

博士学位論文審査要旨

2011年2月13日

論文題目： 電気鉄道き電回路における異常現象とその対策に関する研究

学位申請者： 梅田 繁樹

審査委員：

主査： 同志社大学大学院工学研究科 教授 雨谷 昭弘
副査： 同志社大学大学院工学研究科 教授 石原 好之
副査： 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 長岡 直人

要 旨：

本論文は直流電気鉄道架線電圧の安定化、鉄道システムでの事故標定、および高調波電圧に関する研究成果、およびこの研究成果に基づき設計・製作した架線電圧安定化装置、事故点標定法、高調波低減回路および本研究の一環として考案された縮小形鉄道用変電所の実証試験結果について取りまとめたものである。

本論文は全7章からなり、第1章では研究背景と研究の概要について述べている。

第2章では直流電気鉄道の架線電圧変動現象と電圧安定化について述べている。電車ブレーキ動作時の運動エネルギーを有効利用する回生車両の一般化に伴い、回生電力による架線電圧上昇が大きな問題となり、当初、変電所電圧を下げることで対処しようとしたが、車両の長大編成化、空調の増強等によりこの方策には限界があった。本章では架線に電力貯蔵装置を設置し、電車ブレーキ動作時の負荷として用いることで架線電圧の変動を抑制する方法を提案している。貯蔵媒体としてはリチウムイオン電池が最適であることを示し、本電池を含む貯蔵装置の制御技術を開発すると共に、その設計手法を確立している。本研究の成果として、電池電圧 640V・電池容量 38kWh の電力貯蔵装置を製作し、東海道本線野洲き電区分所に設置すると共に、その試験結果についても述べている。

第3章ではき電回路での短絡事故標定に関する研究成果について述べている。電気鉄道の電源回路（き電回路）で短絡事故があった場合、直ちに高速度遮断器により事故電流を遮断するが、事故原因を除去するために事故点を早急に見出す必要がある。理論的には、事故点の両側にある変電所での電流瞬時値の比較から事故点の検出が可能であるが、実時間での変電所電流の比較は実際にはほぼ不可能である。そこで、短絡電流上昇率が事故点から電流値測定変電所までの距離と相関性を有すること、および上昇率は回路中のインダクタンスで定まることを利用したき電系事故点標定法について検討し、この標定法の精度向上には線路インダクタンスの正確な値が必要であることを明らかにすると共に、その計算法を確立している。

第4章では都市部における鉄道用変電所の用地確保の困難さを解消するために、機器の軽量化、小型化を図ることで従来の変電所に比べ、敷地面積および容積を大幅に縮小できるコンパクト変電所を開発している。具体的には耐熱絶縁紙を用いて縮小化した新しい変圧器の製作、パルス数を増加させることで低次高調波を発生しない整流器の採用、これに伴う高調波フィルタの削減等によりコンパクト変電所を可能としている。このコンパクト変電所を実地に設置し、実測を行うと共に EMTP シミュレーションを実施し、コンパクト変電所の性能を確認している。

第5章では交流電気鉄道のき電回路電圧波形で観測された電圧歪みについて、その発生原因を明らかにすると共に、EMTPシミュレーションにより発生原因を確認、および波形歪みを抑制するためのCRフィルター回路の設計を行っている。この結果に基づき実際のCR回路を作成し、車両基地変電所に設置して実測を行い、製作した波形歪み防止用CR回路の効果を確認した。

また、電力会社や重電機器メーカーではEMTP等のシミュレーションツールは異常現象の解明、その解決策の検討、更に電力設備・機器の絶縁設計等に広汎に利用されているが、電気鉄道分野では、未だに経験則と理論解析が主であることから、電気鉄道技術者の参考資料として利用するために、本研究の一環として実施したEMTPシミュレーションの実施例、入力データを第6章で取りまとめている。

最後に第7章において本論文の研究成果のまとめを行っている。

現代社会のライフラインの一つである電気鉄道は省エネルギー、高効率化、環境調和等のためにパワーエレクトロニクスに代表される各種新技術を取り入れた結果、電気鉄道への電力供給回路であるき電システムに新たな問題をもたらすこととなった。本論文では電気鉄道の架線電圧変動現象、き電回路短絡事故、あるいはき電回路電圧歪等を現地試験およびEMTPシミュレーションにより解明し、リチウムイオン電池を回生電力貯蔵媒体として用いる電圧安定化装置、事故点標定装置、鉄道用コンパクト変電所、波形歪み防止装置等を開発している。これらの成果は世界各国の電気鉄道の安全性確保、安定運用等に多大の貢献をなすものである。以上より、本論文は工学的、かつ技術的に極めて価値あるものと評価できる。従って、本論文は博士(工学)(同志社大学)の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

総合試験結果の要旨

2011年2月13日

論文題目： 電気鉄道き電回路における異常現象とその対策に関する研究

学位申請者： 梅田 繁樹

審査委員：

主査： 同志社大学大学院工学研究科 教授 雨谷 昭弘

副査： 同志社大学大学院工学研究科 教授 石原 好之

副査： 同志社大学大学院生命医科学研究科 教授 長岡 直人

要 旨：

本論文の提出者は、本大学工学部電気工学科を1977年3月に卒業し、2008年4月に本大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程（後期課程）に入学している。

本論文の主たる内容は電気学会論文誌D、鉄道と電気技術(2件)、JREA誌、鉄道車両と技術に掲載され、また、International Conference on Electrical Engineering ICEE2010において発表され、すでに十分な評価を受けている。

