にした温熱環境調査とその評価を行い、さらにシミュレーションにより建築的な改善策を提示するものである。

第1章では、研究の背景、目的及び論文構成を述べ、第2章では、国内外における保育施設の温熱環境及び熱的快適性に関する研究を整理するとともに、本研究の目的を明確化している。第3章では、本研究で用いた実測及びアンケート手法と調査対象施設について述べ、室内環境温度（作用温度）を求めるための「皮膚表面－着衣－室内空気」の熱モデルを提案した。第4章では、保育士を対象としたアンケートにより、保育室の温熱環境調節が主に保育士自身の温熱感覚によって判断されており、乳幼児に生理的負担を与える可能性があることを示した。第5章では、定点測定と乳幼児のウェアラブルセンサーの測定結果より、夏冬とも室内の水平・垂直温度分布が顕著に生じていることを明らかにした。第6章では、第3章で示した熱モデルを検証し、この熱モデルにより乳幼児の生活領域の温熱環境をより詳細に把握できることを確認した。第7章では、シミュレーションにより閉鎖型バルコニーや断熱性強化による温熱環境改善効果ならびに省エネ効果を明らかにした。第8章は本論文の総括である。

以上、本論文は、保育施設で生活する乳幼児の生活領域に焦点を当て、固定センサー及びウェアラブルセンサーを用いた実測調査、保育士を対象としたアンケート、保育室の熱環境シミュレーションにより温熱環境を評価し、その改善策を示したものである。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)	杵 璐 王 璐 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第205号
学位授与年月日	2022年9月26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 CONSTRUCTION PERFORMANCE EVALUATION OF STATIONARY AND MOBILE ROBOTS IN WOODEN BLOCK STACKING METHOD</p> <p>(木ブロック積層工法における定置型ロボットと移動型ロボットの施工性評価に関する研究)</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 小山田 英弘 (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 松本 亨 (北九州市立大学環境技術研究所教授 博士 (工学))</p>

## 論文内容の要旨

The involvement of robots in building construction is already a global trend. Compared with the current stage of construction in which a large number of people are involved, the stability of the robot construction process will greatly affect the construction efficiency and construction accuracy, thus 1) reducing the impact on the environment, saving natural resources and other obvious advantages of natural environmental benefits and 2) reducing construction costs, reducing the economic and environmental benefits of artificial use. In this thesis, a reconstruction of a completed wooden building, from the design process, construction process to the final evaluation of construction efficiency, is proposed for the construction of a wooden building with stationary robots and mobile robots. The construction method of two continuous building components for the robot static and beyond static workspace is discussed, and the construction experiment of the wooden building is completed using the construction method.

Based on the experiment, 1) an innovative way to build a wood-frame building that satisfies the robot's construction logic and 2) the mobile robot's ability to accurately assemble building components in space, including the ability to align them with existing components on site, were addressed. Ultimately, the completion of this experiment and its construction evaluation demonstrated: the superiority of mobile robot construction over manual construction in terms of reduced manual use and increased construction efficiency. The structures are explored as follows:

In Chapter 1, RESEARCH BACKGROUND AND PURPOSE OF THE STUDY, the background and application status of the research were elaborated.

In Chapter 2, LITERATURE REVIEW OF ROBOTIC CONSTRUCTION, the history and current limitations and challenges of robotics construction research.

In Chapter 3, METHODOLOGY, the methodology of the research was purposed, and the objectives of the study as well as the tools of the study was described.

In Chapter 4, CASE STUDY 1: STATIONARY ROBOT CONSTRUCTION, is the reconstruction process of a wooden building by a stationary robot and explores digital construction strategies and processes.

In Chapter 5, CASE STUDY 2: MOBILE ROBOT CONSTRUCTION, the in-situ construction simulation experiment of a complete wooden building as an example to explore the possibilities and challenges of continuous building construction that exceed the static workspace of robots.

In Chapter 6, CONSTRUCTION EVALUATION, manual construction was compared with robotic construction in terms of both time efficiency evaluation and construction quality evaluation.

In Chapter 7, CONCLUSION AND PROSPECT, the experimental results and the conclusions and prospects of the study were summarized.

In the paper, through stationary robot construction experiment and mobile robot construction experiment demonstrate the far-reaching potential of implementing robotic construction directly on the building site. The integration of digital design and automated construction is at the core for automated building fabrication and robotic construction, which fundamentally expands the scope of traditional building construction and introduces an assembly logic for robotic automated construction to the industry.

## 論文審査の結果の要旨

この論文では、アーム型ロボットが建設しやすい木ブロックの積層方法を開発し、実験によって施工性を評価し、人が建設を行うよりも定置型及び移動型ロボットによる建設の施工性が高いことを実証している。

第一章では、研究の背景として、ロボットによる建設は、現代の経済・社会環境において明らかな利点があるが、建設現場でのロボットの導入には多くの課題があることを示した。

第二章では、建設分野でのロボット施工の歴史的な事例や応用研究を紹介し、既存の事例に対する本研究の位置づけを行なっている。

第三章では、研究目的と2つの実験方法を示した。定置型と移動型の2種類のロボットによる積層木造の建設方法を提案し、シミュレーション及び1/5スケールでの実作による研究方法=を説明している。

第四章では、実験1:「定置型ロボットによる建設」として、地面に固定された定置型ロボットによる木ブロックの積層プロセスを取り上げ、シミュレーションによるデジタル建設により、建設プロセスを検討し、1/5スケールでの実証実験を行なった。定置型ロボットによる建設方法が積層には有効であることが示され、パラメトリック設計とロボットによる製造プロセスを統合した建設プロセスに基づく建設が可能であることを証明した。

第五章では、実験2:「移動型ロボットによる建設」として、ロボットを移動させた現場での施工方法をシミュレーション実験で検討し、定置型ロボットの作業空間を超える広範囲の連続的な建物施工の可能性を検討した。レーザースキャンによる空間測位技術を移動型ロボットの移動後の位置出しに用い、位置のずれをフィードバックさせることで、事前に設定した建設プログラムを修正し、移動型ロボットにおいても連続的に積層が行え、現場での施工が可能であることを示した。

第六章では、施工時間と施工人工による施工性と施工品質の両面から評価を行い、人が行う施工とロボットによる施工を比較し、施工性と施工品質の両面でロボット施工の優位性を定量的に示した。第七章では、本研究の結論と展望をまとめている。

以上、本論文では、定置型ロボット建設実験と移動型ロボット建設実験を通じて、建築現場で直接ロボットが建設する新たな建設手法が実現可能であることを実証しており、建築施工分野の発展に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)	シュ エツイ 朱 悦玮 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第206号
学位授与年月日	2022年9月26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 Thermal Performance and Design Optimization of a Composite Double-circulation Trombe Wall System Assisted with Temperature-controlled DC Fans (DC ファンを用いた複合二重循環式トロンプウォールシステムの冷暖房負荷削減効果と最適化に関する研究)
論文審査委員	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)) 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)) 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 永原 正章 (北九州市立大学環境技術研究所教授 博士 (情報学))

## 論文内容の要旨

As the global population grows, energy consumption and environmental issues are a growing concern worldwide. Not only do large buildings need to be considered for energy efficiency, but smaller buildings such as individual homes are also being incorporated into national energy efficiency programs.

This study focuses on an improved method for Trombe walls: installing insulated panels on the inside and using vents at the top and bottom to connect the inner and outer air layers to the interior space. Temperature-controlled DC fans are installed in the upper vent to steadily control air circulation, forming a composite Trombe wall system with dual circulation of the inner and outer air layers. The composite double-circulation Trombe wall system is then analyzed and optimized to achieve the best energy efficiency and indoor thermal comfort.

The structure of the thesis is as follows.

Chapter 1 is the background and purpose of the study. The current status of global energy use and demand as well as Japan's energy and environmental policies are presented, illustrating the role and prospects of passive buildings in the contemporary energy context.

Chapter 2 is a literature review of Trombe wall systems, detailing the basic principles and classification of Trombe walls, and providing a detailed review and summary of existing application strategies for composite Trombe walls and summer Trombe walls. It also summarizes the commonly used optimization parameters of the Trombe wall system and the metrics used for evaluation.

Chapter 3 is the methodology of the study, including the introduction of the actual measurement and simulation software and methods. In this study, the simulation software THERB for HAM was mainly used to compare the results with those of the real measurements and to conduct subsequent optimization experiments.

Chapter 4 is a basic study of the composite double-circulation Trombe wall system. First, the actual measured data are analyzed and compared with the simulation results to verify the feasibility of the software. The simulation software is used to compare the classical Trombe wall house and the composite double-circulation Trombe wall house, and it is found that the double-circulation Trombe wall has better energy efficiency, but still has

limitations in terms of solar collector efficiency. Then parameters such as glass performance, fan efficiency, interior wall material and thickness were selected to study the effect of energy consumption of composite double-circulation Trombe wall system. It is found that the use of winter insulating LOW-E double glazing, higher fan rate, and interior walls with higher thermal resistance can lead to higher efficiency of the composite double-circulation Trombe wall system, which can save about 52.3% of the thermal load after optimization than before optimization again.

Chapter 5 discusses the effect of the glazing surface ratio in the optimized composite Trombe wall system. Temperature and PMV-PPD are used as the main evaluation criteria for indoor thermal comfort, and indoor energy consumption is compared. It was found that the larger the proportion of glazing surface in the optimized composite Trombe wall system, the higher the energy efficiency, but at the same time the more likely the indoor overheating phenomenon. Under experimental conditions, the indoor overheating phenomenon is eliminated when the ratio of glass surface to indoor area is below 0.4.

Chapter 6 discusses the utilization of the composite double-circulation Trombe wall system in summer. The first part focuses on the effect of the ventilation pattern, where the ventilation of air from the interior to the exterior through the air layer of the Trombe wall system is more beneficial to the interior cooling in summer. The second part discusses the effect of thermal storage wall materials, comparing concrete materials, concrete combined with PCM materials in different locations and water walls to investigate the thermal performance and thermal comfort in summer and winter. The study found that PCM not only improves energy efficiency, with a total annual load reduction of 18.3% compared to concrete, but also improves indoor thermal comfort.

Chapter 7 presents the conclusion and discussion of this study and future work.

This paper presents an improved composite Trombe wall system that is simple and inexpensive to build. It is simple to use even in small buildings such as houses. From the environmental and economic point of view, it can reduce the air conditioning load in Kitakyushu, Japan or other hot summer and cold winter regions and can make a significant contribution to the global environment.

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、従前の二重循環式トロンプウォールシステムの改善策として、内側に断熱パネルを設置し、上下に通気口を設けて内外の空気層を室内空間に連通させる改良型のシステムを提案し、最適なエネルギー効率と室内の熱的快適性を実現するための設計条件を導き出している。

第1章では、研究背景、研究目的及び論文構成を述べている。

第2章は、トロンプウォールの基本原理と分類を詳述し、既往研究のレビューを行っている。

第3章では、モデル建物による実測の概要、シミュレーションによる解析手法を示し、研究方法を述べている。

第4章では、THERB for HAM を用いて、従前の二重循環式トロンプウォールシステムと複合二重循環式トロンプウォールシステムを比較し、通常の二重循環式トロンプウォールはエネルギー効率が高いが、ソーラーコレクターの効率という点では限界があることを示した。種々のパラメータを選定し、エネルギー消費に与える影響を比較検討した。冬期断熱型の LOW-E 複層ガラスの使用、温度センサー制御に基づくファン効率の向上、熱抵抗の高い内壁の採用により、複合二重循環式トロンプウォールの効率を最適化させることで、最適化前と比較して約 52.3%の熱負荷が削減できることを見出している。

第5章では、最適化された複合二重循環式トロンプウォールシステムの床面積に対するガラス面積比の影響について述べ、複合トロンプウォールシステムではガラス面積の割合が大きいほど、エネルギー効率は高いが、同時に室内のオーバーヒートが発生しやすいこと、この実験条件下では、室内面積に対するガラス面積の割合が 0.4 以下になると、室内のオーバーヒートが解消されることを導き出している。

第6章では、夏場の室内冷房に有利な換気パターンの効果を解析し、蓄熱壁材では、PCM 材利用ではコンクリートと比較して年間総負荷が 18.3%減少し、エネルギー効率が向上するだけでなく、室内の熱的快適性が改善することを見出し、第7章では、結論を述べている。

以上、本研究は、複合二重循環式トロンプウォールを提案し、エネルギー負荷削減効果を示し、設計に必要な各部位のスペックの最適値を導き出した。従来のトロンプウォールに比較して、格段にエネルギー負荷低減効果が高いことを示し、建築環境工学分野、特にパッシブ建築分野に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)	ダダン ハルタベラ Dadang Hartabela (インドネシア)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第207号
学位授与年月日	2022年9月26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 Outdoor Thermal Comfort in Urban Parks in Indonesia and Japan (インドネシア及び日本の都市公園における屋外の熱的快適性 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 城戸 将江 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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 早見 武人 (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

This research aims to understand and evaluate the outdoor thermal performance of urban parks. There are five points to be determined, they are: 1) visitor perception and expectation of urban park; 2) relationship between personal variables (age, gender, and body proportion) and outdoor thermal comfort; 3) relationship between micro-meteorological and personal variables; 4) performance of thermal and physical environment; and 5) significant factor of urban structure (physical environment) variables which affects the outdoor thermal comfort in urban park.

