

鉄道分野でのAI活用 鉄道運行の省エネルギー化事例

古谷 了
Furutani Ryo

工藤 文也
Kudo Fumiya

森脇 紀彦
Moriwaki Norihiko

日立は、2005年に受注した英国High Speed 1向け高速車両Class395の車両保守の実績を足掛かりとして、英国IEP (Intercity Express Programme) や鉄道運行会社のAbellio社向け車両の車両保守など、鉄道分野におけるサービス事業の拡大を進めている。サービス事業を拡大展開するためのキーとなるのが、車両状態を遠隔で監視する状態監視システムである。日々蓄

積される車両情報を利用してさらなる付加価値を提供していくために、独自に開発したAIを活用する取り組みを進めている。本稿では鉄道車両の運行時の消費電力量を対象に、消費電力量を低減する特徴量をAIから抽出した分析事例を述べる。

1. はじめに

地球温暖化対策としてのCO₂排出削減を目的に、国内外で鉄道システムの省エネルギー化が求められている¹⁾。鉄道システムで消費されるエネルギーの60~80%が車両運行時のエネルギーであり、その省エネルギー化が効果的である。そこで、日立では、軽量アルミ構体を特徴とする「A-train」や、主回路システム全体の省エネルギー化を実現するSiC (Silicon Carbide) ハイブリッドモジュールを適用した主変換装置を開発している²⁾。

これらの技術の適用による省エネルギー効果を検証する1つの手段として、営業車両実測データ活用が挙げられる。近年、ICT (Information and Communication Technology) が急速に発達する中で、鉄道システムで収集される多種多様なセンサー情報をO&M (Operation and Maintenance) サービスに活用する動きが加速している。日立においても、状態遠隔監視による車両保守サービスを展開している。

また、これらの膨大に蓄積される情報を高速かつ効率的に処理する手法として、ディープラーニングなどのAI (Artificial Intelligence: 人工知能) の利活用が盛んである。

ここでは、車両エネルギーの省エネルギー性能分析にHitachi AI Technology/H (以下、Hと記す。)を適用した一事例と、AIを活用した鉄道システムの将来展望について述べる。

2. 駆動系消費電力量の省エネルギー性能分析へのAI活用

2.1 適用対象

今回、車両の状態遠隔監視により蓄積された車両運行情報データの一部を活用し、駆動系消費電力量(車両のモータを駆動する際に主回路システムで消費されるエネルギー)の低減に最も効果的な特徴量を、Hで自動抽出することとした(図1参照)。

Hのベースとなる技術は統計手法であり、事前に目的変数と説明変数を与える必要がある。ここでは、停車駅間走

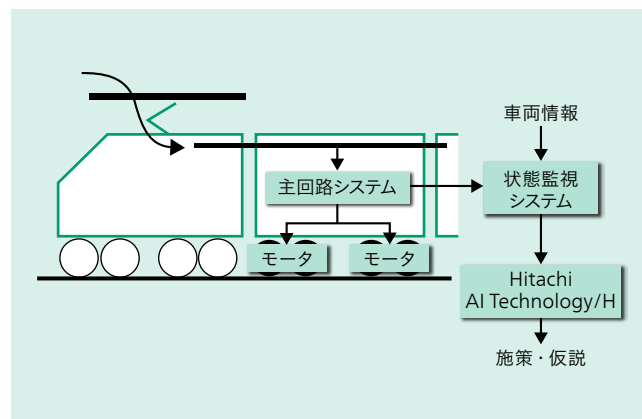


図1 | Hを車両運行情報に活用した例

車両運行時の多種多様なセンサー情報をHへ入力し、駆動系消費電力量を低減する指標を自動抽出する。

表1 | Hへの入力データ一覧

目的変数に駆動系消費電力量を、説明変数に車両運行情報と軌道インフラ情報を準備した。

No	項目	項目	種別	単位	
1	目的変数	駆動系消費電力量	数値	kWh	
2	説明変数	車両運行情報	車両走行速度	数値	km/h
3			編成質量	数値	kg
4			個別車両質量	数値	kg
5			外気温度	数値	°C
6			加減速	数値	m/s ²
7			併結情報	文字	-
8			運転情報(ノッチ)	文字	-
9			上り・下り	文字	-
10			運行日時	文字	-
11			軌道インフラ情報	勾配	文字
12	路線特徴量	文字		-	
13	曲線情報	文字		-	

