

# 住宅のエネルギー消費および創エネルギー機器の経年変化に関する研究

三木 直希

## 1. はじめに

パリ協定を基に策定された約束草案において、日本は家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出量を 2030 年度に 2013 年度比 26%削減することを明記している。また長期的な目標として、2050 年度に 2013 年度比 80%削減することとしている。日本における 2019 年の家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出量は全体の 14.3%であり、現在省エネルギー対策の強化が求められている部門である。家庭での省エネルギーを推進していくには、住宅の省エネ対策、機器の省エネ、エネルギー管理の徹底などの取り組みが必要であると考えられている。特に、ハード面での対策として太陽光発電、家庭用燃料電池の普及などが考えられる。

本研究では、福岡市アイランドシティの照葉 CO<sub>2</sub> ゼロ街区を対象とする。この住区は福岡市港湾局の主導により開発が進められている福岡市アイランドシティに建設された戸建住宅主体の低層住区である。各住戸に燃料電池、太陽光発電などの先進的な創エネ設備が導入されている。そのため CO<sub>2</sub> ゼロ街区として整備されており、着工の条件として、設計時に「CO<sub>2</sub> 排出量推計ツール」において、年積算 CO<sub>2</sub> 排出量収支が 0 以下となることを確認することが義務付けられるなど、CO<sub>2</sub> 排出量削減、省エネを主要なコンセプトとして計画されている。

この住区のデータ計測は、最も早い世帯で 2013 年の 11 月から現在まで行われている。ここまでの期間の実測データを分析している既往研究は多くない。そこで本研究では、この比較的長期間のエネルギー消費実態を分析することで住宅の使用開始直後の使い方とその後の利用されていく中での変化を明らかにすることを目的とする。本研究では特に CO<sub>2</sub> 排出量、太陽光発電、燃料電池について検討を行う。

## 2. 照葉 CO<sub>2</sub> ゼロ街区の CO<sub>2</sub> 排出状況

### 2.1 計測概要

本研究で対象とするのは、福岡市のアイランドシティ照葉 CO<sub>2</sub> ゼロ街区にある 79 世帯のうち比較的長期間計測されている世帯とする。分析する世帯は項目ごとに選択する。表 1 に計測調査の概要を示す。また、HEMS を利用して計測している。調査項目は主に、電気使用量、ガス使用量、太陽光発電量、燃料電池発電量、蓄電池充電量・放電量、買電量・売電量、そして、それらから算

出される CO<sub>2</sub> 排出量である。また本計測調査では、各世帯の CO<sub>2</sub> 収支を評価するため、式 1~5 に示す推計式を用いて年間の CO<sub>2</sub> 排出量、削減量を推計する。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2\text{)} = A + B - C - D \cdots \text{式(1)}$$

$$A = \text{電気使用量(kWh)} \times 0.369(\text{kg-CO}_2\text{/kWh}) \cdots \text{式(2)}$$

$$B = \text{ガス使用量(m}^3\text{)} \times 2.26(\text{kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)} \cdots \text{式(3)}$$

$$C = \text{太陽光発電量(kWh)} \times 0.369(\text{kg-CO}_2\text{/kWh}) \cdots \text{式(4)}$$

$$D = \text{燃料電池発電量(kWh)} \times 0.69(\text{kg-CO}_2\text{/kWh}) \cdots \text{式(5)}$$

表 1 計測調査の概要

|      | 項目  |
|------|---|
| 計測対象 | アイランドシティ照葉住区の戸建住宅                             |
| 件数   | 79 世帯   |
| 期間   | 2013 年 11 月 (8 世帯) ~ 現在も継続中(79 世帯)            |
| 計測方法 | HEMS (分電盤計測器)                                 |
| 計測間隔 | 1 時間  |
| 計測項目 | 電気使用量 (kWh/時)<br>※家庭内の全電気使用量 (通常の世帯の主幹ブレーカー分) |
|      | ガス使用量 (m <sup>3</sup> /時) ※燃料電池使用分を含む         |
|      | 太陽光発電量 (kWh/時) ※売電分・自家消費分合計                   |
|      | 燃料電池発電量 (kWh/時)                               |
|      | 蓄電池充電量・放電量 (kWh/時) ※一部の世帯                     |
|      | 売電量 (kWh/時)                                   |
|      | 買電量 (kWh/時)                                   |
|      | 電気自動車充電量 (kWh/時) ※一部の世帯                       |