### Chapter 1 Introduction

This chapter consists of background, problem statement, research objectives, scopes and limitations, structure of research and research framework. The method to develop this idea is viewing current trend related to urban parks development. Urban problems in Indonesia and Japan are shown as the background of this study. The topic leads to the outdoor thermal comfort studies in urban parks as an important strategy and effective way to solve the environmental problems. This research justified the aim to investigate to what extent the outdoor thermal comfort can be used to evaluate the quality of urban parks.

### Chapter 2 Literature Review

This chapter provides information gathered from literature review which elaborates the classification of urban parks, the influencing factors, motives, and barriers of outdoor thermal comfort, and the relationship between outdoor thermal comfort and vegetation in urban green open spaces. Urban parks are now not only viewed as recreation and leisure facilities, but also as an important part of the broader structure of urban development and climate change.

### Chapter 3 Research Methods

This chapter aims to describe the way of data collection, data analysis, and the target of results. There are two types of data, the primary and the secondary data. The field measurement data such as air temperature ( $T_a$ ), relative humidity (RH), and wind speed ( $v$ ) are categorized by the primer along with questionnaire data. Meanwhile, the secondary data are including weather station, urban policies, published journal papers, conference papers, and so on. The data analysis methods used in this study are descriptive,

distribution, correlation, numerical and computational simulation, and systematic review.

#### Chapter 4 Outdoor Thermal Comfort in Three Urban Parks in Indonesia

This chapter aims to determine the quality of thermal comfort which can be adopted by the city of Bandung, Indonesia. Sampling type used for this study is a non-random sampling with purposive sampling technique. The result found that the hypothesis is correct. People adaptation to the thermal quality as a whole is quite good. Most respondents accept thermal performances. Satisfaction of shading, sunlight, and wind is also good. Average value of PET on urban parks in Bandung is in the range of 22.9°C to 25.1°C which is lower than the cities in other tropical countries. The most influence factor to the TSV value is RH.

#### Chapter 5 Visitor Perception and Expectation in Urban Park

This chapter aims to understand the visitor perceptions and expectations of urban park. The study analyzes based on questionnaire from 425 respondents. The result found six essential variables: 1) “Playing with children” is the most popular; 2) Tourists living closer to the area frequently visit; 3) Park’s existence is important; 4) The importance and the distance to the park is related to sense of place; 5) Tourist preferences are affected by seasonality; 6) The most favorite expectation is the availability of water facilities.

#### Chapter 6 Relationship of Age, Gender, and Body Proportion to Outdoor Thermal Comfort

This chapter aims to investigate relationship between the age, gender, and body proportion and outdoor thermal comfort based on TSV value. This research used questionnaire paper. The relationships were analyzed by the multivariate analysis method. The result shows that there is no significant correlation of age, gender, and body proportion to TSV. Well-protected privacy’s character of Japanese people may affects the number of question’s response of age, height, and weight by visitor. From the total respondent, 64.5% has full personal data (age, height, and weight).

#### Chapter 7 Relationship between Micro-meteorological and Personal Variables of Outdoor Thermal Comfort in Urban Park

Data were gained from field measurement and questionnaire survey. Data analysis used JMP statistics and RayMan model software. Result shows that: 1) most of respondent were feeling comfort with the thermal, wind, and

humidity performance. Sensation of thermal, wind flow, and humidity were mostly neutral; 2) acceptability and satisfaction level were positive; 3) satisfaction for shading, were mostly dissatisfied, except winter. For the sunlight and wind, mostly satisfied; 4) most significant variable for PET is  $T_{mrt}$ ; 5) most influential variable for TSV, WFSV, and HSV is  $T_a$ ; and 6) strongest relationship is between TSV and PET.

#### Chapter 8 Simulation of Thermal and Physical Environment in Urban Park

This chapter aims to determine urban structure and outdoor thermal environment performance and relationship between these two factors. Data were collected by field measurement, observation, and computer simulation through ENVI-met software model.

There result shows that: 1) median SVF value is high and Park's surface has low albedo; 2) outdoor thermal comfort is statistically not comfortable in summer and autumn, but very comfort in winter and spring; 3) correlation between PET and urban structure factors and between  $T_{mrt}$  and urban structure factors are significant.

#### Chapter 9 Conclusion and Recommendation

This chapter summarize whole discussion into several conclusions and recommendation. There are five key findings, they are: 1) The visitor perception and expectation is related to emotional experience and satisfaction of facilities; 2) There is no significant correlation between personal variables and outdoor thermal comfort; 3) Most influential micro-meteorological variable for the PET is  $T_{mrt}$ ; 4) Outdoor thermal comfort is statistically not comfortable in summer and autumn, but very comfortable in winter and spring; and 5) Most significant factor of urban structure is sky view factor (SVF).

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、インドネシア及び日本における都市公園の屋外熱的快適性を理解及び評価することを目的としている。主に次の5つの項目について調査及び評価を行った。1) 都市公園に対する訪問者の認識と期待、2) 個人変数（年齢、性別、BMI）と屋外の熱的快適性との関係、3) 微気象変数と個人変数との関係、4) 熱的及び物理的環境のパフォーマンス、5) 都市公園の屋外熱的快適性に影響を与える都市構造。

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が示されている。都市公園の分類、屋外の熱的快適性の影響要因及び都市公園のオープンスペースにおける屋外熱的快適性と植生との関係について詳しく述べられている。第3章では、データ収集、分析等について説明している。気温 ( $T_a$ )、相対湿度 (RH)、風速 ( $v$ ) などのフィールド測定データがアンケートデータとともに分類された。使用したデータ分析方法は、記述的、分布、相関、数値及び計算シミュレーションである。第4章では、インドネシア、バンドン市における熱的快適性について評価を行っている。この調査で使用されたサンプリングタイプは、非ランダムサンプリングで、結果として熱的快適性は非常に高評価であることが示された。バンドン市の都市公園における PET の平均値は、 $22.9^{\circ}\text{C}$ ~ $25.1^{\circ}\text{C}$  の範囲であり、他の熱帯諸国の都市に比べ低く、TSV 値に最も影響を与える要因は RH であることを明らかにした。第5章では、都市公園に対する訪問者の認識と期待の関係性について調査を行った。425人の回答者からのアンケートに基づいて分析し、6つの重要な変数が明らかになった。第6章では、TSV 値に基づいて、年齢、性別、BMI と屋外熱的快適性との関係を調査し、多変量解析法によって分析を行い、結果として TSV に対する年齢、性別、及び BMI の有意な相関関係が認められなかった。第7章では、現地測定とアンケート調査について述べられている。データ分析では、JMP 統計と RayMan モデルソフトウェアを使用した。回答者の殆どは、熱、風、湿度に満足しており、日陰に対する満足度は、冬を除いて不満足度が高いことがわかった。PET の最も重要な変数は  $T_{mrt}$  であり、TSV、WFSV、及び HSV の最も影響力のある変数は  $T_a$  で、最も強い関係は TSV と PET の間にあると明らかになった。第8章では、都市構造と屋外の熱環境のパフォーマンス及びこれら2つの要素の関係を明らかにした。フィールド測定、観測、及び ENVI-met ソフトウェアモデルを介したコンピューターシミュレーションを行い、結果として SVF 値の中央値が高く、公園の表面のアルベドが低く、屋外の熱的快適性について、夏と秋は統計的に快適ではなく、冬と春は非常に快適であることが明らかになった。PET と都市構造因子の区間、及び  $T_{mrt}$  と都市構造因子の区間の相関は重要であ

ることが示されている。第9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、インドネシア及び日本の都市公園の屋外熱環境について実測  
調査結果を比較することにより熱的快適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、今後の都市公園の熱環境分  
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)	チャンレナ Tran Le Na (ベトナム)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第208号
学位授与年月日	2022年9月26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	Determinant Impacts on Household Energy Consumption in Japan and Vietnam (日本とベトナムの住宅世帯のエネルギー消費に対する決定要因に関する研究)
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 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 城戸 将江 (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)

## 論文内容の要旨

In the post-industrialization century, and with the impact of social crisis such as COVID-19 when more activities pour into the residential area leading to a significant change in the use of electrical appliances, which affect the household energy use, household energy tends to become the main share instead of the industrial sector. Japan and Vietnam belong to Asia-Pacific region where total energy end-use is expected to account for 52% in 2050. To overcome the urgent need on household energy saving, this study simultaneously assesses the multiple influences of household determinants, housing design, and physics characteristics on energy end-use. The proposed research herein first aims to investigate the effects of all influencing factors on household energy consumption and to evaluate their complex relationships under different situation. Hybrid modeling combining physics-based modeling and data-driven modeling is the state-of-the-art approach to be considered for energy forecast, while factor analysis has the potential for sorting the weight of factors. Discussion on the final results imply cognitive changes for consumers where the visualization of energy efficiency optimization can be easily captured so that environmental sustainability will be closer than ever. The brief of each chapter is as follows:

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

In Chapter 2, the literature reviews of household energy end-use and its determinants were studied.

In Chapter 3, the methodology of hybrid approach and path analysis was sorted out.

In Chapter 4, the data resource and correlation analysis in Japan and Vietnam are introduced.

In Chapter 5, the sensitivity analysis showing influence levels of housing factors and household behaviors in Japan is evaluated.

In Chapter 6, the Path analysis that discussed about the impact of household factor and housing factors in Vietnam is presented.

In Chapter 7, the comparison of household energy end-use based on different climate zones, housing design and occupant behaviors is examined in Japan and Vietnam.

In Chapter 8, the conclusion and prospect were drawn.



