

高密度ポリエチレン潜熱蓄熱の 二次元モデルによる伝熱解析

Heat Transfer Analysis with Two-dimensional Model on
Latent Thermal Energy Storage Unit using HDPE Rods

金 成 克 彦*
Katsuhiko KANARI

神 本 正 行**
Masayuki KAMIMOTO

阿 部 宜 之*
Yoshiyuki ABE

高 橋 義 夫*
Yoshio TAKAHASHI

坂 本 龍 二*
Ryuji SAKAMOTO

小 沢 丈 夫***
Takeo OZAWA

abstract

Computer simulations by a two-dimensional model have been performed on the latent thermal energy storage unit using form-stable high density polyethylene (HDPE) rods. In the model, temperature distributions in the radial and longitudinal direction of the HDPE rods are taken into accounts. The effects of parameters, such as the diameter of rods, the height of storage unit and the flow rate of heat transfer fluid, on the discharge characteristics have been quantitatively analyzed. The computer simulation can be used effectively in designing the HDPE storage unit.

Key Word : Heat Transfer Analysis, Computer Simulation, Phase Change,
Latent Thermal Energy Storage Unit, High Density Polyethylene

1. 結 言

著者らは、高密度ポリエチレン (High Density Polyethylene ; HDPE) の融解潜熱を利用した潜熱蓄熱装置を、太陽熱利用を主な目的として、開発してきた^{1)~4)}。この潜熱蓄熱装置の特徴は、1) 棒状の形状安定化 HDPE とエチレングリコール (Ethylene Glycol ; EG) とを直接接触熱交換させていること、2) 蓄熱装置内部は温度成層型の温度分布になっていることである。これらの特徴により、一定流量だけでなく、種々の実用条件のもとでも、潜熱蓄熱の性能が十分発揮されている。すなわち、140°C 以上の熱をコンパクトに蓄え、127°C 以上で効率良く放熱できる。これらは、すでに実験的に実証された^{1)~3)}。さらに、経済性の検討の結果、空調用太陽熱利用システム、廃熱回収利用システムに適していることが明らかにされた⁵⁾。

これらの実験により、試作装置での限られた条件下の装置特性の把握は可能であるが、それ以外の条件で

の特性を予測、把握したり、実用的な蓄熱装置の最適な設計と運転法のための知見を得るためには、シミュレーションが必要不可欠である。

潜熱蓄熱のシミュレーション法として、各種の方法が報告されているが⁶⁾、厳密解法や近似解法などの方法で解析解が得られるのは、無限平板モデルなどの単純な問題のみであり、しかも適用条件も限られる。差分法や有限要素法などの数値解法では、解析解の得られない複雑な問題でも、空間を分割した各要素の温度が近似的に求められるので実用的である。

この観点から、著者らは、一次元モデルによる差分法でシミュレーションを行ってきた^{1), 4), 6)}。ここでは、

* 電子技術総合研究所エネルギー貯蔵研究室 主任研究官
Electrotechnical Laboratory Energy Storage
Section Senior Researcher

** 電子技術総合研究所太陽エネルギー研究室 主任研究官
Electrotechnical Laboratory Solar Energy
Applications Section Senior Researcher

*** 電子技術総合研究所エネルギー貯蔵研究室 室 長
Electrotechnical Laboratory Energy Storage
Section Chief of Section

HDPE棒の軸方向にのみ分割し、その要素間の熱収支を基にした差分式を解いており、HDPEの潜熱を熱容量に含ませた。この一次元モデルによる解析を行ったのは、実際に用いたHDPE棒の直径が小さく（直径約0.004 m）、EGの流速も小さいため、HDPE棒の半径方向の温度分布が無視できると考えたからである（Appendix 参照）。しかし、より太いHDPE棒を用いるなど、棒の半径方向の熱伝導が無視できなくなる場合には、二次元モデルにより解析しなければならない。

そこで、本報告では、半径方向の熱伝導も考慮した二次元モデルによる差分法により、HDPE潜熱蓄熱装置の伝熱特性へのHDPE棒の直径、蓄熱装置の高さの影響およびEGの流速の影響についての検討結果を示す。

なお、文中の記号の定義、意味については文末に示した。

2. 解析の方法

2.1 計算モデルおよび仮定

HDPE潜熱蓄熱装置では¹⁾、図1に模式的に示したように多数のHDPE棒の間にEGを流して直接接触熱交換させることにより蓄放熱させる。蓄熱時はEGを蓄熱装置の上部から下部へ、放熱時は下部から上部へ流すことにより、蓄熱装置の内部は温度成層型の温度分布になっている。そこで、下記の仮定をおいて計算を行った。

- 1) EGは棒の間を均一に流れており、EG内の水平方向の温度分布は無視できる。
- 2) HDPEとEGの熱物性の温度変化は無視する。（ただし、HDPEの熱容量の温度変化は別途考慮した。）
- 3) 装置からの熱損失は無視する。
- 4) HDPEとEG以外の構造材料などを無視する。

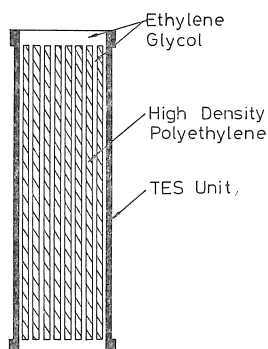


図1 Side View of Simplified Model of the HDPE Thermal Energy Storage Unit.

