

陸上養殖における再生可能エネルギーの活用について

IoT を用いた監視方法の検討

3-1 陸上養殖における再生可能エネルギーの利用.....	2
(1)浅部地中熱利活用	2
(2)太陽光発電・風力・バイオマス発電利活用.....	12
(3)排熱の利活用	28
3-2 IoT を用いた監視方法の検討.....	38
(1) IoT を用いた監視方法の検討.....	38
(2) 次年度への提案事項.....	38

3-1 陸上養殖における再生可能エネルギーの利用

(1) 浅部地中熱利活用

1) 地中熱の利用方法

地中熱利用システムは比較的浅部（地表から深さ数～数百 m）の地中に賦存している熱エネルギーを冷暖房や融雪等に利用する技術である。特に 10 m 以深の地中温度は季節に係わらずほぼ安定しているため、その安定した熱エネルギーを地中より取り出して活用することが一般的である。利用方法として、(1) ヒートポンプシステム、(2) 空気循環、(3) 熱伝導、(4) 水循環、(4) ヒートパイプの 5 つが提唱されており、用途に合わせて選定する。

以下に、地中熱の利用方法に係わる 5 つの分類（図 1）について、その概要を記載する。

(1) ヒートポンプシステム： 通常、地表から数～100 m 程度までの掘削孔内に挿し込んだ伝熱管を熱交換器とし、ヒートポンプを用いて地下部位からの採熱量を増やす。当該システムは、地下に埋設した管に不凍液や水を循環させて熱交換するクローズドループ型*1 と、井戸から地下水を汲み上げて熱交換するオープンループ型*2 や帯水層蓄熱（Aquifer thermal energy storage ; ATES）型の 2 つの方式に大別される。なお、ATES システムとは、例えば夏季の冷房排熱を帯水層に蓄熱し、冬季にはその熱を暖房に利用すること等を意図したもので、季節によって揚水用と還元用の井戸を入れ替えることで利用効率の向上を目指したオープンループ方式の発展型である。なお、地中熱利用時に地下水の存在が熱交換量に大きく影響するため、特に日本においては地下水の水位や流量の把握が重要といわれている。

*1；基本的に土中温度そのものを利用し、土中孔に液体（水や不凍液等）をポンプで循環させることによって熱交換させ、地上施設内の空調などを加温・冷却する方式。土中温度のみ利用するため、設置場所はどこでも構わないことが最大のメリットである。

*2；比較的浅い土中に流れる地下水を利用して熱交換を行う方式で、掘削可能な土中に帯水層が存在し、かつ、水質が良く、地下水枯渇の恐れが無いことが条件となる。本条件を満たす場合、陸上養殖時の水質管理、システム洗浄や補給等に必要な温度変化の小さい地下水の汲み上げ利用が可能となるほか、地下水との熱交換を通して飼育水の温度管理に必要な電力の削減等につながる。一方で、オープンループ型は汲み上げた地下水を熱交換後、土中の地下水層へと流し戻すループが基本必要となる。したがって、地下水の大量消費に伴う地盤沈下のみでなく、養殖施設付近に使用中の井戸を持つ世帯や事業所がある等の場合は返送水による地下水汚染の防止対策も必要となる。

(2) 空気循環： 住宅・ビル等の保温や換気に用いられる方式である。地中に埋設した熱交換パイプに外気を導入し、熱交換された空気を室内に取り込む。

- (3) 熱伝導： 住宅の保温等の目的で用いられる方式である。地中から伝わる熱によって、住宅内の保温を行う方法であるが、一般にはエアコン等の空調設備を併用することが多い。
- (4) 水循環： クローズドループ（地中熱交換）方式とオープンループ（地下水循環）方式がある。地中熱交換井戸に熱交換器を挿入し、これと路面に埋設した放熱管との間に不凍液等を循環させる。地下水を揚水し、これを路面意埋設した放熱管に導き、地下水の持つ熱によって路面の融雪。凍結防止等を行う。
- (5) ヒートパイプ： 冷媒の蒸発と凝縮で熱を移動させるシステムで、深さ 15～20 m の熱交換井に冷媒が封入されたヒートパイプを数本挿入し、その上部を路面下に放熱管として埋設する。

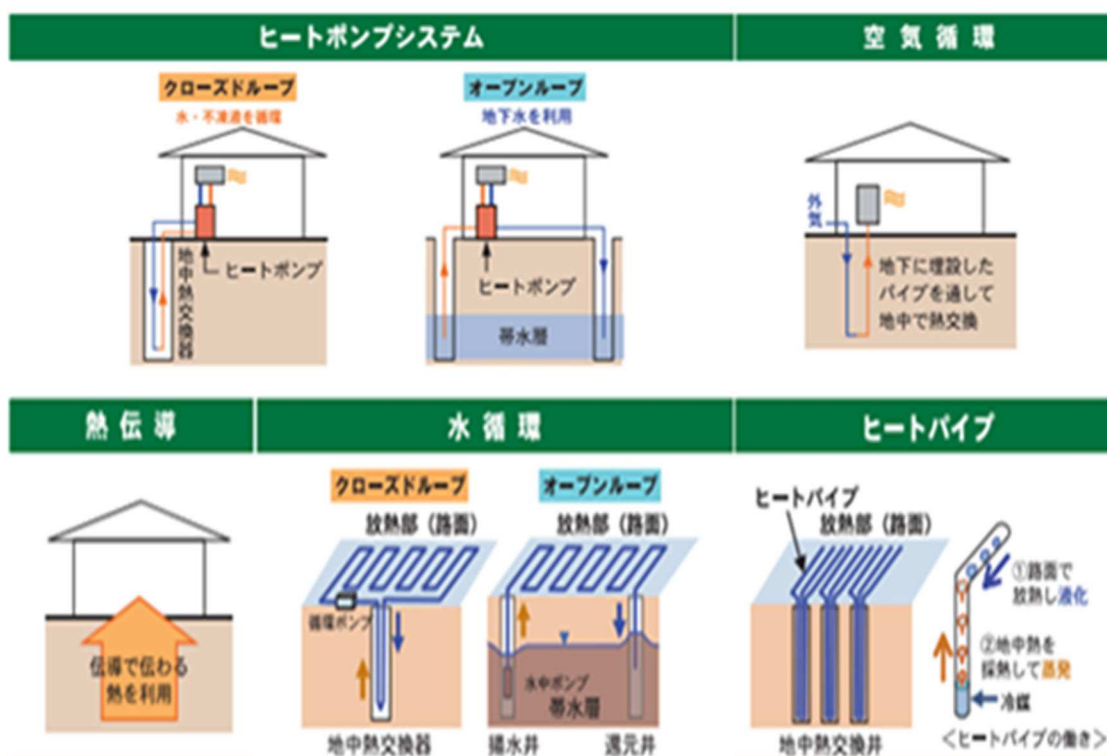


図1 地中熱のさまざまな利用方法

地中熱利用システム 環境省 水・大気環境局 土壤環境課 地下水・地盤環境室 Gh_Pamph2019
http://www.env.go.jp/water/jiban/pamph_gh/Gh_Pamph2019%28A4%29.pdf より引用転載

2) 宮城県における浅部地中熱のポテンシャル評価と地質との関係

産総研再生可能エネルギー研究センター (FREA) 地中熱チームと地圏資源環境部門地下

水研究グループが、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDOと記述)の委託事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」として東北地域を対象とした「地中熱ポテンシャルマップ」を作成し、公表している。その中には、宮城県(仙台平野)を含め5地域が地質や地下水環境を評価し、地中熱の潜在的な利用可能性(ポテンシャル)を「見える化」した「地中熱ポテンシャルマップ[クローズドループの地中熱ポテンシャルマップおよびオープンループ(帯水層蓄熱)の地中熱利用適地マップ]*3が作成されている。ただし、これは仙台平野を対象としたもの(図2)で、石巻圏域に関する当該マップはない。

しかしながら、上記情報と同地域の地質図*4(図3)を照合すると、ATES最適地は堆積岩地帯とほぼ一致する。すなわち、同地帯は新生代第四紀完新世(≒沖積世)に形成され、谷底平野・山間盆地・河川・海岸平野堆積物で構成されていることがわかる。

同様のことは、青森県津軽平野、秋田県秋田平野、山形県山形盆地、福島県郡山盆地でのポテンシャル評価マップと同地域の地質図を重ね合わせてもいえる。すなわち、青森県津軽平野では七里長浜から内陸側の平川と岩木川、浅瀬石川などが合流する津軽平野のほぼ全域、秋田県秋田平野では雄物川最下流域と秋田運河周辺、山形県山形盆地では最上川や寒

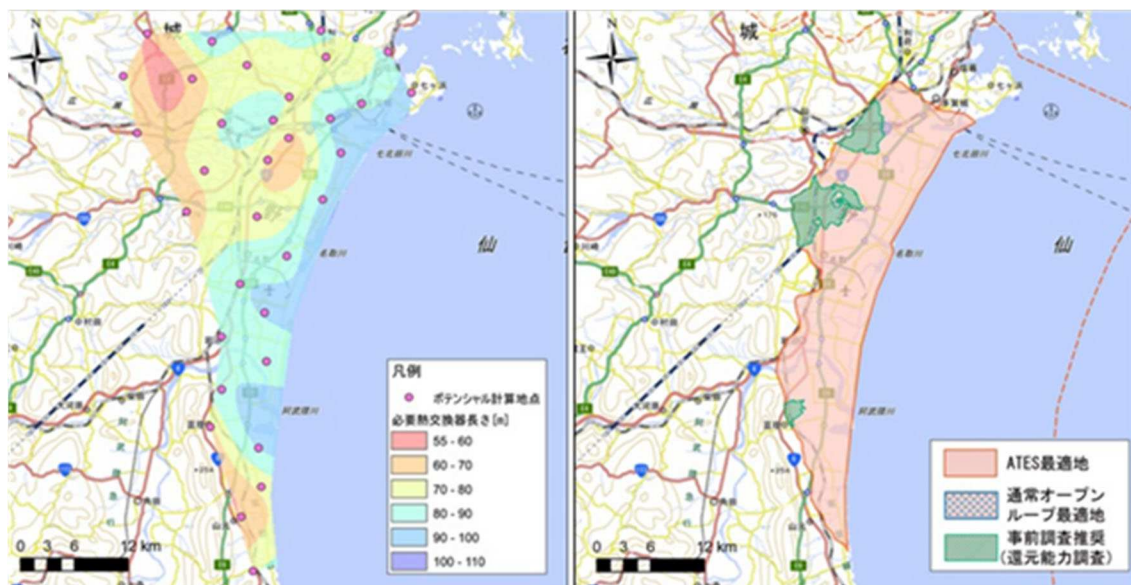
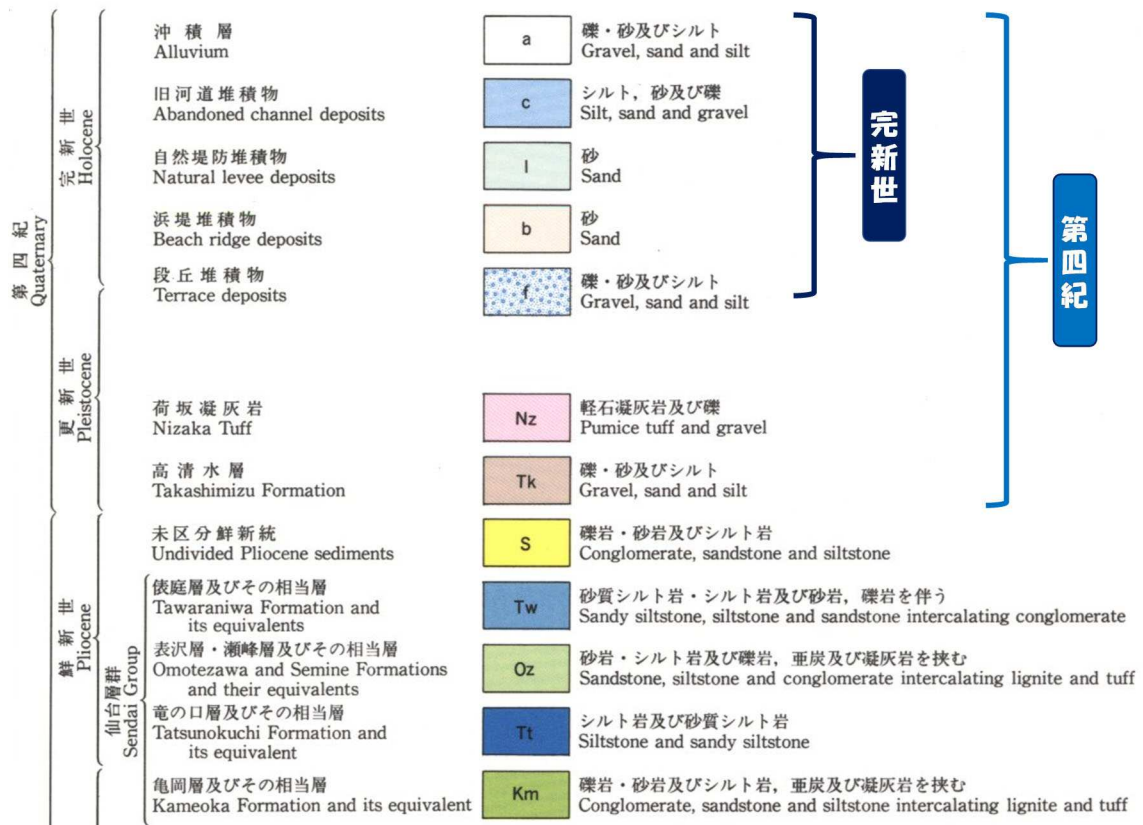


図2 宮城県仙台平野のポテンシャル評価マップ

「再生可能エネルギー熱利用技術開発」地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化 地中熱ポテンシャルマップ取扱説明書 https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP/GSHP_manual.pdf 参照



図3 宮城県仙台平野の地質図



産総研 地質図ナビ シームレス地質図 V2 20万分の1 「石巻第2版」 図福表示

<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#11,38.44545,141.41719>

河江川が流れ込んで扇状地を形成・発達させてきた地域が、また、福島県郡山盆地では 1882 年に猪苗代湖水源の安積疎水群が開削されてから同周辺地域が、それぞれ ATES 最適地であるとされている。いずれの地域も、前出の仙台平野同様、堆積岩地帯である。

