

甲藤好郎先生ご遺稿
「沸騰の科学 (6)」
Science of Boiling (6)

甲藤 好郎 (東京大学名誉教授)

Yoshiro KATTO (Professor Emeritus of The University of Tokyo)

6. 液体と加熱面間の絶縁と復縁

ラテン語の論文

ここで再び、私たちの身近な事柄に目を向けてみましょう。読者の皆さんは、ガスレンジにかけた空だきのフライパン (温度 110–150°C 位) の上に小さな水滴を落とした時など、水滴がジュッと広がって沸騰しながら乾くのをよく知っておられるでしょう。またフライパンの温度がもっと上げられたとすると (200–300°C 位), 落とした水滴がいくつかの小滴に分かれ、フライパンの上でピョンピョン上下にダンスをしながら、蒸発するようになります。しかし、さらに赤熱された厚い鉄板などのように、加熱面の温度がずっと高くなると (300°C 位以上), 水滴はちょうど蓮の葉の上に置かれたときのように丸くなって (難しく言えば回転楕円体のような形をして), 加熱面上に静かに乗ったままの状態になります。そしてこの時、水滴の下面は非常に薄い蒸気膜をはさんで加熱面から完全に切り離されています。つまり、この時の水滴下面は高温の加熱面から薄い蒸気膜を通して熱伝導や熱放射で伝えられる熱を受け、そして水滴下面から蒸発する蒸気が、その圧力で上にある水滴の重さを支えながら、水滴下面の周辺隙間から外部の方へ徐々に流れ出しているのです。

このようにして高温の加熱面と液滴が薄い蒸気膜によって完全に分離され、その結果として加熱面が液体で濡れない現象は、ドイツの医博ライデンフロストが 1756 年に出版した「水の諸特性に関する論文」、これはラテン語で書かれていて 150 ページにわたるものですが、その中にはじめて記述されたのです。ライデンフロストは当時、この現象に関連する正しい科学的知識を持っていたとは必ずしも言い難く、何故なら例えば水滴が蒸発し切った後、いつもスプーンの底に無機物が残る

のを見て、「強い火にさらされると水は土になる」と言ったりしています (実は水に溶けていた不純物が析出するのです)。また蒸発潜熱のことも知らなかった筈で、イギリスのブラック教授 (1 章「沸点と蒸発潜熱」の項参照) が潜熱の考えをはじめて導入したのは、ライデンフロストの論文の出版より後のことであり、しかもブラック教授は、このことを大学の講義では話しましたが、すぐには論文や書物の形で発表はしていません。けれども、これらのことでライデンフロストの功績が消えるものでは決してありません。

そして、ライデンフロスト現象の開始点、すなわち加熱面と水滴の分離状態が得られる最低の加熱面温度のことを「ライデンフロスト温度」と言い、現実には、加熱面上においた液滴が蒸発しきるまでの時間が、一番長くなる時の加熱面温度として測定されています。

核沸騰状態からの遷移

前項で私たちは、加熱したフライパン (あるいはスプーン) の中に水滴を置くと、3つの領域が現れるのを見ました。第1は、比較的低温で水滴が加熱面を濡らし沸騰する領域、第2は分かれた小水滴がダンスをする領域、そして第3は高温で水滴が加熱面から蒸気膜で隔てられている領域です。

もちろん、フライパンと水滴とからなる系には、1個の小さな水滴の他に液体がなく、したがって多量の液体のある普通のプール沸騰とはかなり違う系になります。ただそれにしても、この系は水や蒸気の挙動について、それなりに興味ある大切な問題をいくつか含んでいますので、しばらく見てみることにしましょう。

さて最初、前述の第1の領域から第2の領域への状態の移り変わりを見てみたいと思うのですが、

いま私たちが観察している水滴の状態は、ずっと以前から定常的に加熱面上に続いてきたものではなく、まず乾いた加熱面があって、そこへ水滴を置くことによって初めて出来る状態です。そしてこの時水滴は最初、その下端の球状の凸面がまず加熱面と接し、それから次第に平らに変形して行く筈のものでしょう。だから水滴をごく静かに加熱面上におく場合でさえ、加熱面が非常に高温の場合を除けば、はじめ水滴下端と加熱面の直接接が起こり、またそれに伴う核沸騰が生じるはずであって、実際、前項で述べたライデンフロスト温度より加熱面温度がかなり高い時でも、この初期の固液接触がごく短時間ながら実際に起こることが実験で確かめられています。

