

# 燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験解析

(研究報告書)

2000年10月

核燃料サイクル開発機構  
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan.

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2000

# 燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験解析

## (研究報告書)

永田 武光\*、大島 宏之\*

### 要 旨

燃料集合体局所事故の起因事象の一つとして局所流路閉塞事象が知られている。集合体内に何らかの異物が流入し冷却材流路に閉塞領域が形成される場合の事象評価には、様々な閉塞条件及び流路閉塞のあらゆる形成位置に対して、同事象を高い精度でかつ安全評価上保守側に評価することが可能な、汎用性のある解析コードが要求される。

本研究では、燃料集合体流路閉塞事象の熱流動現象に関する評価ツールの一つであるASFRE-IVコードの適用性と課題を明らかにすることを目的に、要素技術開発部原子炉工学グループにより実施された燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験の試験データを用いた検証解析を実施した。解析の結果、ASFRE-IVコードは全般的に冷却材温度分布を良好に再現するとともに、閉塞サブチャンネルにおける冷却材ピーク温度を保守側に評価することを確認した。

---

\*大洗工学センター システム技術開発部 熱流体技術開発グループ

## **Thermal-hydraulic of Partially Blocked Fuel Subassembly with Porous Media**

### **Abstract**

The analysis code for investigations of local subassembly phenomena, which has been recognized as an issue of local subassembly accidents, has been required and developed at JNC. It is desirable for the analysis code to be applicable to various blockage conditions and random position of the blockage formation and to evaluate conservatively on the safety assessment with high accuracy.

In this study, for the purpose of verifying the application and issues of the subchannel analysis code ASFRE-IV which evaluates thermal hydraulic phenomena in the porous blockage regions, the ASFRE-IV validation analysis was carried out on the basis of the data of an experiment investigation on a local porous blockage in a fuel subassembly performed by Reactor Engineering Group, O-arai Engineering Center, JNC. Calculational results indicated that ASFRE-IV could reproduce the coolant temperature profile in a fuel subassembly and the peak temperature in the local subchannel conservatively.

---

\*Thermal Hydraulic Research Group, O-arai System Engineering Technology Division

## 目次

1. 緒言	1
2. 周辺流路閉塞試験解析	3
2.1 試験概要	3
2.2 解析条件	3
2.3 解析結果	5
3. コード改良と比較解析	8
3.1 閉塞部条件の再確認	8
3.2 解析条件の見直しとコード改良	8
3.3 解析結果	10
4. まとめ	11
5. 謝辞	12
参考文献	13
付録1	67
付録2	74

表リスト

表 2-1	試験体形状データ	14
表 2-2	閉塞部条件	14
表 2-3	境界条件	14
表 2-4	軸方向メッシュ分割	15
表 2-5	解析ケース(改良前)	15
表 3-1	接合部横方向長さによる閉塞サブチャンネルの分類	16
表 3-2	解析ケース(改良後)	16

図リスト

図 2-1	試験体構造図及び温度測定断面位置	17
図 2-2	試験体径方向断面内閉塞物設置場所	18
図 2-3	試験体内閉塞物設置状況	18
図 2-4	軸方向メッシュ分割図	19
図 2-5	サブチャンネル分割図	19
図 2-6	集合体断面温度計測位置	20
図 2-7	軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル, I, J)	21
図 2-8	軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル, K, H)	22
図 2-9	流速場及び温度場出力の集合体軸方向断面	23
図 2-10	冷却材流速場及び温度場 (断面 1)	24
図 2-11	冷却材流速場及び温度場 (断面 2)	25
図 2-12	冷却材流速場及び温度場 (断面 3)	26
図 2-13	閉塞部後方領域の冷却材速度場の概略図 (その 1)	27
図 2-14	閉塞部後方領域の冷却材速度場の概略図 (その 2)	27
図 3-1	閉塞ブロック接合位置	28
図 3-2	燃料ピンー閉塞物の接合部	29
図 3-3	ラッパ管壁ー閉塞物の接合部	29
図 3-4	閉塞物ー閉塞物の接合部	30
図 3-5	軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル, I, J)	31
図 3-6	軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル, K, H)	32
図 3-7	冷却材流速場及び温度場 (断面 1)	33
図 3-8	冷却材流速場及び温度場 (断面 2)	34
図 3-9	冷却材流速場及び温度場 (断面 3)	35

図 3-10 軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル. D,C)	36
図 3-11 軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル. N,A)	37
図 3-12 軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル. B,E)	38
図 3-13 軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル. F,G)	39
図 3-14 軸方向冷却材温度分布(サブチャンネル. L,M)	40
図 3-15 径方向断面冷却材温度出力 Line	41
図 3-16 径方向冷却材温度分布(LineA-BA 断面)	42
図 3-17 径方向冷却材温度分布(LineA-BB 断面)	43
図 3-18 径方向冷却材温度分布(LineA-CB 断面)	44
図 3-19 径方向冷却材温度分布(LineA-CC 断面)	45
図 3-20 径方向冷却材温度分布(LineA-CD 断面)	46
図 3-21 径方向冷却材温度分布(LineA-DB 断面)	47
図 3-22 径方向冷却材温度分布(LineA-DC 断面)	48
図 3-23 径方向冷却材温度分布(LineA-DD 断面)	49
図 3-24 径方向冷却材温度分布(LineA-DF 断面)	50
図 3-25 径方向冷却材温度分布(Line A-DH 断面)	51
図 3-26 径方向冷却材温度分布(Line A-DI 断面)	52
図 3-27 径方向冷却材温度分布(Line A-DJ 断面)	53
図 3-28 径方向冷却材温度分布(Line A-EA 断面)	54
図 3-29 径方向冷却材温度分布(Line B-BA 断面)	55
図 3-30 径方向冷却材温度分布(Line B-BB 断面)	56
図 3-31 径方向冷却材温度分布(Line B-CC 断面)	57
図 3-32 径方向冷却材温度分布(Line B-CD 断面)	58
図 3-33 径方向冷却材温度分布(Line B-DB 断面)	59
図 3-34 径方向冷却材温度分布(Line B-DC 断面)	60
図 3-35 径方向冷却材温度分布(Line B-DD 断面)	61
図 3-36 径方向冷却材温度分布(Line B-DF 断面)	62
図 3-37 径方向冷却材温度分布(Line B-DH 断面)	63
図 3-38 径方向冷却材温度分布(Line B-DI 断面)	64
図 3-39 径方向冷却材温度分布(Line B-DJ 断面)	65
図 3-40 径方向冷却材温度分布(Line B-EA 断面)	66

## 1. 緒言

高速炉の燃料集合体は、高エネルギー側の核分裂効率化のため稠密な燃料格子構造をとり、炉心の出力密度が軽水炉と比較し数倍となっているため、冷却材流路に何らかの異物が流入し流路閉塞が形成されれば、燃料ピン冷却阻害により燃料被覆管が破損し、場合によっては損傷領域が拡大していく状況が想定される。このため、燃料集合体内流路閉塞形成時における熱流動現象の把握は、高速炉における安全評価上重要なポイントとなる。

従って、燃料集合体内の局所流路閉塞が発生した場合における、閉塞領域及びその周辺領域における冷却材の熱流動場、さらに燃料ピン、ラップ管といった高速炉構造材の健全性についての評価方法を構築する必要がある。炉心の一部に流路閉塞を引き起こす機構は様々で、その閉塞形態は炉心入口から冷却材の流れによって侵入する何らかの異物の流路内堆積と、炉心内の燃料もしくは構造物の破損によるものと大別される。これら局所流路閉塞形態に関しては、微粒子により構成されたポラス状閉塞が適当であるとの見解が過去の局所流路閉塞研究でなされている<sup>1)</sup>。

こうした背景の下、熱流体技術開発グループでは、ポラス状流路閉塞事象に関する熱流動現象に対して燃料集合体熱流動解析コード ASFRE をベースとした評価ツールの作成を実施してきた。前回までのポラス状流路閉塞事象研究においては、ASFRE コードにポラス状閉塞モデルが追加され、モデル内に組み込まれた閉塞モデルパラメータにより様々な閉塞形態の模擬が可能となった<sup>2)</sup>。さらに閉塞領域内伝熱流動相関式として高精度の理論もしくは経験式の組み込みにより高度化が図られ、モデルの機能確認のためフランスで行われたポラス状中心閉塞ナトリウム炉外試験 Scalet-2 (19 本ピンバンドル体系) の実験結果を用いた ASFRE-III コードの検証解析により実験結果 (閉塞部内冷却材ピーク温度、ピーク温度位置) を良好に再現できることが確認された<sup>2)</sup>。他方、この確認解析により推奨された閉塞モデルパラメータが、ASFRE コードにてポラス状流路閉塞時における冷却材熱流動現象の解析を実施する際に、使用すべき閉塞モデルパラメータの候補として挙げられたことになる。

燃料集合体ポラス状流路閉塞時におけるバンドル内熱流動解析を実施する上で、様々な閉塞部条件で流路閉塞が集合体内のいかなる形成位置に対しても、冷却材の熱流動場を高精度でかつ安全評価上保守側に評価をする汎用性ある閉塞モデルパラメータが

要求される。

本研究の解析では、中心流路閉塞試験解析から推奨された閉塞モデルパラメータの周辺流路閉塞に対する適用性の確認を目的として、ナトリウム安全工学試験部原子炉工学グループにより実施された燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験<sup>[3]</sup>の結果を用いたASFRE-IVコードによる検証解析を実施した。

第2章では、燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験の結果を用いたASFRE-IVコードによる試験解析を実施し、試験結果と解析結果との比較を行った。第3章では、2章で行った試験解析の予測精度の向上を目的に試験における閉塞部条件の再調査を実施し、調査結果を閉塞モデルパラメータに反映することにより改めて試験解析を実施した。この際、局所的に閉塞モデルパラメータの設定が必要となったため、従来のポーラス状閉塞モデルの改良を行った。コード改良にあたり新たに追加した変数とサブルーチンREADIN.fの修正箇所の説明、さらに改良後の閉塞モデルによる検証解析に用いた入力データを付録1,2に掲載した。

## 2. 周辺流路閉塞試験解析

ポラス状流路閉塞時における熱流動場の現象の把握及び評価ツールの適用性と課題を明らかにするため、ナトリウム安全工学試験部原子炉工学グループにより実施された燃料集合体ポラス状周辺流路閉塞試験<sup>[3]</sup>の結果を用いた ASFRE-IVコードによる試験解析を実施した。

### 2.1 試験概要

局所閉塞ナトリウム炉外試験は、実証炉の炉心燃料集合体の部分モデルを用いたナトリウムループ中で実施され、試験体は CCTL (Core Component Test Loop) 試験施設を改造して設計されている。図 2-1 に試験体の構造図を示す。

燃料ピンは電気ヒータにより模擬されており、軸方向及び径方向に対して均一な発熱分布となっている。ピン本数は 37 本であり、ピン外径、ピンピッチ、ワイヤスペーサ外径、ワイヤスペーサ巻きピッチは、表 2-1 に示すように実証炉と同じ試験スペックに設定されている。

ポラス状閉塞部は SUS304 の材質による粒子径 0.3 [mm] の等大球粒子から構成され、これらの粒子が空孔率 0.4 の充填構造を形成している。表 2-2 に閉塞部条件を示す。閉塞物の設置場所は試験体のラップ管壁に接した外側 14 サブチャンネルであり、図 2-1、図 2-2 にそれぞれ試験体軸方向断面と試験体径方向断面における閉塞部の設置位置を、図 2-3 に閉塞部の試験体内における設置状況を示した。

試験パラメータとして試験体への流入流量とヒータピン出力を用い、ヒータピンは実証炉 (移行第 3 サイクル BOC (径ブランケット無し) の内側炉心) 最高線出力 420 [W/cm] の 14% から 43% の範囲で出力されている。

また、試験ではワイヤスペーサを伴うロッドバンドルの複雑な流路空間内に、ポラス状の閉塞物を設置することは技術的に困難であるとの理由から、閉塞領域に対してはワイヤスペーサが取り除かれて実施された。

### 2.2 解析条件

比較解析では、ヒータピン出力が最も高い実機最高出力の 43% に相当する試験ケースの試験結果と解析結果との比較を実施した。表 2-3 に解析に使用した境界条件を、以下に



- FVOL : 閉塞領域における空孔率  
 FARA : 閉塞領域における冷却材軸方向透過断面割合  
 FARL : 閉塞領域における冷却材径方向透過断面割合  
 CVEL1 : 閉塞領域圧力損失式に用いられている見かけの流速のファクター  
 CVEL2 : 閉塞領域熱伝達式に用いられている見かけの流速のファクター

解析ではこれらの入力パラメータとして、フランスで行われたポーラス状中心閉塞ナトリウム炉外試験 Scalet-2 (19 本ピンバンドル体系) の試験結果を用いた ASFRE-Ⅲコードの検証解析<sup>[2]</sup>により、試験結果 (閉塞部内冷却材ピーク温度、ピーク温度位置) を良好に再現した閉塞モデルパラメータ (表 2-4) を使用した。燃料集合体ポーラス状流路閉塞時におけるバンドル内熱流動解析を実施する上で、様々な閉塞部条件で流路閉塞のあらゆる形成位置に対しても同現象を高い精度でかつ安全評価上保守側に評価することが可能な、汎用性ある閉塞モデルパラメータが要求される。今回の解析は、過去中心流路閉塞試験解析から推奨された閉塞モデルパラメータの周辺流路閉塞に対する適用性の確認も一つの目的である。

なお、試験では閉塞領域のワイヤスペースが取り除かれて実施されたため、ASFRE-Ⅳコード上で閉塞部のみワイヤを取り除き、今回の流路形状に対応できるように修正されたプログラムを用いた。また、計算時間を短縮するため燃料、構造材の温度計算は省略している。

### 2.3 解析結果

図 2-6 に示した冷却材温度測定位置における冷却材軸方向温度分布の解析結果と試験結果との比較を図 2-7～図 2-8 に示す (ここでは、入り口部温度を冷却材上昇温度の起点としている)。また、ASFRE-Ⅳコードにより求めた冷却材の流速場、温度場を図 2-10～図 2-12 に示す。出力した各集合体軸方向断面を図 2-9 に示した。ここでは、閉塞部及び閉塞部周辺領域の流動場を強調するためサブチャンネル間のギャップ位置で定義されている横方向流速については 10 倍で出力されている。

解析では、各サブチャンネルとも閉塞部内における冷却材温度レベルを試験結果よりも高く評価し、閉塞部後方流域に対しては冷却材温度を低く評価する結果となった。また、閉塞部と後方流域における各サブチャンネルのピーク温度自体は、試験結果よりも

解析結果の方が高く見積もり、冷却材ピーク温度位置については、試験結果において閉塞部後方領域であったが解析結果は閉塞部内となった。

解析結果が閉塞部内の冷却材温度を高く評価した原因としては、閉塞領域では冷却材流量が極めて低いことからサブチャンネル内において冷却材の急峻な温度変化が存在する実際の温度場を、サブチャンネル内の径方向温度分布を一点でマクロに近似している ASFRE-IV コードにより、高精度で評価することに限界があると考えられる。また、試験での閉塞部の模擬性の観点からは、燃料集合体内への閉塞物の設定が技術上困難なため、想定した試験における閉塞部条件を必ずしも満足していないことによる原因も考えられる。仮に、実際の閉塞部内冷却材の透過率が設定した閉塞部条件よりも大きな値であれば閉塞部内を流れる冷却材の流量が多くなり、結果として解析による冷却材の温度評価は低くなり試験結果に近づくことが予想される。

次に、閉塞部後方流域における冷却材温度を低く評価する原因を考える。今回の周辺流路閉塞試験の冷却材温度分布について、各サブチャンネルの冷却材ピーク温度位置が閉塞部後方領域に存在する機構として以下のことが考えられる。一つは、図 2-13 に示すように閉塞部側面を流れる冷却材が、閉塞部後方領域に流れ込むことにより wake を形成し、その中心部における stagnant な領域の冷却材温度がピーク温度として測定されるという考えである。もう一つは図 2-14 に示すように、閉塞部側面を通り閉塞部後方領域に流れ込んだ低温冷却材と閉塞部内から流出した一部の高温冷却材は mixing により冷却されるが、閉塞部側面から流れ込む低温冷却材に冷却されることなくヒータピンから熱を吸収しながら上昇した別の高温冷却材がピーク温度として測定されるという考えである。従って、周辺流路閉塞時における閉塞部周辺の冷却材流動場が冷却材の温度分布に対して支配的な働きかけをすることが推測される。ASFRE-IV コードにより求められた集合体軸方向断面における冷却材の流速場（図 2-10～図 2-12）では、高さ 540～560[mm]の閉塞部後方領域に wake の存在を確認することができるが、ASFRE-IV コードは冷却材の支配方程式である Navier-Stokes 方程式を差分化する際に移流項に対して一次風上差分を採用しているため、後方流域における wake を過小評価することにより、解析による試験結果の再現性を低くしていると考えられる。さらに、ASFRE-IV コードはサブチャンネル内の径方向温度分布を一点でマクロに評価していることから、閉塞部後方流域において急峻な空間変化を伴う実際の流速場及び温度場を追従できないことも原因の一つと思われる。

他方、以上の比較解析により中心流路閉塞時に推奨された閉塞モデルパラメータが周辺流路閉塞時の冷却材ピーク温度を保守側に評価することを確認した。

次章では、閉塞領域内の冷却材温度分布に対する解析予測の精度向上を目的に、試験における閉塞部の模擬性、すなわち閉塞物設置状況、温度計測状況といった試験における閉塞部条件の再調査を実施し、調査結果を閉塞モデルパラメータに反映することにより改めて周辺流路閉塞試験解析を実施することとした。

### 3. コード改良と比較解析

#### 3.1 閉塞部条件の再調査

試験における閉塞部条件の再調査を行った結果、ラップ管壁と閉塞物及び燃料被覆管と閉塞物における接合部が点接触により設置された状況と、さらに全体のポラス状閉塞部自体が2つのブロックに分割して設置された状況を確認した。閉塞部内を流れる冷却材は、閉塞物とラップ管壁の接合部または閉塞部と燃料被覆管の接合部における比較的空隙の大きな流路を流れることが推測され、2つのブロックが点接触する接合部に対しても同様なことが考えられる。図3-1に2つの閉塞ブロックの接合位置を、図3-2～図3-4に閉塞部とラップ管壁の接合部、閉塞部と燃料被覆管の接合部と2つの閉塞ブロックの接合部における概略図を示す。これらの閉塞物設置状況を考慮するため、閉塞部における空孔率に対し空間分布をとらえることで対応することとした。

