

パラフィン系潜熱蓄熱材「エコジュール」の開発と応用

Development and application of paraffin type thermal storage material “ECOJOULE”

JX 日鉱日石エネルギー株式会社 化学品本部 蓄熱事業グループ

JX Nippon Oil & Energy Corporation,

Chemical Division of Thermal Storage Business Group

松岡 秀男

Hideo Matsuoka

キーワード：蓄熱(Thermal Storage)、潜熱(Latent Heat)、相変化物質(Phase Change Materials)

パラフィン(Paraffin)、快適居住空間(Comfortable Living Space)、省エネ (Saving Energy)、
太陽エネルギー(Solar Energy)

1. はじめに

2005年2月に京都議定書が発効され、2008年度から第一次約束期間が始まった。しかし世の中の動きはなかなか呼応せず、2007年度温室効果ガス総排出量は基準年度(1990年)に対し、8.7%も高い結果となった。

しかしここに来て、CO2削減の動きが活発化し、2009年9月の国連気候変動サミットでは、鳩山首相が、条件付ではあるが、『2020年までに1990年比で25%削減』の国際公約を行い、また東京都も環境確保条例改正案で『2020年度までに2000年度比でCO2平均排出量の25%を削減する』ことを2008年に可決し、2010年1月から施行された。その他、埼玉県等もCO2削減を提唱している。

2008年度の速報では、CO2排出量は対前年6.2%減の基準年比1.9%増まで低下してきたが、これは、2008年9月のリーマンショック以降の景気低迷による産業部門の排出量低下によるCO2削減であり、本来の経済成長を維持しながらのCO2削減とは程遠いものである。

内訳を見ると、表-1に示すように産業部門は基準年以下、運輸部門もモーダルシフトやエコカーの推進により、削減目標値に近づいてきている。これに対し、相変わらず増加をしているのが民生用(業務その他部門+家庭部門)である。

表-1 各部門のエネルギー起源 CO2 排出量(2006-2008 年度) ⁽³⁾

	京都議定書 基準年[シェア]	2006年度 [基準年比]	2007年度 [基準年比]	前年度からの 増加率	2008年度 [基準年比]
合計	1,059 [92.6%]	1,186 [+12.0%]	1,219 [+15.1%]	→<-6.7%>→	1,138 [+7.4%]
産業部門 (工場等)	482 [42.1%]	460 [-4.7%]	468 [-2.9%]	→<-10.4%>→	420 [-13.0%]
運輸部門 (自動車・船舶等)	217 [19.0%]	253 [+16.5%]	246 [+13.1%]	→<-4.1%>→	236 [+8.5%]
業務その他部門 (商業・サービス ・事業所等)	164 [14.4%]	230 [+40.0%]	242 [+47.2%]	→<-4.0%>→	232 [+41.3%]
家庭部門	127 [11.1%]	166 [+30.1%]	180 [+41.2%]	→<-4.6%>→	172 [+34.7%]
エネルギー転換部門 (発電所等)	67.9 [5.9%]	77.1 [+13.6%]	83.0 [+22.2%]	→<-5.5%>→	78.4 [+15.5%]

