

学校施設における 再生可能エネルギー 活用事例集

～熱利用分野～

平成26年2月



国立教育政策研究所文教施設研究センター
「学校施設の環境に関する基礎的調査研究」研究会



はじめに

地球温暖化対策は、世界の国々が総力を上げて取り組む最重要課題の一つであり、低炭素社会に向けた取組をより一層推進することが求められています。

このような状況の中、平成 23 年 3 月に東日本大震災が発生し、震災以降は電力供給が大幅に減少し、学校施設においても従前以上に省エネルギー対策を講じることが求められているため、既存施設を含め環境を考慮した学校施設（エコスクール）の整備を一層推進することが必要となっています。

本事例集では、災害時の停電等により商用電力の供給がストップしても、避難所となる学校施設の使用が可能となるように、いろいろな再生可能エネルギー技術の組合せで実際に機能できるものとはどのようなものか検討し、再生可能エネルギーのうち、熱利用分野について整理を行いました。取りまとめに当たっては、概要や特徴・留意点等のほか、事例紹介において整備・維持管理等に係る経費の一例を示し、CO₂ 排出量や室内環境の改善に伴う効果について考察しています。本事例集が、再生可能エネルギー利用に取り組む際の参考資料として、学校設置者の皆様に活用されることを期待しています。

再生可能エネルギーの定義

再生可能エネルギーは、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（以下、「新エネ法」という。）」で右図のように定義されています。

再生可能エネルギーのうち、本事例集では、熱利用分野（地中（温度差）熱利用、雪氷熱利用、バイオマス熱利用、太陽熱利用）について取りまとめ、紹介しています。



注1：新エネに属する地熱発電はバイナリ方式のもの、水力発電は未利用水力を利用する1,000kW以下のものに限る。（出典）N E D O 資料

再生可能エネルギーの利用内容

種 類（熱利用分野）		利 用 内 容
	地中熱利用 P2	地中の熱エネルギーを熱交換機やヒートポンプによって冷暖房に使う場合や、浅めの地中で暖められたり冷やされたりした空気を室内に送風し、換気として使うこともあります。
	雪氷熱利用 P5	雪や氷の冷たい熱エネルギーを冷房などに使います。
	バイオマス熱利用 (ペレットストーブ) P8	廃材や林地残材などからつくる木質ペレットを燃料にして暖房に使います。
	太陽熱利用 P11	太陽の熱エネルギーを屋根の上などに置いた集熱器で集めて、給湯や冷暖房に使います。

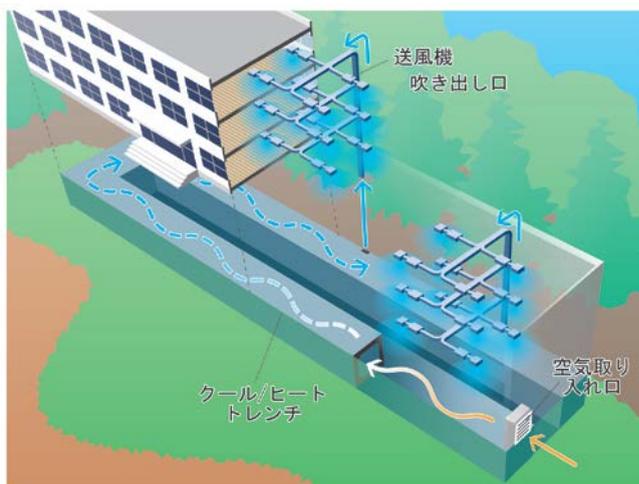
地中熱利用設備

概要

地中熱の利用方法としては、室内へ導入する外気を地下の空間に流通させて加温、若しくは冷却する方法と、ヒートポンプのヒートソース（熱源）やヒートシンク（放熱器）として循環水や地下水を利用する方法がある。

災害時における活用を考慮すると、設備機器への依存度が低い前者が有利であり、地中梁スペースを活用したクール・ヒートトレンチ(地下溝)等を使い、年間を通じて安定した温度の地中を低速で外気を通過させ、夏期は温度を下げ、冬期は温度を上げて施設内に吹き出す仕組みである。

主な対象	新 営	改 修
設置には、地中におけるトレンチ設置作業が大がかりであることや、温度差換気も考慮した建物躯体全体の計画が必要となるため、新営に適しています。		



一般的なクール・ヒートトレンチ方式のイメージ図

特徴・留意点

地中熱の活用には、摩擦抵抗や圧力損失を減らし送風機の容量を小さくするため、地下空間と空気との接触面積を可能な限り大きくするとともに、接触する時間を可能な限り長くするため、気流速度を遅くする必要がある。岩手県立大学の場合、導入外気量 3,600~7,800m³/h に対して、幅 1.8m×高さ 1.2m×長さ 60m のクール・ヒートトレンチを設置している。

地下 10m 以深の地中の温度は、おおよそ、その地域の年平均外気温と同じである。年間を通じて寒暖の差が激しい地域や、伏流水がある地域など、他の場所から地中熱が絶えず供給される地域ほど、地中熱利用の効果が高くなる。

地下水位が高い場合には、湿度が高い外気を地下空間に導入すると結露が発生する恐れがあり、かびの繁殖も懸念される。年間を通じて、殺菌灯の設置や結露水の排水対策や炭を置くなど、湿度対策、トレンチ内の衛生管理、常時運転などの運用管理に留意する必要がある。

災害時における運用を考慮した計画上の留意点

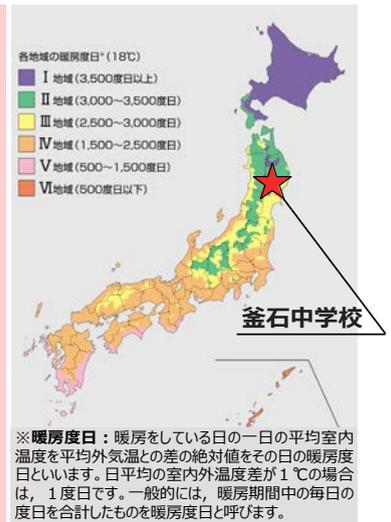
地中梁スペースを活用したクール・ヒートトレンチ等を使って、低速で外気を通過させるためには、送風機を運転する必要がある。災害時等において商用電力が途絶した場合でもクール・ヒートトレンチを介し、外気が室内へ流れ出すようにするためには、送風機へ電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等の設置が必要となる。