したがって、今問題にしている第1の領域から第2の領域への移り変わりにも、この初期の接触プロセスがからんでいます。すなわち、加熱面の温度があまり高くないうちは、加熱面と水滴下端の初期接触の際に発生する蒸気の力が弱く、水滴はそのまま加熱面を濡らしながら加熱面上に広がり、そこに核沸騰の状態を作り出します。しかし加熱面温度が高くなるに従い、初期接触の際に発生する蒸気の力が増して、やがて一部の水を上の方に押し退け、加熱面上への水の広がりを妨げると同時に水滴を分断して第2の領域、つまり小水滴のダンス領域へ移りはじめるのです。

接触面温度及び液体の過熱限界温度

ところで次に、第2の領域から第3の領域への移り変わりの問題、つまり加熱面の温度が上昇してライデンフロスト温度になると、加熱面と液滴の間に完全な絶縁状態がどうして起こるのでしょうか。ただこの問題を考えるには、その準備として、固体壁と液体が初期接触に入る時の固液接触部分の温度、および液体の過熱限界（液相のまま加熱出来る温度の上限値）の2項目について、それぞれ簡単な説明をしておいた方がいいと思います。

①「接触面温度」

熱伝導の理論によると一般に、広く平らな面をもつ2つの大きな物体LとW（物体内の温度がそれぞれ一様で T_L と T_W とします）が、ある瞬間からその平らな面同士でぴったり接触したとすると、その接触面は接触の瞬間から以降、次式で与えら

れる一定の温度 T_i をずっと取り続けることが分かっています。随分不思議に思われるかも知れませんが、この接触面温度 T_i は接触の瞬間から以後ずっと一定に保たれるのです。

$$T_i = (T_W + BT_L)/(1+B),$$

ここに $B = [\lambda_L c_L \rho_L / (\lambda_W c_W \rho_W)]^{1/2}$

この式で λ は熱伝導率、 c は比熱、 ρ は密度であって、添え字Lは一方の物体Lの値を示し、添字Wは他方の物体Wのものを示します。そこでいま、Lが液体、Wが加熱面側の固体としてみましよう。この時、接触面温度について、次のような2つの特徴的な状態があるのに気がきます。まず第1は、加熱面が銅などの時、熱伝導率 λ_W の値が高くしてBの値が非常に小さくなりますから、接触面温度 T_i は接触前の固体Wの温度 T_W とほとんどそのまま近く、一方、第2の状態は、加熱面がガラスなどのとき、熱伝導率 λ_W が低くてBの値が大きくなりますから、接触面温度 T_i は接触前の固体Wの温度 T_W よりかなり低くなります。

②「液体の過熱限界」

前章までの話の中で、飽和温度以上に熱せられた液体、つまり過熱液体の話がたびたび出ました。しかし液体をもっと高温まで加熱することを考える場合には、液体はどこまでも限りなく過熱出来るものではないことに留意する必要があります。というのは、液体が飽和温度より高温になるに従い、液体を構成する分子の中で高いエネルギーを持つ分子の個数が増えていく訳ですが、十分高温になると、それら高エネルギー分子がいっしょに集まって、ある大きさの「気泡核」が液体内のあちこちにひとりで出現する可能性が出て来ます。そして、こうして「気泡核」が液体内に出来れば、そこから蒸発が起こりますから、もはや液体だけの状態を保てなくなるのです。このように液体が自分自身でその内部に「気泡核」を作ることを、大変難しい言葉ですが「自発核生成」といい、またその起こる温度を「自発核生成温度」と呼びます。

そして、例えば大気圧の水の場合、よく知られているように飽和温度は100℃ですが、その水を毛細管に入れて非常にゆっくり加熱していった結果、約300℃近くまでは水の状態を保つことが出来たという記録があります。つまり換言すれば、

大気圧の水が液相でいられるのは、その程度の温度までと言うわけです。ですから、大気圧の水は、加熱面温度が 300°C 程度の高さまでは液体として加熱面を濡らすことが出来て、したがってその温度まで核沸騰が一応可能な筈になります。けれども現実には、5章で述べたような別の仕組みの核沸騰限界が、そのずっと手前の温度で起こってしまうので、少なくとも5章までの温度範囲では液体の自発核生成温度が何ら問題にならずにすんだのです。

