

博士學位論文

論文の内容の要旨

および

論文審査の結果の要旨

甲第 208 号

甲第 209 号

甲第 210 号

甲第 211 号

甲第 212 号

甲第 213 号

2024 年度

東京都市大学

序

本編は学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条による公表を目的として、2024年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

氏名（本籍）	青野 史規（愛媛県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 208 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	地熱開発事業における合意形成に向けたプロジェクトマネジメントシステム構築に関する研究
論文審査委員	（主査）五艘 隆志 末政 直晃 稲垣 具志 難波 悠（東洋大学経済学研究科公民連携専攻 教授）

論文内容の要旨

近年、社会資本整備を取り巻く状況は大きく変化しており、社会貢献を活動理念とする建設コンサルタントは、その専門性を活かした活動領域の拡大および多様な活動が求められている。事業者のパートナーとして複数段階にまたがる一連の事業プロセスのマネジメントを担い、再生可能エネルギーの主力電源化へ向けた取り組みにおいて、導入地域および地方自治体との関係は、これまでのような発注者が仕様書を策定し、コンサルタントがこれに従って業務を実施するといったウォーターフォール的な形から、昨今の VUCA 時代に即したアジャイル思考を持った多様な対応力と展開力が求められる形に転換しつつある。2050 年の脱炭素社会実現、再生可能エネルギーの主力電源化に向け、ベースロード電源となり得る地熱発電は、重要な発電技術の一つであるが、地域に賦存する固有の地下資源を取り扱うため、建設立地に際して温泉事業者との合意形成に向けた地域受容が課題の一つとなっている。地域との合意形成に向けた活動は、開発事業者によるステークホルダー間の利害調整を含むセンシティブで公表が困難な事項を含んでいることが多いため、学術論文としての公開事例は少なく、また、合意形成に向けた地域受容のプロセス設定や、マネジメント手法も体系化されたものとして確立していない。

本研究は、国内地熱開発プロセスにおいて、遅延・阻害要因の一つである初期段階の地域受容、温泉問題に着目し、その課題解決に資する手法として、建設マネジメント分野で確立され実務現場で汎用的に活用されているプロジェクトマネジメント手法を合意形成プロセスに適用し、検証考察をおこなった。具体的には、複数年かつ複数箇所に渡る地熱開発プロジェクトの実践と、建設コンサルタントとして地域振興策の具体的な実証を通じて、導入地域と地方自治体の課題解決に資する多様な活動を、PMBOK 第 6 版および第 7 版と引照させた活動方針を仮説形成し、実行組織の段階的運営手法を示した後、本手法を 2 地区にてワークショップを実施した検証結果から、合意形成活動の 8 段階 3 系統の体系的実施手法をワークフローとして提示した。最終的に、地域内組織への合意形成に導く手法として、暗黙知であるものを形式知として示すことを目的に、汎用性のある体系的な業務システムを構築するものである。

本業務システムを合意形成活動に教本として巻末に付す資料集を参照しつつ活動することにより、属人的な経験値に基づく能動的な活動報告の提示ではなく、汎用的に活用し得るものである。本研究は全 8 章に渡っており、各々以下の内容で構成している。

第 1 章では、本研究の背景、目的と方法および重要な用語の定義、本論文の構成、既往論文

との位置付けについて述べた。地熱発電は、地域に賦存する固有の地下資源を取り扱うため、建設立地に際して温泉事業者と民間事業者の合意形成に向けた地域受容が課題の一つとなっている。事業者は限られた情報の中で、その地域にあったアプローチが何かが分からないことが、実務上の課題となっているのが実態である。

第2章では、地熱発電が普及を阻害する要因を示した。わが国は、世界第3位の地熱資源量保有国であるが、発電設備容量では2024年時点で世界第10位に留まっている。普及を阻害する諸問題の中でも、「温泉問題」の課題解決に資するマネジメントシステムの構築である内容を述べた。

第3章では、地熱開発に建設コンサルタントが関与する役割、必要性およびプロジェクトマネジメント手法の引照について述べた。昨今の建設コンサルタントに求められる多様性と活動領域拡大の方向性について示した上で、建コンの多様な機能を抽出する実践研究である。

第4章では、2地区における合意形成活動の実践内容を述べた。ここでは、勉強会を「地熱大学や温泉大学」と称した形でワークショップを開催し、官民連携によるアプローチ手法、実行組織の構築と運営企画の実践について示した。さらに、プロジェクトの検討段階で実践した地域振興策の具体策を述べた。

第5章では、実践を踏まえたプロジェクトマネジメント適用性を分析した。最初にPMBOK第6版のステークホルダーマネジメントを基に、合意形成活動を引照し、ウォーターフォール型とPMBOK第7版のアジャイル型を用いた合意形成活動の整合性を検証し、それぞれの利点を取り入れ、使い分けることが最適であると述べた。

第6章では、地熱開発における合意形成に向けた業務システムを構築した。第5章で立案した合意形成に向けた活動方針を基に、実践経験を踏まえて、実用的かつ汎用性のあるワークフローを再構築した。結果、合意形成活動に本システムを教本として活動することにより、属人的な経験値に基づく暗黙知な活動ではなく、形式知として広く汎用的に活用し得るものである。

第7章では、第6章で構築した業務システムの使い方を各カテゴリーごとに具体的に示した。

最後に第8章では、本研究の結論を述べている。

論文審査結果の要旨

近年、社会資本整備を取り巻く状況は大きく変化しており、社会貢献を活動理念とする建設コンサルタントは、その専門性を活かした活動領域の拡大および多様な活動が求められている。事業者のパートナーとして複数段階にまたがる一連の事業プロセスのマネジメントを担い、再生可能エネルギーの主力電源化へ向けた取り組みにおいて、導入地域および地方自治体との関係は、これまでのような発注者が仕様書を策定し、コンサルタントがこれに従って業務を実施するといったウォーターフォール的な形から、昨今のVUCA時代に即したアジャイル思考を持った多様な対応力と展開力が求められる形に転換しつつある。