本年1月29日午前10時より2時間にわたり、提出論文に関する学術講演会が開かれ、種々の質疑討論が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。

さらに講演会終了後、審査委員により、論文に関係した諸問題につき口頭試験を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。なお、英語に関しては本工学研究科電気電子工学専攻博士課程（後期課程）在学中に合格しており、また、ドイツ語に関しては本学工学部在学中に単位認定されており、十分な語学力を有しているものと認められる。以上より、本論文提出者の専門分野に関する学力ならびに語学力は十分であると認める。よって総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： 電気鉄道き電回路における異常現象とその対策に関する研究
氏名： 梅田 繁樹

要 旨：

現代社会において必要不可欠なインフラストラクチャーである電気鉄道において、電車の駆動は従来の直流電動機から、パワーエレクトロニクス技術を応用した可変電圧・可変周波数インバータで制御される誘導電動機に置き換えられている。これにより、電気鉄道の安全性が格段に向上すると共に、回生ブレーキの採用等により省エネルギー性の向上、省力化あるいはブレーキシューの摩耗低減等が達成されてきている。一方で、このインバータ、誘導電動機を基本とする駆動システムは電力供給のき電システムに新たな問題をもたらしている。その代表例が回生電力による架線電圧の上昇、およびインバータから発生する高調波電流の電気鉄道交流系への流入に伴う共振性電圧の発生である。これらの問題は世界各国の電気鉄道システムに共通であり、電気鉄道の安全性確保、安定運用のため早急に解決すべき重要な研究課題である。

本論文は直流電気鉄道架線電圧の安定化、鉄道システムでの事故標定、および高調波電圧に関する研究成果、およびこの研究成果に基づき設計・製作した架線電圧安定化装置、事故点標定法、高調波低減回路および本研究の一環として考案された縮小形鉄道用変電所の実証試験結果について取りまとめたものである。なお、本研究内容は問題となる現象の発生から始まり、問題の解決方策として機器・装置の設計・製作・現地実証試験までの10年以上の期間を要するものであり、2003年～2007年の西日本旅客鉄道と同志社大学の共同研究、および2008年～現在迄の同志社大学大学院博士後期課程での研究に基づくものである。

本論文は全7章からなり、第1章では研究背景と研究の概要について述べている。

第2章では直流電気鉄道の架線電圧変動現象と電圧安定化について述べている。電車ブレーキ動作時の運動エネルギーを有効利用する回生車両の一般化に伴い、回生電力による架線電圧上昇が大きな問題となってきた。当初、変電所電圧を下げることで対処しようとしたが、車両の長大編成化、空調の増強等によりこの方策には限界があった。本章では架線に電力貯蔵装置を設置し、電車ブレーキ動作時の負荷として用いることで架線電圧の変動を抑制する方法を提案している。貯蔵媒体としてはリチウムイオン電池が最適であることを示し、本電池を含む貯蔵装置の制御技術を開発すると共に、その設計手法を確立している。本研究の成果として、電池電圧640V・電池容量38kWhの電力貯蔵装置を製作し、東海道本線野洲き電区分所に設置すると共に、その試験結果についても述べている。

第3章ではき電回路での短絡事故標定に関する研究成果について述べている。電気鉄道の電源回路(き電回路)で短絡事故があった場合、直ちに高速度遮断器により事故電流を遮断するが、事故原因を除去するために事故点を早急に見出す必要がある。理論的には、事故点の両側にある変電所での電流瞬時値の比較から事故点の検出が可能であるが、実時間での変電所電流の比較は実際にはほぼ不可能である。そこで、短絡電流上昇率が事故点から電流値測定変電所までの距離と相関性を有すること、および上昇率は回路中のインダクタンスで定まることを利用したき電系事故点標定法について検討し、この標定法の精度向上には線路インダクタンスの正確な値が必要であることを明らかにすると共に、その計算法を確立している。

第4章では都市部における鉄道用変電所の用地確保の困難さを解消するために、機器の軽量化、小型化を図ることで従来の変電所に比べ、敷地面積および容積を大幅に縮小できるコンパクト変電所を開発した。具体的には耐熱絶縁紙を用いて縮小化した新しい変圧器の製作、パルス数を増

加させることで低次高調波を発生しない整流器の採用，これに伴う高調波フィルタの削減等によりコンパクト変電所を可能としている。このコンパクト変電所を実地に設置し，実測を行うと共に EMTP シミュレーションを実施し，コンパクト変電所を確認した。

第 5 章では交流電気鉄道のき電回路電圧波形で観測された電圧歪みについて，その発生原因を明らかにすると共に，EMTP シミュレーションにより発生原因を確認，および波形歪みを抑制するための CR フィルター回路の設計を行っている。この結果に基づき実際の CR 回路を作成し，車両基地変電所に設置して実測を行い，製作した波形歪み防止用 CR 回路の効果を確認した。

第 6 章では電力会社や重電機器メーカーでは EMTP 等のシミュレーションツールは異常現象の解明，その解決策の検討，更に電力設備・機器の絶縁設計等に広汎に利用されているが，電気鉄道分野では，未だに経験則と理論解析が主であることから，電気鉄道技術者の参考資料として利用するために，本研究の一環として実施した EMTP シミュレーションの実施例，入力データを取りまとめた。

最後に第 7 章において本論文の研究成果のまとめを行っている。