また、常時の使用においても送風機の消費電力を削減することが求められるので、ソーラーチムニー(※)を設置するなど、温度差換気による空気流動を建物全体に作り出す建築計画や設計の工夫を施すことも重要である。なお、温度差換気による手法は送風機を必要としないため、災害時においても有効である。

(※ 煙突のような空気の通り道の中を、太陽熱で上昇気流を作り出して自然換気を行うシステム)

設置例

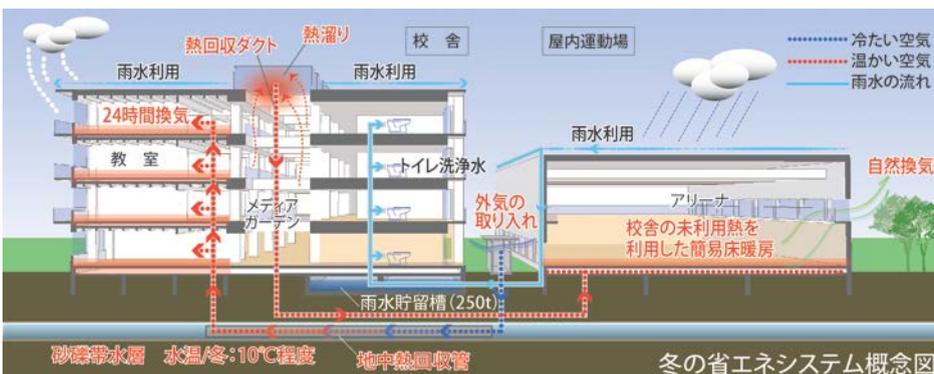
学校名：岩手県釜石市立釜石中学校
 設備名：地中熱利用システム
 学級数：普通学級12学級，特別支援学級2学級
 生徒数：普通学級420人，特別支援学級6人
 設備容量：風量約10,000m³/h，換気回数0.7回/h
 活用区域：校舎(6,392m²)・屋内運動場(1,556m²)のうち，校舎2～4階の教室，メディアガーデン，多目的スペース，1階の管理諸室，ラウンジ，メモリアルホール，アリーナ，格技場等(3,870m²)の冷暖房・換気を行う
 設置年度：平成18年度
 工期：検討期間 平成14年11月～平成15年6月
 設計期間 平成15年10月～平成16年3月
 工事期間 平成16年9月～平成18年3月
 ※工期は，建物新営工事を含んでいる。



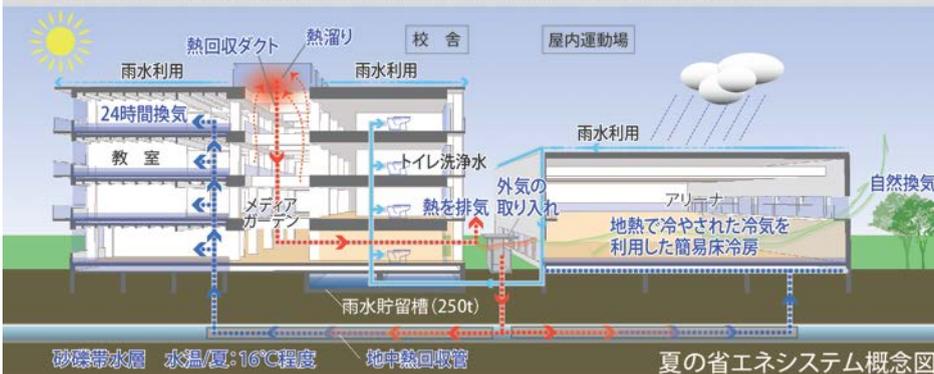
システム概要

砂礫帯水層にスパイラルダクト（土木用排水無孔管）を埋設して，地中熱を採熱するシステムである。教室系統は直径60cm，長さ約190mのダクトを通過させた外気を，1階から4階まで貫通するコンクリートダクトを介して，各教室床下へ供給する。冬期は，この系統の排気を屋内運動場と格技場の床下へ吹き出し，簡易床暖房を行う。屋内運動場と格技場の系統の夏期は，直径30cm，長さ約120mのダクトを通過させた外気を床下へ吹き出し，簡易床冷房を行う。

一部特別教室を除き，普通教室において，このシステムは補助的な冷暖房設備であり，冬期は深夜電力を利用した蓄熱式電気暖房機と併用して暖房を行うが，夏期は，東北という地域特性上，このシステムだけで涼を取っている。



【冬のエコシステム】
 外気温に比べ温度の高い地中熱(10℃程度)を利用し外気を暖め，床暖房として利用



【夏のエコシステム】
 外気温に比べ温度の低い地中熱(16℃程度)を利用し外気を冷やし，床下を通して換気

設置の経緯

釜石市は、平成 13 年度から新エネルギービジョンの策定に向けて取り組み、具体的プロジェクトの中に学校建設を位置付け、全市的に地球環境問題に取り組むこととしている。こうした中で、学校施設といった身近な教材により、環境問題や、省エネルギーに対する興味・関心を高める教育の実践を図るため、エコスクールの一環として地中熱利用システムの導入を決定した。

維持管理方法

普段のメンテナンスは不要であるが、釜石中学校に導入した本システムは、季節による運転モードの切替えを必要とするために、監視盤にて運転プログラムの点検を 1 回/年実施している。

一般的なクール・ヒートトレンチは簡単なシステムであるため、特別なメンテナンスは必要としないと考えられる。

環境教育への活用

地中熱利用により冷暖房費の節約につながることを踏まえ、生徒会主催で電力メーターを検針し、毎日の使用電力量を発表し、電力使用量削減に向けて検討を行うなどしている。

災害時における活用

釜石中学校における、そもそもの地中熱利用システムの設置目的は、日常の教室内環境の改善に再生可能エネルギーを活用するためであった。

東日本大震災が発生した際、被災した避難住民を平成 23 年 3 月 11 日から 8 月 5 日まで受入れた。その際、屋内運動場を避難所として使用したが、震災直後の停電時、地中熱利用システムは機能しなかった。しかし復電後は、冷暖房設備として補助的な役割を果たし、最大 270 人収容した屋内運動場の室内環境改善に寄与した。

なお、停電時は送風用のファンを回すことができないため、災害時の備えとしては、ファンの稼働に見合った電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等が必要である。