る。

EGが均一に流れており、EG内の水平方向の温度分布が無視できることは、すでに実験的に確かめられている^{1)~3)}。EGの均一な流れを維持することは、高い性能を実現するための必須条件である。短時間に放熱させる場合には、装置からの熱損失は、EGにより運ばれる熱量と比べ小さいので無視し得る。また、実規模の大きな蓄熱装置では、HDPE、EG以外の材料の熱容量は相対的に小さいので、(4)の仮定は妥当と思われる。

2.2 基礎式

HDPEとEGでの熱収支をとると、基礎式は下記のようなになる。

HDPE

$$c_p \rho_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = k_p \left(\frac{\partial^2 T_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_p}{\partial r} \right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

EG

$$c_f \rho_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = -c_f \rho_f u \frac{\partial T_f}{\partial x} + k_f A_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} + Sh(T_p - T_f) \quad \dots\dots\dots(2)$$

初期条件、境界条件

放熱開始時には、蓄熱装置内温度は均一様であり、装置からの熱損失は無視しているから、次の条件が設定される。

$$t=0 \quad T_p = T_f = T_a \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$x=0 \quad T_f = T_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\partial T_p / \partial x = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$x=L \quad \partial T_p / \partial x = \partial T_f / \partial x = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$r=0 \quad \partial T_p / \partial r = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$r=d \quad k_p \partial T_p / \partial r = -h(T_p - T_f) \quad \dots\dots\dots(8)$$

2.3 無次元化

(1)~(8)式を無次元化するのに、以下の無次元変数と無次元パラメータを用いた。

無次元変数、無次元パラメータ

$$\theta = (T - T_i) / (T_c - T_i) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$X = x / L \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$R = r / L \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\tau = ut / L \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\phi = V_p / (V_p + V_f) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\Psi = L / d \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$St = h / (c_f \rho_f u) \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$Bi = hd / 2k_p \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\alpha = k_f / k_p \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\beta = c_f \rho_f / (a_p \rho_p) \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$Ste = c_p(T_c - T_i) / \Delta H \dots\dots\dots(19)$$

$$\theta_a = (T_a - T_i) / (T_c - T_i) \dots\dots\dots(20)$$

以上に示した無次元変数，無次元パラメータを用いて次の式を得た。

HDP E

$$\frac{\partial \theta_p}{\partial \tau} = \frac{\beta St}{2Bi\psi} \left(\frac{\partial^2 \theta_p}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \theta_p}{\partial R} \right) \dots\dots\dots(21)$$

EG

$$\frac{\partial \theta_f}{\partial \tau} = -\frac{\partial \theta_f}{\partial X} + \frac{4\phi\psi St}{1-\phi} (\theta_p - \theta_f) + \frac{\alpha St}{2Bi\psi} \cdot \frac{\partial^2 \theta_p}{\partial X^2} \dots\dots\dots(22)$$

初期条件，境界条件

$$\tau=0 \quad \theta_p = \theta_f = \theta_a \dots\dots\dots(23)$$

$$X=0 \quad \theta_f = 0 \dots\dots\dots(24)$$

$$\partial \theta_p / \partial X = 0 \dots\dots\dots(25)$$

$$X=1 \quad \partial \theta_p / \partial X = \partial \theta_f / \partial X = 0 \dots\dots\dots(26)$$

$$R=0 \quad \partial \theta_p / \partial R = 0 \dots\dots\dots(27)$$

$$R=1/\psi \quad \partial \theta_p / \partial R = -Bi(\theta_p - \theta_f) \dots\dots\dots(28)$$

2.4 差分式および安定化条件

計算は放熱過程について行ったが，そのとき，軸方向を100分割，HDP E棒の半径方向を3～6分割して計算を進めた。(21)～(28)式を参考に，各要素内の熱収支を考慮しつつ差分式を組み立てると下記の式が得られる。なお，下記の式で， $\theta_f^n(i)$ や $\theta_p^n(i, j)$ の括弧の中の*i*，*j*は，それぞれ，蓄熱装置入口から*i*番目の，HDP E棒中心から*j*番目の要素を表わし，肩の整数*n*は， $\tau=0$ からの時間ステップ数を表わす。