著者が従事する地熱発電事業は、我が国の再生可能エネルギー導入促進における重要な発電技術の一つであるが、地域に賦存する固有の地下資源を取り扱うため、建設立地に際して温泉事業者等との合意形成に向けた地域受容が重要な課題となっている。地域との合意形成に向けた活動は、開発事業者によるステークホルダー間の利害調整を含む対応であり、センシティブな内容が多く、公表が困難な事項を含んでいるケースが多いため、学術

論文としての公開事例は少ない。また、合意形成に向けた地域受容のプロセス設定や、各プロセスのマネジメント手法も体系化されたものとして確立していない。

本研究は、国内地熱開発プロセスにおいて、遅延・阻害要因の一つである初期段階の地域受容、特に行政や温泉事業者との合意形成問題に着目したものである。事業初期段階の合意形成の課題解決に対してプロジェクトマネジメント手法に適用し、検証考察をおこなった。具体的には、複数年かつ複数箇所に渡る事業者としての地熱開発プロジェクトの実践と、建設コンサルタントとしての地域振興策の具体的な実証を通じて、導入地域と地方自治体の課題解決に資する多様な活動を、PMBOK 第 6 版および第 7 版と引照させた活動方針を仮説形成し、実行組織の段階的運営手法を示した。その後、本手法を 2 地区にてワークショップを実施した検証結果から、合意形成活動の 8 段階 3 系統の体系的実施手法をワークフローとして提示した。最終的に、地域内組織への合意形成に導く手法として、暗黙知であるものを形式知として示すことを目的に、汎用性のある体系的な業務システムを構築した。構築した本業務システムを合意形成活動に教本として巻末に付す資料集を参照しつつ活動することにより、プロジェクトに途中参画する後任の担当者にも活用し得る形式知として整備した。

以上のとおり、本研究ではこれまで明らかにされてこなかった地熱開発事業の初期段階における合意形成活動のマネジメントに関する暗黙知的なノウハウを具体的な業務システムとして体系化し、形式知として提示したものである。本研究の成果は、現在我が国では開発が進んでいない地熱開発事業の促進に貢献しうるものであり、ひいては再生可能エネルギーの主力電源化にも寄与するものと考えられる。もちろん、海外事業展開においても活用しうるものである。以上のことから、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値があるものと認められる。

氏名（本籍）	渡邊 諭（熊本県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 209 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	鉄道河川橋脚の洗掘災害危険度評価に関する研究
論文審査委員	（主査）五艘 隆志 伊藤 和也 珠玖 隆行 吉田 郁政（東京都市大学 名誉教授）

論文内容の要旨

鉄道河川橋梁では、増水時に橋脚基礎の周辺地盤が局所的に洗掘され（以下、洗掘という）、橋脚基礎が沈下・傾斜し復旧に長期間を要する事例が増加しているが、洗掘は鉄道の使命である安全輸送を脅かすと同時に、社会交通インフラとしての安定輸送を阻害する大きな原因となる。この洗掘災害を未然に防ぐため、鉄道事業者は維持管理および運行管理の観点から様々な取り組みを実施している。特に、古い橋梁を多数供用する鉄道においては、洗掘災害のおそれが高い橋脚を有する橋梁を維持管理において的確に見定め、限られた予算・リソースを効率よく配分することが重要である。一方、近年では、地球規模の気候変動による降雨の激甚化や頻発化が懸念されるとともに、少子高齢化による労働人口の減少にも対応するべく、維持管理の効率化が望まれている。

こうした背景のもと、鉄道河川橋梁の洗掘災害から列車の安全を確保するため、本研究は、検査データや机上等で入手可能なデータから洗掘災害危険度が高い河川橋梁を抽出する手法と、この手法により抽出された橋梁に対し、洗掘災害危険度を定量的に比較可能な手法をそれぞれ構築し、洗掘災害を防止するための新たな維持管理フローを提案して維持管理の効率化と防災投資の意思決定を支援することを目的に実施したものである。

本論文は全 7 章で構成されており、第 1 章、第 2 章では上述の背景とともに洗掘災害防止の基本となる、洗掘災害の経緯と特徴、維持管理における洗掘災害防止の取り組み、運行管理における維持管理の取り組みについて、検査体系や運転規制といった事例を示して現状を整理した。そのうえで、鉄道における洗掘災害危険度を評価する手法の構築に向けた課題として、1) 橋梁の構造条件、河川および橋梁の周辺状況を考慮して、洗掘の危険度が高い橋梁を高精度に抽出できる洗掘災害危険度の評価手法を構築すること、2) 1) で抽出された橋梁について、外力である降雨や増水時の流量の影響を考慮して防災投資の意思決定の支援や運転規制の最適化に資する洗掘災害危険度の評価手法を構築すること、の二つを挙げ、これらの課題を解決する方法を提案した。

第 3 章では、構造諸元や河川に関する各種資料を収集し洗掘災害分析用データベースを構築した。構築にあたっては河川工学的な知見や既往の洗掘災害危険度の高い橋脚を抽出する手法を考慮するとともに、将来の活用を見据えた項目を選定・収集し、最終的に運転支障が生じる規模の被災歴を有する橋脚（126 本）、運転支障はないが変状・対策履歴を有する橋脚（409 本）、被災・変状の履歴のない橋脚（1169 本）を含むデータベースとした。

