

エネルギーマネージメントから見た 鉄道システムの最適化

東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター 環境技術研究所 所長

真保 光男



JR東日本は、列車運転と駅などの建物へ、年間61億kWhの電力と9.1万kl相当の油・ガスという莫大なエネルギーを消費しています。エネルギー消費は、まず提供すべきサービスがあって、これが車両システムや設備の機器容量を要求し、それがエネルギー消費を要求するという構造を持っているので、環境負荷を低減するシステム革新はまずエネルギー消費への要求（負荷）を知りこの負荷を減らすことから始めなくてはなりません。ここでは、エネルギーマネージメントの視点から鉄道システムを最適化し、環境負荷を低減していく技術革新のアプローチを紹介します。

1. はじめに

鉄道事業は、列車を運転し駅を運営することを通じて、輸送サービスを提供しています。そのようなオペレーションと、これを支える車両や設備のメンテナンスを加えたものが、鉄道事業の総体と言えます。JR東日本がこの鉄道事業で消費しているエネルギーは、列車運転における消費と駅を初めとした建物系の消費を合わせると、電力が年間61億kWh、油などが原油換算で9.1万klと莫大な量となっています（図1）。

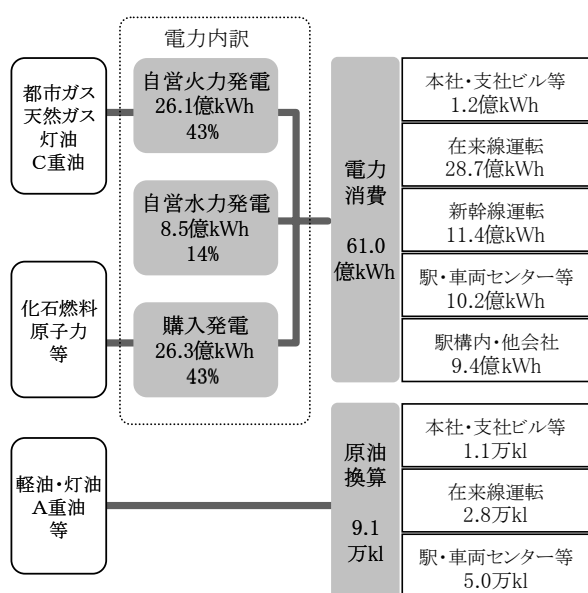


図1 JR東日本のエネルギー消費マップ

E233系のような省エネ車両投入、LED照明のような高効率機器採用、さらに太陽光発電による再生可能なエネルギー活用などに着実に取り組んできたところです。

エネルギーの消費は図2のように、まず提供すべきサービスがあり、これが車両や設備の機器容量を要求し、さらにこれがエネルギー消費を要求する、という構造を持ちます。要求（負荷）を減らさずに、エネルギー消費だけ減らすことは出来ません。したがって、負荷を知るための測定と評価、負荷を減らす工夫、さらに負荷に見合った最適システムの構築というアプローチにより、省エネルギーを実現出来ます。ですから、高効率なアイテムを「外から」持ち込むだけでなく、測定と評価から得られた課題を「内から」解決していくマネージメントを構築し、この視点からシステムを革新していくという技術の哲学が大切です。