初期条件

$$\theta_f^0(i) = \theta_p^0(i, j) = \theta_a \dots\dots\dots(29)$$

HDP E

$$\begin{aligned} \theta_p^{n+1}(i, j) = & \theta_p^n(i, j) \\ & + \frac{\beta St}{2Bi\psi} \left(\frac{\theta_p^n(i+1, j) - 2\theta_p^n(i, j) + \theta_p^n(i-1, j)}{\Delta X^2} \right. \\ & + \delta_1(j) \frac{\theta_p^n(i, j-1) - \theta_p^n(i, j)}{\Delta R} \\ & \left. + \delta_2(j) \frac{\theta_p^n(i, j+1) - \theta_p^n(i, j)}{\Delta R} \right) \Delta \tau \dots\dots\dots(30) \end{aligned}$$

EG

$$\begin{aligned} \theta_f^{n+1}(i) = & \theta_f^n(i) \\ & + \left(\frac{\alpha St}{2Bi\psi} \cdot \frac{\theta_f^n(i+1) - 2\theta_f^n(i) + \theta_f^n(i-1)}{\Delta X^2} \right. \\ & + \frac{4\phi\psi St}{1-\phi} (\theta_p^n(i, m) - \theta_f^n(i)) \\ & \left. - \frac{\theta_f^n(i-1) - \theta_f^n(i)}{\Delta X} \right) \Delta \tau \dots\dots\dots(31) \end{aligned}$$

ここに， $\delta_1(j)$ ， $\delta_2(j)$ は，

$$\delta_1(j) = \frac{2(Re(j) - \Delta R/2)}{(Re(j) + \Delta R/2)^2 - (Re(j) - \Delta R/2)^2} \dots\dots\dots(32)$$

$$\delta_2(j) = \frac{2(Re(j) + \Delta R/2)}{(Re(j) + \Delta R/2)^2 - (Re(j) - \Delta R/2)^2} \dots\dots\dots(33)$$

であり， $Re(j)$ は，HDP E棒内の*j*番目の格子点の棒の中心からの距離である。

安定化条件

$$\frac{\beta St}{2Bi\psi} \left(\frac{2}{\Delta X^2} + \frac{\delta_1(j) + \delta_2(j)}{\Delta R} \right) \Delta \tau < 1 \dots\dots\dots(34)$$

$$\left(\frac{\alpha St}{2Bi\psi} \cdot \frac{2}{\Delta X^2} + \frac{4\phi\psi St}{1-\phi} + \frac{1}{\Delta X} \right) \Delta \tau < 1 \dots\dots\dots(35)$$

(34)式～(35)式の安定化条件より求められる最小の時間間隔の約1/10の間隔($\Delta \tau = 0.0001 \sim 0.0005$)で計算を行った。以上の条件により計算される総放熱量は，理論蓄熱量と0.1%以下で一致した。

2.5 物性値と設計，運転パラメータ

シミュレーション計算に用いた材料の物性値を表1に示した。また，設計，運転のパラメータとそれから求められる無次元パラメータの代表値を表2にまとめた。HDP Eの潜熱は，126°C～127°Cの熱容量に加え，この温度範囲では β の代わりに β^* を用いる。また，完全放熱までの全放熱量は， θ_a から $\theta=0$ までのHDP EとEGの顕熱と潜熱の和である。

Table 1 Thermophysical Properties of Materials

Thermophysical Properties			
$k_p = 0.25$	Wm ⁻¹ K ⁻¹	$T_c = 127$	°C
$\rho_p = 880$	kgm ⁻³	$c_f = 0.26$	Wm ⁻¹ K ⁻¹
$c_p = 2.54$	kJkg ⁻¹ K ⁻¹	$\rho_f = 1024$	kgm ⁻³
$\Delta H = 192.3$	kJkg ⁻¹	$c_f = 2.918$	kJkg ⁻¹ K ⁻¹

Table 2 Standard Values of Design Parameters and Operating Conditions and their Dimensionless Parameters

Design Parameters and Operating Conditions			
$d = 0.004$	m	$T_i = 107$	°C
$L = 2$	m	$T_b = 107$	°C
$u = 0.00147$	ms ⁻¹	$h = 50$	Wm ⁻² K ⁻¹
$T_a = 147$	°C		
Nondimensional Parameters			
$\phi = 0.6$		$\alpha = 1.04$	
$Bi = 0.4$		$\beta = 1.3368$	
$St = 0.0114$		$\beta^* = 0.0174$	
$\psi = 500$		$\theta_a = 2.0$	
$Ste = 0.2642$			

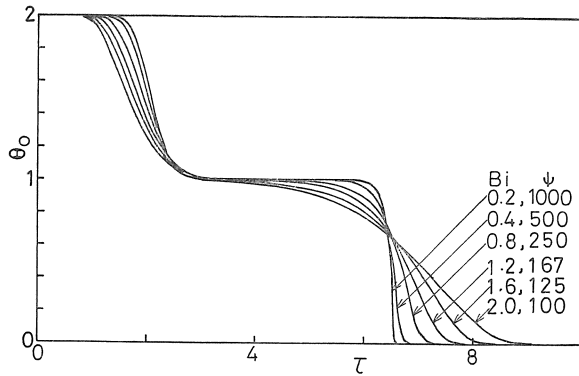


図2 Time Variation of Calculated Outlet Temperature for Indicated Bi and U Values.

