

宇大生とNPOが考えた

宇都宮の 持続可能なエネルギー

～驚きの再生可能エネルギーのポテンシャル～

Sustainable Energy in Utsunomiya
- Remarkable potential of Renewable energy -

宇都宮大学国際学部地球環境政策論・環境と国際協力研究室

NPO法人 うつのみや環境行動フォーラム 再生可能エネルギー部会

はじめに



現在、地球温暖化による気候変動の進行とその影響が深刻になってきています。温暖化の主な原因となっている温室効果ガス排出量を削減するため、2020年10月に政府は「2050年カーボンニュートラル」を宣言、同年12月には、「グリーン成長戦略」を発表しました。この戦略のなかではカーボンニュートラルすなわち温室効果ガス排出量実質ゼロを達成することを目指しています。そのために必要な持続可能なエネルギー、特に再生可能エネルギー（以下再エネと表記）については2050年の電力需要に占める比率を50～60%を目標にしています。しかし、日本の現状の再エネ比率は20%に満たず、また宇都宮市は1割にも満たない状況です。宇都宮市は2019年SDGs未来都市に選定され持続可能な街づくりを進める中、2021年には「2050年カーボンニュートラル」を宣言、電力の地産地消の推進役となる地域新電力会社設立もされ、再エネの導入拡大が喫緊の課題となっています。

そこで、宇都宮大学国際学部で地球環境政策論や環境と国際協力演習を受講する学生たち21名が主体となり、NPO法人うつのみや環境行動フォーラム再生可能エネルギー部会と連携して、本報告書作りに挑みました。

本報告書では、われわれの住む宇都宮市の再エネの現状やそのポテンシャル（可能性）を調べ、未来に向けての提言を記しています。必ずしもエネルギー工学について専門的に学んでいない学生たちが、再エネとはどういうものか、から調査をはじめ、地元の事業者や研究者などの専門家やNPO法人との意見交換や実地見学を通して、市民目線でまとめました。必要と思われる情報が不足している分野もありましたが、電力利用だけではなく、給湯や空調などへの熱利用、さらに住宅の断熱化による省エネルギーの有効性についても言及しています。再エネといえばまず太陽光発電を思い浮かべるとは思われますが、太陽熱、風力、水力・小水力、バイオ、地熱、地中熱など、身近に多くの種類の再エネがあること、これらには非常に高いポテンシャルがあるもののあまり活用されていないことを改めて知ることができました。

市民のみなさまにもこの報告書を手にとって見ていただき、再エネの可能性を知っていただいて、持続可能なエネルギーへの転換をより身近な問題として共に考えていくきっかけとなれば幸いです。

NPO法人うつのみや環境行動フォーラム
再生可能エネルギー部会 今出善久

2022年3月

目次

はじめに	1
1. 世界と日本の現状	2
2. 栃木県と宇都宮市の現状	6
3. 宇都宮市のポテンシャル	
1) 太陽エネルギー	
a) 太陽光発電	8
b) 太陽熱利用	11
2) 風力エネルギー	14
3) 水力エネルギー	18
4) 地熱エネルギー	21
5) バイオエネルギー	24
6) 地中熱 エネルギー	27
7) 省エネルギー	30
4. まとめ	34
おわりに	37
参照資料一覧	37



1. 世界と日本の現状

(1) 持続可能なエネルギーって？

私たちが考える持続可能なエネルギーとは、石炭や石油のような化石燃料とは異なり、枯渇の心配がなく、温室効果ガスを排出せず、生態系や人々の生活を破壊しない、環境にやさしいエネルギーです。

この代表格として、再生可能エネルギー（以下、再エネ）が挙げられます。再エネには、**太陽、風力、水力、地熱、バイオマス、地中熱エネルギー**などが挙げられます。再エネは身近に存在し、海外から輸入する必要もないので安定的な供給が可能です。再エネの導入により、化石燃料の輸入量が減り、海外への資金流出も抑えられ、エネルギー安全保障につながります。また、エネルギーの地産地消を促し、地域の経済を活性化させます。発電をして電力使用されるものもあれば、熱として利用されるものもあります。また燃料としても使われることがあります。

一方、エネルギーの持続可能性のためには、エネルギーの使用量を削減することも重要であり、エネルギーを効率よく使う**省エネルギー**も重要です。



太陽エネルギー

太陽から熱や電力を得るエネルギーです。太陽熱は古くから多くの国で暖房や給湯に使われてきました。太陽光発電は比較的新しい方法で、太陽電池を用いて発電し電力利用します。



風力エネルギー

風の力をエネルギー源として、発電することができます。天候には左右されますが、風が吹いていれば夜間でも発電できます。



水力エネルギー

水が上から下へと流れていく力を利用して発電することができます。ダムを利用した大規模水力発電と、河川や農業用水などを利用した中小水力発電があります。



地熱エネルギー

地下深くのマグマの熱から生まれる蒸気をエネルギーに用いることができます。火山や温泉が多い日本では、ポテンシャルが高く、天候の影響を受けにくく、昼夜問わず安定して発電や熱供給に利用できます。



バイオエネルギー

バイオマスとは、動植物由来の原料（木屑、糞尿、ごみなど）を原料として作られるエネルギーです。燃料、熱利用、発電と幅広く用いることができます。



地中熱エネルギー

地面の浅い部分にある恒温の熱エネルギーを利用したものです。地中の温度は年間を通じてほぼ一定で、熱交換により冷暖房や給湯に活用することができます。

省エネルギー

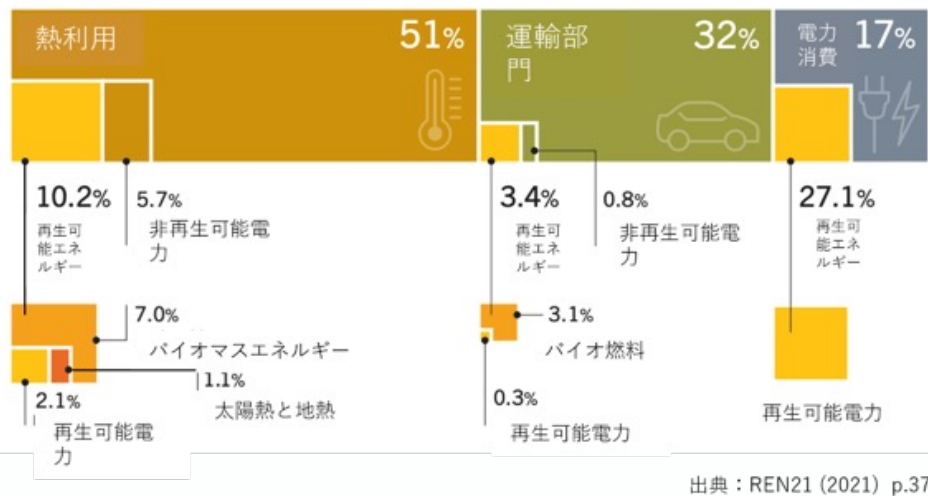
持続可能なエネルギー



1. 世界と日本の現状

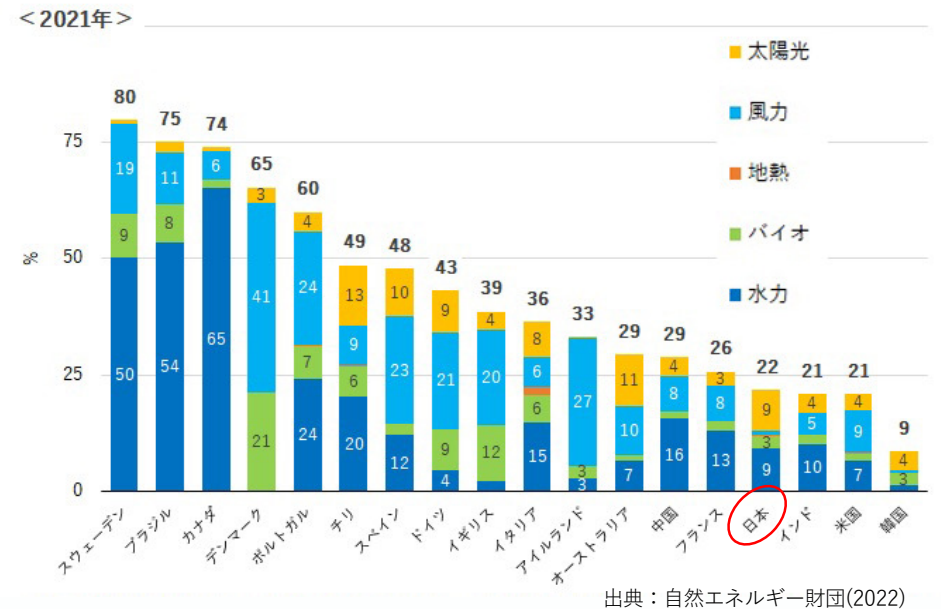
(2) 今、世界では再生可能エネルギーはどのくらい使われているの？

最終エネルギー消費に占める再エネ率 (2018年)



世界の最終エネルギー消費総量のうち、約半分 (51%) を占める熱利用では、再生可能エネルギーは約 1 割あり、バイオエネルギー (木質やごみの燃焼など) が増えています。次に多い運輸部門では、再生可能エネルギー利用はわずか3.4%で、その大半はバイオ燃料が占めています。残る17%が電力消費で、その27.1%が再生可能エネルギーです。世界全体では、まだまだ化石燃料が多く使われていますが、再生可能エネルギーの割合は急速に増加しています。

各国の電力消費量に占める再エネの内訳 (2021年)



注：各国の電力消費量 = [国内の発電電力量] + [他国からの輸入量] - [他国への輸入量]。グラフにおけるデータは、発電所内の消費電力量を除いた発電量に基づき計算されている。

電力における再エネ割合は各国で急速に増加しており、8割に及ぶ国も出てきています。日本はまだ2割強と少ない比率です。内訳としては、ブラジル、スウェーデン、カナダなどは水力発電、デンマークやアイルランドなどは風力発電の割合が高い特徴があります。また、オーストラリアや日本では太陽光発電の割合が高いです。国によって再エネ導入の内訳が大きく異なっていることが分かります。



1. 世界と日本の現状

(3) 今、日本では再生可能エネルギーはどのくらい使われているの？

最終エネルギー消費に占める再エネ比率（2020年度）

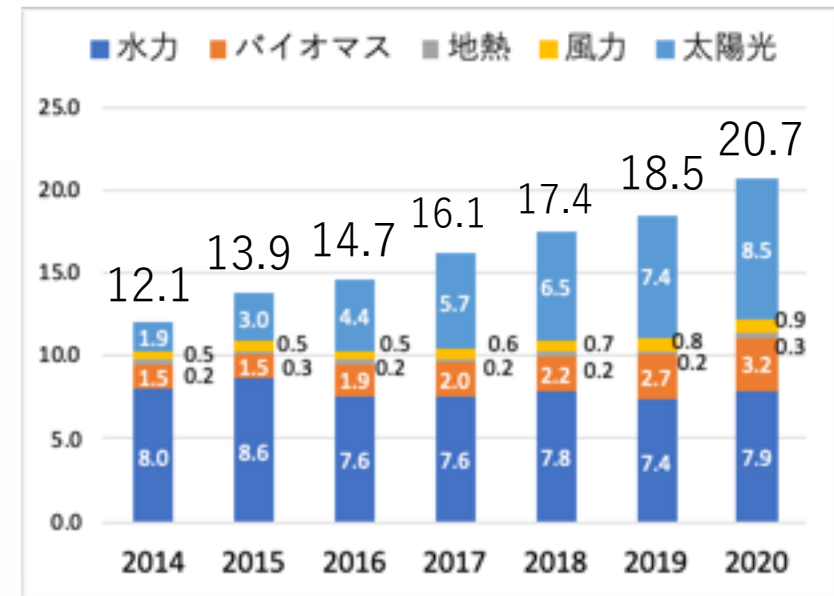


出典：経済産業省資源エネルギー庁（2021）より作成

2020年の日本の最終エネルギー消費のうち、73.0%を占める電力以外（熱、燃料等）では、再エネはわずか0.4%にすぎず、ほとんど活用されていません。電力においても19.8%にとどまり、世界平均より低くなっています。

※ 再生可能エネルギーの割合は、集計方法により、若干異なる場合があります。

日本の発電量における再エネ比率の推移（2014-2020年度）



出典：ISEP（2020）より作成

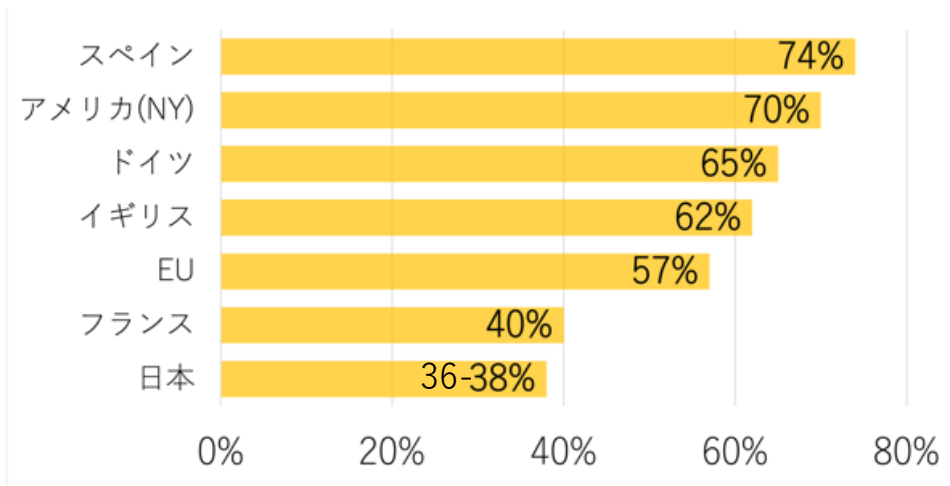
日本の発電量における再エネの比率は、2014年は12.1%だったところ、2020年には20.7%に増加しています。特に、太陽光発電に関しては2014年の1.9%から、2020年には8.5%へと大きく増加しました。これにより、再エネ全体の割合も2割を超えましたが、太陽光発電以外の割合にはほとんど増えていません。



1. 世界と日本の現状

(4) これから、世界と日本はどこをめざしているの？

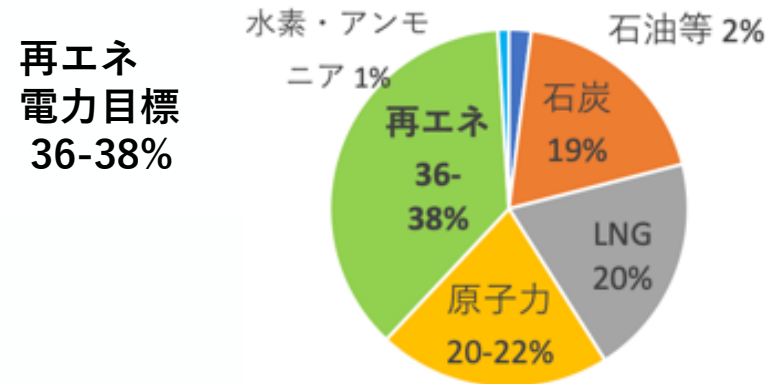
各国の再エネ電力目標（2030年）



出典：自然エネルギー財団 (2021b)

世界では「2050年までに脱炭素化」を目指し、多くの国が再エネの大幅な増加をめざしています。再エネ全体の導入目標については、まとまった国際比較のデータはありませんが、すでに再エネ電力が6割を超えているスウェーデンは、2040年までに国内のエネルギーを再エネ100%とする目標を掲げています。電力目標については、多くの国が目標数値を掲げています。たとえば、2030年目標を掲げている国の中では、スペイン、ドイツ、イギリスなどの先進国も、2030年60%以上の目標を掲げました。これに比べると日本の36-38%は、主要各国に比べ低い目標です。

日本が目指している電源構成の目標（2030年）



2030年度の発電電力量・電源構成

出典：経済産業省資源エネルギー庁 (2021b) p.73より作成

省エネ 約23%削減（2013年度比）

出所：経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー課 (2021) p.14より計算

日本は2019年の第6次エネルギー計画において、2030年22-24%の再エネ電力目標を掲げていましたが、2020年10月のカーボンニュートラル宣言をうけて、2021年11月に再エネ電力目標36-38%の見通しを発表しました。太陽光に加え、洋上風力・地熱など、どちらかという規模の大きな再エネに重点分野をおいています（2021年6月閣議決定「グリーン戦略」）。省エネについては、エネルギー需要が2013年度には3.63億kl（石油エネルギー換算）であったところを、2030年には2.80億klと、約23%の削減を目指しています。家庭部門では約42%（0.52億→0.3億kl程度）の削減をめざしています。



2. 栃木県と宇都宮市の現状

(1) 栃木県はどのくらい再エネを使っているんだろう？

栃木県の再エネってどうなっているの？
最終エネルギー消費に占める再エネ比率（2019年度）



出典：経済産業省資源エネルギー庁（2021）

最終エネルギー消費量に占める、
再エネの割合はたったの...

約 **12%**

宇都宮市ではどうなっているの？
電力消費量に占める再エネ比率（2019年度）

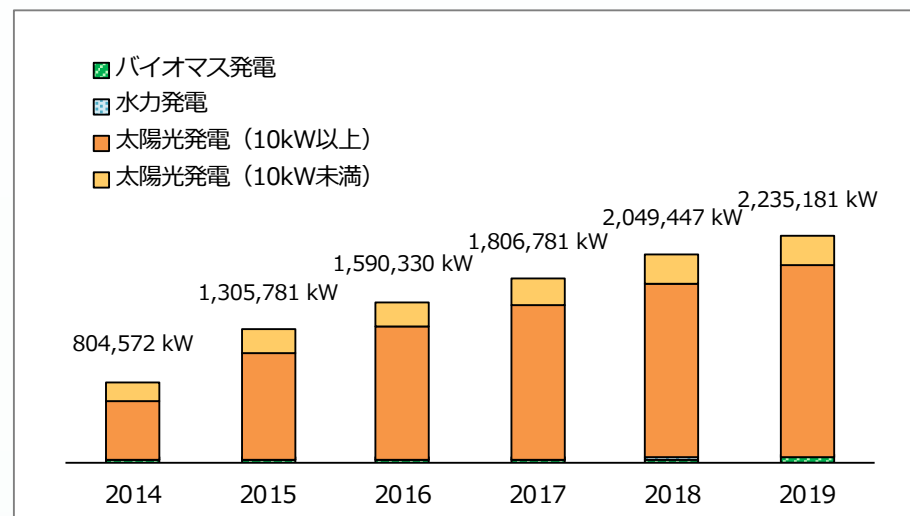


電力消費量に占める再エネは
たったの...

