

# 低線量プラント設計技術とその実績

## Optimum Engineering for Low Radiation Exposure in BWRs and the Operating Experience

近年、原子力発電所の稼働基数増加に伴い、その定期検査と保守作業を円滑に実施する上で被ばく線量の低減が強く望まれている。日立製作所では電気出力1,100 MW級BWR原子力発電所の被ばく線量を200人・rem/年以下を目標とした低線量プラント設計技術を開発し、改良標準化ベースプラントである東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機、及びそれ以降のプラントに適用してきている。

低線量プラントは、線量率予測コードにより鉄及びコバルト発生量の線量寄与率を評価した結果に従い鉄クラッド及び<sup>60</sup>Co放射能の低減対策として、給水系酸素注入、二重式復水浄化系、低コバルト材及び耐食鋼採用などを経済性を考慮して決めている。

東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機では、営業運開1年後の第1回定期検査で、作業員の総被ばく線量は89人・remと国内電気出力1,100MW級原子力発電所として最小値を記録し、通商産業省改良標準化目標被ばく線量を大幅に下回った。更に、プラント線量率の飽和する運開5年後でも、改良標準化目標線量以下の被ばく線量を十分達成できる見通しが得られた。

大角克巳\* *Katsumi Ôsumi*  
 鶴岡良造\* *Ryôzô Tsuruoka*  
 内田俊介\*\* *Shunsuke Uchida*  
 泉谷雅清\*\*\* *Masakiyo Izumiya*

### 1 緒言

原子力発電所の運転・保守作業の効率向上に不可欠な被ばく低減化は、稼働基数の増加に伴いニーズが強くなり、通商産業省改良標準化の中でも検討項目として取り上げられてきている。

日立製作所では、被ばく低減対策としてプラント放射能の低減による作業環境の線量率低減を最重要課題としている。このため、放射性腐食生成物が機器配管の内面に付着蓄積することによるプラント線量を低減するための方策として、給水中のクラッド及び原子炉内での<sup>60</sup>Coの発生抑制を焦点に各種対策を開発してきている<sup>1)~3)</sup>。

東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機(以下、福島第二・2号機という。)は、電気出力1,100MW級BWR(沸騰水型原子炉)改良標準化国産1号機であり、最新の各種被ばく低減対策が適用されている。本プラントは昭和59年2月に営業運開し、約1年間の運転を終了した後、第1回の定期検査を昭和60年5月に完了している。第1回定期検査の結果、総被ばく線量は89人・remと改良標準化目標値の200人・remを十分下回る実績を得たので以下に報告する。

### 2 低放射能技術の開発経緯

原子炉一次系の水質及び放射能を系統的に測定した結果に基づき、放射性腐食生成物の挙動を定量的に予測する手法(モデルと計算コード)を開発した<sup>2),4)</sup>。このモデルでは、給水系及び復水系の構造材から発生する腐食生成物は、原子炉内に持ち込まれ燃料に付着し放射化された後、水中に溶出すると考えていた。また、水中への溶出量は、燃料表面付着量が少量のうちは少なく、一定量以上となると溶出量は加速度的に増加すると考えていた。

プラント停止時の線量率に寄与する放射性核種としては、先行機の調査結果から半減期が5.2年と長い<sup>60</sup>Coが主体である

ことが判明していた<sup>1)</sup>。このため放射能低減対策としては、<sup>60</sup>Coの低減を主眼とし、まずコバルトが<sup>60</sup>Coとして機器、配管に蓄積する過程で、燃料上での放射化及び水中への移行に際し担体となる鉄クラッドを低減させることにした。次の過程で、コバルトの量を低減し同様の鉄クラッド持込みであっても<sup>60</sup>Coの発生量自体が少なくなるように考慮した。

#### (1) 鉄クラッド発生抑制対策

- (a) 発生量の多い部位に対して重点的に耐食鋼を使用し、鉄クラッドの発生を抑制する材料選定技術<sup>5)</sup>
- (b) 接水面積が広く、かつ炭素鋼を主体としたタービン系で発生した腐食生成物を効果的に除去する二重式復水浄化技術
- (c) 炭素鋼製の原子炉給水配管の内面に、安定な酸化被膜を形成させ腐食を抑制する酸素注入技術<sup>7)</sup>

#### (2) <sup>60</sup>Co発生抑制技術

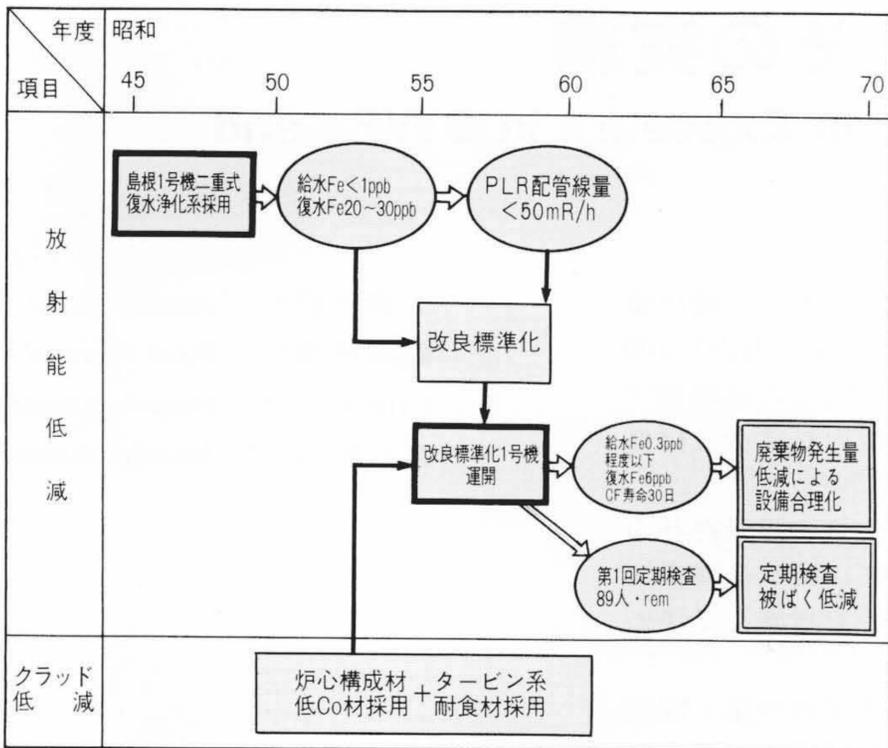
- (a) 制御棒ピンローラに用いられているCo基合金ステライトの代替材開発
- (b) 給水加熱器チューブ、制御棒被覆、燃料棒支えばね材などに用いられているステンレス鋼、インコネルなどニッケル基合金中の不純物としてのCoを低減した材料の適用。

