

低密度熱エネルギー技術 プラスチック簡易コレクターとその応用事例

Low density thermal energy technology
Simple plastic collector and its application example

藤本治生*

はじめに

一般家庭のエネルギー需要の半分以上は給湯と暖房の低温熱（42℃前後）である。

しかし、太陽光パネルが屋根を占拠した今日、昔ながらの太陽熱温水器は勢いを失い、生活に必用な低温熱でさえ原子力や石炭火力由来の電気やガス、石油等の化石燃料に依存している。

Y社製の太陽熱温水器ユーザーの自分としては太陽光発電の2倍以上の効率で故障する事もなく、黙々と温水を供給してくれる素晴らしい機器が何故もっと使われないのか？という疑問を抱いていた。その答えは2代目の温水器取り付け工事の際、分かった。

工務店を通しての機種選定、メーカーへの発注まではスムーズに進んだ。しかし、そこから先、工事を請け負う職人がいない様で1か月以上待たされた。

そして、解ったのは古い温水器の撤去と新しい温水器の取り付け工事があまりにも過酷で、特定の職人以外に出来る下請けが無かったのだ。

エネルギー変換効率やIoTやAIを導入した高度な制御システムも重要である。

だが（現場の）ヒトにやさしい、もっと言うなら自分でできる再エネ技術が提供できればグラフに占める給湯と暖房エネルギーの大幅な削減につながるものと考えられる。

パリ協定によらずとも今後、農林水産業から工場、オフィスに至るすべての低温熱需要に於いては太陽熱エネルギー導入が必要になると考えられる。

その際、現在、キットで販売しているプラスチック簡易コレクターが役に立っているのではないかと期待し、学者でもない素人が由緒ある太陽エネルギー学

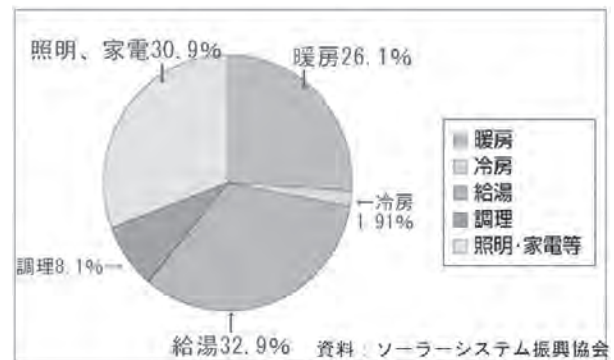


図1 一般家庭でのエネルギー消費割合⁽¹⁾

会の執筆をお引き受けした。

低密度エネルギー技術を発展・普及させるか？

NPO エスコットでは次の二つの理念を立てた。

①エネルギー技術の解る化と市民化

原子力発電では運転する企業でさえその仕組みを完全に理解出来ていなかったと思われる。

気候変動対策の時間が残されていない今日、最先端や高効率でなければ…というよりは出来る事を素早く行う事が重要だと考える。

一般の人が理解し、施工、修理ができる市民エネルギーを提供する。

②身近にある素材と少しの汗で結果を出す。

ホームセンターやネット経由での部品を調達し自らの手を使っての組み立てる。DIY化こそがエネルギー、環境問題解決の近道ではないか？

少子高齢化、労働者不足の現在、お金を払い“誰か（公共団体等を含む）”に何かを頼る他人任せの思考パターンは変える必要がある。

上記、理念をベースにエスコットが開発した簡単かつ安価な太陽熱コレクターと多様な応用例について

*NPO 法人エスコット 理事長

て説明する。

タイトルにある様にプラスチックと簡易が合わさると“安かろう、悪かろう”という製品イメージとなるかと思う。

受光面に使われている“プラスチック”はエンジニアリング・プラスチックと呼ばれるポリカーボネートである。

その主な用途は後述するようにジェット機、新幹線の窓、防弾ガラスから農業ハウスまで幅広い、耐候性に優れ1、2年の直射日光では壊れない。

事実、寒冷地（群馬県高崎市の苗農家）での使用に於いては他社製の太陽熱温水器が凍結水漏れを起こしたにも拘らずプラスチック製簡易コレクターは問題なかったとの報告があった。

