

ソーラー充電システムを活用した 駐車場集約の可能性 —重伝建地区(真壁・吹屋)を対象として—

杉本 峻佑¹・藤川 昌樹²・川村 大悟³・谷口 守⁴

¹学生会員 筑波大学大学院 システム情報工学研究科(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:shunsugi1204@gmail.com

²非会員 筑波大学大学院教授 システム情報系社会工学域(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:fujikawa@sk.tsukuba.ac.jp

³非会員 トヨタ自動車株式会社 未来創生センター未来開拓室(〒112-8701 東京都文京区後楽1-4-18)
E-mail:daigo_kawamura@mail.toyota.co.jp

⁴正会員 筑波大学大学院教授 システム情報系社会工学域(〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail:mamoru@sk.tsukuba.ac.jp

我が国で乱立してきている駐車場を集約するため、利用者に集約された駐車場に停めてもらう促進手段の一つとして、自動車のソーラー充電システムやワイヤレス充電システムの活用が注目を集めている。これらの新技术に着目した研究は蓄積がまだ浅く、更には、これまでは居住地内での議論が大半であり、目的地に着目した議論は十分とは言えない。本研究では、駐車場が大幅に増加してきている重伝建地区の「真壁」と「吹屋」を対象に駐車場の1日の利用状況を想定し、ソーラー充電システムによる電力を動力とする自動車(EV, PHV)のユーザー視点での1台あたりの充電状況を把握した。さらに、将来起こりうる技術革新を想定したシナリオ分析を行うことで、駐車場を集約することによって得られる効果を明らかにした。

Key Words : *phv, parking, aggregation, important preservation district of historic buildings*

1. はじめに

我が国において、街の中で空き地などのスペースを活用した駐車場の量的整備が進んできており、コインパーキングや月極駐車場など様々な種類の駐車場が乱立してきている¹⁾。このことから、自動車と歩行者の交錯の発生や、景観の悪化といった課題が今後一層進んでいくことが考えられる。そのため我が国では、駐車場を適切な場所に誘導し、集約していくことができるような駐車場施策のあり方に関する議論が進められてきている²⁾。特に、重要伝統的建造物群保存地区(以下、「重伝建地区」)では、全地区114(2017年2月時点)の半数以上の地区において駐車場が大幅に増加していることが明らかにされており³⁾、今後はまず重伝建地区内の駐車場を集約していく必要があると言える。また、重伝建地区を対象に地区内の駐車場の分布状況を調査した「重要伝統的建造物群保存地区のモビリティ・マネジメント研究⁴⁾」で

は、茨城県桜川市の「真壁」のように、個人の住宅に設置されている小規模な駐車場から観光客用の駐車場まで、様々な規模の駐車場が地区全体に分散して分布している地区や、岡山県高梁市の「吹屋」のように、集約された観光客用の駐車場が地区の両側にまとまって整備されている地区など、様々なパターンの地区が存在することを明らかにしている。「吹屋」のように観光客用の駐車場が地区の両側にまとまって整備されている地区に対し、「真壁」の場合、居住者と観光客用の駐車場が地区内で分散してしており、景観的観点からも大きな問題となっている。

また、その流れの中で、集約された駐車場を利用してもらうため、自ら発電して充電が可能なソーラー充電システムや非接触充電が可能なワイヤレス充電システムが注目されている。プラグインハイブリッド車(Plug-in Hybrid Vehicle, 以下、「PHV」)には、車体の屋根部分にソーラー充電システムが設置されており、外出先におい

