

令和元年度 県営太陽光発電所 実証試験の考察について

(平成31年4月～令和2年3月)

1 発電所の役割および取り組み

山形県企業局では、平成24年3月に策定された「山形県エネルギー戦略」に基づき、「卒原発社会」実現のため、再生可能エネルギーの発電量増大に向けた取り組みを積極的に推進しています。

そこで、雪国でのメガソーラー普及を支援するため、平成25年度に1,000kWの太陽光発電所を建設し、同年12月25日に運転を開始しました。その後は、様々な実証試験を通じて、有益な情報を発信してきました。

ここでは、令和元年度の実績を基に実証試験（パネルの種類、取付角度、架台高さ）について考察を行いました。

2 設備仕様

(1) パネルの種類（定格（カタログ値））と設置枚数

| パネル種別 | A社 | B社 | C社 |
|------------------------|--------------------|---------|---------|
| | [単結晶] | [多結晶] | [多結晶] |
| パネルの設置枚数 [枚] ※ | 1176 ^{×2} | 1,260 | 1,260 |
| 1枚当たりの発電量 [W/枚] | 255 | 240 | 240 |
| | 【100%】 | 【94.1%】 | 【94.1%】 |
| 発電電力量 [kW] (=定格×枚数) | 299.9 | 302.4 | 302.4 |
| | 【100%】 | 【101%】 | 【101%】 |

(【 】内の数値は、A社を100%とした場合の比較)

※PCS変換効率の低下を軽減させるため、入力電力量を均一にする目的で枚数を変えている。

各パネルの設置位置等については、別図（平面図）を参照

(2) 取付角度

| 角 度 | 30度 (4,504枚) | 40度 (368枚) |
|-----|--------------|------------|
|-----|--------------|------------|

(3) 架台高さ

| 高 さ | 1.8m (298基) | 2.0m (7基) |
|-----|-------------|-----------|
|-----|-------------|-----------|

3 実証試験の検証

(1) パネルの種類

パネルの種類別 発電電力量実績

(表-1)

(平成31年4月1日 ~ 令和2年3月31日)

| | | 国産 | | 海外 |
|--------------------------|-------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | ①A社(南側) 単結晶 255W×1,176 299.9kW | ②B社 多結晶 240W×1,260 302.4kW | ③C社 多結晶 240W×1,260 302.4kW |
| 4月 | 発電電力量 | 35,960 kWh | 37,931 kWh | 36,726 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 105.5% | 102.1% |
| 5月 | 発電電力量 | 45,829 kWh | 48,989 kWh | 47,954 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 106.9% | 104.6% |
| 6月 | 発電電力量 | 32,521 kWh | 34,824 kWh | 33,965 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 107.1% | 104.4% |
| 7月 | 発電電力量 | 35,820 kWh | 38,433 kWh | 37,548 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 107.3% | 104.8% |
| 8月 | 発電電力量 | 35,834 kWh | 38,698 kWh | 37,590 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 108.0% | 104.9% |
| 9月 | 発電電力量 | 33,056 kWh | 35,387 kWh | 34,438 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 107.1% | 104.2% |
| 10月 | 発電電力量 | 25,330 kWh | 27,074 kWh | 25,939 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 106.9% | 102.4% |
| 11月 | 発電電力量 | 19,908 kWh | 21,094 kWh | 19,794 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 106.0% | 99.4% |
| 12月 | 発電電力量 | 15,776 kWh | 16,504 kWh | 15,254 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 104.6% | 96.7% |
| 1月 | 発電電力量 | 13,261 kWh | 13,777 kWh | 12,772 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 103.9% | 96.3% |
| 2月 | 発電電力量 | 17,292 kWh | 18,188 kWh | 16,839 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 105.2% | 97.4% |
| 3月 | 発電電力量 | 31,622 kWh | 33,607 kWh | 32,783 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 106.3% | 103.7% |
| 計 | 発電電力量 | 342,209 kWh | 364,506 kWh | 351,602 kWh |
| | 比較 | 100.0% | 106.5% | 102.7% |
| 1枚当たりの発電量(実績) [kWh/枚] | | A社(単結晶) 291.0 [kWh] 【100%】 | B社(多結晶) 289.3 [kWh] 【99.4%】 | C社(多結晶) 279.0 [kWh] 【95.9%】 |

(注)「比較」: ①A社(南側)を100%とした場合の比率を示す。

①~③のパワーコンディショナー(PCS)出力は250kW

1枚当たりの発電量の定格値(カタログ上の仕様)は、A社を100%とした場合、B、C社とも94.1%

◆パネルの種類別 発電電力量の検証(表-1参照)

年間の発電電力量としては、B社の多結晶パネルが最も多く、1枚当たりの発電量を見てもカタログ値^(注 94.1%)と比較すると+5.3ポイント上回っている。

一般的に、単結晶シリコンパネルの方が多結晶シリコンパネルより発電効率は高いとされているが、現在のところパネル種別による発電電力量に大きな差は見られていない。

なお、表-1のC社パネルにおいて、平成29・30年度は12月~1月にかけて発電量の極端な低下(54%~79%)が見られたが、令和元年度は数%の低下に留まった。冬季にかけて日照角度が小さくなり、山に近い当該パネルは山陰の影響を受けやすくはなるものの、暖冬小雪であったことから、冬季でも安定して発電できたことが要因と思われる。

