

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の原因究明対策班作業関連資料

温度計ウェル設置部での
サーマルストライピングの可能性について

1996年7月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

「もんじゅ」ナトリウム漏えい事故の原因究明対策班作業関連資料

温度計ウェル設置部でのサーマルストライピングの可能性について

原因究明対策班 原因解析・試験グループ *

要 旨

本報告書は、1995年12月8日に発生した「もんじゅ」2次主冷却系ナトリウム漏えい事故の原因究明作業の一環として実施した、破損した温度計ウェルの設置位置でのサーマルストライピングの可能性に関する検討の中間結果をまとめたものである。

* 一宮 正和 (大洗工学センター システム開発推進部 プラント工学室)
家田 芳明 (大洗工学センター 基盤技術開発部 熱流体技術開発室、現企画部)

熱電対ウエル設置部でのサーマルストライピングの可能性について

1. 概要

一般的に、配管部でサーマルストライピングが生じる主要因として考えられる事項は以下の通りである。

- (1) 枝管からの温度の異なる流体の流入
- (2) 熱交換器出口での温度変動

このうち、(1)については、中間熱交換器 (IHX) 出口から当該部に至るまでの配管部に枝管は設置されていないので要因とはなり得ない。従って、当該部のサーマルストライピングの要因としては、上記(2)の熱交換器出口での温度変動が考えられる。

このため、この影響を検討するため解析による評価を行った。検討の結果、IHX 2次側出口部での配管内冷却材温度分布を保守的に $\pm 15^{\circ}\text{C}$ と想定した解析で、熱電対ウエル設置部近傍での配管内冷却材温度分布は \pm 約 2°C 程度まで緩和される傾向が得られた。

以上のことから、当該部には有意なサーマルストライピングの要因は無いものと判断される。

2. 設計上の考え方

当該部でサーマルストライピングが発生する要因としては、IHX 伝熱管の2次側出口ナトリウムの温度不均一が想定されるが、設計上は、伝熱管の出口領域に冷却材混合を促進するための出口プレナムを設置することで温度の均一化を図る構造としている (図-1 参照)。

IHX 管束出口の温度分布は、図-2 に示すように最大 $+6^{\circ}\text{C}$ 、最小 -13°C 程度と評価されているが、IHX 出口部でのナトリウム温度は、上記出口プレナムでの冷却材混合効果によってほぼ均一になるものと推定される。

なお、ストライピングの周波数をパラメータとして、 505°C の熱電対ウエルの材料 SUS304 鋼の設計寿命 21 万時間の間の疲労損傷を $Df=0.1$ 以下とする金属表面温度変動幅を評価した (図-3)。

一般的には構造物の温度追従性等を考慮すると周波数 1 Hz 程度のサーマルストライピングが厳しいと考えられるが、 10 Hz の周波数を想定しても許容温度変動幅は、約 20°C 以上あり、IHX 管束出口温度の変動を考慮しても疲労損傷は問題とはならない。

3. 解析による評価

3.1 概要

Cループホットレグの熱電対ウエル設置部での温度分布を評価するため、3次元熱流動解析コード(α -FLOW)による流動解析を行った。ここでは上記の温度分布を保守的に設定し、IHX 2次側出口部にIHX管束出口の温度分布が生じるものと想定して、配管内でどれだけ緩和されるかを評価した。

3.2 解析方法

(1) 対象箇所

Cループホットレグ入口からCVペネ出口部の熱電対設置箇所までをモデル化した。モデル上は最も流況に影響を及ぼすと推定されるIHX出口部の90度エルボ2箇所を模擬し、その下流側は直管で模擬した。

