

日本原子力発電㈱敦賀発電所 2 号機における一次冷却水漏えいの 原因と対策について

平成 11 年 11 月 5 日
資源エネルギー庁

資源エネルギー庁としては、これまで原子力発電技術顧問からの専門的・技術的な意見聴取を行いつつ、原因究明作業を行い、計 10 回にわたり原子力安全委員会へ報告。10 月 25 日に最終報告を行い、公表した。

また、この調査結果に基づき、資源エネルギー庁から日本原電㈱に対して再発防止対策の実施等を 10 月 25 日に指示するとともに、他の電力会社に対しても同様の指示を行った。

1. 推定原因

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。

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. 他プラントの確認

今回の事象は敦賀 2 号機に特有のものであり、他の内筒を有する類似のプラント（高浜 3、4 号機、川内 2 号機、泊 1、2 号機）においては流動模擬試験、コンピュータシミュレーション等の解析結果から、同様の損傷が発生するとは考えられないが、念のため至近の定期検査等において健全性を確認する。

3. 再発防止策（別紙参照）

- (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、至近の定期検査において超音波探傷検査を実施。さらに 5 年後に同様の検査を実施。
 - ② 高サイクル熱疲労を考慮した検査範囲の拡大
 - ③ 第 3 種管に関する検査の充実
- (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

再発防止対策の内容

① 設計・施工面での対策の強化（大きな温度変動が発生しにくい構造への改善）

- ・高サイクル熱疲労割れを防止する設計の採用
（内筒なし再生熱交換器の採用（敦賀2号）等）
- ・工事計画認可等における設計・施工の確認
（高サイクル熱疲労に関する説明書の工認申請書への添付等）
- ・高サイクル熱疲労に関する統一的基準の検討
（技術基準（省令第62号）の改正／審査にあたってのガイドラインの策定／日本機械学会における基準の策定）

② 保守（点検検査の充実）

- ・内筒構造を有するPWR再生熱交換器に対する検査の充実（至近定期検査時等における超音波探傷検査（UT検査）、さらに5年後に再度UT検査）
- ・高サイクル熱疲労割れを考慮した検査の充実
（その他高温・低温水合流部等に対するUT検査）
- ・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、1種管並にUT検査を実施）

③ 運転管理（漏えい量を低減するための運転管理面の見直し）

- ・漏えい箇所の早期特定及び漏えい量の把握の円滑化
（監視カメラの増設、記録機能の拡充等）
- ・一次冷却材漏えい時における減圧・冷却のための操作時間の短縮
（手順書の整備）