今後もパネル設置場所における周辺地形の影響については、経年実績データを蓄積し比較分析する。

(2) 取付角度

1) 取付角度別 発電電力量実績

(表-2)

(平成31年4月1日 ~ 令和2年3月31日)

| | 単位kWh | 県内A社 | | 国産B社 | | 海外C社 | |
|-------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | | 255W×98枚 | | 240W×105枚 | | 240W×105枚 | |
| | | 各 24.99kW | | 各 25.2kW | | 各 25.2kW | |
| | | 30度 | 40度 | 30度 | 40度 | 30度 | 40度 |
| 4月 | 発電電力量 | 3,374 | 3,267 | 3,471 | 3,389 | 3,376 | 3,433 |
| | 比較 | 100.0% | 96.8% | 100.0% | 97.6% | 100.0% | 101.7% |
| 5月 | 発電電力量 | 3,810 | 3,387 | 3,988 | 3,772 | 3,596 | 3,793 |
| | 比較 | 100.0% | 88.9% | 100.0% | 94.6% | 100.0% | 105.5% |
| 6月 | 発電電力量 | 3,090 | 2,637 | 3,263 | 3,023 | 2,821 | 3,019 |
| | 比較 | 100.0% | 85.3% | 100.0% | 92.6% | 100.0% | 107.0% |
| 7月 | 発電電力量 | 3,413 | 3,009 | 3,612 | 3,370 | 3,166 | 3,375 |
| | 比較 | 100.0% | 88.2% | 100.0% | 93.3% | 100.0% | 106.6% |
| 8月 | 発電電力量 | 3,401 | 3,196 | 3,626 | 3,442 | 3,519 | 3,426 |
| | 比較 | 100.0% | 94.0% | 100.0% | 94.9% | 100.0% | 97.4% |
| 9月 | 発電電力量 | 3,127 | 3,047 | 3,293 | 3,233 | 3,200 | 3,235 |
| | 比較 | 100.0% | 97.4% | 100.0% | 98.2% | 100.0% | 101.1% |
| 10月 | 発電電力量 | 2,402 | 2,402 | 2,525 | 2,537 | 2,428 | 2,538 |
| | 比較 | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.5% | 100.0% | 104.5% |
| 11月 | 発電電力量 | 1,896 | 1,952 | 1,978 | 2,052 | 1,762 | 1,985 |
| | 比較 | 100.0% | 103.0% | 100.0% | 103.7% | 100.0% | 112.7% |
| 12月 | 発電電力量 | 1,610 | 1,723 | 1,655 | 1,794 | 1,433 | 1,734 |
| | 比較 | 100.0% | 107.0% | 100.0% | 108.4% | 100.0% | 121.0% |
| 1月 | 発電電力量 | 1,277 | 1,334 | 1,326 | 1,381 | 1,134 | 1,345 |
| | 比較 | 100.0% | 104.5% | 100.0% | 104.1% | 100.0% | 118.6% |
| 2月 | 発電電力量 | 1,665 | 1,835 | 1,736 | 1,912 | 1,505 | 1,870 |
| | 比較 | 100.0% | 110.2% | 100.0% | 110.1% | 100.0% | 124.3% |
| 3月 | 発電電力量 | 2,987 | 2,922 | 3,092 | 3,069 | 3,009 | 3,097 |
| | 比較 | 100.0% | 97.8% | 100.0% | 99.3% | 100.0% | 102.9% |
| 小計 | 発電電力量 | 32,052 | 30,711 | 33,565 | 32,974 | 30,949 | 32,850 |
| | 比較 | 100.0% | 95.8% | 100.0% | 98.2% | 100.0% | 106.1% |
| 角度別合計 | 発電電力量 | 30度 | 96,566 | 40度 | 96,535 | | |
| | 比較 | | 100.0% | | 100.0% | | |

(注)「比較」：各社毎の30度パネル発電電力量を100%とした場合の40度の発電電力量の比率を示す。

◆取付角度別 発電電力量の検証 (表-2 参照)

初めに、C社30度パネルの発電電力量に関して、5月～7月にかけて計測装置の一部に不具合が発生し、正しい計測結果が得られなかった。そのため、この間の当該データについては検証の対象外とする。(表内 赤字部分)

全体的な傾向として、4月～9月までは30度パネルの方が発電量が多く、10月～2月までは40度パネルの方が発電量が多い結果となっている。4月～9月にかけては太陽の南中高度が高く、30度パネルの方がより多くの日照を得られるため、30度設置が有利であり、10月～2月にかけてはパネルの雪が落ちやすい40度設置が有利であるためと考えられる。

2) パネルの雪の落ち具合*および発電所構内積雪量実績

冬期間(12月～3月)におけるパネルの雪の落ち具合*が最も悪かったのは、30度パネル・40度パネル共に2月上旬で、旬間平均値は30度パネルが66.5%、40度パネルが78.1%であった。

