

## セッション3：電気システム・地上設備 (その1)



藤田 一夫

FUJITA Kazuo

電気システム・地上設備の部門では、本年度29件の論文が応募され、厳正な審査を経て、うち14件が発表論文として採用された。セッション3（その1）では、このうち7件の論文について、電力、信号、地上設備など、幅広い分野から、現場の創意工夫、将来を展望した新しい発想の開発などわかりやすい発表がされた。会場の熱心な聴講者によって活発な質疑応答がされ、有意義な意見交換になったものと考えている。

キーワード：蓄電池応用システム、電力シミュレータ、広域地震警報機能、ホーム検知システム

### 1. はじめに

本セッションでは、「新幹線電力シミュレータの開発」、「再生電力貯蔵装置の導入効果について」、「蓄電池駆動電車システムの開発－蓄電池を用いた地上充電装置の充放電制御－」、「東京メトロ深川通路線の電食対策」、「在来線広域地震警報機能の提案について」、「ホーム検知（チェックイン・チェックアウト方式）システムの開発」、「き電切替箇所に対応したDS-ATCの開発」の7件が発表された。以下に各発表について概要を紹介する。

### 2. 新幹線電力シミュレータの開発

東海旅客鉄道株式会社では、東海道新幹線の安全輸送のため、電力を安定的に供給することが可能か計算を行い、電力設備を評価するための、新幹線電力シミュレータを開発した。シミュレーションが必要な場面としては、

鉄道情報システム株式会社端末サービスセンター計画総括主幹

ダイヤ変更、新形式車両の走行などに向けた事前評価の他、変電所の故障や列車の徐行・速度制限など突発的な異常時における電力設備の最適な運用方法の検討などがあるが、従来の電力設備評価方法は、列車ダイヤ上で列車密度が最も高く過酷と推定される“特定の地点”“特定の時間”（場合によっては複数パターン）の列車位置等から計算して評価する必要があり、多大な時間と労力を要していた。

今回開発のシミュレータでは、計算機上で新幹線列車をダイヤに従い走行させて求めた列車に必要な電力を、新幹線の電力設備の仕様を数値化した電気回路に当てはめて計算している。このようにして東京から大阪までの全箇所変電所の電力量や列車のパンタ点電圧などの、全ての電力計算を実施できる。これにより、列車ダイヤと変電所電力の相関や、電力設備の不足点、余裕度などを把握することが可能となり、分散FC等の新たな施策の検討に向けて、幅広い選択肢の提示が可能となる。

シミュレータは、列車の状態（位置・速度・負荷等）から列車電力を計算する列車走行計算と、電力設備の状態（電圧・電流等）を計算する電気回路計算の、2ブロックで構成されており、お互いに逐次計算を繰り返して、計算結果を相互に反映しあうことにより系の電圧・電流が決定される。特徴としては、

- ①緻密な列車走行計算および電気回路計算
- ②新型車両の追加、電力供給側の変更、および列車ダイヤ乱れ時など幅広い変更に対応可能
- ③運行管理システムのデータが利用可能、基礎データが閲覧・編集が容易なCSV形式など扱いの容易なプログラム構造

が挙げられる。また、シミュレータの結果表示はグラフ

表示されるとともに、CSV形式でも記録される。さらに、計算結果の再生表示機能によりダイヤ条件の妥当性や補償装置の効果の確認も容易に行うことができる。

列車走行実績と電力量実績を用いて、シミュレータの精度検証を行った結果、乗り心地も考慮した運転士の加速方法なども加味した上で、正確な列車走行のシミュレーションが可能となり、電気回路計算も十分な精度であることが確認された。

今後は、シミュレータへの各入力値を精査するなど、使いやすいものにするとともに、将来施策に対する電力設備の評価を行うための新たなツールとしても活用を進めるとのことであり、大いに発展を期待したい。

### 3. 回生電力貯蔵装置の導入効果について

大阪市交通局では、平成22年度に車両の回生失効防止と回生エネルギーの有効利用を目的として、大容量ニッケル水素電池（川崎重工工業株式会社開発：以下、「ギガセル」）を用いた電車線直結方式の回生電力貯蔵装置（以下、「BPS（Battery Power System）」）を谷町線駒川変電所に導入した。ギガセルの特徴と、導入に先立ち平成19年度に行ったフィールド試験および導入後の効果測定を比較し検証した結果が報告された。

