

# 千葉都市モノレール

## 路線および区間全体の省CO<sub>2</sub>化計画

2020（令和2）年3月

千葉市

千葉都市モノレール株式会社



千葉市  
CHIBA CITY

千葉開府  
Road to  
900  
since 1126



千葉都市モノレール  
Chiba Urban Monorail

## 目 次

第1章	はじめに.....	1
1-1	電力使用量の分析.....	1
1-2	中長期的な取組み.....	2
第2章	路線の概要.....	2
第3章	軌道輸送システムの継続的な省CO <sub>2</sub> 化に向けた取組み.....	4
第4章	回生電力の有効活用に向けた設備の導入プロセス.....	5
4-1	設備を導入する路線又は区間全体の回生電力の有効活用に関する状況・背景.....	5
4-2	設備導入に際し解決した課題と期待される相乗効果.....	8
4-3	導入設備及び導入に向けた検討と整備に要する期間.....	11
第5章	二酸化炭素排出量削減の効果と目標.....	13
5-1	事業実施後の電力使用量削減及び二酸化炭素排出削減の効果、き電原単位の変化.....	13
5-2	二酸化炭素排出削減効果の評価対象.....	13
5-3	事業実施前・後の電力使用量・二酸化炭素排出量、き電原単位等の実績及び予測.....	13
5-4	電力使用量の削減目標.....	17
第6章	普及展開に向けた措置.....	18
6-1	組織内でフィードバックする体制と頻度.....	18
6-2	他の鉄軌道事業者への事業展開に資する措置.....	18
6-3	海外展開に資する措置.....	18

## 第1章 はじめに

千葉都市モノレールでは、CO<sub>2</sub>排出量の削減のため会社をあげて積極的な省エネルギー施策の推進や電気・水道等使用量の削減に努めている。

また、職員自ら会社敷地内に桜やハナモモ等の植樹の実施（平成12年）やモノレールによる通勤奨励を促す等地球環境の保全に資する取組みを行っている。

なお、開業から30年が経過しモノレール施設は老朽化に伴う施設更新時期を迎えている。これら施設更新にあたっては、輸送の安全確保はもちろんのこと、誰もが利用しやすい施設とすることとともに脱炭素の観点から、省エネルギー性能の高い設備や機器類の導入に努めることとしている。

### 1-1 電力使用量の分析

#### (ア) 分析結果

省エネルギー化やCO<sub>2</sub>削減量を検討するためには、現状、どこでどのように電力が使用されているのかを的確にとらえておくことが大切であると考え、現状分析を行うこととした。

その結果、電気使用量の多くは車両運行によるものであることが判明した。

図1-1のとおり、モノレール車両で使用する電力（電車）が4,970,830kWh/年と全使用電力の約50%を占めていることがわかった。

#### (イ) 車両電力使用量削減のための対応方針

このことから、VVVFインバーター等省エネルギーに資する設備を搭載したモノレール車両（以下、「回生車両」という。）への計画的な更新を進めるとともに、殿台変電所の施設更新に際し、回生車両からの電力を有効活用するため、回生電力貯蔵装置の導入に取り組むこととした。

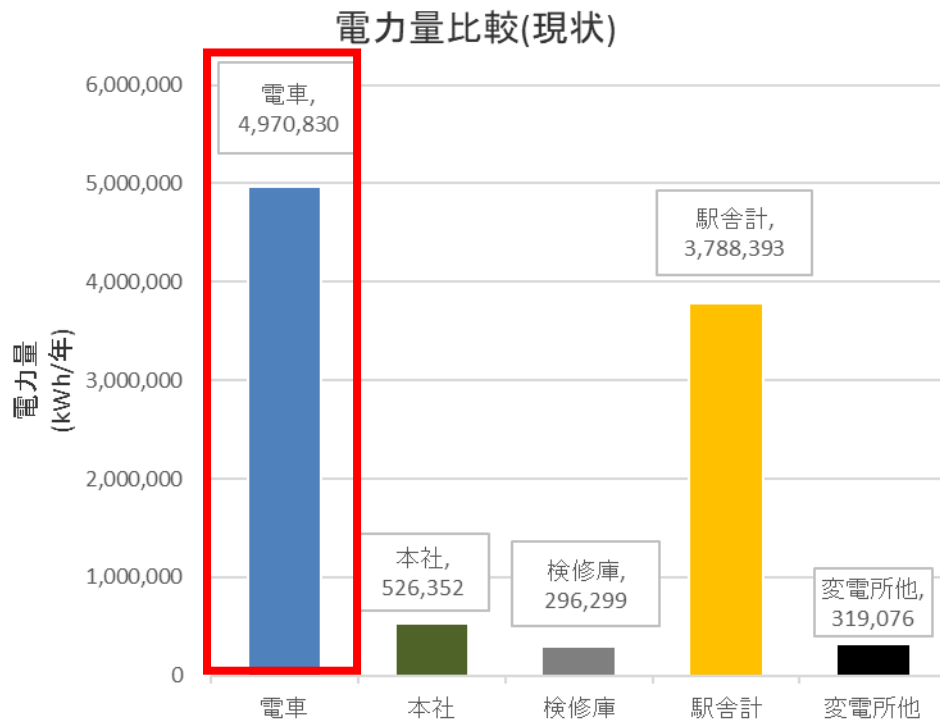


図 1-1 各施設における電力量の比較

## 1-2 中長期的な取組み

### (ア) モノレール事業による省エネルギー化

- ・モノレール車両の計画的な更新を進めることで、省エネルギー化に資することとし、2006（平成18）年にVVVFインバーターを搭載した新型車両を採用する車両更新計画を策定
- ・モノレール18駅について、順次照明設備のLED化や誰もが利用できるようユニバーサルデザインを採用したトイレへの施設改修を進めることとし、2014（平成26）年に駅舎設備更新計画を策定
- ・騒音や振動の軽減のため、走行車面アスファルト取替え促進を図ることとし、毎年約20m毎に更新作業実施することを決定

### (イ) 社員教育等の取組

- ・資源の効率的な使用を促すため、コピー用紙の使用量削減や昼休憩時の消灯実施の徹底
- ・本社ビル等について、冷暖房の適正な温度設定の徹底

### (ウ) 他事業者等と連携した普及啓発とその取組み

- ・モノレールの利用促進と利用者の利便性を確保するため、主要な駅におけるパーク＆ライドの実施やモノレールラッピング広告による地球温暖化防止に係る普及啓発の実施
- ・公共交通の利用促進を促すための各種イベントの開催として、地球温暖化防止月間におけるウォームビズやイベント列車（おでんエコ列車等）の運行や、モノレールまつりにおけるPR活動等を実施