また、1月21日及び2月9日の計2日間は発電量がゼロとなった。降雪量はそう多くなかったものの、気温が低いためにパネル表面の雪も落ちにくく、そのような状況下では発電は困難と見受けられる。(参考：過年度比較グラフおよびデータ(5)参照)

尚、最大積雪量は2月10日に観測された22cmであった。

* パネルの露出している面積は、ITVカメラ画像(定点観測)により確認した。
 パネル表面に積もった雪が自然に滑り落ち、パネルが見えている面積の割合で表している。
 雪が全て落ち、パネル全面が見えている状態を100%とした。

(3) 架台高さ

県営太陽光発電所では、構内最大積雪量（1.7mを想定）を考慮し、通常より高い1.8m（一部は2.0m）の架台を設置している。

今季の降雪及び積雪においては、記録的な小雪のため、例年見られるパネルからの落雪による雪庇も無く、構内除雪の必要も生じなかった。

そのため、架台高さの違いによる維持管理面の有用性については、検証できなかった。

4 令和元年度全体の傾向

今年度は暖冬であり、冬期間でも雪の影響をあまり受けずに済んだことから、2月を除き全て計画値を上回る発電実績となった。（最大は12月の147%）

唯一計画値に達しなかった2月に関しては、例年と比較して日射量が少なかったことが落ち込みの要因と思われるが、それでも発電実績は計画比94%と高い数値であり、年間を通して良好な発電ができたと言える。

パネルの種類別における発電電力量に大きな差はないが、取付角度別で見ると40度パネルの方が落雪し易く、冬期間における取付角度としては有利である。12月～1月の期間においては、雪の落ちやすい40度パネルの方が30度パネルに比べて発電量が多くなり、4月～9月は30度パネルの方が発電量が多くなる傾向が見られた。

発電所構内における最大積雪量は2月に観測された22cmであり、パネルからの落雪による雪庇除去の実績はなかった。

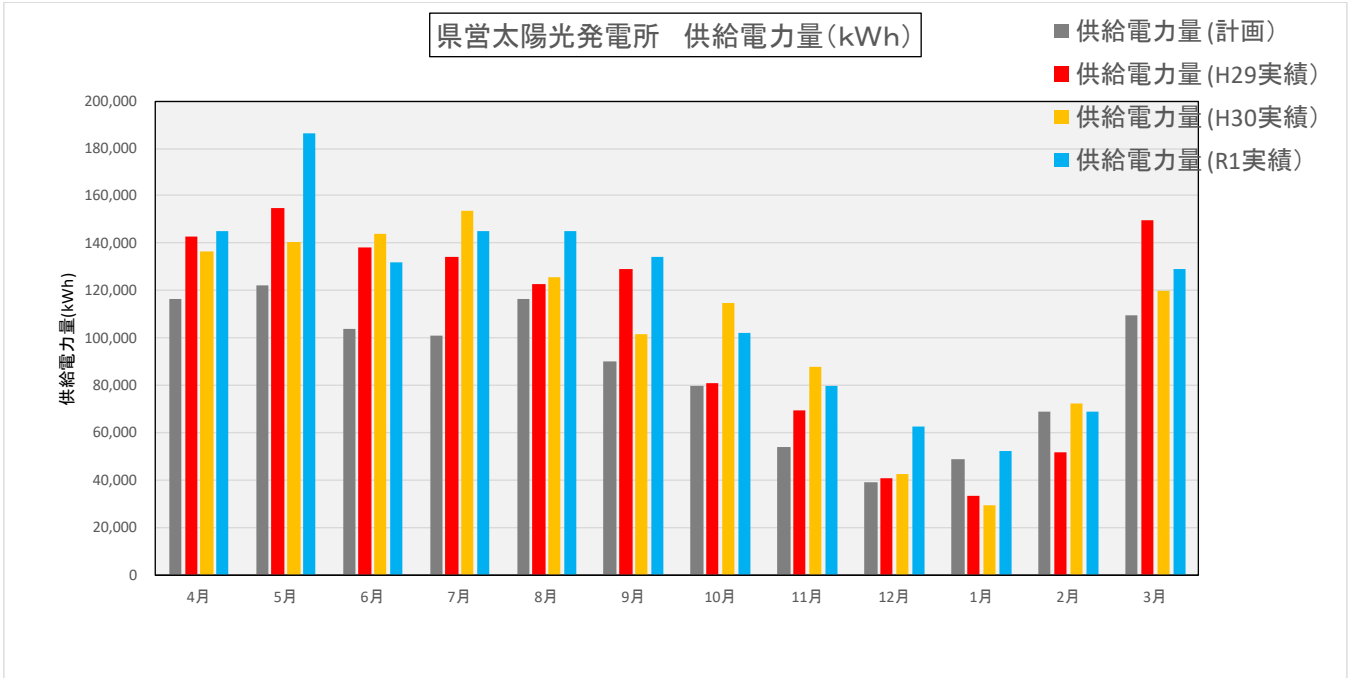
維持管理においては、停電を伴わない巡視・計測点検（2回／月）を実施し、累計時間は、41.25時間（点検1回あたり約1.7時間）であった。また、停電が必要な電気工作物点検については、昼・夜の2回に分け、2日間で実施した。（昼は変電設備、夜はパネル）