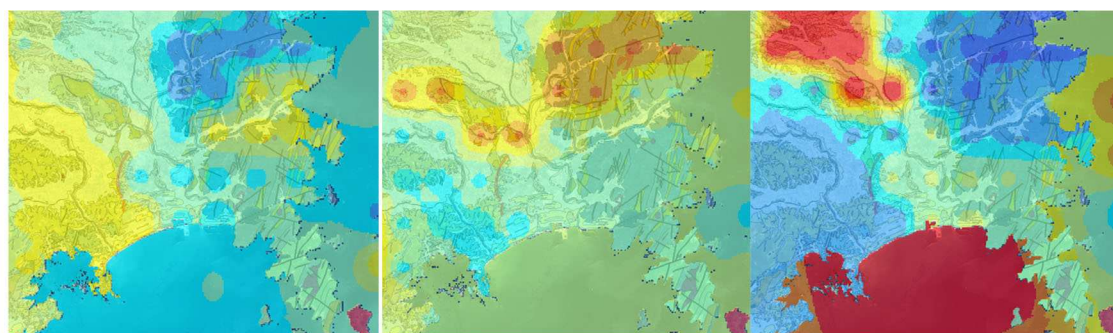
*3 ; GREEN 国立資源環境研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

<https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html> 参照

*4 ; 地質図表示システム 地質図 Navi 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 / 地質調査総合センター

<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#10,38.41000,141.10577> 参照

地質図によると、石巻圏域全体としては堆積岩分布地帯の面積が大きく、新北上川下流域の大川地域や北上地域にも同分布が広がっており、新生代第四紀完新世に形成され、谷底平野・山間盆地・河川・海岸平野堆積物で形成されたものと一致する。ただし、地形区分上では石巻圏は牡鹿山地、石巻・矢本丘陵地、鳴瀬丘陵地、石巻平野（石巻～矢本～野蒜海岸）の 4 つに分けられており、それぞれ地下水の分布や同水質にも違いのあることが報告されている。たとえば、牡鹿山地の深谷下部では伏流水が豊富であり、基盤岩の風化帯に包蔵されている自由地下水とともに水源井として利用されていること、石巻平野を取り囲む桃生丘陵地は被圧・自由地下水に乏しいがその内側で平野に接する矢本の小松地区は鮮新世の軟質中～粗粒砂岩中に包蔵されている被圧地下水が豊富で、上水道水源に利用されていること、石巻平野では臨海部で砂丘の自由地下水、洪積世の礫層中の被圧地下水は良質であること等が記載されている（図 4 参照）。



Na₂O (ナトリウム)

Fe₂O₃ (鉄)

Zn (亜鉛)

図 4 石巻地域の Na₂O、Fe₂O₃、Zn の分布（地球化学図）

地理院地図 全国ランドサットモザイク画像： 国土地理院

データソース： Landsat8 画像 (GSI, TSIC, GEO Grid/AIST) , Landsat8 画像 (courtesy of the U.S., Geological Survey) , 海底地形 (GEBCO)

3) 石巻圏域における地質図と井戸所在地の比較

以上のことから、石巻圏域における地質図と井戸所在地の比較を行った。図5および同付図(5-2:詳細図)に、石巻圏域における地質図と井戸の位置を記載する。

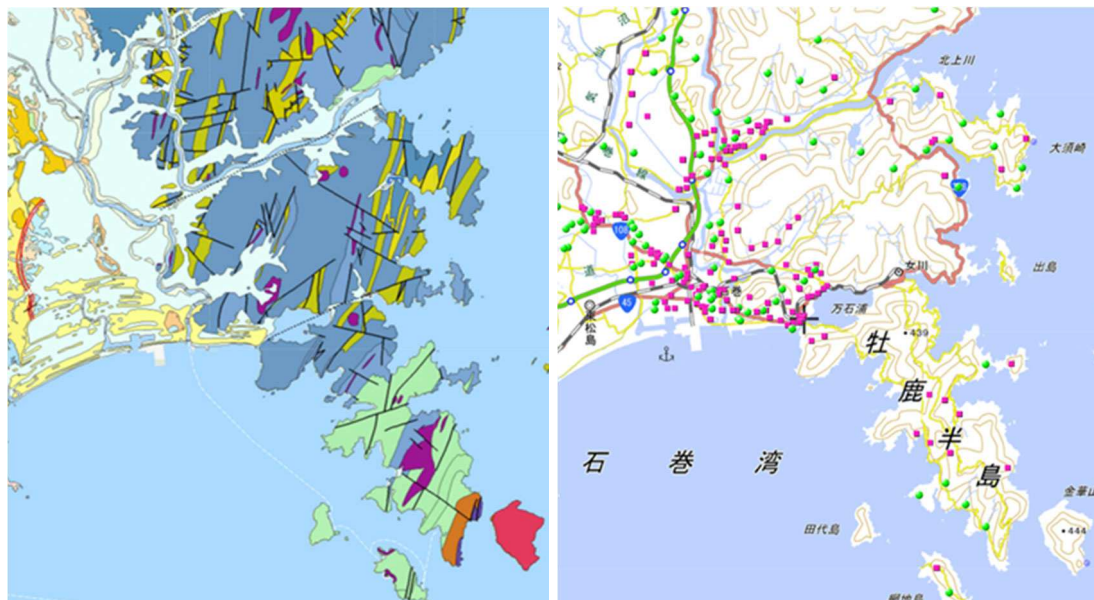
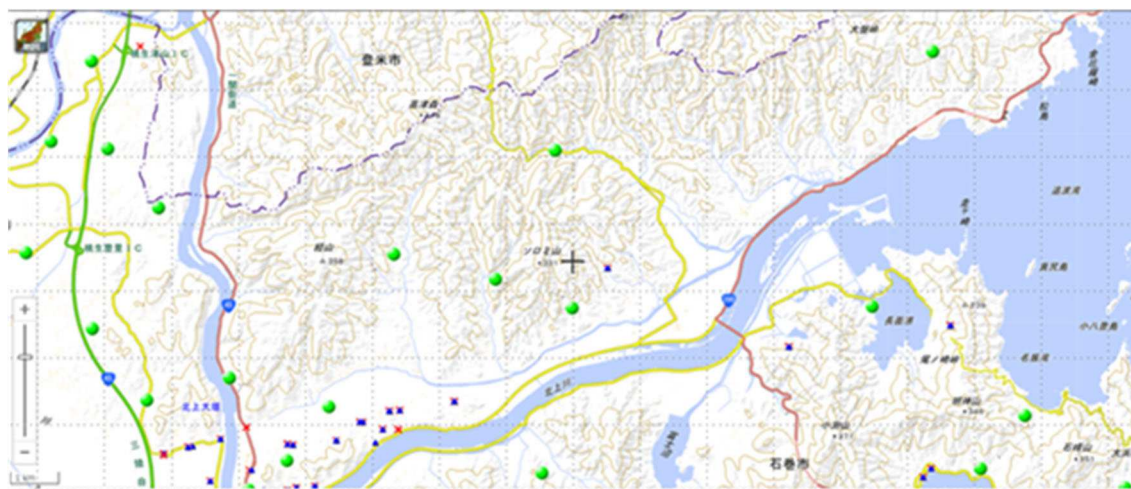


図5 石巻地域の地質図と井戸所在地の比較

右：宮城県石巻保健所 平成22年、23年井戸調査報告書の井戸所在地をもとに作成
使用中の井戸 ● 飲用 ■ その他用途
井戸所在地=個人情報のため大字小字までの集落単位で表示

A) 新北上川流域河口付近



B) 河北・雄勝エリア



C) 旧石巻市エリア



井戸位置詳細図 (図5付図)

使用中の井戸 ● 飲用 ■ その他用途、 × 不使用

4) 地中熱利用における課題と今後の展開

地中熱利用に際しては、地中から熱を取り出すための地中熱交換井を掘削する必要があるが、同掘削費用はエアコン等の空気熱利用ヒートポンプシステムと比較するとかなり高価であり、初期費用負担が地中熱利用システム導入を妨げていると言われてきた。ただし、地中熱交換井掘削時に通常のボーリング方式ではなく、鋼管ねじ込み方式(簡易なボーリング方式)等を使用したり、地域の地質に適した掘削工法を採用すること(施工法の検討による地中熱交換井掘削経費の節減)、および、後述したようにヒートポンプ機器の普及に伴い価格が大幅に低下したり、当該システムの普及を望む掘削業者等の働き(供給側の状況)等によって、地中熱利用に係わる初期投資価格の圧縮も徐々にではあるが進んできた。

地中熱ポテンシャルは「地質・地下水位・地下水流速・地下温度・水質など」の情報データによって導き出される「熱交換量、可能採熱量、適度」により数値的に評価される(図6)。

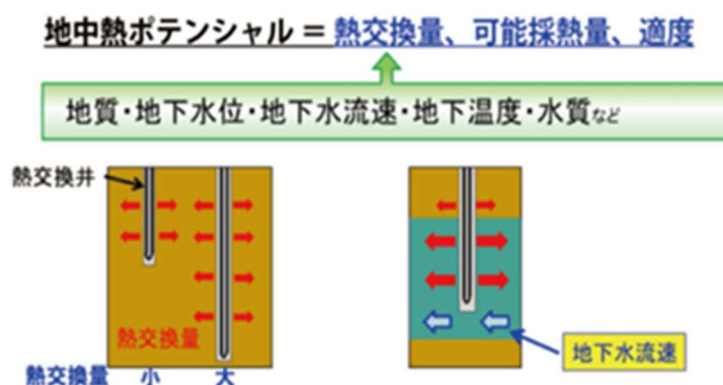


図6 地中熱ポテンシャルの数値化に係わる指標

産総研地質調査総合センター <https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/GSHP.html>

地中熱ポテンシャル(採熱効率等)の評価については、既に多くの情報が提供されている。また、地中熱とその利用に関しても多くの調査報告例があり、同事業の概要等を含めて導入事例を含めた情報も多い。以下の情報サイト*5をご参照下さい。

*5; GeoHPAJ 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 HP 地中熱関連論文紹介

<http://www.geohpaj.org/introduction/index9> 参照

(学会誌・論文集、研究機関報告書、団体等発行図書別に記載有り)

一方で、地中熱エネルギー利用に関しても、他のエネルギー利用時と同様にその初期投資額等に係わる情報が必要になる。しかしながら、我々が同関連情報に接する機会はほとんどないに等しい。下記に参考価格を付記しておく(表1、図7 他)ので、必要に応じて参照頂ければ幸いである。

- 1) 新規に井戸を掘る場合には、深さ20~40mの井戸1本あたり20~50万円程度、50m以上では60~100万円程度の費用がかかる。<クローズドシステム>
- 2) 戸建住宅1件分のセントラルヒーティングを想定すると、冷暖房放熱器とヒートポンプ機器で約200万円程度、地中熱を採熱するための掘削費用が150~200万円の計約400万円前後となる。ただし、最近ではヒートポンプ機器の普及に伴い価格が大幅に低下し、また、このシステムを真剣に普及させようとする掘削業者等の働きにより、掘削費も1mあたり1万円以下で工事を行う物件も増えてきた。そのため、現在では280万円前後の導入コストとなっている。 ※価格は住宅の立地条件や住宅性能などにより異なる。詳しくは最寄の営業所へ問い合わせ要。<クローズドシステム>

- 3) 調査費用 50～200 万円、井戸掘りや設備費用は別途必要。水質条件等によりパイプ素材の変更が必要になる。オープンシステムはクローズドシステムの 3～数倍程度必要。
- 4) 設置場所が北海道で、25kW 出力の地中熱ヒートポンプを設置したとすると、ボアホール（井戸水を利用できない場合には、地中熱の熱源として、深さ 100m 程度の孔を掘削し、熱交換用パイプを埋め込んだ熱交換井を使用）の場合は 1,535 万円、浅層採熱の場合 925 万円となるが、開発中の技術であるため、目安である（表 1）。

表 1 初期投資内訳(目安)(単位:円)

	ボアホール (600m)	浅層採熱 (45m×8 系統)
掘削費	900 万	135 万
配管部材	135 万	215 万
掘削労務費	35 万	40 万
不凍液	80 万	140 万
HP 据付費	40 万	50 万
HP	280 万	280 万
循環ポンプ	5 万	5 万
電気工事	60 万	60 万
合計	1535 万	925 万

注)ボアホールと浅層採熱で掘削法や熱交換パイプの長さが異なるため、掘削工事費、配管部材、掘削労務費、不凍液のコストが異なる。

ハウス暖冷房に地中熱ヒートポンプの導入をお考えの皆様へ

2015 年 10 月 12 日 (途中版) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所 (つくば市) より引用

http://www.naro.go.jp/laboratory/nire/introduction/chart/0305_01.html

- 5) 青森県が、総務省の「緑の分権改革」推進事業の委託を受け、県内の地盤の熱伝導率や熱容量、地下水流による効果等を文献や実地で調査するほか、全市町村で住宅・事業所・農業ハウス等での地中熱利用を想定した実地調査（サーマルレスポンステスト（熱応答試験））を実施し、本県のポテンシャルマップを作成するとともに、調査地点から 2 地点程度を選定し、実際に地中熱利用システムを導入して運転実績データを収集し、環境性・経済性等の効果や課題等を検証する。本課題に関係する部位は以下の通りである。現状コストとして、融雪配管工事 50 万円、熱交換井掘削 75 万円、ヒートポンプ 60～100 万円の計 185 万円～225 万円が掛かる。

・地中熱利用熱交換井戸 融雪能力

- i) 今回の調査による実証試験から、10m 鋼管杭方式井戸で 夜間 802W と求められた。ただしこれは上部での断熱性を高めることでの条件付きである。理由は以下の通り：鋼管の熱伝導が良く、地上部での低温で熱が奪われている。鋼管の半径（40 か 80mm）が大きく、上部で低温水が貯留。

ii) 50m ボーリング方式井戸では夜間 838W と求められた。

ランニングコスト：単に不凍液の循環ポンプの電気代だけで済むので、石油、電気ヒータ利用比べて、一桁程度少ない費用で済む。

・ヒートポンプレス+ボーリングレス方式

設置コストはヒートポンプを使用しないことにより 60-100 万円の設置コスト削減、鋼管杭埋め込みにより 45 万円の削減 ⇒ 個人住宅でも 80 万円で駐車場融雪設置可能