## 第2章 路線の概要

千葉都市モノレールの営業路線については、図 2-1 に示すとおり千葉みなと駅から県庁前駅までの1号線及び千葉みなと駅から千城台駅までの2号線の2路線である。

1号線は、JR千葉駅や京成千葉駅を中心とした中心市街地部や商業系地域と県庁方面を結ぶ路線、2号線は中心市街地と郊外部住宅地を結ぶ路線形態となっている。

これら路線への送電については、沿線に設けている殿台変電所及び千葉変電所の2か所から行っている。

なお、使用している電力は、東京電力株式会社から、特別高圧電力B（鉄道用電力）として購入している。

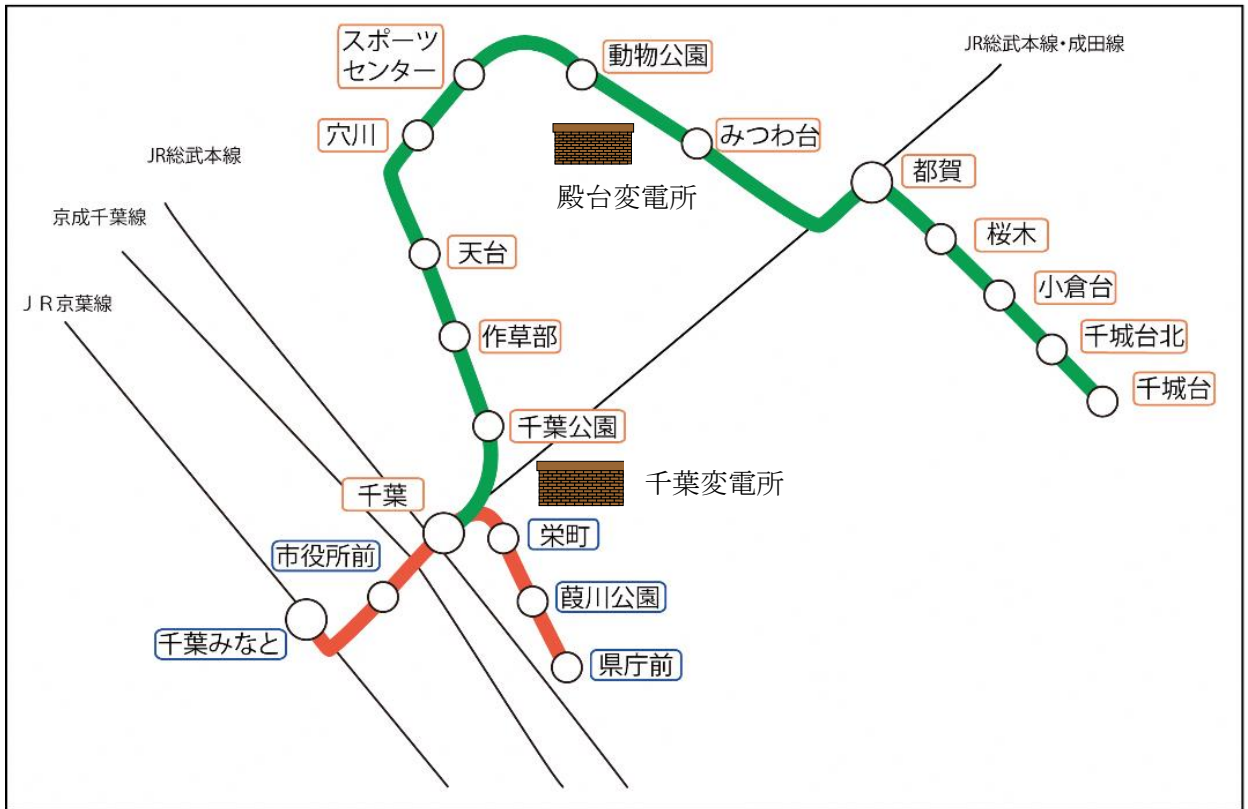


図 2-1 路線図

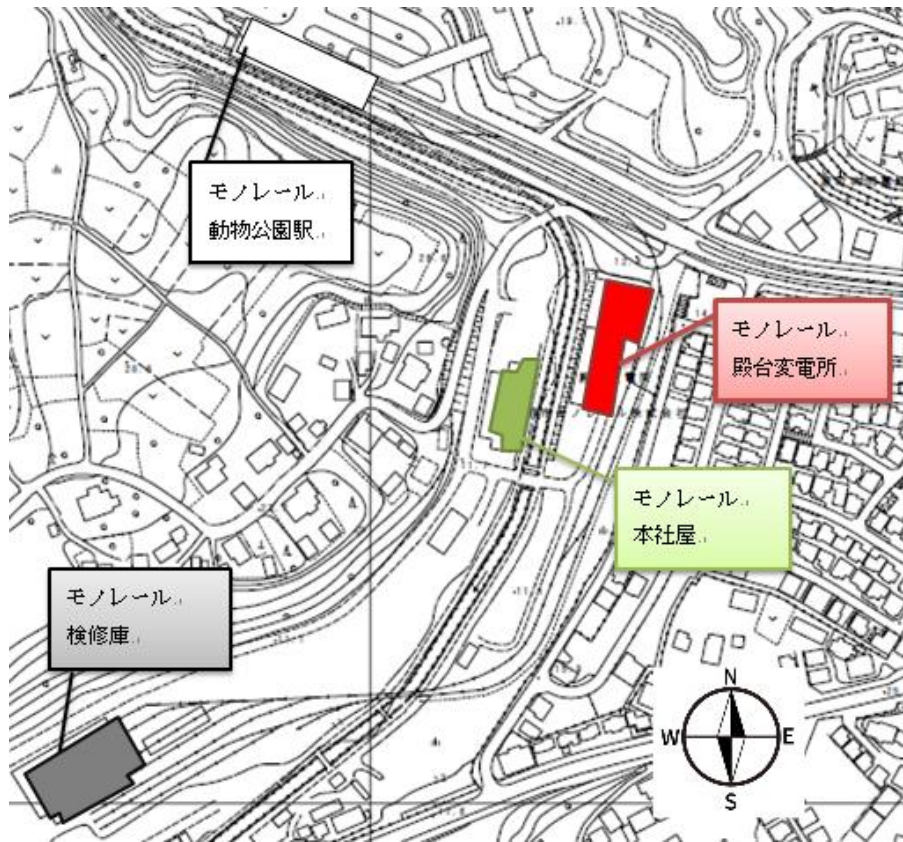


図 2-2 千葉都市モノレール株式会社本社、殿台変電所施設配置図

### 第3章 軌道輸送システムの継続的な省CO<sub>2</sub>化に向けた取り組み

千葉都市モノレール株式会社における近年の省CO<sub>2</sub>化の取組として、回生車両の導入、駅照明のLED化、駅舎内の空調設備更新等を実施した（表 3-1 参照）。

今後の取組として、計画的に回生車両、駅照明のLED化、空調設備の更新を進めるとともに、殿台変電所更新に伴う施設のコンパクト化や、電車減速時に発生する回生電力を貯蔵することができる回生電力貯蔵装置の導入を図ることで、継続的な省CO<sub>2</sub>化に資することとした（表 3-2 参照）。

**表 3-1 近年実施した主要なモノレール施設における省CO<sub>2</sub>化に向けた取組み**

実施年度	取組内容
2012	回生車両の導入（3編成）、老朽化した非回生車両の廃車（3編成）、駅舎内の空調設備更新
2013	回生車両の導入（1編成）、老朽化した非回生車両の廃車（3編成）、駅舎内の空調設備更新
以降毎年	駅舎内の空調設備更新
2016	駅舎照明のLED化（1駅）、駅舎内の空調設備更新
2017	駅舎照明のLED化（1駅）、駅舎内の空調設備更新(4駅)
2018	駅舎照明のLED化（3駅）、駅舎内の空調設備更新(3駅)

**表 3-2 今後実施予定のモノレール施設における省CO<sub>2</sub>化に向けた取組み**

実施年度	取組内容
2019	回生車両の導入（2編成）、老朽化した非回生車両の廃車（2編成） 殿台変電所更新、空調設備更新(7駅)
2020	回生車両の導入（2編成）、老朽化した非回生車両の廃車（2編成） 殿台変電所更新 駅舎照明 LED 化(3駅)、空調設備更新(2駅+1変電所)
2021	電力貯蔵装置設置・稼働開始、殿台変電所更新 駅舎照明 LED 化(3駅)、空調設備更新(1駅)
2022	回生車両の導入（2編成）、老朽化した非回生車両の廃車（2編成） 殿台変電所更新完了 駅舎照明 LED 化(2駅)、空調設備更新(1駅)
2023	駅舎照明 LED 化(2駅)、空調設備更新(3駅)
2024	駅舎照明 LED 化(3駅)、空調設備更新(3駅)

## 第4章 回生電力の有効活用に向けた設備の導入プロセス

### 4-1 設備を導入する路線又は区間全体の回生電力の有効活用に関する状況・背景

#### (ア) 回生車両の導入計画

千葉都市モノレール株式会社では、既存（非回生）車両の運用実績を踏まえて車両の耐用年数を30年と設定していることから、新造（回生）車両の導入にあたっては、千葉都市モノレール株式会社の長期経常収支計画を踏まえ、図4-1のとおり計画的に実施することとしている。

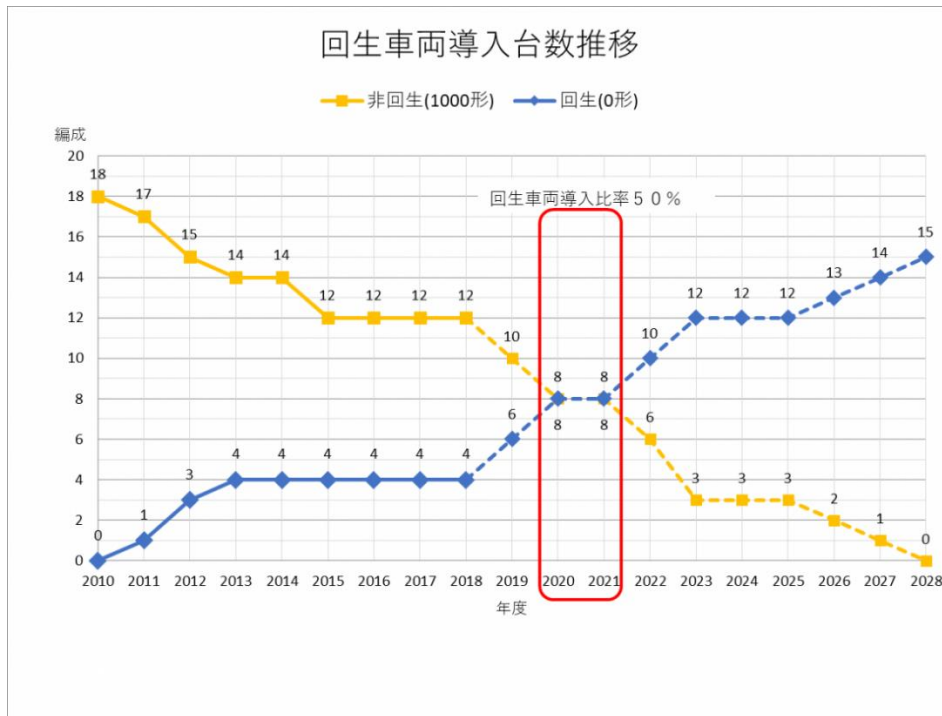


図 4-1 回生車両導入台数

#### (イ) 列車運行上の条件

列車距離、曲線半径、線路勾配等を考慮して運行速度を定め、これを基にして効率的な運行ダイヤを定めており、最高速度については65km/hとしている。ラッシュ時は6分間隔、閑散時は12分間隔で運行している。また、き電方式として直流1,500Vの上り線、下り線の別々のき電方式を採用している。

運行エリアについては、千葉市の海辺から中心市街地や史跡、動物公園などの観光地を經由して緑豊かな住宅地を結んでおり、市中心部へのアクセスの強化、中心部と臨海部、内陸団地などとの有機的結合ならびに JR 千葉駅に集中している交通の流れを分散させるなどの目的をもって建設された路線である。

#### (ウ) 回生電力貯蔵装置の導入効果

各回生車両割合における回生ブレーキにより発生する最大発電量と活用可能な回生電力量の推移についてシミュレーションした結果、図4-2に示すとおり回生電力貯蔵装置を導入しない場合、回生絞り込みにより約20%の回生電力が有効活用できない状況となる。

