

平成25年度～26年度成果報告書

「太陽光発電多用途化実証プロジェクト/太陽光発電多用途
化可能性検討事業/鉄道線路内太陽光発電」

平成 26 年 11 月

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

(委託先) 株式会社 フルーク

1.まえがき

世界初の「線路内太陽光発電」は鉄道のレールの間に太陽電池を設置して発電をするシステムである。

全国に存在する鉄道線路内に太陽電池を設置したと仮定すると原発約6基分で約6,500メガワットの発電能力がある。メガソーラー発電所だと6,500ヶ所分に相当する。これは日本全国の電車を太陽光発電で走らせる事が出来るという仮説が成り立つ。

日本の鉄道の営業キロ数は、JR各社、私鉄を含めると35,023km(2012年現在)である。しかし、これは営業キロ数であり、実際の線路の全長ではない。線路には単線、複線があり、車両区、保線区等にもあるが、統計が無いために推定するしかない。仮に線路の全長を営業キロ数の1.5倍と仮定すると、約5万kmになる。そこに250Wの太陽電池を2mおきに設置すると、おおよそ2,500万枚になり、250W×2,500万枚で6,250メガワット、100万KWワット級の原子力発電所の6基分に相当する。

もちろん、太陽光発電は夜間には発電電力は0になり、線路にはトンネルも、日陰もあので、単純には比較は出来ないが、鉄道線路内は計り知れない再生可能エネルギーのポテンシャルが存在する事は間違いない、また、将来的には、太陽電池で発電した電気を利用して電車を走らせる事が出来る可能性がある事である。これは日本の鉄道会社でも盛んに研究されているが、残念ながら鉄道沿線にソーラー発電所を建設して、近くの変電所に送電する方法である。しかし、この線路内太陽光発電を利用すると、長距離送電のロスが激減し、太陽電池と蓄電池で永久に走り続ける事が出来る可能性があり、いわゆる夢の「鉄道のゼロエミッション」の時代が来る日も期待される。

経営が苦しく、赤字が続いている地方ローカル線は、本システム導入により、この線路内で発電した電気を売電する事ができ、赤字の補填につながる、地方自治体が税金を投入して行っている場合には、その負担の軽減が期待される。

「線路内太陽光発電」は、鉄道敷地内の鉄道のレールを利用した太陽光発電システムであり、現在普及しているメガソーラーなどに比べ、用地の買収、造成工事、基礎工事、架台工事等の費用が必要ないため、発電コストを低減することができる。また、鉄道の営業と太陽光発電が両立するという隠れたソーラーシェアリングともいえる。

実用化、普及に向けて、全国の鉄道の鉄道敷地内には、既に使用しなくなった未使用線路も多く存在するため、その未使用線路を利用した太陽光発電の検討、さらに各鉄道会社内の車両区、保線区、車庫等の既存線路を利用した太陽光発電の検討、また鉄道会社の廃止路線の残存線路での発電装置の検討等が有効であると考えられる。

我々が発明した「鉄道線路内太陽光発電」が「鉄道ゼロエミッション」の実現や、地方の赤字ローカル線の救済の可能性の検討をする。

目次

1. まえがき	2
2. 要約	5
3. 線路内太陽光発電の技術的課題	7
3.1 軌道の保守・点検作業の妨げ	7
3.2 短絡による軌道回路への影響	7
3.3 建築限界への懸念	8
3.4 台風や突風の強風に対する懸念	8
3.5 伴流に対する懸念	9
3.6 車両の振動に対する懸念	9
3.7 パネルの反射光が運転手及び近隣に対する懸念	9
3.8 技術的課題のまとめ	9
3.9 ヒアリングに協力して頂いた鉄道会社	10
4. 線路内太陽光発電の技術的課題に対する対策	11
4.1 軌道内の保守・点検作業への対策	11
4.2 三種類の取付け方法	12
4.3 脱着実験	13
4.4 脱着実験の結果	17
5. 二分割方式による太陽光パネルの移動	17
5.1 太陽光パネル 20 枚の移動	18
5.2 太陽光パネル 20 枚の移動実験の結果	18
6. 短絡（ショート）による信号の誤作動防止対策	19
6.1 ハイテク絶縁ワイヤー	19
6.2 木板絶縁方式	21
7. 建築限界に対する懸念	23
7.1 建築限界は問題ない	23
7.2 降雪地区対策	23
8. A T S の誤作動テスト	24
9. 対風圧試験	25
9.1 風洞実験	25
9.2 風洞実験の試験結果	29
9.3 伴流対策	29

10.	振動実験	31
10.1	振動実験の試験結果	33
11.	技術的課題以外の導入の妨げになる要因	35
11.1	赤字ローカル線の場合	35
11.2	大手鉄道会社の場合	36
11.3	場所貸し方式の場合	36
12.	普及に向けた発電コスト試算	37
13.	普及モデル仕様のまとめ	38
13.1	木材での絶縁方法のコスト	39
13.2	設置可能な場所	40
13.3	設置可能な他の交通機関	41
13.4	廃線跡線路の活用	42
13.5	導入ポテンシャル	43
14.	今後の課題	44
15.	あとがき	45

2. 要約

「線路内太陽光発電」は二本の線路の間に太陽電池を設置して発電をするシステムである。この「線路内太陽光発電」が実現すれば、世界初の太陽光発電の利用形態であり、近い将来、鉄道が100%再生可能エネルギーで動く「ゼロエミッション時代」の第一歩になると考える。

「線路内太陽光発電」は「地上設置型の太陽光発電」に比べて建設コストが非常に安く出来る事が特徴である。列車走行時障害と設置する必要があるが、列車が通過する瞬間以外は太陽が燦々と当たっていて発電し続けることができる。しかも、鉄道の営業と両立する、いわゆるソーラーシェアリングともいえる。

「線路内太陽光発電」を導入するに当たって課題の対策

- 鉄道軌道内の保守点検作業に対応する為に、太陽光パネルの脱着が全てワンタッチで行える様にした。取付実験での工事工程や、取付時間を計測した結果、大幅に取付人工数を減らす事が出来た。また将来、点検作業を装置により行う事ができれば、太陽光パネルの点検検査の為に取り外す必要が無くなり、補修の時にだけその部分だけを取り外せば良いようになる。そうなれば大幅なメンテナンス費用の削減になる。
- 営業用の鉄道の線路には、電車の動力の為や、或いは信号の為に常に電流が流れている。その為に、太陽光パネルを金属で固定すると短絡して信号の誤作動を起こしてしまう。それを防ぐ為に太陽光パネルを設置する際に、左右のレール間で短絡を防止する為に絶縁物を使用しなければならない。太陽光パネルと線路を絶縁する為に、強度が強く、耐久年度の優れているハイテク絶縁ワイヤーを使用する方法や防腐剤を注入した木材を使用する事によって短絡は問題なく防げた。
- 電車の振動がどの程度パネルに伝わるのかを、JR総合研究所の協力で、線路内に太陽光パネルを設置してその上に電車を走らせ太陽光パネルの振動を計測し、安全である確認をした。
- 強風、突風等に耐えられか風洞実験でデータを取得した。1/10の模型を製作して、50年に1度の大型台風を想定し、しかも最悪の方向から強風に吹かれた状態を風洞内で再現して、揚力データを取得した。結果は最大揚力でも-27Nで問題は無かった。したがって計画中の固定方法で問題はない事がわかった。
- 全国には設置可能な鉄道の線路は営業線路以外に、車両区、保線区内の線路、貨物専用線路、敷地内の未使用線路、若しくは大型工場内の引き込み線、既に列車を運行していない廃線路等無数に存在する。特に廃線路は全国で増へ続ける傾向にあり、全国の鉄道の敷地内で大量の太陽光発電が出来る可能性がある事が分った。

Summary

Title: Development and demonstration of Technology for More Versatile Application of Solar Power/Potentiality of Solar Power Generation/Solar Power/Generation in Railways (FY2013-2014)

“Railway Solar Power Generation” is to generate electricity from the solar battery placed in between the railways. Once this Railway Solar Power Generation activates, it will be the world’s first Solar Power Generating System which will lead trains to be powered by 100% renewable energy. This will be a step forward to the “Zero-Emission years”.

One of the great features of Railway Solar Power Generation is cost of low. It would rather keep generating the solar power only except when the train is passing on it. It is indeed a “Solar Sharing”, compatible with Railway business. In order to meet the standard of track maintenance, removing and installing of the solar panel is now possible with one simple touch.

As a result of installation experiment, it dramatically decreased the amount of time and personnel required for this stage. Additionally, if neither ballast nor railroad tie is used, so called “slab track”, which track maintenance is not required, it is possible to install immediately.

As we tested short circuit protection, the electricity runs through all railways that are currently in use to provide the power to the trains or lights. Therefore if solar panels are fixed with metallic parts, mal-function of the light could occur. In order to avoid that, a strong insulator with high durability or a wood filled with antiseptic played a great role.

We have implemented a vibration test with support of Railway Technical Research Institute, and confirmed the safety by running an actual train on the panel placed railways.

