

旭川市再生可能エネルギー 導入促進調査分析業務報告書

平成 27 年 3 月 20 日

一般社団法人 旭川ウェルビーイング・コンソーシアム

目 次

はじめに	1
第1章 旭川市における再生可能エネルギーの状況	2
旭川市内の再生可能エネルギー導入状況	2
第2章 東部まちづくりセンターの自立分散型モデルの構築	3
2-1 施設の概要	3
2-2 設備設定の考え方と効果	4
2-3 導入する再生可能エネルギーシステム図	6
第3章 CO ₂ （二酸化炭素）排出量と一次エネルギー消費量の推定	7
3-1 建物モデルの室温算出	8
3-2 暖冷房負荷（顕熱）の算出	11
3-3 年間暖冷房負荷の算出	11
3-4 暖房エネルギー消費量の比較	12
3-5 融雪の消費エネルギーの推定	14
3-6 機器類の電力消費の推定	15
3-7 太陽光発電量の推定	15
3-8 建物全体のCO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量の推定	15
第4章 施設供用後のCO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量の測定	18
4-1 太陽光発電システムによるCO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量の削減	20
4-2 地中熱ヒートポンプの定格運転時のCO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量	20
4-3 地中熱ヒートポンプの実稼働時のCO ₂ 排出量と一次エネルギー消費量	22
第5章 再生可能エネルギー導入に向けた課題と対策案	23
5-1 太陽光発電	23
5-2 地中熱ヒートポンプ	24
5-3 他の再生可能エネルギー導入の可能性	26
5-4 再生エネルギー普及に向けて	26

参考資料

はじめに

温室効果ガスの削減に向け、太陽光・風力・地熱などを利用した新エネルギーの導入や、環境負荷を低減した省エネルギーの推進は、官民を問わず今日の社会生活に不可欠となっている。

国の政策としては、「地球温暖化対策の推進に関する法律」において、京都議定書に定められた温室効果ガス排出削減に向けた取組を、総合的かつ計画的な地球温暖化対策を策定し、実施することとなり、地方公共団体の責務として、その区域の自然的社会的条件に応じた温室効果ガスの排出の抑制のための施策を推進すると定められている。また、平成26年4月策定の「エネルギー基本計画」においては、再生可能エネルギーは、2013年から3年程度導入を最大限加速していき、その後も積極的に推進していくとしている。

一方、旭川市では、平成23年3月策定の「旭川市地球温暖化対策推進方針」において、5項目の基本方針の一つとして「地域の特性を活かした再生可能エネルギーの導入」を掲げ、平成26年度に国内外の動向や社会情勢などを踏まえて実効性の高い地球温暖化対策に取り組むために推進方針に削減目標を設定した実行計画の策定を目指している。

この背景のもと旭川市は、市民や民間事業者に対し太陽光発電など再生可能エネルギー導入に対する補助金の充実を図る一方で、市有施設への導入も積極的に進められている。

今回、設置された「再生可能エネルギー導入促進検討会議」は、平成26年度に建設中の東部まちづくりセンターでの「地域の再生可能エネルギー等を活用した自立分散型地域づくりモデル事業」を検証し、そこに設定された設備（太陽光発電システム・蓄電池＋地中熱ヒートポンプ）の二酸化炭素排出量の削減効果の把握を行うとともに、再生可能エネルギーの今後の普及見通し等の検討を行った。

本報告書はそれらの検討結果について報告するものである。

平成27年3月

一般社団法人旭川ウェルビーイング・コンソーシアム

第1章 旭川市における再生可能エネルギーの状況

旭川市は、これまで①環境にやさしいライフスタイル・ビジネススタイルの推進、②森林保全の推進、③ごみ処理の工夫などによる循環型社会の推進、④市民・事業者・行政の協働に加えて、⑤地域特性を生かした再生可能エネルギーの導入を柱に温室効果ガスの低減を図っている。市有施設への導入状況としては、ごみ焼却場でのバイオマスを活用した発電や科学館での雪氷冷熱の活用、小中学校などへの太陽光発電設備の設置など、施設の利用状況に応じた多様な再生可能エネルギーの導入を進めている。

現在、旭川市が建築中の施設においても、太陽光発電システムの設置を進められているほか、東部まちづくりセンターにおいては、市内の市有施設として初めて地中熱ヒートポンプを導入し、環境に配慮したまちづくりが進められている。

旭川市内の再生可能エネルギー導入状況

市有施設における再生可能エネルギー設備

施設名	所在地	再生可能 エネルギー種別	用途	設置 年度
旭山動物園	旭川市東旭川町倉沼	太陽光発電	発電	H22
市民文化会館	旭川市7条通9丁目	太陽光発電	発電	H22
大有小学校	旭川市旭町1条6丁目	太陽光発電	発電	H22
西神楽小学校	旭川市西神楽北2条3丁目	太陽光発電	発電	H22
光陽中学校	旭川市豊岡3条1丁目	太陽光発電	発電	H22
永山中学校	旭川市永山5条18丁目	太陽光発電	発電	H22
忠和中学校	旭川市忠和1条4丁目	太陽光発電	発電	H22
高台小学校	旭川市春光台4条4丁目	太陽光発電	発電	H22
末広小学校	旭川市末広6条2丁目	太陽光発電	発電	H24
旭川市科学館	旭川市宮前通東	雪氷冷熱	冷房	H17
近文清掃工場	旭川市近文町13丁目	バイオマス・廃棄物	発電	H8
下水処理センター	旭川市神居町忠和	バイオマス・廃棄物	コージェネ	S59
東部まちづくりセンター	旭川市豊岡3条3丁目	太陽光発電、 地中熱ヒートポンプ	発電 冷暖房	建設中
中央中学校	旭川市10条通10丁目	太陽光発電	発電	建設中
末広地域活動センター	旭川市末広東2条9丁目	太陽光発電	発電	建設中
合計 15件(うち3件は建設中)				

旭川市環境部新エネルギー推進課調べ

第2章 東部まちづくりセンターの自立分散型モデルの構築

2-1 施設の概要

東部まちづくりセンターは、地域の様々な活動を支える拠点施設として、各種証明書の発行などの窓口サービスのほか、高齢者の相談窓口や地域の防火・防災機能の強化を図る観点から、豊岡・東旭川地域包括支援センター及び南消防署豊岡出張所が入居する複合施設であり、非常時には一時避難所として、地域の防災拠点として機能を発揮するほか、自立分散型地域づくりモデルとして、防災コンセントを設置し、隣接する旭川東警察署豊岡交番と認可保育所への電力供給を行うことが想定されている。

これらの機能を発揮する設備としては、来庁する市民の利便性充実や地域の防災力向上に向けた設備として、障がい者用の通路・駐車場にロードヒーティングが設置されるほか、消防車用車庫には床暖房が設置されている。

○施設面積等

住 所	旭川市豊岡3条3丁目	
用途地域	準工業地域	
敷地面積	2,063 m ²	
建物面積	東部まちづくりセンター	162 m ²
	豊岡・東旭川地域包括支援センター	90 m ²
	南消防署豊岡出張所	512 m ²
	供用他	218 m ²
	合 計	982 m ²

○導入される設備

【太陽光発電システム】（パナソニック株式会社製）

太陽電池モジュール（42枚）	VBHN240SJ35A
最大出力	240W × 42 = 10kW

【蓄電池】（パナソニック株式会社製）

リチウムイオン蓄電池ユニット（2台）	LJBA1150
定格電圧	DC86.4V
定格容量	5.0kWh × 2 = 10kWh

【地中熱ヒートポンプシステム】（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製）

		能力	消費電力	循環水量
床暖・パネヒーター用（ZQH-12.5W12.5-H-C-INV）		33.8kW	10.6kW	97L/min
ロードヒーティング用（ZQH-06W03-H-C-INV）		17.4kW	5.2kW	50L/min
空調用（ZP3-WS504-T）	冷房	50.4kW	12.5kW	190L/min (標準水量)
	暖房	56.5kW	13.8kW	

