



太陽光発電システム搭載自動車検討委員会
中間報告書（２）
「太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に
関する予備的検討」



平成 31 年 4 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

太陽光発電システム搭載自動車検討委員会中間報告書（２） 目次

1.	太陽光発電システム搭載自動車を巡る動向	1
1.1.	自動車の電動化促進に向けた動向	1
1.2.	運輸部門における太陽光発電システム利用に対する期待	3
1.3.	太陽光発電システム搭載自動車の開発・普及に向けた動き	3
1.3.1.	太陽光発電システム搭載自動車の開発への取組み	3
1.3.2.	太陽光発電システム搭載自動車の普及に向けた国際的な議論	4
2.	太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に関する予備的検討	8
2.1.	目的	8
2.2.	車両取得日射量の計測方法	8
2.3.	計測結果	10
2.3.1.	北海道札幌市における計測結果	10
2.3.2.	宮崎県宮崎市における計測結果	26
3.	まとめ	34
3.1.	車両取得日射量の特徴	34
3.2.	今後の課題	35
3.3.	今後の取組み	37

はじめに

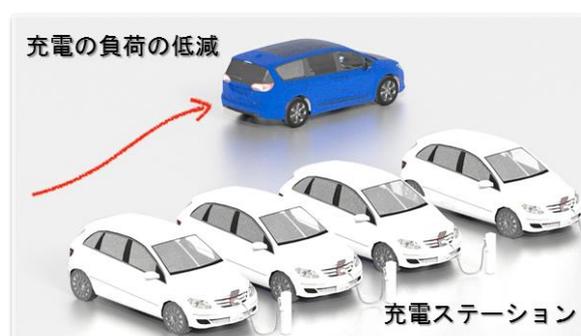
2015年12月のCOP21で採択されたパリ協定において、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C より十分低く保つとともに、 1.5°C に抑える努力を追求する」という目標が示された。そして、2018年10月には、産業革命前からの気温上昇を 1.5°C に抑えた場合の状況や社会への影響を整理した特別報告書「Global Warming of 1.5°C 」がIPCCより発行された。この特別報告書は、地球温暖化を 2°C 以上ではなく、 1.5°C に抑えることによって、多くの気候変動の影響が回避できることを強調しているもので、その政策決定者向け要約が締約国により承認された。

現在、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーの加速度的な導入により、発電部門における温室効果ガスの排出削減が進む一方で、そのエネルギー需要の大部分を化石燃料に頼っている運輸部門にとって、現状の温室効果ガス削減目標を上回る削減を達成することは、現在想定されていない革新的な技術開発が不可欠である。なかでも、運輸部門の排出量の大半を占めている自動車においては、今後アジアを中心に急速な普及が見込まれており、温室効果ガス排出量の削減は重要な課題となっている。

自動車からの温室効果ガスの排出削減に向け、世界各国で電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド自動車（PHV）の導入を加速する取組みが始まっているが、これらの自動車も、再生可能エネルギー由来のクリーンな電力を供給することができなければ、温室効果ガス排出量削減効果は限定的となる。

こうした状況をふまえ、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、太陽光発電システム搭載自動車検討委員会（事務局：みずほ情報総研㈱）を設置し、高効率の太陽電池を自動車に搭載することにより期待される効果、実現に向けて取り組むべき課題を検討してきており、2018年1月には運輸部門の CO_2 排出量削減に貢献できる可能性などを示したⁱ。また、自動車に搭載した太陽電池が受光・取得可能な日射量（以下、取得日射量）や発電電力量は建物の屋根・屋上などとは異なること、その定量的な評価が必要であることも指摘した。そして、この指摘に基づき、日本国内の二つの地点において、自動車の取得日射量の計測を試行した。

本報告書は、太陽光発電システム搭載自動車検討委員会において、太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に関する予備的検討を行った結果を取りまとめたものである。



太陽光発電システム搭載車イメージ

ⁱ NEDO, 太陽光発電システム搭載自動車検討委員会 中間報告書、平成30年1月

1. 太陽光発電システム搭載自動車を巡る動向

太陽光発電システム搭載自動車の開発・実用化に向けた動きは、徐々にではあるがいくつかの国々で見られ始めている。その背景には、自動車の電動化（電気自動車、プラグインハイブリッド自動車等）の促進に向けた世界的な動きがある。

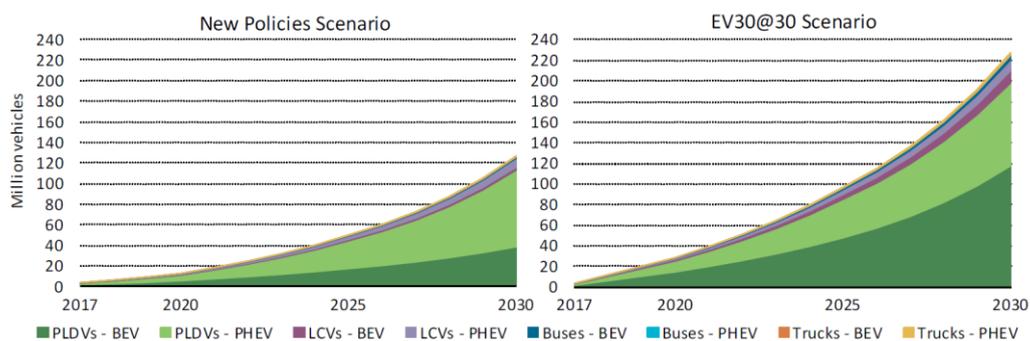
ここでは、自動車の電動化促進に向けた動向ならびに太陽光発電システム搭載自動車の開発・実用化に向けた動きの概略を示す。

1.1. 自動車の電動化促進に向けた動向

運輸部門の温室効果ガスの排出削減に向けて、世界各国で車両の電動化への取組みが加速している。表 1-1 に示すように、多くの国々が 2020 年、2030 年に向けた電気自動車をはじめとする電動車両（以下、電気自動車と記載）の導入目標を設定している¹。

また、電気自動車の普及拡大に向けた政府レベルの国際的な取組みとして、Electric Vehicles Initiatives (EVI) があり、2017 年に開催された第 8 回 Clean Energy Ministerial において、「EV30@30 campaign」が発足した。このキャンペーンは EVI メンバー国における電気自動車の市場シェアが 2030 年までに 30% に達すること（二輪車は除く）を掲げている。

図 1-1 は、IEA の World Energy Outlook 2017（以下、WEO2017）²による New Policies Scenario、ならびに EV30@30 campaign によるシナリオについて、2030 年における電気自動車導入量（累積）を示したものである。WEO2017 シナリオによる 2030 年の導入量が約 130 百万台であるのに対し、EV30@30 シナリオでは約 228 百万台となっている。EV30@30 campaign の目標達成によって、電気自動車導入量が約 100 百万台増加することが期待されているが、中でも同キャンペーンによる増加が大きいのは乗用車（PLDV：Passenger Light Duty Vehicles）である。



Notes: PLDVs = passenger light duty vehicles; LCVs = light commercial vehicles; BEVs = battery electric vehicles; PHEV = plug-in hybrid electric vehicles.

Source: IEA analysis developed with the IEA Mobility Model (IEA, 2018a).

図 1-1 2030 年に向けた電気自動車導入量の見通し（累積）¹
（左：WEO2017 New Policies Scenario、右：EV30@30 Scenario）

表 1-1 主要国の電気自動車の導入目標 ¹より作成

国・地域 (Country or region)	EV 30@30 ^{a)}	2020~2030 電気自動車導入目標 (2020-30 EV target or objective)
中国	√	- 2020 年: 電気自動車 500 万台(乗用車:460 万台、バス:20 万台、トラック:20 万台) - 2020 年: 乗用車販売における新エネルギー自動車 ^{b)} 販売比率を 12%(クレジット) ^{c)} とすることを義務 - 自動車販売における新エネルギー自動車比率:2020 年 7~10%、2025 年 15~20%、2030 年 40~50%
欧州連合(EU)		- 2020 年以降の CO ₂ 排出削減に向けた乗用車、貨物車の目標:2025 年 自動車販売における電気自動車比率 15%、2030 年: 同 30%
フィンランド	√	- 2030 年: 電気自動車 25 万台
インド	√	- 2030 年: 自動車販売における電気自動車比率 30% - 2030 年: 都市域におけるバスの 100%電動車両化
アイルランド		- 2030 年: 電気自動車 50 万台、自動車販売における電気自動車比率 100%
日本	√	- 2030 年: 自動車販売における電気自動車比率 20~30%
オランダ	√	- 2020 年: 自動車販売における電気自動車比率 10% - 2030 年: 乗用車販売における電気自動車比率 100% - 2025 年: バス車両販売における電動車両比率 100% - 2030 年: バスの電動車両化 100%
ニュージーランド		- 2021 年: 電気自動車 6.4 万台
ノルウェー	√	- 2025 年: 乗用車、小型商用車および都市域用バス車両の販売における電動車両比率 100% - 2030 年: 長距離バス車両販売における電動車両比率 75%、トラック車両販売における電動車両比率 50%
韓国		- 2020 年: 電気自動車(乗用車)20 万台
スロベニア		- 2030 年: 自動車販売における電気自動車比率 100%
イギリス		- 2020 年: 電気自動車 39.6~43.1 万台
米国(州)		- 2025 年: 8 州 ^{d)} (合計)で電気自動車 330 万台 - 2025 年: 10 州 ^{e)} で、乗用車および小型商用車の車両販売における Zero Emission Vehicle(ZEV)の比率を 22% ^{f)} とすること義務付け - カリフォルニア州;2025 年に ZEV150 台および自動車販売における ZEV 比率 15%、2030 年に ZEV 500 万台
他の EU 諸国 ^{g)}		- 2020 年: 電気自動車 45~76 万台 - 2030 年: 電気自動車 542~627 万台

a) EV30@30 キャンペーン参加国

b) 新エネルギー自動車: 電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車

c) 標準的な性能換算で 12%、技術・性能による係数(2~4)あり

d) カリフォルニア、コネチカット、メリーランド、マサチューセッツ、ニューヨーク、オレゴン、ロードアイランド、およびバーモント州

e) 上記 8 州、およびメイン州、ニュージャージー州

f) 標準的な性能換算で 22%、技術・性能による係数(0.5~3)あり

g) オーストリア、ベルギー、ブルガリア、チェコ、ハンガリー、イタリア、ラトビア、リトアニア、ルクセンブルク、ポーランド、ポルトガル、スロバキアおよびスペイン

1.2. 運輸部門における太陽光発電システム利用に対する期待

太陽光発電システムの導入は住宅用、ビル用、発電事業用（地上設置型）などで、急速な市場拡大が世界的に続いている。

運輸部門における太陽光発電システム利用は現時点では相対的に少なく、道路遮音壁への設置や街路灯・照明等への利用など限定的であるが、いくつかの国では、今後の新規市場として明確に位置づけられ始めている。例えば、オランダでは、2050年に向けた太陽光発電導入ロードマップにおいて、道路等のインフラストラクチャーを主要な導入分野としている³。また、太陽光発電システム搭載自動車に向けた具体的な取組みも開始している⁴。日本においても、2018年11月に実施された行政改革レビューの議論において、2030年以降も見据えた新規市場の一つとして、太陽光発電システムの自動車への搭載が示された⁵。

また、2050年に全てのエネルギーを100%再生可能エネルギーで賄うことを描いた中長期的な野心的なビジョン⁶では、2050年における運輸部門向けの太陽光発電導入量は19.1TW、運輸部門のエネルギー需要の約80%を供給することが期待されている（うち、電気自動車等への直接電力供給は約40%）。

1.3. 太陽光発電システム搭載自動車の開発・普及に向けた動き

1.3.1. 太陽光発電システム搭載自動車の開発への取組み

太陽電池の自動車への搭載は、古くは1980～1990年代前半に提案された。当時は車内空調や備品の充電用途にとどまっていたが、米国フォード社による太陽電池を電動車両のエネルギー源とするコンセプトカーの発表（2014年1月）後、さまざまな自動車会社が太陽電池を動力源として電動車両を動かす可能性の検討を始めた⁷。

2016年には、トヨタ自動車㈱が180W結晶Si太陽電池を搭載し、太陽電池のみで駆動する自動車ではないが、太陽電池を動力源として利用するプラグインハイブリッド自動車の販売を開始した。その後、太陽電池を主たる動力源として利用する太陽光発電システム搭載自動車の開発への取組みが、太陽光発電システムの新規市場の開拓、次世代型自動車の開発、双方の側面から世界各国で始まっている。

ドイツのSono Motors社は、車体全面に太陽電池を搭載した自家用車の販売予定をアナウンスし⁷、オランダでは、太陽光発電研究機関とベンチャー企業の協力により、乗用車への太陽光発電システム搭載自動車の開発が開始されている^{4,8}。日本でも本委員会（太陽光発電システム搭載自動車検討委員会）による検討を開始しているほか、自動車会社等による研究⁹も実施されている。また、中国や韓国でも太陽光発電システム搭載自動車の開発やコンセプトの発表が相次いでいる。

太陽光発電システム搭載に向けた取組みは、乗用車のみならず、商用車（トラック等）においても見られ始めており、例えば、ドイツでは、実走行しているトラックを用い、車上的における太陽電池発電量の計測が行われ¹⁰、日本でも薄膜太陽電池を搭載したトラックへの取組み^{11,12}がある。

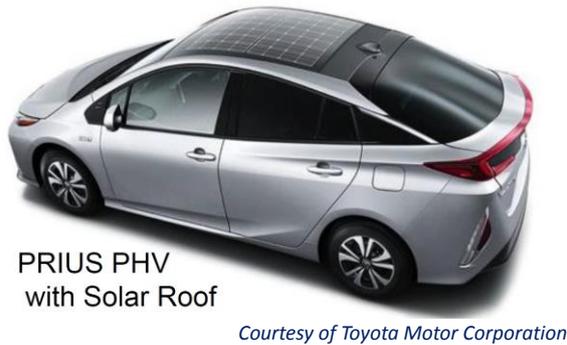


図 1-2 太陽光発電システム搭載自動車例(1)¹³



図 1-3 太陽光発電システム搭載自動車例(2)

1.3.2. 太陽光発電システム搭載自動車の普及に向けた国際的な議論

各国・企業等における開発への取組みに加え、そのような取組みを加速しつつ、実市場への普及の素地を醸成するために、太陽光発電システム搭載自動車の普及に向けた国際的な議論も始まっている。

(1) IEA PVPS タスク 17 : PV and Transport

太陽光発電システムの導入普及に資することを目的とした議論、情報発信を推進する国際的な枠組みとして、IEA (International Energy Agency : 国際エネルギー機関) 傘下の太陽光発電システムに関する技術協力プログラムである IEA PVPS (IEA Photovoltaic Power Systems Programme, Technical Collaboration Programme) がある¹⁴。

このプログラムのもと、太陽光発電搭載自動車の実用化、導入拡大に向けた取組みを国際的な活動として展開していくことを目的とし、日本がリーダーとなり、本委員会 (太陽光発電システム搭載自動車検討委員会) で実施している議論および中間報告書の成果に基づく提案を行った。そして、2017年12月に開催された第50回 IEA PVPS 執行委員会 (IEA PVPS 参加国の代表により構成される委員会) において、IEA PVPS の新たなプロジェクト : タスク 17 (PV and Transport) として発足させ、国際的な議論を推進していくことが承認された。その後、タスク 17 の参加国の専門家や、同じく IEA 傘下の技術協力プログラムであり、電気自動車等に焦点を当てている IEA HEV (Hybrid and Electric Vehicles) との議論を経て、2018年秋にタスク 17 としての活動を公式に開始した。活動の実施計画に相当するワークプランでは 36ヶ月間の活動期間を想定している。

