

路面電車は電力事業の夢を見るのか？

森田 均*

Do Trams Dream of PPS?

Hitoshi MORITA*

*長崎県立大学国際社会学部

概要 この論文は、ITS（高度交通システム）分野の研究と実践に基づき提唱した地域発のITSモデル「STING (integrated Service of Transport, Information Network and Grid)」の最終段階は運輸（移動）、情報通信、エネルギーの3要素が協調する統合型のインフラとなること、その最終段階は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、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の3点を明らかにしてレジリエンスの社会的意義を考察する。

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

1. はじめに

本論の表題は、『Do Androids Dream of Electric Sheep? (アンドロイドは電気羊の夢を見るか?)』[Dick 68]から借用している。この作品は、映画『ブレードランナー』(1982年、監督：リドリー・スコット、主演：ハリソン・フォード)の原作であり、自然環境が壊滅的に崩壊して生物が嚴重に保護されており電気仕掛けの模造生物がいる世界で、人間社会へ紛れ込んだアンドロイドを抹殺する金稼ぎが主人公という設定である。

アンドロイドは、感情を有して自分自身が人間であると認識するほどの存在となっている。本物と偽物、人種や種の区別と設定は一見すると二項対立である。この二項対立の中で、人間ならば夢に見るあるいは眠りにつく際に心に描くのが羊だとすれば、アンドロイドの夢見る羊は電気仕掛けなのか、という問いかけが表題に込められている。

黎明期の路面電車は、独自の電力供給源を有していた。路面電車のためにまず自力で発電施設を準備して、採算のために電力供給事業に注力する事例もあった。こうした時代から、専門の事業者から電力供給を受けるのが常態となった現代を経て、再び運輸事業と電力事業の両立は可能なのか。表題にこうした思いを込めて、本論は軌道または鉄道事業と電力事業との関係を再考することを目的とする。

モビリティをICTによって高度化したのがITS（高度交通システム）の研究とその実践であった。有料道路のETCは路側と自動車と通信を行うことによってノンストップ決済を可能とした。カーナビはGPSによって走行中の自動車の現在位置把握と目的地までの道案内を実現させている。本論では、ITS社会実装の発展形として、モビリティとエネルギーインフラを融合するプロジェクトを提案することによって、上記の目的を達成する。

2. 長崎県における地域ITSの実践

2.1 長崎EV&ITS

長崎県における最初のITS社会実装は、五島列島でITS端末搭載のEVを計140台、主にレンタカーとして導入し「未来型ドライブ観光」を提供した長崎EV&ITSプロジェクト(2009-2014年)であった。図1は、そのキックオフイベントとして最初に導入した電気自動車100台によるパレードを行った際の出発式を撮影したものである。整然と整列した100台の三菱i-MiEVを奥に画像の手前中央には2基の急速充電器が設置されているのがわかる。



<図1. EV100台パレード出発式(2010.7.3 五島市湊公園)>

筆者は、長崎EV&ITSコンソーシアム理事兼第三WGグループ長として、観光ルートの策定と地域コンテンツの掘り起こしを担当した。このプロジェクトでは、他にITSインフラとして急速充電機の設置とITS端末の通信機能を用いた情報提供システム(DSRCアンテナを設置したITSスポット)が整備された。図2の写真右側のポールがDSRCアンテナである。この施設には写真左側にある風車と太陽光

パネルによる発電施設があり避難所機能も含めて災害時の利用が想定されていた。プロジェクト運用当時、電気自動車の特性として回生ブレーキの活用による航続距離の伸長がエコドライブとして提唱された。また、リチウムイオン電池を交換した車両と急速充電機は、現在も運用されている。一方で、当初計画にあった再生可能エネルギー関連開発は、実現できなかった。



＜図 2. ITS スポット(2013 五島市遺唐使ふるさと館)＞

2.2 後継プロジェクト



＜図 3. 五島市役所久賀出張所前に配備された超小型モビリティと関連車両＞

長崎 EV&ITS の後継プロジェクトとして二次離島の久賀島において超小型モビリティを島内移動用に無料で貸し出すサービスが実施された。世界遺産「長崎と天草地方の潜伏キリシタン関連遺産」の構成資産となった旧五輪教会や集落を訪ねる観光客のために前後二人乗りの電動超小型モビリティ「NISSAN New Mobility Concept」を3台導入して2年間運用した。図3が実際に配備された際の様子である。二次離島であるため、五島市役所において車両の現在位置を把握できるように長崎県立大学地域 ITS 研究室は、車載システムを提供した。(図4参照) この他に、学生が企画する超小型モビリティ利用促進イベントを福江島で開催するなど、ITS の実践の場ともなった。



