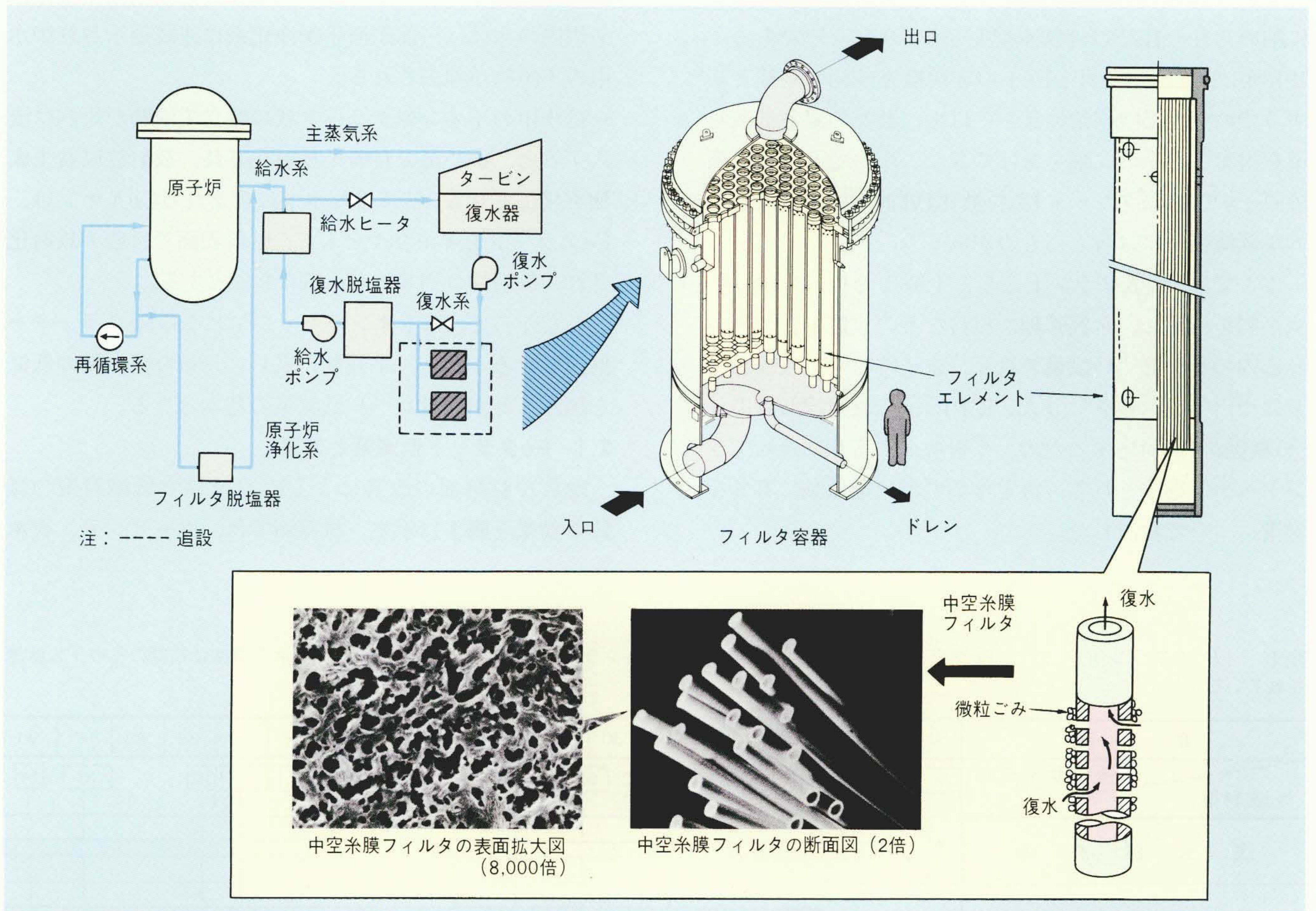


# 長期運転プラントの定期検査線量低減技術

## Occupational Exposure Reduction Technology for Nuclear Power Plant Annual Outages

三谷信次\* Shinji Mitani  
朝倉大和\*\* Yamato Asakura  
碓井直志\*\*\* Naoshi Usui  
花澤定雄\*\*\*\* Sadao Hanazawa



中空糸膜フィルタを追設した運転プラント例 復水脱塩器の前に中空糸膜フィルタを追設することにより、給水系のFeクラッド量の低減を図る。

原子力発電所の線量低減技術は新設プラントでは目覚ましいものがある。

一方、初期の時代に設計されたプラントでも各種の制約条件のもとで、線量低減設備の改善・追設、運用面でのくふうなどによって総線量低減で著しい成果をあげてきた。

最近、ICRP(国際放射線防護委員会)1990年新勧告が出され、作業員一人当たりの年線量限度が引き下げられるに及んで、特定作業員を対象とした線量低減対策が求められるようになってきた。日立製作所では、長期運転プラントを対象に新勧告に対応した線量低減設備の新設、改良を提案している。

\* 日立製作所 日立工場 \*\* 日立製作所 日立工場 工学博士 \*\*\* 日立エンジニアリング株式会社  
\*\*\*\* 日立ニュークリアエンジニアリング株式会社



## 1 はじめに

国内のいくつかの長期運転プラントのうち、最近最も顕著な線量低減効果を示したプラントは、東京電力株式会社福島第一原子力発電所1号機(電気出力460 MW, 1971年運転, 以下, 1F-1と略す。)であった。

1F-1は米国GE社の設計により、東京電力株式会社に納められたBWR(沸騰水型原子炉)の第一号である。1978年、日立製作所は1F-1の定期検査(以下、定検と略す。)での主要部門を請け負って以来、数々の線量低減対策を提案し、その成果をあげてきた。なかでも、給水系の原子炉入口鉄クラッド(微粒酸化鉄)低減による線量レベル低減実績には著しいものがある<sup>1)</sup>。

ここでは、代表プラントとして1F-1を中心に線量低減事例を紹介し、水質管理、材料などの設備改善、格納容器内の配管遮へい設備の設置、定検時での工法改善などについて述べる<sup>2),3)</sup>。また、ICRP(国際放射線防護委員会)新勧告<sup>4)</sup>に対応するため、今後増加する長期運転プラントへの対応法として、特定作業者の線量低減に有効な対策について検討した。

## 2 長期運転プラントの線量レベル低減経緯

一般的な長期運転プラントの主要系統を前ページの図に示す。原子炉で発生した高温・高圧(280℃, 70気圧)の水蒸気は発電用のタービンを駆動させた後、復水器で冷却、凝縮される。凝縮水(復水)は脱塩器によって浄化された後、給水ヒータで昇温され原子炉に供給される。原子炉内の水は、一部が原子炉浄化系に連続通水され炉水中の不純物が除去される。