(2) 解析手法

境界適合座標系(BFC)による解析を行った。解析コードは「 α -FLOW」を使用した。

(3) 境界条件

① IHX 2次側出口流速：

2.2m/s (40%流量、ナトリウム485℃条件に対応)。

② IHX 2次側出口温度：

保守的な条件設定の観点から、IHX出口プレナムでの冷却材混合効果を見逃し、IHX 2次側出口部で、ホットレグ入口部でIHX伝熱管出口部での温度差を想定した

(伝熱管出口部での温度差は、最大+6℃、最小-13℃であるが、これをさらに保守的に想定し、±15℃とした)。

③ 壁面境界：

スリップ条件。

3.3 解析結果

ホットレグ配管長手方向での各断面の流況を図-4に示す。この結果から、水平配管内では2段目のエルボから水平配管に移行する段階で一方向の旋回流を生じ、エルボから下流になると共に旋回流速は低減する傾向を示している。

図-5に配管長手方向での各断面のナトリウム温度分布を示す。この結果から、IHX出口部で想定した±15℃の温度差は下流にゆくにつれて解消し、熱電対ウエル設置部での温度差は±約2℃まで低減する傾向が得られた。

4. 結論

熱電対ウエル設置部でのサーマルストライピングの要因として、中間熱交換器出口での温度変動が及ぼす影響を評価した。

- (1) I H X管束出口の温度分布は、最大+6℃、最小-13℃と評価されているが、設計上は、伝熱管の出口領域に冷却材混合を促進するための出口プレナムを設置することで温度の均一化を図る構造としている。
- (2) 一方、高サイクル疲労の評価上、サーマルストライピングにより許容される温度変動幅は保守的に評価しても約20℃以上あり、I H X管束出口の温度変動は構造健全性に影響を及ぼすものとはならない。
- (3) 上記のI H X出口プレナムでの冷却材混合効果を見逃し、I H X 2次側出口部での温度差を保守的に±15℃と想定した解析を行った。この結果、当該部近傍での温度差は±約2℃程度まで低減する傾向が得られ、温度変動幅は充分小さくなることが判った。

