

セッション3：線路・電気および その他設備（その1）



三輪 武嗣

MIWA Takeshi

線路・電気およびその他設備部門では、21件の応募があり、そのうち14件が発表論文として採用となった。セッション3ではこのうちの7件、電路、変電、建築設備等にわたる幅広い分野での開発、改善の興味深い取り組み事例を発表いただき、活発な意見交換がなされた。

キーワード：サードレール、電力貯蔵、電力管理システム、インバータ照明、遠赤外線ヒーター

1. はじめに

本セッションでは、「ホーム前サードレール取替え工事の見直し」、「複々線区間における故障点標定精度の向上」、「電力貯蔵導入による最適電システム」、「冗長性設計による機能分散配置型電鉄向け電力管理システム」、「Hf86Wインバータ照明器具導入検証」、「排水処理装置からの汚泥処理方法の改善」、「盛岡新幹線車両センター検修職場の熱源更新」の7件が発表され、いずれも示唆に富んだ充実した内容であった。以下に各発表論文の概要を紹介する。

2. ホーム前サードレール取替え工事の見直し

東京地下鉄において、ホーム区間におけるサードレールの摩耗特性を検証し、取り替え工事方法の見直しを図ったものである。

サードレールとは、走行用レールの側方に設置した導電レールのことで、電車下方側面に設けた集電靴へ列車電流を給電するものである。主に地下鉄で使用され、トンネル断面積の縮小、保守の低減等に寄与する。

サードレールは鋼鉄製であるため、一般的に摩耗が少

なく長寿命な設備であるものの、磨耗量が管理値を下回った際は取り替え計画を立てている。

発表者らは保守管理データから、ホーム区間で磨耗が進行している傾向に着目し、磨耗量が多い丸の内線四ツ谷駅と新宿御苑駅（共に1959年敷設）のサードレールを詳細に測定した。

磨耗が発生する要因としては、電氣的磨耗と機械的磨耗が考えられるが、列車の速度－電流特性から求められる大電流の位置と実際の磨耗箇所の相関が認められないことから、機械的磨耗が主要因であると推測した。

そこで摩擦に関する文献を調査し、摩擦圧力、滑り速度、磨耗率、車両特性の関係を検討した結果、集電靴の押し付け圧力20kgf/cm²の条件下において所定の停止位置に対し、発車後は280mm先、停車前は225mm手前で磨耗率が極大となることを得て、現場との一致を見た。さらに集電靴の停止位置と間隔を考慮し、工事方法の見直しを検討した。

従来は局部磨耗したサードレールを新品に取り替えていたものを、3m移設することにより均等に磨耗させ延命化を図ることとした。移設方法はデッドセクション（電氣的区分）となるサードレール終端の位置を変えないよう、サードレールの中間を3m切り出しスライドさせ、新たな別の切断面に詰め込み、狭開先エンクローズ溶接する方法とした。

新たな接合面では高さのすり合わせが必要となるが、あらかじめサードレールの頭部～底部の高さを測定しておき、高低差が少なくなるよう切断箇所を設定した。なお、四ツ谷駅でホームを外れた2箇所ずつの切断箇所と割り入れ箇所の候補を検討した結果、いずれも0.5mm以内の高低差ですり合わせに問題がないことを確認した。

サードレールは列車の運行に直接関わる設備であるた

名古屋鉄道株式会社鉄道事業本部電気部電気課課長

め、移設方法を詳細に検討し3日間の工程で四ツ谷駅を施工した。移設後は集電靴がサードレールの凸部に当たる衝撃音、離線アークが発生しないことを確認し、長期的には現存する局部磨耗箇所や集電靴停止位置付近の磨耗状態を注視していく。

今回、取り替え工事を移設工事に見直したことにより、約35%のライフサイクルコスト節減を見込んでいる。

3. 複々線区間における故障点標定精度の向上

東日本旅客鉄道において、新幹線き電回路における飛来物、車両故障等による送電支障の短時間復旧を目的に、現在のATロケータによる標定誤差を改善したものである。

新幹線は大電力供給に適したATき電方式であり、変電所のき電電圧を電車線電圧より高くして、トロリ線(T相)とき電線(feeder:F相)に電力を供給し、線路に沿って約10kmごとに設備された単巻変圧器(Auto-transformer:AT)を用い必要な電車線電圧に降圧している。

き電区分をせずにATのみがある箇所をATポストというが、ATロケータは故障時の各ポストのAT吸い上げ電流の分担率から距離に換算し表示するものである。原理上故障点抵抗の影響を受けないので標定精度は元来高いものであるが、東北・上越新幹線大宮駅以南において標定誤差が大きくなる事象が何度か発生していた。