また、ここで言う“簡易”とは高校生レベルの手先の器用さと科学的知見、日曜大工レベルの工具があれば誰でも製作できる。

自分用に数枚製作しコツをつかんだ後は周辺地域を巻き込んだ創エネビジネスとして開業して頂ける事を理想としている。

その為の詳細な製作マニュアルが用意され、同時に多様な相談にも随時対応している。

数年前に導入した茨城県内の農業法人では農閑期の外国人スタッフの仕事としていた。

地方創生、農業活性化、雇用創出等の社会課題と連携しながら普及させたいと考えている。

1. プラスチック簡易コレクター「ヒートパネル」概要

開発のきっかけは黒色の段ボールプラスチックの空洞部に温度センサーを差し込み日射に当たったところ外気温プラス25℃程度まで温度上昇した事である。

しかし、段ボールプラスチックは熱にも紫外線にも弱く、また熱せられる事で樹脂材特有の臭いを生じ、温風集熱器としての利用には不向きであった。

そこで、中空ハモニカ構造のポリカーボネート板(サイズ：1820x910x4.5mm, 色：ブラウン)を用いての太陽熱温風回収器を製作した。裏面には前述の段ボールプラスチックを断熱材として用いた。このような構成により、気温プラス25℃(風量約0.5m³/min)の温風を太陽電池で駆動するPCファンで回収した。その後、空洞部に水を流すことに数年かけて成功した。

熱媒体としては水、空気の両方を使う事が出来るプラスチック簡易コレクターを構成した。

1.1 製作

再生可能エネルギー事業としての日本各地での起業を目指すエスコットとしては製造、施工、使用、修理、更に廃棄に至る全過程でのデータをマニュアルに反映させる試み開始した。



図2 中空ハモニカ構造における採熱原理

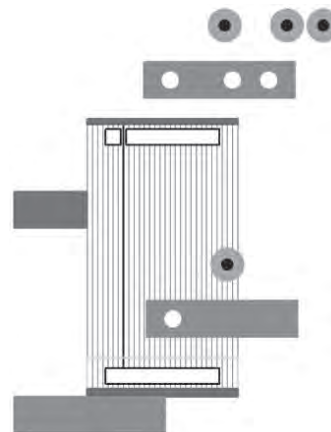


図3 パーツと組み合わせ

部品は右斜め上から左下にかけて

耐熱ノズル、耐熱止水板(表面)、中空ポリカ受光板(上下の赤色部はシリコン材)、耐熱止水板(裏面)



図4 流水経路(液体の場合)

*温水取水口が右端より若干左よりにあるのはパネル内での偏流対策である。

ユーザーはキットで購入し同封の製作マニュアルに沿って作成する。

製作手順概要：

- ①上下断面にシリコンを注入し防水する。
- ②中空ポリカにカッターで切り水路を作る。
- ③水路を表裏両面から耐熱止水板で塞ぎ防水する。
- ④送水、取水、エア抜き、排水用の穴を開け、耐熱ノズルをシリコンで接着する。

1.2 使用部品

基本的な部品は以下3種類である。

- ①受光部はUVカット中空ポリカ 1820x910xt4.5mm, 約6ℓの水を保持。集熱使用の場合、色はブラウン
- ②水路密閉用の耐熱止水板用ポリカ単板 2mm厚
- ③耐熱ノズル：ポリカーボネート製、ニップルにより市販ホース接続可

基本部品の材質は全てポリカーボネート素材で防水、接着は全てゴム状特性を有するアルコール性シリコン（色：アンバー）で行う。（クリアと記されたオキシムタイプのシリコンは強度不足とポリカーボネートの経年劣化をもたらすので使用不可。）
※過去、製作過程において塩ビ素材の使用も行ったが高温による変形、劣化が生じ、全ての素材をポリカーボネートに統一した。

1.3 工具

最低限必要な工具は以下の3つである。

- ①カッターナイフ（ネジによる固定式）＝中空ポリカの水路加工
- ②電動ドリル＋φ 25mm ホルソー：耐熱止水板への穴開け
- ③シリコンガン＝防水用、接着用シリコン材押し出し

1.4 ポリカーボネート（以後、ポリカと呼ぶ）素材について

主な用途は航空機や新幹線窓、カーポート、サンルームの屋根材等の他、その強度により防弾ガラス等にも、に利用されている。

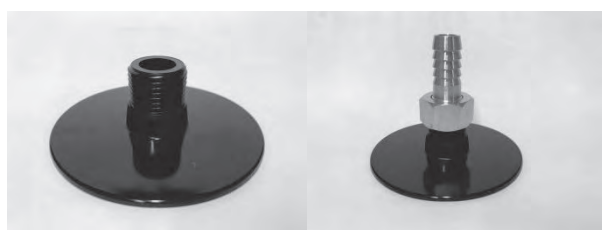


図5 耐熱ノズルとホースニップル取付写真

以下、利点と欠点はある。

①利点（出展：ウィキペディア）

透明性・耐衝撃性・耐熱性・難燃性・寸安定性などにおいて、高い物性を示す。耐衝撃性は一般的なガラスの250倍以上といわれる。

エンジニアリング・プラスチックの中でも平均して高い物性を示す樹脂であり、かつ透明性をもつために光学用途にも使用でき、その物性に比べて安価であり、航空機・自動車など輸送機器、電気・電子光学・医療機器、防弾ガラスの材料などに広く用いられている。機械的強度も優れているので力のかかるプラスチックねじで最も多く使われている材料である。