約 **8.7%**

出典：環境省（2021）

栃木県の再生可能エネルギーの導入容量累積
（2014年度～2019年度）



出典：環境省（2021）

栃木県の最終エネルギー消費における再エネの割合は約12%（2019年度実績）と、国に比べて低い状況が見られます。その38.7%を占める電力の半分以上は、火力発電に頼っており、**栃木県の再エネ比率は21.5%と、日本平均より低い状況です。**また再エネ発電の大半は、大規模太陽光（メガソーラー）です。

宇都宮市の最終エネルギー全体に関する情報は得られなかったのですが、**電力消費量については、再エネ比率8.7%（2019年度）**と、日本平均や栃木県に比べてもさらに低い状況でした。

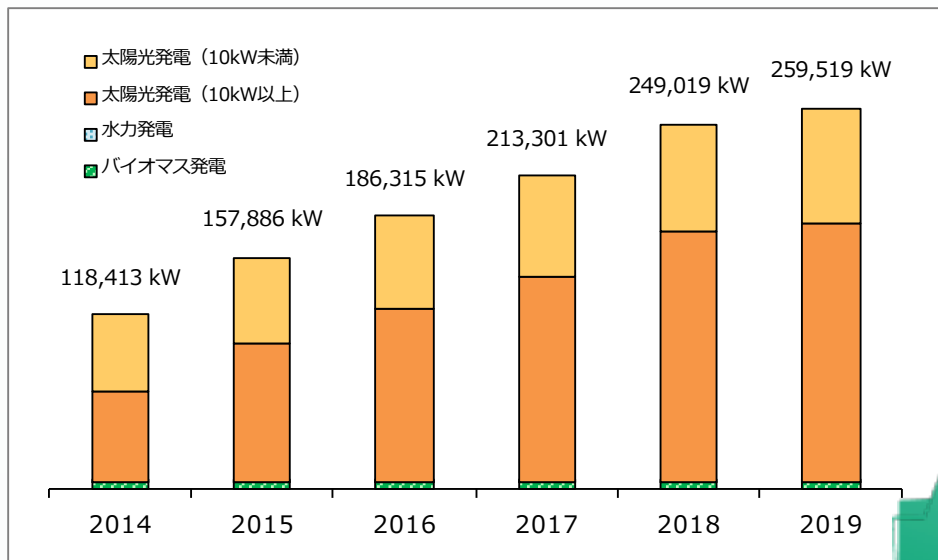


2. 栃木県と宇都宮市の現状

(2) 宇都宮市における再生可能エネルギーの割合とそのポテンシャル

宇都宮ではどれくらい再エネが導入されているの？

宇都宮市の再エネ電力導入容量累積の推移（2014-19年度）



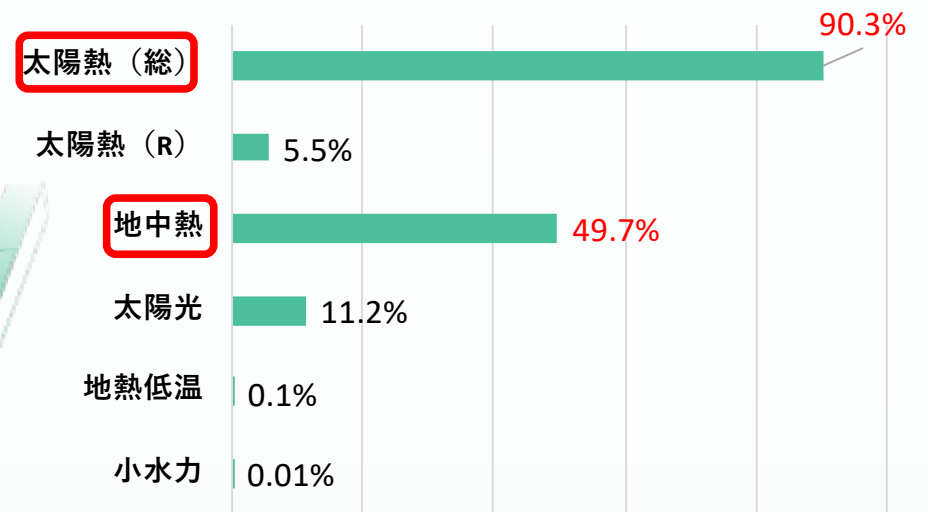
出典：環境省（2021）

宇都宮市でも、2014年度から2019年度にかけて、**太陽光発電（10kW以上）は約2.9倍**、10kW未満の太陽光発電（家庭用など）約1.5倍になりました。**そのほかの再エネは**、バイオマスと水力発電がごく一部ありますが、**ほとんど導入は進んでいません。**

太陽熱では、総務省（総）からのデータとREPOS（R）からのデータに大きな差があることがわかります。このようにデータは出所によって大きく差が出ることもあるため、一つのデータだけをみてその情報をうのみにするのは危険です。様々なデータを比較したり、データには表れていない情報を収集したりすることで、新たに見えてくることもあるのではないのでしょうか

宇都宮市の再エネのポテンシャルはどれくらい？

宇都宮市のエネルギー需要量（3800万GJ(2002年実績)*）と比べた再エネのポテンシャル



出典：小水力と太陽熱（総）は総務省（2022）、その他は環境省（2022）を参照
* 宇都宮市（2002）「地域新エネルギービジョン」より

宇都宮市全体のエネルギー需要量と、公式データによる再エネポテンシャル（導入可能量）を比較してみました。

注目していただきたいのは、**太陽熱と地中熱**。**太陽熱（総）は90.3%**、続く**地中熱は49.7%**と高い数値が算出されています。データ上は、宇都宮市におけるすべてのエネルギーをまかなえます！つまり、宇都宮では再エネはほとんど導入されていないのですが、実は**高いポテンシャルがある**のです。なお、バイオマス、風力はデータが見つかりませんでした。未知数のポテンシャルがあります。

では、続く次ページ以降に、個別の再エネの現状と課題、展望についてみていきましょう！



3. 宇都宮市のポテンシャル

(1) 太陽エネルギー

a) 太陽光発電

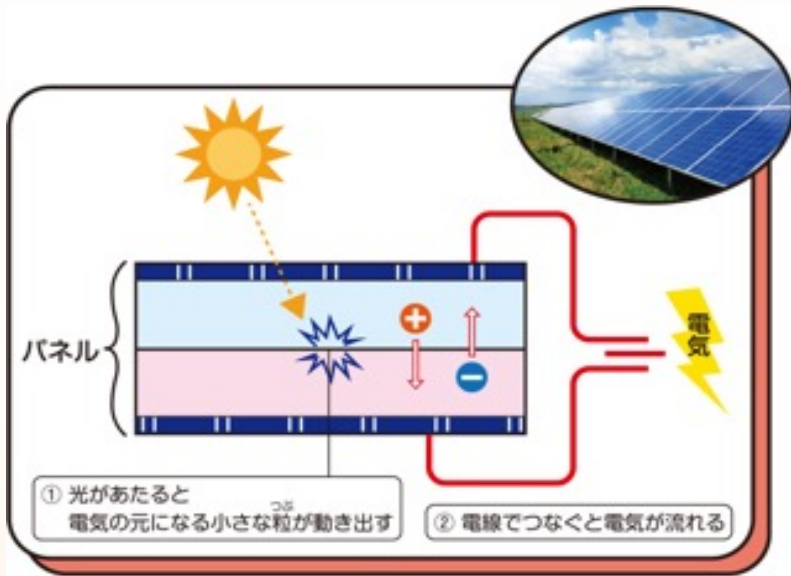
① 太陽からの贈り物を活用！



太陽光発電って？

太陽光発電は、工場などの大きな建物や家の屋根、山や海の近くなどに、ソーラーパネルという装置を設置して太陽光を電気に変える発電です。ソーラーパネルを近くでよく見てみると、小さな板に分れており、その小さな板が「太陽電池」と呼ばれています。太陽電池に太陽光が当たると、太陽電池のなかで変化が起きて発電することができるのです。また、太陽電池は、太陽光が当たっている間は、ずっと電気を作ることができます。

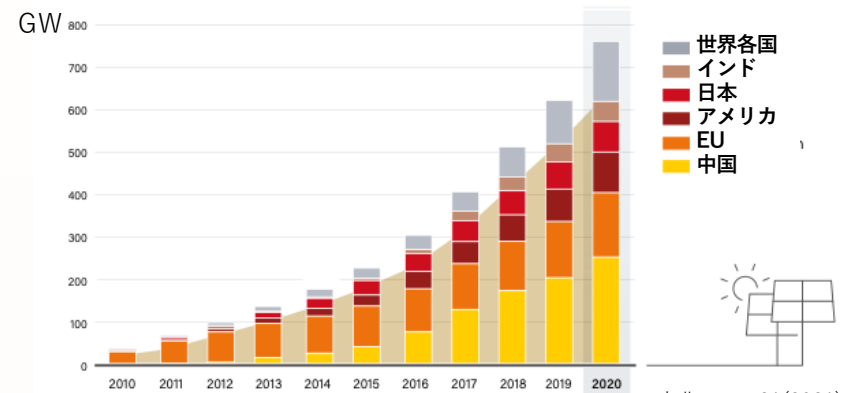
出典：関西電力(発行年不明)



出典：経済産業省資源エネルギー庁 (2021) p.9

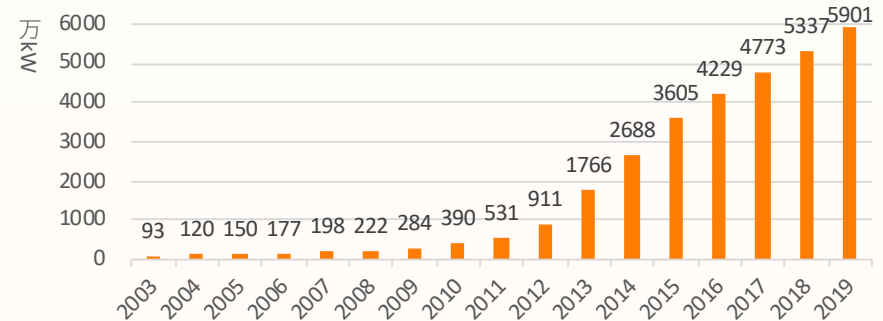
世界全体ではどのくらい増えているの？

国・地域別の太陽光発電増加量推移 (2010-20年)



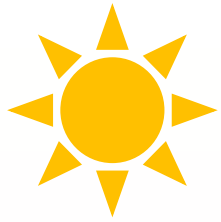
出典：REN21(2021) p.119

日本の太陽光発電導入量 (出力) の推移 (2003-19年)



出典：経済産業省資源エネルギー庁 (2021) 【第213-2-7】「太陽光発電の国内導入量とシステム価格の推移」(xls) より作成

世界では、EUは2000年代前半、中国は2000年代後半から拡大の一途を辿っています。日本でも、とりわけ東京電力福島原発事故があった2011年以降、大幅に増加しました。2020年末までに71GW (原発71基分) に達しています。政府補助金、固定価格買取制度 (FIT法) などの政策が、後押ししています。

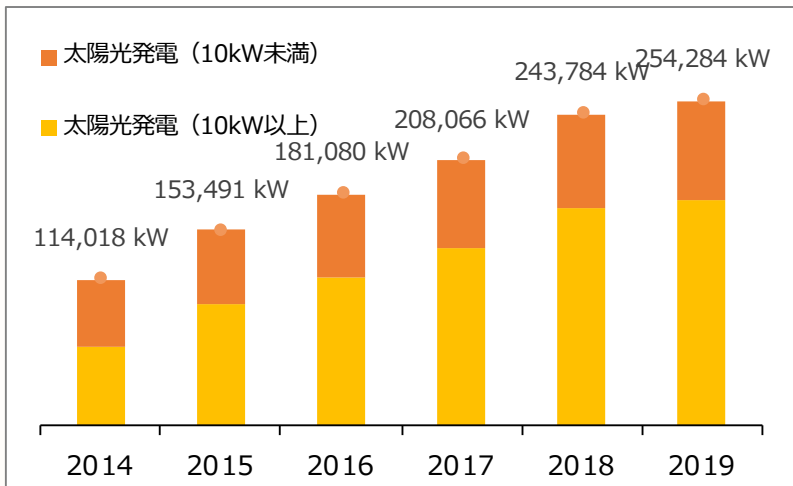


(1) 太陽エネルギー a) 太陽光発電
② 栃木県・宇都宮市の導入量とポテンシャル



栃木県・宇都宮市の太陽光発電導入量

宇都宮市の太陽光発電導入量設備の累積の推移



出典：環境省 (2021)

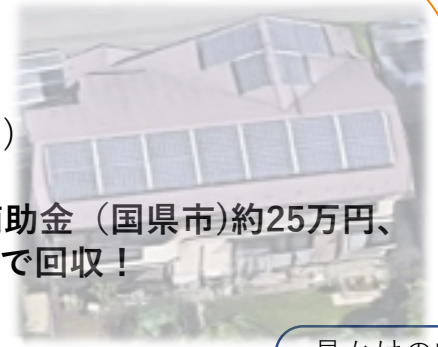


栃木県の日照時間は国内第9位、年間快晴日数は50日、国内第3位を誇ります。宇都宮市における太陽光発電は、**現状の利用率は3%程度**しかありませんが、**ポテンシャルは11%ほど**あり、まだまだ増やすことができます。

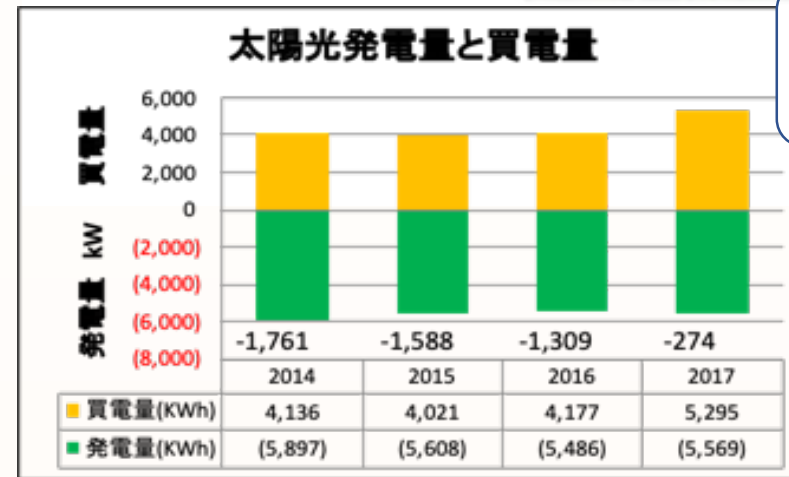
出典：都道府県格付け研究所 (発行年不明)

太陽光発電 (4.6kW) を導入したフォーラムのIさん宅では・・・

- ☀️ 発電量 > 買電量
- ☀️ 売電は38円/kwh (10年固定)
- ☀️ CO2削減効果：613(kg-CO2/年)



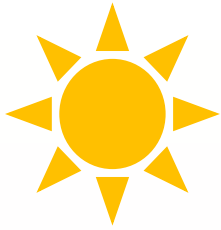
2013年初期費用 約200万円、補助金 (国県市)約25万円、年間回収金額は21.8万円→ 8-9年で回収！



見かけの電力自給率は100%を超えています

出典：Iさんデータ提供

- Q. パネルは劣化していますか？
A. 10年経っても発電効率に目立った変化はありません。FITが終了した後も使う予定です。今は初期費用はもっと下がっていると思いますよ (Iさん談)



(1)太陽エネルギー a) 太陽光発電

③栃木県・宇都宮市の課題と提言



	KW当たり				
	2010年	2016年	2019年		
	総コスト	総コスト	総コスト	設備・工事	運転維持
欧州	約40円	9円	7円	(5円	2円)
日本	約40円	18円	13円	(9円	4円)

欧州と日本間のコスト差を比較する矢印は、欧州が日本よりも大幅にコスト削減を達成していることを示しています。

出典：経済産業省（2019）p 8

課題：

太陽光発電コストは、2010年では、日本も欧州も約40円と同じでした。しかし、2019年には、欧州は7円までさがりましたが、日本は13円と下がりきれていません。設置や工事代、メンテナンスなどが高いのです。また、託送料金も再エネ普及の大きな壁になっています。

提言：

国レベルでの低価格化に向けた技術開発への支援や、託送料金の見直しなどにより再エネ普及が進むような規制改革などが課題です。また地方自治体も、飯田市や神奈川県等がしているような、初期費用0円スキームを導入するなど、後押しする政策を推進してほしいです！



2020.11.7 下野新聞記事

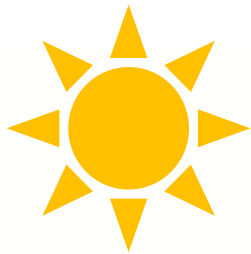
メガソーラーによる環境破壊と市民運動

メガソーラー規制の条例策定へ

前日光県立自然公園の横根高原では、民間のメガソーラーの建設中止を求める市民運動が起き、「鹿沼市自然環境等と再生可能エネルギー発電設備の設置事業との調和に関する条例」につながりました。市貝町でも「サシバの里において太陽光発電事業により地球温暖化防止に取り組む場合に守るべき規則」が造られるなど、日本野鳥の会の支援もあり、条例や規則の策定が広がってきています。日光市、大田原市などでも条例化が進み、栃木県も2020年に指針を策定しました。宇都宮市も、県の指針を適用する予定です。

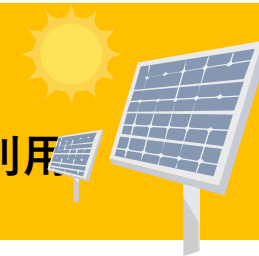
提言：

メガソーラーが自然に悪影響をもたらさないように、環境影響調査を義務付ける条例化がさらに広がることを望みます。メガソーラーでも、ソーラーシェアリング（農業との共存）で成功している事例もあります。市民の声に耳を十分に傾け、win-winの仕組みにすることが大切です。また、宇都宮市が持つ太陽光発電のポテンシャルを活かすためには、住宅の屋根の上や、工場・ビルなどの屋上に太陽光パネルの設置をより積極的に導入するほうが望ましいでしょう。住んでいるアパートにも入れて欲しいです！



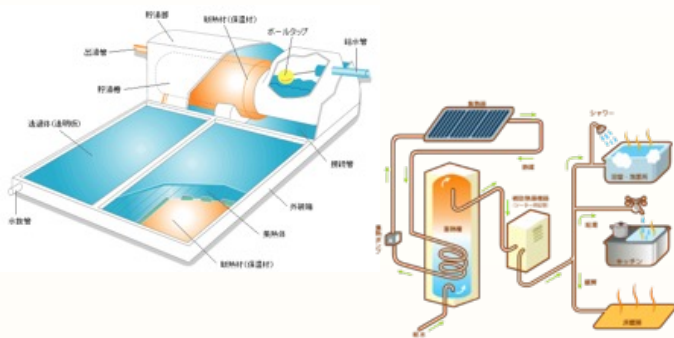
(1) 太陽エネルギー b) 太陽熱利用

①あなたの家でも出来る効率の良いエネルギー利用



太陽熱利用システムって?