第 4 章では、上述の洗掘災害分析用データベースに基づき、鉄道河川橋脚において洗掘災害

が発生するおそれの度合い、すなわち洗掘災害危険度が高い橋梁を高精度に抽出できる評価手法を提案した。具体的には、洗掘災害危険度の予測モデルを可視化できる決定木モデルを用いた学習モデルを採用し、過去の知見に基づく物理的な解釈や実務上のデータ収集の難易度等の観点を総合的に考慮した。検討にあたっては、既往の洗掘災害危険度の高い橋脚を抽出する代表的な手法である採点表を同データベースに適用した際の抽出精度を向上させることを目指した。最終的に、機械学習モデルを用いた抽出手法として **Random Forest** モデルを採用し、採点表の適中率が約 60%に留まるのに対し、適中率が 80%を超える学習モデルを提案した。

第 5 章では、河川橋脚に作用する外力および洗掘に対する体力を考慮し、橋脚の洗掘災害危険度を定量的に比較する手法を提案した。具体的には、橋脚に作用する無次元掃流力と年最大無次元掃流力の平年値との比（正規化量）を算出し、正規化量と被災した橋脚の根入れ比に線形の相関関係があることを示した。この相関関係に基づく根入れ比に対応する正規化量を、その根入れ比における洗掘災害危険度の基準値とし、正規化量の再現期間の大小関係に基づいて洗掘災害危険度を定量的に比較する手法を提案した。なお、再現期間という確率の概念を導入した基準値とすることで、今後、激甚化が懸念される増水に対しても対応可能な手法と考えられる。

第 6 章では、洗掘災害防止のための取り組みと課題に対し、上述の知見をもとに潜在的に洗掘災害危険度の高い橋脚を有する橋梁を重点的に点検・検査し、防災投資の意思決定を定量的な指標に基づいて支援するとともに、運転規制における規制水位の最適化も可能となる洗掘災害防止のための新たな維持管理フローを提案した。

第 7 章では、上述のフローに沿って鉄道河川橋梁の維持管理を実施することの波及効果として、洗掘災害危険度が高い橋梁を従来よりも重点的に検査することが可能になるとともに、最適な防災投資が可能となるとともに、水位による運転規制において最適な閾値を設定することが可能となり、運行管理上の安全性も向上することが期待できることを示した。

今後、本研究の成果が活用されることで、より安全で安定した鉄道輸送が確報されることを期待するものである。

論文審査結果の要旨

鉄道河川橋梁では、増水時に橋脚基礎の周辺地盤が局所的に洗掘され、橋脚基礎が沈下・傾斜し復旧に長期間を要する事例が増加している。この洗掘災害を未然に防ぐため、鉄道事業者は維持管理および運行管理の観点から様々な取り組みを実施している。特に、古い橋梁を多数供用する鉄道においては、洗掘災害のおそれが高い橋脚を有する橋梁を維持管理において的確に見定め、限られた予算・リソースを効率よく配分することが重要である。

本論文は全 7 章で構成されており、第 1 章、第 2 章では上述の背景とともに洗掘災害防止の基本となる、洗掘災害の経緯と特徴、維持管理における洗掘災害防止の取り組み、運行管理における維持管理の取り組みについて、検査体系や運転規制といった事例を示して現状を整理した。そのうえで、鉄道における洗掘災害危険度を評価する手法の構築に向けた課題を挙げ、これらの課題を解決する方法を提案した。

第 3 章では、構造諸元や河川に関する各種資料を収集し洗掘災害分析用データベースを構築した。河川工学的な知見や洗掘災害危険度の高い橋脚を抽出する既往手法を考慮するとともに、将来の活用を見据えた項目を選定・収集し、運転支障が生じる規模の被災歴を有する橋脚（126 本）、運転支障はないが変状・対策履歴を有する橋脚（409 本）、被災・変状の履歴のない橋脚（1169 本）を含むデータベースとした。

第4章では、上述のデータベースに基づき、鉄道河川橋脚において洗掘災害が発生するおそれの度合い、すなわち洗掘災害危険度が高い橋梁を高精度に抽出できる評価手法を提案した。具体的には、洗掘災害危険度の予測モデルを可視化できる決定木モデルを用いた学習モデルを採用し、過去の知見に基づく物理的な解釈や実務上のデータ収集の難易度等の観点を総合的に考慮した。検討にあたっては、既往の洗掘災害危険度の高い橋脚を抽出する代表的な手法である採点表を同データベースに適用した際の抽出精度を向上させることを目指した。最終的に、機械学習モデルを用いた抽出手法として **Random Forest** モデルを採用し、採点表の適中率が約 60%に留まるのに対し、適中率が 80%を超える学習モデルを提案した。

第5章では、河川橋脚に作用する外力および洗掘に対する耐力を考慮し、橋脚の洗掘災害危険度を定量的に比較する手法を提案した。具体的には、橋脚に作用する無次元掃流力と年最大無次元掃流力の平年値との比（正規化量）を算出し、正規化量と被災した橋脚の根入れ比に線形の相関関係があることを示した。この相関関係に基づく根入れ比に対応する正規化量を、その根入れ比における洗掘災害危険度の基準値とし、正規化量の再現期間の大小関係に基づいて洗掘災害危険度を定量的に比較する手法を提案した。

第6章では、洗掘災害防止のための取り組みと課題に対し、上述の知見をもとに潜在的に洗掘災害危険度の高い橋脚を有する橋梁を重点的に点検・検査し、防災投資の意思決定を定量的な指標に基づいて支援するとともに、運転規制における規制水位の最適化も可能となる洗掘災害防止のための新たな維持管理フローを提案した。

第7章では、上述のフローに沿って鉄道河川橋梁の維持管理を実施することの波及効果として、洗掘災害危険度が高い橋梁を従来よりも重点的に検査することが可能になるとともに、最適な防災投資が可能となるとともに、水位による運転規制において最適な閾値を設定することが可能となり、運行管理上の安全性も向上することが期待できることを示した。