でも最大で6.1(kW/日)の充電が可能であるモデルが既に存在する⁴⁾。更には、太陽光パネルを道路や駐車場の舗装部分に設置する技術も進んできている⁵⁾。また、ワイヤレス充電システムを活用していくことで、駐車場の利用者は外出先でも気軽に充電ができるようになり、IT技術の活用で、集約された駐車場であれば便利かつ効率的な電力の融通が可能になる。そのため、これらの技術は、駐車場の利用者が集約された駐車場に停めるインセンティブになっていく可能性があると言える。実際、太陽光パネルを車体に搭載することで、駐車中に補助電源として大きな役割を果たすことは定量的に示されており⁶⁾、更には、集約された駐車場は通勤者等のニーズを満たすため、今後太陽光発電を充電するステーションに変わっていく可能性が言及されている⁷⁾。また、電力を動力とする自動車には、電気自動車(Electric Vehicle, 「EV」)やPHVがあるが、これまでは、IT技術を活用して電力の需給を自動制御するシステムであるスマートグリッドの重要な構成要素として期待され、居住地内での議論⁸⁾がほとんどであった。そのため、今後は目的地を見据えた議論を行っていくことが求められるようになると言えよう。

このような背景のもと本研究では、駐車場が分散している「真壁」と、集約されている「吹屋」の2つの重伝建地区を対象に、駐車場の1日の利用状況を想定する。その上で、ソーラー充電システムが搭載されたPHVを代表として取り上げ、ユーザー視点での1台あたりの充電状況を把握していく。更に、蓄電池の容量が増えた場合など、将来起こりうる技術革新を想定したシナリオ分析を行うことで、駐車場を集約することによって得られる効果を明らかにする。

2. 使用データと分析対象地区

(1) 使用データ

本研究では、重伝建地区の「真壁」と「吹屋」の地区内における駐車場の1日の利用状況を想定して分析を行うことから、「重要伝統的建造物群保存地区のモビリティ・マネジメント研究」で得られた重伝建地区内の駐車場データを使用データとして選定した。この調査で得られたデータは、「真壁」と「吹屋」を含むそれぞれの重伝建地区内に存在する駐車場の分布パターンと各駐車場の収容台数が把握できるものである。

また、本研究では、ソーラー充電システムが搭載されたPHVと各駐車場における時間別の太陽光発電量を把握していく。そのため、太陽光発電量を算出するために必要な日射量を算出するため、実際の日射量観測データである気象官署・アメダスにおけるデータベースも合わせて使用データとして使用する。なお、このデータベース

は、全国837地点における実際の日射量を1時間ごとに観測しており、各時間帯の方位角別、傾斜角別の日射量を算出することができる。

(2) 分析対象地区の概要

分析対象地区は、「重要伝統的建造物群保存地区のモビリティ・マネジメント研究」の駐車場データの中から、駐車場が分散している「真壁」と集約されている「吹屋」のみを対象とする。以下の図-1と図-2にそれぞれ「真壁」と「吹屋」の駐車場の分布を示す。

「真壁」は、茨城県の中西部、筑波山の北側に位置している。駐車場は全体で386ヶ所にのぼり、その内、個人の住宅に設置されているものは245ヶ所である。1台～3台収容可能な個人の駐車場だけでなく、観光客向けの大型駐車場も地区内に分布しており、居住者と観光客用の駐車場が地区全体で分散して立地しているのが分かる。

