

# 高速増殖炉用蒸気発生器の開発

## Development of Steam Generator in Liquid Metal Fast Breeder Reactor

Development of Liquid Metal Fast Breeder Reactor (LMFBR) is under way in many an industrial country of the world. Steam generator, a key component of the LMFBR plant, involves many design and engineering problems because of its exposure to high temperature sodium and the potential hazard of sodium-water reaction. Hitachi, Ltd. has been conducting research and development programs on steam generator since some ten years ago. This report describes part of the results of the research and development works, decarburization and creep of stabilized and non-stabilized ferritic steels ( $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ ), static and dynamic heat transfer characteristics in a hellically coiled tube, and wastage rate and safety analyses on sodium-water reaction carried out at Hitachi, Ltd.

河原 愈\* Masaru Kawara  
八巻 秀雄\* Hideo Yamaki  
桜間 直樹\*\* Naoki Sakurama  
加藤 洋明\*\* Yōmei Katō  
鈴置 昭\*\* Akira Suzuoki  
幡谷 文雄\*\*\* Fumio Hataya  
小笠原英雄\*\*\*\* Hideo Ogasawara

### 1 緒 言

動力炉・核燃料開発事業団（以下、動燃事業団と略す）により国家プロジェクトとしてナトリウム冷却高速増殖炉(Liquid Metal Fast Breeder Reactor 以下、FBRと略す)の開発が強力に推進されている。日立製作所においてもこれに積極的に参加し、各種の研究開発を進めている<sup>(1)</sup>。

このFBRプラントの中でも蒸気発生器は、技術的に最も多くの問題点をもつもので従来の火力ボイラ及び軽水炉用蒸気発生器とはやや特徴を異にしたものと言えよう。蒸気発生器は、炉心から一次及び二次ナトリウム冷却系により伝達されてきた熱により、高温高压の蒸気を発生させタービン系に伝えるものであり、原子炉プラントの性能、安全性及び信頼性に大きな影響をもつもので、FBR開発の一つのかぎとまで言われている。

図1は、日立製作所で行なっている蒸気発生器の開発項目とその関連性を示すものであるが、ここではその中でも代表的なものとして進めてきた研究開発のうち、材料、伝熱・流動、動特性及び安全につきその内容の一部を紹介する。

### 2 材 料

軽水炉に比べFBRの蒸気条件は、最新火力発電プラントに近く、約 $480\sim 520^\circ\text{C}$ 、 $120\sim 180\text{kg/cm}^2\text{g}$ と厳しく、且つ伝熱管外壁は $320\sim 550^\circ\text{C}$ のナトリウムに接しているため、炭素の移行、腐食などFBR特有の現象が生ずる。ボイラでは管壁温度 $580\sim 600^\circ\text{C}$ まで $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼が、 $600^\circ\text{C}$ 以上ではオーステナイト系ステンレス鋼が用いられているが、FBRではナトリウム特有の現象があるため、 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の使用温度はほぼ $500^\circ\text{C}$ 前後までと一般的に考えられ、蒸気器には耐応力腐食割れ性を考慮し $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼が、また過熱器にはオーステナイト系ステンレス鋼が使われている。しかし、オーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れを考慮し、過熱器に $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼を使っている例もある<sup>(2)</sup>。ここでは主に日立製作所で行なった $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 系鋼の脱炭及びクリープ破断強度の実験結果について述べる。

$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の脱炭を防ぐためNb, V, Tiなどの炭化物生

成元素を加えた安定化鋼が研究されている。図2は、 $600^\circ\text{C}$ 、酸素濃度10ppmの静止ナトリウム中に8mmφ試片を1,000時間浸せきした後の炭素濃度分布を示すものである。 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼は表面で $0.02\sim 0.03\%$ Cと減少するが、Nbの添加により脱炭は阻止され、 $0.72\%$ Nbでほとんど脱炭しなくなる。脱炭を完全に阻止するには炭化物生成元素はその炭素当量以上必要であり、Nbの場合はNb/Cが8以上で、通常 $0.1\%$ Cに対し約 $1\%$ Nbが加えられている。図2の場合は加速試験であるが、実際には $450\sim 500^\circ\text{C}$ で200,000時間以上の長時間後の脱炭量を知る必要があり、条件を変えた各種データからこれを推定する計算法が検討されている。

$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の許容応力は、 $425^\circ\text{C}$ までは引張強さ、あるいは降伏強さによって決まり、 $425^\circ\text{C}$ 以上ではクリープ強度、あるいはクリープ破断強度によって決まる。蒸気器の管壁温度は最高 $450\sim 500^\circ\text{C}$ になるので、上述の安定化鋼はクリープ破断強度の高いことも要求される。図3は通常の $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼、脱炭後の材料を想定した低炭素 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼、安定化 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}-1.2\text{Nb}$ 鋼及び $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}-0.7\text{Nb}-0.3\text{Ti}$ 鋼の $500^\circ\text{C}$ 並びに $550^\circ\text{C}$ におけるクリープ破断強度を示すものである。安定化鋼は $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼より高い強度を示し、低炭素 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼は低い強度を示している。

これらの安定化鋼は、 $200\sim 400^\circ\text{C}$ での引張強さの低いのが欠点であり熱処理によって、あるいはNiの添加により引張強さを向上させる研究が伝熱管メーカーで行なわれている。

なお最近の報告<sup>(2)</sup>では、 $500^\circ\text{C}$ 程度では $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼の脱炭による強度劣化は少なく、過熱器にも $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼を採用できるデータが出されていること及び前述の安定化鋼が脱炭の点で $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼より優れてはいるが、引張強さが低いことなどの問題があり、今後、更に実験データの積み重ねを行ない、使用材料の十分な検討を行なわなければならない。

蒸気発生器の製造に際しては、溶接及び曲げ加工などが施され、これらの処理によって強度が低下しないよう注意が払われている。特に管と管板との溶接には、すきま腐食を生じないよう自動TIG内面溶接法が採用されている。図4は内

\*日立製作所日立工場

\*\*日立製作所日立研究所

\*\*\*日立製作所日立研究所 工学博士

\*\*\*\*日立製作所電力事業本部 工学博士

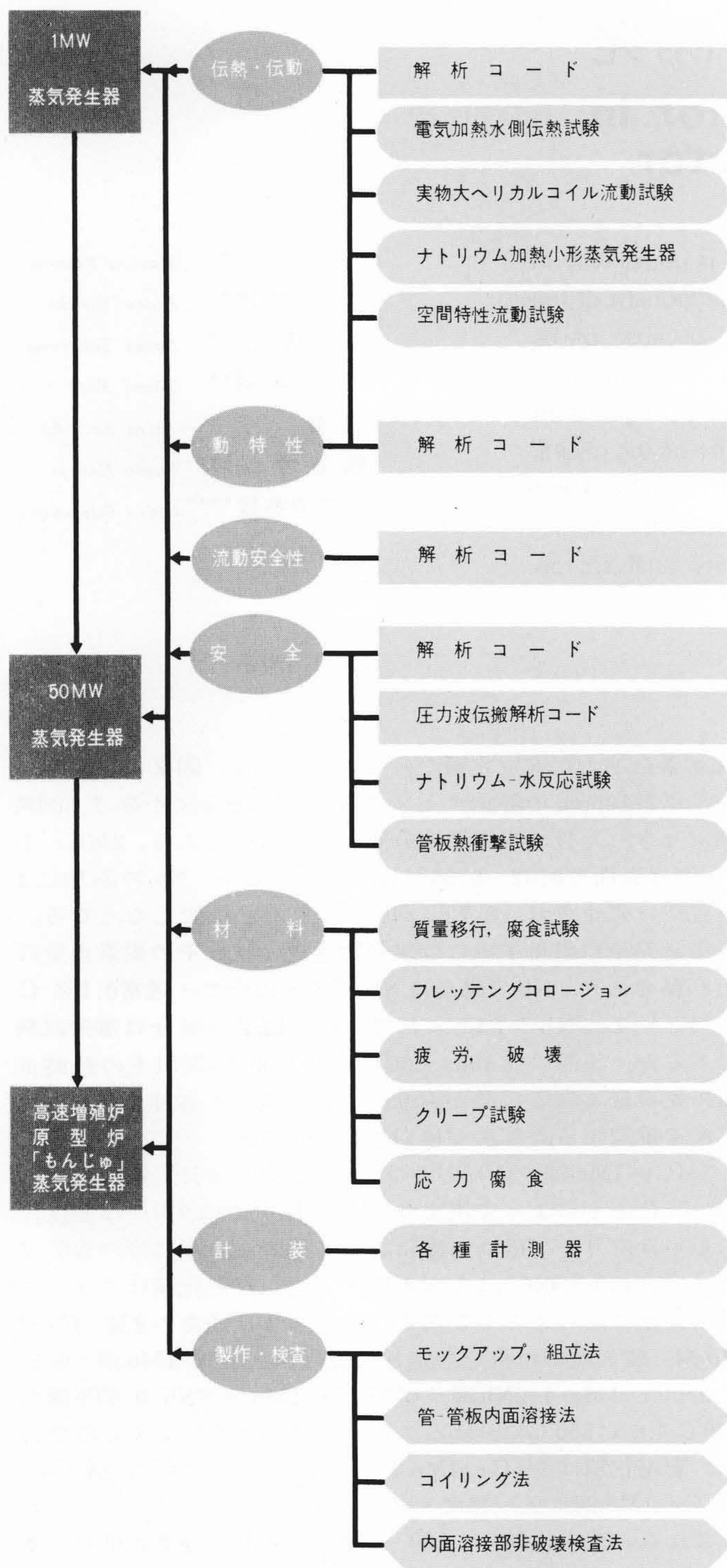


図1 ナトリウム加熱蒸気発生器開発項目の関連性 ナトリウム加熱蒸気発生器は、従来の火力プラント用ボイラと比較して広範囲の新技術が要求され、日立製作所は早くから総合的な研究開発を進めている。