#### 3.2 解析条件の見直しとコード改良

閉塞部における空孔率の定義は、閉塞がないとした時のC.V（コントロールボリューム）の流路体積に対する閉塞時の空孔体積の割合である。よって、閉塞部とラップ管壁、閉塞部と燃料被覆管、2つの閉塞ブロックの各接合部に対する空隙体積を考慮した空孔率を設定するには、以下の式で表されているように接合部を除いたC.V内の空孔体積に各接合部における空隙体積を加えれば良い。

$$\varepsilon = \frac{\text{閉塞 C.V 内の閉塞物充填部における空孔体積} + \text{閉塞 C.V 内の接合部における空隙体積}}{\text{健全な C.V の流路体積}}$$

$$\cong \frac{\varepsilon_0(V - abl) + abl}{V}$$

$\varepsilon$  : 空隙体積が考慮された空孔率

$\varepsilon_0$  : 閉塞部条件で設定された空孔率 = 0.4

$V$  : 健全な C.V の流路体積

$a$  : 接合部における空隙体積の横方向厚み

- $b$  : 閉塞部の軸方向長さ  
 $l$  : サブチャンネルの横方向空隙長さ

ここで、接合部における空隙体積の横方向厚みをどのように扱うかが問題となるが、試験体検査記録からバンドル内に設置された閉塞部の横方向厚みに対する設計寸法公差が $\pm 0.2$  [mm]であったため、接合部空隙体積の横方向厚み $a$ に対して暫定的に以下のような取り扱いを行った。

$$a \equiv \text{閉塞部径方向厚みの測定誤差} \\ = 0.2 \text{ [mm] (maximum)}$$

各接合部における空隙体積の横方向厚みに対して閉塞部横方向厚みの測定誤差の最大値を採用したこの評価については、各閉塞サブチャンネルの空孔率を過大評価すると思われるが、実際に設置された閉塞部には閉塞部内冷却材温度測定のための熱電対配線経路、さらに閉塞部を設置位置に固定するために設けられた燃料ピン表面からの突起物を収納するための円筒状のスペースといった評価困難な空隙体積が存在していることと、今回の試験で使用された閉塞部を構成する等大球粒子の直径が $0.3$  [mm]であることを考えれば、妥当な仮定であると思われる。

また、接合部の空隙体積を考慮した空孔率を再設定する上で、各閉塞サブチャンネルの横方向空隙長さから表 3-1 に示すように 5 種類の空孔率を再設定する必要が生じる。従って、一つの閉塞ブロックに対して一律の閉塞モデルパラメータを指定する従来の閉塞モデルを改め、閉塞モデルパラメータを C.V 単位で局所的に設定可能なコード改良を実施することにより、上述の各取り扱いに対処することとした（コード改良の詳細については付録 1,2 を参照）。

軸方向、径方向透過率 FARA、FARL の設定については、等大球粒子により構成される粒子層内の流体现象に関する過去の研究から、空孔率の 2 割り増しを取ることが推奨されていることを考慮した。また、閉塞部内伝熱流動相関式に用いられている CVEL1 については、中心流路閉塞試験解析で推奨された閉塞モデルパラメータと同様に、見かけの流速が閉塞領域内流速の 0.1 倍の値を取る条件から再設定し、CVEL2 については見かけの流速を定義通りに用いるため各閉塞サブチャンネルとも 1.0 とした。表 3-2 に、修正後の閉塞モデルパラメータを示す。

### 3.3 解析結果

冷却材軸方向温度分布について、各接合部の空隙体積を考慮した改良後の解析結果と試験結果との比較を図 3-5～図 3-6 に示す。また、ASFRE-IV コードにより求めた冷却材の流速場、温度場を図 3-7～図 3-9 に示す（出力した各集合体軸方向断面を図 2-9 に示した）。

改良後の比較解析では、2 章で示した解析結果よりも閉塞部内における冷却材温度を各サブチャンネルとも低く評価し、より試験結果に近づく結果となった。一方、閉塞部後方流域に対しては、冷却材の温度場を 20[℃]未満低く評価する傾向に変化はみられなく、図 3-7～図 3-9 に示した各集合体軸方向断面の高さ 545～560[mm] における冷却材の流速場及び温度場は改良前と比較し大きな変化は確認されなかった。よって、閉塞部と後方流域における各サブチャンネルのピーク温度自体の解析精度は高まったが、冷却材ピーク温度位置についての予測精度は改善されなかった。閉塞部後方流域における試験結果と解析結果の差については、2 章で述べたようにこの流域における一サブチャンネル内に急峻な空間変化を伴う流速場及び温度場が存在することが予測されるため、サブチャンネル内の径方向温度分布を一点でマクロに評価している ASFRE-IV コードではその再現性に限界があると考えられる。他方、一サブチャンネル内のどの熱電対測定位置で冷却材温度を測定するかによっても解析と試験結果の間に開きが生じるものと考えられる。

また、燃料集合体の周辺部に流路閉塞が形成される場合、閉塞部以外の周辺領域における温度場への影響が予測される。解析によるこの周辺領域の温度場の再現性について確認をするため、図 2-6 に示した各サブチャンネルにおける冷却材軸方向温度分布の試験結果と解析結果の比較を、図 3-10～図 3-14 に示す。また図 3-16～図 3-40 に、図 3-15 の試験体の冷却材温度計測断面での試験結果と解析結果との比較を、各試験体断面冷却材温度測定位置（図 2-1 参照）も併せて示した。但し、この比較図における Line 上以外の計測データ及び解析結果については、Line 上に正射影した位置で出力している。

これらの比較により、閉塞部以外の周辺領域における冷却材温度分布を良好に再現していることを確認した。

## 4. まとめ

燃料集合体内熱流動解析コード ASFRE-IVの適用性と課題を明らかにすることを目的に、ナトリウム安全工学試験部原子炉工学グループにより実施された燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞試験の結果を用いた試験解析を実施した。この解析により、ポーラス状閉塞モデルに対して推奨パラメータを使用した場合、各閉塞サブチャンネルの冷却材ピーク温度を保守側に評価することを確認した。また、閉塞部以外の周辺領域における温度場を良好に再現することを確認した。さらに、閉塞領域における空孔率の空間分布を考慮できるよう ASFRE-IVコードの閉塞モデルを改良することにより、閉塞領域内における冷却材温度分布の予測精度を改善した。

今回、閉塞物に関する試験条件の再調査から閉塞物の設置状況を把握し、各閉塞物の接合部における空隙体積を空孔率に反映した再解析を実施し、この結果閉塞部内の冷却材温度分布の予測精度が向上した。従って、試験で使用したポーラス状閉塞物が想定した閉塞部条件を必ずしも満たしておらず、今後はポーラス状閉塞物の模擬性に関する技術的な課題に対処すべき必要があると考えられる。また、閉塞部内における冷却材温度分布を高精度でかつ保守側に解析予測をするためには、現行のマクロコードである ASFRE-IVでは限界があるため、閉塞サブチャンネルを細かくメッシュ分割した詳細熱流動解析コードを用いることにより、閉塞領域の複雑な流路内における冷却材を直接解析評価する必要もあると思われる。

さらに、閉塞部後方流域にピーク温度が存在するような冷却材温度分布の再現性についても課題が残された。閉塞部後方領域の冷却材温度分布の機構については、閉塞部側面から流れ込む冷却材により形成される wake、もしくは閉塞物から流出した高温冷却材の流れが閉塞部後方領域における冷却材温度場の形成に大きな影響を与えているとの見解は先に述べたとおりである。従って、閉塞後方流域における冷却材温度分布の予測精度を高めるには、この領域における流動場の再現性を高めることが必要不可欠となり、今後 ASFRE-IVコードにてこの熱流動現象を追従するには冷却材の支配方程式である Navier-Stokes 方程式の差分化を行う際に移流項に対し高次の風上差分を採用し、かつ閉塞部後方流域における一サブチャンネル内の径方向メッシュを細分割し現行の一点近似よりも詳細な解析評価をすることが必要となる。また試験に関しては、閉塞部後方流域における一サブチャンネル内の冷却材速度及び温度分布を詳細に測定し、この領域における大きな空間変化を伴うことが予測される冷却材の熱流動場を確認する必要があるものと思われる。

## 5. 謝 辞

本検証解析を行うに当たり、試験データを提供して頂いた要素技術開発部原子炉工学グループの上出英樹副主研、田中正暁副主研、システム技術開発部 FBR サイクル開発グループの小林順副主研、また ASFRE-IV コードの数値計算に際してご協力頂いた株式会社 エヌ・デー・デーの橋本昭彦氏に謝意を表す。また、本研究において熱流体技術開発グループの山口グループリーダーはじめ村松主研、堺副主研、さらに原子炉工学グループの方々には研究会等とおして数多くのご助言を頂いた。これに感謝を示す。

参考文献

- [1] G. L. Fiorini, J. Rion and R. Vidil, "The ABACUS Program: Experimental Study of Phenomenology Involving Subassembly Blockage: Computer Codes," Proc. Of the LMFBR Safety Topical Mtg., Lyon, vol. IV, p239, July 1982.
- [2] 大島宏之、「サブチャンネル解析コード ASFRE-Ⅲの整備・改良 — ポーラス状閉塞モデルの高度化 —」、PNC TN9410 96-128、1996年4月
- [3] 小林順、磯崎正、田中正暁、西村元彦、上出英樹、「燃料集合体内ポーラス状閉塞における温度場の特性 — 37本ピンバンドル体系ナトリウム試験 —」、JNC TN9400 2000-025、1999年11月

表 2-1 試験体形状データ

燃料ピン本数	37
ピン直径 [mm]	8.5
ピンピッチ [mm]	9.65
発熱分布	Flat
ワイヤスペーサ外径 [mm]	1.1
ワイヤスペーサ巻きピッチ[mm]	200
ラッパ管内対面間距離 [mm]	60.94

表 2-2 閉塞部条件

閉塞物材質	sus304
閉塞物熱伝導率 [W/mk]	25
閉塞物粒子径 [mm]	0.3
閉塞部空孔率	0.4
閉塞部厚さ [mm]	35

表 2-3 境界条件

試験体入口温度 [°C]	試験体流入流量 [kg/sec]	ヒートピン線出力 [W/cm]	集合体出力 [kW]
308.5	6.34	176.9	426.5

表 2- 4 軸方向メッシュ分割

軸方向 ブロック 番号	軸方向 ブロック 長[mm]	メッシュ 番号	メッシ ュ数	メッシュ 長[mm]	領域範囲[mm]		備考
					下端	上端	
1	200.00	1~24	24	8.33	0.00	200.00	下部非発熱部
2	250.00	25~54	30	8.33	200.00	450.00	発熱部 メッシュ番号 71~84：閉塞部
3	22.50	55~58	4	5.625	450.00	472.50	
4	15.00	59~62	4	3.75	472.50	487.50	
5	20.00	63~70	8	2.50	487.50	507.50	
6	35.00	71~84	14	2.50	507.50	542.50	
7	20.00	85~92	8	2.50	542.50	562.50	
8	15.00	93~96	4	3.75	562.50	577.50	
9	22.50	97~100	4	5.625	577.50	600.00	
10	250.00	101~130	30	8.33	600.00	850.00	
11	400.00	131~178	48	8.33	850.00	1250.00	上部非発熱部

表 2-5 解析ケース (改良前)

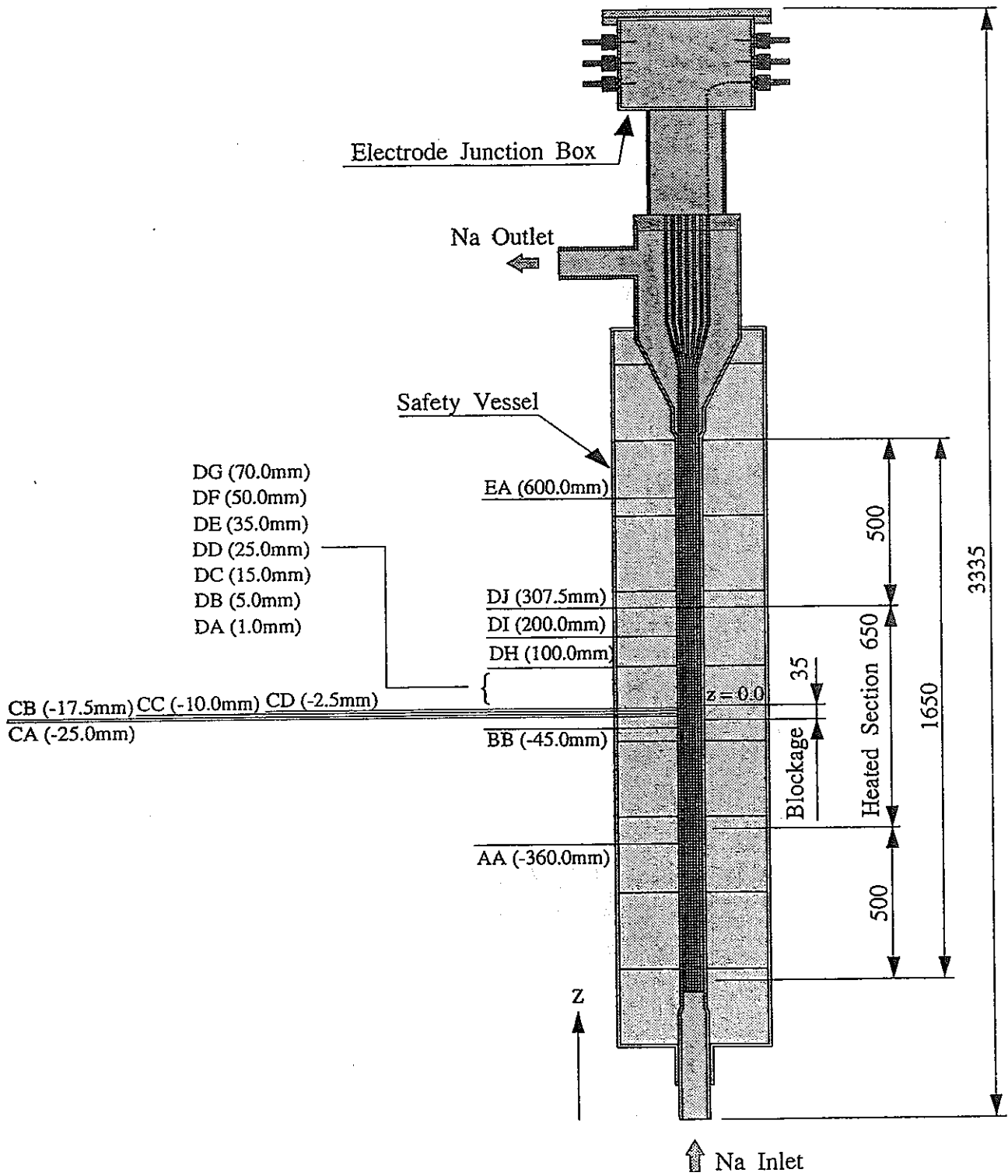
設定位置	FVOL	FARA	FARL	CVEL1	CVEL2
閉塞サブチャンネル	0.4	0.6	0.1	0.29	1.0

表 3-1 空孔率再設定時のサブチャンネル分類

設定位置	横方向空隙長さ $l$ [mm]	空孔率 FVOL	横方向空隙長さ $l$ の内訳
サブチャンネル 1,5 (corner subchannel)	7.6	0.52	・ 閉塞部とラッパ管壁の接合部
サブチャンネル 2,3,4 (edge subchannel)	24.2	0.519	・ 閉塞部とラッパ管壁、閉塞部と燃料被覆管、2つのブロックの各接合部
サブチャンネル 6,14 (edge subchannel)	25.0	0.523	・ 閉塞部とラッパ管壁、閉塞部と燃料被覆管、2つのブロックの各接合部
サブチャンネル 8,10,12 (inner subchannel)	15.4	0.55	・ 閉塞部と燃料被覆管、2つのブロックの各接合部
サブチャンネル 7,9,11,13 (inner subchannel)	13.4	0.53	・ 閉塞部と燃料被覆管の接合部

表 3-2 解析ケース (改良後)

設定位置	FVOL	FARA	FARL	CVEL1	CVEL2
サブチャンネル 1,5 (corner subchannel)	0.52	0.624	0.624	0.192	1.0
サブチャンネル 2,3,4 (edge subchannel)	0.519	0.623	0.623	0.193	1.0
サブチャンネル 6,14 (edge subchannel)	0.523	0.628	0.628	0.191	1.0
サブチャンネル 8,10,12 (inner subchannel)	0.55	0.66	0.66	0.182	1.0
サブチャンネル 7,9,11,13 (inner subchannel)	0.53	0.636	0.636	0.189	1.0



Test Section

図 2-1 試験体構造図及び温度測定断面位置 (Ref. 3)

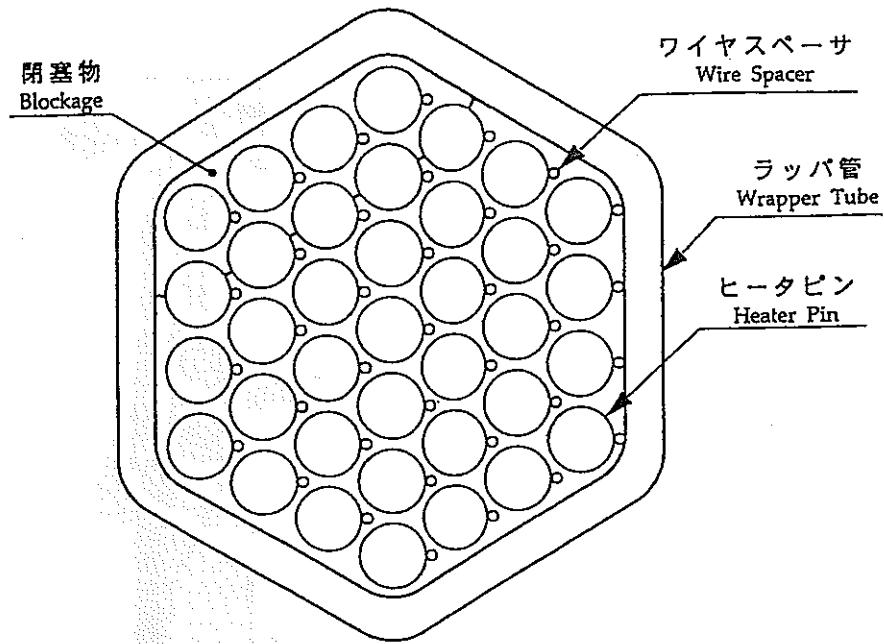


図 2-2 試験体径方向断面内閉塞設置場所 (Ref.3)

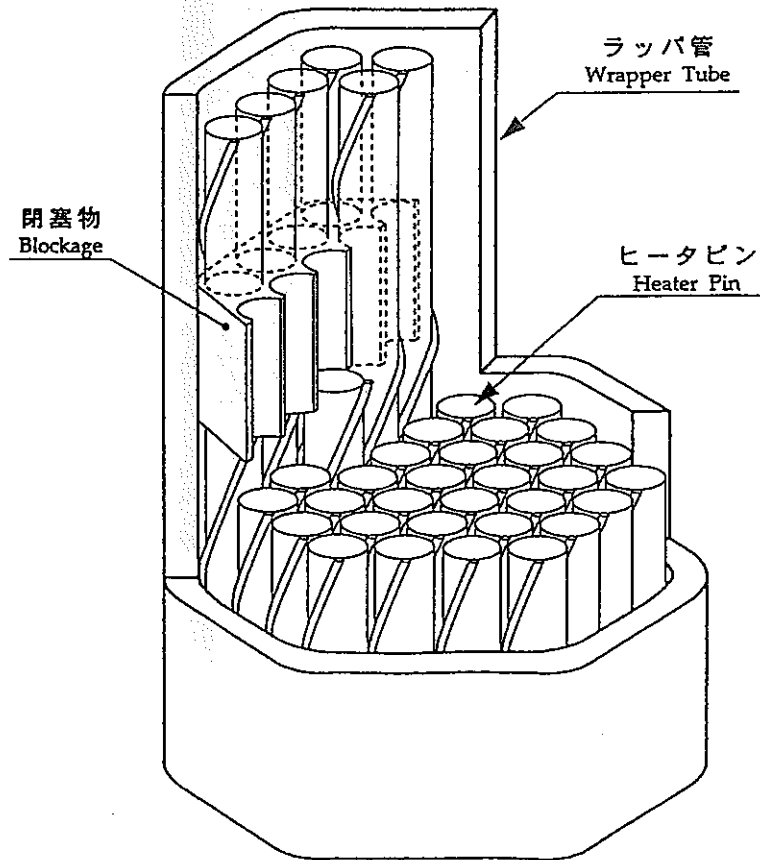


図 2-3 試験体内閉塞物設置状況 (Ref.3)