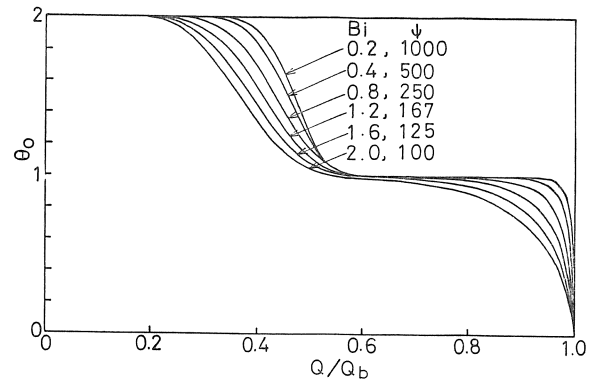


図3 Relations between Outlet Temperature and Heat Extraction Fraction for Indicated Bi and U Values.

3. 計算結果および考察

3.1 HDPE蓄熱装置の放熱特性

(1) Bi と Ψ の影響 (HDPEの形状の効果)

表2の無次元パラメータのうち Bi と Ψ のみを $Bi = 0.2 \sim 2$, $\Psi = 100 \sim 1,000$ の範囲で Bi と Ψ の積が一定 (200) になるよう変化させた時の放熱特性を調べた。これは、HDPE棒の長さ、すなわち、蓄熱装置の高さを変えずに ($L=2$ m), 棒の直径を 0.002m から 0.02m まで変化させたことに対応する。この場合、 Bi が大きく、 Ψ が小さいほど棒の直径が大きく、伝熱面積が小さいことに対応する。

EGの出口温度の時間変化を求めて図2に示した。 Bi が小さく Ψ が大きいほどHDPE棒の結晶温度に対応するプラトーが長く、また転移完了後、潜熱の放出が止まると、EGの出口温度が急速に低下する。逆に、 Bi が大きく Ψ が小さいと、プラトーは出にくくなり、放熱温度がさがり、放熱時間も長くなる。これは、伝熱面積が小さく、HDPEとの熱接触が不十分なままにEGが外界へ流出することによる。

図2の結果により、放熱率 (Q/Q_b) と出口温度の関係を求めて図3に示した。図2と同様に、 Bi が小さく Ψ が大きいほどプラトーが長くEGの出口温度が急速に低下する前に大部分の熱が回収できる。

放熱に伴い、出口温度は低下する。一方、一定温度以下の熱は、利用できない場合がある。そこで、利用可能な下限温度を、放熱終止温度 (θ_e) と呼ぶ。図3より、放熱終止温度が 0.9, 0.8, 0.65 のときの放熱率を求めて、 Bi との関係を図4に示した。装置の仕様により異なるが、仮に、放熱終止温度が 0.9 で放熱率も 0.9 以上となることを蓄熱装置に要求するときは、棒のアスペクト比は 200 以上 ($L=2$ m で $d < 0.01$ m) である必要があることが図4よりわかる。放熱終止温度における放熱量は、実際の蓄熱容量に対応し、このときの放熱率は材料の利用率に対応する。

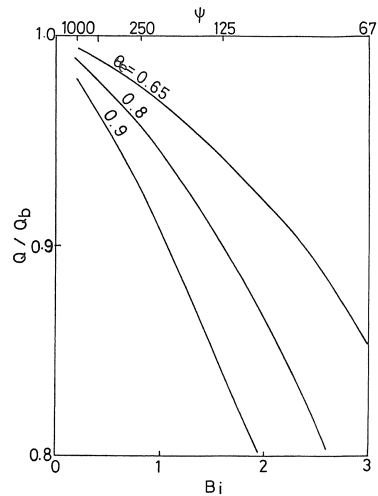


図4 Relations between Heat Extraction Fraction at Indicated Final Outlet Temperature and Biot Number.

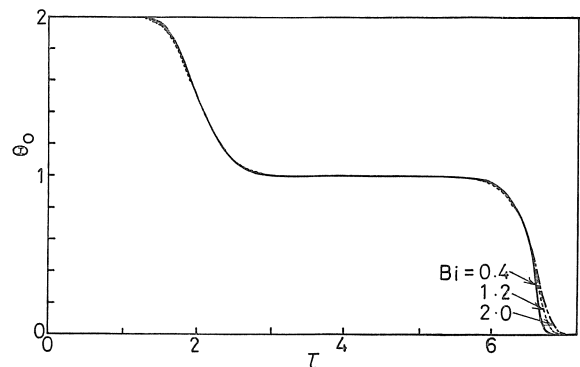


図5 Time Variation of Outlet Temperature for Indicated Bi Values.

