

# 顕熱蓄熱材を用いた熱エネルギー貯蔵

## A Brief Review on Sensible Heat Storage Materials

朝比奈 正\*・小坂 岑雄\*\*

Tadashi Asahina

Mineo Kosaka

### 1. はじめに

蓄熱という熱を蓄える技術は、熱供給と熱需要の間に不可避免的に発生する、時間的および量的な「ずれ」を調整して、エネルギーの効果的な管理をしようというものである。このような蓄熱による熱の有効利用は、各種産業における熱管理に限らず、居住空間の整備、魔法ビンや深夜電力の使用など、家庭内においても、広くおこなわれているものである。

近年、世界的なエネルギー不足を背景として、間欠的で不安定な熱源である太陽エネルギーなどの新エネルギーの有効利用や、各種産業における省エネルギーや排熱利用への要請により、蓄熱技術の重要性は著しく増大するに至っている。

このような産業および民生利用における蓄熱器の設置に際しては、その熱エネルギーの使用状況に応じて、貯蔵すべき熱エネルギーの量、温度レベル、熱の出入

力速度などが決定される。また熱を貯蔵しておく期間についても、太陽エネルギーにおける日射量の時々刻々の変動や、各種熱利用機器の知時間の負荷変動に追従する（ロードレベリング）ための、数分程度の期間から、夏期の温熱を冬期に、または冬期の冷熱を夏期に利用しようという、季節単位の蓄熱に至るまで、その範囲は極めて広い。蓄熱器の設置にはこのような広範囲の要求に対して、蓄熱方式や材料を選定し、蓄熱器の大きさや構造を決定する必要がある。

一方、現在用いられている蓄熱器の大部分は、夜間電力利用の汲置き式温水器のような、断熱容器の中に熱水や高温の岩石などを充填した、顕熱利用蓄熱器である、

### 2. 顕熱利用蓄熱器の一般特性

顕熱利用の蓄熱器とは、物質の熱容量の温度による差を利用するものであって、主な顕熱利用蓄熱材料を表1に示しておく<sup>1)</sup>。

表1 各種顕熱利用蓄熱材の熱物性値<sup>1)</sup>

媒 体	比 熱	比 重 量	容 積 比 熱	熱 伝 導 率	温度伝導率(×10 <sup>3</sup> )
単 位	kcal / kg °C	kg / m <sup>3</sup>	kcal / m <sup>3</sup> °C	kcal / mh °C	m <sup>2</sup> / h
水	1.0	1000	1000	0.5	50
凍 液	0.86	1068	910	0.42	46
砂 利	0.22	1850	407	0.29~0.32	75
砂	0.22	1500	330	0.26~0.28	82
土 (乾 燥)	0.22	1300	286	0.45	157
土 (湿 潤)	0.26	1400	364	1.1	302
コ ン ク リ ー ト	0.21	2400	504	1.4	278
コンクリートブロック	0.21	1620	340	—	—
レ ン ガ	0.22	1850	407	0.35	86
木 材	0.3	550	165	0.31	188
鋼	0.115	7800	897	53	50908
アルミニウム	0.211	2700	570	175	30700
銅	0.092	8840	813	330	40590

\* 工業技術院名古屋工業技術試験所第2部主任研究官

〒462 名古屋市北区平手町1-1

\*\* 工業技術院名古屋工業技術試験所第2部主任研究官

蓄熱物質に一般的に要求される特性としては、次の諸項があげられよう<sup>2)</sup>。

- ① 単位体積当りの蓄熱量が大きい。
- ② 熱伝導度が高い。
- ③ 熱の入出力が可逆的に起こり、劣化がない。
- ④ 化学的、機械的な安定性が高い。
- ⑤ 可燃性、腐食性、毒性などがなく、安全である。
- ⑥ 取り扱いが容易で、簡単に入手できる。

一般的な顕熱利用蓄熱材は、保持熱量が十分とは言えない程度であること、非金属系蓄熱材では熱伝導度が低いことを除くと、上記各項をほぼ満足している。これらの蓄熱材の容積比熱と価格の関係は、図-1のように示される<sup>3)</sup>。図の左上にあるものほど、蓄熱材としての能力が高いことになり、水が非常に優れた蓄熱物質であることがわかる。

