

- TMI, ギネー事故によって示された余剰の欠陥 -

1982.5.20 ERSN

I. ECCSの役割りとECCS論争の経過

(1) ECCSの必要性と役割り. ECCS: Emergency Core Cooling System, 緊急炉心冷却装置

(a) 原因の大半は炉心冷却材喪失事故 Loss of Coolant Accident (LOCA)

制御できない炉心崩壊; 崩壊熱 ← 炉心冷却の必要性

それゆえに高温高压の炉心冷却水

LOCAの原因: 一次系の破損, 配管の故障, 破損行為, 反応度事故.

(b) LOCAが起るとどうなるか?

配管に大破断が起ると (図1参照)

S.1

数秒で炉心管破断, 炉心冷却材放出 (TMI程度の汚染)

S.2

1分以内は炉心水蒸気.

約2分で炉心崩壊開始.

約1時間後炉心完全溶解, 炉心冷却材の放出, 格納容器破損.

(c) LOCAに備えてECCS (図2参照)

S.3

ECCSは配管系に原因のあるLOCAに対して設計

(圧力容器破損に対しては必ずしも圧力容器の健全性が前提)

大破断 低圧かつ大容量

蓄圧注入系と低圧注入系

小破断

高圧

小容量

高圧注入系

(研究炉と研究炉の注入水の違い)

(2) ECCS論争の経過

(a) 60年代 大型研究炉の運用とECCSの重要性の認識

格納容器に加えてECCS (研究炉でも同様)

厳格なECCSの性能評価です ECCSの重要性の研究のstart

マッセルにあるLOFT実験 (55MW PWR) 厚研には格納容器の破損と関係.

(b) ECCSの有効性論争

69~70年 ECCSの性能をおびやかす種々の現象の発見.

注入水が炉心に入らない現象: プラズマ炉の炉心バッキング, 再沸水蒸気の steam binding.

破断の種別: 破断と破断, 炉心冷却水に起因する腐食と月産化

その一方で 72年 LOFT実験 (55MW PWR) による本格的なECCS実証の開始

設計通りの性能, 仮場合

(c) WASH 1400 におけるECCSの役割 (ECCSが故障に陥り得る状況 (仮場合))

LOCAの発生とECCSの故障率, LOCAの重大性の指標

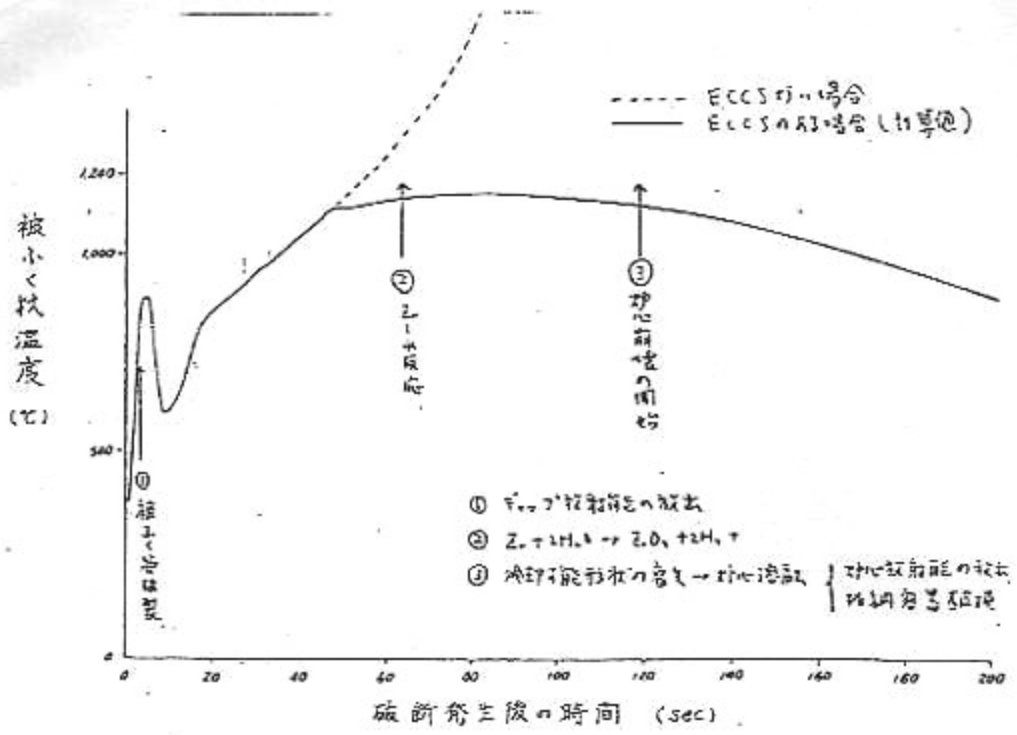


図 1

1次冷却系喪失事故時の高温点被ふく枝温度 (06DEB-G)