行当たりの1編成車両全体の駆動系消費電力量を1サンプルの目的変数として与え、そのときの車両運行情報の時刻歴データを説明変数として直接与えた(表1参照)。

そして、説明変数である車両走行速度(車速)など9項目の車両運行情報データと、軌道の勾配情報など3項目の軌道インフラ情報データを基に、Hの特徴技術である跳躍学習を用いて、目的変数と相関関係、ならびに、影響の大きい特徴量を網羅的に自動生成した。

なお、Hに入力したデータは、特定の列車1編成が4つの駅を通過する際に蓄積した1年間分(2013年)のデータを対象とした。

2.2 適用結果

表1に示す目的変数と説明変数の入力データを基に、Hによって約4,000の特徴量が自動生成された(図2参照)。

一例として、下記に示す特徴量が自動生成された。

- (1)「車速」が「0~57 km/h」
- (2)「勾配」が「下り勾配」

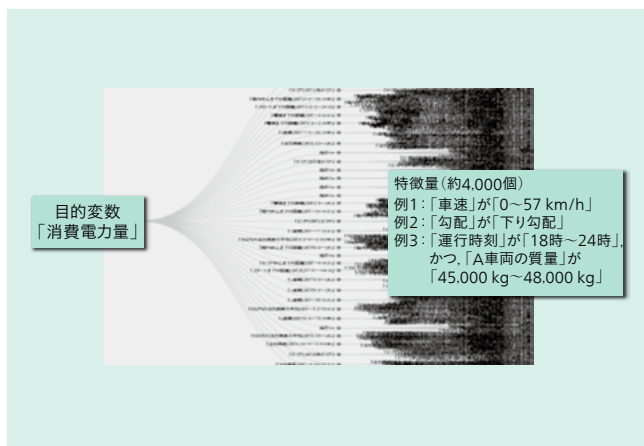


図2 | Hの生成特徴量

Hは12項目の説明変数から約4,000の特徴量を自動生成した。

(3)「運行時刻」が「18時~24時」、かつ、「A車両の質量」が「45,000 kg~48,000 kg」

これらの特徴は大きく3つあり、数値データから直接生成されるもの[特徴量(1)], 文字コードから直接生成されるもの[特徴量(2)], 単一特徴量を組み合わせたもの[特徴量(3)]がある。これらの網羅的に自動生成された特徴量と目的変数との相関関係を分析することで、人では処理できない、また、人では気付くことのできない知見や仮説を得ることができる。

次に、自動生成された約4,000の特徴量の中から抽出した効果的な特徴量について説明する。2013年8月において、駆動系消費電力量と最も負の相関が高い(相関係数:-0.81)下記特徴量が抽出された。

特徴量:「運転情報(ノッチ)」が「ノッチオフ」

特徴量の運転情報のノッチとは、車両が加減速するための加速力の段階を表したものである。この対象の鉄道車両ではノッチの中で、ノッチオフ運転の時間を長くすると、駆動系消費電力量は減少傾向にあることを示している(図3参照)。

一方、駆動系消費電力量と最も正の相関が高い特徴量として、「ノッチ」が「最大ノッチ(相関係数:0.73)」を抽出した。これは最大ノッチ運転の時間を長くすることである。これら特徴量である「ノッチオフ」と「最大ノッチ」が効果的な特徴量として抽出されたことは、いずれもドライバーによる運転操作の影響が大きいことを示している。また、2013年その他の各月において、それぞれ本特徴量と目的変数には、高い相関関係があることを確認している。

