

鉄道用蓄電装置で再エネを活用する



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

温室効果ガス排出削減の新たな国際枠組みであるパリ協定が2015年末に採択されて以降、気候変動に関する世界的な認識はさらに高まり、日本では2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」が宣言され、2021年4月には2030年度において温室効果ガス46%削減(2013年度比)をめざすことが表明されました。

上記の温室効果ガス削減目標を達成するためには、日本全体の化石燃料資源からの脱却を図るとともに、再生可能エネルギー(以下、再エネ)電源のシェアを拡大するようする必要があります。ここで、再エネ電源の中でも、設置のし

やすさ、経済性およびエネルギー賦存量の点から、太陽光発電(Photovoltaics:以下、PV)が主要となる可能性が高いとされています。しかし、太陽光や風力などによる再エネ発電は季節や時刻、気象条件によって出力が変動する電源であるため、電力需給の円滑な調整が必須となります。したがって、今後は蓄電装置を利用して、エネルギー需給の調整力を提供することは、業界を問わずきわめて重要となります¹⁾。

そのような背景の中、国土交通省においては、鉄道の特性をふまえた脱炭素化に向けた取り組みをこれまで以上に加速化させるべく、2022年3月より「鉄道分野におけるカーボンニュー

表1 カーボンニュートラルに向けた鉄道分野の取り組みの観点

分類	取り組みの観点	取り組みの例
A	エネルギーを「減らす」(H)	省エネ*車両, 省エネ駅, 省エネ運行ダイヤ
B	再エネなどを「作る」(T)	再エネ発電, 未利用回生電力
C	再エネなどを「運ぶ」(H)	地域・広域送電, 蓄電池による電気輸送, 水素輸送(パイプライン・貨物)
D	再エネなどを「貯める」(T)	蓄電池, 水素貯蔵施設
E	再エネなどを「使う」(T)	グリーン電力, グリーン水素

