

非常用復水器を用いた原子炉減圧・冷却システム Evaluation on Decay Heat Removal Capability of Isolation Condenser for Depressurization and Cooling System

北海道大学	奈良林 直	Tadashi NARABAYASHI	Member
中部電力	下江 知弘	Tomohiro SHIMOE	
JAEA	秋本 肇	Hazime AKIMOTO	
北海道大学	千葉 豪	Go CHIBA	
北海道大学	辻 雅司	Masashi TSUJI	
北海道大学	坂下 弘人	Hiroto SAKASHITA	

In this study, we aimed to quantitatively evaluate cooling capacity of isolation condenser (IC) for core cooling in Fukushima Daiichi Nuclear Plant Unit 1. In order to evaluate cooling capacity, decay heat emitted from fuels in reactor core was calculated. We used the data of nuclear fuel and rated thermal power which is released by TEPCO. We analyzed IC with TRAC code. We made an experiment in order to check IC's input data. Because analysis data is close to experimental data, we made sure validity of input data. We analyzed IC under conditions which are recorded when IC started up and tsunami rushed toward plant. As a result of analysis, we confirmed that cooling capacity exceed decay heat under both conditions. In conclusion, IC had a capability to prevent core meltdown accident in Fukushima Daiichi Nuclear Plant Unit 1.

Keywords: Isolation Condenser, TRAC code, Fukushima Daiichi Nuclear Plant Unit 1, core cooling

1. 諸言

3月11日の福島第一原子力発電所における事故の教訓は、津波に起因する全交流電源喪失時においても炉心を冠水維持しなければならないということである。1号機には全交流電源喪失時に原子炉を冷却することが出来る IC (Isolation Condenser) が設置されていたが、隔離弁が誤閉止して事故を拡大させた。本研究では、福島第1原子力発電所に装備されていた IC の冷却能力と、IC が作動復旧した場合のその後の冷却効果について定量的に評価した。

2. 福島第一原子力発電所の事故の経過

地震発生直後に外部電源が喪失したが、非常用ディーゼル発電機 (EDG) が速やかに起動し、非常用炉心冷却系 (ECCS) が起動して、各原子炉は順調に冷却されていた。格納容器内の配管や重要機器の損傷も無かったことが、原子炉圧力や格納容器圧力・温度の記録紙の詳細な分析と解析評価で確認されている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。その後、津波が襲来して、タービン建屋の非常用発電機や配電盤などを機能喪失させて、全交流電源喪失が発生した。特に直流電源の喪失により、更に致命的な事象が発生した。特に制御盤の論理回路の電源断に伴うおびただしい異常信号が発生し、Fig.1 の格納容器壁内外の隔離弁の閉止信号が発生した。

1号機は非常用復水器 (IC) が起動し、約 15 分で、原子炉圧力を 7MPa から 4MPa に低下させていた。制御盤が活きていれば、非常用復水器が作動停止していることは制御盤のランプを見れば分かったはずであるが、制御盤の表示ランプが点灯していなかった。また、非常用復水器の作動中は、原子炉建屋の側壁から轟音を上げて蒸気が噴出するので、津波到達前には運転員が建屋の外に出て建屋越しに蒸気の発生と、蒸気の轟音を確認しているが、この蒸気噴流を津波到来後にも確認しておくべきであった。これらが成されなかったことは構内 PHS の電源断による通信機能の喪失によって通報連絡や指揮命令が迅速に出されなくなったことも大きい。事前に外部電源喪失事故(SBO)時の対策が取られていて、また SBO 時を想定した IC の運転訓練が実施されていれば、1号機の非常用復水器が作動を続け、原子炉は冠水維持され、冷却が進んで原子炉圧力も短時間で下がり、福島第1の事故を収束できた可能性が高い⁽⁵⁾。

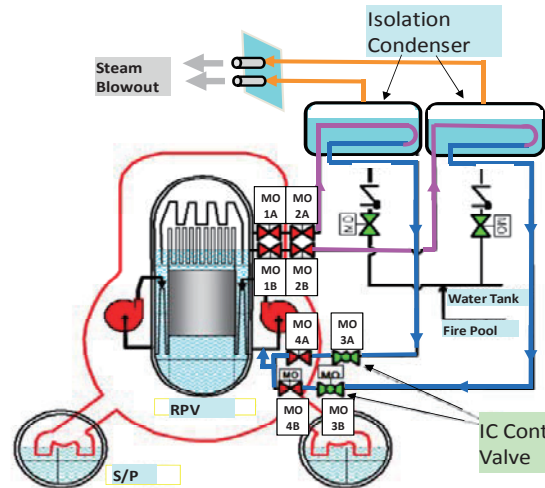


Fig.1 IC system flow sheet of Fukushima-Daiichi NPP.