以上の技術の開発及び適用の経緯を図1に示す。福島第二・2号機では、これらの放射能低減対策が全面的に採用された。

### 3 福島第二・2号機への適用とその成果

福島第二・2号機の主要設計仕様を表1に、また福島第二・2号機に適用された放射能低減対策を鉄クラッド及びCo低減技術に分け図2に示す。更に、本プラントの放射能低減を含めた被ばく低減の考え方をカテゴリー別に区分し図3に示す。

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所日立研究所 工学博士



注：略語説明 PLR(原子炉再循環系), CF(復水炉過脱塩器)

図1 放射能低減対策の経過 中国電力株式会社島根原子力発電所1号機(以下、島根1号機という。)での給水鉄低減による線量率低減実績に更に炉心構成材のコバルト低減を加え、東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機(以下、福島第二・2号機という。)では、第1回定期検査時89人・remと非常に低い被ばく線量に抑制された。更に、タービン系への耐食材採用によるクラッド低減で、大幅に廃棄物発生量も低減している。

### 3.1 鉄クラッドの発生抑制

耐食材の適用による鉄クラッドの低減実績を、先行機と比較して図4に示す。福島第二・2号機では、蒸気・水2相流領域及び復水器への耐食性鋼の採用により、復水系の鉄濃度は6ppbと既設の炭素鋼を主体としたプラントに比較し $\frac{1}{3}$ のレベルに低下できた。更に、復水炉過脱塩装置及び復水脱塩器から成る二重式浄化技術と給水酸素注入による腐食抑制により、同図に示すように原子炉入口給水鉄濃度は0.3ppb程度以下と国内外を通じ最低のレベルになった。

更に、復水鉄濃度低下の結果、復水中の鉄クラッドを除去する目的で設置している粉末樹脂圧力プリコート型の復水フ

表1 福島第二・2号機の主要設計仕様 改良標準化BWR-5である福島第二・2号機の水質管理は、復水浄化方式として二重式浄化系を採用し、原子炉浄化系容量として2%を採用していることが特長である。

原子炉型式	BWR-3	BWR-4	改良標準化・BWR-5
原子炉格納容器型式	MARK-I	MARK-I	MARK-II改良型
熱出力	1,380MW	2,381MW	3,293MW
発電端電気出力	460MW	784MW	1,100MW
燃料集合体数	400体	548体(7×7型)	764体(8×8型)
制御棒数	100本	137本	185本
原子炉浄化系容量	172t/h (給水流量比7%)	60t/h (給水流量比1%)	120t/h (給水流量比2%)
給水流量	2,400t/h	4,400t/h	6,400t/h
給水温度	180℃	196℃	215℃
復水浄化方式	炉過脱塩器+ 混床式脱塩器	混床式脱塩器	炉過脱塩器+ 混床式脱塩器
プラント例	島根1号機	福島第一・4号機	福島第二・2号機

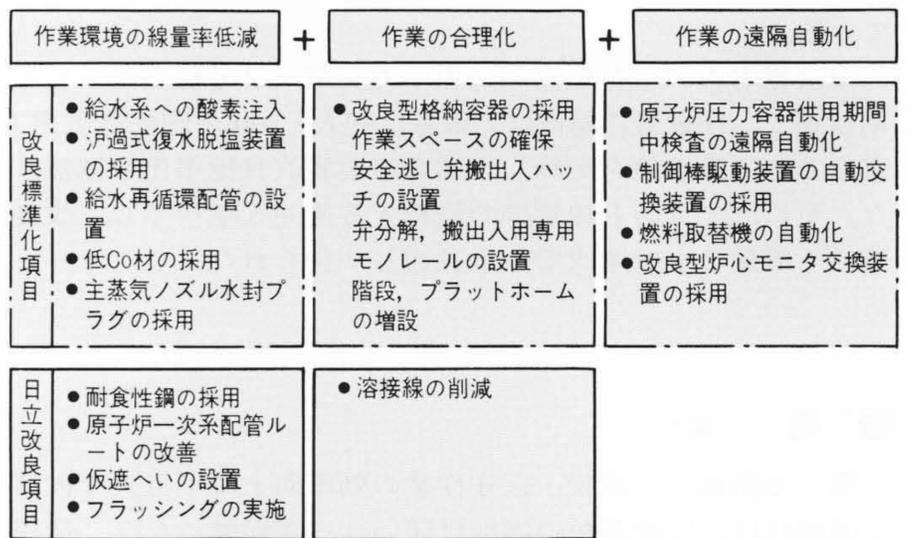


図3 福島第二・2号機従業員被ばく低減対策 第1回定期検査は89人・remと低い被ばく線量であった。このうち改良工事分は25%で、通常定期検査作業分は75%であった。

ィルタの運転寿命が、従来は10日前後であったが30日~40日と延びてきている。復水フィルタは鉄クラッドの捕そく量が増加すると差熱が上昇し、一定差熱に達した時点で既使用粉末樹脂を放射性廃棄物として廃棄し、新しい粉末樹脂をプリコートし使用している。この復水フィルタ寿命は図5に示すように、入口鉄濃度とほぼ逆比例の関係にあるため、復水鉄

