

除熱時間を増大させた革新的非常用復水器の開発

5313L001 小澤 俊一郎

Development of Innovative Isolation Condenser

No. 5313L001 Shunichiro Ozawa

1. 緒言

非常用復水器 (Isolation Condenser: IC) は、福島第一原発 1 号機 (1F1) 事故において、非常用炉心冷却唯一の手段として用いられた。文献から集めたデータ^[1]を基に、独自にモデル化した 1F1・IC の鳥瞰図を図 1 に示す。

IC は、原子炉と閉回路を形成しており、異常時に原子炉内部の高温・高圧の蒸気をタンク内の U 字伝熱管内を通過させながら、冷却水で冷やして凝縮させ、重力によって原子炉内へ復水させる非常用炉心冷却システムである。電気も人の手も使わずに、原子炉の水位を保ったまま、原子炉圧力を下げられる点が IC の強みである。

一方、タンク内の冷却水は大気圧下で沸騰し、蒸気として大気中に放出されるため、水位が徐々に低下する。ある水位で伝熱管がむき出しになると除熱性能が著しく悪化し、タンク内に冷却水が補給されなければ除熱は不可能となってしまいます。これが IC の弱点である。

2. 研究の目的

本研究では、福島事故の教訓から、電気も人の手も使わず、完全に受動的な炉心冷却を永久的に継続できる非常用炉心冷却システムを開発することを目的とする。そのシステムこそが、タンク内の水位を常に U 字伝熱管の高さ以上に保つことができる革新的非常用復水器である。

3. 構想

図 2 に革新的非常用復水器の構想、図 3 に革新的非常用復水器の動作原理を示す。タンク下部には管内を炉心蒸気を通る U 字伝熱管が 24 本、上部には管内を空気が通る伝熱管が 6600 本あり、タンク内は冷却水で満たされている。空冷伝熱管束はタンクを貫通する形で設置され、その出口は煙突と繋がっている。

炉心蒸気からの受熱によって冷却水は沸騰し蒸気が発生するが、その熱を周囲の空気へ放熱することにより、蒸気を凝縮させる仕組みである。凝縮水は重力によって落下し、再

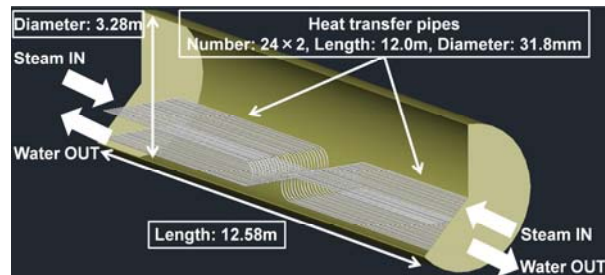


図 1 独自にモデル化した 1F1・IC の鳥瞰図

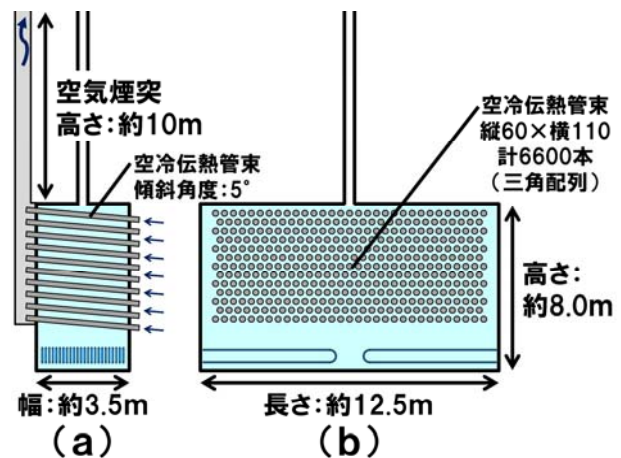


図 2 革新的非常用復水器の構想
(a) 正面から見た図 (b) 真横から見た図

びタンク内冷却水として炉心蒸気の熱を受け取る。こうしてタンク内冷却水の水位をU字伝熱管より高く保つことができ、炉心冷却を持続させることができる。

4. 結果・検討

本研究では、周囲の空気の温度を 30°C と設定して計算を行った。伝熱管内を流れる空気の流速は、密度差にヘッド項をかけた駆動力と、出口・入口・摩擦のそれぞれを合わせた全圧力損失が等しくなる値として繰り返し計算で算出した。伝熱管内の空気は、蒸気からの伝熱により出口付近で 60°C まで温度上昇し、その流速は 3.0m/s となる。対流熱伝達率は Kays の式^[2]を用いて 12.9W/m²K と算出される。6600 本の空冷伝熱管束は、最大で 4.7MW の除熱量が見込まれる。