以上の評価より、当該部に有意なサーマルストライピングの要因は無いものと判断される。

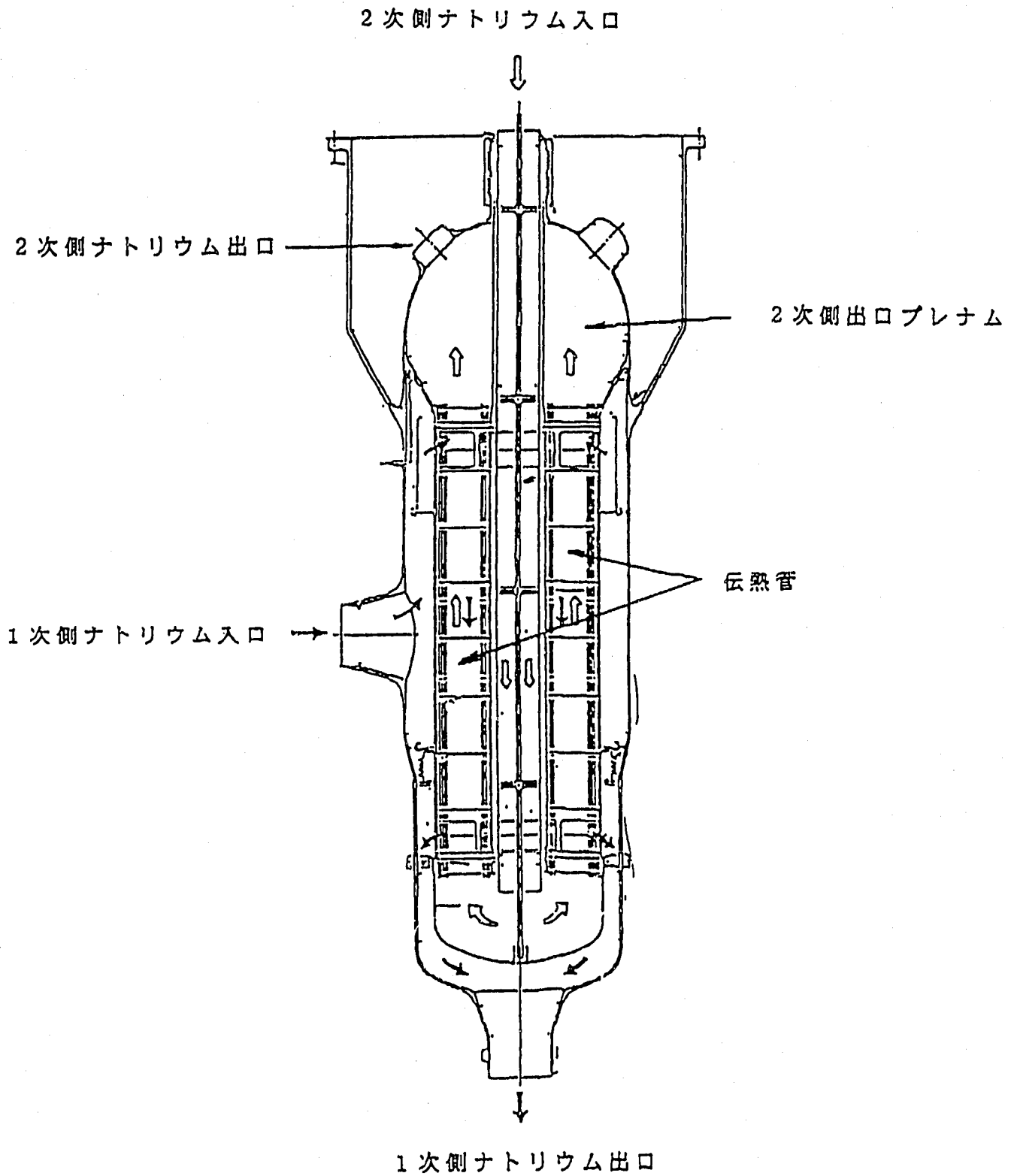


図-1. IHX構造概念図

もんじゅ中間熱交換器伝熱管の平均温度差

中間熱交換器管束部の平均温度に対する最大温度差は、別々に求めた半径方向温度差と周方向温度差を合計して求めた。

半径方向温度差は下図に示す解析モデルによる2次元軸対称流動解析で求めた。また、周方向温度差は水流動試験結果による流量分布に基づく伝熱流動解析により求めた。

半径方向の流動解析モデル及び結果を以下にまとめた。

管束部平均温度差

| | 半径方向 | 周方向 | 合計 | 切り上げ値 |
|----|------|------|-------|--------|
| 最大 | 3.2 | 2.7 | 5.9 | 約6°C |
| 最小 | -9.4 | -2.7 | -12.1 | 約-13°C |