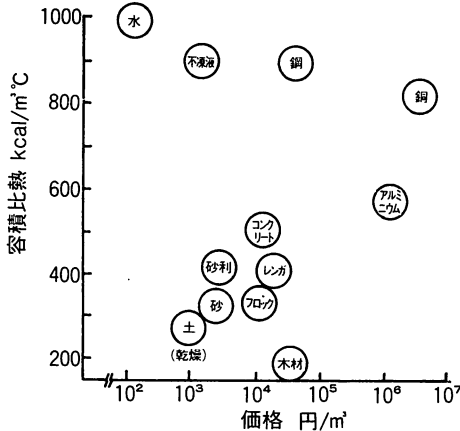


図-1 顕熱利用蓄熱材の蓄熱密度と価格<sup>3)</sup>

顕熱利用の蓄熱器は、比較的構造が簡単で、安価であり、動作も確実であるが、蓄熱容器の内外に大きな温度差がつくために、熱の逃げが大きな問題となる。工業的に蓄熱器に完全な断熱を施すことは不可能であるため、長期間の蓄熱には不向きな方法であると言える。さらにこの種の蓄熱器の特徴として、熱の取り出しと共に出力温度が低下してしまい、一定温度での使用が困難な点が上げられる。

### 3. 顕熱蓄熱の方法<sup>2)</sup>

顕熱を利用した蓄熱は、液体顕熱、固体顕熱、およびその複合型に大別される。

#### 3.1. 液体顕熱利用型

液体材料としては、水、熱媒油、熔融塩、液体金属などが使われ、この方式の最大のメリットは、蓄熱材

そのものをポンプ輸送できる点であり、蓄熱材-熱輸送媒体間の熱交換が不用となる。

#### 3.1.1. 蓄熱水槽

顕熱利用蓄熱器の大半は、この種の蓄熱水槽であり、暖房、冷房、給湯用の蓄熱器として広く使われている。蓄熱水槽には、図-2に示すように、一様混合型と温度成層型に分けられる。成層型蓄熱槽においては、熱水を上側から供給し、上側から使用する。この時槽内の温度分布は、図-3に示すようであって、出口温度はそう低下せず、貯蔵した熱が有効に利用できる<sup>4)</sup>。

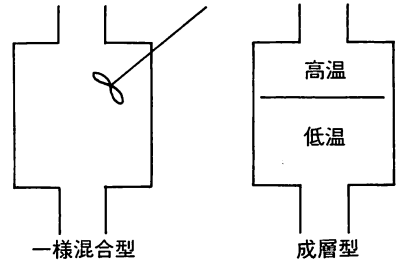


図-2 蓄熱水槽の構造<sup>3)</sup>

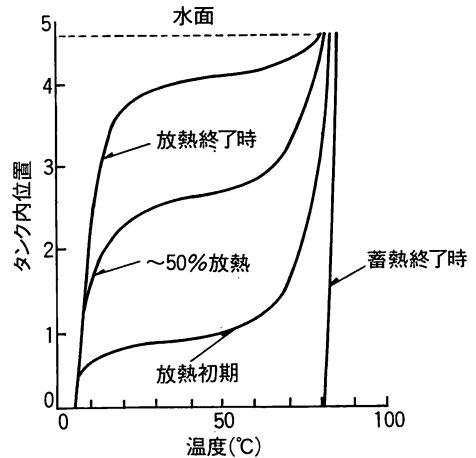


図-3 温度成層型温水槽内の温度分布<sup>4)</sup>

暖冷房用蓄熱水槽の例を図-4に示す<sup>2)</sup>。蓄熱水槽は縦に長く、複数個をパイプでつないだ構造をしているが、こうすることにより、蓄熱水の動きは押し出し流れに近くなり、温度ポテンシャルの損失が少なくてすむ。蓄冷時には、タンク#4を出た水を冷却し、タンク#1へ供給する。そして冷房時にはタンク#1から冷水を取り出し、タンク#4へ返す。また蓄熱時及び暖房時には、水の流れを逆転させて使用する。