しかしながら、回生電力貯蔵装置を導入した場合、活用可能な回生電力量と最大発電量がほぼ一致することから、回生電力貯蔵装置が回生電力の有効活用に資するものと判断した。

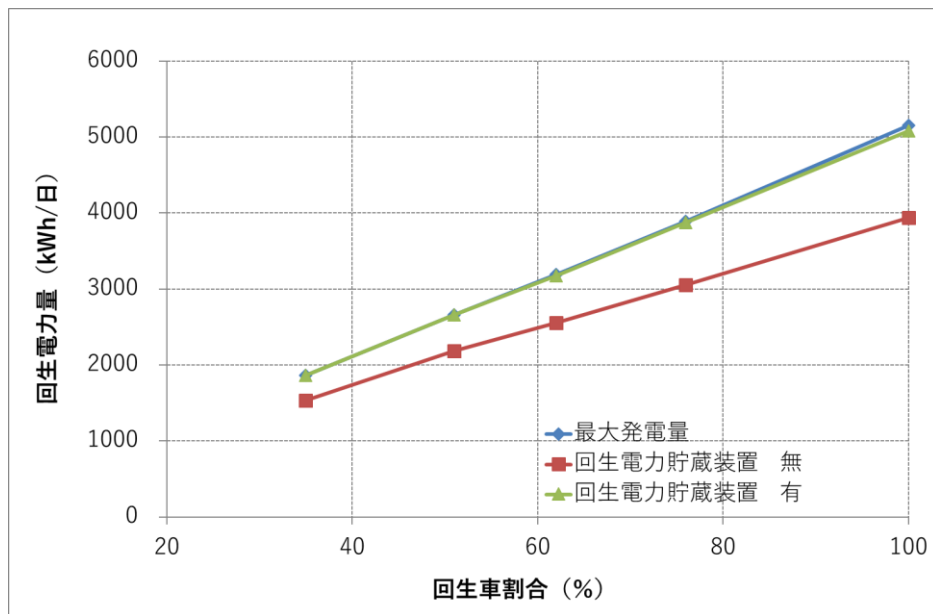


図 4-2 各回生車両割合における最大発電量と活用可能な回生電力量の推移

#### (工) 回生電力貯蔵装置の導入時期

回生電力貯蔵装置を導入後、各回生車両割合における消費電力量の削減量の推移についてシミュレーション<sup>※1</sup>した結果を図 4-3 に示す。回生車両割合が 50% を超えてくると消費電力の削減量が増加していることから、回生電力貯蔵装置の導入にあたっては、全車両 16 編成のうち、回生車両導入が過半数を超える 2021 (令和 3) 年とした。

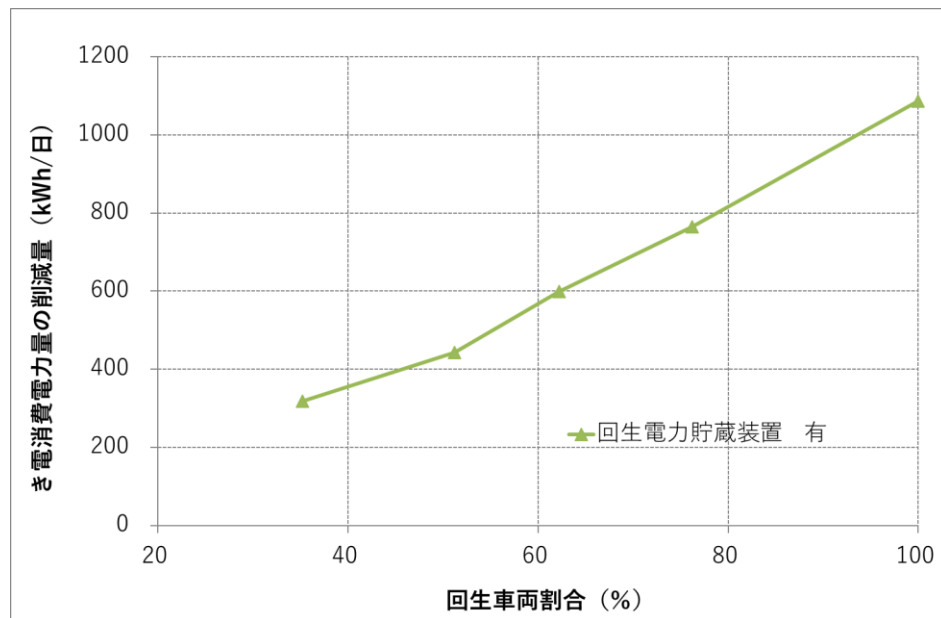


図 4-3 各回生車両割合における消費電力量の削減量の推移

※1 殿台変電所に回生電力貯蔵装置を設置したと仮定して、平日ラッシュ時間帯および閑散時間帯の 1 時間当たりの夏・冬および春・秋のき電消費電力の削減量を算出した後、1 日平均のき電消費電力の削減量を算出した。



#### (オ) 回生電力貯蔵装置の導入場所

電力貯蔵装置を導入する場合の候補地は、電源の入手性、設置場所の確保、保安性等を考慮したところ、変電所内が有力と判断し、殿台変電所、または千葉変電所に絞って設置場所を検討した。

殿台変電所へ導入した場合と千葉変電所に導入した場合のき電消費電力の削減量をシミュレーションした結果、削減量がほぼ同量となった。

ただし、回生電力貯蔵装置のオプション機能である非常走行を行う場合、回生電力貯蔵装置を路線の中央付近に設置することにより効率が高まることから、路線の中央に位置する殿台変電所への導入を決定した。

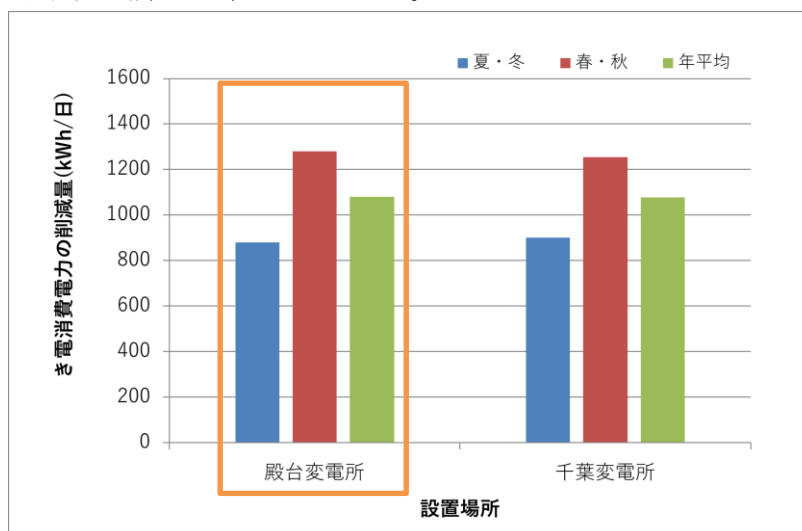


図 4-4 回生電力貯蔵装置導入場所の比較

#### (カ) 回生電力貯蔵装置の出力及び蓄電池容量

現状、回生車両は少ないが将来的に回生車両100%の導入となるため、回生車100%時に最適（費用対効果の高い）な容量を検討した。

導入する回生電力貯蔵装置には、出力1000kWと2000kWの候補が、蓄電池容量には、2バンクと4バンクと8バンクの候補があり、各組合せにおいてき電消費電力の削減量をシミュレーションした。その結果、出力1000kW・蓄電池容量2バンク以外の条件では、削減量がほぼ同量となったことから、費用対効果を考慮して出力1000kW・蓄電池容量4バンクのシステムで決定した。

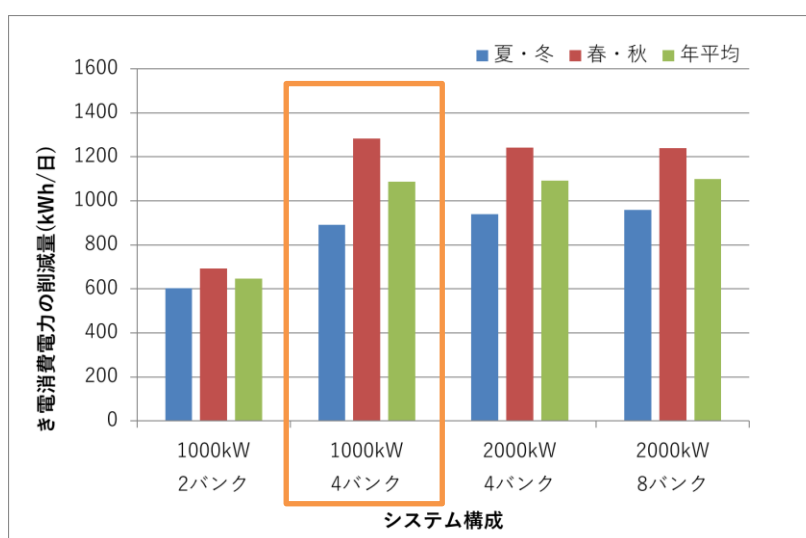


図 4-5 回生電力貯蔵装置の出力及び蓄電池容量のシミュレーション結果

## 4-2 設備導入に際し解決した課題と期待される相乗効果

殿台変電所建物、殿台変電所内装置設置イメージ、システム構成を図 4-6～図 4-8 に示す。通常時は、回生電力貯蔵装置が自動で充放電を行うことにより、回生電力を有効活用する。