2-2 設備設定の考え方と効果

東部まちづくりセンターは、「地域の再生可能エネルギー等を活用した自立分散型地域づくりモデル事業」（環境省補助事業）を活用し設置するものであり、設備の設定に当たっては、次の要件に対応した設備を検証するものである。

要件

- (1) 再生可能エネルギー導入促進調査や未利用エネルギーを活用した自立分散型エネルギーシステムの導入。
- (2) 災害時のエネルギー源確保など、地域の防災性向上を実現するものであること。
- (3) 産学官が連携し、中長期的なエネルギー起源二酸化炭素の大幅削減を目指すものであり、その削減目標・効果を定量的に提示できるものであること。

留意事項

- ・市街地の限られた面積で最大限に効果を発揮できる設備の設置。
- ・一時避難施設としての、非常時のエネルギー確保や他施設への供給方法。
- ・地域特性を生かした設備。
- ・環境に配慮したCO₂削減効果の高い設備の設定。
- ・旭川市における新エネルギー事業の展開。

東部まちづくりセンターの設備の設定に当たっては、環境に配慮した施設及び地域の防災性向上を目的として、すでに普及されている多様な再生可能エネルギーから、設備の検討を進めるものであり、災害時においては、一次避難所としての利用のほか、消火・救助・救急活動にも対応することから、商用電力に頼らない電力供給源の検討が必要となる。

電力供給源としては、一般的に普及している太陽光発電を設置し、蓄電池とシステム構築を図るものであるが、市街地の限られた敷地面積という制約の中では、全ての電力を太陽光発電で賄うことは不可能なことから、屋上を利用した太陽光発電設備とし、夜間の電力確保に備える同等規模の蓄電池（10kWh）とセットで運用することで、日中の太陽光発電により発電された電力を蓄えることができ、災害時には蓄えられた電気を自らに供給するほか、隣接する交番や保育所への供給も可能となる。

また、太陽光発電以外のエネルギーの活用としては、年間50℃以上の寒暖差があり豊富な地下水がある旭川市にあって、安定した熱源のもとで運転できる地中熱ヒートポンプは、地域特性に適した再生可能エネルギーであり、施設での冷暖房やロードヒーティングの稼働時において、大幅な二酸化炭素削減効果が発揮されるものとなり、採熱方式は、敷地面積を考慮し、深さ100mまで掘削しダブル採熱チューブを埋設するボアホール方式を採用することで、効率的な熱交換を図ることとしている。

以上から、太陽光発電・蓄電池システムと地中熱ヒートポンプの組み合わせは、地域特性に応じた設備として、最大限の二酸化炭素削減効果を発揮するものであり、当該施設での利用状況を勘案した場合において、最適で最良な設備として運用されることとなる。

なお、その他の再生可能エネルギーの活用として、バイオマスや雪氷冷熱の利用が考えられるが、バイオマスについては、燃料となる木材の安定供給や燃料の保管場所などに課題があること、雪氷冷熱利用においては、相応の雪氷の保管スペースや設備が必要なことから、当該施設における設置は困難な状況である。

次の章では、当該施設での二酸化炭素排出量の推定及び他の熱源設備等との比較検討により、削減効果の検討を行う。

2-3 導入する再生可能エネルギーシステム図

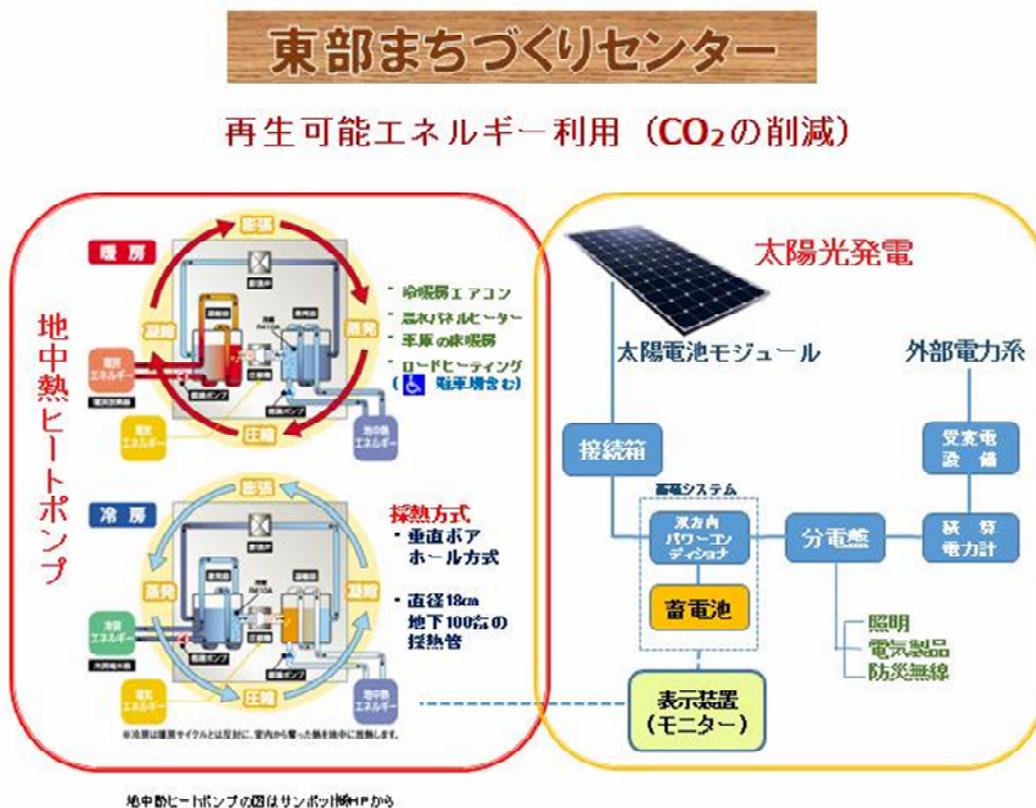


図 2-3 再生可能エネルギーシステム図

第3章 CO₂（二酸化炭素）排出量と一次エネルギー消費量の推定

東部まちづくりセンターは、再生可能エネルギーの利活用により、排出する二酸化炭素の排出抑制と、他の熱源設備と比較して最大限の削減効果を発揮する環境に配慮した地域づくりに寄与する施設となる。

再生可能エネルギー導入促進検討会議において、当該施設の設計図書及び施設の利用状況、施設機能を踏まえ、二酸化炭素排出量及び削減効果等を推定するものである。

CO₂排出量は、消費量にCO₂排出係数をかけ合わせて算出される。同様に、一次エネルギー消費量も消費量にエネルギー換算係数をかけ合わせて算出される。

消費量は実際の使用機器から測定するものであるが、対象施設が建設中のため、本章では推定値を求める。CO₂排出量と一次エネルギー消費量は従来機器との比較を行うため、地中熱ヒートポンプに対し、空気熱ヒートポンプ（エアコン）、灯油の推定値を求める。

以下、本章のフローチャートを示す。最初に非定常熱負荷計算から建物の年間冷暖房負荷を推定する。その後、いくつかの暖房システムについて機器効率を設定し、暖房による年間のCO₂排出量および一次エネルギー消費量を推定する。