以上のとおり、本研究は鉄道河川橋梁の洗掘災害から列車の安全を確保するため、検査データや机上等で入手可能なデータから洗掘災害危険度が高い河川橋梁を抽出する手法と、この手法により抽出された橋梁に対し、洗掘災害危険度を定量的に比較可能な手法をそれぞれ構築し、洗掘災害を防止するための新たな維持管理フローを提案したものとなっている。これにより、鉄道河川橋梁の維持管理の効率化が実現するとともに、防災投資の意思決定を支援するツールとしての価値も見いだせる。以上のことから、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値があるものと認められる。

氏名（本籍）	日高 和弘（東京都）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 210 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	V2G 制御された EV の導入量による需給運用への影響検討
論文審査委員	（主査）中島 達人 野平 博司 鈴木 憲吏 辻 隆男（横浜国立大学 教授）

論文内容の要旨

近年、日本では 2050 年のカーボンニュートラル達成に向けた温室効果ガス排出削減のため、供給側の脱炭素化と需要側の電化が求められている。本研究では、運輸部門の脱炭素化が重要と考え、電気自動車（Electric Vehicle, 以下 EV）への転換を需給運用の観点から検討した。

電気モータは燃焼エンジンよりもエネルギー効率が高く、EV はより効率的に動力を利用できることから CO₂ 排出量削減が期待できる。また、電力が再生可能エネルギー(Renewable Energy, 以下 RE)から供給される場合、ゼロエミッションとなるため、将来の RE 増加とともにさらなる CO₂ 排出量削減が期待されている。

一方で、EV は車両の価格が高く、充電インフラが不足し、充電自体も時間を要し、航続距離もガソリン車より短い状況にあり、EV への転換は政策的に進められると想定される。

今後、カーボンニュートラルの達成に向けて、RE 増加が想定される電力需給状況の中で、車両も EV に転換していくことでバッテリーが増えると考え、需給運用にそのバッテリーを活用できれば、出力調整ができない RE を補うことができ、社会的な価値が高まるものと想定される。

そのため、本研究では、EV 化によるランニングコストの削減だけでなく、EV を電力需給調整に利用する V2G(Vehicle-to-Grid)への活用の可能性を明らかにしてその価値を定量化し、電力系統側の視点で社会コストを評価することとした。その価値を還元できれば、EV 化を支援することができ、社会コストを抑えながら、カーボンニュートラル実現への貢献ができるものと考えられる。

本研究は、東京電力エリアについて検討を行い、まず、環境省委託事業にて実証試験された EV バス走行データと道路交通センサスデータを基に、関東圏の EV 走行データを作成した。次に、数理計画法に基づく需給運用シミュレーションモデルを開発し、将来の電力需給状況や EV 導入状況を想定した上で、最経済となるようシミュレーションを行い、V2G 制御された EV の導入量が需給運用に与える影響を検討した。

シミュレーションは、最も太陽光発電システムがピーク供給力として期待できず、需給状況が厳しい、冬期の最大電力需要が発生した一週間において、RE 比率が現在から OCCTO(Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators, 電力広域的運営推進機関)のマスタープラン検討における前提条件となる RE 比率 5~6 割までと、関東圏の乗用車、トラック、バスについて全て EV 化した場合までについて行った。シミュレーションは EV バッテリー調整力機能を有無として双方を測定することで、それぞれ燃料費の差を需給調整コ

スト削減効果と定義して評価した。効果を確認後、次に年間シミュレーションを行い、RE 増加、発電単価変動による EV の価値、燃料の転換、定置用蓄電池削減効果を考慮して、電力系統側の視点で社会コストを評価した。

需給調整コスト削減効果として、調整力機能の有無による差のみでは大きくないものの、EV の導入により、増加する RE の受け入れが可能となる需給調整の効果と、ガソリンや軽油などからの燃料転換による効果、定置用蓄電池コスト削減効果を考慮すると、大きな社会コスト低減が可能となると考えられる。よって、これらが普及促進の弊害となるのではなく、V2G 制御された EV と RE の導入を進めることが社会コスト低減になると考える。

論文審査結果の要旨

本論文審査では、日高氏により提出された学位論文を審査するために、予備論文発表会および最終論文発表会を行い、日高氏の研究が博士学位のレベルに達しているかを判定すると共に、審査員から指摘された内容が論文中で適切に反映されているかを確認した。

日高氏の研究は、カーボンニュートラルの達成のために、再生可能エネルギー(再エネ)が増加した世界を想定し、再エネを余すことなく活用するには、蓄電技術が必要となり、今後、さらに価値が高まると考えられるため、その一つとして期待される電気自動車(EV)に着目し、EV の電力システムでの活用について検討したものである。再エネ増加とともに、EV の社会的な価値が高まることを定量的に示すことで、EV 普及推進により社会コストを抑えながら、カーボンニュートラルの実現に貢献することを目的としている。そこで、再エネ増加とともに高まる価値を示すために、需給運用をシミュレーションできるツールを開発し、EV の導入量による価値の変化を測定するため、バッテリー容量あたりの走行による消費電力を推定することで、これらを組み合わせたシミュレーションが可能となり、電力系統側の視点で EV の価値を評価・検討した。以下に、各章の概要を記載する。

第1章では、本研究の社会背景や、EV の走行データを模擬した需給運用シミュレーションに関する研究動向についてまとめ、本研究の目的、並びに、構成について述べている。