- (ア) 負荷（車両）側に対して行った工夫  
回生車両の導入により有効活用できる回生電力の増加を図るとともに、車両へ省エネ設備（V V V F、LED照明など）の導入により、消費電力の低減を図った。
- (イ) 設備費用の投資回収に関する考え方  
設備導入による自己負担額をランニングコスト減少額で除することにより投資回収年数を算出する。  
回生電力貯蔵装置導入により殿台変電所にかかる電気料金の約9%の削減が期待でき、保守費用を除くと約6%のランニングコスト削減が期待できる。これにより、補助対象経費に係る自己負担額が約25年で回収できる試算となる。
- (ウ) 他変電設備等との設計に関する考え方  
回生電力貯蔵装置は変電所内き電系設備の一部であるため、他の変電設備や電力指令との関係性が非常に高い。常時、変電設備と回生電力貯蔵装置間で大電流の充放電を繰り返すこと、相互に協調を取りながら補完して稼働していることから、既存変電設備等の設計変更が必要となるため、変電設備等メーカーと協議しながらシステムの再構築を行う。
- (エ) 装置設置場所の確保等の技術的な課題  
回生電力貯蔵装置を設置するにあたっては、新たに建築面積を発生させないよう、図 4-9、図 4-10 に示すとおり設備のスリム化及びコンパクト化を図ることにより、既存施設内に回生電力貯蔵装置の設置スペースを確保することが可能となった。



図 4-6 殿台変電所全景



図 4-7 回生電力貯蔵装置設置イメージ

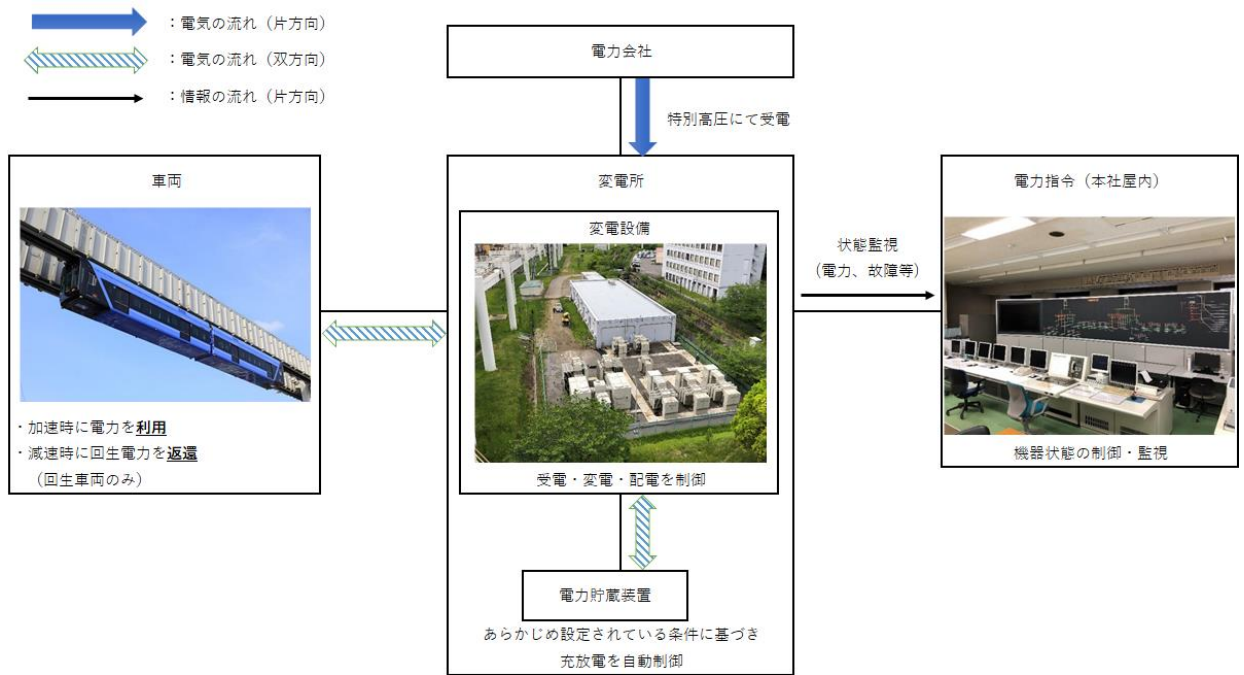


図 4-8 システム構成 (通常時)

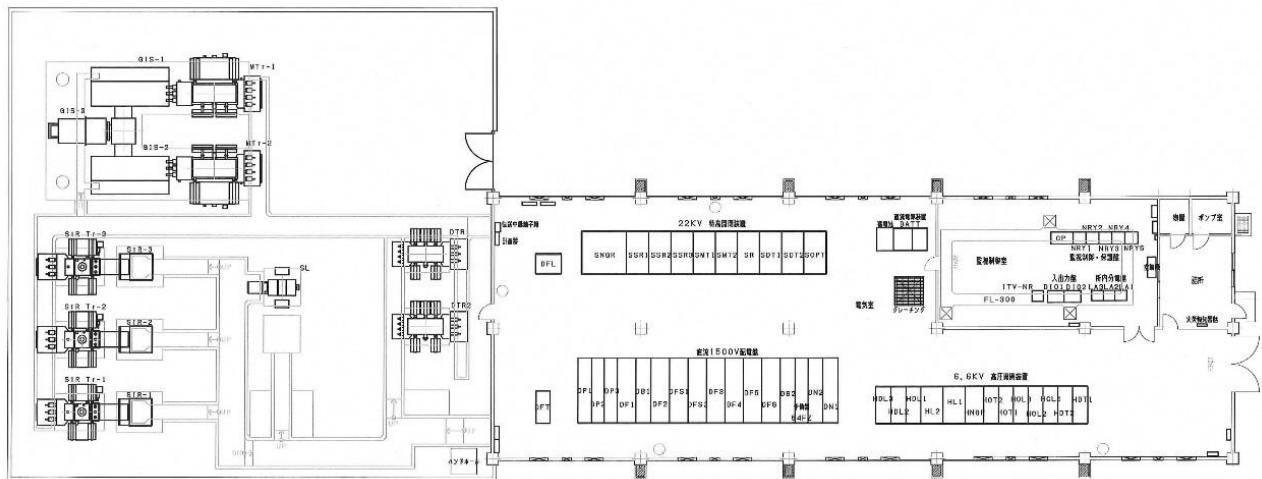


図 4-9 建屋内旧配置図

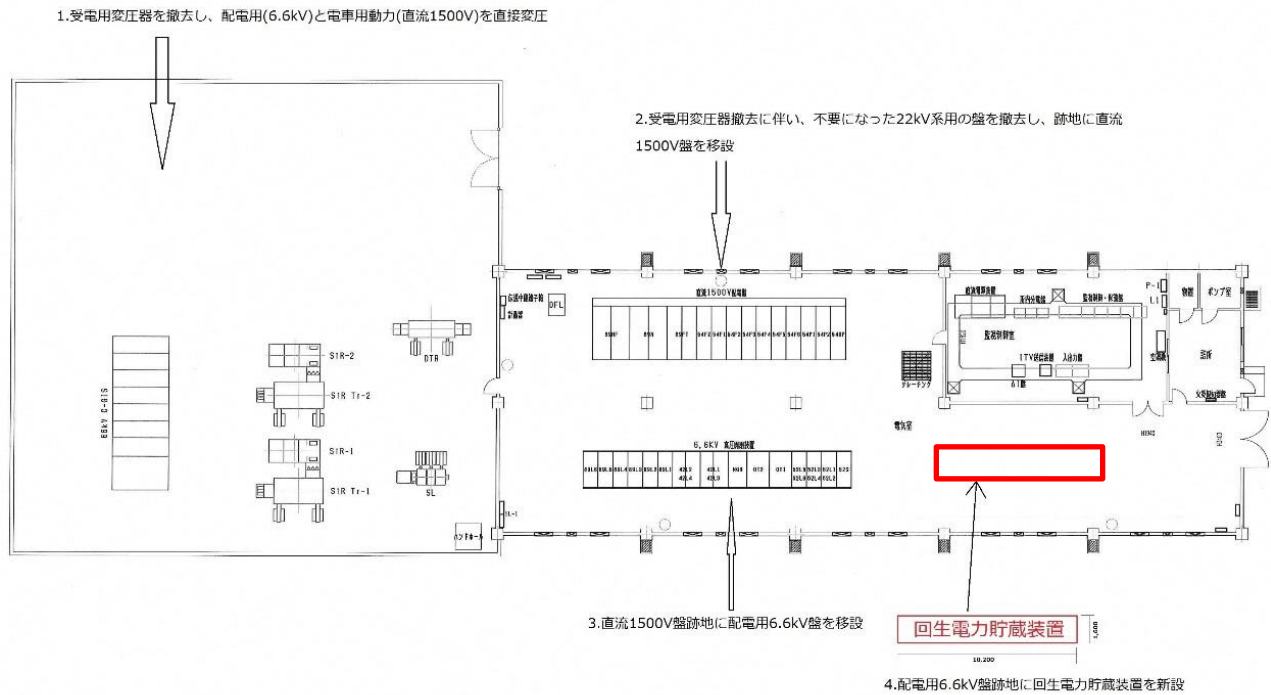


図 4-10 建屋内新配置図

(オ) 商業用電力の停電時における旅客避難

商業用電力の停電等により駅間で停車してしまった場合、図4-11に示すように脱出シュートを滑り降りることで旅客を救出することとしているが、降車に恐怖を感じる人もいれば、河川・線路・高速道路上など脱出シュートを使用できないエリアも複数存在する。

回生電力貯蔵装置の導入により、車両が停止した場合等の非常時においても、車両を走行するための電力供給が可能となることから、最寄駅まで車両を安全に走行させることが可能となる。非常時における緊急輸送の流れを図4-12に示す。

