

脱炭素に向けた地上蓄電装置と 車載蓄電装置の充放電統括制御手法

電力技術研究部 き電研究室

主任研究員(上級) 小西 武史

本日の発表

- ◆ はじめに(蓄電装置による再エネ活用)
- ◆ 地上蓄電装置の充放電統括制御によるデマンドレスポンス(DR)の効果
- ◆ 車載蓄電装置も含めた充放電統括制御によるDRの効果
- ◆ まとめ

本日の発表

- ◆はじめに(蓄電装置による再エネ活用)
- ◆地上蓄電装置の充放電統括制御によるデマンドレスポンス(DR)の効果
- ◆車載蓄電装置も含めた充放電統括制御によるDRの効果
- ◆まとめ

脱炭素化に向けた電力需給調整の必要性

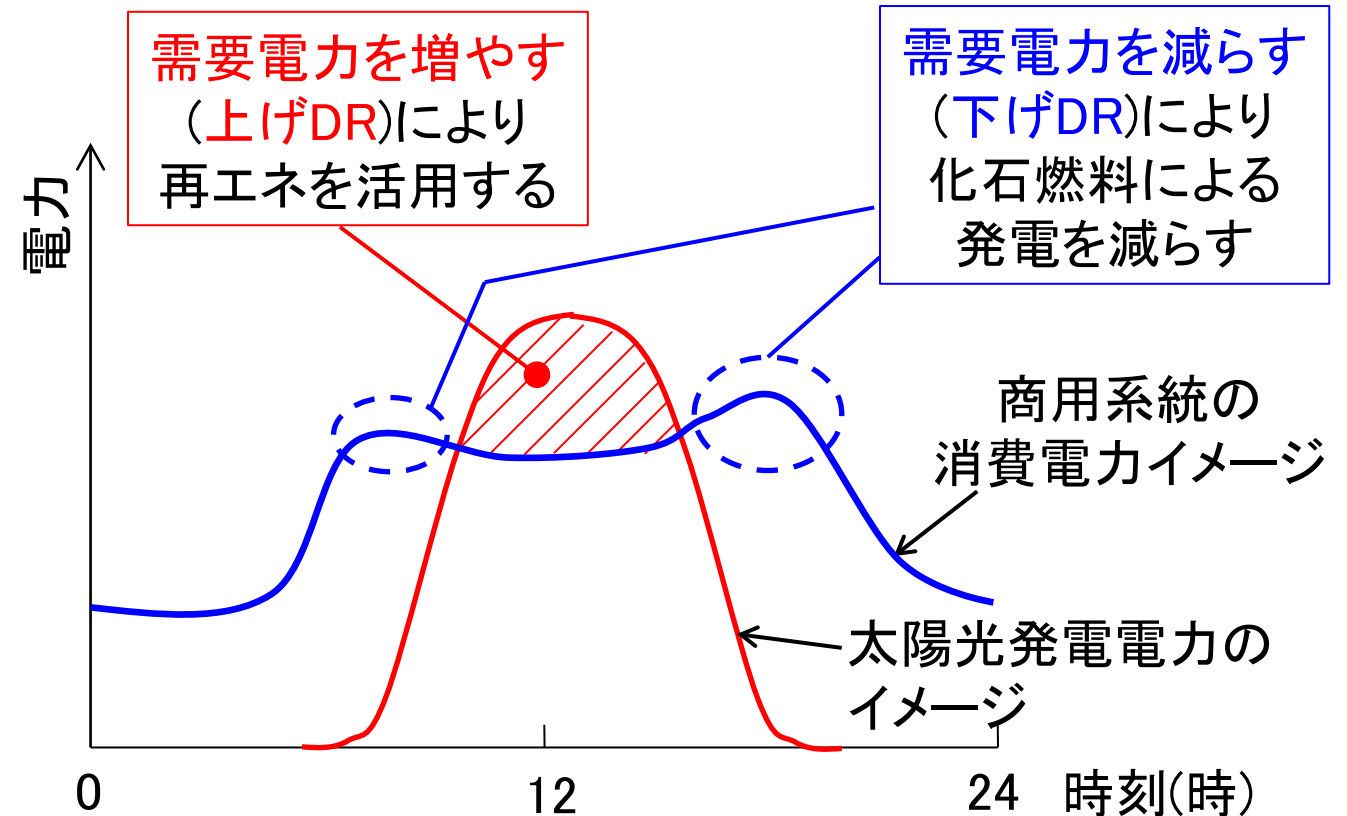
- 脱炭素化に向けて、太陽光発電を始め再エネ導入が拡大
- 再エネ発電量と消費電力量に時間的ギャップが生じる



鉄道側が商用系統からの要求に応じて需要電力を増減(デマンドレスポンス; DR)

