

わが国の原子力発電プラントは20年を超えて運転されるプラントが増えつつあり、本格的な高経年化時代を迎えている。運転プラントの保全の重要性はますます高まっており、当社では早くから安定運転維持や設備利用率向上を旨として保全技術の開発、実用化に努めてきた。特に、原子炉圧力容器・炉内構造物は重要な機器の一つであり、その保全には万全を期することが求められる。これらの保全技術を中心に、当社が特に注力してきたレーザ応用による保全技術とシュラウド取替に代表される取替にかかわる保全技術の実用化の現状から、さらには長期にわたる運転継続を前提とした各種原子カプラントのリフレッシュの今後の展望について述べる。

Toshiba places the highest priority on maintenance technologies for operating nuclear power plants. Several plants that were the first to be constructed in Japan have been operating for more than 20 years now, and preventive maintenance is therefore a matter of great importance.

Focusing on maintenance for a reactor pressure vessel (RPV) and its internals, this paper summarizes the status of application of laser technology and large-structure replacement techniques as well as the prospects for plant refreshment technologies aiming at plant life extension.

1 まえがき

運転プラントの保全の重要性はプラントの高経年化とともにますます高まっているが、そのなかでも原子炉圧力容器 (RPV)、炉内構造物はもっとも重要な機器の一つでありその保全には万全を期することが求められている。しかしこれらは複雑な構造の機器が多く、かつ放射線の高線量下にあることや、また保全作業の実施にあたり必ず遠隔作業となるため、高度な技術が必要である。

当社では早くからこれらの技術の開発に着手し、レーザを応用した各種の保全技術やシュラウド取替工法などの開発に多くの実績をあげている⁽¹⁾。RPV、炉内構造物の保全としては、個々の部位、機器への材料改善などの予防処置や補修といった“手当て”としての保全や、シュラウド取替に代表される機器や部位を取り替えてしまう保全がある。さらに将来的には長寿命化、出力増大などを伴うプラント再生を旨としてのRPV取替といった保全も想定されている。ここでは、RPVや炉内構造物に対する保全技術の実用化の状況から、プラント再生までの今後の展開について述べる。

2 RPV、炉内構造物の保全技術

RPVや炉内構造物の保全を考えるには、まず劣化損傷モードの想定が必要である。これまでに経験してきたモードの主なもの、熱や流動による振動疲労である。これらに対しては、構造や機器、システムの設計を変更することに

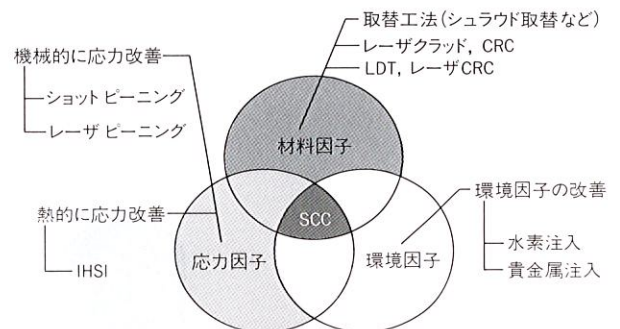


図1. SCCに対する予防保全 SCCの3要因のうち一つを改善することによりSCC発生を抑制することができ、種々の予防保全技術が開発されている。

Preventive maintenance against stress corrosion cracking (SCC)

より解決し、プラントの信頼性を回復してきた。

しかしながら、最近では応力腐食割れ (SCC: Stress Corrosion Cracking) が劣化損傷要因となっており、このSCCに対する保全がRPV、炉内構造物の主要な保全対象となってきた。