第4章4-1(カ)にて、発生する回生電力を最小のコストで最大の効果がえられるように回生電力貯蔵装置の出力を1000kWと決定している。

非常走行時に2両1編成のモノレール車両を上記出力で同時に移動させることが可能な編成数について検討したところ、1編成のみであった。

そのため、非常走行時において駅から離れている車両は、安全が確認できた車両から1編成ずつ順番に最寄り駅等へ移動させることとした。

なお、非常走行用蓄電池は、ピーク時間帯で運用している13編成が最長駅間であるみつわ台駅～都賀駅の駅間距離の半分(750m)を15km/hで走行できるよう容量選定している。



図 4-11 車両停止時の避難方法

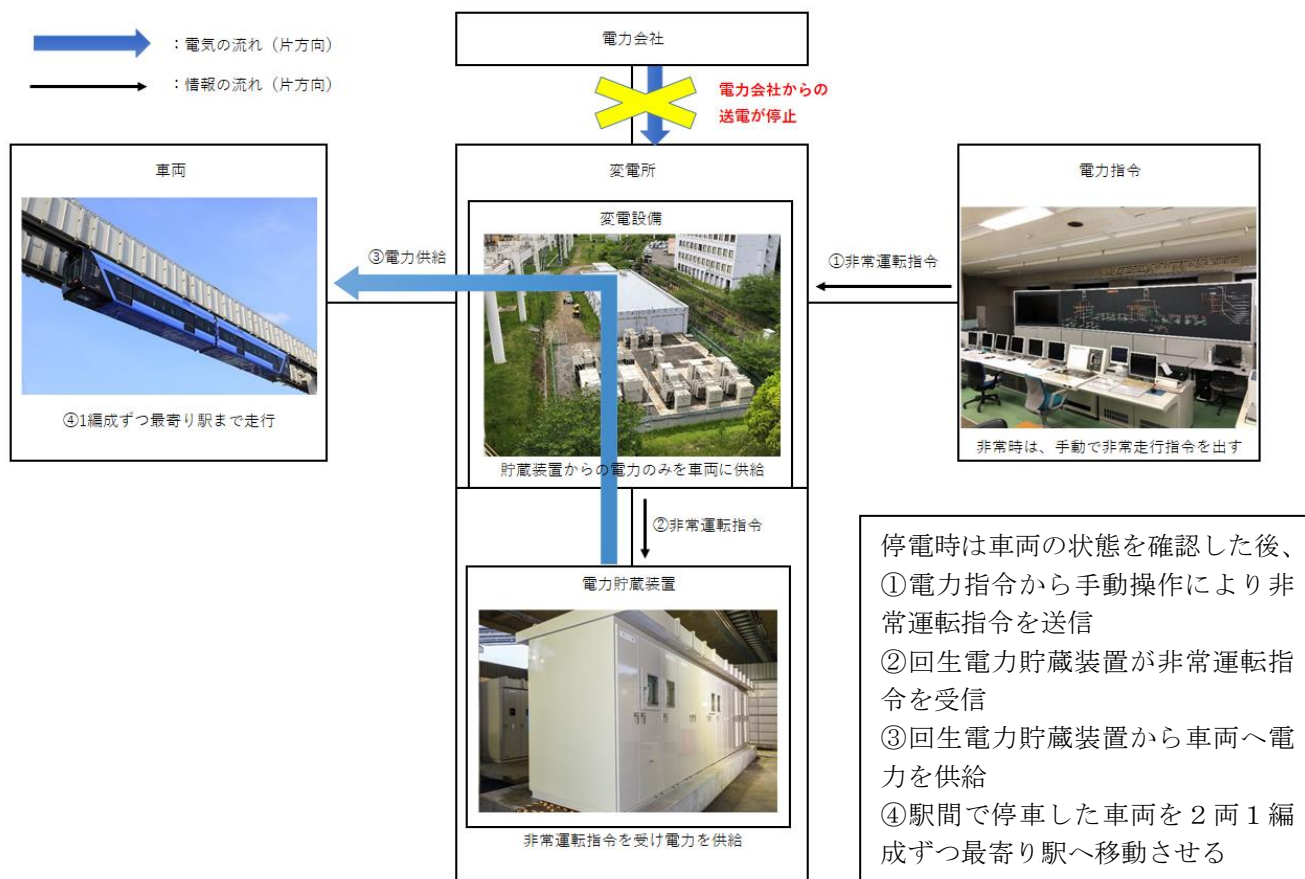


図 4-12 システム構成（非常時）

#### (カ) モノレール沿線地域における防災・減災への寄与

懸垂型モノレールは、駆動部等の主要構造物が軌道桁内に設置されていることから、そもそも強靱なインフラ施設であること、また、風雪等気象災害に強いという特徴があり、近年の豪雨災害等において鉄道、バス等の公共交通が運行停止または大幅にダイヤが乱れるなか、千葉都市モノレールのみが運行を継続していた実績がある。

回生電力貯蔵装置のさらなる活用策として、例えば軌道桁を自営線として活用し、災害等による大規模停電発生時に回生電力貯蔵装置から沿線施設である避難場所へ電力供給することなどが考えられる。モノレール施設の設備更新の際にあわせて、省CO<sub>2</sub>化を進めることにより、将来的に防災・減災へも寄与するモノレール沿線のまちづくりにつなげていきたい。

### 4-3 導入設備及び導入に向けた検討と整備に要する期間

#### (ア) 導入設備の概要・機器構成

導入する回生電力貯蔵装置はコンバータ盤、入力盤、出力盤、回生吸収蓄電池盤、回生吸収蓄電池開閉器盤、非常走行蓄電池盤、非常走行蓄電池開閉器盤、蓄電池切替盤で構成されている。各機器の特徴を表 4-1、システム概要を図 4-13 に示す。

表 4-1 機器構成及び特徴

機器名	特徴
コンバータ盤	入力盤及び出力盤を通してき電系統と蓄電池の間に接続し、き電系統側と蓄電池側の監視とき電電圧に応じて充放電を行う装置。変換装置とコンデンサと監視装置で構成されている。
入力盤	き電系統とコンバータ盤を接続する装置。直流遮断器と断路器とリアクトルで構成され、異常時にき電系統と装置を切り離す機能を有している。
出力盤	コンバータ盤と蓄電池切替盤を接続する装置。断路器とコンデンサとリアクトルで構成されている。
回生吸収蓄電池盤	回生電力吸収に適した高出力タイプのリチウム2次電池を収納した蓄電池盤。1面に52モジュール格納し全2面構成となっている。(合計電池容量：74.88kWh)
回生吸収蓄電池開閉器盤	蓄電池切替盤と回生吸収蓄電池盤の間に接続し、蓄電池の監視ならびに異常時に装置と蓄電池の切り離しを行う装置。蓄電池監視装置、電力ヒューズ、直流遮断器で構成されている。
非常走行蓄電池盤	非常走行に適した大容量タイプのリチウム2次電池を収納した蓄電池盤。1面にリチウム2次電池を64モジュール格納し全1面構成となっている。(合計電池容量：141.52kWh)
非常走行蓄電池開閉器盤	蓄電池切替盤と非常走行蓄電池盤の間に接続し、蓄電池の監視ならびに異常時に装置と蓄電池の切り離しを行う装置。蓄電池監視装置、電力ヒューズ、直流遮断器で構成されている。
蓄電池切替盤	各蓄電池開閉器盤と出力盤の間に接続し、用途に応じて蓄電池を切り替える装置。直流電磁接触器で構成されている。

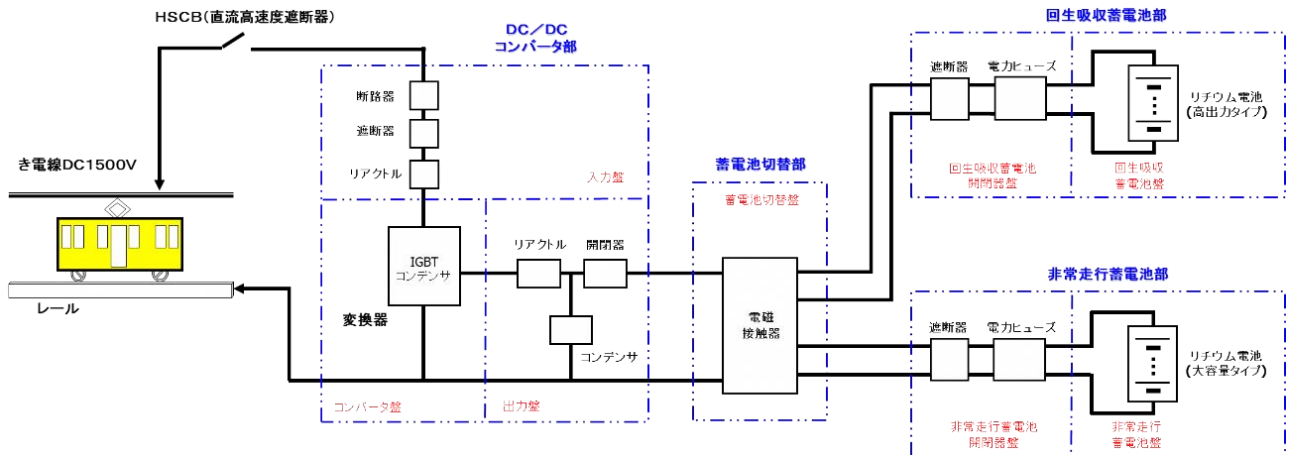


図 4-13 回生電力貯蔵装置のシステム概要

(イ) 検討の内容と検討期間及び整備期間

整備期間は3か年を予定しており、初年度に機器設計業務、次年度に機器の製作及び運輸局へ認可申請手続きを行い、最終年度に機器の据え付け及び機器の調整作業を行いその後、運輸局による検査完了を持って2021(令和3)年に竣工予定である。