釜石中学校における事例

①イニシャルコスト(建設費)

約 1,600 万円 (0.2 万円 / m²※)
 (土工事 約 60 万円, ダクト 約 1,300 万円, 送風機 約 100 万円, ダンパー等 約 140 万円)

※システムを導入している建物延べ床面積に対する m²当たりの金額

②ランニングコスト(維持管理費)

約 20 万円 / 年
 (運転プログラムの点検費用のみ)

③年間省エネ額(光熱費削減額)

約 60 万円 / 年
 (冷暖房費: 未導入 95 万円/年, 導入後 35 万円/年 ※計画時の試算)

効果の検証

①CO₂ 排出量

一般の冷暖房機器に比べ、年間約 20 t の CO₂ 排出量の削減が可能

②室内環境

2月				8月			
地中温度 (砂礫帯 温度)	採熱管 入口温度 (外気温A)	採熱管 出口温度 (室内B)	B-A	地中温度 (砂礫帯 温度)	採熱管 入口温度 (外気温A)	採熱管 出口温度 (室内B)	B-A
13℃	1℃	7℃	6℃	13℃	22℃	17℃	▲5℃

補助暖房が必要な室温であるが、簡易床暖房として活用可能で、暖房費の削減につながる。
 夏期は、地中熱利用システムのみで涼を取ることが可能であり、省エネに大きく寄与。

※釜石中学校試算値

全国導入状況

59校 (平成25年4月1日現在で設置完了)
 地域毎の内訳

(校)

北海道	東北	関東	甲信越	北陸
4	8	12	5	14
中部	近畿	中国	四国	九州
3	3	7	1	2

※ 幼・小・中・高・特支含む

(出典) 再生可能エネルギー設備等の設置状況に関する調査(文科省)

雪氷熱利用設備

概要

雪氷熱の利用方法としては、冬期の降雪や外気により凍結した氷などを断熱性能が高い貯雪氷庫に貯蔵し、その冷熱エネルギーを利用し、熱交換器を介して製造する冷水により冷房等を行う方法が一般的である。

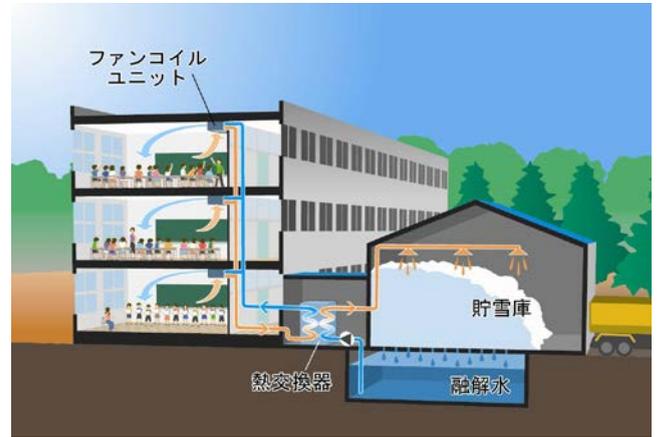
雪氷熱利用には、前述の他、倉庫に貯蔵された雪氷の冷熱を自然対流させることで、倉庫内を低温に保ち、野菜などの貯蔵を行う雪室・氷室や、水が凍ったり解けたりする時に発生する「潜熱」を利用して1年中0℃の冷温を供給するシステムであるアイスシェルター、外気を利用したヒートパイプによって土壌を凍らせてその冷熱を利用する人工凍土システム等がある。

主な対象

新 営

改 修

貯雪庫、熱交換を行う機械室等の設置スペースが敷地内に確保可能であれば、新営・改修いずれにも対応可能です。



一般的な雪冷房システムのイメージ図

特徴・留意点

雪氷熱の冷熱エネルギーは、積雪寒冷地等では無尽蔵に存在する雪や氷等を利用し、低温・高湿度の環境を安価で安定的かつ容易に作り出すことが可能であり、CO₂を排出しないクリーンなエネルギーである。メリットは、除排雪時に発生する雪を有効活用でき、維持管理費の低コスト化による経済効果、室内空気を汚染しない保温換気冷房が可能であることなどが挙げられる。一方、デメリットは、貯雪庫と冷熱利用施設との距離が大きいと、冷熱の搬送動力、損失等により効率が低下すること、貯雪庫のイニシャルコストが高いこと、貯雪庫の設置スペースが必要であることなどが挙げられる。

雪氷熱利用設備は、積算寒度(※)が-200℃以上あれば設置が適切な地域であるといわれており、北海道であれば全域、その他、東北や北陸などで有効なシステムである。

(※ 積算寒度：0℃以下の日平均気温を年間通して合計したもの)

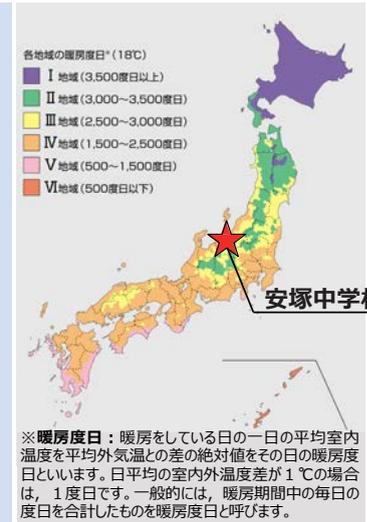
なお、平成14年の「新エネ法」施行令の改正時から、雪氷熱は新エネルギーとして明確に位置付けられている。

災害時における運用を考慮した計画上の留意点

学校で採用されることを想定した場合、降雪を貯雪庫に貯蔵し、その冷熱エネルギーを利用し、熱交換器を介して製造する冷水により冷房等を行う方法が一般的であり、冷風を教室内に吹き出すためには送風機を運転する必要がある。災害時における運用を考慮した場合、送風機へ電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等の設置が必要となる。