3 SCCに対する保全技術

RPVや炉内構造物の構成材料は、RPVには主に低合金鋼を母材としてステンレス鋼やニッケル基合金が付加され

ているが、炉内構造物は主にステンレス鋼で製作され、RPVとの接合部などにはニッケル基合金が用いられている。

初期の沸騰水型原子炉 (BWR) は主として炭素含有量の多い 304 系のオーステナイト系ステンレス鋼が用いられており、溶接部近傍に SCC を発生させる可能性がある。SCC の発生は図 1 に示すように材料因子に加えて応力、環境因子の組合せにより発生するが、これらの因子を改善することで SCC 発生を抑制できることはよく知られている。これらの予防保全技術と点検、補修、診断技術との組合せにより各プラントに対して保全の最適化を進めている。図 2 に、当社における炉内保全の技術開発の状況を示す。このように重要な機器に対してほぼ万全の対応ができるようになっている。

3.1 従来技術による保全

RPV のノズル部を SCC 感受性の小さい材質のものに取り替えるノズル取替法や高周波誘導加熱により引張りの残留応力を圧縮側へ変換させる IHSI (Induction Heating Stress Improvement) 法、また保全対象部位を耐食性の良好な材料のクラッド溶接で被覆する CRC (Corrosion Resistant Cladding) 法などをすでに実機に適用している。

炉底部の制御棒駆動装置 (CRD: Control Rod Drive) スタブチューブや中性子計装案内管 (ICM: In-Core Monitor guide tube) ハウジングなどの溶接部については、給水系から低濃度の水素を注入することにより、当該部の腐食電位

を低減して SCC を抑制する水素注入技術を適用している。さらに貴金属を同時に注入してその効果をよりいっそう高める技術も開発中である。一方、炉内構造物については、