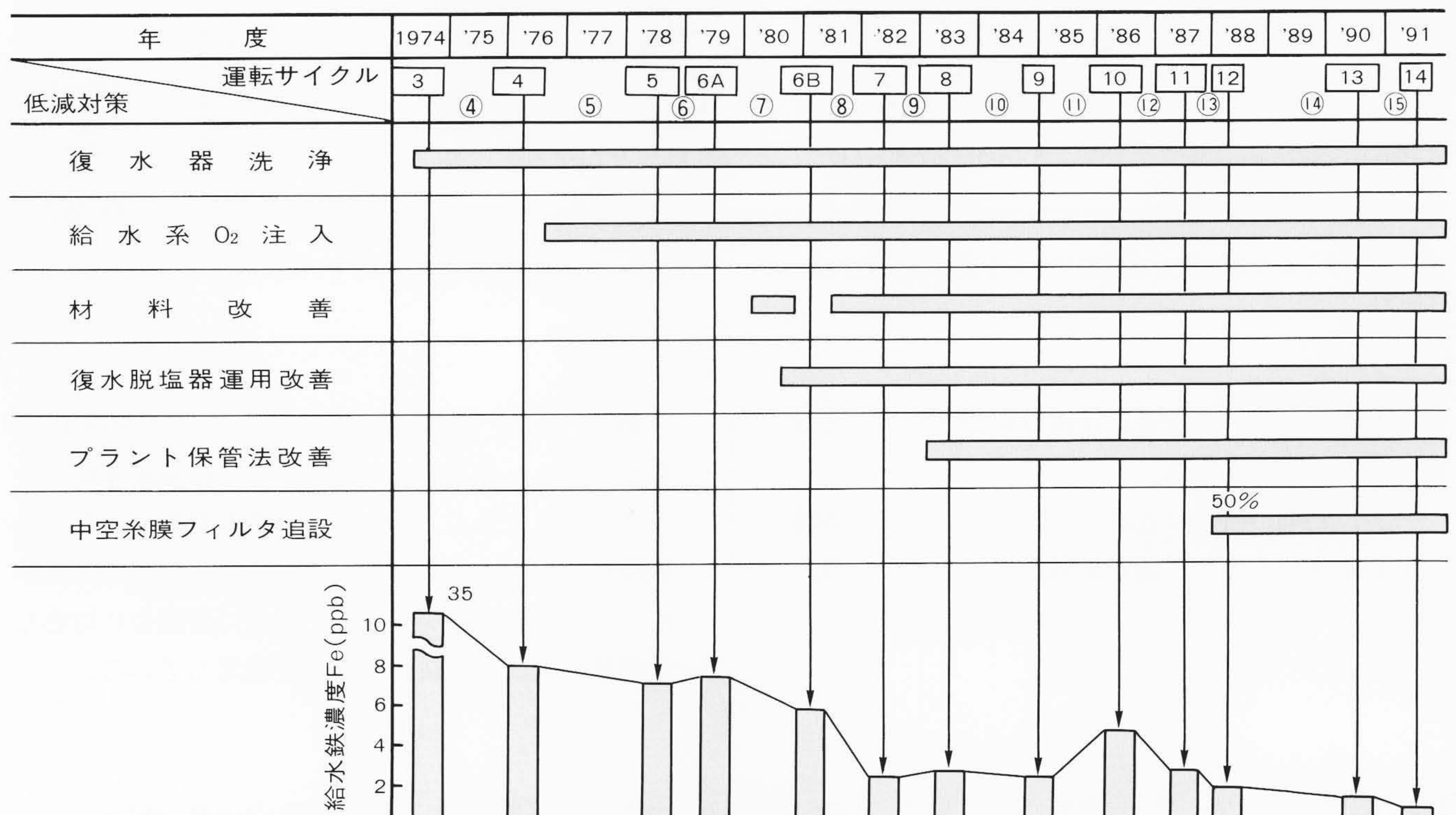
給水中のイオンやクラッド状の腐食生成物が炉内に流入すると、炉心部で付着・放射化され、放射性腐食生成物を発生させる。特に冷却水中に含まれるCoイオンは、Feクラッドをキャリアとして、燃料表面で付着・放射化され、放射性コバルト(Co-60)を生成する。

したがって、CoイオンのキャリアとなるFeクラッドを低減させることと、半減期の長いCo-60の発生量の低減を図ることが線量レベル低減策の基本となる。

### 2.1 Feクラッド低減策と効果

水質や材料面の改善によるFeクラッド低減対策の経緯と効果を表1に示す。材料面では、タービン系、復水

表1 1F-1プラントにおけるFeクラッド低減対策と効果 各種Feクラッド低減対策の採用により、給水Fe濃度は初期の $\frac{1}{10}$ 以下に低減されている。



注: □内の数字は運転サイクルを示し, ○内の数字はその間の定検回数を表す。



系に使用されていた炭素鋼を、耐食性の高い低合金鋼などに変える改善を1980年ごろに実施した。さらに、水質面からの復水浄化装置によるクラッド除去性能の向上策、プラント停止時の保管方法の改善策を昭和55年から順次提案・採用した。

その結果、表1に示すように、給水中のFe濃度を改善前の10 ppb前後から一けた近く低減した。

各低減対策の特徴について以下に述べる。

### 2.1.1 復水浄化装置によるクラッド除去性能向上

イオン交換樹脂を充てんした復水脱塩器のクラッド除去性能は、逆洗頻度の増加および脱塩器内の流速低下とともに向上することを明らかにした。これら復水脱塩器の運用改善を1980年から適用し、除去性能を80%から95%近くまで高めることができた。

さらに、給水Fe濃度を1 ppb程度に低減することを目標に、クラッド除去が100%近く可能な中空糸膜フィルタを追設することを提案した。1987年から復水の50%容量のフィルタが復水脱塩器の上流側に追設され、Fe濃度は1 ppb程度にまで減少した。

### 2.1.2 プラント停止時保管方法の改善

1983年からプラント停止時に復水・給水ラインの水抜きを行い、乾燥保管することにより、クラッド状腐食生成物の発生抑制を図った。また、発生したクラッド状腐食生成物を除去するため、運開前に給水を復水器に戻し、復水脱塩器で浄化する運転を繰り返す起動前給水再循環運転を適用した。これにより、運開時に炉内に持ち込まれるクラッド量を一けた低減することが可能となった。

