

# エネルギー基本理念への認識とコミッショニングの役割

## (第2報) 福島第一・1号機 IC 非常用復水器作動の考察 — 中間報告

### Access to the Fundamental Aspect of Energy and the Art of Commissioning

## (2) A Survey on the Behavior of Isolation Condenser of Unit 1 Reactor at Fukushima No.1 NPP Interim Report

正 会 員 ○渡邊 一男 (WNR-Cx 渡邊研究処)

Kazuo WATANABE Watanabe Lab. of WNR-Commissioning

IC, the isolation condenser of Unit 1 reactor in Fukushima No.1 NPP is said after the big earthquake to be operated with two units at first and next with single unit by repetition of three times under the operational considerations. But the description is revealed to be incorrect through the perusal of the chart records of reactor pressure and water level. The real chart record shows short time work after automatic start of IC, and converted to manual operation of SRV and HPCI, for realization of quick and sure effect for the remedy of pressure and water level of reactor.

### はじめに

3.11 東北地方太平洋沖地震に際しての最初の福一現場対応の記述は、1号機の緊急停止とそれに続く GE Mark I の自動安全装置である IC 非常用復水器 (図1) の自動作動となっている。

まず2系統が自動起動し、その後、反応器圧力を適切に保持するよう、1系統を3回、手動操作とされている。

本件につき、著者らは反応器圧力のチャート記録に着目し、これを時間軸に沿って拡大するなど、圧力の降下、即ち IC による冷却効果を半定量的の範囲ではあるが仔細に観察したところ、IC の2台→1台作動との判断について疑義を認め、原子力学会に報告した。

学会討議において、IC 操作による冷却過程のみでなく崩壊熱発生の際的減の影響にも着目すべきであり、既往論文にて説明との指摘があり、考察を行なうこととした。

調査対象特性は、圧力変化・水位変化・実際操作推定とし、併せて関連状況の理論解析を行なった。

理論的考察としては、密閉容器内の圧力水位関係の解析と崩壊熱通減下での IC 冷却能力のモデル解析がある。

以上により、IC 作動の有無、またその代りに何が作動したかの考察をすすめることが可能となった。即ち、圧力・水位チャート記録には IC 作動よりも「SRV (主蒸気逃し弁)・HPCI (高圧注水) 作動」の徴候が明確に記されており、それをもたらしたのは「マニュアルと環境対応」であることが明らかに推測された。これらは既往の内外8編の福島資料には全く見られず、国際的視点もふくめて組織的検討を要しよう。

但し、東電事故調および東電進捗報告については、表現が必ずしも断定的でなく、両義的であり、配慮しての理解が必要とされる。

なお、IC 作動の例証としては、器内の冷却水残量の多寡および冷却水温度の上昇推移がある。しかし、これら

はチャートの圧力・水位の動的記録と矛盾する現象である。本報では、チャート記録を中心に中間報告とする。

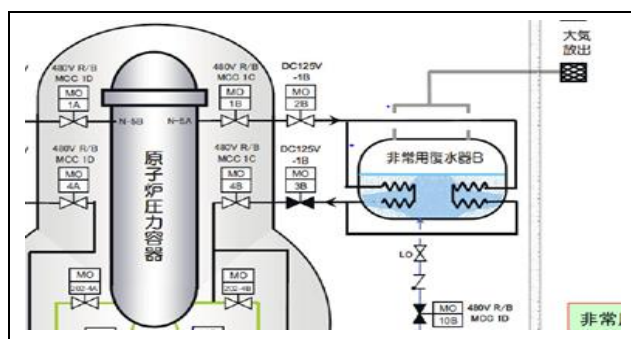


図-1 IC 非常用復水器

### 1. 各機関の IC 関連報告の検証

原初情報は福一現場であり、そこからのデータで決りとのみ思っていたが、津波・SBO・水素爆発と困難の増高することから、特定情報の合理的な認識・理解・確定に至るには、相応のプロセスを要するものと推測され、引続いての新たな解析結果が報告されている。

IC 作動判断として、まず反応器圧力について、東電当初報告以下9件の報告についてチャート記録の定量的読解を中心として検証を試みる。9件の対象資料の機関名は、東電・原電敦賀・保安院・基盤機構・北大研究室・政府事故調・学会事故調・IAEA・東電新報告である。