④ 被ばく管理（作業性の改善）

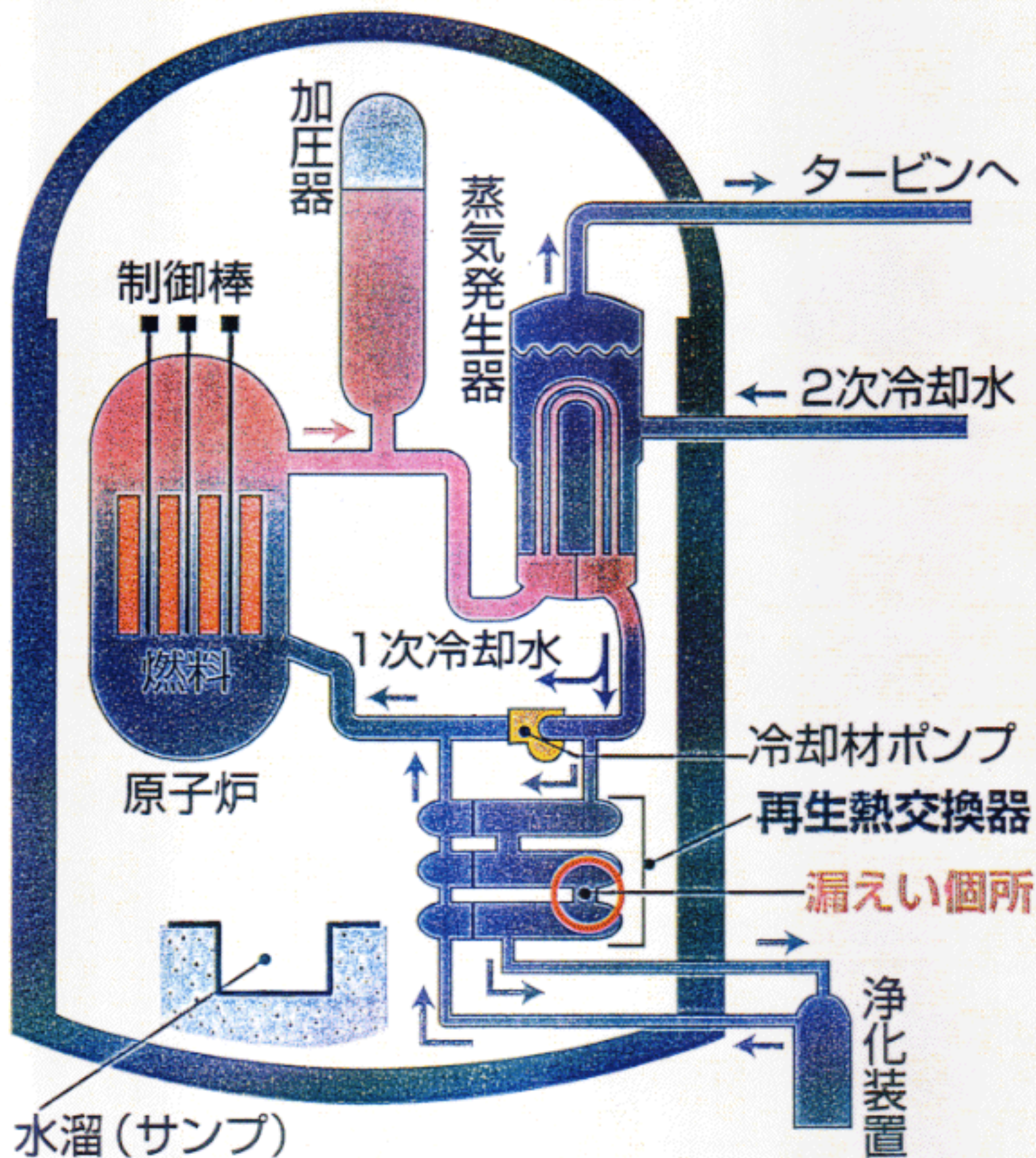
- ・除染の機械化等

⑤ 検査手法等の高度化（手法、手順等の高度化）

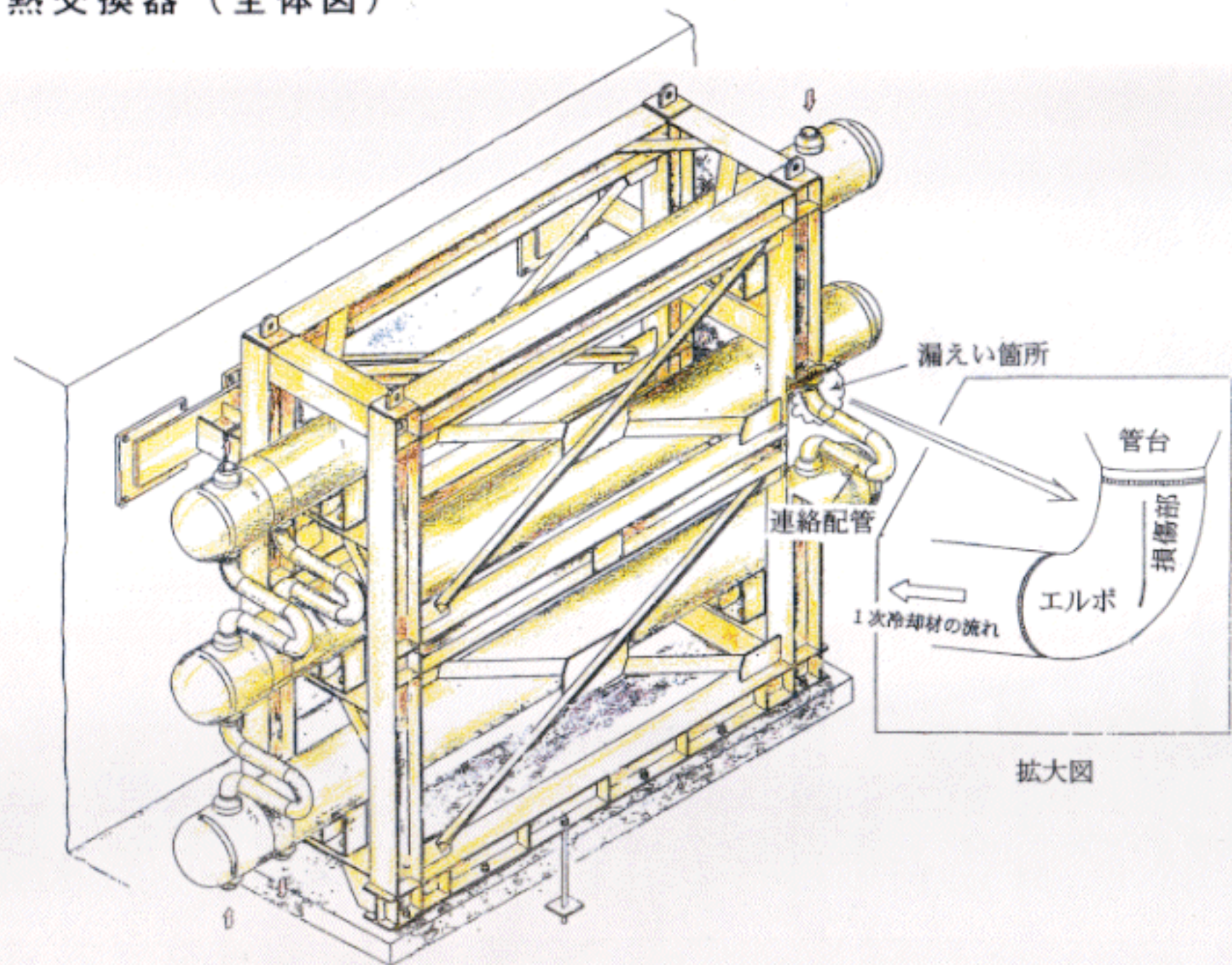
- ・UT検査の自動化、マニュアル化等

敦賀発電所2号機（加圧水型軽水炉）

原子炉格納容器

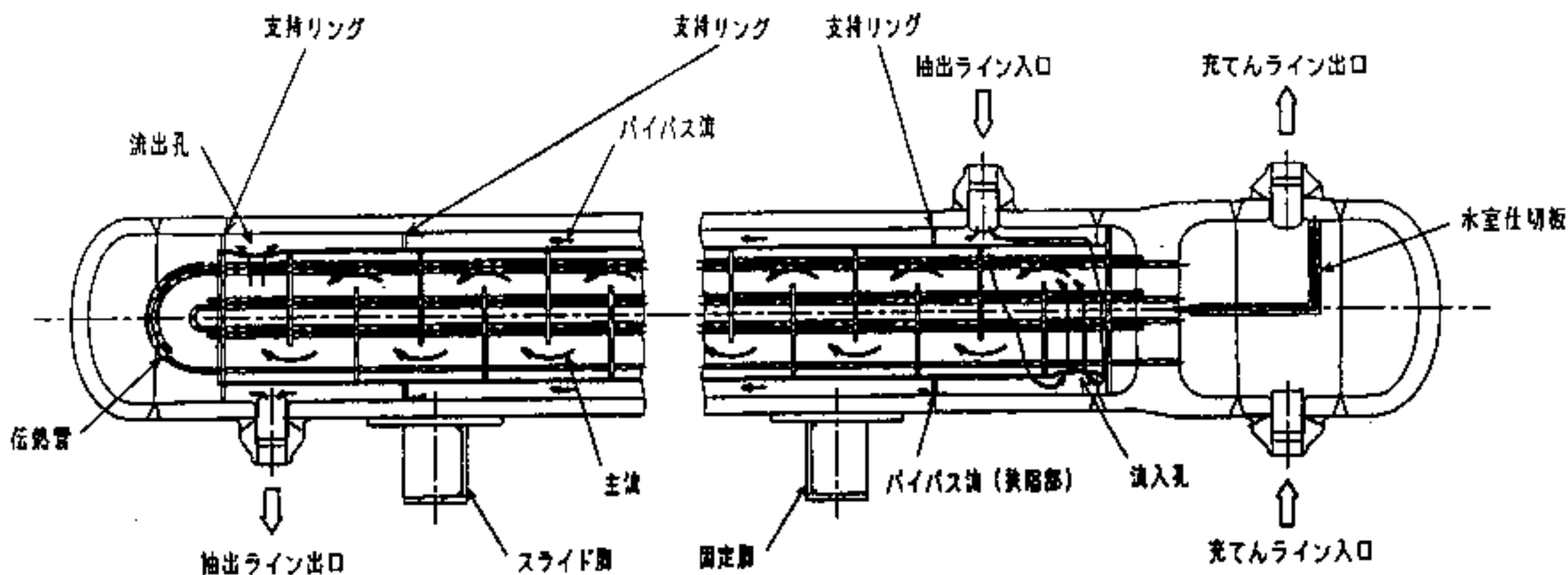