We have implemented a wind endurance test in wind tunnel to collect data. Created a 1/100 sized model, assuming to be attacked by a huge typhoon that would occur once in 50 years, reproduced a situation where blown by the strong wind from the worst direction inside the wind tunnel. As a result of lifting power data, even with the maximum lifting power -27n, it did not show any affect at all, therefore method of fixation currently planned works perfectly.

3.線路内太陽光発電の技術課題の抽出

鉄道会社へのヒアリングによって、多くの技術課題が浮き彫りになった。

3.1 軌道の保守・点検作業の妨げ

軌道内の線路は、軌道検測、軌道修正、レール、枕木の交換等が行われている、検査の方法は目視検査と詳細検査があり、JR東日本や大手鉄道会社では軌道の検査は最低でも年1回、夜間と日中で行われていて、検査周期、内容は各鉄道会社で決めている。

鉄道の軌道はその軌道のスペック（レール、枕木、道床厚、繋目等）とその上を走行する車両のスペック（車軸等）や、その運行条件など、様々な要因で異なり、一定の頻度や間隔で補修作業をするのではなく、軌道の検査結果に基づいて、悪い場所の突き固めや枕木の交換などの補修をおこなっている。

地方のローカル線の場合、枕木や道床の状態、軌間の計測検査は定期的に行われてはいないが、常時数人で全区間を歩き目視確認する事で、軌道検査は行われている。軌道の補修作業も首都圏の大手鉄道に比べると走行列車が1両、2両編成で30分に1本が通過する程度であるため、軌道の破壊速度も遅く、重機や機械による補修作業は頻繁には行われていない。補修作業も3、4人の作業員がチームを組んで、軌道検査結果や運転手からの報告で緊急性の高いところから、工事の順番を決め補修作業しているのが一般的である。

木製枕木かPC枕木によって、またカーブ箇所か、直線軌道かによって点検の回数が変わってくる、作業時間も首都圏の鉄道は、終電後の深夜に行われているが、ローカル線のほとんどは、営業時間内で電車と電車の間隔の30分～1時間の間をぬって補修作業が行われている。

頻度が少ないとは言え、検査・補修に対応するため、短時間の脱着が課題となる。

しかし、大手鉄道各社では、軌道検査の装置化を開発中で、それが実現すれば作業員が線路を歩きながら検査をする方法に代わり、列車に取り付けた検査装置で軌道の異常を察知する事が可能になる。

3.2 短絡による軌道回路への影響

通常軌道の線路上には、電気で動く電車と軽油で動く気動車（ディーゼルカー）があり、電気車は変電所からトロリー線を通じて電車の屋根にあるパンタグラフから電気を入れ、下部のレールに戻し、レールを伝って変電所まで電気を送りながら走行する。したがって、線路には常に電気が流れている。また左右のレールを電気回路の一部に用い、その区間に列車等が存在すると、車輪がレールを短絡させることにより列車検知を行っている。この列車検知方式はディーゼル車区間でも採用され、ほとんど

の鉄道で行われている。

既存製品の太陽光パネルのフレームはほとんどが金属性であり、それを固定する金物も金属である。レールとパネルが接続しないように、どこかで絶縁をしなければ、短絡して信号等の誤作動を招いてしまうので、短絡しない取り付け方法が不可欠となる。

3.3 建築限界の懸念

鉄道の現場では、車両が安全に線路上を走行出来るようにする「建築限界」(図1)と「車両限界」というルール((鉄道に関する技術上の基準を定める省令)がある。建築物と車両がそれぞれの限界を超えない様にする事により、建築物と車両との接触を防いでいる。

- 建築限界内に建物や建造物を設けてはならないと定められている。
- 建築限界外であっても、建築限界に崩れる恐れのある物を置いてはならない。

建築限界は、レール面より上に定められているので、太陽光パネルをレール面より下部に設置してはいけないという規定はない。

出典：「分かりやすい鉄道技術」日本鉄道電気技術協会

但し、降雪地区において、除雪車を使用する期間は除雪車支障限界が定められている。レール面以下 55mm の限界が定められているが、太陽光パネルはそれ以下であるため設置するのには問題はないが、雪が凍結した場合は除雪車により凍結した雪が絡み太陽光パネルが破壊される危険性があるため、降雪地域のシステムの設置は難しく、降雪地域の冬季の対策は大きな課題となる。

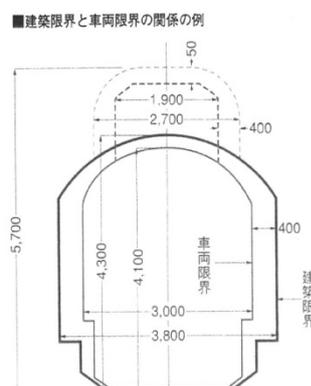


図 3.1 建築限界

3.4 台風や突風の強風に対する懸念

軌道の環境は、市外地を走る鉄道と郊外の障害物の無い平らな田園地帯を走る鉄道とはおのずと風圧には大きく違いがあり、特に郊外の田園地帯の鉄道の強い横風による影響が懸念された。特に、太陽光パネルが強風にあおられ、外たり、飛ばされる事によって鉄道事故を起こす可能性が考えられる。また近隣の住民にも多大な危険を負わせる事も考えられる等、風による影響の懸念があった。

太陽光パネルの設計用風荷重は JISC 8955 : 2011 で定められているが、さらに建築基準法の外装材を規定した風荷重も算定する為、実験用の風洞を利用して、50 年に一度の最悪の状況を設定して、どの位の風圧が太陽光パネルに及ぼすかを再現し、揚力を測定したうえで、固定金物の素材や強度を選ぶこととした。

3.5 伴流に対する懸念

高速の電車が通過する際に、列車の最後部で発生する最大風力に耐えられるのか、計画している固定金具の強度検証が必要である。

3.6 車両の振動に対する懸念

車両が通過する時に、線路の継目等からの振動によって太陽光パネルの表面の強化ガラスが破損をするのでは、或いは固定したパネルの位置がずれたり、外れたりして危険はないか確認が必要である。

3.7 パネル表面の反射光が運転手及び近隣住民に影響を及ぼさないか。

空港などで、太陽の方向、角度で太陽光線が太陽光パネルに反射してパイロットの操縦の妨げになり、特殊なパネルを取り付けた事例があるので、鉄道の場合も常に運転手の目前に太陽光パネルがある為に、同じ様に太陽光線が反射してまぶしくて運転の妨げになるのではないかとこの意見があった。また、近隣の住宅にも太陽光パネルに反射した光が差し込み生活の妨げになるのではないかという意見もあった。

3.8 技術課題のまとめ

鉄道会社に対するヒアリングの結果、導入を妨げる技術的な要因は、大きく分けると上記の7項目に集約することが出来た、それぞれの課題に対する対策を立案した。

3.9 ヒアリングに協力して頂いた鉄道会社（順不同）

- ・ 山形鉄道株式会社（山形県）
- ・ えちぜん鉄道株式会社（福井県）
- ・ 甘木鉄道株式会社（福岡県）
- ・ 一畑電車株式会社（島根県）
- ・ 北条鉄道株式会社（兵庫県）
- ・ 愛知環状鉄道（愛知県）
- ・ のと鉄道株式会社（石川県）
- ・ 土佐くろしお鉄道株式会社（高知県）
- ・ 伊賀鉄道株式会社（三重県）
- ・ 鹿島臨海鉄道株式会社（茨城県）
- ・ ひたちなか海浜鉄道株式会社（茨城県）
- ・ 津軽鉄道株式会社（青森県）
- ・ 弘南鉄道株式会社（青森県）
- ・ 会津鉄道株式会社（福島県）
- ・ 小湊鉄道株式会社（千葉県）
- ・ 平成筑豊鉄道株式会社（福岡県）
- ・ 島原鉄道株式会社（長崎県）
- ・ 明智鉄道株式会社（岐阜県）
- ・ 水間鉄道株式会社（大阪府）
- ・ 阿佐海岸鉄道株式会社（徳島県）
- ・ 井原鉄道株式会社（岡山県）
- ・ 秋田内陸縦貫鉄道株式会社（秋田県）
- ・ 由利高原鉄道株式会社（秋田県）
- ・ 和歌山電鉄株式会社（和歌山県）
- ・ 東京急行電鉄株式会社（東京都）
- ・ 東日本旅客鉄道株式会社（東京都）
- ・ 京浜急行電鉄株式会社（東京都）



いすみ鉄道



秋田内陸鉄道



図 4.1 パネルフレームの穴

4.線路内太陽光発電の技術課題に対する対策

4.1 軌道内の保守・点検作業への対策

軌道内の保守点検作業の障害に成らない様にするには、太陽光パネルの脱着が簡単に出来る事が第一条件である。脱着作業が素早く出来る為には、少ない人数で、出来るだけ重機や電動工具を使わず、しかもワンタッチで作業が完結する事が重要な条件である。素早い脱着の為に、以下の物を実験用に用意した。