図7 50m 深熱交換井戸と 10m 深熱交換井戸実証実験(左)、同実証実験融雪システム(右)
青森県地中熱・温泉熱利用ポテンシャル調査事業報告書

https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/energy/enerugi/files/201103_midorinobunken_aomoriken.pdf

なお、陸上養殖施設への地中熱エネルギー活用時には、初期投資コスト削減の意味も含め、飼育水槽を室内に設置し、飼育水温の調節にスポットを当てて当該エネルギーを使用する場合等には、水循環方式（可能であればオープンループ型）の利用・併用も有効と考える。

「3）石巻圏域における地質図と井戸所在地の比較」に記したように、飲用井戸の分布と地質図を照らし合わせることで、オープンシステム型ヒートポンプ又は ATES システムによる地中熱利用の可能性は高まると考える。しかしながら、今回は現地調査による井戸の残存確認や水質調査等を行っておらず、石巻市における古井戸活用型浅部地中熱の具体的評価には至っていない。また、宮城県提供の井戸調査は東日本大震災前の情報で、その後は更新されていないため、今後、各総合支所との連携協働により残存井戸の確認調査が必要となる。特に低平地周辺・外縁エリアを中心とした古井戸活用型の陸上養殖施設の設置可能性を具体的に検討するために、残存確認と同時に水質等の調査も並行実施することが望ましい。

また、ある企業（深さ 30m まで掘削し、約 17m 部位において熱交換を実施しているが、水質に問題があり、クローズドシステム型ヒートポンプとして稼動中）では、地中熱エネルギーの利用時に、地下の採熱・放熱部位周辺で温度停滞現象等が生じ、熱の移動・取出し効率が低下する場合があることから、地中熱エネルギー利用時にも他の再生可能エネルギーの活用を排除することなく、混合エネルギー供給系の利用を推奨しているため、その旨申し添えたい。

(2)太陽光発電・風力・バイオマス発電利活用

1) 太陽光・風力・バイオマスの利用方法

再生可能エネルギー（Renewable Energy）は、化石エネルギーとは異なり、太陽光や風力等の自然界に常在しているエネルギーのことで、環境にやさしく、枯渇する心配が無いため、新エネルギーとして注目されている。中でも、太陽光発電は設置場所に制限が少なく、当該エネルギーの中では導入し易い発電設備である。また、環境配慮面では最も優れた部類に入る。（近年、紫外線を利用できるパネルも開発されているが）日中のみ発電可能であり、火力等の一般の発電設備設置に比べて未だ導入コストが高いという欠点もあるが、導入価格の低下も進んでおり、利用・稼動に至るハードルはかなり低下してきている。

風力発電は風力で風車（タービン）を回して電気を作り出す方式であり、環境にやさしく（陸上風力発電ではこのように述べられているが、洋上発電ではスケールの拡大とともに、運転に伴って発生する低周波や微振動等による生物影響を懸念する声もある）、風さえ吹けば24時間どこでも高効率で電気を作り出すことができるため、導入促進が望まれている発電方法である。導入コストは比較的安いが、台風や地震によって停止・故障し易いという欠点もあり、今後は設備の耐久性向上等も解決すべき課題として挙げられている。

バイオマス発電は、バイオマス燃焼時に発生する熱を用いて水を水蒸気に変え、タービンを回して電気を作る方式である。バイオマスの燃焼過程ではCO₂が発生するが、「京都議定書」では、「光合成によってCO₂を吸収する植物を燃料として使用した発電はCO₂を排出しないものとみなす」とされているため、再生可能かつ環境にやさしい発電方式に属している。一方で、バイオマス資源の分布は拡散しているため、収集・運搬・管理にコストが掛かり、それに付随して小規模分散型の設備になることが多いのも欠点の一つである。



図8 再生可能エネルギー、新エネルギーの 카테고리*

*; 関西電力 再生可能エネルギーへの取り組み 再生可能エネルギーとは より引用

https://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/newenergy/about/index.html

なお、再生可能エネルギーの中には、オイルショック等による石油等の価格高騰や地球温暖化防止を背景に、『非化石エネルギーのうち、技術的には実用段階であるが経済的な理由から普及が十分に進んでおらず、利用促進を図るべきエネルギー源（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法）』として分類されるもの（以上）も含まれる。

2) 宮城県における太陽光・風力・バイオマスのポテンシャル評価

表2に、国内電力会社の2022年1～2月および2021年4～6月における太陽光発電の最大供給比率と最大供給量を示す。太陽光発電の最大供給比率と最大供給量は、それぞれ、全体の20～100%と20～80%であった。太陽光発電は、再生可能エネルギーの中でも導入が進んでおり、現状では再生エネルギーの中でも発電量が多く、比較的導入しやすい発電方法である。加えて、住宅用太陽光発電システムを対象とした場合、今後、その価格は市場競争、習熟効果、技術革新により低減することが予測されており、例えば成長が現状維持のケースでは2020年度に平均20万円/kW前後であったものは、2030年度には14万円/kW程度に、導入・技術開発が加速されるケースでは、蓄電システムとのセット販売や流通合理化等の効果が加味され、2030年度には11万円/kWに半減するとの予測^{*6}がなされている。また、従来はパネル寿命を短くすると言われてきた紫外線に対する耐性が強化されたり（寿命延長）、紫外線自体も太陽エネルギーとして有効に活用することのできるパネルが開発されたりしている（吸収した紫外線を可視光に変換させる吸収シートを導入する等して、入射光量を増やすことで、発電出力向上を図ったり、曇りの日等でも発電を可能にしたりすることも踏まえて、最新の太陽光パネルの利用効率は38%程度にまで上昇しているものもある）他、折り曲げ可能なパネルの開発も進んでおり、導入を後押しする技術・情報も増えてきた。

ただし、太陽光発電は、夜間等の太陽光が当たらない時は発電自体ができないことに加え、天気が不安定な梅雨や秋雨の時期、および、降雪の時期等には発電量が不安定になるなど、発電エネルギー量の変動が大きいことにも配慮が必要である（図9）。石巻市および同周辺域は宮城県内でも太陽光の照射時間の長いところであるため、宮城県内では太陽光発電に適した地域ということができるとであろう。少なくとも、売電を目的とせず、陸上養殖施設の稼働に必要な電力（あるいはその一部）をまかなう程度の自家消費型の小規模事業用太陽光発電を前提とした場合は、今回の実地試験の結果（石巻において太陽電池の発電効率を12%として1日の太陽光パネル1m²あたりの発電量を見積もると、1月初旬、10月中旬それぞれ0.456 kWh/m²と0.450 kWh/m²となり、太陽光のみで電力をまかなうとしたときのパネル面積はそれぞれ38.71 m²と43.49 m²となる）からもその有用性はクローズアップされる。

なお、太陽光発電の導入に際しては、初期費用（太陽光パネル以外にもパワーコンディショナ等の付属設備が必要）だけでなく、定期点検（4年毎に2～3万円程度）やシステム構成部品の交換（太陽パネルは約20年毎、蓄電池は数年～15年毎、パワーコンディショナは

10～20年毎にそれぞれ交換が必要で、後者の費用は20万円程度)、破棄等にもコストが掛かることを考慮しておく必要がある。

*6；株式会社資源総合システム、「住宅用太陽光発電システム市場の現状と見通し（2021年版）～今後のビジネス展開に向けて～」、2021年3月1日発刊

表2 国内電力会社の2022年1～2月および2021年4～6月における太陽光発電の最大供給比率と最大供給量

● 2022年 最大供給比率（割合） - 2022年				● 2021年 最大供給比率（割合） - 2021年			
北海道	26.82 %	1059 MWh	2022-01-10 11:00	北海道	60.27 %	1760 MWh	2021-04-11 12:00
東北	34.42 %	3538 MWh	2022-01-10 12:00	東北	75.93 %	5401 MWh	2021-05-04 12:00
東京	41.44 %	12420 MWh	2022-02-27 12:00	東京	51.81 %	13050 MWh	2021-05-04 11:00
中部	51.43 %	7559 MWh	2022-02-26 12:00	中部	77.85 %	7952 MWh	2021-05-04 11:00
北陸	20.44 %	672 MWh	2022-01-10 12:00	北陸	42.95 %	957 MWh	2021-05-04 12:00
関西	22.44 %	3121 MWh	2022-01-03 12:00	関西	41.92 %	4891 MWh	2021-05-03 11:00
中国	62.00 %	3256 MWh	2022-01-03 12:00	中国	90.25 %	4470 MWh	2021-05-03 11:00
四国	68.92 %	1730 MWh	2022-01-02 12:00	四国	101.31 %	2320 MWh	2021-05-03 11:00
九州	66.61 %	7218 MWh	2022-01-31 12:00	九州	81.81 %	6980 MWh	2021-02-23 12:00
沖縄	28.65 %	210 MWh	2022-01-03 12:00	沖縄	37.31 %	288 MWh	2021-04-18 12:00

最大供給力 - 2022年				最大供給力 - 2021年			
北海道	1059 MWh	26.82 %	2022-01-10 11:00	北海道	1877 MWh	51.69 %	2021-04-26 11:00
東北	3646 MWh	29.95 %	2022-01-26 11:00	東北	5949 MWh	69.31 %	2021-09-19 11:00
東京	13250 MWh	34.34 %	2022-02-28 11:00	東京	14310 MWh	41.66 %	2021-03-24 12:00
中部	7591 MWh	49.17 %	2022-02-26 11:00	中部	8450 MWh	51.48 %	2021-04-26 11:00
北陸	699 MWh	20.40 %	2022-01-10 11:00	北陸	1026 MWh	29.51 %	2021-04-26 11:00
関西	3394 MWh	20.72 %	2022-01-10 12:00	関西	5250 MWh	31.68 %	2021-04-26 11:00
中国	3464 MWh	51.50 %	2022-01-08 12:00	中国	4762 MWh	76.50 %	2021-04-26 12:00
四国	1880 MWh	54.49 %	2022-01-22 11:00	四国	2330 MWh	80.07 %	2021-04-26 12:00
九州	7218 MWh	66.61 %	2022-01-31 12:00	九州	8070 MWh	72.32 %	2021-06-08 12:00
沖縄	224 MWh	27.52 %	2022-01-04 12:00	沖縄	291 MWh	31.19 %	2021-04-30 12:00

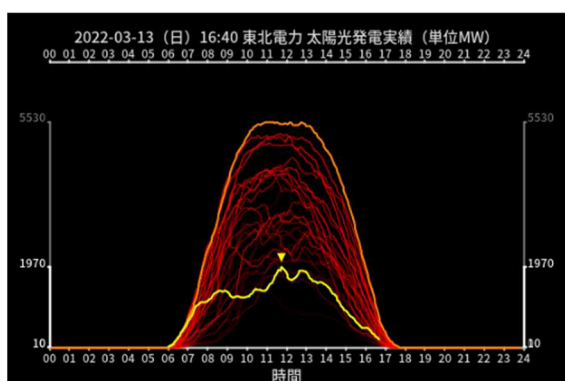


図9 2022年3月13日（黄色線）を含めた東北電力太陽光発電実績（発電量の変化）

表3に、国内電力会社の2022年1月および2021年における風力発電の最大供給比率と

最大供給量を、図10に東北電力の風力発電実績を示す。風力発電の最大供給比率と最大供給量は、それぞれ、全体の0.8～17%と0.6～16%であった。風力発電は、再生可能エネルギーの中でも、太陽光と同様に大きく期待されている。風力発電の持つメリットとして、安定して強い風が吹く場所であれば、尽きることのない風のエネルギーを電気エネルギーに変えることができる（資源の枯渇がない）、有害物質を排出しない、夜間でも風さえ吹けば発電が可能、発電効率が比較的高い（風力発電の発電効率は20～40%；太陽光発電のモジュール変換効率は一般に15～20%。近年、25～38%を達成したものもある）、発電にかかるコストが低くなりつつある等が挙げられる。ただし、陸上養殖に参入を検討しているような小規模事業者の場合、小型の風力発電装置の導入になるため、費用対効果は低下することになる。なお、石巻市や同周辺は県内でも風の強い地域であること、および、海上での風力発電に余地を残していることから同発電方式には適した地域であると言える（図11）。

表3 国内電力会社の2022年1月および2021年における太陽光発電の最大供給比率と最大供給量

● 2022年 最大供給比率（割合） - 2022年				● 2021年 最大供給比率（割合） - 2021年			
北海道	9.93 %	412 MWh	2022-01-14 22:00	北海道	14.00 %	387 MWh	2021-10-17 11:00
東北	12.60 %	1183 MWh	2022-01-03 00:00	東北	17.24 %	1268 MWh	2021-04-19 01:00
東京	0.99 %	280 MWh	2022-01-01 05:00	東京	1.69 %	390 MWh	2021-03-22 00:00
中部	2.18 %	262 MWh	2022-01-01 05:00	中部	2.24 %	261 MWh	2021-12-31 05:00
北陸	3.48 %	101 MWh	2022-01-02 12:00	北陸	4.98 %	111 MWh	2021-05-02 07:00
関西	0.78 %	126 MWh	2022-01-12 04:00	関西	1.99 %	217 MWh	2021-05-17 01:00
中国	2.45 %	126 MWh	2022-01-02 13:00	中国	3.78 %	199 MWh	2021-10-17 06:00
四国	5.52 %	170 MWh	2022-01-04 06:00	四国	8.02 %	170 MWh	2021-10-17 07:00
九州	3.10 %	398 MWh	2022-01-11 13:00	九州	5.12 %	356 MWh	2021-03-28 00:00
沖縄	1.49 %	11 MWh	2022-01-11 23:00	沖縄	1.87 %	12 MWh	2021-01-29 01:00