事故については、波及事故^{*}による停電等は無かったが、地震や台風といった自然災害の発生により、緊急点検を実施した。点検の結果、台風における被害としてパネル1枚の破損、及びフレーム間を繋ぐアース線3箇所^{*}に断線が見られた。強風による飛来物の落下や、架台のしなりによる破断が原因と思われる。

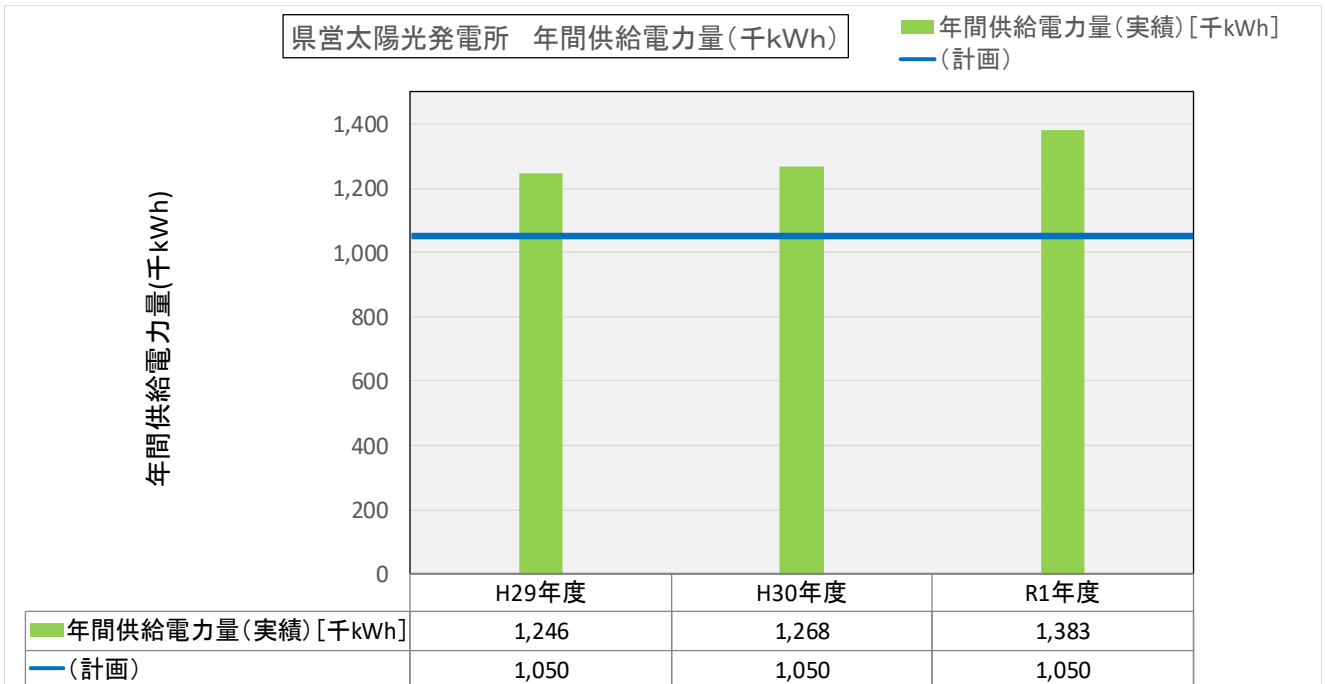
^{*} 波及事故とは：送配電事業者側の設備に発生した事故・停電の影響で、そこに接続されている太陽光発電所も停電となる事故。

《 参考：過年度比較グラフおよびデータ 》

(1) 供給電力量グラフ (H29～R1年度)