## 論文審査の結果の要旨

地球環境問題の顕在化により、温室効果ガスの排出削減が強く望まれている。温室効果ガスの大きな部分を占める二酸化炭素排出量は、エネルギーの消費と密接に関連している。日本のみならず、ベトナムでもエネルギー消費に占める民生部門の比率は上昇傾向にある。このような背景により、エネルギー消費構造を分析することの重要性が高まっている。本研究は、日本とベトナムの住宅世帯単位のエネルギー消費に対する影響要因を分析し、それらの複雑な関係を評価することを目的としている。

第一章では、研究背景及び目的を述べた。

第二章では、住宅世帯単位のエネルギーの最終用途とその決定要因に関する文献レビューを行い、問題点を指摘した。

第三章では、住宅世帯単位のエネルギー消費構造を分析する手法として、ハイブリッドアプローチとパス分析法を提案した。

第四章では、日本とベトナムのデータリソースを構築し、多様なデータベースにより、住宅世帯のエネルギー消費量を明らかにした。

第五章では、日本の住宅エネルギー消費と家計行動の影響のレベルを示す感度分析を行い、住宅世帯のエネルギー消費構造と影響因子を明らかにした。

第六章では、ベトナムの住宅エネルギー消費及び影響要因をパス分析法により解析し、住宅世帯のエネルギー消費構造と影響因子を明らかにした。

第七章では、日本とベトナムにおけるさまざまな気候帯、住宅設計、居住者の行動に基づいて、最終用途の住宅世帯のエネルギー消費の比較を行い、2つの国でのエネルギー使用の状況を明らかにした。

第八章では、各章で得られた知見をまとめた。

以上の通り、本研究は、日本とベトナムの住宅世帯のエネルギー消費に対する影響要因を分析し、住宅世帯のエネルギー消費構造を明らかにした。一連の研究により、この分野に新しい知見をもたらし、日本とベトナムの住宅の省エネルギー分野に貢献している。

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)	チン イン 陈 伟伦 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第209号
学位授与年月日	2022年9月26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 Water-Saving Effects and Economic Optimization of Hybrid Rainwater-Graywater System in Buildings (建物における雨水-中水ハイブリッドシステムの節水効果及び経済最適化に関する研究)
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 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 礪田 隆聡 (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

Urban water scarcity has seriously restricted the economic development of society and threatened human life. On-site reuse of rainwater and graywater by decentralized water reuse systems in buildings can significantly alleviate the deterioration of urban water scarcity. A hybrid rainwater-graywater system (HRG) is a superior water-saving system, and it can simultaneously reuse rainwater and graywater in buildings to avoid the limitation of separately reusing these waters. However, the implementation of HRGs is still in infancy and the feasibility, limitation, and its optimizing method of such systems in buildings are still an unexplored domain. Therefore, in this research, we commit to proposing the simulation models for evaluating and optimizing the optimal performance of HRGs to accurately and efficiently implement such systems in buildings. The structures are explored as follows:

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

In Chapter 2, the configuration and components of HRGs were introduced and the optimal HRGs were determined.

In Chapter 3, an integrated model for evaluating the performance of HRGs was proposed based on the water balance model and the accuracy of the integrated model was verified.

In Chapter 4, the environmental performance and economic benefit of HRGs in public buildings were evaluated and the advantage and limitations of implementing such systems were summarized.

In Chapter 5, a dimensionless parameter model was proposed to generally determine the optimal scenario of implementing HRGs in a region, without the requirement of individual evaluation for each building in that region.

In Chapter 6, an economic optimization model for improving the economic feasibility of HRGs was proposed based on the cooperative game. The results show that this framework can significantly improve the economic benefit of HRGs without frequent increases in local water tariffs.

In Chapter 7, the conclusion and prospects were summarized.

## 論文審査の結果の要旨

本研究の目的は、建築物における雨水-中水ハイブリッドシステムの節水性能と経済性を最適化し、このシステムの実行可能性を向上させることである。建築物における節水システムの開発を促進するため、雨水-中水ハイブリッドシステムの評価・最適化モデルを開発し、このシステムを導入するための最適なシナリオと経済性を明らかにした。

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、雨水-中水ハイブリッドシステムの構成とコンポーネントを示し、最適なシステムを提案した。

第三章では、雨水-中水ハイブリッドシステムの評価モデルを開発した。また、北九州学研都市に採用された本システムのモニタリングデータを用いて、評価モデルの精度を検証した。

第四章では、第三章で取り上げた本システムについて、ライフサイクル評価を行い、その有効性を検討した。また、再生水料金の導入及び水道料金増額の場合について、本システムの経済効果を明らかにした。

第五章では、日本の建築物における雨水-中水ハイブリッドシステムの節水ポテンシャルを分析し、地域スケールでの本システムの最適なシナリオとその節水効果を明らかにした。

第六章では、協力ゲーム理論に基づき、雨水-中水ハイブリッドシステムの経済最適化モデルを構築し、行政と利用者にとって最も経済性に優れたシステムを提案した。

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、本研究は建築物における雨水-中水ハイブリッドシステムの節水性能分析と経済性の最適化により、このシステムの実現可能性を向上させ、この分野に新たな知見をもたらすものである。一連の研究成果を通じて、建築給排水設備分野の発展に貢献した。

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)	杓 ジアウエン 侯 佳汶 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第210号
学位授与年月日	2022年9月26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	Optimization and Tech-economic Assessment of Passive Energy-saving Strategies for Opaque Envelopes of Traditional Dwellings in Northeast of Sichuan Hills, China (中国四川省北東部における伝統的住居の外皮に対するパッシブ省エネ戦略の最適化と技術及び経済性評価)
論文審査委員	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)) 審査委員 小山田 英弘 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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) 審査委員 河野 智謙 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (農学))

## 論文内容の要旨

- **The research aim of this study:**

This study aims to find some efficient and economic strategies for traditional dwellings in northeast of Sichuan hills, China to lower their energy demand. In addition, energy-saving effects and economic performance need to be simultaneously assessed since the economic development of the research region is relatively backward, therefore we carried out the thorough works on tech-economic evaluation of each energy-saving strategy. Eventually, we obtain a set of effective and economic energy-saving strategies and the research results can provide valuable references for decision-makers to select appropriate energy-saving strategies to reduce the energy demand of traditional dwellings, lower the economic burden for renovation and save more money.

- **The research contents of this study:**

In **Chapter 1, Research Background and Purpose of the Study**, we reviewed the energy consumption situation for the world and China, then we explained the climate background and the challenge of lowering energy consumption in this region. Based on the previous related background of the research region, we clarified the purpose, significance, and research structure of this study.

In **Chapter 2, Literature Review**, we reviewed a lot of previously published studies to find appropriate energy-saving strategies. The related research on applying insulation systems, phase change material (PCM), and solar radiation to reduce the energy demand of buildings were reviewed.

In **Chapter 3, Methodology**, we introduced the detailed information about traditional dwellings in this research region and the base model for discussion based on the field investigation. We also clarified the calculation process of all of the research methods we used, including the core formula for EnergyPlus, the principle of orthogonal experiment design (OED), and the thorough calculation process of analysis of variance (AVOVA), and the calculation method to obtain the dynamic investment payback period (DPP) and economic benefits.

In **Chapter 4, Thermal Performance of the Tested Building**, we analyzed the recorded data of the actual tested building, and we calculated the theoretical values of some basic thermal indicators of exterior envelopes. Moreover, we also simulated the indoor air temperature throughout the

whole year. The experimental, theoretical, and simulated results show that the present thermal performances of the exterior walls and roofs of the tested building do not meet the design requirements proposed by the related energy efficiency standard.

In **Chapter 5, Determine Insulation Thickness of Exterior Envelopes for the Traditional Dwellings in Northeast of Sichuan Hills**, we derived the calculation method of the optimum economic thickness of insulation materials for building exterior walls in the research region. We also ranked the importance of all of the factors which could affect the optimum thickness. Furthermore, we discussed the correlation between the optimal economic thickness of insulation materials for roofs and that of exterior walls. Results show: (1) Polyurethane foam (PU) is the preferred insulation material among these five commonly used insulation materials in this region.; (2) Among eleven influencing factors only heating degree-day (*HDD*) shows highly statistically significance; (3) The optimum thickness of roof insulation material is 1.5 times of the optimum economic thickness of walls insulation.

In **Chapter 6, Parametric and Economic Analysis of Phase Change Materials (PCM) on Energy Saving for Traditional Dwellings in Northeast of Sichuan Hills**, we analyzed eight parameters of PCM to investigate their effects on the annual energy demand of traditional dwellings. Results show: (1) Recommended PCM with the optimal combination of parameters is able to reduce 21.81% of annual energy demand. (2) Thickness, phase transition temperature radius, latent heat, and specific heat have a positive correlation with the energy-saving performance of PCM, while there is a negative correlation between the thermal conductivity and its energy-saving effect, and density doesn't present the regular link with annual energy demand. (3) Thermal conductivity, density, and thickness are the three crucial parameters affecting the economic benefits of PCM application.

In **Chapter 7, Passive Application of Solar Energy for Traditional Dwellings in Northeast of Sichuan Hills**, the energy-saving performances of Trombe wall (T-wall) and on-top sunspaces (OS) were assessed. Results show: (1) The thickness of air cavity for T-wall has minor influence on the energy-saving effect of T-wall, 50mm of air cavity thickness is recommended for this study region; (2) For on-top sunspaces strategy, the energy-saving rates of the annual energy demand grows with the increase of the glazing area; (3) Shade control can greatly decrease the cooling load for both T-wall strategy

and OS strategy.

In **Chapter 8, Tech-economic Analysis of Comprehensive Energy-saving Strategies**, we obtained 15 strategies based on four individual strategies proposed before, and we evaluated their energy-saving potential, investment payback period, and economic benefits. Additionally, we assessed the influence of building orientation. Results show: (1) Although building orientation has some impacts on their effects, these strategies still have a broad application prospect in this region. The angle of building north and actual north is within  $\pm 30^\circ$  has less impact on the energy demand; (2) The most economic strategy for this region is combining insulation materials and on-top sunspaces, the corresponding economic benefit can up to 347 CNY/m<sup>2</sup> ( $\approx 51.8$  USD/m<sup>2</sup>) and 412.8 CNY/m<sup>2</sup> ( $\approx 61.6$  USD/m<sup>2</sup>) for the base model and tested building, respectively.

In **Chapter 9, Conclusion**.

● **The significance of this study:**

1. Derive the formula for calculating the optimum economic thickness of insulation materials used for exterior walls, and calculate the optimum thickness of five commonly used insulation materials. Results can be directly adopted by residents, engineers, or decision-makers for this region.

Additionally, rank the important degree of influencing factors of optimum economic thickness of insulation materials and determine the most significant influencing factor. This exploration is rare in the previous relevant work. Results can provide some new insights into the energy-saving retrofit and offer some data references for residents and policy-makers.

2. Evaluate the energy-saving and economic potential of phase change material (PCM) utilization in this region, and determine three crucial factors affecting the economic benefits of PCM. Results can help decision-makers comprehend the application effect of this innovation materials and provide useful economic references for them.

3. Determine the optimal parameters for each energy-saving strategy, and propose the most economic retrofit strategy for traditional dwellings in this region. Results can help residents or decision-makers select the relatively appropriate energy-saving strategy to retrofit the traditional dwellings in this region, and thereby decrease the energy demand of the building.



## 論文審査の結果の要旨

本研究は、中国四川省北東部の伝統的な住居のエネルギー負荷を低減するため、各種省エネ戦略の技術及び経済性を評価し、意思決定者が適切な省エネ戦略を選択し、エネルギー需要の削減と改修のための経済的負担の軽減を組み合わせる方法を提案した研究である。

第1章では、目的、意義、論文構成を述べている。

第2章の文献レビューでは、中国の伝統的な住宅に適した省エネルギー策に関する研究レビューを行っている。

第3章では、調査対象地域の伝統的住居の実測調査の方法を詳述し、省エネ戦略のための建物ベースモデルを設定し、熱負荷計算プログラム **Energy Plus** を用いた計算手法を述べている。

第4章は、調査対象建築物の実測調査から、外皮の基本的な性能指標の理論値を算出し、これらの値とエネルギー効率基準による要求性能を比較し、モデル建築物の外壁と屋根の現在の熱性能は基準を満たしていないことを明らかにした。

第5章では、調査対象地域での住宅外壁の断熱材の最適経済厚さの計算方法を考案し、発泡ポリスチレン等5つの断熱材の外壁に対する最適経済厚さ及び統計分析に基づく最適厚さに影響を与える要因の重要度の比較、さらに、屋根用断熱材と外壁用断熱材の最適経済厚さの相関関係を検討し、それらの推奨比率を明らかにした。

第6章では、蓄熱材である PCM に関連する8つのパラメータを選択し、それらの値を所定の範囲で変化させ、対象地域の伝統的住居の年間エネルギー需要に対する影響を調べ、PCM パラメータの最適組み合わせを明らかにした。

第7章では、トロンプウォールと屋上サンスペースの省エネルギー性能を評価し、仕様の変化が省エネルギー効果に与える影響を分析し、エネルギー負荷削減率を明らかにしている。

第8章では、総合的な省エネ戦略の分析を経済的観点から行い、25年後の省エネポテンシャル、投資回収期間、経済効果を総合的に評価している。

第9章では、結論を述べている。

以上、本論文は、中国の伝統的住居のエネルギー負荷削減と省エネ改修の経済的負担の軽減を組み合わせる方法を評価し、住民や意思決定者に、適切な省エネ戦略を提供し、中国農村地域でのエネルギー負荷削減に大きく貢献するとともに、新たなパッシブ手法の総合的評価方法を示しており、建築環境工学分野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)	ヤン スーミン 杨 思敏 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第 2 1 1 号
学位授与年月日	2 0 2 2 年 9 月 2 6 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	Improvement of Indoor Environment based on Cooking Heating Wall and Sunlight Room in Traditional Chinese Housing (中国の伝統的な住宅における調理室の蓄熱壁及びサンルームに基づく室内環境の改善)
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 将江 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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))

## 論文内容の要旨

1. By comparing the heating conditions of traditional residential buildings with or without the new passive system, the heat load reduction when adopting the new system in winter was estimated.
2. In the absence of solar radiation, the heating effects of the ordinary heating system and the new passive system were analyzed. The purpose was to calculate the heating rate, the time required, and the decrease in the annual heat load of the building.
3. Considering the presence or absence of solar radiation, the new system was compared to the ordinary heating of residential buildings to simulate and calculate the change in indoor temperature, heating efficiency, heating time, and the value of the annual building heat load.
4. Through software simulation computation, the appropriate use time of the whole year after adopting the new system was estimated.
5. According to the standard minimum value of indoor thermal comfort temperature, under basic heating, the total time to meet the minimum value of the comfort standard throughout the year was calculated. Compared to the use of the new system with or without solar radiation, the total time to meet the lowest value of the comfort standard throughout the year was estimated.