なお、同図の縦軸の駆動系消費電力量は各代表4区間の走行距離、横軸の特徴量は各サンプルの走行時間でそれぞれ正規化している。

次に、同図のうち、代表A区間のサンプルの中から下記運行1と運行2それぞれの車速情報とノッチ情報を図4に

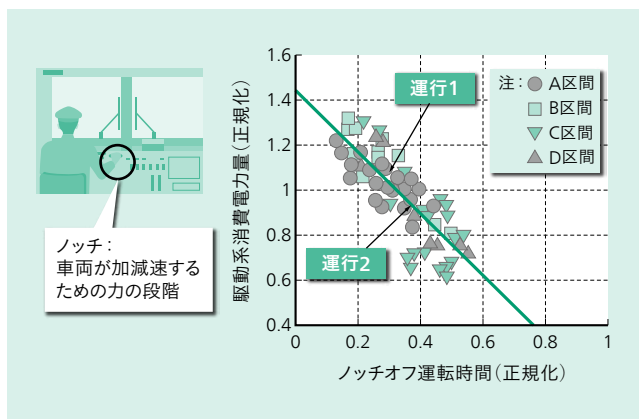


図3 | 駆動系消費電力量とノッチオフ運転時間の関係

2013年8月における代表4区間のノッチオフ運転時間と駆動系消費電力量には非常に高い負の相関関係(相関係数:-0.81)がある。

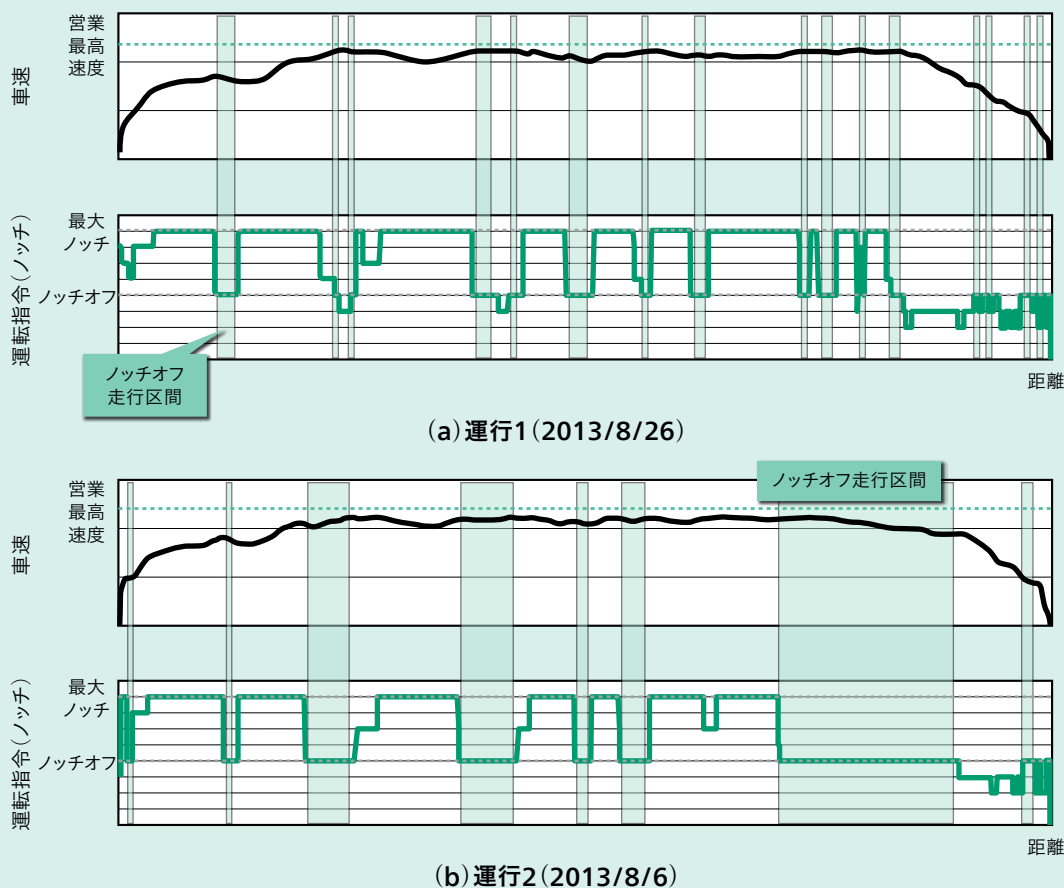


図4 | A区間における车速情報と運転指令情報の履歴の比較

駆動系消費電力量が小さい運行2の走行では、比較的に長いノッチオフ運転の走行を実施している。

示す。

運行1：駆動系消費電力量が大きく、かつ、ノッチオフ運転の時間が短い (2013/8/26)。

運行2：駆動系消費電力量が小さく、かつ、ノッチオフ運転の時間が長い (2013/8/6)。

同図より、運行1の走行では、ノッチオフ運転による走行を短距離で頻繁に実施しており、最大ノッチ運転による走行区間が長い。一方、運行2の走行では、少ない回数で比較的に長距離のノッチオフ運転による走行を実施しており、本区間の後半で、ノッチオフ運転による走行区間をより長くするように走行していることが確認できる。このことから、同じ走行区間においても、運転技術に差があることが実際の営業車両運行データから確認できる。

2.3 省エネルギー効果の推定