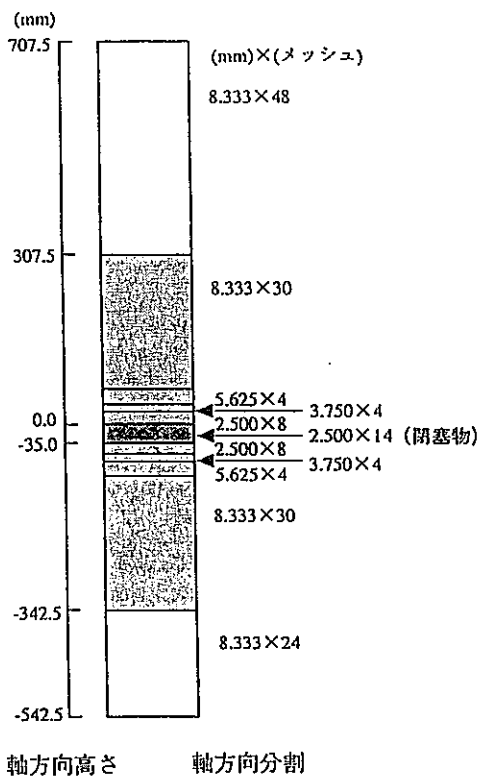


図 2-4 軸方向メッシュ分割図 (Ref.3)

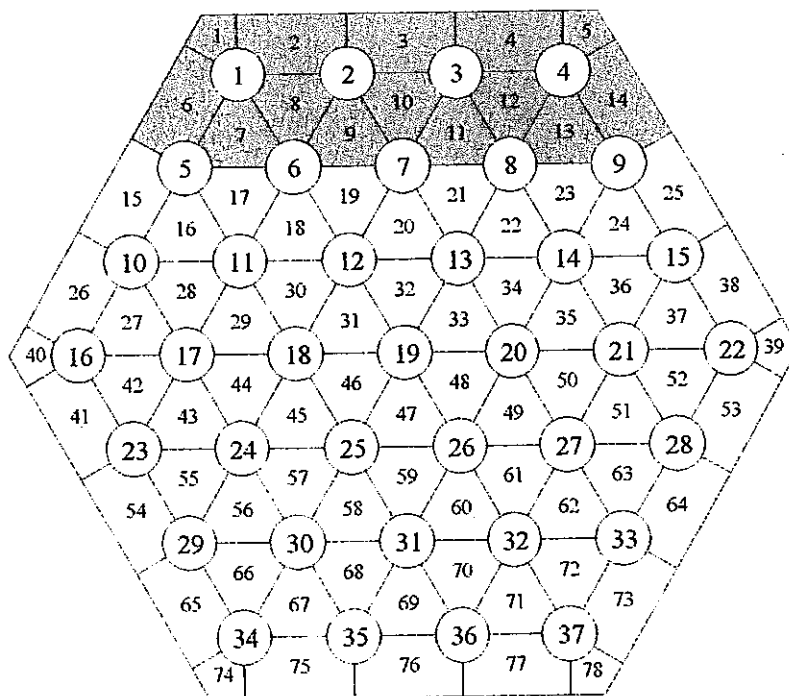


図 2-5 サブチャンネル分割図

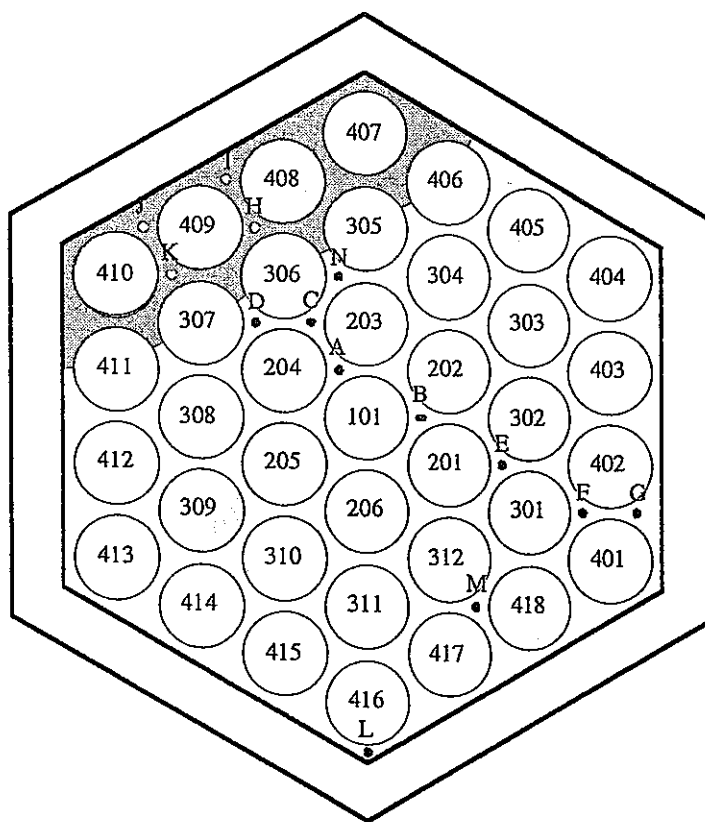
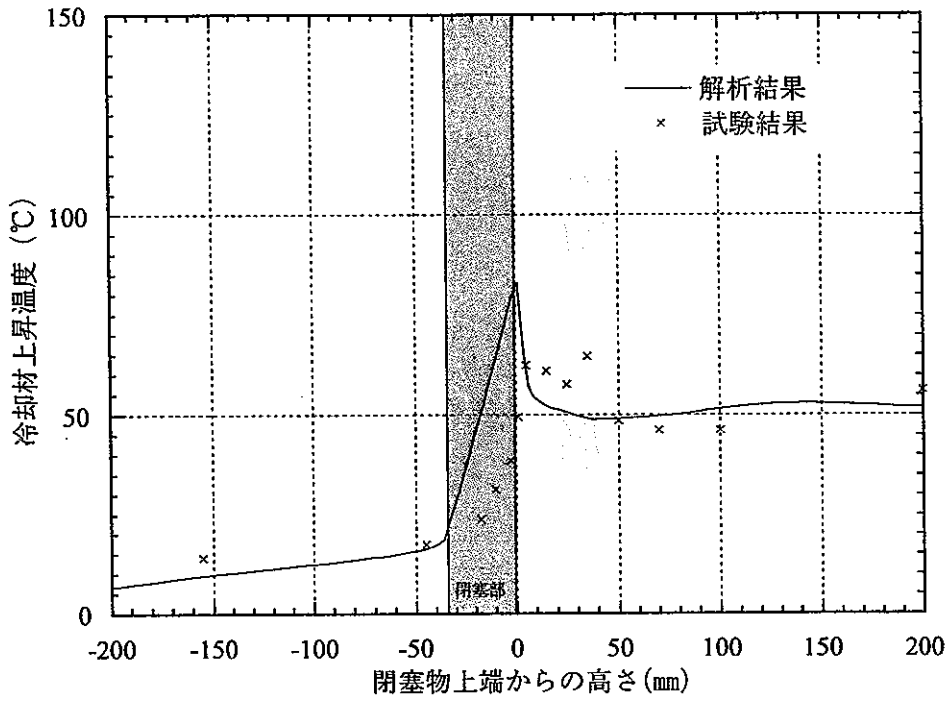
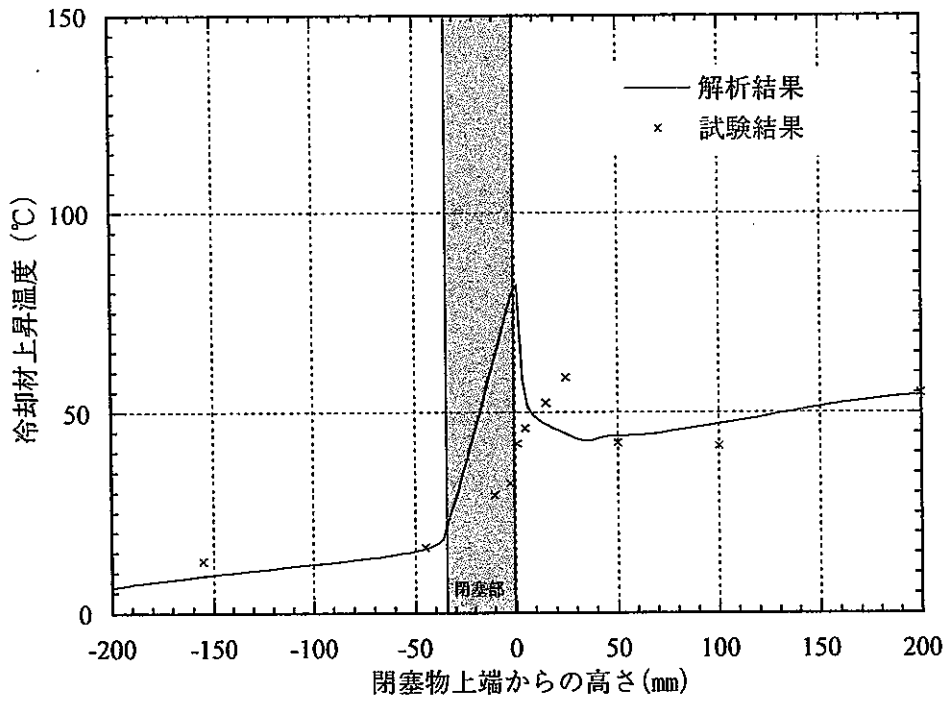


図 2-6 集合体断面温度計測位置 (Ref.3)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. I)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. J)

図 2-7 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. I, J)

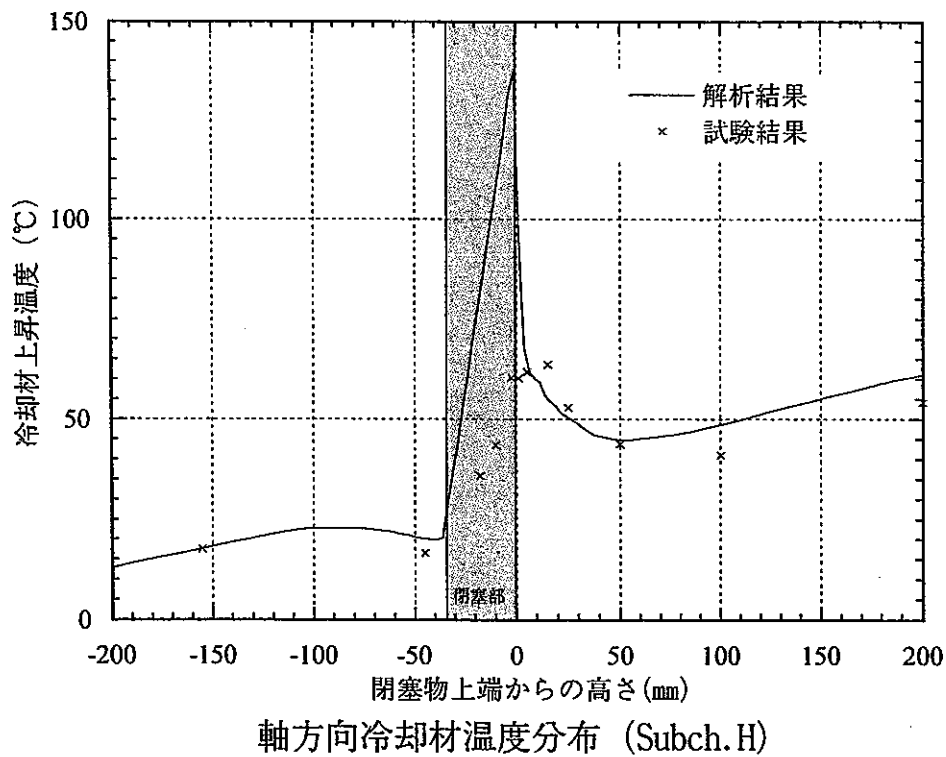
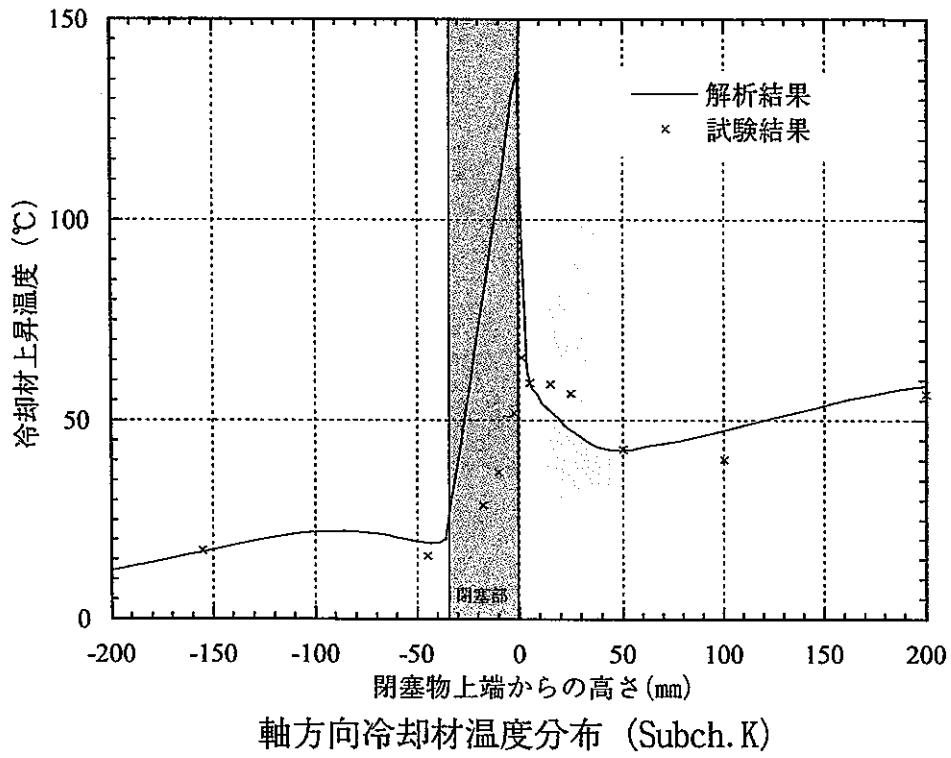


図 2-8 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. K, H)

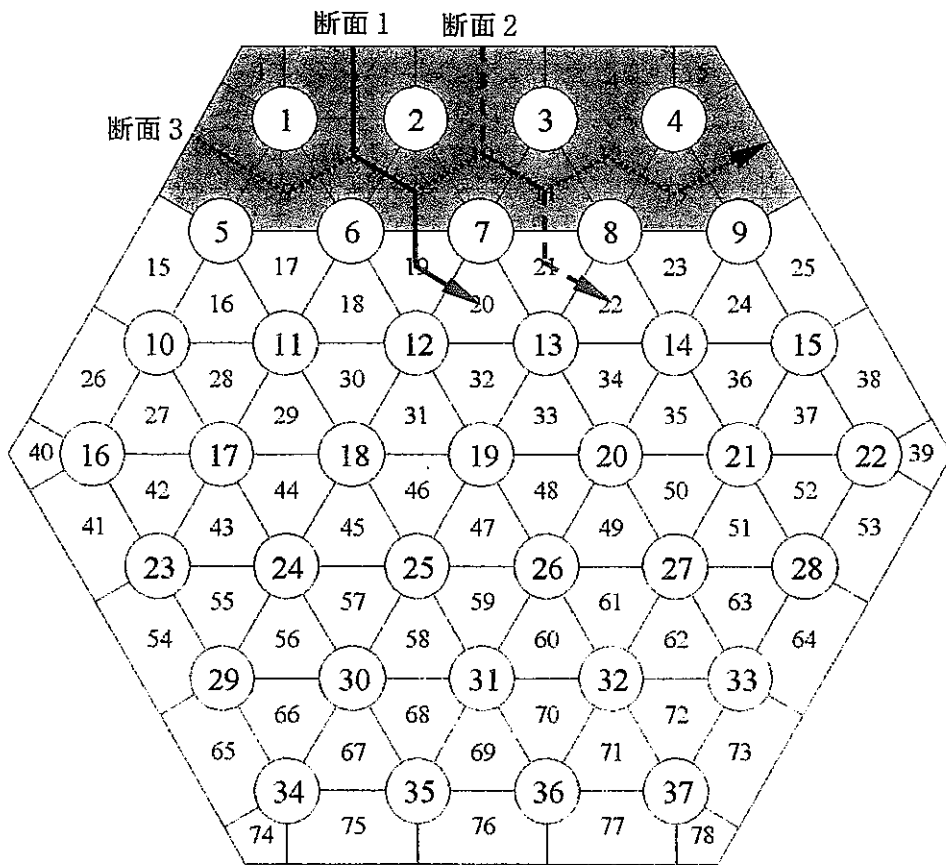


図 2-9 流速場及び温度場出力の集合体軸方向断面

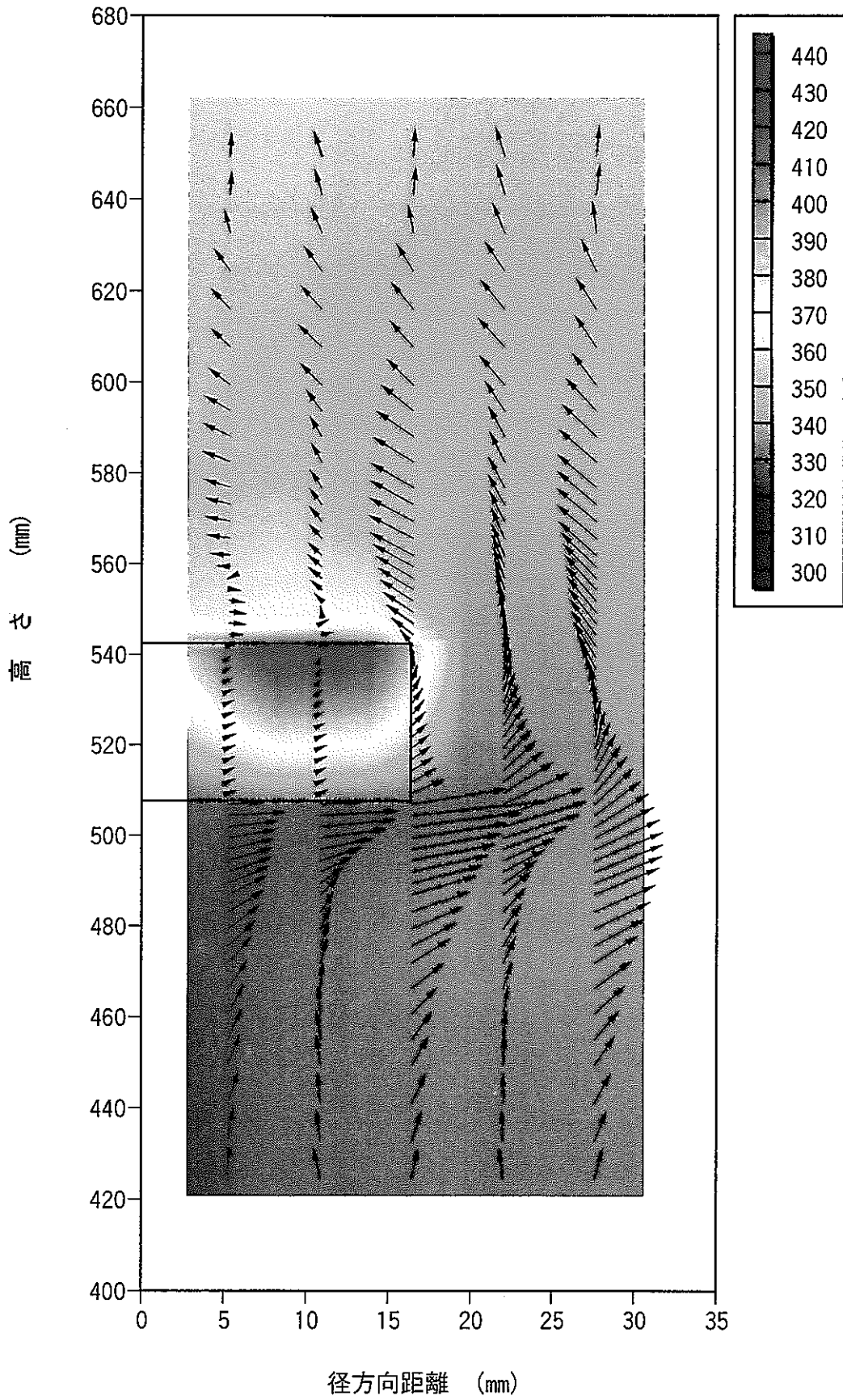


図 2-10 冷却材流速場及び温度場 (断面 1)