加熱面と液体の絶縁の始まり

では次に、ライデンフロスト温度になると、なぜ水滴と加熱面の絶縁が始まるのか、そのメカニズムについて考えてみることにしましょう。さて水滴を加熱面上に置く時、まず水滴下端の凸水面が、平らな加熱面に接近しますが、はじめ両者が接近していく期間中、両者の間の狭い隙間に生じるであろう僅かの蒸気層は、加熱面が非常な高温でない限り、容易にまわりに押出され、水滴下端は加熱面に直接接触して行きます。そして、もしその接触部の温度（前項で見たところの接触面温度 T_i になると考えます）が水の自発核生成温度（仮に 300°C とします）より高いと、接触面で水は液相を保てず蒸気になるため、固体面と水の「絶縁状態」が現れると考えるのが最も簡単な考え方です。今もしこれが正しいとすると、前項に記した接触面温度の式で左辺の T_i を 300°C と置いた上で物体Wの初期温度 T_w の値を解いて、ライデンフロスト現象の開始点の加熱面温度 T_w の値が次のように求められることになり、これが大気圧の水のライデンフロスト温度ということになります。

$$T_w = T_i + B(T_i - BT_L),$$

ここに $T_i = 300^\circ\text{C}$

そして、 B の値が小さい銅の加熱面（前項の説明参照）ではライデンフロスト温度が低く現われ、一方 B の値が大きいガラスの加熱面ではライデンフロスト温度が高く現われることになります。そしてこのことは定性的な傾向として実験結果と合っているのですが、現実に見られるライデンフロスト温度は、これだけで説明がつくものでなく、もっと複雑な性格を見せるのです。なぜなら、水滴下端の凸面が加熱面に初期接触をし、加熱面に

触れた水が過熱される時、水の温度が自発核生成温度以前でも、加熱面上に存在する気泡核からの発泡もあるでしょう。しかも水滴を加熱面から離すためには、蒸気発生だけでなく力学的な条件も大切で、例えば、水滴寸法が大きくなると、水滴、加熱面間の完全分離がそれだけ難しくなり、また圧力の高低による発生蒸気の比体積の変化、液体の表面張力の大小による液滴表面の安定性の変化なども多かれ少なかれ影響を持つであろうと考えられます。

結局、ライデンフロスト温度は、蒸発や気液の複雑なプロセスを経て初めて決まるもので、従って与えられた状況で微妙に変わり得る、それなりの複雑さを持つ量であると言えましょう。それにまた、気液界面の安定性（4章参照）に関係して、次のようなことにも注意せねばなりません。すなわち、いま小さな液滴をライデンフロスト温度以上の高温の加熱面上に置き加熱面と絶縁状態に置いた後、そのまま加熱面の温度を下げたものとします。すると加熱面がライデンフロスト温度より低温になってもまだ、液滴と加熱面の絶縁状態はしばらく続くでしょう。なぜなら、前に4章「面白い手品」の項で、水を入れたコップの口に金網をあて逆さにしても水がこぼれない話をしましたが、寸法の小さな下向き液面は一旦出来てしまえば比較的安定であり、従って加熱面との間に蒸気膜を挟んだ状態をかなり良く保持出来るからです。

膜沸騰

さてここで再び、加熱面周りに多量の液体がある場合の沸騰状況の話に戻ろうと思いますが、すでに5章のはじめに、水中に張った白金線に電気を通して加熱をする時、白金線の表面から出る熱の強さが限界熱流束を超えると、水中の白金線が急に白熱に近い高温状態となり特殊な沸騰状態になることをお話しました。そしてこれは、高温加熱面上に液滴を置いたときに起こるライデンフロスト現象と本質的には同じ状態であって、つまり高温の白金線はその前面が薄い蒸気膜で覆われて水と絶縁されているのです。そして、ライデンフロスト現象の時は、液滴下面で発生する蒸気が液滴中を通らずに周辺から外部へ流出し、液滴は静かに止まっているので、これを沸騰と呼ぶのはいささか問題です。けれども高温の白金線が水中に