タスク 17 は日本が議長国となり、IEA PVPS 参加国からこれまでにオーストラリア、中国、ドイツ、オランダが公式に参加を表明している。この他にも欧州、アジアを中心とする多くの国々が関心を示しており、今後も参加国が増加していくとみられる。

図 1-4 はタスク 17 のスコープを示したものである。今後、電気自動車の普及促進に伴い、走行用動力 (電力) が必要となるが、電気自動車からの CO₂ 排出量を低減するためには、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの利用が不可欠である。その供給 (電力の充電) 方法には様々な方法があるが、太陽エネルギーをより効率的に利用するためには、車両に搭載した太陽光発電からの直接供給、太陽光発電電力を利用する充電ステーションからの供給が挙げられる。

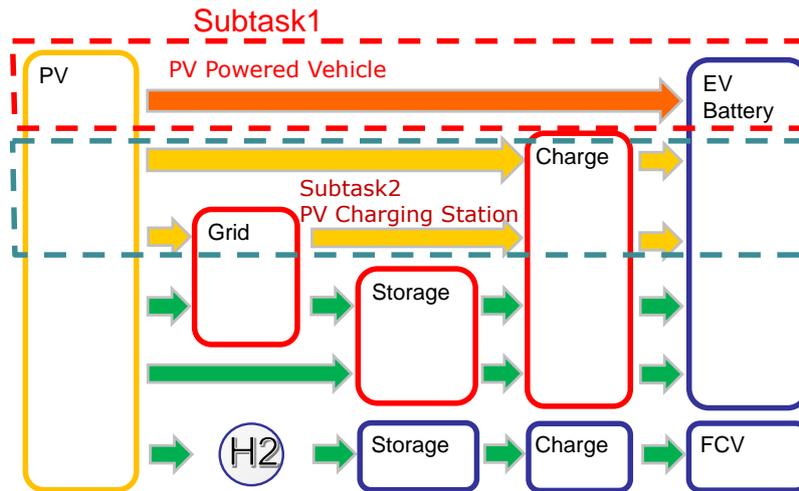


図 1-4 IEA PVPS タスク 17 : PV and Transport のコンセプト¹⁵

タスク 17 は図 1-5 および表 1-2 に示す四つのサブタスク (Subtask) から構成され、Subtask 1 は太陽光発電搭載自動車の実用化に向けた議論を行い、乗用車のみならず、商用車などへの応用も視野に入れている。Subtask 2 は太陽光発電電力を利用する充電インフラに関する議論を行う。電気自動車から周辺施設や電力系統への供給 (V2X) も応用範囲として挙げられるが、当面は充電ステーションに焦点を当てる。これらの議論と並行して、Subtask 3 では、太陽光発電システム搭載自動車や太陽光発電利用充電インフラの実用化、普及に伴う効果に関する議論を行うとともに、運輸部門における太陽光発電利用の拡大に向けたロードマップ等を検討する。そして、Subtask 4 はタスク 17 の活動により得られた成果を広く世界に発信するとともに、太陽光発電業界と自動車業界の橋渡しにつながる広宣活動を展開していく。

本報告書で検討している、車両の取得日射量は、太陽光発電システム搭載自動車の実用化に向けた課題や期待される効果の検討に際して不可欠なものであり、本報告書の成果や今後の活動は、タスク 17 の活動推進にも貢献していくものとなる。

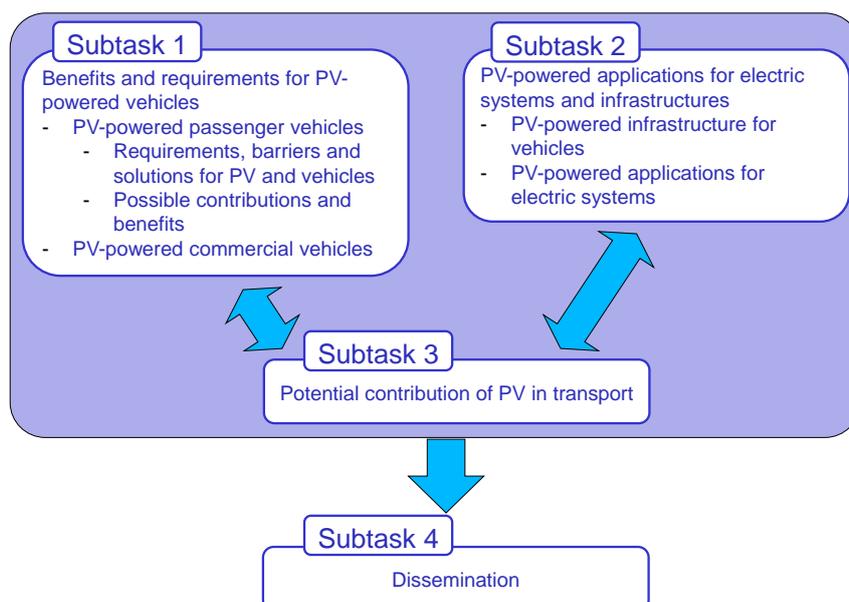


図 1-5 IEA PVPS タスク 17 : PV and Transport の構造

表 1-2 IEA PVPS タスク 17 : PV and Transport の Subtask の概要¹⁶

<p>Subtask 1 : Benefits and requirements for PV-powered vehicles</p>	<p>In order to deploy PV-powered vehicles, Subtask 1 will clarify expected/possible benefits and requirements for utilizing PV-powered vehicles for driving and auxiliary power. Targeted PV-powered vehicles are passenger cars (PHVs and EVs) and commercial vehicles currently, and other vehicles (buses, trains, ships, airplanes, etc.) may be included in the future.</p>
<p>Subtask 2 : PV-powered applications for electric systems and infrastructures</p>	<p>For promoting electrification of vehicles, not only charging electricity by itself on board, but also charging renewable electricity at the environmental friendly infrastructure, e.g. PV-powered charging stations, will be feasible. Subtask 2 will discuss energy systems to design PV-powered infrastructures for EVs charge.</p>
<p>Subtask 3 : Potential contribution of PV in transport</p>	<p>For reducing CO₂ emissions from the transport, changing energy sources from conventional to renewable energy, especially PV which have a good track record in supplying electricity by utility-scale, should be accelerated. Also, new social models by innovative 'PV and Transport' are expected. In parallel with Subtask 1 and Subtask 2, Subtask 3 will develop a roadmap for deployment of PV-powered vehicles and applications.</p>
<p>Subtask 4 : Dissemination</p>	<p>A considerable amount of new knowledge is expected to be developed under this task. It is important that this knowledge is disseminated to the public and end users in a timely manner. Subtask 4 will focus on information dissemination procedures that effectively release key findings to stakeholders such as PV industry, transport industry such as automobile industry, battery industry, and energy service provider.</p>

(2) その他

IEA PVPS 以外にも、太陽光発電システム搭載自動車の普及に向けた国際的な議論が幾つかの場において始まっている。

例えば、欧州では、太陽光発電・太陽エネルギーに関する業界団体である SolarPower Europe において、2018 年夏に Solar Mobility Task force が発足し、運輸部門における太陽光発電の利用拡大に向けた議論が開始された。運輸部門の CO₂ 排出削減、燃料転換の促進に向けたインフラ整備の重要性、太陽光発電市場の可能性などを課題とし、自動車産業界の専門家を招聘したワークショップなどを通じ、2019 年春にはビジネスモデルや機会について報告書（白書）をまとめることを掲げている。

また、2018年9月に開催された第35回ヨーロッパ太陽光発電国際会議（35th EU-PVSEC）のサイドイベントとして、第1回 Solar Mobility Forum が開催された。このフォーラムは欧州の業界団体である SOLARUNITED などがオーガナイザーとなり開催されたもので、欧州や日本の専門家から、車両電動化に向けた自動車会社の取組み、運輸部門における太陽光発電の可能性・期待、自動車への太陽光発電搭載の経験や現在の取組みなどが紹介され、IEA PVPS タスク 17 からも国際的な活動の概略を紹介した。第2回 Solar Mobility Forum は2019年9月に、第36回ヨーロッパ太陽光発電国際会議（36th EU-PVSEC）とあわせての開催が予定されている。

このほか、太陽光発電も含む産業製品の性能評価方法等の標準化について議論を行う IEC（International Electrotechnical Commission）においても、太陽光発電の自動車への搭載を念頭に置いた議論が開始されている。太陽光発電システム搭載自動車の開発、実用化に向けた取組みが各所で開始されているが、広く世界に普及させるためには製品開発に向けたある程度の標準的な指針が必要で、そのためには製品性能を評価するための標準的な方法等を用意していく必要があるという問題意識のもと、議論が実施されている。

2. 太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に関する予備的検討

2.1. 目的

太陽光発電システムを電気自動車（プラグインハイブリッド自動車含む）に搭載し、その発電電力を車両走行として利用することにより、系統電力の外部からの充電と比較したCO₂排出の削減、外部から充電頻度の低減などの効果が期待される¹⁷。そして、これらの効果の度合いは、太陽光発電システムの発電電力量や車両の走行モード、電力消費とのバランス、蓄電池容量により左右される。

太陽光発電システムの発電電力量は取得日射量、温度などの要因に依存するが、最も重要な要因は取得日射量である。太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量は駐車中、走行中の環境に依存し、とりわけ、走行中の取得日射量は、建物・構造物による影など、走行ルートの周辺環境によって変動する。その結果、建物の屋根・屋上と比較して、取得日射量が低減し、かつ、短周期の変動が大きいことが予測される。そして、太陽光発電システム搭載自動車の開発・普及を進めていくためには、これらの要因を踏まえた効果の把握、システムの設計が必要となる。

このような背景のもと、太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に関する予備的検討として、走行車両が取得する日射量の計測を試行し、その特徴と傾向の把握、および建物の屋根・屋上における取得日射量との比較を行った。

2.2. 車両取得日射量の計測方法

図 2-1 に本予備的検討における車両取得日射量の計測地を、表 2-1 に取得日射量の計測方法を示す。本検討では北海道札幌市（以下、札幌）と宮崎県宮崎市（以下、宮崎）の二つの地点において取得日射量の計測を行った。これらの地点は南北に長い日本列島の北部、南部に位置している。札幌における計測は一般財団法人 日本気象協会、宮崎における計測は国立大学法人 宮崎大学の協力を得て実施した。なお、今回の計測試行は、本格検討前の予備検討であり、既有設備を有効活用したため、計測方法や条件が二つの地点で一部異なっている。

日射量の計測は札幌では車両屋根上の 1 点とし、応答速度の異なる 3 台の日射計による計測を行った。一方、宮崎では車両屋根上に加え、車両の側面：前後左右の 4 方位を加えた計 5 点での計測を行った。計測データのサンプリング間隔は、札幌は 0.1 秒毎、宮崎は 1 秒毎とした。計測は 2018 年秋に行い、太陽高度による影響を見るため、計測回数は 3 回/日を基本とした（宮崎では 1 回/日の場合もあり）。

計測ルートは、走行環境（建物の影等）による影響を見るために、市街地区間、高層ビル区間、開放区間を含むルートとし、札幌での計測ではアンダーパス区間も含めた。なお、具体的な計測ルートおよびその環境については、次節（2.3）にて計測結果とともに示す。

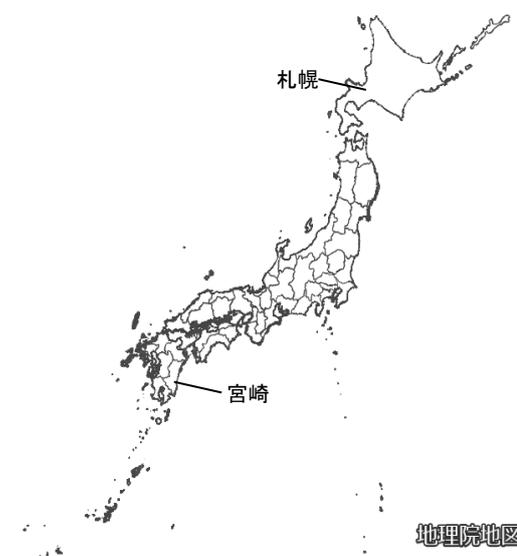


図 2-1 予備的検討における日射量計測地点¹⁸

表 2-1 車両取得日射量の計測方法

計測地点	北海道札幌市（北緯 43 度 4 分、東経 141 度 21 分付近）	宮崎県宮崎市（北緯 31 度 53 分、東経 131 度 25 分付近）
日射量計測箇所・点	1 点（車両屋根上水平全天日射量）	5 点（車両屋根上水平全天日射量、および車両上部側面 4 方位：前後左右）
日射計 （表 2-2 参照）	以下を各 1 台（日射計による比較） ・ セカンダリースタANDARD ・ セカンドクラス ・ シリコンタイプ	以下を 5 台 ・ セカンドクラス
サンプリング間隔	0.1 秒	1 秒
計測時期	2018 年 9 月中旬～10 月下旬	2018 年 9 月中旬～10 月上旬
計測時間帯	1 回目：08:15 頃～09:15 頃 2 回目：11:15 頃～12:15 頃 3 回目：14:15 頃～15:15 頃	1 回目：09:00 頃～10:00 頃 2 回目：11:30 頃～12:30 頃 3 回目：15:00 頃～16:00 頃
計測ルート	以下を含む約 18km ・ 市街地区間 ・ 高層ビル区間 ・ 開放区間 ・ アンダーパス区間	以下を含む約 30km ・ 市街地区間 ・ 高層ビル区間 ・ 開放区間
日射量リファレンス地点	札幌管区気象台 ・ 札幌市中央区北 2 条西 18 丁目 ・ 北緯 43 度 3.6 分、東経 141 度 19.6 分付近 ・ 日射計：セカンダリースタANDARD ※1 秒毎のデータを 1 分間積算したデータ（気象庁の地上気象観測 1 分値データ）	国立大学法人 宮崎大学 ・ 宮崎市学園木花台西 1 丁目 1 番地 ・ 北緯 31 度 49 分、東経 131 度 24 分付近 ・ 日射計：セカンドクラス ※1 秒毎のデータを 10 秒間平均として使用
計測実施者	一般財団法人 日本気象協会	国立大学法人 宮崎大学

表 2-2 車両取得日射量の計測に用いた日射計の主な仕様¹⁹

日射計	セカンダリースタANDARD	セカンドクラス	シリコンタイプ	
応答時間 （出力 95%）	<0.5s	1s	<1ms	出力が 95%になるまでの時間
安定性	±0.5%/5 年	±1%/年	±2%/年	センサの経年変化に伴う出力変化
方位特性	±10W/m ²	±25W/m ²	±2%（45 度）、 ±5%（75 度）	あらゆる方位、角度から、放射照度 1,000W/m ² の光を入射した場合に生じる出力誤差
温度特性	<1%（ΔT 50）	<3%（-10℃～ +40℃）	-0.4±0.04%/℃	温度変化した際に生じる出力誤差
測定波長範囲	285～3,000nm	285～3,000nm	360～1,120nm	センサが感知可能な波長範囲

2.3. 計測結果

以下に、札幌および宮崎における計測結果をそれぞれ示す。

2.3.1. 北海道札幌市における計測結果

(1) 計測条件と計測ルート

札幌における計測条件を表 2-3 に示す。札幌では 2018 年 9 月 20 日～10 月 22 日にかけて 5 日間の計測を行った。車両が取得する日射量は周辺建物の影などの影響を受け、その影響は太陽高度によって左右されることが想定されることから、時間帯の異なる 1 日 3 回の計測とした。

