

はじめに

熱エネルギー貯蔵・輸送技術の 基礎と今後の展開

就実大学 就実短期大学 稲葉 英男

1. 蓄熱技術の基礎と今後の展開

ここでは、熱エネルギー有効利用、熱エネルギー需給の現状、蓄熱技術、蓄熱材の種類および経済性などについて概説し、さらに今後の展開について述べる。

1.1 熱エネルギー有効利用と蓄熱技術

熱エネルギー需給の量的アンバランス対策は、熱エネルギーを含む各種損失を減少させて省エネルギーを図ることにある。一方、熱エネルギー需給の質的アンバランス対策は、熱エネルギーを貯蔵、輸送そして変換を通して需要に応えることである。供給された熱エネルギーは利用されるものと利用されないものがあり、利用されるものの割合を増やす技術が熱エネルギー有効利用技術である。熱エネルギー貯蔵技術は、供給と需要に時間的なギャップがある場合に利用される。熱エネルギー輸送技術は、供給と需要に空間的なギャップがある場合に活用される。さらに、熱エネルギー変換技術は、供給と需要に形態的・質的なギャップがある場合に利用される。熱エネルギー貯蔵を規模的、経済的そして操作的にも実用に供するのが蓄熱技術である。蓄熱技術の意義および役割は、熱エネルギー需給の時間的アンバランスの解消、蓄熱技術により需要側の要望に応じた熱エネルギーの分配、そして供給から需要までの過程におけるエネルギー損失の減少などにある。熱需要側の負荷変動に応じてそれを満たす最大負荷に対応する熱供給容量が必要であるが、蓄熱システムの採用により供給量を小さくすることができる。また、熱供給側の効率を最大にするような供給方法が熱需要側と独立に採り得るメリットもある。蓄熱は入出力エネルギーが熱エネルギー形態のエネルギー貯蔵方法であることより、蓄熱技術が発展すれば、熱エネルギー全体の有効利用に大きく寄与することになる。

1.2 蓄熱技術開発の現状

我が国の蓄熱技術は、1970年代の石油危機の経験から熱エネルギーの供給源として不安定な太陽熱の利用や、産業排熱等の効率の利用を意図して潜熱蓄熱を始めとする各種の熱エネルギー貯蔵法の積極的開発により発展した。最近の蓄熱技術開発の動向としては、コンピュータ関連機器の普及等による冷却熱需要や、国民生活の向上による夏季の冷房・冬季の暖房需要の増大に伴

う電力の尖塔的需要増大による昼夜間・季節間の電力需給格差の増大の解消策としての蓄熱技術の積極的展開（例えば、蓄熱技術による電力平準化策）がなされている。さらに、化石燃料使用などに伴う地球温暖化ガスの排出削減などの環境負荷物質の低減要請から派生するクリーンな熱エネルギー源（例えば、排熱などの未利用エネルギーの有効利用）の確保に関連した熱エネルギーの効率的貯蔵など、蓄熱技術に関する社会的要請によるものが多い。2011年3月に発生した我が国における原発事故後のエネルギー供給体制の再構築の中で、変動性を有する再生可能エネルギーの大幅な導入や熱エネルギーの効率的利用に向けてのコ・ジェネレーションシステム（熱電併給システム）の展開等が喫緊の課題となっている。このような背景のもとに、省エネルギーや節電を意図したスマートビルやスマートハウスの構築において、空調システムへの蓄熱システムの導入・普及が鍵となっている。