Fig. 1 Relationship of Development Items for Sodium-Heated Steam Generator

面溶接を行なった  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の管と管板の接合部断面及びトーチを示すものである。溶着金属の重量効果によるへこみ量も少なく、極めて良好な断面性能を有している。

日立製作所ではナトリウム中の脱炭、腐食、ウェステイジフレッティングコロージョン、強度、溶接法など社内研究及び一部各種学・協会、委員会などに参加し、共同研究を行なっている。

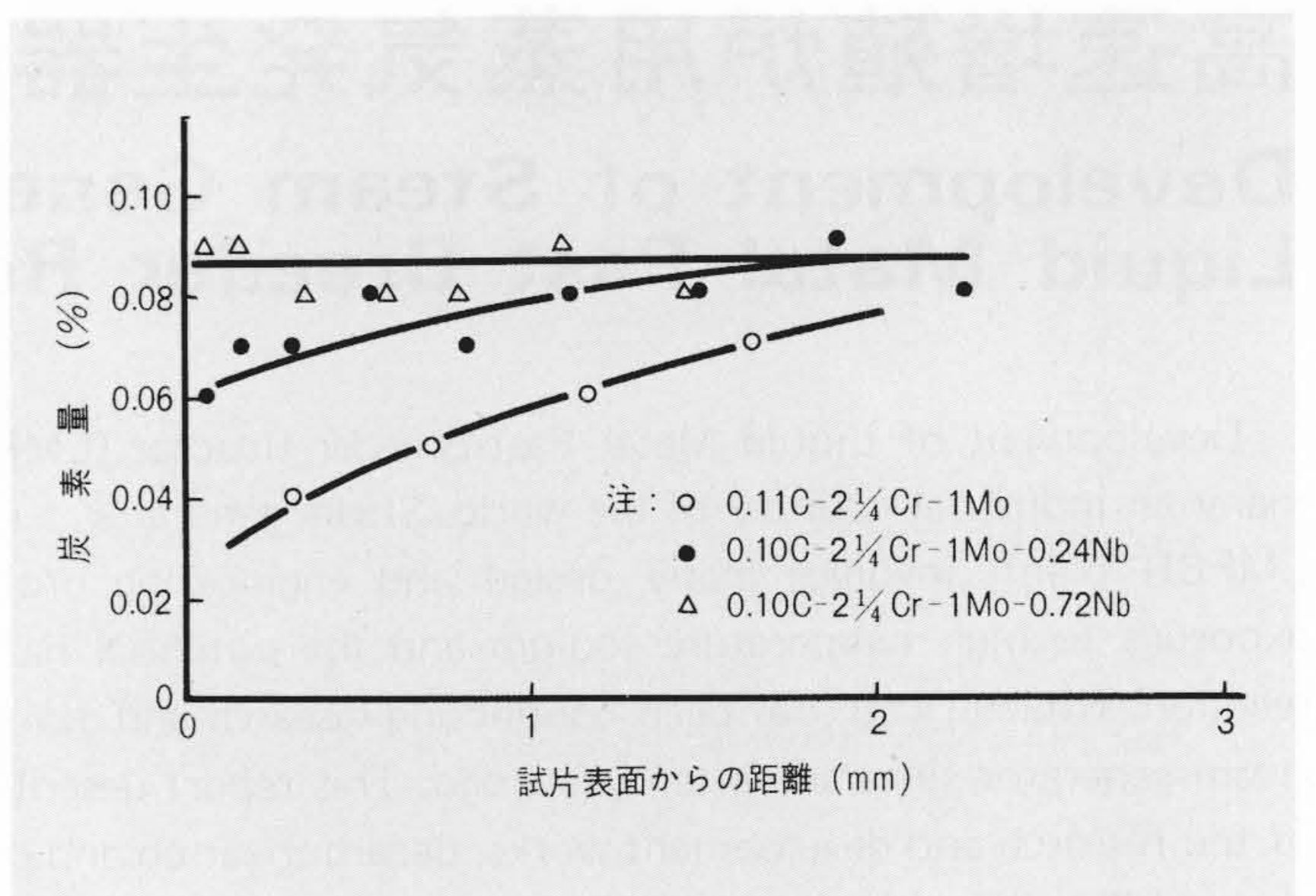


図2 600°C ナトリウム中1,000時間浸せき後の炭素濃度分布  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の脱炭は大きい、Nbの添加により阻止され、0.72%Nbでほとんど脱炭しなくなる。

Fig. 2 Carbon Content after 1,000 Hours in 600°C Sodium

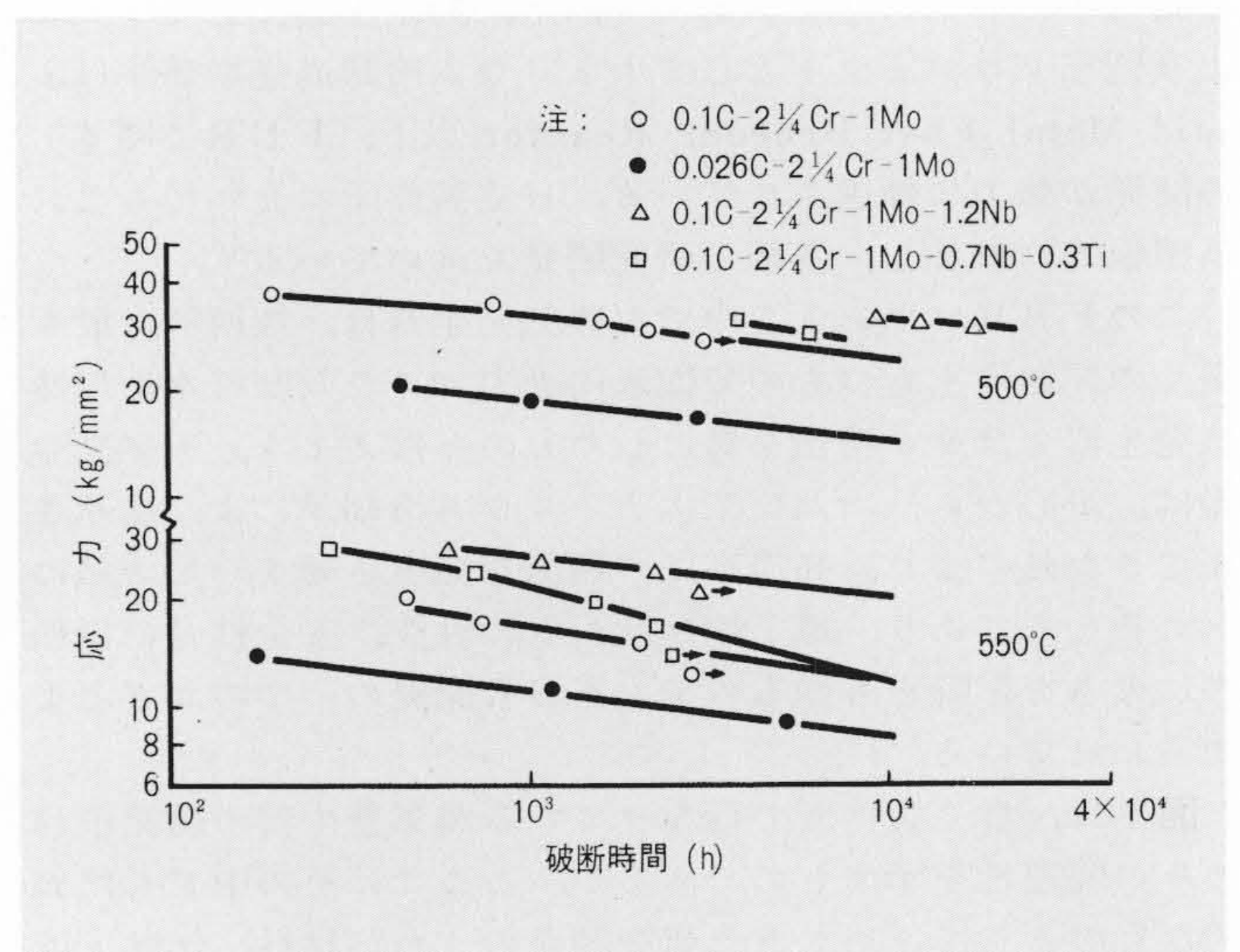


図3  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  系鋼のクリープ破断強度  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼に Nb を添加することによりクリープ破断強度は改善されるが、低炭素  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼になると強度は低下する。