## 第5章 二酸化炭素排出量削減の効果と目標

### 5-1 事業実施後の電力使用量削減及び二酸化炭素排出削減の効果、き電原単位の変化

殿台変電所に回生電力貯蔵装置を設置することにより、モノレール1号線、2号線を走行する車両の回生電力を他の車両の運転電力として再利用することで、電力の使用量及びき電(電車動力用)原単位<sup>※2</sup>の減少を図る。

### 5-2 二酸化炭素排出削減効果の評価対象

回生電力貯蔵装置設置前後で殿台変電所、千葉変電所の電力使用量から二酸化炭素排出削減効果の評価する。また、き電(電車動力用)原単位についてはモノレール区間の列車走行キロと使用量により算出する。評価対象区間は全区間とし、図 5-1 に示す。

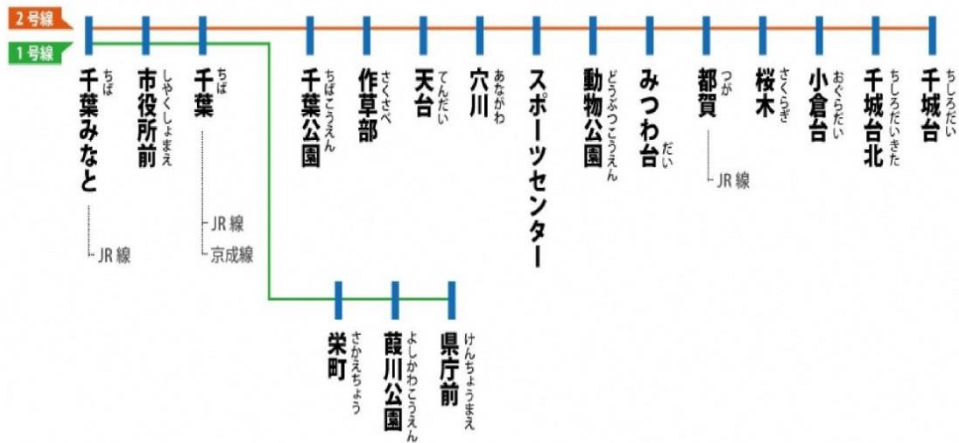


図 5-1 評価対象区間

### 5-3 事業実施前・後の電力使用量・二酸化炭素排出量、き電原単位等の実績及び予測

過去の殿台変電所、千葉変電所の電力使用量、二酸化炭素排出量及びモノレール区間の列車走行キロ、き電(電車動力用)原単位推移のグラフを図 5-2～図 5-5 に示す。

そのなかで未来予測については、運転曲線、車両特性、運転ダイヤ、変電所データ等の諸条件を用いたシミュレーションを行い、回生車両/回生電力貯蔵装置導入後の推移予測を同一グラフに加えた。

