

# 持続可能な電力供給に向け地域資源の持つ可能性を探る ～カーボンニュートラルを実現する “未来都市とちぎ”を目指して～

栃木県立大田原高等学校 課題研究5班 (2年生4名)



# 研究動機

## 先輩たちの先行研究

2021 「電力自給率向上を目指して栃木県北部の地域資源に秘められた可能性を探る」

2022 「栃木県北部が目指す理想的なエネルギー構成に迫る」

2023 「ゼロカーボンシティ実現に向けた取り組みを活性化させるには

～未来の最前線を行く同世代に向けて～」

2024 「持続可能な電力供給に向け地域資源の持つ可能性を探る

～「那須おろし」を活用した地域発展を目指して～」



- ・ 発電量と使用料のシミュレーションの実施
- ・ 栃木県北部6市町の高校生へのアンケート実施
- ・ ゼロカーボンシティ宣言の認知度向上を目的としたリーフレットの作成

# 研究動機

## 先輩たちの先行研究

2024「持続可能な電力供給に向け地域資源の持つ可能性を探る

～「那須おろし」を活用した地域発展を目指して～」



栃木県北部那須地域（那須町）に風力発電機を設置した場合の

発電効率についてシミュレーション

- ①那須地域は風力発電に適した風向・風速の風が十分に吹く
- ②中型の風力発電機を設置した場合の設備利用率は  
設置目安の20%に達する
- ③1kWhの発電コストを計算すると利益は十分見込める

⇒風力発電機の設置を推進することで

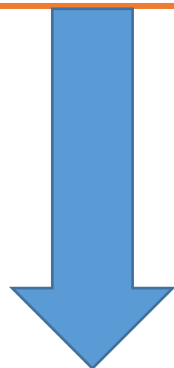
町おこしにつながる可能性は十分ある



# 研究目的

<昨年度>

風力発電を推進することで町おこしにつながる可能性は十分ある！



栃木県には他にも地域資源が眠っているのでは？

今年度の研究

栃木県が持つ地域資源の可能性を探り、  
カーボンニュートラルの実現に向け、  
2040年のエネルギー構成を考えたい！



# 研究手法

## ① 様々な発電に関する調査

- 脱炭素電源比率の高い地域と栃木県北部の比較社会状況、地域資源、気候etc…
- 発電所の見学、地方自治体への訪問、専門家への聞き取り調査etc…

## ② 各種発電におけるシミュレーションの実施

- 設置・発電コストと環境への負荷など各種発電のメリット・デメリットを比較

## ③ 栃木県が目指すべきエネルギー構成の提言

- シミュレーションの結果から2040年に栃木県が目指すべきエネルギー構成を検討



# 研究① | 専門家への聞き取り調査

## ①東京理科大学創域理工学部経営システム工学科

伊藤和哉先生

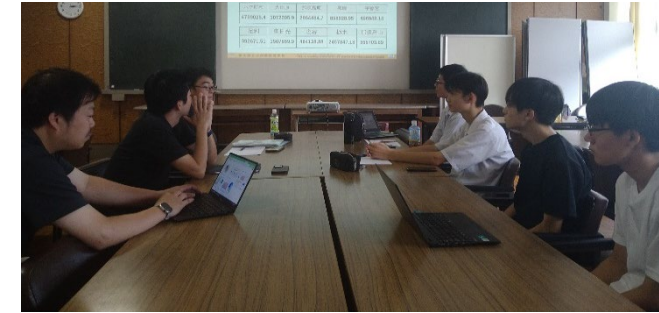
### ○サイエンス特別講座@大高 (R7.8.25)

#### 第7次エネルギー基本計画の論点

「脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の同時実現」

脱炭素の視点では…

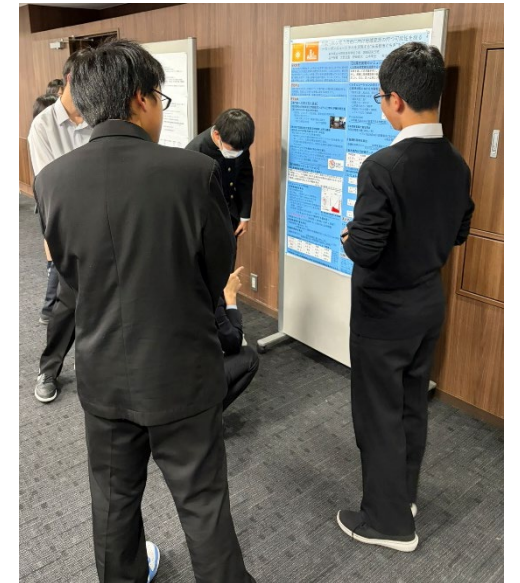
- ・再生可能エネルギー電源の更なる拡大
  - ・原子力発電の利用
- などが重要視



### ○エネルギーイノベーションシンポジウム

#### 高校生ポスターセッション (R7.11.9)

送電による電力ロスの視点に関する助言



# 研究① | 専門家への聞き取り調査

## ② 栃木県庁気候変動対策課 岸秀憲様 上野花織様

### ○栃木県における再生可能エネルギーの状況

再生可能エネルギーによる発電の増加

- 栃木県の持つ太陽光発電のポテンシャル（日射量等）が高いことから、太陽光発電を積極的に推進。
- 大規模太陽光発電ではなく、住宅や工場等建物における発電量増加を目指す。



### ○カーボンニュートラル達成に向けた取り組み

2050年とちぎカーボンニュートラル実現に向けたロードマップ

- 「栃木県カーボンニュートラル実現条例」の制定
- 「『とちぎカーボンニュートラル15（いちご）アクション』県民運動」の開始



栃木県HP「とちぎカーボンニュートラル15アクション県民運動」についてより引用  
<https://www.pref.tochigi.lg.jp/d02/gakushu/tochigicarbonnyuutoraru15action.html>