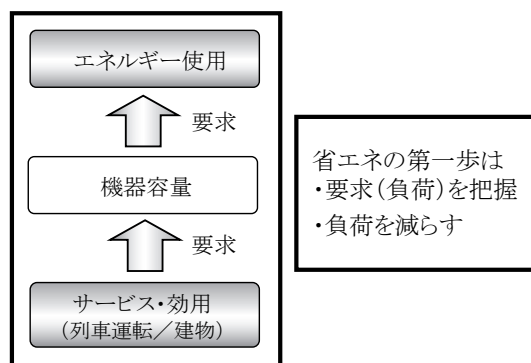


図2 エネルギー消費の基本構造

省エネの第一歩は
・要求（負荷）を把握
・負荷を減らす

少しでもこの消費量を減らし、鉄道の環境負荷低減を実現することがJR東日本グループの使命となっており、E231系・

本論考では、列車運転系と建物系に分けて、鉄道の環境負荷低減をめざす技術革新を紹介します。

2. 列車運転系への革新アプローチ

列車運転のエネルギーは、車両システムの駆動系（電車では駆動電動機と制御装置からなる主回路システム）と、補機系（冷房・照明などの補助機器）で消費されます。ですから、高効率な車両システムの実現が、列車運転の省エネルギーの最初の課題となります。

一方、駆動電動機や空調など機器のエネルギー効率は、運転状態により時々刻々と変わるものなので、実際の列車運転において機器を効率良く働かせることが次の課題となります。これが列車の経済運転です。良い素質のスポーツ選手（高効率な車両システム）を、良いコンディションで働かせる（列車の経済運転）と、素晴らしい成績を上げる（省エネルギー）ことと比べられます。

最後に、全体最適のエネルギーネットワークを実現し、回生エネルギーの有効活用などを目指します。具体的には、蓄電技術の応用、多くの力行・惰行・回生を上手に組み合わせた列車群としての省エネルギー、列車へ電力を供給する変電系と駅などへ電力を供給する配電系の間のやりくり（電力融通）のような、諸方策が考えられます。

このように省エネルギーに向けた課題解決を順番に積み上げると、高効率列車運転の三階建構造（図3）が出来上がります。

このような、エネルギーマネジメントから最適化した鉄道システムこそ、鉄道版スマートグリッドと呼ぶに相応しいものです。その実現にはまず負荷を構成する一・二階のシステムを最適化し、それを前提として三階システムを最適化するアプローチが求められる、と考えます。

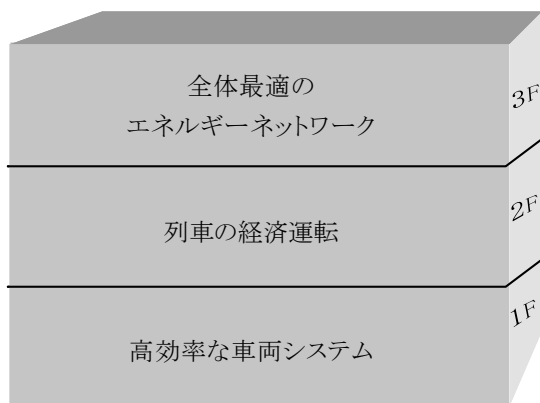


図3 高効率列車運転の三階建構造

3. 高効率列車運転の実現に向けて

主回路システムは、抵抗制御、チョップ制御、界磁添加励磁制御、さらにVVVFインバータ制御というように進化し、いまに至っています。主回路システムは、永らく鉄道の技術革新の牽引役を果たして来ましたが、高効率列車運転をめざすうえでもその役割が期待されます。

2011年度から主回路システムの高効率化（図4）に向けた研究開発を進めています。まず、主回路設計史を振り返りつつシステム革新の方向性を展望する検討を継続しています。直流電動機駆動においては、主回路の設計指針が性能・容量・定格の理論として体系化されていましたが、誘導電動機駆動における体系化は未だ十分とは言えません。2012年度からは、主回路システムの設計指針を体系化し、新しい主回路素子を用いたハードの試作と走行試験も進めていく計画です。

