

沸騰水型原子炉炉心シュラウドの応力腐食割れに関する対応について

平成 13 年 9 月 6 日  
原子力安全・保安院

平成 13 年 7 月 6 日、東京電力株式会社福島第二原子力発電所 3 号機における定期検査中に発見された沸騰水型原子炉炉心シュラウドのき裂に関して、平成 13 年 8 月 24 日、同社から当院に対し、当該事象の原因等についての報告がありました。

本報告について検討を行った結果、当院は、本日、別添 1 のとおり東京電力株式会社に対し追加報告を求めるとともに、別添 2 のとおり全沸騰水型原子炉設置者に対し、自主的な点検及びその結果報告等を求めましたので、お知らせします。

(お問い合わせ先)

原子力安全・保安院

別添 1 原子力防災課原子力事故故障対策室  
吉村、米山

電話 03-3501-1637(直通)

別添 2 原子力発電検査課 有倉、結城

電話 03-3501-9547(直通)

(別添 1)

平成13・09・05原院第1号  
平成13年9月6日

東京電力株式会社  
取締役社長 南 直哉 殿

原子力安全・保安院長 佐々木 宜彦

「福島第二原子力発電所3号機シュラウド下部リングのひびについて」  
の追加報告について

平成13年8月24日付け原管発官13第255号で提出された報告書に関して、原子力安全・保安院は、貴社に対し下記のとおり追加報告を求めます。

記

報告書の再発防止対策欄に記載されているタイロッド工法による補修に関して、以下に示す項目

- 1) タイロッド及びその付属物等の構造健全性  
強度、耐震性、耐食性、飛散物が生じる可能性等について
- 2) 既存の施設、設備に与える影響  
原子炉容器、炉心シュラウドサポート等の既存構造物への影響について  
原子炉一次冷却材の流れに対する影響について

(別添 2)

平成 13・09・05 原院第 3 号  
平成 13 年 9 月 6 日

## 沸騰水型原子炉炉心シュラウドの応力腐食割れに関する対応について

原子力安全・保安院

平成 13 年 7 月 6 日、東京電力株式会社(以下「事業者」という。)福島第二原子力発電所 3 号機(以下「当該機」という。)における定期検査中に発見された沸騰水型原子炉(以下「BWR」という。)炉心シュラウドのき裂に関して、原子力安全・保安院(以下「当院」という。)は、以下のとおり対応する。

### 1 目的

事業者は、当該機の第 11 回定期検査を行っていたところ、平成 13 年 7 月 6 日、炉心シュラウド外側の中間部胴と下部リングとの溶接部近傍にき裂の存在を確認し、平成 13 年 8 月 24 日、当院あてに「福島第二原子力発電所 3 号機シュラウド下部リングのひびについて」を提出して、事象の原因等について報告を行った。

原子炉炉心シュラウドのき裂に関しては、かつて平成 6 年 6 月に東京電力株式会社福島第一原子力発電所 2 号機の炉心シュラウドにおいて、応力腐食割れが発生した。同機は、我が国の原子力開発初期に建設されたものであり、炉心シュラウドには SUS 304 ステンレス鋼が採用されていた。応力腐食割れの原因の一つとして、オーステナイト系ステンレス鋼中に存在する炭素による影響が大きいことが知られている。他方、その後建設された発電所の炉心シュラウドには、SUS 304 ステンレス鋼を低炭素化した SUS 304L ステンレス鋼やさらに耐食性の優れたモリブデンを配合した SUS 316L ステンレス鋼が採用され、応力腐食割れの発生が抑制されてきた。

しかしながら、今回、事業者から提出された報告書を検討した結果、SUS 316L 等の低炭素ステンレス鋼であっても、製造時の機械加工による外表面の硬化層の形成及び溶接による引張残留応力により、炉水雰囲気中で比較的早く応力腐食割れが発生する可能性があると考えられる。

このため、本事象に関して、BWR 設置者による自主的な点検及びその結果報告等を求めるものである。

## 2 事業者による報告書の概要

### 2.1 き裂の状況確認

き裂が発見された部分の破面観察を行った結果、炉心シュラウドリング部表面から約0.3mmの深さ(以下「極表面部」)の組織にすべりが認められ、この範囲は粒内割れであり、それより深いところで、粒界に沿った割れ(粒界型応力腐食割れに特徴的な破面)が確認された。(別紙 シュラウド全体概略図参照)

