

# 鉄道車両用蓄電池の さらなる有効活用方法を考える



**渡邊 有人**  
Aruto Watanabe  
車両技術研究部  
駆動システム研究室  
研究員



**田口 義晃**  
Yoshiaki Taguchi  
車両技術研究部  
駆動システム研究室  
主任研究員



**小西 武史**  
Takeshi Konishi  
電力技術研究部  
き電研究室  
主任研究員(上級)

## はじめに

近年、リチウムイオン電池(蓄電池)を鉄道車両に搭載し、その動力源として用いる事例が増加しています。その主な目的は、鉄道車両の脱炭素化や省エネルギー(以下、省エネ)化、架線が停電した非常時において自走を可能とすることです。ここでは、これまでの鉄道車載用途での蓄電池の導入事例と課題について概説するとともに、車載蓄電池を再生可能エネルギー(以下、再エネ)電力の貯蔵にも活用する研究について紹介します。

## 導入事例

リチウムイオン電池は1991年に初めて実用化されましたが、当初はモバイル機器向けなど小型のバッテリーとしての用途が主流でした。その後、リチウムイオン電池の大型化が進み、鉄道総研でも試験車両の開発を行うなどの車載蓄電技術に関する研究開発を行ってきました<sup>1)</sup>。**表1**には、これまでに登場している蓄電池搭載車両の例を示します<sup>1)-3)</sup>。以下に、国内における具体的な導入事例を順に概説します。

### 蓄電池電車

蓄電池に蓄えた電気エネルギーのみで、非電化区間を走行できる車両です。2014年にJR東日本EV-E301系が、次いでJR九州BEC819系、

JR東日本EV-E801系がそれぞれ営業運転を開始し、老朽化した気動車が置き換えられています。蓄電池電車は従来の気動車に比べてブレーキ時の回生電力を再利用できるため省エネで騒音も少ない特長があります。現在は、非電化区間の距離が10~30kmと短い4路線で導入されており、折返し駅などで充電を行ってから走行します。

### ディーゼルハイブリッド車両

非電化区間を走行中にディーゼルエンジンで発電した電力の一部や、ブレーキ時の回生電力を蓄電池で貯めることができる車両です。当該車両は、蓄電池のアシストによりエンジンの燃費性能向上を図り、脱炭素化に寄与しています。2007年にJR東日本キハE200形が登場したのを皮切りに複数の形式が登場し、全国各地の老朽化した気動車が置き換えられています。近年では蓄電池の技術も進み、2022年にはディーゼルハイブリッド車両としては国内初となる最高速度120km/hでの走行が可能なJR東海HC85系が営業運転を開始しています。

### 非常走行用蓄電池搭載電車

停電時に駅間で停止してしまった場合でも、蓄電池に蓄えた電気エネルギーで最寄りの駅などの安全に避難できる場所まで自走できる車両です。首都圏を中心に、近年登場した電車にお

表1 日本国内における蓄電池搭載車両の例（2023年4月時点）

導入事例	事業者	導入年度	車両形式	走行線区
蓄電池電車(直流)	JR東日本	2014	EV-E301系	烏山線・東北本線
蓄電池電車(交流)	JR九州	2016	BEC819系	香椎線・若松線・福北ゆたか線・鹿児島本線
	JR東日本	2017	EV-E801系	男鹿線・奥羽本線
ディーゼル ハイブリッド車両	JR東日本	2007	キハE200形	小海線
	JR東日本	2010	HB-E300系	大糸線・五能線・大湊線・羽越本線など
	JR貨物	2010	HD300形	一部の貨物ターミナル駅構内
	JR東日本	2015	HB-E210系	仙石東北ライン・石巻線
	JR西日本	2017	87系	JR 西日本管内
	JR九州	2020	YC1系	大村線・長崎本線・佐世保線
	JR東海	2022	HC85系	高山本線・東海道本線
非常走行用 蓄電池搭載電車	東京メトロ	2016	1000系	銀座線
	京王	2017	5000系	京王線・相模原線・高尾線・都営新宿線など
	東京メトロ	2019	2000系	丸ノ内線
	JR東海・JR西日本	2020	N700S	東海道・山陽新幹線
	JR 東日本	2020	E235系1000代	横須賀線・総武線快速・外房線・内房線など
	JR九州	2022	N700S 8000番台	西九州新幹線