設置例

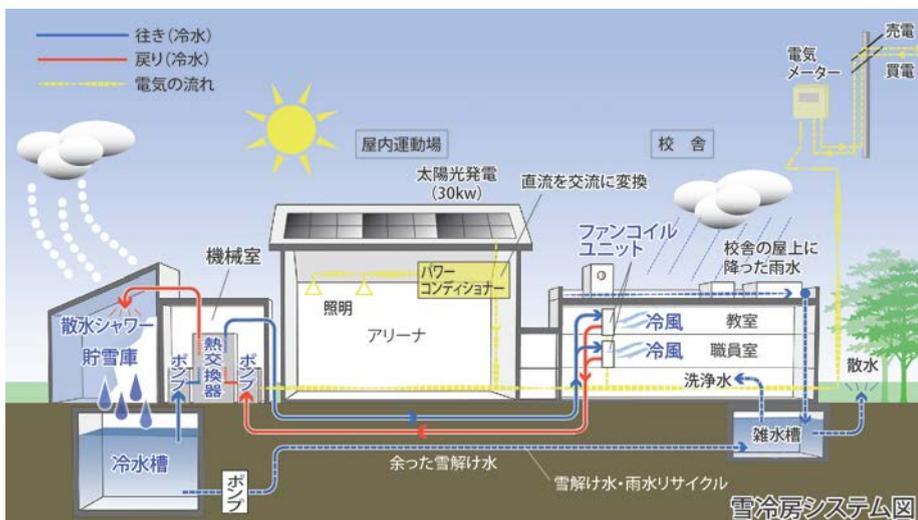
学校名：新潟県上越市立安塚中学校
 設備名：雪冷房システム
 学級数：普通学級3学級，特別支援学級1学級
 生徒数：普通学級62人，特別支援学級3人
 設備容量：貯雪庫容量660t
 (1,320m³(雪の体積)×0.5t/m³(密度))
 太陽光発電設備30kW
 活用区域：校舎(3,182m²)の内，居室(1,792m²)の冷房
 設置年度：平成15年度
 工期：設計期間 平成15年9月(1ヶ月間)
 工事期間 平成15年10月～平成16年2月
 ※工期は，建物改修工事を含んでいる。



システム概要

上越市立安塚中学校では，校舎の大規模改修に伴い，太陽光発電設備と雪冷房システム（融解水利用）を併せて整備した。雪冷房システムは冬に積もった雪を夏に冷房の熱源として活用するものであり，具体的には，貯蔵した雪に水を流し掛けて作る融解水等をポンプで熱交換器に循環させ，室内の冷房に使う冷水を作り出す。室内側は冷水と室内空気とで熱交換をして冷風を作り出すファンコイルユニットを用いて冷房を行う。貯雪庫側の熱交換器から戻って温められた水は，貯雪庫内の雪を溶かし，融解水として再び循環させるシステムである。

このシステムは，約1,800m²の教室等の冷房に雪を利用した。システム稼働に必要な機器の電力は，屋内運動場の屋根に設置した太陽光発電設備を利用し，さらに，雪解け水は，スクールバスの洗車やトイレ洗浄水の他，緊急時の非常用水としても活用可能である。このことから，省エネルギー化，CO₂排出量抑制につながるとともに，水道水の節約にも寄与し，冷房を稼働することで雪解け水が夏（渇水期）に随時供給（日最大10t）可能なシステムである。



設置の経緯

雪という自然資源を利用することで環境保全及び既存エネルギーの資源の節約に寄与すること、また、児童生徒の勉学に適した快適な環境を作り出し、学力の向上が図られるだけでなく、実体験できる教材として使用し、地球と共生できる人間社会建設の第1歩とすることを目的として、雪冷房システムの導入を決定した。

維持管理方法

- ・ 2月頃の貯雪庫への雪の搬入(市が対応)
 - ・ 6月下旬, 配管の雪冷房への切替え(※)
 - ・ 9月頃の貯雪庫内の清掃(学校用務員対応)
 - ・ 11月上旬, 配管の暖房への切替え(※)
- ※ 専門業者が対応



雪の学習風景(1)



雪の学習風景(2)

環境教育への活用

教科学習及び総合的な学習の時間に、雪冷房システムの理解を含めた総合的なエネルギー環境教育を実施している。保護者や地域住民、専門家との連携も積極的に実施しており、地域一体の環境教育の取組体制が形成されている。

災害時における活用

安塚中学校の雪冷房システムは、システム稼働(雪解け水循環ポンプ、送風ファンの運転等)に必要な電力は、太陽光発電設備(30kW)で賄い、停電時においても自立運転が可能である。

ただし、曇天時や夜間は、太陽光発電は行えないので、災害時の備えとしては、システム稼働容量に見合った電力を供給・蓄える蓄電池等が必要である。

安塚中学校における事例

①イニシャルコスト(建設費)

約 **4,750 万円** (1.5万円/m²※)

(貯雪庫 約2,800万円, 断熱パネル 約750万円, 配管約380万円, その他機器 約370万円, 工事費 約450万円)

なお, 太陽光発電設備設置費用約3,000万円
(太陽光発電設備を含めると 2.4万円/m²※)

※システムを導入している建物延べ床面積に対する
m²当たりの金額

②ランニングコスト(維持管理費)

約 **13 万円/年**

(配管の切替えを含めた年間保守点検費。貯雪庫への雪入れは、除雪の一環で行うことより費用計上から除外)

③年間省エネ額(光熱費削減額)

約 **70 万円/年**

(冷暖房費: 未導入 120 万円/年, 導入後 50 万円/年 ※計画時の試算)

効果の検証

①CO₂ 排出量

一般の冷房機器に比べ, 年間約 **13 t** の
CO₂ 排出量の削減が可能

②室内環境

夏 期			
外気温	冷房無し室	雪冷房稼働室	温度差
33℃	32℃	26℃	▲6℃

雪冷房システムのみでの教室運営が可能となる室温であり、省エネに大きく寄与。この雪冷房システムは、室内のファンコイルユニット側で自由に温度制御が可能であり、使い勝手としては一般のエアコンと何ら変わらない。ただし、温度を下げすぎる、時間外使用など無駄遣いをすると、雪の消費が激しくなり枯渇の原因となる。

※夏期における実測結果

全国導入状況

6校 (平成25年4月1日現在で設置完了)

地域毎の内訳

(校)

北海道	東北	関東	甲信越	北陸
2	2	0	2	0
中部	近畿	中国	四国	九州
0	0	0	0	0

※ 幼・小・中・高・特支含む

(出典) 再生可能エネルギー設備等の設置状況に関する調査(文科省)