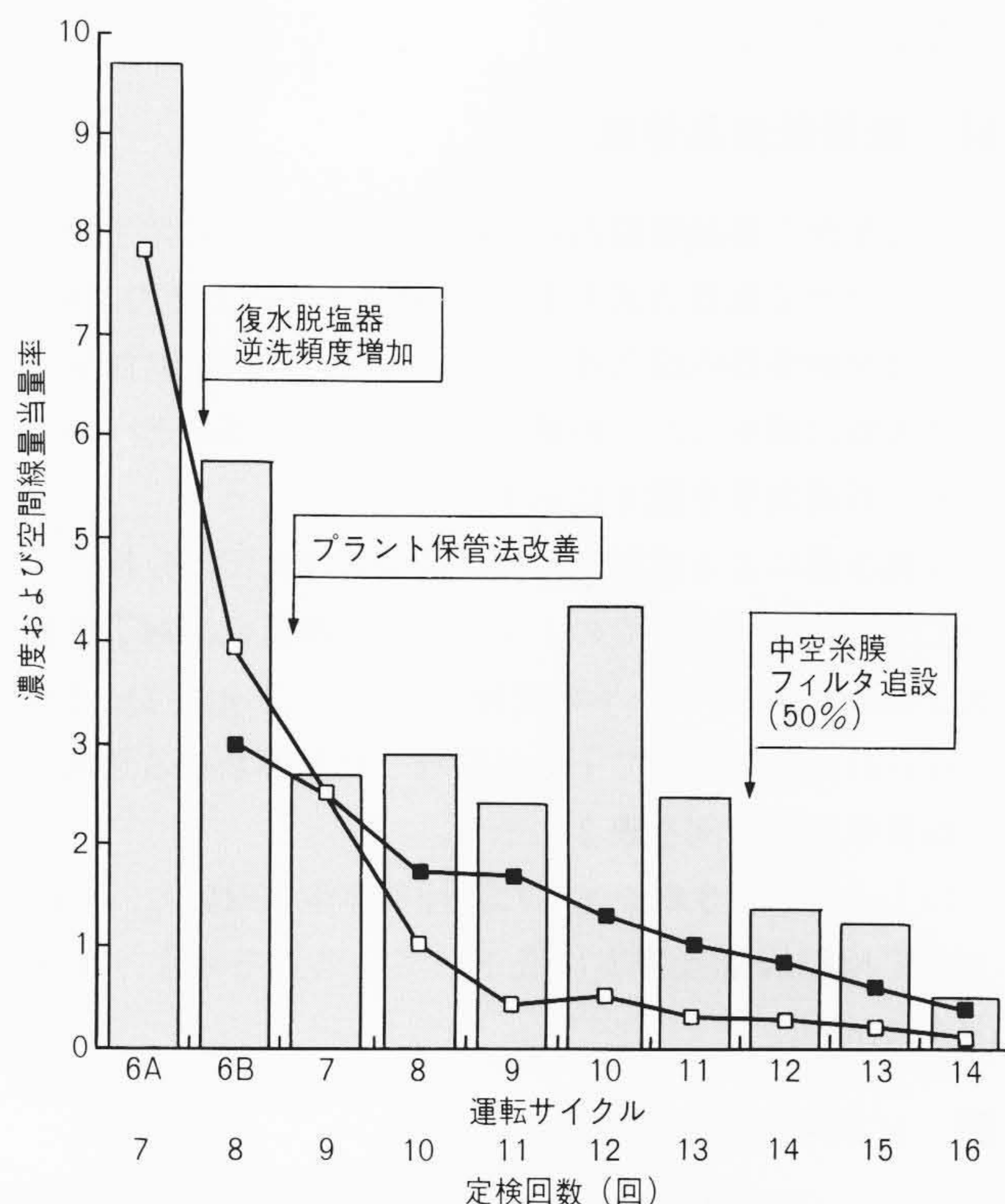
給水中Fe濃度の減少に伴い、炉水中の放射性クラッド濃度や原子炉容器下部の空間線量当量率が年々減少することが実機データから確認されている(図1参照)。

### 2.2 Co低減策と効果

改良標準化後の新設プラントでは、設計段階でCoイオンの生成抑制を目的に、構成材料中のCoの含有量を極力少なくする設計としている。これに対し1F-1では、燃料および制御棒といった定期的に交換される構成材料を対象に、図2に示すような低Co化を図ってきた。その結果、Co-60の生成量は約20%低減できた。