ある場合は、水中で蒸気を発生させますから、明らかに一つの沸騰であって、この様式の沸騰のことを一般に膜沸騰（まくふつとう）と言っています。

ところでこの膜沸騰の場合、高温の加熱面から出る熱は、まず加熱面を包む蒸気部分を経て、周りの液面（そこは飽和温度です）に伝わりそこで蒸発する蒸気は加熱面の周囲にたまり、それから液体の中へ脱出して行くといったプロセスになります。そして、この加熱面周りの蒸気部分から液中への蒸気の脱出は、前に4章（および5章）でお話した気液界面の波動的な動きに伴って起こることになります。しかも、現在の膜沸騰では、加熱面全体を連続的に覆う蒸気部分があるわけですから、その気液界面に起こる波は核沸騰の時よりずっと規則的で、またその気液界面から、蒸気のかたまりが液中へ離脱する運動も随分規則的なものになります。また前に3章で話したような直径10-20ミリメートル位の比較的小さな上向き円形加熱面上で膜沸騰が起こる時は、加熱面と同じぐらいの大きさの蒸気のかたまりが1個ずつ周期正しく加熱面上で成長、離脱を繰り返すようになります。

そして膜沸騰では加熱面が全面的に薄い蒸気膜で包まれている（熱伝導の悪い蒸気で包まれている）だけに、一般に加熱面の温度が飽和温度より非常に高くなり、また加熱面の周りにある蒸気は過熱蒸気（飽和温度より高い温度に熱せられた蒸気）になるわけです。そして、加熱面から蒸気部分を通して加熱面周りの液面にいたる熱の伝わりは、蒸気内の熱伝導、および蒸気の流れによって行われるほか、加熱面から蒸気を素通りして液面に至る熱放射が加わります。そして加熱面温度が高くなるに従い熱放射による伝熱の割合が急に大きくなるのですが、ただ例外として大気圧下の沸点が零下約200度以下の液体ヘリウム、液体水素、液体窒素、あるいは液化天然ガス（メタンなどを主成分とする天然ガスを冷却液化したもの）など、いわゆる低温液体と呼ばれているものでは、一般に加熱面が比較的低温で膜沸騰が起こるので、熱放射はほとんど問題になりません。

また膜沸騰では、蒸気膜をはさんで加熱面が液体と完全に分離されているので、核沸騰のときのように加熱面の粗さが熱伝達を左右するようなこ

と（2章の最初の項など参照）はまったく無くなります。しかしその代わり、加熱面周りの蒸気の流れや運動が熱伝達に影響を持つようになります。例えば長い水平円柱加熱面が液中にある場合、加熱面の直径 d がテイラー不安定の臨界波長 λ_c （4章参照）よりずっと大きいか、同じぐらいの大きさか、あるいはずっと小さいかによって、加熱面周りの蒸気の運動特性に差を生じ、これらに応じて膜沸騰熱伝達の特性に変化が生じます。なぜなら加熱面周りから液中へ逃げる蒸気のかたまりの大きさ、および加熱面上の発生分布間隔（両方とも大まかに言ってテイラー不安定の臨界波長 λ_c ぐらいの寸法）は、加熱面直径の大小にあまり関係せず、ほぼ同じになるからです。

液体との復縁のいとぐち

いま飽和温度の液体の中に置かれて、前項で述べたような膜沸騰を続けている高温の加熱面があるとしましょう。この時、加熱面の温度を下げていくと、加熱面から流体側に伝わる熱流束が減っていきます。またそれに比例して蒸気の発生量も減っていきます。そしていつか膜沸騰域の限界、つまり加熱面と液体の絶縁状態に終わりがきて、それを過ぎると加熱面は液体との復縁、つまり液体との接触を再び起こし始めるのです。この時の熱流束は、その膜沸騰領域で一番低い値になるわけですから、これを膜沸騰の「極小熱流束」と呼んだりします。これは、鋼の焼入れの時、あるいは過熱された原子炉の炉心に水を注入する時など、はじめは膜沸騰のため、ごくゆっくりしか冷却しなかった高温面に、いよいよ水が直接接触して急速な冷却状態に入り始める点になるわけですから技術的にも大変重要なものになります。

では、この「極小熱流束」の現象がどうして生じるのでしょうか。つまり加熱面温度を下げていくとき、膜沸騰の状態に限界をもたらす原因はなにかという問題です。そしてこれについて、前に5章で紹介した核沸騰の限界に対する「気液相対速度の限界」モデル、つまり、ある量以上の蒸気は液体中を通過して上方に逃げられなくなるという考えに裏腹とも言えるような説があります。つまり膜沸騰では、前にお話したように気液界面の波動的な運動をもとに発生蒸気は液中に離脱しているのですから、単位時間に液中に逃げうる蒸気量

