

# 長崎直流マイクログリッドの実現可能性

森田 均\*

## Feasibility of Nagasaki DC Microgrid

Hitoshi MORITA\*

\*長崎県立大学国際社会学部

**概要** この論文では、地域発 ITS モデルとして提唱した「STING (integrated Service of Transport, Information Network and Grid)」は運輸、情報通信、エネルギーの3要素が協調して再生可能エネルギーとの親和性が高い街の直流マイクログリッドとして分散型エネルギーインフラの機能を有すること、加えてその機能が地域公共交通に新たな事業の可能性をもたらすことを明らかにしたこれまでの論考[森田 21][森田 22]を踏襲して、理論的考察から実践へと移行する段階として大学と自治体、企業が協働するプロジェクトの実施状況と展望について報告する。

**キーワード** : 分散型エネルギーインフラ, 路面電車, ITS(高度交通システム)

## 1. はじめに

2023年度にこれまでのITS研究を大きく拡大したグリーンインフラの社会実装にまで至る研究について、学術的な意義に加えて公立大学と地域社会の連携事業ともなる試みに着手した。研究として準備は、2021年度から既に始めていたが、自治体の事業として実施するために、行政的な手続きや議会承認など必要なプロセスを丁寧に経る必要があった。当初は戸惑いもあったが、こうした合意形成過程は、社会的な役割を果たすべき事業には必要であったと受け止めている。本論文では、プロジェクトの背景を社会的歴史的、研究の経緯から説明することでその意義を明らかにし、事業化可能性調査の概要を報告して実現可能性を展望する。

## 2. 交通インフラのビジネスモデル

### 2.1 軌道事業と電燈事業

収益が悪化した軌道鉄道事業の運営形態として「上下分離」という方策が取り入れられている。[黒崎 14]軌道鉄道事業者における経営戦略としては、本業の他に船舶やバス、タクシーの他、広告事業、宅地開発・貸家など不動産事業など様々な分野から収益化を図っている。第二次世界大戦以降国家管理となった電力事業は、今日では発電と送配電の分離によって新たな電力事業が興っている。国家管理以前は私企業による発電、小売りが常態であり、軌道鉄道事業者はインフラ維持と経営健全化のために電力事業を兼営する事例があった。以下に九州地方の類例をまとめる。

### 2.2 九州電気軌道

現在の北九州市にあたる地域において、2社が合同し1908

年に設立されたのが九州電気軌道株式会社であった。当時の経済状況は、日露戦争直後の恐慌にあたり軌道事業の健全化を図るために翌1909年には定款変更により電燈事業を兼営することとなった。同社は工事の遅れにより路面電車の運行よりも電力小売り事業が先だって開始され、これが長年にわたり会社の収益を支えることとなった。同社の電燈・電力部門は最終的に売上高の66%を占めていたが1939年に九州水力発電へ売却され、やがて電力国家管理へと至る。なお、九州電気軌道は1942年に他数社と合併して現在の西日本鉄道となった。[九州電力 07][奈良崎 02]

### 2.3 長崎電気軌道

長崎電気軌道株式会社が内務大臣より軌道敷設の特許状を得たのは1912年7月、逓信大臣より電気事業経営許可を得たのは1912年8月で、明治と大正の改元にあたった。同社も軌道事業の他に自前の発電所を有して、電力小売りや電気器具の販売を目論んでいた。営業運転の開始は1915年11月16日であったが、それに先立つ1914年に長崎電気ガス株式会社と電力購入契約を締結している。つまり、長崎電気軌道株式会社においては、軌道事業と電燈・電力事業の兼営は実現することなく今日に至っている。[長崎電気軌道 67][長崎電気軌道 15]

## 3. 長崎トラム直流(DC)マイクログリッド

### 3.1 統合型インフラモデル

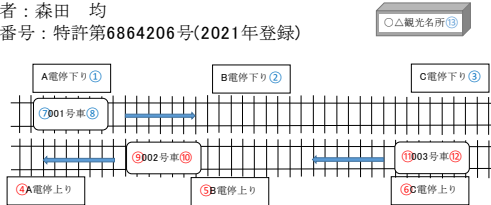
長崎電気軌道におけるITS(高度交通システム)サービスの実践としての「ドコネ」(低床車両位置情報提供サービス)を開発し発展させる中で確立させたのが路面電車を運輸・情報通信・エネルギーの統合型インフラと位置付ける