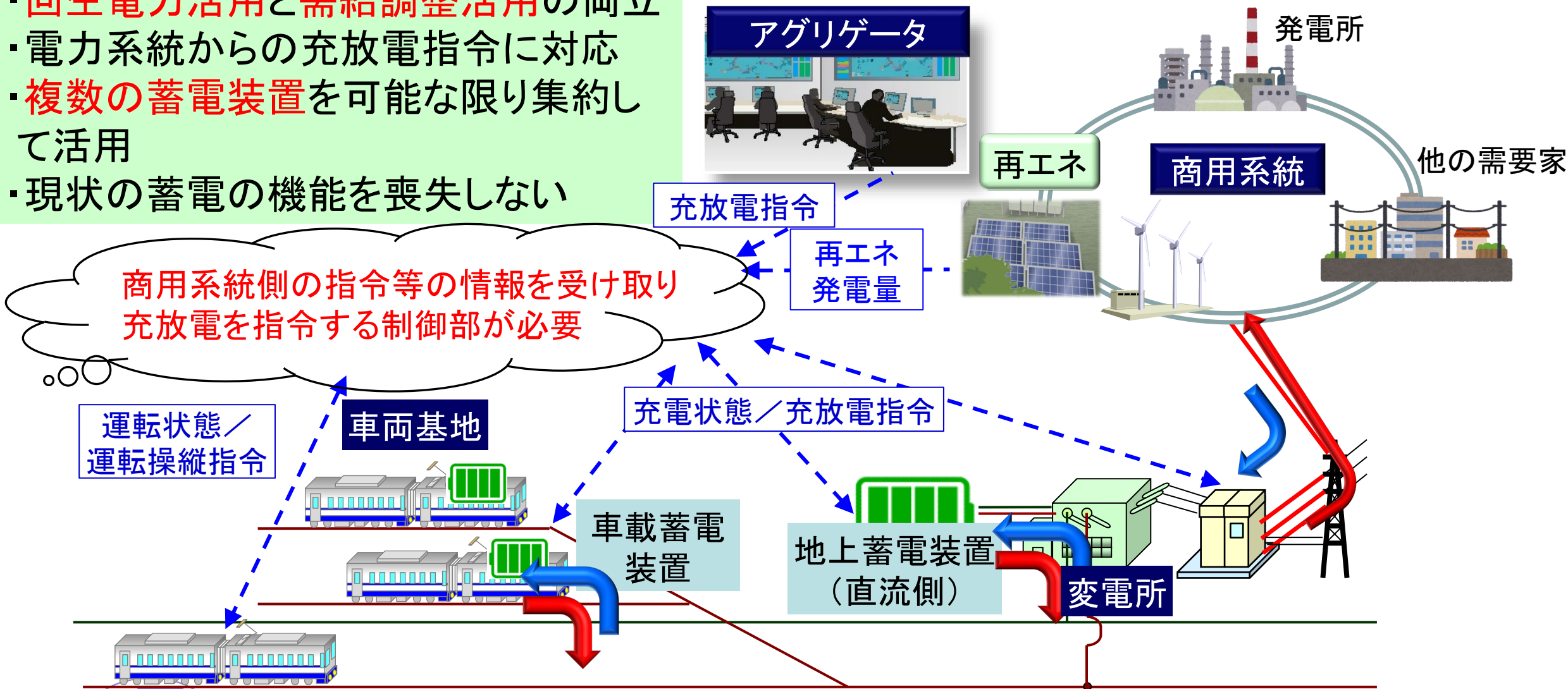


再エネを活用し、化石燃料発電量を低減
脱炭素化に貢献

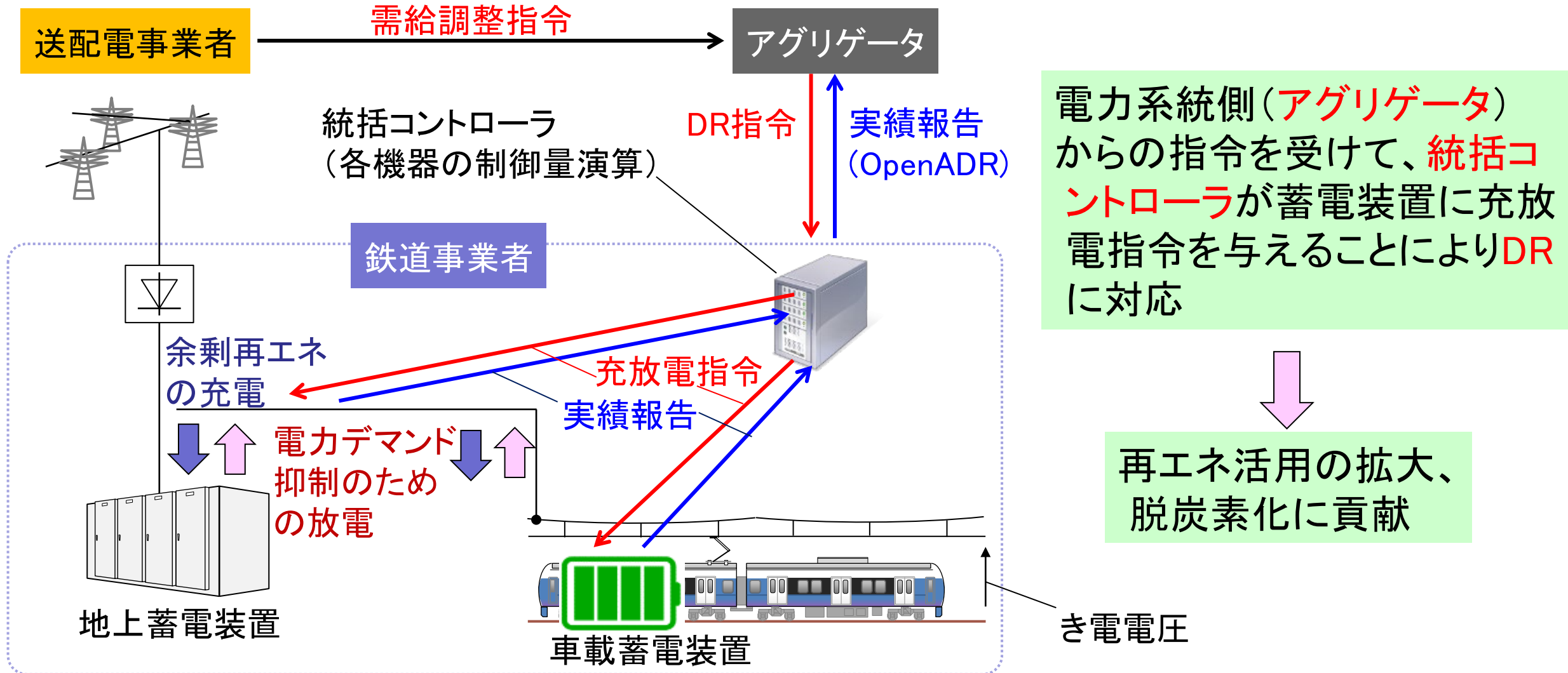


脱炭素化に寄与する地上／車載蓄電装置のイメージ

- ・回生電力活用と需給調整活用の両立
- ・電力系統からの充放電指令に対応
- ・複数の蓄電装置を可能な限り集約して活用
- ・現状の蓄電の機能を喪失しない



地上・車載の蓄電装置のDR制御による 需給調整のイメージ