第2章では、実際の需給運用に近いシミュレーションを行うため、電力需給運用業務とその計画について説明された。

第3章では、EV の導入量による需給運用への影響検討をするのにあたり、EV の需給調整への利用は定置用蓄電池などと違い、走行による消費電力の発生を考慮する必要があるため、車種別の EV 消費電力モデルについて説明された。消費電力モデルは車種により走行パターンが異なるため、大きくバス、トラック、乗用車で分けており、バスについては環境省委託事業にて実証試験された EV バス走行データ、乗用車とトラックについては多様な走行データを反映させるため、道路交通センサスデータから EV の走行データに変換するシミュレーションモデルが開発された。

第4章では、開発した需給運用シミュレーションモデルについて説明された。モデルは、電力需給状況を変化させても、最適な運用結果を得るため、数理計画法を用いて構築した。これにより、再エネや EV 導入量を変化させても、毎時の需給状況による最適解を得ることができるため、どのケースでも同じレベルで、EV バッテリーの需給調整効果が測定される。具体的には、需給運用による発電機起動停止計画として一般的な混合整数計画法を用いて、シミュレーションモデルが開発された。対象はまず東京電力エリアとしており、将来の電力需給状況において考慮すべき制約を満たしながら、発電機起動停止費含む燃料費が最小となる数理計画モデルとなっている。考慮された制約には、再エネから接続された系統連系インバータ等の非同期電源比率制約や、EV は充電のみではなく放電も可能と

し、調整力制約として出力変化速度や LFC (Load Frequency Control : 負荷周波数制御) 量を考慮することで、当モデルが EV を将来の需給調整に活用する際の価値を評価できるものとされた。また、EV バッテリー最大放電電力の割合を変化させることで、V2G (Vehicle-to-Grid) に利用する割合も調整できるものとされた。

第 5 章では、需給運用シミュレーション条件について説明された。本検討では、EV が大量に導入量された将来を想定し、充電インフラも V2H や、職場充電環境が十分に普及した系統から制御 (V2G) が可能な世界として需給シミュレーションがなされている。また、シミュレーション開始時の 2020 年を現時点とし、『広域連系系統のマスタープラン及び系統利用ルールの在り方等に関する検討委員会』による 2050 年の再エネ 5~6 割シナリオをカーボンニュートラルとなる姿と考え、2020 年から 2050 年へ徐々に移行することを想定したシミュレーションである。

第 6 章では、まず最も太陽光発電システムがピーク供給力として期待できず、需給状況が厳しい、冬期の最大電力需要が発生した一週間において、再エネ比率が現在から再エネ 5~6 割までと、関東圏の乗用車、トラック、バスについて全て EV 化した場合についてのシミュレーションについて説明された。シミュレーションは EV バッテリー調整力機能を有無として双方を測定することで、それぞれ燃料費の差を需給調整コスト削減効果と定義して評価しており、EV 導入による効果を確認後、次に年間シミュレーションを行うことで、再エネ増加、発電単価変動による EV の価値、燃料の転換、定置用蓄電池削減効果を考慮した電力系統側の視点で社会コストを評価した。需給調整コスト削減効果として、調整力機能の有無による差のみでは大きくないことが示され、EV の導入により、増加する再エネの受け入れが可能となる需給調整の効果と、ガソリンや軽油などからの燃料転換による効果、定置用蓄電池コスト削減効果を考慮することで、大きな社会コスト低減が可能となると示された。また、冬期のシミュレーションでは V2G への利用率を変化させることで、V2G の利用率は 10% あれば、十分需給調整コスト削減効果が期待できること、また、季節別のシミュレーションでは、EV バッテリーは需要と再エネの比率に応じて、供給力、余剰、調整力対応とそれぞれの機能を果たすことで経済的な運用となることが示唆された。

以上の結果から、EV と再エネを考慮した需給運用シミュレーションモデルを構築し、V2G 制御された EV と再エネの導入を進めることが社会コスト低減になることを明らかにされた。長期間にわたるシミュレーションの結果を体系的にまとめ、V2G 制御された EV の導入量による需給運用への影響検討が達成された。

予備論文発表会および最終論文発表会において、論文内容の説明では、今まで得られたシミュレーション結果に関する知見を体系的にまとめており、大局的な視点からの専門性を持つことが確認された。さらに、各審査委員からの質問事項には、EV と需給運用シミュレーションモデル、シミュレーション条件、評価方法の妥当性、再エネが大量導入された場合の分析方法についてのものがあつた。これらの回答において、客観的であり、公正に検証されていることが確認された。また、分析結果に関する質疑応答では、理論的な裏付けを基に回答しており、回答内容が十分であることが示された。最終的に、各審査委員からの質問や指摘に対して十分な検討がされており、的確に学位論文に反映されたことを確認できた。

以上のことより、日高氏による V2G 制御された EV の導入量による需給運用への影響検討に関する成果は、カーボンニュートラルの実現に貢献する EV の社会的な価値を定量的に示した有益な研究であると評価できた。したがって、本論文は、将来の需給運用シミュレーションモデル構築と定量的評価による、次世代の電力システム構築に資する価値の

高い内容であり，博士（工学）の学位を授与することに値するものと判断した。

氏名（本籍）	陳 遠馳（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 211 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Study on Low-Supply-Voltage CMOS Analog-to-Digital Conversion (低供給電圧 CMOS アナログ-デジタル変換に関する研究)
論文審査委員	(主査) 傘 昊 柴田 随道 田口 亮 佐和橋 衛 澤野 憲太郎

論文内容の要旨

As the feature size of CMOS technology has shrunk in recent years, the speed and power efficiency of system on chip (SoC) has improved. The digital components have benefited from the trend of shrinking CMOS technology by achieving higher speed, enabling to build more complex digital signal processing circuit in integrated circuits. But for the analog components, including the mixed-signal processing circuit integrated with digital components in SoC, the shrunk CMOS technology brings the lower power supply voltage, which will degrade the dynamic performances and input dynamic range of analog circuit, especially for the analog-to-digital convertors (ADCs) in SoC. In this thesis, facing to the problems bring from shrunk CMOS technology as the degradation of dynamic performance (e.g. SNDR and ENOB), the low-supply-voltage hybrid ADC is proposed to achieve high SNDR while achieve high Nyquist sampling frequency and lower power consumption. To extend the input dynamic range, which is limited by lower supply voltage, the low-supply-voltage SAR ADC with large input amplitude tolerance is proposed, enabling SAR ADC can sample and convert the input signal which exceeds the power supply voltage.