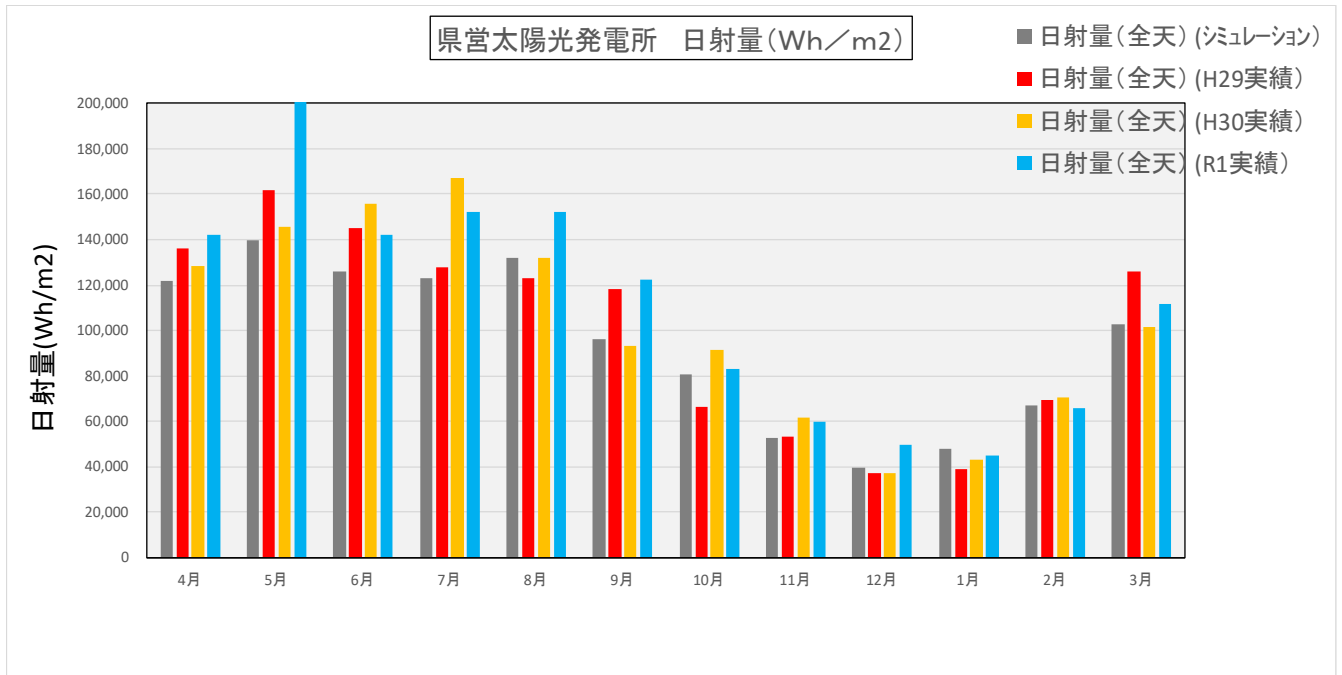
(2) 年間供給電力量グラフ (H29～R1年度)



◆過去3カ年 年間供給電力量の傾向

- 令和元年度：1,383,000 [kWh]
- 平成30年度：1,268,000 [kWh]
- 平成29年度：1,246,000 [kWh]
- 計 画 値：1,050,420 [kWh]

(3) 日射量グラフ (H29~R1年度)



◆過去3カ年 日射量の傾向 (シミュレーションとの比較)

令和元年度：118 [%]
 平成30年度：109 [%]
 平成29年度：107 [%]

(4) 発電電力量、供給電力量、設備利用率、日照時間、日射量等の比較一覧表 (R1年度)