影などによる取得日射量の低減度合いを把握するため、リファレンス地点（札幌管区気象台）の日射量との比較を行うこととし、その度合いは日射成分（直達・散乱）にも左右されると想定されることから、晴天日、曇天日における計測を実施した。計測実施日におけるリファレンス地点の日射量を図 2-2、計測時間帯における太陽高度と太陽方位を表 2-4 に示す。

また、車両が走行する方向（車両から見た太陽方位）による相違も把握するため、次に示す計測ルートについて、時計回り走行、反時計回り走行時の計測も実施した。

表 2-3 札幌における計測日と天気¹⁹

計測日	ルート	天気		
		1 回目 (8:15～9:15 頃)	2 回目 (11:15～12:15 頃)	3 回目 (14:15～15:15 頃)
2018 年 9 月 20 日 (木)	時計回り	晴れ	晴れ	快晴
2018 年 9 月 25 日 (火)	反時計回り	薄曇り	薄曇り	曇り
2018 年 9 月 28 日 (金)	時計回り	晴れ時々曇り	曇り一時雨	曇り一時雨
2018 年 10 月 19 日 (金)	反時計回り	快晴	快晴	快晴
2018 年 10 月 22 日 (月)	時計回り	晴れ	快晴	快晴

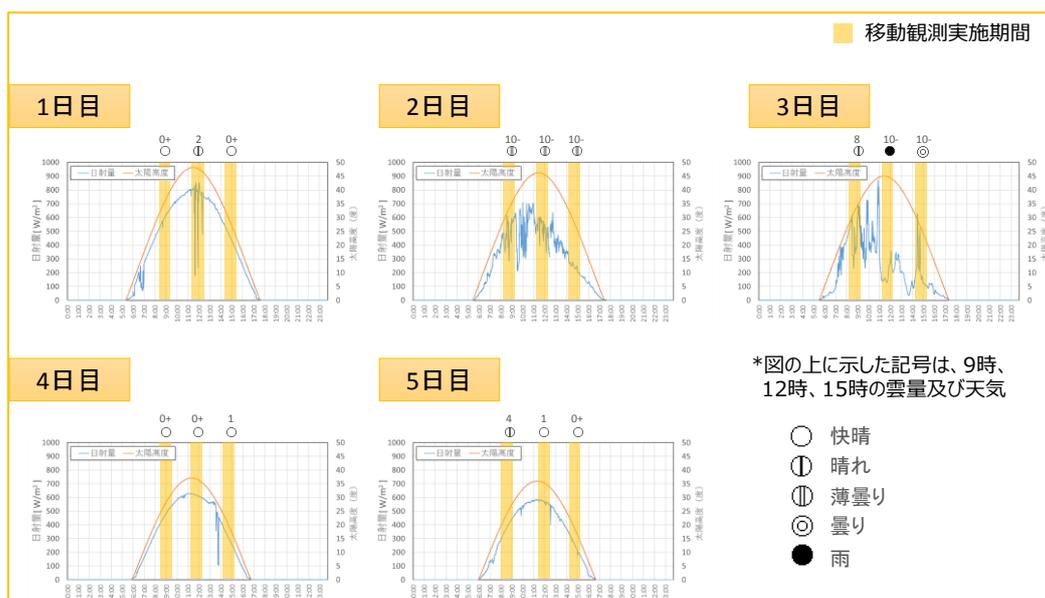


図 2-2 気象庁札幌地点（リファレンス地点）における日射量¹⁹

表 2-4 札幌における計測時間帯の太陽高度と太陽方位¹⁹

計測日	太陽高度 ^{※1}		
	1 回目 (8:15~9:15 頃)	2 回目 ^{※1} (11:15~12:15 頃)	3 回目 (14:15~15:15 頃)
2018 年 9 月 20 日 (木)	31.6~40.2	47.9~(48.1)~46.3	33.7~22.8
2018 年 9 月 25 日 (火)	29.0~37.5	46.1~(46.2)~44.9	31.8~22.7
2018 年 9 月 28 日 (金)	27.1~37.1	45.0~(45.0)~43.0	30.9~20.4
2018 年 10 月 19 日 (金)	24.2~31.7	37.0~(37.0)~35.4	23.8~14.5
2018 年 10 月 22 日 (月)	19.7~28.3	(36.0)~36.0~33.8	23.1~13.9
計測日	太陽方位 ^{※2}		
	1 回目 (8:15~9:15 頃)	2 回目 (11:15~12:15 頃)	3 回目 (14:15~15:15 頃)
2018 年 9 月 20 日 (木)	122.7~138.7	173.2~200.1	233.8~248.7
2018 年 9 月 25 日 (火)	122.5~137.6	175.2~196.9	232.9~245.6
2018 年 9 月 28 日 (金)	121.9~139.7	177.0~200.9	232.1~246.6
2018 年 10 月 19 日 (金)	132.6~148.4	178.0~197.4	227.9~241.0
2018 年 10 月 22 日 (月)	127.5~142.9	181.2~200.2	226.9~240.0

※1：(太陽高度) 2 回目の()内は南中高度

※2：(太陽方位) 東:90 度、南東:135 度、南:180 度、南西:225 度、西:270 度

図 2-3 および表 2-5 に札幌における走行ルートを、表 2-6 に各走行区間の道路幅の目安を示す。市街地区間、高層ビル区間、開放区間およびアンダーパス区間を含み、市街地区間と高層ビル区間は周辺建物の影響を受けることが想定される区間である。開放区間はそのような影響は受けにくいと想定される区間、アンダーパス区間は日射を取得しない区間である。車両が走行する方位は、ほぼ東西方向（東から西、西から東）と南北（南から北、北から南）方向である。

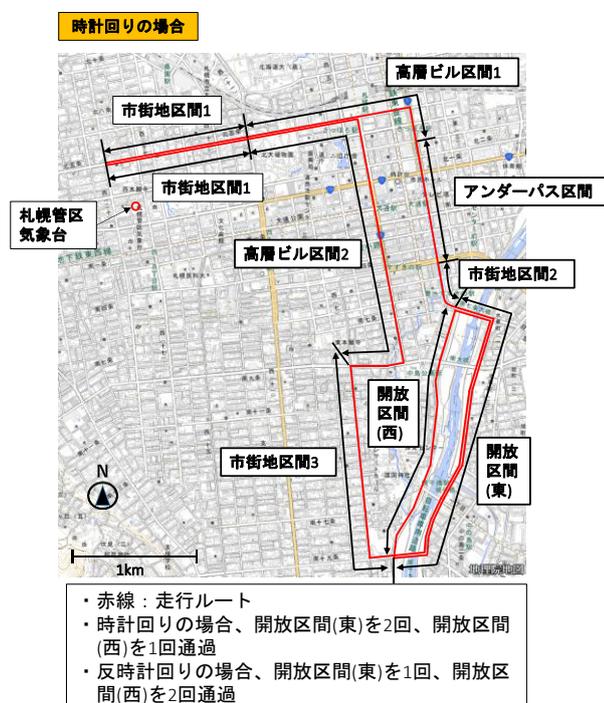


図 2-3 札幌での計測における走行ルート¹⁸より作成

表 2-5 札幌での計測における走行ルート¹⁹

時計回り					反時計回り				
区間	種別	方向	スタートからの距離 (km)	区間距離 (km)	区間	種別	方向	スタートからの距離 (km)	区間距離 (km)
1-a	市街地区間 1	西→東	0.00 ~ 1.56	1.56	2-a	市街地区間 1	西→東	0.00 ~ 1.56	1.56
1-b	高層ビル区 間 1	西→東、北→南	1.56 ~ 2.90	1.34	2-b	高層ビル区 間 2	西→東、北→南、東→西	1.56 ~ 4.51	2.95
1-c	アンダーパ ス区間	北→南	2.90 ~ 3.79	0.88	2-c	市街地区間 3	北→南、東→西	4.51 ~ 6.27	1.75
1-d	市街地区間 2	北→南	3.79 ~ 4.19	0.40	2-d	開放区 間 (西)	南→北	6.27 ~ 8.37	2.10
1-e	開放区 間 (東)	西→東、北→南、東→西	4.19 ~ 6.75	2.57	2-e	開放区 間 (東)	西→東、北→南、東→西	8.37 ~ 10.94	2.57
1-f	開放区 間 (西)	南→北	6.75 ~ 8.85	2.10	2-f	開放区 間 (西)	南→北	10.94 ~ 13.04	2.10
1-g	開放区 間 (東)	西→東、北→南、東→西	8.85 ~ 11.42	2.57	2-g	市街地区間 2	南→北	13.04 ~ 13.44	0.40
1-h	市街地区間 3	東→西、南→北	11.42 ~ 13.18	1.76	2-h	アンダーパ ス区間	南→北	13.44 ~ 14.32	0.88
1-i	高層ビル区 間 2	西→東、南→北、東→西	13.18 ~ 16.13	2.95	2-i	高層ビル区 間 1	南→北、東→西	14.32 ~ 15.66	1.34
1-j	市街地区間 1	東→西	16.13 ~ 17.69	1.56	2-j	市街地区間 1	東→西	15.66 ~ 17.22	1.56

表 2-6 札幌での計測における走行区間の道路幅目安¹⁹

区 間	種 別	区間距離 (km)	道路幅の目安	備 考	
1-a	2-j	市街地区間 1	1.56	15~17m	
1-b	2-i	高層ビル区間 1	1.34	18~21m 50m	札幌駅前の高層ビル街を通る区間 創成川と親水空間を挟んだ片側 4 車線の道路
1-c	2-h	アンダーパス区間	0.88	9m	2 車線のアンダーパス
1-d	2-g	市街地区間 2	0.40	50m	
1-e	2-e	開放区間 (東)	2.57	12m 7~12m 16m	南七条大橋 東方向には建物・樹木あり 南十九条大橋
1-f	2-d, 2-f	開放区間 (西)	2.10	7~10m	西方向には建物・樹木あり
1-g	(2-e)	開放区間 (東)	2.57	12m 7~12m 16m	1-e と同じ
1-h	2-c	市街地区間 3	1.76	20m 15m	(前半)環状通り (後半)道路中央に市電が走行
1-i	2-b	高層ビル区間 2	2.95	16~17m 13~14m 20~24m	菊水旭山公園通り すすきの交差点より南側 すすきの交差点より北側：中央分離帯に樹木あり
1-j	2-a	市街地区間 1	1.56	15~17m	1-a と同じ

(2) 走行区間および走行時間帯による日射量の特徴

ここでは、2018年9月20日（1日目）の計測結果に基づき、走行区間、走行時間帯による車両屋根の取得日射量の特徴を整理する。他の計測日も含めた、日射量の積分値、リファレンスとの比較は(3)にて示す。

図 2-4～図 2-6 に 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の 1 回目～3 回目の計測結果を示す。



図 2-4 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）：1 回目の日射量計測結果¹⁹

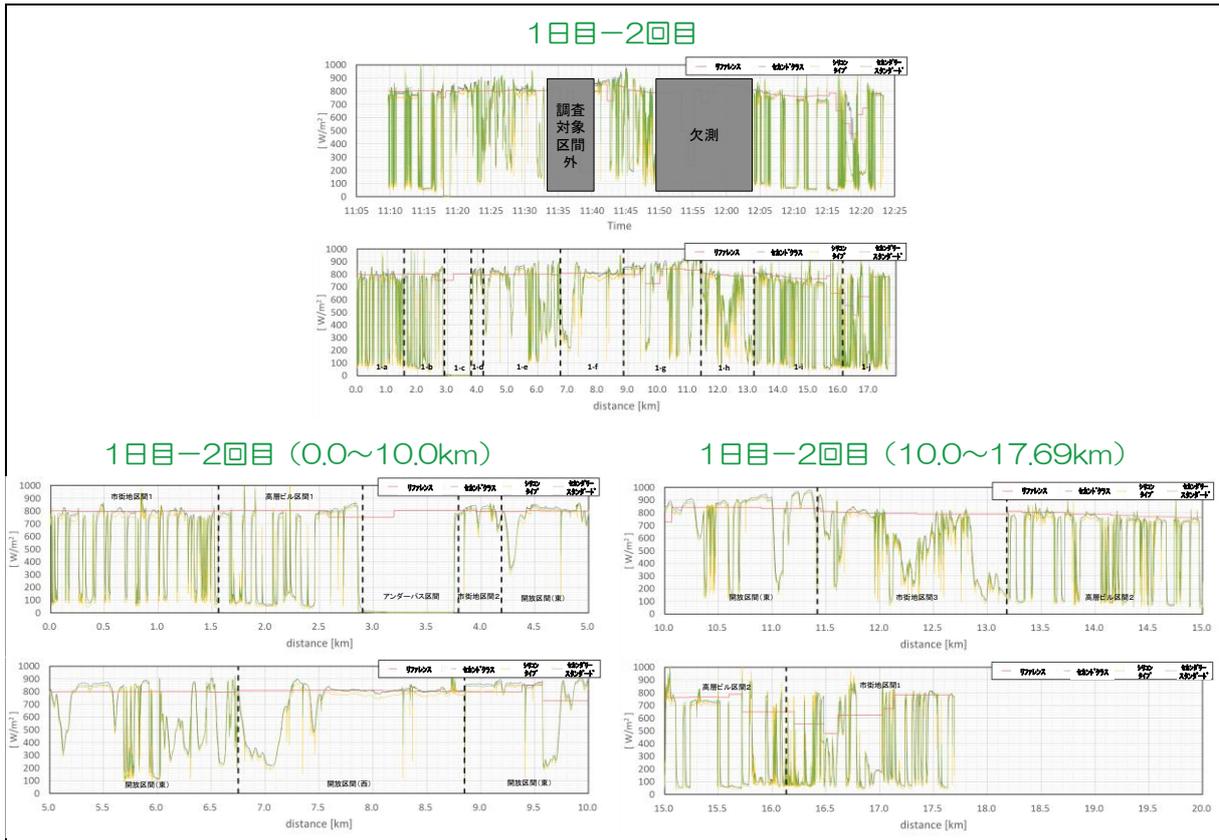


図 2-5 札幌における 2018 年 9 月 20 日 (1 日目) : 2 回目の日射量計測結果¹⁹

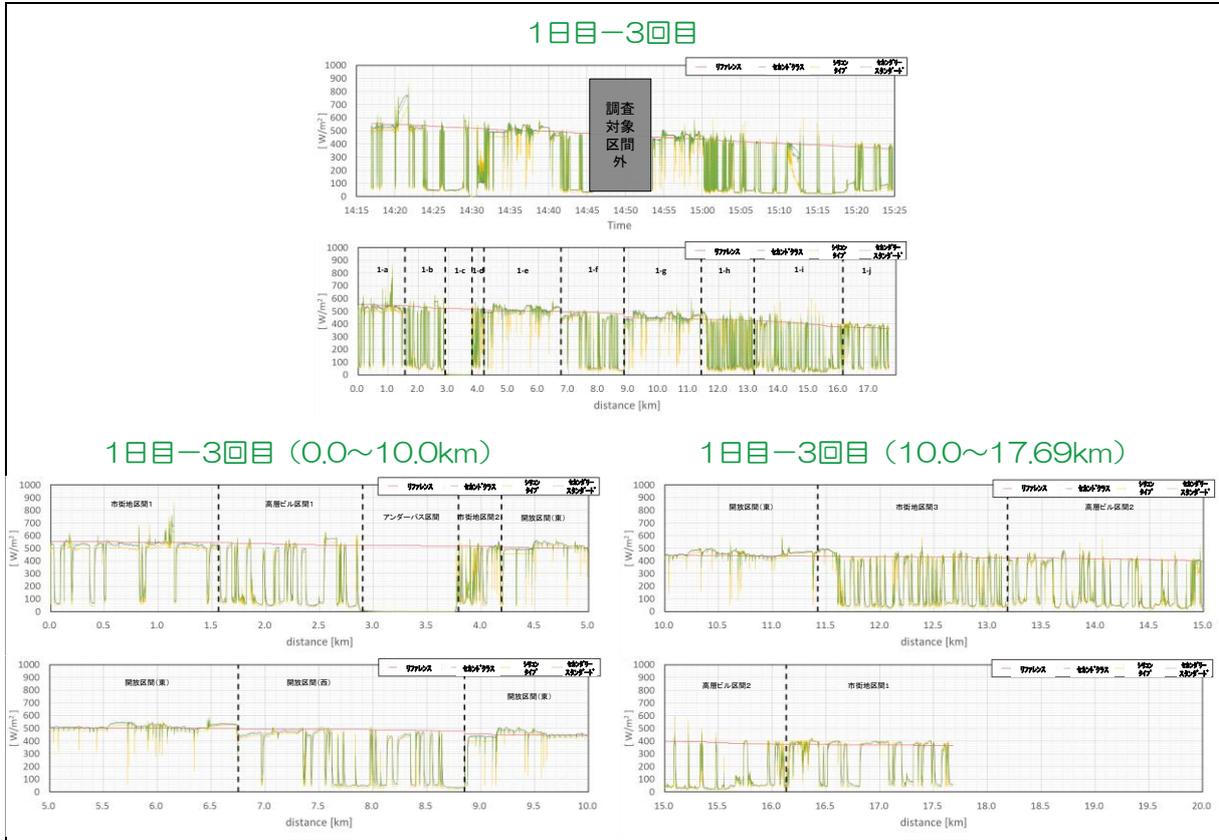


図 2-6 札幌における 2018 年 9 月 20 日 (1 日目) : 3 回目の日射量計測結果¹⁹

<走行区間別の特徴>

市街地区間や高層ビル区間では、道路沿いの建物や樹木の影により、日射量が低下・変動し、高層ビル区間はその発生頻度が多い。開放区間においても道路沿いの建物や樹木、電柱の影による日射量の低下が発生している。