②欠点（出展：ウィキペディア）

薬品耐久性はあまりよいとは言えない。特にアルカリ剤、溶剤では劣化する。接着剤などの使用ができない。

エステル結合を持つため、高温高湿度の環境下では加水分解する。

引張強度を超える力をかけると、白化して透明度が著しく低下する。

また、ポリカーボネートはビスフェノール-A (BPA) の重合体で環境ホルモン作用が疑われる。

③欠点对策

様々な接着剤を試用したが高温、高湿度、素材のフレキシビリティ等により強力な接着力だけでなく、ゴム状特性、防水性、耐紫外線強度等が求められた。その結果、最終的にアルコール性シリコン以外に接着方法がないことが判明した。

また、加水分解の点に関しては中空ポリカパネルの分子量が2万以上である事と高温とは言え最高でも80℃程度である点から問題ないと考えられる。

環境ホルモンへの対策としてポリカと人体との直接的な接触を避ける。

熱的利用の場合、熱交換器を介して行う事とした。

※ポリカーボネート樹脂技術研究会⁽³⁾が東京都の調査結果を利用しポリカカップで95℃の熱湯を



図6 ポリカ利用例⁽²⁾（出展：ウィキペディア）
写真左：F-22のコックピット、写真右：温室

30分入れたとき、BPAの溶出は平均7.8ppbで許容摂取量1日当たり2.5mg(体重50kgの成人)に達するには約3200杯となる。

2. 太陽熱温水システムとしての利用

太陽熱利用は受光パネル(コレクター)だけで使う事も出来ないではないが一般家庭の温水システムとする場合、以下の様なシステム構成となる。

2.1 浴槽用太陽熱温水システム

最も利用頻度が高く、効果的な利用法は浴槽の加温である。最近の浴槽は保温性に優れている。そこで、浴槽の蓋等を改良し、保温性を高め蓄熱槽とした。これにより高価な保温タンクは不要となった。

また、熱交換部での雑菌(レジオネラ菌等)の繁殖を押さえる為、剥き出しのステンレス製巻きフレキをφ2.6mm銅線で束ねた投げ込み式とした。

循環用ポンプには太陽電池で駆動するUS SOLAR PUMP(米国製)を採用する事で循環水量を日射連動型とした。これにより制御システムが不要となった。現在使用している耐熱ソーラーポンプは低格15Wであるが、2Wから回り始める。集熱パネルと同じ方向に設置する事で日の出と共に熱回収を開始し、日没時には自動停止する。また、セラミックインペラーを用いたブラシレスモーター採用で空運転検出、加熱対策、過負荷、過電圧に対する保護機能を有している。

※この内、過電圧だけは自動復帰しない。対策としてはソーラーセルの方向を日射を避ける方向に変える。また、リセットする際は太陽電池を布などで1、2秒被い発電を遮断する。

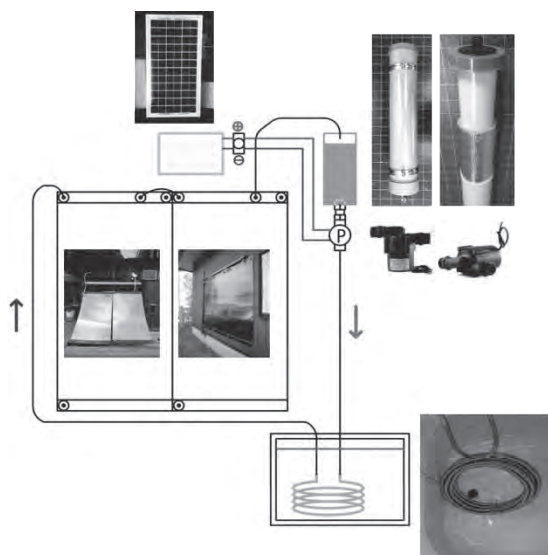


図7 太陽熱温水システム構成と写真

循環水用タンク(シスターン)は紫外線に強いビル用雨トイ管を転用した。これにより屋外設置でも容易に劣化しない。また、断熱性を高める為、太さの異なる縦トイ管の間にウレタン製のマットを挿入した。