#### 1.1 東京電力報告・2012

##### (1) IC 作動についての記述

2012年・東電調査報告では、IC 作動について、概要(118頁)に「非常用復水器の弁の開閉操作によって原子炉圧力を制御するなど、訓練と同じように冷温停止に向けた対応操作を行っていた。」と記されている。

これには2通りの読み方がある。即ち、① IC によって対応、② IC とは別の方法によって対応、である。同122頁の詳細的の囲み記述に至っても「など」の曖昧表現が繰返され、「ICにより」と断言はされていない。

この報告には全567頁の添付資料があり、図2に反応器圧力チャートを示す。4回の炉圧引下げ動作がある

興味あることは、この図の注記にも「ICによると思われる圧力変動」との曖昧表現が繰返されていることである。即ち、いずれも両義的であり、その真意の追究を試みることにした。

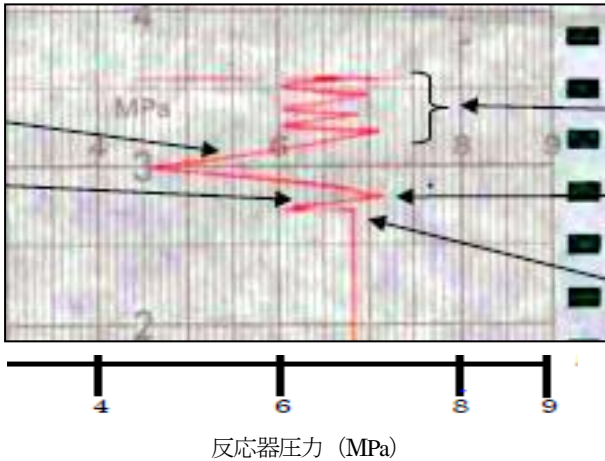


図-2 反応器圧力チャート記録 添付資料6-1(6)

## (2) IC 作動チャート記録の判断

圧力チャートの時間軸を図3のように拡大すると、作動特性として、初動のIC2台よりも第2・第3動作の1台の方が圧力変化が速い、即ち、冷却機能が大きくなっていることの不合理性が疑義として提示される。

討議として、そのことは崩壊熱が逡減して行くことにより解明され論文が示されているとの見解があった。

ここで検討の際の判断のベースとして図4にIC作動時の本来的チャート挙動を示す。作図に当っては、IC作動機能の冷却水温上昇に伴う機能低下・崩壊熱の逐次低減・反応器内の水と蒸気の熱バランスを推定試算して、圧力変化速度を求めている。

検討によりICは1台でも崩壊熱を十分に除去する能力があると知られ、チャートにはほぼ1/2の速度、即ち一定量の発熱を2倍の時間をかけて除去するように描かれることになる。