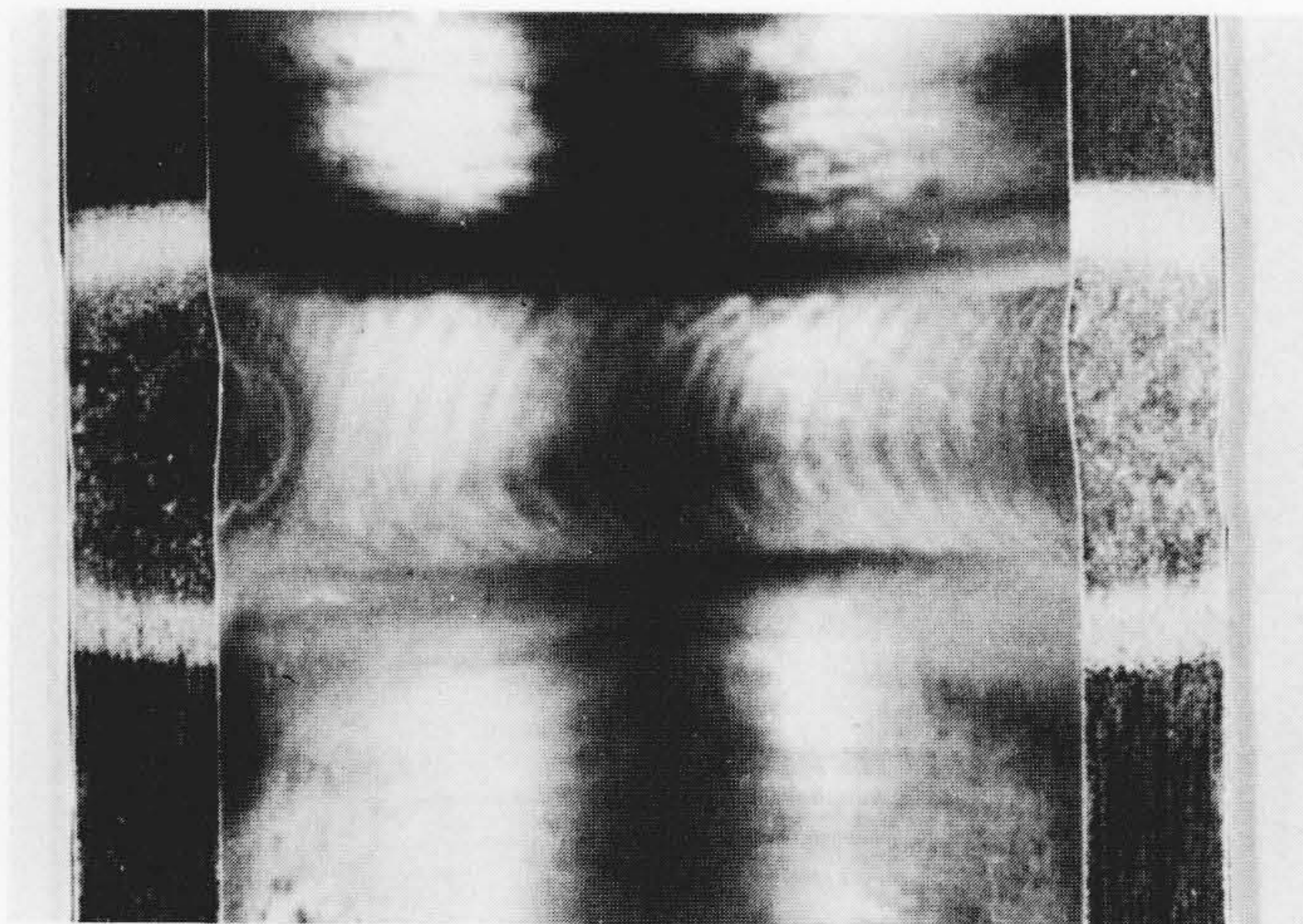
Fig. 3 Creep Rupture Strength of  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  Steels

### 3 伝熱、流動

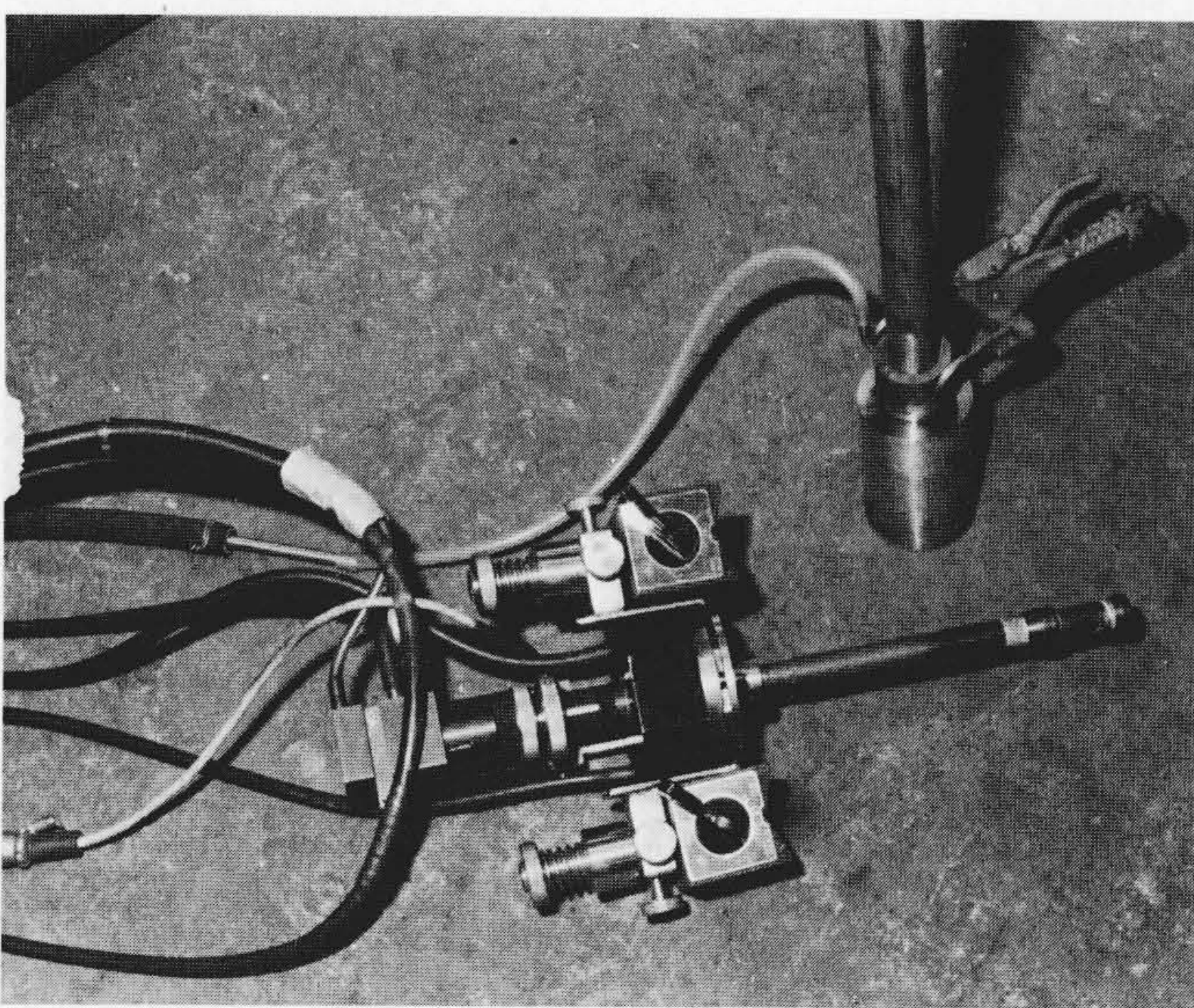
蒸気発生器内の伝熱及び流動特性を的確に把握しておくことは、伝熱面積計画に不可欠であるばかりでなく、性能解析を進めるうえでもその基礎資料として極めて重要である。我々はこの点を考慮して、蒸気発生器の開発に当たっては、まず実規模伝熱管の伝熱、流動特性を十分把握し、次いで多数の伝熱管間の相互作用の検討を進めつつスケールアップを図って行くという方針で臨んだ。従って開発研究の当初より伝熱、流動特性についての徹底した実験研究と、その結果に基づく性能解析コードの開発が進められてきた。これまでに完了した主な研究開発項目を下記に示す。

