

平成11年10月25日
原子力安全対策課
(11-107)
<14時記者発表>

敦賀発電所2号機の1次冷却水の漏えいについて (原因と対策について)

このことについて、資源エネルギー庁および日本原子力発電株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

敦賀発電所2号機（加圧水型軽水炉；定格出力 116.0万kW）は、定格出力運転中の7月12日、格納容器内で1次冷却水の漏えいが発生したと判断し、06時48分に原子炉を手動停止した。その後の格納容器内の立入調査で、化学体積制御系再生熱交換器の抽出側連絡配管部で漏えいが確認されたため、同日20時16分に抽出系統の隔離操作を行い、漏えいを停止した。

なお、本事象に伴う周辺環境への放射能の影響はない。

〔原因調査の概要〕

漏えいが確認された連絡配管部および再生熱交換器胴本体について、発電所および民間試験施設にて詳細調査を実施した結果、貫通割れを含め、割れが多数確認され、割れの破面観察の結果、ビーチマークや組織状模様、ストライエーション状模様などの疲労割れの特徴が確認された。

また、損傷原因として、再生熱交換器本体胴内部の構造に起因して、高サイクル熱疲労が発生したと推定されたことから、損傷メカニズムの確証のため、流動模擬試験および解析評価を実施した。

〔推定原因〕

原因調査の結果、再生熱交換器本体胴内部の構造およびバイパス流量の影響で、バイパス流のフローパターンが周期的（約500秒）に変動する現象が発生し、それにより主流出口部でのバイパス流との混合が周期的に変動し、これが連絡配管へも影響し、この変動により発生する熱応力と、高温水（バイパス流）と低温水（主流）の混合に伴う温度ゆらぎ（数秒～20秒周期）による応力が重畳することにより、連絡配管および胴部で高サイクル熱疲労割れが発生したと推定された。

<平成11年7月12、13、16、19、22日、8月2、12、13、30日、10月7日記者発表済>

〔対策〕

○ 国においては、以下の対策をとりまとめ、各電力会社に対して再発防止対策の実施等を指示した。

(1) 技術基準の改正（高サイクル熱疲労による損傷防止の規定を追加）

(2) 検査の見直し

① 内筒付きの再生熱交換器については、5年毎に超音波探傷検査を実施

② 高サイクル熱疲労を考慮した検査範囲の拡大

③ 念のため、第3種管に関する検査の充実（格納容器内の第3種管のうち第1種管（1次冷却系主配管など）と同等の温度、圧力の1次冷却水が流れている部分については、第1種管並みに超音波探傷検査を実施）

(3) 漏えい量を少なくするための監視機能の充実や運転手順書の整備

(4) 除染作業の機械化等

(5) 検査手法等の高度化

○ なお、敦賀2号機においては、以下の対策を実施する。

(1) 再生熱交換器の取替え

敦賀2号機の再生熱交換器については、内筒を有しない構造の熱交換器に取替える。設計にあたっては、念のため、温度差が生じる可能性のある箇所について温度評価を実施する。製作にあたっては構造・強度上確認すべき寸法に加え、性能上確認すべき寸法を確認する。また、試運転に際しては再生熱交換器の性能評価に加え、熱交換器胴および連絡配管の温度の確認を行う。

(2) 検査の充実

① 高サイクル熱疲労割れの発生防止

過去の高サイクル熱疲労による国内外の損傷事例としては、高温・低温水の合流による温度変動が原因のものと、熱成層による温度境界面の変動が原因のものがあり、これらの事例を十分踏まえ、類似対象箇所を抽出し、健全性確認のため、今後計画的に点検を実施する。

② 格納容器内第3種管の検査の充実

設備の健全性確認という観点から、第3種管のうち、格納容器内でプラント運転中に第1種管と同等の温度、圧力の1次冷却水が流れている範囲の点検を強化する。具体的な箇所としては、化学体積制御系抽出系統および充てん系統の主冷却材管から再生熱交換器までの範囲が該当するため、これらについて従来の供用期間中検査に加え、超音波探傷検査を第1種管並みの頻度で実施する。

(3) 運転管理面の改善

格納容器内で発生する1次冷却水漏えい事故時において、漏えい量をより一層低減するため、漏えい箇所の早期特定のための監視方法の充実を図るとともに、漏えい箇所の隔離や原子炉の停止・冷却に関する運転手順の整備を図る。また、漏えい量把握のための評価手法の整備を図る。

(4) 被ばくの管理〔作業性の改善〕

除染作業による被ばく線量低減のため、除染作業等における作業性の向上策として、自動除染装置や化学除染装置の技術開発に取り組む。

(5) 検査手法の高度化

超音波探傷検査等の、非破壊検査技術の高度化の観点から、自動化適用範囲の拡大、異種金属溶接部等の欠陥検出精度の向上等の改善に向け、従来からの取組みに引き続き、実機適用に関して積極的に取り組む。

(通商産業省による I N E S の暫定評価尺度)

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	1	1

日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機再生熱交換器連絡配管からの一次冷却材漏えいについて（原因と対策について）

平成11年10月25日
資源エネルギー庁

本年7月12日に発生した日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機再生熱交換器連絡配管からの一次冷却材漏えいについては、通産省原子力発電技術顧問からの専門的・技術的な意見聴取、原子力安全委員会への調査状況報告等を行いつつ調査を進めてきたところであるが、本日、再生熱交換器損傷原因等に関する調査結果及び再発防止対策を別添のとおりとりまとめた（原因と対策の概要は別紙のとおり）。

また、この調査結果に基づき、本日、資源エネルギー庁から日本原電(株)に対して再発防止対策の実施等を指示するとともに、他の電力会社に対しても同様の指示を行った。

（INESによる暫定評価）

基準 1	基準 2	基準 3	評価レベル
—	—	1	1

問合せ先：原子力発電運転管理室
内線3807 直通3501-1739

日本原子力発電㈱敦賀発電所 2 号機再生熱交換器連絡配管からの 一次冷却材漏えいについて

(原因と対策の概要)

1. 原因

7 月 12 日、日本原子力発電㈱敦賀発電所 2 号機において発生した格納容器内における一次冷却水の漏えいは、再生熱交換器の構造に起因する高サイクル熱疲労が原因。