いて搭載される事例が増えつつあるほか、東海道・山陽新幹線および西九州新幹線のN700Sにも非常走行用の蓄電池が搭載されています。

一部の電車は、非常走行を主目的としつつ、ブレーキ時に発生する回生電力の一部を蓄電池に蓄えて再利用する機能をあわせ持っています。これは、電車のさらなる省エネ化をめざした技術であり、東京メトロ2000系などの導入例があります。

このほかにも燃料電池と蓄電池のハイブリッド車両の開発が進められており、今後も目的に応じて蓄電池を搭載した車両の導入が進むと考えられます。

## 課題

一方で導入には課題もあり、その1つは電池コストです。リチウムイオン電池を鉄道車両の動力に用いるためには、編成あたり乗用の電気自動車数台～十数台分を搭載する必要がありますが、一般にリチウムイオン電池は電極材料に希少金属を含む高価なものであるため、蓄電池搭載車両は通常の鉄道車両よりも導入コストが高くなります。

また、電池の劣化も大きな課題です。リチウムイオン電池は充放電の繰り返しや、経年および使用環境によって劣化が進行し、前者はサイクル劣化、後者は保存劣化とよばれています。

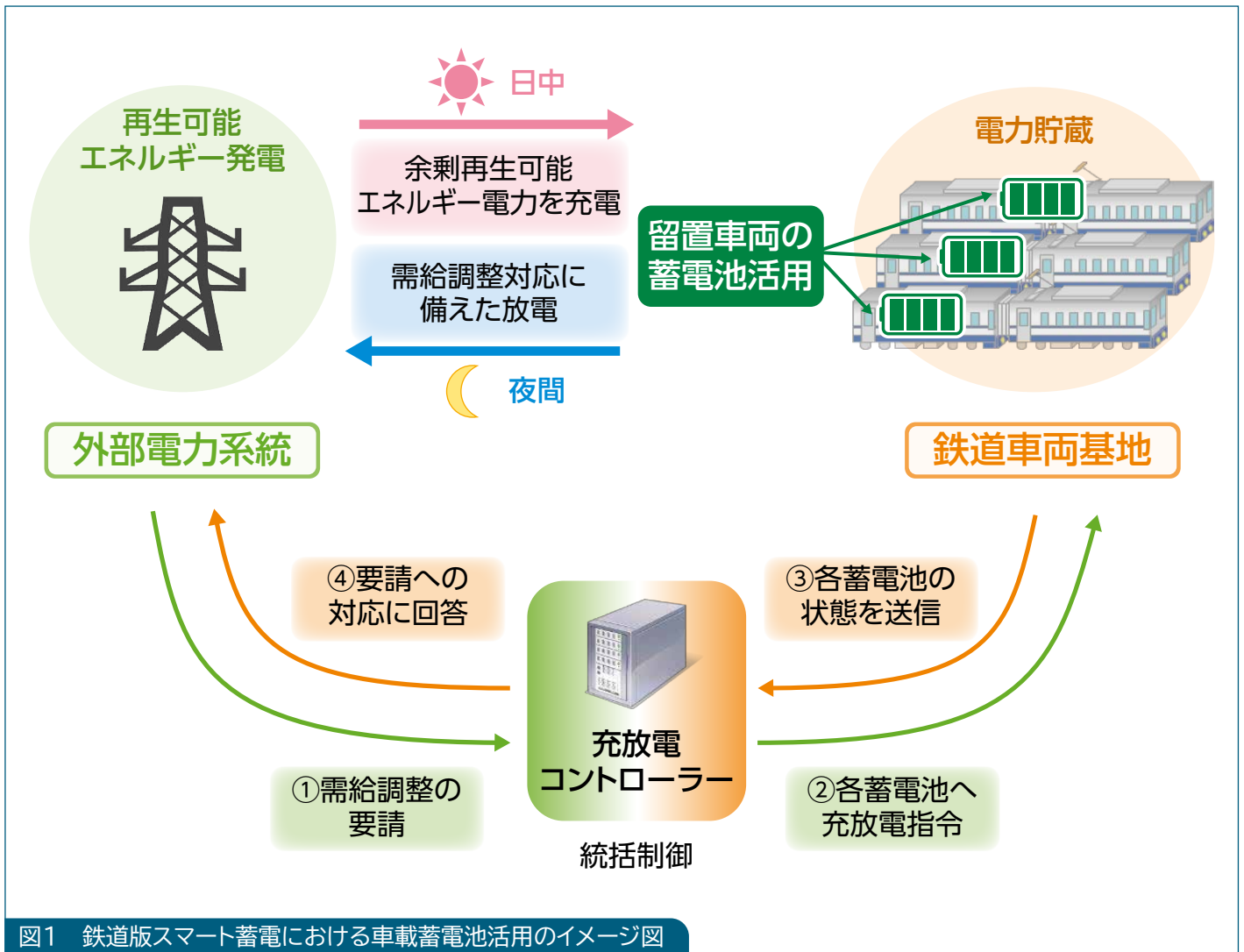


図1 鉄道版スマート蓄電における車載蓄電池活用のイメージ図

劣化が進んだ蓄電池は交換が必要ですが、その時期が遅れてしまうと車両故障などのトラブルが起こる可能性があります。一方で、余力を残して交換した場合には長期的な電池コスト増となります。そこで、適切なタイミングで車載蓄電池を交換できるよう、鉄道総研では、使用環境ごとに異なる温度変動に応じて車載蓄電池の劣化を予測する研究に取り組んできました<sup>4)</sup>。