The low-supply-voltage hybrid ADC is introduced to achieve high resolution, low supply voltage, and high conversion speed. The hybrid ADC includes two sub-ADCs as a non-binary cyclic ADC and a binary SAR ADC. The MSBs stage of the hybrid ADC adopts a 1-bit/step non-binary cyclic ADC architecture, the redundancy of the non-binary conversion tolerates the non-linear conversion errors caused by the offsets of the comparator and/or amplifier. Since the radix value of the non-binary conversion stage can be accurately estimated while the proposed hybrid ADC is set to cyclic ADC mode, the requirements for the matching accuracy of the capacitors and the DC gain of the amplifier are dramatically relaxed. An embedded binary charge redistribution SAR ADC is employed to convert the residual signal of the cyclic stage, thus improving the conversion speed and power efficiency of the hybrid ADC system. To further improve the linearity of the hybrid ADC at low supply voltages, a digital calibration technique is also proposed to realize the compensation on the nonlinear conversion error caused by the interstage gain error between non-binary and binary conversion stages without analog circuit overhead.

To extend the input dynamic range under lower supply voltage of ADC, especially in the case that the input signal exceeds the supply voltage. The sample-and-hold (S/H) circuit for low-supply-voltage SAR ADC with voltage attenuation ability is proposed. By utilizing the principle of charge redistribution, the

voltage attenuation S/H circuit has the ability that can attenuated the large amplitude input signal to the range that low-supply-voltage SAR ADC can process. In this voltage attenuation S/H, as the sampling switch that to maintain the linearity of sampled signal, the large amplitude input bootstrapped switch is used. This large amplitude input bootstrapped switch can sample the input signal which is exceeds the power voltage but without linearity degradation. Also, the common level mismatch between the S/H circuit and comparator in SAR ADC causes the limited of input dynamic range. To further extend the input dynamic range, the floating sampling technique is utilized in the voltage attenuation S/H circuit.

The low-supply-voltage hybrid ADC and voltage attenuation S/H circuit for low-supply-voltage SAR ADC improves the linearity and the dynamic range of low-supply-voltage ADC which is based on shrunk CMOS technology. Furthermore, the SPICE simulation and measurement of fabricated ADC chip confirm the feasibility and effectiveness of proposed architecture.

論文審査結果の要旨

本博士論文審査では、陳 遠馳氏より提出された学位論文を審査するために、2024 年 6 月 5 日に公開形式の論文発表会および審査委員による最終試験を行い、陳 遠馳氏の研究が博士学位のレベルに達しているかを判定した。

IoT センサシステムなど自然界の物理情報に基づく制御システムでは、自然界と計算機の架け橋となるアナログ・デジタル変換(ADC)技術は必要欠かせない。半導体製造技術の発展に伴い、デジタル信号処理プロセッサはより高性能に実装されているが、最先端半導体の耐圧性が低下するゆえ、低電源電圧化が余儀なくされた。高いダイナミックレンジ(信号振幅)が要求されるアナログ信号処理回路と低電圧デジタル論理回路を集積化される混載信号処理回路では、低電圧化と高精度化の相反する技術課題を解決するために、学術的に高いポテンシャルが要求されるナノ微細 CMOS を用いた独創性の高いアナログ回路技術と特色のある先端的なデジタル信号処理手法を採用し、アナログとデジタルが混載する集積回路の新しい開発手法を構築した。

低電圧高精度 AD 変換を実現するために、上位ビット変換では精度を重視したサイクリック方式、下位ビット変換では速度と電力を重視した逐次比較方式の両方を適用したハイブリッド AD 変換手法を採用し、また、2 種類変換方式を結合時によって生じる誤差をデジタル信号処理手法を取り入れ、アナログ回路部分で生じた誤差をデジタル領域で補正できるアルゴリズムを提案し、LSI チップの試作による実験検証でその有効性を実証できた。また、アナログ・デジタル混載する低電圧 ADC を用いて、電源電圧を超える大振幅アナログ入力信号の AD 変換手法を提案し、その有効性を計算機シミュレーション結果により検証した。

博士論文では、研究の背景と目的を述べた後、技術課題解決するための手法を詳細に論述し、理論解析結果で提案方式の理論根拠を示している。低電圧ハイブリッド AD 変換方式の開発では、計算機シミュレーション手法で提案回路方式の実現可能性を示した後、実験検証を行い、試作した LSI 回路の測定結果で提案手法の有効性を明確に示した。一方、低電圧で大振幅アナログ信号の AD 変換手法の解析と計算機シミュレーション結果により、提案回路方式の実現可能性を示した。本論文で提案した方式は次世帯混載集積回路設計手法の要素技術につながる可能性も含んでおり、貴重な工学的意義をもつ。

論文では理論解析結果、設計・実験データと結果に基づいて展開しているため、理論根拠は明確である。また、先行研究の結果と比較で提案手法の有効性を論述したため、正当性の裏付けであると判断でき、完成度の高さは認められる。