BPSの設置効果としては、回生失効の防止はもちろんのこと、回生ブレーキによって得られる電力を蓄電し、力行時に放電することにより回生電力を有効利用し、消費電力量を削減することである。また、ギガセルは有害物質を含まず発火や爆発の恐れもなく安全で、溶接をしない組み立て構造による内部抵抗の低さと急速充電の繰り返しが可能な点から、電車線に直結して運用することができ、シンプルで適している。

導入前のフィールド試験において、回生失効対策としては、BPS無しの場合は最大母線電圧が回生失効に至る900Vを超える955Vに達したのに対し、BPS有りの場合は最大でも847Vであり、十分な効果があることが確認できた。電力量削減効果としても、駒川変電所に隣接変電所（文の里変電所、喜連変電所）を含めた3変電所の合計で削減量が1,330kWh、削減率が4.19%となった。また、ギガセルの状態は安定しており、接続に問題がないことも確認できた。

導入後の測定においても、同様の結果が得られ、回生失効対策としては、BPS無しの場合は最大母線電圧が939Vに達したのに対し、BPS有りの場合は最大でも866Vであり、電力量削減効果としても、3変電所の合計で削減量が1,328kWh、削減率が4.21%となった。

今回の測定によりBPSは、回生失効の防止と回生電力の有効活用について概ね良好な結果を得ることができ、

チョッパ等の制御装置を介さず電車線に直結しても機能することが確認できた。

今後は回路条件やBPS運用スケジュールの違いによる比較を行い、BPSの効率的な運用を目指すとともに、削減効果の持続性やギガセルの耐久性についても引き続き検証されるとのこと、益々の発展を期待したい。

## 4. 蓄電池駆動電車システムの開発

### —蓄電池を用いた地上充電装置の充放電制御—

JR東日本環境技術研究所では、非電化区間でディーゼル車両が排出するCO<sub>2</sub>を削減することを目的として、「蓄電池駆動電車システム」の開発に取り組んでいる。このシステムは、電化区間は架線より供給される電力で走行し、非電化区間は車上に搭載した蓄電池より供給される電力で走行する「架線・蓄電池ハイブリッド駆動電車システム」であり、電化区間と非電化区間の直通運転が可能である。2009年に試験走行を実施しており、2010年には地上充電装置を開発して組み合わせ充電試験を実施した。今回、蓄電池を利用した地上充電装置の充放電について報告された。

車両の蓄電池の充電方法については、電化区間だけで充電を完了して非電化区間は無充電で走行する方法と、非電化区間の一部の駅に充電装置を設けて充電する方法がある。前者は非電化区間の長さに対応して車両に搭載する蓄電池の容量が大きくなり、車両重量や運転エネルギーの面で不利である。一方、後者は短時間で急速充電を行うため大電流の供給が可能な充電設備が必要となる。航続距離や車両重量等の条件を検討した結果、折り返し駅に充電装置を設ける方式が採用された。折り返し駅での短い停車時間内に大容量の急速充電をする必要があるが、電源システムに対する負担軽減のため、地上充電装置にも蓄電池を設置する方法が考案された。電車不在時は、電源システムより地上の蓄電池に小さい電流で時間をかけて充電し、電車が到着すると、地上の蓄電池から車両に大きな電流で急速充電を行うことで電源システムに対する負担が少なくなる。求められる性能としては、1時間に1本程度のローカル線を想定し、車両蓄電池への充電時間を10分以内に、残りの50分から5分の余裕を考慮し、電源システムから地上蓄電池への充電時間を45分以内とした。

急速充電試験の結果については、通常運用パターンにおける充電制御に加え、様々な特異ケースを想定した確認も行い、いずれも計画通りの制御が行われることが確認できた。

今後、充電時間の短縮方法、営業車両に向けた蓄電池の収納方法を検討するとのことである。新しい技術の運用開始が待ち遠しいところである。

## 5. 東京メトロ深川通路線の電食対策

トンネル内の漏水などによるレール漏れ電流はレール電食の原因となる。漏水対策が困難な時の電食対策として、レール電圧低減方式があるが、レールの重量化や負帰線を平行に設備するなどがある上に、帰線抵抗を低減する方法にも限度があることから抜本的な対策にはなりえない。東京メトロにおいては、深川通路線の漏水によりレール漏れ電流が激しい区間の電食防止対策として、レール無電圧区間を構築する方式を実施した。この方式はレール漏れ電流の激しい区間のレールを絶縁し、漏れ区間のレール電圧を抑制する方式であり、電食対策として大きな効果が期待される。電食対策の効果について、道床改良を実施する前の測定結果と、道床改良を実施した後の測定結果が報告された。

