

## 熱流体トレーニング ( 2 )

刑部真弘\*<sup>1</sup>

OSAKABE Masahiro

図1に示したのは日本刀の刃である。赤熱した刀を水に付け急速冷却させることにより焼き入れを行うが、その前に刀全体に熱伝導率の低い焼刃土を塗っておくことが行われる。刃先に波型の模様が見えるが、これは焼き入れの前に焼刃土をはがして薄く付着させた場所を表している。面白いことに、刃先を硬くしようということで、急速に冷やすために刃先の焼刃土を完全に除去してしまうと、薄く残っている場合よりもゆっくりと冷えて名刀はできない。



図1 日本刀の刃

刀の焼入れ時にみられる沸騰について、伝熱面の温度  $T_w$  を上げながら、伝えられる熱流束  $q_w$  との関係調べてみる。横軸に、 $T_w$  と飽和温度  $T_{sat}$  との差  $\Delta T_s = T_w - T_{sat}$  をとり、縦軸に  $q_w$  をとってそれぞれ対数目盛りで表すと、図2に示すような沸騰曲線となる。ここで、 $\Delta T_s$  を過熱度 (superheat) という。刃先を薄く覆った土表面は温度が低く核沸騰熱伝達となり熱流束が非常に高いが、完全に除去した面では温度が高く膜沸騰となり熱流束は低くなってしまふ。温度が高いほど熱流束が高い普通の伝熱とは逆の現象となるのである。

刃先は急速に冷え非常に硬くなるが、その他の焼刃土が厚く付着した部分はゆっくりと冷え、しなやかな材質となる。硬い刃先によって切れ味が良く、全体としては靱性が保たれるという世界に類をみない、優れたものとなっている。これが、沸騰曲線がまだ発見されていない時代に、刀鍛冶職人によって行われていたことは、物造りの得意な日本人のルーツをみる思いである。

この奥の深い沸騰現象は、浮力の働かない無重力状態でどうなるであろうか？ 沸騰熱伝達式には重力加速度を含んだものが多いことから興味を持ち、北海道上砂川にある地下無重力実験センターの落下坑を用いて、15年ほど前に沸騰実験を行ったことがある。細い白金線を用いて行った無重力沸騰実験では、発生した気泡に浮力が働

かないため伝熱面近傍に滞留し、焼き切れ (バーンアウト) が頻繁に起こり伝熱データを取得できなかった。ところが、ある日突然、バーンアウトが発生しなくなった。得られたデータは、核沸騰熱伝達には重力の影響が無いという驚くべき結果であった。これは、発生した気泡が浮力で上昇し、伝熱面近傍を乱すために核沸騰熱伝達は良好であるという旧来からの説明を否定するものであった。世間はこれに注目してくれたが、我々は何故バーンアウトしないのか気になって仕方なかった。

これには、実験を繰り返していくうちに白金線表面に生成された炭酸カルシウム等のスケール (水垢) が重要な意味を持っていた。清浄な面では発生した気泡が伝熱面全体を覆いやすくなるが、多孔質で濡れ性の大きなスケール面では、図3のように気泡底部に液体が入り込みやすくなり、比較的小さな気泡が伝熱面から離脱しやすい。すなわち汚れがバーンアウトを抑制するのである。

気泡はきれい好きであると、ある学会で発表したら結構うけた。

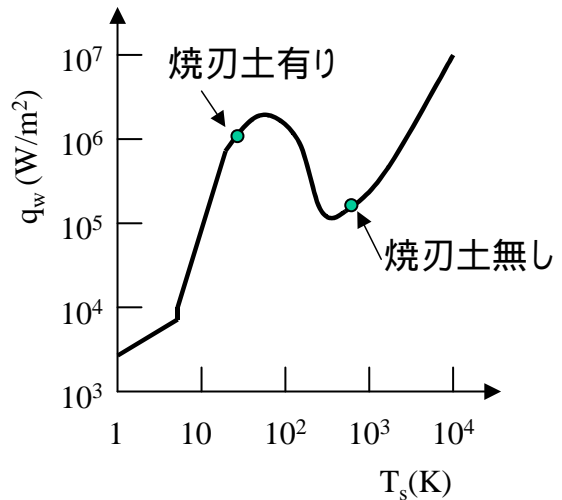


図2 焼刃土の影響

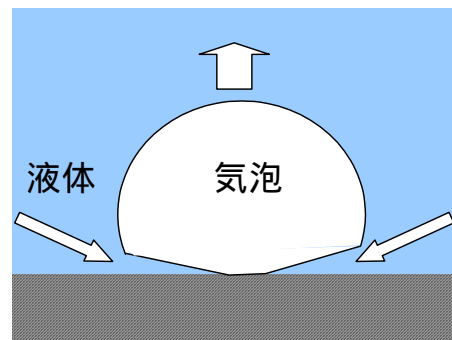


図3 気泡の離脱

### 参考文献

- (1) 刑部真弘, エネルギー技術者の熱流体トレーニング, 海文堂出版, (2004)

\*1 東京海洋大学海洋工学部 海洋電子機械工学科  
(江東区越中島2-1-6) .