線路内に太陽光パネルの脱着実験に使用したパーツ		
	ステンレスフック 4本 t2 レールの下に差し込む 耐荷重は未測定 L-150mm W-20mm~45mm	S U S 304
	ターンバックル 2本 耐荷重 50kgf L-115mm~160mm	S U S 304
	カラビナ 2個 耐荷重 60kgf D-5mm L-54mm W-27mm	S U S 304
	フレームフック 4個 耐荷重 15kgf L-70mm H-34mm	S U S 304
	ハイテク絶縁ワイヤー 2本 構成：心糸ケブラー/側糸ポリプロピレン 線径：直径6mm 加工：片側約8mm×2回縫製 破断強度：1.000kg	長さ 84cm 8cm 17cm

図 4.1 使用パーツ

4.2 三種類の取付け方法

4.2.1 フレーム内取付け方式

フレームに内径 18mmの穴を開け、ワイヤーをその穴を通してレールに取り付けたステンレスフックに接続する。フレームに空ける穴（図 1.4）は長手側の左右にそれぞれ6ヶ所開ける。穴の内周りはワイヤーに傷が付かないようにアルミで補強をする。



図 4.2 パネルフレームの穴

4.2.2. 外掛け方式

太陽光パネルの表面側にハイテク絶縁ワイヤーを掛け左右のステンレスフックに接続してパネルを固定する方法



図 4.3 外掛方式

4.2.3. フック方式

太陽光パネルの短辺側面にフックを4ヶ所ネジ止めし、レールに取付けたステンレスフックにワイヤーで接続する方法



図 4.4 フック方式

4.3 脱着実験

4.3.1. フレーム内取付方式 (株式会社東京急行新丸子保線区にて)

線路に取付けが完了するまでの作業と時間の確認、そしてその取付けた太陽光パネルを一旦外して約2メートル前方に移動させ、再び取付完了するまでにどの位時間が掛るか計測した。

手順としては、まずステンレスフックをレールの下側に差込み、約84cmのハイテクワイヤーの先にカラビナを取付け、カラビナをレールに取付けたフックの掛けるそしてハイテクワイヤー反対側を太陽光パネルの穴から差込パネルの裏側を通して反対側の穴に通し、ターンバックルを中間に付け反対側のステンレスフックと接続してターンバックルを締め適当なテンションを掛ける。1枚の太陽光パネルにハイテクワイヤー2ヶ所で固定する。

表 4.1 フレーム内取付方式作業時間測定結果

	取外時間	取外し 2 M 移動し再取付時間
1 回目	29 秒	2 分 06 秒
2 回目	70 秒	2 分 10 秒
3 回目	38 秒	2 分 25 秒
4 回目	45 秒	1 分 46 秒

レール下のバラスト（砂利）の状態を取付時間に差が生じる事が判明した。バールで砂利をどかしながら、ステンレスのフックを差し込む方法で時間短縮が見込める。但しバラストの状態は軌道によっても、鉄道会社によってもまったく異なるとの事であった。首都圏の鉄道の軌道はレールとバラストの間に隙間がありフックを差し込めるのは全く問題は無いが、地方のローカル線の場合でメンテナンスがほとんどしていない場合さらに時間が掛る事も考えられる。



図 4.5 東急電鉄脱着実験

4.3.2. 外掛方式（鉄道総合研究所にて）

表 4.2 外掛方式作業時間測定結果

	取外時間	取外し 2M 移動し再取付時間
1 回目	36 秒	4 分 47 秒
2 回目	42 秒	3 分 31 秒
3 回目	29 秒	2 分 57 秒
4 回目	40 秒	2 分 45 秒

鉄道総研内の構内試験線での、脱着試験はレールの下の変石が大きめで、空間が少なく、ステンレスフックを差し込む際に時間が掛った、ボールを使用して石を退かしながらの作業だった、ターバックルとパネルの間隔が狭く、パネルが何らかの衝撃で動いた場合短絡する可能性があった。

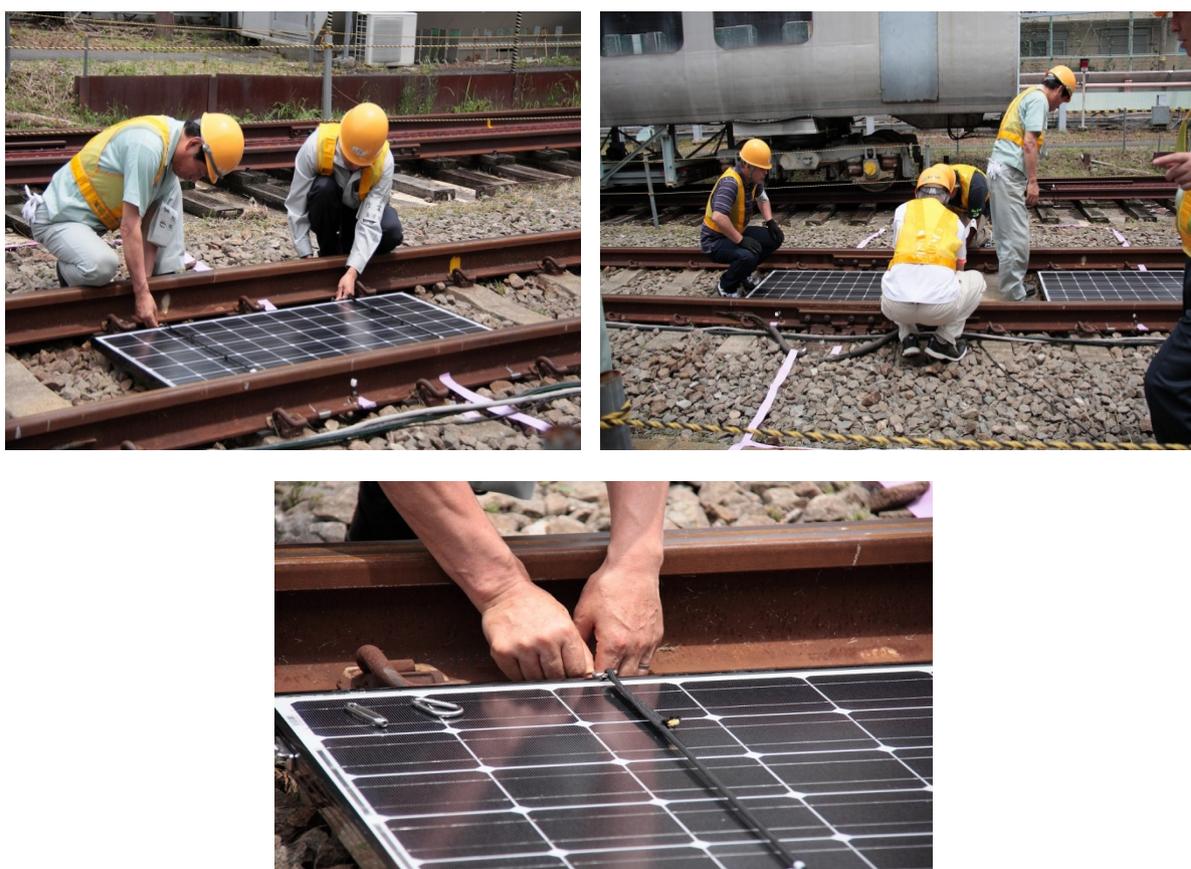


図 4.6 外掛け方式の取付

4.3.3. フック方式（鉄道総合研究所にて）

表 4.3 取付時間表

	取外時間	取外し 2M 移動し再取付時間
1 回目	28 秒	1 分 47 秒
2 回目	30 秒	1 分 45 秒
3 回目	33 秒	1 分 20 秒
4 回目	21 秒	1 分 05 秒

パネルに直接取り付けられたフックとレールの下のステンレスフックを短いハイテク絶縁ワイヤーで取付付けるだけの作業で、非常にスピーディーで出来る。レールの下でのバラスト次第ではさらに時間短縮が可能である。



図 4.7 鉄道総研での脱着試験

4.4 脱着試験の結果

脱着の作業は、3つの方式では**フック方式**が非常に簡単であった、時間もフック式が一番短時間で作業が出来た。

・フレーム内取付方式

ハイテク絶縁ワイヤーをパネルの穴から通す作業の際に、太陽光パネルを一度持ち上げなければ成らなく、2名の作業員が同時にその作業をしなければならないので、時間も掛る。

・外掛け方式

作業的には問題は無いが、パネルを上から押さえているだけなので、風圧によって動く可能性がある、また、何らかの原因で動いた場合ターバックルやレールの締結装置に触れると、短絡して信号の誤作動を招く恐れがある、また更にパネル上に常にワイヤーの陰が生じて故障の原因に成る可能性がある。

・フック式方式

3方式の中では、作業工程も簡単で、作業時間も一番早く、ハイテク絶縁ワイヤー短くて良いので、3方式の中では、一番良好な結果となった。

5. 二分割方式による太陽光パネル20枚の移動実験

鉄道の突き固め等のメンテナンスの為に、その補修が必要な部分にある設置済みの太陽光パネルを一旦取外してメンテナンスが終わるまで、どこかに保管して、メンテナンスが終わってから、再び元の場所に戻さなければならないが、それでは時間と経費がかかり過ぎる、そこで、2分割方式を考案した。そしてその実験を試みた。