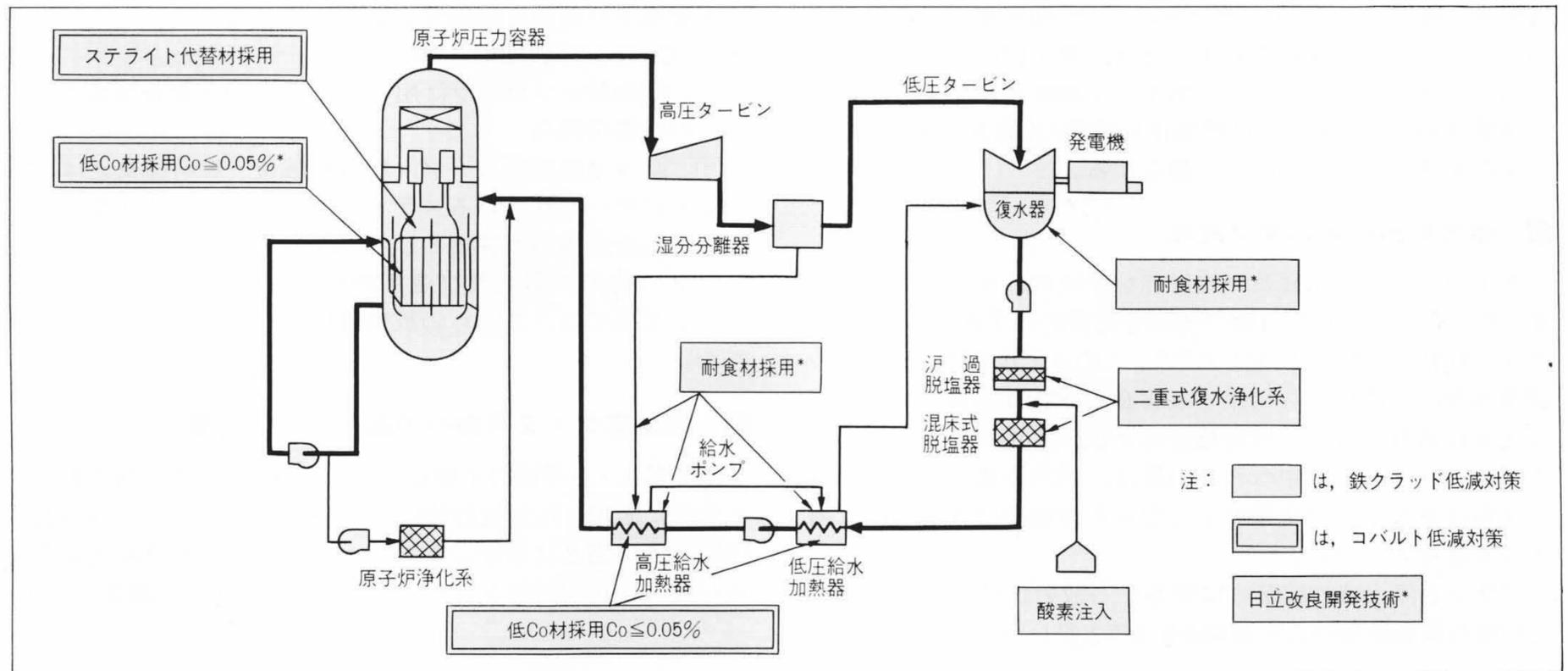
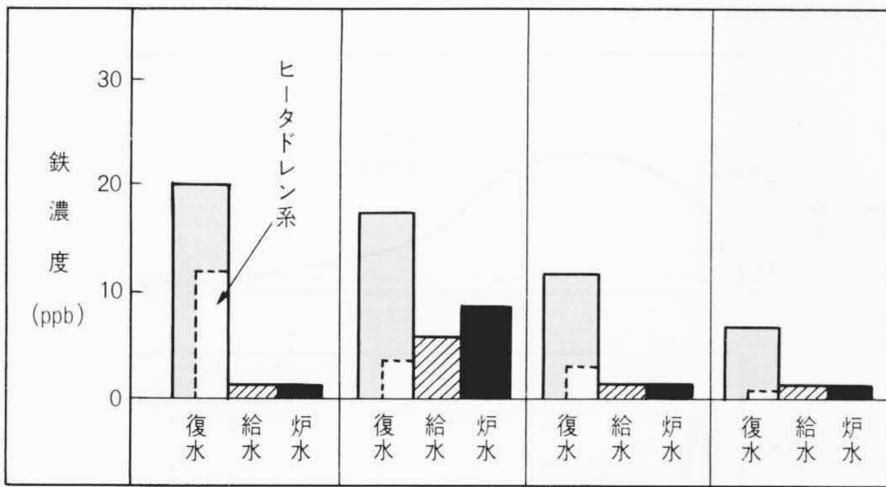


図2 福島第二・2号機クラッド低減対策 本プラントは、改良標準化項目の放射能低減対策に加えて、独自技術として炉内高中性子束部への低コバルト材適用及びタービン系への耐食材の適用を行なうことにより、被ばく低減に加え廃棄物発生量の低減を図っている。



対策項目	プラント	BWR-3	BWR-4	BWR-5	福島第二・2号機
(1) 二重式復水浄化系		○	×	○	○
(2) 給水系酸素注入		○ (運転後)	○	○	○
(3) 耐食性鋼	クロスアラウンド管	×	○	○	○
	抽気管		(Cr-Mo鋼)	(Cr-Mo鋼)	(Cr-Mo鋼)
	給水加熱器胴体		×	(炭素鋼)	○
	復水器		(炭素鋼)	(耐候性鋼40%)	(耐候性鋼)

図4 福島第二・2号機のクラッド低減実績 福島第二・2号機では先行機に対し、給水加熱器胴体及び復水器内構造物に耐食性鋼を使用することにより、ヒータドレン鉄濃度は0.7ppbまで低下し、復水鉄濃度は6ppbとBWR-3の1/3のレベルに低下した。

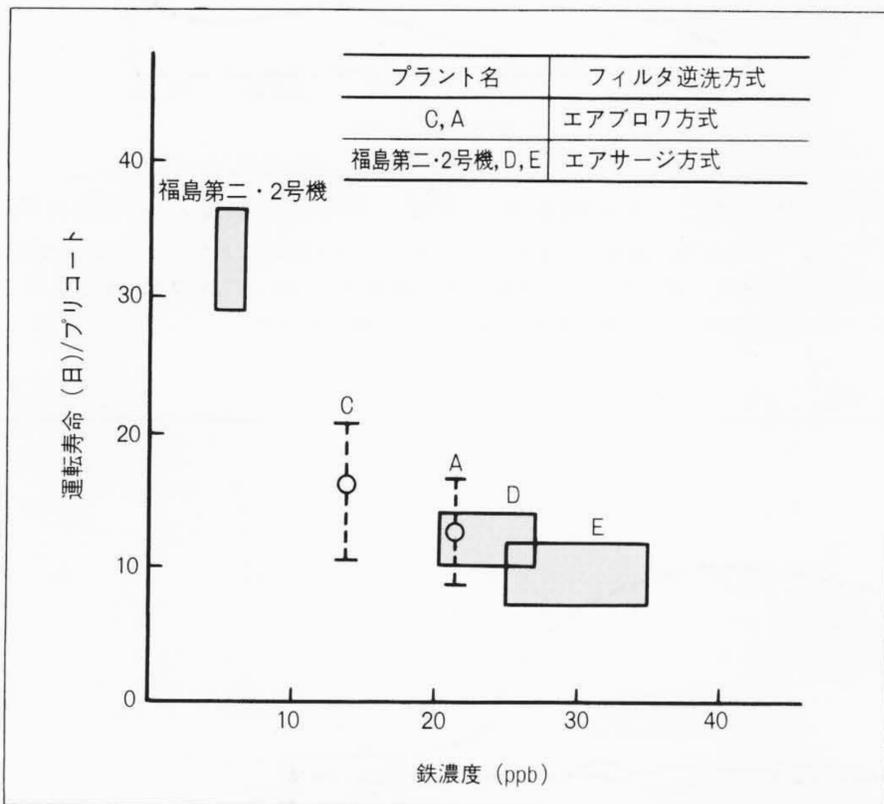
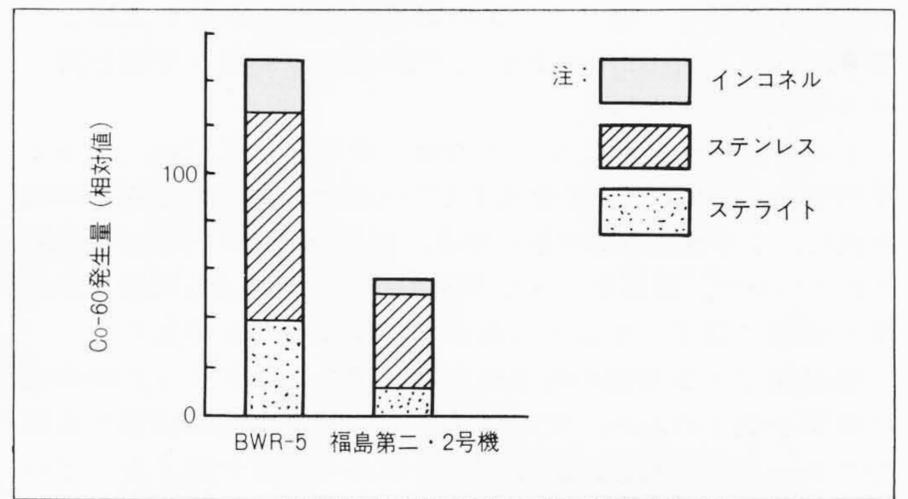