### 2.2 対象街区の CO<sub>2</sub> 排出量

#### ①街区全体の CO<sub>2</sub> 排出量収支について

街区全体の CO<sub>2</sub> 排出量収支を図 1 に示す。街区全体で CO<sub>2</sub> 排出量収支ゼロを達成している月は 75 ヶ月のうち 21 ヶ月あった。中間期においては冷暖房の使用が少なくなり、エネルギー消費量は小さくなるが、PV 発電量は大きくなるため CO<sub>2</sub> 排出量収支がマイナスに傾きやすくなる。また冬より夏のほうが CO<sub>2</sub> 排出量収支ゼロに近くなる傾向がある。これは冬季よりは夏季のほうが PV 発電量は大きくなることと、冬季の暖房や給湯需要によるエネルギー消費量の増加が原因と考えられる。また 1 年目と 6 年目の年積算値を比較すると約 5% 増加している。しかし、一定に増加しているわけではない。

2019年の九州地区の地方別の世帯当たりの年間CO<sub>2</sub>排出量は1.98t-CO<sub>2</sub>となっている<sup>り</sup>が、照葉街区の2019年のCO<sub>2</sub>排出量年積算値は0.74t-CO<sub>2</sub>であり、九州地区平均より約37%程度CO<sub>2</sub>排出量を削減できている。

## ②CO<sub>2</sub>ゼロを達成しているかどうか

年積算CO<sub>2</sub>排出量収支0以下となることを確認することが義務付けられている街区であるため、CO<sub>2</sub>ゼロを達成しているかどうかを確認した。世帯別年積算CO<sub>2</sub>排出量収支を図2に示す。対象世帯は計測データが連続して4年以上ある世帯とした。年積算CO<sub>2</sub>排出量収支ゼロを達成したことがある世帯は14世帯中4世帯であった。全体的な傾向は得られず、世帯ごとで変化がある。世帯間での差は大きく、最もCO<sub>2</sub>排出量が多い世帯と最も小さい世帯では約3t-CO<sub>2</sub>の差がある。世帯5,6,14,20は計測開始1年目のCO<sub>2</sub>排出量から大きく増加している。世帯1,11,13は計測開始1年目のCO<sub>2</sub>排出量から減少している。どの世帯も変化は一定ではなく、増減がある。

## 2.3 家電のエネルギー消費について

2.2章②で分析した世帯別の年積算CO<sub>2</sub>排出量について世帯ごとで変化があることが分かった。しかし、気温などの外的要因によって変化したか、世帯人数や家電機器の増減によって変化したか分かっていない。そこで家電のエネルギー消費の分析をするために、冷暖房の影響が少ないとみられる5月の電力消費量について検討した。計測1年目を1とした世帯別5月の電力消費量の増減を図に示す。対象世帯は計測データが4年以上ある世帯とした。電力消費量が計測1年目から増加傾向にある世帯は4世帯、減少傾向にある世帯は5世帯あった。世帯5,6,14,20のうち世帯5,6は5月の電力消費量が増加傾向にある。そのため世帯人数や家電機器の増加があった可能性がある。世帯14は5年目までは徐々に増加し、6年目に大きく減少していてCO<sub>2</sub>排出量収支のグラフと同じ傾向がみられる。そのため世帯人数や家電機器の変化によるものだと考えられる。世帯20はほとんど変化がない。そのため冷暖房による影響が大きいとみられる。世帯1,11は電力消費量が減