建物、樹木等の影による日射量の低下は、一定時間の積分値で見ると雲による影響よりも小さい可能性があるが、車両屋根で生じる日射量の変動は非常に短い周期で発生し、変動幅も大きいことが特徴的である。

また、市街地区間や高層ビル区間において、リファレンス地点よりも日射量が多い場合もあり、建物からの反射による取得日射量増加の可能性が考えられる。

表 2-7 札幌における車両屋根日射量の計測結果：走行区間別の特徴

市街地区間	<ul style="list-style-type: none">・断続的に建物や樹木の影が発生し、日射量の変動する。・リファレンス地点よりも日射量が多い場合もあり、建物からの反射による取得日射量増加の可能性が考えられる。
高層ビル区間	<ul style="list-style-type: none">・建物や樹木の影による日射量低下が大きい。・リファレンス地点よりも日射量が多い場合もあり、建物からの反射による取得日射量増加の可能性が考えられる。
アンダーパス区間	<ul style="list-style-type: none">・地下空間であり、日射なし。
開放区間	<ul style="list-style-type: none">・市街地区間、高層ビル区間と比較して、周辺建物による影響は少ないが、道路沿いの建物や樹木、電柱により、短周期の日射変動（日射量低下）が発生する。

<走行時間帯別の特徴>

市街地区間や高層ビル区間、開放区間の一部で建物や樹木、電柱などによる影が発生し、日射量が低下する。2回目（ほぼ南中時）の走行では太陽高度が高いことから、影による日射量低下の発生頻度は少ないが、日射量の変動幅は大きくなる。

太陽高度が低い1回目、3回目は、影による日射量低下の発生頻度が多いが、太陽方位が道路方位（走行方向）に近い場合には影の発生頻度は少なくなる。

表 2-8 札幌における車両屋根日射量の計測結果：走行時間帯別の特徴

市街地区間	<p>(市街地区間 1：東西方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回目、2 回目いずれも断続的に影が発生しているが、発生頻度に大きな相違はない。東西方向の道路であるが、2 回目は太陽高度が高いことが理由と考えられる。ただし、日射量の変動幅は 2 回目が大きい。 ・ 3 回目の走行では影による変動回数が少ない。これは 1 回目、2 回目と比較して、太陽方位が道路方位（走行方向）に近いことが理由と考えられる。 <p>(市街地区間 2：南北方向（主）→東西方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽高度が高く、太陽方位と道路方位が近い 2 回目は変動が少ない。 ・ 1 回目は若干の変動があり、3 回目は変動が非常に大きく、太陽高度が低いことと太陽方位と道路方位の相違に起因していると考えられる。 <p>(市街地区間 3：東西方向→南北方向（主）)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 市街地区間 2 と同様の傾向であるが、2 回目の日射変動・低下が大きい。
高層ビル区間	<p>(高層ビル区間 1：東西方向（主）→南北方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1～3 回目いずれも建物や樹木の影による日射量低下が大きい。 ・ 太陽高度が高い 2 回目は影にならない区間が他よりもやや多いが、変動幅は大きい。 <p>(高層ビル区間 2：東西方向→南北方向→東西方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高層ビル区間 1 と同様の傾向であるが、太陽高度が高く、太陽方位と道路方位が近い 2 回目は影による影響が少なくなっている。
開放区間	<p>(開放区間（東）：東西方向→南北方向（主）→東西方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回目、2 回目は建物や樹木、電柱による影の発生頻度に大きな相違はないが、発生箇所が異なっており、太陽方位による影響と考えられる。 ・ 3 回目は影の発生頻度が少なく、建物等が東側（東南東側）に位置していることが理由と考えられる。 <p>(開放区間（西）：南北方向)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 影の発生頻度は 3 回目が多く、1 回目と 2 回目が少ない。これは建物等が主に西側（西北西側）に位置していることが理由と考えられる。
その他（共通）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 影による日射量変動の幅は、太陽高度が高く、日射強度が大きい 2 回目が最も大きい。

(3) 車両屋根の取得日射量とリファレンス地点との比較

ここでは、札幌で実施した5日間（各日：3回/日）の計測結果について示す。

表 2-9 は(2)で示した 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の計測結果について、リファレンス地点（札幌管区气象台）の日射強度と積算日射量、車両屋根における日射量の積算値とリファレンス地点の日射量に対する比率を示したものである。

建物や樹木、電柱等の影により、一定量の日射量低下が確認され、車両屋根の取得日射量の積算値について、リファレンス地点の日射量と比較すると、計測に用いた日射計による差はあるものの、1 回目が約 54%、2 回目が約 69%、3 回目が約 56%であった。低下度合いを左右する主な要因として影の発生頻度、影が生じていない場合の日射強度が考えられ、太陽高度が高く、日射強度が強い 2 回目（ほぼ南中時）の低下度合いが他より少なくなっている。

表 2-9 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の日射量計測結果（総括）¹⁹

計測日：2018 年 9 月 20 日（火）		1 回目（晴れ） （8:15～9:15 頃）	2 回目（晴れ） （11:15～12:15 頃）	3 回目（快晴） （14:15～15:15 頃）
リファレンス地点	日射強度	550～650 W/m ² 程度 （経時的に増加）	800 W/m ² 程度	550～400 W/m ² 程度 （経時的に減少）
	積算日射量	564.2 Wh/m ²	666.4 Wh/m ²	462.2 Wh/m ²
車両屋根日射量 （日射計別）	セカンダリースタンド （対リファレンス比率）	308.0 Wh/m ² （54.6%）	462.5 Wh/m ² （69.4%）	264.6 Wh/m ² （57.2%）
	セカンドクラス （対リファレンス比率）	298.6 Wh/m ² （52.9%）	469.7 Wh/m ² （70.5%）	264.2 Wh/m ² （57.2%）
	シリコンタイプ （対リファレンス比率）	302.8 Wh/m ² （53.7%）	445.6 Wh/m ² （66.9%）	246.9 Wh/m ² （53.4%）

表 2-10 に 2018 年 9 月 20 日（1 日目）に計測された、走行区間別・日射計別の積算日射量を示す。また、計測結果のチャート、ならびにこれらの日射量のうち、セカンダリースタンドタイプの日射計で計測された結果について、リファレンス地点の日射量に対する比率を区間別に整理した結果を図 2-7～図 2-8、表 2-11 に示す。

図 2-7～図 2-8 および表 2-11 を見ると、リファレンス地点の日射量に対する車両取得日射量の比率は、開放区間が大きく、高層ビル区間が小さい（アンダーパス区間は除く）。市街地区間はこれらの間であるが、市街地区間 1（1-a）と市街地区間 2（1-d）は開放区間と大差はない。

また、1 回目から 3 回目までの比率を見ると、基本的には太陽高度が高く、影が短い、あるいは発生しにくい 2 回目の比率が大きくなっているが、市街地区間 1（1-a）と開放区間（東）（1-e および 1-g）では 3 回目の比率が最も大きい。このことは、開放区間等であっても太陽方位と道路方位の関係が大きく影響することを示唆している。

図 2-9～図 2-16 および表 2-12～表 2-15 には 2 日目～5 日目における計測結果のチャート、これらの日射量のうち、セカンダリースタンドタイプの日射計で計測された結果について、リファレンス地点の日射量に対する比率を区間別に整理した結果を示す。

表 2-10 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の日射量計測結果（詳細）¹⁹

<1 回目（08:25～09:27）：晴れ>

区間	種別	スタートからの距離 (km)	セカンドクラス (Wh/m ²)	シリコンタイプ (Wh/m ²)	リファレンス地点 (Wh/m ²)	
1-a	市街地区間 1	0.00～1.56	37.4	37.5	36.6	48.0
1-b	高層ビル区間 1	1.56～2.90	17.9	17.4	16.3	66.6
1-c	アンダーパス区間	2.90～3.79	0.1	0.0	0.1	10.2
1-d	市街地区間 2	3.79～4.19	15.1	15.2	15.2	16.8
1-e	開放区間（東）	4.19～6.75	60.8	60.5	59.5	67.8
1-f	開放区間（西）	6.75～8.85	30.5	34.0	32.8	49.7
1-g	開放区間（東）	8.85～11.42	46.5	46.7	45.6	58.8
1-h	市街地区間 3	11.42～13.18	37.1	36.4	35.0	59.3
1-i	高層ビル区間 2	13.18～16.13	39.6	37.8	38.3	139.6
1-j	市街地区間 1	16.13～17.69	23.0	13.1	23.4	47.3
合計		0.00～17.69	308.0	298.6	302.8	564.2

<2 回目（11:09～12:23）：晴れ>

区間	種別	スタートからの距離 (km)	セカンドクラス (Wh/m ²)	シリコンタイプ (Wh/m ²)	リファレンス地点 (Wh/m ²)	
1-a	市街地区間 1	0.00～1.56	37.5	37.6	35.6	46.2
1-b	高層ビル区間 1	1.56～2.90	33.9	33.9	32.4	63.4
1-c	アンダーパス区間	2.90～3.79	0.9	0.8	0.9	13.1
1-d	市街地区間 2	3.79～4.19	9.4	9.5	9.2	9.6
1-e	開放区間（東）	4.19～6.75	90.6	91.2	88.6	106.8
1-f	開放区間（西）	6.75～8.85	48.0	47.7	45.7	51.1
1-g	開放区間（東）	8.85～11.42	73.2	73.9	71.5	84.4
1-h	市街地区間 3	11.42～13.18	38.7	38.7	38.1	57.8
1-i	高層ビル区間 2	13.18～16.13	93.1	92.0	89.4	170.8
1-j	市街地区間 1	16.13～17.69	37.3	44.4	34.2	63.4
合計		0.00～17.69	462.5	469.7	445.6	666.4

<3 回目（14:17～15:25）：快晴>

区間	種別	スタートからの距離 (km)	セカンドクラス (Wh/m ²)	シリコンタイプ (Wh/m ²)	リファレンス地点 (Wh/m ²)	
1-a	市街地区間 1	0.00～1.56	50.1	50.1	46.0	50.9
1-b	高層ビル区間 1	1.56～2.90	22.4	21.8	20.5	64.1
1-c	アンダーパス区間	2.90～3.79	0.1	0.0	0.1	8.6
1-d	市街地区間 2	3.79～4.19	6.4	5.9	6.5	13.6
1-e	開放区間（東）	4.19～6.75	66.8	67.1	64.3	66.4
1-f	開放区間（西）	6.75～8.85	19.3	18.9	17.8	45.3
1-g	開放区間（東）	8.85～11.42	44.6	45.0	43.1	44.2
1-h	市街地区間 3	11.42～13.18	13.5	13.3	12.9	28.2
1-i	高層ビル区間 2	13.18～16.13	29.7	30.2	24.5	114.3
1-j	市街地区間 1	16.13～17.69	11.7	11.8	11.2	26.7
合計		0.00～17.69	264.6	264.2	246.9	462.2

区間別の移動観測日射量（1日目）

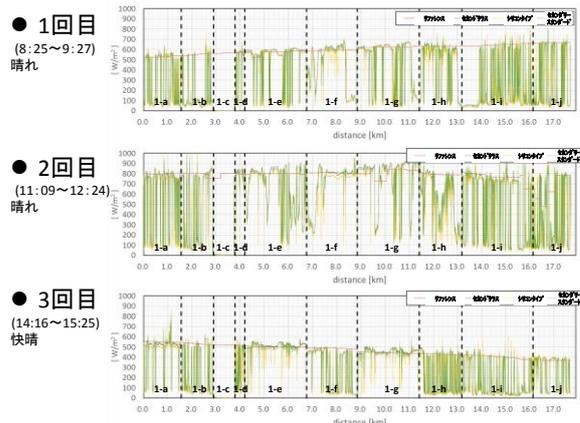


図 2-7 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の日射量計測結果（詳細）¹⁹

表 2-11 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）
（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間	種別	スタートからの距離 (km)	1 回目 (08:25~09:27)		2 回目 (11:09~12:24)		3 回目 (14:16~15:25)	
			(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)
1-a	市街地区間 1	0.00~1.56	37.4	77.9%	37.5	81.2%	50.1	98.4%
1-b	高層ビル区間 1	1.56~2.90	17.9	26.9%	33.9	53.5%	22.4	34.9%
1-c	アンダーパス区間	2.90~3.79	0.1	1.0%	0.9	6.9%	0.1	1.2%
1-d	市街地区間 2	3.79~4.19	15.1	89.9%	9.4	97.9%	6.4	47.1%
1-e	開放区間（東）	4.19~6.75	60.8	89.7%	90.6	84.8%	66.8	100.1%
1-f	開放区間（西）	6.75~8.85	30.5	61.4%	48.0	93.9%	19.3	42.6%
1-g	開放区間（東）	8.85~11.42	46.5	79.1%	73.2	86.7%	44.6	100.9%
1-h	市街地区間 3	11.42~13.18	37.1	62.6%	38.7	67.0%	13.5	47.9%
1-i	高層ビル区間 2	13.18~16.13	39.6	28.4%	93.1	54.5%	29.7	26.0%
1-j	市街地区間 1	16.13~17.69	23.0	48.6%	37.3	58.8%	11.7	43.8%
合計		0.00~17.69	308.0	54.6%	462.5	69.4%	264.6	57.2%