最大供給力 - 2022年				最大供給力 - 2021年			
北海道	412 MWh	9.27 %	2022-01-14 20:00	北海道	406 MWh	9.96 %	2021-01-27 14:00
東北	1311 MWh	10.12 %	2022-01-14 20:00	東北	1358 MWh	16.06 %	2021-11-22 22:00
東京	300 MWh	0.69 %	2022-01-12 11:00	東京	410 MWh	0.97 %	2021-02-02 08:00
中部	282 MWh	1.32 %	2022-01-18 15:00	中部	285 MWh	1.67 %	2021-12-27 23:00
北陸	119 MWh	2.72 %	2022-01-26 18:00	北陸	134 MWh	4.39 %	2021-12-12 20:00
関西	132 MWh	0.55 %	2022-01-18 10:00	関西	217 MWh	1.99 %	2021-05-17 01:00
中国	201 MWh	2.23 %	2022-01-13 12:00	中国	245 MWh	3.12 %	2021-12-17 12:00
四国	180 MWh	4.16 %	2022-01-17 18:00	四国	190 MWh	4.92 %	2021-02-02 09:00
九州	398 MWh	3.10 %	2022-01-11 13:00	九州	394 MWh	4.43 %	2021-11-30 23:00
沖縄	12 MWh	1.41 %	2022-01-06 16:00	沖縄	13 MWh	1.55 %	2021-01-17 09:00

一方、風力発電には発電量が不安定になる時がある（風速が不安定、暴風時には設備の機能停止処置が必要等）、騒音が発生する（低周波音傷害を含む）、景観を損ねる、風力発電の設置場所が限定される（生態影響をできるだけ小さく、景観を損ねることがなく、風の強さが一定である場所等）等がデメリットとして報告されている。

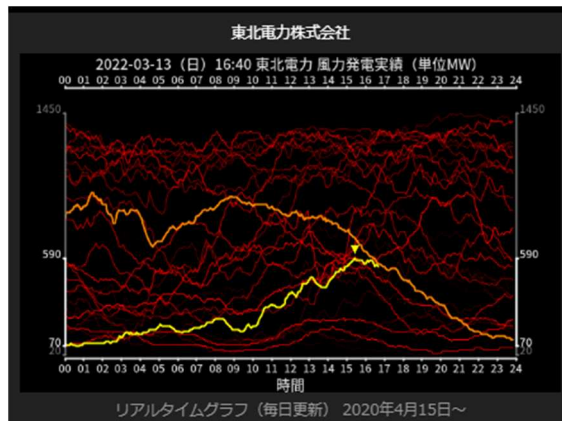


図 1 0 2022 年 3 月 13 日（黄色線）を含めた東北電力風力発電実績（発電量の変化）

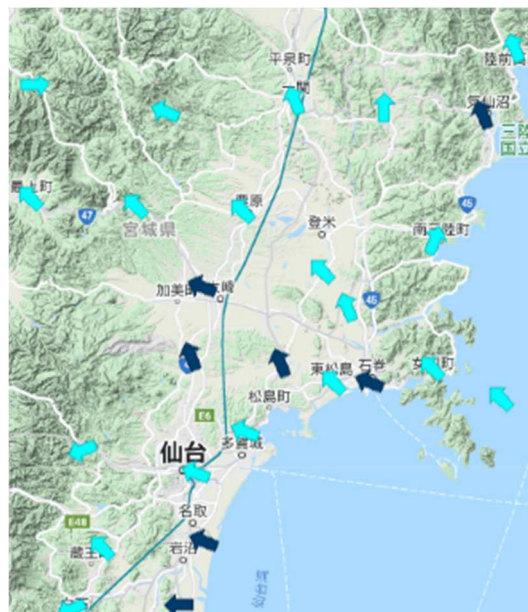


図 1 1 石巻市および同周辺地域における風の強さと向き（2022 年 2 月 28 日 16:00）

表 4 に、国内電力会社の 2022 年 1～2 月および 2021 年 3～10 月における再生可能エネルギー（太陽光発電＋風力発電＋水力発電＋地熱発電＋バイオマス発電）の最大供給比率と最大供給量を示す。再生可能エネルギーの各年の最大供給比率と最大供給量は、それぞれ、2022 年は 25～80%と 39～122%、2021 年は 39～122%と 26～122%であった。バイオマス発電は、動植物等から生まれた生物資源である「バイオマス」を燃料として燃やしたり、ガス化させたりすることで発電をする方式である。当該発電方式は燃料の供給を必要とするが、家具や建材等の燃料以外の既存用途を優先して利用し、その他に利用価値がなくなった木材や森林生態系の維持等のために間伐した材等を燃料として利用することが理想的であるとされている。なお、バイオマス発電のメリットは、発電量が安定しており、どこにでも発電所を設置できることである。

逆にバイオマス発電のデメリットにも留意する必要がある。発電の原理は火力発電や原子力発電と同じであるが、水蒸気の温度が火力や原子力よりも低いため、発電効率は10～20%程度とあまり高くない。また、木質バイオマス発電に必要な初期費用や電力を自給自足するのに必要なコストが高く、建設費として1,500 kW = 2,000～2,500 世帯分の場合は10億円以上*7、5,700 kW ≒ 10,000 世帯分では21億円*8が必要であることに加え、木質チップ化ができる工場の建設費（前者では2万トン、後者では7万トンの木材が必要；約1億円/万トン）が掛かると言われている。また、燃料が生産・加工される過程で生じる温室効果ガスの排出も問題視されている。すなわち、燃料の生産過程では時に森林破壊や森林・泥炭火災等が引き起こされている可能性があることに加え、燃料の加工や輸送、燃焼時にも温室効果ガスが発生するため、結果として火力発電の温室効果ガス排出量を上回る可能性も指摘されている。他にも導入検討時の留意点*11として、防虫・防蟻剤の混入、建築廃材や薬品等が塗布された製材残材が含まれる場合の対応（廃棄物処理）、バイオマス資源の長期調達可能性、木質系バイオマス供給量とエネルギー需要量の季節変動、バイオマス発生者からの収集・運搬や焼却灰等の運搬や最終処分に至る一連の関係者間の調整、15～20年程度の事業期間を想定した事業採算性の確認等が提示されている。

なお、同発電に伴って発生する粒径が非常に小さく、肺の奥まで入り込みやすい微小粒子状物質（以下PM_{2.5}と記述）量の増大*9についての懸念があることも申し添えたい（令和元年度および2年度のデータでは、バイオマス燃焼の指標となるレボグルコサン及びマンノサンの合計濃度は秋季の平均値では79.6 ng/m³、冬季の平均値では45.6 ng/m³となり*10、同期においてPM_{2.5}の発生源に占めるバイオマス燃焼の寄与割合は24～33%と高いことが分かった）。

*7；山林未利用材を活用した木質バイオマス発電による林業振興

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/pdf/zirei14.pdf>

*8；株式会社F Tカーボン、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）における木質バイオマス発電の動向」、2022年2月

file:///C:/Users/kakuta/Downloads/BiomassPowerPlantReport_2202%20

*9；吉川 弓林、太田 栞、菱沼 早樹子、佐久間 隆、天野 直哉、大熊 一也、福原 郁子、三沢 松子（現 東部下水道事務所）、宮城県保健環境センター 大気環境部、7 宮城県におけるPM_{2.5}中のレボグルコサンと有機酸の解析、第37回 宮城県保健環境センター研究発表会 要旨集、宮城県保健環境センター、令和4年3月4日

*10；環境基準値は1日平均値が35 µg/m³以下、年平均値が15 µg/m³以下と定められているのに対し、石巻の値は0.8～40.1 µg/m³（平均値9.4µg/m³）である。

*11；（財）新エネルギー財団「新エネルギー人材育成研修会木質バイオマスコース テキスト」、平成22年11月

表4 国内電力会社の2022年1～2月および2021年3～10月における再生可能エネルギー（太陽光発電＋風力発電＋水力発電＋地熱発電＋バイオマス発電）の最大供給比率と最大供給量

● 2022年 最大供給比率（割合） - 2022年				● 2021年 最大供給比率（割合） - 2021年			
北海道	38.48 %	1462 MWh	2022-01-10 12:00	北海道	102.47 %	2821 MWh	2021-06-06 10:00
東北	48.89 %	5102 MWh	2022-01-30 12:00	東北	121.20 %	8817 MWh	2021-05-04 11:00
東京	45.25 %	13560 MWh	2022-02-27 12:00	東京	60.82 %	15320 MWh	2021-05-04 11:00
中部	56.14 %	8251 MWh	2022-02-26 12:00	中部	91.84 %	9528 MWh	2021-05-03 11:00
北陸	36.14 %	1238 MWh	2022-01-10 11:00	北陸	100.27 %	2238 MWh	2021-05-04 11:00
関西	25.22 %	3508 MWh	2022-01-03 12:00	関西	56.98 %	7641 MWh	2021-05-30 11:00
中国	70.11 %	3682 MWh	2022-01-03 12:00	中国	107.33 %	5316 MWh	2021-05-03 11:00
四国	78.88 %	1980 MWh	2022-01-02 12:00	四国	121.88 %	3120 MWh	2021-05-23 11:00
九州	73.00 %	7910 MWh	2022-01-31 12:00	九州	90.69 %	7738 MWh	2021-02-23 12:00
沖縄	34.79 %	255 MWh	2022-01-03 12:00	沖縄	38.86 %	300 MWh	2021-04-18 12:00

最大供給力 - 2022年				最大供給力 - 2021年			
北海道	1684 MWh	35.32 %	2022-01-11 09:00	北海道	3054 MWh	85.05 %	2021-04-20 10:00
東北	5625 MWh	47.38 %	2022-01-27 12:00	東北	9257 MWh	97.98 %	2021-04-21 11:00
東京	14860 MWh	35.45 %	2022-02-25 11:00	東京	16200 MWh	48.74 %	2021-03-31 11:00
中部	8348 MWh	40.25 %	2022-02-25 11:00	中部	9854 MWh	83.97 %	2021-05-30 11:00
北陸	1417 MWh	29.78 %	2022-01-06 09:00	北陸	2415 MWh	71.51 %	2021-03-31 10:00
関西	4432 MWh	20.03 %	2022-01-28 10:00	関西	7641 MWh	56.98 %	2021-05-30 11:00
中国	3801 MWh	56.51 %	2022-01-08 12:00	中国	5741 MWh	106.10 %	2021-05-23 11:00
四国	2240 MWh	57.58 %	2022-01-31 11:00	四国	3120 MWh	121.88 %	2021-05-23 11:00
九州	7910 MWh	73.00 %	2022-01-31 12:00	九州	9261 MWh	83.00 %	2021-06-08 12:00
沖縄	270 MWh	33.17 %	2022-01-04 12:00	沖縄	324 MWh	25.96 %	2021-10-02 12:00

表5 再生可能エネルギー資源等の推定利用可能量推計シナリオの考え方

エネルギーの種類		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
太陽エネルギー	太陽光発電	屋根にのみ設置	屋根＋壁に設置	屋根＋壁に設置
	太陽熱利用	投資回収 20年	投資回収 15年	投資回収 10年
風力エネルギー	陸上風力	風速 7.5m/s 以上	風速 6.5m/s 以上	風速 5.5m/s 以上
	洋上風力（浮体式）	風速 8.5m/s 以上	風速 7.5m/s 以上	風速 6.5m/s 以上
	洋上風力（着床式）	風速 8.5m/s 以上	風速 7.5m/s 以上	風速 6.5m/s 以上
バイオマスエネルギー	木質	10年前後で想定される技術水準、導入・運用コスト及び適正な需要を当該市町村別に設定	-	物理的・技術的に導入可能な量
	農業	10年前後で想定される技術水準、導入・運用コスト及び適正な需要を当該市町村別に設定	-	物理的・技術的に導入可能な量

出典) 太陽光発電、風力発電、中小水力発電、地熱発電については環境省「平成21年度環境省再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」（平成22年3月）を基に、本ガイドラインで作成。バイオマスエネルギーについてはNEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」（平成21年3月）、農林水産省「バイオマスニッポン総合戦略」を基に、本ガイドラインで2通りのシナリオのみ検討。

上記および下記に、「再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン ～再生可能エネルギー資源等の活用による「緑の分権改革」推進のために～（平成 23 年 3 月 緑の分権改革推進会議 第四分科会）」の報告に基づいて、再生可能エネルギー資源等の推定利用可能推計量シナリオの考え方（表 5）、同シナリオを考慮して算出された太陽光発電（表 6）、風力発電（表 7）、および、バイオマス発電（表 8）の賦存量・推定利用可能量の推計結果と太陽光発電量（図 1 2）と風力発電（図 1 3）の賦存量分布を記載した。

表 6 太陽光発電の賦存量・推定利用可能量の推計結果

区分	賦存量	推定利用可能量		
		シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
住宅	506,167 ×10 ³ GWh	18 ×10 ³ GWh	23 ×10 ³ GWh	31 ×10 ³ GWh
業務用施設 (公共施設含む)		31 ×10 ³ GWh	56 ×10 ³ GWh	66 ×10 ³ GWh
産業用施設		16 ×10 ³ GWh	25 ×10 ³ GWh	34 ×10 ³ GWh
未利用地		66 ×10 ³ GWh	72 ×10 ³ GWh	82 ×10 ³ GWh

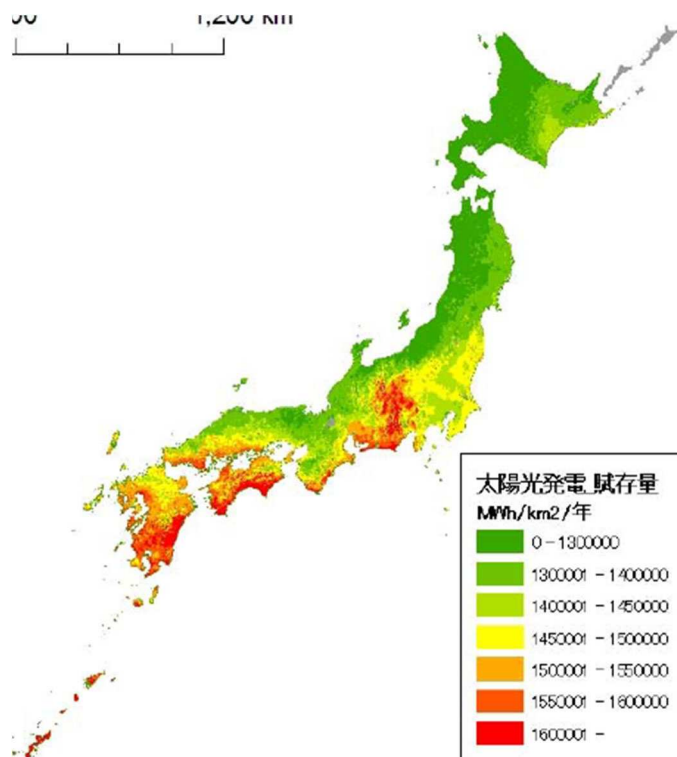


図 1 2 太陽光発電量の賦存量分布

表7 風力発電の賦存量・推定利用可能量の推計結果

区分	賦存量	推定利用可能量		
		シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
陸上	3,664 × 10 ⁵ GWh	224 × 10 ⁵ GWh	459 × 10 ⁵ GWh	680 × 10 ⁵ GWh
洋上（浮体式）	28,002 × 10 ⁵ GWh	201 × 10 ⁵ GWh	1,603 × 10 ⁵ GWh	3,389 × 10 ⁵ GWh
洋上（着床式）		18 × 10 ⁵ GWh	287 × 10 ⁵ GWh	802 × 10 ⁵ GWh