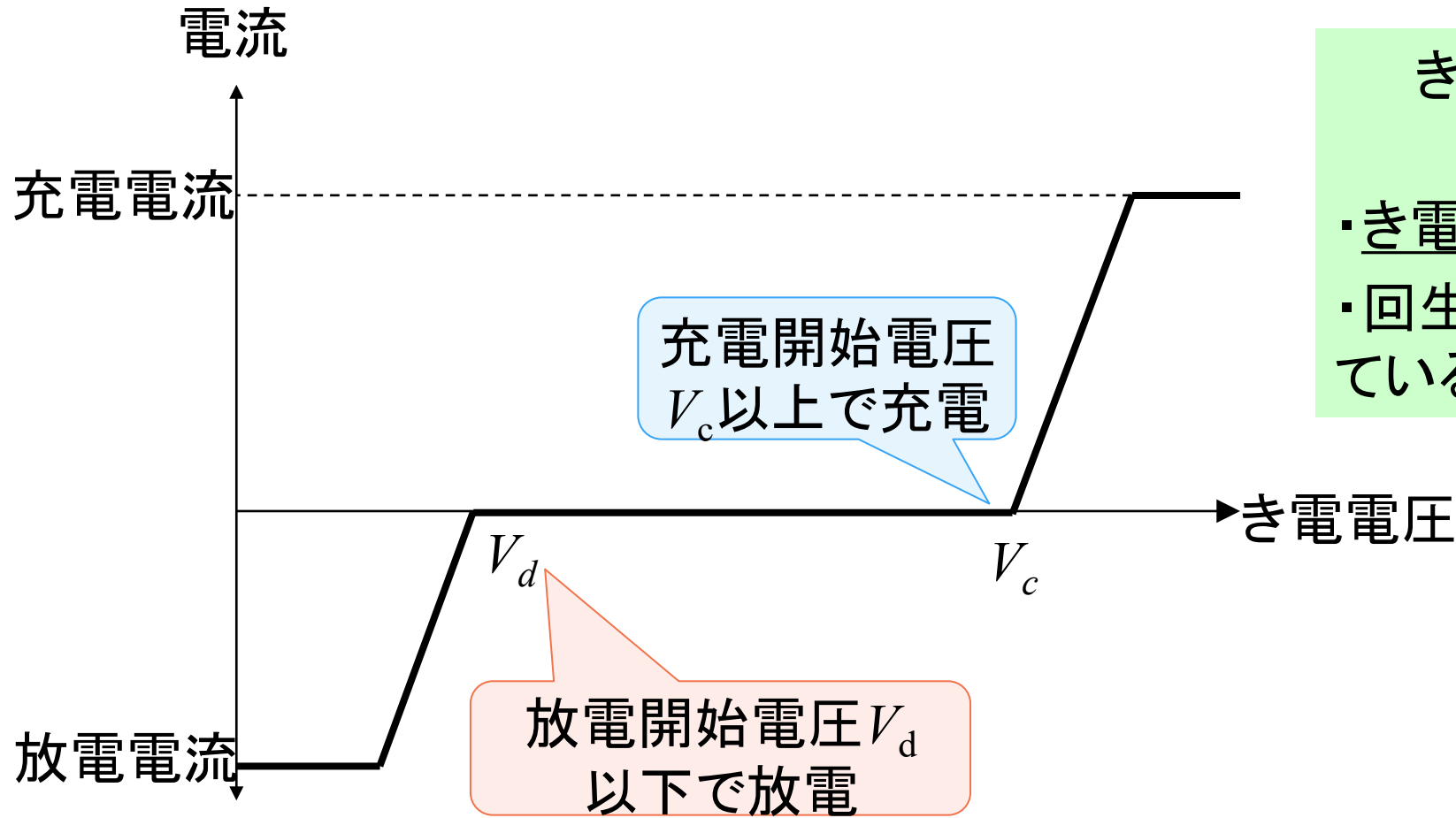
電力系統側(アグリゲータ)からの指令を受けて、統括コントローラが蓄電装置に充放電指令を与えることによりDRに対応

再エネ活用の拡大、脱炭素化に貢献

本日の発表

- ◆ はじめに(蓄電装置による再エネ活用)
- ◆ 地上蓄電装置の充放電統括制御によるデマンドレスポンス(DR)の効果
- ◆ 車載蓄電装置も含めた充放電統括制御によるDRの効果
- ◆ まとめ