＜図 4. 久賀島超小型モビリティ3台の位置情報配信画面＞

なお、長崎 EV&ITS の直接の後継ではないが、五島市による再生可能エネルギー活用の取り組みとして地域新電力「五島市民電力」が 2020 年から洋上風車や島内の太陽光パネルによる電力を需要家へ供給する事業を開始している。「電気自動車の走る島」から再生可能エネルギーの先進地へ進化した五島を象徴する存在となっている。

3. 統合型インフラ STING 構想

筆者は、2016 年に地域 ITS モデルとして交通・情報通信・電力の統合型インフラ「STING (integrated Service of Transport, Information Network and Grid)」による街づくり構想(図5参照)を提唱した。「T(ransport)」交通と情報通信「I(nformation) N(etwork)」にエネルギー網「G(rid)」を加えて統合型のインフラとする構想である。路面電車は人を運ぶのみならず、情報通信の担い手にもなり、路面電車の電力網が街の電力網と調和することを目指している。



＜図 5. 統合型インフラ STING のコンセプト＞

integrated Service of Transport, Information Network & Grid

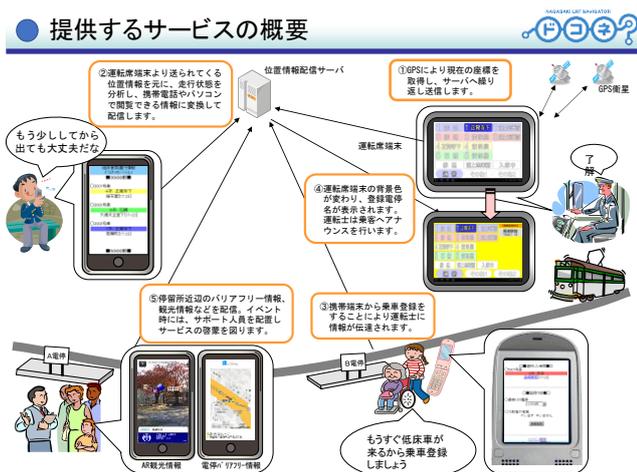
- 移動+通信
 - 車両の現在位置を把握
 - 走行中の車内から通信
- 移動+電力
 - 車両からの電力供給
 - 回生エネルギーの活用
- 通信+電力
 - PLC(電力線通信)
 - エネルギーマネジメント
- 移動+通信+電力
 - バッテリー駆動車両
 - 軌道鉄道相互乗り入れ

＜図 6. STING の構成要素による組み合わせ＞

図 6 では構成要素を示した。以下では成立過程で説明する。

3.1 STING 第一世代 路面電車のバリアフリー化

STING の第一世代は、モビリティの高度化を図るもので、具体的な形態は路面電車という交通システムをバリアフリー化することである。車両を低床化して、電停にスロープや手すりを付け音声案内を行う等ハードウェア的対策を含めシステムとして統合するサービスである。「ドコネ」は、低床車両の現在位置を利用者の通信端末へ知らせるために 2011 年 10 月 7 日（長崎くんちの初日）からサービスを開始した。「3G 回線を利用した路面電車・利用者双方向位置情報配信システムによる歩行者移動支援サービス」として国土交通省の「平成 23 年度ユニバーサル社会に対応した歩行者移動支援に関する現地事業」に採択されたものである。[森田・他 14]



＜図 3. ドコネのサービスイメージ＞

ドコネは開発課題が明確になった時点で競争的資金を獲得している。独立採算の強みは即応性で、熊本市電から譲渡された長崎電気軌道 601 号車が 2016 年に熊本地震義援募金箱を設置して「がんばれ熊本号」として運行した際にも同車両