図5 復水鉄濃度と復水フィルタ運転寿命の関係 復水鉄濃度の低下に伴い、復水フィルタの運転寿命が長くなり、福島第二・2号機では粉末樹脂の使用量が1/3に低減された。この結果、運転保守の軽減、廃棄物の低減効果及び経済性の向上が図られた。

濃度低減は復水フィルタの寿命を延ばし、放射性廃棄物発生量を低下させる上で非常に効果的である。

### 3.2 <sup>60</sup>Co放射能の発生抑制

福島第二・2号機に採用された低Co材料の代表的使用場所と<sup>60</sup>Co放射能の推定発生量の予測評価を図6に示す。Co発生源として寄与の大きい原子炉給水は、表1に示すように215℃とBWR-3に比べ35℃増加しており、図7に示すステンレス鋼のCo溶出データ<sup>8)</sup>にみるように、ステンレス鋼製の給水ヒータチューブからのCo発生量は2倍以上と評価される。更に、Coを<sup>60</sup>Coに放射化する炉中性子束密度は25%増加し、逆にCo及び<sup>60</sup>Coを除去する原子炉浄化系容量は、イオン交換するた



材質	機器名	ケース	BWR-5	福島第二・2号機
インコネル	燃料スベサばね		—	○
	その他炉内構造物(RPV下鏡肉盛, フィンガスプリング)		—	—
ステンレス	制御棒シース		—	○
	制御棒チューブ		—	—
	高压給水ヒータチューブ		—	○
	低压給水ヒータチューブ		—	○
	その他炉内構造物		—	—
ステライト	ピン・ローラ		—	○*
	その他ステライト材(タービンブレード, 弁)		—	—

(BWR-5は、改良標準化以前を示す。)

注：記号説明 — 従来材使用, ○ 低コバルト材採用(Co≤0.05%), ○\* ステライト代替材採用(Co≤1.0%)

図6 低コバルト材の採用範囲 給水温度が上がっているため、表面積が大きく発生量の多い給水ヒータチューブへの適用、原子炉内では中性子束の高い<sup>60</sup>Co発生量の多い部品への適用を行ない、経済的かつ効果的な<sup>60</sup>Co低減を目的としている。

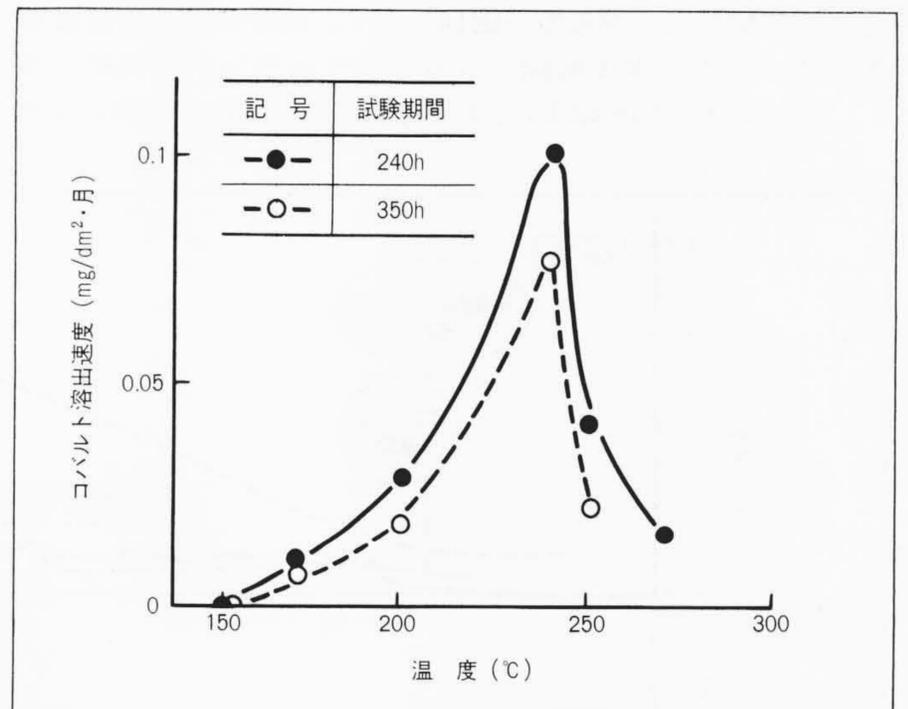


図7 給水条件下でのステンレス鋼からのコバルト溶出速度、温度依存性<sup>8)</sup> 給水ヒータチューブステンレス鋼からのコバルト溶出は、150℃から240℃の間で急激に溶出量が増加し、240℃以上では逆に低下する。このため、発生量低減の面から給水系高温部への低Co材の適用が効果的である。

めの温度低下による熱損失を小さくするよう原子炉水の循環比で1/2.5となっている。したがって、福島第二・2号機では、線量上昇評価モデルによるケーススタディにより低Co材を使っていないBWR-3の中国電力株式会社島根原子力発電所1号機(以下、島根1号機という。)の炉水<sup>60</sup>Co濃度以下となるように低Co材の使用範囲を考慮した。

福島第二・2号機の運転から第1サイクル終了時までの放

射能濃度履歴を、他プラントの同運転時期の水質と比較して図8に示す。同図に示すように、<sup>60</sup>Co濃度は島根1号機と同レベル以下であった<sup>9)</sup>。