#### (1) 実験研究

- 水側の伝熱、流動特性に関する基礎実験
- 0.5MW 蒸気発生器による伝熱特性、動特性の研究



(a) 溶接部断面  
(材質: 2¼Cr-1Mo鋼)  
(寸法: 24.5 φ/3.2t)



(b) トーチ外観

図4 管板-管内面溶接部断面及びトーチ外観 管内面より特殊自動TIG溶接機を用い溶接されたもので、溶着金属の重量効果によるへこみ量も少なく、極めて良好な継手性能を有している。

Fig. 4 Photomicrograph of the Tube to Tube-Sheet Internal Bore Weld and Photograph of Torch

- (c) ナトリウム側の流動に関する各種模擬試験
- (2) 解析コードの開発
- (a) 最適設計コード<sup>(3)</sup>
  - (b) 伝熱面積計画コード
  - (c) 部分負荷特性解析コード
  - (d) 空間特性分布解析コード
  - (e) 流動安定性解析コード

水側の伝熱流動特性に関する基礎実験は、超臨界圧試験ボイラに付設された熱伝達実験装置を用いて昭和45年より開始され、ヘリカルコイル伝熱管内の沸騰熱伝達及び二相流の流動損失に関して多くのデータの蓄積がなされてきた。実験結果の一例は図5に示すとおりである。ヘリカルコイル伝熱管内の熱伝達の特徴は、直管の場合に比べて非常に高いクオリティまで良好な沸騰熱伝達が持続し、しかもドライアウトが伝熱管の周方向に漸次拡大していくという過程を経るため、

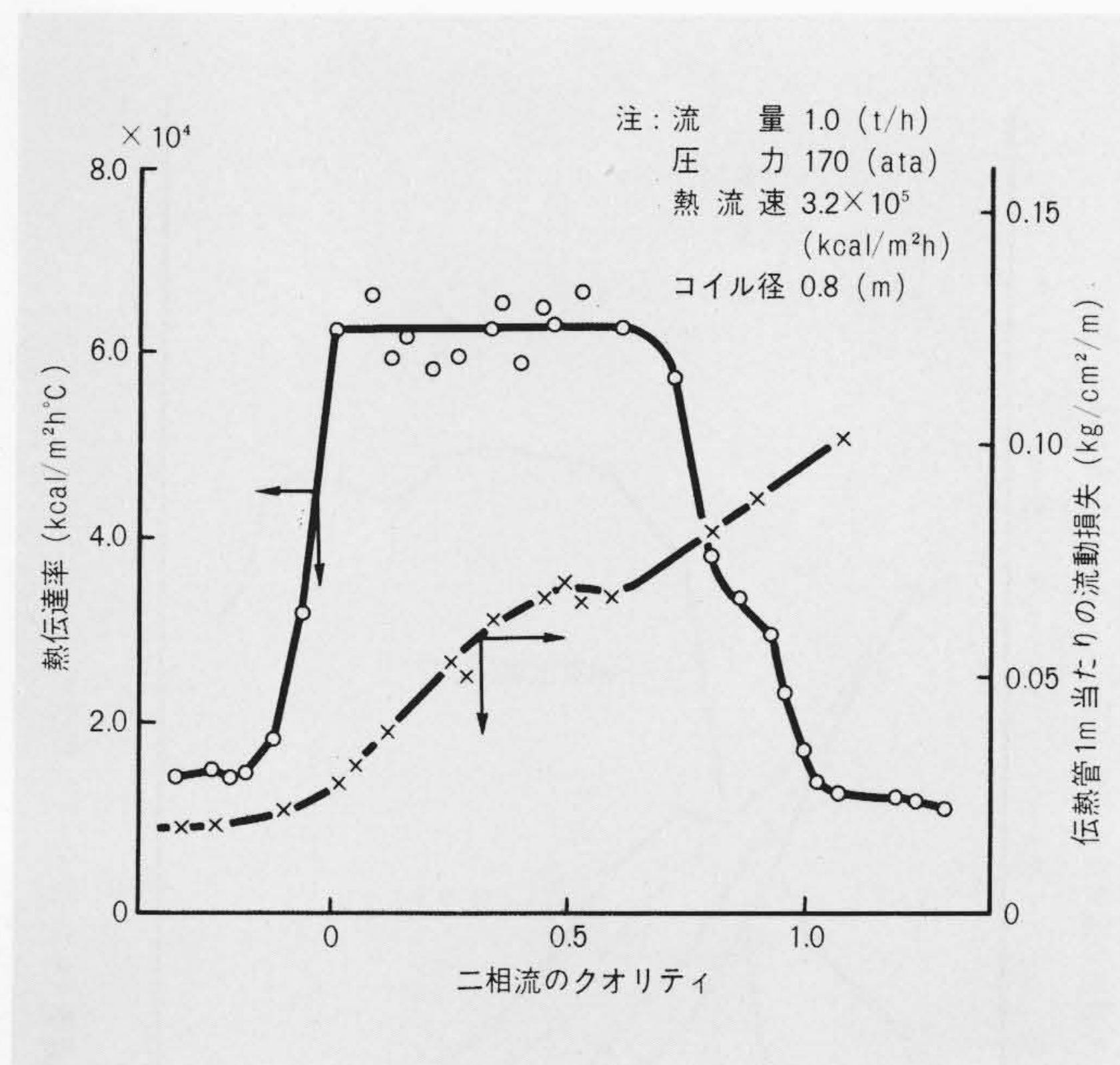


図5 ヘリカルコイル伝熱管内の熱伝達率と流動損失の実測結果 直管の場合に比べて非常に高いクオリティまで良好な熱伝達率が得られている。

Fig. 5 Heat Transfer Coefficient and Pressure Drop of Water in a Helically Coiled Tube

管壁温度の急激な変化を伴わない点にある。また伝熱管のコイル径がドライアウトクオリティ及び流動損失に与える影響についてもコイル径0.8m、1.2m、2.0mの3種類の伝熱管を用いた実験結果の比較より明らかにされている。

基礎実験に引き続いて、実規模の伝熱管を有する0.5MWナトリウム加熱蒸気発生器による実験が昭和47年より行なわれており、前記基礎実験で得られた結果のナトリウム加熱蒸気発生器への適用性の確認とともに、蒸気発生器内の伝熱特性及び動特性の詳細について貴重なデータが得られている。

0.5MW蒸気発生器によるドライアウト実験結果の一例は図6に示すとおりである。同図からドライアウト発生点は、伝熱管周方向で大きく異なり、クオリティ0.1から0.9の範囲で分布しており、高クオリティまで高い熱伝達率が維持されているのが分かる。図7は、ドライアウトによって平均熱伝達率が低下し始めるときのクオリティと熱流束との関係を示すものである。ヘリカルコイルでは上述のようにドライアウト点が周方向に分布しているが、平均熱伝達率に着目した場合には、それが急減するときのクオリティは約70%以上と、直管に比べてかなり高くなっていることが分かる。

実験研究と並行して、蒸気発生器の設計コードと基本性能解析コードの開発が進められた。実験研究の成果は動燃事業団の1MW蒸気発生器の運転経験とも合わせて、解析コードの基礎資料として用いられていることはもちろんである。

一方、50MW蒸気発生器の予備設計を契機として、スケールアップの問題が検討され、ナトリウム分配器の特性及びナトリウムの混合特性といったナトリウム側の流動に関する模擬試験が開始された。解析コード開発の面では、伝熱管相互の伝熱流動特性の相違を評価する空間特性分布解析コード及び水側の流力振動を評価する流動安定性コードの開発が行なわれている。昭和49年より動燃事業団によって行なわれている50MW蒸気発生器の試験結果から、スケールアップに関する貴重な指針が得られることが期待される。