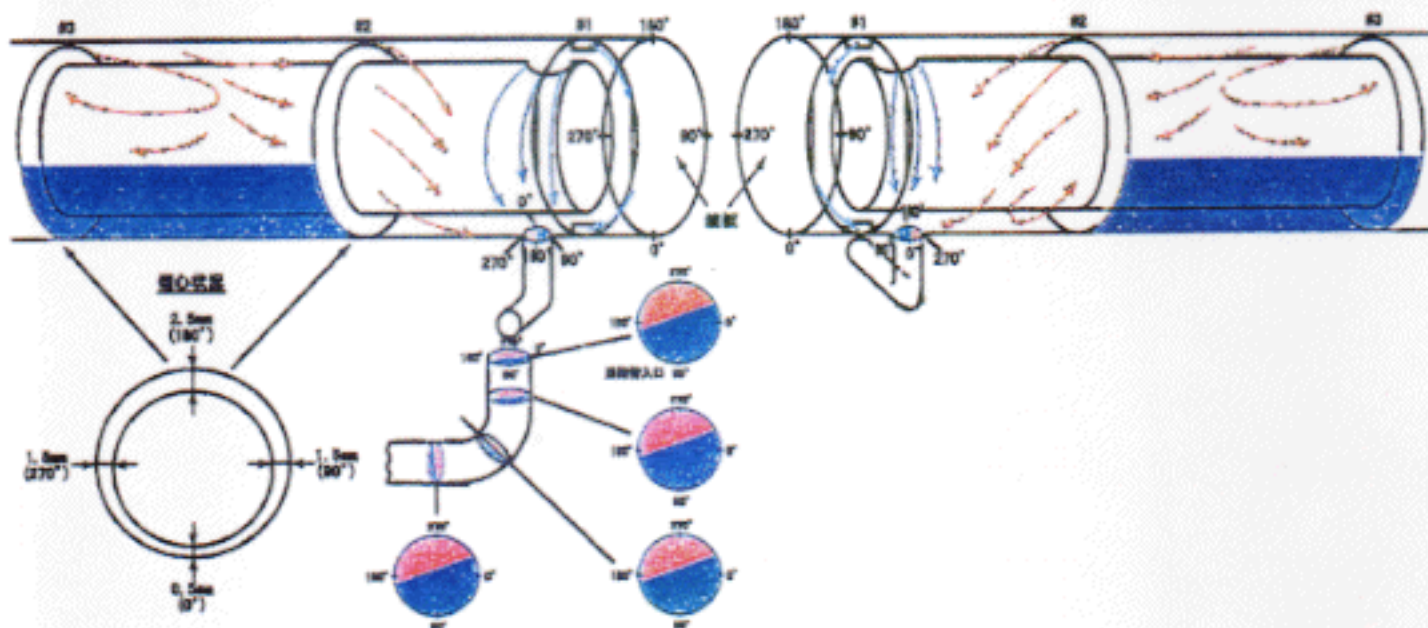
再生熱交換器（全体図）



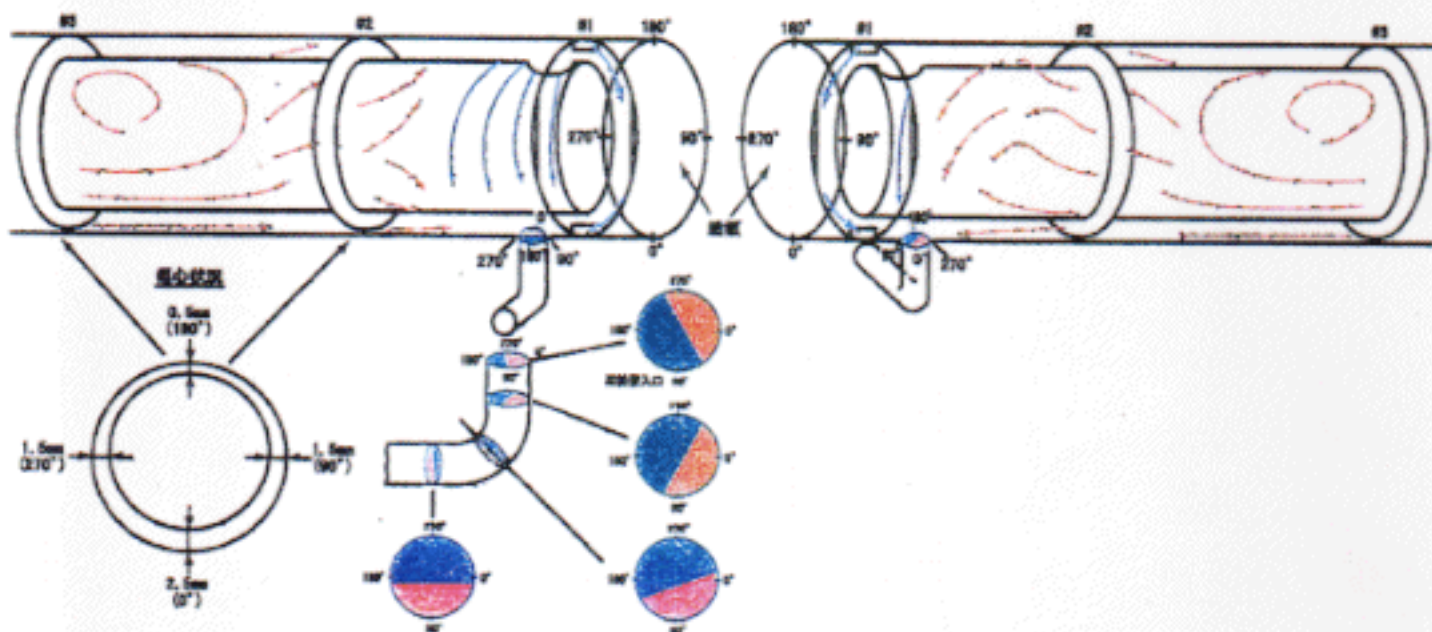
再生熱交換器の構造

- 敦賀2号機の再生熱交換器は、内筒を有し主流とバイパス流が発生。
- バイパス流量は、設計時の想定値（約23%）を上回る約40%。

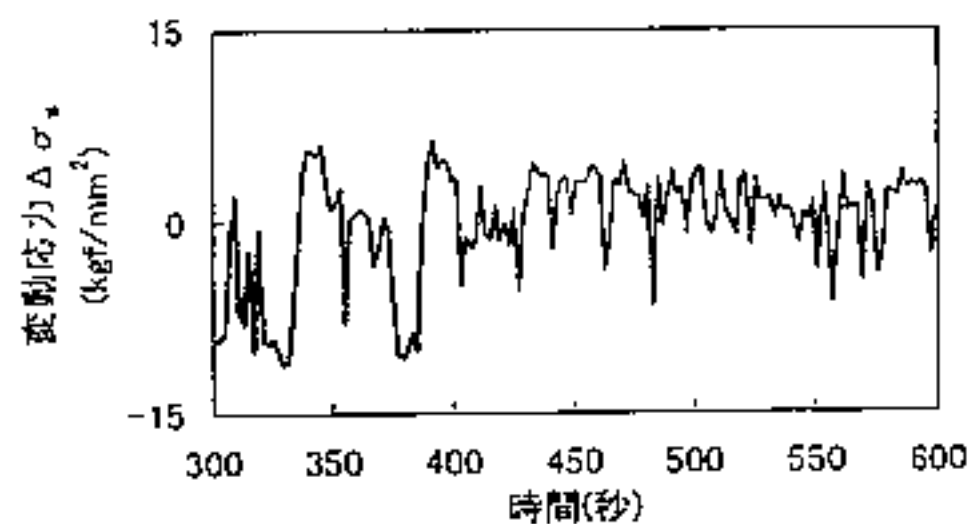
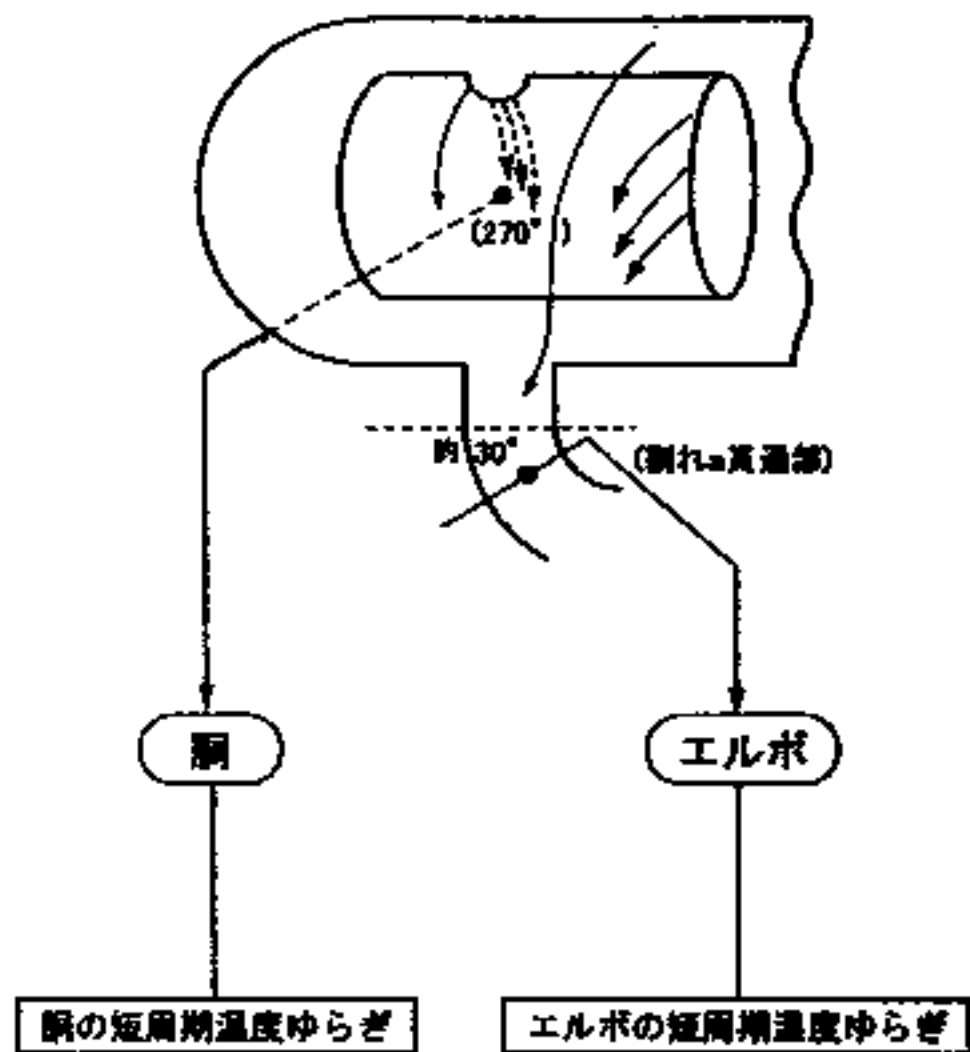