#### 3.1.2 ソーラポンド<sup>5)</sup>

ソーラポンドとは、太陽光が直接入射する浅い人工あるいは天然の池であり、熱を収集すると同時に季

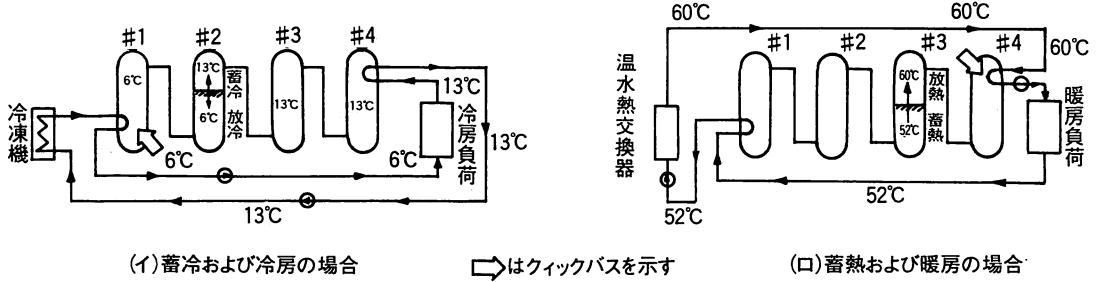


図-4 暖冷房用蓄熱水槽の例<sup>2)</sup>

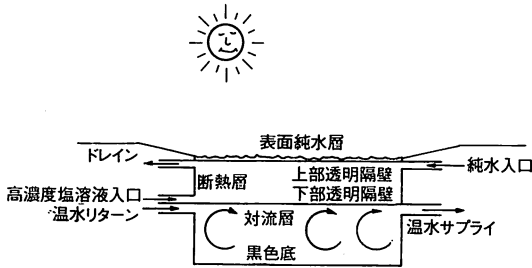


図-5 ソーラーポンドの模式図<sup>2)</sup>

間に渡る長期蓄熱をおこなうものである。代表的なソーラーポンドの例を図-5に示す。

流動せず静止している水の熱伝導度は十分小さい上、水は赤外光に対して不透明である。このため、上側で薄く下側で濃い濃度勾配をもった塩水溶液からなる透光断熱層を、透明隔壁をへだてて、蓄熱層(対流層)の上部に置く、断熱層には塩濃度勾配の保持のため、高濃度溶液と純水を供給する必要がある、蓄熱層の底部は黒色として入射光を吸収し、対流を助長させる。ソーラーポンドの温度分布と塩濃度分布を図-6に示す。

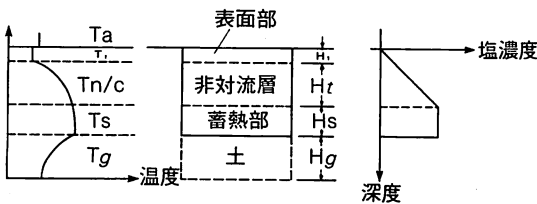


図-6 ソーラーポンドの温度分布と塩濃度分布<sup>5)</sup>

富山地方の日照データを用い、面積900㎡、深さ3m、蓄熱部1mのポンドでのシミュレーションによれば、無負荷で夏60℃、冬42℃、20%の負荷で夏44℃、冬21℃の温水が得られる。

まだ実験段階ではあるが、塩濃度勾配により対流をおさえる代りに、ゲル化剤を用いて非対流層を構成する試みがなされているが、耐候性と経費の点で問題を残している。

ソーラーポンドの構成には、底面積㎡当り 10,000円

程度と見積られており、石油換算で償却年数が20年以上となる。

3.1.3 その他

少し特殊な例ではあるが、高圧・高温水を圧力容器に貯蔵するアキュムレータがある<sup>2)</sup>。この装置は蒸気発生を目的としたもので、断熱を施した耐圧容器に、高温の水蒸気を吹き込み、200℃、20圧程度の高圧・高温水の形で蓄熱するもので、数百㎡の容量を持つものまで製作されている。

その他、後に述べるが、図-8(b)に示すような、パッシブソーラーハウスのソーラーウォールとして、壁の中に水を満して蓄熱量を増大させる工夫もなされている。

3.2 固体顕熱利用型

固体材料としては、金属等を使う提案もあるが、一般には砕石とかレンガの無機材料が使われる。これらは比較的安価であるが、蓄熱密度が低いために、装置が大きくなる難点がある。しかし、水蓄熱と比べて、高温での蓄熱も可能な点が有利である。