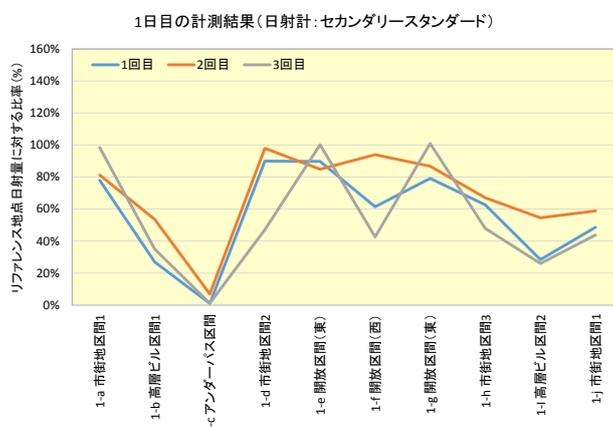


図 2-8 札幌における 2018 年 9 月 20 日（1 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）
（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間別の移動観測日射量（2日目）

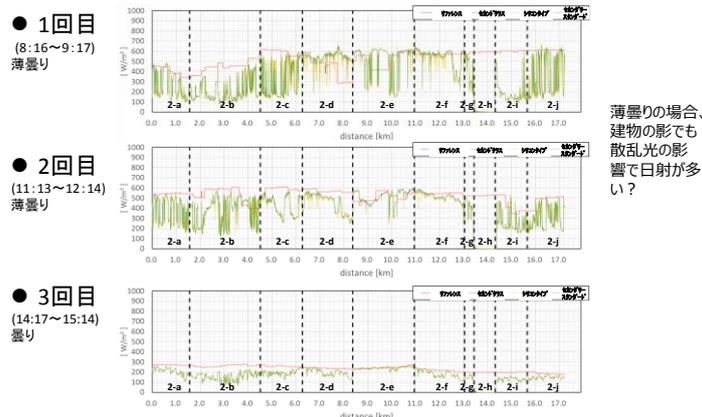


図 2-9 札幌における 2018 年 9 月 25 日（2 日目）の日射量計測結果（詳細）¹⁹

表 2-12 札幌における 2018 年 9 月 25 日（2 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）
（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間	種別	スタートからの距離 (km)	1 回目 (08:16~09:17)		2 回目 (11:13~12:14)		3 回目 (14:17~15:14)	
			(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)
2-a	市街地区間 1	0.00~1.56	26.4	76.1%	28.6	60.9%	17.4	76.7%
2-b	高層ビル区間 2	1.56~4.51	37.3	49.6%	92.3	70.9%	31.9	58.5%
2-c	市街地区間 3	4.51~6.27	20.9	47.9%	38.5	74.2%	14.8	72.5%
2-d	開放区間（西）	6.27~8.37	87.9	132.8%	35.4	80.5%	11.7	83.6%
2-e	開放区間（東）	8.37~10.94	57.7	94.3%	60.5	100.5%	23.9	100.0%
2-f	開放区間（西）	10.94~13.04	54.8	94.3%	25.7	93.5%	14.7	84.0%
2-g	市街地区間 2	13.04~13.44	7.6	73.1%	6.7	80.7%	5.7	70.4%
2-h	アンダーパス区間	13.44~14.32	0.1	1.1%	0.0	0.0%	0.0	0.0%
2-i	高層ビル区間 1	14.32~15.66	13.9	28.5%	21.8	50.5%	12.0	67.0%
2-j	市街地区間 1	15.66~17.22	16.5	44.2%	27.4	57.7%	11.2	77.8%
合計		0.00~17.22	323.1	72.7%	336.9	71.8%	143.2	72.8%

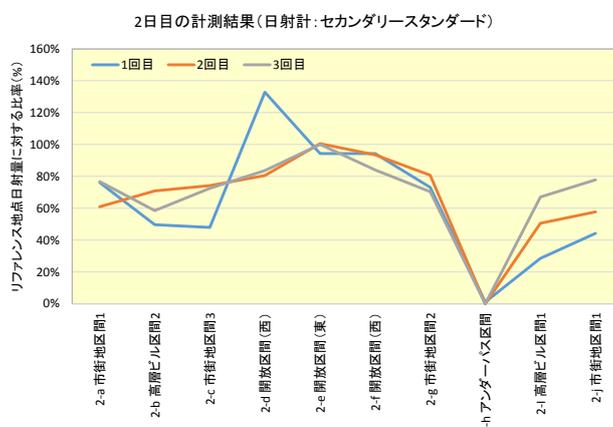


図 2-10 札幌における 2018 年 9 月 25 日（2 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）
（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間別の移動観測日射量（3日目）

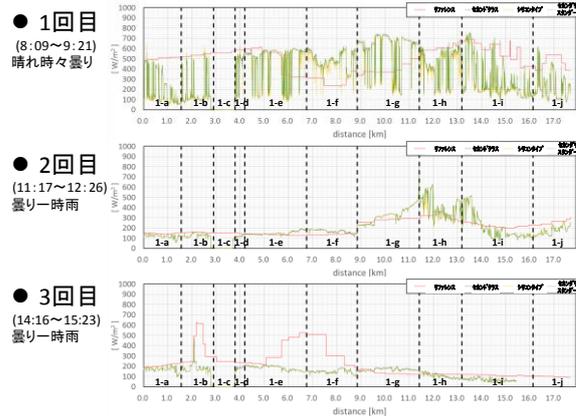


図 2-11 札幌における 2018 年 9 月 28 日（3 日目）の計測結果（詳細）¹⁹

表 2-13 札幌における 2018 年 9 月 28 日（3 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）

（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間	種別	スタートからの距離 (km)	1 回目 (08:09~09:21)		2 回目 (11:17~12:26)		3 回目 (14:16~15:23)	
			(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)
1-a	市街地区間 1	0.00~1.56	20.4	42.1%	14.8	84.6%	18.8	80.0%
1-b	高層ビル区間 1	1.56~2.90	15	24.0%	16.1	83.9%	24.8	42.0%
1-c	アンダーパス区間	2.90~3.79	0.3	1.4%	0.2	7.1%	0.6	8.0%
1-d	市街地区間 2	3.79~4.19	4.7	70.1%	3.4	81.0%	1.8	78.3%
1-e	開放区間（東）	4.19~6.75	93.3	110.0%	17.2	117.0%	23.1	53.6%
1-f	開放区間（西）	6.75~8.85	60.6	159.5%	11.4	122.6%	8.8	45.6%
1-g	開放区間（東）	8.85~11.42	99.2	149.2%	46.5	116.3%	25.7	108.9%
1-h	市街地区間 3	11.42~13.18	49.5	80.2%	36.5	129.4%	8.6	81.1%
1-i	高層ビル区間 2	13.18~16.13	53.7	43.2%	42	78.2%	8.3	34.4%
1-j	市街地区間 1	16.13~17.69	13.8	41.6%	16.5	66.5%	0	0.0%
合計		0.00~17.69	410.6	75.1%	204.6	95.5%	120.4	54.2%

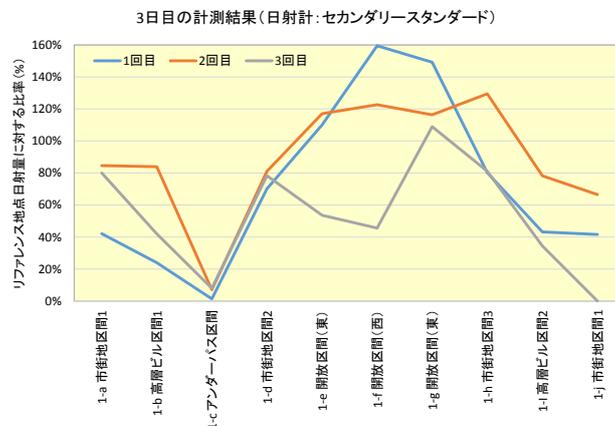


図 2-12 札幌における 2018 年 9 月 28 日（3 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）

（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間別の移動観測日射量（4日目）

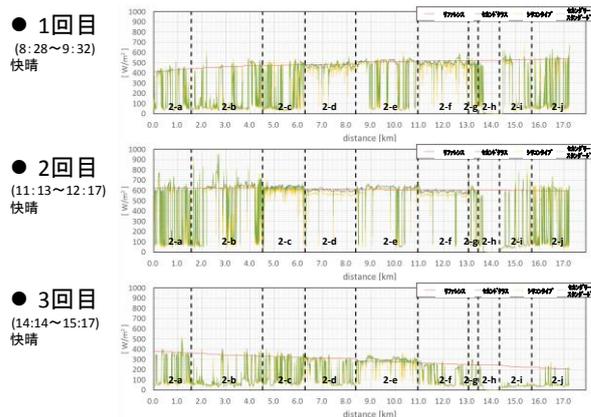


図 2-13 札幌における 2018 年 10 月 19 日（4 日目）の計測結果（詳細）¹⁹

表 2-14 札幌における 2018 年 10 月 19 日（4 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間	種別	スタートからの距離 (km)	1 回目 (08:28~09:32)		2 回目 (11:13~12:17)		3 回目 (14:14~15:17)	
			(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)
2-a	市街地区間 1	0.00~1.56	40.7	43.3%	77.2	67.5%	21.5	67.2%
2-b	高層ビル区間 2	1.56~4.51	34.9	35.5%	109.6	70.7%	15.3	21.9%
2-c	市街地区間 3	4.51~6.27	15.9	44.7%	48.3	97.2%	13.9	50.7%
2-d	開放区間（西）	6.27~8.37	27.7	97.5%	49.8	96.5%	10.5	45.7%
2-e	開放区間（東）	8.37~10.94	32.9	70.0%	55.5	91.3%	35.6	100.6%
2-f	開放区間（西）	10.94~13.04	37.4	99.2%	38.0	96.4%	12.4	45.8%
2-g	市街地区間 2	13.04~13.44	9.0	85.7%	8.5	85.9%	1.8	36.7%
2-h	アンダーバス区間	13.44~14.32	1.4	8.0%	1.6	13.7%	0.4	9.3%
2-i	高層ビル区間 1	14.32~15.66	22.4	50.7%	9.2	15.2%	4.8	18.3%
2-j	市街地区間 1	15.66~17.22	9.2	24.3%	32.7	73.0%	5.0	25.3%
合計		0.00~17.22	231.5	51.3%	430.6	72.0%	121.1	44.8%

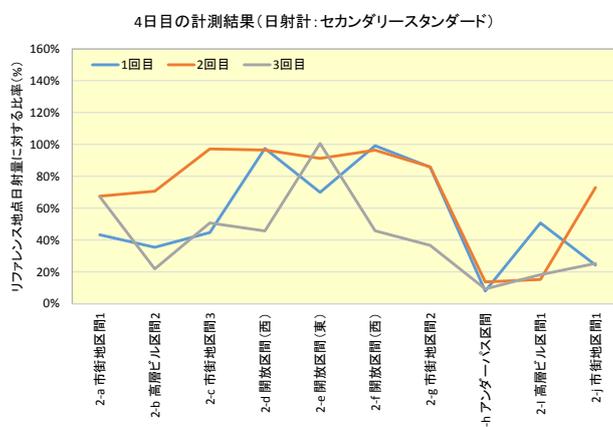


図 2-14 札幌における 2018 年 10 月 19 日（4 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間別の移動観測日射量（5日目）

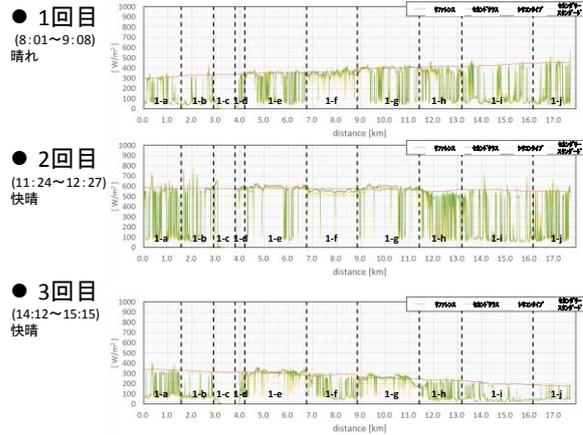


図 2-15 札幌における 2018 年 10 月 22 日（5 日目）の計測結果（詳細）¹⁹

表 2-15 札幌における 2018 年 10 月 22 日（5 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

区間	種別	スタートからの距離 (km)	1 回目 (08:01~09:08)		2 回目 (11:24~12:27)		3 回目 (14:12~15:15)	
			(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)	(Wh/m ²)	(対リファレンス)
1-a	市街地区間 1	0.00~1.56	19.2	52.6%	26.7	59.9%	12.7	49.2%
1-b	高層ビル区間 1	1.56~2.90	6.6	21.6%	21.3	37.6%	5.3	24.7%
1-c	アンダーパス区間	2.90~3.79	0.2	3.1%	2.0	19.6%	0.3	5.5%
1-d	市街地区間 2	3.79~4.19	1.8	35.3%	13.8	85.7%	3.4	42.0%
1-e	開放区間（東）	4.19~6.75	34.8	85.9%	55.5	93.0%	25.6	99.6%
1-f	開放区間（西）	6.75~8.85	38.9	98.2%	50.1	97.7%	11.3	52.3%
1-g	開放区間（東）	8.85~11.42	40.3	84.8%	57.0	97.9%	29.3	97.3%
1-h	市街地区間 3	11.42~13.18	18.6	71.8%	34.7	70.4%	11.6	45.1%
1-i	高層ビル区間 2	13.18~16.13	27.8	25.6%	44.3	31.4%	12.4	24.8%
1-j	市街地区間 1	16.13~17.69	10.3	24.4%	11.9	29.2%	5.2	29.4%
合計		0.00~17.69	198.4	51.8%	317.3	60.1%	117.2	50.5%

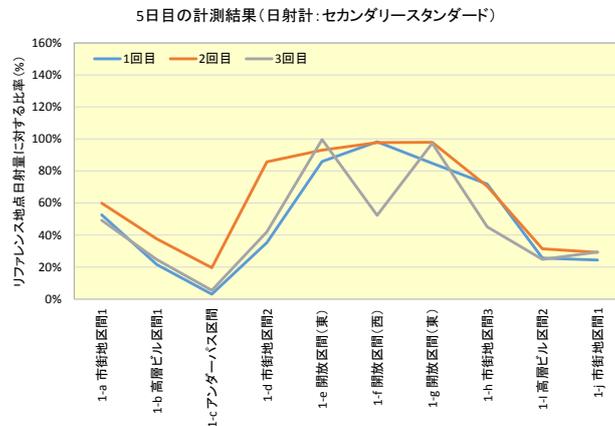


図 2-16 札幌における 2018 年 10 月 22 日（5 日目）の日射量計測結果（リファレンスとの比較）（日射計：セカンダリースタンド）¹⁹

表 2-16 は 1 日目～5 日目の結果について、全区間合計の日射量（日射計：セカンダリースタ
ンダード）と、リファレンス地点の日射量に対する比率を示したものである。

晴天日は 1 回目、3 回目の比率が概ね 50%程度、2 回目の比率が 70%程度という傾向にある。他
方、曇天日は時間帯によらず 70%強となっている。これは、曇天日は日射強度が小さく、建物等
により遮られる直達日射量も少ないことによると想定される。