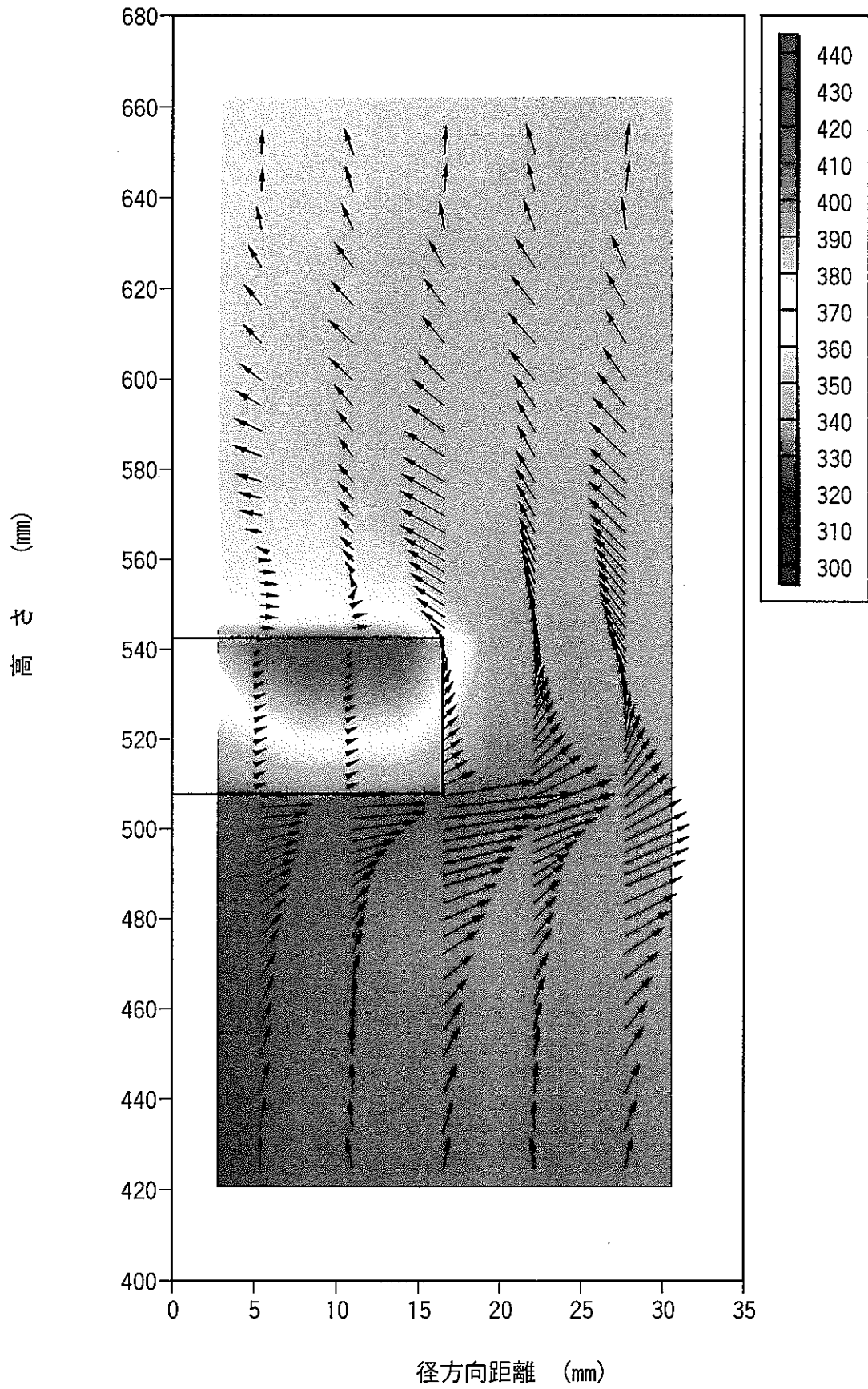


図 2-11 冷却材流速場及び温度場 (断面 2)

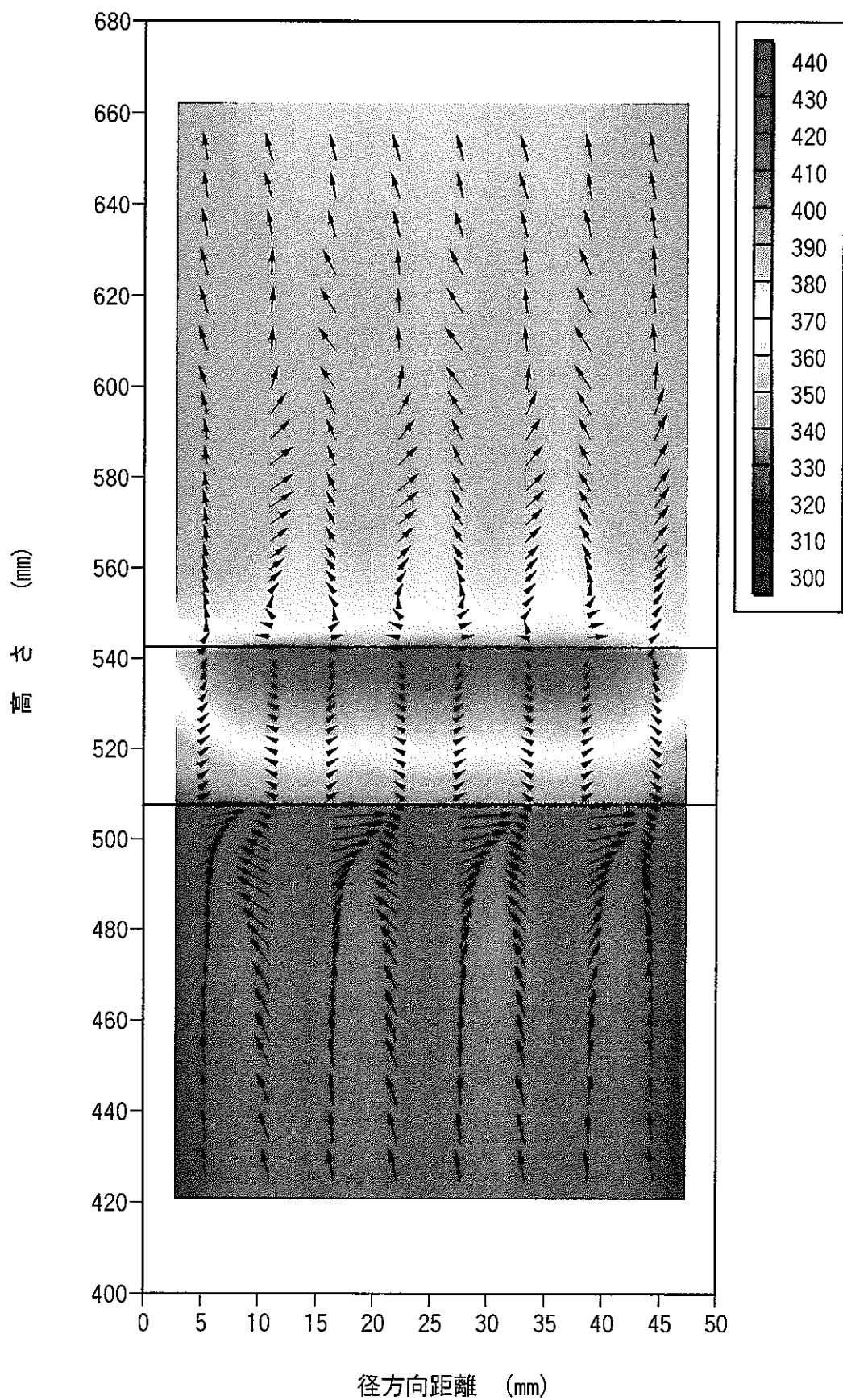


図 2-12 冷却材流速場及び温度場 (断面 3)

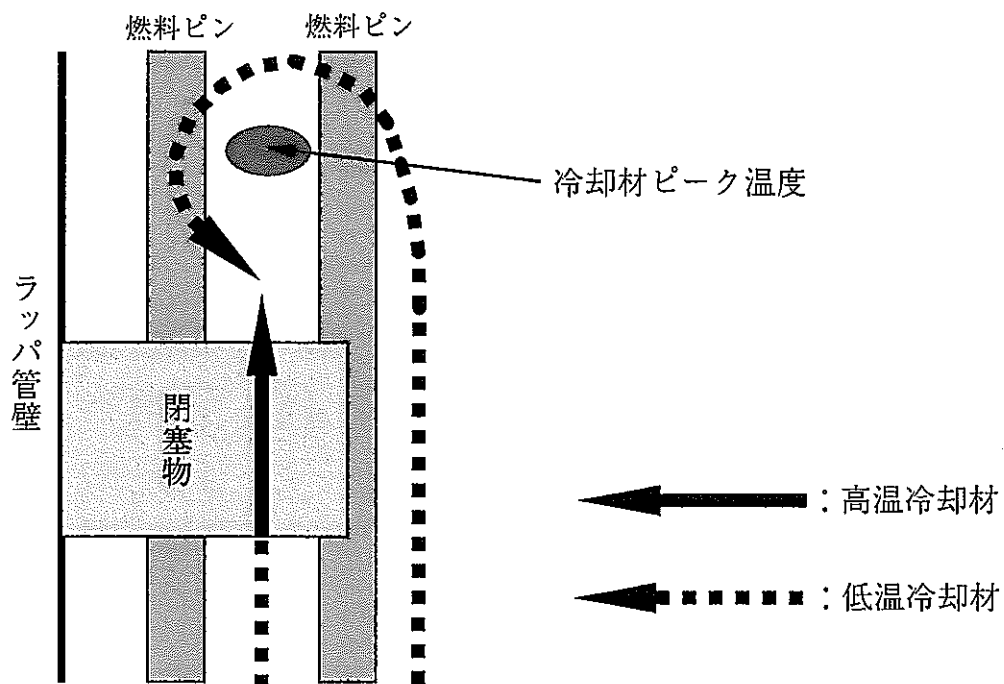


図 2-13 閉塞部後方領域の冷却材速度場の概略図 (その 1)

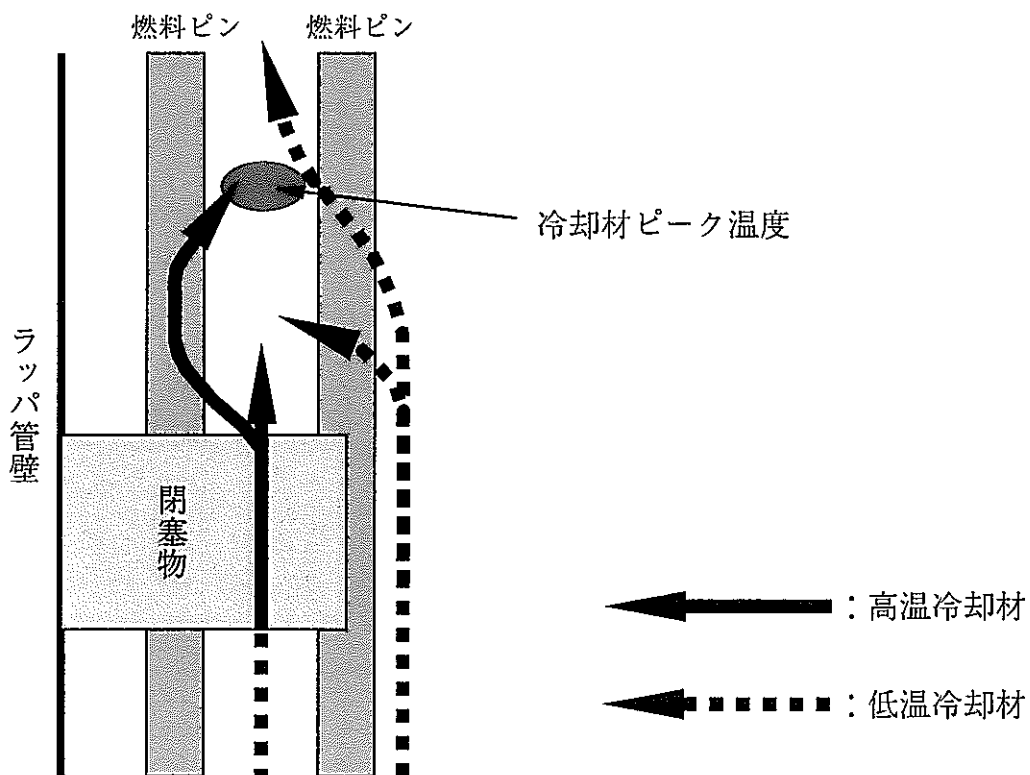


図 2-14 閉塞部後方領域の冷却材速度場の概略図 (その 2)