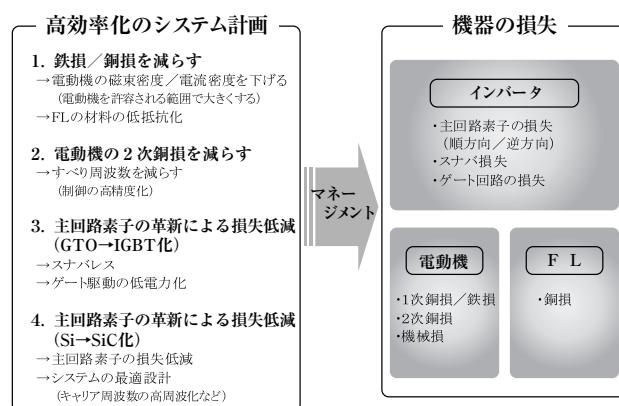


図4 主回路システムの高効率化

次が経済運転です。駆動電動機について運転速度と引張力によってエネルギー効率が変化する様子を示した、図5のような「効率マップ」を作成します。これをベースとして、最も効率の良いところを選んで通る（美味しいところを食べる）ノッチ曲線や、力行・惰行・制動を最適に組合せた運転曲線を、提案してまいります。

最後が回生エネルギーを有効活用する技術革新です。それには回生エネルギーの実態を明らかにしなければなりませんが、回生性能は鉄道車両の能力として表示されているだけで、実運用においてどのくらい能力を発揮しているかは測定しない限りわかりません。そこで、まず運転エネルギーを定量化する開発を進めています。

2011年までに、相模線において変電所と車両の双方に測定装置を置いて、消費エネルギーを定量化する手法を確立しました。2012年からは山手線や東北新幹線などの複雑な

条件下でのエネルギー測定と評価へチャレンジしてまいります。これと並行して、変電所に蓄電池を置いたときの充放電の挙動を測定・解析する研究も、2012年度からスタートさせます。

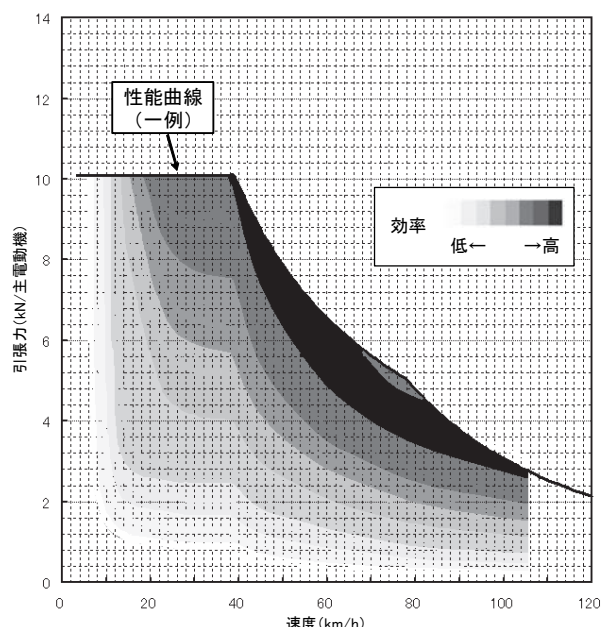


図5 駆動電動機の効率マップ

4. 建物系への革新アプローチ

次に、建物系における革新アプローチを紹介します。環境技術研究所は、地下駅、総合車両センター、信号通信機器室などの建物空間において、設備のサービス負荷を減らしたうえで最適なシステムを構想する研究開発を、継続しています。これらは、いずれも鉄道固有の空間ですから、鉄道技術がシステム革新のソリューションを提示する責務を持つと考えます。

駅の設備のなかでも、総武地下駅など地下空間の空調は、システムの規模が大きく、エネルギー消費も大きい特徴を持ちます。とりわけ、ホーム階は、線路（トンネル）という開口部と車両の放熱という条件から、空調負荷が大きくなっています。負荷を最適に評価したうえでの省エネ改良が、かねてより希求されていました。

一方、総合車両センターのように多機能が集積された空間では、大量の電力と蒸気を使います。この電力や蒸気の使用実態を「見える化」し、無駄をつぶす取組みを支援します。思いきって、環境負荷を極小化する理想像（エコファクトリー）を描くことも視野に入れています。まず、車体や部品の修繕スペースなどの作業機能、会議室などの計画機能、

