

| | | | |
|---|--------------------------------|----|---------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | 小 西 武 史 |
| 論文題目 | 直流電気鉄道における電力需給システムの高度化に関する基礎研究 | | |
| <p>本論文は、直流電気鉄道における電力需給システムの高度化を実現することを指向して、電力の需要側と供給側への新技術の適用に関する基礎研究をまとめたものであり、8章から構成される。</p> <p>第1章は序論であり、電気鉄道における電力需給方式の高度化が研究対象であることを示している。即ち、需要側の研究対象は、既存の回転機では実現できない高性能化・高機能化が達成できる高温超伝導誘導／同期電動機であり、供給側の研究対象は、電力回生エネルギーの有効活用と電力供給安定化を実現する電力貯蔵システムである。</p> <p>第2章は、日本における電気鉄道の現状と省エネルギー化の必要性を示している。鉄道は、現状において省エネルギーな輸送手段であることは明白であるが、さらなる省エネルギー効果を上げるためには、画期的なシステムの構築が要求される。日本の直流電気鉄道は、交流電気鉄道と比較してその車両総数、地上設備の電力供給システムの個数が多いため、システムの画期的な高度化を図る意義が大きいことを示している。</p> <p>第3章は、直流電気鉄道用電力貯蔵システムの基礎的検討に関する内容である。電力貯蔵媒体単体とシステムの両者の観点から、解析ならびに実験を踏まえて、電気鉄道における電力貯蔵システムの実用性を評価している。電気鉄道では電車走行に伴い急速かつ大きな負荷変動が頻繁に生じるため、急速充放電特性が良好でサイクル寿命が長い電気二重層キャパシタを用いた電力貯蔵システムを対象に、解析と実験的考察を行っている。また、上記媒体のエネルギー密度が劣る面を補うため、鉛蓄電池を併用した電力貯蔵システムについて計算ならびに実験により解析している。</p> <p>第4章は、直流電気鉄道の実線区において電力貯蔵システムを評価したものである。電力貯蔵システムの充放電によって、系統の電圧降下の抑制および回生電力の有効活用に寄与し、電気鉄道の電力供給安定化に対して有用であることを示している。</p> <p>第5章は、電力貯蔵システムの充放電制御に関する内容である。電力貯蔵システムが電圧降下補償と回生電力吸収の両者に対して常に有効に機能するためには、電力貯蔵媒体の充電と放電の何れにも対応可能な状態にする必要がある。そこで、充電および放電の開始電圧を、受電電圧や貯蔵媒体の充電状態に応じて変動させることにより、電圧降下と回生電力吸収を両立させる新たな制御手法を提案している。</p> <p>第6章は、次世代形電動機のモデル・特性に関して検証したものである。電車に適用される主電動機の損失をより低減するために、究極的な電動機の高効率化が求められている。一般に、誘導電動機の損失は、固定子銅損、固定子鉄損、回転子鉄損、回転子銅損、機械損、漂遊負荷損に分類される。これらの損失のうち、銅損は電気抵抗により発生するため、抵抗率の小さい材料を使用することで低減できる。また、鉄損については低損失な電磁鋼板を使用することで低減できる。従って、材料側からのブレイクスルーを果たすことにより、主電動機の飛躍的な特性向上を見込むことができる。上記背景に基づき、究極的に高効率な電车用主電動機として期待される高温超伝導誘導／同期電動</p> | | | |

| | | | |
|---|---------|----|---------|
| 京都大学 | 博士 (工学) | 氏名 | 小 西 武 史 |
| <p>機をその検証対象に設定している。直流直巻電動機、常電導かご形誘導電動機を比較対象とし、各電動機の回路をモデリングし、電車の主電動機に適用した際の入力電力と電力損失 (効率) を評価することによって超伝導電動機の優位性を検証している。まず、ある直流電気鉄道の電力負荷特性から、直流電動機を主電動機に適用した際の電車走行時のトルク、電力損失などの各特性を類推している。次に、そのトルク特性を得るために、異なる電動機を適用した場合に必要な回路定数を算定している。超伝導電動機に関しては、高温超伝導体の電磁現象にもとづく回転原理から等価回路を導くことにより、トルク特性を得ている。さらに、超伝導テープ材の臨界電流値と漏れリアクタンス値がトルク特性に与える影響を考察している。</p> <p>第7章は、電力需給の全体システムを検証したものであり、第5章で示した充放電制御手法を適用した電力貯蔵システムと、第6章で示した高温超伝導誘導/同期電動機の両者を、直流電気鉄道に導入した場合の省エネルギー効果ならびに電力品質の向上効果を、過渡解析シミュレーションで定量的に評価している。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p> | | | |

| | |
|----|-------|
| 氏名 | 小西 武史 |
|----|-------|

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、直流電気鉄道における電力需給システムの高度化を実現することを指向し、電力の需要側と供給側への新技術の適用に関する基礎研究をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 電力供給側の研究においては、電力貯蔵システムを対象に設定した。貯蔵媒体単体の充放電特性、貯蔵媒体の寿命特性を、電気鉄道の負荷特性を考慮して評価した。次に、電力貯蔵システムについて、その有効性を過渡解析モデルによる計算、ミニモデルによる基礎試験を通して示した。さらに、電気二重層キャパシタと鉛蓄電池を併用した電力貯蔵システムの電気特性を、電気回路モデルによる計算、ミニモデルによる試験によって評価した。

2. 電力貯蔵システムを、実際の電気鉄道に適用して特性を検証した。電力貯蔵システムの充放電によって、系統の電圧降下の抑制や回生電力の有効活用に寄与し、電気鉄道の電力供給安定化に対して有用であることを実証した。

3. 電力貯蔵システムの充電および放電の開始電圧を、受電電圧や貯蔵媒体の充電状況に応じて変動させることにより、電圧降下と回生電力吸収を両立させる効果的な制御手法を提案した。

4. 高温超伝導体を用いた高温超伝導誘導/同期電動機を次世代型電车用主電動機としてその基礎特性を検討した。高温超伝導体の電磁現象にもとづく回転原理から等価回路を導くことにより、トルク特性や効率を定量的に評価した。さらに常伝導の直流電動機や誘導電動機と比較してその低損失性を示した。

5. 提案した制御手法を適用した電力貯蔵システムと、高温超伝導誘導/同期電動機の両者を直流電気鉄道に導入した場合の省エネルギー効果を、過渡解析シミュレーションにより定量的に評価した。

本論文は、直流電気鉄道における電力需給システムの高度化を実現する上で重要な技術がまとめられており、学術上、実用上において寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。