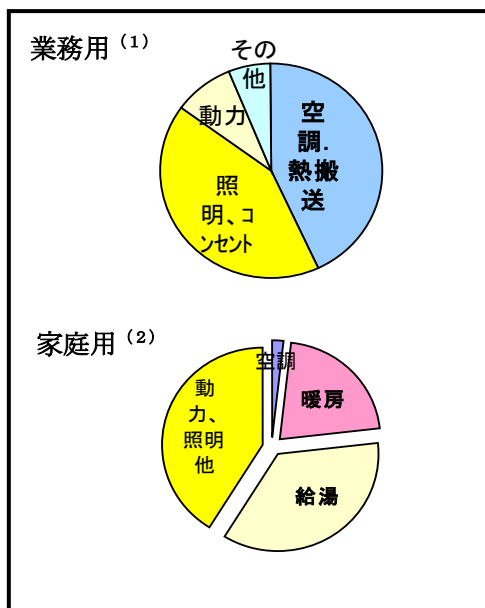


図-1 各部門のエネルギー消費量内訳

この民生用における業務用と家庭用の主なエネルギー消費量は、図-1に示すように空調、暖房および給湯であることがわかる。

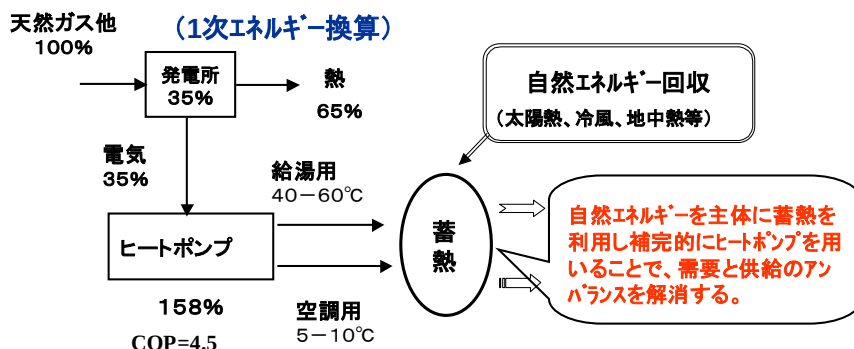
2. 快適生活空間

人が快適に過ごせる究極の温・湿度条件は、前提条件によって多少変わるものの、PMV（平均予想温冷感申告 Predicted Mean Vote）や SET（新有効温度 Standard New Effective Temperature）によると、概略、夏場 23～26℃、相対湿度 30～50%RH、冬場 20～24℃、相対湿度 30～50%RH で、季節を通じては、22～24℃程度、相対湿度 30～50%RH が快適温度であると想定される。この温度帯に適した状態にする為に、夏は冷房、冬は暖房にエネルギーを費やしているのが現状である。

3. 自然エネルギーの活用

現在、空調、暖房、給湯に使用されているエネルギーの大半は、質的レベルの高い電気や化石燃料（天然ガス、石油など）であるが、私たちの快適環境に必要な温度帯はせいぜい 20～26℃程度である為、質的レベルの低い自然エネルギー（太陽熱、冷風、地中熱等）で十分代替可能である。例えば、太陽熱を給湯や暖房に用い、夜間の冷風や地中熱（地下水）を冷房に用いると言ったところである。

しかしこの質的レベルの低い自然エネルギーは、必要時に必ずしも供給が可能な訳ではなく、安定したエネルギーとして使用することができないのが欠点である。この不安定なエネルギーをうまく活用するためには、時間的なずれを補うことが必要であり、これに蓄熱が重要な役割を占めることになる。自然エネルギーで不足する熱源は、再生可能エネルギーとしても認められているヒートポンプで大気熱を回収して取り込むことになるが、このヒートポンプも発生する冷温熱を十分に活用することができない。これも蓄熱と組合せることにより、最適システムにすることができる。図－2 にこのイメージフローを示す。



図－2 イメージフロー(1次エネルギー換算)

4. 昼夜間負荷平準化

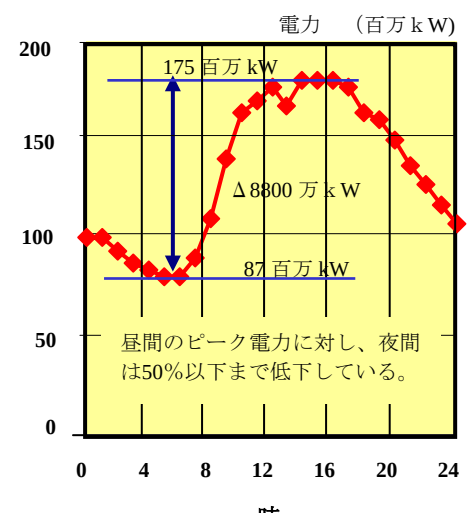
CO2 を削減するための方策として、原子力発電能力を高めることも重要なひとつである。しかし、原子力発電は、安全性を維持するために一定負荷で運転することが多く昼夜間の電力供給格差の是正にはつながらない。

オフィスビルでは、高気密、高断熱化による冷房空調負荷の増加やOA関連機器の増加により、又、家庭では、衣類乾燥機、温水洗浄便座、食器乾燥機等の新たな家電製品の普及により、昼間の電力消費は増加傾向を示している。

このため、昼夜間の電力格差は是正されず、2006年度においても真夏の夜間電力使用量は、昼間の50%以下となっている。（図－3 参照）

この解消策として、夜間余剰電力を利用した各種電力消費平準化策が実施されてきており、2004年度までの蓄熱・蓄電等の普及による効果は、原子力発電所 1～2 基分に匹敵する 160 万 kW に達していると試算されている。