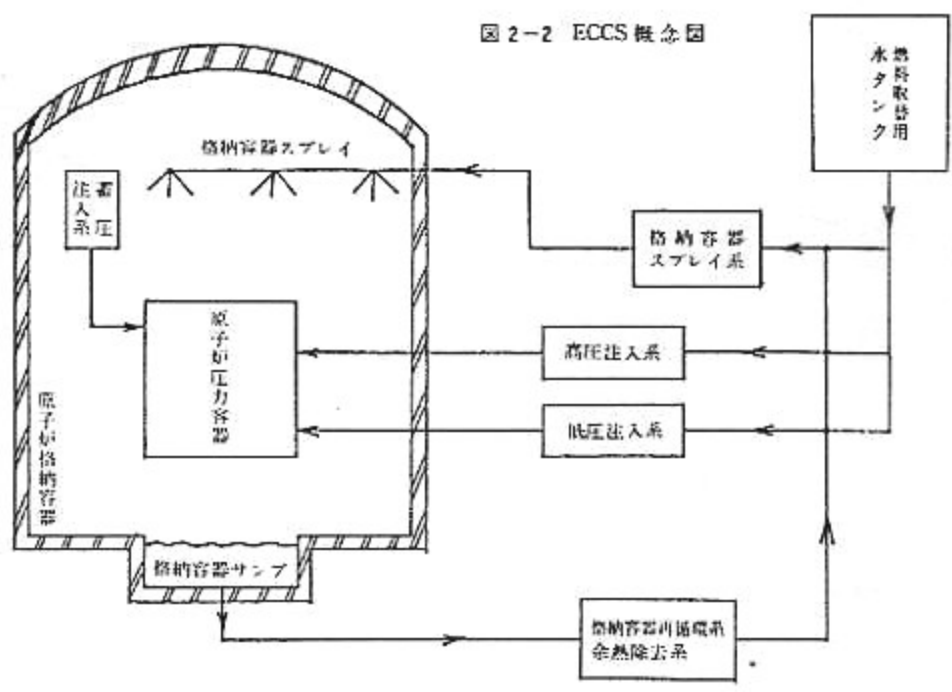


図 2-2 ECCS 概念図

図 2. ECCS 概念図

Ⅱ. TMI事故によって生じたECCS問題

- ① 従来、ECCS問題は装置による炉心への冷却水の注入能力という観点から論じられてきた。

TMI事故は、ECCSの有効性が単に装置の注水能力だけでなく、事故時の状況判断に左右されるものであるということを示した。

- 結果的にはTMI事故では加圧器逃し弁閉鎖によるLOCAが発生した。このため運転員は原子炉には水が充分あるという判断のもとにECCSからの注水流量を続けたため、炉心に水が不足し、炉心崩壊を招く大事故となった。

TMI事故時の概要 (図3)

事故時の状況 (図4)

- ② 何故ECCSは流れ止まったのか。

- 基本的に、設計条件を超えて多くの予期しない異常が次々と起ったため、装置の面からも人間の面からも事故に対応できなかった。その結果として、迅速かつ適確な対応が求められた事故時には肝心の原子炉の状況がどうなっているかわからず、対応も試行錯誤を繰り返した。
- TMI事故ではこういった状況が長期間 (~16時間) 続いた。事故時の状況がわかるようになるのは2日以後のこと、種々の情報の解釈の進展に合わせて認識は深まっていった。どうすればよくなったのか、その点である。
- 誤操作といわれる運転員の操作も、この事故時の状況のもとで起ったもので、どうしようもない。誰がやっても同じようなことになってしまったという性質のもの (誤操作でなくともあった)。
- ECCSの流量を続けた直接的な原因。実際には炉心に冷却水が不足していたにもかかわらず、加圧器水位の上昇振動の切止という予期しない現象のため、原子炉には水が充分あるという判断のもとにECCSからの注水流量を続けた一方、炉水の抽出を続けため、閉鎖した逃し弁からの循環と合せて、炉心に水が不足し、炉心崩壊を招く大事故となった。