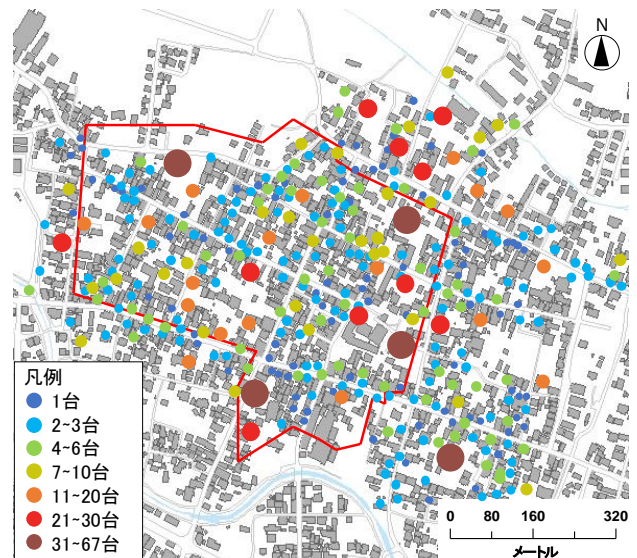


図-1 真壁の駐車場分布

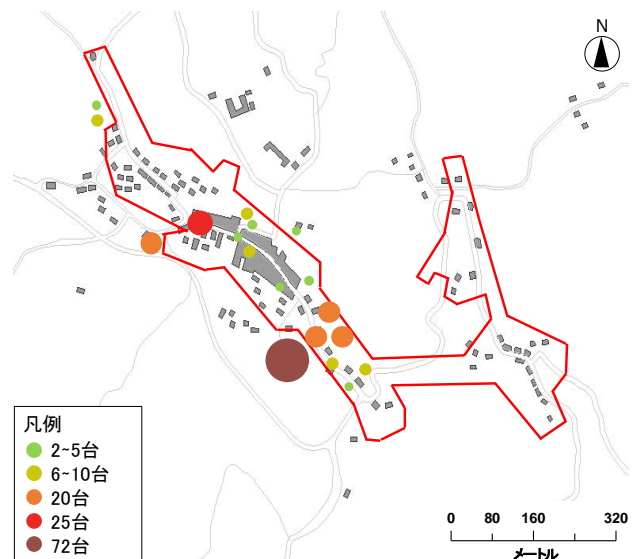


図-2 吹屋の駐車場分布

「吹屋」は、岡山県の西部、成羽町から吹屋往来と呼ばれる県道を進んだ山間に位置している。駐車場の分布は、地区の両側に観光客用の大型の無料駐車場が設置されているのが特徴である。地域が経営している観光客用の駐車場に加え、個人の駐車場が11ヶ所確認されている。「吹屋」の駐車場分布は、真壁の駐車場分布と比較すると、駐車場がある程度集約されており、景観的にも大きな問題はあまり感じられない地区となっている。

3. 分析の前提条件

(1) 想定する技術の概要

本研究では、各駐車場の「駐車スペース」と「舗装スペース」に太陽光パネルが設置され、全ての駐車場利用者がPHVとワイヤレス充電システムを利用している状況を想定して分析を行っていく。図-3に駐車場の利用状況のイメージ図を示す。具体的には、駐車場の利用者はPHVを駐車することで、車の屋根のソーラー充電システムを活用した充電に加え、PHVが駐車されていない「駐車スペース」と「舗装スペース」からの太陽光発電量を駐車場で電力の融通を行うことで、ワイヤレス充電システムを活用して自身のPHVに充電することができる状況を想定している。図-3の場合、6台分の「駐車スペース」からの太陽光発電量と「舗装スペース」からの太陽光発電量を駐車台数4台で除した太陽光発電量が、各PHVの1台あたりが得られる充電量になる。なお、本研究では駐車場“内”ではなく、駐車場“間”での電力の融通は不可としている。

次にそれぞれの技術設定に関しては、将来実現されうる可能性を考慮して設定を行った。PHVの基本性能は、「次世代自動車ガイドブック2016-2017⁹⁾」を参考に設定した。「駐車スペース」と「舗装スペース」の面積は、駐車場設計の際に用いる基準値¹⁰⁾を用いている。また、太陽光発電量を充電する際、ワイヤレス充電の送電効率である90%¹¹⁾を考慮して分析を行っている。太陽光パネルは傾斜0度を設置条件とし、住環境計画研究所の算出式¹²⁾に基づき、太陽光発電量の算出を行った。なお、本

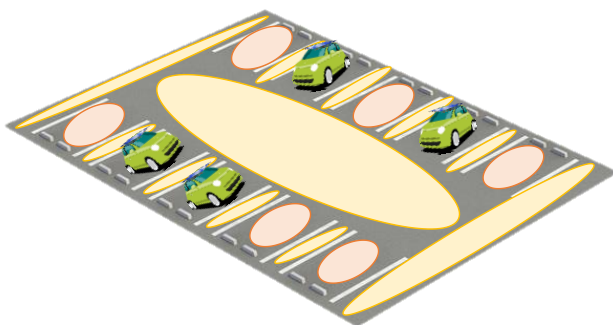


図-3 駐車場利用状況のイメージ図

研究では、駐車場の集約効果の比較を行うことが目的であるため、気象官署・アメダスのデータベースにおける全観測地点の平均時間別データで全国平均値を算出した“平均日射量”を「真壁」と「吹屋」の日射条件とすることで、日射条件の違いによる結果への影響を考慮している。