*「省エネ」は「省エネルギー」の略称。

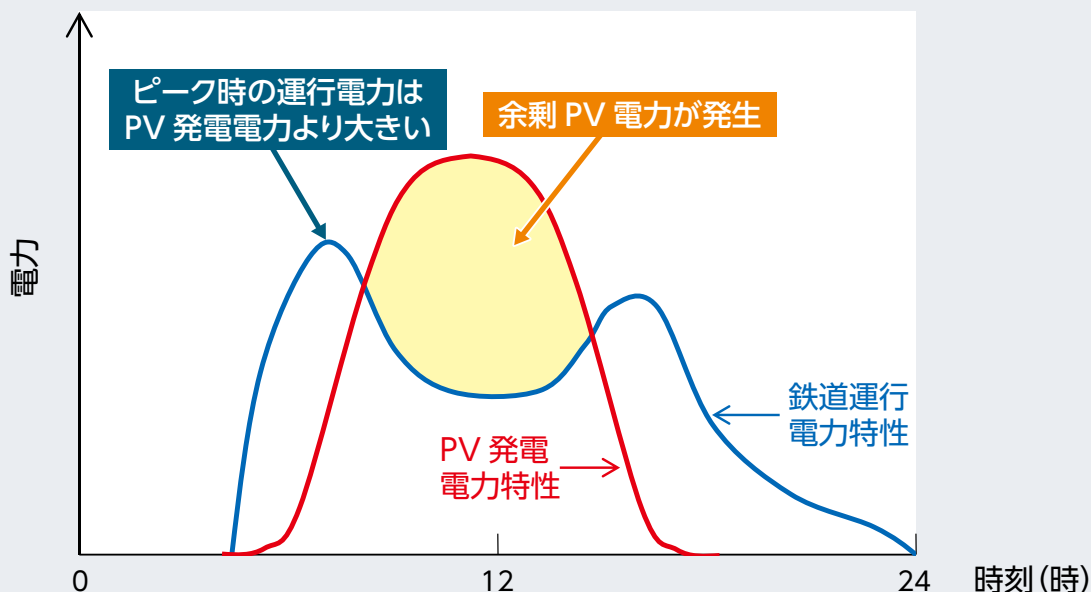


図1 鉄道運行電力特性とPV（メガソーラークラス）発電電力特性の関係のイメージ

トラル加速化検討会」を発足させています。その中間とりまとめでは、脱炭素社会に向けて鉄道分野が取り組む必要性や方向性について提言されており¹⁾、代表的な取り組みの観点として表1の「2H3T」をあげています。再エネ電力活用による鉄道の脱炭素化に向けては、表1にある再エネなどを「作る」「貯める」「使う」、すなわち再エネ発電設備を設けて発電し、蓄電技術によって再エネ電力を一時的に貯蔵したうえで鉄道運行に対して適切に使うことにより、この課題を克服することが期待されます。

ここでは、鉄道が有する蓄電装置を対象として、再エネ電力の活用を可能とするための蓄電装置の制御法について紹介します。

PV発電電力特性と運行電力特性のギャップを埋めるための蓄電装置の活用

あるモデル路線において大規模なPVを鉄道運行電力に活用するケースを想定したときの運行電力特性とPV発電電力特性の関係のイメージを図1に示します。昼間のPV発電電力は平均の鉄道運行電力より大きくなり余剰電力（以

下、余剰PV電力）が発生する場合があります。一方、鉄道運行電力がピークを迎える朝夕の時間帯のPV発電電力は、昼間よりも小さくなります。結果として、1日のPV発電電力の利用率は低い水準となります。すなわち、鉄道運行電力が朝夕に大きい傾向になるのに対し、PV発電電力は昼間に大きくなるため、電力の需要と供給においてギャップが存在します。

上記のギャップをなるべく埋めることによってPV発電電力の利用率向上を図る方策として、再エネを昼間に「貯める」かつ朝夕に「使う」ことが可能な蓄電装置の適用が考えられます。鉄道分野では、2012年7月の国土交通省「エコレールラインプロジェクト推進会議」にて、鉄道の消費エネルギーを、2030年までに2010年度比で2割程度削減することが提案されました²⁾。それ以降、回生電力を吸収かつ運行電力に放電（再利用）することによる省エネを意図した地上蓄電装置の導入が一気に加速しました。また、大規模地震に伴う変電所停電時の非常走行用予備電源を意図した地上蓄電装置の導入も進みました。2012年から現在までの地上蓄電装置の導