しかし、従来経験したことの無い事象として、ニッケルより<sup>58</sup>Ni(n, p)<sup>58</sup>Co反応で生成する<sup>58</sup>Co濃度が急増する現象が現われた。この<sup>58</sup>Co濃度の急上昇は、福島第二・1号機でも経験されていた<sup>10)</sup>。福島第二・2号機では、前述のように給水鉄濃度が極端に低下したことにあるのではないかと考えた。

福島第二・2号機の給水系では、図9に示すように鉄濃度の極端な低下のため、従来プラントの腐食生成物は鉄が支配的であったのに対し、鉄よりニッケルの濃度が高くなっていた。このため、表2に示すように燃料付着クラッドの形態が鉄支配型よりニッケル支配型となり、ニッケル酸化物が放射化されてできた<sup>58</sup>Coが溶出しやすくなったことが原因ではないかと考えた。

この対策として、給水鉄濃度をニッケルの2倍以上とするように給水鉄濃度を微増させることとした。方法としては、まず給水酸素注入量の低下を行なったが鉄濃度上昇はわずかであったため、次に復水フィルタの一部バイパス試験を行なった。一連の対策で給水鉄は0.3ppb程度に増加し、その結果、炉水ニッケル濃度が低下し始めた。炉水<sup>58</sup>Co放射能濃度の低下は、炉水ニッケル濃度の変化に数千時間遅れ、第1サイクルの末期に低下傾向を示し始めた。<sup>58</sup>Coは第1回定期検査のためのプラント停止時約 $\frac{1}{3}$ まで低下し、低下の傾向はこの時点でも継続中であった。

### 3.3 プラント内線量率

昭和60年1月から開始された福島第二・2号機の第1回定期検査時での原子炉再循環配管の放射能付着量、及びそれに起因する配管表面線量率を図10に示す。配管付着放射能は第1サイクルの炉水放射能からみるように<sup>58</sup>Coが圧倒的に多く、<sup>60</sup>Coは<sup>58</sup>Coの10%以下であった。<sup>58</sup>Coは放出放射線のエネ

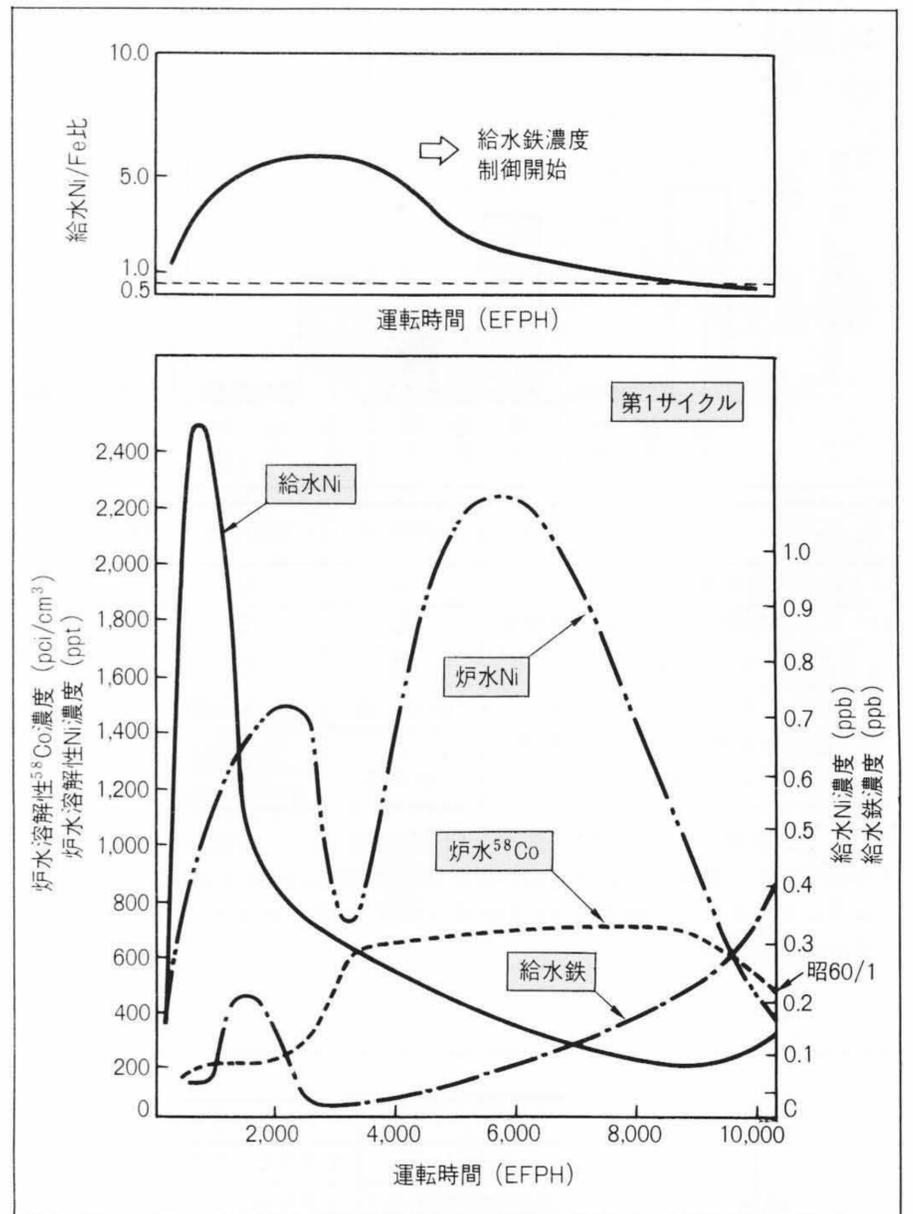


図9 福島第二・2号機給水Fe濃度、溶解性Ni濃度と炉水放射能(<sup>58</sup>Co) 炉水<sup>58</sup>Co濃度は、復水フィルタバイパス運転などによる給水Fe濃度微増対策の結果、第1サイクル末期に至り濃度低下した。<sup>58</sup>Co濃度に関しては、Ni/Fe比制御技術により濃度制御できることが確認された。