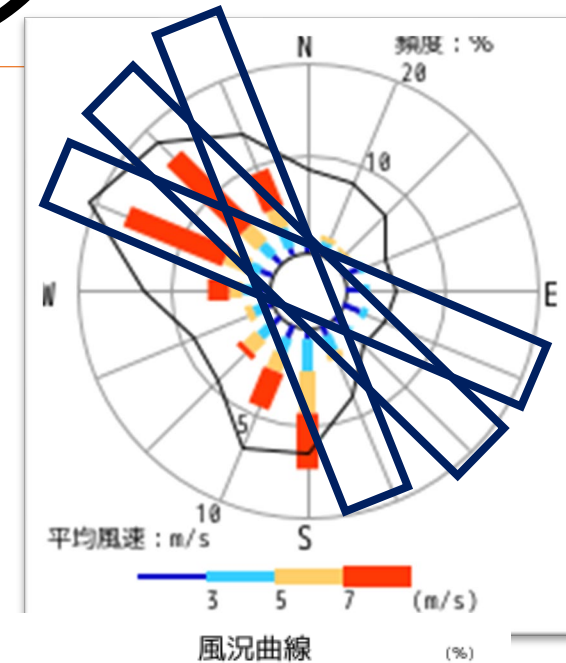


# 研究② II 風力発電のシミュレーション

## < 風力発電に適した条件 >

### ① 風向

卓越風と180度の位置関係にある2方位に加え、それらに隣接する方位を合わせた6方位における風向の出現率の合計が高い



### ② 風速

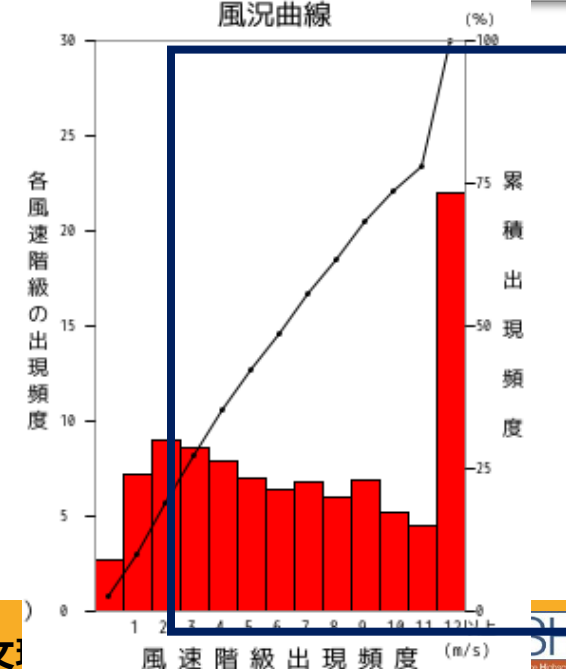
風速が3.5m/sを超える風の出現率が多い

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)

「風力発電導入ガイドブック」より

NEDO「局所風力マップ」<https://appraw1.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>

(R6.10.24確認) より引用



## 研究② II 風力発電のシミュレーション

### <シミュレーションに利用した風力発電機の性能>

- ・ **高さ70m** ・ 風速11.6  $m/s$  で最大1500kW発電可能
  - ・ 風速3  $m/s$  から発電開始 ・ 風速25  $m/s$  で安全のため発電停止
  - ・ 風速11.6~25  $m/s$  では1500kWの発電量を維持
- 定格出力(安定して出力できる最大の発電量) : 1500kW
- 定格風力(定格出力時の風速) : 11.6  $m/s$

### <設備利用率を算出し比較>

$$\text{設備利用率 (\%)} = \frac{\text{年間発電電力量 (kWh/年)}}{\text{設備容量 (kW)} \times \text{年間時数 (365日} \times \text{24時間)}} \times 100$$

NEDO「風力発電導入ガイドブック」<https://www.nedo.go.jp/content/100079735.pdf> (R7.12.4確認) より



# 研究② 川風力発電機を設置した場合の設備利用率

<シミュレーション結果>

風力発電機の設備利用率の目安は**20%以上**

六ヶ所村	大田原	那須高原	黒磯	宇都宮
約36%	約8%	約23%	約7%	約4%
足利	奥日光	塩谷	栃木	那須烏山
約3%	約11%	約4%	約3%	約3%

先行研究の結論「那須高原で風力発電を行う価値がある」が裏付けられた



# 研究② IV太陽光発電のシミュレーション

## <太陽光発電に適した条件>

- ・年間を通じて日射量が多く、安定した日照条件を確保できる
- ・周囲に高層建築物や樹木など日光を遮る要因が少ない
- ・広い土地といった設置空間の確保ができる