表 2-16 札幌における日射量計測結果（リファレンスとの比較：総括）（日射計：セカンダリース
タ
ンダード）¹⁹

			1 回目 (8:15～9:15 頃)	2 回目 (11:15～12:15 頃)	3 回目 (14:15～15:15 頃)
1 日目	2018 年 9 月 20 日	天気	(晴れ)	(晴れ)	(快晴)
		車両屋根日射量	308.0 Wh/m ²	462.5 Wh/m ²	264.6 Wh/m ²
		リファレンス日射量	564.2 Wh/m ²	666.4 Wh/m ²	462.2 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	54.6 %	69.4 %	57.2 %
2 日目	2018 年 9 月 25 日	天気	(薄曇り)	(薄曇り)	(曇り)
		車両屋根日射量	323.1 Wh/m ²	336.9 Wh/m ²	143.2 Wh/m ²
		リファレンス日射量	444.5 Wh/m ²	469.3 Wh/m ²	196.8 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	72.7 %	71.8 %	72.8 %
3 日目	2018 年 9 月 28 日	天気	(晴れ時々曇り)	(曇り一時雨)	(曇り一時雨)
		車両屋根日射量	410.6 Wh/m ²	204.6 Wh/m ²	120.4 Wh/m ²
		リファレンス日射量	546.8 Wh/m ²	214.3 Wh/m ²	222.3 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	75.1 %	95.5 %	54.2 %
4 日目	2018 年 10 月 19 日	天気	(快晴)	(快晴)	(快晴)
		車両屋根日射量	231.5 Wh/m ²	430.6 Wh/m ²	121.1 Wh/m ²
		リファレンス日射量	451.3 Wh/m ²	598.1 Wh/m ²	270.3 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	51.3 %	72.0 %	44.8 %
5 日目	2018 年 10 月 22 日	天気	(晴れ)	(快晴)	(快晴)
		車両屋根日射量	198.4 Wh/m ²	317.3 Wh/m ²	117.2 Wh/m ²
		リファレンス日射量	382.7 Wh/m ²	528.0 Wh/m ²	232.0 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	51.8 %	60.1 %	50.5 %

(4) 日射計、サンプリング間隔による違い

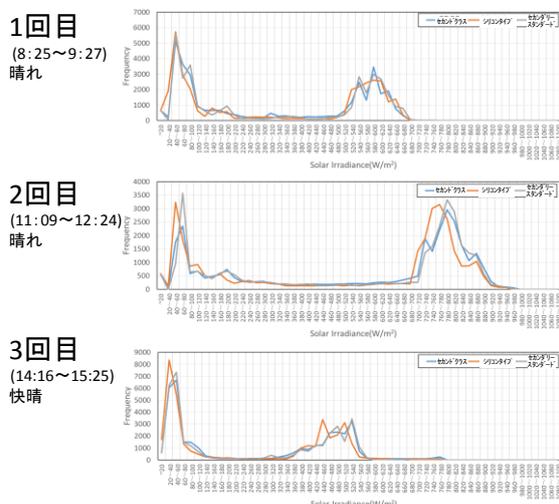
図 2-17 に 1 日目 (2018 年 9 月 20 日 : 晴れ)、3 日目 (2018 年 9 月 28 日 : 曇り) における日射計の種類による階級別出現頻度の違いを示す。

晴天日であった 1 日目は、全体的な出現頻度の傾向は類似しているが、シリコンタイプの値が若干小さい傾向が見られる。一方、曇天日であった 3 日目では、日射計の種類による差が小さい。

表 2-17 には 2018 年 9 月 20 日 (1 日目) のサンプリング間隔別の全区間合計日射量を示す。

日射量の大小関係は共通しているが、サンプリング間隔 0.1 秒~1 分で最大 5% 程度の差がみられている。全区間合計日射量を把握する場合にはサンプリング間隔 1 分でも結果は大きく変わらないが、建物等の影による短期変動を見るためには、細かいサンプリング間隔や応答速度の速い日射計が必要となる。

○ 1 日目 (2018 年 9 月 20 日)



○ 3 日目 (2018 年 9 月 28 日)

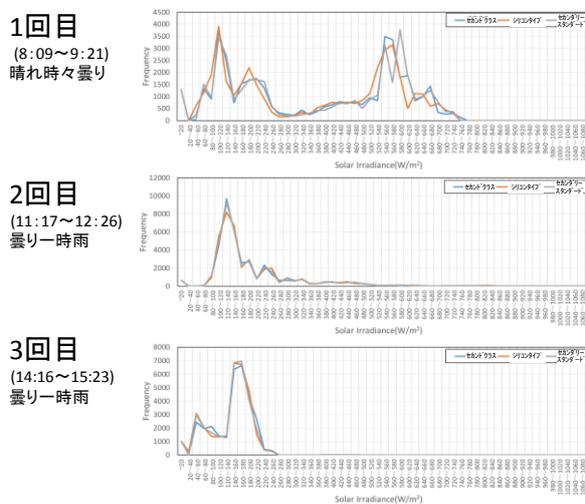


図 2-17 札幌での計測における日射計の種類による階級別出現頻度の違い¹⁹

表 2-17 札幌における 2018 年 9 月 20 日 (1 日目) のサンプリング間隔別の全区間合計日射量¹⁹

	サンプリング間隔	セカンダリスタンダード (Wh/m ²)	セカンドクラス (Wh/m ²)	シリコンタイプ (Wh/m ²)
1 回目	0.1 秒	308.0	298.6	302.8
	1 秒	308.6	298.8	302.9
	10 秒	299.5	289.7	293.1
	1 分	311.1	301.5	306.8
2 回目	0.1 秒	465.8	472.9	448.9
	1 秒	467.2	473.6	449.9
	10 秒	464.4	466.6	449.6
	1 分	472.0	486.3	442.8
3 回目	0.1 秒	264.6	264.2	246.9
	1 秒	265.1	264.4	247.1
	10 秒	271.5	270.5	251.9
	1 分	280.6	276.2	264.3

2.3.2. 宮崎県宮崎市における計測結果

(1) 計測条件と計測ルート

宮崎における計測条件を表 2-18 に示す。宮崎では 2018 年 9 月 13 日～10 月 1 日にかけて 4 日間の計測を行った。車両が取得する日射量は周辺建物の影などの影響を受け、その影響は太陽高度によって左右されることが想定されることから、4 日のうちの 2 日は、時間帯の異なる 3 回の計測とした。

影などによる取得日射量の低減度合いを把握するため、リファレンス地点(宮崎大学校舎屋上)の日射量との比較を行った。計測実施日におけるリファレンス地点の日射量と太陽高度を、車両屋根および側面(4 方位の平均)とあわせて図 2-18 に示す。

表 2-18 宮崎における計測日²⁰

計測日	ルート	1 回目 (9:00～10:00 頃)	2 回目 (11:30～12:30 頃)	3 回目 (15:00～16:00 頃)
2018 年 9 月 13 日(木)	反時計回り	○	○	○
2018 年 9 月 16 日(日)	反時計回り	○	○	○
2018 年 9 月 22 日(土)	反時計回り	-	○	-
2018 年 10 月 1 日(月)	反時計回り	-	○	-

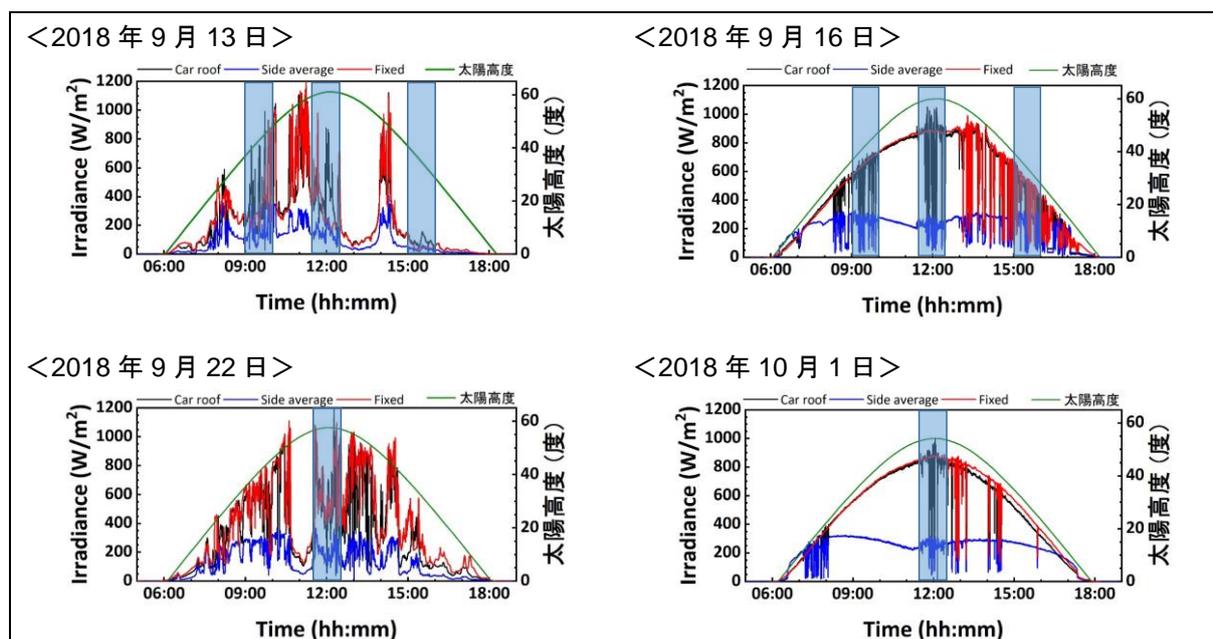


図 2-18 リファレンス地点における日射量²⁰

図 2-19 に宮崎における走行ルートを示す。市街地区間(住宅地等)、高層ビル区間(ビル・繁華街)、開放区間を含み、市街地区間と高層ビル区間は周辺建物の影響を受けることが想定され、開放区間はそのような影響は受けにくいと想定される区間である。



図 2-19 宮崎での計測における走行ルート 18 より作成

(2) 走行区間による日射量の特徴

ここでは、2018年9月16日(2日目)の計測結果に基づき、市街地区間(住宅地:片側1車線)、高層ビル区間(ビル・繁華街:片側3車線)および開放区間(片側2車線)に該当する計測の一部(図2-19中の赤線部分)を抽出し、その特徴を整理する。

<市街地区間:住宅地>

表2-19および図2-20に市街地区間(住宅地)における車両屋根側面の取得日射量の計測結果(側面は4方位の平均)を示す。2~4分という短い時間ではあるが、リファレンス地点の日射量に対する車両屋根日射量は朝(9:40-9:42)が92.0%、昼(12:17-12:21)が83.6%と大きく、道路沿いの建物や樹木、電柱等の影によるロスが少ないことを示している。一方、午後(15:48-15:51)は62.5%とやや小さな値となっている。

図2-20を見ると、12:20~12:21、15:49~15:51の間に30~40秒間、日射量が大きく低下し、リファレンスに対する比率が小さくなっている。これは建物の影によるものと考えられるが、交差点で停車している場合などには、このような状態が数十秒間続くという影響が現れる。

図2-21は車両側面における取得日射量の計測結果である。日射量の低下が見られるタイミングは車両屋根と一致している。南北方向の道路の走行において、朝は東側(主に車両左側)、昼は南側(主に車両前方)、午後は西側(主に車両右側)の日射量が大きく、朝と午後は車両屋根と同程度であることが特徴的である。また、4方位の平均日射量を見ると、朝は車両屋根の35%、昼は25%、午後は67%程度となっている。

表 2-19 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の市街地区間の車両屋根の取得日射量の計測結果²⁰

計測時間帯	車両屋根日射量 (Car-roof)	側面日射量 (4方位平均)	リファレンス(屋 上:Fixed)日射量	車両屋根日射量の 対リファレンス比率
9:40 - 9:42	23 Wh/m ²	8 Wh/m ²	25 Wh/m ²	92.0 %
12:17 - 12:21	51 Wh/m ²	13 Wh/m ²	61 Wh/m ²	83.6 %
15:48 - 15:51	15 Wh/m ²	10 Wh/m ²	24 Wh/m ²	62.5 %

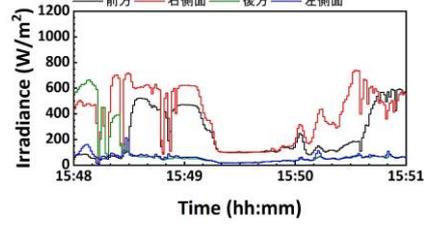
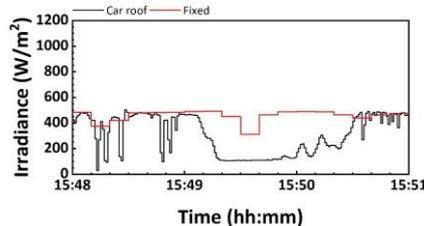
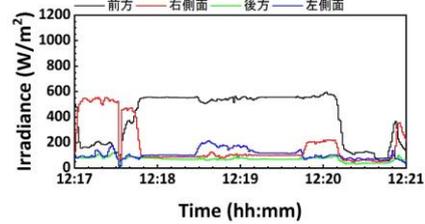
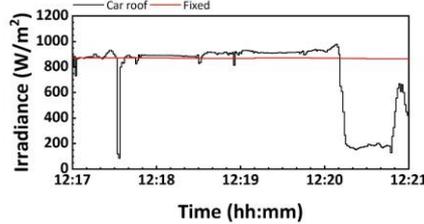
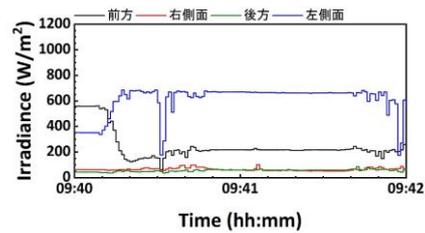
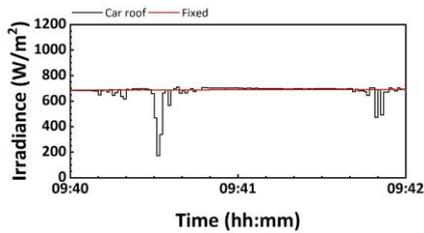


図 2-20 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の市街地区間の車両屋根取得日射量の計測結果²⁰

図 2-21 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の市街地区間の車両側面取得日射量の計測結果²⁰

<高層ビル区間：ビル・繁華街（市中心部）>

高層ビル区間（ビル・繁華街）では、東西方向→南北方向の道路の順で、それぞれ東→西、北→南に向かって走行している。表 2-20 に高層ビル区間における車両屋根および側面の取得日射量の計測結果（側面は 4 方位の平均）を示す。2～4 分という短い時間ではあるが、リファレンス地点の日射量に対する車両屋根日射量は朝（9:22-9:24）が 73.9%、昼（11:58-12:02）が 63.1%、午後（15:29-15:33）が 58.8%となっている。

図 2-22 は車両屋根の取得日射量の計測結果である。朝の走行では、影によると見られる日射量の低下が東から西への走行（A→B）、北から南への走行（B→C）いずれも見られるが、北から南への走行時（B→C）の低減度合いが大きい。昼の走行では、東から西への走行（A→B）において、道路南側の建物の影響と見られる日射量の低減が続いているが、北から南への走行（B→C）では日射量の低減はほぼみられず、むしろリファレンス地点よりも大きい傾向が見られている。午後の走行では、東から西への走行時（A→B）の日射量大きい。

図 2-23 は車両側面における取得日射量の計測結果である。日射量の低下が見られるタイミングは車両屋根と一致している。朝の走行では、東から西への区間（A→B）では車両後方（東側）の日射量が大きく、北から南への区間（B→C）では車両左側の日射量が大きく、いずれも車両屋根と同程度である。昼の走行では、東から西への走行（A→B）ではその前半（車両左側（南側））以外は日射が得られておらず、道路沿いの建物等の影響を大きく受けている。他方、北から南への走行（B→C）では車両前方の日射量が大きく、車両屋根と同程度である。午後の走行では、東から西への走行時（A→B）に車両前方（西側）と左側（南側）の日射量が大きく、車両前方の日射量は車両屋根よりも大きい。4 方位の平均日射量を見ると、朝は車両屋根の 41%、昼は 28%、午後は 55%程度となっている。

表 2-20 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の高層ビル区間の車両屋根の取得日射量の計測結果²⁰