具体的には、再生熱交換器が中に内筒をもつ構造であったことから、高温のバイパス流と低温の主流が交換器の出口付近で複雑に混合。これによる温度変動から、配管や胴に膨張、収縮の力が長年にわたり繰り返し加わったことで、亀裂が発生・進展したと考えられる。

2. 対策

(1) 技術基準の改正（高サイクル熱疲労による損傷防止の規定を追加）

(2) 検査の見直し

①内筒付きの再生熱交換器については、5 年毎に超音波探傷検査を実施

②高サイクル熱疲労を考慮した検査範囲の拡大

③念のため、第 3 種管に関する検査の充実（格納容器内の第 3 種管のうち第 1 種管（一次冷却系主配管など）と同等の温度、圧力の一次冷却水が流れている部分については、第 1 種管並に超音波探傷検査を実施）

(3) 漏えい量を少なくするための監視機能の充実や運転手順書の整備

(4) 除染作業の機械化等

(5) 検査手法等の高度化

日本原子力発電（株）敦賀発電所2号炉の
一次冷却材の漏えいについて

平成11年10月25日
原子力安全委員会見解

平成11年7月12日に発生した日本原子力発電（株）敦賀発電所2号炉の再生熱交換器からの一次冷却材漏えいは、外部環境への有意の影響はなかったものの、大量の一次冷却材（約51トン）が14時間にわたって漏えいし、またその後の除染等にも多くの作業を要する結果となった。これに関し、当委員会は、先に原因の調査結果について行政庁より報告を受け、これを妥当としたところであるが、今後再発防止対策を加えた総括的な報告を受けた。

この漏えいが生じた原因は、再生熱交換器の連絡管に生じた貫通亀裂であった。周辺部を調査したところ、さらに多数の亀裂が、連絡管のみならず、管台及び再生熱交換器胴部にも存在するなど特異な性状が観察された。このため、破損破面の精緻な観察、材料分析、シュミレーション、モックアップによる実験等、詳細かつ多岐にわたって原因の解明が行われた。当委員会においても、独自の立場から原因の解明とその評価に万全を期すべく、2名の担当委員を定め、また、材料工学、熱工学等の専門家の意見を聴取するとともに、3度にわたり現地調査を行って来たところである。

これらの調査結果を総合して、損傷が発生した原因と発生に至るプロセスは、基本的に解明され、再生熱交換器の変形の繰り返しなどにより生じた高サイクル熱疲労により損傷に至ったとする行政庁の結論を妥当としたところである。

このような疲労損傷を生じさせたのは、再生熱交換器に内筒を導入したことが原因となっている。事業者は、敦賀2号炉の再生熱交換器について内筒のない構造のものに交換することとしており、また行政庁は、内筒を有する他の原子炉施設の再生熱交換器について、同様な疲労損傷が生ずるか否かに関し、詳細な検討を行った結果、その可能性は極めて低いこととの結論に達しているが、念のためにこれらについて、今後監視を強化する等の対策を講じることとしている。当委員会は、上記を含め行政庁の示した総合的な再発防止対策は妥当なものであると判断する。当委員会としては、今後、講じられる再発防止対策に関し、随時行政庁に報告を求めることとする。

また再発防止対策として、高サイクル熱疲労に関する知見の充実を図るとしているが、基礎的な研究を含め、これを関係機関の連携の元に積極的に行い、新しい知見の蓄積に努力することは重要であると考

える。

さらに本事故から得られた教訓の一つとして、新しい技術や設備を導入する際には、技術的に生じる可能性のある課題をできるだけ幅広くとらえ、設計段階で十分な吟味を行うとともに、施工段階以降の情報が設計者にフィードバックされることを、十分確認する必要があることを指摘したい。

本事故に関しては、漏えい発生から原因の解明、再発防止対策の策定に至るまでの各段階ごとに詳細な情報が開示されてきた。これらの活動に対する客観的な評価を得るためにも、また国民の理解と信頼を得るためにも、情報の開示は極めて重要なことであり、この点で本件の対応における事業者及び行政庁の努力は評価できるものとする。

本事故は、発生以来地元住民に長時間にわたる大きな不安をもたらすとともに、原子力発電所の安全性に対する国民の信頼を損なうこととなったものであるが、当委員会を含め、関係者はこの経験を十分に生かし、同様の事故を起こさぬよう最善の努力をしなければならない。

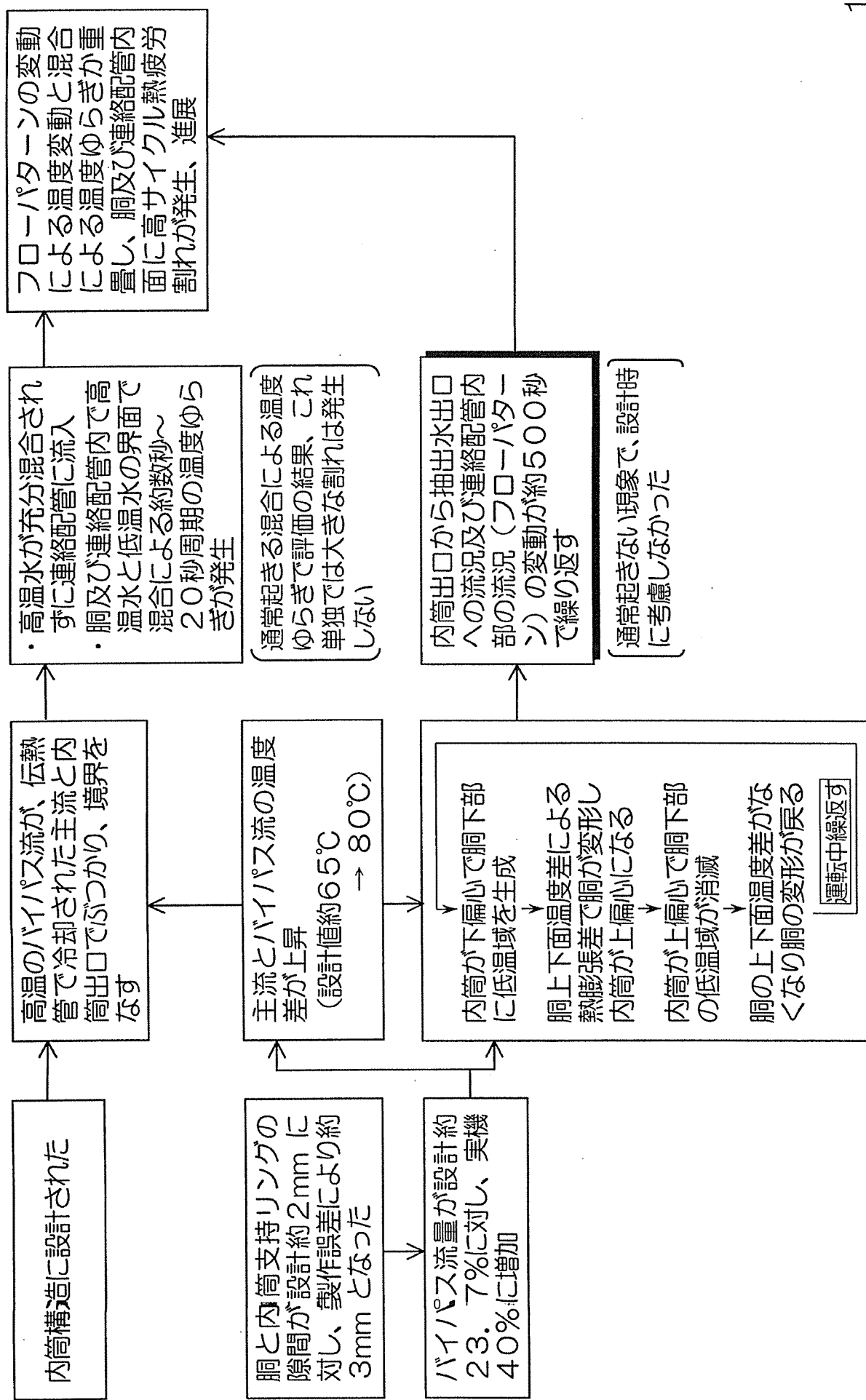
(以上)