バイオマス熱利用設備

概要

バイオマス熱の利用方法としては、学校施設への利用を考慮した場合、ペレットストーブが一般的であると考えられる。

ペレットストーブには、ストーブ本体を熱くして部屋を暖めるふく射式タイプと、温風ファンによって強制的に温風を吹き出す対流式タイプがある。

また、ペレットストーブは、給排気のための壁貫通や、煙突を取り付けるスペースがあれば設置が可能である。

特徴・留意点

バイオマスエネルギーは、植物・動物の細胞組織、動物の排泄物など、生物由来の有機物をエネルギーとして利用するものである。植物由来のバイオマスのエネルギー利用は、もともと自然界で形を変えながら循環している炭素を、循環のバランスを変えずに使うので、燃焼させるときに発生するCO₂の排出は循環サイクルから見るとゼロとみなすことができ、カーボンニュートラル(※)なエネルギーとして注目されている。

ペレットストーブは木質バイオマス熱利用のシステムであり、丸太、樹皮、枝葉などの原料を細かい顆粒状に砕き、それを圧縮して棒状に固めて成形したペレットを燃料としたストーブである。メリットとして、設置に関するイニシャルコストが比較的安価であり、かつ、燃料となる木質ペレットは貯蔵することが可能であること、燃焼効率が良いことから一酸化炭素が出にくく、灰・煙が少量で済むこと、灯油のように汚れや臭いが出ないこと、ペレットは間伐材の利用促進に寄与し、一定量の木材関連の消費が見込め、それを地域から調達可能であれば地産地消につながる事が挙げられる。

デメリットとして、灯油等、他の燃料ストーブに比べ暖房立ち上がりが遅いこと、ペレットは吸湿しやすく、また、その保管場所も必要であることが挙げられる。なお、常にペレットが安定供給できるような流通システムが確立していない場合は、燃料調達の配送料が多額になる、時間を要するなど、運用に際し問題が生じる場合もある。

(※ 植物由来燃料や原料の燃焼・分解に伴って排出されるCO₂の量(排出量)を基準とし、元の植物が成長過程で吸収したCO₂の量(吸収量)がそれと同じ量となること)

災害時における運用を考慮した計画上の留意点

ほとんどのペレットストーブは運用に際し電気を使用していることから、停電時には使用できない。そのため、災害時における運用を考慮した場合、ペレットストーブに電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等の設置が必要となる。

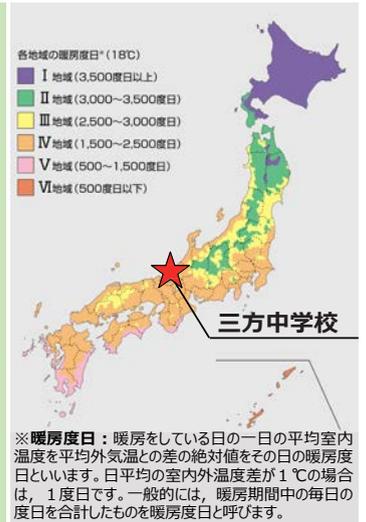
主な対象	新 営	改 修
設置には、吸排気のための壁貫通や煙突取付けスペースがあれば良いので、新営・改修いずれにも対応可能です。		



一般的なバイオマス熱利用設備のイメージ図

設置例

学校名：福井県三方上中郡若狭町立三方中学校
 設備名：ペレットストーブ
 学級数：普通学級9学級，特別支援学級1学級
 生徒数：215人
 設備容量：12.8kW×12台（教室用）
 14.0kW×1台（ギャラリー床暖房システム用）
 活用区域：特別教室，普通教室，ギャラリー（1階）
 設置年度：平成17～20年度
 納期：約1ヶ月（在庫がある場合）
 約2ヶ月（製作する場合）



システム概要

若狭町立三方中学校はペレットストーブを導入している。ストーブ内は、ペレットの貯蔵室と燃焼室に分かれ、貯蔵されたペレットを少量ずつ自動的に燃焼室に供給する仕組みである。そのため、ほとんどのペレットストーブは電気を使用しており、着火は、スイッチを押すだけで自動的に着火できるシステムである。使い勝手は、石油やガス暖房機に近く、燃焼効率も85～90%程度といった効率の良いシステムである。



町内のペレット製造工場
(ペレット製造後にふるいに掛け
大きさを整えている)



三方中学校外観



製造されたペレット
(1袋：約10kg=ペレットストーブ1台
が1日暖房する際の使用量)



バイオマス熱利用図



教室設置のペレットストーブ



ペレット投入状況

設置の経緯

若狭町は、山と名勝三方五湖と美しい海に囲まれた地域で、この豊かな自然を若い世代へ継承するため、平成 18 年度にバイオマスタウン構想を策定している。その一環として、若狭町内の全公立小中学校や公共施設へペレットストーブを導入するとともに、町内にペレット製造工場を設置し、併せて児童生徒に環境教育を実施することで、町ぐるみで循環型社会を目指している。

維持管理方法

日常、運用する際の、ペレット補給、灰等の清掃が必要である。

環境教育への活用

環境教育へは、児童生徒が燃焼による暖かさを体感できる「見える教材」としての活用が有効である。なお、教員と児童生徒が協力して清掃や管理を行うことで、火を安全に扱う住まい方に関心を持つとともに、整理・整頓や清掃の仕方やその重要性を学ぶことができる。地域との連携が活発で、児童生徒が、町内のペレット製造工場を見学し、ペレット製造過程の薪割りも体験している。

専門家の環境教育も活発で地域全体の環境教育に対する意識・体制が整っている。

災害時における活用

東日本大震災では、ペレットストーブ製造会社と NPO 法人等の支援の下、被災後約 3 週間で、気仙沼市、南三陸町、石巻市、栗原市の学校施設等の避難所 21 カ所に、43 台のペレットストーブを設置し活用された。燃料のペレットは、貯蔵や運搬が容易かつ安全であり、全国のペレット製造工場から寄贈・運搬された。その他、災害時の備えとしては、ペレットストーブ稼働容量に見合った電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等が必要である。



ペレット製造工場を見学する生徒



避難所(屋内運動場)のペレットストーブ
※石巻市立大須小学校

三方中学校における事例

①イニシャルコスト(設置費)

約 50 万円/台 (教室用)

約 150 万円/台 (床暖房用)

※設置に伴うダクト・電気工事等含む。

※三方中学校全体では、750 万円
(50 万円×12 台 + 150 万円×1 台)