連結部の配管には試行錯誤の結果、十川産業(株)のスーパーウォーターホースSW13を採用した。このホースは熱、紫外線の両方に強く、市販の散水ホース同様にニップル経由で連結しホースバンドで締めるだけで水漏れが無い。実際、メーカー担当者が考えている以上の高性能である。

ここで、配管種別に経験した問題点を挙げてみる

- ①市販散水用ホース：紫外線劣化以前に熱でつぶれる。
- ②塩ビパイプ：凍結で割れや抜け発生、紫外線劣化
※耐熱接着剤の使用が重要
- ③フレキ管(ステンレス製)：凍結で膨張、劣化、ナット部から漏水
- ④二層管：管が硬く取扱難い。メカニカル継手は朝、水漏れし、昼は止まる等の変則的な漏水発生

2.2 全体構成

- ①太陽熱コレクター：ヒートルパネル2枚(約3.3m²)
- ②熱交換器：フレキ管(10m巻き)を銅線で結束
- ③ポンプ+太陽電池：太陽電池駆動式耐熱ポンプ(保護機能付き)
- ※太陽電池12Wを用いる事で停電時でも使えるオフ・グリッド・システムとなる。
- ④循環水用タンク(シスターン)：UVカット、2層式でウレタン製の断熱材入り
- ⑤配管と継手金具：十川産業(株)、SW13とφ14mmホースニップルで連結

2.3 破損・劣化対策

これまでの主な破損原因と対処法について記する。

①凍結破損と対策

凍結で問題となるのは外部設置されたポンプと受光部である中空ポリカ本体である。

表1 仕様書

仕様書	
太陽熱コlector種別	平板フレキシブル型・集熱器
モデル名	ヒ-11A-1174(M)Heatle Panel
寸法(mm)	910×1810×45(受光面)
重量(kg)	2.7
集熱面積(m ²)	1.64±0.01
貯水量(l)	375
受光部材質	ポリカーボネート
最大使用圧力(Pa)	30kPa(耐圧圧力80kPa)
配管口径	1/2インチ 平行継ぎ
集熱効率	48% (1層+後面黒色中空断熱)

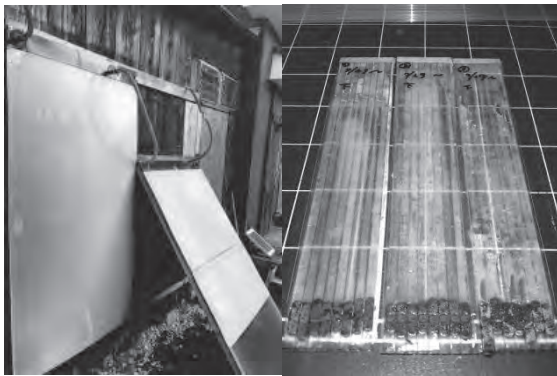


図8 凍結状況写真
左、霜が張った状態（千葉県御宿町上布施試験場、2018.12. 16）、右 凍結試験用サンプル

ポンプについては断熱材を巻くことで凍結破損はあるていど防止できる。

受光部の中空ポリカは一般的な太陽熱温水器より凍結に強い。

東京近郊であれば循環水にグリセリンを入れる凝固点降下法で対応できる。

しかし、寒冷地の場合、不凍液を用いるか氷結する期間の使用を制限する等の対策も必要である。

②経年劣化

プラスチック製コレクターで懸念されるのが中空ポリカ材料の劣化である。

2009年のデモ機開発から現在に至るパネル破損事例に関し以下の様な結論に至った。

- ①熱媒体を空気とした温風回収の場合10年以上破損しない。
- ②屋外設置の輻射冷房の場合、冬季は空にすれば長期間の使用が可能である。
- ③水質浄化での使用の場合、藻類が詰まり、内部の加圧洗浄が必要となるが長期間の利用が可能。
- ④太陽熱コレクターとしての使用する場合、5～6年すると1/5～1/7程度の割合で中空ポリカ面にクラックが入り漏水する。当初、紫外線が原因であると考えたが殆どが冬季に発生する事とクラックが裏面でも起こる点から凍結が原因ではないかと考えられる。