軌道のメンテナンスに効率的に対応する為に、あらかじめ太陽光パネルの間隔を約2m開けて設置をする、そして事前にそのパネルの空いている2mの間を突き固め、補修等の作業をしておく、後日補修が終了した部分に太陽光パネルを2m移動させ、今まで太陽光パネルがあった場所を補修、付き固めを行う、そうすれば全体を2mずらすだけで、1時保管場所も使わずに、日中の作業で補修、突き固め作業等のメンテナンスが完了する為に、太陽光パネル20枚を2m間隔で取り付け、更に20枚の太陽光パネルを2mずらすのにどのくらい時間がかかるかを計測した。

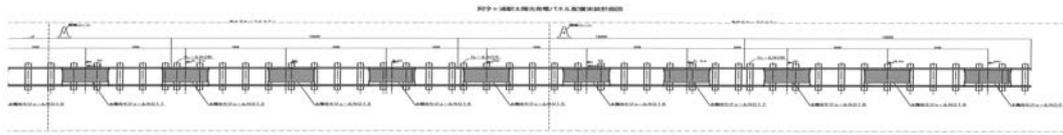


図 5.1 太陽光パネル移動図

5.1 太陽光パネル 20 枚の移動実験（ひたちなか鉄道、阿字ヶ浦駅構内）

取付方式はフック方式で、作業員 8 名が、2 名ごとに 4 チームに分れ、各チーム 5 枚の太陽光パネルを受持ちパネルの取付作業と移動作業を行った。

作業員 8 名 でパネル 20 枚の移動時間

	パネル 20 枚取付時間	2 m 移動して再取付時間
1 回目	8 分 30 秒	15 分 47 秒
2 回目	9 分 25 秒	17 分 30 秒
3 回目	8 分 27 秒	15 分 24 秒
4 回目	8 分 40 秒	15 分 40 秒

表 5.1 取付時間表

5.2 太陽光パネル 20 枚の移動実験の結果

作業時間

実験の結果パネル異動の所要時間は 15 分～17 分で出来る事が分かった、これは我々が予想していた時間よりもはるかに早い時間であった、地方のローカル線の列車の間隔は 30 分～約 2 時間あるので、営業時間内の移動が考えられ、終電後夜間の作業をしなくても良いので、メンテナンス費用が削減できる、したがって太陽光パネル 100 枚程度の移動は、1 日で出来る計算になる。

作業員

阿字ヶ浦の移動実験に参加した作業員は鉄道内での作業の未経験者ばかりで、始まる前に作業手順を 30 分程度説明しただけであった。特に作業は非常にシンプルで、専用の工具等は必要が無く、全てワンタッチで脱着が可能である為に、ベテランの軌道内の作業員の必要は無い。



図 5.1 20 枚の太陽光パネルの移動実験

6. 短絡（ショート）による信号の誤作動防止対策

鉄道の線路には電気が常に流れていて、電車の車軸で左右のレールを短絡させる事によって、列車の位置情報を検知している、したがって、太陽光パネルによって短絡をさせてしまうと、信号の誤作動を起こし、事故の原因になる可能性がある。

太陽光パネルを固定する過程のどこかで絶縁材を使用して、短絡を防がなければならない。

我々はその方法として、下記の 2 案を検討した。

案 1. ハイテク絶縁ワイヤー方式

案 2. 木板絶縁方式

6.1 ハイテク絶縁ワイヤー方式

ハイテク絶縁ワイヤーの芯糸はケプラーで側糸は紫外線での劣化を予防するために黒のポリプロピレンを使用、絶縁性があり、ステンレスと同等の強度があり、非常に軽量で加工が容易である、これを太陽光パネルの 4 箇所を使用して短絡を防止する。



図 6.1 ハイテク絶縁ワイヤー

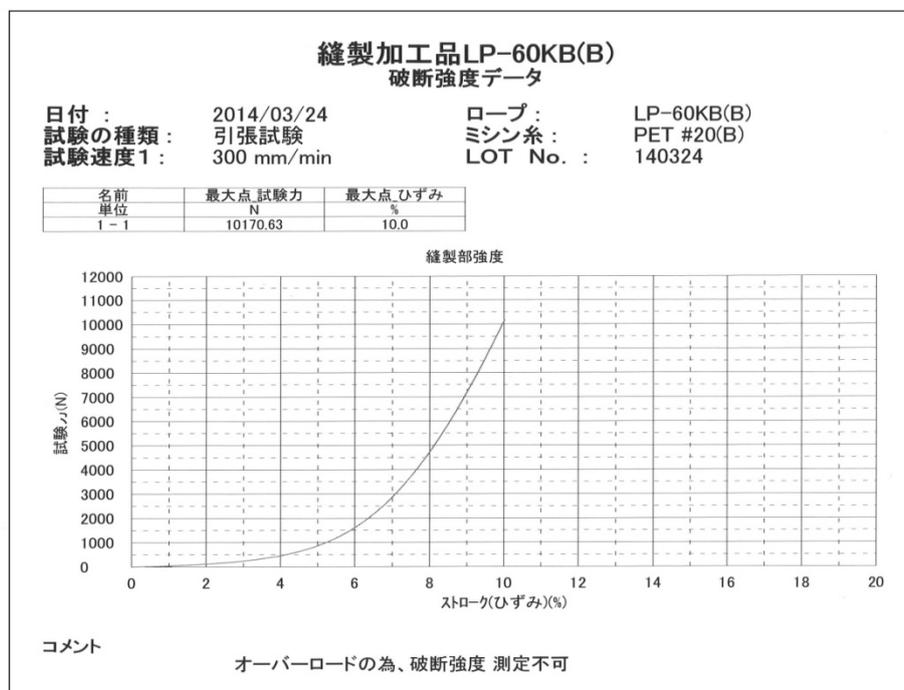


図 6.2 ハイテク絶縁ワイヤーの破断強度データ



図 6.3 ハイテク絶縁ワイヤーの取付方法

6.2 木板絶縁方式(間伐材利用)

太陽光パネルのフレームのある既存の取付用の穴を利用して、防腐剤を加圧注入した間伐材利用の木板をボルトで四隅に取り付ける、その木板にステンレスのフックをビスで取り付ける、レールの下部に差し込んだステンレスフックと木片に取り付けたフックをステンレスのワイヤーで固定する、更に動かないように2か所をターバックルで締め付ける。

本来木材は数十年、数百年の対応年数は数多くの日本建築で証明されているが、屋外で使用する場合防腐剤の塗布と加圧注入の場合とは、対応年数に大きな違いがあり、加圧注入の場合は20年以上の耐久性がある。

木材絶縁方式のメリット

- ・ 価格が安い
- ・ 加工がしやすい
- ・ 重量が軽い
- ・ クッション材の代用に成る
- ・ 対応年数が長い

等のメリットがある。



図 6.5 木材絶縁方法 取付テスト

7. 建築限界に対する対策

7.1 建築限界は問題ない

軌道のレール面より上には建築限界が定められているが、レール面から下は規定がないので太陽光パネルを設置しても問題は無い。

7.2 降雪地区の対策

降雪地区では、除雪車を使用する区間において、除雪車支障界が定められており、軌道内レール面以下 55mm の限界が定められている。仮にレール面以下 55mm より下に、設置したとしても除雪車によってパネルの破損が予想されるので、降雪地区の太陽光パネルの設置には注意が必要である。導入対象路線からは除外する必要があるが、除雪車を使用する路線や、区間などの詳細なデータは得られなかった。

除雪車が走らない線路は、太陽光パネルを設置するには問題は無いがパネルの上に雪が積るので、表面の雪が解けるまで待たなければ成らない、しかし降雪の時期は 12 月、1 月、2 月であるので、元来日照時間が短い季節なので、発電ロスが少ないのでさほどのロスには繋がらない。影響に関しては、日射条件、降雪量、積雪量、期間など気象条件も含めた影響を考慮する必要があるが、本 F/S では検討の対象外とした。

8. A T S の誤作動テスト

A T S（自動列車停止装置）運転手が信号を見落として進行した場合等に、自動的にブレーキを作動させ衝突等を未然に防ぐ為の装置である。

ひたちなか鉄道的那珂湊駅構内の A T S 装置の手前に太陽光パネルを 3 枚設置して、実際に太陽光パネルの上を車両に通過させ、A T S 装置が反応しないかをテストした。4 回繰り返したが、既存の A T S 装置には反応したが、太陽光パネルには全く反応はしなかった。



図 8.1 A T S 装置通過テスト



図 8.2 A T S-S 型



図 8.3 A T S 装置通過テスト

9. 耐風圧試験

9.1 風洞実験

風洞実験は、株式会社泉創建エンジニアリングで行った。

軌道内に太陽光パネルを設置する場合、強風や突風によってパネルが飛ばされる可能性が考えられる、その為にどの位の風圧があった場合、どの位の強度で固定をしなければ成らないかを把握する為の設計係数が必要であった。

その為に、風洞実験によってその値（台風設計用風力係数）を求める事にした。

実験方法は、周辺に建物、樹木などが無い平坦な更地に敷かれたレール内に設置されたソーラーパネルに強風が吹いた状況を風洞内に想定して行った。

想定周辺の状況は、田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域、樹木・低層建築物などが散在している地域（地表面粗度区分Ⅱ）の気流を目標に設定した。

