

審査の結果の要旨

氏名 劉茂龍

東京電力福島第一原子力発電所事故は、津波によって電源が全て失われ、原子炉の崩壊熱除去ができなくなったことによって、炉心の大規模な損傷を起こし、結果的に放射性物質の大量放出に繋がった事故である。このようなシビアアクシデントにおける炉心の挙動を評価し、何が起こったのかを分析することは、原子力発電所の安全を向上するために重要な課題である。しかしながら、炉心の挙動は非線形で複雑であり、また、電源喪失によって計測データもほとんどないため、現状でもその詳細については良くわかっていない。特に、1号機については、事象を大きく左右する炉心の減圧プロセスについては、ほとんどわかっていない。本論文においては、1号機の事故を対象とし、特に減圧過程に着目し、既存のコードの改良を通じてその事象進展を推定することと、感度解析によって事象進展に与える重要なパラメータを評価すること、さらには、これらの解析結果をベースとして、シビアアクシデントに対する影響緩和対策を提案することを目的としている。本論文は7章にて構成されている。

第1章では、福島第一原子力発電所事故をレビューし、その事象進展における課題と、従来のシビアアクシデント研究についてまとめている。特に1号機の事象進展については、炉心の過熱状態や熔融などについての物理現象をまとめるとともに、本論文で用いるシビアアクシデント事象進展解析コードであるSAMPSONの概要についてまとめている。これらの評価を踏まえて本論文の位置づけを明確化するとともに目的を示している。

第2章では、SAMPSONコードの現状と、その課題について評価するとともに、モデルの改良とプログラムの修正を行っている。具体的には、事象進展に大きな影響を与える、水蒸気酸化による水素発生モデル、BWR特有のチャンネルボックスの影響、高温領域での熱輸送を支配する輻射伝熱モデルの改良などの改良を実施し、より物理現象を忠実にモデル化したコードとしている。

第3章では、改良したSAMPSONコードによる福島第一原子力発電所1号機の解析結果を示し、実機で観測された観測データとの比較により、これらを矛

盾なく説明できることを示している。特に、現状では不明の減圧過程に着目し、炉内計装管(SRM)の外圧クリープ破損、安全弁(SRV)弁座ガスケットの高温損傷、主蒸気配管の内圧クリープ損傷の3つのモデルを導入し、これらの事象進展に与える影響を定量的に評価している。具体的には、SRM 損傷は炉心損傷よりも前に発生したが、開口断面積が小さいために大きな減圧にはつながらないことを示している。また、炉心損傷により高温の蒸気が SRV を通して流出することによって SRV ガスケットの損傷が生じ、この損傷によって減圧がなされていることを示している。また、この減圧タイミングが、溶融燃料が原子炉容器を損傷するよりも前であったことを示し、高圧の溶融燃料が格納容器を損傷する DCH 事象が発生しなかったことを推定している。これらの推定は、実際に計測されている限られたデータを矛盾なく説明することができている。

第4章では、上記推定において不確かさの大きな減圧過程に着目し、SRM の破断断面積、SRV ガスケットの破損断面積をパラメータとして、事象進展に与える影響に関して、感度解析を実施している。

第5章では、感度解析結果をベースとして、シビアアクシデント時にもっともリスクが高いと考えられている DCH 事象を回避するための対策を提案するとともに、その有効性について議論している。具体的には、温度が上昇すると自動的に損傷する受動的減圧弁のような仕組みを、それぞれ1号機の事象進展をベースとして、SRM と SRV ガスケットをモデル化することによって提案している。現状では格納容器の気相中に放出されるが、事故影響緩和のための DCH 回避とともに、放出配管をサプレッションチェンバーに導くことで、放射性物質の放出量を低減することなども提案している。

第6章では、本論文で実施した、SAMPSON モデル改良に関する評価を実施するとともに、今後の課題をまとめている。

第7章では、結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上、本論文は、シビアアクシデント時の挙動評価モデルの改良や、それに基づくシビアアクシデントの緩和対策を提案するなど、原子力工学の進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。