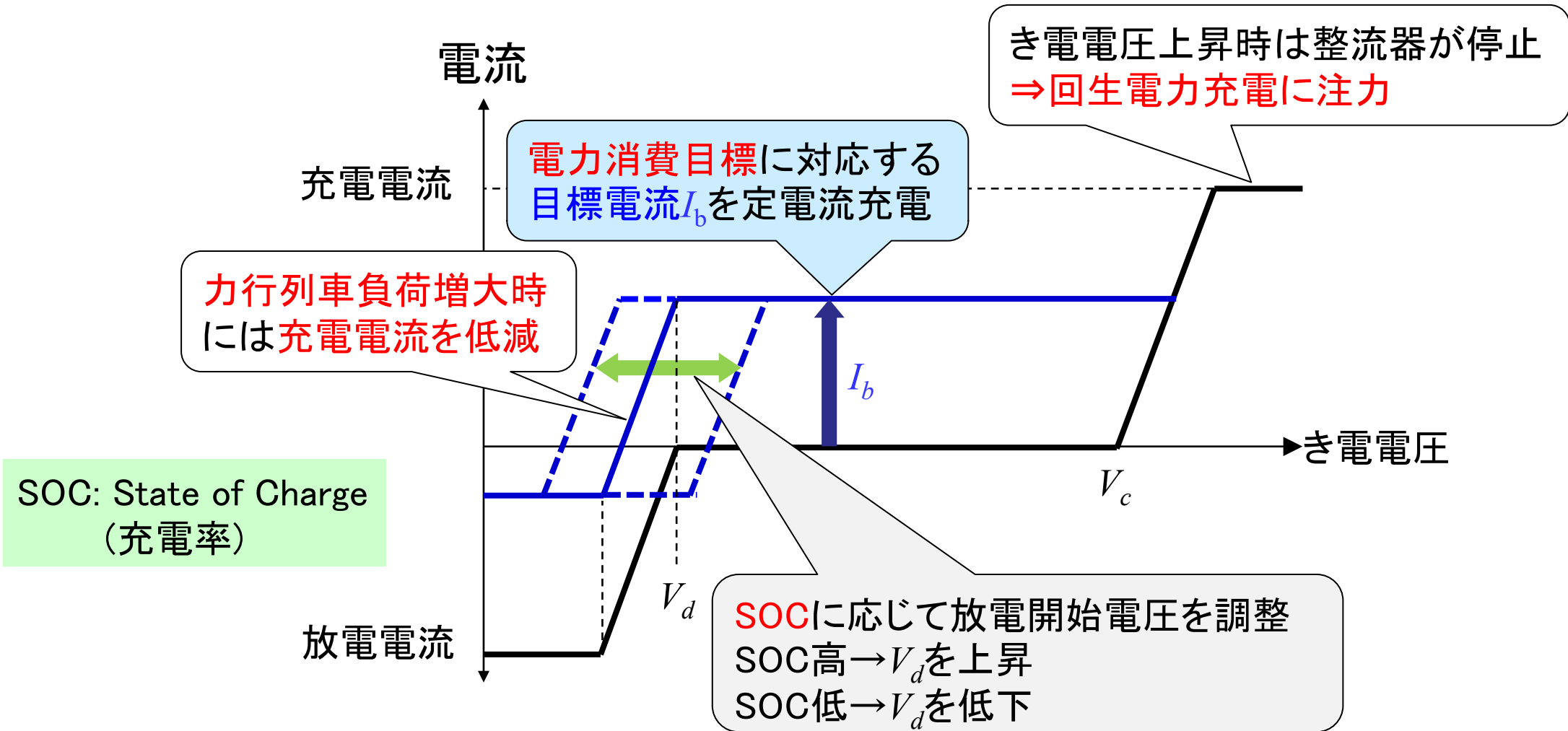
従来の蓄電装置(地上型)の制御



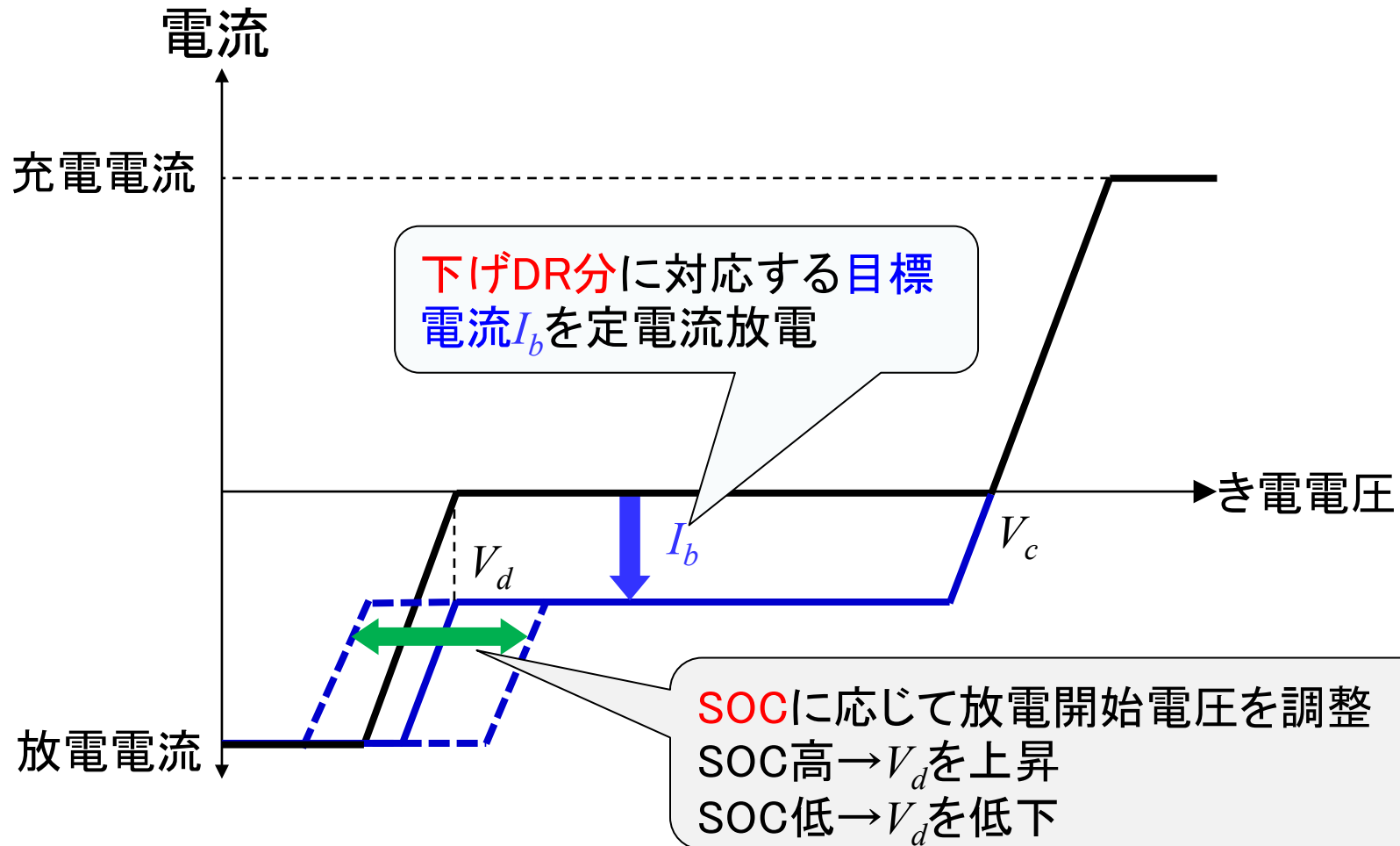
き電電圧に応じた充放電制御
(外線電圧制御)

- ・き電電圧(直流)を監視, 制御
- ・回生吸収用途などで広く用いられている制御方法の一つ

DR制御(上げDR:積極充電)



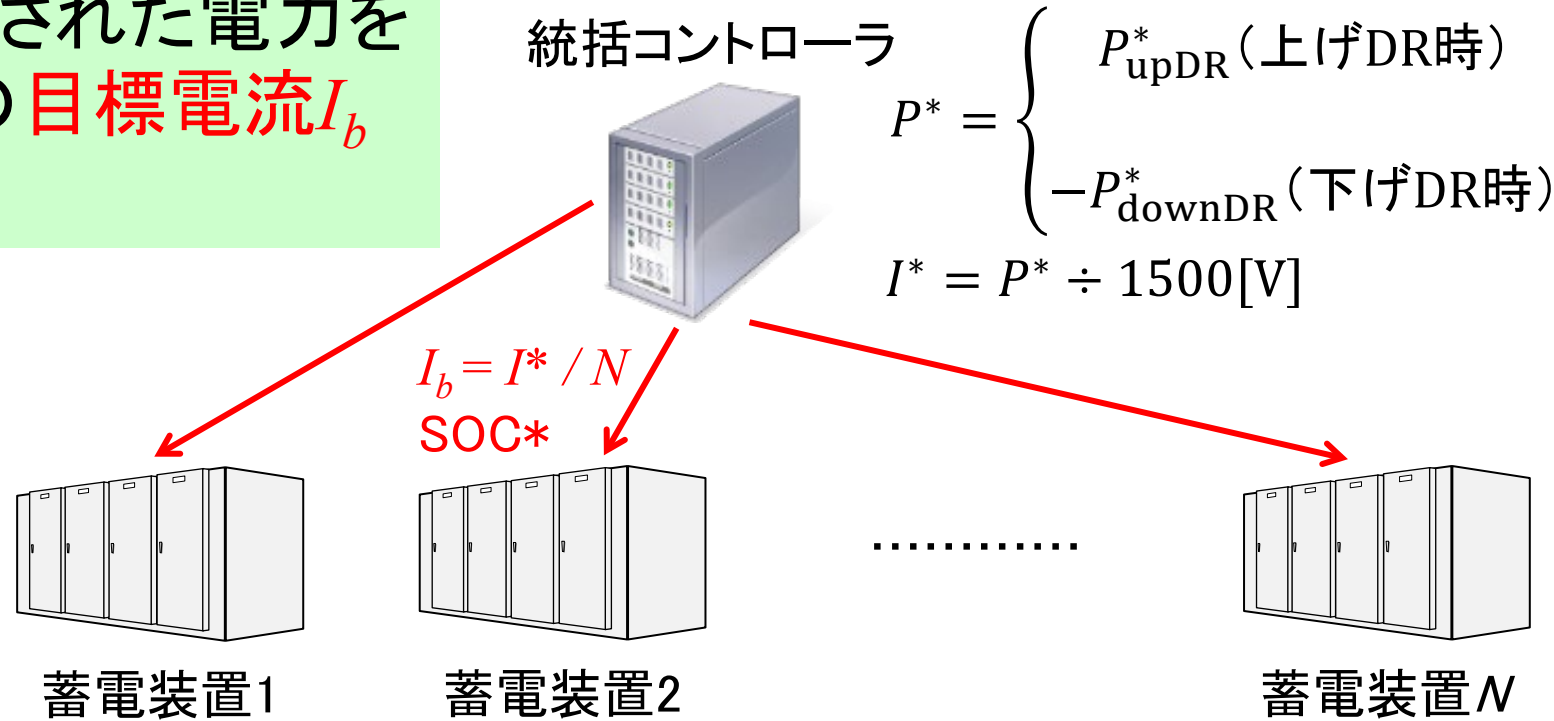
DR制御(下げDR:積極放電)