お風呂や食堂などの生活機能を洗い出して、それぞれを再集約してコンパクト配置することを構想します。次に、これを具現化する建築計画と設備計画を構想し、最後のこれらへ電力や蒸気を供給する全体最適のエネルギーネットワークを構想します。これを順に積み上げたものが、図6に示す、エコファクトリーの三階建構造です。

最後が、信号通信機器室の空調設計を紹介します。ここは運転保安を支える聖域とも言えますが、運営するユーザと設備担当が連携すれば、「より効果的に機器を冷やすことにより無駄を排除する」ことは可能となります。フィールドを具体的に選定して、その測定・評価を行い、これにより得られた課題を解決するシステム改良を提案します。

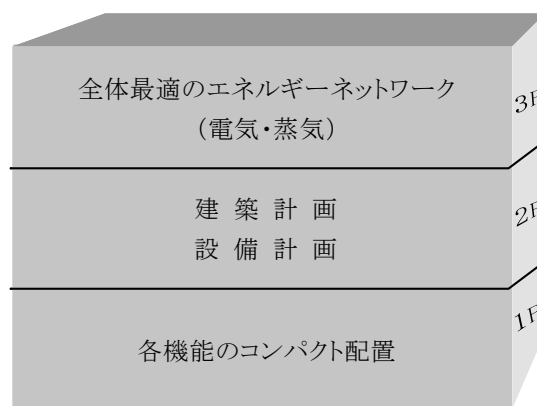


図6 エコファクトリーの三階建構造

5. 大規模地下空調のシステム革新に向けて

東京駅総武地下空調負荷を最新データとコンピュータシミュレーションにより再評価する開発を2009年に開始しました。この評価は、実負荷が設計条件よりずっと小さいことを明らかにしました。また、ホーム階空調の方式が適切に機能せず負荷を徒に大きくしていることが明らかとなり、この見直し（図7）を提案しました。

これらを踏まえた空調システムの改良を行えば、熱源の2577冷凍トンに1101冷凍トンへと、なんと現行の約4割までスリム化できる見通しを得ました。

負荷評価と並行して、昭和40年代からいまに至る地下駅設計史の振り返りを行っています。図8は、地下駅のホーム階の空調方式を年代の古い順から比較したものです。これを見ると、上述の総武地下ホーム階改良案が、最も新しい仙台駅仙石線地下の方式に似ていることがわかります。仙石線地下以前に設計された地下駅のホーム階空調の省エネ改良をすれば、大きな効果を期待出来そうです。そもそも全

一般的に機器容量を過大に設計していたので、測定と再評価による容量のスリム化も見込めるでしょう。

このように設計史を振り返ることから、総武地下駅だけでなく、地下駅そのものの省エネ改良の展望が見えて来ました。さらに2011年度から他の地下駅を評価したところ、総武地下駅と同様の諸課題と併せて、湿度が高すぎて冷却能力だけでは十分に空調機能を発揮出来ないという中間駅（新橋駅、馬喰町駅など）固有の課題も明らかになりました。これらを踏まえて、地下空調の省エネ改良を支援するための改良指針を体系化する開発を2012年度から立ち上げました。

一方、負荷評価を単なる駅の省エネに終わらせず、駅部の余剰能力を駅周辺へ活用して、駅・駅ビル・駅前ホテルといったエリアへのエネルギーマネジメントを実現するシステム構築も可能です。総合車両センターや、駅と駅周辺施設といった、鉄道固有の負荷集積エリアへの最適エネルギーマネジメントを、「鉄道版マイクログリッド」と呼んでも良いでしょう。

6. おわりに

本稿では、紙面が限られるため、省エネルギーに重点をおいた技術革新を紹介しました。環境負荷低減のもう一つの柱として、再生可能なエネルギーの活用があります。鉄道フィールドへの応用を目指し、太陽光エネルギーをより有効に活用する系統連携制御や、ヒートポンプを用いた地下熱・空気熱の活用方策を開発しています。