以上の審査結果により，本学位論文の技術内容が客観的かつ公正に検証されていることが確認され，本研究が博士学位のレベルに十分達していることが確認されたので，提出した博士論文は博士（工学）の学位の授与に値するものと判断され、審査委員全員の一致により合格と判定した。

氏名（本籍）	Sangsobhon Chanoknunt（タイ）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 212 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Displacement Measurement Using 4K Camera and MEMS Accelerometers and Its Application to Maintenance for Fatigue Damage in Steel Bridges (4K カメラと MEMS 加速度センサを用いた変位計測と、鋼橋における疲労損傷に対する維持管理への適用)
論文審査委員	(主査) 関屋 英彦 丸山 収 白旗 弘実 珠玖 隆行

論文内容の要旨

Bridges are indispensable components of transportation infrastructure and facilitate movement across bodies of water, challenging terrains, and other obstacles. As vital connectors for individuals and commodities, bridges accommodate high daily traffic volumes, exposing them to cyclic loading and the potential onset of fatigue damage. Left unattended, such fatigue damages pose a significant threat to the structural integrity of bridges, necessitating the implementation of proper maintenance strategies to ensure their longevity. This research underscores the importance of Structural Health Monitoring (SHM) in civil engineering, emphasizing its role in the early identification of structural issues to prevent failures and accidents. By enabling the prediction of potential damage, SHM reduces costs and extends the lifespan of bridge structures. The knowledge derived from monitoring a structure's realistic performance contributes to designing more effective structures in the future, making structural health monitoring a critical element in safeguarding the safety and durability of bridge structures. Within the context of bridge maintenance, this study particularly focuses on the essentiality of understanding displacement behavior.

There are various methods to measure displacement response, such as Linear Variable Differential Transformers (LVDT) or Laser Doppler Vibrometers (LDV). However, these sensors have difficulty installing on the actual field. Image sensing has been introduced as a non-contact approach because it is convenient for installation.

The first study proposed the vision-based image-sensing method. A 4K video camera was utilized to measure the displacement responses. The accuracy of this method was verified by comparing it to the displacement response measured from contact displacement gauges. Moreover, the displacement measured from the proposed method was compared to strain responses to confirm its suitability for fatigue environment evaluation. According to the rain-flow analysis result, image sensing can be utilized to evaluate the fatigue environment of a steel girder bridge.

Apart from the first study, the second study focuses on measuring the displacement on the multiple-span bridges using MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) accelerometers. While considerable research has been dedicated to comprehending the displacement behavior of single-span bridges, it is

equally imperative to explore the behavior exhibited by multiple-span bridges. This study employed MEMS accelerometers to gauge the displacement of a 3-span continuous box-girder bridge with an orthotropic deck. The measured displacement responses obtained through MEMS accelerometers were compared with strain responses to validate their accuracy. Moreover, the relative displacement response between the lower flange of the box-girder and the lower flange of the trough rib is comparable to the relative displacement response measured from contact displacement gauges.

In summary, these studies enhance our understanding of displacement responses in steel girder bridges by exploring various measurement techniques, conducting comparative analyses, and examining multiple-span bridges. Furthermore, this research showed that image sensing can be utilized to evaluate the fatigue environment of steel girder bridge and the relative displacement response between the lower flange of the box-girder and the lower flange of the trough rib measured using MEMS accelerometers is comparable to the relative displacement response measured from contact displacement gauges. The findings provide valuable insights that advance the field of structural health monitoring.

論文審査結果の要旨

Sangsobhon Chanoknunt 氏の論文審査は、提出された学位論文、論文発表会および審査会に基づき行われた。学位論文の内容は以下の通りである。

橋梁は、重要な社会インフラの一つであり、その安全性を保ち、供用することが重要である。しかしながら、厳しい交通荷重下ある橋梁は疲労損傷が生じる恐れがある。疲労損傷は橋梁の崩落に繋がる恐れがあり、適切な維持管理が重要である。この研究背景の下、インフラモニタリングおよび構造ヘルスモニタリングに関する研究が注目されている。構造上の問題を早期に特定することは、重大な損傷を防ぐことが可能となる。または、インフラモニタリングにより、潜在的な損傷を予測することによって、維持管理コストを最小限とすることが可能となる。

橋梁の維持管理において、活荷重に対する変位応答を計測することは重要である。活荷重に対する変位応答から構造物の耐荷性能を評価することが可能となる。また、将来生じる可能性の高い損傷を事前に予測することが可能となる。

そこで、本学位論文では、4K カメラと MEMS 加速度センサを用いた変位計測を実施し、計測した変位応答を鋼橋の疲労損傷に対する維持管理手法として適用した。具体的には、4K カメラを用いた画像計測に基づき、活荷重に対する変位応答を計測し、その応答をレインフロー解析することによって、疲労環境を評価する手法を検討した。さらに、MEMS 加速度センサを用いて、鋼床版橋梁の計測を実施することにより、主桁に対する相対的な U リブの変位応答を特定した。U リブの変位応答を特定することは、適切な補修補強の立案や、その効果検証において重要である。

第 1 章では、本研究の背景、橋梁の変位計測に関する既往研究と課題を述べた。また、従来手法の特徴について整理し、それぞれの長所および短所を明確にした。最後に、この既往研究のレビューに基づき、本研究の目的と本論の構成を示した。

第 2 章では、4K カメラを用いた鋼道路橋の変位計測について検討し、計測した変位応答に基づき、レインフロー解析を行うことによって、その橋梁の疲労環境の評価を実施した。この結果、4K カメラを用いた変位応答と、接触式変位計を用いて計測した変位応答は同様の形状を示した。最大変位応答の時刻における誤差は 15.3%であった。接触式変位計を用いて計測した変位応答と、4K カメラを用いて計測した変位応答を用いてレイン