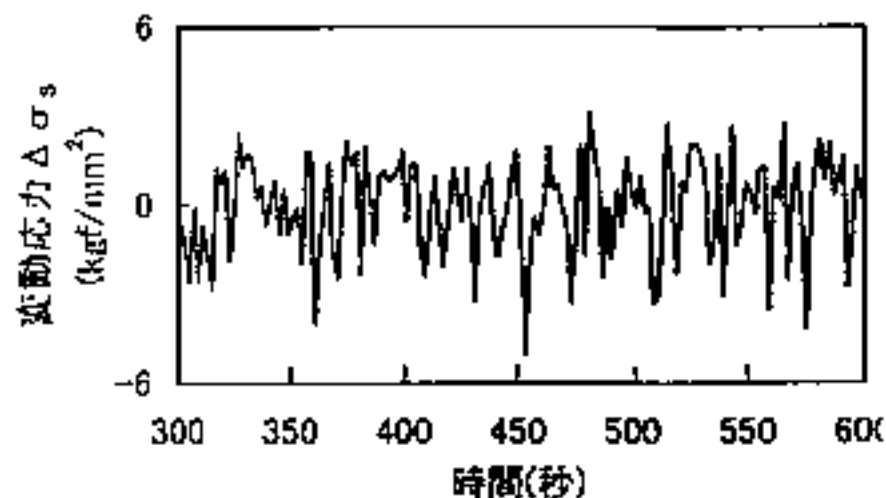
フローパターン1の流況図



フローパターン2の流況図



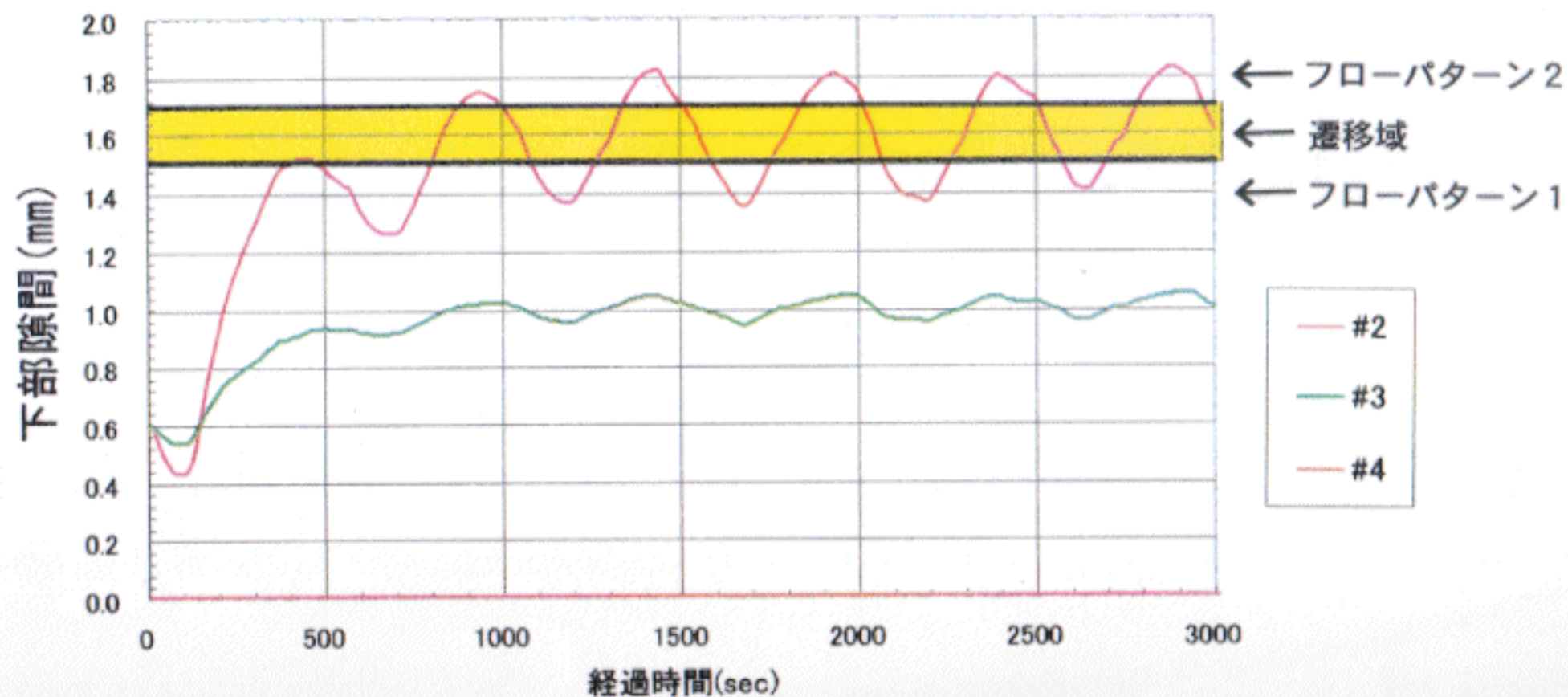
胴部



エルボ部

温度ゆらぎによる変動応力

周期=520 秒, $\delta = 1.4 \sim 1.8$ mm



フローパターン変動シミュレーション解析結果

STEP 1 (初期状態)