そこで、標定誤差がどのような原因によるものか当該区間の設備の特徴を机上で洗い出すとともに、実際に人工地絡試験を行い、線路定数、吸い上げ電流の分担率を測定した。これらを分析した結果、誤差要因を、

- 複々線き電回路における故障点と分担率の関数の相違
- 標定不能区間の存在
- ポスト位置と切り替えセクションの位置の相違
- 故障時の吸い上げ電流と列車負荷電流の重畳

に整理し、修正式の適用、分岐点標定時の巡視範囲の明確化などにより良好な結果が得られることを確認した。

なお、紙面の都合上、回路網モデル、計算式、試験結果等は論文集で確認されたい。

4. 電力貯蔵導入による最適き電システム—軌道交通シミュレータPETS-DCの開発—

三菱電機では、人と環境に優しい交通システムの構築に向けた取り組みの中で、電力貯蔵システムによる最適き電システムを実現するツールとして、軌道交通シミュレータ“PETS-DC”を開発した。

電気鉄道は他の交通機関に比べCO₂排出量が少ない地球に優しい乗り物と言われている。しかし、制動時の運動エネルギーを電力に変換し架線へ戻す回生電力の利用面からみると、CO₂排出量を削減する余地が残されている。

そもそも回生電力は、付近に消費してくれる電車がいないと回生失効(回生絞り込み)してしまうものであり、その場合は機械ブレーキで熱放出してしまう。そのため、鉄道各社では以下に示すような回生絞り込み対策を検討している。

- 車両回生特性の向上
 - 絞込み開始電圧の上昇
- 変電所無負荷電圧の低下
 - 電圧変動率の低減、サイリスタ整流器
- き電回路抵抗の低減
 - 上下一括き電、上下タイき電
- 回生電力吸収装置の設置
 - 回生インバータ、電力貯蔵システム

なお、発表者らは大手私鉄の路線網の電力シミュレーションにより、力行電力を100としたとき機械ブレーキで熱消費されているエネルギーは12%に相当すると試算している。

“PETS-DC”は、従来のシミュレータでは検討できなかった大手私鉄の大規模なき電回路網で、以下の要求を満たす電力シミュレーションを目標に開発された。

- ① 複線、複々線、単線による列車運用
- ② 本線、支線間の乗り入れ
- ③ 車両編成の結合・離合処置
- ④ 抑速運転
- ⑤ 煩雑な運転ダイヤ

なお、入力制限は下記の基本仕様とした。

- | | |
|-------------|-----------------|
| ① 計算時間 | : 24時間 |
| ② 路線数 | : 5路線 |
| ③ 駅数 | : 100駅 |
| ④ 路線構成 | : 任意 |
| ⑤ 車両性能 | : 20種類 |
| ⑥ 運用種別 | : 50種類 |
| ⑦ 変電所数 | : 50ヶ所 |
| ⑧ 列車編成数 | : 200編成(同時在線) |
| ⑨ 電力貯蔵システム数 | : 地上150台、車上200台 |

また、分布表示は、車両運転モード分布、架線電圧分布、パンタ点電圧分布の3種類が可能で、例えば車両運転モード分布では、力行、惰行、制動、停止の状態をダイヤグラム上に色分け表示し、更に制動は回生絞り込み無、回生絞り込み有、回生失効に細分化し、回生絞り込み対策の効果が把握できる。

本シミュレータにより変電所数28箇所、列車同時在線数65本の実路線モデルを計算した結果、非線形特性を有する電力貯蔵システムを任意に配置したモデルでの車両走行計算・き電回路網計算が可能であることが確認された。

今後は電力貯蔵システム導入によるき電システムの最適化の実現に向けて取り組む。

5. 冗長性設計による機能分散配置型電鉄向け電力管理システム

東武鉄道では、本社移転（押上）と総合指令所（北春日部駅構内）の建設が決定したことを受け、本社に設置された電気指令所も総合指令所へ移転することとなった。

運用開始後15年を経た電力管理システムについては、機器の老朽化更新および業務効率の改善を目的として、新電力管理システムを2005年から構築し、2009年9月に運用を開始した。

新システムは、機能分散配置とすることによりシステムの冗長性をもたせ、信頼性を上げ計算機の強度を上げることができた。また、監視・操作画面をWindowsベースのマウス操作を基本にしたことで、操作性を飛躍的に向上させることができた。

システム構成は、3台の操作卓（クライアント）を設け、メイン計算機（サーバ）は常用、待機、起動の3重系構成とした。サーバとクライアントは分散自立配置型の構成により、全サーバダウンの場合でも操作卓による監視制御（自動制御を除く）を可能としている。3台構成のサーバ、クライアントは1台ずつシミュレーションモードで稼働させることにより、残りのサーバ2台で2重系の運用を維持したまま、オペレータの訓練や教育、データベース（DB）変更時の確認試験を実施可能としている。