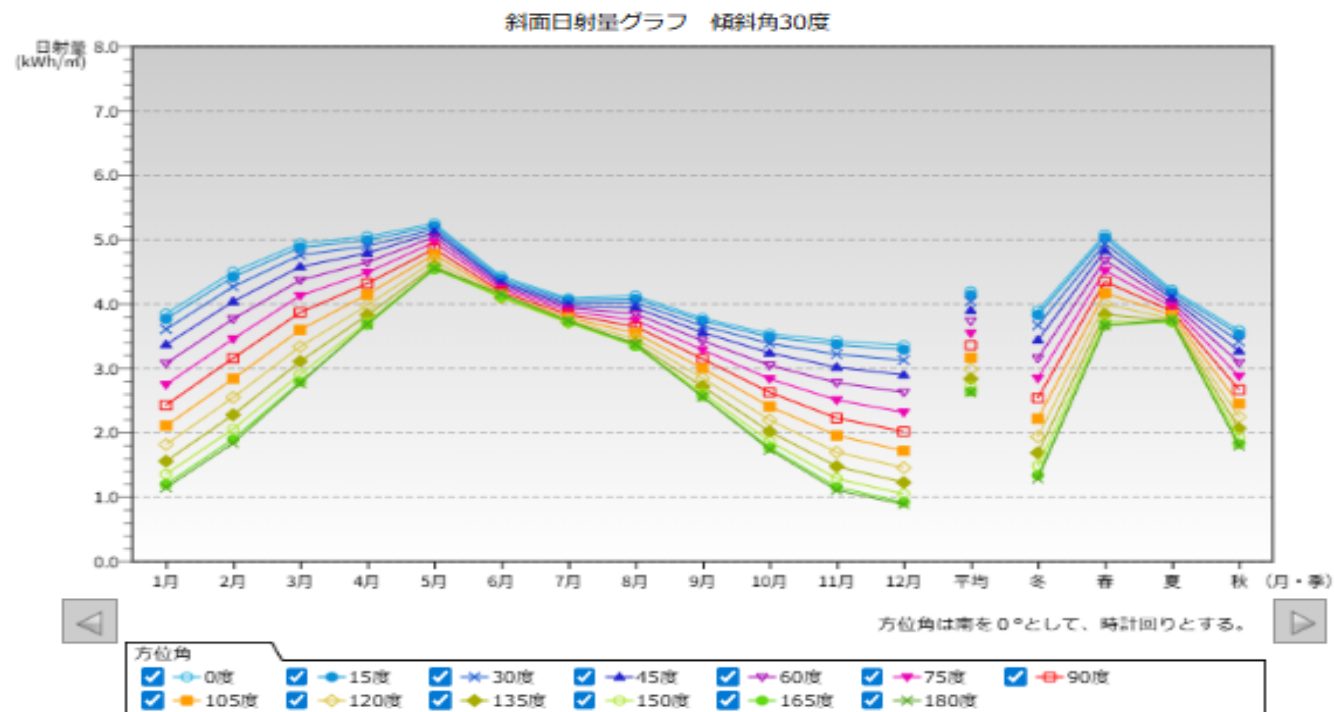


図2 那須高原における斜面グラフ 傾斜角30度

NEDO日射量データベース閲覧システムより引用  
<https://appww2.infoc.nedo.go.jp/appww/index.html>

## 研究② IV太陽光発電のシミュレーション

### <シミュレーションに利用した太陽光発電機の性能>

傾斜角度：30° 設置方位：南向き

公称最大出力：300W 太陽光パネル枚数：200枚

→標準状態における太陽電池アレイ出力(アレイ出力):60kW

\*標準状態：AM1.5、放射照度1000 W/m<sup>2</sup>、モジュール温度25°C

### <設備利用率を算出し比較>

$$\text{設備利用率 (\%)} = \frac{\text{年間発電電力量 (kWh/年)}}{\text{アレイ出力(kW)} \times \text{年間時数 (365日} \times \text{24時間)}} \times 100$$

NEDO「太陽光発電開発戦略」 <https://www.nedo.go.jp/content/800022979.pdf> (R7.12.4確認) より



## 研究② V 太陽光発電を設置した場合の設備利用率

<シミュレーション結果>

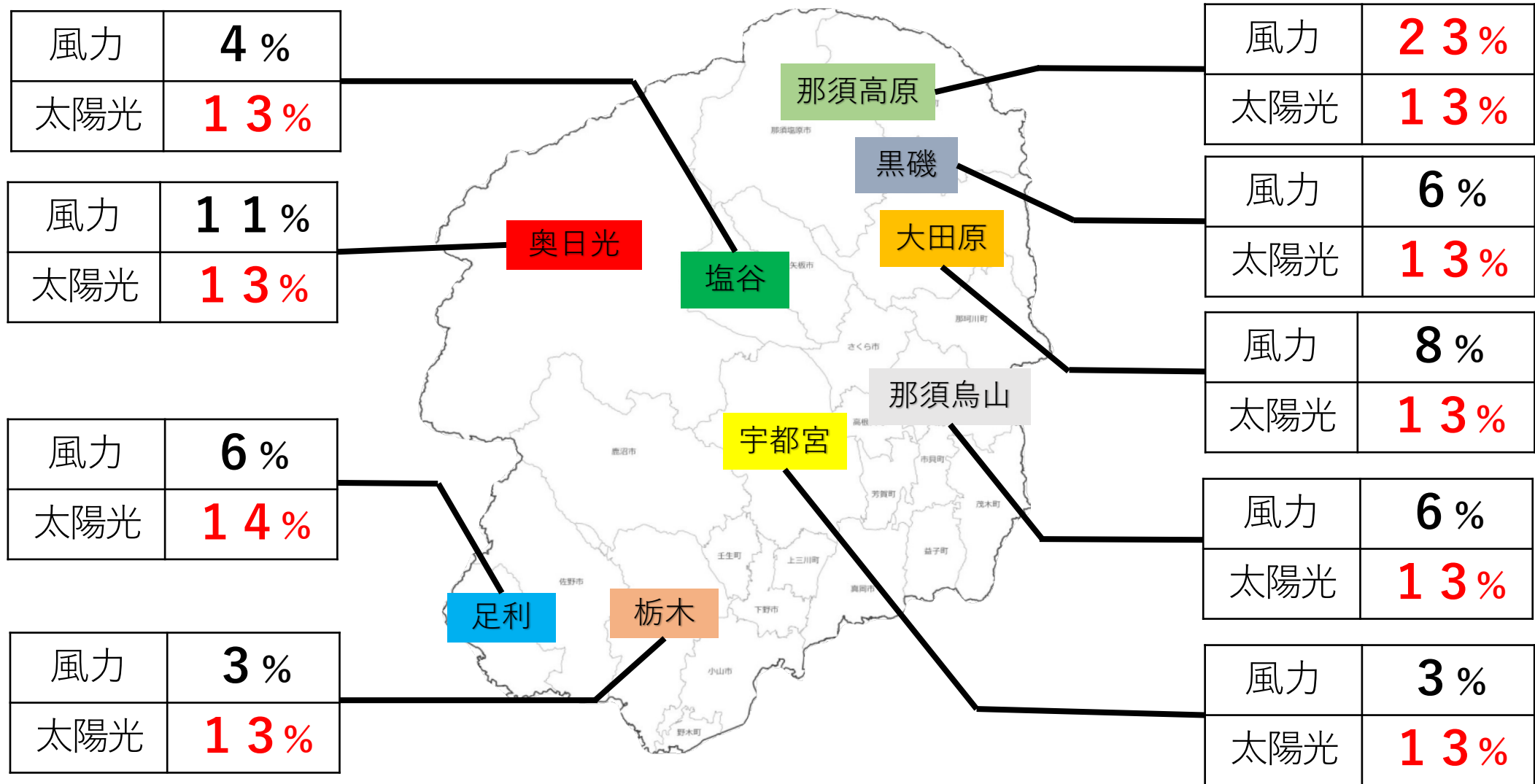
太陽光発電の設備利用率の目安は**10%以上**

甲府盆地	大田原	那須高原	黒磯	宇都宮
約 <b>15%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>
足利	奥日光	塩谷	栃木	那須烏山
約 <b>14%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>	約 <b>13%</b>