STING である。つまり、交通システムの3要素を強調したもので、これまで実践できた ITS 分野の研究は、運輸機能と情報通信機能を組み合わせて高度化するものだった。このモデルは、長崎市の路面電車利用者が移動にお手伝いを必要とする方々を支援するためのシステムという ITS(高度交通システム)分野から始まった。長崎電気軌道、長崎県立大学による ITS サービス「ドコネ」は、公共交通を情報通信によって高度化して、移動の安心安全に寄与することを目指している。(図 1)このサービスの中心にある特許(図 2)もビーコンの識別手法を工夫することによって運転者のナビのみならず歩行者・利用者の道案内にも役立つものとした。



図 1. 「ドコネ」の Web 画面

発明の名称：ナビゲーションシステム、経路案内装置、ナビゲーション方法、及びナビゲーションプログラム  
 出願人/権利者：長崎県立大学法人  
 発明者：森田 均  
 特許番号：特許第6864206号(2021年登録)



ビーコン等の順序性によるナビゲーションを考案

図 2. 基礎となった特許の概要



図 3. STING 構想の説明図

上記の特許と並行して提唱したのが STING (integrated Service of Transport, Information Network & Grid)という名称の統合型インフラ構想である。(図 3) STING は運輸・情報通信・エネルギーの統合インフラであり、交通システムの3要素を強調したものである。これまで実践できた ITS 分野の研究は、運輸機能と情報通信機能を組み合わせて高度化するものであった。

### 3.2 分散型エネルギーインフラ

路面電車の架線網は、交通機関に電力を供給するものだが、(長崎の場合は) 直流 600V の送電網と考えることが可能だ。本構想は、公共交通のエネルギー供給機能に着目し、架線網に街の送電網(マイクログリッド)としての機能を付加することにより災害に対する強靱性を高めることを目的としている。

本構想は、既に長崎市による事業化可能性調査が実施された。総務省「分散型エネルギーインフラプロジェクト マスタープラン策定事業」[総務省 20]に「(仮称) 路面電車の架線網を活用した直流マイクログリッドによる長崎市レジリエンスリノベーション構想」マスタープラン策定事業」として令和 4 年度に長崎市が提案し採択されている。

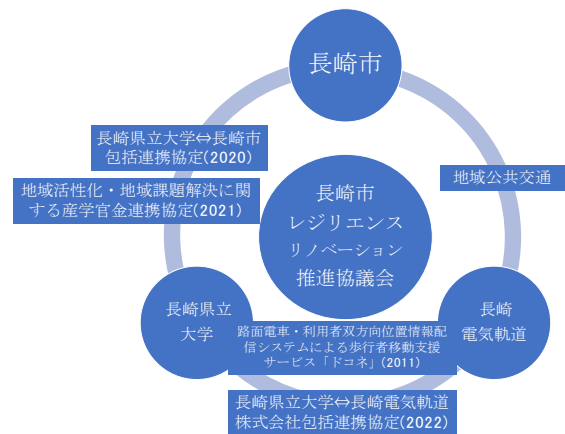


図 4. 長崎市レジリエンスリノベーション事業の推進体制

本事業は、図 4 に示した体制で平和観光都市である長崎市における分散型エネルギーインフラの機能を「リノベーション」と「レジリエンス」をキーワードとして平常時及び非常時の双方(フェーズフリー)で利用可能な機能を備えたシステムとする整備計画の策定、事業化可能性調査を行った。調査事業は、長崎県立大学が長崎市より受託した研究として実施した。公共交通のインフラ(路面電車の架線網)をまちのエネルギーインフラ(直流マイクログリッド)へ発展させ、既存のエネルギー活用計画の拡充と交通インフラの二次利用(リノベーション)によってまちづくりの総合的事業の構築を目指すものである。

現状での都市部/商業エリアでの電力機器(PC,エレベーター

タ、揚水ポンプ、照明)の内部は交流電力から変換された直流電力で駆動している。こうした背景から路面電車の架線網を街の直流マイクログリッドとする際の利点を列挙すると以下ようになる。