2つの閉塞ブロックの接合部

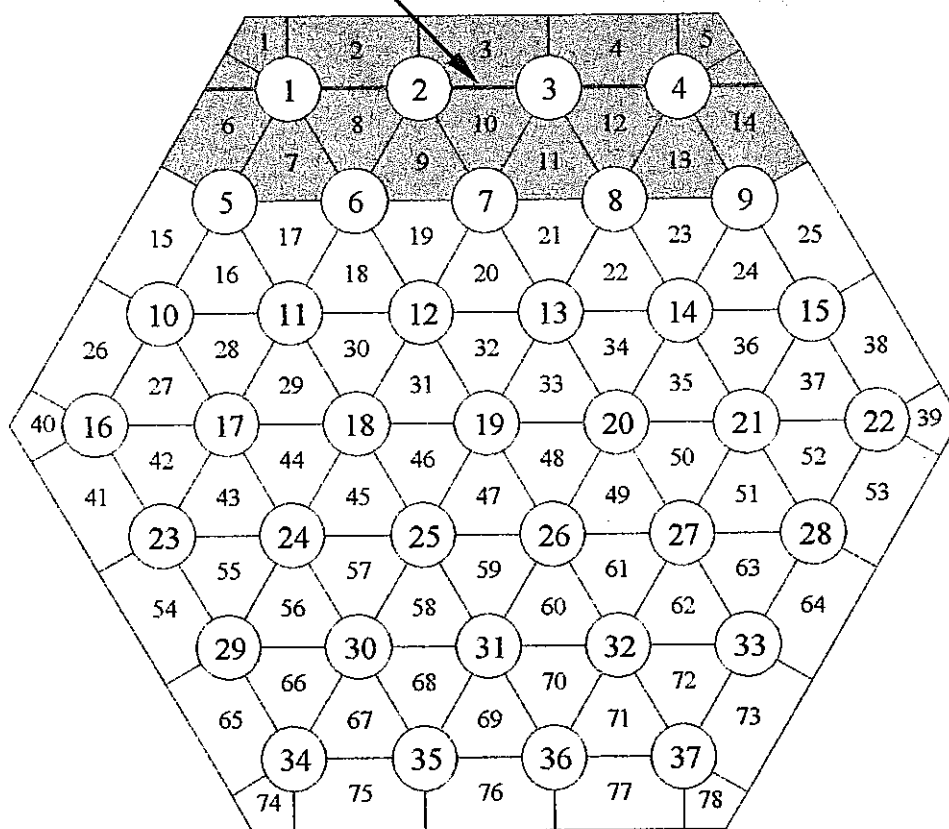


図 3-1 閉塞ブロック結合位置

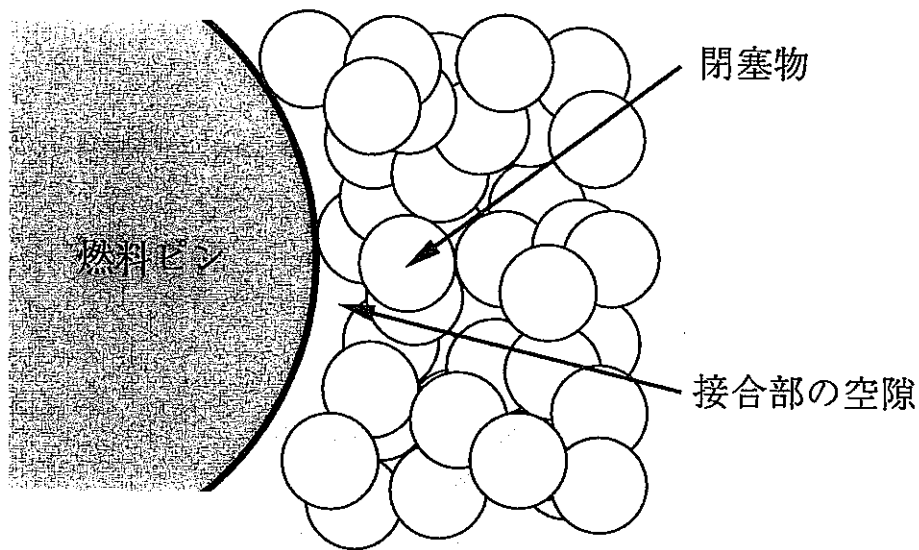


図 3-2 燃料ピン－閉塞物の接合部

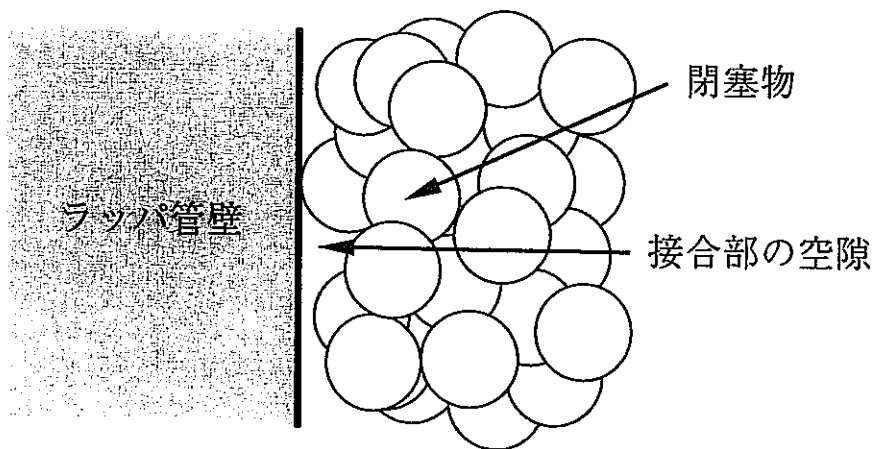


図 3-3 ラップ管壁－閉塞物の接合部

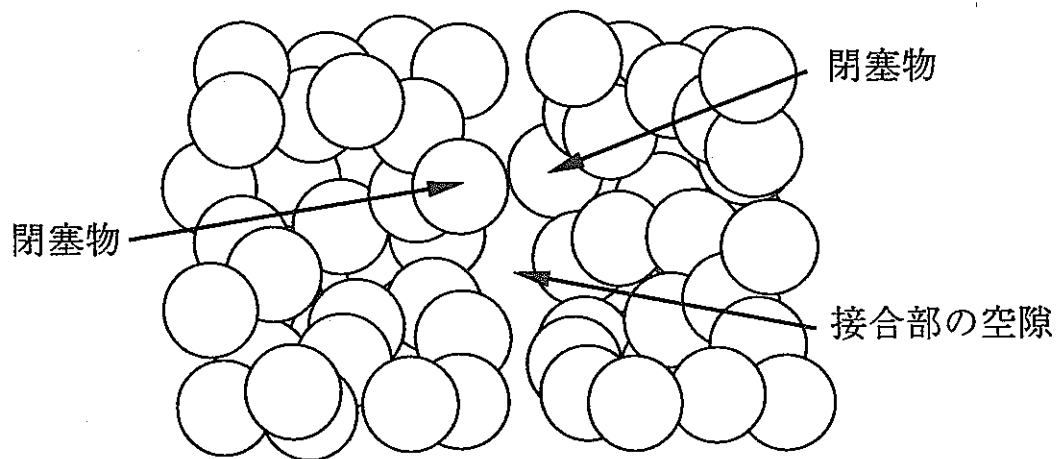


図 3-4 閉塞物－閉塞物の接合部

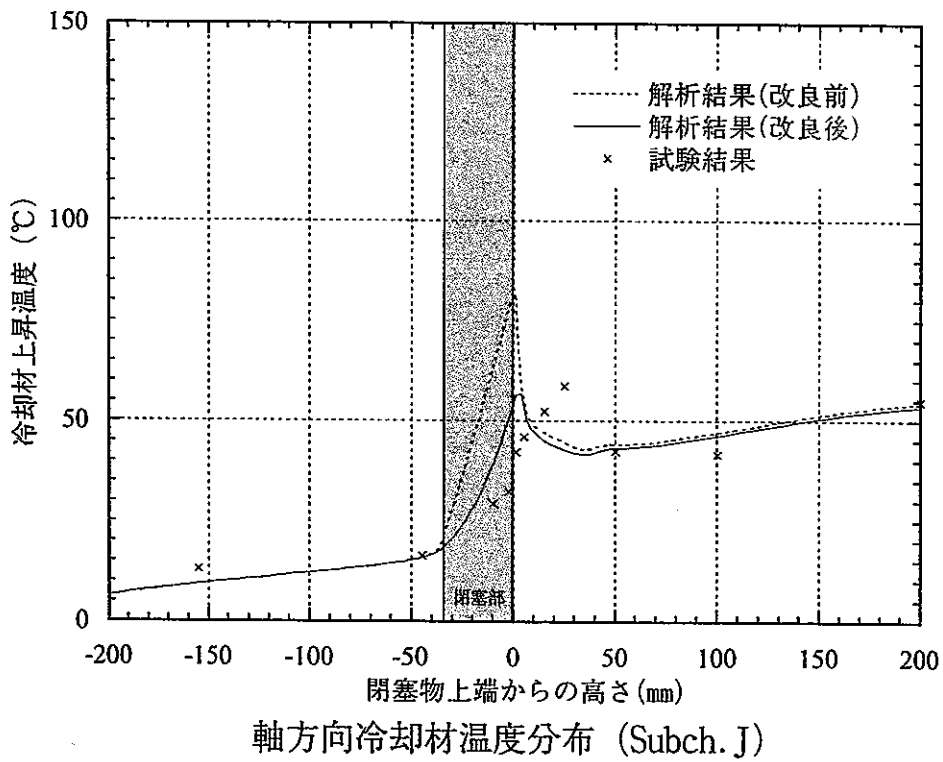
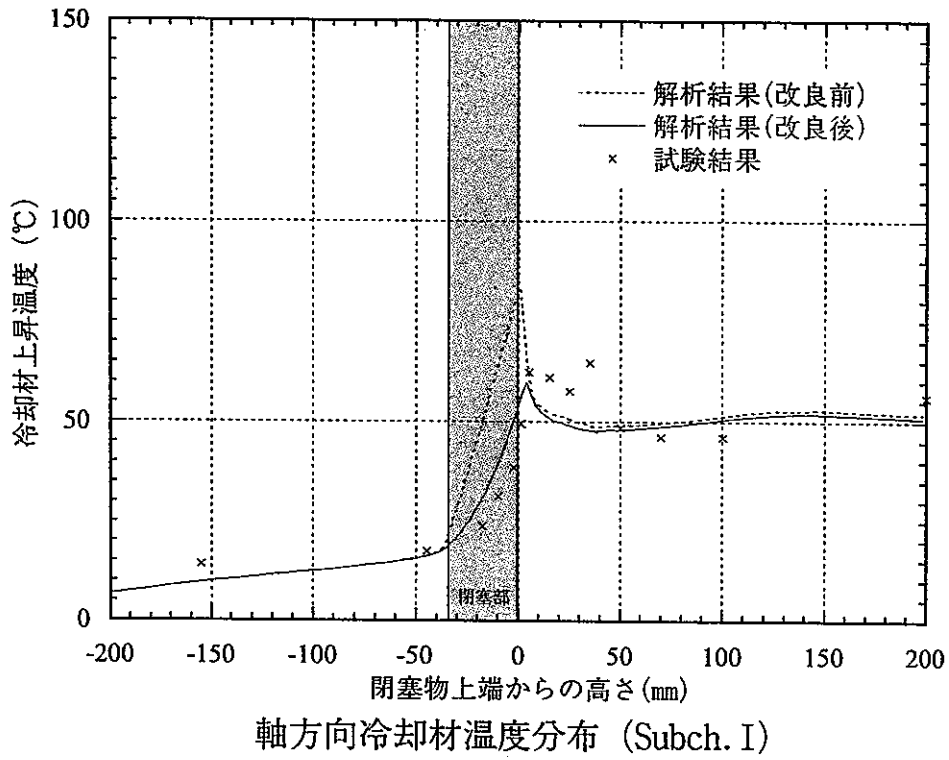
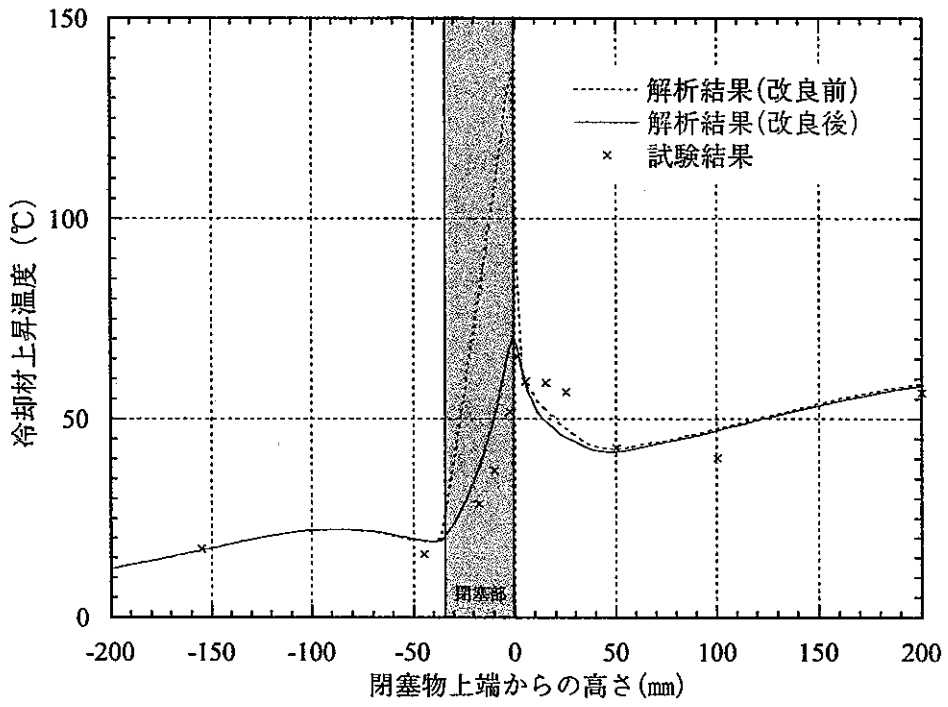
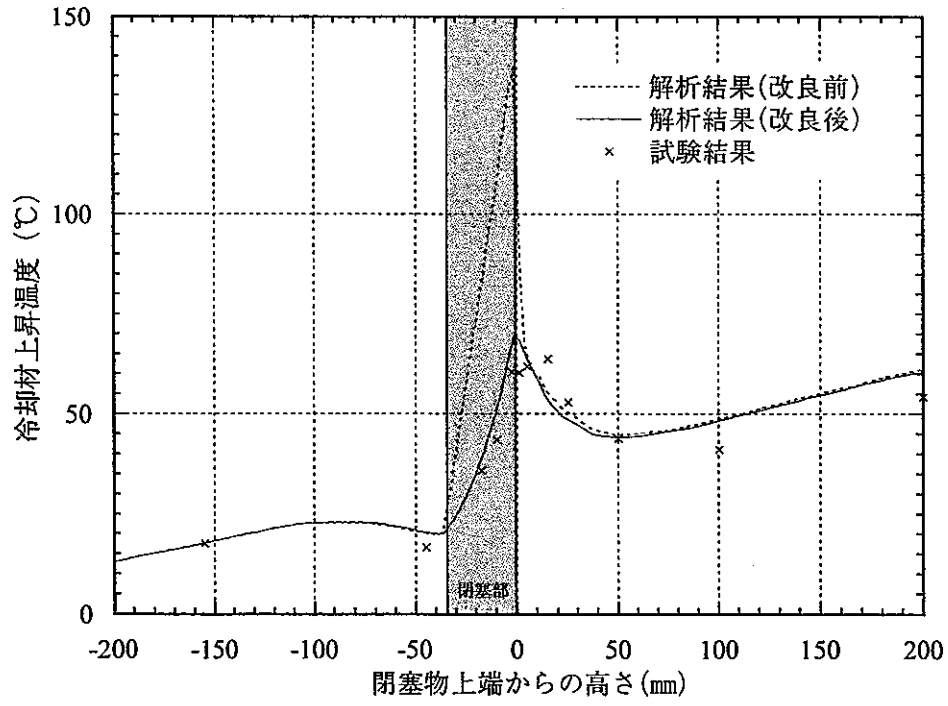


図 3-5 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. I, J)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. K)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. H)

図 3-6 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. K, H)

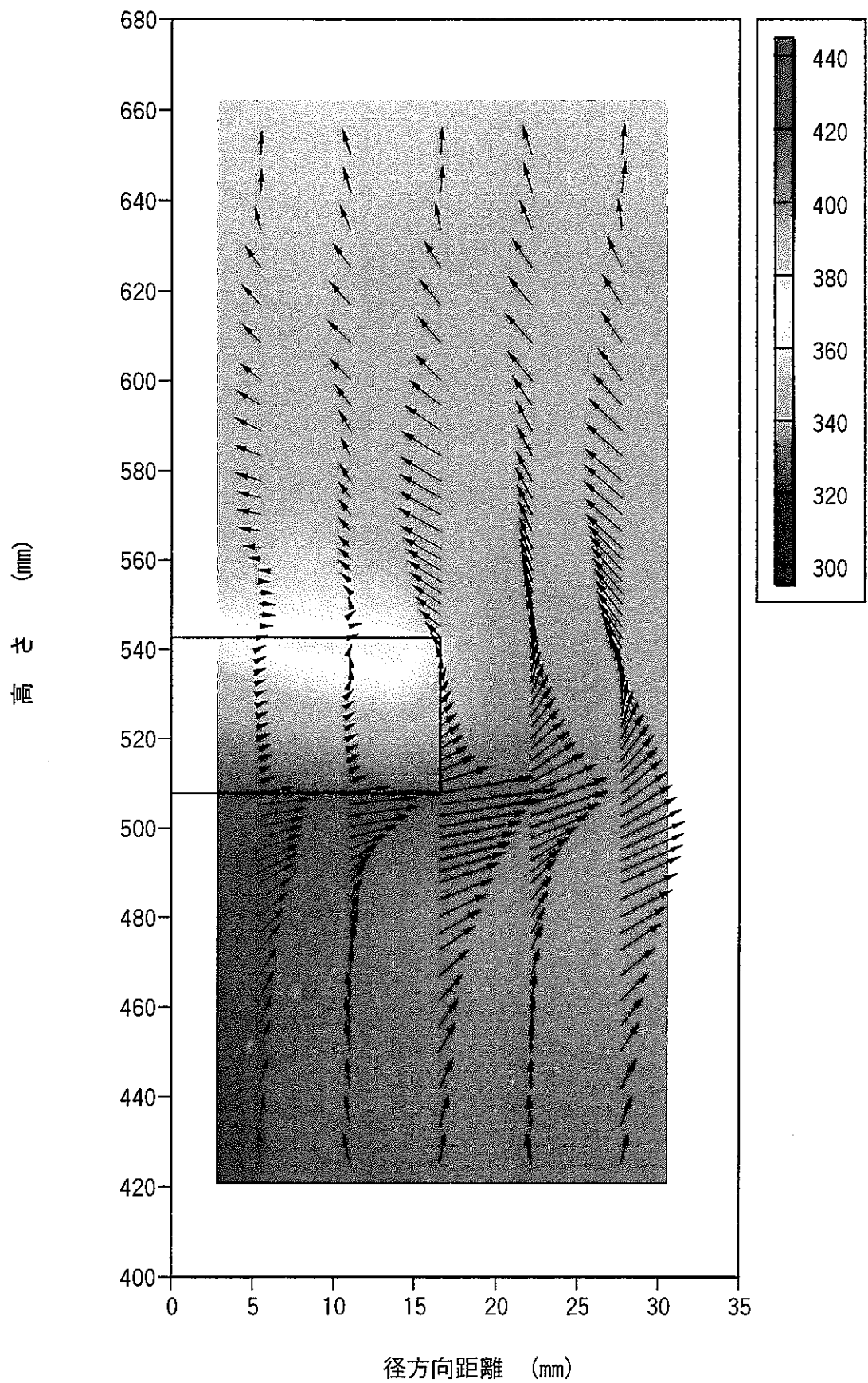


図 3-7 冷却材流速場及び温度場 (断面 1)

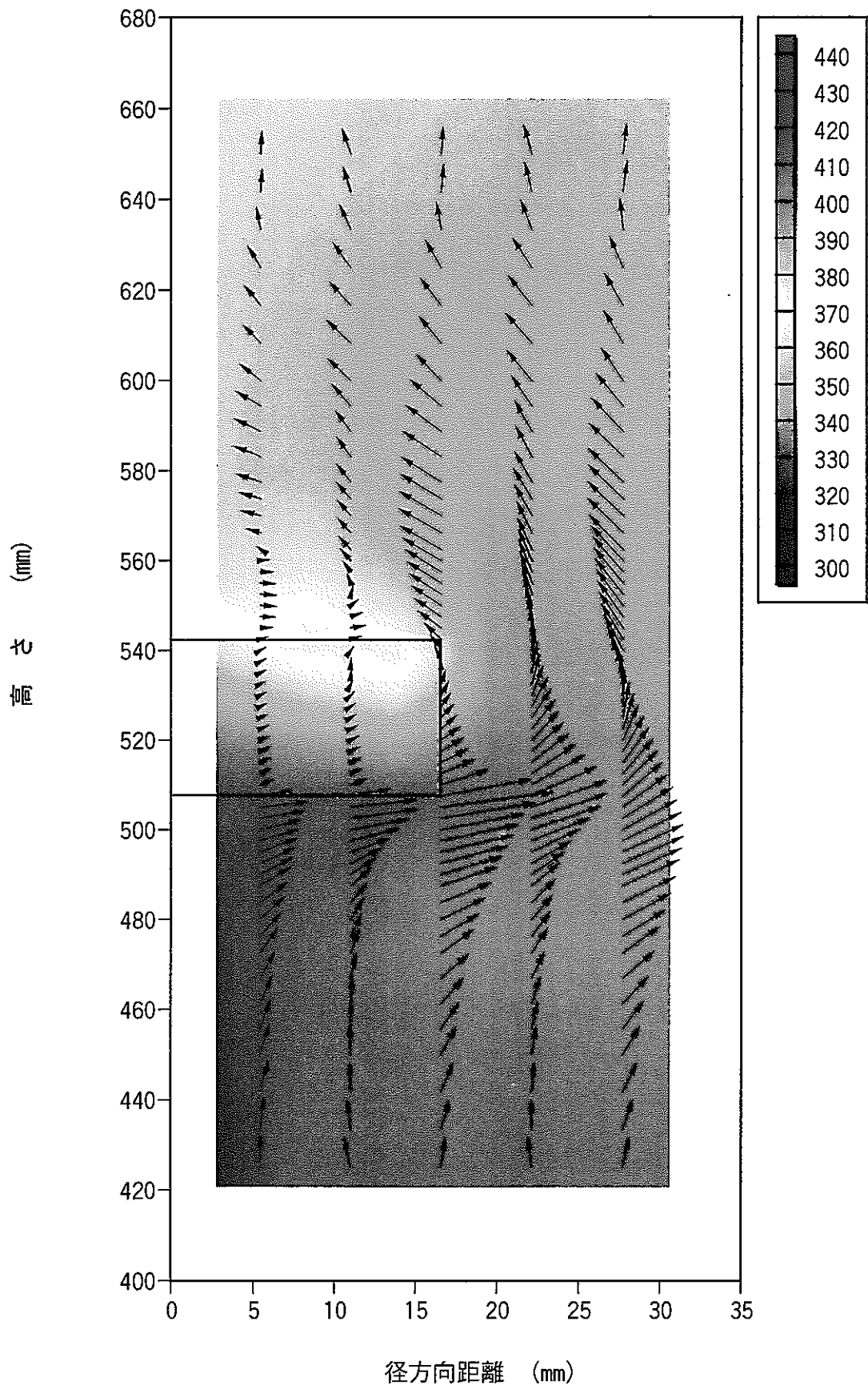


図 3-8 冷却材流速場及び温度場 (断面 2)

