蓄熱技術と高分子

陶 昇 三菱油化エンジニアリング(株)
Noboru SUE

蓄熱技術はこれまでの水、コンクリート、土砂石等の顕熱利用から、水、氷および種々の化学物質の融解、凝固熱を用いた潜熱蓄熱技術が開発され、急速に普及が始まっている。高分子は、これらの蓄熱資材の構造材としてよりも、蓄放熱の流体の伝熱面、化学物質のカプセル材としてその特徴が見直されてきてるばかりでなく、高分子自体の凝固、融解を利用した技術開発も始まっており、広くその開発に期待が高まってきている。

1. はじめに

太陽熱温水器、電気温水器に始まる、温熱型の蓄熱技術は昨今の電力事情、特に冷房空調の伸びに伴う昼、夜間需要の格差の増大に伴い特に冷房、冷凍蓄熱の商品開発が活発になってきている。これまで業務用電力の電荷平準化対応として普及してきた、ビル等の地下ピット利用の水蓄熱および、コンクリート、土砂石の顕熱利用システムも新しい時代に入り、特に高分子を大量に利用した、潜熱蓄熱システムの開発が活発になっている。水を含む化学物質の凝固、融解潜熱は、顕熱に比べ、温度の安定性、蓄熱が大容量である反面、蓄熱剤と流体の境界伝熱表面を形成する形態と材質に耐食性、経済性、熱伝導性が要求されている。この要求に対して高分子に優る

ものではなく、後述するアイスオンコイル型の冷媒用コイルに、またカプセル型蓄熱材のカプセル用に大量に使われ始めている。また、未利用熱の有効利用として高分子自体の融解潜熱を利用するシステムの蓄熱技術も熱回収効率の向上を目指した実用化が検討されている。現在、電力各社を中心とした各種の利用システムと、地球温暖化やフロン対策も見直されてきた蓄熱技術への高分子の係り方について、現状を中心に紹介する。

2. 普及の背景

表1に示されるように、多岐にわたる市場の中で普及の最大の背景は、電力の負荷平準化対策と、未利用エネルギー、特にゴミ発電とコージェネレーションシステムの排熱利用である。図1はコージェネレーションのヒートバランス図であるが、ゴミ発電も同様に電力と熱の同時利用がない場合、熱効率向上のためには蓄熱が不可欠となる。電力については、近年、わが国の空調化（特に冷房）の伸びは著しく、その電力需要はGNP並みに年々増加し、各電力会社はこれに応じて原子力発電を含む設備増強が必要となる（図2）。一方、これに比べて年平均負荷率の伸びは少なく、対策として電力契約優遇制度による蓄熱型ヒートポンプの普及を第一義として推進する状況にあり、この推進要員は全国規模（10電力）で2,000人を超える。最近ではさらに蓄熱設備は、発電設備と同価との考えから、蓄熱設備を電力会社が需要家へ

表1 蓄熱技術の市場

	目 的 と 内 容	現状の対応技術
未利用熱利用	太陽熱、工場廃熱、コージェネレーション廃熱、太陽電池廃熱等の冷暖房、給湯への利用。河川水、および土中熱利用によるヒートポンプとの組合せ	太陽熱温水器、水蓄熱、潜熱蓄熱、地域冷暖房用蓄熱ヒートポンプシステム
電力平滑化	ビルおよび都市群の冷暖房給湯用電力の夜間シフト、熱源の小型化およびピークカット	地下ピット（二重スラブ）利用の水氷蓄熱および潜熱蓄熱システム
地球温暖化防止	熱回収による省エネルギー、CO ₂ 排出抑制。ヒートポンプの夜間運転による運転効率向上	蓄熱型ヒートポンプ
フロン対策	熱源機（ヒートポンプ、冷凍機）の高効率化と小型化によるフロン使用量の減少	蓄熱型ヒートポンプおよび蓄冷型冷凍機

Heat Storage Technology with Polymer

陶 昇 三菱油化エンジニアリング(株) (108 東京都港区芝 5-34-6) 蓄熱事業部・部長
1971年東北大学工学部応用化学科卒、1976年より三菱油化エンジニアリング、特に電力、空調、冷凍に関するエネルギー企画、調査、開発業務を経て、1991年より現職。
〈趣味〉ゴルフ、水泳、散策

図1 ディーゼルエンジンヒートバランス図

熱効率66%の内、電力の占める割合が42%と高いのが特徴

図2 最大電力と年負荷率の推移（東京電力）

表2 蓄熱方式と主要蓄熱材料

顕熱型	液体：水、ブライン、熱媒油、溶融塩
	固体：石、砂、土壌、煉瓦、金属
潜熱型	水和塩、パラフィンワックス、脂肪酸、水、硝酸塩、水酸化物、ポリエチレン、多価アルコール
濃度差型	臭化リチウム／水系吸収式、シリカゲル・ゼオライト／水系吸着式
化学型	水和反応、水酸化物・アンモニア物の熱分解反応、金属水素化物、気体包接形水和物
その他	光異性化、バイオマス型