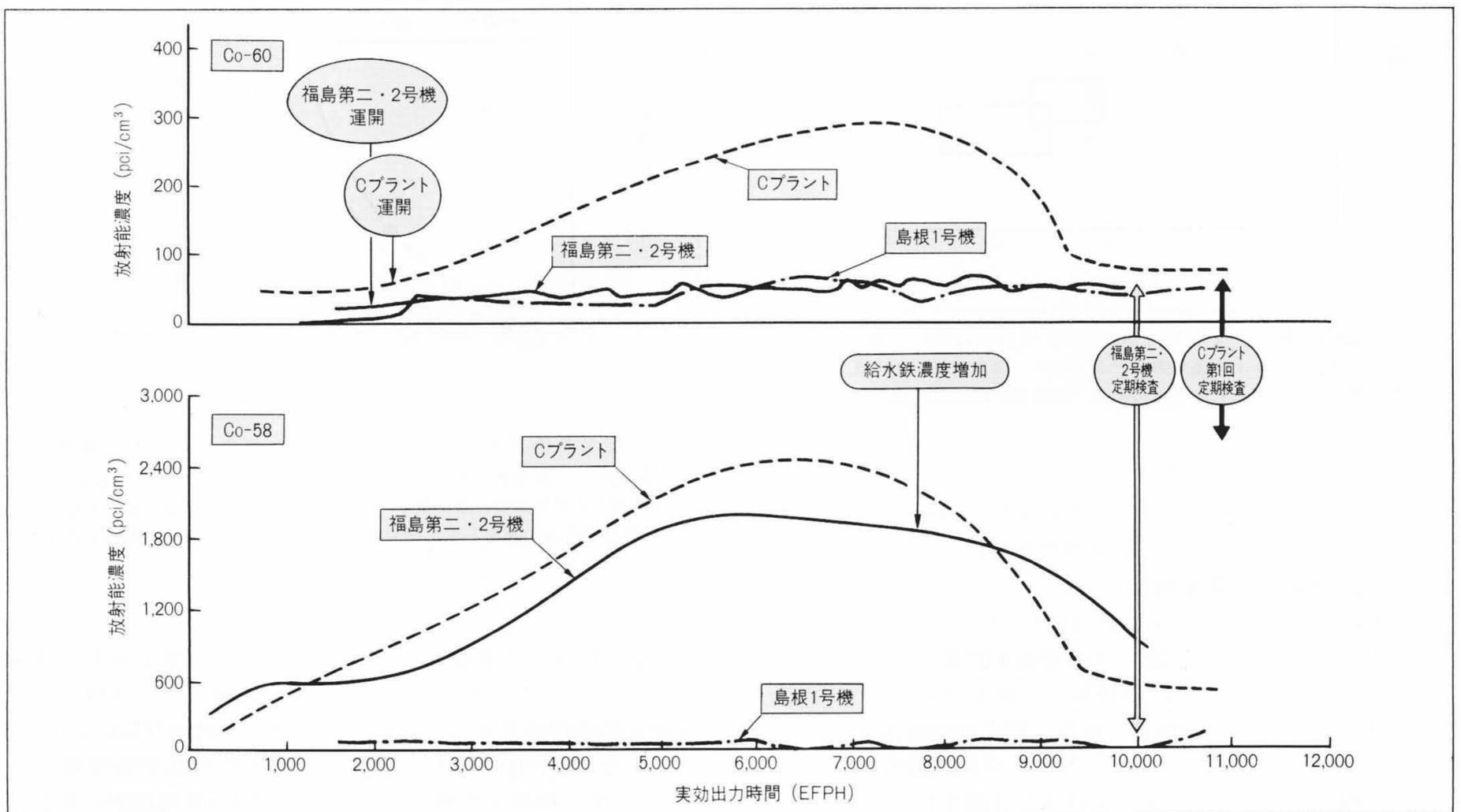


図8 各プラントの炉水放射能(<sup>58</sup>Co, <sup>60</sup>Co)経時変化 福島第二・2号機の<sup>60</sup>Co濃度は、低線量である島根1号機と同様に抑制に成功しているが、短半減期の<sup>58</sup>Coに関しては高濃度になる現象が見られ、給水鉄濃度を0.3ppb程度に微増させることにより抑制に成功している。

表2 燃料棒表面へのクラッド，イオン付着挙動 給水Fe濃度の極端な低下により，燃料棒付着酸化物はNi過剰となり，Fe-Ni酸化物に比べ溶出速度の大きいNi酸化物が析出するようになったため，Niの放射化した<sup>58</sup>Co放射能濃度が増加したと推定している。

	給水水質(ppb)		付着及び離脱挙動	付着モデル	
	Fe	Ni		クラッド	イオン
従来プラント	1~5	0.1		蒸発乾固	付着クラッドに吸着
福島第二・2号機	0.1以下	0.4		蒸発乾固	蒸発乾固

ルギーが低い<sup>60</sup>Coに対し表面線量の寄与は小さく，**図10**に示すように表面線量への寄与は<sup>58</sup>Coが75%，<sup>60</sup>Coが25%であった。

また，既設炉では<sup>60</sup>Co放射能が主体であるため定期検査期間を通じ線量率の変化は顕著にみられないが，福島第二・2号機では半減期が71.3日と短い<sup>58</sup>Co放射能が大半のため，定期検査期間を通じ線量の低下がみられ，終了直前には半減した。

また，プラント線量の経年上昇に寄与する<sup>60</sup>Co放射能は，原子炉再循環配管内面付着量  $1 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  以下，表面線量で20 mR/h以下と低い。今後，既付着<sup>58</sup>Co放射能の減衰により，従来プラントの例とは逆に停止時線量の低減が見込まれる。

### 3.4 第1回定期検査時被ばく線量

福島第二・2号機の第1回定期検査中の保守，点検作業は昭和60年1月20日の原子炉停止以降88日間で終了している。その後，通商産業省の総合負荷試験を終了し，第2サイクルの運転を行なっている。

第1回定期検査時の被ばく線量は，**図11**に示すように改良工事25%，通常定期検査作業75%，合計89人・remであった。

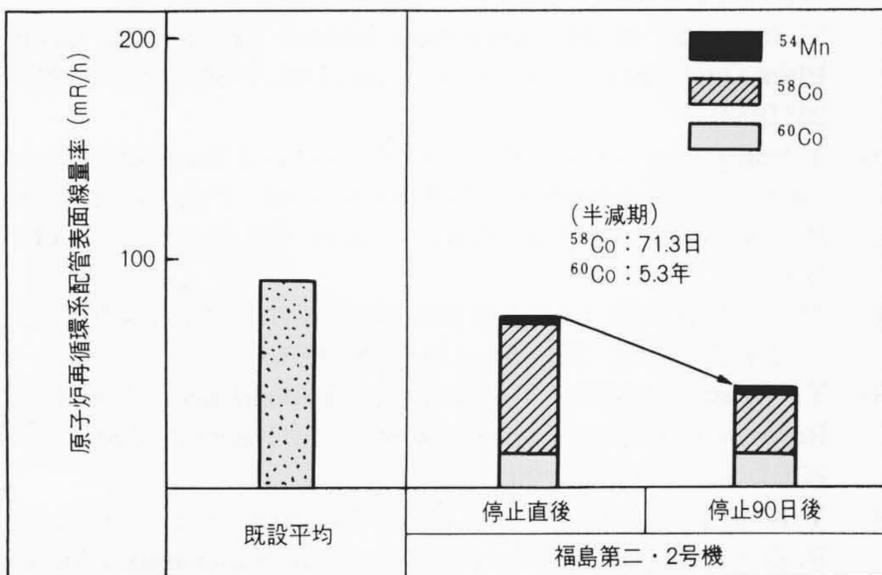


図10 第1回定期検査時配管線量率 福島第二・2号機の一次系配管付着放射能は，半減期71.3日の<sup>58</sup>Coが主体であったため，定期検査末期では表面線量率が半減している。線量の経年上昇の原因である<sup>60</sup>Coは付着量が  $1 \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  と少なく，線量は20mR/h程度と低かった。