### Chapter 1

This chapter mainly introduces the research background, research purpose, research overview and innovation points. With the development of economy, the energy consumption of Chinese traditional residential buildings increases year by year, resulting in energy waste. According to relevant literature, passive heating studies mainly improve the thermal insulation performance of the envelope, use renewable energy, biomass combustion and other technologies, but there are few studies on the combination of the utilization of solar energy technology and residents' living habits. Using solar energy technology combined with heat from cooking to raise indoor temperatures. On the one hand, the waste heat generated by cooking can be reused. On the other hand, using solar energy can greatly reduce energy consumption.

### Chapter 2

This chapter selects 12 villages in southern Shaanxi as the key research object. Conduct field research on traditional houses. Based on the analysis of

the general situation of southern Shaanxi, the cultural and historical development of residential houses, indoor thermal comfort and other conditions, it is found that the indoor temperature of traditional residential houses in winter is low and the indoor thermal comfort is poor.

### Chapter 3

This chapter mainly introduces the relevant research theories and methods. The research principles mainly include heat transfer principle and application, effective temperature, thermal sensation PMV-PPD index. The research methods mainly include field investigation, data collection, summarization and Ansys software simulation. By using relevant theories and methods, this paper simulates the temperature, humidity, wind speed and other values of traditional houses in southern Shaanxi in winter. The accuracy of Ansys software is verified by calculating the coefficient of determination  $R^2$ , and the value is greater than 0.8.

### Chapter 4

This chapter analyzes the space, technology and function of the houses in southern Shaanxi, and summarizes the inheritance elements of the houses in the three aspects of space, technology and function, combined with the influence of the special natural environment and social conditions in southern Shaanxi. It provides a strong support for the passive heating design of traditional residential houses.

### Chapter 5

Using the characteristics of wall heat storage, the heat of the flue gas generated by cooking is stored, and the heat is transferred to the room to heat the indoor temperature. Through the simulation of cooking heating wall system, without solar radiation, the indoor temperature is increased to  $9.7^{\circ}\text{C}$ , and the heating efficiency is  $2.34^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . With solar radiation, the indoor temperature is increased to  $12.2^{\circ}\text{C}$  and the heating efficiency is  $3.54^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . Using the cooking and heating system, the heat load of the building was reduced by  $1104\text{kW}/\text{h}$  and  $440\text{kW}/\text{h}$  throughout the year with or without solar radiation.

### Chapter 6

The working principle of the new system is not only to use the heat generated by cooking to heat the wall to increase the indoor temperature, but also to use the additional sunlight to absorb solar radiation, thereby increasing the heating efficiency and prolonging the heating time. With solar

radiation, the temperature in the basic heating room was 6.5°C, and the heating efficiency was 0.23°C/h. After adopting the new system, the room temperature after equilibrium was 9.16°C, and the heating efficiency was 4.09°C/h. When the heated cooking wall and additional sunlight system were used, the thermal load of the building decreased by 1436kW/h during the whole year (with solar radiation). The thermal load of the building decreased by 735kW/h throughout the year (without solar radiation).

## Chapter 7

This chapter mainly introduces the optimization of the cooking heating wall and the additional solar room system, and analyzes the influencing factors of the cooking heating wall and the additional solar room system. Through analysis and comparison, it is concluded that the main influencing factors of the system are glass window material, thickness, and window-to-wall ratio. Through software simulation, it is shown that the minimum annual energy consumption is 5523.24kW/h when ordinary insulating glass is used as the glass material. When the depth of the additional sun room is 120mm and 1500mm, the annual energy consumption is 7325.68kW/h and 7753.25kW/h. When the window-to-wall ratio is 0.7 and 0.6, the annual energy consumption is 5468.95kW/h and 5132.69kW/h.

## Chapter 8

The full text is summarized and the goals of future research are proposed. The research aim of this paper was to put forward a cooking heating wall system with an additional sunlight room, focusing on the analysis of the impact of this system on improving the indoor temperature. It was verified that this system is effective for indoor heating in residential buildings. The ratio of walls to other elements is also an important factor affecting the heating of the system. In future research, this viewpoint can be used as the main research direction. First, the main elements affecting the indoor temperature can be determined based on the local geographical environment and climatic conditions to further determine the proportion of walls and major elements, so as to optimize the system.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は中国陝西省南部の伝統的な住宅における調理室の蓄熱壁及びサンルームのメカニズムとその省エネルギー効果に関する研究であり、冬期において調理中に発生した熱と太陽光を利用し、暖房効率を高める方法を推定し、建物の暖房効果のための有用な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。

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、陝西省南部における12の村を調査対象とし、伝統的な家屋のフィールド調査を行い、陝西省南部の伝統的な住宅の文化及び歴史的な発展、室内の熱的快適性等の条件を分析し、冬は室内温度が低く、熱的快適性は低いことが明らかになった。

第3章では、主に関連する研究と調査方法が示され、調査方法として、主にフィールド調査、データ収集及びシミュレーションで冬は陝西省南部の伝統的な家屋の温度、湿度、風速等のシミュレーションを行った。

第4章では、陝西省南部の住宅について内部空間と用途を分析し、この地域の特別な自然環境と社会的条件の影響を組み合わせ、内部空間、設備技術、用途の3つの側面における住宅の継承要素が示された。

第5章では、壁の蓄熱特性を利用して、調理で発生する煙道ガスの熱を蓄え、室内を温める方法によって、日射のない調理室の蓄熱壁システムのシミュレーションにより、室内温度は $9.7^{\circ}\text{C}$ に上昇し、暖房効率は $2.34^{\circ}\text{C}/\text{h}$ となった。日射がある部屋では室内温度は $12.2^{\circ}\text{C}$ に上昇し、暖房効率は $3.54^{\circ}\text{C}/\text{h}$ となり、調理及び暖房システムを使用することで、建物の熱負荷が、日射の有無にかかわらず、年間を通じて13.55%及び8.14%削減されることを明らかにした。

第6章では、新システムの動作原理は、調理で発生する熱を利用して壁を蓄熱し、室内の温度を上げることだけでなく、さらに太陽光を利用して日射を吸収することで、暖房効率を高め、暖房時間を延長することの可能性について示された。

第7章では、主に調理用暖房壁とサンルームシステムの最適化とその影響要因を分析した。主な影響要因は、ガラス窓の材質、厚さ及び窓と壁の比率であることが分かった。またソフトウェアシミュレーションにより、ガラス材料として通常の複層ガラスを使用した場合の最小年間エネルギー消費量は28.05%削減されたことが示されている。サンルームの奥行が1200mmと1500mmの場合は、年間のエネルギー消費量の削減は10.10%と8.46%で、窓と壁の比率が0.7と0.6の場合は、年間のエネルギー消費量の削減は32.59%と35.01%であることが明らかになった。

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、中国陝西省南部の伝統的な住宅における調理室の蓄熱壁及び

サンルームのメカニズムとその省エネルギー効果について明らかにし、中国の伝統的な住居についてのさらなる研究に貢献し、今後の省エネルギー建築設計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)	リョウ イ 冷 逸 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第212号
学位授与年月日	2022年9月26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 of factors influencing the practical application of parametric design and robotic automated construction (パラメトリック設計とロボットによる自動化施工の実用化に 影響を与える要因に関する研究)
論文審査委員	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)) 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)) 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 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))



## 論文内容の要旨

The construction industry has always been an important part of human economic activity. As time goes on, building techniques and construction methods are changing. However, with the increasing acceleration of social development, traditional construction methods have reached their limits. Both in China and Japan are facing the problem of aging population structure and low birth rate. The human demand for complex forms of construction is growing, yet experienced workers are in short supply. The construction industry continues to undergo industrial upgrading, while the rise of digital design and the widespread use of robotics point the way to the future of the construction industry. We hope to explore the possibilities of parametric design and robotic automated construction through two practical projects. We also explore the factors affecting the application of robotic automated construction technology by building an evolutionary game model to provide a policy reference for the government, construction companies and public universities. The structures is explored as follows:

In Chapter 1, The background and purpose of the study are described.

In Chapter 2, The literature review on parametric design and robotic automated construction was compiled.

In Chapter 3, A tripartite evolutionary game model was developed for the interest-demand relationship between the government, construction companies and public universities to explore the influencing factors affecting the implementation of robotic automated construction.

In Chapter 4, An evolutionary game model was developed for the government, construction companies' interest-demand relationship under the influence of COVID-19.

In Chapter 5, A rapid interactive design method based on parametric design is introduced, and the importance of parametric design for improving the design process is presented.

In Chapter 6, A case study of collaborative human-machine construction of complex structures using robotic arms is presented, allowing inexperienced laymen to build quickly, efficiently, and accurately with the help of robotic arms and digital design solutions.

In Chapter 7, The conclusion and prospect were drowned.

The implications and contributions of this paper are as follows.

An evolutionary game model is used to analyze trends in the strategic choices and behavioral predictions of stakeholders (government, construction companies, and higher education institutions) for the introduction of robotic automated construction under normal conditions and under the influence of COVID-19, and a new method for predicting stakeholder behavior is proposed. It also proposes an on-the-fly interactive design process based on parametric design and develops a cost-effective and efficient design-on-demand approach to reduce design rework. In addition, a collaborative human-machine construction process is proposed to enable inexperienced workers to construct complex structures efficiently and accurately with the assistance of robots, combining the benefits of robotic automation and manual labor, thus enabling a wider market application of robotic automated construction.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、ロボットが建築施工現場に導入されることを前提に、進化ゲーム理論を用いて、利害及び需要関係者の意思決定要因の分析を行うとともに、ケーススタディを通して、アルゴリズムデザインによる新たな設計プロセスの可能性、アルゴリズムデザインに基づくロボットによる自動施工の有用性を実証している。

第1章では、本調査の背景と目的を述べている。

第2章では、パラメトリック設計とロボットによる自動施工に関する文献のレビューをまとめた。

第3章では、ロボットが施工現場に導入されることを前提に、行政、建設会社、高等教育機関の利害及び需要関係を三者間の進化ゲームモデルを用いて構築し、ロボットによる自動施工が建設業界で導入されることに影響を与える要因を探っている。

第4章では、COVID-19の影響下での進化ゲームモデルを構築し、パンデミック状況下におけるロボットによる自動施工の採用に影響を与える要因及び主要なパラメータに対する感度を分析している。

第5章では、パラメトリック設計に基づくフィードバック型（即時対応型）設計手法を実際の建築物のファサードデザインに応用し、設計プロセスでのパラメトリック設計の可能性を提示した。