## 鉄道版「スマート蓄電システム」 における車載蓄電池

### 目的と期待される効果

太陽光や風力などによる再エネ発電は、天候や時間帯により発電量が変動します。そのため、発電量が多いときにはその電力を蓄えて、消費

電力量と発電量との需給バランスを調整して標準化することが求められています。

現在、鉄道総研では、前の記事「鉄道用蓄電装置で再エネを活用する」でも紹介しているとおり、鉄道用の蓄電池をさらに有効活用するための「スマート蓄電システム」の構築に向けた研究に取り組んでいます。この中では、車載電池の活用も重要な役割をもちます。

車両が走行を終えて車両基地にいる間、車載蓄電池は使用されていません。そこで、これらの蓄電池を再エネ発電で余剰となった電力の貯蔵先にすることができれば、脱炭素化に寄与することができます。また、蓄えた電力を需給調整市場に参入して取り引きすれば、車載蓄電池に走行用途以外の副次的な役割が生まれ、搭載

するメリットも増加します。これらを実現するには、**図1**に示すように、複数の車両の蓄電池を統括して制御できるようにすることが重要となります。

### 充放電試験による容量減少量の推定

また、車載蓄電池をスマート蓄電に組み込むに当たっては、本来の目的である走行用途に支障しないということが前提となります。そのため、期待寿命を下回らない範囲で需給調整に対応できる充放電の深さの決め方が課題となります。一般的に、**図2**に示すように、蓄電池は深く充放電を行うと寿命が短くなりますが、その分需給調整に対応可能な電力量が増えます。

そこで、今回は非常走行用の蓄電池を搭載した電車を対象として1日1回需給調整を行うことを模擬した充放電試験を実施し、劣化による**電池容量**<sup>⑤</sup>の減少速度と充放電の深さとの関係