今後、制御棒の主要構成部材であるステンレス鋼を低Co仕様に変更することにより、改善前に比べてさらに約10%の低減が期待できる。

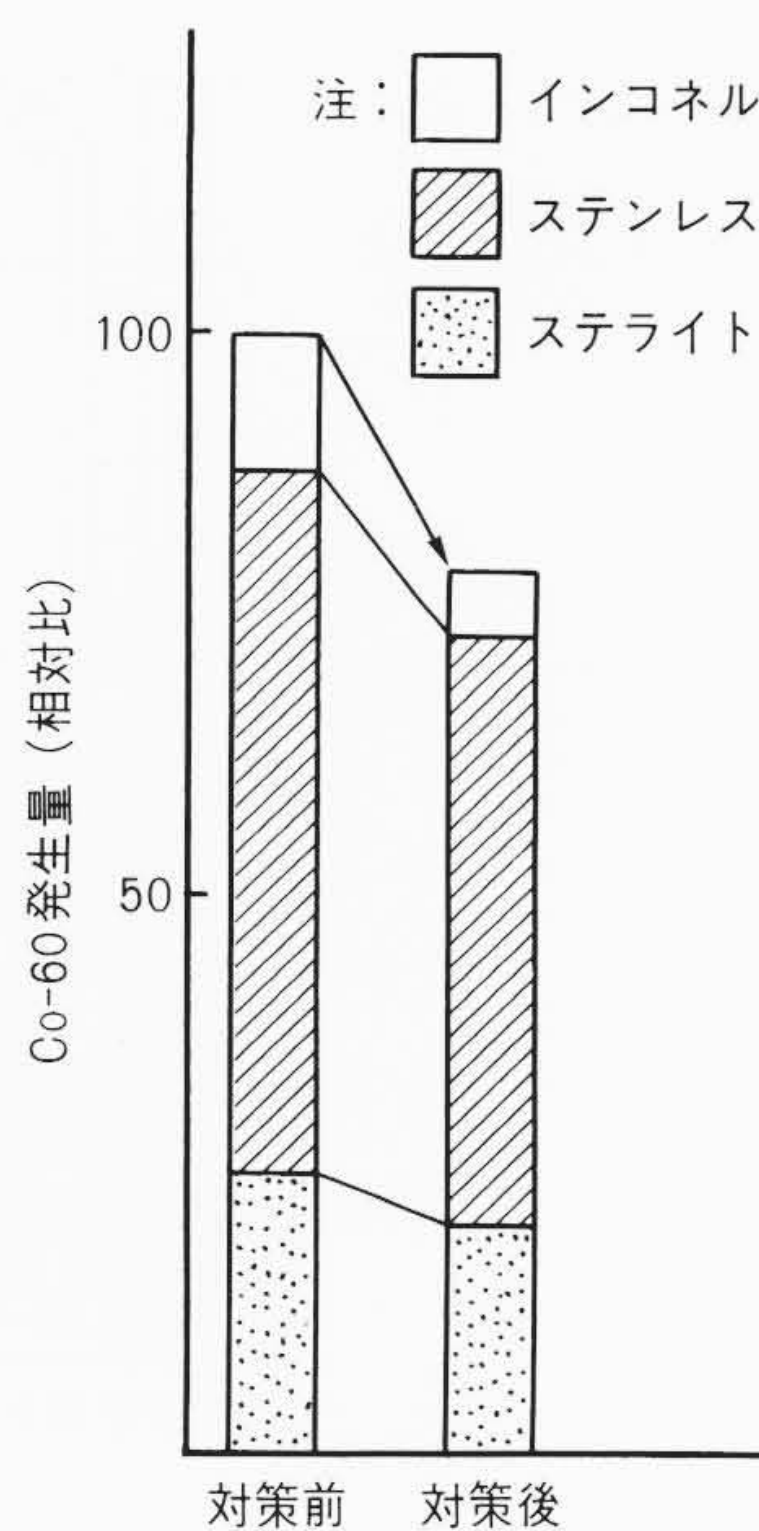
このような水質・材料面の改善により、1F-1の炉水中放射能濃度を最新型の低クラッド化プラントとほぼ等しいレベルにまで低減し、後述する線量低減推進に大き



注：□ 給水鉄濃度(ppb), ■ 原子炉容器下部空間線量当量率(mSv/h)  
 □ 炉水中放射性クラッド(Co-60)濃度(Bq/ml)

図1 クラッド低減対策効果 給水Fe濃度の低減は、炉水中の放射性クラッド、さらに放射性クラッドの沈積に起因する原子炉容器下部の空間線量当量率の低減に有効である。

材質	ケース		対策
	機器名		
インコネル	燃料スペーサばね		○
	その他炉内構造物		—
ステンレス	制御棒シース		—
	制御棒チューブ		○
	高圧給水ヒータチューブ		—
	低圧給水ヒータチューブ		—
ステライト	その他炉内構造物		—
	ピン・ローラ		◎
	その他ステライト材 (タービンブレード, 弁)		—



注：○[低Co材採用(Co≤0.05%)]  
 ◎[ステライト代替材採用(Co≤1.0%)]

図2 低Co材料適用効果の評価 定期的に交換される構成材料に、Co含有量の少ない材料を採用して、放射性Co(Co-60)の発生量を約20%低減可能とした。



く寄与している。

### 3 線量低減具体策

1981年から格納容器内の高線量機器・配管に鉛毛マットをかぶせる仮設方式を多用し、効果をあげてきた。1986年には格納容器内恒久遮へいを設置し、空間放射能レベルは大幅に減少した。再循環系配管ライザ部の遮へいの一例と低減効果を図3に示す。

設備改善による放射能レベル低減に加えて、定検ごとの工法改善や運用面でのくふうによる線量低減対策を推進した。BWRプラントの定検で、TQC(Total Quality Control)活動を通じて十分に定着したと思われる運用上の線量低減策の例を表2に示す。

以上、2章と3章で述べた各種具体策に対応し、1F-1の定検総線量は着実に低下している。そのようすを図4に示す。

### 4 ICRP1990年新勧告

#### 4.1 新勧告の概要

ICRPは1990年4月に、線量限度に関して新しい勧告を出し、職業人の限度値を従来の勧告値(1985年国内法と

表2 運用上の線量低減具体策(例) 毎回定検開始前に計画し、現在はほとんどの運転プラントで定着している。

No.	具 体 策 (例)
1	線源の減衰効果を期待した工程シフト
2	高線量作業と低線量作業のローテーション
3	高線量機器開口部遮へいと部品の遮へい箱収納
4	作業員保護用ついで遮へい
5	高線量作業の事前トレーニング、モックアップ訓練
6	放管表示の五感化(線量レベルの赤色表示, ほか)
7	線量低減意識の高揚(ポスター, 朝礼, 事例紹介, ほか)

して整備された。)よりもさらに引き下げた値とした。該当する関係部分を表3に示す。

今後国内法も新勧告を受け入れた形で整備されるものと予想される。

#### 4.2 原子力発電所における作業員の線量ヒストグラム

中央登録センターが発表したわが国の原子力発電施設での1989年度の作業員の年度線量ヒストグラムを図5(a)に示す。そのうちで、日立グループ全体および15 mSv/年以上の作業員について示したものが同図(b)である。