- ・ 再生可能エネルギーをそのまま送電できる
- ・ 地産(再エネ発電)地消(地域内消費)を実現させる
- ・ 洋上風車から街なかへの送電手段確保
- ・ 非常時に対するレジリエンスを高める
- ・ 非常用電力網としての活用
- ・ 交流網の復旧手段
- ・ 設置コスト低減
- ・ 既存の直流架線を活用する
- ・ 発電(回生電力)・送電・蓄電機能を備える
- ・ 新たな交通事業の形態を提案
- ・ 輸送用インフラを電力事業に活用できる
- ・ 地域公共交通の維持

一方で、自治体主体の計画であることから、総合計画等の上位計画と整合する必要がある。本事業では、表1に示す計画を参照しながら調査を実施した。

表1. 参照した長崎市の上位計画

	策定年次
長崎市中心市街地活性化基本計画(第2期) [長崎市 22c]	2022.3 変更
長崎市新庁舎建設実施設計説明書	2019.6
長崎市第五次総合計画[長崎市 22a]	2022.2
都市計画マスタープラン[長崎市 22d]及び 長崎市立地適正化計画[長崎市 20]	2016.12 改訂 2018.4
長崎市地球温暖化対策実行計画 [長崎市 22b]	2022.3 改訂
長崎市地域公共交通計画	2021.8
長崎市駐車場整備計画	2021.11 改訂
環長崎港夜間景観向上基本計画	2017.5
長崎市歴史風致維持向上計画	2022.3 変更認定
長崎市地域防災計画	2022.3
長崎市国土強靱化地域計画	2021.3

このように本事業は、まちづくりと協調するエネルギーインフラプロジェクトとして事業化可能性の検討を行った。また、再生可能エネルギーの「送電方法」を提案して地産地消を具体化する方策を示した。本事業の意義は、以下の通りである。既設直流架線である路面電車電力網を直流給電に利用することは、既存設備の改修(リノベーション)を基本とし地域インフラのライフサイクルコスト低減に資するものであり、電力事業への参入も視野に公共交通の維持へ貢献する。直流で運用されている路面電車送電線の空き容量を活用すれば、沿線の公共設備、集合住宅などエネルギー密

度の高い設備に直流電力を供給可能である。これは、平常時のエネルギーコスト削減、既存交流電力網の電力安定供給、災害時には交流電力網停電時の自治体機能、市民生活の維持を実現させる。

## 4. 長崎市レジリエンスリノベーション構想

### 4.1 事業化可能性調査の概要と目的

平和観光都市である長崎市における分散型エネルギーインフラの機能を「リノベーション」と「レジリエンス」をキーワードとして平常時及び非常時の双方(フェーズフリー)で利用可能な機能を備えたシステムとする整備計画の策定、事業化可能性調査を行った。

まず、公共交通のインフラ(路面電車の架線網)をまちのエネルギーインフラ(直流マイクログリッド)へ発展させ、既存のエネルギー活用計画の拡充と交通インフラの二次利用(リノベーション)によってまちづくりの総合的事業の構築を目指した。

また、作成したマスタープランに基づき、分散型エネルギーの実現を目指し、長崎市へのいち早く着実な導入が円滑に進めていけることで、長崎市民、長崎を訪れる来訪者のサステナブルな満足度と、万が一に起こりうる非常時のレジリエンスな都市機能を支えていくことを目指した。

### 4.2 調査対象地域

長崎電気軌道は、1914年に設立された、長崎市中心部で軌道業を営む交通事業者である。直流600Vで電化された営業キロ11.5km、運転系統5つの路線網を持ち、72両を保有し、1日に約31,000人が利用する長崎市の大動脈である。路面電車走行のための直流架線網は、4つの変電所から受電しており、年間で約6,000~7,000千kWhの電気を消費している。電気使用量は、路面電車の走行ピーク時間帯に合わせて変動している。

長崎電気軌道沿線は、西九州新幹線や長崎市役所新庁舎が開業し、今後も長崎駅周辺の再開発、新スタジアム建設など、中心部の開発が進展していく。移動需要やエネルギー需要の変化が想定される。長崎電気軌道沿線には、公共施設(駅、バスターミナル、官公庁、学校等)や商業施設等が立地し、多くの移動需要や電力需要がある。また、非常時は避難所として活用される施設も多数立地している。

「長崎市地球温暖化対策実行計画」の中で、2021(令和3)年に「ゼロカーボンシティ長崎」を宣言した長崎市は、これまで、市民、事業者、行政が一丸となって、「ながさきエコライフ、ながさきソーラーネットプロジェクト」、「ながさきサステナプロジェクト」など取組を進めている。