性を明らかにしました。**図3**に示すように、今回使用した供試電池では1日当たりの容量の減少速度は、保存劣化とサイクル劣化の和で表すことができます。特に、サイクル劣化は充放電の深さの2乗に比例する関係で近似できることがわかりました<sup>5)</sup>。

### 費用対効果の試算と最大化

この結果から、車載蓄電池を用いて需給調整に対応するための充放電の深さを決定する手法を考案しました。**図4**のように、電池交換が必要となる限度値である $\Delta Q_L$  (%) 容量が減少した際に、電池交換コスト $X$  (円) が支出として

#### ⑤ 電池容量

蓄電池が蓄えることができる電荷(電気量)の量を示す指標で、電流値[A]と時間[h]の積[Ah]で表されることが一般的です。

図2 充放電の深さと劣化量、需給調整対応量の関係図

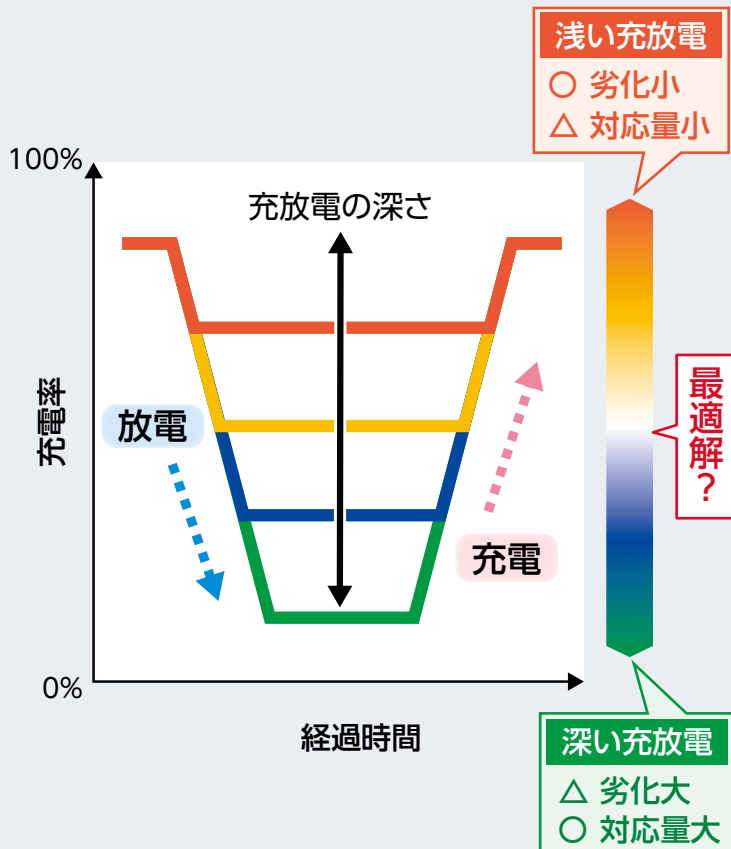
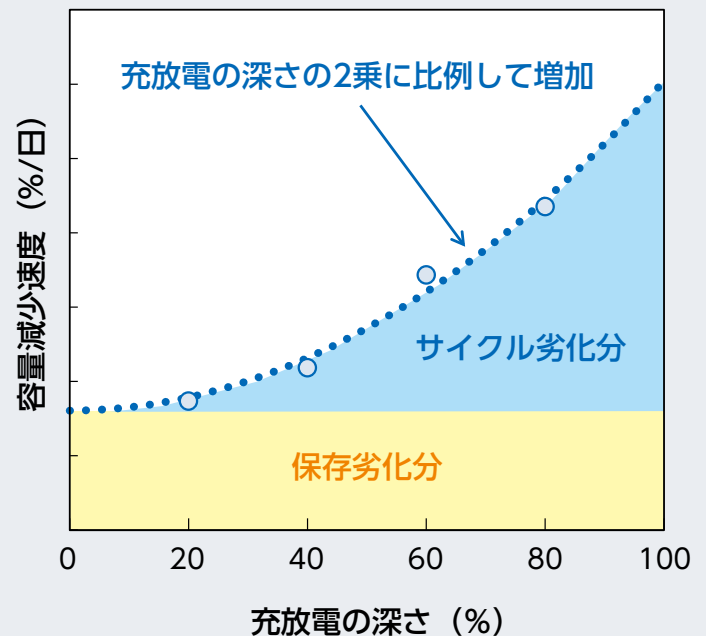