革新的非常用復水器を 72 時間継続運転させた場合のタンク内冷却水の水位変化を図 4 に示す。伝熱管束を設置せずタンクを全て水で満たした場合と比較すると、伝熱管束の体積分、初期のタンク内冷却水の水位低下は急勾配であるが、空冷による凝縮量が徐々に蒸発量に近づき、ある時点で水位は一定となる。

革新的非常用復水器を 1 週間継続運転させた場合の原子炉圧力変化と原子炉水位変化を図 5 に示す。タンクを全て水で満たした場合は、24 時間を過ぎたあたりから除熱が不可能となり、原子炉圧力が急上昇する。その後、逃し安全弁の作動により原子炉内の蒸気が外部へ吹き出し、水が失われることで原子炉水位が急低下し、最終的には炉心が空炊き状態となり、メルトダウンに陥ってしまう。一方、革新的非常用復水器の場合は、原子炉水位を一定に保ち、原子炉圧力を下げながら崩壊熱を除去し続けるため、メルトダウンに陥ることはない。

5. 結言

受動的な非常用炉心冷却を永久的に可能にする革新的非常用復水器を考案した。さらなるシステムの小型化や、実験によるシステムの適用性を確認することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 東京電力、福島第一原子力発電所原子炉設置許可申請書本文及び添付書類、(2002)。
 [2] Kays, W.M. and Crawford, M.E., Convective Heat and Mass Transfer (2nd ed.), (1980), 243, McGraw-Hill
 外部発表

日本原子力学会, 2014 年秋の大会, No. J11, 2014 年 9 月 8 日

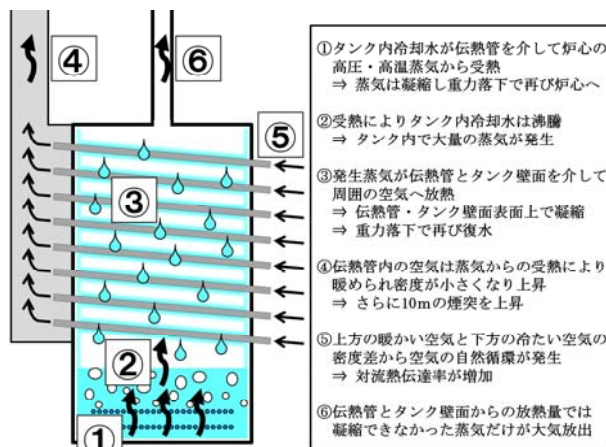


図 3 革新的非常用復水器の動作原理

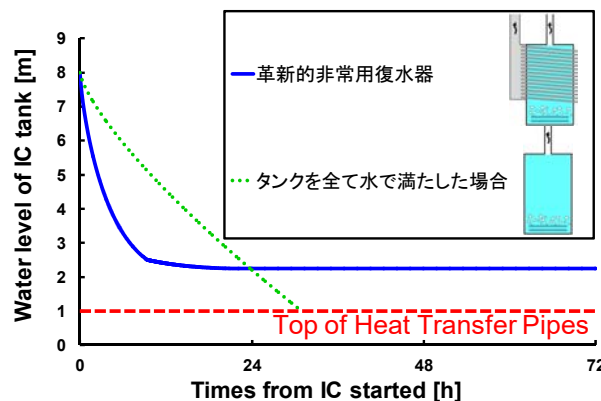


図 4 革新的非常用復水器を 72 時間継続運転させた場合のタンク内冷却水の水位変化

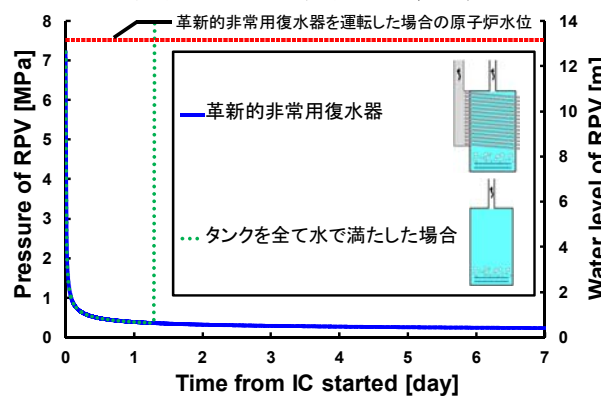


図 5 革新的非常用復水器を 1 週間継続運転させた場合の原子炉圧力変化と原子炉水位変化