

直流き電鉄道への超電導ケーブルの導入効果

学生証番号 47106080 氏名 呂 臻
(指導教員 大崎 博之 教授)

HTS cable、DC Electric railway system、power transmission

現在日本の電気鉄道で広く使われている直流き電システムは構成が簡易、安価であるため、都市鉄道などで広く用いられている。だがき電抵抗により生じる比較的大きな電損失を持つため、送り出し電圧の低下、回生ブレーキ利用の不確実性やエネルギーの非有効利用等の問題がある。

一方、現在では超電導ケーブルやエネルギー貯蔵などの新技術を応用することにより、直流き電システムの一層の省エネルギー化が図られている。近年では線材加工技術の発展によって、超電導ケーブルの実用化が脚光を浴びてきた。超電導送電線が商用交流系統接続される事例も報告されている。さらに直流ケーブルは交流ケーブルと比べ、交流損失がないため、超電導の特徴をより有効に生かせるケーブルと考えられる。今後も低圧大電流用途での直流鉄道システムにおける応用が期待されている。

直流き電鉄道システムに高温超電導直流ケーブルを適用されると、き電線の抵抗を非常に小さくできるため、き電線における電力損失や電圧降下が低減される。さらに電圧低下はもはやき電距離に依存しないため、き電距離に関する制約が大幅に緩和され、変電所間隔の延長が可能になる。そしてき電分岐の間隔を設定することにより電力を遠方まで届くことも可能になり、近所に力行車がなくても回生電力は有効に使えるため、回生率向上による省エネルギーや設備投資の減少なども導入後のメリットとして考えられる。だが超電導の導入と同時に、電車が運転しない時でも常に冷却が必要になるため、冷却エネルギーの考慮が必要になる。本研究では、高温超電導直流ケーブルを直流鉄道き電システムに導入することについて、実路線を参考に複数のモデル路線を設定してエネルギーの得失に焦点を当ててシミュレーションによる検討を行った。

電気鉄道のき電系を電気回路として扱う際に、時間とともに電車が移動するので回路インピーダンスに変更が生じる。また、電車が変電所を通過する時や路線上の電車数が増える時には電気回路構成が変わる。これらの問題に対して、本研究はモデル化時電車や変電所を全て一つの要素として考え、秒毎に各要素の位置を計算、構成する電気回路を確認した上でシミュレーションを行うことで対応している。実路線を参考に構築したモデルに超電導ケーブルはき電線と並行に導入され上に、変電所の数、電車の運行ダイヤ、誘導機の駆動特性を考慮することなど、より現実に近いモデル化を図っていた。モデルの解析には理工学分野で幅広く利用されているMATLAB-SIMULINKをベースに、電力変換機を含む電力システムのモデリングやシミュレーションを行うツールであるSimPowerSystemsを追加して構築し、数値解析を実行した。

本研究の結論として、全てのモデルに対し超電導ケーブル導入後、き電線に沿った電圧の変動は大幅に抑制され、回生率の向上が明らかに分かった。また、運行ダイヤを調べることでより密度の高いダイヤの方がより一層超電導ケーブルの導入効果が引き出されたことが観察できた。さらに変電所の数を減少させても変電所の最大電流や電力の上昇が少なかったことにより、超電導ケーブル導入の後、変電所稼働率が向上したことが考えられた。最後にシステム全体に出入りしたエネルギーを5分間において評価した結果、超電導ケーブルが導入された後定加速度のシンプルモデルは61MJ、駆動特性を考慮したモデルは41MJの省エネ効果が得られた。

参考文献

富田優, 2010年度春季低温工学・超電導学会, 3A-a09 (2010) p.186