敦賀発電所2号機

再生熱交換器疲労損傷の再発防止対策 及び改善事項

平成11年10月25日
日本原子力発電株式会社

再生熱交換器胴、管台及び連絡配管工ルボの割れ発生のメカニズム



再生熱交換器損傷に伴う教訓と改善事項

区分

教訓

国

事業者

設計・施工

再生熱交換器

熱交換器の内部構造（内筒有り）に起因し、高サイクル熱疲労割れが発生

設計・製作・試運転時の確認管理項目の明確化が必要

他の原子力用機器

高サイクル熱疲労に対する健全性の評価と確認の充実
- 先行事例の水平展開中（熱成層等）だが、今後更に調査研究を要する

設計審査の追加

工事計画書で高サイクル熱疲労に対する対策を確認

工事計画書において評価

高サイクル熱疲労に関する統一的基準の検討

高サイクル熱疲労に関する評価基準の整備（民間基準）

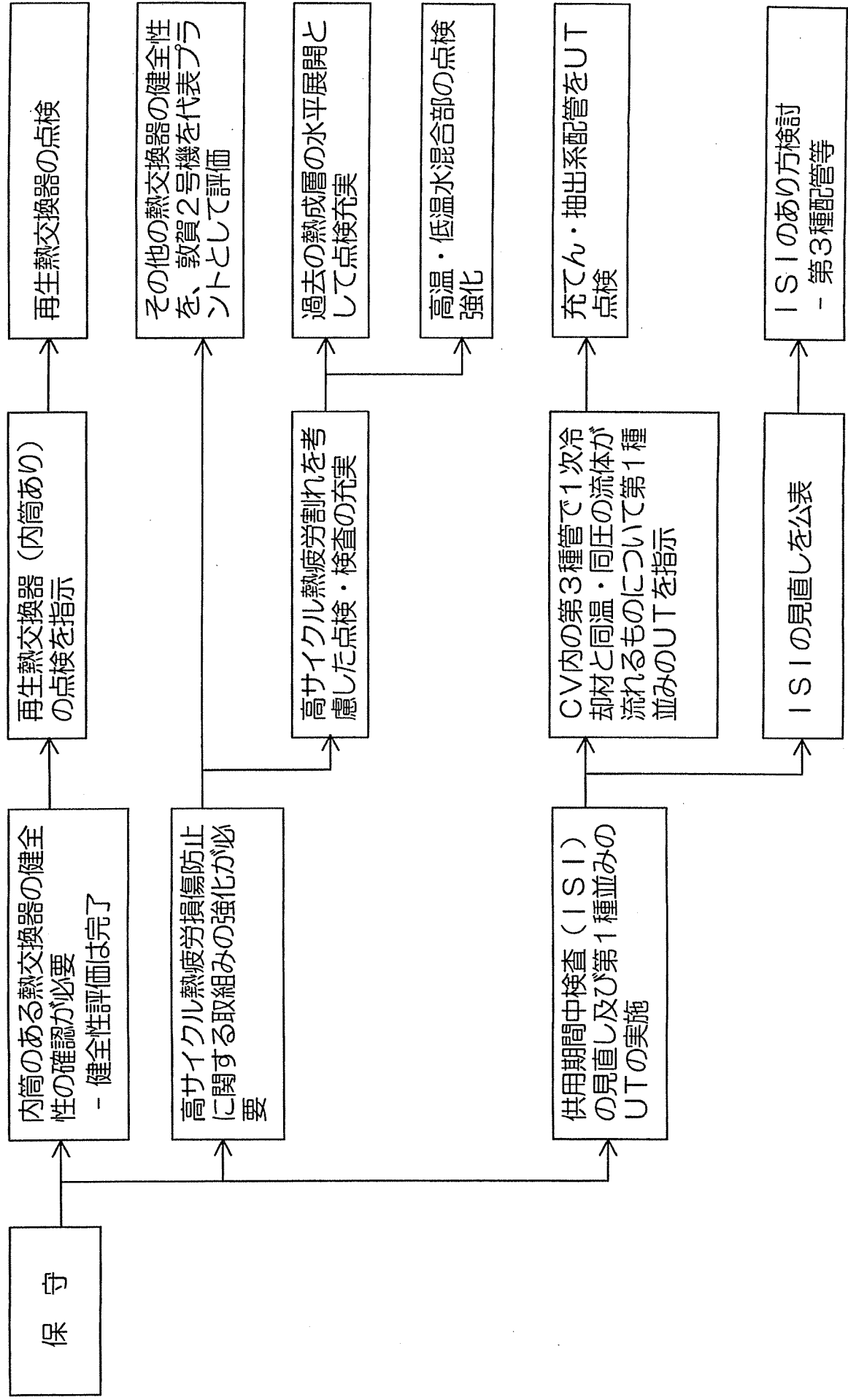
内筒を有しない構造の再生熱交換器に取替（敦賀2号）
(1) 設計時の性能評価と余裕の確認
(2) 製作時の性能上確認すべき寸法の確認
(3) 試運転時の詳細性能評価、熱交換器胴及び連絡配管の温度変動の確認
(4) 念のため温度差が生ずる邪魔板と胴隙間部等の熱疲労を確認