チャート記録と理論的推定挙動は大きく乖離しており、IC作動2台→1台説は否定されるべきと判断される。以下、引続いて東電報告のチャート記録の解明を試みる。

## (3) IC 作動チャート記録の解明

以上を前提として圧力チャートの動きの実態を確認する。方法は除熱（圧力降下）および崩壊熱（圧力上昇）の状況の定量的読取であり、あらかじめチャートを延伸

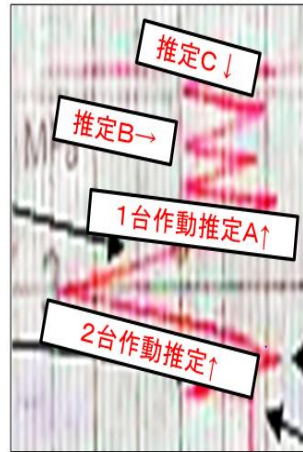


図-3 圧力チャート作動特性の検討

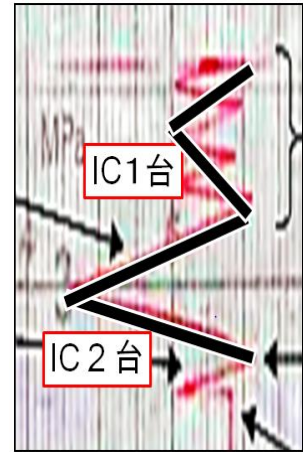


図-4 IC作動時の本来的チャート挙動

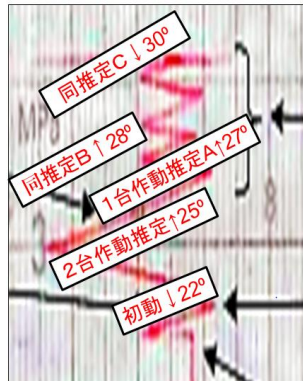
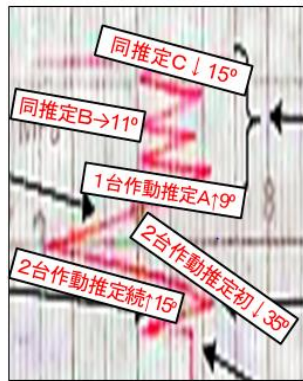


図-5 除熱作用（左）崩壊熱（右）の読取

表-1 除熱・崩壊熱推移の検討

No.	角度		tangent		変化速度比	
	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱
5	15	30	0.268	0.577	0.60	0.70
4	11	28	0.194	0.532	0.81	0.76
3	9	27	0.158	0.510	1.00	0.79
2	15	25	0.268	0.466	0.60	0.87
1	33	22	0.701	0.404	0.23	1.00
状況	不規則	規則的			不規則	規則的

\*除熱過程では各段の作用速度の比に着目する。

崩壊熱では、徐々に低下する傾向に着目する。

する。一例を図5に示す。

角度値をとりまとめ、tangentと指数化し、その逆数を最大値を1として整理し表1とする。

これは、除熱・崩壊熱の指数的推移であり、崩壊熱は1.0から0.7まで逐次に規則的に低減していると知られる。

対してICによる除熱は、2台の0.60が1台の1.00-0.60と逆転的の状況となっていることが明らかである。即ち、両義的のうち否定的の方が妥当であると知られる。

## 1.2 原電敦賀報告・2011

日本原子力発電敦賀発電所では、保安院からの要請に



より、ICが設置されている1号機(36万kW, 1970年運転)のIC作動実績に係る運転記録等を提出している。

同所からは2003年・2004年と二つのIC作動事例が報告されている。2003年は電源関連で自動停止した際のIC圧力記録で、手動作動18回の早送りチャートが記されている。2004年はタービン試験で自動停止した際の早送りによるIC圧力記録である。

これを整理し、その早送りチャートの初めの3回の動作を適宜に縮尺して接続し、図6図7に示す。東電の場合と同様に、除熱・崩壊熱推移を読取る。

その値を福島と並べて表2とする。敦賀の除熱・崩壊熱は共に規則的である。対して福島の「除熱挙動」の不規則性が明確であり、IC作動とは異質であることが知られる。

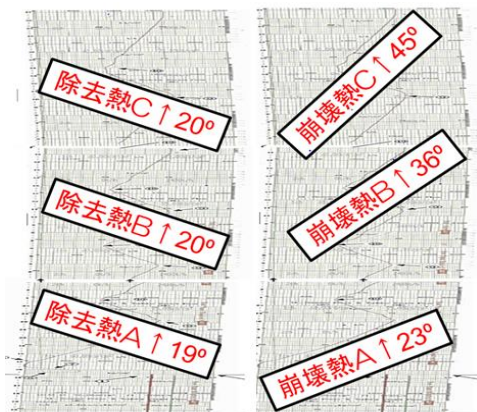


図-6 敦賀2003年IC作動圧力記録

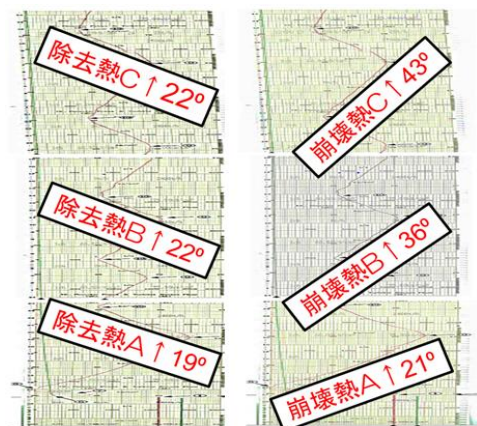


図-7 敦賀2004年IC作動圧力記録

表-2 敦賀IC除熱・崩壊熱推移(角度表示)