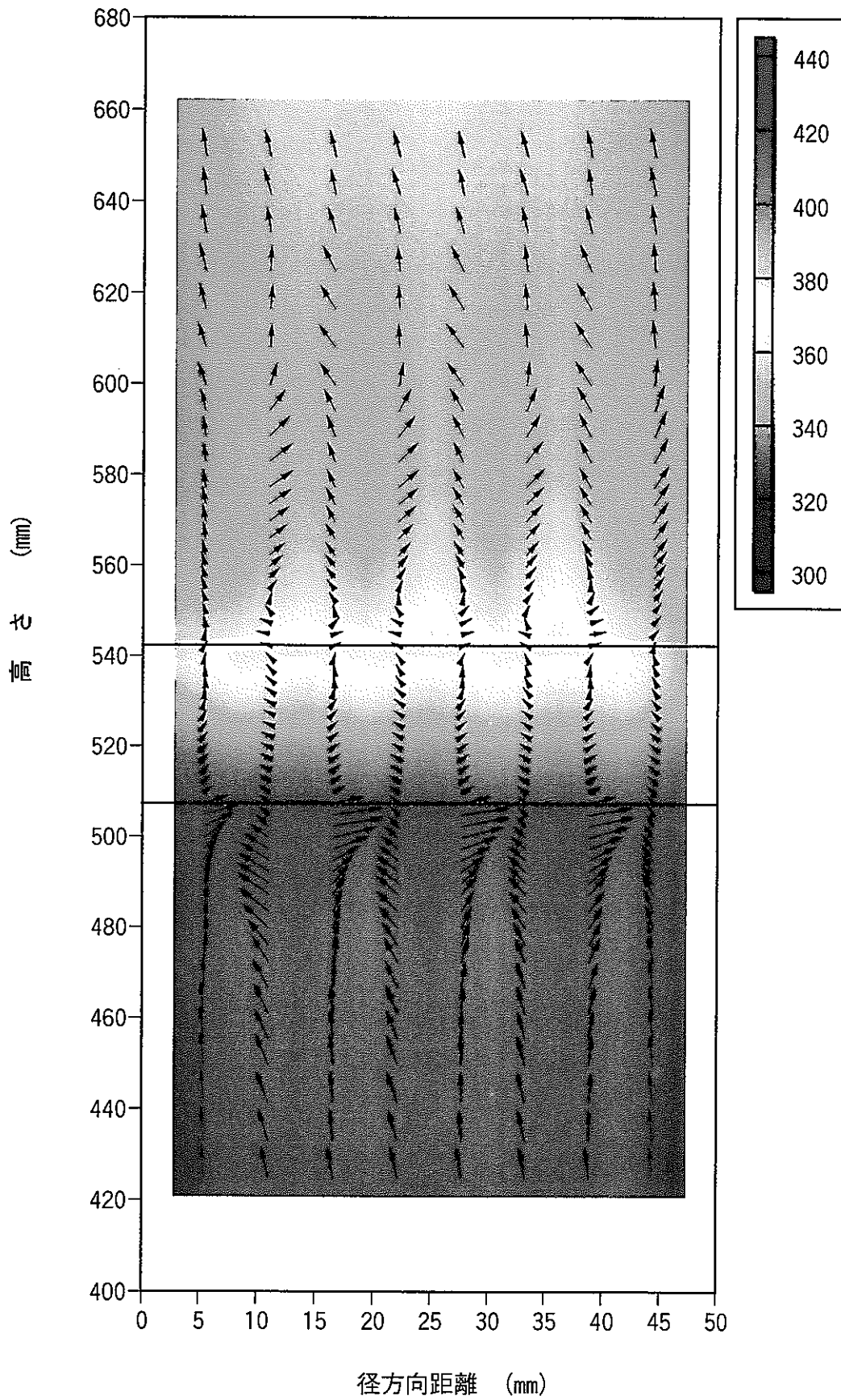


図 3-9 冷却材流速場及び温度場 (断面 3)

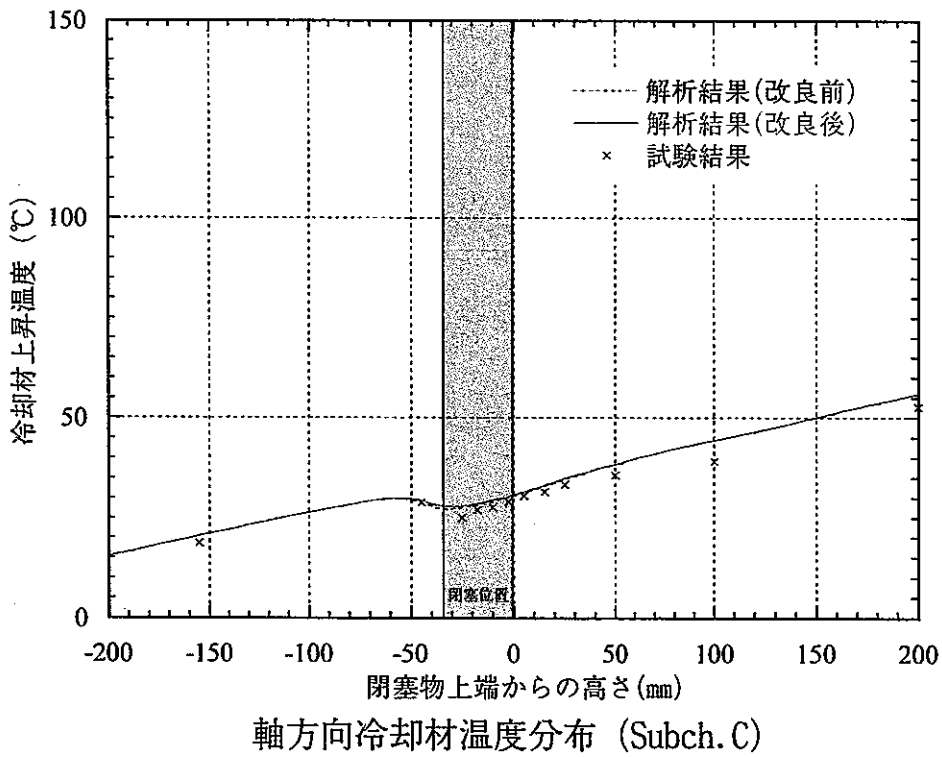
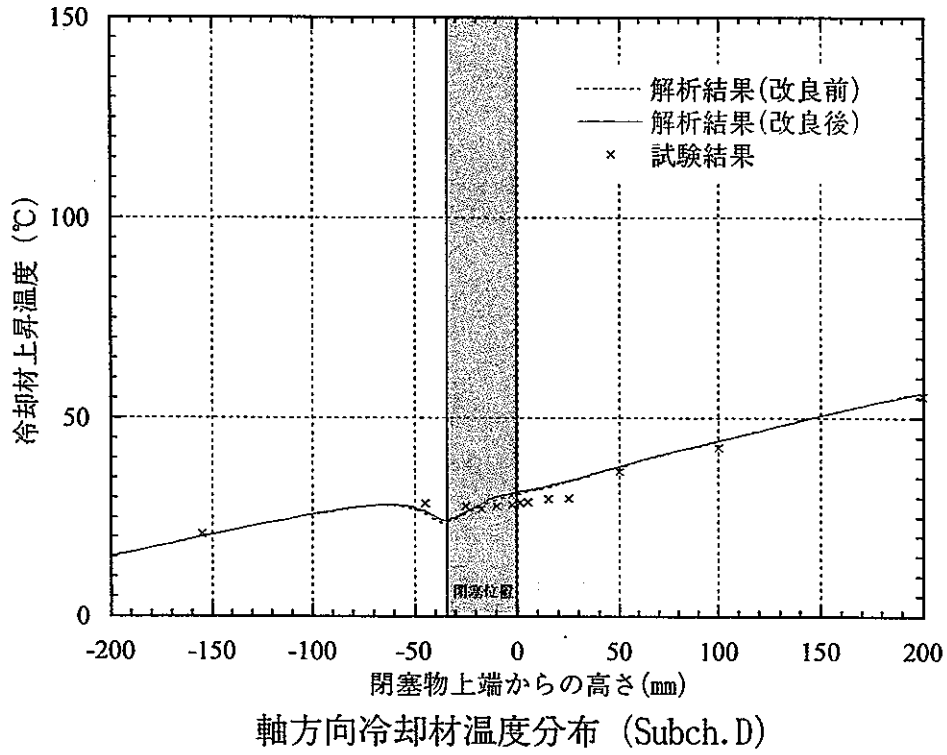
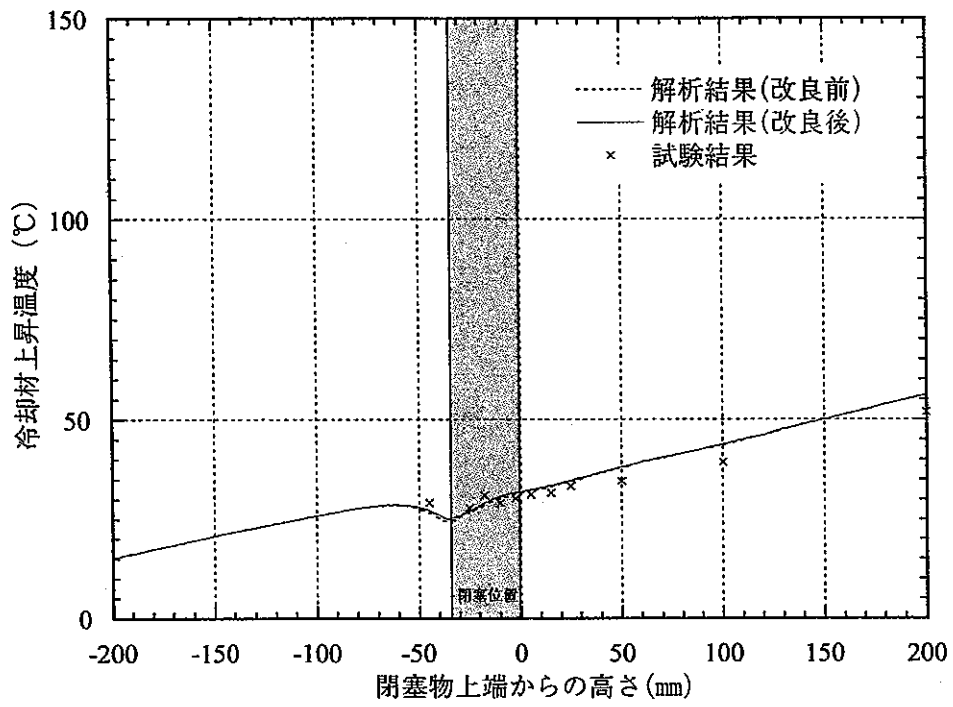
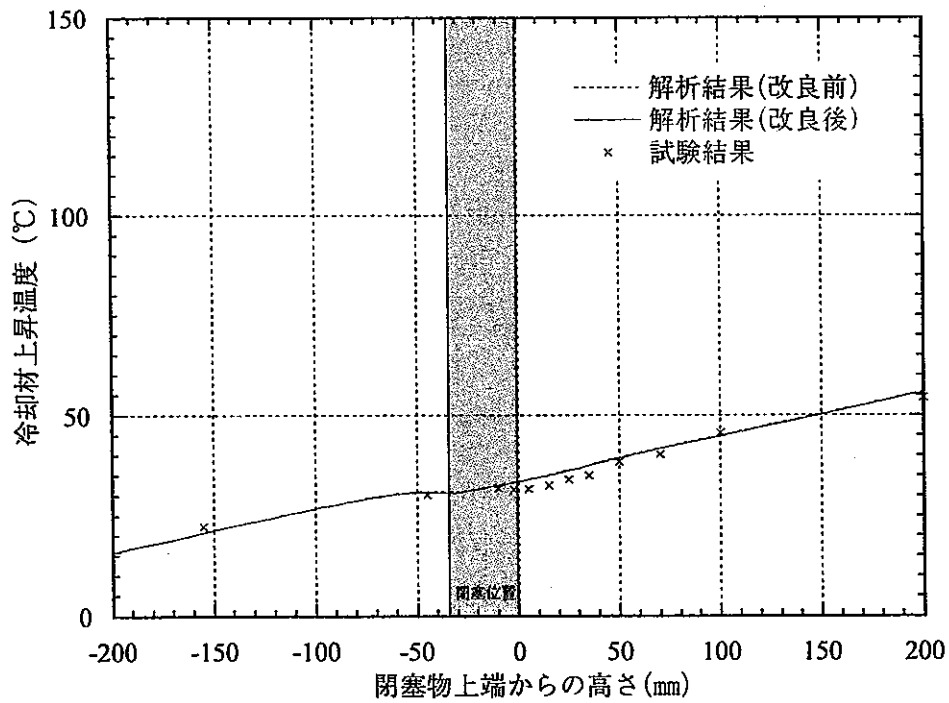


図 3-10 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. D, C)

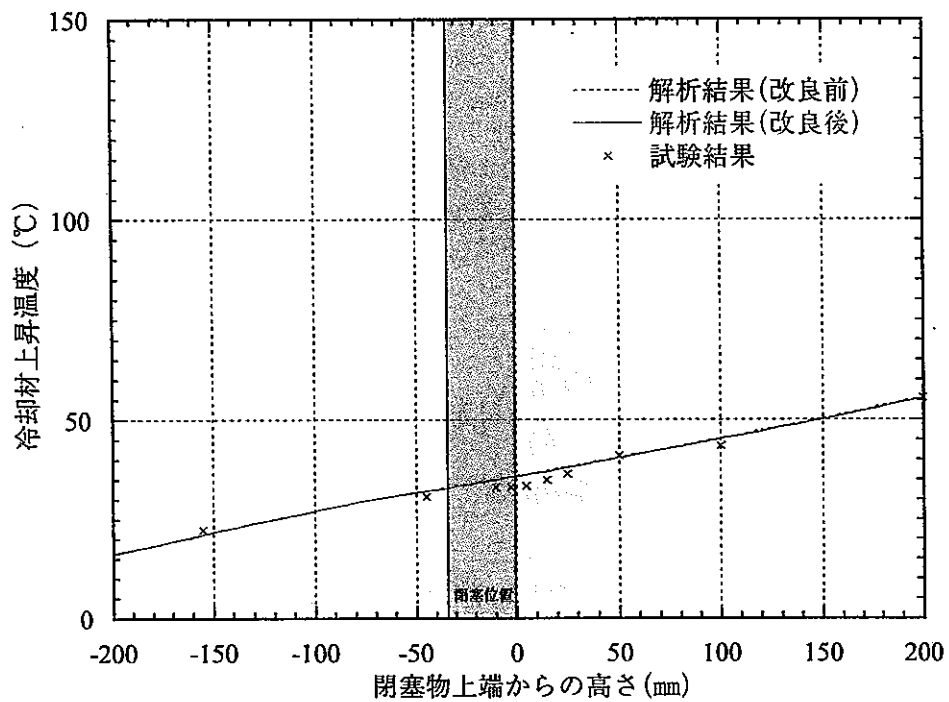


軸方向冷却材温度分布 (Subch. N)

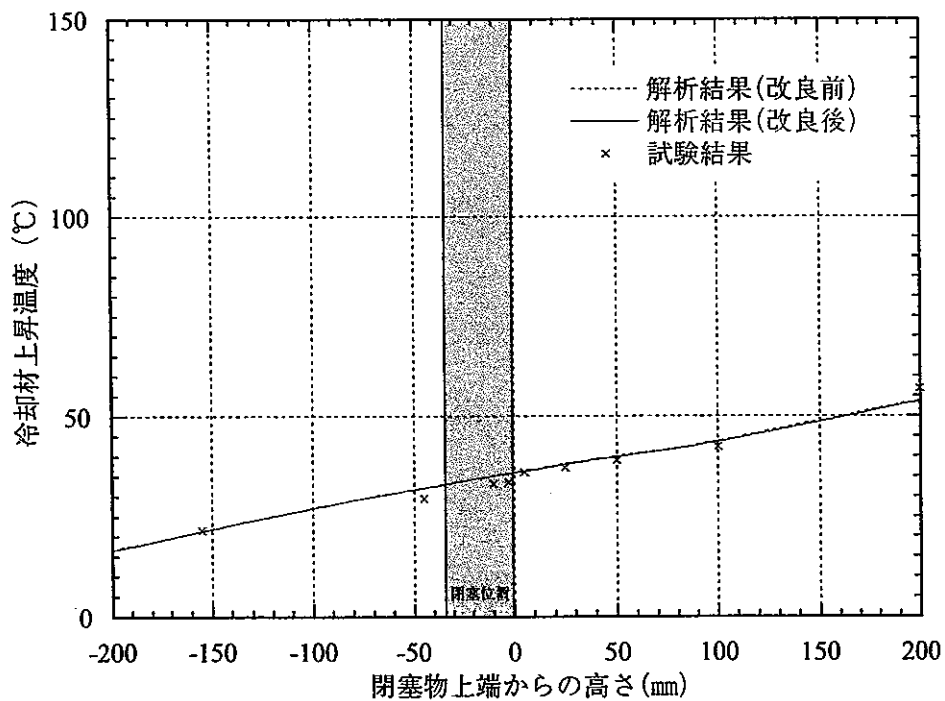


軸方向冷却材温度分布 (Subch. A)

図 3-11 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. N, A)

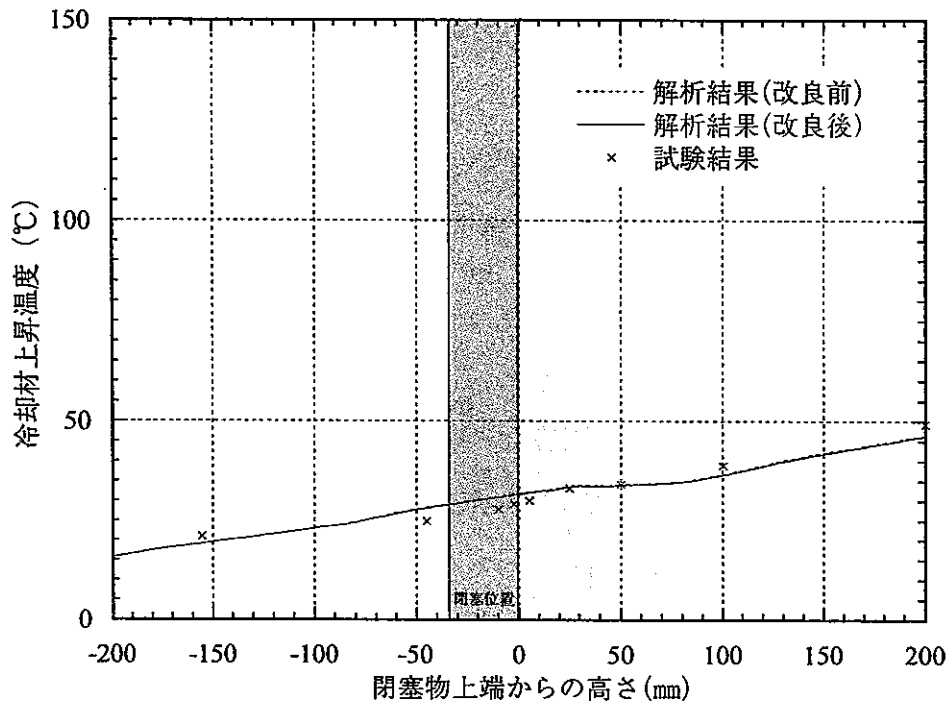


軸方向冷却材温度分布 (Subch. B)