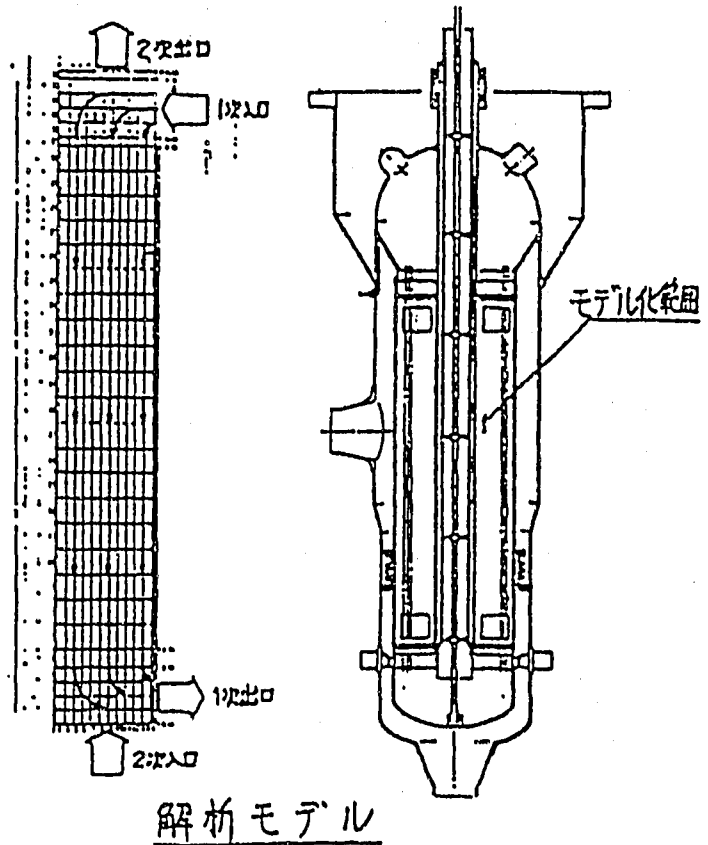
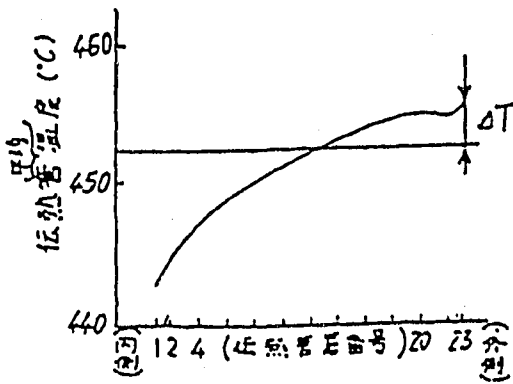
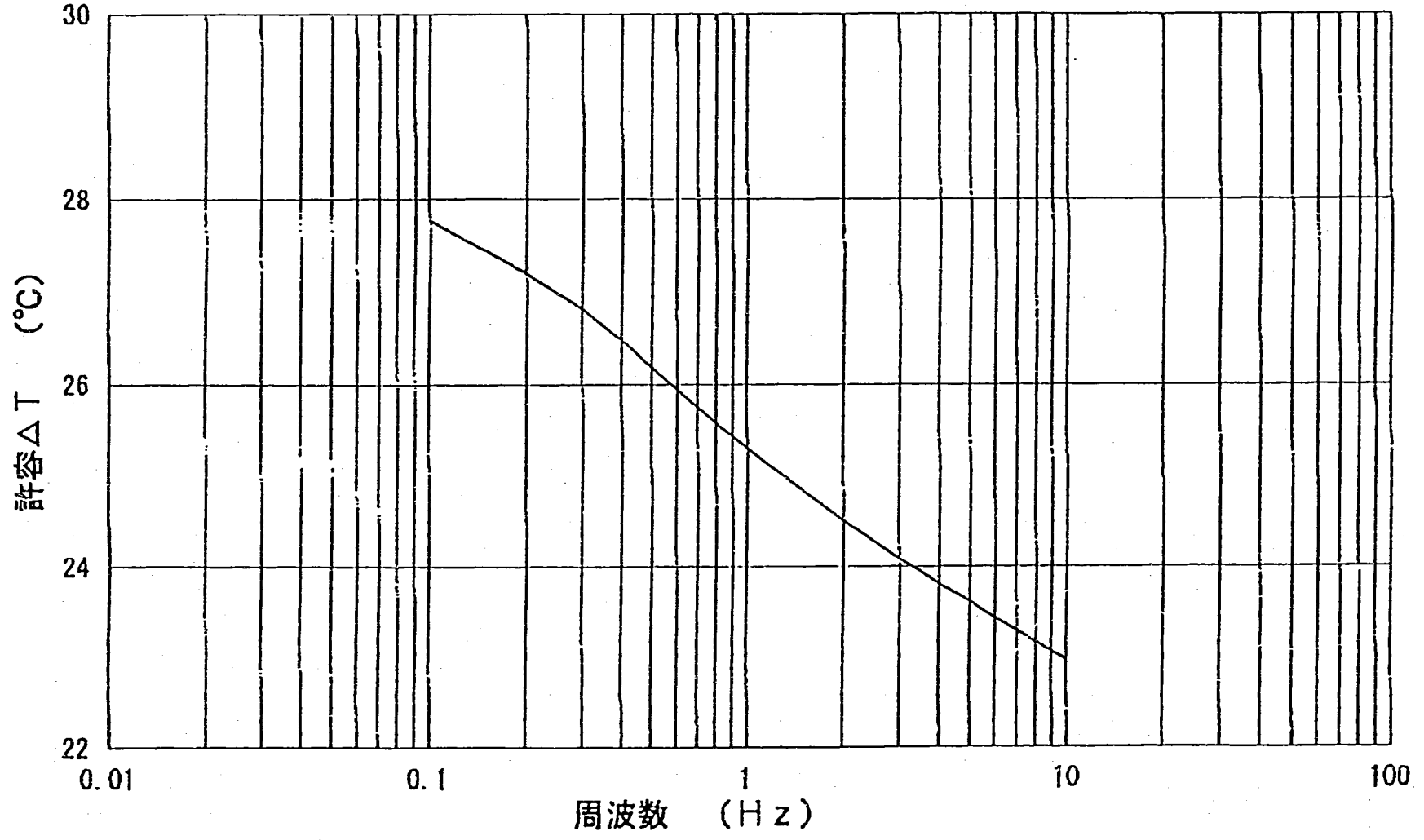