栃木県は全体的に太陽光発電のポテンシャルが高く、推進する価値がある

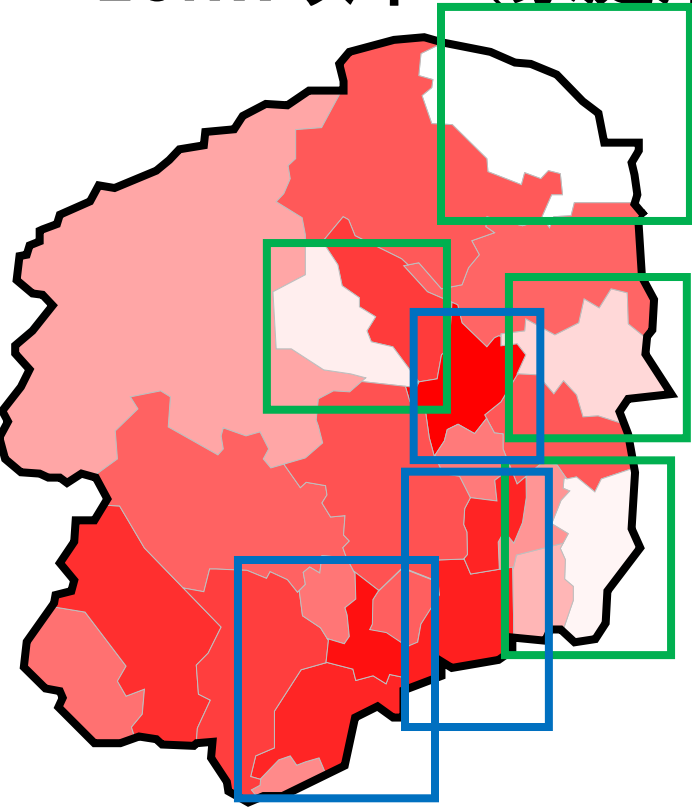


# 研究② VI風力発電と太陽光発電の設備利用率のまとめ

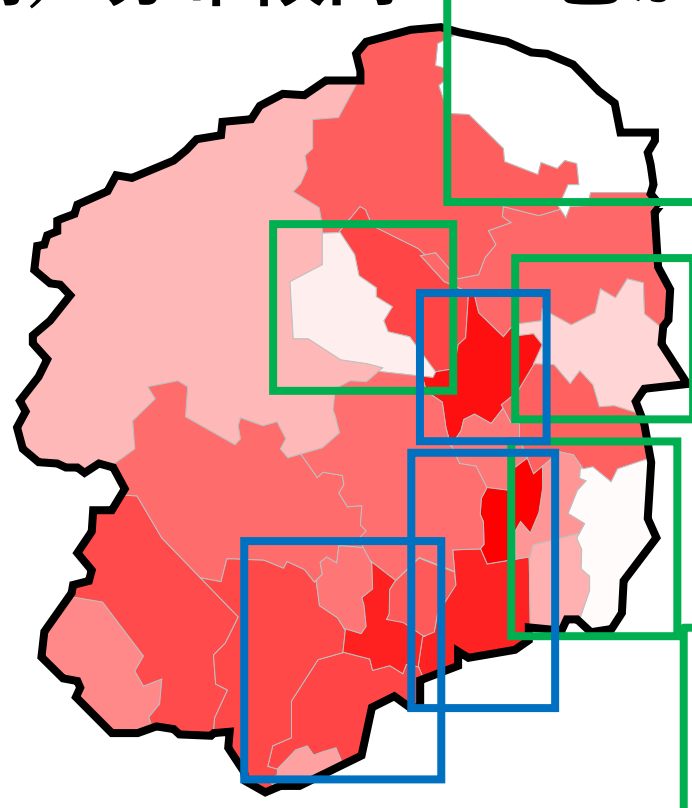


# 研究② 栃木県の太陽光発電・全体概要

10kw以下（家庭用）分布傾向 \*色が濃いほど値が大きい



導入件数÷人口



導入容量÷人口

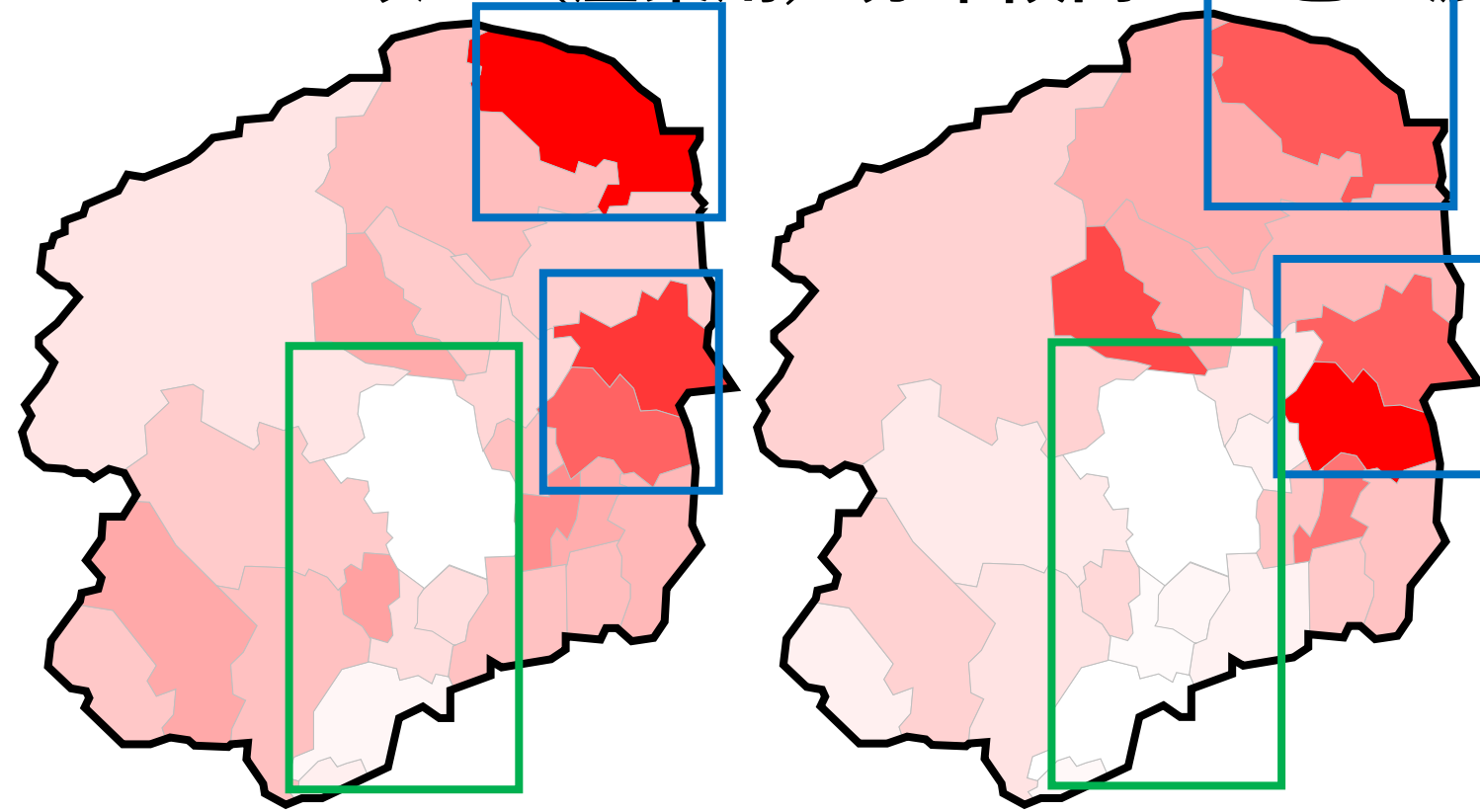
導入件数・容量が多い  
: さくら・下野・真岡・芳賀・小山  
→ 新築戸建ての多い、宇都宮周辺(県央)・県南中心

