

社会実装に向けた路面太陽光発電技術に関する構造の一検討

鍛 治 哲 理・平 子 貴 大・永 島 淳 貴

道路分野において、カーボンニュートラル社会への貢献が期待されている路面太陽光発電技術は、国内外で社会実装に向けて検証が行われている。筆者らは、室内評価試験および屋外試験施工による実証実験を通じて、路面太陽光発電の耐久性評価や構造検討を進めた結果、実路面へ適用できる可能性を確認した。しかし、現行の道路構造令または電気設備の技術基準では、路面太陽光発電の実装を想定した基準はない。そこで、路面太陽光発電技術に関する新たな技術基準の整備に期待し、これまでの検証内容を示すとともに、結果から得られた本技術に関する現状の課題について紹介する。

キーワード：舗装、再生可能エネルギー、路面太陽光発電、舗装構造、配線構造

1. はじめに

路面太陽光発電は、道路空間を利用した太陽光発電と交通供用が両立する舗装技術であり、カーボンニュートラル社会への貢献に期待する技術として、国内外で舗装構造や耐久性の検証が進められている。本技術は、太陽光発電施設としての発電性能や安全性と、舗装路面としてのすべり抵抗性や供用耐久性等の確保が必要である。そこで、筆者らは室内供試体を用いた屋内評価試験と屋外試験施工による実証試験を通じて、耐久性評価や構造検討による検証を進めてきた。本稿では、これまで実施してきた検証内容を示すとともに、結果から得られた本技術に関する現状の課題について紹介する。

2. 路面太陽光パネルの開発

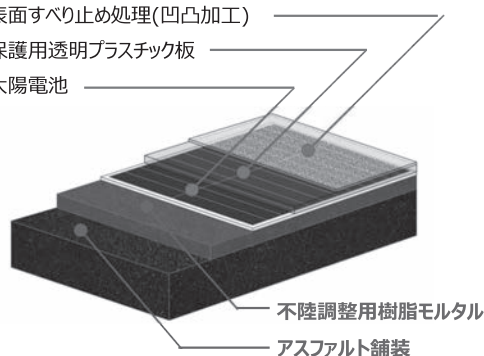
歩行者や車両が通行する路面は、交通荷重に伴うひずみやたわみ変形が発生する。そのため、屋根やメガソーラー等で使用されている一般的な太陽光パネルの構造を流用し路面に設置すると、荷重に伴う変形を許容できず、太陽光パネルが破損する可能性がある。そこで、筆者らは耐荷重性と変形追従性を有し、路面に設置可能な太陽光パネル（以下、路面太陽光パネル）の開発に着手した。路面太陽光パネルの仕様および舗装構造例を図一1に示す。路面太陽光パネルは、変形に追従するフィルム状の太陽電池と耐荷重性を有するプラスチック板を積層した構造としている。また、

路面太陽光パネル

最大出力：40W

寸法：940×940×10mm

- ① 表面すべり止め処理(凹凸加工)
- ② 保護用透明プラスチック板
- ③ 太陽電池



図一1 路面太陽光パネルの仕様および舗装構成例

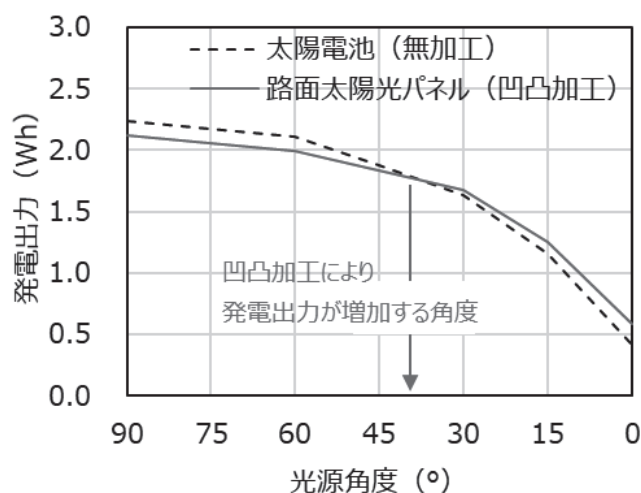


写真一1 路面太陽光パネルの凹凸加工

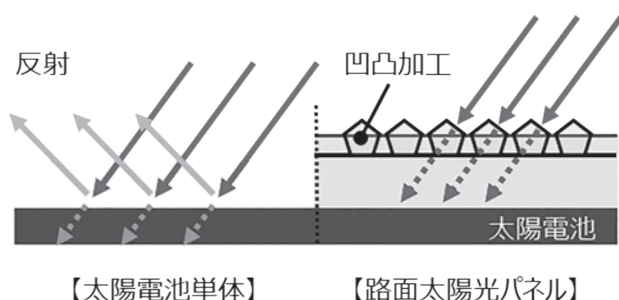
プラスチック板の表面は、所要のすべり抵抗を確保させるため、透明な骨材を透明な樹脂で固定した凹凸加工を施している（写真一1）。