3-1 建物モデルの室温算出

(1) 建物形状、断熱仕様

本章では、建物全体のエネルギー消費量を求めることが目的であるため、各室毎の分割は行わず、図3-1に示すような3室とピットから構成する4室モデルとした。

部位の合計面積および熱貫流率を表3-1に示す。乾燥塔は無視し、外壁、屋根、窓等は一次元非定常熱伝導、ピット周囲の地盤は二次元非定常熱伝導モデルとした。

また、換気装置以外の隙間による換気量は、換気回数で事務室など(R011、R021)は0.1回/h、車庫(R012)は1回/hとした。

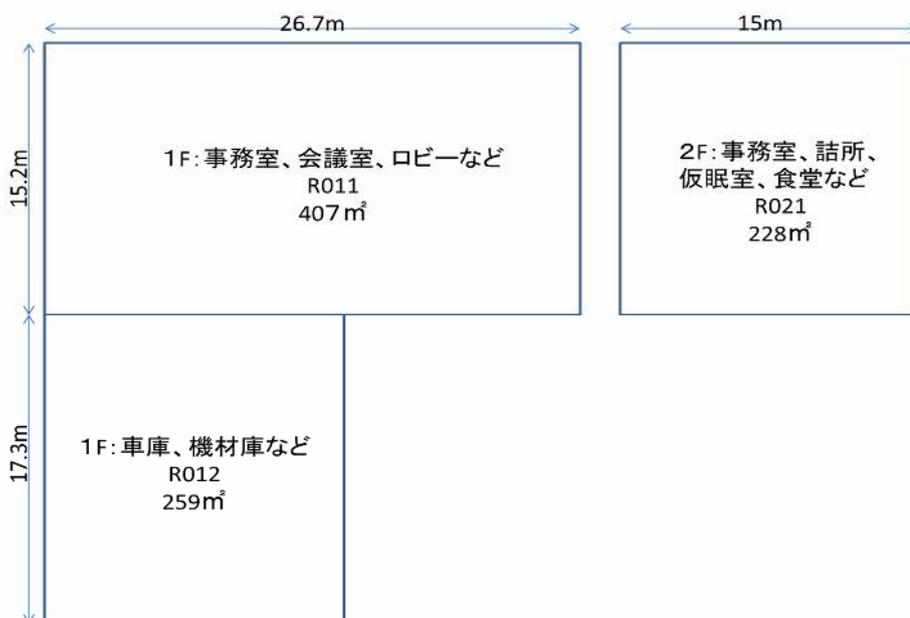


図3-1 採用した建物モデルの平面

表3-1 部位の面積と熱貫流率

	面積[m ²]	熱貫流率[W/m ² K]	備考
外壁	517.42	0.44	コンクリート150mm、XPS75mm
屋根	643.60	0.34	コンクリート150mm、XPS100mm、 コンクリート80mm
窓	121.22	2.30	LowEペア
出入口	63.60	0.87	鉄板、軟質ウレタン発泡板52mm、鉄板
床	643.60	0.72	モルタル80mm、コンクリート150mm、 ポリエチレン発泡板50mm

※ 熱貫流率：壁などの両側の空気に1Kの温度差がある場合に壁1m²あたりに通過する熱流を表すもので、値が小さいほど断熱性が高い

(2) 内部発熱の設定

照明、機器、人体による内部発熱を図3-2のように設定した。

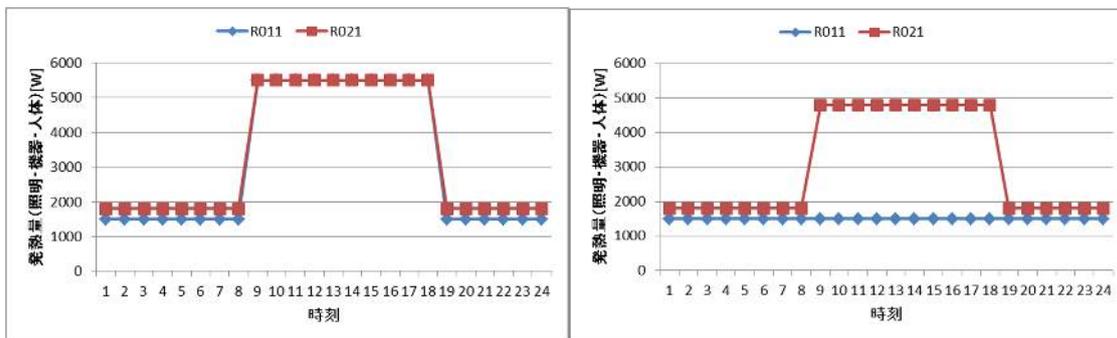


図3-2 設定した内部発熱（左図：平日、右図：休日）

(3) 機械換気量の設定

換気装置の熱交換効率_hは60%とした。図3-3に示すとおり、換気装置は執務時間帯のみ稼働するとし、仮眠室のあるR021は連続運転とした。

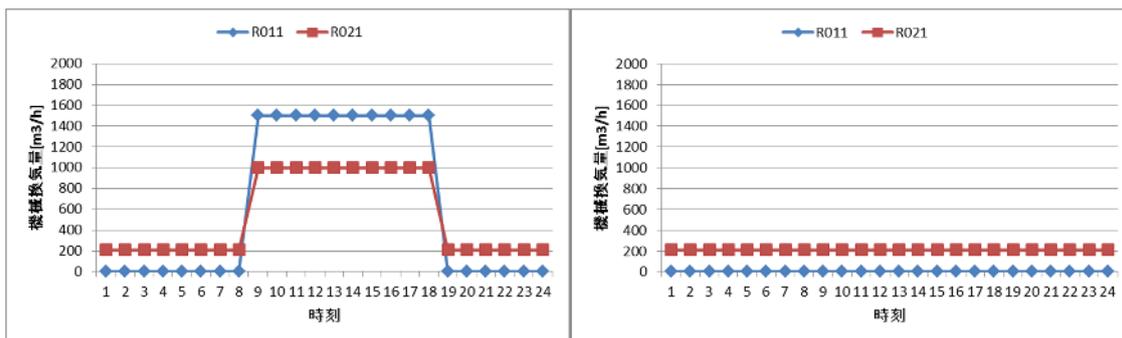


図3 機械換気量の設定（左図：平日、右図：休日）

(4) 室温設定

各スペースの設定室温を表3-2に示す。仮眠室のある2階（R021）と車庫は連続暖房とした。室温設定していない時間帯の温度はなりゆきとして計算する。

表3-2 室温設定

	暖房（10月～5月）	冷房（6月～9月）
R011	8～18時 22℃設定	平日 9～18時 27℃設定
R012	常に 10℃設定	設定なし
R021	常に 22℃設定	9～18時 27℃設定

(5) 計算方法

窓の日射熱取得率は、ブラインド等の使用を考慮し、0.3とした。取得した日射のうち50%が床・壁面などに吸収され、50%が空気に伝達されると仮定した。

室内表面熱伝達の計算は対流と放射を分離して行い、熱伝達率はそれぞれ 4.6W/m²Kとした。屋外表面熱伝達は総合熱伝達率を用い、対流熱伝達率はユルゲスの式により風速を考慮して計算した。