しかし、格差を是正する為には、まだまだ不十分で、更なる普及拡大が必要とされている。夜間電力利用の蓄熱として、循環冷却水を蓄熱槽に溜めておく水蓄熱（顕熱）や、より高い蓄熱密度を持つ氷蓄熱（エコ・アイス）などが普及してきたが、図－3 夏場の一日の電力消費量(2006 年度)⁽⁴⁾



氷蓄熱の場合は、CO₂削減につながらないことから、昨今急速に推進力が抑制されてきている。

そこで、昨今新たな蓄熱材として、冷房システムに求められる温度領域（5℃～10℃）で蓄熱できる潜熱蓄熱材（PCM: Phase Change Materials）が注目を浴びてきた。

さらに冷凍機のCOP^{注1)}を高めて使用するために、より高温度で蓄熱できるニーズも高まってきた。

5. 常温潜熱蓄熱材の動き

冷房システムに求められる温度領域での潜熱蓄熱材としては、有機系、無機系等があるが、主要なものとしては、①パラフィン・ワックス類、②水和物、③脂肪酸類等が考えられる。水和物については、潜熱量はある程度高いが、結晶化速度が遅いこと、過冷却の問題があること、毒性、腐食性が高い等の課題がある。これに対し、パラフィン・ワックス類や脂肪酸類には、水和物に比べやや潜熱量は劣るが、毒性や過冷却の影響が少なく、繰返し蓄・放熱特性が安定している等の特長を有する。特に、パラフィン系は、脂肪酸類に比べ耐久性(酸化劣化)も優れ、価格も比較的安価なことから冷房温度領域での活用が高まってきている。(表 - 2 参照)

表ー2 主な蓄熱材の長所と短所

このような背景から当社は独自の製造技術で冷房システムに適した融点(適用範囲：3℃～30℃)のパラフィン系潜熱蓄熱材「エコジュール」を開発し、2008年10月から本格販売を開始した。 本報では、このパラフィン系潜熱蓄熱材エコジュールについて、特長と応用例についてご紹介する。	種類	蓄熱原理	蓄熱物質	主な長所	主な短所
	潜熱蓄熱	有機系	パラフィン	①繰返し蓄・放熱特性が安定 ②過冷却しにくい ③毒性、腐食性が低い ④耐久性に優れる	潜熱量はやや低い
			脂肪酸他	①繰返し蓄・放熱特性が安定 ②過冷却しにくい ③毒性、腐食性が低い	潜熱量はやや低い
	顕熱蓄熱	無機系	水和塩 (芒硝、酢酸ナトリウム等)	①潜熱量がやや高い	①結晶化速度が遅い ②過冷却しやすい ③毒性、腐食性が高い
			金属(熔融塩等)		
		液体	水、ブライン等		
化学反応	吸収剤系	臭化リチウム、アンモニア等			
	吸着剤系	ゼオライト、シリカゲル等			