3. IC 可視化実験と TRAC コードによる解析

図2の様な压力容器と IC 伝熱管を模した高圧可視化実験装置を製作した。実験装置 IC 部はポリカーボネート製の透明な水槽に冷却水を満たしており、U字管型の伝熱管内に約 6MPa の高圧蒸気が压力容器から供給される。

伝熱管は長さ 1m、内径 10.9mm のステンレス鋼管が使用されている。凝縮水の戻りライン弁を開けると伝熱管内

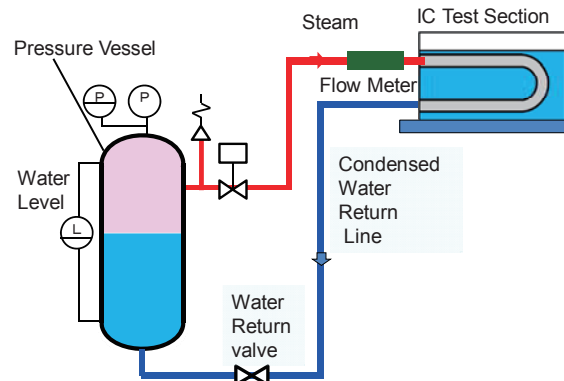


Fig.2 IC test facility by using high pressure steam.

の水が圧力容器内に重力で排出され、IC 伝熱管内に蒸気が圧力容器から供給されて、水槽内の冷却水で凝縮されて、再び圧力容器に凝縮水となって還流する。この駆動力を確保するために、IC テスト部は圧力容器の水位の約 4m 高い位置に設置した。可視化試験を開始すると、図 3 のように、U 字の上部から下部の一部まで、伝熱管外表面で沸騰が発生する。この場合、伝熱管内は蒸気や二相流の部分であると考えられる。そこで TRAC コードを用いて、図 4 のように可視化試験を模擬し、解析を実施した。圧力容器の圧力降下(図 4)や各部の温度などの解析結果が良く一致した。

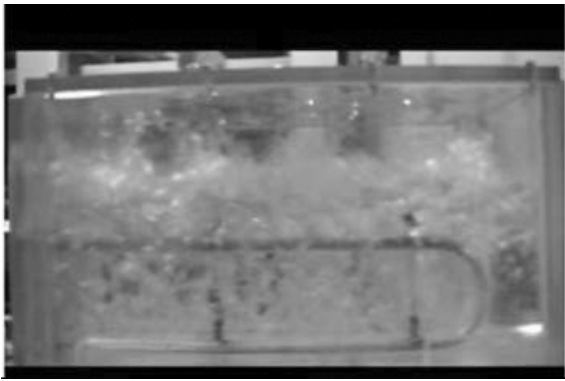


Fig.3 IC tube visualized boiling test result

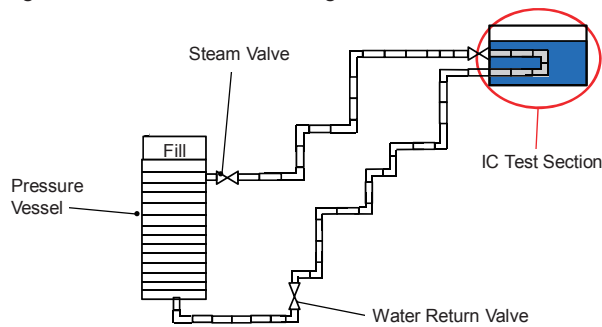


Fig.4 TRAC analysis model for the visual test.

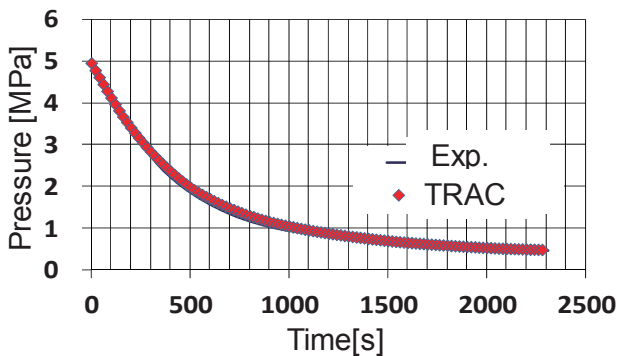


Fig.5 TRAC Analysis Model for the visual test.

