



研究ノート

水の不思議

片岡 勲*

The Marvels of Water

Key Words : Reverse Natural Circulation, Shape Memory Alloy, Multiphase Flow, Heat Transfer.

水は我々人間も含めてこの地球上のすべての生命を育んできた物質である。宇宙のどこかには水以外の物質で生命体が存在するかもしれないが、水は、物理的、化学的、生物学的にも極めて特異な性質を持った物質であり、水なしで生命の存在を考えることは極めて難しいことは間違いない。水は様々な意味ですばらしい性質を持った物質である。我々の住む地球が、熱力学的に極めて安定した状態を保っているのは地球上に大量の水があることによる。水の比熱、蒸発潜熱、融解の潜熱は極めて大きい。これにより、太陽からの熱、地球内部からの発熱、地球外部への放射熱と熱収支の中で、地球の表面温度を日本など中緯度地帯では $300\text{K} \pm 20\text{K}$ 程度に保っている。この温度制御性は地球の規模から考えると驚くべき精度であると言える。

筆者の専門とする熱流動工学の立場からも水は様々な分野において、加熱、冷却媒体、エネルギー輸送媒体として最も広く使われている。勿論、これは水が安価にかつ大量に手に入る事も理由の一つであるが、加熱、冷却媒体として水ほど優れたものはないことを忘れてはならない。比熱が大きく、熱伝導度が大きい上に、粘性係数が小さく、熱輸送にとって3拍子そろった性質をもつ。また、化学的にも極めて安定である。さらに、水は極めて高機能の熱制御性を持っている。すなわち、沸騰、凝縮と、融解、凝固である。勿論、他の液体も沸騰、凝縮と、融解、凝固はするわけであるが、水はその潜熱が非常に大

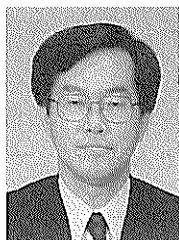
きくまたその沸点や凝固点が熱流動工学的に非常に都合の良い範囲にある。水を伝熱管内に流し壁面を加熱すると熱流束が小さい場合には単相流で冷却が行われるが、熱流束が大きくなり、伝熱面温度がある値を越えると(大気圧で 100°C)沸騰が起こり、大きな熱流束を除去して伝熱面温度を一定に保つ。これは当たり前のことであるが、伝熱流動の立場から見るとその自律的な冷却機能、温度制御性は驚嘆すべきものである。近年、様々な機能性の流体が開発されているが、水はそれ自体、極めて優れた機能性流体である。

また、水には熱流動工学の立場から見ても極めて興味深い性質がある。水は 4°C 以下では冷却されると密度が小さくなる。 4°C 以上の水も含め通常の流体は加熱されると密度が小さくなり、浮力により上昇流が起こる。これが通常の実験である。ところが 4°C 以下の水ではこれとは逆の実験(逆熱対流)が起こるわけである。この水の性質により、海や湖沼において、冬季の凍結は水面から起こり底部は 4°C 程度に保たれて生物の生存が可能となっている。また熱流動工学的に見ても、 4°C 以下の水の様に逆熱対流特性を持つ流体があれば、従来冷却や混合が困難であった上面加熱系や温度成層についても自然対流により冷却が可能となる。残念ながら、水のこうした逆熱対流特性は $0^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$ の狭い範囲に限られている。

そこで筆者らは高温で体積が減少し低温で体積が増加する機能性粒子を用い、こうした逆熱対流流体を開発する研究を行っている。第1図に示すように、高温で収縮、低温で膨脹する粒子を流体中に混入すれば $0^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$ の水と同様の逆熱対流を起こすことが可能となり、粒子の温度特性を調整すれば様々な温度範囲で逆熱対流流体を実現することができる。