図3 充放電の深さと容量減少速度の関係図



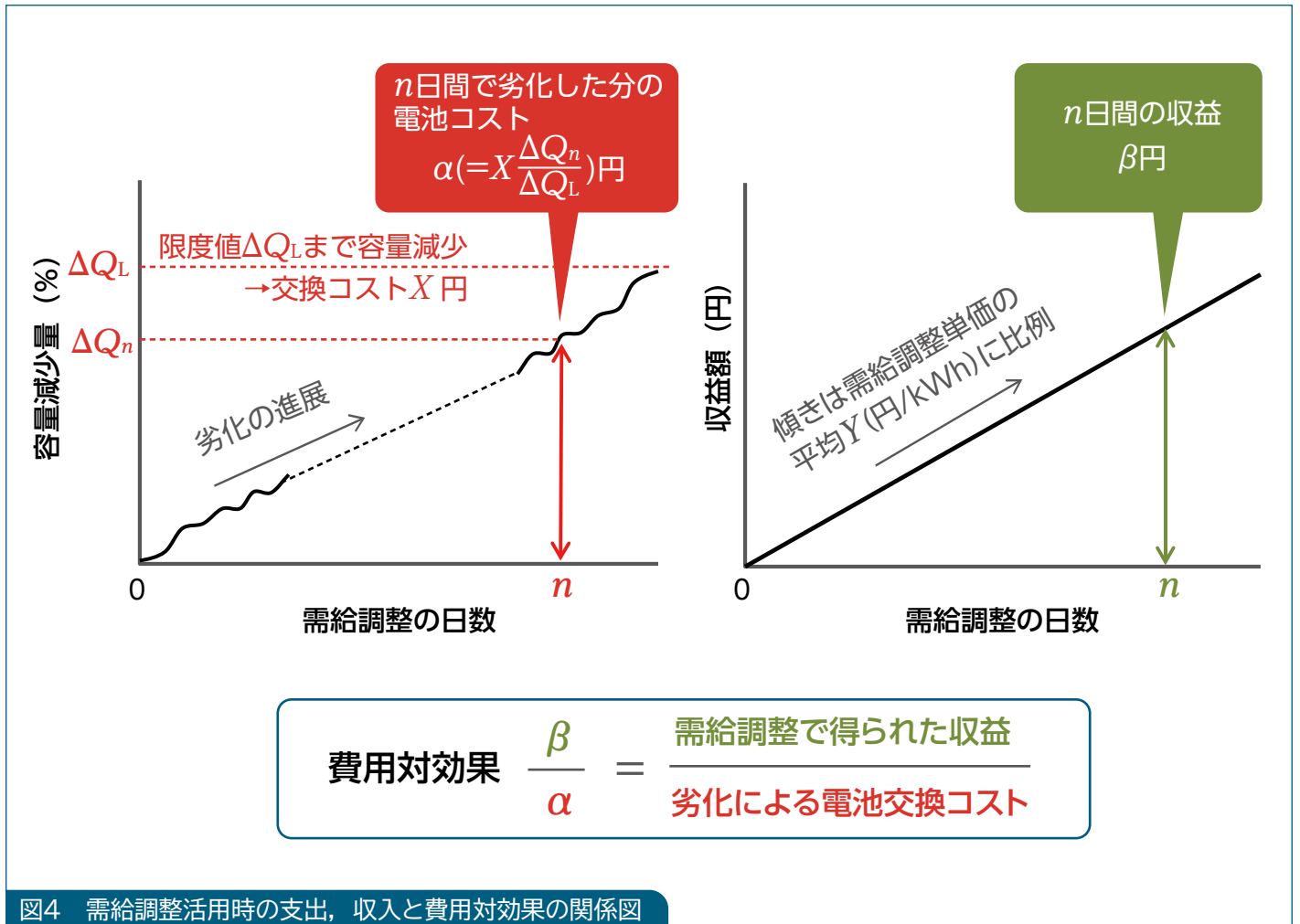


図4 需給調整活用時の支出、収入と費用対効果の関係図

発生すると仮定します。 $n$ 日間需給調整を行った際の容量減少量を電池コスト $\alpha$  (円) に換算し、需給調整によって得られる収入 $\beta$  (円) との比を費用対効果 $\beta/\alpha$ と定義しました。 $\alpha$ が図3の特性で表される容量減少速度と日数 $n$ に比例し、 $\beta$ は需給調整単価<sup>12)</sup>の平均 $Y$  (円/kWh) と日数 $n$ に比例すると仮定すると、 $\beta/\alpha$ は需給調整にともなう充放電の深さの関数となります。