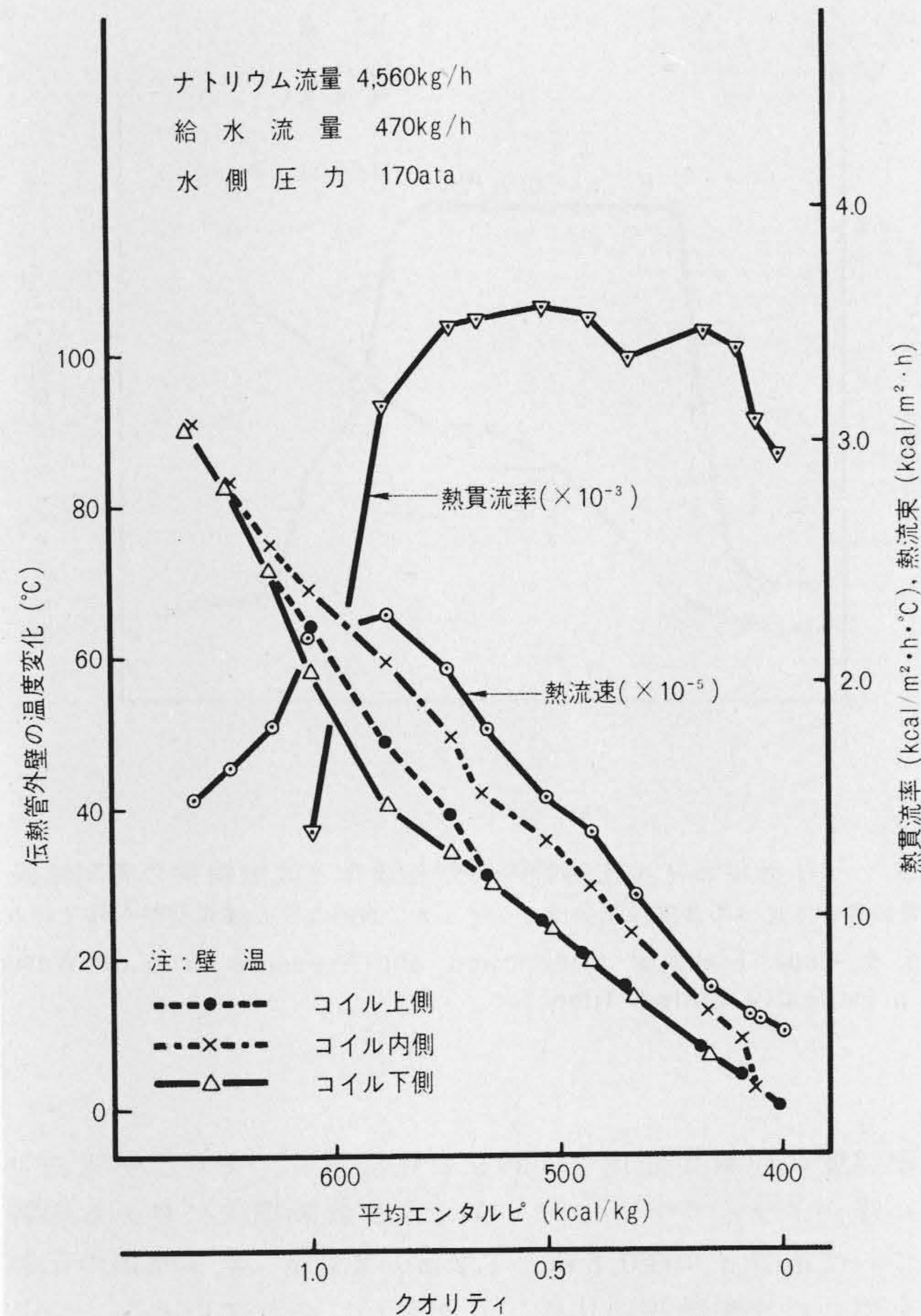


図6 ヘリカルコイル伝熱管のドライアウト実験結果 ドライアウト発生点は伝熱管周方向で大きく異なり、クオリティ0.1から0.9の範囲で分布しており、高クオリティまで高い熱伝達率が得られている。

Fig. 6 An Example of Dryout Data in a Helically Coiled Tube

#### 4 動特性, 制御

日立製作所は、早くからFBRプラントの動特性, 制御に関する研究を進め、なかでもプラント主要機器である蒸気発生器については、その重要性を認識して動特性に関する各種計算コードの開発を進めてきた。その主なものは次のとおりであり、1 MW及び50 MW蒸気発生器などの設計研究に有効な手段となってきた。

##### (1) 動特性計算コード

- (a) 任意の運転条件におけるナトリウム側, 水側の各種外乱に対する過渡応答計算
- (b) 制御系設計用シミュレーション計算及び周波数応答計算
- (c) ポンプトリップなど各種事故時の過渡特性計算及び熱衝撃計算

##### (2) 液面変動計算コード

- (a) 各種外乱及び事故時のナトリウム液面変動計算
- (b) 液面制御系設計用シミュレーション計算

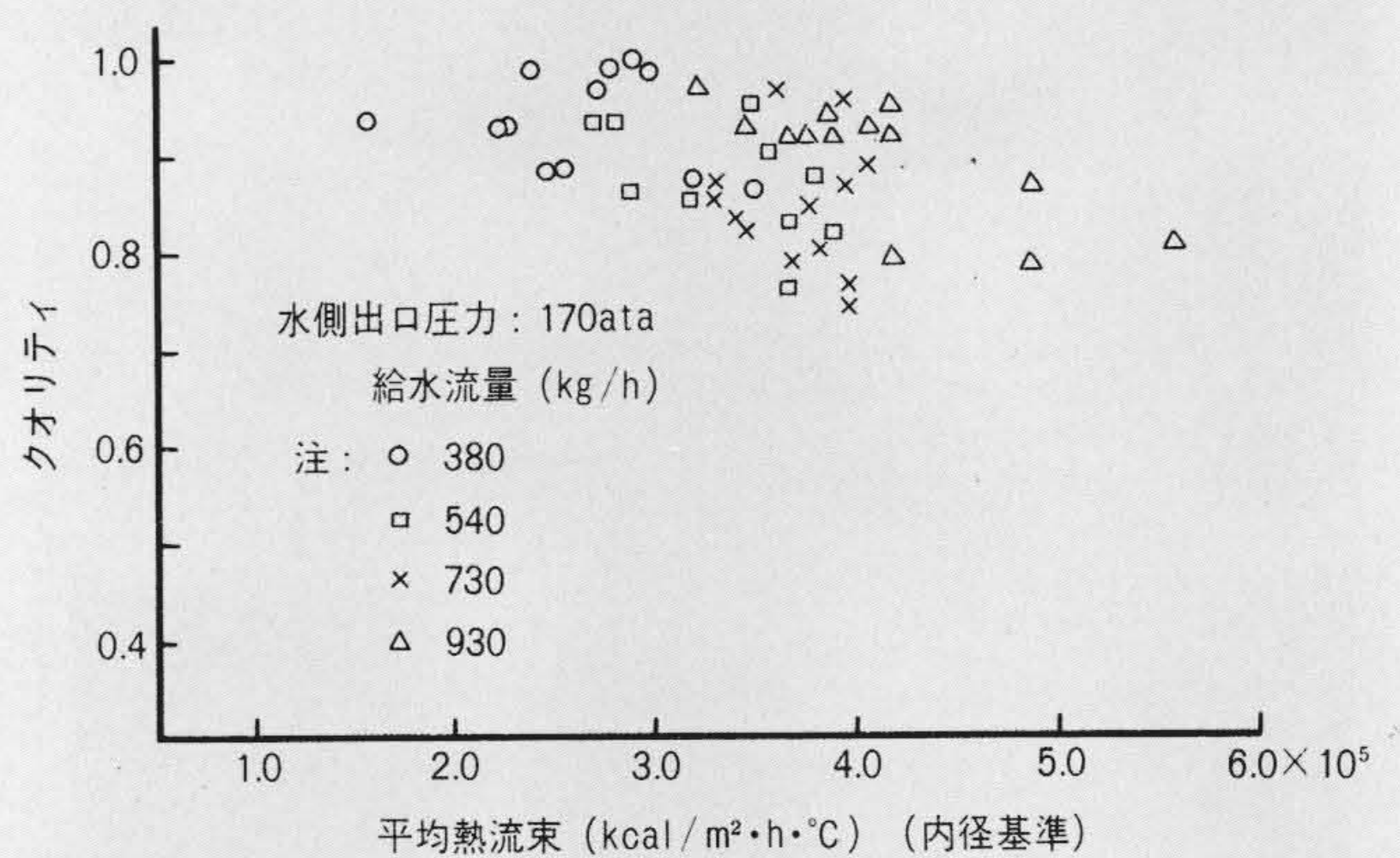


図7 沸騰域において熱伝達率が急減するときの限界クオリティ 0.5 MW蒸気発生器を用いて行なったドライアウト実験結果の一例で、ヘリカルコイルの場合には熱伝達率が低下し始めるクオリティが約70%以上で、直管に比べてかなり高くなっている。