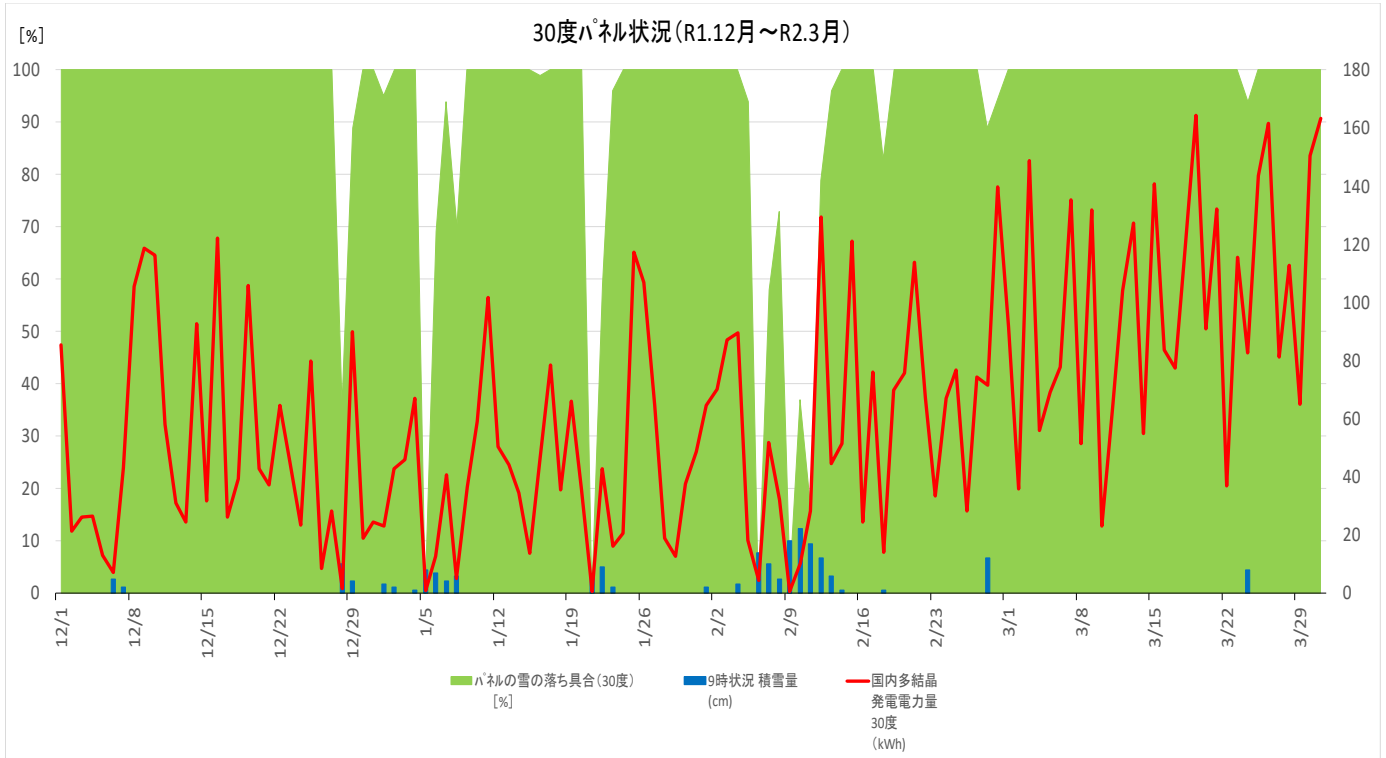
| 項目 | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 | 合計(平均) |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| 発電電力量 (kWh) | R1実績(a) | 146,344 | 188,757 | 134,004 | 147,753 | 148,125 | 135,890 | 103,374 | 80,105 | 62,922 | 52,839 | 69,099 | 129,574 | 1,398,786 |
| | 計画(x) | 124,016 | 130,164 | 111,125 | 107,891 | 123,976 | 96,005 | 84,877 | 57,872 | 42,772 | 52,548 | 73,316 | 116,416 | 1,120,976 |
| | 計画差(a-x) | 22,328 | 58,593 | 22,879 | 39,862 | 24,149 | 39,885 | 18,497 | 22,233 | 20,150 | 291 | -4,217 | 13,158 | 277,810 |
| | 計画比(a/x) | 118% | 145% | 121% | 137% | 119% | 142% | 122% | 138% | 147% | 101% | 94% | 111% | (124.8%) |
| 供給電力量 (kWh) | R1実績(a) | 145,154 | 186,588 | 132,017 | 145,243 | 145,217 | 134,061 | 102,341 | 79,552 | 62,532 | 52,478 | 68,671 | 128,785 | 1,382,639 |
| | 計画(x) | 116,487 | 122,351 | 104,103 | 101,046 | 116,450 | 90,036 | 79,529 | 54,018 | 39,340 | 48,723 | 68,837 | 109,500 | 1,050,420 |
| | 計画差(a-x) | 28,667 | 64,237 | 27,914 | 44,197 | 28,767 | 44,025 | 22,812 | 25,534 | 23,192 | 3,755 | -166 | 19,285 | 332,219 |
| | 計画比(a/x) | 125% | 153% | 127% | 144% | 125% | 149% | 129% | 147% | 159% | 108% | 100% | 118% | (131.6%) |
| 設備利用率 (%) | R1実績(a) | 20.2% | 25.1% | 18.3% | 19.5% | 19.5% | 18.6% | 13.8% | 11.0% | 8.4% | 7.1% | 9.9% | 17.3% | 15.7% |
| | 計画(x) | 16.2% | 16.4% | 14.5% | 13.6% | 15.7% | 12.5% | 10.7% | 7.5% | 5.3% | 6.5% | 10.2% | 14.7% | 12.0% |
| | 計画差(a-x) | 4.0% | 8.7% | 3.8% | 5.9% | 3.8% | 6.1% | 3.1% | 3.5% | 3.1% | 0.6% | -0.3% | 2.6% | 3.7% |
| 供給÷発電 | H30効率(%) | 99.2% | 98.9% | 98.5% | 98.3% | 98.0% | 98.7% | 99.0% | 99.3% | 99.4% | 99.3% | 99.4% | 99.4% | 98.8% |
| 日照時間 (時間) | R1実績(a) | 189.1 | 285.6 | 162.0 | 157.1 | 207.6 | 162.1 | 115.8 | 108.0 | 76.9 | 58.7 | 94.6 | 150.3 | 1,768 |
| | 平年(d) | 179.6 | 213.4 | 183.3 | 167.6 | 185.8 | 145.9 | 130.5 | 86.6 | 60.8 | 59.4 | 90.6 | 141.9 | 1,645 |
| | 平年比(a/d) | 105.3% | 133.8% | 88.4% | 93.7% | 111.7% | 111.1% | 88.8% | 124.7% | 126.5% | 98.9% | 104.4% | 105.9% | (107.5%) |
| 日射量 (Wh/m ²) | R1実績(a) | 142,391 | 202,531 | 142,192 | 152,036 | 152,025 | 122,591 | 82,826 | 59,561 | 49,769 | 44,772 | 66,031 | 111,454 | 1,328,178 |
| | 計画値(d) | 121,961 | 139,648 | 126,183 | 122,928 | 132,057 | 96,137 | 80,575 | 52,516 | 39,487 | 47,907 | 67,184 | 103,032 | 1,129,616 |
| | 計画比(a/d) | 116.8% | 145.0% | 112.7% | 123.7% | 115.1% | 127.5% | 102.8% | 113.4% | 126.0% | 93.5% | 98.3% | 108.2% | (117.6%) |
| 日射量当たりの発電電力量 (Wh/(Wh/m ²)) | R1実績(a) | 1027.8 | 932.0 | 942.4 | 971.8 | 974.4 | 1108.5 | 1248.1 | 1344.9 | 1264.3 | 1180.2 | 1046.5 | 1162.6 | 13,203 |