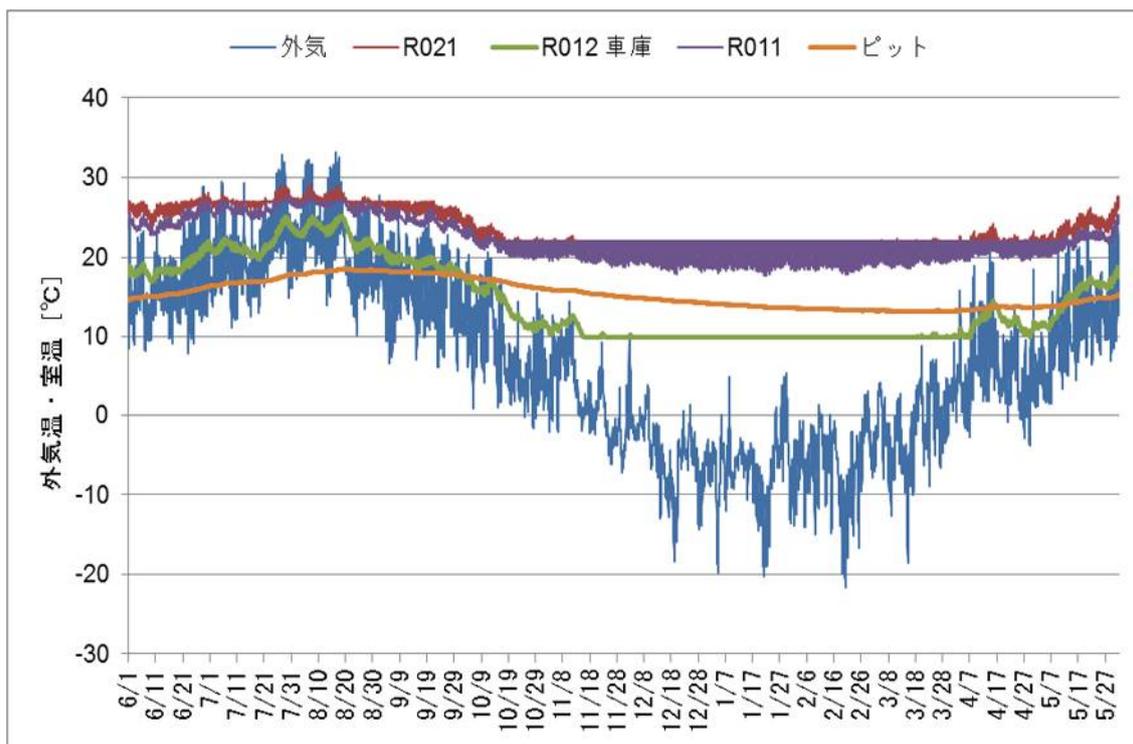
計算には、壁体や空間等を熱容量のある節点と熱コンダクタンス（熱伝導、対流、放射、移流）で構成する熱回路網で記述し、後退差分法で解くプログラムを用いた。

2年間計算を行い、2年目の結果を使用した。

(6) 室温の計算結果

室温の計算結果を図3-4に示す。夏期に27℃を超えている時間帯、冬期に22℃を下回っている時間帯は休日など暖冷房を停止している時間帯である。

車庫は換気回数を1回/hとして計算しているが、実際にはシャッターの開閉によりこれよりも大きな室温変動となるはずである。ピットは15℃前後の値となった。



- ※ 表面熱伝達：空気などから壁などへの熱の伝わり方
- ※ ユルゲスの式：風がある場合の熱伝達率を表す実験式
- ※ 後退差分法：伝熱現象などの方程式を数値的に解く方法の一つ

3-2 暖冷房負荷（顕熱）の算出

暖冷房負荷の計算結果を図3-5に示す。この結果は顕熱のみの計算であり、除湿・加湿は含まれていない。最大負荷は運転方法によって大きく変化するが、今回の設定では、暖房40kW、冷房20kW程度となった。

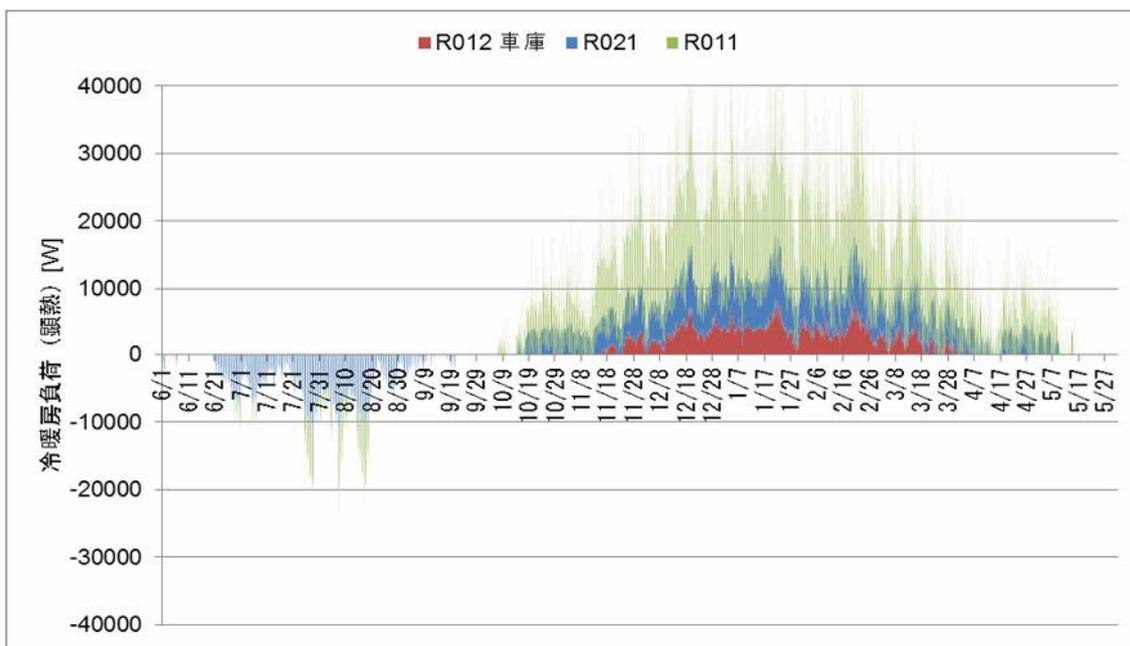


図3-5 冷暖房負荷（顕熱）の変動

3-3 年間暖冷房負荷の算出

年間暖冷房負荷の計算結果を表3-3に示す。暖房は60000kWhとなった。

冷房は、外気温が24℃以下では窓開けによる通風で処理できると考え、外気温24℃以上の時間帯の冷房負荷のみを集計した。冷房では湿度を成り行きとし、温度で制御することが一般的であるため、顕熱負荷を算出したが、顕熱比（顕熱と除湿の全負荷に対する顕熱の割合）を0.7と仮定すると、除湿を含めた全冷房負荷は4750kWhと推定される。

表3-3 年間暖冷房負荷

	顕熱負荷	全熱負荷
暖房	60000kWh	同左（加湿なし）
冷房	3330kWh (外気温24℃以上、それ以下は通風で処理できると仮定)	4750kWh (顕熱比0.7と仮定)

※ 顕熱負荷：室温を設定値に調整するために必要な熱量

※ 全熱負荷：室温と湿度を設定値に調整するために必要な熱量

3-4 暖房エネルギー消費量の比較

暖房設備の効率 COP を表 3-4 のように予測し設定した。COP とは“Coefficient of Performance”の略で、消費電力 1kW あたりの冷暖房能力を表す係数で、この COP が高いほど、この機器のエネルギー消費効率が良いことになる。ヒートポンプ単体の COP の計算式は次のとおり。

地中熱ヒートポンプ暖房 COP = 放熱量 [kW] ÷ 消費電力(ポンプ消費電力含む) [kW]
 空気熱ヒートポンプ暖房 COP = 暖房能力 [kW] ÷ 暖房時消費電力 [kW]

表 3-4 暖房機器効率の設定

地中熱ヒートポンプ (GSHP)	COP=2.8
空気熱ヒートポンプ (ASHP)	COP=1.8
灯油・ガスボイラまたは真空式温水発生器	効率 80%

また、CO₂ 排出係数、発熱量、一次エネルギー換算係数を表 3-5 のように設定した。

表 3-5 換算係数の設定

	GSHP	ASHP	灯油
CO ₂ 排出係数	0.55kgCO ₂ /kWh	0.55kgCO ₂ /kWh	2.49kgCO ₂ /L
発熱量	3.6MJ/kWh	3.6MJ/kWh	36.7MJ/L
一次エネルギー換算係数	9.76MJ/kWh	9.76MJ/kWh	36.7MJ/L