(注) シナリオ①の陸上、洋上（浮体式）、洋上（着床式）風速は、それぞれ、7.5 m/s 以上、8.5m/s 以上、8.5 m/s 以上、シナリオ②は同様に風速 6.5 m/s 以上、7.5 m/s 以上、7.5 m/s 以上、シナリオ③も同様に 5.5 m/s 以上、6.5 m/s 以上、6.5 m/s 以上とする。

出典) 環境省「平成 21 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」(平成 22 年 3 月)

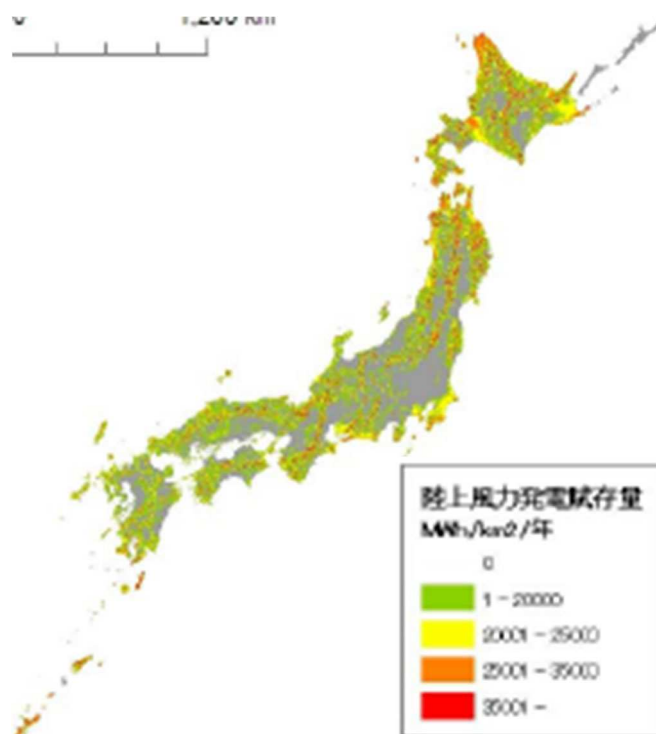


図13 風力発電量の賦存量分布

出典) 環境省「平成 21 年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」(平成 22 年 3 月)を基に、本ガイドラインで作成。

表 8 バイオマス発電の賦存量・推定利用可能量の推計結果

区分	賦存量	推定利用可能量		
		シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
林地残材	52,357 TJ	1,709 TJ	—	2,634 TJ
製材所廃材	161,634 TJ	4,466 TJ	—	10,312 TJ
公園剪定枝	1,429 TJ	694 TJ	—	866 TJ
農業残渣	154,698 TJ	16,919 TJ	—	88,660 TJ
畜産廃棄物	57,230 TJ	3,308 TJ	—	8,993 TJ

(注) シナリオ①は、10 年前後で想定される技術水準、導入・運用コスト及び適正な需要を当該市町村別に設定したもの、シナリオ③は物理的・技術的に導入可能な量とする。

出典) NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」(平成 21 年 3 月)、農林水産省「バイオマスニッポン総合戦略」を基に、本ガイドラインで作成。

宮城県におけるエネルギー需要量および再生可能エネルギー資源等の賦存量と推定利用可能量を表 6 に示す。同県のエネルギー需要量は、① 業務需要 409,150 GJ、② 農林系需要 8,151,404 GJ、③ 水産系需要 3,564,735 GJ、④ 家庭熱需要 29,702,566 GJ、および、⑤ 乗用車需要 37,376,274 GJ と想定されている。一方、同県の再生可能エネルギー資源等の賦存量は、それぞれ、太陽光発電 9,759,596,944 MWh、太陽熱利用 35,134,549 TJ、陸上風力発電 53,685,298 MWh 721、洋上風力発電 722,909 MWh、林地算材 1,152,049 GJ、製材所廃材 6,986,957 GJ、公園剪定枝 42,030 GJ、農業残渣 6,655,136 GJ、畜産廃棄物 1,458,336 GJ と推計されており、当該推定利用可能量(シナリオ別)は以下の通りである。

表 9 宮城県におけるエネルギー需要量および再生可能エネルギー資源等の賦存量と推定利用可能量

	太陽光発電	太陽熱利用	陸上風力発電	洋上風力発電*1	バイオマス発電*2
賦存量	9,759,596,944 MWh	35,134,549 TJ	53,685,298 MWh	722,909 MWh	16,294,508 GJ
推定利用可能量					
シナリオ①	1,114,611 MWh	441,172 GJ	2,660,262 MWh	4,296 MWh	1,025,868 GJ
シナリオ②	1,782,261 MWh	735,438 GJ	5,366,331 MWh	12,991,975 MWh	
シナリオ③	2,239,628 MWh	994,599 GJ	7,645,776 MWh	75,674,069 MWh	4,673,723 GJ
	林地算材	製材所廃材	公園剪定枝	農業残渣	畜産廃棄物
	1,152,049 GJ	6,986,957 GJ	42,030 GJ	6,655,136 GJ	1,458,336 GJ
	32,781 GJ	173,808 GJ	20,216 GJ	728,620 GJ	70,443 GJ
	51,687 GJ	413,718 GJ	25,472 GJ	3,967,977 GJ	214,869 GJ

*1 再生可能エネルギー資源等の推定利用可能量における洋上風力発電量については、着床式と浮体式の合計として記載。

*2 同様にバイオマス発電は下段に記載された各項目(林地算材、製材所廃材、公園剪定枝、農業残渣、畜産物廃棄物)の総和を示す。

需要量の出典 : 業務熱需要・農林系需要・水産系需要は NEDO「バイオマス賦存量・利用可能量の推計」(平成 21 年 3 月)、家庭熱需要は経済産業省「都道府県別エネルギー消費統計」(平成 20 年)、乗用車需要は(独)国立環境研究所「市区町村別自動車交通 CO2 排出テーブル」(平成 17 年)をそれぞれ基に、本ガイドラインで作成。

表9に記載した数字から各再生可能エネルギーにおけるシナリオ毎の利用率、および、太陽光発電に対する風力発電およびバイオマス発電の割合を表10に示す。太陽光発電は同賦存量に比べて利用率（賦存量に対する推定利用可能量の割合）が極めて低いものの、バイオマス発電に比べると発電総量は大きい（シナリオ③でもバイオマス発電量は太陽光発電量の60%弱に留まっている）。ただし、家庭や事業所等での導入がかなり進んでいることもあり、少なくとも他所への電力供給や売電を想定した場合、既存路線で太陽光パネル面積を増やしても、今後の伸び代はそれほど大きくはないとも言われている（2035年度には2020年度見込比6割弱まで市場規模が縮小との予測有り*9）。

一方、風力発電は陸上では急な増設には難があるものの、洋上風力発電の賦存量は離岸距離数十km以内を推計範囲とした場合でも、陸上の数倍以上の発電量を得ることが可能との試算が提示されている。また、風力発電量はいずれのシナリオ下でも太陽光発電やバイオマス発電の量に比べると大きく、陸上と洋上の風力発電量の合計は太陽光発電量の2倍強（シナリオ①）から37倍程度（シナリオ③）にもなることが分かる。

表10 各再生可能エネルギーにおけるシナリオ毎の利用率の変化

	太陽光	風力	風力(陸)	風力(海)	バイオマス	風力/太陽 (%)	バイオマス/太陽 (%)
シナリオ①	0.011	5.5	5.0	0.6	6.3	239.1	0.05
シナリオ②	0.018	1807.2	10.0	1797.2		1030.1	25.6
シナリオ③	0.023	10482.2	14.2	10468.0	28.7	3720.3	58.0

利用率 (%) : 推定利用可能量×100/賦存量

*9; スマートジャパン、自然エネルギー「太陽光は縮小し風力発電が拡大 一再エネ設備市場は2035年に大きな構造変化も一」、2021年06月30日06時00分公開

なお、再生可能エネルギーの補完としての火力発電の重要性がクローズアップされていることも注目すべき事柄であろう。火力発電は、燃料の投入量を変化させること等により、出力をコントロールすることができる電源であるため、天候等の要因によって太陽光や風力他の再生可能エネルギー由来の発電が計画通りにいかず、需給-供給バランスが崩れるような（供給量不足に陥る事態が生じる可能性が高まった）場合には、火力発電による出力を増加させることで需給バランスを調整することが可能なためである。ただしこの部分については、小規模事業者の場合、再生可能エネルギー供給源の範囲内での代替（バイオマス発電等で置き換え）することは可能と考える。

最後に、表11に、現状分析に基づく発電コスト（発電量1kwh当たりの必要金額）及び設備利用率と稼働年数、2030年モデルプラント試算結果概要、並びに、感度分析結果の概要、に係わるデータ*10を示す。ご参照頂ければ幸いです。

*10；長期エネルギー需給見通し 関連資料 平成27年7月 資源エネルギー庁

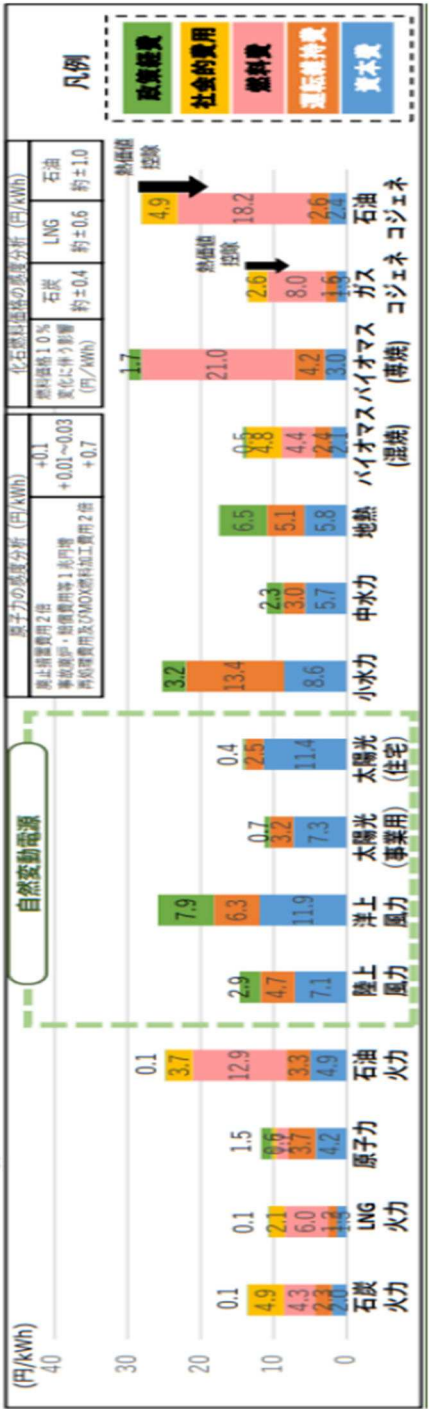
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/011/pdf/011_07.pdf

**表11 現状分析に基づく発電コスト(発電量1kwh当たりの必要金額)及び設備利用率と稼働年数
：2030年モデルプラント試算結果概要、並びに、感度分析結果の概要**

電源	石炭 火力	LNG 火力	原子力	石油 火力	陸上 風力	洋上 風力	太陽光 (事業用)	太陽光 (住宅)	太陽光 (住宅)	小水力	中水力	地熱	バイオマス (混焼、5%)	バイオマス (専焼)	ガス コージェネ	石油 コージェネ
発電コスト(円/kWh) ※()は政策経費なしの値	13.6~22.4 (13.5~22.3)	10.7~14.3 (10.6~14.2)	11.7~ (10.2~)	24.9~27.5 (24.8~27.5)	9.9~17.2 (8.3~13.6)	26.1 (18.2)	8.2~11.8 (7.8~11.1)	8.7~14.9 (8.5~14.6)	25.3 (22.0)	10.9 (8.7)	17.4 (10.9)	17.4 (10.9)	14.1~22.6 (13.7~22.2)	29.8 (28.1)	9.5~10.8 (9.4~10.8)	21.5~25.6 (21.5~25.6)
設備利用率 稼働年数	70% 40年	70% 40年	70% 40年	30% 40年	25.4% 25年	33.2% 25年	17.2% 25年	13.8% 25年	60% 40年	60% 40年	83% 40年	83% 40年	70% 40年	87% 40年	72.3% 30年	36% 30年

(注1) 表の値は、今回検証で扱った複数の試算値のうち、上限と下限を表示。将来の燃料価格、CO2対策費、太陽光・風力の導入拡大に伴う機器価格低下などを反映した見込みにより、幅を持つ試算としている。例えば、太陽光の場合「2030年に、太陽光パネルの世界の価格水準が著しく低下し、かつ、太陽光パネルの国内価格が世界水準に追いつくほど急激に低下するケース」や「太陽光パネルが劣化して発電量が下がるケース」といった野心的な前提を置いた試算値を含む。

(注2) グラフの値は、IEA[World Energy Outlook 2020] (WEO2020) の公衆政策シナリオの値を表示。シナリオは、CIF価格で計算したコスト。



3) 石巻圏域における発電への太陽光・風力・バイオマス等の利用実績

石巻市と同周辺地域における再生可能エネルギー発電所と当該発電量を図 1 3 に示す。図中の太陽光発電所の発電量総計（出力）は約 60 MW であり、地域内の総発電量の約 2.4% に留まった（女川原子力発電所の発電量を除くと、21.6%に相当）。同様に風力発電量は 20.4 MW で、地域内の総発電量の約 0.8% を占め、バイオマス・火力発電所の発電量は 197 MW で、地域内の総発電量の 8% を占めていた（女川原子力発電所の発電量を除くと、風力発電量とバイオマス・火力発電量は、それぞれ、地域内発電量の 7.4% と 71.1% に相当）。