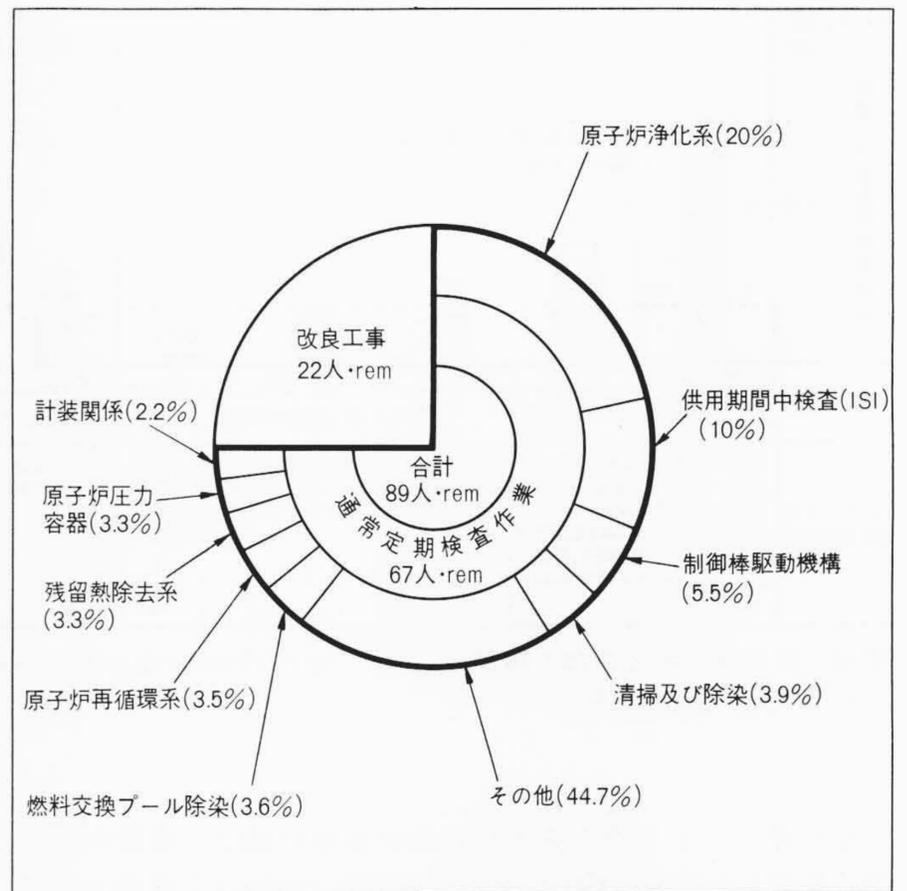


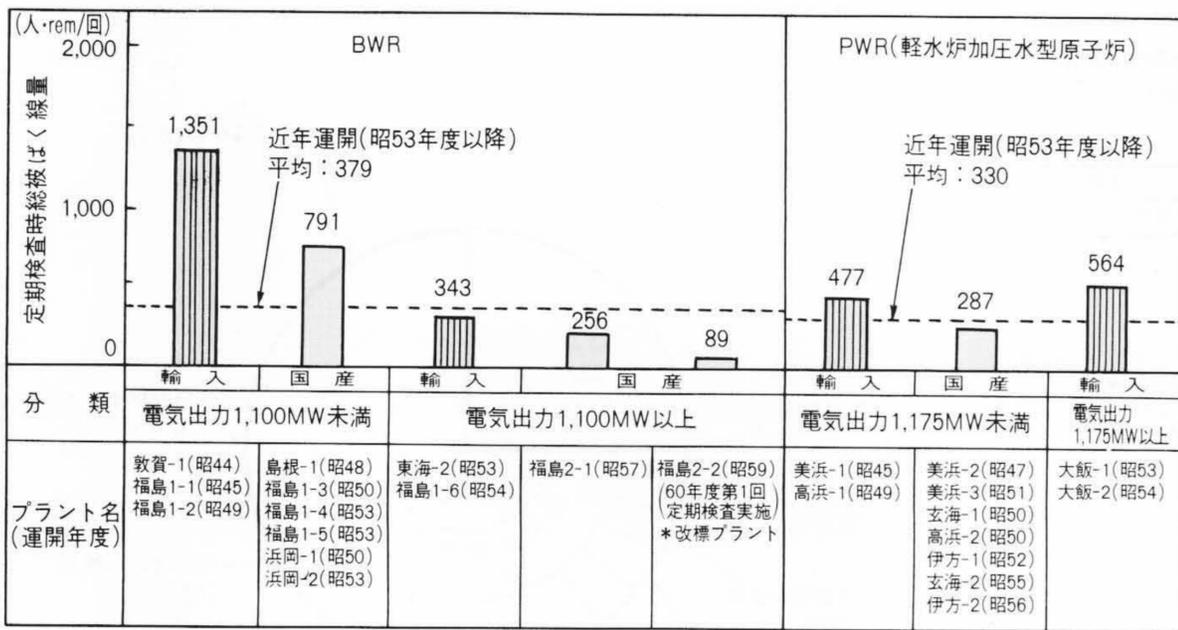
図11 福島第二・2号機主要作業別被ばく線量 通常，定期検査作業被ばく67人・remの主要件名別被ばくは小被ばく作業の積算であり，今後の被ばく低減はこれら小被ばく作業のきめ細かな低減の積み重ねとなる。

表3 従来BWRに対する福島第二・2号機の被ばく低減効果 低減効果はクラッド及びコバルト低減による放射能低減が大きく，次に配管ルート改善，仮遮へいなどによる線量率の低減，それとほぼ同等の効果として改良型格納容器の採用など，作業性の改善が挙げられる。

被ばく低減要因	被ばく低減効果内訳比率				
	10	20	30	40	50 (%)
1. 放射能の低減 (1) 低コバルト材の採用 (2) 汚過式復水脱塩装置の採用 (3) 耐食性鋼の採用	[Progress bar from 0 to 50%]				
2. 雰囲気線量率の低減 (1) 原子炉一次系配管ルートの改善 (2) 仮遮へいの設置 (3) フラッシングの実施	[Progress bar from 0 to 20%]				
3. 作業性の改善 (1) 原子炉格納容器内のスペース拡大 (2) 原子炉格納容器の機器搬入口増設 (3) 通路性の改善 (4) 機器操作性の改善	[Progress bar from 0 to 20%]				
4. 作業量の低減 溶接線の削減	[Progress bar from 0 to 5%]				
5. 作業の自動化 (1) CRD遠隔自動交換装置 (2) 原子炉压力容器の自動供用期間中検査	[Progress bar from 0 to 5%]				
6. 作業管理の改善 線量率の時間減衰を考慮した工程調整	[Progress bar from 0 to 5%]				
合計	100%				