区分

教訓

国

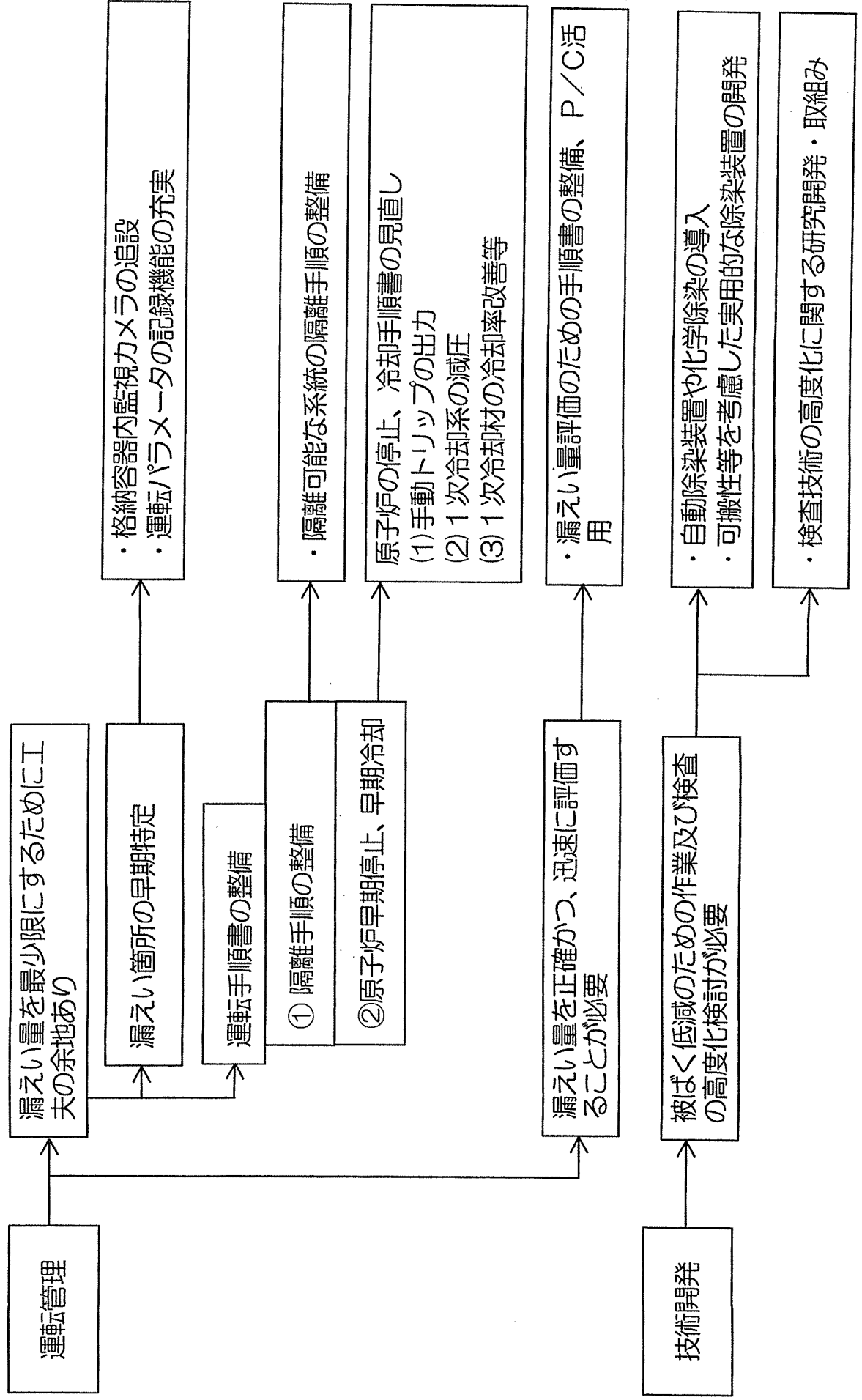
事業者



区分

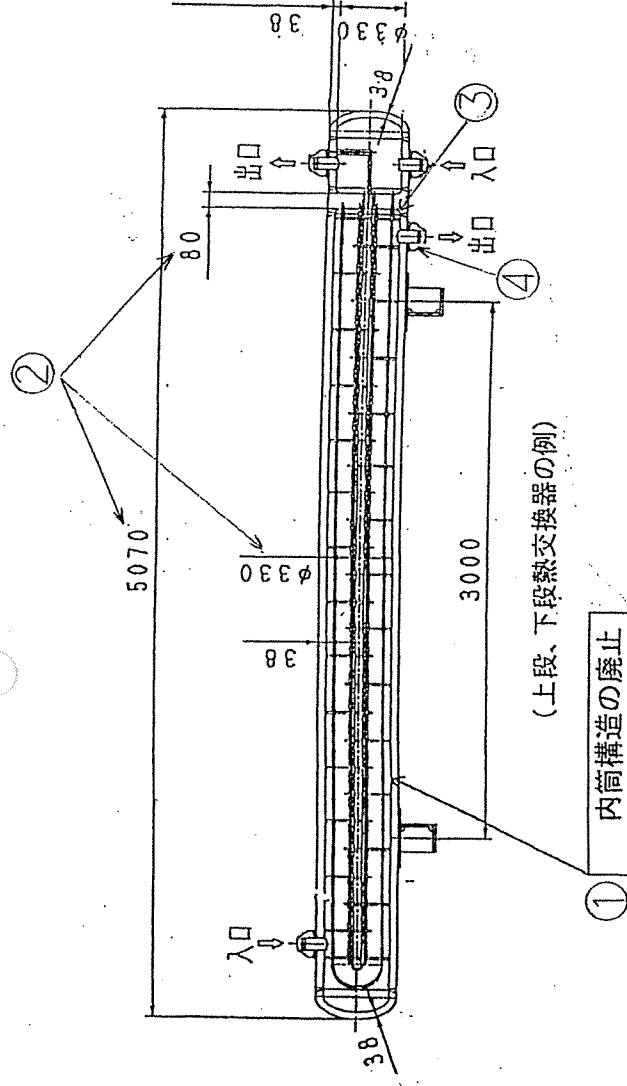
教訓

事業者



新再生熱交換器の設計

- (1) 内筒を有しない構造の熱交換器に取替。
- (2) 伝熱性能は既設と同じ、構造強度は技術基準に従い設計。
- (3) 最新先行プラントの設計を基本とし、一部改善。
- (4) 念のため、熱交換器内部の隙間を通る流れに対する熱疲労の健全性を確認。



既設からの変更点

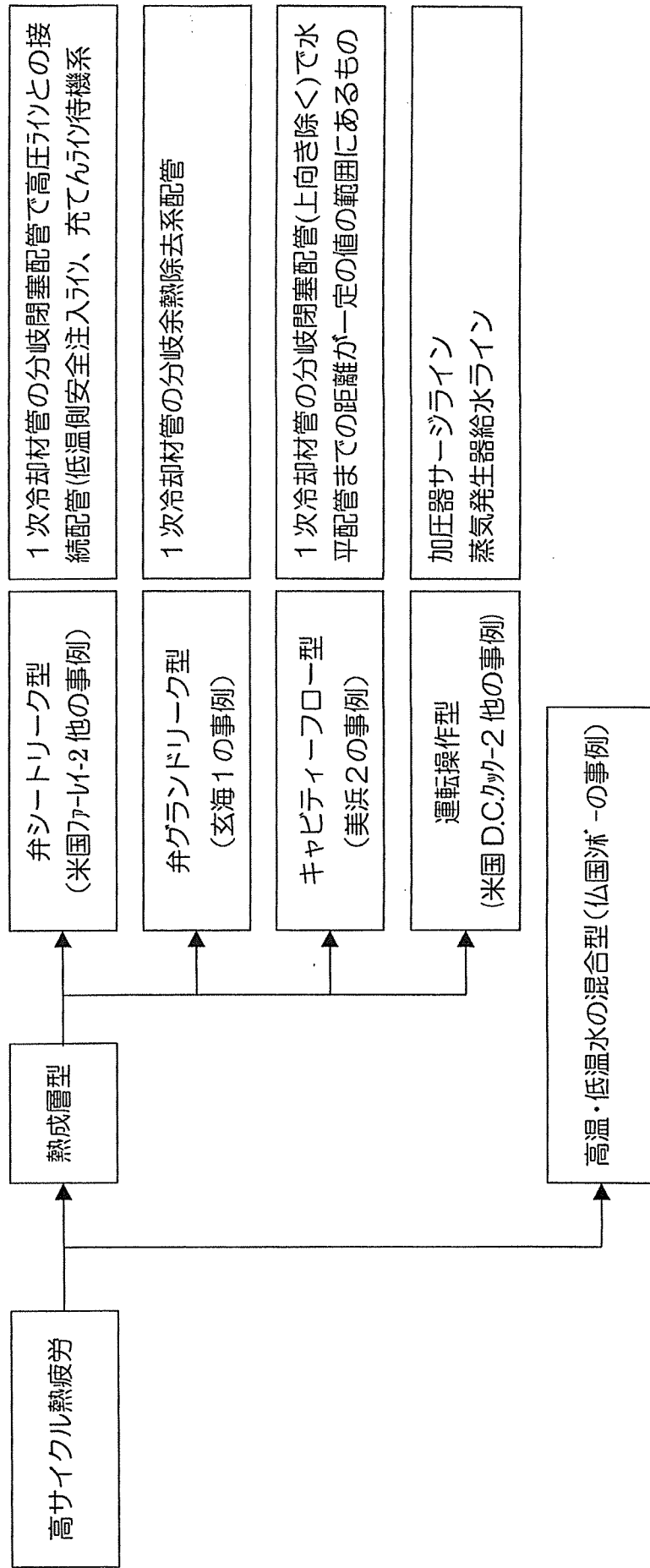
No.	変更箇所	内 容
①	内筒なし	内筒なしとし、バイパス流が生じない構造とした。
②	内筒なしによる寸法の変更	胴側胴内径 400→330mm
		全長 鏡板厚さ・深さを小さくした及び管板コーナーR形状見直し→全長(短) 5229→5070mm
		管板厚さ 胴内径(小)→管板厚さ(小) 100→80mm
		管板コーナーR部 管板コーナーRを小さくした。 (胴側) R59→R20 (水室側) R71→R20
④	サーマルスリーブ	溶接方法見直し及びショットピーニングの実施
⑤	連絡配管	管台への取付方法を周長の90°分×2箇所から、全周溶接へと変更し、ショットピーニング施工により表面部に圧縮残留応力を付与し疲労強度を向上。 固溶化熱処理後の内表面グラインダー加工をやめエルボ内面の残留応力を低減。

