

ナノ流体による高温物体の超高速冷却

Highly efficient cooling of high-temperature body using nanofluids

*梅原 裕太郎¹, 榎木 光治¹, 大川 富雄¹

¹電気通信大学

ナノ流体中に高温物体を浸漬すると、表面にナノ粒子層が形成される。この結果、純水の場合と比較してCHFが増加する他、通常は膜沸騰となる過熱度域でも高熱流束徐熱が可能となる。これらは、事故時の原子炉緊急冷却を行う際の冷却液として、優れた特性と考えられる。

キーワード：クエンチング、ナノ流体、IVR、膜沸騰

1. 緒言

福島第一原子力発電所での事故以降、原子炉の安全性の向上に対する要求は高まっている。特に、燃料溶融を伴うシビアアクシデントへの対策が多く講じられている。対策の一つに、溶融燃料を原子炉容器内に保持する方策（IVR）がある。IVRの冷却液は、通常は水である。本研究では、CHFが水よりも高いナノ流体を試験流体として⁽¹⁾、沸騰熱伝達特性を実験的に調べる。複雑な過渡変化の中で炉容器が高温となる場合も想定して、広い過熱度域で冷却性能を調べる。

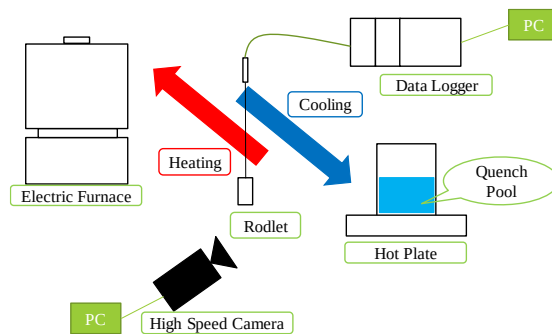


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

2. 実験方法

実験装置の概略を Fig.1 に、試験体の写真を Fig.2 に示す。実験では、電気炉で試験体を 1000℃ まで加熱した後、冷却液中に浸漬した。各試験体で、これを 5 回繰り返した。試験体は直径 15mm、高さ 30mm の SUS304 製円柱で、壁面から 1.3mm 及び 7.5mm（中心部）、深さ 15mm の位置に、熱電対を設置して温度計測を行った。実験条件としては、冷却液は純水とナノ流体（粒子材料：シリカ、アルミナ、二酸化チタン）の 4 種類、サブクール度は 20, 50, 70K の 3 種類、浸漬回数は 5 回とした。ナノ流体は、蒸留水とナノ粒子を超音波洗浄機に入れ、3 時間攪拌したものを使用した。

(a)

(b)



Fig.2 Test piece: (a) Overview, (b) With thermocouple

3. 実験結果

Fig.3(a),(b)は、純水とシリカナノ流体での冷却の様子を表した沸騰曲線である。水の場合、過熱度の減少とともに、膜沸騰、遷移沸騰、核沸騰と移行し、CHF に対応するピークが 1 つ形成される。一方、シ

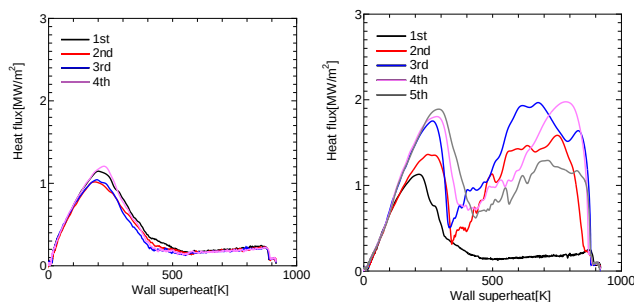


Fig.3 Boiling curves (a) pure water, (b) silica nanofluid of 0.4 kg/m³ at $\Delta T_{\text{sub}} = 20$ K

リカナノ流体の 2 回目以降では、2 つのピークが形成されている。高過熱度域のピークは、気泡微細化沸騰に関係すると考えられるが、純水の実験では形成されなかった。一方、低過熱度域のピークは純水と類似しているが、浸漬回数の増加とともに、CHF

が向上している。観察結果によれば、シリカナノ流体の場合、高過熱度域でもクエンチフロントの上部に明確な蒸気膜は形成されず、大気泡に間欠的に覆われるとともに、試験体表面が濡れと乾きを繰り返しているようであった。シリカナノ流体では、CHF が大きく向上するとともに、仮に局所的な炉容器外壁温度の上昇が生じた場合でも高熱流束冷却を維持できる。これらは IVR 冷却液として優れた特徴と考えられる。

謝辞

第 25 回鉄鋼研究振興助成受給結果による。

参考文献

[1] G. Dewitt, et al. Eng. Tech. Vol.45, No. 3, pp. 335-346(2013).

*Yutaro Umehara¹, Koji Enoki¹ and Tomio Okawa¹

¹The University of Electro-Communication.