第6章では、アルゴリズムによる形態生成手法でデザインされた木ブロックの複雑な構造物を人間と機械が協働して施工する実験を行い、経験の浅い作業者がロボットアームとデジタル設計ソリューションの助けを借りて、迅速かつ正確に木材の積み上げ施工ができることを立証した。人間とロボットの合理的な分業により、手作業と自動化施工の長所を兼ね備え、互いの短所を回避した施工が可能となり、幅広い用途に対応した施工が可能であることを示した。

第7章では、結論と展望を示している。

本論文は、進化ゲームモデルを用いて、通常時とCOVID-19の影響下におけるロボットによる自動施工導入のステークホルダー（政府、建設会社、高等教育機関）の選択傾向と行動の予測を行う新たな手法を提案した点、パラメトリックデザインによる設計手法とロボットによる自動施工が可能であることを、2つの実践的なプロジェクトを通し実証した点が、高く評価できる。技術者不足、人件費の高騰の影響で急速に進むことが予想される建設分野でのロボット導入の先駆けとなる研究であり、建築施工分野の発展に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)	リン ハンウェイ 林 航葳 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第 2 1 3 号
学位授与年月日	2 0 2 2 年 9 月 2 6 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 Study of Applicability and Properties of Recycled Aggregate Concrete with Modified Fly Ash by Flotation Method (浮遊選鉱法によって改質したフライアッシュを使用した再生骨材コンクリートの特性と適用性に関する研究)
論文審査委員	主 査 高 巢 幸二 (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 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 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 孫 連明 (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

In general, this thesis starts with the development of new flotation equipment to bring fly ash up to industrial standards by reducing the carbon content. And by comparing the properties of the modified fly ash after flotation under different conditions, an optimum flotation time and additive content was found. After those the mechanical and physical properties of concrete with different fly ash and recycled aggregates content are measured by different experiments, compared with normal concrete and an attempt is made to find out the connection between some of these properties. In the experiments, concrete with recycled fine aggregate added was used and the effects of different contents of recycled fine aggregate in ordinary fly ash concrete were compared. Porosity experiments were also carried out and correlation analysis was used to try to find the correlation between porosity and compressive strength or drying shrinkage. By the results of compressive strength, drying shrinkage, static modulus of elasticity and dynamic modulus of elasticity of concrete with the addition of recycled fine aggregate and modified fly ash, and predicted values of drying shrinkage of high strength concrete, it can be concluded that the properties of concrete are indeed related to each other and some prediction equations for compressive strength and drying shrinkage are obtained by fitting experimental data based on the specification standards of each country. Finally, the properties of high-strength concrete with the addition of modified fly ash and recycled fine aggregates were studied, and the predictive equations found in the literature were fitted to the experimental values to obtain predictive equations for drying shrinkage that can be applied to such concrete. Those above results show that the application of MFAS prepared by the flotation method to concrete is feasible.

CHAPTER 1 RESEARCH BACKGROUND AND PURPOSE OF THE STUDY focuses on the production of fly ash and the hazards, briefly describes the classification system of fly ash, and discusses the development status of the flotation method of fly ash.

CHAPTER 2 PREVIOUS LITERATURE REVIEW mainly introduces the current status of research on fly ash concrete at home and abroad. The development of fly ash decarbonization technology is reflected through the development of fly ash flotation method and the international utilization of

fly ash.

CHAPTER 3 RESEARCH METHOD mainly describes the experimental methods of this study. It includes the development process of the flotation method and the design of the concrete mix ratio introducing the development method of the new equipment.

CHAPTER 4 DEVELOPMENT OF FLOTATION DEVICE FOR REMOVING UNBURNT CARBON IN FLY ASH FOR USE IN HARDENED CEMENTITIOUS MATERIALS concluded that: We developed a prototype device for removing unburned carbon from fly ash by means of the flotation method and examined the operating conditions of the device experimentally.

CHAPTER 5 EFFECT OF INCORPORATING FLY ASH AND RECYCLED FINE AGGREGATE ON PROPERTIES AND CUMULATIVE PORE VOLUME OF CONCRETE concluded that: Incorporating RFA or low amount of FA as into concrete reduces its initial strength, but the compressive strength of concrete incorporating an appropriate amount of FA can reach that of concrete without FA as the age of concrete increases or the W/B ratio decreases.

CHAPTER 6 A STUDY ON PROPERTIES, STATIC AND DYNAMIC ELASTIC MODULUS OF RECYCLED CONCRETE UNDER THE INFLUENCE OF MODIFIED FLY ASH concluded that: The relationship between the compressive strength and static modulus of elasticity is recommended by an equation derived based on the formula of each national standard.

CHAPTER 7 STRENGTH AND DRYING SHRINKAGE OF HIGH-STRENGTH CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES USING FLY ASH WITH THE FLOTATION OF DECARBONIZATION concluded that: By comparing the predicted formulas of various countries, the predicted formula of ACI is the closest to the actual value of this experiment.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、フライアッシュ中の未燃炭素を除去して高品質フライアッシュに改質するための浮遊選鉱法による改質装置を開発し、改質フライアッシュを使用した再生骨材コンクリートの特性とその適用に関して検討したものである。論文は7章から構成されている。第1章は、研究背景と研究目的を示している。第2章は、浮遊選鉱法と再生骨材コンクリートに関連する先行文献のレビュー結果を示している。第3章は、本論文で使用した実験概要であり、コンクリートの圧縮強度、乾燥収縮、静弾性係数、動弾性係数の測定プロセスを体系的に示している。第4章は、異なる条件で改質フライアッシュの特性を比較することで、最適な浮遊時間と添加剤量の関係を見出し、バッチ式の浮遊選鉱装置を開発した。第5章は JIS II 種フライアッシュと再生骨材を複合混合したコンクリートの圧縮強度、乾燥収縮、静弾性係数、動弾性係数を測定してその特性を確認した。使用した再生骨材は日本や中国において建築構造体にはほとんど使用されていない再生細骨材である。フライアッシュコンクリートにおける再生細骨材の混合量の違いがコンクリートの圧縮強度と乾燥収縮に影響を及ぼすことを確認した。さらに細孔構造に関して水銀圧入式ポロシーメーターで測定を行い相関分析により空隙率と圧縮強度や乾燥収縮率との相関を求めた。第6章は改質フライアッシュ再生コンクリートの静弾性係数と動弾性係数の関係を分析し、静弾性係数、圧縮強度および乾燥収縮率を各国で提案されている既往の予測式との適合性を検討した。次いで、静弾性係数と動弾性係数の既往の関係式から改質フライアッシュ再生骨材コンクリートに適合する修正関係式を提案した。この修正関係式から動弾性係数によってコンクリートの圧縮強度と乾燥収縮率を予測することを可能にした。第7章では改質フライアッシュ高強度コンクリートの乾燥収縮予測式を検討し、既往の予測式を実験結果にフィッティングして、高強度領域における改質フライアッシュ再生骨材コンクリートの乾燥収縮予測式を得た。第8章は、得られた成果をまとめると共に今後の展望を示して結論とした。上記に示したように、本論文はコンクリート工学分野において新しい知見を与える有用性に富んだ実測・実験研究で信頼性が高く学術的に価値があり優れた効用効果を有する論文であると認められる。

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)	レンディ パルダナ キドマツ Rendy Perdana Khidmat (インドネシア)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第214号
学位授与年月日	2022年9月26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 Optimization Method of Architectural Design Process based on Environmental Performance Indicators and Implementation of Generative Algorithm (形態生成アルゴリズムを活用した環境性能指標に基づく建築 設計プロセスの最適化手法に関する研究)
論文審査委員	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)) 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) 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 高島 康裕 (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

Design decision-making process can be complicated and immense. Considering the high level of uncertainty during early phase architectural design process, designer often neglect design parameter that could mitigate future building performance and environmental impact. Utilizing generative design algorithm and genetic optimization for the management of contemporary data-driven and performance-oriented architectural design is prevalent. Due to their computationally intensive nature, it can be challenging to use them to optimize environmental potential and structural considerations that are affected by the geometry and the material employed. This thesis focuses on the deployment of parametric approaches and generative exploration and optimization processes to optimize design objectives related to environmental performance indicators. Exploration mechanism should be considered as an option for identifying and finding design solutions with better performance efficiently and effectively. In this thesis, we propose techniques for achieving the best design solutions during early-phase architectural design process, investigating the objectives of environmental indicators together with the study of design parameter's role.

The thesis consists of four main bodies. In Chapter 4, the experiments were meant to develop a methodology for investigating daylight performance and its relationship with glazing ratio, overhangs, louver shading, and room orientation. The chapter offers a novelty in iterating a common feature such as overhangs, louvers, glazing, and orientation to optimize daylight performance in specific regional contexts such as Sydney; Australia, Jakarta; Indonesia, and Birmingham; U.K., into three experiments. First experiment implemented design exploration experiment for Jakarta showed improvement in the useful daylight illuminance (UDI) by about 13.1% compared to the benchmark model. In the second experiment, a computationally developed benchmark model increase UDI by about 2.58% to about 6.17% depending on which type we prefer. In the best winter performance, the heating energy was improved by 3.36%. In the third experiment, study for Birmingham showed UDI improvement by about 80% and energy consumption by 28%. Study for Jakarta show UDI improvement by 146.26% and energy consumption by 3.26%. The Sydney case study, UDI improved by 79.48% and energy consumption by 2.99%. Parameter Spacing

and Blade size were found to be the most influential parameters driving design objectives in almost all the sensitivity analysis studies.

In Chapter 5, the experimentations characterized an approach for improving the configuration of a material with a long-standing and well-known reputation, the expanded metal sheet that was designed as a shading device, to demonstrate that the utilization of this material can improve daylight provision and serve as an alternative material for shading devices. The study provides an innovative way of investigating a well-known, inexpensive, and long-standing reputable material, expanded metal sheet, as a solar shading device with its daylight performance. Given the context of Japan's sky conditions, the best expanded metal configuration and daylight performance were successfully identified and proven to merit the daylight requirements of LEED v4 Daylight credits. The experiment on the expanded metal reveals that in Japanese Industrial Standard (JIS) G3351 grating type, the XG13 and XG14 are the most preferable types for UDI, while the XG24 is the best type for daylight glare probability (DGP) and from the fitness function calculation. XS91 is the best for the view objective. Aperture was negatively correlated with UDI. Furthermore, undergoing a comprehensive investigation of daylight from 3176 generated design solutions, the best design solution was solution number 1728, reducing annual sunlight exposure (ASE) by up to 100% and improving UDI by up to 50%. Focusing on daylight glare probability (DGP), the optimization achieved a reduction in DGP by 38%. In this chapter, Strand and Height are found to be the most influential parameters driving the objectives.

In Chapter 6, we developed a parametric and optimization platform to observe the building geometry-affected potential for optimizing outdoor thermal comfort and reduce energy consumption. The purpose of this chapter was to examine how the geometry of a two-story wooden house with a novel geometry that uses the *Reuleaux* triangle as its base profile affects the universal thermal climate index (UTCI) situated in the Orio District, Kitakyushu, Japan. The study provides significance in finding the best twisted *Reuleaux* triangle cylinder geometry to respond to the climate of Kitakyushu, Japan. The results revealed insignificant improvement in one-day based simulation with 0.07°C improvement in UTCI, 0.02 kWh/m<sup>2</sup> in surface radiation, and 0.01 kWh/m<sup>2</sup> in the site radiation. However, in this chapter, a contradiction emerges where the analysis toward the annual cost

showed that the improvement was not guarantee the energy consumption efficiency.

In Chapter 7, the experiment investigated the relationship between the design parameters of a novel *Hyperboloid* wooden structure to the structural and daylight objectives. The study provided a novelty in the structural investigation and cost efficiency of a unique *Hyperboloid* wooden structure made of 105 mm x 105 mm x 4000 mm Japanese cedar, together with the identification of the best glazing size and position that performed the best daylight situation. The optimization and exploration yielded 10,098 solutions in structural analysis and 406 solutions in daylight exploration and successfully dragged the pareto front and the fitness function calculation individuals to the searching area in the population fields. Applying fitness function calculations, the nine best solutions were ranked and the tendency between parameters and objectives was revealed. Besides, design exploration in the daylight simulation has been successfully observed the ten best solutions performing optimum UDI in the summer and winter period.

