

審査の結果の要旨

氏名 張 瑤

現在、福島第一原子力発電所廃炉において、燃料デブリ取り出しが検討されているが、原子炉底部・格納容器底部の機能維持や取り出し時の放射性物質の飛散防止など課題が多い。これらの課題を解決するため、耐熱性、耐放射線性、核種浸出性等に優れるジオポリマーを活用し、一旦安定固定化してから燃料デブリを取り出す工法が議論されている。しかしながら、同材は熱伝導率が低いため、実機に適用するためには効率的な除熱が課題である。ヒートパイプは、真空中において加熱部で蒸発した内部溶液が冷却部へ高速で移動し、毛細管構造を有するウィックにより再び加熱部へと循環するため、熱を効率的に移動させる機能を有する。

本研究は、動的機器を有しないシンプルな構造であるヒートパイプにより、燃料デブリ冷却を実現することを目的としており、新たな発想に基づく開発研究である。本論文は以下の6章で構成されている。

第1章では、福島第一原子力発電所の現状及び燃料デブリ取り出しに関する知見をまとめるとともに、ジオポリマーによる安定化工法の説明および、その際に除熱機構として必要になるヒートパイプの構造及び特性に関する現状の知見をまとめている。

第2章では、第1章で得られた知見を元に、実機にヒートパイプを適用した場合の課題を設定し、本研究の目的を述べている。

第3章では、ヒートパイプの性能向上のため、内部溶液（水）循環を促進するウィックに関する材料試験結果をまとめている。具体的には、表面張力測定、浸透性等に関する試験結果から、ウィック材としてカーボンチューブを選定している。

第4章では、ヒートパイプ性能評価に関する試験手法を確立するとともに、同試験結果から、ヒートパイプの内部構造形状を決定している。

具体的には、発熱部ではヒートパイプを挿入した銅ブロックを介して電流を流し加熱するとともに、冷却部ではペルチェユニットを用いて一定温度に保つ性能評価試験方法を開発した。また同試験により、ヒートパイプ内の蒸発部、凝縮部を隔離する内部構造物の形状は星型長尺管が優れていることを見出し、

星型長尺管外表面にカーボンファイバーを付与した新たな設計に基づくヒートパイプを製作した。

第5章では、市販ヒートパイプ及び新たに設計したヒートパイプの γ 線照射試験結果を示している。試験結果から、内部の水の放射線分解で発生した水素等の非凝縮性ガスがヒートパイプ冷却部に蓄積することにより、著しく性能を劣化させることが判った。またヒートパイプ冷却部に鎖状の表面積の大きなパラジウム等触媒を設置することにより、水素吸収及び酸素・水素の再結合反応を促進し、約 100 k Gy までは照射による性能劣化を改善可能なことを見出した。

次に、より高い照射量でのヒートパイプ性能評価を行うため、内圧を測定しながら約 600 k Gy まで照射を行い、照射後にヒートパイプ性能試験を実施した。

その結果、非凝縮性ガスによる分圧増加が極めて敏感にヒートパイプの除熱性能に関係することが判り、触媒の設置とともに、冷却部以外の位置に非凝縮性ガスを蓄積可能な空間を新たに設置することにより、より優れた性能維持を図れる見通しを得た。

第6章では、ヒートパイプ内でのガス発生評価及び触媒内のガス蓄積量評価から、 γ 線照射環境下でのヒートパイプ性能に関する考察を行っている。ガス分析結果より主要なガス成分は水素であるが、照射量とともにその他窒素等の発生が確認され、より高照射領域においては内部構造物等からのガス発生影響を今後検討する必要性を指摘している。

最後に、福島第一原子力発電所にヒートパイプを設置する方法が議論され、除熱性能とともに水素リスクを低減することが重要であり、PCV 内では冷却部を上部にして垂直に設置する方法、RPV 内では同様に冷却部を上部にして垂直に設置する方法、あるいは水平に設置して冷却部を PCV 外に設置する設置案が提案された。

以上、本論文は、福島第一原子力発電所燃料デブリ取り出しにおける崩壊熱除去の手法として、ヒートパイプを利用した工法を提案するものであり、不確定性の多い廃炉作業における二の矢の工法を提示していることから、廃止措置工学の進展に寄与するところが少なくないと判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。