②ランニングコスト(維持管理費)

約 50 万円/年

(ペレット代及びペレットストーブが本稼働するまでに使用するヒーターの灯油代含む)

③年間省エネ額 (光熱費削減額)

約 30 万円/年

効果の検証

①CO₂ 排出量

一般の暖房機器に比べ、年間約 10 t の CO₂ 排出量の削減が可能

②室内環境

3月			
外気温	暖房無し室	ペレットストーブ稼働室	温度差
0℃	12℃	23℃	11℃

ペレットストーブにより7時半から暖房を開始し、授業を行う10時の時点で室内温度が23℃まで達しており、暖房性能は十分である。

※平成23年3月3日午前10時の計測結果

全国導入状況

106校 (平成25年4月1日現在で設置完了)
地域毎の内訳

(校)

北海道	東北	関東	甲信越	北陸
9	16	0	47	3
中部	近畿	中国	四国	九州
2	20	1	8	0

※ 幼・小・中・高・特支含む

(出典) 再生可能エネルギー設備等の設置状況に関する調査(文科省)

太陽熱利用設備

概要

太陽熱の利用方法は、屋根に設置した集熱装置により空気、水、不凍液を昇温させて、暖房や給湯に利用するシステムが一般的である。

災害時における活用を考慮すると、温度差によって生じる空気の移動を利用する自然循環方式が最適と考えられる。しかし、敷地内に高低差があり、崖など法面を利用して集熱可能な場合に限られることから、通常は、小さな電力で運転できるポンプや送風機を使った、太陽光発電設備併設の強制循環方式の採用事例が多いと考えられる。

特徴・留意点

太陽熱の集熱面は、高い集熱効率を確保できるように勾配を付ける必要がある。

学校施設の場合、通常は給湯より暖房の必要性が高いため、暖房システムとしての利用を優先すべきである。

水集熱式暖房の場合、暖房対象空間へ放熱器を設置する必要があり、温水配管における熱損失や水漏れ、細くて長い温水配管による摩擦損失に伴うポンプ容量の増大など、様々な問題がある。

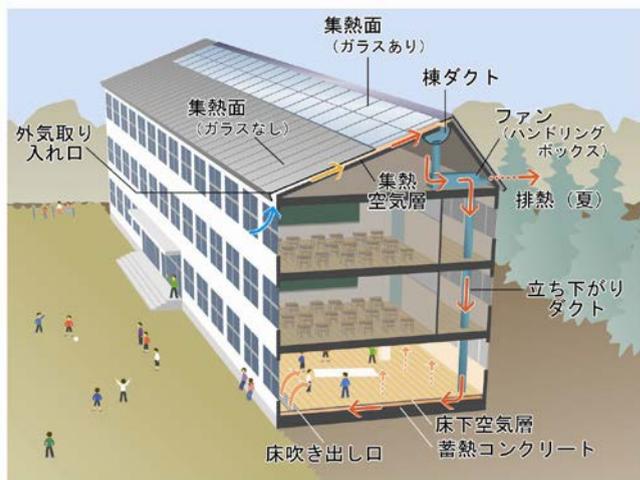
空気集熱式暖房の場合、比較的大きなダクトスペースを必要とする。また、暖房対象空間へ、温風をゆっくりとした気流速度で吹き出せば良いので、送風機的能力も小さなもので済むと考えられる。また、「概要」に記載のように、敷地の条件さえ整えば、分離集熱・自然循環方式でも、気流を作り出すことが十分可能である。なお、夏期には、高温となる空気を屋外に排出するように、ダクト経路の切替えが可能となる仕掛けが必要である。

災害時における運用を考慮した計画上の留意点

災害が発生することを想定した場合、配管等からの水漏れ等により二次被害の可能性のある水集熱式より空気集熱式の暖房が適していると考えられる。

屋上や屋根に設けた集熱面から下部の暖房対象空間へ温風を供給するためには、送風機が必要不可欠である。このため、災害時における運用を考慮した場合、送風機へ電力を供給する太陽光発電設備、蓄電池等の設置が必要となる。

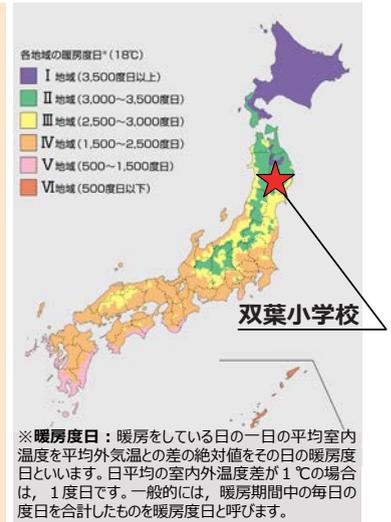
主な対象	新 営	改 修
太陽熱が効率よく収集することができる角度、向きの勾配屋根、床下に温風を供給する二重床等の設置が可能であれば、新営・改修いずれにも対応可能です。		



一般的な太陽熱利用設備のイメージ図

設置例

学校名：岩手県釜石市立双葉小学校
 設備名：太陽熱利用システム
 学級数：普通学級10学級，特別支援学級2学級
 児童数：普通学級254人，特別支援学級4人
 設備容量：風量約13,000m³/h，換気回数2～3回/h
 太陽光発電設備3kW
 活用区域：校舎(4,941m²)のうち，2～3階の教室，ワークスペース，特別支援学級，1階の多目的ホール，メモリアルホール等(2,335m²)の暖房・換気を行う
 設置年度：平成15年度
 工期：検討期間 平成12年12月～平成13年12月
 設計期間 平成13年12月～平成14年6月
 工事期間 平成14年10月～平成15年10月
 ※工期は，建物新営工事を含んでいる。



システム概要

鉄筋コンクリート造の校舎屋上（陸屋根）に片勾配の置屋根を置き，そこに空気集熱面を4面合計507.4m²設けて，1,560m³/h（機外静圧を考慮すると1,080m³/h）の送風ユニットを12台設置している。1階用に3本，2階特別支援学級用に1本，2階及び3階の普通教室用に8本，合計12本の直径30cmの縦ダクトを屋上から立ち下げ，太陽熱で作り出す温風を普通教室の床下に供給し，窓際の床面に設置した吹き出し口から室内へ吹き出し，換気を行いながら，床面と室内を暖めている。昼間，暖められた空気によって床下のコンクリートに蓄熱し，自然放熱させることで室温の低下を抑制する。