図-2. もんじゅ中間熱交換器伝熱管の平均温度差

図3. サーマルストライピングの許容 ΔT
 (疲労曲線505°C使用 設計寿命210,000時間 $Df=0.1$ として ΔT 算定)



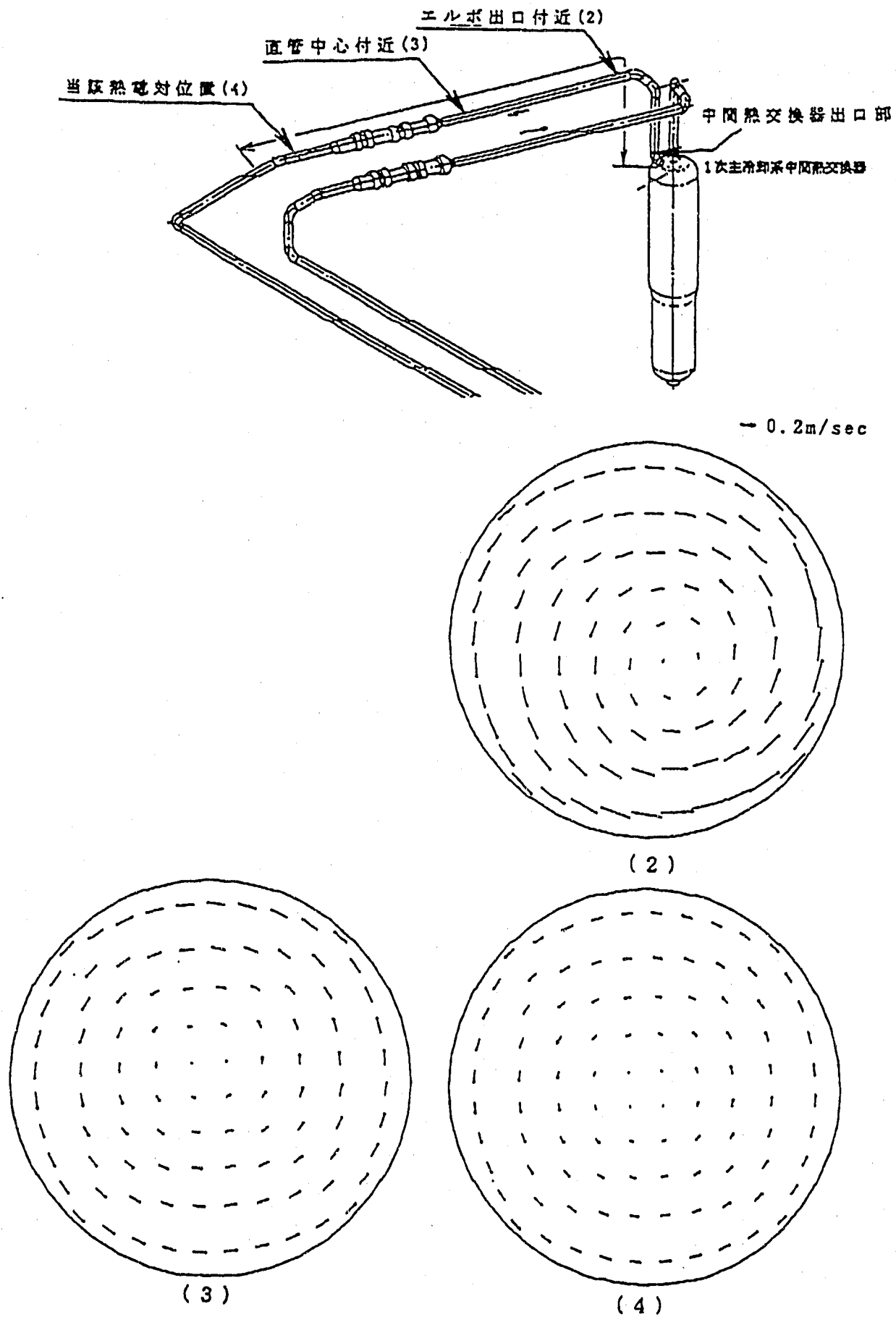