(2) 駐車場へのPHVの配置方法

本研究では、「真壁」と「吹屋」の地区内における駐車場の1日の利用状況を想定して分析を行っていく。そのため、2つの地区内における駐車場の1日の利用状況を正確に把握する必要があるが、それらを踏まえたデータの入手は困難である。このことから、本研究では駐車場の利用者の利用状況のパターン設定を行うことで分析を行っている。重伝建地区内の駐車場は、一般的な観光地とは異なり、観光客だけでなく、地区内で暮らす居住者も駐車場を利用している。そのため、駐車場の利用パターンを「観光客」と「居住者」で分けることで、重伝建地区の駐車場の利用特性をできる限り反映させた。

「観光客」の駐車場利用パターンは、まず観光地の駐車場実態調査¹³⁾を参考に、時間帯別に各駐車場に駐車している自動車の割合を設定した。以下の図-4に時間帯別の駐車場割合を示す。昼間の時間帯が最も観光客が訪問するピークの時間帯であり、駐車場割合は最大で約70%となっている。例えば、収容台数が10台である観光客用の駐車場の1日の利用状況を想定した際、図-4より、「8:00~8:59」の時間帯では4台、「9:00~9:59」の時間帯では6台の自動車が駐車していることになる。

次に、各時間帯で常に同じ自動車が駐車し続けるのではなく、「駐車場から離れる自動車」を時間帯別にランダムに抽出した。観光地では、朝方から夕方につれて駐車場を離れる自動車の割合が増えていくため、「駐車場から離れる自動車」の確率を①「8:00~8:59から11:00~11:59」・②「12:00~12:59から15:00~15:59」・③「16:00~16:59から20:00~20:59」の3つの時間帯でそれぞれ10%、30%、50%としている。そして、「駐車場に滞在し続け

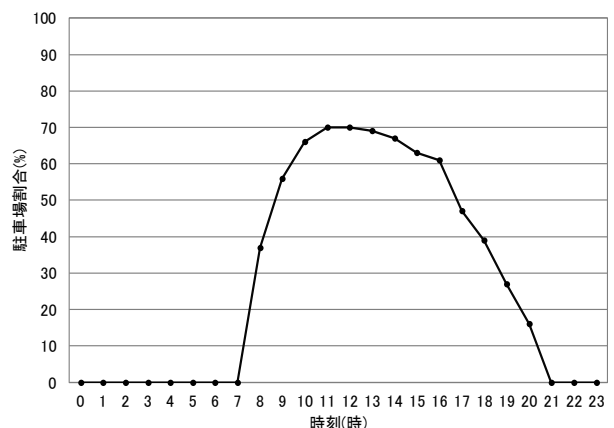


図-4 観光客用駐車場の時間帯別駐車場割合

る自動車」と「駐車場から離れる自動車」を把握することで、観光客用の駐車場の1日の利用状況を想定した。なお、駐車場の集約効果を分析するため、「真壁」と「吹屋」の全ての駐車場に対して同じ割合の自動車を配置することで、駐車割合の違いによる結果への影響を考慮している。

「居住者」の駐車場利用パターンは、「観光客」とは異なり、時間帯別に各駐車場に駐車している自動車の割合が一定になるわけではないため、時間帯別に各自動車が外出する「外出割合」と帰宅する「帰宅割合」を設定し、1台1台ランダムに抽出を行うことで、居住者用の駐車場の1日の利用状況を想定した。居住者は、朝の時間帯に出勤等で自動車を利用し、夕方の時間帯に帰宅するパターンが多い。そのため、①「5:00～5:59から10:00～10:59」・②「11:00～11:59から16:00～16:59」・③「17:00～17:59から23:00～23:59」の3つの時間帯で、それぞれ「外出割合」の確率は50%、30%、10%、「帰宅割合」の確率は10%、30%、50%としている。なお、「23:00～23:59から4:00～4:59」の時間帯は居住者の自動車は全て駐車場に駐車されているとしている。以下の図-5に居住者の時間帯別の駐車場の利用パターンの一例を示す。