3.2.1 回転再生熱交換器<sup>6)</sup>

これは燃焼ガスから熱を回収し、空気を予熱する場合などによく使われる、図-7に示すような装置であって、熱回収部から空気予熱部までローターが回転する

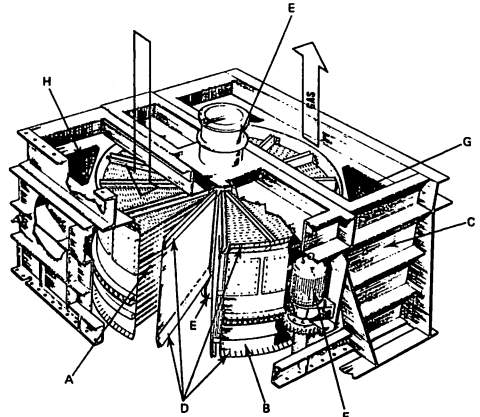


図-7 回転再生熱交換器の例<sup>6)</sup>

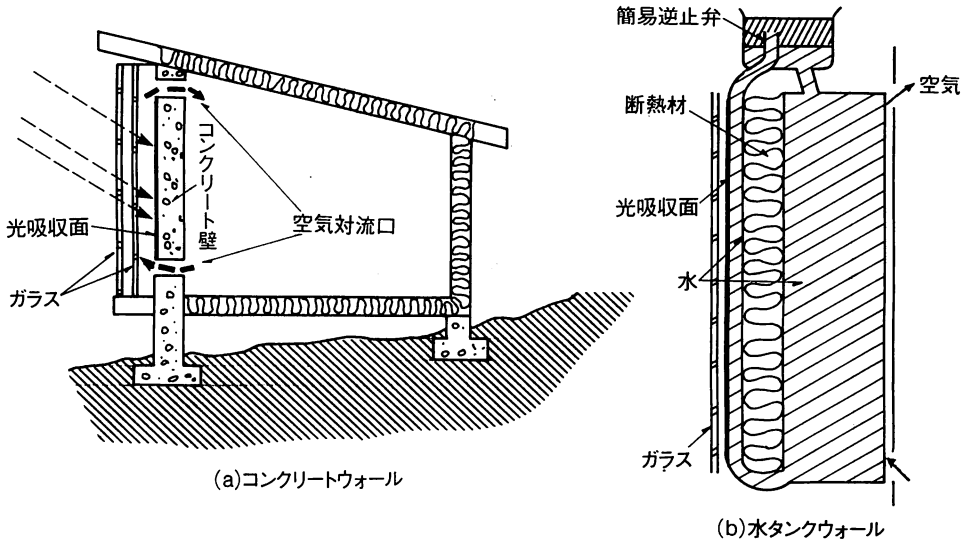


図-8 パッシブソーラーハウスの例<sup>4)</sup>

間、熱を貯蔵しておく蓄熱器と見ることができる。

製鉄用の熱風炉においては、直径10m、高さ50mに及ぶ耐火レンガの充てん層数個に、1200℃近傍で蓄熱をおこない、毎分数トンの千度を越える熱風を得ている<sup>7)</sup>。

3.2.2 ソーラーハウス<sup>4)</sup>

動力を必要とせず、太陽エネルギーで夜間暖房をするパッシブソーラーハウスにおいては、図-8に示すような、コンクリート壁あるいは水タンク付の壁が用いられ、昼間太陽光を受けて蓄熱すると同時に、対流で室内を暖房し、夜間は壁からの輻射で暖房する。

水の少ない乾燥地や、氷結の恐れの大い寒冷地においては、水を用いた太陽集熱器の代わりに、空気式の集熱器が用いられる。この種の集熱器と組み合わせて、碎石の充填層を用いた蓄熱器が空気を熱媒として使用される。

3.2.3 土壌蓄熱<sup>8)</sup>

季節蓄熱に利用される方式として土壌蓄熱がある。土壌蓄熱の規模としては、一家屋用のものから地域全体に及ぶものまで、様々な計画がなされている。図-9に一家屋用の代表的なシステムを示した。このシステムでは、地下4mに埋めた表面積300㎡の同心円筒状のラジエータで、太陽熱を夏季に貯蔵し、冬季に使用しようというものであって、シミュレーションによれば、当初蓄熱した熱量の45%が地表から空中へ、31%が土中へ伝熱で逃げ、残る24%が回収できる熱量であると言う。

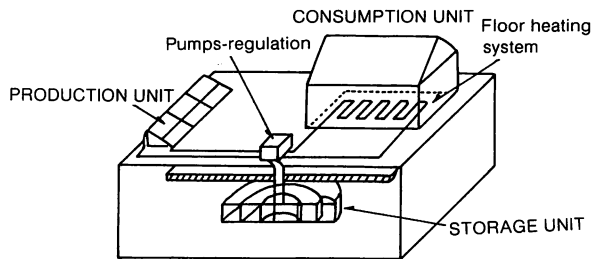


図-9 土壌蓄熱システムの模式図<sup>8)</sup>

3.3. 固液複合型

固体顕熱利用型では、熱媒として主に気体を用いるのに対し、熱容量の大きな液体を熱媒体として用い、この液体と固体の双方に熱を貯蔵しようという方式が固液複合型である。使われる物質はこれまでに示したものの組合せである。