計測時間帯	車両屋根日射量 (Car-roof)	側面日射量 (4 方位平均)	リファレンス（屋 上 : Fixed）日射量	車両屋根日射量の 対リファレンス比率
9:22 – 9:24	17 Wh/m ²	7 Wh/m ²	23 Wh/m ²	73.9 %
11:58 – 12:02	48 Wh/m ²	13 Wh/m ²	76 Wh/m ²	63.1 %
15:29 – 15:33	20 Wh/m ²	11 Wh/m ²	34 Wh/m ²	58.8 %

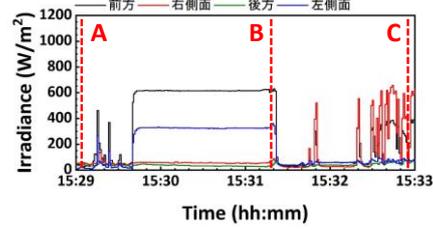
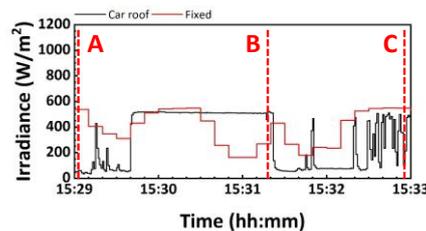
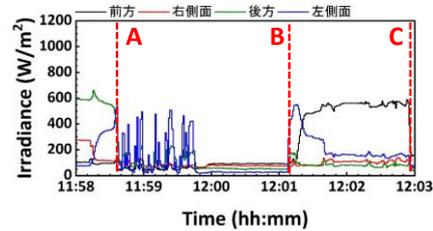
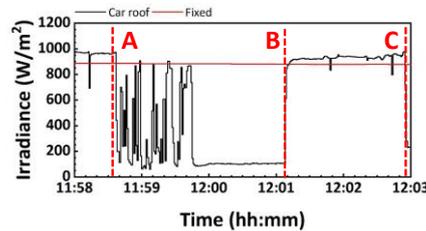
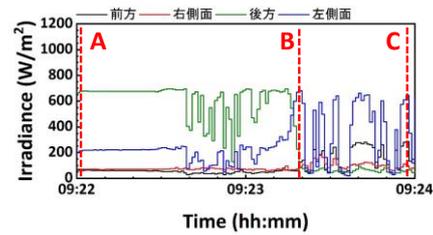
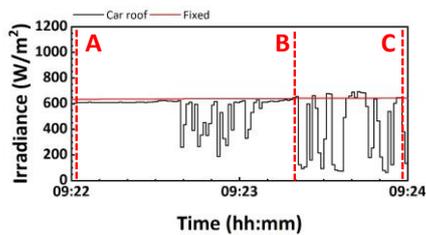


図 2-22 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の高層ビル区間の車両屋根取得日射量計測結果²⁰

図 2-23 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の高層ビル区間の車両側面取得日射量計測結果²⁰

<開放区間>

表 2-21 に開放区間における車両屋根および側面の取得日射量の計測結果（側面は 4 方位の平均）を示す。2～4 分という短い時間ではあるが、リファレンス地点の日射量に対する車両屋根日射量は朝（9:05-9:07）が 95.2%、昼（11:31-11:35）が 96.7%と非常に大きな値となっている。

図 2-24 は車両屋根の取得日射量の計測結果である。道路沿いの樹木、電柱等の影と見られる変動が時折見られるが、日射量のロス是非常に少ない。一方、車両屋根の日射量がリファレンス地点よりも大きくなる傾向はほぼ見られず、市街地区間や高層ビル区間で見られた傾向は周辺建物による反射の影響と考えることができるであろう。また、午後（15:04-15:08）の走行では、リファレンス地点の日射量に対する車上日射量の比率は 124%となっている。これは、走行ルート上が晴天であったのに対し、リファレンス地点上に雲があったためと考えられる。

図 2-25 は車両側面における取得日射量の計測結果である。日射量の低下が見られるタイミングは車両屋根と一致している。朝の走行では車両右側（東側）の日射量、午後の走行では車両左側（西側）の日射量が大きく、車両屋根やリファレンス地点の日射量を上回っている。また、4 方位の平均日射量は、朝と午後は屋根の 50%であるが、昼は 28%程度となっている。

表 2-21 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の開放区間の車両屋根の取得日射量の計測結果²⁰

計測時間帯	車両屋根日射量 (Car-roof)	側面日射量 (4 方位平均)	リファレンス（屋 上：Fixed）日射量	車両屋根日射量の 対リファレンス比率
9:05 – 9:07	20 Wh/m ²	10 Wh/m ²	21 Wh/m ²	95.2 %
11:31 – 11:35	58 Wh/m ²	16 Wh/m ²	60 Wh/m ²	96.7 %
15:04 – 15:08	41 Wh/m ²	20 Wh/m ²	33 Wh/m ²	124.2 %

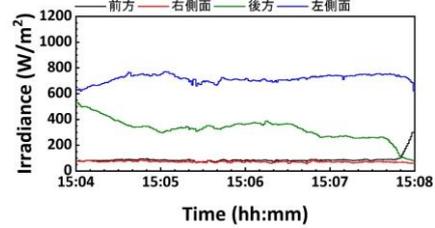
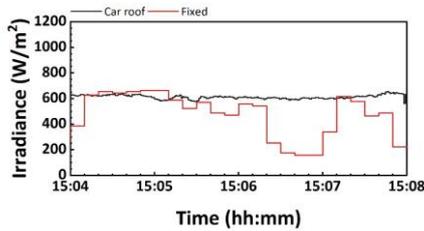
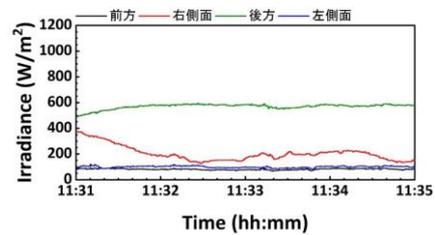
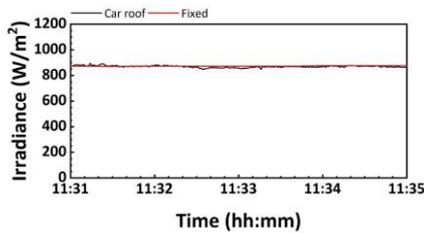
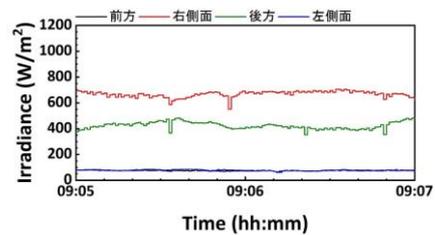
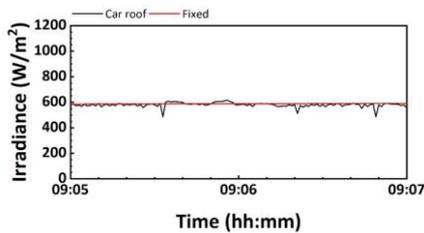


図 2-24 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の開放区間の車両屋根取得日射量の計測結果²⁰

図 2-25 宮崎における 2018 年 9 月 16 日の開放区間の車両側面取得日射量の計測結果²⁰

(3) 車両の取得日射量とリファレンスとの比較

ここでは、宮崎で実施した4日間（2日は3回/日、他の2日は1回/日）の計測結果について示す。

表 2-22 は、走行区間合計の車両屋根と車両側面の日射量（車両側面は4方位の平均）と、リファレンス地点の日射量に対する比率を示したものである。これらの値は市街地区間、高層ビル区間、開放区間を含めた積算日射量である。また、図 2-26～図 2-29 は車両屋根および車両側面の取得日射量の計測結果（チャート）である（車両側面は4方位の平均）。

2日目（2018年9月16日）は晴天（午後は曇りがち）であったのに対し、1日目（2018年9月13日）は雲が多く、午後は日射量が非常に少ない日であった。これら両日の車両取得日射量とリファレンス地点の日射量の比率は、2日目は車両屋根の日射量がリファレンス地点よりもやや少ない（87.5～92.4%）のに対し、1日目の車両屋根日射量はリファレンス地点を上回っている。車両側面の日射量についても、1日目の比率の方が大きい。リファレンス地点と走行ルート上で雲の状況が異なっていた可能性もあるが、直達光が少なく、散乱光が多いことも要因と考えられる。また、2回目（昼）におけるリファレンスに対する比率は朝や午後よりも小さく、2日目の方がその差が大きいのは、太陽高度の相違が影響していると推測される。

各計測日の昼の日射量を見ると、1日目と3日目は曇りがちであったのに対し、2日目と4日目は晴天であった。2日目と4日目は、道路沿いの建物や樹木、電柱等の影と思われる日射量の低下（短周期変動）があるが、リファレンスに対する車両屋根の日射量の比率はそれぞれ 87.5%、92.0% で、影によるロスが少ないことを示している。また、リファレンス地点の日射量よりも車両屋根日射量の方が大きい場合も見られている。リファレンス地点と走行ルート上で条件の相違があった可能性もあるため、一概には判断できないが、周辺建物等による反射による影響という可能性もある。車両側面の日射量は、晴天であった2日目と4日目は、リファレンスに対する比率が 30% を下回った。また、リファレンスに対する車両屋根日射量の比率が小さいと、車両側面日射量の比率も小さくなる傾向にある。

表 2-22 宮崎における日射量計測結果（リファレンスとの比較：総括）²⁰

			1 回目 (9:00~10:00 頃)	2 回目 (11:30~12:30 頃)	3 回目 (15:00~16:00 頃)
1 日目	2018 年 9 月 13 日	車両屋根日射量	404 Wh/m ²	393 Wh/m ²	88 Wh/m ²
		車両側面日射量	169 Wh/m ²	146 Wh/m ²	36 Wh/m ²
		リファレンス日射量	346 Wh/m ²	329 Wh/m ²	51 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	114.3 %	118.2 %	180.0 %
		車両側面/リファレンス	48.8 %	44.4 %	70.6 %
2 日目	2018 年 9 月 16 日	車両屋根日射量	617 Wh/m ²	775 Wh/m ²	450 Wh/m ²
		車両側面日射量	258 Wh/m ²	205 Wh/m ²	243 Wh/m ²
		リファレンス日射量	659 Wh/m ²	879 Wh/m ²	459 Wh/m ²
		車両屋根/リファレンス	92.4 %	87.5 %	91.8 %
		車両側面/リファレンス	39.2 %	23.3 %	52.9 %
3 日目	2018 年 9 月 22 日	車両屋根日射量		578 Wh/m ²	
		車両側面日射量		203 Wh/m ²	
		リファレンス日射量	-	613 Wh/m ²	-
		車両屋根/リファレンス		95.1 %	
		車両側面/リファレンス		33.1 %	
4 日目	2018 年 10 月 1 日	車両屋根日射量		804 Wh/m ²	
		車両側面日射量		248 Wh/m ²	
		リファレンス日射量	-	867 Wh/m ²	-
		車両屋根/リファレンス		92.0 %	
		車両側面/リファレンス		28.6 %	

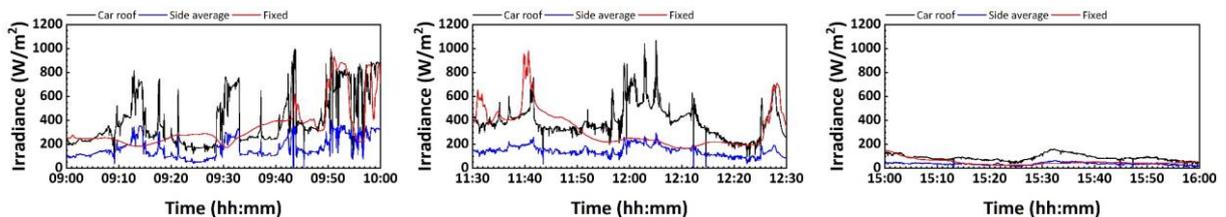


図 2-26 宮崎における 2018 年 9 月 13 日（1 日目）の車両取得日射量の計測結果²⁰

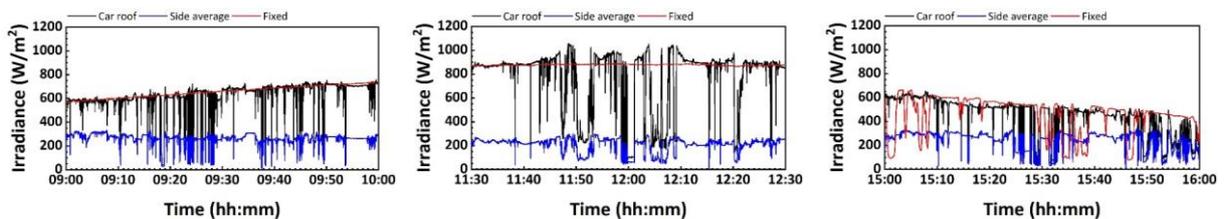


図 2-27 宮崎における 2018 年 9 月 16 日（2 日目）の車両取得日射量の計測結果²⁰

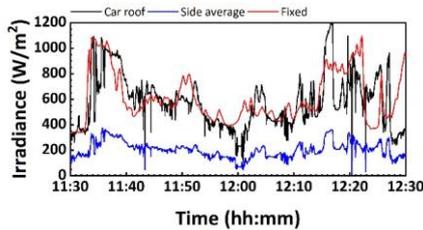


図 2-28 宮崎における 2018 年 9 月 22 日 (3 日目) の車両取得日射量の計測結果²⁰

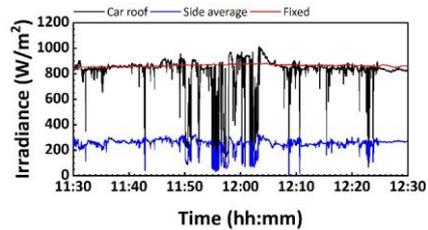


図 2-29 宮崎における 2018 年 10 月 1 日 (4 日目) の車両取得日射量の計測結果²⁰

図 2-30 は晴天であった 2 日目 (2018 年 9 月 16 日) における車両側面の取得日射量を方位別に示したものである。また、図 2-31 は、曇りがちであった 3 日目 (2018 年 9 月 22 日) における計測結果である。

車両屋根と同様、影と見られる日射量の低下 (短周期変動) が多く見られ、また、太陽方位と道路 (走行) 方位の関係や、車両側面の位置 (前後左右) により異なる挙動を示しており、2 日目においては、走行方向の変化に伴う各方位の取得日射量の変化が顕著に現れている。一方、3 日目は、昼のみの計測ではあるが、計測時間帯の半ばから方位による相違が見えにくくなっており、これは雲による直達日射の減少が影響していると考えられる。

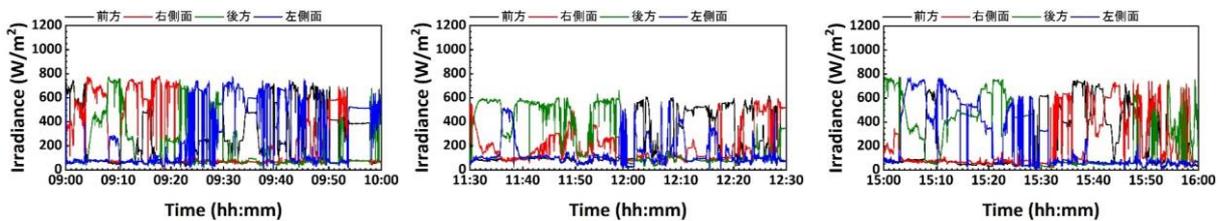


図 2-30 宮崎における 2018 年 9 月 16 日 (2 日目) の車両側面の取得日射量の計測結果²⁰

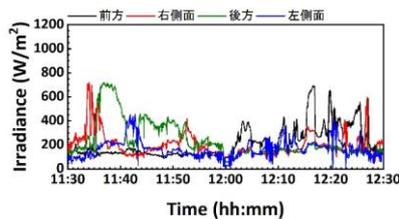


図 2-31 宮崎における 2018 年 9 月 22 日 (3 日目) の車両側面の取得日射量の計測結果²⁰

3. まとめ

本報告書では、太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量に関する予備的検討として、走行車両が取得する日射量の計測を試行し、その特徴と傾向の把握、およびリファレンス地点（日射条件が良好な建物屋根・屋上等）における日射量との比較を行った結果を示した。