6. エコジュールの特長⁽⁵⁾

エコジュールは、パラフィン系潜熱蓄熱材の特長を最大限に活用できるように調整した蓄熱材で、以下の特長を有する。

①生活温度領域(3～30℃)の任意の温度で蓄熱が出来る。

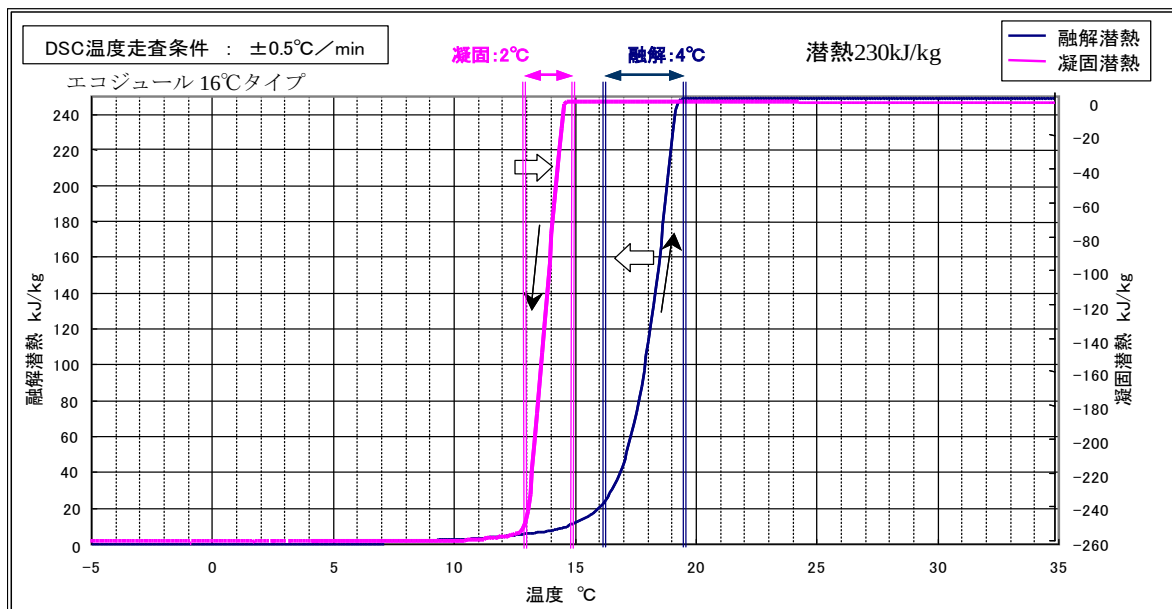
素材となるノルマルパラフィンは炭素数により固有の融点を持っているが、このノルマルパラフィンをブレンドすることにより、任意の温度の融点を得ることができる。
代表的な相変化温度(融点)とエコジュールの潜熱蓄熱量を表ー3に記載する。

②狭い動作温度域で高い蓄熱量を有する。

エコジュールは、6℃程度の狭い動作温度域で融解・凝固を繰返し、安定した性能を維持する。DSC(示差走査型熱量計)での結果を図ー4に記載する。

表ー3 エコジュールの潜熱蓄熱量

相変化温度	潜熱蓄熱量	
	(KJ/kg)	(Kcal/kg)
6	160～180	38～43
10	110～130	26～31
18	160～180	38～43
22	110～130	26～31
28	170～190	40～45



図－4 エコジュールの動作温度域

③非危険物(可燃性固体)である。

エコジュールは、ノルマルパラフィンを特殊な方法でゲル化(固形化)もしくは、スラリー化(水溶液化)して、非危険物の形態にしている。

表－4 エコジュールの適用法規

融点 20°C 以下のノルマルパラフィンは危険物に属し、一定数量以上は、消防の許可が必要になるが、エコジュールは、木材、かんなくず、合成樹脂類等の可燃性固体に属する為、一定数量(3000kg)以上の場合でも、消防への届出だけで対応が可能となる。

名称	適用法規	消防法
ノルマルパラフィン	危険物第4類第3石油類等	2,000L以上は許可が必要
エコジュール	非危険物(可燃性固体類等)	3,000kg 以上は届出が必要 (指定可燃物)