- ・底部の流れが少なく低温域の形成成長。

STEP 2

- ・胴底部温度低下による変形によって支持リング下部隙間増加。
- ・下部隙間が増加しても低温域は直ぐに消滅しない。

STEP 3

- ・隙間増加により支持リング下部流量増加
- ・低温領域の消滅開始

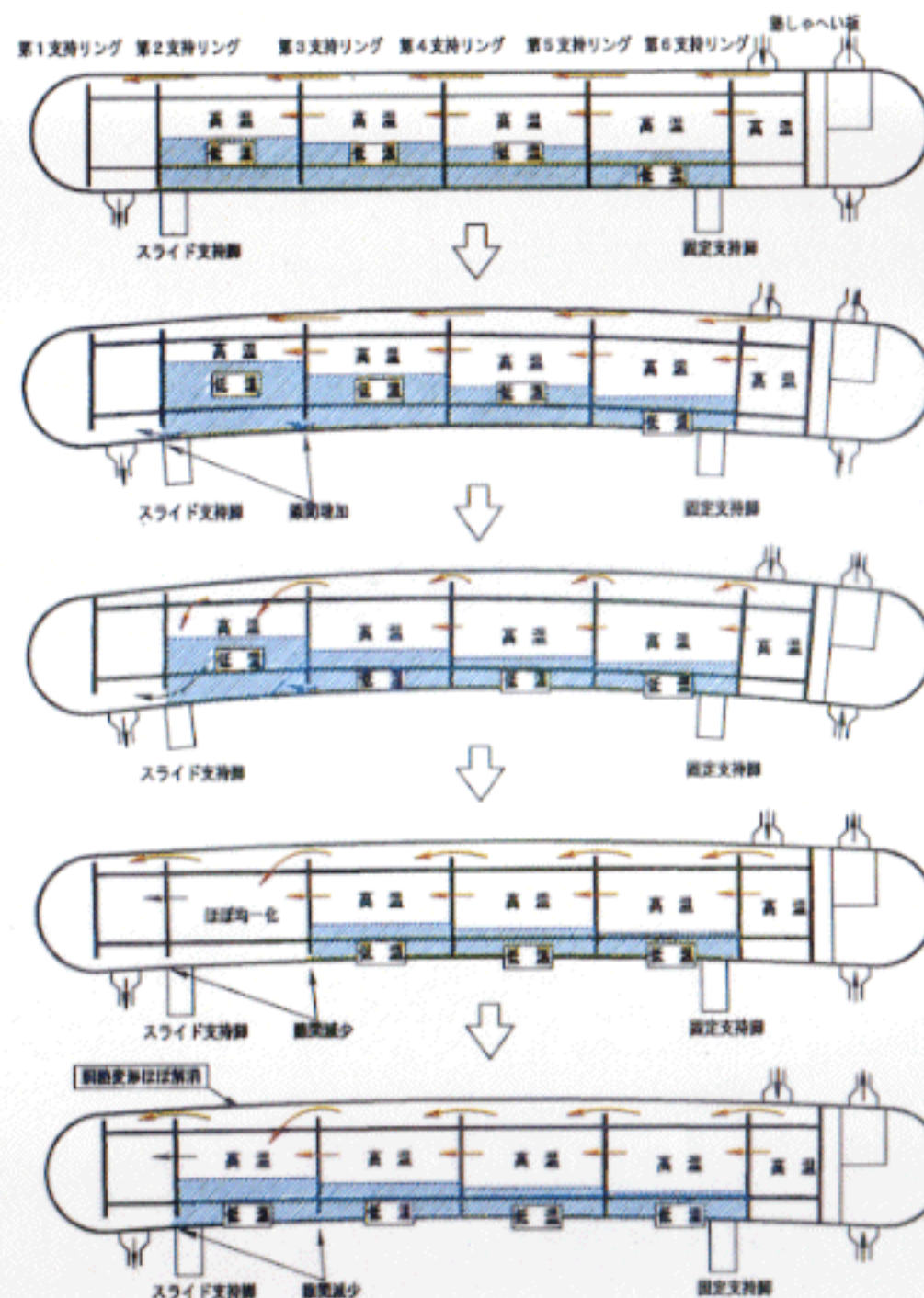
STEP 4

- ・胴の変形が消滅し、下部隙間が減少。

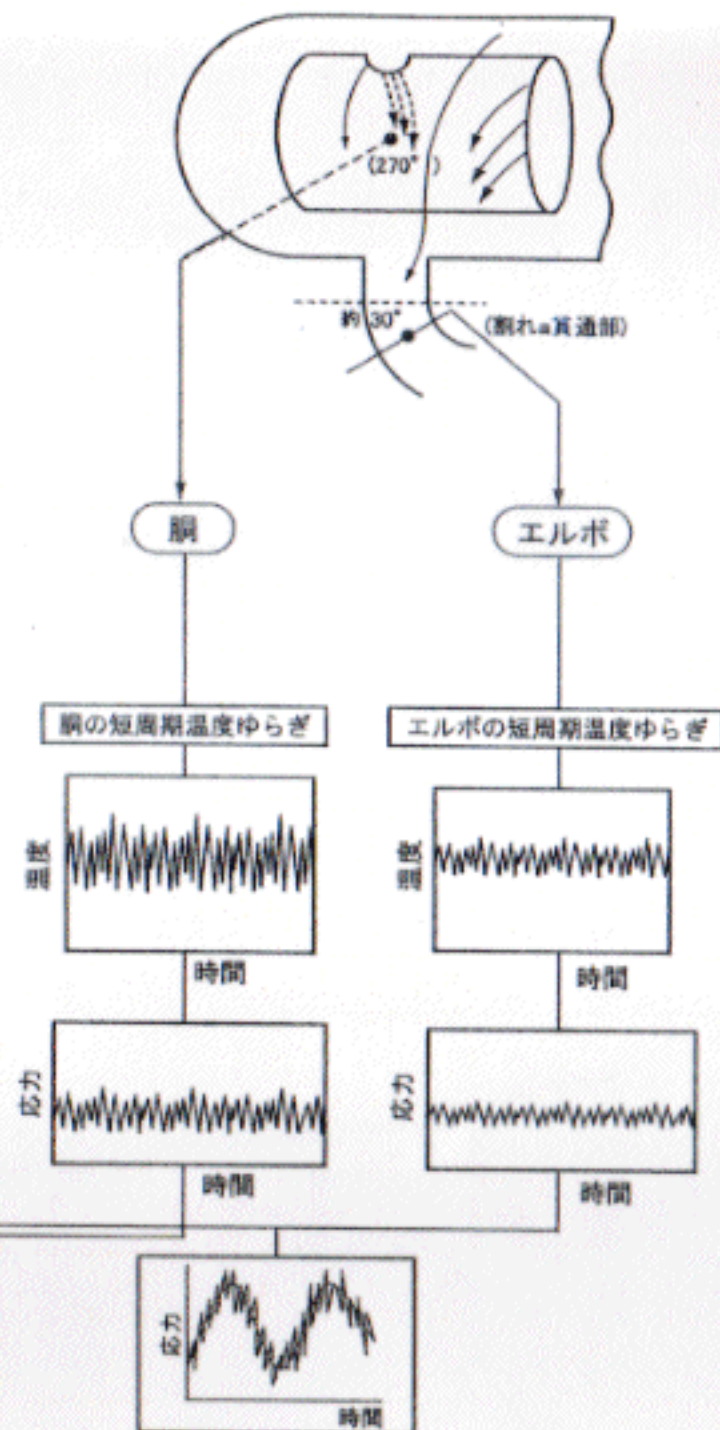
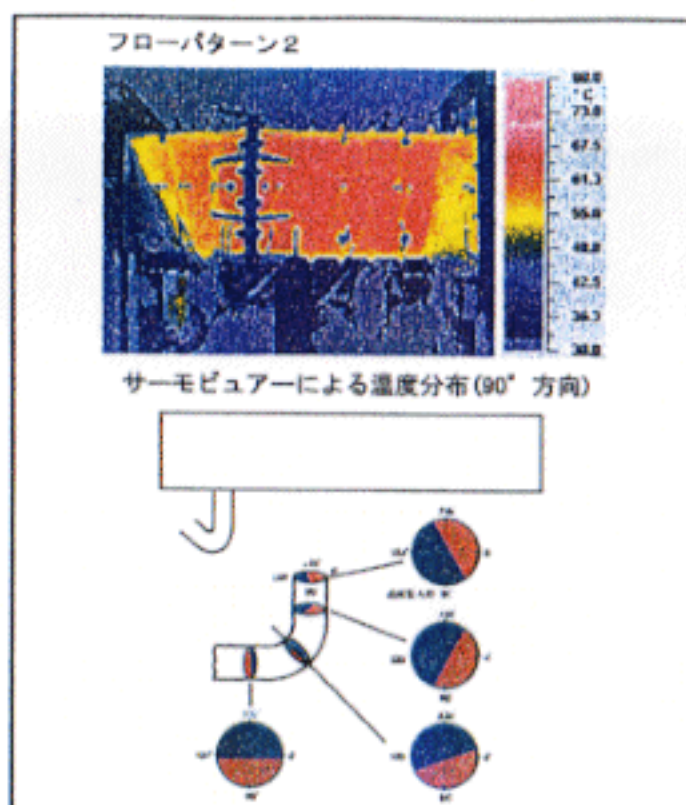
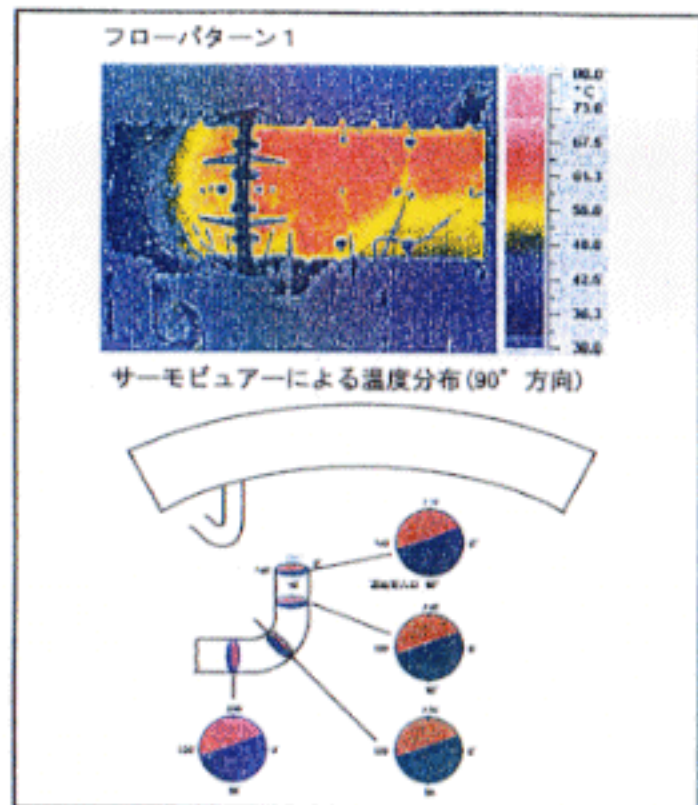
STEP 5