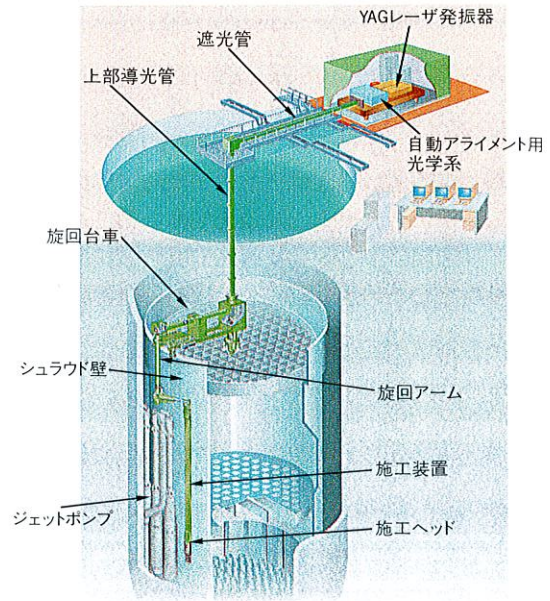


図 3. シュラウドのレーザーピーニング施工概要 シュラウドとジェットポンプの間の狭い部分にもアクセスでき、十分な施工ができることが確認されている。

Laser peening for core shroud

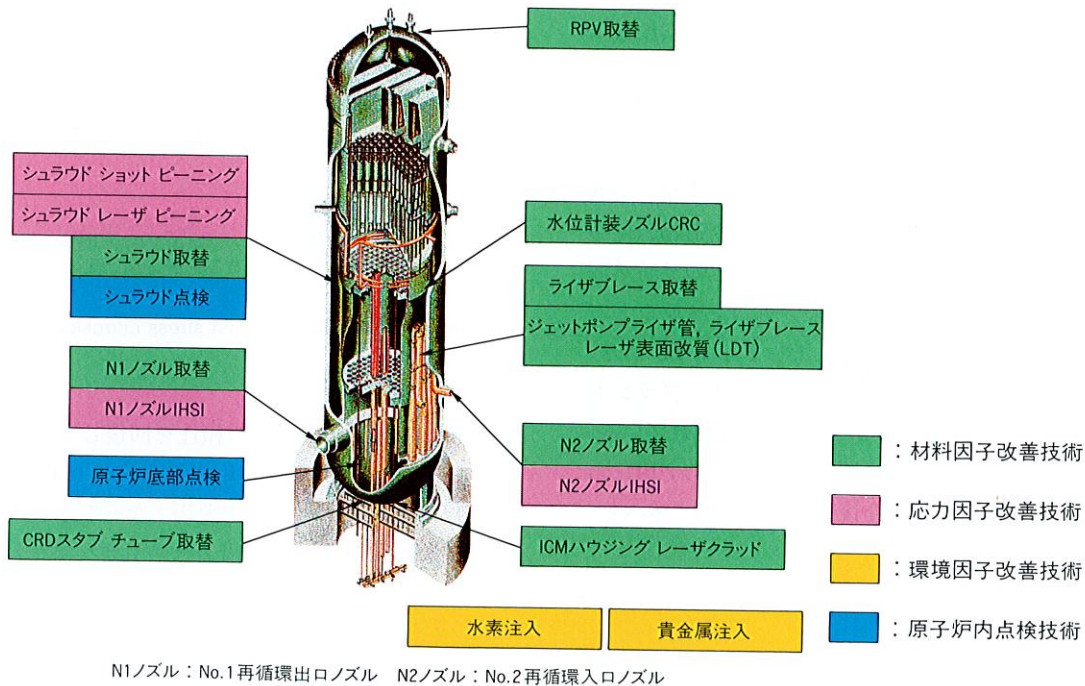


図 2. 当社における炉内保全技術開発と適用状況 点検・予防保全から補修・取替にわたり重要な機器に対してほぼ万全の対応ができるようになっており、それぞれ実機にも適用されている。

Status of maintenance technologies for RPV and internals

シュラウドに対し水中でのショットピーニング法を開発し実機に適用している⁽²⁾。この技術は直径 1 mm 程度のステンレス鋼球を高圧水とともに投射し、溶接によって発生した材料表面の引張残留応力を圧縮側へ変換して SCC を防止するものである。

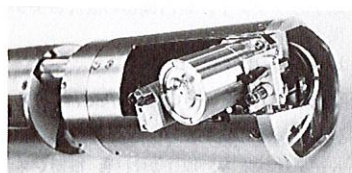
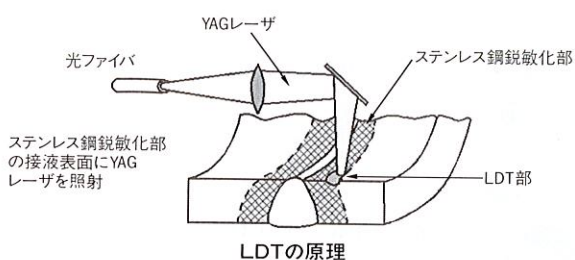
3.2 レーザ応用保全技術

炉内保全へのレーザ応用は当社の保全技術の柱として、開発・実用化に特に注力してきた。予防保全対策としては、レーザピーニングのような応力改善法⁽³⁾とレーザを用いた脱鋭敏化処理 (LDT: Laser De-sensitization Treatment) 法などのような材料表面の改質法がある。

レーザピーニングは、水中でのパルスレーザのプラズマ発生に伴う衝撃力により、ショットピーニングと同様に材料表面に圧縮の残留応力層を形成させるものである。

レーザピーニングはレーザ光を対象部位に照射するだけでよいことから、そのシステム構成上、狭隘(あい)な構造の部位へのアクセスも比較的容易である。この工法は、基本技術の検証試験に加え図 3 に示すモックアップ試験を行い、シュラウドの保全対策として十分な応力改善の機能をもつことや遠隔施工の工法面からも実証している。

一方、レーザを熱源として用いる方法もいくつか開発している。材料表面に改善材を溶着する技術として、ICMハウジングに適用しているレーザクラッド法はすでに多くの実績をもつ手法として確立しており、また図 4 に示すレーザで材料表面を固溶化または表面溶融させて改善させる LDT も開発している。この LDT はジェットポンプのライザ管などの比較的薄肉の管への適用に有用であり、内面への施工で外面までも応力状態を圧縮状態にするような効果も期待される。また、耐食性の良好な材料をクラッドするレーザ CRC 法についても開発し実用化を進めている。