(3) 駐車場集約効果の評価に用いる指標

駐車場の集約効果を評価するためには、駐車場を集約することによって得られる効果の特徴を踏まえる必要がある。駐車場を集約することで、大規模な駐車場の利用者は「駐車スペース」と「舗装スペース」からより多くの電力を融通することができるようになり、各PHVに小規模な駐車場から得られる以上の太陽光発電量を充電することができるようになる。

このことから本研究では、評価指標として「1台あたり太陽光発電充電量(kWh/台)」を使用する。なお、本研究では1時間単位で太陽光発電量を算出した上で、各PHVの蓄電可能なエネルギー残量を設定することで、太陽光発電量の充電状況を把握している。ここでいうエネ

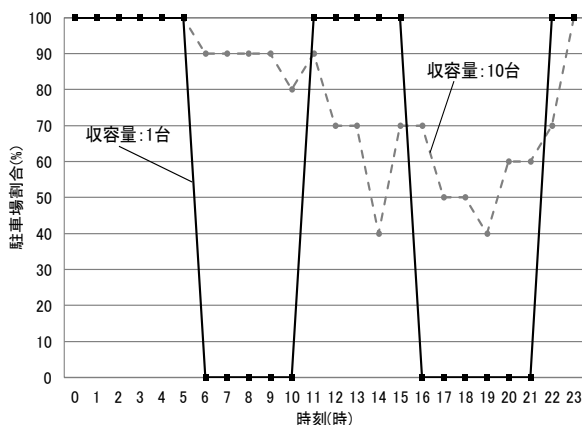


図-5 居住者用駐車場の時間帯別駐車場割合

ルギー残量とは、ある時点において各PHVに残っているエネルギー量を指す。既存研究¹⁴⁾では、地域の自動車に残るエネルギー残量は、正規分布に従いバラツキの小さい安定した数値を示すということを明らかにしている。そのため、平均値による点推定が可能であり、「真壁」と「吹屋」のそれぞれ2つの地区内における各PHVのエネルギー残量を推定することが可能である。本研究では、先行研究での車両1台あたりのガソリン平均残量率¹⁴⁾を参考にし、各PHVのエネルギー残量を推定している。

4. 太陽光発電充電量への駐車場集約効果

時間帯別におけるPHVの1台あたり太陽光発電充電量を図-6に示し、以下に考察を述べる。

- 1) 「吹屋」は全ての時間帯において、「真壁」よりも多くの太陽光発電を充電することが可能であることが分かった。「吹屋」と「真壁」で駐車しているPHVの割合が同じであるため、「駐車スペース」から得られる1台あたりの充電可能な太陽光発電量は同じであるが、集約された駐車場では「舗装スペース」から得られる太陽光発電量が大きいいため、このような結果になったと考えられる。
- 2) 「吹屋」では1時間あたりに最大でおよそ1.3(kWh/台)の充電が可能であり、「真壁」との差はおよそ0.3(kWh/台)になることが分かった。この差は固定価格買取制度¹⁵⁾に基づく売電価格では、約9.3円の電力価格となる。
- 3) 「4:00～4:59」以降の時間帯から、日射量が増えることで太陽光発電をPHVに充電できるようになり、1台あたりの充電量が増加していることが分かる。さらに、「8:00～8:59」の時間帯から大規模な駐車場を利用する観光客が入ってくることで、1台あたりの充電量が大幅に増加している。
- 4) 「9:00～9:59」の時間帯以降は、昼間の時間帯では日射量が多く得られる一方で、駐車場の利用者が