電力使用量、回生車両導入推移及び回生電力貯蔵装置導入を総合したグラフを図 5-6 に示す。

<sup>※2</sup> 原単位とは、車両1両が1km走行するのに消費する電力量のことである。

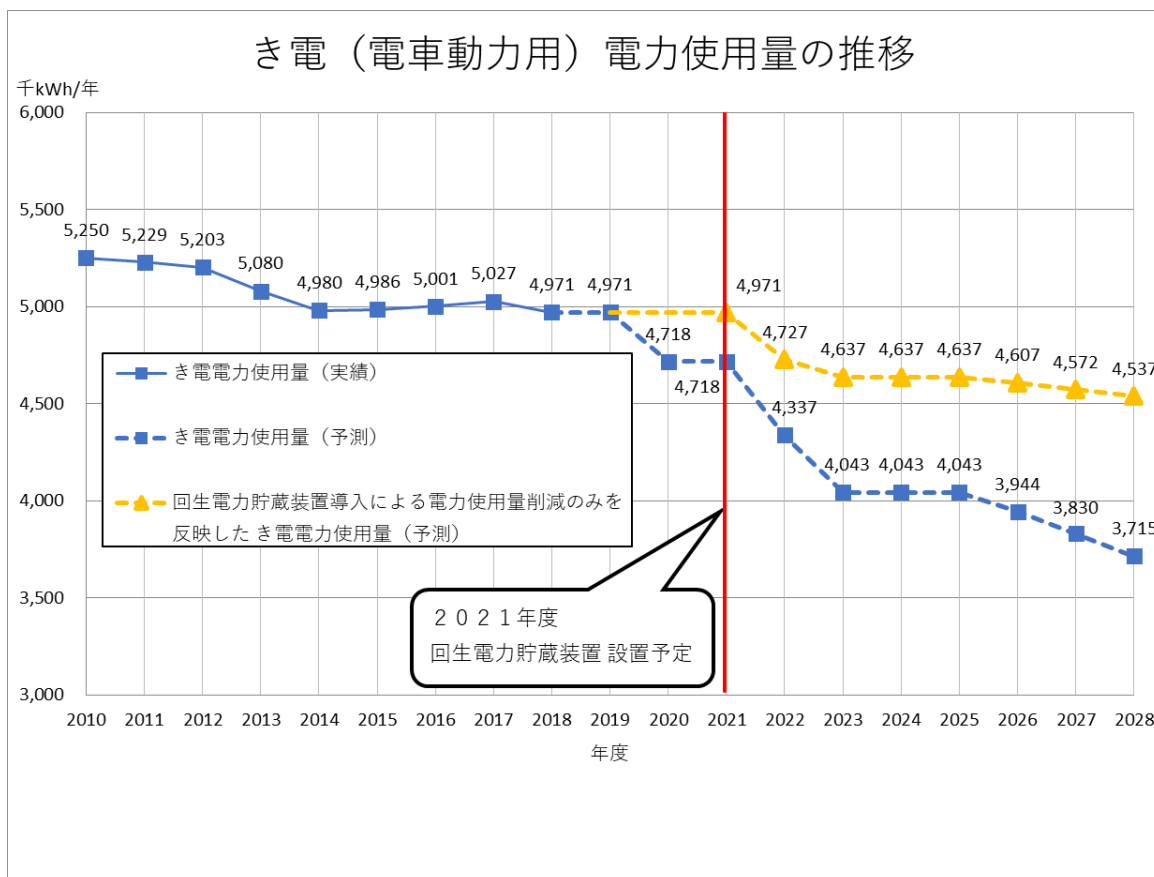


図 5-2 き電電力使用量の推移

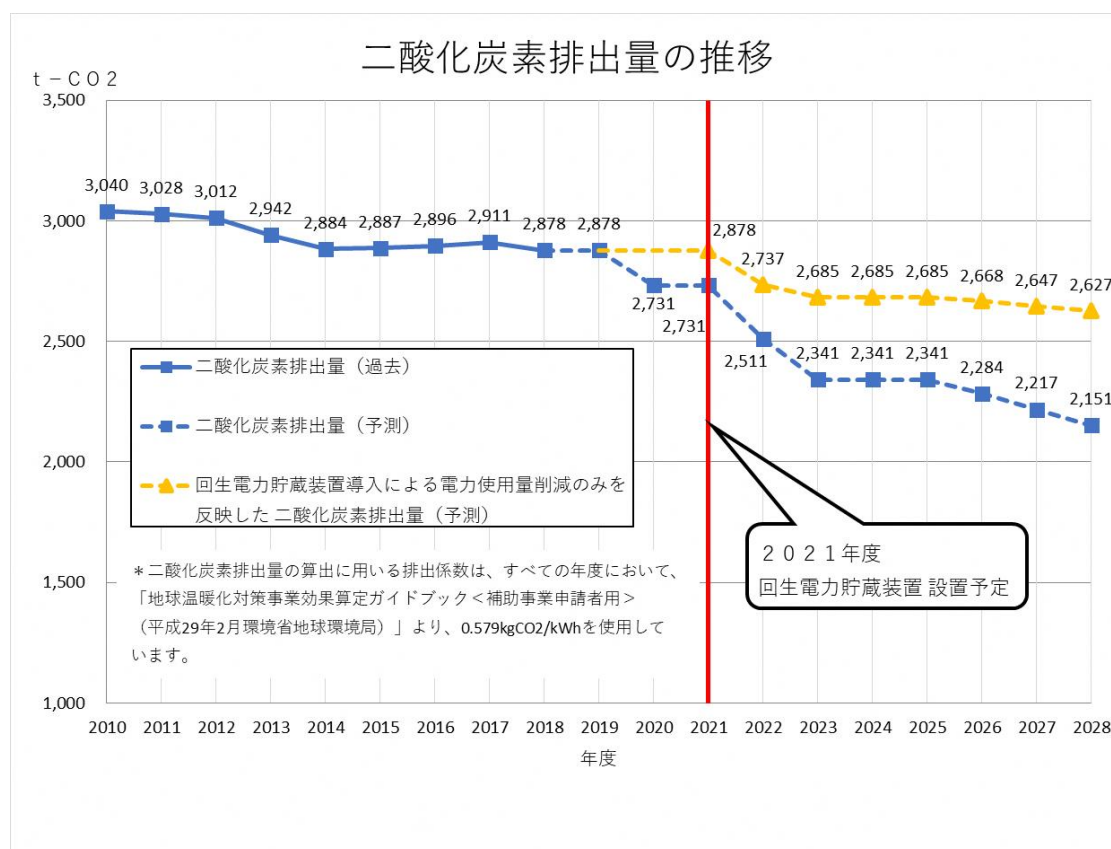


図 5-3 二酸化炭素排出量の推移



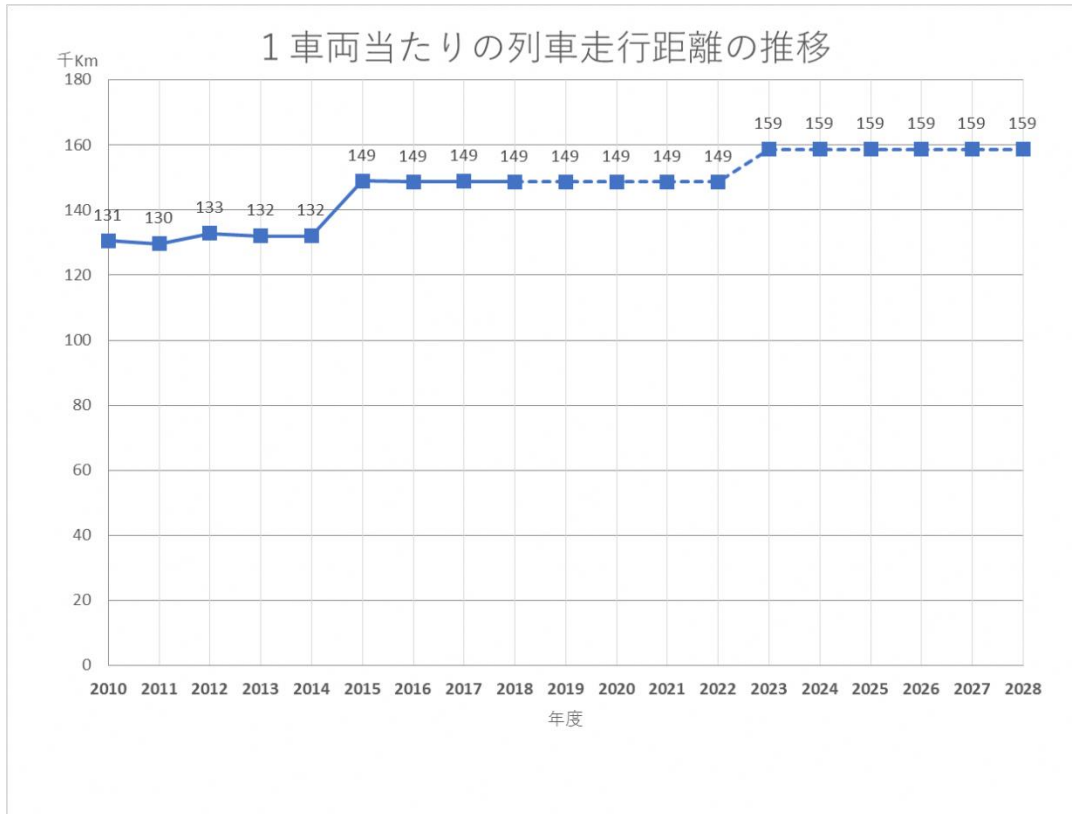


図 5-4 モノレール区間の列車走行距離の推移

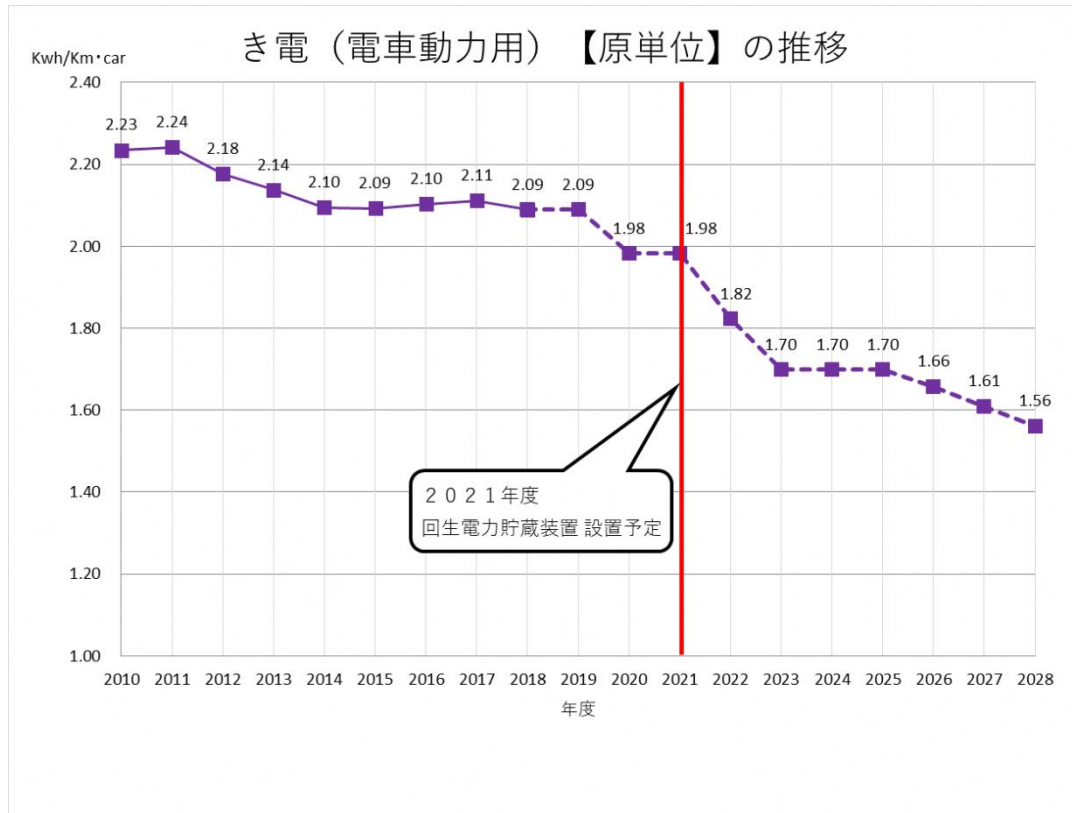


図 5-5 き電原単位の推移

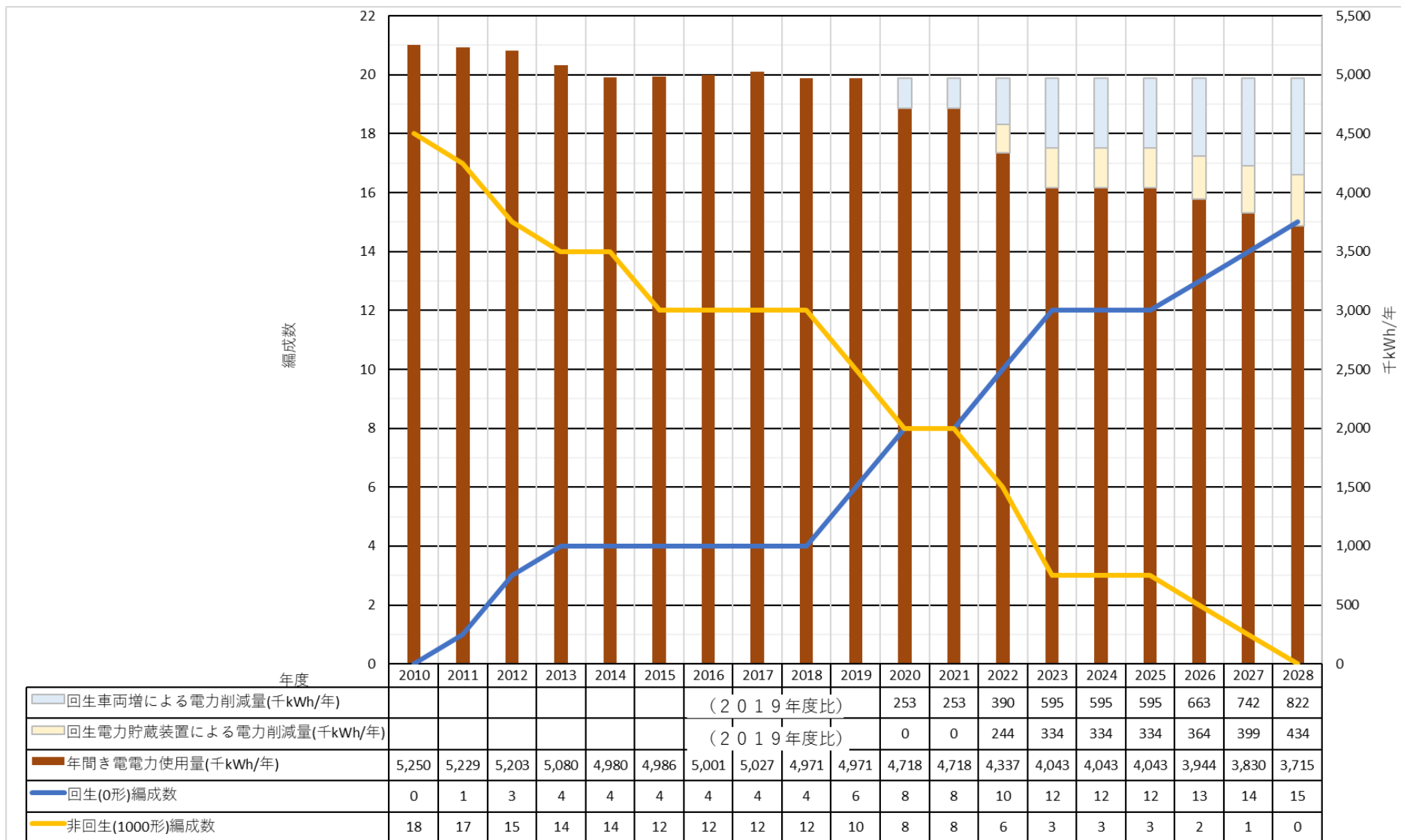


図 5-6 総合グラフ

## 5-4 電力使用量の削減目標

前項までの結果から、図 5-7 に示すとおり、回生電力貯蔵装置を含む今後の省エネ設備導入により削減される総電力量は約 1,707 千 kWh/年を想定しており、全使用電力の約 20% を削減目標とする。