これらの換算係数、例えば CO₂ 排出係数は表 3-6 に示すように、環境省から電気事業者ごとの係数も示されているが、これらの値は事業者や年度により変化するため、本報告書では暫定的に表 3-7 に示す代替値 0.55 (kg-CO₂/kWh) を使用して算出する。

表 3-6 算定省令に基づく電気事業者ごとの実排出係数及び報告命令に基づく電気事業者ごとの調整後排出係数の一部（平成 26 年 12 月 5 日 環境省報道資料）

事業者名	実排出係数 (kg-CO ₂ /kWh)	調整後排出係数 (kg-CO ₂ /kWh)
北海道電力(株)	0.678	0.681

表 3-7 排出係数代替値

代替値 (kg-CO ₂ /kWh)	0.551
-------------------------------	-------

年間暖房負荷を 60000kWh とし、表 3-4 と表 3-5 の係数をかけ合わせた結果、地中熱ヒートポンプ（GSHP）、空気熱ヒートポンプ（ASHP）、ガス、灯油各設備の CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量は表 3-8 となった。

なお、消費量の計算式は次のとおりである。

電力消費量[kWh]=年間暖房負荷[kWh]÷COP

灯油消費量[L]=年間暖房負荷[kWh]×3.6[MJ/kWh]÷発熱量[MJ/L]÷効率

また、CO₂ 排出量=消費量×CO₂ 排出係数、一次エネルギー消費量=消費量×一次エネルギー換算係数から求めた。

表 3-8 CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（年間暖房負荷 60000kWh）

	GSHP	ASHP	灯油
CO ₂ 排出係数	0.55kgCO ₂ /kWh	0.55kgCO ₂ /kWh	2.69kgCO ₂ /L
発熱量	3.6MJ/kWh	3.6MJ/kWh	36.7MJ/L
一次エネルギー換算係数	9.76MJ/kWh	9.76MJ/kWh	36.7MJ/L
効率・COP	2.8	1.8	0.8
消費量	21440kWh	33351kWh	7361L
CO ₂ 排出量	11792kgCO ₂	18343kgCO ₂	18728kgCO ₂
一次エネルギー消費量	209GJ	326GJ	270GJ

表 3-8 より、地中熱ヒートポンプ暖房の CO₂ 排出量は約 11800kgCO₂、一次エネルギー消費量は約 209GJ と推定された。

地中熱ヒートポンプ暖房の採用により、灯油焚き熱源機、空気熱源ヒートポンプより 30%以上、CO₂ 排出量を削減できると推定される。

3-5 融雪の消費エネルギーの推定

融雪の消費エネルギーはその制御方法、運用方法により大きく異なるが、ここでは、融雪設備の容量と運転時間により推定する。

設計計算書によれば、必要な融雪熱量は約 13kW（約 180W/m²）とされている。凍結防止運転を主として年間 1000 時間運転すると仮定し、放熱効率を 0.8 とすれば、融雪用熱源機の年間熱出力は、 $13[\text{kW}] \times 1000[\text{h}] \div 0.8 = 16250[\text{kWh}] \div 16000[\text{kWh}]$ となる。

融雪用熱源機の効率を表 3-9 のように設定すれば、CO₂ 排出量、一次エネルギー消費量は表 3-10 となる。

なお、CO₂ 排出係数、発熱量、一次エネルギー換算係数は 3-4 項同様に表 3-5 の値を使用し、消費量、CO₂ 排出量、一次エネルギー消費量も 3-4 項同様に次式で計算した。

$$\text{電力消費量}[\text{kWh}] = \text{年間暖房負荷}[\text{kWh}] \div \text{COP}$$

$$\text{灯油消費量}[\text{L}] = \text{年間暖房負荷}[\text{kWh}] \times 3.6[\text{MJ/kWh}] \div \text{発熱量}[\text{MJ/L}] \div \text{効率}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = \text{消費量} \times \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

$$\text{一次エネルギー消費量} = \text{消費量} \times \text{一次エネルギー換算係数}$$

表 3-9 機器効率の設定

地中熱ヒートポンプ（GSHP）	COP=3.5
空気熱ヒートポンプ（ASHP）	COP=2.5
灯油または真空式温水発生器	効率 80%

表 3-10 CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（年間融雪負荷 16000kWh）

	GSHP	ASHP	灯油
CO ₂ 排出係数	0.55kgCO ₂ /kWh	0.55kgCO ₂ /kWh	2.69kgCO ₂ /L
発熱量	3.6MJ/kWh	3.6MJ/kWh	36.7MJ/L
一次エネルギー換算係数	9.76MJ/kWh	9.76MJ/kWh	36.7MJ/L
効率・COP	3.5	2.5	0.8
消費量	4643kWh	6500kWh	1993L
CO ₂ 排出量	2554kgCO ₂	3575kgCO ₂	4961kgCO ₂
一次エネルギー消費量	45GJ	63GJ	73GJ

3-6 機器類の電力消費の推定

照明・コンセント・ポンプ・ファンなど電力を消費する機器類の電力消費量は、同種用途の既存建物の電力消費量原単位を用いて推定する。

市町村の事務所系建物の電力消費量は平均 50kWh/m²程度であるため、本建物の車庫を除いた床面積 635 m²を乗じると、電力消費量は次のように求められる。

$$50[\text{kWh}/\text{m}^2] \times 635[\text{m}^2] = 31750[\text{kWh}]$$

また、冷房の電力消費について、地中熱ヒートポンプおよび一般的なエアコンの COP を 3.0 と仮定すると、表 3-3 に示した冷房負荷 4750kWh より、電力消費量は次のように求められる。

$$4750[\text{kWh}] \div 3.0 = 1580[\text{kWh}]$$

これらを合計して、電力消費量は、33300kWh と推定される。

この電力消費量に表 3-5 の CO₂ 排出係数と一次エネルギー換算係数をかけ合わせると、CO₂ 排出量 18300kgCO₂、一次エネルギー消費量 325GJ となる。

3-7 太陽光発電量の推定

太陽光発電設備の容量は 10kW であるため、年間発電量は 9000kWh 程度と推定される。この電力消費量に表 3-5 の CO₂ 排出係数と一次エネルギー換算係数をかけ合わせると、CO₂ 排出量 4950kgCO₂、一次エネルギー消費量 88GJ となる。

3-8 建物全体の CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量の推定

以上の推定結果をとりまとめた建物全体の CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を表 3-11 に示す。東部まちづくりセンターは、暖房・融雪に地中熱源ヒートポンプを使用し、10kW の太陽光発電を導入したことにより、他の設備を導入した場合に比べ、CO₂ 排出量を 30～35%削減できると推定される。

表 3-11 建物全体の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量

		東部まちづくり センター	暖房・融雪に 空気熱源 ヒートポンプ	暖房・融雪に 灯油ボイラー
暖 房	電力[kWh]	21440	33351	
	灯油[L]			7361
融 雪	電力[kWh]	4643	6500	
	灯油[L]			1993
照明・コンセント・ 冷房等	電力[kWh]	33300	33300	33300
太陽光発電	電力[kWh]	-9000		
消費量合計		電力 50383	電力 73151	電力 33300 灯油 9354
CO ₂ 排出量[t]		27.7	40.2	41.6
一次エネルギー消費量[GJ]		492	714	668

また、当初推定の地中熱源ヒートポンプの稼働予測を、灯油熱源に変換し、推定結果をとりまとめた建物全体の CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を表 3-12 に示す。

表 3-12 当初推定ヒートポンプ稼働率での建物全体の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量
(当初推定量による設備との比較)