図5に国内の標準的な気温の地点A (図5(a)), および温暖な地点B (図5(b)) における充放電の深さと、費用対効果、寿命年数の関係を示します。保存劣化は温度が高いほど速く進行す

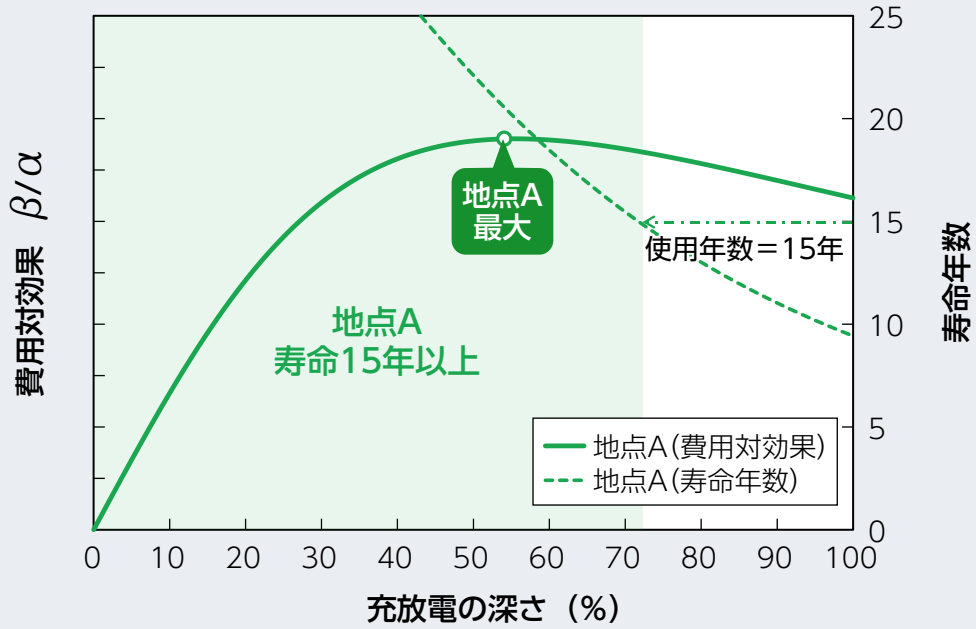
<sup>12)</sup> 需給調整単価

ここでは、需要家 (消費者) が需給調整市場において出力の調整を行った際に得られる1 kWhあたりの収益額のことを指します。

るため<sup>4)</sup>、期待寿命を満たす充放電の深さの条件は地点によって異なります。ここでは、耐用年数などを考慮して車載蓄電池を15年間使用すると仮定しました。期待寿命15年を満たす充放電の深さの条件は図5の網掛け部分になり、この範囲内で費用対効果を最大にするような充放電の深さを地点ごとに決定することができます。