(2) Bi の影響 (HDPE棒の径の影響)

表2の無次元パラメータのうち Bi のみを 0.2-2.0 と変えた時の放熱特性を調べた。これは、HDPE棒のアスペクト比を変えずに ($\Psi=500$), 棒の直径を 0.002 m ~ 0.02 m に変化させたことに対応する。 Bi のみが大きいことは、棒の長さ (蓄熱装置の高さ)、直径とも大きいことに対応する。

EGの出口温度の時間変化を求めて図5に示したが、この場合には、図2とは異なり、放熱特性の変化

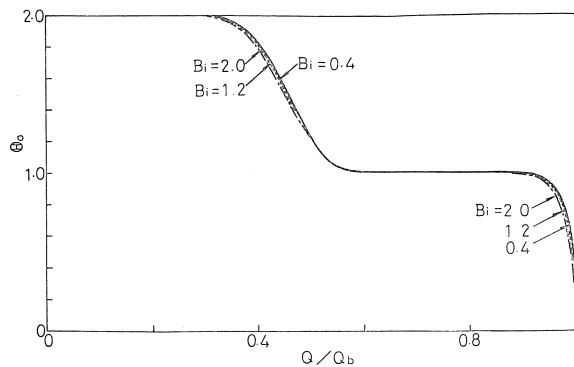


図6 Relations between Outlet Temperature and Heat Extraction Fraction for Indicated Bi Values.

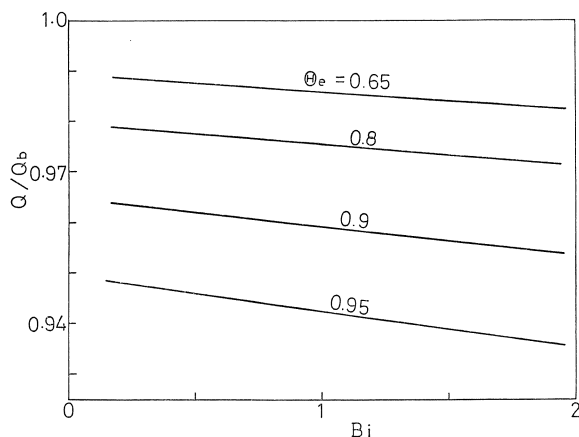


図7 Relations between Heat Extraction Fraction at Indicated Final Outlet Temperatures and Biot Number.

は少ない。また、放熱率とEGの出口温度との関係を図6に、 Bi との関係を図7に示したが、同様に、 Bi の影響は小さい。これは、 ψ が一定のため、棒の直径が大きくても、棒の長さ（蓄熱装置の高さ）が長くなるので、伝熱面積は変わらず、放熱特性の低下が避けられるからである。

上記の結果から、太いHDPE棒を用いる必要がある場合、棒の長さ（蓄熱装置の高さ）を長くすれば、伝熱特性の低下が避けられるが、実際には、システム条件から蓄熱装置の蓄熱容量、蓄放熱時間がまず決められるので、蓄熱容量と蓄放熱時間が一定であれば、蓄熱装置の高さを高くすると、蓄熱装置の直径が小さくなり、流速も増える（ St が変わる）。このため、次に述べる St の放熱特性への影響も考慮しなければならない。

(3) St の影響（EGの流速の影響）

St が、0.0114, 0.0057, 0.0029, 0.0014のときの放熱特性を調べた。 St は、EGの流速と熱伝達率とに関係する。流速が変化すると熱伝達率も変わるが、熱伝達率の変化量の方が小さいので、定性的には、 St を変えることは、EGの流速を変えたことに相当する。その他のパラメータは一定とした。

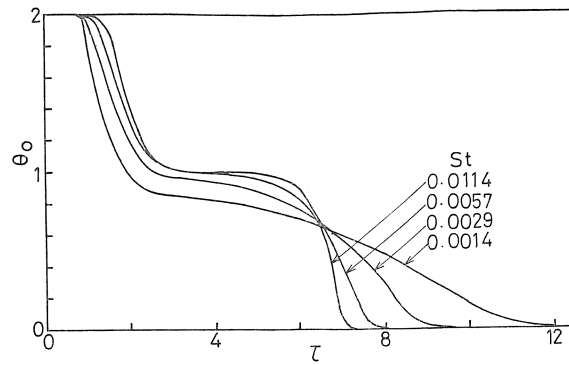


図8 Time Variation of Outlet Temperature for Indicated St Values.