2009年4月に発足した環境技術研究所は、蓄電池駆動電車システムの開発と、東京駅総武地下の空調負荷評価から研究開発を着手しました。これらが一定の成果を得たので、今後はエネルギーマネジメントの視点からシステムを革新する諸開発へチャレンジしてまいります。

エネルギーマネジメントの視点からシステムを評価し最適化するアプローチが、鉄道技術を革新し、そのことが省エネルギー、節電、さらにCO₂削減という果実を社会へもたらすことを確信しています。

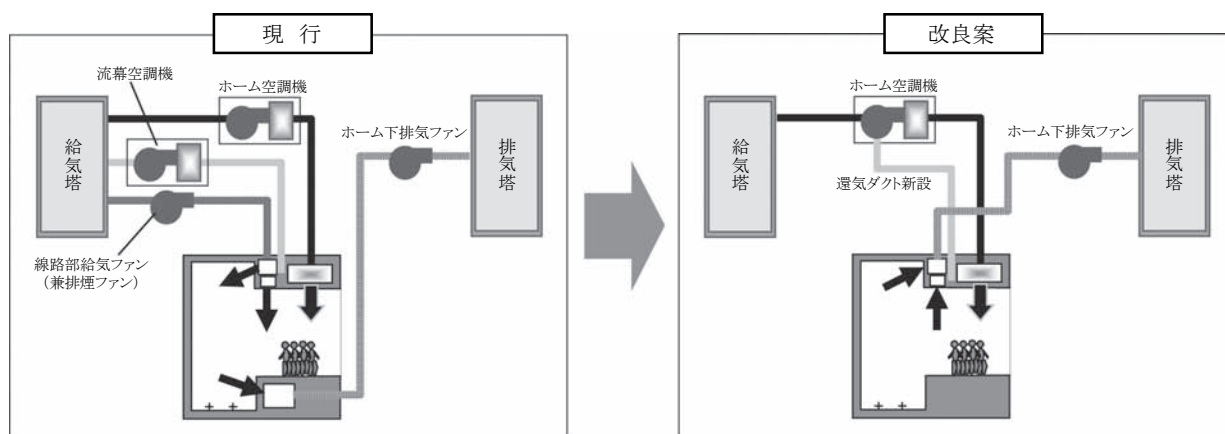


図7 ホーム階空調方式の見直し

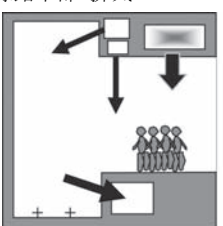
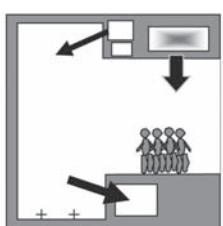
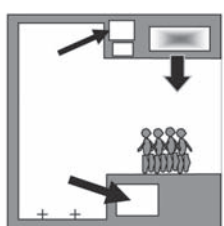
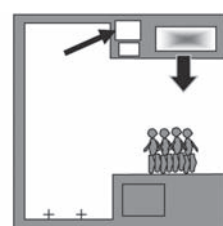
		総武地下	上野(新幹線)	東京(京葉線)	仙台(仙石線)
評価	設計モデル	ホーム部と線路部を流幕で分離	ホーム部空調 + 線路部換気	ホーム部空調 + 線路部2次空調	ホーム部空調 + 線路部2次空調
	計算方法	模型実験等から 気流条件決定 熱負荷は手計算	同左	同左	同左
換気システム		ホーム : 冷風給気 流幕 : 冷風給気 線路上部: 外気給気 線路下部: 排気 	ホーム : 冷風給気 線路上部: 外気給気 線路下部: 排気 	ホーム : 冷風給気 線路上部: 排気 線路下部: 排気 	ホーム : 冷風給気 線路上部: 排気 

図8 ホーム階空調の設計史