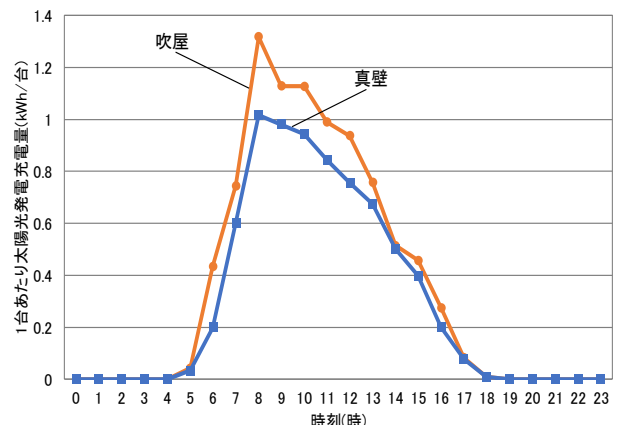


図-6 時間帯別1台あたり太陽光発電充電量

大幅に増加していくことから、1台あたりの充電量が減少しているのが分かる。

5. 技術革新が駐車場集約効果に与える影響分析

(1) 技術革新シナリオの設定

ここでは、将来の技術革新シナリオを設定し、その概要を説明していく。PHVとワイヤレス充電システムを構成する要素としては太陽光パネル、蓄電池などが挙げられる。技術革新を想定する場合、それらの要素に関連する個々の技術に着目する必要がある。

このようなことを踏まえ、表-1に技術革新のシナリオを設定した。選択したものはa) 太陽光パネルの進化、b) 蓄電池容量の増加の2つのシナリオである。太陽光パネルの進化は、太陽光発電の効率が向上し、今までと同じ日射量で2倍の太陽光発電量を得ることができるようになる。また、蓄電池容量の増加は、同じ大きさの蓄電池で今までの2倍の電力量を充電できるようになる。なお、今回行う分析は、あくまで技術革新による感度を分析するものであるため、単純に各技術の性能が2倍向上した場合を想定し、分析上用いている数値を変化させて検証を行っている。この2つのシナリオをもとに、駐車場集約効果へ対して技術革新が与える影響度を明らかにしていく。

(2) 技術革新が駐車場集約効果へ与える影響

2つの技術革新シナリオによるPHVの1台あたり太陽光発電充電量の変化を図-7と図-8に示し、以下に考察を述べる。

- 1) 図-7より、太陽光発電量が2倍になることで「吹屋」では、最大でおよそ0.9(kWh/台)もの充電量が増加することが分かった。また、図-8も同様に、蓄電池容量が2倍になることで「吹屋」では、最大でおよそ0.7(kWh/台)もの充電量が増加することが分かった。また、太陽光発電の効率向上と蓄電池容量の増加の2つのシナリオにおいて、「真壁」との差は最大でおよそ0.6(kWh/台)になっている。その電力価格の差額は約18.6円であり、図-6の結果の2倍の価格となることが分かった。
- 2) 図-7より、全ての時間帯において充電量が増加し