太陽熱コレクター利用では設置場所が屋根上が多く夜間の放射冷却の影響を受けやすい。

水を入れたサンプルを凍らせた場合、水の凍結膨張でポリカ表面は丸味を帯び、解凍後は元の平面形状に戻る。

実験ではマイナス20℃での凍結・解凍試験を5回行ったが漏水は生じなかった。しかし、地域によ

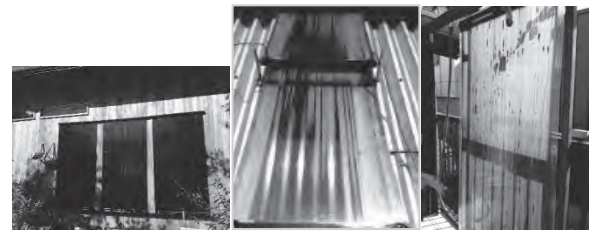


図9 左から温風用パネル、輻射冷房用パネル、水質浄化用パネルの実施状況

てはこの状況が年に何十回となく繰り返される。こうした膨張収縮を5、6年繰り返したことが原因であると推察される。

漏水発生に備えた対策として

①漏水は受光パネルばかりからではなく配管の接続部からも発生する。この様な場合、漏水量が少なく漏水場所の発見が難しい場合がある。

循環水に食品用着色剤（ブルー、黒系統）を入れる事で僅かな漏水を可視化できる。同時に着色媒体による集熱効果も期待できる。

②補修材料を用いて止水する。

提供しているキットにはUVカットの補修用ポリカ辺が含まれている。

③現時点では経験していないが、受光パネル経年劣化進行による漏水が1枚のパネルの複数個所で発生するようになった場合、中空ポリカ板を交換する。

一般に家電などの場合、故障すると修理より新規購入が推奨される。しかし、資源を使い切る思想とDIY製作による構造把握があるので修理は問題ではない。



図10 台風の飛散物により穴の開いた2カ所を修理した状況

表2：劣化原因と対処法

破損原因	対処法
凍結による受光パネルにおけるクラック漏水	① 凝固点低下 グリセリン 不凍液 ② 設置場所での対処 農業ハウス内に設置 ③ 使用の停止 冬季は利用しない。
水撃作用による樹脂疲労	① 太陽電池駆動ポンプを用いる。 ② 減圧用の空気タンクを送水口に付ける。
強風による飛散物衝突	① 受光側を透明中空ポリカでカバーする。 ② 近くに飛びそうなものを置かない。
系全体の劣化	① 水に中性洗剤等を加え膜を作り、流体摩擦を減らす。 ② 農業ハウス等での利用では集熱パネルを含む全構成パーツを屋内設置にする。

2.4 プラスチック簡易コレクターの応用事例

価格特性, DIY 作成, 材料特性, 軽量特性, 高強度特性, 広域平面形成特性, 等に基づく応用事例について述べる.

①太陽熱回収

*ハウス（苗農家）での補助熱源

群馬県高崎市

*畜産排水処理場での脱窒菌活性用熱源

千葉県内畜産排水処理場

*山小屋での給湯用補助熱源

福島県田村市

②輻射冷却

*ハウス天井設置, 地下水による温室熱環境改善

茨城県水戸市

*工場の採光屋根設置, 地下水による熱線吸収

千葉県柏市

*研究室天井設置, 水道利用による排熱と輻射冷房

千葉県柏市

③バイオ・リアクター / 水質浄化

*産油藻類培養事例

*パーマカルチャーでの水質浄化事例（光合成によるエアレーションとパネル内面付着生物膜による有機物分解



図 11 太陽熱回収写真

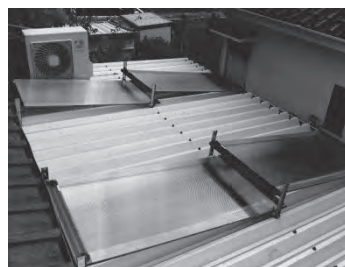


図 12 輻射冷房写真

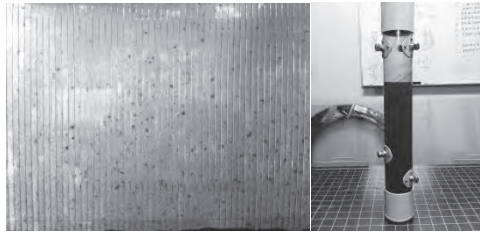
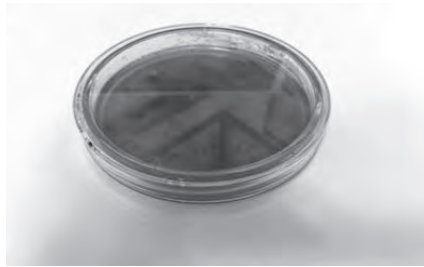