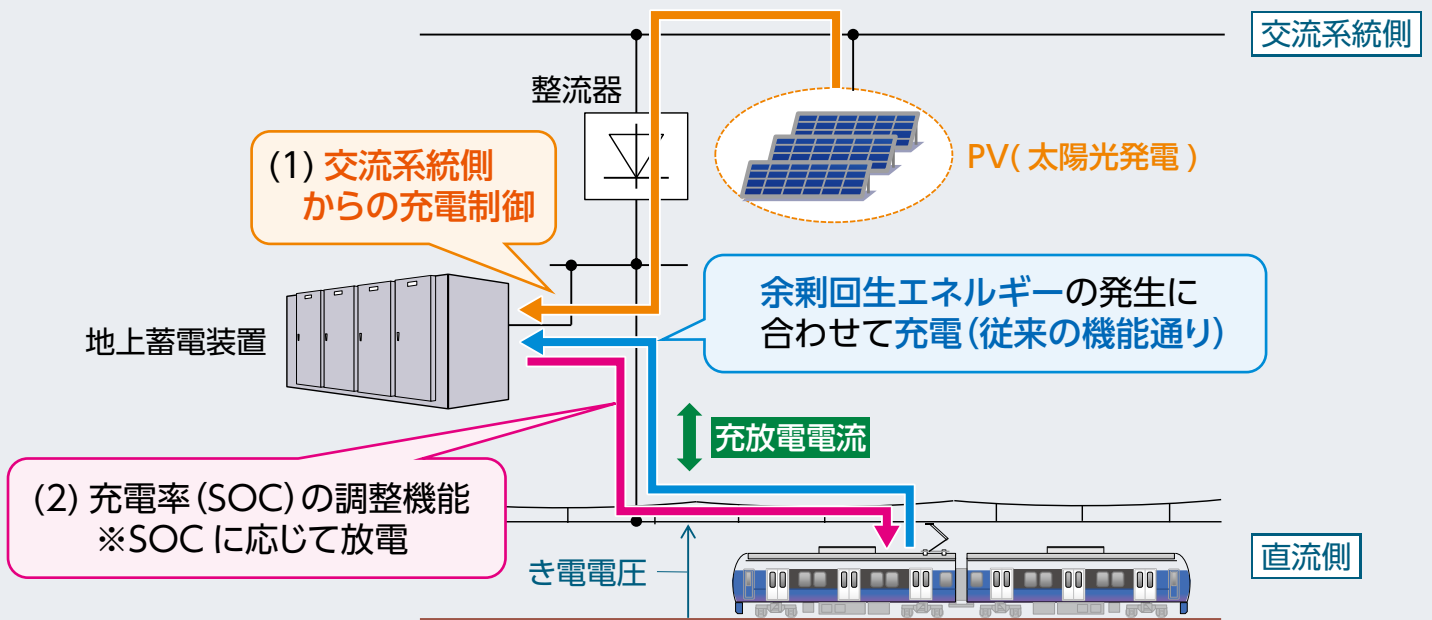


図2 地上蓄電装置による回生電力活用と余剰PV電力活用の両立のイメージ

入数は30台以上にのぼります。運用中の蓄電装置を電力需給調整に活用できれば、蓄電装置の導入価値を高めることも期待できます。一方で、そのような蓄電装置は列車運行電力に活用する役割が最優先であり、例えば再エネ活用によって、省エネや非常走行用予備電源としての使用ができなくなるといった本来の用途を妨げることがあってはなりません。そこで、従来の蓄電装置の機能を損なわずに再エネを活用するための制御アルゴリズムが必要となります。

余剰PV電力活用を考慮した蓄電装置の制御アルゴリズム例

図2のような回生電力吸収と余剰PV電力吸収の両立を図るための、地上蓄電の新たな制御方式を図3に示します。従来の充放電制御の機能に、(1)交流系統側からの充電制御、(2)充電率(以下、SOC)の調整機能を付加する方式です³⁾。

従来制御では、き電電圧(電車線電圧)の変動を検知して充放電します。電圧が充電開始電圧(V_c)よりも高くなると、電車の回生電力が余っていると判断して充電します。逆にき電電

圧が放電開始電圧(V_d)よりも低くなると、電車の加速が生じたと判断して放電します。

次に提案制御について説明します。電圧が V_c よりも高くなると充電する点は従来制御と同様です。提案制御においては、電圧が高くもなく低くもない状態、すなわち従来の待機状態において、余剰PV電力に相当する目標電流 I_{pv} を交流系統側から充電するように制御します。また、蓄電装置のSOCを適切に制御するため、あらかじめ定めた目標のSOCよりも高い場合は V_d を上げることにより放電を促し、逆に目標のSOCよりも低い場合は V_d を下げることで放電を抑制します。

提案制御の効果を検証するため、通勤線区(40km弱の複線、1日上下約250本、6両編成)を想定したモデル線区の末端に、2MWのPVおよび6MWhの大容量タイプの蓄電装置を適用した場合の運転電力シミュレーションを行いました。快晴の日を想定した1日の充放電特性の計算結果例を図4に示します。蓄電装置の実績SOCは余剰PV電力の充電を意図した目標SOCに従って推移し、提案制御が有効に機能