まちづくりや交通計画、環境や景観等、様々な施策・計画を把握整理し、エネルギーシステムとの関連・課題・ニーズ抽出に繋がる情報を把握した。(表1参照)

### 4.3 分散型エネルギーインフラマスタープラン

マスタープランのコンセプトは、以下のように設定した。「市民や来訪者がいつでも笑顔になる平和都市長崎に分散型エネルギーインフラを構築」

また、設定した目標は、以下の通りである。

- ・ エネルギーインフラの「リノベーション」と「レジリエンス」の達成
- ・ 平常時、非常時の電力の安定供給
- ・ エネルギーの地産地消、経済効率の向上、ライフサイクルコストの低減
- ・ CO2 排出を削減する脱炭素な都市エネルギーシステムの実現
- ・ 電力がツナグ、中心市街地の活性化、沿線の強靱化
- ・ 利便性、経済性、再エネ利用率を向上
- ・ 国際都市長崎の電力事業のショーケース

次に、分散型エネルギーインフラにおいて長崎市の公共交通に求める要件を表2のようにまとめた。

表2. 交通インフラ等に求める要件

モード等	要件
公共交通	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回生ブレーキ付バリアフリー車両への更新(長崎電気軌道)</li> <li>・ 路線バスや乗合タクシー車両のEV車両への更新</li> <li>・ 長崎電気軌道沿線の、起終点となりうる交通結節点や車庫などにおける充電設備の設置</li> </ul>
シェアリングサービス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電動パーソナルシェアモビリティの整備推進</li> <li>・ 交通結節点における充電設備の設置</li> </ul>
道路	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 道路の歩行環境や夜景の魅力向上に向けた道路照明灯の景観対応・高効率化(LED化)</li> </ul>
交通結節点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 交通結節点におけるレジリエンス機能の強化(蓄電池や再生可能エネルギーの発電設備設置、直流マイクログリッドへの接続)</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ MaaS データ基盤の整備による、移動需要のモニタリング・エネルギーマネジメントへの応用</li> </ul>

続いて、長崎市の上位計画等を踏まえたニーズや直流電力のユースケースに対して、エネルギーシステムに関連する事項について、各種技術シーズを抽出し、直流架線網を活用した分散型エネルギーシステムを検討した。

各実施メニューは、直流架線網を活用した直流マイクログリッドの構成要素として分類した。この直流マイクログリッドが、脱炭素に寄与しながら、交通インフラの二次利用(リノベーション)によってまちづくりの総合的事業の構築に寄与することを目指した。

実施メニューは、直流架線網の利活用方法、沿線ビルとの連携方法及び導入課題等から、実施できる時期が異なる。そこで、表3に示す3つの観点で実現段階を分類した。

表3. 交通インフラ等に求める要件

段階	観点	該当する実施メニュー
Step 1 短期に実現可能	利活用できる部分に焦点を当てて実現 直流マイクログリッドに繋がる 実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>①沿線の太陽光発電の活用</li> <li>②直流架線網の電力を利用した停留所電源の確保とサービス向上</li> <li>③交通結節点のMaaS拠点化</li> <li>④路面電車沿線のビルに設置した蓄電池の活用(個別施設)</li> </ul>
Step 2 中期に実現を目指す	<ul style="list-style-type: none"> <li>①発電、②送電、③給電、④EMS</li> </ul> いずれかまたは全般に係る技術で、開発・発売が予定されている	<ul style="list-style-type: none"> <li>⑤路面電車沿線のビルに設置した蓄電池の活用(複数施設での融通)</li> <li>⑩路面電車の車両への回生ブレーキ機能追加、エンジン・蓄電池・モータ搭載車両の導入</li> <li>⑥路面電車と直流マイクログリッド</li> </ul>
Step 3 長期に実現を目指す	実現にはまだ多くの課題があるもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>⑦市庁舎等の公共施設にガスタービン/ガスエンジンを設置し運転</li> <li>⑧ガスタービン/ガスエンジン排熱で温冷水を作り、蓄熱槽へ貯める</li> <li>⑨メガソーラーからの電力をバッテリーコンテナへ充電しトレーラー等で運搬</li> <li>⑪車いすでも利用しやすいバリアフリールート抽出システムの構築</li> <li>⑫大型ハイブリッドドローンや電動船/電動航空機の導入</li> </ul>