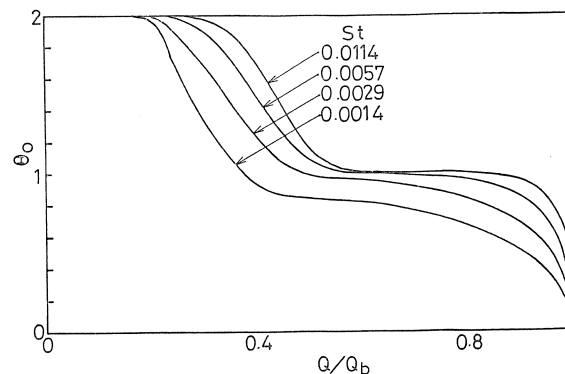


図9 Relations between Outlet Temperature and Heat Extraction Fraction for Indicated St Values.

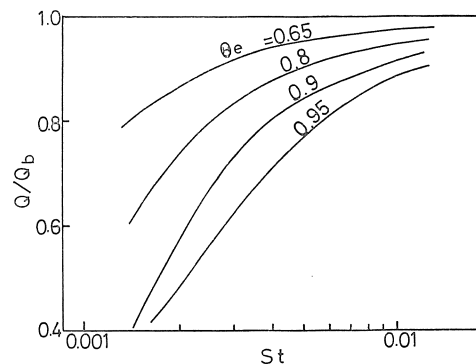


図10 Relations between Stanton Number and Heat Extraction Fraction at Indicated Final Outlet Temperatures.

EGの出口温度の時間変化を図8に示したが、 St が0.0057以上では結晶化温度に対応するプラトーが見られるが、それ以下ではプラトーの長さは短くなり、プラトーの温度も結晶化温度よりかなり低下する。

図8より出力温度と放熱率との関係を求めて図9に示した。さらに、放熱終止温度と放熱率を求めて、 St との関係を図10に示した。 St が小さいと放熱率、出力温度とも急速に低下するのがわかる。これは、EGの流速が大きくなると、EGによる熱の取り出しに対して、HDPEからEGへの熱の供給が追い付かなくなり、HDPE棒の表面温度が低下することによる。

以上の結果より、例えば放熱終止温度が0.9以上で、

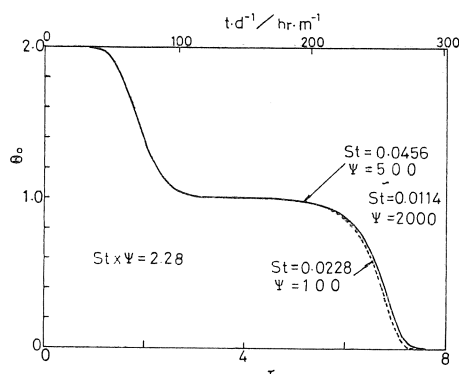


図11 Time Variation of Outlet Temperature for Indicated Stanton Values and Aspect Ratios of HDPE Rods.

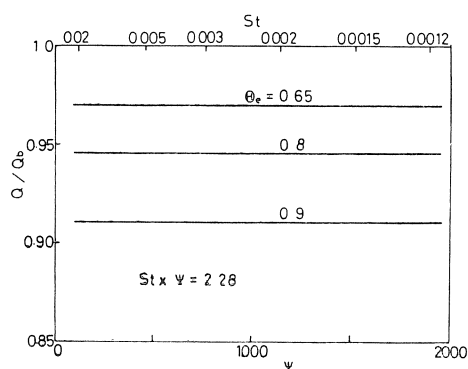


図12 Relations of Heat Extraction Fraction with Aspect Ratio of HDPE Rods and Stanton Number at Indicated Final Outlet Temperatures.

放熱率も0.9となることを蓄熱装置に要求するとき、 St が0.0075以上である必要があることがわかる。

(4) Ψ と St の積の影響

これまで、HDPE棒の形状やEGの流速の影響を個別に扱ってきた。これらの影響を総合的に扱うために、 Ψ と St の積を一定(2.28)として、 Ψ を変化させ(それに応じて St も変え)、放熱特性の変化をみた。その結果を図11、図12に示す。ここで明らかのように、 Ψ と St の積が一定であれば、放熱特性はほとんど変化しない。

これまでの検討では、図5などに見られるように、無次元時間(τ)を横軸として、放熱特性を示してきたが、パラメータの変化により τ が一定でも放熱の実時間は変わる。これに対して、 Ψ と St の積が一定であれば、 τ に t/d 比例するから、その値も図11の横軸に加えた。

3.2 一次元モデルによる解析法の適用範囲

本解析法は、3.1に述べたように、HDPE棒内の温度分布が無視出来ない場合の蓄熱装置の放熱特性の評価にも有効であることを示したが、これまでの一次元モデルによる解析法と比べて4倍以上の計算時間を

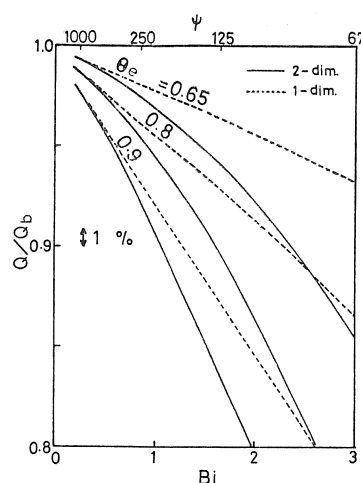


図13 Comparison between Heat Extraction Fraction Vs. Biot Number Calculated by Two-dimensional Model and that by One-dimensional Model.

