

[17015]

放射線誘起表面活性による限界熱流束評価

Critical Heat Flux with Radiation Induced Surface Activation

岡本孝司^{#A}, 鈴木俊一^A, エルカンネジェット^B, ワンライシュン^B, ゴンハイゲン^B, 宰務貴之^B, 川嶋仁仁^B
Koji Okamoto^{#A}, Shunichi Suzuki^A, Nejdet Erkan^B, Laishun Wang^B, Haigun Gong^B,
Takayuki Saimu^B, Akihito Kawashima^B

^A) Nuclear Professional School, the University of Tokyo

^B) Department of Nuclear Engineering and Management, the University of Tokyo

Abstract

The Critical Heat Flux (CHF) is very important for boiling heat transfer. Under the irradiation condition, the CHF increases because of the surface wettability improvement. For the advanced nuclear power plant, the in-vessel melt retention (IVMR) is one of the most important strategy to reduce the risk of severe accidents. When the melt relocation happens, the lower plenum will be very high radiation conditions. Therefore, if the radiation affects the CHF, higher heat removal can be assumed. To confirm the CHF characteristics under irradiation conditions, the CHF experiments had been carried out at Takasaki Laboratory. The Co-60 gamma-ray source and Electron beam were applied to the test section. For the electron beam irradiated surface, CHF had shown degradation for flow boiling conditions.

Also, the boiling heat transfer is widely used inside the Heat Pipe system. To confirm Heat Pipe performance under irradiation conditions, the inner pressure measurements and heat removal tests by heat pipes after gamma-ray irradiation had been carried out. Results show that with increasing the irradiation dose, the performance of heat pipes degrade remarkably because of the gas generation by water radiolysis, while results also suggest the effectiveness of catalysts setting inside the heat pipe

Keyword: Critical Heat Flux, In-Vessel Melt Retention, Radiation Induced Surface Activation, Heat pipe, Water radiolysis

1. はじめに

1.1 目的

限界熱流束向上に与える RISA 効果の影響を評価するため、放射線を照射した試験体を、実験装置に組み込み、沸騰二相流実験を行う。得られる結果より、RISA 効果(放射線誘起表面活性)が限界熱流束に与える影響について検討する。これらの実験で得られる結果を比較し、RISA 効果が限界熱流束に与える影響について検討する。また、沸騰熱伝達を活用するヒートパイプについて、同様に RISA 効果によって、性能が上がる可能性を評価する。なお、ヒートパイプについては、密閉空間内の水の照射による水素生成の影響も考慮する必要があり、RISA 効果と水素の効果の評価を合わせて実施する。

2. 実験及び実験結果

2.1 CHF と照射試料表面効果

昨年度の実験によって、電子線を照射した銅の CHF

が大きく減少する事が確認された⁽¹⁾。CHF は、伝熱面性状と関連が深いことがわかっている。このため、本年度は、電子線照射を行った材料表面について、SEM による評価を試みた。照射前、30kGy、300kGy 照射後の表面画像を示すが、照射による大きな変化は確認されていない。このことから、照射による物理的な表面性状の変化ではなく、電気化学的な表面性状の変化が、CHF の劣化を招くことが確認された。

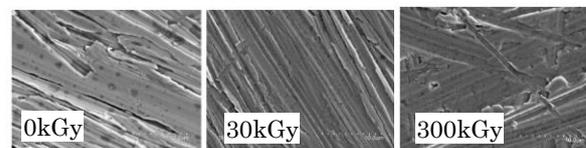


Fig. 1 電子線照射と CHF

2.2 密閉容器内ガス発生評価試験

[17015]

高放射線下で水系ヒートパイプを設置した際に内部に発生するガス量を推定するため、少量の水を封入したステンレス製容器に対し γ 線照射を行い、圧力計を用いて発生するガス量を測定した。具体的には容器内体積比 2%、20%の純水を封入したステンレス管(内容量 20ml) の上部に圧力計を取り付け、 γ 線(10kGy/h)を照射し、管内部に発生したガス量の測定を行なった。水量 2%、20%ともに照射量の増加に伴い線形に内圧は上昇した。上昇した圧力値は G 値と状態方程式から求めた理論値とよく一致しており、液相部においては水素・酸素の再結合反応がほとんど生じていないと評価された。この結果から、ヒートパイプを高放射線下で使用した際、照射量の増加とともに内部に非凝縮性ガスが溜まり、除熱性能が減少していくことが想定されたため、対策として触媒による非凝縮性ガスとの再結合効果を確認した。

実験では、触媒として白金線及びメッシュを管内空气中に置き、それぞれ γ 線を照射した際の内圧の変化を確認した。その結果、図 2 に示すように、白金触媒の表面積が大きくなるほど内圧の上昇は抑えられ、白金メッシュ(白金触媒表面積 $4.0 \times 10^3 \text{mm}^2$)を封入した際の内圧の上昇値は積算照射線量 2700 kGy に対し 15 kPa の上昇まで抑えられることが確認された。