### 2.2 き裂の発生原因

調査の結果、文献調査から、低炭素ステンレス鋼においても切欠きがある場合、粒界型応力腐食割れが進展すること、金属調査から、炉心シュラウドリング部の極表面層部でHv300を超える(通常Hv200以下)硬化層が確認された。また、製造履歴調査から各リング部は機械加工(切削)を受けており、再現試験から、機械加工を受けると表面硬さがHv300を超える場合があることが確認された。文献調査から、低炭素ステンレス鋼においても表面硬さがHv300を超えた場合、粒内型応力腐食割れが発生する可能性が高くなることが分かった。

以上より、製作時における機械加工により下部リング外表面が硬化したため、溶接による引張り方向の残留応力と運転中の炉水環境下で粒内型応力腐食割れが発生し、これが初期き裂となって、その後、粒界型応力腐食割れが進展したものと推定した。

### 2.3 シュラウドの健全性評価

き裂の進展評価の結果、炉心シュラウド下部リング内部の残留応力は、き裂の進展に伴い、引張り方向から圧縮方向となることから、き裂の進展は停留するものであり、また、当該リングの必要最小肉厚の計算結果から、当該リングのき裂を除いた残存部分の強度は十分確保されている。したがって、当該炉心シュラウドは、き裂が存在していても十分な構造強度を有していると評価される。

## 3 当院の見解・対応

炉心シュラウドは、炉心の外側にある円筒形のステンレス製構造物であり、原子炉内の水の流れを分離する仕切り板の役割及び炉心形状の維持機能を有している。したがって、運転に伴って発生する荷重はわずかであり製造時に加わった残留応力がき裂発生において支配的と考えられる。

事業者は、き裂の発生原因として、製作時における機械加工により炉心シュラウド下部リング外表面が硬化したため、溶接による引張り方向の残留応力と運転中の炉水環境下で粒内型応力腐食割れが発生し、これが初期き裂となって、その後、粒界型応力腐食

割れが進展したものと推定しているが、本推定は、当院としても科学的合理性を有していると判断する。したがって、今回の事象は、SUS304のような応力腐食割れ対策がなされていないステンレス鋼のみならず、応力腐食割れ対策として開発されたSUS304L及びSUS316Lの低炭素ステンレス鋼であっても、当該機と同様の製造法で製作された炉心シュラウドにおいては、同種の応力腐食割れの発生の可能性を考慮する必要があると判断する。

また、当該機で発見されたき裂の進展及びき裂を含んだ炉心シュラウド強度については、事業者が評価した結果、き裂の進展については、初期段階では緩やかに進展し、途中で進展速度が増加するが、その後再び緩やかな進展となり、最終的に22～28mm程度で停留する、き裂を含んだ炉心シュラウド強度は、設計上要求される荷重に対し十分な強度を有しているとしているが、本評価結果については、当院として科学的合理性を有していると判断する。

したがって、当該機と同様の製造法で製作された炉心シュラウドを有するBWRにおいても同種の応力腐食割れの発生の可能性を考慮する必要があるが、万一、同種のき裂が発生していても、き裂の進展及びき裂を含んだ炉心シュラウド強度については、当該機と同様の評価とすることができると考えられるため、それが直ちに安全上問題となるものではないものと判断される。

しかしながら、当該機と同様の製造法で製作された炉心シュラウドを有するBWRの現状を把握するため、至近の定期検査時に今回き裂が認められた箇所と類似の箇所の点検を行うことが適当と判断する。

その上で、得られた点検結果を踏まえ、今後、必要な対応を行っていくこととする。

#### 4 原子炉設置者への要求事項

BWR設置者に対して、下記のとおり自主的な点検及び当院への報告を求めるとする。

##### 4.1 目視点検の実施

BWR設置者は、下記のとおり点検を行うこと。

###### (1) 点検対象BWRの選定

当該機と同様、炉心シュラウドリング表面の溶接部近傍に機械加工を施しており、機械加工面に対する残留応力対策を行っていないBWR(当該箇所の一部のみ残留応力対策を行っているものも含む)を点検対象として選定すること。

###### (2) 点検箇所及び実施時期

(1)により選定されたBWRについて、今回き裂が認められた箇所と類似のリング

溶接線外側については、炉心に装荷されている燃料を取り出さずに目視点検できることから、至近の定期検査にて目視点検を実施すること。

(1)により選定されたBWRについて、今回き裂が認められた箇所と類似のリング溶接線内側については、炉心に装荷されている燃料を全て取出して点検する必要があることから、全燃料の取出しが計画されている定期検査時において、目視点検を実施すること。