原子炉循環（熱動系統）

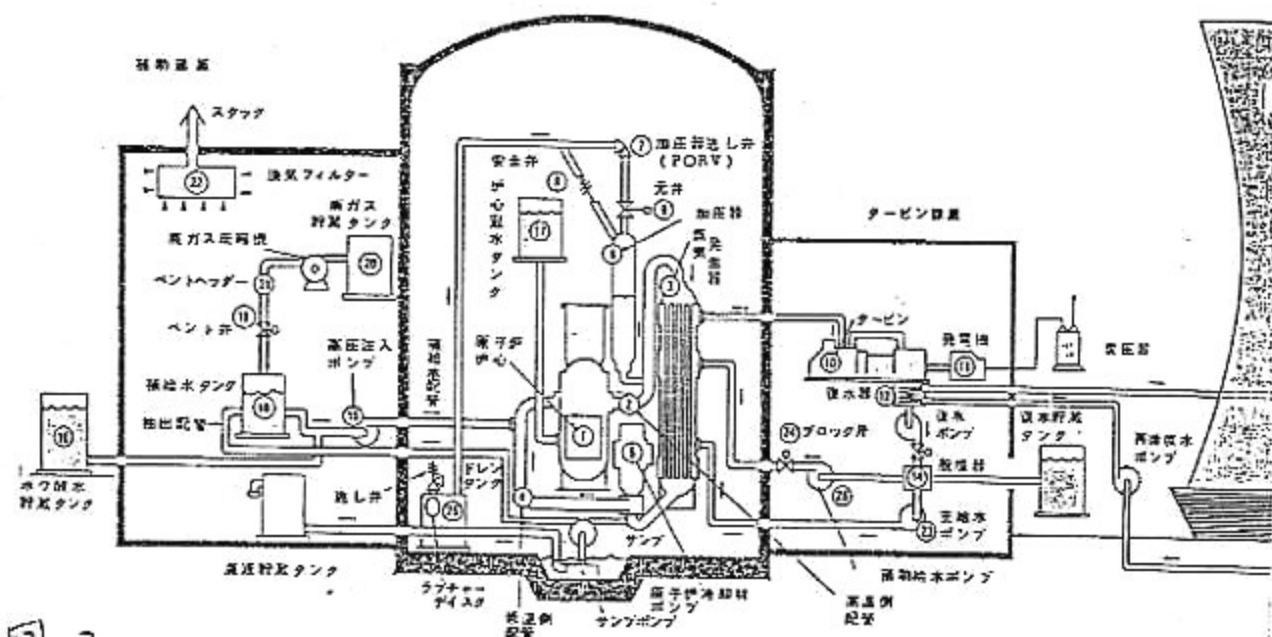


図 3

機器および系の動作状況

出典 NSAC-80-1

1次冷却炉
ポンプ
動作1次冷却炉
流量炉外
中間冷却器1次冷却炉
出口配管温度1次冷却炉
入口配管温度高圧注入ポンプ
動作

加圧器水位

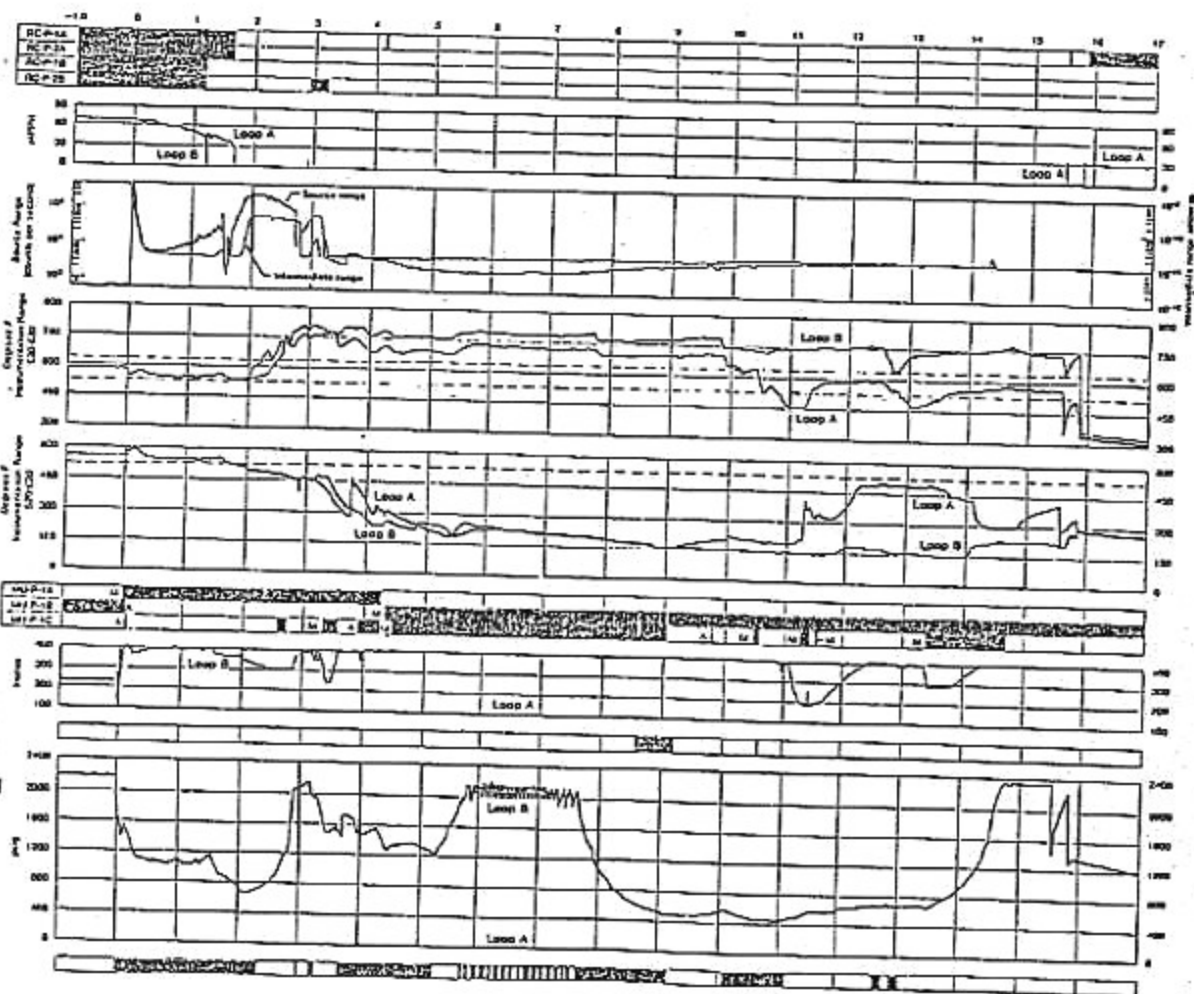
高圧注入系
注入1次冷却炉
流量加圧器遮断
弁動作

図 4

図 5.

資料 1.

3. 運転管理関係

(1) 格納容器の隔離に対する運用

格納容器の隔離方式については見直しする必要がある。例えば、格納容器サブ系の弁は現在常時、開、運用されているものが多いが、放射性物質を系外に放出することがないよう万全の措置をとるとの観点から弁の開閉運用の改善について検討する必要がある。

本項に関しては、操作手順書等運転管理で十分指図されるものであるが、安全審査においても、それらの条件について配慮するものとする。

(2) ECCS作動時における1次冷却材ポンプの作動条件

加圧水型炉の場合、ECCS作動時には現在の設計では、要員1、2号機を止め、1次冷却材ポンプは停止する設計となっている。
TMI-2事故後においては1次冷却材ポンプの起動、停止が炉心の冷却に大きく影響しているため、ECCS作動時における1次冷却材ポンプの作動条件について検討しておく必要がある。

本項に関しては、操作手順書等運転管理で十分指図されるものであるが、安全審査においても、それらの条件について配慮するものとする。

(3) ECCSの停止操作及び切換操作

ECCSが作動する各種の状況において、原子炉施設の安全上の諸問題を踏まえつつ、ECCSの自動停止化問題を含め、停止操作及び切換操作についての信頼性をより高めるための幅広い検討を行っていくことは必要である。