の位置情報を配信した。（現在はデザイナー車両に変更）



＜図 4. ドコネのサービス画面＞

3.2 STING 第二世代 路面電車の ICT 化

STING の第二世代は、モビリティと ICT の融合を図るもので、4G となった情報通信網とコンピュータとしての機能を強化したスマートホンを活用することで可能となった。

3.2.1 走行中の路面電車からインターネット中継

モビリティと ICT を融合したサービスとしては、カーナビや ETC がある。自動車に搭載した端末と路側との通信によって構成される。路面電車の場合は、運輸インフラとしての線路と沿線光ファイバの組み合わせによって様々なサービスが想定できる。その一例として、ITS 世界会議 2013 が東京で開催された際に「遠隔ショーケース」として長崎市内走行中の路面電車からインターネット経由でドコネを紹介する HD 映像の生中継を行った。筆者は、会議会場の東京ビッグサイトで中継映像を待った。長崎市内走行中の低床車両には当時の長崎県立大学学長が中継用機材を持った学生スタッフと共に乗り込み、東京の会場にいる参加者へ向けてスピーチを行った。

[Showcase M02]
 長崎市の路面電車における LRV 位置情報配信システム
 長崎市内運行中の長崎電気軌道 5002 号車内からインターネット経由で東京ビッグサイトにライブ中継
 2013 年 10 月 16 日 14:00-15:00
 2013 年 10 月 17 日 14:00-15:00
 長崎 LRT ナビゲーション推進協議会 / 長崎県立大学



＜図 4. 映像から再構成したインターネット中継の様子＞

3.2 BLE(Bluetooth LE)ビーコン網の構築



＜図 5. ビーコンを活用したナビゲーションの画面遷移(上)と電車運行のモデル例示(下)＞

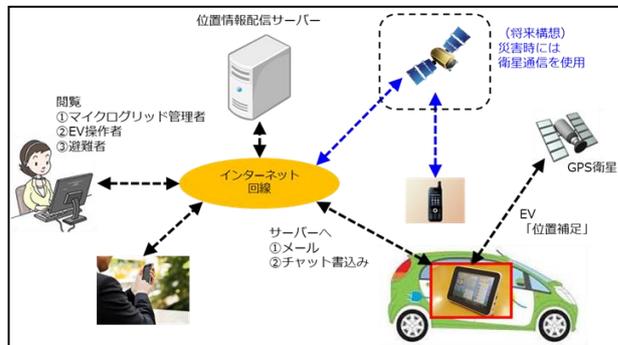
2014-2016 年度、総務省「戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)地域 ICT 振興型研究開発」に採択された「Web ナビゲーションと近距離無線通信技術によって公共交通の体系化を促し地域発 ITS モデルの構築を目指す研究開発」では、長崎電気軌道の全電停、全車両に BLE ビーコンを設置して沿線現在地から観光名所まで乗客を案内するアプリを公開した。これによって長崎電気軌道沿線は、BLE ビーコンのネットワークとなり、長崎市内における初の交通系 IoT として機能することとなった。このシステムにおける電停の位置は、BLE ビーコンの ID と既に整備済の歩行空間ネットワークデータ及び場所情報コードを関連付けることによって一意とした。[森田・他 16]また、BLE ビーコンを活用した路面電車利用者向けナビゲーションのコンセプトは、検知ビーコンと活用ビーコンを区別して順序性を確立することで利用者を誘導して経路案内を実施する設定等を追加して知財化した。[森田・他 17][森田 21]なお、ビーコン網は現在電停サイネージ(図 6 参照)として実運用されている。