図13 藻類培養写真

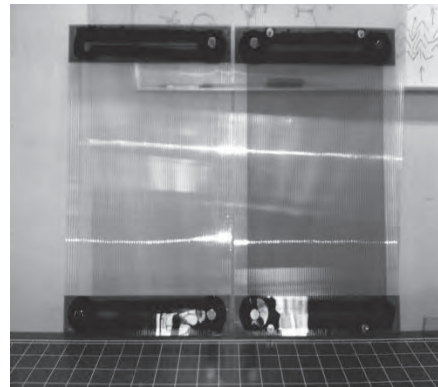


図16 色素入りパネル写真

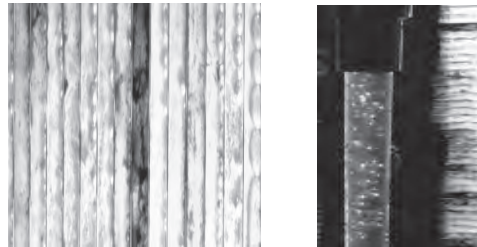


図17 曲面形成

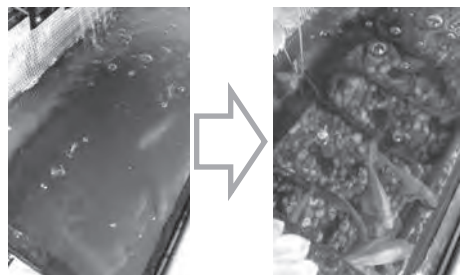


図14 光合成と生物膜による水質改善状況写真

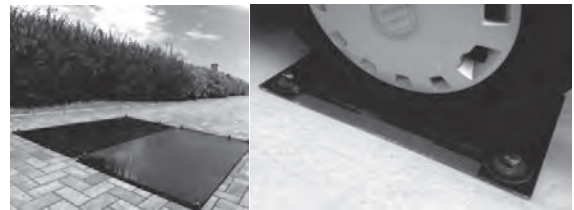


図18 スラブ面直置きと自動車通過時の写真

表3 設置場所と考えられる用途

	設置場所・用途	
	屋根面	壁面
設置場所	斜面	
	南向	
	吊り設置(ワイヤー使用)	
	屋上スラブ面	
考えられる用途	ペラダ通路	
	太陽熱回収	
	太陽熱・電気同時回収	
	光合成エタノール	
	藻類バイオ燃料	
	水中ヒートキリア装置	
	温風回収	
	屋内自然換気	

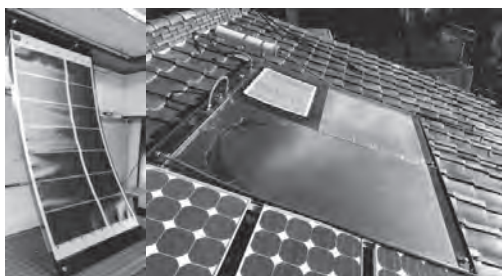


図15 3種類のハイブリット

④その他

- * 熱電併給 (ハイブリット) 事例
- * 着色媒体事例
- * 曲面形成設置事例
- * スラブ面直置き事例

軽自動車であれば上を通過しても潰れません。

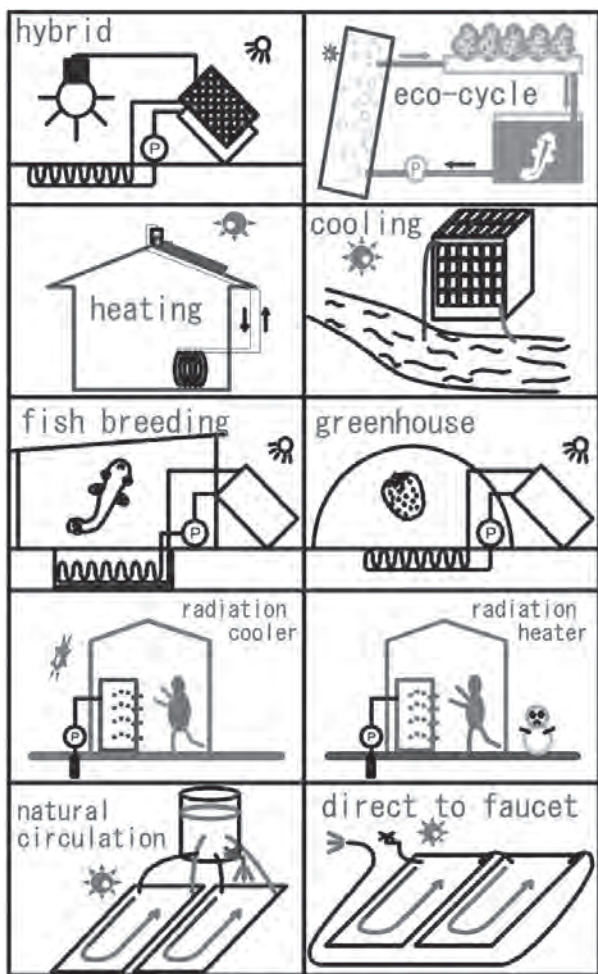


図 19 利用法イラスト (英文)