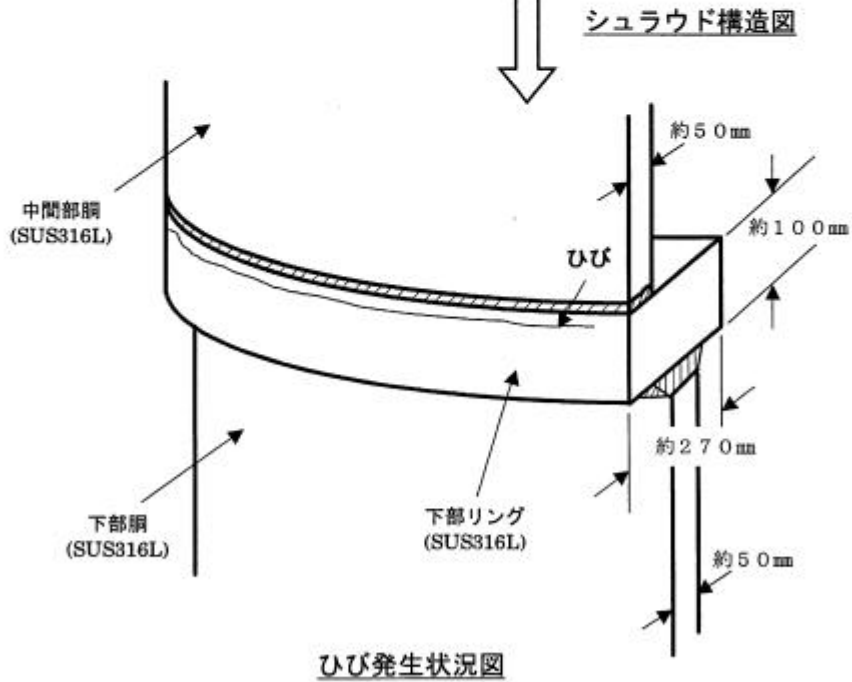
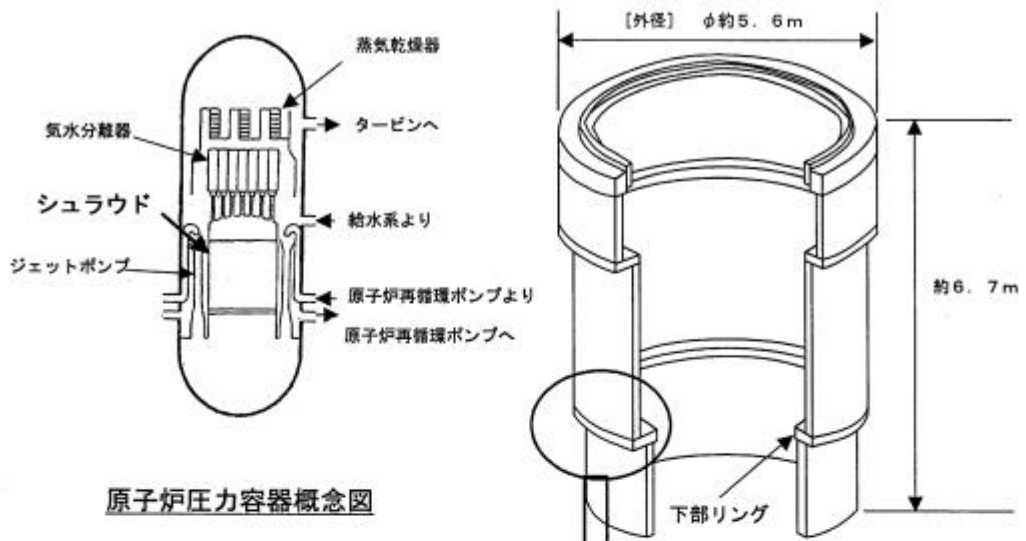
#### **4.2 目視点検実施計画及び目視点検結果の報告**

##### **(1) 点検実施計画の策定及び報告**

4.1により点検を行うBWR設置者が当該点検の実施計画を1か月以内に策定し、策定後速やかに当院へ報告すること。

##### **(2) 点検実施結果の報告**

4.1により実施した点検結果について、速やかに当院に報告すること。



SUS316L: 低炭素ステンレス鋼

### シュラウド全体概略図

「福島第二原子力発電所3号機シュラウド下部リングのひびについて」(東京電力)より抜粋