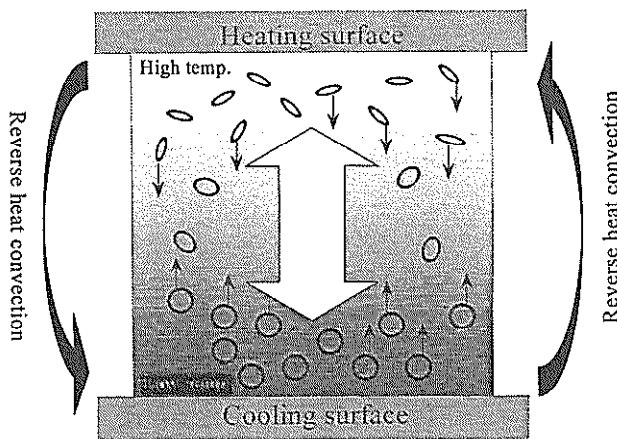
逆熱対流流体としては、機能性粒子の大きさにより二種類のものと考えられる。一つは、機能性粒子

* Isao KATAOKA
1951年3月14日生
1975年京都大学大学院工学研究科修士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科・機械物理工学専攻、教授、工学博士、熱流動工学
TEL 06-6879-7256
FAX 06-6879-7247
E-Mail kataoka@mech.eng.osaka-u.ac.jp

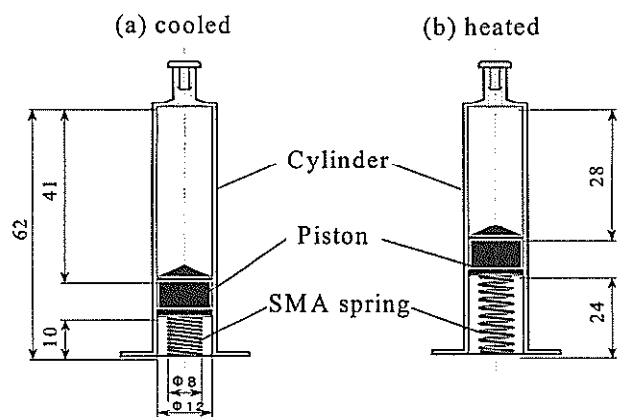


の大きさが大きく、粒子が個々に高温部と低温部の間を往復し、流体の混合を誘起し結果的に逆熱対流特性を発現するものである。もう一つは機能性粒子の大きさが小さく、流体との間に相対速度を持たず、機能性粒子群が流体と共に流動するものである。この場合、個々の機能性粒子の密度変化によって混合物としての混相流体が逆熱対流特性を示す(0℃～4℃の水がこれに近い)。

本研究においては、製作の容易さを考慮して、まず前者の大きなサイズの機能性粒子を作成した。機能性粒子としては、第2図に示すように、温度変化による自発的な体積変化を発生させる為に、形状記憶合金(SMA)のコイルバネと空気を封入したものを作成した。



第1図 逆熱対流の概念図

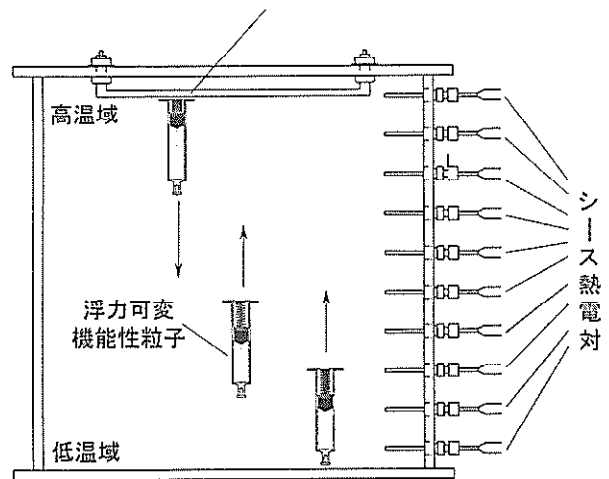


第2図 形状記憶合金を用いた機能性粒子

この粒子は、周囲環境が低温時には空気圧によって膨張することによって浮力を増加させて浮上し、高温時にはSMAが記憶状態に戻る際の力で粒子中の空気を圧縮、浮力を減少させて沈降する機能を有

