

[19020]

放射線照射による伝熱への影響評価

Evaluation of Heat Removal Performance under Gamma Ray Irradiation

岡本孝司 ^{#,A)}, 鈴木俊一 ^{B)}, 張瑤 ^{B)}, 川嶋晃仁 ^{B)}, Wang Kai ^{B)}
Koji Okamoto ^{#,A)}, Shunichi Suzuki ^{A)}, Zhang Yao ^{B)}, Akihito Kawashima ^{B)}, Wang Kai

^{A)} Nuclear Professional School, the University of Tokyo

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

Abstract

In the Fukushima accident, the fuel debris melted through RPV and fell in the containment vessel. There is a proposal for stabilizing fuel debris using the geopolymer to retrieve it effectively, where heat pipes are set up in the geopolymer to remove the residual heat of fuel debris. The heat pipe allows high transfer rates over considerable distances, with minimal temperature drops, exceptional flexibility, simple construction, all without a need for the external pumping power.

To confirm its performance under irradiation conditions, the new design heat pipes have been developed and heat removal tests by heat pipes after gamma-ray irradiation had been carried out at Takasaki Laboratory. It was found that setting Ti inner tube, carbon fiber wick, Pd chains as the catalyst inside the heat pipe and a gas tank to reserve H₂ gas worked well below 1000kGy.

Also, the Radiation induced surface activation (RISA) phenomena had been evaluated using Co-60 irradiation facility. We present an experimental study to investigate the gamma-ray irradiation effect on nanoparticle-coated sapphire. A sapphire plate was exposed to gamma-ray of more than 1 MGy. Within the irradiation dose, no obvious sapphire surface color change was found. The surface angle decreased after irradiation. The more the surface was irradiated, the better wettability the surface became. After irradiation, the contact angle recovered with time.

Keyword: Heat pipe, Fukushima Dai-ichi decommission, Heat removal from Fuel Debris, Water radiolysis

I. ヒートパイプの照射効果

1. はじめに

1.1 目的

福島第一原子力発電所の燃料デブリは現在でも 50kw 近い熱量を保有するため、注水による冷却を行っているが、将来的には汚染水を減らすため、より空冷に近い状態で冷却することが望ましく、この場合、注水以外の方法で熱除去を行う必要がある。

受動的伝熱技術であるヒートパイプは水冷却に代替する有望な技術であるが、内部に少量の水を含むため、放射線分解により水素等ガスが内部に発生し、除熱性能が劣化することが懸念される。

そこで本研究では、燃料デブリの除熱効率化のために、高放射線環境下においても除熱性能が高いヒートパイプを開発することを目的とする。

を銅ブロック、ペルチェユニットおよび断熱部に使用した。ヒートパイプの長さは 500mm であり、蒸発器部と凝縮部はそれぞれ 100mm、中間の断熱部分は 300mm である。ヒートパイプの性能をより正確に評価するために、先ず銅ブロックに接続した直流電源の総電力量を測定し熱損失量を測定した。ヒートパイプの熱輸送量は、測定された値から熱損失を差し引くことによって計算した。

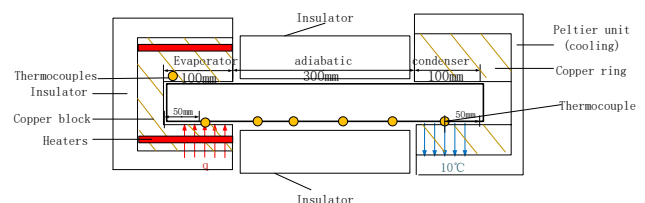


Figure 1 Schematic of heat pipe test system

2. 試験及び試験結果

2.1 ヒートパイプ試験方法

ヒートパイプ試験システムを Figure 1 に示す。本システムの高熱部では、銅ブロックに 2 つのヒータを挿入し、また冷却部ではペルチェユニットにより温度制御を行った。断熱材としては、グラスウール

2.2 改良ヒートパイプの作製

前年度は、星型柱の内部構造にカーボンファイバーを巻き、冷却部側にパラジウム箔を鎖状に連結した触媒を入れた新たなヒートパイプを作製してγ線照射試験を実施した。その結果、同ヒートパイプは、

[19020]

照射量約 100kGy まで伝熱性能を示すことが判った。

今年度は更に耐照射特性に優れるヒートパイプの開発を目指し、内管素材（ステンレス、チタン、表面処理チタン）、作動流体（硝酸ナトリウム水溶液、純水）、カーボンファイバー量などを変えるとともに、水素貯蔵タンクを側面に設置した新たなヒートパイプを作成してガンマ線照射を行い、各照射量における熱輸送量を測定した。