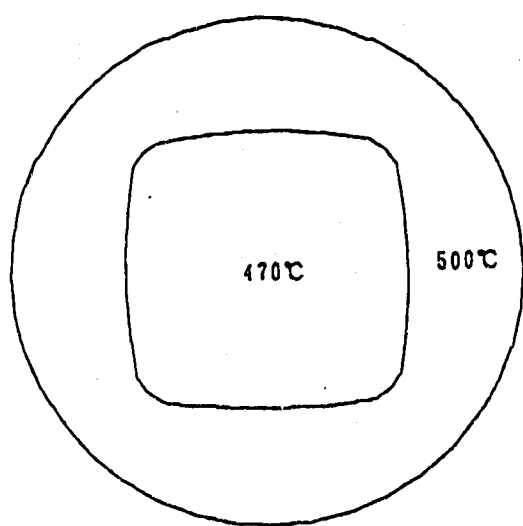
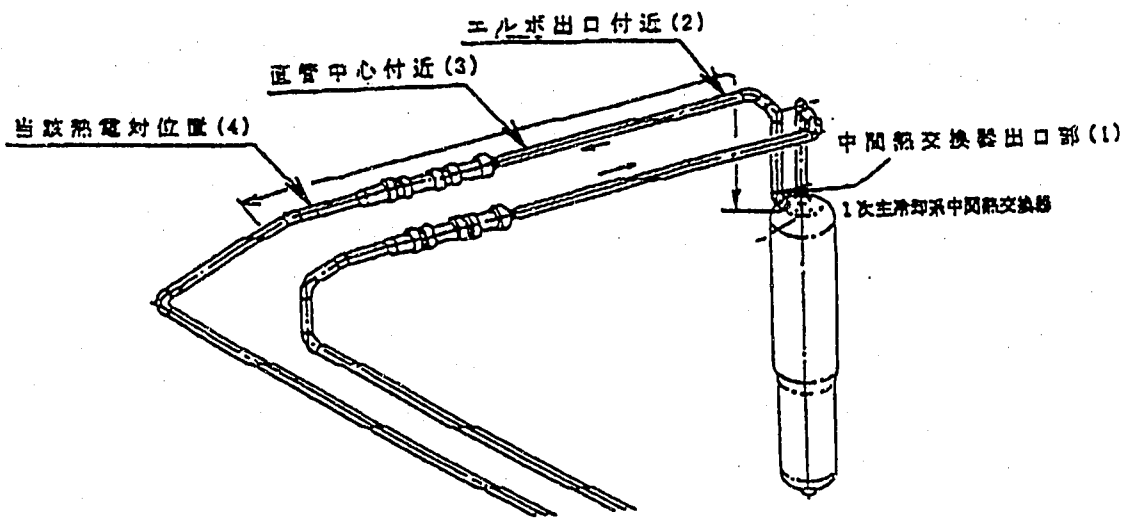
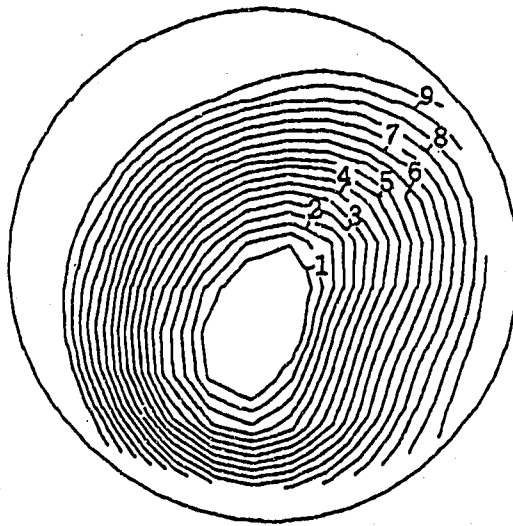


