

# 原子炉を模擬した熱水力実験装置の製作

名古屋大学工学部工学研究科技術部 大久保興平

## はじめに

現在の原子炉は、緊急時の安全面において構造的に固有の安全性を有しているが、それだけでは安全性の確保が十分ではないため、動的機器を利用してこれを補っている。このため近年、PIUS 原理に基づいて従来の原子炉よりもさらに優れた固有の安全性を持たせた新型の原子炉が考え出された。PIUS とは、Process Inherent Ultimate Safety の略であり、「故障するかもしれない機械的・電氣的機器の働きに基づく工学的安全システムや異常発生直後の人間の介入操作に頼らなくても安全性が保証される」ことを意味している。

しかしながら、この原子炉は、炉システムの制御が難しく安定した運転が困難と考えられている。

本装置は、この新型原子炉の炉システム制御の実験的検証、また既存の原子炉における熱水力関連の諸特性実験を行う目的で製作した。本装置は大型の実験装置にもかかわらず、大学の一講座の学生とスタッフとの共同作業によって完成させたため、本技術研究会の場をお借りして紹介する。

## 新型原子炉の原理

図 1 に上述した新型原子炉の<sup>[1]</sup>原理図を示す。極言すると、この原子炉は、上蓋と底板を抜いた原子炉をプール(ポイズン系)に沈めた構造になっている。

本原子炉の特徴は、原子炉の一次系とプールとの間に「密度ロック」と称される部分が存在することである。密度ロックは流体に抵抗を生じさせる構造になっているため、通常運転時は、循環ポンプで炉心へと送られ加熱された水は蒸気発生器で熱交換され、再び循環ポンプに戻り、一連の加熱・熱交換の動作を繰り返す。しかしながら、主循環ポンプの停止や蒸気発生器のトラブルが生じた場合は、一次系内の水圧および熱バランスが崩れるため、プール内の大量の水が下部の密度ロックを通り、一次系内へと流入し炉心を冷却する。なお、プール内の水には炉心の核燃料の核分裂を抑えるホウ素を溶かしてあるため、このようなトラブルが発生すれば、炉は自然と停止する。よって、従来の原子炉に比べてより固有の安全性を保つことが可能となる。

本原子炉の運転は、密度ロック内の水の温度や流量を検知して主循環ポンプの回転数を制御して行う。

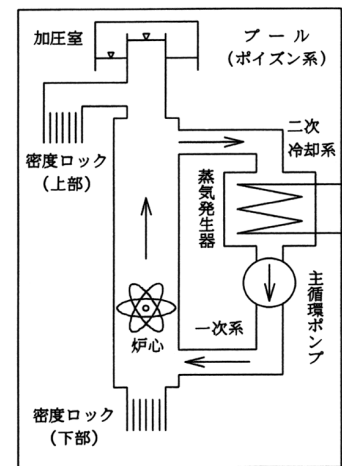


図 1. 新型原子炉の原理図

## 本装置の概略

本装置の<sup>[2]</sup>概略図を図 2 (次ページ)に示す。この装置は、1980 年代後半にスウェーデンの ABB Atom 社が設計・提唱した PIUS-600 型炉、そして日本原子力研究所の自然循環特性実験装置を参考に設計した。装置は一次系・ポイズン系・二次冷却系から構成されている。なお本装置は、製作の提唱・推進者によって、The EARTH(Experimental Apparatus for Reactor Thermal-Hydraulics) と命名されている。

一次系は主循環ポンプ・下部プレナム・炉心模擬体・上部プレナム・蒸気発生器模擬体・ダウンカマーから成り、ポイズン系は上部ポイズンタンク・中間ポイズンタンク・下部ポイズンタンクから構成されている。二次冷却系は二次冷却水タンク・冷却ユニット・二次冷却系循環ポンプ、他から構成されている。

系内の水の自然循環力を高めるため、装置の全高は 10m とした。高さの関係上、装置は実験室の 1 階と 2 階に分けて配置している。特に 2 階には、上部ポイズンタンクや蒸気発生器模擬体を設置するための架台