導入件数・容量が少ない  
: 那須・茂木・塩谷・那珂川・益子  
→ 人口減少&既存住宅中心で新規住宅需要が少ない、県北・県東中心



# 研究② 栃木県の太陽光発電・全体概要

10kw以上（産業用）分布傾向 \*色が濃いほど値が大きい



導入件数・容量が多い  
: 那須・那珂川・那須烏山  
→ 広い土地のある県北・県東  
中心

導入件数・容量が少ない  
: 宇都宮・下野・小山・野木  
・ 上三川  
→ 住宅地や商業エリアが広がる  
県央・県南

導入件数 ÷ 人口

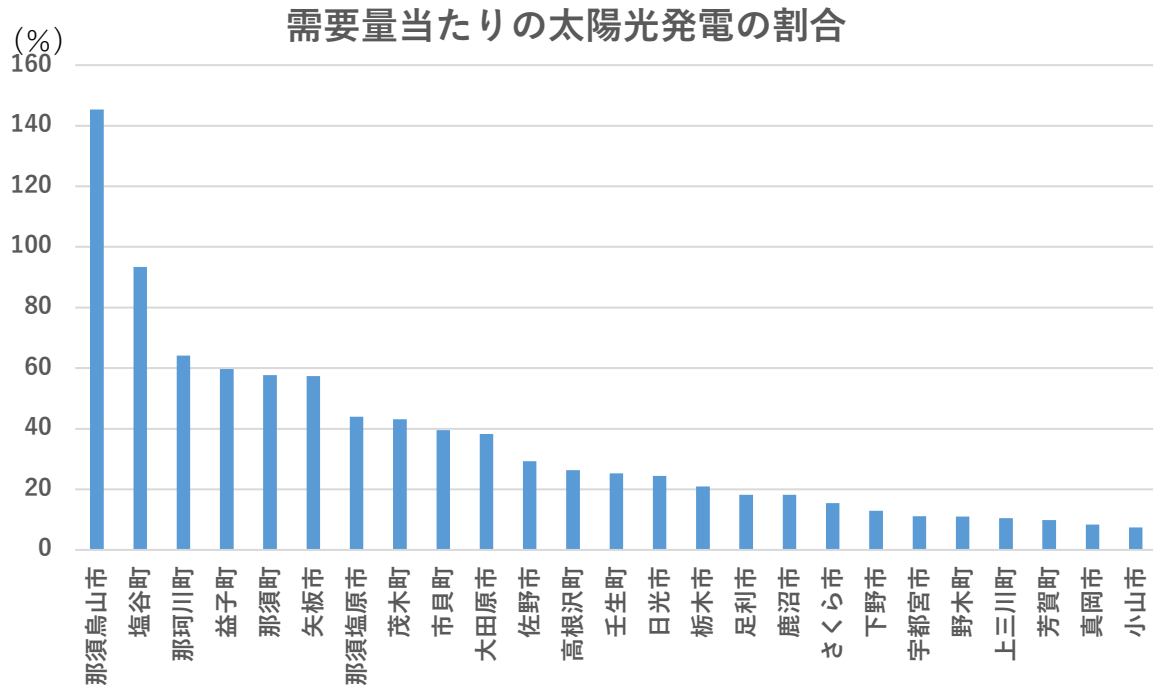
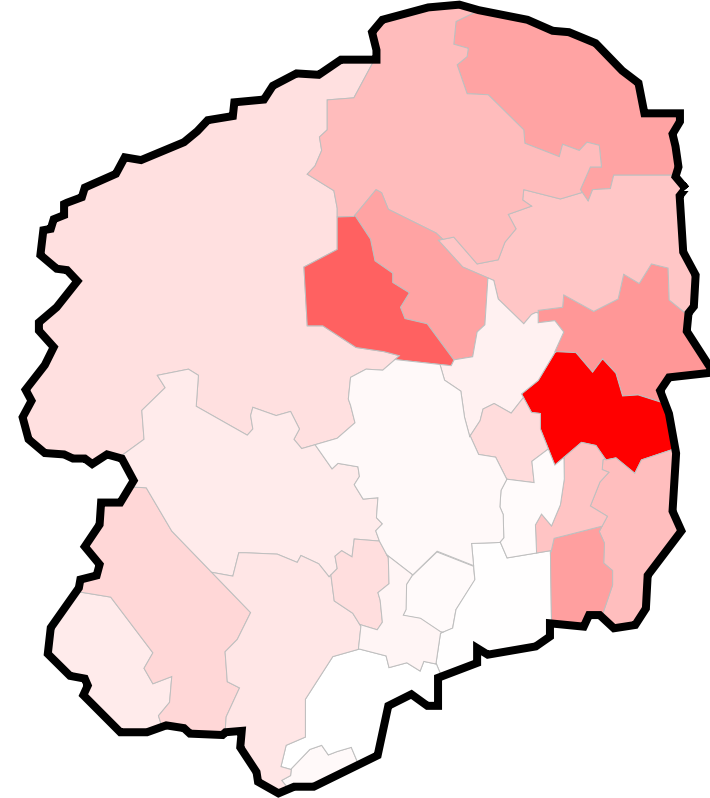
導入容量 ÷ 人口