図-4. Cループホットレグ配管断面流況

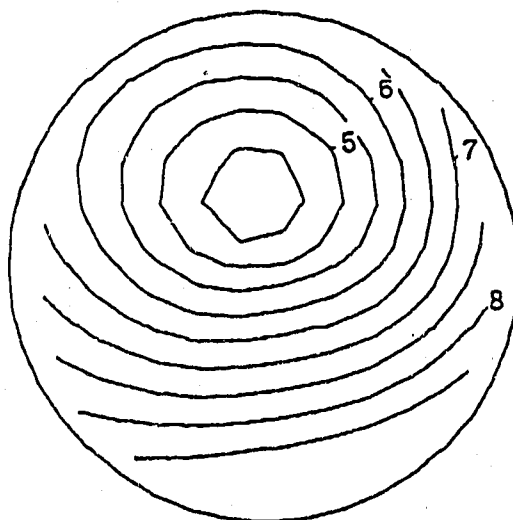


(1)

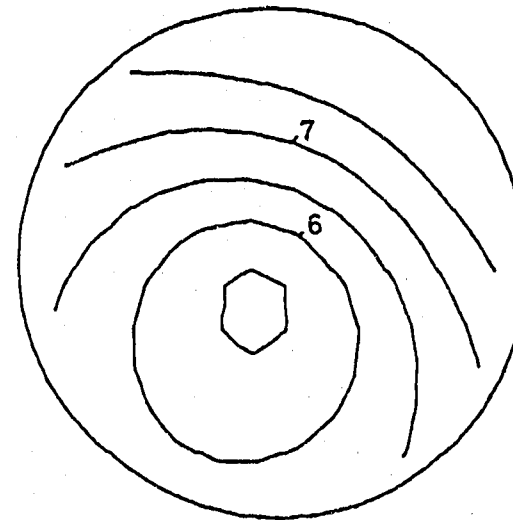


(2)

- 等温線 NO.1 : 478°C
- 等温線 NO.2 : 480°C
- 等温線 NO.3 : 482°C
- 等温線 NO.4 : 484°C
- 等温線 NO.5 : 486°C
- 等温線 NO.6 : 488°C
- 等温線 NO.7 : 490°C
- 等温線 NO.8 : 492°C
- 等温線 NO.9 : 494°C



(3)



(4)

図-5. Cループホットレグ配管断面温度分布