上げDR時に対して I_b の極性が変わるのみ、ただし負荷がある場合に放電可能

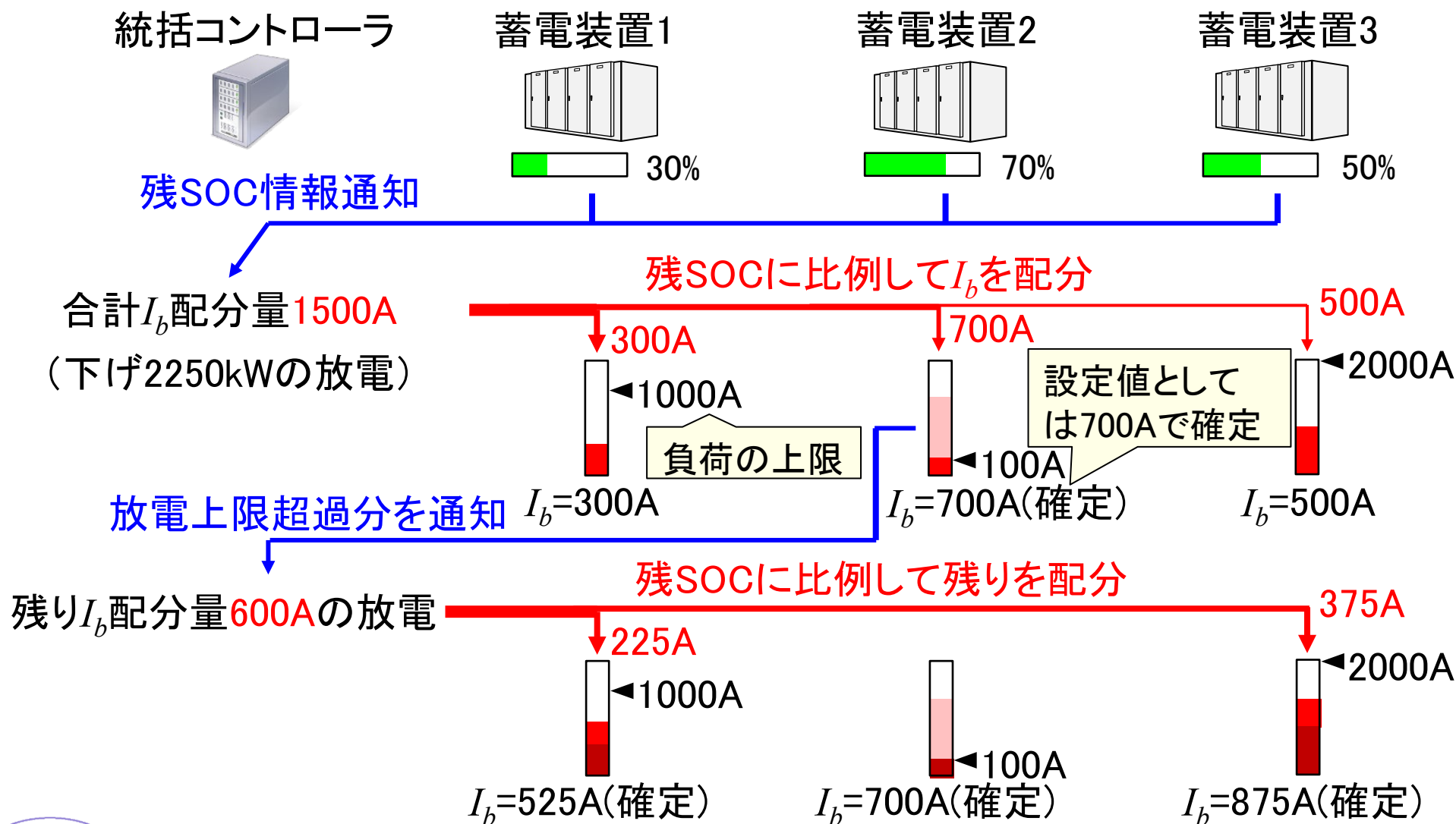
蓄電装置の統括コントローラからの各蓄電装置へのDR指令

DRとして要求された電力を各蓄電装置の**目標電流 I_b** に割り振る



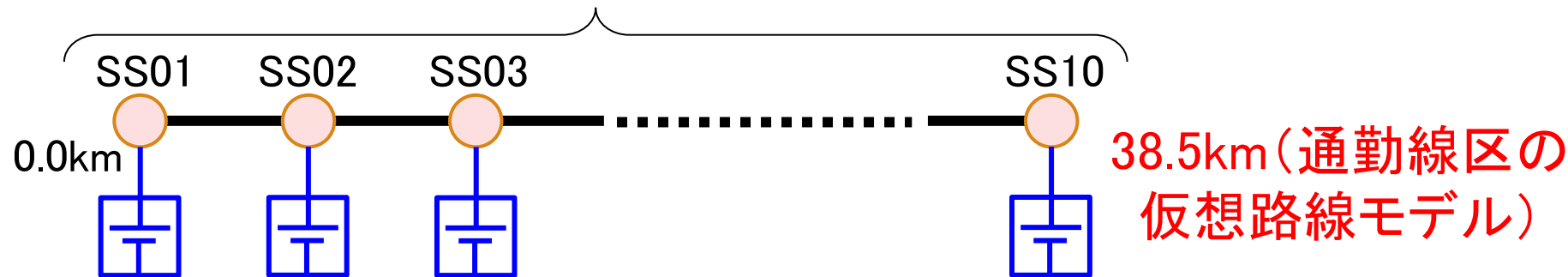
- 「統括コントローラ」が各蓄電装置に与えるべき指令要素は **I_b とDR終了時刻における目標SOC (SOC*)のみ**
- 各蓄電装置に画一の指令値を与える単純な制御