木材、かんなくず、合成樹脂等の可燃性固体類は、一定数量以上で消防への届出は必要。

エコジュールとノルマルパラフィンの比較表を表－4に記載する。

④安定性能を長期間保持できる。

素材となるノルマルパラフィンは、化学的に安定な為、酸や塩基に対しても不活性で長期に安定した性能を持つ。

上記の特長を生かして各種用途に潜熱蓄熱材が使用されている。

7. 潜熱蓄熱材の応用例

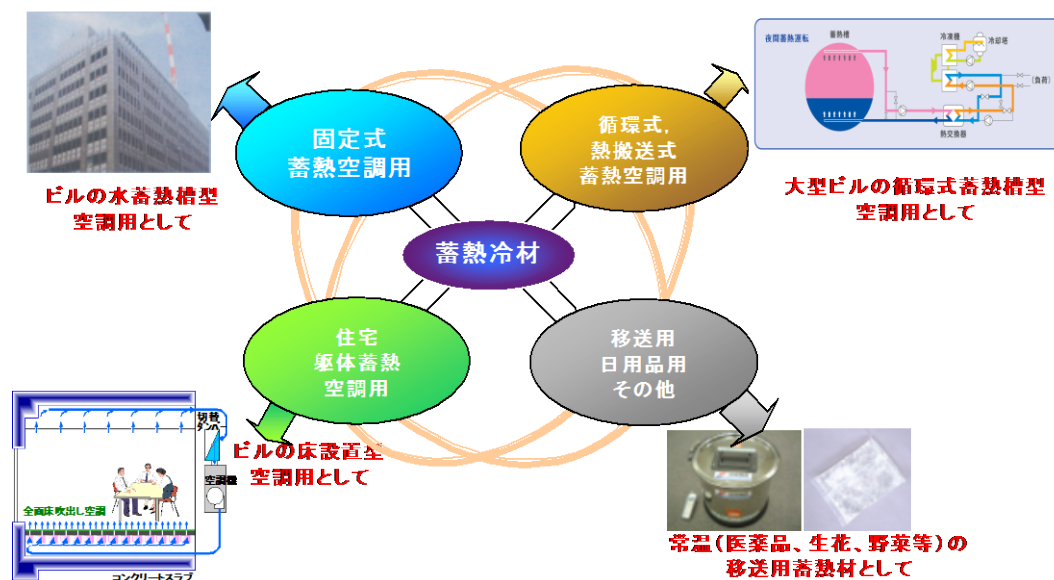
潜熱蓄熱材の適用用途について、図－5に示す。

①ビル(固定式蓄熱)空調用

ここで当社が注力している固定式蓄熱タイプの適用事例について紹介する。

<特長と実績>

既存水蓄熱槽があり、増熱ニーズがありながら冷凍機の増設スペースがない等のビルに適用される。固定式タイプ(ゲルパック)をマンホールから水槽に搬入でき、又工期も短くできるのが特長。固定式水蓄熱用については、すでに新聞社、公営施設、地域冷暖房施設、ホテル等での実績がある。図－6, 7に形態と導入時のイメージを記載する。

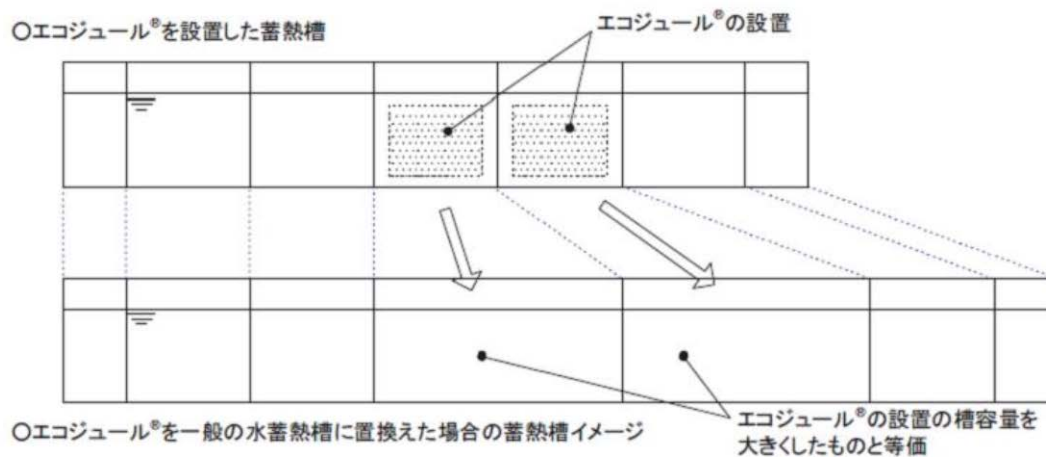


図－５ エコジュールの主な適用用途

- ・ 氷より高い温度(6～7℃)で蓄熱が可能(高COP)
- ・ 非危険物(木材と同じ可燃性固体類)
- ・ 長期に安定な潜熱蓄熱材
- ・ 多層フィルムで包み込んだスティック状潜熱材