		東部まちづくり センター(当初試 算)	左記を灯油に変 換 COP=3、ボイラ効 率 80%
暖房	電 力 [kWh]	53126	
	灯油[L]		19542
融雪	電 力 [kWh]	13130	
	灯油[L]		4830
照明・コンセ ント・冷房等	電 力 [kWh]	33300	33300
太陽光発電	電 力 [kWh]	-9000	
CO ₂ 排出量[t]		49.8	79.0
一次エネルギー消費量 [GJ]		884	1219

CO₂ 排出係数は電力 0.55kgCO₂/kWh、灯油 2.49kgCO₂/L とした

この結果、施設の建物効果や着雪状況を加味したエネルギー使用量と地中熱ヒートポンプの最大稼働を勘案し、当該施設のCO₂削減量及び削減効果は、次のとおり推測するものとする。

灯油熱源と当該設備との比較により求められる効果

【灯油熱源と当該設備との比較により求められる効果】

CO₂削減量 13.9t-co₂ ~ 29.2t-co₂

削減効果 33.4% ~ 36.9%

※ なお、CO₂削減量については、年間の気象条件で大きく変動するものであり、施設設置後の「見える化システム」において、稼働状況・効果を検証する必要がある。

第4章 施設供用後のCO₂排出量と一次エネルギー消費量の測定

本施設では、次に示す太陽光発電システムと地中熱ヒートポンプシステムが稼働する。

(1) 太陽光発電システム（パナソニック株式会社製）

- ① 太陽電池モジュール VBHN240SJ35A 最大出力 240W×42 枚≒10kW
- ② リチウムイオン蓄電システム LJBA1150
定格電圧 DC86.4V 定格容量 5.0kWh×2 式=10kWh

太陽光発電システムは、図 4-1 に示すと通りの構成である。ここで得られた電力は、自家消費のみに用いられ、売電は行わない。日中の余剰電力は、蓄電池に蓄えられ、夜間の電力として活用する。なお、蓄電池は、夜間に放電しながらも外部から供給される電力で蓄電し、災害発生時などのバックアップ電源としても備える。

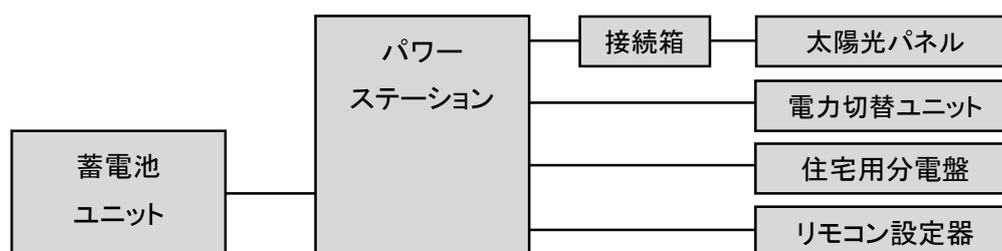


図 4-1 太陽光発電システム

(2) 地中熱ヒートポンプシステム（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製）

- ① 床暖・パネルヒーター用：
地中熱源式水冷ヒートポンプ ZQH-12.5W12.5-H-C-INV
加熱能力 33.8kW 消費電力 10.6kW COP3.19 循環水量 97L/min
- ② ロードヒーティング用：融雪用水冷式ヒートポンプ ZQH-06W03-H-C-INV
加熱能力 17.4kW 消費電力 5.2kW COP3.35 循環水量 50L/min
- ③ 冷暖房用：水冷式ビル用マルチ空調システム ZP3-WS504-T
冷房能力 50.4kW（消費電力 12.5kW、COP4.03）、暖房能力 56.5kW（消費電力 13.8kW、COP4.09）、標準水量 190L/min

地中熱ヒートポンプシステムは、地中熱の採熱を行うダブル U チューブを 22 本（床暖・パネルヒーター用 7 本、ロードヒーティング用 4 本、冷暖房用 11 本）、深さ 100m に垂直ボアホール方式で埋設している。ヒートポンプによる空調では、一般に 1.0m²あたり 100W の電力を必要とすることから、例えば、暖房能力 56.5kW のヒートポンプでは、565m²の床面積をカバーできる。従って、本施設の床面積に対し、上記機器の選

択は適切である。

施設供用後、太陽光発電システムでは表 4-1 に示す項目、地中熱ヒートポンプシステムでは表 4-2 に示す項目の測定が望まれる。

表 4-1 太陽光発電システム用測定項目

No.	項目	測定内容	測定機器	枝番
1	気象因子測定	アレイ面日射強度	全天日射計	①
		気温	Pt 温度センサー	②
		風速	風速計	③
2	太陽電池アレイ測定	出力電圧	データロガー	④
		出力電流	データロガー	⑤
		出力電力	④電圧×⑤電流	⑥
		傾斜角・方位角	ポテンショメータ	⑦
3	蓄電池測定	端子電圧	データロガー	⑧
		充電電流	データロガー	⑨
		充電電力	⑧電圧×⑨電流	⑩
		放電電流	データロガー	⑪
		放電電力	⑧電圧×⑪電流	⑫

表 4-2 地中熱ヒートポンプシステム用測定項目

No.	項目	機器	設置場所	枝番
1	消費電力測定	電力計	地中熱ヒートポンプ	①
			循環ポンプ（一次側）	②
			循環ポンプ（二次側）	③
			室内機	④
2	利用熱量測定	温度計	地中熱ヒートポンプ（一次側）入口	⑤
			地中熱ヒートポンプ（一次側）出口	⑥
			地中熱ヒートポンプ（二次側）入口	⑦
			地中熱ヒートポンプ（二次側）出口	⑧
		流量計	地中熱ヒートポンプ（一次側）	⑨
			地中熱ヒートポンプ（二次側）	⑩
3	室内環境温度	温度計	1階事務室	⑪
			2階事務室	⑫
			車庫	⑬
4	屋外環境測定	温度計	駐車場	⑭

施設供用後のCO₂排出量と一次エネルギー消費量の算出において、太陽光発電システム分については単純に引き算するだけである。

一方、地中熱ヒートポンプシステムに関しては、3種類（① 床暖・パネルヒーター用、② ロードヒーティング用、③ 冷暖房用）の消費電力にCO₂排出係数と一次エネルギー換算係数をかけ合わせた分が排出される。

地中熱ヒートポンプシステムは省エネ機器であることから、その有効性を示すには、従来機器（空気熱ヒートポンプ、ガス、灯油）との比較が必要となる。しかし、従来機器を用いて実測することは不可能なため、地中熱ヒートポンプシステムの測定結果から、年間暖冷房負荷と年間融雪負荷を推定し、算出比較することになる。

4-1 太陽光発電システムによるCO₂排出量と一次エネルギー消費量の削減

太陽光発電システムについては、図4-1に示すパワーステーションから出力される電力にCO₂排出係数と一次エネルギー換算係数をかけ合わせた分のCO₂排出量と一次エネルギー消費量が全体から削減される。

また、太陽発電モジュールからの出力電力と気象因子との関係、蓄電池の活用度を明らかにするため、表4-1に示す3項目の測定を行う。

4-2 地中熱ヒートポンプの定格運転時のCO₂排出量と一次エネルギー消費量

3種類の地中熱ヒートポンプシステム（① 床暖・パネルヒーター用、② ロードヒーティング用、③ 冷暖房用）が定格運転時に発生するCO₂排出量と一次エネルギー消費量を表4-3～表4-5に示す。なお、CO₂排出係数と一次エネルギー換算係数は、表3-5のものとする。なお、算出値は単位時間あたりとし、計算式は第3章と同様とする。

(1) 床暖・パネルヒーター用

地中熱源式水冷ヒートポンプZQH-12.5W12.5-H-C-INVのカタログ値から、定格運転時の単位時間あたり加熱能力33.8kWから、CO₂排出量と一次エネルギー消費量を計算すると表4-3となる。

