# エマルジョンの伝熱特性に対する雰囲気温度の影響

日大生産工(院)	○大橋 篤	日大生産工	山﨑 博司
日大生産工	野村 浩	司 日大生産工	氏家 康成

#### 1. 緒言

乳化は、相互に溶け合うことのない油と水 のような流体を混合・均一化し、界面活性剤 などを用いて安定化させる技術であり、現在 では食品分野や化粧品分野、燃料分野などを はじめとした多くの分野で利用されている. 混合液体においては、分子レベルでの混合が 実現されているのに対し、エマルジョンでは 乳化形式や滴直径分布などの内部構造が存在 するため、その性質は極めて複雑な様相を呈 する.この内部構造は、流体力学的性質や熱 的性質に大きく影響し、かつ界面活性剤の性 質や温度によっても変化するため、それらを 設計パラメータとして扱うことで、より高機 能な伝熱媒体の開発に寄与できると考えられ る.

エマルジョンについては、その沸騰特性に 着目し、光学的観察によりその特性を明らか にした研究<sup>(1)</sup>や伝熱特性<sup>(2)</sup>、発泡特性<sup>(3)</sup>などに ついての検討がなされてきた.しかしながら、 その内部構造の複雑性ゆえに、十分な基礎的 知見が得られているとは言い難いのが現状で ある.本研究は、液体の組み合わせの多様性 を伝熱媒体開発に利用することを目途とした ものである.本報告はその一環であり、エマ ルジョン流体の熱伝達に対する雰囲気温度の 影響を調べるとともに、乳化成分を変化させ た場合について検討を行ったので、その結果 について報告する.

#### 2. 実験装置および方法

## 2.1 実験装置

伝熱実験は、密閉型容器内に浸漬された水

平細線について行った.実験装置の概略を図 1 に示す.実験装置は,電極を取付けた実験 容器,電流供給系,計測系および温度制御系 から構成される.実験容器はステンレス製で あり,上部フランジ部に電極,攪拌器および 標準温度計が取り付けられている.容器側面 には凝縮器と導管があり,容器内で発生する 蒸気を凝縮し,容器下部へと還流する.凝縮 器上部には空気袋があり,これによって容器 内は大気圧に保たれている.伝熱面にはPt 細 線を用いる.Pt 細線は定電流回路により直接 電気加熱される.電流供給系は直流安定化電



Condenser
Cooling Tube
Heater
Transformer
Digital Multi-meter
Shunt
DC Power Supply

(a) Stirrer
(b) Balloon
(c) Thermocouple
(c) Temperature Controller
(c) Programmable Scanner
(c) Personal Computer
(c) Controller

Fig.1 Schematics of experimental apparatus.

Effect of Ambient Temperature on Heat Transfer Characteristics of Emulsions Atsushi OHASHI, Hiroshi YAMASAKI, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE 源およびパワーサプライコントローラからな り、PC によって GP-IB 制御される. 電源装置 には、シャントユニットおよびシャントを付 加し補償するとともに、それらのリードバッ ク値を計測することで電流値を求めた. Pt 細 線の温度は、抵抗値変化から決定し、その抵 抗値は Pt 細線間の電流・電圧値から求めた. 計測系はデジタルマルチメータ・スキャンユ ニットおよび PC からなり,両者電流供給系 とともに GP-IB 制御されている. 温度制御系 はヒータ,温度制御装置および変圧器からな る.実験は、容器内温度が所定の温度となっ たことを確認後,電流値を変化させて行った. 電圧測定は10s間隔で60s間について行った. 測定終了後,電流値を変化させて行った.実 験範囲は, 熱流束  $q_{w}=10^{4}$  W/m<sup>2</sup> ~10<sup>6</sup> W/m<sup>2</sup> の 範囲とし、雰囲気温度を変化させて伝熱面と 雰囲気温度との温度差  $\Delta T_w$  と熱流束  $q_w$  を測 定した.

#### 2.2 供試エマルジョン

乳化流体は、純水およびパラフィン系炭化 水素、シリコンオイルで構成した.界面活性 剤には、ポリオキシエチレンアルキルエーテ ル(エマルゲン 709、花王(株)、HLB=13.3) およびソルビタンモノオレエート(レオドー ル SP-O10V、HLB=4.3)を使用した.供試エ マルジョンは所定の体積比率で混合し、スク リュー型攪拌器を用いて混合・安定化させ作 成した.界面活性剤の体積割合は 0.02~0.03 とした.供試炭化水素には n-ヘキサン(試薬 特級)、n-ペンタン(試薬特級)を用い体積 割合は 0.2 とし、供試シリコンオイルにはジ メチルシリコンオイル(比重 0.852、動粘度 1.5×10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s)を用い体積割合は 0.8 とした.

#### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 W/Oエマルジョン伝熱実験

図 2 にジメチルシリコンオイルをベース 成分とした油中水滴型エマルジョンを用い, *T<sub>a</sub>*=353 Kにおいて攪拌回転数を変化させた場 合の伝熱特性を示す. 横軸は雰囲気温度と伝



Fig.2 Effect of stirring condition on heat transfer characteristics in water/silicon oil emulsion.



Fig.3 Effect of ambient temperature on heat transfer characteristics in water/silicon oil emulsion.



Fig.4 Heat transfer coefficient in water/silicon oil emulsion.