設置、管理運営まで計き受ける蓄熱受託制度、助成金の適応およびリース制度も始まっている。

3. 蓄熱技術

3-1. 蓄熱材料と蓄熱技術

蓄熱に要求される条件は以下の通りである。

- 蓄熱剤の安定性、耐久性。
- 蓄熱密度が高いこと。
- 毒性、火災等の危険性がなく廃棄時に公害等の問題もおこさないこと。
- 蓄熱コストが安価であること。
- 蓄、放熱時に熱の流入、流出が容易であること。（高伝熱性）
- 容器材料や熱交換器等に対する腐食性がないこと。

上記の条件をすべて満足する現想的な蓄熱材料は存在

しないが、表2に示すように、各種の蓄熱材料の中で近年は、主流が従来の水蓄熱から氷蓄熱を含む潜熱蓄熱が普及する段階で、化学物質や高分子（樹脂）を利用した興味ある商品が上市され始めている。これは背景として

- 潜熱剤である水和塩、共晶塩、水和塩等の安定化、量産化技術の確立。
- 潜熱蓄熱剤のカプセルとなる樹脂加工量産化技術の確立と熱特性の把握。
- 氷蓄熱の場合、冷媒配管が高密度ポリエチレン製であるが、表面の氷生成による応力の吸収および熱伝導特性が解明され、評価されてきていること。

等があり、特に腐食性の高い蓄熱材の被覆と熱伝導について、パイプ状、板状、カプセル状、熱交換器の各形態での加工信頼性が向上、かつ冷媒の流動特性、熱伝導性が把握されたことによるところが大きい。

図3 カプセル型潜熱蓄熱材

蓄熱材外観

蓄熱材仕様

蓄熱剤	水
添加剤	過冷却防止剤、殺菌剤等
相変化温度[°C]	0
カプセル材質	高密度ポリエチレン
外径[mm]	77
肉厚[mm]	1.9
設計圧力[kg/cm ²]	5.0
重量[g]	216 (水177g、カプセル39g)

4. 潜熱蓄熱の具体的応用例

4-1. スタティック型氷蓄熱

通常、冷凍機により不凍液（ブライン）を架橋ポリエチレン管内に流し、この管の群を二重らせん状またはループ型にして水槽内に固定、管の表面に製氷する。夜間電力（夜10時～翌朝8時）料金は昼間の約1/4（4～5円/kW）のため、この間に製氷、昼間解氷して冷水として冷房系に送出する。架橋ポリエチレンは、内外圧強度が強く、5m程度の水深中、製・解氷に伴う応力にも充分耐え、かつ10時間の蓄熱時間でチューブ内外温度6℃程度で約7cmの厚さの水を形成する熱伝導性を有している。

この方法は特に既設のビル地下等に設置した水槽等を活用したものが多く氷蓄熱の中で最も早く普及した方法である。

4-2. カプセル型潜熱蓄熱

近年、板状、円筒状、円盤状、球状のカプセル型の種類の中で球状のものが主流となり、急速に普及し始めている（図3）。球状の形態は、

- 内外圧に強く特に凝固、融解時の蓄熱材の膨張収縮に対して、応力集中がおこらない。
- 球カプセルの高密度充填により、蓄熱密度を高められ、かつカプセル群の形成する空間が伝熱流体（ブライン）の液分散機能を有するため、熱移動にむらがなく、蓄・放熱量の制御が容易で、温度が安定している。
- システムとしてシンプルであり、蓄熱槽の形状を選ばないので設置の制約が少ない。

等の特徴を有し、最近では蓄熱量30,000 Rt・h（約100,000,000 kcal）を超える世界最大級の蓄熱システムが、実用化されている。次項にその概要を紹介する。

4-2.1 みなとみらい21 熱供給施設 (MM21)

MM21 地区は横浜ランドマークタワービル、国際会

潜熱蓄熱槽断面図

図4 蓄熱材と蓄熱槽

図5 潜熱蓄熱システムフロー図

議場、ホテル、展示場、横浜銀行など、周辺 60 ha の都市開発が展開されており、そのすべての建物の冷暖房給湯の熱源は当施設からパイプラインを通じて供給されている。地域冷暖房施設 (D.H.C-District Heating & Cooling) の特徴は熱源の集中大型化により、効率向上、省エネルギー、環境対策の徹底化、安全信頼性向上、都市美観上等の理由から都市開発の前提となりつつあるが、特に前述の背景のように、深夜電力の有効利用により合理化と省エネルギー、熱供給信頼性向上の目的で、カプセル型蓄熱システムが採用された。集中する冷房負荷は同時に冷凍機からの温排熱を生み出すが、冷凍機の夜間運転により、周辺へのヒートアイランド現象が緩和の効果も確認された。カプセル型蓄熱設備は稼動後、同地区全冷房負荷の約 3 割をまかなっており、かつ電力使用量のピークカット量は 2,500 kW/時以上に達している。図 4 は蓄熱材と蓄熱槽、図 5 はシステムフローを示したものであるが、直径 77 mm の球状カプセル (高密度ポリエチレン、液化学) に蓄熱剤を封入した蓄熱材を 300 万个 (樹脂量、100 トン) 充填した縦型槽 1,100 m³ が 2 基設営され、冷凍機と連動しながら 365 日運営されている。同類設備は国内で約 100 件、海外で 300 件がすでに稼動しているが、国内においては福岡ダイエードーム球場、長期信用銀行本店ビル、名古屋駅周辺地冷などがあげられる。また海外ではニース空港 (仏)、ブリュッセル空港 (ベルギー)、大蔵省ビル (仏)、アトランタ空港等の著名な建築物で利用されている。なお、東南アジアを中心とした都市開発においては、急激な電力負荷に対応する手段として、タイ国、韓国などでは国策として本技術の普及に取り組みつつある。

