

[18015]

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 A), 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 Pd chains inside the heat pipe to reserve H₂ gas with the function of a catalyst worked well below 108kGy.

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

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、非凝縮性ガスを抑制するため、異なる形状の触媒を内部に設置したヒートパイプを開発し、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所の Co 60 γ 線照射設備を用いて、照射後におけるヒートパイプ除熱性能試験を行った。

2. 試験及び試験結果

2.1 ヒートパイプ試験方法の確立

ヒートパイプ試験システムを Figure 1 に示す。本システムの高温部では、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、それぞれ 3 回繰り返し試験を行った。

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、それぞれ 3 回繰り返し試験を行った。

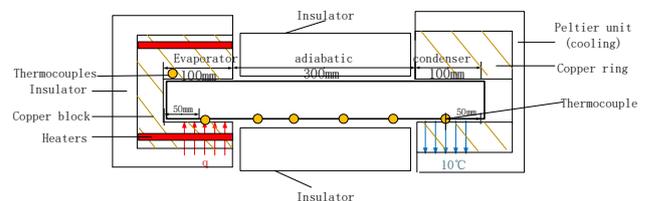


Figure 1. Schematic of heat pipe test system

2.1 改良ヒートパイプの作製

前年度実施した市販ヒートパイプ照射試験では、低照射量において水の放射線分解により発生する水素ガスがヒートパイプの内部に蓄積し、伝熱性能が急激に劣化した。そこで、水素吸収や水素と酸素の再結合を促進するための触媒としてパラジウムをヒートパイプ内部の冷却部側に設置した。また蒸気と水をわける星形のステンレス製チューブを中央に配置し、そのまわりにウィック材としてカーボンファイバーメッシュを設置した。具体的には、Table 1 に示す、内部構成が異なる 8 本のヒートパイプを設計し、ステンレス製チューブ長、触媒形状・量、水分量をパラメータとして変化させ、除熱性能を把握した。

Table 1 Heat pipes with different configuration

[18015]

Sample	Inner structure /cm	Catalyst	Water amount
S1	48	No catalyst	10%
S2	48	Honeycomb H1	10%
S3	48	Honeycomb H2	10%
S4	48	No catalyst	5%
S5	43	No catalyst	10%
S6	48	Pd wire/Pd plate	10%
S7	48	Pd powder	10%
S8	43	Pd wire/Pd chain	10%

サンプル S2 および S3 に用いたハニカム H1 および H2 を Figure 2 に示す。表面はパラジウムでコーティングしており、圧力降下がより少なく、またガスと内部構造が大きな接触面積を有する構造とした。



Figure 2 Honeycomb H1 and H2

S6 では、2m のパラジウム線を使用した。また、キャップの端にパラジウム板を貼り付けた (Figure 3)。

S7 ではパラジウム粉末を内部水に混ぜた。

S8 では、より大きな接触表面積を得るため、パラジウム箔を鎖状に連結して、更に 1m のパラジウムワイヤを設置した (Figure 4)。



Figure 3 the catalyst in S6



Figure 4 the catalyst in S8

2. 3 実験結果

ヒートパイプ S1~S8 をガンマ線により照射した。異なる照射線量におけるヒートパイプ S1~S8 の伝熱性能を Figure 5 に示す。

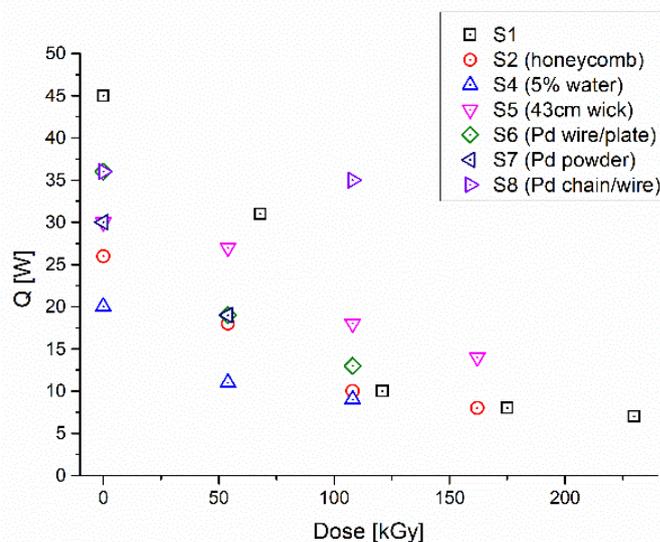


Figure 5 Heat pipe power at different irradiation dose

S2 と S3 はハニカム構造により圧力低下を生じ、照射前後ともに性能が低下した。また S4 では保有水量を 5% に削減したが効果は見られなく、水素が十分に発生したか、あるいは作動流体が不足し、乾燥限界に達した可能性が考えられる。

S6 と S7 は、照射量 54kGy 以上では性能低下が見られたが、冷却部におけるウィック上部の空間が狭く、発生した水素をそのエリアでは貯蔵しきれなかった可能性が考えられる。

S5 には、冷却部に非凝縮性ガスを貯蔵するためのより大きな空間があり、54kGy 照射後も性能を維持したが、108kGy 以上では性能は低下した。

更により大きなガス貯蔵空間と、より大きな表面積を有するパラジウム触媒を備えたヒートパイプ S8 では、108kGy の照射でも良好な性能を維持した。

3. まとめ

本研究では新たに作製したヒートパイプの除熱性能について、γ線有無の条件で試験により評価を行った。ステンレス鋼メッシュおよび炭素繊維の2つのウィック材料に関して浸透性試験および毛細管試験を行った結果、炭素繊維はより優れた特性を示した。そこで星型柱の内部構造にカーボンファイバーを巻き、冷却部側に触媒を入れた新たなヒートパイプを作製した。伝熱量の測定方法を確立した後、γ線照射を行い、照射後に試験を行った。照射されたヒートパイプ内部には、水素等非凝縮性ガスが蓄積するため、伝熱量が低下する。試験の結果、冷却部に非凝縮性ガスを蓄積可能な空間を要し、またパラジウム箔を鎖状に連結した触媒を備えたヒートパイプは、照射量 10kGy まで最も優れた伝熱性能を示すことが判った。