太陽熱利用システムとは、太陽の熱を集め、貯蓄して給湯や暖房に利用するシステムのことです。“太陽熱をそのまま熱として利用するので、エネルギーの変換効率が良いこと”や、“太陽さえ当たる場所であればどこでも利用できる”といった利点があります。海外では発電にも利用されています。

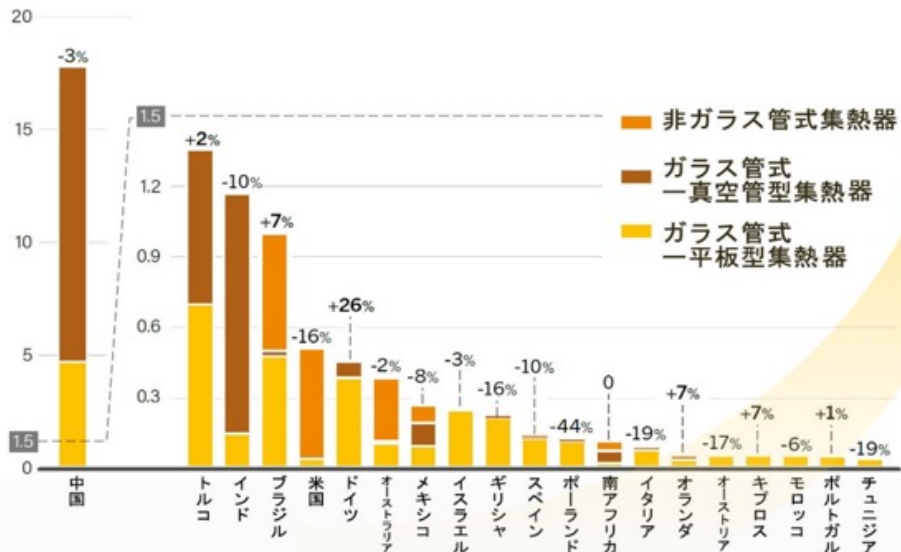


出典：一般社団法人ソーラーシステム振興協会（発行年不明）

太陽熱利用システムは、主に二つあります：

- ❖ 屋上に貯水タンク・集熱器を設置して、太陽熱で温められたお湯が自然に循環する「太陽熱温水器」（上左図）
- ❖ 屋上に、集熱器を設置して、太陽熱で循環液を加熱しポンプで循環させ、地上にある貯水タンク内の水を温める「ソーラーシステム」（上右図）

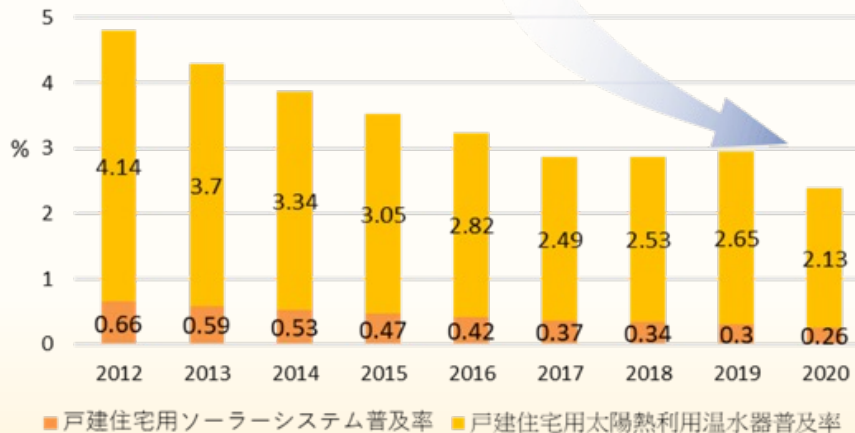
世界の太陽熱利用システム容量 上位20か国（2020年）と増加率（%）/年



世界では年間501GWth（原油換算で2.39億バレル=日本の原油消費約2ヶ月分）が使われ、年々拡大しています。中国が18GWth/年と突出し、多くの途上国でも用いられています。欧州では太陽熱の地域供給も近年急速に増加しています。

出典：REN21(2021) p.139

日本のソーラーシステムと太陽熱温水器 普及率（推計：2012-20）



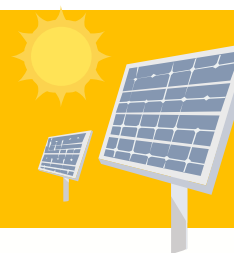
国内では年間普及率（推計）が下がってきており、世界の潮流に反して、減少傾向にあります。

出典：一般社団法人ソーラーシステム振興協会（2021a） p.26



(1) 太陽エネルギー b) 太陽熱利用

② 導入量とポテンシャル



2020年度の栃木県内での新規設置件数は、ソーラーシステムは、わずか30件、太陽熱温水器は82件で、**普及が進んでいます**。全国と同様、太陽熱利用システムの導入は年々減少しています。

この背景には、電気やガスによる給湯設備が急速に普及する中で、**住宅メーカーや住設機器販売店等**も太陽熱利用システムではなく太陽光発電とエコキュートの営業に力を入れていたこと、国や自治体も太陽熱利用に積極的でなく、システム導入のための**補助金もごく一部**の自治体でしかないことなどがあります。昔、強引な訪問販売があり、マイナスイメージがついたこともあるようです。

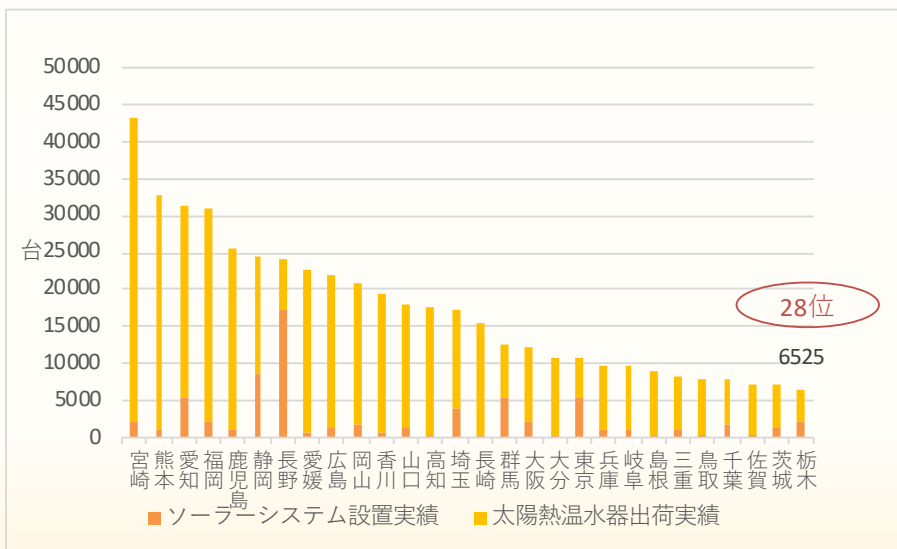
導入ポテンシャル

世界に比べると、日本は太陽熱利用が少ないのですが、さらに、栃木県の利用は、全国で28位にとどまっています（左下グラフ参照）。

しかし、p9で紹介したように、栃木県の日照時間は年間約2180時間（国内第9位）です。太陽熱利用は**宇都宮市のエネルギー需要量全体の約90.3%**（総務省試算, p7 参照）のポテンシャルがあるとされています。

広まっていないだけで、**宇都宮市での太陽熱利用と普及の可能性はとても高い**のです。

ソーラーシステム設置実績と太陽熱温水器出荷実績（2021年）



出典：一般団法人ソーラーシステム振興協会(2021b)

栃木県内での太陽熱利用システムの利用事例

栃木県内には、太陽熱利用システムを活用した施設があります。たとえば“日光アイスアリーナ”では、傷ついたリンクの氷を熱で溶かしてきれいな状態にするのですが、その氷を解かすための熱に、太陽熱システムが利用されています。導入前は重油を使用して溶かしていたとか。重油を使うより、自然のエネルギーを使った方がエコですね。

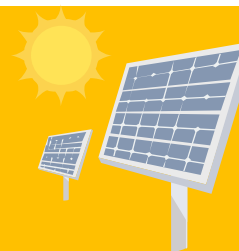


出典：日本熱源システム株式会社（発行年不明）



(1) 太陽エネルギー b) 太陽熱利用

③太陽熱利用事例&これからの展望



2013年に太陽熱温水器（ガラス管式真空管型集熱器）を水道につなげたフォーラムのMさん宅では・・・

電気温水器を使わなくなったため、電力消費量が減りました！

☀電力消費量：-25,000(円/年)
(初期費用が15万円のため、6年で回収！)

☀CO2削減効果：985(kg/年)

出典：Mさんデータ提供

長い目でみると経済的で、お財布にも環境にもやさしいです！

Mさん宅
年間消費電力（kWh）の変化

29.1%削減！



太陽熱利用 これからの展望

太陽熱利用システムは、太陽のエネルギーがあればどこでも利用できます。熱のエネルギーをそのまま熱として利用でき、電気より**エネルギー効率が良い**という利点もあります。**適切な保温材等を用いれば保温効果も高く、寒い冬でも利用できます。**宇都宮市は日照時間も長く、太陽熱エネルギーを活用するのに適した土地です。しかし現在、太陽熱利用システムは知名度・導入率共に低い状態にあります。この環境に良いシステムをさらに広めていくために、**①国や自治体による導入補助金 ②ハウスメーカーによる、太陽熱利用システムについての情報発信や新築住宅への設置促進 ③公共施設での太陽熱利用システムの設置をしてほしいです。**

「太陽熱温水器」導入の提案

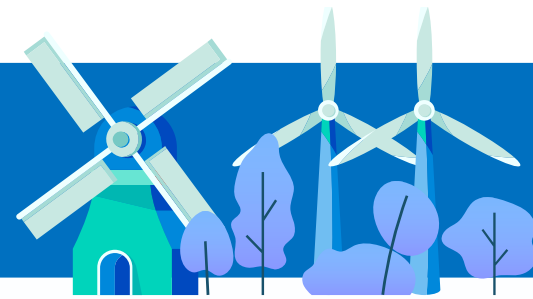
「太陽熱温水器」を市内の小中学校に導入することをご提案します。メリットとして以下の4点が挙げられます。

- ①手洗い・うがい行動を促すことができ、感染防止対策につながります。
- ②生徒の環境教育・理科教育につながります。
- ③公立小中学校は防災の拠点となるため、災害時にも温水の使用が可能になります。
- ④近隣エリアの停電などにも素早い対応が可能となります。



(2) 風力エネルギー

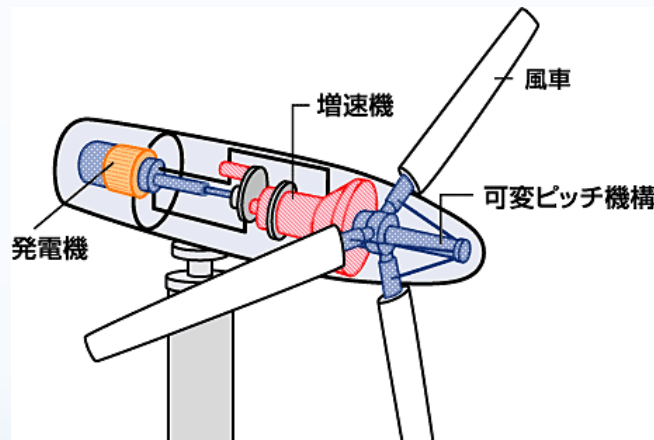
①いつもの風が追い風に



風力発電って？

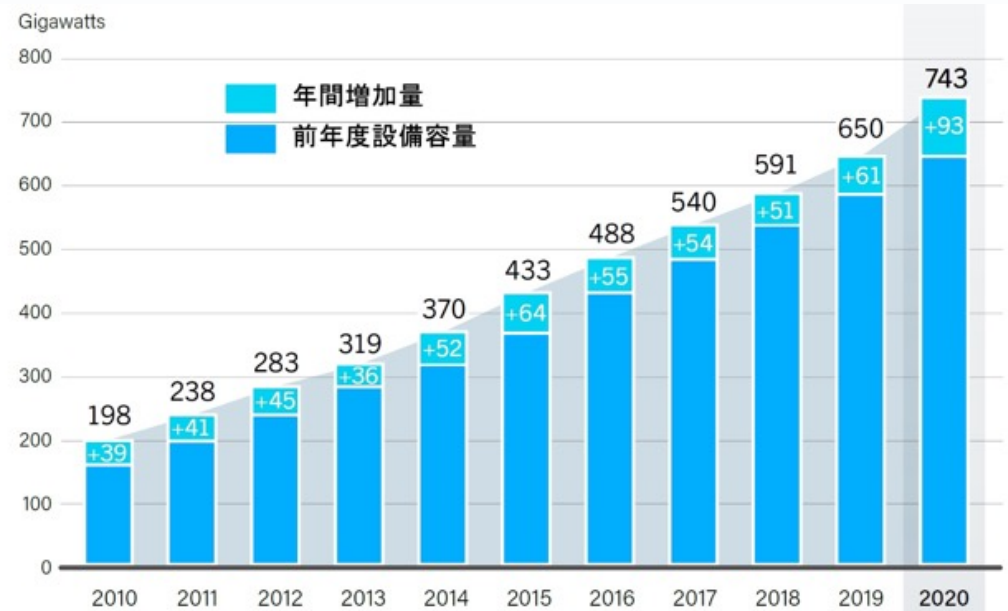
風力発電とは、風の力を利用して風車を回し、風車の回転運動を発電機に伝えて電気を起こします。風力発電機は、風の強さや向きをはかり、羽根の角度や風車の向きを自動的に調整して、効率的に発電します。風速が大きくなって風車の回転速度が上がりすぎる時は、安全のため回転を停止させます。風車の回転軸により水平型、垂直型があり、風車の種類もプロペラ型のほかに、タリウス型などさまざまな構造があります。（中部電力、発行年不明）

そして風力発電は設置場所によっても種類が分けられ、主に陸上に設置する「**陸上風力発電**」と、海上や湖上など水面上に設置する「**洋上風力発電**」があります。



出典：中部電力（発行年不明）

世界の風力発電容量と年間増加量



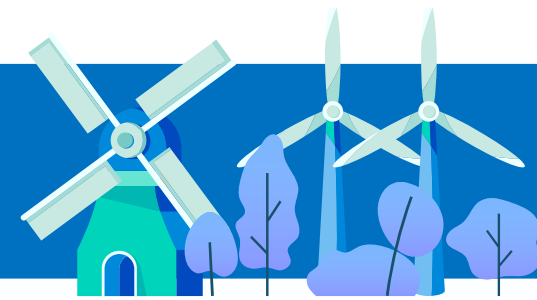
出典：REN21(2021) p.146

REN21の年次報告書によると、風力発電容量は2010年には198GWであり、毎年拡大の一途をたどり、2020年には743GW（原発743基分）に達しています。この10年で3.75倍になりました。とりわけ近年急拡大しているのが、洋上風力発電です。世界全体の導入量は、2010年に2.9GWで、2020年は35GWに達しました。10年間で約32GW、10倍以上の増加です。

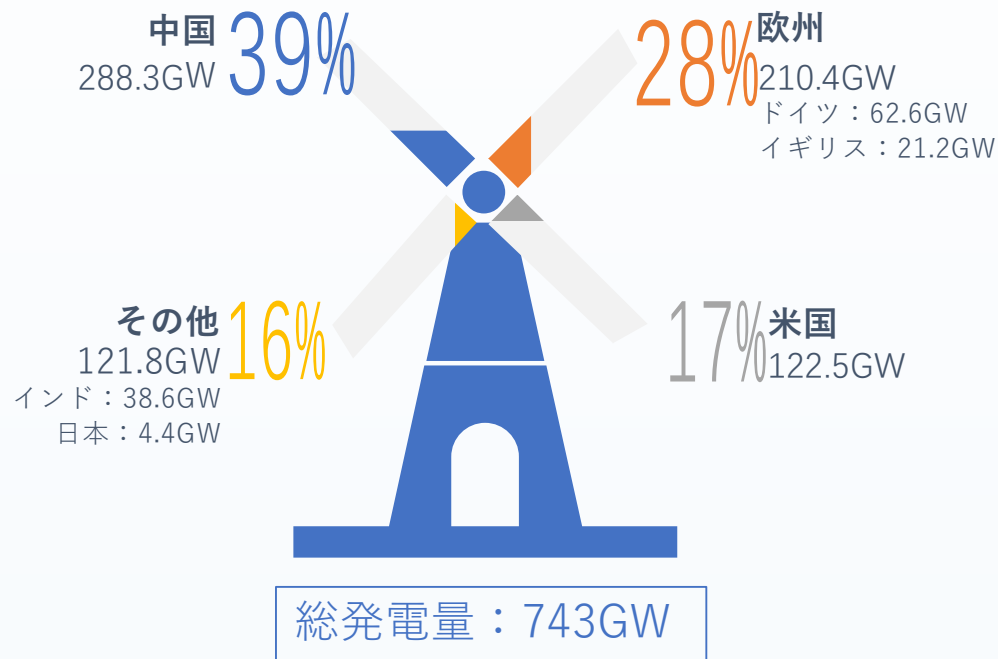


(2) 風力エネルギー

②風力発電に関する世界の動向



どこの国が風力発電を導入しているの？（2020年）



出典：REN21(2021) p.146-51の図表やデータに基づき作成

2020年末の時点では、世界の18ヶ国(欧州12・アジア5・北米1)で導入されています。導入が最も多いのは中国で288.3GWに達しています。ついで、米国も122.5GWと続いています。欧州でもドイツの62.6GW、イギリスの21.2GWを先頭に、増加の一途にあります。アジアではインド38.66GWと増えていますが、日本は4.4GWで、国際的には立ち遅れています。