図5に2013年の1年間におけるB区間でのノッチ運転時間 (ノッチオフ、最大ノッチ) と駆動系消費電力量の関係を示す。同図より、最大ノッチ運転の時間が長く、ノッチオフ運転の時間が短くなると、駆動系消費電力量は大きくなる。また、最大ノッチ運転の時間が短く、ノッチオフ

運転の時間が長くなると駆動系消費電力量は小さくなるという関係があることが分かる。さらに、各サンプルのばらつきが大きく駆動系消費電力量に改善の余地があることが分かる。

ここで、同図の回帰直線に沿って、駆動系消費電力量が小さい上位集合20%の運転操作に改善できたと仮定すると、駆動系消費電力量を年間約20%削減することが期待

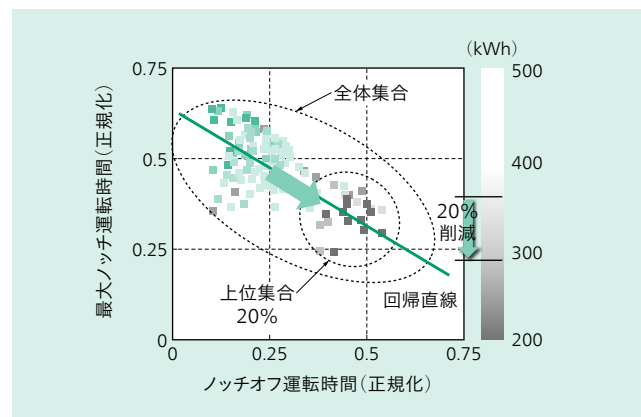


図5 | ノッチ運転時間と駆動系消費電力量の関係可視化

2013年の1年間でノッチ運転時間のばらつきが大きく、運転改善を仮定した場合、代表B区間では年間20%程度の電力量削減が期待できる。

できる。さらに、同図に示す駆動系消費電力量とノッチ運転時間との関係はその他代表3区間において同様の傾向にあり、代表4区間全体で見ると、年間約14%の電力量削減効果が期待できることを確認している。なお、この分析には車両が営業走行時間を守る車両運行情報データを用いている。

この事例では、データを代表1編成車両、かつ代表4区間に限定したHの適用事例を紹介したが、現在は複数編成車両で走行路線を拡大した分析を進めている。さらに、ここでは説明変数の対象としなかった主回路システムの動作状態など説明変数の情報量を拡大した分析も併せて進めている。