実験模型は縮尺 1/100 で、レール、枕木、太陽光パネル、クッション材をアクリルによってモデル化した。



図 9.1 風洞実験の風洞内

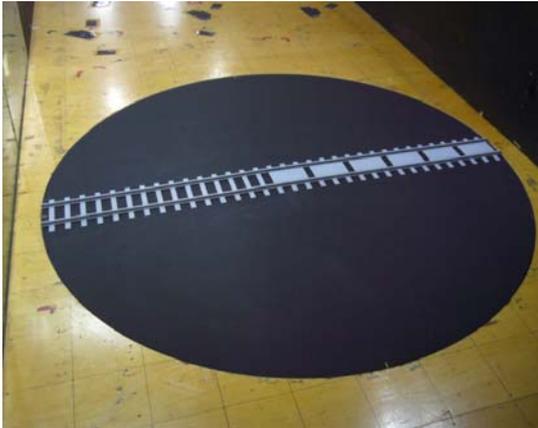


図 9.2 模型全体

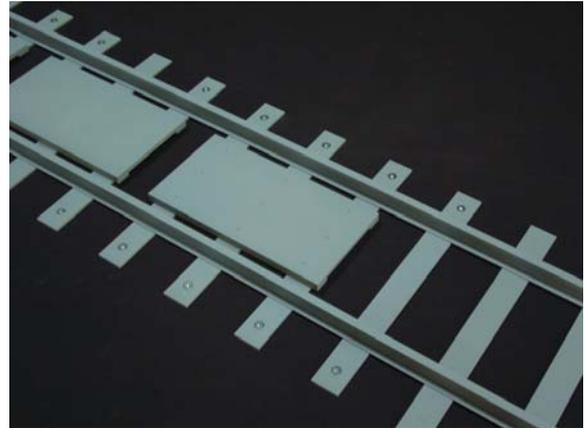


図 9.3 風圧模型

設計用風荷重の算定方法

太陽電池アレイの設計用風荷重は、JIS C8955:2011 に定められているが、これは、建築基準法 87 条及び平成 12 年建設省告示 1454 号(以下、平 12 建告 1454 号)の建築物の柱梁などの構造骨組設計用風荷重の算定方法を元に与えられている。しかし、本調査で対象としたソーラーパネルの面積 1.2m^2 を考えた場合、ガラスや屋根葺き材などの外装材を規定した平成 12 年建設省告示 1458 号(以下、平 12 建告 1458 号)に従って風荷重を算定するほうが妥当と考えられることより、本調査では、平 12 建告 1458 号に基づいて風荷重を算定する。

平 12 建告 1458 号に基づく設計用風荷重 $W(N)$ は、設計用ピーク風力係数を用いて(4.1)式により算定できる。

設計用風荷重の算定結果

風荷重の試算として、ここでは地表面粗度区分をⅢ(Z_b 、 Z_G 及び ρ はそれぞれ 5m、450m 及び 0.20)、 V_0 を首都圏近郊で風速の高い房総半島での値 38m/s として風洞実験結果を用いて設計用風荷重を算定した。表 4.1 に設計用風荷重及び算定に用いた諸元の値を示す。

なお、設置場所が海岸や湖付近の場合は、地表面粗度区分Ⅱより Z_b 、 Z_G 及び ρ をそれぞれ 5m、350m 及び 0.15 として(4.2)式及び(4.3)式より設計用速度圧を算定する。また、設置場所の V_0 が 38m/s と異なる場合は平 12 建告 1454 号より、設置場所のある地域で求めた V_0 を用いて設計用速度圧を算定する。

表 9.1 設計荷重の算定結果

	ケース 1		ケース 2	
	正值	負値	正值	負値
設計用ピーク風力 係数	0.110	-0.484	0.136	-0.461
設計風速 (m/s)	26.3			
設計用速度圧 (N/m ²)	414			
設計用風荷重 (N)	55	-240	68	-229

設計用風荷重の算定結果(地表面粗度区分Ⅲ、 $V_0=38\text{m/s}$ の場合)

最後に JIS より算定される設計用風荷重と本調査で得られた設計用風荷重の比較を行う。

JIS C8955:2011 では、本調査で対象としたソーラーパネルのように、地上近くに平らに置くものについて風力係数の規定は無いが、参考として JIS の地上置型(単独)逆風(負圧)の 15° と陸屋根型逆風(負圧)の 0° の風力係数 0.95 を用いて設計用風荷重 W_p を算定すると、以下に示すように $W_p=1175\text{(N)}$ であり、本調査で得られた設計用風荷重は $1/5$ 以下の小さな値となっている。

ちなみに、 $C_w \times G_f = 2.38$ が実験より求めた設計用ピーク風力係数と同等なものである。

風力係数 $C_w = 0.95$

環境係数 $E = E_r^2 G_f = 1.19$

ガスト影響係数 $G_f = 2.5$

平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$E_r = 1.7(Z_b / Z_G)^\alpha = 1.7 \times (5 / 450)^{0.2} = 0.69$$

設計用基準風速 $V_0 = 38 \text{ (m/s)}$

用途係数 $I = 1.0$

設計用速度圧 $q_p = 0.6V_0^2 EI = 0.6 \times 38^2 \times 1.19 \times 1.0 = 1031 \text{ (N/m}^2\text{)}$

受風面積 $A_W = 1.2$

設計用風荷重 $W_P = C_W q_P A_W = 0.95 \times 1031 \times 1.2 = 1175 \text{ (N)}$

ただし、記号は JIS C8955:2011 による。

これは、対象としたソーラーパネルがレールの上に置かれるため直接風を受けないこと及び、地面との隙間が 2cm と狭いためパネル下面に大きな風圧が作用しないことによるものと考えられる。

ただし、最初に述べたように、本調査は周りに何も無い平坦な更地に敷かれた状態で列車も近くにいない状況を想定して実験を行っており、付近に建物や樹木がある場合、地盤に起伏のある場合及び列車通過時には、これらから生じる風によって実験とは異なる風力が作用し、本調査よりも大きな風荷重がソーラーパネルに作用する可能性があるため、このような状況が想定される場所に設置する場合には、別途検討が必要である。

風洞実験の結果をまとめると以下のとおりである。

- ・本実験は、周りに建物や樹木が無い平坦な場所で、列車の通過していない状況を想定して行った。
- ・実験気流は、建築物荷重指針・同解説(日本建築学会、2004年)の地表面粗度区分Ⅱの気流にほぼ従うものを用いて行った。
- ・実験模型は縮尺 1/10 とし、長さ 20m 相当に渡る、レール、枕木、ソーラーパネル及びクッション材をモデル化した。
- ・実験ケースは、連続して設置されたソーラーパネルの中央に位置する場合と、端部に位置する場合の 2 ケースについて行った。
- ・設計用ピーク風力係数は、いずれのケースも吹き上げられる方向に大きく、中央に設置されるソーラーパネルでは-0.48、端部に設置されるソーラーパネルでは-0.46 である。
- ・得られた設計用ピーク風力係数を用いて、平成 12 年建設省告示 1458 号に基づき地表面粗度区分Ⅲ、 V_0 を 38m/s とし風荷重の算定を行った。得られたソーラーパネル 1 枚当り(パネル面積 1.2m²)の設計用風荷重は、中央に設置されるパネルでは 240N、端部に設置されるパネルでは 229N である。
- ・付近に建物や樹木がある場所や地盤に起伏のある場所に設置する場合及び列車通過時に強風が吹く場合については、これらの影響により大きな風荷重となる可能性も考えられるため、別途検討を行う必要がある。

9.3 風洞実験の試験結果

風洞実験で得られた係数は、上記のように最大風圧で、中央部で 240N (約 24kg) 端部で 229N (約 22.9kg) という事が判明した。現在計画中の固定金具のうち、フレームフックで十分に耐えられる強度を確保している事がわかった。

但し、取付ネジの引き抜き強度は考慮してないため、太陽光パネルとフレーム構造と合わせた、検討が必要となる。

表 9.2 金具耐荷重 (参考値)

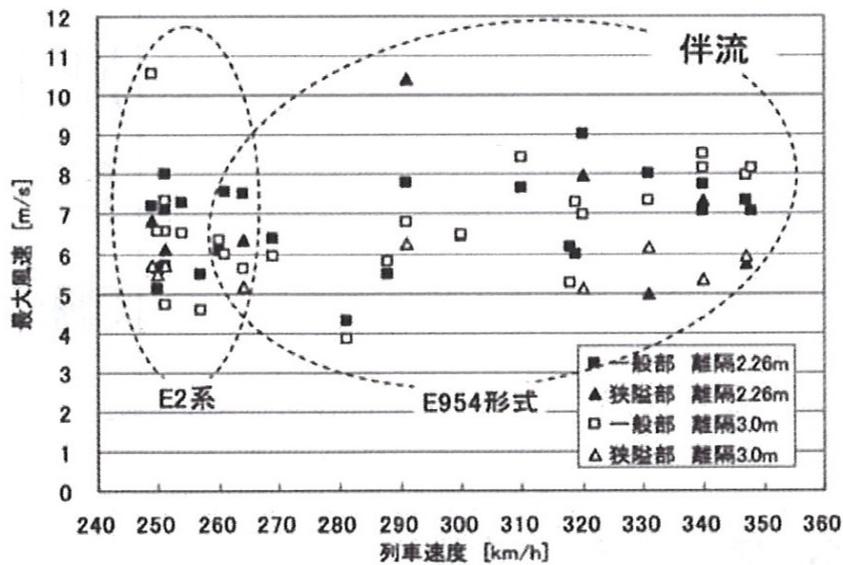
固定金具	参考使用荷重	パネル 1 枚当たり
ステンレスカラビナ (5mm)	60kg	2 個
ステンレスターンバックル (5mm)	50kg	2 個
ステンレスヒートンフック (7mm)	71kg	4 本