(2) ロードヒーティング用

融雪用水冷式ヒートポンプZQH-06W03-H-C-INVのカタログ値から、定格運転時の単位時間あたり加熱能力17.4kWから、CO₂排出量と一次エネルギー消費量を計算すると表4-4となる。

(3) 冷暖房用

水冷式ビル用マルチ空調システム ZP3-WS504-T のカタログ値から、定格運転時の単位時間あたり冷房能力 50.4kW と暖房能力 56.5kW から、CO₂ 排出量と一次エネルギー消費量を計算すると表 4-5 と表 4-6 になる。

表 4-3 床暖・パネルヒーター用の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（負荷 33.8kW）

	GSHP①	ASHP	灯油
CO ₂ 排出係数	0.55 kgCO ₂ /kWh	0.55 kgCO ₂ /kWh	2.71 kgCO ₂ /L
発熱量	3.6MJ/kWh	3.6MJ/kWh	39.1MJ/L
一次エネルギー換算係数	9.76MJ/kWh	9.76MJ/kWh	39.1MJ/L
効率・COP	3.19	1.8	0.8
消費量	10.6kWh	18.8kWh	3.9L
CO ₂ 排出量	5.83kgCO ₂	10.34kgCO ₂	10.6kgCO ₂
一次エネルギー消費量	103MJ	183MJ	152MJ

表 4-4 ロードヒーティング用の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（負荷 17.4kW）

	GSHP②	ASHP	灯油
効率・COP	3.35	2.5	0.8
消費量	5.2kWh	7.0kWh	2.0L
CO ₂ 排出量	2.86kgCO ₂	3.85kgCO ₂	5.42kgCO ₂
一次エネルギー消費量	51MJ	68MJ	78MJ

表 4-5 冷房用の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（負荷 50.4kW）

	GSHP③	ASHP	灯油
効率・COP	4.03	3.0	0.8
消費量	12.5kWh	16.8kWh	5.8L
CO ₂ 排出量	6.88kgCO ₂	9.24kgCO ₂	15.7kgCO ₂
一次エネルギー消費量	122MJ	164MJ	227MJ

表 4-6 暖房用の CO₂ 排出量・一次エネルギー消費量（負荷 56.5kW）

	GSHP④	ASHP	灯油
効率・COP	4.09	1.8	0.8
消費量	13.8kWh	31.4kWh	6.5L
CO ₂ 排出量	7.59kgCO ₂	17.27kgCO ₂	17.6kgCO ₂
一次エネルギー消費量	135MJ	306MJ	254MJ

4-3 地中熱ヒートポンプの実稼働時のCO₂排出量と一次エネルギー消費量

4-2項では、定格運転時のCO₂排出量と一次エネルギー消費量を求めた。この時、全熱負荷とCOPの値は、推定値を用いた。従って、この値を表4-2などから求めることができれば、実稼働時の結果となる。

(1) 全熱負荷

この値は、表4-2の消費電力測定結果から求める。

(2) COP

この値は、表4-2の消費電力測定結果と利用熱量測定結果から求める。
地中熱ヒートポンプのCOPは、次の式で求められる。

暖房時 COP = (採熱量 + 電力消費量) [kWh] ÷ 電力消費量 [kWh]

冷房時 COP = (放熱量 - 電力消費量) [kWh] ÷ 電力消費量 [kWh]

このとき、採熱量や放熱量は、次の式で求められる。

熱量 ÷ 温度差 × 流量 × 密度 × 比熱

例えば、15℃の地下水温度を温度差 10℃にする場合、流量 190L/min、水の密度 1.0g/cm³、水の比熱 1.0cal/g/℃とすると、熱量は次のとおりとなる。

$10^{\circ}\text{C} \times 190\text{L}/\text{min} \times 60\text{s} \times 1.0\text{g}/\text{cm}^3 \times 1.0\text{cal}/\text{g}/^{\circ}\text{C} = 114000$ [kcal/h]

1 [kW] は 860 [kcal/h] であることから、単位換算すると、次のとおりとなる。

$114000 \div 860 \div 136$ [kW]

第5章 再生可能エネルギー導入に向けた課題と対策案

本章では、対象施設に設置される太陽光発電と地中熱ヒートポンプの課題と普及への対策案、他の再生可能エネルギー導入の可能性について述べる。

5-1 太陽光発電

太陽光発電は、再生可能エネルギーとしての知名度が高く、一般住宅からメガソーラー発電所までの広範囲な規模で普及していることから、技術的能力や運用方法において、今後も発展していくものと思われる。しかしながら、太陽光発電は、気象条件に左右される変動電源であることや積雪時の対応などの問題が根本にあり、検討会議においては次に示す現状の課題と対策案が出された。

(1) 現状の課題

- ① 旭川では積雪を考慮し架台を高くする必要があるが、その分コストが高くなる。
- ② 建設物に設置する場合、旭川ではフラットな屋根が多く、設置が難しい。フラットに設置すると、冬期間積雪のため発電せず、架台を高くすると屋根への加重問題や強風のときの家の揺れ問題などが発生する。
- ③ 雪が落ちやすくなるように太陽光パネルの設置角度を急勾配にすると、発電量が低下する。
- ④ 変動する太陽光発電量を平準化するため蓄電池を導入する方法もあるが、設備コストが高く、蓄電池の寿命も短く、ランニングコストも高くなる。
- ⑤ 商用系統に接続する場合、北海道電力の受け入れ容量が限界に近づいているため、局所的に困難となっている。

(2) 対策案

- ① 積雪対応として、雪に反射した光を利用する両面採光パネルの採用で発電効率が1.2倍以上となる。
- ② 建設物に設置する場合は、屋根ではなく、壁面に少し間隔を離し、両面採光パネルで集光する。
- ③ 北海道では敷地確保が比較的容易なことから、メガソーラー発電所の設置が可能となるが、この場合、発電した電力を北海道電力の電力網に広域連系するのではなく、スマートグリッドとして連系や水素など新たなバックアップ電源に変換する方法が検討される。

5-2 地中熱ヒートポンプ

地中熱ヒートポンプの導入は、図 5-1 に示すとおり、日本は欧米や中国に比べて大きく遅れている。この原因は、地中熱に対する知名度の不足もあるが、最たるは設置コストの高さにある。採放熱パイプを埋め込むための穴を掘削する機械は北海道に数台しかなく、工事業者も少ない。一方、地中熱ヒートポンプシステムのライフサイクルコストは他方式に比べて大きく低減できる。ライフサイクルコストとは、建物の設計・施工から始まり、設備機器の更新・メンテナンス費、燃料費などのランニングコスト、そして解体廃棄に至る全てのコストである。地中熱ヒートポンプシステムは、空気熱を利用するエアコンや灯油、ガス機器に比べ消費エネルギーを低減させるだけでなく、設備更新費用を大幅に低減できる。特に、寒冷地においては、暖房器具の大方を占める石油ストーブやボイラーは 10 年ごとに設備更新が必要なのに対し、地中熱交換機は 50 年以上の寿命があるため、非常に有効である。