下げDR時の放電配分制御の例



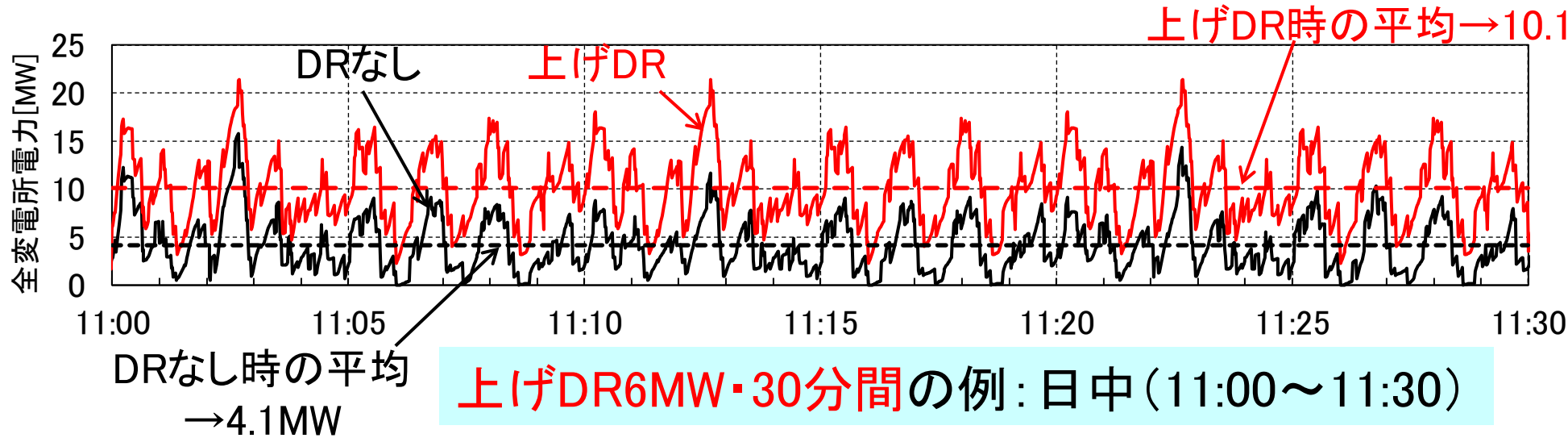
地上蓄電装置の統括制御の検討モデル例

全ての変電所整流器定格容量は3000kW

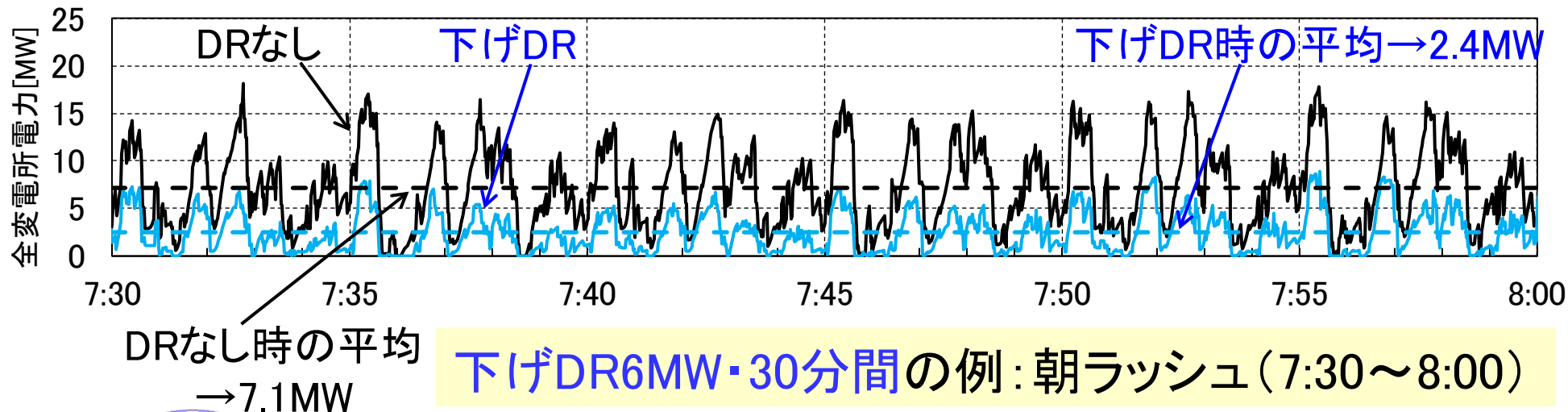


- 全列車6両編成、乗車率100%で統一
- 5～20分間隔の平行ダイヤ(全列車が各駅停車)
- 各蓄電装置とも **400kWh / 2000A** (路線全体で**計4MWh**)
- 充電効率90% / 放電効率90%
- V_d : 1520～1580V (SOCに応じて変化)、 V_c : 1650V (整流器無負荷電圧は1590V)
- 時間帯によるDR特性の違いを把握するため
7:30～8:00(朝ラッシュ) 11:00～11:30(日中) 19:30～20:00(夕ラッシュ) のDRを実施