No.	福一1号機		敦賀2003		敦賀2004	
	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱
5	15	30	20	45	22	43
4	11	28	20	36	22	36
3	9	27	20	23	19	21
2	15	25	19			
1	33	22				
状況	不規則	規則的	一定	規則的	一定	規則的

しかし、この実績情報に添えて保安院に提出した、福島第一号機のIC作動状況についての見解としては、2台→1台説を肯定したものとなっていることは、まことに奇異であり、残念に感じられる。

### 1.3 原子力安全基盤機構報告・2011

原子力安全基盤機構の原子力システム安全部からは、1号機IC作動時の原子炉挙動の解析所見が報告されている。解析の主目的は、反応器関連部からの漏洩の有無の検討であり、IC自体の機能ではない。

記述では2台作動と1台作動時の伝熱容量に着目しての解析であり、作動初期事象解析として2組の原子炉圧力線図が示されている。解析値は蒸気ドーム、実測値は過度記録装置と記録計のチャートとされている。

線図を拡大して、それぞれの除熱・崩壊熱がどのように把握されているかを東電の場合と同様に観察する。

図の各段の動きの角度をまとめ、福一と対比して表3に示す。チャートの除熱のほかは、何れをみても、IC作動・崩壊熱挙動の基本的特質が反映されているとは認め難い状況であり、IC2台→1台を前提としての伝熱容量のみに着目しての調査作業の印象である。

表-3 基盤機構IC除熱・崩壊熱の考察(角度表示)

No.	福一1号機		機構・チャート		機構・解析値	
	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱
5	15	30	14	26	18	22
4	11	28	15	30	17	20
3	9	27	14	30	14	20
2	15	25	14	22	19	21
1	33	22	32	15		13
状況	不規則	規則的	一定	不合理	不規則	不合理

### 1.4 東京電力新報告・2015

東京電力では、1～3号機について炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討を続けており、2015年12月報告の添付資料1-7に1号機IC除熱について解析を行なった結果を示している。