そのためにも、行政による積極的な PR や支援策で知名度を高め、事業者の競争から、技術力の向上と設置コストの低減が求められる。

設置容量が一番多いアメリカは、電力会社の積極的な後押しと国の優遇税制が功を奏した事例である。

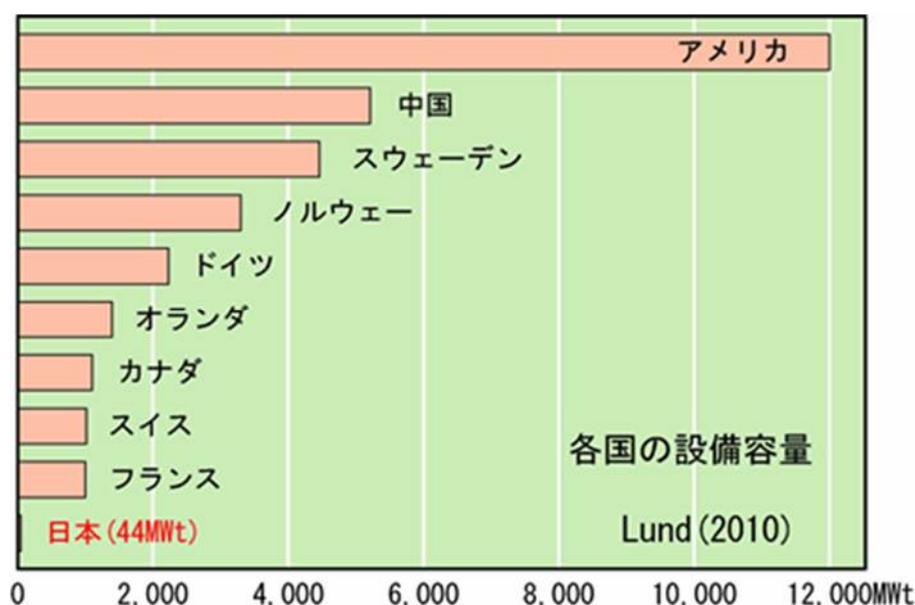


図 5-1 地中熱ヒートポンプの世界的普及状況（出典：地中熱利用促進協会 HP）

(1) 現状の課題

- ① 地中熱に対する社会的認知度が低い。
- ② 設備導入に係る初期コストが高い。
- ③ 設備費用の回収期間が長い。

(2) 対策案

① 社会的認知度を高めるためには、行政での取組や普及への積極的な PR が必要である。例えば、次のようなものである。

- ・補助金の予算拡大（初期コスト問題の解決）
- ・補助金の積極的な広報（市民及び施工企業）
- ・市民意識の醸成（再生可能エネルギー利活用への意識向上）
- ・再生可能エネルギー及び新エネルギーの紹介

② 社会的認知度を高める中で、地中熱ヒートポンプが旭川地域に有効であることを地質なデータから、紹介する必要がある。例えば、旭川地域は多くの河川に挟まれ、昔から地下水の豊富な地域として地中熱利用に適した地域であるが、図5-2に示す国土交通省の「水基本調査（地下水資料）」図によれば、地下水のほか、地層も分かる。

<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/water/basis/underground/F9/exp.html>

クローズドループの熱交換器を設置する場合、地下水の状況と地層の種類による熱伝導率から、その有効性は変わるが、旭川は熱伝導率が高いため、熱交換がしやすく、地中熱ヒートポンプの導入に適した地域である。

調査年度	2002													
都道府県コード	01	市町村コード	204											
経度	0 度 0 分 0 秒			緯度	0 度 0 分 0 秒									
井戸の所在地	豊岡3条			さく井開始	1994	年	10	月	24	日	日付はすべて西暦			
				さく井完了	1994	年	11	月	0	日				
地盤標高	130.0	m	(m単位)	自然水位	1994	年	11	月	0	日		5.70	m	
地下水使用目的	2	1:生活用, 2:都市用, 3:工業用, 4:農業用, 5:その他, 6:未利用				年		月		日			m	
掘削深度	71.0	m	(m単位)	揚水水位	1994	年	11	月	0	日			12	m
スクリーン	2	層 (合計の層数)		揚水量	1994	年	11	月	0	日			144	m ³ /d
	16.50	m	(m単位)			年		月		日				m ³ /d
掘削口径	250	mm	(mm単位)	自噴量		年		月		日				m ³ /d
仕上げ口径	100	A	(例:300)			年		月		日				m ³ /d
深度 (m)	化石		地質名称	深度 (m)	化石		地質名称							
	動	植			動	植								
0.00 ~ 2.00	0	0	表土	~										
2.00 ~ 25.00	0	0	砂礫	~										
25.00 ~ 27.00	0	0	火山灰	~										
27.00 ~ 34.00	0	0	粘土混じり砂礫	~										
34.00 ~ 53.00	0	0	玉石混じり砂礫	~										
53.00 ~ 55.00	0	0	粘土混じり砂礫	~										
55.00 ~ 59.00	0	0	砂礫	~										
59.00 ~ 62.00	0	0	粘土混じり砂礫	~										
62.00 ~ 67.00	0	0	砂礫	~										
67.00 ~ 71.00	0	0	火山灰	~										

図5-2 国土交通省の「水基本調査（地下水資料）」図

- ③ 地中熱ヒートポンプを導入する場合、冷暖房などの熱需要が24時間必要な施設に有効である。例えば、病院やホテル、コンビニエンスストアへの普及である。また、知名度を高めるためには、公衆の集まりやすい公共施設や学校で「見える化」システムで意識の醸成が必要である。

5-3 他の再生可能エネルギー導入の可能性

旭川として、他の再生可能エネルギーの導入については、次のように考えられる。

(1) 木質バイオマス発電

下川町の取り組みが有名であるが、製材端材や木くず等を原料として木質ボイラーでエネルギー転換し、地域熱供給システムを構築しているものである。一般的には、森林の間に落ちている枝葉など未利用木材を利用している。旭川市も大雪山を抱え、豊富な森林資源と育成計画を進めていることから、有効な発電方式であるが、問題は材料となる木材を安定的に供給できるほど、低コストに集荷できる方法（需要を満たすほどの材料を集められるか、運搬費用は問題ないか、設備投資費用を回収できるか）である。

(2) 雪氷冷熱利用

主に北海道で導入が進んでおり、寒冷地の気象特性を活用する取組である。沼田町では米や野菜の貯蔵施設での利用が図られている。旭川市の市有施設の一部でも採用されている。除排雪や融雪などで膨大な費用がかかっていた雪を積極的に利用することで、デメリットをメリットに変えることも可能になっている。

5-4 再生可能エネルギー普及に向けて

旭川市では、全国的に普及する太陽光発電・蓄電システムにとどまらず、バイオマス、雪氷冷熱など多様な再生エネルギーの利活用がなされている。太陽光発電・蓄電システムと地中熱ヒートポンプとの組み合わせで運営される東部まちづくりセンターについての検証を通して、地域特性を生かした再生可能エネルギーの利活用が自立分散型の地域づくりに資すること、市民生活の利便性を高めると同時に災害時の一時避難所としての機能を高めることを確認した。

太陽光による発電量や二酸化炭素削減量が時々刻々表示されるモニターは、窓口のカウンターのあるホールに設置され、来庁する多くの市民は目に触れ、併せて再生可能エネルギー関連設備の説明を読む機会が多くなる。東部まちづくりセンターは、再

生可能エネルギーに関する広告ともなり、地球環境に関する市民意識の醸成を促し、自立分散型の地域づくりの拠点として機能する。

ただし、再生可能エネルギーの広範な普及という観点では課題は多い。なにより太陽光発電・蓄電システムも地中熱ヒートポンプも設置コストが大きいことがある。広く採用され大量生産されることでの製品価格の低下や技術革新が求められる。

汎用品の価格低下以外に地域それぞれに適った製品開発も重要である。そのためには企業間の交流・連携はもちろん地域内での産学官連携が重要である。

旭川市には、多様な再生可能エネルギーを導入できる地域特性、高等教育機関を擁する学校法人や各種研究機関、産業を支える民間企業での各種取組など、地域の知(地的)の拠点が、今後の普及に向けた土壌がある。

こうした方向性を持った連携の強化が「地域の再生可能エネルギー等の活用」につながる技術や製品開発を産み、そうした情報を広く市民に発信することにより、市民意識が高まり、普及拡大に向けた好循環が生まれるよう期待するものである。