さらに、従来の蓄熱材を蓄熱槽に固定して、熱媒体により熱の出し入れを行う時間的ミスマッチの解消を目的とした蓄熱技術に代わり、空間的に点で分散している熱エネルギーの供給と需要地を配管網などで面的に結合し、機動性に富む搬送可能な蓄熱材料（水スラリーなど）の開発にみられるような次世代型の革新的熱貯蔵技術開発の展開が行われている。このような背景のもとに、様々な蓄熱材料の開発が進められており、従来の水を始めとする顕熱蓄熱、氷などの融解熱を利用した潜熱蓄熱から化学反応や水溶液の濃度差を利用した蓄熱、そして光化学効果を利用した蓄熱など、目的に応じた新しいタイプの蓄熱材の開発が行われている。蓄熱温度範囲から現在開発されている蓄熱材は、1300℃程度のマグネシア煉瓦による高温蓄熱から、-260℃程度の鉛による極低温蓄冷材にわたる幅広いものである。また、蓄熱規模から言えば、直径70mm程度の氷球カプセルを600万個も用いた地域冷房用大規模水蓄熱槽から、数kW程度の蓄熱が可能な家庭暖房用小型蓄熱機器（セラミック蓄熱材やポリエチレン蓄熱材）など多岐にわたっている。さらに、生活の利便性追求と省エネルギー性を勘案して、熱エネルギー供給のための空調用蓄熱材ばかりでなく、食品、医療、福祉、レジャー産業分野や熱源機器の効率的運転に関連する各種蓄熱材の開発が進展している現状にある。

1.3 蓄熱技術と蓄熱システム

図1は、各種エネルギーの単位質量当たりのエネルギー貯蔵量（密度）の特徴を示したもので、蓄熱は総合的に判断して、中位のエネルギー貯蔵法に位置づけられる。他のエネルギーに比較して、利用の多いエネルギー形態である熱エネルギーを直接入出力できるので、利用範囲が広く、貯蔵法が比較的簡単な特徴を有する。

1.3.1 蓄熱技術

蓄熱は古くから生活の知恵として利用されてきたが、工業や民生用として蓄熱技術が再認識されたのは、そう昔のことではない。蓄熱は、超高温から極低温の広範囲にわたる熱の貯蔵技術で、その温度域や使用目的によって、様々な蓄熱材料や蓄熱法がある。

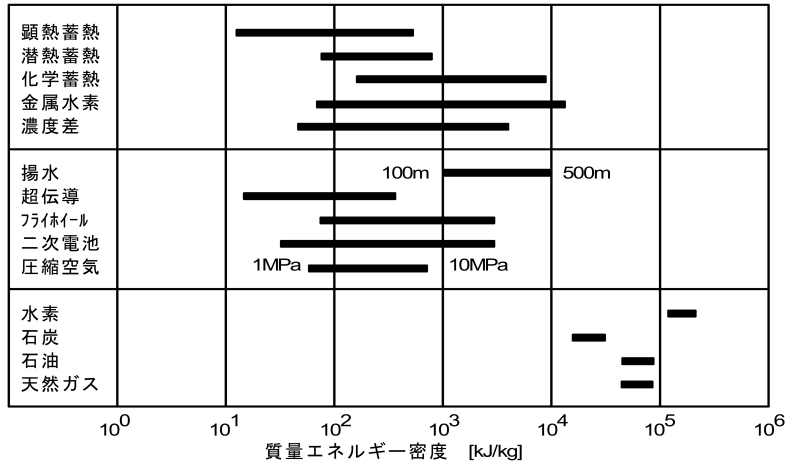


図1 各種エネルギー材料の質量エネルギー密度

蓄熱材料の開発は、多くの候補材料から、その材料の性質と特徴を把握した上で、さらに新たな特徴を持つ材料への改質や複数の材料の組み合わせなどで工夫されている。最終的には、安全かつ経済性のある蓄熱材料を選定し、安価で高性能な蓄熱システムを構築できることを目指すものである。

このような条件を常に十分満足する理想的な蓄熱材料は存在しないが、これらの諸条件に近い蓄熱材料としては、水系蓄熱材があり、冷暖房・給湯などを指向した比較的低温域では最適である。例えば、冷房用の冷水蓄熱や氷蓄熱、暖房・給湯用の温水蓄熱、プロセス用の高温水蓄熱（蒸気アキュムレータ）、長期蓄熱としてのソーラーポンドや地下帯水帯蓄熱など、水系蓄熱は幅広い用途がある。そのため、この温度域での蓄熱材料開発は、水系蓄熱との競合に勝ることが必要条件である。