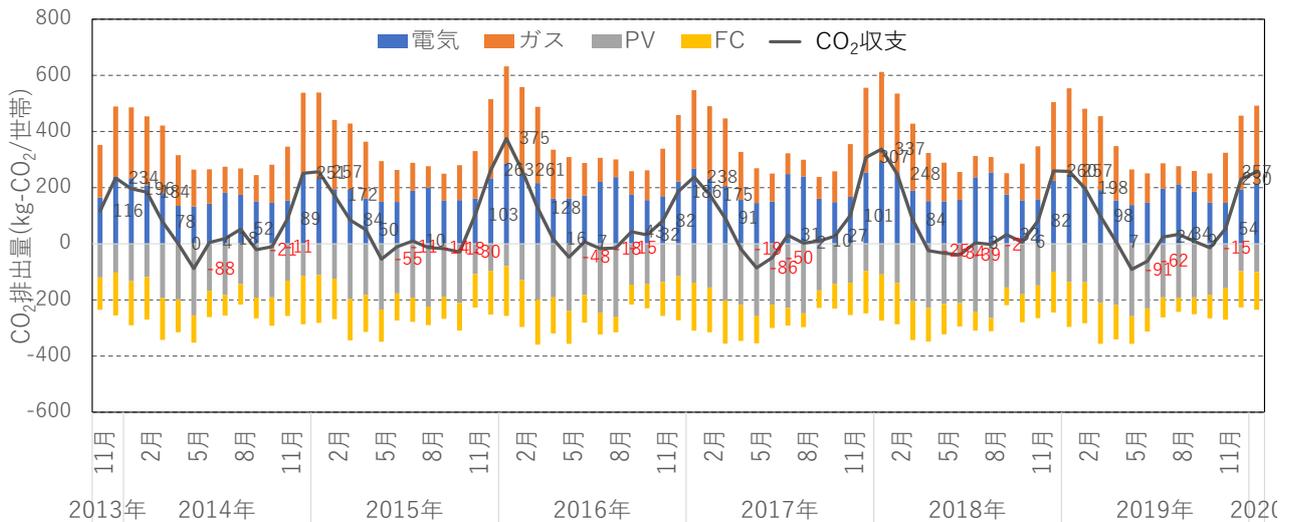


図1 街区全体のCO<sub>2</sub>排出量収支

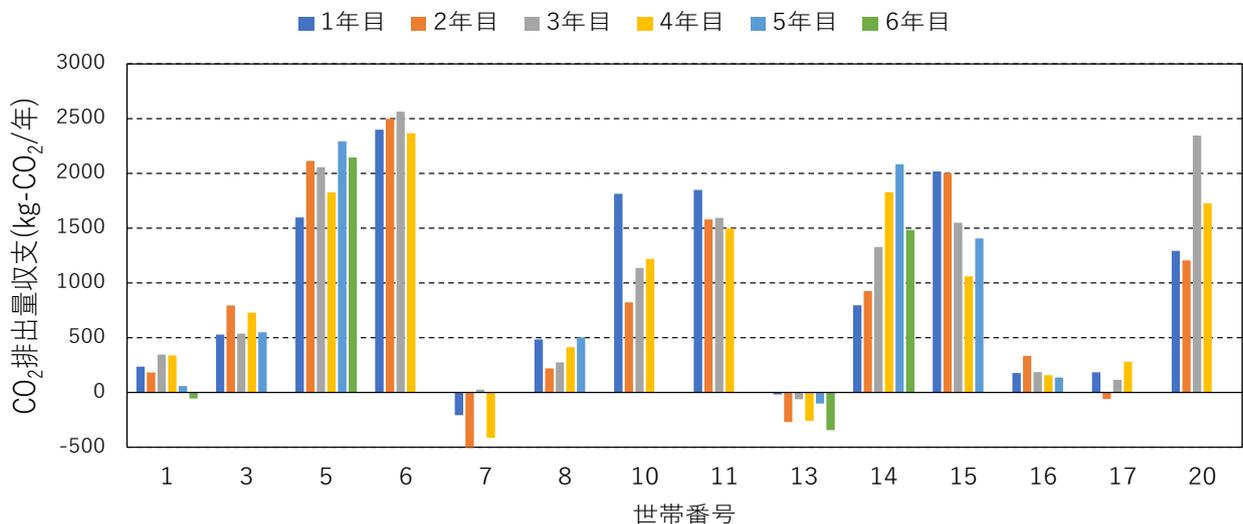


図2 世帯別年積算CO<sub>2</sub>排出量収支

少している。そのため世帯人数や家電機器の減少があった可能性がある。世帯 13 は電力消費量が増加している。しかし CO<sub>2</sub> 排出量は減少しているため、冷暖房でのエネルギー消費が大きく減少していると考えられる。