本項に関しては、操作手順書等運転管理で十分指図されるものであるが、安全審査においても、それらの条件について配慮するものとする。

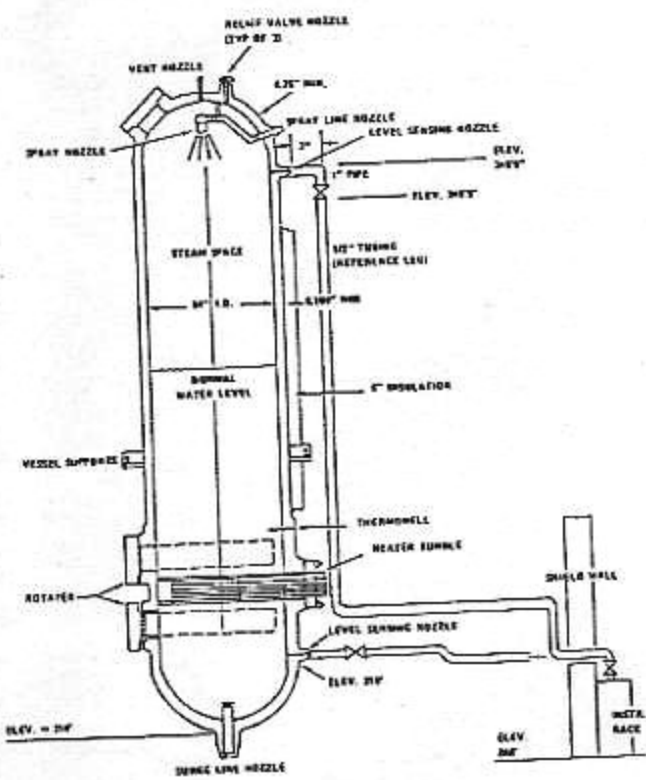
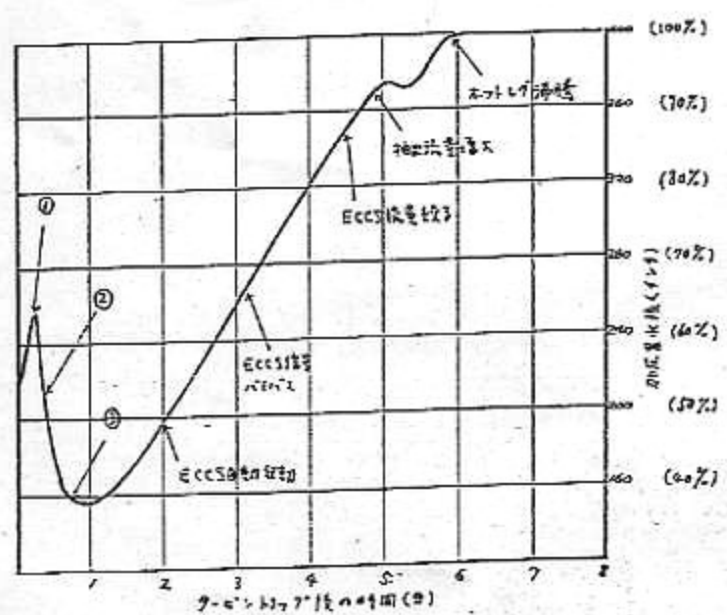


FIGURE 13-25. The Pressurizer

図 6.

加圧器水位と運転員の操作



- ① 原子炉が停止、加圧器水位低下を感知し、ECCSが作動して水位が上昇する
- ② 1次冷却材の原子炉コアに流入温度低下、ECCSが作動して水位が上昇する
- ③ MU-2-1Aポンプに故障発生、加圧器水位低下を感知、ECCSが作動して水位が上昇する

Ⅲ. 第2のTMI - 原子炉事故に於て第24E ECCS操作の重要性

①. 原子炉事故の経過 (資料. 3)

S. 4 細管破裂 (1次 → 2次 → 環境), LOCA, ECCS, 2次系隔離と冷却
 S. 4 細管が壊れたことによる設備の故障で現状では非常に発生確率の高い事故 (1件目).

②. 第2のTMIと云わねばならぬ.

。初期に於ける多くの異常, 初期の事故経過, 事故収束に長時間 (21時間).