- ・底部の流れが少なく低温域の形成成長。

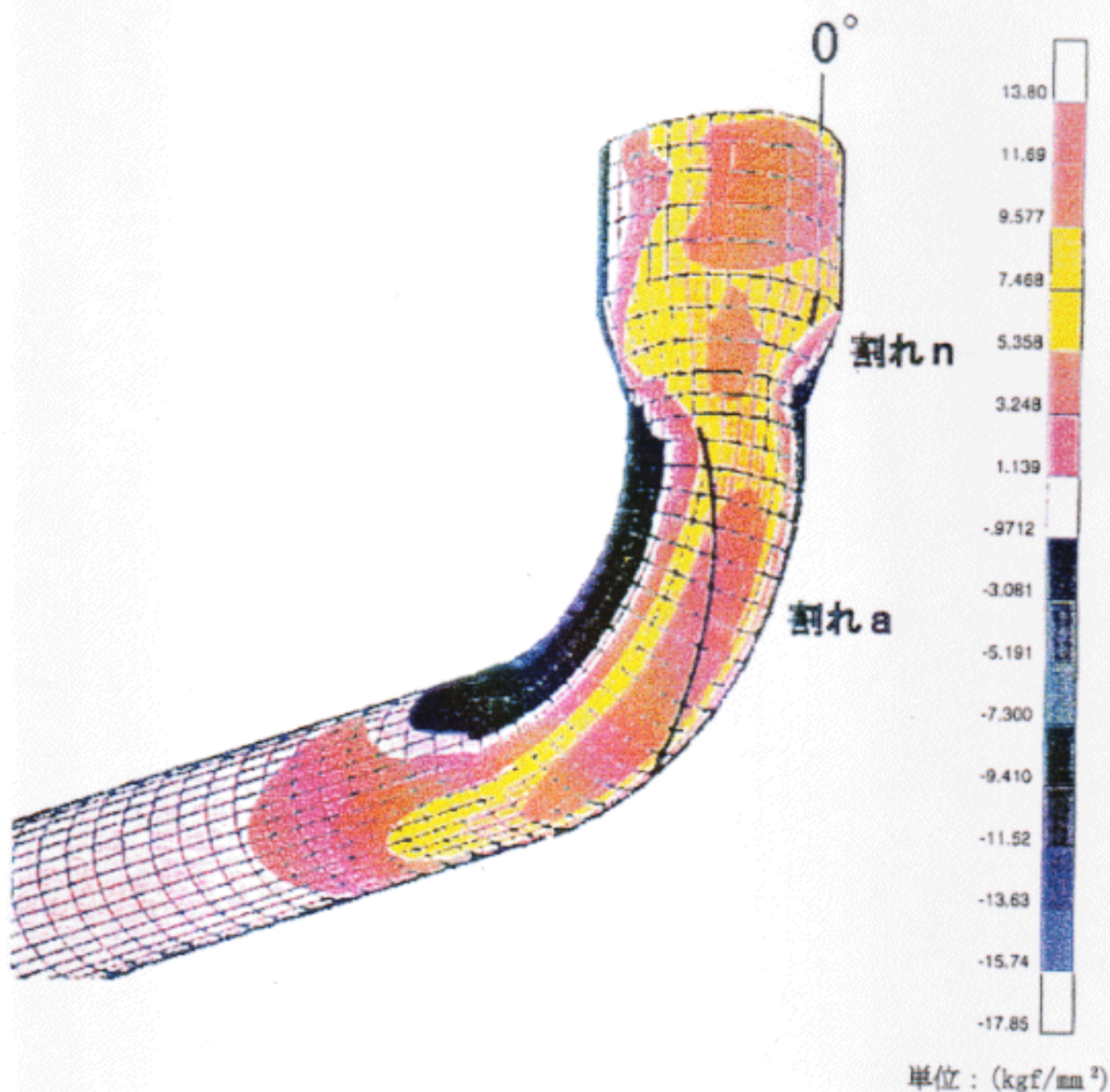
STEP 2 ~ STEP 5 をある周期で繰り返す。



フローパターン変動メカニズム



再生熱交換器胴及び連絡配管の温度変動及び変動応力概念図



SI 単位への換算: 1 kgf/mm² = 9.80665 MPa

フローパターン 1, 2 の繰返しによる変動応力
(周方向応力)