世界一導入が進む中国では・・・

世界風力会議（GWEC）の2021年の統計によりますと、中国の洋上風力発電の**新規容量は3年連続で世界一**となり、総容量も6月末時点で1110万kWを超え、ドイツを抜き、英国に次ぐ**世界2位に浮上しました。**

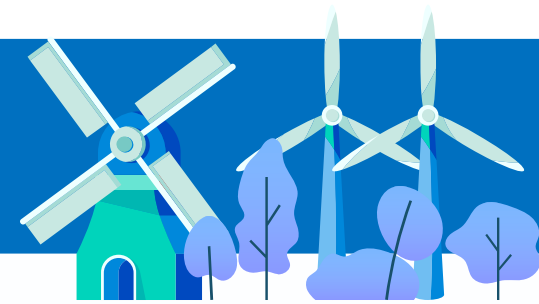
中国の海陽市での山東半島南3号、4号洋上風力発電所は国家電力投資山東会社と華能山東会社が投資して建設した山東省初の洋上風力発電プロジェクトで、中国の基礎水深が最も深い大型洋上風力発電所の一つです。設備容量は60.32万kW、発電量は16.21億kWh / 年で、石炭48.63万tを代替して二酸化炭素126.4万tを削減することができます。洋上風力発電の部品のおよそ80%が地元で生産され、雇用を増やし、地元産業や関連産業を盛り上げています。



出典：中国電力ニュース(2021)
中国の海陽市海域の山東半島南3号、4号洋上風力発電所



(2) 風力エネルギー ②日本の導入とポテンシャル

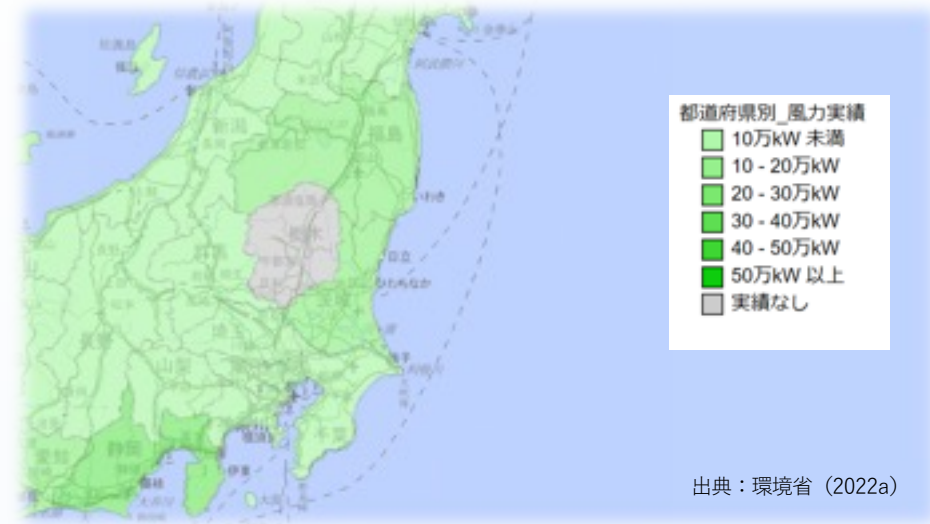


立ち遅れた日本、導入がほとんどない栃木県

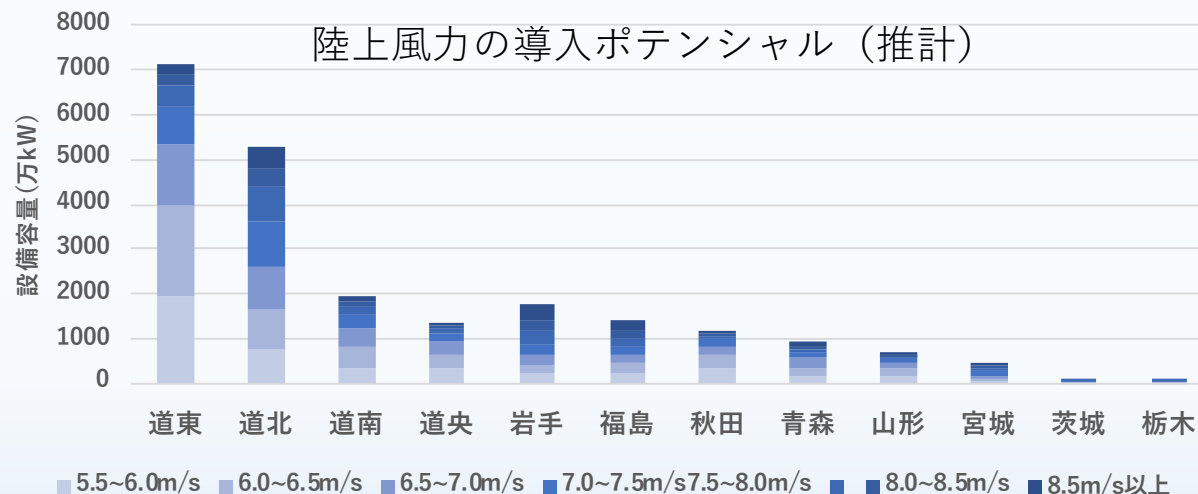
p15で述べたように、日本は2020年で風力発電導入量は**4.4GW**であり、世界と比べ少ない状況です。

さらに**栃木県においては、ほとんど導入実績がありません。**環境省のデータによれば、風力発電の導入実績は「0」になっています（環境省REPOS（”自治体別情報> 導入実績・自治体情報> 地図”により確認、2017年度のデータ：ただし、小規模な風力発電機は数基設置されています））。

ただし、昨今のカーボンニュートラルに対する関心の高まりに伴い、日本政府は風力発電を再生可能エネルギーの要としました。2040年までに**洋上風力を30~40GW**(現在のドイツの約2/3)まで拡大する洋上風力産業ビジョンを発表しています。



出典：環境省（2022a）



海がない栃木県では、洋上風力のポテンシャルはほとんどありませんが、陸上風力発電では、導入ポテンシャルがあります。

日本全体では284.56GW（原発284基分）で、最も高いのは北海道の156.22GW（原発155基分）です。

一方、栃木県のポテンシャルは0.55GW、年間発電電力量は1400GWhと推計されています。これは栃木県の年間電気使用量

（15,292GWh: 2019年度）の9.15%に相当します。

出典：環境省（2022b）



(2) 風力エネルギー ④課題&提言



栃木県内でみられる風力発電

栃木県ではほとんど導入がすすんでいないものの、実は皆さんの身近なところには既にいくつかの風力発電機が設置されています。例えば、宇都宮市の「こども総合科学館」には40kWの風力発電機があります。日本の風力発電研究の草分け的存在である足利大学では、プロペラ型風車やサボニウス型風車などの発電機も設置され、途上国支援なども行っています。「風と光の広場」には、風力発電機のしくみをはじめとして小中高生が再生可能エネルギーを楽しく学ぶことができるテーマパークや博物館が整備されています。



栃木県子ども総合科学館にある風車

出典：栃木公園情報（発行年不明）



足利大学「風と光の広場『ミニミニ博物館』

出典：足利大学（発行年不明）

課題

風力発電を設置するには、風車の設置高さ（30m～40m）に合わせ年平均風速が6m/s以上の場所を選定する必要があります。しかし、2021年の宇都宮市の年間平均風速は3.0 m/s(国土交通省気象庁(2021))であり、大型風力発電には適していません。また、住宅地に設置するには低周波騒音、山に設置するには生態系への影響や景観にも配慮する必要があります。宇都宮市における大型陸上風力発電の導入のポテンシャルは高くありません。



出典：Ren (2021), p.159

提言：低いポテンシャルを最大限に引出す小型風力発電機

日本は、海外に比べると風力発電が立ち遅れており、国内でも栃木県における風力発電の導入量が少ないことは確かです。しかしながら陸上風力発電だけで、栃木県では年間約9.15%の電力消費をまかなえると推定されており、可能性は十分にあります。

風力発電は大型化し、風速6m/s以上を適地としていましたが、近年、微風でも効率的に発電可能な小型・**マイクロ風力発電機**もアメリカやイタリアなどでは**再注目**されてきています（Ren, 2021, p159）。マイクロ風力発電機は、住宅地や農村、山岳地など、どんな場所にも設置することができ、また、曇りの日や夜間でも発電できます、エネルギー利用効率が高い分散型の安全なエネルギーとして、エネルギーの安全保障の点からも大きな可能性を秘めています。家庭用の小型風力発電機など、家庭の庭やベランダなどで騒音が少なく安全に発電できれば、宇都宮市でも大きなポテンシャルとなるでしょう。現在、大型の洋上風力ばかりが注目を浴びていますが、**小型にも目を向けることは大切**です。さらなる技術革新への動きはすでにありますので、今後生態系への配慮をした上で普及促進が進むよう、国や自治体が政策（補助金、FIT優遇策、環境配慮規制など）を整備してくれることを期待します。



(3) 水力エネルギー

①豊かな水資源を生かした水力発電



日本の成長を支えてきた大規模水力発電 水力発電って？

日本でも世界でも、河川がある地域では、水力発電は昔から盛んに行われてきました。世界では、中国（356GW）、米国（103GW）、ブラジル（109GW）、カナダ（81GW）、ロシア（53.9GW）、日本（50GW）の順で発電量が多くなっています（経済産業省，2021，p.126）。急峻な河川が多い日本では、大規模水力発電は国内でまかなえる貴重なエネルギー源として、日本の経済成長を支えてきました。一方、大規模水力発電はしばしば自然破壊を引き起こすため、近年は中小水力発電の建設が活発化しています。2020年3月時点で0.51万GWの小水力発電が新たに運転開始しました。

大規模水力発電のしくみ

ダムなど高い所に貯めた水を低い所に落とすことで、力を利用して水車をまわし、さらに水車につながる発電機を回転させて発電します。ダムの水は水路を通して発電所に送られた後、川に戻されます。日本では、すでに多くの場所で開発が進められ、新たなダムを建設できる場所は限られています。



出典:九州電力(2022)

水力発電の利点

- ①電力需要に対応しやすい
「揚水式」や「貯水池式」の水力発電所は、電力需要の変動に対応して、すぐに発電を行ったり、発電の量を調整したりできます。そのため、電力需要ピーク時の供給力として活躍します。
- ②エネルギー変換効率が高い
水を上から下へ流す時に発生するエネルギーの80%を電気に換えることができます。
- ③CO2の排出量が少ない
火力発電など他の発電方式に比べ、CO2排出量が非常に少ないです。
- ④純国産のエネルギー
水力発電は地表に降った雨や雪など、持続的な国内の水環境を利用しています。

しかし、大規模水力には課題も多い・・・

課題

- 1.ダムの新設には巨額の資金と長い時間が必要
- 2.ダムは環境や生態系に影響を及ぼす
- 3.降水量で発電量が左右される



出典:九州電力(2022)

そこで、大規模水力に代わり、
ポテンシャルの高い小規模な水力発電
に注目が集まっています！



(3) 水力エネルギー

②ポテンシャルの高い小水力発電



期待が高まる小水力発電

小水力発電って？

「小水力発電」には決まった定義がありませんが、ここでは概ね**出力1,000kW以下の比較的小規模な発電設備**を「小水力発電」と定義します。一般河川、農業用水、砂防ダム、上下水道などで水のエネルギーを利用する小水力発電は、環境にやさしく安定しています。開発できる地点が多く残されており、さらなる開発が期待されます（全国小水力利用推進協議会、発行年不明）。

小水力発電の主な発電方式

小水力発電では、川などの流れの中や、川から引いた水路に水車（タービン）を設置して発電を行います。以下が主な発電方式です。

水路式	直接設置式	減圧設備代替式	現有施設利用
川などから分岐して水路を設け、水車を回す方式	川の流れや用水路に直接水車を設置する方式	水道の給水設備などで利用される減圧バルブによる水圧を利用する方法	ため池やプールなどの施設の水を利用する方法
			

小水力発電の利点

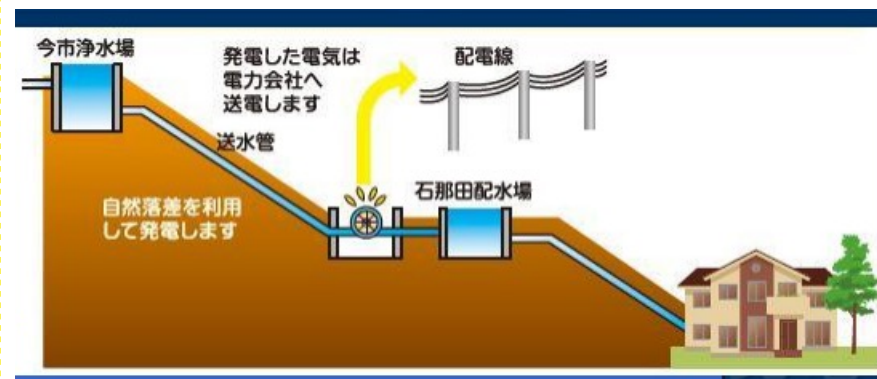
- 1.24時間365日安定して発電できる
- 2.大規模な開発をしないため、自然への影響を最小限にできる
- 3.全国各地に設置のポテンシャルがある
- 4.運転・保守を行いつつ電力を消費する「地産地消」に適している

宇都宮市ではどれくらい導入されているの？

宇都宮市では、今市送水管に設置されている小水力発電（42kW）程度で小水力発電の導入がほとんど進んでいません。しかし、宇都宮市でも実験的な小水力の取り組みが増えつつあります。

日光と宇都宮を結ぶ小水力！今市送水管とは？

日光市にある浄水場と、宇都宮北部の「石那田配水場」をつなぎ、高い所から低い所へ水道水が流れる力を利用して発電しています。





(3) 水力エネルギー

③小水力発電の事例・ポテンシャル・提言



栃木県内の画期的な小水力の事例！

釜川マイクロ水力発電所(宇都宮) クリスマスの街を彩る小水力

毎年、クリスマスの時期に宇都宮市の中心市街地を流れる釜川に設置される小水力発電です。捨てられた自転車の前輪で落差を利用して発電し、川辺をLEDで照らしています。県立宇都宮工業高校の生徒が製作したものです。一方で、河川法の制約により、設置期間に限られるという課題もあります。



出典：宇都宮環境学習センター提供



那須野ヶ原発電所(那須) 用水路を使った小水力発電

用水路から水が池に流れ入る際の落差を利用して発電しています。発電した電力は農業用施設で使用されます。また余剰電力を電力会社に販売して、水路維持費にも充てられます。

出典：那須野ヶ原土地改良区連合(2022)

小水力発電の課題とは？

- 1.必要な落差・流量を確保するため、立地条件に制限がある
- 2.水利用権の整理や河川利用に関わる法規制への細かな対応が必要
- 3.小水力発電に関する基礎的な情報が不足している

課題はありますが、多様な活用方法から地域環境に合わせたものを導入できます！

導入ポテンシャルはどれくらい？

宇都宮市の年間エネルギー需要は3800万GJ(ギガジュール)です。それに対し、小水力は1年で約5,040GJを発電できると算出されました(p.7 総務省「緑の分権改革2022年修正版」)。これは**需要の約0.01%**に当たり、他の再生可能エネルギーに比べてポテンシャルは低いといえます

提言

栃木県では「とちぎ小水力発電！基礎データマップ」を公開し、小水力発電の普及拡大を図っています（H28新エネルギー財団会長賞受賞）。誰でもアクセスでき簡単に利用できるもので、ぜひ活用してみてください。栃木県小水力利用推進協議会も設置されており相談窓口もあります。一方、障壁となるような法規制を簡素化したり、特区を作ったりするなど行政による対応も大切です。宇都宮でも河川や用水路を活用して小水力発電の導入を進め、地域住民にとって身近な電力となれば、再生可能エネルギーに対するの興味関心も同時に向上させることができ、普及につながるのではないのでしょうか。



マップを使えば、釜川（左上写真）の事例では、1メートルの高低差で約2.4kwの発電ができることなどがわかります

出典：栃木県（2018）



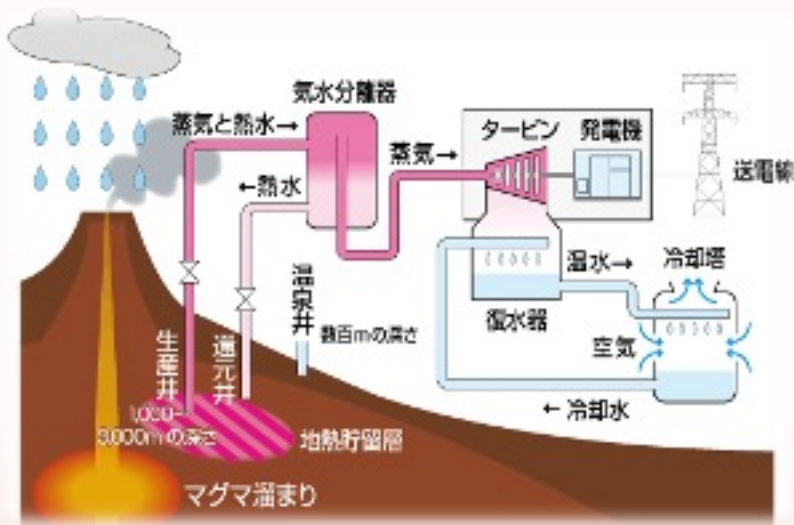
(4) 地熱エネルギー

①地球の奥に眠る熱の大きな可能性



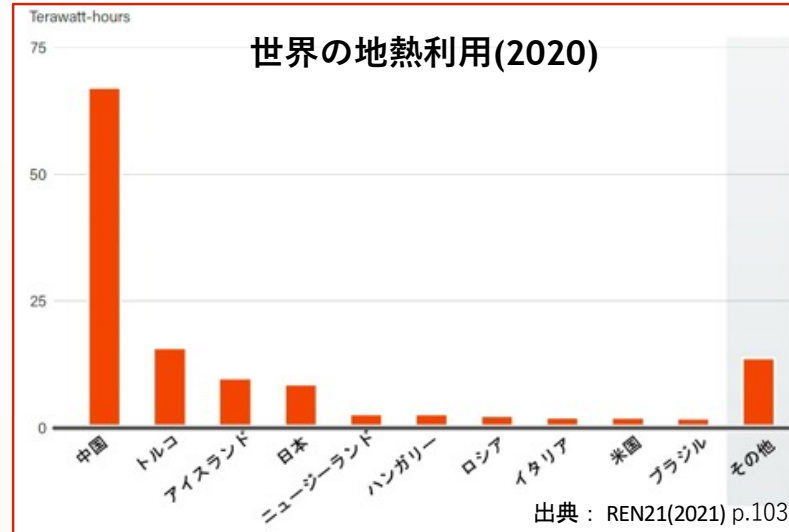
地熱エネルギーって？

地熱エネルギーは、地球の内部に存在しているマグマによる熱を利用するものです。主として暖房や給湯などの熱の直接利用と、電気に変換して用いる方法があります。発電の場合は、マグマによって熱せられた高温・高圧の地下水がたまっている「地熱貯水層」がボイラーとしての機能を果たし、それにより取り入れた蒸気でタービンを回すことで発電を行います。地熱発電には下図のような過程を経る蒸気発電や、中低温の蒸気でも熱交換を行うことでタービンを回すことが出来るバイナリー発電といった種類があります。