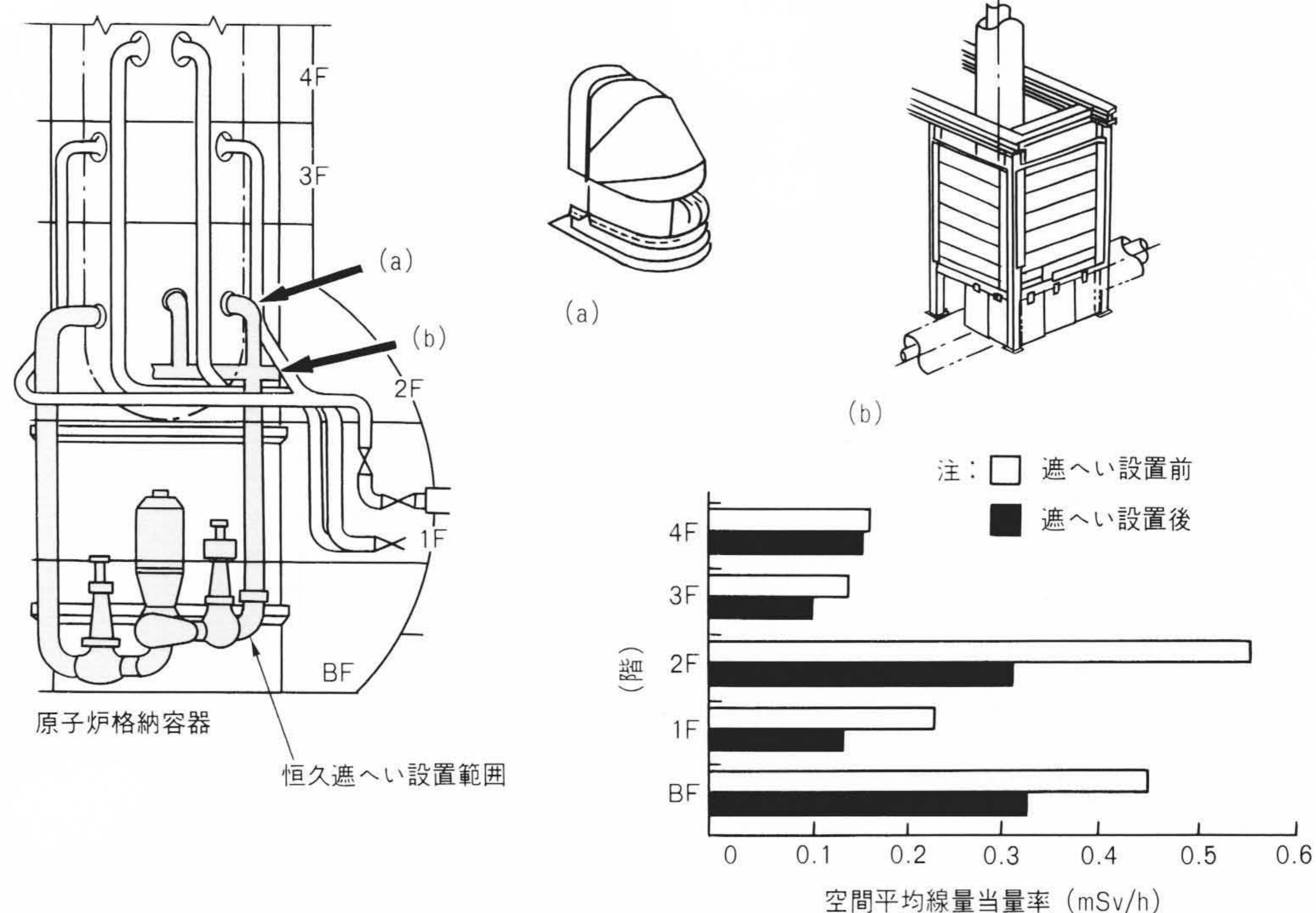


図3 原子炉格納容器内に設置した恒久遮へい設置範囲と線量低減効果 再循環配管(淡い網伏せの部分)に恒久遮へいを施すことにより、空間平均線量当量率は約 $\frac{2}{3}$ に低減した。



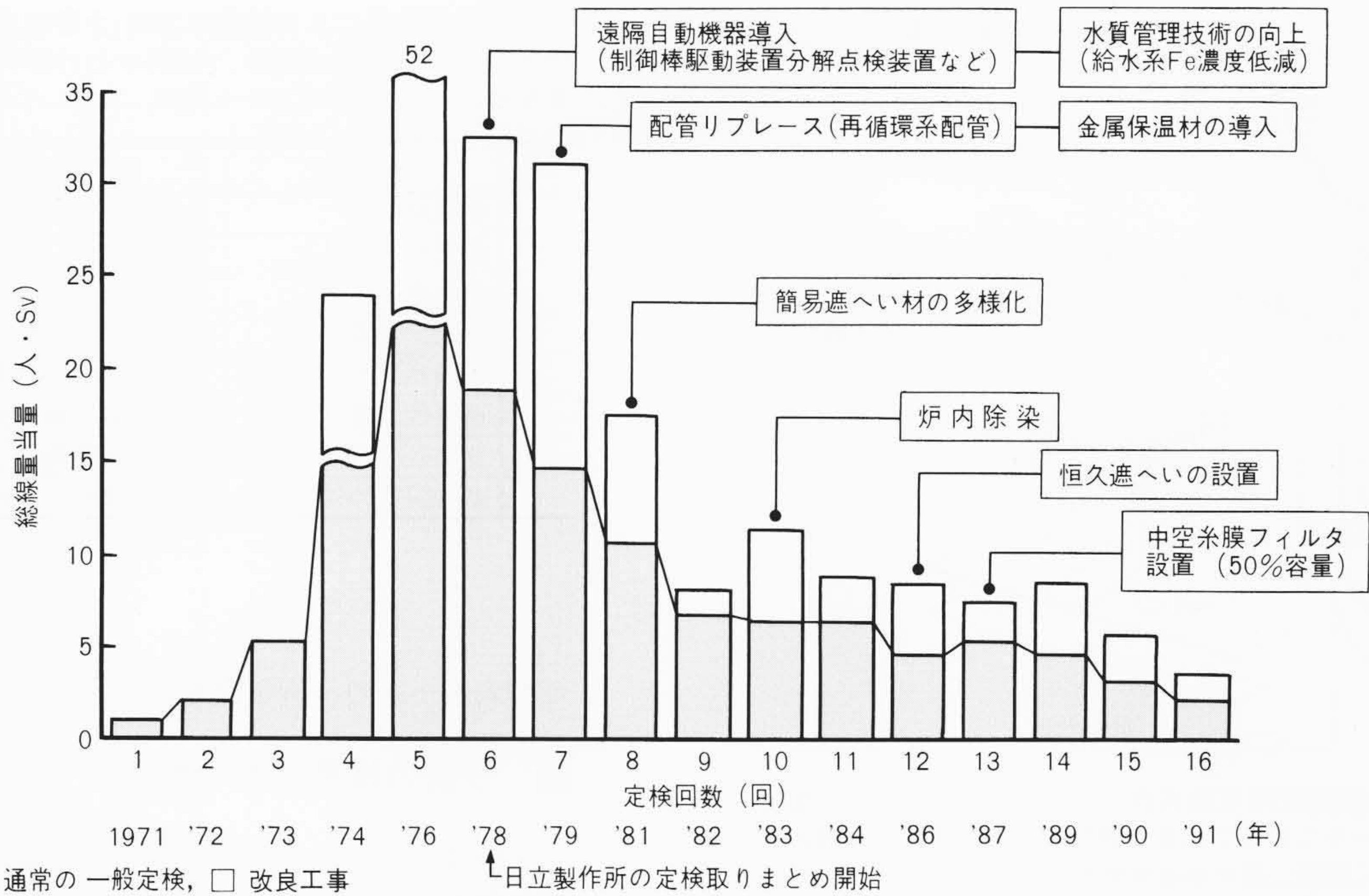


図4 1F-1 定検時の総放射線を受ける線量当量の推移  
きた。

第6回定検からの各種低減対策によって、総線量当量は低減して

表3 ICRP新勧告による作業員の線量限度 ここでは主要部分である全身実効線量当量に関してだけ記した。

	現行国内法	新 勧 告
作業員の線量限度 (全身実効線量当量)	50 mSv/年	(1) 20 mSv/年 (ただし、5年間の平均) (2) かつ50 mSv/年以内