(5) 積雪量とパネルの雪の落ち具合※及び発電電力量 (R1年度)

※ パネルの露出している面積は、ITVカメラ画像（定点観測）により確認した。
 パネル表面に積もった雪が自然に滑り落ち、パネルが見えている面積の割合で表している。
 雪が全て落ち、パネル全面が見えている状態を100%とした。

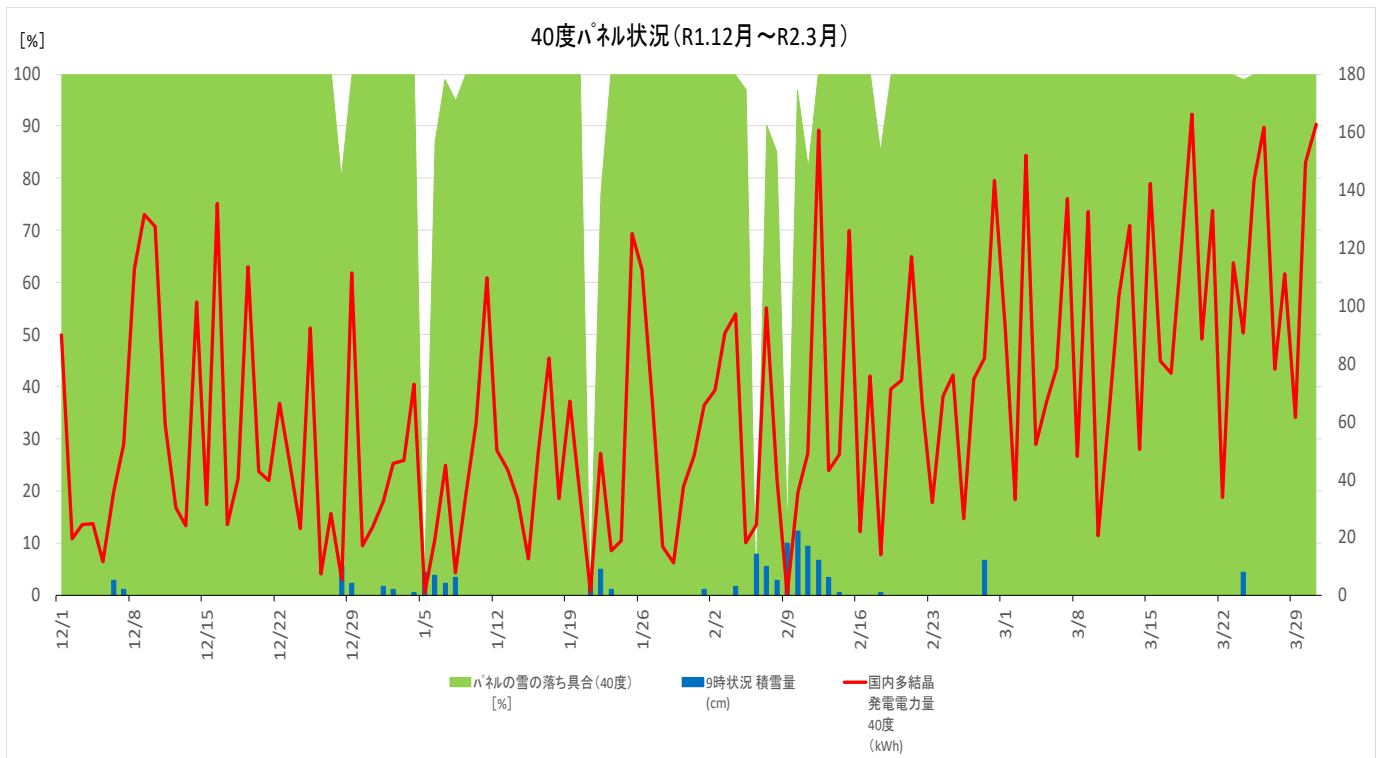
(30度パネル)

(令和元年12月1日 ~ 令和2年3月31日)



(40度パネル)