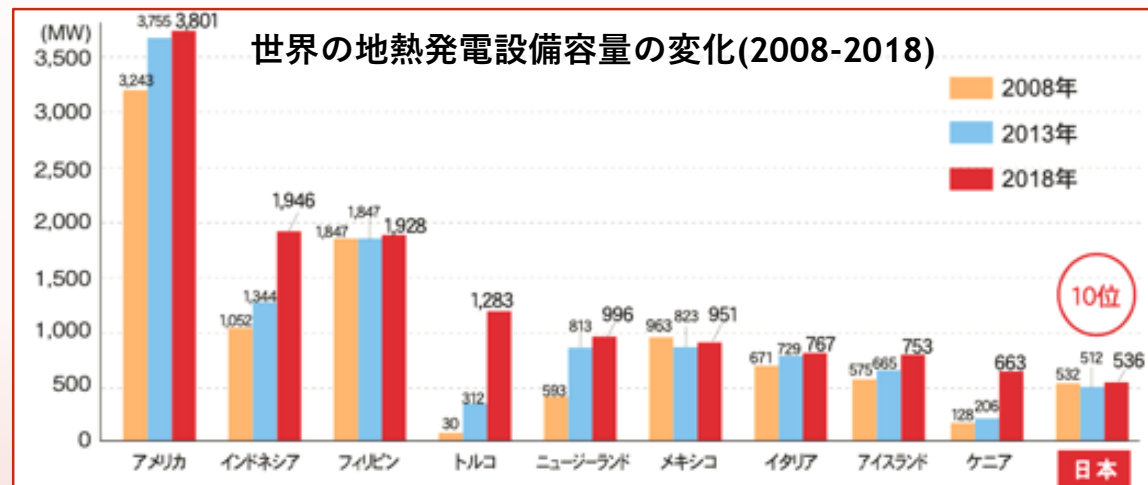


▲地熱発電の仕組み

出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（発行年不明）



熱利用の第1位は中国で、トルコ、アイスランドと続きます。発電では、アメリカ、フィリピンが多く、インドネシアやトルコ、ニュージーランドも急成長しています。**日本**は、地熱資源量は23GWとされ**世界第三位**と大きく、未利用分が大きいので、まだまだ利用拡大のポテンシャルがあります。



出典：独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(2019)



(4) 地熱エネルギー ②ポテンシャルと事例

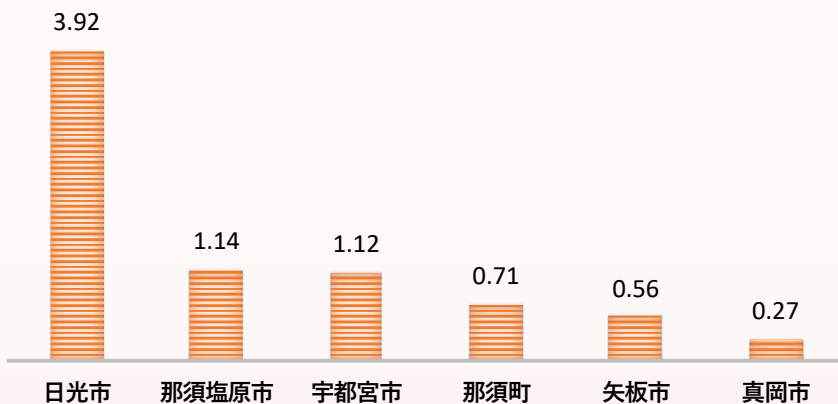


栃木と宇都宮市のポテンシャルと現状

日本の地熱利用で、データが整備されているのは発電分野です。地熱発電所は東北や九州に集中しており、それ以外の地域での大規模な運用はなされていません。

栃木県には、**低温バイナリー発電**（中低温の蒸気を水より沸点の低い媒体と熱交換を行い、タービンを回すことで発電を行う方法）のポテンシャルがあります、このうち、宇都宮市は三番目に大きなポテンシャルを持っており、これは**宇都宮市のエネルギー需要の0.1%**に相当します。

現在、バイナリー発電所は全国に36か所存在しています。温泉バイナリー発電の場合、70~100°Cの温水を利用して発電したのち、温度の低下した温水を浴用に利用することができるため、一石二鳥の方法といえます。



▲栃木県における低温バイナリー発電のポテンシャル推計 (千Kw)

出典：環境省(2022)

栃木県での導入事例：温泉バイナリー発電＋熱利用

ホテルサンバレー（那須）

ホテルサンバレー那須の自家源泉敷地内には、関東初のバイナリー発電所(発電規模20kW、発電能力 14.5kW)が整備されています。バイナリー発電に利用し、温度が低下し浴用に適した温度となった温水をホテルに供給しています。また、発電された電力は発電装置で使用する冷却水の搬送動力やビニールハウスでのいちごや葉物野菜の栽培に利用されています（環境省、2019、p.10）

那須温泉

那須温泉では、温泉熱をヒートポンプで熱交換し、給湯や暖房に利用し、温度がほどよく低下した温水を浴用に用いています（環境省、2019、p.24）。



出典：環境省(2019)p.10



(4) 地熱エネルギー

③課題と今後の展望



地熱の利用は発電だけではない！

地熱エネルギーの利用は発電だけではなく、全国では様々な活用がされています。

例えば

- ・ 熱水利用施設
- ・ 野菜や果物、きのこ、花の温室栽培
- ・ 海水魚類の陸上養殖事業
- ・ 工場での利用
- ・ 市中での融雪、暖房等の利用

などが挙げられます。熱利用では、熱エネルギーをそのまま使うことができるためエネルギー効率の良い方法とも言えます。



▲温泉トラフグの養殖 (那珂川町)

出典：株式会社夢創造元祖温泉トラフグ (発行年不明)

宇都宮市における課題・今後の展望

宇都宮市における課題としては、低温バイナリーのポテンシャルは0.1%とあるのですが、**経験の蓄積**がなく、設備開発にかかる時間とコストが高いこと、地元関係者との調整や環境との調和を図る必要があるといった課題があります。

ですが、那須の事例のように、地熱発電として導入したり、汲み上げた温水をそのまま利用したり、熱交換したり、多様な方法での地熱エネルギーの利用は可能です。たとえば、宇都宮市に存在する温泉や銭湯などで利用した排水を、地域の施設で暖房として利用したり、温室栽培のために利用したりすることもできるでしょう。

また、栃木県では、日光や那須地域などの温泉地域においてはポテンシャルはあります。温泉発電利用や熱利用は、すでに一部の施設では始まっています。既存の経験について情報共有し、社会的学習を進め、パートナーシップを広げることで、さらに利用拡大を図っていくことができるのではないのでしょうか。



(5) バイオエネルギー

①混ぜればごみ、分ければ資源



バイオエネルギーって？

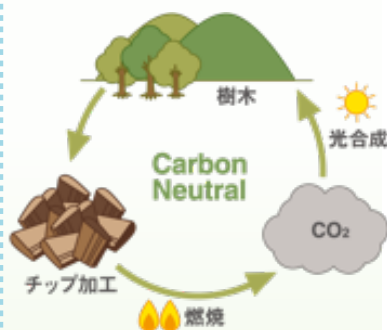
バイオマスとは、「動植物などから生まれた生物資源の総称」をさします（経済産業省資源エネルギー庁、発行年不明：下図参照）。バイオエネルギーとは、バイオマスを活用したエネルギーで、熱や燃料利用、発電を行うことができます。バイオエネルギーの利用は、廃棄物の削減や、循環型社会形成、農山漁村の活性化などにもつながる可能性があります。



出典：中部電力(2022)

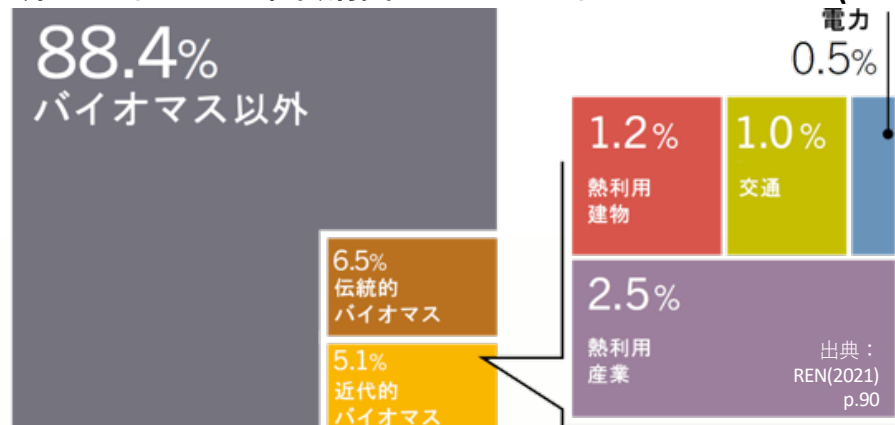
バイオマスは「カーボンニュートラル」？

カーボンニュートラルとは、大気中のCO₂濃度に影響を与えない性質です。バイオエネルギーを燃焼させればCO₂が排出されますが、バイオマスの大元である植物は、成長過程（光合成）で同じ量のCO₂を吸収します。そのため、地球規模でCO₂のバランスを崩さないとされます。

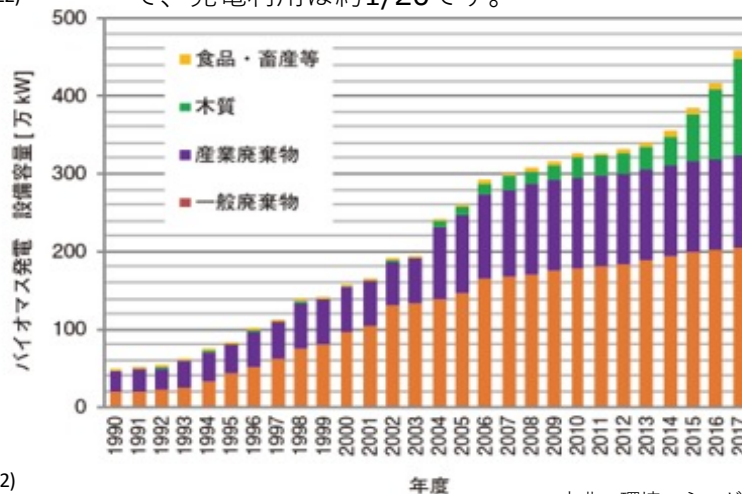


出典：ソーラeパワー(株)(2022)

世界のエネルギー最終消費とバイオエネルギーのシェア(2019)



バイオエネルギーは、世界全体のエネルギー消費の11.6%を占め、6.5%は伝統的な利用（薪を燃やすなど）、5.1%が近代的な利用（バイオ燃料やバイオガスなど）で、近年増加しています。近代的利用の約半分は産業用の熱利用、1/4は建物の暖房、1/5は輸送燃料で、発電利用は約1/20です。



出典：環境エネルギー政策研究所ISEP(2019)

日本では、2012年にFITが導入されてから、バイオエネルギー利用が少しずつ増えています。最も多いのはごみ発電です。木質バイオマスも少しずつ増えていますがまだまだ多いとは言えず、熱利用も限られており、データもほとんど整備されていません。燃料利用はほとんどありません。



(5) バイオエネルギー

②宇都宮市のバイオマス利用



バイオマス利用の課題とは？

バイオマスの資源は広い地域に分散しており、燃料の収集・運搬にコストがかかります。また、木質バイオマス燃料木材の栽培、加工、輸送等の過程で化石燃料を使用するケースもあり、ライフサイクル全般を通じた温室効果ガスの排出や生態系への影響を考慮する必要があります。また、木質系バイオマスを利用してカーボンニュートラルを達成するには、長期的な森林の維持や管理も必要です。

宇都宮市のバイオマスエネルギーの取り組み

川田水再生センターでは、下水処理の過程でバイオガス（メタンを主成分とした可燃性のガス）が発生しています。宇都宮市上下水道局が**バイオガスの有効活用と発電電力の売電を行なっています**。燃料電池発電設備は、バイオガスの主成分であるメタンから水素を取り出し、空気中の酸素と化学的に反応させ、電力を作っています。発電効率が高く、メンテナンスが容易であり、騒音・振動が少なく、排ガスの発生がありません。

川田水再生センター



出典：宇都宮市上下水道局（2022）

クリーンパーク茂原

クリーンパーク茂原焼却ごみ処理施設では、**ごみ焼却時に発生する熱エネルギーを利用した「ごみ発電」を行なっています**。焼却時に発生する熱エネルギーをボイラーによって蒸気の形で回収し、蒸気を利用して発電を実施するものです。発生した電力は各施設で消費され、余剰分は電力会社に売電しています。また、ごみ発電に利用した熱エネルギーの一部を用いて施設の暖房や給湯に利用する、熱利用も行われています。



出典：宇都宮市（2022）

クリーンパーク茂原を見学しました！

ゴミには「汚いもの」「不要なもの」など良くないイメージを持つ方が多いのではないのでしょうか。私たちは先日、「バイオマス発電」を行うクリーンパーク茂原を見学し、イメージが一変しました。一般的にゴミ焼却には多くの燃料が必要です。しかし、この施設の焼却方法は高温でゴミを燃やした後、燃えやすいものと燃えにくいものを混ぜて燃料を使わずにゴミを燃やし続けるものです。余剰電力は東日本大震災で緊急用電気としても利用されました。焼却熱が利用される隣接する温水プールは地域の人々の憩いの場です。

5892kWで
発電中



出典：塚原綾子撮影（2021.12.18）



(5) バイオエネルギー

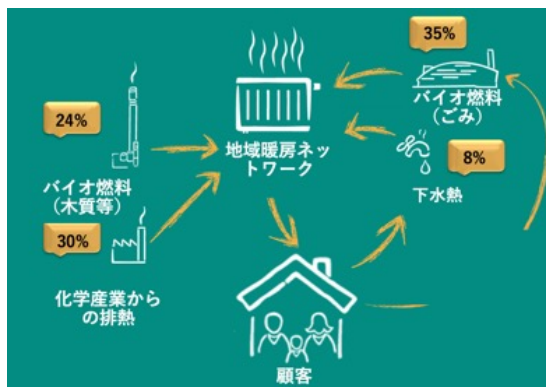
③地域循環の新たな社会



世界と比較！バイオマスの多様な活用方法とは？

p.24で紹介したように、世界のバイオエネルギー利用では、発電と熱利用を組み合わせている事例が増えています。例えば、スウェーデンでは、ほとんどの焼却施設は、地域暖房地域に熱供給しながらごみ発電も同時に行なっています。また、生ごみを分別収集し、発酵させてバイオガスを作る施設も急速に増えています。宇都宮市とスウェーデンのヘルシンボリ市では、ごみ量や発電量には大差がありませんが、ヘルシンボリ市では発電量の約6倍の熱エネルギーが利用できており（右下グラフ）、またバイオガス燃料で市内のバスの9割を動かしています。ごみエネルギー利用による経済効果は、宇都宮市が1.5億円、ヘルシンボリ市は350億円であり、宇都宮市の233倍です。バイオエネルギーは、まさに地域経済の活性化につながるのです。

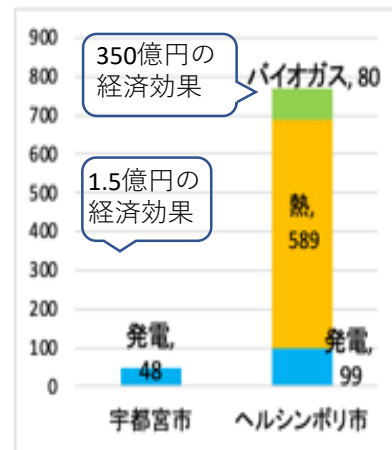
スウェーデン ヘルシンボリ市の再エネを活用した地域暖房ネットワーク



地域暖房に使われる再エネは、ごみの焼却熱に加えて、木質バイオマス、工場の排熱、下水熱が組み合わせられています。

出典：Östlund (2018) p.11

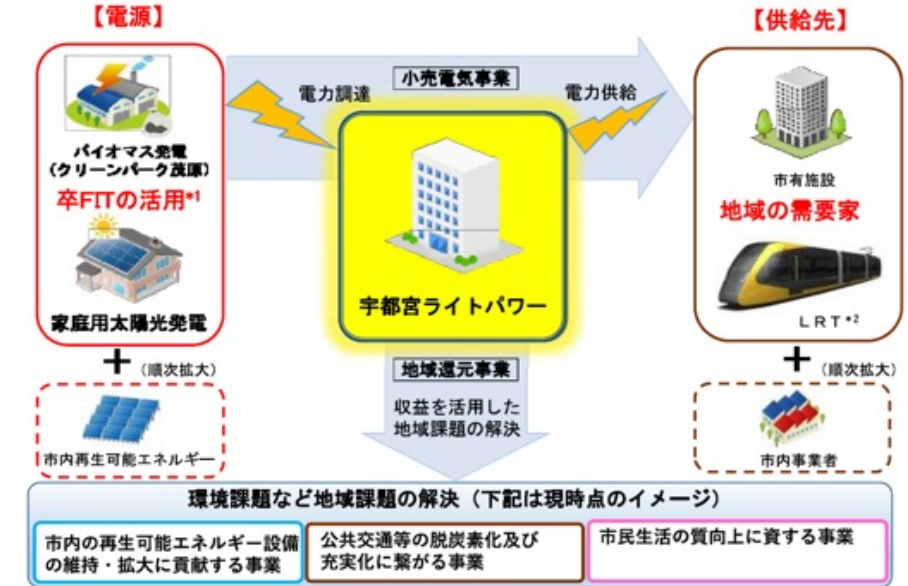
一般ごみによるエネルギー活用量比較 (GWh/年)