5. 蓄熱素材としての高分子

蓄熱素材として融解、凝固潜熱を利用する素材の中で、有機系の分野ではパラフィンワックス、脂肪酸、多価アルコール等の研究が進められているが、高分子にお

いては、形状安定化高密度ポリエチレン (以下 HDPE: 商品名リンクロン、三菱化学) が研究され、一部実用化されている。これは主に電線の被覆等に使用されているエンブラ製品で、ポリエチレンを特殊処理して分子を架橋しているため、融解 (蓄熱状態) しても液状にならずに形状を保っている性質がある。カプセル化する必要もなく、粒子状 (ペレット) で伝熱流体と熱交換できる特徴を有している (図 6)。

HDPE を蓄熱材として使用することにより以下の特徴を有する蓄熱システムとなる。

- ①融解、凝固時の潜熱量が約 43 kcal/kg と大きい。
- ②融解温度 (蓄熱温度) が 130℃ と高く熱源として利用する場合、暖房、給湯はもとより、吸収式冷凍機、スチームアキュムレーター等にも対応できる。

図6 リンクロンの製法

図7 フィールドテスト装置フロー

- ③融解しても液状にならないため熱媒と直接接触させて熱交換できる。
- ④形状は自由：粒状の場合の伝熱特性が良い。
- ⑤比較的安価。
- ⑥衛生上，安全である。

この蓄熱システムの用途は特に余剰排熱の有効活用の手段として，コージェネレーションシステムของガスエンジン排熱の利用，ゴミ焼却炉廃熱の冷暖房への活用等検討が試みられている。

図7は96kWガスエンジンにおけるコージェネレーションシステムにおいて，約1m³の蓄熱装置を設置した装置フローである。蓄熱は排ガス熱により140℃まで昇温された熱媒（プロピレングリコール）によりなされ，放熱は，105℃の熱媒を流すことにより行う。

表3は実測値と理論値の比較を表わしたもので，90%（対理論値）の蓄熱量を確認している。

6. おわりに

蓄熱構成材としての高分子の活用は今後特にコンクリート，鉄，種々の化学物質の被覆材または要素材として大量に用いられることは明らかであるが，合わせて蓄

表3 利用温度に対する蓄熱量

蓄熱温度 (℃)	利用温度 (℃)	蓄熱量 (kcal/m ³)	
		理論値	実測値
140	120	39,400	36,100
	110	46,100	41,200
	100	52,800	—
	80	66,000	—
	60	80,000	—

注) 蓄熱量は蓄熱槽1m³当りの蓄熱量，熱媒はプロピレングリコール

熱剤としての高分子の開発も期待が大きいと考える。ポリエチレングリコール，ポリプロピレングリコールは分子量で融点を自由に選択できる特徴があり，一部電気あんに用いられているし，パラフィンと樹脂の混練により20℃～40℃程度の温度での蓄熱建材も上市されは始めている。また，高分子は特に衛生上の安全性，加工の自由度の高さ，量産化の容易さ等からも期待されている。今後，

- ①85～95℃で融点を有する高分子。
 - ②5℃～25℃で凝固，融解時に流動性のある高分子。
 - ③凝固，融解の制御が温度以外の要素でコントロールできる高分子。
- など，蓄熱技術に関わる者として，これらの機能を有する高分子の開発を期待する。

文 献

- 1) 東電レポート，平成元年春季号
- 2) 齊藤武雄：数値伝熱学，217 (1986) 養賢堂
- 3) 大脇 悟：アメニティ空間の創造，化学工学，56[1] (1992)
- 4) 神本正行，阿部宜之：エネルギー貯蔵の現状と将来，応用物理，61[3] (1992)
- 5) 鈴木 胖，伊東弘一編著：エネルギー貯蔵システム，エネルギー資源学会

潜熱蓄熱・顕熱

物質が固体-液体-気体と相変化するときの必要熱量または製出熱量を潜熱といい，この相変化時の温度が比較的安定，一定であるため，利用しやすくなる。蓄熱・放熱はこの相変化による熱の移動を利用する。また，顕熱は加熱・放熱により，温度が変化し，物体の比熱と温度差分が蓄熱量を支配するので，蓄熱

容量が潜熱利用に比べて少なくなる。水-氷の場合1m³の槽に水を貯えた場合，温度差10℃で10,000kcalとなるが，氷の場合は80,000kcalと大きい。実際は氷も熱交換をするスペースが必要なので50,000kcal程度が実用上の蓄熱容量となる。

[321頁] 陶 昇