9.4 伴流対策

列車が高速で通過すると列車の後方で風が巻き上げられる現象がある、その風に線路内に設置した太陽光パネルが巻き上げられてしまわないかという意見があった。

列車の後方で起こる風を伴流というが、列車がどの位の速度で通過すると、どの位の風圧が線路内に設置した太陽光パネルに発生するかを調べた。

JR EAST Technical ReviewNo. 31 「列車風のホーム上ならびに駅舎内での影響」の中に記載があったので引用する。



列車速度と伴流の最大風速の関係 (B駅)

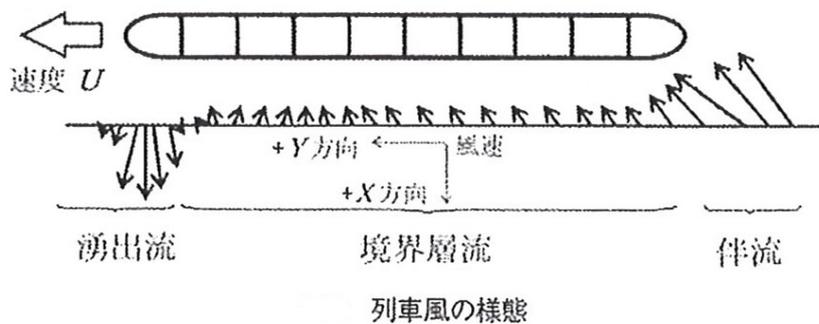


図 9.2 伴流発生モデル

実験結果では、E954形式新幹線高速試験電車の350km程度の通過速度での最大風速は5m/s～10m/sであった、これはE2系の営業列車(250km～265km)と同程度の風速で、安全上の目安6m/s～9m/sの範囲内であった。

前項での風速実験では、最大風速38m/sで太陽光パネルの風圧は24kgであったので、伴流の最大風速は5m/s～10m/sでは、現設計の固定方法の範囲内である事がわかった。

出典：JR EAST Technical Review No. 31「列車風のホーム上ならびに駅舎内での影響」

10. 振動実験

10.1 振動実験の試験条件

鉄道会社へのヒアリングの結果、車両が通過する時に、線路の継目等からの振動によって太陽光パネルの表面の強化ガラスが破損をするのでは、或いは固定した太陽光パネルの位置がずれたり、外れたりして危険は無いのかと言う意見が多く出た。

そこで、実際に車両を太陽光パネルの上を通過させ、太陽光パネルにどの位の振動が伝わるかを実験して、固定金具の強度やクッション材の材質、厚さ等を決定する際の参考にすることをした。

振動実験は鉄道総合研究所に委託し、鉄道総研内の構内試験線において行った。

- ・車両走行時のレール振動化速度
- ・車両走行時の枕木振動化速度
- ・車両走行時の太陽光パネル振動加速度

以上の項目について測定・分析を試みた。

表 10.1 太陽光パネルの敷設条件

試験条件	設置方法	クッション厚さ	固定方法
Case-1	直置き	—	外掛け
Case-2	クッション	20mm	外掛け
Case-3	クッション	20mm	直掛け
Case-4	クッション	40mm	直掛け
Case-5	パネル無し		

取付方法は、外掛け方式とフック方式（直掛け）の2方式、クッションは20mmと4mmの2種類、また比較対象として太陽光パネルの無い状態での計測を行った。

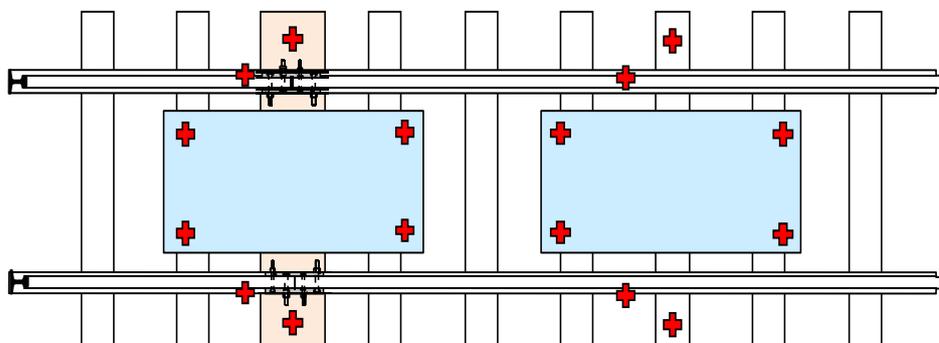


図 10.1 加速センサーの設置位置

設置位置はレールの継目部とそこから枕木4本離れた所に設置した。

走行試験の試験条件は、各ケース 10 km/h、20 km/h 及び 30 km/h の3速度段とし、計2往復した。

表 10.1 試験条件

試験条件	速度1	速度2	速度3
Case-1	10km/h	20km/h	30km/h
Case-2	10km/h	20km/h	30km/h
Case-3	10km/h	20km/h	30km/h
Case-4	10km/h	20km/h	30km/h
Case-5	10km/h	20km/h	30km/h

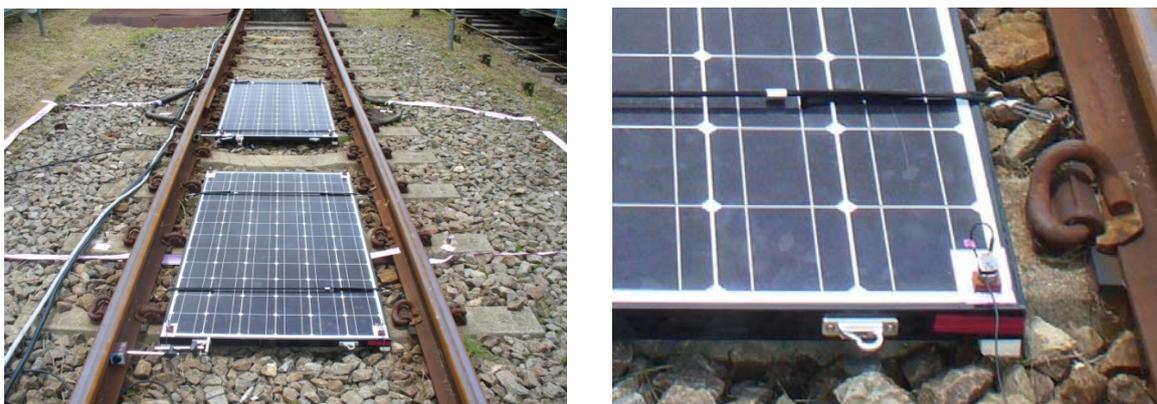


図 10.1 クッション材 20mm、外掛け方式のパネルの取付状況



図 10.2 クッション材 20mm、直掛け（フック方式）のパネルの取付状況



図 10.3 試験電車の走行状況

10.1 振動実験の試験結果（添付報告書より抜粋）

（1）パネルの設置の有無

パネルの設置の有無で比較すると、継目近傍ではパネル設置時にレール振動加速度レベルは増加し、まくら木の振動加速度レベルは低下する傾向にあった。一方、一般部については、レール振動加速度レベル、まくら木の振動加速度レベルともに、パネル設置の有無で大きな差は見られなかった。このことから、継目部ではパネルの設置が軌道の振動特性に影響を及ぼすが、一般部ではパネルの設置は軌道の振動特性に大きな影響を及ぼさないものと考えられる。

（2）パネルの設置方法

パネルの設置方法については、クッション材の有無で比較すると、クッション材有りの方がパネル振動加速度のレベルが小さくなる傾向にあった。また、クッション材有りの場合においては、振動加速度レベルの観点からは、取付け方法やクッション材の厚さによる有意な差は見られなかった。このことより、パネルに発生する振動加速度を抑制する観点からは、パネルとまくら木の間クッション材を挿入することが効果的であるとされる。

(3) パネルの設置位置

パネルの設置位置について、継目部と一般部で比較すると、パネル振動加速度レベルは、一般部の方が小さくなる傾向にあった。また、パネルを設置しない状態でのレールおよびまくら木の振動の測定結果により、継目より 4m 程度離れると振動加速度レベルは継目部と比較して十分に小さくなることがわかった。

以上の結果より、振動加速度レベルの観点からは、パネルを軌道に敷設する際は、継目部より 4m 程度以上離すことにより、継目による衝撃の影響は小さくなると考えられる。その際、パネルとまくら木間にはクッション材を設置すると、パネルに作用する振動加速度を低減できることがわかった。なお、振動加速度以外の観点においては、作業性や安全性等を考慮して取付方法等を慎重に検討すべきものと考えられる。