# 研究② Ⅷ太陽光発電による電力自給率

太陽光発電の電源構成割合  
2023年度（速報値） **9.8%**  
2040年度（見通し） **23~29%**  
（第7次エネルギー基本計画より）

需要量当たりの太陽光発電の割合

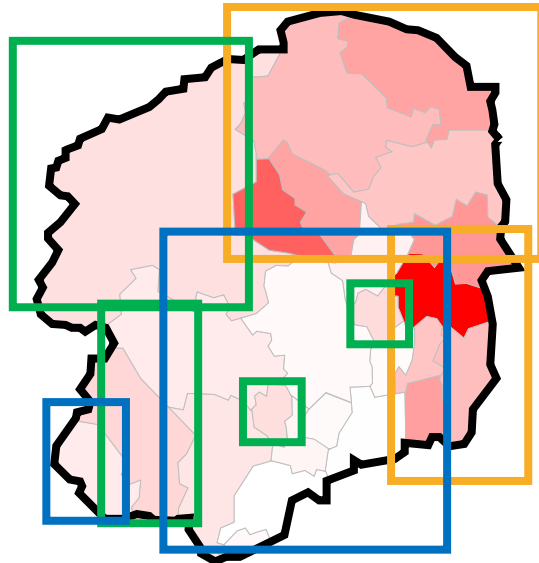
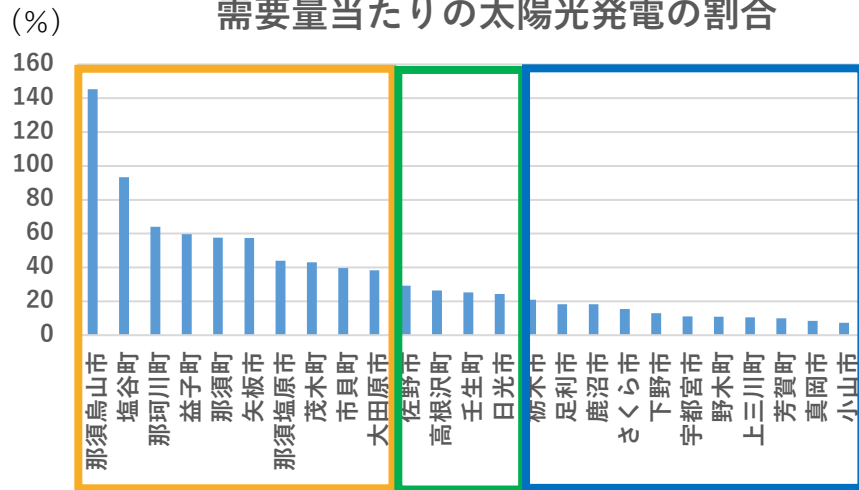


○栃木県の市町は小山市・真岡市以外で需要量当たりの太陽光発電の割合が**9.8%**を超えている。→**太陽光発電のポテンシャルが高い。**



# 研究② Ⅷ太陽光発電による電力自給率

需要量当たりの太陽光発電の割合



需要量量当たりの太陽光発電の割合

## ○需要量当たりの太陽光発電の割合ごとに区分

### I 発電過多型

(需要量当たりの太陽光発電の割合29%以上)

那須烏山・塩谷・那珂川・益子・那須・矢板・那須塩原・茂木・市貝・大田原

→産業用(10kW以上)の太陽光発電が盛んな地域が中心

### II バランス型 \*2040年想定レベル

(需要量当たりの太陽光発電の割合23%~29%)

佐野・高根沢・壬生・日光

### III 需要過多型

(需要量当たりの太陽光発電の割合23%未満)