Table 1 に試験に供したヒートパイプの内部構造、並びに照射量を示す。

Table1 Structure of HP and total dose

	Pd(chain) (cm ²)	NaNO ₃ (ppm)	CF (g)	HP inner Tube material	Water (ml)	Total Dose (kGy)
HP 2-1	28.6		0.6	SUS316	25	1005
HP 2-2	28.6		0.6	Titanium	25	1005
HP 2-3	28.6		0.6	Titanium Anodization	25	245
HP 2-4	28.6		0.3	Titanium	25	1000
HP 2-5	28.6		0	Titanium	25	240
HP 2-6	28.6	500	0.6	Titanium	25	240

2.3 試験結果

各照射量でのヒートパイプ熱輸送量を Figure 2 に示す。カーボンファイバー0.6g、純水利用、内管チタンまたはステンレスのヒートパイプ熱輸送量は、1000kGy 照射後も熱輸送量低下が未照射時の 70%程度である 40W という高い性能を保った。

なお、カーボンファイバーを含まないヒートパイプ 2-5 では、未照射時点から性能が低い結果となった。毛細管構造が不十分であることから液体状態の作動流体の移動速度が下がったことが原因と考えられる。

Figure 3 には HP 内部圧力変化と熱移送量変化との関係を示す。ここで横軸は圧力変化、縦軸はヒートパイプ熱輸送量の未照射時点との比率として整理した。この結果、内部圧力の変化によって除熱性能が変化し、圧力変化が小さい範囲においては熱輸送量低下も小さくなることが確認された。

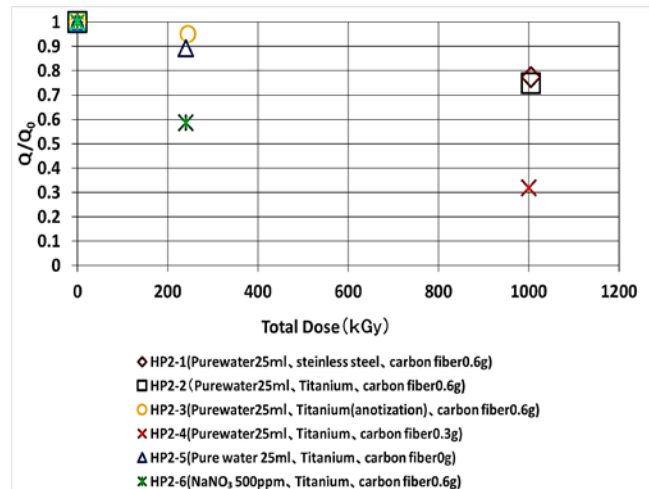


Figure 2 Test results of HP after irradiation

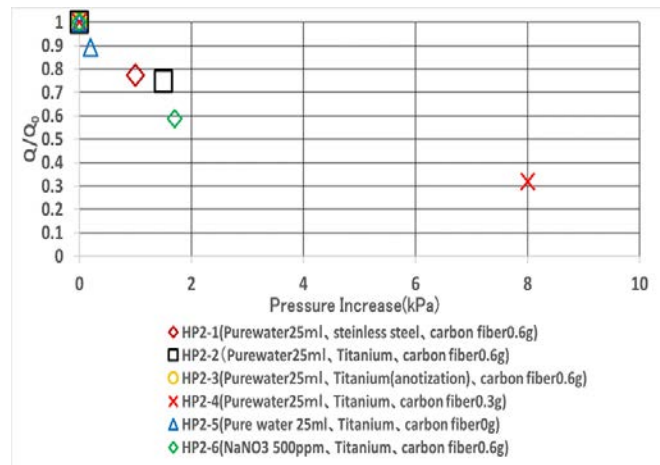


Figure 3 The relation between the change of Q and pressure increase of HP after irradiation

またガス分析の結果、HP 内作動流体である水の放射線分解により生じた水素が内部圧力上昇の主原因であることが判った。

3. まとめ

燃料デブリ除熱効率化のために高放射線下でも利用可能なヒートパイプを開発するため、様々な要素を組み合わせたヒートパイプの性能試験を行った。

濡れ性が優れる表面処理チタン板の内部構造への利用や、内部ウィック材であるカーボンファイバーの洗浄、シール部の遮蔽、側面への水素貯蔵タンクの設置など、種々の改良を加えた結果、照射量約 1000kGy まで熱輸送量が確保される結果が得られた。

この結果により、長期間にわたる高放射線環境下でのヒートパイプ利用が可能となり、ヒートパイプの燃料デブリ取り出し工法への適応が可能である見通しが得られた。

[19020]