＜図 6. 長崎電気軌道長崎駅前電停のサイネージ＞

3.3 STING 第三世代 電力インフラへの発展

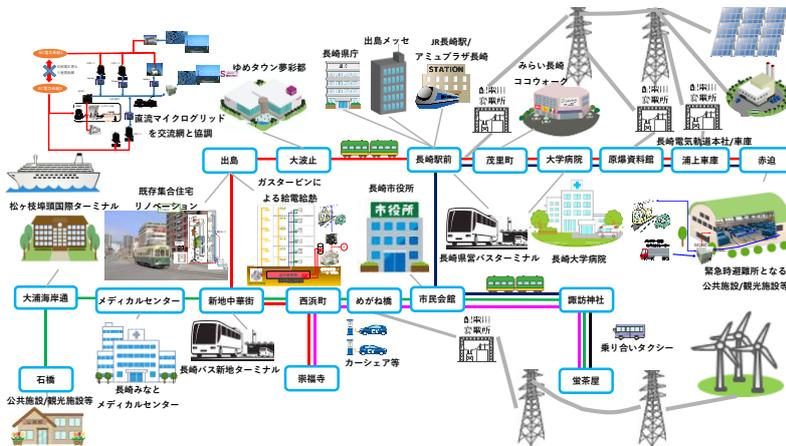
自走式電池としての電気自動車



＜図 7. 電気自動車による「移動+電力」の実験例＞

電気自動車は、自走式の蓄電池と考えることができる。既に筆者らは、2015 年に長崎 EV&ITS によって整備された車両及びインフラを用いて五島市三井楽町の遺唐使ふるさと館から集落の公民館へ「電気を運ぶ」実験を行った。

3.3.1 長崎トラム直流マイクログリッド構想



＜図 8. 長崎市トラム直流マイクログリッドのイメージ図＞

現在、筆者は STING を発展させて地域の分散型エネルギーインフラとするために路面電車の架線網を活用した「長崎トラム直流マイクログリッド(仮称)」の社会実装を提案している。これは、分散型エネルギーインフラ[伊藤 12][総務省 20]としてエネルギーの地産地消を促進し、CO₂削減に資するエネルギーシステムの雛形である。架線の空き容量を活用し、路面電車沿線のうち、まずエネルギー密度の高い施設設備に直流電力を供給する。適切な蓄電池配置により、平常時はコスト削減と電力安定供給、災害など交流網の停電時には自治体機能と市民生活の維持を実現させることを目的としている。

3.3.2 交通+グリッドの事例としての V2G

EV のバッテリーを住宅でも活用する HEMS は実用化されているが、この事例は電力網の需給調整のため広域的に用いるものである。コネクティッド・カーは ICT によってモビリティとサーバとのデータ通信を実施しているものだが、V2G はこれを一歩進めている。[電力中央研究所 21]

3.3.3 太陽光発電舗装システム (Wattway)

太陽光発電用のパネルを道路に舗装することにより、道路そのものを発電施設とする考え方[東亜道路工業 21]であり、モビリティではないが移動とエネルギーインフラの融合と位置付けることが出来る。

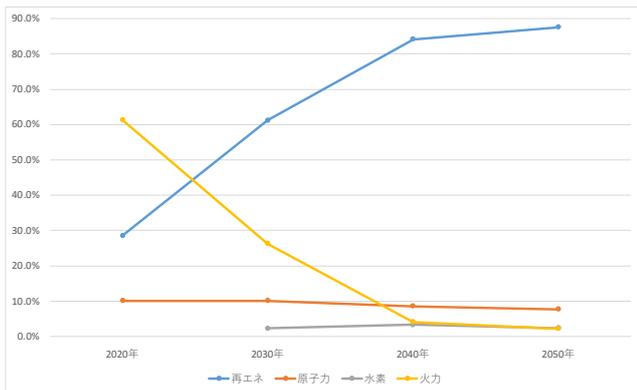
3.3.4 インフラ活用事例としてのソーラーカナル

カリフォルニア州の広大な農地を潤す水路を太陽光パネルで覆う試みは、水の蒸発を減少させる一方で再生可能電力を増加させている。全地球的に有効とは限らないが、インフラ融合による相補的事例である。[McKuin et al 21]

4. 背景としてのゼロエミッションとコロナ禍

4.1 排出量規制と地球にやさしい電車

CO₂ を 2050 年までに実質ゼロとするシナリオ[IEA 21](図 10 参照)は、今後 10 年間で火力と再生可能エネルギーの電源比率を逆転させて 2050 年の目標達成を目指すものである。これを不可能と突き放す、あるいは達成に努めるなど様々な受止方がある。一方で路面電車が「地球にやさしい」というアピールは、具体的なデータ [松橋 98] [環境展望台 21] はあるが、事業者側は受動的である。