栃木・足利・鹿沼・さくら・下野・宇都宮・野木・上三川・芳賀・真岡・小山

→家庭用(10kW以下)の太陽光発電が盛んな地域が中心

## 研究② 太陽光発電の結論・考察

太陽光発電の分布傾向から…

- 家庭用が強い：県央・県南地域 → 都市人口 × 新築 × 日照良好
- 産業用が強い：県北・県東地域 → 面積 × 地価 × 農地転用のしやすさ



**南部=住宅用の増加、北部=産業用の増加**

太陽光発電の電力自給率から…

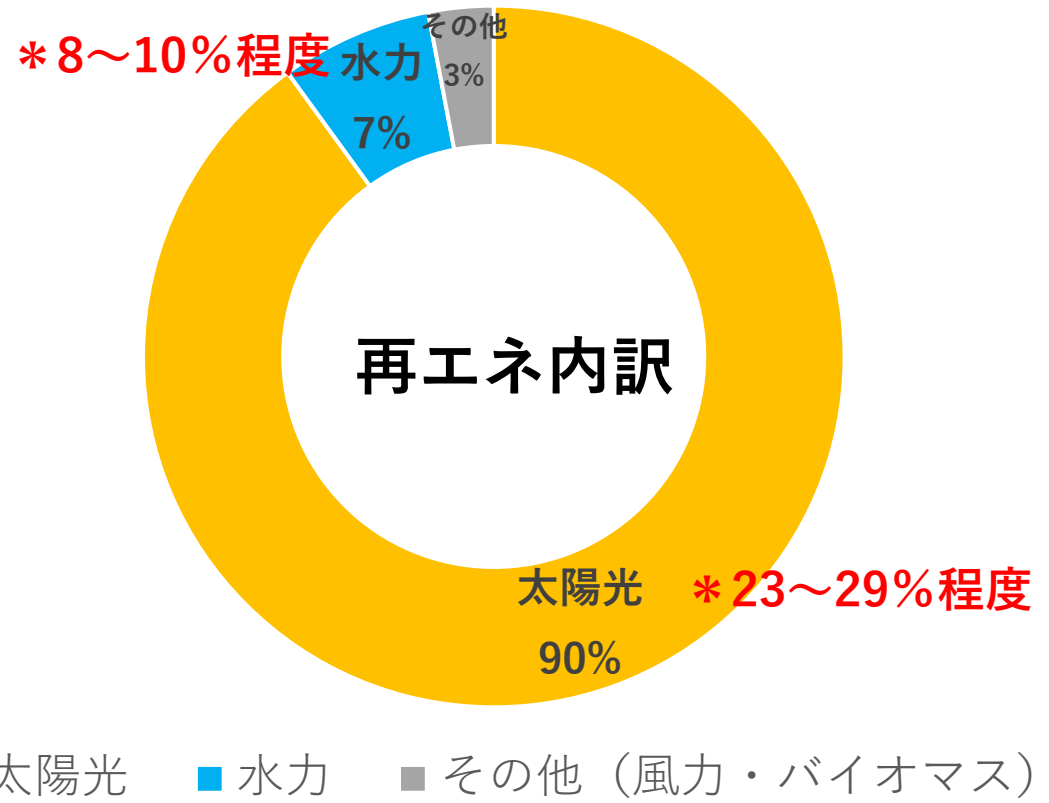
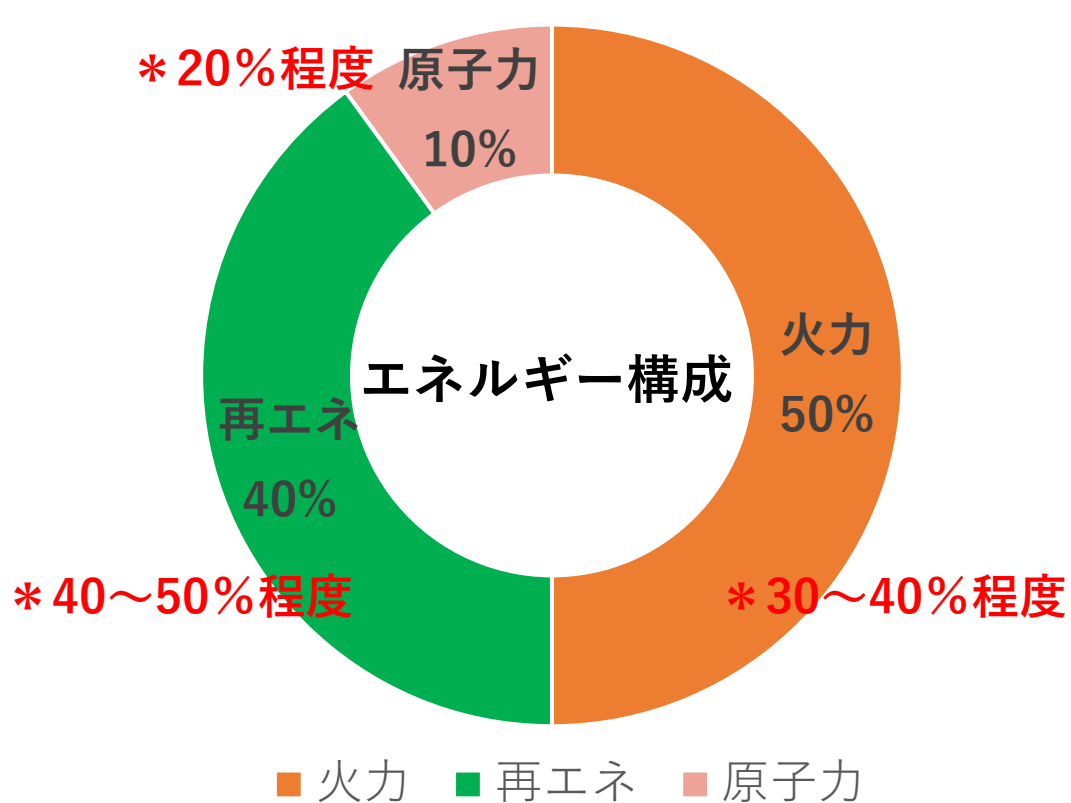
- 発電過多型：産業用(10kW以上)の太陽光発電が盛んな地域が中心  
送電線を利用して需要過多の市町に供給
- バランス型：発電、需要のバランスが安定していることから電力の地産地消が実現的
- 需要過多型：家庭用(10kW以下)の太陽光発電が盛んな地域が中心  
屋根設置の太陽光発電のさらなる普及で今後割合増加の可能性あり



**自給率が高い地域=他地域に供給、低い地域=パネルのさらなる普及  
太陽光発電のポテンシャルはやはり高い！！**

# 研究③ 私たちが考える2040年のエネルギーの姿

私たちが考える栃木県のエネルギーミックスは・・・



\* は第7次エネルギー基本計画で示されている2040年度の電源構成の値

**栃木県は海がなく原子力発電所を設置するのは困難**

**他都道府県に依存し過ぎないようにポテンシャルの高い太陽光発電を推進するべき**



# まとめ

## 風力発電

那須高原の風力発電機の設備利用率が20%を上回っている。



先行研究の結論「那須高原で風力発電を行う価値がある」が裏付けられた

## 太陽光発電

栃木県内の太陽光発電機の設備利用率が10%を上回っている。



栃木県は全体的に太陽光発電のポテンシャルが高く、推進する価値がある

# まとめ

## 家庭用【10kW以下】

- ・ 導入量多：県央・県南地域
- ・ 導入量少：県北・県東地域

特徴：都市部での普及が進んでいる

## 産業用【10kW以上】

- ・ 導入量多：県北・県東地域
- ・ 導入量少：県東・県南地域

特徴：地方の大規模設備が中心

## 太陽光発電の自給率

### I 発電過多型（29%以上）

那須烏山・塩谷・那珂川・益子・那須・矢板・那須塩原・茂木・市貝・大田原

### II バランス型（23%～29%）

佐野・高根沢・壬生・日光

### III 需要過多型（23%未満）

栃木・足利・鹿沼・さくら・下野・宇都宮・野木・上三川・芳賀・真岡・小山



**南部＝住宅用の増加、北部＝産業用の増加  
太陽光発電のポテンシャルはやはり高い！！**

# 謝辞

東京理科大学創域理工学部経営システム工学科  
伊藤和哉様

栃木県庁気候変動対策課 岸秀憲様 上野花織様

一般財団法人 日本原子力文化財団の皆様

研究にご協力いただきありがとうございました



# 引用・参考文献

- ・ 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）  
「局所風力マップ」 <https://appraw1.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>（R7.12.5確認）  
「風力発電導入ガイドブック」 <https://www.nedo.go.jp/content/100079735.pdf>（R7.12.5確認）  
「日射量データベース閲覧システム」 <https://appww2.infoc.nedo.go.jp/appww/index.html>（R7.12.5確認）  
「太陽光発電開発戦略」 <https://www.nedo.go.jp/content/800022979.pdf>（R7.12.5確認）
- ・ フジテックスエネルギーHP「発電量の計算方法」 <https://energy.fjtex.co.jp/blog/post-786/>（R7.12.5確認）
- ・ 環境省HP再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS]  
<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/index.html>（R7.12.5確認）
- ・ 一般社団法人日本電機工業会「公共用・産業用太陽光発電システム計画ガイドブック」
- ・ 経済産業省より「太陽光発電について」 [https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/100\\_01\\_00.](https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/100_01_00.)（R7.12.5確認）
- ・ 社団法人日本電機工業会より「公共用・産業用太陽光発電システム計画ガイドブック」  
[https://www.jema-net.or.jp/randb-archives/NE7901\\_200106.pdf](https://www.jema-net.or.jp/randb-archives/NE7901_200106.pdf)（R7.12.5確認）
- ・ ソーラーフロンティアより「太陽光発電の発電量の計算方法」  
[https://solar-frontier.com/jpn/blog/pages/solar\\_power\\_generation/](https://solar-frontier.com/jpn/blog/pages/solar_power_generation/)（R7.12.5確認）
- ・ 栃木県HP「とちぎカーボンニュートラル15アクション県民運動」  
<https://www.pref.tochigi.lg.jp/d02/gakushu/tochigicarbonnyuutoraru15action.html>（R7.12.5確認）
- ・ 令和4年度栃木県立大田原高等学校課題研究32班「栃木県北部が目指す理想的なエネルギー構成に迫る」
- ・ 令和5年度栃木県立大田原高等学校課題研究48班「ゼロカーボンシティ実現に向けた取り組みを活性化させるには」
- ・ 令和6年度栃木県立大田原高校課題研究16班「那須おろしでまちおこし」