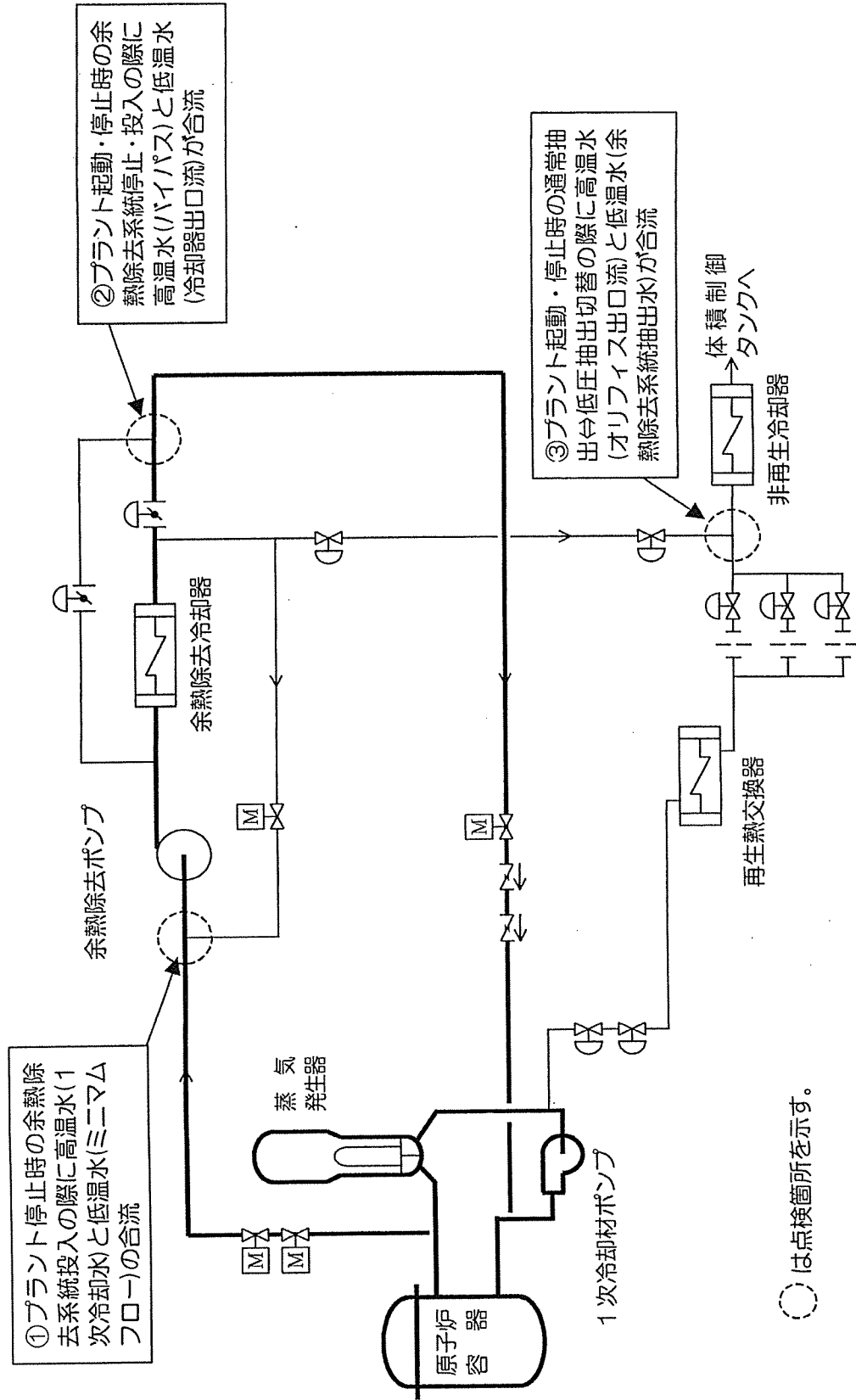
自主検査の充実

高サイクル熱疲労損傷の発生防止

今回の事象は、当該熱交換器に特有な事象であると考えられるが、過去の高サイクル熱疲労による国内外損傷事例を踏まえ、健全性確認のための点検を実施する。

<対象箇所>



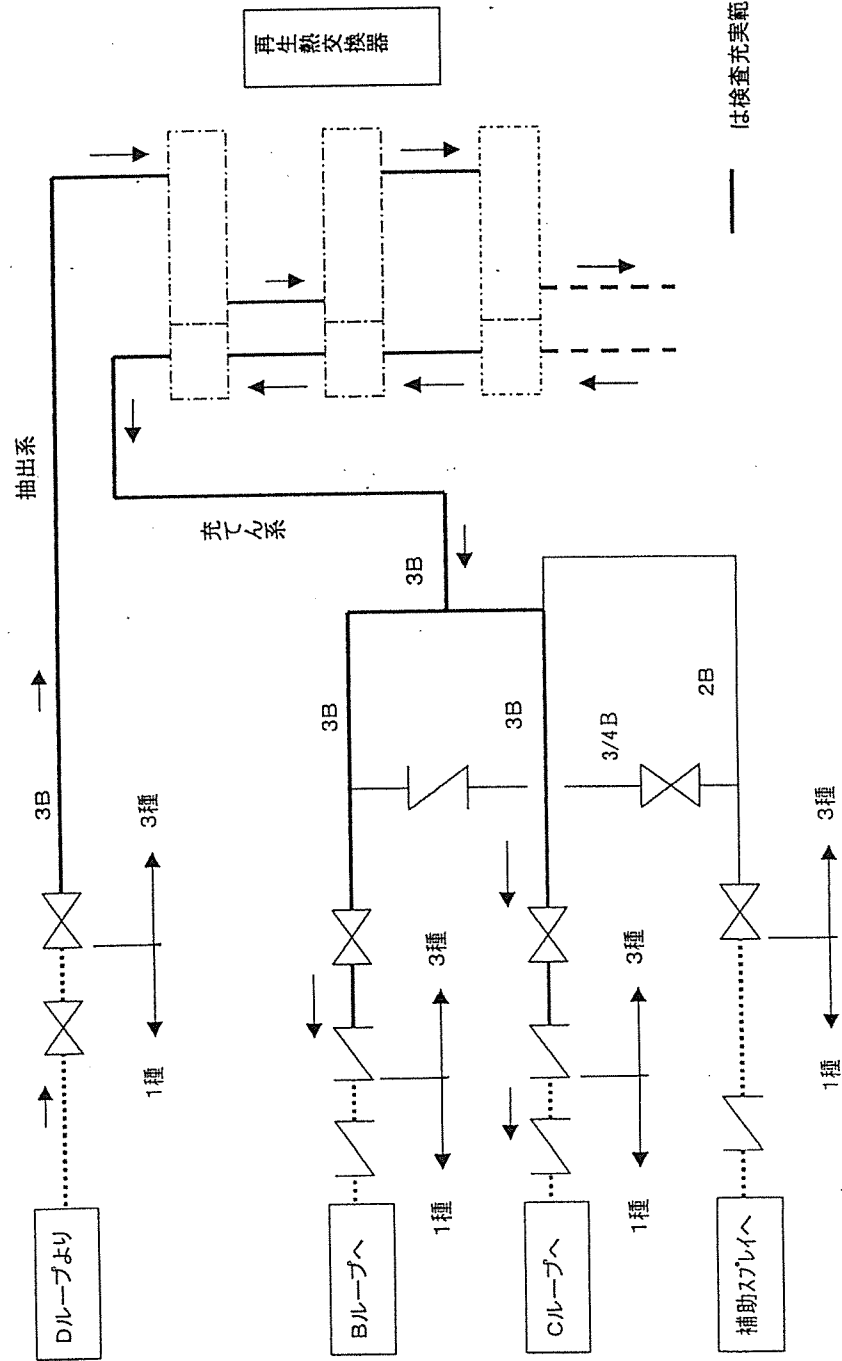
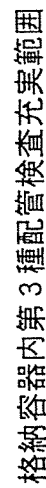