< 図 10. Net Zero by2050 に基づく電源構成比目標の推移 >

4.2 コロナ禍の路面電車（地域公共交通が直面する課題としての人口減少）

< 表 1. 長崎電気軌道輸送収入・経営状況の推移 >

年度	2016	2017	2018	2019	2020
定期外収入	1,460,907	1,472,885	1,495,264	1,513,232	999,348
当期利益	21,856	24,787	28,537	25,531	△331,526

[長崎電気軌道 21] (単位：千円)

表 1 は、コロナ禍による行動制限が長崎電気軌道の経営状況に与えた影響を示すためにまとめたものである。同社は、2019 年度まで二千数百万円ほどの利益を得ていたが、2020 年度には 3 億円超の赤字となっている。これは定期券による通勤通学以外の乗車が激減したことを示している。コロナウイルス対策の進展によって国内外の観光客回帰も予測されているが、人口減少に直面する地方都市で公共交通を維持するためには抜本的な対策が必要となっている。

5. 電気事業が先か電気軌道事業が先か

以下では、電力供給事業と軌道鉄道事業の関係の過去と現状を概観して将来を展望する。

5.1 歴史的経緯

日本初の電気軌道は、1890 年に上野博覧会で自前の発電施設によって運行された。一方で日本初の電力供給事業は、1900 年に東京電燈により開始された。軌道事業者が沿線へ電力供給事業を行った最初は、小田原電気軌道であり乏しい輸送収入を補う目的があった。[東京電力 83]

公営路面電車（市電）としての日本初は、1903 年に開通した大阪市営電気鉄道で、1969 年 3 月に政令指定都市としては最初に全廃となった市電である。開通当初は、大阪電灯株式会社より電力供給を受けていた。次いで市電の運転区域拡大に伴い大阪市が自前の電力供給事業を開始して、市電の副業となった。1923 年に大阪市が大阪電灯株式会社を買収し、大阪市電気局が市営電気供給事業を担うこととなり「電力供給が主で鉄道が副」となった。[大阪市電気局 37]

九州初の電気鉄道事業者は、別府大分間の豊州電気鉄道で 1900 年に開業した。次いで福博電鉄が開業し、九州水力電気が 1920 年代までに福岡市内の鉄道経営を始めた。九州電気軌道株式会社は西日本鉄道の前身だが、電気事業者としては九州電力の前身である。1911 年、北九州市域に路面電車を開業したが、電力供給事業の方が収入は大きかった。[九州電力 07] (なお、同時期に阪神電気鉄道、阪神急行電鉄、京阪電気鉄道、南海鉄道が鉄道事業と沿線への電力供給事業を実施している。)

長崎電気軌道が運行を開始したのは 1915 年で、電灯電力の供給事業を兼営とした。[長崎電気軌道 15]

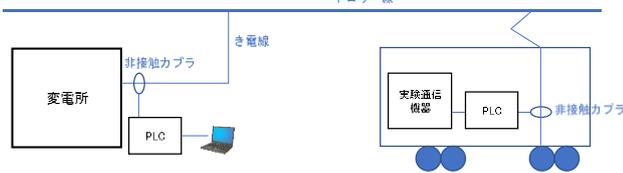
5.2 法規制との調和

運輸・輸送用インフラとしての架線網をマイクログリッド化する際には「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」等の法令との整合を図る必要がある。

5.3 架線網 PLE (Power Line Communication)

2019 年に架線網の ICT 化を目指して PLC(電力線インターネット)を構築するために準備を行った。国土交通省は、営

業運転終了後の実験等について理解を示した。一方で総務省は、架線網がアンテナの役割を果たすことから実験局免許が必要との見解であった。また、免許付与にあたっては、沿線に電磁波や電波に関する影響が**無い**ことを証明するように求めた。周知のようにこうした要求を満たすことは、科学的に不可能であり、棚上げ状態となっている。



<図 9. PLC で利用する架線(上)と路面電車における活用事例の構成図(下)>

5.4 直流技術に関するロードマップから展望する

NEDO による直流技術に関する展望とロードマップ[電気設備学会 20]によると「シナリオ 3」として「モビリティでの直流適用」が想定されており、具体的には「鉄道分野においては、鉄道の架線で直流電力を電車に供給しており、これは電力輸送インフラとして、既存電力系統に次ぐ規模である」との指摘があり、さらに回生電力の活用によって「施設利用率が高まり、社会資本コストを下げる事が期待できる」との記述がある。路面電車の架線網を街の直流マイクログリッド化することの有効性が示されている。