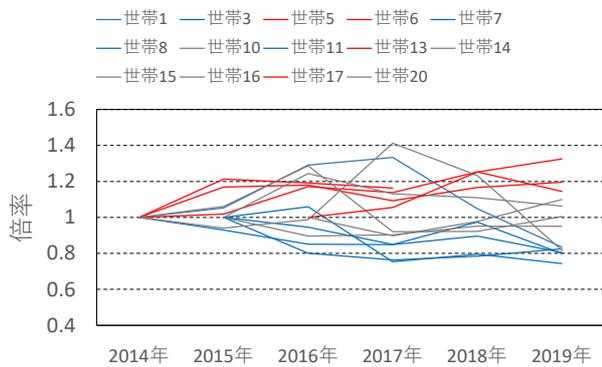


図3 計測1年目を1とした世帯別5月の電力消費量

### 3. 燃料電池について

家庭用燃料電池の劣化について分析する。家庭用燃料電池はガスで発電を行い、その発電の際に生まれた熱を利用して湯をつくるというシステムである。月時平均のデータを利用して発電効率を求めた。対象世帯は計測データが4年以上ある世帯とした。代表して世帯1の燃料電池発電量、ガス使用量を図4に、対象世帯の発電効率と回帰曲線を図5の(a)~(n)に、全世界帯の発電効率と回帰曲線を図6に示す。冬季には給湯需要の増加によってガス使用量が増えるため、燃料電池の発電量も増える。また燃料電池は、発電量が大きいために、発電効率が高くなる。発電効率の全世界帯平均は5年で19%から16.8%になった。年間で約2.3%発電効率が低下しているといえる。

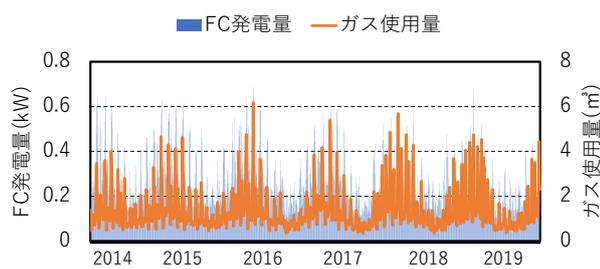


図4 世帯1の燃料電池発電量、ガス使用量

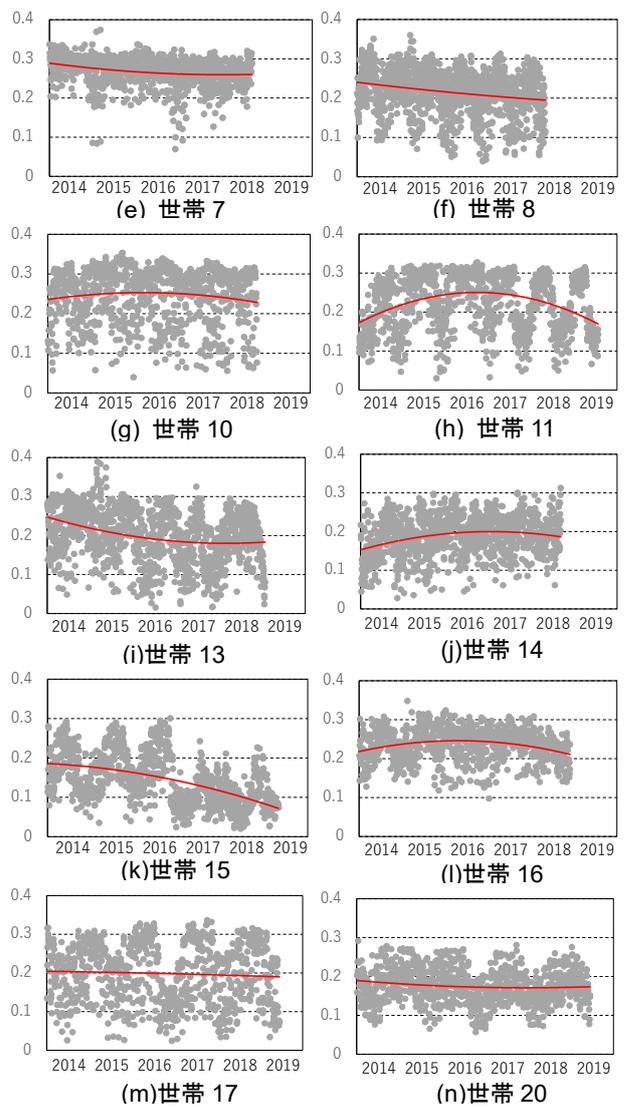
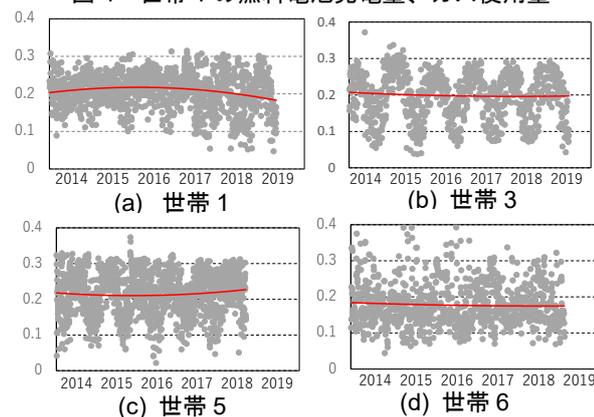