3. 凹凸加工による発電出力への影響

路面太陽光パネルの表面に凹凸加工を施したことで、太陽電池に当たる日射量が減少し、発電出力が低下することが予想されたため、ソーラーシミュレータを用いて光源角度ごとの発電出力を計測した。計測に用いた供試体は、太陽電池単体（無加工）と路面太陽光パネル（凹凸加工）の2種類である。計測結果を図一2に示す。光源角度が90～45°の範囲では太陽電池単体（無加工）の発電出力が高く、光源角度30～0°の範囲では路面太陽光パネル（凹凸加工）の発電出力が高い結果を示した。これは、凹凸加工によって光の反射が抑制され、入射角が30°以下の光を捕捉したためと考えられる（図一3）。また、ソーラーシミュレータでの計測結果と国立天文台が提供する太陽高度データの関係から1年間で発電する平均発電量を試算すると、路面太陽光パネルは太陽電池単体に比べ、平均発電量が増加することを確認した¹⁾。このように、凹凸加工は、すべり止めとしての役割だけでなく、路面設置時の発電量低下を抑制できる可能性が確認できた。



図一2 光源角度ごとの発電出力



図一3 凹凸加工による光の反射抑制イメージ

4. ホイールトラッキング試験機を用いた耐久性試験

(1) 路面太陽光パネルの耐久性評価

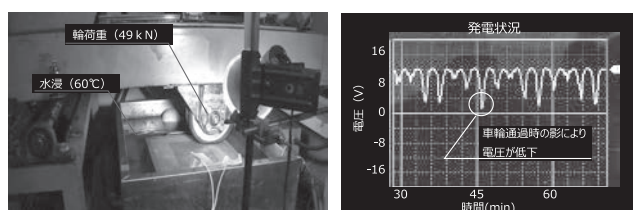
夏季の路面温度および降雨を想定した水浸ホイールトラッキング試験の载荷条件を参考に、水浸状態での大型車両相当の輪荷重载荷試験を実施した。試験条件を表一1に、試験状況を写真一2に示す。供試体の構造は図一1と同様とし、载荷中は路面太陽光パネルの損傷と発電する電圧を計測している。载荷時間が18時間経過（通過輪数 約45,000輪）した時点で、路面太陽光パネルの剥がれや太陽電池の短絡等の損傷は発生しておらず、舗装路面として安全性を確保できることを確認した。

(2) 配線構造の耐久性評価

配線構造に交通荷重が作用することを想定し、ホイールトラッキング試験機を用いて大型車両相当の輪荷重载荷試験を実施した。試験条件を表一2に、供試体の構造を図一4に示す。試験に用いた供試体は、路面近傍にケーブルを配線する構造とし、ケーブルのかぶり厚を約13mmに設定した。载荷回数2万回ごとに载荷面（樹脂モルタル部）の損傷状況とケーブルの断線有無を確認した。载荷回数が100万回時点で、樹脂モルタルにひび割れ等の損傷および断線は発生しておらず、ケーブルを路面近傍へ埋設した構造が実用できる可能性を確認した。

表一1 試験条件（水浸载荷試験）

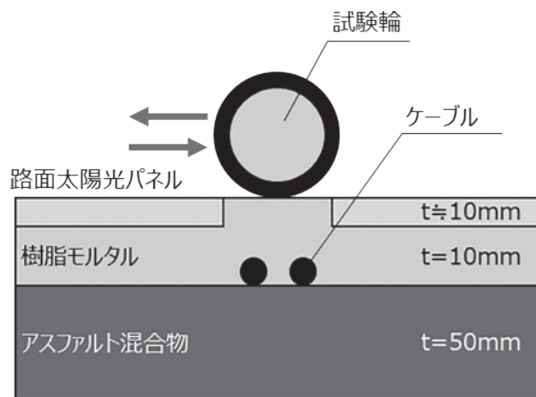
試験温度	60℃
養生条件	水浸
接地圧	0.63 MPa
载荷サイクル	42回/min
载荷時間	18時間 (水浸WTの3倍)