The research contributes to the field of computational architecture design by providing insight into how form finding leads to design goal optimization and a method for examining the link between design parameters and design objectives at various scales of the design project. By understanding the relationship and trend between parameters and design objectives in the context of early-phase architectural design, design goals can be quantitatively justified, and the optimal solution can be attained. For instance, the information of a particular louver, expanded metal configuration, or building geometry can be beneficial for designers, manufacturers, users, and regulators in recommending the proper configuration based on the regional context to achieve future energy efficiency and optimize daylight and energy consumption, which can have a long-term positive effect on human health, the economy, and the natural environment.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、建築物を設計する際、より良い構造性能、環境性能を持つ設計解を効率的かつ効果的に特定・発見するための方法を提案し、実例を通して実証的にその有効性を示している。

第1章で研究の背景と目的、第2章で関連文献のレビュー、第3章で研究方法を述べている。第4章では、部屋の向きを変えた場合の望ましい昼光性能を検討している。屋外ルーバーの昼光性能と窓面積比率、オーバーハング、ルーバー角度、ブレード遮光性能をパラメータで変更させるモデルの解析を行い、シドニー、ジャカルタ、バーミンガムで有効昼光率（UDI）が大幅に改善され、エネルギー消費も削減されることを示した。また、感度解析によって、ルーバー間隔とブレードサイズが設計目標を推進する最も影響力のあるパラメータであることを見出している。第5章では、多くの国で長年にわたり建材として使用されているエキスパンドメタルを遮光装置として新たに設計し、その形状を改善案を形態生成アルゴリズムを用いて最適化して求め、エキスパンドメタルが日照をコントロールする遮光装置の代替材料として十分機能することを実証している。最適化により昼光グレア確率（DGP）を38%削減することを示した。第6章では、パラメータによって「ねじれ」を与えた建物形状が屋外の熱的快適性を最適化し、エネルギー消費を削減する可能性を確認するため、形態生成アルゴリズムの最適化プラットフォームを開発した。外観をロイローの三角形を基本形とした木造2階建て住宅を設計し、「ねじれ」が熱気候指数（UTCI）にどのように影響するかを求め、1日ベースのシミュレーションで、UTCIが $0.07^{\circ}\text{C}$ 、地表放射が $0.02\text{kWh/m}^2$ 、敷地放射が $0.01\text{kWh/m}^2$ と、わずかながら改善されることが明らかにした。第7章では、ハイパーボloid形状の木造建築を想定し、パラメータを変更させることで構造および日照環境を解析するモデルを構築した。最適化には、フィットネス関数計算を適用し、9つのベスト解をランク付けしてパラメータと目的の間の傾向を明らかにした。また、昼光シミュレーションによる最適化の検討では、夏期と冬期に最適なUDIを得る10のベスト解を求め、アルゴリズムを用いた環境性能指標から、建築設計に必要な最適解が得られることを実証的に示した。第8章で、各章のまとめと全体の考察を行い、第9章で結論を述べている。

以上、本論文は、形態生成アルゴリズムを用い膨大な形態を想定し、その環境性能を各種環境指標に対応させて示し、最適な設計解を得るための新たな手法を提案している。得られた最適解は、設計者がこれまで、感覚的に行なっていた設計を定量的な指標に基づき行うことを可能にする。膨大なデータに基づき設計の最適解を求める新たな手法は、建築分野、特に設計分野に大きな革新をもたらす可能性を示している。

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)	チン キョウ 陈 钰 (中国)
学位の種類	博士 (学術)
学位番号	甲 第 1 1 5 号
学位授与年月日	2 0 2 2 年 9 月 2 6 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	SYNTACTIC ANALYSIS OF SPATIAL CONFIGURATION TOWARDS THE UNDERSTANDING OF CONTINUITY AND CHANGE IN RURAL DOMESTIC SPACE IN THE WEST ZHEJIANG OF CHINA (中国浙江省西部におけるスペースシンタックス理論を用いた 農村居住空間の空間構成の連続性と変化に関する研究)
論文審査委員	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)) 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 城戸 將江 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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))

## 論文内容の要旨

In the context of the guiding principles of current Chinese rural construction have shifted from increasing "quantity" to improving "quality," with the goal of preserving rurality and fostering a benign and sustainable interaction between urban and rural areas, this study selects the most important component of the rural settlement environment - the houses, or domestic space inside - as the research object to investigate the transregional differences and transepoche evolutionary processes. Within in the study area of western Zhejiang province.

In order to address the vagueness of architectural research, Space Syntax theory is adopted for a quantitative comparative analysis on spatial configuration features, which is a set of plane topology relationship formed by the user's behavior patterns, and the underlying sociocultural logic. SSPS-based semi-structured questionnaire statics analysis is also employed as an examination on the results.

This study focuses on two main issues. The first is the interpretation of the traditional residential buildings' very subtle differences, which can be so easily overlooked or hidden by stereotypical representations. Through a three-step analysis (Relative value analysis, Genotype analysis and Regression analysis on primary spaces and the whole entity), not only the nuance of spatial characteristics of traditional rural houses is represented, but also a framework for scientific and quantitative analysis on related problems is proposed. The second is how rural domestic space has changed over time. In order to ascertain the consistency and change in the spatial organization pattern, a four-step syntactic analysis is used, and the study attempted to identify the associated rural sociocultural background.

In Chapter 1, background and purpose of the research were introduced.

In Chapter 2, literature reviews of Space Syntax theory and relevant research conducted on domestic space is elaborated and summarized.

In Chapter 3, methodology and case selection principles are explained and research process and framework were established.

In Chapter 4, comparative study on two types of domestic space in traditional dwellings in Jinhua and Quzhou was carried out to display the tacit regional characteristics.

In Chapter 5, comparative study on domestic space of rural houses of five

periods in Quzhou was conducted to show the revolution in spatial organization patterns.

In Chapter 6, the conclusion and discussion.

The dissertation is being completed with the aim of preserving the "prototype" in traditional space through syntactic interpretation on regional features, and at the same time to pursue a sustainable and indigenous residential spatial pattern through conducting extensive research on the transformation on local domestic spaces, with the aim of discovering a residential space model that both meet the needs of modern life and embody the Chinese regional cultural paradigm.

## 論文審査の結果の要旨

現在の中国の農村での建設開発は、「量」の増加から「質」の向上へと転換し、農村性を維持し、都市と農村の良好で持続可能な相互作用を促進することを目的としている。本研究では、農村集落環境の最も重要な構成要素である家屋内部の居住空間を研究対象とし、浙江省西部の農村住宅の地域間での差と経年的な進化過程を明らかにすることを目的としている。建築計画学での曖昧さを解消し、空間構成の特徴を定量的に分析するために、スペースシンタックス理論を用いている。

第1章では、研究の背景と目的を述べている。第2章では、シンタックス理論と伝統的空間について行われた関連研究の文献レビューを精査し要約を行っている。第3章では、方法論と事例選択の原則を説明し、研究のプロセスと枠組みを確立した。第4章では、金華 Jinhua と衢州 Quzhou の伝統的な住居に関し、二つのタイプの伝統的空間の比較研究を行っている。スペースシンタックス理論を用い、居住空間の特性に合わせて空間のラベリングを行い、トポロジカル関係から空間構成の特徴を示し、RA 値によって空間の深度（分離）の程度を算出している。さらに、文化的中心地からの距離を文化伝播の度合いと仮定し、距離と RA 値の相関から、地域の文化的構成と住居空間の特性の関係を明らかにした。社会的文化的構成要素として住居空間を認識することによりこれまで知られていなかった地域特性を明らかにしている。第5章では、衢州の5つの時代の農村住宅の居住空間に関する比較研究を行った。スペースシンタックス理論を用いたトポロジカル分析を行い、空間構成パターンの変遷を明らかにし、その結果を居住者へのアンケート調査と関連づけ、居住者の空間に対する意識と伝統的空間構成との関係性を明らかにした。第6章で、結論と考察を述べている。

以上、本論文は、地域的特徴を有する伝統的居住空間をスペースシンタックス理論を用いて分析し、伝統的空間における「原型」を保存するための基礎資料を提供するとともに、農村の居住空間の変容に関する広範な研究を通じて、持続的で固有な居住空間のパターンを提示しており、現代生活のニーズに応え、かつ中国の地域文化パラダイムを体現する住宅の空間モデルを検討する手法が示されている。従来の定性的で曖昧な空間分析に対し、スペースシンタックス理論による定量的手法を歴史的な変遷や地域文化と関連させて分析する新たな手法が示されており、建築計画学および歴史意匠分野に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（学術）の学位を受ける資格があるものと認める。研究テーマが工学の枠を超え、建築の歴史文化的な視点から学際的アプローチで研究されているため、学位を博士（学術）とした。



フリガナ 氏名 (本籍)	ルー インチン 卢 韵琴 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第215号
学位授与年月日	2022年9月26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	住宅の電力消費の影響要素分析及び分散型エネルギーの導入効果に関する研究 (Sensitive analysis of residential electricity consumption and the effect of introducing Distributed Energy)
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 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 小山田 英弘 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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))

## 論文内容の要旨

近年、環境問題や都市化問題に対して、持続可能な低炭素都市の取り組みが活発している。住宅部門においては、エネルギー消費実態の把握、エネルギー消費に影響する要素の究明が重要になってきている。また、住宅のCO<sub>2</sub>排出量の削減や電力のピークカットのため、住宅に高効率な分散型エネルギーの導入も増えている。

本論文ではスマートコミュニティにある住宅の電力消費量と世帯属性に関する実測やアンケート調査を行い、電力消費量の影響要素と電力ダイナミックプライシング（変動価格）実施時の効果を明らかにする。また、住宅に分散型エネルギーを導入する時の効果について、実測とシミュレーションにより、環境性と経済性要因を分析し、今後の環境モデル都市づくりにおける新たな取り組みと省エネ事業に貢献することを目的とする。

本論文は、以下の7章で構成されている。

第1章では、まず、持続可能な低炭素都市の取り組みとして、スマートコミュニティ発展、オール電化の普及、分散型エネルギー導入などの背景を述べる。次に、本研究の目的「エネルギー消費の影響要素と分散型エネルギー導入の効果を解明し、省エネ事業と新たな取り組みに貢献する」を述べる。最後に既往研究と各章概要と位置づけを説明する。

第2章では、各章の研究に用いた研究方法について説明する。

第3章では、スマートコミュニティ住宅の電力消費の影響要素とダイナミックプライシング実施時の効果を解明するために、デマンドレスポンス実証（ダイナミックプライシング＝DP）に合わせ、対象住宅を実証の有無により、グループA、Bに分け、住宅属性、世帯属性及び電気設備導入状況等、住戸のエネルギー消費構造に影響する可能性がある特徴因子を把握するため、アンケート調査を行う。その後アンケート調査結果とDP実施時のスマートメーターによる年間電力消費量の集計を行い、住宅及び世帯属性とDP実施時のエネルギー消費の関連性に関する単変量解析と階層的クラスター分析を行う。本研究では、各影響因子をグレードごとに数値に変換し、変数とし、ウォード法で、統計処理ソフトウェアSPSSを用い、分析を行う。

結果として、ダイナミックプライシングを実施することは住民たちの電気設備使用の習慣に影響を与えることが明らかにした。家庭属性因子の中、延床面積、世帯人数、世帯主の年収、エアコンの保有台数がエネルギー消費量に影響することが分かった。階層的クラスター分析により、ダイナミックプライシングの実施は「高齢型」属性パターンに影響を与えなかったことが分かった。

第4章では、より詳細の時間帯別、用途別の電力消費状況を把握するため、第3章と同全電化集合住宅の13世帯を対象に実測調査を行う。実測では、夏季、中

間期、冬期に分け、エネルギー計測システムを各世帯の分電盤に取り付けて測定する。集計したデータを用い、データベースを構築し、日時別と時刻別の各用途のエネルギー消費特徴を分析する。さらに、実測データを平均化し、各用途の平均日電力消費量を変数として、SPSS を用いて、ウォード法のユークリッド平方距離により、階層的クラスター分析を行い、類似世帯の特徴を把握する。また、属性に関するアンケート調査と実測調査の結果に基づき、「世帯属性」、「季節による変動」、「各用途の電力消費」、「在宅率の検討・在宅率による電力消費量への影響」といった4つの視点から電力消費量に及ぼす影響要因の分析を行い。相関分析と回帰分析により、用途と日電力消費量の関係や在宅割合が日電力消費量に与える影響を検討する。