DR要求時の線区全体の変電所電力の変化



上げDR
⇒蓄電装置が
充電することで
需要電力増加

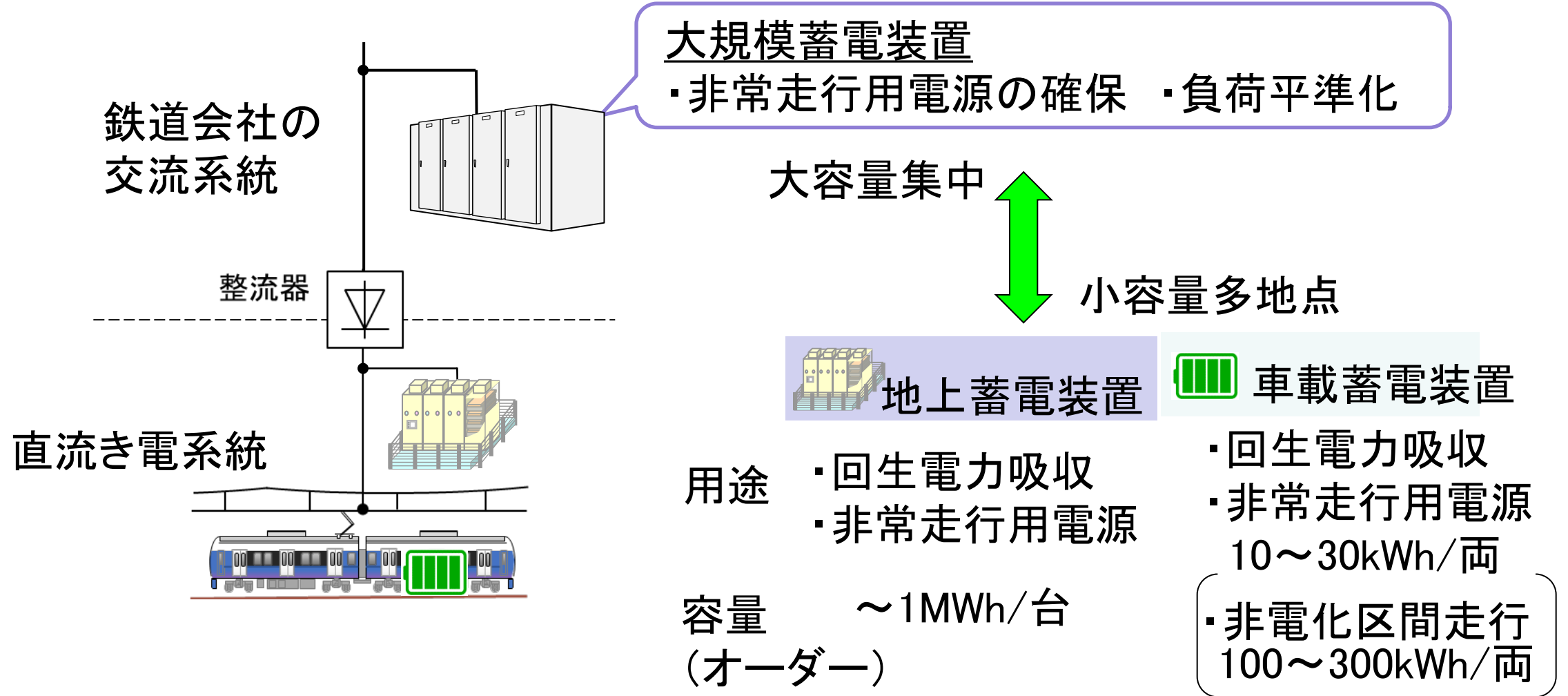


下げDR
⇒蓄電装置が
放電することで
需要電力低下

本日の発表

- ◆ はじめに(蓄電装置による再エネ活用)
- ◆ 地上蓄電装置の充放電統括制御によるデマンドレスポンス(DR)の効果
- ◆ 車載蓄電装置も含めた充放電統括制御によるDRの効果
- ◆ まとめ

地上蓄電装置と車載蓄電装置の概要



地上・車載蓄電装置の充放電統括制御手法

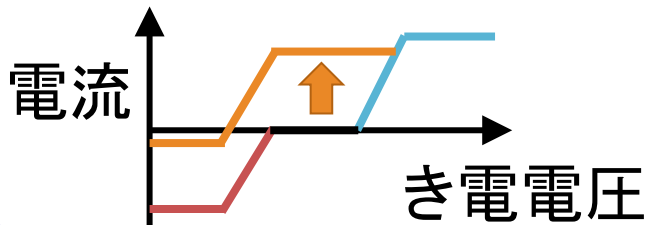
制御の流れ

① 充放電指令値を**入力**

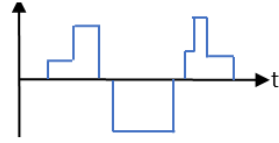
② 充放電指令値を**配分**

通知 ↑ : 容量, SOC等
配分 ↓ : 充放電指令

③ 指令に応じた**充放電**



充放電指令値(電流値)



入力



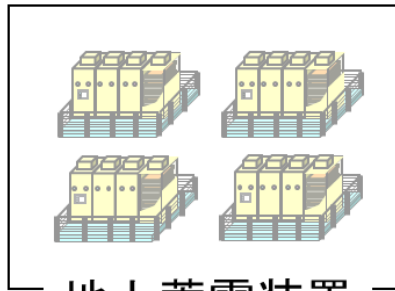
統括コントローラ

状態通知 ▲

▼ 配分

状態通知 ▲

▼ 配分



地上蓄電装置



車両統括
コントローラ

状態通知 ▲

▼ 配分



車載蓄電装置

システム構成

① 統括コントローラ

- ・ 地上蓄電の制御状態集約
- ・ 充放電指令値を配分

② 車両統括コントローラ

- ・ 車載蓄電の制御状態集約
- ・ 充放電指令値を再配分

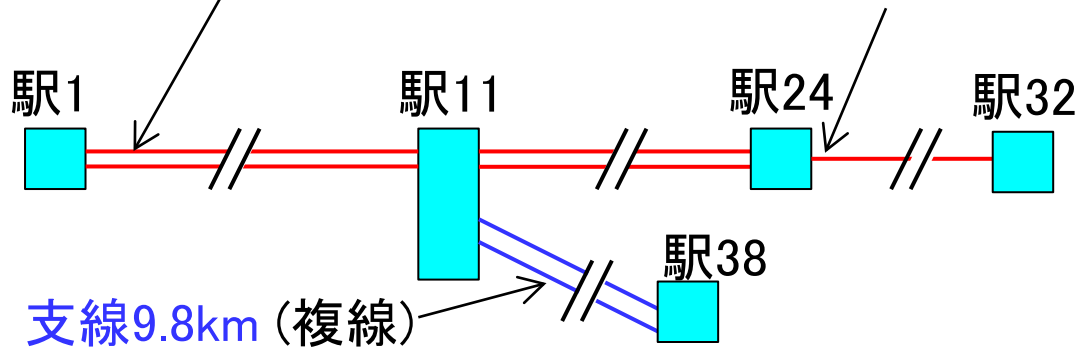
車両運用による
対象車両数の増減を把握

ケーススタディ | 前提条件(1)

◆ 路線

本線: 39編成(蓄電あり)
支線: 4編成(蓄電なし)

本線41.0km (複線) 本線16.7km (単線)



◆ 変電所

全12変電所
整流器容量: 6000kW
電圧変動率: 8%、無負荷電圧: 1620V

◆ 鉄道総研で開発した列車運行電力シミュレータを利用¹⁾

- モデル線区の車両特性・運転操縦等を詳細に模擬
- 留置車両模擬機能を追加

◆ 蓄電装置

- 地上蓄電装置を11変電所に設置
- 本線走行39編成に蓄電装置を搭載

諸元	地上蓄電装置	車載蓄電装置
想定主用途	回生吸収	非常走行
容量	500kWh/台	110kWh/編成
台数 / 編成数	11	39
使用SOC範囲	20 ~ 80%	10 ~ 90%
使用可能容量	300kWh/台	88kWh/編成
SOC初期値	50%	90%
充放電効率	90%	90%

使用可能容量合計: 6.73MWh

1) 小川知行・武内陽子・森本大観・影山真佐富・美濃部晋吾: 電気学会論文誌D 141巻5号 (2021)

ケーススタディ | 前提条件(2)

◆ 統括コントローラの充放電指令値(電流入力)