このうち、Step1の実施メニューを実証し、導入に向けた効果、課題を整理した。

表3における実施メニュー①、②、③の実証として、路面電車停留所での直流電源の活用を実証する実験を実施した。これは、本構想を路面電車の利用者や長崎市民に理解して頂くために、電力の活用方策を「ミライの電停」として「見える化」したものである。再生可能エネルギーを市民生活で活用する場を提示するため、長崎電気軌道の停留所において図5に示す概要で発電・蓄電・電燈を実施した。

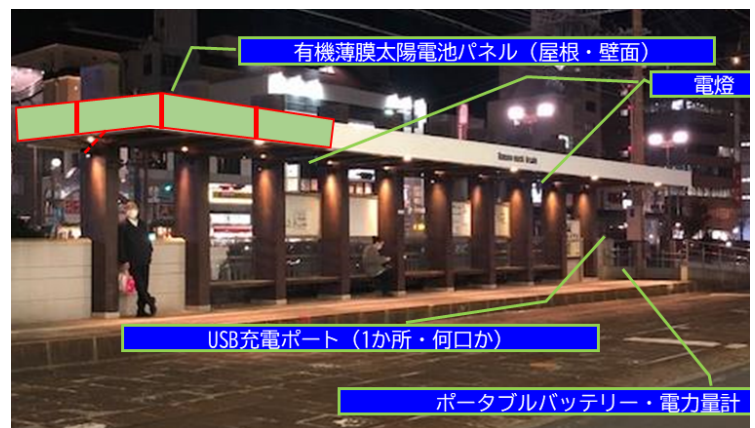


図5. 「ミライの電停」実験概要

実証期間は、2023年1月22日～2月5日で長崎市の冬季観光イベント「ランタンフェスティバル」開催期間に併せて設定した。実証場所は、長崎電気軌道「浜町アーケード電停」である。この停留所は、ランタンの設置場所の一つである「鉄橋」に隣接しており、太陽光パネルの設置が容易である。ここでは電力測定を行い、実現可能性があることを実証したのみでアンケート等は実施しなかった。外部からの反応として、長崎市及び長崎県立大学による告知もあって、地元紙の記事で取り上げられた。[長崎新聞 23]

実施メニュー④の実証として、直流架線網に接続している長崎電気軌道の本社社屋に蓄電池を設置し、平時のエネルギー利用と、非常時の電力供給を実施した。(図6)ピークシフトによる電気料金の削減と停電を模擬した非常時の電力供給を実現させた。

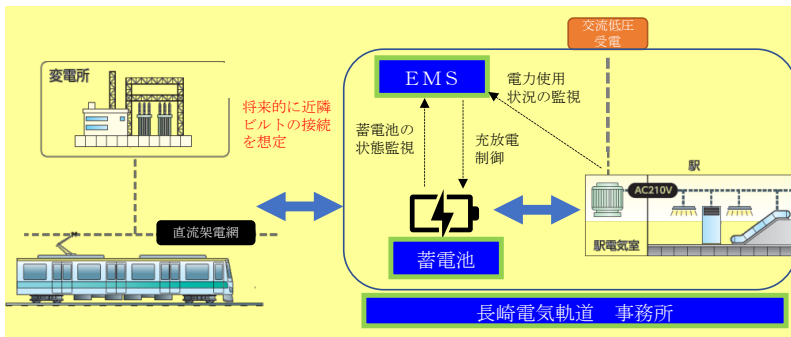


図6. 蓄電池導入実証実験の概要

表4. 事業化に向けた課題

分類	課題
制度面	路面電車の直流架線網の二次利用に関するの許認可 直流架線網を利用した電気事業法における送配電事業、小売事業の位置づけの整理
技術面	太陽光発電設備を直流架線網に接続した場合の路面電車走行に与える影響の確認 き電線から、沿線ビル等への電気分岐方法 沿線ビル内の直流給電方法 き電線の許容電流の管理、制御方法の確立 新規接続設備、施設の事故時の切り離し方法、事故点の検出方法の確立 長崎電気軌道の運転可視制御システムの改修方法
市場面	直流架線網から DC 給電するための改造費用と費用負担の整理 市場調達に頼らない直流給電架線網内の電源の確保(再エネ、GT/GE の新設、接続等) 蓄電池によるエネルギーサービスの収益性確保
運用面	長崎電気軌道としては、路面電車により市民及び観光客への交通サービスを提供することが最優先となるため、マイクログリッドの運用が路面電車の運用に支障がでないことを確認することが必要