ICRP新勧告に対応した線量低減を進めるためには、従来の総線量当量の低減に加えて、図5に示した高線量作業員の年度線量を低減する必要がある。

このような新しい観点から見直した線量低減具体策として、1F-1での設備改善提案項目を表4に示す。

特にこのうち機械除染については、長期運転プラントでの基本的な線量低減法として重点的に実施計画している対策である。

また、局所的な高線量配管近接作業員の保護に有効な

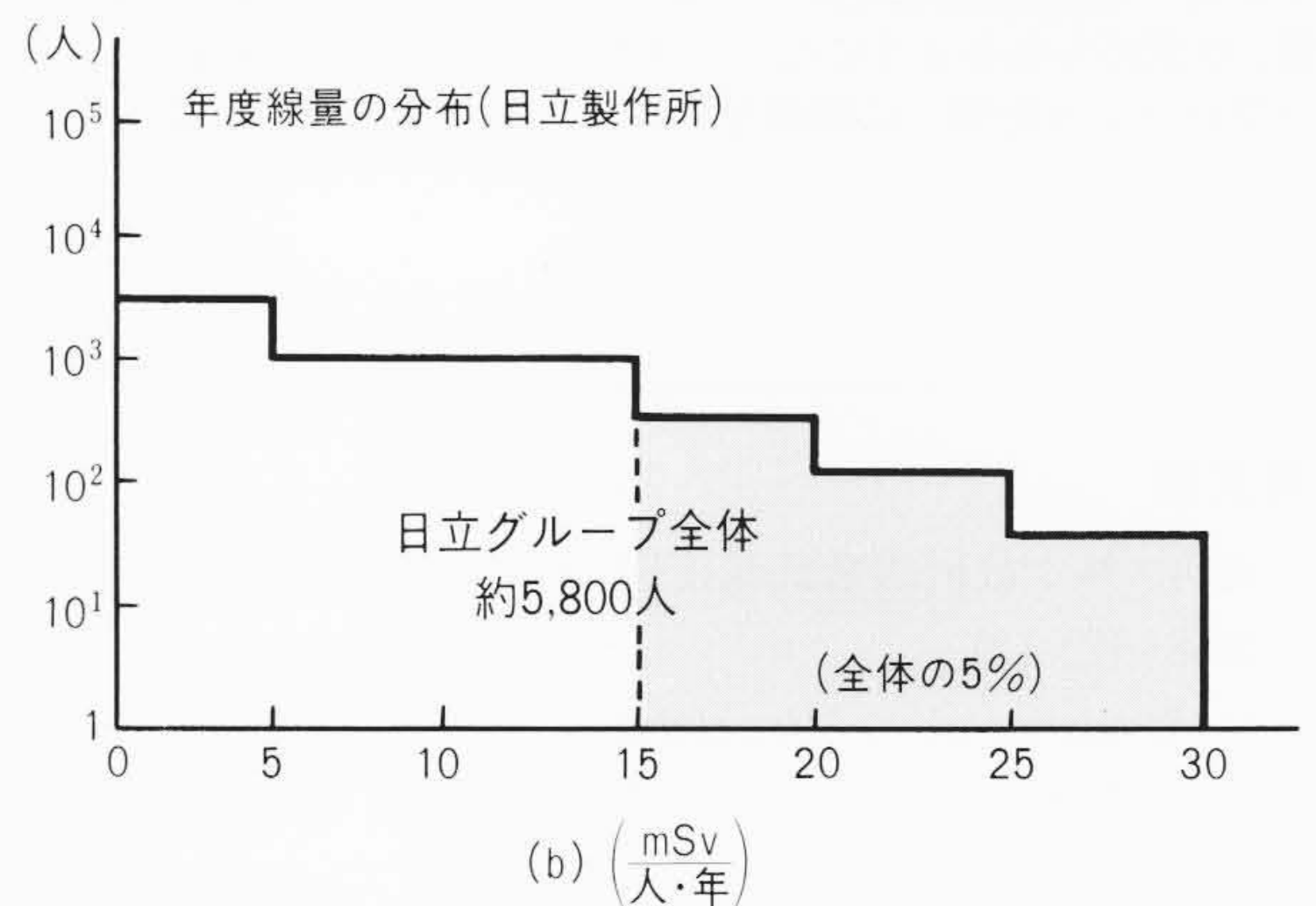
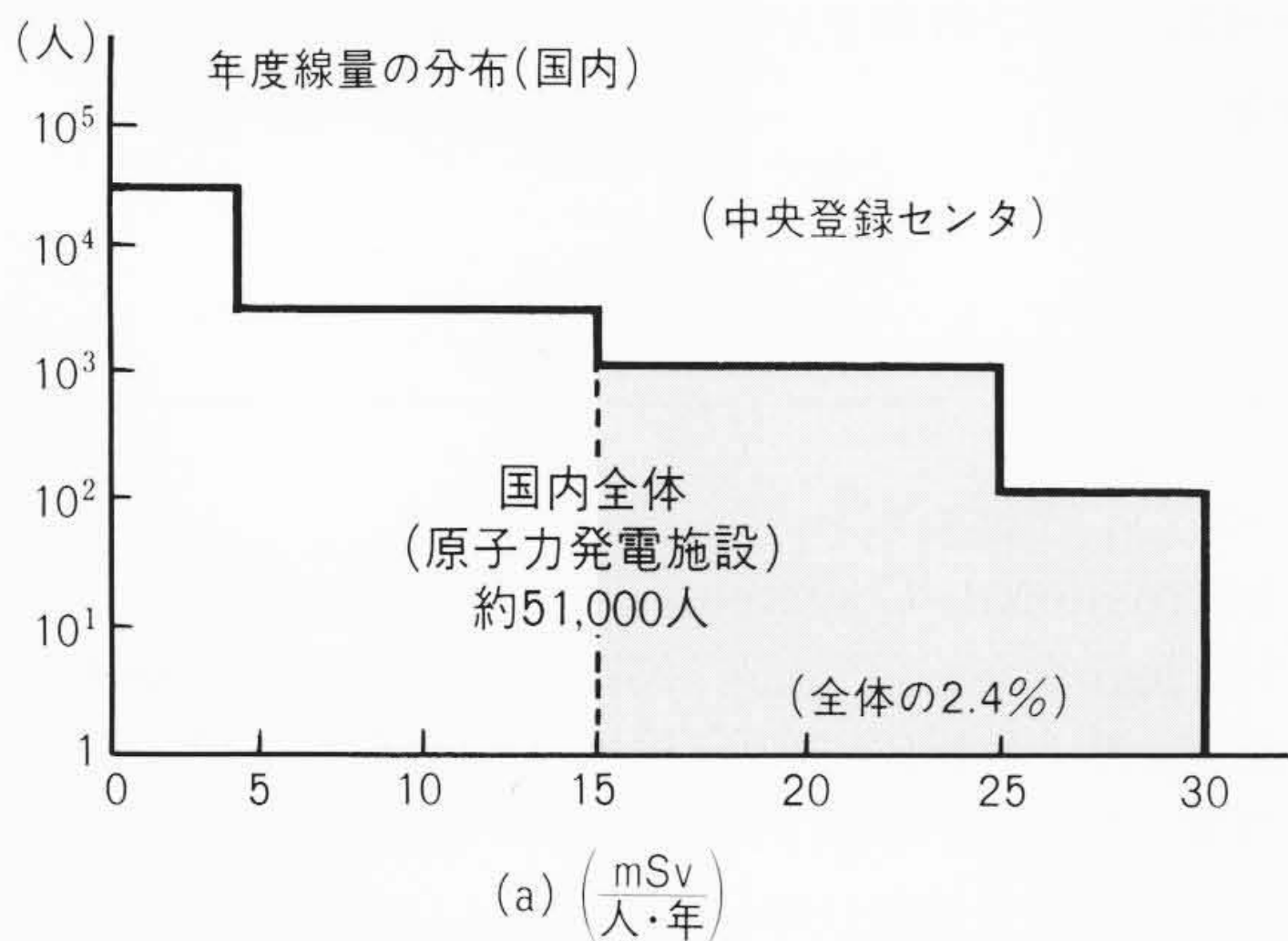


