

[16022]

## 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<sup>#A)</sup>, エルカンネジェット<sup>B)</sup>, ワンライシュン<sup>B)</sup>, ゴンハイゲン<sup>B)</sup>

Koji Okamoto <sup>#A)</sup>, Nejdet Erkan <sup>B)</sup>, Laishun Wang <sup>B)</sup>, Haigun Gong <sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Nuclear Professional School, the University of Tokyo

<sup>B)</sup> 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. The high-temperature melted core will be cooled at the lower plenum with filling the water outside the plenum. The boiling heat transfer outside the vessel determines the success of the IVMR. 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. With increasing the irradiation dose, CHF gradually recovered to the normal condition.

**Keyword:** Critical Heat Flux, In-Vessel Melt Retention, Radiation Induced Surface Activation, CHF degradation.

## 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。

## 2. 実験条件

### 2.1 実験装置

実機条件を模擬した状態は、伝熱面が下向きもしくは角度の付いた下向き伝熱面となる。また、自然対流によって、飽和状態の対流による冷却となる。このことから、強制流動実験装置(図 1)を用いる。伝熱面の設置方向については、浮力による気泡の抜けが期待できないことから、最も厳しいと考えられる下向き伝熱面を評価する事とする。なお、実験は大気圧下で実施した。沸点は 100 度である。

### 2.2 伝熱面

伝熱面は銅ブロックにより構成されている。断熱性能に優れた PEEK で周りを囲い、30x30mm の伝熱面を構成した。実験及び照射前に洗浄を行い、汚れの無い状態で実験及び照射を行っている。なお、照射を実施した場合には、照射設備から取り外したのち、1 時間以内で CHF が得られるように実験を行っ

ている。過去の研究により、RISA 効果は、照射後数時間継続する事が知られているためである。CHF を変化させるパラメータとしては、照射効果のほかに、表面へのハニカム多孔質体設置なども考えられている。照射効果とハニカム多孔質体効果については、昨年度報告しているため、今年度は照射効果を中心として報告する。

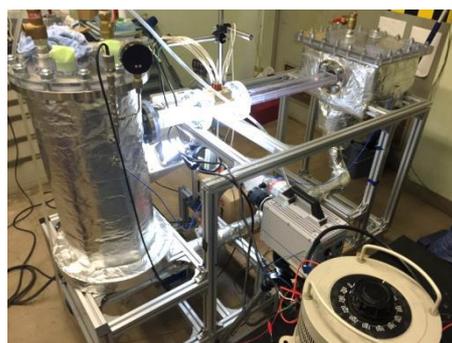


Figure 1. Flow boiling experimental facility

### 2.3 照射装置

日本原子力研究開発機構高崎研究所のコバルト 60 ガンマ線照射設備(以下 Co-60 と呼ぶ)、及び第一号加速器電子線照射設備(以下 1 号加速器と呼ぶ)の 2 種類の照射装置を用いた。照射する放射線は、それぞれ、ガンマ線と電子線と異なる。

ガンマ線は、コバルト 60 の特性放射線である 1.33MeV 及び 1.17MeV の光子を 15kGy/h の線量率で照射している。PEEK をつけたまま、銅ブロックの

照射を行っている。照射時間を 64~68 時間に制御する事によって、積算照射線量は、約 1000kGy (960~1200kGy)とした。

1号加速器における照射については、電子線のエネルギーは 2MeV とし、電流を 1mA とした面照射を実施した。この条件における照射線量率は、100kGy/min となり、ガンマ線に比べて 4 桁以上強い放射線を照射する事が可能となる。電子線照射においても、照射時間を 3~30 分に制御する事によって、300kGy, 1000kGy, 3000kGy の積算照射線量となるようにした。非常に強い放射線であるため、PEEK などへの影響を減らすために、2mm 厚のステンレスカバーで PEEK 部分を覆っている。電子線であるため浸透深さは 1mm 程度となり、2mm あれば電子線は透過しない。

### 3. 実験結果

#### 3.1 強制流動実験における照射効果

強制流動実験装置を用いて、CHF 実験を実施した。図 2 にハニカムなどを設置しない、銅伝熱面に対する CHF をまとめる。パラメータとしては、まず、非照射時について、流量を 320kg/m<sup>2</sup>s と 640kg/m<sup>2</sup>s で実施した結果を示す。沸騰曲線としては若干の違いがあるが、流量が増加すると、CHF が増大している事が判る。一方、ガンマ線照射(G)と電子線照射(300~3000 kGy)の CHF はいずれも減少している。流量については、ガンマ線照射(G)については、640 との比較となるが、核沸騰の開始が高温側に依っている。これは、濡れ性が向上したことによって、核沸騰開始点が遅れているためであると考え