なお，送風ユニットの消費電力量は1台当たり230Wであり，送風ユニット稼働用電源として太陽光発電パネル125W-26Vを24台併設している。

補助暖房設備としては，油焚き温水ボイラー + ファンコンベクターを用いて，温風を床下に送風し，窓際から室内へ吹き出している。



双葉小学校外観



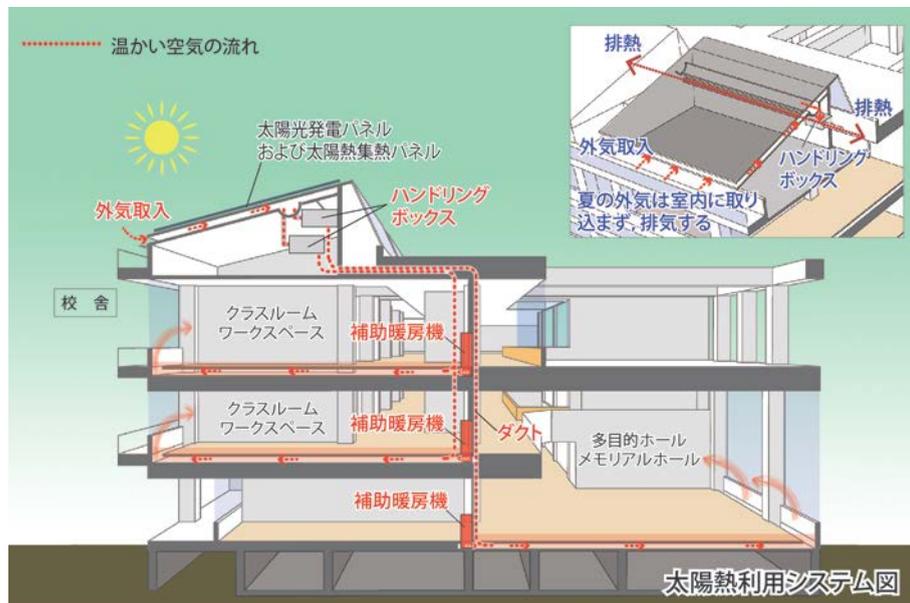
集熱パネル(集熱面積507.4m²)
上段は太陽光発電パネル



廊下にも温風の吹き出し口を設置



床面の吹き出しスリット



設置の経緯

釜石市は、平成13年度から新エネルギービジョンの策定に向けて取り組み、具体的プロジェクトの中に学校建設を位置付け、全市的に地球環境問題に取り組むこととしている。こうした中で、学校施設といった身近な教材により、環境問題や、省エネルギーに帯する興味・関心を高める教育の実践を図るためエコスクールの一環として太陽熱利用システムの導入を決定した。

維持管理方法

特別必要とする定期的なメンテナンスはないが、故障や異常警報が発生した場合は、教育委員会施設担当職員による調査・確認が必要となる。

環境教育への活用

太陽熱利用により、温められた空気の流れの仕組みを理解するため、環境教育の一環として風鈴を製作し校内の空気の流れを把握するなど、学校施設自体が教材として役立っている。

災害時における活用

東日本大震災が発生した際、被災した避難住民を平成23年3月11日から4月17日まで受け入れた。その際、屋内運動場を主たる避難所として使用し、一時的に校舎への受け入れも行った。校舎への受け入れ時、太陽熱利用システムは補助的な暖房システムとして機能し、室内環境改善に寄与した。

なお、本設備は送風用のファンを太陽光発電設備により稼働させることが可能であり、曇天時や夜間以外は自立運転が可能なシステムである。

双葉小学校における事例

①イニシャルコスト（建設費）

約 **3,000** 万円 (0.6 万円 / m²※)
(太陽光発電設備 約 240 万円, ダクト部材 約 500 万円, ファン部材 約 1,500 万円, 工事費 約 760 万円)

ただし、ファン部材は設置時当初における特許部材を使用しており、その金額を反映している。

※システムを導入している建物延べ床面積に対するm²当たりの金額

②ランニングコスト（維持管理費）

約 **0** 万円 / 年
(維持管理費は原則発生しない)

③年間省エネ額（光熱費削減額）

約 **90** 万円/年 (約80万円/年)
(暖房費：未導入 210 万円/年 (190 万円/年), 導入後 120 万円/年 (110 万円/年))
※灯油暖房による試算 () は EHP による試算

効果の検証

①CO₂ 排出量

一般の暖房機器に比べ、年間約 **23 t** (12 t) の CO₂ 排出量の削減が可能

※灯油暖房による試算 () は EHP による試算

②室内環境

1月				4月			
外気温	室内A	室内B	B-A	外気温	室内A	室内B	B-A
5.2℃	10.5℃	12.7℃	2.2℃	14.4℃	13℃	18.3℃	5.3℃
室内Bの床表面温度：14.5℃				室内Bの床表面温度：21.5℃			
補助暖房が必要な室温であるが、床面が室温より高く、体感的にも温かく感じられ、暖房費の削減につながる。				太陽熱利用システムのみでの教室運用が可能となる室温であり、省エネに大きく寄与。			

※1 室内A：太陽熱利用システム無し 室内B：太陽熱利用システム有り
※2 各月の日射効率の良好な日10日間の平均値
※3 各数値は14時の温度（シミュレーション値）

全国導入状況

240校 (平成25年4月1日現在で設置完了)

地域毎の内訳 (校)

北海道	東北	関東	甲信越	北陸
1	21	108	25	9
中部	近畿	中国	四国	九州
19	18	22	3	14

※ 幼・小・中・高・特支含む

(出典) 再生可能エネルギー設備等の設置状況に関する調査(文科省)

本事例における各地域の日射量と太陽光発電設備 1kW 当たりの年間予想発電量は、右表のとおり。

全国の日射量は日本海側が若干少ないものの、日本全体で見ると、太陽光発電設備 1kW 当たり年間平均 1,000kWh 発電している。災害時の運用を想定し、太陽光発電設備を併設する際は、再生可能エネルギーシステムの稼働に見合う容量を選定する必要がある。

事例校	近傍データ場所	年平均日射量※1	年間予想発電量※2
釜石中, 双葉小	盛岡	3.88	1,034
安塚中	新潟	3.53	941
三方中	福井	3.56	949