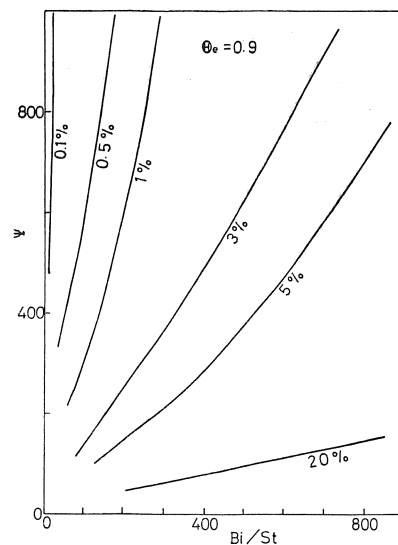


図14 Difference between Heat Extraction Fraction at $\theta_e=0.9$ Calculated by Two-dimensional Model and that by One-dimensional Model.

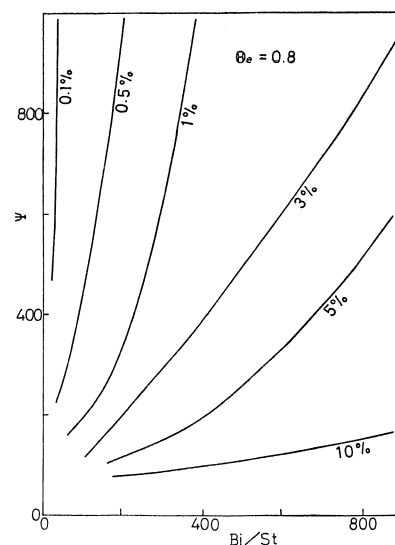


図15 Difference between Heat Extraction Fraction at $\theta_e=0.8$ Calculated by Two-dimensional Model and that by One-dimensional Model.

必要とする。したがって、HDPE棒の半径方向の温度分布が無視できる場合には、これまでの一次元モデルによる解析法を用いたほうがよい。そこで、両方法の比較を行った。

シミュレーションによって蓄熱装置の性能を評価するのに、ある温度まで出力温度が低下したときの放熱率を求めるのが妥当である。

図13には、2つの方法による放熱率の計算結果を示した。また、放熱終止温度が0.9、0.8のときの放熱率の差(%)を求めて、 Ψ と Bi/St に対して、それぞれ図14、図15に示した。 Ψ は伝熱面積に対するパラメータであり、 Bi/St は半径方向の伝熱の速さに関するパ

ラメータである。

目的によって異なるが、両者の差を仮に3%以下にしたい場合には、

$$\psi > 1.4 Bi / St \dots \dots \dots (36)$$

の条件を満足すればよいことが図14、図15より分かる。すなわち、(36)式が成立する場合には、3%の誤差を許すとすれば、一次元モデルによる解析法が適用できることを意味する。

4. 結 言

HDPE潜熱蓄熱装置の伝熱解析について、これまでの一次元モデルに半径方向の熱伝導を考慮して二次元に拡張した伝熱解析法を示した。この解析法を用いて、HDPE潜熱蓄熱の出力温度や放熱率に影響する各種パラメータの効果を示し、本解析法はHDPE潜熱蓄熱装置の設計に資することを明らかにした。

Appendix

著者らのこれまでの一次元モデルによるシミュレーションでは、放熱過程だけでなく蓄熱過程でも実験値とシミュレーション結果とは互いに良く一致した。この一次元モデルによる解析法では、HDPE棒の半径方向の温度分布が無視されているので、HDPE棒の半径方向の熱伝導を考慮に入れた二次元モデルによる解析を行い、一次元モデルによる結果との比較を行った。

実験¹⁾⁻³⁾に用いられた表1の条件、物性値により、EGの出口温度の時間変化を求めて図16に示したが、一次元モデルと二次元モデルの計算結果は良く一致している。放熱末期にHDPE棒の温度分布に若干のずれは見られるものの、EG出口温度への影響は少ない。また、放熱終止温度と放熱率との関係でみても(図17)、図16と同様に、両者は良く一致する。このことは、表2の実験条件では、HDPE棒内の半径方向の温度分布がほぼ無視でき、一次元モデルの適用に問題がないことを示す。