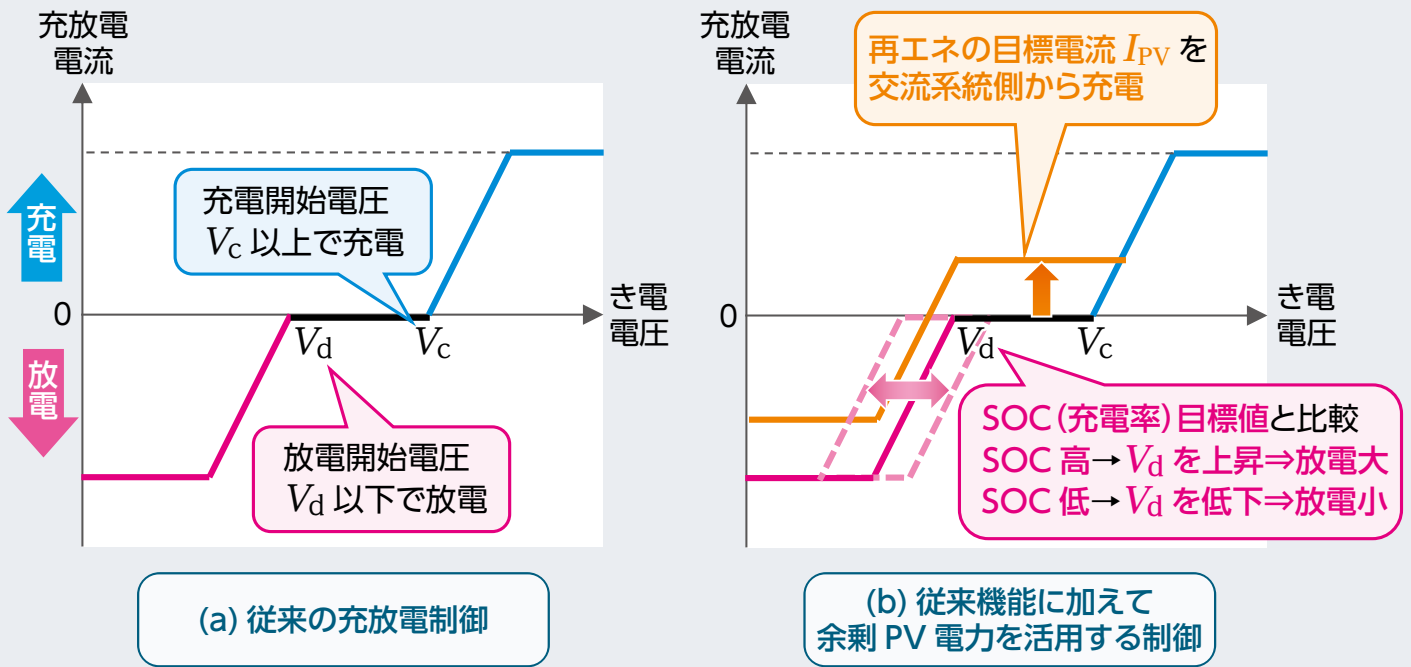


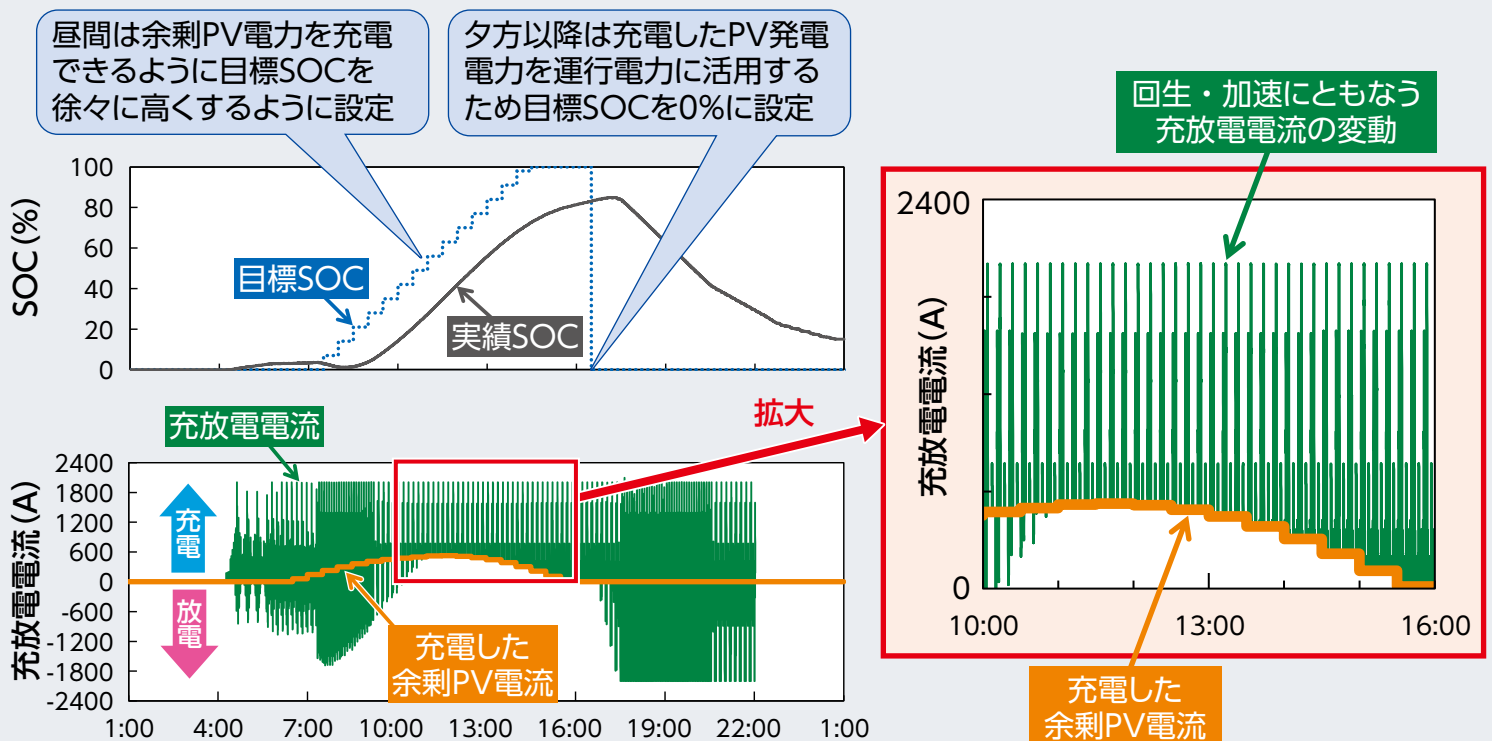
図3 回生電力活用と再エネ活用を両立する蓄電装置の制御の例

しています。また、蓄電装置の充放電電流は、
 図4の拡大した波形のように、従来の回生・加速に伴う充放電と昼間の余剰PV電力の充電が重畳します。昼間の蓄電装置はほぼ常に余剰PV電力あるいは回生電力を充電していること

が、電流波形よりわかります。

①蓄電装置「なし」②蓄電装置の「従来制御」
 ③「提案制御」の3条件について、快晴の日における1日あたりのCO₂削減効果を比較しました。設置したPV、ならびに回生電力の有効活用に