3. 土水蓄熱兼気化熱冷却装置

エスコットでは土水蓄熱と気化熱冷房の両方につかえる機器の試作を行った。

仕組みは土中に熱交換器とファンのついたVU125の塩ビパイプを埋設する。

この埋設パイプに水を入れるがその際、上部に3～4cm程度の空間を残す。

冬季の日中はハウス上部に設置されたパネルが集熱、埋設パイプ内の水経路で周辺土壌を温め夜間に放熱する。

一方、冷却が必要な夏場はパネルによる集熱は行わず、ファンにより高温空気をパイプ内の水面との接触過程で気化熱により冷やす。

パイプの中の水は周辺の土に熱を放散する。

冷やされた風は作物の下部に向けられ今度は葉からの蒸散を促す。

また、質量のあるCO2は地面付近に滞留しやすい。従って、ここでの送風はCO2拡散効果も期待できる。

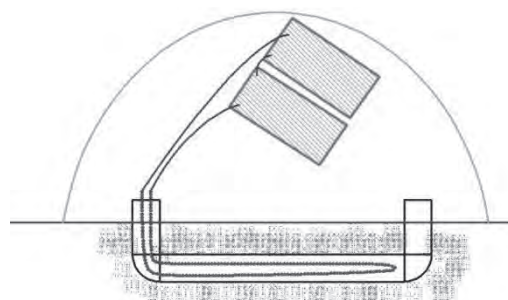


図 20 冬季はパイプ内の水経路での土壌蓄熱

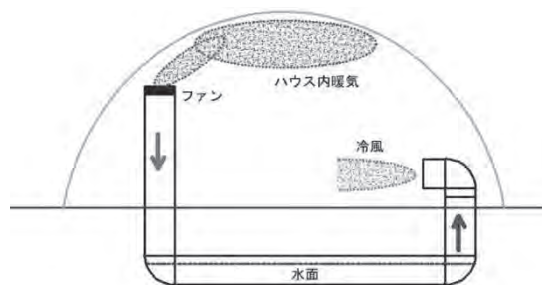


図 21 夏期は上部の暖気を吸引し気化熱冷却



図 22 全体、熱交換器、冷却用ファン

この装置は現在、モデルケースを探している。

4. おわりに

中空ポリカを用いた製品開発にはこの他、中空窓ガードとヘッドルームがある。いずれもエンジニアリング・プラスチックの強度や耐久性と中空ハモニカ構造の断熱性、防音性等を活かしたものである。以下、簡単に触れておきたいと思う。

①中空窓ガード (減災用)