LDT施工装置

図 4. LDT 法 レーザで表面を固溶化または溶融させて鋭敏化した材料を改善させる方法である。

Laser desensitization treatment (LDT)

レーザ応用技術は、予防保全としての利用だけではなく、欠陥の溶融除去や水中の補修溶接も可能であり、事後保全の観点からもこれらの実用化を進めている。

3.3 炉内構造物取替技術

前項までは、各機器、部位への“手当て”としての保全について述べてきた。これは予防保全の優先順位の高い機器から計画的に適用することができるとともに、検査の結果に応じて保全ができ、個々の保全工事として、適切な対応を選択して計画的に実施できるものである。

一方、シュラウド取替工事⁽⁴⁾のように一つの定検でシュラウド、ジェットポンプなどをまとめて取り替えることで対策をとる選択もあり、この場合は、全体的には短工期となるメリットがあるが、廃棄物の量が多くなるという課題がある。

しかしシュラウド取替は、“統合保全”として他の炉内機器の大半の取替も合わせて行える保全工事であり、予防保全の観点から、プラント全体の健全性向上を一度に図ることができる。当社では、既報⁽⁴⁾のように電力会社、メーカー各社と協力して多岐にわたる技術開発を行い、東京電力(株)福島第一原子力発電所 3 号機で世界初の施工を行った。プラントはすでに再起動され、順調に運転されている。

BWR においては、上述の“統合保全”としてのシュラウド取替以外に、CRD スタブチューブ、ICMハウジング、ジェットポンプライザブレスなどの主要機器についても個々の取替工法を確立しており、一部実機への適用も行われている。

4 プラントリフレッシュの展開

現状ではすでに述べてきたとおり、安定運転維持と設備利用率向上のためにレーザ応用技術などの個別保全、さらには、統合保全として大規模予防保全工事のシュラウド取替などが適用されてきている。一方では、点検技術の高度化や高経年化評価あるいは健全性を評価してプラントの運転継続を判断する維持基準の考えかたの導入による保全対策の最適化、合理化の動きもある。

将来的には、電力需要の伸張やエネルギー問題、地球温暖化問題などへの対応に伴い、高経年化した運転プラントのさらなる運転の継続が重大な関心事となる。そこで、前述の保全技術に加えて検査やモニタリング、さらには経年化評価技術が重要となってくるとともに、RPV、炉内構造物については、60 年、80 年の継続使用を考慮すると、これらを一気に更新する“RPV 取替”も視野に入れる選択も想定されるようになる。

RPV 取替は RPV、炉内構造物の保全対策の抜本的な方法であり、工期が短く、被ばく線量が少ないメリットが期待される。図 5 に示すように、この工法は格納容器内に各

種仮設遮へいを設置し、配管などの切断、搬出後、炉内構造物を一体としてRPVごと大型クレーンで搬出し、地下ピット内の保管庫に収納し、新しいRPVを建設時と同等の方法で搬入、設置する工法である。

また、2020年ころ以降になると初期の運転プラントは一段と高経年化することから、建屋やシステム全体を更新する廃炉・再生も視野に入り、次世代の改良型BWR(ABWR)への更新や次世代炉への取替、リニューアルも期待される。