1 1. 技術的課題以外の導入の妨げになる要因

11.1 赤字ローカル線の場合

導入を妨げる技術的な要因は前章で述べたが、我々がローカルの鉄道会社にヒアリングをした結果、ローカル鉄道会社の導入を妨げる要因の一番手として資金の調達難をあげた、資金の調達さえ可能ならば、技術的な事は社内の努力で何とかするとの意見であったが、しかしローカル線の経営は非常に厳しい、それぞれのローカル線では様々なアイデアで赤字解消の努力を行っているが黒字に転換するまでには達していない、その為に前年の赤字を地方自治体が色々な名目で赤字を補てんしているのが現状である、鉄道会社によっては運賃収入と同額の赤字も珍しくは無い。

地方の自治体にとっては赤字の穴埋め以外に更に太陽光発電事業に税金を投入する事は出来ないのは当然である、だからと言って、黒字化の対策が無いまま永遠に税金を使い続ける事も出来ない、赤字が続くからといって路線を廃線にして、バス路線やBRTに転換にしても多額の投資が必要で乗客の増加の保証は全く無く、さらなる赤字の可能性もある。「進むも赤字、戻るも赤字」の状態である。

この「線路内太陽光発電」は過疎化や少子化と言った環境の変化とは全く関係が無く太陽さえあれば永遠に利益を生む事が出来て、鉄道の営業の邪魔には成らない、画期的な救済策となる可能性がある。

官民協力して、ローカル線救済の為に太陽光発電基金或いは投資会社を設立して、そこが一時的に建設費用を立て替えて、そして鉄道会社は太陽光発電の売電の収入から一定の率で基金に返済をする、数年後にはその基金は必ず増加し続ける事も可能と考える。

いわゆる公共投資は一時的な効果があるが、数年後に赤字が山積してしまうが、この場合は間違えなく長期にわたって収益が望めるアイデアである。



写真：P/D

11.2 大手鉄道会社の場合

首都圏の鉄道は電車の間隔が短く車両も長く、人力による目視の点検検査が行われているので、線路内に太陽光パネルが設置されていると、点検の為に一時的にパネルを撤去する必要がある、その点検の頻度は最低でも年1回は行われているので、その為点検検査の頻度の高い路線での導入は難しいとの意見が多い。

しかしながら、鉄道会社の点検検査は人による検査から装置化の方向に向かっていて、色々の検査装置が開発されている。これらの検査装置のメリットは、線路内の太陽光パネルが設置してあってもそれを撤去しなくても、点検検査が出来る事である。

装置による点検検査で補修が必要とされた箇所だけを補修する事で、発電期間中の太陽光パネルの脱着回数を減らす事が期待でき、この線路内太陽光発電の導入の可能性が高まる。



図 11.1 軌道変位常時監視システム（試作品）

JR 総研/軌道技術研究部

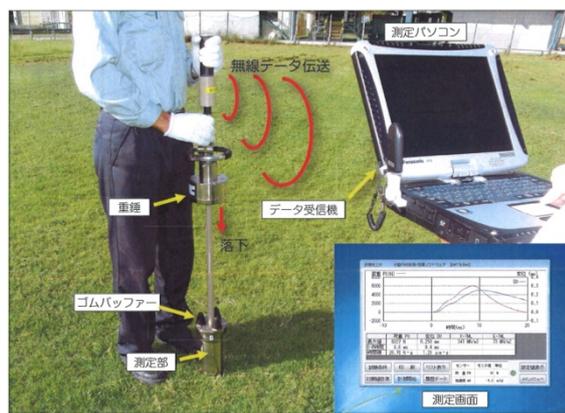


図 11.2 慣性正矢軌道検測装置構成

JR 総研/軌道技術部（参考）

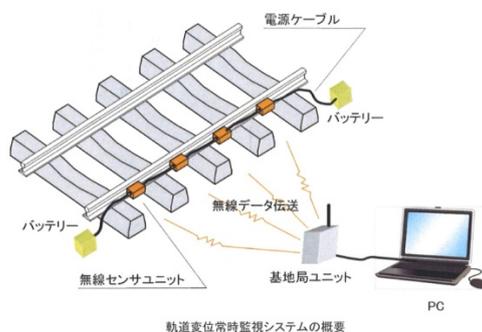


図 11.3 軌道変位常時監視システム

JR 総研/軌道技術部

12. 普及に向けた発電コスト試算

線路内太陽光発電のメリットの一つに発電コストの安さが上げられる、鉄道の軌道内は新たに土地の購入費用、土地の造成工事費用の必要が無い、既存のレールを使用する為にコンクリート等の基礎工事も必要が無い、また、太陽光パネルを固定する架台も必要が無い、電気配線工事も既存の設備を利用できる、したがって発電コストが安いのである。

しかし、現段階では軌道内のメンテナンスの為に、パネルの移動が期間内に2, 3回必要になる。

表 12.1 コスト比較表 (単位千円)

		(単位千円)					
	1MWクラス	線路内太陽光発電			設置型メガソーラー		
建設費				190,500			261,250
	モジュール等機器費			170,500			220,250
	モジュール(200W)	17	5,000	85,000	17	5,000	85,000
	パワコン(500KW)	14,000	2	28,000	14,000	2	28,000
	固定器具	3	5,000	15,000	0		0
	架台	0		0	35	850	29,750
	基礎工事	0		0	35,000	1	35,000
	集電箱、配線ケーブル他	30,000	1	30,000	30,000	1	30,000
	監視設備	2,500	1	2,500	2,500	1	2,500
	その他	10,000	1	10,000	10,000	1	10,000
	工事費用			20,000			41,000
	取付人工	20	250	5,000	25	600	15,000
	電気配線人工	25	600	15,000	25	600	15,000
	その他	5,000	1	5,000	5,000	1	5,000
	系統接続費用	2,000	1	2,000	2,000	1	2,000
	土地造成費用	0		0	4,000	1	4,000
運用費				165,000			234,000
	修繕費	5,000	20	100,000	5,000	20	100,000
	パワコン交換	14,000	1	14,000	14,000	1	14,000
	パネル移動費	5,000	3	15,000			0
	主任技術者人件費	0	0	0	1,200	20	24,000
	一般管理費	1,800	20	36,000	1,800	20	36,000
	土地賃借料			0	3,000	20	60,000
廃棄処理費	廃棄処理費	10,000	1	10,000	10,000	1	10,000

取付人工：線路内発電の場合は単純作業の為に1日20,000円×250名

設置型は専門工事の為に25,000円×600名

配線工事：共に材工で4,500万円、既存のケーブルや電気設備の併用は検証が必要の為に

固定器具：レール用フック×4、ターンバックル×2、金具付木板×4、ステンレスワイヤー200mm×2 3,000円/パネル1枚

今回は計算外、鉄道会社の場合は、駅舎等での自家消費のケースが考えられる、また、直流のまま近くの変電所に送電するケースもあるが、今回は検証していないので計算外。

線路内太陽光発電の場合、電気技術管理士は通常鉄道会社には在籍しているので費用は発生しない、土地の賃借料も自前の土地なので発生はしない、しかしながら枕木の交換や突き固め等で期間中のパネルの移動が必要になるので、その費用1回約500万円の費用が発生する但し外注でなくて自前の人員を使用して行えばその費用は不要である。

期間中のパネルの速やかな移動の為に、ワンタッチで工具なしでスピーディーに移動が可能に成る様に設計をしてある。外注人件費と部品の交換費用は1回500万円が必要になる。パネル移動実験の結果は、8人でパネル20枚の移設は約15分50秒であった。

●線路内太陽光発電の場合（絶縁材に木材使用した場合）

運転年数内総発電量：横浜市 傾斜角度0度の場合

日射量 3.54kWh/m²、損失係数0.85、システム容量 1.000kw、期間20年間

$3.54 \times 0.85 \times 1.000 \times 365 = 1.098.285 \text{ kWh/年間}$

20年間 約2.200万kWh/

190.500千円（建設費）+165.000千円（運用費）+10.000千円（廃棄処理費）

=365.500千円

2.200万kWh 20年間総発電量

= 16.6円/発電コスト/kWh

●設置型メガソーラーの場合

運転年数総発電量：横浜市 傾斜角度30度の場合

日射量 3.91kWh/m²、損失係数0.85、システム容量1000kw、期間20年間

$3.91 \times 0.85 \times 1.000 \times 365 = 1.213.077 \text{ kWh/年間}$

20年間 約2.420万kWh/

261.250千円（建設費）+234.000千円（運用費）+10.000千円（廃棄処理費）

=505.250千円

2420万kWh 20年間総発電量

= 20.8円/発電コスト/kWh

13. 普及モデルの仕様のまとめ

13.1 木材での絶縁方法のコスト

今回の「線路内太陽光発電」実証プロジェクトでの実証実験の結果、絶縁方法はハイテク絶縁ワイヤーではなく、木材（間伐材）に防腐材を注入して絶縁材として使用する方式が抜群であった、全く問題なく絶縁する事が出来る、また費用もハイテク絶縁ワイヤーよりコストダウンが出来る、前項のコスト試算はこの方法で計算をしている。