ガラス窓の断熱性は大幅に改善されたが物理的強度には依然、問題がある。

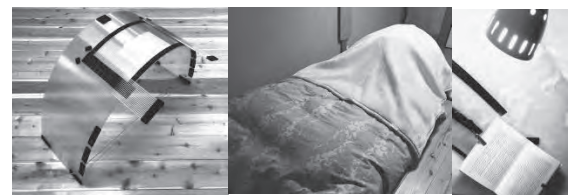


図 25 ヘッドルーム，実施例，内部状況（LED ライトを入れ暖かい状況で読書が可能）



図 23 特殊ボルトとガラス面取付，ポリカ取付柏市役所での実証試験中



図 26 効果に関するイラスト

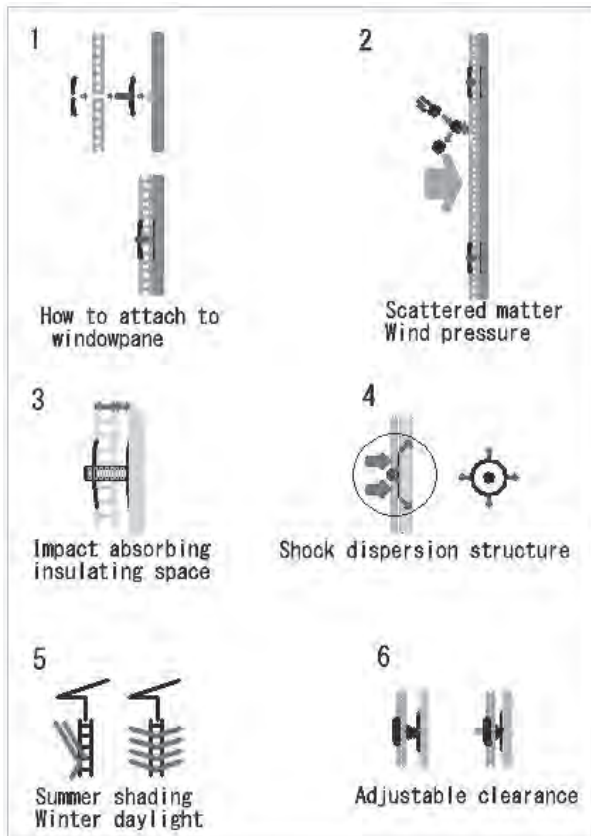


図 24 機能イラスト

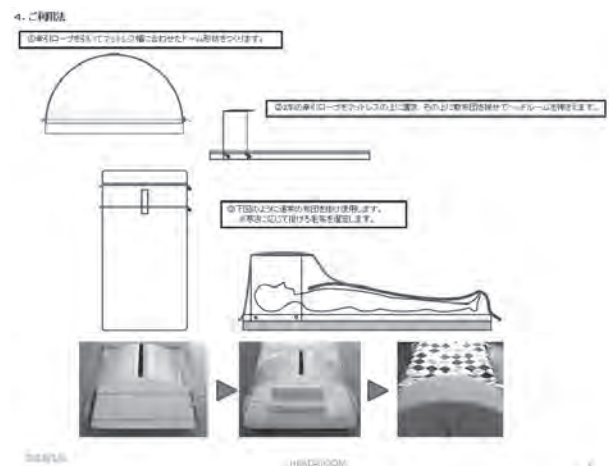


図 27 使用手順

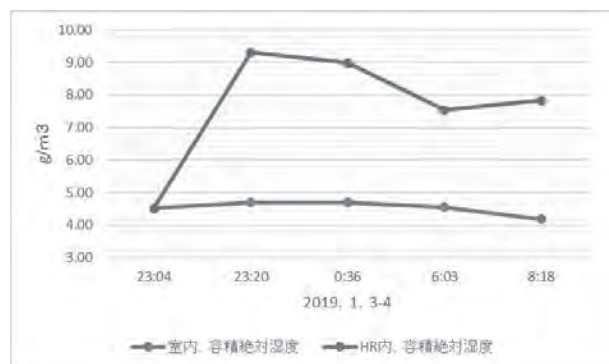


図 28 ヘッドルーム内の湿度推移

関東地方の窓ガラスであれば風速 49 メートルが限界強度である。スーパー台風の上陸が予想される中、窓は気候変動期のアキレス腱であるといえる。

エスコットでは窓ガラス面にバネ入りのボルトを立て、中空ポリカをプラスし複層化する技術を開発した。

また、窓割れリスクから人と資産をまもる WPP (Window Protection Project) を開始した。写真と機能についてのイラストを御覧いただけれ

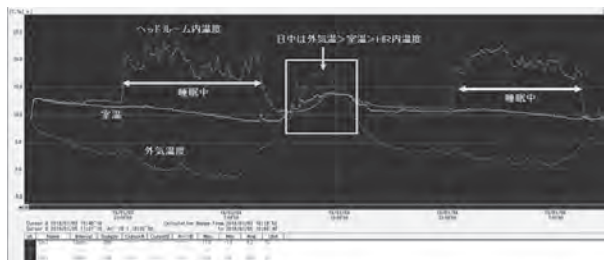


図 29 周辺との温度比較

ば理解できるものと考える。

②ヘッド・ルーム

睡眠時の省エネ機器として開発した。

代謝エネルギーの活用により室内暖房温度を下げ光熱費の削減に繋がる。

また、呼吸による空間内絶対湿度の上昇により、肌の乾燥を押さえる事が出来る。

カバーする布の選択によってはアレルギーや大気汚染物質の侵入を抑制できる。

NPO エスコットでは以上の様に中空ポリカを太陽熱回収、窓強化と断熱、睡眠時の省エネの3パターンで製品化した。

これらはいずれも気候変動対策に直結しており、他

のNPO、大学、起業家により改善、普及していくことを期待している。

参考文献

- 1) ソーラーシステム振興協会
- 2) ウィキペディア
- 3) ポリカーボネート樹脂技術研究会

著者略歴



藤本治生 (フジモト ハルオ)

放送大学大学院、環境システム科学卒業

1993年、ソフト・エネルギー研究会
設立千葉県手賀沼における湖上農法技

術開発アオコと超音波を用いた水環境改善装置「アオコバスター」開発

1997年、省エネルギー輸送対策会議設立海上コンテナのラウンド・ユースを提唱

2003年、NPO エスコットに改名

2016年、「ENERGY GLOBE AWARD」受賞

詳細情報：<http://npo-escot.org>