図5 (a)~(n) 対象世帯の発電効率と回帰曲線

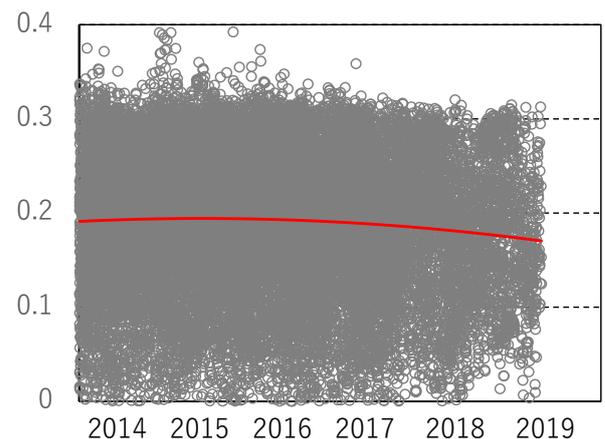


図6 全世界帯の発電効率と回帰曲線

### 4. 太陽光発電について

太陽光発電システムの劣化について分析する。太陽光発電量の算出式を式6~8に示す。算出式に出てくる記号とその意味を表2に示す。式6~8で分かるように、太陽光発電量には外気温と斜面日射量が関係している。機器の劣化について考えるためにはこれらの変動

するものの影響を取り除く必要がある。そのために、補正をかけて、どの年も平年値の気温と日射量となった場合の太陽光発電量が出るようにした。外気温と日射量については、気象庁が発表している気温と全日日射量のデータ<sup>2)</sup>を利用した。対象世帯は計測データが4年以上ある世帯とした。太陽光発電量の各世帯の月平均値を図7に示す。17世帯のうち13世帯は太陽光発電量が減少していたため、機器の劣化が進んでいる傾向にある。太陽光発電量が増加している世帯7,15,17,21のうち世帯17,21は微増であり大きな変化はない。世帯7は、1年目がうまく発電できていなかった可能性があり、2年目以降は減少していったため機器の劣化が進んでいるといえる。世帯15についてはどんどん増加している。基本的には発電効率が年々上がるといったことは考えられないため、太陽光パネルの表面に汚れがあったがその汚れが取り除かれた、障害物などがあり発電できていなかったがその障害物がなくなった、設置当初にうまく発電できていなかった、など様々な可能性が考えられる。

また、1年目の太陽光発電量全世帯平均を100%とすると、4年目の太陽光発電量全世帯平均は約97.8%となっており、約2.2%発電量が落ちている。シリコン結晶系太陽電池モジュール最大出力の年平均低下率は約0.5%以下<sup>3)</sup>といわれており、これに準ずる値となった。

#### PV 発電量算出式

$$E_{PV} = I_{SR} \times P_{AS} \times K_{PT} \times K_{PD} \times K_{PCS} / S_{SR} \dots \text{式(6)}$$

$$K_{PT} = 1 + \alpha_{max} (T_{CR} - 25) / 100 \dots \text{式(7)}$$

$$T_{CR} = T_{OA} + \Delta T \dots \text{式(8)}$$

#### 5. おわりに

本研究では照葉 CO<sub>2</sub> ゼロ街区のエネルギー消費、燃料電池、太陽光発電システムを分析し、各世帯の経年変化について検討した。街区全体で CO<sub>2</sub> 排出量収支がゼ