出典：高橋 (2018)

宇都宮市におけるバイオマス利用の展望と提言

宇都宮市のごみ発電による電力は、市が2023年に開業予定のLRTに活用される予定です。このために、宇都宮市を中心に宇都宮ライトパワー株式会社が発立されました。市内の家庭用太陽光発電分とあわせて、市内で利用することで、エネルギー調達のための資金の域外流失を食い止め、地域の活性化やエネルギーの地産地消ももたらす取組みです。



環境課題など地域課題の解決 (下記は現時点のイメージ)
 市内の再生可能エネルギー設備の維持・拡大に貢献する事業
 公共交通等の脱炭素化及び充実化に繋がる事業
 市民生活の質向上に資する事業
 出典：宇都宮市他 (2021) p.2

*1 FITによる固定価格買取制度の期間が満了した発電設備で、以後買取価格が大幅に下がる
 *2 Light Rail Transitの略。次世代型の路面電車システム

このような試みはありますが、宇都宮市のバイオエネルギーは、まだ少量にとどまっています。今後は、全国的に課題となっている、熱利用や熱電供給の利用も含めて、多様な未利用バイオエネルギーの利活用もさらに拡充させることが大切です。他国や他地域の先駆的な取り組みを参考にして、熱やバイオガスを地域に供給できれば、エネルギー循環が活性化できるのではないのでしょうか。



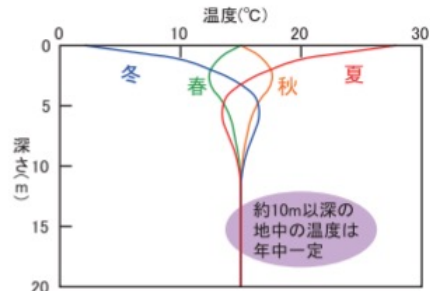
(6) 地中熱エネルギー

①実はポテンシャルだらけの地中熱利用！



地中熱って？

→浅い地盤の中に存在する定温の熱エネルギー
 地中の地下10~15mの深さでは、年間を通して温度変化がなく、年間平均気温は約15°Cです。



季節による地中温度の変化イメージ

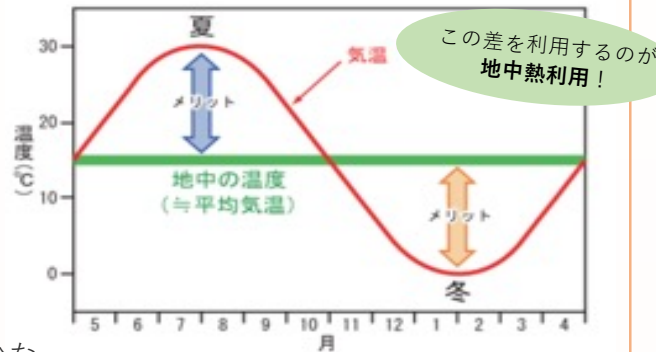
出典：特定非営利法人地中熱利用促進協会 (発行年不明)

つまり

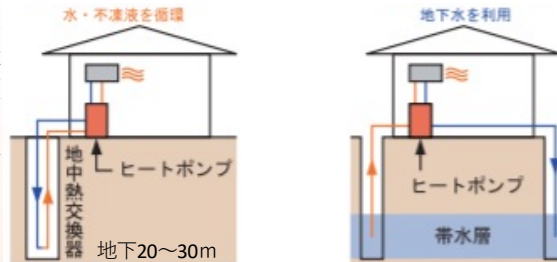
- ・夏季には外気温より低い
- ・冬季には外気温より高い

地中熱利用の形態、ヒートポンプシステムとは

ヒートポンプ(※1)の熱源として、一般的なエアコンなどでは、空気熱が利用されていますが、その代わりに、地中熱を利用する方法を、地中熱ヒートポンプシステムと言います。



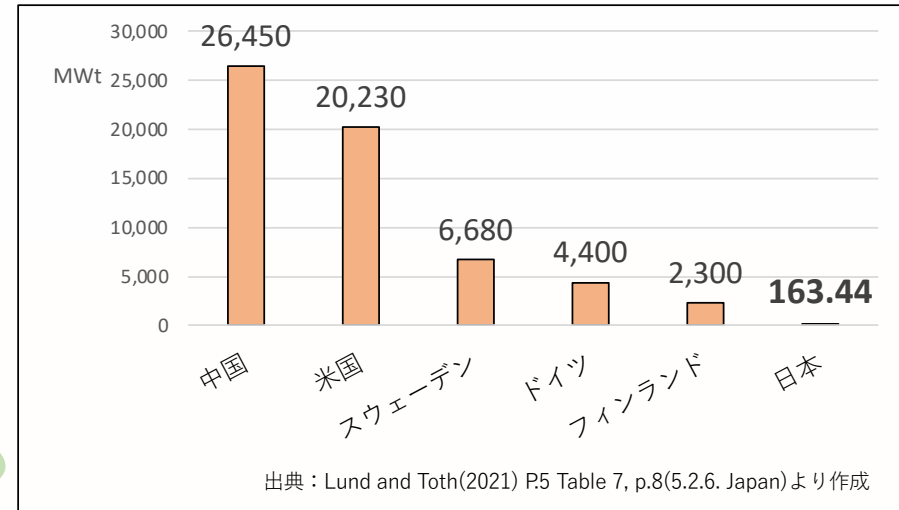
安定した地中温度を利用するメリット



出典：環境省(2020)

※1 ヒートポンプ：少ない投入エネルギーで、空気中などから熱をかき集めて、熱交換をして冷暖房や給湯等に利用する技術のこと。身の回りにあるエアコンや冷蔵庫、最近ではエコキュートなどにも利用される、省エネ技術。

世界における地中熱ヒートポンプシステムの導入状況(2020)



出典：Lund and Toth(2021) P5 Table 7, p.8(5.2.6. Japan)より作成

普及が期待されている地中熱利用

海外では、日本に比べて地中熱利用ヒートポンプシステムの普及が進んでいます。欧米では1980年代から普及し始め、アメリカでは既に100万台以上が利用されています。日本と同程度の面積のドイツでは日本の20倍以上の設備容量が導入されています。日本でもさらなる普及の余地は大きいといえます。

宇都宮市の地中熱エネルギーのポテンシャルはすごい！

再生可能エネルギー情報提供システム「REPOS」によると、宇都宮市のエネルギー需要量約3,800万GJ/年の約半分を担うポテンシャルがあると試算しています (p.7参照)。



(6) 地中熱エネルギー

②地中熱エネルギーを利用した発電方法の導入状況



宇都宮でも利用されている、地中熱エネルギー！



出典：産経新聞(2021)

病院の冷暖房にも

宇都宮駅の東口にある宇都宮シンフォニー病院では、地中熱エネルギーを病院の冷暖房に活用しています。

いちご栽培にも

宇都宮市の大谷では、いちごのハウス栽培にも地中熱が利用されています。従来のハウス農業では、化石燃料を大量に燃やして、CO₂を排出していましたが、自然にある地中熱を活用し、環境にやさしい栽培方法です。このエネルギーの地産地消が評価され、グッドデザイン賞も受賞しました。



出典：クラフトワーク株式会社(2020)

現状

病院や、農業などで多く導入されている！

課題

一般家庭での導入事例がほぼない

- 家庭でも導入できる！スウェーデンの事例を見てみよう！

日本では、家庭での導入が少ないですが、スウェーデンでは、ヒートポンプシステムが普及しています。国内の5分の1の建物に地中熱ヒートポンプシステムが導入されており、大半を一般住居が占めています。今までに、35万のヒートポンプが一般住居と商業施設に導入され、毎年約2万5千ものヒートポンプが新規導入されています。これらのヒートポンプは熱需要の約10%の熱を生み出しています。

スウェーデンのエリクソンさんの家では、地中熱ヒートポンプ導入後、二酸化炭素排出量を95%削減できました。一年に冷暖房に使う金額は、元々、5000ドル（日本円でおおよそ57万円）だったのに対し、導入後は970ドル（日本円でおおよそ11万円）になり、環境にも家計にもやさしい生活ができるようになったそうです。



写真：スウェーデンの一般家庭の庭で地中熱ヒートポンプの設置を行っている

出典：GEOENERGY(2019)



(6) 地中熱エネルギー

③実際に家庭で導入するには？



地中熱を家庭で導入するには・・・

戸建て住宅一軒分の導入コストは、トータルで約400万円ほどかかっていたところ、技術革新と業者の増加により、現在では280万円前後で可能と試算する企業もあります（サンポット株式会社ホームページ参照）。

また、栃木県内の地中熱利用のための補助金はありませんが、経済産業省や環境省からの補助金があり、コスト削減が可能です。もし家庭や集合住宅で導入する場合は、ぜひご検討ください。

導入事例

排熱・地中熱・水熱利用システムの設計施工をおこなっている地元企業クラフトワーク株式会社では、太陽光、地中熱、空気熱を利用した冷暖房と給湯で、「電気代0円の家」を実現したとのことです。



出典：クラフトワーク株式会社(2020)

大谷の地下冷熱利用 半地下ハウスを見学しました！

地中熱を活用して夏場でも冷涼な空間を生み出し、栃木県の名物でもあるイチゴを栽培しているのは非常に興味深かったです。また、イチゴの栽培だけでなく、冷温で保管しておきたいサツマイモや農作物、魚などにも応用が利き、それを再生可能エネルギーで行うことで、環境に害をほぼ与えることがないのは素晴らしいと思いました。

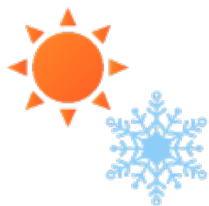
熱を発生させたら、そのままにせず、回収・再利用することが必要であるということが重要だと思いました。化石燃料由来のエネルギーをほぼ一切使用していないということが画期的であり、そのようなことが実際に可能であるということに大変驚きました。他の地域にも普及してほしいと思いました。



出典：塚原綾子撮影 (2021.12.1)

宇都宮市における地中熱エネルギー利用の展望と提言

宇都宮市では地中熱エネルギーの導入事例はあまり多くはありません。ポテンシャルがよく知られていないことや、普及拡大に向けた政策支援がないことで、まだ導入コストが高いことなどが障壁になっているのではないのでしょうか。しかし諸外国では、経済的な再エネとして普及拡大が続いており、宇都宮市でも素晴らしい先例があります。一般家庭や集合住宅、アパート、商業施設や学校等でも、ぜひ増やしてほしいです。そのために、補助金が導入されたり、市民やハウスメーカー、工務店等の連携が進むことで、更なる技術革新やそもそもの導入コストの低下が進むことを期待したいです。



(7) 省エネルギー

①住宅の断熱化で省エネルギーを目指そう！



省エネルギーって？

省エネルギー（以下省エネ）とは、限りある資源がなくなってしまうことを防ぐためにエネルギーを効率よく使うことです。私たちの暮らしはエネルギー消費によって成り立っています。持続可能なエネルギーといえば、再エネの導入に注目しがちですが、まずエネルギーの消費を減らし、エネルギー利用の効率化をはかることが重要です。

省エネとはどんなことをすればいいの？

省エネと一言と言っても方法はいろいろあります。たとえば、LED電球や製品の省エネ性能を示す「省エネルギーラベル」がついた省エネ家電の使用も、省エネ効果を期待できます。こまめに家の電気のスイッチをオフにしたり、水を止めたりするなど、節電・節水を心がけることも有効です。



出典：経済産業省資源エネルギー庁(2021)

● 抜本的な省エネのためにはどんなことをすればいいの？

このように、一人一人の努力によりエネルギー効率を向上させることはできますが、より抜本的に、省エネを進める方法も重要です。たとえば、エネルギーを大幅に削減しながら快適に過ごせる省エネの方法として住宅の断熱が挙げられます。窓や壁に熱を通しにくい素材を使用することで、冷暖房なしでも部屋の温度を保つことが可能になります。このほか、屋上や壁面緑化、街の緑化等によるヒートアイランド抑制によっても、エネルギー使用は抑えられます。エネルギー効率化は、都市計画全般において重要です。エネルギーの地産地消により、送電ロスを減らすこともできます。このように、ポテンシャルが大きい省エネ（エネルギー利用の効率化）ですが、ここでは様々な省エネ方法の中でも特にこの断熱について紹介したいと思います。

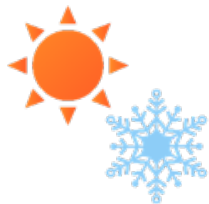


出典：オンレイECO床暖システム(2022)

● 住宅に断熱を取り入れるメリットって？

建物の断熱とは、部屋の内側と外側の熱の移動を遮断し、外気温が室内に伝わりにくくすることです。そうすることで「夏涼しく、冬暖かい」住宅を実現できます。

室内の空気が漏れにくく外気も侵入しにくいいため無駄な冷暖房費も抑えることができます。冷暖房の無駄な使用を抑えることは二酸化炭素排出量を減らし、地球温暖化抑制にも繋がります。建物の機密性を高め、外壁と内壁の間に断熱材を用いたり、断熱性の高い窓や二重窓を使用することで断熱性能を高めることができます。



(7) 省エネルギー

②快適な住宅ライフに向けて



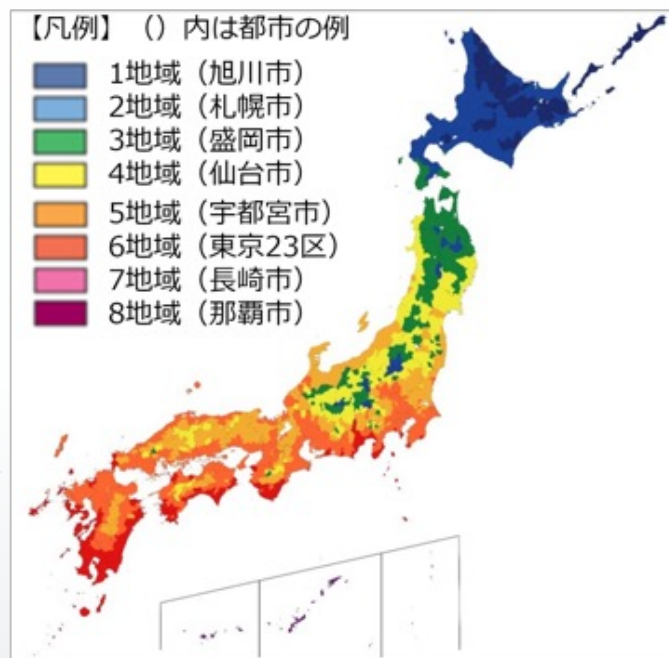
栃木県・宇都宮市の気候の特徴

栃木県の気候は、「夏は湿度が高く暑い」「冬は空気が乾燥して寒い」という特徴があります。宇都宮市などの平地では、冬は「男体（なんたい）おろし」「那須おろし」と呼ばれる乾燥した冷たい北風が吹き、晴天続きのため放射冷却現象が起きやすく、昼夜の気温差が大きく、零下になる日もよくあります。このため、外気温が室内に伝わりにくくする断熱住宅の導入は、快適で過ごすためには重要であり、長期的に見ると冷暖房費を抑える経済的な方法とみなすことができます。

出典：J Aグループ栃木文字(2021)

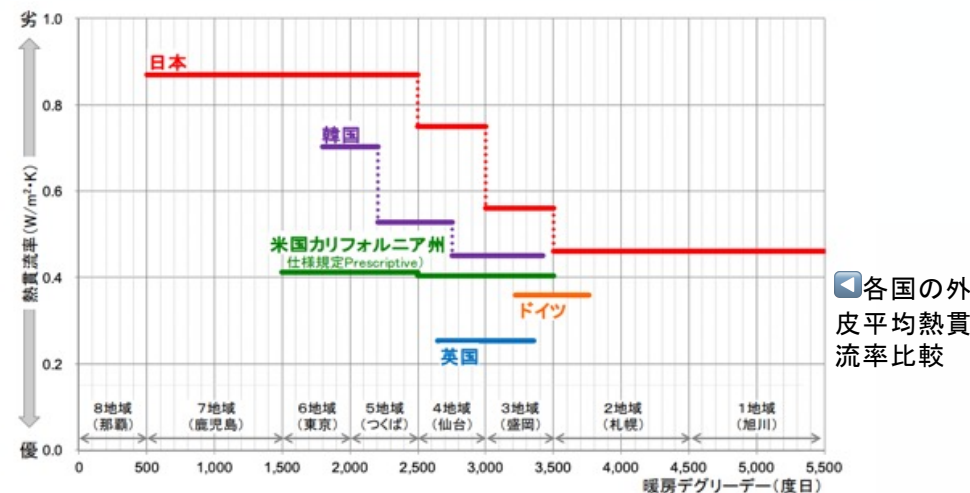
宇都宮の省エネ基準って？

右の地図は省エネ基準の地域区分を示しており、区分によって求められる省エネ住宅の断熱性能や達成すべき断熱基準の値が変わってきます。宇都宮市は5地域です。現在、省エネ基準を満たすことは義務化されていませんが、2025年度から新築の住宅は断熱材の活用などで基準を満たすよう義務付けされます。



出典：国土交通省住宅局住宅生産課建築環境企画室 (2019)

世界と比べた日本の住宅の断熱基準は？



出典：出口、水石 (2015) 注)日本は1999年基準を採用

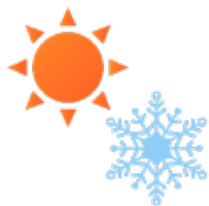
上図の住宅の断熱レベル(熱貫流率)は、縦軸の数値が小さいほど断熱性能が高いことを表しています。横軸は地域の気候区分を示し、数値が大きいほど寒冷な気候です。図からは日本の住宅の断熱基準はどの気候区分でも、諸外国と比較してかなり低いことがわかります。宇都宮市は同じ気候区分のカルフォルニア州とは倍以上の差があります。日本の住宅の断熱基準を高めることが今後の大きな課題です。