# 持続可能な電力供給に向け地域資源の持つ可能性を探る ～カーボンニュートラルを実現する “未来都市とちぎ”を目指して～

栃木県立大田原高等学校 課題研究5班 (2年生4名)



## ②風力発電機を設置した場合の設備利用率

<年間発電電力量を算出>

年間発電電力量(kWh/年)

= 発電量(kW) × 風向の出現頻度(%) × 365(日) × 24(時間)

六ヶ所村	大田原	那須高原	黒磯	宇都宮
4739025.4	1072205.9	2964484.7	858928.95	496948.14

足利	奥日光	塩谷	栃木	那須烏山
392671.51	1507659.9	484138.88	2457847.18	366703.89

## ②風力発電機を設置した場合の設備利用率

< 発電量を算出 >

$$y = 1500/11.6^3 \times x^3 (\text{発電量} = 1500/11.6^3 \times \text{風速}^3)$$

\*発電機性能 定格出力(安定して出力できる最大の電気量) : 1500 kW 定格風力(定格出力時の風速) : 11.6 m/s

六ヶ所村	大田原	那須高原	黒磯	宇都宮
772.8352	222.5417	676.832	196.1025	141.8231
足利	奥日光	塩谷	栃木	那須烏山
89.65003	344.2146	157.9057	261.3283	167.4447

# 太陽光発電機を設置した場合の発電量

	那須高原	大田原	黒磯	宇都宮	足利
日射量 (kWh/m <sup>2</sup> )	4.29	4.43	4.36	4.45	4.69
年間発電量(kW)	65765.7	67911.9	66838.8	68218.5	71897.7
設備利用率(% )	12.5	12.9	12.7	13.0	13.7

	奥日光	塩谷	栃木	那須烏山	甲府盆地
日射量(kWh/m <sup>2</sup> )	4.39	4.37	4.61	4.41	4.96
年間発電量(kW)	67298.7	66992.1	70671.3	67605.3	76036.8
設備利用率(% )	12.8	12.7	13.4	12.9	14.5



# VI 太陽光発電による電力自給率

- 太陽光発電量と需要量の地域差が非常に大きい（最大20倍以上）。
- 上位地域（自給率が高い）
  - 需要あたり太陽光発電量が高い自治体：
    - 那須烏山市(1.45)・塩谷町(0.93)・那珂川町(0.64)
  - 土地利用余裕・需要小・送電線制約あり
- 下位地域（自給率が低い）
  - 都市部・工業地帯で太陽光の供給不足が顕著：
    - 小山市(0.07)・真岡市(0.09)・宇都宮市(0.10)
  - 需要大・土地制約・屋根置き余地大

# 研究② IV太陽光発電のシミュレーション

## ②年間発電電力量を算出

年間発電電力量(kWh/年)

$$= \text{アレイ出力(kW)} \times \text{設置場所における日射量(kWh/m}^2 \cdot \text{日)} \\ \times \text{総合設計係数(0.7)} \times 365(\text{日})$$

## ③設備利用率を算出

$$\text{設備利用率(\%)} = \frac{\text{年間発電電力量(kWh/年)}}{\text{アレイ出力(kW)} \times \text{年間時数(365日} \times \text{24時間)}} \times 100$$

# 研究② V 太陽光発電を設置した場合の設備利用率

番外編 原子力文化財団支援校の在学地は…？

太陽光発電の設備利用率の目安は**10%以上**

札幌開成	常磐大高	足利工業	大田原	東葛飾	桃山
約 11%	約 13%	約 14%	約 13%	約 13%	約 12%
咲くやこの花	関西学院	宇部商業	新居浜工業	静岡	東京大学
約 12%	約 12%	約 12%	約 12%	約 13%	約 12%



# とちぎカーボンニュートラル15アクション



思い切ってチャレンジ！

今日からできる 心掛	<p><b>1</b> 自分が出しているCO<sub>2</sub>の確認</p> <p>省エネ・節約のヒントは 見える化にあり</p>	<p><b>2</b> 今すぐできる省エネの実践</p> <p>その心がけが大きな成果に</p>	<p><b>3</b> 食品ロスの削減</p> <p>「もったいない」をひとつずつ</p>	<p><b>4</b> プラスチックゴミの削減</p> <p>いりません、その一面が カッコいい</p>	<p><b>5</b> 公共交通機関等の利用</p> <p>ココロも、カラダも、 スマートに移動</p>		
	意識を高めて 選択する	<p><b>6</b> 環境に優しい商品等の選択</p> <p>あなたの選択が、 未来を変える</p>	<p><b>7</b> 地産地消の選択</p> <p>短い輸送でエコで新鮮</p>	<p><b>8</b> 省エネ家電等の選択</p> <p>省エネ性能、 星の数ほどきらめく暮らし</p>	<p><b>9</b> web会議・テレワークの選択</p> <p>移動のストレスも、 CO2もさよなら</p>	<p><b>10</b> シェアリングサービスの選択</p> <p>分け合えば、 世界は豊か</p>	
		機会を捉えて 未来に投資	<p><b>11</b> 省エネ給湯器の設置</p> <p>お風呂も、お財布も、 ほかほか</p>	<p><b>12</b> 住宅の高断熱化</p> <p>暑らしも守る、 温もり断熱</p>	<p><b>13</b> 太陽光発電の設置</p> <p>太陽あれば発電知らず</p>	<p><b>14</b> 電動車の選択</p> <p>燃費向上、 給油の手間知らず</p>	<p><b>15</b> エネルギーの効率的な利用</p> <p>無駄なく、災害時も安心</p>

取り組みやすいことから！