シボ-事例水平展開箇所

格納容器内3種配管の検査充実

プラント運転中に原子炉と同じ圧力・温度の流体が流れる化学体積制御系抽出系統及び充てん系統の再生熱交換器までの範囲については、第1種配管並みの頻度で超音波探傷検査を追加実施。

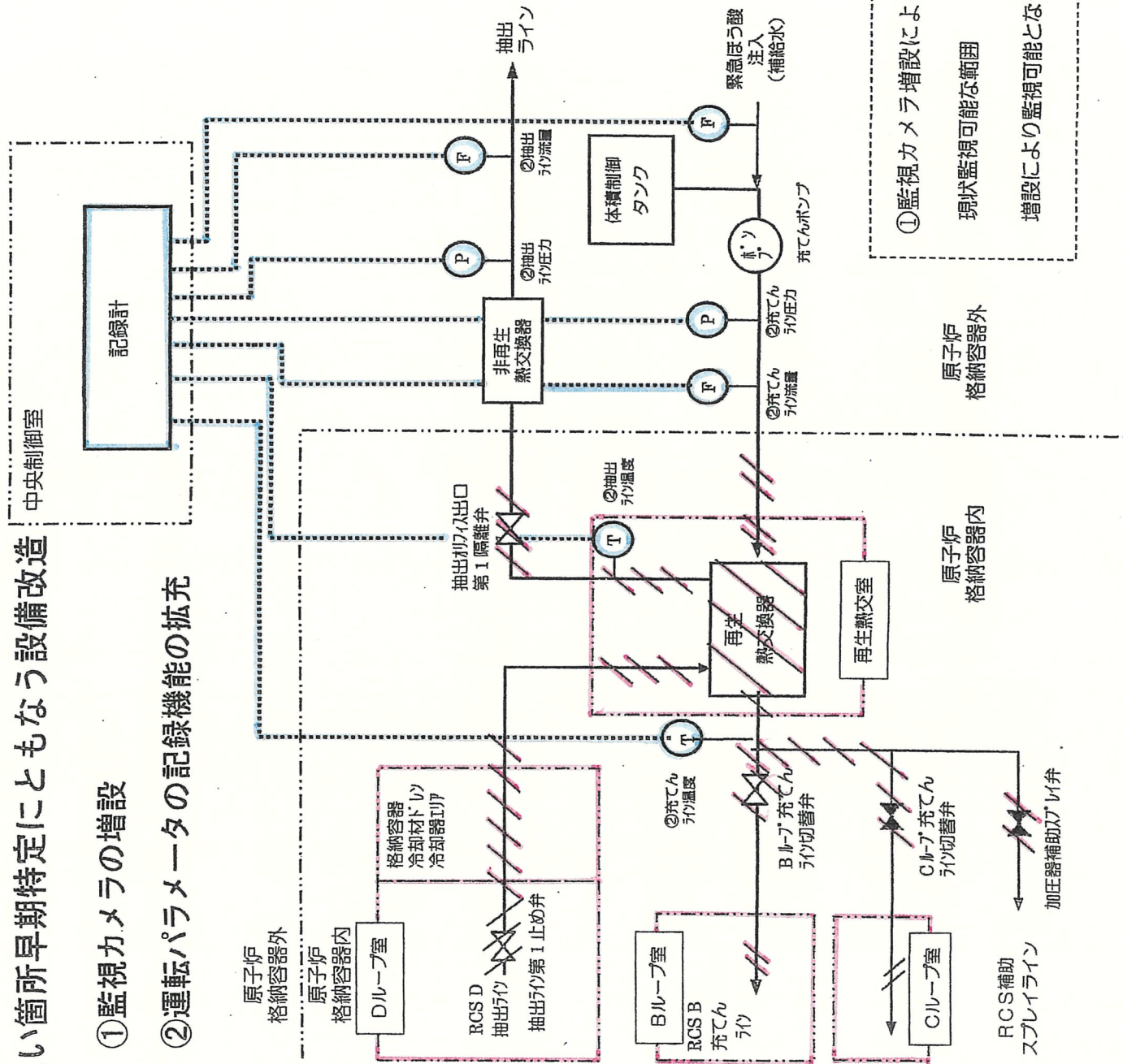
溶接線数	検査程度	今回検査対象箇所数
1 2 0箇所	2 5 % / 10年	3 0箇所