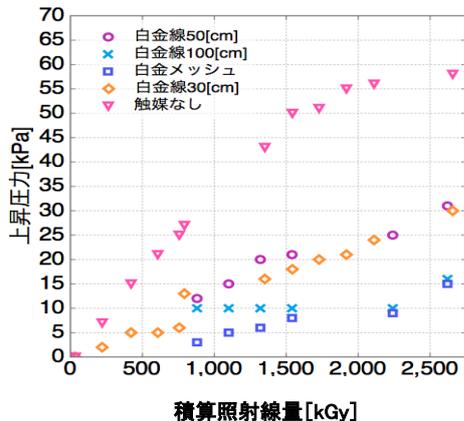
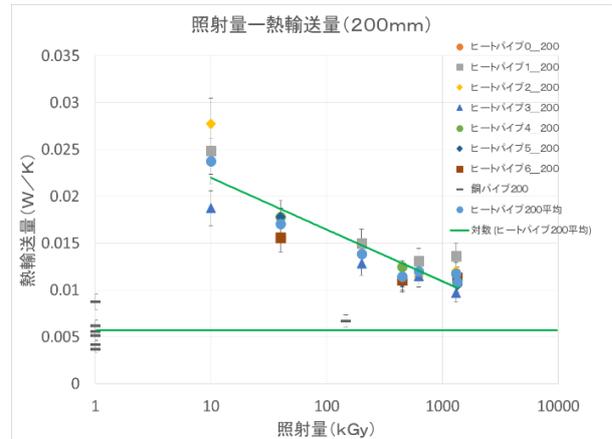


Fig 2. Effect of catalysts for the gases generation

2.2 照射後ヒートパイプ試験

市販のヒートパイプを用いて γ 線照射を行い、照射後の熱輸送量を計測した。実験装置は、油の入ったガラスビーカー、グラスウールを用いた断熱材、ヒートシンクとして氷水の入ったタンクから構成される。ヒートパイプ凝縮部に氷水、断熱部にグラスウール、蒸発部に油を接触させ、氷水には 40mm 油には 30mm ヒートパイプが浸るように設置した。油の量は 100ml 程度とし、ヒートシンク部分は、氷水により 0°C 一定となるようにした。試験方法として、一旦油を熱した後、ヒートパイプによって除熱される油の温度低下を計測することにより、熱輸送量を計算した。実験には 200 及び 300mm 長のヒートパイプを 6 本ずつ用いて照射試験を行った。

図 3 に 200mm 長ヒートパイプを用いての熱輸送量計測実験の結果を示す。同サイズの未照射銅パイプ



熱輸送量平均値は、約 0.006 W/K であった。ヒートパイプの性能は少量のガンマ線積算照射線量で大きく低下し、600 kGy 以上では未照射材と同程度の熱輸送量まで低下した。

一方、300mm 銅パイプを用いた熱輸送量計測実験では未照射材の平均値は約 0.02 W/K であった。図 4 に示すように、照射材では同様に低積算照射線量で性能が低下し始め、185 kGy で未照射材と同程度の熱輸送量まで低下した。

積算照射線量 40 kGy のヒートパイプについて、ガス分析を行った結果、水素、酸素濃度はそれぞれ 26vol%, 20vol% であり、照射したヒートパイプの性能劣化が非凝縮性ガスの管内蓄積によることが確認された。

Fig 3. Heat pipe performance with irradiation (L:200mm)

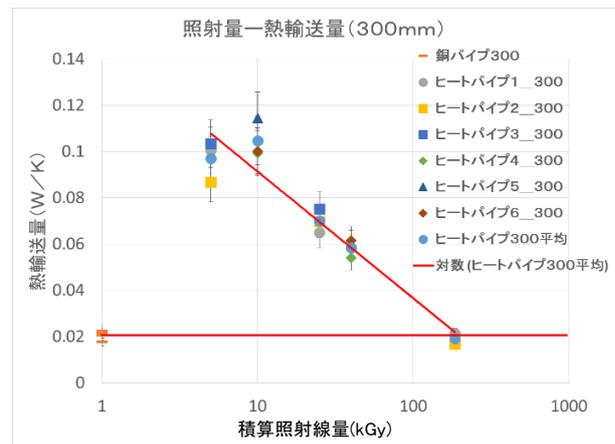


Fig. 4. Heat pipe performance with irradiation (L:300mm)

3. まとめ

放射線照射と沸騰熱伝達との関係をコバルト 60 照射施設及び電子線照射施設を用いて実験的に評価を行い、3 年間のプロジェクトを実施し、下記の結論を得た。

- ✓ RISA 効果によりプール沸騰の CHF は増加する
- ✓ 流動状態の CHF については RISA 効果の影響は大

[17015]

きくない。

- ✓ 下向き伝熱面については、電子線照射によって、CHF が大幅に劣化する⁽¹⁾
- ✓ ヒートパイプにおいては、RISA 効果による伝熱性能向上よりも照射による水素生成による伝熱性能劣化が大きい。
- ✓ 触媒によって水素を再結合する事によって、伝熱性能劣化が抑えられる可能性がある。

参考文献

- (1) L. Wang, N. Erkan, H. Gong, K. Okamoto, Electron beam irradiation effect on critical heat flux in downward-facing flow boiling, *Int.J Heat.Mass.Tranf.*, 120, 300-304, (2018)