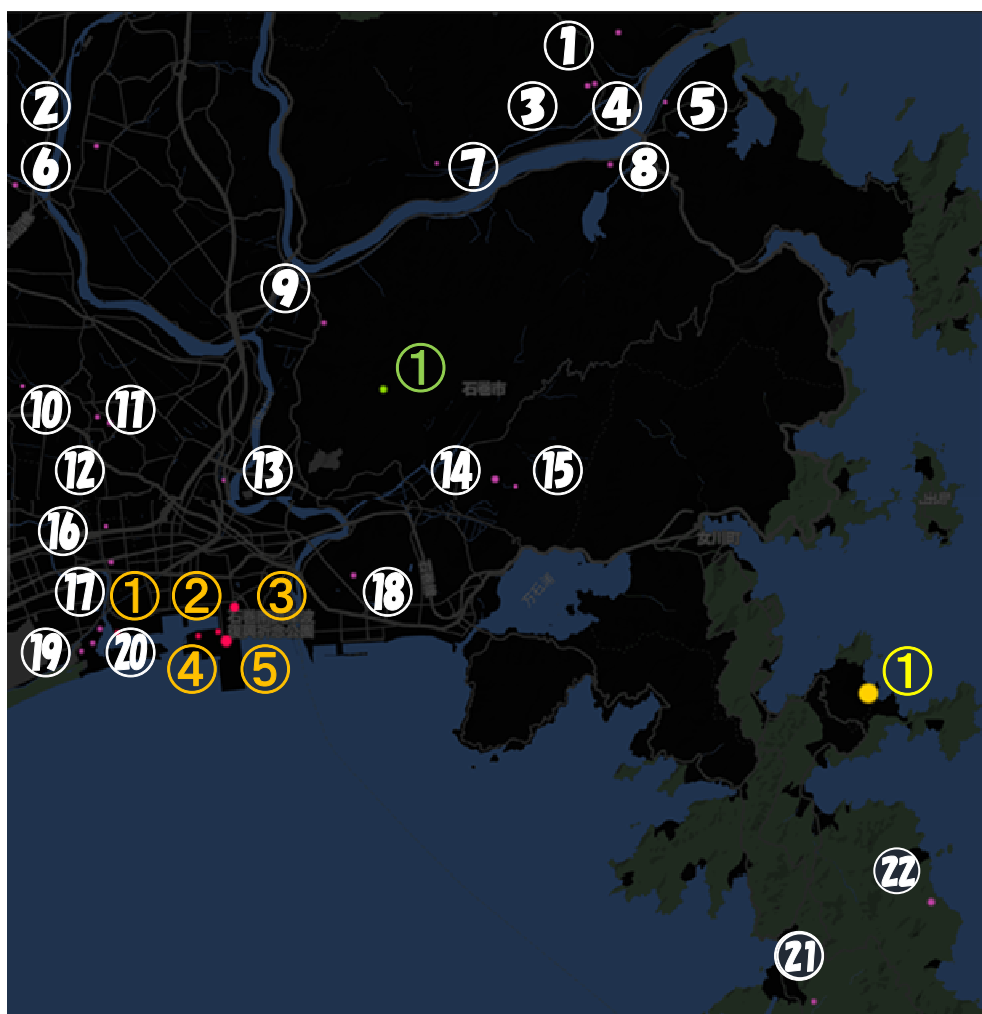


図 1 4 石巻市と同周辺地域における再生可能エネルギー発電所と当該発電量

白円は太陽光発電所、緑円は風力発電所、橙円はバイオマスおよび火力発電所、黄円は原子力発電所の場所、および、発電量 MW を示す（説明は下記を参照）。

白円 太陽光発電

- ① 太陽光発電所 1.7
- ② 太陽光発電所 2.2
- ③ 太陽光発電所 2.6
- ④ 太陽光発電所 2.4
- ⑤ 太陽光発電所 0.9
- ⑥ 石巻市太陽光発電所 2.2
- ⑦ 太陽光発電所 0.57
- ⑧ 大川発電所 1.3
- ⑨ 太陽光発電所 2.9
- ⑩ 太陽光発電所 1.4
- ⑪ 太陽光発電所 1.7
- ⑫ 宮城県大崎市鹿島台第2発電所 1.4
- ⑬ 太陽光発電所 0.7
- ⑭ 石巻沼津太陽光発電所 14
- ⑮ 太陽光発電所 0.8
- ⑯ 太陽光発電所 0.7
- ⑰ 太陽光発電所 2.0
- ⑱ 太陽光発電所 0.8
- ⑲ 大曲浜太陽光発電所 4.2
- ⑳ 太陽光発電所 2.4
- ㉑ 太陽光発電所 1.6
- ㉒ 石巻泊浜太陽光発電所 11.3

緑円 風力発電

- ① 石巻ウインドファーム 20.4

橙円 バイオマス・火力発電

- ① 石巻広域クリーンセンター 2.7
- ② 石巻合板工業(株)発電所 3
- ③ 石巻工場火力発電所 40
- ④ セイホクバイオマス所 2.3
- ⑤ 石巻雲雀野発電所 149

黄円 原子力発電

- ① 女川原子力発電所 2174

(単位 MW)

*；表2～4、図9～11および14は、エレクトリカル・ジャパン（Electrical Japan）サイトより引用（一部改変） <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/city/04202/>

4) 太陽光・風力利用・バイオマス発電における課題と今後の展開

再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン～再生可能エネルギー資源等の活用による「緑の分権改革」の推進のために～に記載されている『地域における推定利用可能量の調査において考慮すべき制約要因（例）』を表12に示す。技術的・経済的制約、社会的・環境的制約とは、言い換えれば、課題であり、今後の展開に直結する事象を提示するものである。上記の何れの再生可能エネルギー発電も発電効率の上昇、コストの低減、信頼性の向上、危機対策の充実（機能停止・低下対策）、法律の整備、地域との合意形成、環境や生態系との共存等が掲げられている。これは地域としてのエネルギー需要・供給に係わる案件ではあるが、今回の調査対象としている「石巻圏域の小規模事業者による再生可能エネルギーを活用した低コスト陸上養殖」についても養殖および関連施設の管理・維持に必要なエネルギー供給という面においては同じ舞台の上にあると言っても良いであろう。

表 1 2 地域における推定利用可能量の調査において考慮すべき制約要因（例）*11

再生可能エネルギー資源等	技術的・経済的制約条件		社会的・環境的制約条件	
	技術的制約条件	経済的制約条件	社会的制約条件	環境的制約条件
太陽エネルギー (太陽光発電)	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率 ・機器の信頼性 ・メンテナンスサービスの有無 ・施工不良 ・経年変化 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト (設備、設置工事) ・売電単価 	<ul style="list-style-type: none"> ・合意形成、用地取得 (大規模太陽光発電の場合) ・日照権の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域生態系 (大規模太陽光発電の場合) ・景観悪化
風力エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・発電効率 ・信頼性 ・強風対策の有無 ・落雷対策の有無 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト (設備、設置工事) ・林道整備状況 ・維持管理コスト ・売電単価 	<ul style="list-style-type: none"> ・系統容量 ・合意形成 ・法規制 (自然公園法、鳥獣保護法等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音 ・電波障害 ・景観悪化 ・バードストライク
バイオマスエネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・効率 (発電利用、熱利用) ・成熟度、信頼性 ・需給の距離的關係 (熱利用の場合) 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト (設備、設置工事) ・維持管理コスト (燃料収集、残さ処理等) ・売電単価 	<ul style="list-style-type: none"> ・合意形成 ・法規制 (廃棄物処理法等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音、振動 ・排ガス、廃液

*11；再生可能エネルギー資源等の賦存量等の調査についての統一的なガイドライン

～ 再生可能エネルギー資源等の活用による「緑の分権改革」の推進のために ～ より引用

https://www.soumu.go.jp/main_content/000121161.pdf

日本は 2050 年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言している（菅内閣総理大臣 2020 年 10 月）。カーボンニュートラルの実現には、社会全体の協働が必須である。経済産業省のエネルギー白書 2021（令和 3 年 6 月 資源エネルギー庁）には、電力部門では非化石電源の拡大、非電力（産業・民生・運輸）部門では、エネルギーの電化、電化しきらない熱の水素化、それでも残る CO₂ の回収・利活用を通じた脱炭素化を進めることが必要と記載されている。脱炭素エネルギーへのアクセスが立地競争力に影響することから、石巻市および周辺地域においては、陸上養殖に使用する再生エネルギーとしては、可能な範囲での地下水の活用を想定した地中熱（浅部地下熱）の利用を含め、太陽光発電を主とし、夜間や曇天時等の太陽光発電量が著しく低下する期間においては、小型の風力発電*12 あるいはバイオマス発電を従とした複合的電力供給システムを構築することが最善であると考えられる。

*12；(1) 一般社団法人 日本小形風力発電協会、2012 年(平成 24 年)12 月 1 日発行、小形風車導入手引書 Small Wind Turbine Guide Introductions 第 2 版

<http://www.jswta.jp/wp-content/themes/2014jswta/images/20140916.pdf>

(2) NEDO 実用化ドキュメント 新エネルギー汎用小型風力発電システムの開発

<https://www.nedo.go.jp/hyokabu/articles/201212zephyr/index.html>

等を参照のこと。

近年では、ESG 投資（環境 Environment・社会 Social・ガバナンス Governance 要素を考慮した投資）が、従来の財務情報だけでなく、ESG に配慮した経営を行う企業への投資を誘導する方向に傾いていること、および、ESG 投資先となる企業のみならず、同サプライチェーンの企業に対しても脱炭素化を求めるケースが増えていること（クレジットも利用しながら目標を達成）等を勘案し、飼育水槽および関連施設の繁忙期以外（余力のある時期）においては同施設に設置した発電装置によって生み出される余剰電力の他所への供給（売電）や使用されていない水槽設備や余剰電力を活用した高級水産動物の種苗生産や養殖、さらには、藻類培養等による CO₂ 吸収装置（吸収プロジェクト）として活用することでクレジット創出者としての立ち位置を築くことも本事業推進の副産物としては有効であると考えます。

なお、再エネ利用に際して柔軟性を高めるため、蓄電方法および容量の拡大が重要になると考えられる。同時に、再生エネルギーの発生および利活用システムを最適化し、その高度・複雑化に対応するためには、センサー・カメラを用いた情報収集、エネルギーの使用・最適化の状況、飼育システム全体の状況把握等、全体を包括的に捉、かつ、必要な部位を細かく制御することが可能な電子的な制御システムの構築とサイバーセキュリティ対策が重要になってくることは明らかであろう。

(3)排熱の利活用

1) 排熱の利用方法

産業界の生産過程では大量の熱が発生する。産業界はこの熱を冷却し、排熱するために多くのエネルギーと費用を費やしている。この排熱が効率よく回収され、エネルギーとして利用されれば、コスト低減とCO₂排出量削減が同時的に達成され、多くの懸念が払拭されることになる。経済性を含め諸般の理由で排熱の回収・再利用は不十分な現場も多いが、地域の熱源として温度差エネルギーの実用化研究が進められている。

ただし、現状において、効率的な熱源となりうるのは、地下水、河川水、下水等の水源を利用したもの（オープン型浅部地中熱含む）がほとんどであり、生産工程において高温処理を必要とする工場等から大量に排出される高温の排ガス利用に限ると、その進捗状況が芳しいとは言えない。NEDOの委託事業として2018年度に実施された業種ごとの未利用熱に関する調査（排ガスに関する業種別アンケート調査）によれば、全業種の排ガスの温度帯は100℃～149℃が主であるが、その内の約74%は火力等の電力業が占めており、その他の業種では150℃～199℃の温度帯が多い（200℃未満が約76%を占有）。

表1-3 業種別温度帯別排ガス熱量（アンケート値）^{*13} [TJ*/年]

		食料品	繊維	パルプ・紙	化学	石油・石炭	窯業・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	機械	電気機械	輸送機械	ガス・熱供給	電力	清掃	その他製造業	合計
排ガス温度 [°C]	~99	59.7	15.9	278.6	282.4	37.2	446.8	31.7	64.1	23.3	52.8	37.4	22.9	12787.2	0.0	59.7	14199.7
	100~149	375.1	159.8	1997.6	1106.2	359.1	1948.4	127.3	225.2	56.3	79.0	142.2	854.5	48521.5	296.5	12.4	56261.1
	150~199	764.0	124.2	2554.0	3356.0	245.9	2097.1	277.3	66.5	257.9	126.0	88.5	1051.8	1491.1	1055.0	626.8	14182.1
	200~249	74.2	23.4	167.8	627.8	440.8	695.6	172.4	617.0	115.0	84.7	61.2	217.6	20.9	994.6	629.5	4942.4
	250~299	32.4	2.9	22.6	100.7	57.4	139.3	185.0	361.8	222.7	6.0	215.2	0.6	1443.0	0.0	68.2	2857.7
	300~349	21.0	37.6	70.9	330.3	0.0	10.7	11.9	258.8	16.3	0.0	2.7	13.5	2176.7	109.6	38.4	3098.5
	350~399	69.0	0.0	3.5	94.1	0.0	13.6	98.2	213.3	22.2	0.0	12.3	0.0	1234.9	0.0	0.6	1761.7
	400~449	0.0	0.1	0.1	45.8	0.0	3.7	8.9	73.7	0.3	0.6	22.3	45.6	1.4	6.3	0.0	208.7
	450~499	0.0	0.0	0.0	20.5	0.0	0.0	81.1	44.2	24.1	0.0	63.5	36.5	0.2	0.0	6.4	276.5
	500~	2.7	0.0	3.3	156.2	204.6	0.0	28.3	1247.2	48.1	0.0	208.6	0.1	1.0	0.0	99.4	1999.4
排ガス設備（生産+自家発電設備）からの排ガス熱量アンケート値合計 [TJ/年]		1398.1	363.9	5098.4	6120.0	1345.0	5355.2	1022.1	3171.8	786.2	349.1	853.9	2242.9	67678.0	2462.0	1541.3	99787.9
設備への投入エネルギーアンケート値 [TJ/年]		14432.0	3534.2	138038.0	73192.0	9685.0	34548.0	8589.0	15059.0	10130.0	4366.7	7114.0	24871.2	916883.3	14515.0	11221.8	1286179.0

cf. 1 TJ（テラジュール）＝277,778kWh（キロワット時）

*13； NEDO/未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合技術開発センター

『産業分野の排熱実態調査報告書2019年3月』より引用

<http://www.thermat.jp/HainetsuChousa/HainetsuReport.pdf>

排熱の利用方法としては、熱交換、蓄熱、発電などが挙げられる。以下に個別に概括する。

(1) 熱交換（加温、冷却）

パイプなどを介して排熱（気体、液体など）をヒートポンプに送り、熱交換によって熱エネルギーを回収した後、排熱を環境中に還す方式である。ヒートポンプは温度差を再生可能エネルギーとして再利用可能にする仕組みで、エアコン同様、熱エネルギーを運ぶ冷媒をコンプレッサーで圧縮し温度を上げ、次に抜圧膨張させて温度を下げるといった方法で冷媒を循環、往・反復させながら熱エネルギーを回収するものである。ヒートポンプの利用により比較的効率的に熱エネルギーを回収できる（回収済み熱エネルギーは同一の循環システムに連結されるボイラー等の代替熱源として利用）ため、コスト削減につながる。ただし、回収済み熱エネルギーを立地的に離れた場所にある他のシステムで活用することは難しく、また、ヒートポンプ稼働のために電力を消費するのでエネルギーロスが発生する。