。 S. 4 細管の大きな破裂

初期以上に大量の冷却水が流出

新原因: 破損した高圧細管の破片が迅速に環境に
 入り込む。

。 逃し弁閉鎖後, 炉心部に於ける沸騰が起ったこと

。 ECCSの停止と遅れ, 2次系の安全弁が2度におねって作動,
 1次系 → 2次系 → 環境

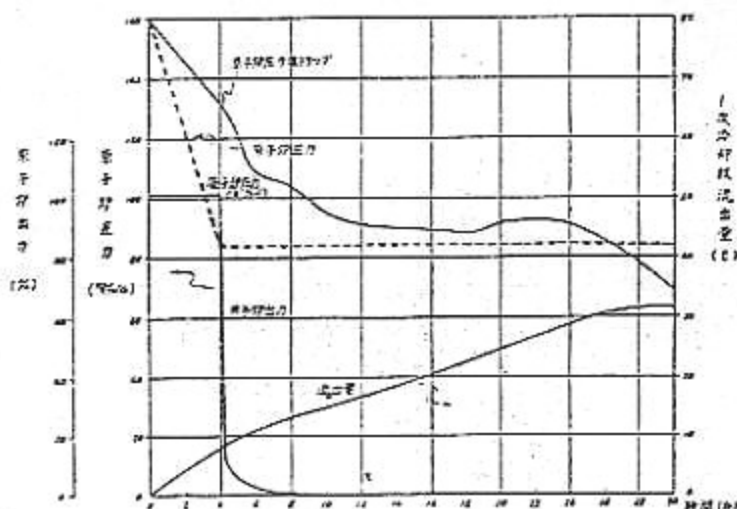
放射能の直接的放出

ECCS水の枯渇

圧力容器破損の危険性 (IV)

。 2次系復水器の使用不能; A S 弁 蒸気圧 150psi 以下に於ける 空気抽出器が
 作動しなかったため。

大気放出を要する冷却 (2%/h) ; 事故収束に長時間を要した。



IV. ECCS作動時の圧力容器破損の危険性 (圧力容器の健全性は原発の要諦)

(1) 圧力容器の使用条件 (温度・圧力制限曲線, 図8)

圧力容器に使われているマンガン-モリブデン鋼は、温度が低くなると、

延性 (韌性) が失われ脆化する。脆化遷移温度は新しいもので 0°C 前後、古いものは中性子照射、減速、焼鈍による脆化遷移温度が上昇するとされ、韌性も失われる。

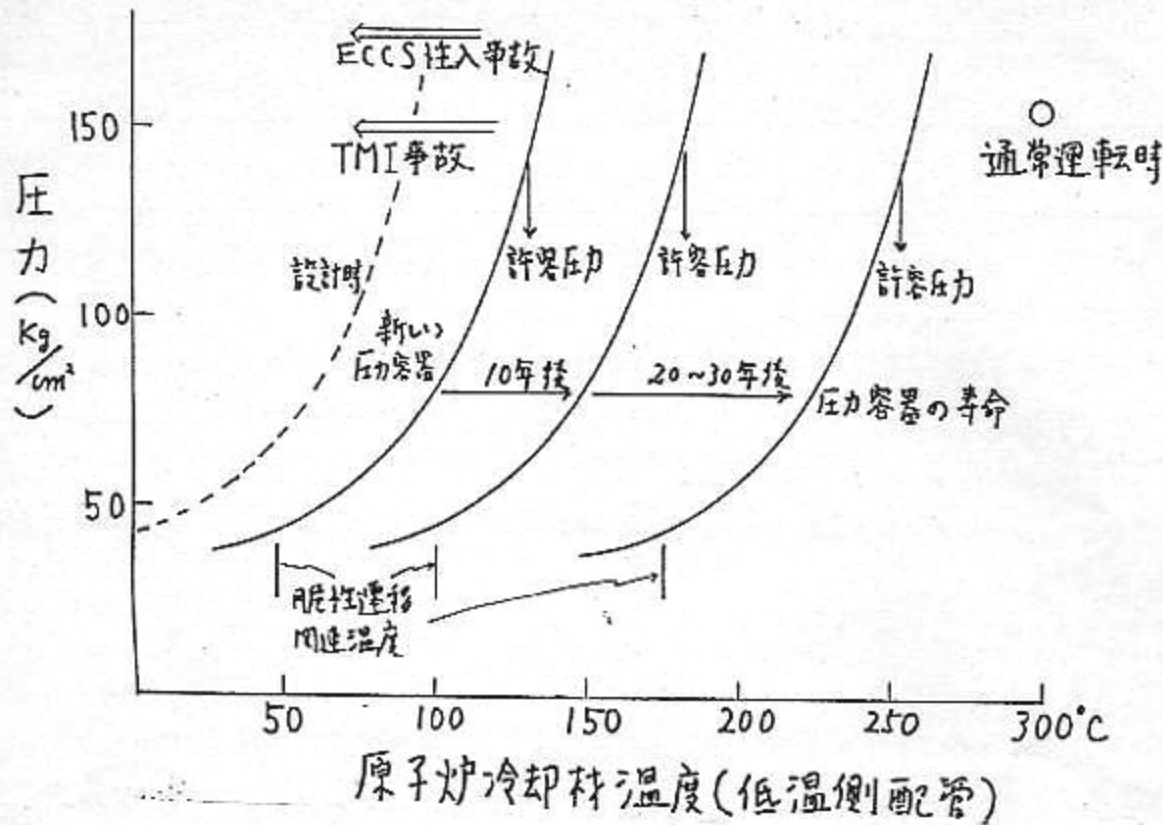
中性子照射の影響 (図9)