この実証実験によって蓄電池が電力負荷の使用状況に応じて自動制御にてピークカット運転し、施設の基本料金を下げる効果が得られることが明らかになった。

ここまでの検討によって明らかになった事業化に向けた課題を表4に整理した。

最後に、マスタープランの実現に向けてシステムの運用事業形態について検討を行った。直流架線網のエネルギー事業者が成立するためには、官民一体となった直流架線網の活用、直流電力の供給と利活用について、本マスタープランで掲出する長崎市内での電力の利用、電力の供給のバランス、需要家の求めるニーズを考慮し、運営形態を形成していくことが望まれる。ここでは仮に、直流架線網を利用した直流電力の調達、供給は直流架線網のエネルギー事業者が担い、沿線ビル関係者や長崎電気軌道にエネルギー供給や、蓄電池を使ったエネルギーサービスを提供する形態を提案する。なお、これらの事業は、他分野連携となるため、長崎市が主体的に関与して、市全体の取組を推進していくことが期待される。

## 5. ロードマップと展望

### 5.1 ロードマップ

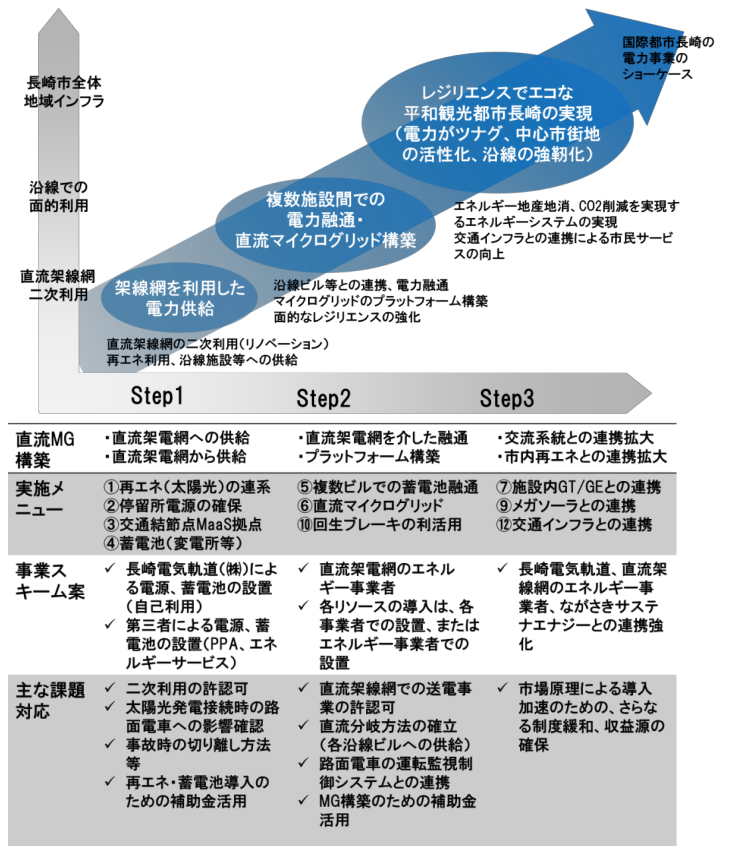


図7. 分散型エネルギーインフラ事業化へのロードマップ

長崎市における分散型エネルギーインフラの実現に向けた本プロジェクトでの調査・検討により、今後の段階的、継

続的、先行して取り組むべき課題や期待、また、既往計画との連携性を明らかにし、長崎市における「分散型エネルギーインフラマスタープラン」をまとめた。

今後は、このマスタープランを参考に、関係各所の取組み時に分散型エネルギーの実現に関わる箇所の実現調整を図っていただくことを期するとともに、その実現に向けて必要な実装、また技術の進展に伴う長崎市へのいち早く着実な導入が円滑に進めていけることで、長崎市民、長崎を訪れる来訪者のサステナブルな満足度と、万が一に起こりうる非常時のレジリエンスな都市機能を支えていくことを目指すことになる。

## 5.2（地域公共交通の将来を）展望

これまでの検討と前節で示したロードマップは図 8 のように、交通事業者と電力事業者の協調によってマスタープランの実現を目指す考え方に基づいたものである。当初は、分散型エネルギーインフラの非常時活用において自治体機能の BCP に及ぶ構想であることから自治体新電力の参加を不可欠として、ここにシュタットベルケとしての機能を備えることを想定していた。