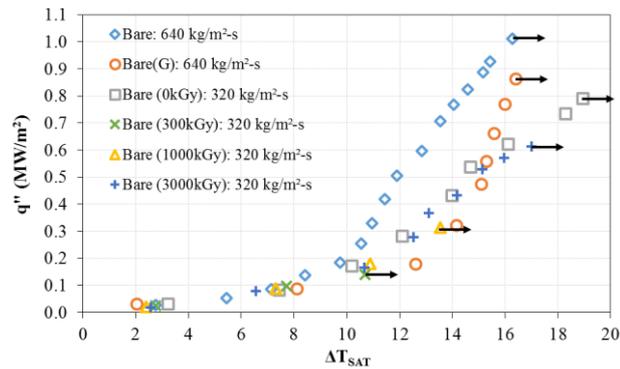


Fig.2 CHF under flow boiling

#### 3.2 電子線照射効果実験

上述のように、電子線を照射した実験では、線量が下がったとき CHF が減少した。このため、電子線照射による CHF の再現性を確認するため、新規の伝熱面を新たに作成し、実験を実施した。これを、供試体 B (TS B)および供試体 C(TS C)と呼ぶ。新供試体

の結果を図 3.3-19 に示すが、電子線照射した CHF は非常に小さな値となった。図 3.3-17 の旧供試体においては、1MW/m<sup>2</sup> 程度の値を示しているのに対して、電子線を照射した場合には、旧供試体の場合も新供試体の場合も 0.2~0.4MW/m<sup>2</sup> と大幅に低下していることが確認できる。この理由は表面性状によるものだと考えられる。図 3.3-20 に沸騰状態の表面を可視化した写真を示す。表面が電子線に照射された条件では、多くの小さな沸騰気泡がみられる。これは、沸騰核密度が照射によって多数生成されたと推定される。これらの箇所は通常の状態 (非照射状態) では見られない。沸騰核数の増加は、それらが表面上の気泡生成を増加させ、過熱面に液体が接触するのを防ぐため、CHF の減少をもたらすと考えている。これは、下向き伝熱面であることが大きく寄与してい

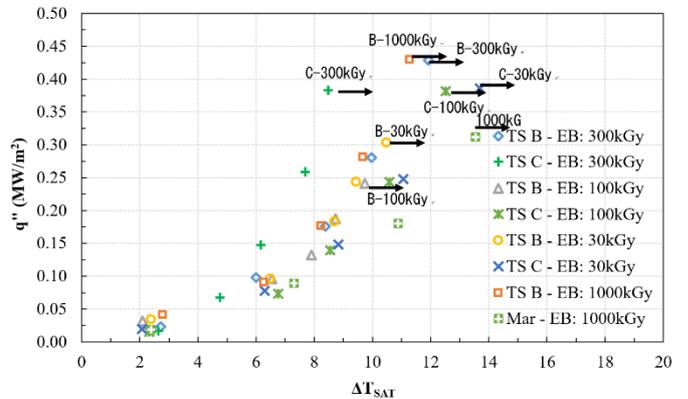


Fig.3 Electron beam irradiation effects on CHF

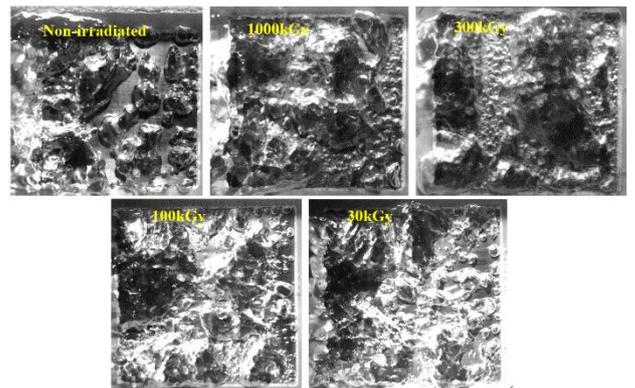


Fig. 4 Boiling surface visualization

### 4. まとめ

1号加速器で電子線照射を行った銅伝熱試験体を強制流動実験装置に組み込んで実験を行った結果、限界熱流束(CHF)の大幅な劣化が見られた。照射による表面の沸騰核生成と、下向き伝熱面による蒸気気泡の離脱抑制により、CHF が劣化すると考えられる。従来、照射効果は CHF を向上することが知られていたが、条件によっては劣化させるという知見が得られた。