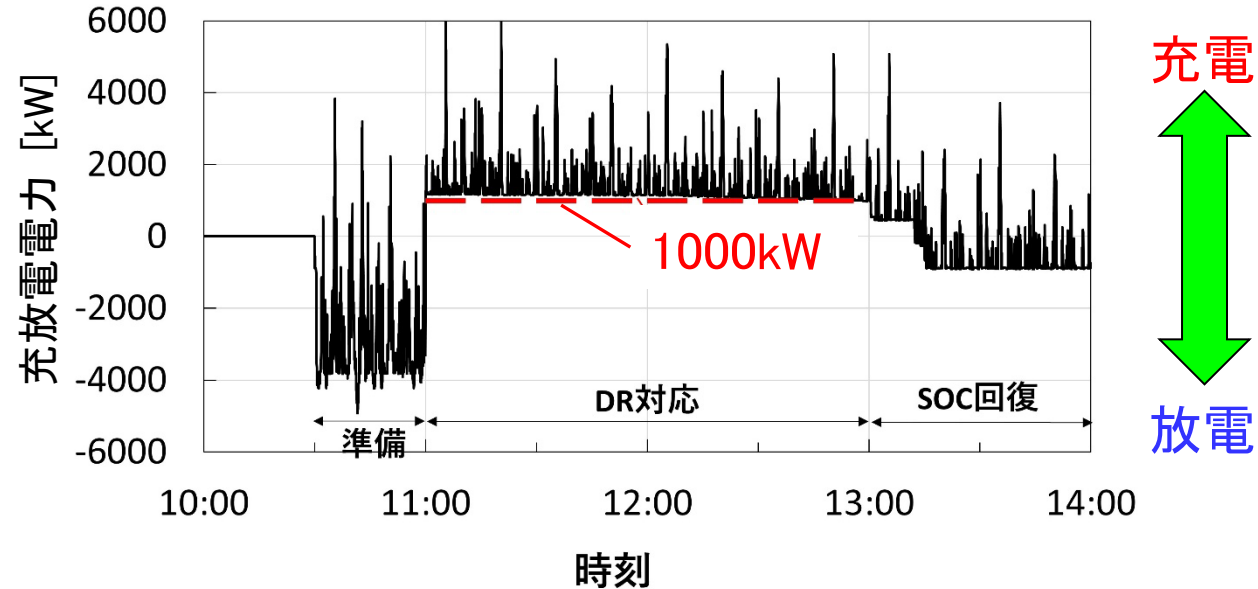
時間帯	指令意図	地上蓄電装置	車載蓄電装置
10:30 ~ 11:00	充電容量確保	SOC 30%まで各50A 放電	車両統括SOC 0%まで各50A放電
11:00 ~ 13:00	上げDR対応	合計で750A充電(統括コントローラが1000kW強相当を全体に配分)	
13:00 ~ 14:00	SOC回復	初期SOC (50%)まで各50A放電	車両統括SOC 100%まで各50A充電

◆ 各蓄電装置の充放電設定・動作開始電圧

	地上蓄電装置	車載蓄電装置
充電	許可 ($V_c = 1700V$)	許可 ($V_c = 1700V$)
放電	許可 ($V_d = 1450V$)	外線電圧制御による放電は不許可 (非常走行用電源のため)

ケーススタディ | 結果(1)

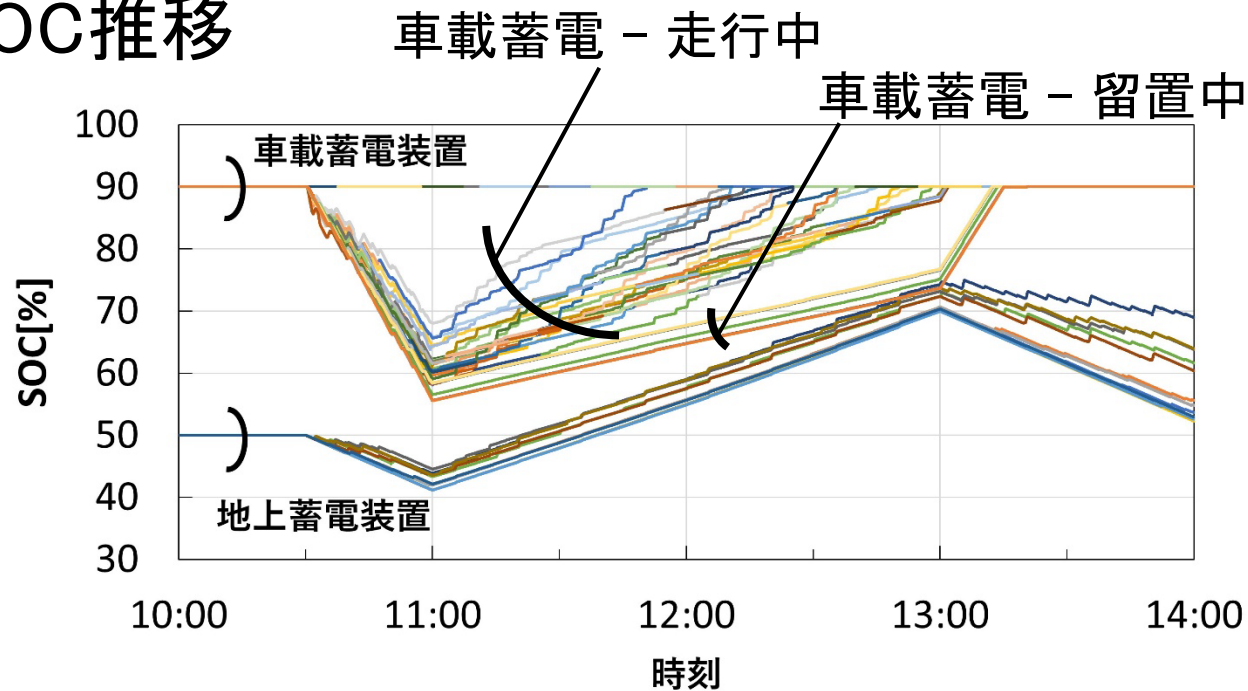
◆全蓄電装置の充放電電力合計



- 上げDRの2時間中、残り約2分間で出力が1000kWを上回る
→ 指令値にほぼ対応した充放電出力を確認した
- 1000kWを下回った場合の最小値は983.2kW

ケーススタディ | 結果(2)

◆蓄電装置のSOC推移



走行中車両の車載蓄電は車両回生の度に充電され、SOC推移にバラつき

➡ 12時以降からSOCが上限に達したものが増え始める
最後の約2分間でDR対応の充電余力がなくなって
出力が1000kWを下回った要因

蓄電装置のSOC推移
の均等化により改善
できる可能性

まとめと成果の活用

◆ 地上蓄電装置の充放電統括制御によるDR

➡ DR指令電流の配分制御によって上げDR・下げDRに基本的には対応可能

◆ 地上・車載蓄電装置の充放電統括制御手法

➡ 統括コントローラと車両統括コントローラをシミュレータに実装
統括制御によるDR対応が基本的に可能

シミュレーションにより充放電統括制御手法の効果を評価可能
制御手法の実装によって蓄電装置による電力需給調整に活用

参考文献

1. 小西武史、緒方隆充：直流電鉄用地上蓄電装置のDR制御による再エネ活用の向上、J-RAIL2022、S7-4-2、2022.12
2. 緒方隆充、齋藤達仁、小西武史：直流電気鉄道における地上蓄電装置と車載蓄電装置の統括制御手法の検討、2023年電気学会全国大会、No.5-213、2023.3

本研究の一部は、国土交通省の
鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。