放射能の低減については**表3**に示すように，(1)の低コバルト材の採用によるコバルト放射能の低減効果と，(2)の汚過式復水脱塩装置の採用による原子炉持込クラッドの低減効果に関しては，両者同程度と評価している。一方，(3)の耐食性鋼の採用による発生鉄量の低減は，汚過式復水脱塩器の除去しなければならない鉄負荷を減少させ，放射性廃棄物となる汚過助材を低減する効果が主である。

更に，低減効果が大きな項目として機器，配管表面線量の作業員に対する寄与を下げる線量率の低減，及び作業性の改善が挙げられる(**表3**の2項及び3項)。



注1: 出典 原子力発電所運転管理年報, 原子力安全委員会月報  
原子力発電所の事故・故障, 定期検査などの状況

2: 略語説明 敦賀-1 (日本原子力発電株式会社敦賀原子力発電所1号機)  
福島1-1(東京電力株式会社福島第一原子力発電所 1号機)  
福島1-3( 同 上 3号機)  
福島1-4( 同 上 4号機)  
福島1-6( 同 上 6号機)  
福島2-1(東京電力株式会社福島第二原子力発電所 1号機)  
福島2-2( 同 上 2号機)  
浜岡-1 (中部電力株式会社浜岡原子力発電所 1号機)  
浜岡-2 ( 同 上 2号機)  
東海-2 (日本原子力発電株式会社東海2号発電所)  
美浜-1 (関西電力株式会社美浜発電所 1号機)  
美浜-2 ( 同 上 2号機)  
美浜-3 ( 同 上 3号機)  
玄海-1 (九州電力株式会社玄海原子力発電所 1号機)  
玄海-2 ( 同 上 2号機)  
高浜-1 (関西電力株式会社高浜発電所 1号機)  
高浜-2 ( 同 上 2号機)  
伊方-1 (四国電力株式会社伊方発電所 1号機)  
伊方-2 ( 同 上 2号機)  
大飯-1 (関西電力株式会社大飯発電所 1号機)  
大飯-2 ( 同 上 2号機)  
(昭和59年度定期検査まで)

図12 定期検査時総被ばく線量の比較 原子力発電所の定期検査時総被ばく線量は、設置時期が新しくなるにつれ低下し、最新プラント福島第二・2号機では100人・remを切るに至った。

福島第二・2号機の第1回定期検査時総被ばく線量を先行機と比較した結果を図12に示す。BWRでの被ばく線量は過去の輸入炉以来着実に低下してきており、福島第二・2号機では電気出力1,100MWと発電所は大型化されたにもかかわらず89人・remと初めて100人・remを切ったことは特筆すべき成果である。

#### 4 福島第二・2号機の実績評価による次期プラントの展望

福島第二・2号機の実績も考慮して、今後のプラントでは次のような被ばく低減項目の開発及び検討が行なわれており、更に被ばく線量は低下すると予測される。

##### 4.1 福島第二・2号機実績評価による低減

###### (1) 原子炉冷却材浄化系関連作業被ばく線量の低減

循環ポンプ位置の低温部への変更による付着放射能の低減。

###### (2) <sup>58</sup>Co放射能低減

給水持込みNi/Fe比率制御による<sup>58</sup>Co放射能濃度上昇現象の抑制。

##### 4.2 新技術の開発

###### (1) 放射能蓄積抑制対策

プラントが出力運転を開始する以前に、一次系ステンレス鋼内表面にあらかじめ酸化処理などによる表面処理による放射能付着の抑制。

###### (2) 原子炉再循環配管除去による格納容器内線量低減

通商産業省第3次BWR改良標準化炉としても取り上げられているインターナルポンプ型再循環ポンプの採用による格納容器内線量を支配している再循環配管の除去。

#### 5 結 言

原子力発電所の被ばく線量を低減する目的で低クラッド、低コバルト技術を中心とした低線量プラントの設計技術を開発した。これら技術のうち幾つかは、改良標準化項目としても採り入れられている。この低線量プラント設計技術を適用した福島第二・2号機は、図12に示すように第1回定期検査で国内電気出力1,100MW級最小の89人・remと改良標準化目標値200人・rem以下を大幅に下回る総被ばく線量を記録した。

今後の被ばく低減対策は、福島第二・2号機の設計及び運転を基本に、その改良及び新技術の適用が計画されている。福島第二・2号機は今後のBWRでの被ばく低減の最初の実証であり、今後のプラントの被ばく低減目標として重要な意義

をもつものである。

最後に、本低線量プラントの設計及び運転管理に当たり、御指導をいただいた東京電力株式会社の関係各位に対し、厚くお礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 高島, 外: 原子炉冷却水の放射能低減, 日立評論, 62, 9, 663~666(昭55-9)
- 2) 三木, 外: 低線量を目指した沸騰水型原子炉一次冷却系のシステム設計, 日立評論, 64, 8, 563~566(昭57-8)
- 3) 今野, 外: プラントのシステム設計, 日立評論, 66, 4, 265~266(昭59-4)
- 4) S.Uchida, et al.: An Empirical Formula Predicting Shutdown Dose Rate of the Recirculation Pipes in Boiling Water Reactors, Nucl. Sci. Eng. 69, 78~85(1979)
- 5) M.Izumiya, et al.: Corrosion and/or Erosion in BWR Plants and Their Countermeasures, IAEA-SM-246/4 No. 22(1982)
- 6) Y.Sugimitsu, et al.: Control of Iron Feed Rate into Reactor to Reduce Shutdown Radiation Level, Proc. Radiation Protection in Nuclear Power Plants and the Fuel Cycle, BNES, 193(1978)
- 7) 泉谷, 外: BWRプラント給水系への酸素注入による腐食抑制, 火力原子力発電, 27, 5, 419~426(1976)
- 8) Y. Ozawa, et al.: Temperature Dependence of Cobalt Release Rate from Stainless Steel in Neutral Water, J. Nucl. Sci. Technol., 20, 1039(1983)
- 9) Y. Koine, et al.: A Boiling Water Reactor Concept for Low Radiation Exposure Based on Operating Experience IAEA-SM-264/1 No.22(1982)
- 10) Y.Hemmi, et al.: Experience of Water Chemistry in a New 1100MWe BWR, Water Chemistry 3, 15, BNES, (1983)