図5 原子力発電施設における年度線量分布 平成元年度はプラントの改良工事が多く、日立グループでは15 mSv/年以上(淡い網伏せの部分)の作業員数となって、過去5年間でいちばん多い数となった。



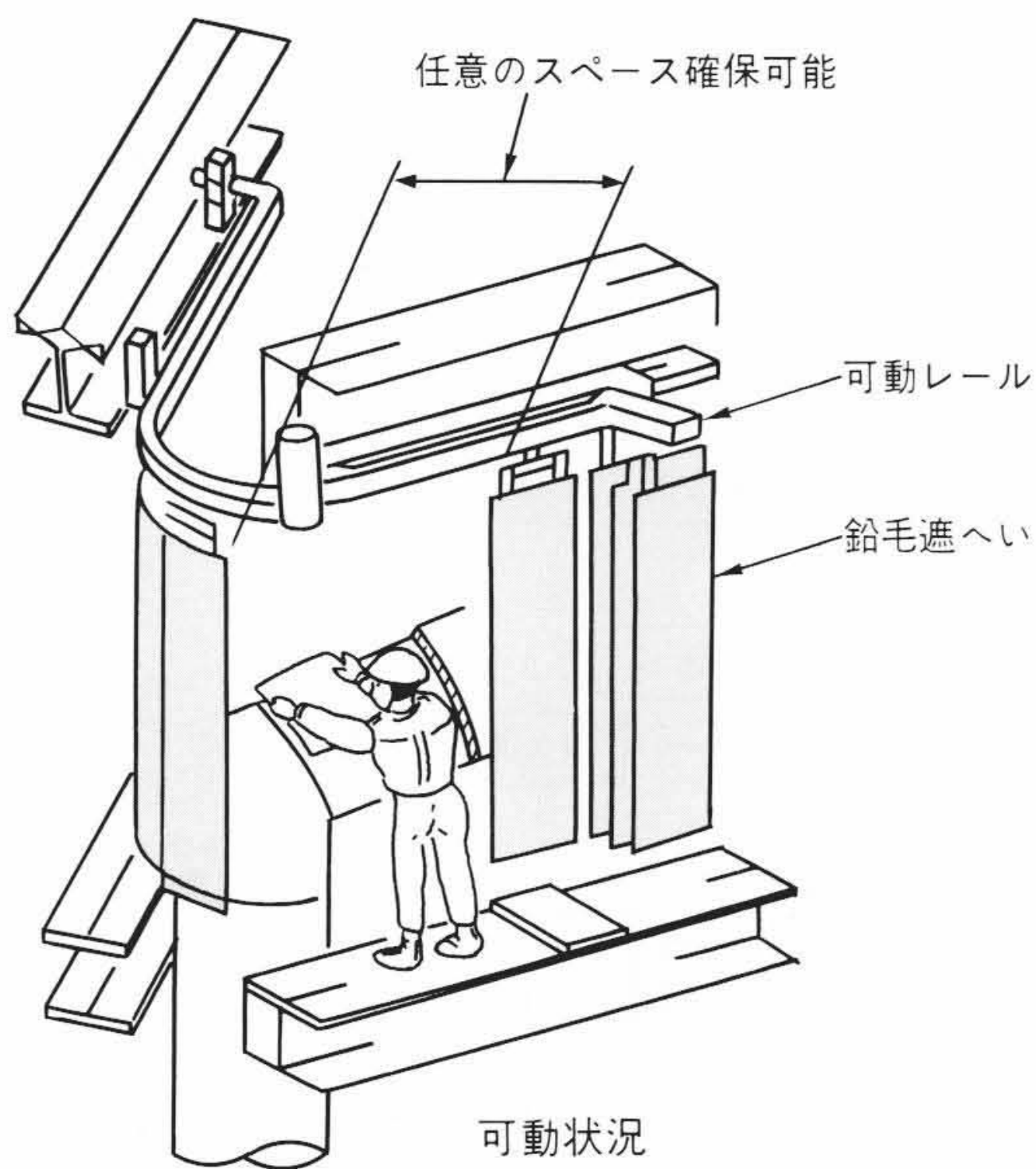
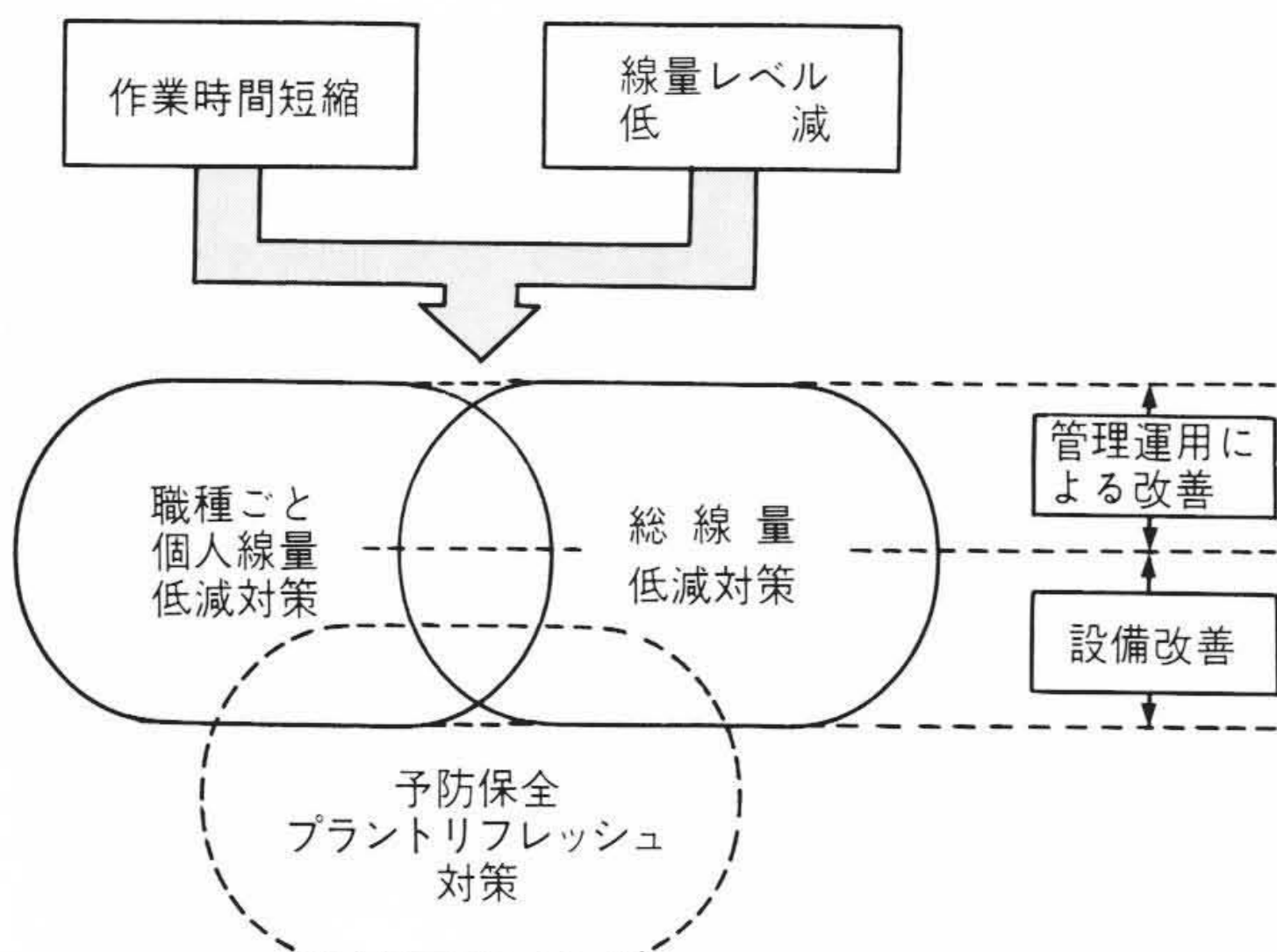