固体に天然の碎石と砂を2対1で、液体に合成熱媒油を用いたシステムの例を図-10に示す<sup>4)</sup>。これは太陽熱発電用に計画されたもので、蓄熱量180MWhを持つ大型のシステムである。

土壌蓄熱の一種で季節蓄熱の方式として、図-11に示すような、地下帯水層を利用するものがある<sup>9)</sup>。これは地下の、不透水層にはさまれた帯水層に、温水をポンプで送り込んで、土壌と地下水に蓄熱し、必要時に地下水をポンプで汲み上げて利用しようというものである。

ソーラーハウスにおいて、水蓄熱器から逃げる熱を積極的に室内暖房に使うことを目的とした。固液複合型蓄熱器の例を図-12に示す<sup>4)</sup>。太陽集熱器で獲得した

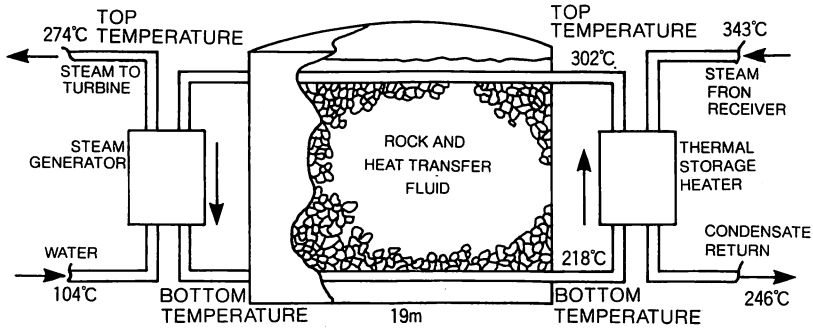


図-10 砕石と熱媒油を用いた蓄熱装置<sup>4)</sup>

砕石：10,000トン、油：1,200m<sup>3</sup>、蓄熱量180MWh

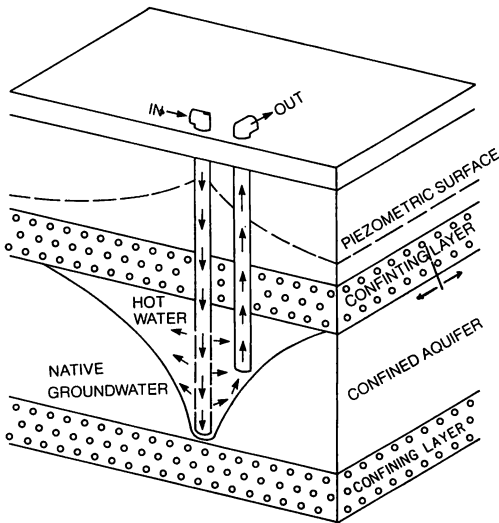


図-11 地下帯水槽を利用する蓄熱<sup>9)</sup>

熱は、水槽およびその周囲の砕石に貯蔵され、強制空気流により室内暖房をおこなっている。

3.4 吸着熱利用蓄熱器<sup>10)</sup>

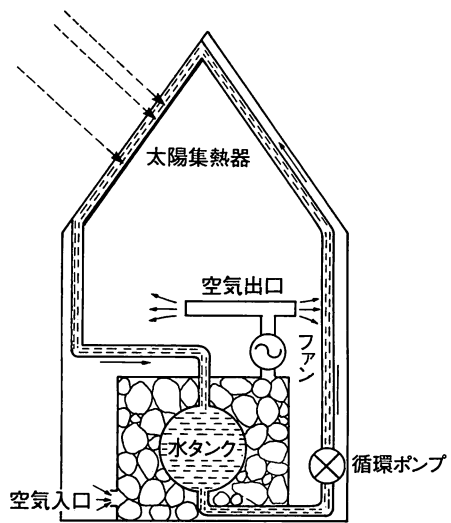
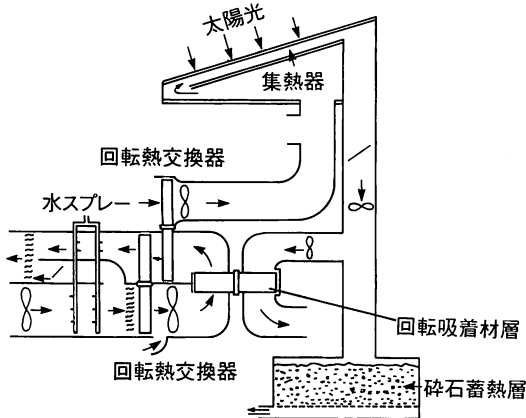