電気指令所～変電所間の伝送構成はTCP/IP通信によりTCM（遠方監視制御装置親局）レス構成とした結果、ネットワークに接続できれば場所を選ばず監視を行うことができる。これにより、災害などで電気指令所機能が異常となった場合でも監視卓を設置した押上本社にて変電所運転状況等の監視が可能となった。

電気指令所に設置された伝送端末装置と変電所に設置されたTCR（遠方監視制御装置子局）は光ファイバケーブルの3ループ構成で接続され、伝送路は光1芯（WDM：波長分割多重通信）の二重化構成であり異常時のループバック制御が不要な高信頼性を得ている。

その他50インチ×12面構成のDLP（Digital Light Processing）による系統監視盤、作業管理用ワークステーション、帳票用PC、ポジション変更などデータベースの変更をユーザー側で行えるメンテナンスPCなどで構成され、効率良い正確迅速な電力運用が可能となった。

6. Hf86Wインバータ照明器具導入検証

東京地下鉄において、Hfインバータ照明器具の発するノイズが誘導無線方式の列車無線に対して与える影響について検証を行ったものである。

Hfインバータ照明器具は、高周波を利用した高効率の照明器具であり、省エネ法、温室効果ガス削減目標に対

する取り組み等によって近年急速に普及してきた。これを導入することにより電気料金は約20%削減できることから、本格的導入に向け2000年よりHf32Wインバータ照明器具（以下、「Hf32W」）のノイズ検証を実施し2002年に導入に至った。その結果を基に今回ホーム白線上において主に設置されているFLR110W照明器具に代わるHf86Wインバータ照明器具（以下、「Hf86W」）の導入検討を行ったものである。

東京地下鉄の南北線を除く8路線の列車無線は、軌条間に設置した誘導線と列車の側面空中線との誘導結合により無線通話を行っている。その周波数帯域は100kHz～250kHzであり、一般的なHfインバータ照明器具の点灯周波数の50kHz～100kHzに近接している。

過去に行ったHf32Wの検証結果では、照明器具から発生するノイズがそれぞれ位相がランダムにずれるため、多灯数設置した際の誘導線へのノイズ重畳レベルが100台程度を超えると飽和状態となる特性を把握していた。また、誘導線と照明器具との距離特性、照明器具周辺のノイズ分布特性を測定し、誘導線の布設範囲に設置し得る照明器具240台の場合のノイズレベルを推定した。以上からHf32W照明器具の設置基準を、「誘導線より1.6m以上、側面空中線より1m以上」の離隔を確保することとした。

今回Hf86Wの導入を検討するにあたり、位相のずれは同様にランダムであることから、Hf32Wと同じ条件での設置であればHf86Wもほぼ同じ飽和特性を示すと考えた。そこで、器具単体のノイズレベル差を電波暗室で実測することにより、Hf32Wのノイズ特性に加算して設置許容範囲を推定できると考えた。

その結果、Hf86W1灯用については誘導線より1.25m以上、側面空中線より0.6m以上の離隔が必要との結論に至り、安全性を考慮した「誘導線より1.6m以上、側面空中線より1m以上」の離隔基準を設定した。なお、Hf86W2灯用は誘導線より2.2m以上、側面空中線より1.35m以上の離隔が必要となったため、駅により干渉の恐れがある白線上の導入は見送ることとした。

なお、2009年3月には、千代田線代々木公園駅にてHf86W1灯用を実際に設置し、ノイズ障害がないことを確認している。

今後、設置後のノイズ検証を順次進めると共に、各メーカーのインバータ照明器具も同様な検証を実施し、早期に導入を図ることで更なる省エネルギーを目指していく。

7. 排水処理装置からの汚泥処理方法の改善

東日本旅客鉄道において、車両洗浄後の排水処理装置に脱水装置を設置し、汚泥処理費用の削減を図ったものである。

JR習志野運輸区では、車両洗浄装置からの排水を排出水処理装置で処理した後、一部を車両洗浄装置で再利用し、残りは河川放流している。排出水処理装置の最終スラッジ槽には濃縮汚泥が蓄積されていくが含水率が98%と高く溜まるスピードが速く、1ヶ月に1回9m³程をバキュームカーで引き抜いていた。

そこで、汚泥量を低減するための脱水装置設置を検討した。発表者らは、水質汚濁法による処理能力制限や廃棄物処理法による水質基準を念頭に置き、廃棄物処理用の脱水装置のみならず他産業の機種まで調査対象を広げ、コスト試算により比較検討を行った。