謝 辞

本論文は令和 3 年度長崎県立大学学長裁量研究費による研究成果の一部をまとめたものです。これまでの研究をさらに発展させる機会を与えられたことに深く感謝します。

また、「長崎市トラム直流マイクログリッド」を含む「長崎市レジリエンスリノベーション構想」については、筆者の STING 構想を JST イノベーション・ジャパン 2020 特別課題「超スマート社会」Web 展示より見出し、共同研究を続けている JSCA 直流事業に関する意見交換会参加企業及び事務局の NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部の皆様と社会実装に向けて挑戦しているものです。

(2021.11.05- 投稿, 2021.11.05- 受理)

文 献

[電気設備学会 20] 一般社団法人電気設備学会直流利活用に関する調査研究会: 直流活用に関する技術マップ及

び技術ロードマップ策定に関する調査報告書, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2020.

[電力中央研究所 21] 電力中央研究所: EV アグリゲーションによる VPP 事業の可能性評価 -九州 V2G 実証事業における当所の 3 か年成果-, 電力中央研究所報告書, 2021.

[Dick 68] Dick, Ph., K.: Do Androids Dream of Electric Sheep?, Lawrence Erlbaum Associates, 1968. (邦訳『アンドロイドは電気羊の夢を見るか?』早川書房, 1977.)

[IEA 21] International Energy Agency: Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021. (https://iea.blob.core.windows.net/assets/beceb956-0dcf-4d73-89fe-1310e3046d68/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

[伊藤 12] 伊藤義康: 分散型エネルギー入門, 講談社ブルーバックス, 2012.

[環境展望台 21] 環境展望台: 環境技術解説「ライトレール (LRT)」, 国立研究開発法人国立環境研究所, 2009-2021. (<https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=23>)

[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.

[松橋 98] 松橋啓介: 路面電車の環境負荷, 分国立環境研究所ニュース 17 巻 1 号, 国立研究開発法人国立環境研究所, 1998. (<https://www.nies.go.jp/kanko/news/17/17-1/17-1-08.html>)

[McKuin et al 21] McKuin, B. et al.: Energy and water co-benefits from covering canals with solar panels, Nature Sustainability volume 4, pp. 609-617, 2021.

[森田 21] 特許(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、発明(考案)者名:森田均,特願 2017-37002, 特開 2018-141730, 特許 6864206 号(2021.4.6))

[森田・他 14] 森田均,松坂勲,山口泰生,高比良惣,山口文春: 路面電車の位置情報配信から街のナビゲータを目指して, 第 11 回 ITS シンポジウム 2012 発表論文集 1-A-09, ITS Japan, 2014. (ベストポスター賞受賞)

[森田・他 16] 森田均,松坂勲,山口泰生,曾理恵子,酒井寿美雄: 街のナビゲータが描く地域発 ITS モデルの発展形, 第 14 回 ITS シンポジウム 2016 発表論文集 1-C-10-1, ITS Japan, 2016. (ベストポスター賞受賞)

[森田・他 17] Web ナビゲーションと近距離無線通信技術によって公共交通の体系化を促し地域発 ITS モデルの構築を目指す研究開発, ICT イノベーションフォーラム 2017 予稿集, pp. 120-121, 総務省, 2017. (招待)

[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.

[長崎電気軌道 21] 長崎電気軌道株式会社: 令和 3 年会社概要, 長崎電気軌道株式会社, 2021.

[大阪市電気局 37] 大阪市電気局: 大阪市電気局事業概要, 大阪市電気局, 1937.

[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.

(https://www.soumu.go.jp/main_content/000722457.pdf)

[東京電力 83] 東京電力社史編集委員会編纂: 東京電力三十年史, 東京電力株式会社, 1983.

[東亜道路工業 21] 東亜道路工業株式会社: 太陽光発電舗装システム (Wattway) の普及に向けてフランスの Colas 社およびコラス・ジャパンと技術協力, 2021.

(<https://www.toadoro.co.jp/news/docs/eb7517910a373da65dd5522ac42f39c6ebb2a563.pdf>)