報告情報を図8に示す。二つの線図は解析値として

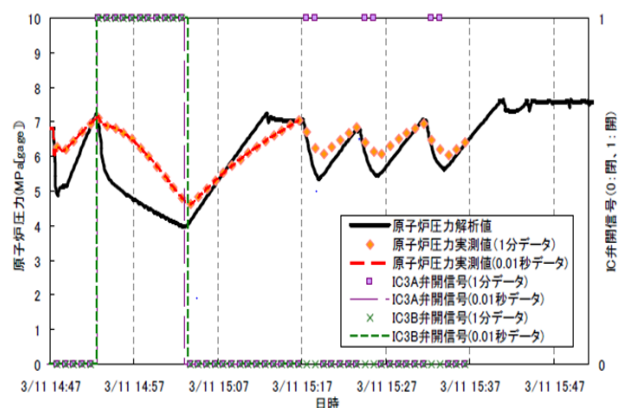


図-8 東電2015年IC作動新調査報告

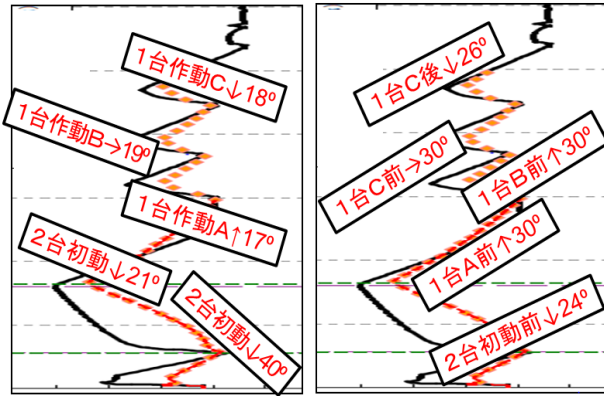


図-9 東電 2015 報告 実測値

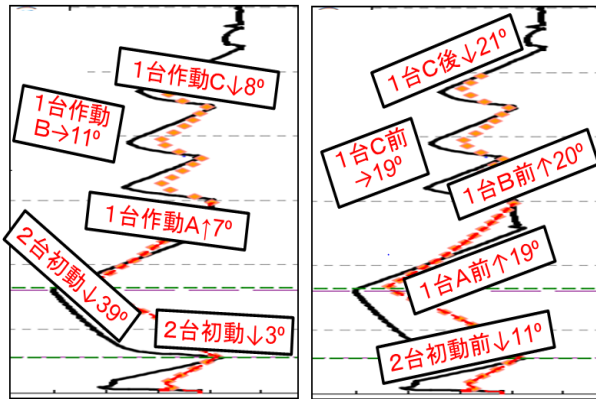


図-10 東電 2015 報告 解析値

表-4 東電 2015 報告除熱・崩壊熱の考察（角度表示）

No.	当初チャート		東電新・実測		東電新・解析	
	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱	除熱	崩壊熱
5	15	30	18	28	8	21
4	11	28	19	30	11	19
3	9	27	17	30	7	20
2	15	25	21	30	39	19
1	33	22	40	24	3	11
状況	不規則	規則的	不規則	不合理	不規則	不合理

MAAP 解析値、実測値として過度現象記録装置に記録された実測値である。特記事項としては、弁開信号と弁開閉状況信号が加えられていることである。

それぞれの線図の作動速度を先の東電と同様に処理し、図9図10に示し、読取角度を表4に示す。

所見として、除熱の初動と以後にはほぼ2:1速度差があり、この調査チームにはIC不動作を自覚した気配がある。

## 2. 各機関資料の包括的理解・2010 - 2015

### 2.1 福一1号機運転マニュアル・2010

枝野経産大臣の2011-9-27指示により提出された資料に「1号機事故時運転操作手順書, 2010-1-16」がある。フローチャートはSRV作動で始まり、ICは出てこない。操作手順を抜粋して表5に示す。表示の「12. 原子炉減圧」の前の項目に、「6. 原子炉圧力調整」があり、そこで

表-5 1号機事故時運転操作手順書（抜粋）

<p>第1章 原子炉スクラム事故</p> <p>1-1 原子炉スクラム</p> <p>(B) 主蒸気隔離弁閉の場合</p> <p>12. 原子炉減圧</p> <p>3. 下記いずれかの方法により原子炉減圧実施、</p> <p>(1) SRV「手動開」</p> <p>(2) HPCI系テストラインにて「手動起動」</p> <p>(3) 非常用復水器「使用」</p>
--

は「SRVまたはIC」となっている。表示でも「SRV」「HPCI」と続いており、ICは第3順位の扱いである。

### 2.2 各関連機関報告の集約・2011 - 2015

各機関報告の調査結果を集約して表6に示す。ここに至って東電原初情報事故調報告の両義的表現の矛盾の影響が大きく表れていることが明瞭である。

表-6 IC作動問題・各機関報告の集約

	機関名	判断*	備考
1	東電事故調	両義的	原初情報
2	原電敦賀	肯定的	実際にIC適用
3	保安院	〃	敦賀情報による
4	基盤機構	〃	解析結果による
5	北大研究室	〃	崩壊熱算出等より
6	政府事故調	〃	データと聞き取りより
7	学会事故調	〃	解析を行う
8	IAEA	〃	調査団派遣
9	東電新報告	両義的	MAAP解析値による

\* 両義的：IC作動・不動作の何れとも明確でない。  
肯定的：IC作動と明確。

## 3. 総括

福一1号機の地震一津波間のIC作動につき、関連機関の反応器圧力の推移への理解と解析結果を調査すると、何れも現場を直視していないことが知られた。続いて水位・実操作・理論的認識に検討の要がある。現場データへの本質的視点が全てであり、解明には慎重を要する。

謝辞 成富健一郎氏のご指導、米山 潔氏のご協力に感謝する。

### 参考文献

- 1) 東京電力, 福島原子力事故調査報告書, 2012-6-20
- 2) 敦賀発電所1号機の非常用復水器の運転記録, 2011-11-18
- 3) 原子力安全基盤機構, IC作動時の原子炉挙動解析, 2011-12-9
- 4) 東京電力, 1~3号機状態問題第4回進捗報告, 2015-12-17
- 5) 東京電力, 1号機事故時運転操作手順書, 2010-1-16