図6 高線量配管用可動式恒久遮へい設備(例) 鉛毛マットを可動レールに沿って迅速に開閉できるために作業性が良くなり、結果的に保温工員や非破壊検査員の線量低減につながる。



- 目標 (1) 定検総線量(一般定検) 1人・Sv  
 (2) 個人線量 20 mSv/年・人以下

図7 長期運転プラントの線量低減対策の考え方 従来進めている「総線量低減対策」に加えて、「職種ごとの個人線量低減対策」が求められるようになってきた。これを「予防保全・プラントリフレッシュ対策」に時機を合わせて実施することが望ましい。

表4 設備改善による線量低減策(主要項目と具体例) 具体例は現在50項目以上に上り、1993年から1998年にかけて適用性の可否を検討して可能なものから提案、実施していく。

No.	主要項目	具体例(案)
1	機械除染	一次系配管, 圧力容器内部, ほか
2	配管リプレース	再循環配管, ほか
3	恒久遮へい	高線量接近個所に可動式鉛毛遮へい
4	自動, 遠隔化	非破壊検査自動化範囲の拡大
5	予備品入れ替え方式	予備品センタ設置によるリサイクル
6	通路性改善	格納容器空調ダクトのスリム化
7	作業性改善	機器, 治工具類, 保温材の改善
8	教育訓練の強化	保修訓練センタの充実・拡大, ほか

可動式遮へいの一例を図6に示す。

### 5 今後の線量低減の動向

1F-1のような、運開後すでに20年を越えた長期運転プラントは、水質改善による線量低減に加えて、プラント内の機械的な清浄化と予防保全の観点から、使用機器のリプレースなどの改良工事(プラントリフレッシュ)の段階を迎えている。ICRP新勧告対応とも時機を合わせて線量低減を考えた効果的なりフレッシュが望まれている。今後増加する長期運転プラントへの適用を考えると、1F-1は最初のモデルケースとなる。長期運転プラントの線量低減に対する考え方を図7に要約して示す。

### 6 おわりに

ICRP新勧告をはじめとして、線量低減に対するニーズは高まりつつある。長期運転プラントに対してはここで述べた多様な対策の積み重ねが成果となって現れる。地道に一つ一つ着実に手を打つことが重要と思われる。

終わりに、この論文の執筆にあたっては、東京電力株式会社殿からご指導をいただいた。厚くお礼を申し上げる次第である。

### 参考文献

- 1) 大角, 外: 放射線量低減技術, 日立評論, 72, 10, 1051~1058(平2-10)
- 2) N. Usui, et al.: "Procedures for Reducing Shutdown Dose Rate at No.1 and No.4 Units of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and Current Experience with Dose Rate and Occupational Exposure at the Plants."
- International Conference on Water Chemistry in Nuclear Power Plants, 237, JAIF Tokyo(1988)
- 3) 三谷, 外: 最新BWRの定検被ばく低減技術, 火力原子力発電, Vol.40, No.11(1989)
- 4) ICRP 1990年勧告(1991年4月)