(2) 蓄熱

排熱を蓄熱機能ある素材によって蓄熱させ、離れた場所にある他のシステムで活用する方法である。NEDO、高砂熱学工業他 HAS-Clay（ハスクレイ）吸着材（低温廃熱が利用できるオープンサイクル形式の吸着材）を開発している*14。工場が発生する排気熱を同吸着材に蓄熱させ、離れた場所にあるスイミングプールの加温等に利用する実証に成功（東京都羽村市）したとの報告がある。すなわち、当該方法の利用は立地的制約の解消につながる。

*14； 技術論文『低温排熱を利用する吸着材蓄熱システムの開発』高砂熱学工業

https://www.tte-net.com/lab/report/pdf/2020_14.pdf

<https://www.youtube.com/watch?v=vWzbBHEHJfo&t=14s>

(3) 発電

排熱や未使用熱から直接電力を取り出す仕組み（熱電変換システム）のことであるが、現状では、熱電変換材料（熱電素子等）の開発研究が行われてはいるものの、200℃程度であつても未だ実用化には至っていない*15。

*15； NEDO 省エネルギー部『未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発（中間表 K）（2015 年度～2022 年度 8 年間）プロジェクトの概要（公開）

<https://www.nedo.go.jp/content/100925271.pdf>

最近では、より小さい熱の差を利用する試みとして、下水熱の利用についても実証的研究も進められている。下水の温度（水温）は大気中の温度（気温）に比べ、年間を通して安定しており、冬は暖かく、夏は冷たい特質がある（図 1 5）。また、下水は都市内に豊富に存

在する。つまり、少なくとも都市部においては、今後の利用ポテンシャルは大きいと考えられる。また、下水管等から下水を取水することを可能とする規制緩和による下水熱の利用（図16）も進んでいる。下水の水温と気温との差（温度差エネルギー）を、冷暖房や給湯等に活用し、省エネと省CO₂排出量の両立を図る試みが幾つかなされており、平成25年1月現在においても、地域冷暖房事業に活用されている事例は3件、下水道管理者によって場外利用されている事例は7件程度あるとのことであった。

以下に例を示す：

- ・ 芝浦水再生センターの下水処理水を隣接するソニーシティ（ソニー本社）の空調用の熱源として利用
- ・ 後楽ポンプ所の未処理下水を活用して、地域冷暖房プラントで冷温水を製造し、ビル等に供給（図17）
- ・ 下水再生水を送水し、その再生水を民間事業者による熱利用に活用するとともに、運河の水質改善用水や修景用水としても利用することを計画
- ・ 取水した下水を二重管で熱交換し、建物内のヒートポンプにより温冷熱供給

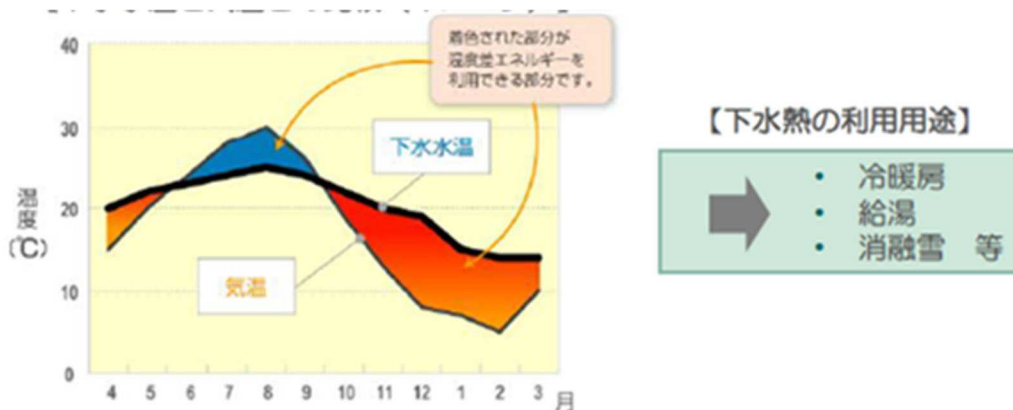


図15 下水水温と気温との比較（イメージ図）

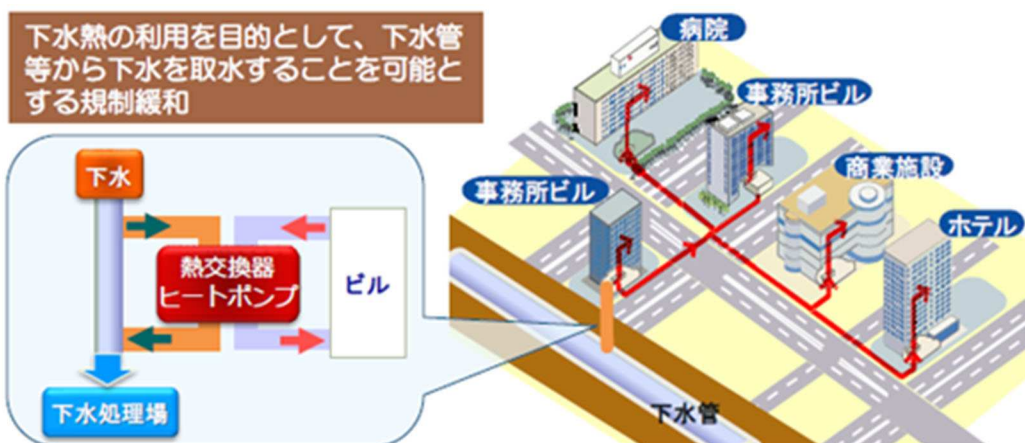


図16 下水管等から下水を取水することを可能とする規制緩和による下水熱の利用例

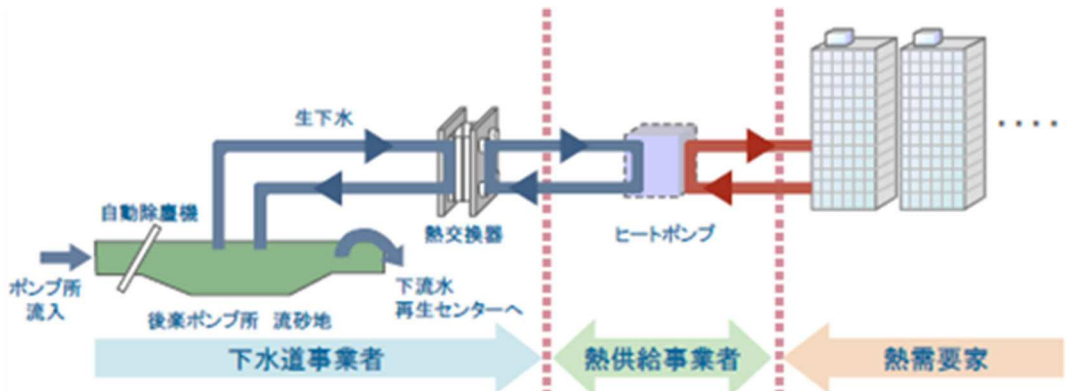


図17 「後楽一丁目地区」における地域冷暖房への下水熱利用（未処理下水）
 大気熱利用ヒートポンプの地域冷暖房と比べて、約20%の省エネを実現。

図15-17; 国土交通省 下水熱でスマートなエネルギー利用を ～まちづくりにおける下水熱活用の提案～
 平成25年1月 <https://www.mlit.go.jp/common/000986040.pdf> より引用

2) 宮城県における排熱のポテンシャル評価

東北6県で宮城県の未利用排ガスエネルギーの推計値はトップである（表14）。産業構造（企業数）では、県内の製造業は企業数63,706社の中4,076社であり、その中でも排ガス温度が200℃以下の占有度の高い食品製造業が（649事業所）多く、高温の排ガスを発生させる割合の高い非鉄金属、機械等に分類される企業数はそれほど多くない（図18）。

表14 都道府県別の未利用排ガスエネルギー [単位: TJ/年]

	食料品	繊維	パルプ・紙	化学	石油・石炭	窯業・土石	鉄鋼	非鉄金属	機械	電気機械	輸送機械	ガス・熱供給	電力	清掃	その他製造業	合計
全国計	21197	7937	26240	103136	44889	47080	104474	16367	4611	6621	12648	5679	260621	57942	23763	743206
北海道	1346	55	1650	833	3329	1044	2439	38	34	53	83	88	8601	2061	575	22229
青森	250	21	363	125	19	296	540	36	19	48	10	6	899	580	69	3279
岩手	217	36	218	264	38	696	515	27	46	56	126	8	311	616	283	3446
宮城	408	29	710	637	1407	941	939	133	48	120	110	45	3305	1093	385	10311
秋田	68	50	188	266	13	359	111	49	23	62	15	12	3802	528	175	5720
山形	196	86	247	787	16	612	173	99	37	141	29	13	1568	482	319	4804
福島	231	102	693	2110	44	1467	523	303	76	214	90	17	15891	1083	366	23210
茨城	1100	147	826	5649	141	2194	4993	1260	283	215	121	49	12209	1242	1006	31434
栃木	967	110	874	3188	66	1088	1386	687	139	223	367	19	57	804	506	10480
群馬	602	89	277	3130	30	647	1460	205	115	136	800	52	48	1025	528	9144
埼玉	1070	171	1706	5672	108	1673	1699	1162	189	237	422	292	175	3198	1884	19657
千葉	1020	58	442	6647	8893	1875	10644	341	136	92	26	413	33950	2800	829	68168
東京	506	140	528	1541	99	1188	1046	142	101	287	378	1137	2854	7174	2324	19445
神奈川	1042	84	765	5983	7273	1997	3964	608	265	314	925	608	28982	3784	741	57335
新潟	464	127	884	1577	58	856	1172	152	116	127	42	119	12934	985	333	19947

NEDO ニュースリリース 2019年3月4日付け

『15業種の工場設備の排熱実態調査報告書を公表～200℃未満を中心とした未利用熱活用技術の開発、導入で省エネに貢献』

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101074.html

(<http://www.thermat.jp/HainetsuChousa/HainetsuReport.pdf>)

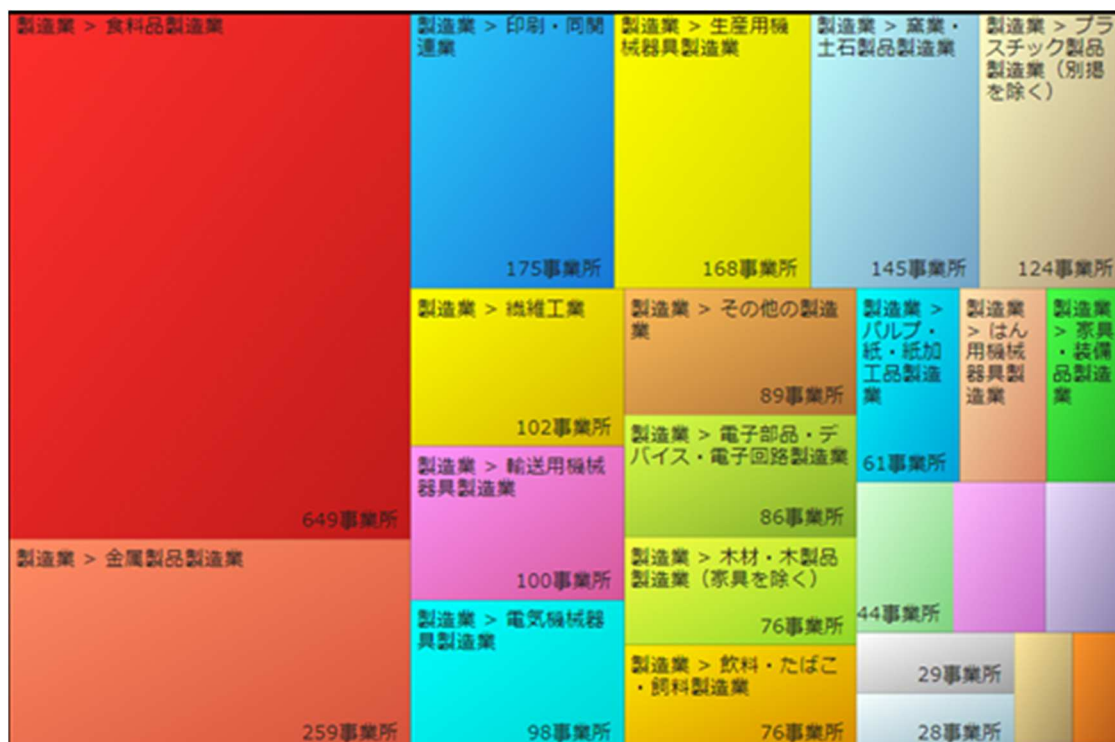


図18 宮城県内における製造業の構造 (内訳)