表 13.1 パネル一枚当たりの部材比較表

(単位円)

部材	ハイテク絶縁ワイヤー			木材絶縁方式		
	単価	数量	金額	単価	数量	金額
ハイテクワイヤー大	1,200	2	2,400			未使用
ハイテクワイヤー小	700	2	1,400			未使用
ステンレスフック	220	4	880	220	4	880
防腐剤入り木材			未使用	220	4	880
カラナビ	250	2	500			未使用
ターバックル	200	2	400	200	2	400
フック	200	4	800			未使用
木材用フック			未使用	110	4	440
ステンレスワイヤー			未使用	200	2	400
パネル一枚当たり			6,380			3,000

パネル 5000 枚で比較すると、3.190 万円に対して木材絶縁方式は 1.500 万円で 1.690 万円の差額がでる。木材の絶縁材のコストは、防腐剤注入してカット、穴あけ込みで@220 円が可能、但し 2 万個で 4 ヶ月必要、また、その他に、太陽光パネルのフレームに穴を開けずに、既存の架台に固定する穴を利用するのでフレームの強度は保たれ、更にアルミ製の太陽光パネルのフレームと枕木の間でクッション材の役目を果たし、フレームの保護材になる。

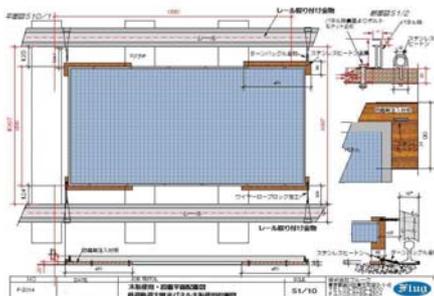


図 13.1 木材絶縁方式

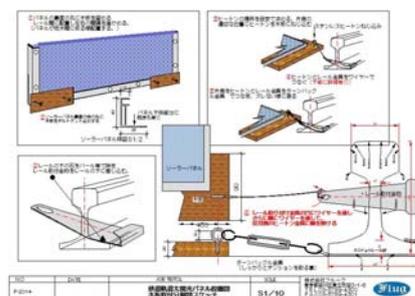


図 13.2 木材絶縁方式



図 13.3 防腐剤注入した木材を絶縁材に使用した例

13.2 設置可能な場所

表 13.1 全国鉄道路線の営業キロ数

	営業キロ数 (2012 年)
JR 北海道	2.499 k m
JR 東日本	7.391 k m
JR 東海	1.970 k m
JR 西日本	4.991 k m
JR 四国	855 k m
JR 九州	2.273 k m
JR 貨物	8.337 k m
大手私鉄 16 社	2.718 k m
その他私鉄	533 k m
地方ローカル線	2.600 k m
その他	714 k m
合計	35.023 k m

出典：東洋経済「鉄道完全解明」

営業線以外の今後導入が可能な場所は全国に点在する車両基地或いは軌道敷地内の未使用線、工場引込線、工場専用線等がある



図 13.4 車両基地



図 13.5 工場専用線

13.3 設置可能な他の交通機関

ハンドル固定式ガイドウエーバス、モノレール、BRT、LRT等



図 13.6 ガイドウエーバスのイメージ写真 (提供：神尾公典)

13.4 廃線跡線路の活用

廃線利用の現状

1980年代後半から赤字路線等を対象に全国に多くの鉄道が廃線に成っている、その線路跡地の利用についてはトロッコ列車の運行やレールサイクリングなど様々な利用方法が試されているが、その多くは有効に活用されていない、多額の費用をかけて線路や枕木を撤去してもその土地の形状から有用な転用が期待できないのが現状である。

重量のある線路は有効な土台となり太陽光パネルを設置する架台になるので、廃線跡を利用した太陽光発電が可能になる。



図 13.7 2014年廃線 北海道江差線 42.1km



図 13.8 未使用線設置例



図 13.9 パネル設置方法

日当たりの良い場所の5kmに太陽光パネルを設置すると、5,000枚の設置が可能で約1.25メガの発電所が出来る可能性がある。

保守・点検の為の脱着の必要が無く、ローコスト太陽光発電所になる。

但し課題は、ケーブルの配線方法であり、効率のよい分割方法であり今後の課題である。

13.5 導入ポテンシャル

全国の鉄道路線の営業キロ数は約3万5千キロあるが、営業キロ数と実際の線路の長さとは別である、路線には上り、下りの複線もあり、複々線のあり、単線もあるまた、広大な車両基地もあり、残念ながら日本全体の線路の総長さのデータは無い。

仮説であるが、総線路長を5万キロとする推定した場合の設置可能容量を検討する。太陽光パネルが設置できる環境の場所、つまり日当たりが良好な箇所、トンネルや、山中、日陰等を引いた場所が50%と仮定すると約2万5千Kmになる。太陽光パネルは、振動結果などから、3,5mピッチで、レール端部から4m以上離すことを想定している。一方、標準的なレールの長さは25mであるので、1本のレールに4枚設置できる。設定可能な全てのレールを25mとすると、400万枚の設置ポテンシャルとなる。幅800mm程度、長さ1600mm程度のパネルの標準的な定格を200Wとすると、800メガワットの導入ポテンシャルとなる。但し、冬期積雪時に除雪が必要な箇所は設置できないが、明確な統計が無いために、導入ポテンシャルはこの数値以下となる。

今すぐに導入が可能な箇所

- ・スラブ軌道線路
- ・地方のローカル線の直線区間
- ・車両基地内
- ・敷地内の未使用線路
- ・工場専用線
- ・廃線跡線路

等への導入の可能性が高いと考える。

14. 今後の課題

今回の太陽光発電多用途化可能性検討事業で多くの可能性は認識出来たが、まだ多くの課題が残されている。鉄道会社の協力で実際に線路を使って太陽光パネルの脱着実験、取付実験そして振動実験をする事が出来た。

しかし、実際に太陽光パネルを線路に設置して、その上を電車が往来して太陽光発電をする実証実験は残念ながら出来ていない。

今後の課題として

- 電車の架線を利用して太陽光パネルが発電した電力を、電気系統を制御して目的の場所まで送電する手法の検討が必要である。
- 電車の架線がないディーゼル区間の場合、経済的な配線方法はどんな方法があるのか、ケーブルの長さによるロスが生じるので、常識を覆す発想が必要である、例えばレールをケーブルの代用として送電が出来ないか研究する必要がある。
- 降雪地帯の場合、除雪車が除雪をする際に問題のない取付方法を開発する必要があるが、その方法が未解決である、除雪車の必要が無くなる様な発想の転換が必要である。
- レールのつなぎ目で発生する振動によるパネルへの影響は、つなぎ目より2m離せば問題はないが、しかしさらに長期的に実証実験する必要がある。
- ターンバックル、カラビナ等は既製品を利用しているので、このシステムに合った形態の固定金具設計が必要で、更なる設計開発が必要となる。また、ターンバックルに代わるラチェットでワイヤーのテンションを調節出来れば更に脱着が容易になる。
- 太陽光パネルは既存のアルミ素材の既製品で実験をしたが、線路内の場合最適な素材とフォルムのデザインが必要でサイズ、フレーム、表面素材、留め方を含めてまだまだ設計開発が必要である。

あとがき

ゼロエミッションの道を開く

現在各地の鉄道会社では、エネルギーの効率的・効果的な取り組みを行っている、電車が停止する時に発生する回生電力の活用や、鉄道の動力源への太陽光発電の有効活用の研究を進めている。

太陽光発電には大きな可能性があり、将来の本格的な導入を検討している、しかしながら鉄道各社の研究は太陽光発電の電力を一時的に蓄電池に蓄えてから有効に活用する方法である。しかし、現状では沿線の土地を利用した太陽光発電の電力を遠隔の変電所に送るには配電線損失が大きく、遠くまで送電する事が出来ない。太陽光発電で発電した電気を有効利用する為に、電気系統を制御して架線を利用して電気を遠くに送る研究が必要となる。

これは、太陽光発電が沿線であることを前提としているが、この線路内太陽光発電は電車の走る線路内での発電するものであるため、沿線の発電所に比べて送電損失の低減が期待できる。

赤字ローカル線の救済

250Wの太陽光パネル1枚で年間約8,000円の売電収入になる、もし線路内に5,000枚を設置が出来たとすると、年間で約4,000万円の収入があり、しかも20年間毎年4,000万円の収入が見込める、今後少子化が進み更に経営が苦しく成る事を考えれば、地方のローカル線は積極的に導入を検討すべきである。

さらなる実証実験の必要性

それは1日も早くこの線路内太陽光発電が完成して、全ての線路で使用できる様に成らなくては成らない、鉄道各社と全ての関係企業が一体になり、英知を集約し、さらなる実証実験を行う必要がある。

この開発が進めば、全ての電車が100%再生可能エネルギーだけで動く時代が来るのである。

研究発表・講演、文献、特許の状況

(1) 研究発表・講演なし

(2) 文献 なし

(3) 特許 なし

(4) 掲載 神奈川新聞 26年6月7日

契約管理番号 13401879-0