HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	福島第一原子力発電所 1 号機を中心とした事故の分析と教訓抽出に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	小林, 正英
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11908号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58752
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masahide_Kobayashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　小林 正英

学　位　論　文　題　名

福島第一原子力発電所 1 号機を中心とした事故の分析と教訓抽出に関する研究
(Study on lesson and learns through the analysis of the accident mainly on the Fukushima Daiichi nuclear power station unit 1)

2011 年 3 月 11 日に発生したマグネチュード 9.0 の東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波は、東京電力福島第一原子力発電所を襲い、1 号機から 3 号機の炉心損傷を引き起こすとともに、4 号機の原子炉建屋に甚大な被害をもたらした。事故の詳細な事故調査・原因分析が行い、今回と同様の事態に至らないための安全対策を緊急に講じる必要がある。

本研究は、福島第一原子力発電所事故について、どのような事象が発生していたのか、その原因は何なのかの観点から、記録計や計算機打ち出しデータを詳細に分析し、この分析結果から、今後同様な事故を避けるための教訓を抽出する事とした。本事故は津波の発生前後で大きく様相を変えるので、分析は地震発生から津波来襲前の段階と津波来襲後の段階の 2 段階に分けて検討した。なお、津波来襲後の段階では、記録データが非常に少ないため、1 号機のみであるが解析を実施し、解析結果と記録データから事象を分析した。なお、解析は北海道大学過酷事故解析コード (HUSAC:Hokkaido University Severe Accident Code) により実施した。

本事故の原因については、東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会 (以下、政府事故調)、福島原発事故独立検証委員会 (以下、民間事故調)、東京電力 福島原子力事故調査報告書 (以下、東電最終報告)、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会 (以下、国会事故調) などで、論じられている。本研究の中でもこれらの各事故調の検討結果も参考として分析を実施し、以下の結論を得た。

①各プラントの時系列評価より、津波来襲前までは各プラントとも、所内電源は非常用ディーゼル発電機 (DG) により確保され、主蒸気隔離弁 (MSIV) 全閉時に通常取られる操作で原子炉を冷却していることがわかった。また、格納容器の圧力と温度の分析から、一次系の漏えいはない事がわかった。このことは、炉心損傷に至った要因は、津波の影響により直流電源を含む全電源を喪失して炉心の崩壊熱の除去に失敗したことであり、設計時に津波の影響を過小評価していたことが更にその要因であったと考えられる。

②津波来襲後の 1 号機に対する HUSAC 解析結果と記録データからの分析から、以下の過程で炉心損傷した可能性が高いことがわかった。即ち、津波来襲後は IC が不動作⇒崩壊熱による原子炉圧力上昇は逃し安全弁の自動開閉により制御⇒炉水が逃し安全弁を介してサプレッションチェンバーに移行し、原子炉水位が低下⇒燃料が露出して温度上昇⇒水ジルコニウム反応による発熱により更に温度上昇⇒炉心損傷に至る過程である。

また、炉心損傷の進展に伴い圧力容器から蒸気が格納容器に漏洩するが、漏洩箇所は逃し安全弁管台フランジ等が想定されてきたが、HUSAC 解析より中性子計装管のみから漏洩した可能性があることを示した。

③ 1 号機において非常用復水器 (IC: Isolation Condenser) が 1 基が冷却能力を発揮した場合、約

8 時間で原子炉は大気圧近傍まで減圧され、この間、原子炉水位は維持され、格納容器圧力も上昇しないことより、炉心溶融には至らずに事態を収束できたことを HUSAC コード解析で示した。

④ IC 隔離弁論理回路の現在のフェイルセーフ設計では、直流電源を含む全電源喪失時に隔離信号を発してしまうことが上記分析の結果わかった。全電源喪失時に重要な機能を果たす IC に対しては、冷却機能を果たす状態にすることがフェイルセーフ側であるが、1F-1 は IC の伝熱管の破断を想定して原子炉と IC を接続する配管を弁で隔離する (Fail Close) 設計となっている。伝熱管の損傷に対しては、主蒸気の漏えいを伴うので、配管破断を想定して放射能高の検知と AND を取るなど、安全上重要な弁の開閉信号を発する論理回路の総点検が必要である。

⑤米国の同様なプラントでは現状のフェイルセーフ設計回路についてよく理解をしており、直流電源を含む全電源喪失時には、先ず隔離弁を手動開する手順になっており、その訓練も行われているとのことである。全電源喪失発生時の初期段階ではプラント内の放射線が高いわけでもなく、手動操作は十分に可能であり、この操作により炉心溶融が防げる可能性が大きい。

平時の運転対策として、全電源喪失時のプラントの挙動を論理回路も含めて再点検し、運転操作によりカバーできる範囲を確認し手順に盛り込むことも必要と考える。なお、米国では IC に関しては 3 年に一度は実作動させ、作動時の状況を共有出来るようにしているとのことである。機器の健全性の確認としてのサーベランス試験の観点のみではなく、作動頻度の少ない安全機器に対して、機器状況把握のための訓練としての観点からもサーベランス試験実施の有無及び頻度を見直すことも必要である。これらは、新規制基準で考慮されているシビアアクシデント (過酷事故) のアクシデントマネジメント (事故緩和) でも同様であり、平時からのシビアアクシデントに対する十分な検討と準備が重要である。

⑥⑤項に示す改善は諸外国では “運転経験の反映 (Operating Experience)” と称してトラブル等の経験から得られる教訓を活かし、より安全なプラントとするような努力から生まれていることが多い。我が国ではこの取組が未だ弱く、強化していく必要がある。大切なのは、トラブル等であった事象について、これまでの設計・運用では対応していない点を着実に潰していくことで、考えられることは何がなんでも対応していくことではない。発生した事象を謙虚に捉え、必要なことを実施していくことが重要である。

例えば、米国の 2001 年 9 月 11 日のテロ対策として 2002 年 2 月 25 日付出された命令書の B.5.b 項では、全電源喪失時の炉心及び格納容器の冷却機能の強化策を求めており、その中には福島第一原子力発電所事故でも活用できる項目も含まれていた。必要最低限の電源を外部から供給するための端子の設置等がこれに当たる。福島第一原子力発電所事故ではメタクラが海水に浸水されて使用不能となったが、このような端子が設置されていれば電源車等の外部電源から炉心冷却に係る機器への電源供給がより迅速且つ容易であったと考えられる。