図4 提案制御による蓄電装置の充放電特性の一例



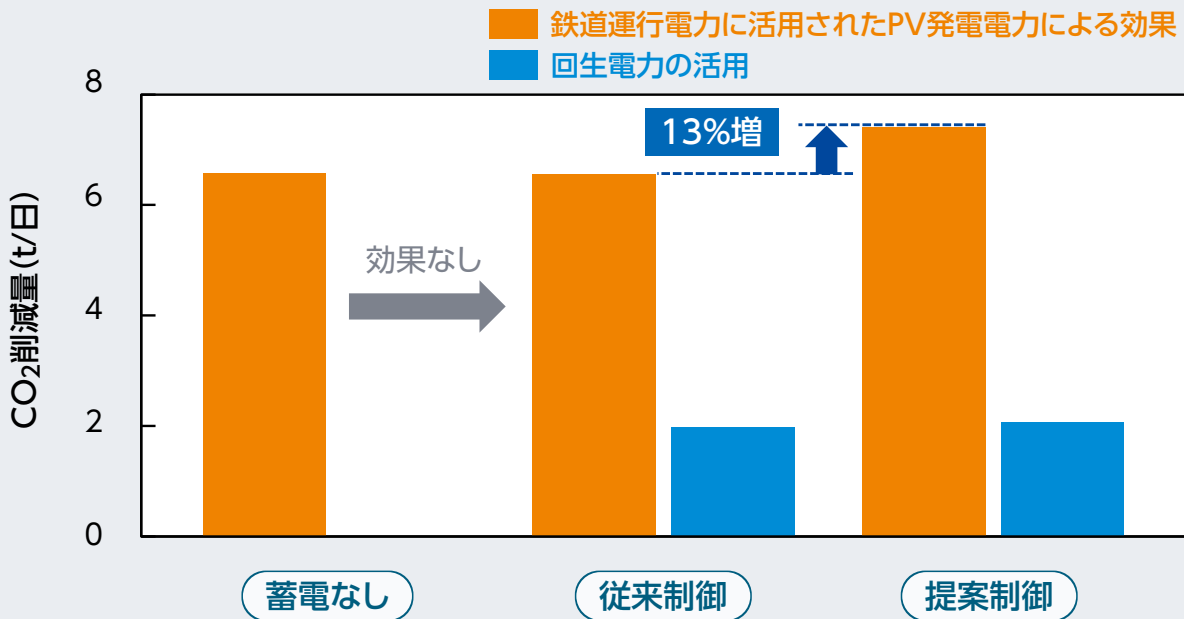


図5 提案制御によるCO₂削減効果

よって得られる1日当たりのCO₂削減量を図5に示します。回生電力有効活用によるCO₂削減量については、従来制御と提案制御で大きな差がないことから、提案制御でも回生電力の活用効果は劣化しないことがわかります。提案制御では余剰PV電力を積極的に充電することにより、蓄電なしや従来制御と比較してPV有効活用によるCO₂削減量は13% (0.8t) 増加しました。

鉄道用蓄電装置の再エネ活用構想