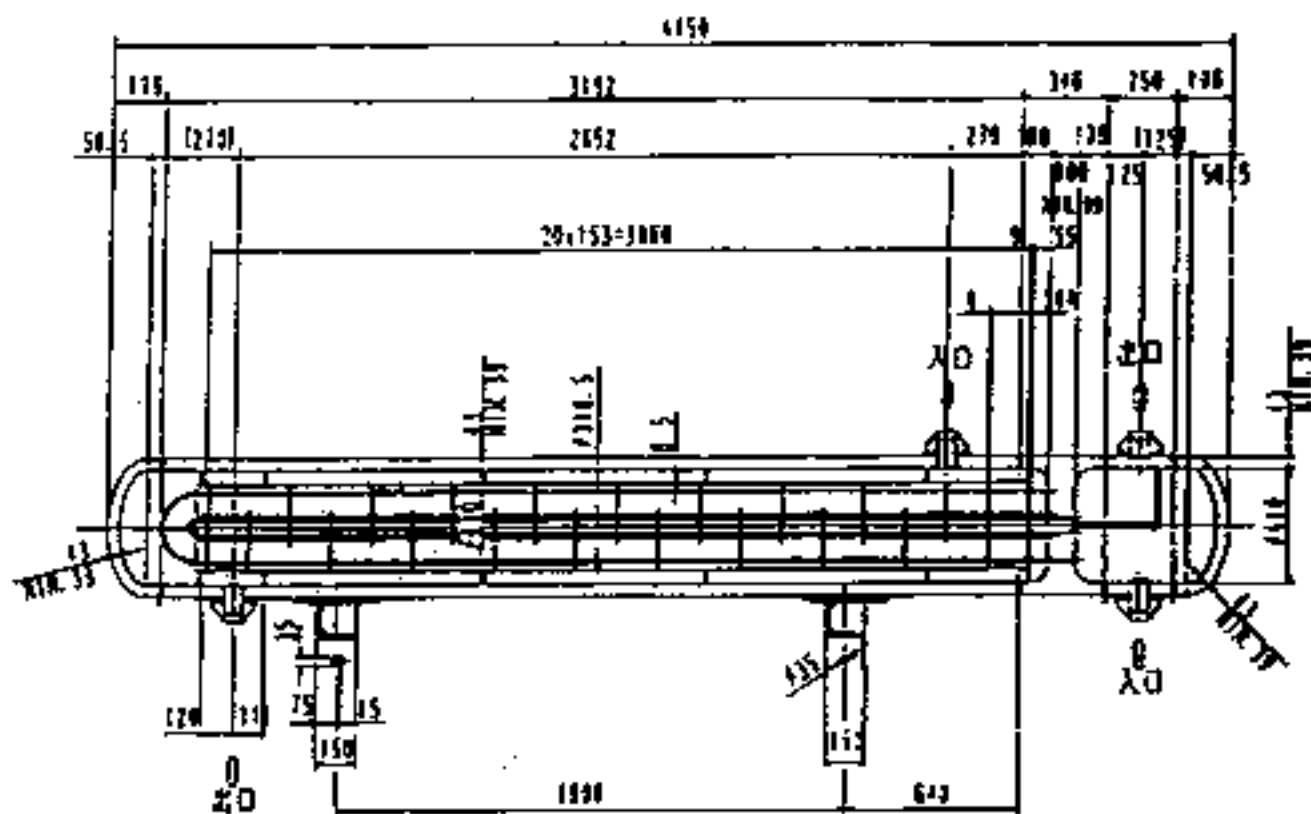
推定原因

1. 実機における胴と内筒支持リングとの隙間が設計目標値より大きく、内筒と胴の間を流れるバイパス流量が大きくなり、胴の下部にバイパス流の低温領域が顕著に生成・消滅
2. これにより胴が熱膨張・収縮による変形を繰り返すとともに、内筒支持リングとの隙間が変動
3. バイパス流及び主流の合流部でフローパターンが変動することにより、連絡配管及び胴本体の温度分布が連続的に変化
4. フローパターン変動による長周期の温度変動とバイパス流の合流による短周期の温度ゆらぎが重畳したことで、連絡配管及び胴本体に疲労強度を上回る応力が繰り返し加わり、熱疲労割れが発生、進展した

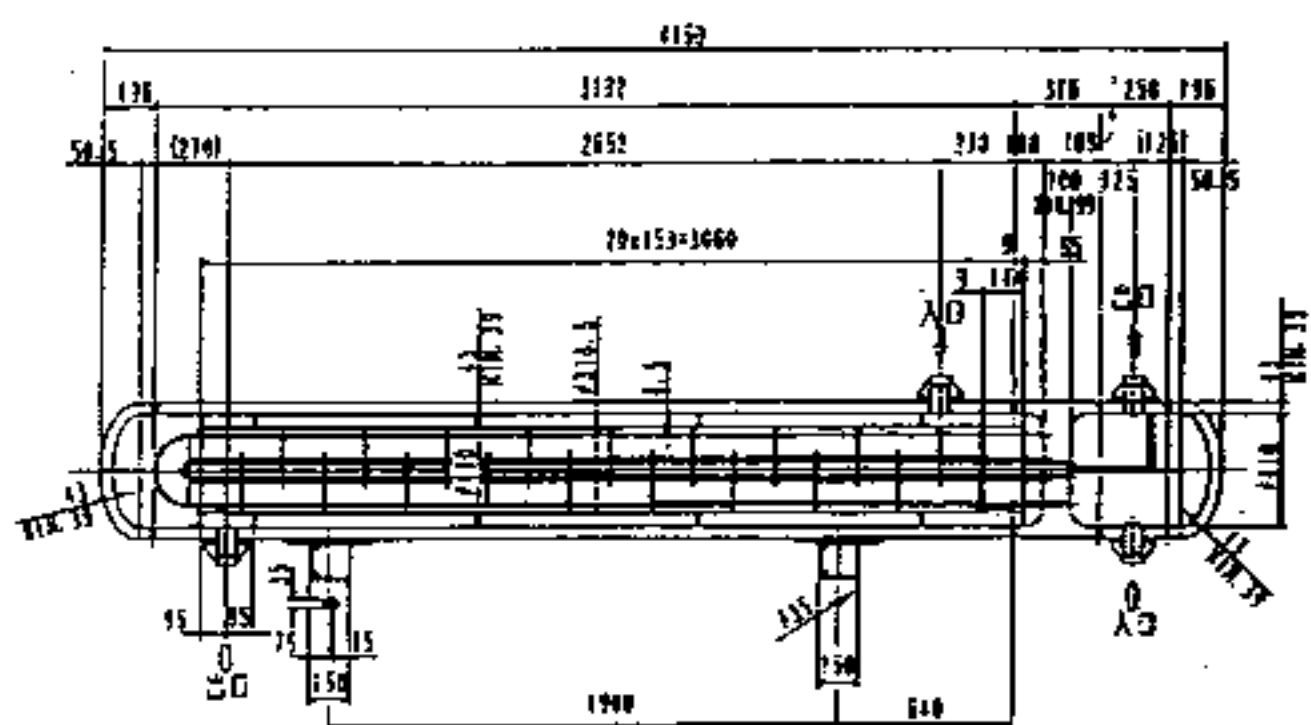
敦賀2号機と他プラントとの構造・流量等の比較

プラント	運転開始 時期 (年、月)	ループ数	全長 (mm)	内筒吹出口			1次冷却材 抽出流量* (m ³ /h)	バイパス 流量* (%)	主流と バイパス流 の温度差* (℃)	バイパス 流速* (m/s)
				形状	向き	吹出面積 (cm ²)				
高浜3/4	1985.1 1985.6	3	4,150	円形 φ110	下	約100	15.2	約30	約65	約0.02
川内2	1985.11	3	4,150	円形 φ110	下	約100	15.2	約30	約65	約0.02
敦賀2	1987.2	4	5,229	円形 φ110	上	約100	28.5	約40	約80	約0.07
泊1/2	1989.6 1991.4	2	3,520	長穴 (90×245)	上	約200	11.6	約25	約60	約0.02