道床改良前に行った電食防止対策効果の測定として、帰線自動開閉装置の効率を測定した。測定したのはD線とE線の2線で、D線の効率が96.5%、E線の効率が78.0%と、両線とも効率が高く電食防止対策効果が期待できる数値となった。なお、両線の効率の違いは、線路こう配の違い（D線が上り、E線が下り）によるものである。

その後D線の道床が改良され、漏れ電流が大幅に減少することになるが、再測定を行い、構築済の電食対策設備が継続して必要かを評価した。その結果、雨天時にレール漏れ電流がまだ大きくなることが予測され、絶縁部を短絡して1～2年間経過観察を実施し、レールの状態を見て、設備を撤去するか判断することにした。また、E線については道床改良工事が未施工であり、改良工事完了後、再測定して判断するとのことである。

## 6. 在来線広域地震警報機能の提案について

JR東日本では、自然災害による鉄道事故低減策の一環として地震計の増設設置や気象庁の緊急地震速報と連動した早期地震警報システムの構築に取り組んでいる。今回、更新予定の防災情報システム（以下、「プレダス」）を開発するにあたり、情報伝達の高速化と冗長化構成による高信頼性化、ならびに全支社でのデータ連携を図り、現行システムでは実現できなかったリアルタイムの情報共有<広域情報連携機能>の成果として、大規模地震発生時に早期地震警報システムを補う、広域地震警報機能の実装が提案された。

現行システムでは各観測機器から表示端末までのルートが一重系の回線と装置で構成されているために故障時の可用性に問題があったり、支社毎に閉じられているため他支社に有効なデータがあっても情報共有できない、といった問題を有していた。更新するシステムのコンセプトは、

- ①システム構成を集中型でなく、広域分散配置型
- ②データ保管は広域分散管理と一元管理の並列にて行うこととし、運行にかかわる情報はリアルタイムに支社間で情報共有可能
- ③装置、通信経路の冗長化
- ④観測機器と集約装置の経路最適化や処理速度向上による災害発生から規制発令および観測値表示までの時間を短縮とした。

次期プレダスにおいて、東北地方太平洋沖地震で被災地域の一部の機器で故障・停止は発生したものの、サーバ類やネットワークについては冗長構成・広域分散配置により、問題なく稼働していたことが確認された。正常稼働していたセンサーからの情報はリアルタイムに各サーバに蓄積され、各支社から容易に東北地方のデータを参照することが可能であった。データを分析した結果、以下の関係が見られた。

- ①震源（東北）付近の観測箇所で大規模地震の観測を受け遠方（都心）の観測箇所でも運転中止の観測値を受信するまでには距離に比例した時間が経過している。実際に地震のS波の到達時間にはほぼ符号する。
- ②震源付近の観測箇所でも運転中止のレベルを受信した個数が多いほど（地震強度が強いほど）遠方（都心）での受信レベル（速度規制・警戒・運転中止等）が高く、震源付近での高観測レベルの数が少なければ遠方（都心）での受信レベルは低い。

したがって、震源付近での他支社の地震レベルを即座に情報連携することで、発生地震の距離・強度が明確となり、自支社への影響度合いを推測することが可能となる。

次期プレダスシステムにより、早期地震警報機能の提案が可能となった。今後は実用化に向け、具体的な列車の停止基準など運用連携を詰めていくとのことである。

今回の地震により改めて鉄道安全の重要性が高まっていると感じている方が多いのではないかと考えられる。是非とも実用化に向けて進めていただきたい。

## 7. ホーム検知（チェックイン・チェックアウト方式）システムの開発

列車が停車した際に、ホーム方向を誤認した場合およびオーバーランなどホーム有効長外に停車した際に車両ドア開扉スイッチを誤扱いした場合、乗客が転落する恐れがあるが、それらの防護はこれまで人間の注意力に頼っており、乗務員の負担が大きい。そこで、車両ドアの誤開扉を防止する乗務員支援システムとして、ホーム検知（チェックイン・チェックアウト方式）システムを開発した。