1.3.2 蓄熱システム

熱エネルギーを貯蔵そして変換する蓄熱システムは、熱エネルギーの熱源（供給）側と負荷（需要）側との中間に介在させた、ある種の伝熱機器から構成されている。その機能としては、①熱源側の時間的、量的、質的な変動の平準化と負荷側への安定かつ均質な熱エネルギーの供給、②負荷側に生ずる一時的かつ過大な熱源需要の平準化と熱源における過負荷の防止、③熱発生と熱利用の間に生ずる時間差（位相差）の調整、④分散（量）化・低質（温度や汚れ）化した熱エネルギーの集中・高質化などがある。蓄熱システムの導入は、第一に廃棄されている熱エネルギーを貯蔵したり、温度水準を調整して再活用することができる。第二に、ピークロードに相当する供給源が不要となるために設備コストを軽減できる。ただし、この場合は入出力熱変換装置費、蓄熱槽費や蓄熱材料費などの設備があるのでその兼ね合いによる。第三に、随時需要に対して熱エネルギーを備蓄しておくことにより、余分なエネルギーコストを軽減することができる。

第四に、夜間電力を熱エネルギーとして貯蔵することで安価な熱エネルギーコストを得ることができる。さらに、蓄熱システムの導入によってエネルギーシステムの効率改善が図られる。また、熱機器に蓄熱部を設けることにより、機器全体の効率を高めることができる蓄熱技術は、将来性のある極めて高度な省エネルギー技術の一つである。さらに、蓄熱技術の進展により、新たなエネルギーシステムの開発を図ることも可能となる。これら蓄熱システム構築に最も重要となるものが、蓄熱材料である。

1.4 蓄熱材料の基礎と開発の現状

ここで扱う蓄熱材料の範囲は、本来熱エネルギーの形で貯蔵可能な物質以外に化学物質のようにその反応に伴って熱エネルギーの授受に関連する物質をも含むものとする。

表1は、蓄熱材料の種類と分類を示したものである。

1.4.1 蓄熱材料の種類と分類¹⁾

表1に示す蓄熱形態の分類で熱エネルギーを熱の形で貯蔵するものには、①顕熱型と②潜熱型があり、熱エネルギーを他の形態に置き換えて貯蔵するものに③濃度差型、④化学型および⑤その他がある。

蓄熱材料に要求される性質は、①蓄熱容量が大きく、使用目的に合う温度水準であり、良好な熱伝達特性（熱伝導率、熱拡散率）を持つ熱的条件、②化学的に安定で、毒性や危険性、低耐食

表1 蓄熱材料の種類と分類

(1) 顕熱型	：固体蓄熱材……非金属系……煉瓦、土壤など、 金属系……銅、マグネシア、溶融塩など 液体蓄熱材……水、有機油、ブライン、液体金属など 気体蓄熱材……高圧高温蒸気、高温ガス
(2) 潜熱型	：無機系固液相変化：水-水 水和塩 (Na ₂ SO ₄ ・10H ₂ O、CH ₃ COONa・3H ₂ O など) 単純塩 (LiH、LiF、NaOH など) 溶融共晶塩 (NaOH-NaNO ₃ 、NaCl-KCl-MgCl ₂ など) 有機系固液相変化：パラフィン・ワックス (n-デカンなど) 脂肪酸類 (カプリル酸、ステアリン酸) 高密度ポリエチレン、尿素など 有機系固体の転移熱 (ペンタエリスリトールなど) 気液相変化 (蒸気アキュムレータなど) 固気相変化 (ドライアイスの昇華熱など)
(3) 濃度差型	：吸収剤系……臭化リチウム-水、水-アンモニアなど 吸着剤系……ゼオライト-水蒸気、シリカゲル-水蒸気など
(4) 化学型	：水和物の水和・分解反応 (CaO+H ₂ O=Ca(OH) ₂ など) アンモニア化合物の生成反応 (FeCl ₂ ・6NH ₃ → FeCl ₂ ・2NH ₃ +4NH ₃ など) 金属水素化合物の生成反応 (MgH ₂ → Mg+H ₂ など) 気体包接型化合物の生成反応 (各種のクラスレートなど)
(5) その他	：光化学反応 (光異性化など)、バイオマス (植物など) など