ロとなる月はあるが、年積算値ではまだ達成できていない。世帯別で見ると、年積算 CO<sub>2</sub> 排出量収支がゼロとなる世帯もいくつかあった。経年変化は全世帯に共通した傾向はなく、世帯ごとで異なっている。創エネルギー機器については徐々に劣化が進行している傾向がみられた。今後は、このままデータ計測を続けていけばより長期的な変化を分析することができる。それによって設計段階から経年変化を想定することが可能となり、より正確に変化に対応したシミュレーションができるだろう。

表2 記号の意味

| 記号               | 意味                        |
|------------------|---------------------------|
| E <sub>PV</sub>  | 太陽光発電量(kW)                |
| I <sub>SR</sub>  | 斜面日射量(kW/m <sup>2</sup> ) |
| P <sub>AS</sub>  | パネル容量(kW)                 |
| K <sub>PT</sub>  | 温度補正係数                    |
| K <sub>PD</sub>  | その他(パネルの汚れ等)の補正係数         |
| K <sub>PCS</sub> | パワーコンディショナー効率             |
| S <sub>SR</sub>  | 標準日射強度(W/m <sup>2</sup> ) |
| α <sub>max</sub> | 最大出力温度計数(%・1/°C)          |
| T <sub>CR</sub>  | 加重平均太陽電池モジュール温度(°C)       |
| T <sub>OA</sub>  | 外気温(°C)                   |
| ΔT               | 加重平均太陽電池モジュール温度上昇         |

#### 【参考文献】

- 1) 環境省、家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出実態統計調査(平成 31 年度)、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/kateiCO2tokei.html>, (参照 2021/1/28)
- 2) 気象庁、福岡県、福岡地方の過去の気象データ検索、[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=82&block\\_no=47807&year=&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=82&block_no=47807&year=&month=&day=&view=) (参照 2020/11/10)
- 3) 阪本貞夫、大城壽光、シリコン結晶系太陽電池モジュールの屋外暴露に伴う経年変化の解析、REAJ 誌,2003,Vol25,No.6

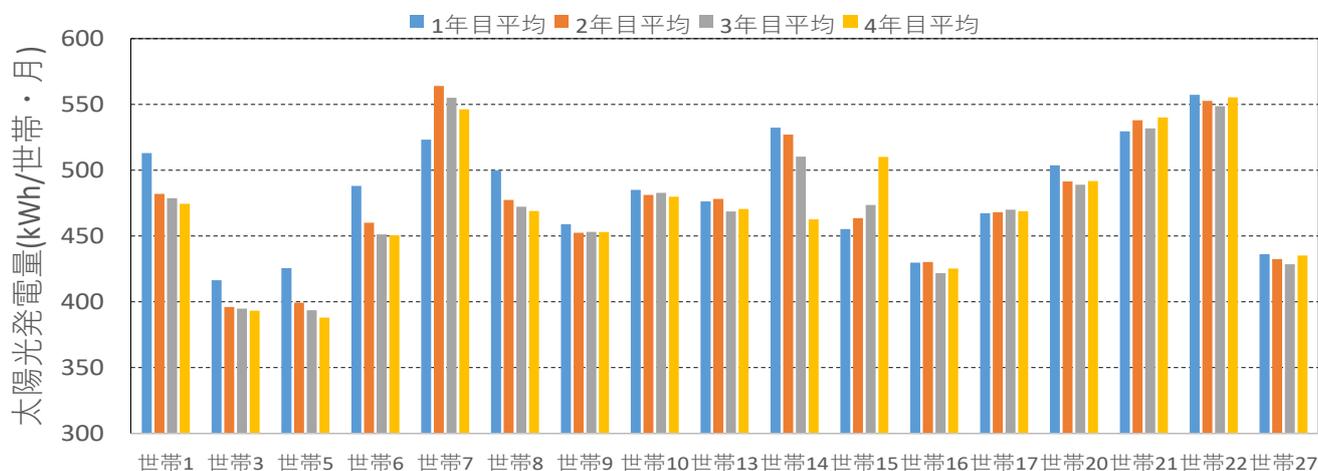


図7 太陽光発電量世帯別月平均値