製造業の構造 / ポートフォリオ・RESAS 地域経済分析システム

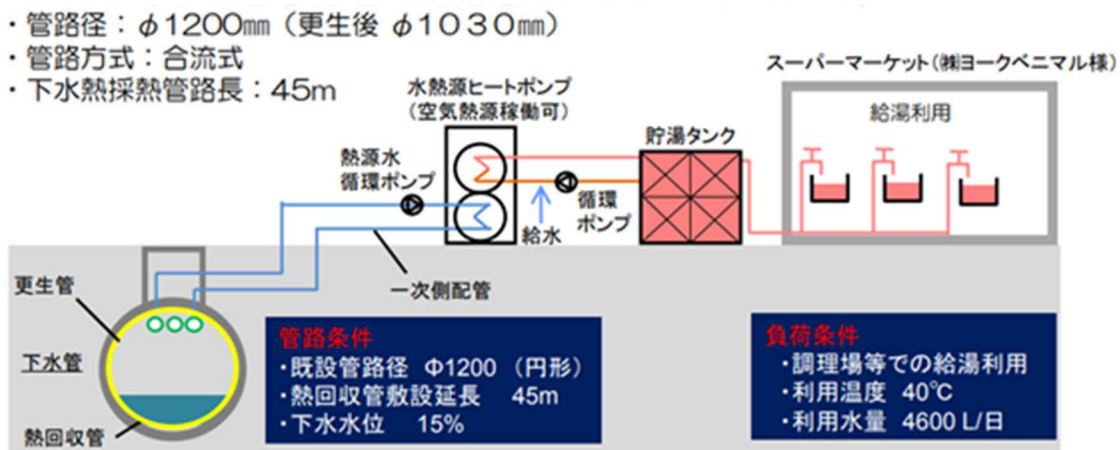
<https://resas.go.jp/industry-statistics-all>

RESAS で作成した宮城県の産業構造マップ (2019年調査製造業の事業所数)

<https://resas.go.jp/industry-statistics-all/#/portfolio/4/04100/1/1/1/2019/E/-/>

今回の実証試験では、陸上養殖システムに採用されている温度調節機の排熱を調べたのみではあるが、一般の空調機器や食品製造業の保有しているような加工・加熱、冷凍・冷蔵等を意図した装置の排熱はせいぜい気温プラス二十数度程度であり、しかも断続的にしか取り出すことのできない場合の多いことが分かった。すなわち、実際には極めて温度差の少ない環境下での熱交換、蓄熱、発電手法について検討すべきであることが示唆された。そこで、温度差が体温以下の条件下における熱利用について調査したところ、宮城県内でも、仙台市等で同関連の実証研究が進められていることが分かった。

宮城県内では、仙台市で下水管の老朽化が進み、同管の取替え時期が迫ってきたことから、仙台市一積水化学の共同研究にて、日本初の実管路・実負荷による下水熱利用の共同研究を実施し、管路更生工事とあわせて低コストで熱交換器敷設が可能であったとの報告例がある（図19および20）。この実証試験では、下水温と気温の差は3~12℃と小さい。



- 下水管路内を流れる未処理下水から熱を回収
- 熱の供給地と需要地の近接化
- 従来空調・給湯方式に比べ、ランニングコスト低減
- オール樹脂による高耐久性

図19 システム構成：管路内設置の螺旋管路更生一体型による下水熱取得方式

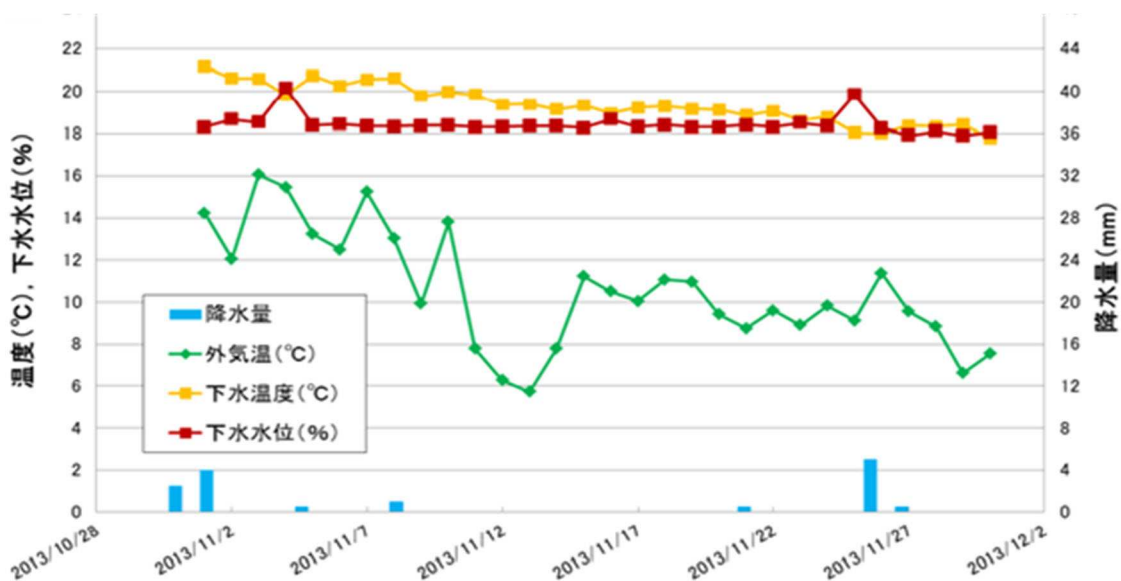


図20 降水量，外気温，下水温度，下水水位（2013年11月）の変化

図19、20 SEKISUI 下水熱利用による低炭素まちづくりシンポジウム 資料

—下水熱利用事例紹介—

仙台市との下水熱利用共同研究（管路内設置型下水熱回収技術）

2014年3月11日 積水化学工業株式会社

<https://www.mlit.go.jp/common/001060833.pdf>

また、消化ガス発電や汚泥燃料化についても、全国各地で実証試験や下水道資源有効利用施設整備が行われており*16、宮城県でもDBO方式（Design Build Operateの略：公共の所有下で民間の意見を取り入れながら、公共が施設を建設、所有し、運営期間中はノウハウを有する民間事業者が設立するSPC [Special Purpose Company] が運営を行う方式）により、汚泥燃料化のための汚泥燃料化施設整備（乾燥）導入例がある。

*16；国土交通省水管理・国土保全局 下水道部下水道企画課 白崎 亮

下水道資源のエネルギー利用に向けて

https://www.nikkeicho.or.jp/new_wp/wp-content/uploads/1301_08shiryo.pdf

3) 石巻圏域における排熱の利用実績

石巻市内には紙・パルプ、鉄鋼・製缶業などが存在し、かつ食品製造業の事業所数は116（市内事業所の約4割、県内事業所の約18%）を占める。上述の如く、各製造業の排ガスエネルギー値はそれほど高くはないが、排気ガスを出す事業所の立地場所から、たとえば低平地まで排熱を輸送することができるのであれば、加温（冷却）のエネルギーとして活用できる可能性が生まれる。

一方、立地を海沿いに限ると、水産加工関連の企業（加工に伴って発生する熱や貯蔵庫の排熱等）や日本製紙株式会社（燃焼・乾燥蒸気発生）等が活動しており、同隣接場所に陸上養殖施設が建設されるのであれば排熱利用の可能性は高い。しかし、実際に両者が接近する場面を想定することは難しく、同種・類企業の広域・包括的あるいは規模の大きな排熱利用はほぼ望めないと考える。

ところで、石巻市や同周辺地域での排熱利用、特に下水熱利用のような小さな温度差を活用する形の排熱エネルギー利用例は見当たらない。ただし、石巻市の離半島基部等では、水産加工関連企業がバッチ状分布をしたり、小規模下水道処理施設が近くに建設されたりしているところもある。また、陸上養殖施設の設置場所の限定要因を緩和して、一定面積の敷地の確保、水利用の良さ、地域住民の理解を主とした場合、都市部であっても、農村部であっても下水熱の利用は可能であり、複合型の再生エネルギー利用時には排熱の利活用も考慮されるべき局面が生じる可能性は高いと考える。最後に、愛知県等では当該方式の園芸施設運営への利用例があるので以下に記載する（図21）。これはエネルギー、生物資源、二

石巻市の場合、再生可能エネルギーの中で排熱の利用をどの程度まで利用をプッシュするかは都市として進むべき方向性によって大きく異なると思われるが、こと現時点における陸上養殖への利用の可能性と貢献度の大きさを考えた場合、排熱利用を独立した導入予定エネルギーと捉えると、選択される順序としては、上述の太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、浅部地中熱の利用、（および太陽熱の利用）の後になるであろう。ただし、至る所で設備の排熱は発生することから、その未利用熱がわずかでも有効に発電につなげることのできる熱変換素子の研究等を含めて、各方面・分野間の交流活性化の下、低温排熱利用技術の開発と排熱の包括的利用促進に取り組んで頂きたい。

(紹介記事)



なっとく！ 再生可能エネルギー 次世代エネルギーパーク

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/park/enepa2021.pdf#page=12

経済産業省 資源エネルギー庁

自然の恵みを生かすために
エコタウンの実現を目指す

平成21年度認定

宮城県次世代エネルギーパーク

自然の力を生かせる多種多様な施設が県内各地に点在

豊かな自然や地域の特性を有効に利用した次世代エネルギー施設が多く存在する宮城県。日本でも高いレベルを持つ水力発電所、地熱発電所、森林系資源の豊富な地域や製鉄工場・倉庫工場などでのバイオマスエネルギー利用など、その種類は多岐にわたっています。さらに近年では太陽光発電施設の建設も盛んで進んでおり、同時に近年では太陽光発電施設の建設もソーラーの施設や、蓄電池し蓄電池として蓄電住宅への太陽光発電システム整備を行うなど、再生可能エネルギーを活用し、地域に定着したエコタウンづくりが進められています。

Data Watch

47

宮城県内にある再生可能エネルギー施設のうち、再生可能エネルギー施設が点在している地域です。

見学コース

東北本道で横貫した田原郡を中心に展開するコースです。エネルギー施設も本道大や小亦か、地中熱、バイオマス、エネルギーマゼンタメントとさまざま併せて、ぜひ宮城県内の観光をお楽しみください。

- 1 新鮮石水が発電所 (仙台市)**
県が水道施設を事業者に譲渡して作ら、発電事業を推進。地中熱・地熱に由来する蒸気・蒸気発生機に設置され、浄水場との連携を利用して発電します。年間発電量は約1億kWh、再生可能エネルギーの年間発電量の約1%に相当します。
- 2 第三発電機新庁舎 (南三陸町)**
第三発電機では、村に設置された再生可能エネルギー施設が、再生可能エネルギーを供給しています。再生可能エネルギーを供給しています。

3 東北電力石水発電所 (仙台市)
太陽光発電能力を、仙台市に由来する再生可能エネルギーを供給しています。再生可能エネルギーを供給しています。

4 いわね発電所 (仙台市)
東北電力の建設による再生可能エネルギー施設。再生可能エネルギーを供給しています。

詳しい施設情報はこちら
宮城県環境生活部再生可能エネルギー課 次世代エネルギー推進課
TEL: 022-211-2655 FAX: 022-211-2669
MAIL: saiene@pref.miyagi.jp
<https://www.pref.miyagi.jp/saiene/park/enepa2021.pdf#page=12>

3-2 IoTを用いた監視方法の検討

(1) IoTを用いた監視方法の検討

遠隔監視用のデータ記録用機材を用いてIoT化を計るためには、機材購入費に加え工事費、設置費、複数年契約による通信費が発生する。これらの費用を今年度の予算でまかなうのは無理であったため、今年度は陸上養殖に必要な環境条件を得るための各種のデータを現地で取得することとした。各種データの取得期間は、2021年10月13日～2022年1月31日である。

外気温

水温

水質

カメラ画像等

照度・光粒子密度

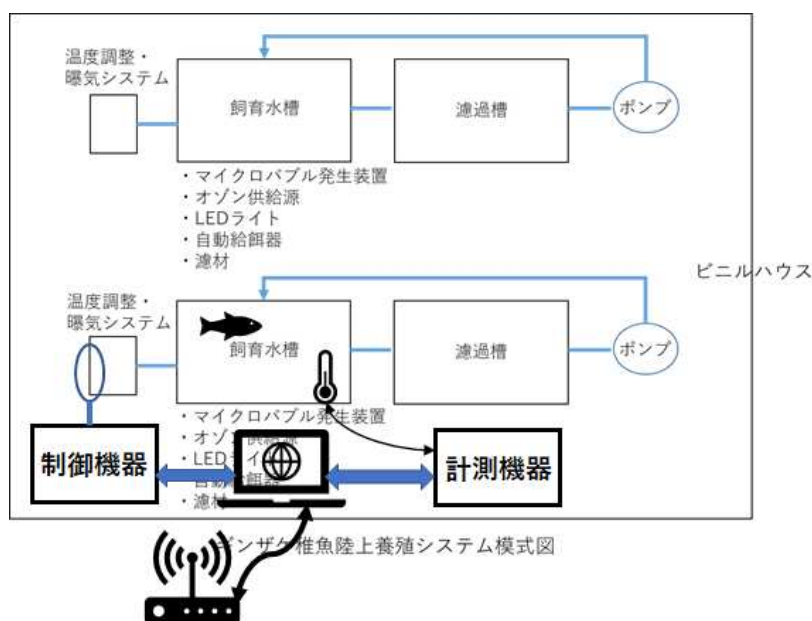
各種電力

今後、これらの取得データから陸上養殖に必要な環境データを把握する。

(2) 次年度への提案事項

2.1 計測制御システムの検討

下図に示すように、温度調整・曝気システムの主電源や酸素ポンペを遠隔で制御するために、制御用装置に接続した電磁スイッチ等を遠隔で操作するための制御システムを構築する。また、温度等の各種データを取得し遠隔から監視できる計測システムを構築する。



IoTを用いた計測制御システムのイメージ図

2.2 簡易型 IoT を利用するための検討

遠隔監視用のデータ記録用機器と現在使用中の各種センサは、その入出力方式が異なるため直接接続することはできない。また、遠隔監視用のデータ記録用機器に直できるセンサは、一般的に高額であり陸上養殖を低価格で実現するためのセンサとしては不向きである。従って、簡易型 IoT を構成するためには、より汎用的で安価なセンサを利用した組込みシステムを別途開発する必要がある。しかし、市販の遠隔監視用のデータ記録用機器を使用した場合、機器の不具合やメンテナンスに対し販売業者が対応することができるが、自主開発した場合はそれらは全て自前で行う必要がある。これらのことを踏まえて簡易型 IoT を構築し利用するための問題点等を検討していきたい。