日本の断熱住宅の普及状況は？

現在ZEH(ゼッチ)(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)という、断熱材や太陽光発電などにより使うエネルギー量を減らし、作るエネルギーを増やす住宅の普及が求められています。

しかし、2019年度の新築された一戸建て住宅の中で、ZEHの戸数は20.6%と、まだまだ少ないです。高断熱住宅の普及は、省エネにおいて大きな効果が期待できるため、更なる政策的な対応が必要です。

出典：経済産業省、環境省(2021)



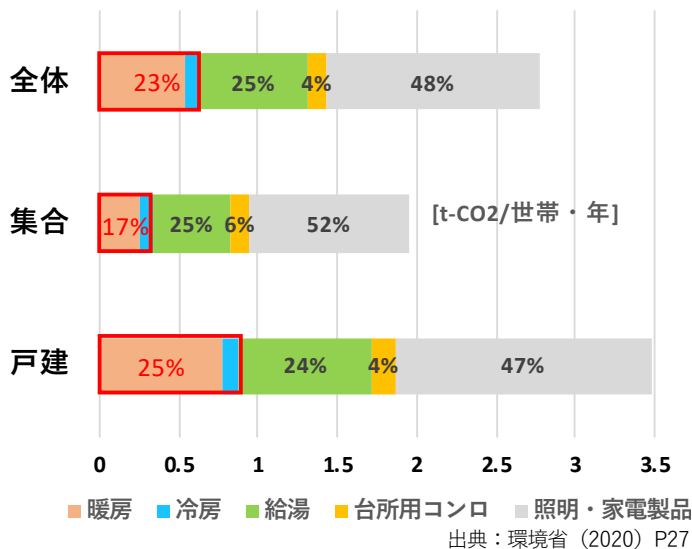
(7) 省エネルギー

コラム① 断熱の効果と市民の声

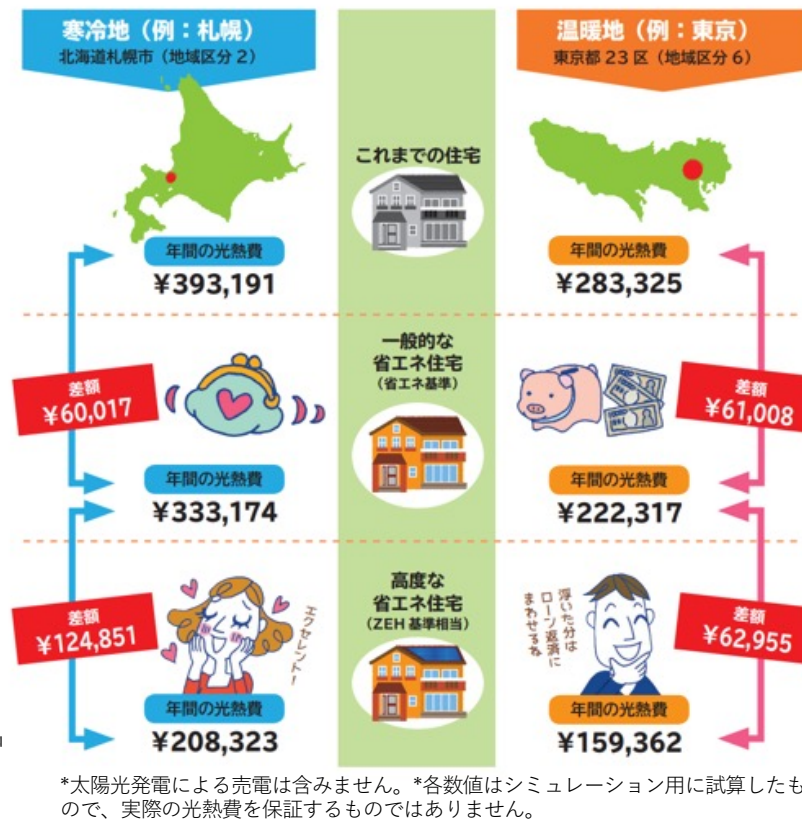


建て方別世帯当たり年間用途別CO2排出量

住まいにおけるCO2排出量の1/4は冷暖房によるものです(下図)。冷暖房の省エネ対策を行うことはCO2削減のために極めて重要です。



▼年間の光熱費比較



住宅の断熱性能を強化すると光熱費を抑えることもできます。左に示した図は、一般的な住宅と高度な省エネ住宅の光熱費の差額を表しています。寒冷地における一般的な省エネ住宅は約6万円、高度な省エネ住宅ではなんと約12万円もの差額が生まれます。温暖地として挙げられている東京でさえ、省エネ住宅であれば、一般的な住宅と高度な省エネ住宅を比べると約12万円も年間の光熱費を抑えることができると試算されています。長期的に見ると、断熱性能が高い住居とそうではない住居とでは費用の面で大きな差が生まれます。

出典: 省エネ住宅消費者普及ワーキンググループ (2018) p12より引用

●低断熱住宅に住む宇都宮市民の悩みって？



市民の声

【アパート住み】

- ・冬の夜間はとても冷えるため暖かい家で生活したい！でも暖房を使いすぎるとお金がかかってしまう...
- ・断熱性を高めたくても自由に工事ができない

【一戸建て】

- ・暖房を消すと室内がすぐに冷えてしまう
- ・断熱の知識がなく住宅を建てる際の基準がわからない
- ・断熱に興味はあるけれど工事にはお金がかかる

寒い家で
我慢している!!!



(7) 省エネルギー

コラム② どうやって断熱を取り入れたらいいの？



～新築を考えている方へ～

宇都宮市に住むUさんは、2017年家の建替えを機に高断熱低燃費住宅を建てられました。その驚きの性能を紹介します。



寒い冬の日です。夕方に薪ストーブに火をつけ、室温が22℃になるまで炊きます。21時頃には22℃になり、以後暖房は入れません。翌朝、外気は氷点下5℃になっていますが、室温は19℃くらいです。外が晴れていれば、そのまま終日暖房は入れません。

【Uさん（7人家族）の高断熱低燃費住宅】

2階建総床面積170㎡、断熱材の厚さ：壁約23cm、屋根30cm、窓は三層。

太陽光発電 5kW、全室自動換気、クーラー1台、薪ストーブ1台（薪1.6トン/年）ソーラーシステム（太陽熱利用）
電力消費量：6,909kWh/年
太陽光発電量：6,240kWh/年
売電3888.2 (kwh/年) = 約10万円！
ガス削減効果：72.5(m³/年) =33,000円

自家発電で90%をカバー！



太陽光パネルと太陽熱温水器パネル



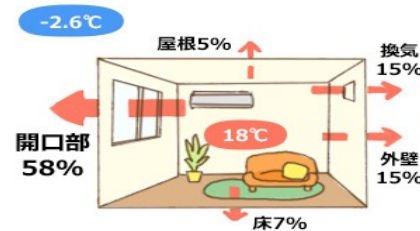
薪ストーブ

データ・写真：Uさん提供

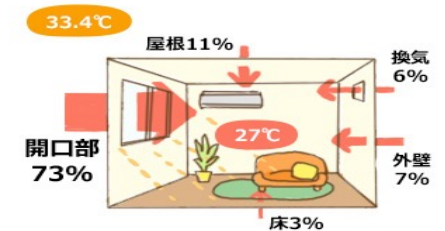
皆さんの家では暖房やストーブをどれくらい継続して使っていますか？消した後すぐに室温が下がってしまうことはありませんか？省エネの1つとして、または快適な生活のために断熱住宅を導入することをお勧めします。

～既に住宅をお持ちの方、またはアパートにお住まいの方へ～

冬の暖房時の熱が開口部から流失する割合 58%

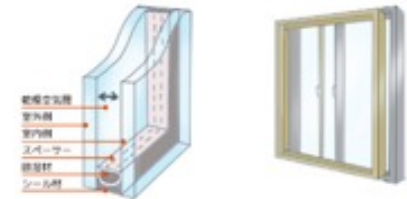


夏の冷房時(昼)に開口部から熱が入る割合 73%



参照：一般社団法人日本建材・住宅設備産業協会
平成11年省エネ基準レベルの断熱性能の住宅での試算例

上の図を見ると分かるように、熱の半分以上が窓や扉から出入りしています。複層ガラスや内窓・断熱カーテン・断熱シートこれらの導入を考えてみてはいかがでしょうか？



出典：経済産業省 資源エネルギー庁（発行年不明）

省エネルギー推進に向けた展望と提言

宇都宮市は冬寒く夏暑いわりには、省エネ基準が緩く、断熱住宅の導入が進んでいません。しかし諸外国では、経済的な脱炭素対策の筆頭にエネルギー効率化・省エネがくるほど、省エネのポテンシャルは大変に高いのです。宇都宮でも、素晴らしい先例もあります。今後は、その情報を市民に知ってもらうことが何より大切です。そして、普及拡大に向けた政策支援とともに、基準や規制の強化を期待します。一般家庭や集合住宅、アパート、商業施設や学校等でも、ぜひ省エネを進めてほしいです。宇都宮市はすでに補助金を導入しています。その枠を広げ、市民やハウスメーカー、工務店等の連携が進むことで、更なる技術革新や導入コストの低下が進むことを期待したいです。



4. まとめ

① 考察と、宇都宮市のあるべき姿



考察

- 気候危機が進む今日、脱炭素化のためにも、エネルギーセキュリティの強化のためにも、持続可能なエネルギーへ移行することは、今すぐ取り組むべき重要な課題です。
- まず、大切なのは、省エネルギー・エネルギー効率化によって、エネルギー使用の絶対量を減らすことです。今回は住宅の断熱に注目しましたが、省エネ効果が大きいことがわかりました。日本は諸外国に比べて規制が緩いため、規制を強化し、市民によりよく情報を伝え、具体的な選択肢があることを知ってもらうことが大切です。
- 再エネについて、宇都宮市は、世界平均はもちろんのこと、日本の平均よりも再エネ導入が少ないことがわかりました。太陽光発電の導入は進んでいますが、自然を切り崩してメガソーラーが設置されてしまう場合もあり、反対運動も起きています。環境のための再エネでありながら、自然破壊を引き起こすことは矛盾しているのではないのでしょうか。

宇都宮市のあるべき姿

- 今回、様々な再エネについて学ぶことができました。そこで感じたことは、太陽光発電だけでなく、宇都宮市そして栃木県においては、多様な再エネのポテンシャルが非常に高いということです。このポテンシャルを活かして、さらなる再エネ導入が見込めると確信しています。
- 私たちの話し合いで、もっとも力を入れるべき第一位は「省エネ」になりました！続いて、地中熱、住宅用太陽光発電、太陽熱もとてもポテンシャルが高いので、ぜひ進めてほしいです！バイオマスや風力はデータはありませんでしたが、諸外国の事例を見ると、大変高いポテンシャルがあると考えます。
- 現時点では、再エネの導入事例はあまり多くはありません。まず、市民や企業等に、再エネの情報をより多く知ってもらうことが大切です。そして、国や自治体による支援や規制の強化により、技術革新や普及拡大で導入コストが低くなれば、一般の家庭でも取り入れやすくなると考えます。
- **誰もが簡単に再生可能エネルギーを導入でき、環境に優しい生活を送ることができる街こそが、宇都宮市のあるべき姿だと思います。**

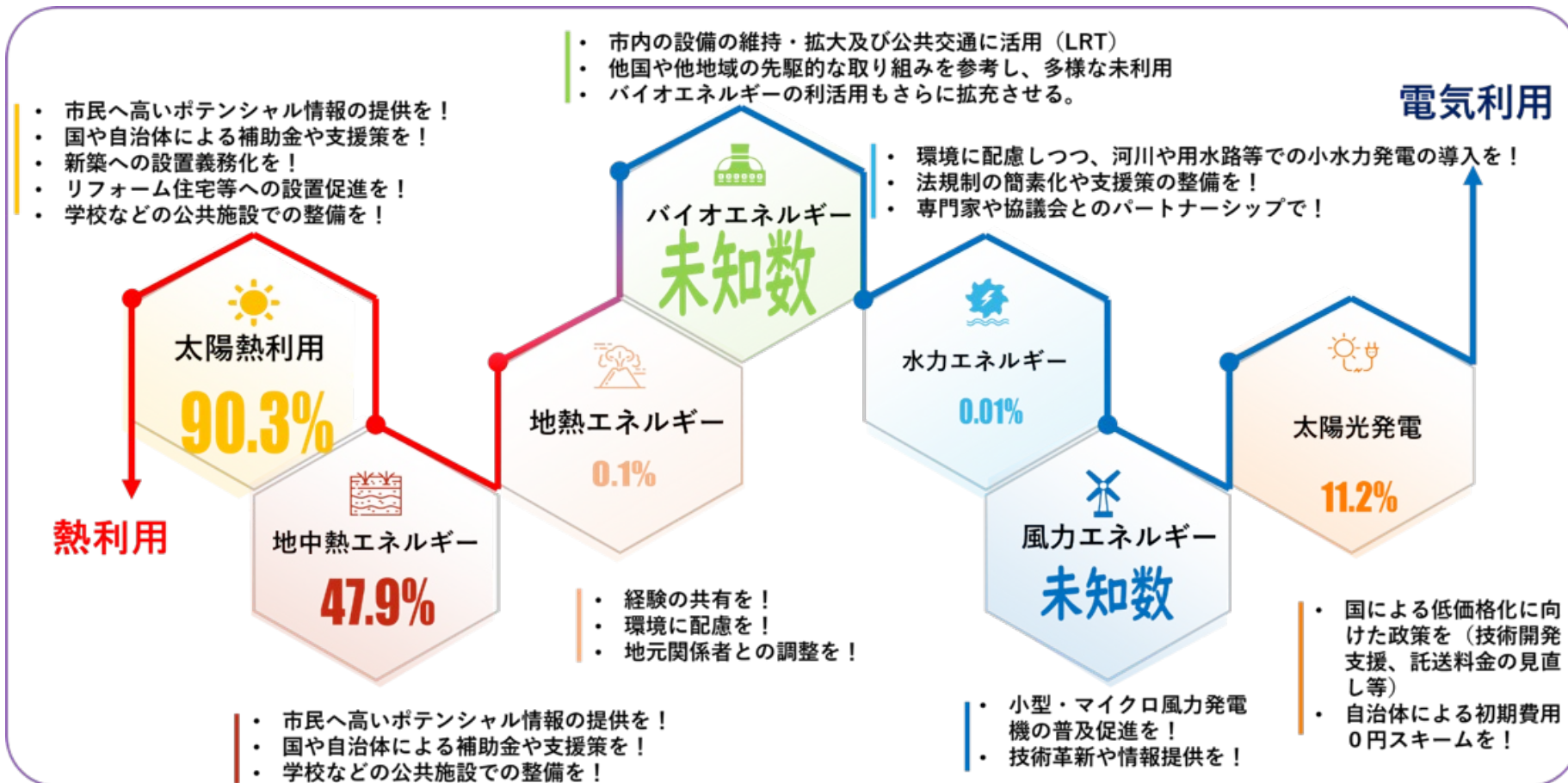


出典（左）：塚原綾子撮影
(2022.1.12, 19)
（右）：高橋若菜撮影
(2022.2.10)



4. まとめ

② わたしたちの提案（エネルギー別）



- 市民へ高いポテンシャル情報の提供を！
- 国や自治体による住宅の断熱基準や規制の強化、補助金拡充を！
- 断熱住宅（戸建、集合住宅、アパート等含む）普及への政策支援を！
- 公共施設の更なる省エネを！市民や企業とのパートナーシップ促進へ！



4. まとめ

③ わたしたちの提案（生活場面別）



公的施設での冷暖房や給湯には地中熱や太陽熱を入れ、電力は全て太陽光や小水力などの再エネ利用を目指してほしい！

すべての小中高校に太陽熱温水器をいれてはいかがでしょうか！子どもたちも手洗い・うがいをするようになり、感染防止対策につながります。環境教育の機会にもなりますし、防災対策にもよいと思います！

ごみ処理方法の変革をしてはいかがでしょうか？ 焼却熱の熱利用、生ごみバイオガス化など国内外の事例から学ぶことができたくさんありそうです。

夏は暑い！冬は寒い！を何とかしたいです...政策によるアパートの断熱材や省エネ商材の導入の基準の見直しをしてほしいです。宇都宮基準を作って欲しいです！賃貸住宅に、断熱基準や窓ガラスなどの断熱性能、光熱費の目安の表示を義務付けてはいかがでしょうか？

企業や組織には、大きな建物や工場の屋根、空き地には太陽光や太陽熱を設置を義務付けてはいかがでしょうか！再エネと省エネ、熱電利用、工場からの排熱・排水の活用など、電気と熱の双方でできることが大きそうです！

太陽熱や地中熱などの再エネを導入している家庭や組織にお得なキャンペーンをしてはどうでしょうか！

屋上や壁面緑化、街中のグリーンを増やすなど、緑化を図ってほしい！省エネにもつながるはずです。

省エネ & 再エネを兼ねた住宅の販売を義務付けてはいかがでしょうか？

誰もが簡単に再生可能エネルギーを導入でき、環境に優しい生活を送ることができる街こそが、宇都宮市のあるべき姿だと思います。

未利用再エネの利活用に向けて、更なる研究や技術開発をはかってほしいです！その際、企業や行政、大学と、市民のパートナーシップを増やし、市民の希望も入れてほしいです！

おわりに

宇都宮で初めての「持続可能なエネルギー」報告書を作りたい。そうNPOの方々が持ちかけてくださったのは、2021年夏のことでした。気候危機を目前に、脱炭素社会を達成させることは、喫緊の課題です。宇都宮市は、2030年度までに温室効果ガスを2013年度比で27%削減するという目標を掲げ、2050年までにカーボンニュートラルを達成することを宣言しています。目標達成の鍵となるのが、持続可能なエネルギーです。

カーボンニュートラルや持続可能なエネルギーを目指す上で、重要な指針となるのが、SDGs（持続可能な開発目標）です。目指すべき理想の姿と現状の間には、大きなギャップがあります。そこで、「我々の世界を」「だれひとり取り残さない」で「変革」していこうというのです。