写真一2 試験状況（水浸载荷試験）

表—2 試験条件（載荷試験）

試験温度	20℃
養生条件	気中
接地圧	0.63 MPa
載荷サイクル	42 回 /min
載荷回数	100 万回



図—4 供試体構造（載荷試験）

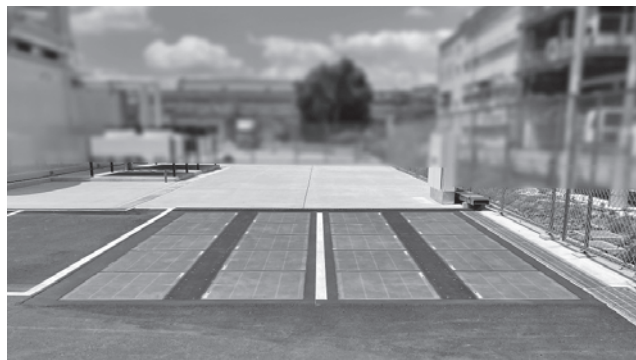
5. 屋外実証試験

（1）民間構内の駐車場

2021 年 3 月にトヨタ本社工場の水素発電パーク内駐車場に路面太陽光発電を設置し、共同実験を行っている（写真—3）。路面で発電した電気は、隣接する工場施設の補助電力として系統接続しており²⁾、発電出力の経年変化を確認するため、日々の発電量を計測中である。2025 年 3 月時点で、路面および発電状況は良好に保たれており、駐車場としても問題なく使用されている。

（2）民間構内道路（車道）

2022 年 2 月にトヨタ本社技術本館前の車道に路面太陽光発電を設置し、共同実験を行っている（写真—4）。発電した電気は超小型モビリティ（C+pod）の充電施設の補助電力として系統接続している。また、トヨタ本社工場内での事例と同様に、発電出力の経年変化を確認するため、発電量を計測している。路面太陽光パネルを設置した車線の交通量は、約 6,600 台/月であり、供用 8 ヶ月時点で一部の樹脂モルタルに横断方向のひび割れを確認した。該当箇所の路面調査を実施したところ、路面太陽光パネルのひび割れや剥がれ、樹脂モルタルの段差等は発生しておらず、車両の走行性に問題がないことを確認した。しかし、樹脂モルタルに発生しひび割れは、舗装内の配線構造に起因していることを特定したため、現在は新たな構造に更



写真—3 トヨタ本社工場 水素発電パーク内駐車場



写真—4 トヨタ本社技術本館前車道

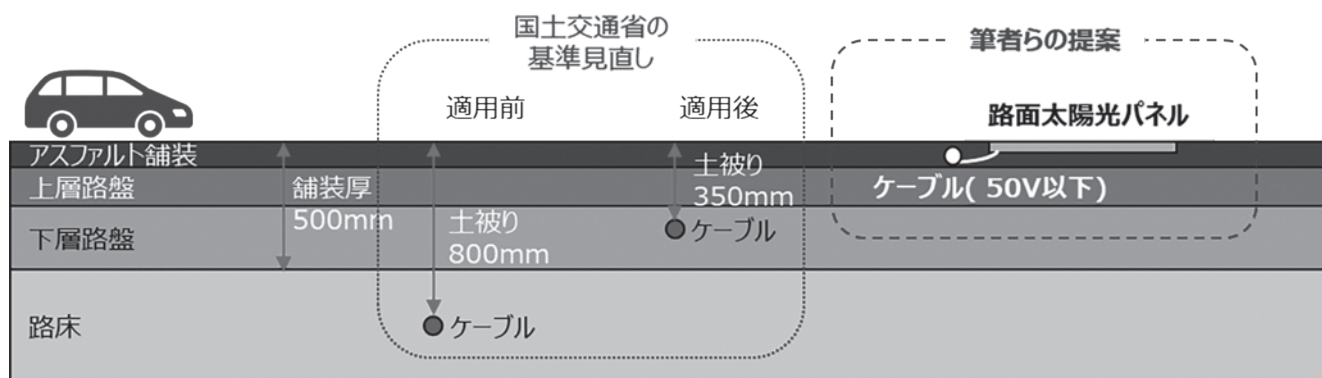


写真—5 土木研究所 舗装走行実験場

新し、耐久性の検証を続けている。

（3）舗装走行実験場

2022 年 8 月に公道車道向けの構造検証として、土木研究所舗装走行実験場で試験施工を行った（写真—5）。荷重車の輪荷重を許容する配線構造を選定するため、ケーブルの埋設方法を 5 種類に設定し、樹脂モルタルから下層の舗装構成は、既設工区のアスファルト舗装と同様とした。走行実験の結果、温暖な時期では路面太陽光パネルおよび配線構造に損傷の発生はなかったが、最低気温がマイナス 5℃以下となった時期に、横断勾配下側の路面太陽光パネルに損傷が発生した。該当箇所を対象に開削調査を行ったところ、損傷部では配線構造内が滞水状況であったが、横断勾配上