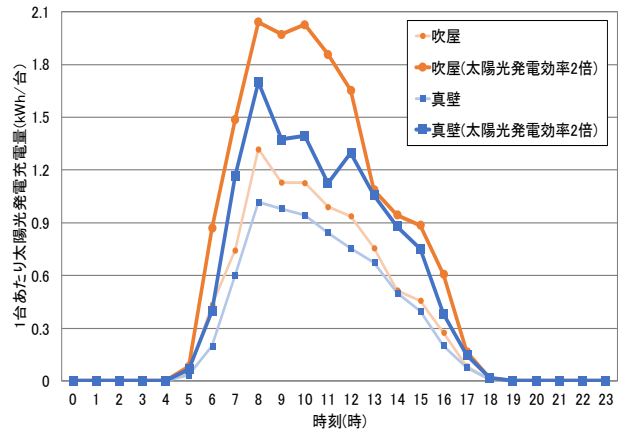


図-7 太陽光発電効率向上による太陽光発電充電量

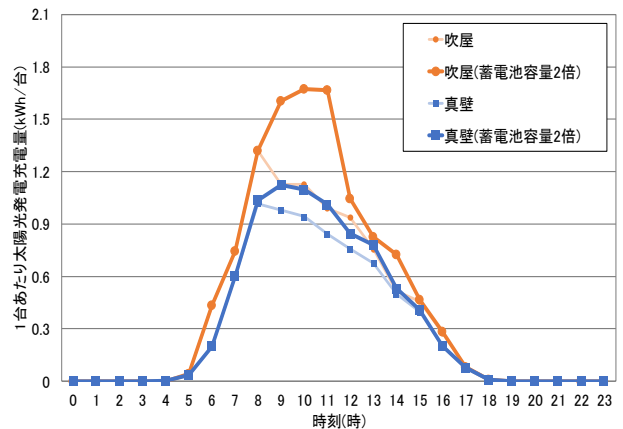


図-8 蓄電池容量増加による太陽光発電充電量

ていることから、各時間帯で太陽光発電の充電量が満タンになっていないPHVが多数存在していることが分かる。そのため、全ての時間帯で充電できるようになる太陽光発電量が増加することで、大きく充電量が増加したと考えられる。

- 3) 図-8より、「吹屋」では昼間のピークの時間帯で充電量が大幅に増加していることが分かる。これは、各時間帯で太陽光発電の充電量が満タンになってしまったPHVが充電可能になることで、充電量が増加したと考えられる。また、「真壁」では蓄電池容量が増加しても“1時間あたりに充電できる太陽光発電量がそもそも少ない”ため、大幅な増加は見られなかった。
- 4) 図-7 と図-8 より、太陽光発電の効率向上と蓄電池容量の増加の2つのシナリオにおいて、大きな効果が得られることが明らかとなった。しかし、図-7の「吹屋」の場合、太陽光発電量が最大となる「11:00～11:59」の時間帯では、蓄電池が満タンになってしまうことでロスしてしまっている太陽光発電量は約47.5%となっている。一方で、図-8では1.07%であり、効率的に充電ができることが分かった。このことから、エネルギーのロスが減らして効率よくPHVに太陽光発電を充電していくために

表-1 技術革新シナリオの概要

| シナリオ | 概要 |
|--------------|---|
| a) 太陽光パネルの進化 | 太陽光パネルが進化することで発電効率が向上し、今までと同じ日射量で太陽光発電量が2倍になる。 |
| b) 蓄電池容量の増加 | 蓄電池のエネルギー密度向上により、今までと同じ大きさで容量が2倍の蓄電池がPHVに搭載されることで、蓄電できる電力量が2倍となる。 |

も、蓄電池の容量を増加させていくことは、駐車場を集約する上で重要だと言える。

6. おわりに

本研究では、重伝建地区の「真壁」と「吹屋」の2つの地区を対象に、PHVの屋根や駐車場の舗装部分に設置されたソーラー充電システムやワイヤレス充電システムを活用した際における駐車場の1日の利用状況を想定し、駐車場を集約することによって得られる効果を分析した。その結果、駐車場を集約することで、利用者は多くの太陽光発電を充電できるようになり、昼間のピークの時間帯では、駐車場が分散された地区と比べて大きな差が生まれることが明らかとなった。また、将来の技術革新を想定したシナリオを設け、それらがどのように駐車場の集約効果に影響を与えるのか分析を行った結果、「太陽光パネルの進化」と「蓄電池容量の増加」のどちらのシナリオも駐車場集約に効果的であることが示された。