II. ITO ガラスの照射効果

1. はじめに

透明電極である ITO ガラスを用いると、沸騰気泡の様相が、伝熱面側から可視化できるというメリットがあり、数多くの研究者が ITO ガラスを用いた限界熱流束実験を実施してきている。一方、本研究の目的である、ガンマ線照射により、銅伝熱面に対する CHF が変化する事と同様の現象が起きるかは確認されていない。

2. 試験及び試験結果

2.1 ITO ガラス照射試験

量子科学技術研究開発機構高崎研究所のコバルト 60 照射施設を用いて、ITO ガラスの照射試験を実施した。照射線量率は 10kGy/h とした。照射時間を変化させることで、総照射量を変化させ、照射後に液滴を落下させて接触角を計測した。また、ITO ガラスの色の変化を目視にて確認した。線源に対して、ITO ガラスは垂直になるように設置している。設置時の状況を Figure 4 に示す。

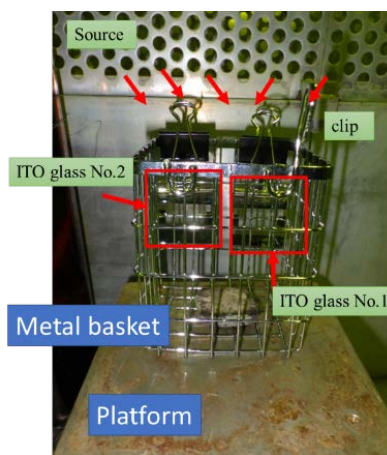


Figure 4. コバルト 60 ガンマ線照射時の ITO ガラス設置状況

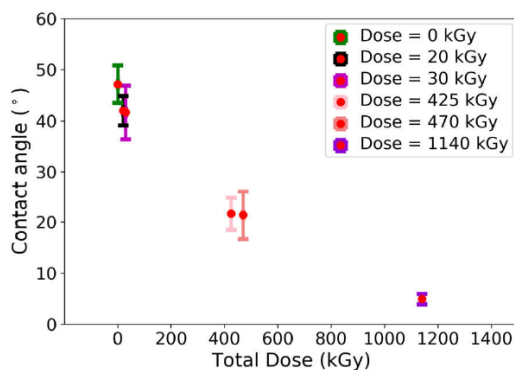


Figure 5 照射量と接触角の関係

約 1100kGy の照射量において、大きな接触角の現象が観測されている。一方、ITO ガラスへの着色は観測されなかった。一般的なガラスでは 1kGy 程度の照射でブラウニング(着色)することが知られているが、サファイアガラスではほとんど影響がないことが確認された。また、薄膜ではあるが、ITO 膜、チタン膜についても、可視化には影響しないことが確認できた。来年度以降の実験において、サファイア製の ITO ガラスを用いることで、照射後においても可視化実験ができる可能性を示すことができた。

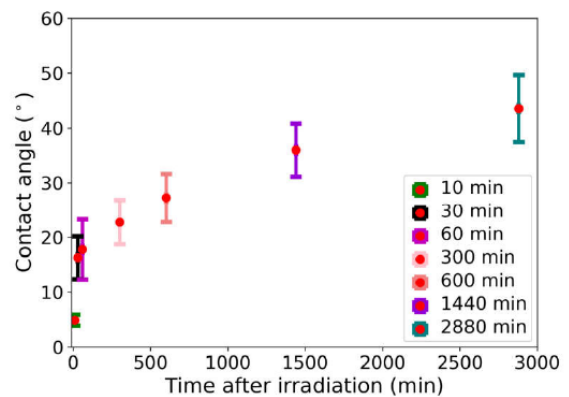


Figure 6 照射終了後の接触角回復

Figure 5 に、照射量と接触角の関係を示す。濡れ性を大きく改善し親水性表面とする、つまり接触角を十分に小さくするためには、1MGy の照射が必要であることが確認された。また、Figure 6 に照射終了後の接触角回復傾向を示す。約 400kGy のデータと同様に、時間とともに回復していくが、20 時間程度(1200 分)の長時間がかかることが分かる。来年度の実験では、照射終了後に実験を行うが、実験終了までに 4 時間程度(約 240 分)を見込んでおり、20 度程度の接触角の状況での実験が可能と見積もることができる。

3. まとめ

ITO ガラスのガンマ線照射実験を行い、1MGy の照射で濡れ性が大幅に改善することを見出した。また、濡れ性が元の状態に回復するまでに 20 時間以上の時間がかかることが分かった。