図－６ エコジュールの形態



図－７ エコジュールを導入した蓄熱槽のイメージ

＜実績例＞

冷凍機運転状況と冷房負荷状況について表－５、図－８に記載する。

表－５ 運転負荷状況

①	蓄熱量	12,600MJ
②	投入蓄熱材	14,000kg
③	夜間移行率	約20%
④	ピークシフト率	約23%

また、蓄熱材と水槽内水温の温度推移を図－９に記載する。

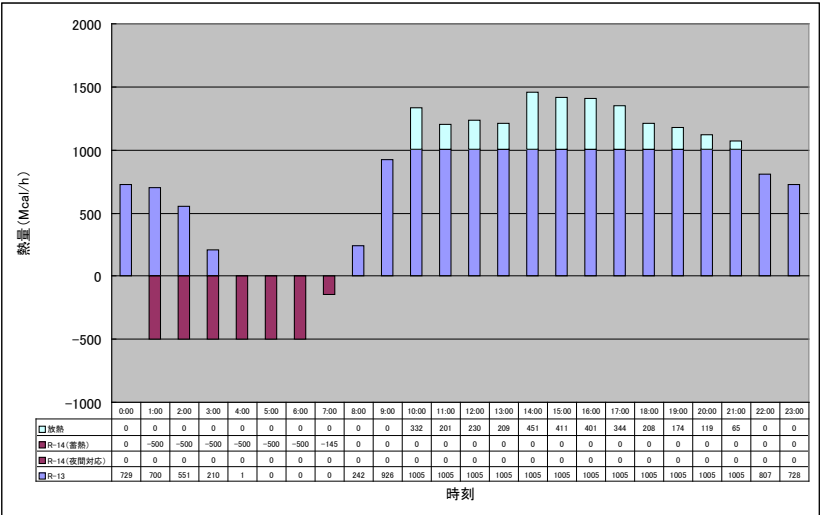
この図でわかるように蓄熱時は、7.5℃近傍から相変化が
起こり、ほぼ一定温度で凝固が終了する。

この間の応答時間は40－60分程度である。放熱時は、水温の
上昇が緩やかなこともあり6℃近傍から融解を開始し、

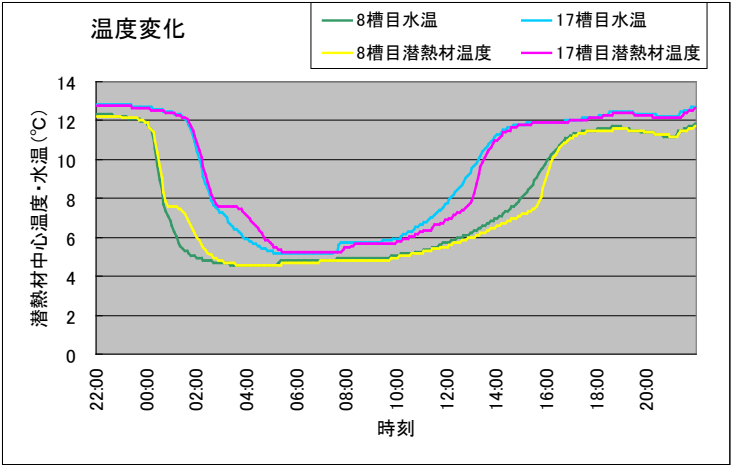
8℃近傍で融解を終了する。

この間の応答時間は約2.5時間で
ピークカットに充分可能な応答速度に
なっている。

導入前後の設備と効果の内訳については、
図－１０と表－６に記載する。



図－８ 冷凍機運転状況および冷房負荷状況



図－９ 蓄熱材と水槽内水温の温度推移

表－６ 効果の内訳

項目	増蓄熱効果	比率
① 蓄熱水槽設置	約8,900MJ	約71%
② 温度差拡大 (8℃⇒9.5℃)	約1,700MJ	約13%
③ エコジュール導入	約2,000MJ	約16%

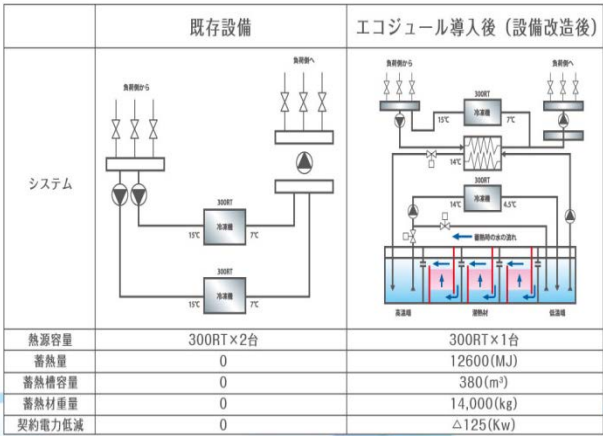
＊ただし、②と③は組合せによる両者の相乗効果が含まれている。

導入後の結果と効果

- ▶ 蓄熱量:12,600MJ
- ▶ 契約種別の変更・安価な深夜電力利用でランニングコストの低減ができた
- ▶ ピーク時に冷凍機を停止でき、契約電力に余裕ができた
- ▶ 昼間の冷凍機を2台運転から1台運転に変更できた