には、どうしてもそれ以上は低くならない限界があって、その量以下の蒸気が気液界面から液中へ逃げる状態は起こりえないという説です。これは確かに一理ある考え方です。しかしこの説は、その限界状態で加熱面と液体の接触が具体的にどういう風に始まるのか、それに何の説明も与えることが出来ません。つまり実際現象との物理的な対応の取れない不完全なモデルと言わざるを得ない訳です。

ところで、加熱面周りの薄い蒸気層を包んでいる液面は、発生蒸気の離脱運動から考えても分かるように、少なくともその一部は必ず波打っています。従って凸面上の液面が加熱面のほうに近寄っていく運動が、加熱面上のどこかにあり得るわけで、そうなると多かれ少なかれ、本章の初めに話した加熱面上に水滴を置く時の初期接触の状況に似てきます。そして固液の接触や、その結果そこに生じる諸現象について、前にライデンフロスト温度（液滴と加熱面の絶縁状態の限界）の場合に見たと同じようなことが起こり、そんなしくみを通して液体との復縁の糸口が付けられるということとは十分に考えられることです。

なお最近、この考えをさらに側面から支持するような大変面白い事柄も見出されてきています。すなわち、膜沸騰を生じている加熱面の温度を下げていく時、前もって耐熱塗料のようなものを加熱面に薄く塗っておくと、そうでない普通の加熱面より速く液体との接触を持ち始める、つまり加熱面の温度がまだ高いうちに液体との接触が始まる、という実験的事実です。耐熱塗料は金属に比べてはるかに熱伝導の悪い物質ですが、それを薄く塗った面の方が、塗らない面より速く冷え始めることになるわけで、一見とても不思議に見えます。しかし私たちはすでに前の「加熱面と液体の絶縁の始まり」の項で、水滴を加熱面に置く時、加熱面がガラス（熱伝導率が悪い）の時の方が、加熱面が銅（熱伝導が良い）の場合よりライデンフロスト温度が高いことを見てきました。そしてそれを考えると、耐熱塗料を塗った加熱面のほうが、高い温度のうちから液体との接触を持ち始めるのが当然で決して不思議ではないということになります。

蒸気爆発の起こる状態

蒸気爆発のことについては、すでに1章の終わ

りで触れましたが、高温の溶けた金属（あるいは溶融塩など）が低温の液体中に落ちた時、発生する蒸気の強い力などによって溶融金属が液中にばらばらに散らされ、その結果、溶融金属の熱がほとんど瞬間的に液体に伝わるため、多量の蒸気を爆発的に発生させる現象です。なお常温の水が液化天然ガス（LNG）の低温液体の中に落ちる場合もこれに似た状態となり、しかもこの時は可燃性ガスを多量に発生するので、蒸気爆発の後恐らく火災を起こすでしょう。いずれにせよ大変厄介な現象ですが、ここでは簡単のため、高温の比較的小さな溶融金属滴がただ1個、サブクール水（飽和温度より低温の水）の中に落ちて蒸気爆発を起こす場合を考えてみることにしましょう。

さて本章のはじめに、比較的広い高温加熱面上に小さな水滴を置く話をしましたが、現在は、多量の水の中に小さな高温金属滴を落とすわけです。この両者を比べてみると、高、低温両物質の量関係が大小逆になっていますものの、とにかく高温面と低温液体が会合して起こす現象だという点では両者同じです。それに、両方とも水滴あるいは溶融金属滴を落とすという初期の過渡的なプロセスを経てから初めて発生する現象です。

そこで今試みに、この両者間で比較対応を考えてみましょう。まず高温加熱面に水滴をおく場合、前に見たように加熱面温度によって特徴的な3つの領域がありました。第1が核沸騰、第2が小滴に分かれてダンス、第3が固液間の完全な分離で特徴付けられるものでした。そしてこのうち第2の領域では、加熱面と水滴の間に圧力の高い蒸気が発生、それが水滴を小滴に分断したり、跳ね飛ばしたりしています。従って、前述の3領域のうち、特にこの第2の領域が蒸気爆発に対応しているように考えられます。

一方、溶融金属滴を水に落とす場合には、水に接する金属滴の温度が高すぎれば、蒸気膜で液体と隔てられてしまい、また低すぎれば液体と定常的に接して普通の核沸騰を継続するだけになりますから（ただし滑らかな溶融金属表面と荒さのある固体加熱面の間には差がありますが）、やはりその中間に蒸気爆発の発生に都合の良い温度範囲があると考えられます。なお、この温度範囲内で蒸気爆発を引き起こすもとなる蒸気の発生は、溶融金属滴をばらばらに砕きさる作用を持つもの