しかしながら、ここではあえて論考の末尾で異なる考え方を明記する。「路面電車架電網を活用した直流マイクログリッドによる長崎市レジリエンスリノベーション」というのがそもそも本構想の正式名称である。つまり自営線を新たに敷設するのではなく、路面電車の架線網を直流マイクログリッドとして活用することが本構想の出発点であり、中心でもある。

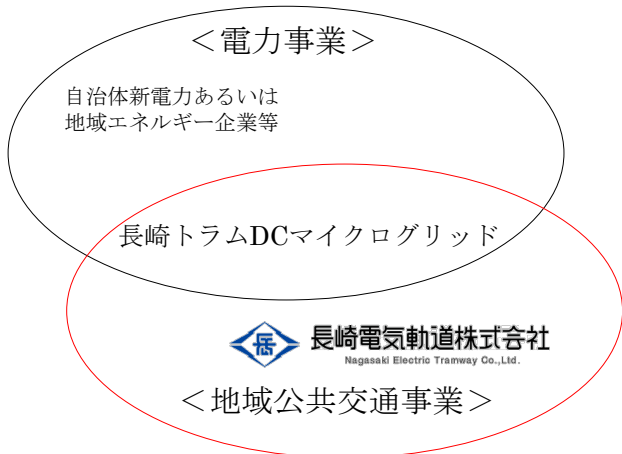


図 8. ロードマップにおける長崎電気軌道の位置づけ

ここから、図 9 に示すような架線網の「持ち主」に主体性を持って事業を推進してもらい、という考え方を提起しておきたい。地域公共交通の健全経営を保ち、地域住民と来訪者の移手段を確保するためにも、軌道事業と電力事業の兼営という 2 章で示したような経営形態への「先祖帰り」のような方策と位置付けられる。

もちろんこれは、マスタープランを根底から否定するものでも、長崎市の関与を排除するものでもない。電力事業の立ち上げには既存の地域エネルギー企業や系統送配電事業者など様々な分野からの協力が必要となる。

それでも、このマスタープランの実現可能性が少しでもあるのなら関連企業、長崎市役所に柔軟な対応を求めながら研究及び事業化を推進していく考えをここに明記する。



図 9. グリッドの運営を中心とした考え方

(2023.11.10- 投稿, 2023.11.10- 受理)

## 文 献

- [黒崎 14] 黒崎文雄: 国内鉄道の上下分離方式の解説と今後の展開, 運輸と経済, 第 74 巻第 11 号, pp.115-126, 2014.
- [九州電力 07] 九州電力株式会社: 九州地方電気事業史, 九州電力株式会社, 2007.
- [森田 21] 森田均: 路面電車は電力事業の夢を見るのか?, 長崎県立大学国際社会学部研究紀要第 6 号, pp.30-35, 2021.
- [森田 22] 森田均: 路面電車の架線網から街の直流マイクログリッドへ, 長崎県立大学国際社会学部研究紀要第 7 号, pp.28-33, 2022.
- [長崎市 20] 長崎市立地適正化計画(平成 30 年 8 月 1 日公表), 長崎市, 2020.
- [長崎市 22a] 長崎市第五次総合計画(計画期間:令和 4~12 年度), 長崎市, 2022.
- [長崎市 22b] 長崎市地球温暖化対策実行計画(令和 4 年 3 月改訂), 長崎市, 2022.
- [長崎市 22c] 長崎市中心市街地活性化基本計画(第 2 期)(令和 4 年 3 月 8 日 第 3 回変更), 長崎市, 2022.
- [長崎新聞 23] 長崎新聞令和 5 年 1 月 25 日掲載記事「いしだたみ ミライの電停」, 長崎新聞社, 2023.
- [長崎電気軌道 67] 長崎電気軌道株式会社: 50 年史, 長崎電気軌道株式会社, 1967.
- [長崎電気軌道 15] 長崎電気軌道株式会社: 長崎電気軌道 100 年史, 長崎電気軌道株式会社, 2015.
- [奈良崎 02] 奈良崎博保: 福岡・北九州 市内電車が走った街今昔, JTB, 2002.
- [総務省 20] 総務省地域力創造グループ: 地方公共団体における分散型エネルギーインフラ事業の実現に向けたハンドブック, 総務省, 2020.