を設けているため、装置全体では3階の構造になっている。

本装置に関する設計・製作等に関する統括は、講座の担当教官(教授)が行い、概念設計は、教授・助教授の指導の下、学生が行った。そして、学生に対する具体的な設計・製作上の指導は、当方が担当し、計測機器の装備・運転・調整指導は教官(助手)が担当した。しかしながら、指導をするだけで本装置を完成させるには、あまりにも時間がかかりすぎたため、実際の作業は学生と講座のスタッフで共同して行った。

本装置は、概念設計から完成までに、延べ33ヶ月を費やした(概念設計12月、設計5月、製作13月、運転・調整3月)。

装置の仕様は次のとおりである。

- ・装置全高：12.32m
- ・装置揚程：10m(全揚程：11.72m)
- ・一次系：容積32.4 ㍓(炉心4.9 ㍓含), 運転温度100 以下
- ・炉心模擬体：電気ヒーター20kW(10kW×2基, 三相200V)
- ・主循環ポンプ：流量40 ㍓/min, 揚程23m, 出力0.75kW
- ・ポイズン系容積：1,096 ㍓  
(上部ポイズンタンク300 ㍓, 中間ポイズンタンク400 ㍓, 下部ポイズンタンク300 ㍓, 配管部96 ㍓)
- ・二次冷却系容積：約220 ㍓(冷却ユニット含まず)
- ・蒸気発生器模擬体・二次冷却系冷却ユニット容積：各61 ㍓
- ・二次冷却系ポンプ(2基)：  
流量20 ㍓/min, 揚程13.5m, 出力0.25kW  
流量20 ㍓/min, 揚程9.4m, 出力0.15kW
- ・その他：熱媒体-水(イオン交換水), 架台重量1,908kg

## 完成した装置

装置の材質は、装置内壁面等の錆びによる熱伝導率の低下やその他のトラブルを防ぐため、ステンレス鋼を使用している。ただし、架台およびタンク等の支持台は一般構造用圧延鋼材である。一次系・ポイズン系・蒸気発生器模擬体・冷却ユニットは気密性を高めるため、TIG溶接や被覆アーク溶接によって組み立てられている。二次冷却系の配管はねじ込み方式を採用している。管の規格は、一次系およびポイズン系が25A-5S~50A-5S、二次冷却系は25A-5S~20Sである。

製作にあたっては、機械工作室の設備能力や学生・職員の技術力と製作時間、講座の予算等を配慮し、製作が困難な部分については専門の会社に依頼し、可能な部分は学生・職員でこれを行った。

図3は実験室2階に設置された二次冷却水タンク等の装置部品である。架台には上部ポイズンタンク・蒸気発生器模擬体が設置してある。二次冷却水タンクは、ステンレス製の200 ㍓のドラム缶を利用している。冷却ユニット・蒸気発生器模擬体の内部には、細管(12-0.9t)が155本通っており、これを内部の鏡板

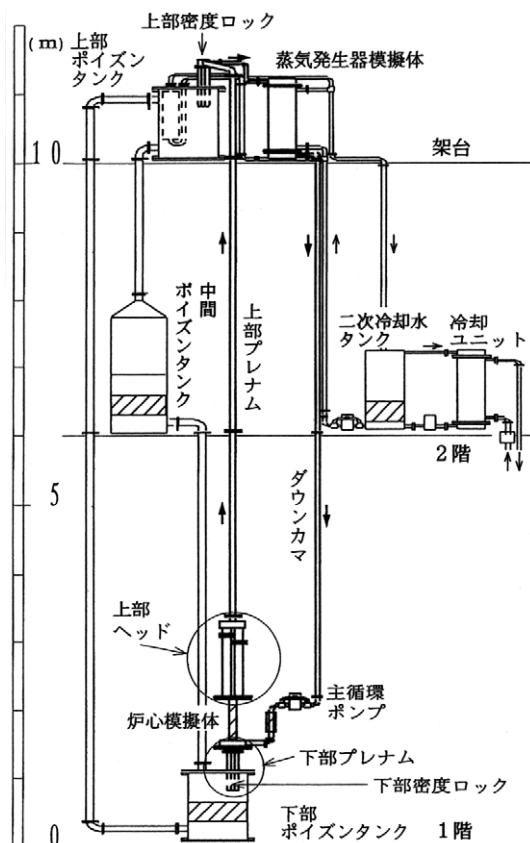


図2. 本装置(The EARTH)の概略図



図3. 完成した装置の外観(2階部分)