している。上面加熱系や温度成層が形成されている系においては上方が高温で下方が低温であるので、粒子は上方では熱せられて沈降し、下方では冷却されて浮上して流体を攪乱する。これにより通常とは逆向きの自然対流が発生し熱伝達を促進する。本実験においては、温度によって全長が変化する必要があったため、記憶合金をバネ状にして成形した。

こうして作成した機能性粒子による逆熱対流効果を確かめるために、上面加熱系の水槽を制作して、機能粒子の有無によるそれぞれの水温変化を比較する実験をおこなった。その概略図を第3図に示す。流体を加熱するためのシーズヒーターには市販の棒状の取り付けヒーター(全長270mm(発熱部200mm)、直径8mm、定格電圧100V、容量500W)を2本用いた。



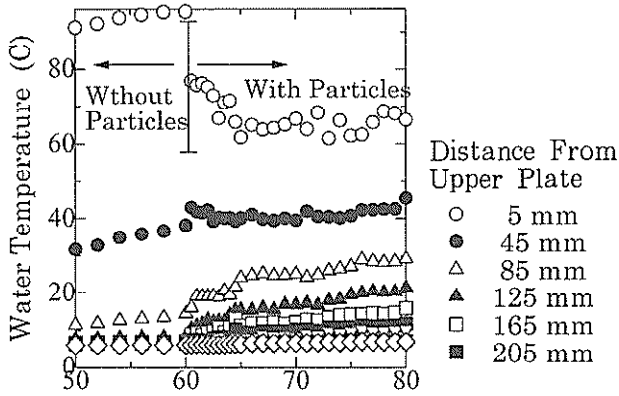
第3図 実験装置概略

この水槽に摂氏約10度の水を注入し、上面をシーズヒーター(80W×2、熱流束は $q=1.59 \times 10^4$ (W/m²))で加熱して、温度成層を作り、その中に第2図に示す機能性粒子を混入させてその挙動を調べた。機能性粒子は期待通り、上部の高温部では形状記憶バネがのびることにより気体空間が収縮して浮力が小さくなり容器下部に沈降し、下部の低温部では、形状記憶バネが空気圧に押されて縮み気体部分が膨張して浮力が大きくなり、浮上した。これにより、機能性粒子は高温部と低温部を往復運動することにより、高温部と低温部の水を混合し、温度を均一化する機能を発現した。非常に初歩的な段階であるが、この機能性粒子を混合した水は逆熱対流流体としての機能を持つことを実証する事が出来た。

こうした、機能性粒子による逆熱対流特性をより定量的に確認するために、上記に実験において、容器内の各部の水温を測定し、機能性粒子が混入した場合としない場合の水温の変化を測定した。実験では粒子を混入しない場合と粒子を途中で混入した場

合との、加熱面からの距離による水温の時間変化を測定し粒子により熱の伝播にどのような影響があるかを比較した。その結果を第4図に示す。図に示されているように、水温の変化は機能性粒子混入により加熱面付近の温度が低下し、下方における水温は明らかに非混入時よりも上昇しており、逆熱対流により上方から下方へ熱輸送が起きていることが示されている。

現在は、機能性粒子として大きなサイズの物のみを作成した段階であるが、目下、様々なサイズや形状記憶合金の温度特性、浮力等を変化させた機能性粒子を開発中であり、これにより、工学的に実用可能な逆熱対流流体を実現しようと試みている。幸い、この技術の開発は科学技術振興事業団の特許化支援事業により、特許出願中であり、独創的成果育成事業として企業と共同開発に取り組んでいる。近い将来、実用的な製品の開発を目指している。



第4図 逆熱対流特性実験結果