最終的には、食品業界で使用される比較的小規模な装置で、濃縮汚泥をタンク内でポリマーと攪拌し反応させ、その後圧力を利用し汚泥を脱水する装置を採用した。また、建屋を必要としない屋外設備としたことにより、建設工事費と行政上の手続き費用を節減できた。

脱水装置の運用は、1週間で最終スラッジ槽に3分の1程度溜まるため、1週間に1回の脱水作業を基本とし、排出量は3週間で200ℓのドラム缶が満タンになり、5本溜まったら処分することとした。

しかし、導入前に最終スラッジ槽にて水質検査を実施したところ、鉛の濃度が特別管理産業廃棄物レベルにあることが判明し、大幅なコストアップが懸念された。

結果的には、タイムリーに脱水作業することにより鉛濃度は一般管理産業廃棄物のレベルに低下しており、汚泥排出量は年間108m³が4m³に低減、本来かかるべき処理費である1,296万円が46万円にまで低減し、大幅なコスト削減に成功した。

しかし、鉛の発生原因を解決した訳ではないことから、機器の故障も想定し、特別管理産業廃棄物の保管基準を満たした状態を維持していく。

8. 盛岡新幹線車両センター検修職場の熱源更新

東日本旅客鉄道盛岡新幹線車両センターにおいて、1991年から熱源および空調設備の蒸気レス化に取り組み、今回最終ステップである検修庫の熱源更新方法等の検討研究を行ったものである。

これまで検修庫には冬季の暖房設備としてボイラーの熱源を利用するユニットヒーター（蒸気暖房）とベースボードヒーター、ファンコンベクター（温水暖房）があり、これらは設置後26年経過し故障件数と修繕費の増大や陳腐化が著しくなっていた。また、検修庫全体の大容積を対流暖房で暖めているため効率も悪いものであった。

そこで更新にあたり、経費節減と環境負荷の低減を図るべくシステムの変更を検討した。

まず検修庫内の温度測定を実施し、その分布と特性を

理解したうえで、暖房方式、機器、熱源について比較検討を行った。具体的には、従来の蒸気を熱源としたユニットヒーターによる対流暖房、ガス・油焚きを熱源とした遠赤外線ヒーターによる輻射暖房、蒸気・高温水を熱源とした遠赤外線ヒーターによる輻射暖房の三つの方式を、暖房効率、換気損出、環境負荷、運転役務、メンテナンスコスト、インシヤルコストの面から検討を行った。

その結果、大容量空間の検修庫はガス焚き遠赤外線ヒーター、高架下職場について事務所はガス焚きFF暖房機、作業場はガス焚き遠赤外線ヒーターを採用した。また、サービスデッキ上の清掃用温水槽の熱源としてガス焚き温水ボイラを設置した。

対象物を直接暖める遠赤外線ヒーターによるスポット暖房、NO_x、CO₂排出が少なくSO_xを排出しない、かつ運転役務の負担が軽い都市ガスを熱源としたことにより、更新後の熱源能力は全体で2,992kW/hとなり、更新前の能力10,650kW/hの72%が削減された。

更に修繕費を56%削減、運転経費を63%削減することにより年間約50,000千円の経費節減が図れ、インシヤルコストの237,000千円は4.7年で回収できる見込みである。

本設備は昨年度冬季から運転稼動しているが、ユーザーからも作業環境が大幅に向上したと好評である。

9. おわりに

本セッションで発表された7件について紹介した。昨今、環境負荷やライフサイクルコストの低減は鉄道事業者のみならず社会全体のニーズである。環境に優しいと言われる鉄道に更に磨きをかけ、省エネルギー、低エミッション、低コストの安定した輸送を喫緊の課題として取り組まれていることが、応募論文や発表を通して感じ取ることができた。

また、発表はいずれも設備の概要や経緯、課題をまとめ大変分かりやすく工夫されたものばかりであった。本シンポジウムを通じて、これらの貴重な成果が会社や地域の壁を越えて受け継がれ、有機的に育っていくことを願って止まない。

なお、ここで紹介した発表概要は、紙面の都合上、計算モデルや図面を割愛したため、理解を難しくしたり発表者らの意図を正確に汲み取っていないおそれがある。共通のテーマに取り組まれている会員各位におかれては、是非論文集を参照して頂く様お願いしたい。

最後に、本シンポジウム開催にあたりご尽力頂いた関係各位、論文執筆や発表に取り組んで頂いた方々および聴講された会員各位に感謝申し上げますと共に、本シンポジウムの益々の発展を願い報告を終えたい。