けに、恐らく熔融金属滴の表面全体が一様に液体と接触するのではなく、表面上の一部に偏って液体が局所的に接触する形で起こるものと推定されます。

ところで、直径1センチメートルぐらいの大きさの熔融スズ滴を水中に落とした実験の結果によると、約500°C以上の高温のスズ滴を、20度ないし30度以上にサブクールされた水に落とすというくらいの条件の時に、激しい蒸気爆発が起こっています。そして、この蒸気爆発は、熔融スズ滴が必ず、ある程度水中を沈んでいった後に水中で発生しているのですが、蒸気爆発が起こるまでに熔融スズ滴が水中を沈む距離は、飛び込む前のスズ滴の温度が高く、また水温が高い時ほど長くなります。一例をあげると、800°Cの熔融スズ滴を落とす時、水温が低く20°Cのときは約7センチメートルくらい沈んでから爆発しますが、もっと水温が高く60°Cの時は約36センチメートルもの長さを沈んでから初めて爆発を起こしています。これは一見大変不思議に見えるかもしれませんが、この実験の場合、前者では熔融スズ滴が速く冷え、後者ではゆっくり冷えることから考えて、恐らく前述のような蒸気爆発に都合の良い温度レベルまで熔融スズ滴が冷えるための時間がからんだ問題であろうと考えられます。

蒸気爆発の引き金

しかし蒸気爆発について私たちの最大の関心事は、高温の熔融金属滴を包む蒸気膜や、それをさらに取り巻くサブクール水に一体何が起こって熔融金属滴と水の局部接触に至るのか、そしてまたその接触部で蒸気爆発の引き金になるだけの強力な蒸気の発生が、どんな機構で起こるのかです。これらのうち、まず接触に至るプロセスについては、最近、水中に生じる衝撃は、あるいはサブクール水による蒸気膜の冷却などの非定常的な作用によって、金属滴を覆う蒸気膜の一部がつぶれ、水との接触が起こるといった機構が論じられています。

また次に、接触部に起こる強い蒸気発生については、熔融金属の滑らかな表面には固体面のような傷や凹み（沸騰を助ける）などが存在しないこ

とを考えてみると、本章で前に述べた液体の「自発核生成」現象による沸騰が支配的な作用を持つように考えられます。従って、蒸気爆発を起こす熔融金属滴温度は自発核生成温度より高くなるでしょう。そして自発核生成による気泡核をもとに発生する沸騰はかなり突沸的（2章「少し変わった状態の核沸騰」の項参照）で、それゆえ金属滴をこなごなにするような非常に激しい効果を持つものになるのかも知れません。

なお以上、本章において前項まで話をしてきた事柄の多くの部分は、東京大学、東京工業大学、横浜国大、京都大学、日本原子力研究所等における比較的最近の研究を参考にしながら、かなり大胆な推測も加えたものであることを申し添えておきます。

沸騰曲線

それにしても飽和液体の中に加熱面を沈め、その面の温度 T_w を飽和温度 T_s 以上に高く上げていく場合、2章から6章までの説明によると次の2領域が現れました。すなわち、まず弱い核沸騰と強い核沸騰、つまり核沸騰の領域が現れ、ここでは加熱面の過熱度 $\Delta T_s = T_w - T_s$ の上昇とともに加熱面から液体側へ伝わる熱流束 q が上昇していきますが、やがて「限界熱流束」現象のためこの領域はそこで頭打ちとなります。一方、もし過熱度 ΔT_s が十分に大きいと加熱面上に膜沸騰が生じますが、この領域では過熱度 ΔT_s を減少させると熱流束 q も減っていき、やがて「極小熱流束」現象のため、この領域に下限界が現われます。

ところで前述の2限界、すなわち限界熱流束と極小熱流束の両限界点の間は、加熱面の過熱度 ΔT_s が増加する（減少する）に従って熱流束 q が却って減少する（増加する）という特殊な領域を構成し、これは核沸騰と膜沸騰の間の移り変わりを起こす領域の意味で「遷移沸騰」領域と呼ばれます。そして前述の「核沸騰」、「遷移沸騰」、「膜沸騰」の3領域を含んで加熱面過熱度 ΔT_s と熱流束 q の間の関係を表す曲線のことを一般に「沸騰曲線」と呼び、広く沸騰熱伝達の特性を示すものになります。

(次号に続く)