また、図4に類似した考え方を1回の充放電ごとに適用すれば、需給調整単価の変動を考慮することもできます。ここで示した充放電深さの決定手法は、鉄道版スマート蓄電システムにおいて車載蓄電池の過度な劣化を回避しつつ、電力需給調整への対応を経済的かつ効果的に行うために活用できます。

(a) 地点A  
標準的な気温



(b) 地点B  
温暖

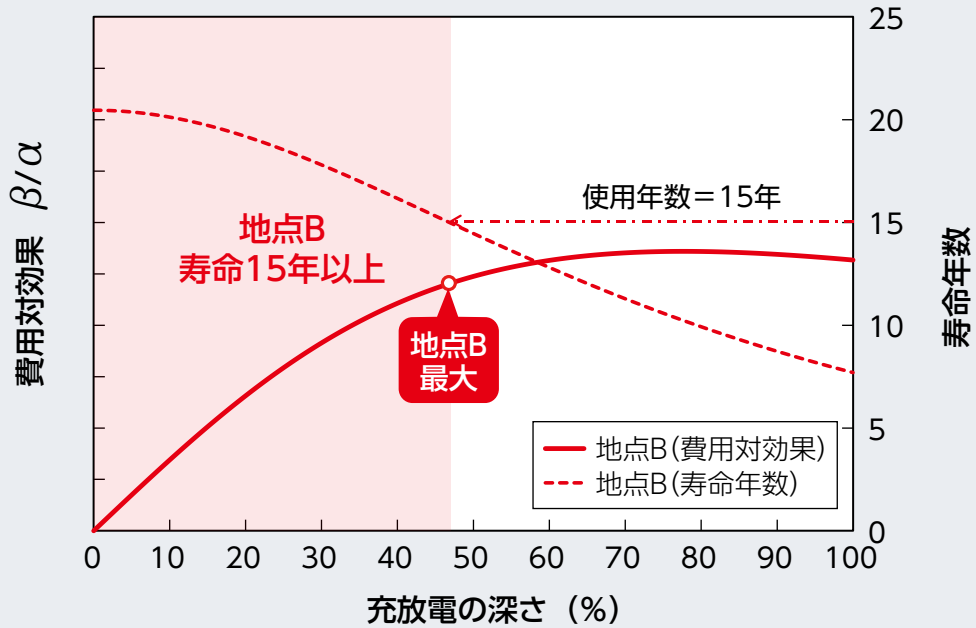


図5 充電の深さと費用対効果、寿命年数の関係図

### おわりに

ここでは、鉄道における車載蓄電池の導入事例と課題、そして鉄道版スマート蓄電システムへの活用に向けた研究について紹介しました。車載蓄電池のスマート蓄電システムへの活用は、鉄道の脱炭素化に貢献するとともに、鉄道車両に蓄電池を搭載するメリットを増加させる手段になるものと考えています。 [RRR](#)

### 文献

- 1) 田口義晃, 門脇悟志: 車載蓄電池で車両の環境性能を向上する, RRR, Vol.75, No.7, pp.8-11, 2018
- 2) 小笠正道: 蓄電技術の現段階-1 (国内2010年代半ば以降), 鉄道車両と技術, 263号, pp.2-7, 2019
- 3) 東海旅客鉄道: JR東海安全報告書2022, pp.20-21, 2022
- 4) 田口義晃, 門脇悟志, 吉川岳: 温度変動に対応した鉄道車両用リチウムイオン電池の劣化予測手法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.2, pp.29-34, 2022
- 5) 渡邊有人, 田口義晃, 尾崎興介, 吉川岳, 小西武史: 車載蓄電池による電力需給調整時の対応電力量検討(第2報)—劣化特性と費用対効果を考慮した通電条件導出—, 電気学会産業応用部門大会, No.5-36, pp.V-241-244, 2022