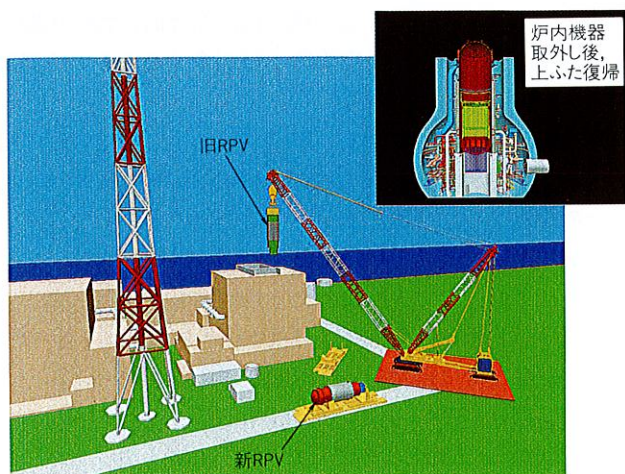


図5. RPV取替工法の概要 この工法はRPV、炉内構造物の保全対策の抜本的なものであり、プラントの供用期間延長に際して検討が不可欠な方法である。

Concept of RPV replacement

5 あとがき

原子力プラントの安定運転の確保は至上命題であり、そのためには、適切な保全活動が重要である。今後の運転プラントの保全についてまとめると、図6に示すような展開となる。多様化する保全の選択肢は、それぞれのプラントの環境や事情に応じて最適なものを選択されるべきであり、この“プラントマネージメント”が重要となってくるものと考えている。当社は、原子力プラントの建設初期の時代から電力会社各社に協力して、保全技術の開発に注力し、実機への適用を進めてきた。ここで述べたように、最近の技術の進歩は目覚ましく、精密な制御技術を駆使したレーザ応用技術で代表される個別保全の採用やシュラウド取替工事で示された徹底した炉内除染による原子炉内での建設時とほとんど変わらない炉内構造物再据付作業の実現など、原子力プラントの保全も新しい時代に入ったと言える。これ

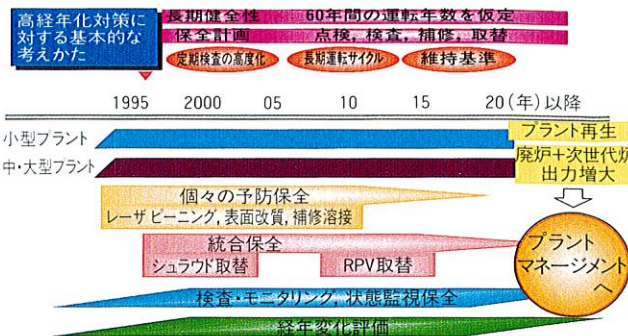


図6. 運転プラント保全の展開 高経年プラントの増加に伴い、健全性の確保が重要となっている。これからはプラントの状態、環境に合わせて適切な対応をとるプラントマネージメントが求められる。

Development of maintenance technologies for operating plants

から高経年化プラントがますます増えてくることに備え、検査と保全を適切に行えるようにさらに磨きをかけた検査技術、施工技術、評価技術の開発に注力する所存である。関係者各位のさらなるご指導とご支援をお願いする次第である。

文献

- (1) 中山秀一, 他, 沸騰水型原子力発電所の保全への取組み, 東芝レビュー, 50, 11, 1995, p.807-810.
- (2) 嶋 誠之, 他, “炉内構造物の予防保全技術の開発と実用化—ショットピーニングによる応力改善法を中心として—”平成9年度火力原子力発電大会 要旨集, 火力原子力発電技術協会, 1997, p.100-101.
- (3) 佐野雄二, 他, レーザピーニング法による原子炉内構造物の残留応力改善, 東芝レビュー, 53, 10, 1998, p.49-52.
- (4) 宮野 廣, 他, 原子力プラントの大型保全技術—シュラウド取替工法, 東芝レビュー, 53, 9, 1998, p.57-60.



宮野 廣 MIYANO Hiroshi

磯子エンジニアリングセンター 原子力第一システム設計部長。原子炉系統のシステム、機器および保全の開発・設計に従事。日本機械学会, 日本原子力学会会員。
Isogo Nuclear Engineering Center



服部 靖弘 HATTORI Yasuhiro

京浜事業所 原子力機器部部长。原子力プラント、炉内機器の設計および製造技術の設計に従事。
Keihin Product Operations



須藤 亮 SUDO Akira

電力・産業システム技術開発センター 原子力技術研究所グループ長, 工博。原子炉材料, 機器システムの開発に従事。日本機械学会, 日本原子力学会, 腐食防食協会会員。
Nuclear Engineering Lab.