結果として、対象オール電化住宅において、エコキュートによる電力消費が世帯の電力消費量に最も強い影響を与えていることが分かった。季節による電力消費量の変化についても、冬期におけるエコキュートが最も顕著であった。それで、冬期における給湯の使い方を見直すことが、全電化集合住宅の省エネルギー化に繋がると分かった。また、在宅率が高い日ほど、電力消費量が大きくなる傾向を示すことを分かった。

第5章では、住宅に太陽光電池、ガス燃料電池、水素燃料電池の3種類の分散型エネルギーシステムを導入時の経済性を考慮した年間コスト及び最適容量を検討するため、計算モデルを構築し、従来エネルギーシステムに3種類の分散型エネルギーをそれぞれ導入したケースを設定し、解析ツールのGAMSでシミュレーションを行う。その中、電力料金、売電価格、炭素税、ガス料金、水素価格等の影響要因を挙げ、変動した時にどの程度の影響を与えるか検討する。

結果として、年間コストにおいて、太陽光電池の導入容量が多ければ、年間コストが下がる。ガス燃料電池と水素燃料電池は導入容量が多ければ、年間コストが上がる。最適導入容量の検討において、太陽光電池の導入については、現行電力、売電価格では経済性はある。ガス燃料電池と水素燃料電池は現段階経済性がないことが分かった。

第6章では、太陽光発電と燃料電池の併用住宅のHEMSデータを入手、その設備性能、稼働状況や電力需要を分析する。これをもとに電力自給率、エネルギーシステムの季節負荷の需給関係を把握する上、分散型エネルギーの活動パターンと併用システムの経済性と環境性を検討する。

結果として、対象住宅の電力自給率が高く、また、発電設備の稼働パターンおよび電力負荷との相関が大きいことがわかった。燃料電池は12月において電力需要の平準化に貢献できると確認した。併用システムの環境性と経済性が確認できた。

第7章では、本研究の結論と今後の課題をまとめる。

## 論文審査の結果の要旨

近年、環境問題や都市化問題に対して、持続可能な低炭素都市の取り組みが活発化している。この研究では、スマートコミュニティにある住宅の電力消費量の影響要素と電力ダイナミックプライシング（変動価格）実施時の効果を明らかにした。また、住宅に家庭用分散型エネルギーを導入する時の効果について、実測とシミュレーションにより、環境性と経済性要因を分析し、今後の環境モデル都市づくりにおける新たな取り組みと省エネ事業に貢献することを目的とした。

第1章では、研究背景、研究目的を述べ、従来研究と各章の位置づけを説明した。

第2章では、各章の研究に用いた研究方法について説明した。

第3章では、スマートコミュニティ住宅の属性に関するアンケート調査とダイナミックプライシング実証実験の結果をグループ別に集計かつ分析し、ダイナミックプライシングの効果及び電力消費の影響要因と特徴的パターンを明らかにした。

第4章では、時間帯別、用途別の電力消費状況のデータベースを構築した上で、季節ごと、家電ごとに、在宅率等の要因が住宅電力消費に与える影響を明らかにした。

第5章では、住宅家庭用分散型エネルギーシステムを導入し、それぞれの要因を考慮した場合の各発電設備の年間コスト又は最適容量について、計算モデルを用いてシミュレーションを行い、導入の経済性を明らかにした。

第6章では、太陽光発電と燃料電池の併用住宅の HEMS データに基づいて、その設備性能、稼働状況や電力需要を分析し、電力自給率、エネルギーシステムの季節負荷の需給関係を把握した上で、家庭用分散型エネルギーの稼働パターンと併用システムの経済性及び環境性を明らかにした。

第7章では、各章の研究結果と今後の展望をまとめた。

以上のとおり、本研究は、住宅の電力消費量の影響要素と家庭用分散型エネルギーを導入する際の環境性と経済性要因を明らかにした。一連の研究により、この分野に新しい知見をもたらし、低炭素都市住宅の省エネルギーと家庭用分散型エネルギーシステムの導入に貢献している。

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)	江 功 <sup>ゴ</sup> 艺 <sup>ゲイ</sup> (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第216号
学位授与年月日	2022年9月26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 Recycling and Planning of Rural Wastewater in Zhejiang, China (中国浙江省における農村廃水のリサイクルと計画に関する研究)
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 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 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 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

With the rapid development of industrialization in Zhejiang province and the change of rural residents' lifestyle, a large amount of domestic and industrial wastewater is generated in rural areas. The wastewater treatment is more complicated than urban wastewater treatment, so the pollution of water environment is more serious. Based on this, this paper takes the rural areas in Zhejiang province as the research object, analyzes the rural water resources and their utilization characteristics, studies the water resources system problems, and forms the "sustainable development" based on the rural water environment pollution control and water resources planning method proposal. The structures is explored as follows:

In Chapter 1, the background and purpose of the study were elaborated. Literature reviews of water resources planning were sorted out.

In Chapter 2, the theory and method of constructing a water quality model and the investigation and experiment on wastewater recycling are developed.

In Chapter 3, the current situation of water pollution and rural sewage treatment system in Zhejiang province is analyzed. Policy measures and treatment difficulties are pointed out, and suggestions are made for the realization of rural sewage resources.

In Chapter 4, taking Shangyu as an example, based on the survey data of water resources and water environment, point pollution sources and surface pollution sources, water function zoning was implemented and the estimation of pollutant input was analyzed.

In Chapter 5, analyzed the requirements and uses of wastewater recycling and typical technology for wastewater recycling. Studied the use of membrane separation technology in the recycling of water resources and the conversion of salt in wastewater into resource. And the electro dialysis bipolar membrane technology was applied to the high-salt leachate recovery process of Shangyu rural landfill.

In Chapter 6, taking Shangyu as an example, the current status of water supply and drainage is analyzed. New sewage scale and area as well as the amount of construction work for the main sewage pipe and the main network of the sewage system is proposed.

In Chapter 7, the conclusion and prospect were drowned.

## 論文審査の結果の要旨

浙江省の工業化の急速な進展と農村住民の生活様式の変化に伴い、農村部では生活廃水や工業廃水が大量に発生するようになった。本研究では、浙江省の農村を研究対象とし、農村の水資源とその利用の特徴を分析して、SDGsに基づく農村エリアの水環境汚染防止と廃水のリサイクル計画について提案することを目的としている。

第一章では、論文の研究背景、従来研究及び研究の目的について説明した。

第二章では、「持続可能な開発の理論」に基づいた農村の水資源計画の理論を述べた。

第三章では、浙江省の水質汚染と農村部の污水处理システムの現状を分析した。政策的措置と処理の難しさを明らかにし、地方の廃水資源の改善を提言した。

第四章では、農村廃水処理施設の「建設と管理の一体化」について活用の可能性を明らかにした。建設・運営管理一体化のモデルについて分析し、効率的で無駄のない管理システムを提案した。

第五章では、浙江省の上虞市を例にとり、水資源と水環境及び汚染源の狭域及び広域調査データに基づいて、河川水機能の地域化、河川の汚染吸収能力の計算、河川に流入する汚染物質の量の推定を行い、上虞市の水環境保護のため定性的・定量的な汚染物質のコントロールと削減の方法を構築した。

第六章では、上虞市を例にとり、給排水の現状分析を行い、水資源の循環利用における膜分離技術の活用や、廃水中の塩分の資源化について研究し、経済的、社会的な利益を高めるために、廃水の総合的な利用方法を明らかにした。

第七章では、各章の研究結果と今後の展望をまとめた。

以上のとおり、本研究は、農村部の水資源の特性とその利用状況を分析し、SDGsに基づく農村部の水資源計画の方法論を提案し、浙江省農村部の実情を踏まえ、地域の農村水質汚染管理・計画に適した対策を探ったものである。一連の研究成果は、当該分野に新しい知見を与え、農村部の水資源の保護及び持続可能な活用計画を促進することに寄与している。

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)	ウシヨウケン 王 晓轩 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第 2 1 7 号
学位授与年月日	2 0 2 2 年 9 月 2 6 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	The mechanism, characteristics and efficiency of a new vertical flow labyrinth (VFL) device for treating various wastewaters (新垂直流ラビリンス (VFL) 排水処理装置の機構、特性及び効率に関する研究)
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 高 巢 幸二 (北九州市立大学国際環境工学部教授 博士 (工学)) 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 秋 葉 勇 (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

Due to high ammonia nitrogen and complex water quality characteristics, landfill leachate has caused significant difficulties in leachate's biological treatment. Therefore, it is essential to develop an efficient and energy-saving leachate natural treatment process. In addition, printing and dyeing wastewater is one of the leading industrial wastewaters with large output, strong alkalinity, high chroma, high organic concentration, complex components, and poor biodegradability. The textile industry is one of the most intensive industries in chemical products whose wastewater contains hazardous dyes, pigments, dissolved/suspended solids, and heavy metals. Hence, it is essential to effectively treat the wastewater generated by those industries before releasing wastewater into the environment. Though textile wastewater treatment has made tremendous progress, the advanced treatment methods should be improved further to make them economically viable and friendly. Based on this, starting from landfill leachate and sand washing wastewater, this paper uses a new vertical flow labyrinth (VFL) device to investigate the effect of seasonal temperature on water quality degradation performance. On this basis, the superiority of the VFL unit and the anaerobic/anoxic/aerobic (AAO) process in the treatment of sand-washing wastewater was compared.

Chapter 1 is the research background and purpose of the study.

Chapter 2 is the review of previous literature. The research on talents attraction strategies of different countries, regions, and cities has been investigated. It is notable that there are still some research gaps which need to be studied.

Chapter 3 is the research methodology. The designing process and the experimental process of the conjoint analysis has been shown in this chapter.

Chapter 4 is to analyze the microbial community structure of the sludge samples in the anaerobic, anoxic, and aerobic sections of the long-running VFL unit for the treatment of landfill leachate of by metagenomic sequencing technology.

Chapter 5 is to analyze printing and dyeing wastewater treatment by anaerobic reactor, VFL, and AAO.

Chapter 6 is to analyze the Simpson index of each stage of the VFL device which is smaller than that of the AAO process.

Chapter 7 is to introduce the VFL application in Jilin Province of China.

Chapter 8 is a selection analysis of VFL as a sewage treatment technology in green buildings' application.

Chapter 9 is the conclusion and policy implication.

## 論文審査の結果の要旨

難分解性の廃棄物浸出液や印刷・染色の排水は処理が困難であり、また処理のプロセスが複雑でコストが高いという課題がある。その問題を解決するために、本研究では廃棄物浸出液、印刷・染色排水及び農村排水の処理に新しい垂直流ラビリンス（VFL）装置を利用することを提案し、従来の AAO プロセスとの比較検討を行うものである。

第一章では、研究背景、研究目的を述べ、従来研究と各章の位置づけを説明した。

第二章では、実験・理論研究の方法を説明し、生分解のメカニズムを分子生物学により解明した。

第三章では、北京の実際の埋立地浸出液を処理対象として、VFL による COD、アンモニア態窒素、総リンの除去効果を解析し、活性汚泥の性能を分析したところ、VFL の性能が優れていることが明らかになった。

第四章では、廃棄物浸出水を処理する活性汚泥の微生物群集の分子生物学的解析を行い、微生物の種類と存在量の側面からも、VFL 装置の有効性と優位性を明確にした。

第五章では、湖州の印刷と染色の排水を処理対象として、COD、BOD、アンモニア態窒素、全リンの除去における VFL の効果を確認し、従来の AAO プロセスと比較して、VFL が従来の AAO よりも優れていることを立証した。

第六章では、印刷・染色排水を処理する活性汚泥の微生物群集を分子生物学的に解析し、微生物の種類と存在量から、VFL 装置の有効性を明らかにした。

第七章では、従来の AAO、SBR、MBR との比較研究により、農村部の生活排水処理における VFL の技術的・経済的優位性を明らかにした。

第八章では、汚水処理の効果を分析・計算することより、VFL がグリーンビルディングの生活排水の処理と排水の資源化に最適であることを示した。

第九章では、各章で得られた知見をまとめた。

以上のように、本研究では、難分解性の生分解性排水及び農村排水を処理するために新しい VFL プロセスを提案し、またその優れた性能の本質を分子生物学的に解説した。一連の研究は、排水処理の分野に新しい知見をもたらし、環境改善・省資源に貢献している。

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)	カカウ 何 嘉昊 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第218号
学位授与年月日	2022年9月26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 Evaluation Methodology of Urban Waste Management Policies by Beijing Residents based on Contingent Valuation Method and Theory of Planned Behavior (仮想評価法と計画的行動理論に基づく北京市住民による都市廃棄物管理政策の評価手法に関する研究)
論文審査委員	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)) 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 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 朝見 賢二 (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

The disposal of municipal solid waste has become the cause of major environmental problems in major cities in China, and Beijing is facing more validated problems, so it was chosen as the target city for this study. After analyzing representative sustainable urban factors, the relationship between environmental, social and economic factors related to how municipal solid waste is recycled and the intention to implement other government policies was assessed using a virtual evaluation method to infer Willingness to Pay (WTP) was inferred. It also investigates the factors that influence the public's willingness to pay and analyzes the factors that predict each variable of willingness to pay.