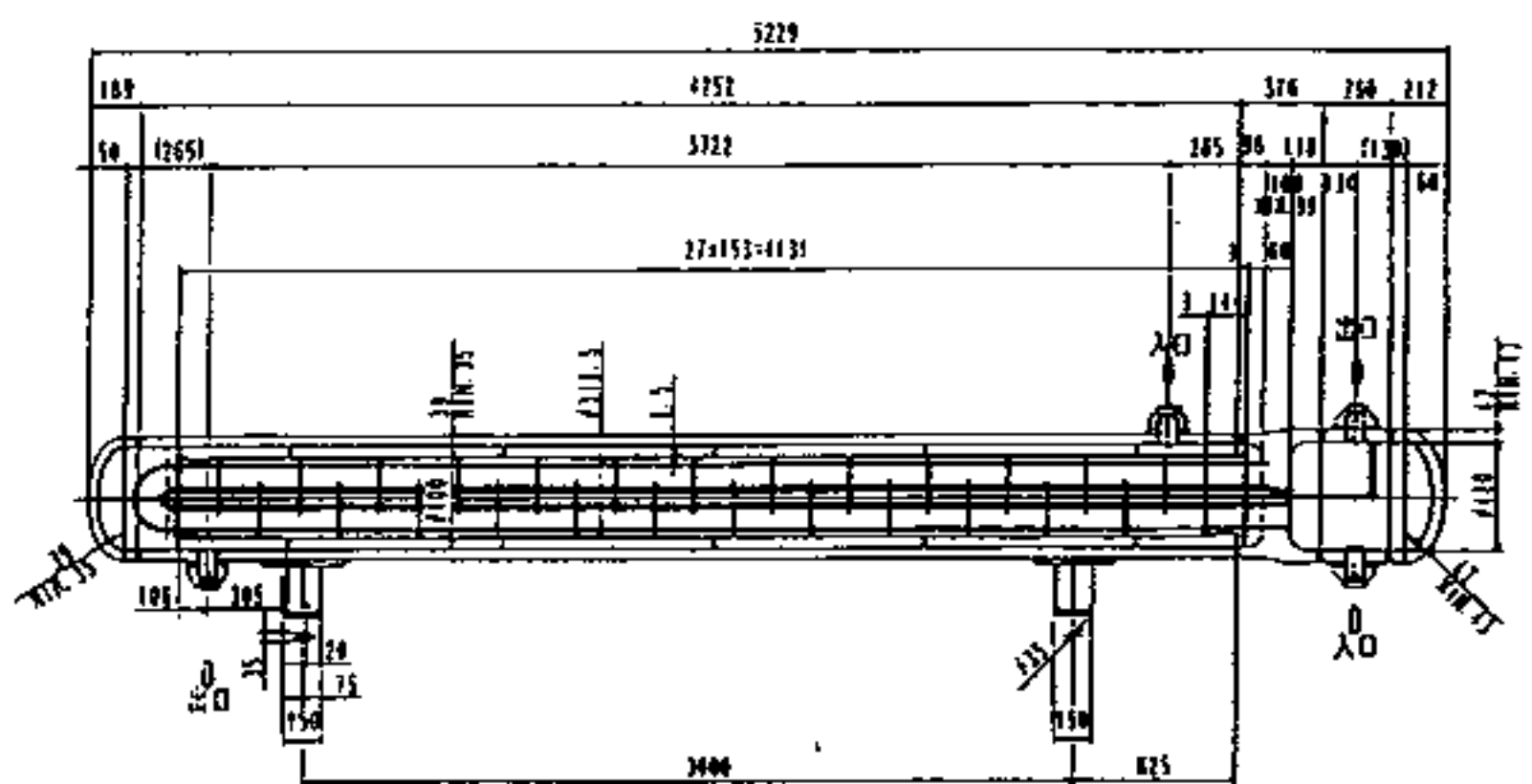
*：実績データ



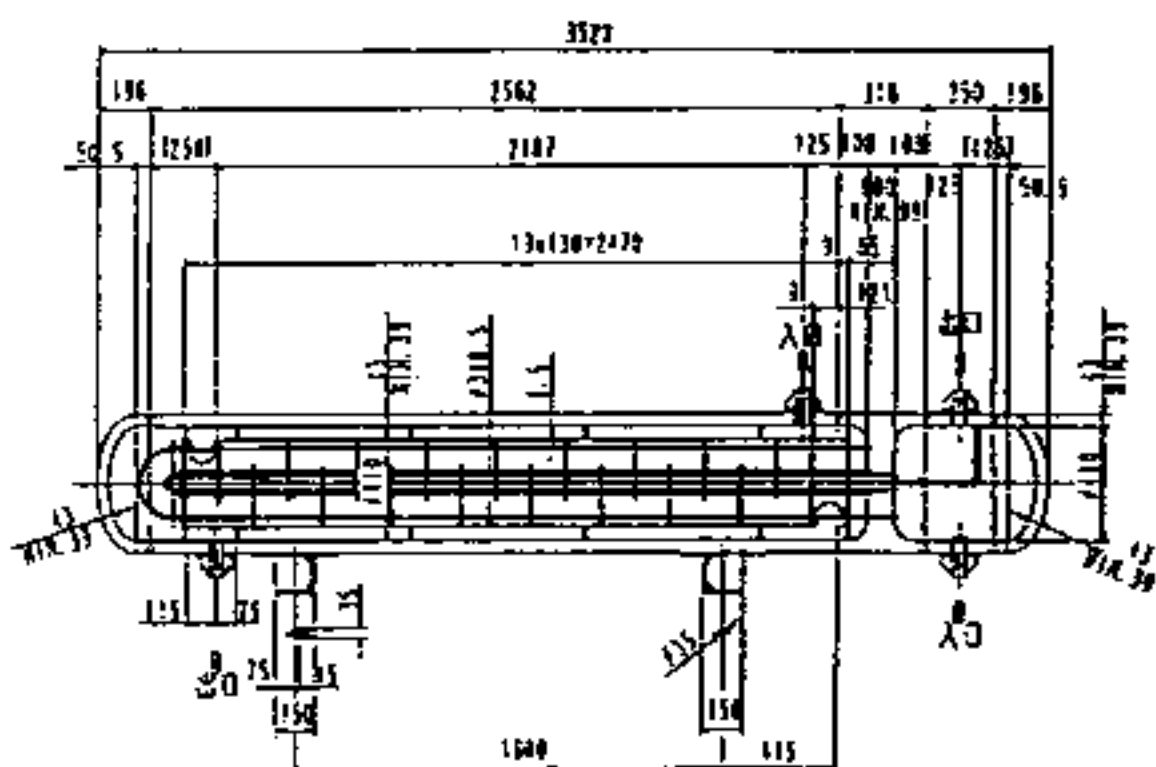
高浜3/4号機



川内2号機



敦賀2号機



泊1/2号機

再生熱交換器比較図

他プラントにおける内筒付き再生熱交換器に対する 調査結果

（実施した調査）

1. 流動模擬試験
2. コンピュータシミュレーション等の解析
3. 胴本体の変形量測定
4. 連絡管エルボ部及び胴部の超音波探傷試験

（結論）

敦賀2号機以外の内筒つき再生熱交換器において同様の損傷が発生するとは考えられないが、今後、超音波探傷検査により健全性を確認していく。