今回の分析結果から、ソーラー充電システムやワイヤレス充電システムといった新技術を活用していくことで、利用者に対して集約した大きな駐車場に停めるインセンティブを与えていくことができる可能性を見出すことができた。さらに、今後更なる技術革新が進んでいくことで、駐車場の利用者を集約された駐車場に停めてもらう、より大きなインセンティブを与えていくことも可能だと言える。実際、技術革新によって太陽光発電の効率と蓄電池容量が2倍になることで得られる電力が2倍になっており、昼間の時間帯に駐車割合がおよそ50%で「吹屋」の最大収容量の駐車場に3時間駐車したと仮定すると、「真壁」の個人用の駐車場と比べ、平均で1台あたり85円の電力価格の差額が発生することになる。これは、駐車場全体でおよそ3,000円の差額が発生し、1年間ではおよそ100万円にもなる。そのため、今後将来的に駐車場を集約していくこと、更にはPHVとワイヤレス充電システムの技術向上を図っていくことは重要だと言える。しかし、蓄電池が満タンになってしまうことで充電ができなくなり、エネルギーをロスしてしまうPHVも存在することが明らかとなったことから、効率的に利用者に太陽光発電を充電してもらう施策を考えていくことも同時に求められるだろう。また、今回の分析において、実際に「真壁」では収容量が大きな駐車場がいくつか存在しており、更には重伝建地区内の駐車場数は少なかったことから、地区の選定によってはより大きな結果の差が出ることが考えられる。これらを踏まえた分析を行っていくことは、今後の課題と言える。

謝辞：本研究は（株）トヨタ自動車との共同研究「これからの社会システムとモビリティのありかた研究」の一環として実施した。記して謝意を表す。

補注

*1 2015年度から2016年度にかけて筑波大学で実施された（株）トヨタ自動車との共同研究「これからの社会システムとモビリティのありかた研究」の一部であり（研究代表者：藤川昌樹）、現在別途論文投稿中である。調査結果については、同研究の各年度末報告書に収められている。

参考文献

- 1) 国土交通省：駐車場施策の最近の動向について、<https://www.mlit.go.jp/common/001033744.pdf>,最終閲覧2017.7.
- 2) 国土交通省：駐車場からのまちづくり,<http://www.mlit.go.jp/common/001125916.pdf>,最終閲覧2017.7.
- 3) 湯浅隼也・大沢昌玄・岸井隆幸：重要伝統的建造物群保存地区における駐車場の実態に関する研究,交通工学研究発表会論文集,Vol.36,pp.681-685,2016.
- 4) TOYOTA：PRIUS PHV,<http://toyota.jp/priusphv/>,最終閲覧2017.7.
- 5) WirelessWire News/新技術：次世代の太陽光パネル,<https://wirelesswire.jp/2016/06/54397/>,最終閲覧2017.7.
- 6) M. Giannouli・P. Yianoulis：Study on the incorporation of photovoltaic systems as an auxiliary power source for hybrid and electric vehicles,Solar Energy,Vol.86,pp.441-451,2012.
- 7) Dunbar P. Birnie III：Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future,Journal of Power Sources,Vol.186,pp.539-542,2009.
- 8) 落合淳太・中川喜夫・松橋啓介・谷口守：全国の市区町村における太陽光発電による電力自給自足の潜在的可能性-居住地でのスマートグリッド導入を踏まえ-,環境システム研究論文集,Vol.41,pp.217-225,2013.
- 9) 環境省：次世代自動車ガイドブック 2016-2017,<http://www.env.go.jp/air/car/vehicles2016-2017/index.html>,最終閲覧2017.7.
- 10) 国土交通省：駐車場設計・施工方針について,<https://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/pdf/19920610tyuusyajou.pdf>,最終閲覧2017.7.
- 11) 片平洋一・小川恭一：非接触給電装置の効率改善,http://www.aichidenki.jp/report/34/34_22.pdf,最終閲覧2017.7.
- 12) 住環境計画研究所：太陽光発電診断・ソーラークリニック,<http://www.jyuri.co.jp/solarclinic/>,最終閲覧2017.7.
- 13) 藤沢市：片瀬・江の島周辺における交通実態調査,<https://www.city.fujisawa.kanagawa.jp/tosikei/shise/kekaku/kakushu/enoshima/documents/siryu-3-kotsujittaichousa.pdf>,最終閲覧2017.7.
- 14) 高原勇・赤澤邦夫・大澤義明：地域が保有する自動車エネルギー量の推定,日本オペレーションズ・リサーチ学会,1-G-11,pp.169-170,2016.
- 15) 経済産業省：固定価格買取制度,http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/,最終閲覧2017.7.