※交通量の少ない生活道路（車道）※舗装厚500mmの場合を想定

図—5 電線等の埋設物に関する設置基準の見直しイメージ（国土交通省発行資料³⁾を参考に筆者らが加筆）

側の健全部では、滞水がないことを確認した。配線構造内に滞水した水分の凍結融解と、荷重車走行時の輪荷重が繰返し作用したことで、舗装に脆弱な部分が発生し、路面太陽光パネルの損傷に起因したと判断した。そのため、配線構造に水が浸入しにくく、輪荷重の負荷を受けにくい構造とするため、現在は配線構造を更新して耐久性の検証を続けている。

6. 社会実装に向けた構造

(1) 舗装構造

舗装構造に関する技術基準は、国土交通省道路局「舗装の構造に関する技術基準」（以下、舗装基準）が該当する。舗装基準では、新技術や新材料の導入が想定されており、例えば、土木研究所舗装走行実験場等において大型車輪荷重相当の走行回数に応じた舗装構造としての適否が実物大で評価できる。そのため、筆者らは室内試験での耐久性評価のほか、公道車道を対象とした舗装走行実験場での試験施工および歩道と構内道路を対象とした民間構内での実証実験を通じて、構造評価を進めている。

(2) 配線構造

舗装内に設置した配線構造に関する技術基準は、経済産業省「電気設備に関する技術基準」（以下、配線基準）が参考となる。しかし、舗装関連では、路面下約10cmに位置するロードヒーティングに関する内容のみであり、路面太陽光発電を対象とした配線方法については想定されていない。また、国土交通省「電線等の埋設物に関する設置基準」緩和³⁾では、無電柱化の低コスト手法として、電線および管路を浅い位置に埋設する方法が示されており、電線および管路の土被り350mm以上を確保する必要がある。これは、

電圧の高いケーブルが損傷した場合に歩行者等が感電する危険性があることや、舗装の供用性を確保することを考慮して設定したと思われる。

しかし、この基準を路面太陽光発電技術に適用すると、導入時のインシャルコストが増大することや舗装の連続性が損なわれることで早期に舗装体や太陽光パネルが破損し、舗装の供用性が低下することが懸念される。そのため、感電の危険性を低減した発電電圧を設定（例えば、許容接触電圧第3種50V以下⁴⁾）し、舗装の供用性に支障が発生しない配線構造を構築することで、電線および管路を浅い位置に埋設可能とすることが肝要と考える（図—5）。これが実現できれば、インシャルコストが低減されるだけでなく、舗装の連続性やメンテナンスの容易性が確保でき、社会実装が行いやすくなる。以上のことから、路面太陽光発電技術に応じた技術基準を新たに設定する必要があると考える。

7. おわりに

路面太陽光発電を社会実装するにあたり、既存の舗装基準で大きな課題はないと考えているが、配線基準については課題が残されていると考えている。配線基準では、埋設するケーブルが100V以上の系統接続を前提となっており、漏電時等の感電の危険性を考慮した設定としている。しかし、路面太陽光パネルの設計電圧を50V以下にすると、仮に埋設したケーブルが損傷した場合でも、歩行者等の感電の危険性を低減できるため、ケーブルの埋設深さを路面近傍の浅い位置に設定できると考えている。また、埋設深さが浅い位置になることで、路面太陽光パネル設置コストの縮減やメンテナンスの容易性が確保できることが期待される。

以上より、実証検証等を通じて、路面太陽光発電の

実装方法の検討が進展し、構造に関する新たな技術基準の整備を期待するとともに、引き続き、配線構造等に関する検証を進めていく考えである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 吉中 保, 鍛冶哲理, 太陽光発電舗装の電気特性等の検討と車両通行が可能な実証実験を通じた将来展望, 舗装, pp.24 ~ 29 (2020.2)
- 2) 平田茉安里, 鈴木一省, 太田勝也, 吉中 保, カーボンニュートラルの実現に向けた太陽光発電舗装の実証試験, 第34回日本道路会議 (2021)
- 3) 国土交通省, 「電線等の埋設物に関する設置基準」の緩和について (2016)
- 4) (社) 日本電気協会, 低圧電路地絡保護指針 (1995)

【筆者紹介】

鍛冶 哲理 (かじ てつり)
 (株) NIPPO
 総合技術部 研究第一グループ
 副主任研究員



平子 貴大 (ひらこ たかひろ)
 トヨタ自動車(株)
 プラント・環境技術部 BR-TWC グループ
 主任



永島 淳貴 (ながしま じゅんき)
 トヨタ自動車(株)
 プラント・環境技術部
 建築計画室 設備 G
 主任