Fig. 7 Critical Steam Quality at Boiling Zone in Helically Coiled Tube

一方、これらの計算コードの開発と並行して、動燃事業団においては、昭和47年より1 MW蒸気発生器の動特性試験が行なわれ、日立製作所においても0.5 MWナトリウム加熱蒸気発生器の動特性実験を行っており、多くの実測データが得られている。これらの実測データは、動的現象の解明に直接役立つことはもちろん、上記計算コードの改良にも大きく貢献してきた。

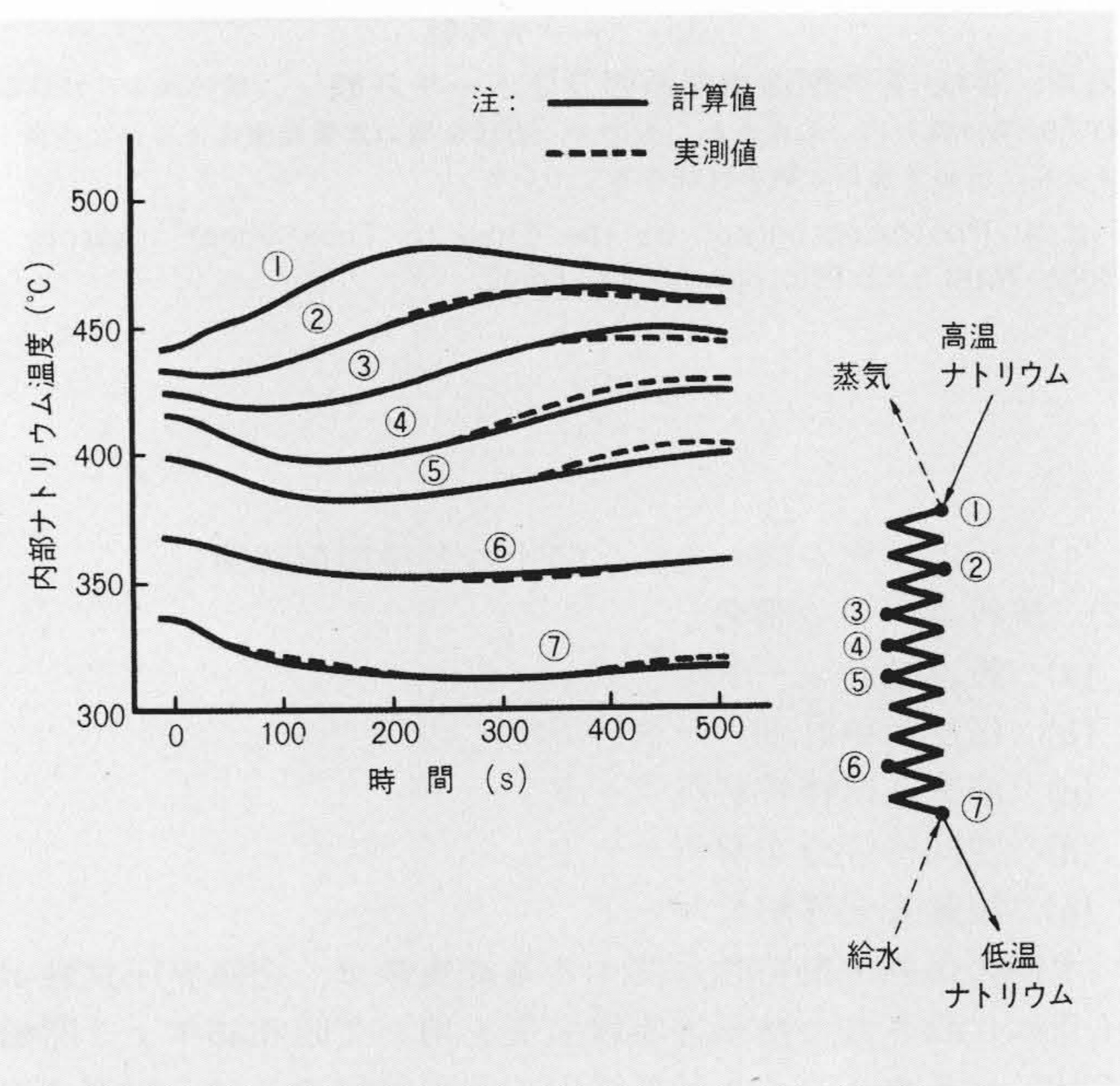


図8 0.5 MW蒸気発生器動特性実験結果と計算値の比較例 ナトリウム流量及びナトリウム入口温度を変化させたときの内部ナトリウム温度の過渡応答につき、計算値と実測値を比較したもので、全範囲にわたって両者は良く一致している。

Fig. 8 Comparison of Calculated Results with an Experimental Dynamic Test Data in the 0.5 MW Steam Generator

動特性計算におけるナトリウム側、伝熱管及び水側の伝熱計算は、次式により行なわれる。

$$C_n M_n \frac{\partial T_n}{\partial t} = C_n W_n \frac{\partial T_n}{\partial Z} - U_n (T_n - T_m) \cdots (1)$$

$$C_m M_m \frac{\partial T_m}{\partial t} = U_n (T_n - T_m) - Q_w \cdots (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (M_w H_w) = Q_w - \frac{\partial}{\partial Z} (W_w H_w) \cdots (3)$$

ここに、 $C$ ：比熱 (kcal/kg·°C) 添字、 $m$ ：伝熱管  
 $H$ ：エンタルピ (kcal/kg)  $n$ ：ナトリウム  
 $M$ ：重量 (kg)  $w$ ：水  
 $Q$ ：伝熱量 (kcal)  
 $T$ ：温度 (°C)  
 $U$ ：熱貫流率 (kcal/°C·s)  
 $W$ ：流量 (kg/s)  
 $Z$ ：流れ方向座標 (m)  
 $t$ ：時間 (s)

上式を基本とした解析コードによる計算値と実測値との比較を行ない、動特性計算手法の改善及び水側熱達率などの計算精度の向上を図ることにより、図8に示す一例のように計算コードによるシミュレーション結果と実測結果とは、良い一致を見るまでに改良整備されてきた。

このようにして改良を積み重ね精度を確認した計算コードを使用し、蒸気発生器の制御及び安全性の研究に有効なデータを得ているが、図9はその一例として蒸気発生器の周波数応答計算例を示すものである。蒸気発生器は制御量が相互に干渉し合い複雑な特性をもつが、このような周波数応答の形で整理することによって、適切な制御系の設計が可能となる。

今後は、蒸気発生器の大形化に際し、問題になる安定性及び制御に関する研究開発を重点的に進めるが、動燃事業団における50MW蒸気発生器の運転実績及び試験データは、これらの面においても研究開発を大きく躍進させるものとして期待されている。更に、高速増殖原型炉「もんじゅ」用蒸気発生器に対しては、これまでの経験を生かして監視機能を充実

させた信頼性の高い制御方式を提案して行く計画である。

## 5 安全性

ナトリウム加熱蒸気発生器の安全設計上最大の問題点は、ナトリウム-水反応事故である。ナトリウム-水反応事故は水漏洩の程度に応じて、小規模漏洩事故と大規模漏洩事故に大別される。日立製作所は、これらの試験研究に早くから着手し、前者に関しては、材料損耗（ウェステイジ）機構の大綱を明らかにし、伝熱管配列の安全設計の指針を得た。後者に関しては、反応に起因する二次系内の圧力挙動を解析するコードを開発し、1MW及び50MW蒸気発生器などの設計の有効な手段としてきた。

### (1) 小規模漏洩ナトリウム-水反応

材料損耗の機構を解明するうえに二つの研究方向がある。その第一は、漏洩水がナトリウム中でどのような挙動をするかを、熱水力学的に明確にする方向であり、その第二は、材料損耗現象を金属学的な面から明確にする方向である。

熱水力学的問題に関しては「ナトリウム中に漏洩した水は火炎状のジェットを形成し、ジェットとナトリウムの境界面が反応熱で高温化し、この高温層と金属材料との接触面に材料損耗が発生する」と言うモデルを、ほぼ実験的に実証することができた。

次の問題として、材料損耗が発生する条件を知る必要がある。このためには、ナトリウム中形成されるジェットの形状が周囲条件でどのように変わるかを記述する式が必要である。このため、水中に高温高圧水を噴出する実験を行ない、水-水系でのジェット形状式を実験的に求め、これをナトリウム-水系に拡張する方法を検討した。この結果、得られたジェット長さに関してまとめた式を示すと次のとおりである。(4)式は水-水系、(5)式がナトリウム-水系に対する実験式である。

$$l/D = 5.56 \Delta P^{0.44} \Delta T s^{-0.28} \text{ (水-水系)} \cdots (4)$$

$$l/D = 10.45 \Delta P^{0.44} \Delta T s^{-0.28} \text{ (ナトリウム-水系)} \cdots (5)$$

ここに、 $l$ ：ジェット長さ (mm)