熱面との温度差,縦軸は熱流束である.図よ り,強い攪拌を加えた場合,低熱流束領域に おいて熱流束の増大が認められた.これは攪 拌を加えることで発生した槽内の流動で伝熱 が促進されたものと考えられる.低攪拌の場 合, $\Delta T_w=20$  K付近において伝熱面温度の低 下が確認できる.この温度領域は水の沸点と ほぼ一致しており,乳化水成分の相変化が発 生し,伝熱が促進されているものと考えられ る.しかし,高攪拌の場合では上記の伝熱促 進は確認できなかった.

図 3 に雰囲気温度を変化させた場合の伝 熱特性を示す.図から,低温度差領域におい ては両者に大きな違いは見られない.また,

 $\Delta T_w$ =20 K以上の高熱流束領域において伝熱 モードの変化が確認できる.  $T_a$ =333 Kの場合 においても、20 K付近で変化が見られている. 水の沸点より十分に低い領域であり、ここで の変化は水の沸騰によるものとは考えにくい.

図4に $T_a$ =535 K, 380 rpm における熱伝達 率変化を示す.横軸は雰囲気温度と伝熱面と の温度差,縦軸は熱伝達率である. $\Delta T_w$ =20 K 付近において熱伝達率の変化が始まっており, 伝熱モードに何らかの変化があったものと考 えられる.同領域には,界面活性剤の曇点が 存在しており,界面活性剤の乳化能変化の可 能性が考えられる.今後より詳細な検討が必 要である.

### 3.2 O/W エマルジョン伝熱実験

図5 にn-ヘキサンを乳化成分とした水中油 滴型エマルジョンにおいて,雰囲気温度を 293 Kから333 Kまで変化させた場合の伝熱 特性を示す. 図から,各雰囲気温度において 熱流束が増大する部分が確認できる.これは, 低沸点成分である n-ヘキサンの沸点付近と一 致しており, n-ヘキサンの沸騰に伴う乳化成 分の相変化によって熱輸送が促進されている と考えられる.また温度差が乳化成分の沸点 を上回った高温度差領域においては,熱流束 の増加量は低温度差領域のそれに比べると小 さくなっている.これは,乳化成分が伝熱面



Fig.5 Effect of ambient temperature on heat transfer characteristics in n-hexane/water emulsion.



Fig.6 Effect of ambient temperature on heat transfer characteristics in n-pentane/water emulsion.

の周囲で気泡を形成し,遷移沸騰が始まった ものと考えられる.遷移沸騰では,伝熱面上 に蒸気膜形成と気泡離脱が断続的に発生し, 伝熱面温度上昇とともに蒸気膜領域が増し伝 熱量は減少するため,熱流束は低下する.

図6 にn-ペンタンを乳化成分とした水中油 滴型エマルジョンにおいて,雰囲気温度を変 化させた場合の伝熱特性を示す.この図でも, 熱流束の増大する領域の存在が確認できる. n-ペンタンにおいても,乳化成分の沸点に起 因する伝熱モード変化があるものと考えられ る.また,低温度差領域では *T<sub>a</sub>*=283 K の方が 熱流束は大きいが,高温度差領域ではその限 りではないことも確認できる.一方で,図 5 で見られた遷移沸騰領域は確認できなかった. これは,実験範囲を $q_w=10^4$  W/m<sup>2</sup>  $\sim 10^6$  W/m<sup>2</sup> の範囲としたためと考えられる.

図7 にn-ヘキサンを乳化成分とした水中油 滴型エマルジョンでの雰囲気温度を変化させ た場合の熱伝達率を示す. 伝熱面-雰囲気温度 差が 10 K 以下の低温度差領域においては, ど の雰囲気温度でも熱伝達率はほぼ一定となっ ているのに対し, 高温度差領域では傾きが大 きくなっている. これは図5 と同じく, n-ヘ キサンの相変化に伴った熱輸送の促進が起き たものと考えられる.

図8 にn-ペンタンを乳化成分とした水中油 滴型エマルジョンでの雰囲気温度を変化させ た場合の熱伝達率を示す.図から,自然対流 域では熱伝達率は緩やかに増加するが,乳化 成分の沸点近傍では傾きが大きくなることが 確認できる.このことから,図6 と同じく乳 化成分の相変化による伝熱促進があると確認 できる.

#### 4. 結言

油中水滴型エマルジョンおよび油中水滴型 エマルジョンの伝熱特性について検討した結 果,以下の結論を得た.

(1) W/O エマルジョンの場合,雰囲気温度条件により,低沸点成分である純水の沸騰で引き起こされる伝熱促進が存在する.また伝熱促進効果は弱攪拌時に顕著である.

(2) 水により沸点の低い炭化水素を混入させた O/W エマルジョンの場合,乳化成分の沸点 領域において相変化に伴った伝熱促進が確認 された.

## 参考文献

- 1) Mori, Y., ほか 2 名, Int. J. Multiphase Flow, 6 (1980),255.
- 2) Lazarenko,B.R., ほか 2 名, Int. J. Heat Mass Transfer, 18(1975), 589.
- 3) Avedisian, C. T., Andres, R. P., J. Colloid



Fig.7 Effect of ambient temperature on heat transfer coefficient in n-hexane/water emulsion.



Fig.8 Effect of ambient temperature on heat transfer coefficient in n-pentane/water emulsion.

Interface Sci., 64 (1978), 438.

- 4) 山崎ほか 2 名, 第 43 回伝熱シンポジ ウム講論集, (2005), 201.
- 5) 山﨑ほか 2 名, 熱工学コンファレンス 2006, (2006), 153.
- 6) 甲藤好郎, 伝熱概論, 養賢堂, (1964), 295-332