(23mmt)に溶接してある。これらを外注すると、1年以上の講座費が必要になるため、大きなパーツは外注し、納品後に細かい部分を機械加工・溶接して組み立てた。溶接作業もさることながら、細管の数量が多い上に鏡板も厚いため、細管の加工と鏡板の穴あけ作業に多くの労力を必要とした。この作業は、1作業あたり学生・職員が3人一組となり、1日2時間を目安に三交代で行った。作業に要した延日数は40日強である。また、各タンクの据付作業やそれらを接続する配管や二次冷却系の配管・溶接も学生・職員で行った。なお、架台・中間ポイズンタンク・上部ポイズンタンクは大型で製作が困難なため、専門の会社に依頼した。

図4は、実験室1階に設置された装置の部品である。下部ポイズンタンクの製作は専門会社に依頼したが、それ以外の部品は冷却ユニットと同様の方法で製作・組み立てを行った。下部プレナムの内部にはオリフィスが取り付けられており、その下部には密度ロックが装着されている。これは、19本の管(外径14.9mm,長さ560mm)で構成されており、そこには80mmの間隔で8本の熱電対が取り付けられている。本装置は、この部分の温度情報から主循環ポンプを制御して運転する仕組みになっている。また、本装置には合計16本の熱電対が装着されており、それらはインターフェイスボードを介してパソコンに接続されている。なお、主循環ポンプは三相200Vのインバーターによって制御されている。



図4．装置1階部分の外観

### 本装置の運転結果

図5に<sup>[3]</sup>運転結果の一例を示す。これは、定常状態で運転している装置を、主循環ポンプの回転数を急激に低下させ、再び元の状態に自動復帰させた様子を示している。グラフの横軸は経過時間(秒)、グラフ上段左側の縦軸は温度であり、右側の縦軸は主循環ポンプの回転数である。グラフ下段は、一次系の流量(Q1)とポイズン系の流量(Q2)である。流量計には差圧式流量計を使用している。

グラフから、一次系の水量が低下すると下部密度ロック内の水温が低下する。このことは、自動的に下部ポイズンタンクから模擬炉心体へと水が供給されたことを意味しており、またこのような状態になっても、ポンプの制御により、装置が元の状態に自動的に復帰することを示している。

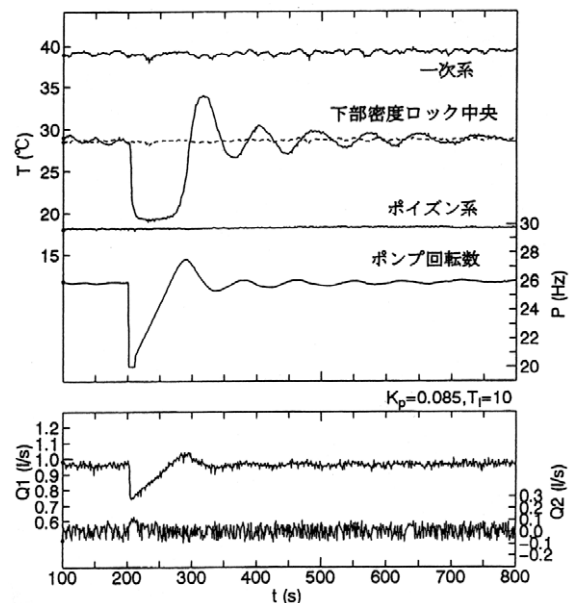


図5．本装置の運転結果の一例

### おわりに

本装置の設計当初は、これを大学の一講座だけで製作することは困難かと思われたが、大きなトラブルもなく無事に完成した。装置の試験運転当初(平成7年4月)には、水量の自動測定方法やパソコンによる制御に試行錯誤を要したが、それらの問題も解決し、今日まで順調に運転を続けている。本装置の設計・製作には延べ25人の学生が係わり、この装置を用いてこれまでに数多くの卒業論文や修士論文、また国内・国外への学会論文が提出された。なお誠に残念であるが、本装置の命名者でもある田坂完二教授が、不幸にも実験の成果を待たずして平成7年2月14日に他界された。ここに故人のご冥福を心からお祈り申し上げる。