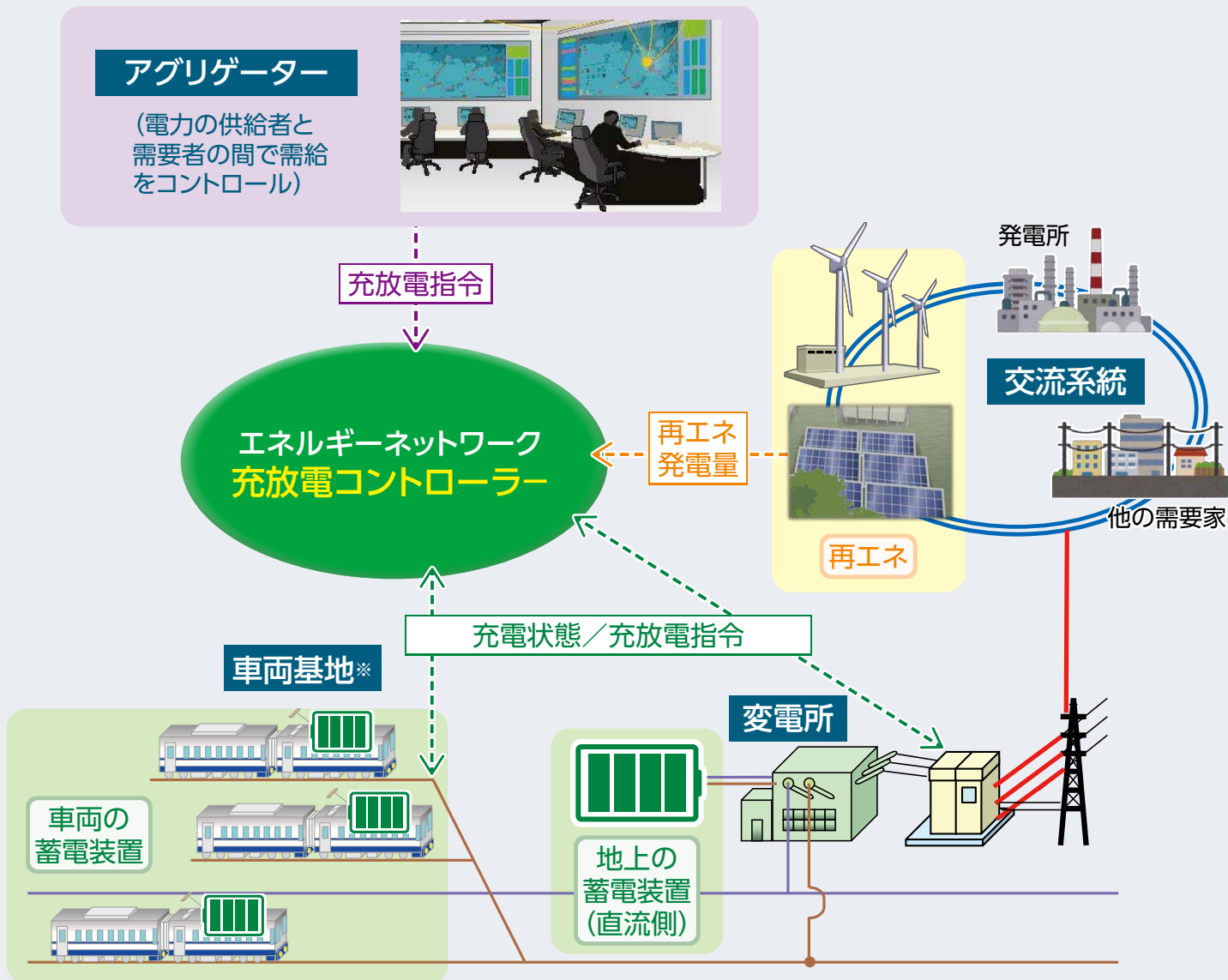
以上に示したような制御アルゴリズムを有する蓄電装置を広く展開してることが期待されますが、大規模な蓄電装置を多数導入する際の設備投資は大きく、新規導入の実現は容易ではありません。そこで、鉄道側に存在する既設の地上、車両の蓄電装置を、可能な限り集約して再エネ活用することが、蓄電装置の費用対効果を向上させるのに有効と考えられます。現状では鉄道電力システム内の蓄電装置は1台1台が単体で機能していますが、協調して全体を統括制御することで省エネ効果の向上を図るとともに、