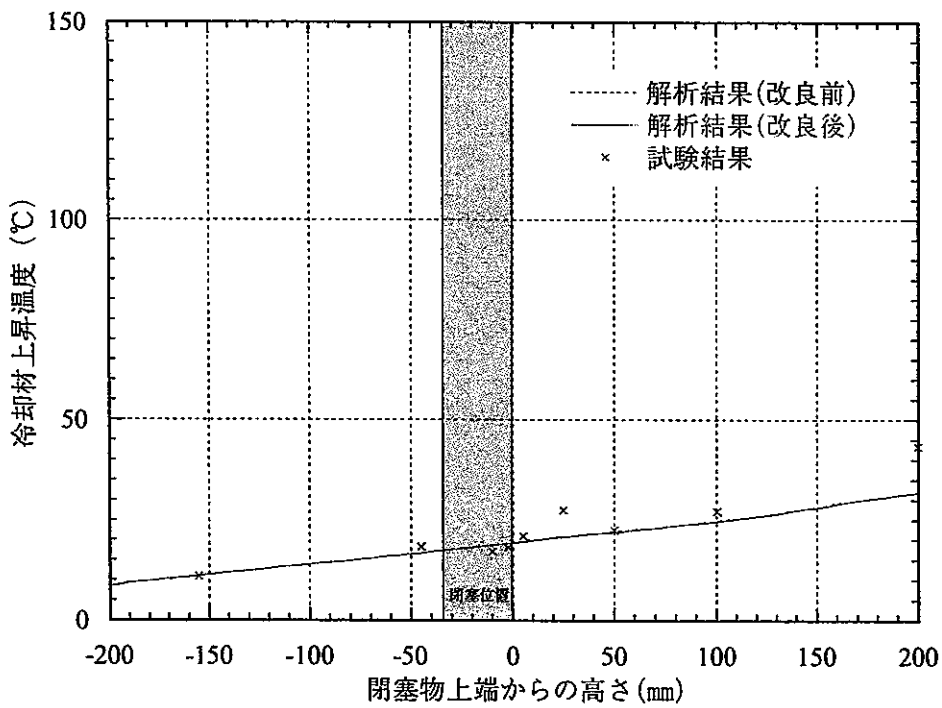


軸方向冷却材温度分布 (Subch. E)

図 3-12 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. B, E)

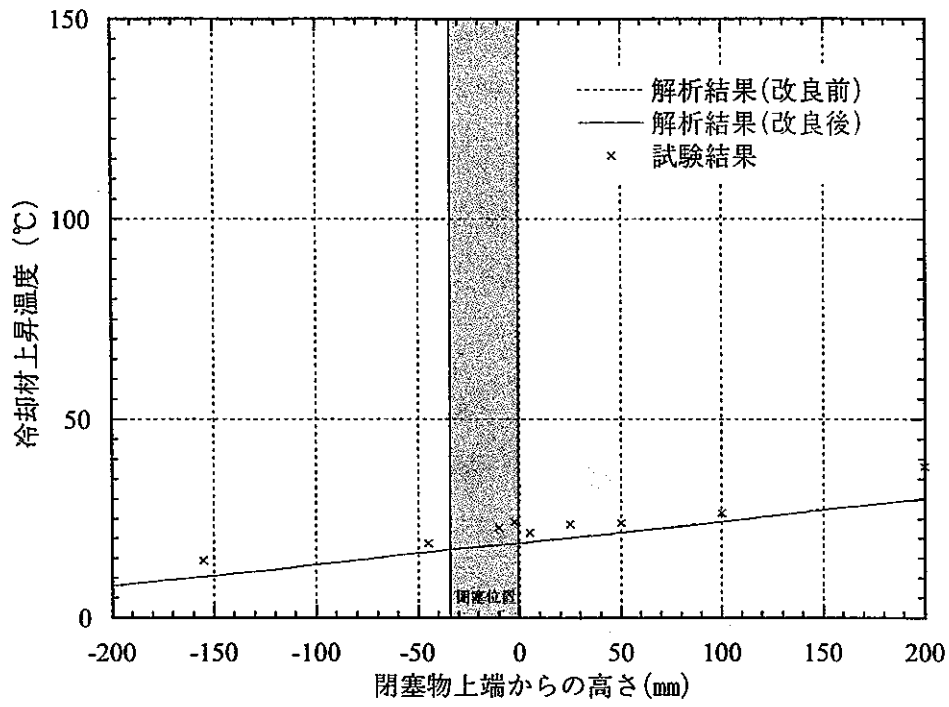


軸方向冷却材温度分布 (Subch. F)

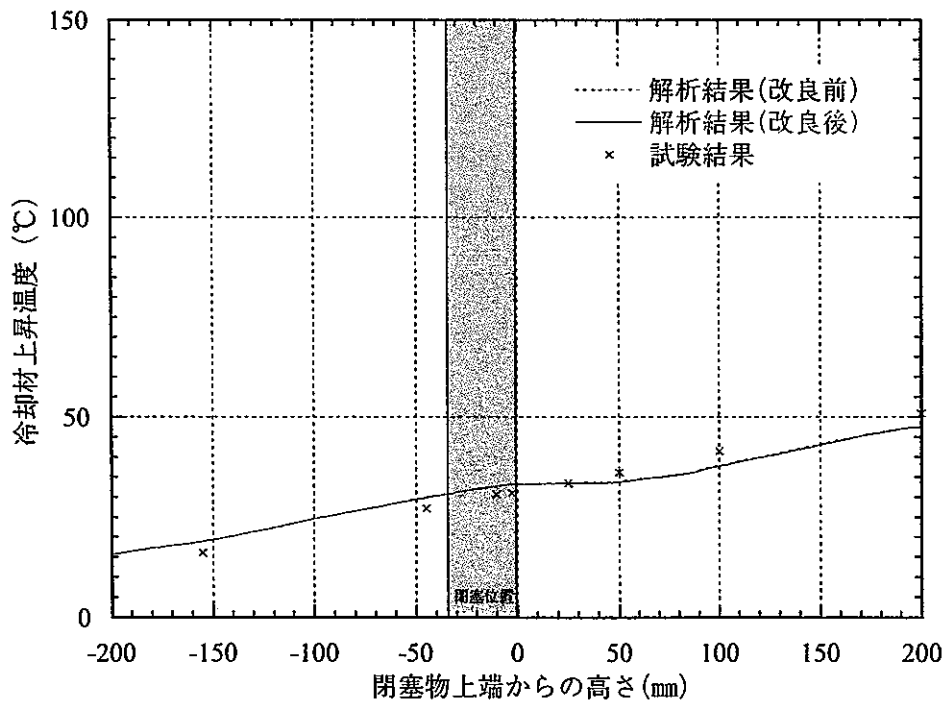


軸方向冷却材温度分布 (Subch. G)

図 3-13 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. F, G)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. L)



軸方向冷却材温度分布 (Subch. M)

図 3-14 軸方向冷却材温度分布 (サブチャンネル. L, M)

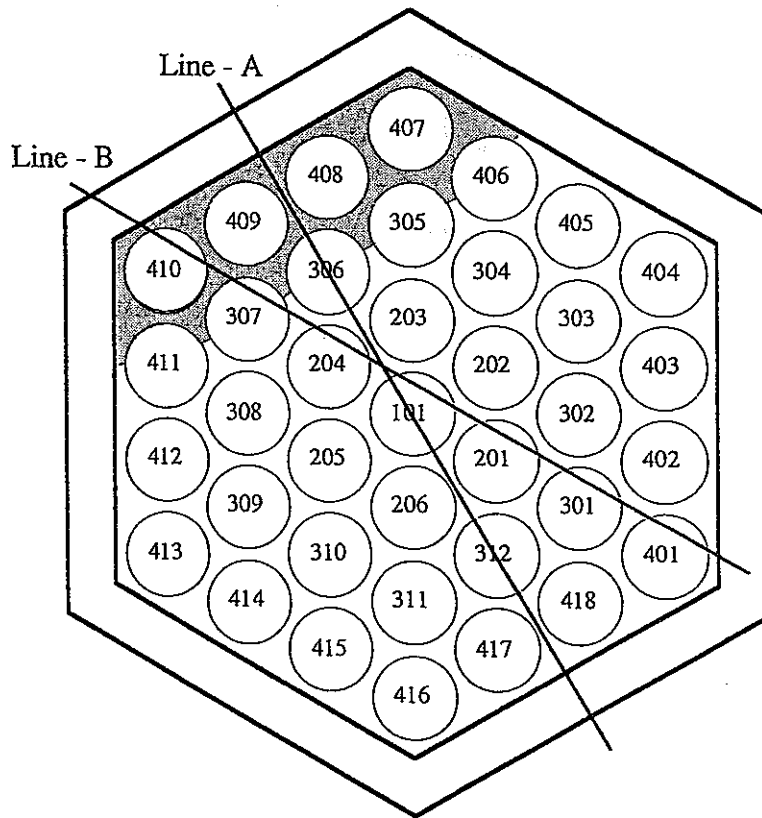


图 3-15 径方向断面冷却材温度出力 Line



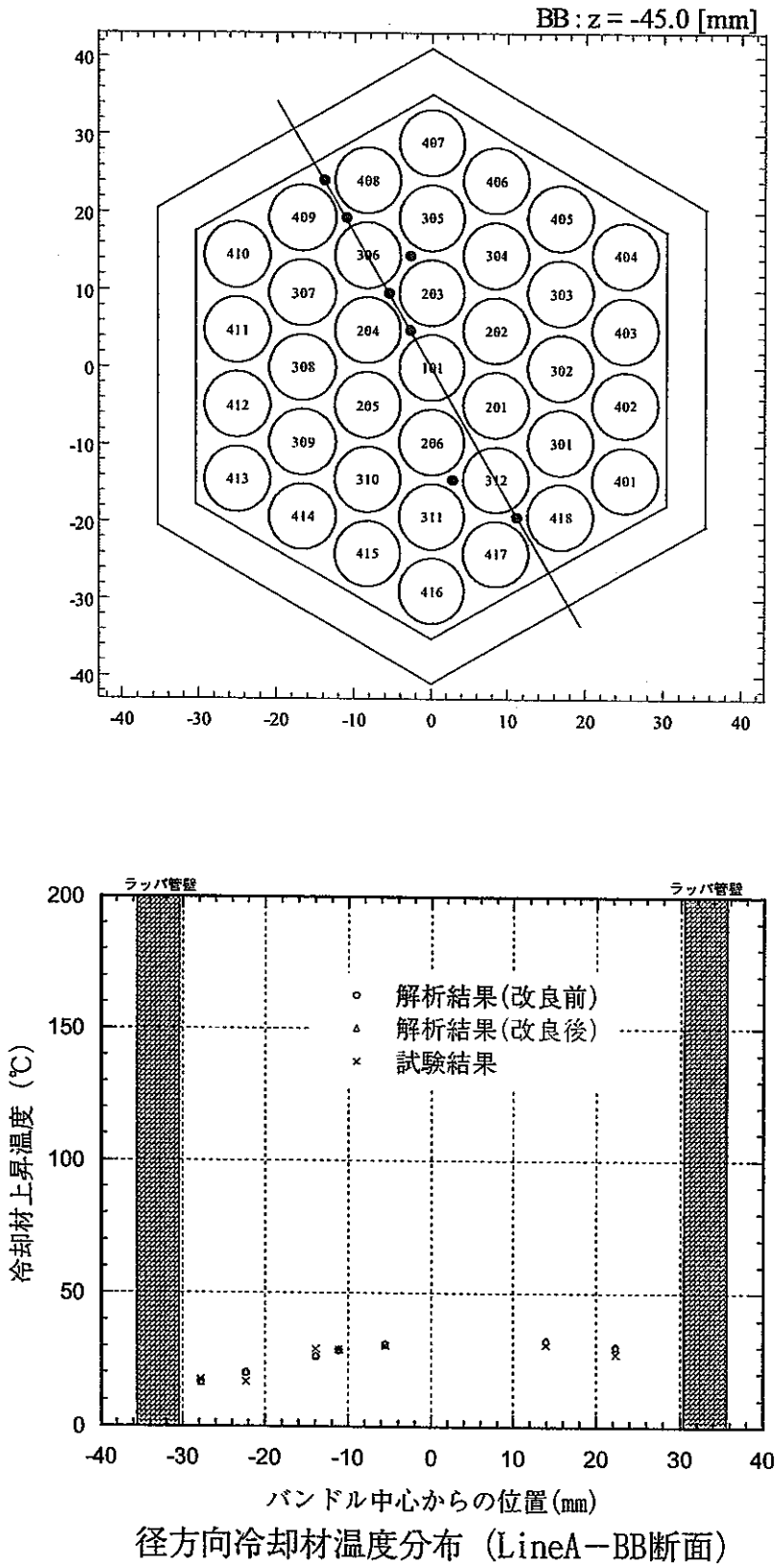


図 3-17 径方向冷却材温度分布 (Line A-BB 断面)





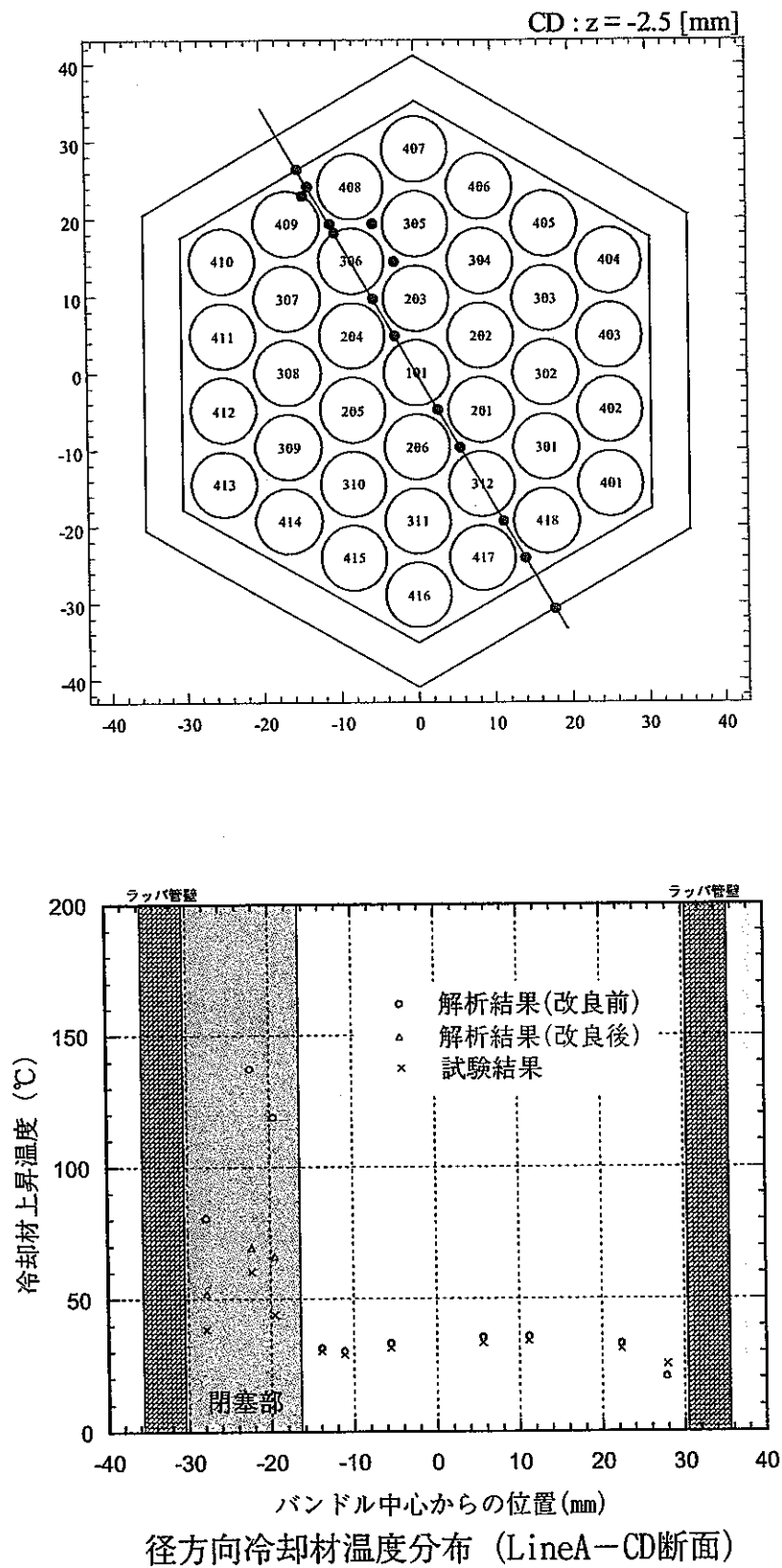


図 3-20 径方向冷却材温度分布 (Line A-CD 断面)

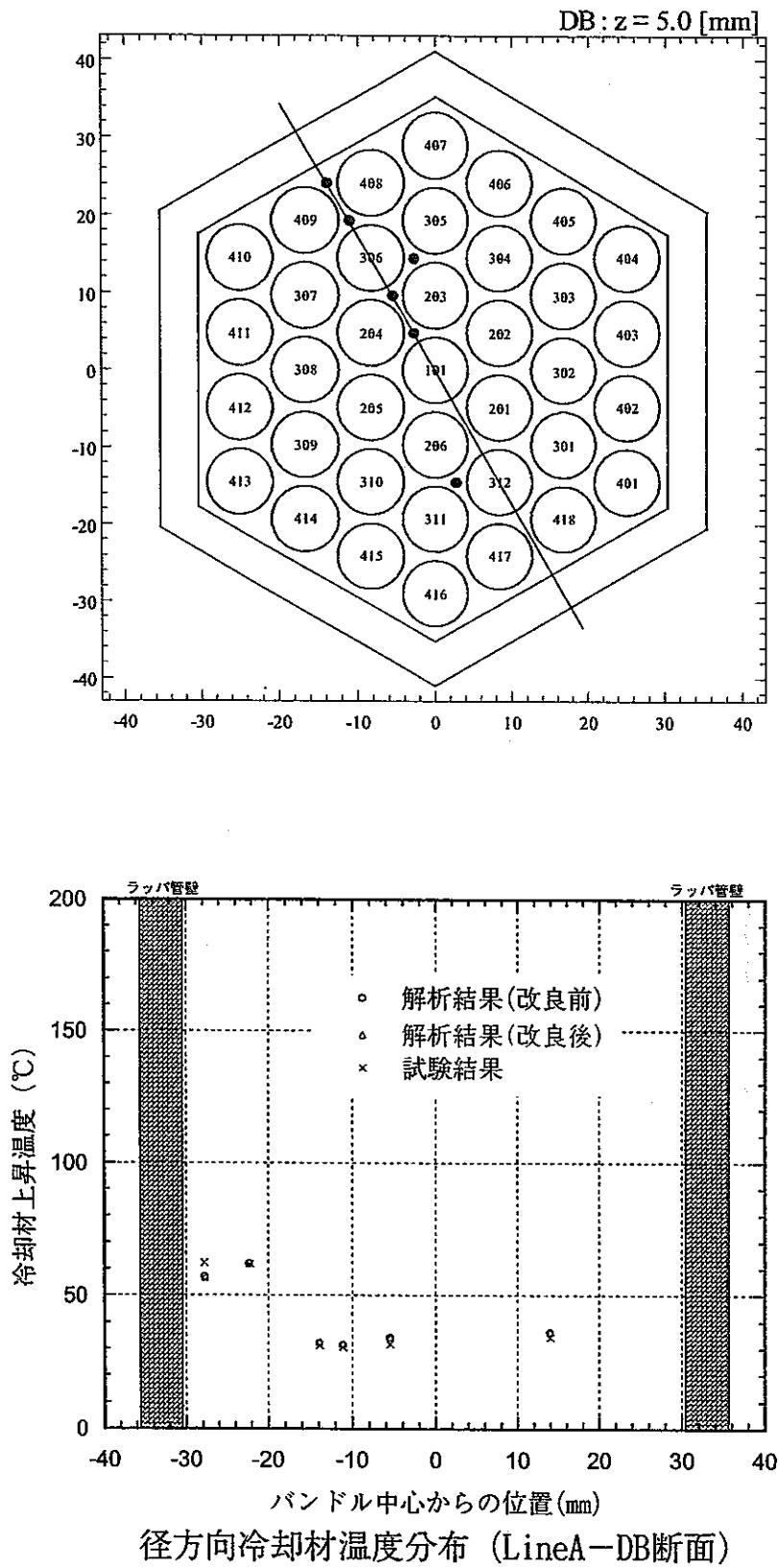


図 3-21 径方向冷却材温度分布 (Line A-DB 断面)