効果については、以下の通り。

- ・昼間の冷凍機を2台運転から1台運転に変更し、1台は予備及び夜間蓄熱専用にできた。
- ・ピーク時に冷凍機を停止し、契約電力料金を下げることが出来た。
- ・契約種別の変更・安価な深夜電力利用でランニングコストの低減が出来た。



図－１０ 導入前後の設備

その他の代表的な用途について以下に記載する。

②ビル（循環式蓄熱）空調用

水溶液タイプ（M/C スラリー）を1次側に用い、昼夜間電力平準化を訴求した用途で、大型施設での実績がある。

③ビル（躯体蓄熱）空調用

躯体と潜熱蓄熱材を組合せ、高い温度で蓄熱をして、昼間のピーク電力削減を訴求した用途で清水建設と実証評価を行い、2010年度の第8回環境・設備デザイン賞の設備器具・システムデザイン部門で入賞を果たした。図・11に一部を記載する。



図ー11 第8回環境・設備デザイン賞の入賞の資料抜粋

④住宅（床下蓄熱）冷暖房用

夏場は地中の熱エネルギーとヒートポンプ給湯器の冷排熱を用いて室内空調に、冬場は太陽熱エネルギーで室内暖房に用いる。現在、実証評価中である。

⑤住宅（壁蓄熱）冷暖房用

蓄熱材を練りこんだ壁材の内面に太陽熱で温めた30℃の温水を循環し室内の暖房と蓄熱材への蓄熱を行い、日変動を蓄熱材で緩和して暖房エネルギーを削減。太陽熱不足時は、ヒートポンプで補完するシステムで実証評価中である。

⑥住宅（床）暖房用

電気床暖房に蓄熱材を用いる。 多数の使用実績がある。

⑦移動空間用（キャニスター^{注2}）用、車空調用、定温輸送他）

北米仕様のプリウスのキャニスターに搭載されている。

⑧屋外利用用（カーブミラー、橋梁凍結防止用他）

冬場の太陽熱で蓄熱し、カーブミラーの表面を外気温より高くすることで曇らないようにする。
橋梁に蓄熱材封入鋼管を設置して、橋梁の凍結を抑制するもので実績がある。

⑨日用品用

その他寝具用、冷感枕、保冷材等に使用されている。

8. おわりに

CO₂ 削減や省エネルギーを推進していく為には、無駄なエネルギーを出来るだけ少なくし、繰り返し使用できるエネルギーを活用することが重要であり、そのような観点から生活温度領域で活用できる自然エネルギー（+ヒートポンプ）に蓄熱を組合せることがベストミックスとなる。

冬場の自然エネルギーを常温潜熱蓄熱材に最大限蓄熱し、必要時に使用することによって、従来の暖房エネルギーを半減することも可能になる。今後住宅は、高気密、高断熱の方向に進むが、夏場は夜間の冷風や地下冷熱を取り込み、蓄熱材に貯めて昼間に使用し、冬場は昼間の太陽熱を取り込み、蓄熱材に貯めて夜間に使用することを主体とし、補完的にヒートポンプを活用する事で、快適性を維持しながら省エネ、CO₂削減に寄与するシステムが、できあがる。

快適生活空間を享受する為の常温での蓄熱用途は多岐に亘っており、我々が予期しない未知の分野に今後ますます用途は広がることを期待している。

<参考文献>

- (1)「オフィスの省エネルギー」2007年度 省エネルギーセンター資料
- (2)「家庭用エネルギー統計年表」2007年度版（関東）
- (3)環境省データ
- (4)電気事業連合会資料
- (5)松岡秀男：“常温潜熱蓄熱材料の技術動向” 建築設備と配管工事,47 巻,8 号,630,p8-11(2009)

注1) COPとは、成績係数(Coefficient Of Performance)のことで、冷房機器などのエネルギー消費効率の目安として使用される係数。定格冷房・定格暖房時の消費電力 1kW あたりの冷房・暖房能力を表したものの。

注2) キャニスターとは、活性炭を用いて燃料タンク内で発生するガソリン蒸気の大気放出を抑制する環境対策用の自動車部品で、エコジュールは、その活性炭の温度を一定に保持する部分に使用され、キャニスターの性能を向上させている。