では「変革」は誰がどのようにすすめるのでしょうか。一人一人、一つの企業や組織、一つの自治体、一つの国が、現在の積み重ねの上に、できることをさらに積み重ねる《フォアキャストイング》だけでは到底おいつきません。未来の社会構造や産業構造を描き、その実現を目指して、現在の世の中にさかのぼる《バックキャストイング》が求められます。ここで大切なのが、SDGsの5原則である、人間（People）、地球（Planet）、繁栄（Prosperity）、平和（Peace）、パートナーシップ（Partnership）の尊重です。SDGs17目標のどれか、とりわけ環境や社会に関する目標を犠牲にしないやり方で、持続可能なエネルギーのあり方を追求することが大切です。

本報告書が完成間近の2022年3月現在、世界ではロシアがウクライナに侵攻しました。ロシアは原発を攻撃し、経済制裁により天然ガスや石油は高騰しています。日本でも、東京電力福島第一原発事故による原子力緊急事態宣言は今日も出されたままで、甚大な環境・生活被害も続いています。先日の地震では火力発電所も止まりました。

一方、石油燃料等への優遇策が少ない諸外国では、社会の共創により、急激に再エネが増え、省エネも進んでいます。小規模分散型の地産地消の再エネが、エネルギーの安全保障や地域の活性化につながっている事例は、世界で数多くあります。本報告書でとりあげた栃木県内の先行事例や学生・市民の方々の提言の中にも、SDGsの要件を満たしたイノベティブなアイデアが散りばめられています。このほかにも、すでに素敵な取り組みをしている皆さんも、あるいはアイデアがある方も多くおられるのではないのでしょうか。宇都宮市には、大きなポテンシャルがあります。本報告書が、お読みくださる皆様にとって、持続可能なエネルギーへのイノベーションや共創に向けて、扉を開くきっかけになれば幸いです。

本報告書執筆にあたっては、多くの方にお世話になりました。赤石澤亮様（宇都宮市環境学習センター長）、佐藤豊様（宇都宮大学 地域デザイン科学部技術部）、篠原武志様（宇都宮市環境部環境政策課主任主事）、舘野望美様（宇都宮市環境学習センター）、福田朋美様（宇都宮市経済部都市魅力創造課主事）、益子進様（クラフトワーク株式会社社長）、益子暁式様（クラフトワーク株式会社専務）には、視察を受け入れ、あるいは講義を引き受けていただきました。本報告書は、令和3年度栃木県大学地域連携事業「宇都宮市のローカルSDGs情報可視化・応援プロジェクト」（=UU3Sプロジェクト）の活動の一環であり、栃木県、日本学術振興会科学研究費補助金（18KT0001）、宇都宮大学基盤的教育研究費から助成を受けて作成することができました。この場を借りてお礼申し上げます。

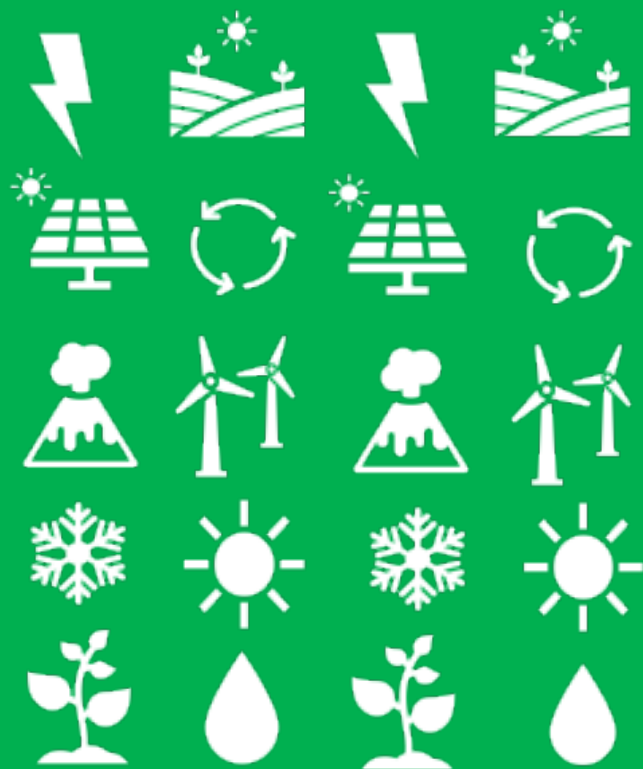
宇都宮大学国際学部 教授
高橋 若菜
2022年3月

参考文献

※URLがあるものの最終閲覧日は、全て2022年3月21日。

- [1.世界と日本の現状] p.2-5
 - REN21(2021) *RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT* [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf]
 - 自然エネルギー財団(2022)「電力消費量に占める自然エネルギーの割合」 [<https://www.renewable-ei.org/statistics/international/>]
 - 経済産業省資源エネルギー庁(2021)「2020年度エネルギー需給実績(速報)参考資料」 [<https://www.meti.go.jp/press/2021/11/20211126002/20211126002-1.pdf>]
 - ISEP(特定非営利活動法人環境エネルギー政策研究所)(2021)『2020年の自然エネルギー電力の割合(暦年速報)2021年4月12日』 [<https://www.isep.or.jp/archives/library/13188>]
 - 自然エネルギー財団(2015b)「欧州各国・米国諸州の2030年自然エネルギー電力導入目標」 [<https://www.renewable-ei.org/activities/statistics/trends/20210115.php>]
 - 経済産業省資源エネルギー庁(2015b)「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_03.pdf]
- [2.栃木県と宇都宮市の現状] p.6-
 - 経済産業省資源エネルギー庁(2021c)「都道府県別エネルギー消費統計(栃木県版)」 [https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html]
 - 環境省(2022)「再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS(リーポス)]「ポテンシャルマップ(2022年2月更新)」『ポテンシャル情報』 [<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/21.html>]
 - 経済産業省資源エネルギー庁『2021年度統計表一覧』「発電所数・出力1(-2)都道府県別発電所数、出力数」 [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.enecho.meti.go.jp%2Fstatistics%2Felectric_power%2Fep002%2Fxls%2F2021%2F1-2-2021.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK]
 - 環境省(2021)「自治体排出量カルテ」「09栃木県カルテ一式」 [https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/karte.html]
 - 総務省(2022)「緑の分権改革 平成21年度補正予算 成果報告書概要」宇都宮市版(修正版) [https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/c-gyousei/bunken_kaikaku/seika_houkoku_h21.html]
 - 宇都宮市(2002)「宇都宮新地域エネルギービジョン(2002)」 [<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/shisei/johokokai/shingikai/kanryo/1010569.html>]
- [3.(1)太陽エネルギー a)太陽光発電、b)太陽熱利用]
 - 関西電力(発行年不明)「太陽光発電について」 [https://www.kepco.co.jp/brand/for_kids/teach/2016_05/]
 - 経済産業省資源エネルギー庁(2021)「まんがでわかる 電気はあってあたりまえ？」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pamph/manga_denki/pdf/manga_denki.pdf]
 - REN21(2021) ibid.
 - 出典:経済産業省資源エネルギー庁(2021)【第213-2-7】「太陽光発電の国内導入量とシステム価格の推移」(xls)より作成
 - 環境省(2021) ibid.

- 都道府県格付研究所(発行年不明)「年間日照時間ランキング」[<http://grading.ipn.org/SRB02401.html>]
 - 山崎琢也(2019)「再生可能エネルギーの主力電源化に向けた課題と展望」[[https://www.renewableenergy.jp/council/news/0%20米寶講演%E3%80%80METI\(エネ庁・山崎課長\)_r.pdf](https://www.renewableenergy.jp/council/news/0%20米寶講演%E3%80%80METI(エネ庁・山崎課長)_r.pdf)]
 - 下野新聞2020.11.7「太陽光発電計画で住民組織 反対署名1541人分提出」
 - 一般社団法人ソーラーシステム振興会(発行年不明)「ソーラーシステムの種類としくみ」[<https://www.ssda.or.jp/energy/kind/>]
 - REN21(2021) ibid.
 - 一般社団法人ソーラーシステム振興協会(2021a)「2021ソーラーシステム・データブック」[<https://www.ssda.or.jp/profile/publication/>]
 - 一般社団法人ソーラーシステム振興会(2021b)「太陽熱温水器出荷実績(都道府県別2020年度まで)」[<https://ssda.or.jp/energy/result/>]
 - 日本熱源システム株式会社(発行年不明)「太陽光温水器納入事例」[<https://www.nihon-netsugen-systems.com/products/solar-heatcollector/results.html>]
- 【3.(2)風力エネルギー】 p.14-17**
- 中部電力(発行年不明)「風力発電のしくみ」[https://www.chuden.co.jp/energy/ene_about/electric/kids_denki/tsukuru/tsu_wind/]
 - REN21(2021) ibid.
 - 中国電力ニュース(2021)「山東省初の洋上風力発電プロジェクトが正式に運行」[http://www.cpn.com.cn/news/nyqy/202112/t20211217_1467359_wap.html]
 - 環境省(2022a)再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS(リーボス)] 風力:地図自治体別情報>導入実績・自治体情報>地図 [https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/gis.html?energy=jissemi_pref]
 - 環境省再生可能エネルギー情報提供システム(2022b)「REPOS(リーボス) エネルギー種別情報>風力>概要とデータ活用方法」[<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/gis.html?energy=wind>]
 - 栃木公園情報(2021)「【栃木県公園紹介】宇都宮市 子ども総合科学館の公園」[<https://tochi-park.com/?p=552>]
 - 足利大学(発行年不明)総合研究センター 風と光の広場 [<https://www2.ashitech.ac.jp/crc/square/slide/slide.html>]
 - 国土交通省気象庁(2021)栃木県2021年平均風速 [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_h1.php?prec_no=41&block_no=00&year=2021&month=&day=&view=p5]
 - REN21(2021) ibid.
- 【3(3)水力エネルギー】 p.18-20**
- 経済産業省(2021)『エネルギー白書』.
 - 九州電力(2022)事業概要>発電方法>再生可能エネルギー>水力発電>水力発電の特徴と仕組み [http://www.kyuden.co.jp/effort_water_water01.html]
 - 全国小水力利用推進協議会(発行年不明) [<http://j-water.org/about/>] 環境省(2022a)地球環境・国際環境協力>地球温暖化対策>小水力発電情報サイト「小水力発電のしくみ」[<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page02.html>]
 - 宇都宮市上下水道局(2021)上下水道局>上下水道事業について>水道事業について>環境負荷低減対策事業「小水力発電(今市送水管)」 [<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/iosuido/jigyo/about/1002700.html>]
 - 那須野ヶ原土地改良区連合(2022)地域と歴史>那須野が原マップ>自然エネルギー「那須野が原発電所」 [<http://www.nasu-lid.or.jp/area/energy/>]
 - 栃木県(2018)「とちぎ小水力発電!基礎データマップ」ホーム>くらし・環境>環境>クリーンエネルギー>発電> [<http://www.pref.tochigi.lg.jp/d02/tochigi-hydropowermap.htm>]
- 【3.(4)地熱エネルギー】 p.21-23**
- 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 地熱資源情報(発行年不明)地熱を知る・学ぶ>地熱エネルギーとは>しくみと種類>地熱発電のしくみ [<https://geothermal.iogmec.go.jp/information/geothermal/mechanism/mechanism2.html>]
 - 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(2019)地熱を知る・学ぶ>世界の地熱発電「地熱発電設備容量の変化」 [https://geothermal.iogmec.go.jp/information/plant_foreign/index.html]
 - 環境省(2022)再生可能エネルギー情報提供システム[REPOS(リーボス)]エネルギー種別情報>地熱>概要とデータ活用方法 [<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/outline.html?energy=geo>]
 - 環境省「ホテルサンバレー」(2019)『温泉熱利用 事例集』 [<https://www.env.go.jp/press/files/jp/111097.pdf>]
 - 株式会社夢創造(発行年不明)「温泉水を利用したトラフグ養殖の特徴—温泉トラフグの養殖場所」 [<http://www.ganso-onsentorahugu.com/cultivation.html>]
- 【3.(5)バイオマスエネルギー】 p.24-26**
- 大分県(2022)『第2章 4 資源(しげん)をくりかえし使う「循環型(じゅんかんがた)社会」へ』『大分県ホームページトップページ』 [<https://www.pref.oita.jp/site/kirarinnet/kirarinnet-2-4-2.html>]
 - 経済産業省 資源エネルギー庁(発行年不明)再生可能エネルギーとは>バイオマス発電 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saieen/renewable/biomass/index.html#denki]
 - 環境エネルギー政策研究所IEP(2019)「自然エネルギー白書2018/2019サマリー版」 [<https://www.isep.or.jp/wpdm-package/jsr2018>]
 - サラーパワー株式会社(2022)「バイオマス発電とは」 [<https://www.salaeppower.sala.jp/biomass/>]
 - 中部電力(2022)エネルギー・原子力>中部電力グループの再生可能エネルギー>再生可能エネルギー発電のしくみ>バイオマス発電のしくみ「バイオマス発電の種類」 [https://www.chuden.co.jp/energy/renew/ren_shikumi/bio_shikumi/]
 - 宇都宮市(2022)暮らし>ごみ・リサイクル>ごみ処理施設>ごみ処理>ごみ処理施設の紹介(クリーンパーク茂原) [<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kurashi/gomi/shisetsu/1005067.html>]
 - 宇都宮市上下水道局(2022)上下水道事業について>下水道事業について>主な下水道施設の紹介「川田水再生センター」 [<https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/iosuido/jigyo/gesui/shisetsu/1011007.html>]
 - Anders Ostlund(2018)“Öresundskraft – A regional energy utility in the energy system transformation” Nordic Pellets 2018 Conference. [<https://www.svebio.se/app/uploads/2018/02/Anders-Ostlund-Oresundskraft.pdf>]
 - 高橋若菜(2018)「ごみエネルギー利用からみる政策統合のためのガバナンス上の課題:—日本とスウェーデンの事例対照から—」『環境経済・政策研究』11(2), 95-100頁.
 - 宇都宮市・NTTアノードエナジー株式会社・東京ガス株式会社・株式会社足利銀行・株式会社栃木銀行(2021)「Press Release『宇都宮ライトパワー株式会社』の設立について」 [https://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/res/projects/default_project/page_001/025/557/ulightpower_setsuritsu.pdf]
- 【3.(6)地中熱エネルギー】 p.27-29**
- 地中熱利用促進協会(発行年不明)「地中熱利用の概要～地中熱とは?」 [<http://www.geohpaj.org/introduction/index1/howto>]
 - 産経新聞(2021)「自然エネルギー利用⑤ 地下水で冷暖房 宇都宮駅東口開発」 [<https://www.sankei.com/article/20210630-YRZIADFASBNS5MOKVYBVDO4550/>]
 - 環境省(2020)「(1)地中熱システム的方式～ヒートポンプシステム」「(3)地中熱ヒートポンプシステムの普及状況～図4地中熱ヒートポンプシステムの累計設置件数」『令和2年度地中熱利用状況調査の集計結果』 [<https://www.env.go.jp/press/files/jp/115893.pdf>]
 - Lund, John W. and Toth, Aniko N.(2021)“Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review” *Geothermics, Vol.90, p.1-31* [<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>]
 - GEOENERGY(2019) *Geothermal Country Overview: Sweden (2019)* [<https://www.geoenergymarketing.com/energy-blog/geothermal-country-overview-sweden/>]
 - クラフトワーク株式会社(2020)「栃木県 一般住宅 一般住宅に利用した例」 [<http://www.kraftwerk75.co.jp/kraftwerkssystem/house.html>]
- 【3.(7)省エネルギー断熱】 p.30-33**
- 経済産業省資源エネルギー庁(発行年不明)「省エネって何?」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/what/]
 - 経済産業省資源エネルギー庁(2021)「2021年省エネラベルガイドブック」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/data/syoenelabel.pdf]
 - 国土交通省住宅局住宅生産課建築環境企画室(2019)ホーム>政策・仕事>住宅・建築>住宅>建築物省エネ法のページ「地域区分の見直し」 [<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/content/001345409.pdf>]
 - オンレイECO床暖システム(2022)「高気密・高断熱の家に住んでみて分かったメリット・デメリット」 [https://ecoyukadan.jp/column/kokimitsu_kodannetsu_kuchiko_mi/]
 - 丁Aグループ栃木文字(2021)「栃木県の氣候ってどうなっているのかな?」 [https://www.tcchu-ja.or.jp/food/pdf/food2021_08.pdf]
 - 出口満,水石仁(2015)「【シリーズ:諸外国における住宅の節水・省エネ基準の動向】[第2回]住宅省エネ基準の国際比較と更なる省エネ化に向けて」NRIパブリックマネジメントレビュー, Vol.138. [https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_10268203_po_ck2_0150102.pdf?contentNo=1&alternativeNo=1]
 - 経済産業省,環境省(2021)「ZEHの普及促進に向けた政策動向と令和3年度の関連予算案」 [<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001388304.pdf>]
 - 環境省(2020)「平成31年度(令和元年度)家庭部門のCO2排出実態統計調査の結果(速報値)の概要」 [<https://www.env.go.jp/press/files/jp/114774.pdf>]
 - 省エネ住宅消費者普及ワーキンググループ(2018)「快適・安心なすまい なるほど省エネ住宅」p.1-p.25 一般社団法人住宅生産団体連合会 [[naruhodosyoueneiuitaku.pdf\(mlit.go.jp\)](http://naruhodosyoueneiuitaku.pdf(mlit.go.jp))]P12
 - 経済産業省資源エネルギー庁(発行年不明)「省エネポータルサイト」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/]



宇大生とNPOが考えた 宇都宮の持続可能なエネルギー

～驚きの再生可能エネルギーのポテンシャル～

- 編 集：宇都宮大学国際学部 地球環境政策論・環境と国際協力研究室
NPO法人うつのみや環境行動フォーラム 再生可能エネルギー部会
- 著 者：高橋若菜、今出善久、三宅徹治、楊寒、
浅野里帆、井上菜摘、内田啓子、上田智香、閻子瑩、小澤 真理奈
加藤はるか、齋藤涼、鈴木悠太、高橋この葉、田所 莉沙、張喬、塚原綾子、
長瀬加菜子、藤田雅、古谷菜々香、堀有希、丸山浩平、山崎彩貴、
吉田明日香、和田彩那
- 発 行：宇都宮大学国際学部 高橋若菜研究室
- 発 行 年 月：2022年3月
- 連 絡 先：〒321-8505 栃木県宇都宮市峰町350
TEL : 028-649-5174
E-mail : takahashioffice.uu@gmail.com
<http://cmps.utsunomiya-u.ac.jp>
事業>UU3Sプロジェクト>刊行物に掲載