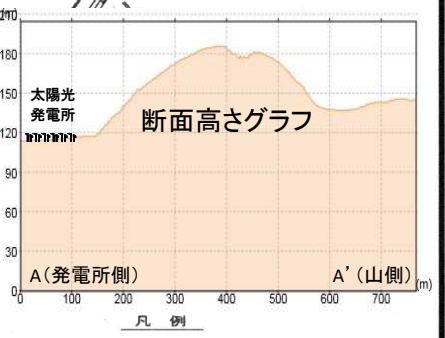
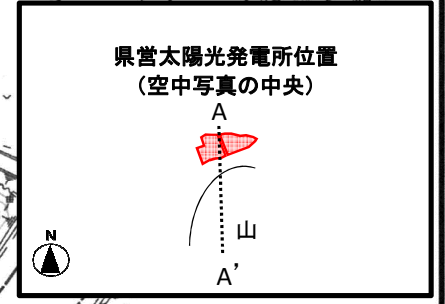
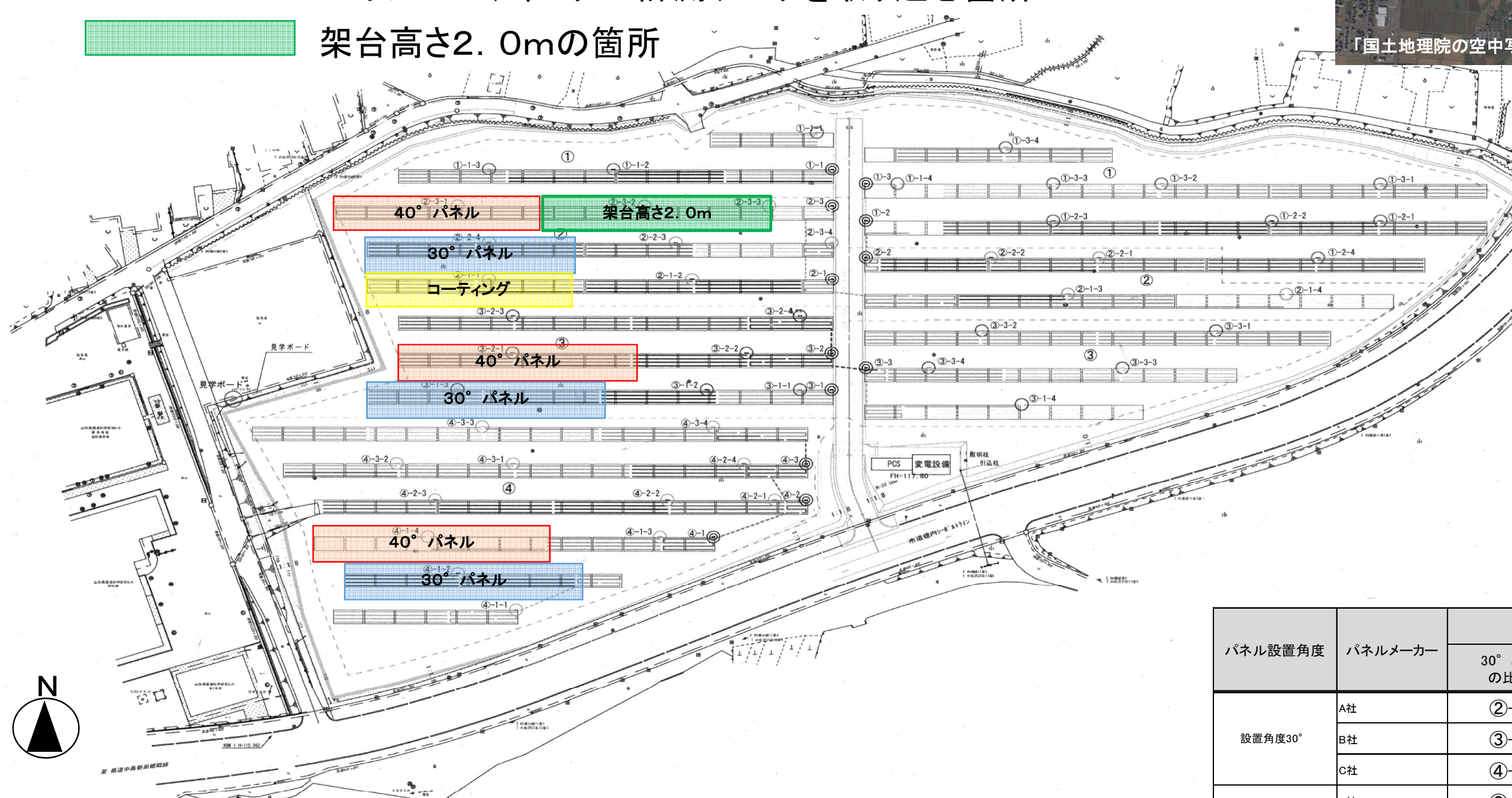
(令和元年12月1日 ~ 令和2年3月31日)



(別図)

県営太陽光発電所 平面図

- 40° の計測データを取り込む箇所
- 30° の計測データを取り込む箇所
- パネルコーティングの計測データを取り込む箇所
- 架台高さ2.0mの箇所



| 記号 | 名称 |
|----|---------------|
| | 用地境界線 |
| | ヤード内砕石舗装 |
| | 進入道路 (W=6.0m) |
| | フェンス (H=1.8m) |
| | 門扉 (W=6.0m) |
| | 門扉 (W=1.0m) |
| | アレイ |
| | ケーブルトラフ |

| パネル設置角度 | パネルメーカー | 接続箱No. | | 備考 |
|---------|---------|---------------|------------|----|
| | | 30° と40° の比較用 | パネルコーティング用 | |
| 設置角度30° | A社 | ②-2-4 | ②-1-1 | 7台 |
| | B社 | ③-1-3 | | 8台 |
| | C社 | ④-1-2 | | 8台 |
| 設置角度40° | A社 | ②-3-1 | | 7台 |
| | B社 | ③-2-1 | | 8台 |
| | C社 | ④-1-4 | | 8台 |