1台のトランスポンダ車上装置により、駅進入前に開扉方向を受信する方式はこれまでもあったが、運用する車両編成が多岐にわたる場合、ホーム有効長の検知のための設備負担が大きい。また、ホーム有効長を検知する方式としては、超音波センサによる判定方式があるが、検知状況の安定化のためにホーム側面の改修が生じたり、誤検知の可能性もある。これに対し、開発したシステムは、2台のトランスポンダ車上装置（先頭車両および後方車両に搭載）と、ホームの始端および終端に設置された無電源地上子とが、それぞれ通信を行うことにより、ドア開扉方向の検知およびホーム有効長の検知（ホーム内に完全に停車しているかの判断）を行うものである。

基本動作の概要としては、停車毎に次の①から④を繰り返す。

- ① 駅間では閉扉保持する。
- ② 駅に進入し後部トランスポンダ車上装置（以下、「TP」）がホーム後方の開地上子と結合し開扉方向を受信して開指令を出力する。
- ③ 停車時に車掌の開扉操作と開扉方向が一致しているか検定する。
- ④ 駅進出時は先頭TPがホーム前方の開地上子と結合し閉扉保持する。

また、無電源地上子の故障を考慮した様々な安全設計が施されている。

無電源地上子からの情報により、トランスポンダ車上装置が、正常に動作することを確認するために、東武鉄道の北春日部－加須間で現車による走行試験を実施した結果は良好であり、今後の現車試験で、車両ドアの制御状態を確認して実用化する目処が立ったとのことである。

#### 8. き電切替箇所に対応したDS-ATCの開発

現在、北陸新幹線（高崎・長野間）に導入されているATCについては、アナログATCによる多段制御方式を採用しているが、北陸新幹線が乗り入れている東京・高崎駅間に合わせ、パターン制御方式のATC（DS-ATC）を導入予定である。このため、軽井沢・長野間の電源周波数60Hzに対応するために、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構主催、公益財団法人鉄道総合技術研究所およびJR東日本によって開発を行った。

DS-ATCにおいては、高調波ノイズによる影響を避けるため、ATC送信電文搬送波の周波数を電源周波数

に同期させており、50Hz区間と60Hz区間とで異なる周波数を採用したため、軽井沢・佐久平間に存在する50/60Hzき電周波数切り替え箇所においては、DS-ATCの搬送波をき電周波数に応じて切り替える必要がある。50/60Hzき電周波数切り替え箇所におけるATC地上装置の切り替え方法の検討、試験および車上装置の受信特性試験ならびにシステム構成の検討・評価を行った結果が報告された。

ATC切り替え方式としては、実現が容易と考えられるリレー切り替え方式と、難易度が高いものの構成が簡素でコスト削減につながるパイロット追従方式、の2通りが検証された。車上は無信号を1,200ms以上検知すると非常ブレーキ制御を行う仕様のため、ATC切り替え方式については車上での無信号時間を1,200ms以下にする必要がある。両方式で夜間の実車走行試験を行った結果は問題なく、無信号時間も1,200msを下回ったことから、無信号最大時間が小さいパイロット追従方式が採用された。

パイロット追従方式については更に走行試験を重ね、最大無信号時間850msであったが、許容時間とのマージン350msについて、アナログATCと同等のマージン（600ms）を必要とするかの地上・車上含めた検討が今後の課題である。

現在は北陸新幹線金沢延伸に先立ち、高崎・長野間のATC・連動更新化工事を平成25年度の切り替えを目指し行っているとのことであり、無事に完遂することを祈念する。

#### 9. おわりに

以上、本セッションで発表された7件の論文について簡単に紹介した。いずれの論文も、現在の課題に対する解決策についてよく検討された上で、成果をあげたもの、または、今後の導入に明るい見通しが見えてきているものばかりである。

なお、ここで紹介した内容は、筆者がまとめたものであるため、論文執筆者の意図から外れている懸念がある。また、発表から惜しくも漏れた論文にも優れたものや参考になるものが多数あるので、合わせて是非、論文集をご参照いただきたい。

最後に当シンポジウムに多大なるご協力をいただいた、論文執筆者、発表者、聴講者等の関係各位に厚く御礼を申し上げますと共に、当シンポジウムの益々の発展を祈念したい。