Chapter 1 introduces the current problems of general urban waste management. The most important thing that needs to be done in the process of urban waste disposal is the separation and recycling of waste before disposal, which not only improves the efficiency of waste disposal, but also reduces the environmental pollution of living areas.

Chapter 2 summarizes the literature review on sustainable cities and societies, identifies the positive effects that urban general waste management can have on the environmental, social, and economic components of sustainable cities, and discusses citizens' acceptance of and propensity to pay for urban general waste management, relying on the virtual valuation method and the theory of planned behavior. And a preliminary analysis of the payment and compensation benefits of urban general waste management is provided.

Chapter 3 examines the non-market economy nature of urban general waste management from the literature review of the virtual valuation method and the theory of planned behavior, and explains the relationship between the amount citizens are willing to pay and the price they are willing to pay for non-market economy behavior.

In Chapter 4, an experimental method based on a basic survey and questionnaire in Beijing is used to predict the basic understanding and the amount citizens are willing to pay for the classification of urban general waste. Through the results of the questionnaire, we find that 62.7% of Beijing citizens refuse to pay for the classification of urban general waste management, and among the target population who choose to pay, the age group is located between 20-30 years old, and those who have a university

degree Among those who chose to pay, those in the 20-30 age group and those with university degrees had a higher tendency to pay.

In Chapter 5, summarizing the respondents with better willingness to pay in the previous chapter, we selected college students in Beijing universities to conduct a survey on the behavioral tendencies and willingness to pay for solid waste disposal on campus. It was found that students' behavioral tendency is mainly influenced by behavioral intention, behavioral attitude, subjective intention and perceived behavioral control, and higher education and younger people are more receptive to the new policy. Through the analysis of the survey data, the reason for refusing to pay is the lack of concern for the urban environment, indicating that the lack of awareness of the respondents about the general waste management in the city leads to the action tendency and not strong.

In Chapter 6, a questionnaire survey was conducted to understand the willingness of citizens in major areas of Beijing to pay for garbage collection systems. Based on the hypothesis evaluation method and the Theory of Planned Behavior model, specific willingness to pay and prices were better predicted in the presence of increased environmental concerns, and it was found that nearly 70% of the respondents were willing to pay US\$49.93 per person per year for garbage collection equipment. The reason for refusing to pay would be because of the lack of transparency and disclosure of government utility charges.

Chapter 7 presents policy recommendations for general urban waste management in Beijing, showing the importance of promoting environmentally friendly urban policies and transparent and open charging systems for sustainable urban and social development in Beijing. Using Beijing as an example, the above study examines how virtual evaluation methods can be used to develop urban policies that contribute to sustainable urban and social development in China, and demonstrates the effectiveness of this approach.

This research predicts the willingness to pay of Beijing citizens for municipal solid waste waste management, using Beijing as an example, and proposes an extended model based on the contingent valuation method and the theory of planned behavior. Based on this extended model, it contributes to the development of new low-carbon policies in Chinese cities and socially sustainable cities, and proves its effectiveness.

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、都市廃棄物の処理が大きな環境問題となっている中国北京市を対象に、都市廃棄物のリサイクルに関する政府政策への市民の受け入れ意向を仮想評価法を用いて評価している。

第1章では、都市の廃棄物管理の問題点と経済性を述べ、廃棄物管理が持続可能な都市の発展に大きな影響を与えることを述べている。

第2章では、文献調査をまとめ、都市廃棄物管理が持続可能な都市の環境、社会、経済の各要素に与えるプラスの効果を明らかにし、仮想評価法と計画的行動理論に依拠して、都市一般廃棄物管理に対する市民の受け入れと支払い性向について考察している。

第3章では、仮想評価法と計画的行動理論に関する文献調査から、都市廃棄物管理の非市場経済性を検証し、市民の非市場経済行動に対する支払い意思額と対価の関係を説明した。

第4章では、北京市民を対象としたアンケートに基づく基礎調査から北京市民の支払意志を示す額と実際の支払額の計算式を予測し、都市廃棄物管理に対して北京市民の約6割が支払拒否の意向であること、20～30代の若年層では支払い意向が高いことを示した。

第5章では、北京市民が支払いを拒否する可能性が高いという背景から、計画的行動理論に基づき、大学生を対象にキャンパスの廃棄物処理に関する行動傾向の調査を行った。学生の行動傾向には、主に行動意図、行動態度、主観的意図、知覚的行動制御が影響していることを見出し、都市廃棄物処理に関する知識の少なさが、行動意欲の欠如につながっていることを示した。

第6章では、北京市の主要地域の市民を対象に、分別とリサイクルに基づくゴミ収集システムに対する支払い意向に関するアンケート調査を行なっている。仮想評価法と計画的行動理論に基づき、環境に対する関心が高まると具体的な支払い意思と価格がよりよく予測され、回答者の70%近くがゴミ収集システムに一人当たり年間約50米ドルを支払う意思があることを提示した。また、3割近くの住民が、政府の公共料金の透明性や開示が不十分であることを理由に支払いを拒否することを明らかにした。

第7章では、北京の都市廃棄物管理に関する政策提言を示し、北京における持続可能な都市と社会の発展のためには、環境に配慮した都市政策と透明でオープンな料金体系の推進が重要であることが示した。

以上、本論文は、実際に北京市民に行った調査から、計画的行動理論に基づき、より効果的に都市廃棄物のリサイクルに対する経済負担の意志を予測するモデルを提案し、その有効性を示している。環境保全に対する負担の意志を経済価値として予測する新たな手法を示した意義は大きく、今後、都市廃棄物対策を行う

政策立案者の意志決定プロセスにも大きな役割を果たすと考えられる。

以上より、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)	陈 雨 (中国)
学位の種類	博士 (工学)
学位番号	甲 第 2 1 9 号
学位授与年月日	2 0 2 2 年 9 月 2 6 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	Comprehensive Analysis of Population-Economy-Space Urbanization in the County-level Areas before and after Wenchuan Earthquake (汶川地震の前後における県の人口-経済-空間的な都市化の総合 分析)
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 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 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 加藤 尊秋 (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

Urbanization, as one of the most important indicators to evaluate the development level of city, usually means huge migrant of population from rural area into the urban area, secondary and tertiary industry replace the primary industry as the major economic industry, large land transfer into built-up area. In other words, based on the connotation of population urbanization, economy urbanization, space urbanization, we could deepen the knowledge of urbanization by comprehensive analysis. In particular, a comprehensive analysis of urbanization development under the context of destructive earthquakes is more conducive to enriching our understanding of the objective rules of urbanization development under extreme circumstances.

This study aims to explore the temporal distribution and difference of urbanization and its subsystems before and after the Wenchuan earthquake (Richter scale 8.0) in county scale. Based on the connotation of urbanization from dimension of population, economy, space, the assessment system of urbanization is proposed. Furthermore, coupling degree model and coupling coordination degree model are also proposed to evaluate interrelation between these three subsystems of urbanization and overall coordination of urbanization, respectively. In addition, the statistics analysis methods and triangle model are employed to test the stages difference and urbanization mode difference. The data of indicators are in the period from 2001 to 2017, which was collected from the authoritative China Statistical Yearbook. According to the time span, the whole time period is divided into three stages, pre-earthquake stage (2001 to 2007), reconstruction stage (2008 to 2010), post-earthquake stage (2011 to 2017). According to official report, these most severely affected counties of the Wenchuan earthquake, Wenchuan, Shifang, Qingchuan, Pingwu, Pengzhou, Mianzhu, Maoxian, Dujiangyan, Beichuan, Anxian, are selected to show the empirical results.

In Chapter 1, *INTRODUCTION*, the background and significance of the study are presented from followings: overview the world trend of urbanization development and natural disaster, review of previous studies, purpose and content structure.

In Chapter 2, *METHODOLOGIES, URBANIZATION ASSESSMENT SYSTEM, EVALUATION MODELS*, data sources and statistics analysis

methods are introduced. Moreover, comprehensive urbanization index system is proposed. In addition, coupling degree model, coupling and coordination degree model, and triangle model are all presented in this chapter.

In Chapter 3, *OVERVIEW OF SOCIAL ECONOMY DEVELOPMENT AND DISASTER BACKGROUND AND POLICIES*, taking these most severely affected counties as the research object, social economy development before the Wenchuan earthquake are introduced. Disaster loss, such as direct economy loss, population loss, houses loss, land loss, and paired-reconstruction policies are presented in this chapter.

In Chapter 4-6, *COMPREHENSIVE ANALYSIS OF URBANIZATION IN COUNTY LEVEL*, population urbanization, economy urbanization, space urbanization, population-economy-space urbanization are firstly examined on temporal distribution characteristics and stage features. Furthermore, interrelationship degree between three subsystems, overall coordination of urbanization is also tested to show the relationship and quality of urbanization on time period features and stage characteristics. Moreover, to show difference before and after the Wenchuan earthquake, all these indexes are analyzed by T-test and paired T-test to show whether there is statistics difference between different periods and different stages. At last, urbanization-led mode variation are also evaluated. In addition, all these indexes are test both in county level and region level.

In Chapter 7, major conclusion of each chapter has been summarized.

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、人口、経済、空間の3要素から都市化の評価システムを提案した。評価システムを用いて、汶川地震（別名四川大地震マグニチュード8.0）で深刻な影響を受けた10地域（県）における都市化と関連施設の地域的及び時間的分布を検討し、都市開発の結果を分類したうえで、災害後における復興過程の都市開発を客観的に理解することを目的としたものである。

第一章では、研究の背景と意義について説明した。

第二章では、本研究の方法論、都市化評価システム、評価モデル、データソース及び統計分析方法について述べた。

第三章では、汶川大震災で最も被害が大きかった10県を調査対象とし、震災前の社会・経済発展状況と震災後の災害損失をまとめ、震災後の都市開発政策を明らかにした。

第四章では、深刻な影響を受けた地域における人口、経済及び空間都市化状況について時間的及び地域的分布特性と復興状況を明らかにした。

第五章では、都市化の人口、経済、空間の3要素間の相互関係と、全体的な開発との協調性を分析し、時空間特性と復興状況の観点から人口、経済、空間の関係を示した。

第六章では、すべての指標をt検定によって分析し、地震前後の都市化の支配的な要素の変化を評価し、深刻な影響を受けた10地域（県）を評価モデルにより分類し、地震前後の都市化状況を明示した。

第七章では、各章で得られた主な知見を総括している。

以上のように、本論文は、地震の被害が大きかった10地域の人口-経済-空間的な都市化状況について、時間及び地域の観点から定量的に研究し、災害後の都市復興に役立つ分析方法を提案したものである。本研究で得られた知見は、災害後の質の高い都市づくりに向けた政策立案に寄与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。

博士學位論文 内容の要旨および審査結果の要旨  
第 33 号 (2022 年 9 月授与)

発行日 2022 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