フロー解析を実施した結果は、1.0-2.0mm において誤差が大きくなったが、2.0mm 以上の変位において、その差は小さくなり、4K カメラを用いて疲労環境を評価できる可能性を示した。

第3章では、MEMS 加速度センサを用いて、鋼床版橋梁における現場計測を実施することにより、活荷重に対する主桁の変位応答および、主桁に対する相対的な U リブの変位応答を特定した。U リブの変位応答を特定することは、適切な補修補強の立案や、その効果検証において重要である。

第4章では、本研究で得られた成果をまとめて示し、総括した。

本研究の成果は、簡易なインフラセンシングにより、構造上の問題を早期に特定することや、将来生じる可能性の高い損傷を予測することに対して貢献する研究成果である。これらの成果は、老朽化が進む鋼道路橋の維持管理の高度化に貢献できる。

以上より、本論文は博士（工学）の学位論文として価値があるものと認められる。

氏名（本籍）	Samantha Louise N. Jarder（フィリピン）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 213 号
学位授与の日付	令和 6 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文主題	Utilizing Correlation In Seismic Damages Of Pipeline And Decision Trees For Restoration As A Proposed Methodology For Assessment And Risk Reduction Strategy For Water Distribution Network （空間相関を考慮した水道管ネットワーク網の地震被害評価と機械学習を援用した決定木分析によるリスク軽減戦略）
論文審査委員	（主査）丸山 收 白旗 弘実 秋山 祐樹 関屋 英彦

論文内容の要旨

Losses due to hazards are inevitable and numerical simulations for estimations are complex. This study proposes a model for estimating correlated seismic damage and losses of a water supply pipeline system as an alternative for numerical simulations. This study aims to obtain a probabilistic portfolio loss model of an extensive water supply area. The proposed model was compared to the numerical simulation data with the correlated Poisson distribution. The application of the NORmal To Anything (NORTA) obtained correlations for Poisson Distributions. The proposed probabilistic portfolio loss model, based on the generalized linear model and central limit theory, estimated the possible losses, such as the Probable Maximum Loss (PML, 90% nonexceedance) or Normal Expected Loss (NEL, 50% non-exceedance). The proposed model can be used in other lifeline systems as well, though additional investigation is needed for confirmation. From the estimations, a seismic physical portfolio loss for the water supply system was presented. The portfolio was made to show possible outcomes for the system. The proposed method was tested and analyzed using an artificial field and a location-based scenario of a water supply pipeline system. As hazards and damages become more complex as population and progress evolve, strategies for minimizing or eliminating the impacts are not universal for all scenarios. Here in this paper, it proposes how to utilize a decision tree to determine a priority-scenario-based restoration strategy for a seismic damaged pipeline network. Using the available information of a city and the parameters for the pipeline system, the damage rate and losses after a seismic event can be obtained using available models. Decision Trees (DTs) were produced at different priority scenarios, namely: vulnerability, damage, and cost. The DTs were compared to other Tree-Based Models (TBM), namely Random Forest (RF) and Gradient Boosting (GB); and other machine learning tools. A competitive and comparison tests were conducted to determine which machine learning tool works best for the goal of the study. DTs showed that it is the best tool for the goal for the risk reduction part of this paper. Results show different areas affected by different priority scenarios. Some areas are repeatedly highlighted in different priority scenarios. A priority-based strategy can be produced depending on whichever factor decision-makers, consultants, or clients decide.

論文審査結果の要旨

本研究は、上水道システムの確率地震を外乱とする構造的被害損失の評価を PML 値(確率論的最大損失)により行うこと、最適な復旧戦略を提案することを目的としている。空間的な広がりを持つライフラインシステムの地震時リスク解析を行う際に、地震動、地盤物性値に起因する被害個所の相関を考慮した評価手法の提案、機械学習を援用した復旧戦略について論じている。

本研究において得られた知見ならびに成果は以下の通りである。

1. 解析対象とした Iloilo City (フィリピン共和国) の上水道システムに、確率論的地震動を外乱として考慮する。構造的被害算出のために、地理情報システムを用いて、解析対象 300 メッシュごとの配水管路、地盤種別、液状化指標などのデータベースを作成した。
2. 過去の被害事例から提案されている経験式により、メッシュごとの平均被害個所数の推定を行った。
一つのメッシュにおける平均被害個所は、非常に小さな値となることから、一般的にポアソン分布が適用される。ポアソン分布は、各メッシュの被害個所を独立として扱うので、解析対象 300 メッシュを独立として評価すると、上水道システム全体の構造的損失の PML は、中心極限定理により正規分布に収斂し、平均値に対して、分散が小さな値となるために、決定論的な値に漸近するという矛盾点を指摘している。
3. 地震動特性である最大速度 (PGV)、地盤特性などは空間的な相関を有していることから、被害個所数の確率論的な評価を行う際に、相関を考慮できるポアソン分布の乱数を生成して、モンテカルロ法により被害個所数の確率分布の評価を行った。
4. モンテカルロ法により、求められた確率分布を正規分布および対数正規分布との整合性を検証した。その結果、対数正規分布の整合性が非常に良いことが明らかとなった。したがって、相関を適切に与えた対数正規分布を用いることにより、解析的に PML 値を評価できることが明らかとなった。
5. 機械学習を援用した水道システムの被害個所数の推定およびディシジョンツリーを自動生成することを行うことで、復旧戦略についても検討を行った。復旧戦略を機械学習で評価する際に、災害危険度、上水道を供給する重要施設の存在などを評価因子として解析を行い、概ね妥当な結果であることを確認した。
6. 本研究では、連結性などの機能的損失の評価までは至っていないが、上水道システムに限らず、空間的な広がりを持つライフラインシステムにも適用可能である。

上述した内容により、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値があるものと認められる。