4. 福島第 1 原発 1 号機の IC 実機解析

IC 可視化実験データにより解析手法の妥当性を確認したので、図 6 のように、福島第一原子力発電所 1 号機 (1 F-1) を 2 基の IC を含めてモデル化し、IC が作動しなかった 1F-1 の事故の再現解析と、IC が 16:10 に再稼働できた場合の 2 ケースを解析し、図 7 の解析結果を得た。まず、実験解析では、津波到達時前の IC の運転操作も含めて、事象を再現できた。次いで、5000 秒後の 16:10 に再稼働できた場合は、18:00 には原子炉の圧力は 1MPa 以下にでき、消防車などによる注水が可能であることを確認した。

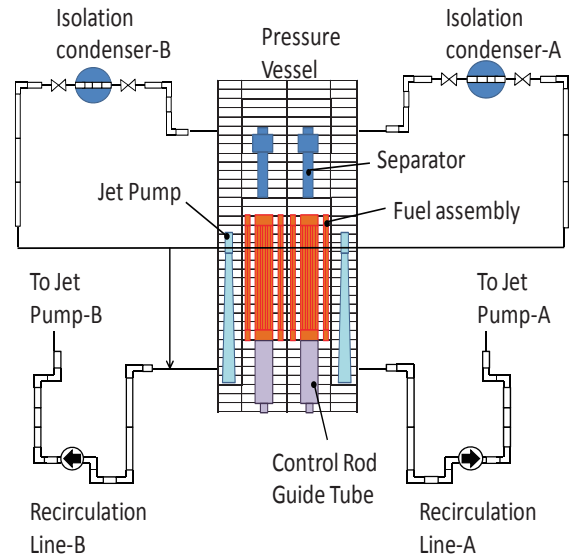


Fig.6 TRAC analysis model for Fukushima Daiichi Unit 1.

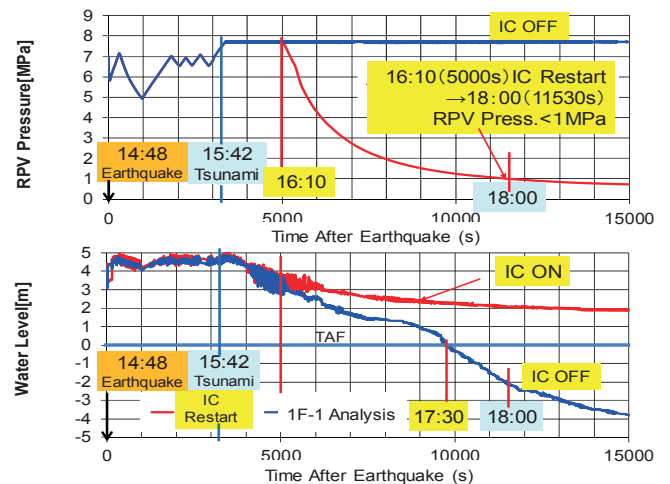


Fig.7 Analysis results comparison between IC on and off

5. 結論

可視化実験を TRAC で解析し、手法の妥当性を確認した。1 F-1 実機の TRAC 解析より、3 月 11 日 17:30 には水位は TAF 以下となり、18:00 には被覆管が酸化開始したことを確認した。一方、16:10 に IC を再稼働すれば、炉心を冠水維持することができ、18:00 には原子炉圧力は 1MPa 以下となり、事故収束することが解析から示された。残念である。

参考文献

- (1) 奈良林直, 杉山憲一. 「東日本大震災に伴う原子力発電所の事故と災害 福島第一原子力発電所の事故の要因分析と教訓」原子力学会誌「アトモス」, vol.53, No.6, (2011), P.387-400
- (2) 原子力安全基盤機構 原子力システム安全部. 「福島第一原子力発電所 1 号機非常用復水器 (IC) 作動時の原子炉挙動解析」(2011)
- (3) 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「中間報告書」(2011), P466-474, 入手先 <<http://icanps.go.jp/post-1.html>>
- (4) American Nuclear Society 「Decay heat power in light water reactors」ANSI/ANS-5.1 (2005) .
- (5) 下江 知弘ら, 福島第 1 原子力発電所の非常用復水器の除熱能力評価、動力エネルギーシンポ C225, (2012).