※1 真南で傾斜角30°の年平均日射量 (kWh/m²/日)

※2 太陽光発電設備容量1kW当りの年間予想発電量 (kWh/年)

(参考文献等)

- ・新エネルギーガイドブック ((独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構)
- ・地球にやさしいエネルギーを子供たちが学び育むために (国立教育政策研究所文教施設研究センター)

学校施設の環境に関する基礎的調査研究

平成19年10月24日

平成25年 3月29日 (最終改正)

国立教育政策研究所長決定

1 趣旨

近年、地球規模の環境問題が世界共通の課題として提起されており、学校施設においても環境負荷の低減や自然との共生を考慮した施設を整備することが求められている。また、平成20年に京都議定書の約束期間が開始することから、政府等においても、温室効果ガスの排出削減等の取組を強化している。

このような状況を踏まえ、学校施設のエネルギー消費の現状を把握するとともに、既存校舎における環境対策の推進方策等について調査研究を行い、今後の学校施設整備に係る文教施設施策に資する。

2 調査研究事項

- (1) 学校施設におけるエネルギー消費に関する実態把握
- (2) 既存校舎を対象にした環境対策モデルプランの作成
- (3) 学校施設におけるCO₂排出量算出ツールの開発
- (4) その他

3 実施方法

別紙の学識経験者等の協力を得て、2に掲げる事項について調査研究を行う。なお、必要に応じ、その他の関係者の協力を求めることができる。

4 実施期間

平成19年10月24日から平成26年3月31日までとする。

(別紙)

学校施設の環境に関する基礎的調査研究協力者

(五十音順, ○印: 主査)

(委員)

小泉 治	(株)日本設計第2建築設計群 副群長 チーフ・アーキテクト
○小峯 裕己	千葉工業大学工学部建築都市環境学科教授
坂口 淳	新潟県立大学国際地域学部国際地域学科教授
寺嶋 修康	(株)長大まちづくり推進事業部 副技師長
中野 淳太	東海大学工学部建築学科准教授
望月 悦子	千葉工業大学工学部建築都市環境学科教授

(オブザーバー: 文部科学省大臣官房文教施設企画部)

真野 善雄	施設企画課専門官
島田 智康	施設企画課指導第二係長 (平成25年9月24日まで)
野口 公伸	施設企画課指導第二係長 (平成25年9月25日から平成25年12月31日まで)
岩井 康雄	施設企画課指導第二係長 (平成26年1月1日から)
錦 泰司	施設助成課課長補佐 (平成25年7月7日まで)
木村 哲治	施設助成課課長補佐 (平成25年7月8日から)
扇谷 圭一	施設助成課技術係長

なお、国立教育政策研究所においては、次の関係官が本報告書の作成に当たった。

齋藤 福栄	文教施設研究センター長
西 博文	文教施設研究センター総括研究官
幅崎 美行	文教施設研究センター専門調査員

エコスクール整備に関する補助制度

<公立学校>

○ スーパーエコスクール実証事業

補助内容：地域住民や保護者等が参加するワークショップ等での検討を踏まえたゼロエネルギー化を目指した基本計画の策定に対する支援
 対象：原則として、公立小中学校で今後改修等を行う予定の校舎
 （平成 26 年度事業公募期間：平成 26 年 1 月 24 日 ～ 4 月 25 日）

	基本計画	設計	工事
○ スーパーエコスクール実証事業			
○ 公立学校施設整備費 補助率：改築・改修 1/3、新増築・太陽光発電等 1/2			※

※公立学校施設整備費の優先採択、補助単価の加算を受けられます。

○ エコスクールパイロット・モデル事業

補助内容：建物工事に対する支援
 対象：公立の小中学校、幼稚園、特別支援学校等

□ …本事例集に対応した再生可能エネルギー補助制度

	建築本体工事	エコ関係工事						
		断熱化 壁・窓等の 高効率化	照明・空調等	木材利用	風力発電 太陽光発電・ 水力発電等	太陽熱利用	地中熱・ バイオマス・ 雪氷熱利用等	その他の エコ関係工事
○ 文部科学省（公立学校施設整備費） 補助率：新増築 1/2、改築・改修 1/3								
○ 文部科学省（太陽光発電等導入事業） 補助率：1/2								
○ 林野庁（森林・林業・木材産業づくり交付金） 補助率：1/2								
○ 経済産業省（地域自家消費向け再生可能 エネルギー発電補助事業）補助率：1/2以内								
○ 経済産業省（地域再生可能エネルギー熱利用 補助事業）補助率：1/2以内								
○ 国土交通省（住宅・建築物省CO ₂ 先導事業） 補助率：1/2以内								

※エコスクールパイロット・モデル事業の認定を受けることで、エコ関係工事に対して、文部科学省の事業においては、補助単価・補助対象面積の加算、他省庁の事業においては、事業の優先採択等の支援措置を受けられます。詳しくは各事業の募集要領等を確認ください。

重複しない範囲で各省庁の補助事業の選択・組み合わせが可能です。

(参考) エコスクールに関する補助制度の活用例

建物本体工事	エコ関係工事			
	壁・窓等の断熱化	太陽光発電	木材利用	地中熱利用
文科省補助 (補助率：1/2, 1/3)	国交省補助 (1/2以内) ※本体工事と補助対象部分を 明確に切り分けられる場合	文科省補助 (1/2)	林野庁補助 (1/2) ※本体工事との 差額分を補助	経産省補助 (1/2以内)

○ 再生可能エネルギー等導入推進基金事業（環境省：グリーンニューディール基金）

補助内容：地方公共団体が行う、防災拠点への再生可能エネルギーの導入
 対象：地方公共団体が所有する公共施設等で、地域の防災拠点等となる施設（学校を含む）
 補助率：10/10
 ※環境省より基金の交付決定を受けている都道府県・政令市により、対象となる域内の市区町村が決定される。

<私立学校>

○ エコキャンパス推進事業

補助内容：環境に配慮した学校施設整備の推進に必要な施設の改造等
 対象：私立の幼稚園、小中学校、中等教育学校、高等学校、特別支援学校
 対象事業：太陽光発電、校舎のエコ改修、校舎内外の緑化、雨水・排水再利用等のための校舎施設の改造工事への補助
 補助率：1/3以内