$D$ ：漏洩孔径 (mm)

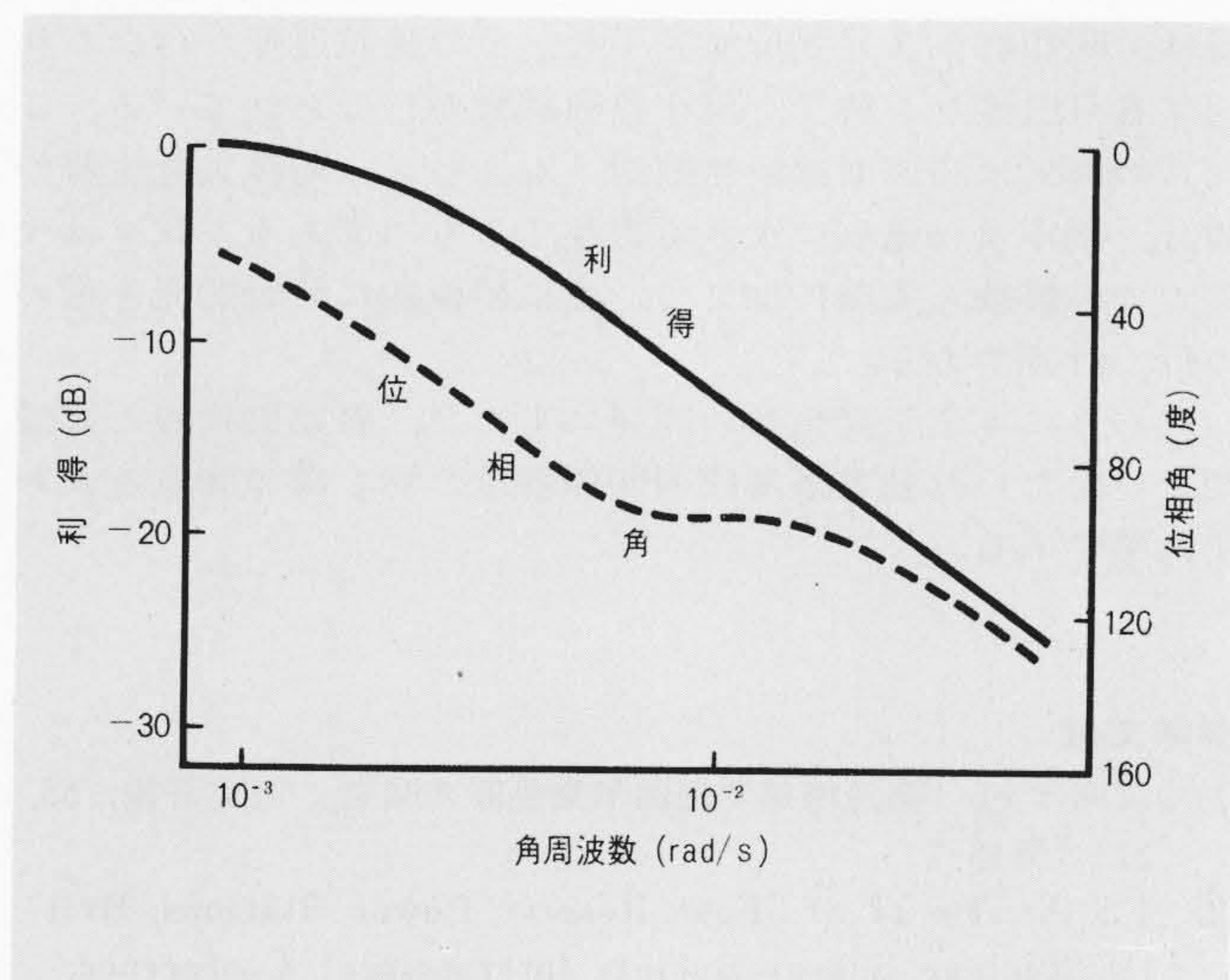


図9 ナトリウム流量外乱に対する蒸気出口温度の周波数応答 1MW蒸気発生器を対象として計算したもので、制御系の設計に有効である。

Fig. 9 Frequency Response of Steam Outlet Temperature to Disturbance of Sodium Flow Rate

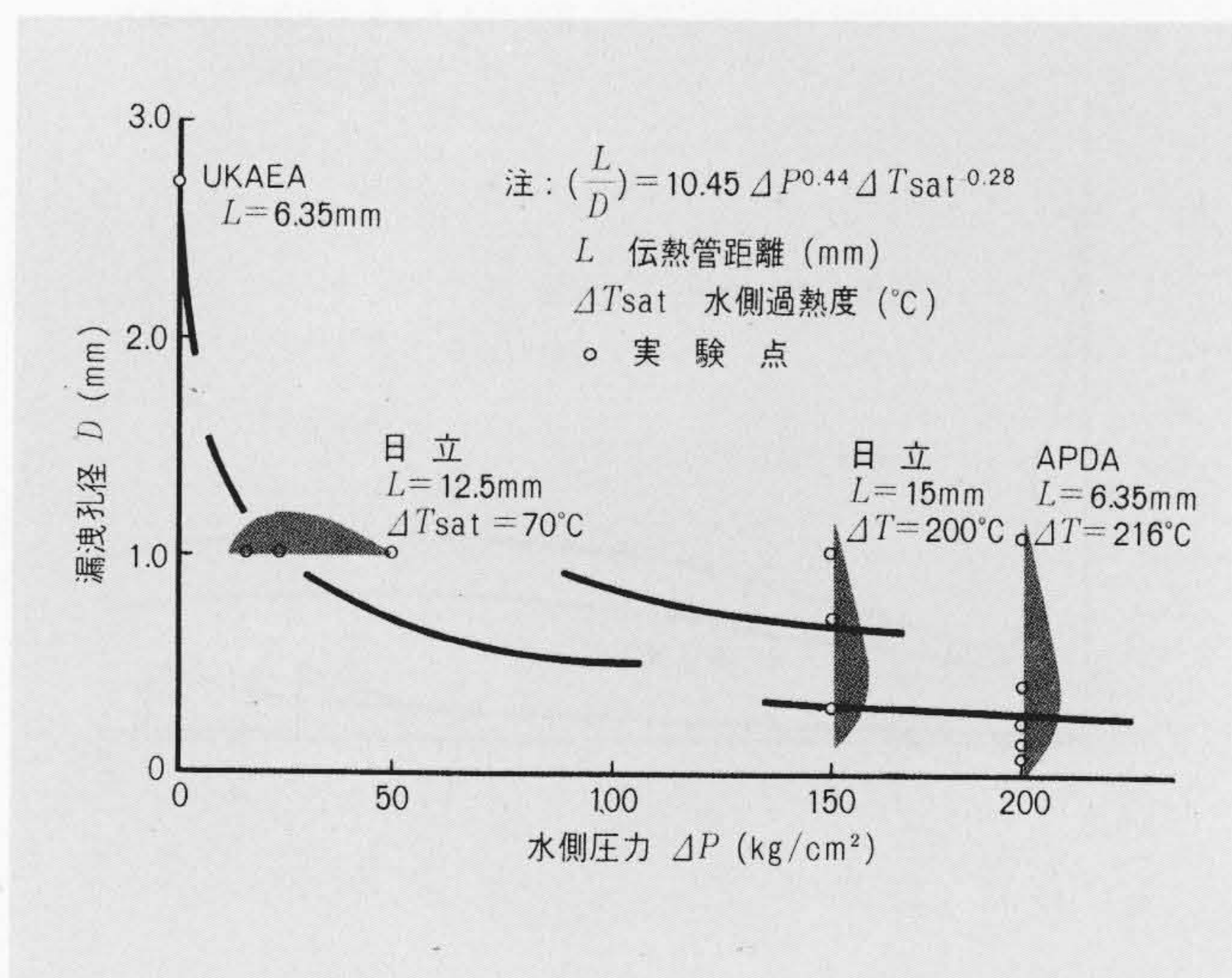


図10 材料損耗データと材料損耗最大条件式の関係 材料損耗最大の条件式と日立製作所、APDA及びUKAEAの材料損耗データを比較すると、両者は比較的良好な一致を示している。

Fig. 10 Relationship between Wastage Data and Maximum Wastage Prediction

$$\Delta P = \text{漏洩水圧力 (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\Delta Ts = \text{漏洩水過飽和温度 (}^\circ\text{C)}$$

一度この式が求まれば、材料損耗の最も厳しくなる条件の記述が可能である。図10は、本式で記述される材料損耗最大の条件を実線で示したもので、日立製作所、APDA (Atomic Power Development Associates) 及びUKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority) の材料損耗のデータと比較されているが、図中の斜線部頂点は材料損耗の最大を示すもので、両者は比較的良い一致を示している。蒸気発生器の設計を行なう場合、熱設計式とこの条件式を組み合わせで最適化を図り、材料損耗を極力少なくすることが可能である。