以下に、今回の計測試行により示唆された、車両が取得する日射量の特徴と今後の課題を示す。

3.1. 車両取得日射量の特徴

車両屋根上および車両側面における取得日射量の特徴を以下に示す。

(1) 車両屋根上水平全天日射量

- ・ 道路沿いの建物や樹木、電柱等の影が発生し、リファレンス地点と比較して、当該箇所・区間における日射量が低下する。
- ・ 建物等による影は高層ビル区間で多く発生し、市街地区間でも断続的に発生する。また、発生頻度は少ないが、開放区間でも影は発生する。
- ・ 建物等の影により、非常に短い周期での日射変動（0.1秒で数百 W/m^2 ）が生じる。
- ・ 影が発生しない区間の日射強度はリファレンス地点と同程度であるが、影が発生する区間では $50\sim 100 W/m^2$ 程度まで低下し、日射変動の幅は太陽高度が高いほど大きい。
- ・ 積算日射量の低下は影が発生している時間に依存し、高層ビル区間が最も大きく、開放区間は少なく、市街地区間はその中間にある。
- ・ 道路沿い建物による影響は屋根全面への影となる可能性があるが、樹木や電柱による影は屋根全面を覆うものではなく、部分影に相当する。
- ・ 影の発生は、道路方位（車両の走行する方向）と太陽方位の関係に大きく依存し、これらがほぼ同じ場合には高層ビル区間であっても影響は少ない。
- ・ 道路沿い建物等による影の発生は道路幅、ならびに走行している車線にも左右されるものと考えられる。
- ・ 高層ビル区間や市街地区間において、リファレンス地点よりも日射量が多い場合もあり、道路沿い建物からの反射による取得日射量増加が考えられる。

(2) 車両側面日射量

- ・ 道路沿いの建物や樹木、電柱等の影が発生し、車両屋根上と同様、当該箇所・区間における日射量が低下する。
- ・ 日射量、および影の発生は道路方位と太陽方位の関係に大きく依存し、太陽方位と一致している面（前・後・左・右の1面または2面）は道路沿い建物等の影響はほぼ受けないが、他の面は直達日射が届かず、日射量が小さくなる。
- ・ 日射量が多い面は走行している方向とともに変化する。
- ・ 様々な方位の日射量の平均値（ m^2 あたり）は車両屋根よりも小さいが、太陽方位を向いた面の日射量は、太陽高度が低い場合に車両屋根上よりも大きくなることもある。
- ・ 高層ビル区間や市街地区間において、道路沿い建物からの反射による取得日射量増加が考えられるほか、開放区間においても、周辺からの反射による取得日射量増加が考えられる。

3.2. 今後の課題

車両が取得する日射量は、自動車における太陽光発電の利用に際しての入り口、第一歩であり、太陽光発電システム搭載による意義や効果を評価するために必要な情報であるほか、発電電力を走行用動力等として利用していくための制御システムの設計・運用にとっても重要な情報である。

今回の予備的検討（車両取得日射量の計測試行）は、限られた地点・時期における断片的なものであり、今回の結果のみから、すぐさま、車両が取得する日射量の特徴を一般化することや、期待される発電量などの定量的な評価を実施していくことは適切ではないが、3.1に示したように以下のような特徴、傾向が示されている。

- ・ 建物や樹木、電柱等の影が発生し、当該箇所・区間において日射量が低下する。
- ・ 建物等による影は、屋根等全面を覆う場合もあるが、部分影に相当する場合もある。
- ・ 建物等からの反射により、当該箇所・区間において車両が取得する日射量が建物の屋根・屋上等よりも大きくなる可能性もある。
- ・ 影や反射による日射量の変動は、非常に短い周期（0.1秒未満）で生じることが多い。

太陽光発電システム搭載自動車の本格的な開発普及に向けて、把握・計測するデータを拡充していく必要があると考えられるが、効率的に実施するためには、それらのデータの活用方法も予め想定しておく必要がある。

(1) 把握・計測データの拡充

表 3-1 に、今後、把握・計測していく必要があるデータの例を示す。

今回の計測試行では、日本国内の2地点における秋季（9～10月）の日射量のみでの計測であったが、日射特性が異なる地域や異なる季節、様々な走行環境における日射量や温度条件、太陽電池セル・モジュールを用いた出力・電流などのデータも必要と考えられる。その際、部分影の発生や影響を把握するためには、屋根上複数点（例えば、四隅と中央）の日射量の計測や天空画像を用いた解析が有効と考えられる。

また、今回の計測ではサンプリング間隔を0.1秒および1秒としたが、高精度な発電量推定やシステム設計（日射変動に対するMPPT対応等）に反映するためには、さらに短い間隔（0.1秒未満）での計測が必要となる可能性もある。このような高精度なデータ計測においては、使用する日射計の応答速度等の性能も重要となってくる。

表 3-1 把握・計測データの拡充（例）

地点・時期の拡充	<ul style="list-style-type: none">・ 日射特性（地理的条件）が異なる地域・ 異なる季節（夏季・冬季など）・ 様々な走行環境下（用途地域別など）・ 様々な時間帯
太陽電池発電量推定に資するデータ	<ul style="list-style-type: none">・ 温度条件・ 太陽電池セル・モジュールを用いた出力・電流等
高精度化	<ul style="list-style-type: none">・ 屋根上複数点（例えば、四隅と中央）での計測・ 天空画像を用いた解析・ サンプリング間隔 0.1 秒未満による計測

(2) 把握・計測データの活用方法

これらのデータの活用方法として、表 3-2 に示すような例が考えられる。活用方法に応じて、把握・計測するデータの精度や分解能が異なり、サンプリング間隔に沿った瞬時値が必要となる場合、一定時間内の積算値が必要となる場合がある。

表 3-2 車両取得日射量等の活用方法（例）

日射特性（瞬時値）に応じた詳細な発電量推定モデルの作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 瞬時値ベースの日射量および発電量、スペクトル解析等 - 自動車搭載用 3 次元モジュールの設計の反映 - MPPT 対応等の制御システム設計への反映
積算日射量ベースのポテンシャル評価（面展開）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ポテンシャルマップの作成 - 日射量、発電量、屋根・屋上日射量に対する比率など - 1 時間値、走行区間別、方位別など ・ 地図データに基づく分析、計測（実測）値との組合せ
太陽光発電システム搭載自動車による発電ポテンシャルの評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両走行・利用パターンとの組合せによる発電ポテンシャルの評価 ・ 代表的な走行・利用パターンによる、モデルとなる発電量の導出
太陽光発電システム搭載自動車による効果の分析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電量に基づく効果（ポテンシャル）の把握 - 省エネ・CO₂排出削減・充電電気代削減など ・ 車両走行データとの組合せによる実フィールドでの効果の把握 - 車両の電力消費データとの比較に基づく太陽光発電システムの貢献度 - エネルギー消費量・CO₂排出量等の〇〇%削減 - 充電回数の低減
太陽光発電への期待・要求レベルへの反映	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光発電システム搭載による効果を実現、高めるために必要な発電効率、コスト等の目標レベルの設定

日射特性に応じた詳細な発電量推定モデルを作成するためには、瞬時値ベースの日射量および発電量、スペクトル解析等が必要と考えられ、自動車搭載用 3 次元モジュールの設計や、MPPT 対応等の制御システムの設計に有効と考えられる。その際には、モデルの作成・利用目的を明確にし、瞬時値ベースの日射量として必要となるサンプリング間隔の検討も必要となる。

一方、積算日射量ベースのポテンシャル評価は、太陽光発電システム搭載自動車取得し得る日射量を全国大で把握するためのもので、日射量や発電量の直接的な計測のほか、既存の日射量データベースや地図データを用いた分析との組合せによる推定も考えられる。把握に際しては、1 時間単位のデータや走行区間別（用途地域別など）のデータを面的に整備するほか、道路方位別のデータや特徴も反映していくことが望ましい。また、推定値に対する検証（実測）も可能な範囲で実施することが望ましい。

太陽光発電システム搭載自動車による発電ポテンシャルの評価は、発電量推定モデルや日射量ベースのポテンシャル評価の結果を活用し、実際の走行車両における発電電力量を評価するものとなる。太陽光発電システム搭載自動車の取得日射量や発電電力量は、車両の走行・利用パター

ンにより変化するが、代表的な走行・利用パターンを想定することにより、太陽光発電システム搭載自動車の標準的な仕様や効果分析のモデルとなる発電量の導出していくことが目標となる。

そして、太陽光発電システム搭載自動車による効果として、発電量に基づく省エネルギー効果、CO₂ 排出削減効果、充電電気代削減効果などを分析することが可能となる。実フィールドにおける車両走行・利用データ（走行用電力消費など）との組合せにより、太陽光発電システムの搭載による効果に説得力を持たせることが可能となる。

これらの評価や効果分析の結果は、車両に搭載する太陽光発電に対する期待・要求レベルとして、太陽光発電システム搭載を実現し、効果を高めるために必要な発電効率、コスト等の目標設定につなげていくことが可能と考えられる。

太陽光発電システム搭載自動車を本格的に普及、展開していくためには、上述のような評価や効果分析に加え、太陽光発電を自動車車体の一部として利用するための技術的な課題（太陽電池効率の向上や曲面への対応、信頼性や安全性の維持・向上、蓄電池仕様や充電状態に応じた制御など）を特定し、その解決に向けた取組みが必要となる。

また、太陽光発電システム搭載自動車は、太陽エネルギーを活用する自己充電が可能な移動体であると同時に、非常に小規模（1kW 程度、あるいはそれ以下）で移動が可能な分散型電源にも相当する。今後の IoT の進展や自動運転車両の実用化などに伴う電力ニーズや移動・輸送手段の多様化への対応、災害時等における独立電源としての利用など、地域やコミュニティを支える、フレキシビリティの高いアプリケーションとしての活用も期待される。太陽光発電システム搭載自動車による効果や価値として、このような地域や社会にとっての効果・価値もあわせて検討していく必要がある。

3.3. 今後の取り組み

以上の課題を解決していくため、今後も引き続き太陽光発電システム搭載自動車に関する検討を実施していく。

NEDO の事業を通じて技術的課題の把握、必要データの収集、その価値評価等に取り組んでいくとともに、それを国際的に普及、展開するため、IEA PVPS タスク 17 の活動も活用していく。

太陽光発電システム搭載自動車検討委員会（所属は平成 30 年度末時点）

本調査レポートは NEDO 内に設置した太陽光発電システム搭載自動車検討委員会において検討した内容を取り纏めたものである。

<委員（○は委員長）（敬称略）>

○山口 真史	豊田工業大学スマートエネルギー技術研究センター シニア研究スカラ・名誉教授
植田 謙	東京理科大学工学部電気工学科准教授
佐藤 彰倫	トヨタ自動車株式会社未来創生センター S-フロンティア部 F モビリティインフラ研究室第 2 エネルギーグループ長
関子 祐輔	日産自動車株式会社総合研究所 EV システム研究所主任研究員
高本 達也	シャープ株式会社ビジネスソリューション事業本部化合物事業推進部部長
廣田 壽男	早稲田大学環境総合研究センター客員教授

<特別協力者>

一般財団法人 日本気象協会

国立大学法人 宮崎大学

<事務局>

山田 宏之	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 太陽光発電グループ 主任研究員
長谷川 真美	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部 太陽光発電グループ 主任
河本 桂一	みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第 2 部エネルギーチーム シニアコンサルタント
並河 昌平	みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第 2 部エネルギーチーム チーフコンサルタント
佐藤 貴文	みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第 2 部エネルギーチーム コンサルタント

<委員会実施時期>

第 7 回委員会	平成 29 年 11 月 9 日（木） 14:30～17:00
第 8 回委員会	平成 30 年 2 月 8 日（水） 16:00～18:00
第 9 回委員会	平成 30 年 11 月 5 日（月） 10:00～12:15
第 10 回委員会	平成 31 年 2 月 5 日（火） 10:00～12:30

参考文献

- ¹ IEA, Global EV Outlook 2018
- ² IEA, World Energy Outlook 2017
- ³ W. Folkerts, et al, The Roadmap for PV Systems and Applications in the Netherlands, 35th EU-PVSEC, Brussels, Belgium, Sep. 2018
- ⁴ B.K. Newman, et al., Solutions for a Fully Integrated > 1000 Wp Solar Electric Vehicle Body, 35th EU-PVSEC, Brussels, Belgium, Sep. 2018
- ⁵ 経済産業省資源エネルギー庁新エネルギー課, 新エネルギー (太陽光発電のコスト低減や信頼性向上等に向けた技術開発事業、地域で自立したバイオマスエネルギーの活用モデルを確立するための実証事業)、平成 30 年 11 月 13 日
- ⁶ C. Breyer, et al., Solar Photovoltaic Capacity Demand for a Sustainable Transportation Sector to Fulfil the Paris Agreement by 2050, 35th EU-PVSEC, Brussels, Belgium, Sep. 2018
- ⁷ 荒木、山口, 太陽電池の車載応用に向けた最近の動向, 応用物理 第 88 巻 第 2 号、2019
- ⁸ A. van der Ham (Lightyear), Solar Mobility Forum at the 35th EU-PVSEC, Brussels, Belgium, Sep. 2018
- ⁹ T. Masuda, et al., Light-weight flexible CIGS solar cell with colors by lift-off process, 7th WCPEC, Waikoloa, Hi, USA, Jun. 2018
- ¹⁰ U. Eitner, et al., Solar Potential on Commercial Trucks: Results of an Irradiance Measurement Campaign on 6 Trucks in Europe and USA, 34th EU-PVSEC, Amsterdam, the Netherlands, Sep. 2017
- ¹¹ <https://ecohd.jp/pdf/idling-stop.pdf> (アクセス日 : 2019 年 3 月 25 日)
- ¹² <https://pps-net.org/column/19534> (アクセス日 : 2019 年 3 月 25 日)
- ¹³ M. Nakaoka, et al., Towards New Mobility Society by Using Solar Energy, 27th PVSEC, Otsu, Japan, Nov. 2017
- ¹⁴ IEA PVPS ウェブサイト (<http://www.iea-pvps.org/>)
- ¹⁵ K. Komoto, Realizing PV-Powered Mobility ‘PVPS Task17: PV and Transport’, Solar Mobility Forum at the 35th EU-PVSEC, Brussels, Belgium, Sep. 2018
- ¹⁶ IEA PVPS Task17 Workplan ver 3.3.4, October 2018
- ¹⁷ NEDO, 太陽光発電システム搭載自動車検討委員会 中間報告書、平成 30 年 1 月
- ¹⁸ 国土交通省国土地理院 地理院地図 (電子国土 web)
(図 2-1 は地理院地図 (電子国土 web) による白地図に地点名を追記して掲載、図 2-3 は地理院地図 (電子国土 web) による当該地域地図に走行ルートを追記して掲載、図 2-19 は地理院地図 (電子国土 web) による当該地域地図に走行ルートと写真を追記して掲載)
- ¹⁹ 一般財団法人 日本気象協会提供資料、2018 年 11 月
- ²⁰ 国立大学法人 宮崎大学提供資料、2018 年 10 月