

|         |                                |        |       |
|---------|--------------------------------|--------|-------|
| 氏名(本籍)  | うちだ けん (山梨県)                   |        |       |
| 学位の種類   | 博士(工学)                         |        |       |
| 学位記番号   | 博乙第2281号                       |        |       |
| 学位授与年月日 | 平成19年3月23日                     |        |       |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第2項該当                   |        |       |
| 審査研究科   | システム情報工学研究科                    |        |       |
| 学位論文題目  | 気体ブローダウンにより水中に生じる動荷重の評価と荷重発生機構 |        |       |
| 主査      | 筑波大学教授                         | 博士(工学) | 阿部 豊  |
| 副査      | 筑波大学教授                         | 工学博士   | 河合 達雄 |
| 副査      | 筑波大学教授                         | 工学博士   | 松内 一雄 |
| 副査      | 筑波大学教授                         | 工学博士   | 村上 正秀 |
| 副査      | 筑波大学助教授                        | 工学博士   | 京藤 敏達 |

### 論文の内容の要旨

沸騰水型原子炉の主蒸気管に設置される主蒸気逃し安全弁(SR弁)の開作動時には、圧力抑制プールの中に最初は非凝縮性気体が噴出する。このとき気泡は膨張収縮振動を行いながら継続して噴出される気体により成長し、その間、水中には圧力振動(動荷重)が発生する。本論文は、この圧力振動における最大荷重を数値解析による現象評価により高精度に予測することを目標として行った基礎的研究に関してまとめたものである。

数値解析手法としてHirtらのVOF法を用い、まず、基本的な単一球形気泡の膨張収縮自由振動現象の解析を行い、自由振動数や圧力分布などを理論と比較し、本手法にて正しく扱うことが可能であることを確認した。

次に、直管の開放端から水中に非凝縮気体を噴出させる小規模ブローダウン実験とその再現解析を同手法を用いて行った。測定結果と解析結果から現象を考察し、下降管水没部の内部に水が存在すると噴出開始時の気体圧力に大きな影響を与えるなど、継続的に噴出する気体により成長する気泡が引き起こす水中の動荷重の発生機構が明らかになった。また、VOF法による流体解析にて水中の最大荷重が評価できることがわかった。

さらに、よりプラント実機に近い体系として、スパージャを通してプール水中に気体を放出する小規模ブローダウン実験とその再現解析を同様な手法にて行った。しかしこのケースでは、数値解はプール水中に発生する初期ピークを急峻に、かつ圧力を2倍前後過大に算出すること、水中の圧力波形には実験装置の固有振動としては説明できない高次モード振動が現れるが解析ではこれを再現しないこと、実現象では気泡噴出開始からしばらくの間は水中圧力を変化させずに気体が噴出する時間帯が存在する、という点で数値解は実現象と異なっていた。

前記動荷重の過大算出要因について種々の検討を行った結果、初期に周囲の圧力を変化させずに水中に噴出する気体はボイド率の低い気泡媒質であり、その気泡媒質がその後に噴出するボイド率の高い高圧気泡により水中に励起される圧力振動を低減させるとの仮説が有力となった。

まずは気泡媒質による圧力波のカットオフ効果に注目し、スパージャ体系の実験に対応する条件において線型理論を用いて分散関係を算出したが、この実験で初期に放出された気泡媒質には水中の初期圧力ピークを半分程度に減衰させるほどのカットオフ効果はないことがわかった。

次に、局所均質とみなしたときの気泡媒質が高圧気泡周りに存在するときの作用に注目し、圧縮性・非圧縮性流体の統一解法である CCUP 法を用いた二相流の数値解析により検証を行った。スパージャ体系の実験に対応した解析条件により、ボイド率 1 の高圧気泡を周囲圧と同じ圧力を持つボイド率 0.5 の気泡媒質層が覆う球座標半径方向 1 次元の体系の体積自由振動の解析を行ったところ、前述のスパージャ体系のブローダウン実験を対象に VOF 法にて得た数値解と測定結果との主な相違点である、水中の初期圧力ピークの急峻で過大な算出、水中の圧力波形への高次モード振動の出現、を全て説明付けることが可能な解が得られた。

以上のように、スパージャの多孔板から水中に非凝縮性気体を噴出させるときに水中に発生する初期のピーク荷重においては、高圧気泡の噴出に先立ち周囲の圧力を変化させずにスパージャ孔から噴出するボイド率の低い気泡媒質が荷重を低減させる重要な効果を持つことを、VOF 法および CCUP 法の 2 種類の解析を用いて明らかにした。

## 審査の結果の要旨

沸騰水型原子炉の主蒸気逃し安全弁（SR 弁）開作動時における圧力抑制プールの中圧力振動の発生機構を数値解析により検討し、最大荷重の支配要因について分析的に考察した。その結果、圧力抑制プールの設計に重要である最大荷重の精密な評価が可能となった。さらに、スパージャ孔から噴出するボイド率の低い気泡媒質が荷重を低減させる重要な効果を持つことを示した。

本研究成果は沸騰水型原子炉の設計に対して重要な指針を与えるとともに、圧力波が気泡雲を通過する際の波動現象の解明に示唆を与えるものであり学術的にも評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。