記号表

A_f	水平面のEG流路の断面積 [m ²]
Bi	ビオ数
c	比熱容量 [kJkg ⁻¹ K ⁻¹]
d	HDPE棒の直径 [m]
h	HDPE棒からの熱伝達率 [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
ΔH	HDPEの潜熱 [kJkg ⁻¹]
k	熱伝導率 [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
L	HDPE棒の長さ [m]

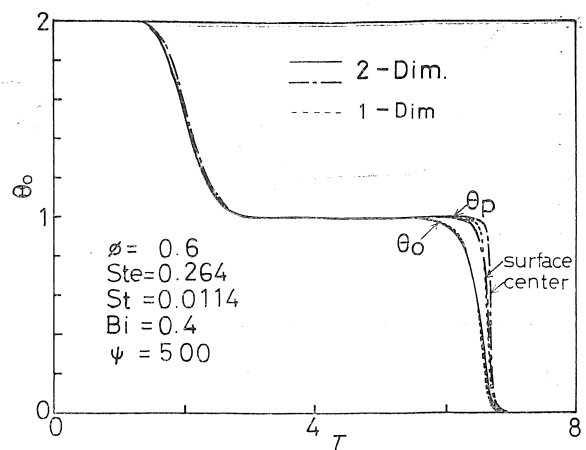


図16 Comparison between Outlet Temperature Vs. Time Calculated by Two-dimensional Model and that by One-dimensional Model.

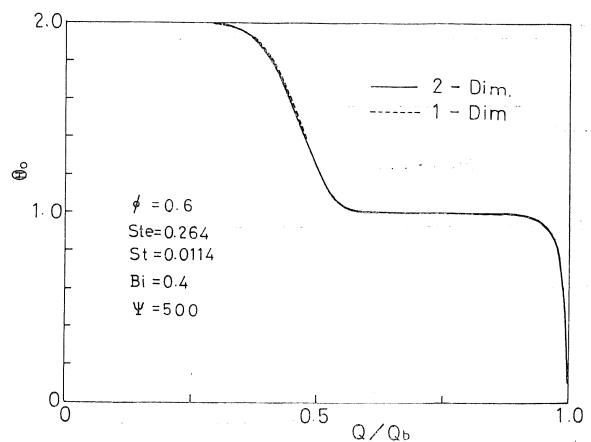


図17 Comparison between Outlet Temperature Vs. Heat Extraction Fraction Calculated by Two-dimensional Model and that by One-dimensional Model.

M	HDPEの半径方向の分割数
N	HDPEの軸方向の分割数
Q	放熱開始後の放熱量 [kJ]
Q_b	完全放熱までの全放熱量 [kJ]
r	HDPE棒の中心からの距離 [m]
R	無次元半径 ($R=r/L$)
S	HDPE棒の単位長さあたりの表面積 [m ²]
St	スタントン数 [$St=h/(c_f \rho_f u)$]
Ste	ステファン数 [$Ste=c_p(T_c-T_i)/\Delta h$]
t	時間 [s]
T	温度 [°C]
T_c	結晶化温度 [°C]
T_a	初期温度 [°C]
T_i	入口温度 [°C]
T_b	完全放熱状態の温度 [°C]
u	EGの流速 [ms ⁻¹]
V	体積 [m ³]

x	入口からの距離 [m]
X	入口からの無次元距離
α	熱伝導率比 ($\alpha = k_f/k_p$)
β	熱容量比 ($\beta = c_f \rho_f / (c_p \rho_p)$)
β^*	潜熱を含んだ熱容量比
θ	無次元温度
θ_a	無次元初期温度
θ_f	熱媒体の無次元温度
θ_p	HDPEの無次元温度
θ_o	出口温度
θ_e	放熱終止温度
ρ	密度 [kgm^{-3}]
τ	無次元時間
ϕ	HDPEの体積分率
ψ	HDPE棒のアスペクト比

添 字

f	EG
p	HDPE

文 献

- 1) 神本正行, 阿部宜之, 高橋義夫, 坂本龍二, 沢田慎治, 金成克彦, 谷辰夫, 小沢丈夫: 電総研研究報告 850号 (1984)
- 2) Y. Abe, Y. Takahashi, R. Sakamoto, K. Kanari, M. Kamimoto, T. Ozawa: *Trans. ASME, J. Solar Energy Eng.*, 106, (1984), 465.
- 3) M. Kamimoto, Y. Abe, S. Sawata, T. Tani, T. Ozawa: *Trans. ASME, J. Solar Energy Eng.* (to be published)
- 4) M. Kamimoto, Y. Abe, K. Kanari, Y. Takahashi, T. Tani, T. Ozawa: *Trans. ASME, J. Solar Energy Eng.* (to be published)
- 5) M. Kamimoto, Y. Abe, S. Sawata, T. Tani, T. Ozawa: *J. Chem. Eng. Jpn.*, (to be published)
- 6) 神本正行, 阿部宜之, 金成克彦: 電総研彙報, 45, (1981), 71

(原稿受理 昭和61年 6月18日)