

2025年 8月 22日

豊橋技術科学大学長 殿

電気・電子情報工学専攻

学位審査委員会

委員長 八井 崇



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	SHAFIRA ZAHRA			学籍番号	第229202号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 電気・電子情報工学専攻		
博士学位 論文名	Development of Space Charge Measurement System for HVDC Cable and Joint Using Pulsed Electro-Acoustic Method (パルス静電応力法による高圧直流ケーブルとジョイントに対する空間電荷計測システムの開発)				
論文審査の 期間	2025年 7月 17日 ～ 2025年 8月 22日				
公開審査会 の日	2025年 8月 6日		最終試験の 実施日	2025年 8月 6日	
論文審査の 結果※	合 格		最終試験の 結果※	合 格	

審査委員会(学位規程第6条)

学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。

委員長

滝川 浩史



委員

稲田 亮史



高橋 一浩



村上 義信



印

印

印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、超高圧直流電力ケーブルと接続部における絶縁体内部の蓄積電荷（空間電荷）に着目し、これまで困難であった実規模の超高圧絶縁系の空間電荷測定を実現するための測定系の構築、およびその解析法をまとめたものである。

第1章では、研究の背景、目的、および論文の構成を述べている。第2章では、大規模送電網における直流長距離送電の重要性と、絶縁系における空間電荷の問題を示し、本研究の位置づけを論じている。第3章では、空間電荷測定に多用されるパルス静電応力法を超高圧ケーブル絶縁系に適用する際の問題点を論じている。第4章では、長いケーブル試料に測定点を設定して効率的にパルス電圧を印加する方法を提案し、計算と実験により最適条件を求めている。第5章では、試料にパルス電圧を印加したときに発生する音響信号を効率的に検出するために、高分子音響結合器が優れていることを計算で示し、その設計と実証を行っている。これにより従来不可能であった実規模超高圧ケーブルの空間電荷測定が実現した。第6章では、ケーブル系の弱点となる接続部の空間電荷測定を実現している。接続部では二次元の計測と解析が必要となるため、16チャンネルからなるアレイ型センサを試作し、電気的に走査して軸方向のプロファイルを取得している。時間領域の信号を半径方向の位置情報に変換すると、二次元プロファイルが得られる。これをもとに、パルス電界と音響物性の分布および構造に基づく音波の拡がりを考慮した補正を行い、接続部内部の電荷密度、電界および電位の分布を求めている。実際に近い接続部モデルを利用して、接続部内の異種絶縁物界面に拡がる電荷の動きを明らかにしている。第7章では本研究の成果を総括し、実規模超高圧絶縁系の品質保証試験において空間電荷測定が可能となったことおよび、本研究の応用展開および今後の発展について述べている。

審査結果の要旨

大容量の再生可能エネルギーを輸送する超高圧直流送電ケーブル系の需要が高まっている。開発の最終段階では、数か月にわたる課電試験において、絶縁系の破壊を決める空間電荷分布の経時変化を知る必要があるが、従来非破壊的な計測方法がなく、破壊の有無のみで性能評価を行ってきた。

空間電荷を測定するパルス静電応力法は、計測系が示す音響応答信号を電荷密度、電界および電位の分布に変換する。フィルム試料を用いた材料評価試験に多用されてきたが、実規模の厚い絶縁系では長いケーブル試料にパルス電圧を印加することが困難であることに加え、音響信号が減衰し、解析に値する品質の信号の取得が困難であった。

本論文ではケーブル試料そのものをパルス結合器として直流とパルス電圧を同時に加える方法を提案し、その最適条件を計算と実験で明らかにしている。また、従来金属電極を利用していた音響結合器を高分子材料に替えることにより音響整合をはかり、高感度化を実現している。これらにより、運転電圧下における平均電界の2.5%程度の電界変動を検出できることを実験で示している。接続部では絶縁系が二次元構造となるため、アレイ型センサを試作して接続部モデルに適用し、世界初となる接続部の空間電荷計測を行っている。

以上の成果により、長期にわたって行われる課通電試験中、ケーブル本体および接続部の電荷密度、電界および電位の分布を連続的にモニタすることが可能となった。これらの成果は国内外の学会、産業界で高く評価されており、現在国内外においてこの成果を利用した品質確認試験が行われている。以上より本論文は、学術的・産業的に価値が高く、博士(工学)の学位論文に相当するものと判断した。

(各要旨は1ページ以上可)