3. AIを活用した鉄道システムの将来展望

今後、鉄道システムで蓄積される多種多様なビッグデータに対して、日立開発のHをさまざまな場面で適用していくことが期待される。特に、日立で推進する鉄道O&MサービスへのHの応用展開について、以下に述べる(図6参照)。

鉄道オペレーションでは、上述の適用事例で紹介した省エネルギー化に加え、代表的なKPI(Key Performance Indicator)に、快適性などが挙げられる。省エネルギー化では、主回路システムの消費電力量以外に、空調の運転やドアの開閉などに用いる補助回路システムの消費電力量を対象とすることが考えられる。消費電力量は車両内での人の行動に対して、より大きな影響を受けるため、新しい知見の抽出が期待できる。さらに、編成車両によってはディーゼルエンジン付きの車両と電気車両で運行するパターンも存在するため、運行管理上の省エネルギー施策の抽出も期待できる。また、快適性では、振動や騒音といった乗り心地に関する快適性指標を対象とすることができ、車両を快適・安全に運行させるための設計指針が得られる

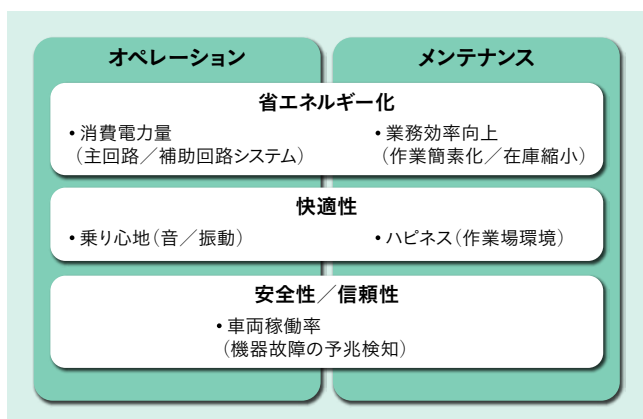


図6 鉄道O&Mサービスへの適用対象例

省エネルギー化と快適性、安全性/信頼性に関して、Hの適用対象の一部を示す。

と考える。

次に、鉄道メンテナンスでは、代表的なKPIとして、保守作業員の業務効率や車両故障に起因した車両稼働率に関する指標が挙げられる。保守業務では、ウェアラブルセンサーを活用することで保守員の日常動作の中から作業効率を向上・改善させるための施策の抽出が考えられる。さらに、保守員の幸福(ハピネス)度を業務効率向上の施策として適用することも考えられる。また、車両稼働率の向上では、車両の経年劣化と車両の運行条件との関係性をHから見つけ出すことが期待でき、機器故障の予兆検知へ適用できると考えている。

4. おわりに

ここでは、鉄道車両を駆動する消費電力量を低減する特微量を自動抽出するために、Hを適用した一事例を紹介し、鉄道O&MサービスにおけるH活用の将来展望について述べた。

日立での鉄道分野へのAI活用を本格的に加速し、鉄道運行エネルギーの省エネルギー化や車両保守効率を向上するさらなる取り組みを進めていく所存である。

参考文献

- 1) Moving towards sustainable mobility -A strategy for 2030 and beyond for the European railway sector, UIC (2012)
- 2) 用田, 外:英国High Speed 1向け高速車両Class395の開発とメンテナンスサービス, 日立評論, 92, 2, 180~185 (2010.2)

執筆者紹介



古谷 了

日立製作所 研究開発グループ 機械イノベーションセンター
輸送システム研究部 所属
現在、鉄道車両の安全性・快適性に関する状態監視システムの研究開発に従事
日本機械学会会員



工藤 文也

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター
知能情報研究部 所属
現在、統計手法に基づくビッグデータ解析およびAIの研究開発に従事



森脇 紀彦

日立製作所 研究開発グループ システムイノベーションセンター
知能情報研究部 所属
現在、人間情報システム、AIの研究開発に従事
博士(工学)
電子情報通信学会会員、経営情報学会会員、AIS会員