図-12 固液複合蓄熱器を用いたソーラーハウス<sup>4)</sup>

物質に物理吸着するときに発生する吸着熱を利用した蓄熱は、物質が化学的な変化を受けていないため、広い意味での顕熱利用蓄熱といえる。

表2 主な吸着材の熱物性値<sup>10)</sup>

	charcoal	activated alumina	silica gel	4 A	5 A	13 X
Maximum capacity kg H <sub>2</sub> O/kg adsorbent	0.4	0.19	0.37	0.22	0.22	0.30
Heat of adsorption (average) kJ/mol H <sub>2</sub> O adsorbed	41.8	44.7	46.0	79.4	75.2	79.4
Energy stored kJ/kg adsorbent	920	472	945	970	920	1330
adsorbent specific heat kJ/kg/°C	1.09	1.00	0.88	1.05	1.05	0.92
energy density kJ/kg	1000	523	991	1020	974	1370
adsorbent density kg/m <sup>3</sup>	480	890	670	780	680	600
energy density kJ/m <sup>3</sup>	481×10 <sup>3</sup>	464×10 <sup>3</sup>	665×10 <sup>3</sup>	796×10 <sup>3</sup>	664×10 <sup>3</sup>	823×10 <sup>3</sup>

図-13 吸着材利用の空調システム<sup>11)</sup>

主な吸着材である、活性炭、活性アルミナ、シリカゲル、ゼオライトの水の吸着時における熱物性値を表2に示した<sup>10)</sup>。表1に示した顕熱利用蓄熱材の蓄熱密度に比べて、著しく大きな値であることがわかる。吸着熱利用の場合、蓄熱材の気密を保つことにより、蓄熱期間を長期にとることが出来る利点があるが、高温での吸着水量は常温に比べると著しく低下するため、高温利用には不向きであり、乾燥・冷房目的に適している。

太陽熱を熱源とした、吸着材暖冷房システムの例を図-13に示す<sup>11)</sup>。吸着材で乾燥した空気に水を吹き込んで冷房を、湿った空気を吸着材層に流すことにより、暖房用の温風を得ようと言うものであって、太陽熱は吸着材層に吸着力を持たすための乾燥(蓄熱)に使用している。

#### 4. おわりに

現在使われている蓄熱器の大部分が顕熱利用のものであることは、この種の蓄熱器の経済性の高さに負う

ところが大きい。いかに熱的な特性の高い蓄熱器といえども、高価であれば、熱のような付加価値の低いものを貯蔵する手段としては、失格である。顕熱利用蓄熱器は構造が単純であり、容器等にも新材料を開発する必要が少なく、必要な耐久性に応じたシステムの製作が、比較的容易な蓄熱器である。

顕熱利用蓄熱における蓄熱技術としての今後の課題は、逃げる熱をいかに有効利用するか、あるいは逃げた後にも、いかに有効率の熱を確保しておくか、という点に集約されよう。

最後にこの小文の寄稿の機会を与えられた、本誌編集部各位に深謝して結びとしたい。

#### 参考文献

- 1) 田中俊六; 太陽熱冷暖房システム (1977), オーム社。
- 2) 野口哲男; 太陽エネルギーの産業用への利用技術(1982), フジテクノシステム。
- 3) 一色尚次; 廃熱回収利用システム実用便覧(1980), フジテクノシステム。
- 4) G. Wettermark et al.; Storage of Heat (1979), Swedish Council for Building Research.
- 5) 月尾嘉男; 太陽エネルギー等の長期蓄熱による融雪システムに関する調査研究報告書(1982), 機械システム振興協会。
- 6) F. W. Schmidt et. al.; Thermal Energy Storage and Regeneration (1981), McGraw-Hill.
- 7) E. G. Kovach; Thermal Energy Storage (1976), Pergamon Press.
- 8) G. Vachaud et. al.; Proc. ISES (1979), 625~628.
- 9) F. J. Molz et. al.; Proc. ISES (1976), 238~244.
- 10) R. A. Shigeishi et. al.; Solar Energy, vol. 23 (1979), 489~495.
- 11) B. Shelpuk; Proc. Desiccant Cooling Conf. (1977), Solar Energy Research Institute (Colorado)