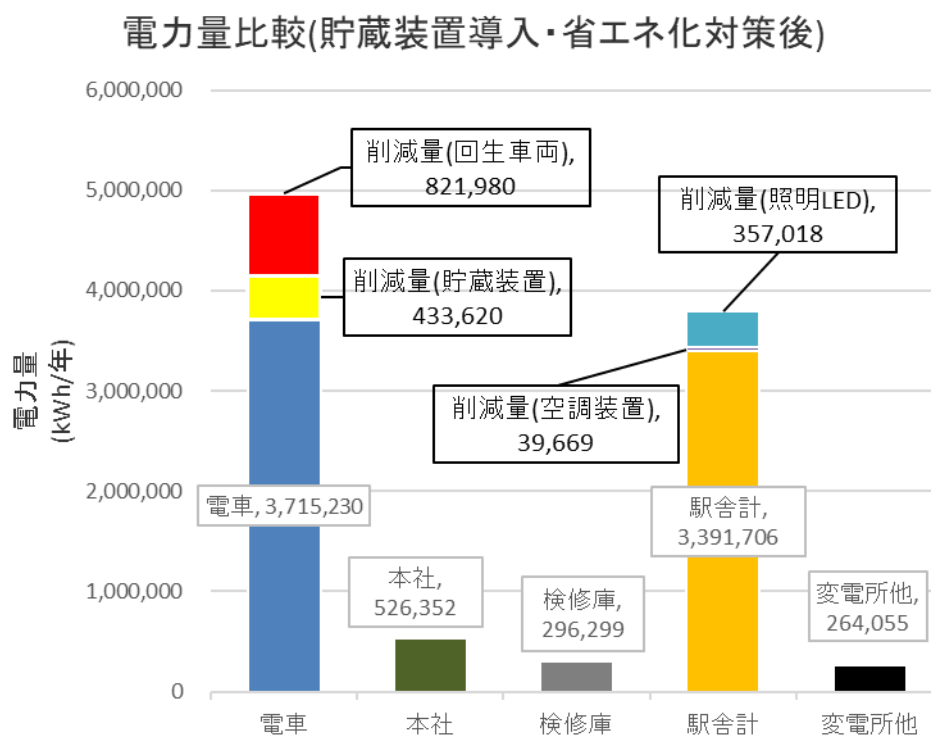
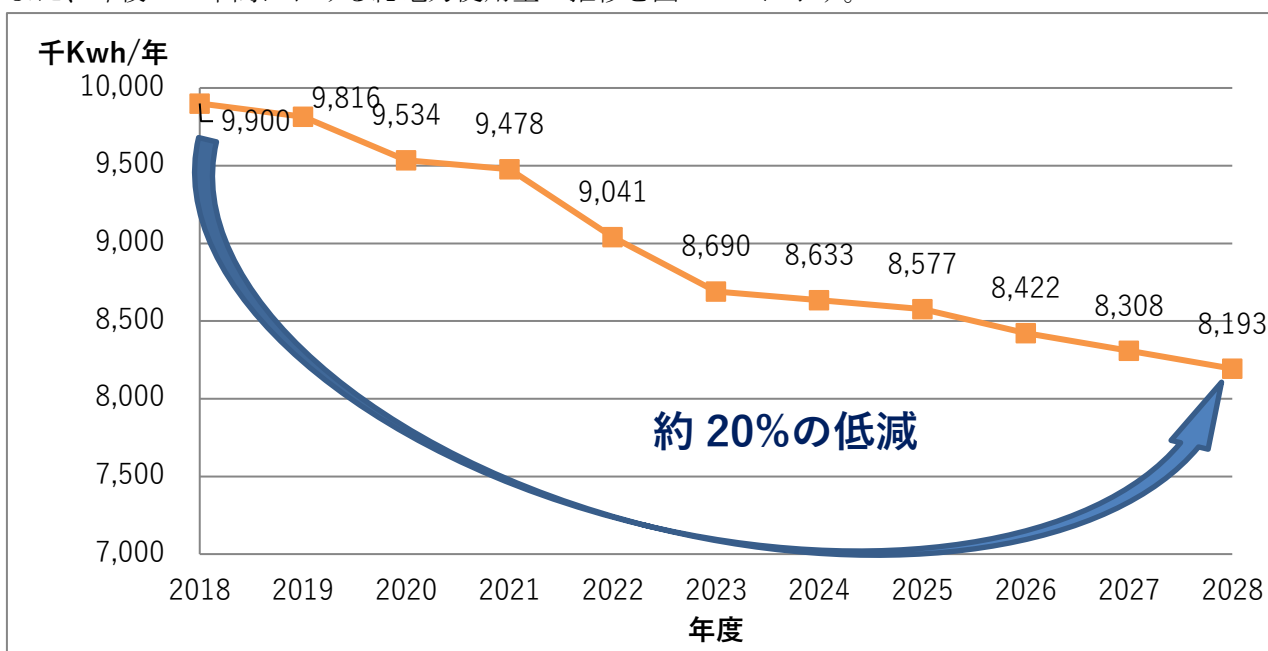


図 5-7 電車電力量における削減目標

また、今後 10 年間における総電力使用量の推移を図 5-8 に示す。



## 図 5-8 総電力使用量の推移

### 第6章 普及展開に向けた措置

#### 6-1 組織内でフィードバックする体制と頻度

千葉都市モノレール株式会社では、運輸部門及び技術部門全体の定例会議において、新車導入による回生車両側から見た効果と回生電力貯蔵装置導入による変電所側から見た効果を互いに融合させ、そのデータを基に効果検証を実施する。その検証結果から回生電力貯蔵装置の最適な充放電動作設定を見出すとともに、蓄電池の充電状態を適正に管理する。

#### 6-2 他の鉄軌道事業者への事業展開に資する措置

千葉市では、毎年開催されている都市モノレール等計画自治体協議会や広報誌等を通じて、回生電力貯蔵装置導入による効果について情報提供していく。

また、千葉都市モノレール株式会社では、毎年定例で参加しているモノレール技術者連絡会や、関東鉄道協議会等を通じて、同様に情報提供していく予定である。

#### 6-3 海外展開に資する措置

千葉都市モノレールと同型である懸垂型モノレールは、国内では当社と湘南モノレールの2社である。

特に当社の懸垂型モノレールは都市交通の代表格として、複線化による運行体制であること、世界最長の15.2キロという営業キロを誇り2001年にギネス世界記録として認定されている。

このようなことから、JICA独立行政法人国際協力機構等を通じて海外からの視察団も毎年度多数受け入れている。2015（平成27）～2019（令和元）年までの海外からの視察状況を表6-1に示す。

表 6-1 海外からの視察状況

No	視察年月日	視察団体名	国籍	視察人数
1	2015. 2. 26	メルスイン市	トルコ	16
2	2015. 8. 7	ノースバンクーバー市	カナダ	4
3		モントルー市	スイス	5
4	2015. 10. 23	JICA研修	ウガンダ、コートジボアール、ザンビア、タンザニア、ナイジェリア、ルワンダ、ペルー、ブラジル、タジキスタン、タイ、インドネシア、ミャンマー、スリランカ、ネパール、ラオス、中国	20
5	2016. 3. 22	渭南市	中国	8
6	2016. 6. 12	天津市	中国	12
7	2016. 8. 12	バンクーバー市	カナダ	13
8	2016. 11. 2	JICA研修	ウガンダ、コートジボアール、ザンビア、タンザニア、ナイジェリア、ルワンダ、ミャンマー、スリランカ、ネパール、エジプト、エチオピア、ガーナ、カンボジア、チュニジア、パキスタン、バングラデッシュ、リベリア、インドネシア	20
9	2016. 12. 7	ソウルメトロ	韓国	21
10	2016. 12. 16	浙江巨馬遊芝机有限公司	中国	6
11	2017. 1. 10	韓国交通大学	韓国	25
12	2017. 7. 4	長春市客車	中国	9
13	2017. 7. 25	千葉大学留学生	中国	44
14	2017. 8. 7	モントルー市	スイス	6
15	2017. 8. 30	中国中鉄工程設計院公司	中国	6
16	2017. 11. 7	ケソン市	フィリピン	2
17	2017. 12. 19	蘇州市	中国	5
18	2017. 12. 24	千葉県観光ツアー	タイ	6
19	2018. 4. 17	浙江省	中国	7
20	2018. 6. 13	ヒューストン市	アメリカ	7
21	2018. 6. 15	タイ運輸省	タイ	15
22	2018. 8. 24	リベリア	リベリア	2
23	2018. 10. 10	桃園市	台湾	8
24	2018. 10. 17	浙江省交通投資団	中国	8
25	2018. 12. 20	国際モノレール協会	アメリカ	2
26	2019. 1. 22	学生ツアー	タイ	5
27	2019. 3. 12	ヒューストン市	アメリカ	24
28	2019. 7. 29	モントルー市	スイス	14
29	2019. 8. 15	ノースバンクーバー市	カナダ	15
30	2019. 11. 26	国際モノレール協会	「MONORAILEX 2019」参加者 (14か国)	28
31	2019. 12. 3	武漢市湖北建設局	中国	6
			合計	369

これら視察への対応を通じ、国際的な課題である脱炭素化や地球温暖化防止対策についての普及啓発や公共交通を用いた率先的な事例紹介に努めてまいりたい。