金属学的問題に関しては、明確な結論が出るに至っていないが、現在のところ次の作用がなんらかの形で関係していると考えられる。第一は、ジェット内の高速度粒子（粒子速度約300m/s）によるエロージョン、第二は、腐食性反応生成物（例えば、NaOH）による腐食、第三は、反応熱による高温（理論最高温度1,300 $^\circ\text{C}$ 、実測最高温度900 $^\circ\text{C}$ ）である。これら各は、単独では実測された材料損耗の速度を説明できないので、相乗作用によるものと考えられている。金属表面の顕微鏡的考察などから我々は、中でもエロージョンが最も支配的であると考えている。今後、実験的な裏づけをして行く予定である。

## (2) 大規模漏洩ナトリウム-水反応

大規模漏洩時の系内の圧力挙動を解析するため、以下に述べる二つのコードを開発した。

第一のコードは、蒸気発生器内の圧力挙動を解析するSO-REL (Sodium Water Reaction Pressure Relief System Analysis) である。このコードでは、漏洩水とナトリウムとの反応の初期には、発生した水素は球状に成長し、球状気泡が容器壁に到着した後は、容器内をピストン状に流動すると仮定する。蒸気発生器内の複雑な構造の効果を取り入れるため多重流路計算が可能である。また圧力解放系内の流

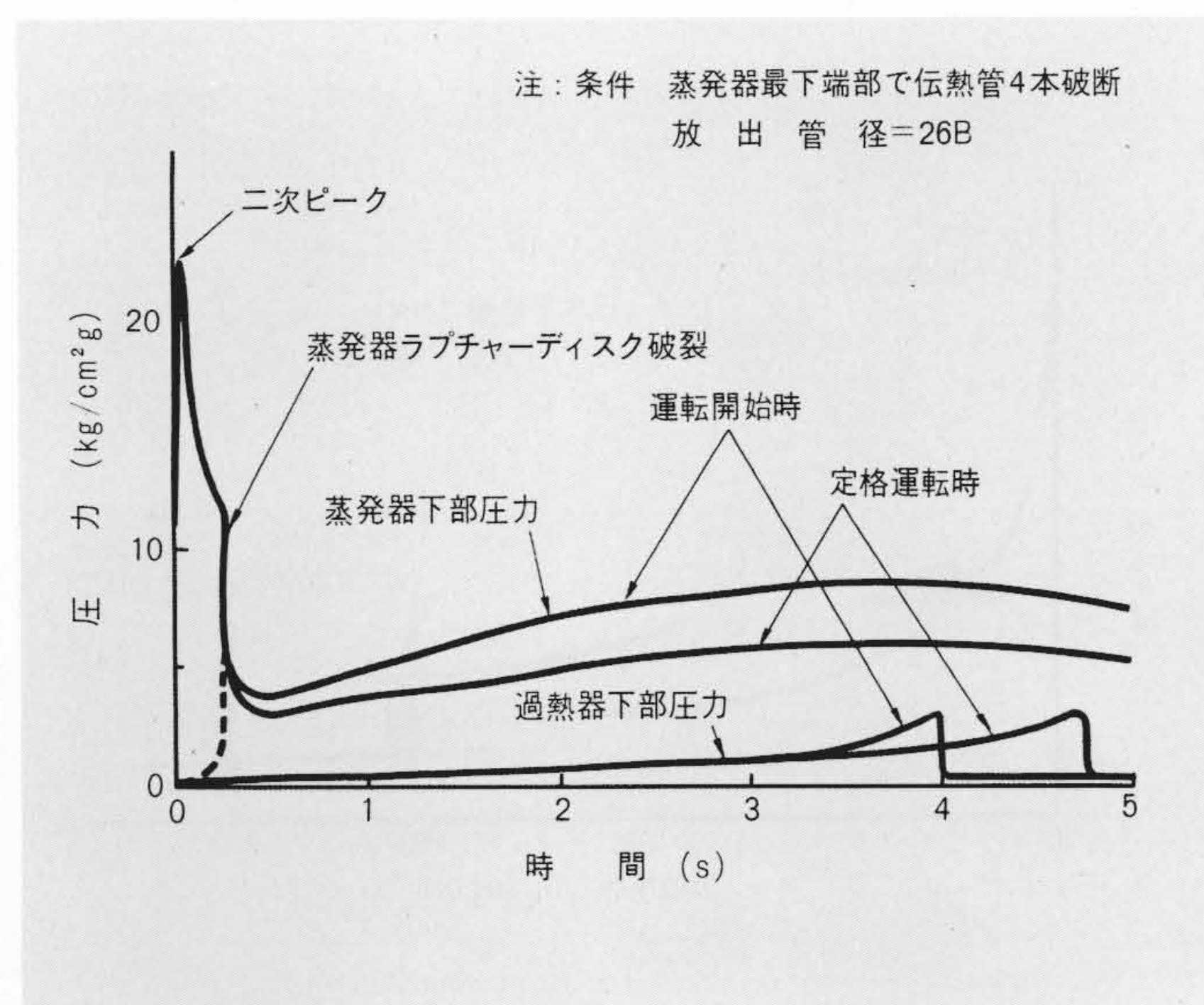


図11 大規模漏洩ナトリウム-水反応時の蒸気発生器内圧力挙動  
高速増殖炉原型炉「もんじゅ」を対象として圧力解放系の挙動を解析したもの  
の一例である。

Fig. 11 Pressure Behavior in Steam Generator at Large Leak Sodium-Water Reaction

動では、ナトリウムと水素の2相流計算を行なう。この計算コードの精度に関しては、西ドイツInter Atom社の大規模漏洩実験データとの比較を行ない、良く一致することを確認している。このコードによる高速増殖炉原型炉「もんじゅ」を対象とした解放系のパラメータサーベイの結果は、図11に示すとおりである。

第二のコードは、圧力波の二次系内の伝搬を解析する“P PP” (Pressure Propagation in Pipe) である。水漏洩の結果、蒸気発生器内に発生した過渡圧力は、二次系配管内を伝搬する。この場合、二次系は複雑な閉ループを構成し、自由液面を有する空間を含み、且つ冷却材のナトリウムは圧力に応じて流動するため、蒸気発生器に源を有する圧力波が二次系内に局所的な圧力上昇を発生する可能性があるため、二次系内の局所的な圧力挙動を定量的に知る必要がある。このコードは、二つの部分に分かれている。(1)コード“PPP”は、圧力外乱に基づく圧力波の伝搬現象と多重反射、重畳による共鳴現象、更に圧力変化に基づいて生ずる過渡流動現象に、すべて包含する厳密な解析を行なう。(2)コード“PPP-NC”は、過渡流動のみ計算する。波動現象は、事故発生後初期の段階で消滅し、後は圧力変動による過渡流動現象が支配的となる。従って、準定常流を仮定した長時間の計算を対象とした解析を行なう。このように、事故評価の対象に応じて、この二つのコードの使い分けが可能である。

これらのコードは、今後も実験結果との比較を積み重ね、改良して行く方針である。

## 6 結 言

以上、高速増殖炉の蒸気発生器につき、社内の開発内容の中で代表的なものとして、材料、伝熱・流動、動特性及び安全について進めている研究開発内容の一部について紹介した。

今後、社内での研究開発によるデータ及び動燃事業団により行なわれている蒸気発生器試験、材料試験、ナトリウム-水反応試験などのデータと対比し、更にいっそう充実した内容とする方針である。

なお、昭和46年動燃事業団に納入した1MW蒸気発生器は各種試験を継続中で、それと並行して性能評価が行なわれている。また、続いて動燃事業団より受注した50MW蒸気発生器は、昭和49年3月据付を完了し、その後試運転が行なわれ同年6月引渡しを終了、現在各種試験が行なわれている。これらの成果は高速増殖炉原型炉「もんじゅ」用蒸気発生器の設計、製作及び運転に大きく寄与するものである。我々は今日までの経験と実績に加えて、更に積極的に研究開発を進めて行く計画である。

終わりに本蒸気発生器の開発に当たり、終始御指導と御援助をいただいた動燃事業団の関係各位に対し深く謝意を表わす次第である。

## 参考文献

- (1) 河原ほか、「高速増殖炉用蒸気発生器の開発」、日立評論, 55, 213 (昭48-3)
- (2) J.S. Armijo et al: Fast Reactor Power Stations, British Nuclear Energy Society International Conference, Specialist Session 1, 35-49, Mar. (1974)
- (3) H. Ogasawara et al: Paper SM-130/3 in Proceedings of a Symposium on Sodium-Cooled Fast Reactor Engineering, 489-504, Monaco, Mar. (1970)