漏えい箇所早期特定にともなう設備改造

①監視カメラの増設

②運転パラメータの記録機能の拡充



①監視カメラ増設による可視範囲状況

現状監視可能な範囲

増設により監視可能となった範囲

運転手順書の整備

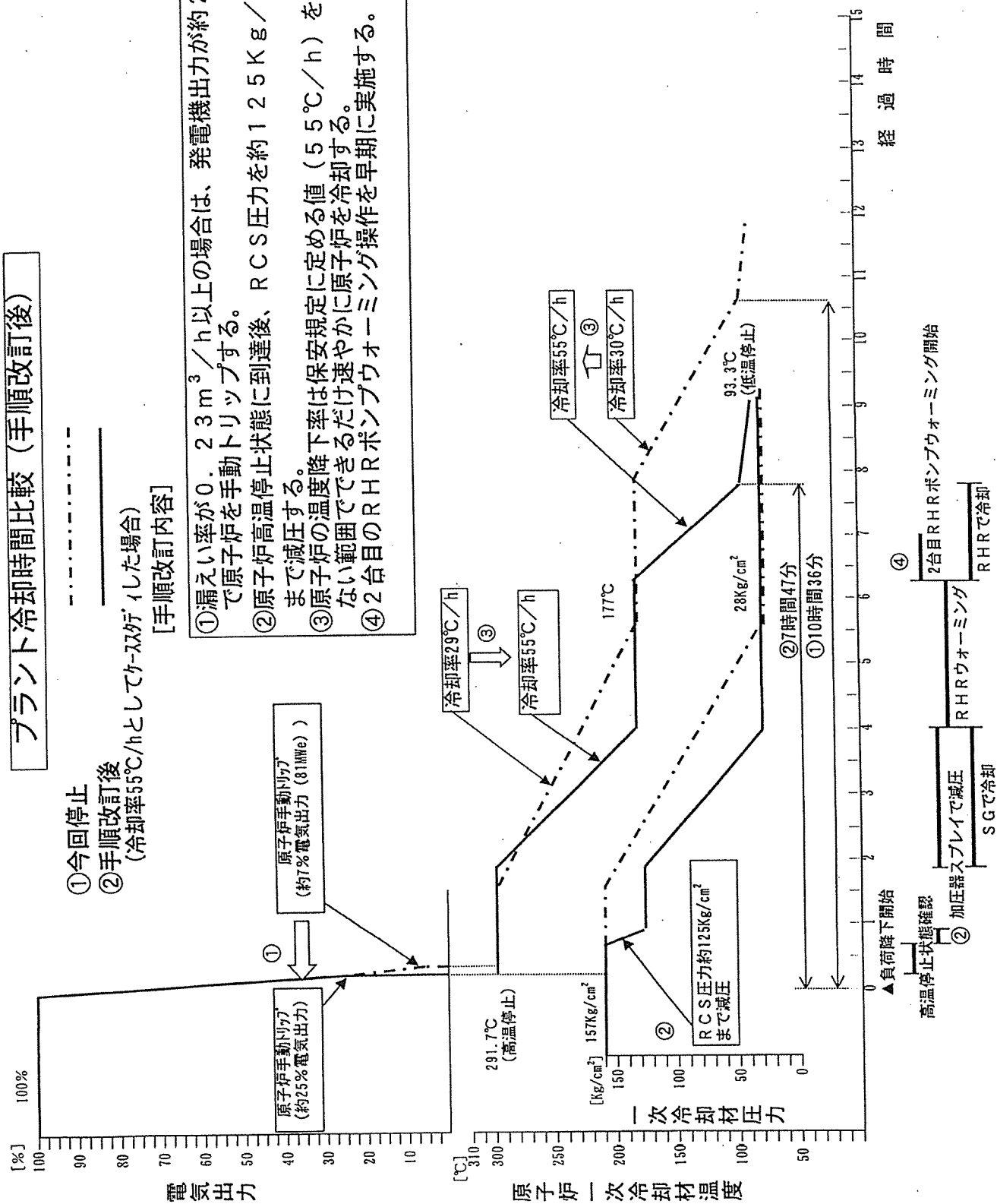
① 隔離可能な系統の隔離手順書の整備

格納容器内で今回のような漏えいが発生し、かつ漏えいが特定できた場合原子炉停止等の操作を行うにつつ漏えいを抑止するため、隔離弁が存在する以下の系統について隔離手順書を整備する。

一次冷却材漏えい時隔離手順書	備 考
化学体積制御系統でん・抽出配管 封水注入配管 安全注入系高圧注入配管	中央制御室からの遠隔操作による隔離操作手順
等 一次冷却材ポンプ No.1 封水戻り配管 安全注入系低圧注入配管	中央制御室からの遠隔操作と 現場手動操作による隔離操作手順
等 一次冷却材ポンプ No.2 リークオフ配管 [水位計] 蓄圧タンク 加圧器逃がしタンク	現場での手動隔離操作手順

② 一次冷却材漏えい時における原子炉早期停止・冷却手順の整備

プラント冷却時間比較（手順改訂後）

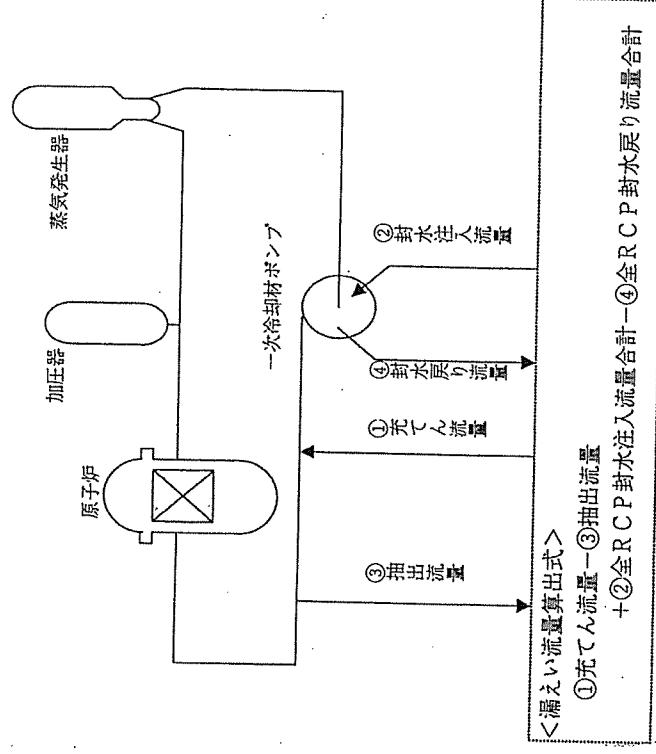


一次冷却材漏えい流量及び漏えい量評価手段の整備

漏えい発生後の漏えい流量及び漏えい量の予測精度を向上させるため、手順の整備・設備の改善を行う。

- 一次冷却材の漏えい流量及び漏えい量評価手段の整備
 - (1) 加圧器水位、体積制御タンク水位や一次冷却水温度等のデータから、漏えい流量や漏えい量を評価するための手順を整備する。
 - (2) 関連データをプロセス計算機を通してパソコンに取り込み、一次冷却材の質量を算出することにより一次冷却材の漏えい検知や漏えい量の算定を行う装置を試用し、適用可能性を検討する。

〔一次冷却材漏えい流量算出概念図〕



再生熱交換器損傷に伴う主な作業実績