再エネとも協調させることで再エネ利用率の向上が可能な“スマート蓄電システム” (図6) の構想が鉄道脱炭素化の一つのソリューションになるものと期待されます⁴⁾。図6に示した充放電コントローラーは、アグリゲーターからの受放電指令を受けて、地上や車両の蓄電装置に指令 (例えば再エネによる充電の目標電流) を与えて充放電を統括制御します。個々の蓄電装置は、先述の図3 (b) に示した制御アルゴリズムに沿った充放電を行うことにより、電気鉄道全体の回生電力有効活用と再エネ電力活用に大きく貢献できます。

なお、車両基地などに留置している車両の蓄電装置を再エネ活用に利用する方法に関しては、次の記事「鉄道車両用蓄電池のさらなる有効活用方法を考える」もご覧ください。

おわりに

ここでは、PV発電電力と鉄道運行電力の需要と供給のギャップを埋めるための蓄電装置の活用構想について示し、具現化するための例として余剰PV電力活用を考慮した蓄電装置の制



※車両基地内の車両の蓄電装置の活用については
記事「鉄道車両用蓄電池のさらなる有効活用方法を考える」で詳細を紹介

図6 鉄道版“スマート蓄電システム”の構成

御アルゴリズムを紹介しました。この制御アルゴリズムは、地上蓄電装置だけでなく鉄道全体に存在する蓄電装置の再エネ活用、すなわち鉄道版“スマート蓄電システム”にも応用することが可能です。脱炭素に向けた社会動向・エネル

ギー構造は絶えず変化していますので、今後も状況を見極めながら蓄電装置の導入・制御指針・運用を定めていく必要があります。RRR

文献

- 1) 国土交通省：鉄道脱炭素の方向性「鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会」中間とりまとめ, <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001498024.pdf> (入手日：2023年5月3日)
- 2) 小西武史：地上電力貯蔵装置, RRR, Vol.75, No.3, pp.28-31, 2018
- 3) 小西武史：鉄道への大規模蓄電装置適用による余剰再エネ吸収手法の提案, 第3回鉄道総研研究発表会, 2022
- 4) 重枝秀紀：脱炭素実現に向けた鉄道電力システムの高度化, 第34回鉄道総研講演会, 2021