(2) これまでの運転経験でも過圧事故は度々起きている。

アメリカでは、72年~76年の5年間に制限曲線を大巾に越えたことが30件報告されており、今後原子炉が古くなっていくとき、圧力容器の健全性を保証することは大変難しくなるであろうと懸念視されている。

(3) さらにECCS作動時には、制限曲線を大巾に越えることが予測され、過度の投入は、圧力容器破損の危険性を著しく高めるものである。

- ・ 現にTMI事故では、流量は続いていたが、それでも圧力容器は約150気圧、 100°C 以下という状況が長時間続いていた。しかも同時に大きな熱応力も発生していた。ECCSからの投入により圧力容器は制限曲線を大巾に越える状況にあったわけで、TMI事故では圧力容器破損の危険もあったわけである。
- ・ 原子炉の事故で圧力容器がどのような状態にさらされているかは不明であるが、局部的に冷たい水で冷めたりした可能性は容易に想像できる。冷却管破断事故では二次系の冷却を急に失い熱応力が急激に上昇する危険性がある。
- ・ 日本では無視された。ECCS作動時の圧力容器内部環境、高圧33MPaにおけるECCS設備作動時の安全解析 (~~資料あり~~)、見過された安全評価指針 (~~資料あり~~)。
- ・ 急がれるECCS作動時の圧力容器の評価、
1次冷却水の温度分布の評価
圧力容器の温度分布と熱応力の評価。



1. 構造材料に要求される性質

661

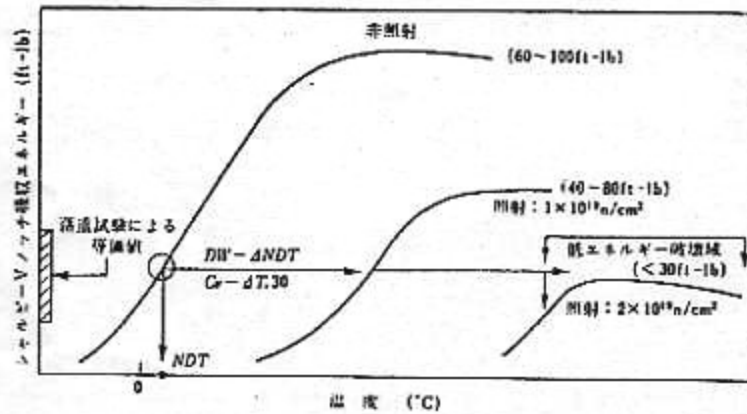


図 1-18 シャルピーVノッチ試験結果に及ぼす中性子照射の影響 (鋼材: A302B 鋼)

V. 結論

TMI事故は、重宝な fail safe, fool proof になっているという点から、これ以上 TMI 事故や原子炉の事故は事故時に適切な ECCS 操作を行うことの困難さを示している。

ECCS の操作には注入による応答を最小限に抑える。この冷却に充分な流量を確保することが必要である。しかし、これらは原子炉水位計などの現状で、これを実現することは不可能である。

故、圧力容器の設計条件としては従来の通常運転時の制限条件に加え、ECCS 作動に伴う諸条件も配慮を必要とする。