

審査の結果の要旨

氏名 白石 直

本論文は、改良型加圧水原子力発電設備 (APWR) の安全系に採用されることとなった、高性能蓄圧タンクに関する研究をまとめたものである。本論文は5章で構成されている。

第1章は序論である。本研究の背景として、加圧水型原子炉 (PWR) の開発の歴史、本研究の必要性、世界での原子力発電所の事故例と教訓、非常用炉心冷却系についてまとめられている。従来の PWR の蓄圧タンクと低圧注入ポンプが分担していた再冠水機能を統合した機器として、次世代用高性能蓄圧タンクが求められていることが示されている。

第2章ではフローダンパの開発について述べられている。高性能蓄圧タンクは大破断冷却材喪失事故 (大破断LOCA) 時の初期段階に要求される大流量から、炉心再冠水段階に要求される小流量へ可動部分無しに自動で切り替えることが必要とされた。そこで、この流量切替えはフローダンパと名付けたFluidic素子で行うこととした。次世代炉用高性能蓄圧タンクの縮尺1/5 模型を使った基礎試験と縮尺1/3 模型を使った確証試験を行い、システム設計からの要求を満足する結果を得ている。さらに、スタンドパイプからのガス抜けを防止できることが確認され、設計に必要なデータが取得されている。

第3章では高性能蓄圧タンクの設計方法について述べられている。大破断LOCA時の注水前半では、蓄圧タンク水位が高く大流量管と小流量管からの流れが合流して渦を作らずに流れ、大流量を実現する。注水後半では、蓄圧タンク水位がスタンドパイプ入口より低く小流量管からの流れが渦室に渦を形成して小流量を実現する。従って、高性能蓄圧タンクの設備構成は、フローダンパを蓄圧タンク底に設置し、スタンドパイプ入口を流量切替え水位に設置し、出口配管をタンク壁で下流の注入配管に繋げるものとしている。Fluidics 素子に対して目的とする仕様の設計が可能となるように、フローダンパ、スタンドパイプそして出口ノズルの設計方法がまとめられている。流量切替え性能を支配する渦室中の渦による圧力降下のメカニズムと定量的評価方法は、伸張渦と非伸張渦を組み合わせた合成渦で検討し、非伸張渦による渦室中心に向かう循環の輸送が重要であることを明らかにした。さらに、流量切替え時のスタンドパイプ内水位は、1次元運動量バランスで安全側かつ精度良く評価できることが示されている。出口ノズルは大流量時の抵抗を小さく抑さえ、小流量時は渦による圧力降下量を大きくするために、レデューサ、スロート、ディフューザの適切な組み合わせが必要であるとされている。

第4章ではAPWR用高性能蓄圧タンクの開発がまとめられている。その高性能蓄圧タンクの主要寸法は直径が約4m、高さが約9mである。この高性能蓄圧タンクの性能を評価し、設計データを取得するために、4種類の縮尺試験が行われた。1/8.4 縮尺模型可視化試験では、渦室内に大流量注入時に渦が無いこと、小流量注入時に強く安定した渦ができ

ること、そしてその流量切り替えがスムーズに行われることが確認された。1/3.5 縮尺模型では、流量切り替え時にスタンドパイプ入口でのガス巻き込み渦と落水の防止のための渦防止キャップの有効性とスタンドパイプ入口へのシャープな流れ切り換えが確認された。1/5 縮尺模型では実機と相似な流路体系で流量切替え時の渦室内流動が期待通りであることが確認され、フローダンパの流量特性と設計データが取得された。実高さ 1/2 縮尺の実圧注入試験装置では高性能蓄圧タンクの総合特性が確認された。

第 5 章は結論であり、本研究のまとめが述べられている。

以上を要するに、本論文では新たな Fluidic 素子を提案し、これを用いることで注水前半の大流量注水から注水後半の小流量注入が静的なメカニズムで実現される。その基本的な作動原理の確認し、設計方法を確立し、APWR の安全系を構成する高性能蓄圧注入タンクとして実用に供することとなっている。こうした一連の研究は流体力学および原子力工学の発展に寄与するところが少なくない。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。