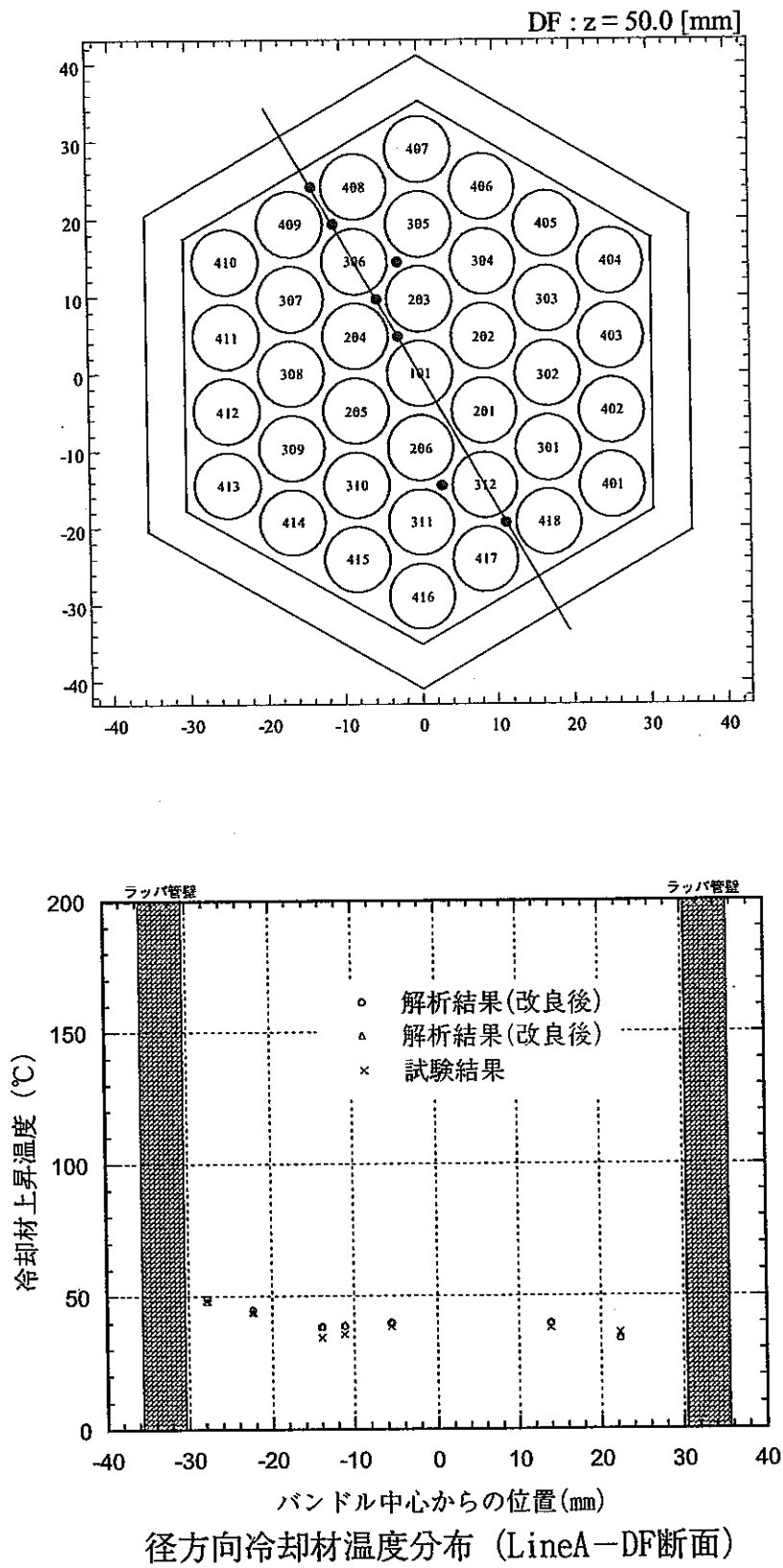


図 3-24 径方向冷却材温度分布 (Line A-DF 断面)



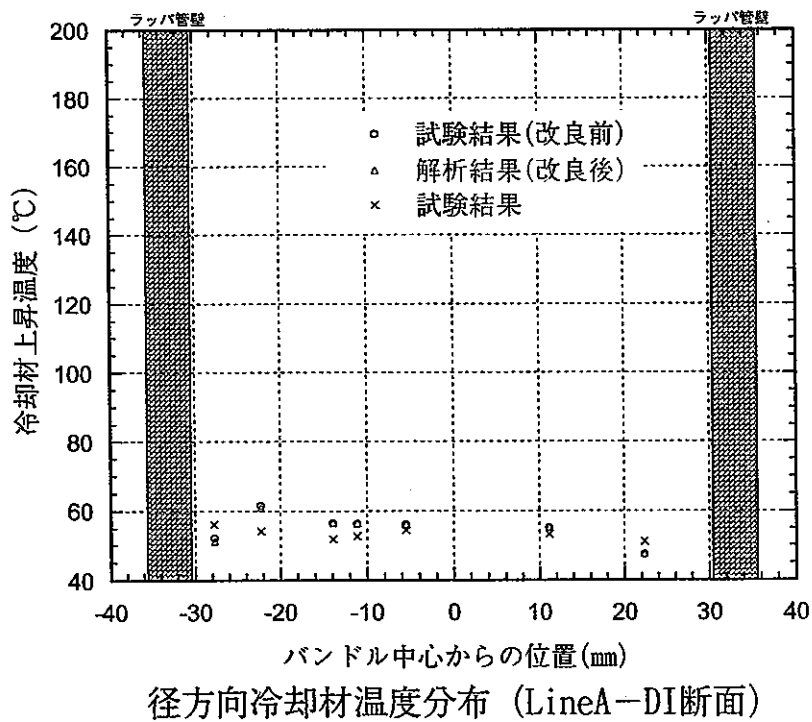
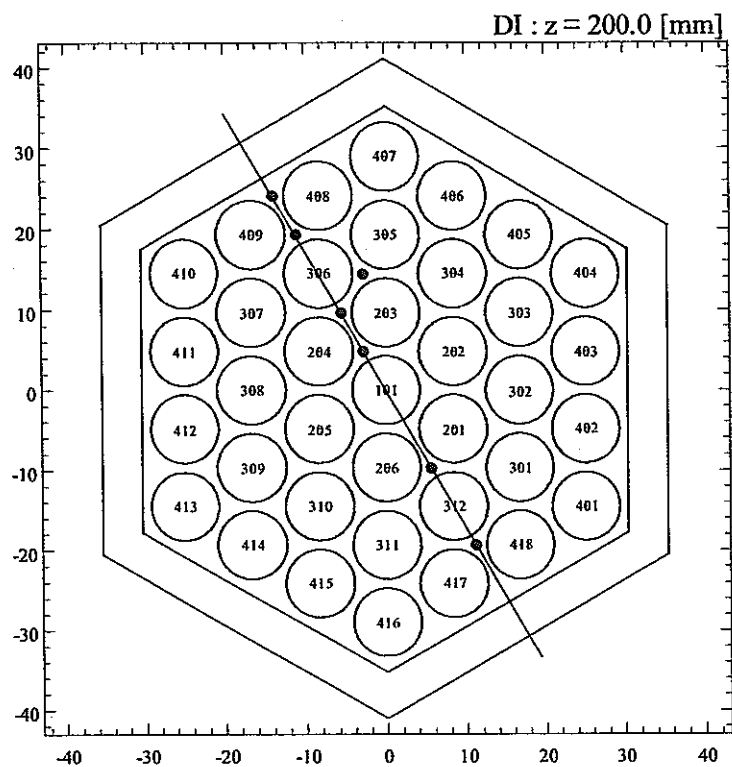


図 3-26 径方向冷却材温度分布 (Line A-DI 断面)



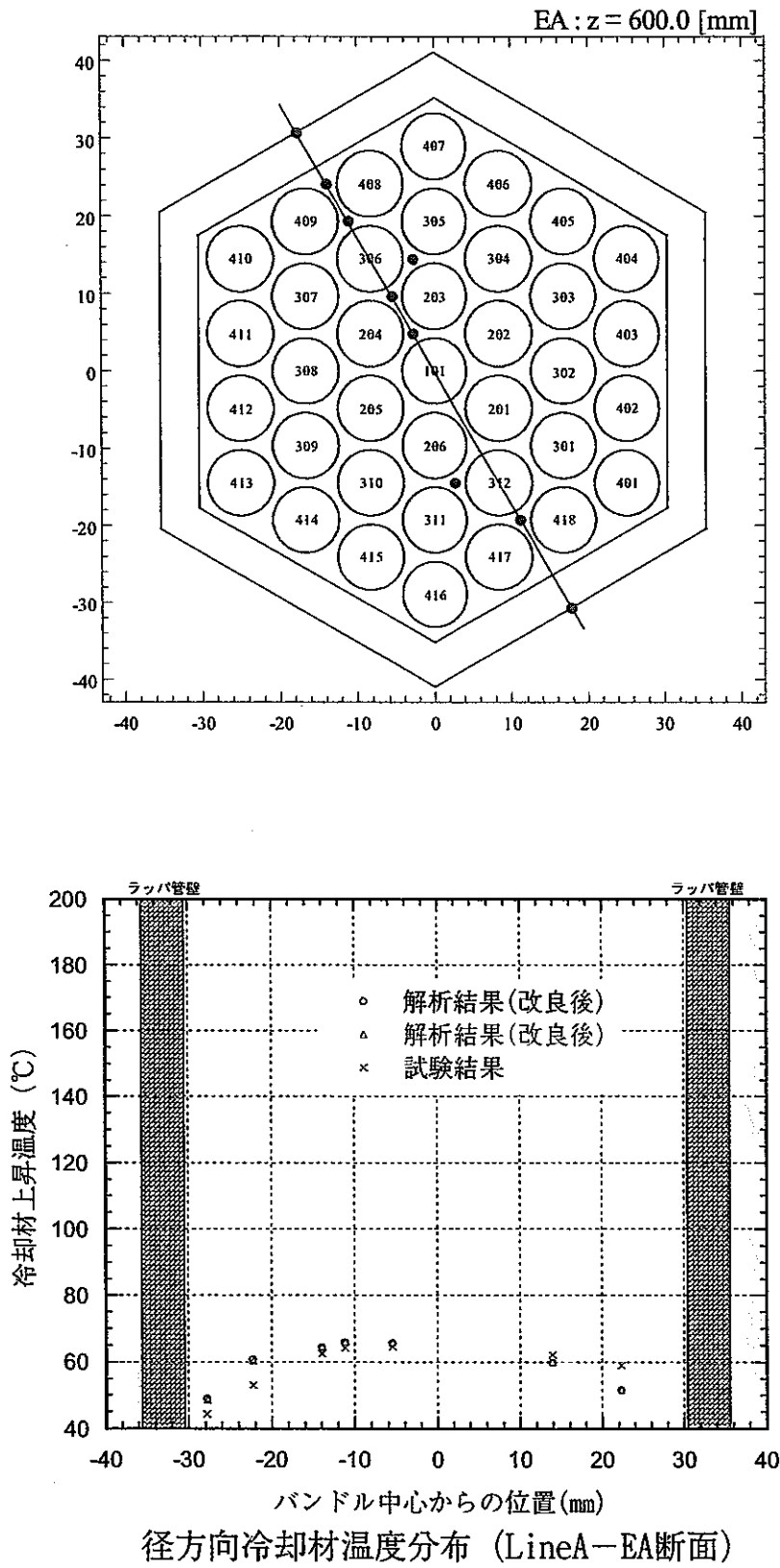


図 3-28 径方向冷却材温度分布 (Line A-EA 断面)

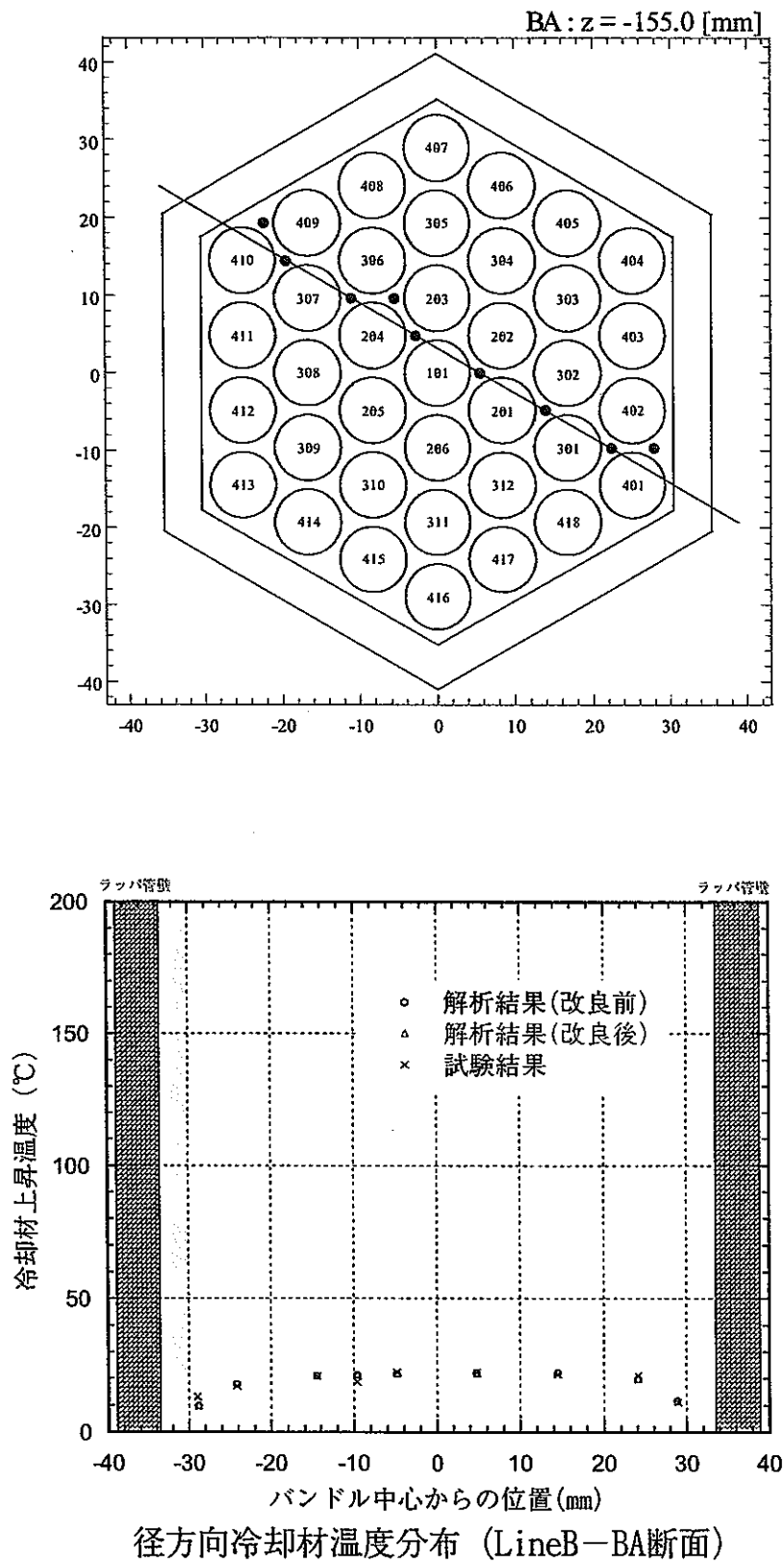


図 3-29 径方向冷却材温度分布 (Line B-BA 断面)

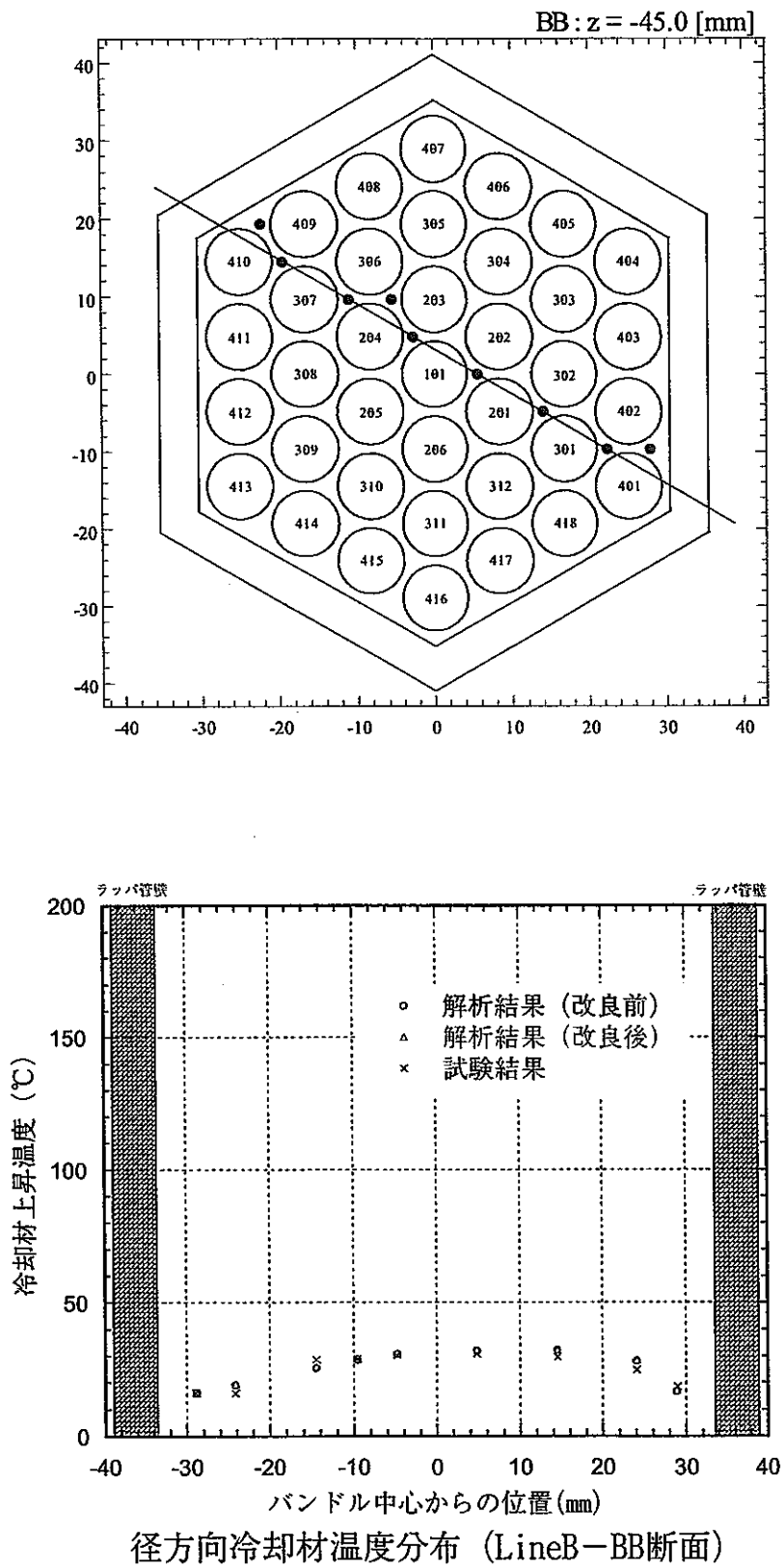


図 3-30 径方向冷却材温度分布 (Line B-BB 断面)



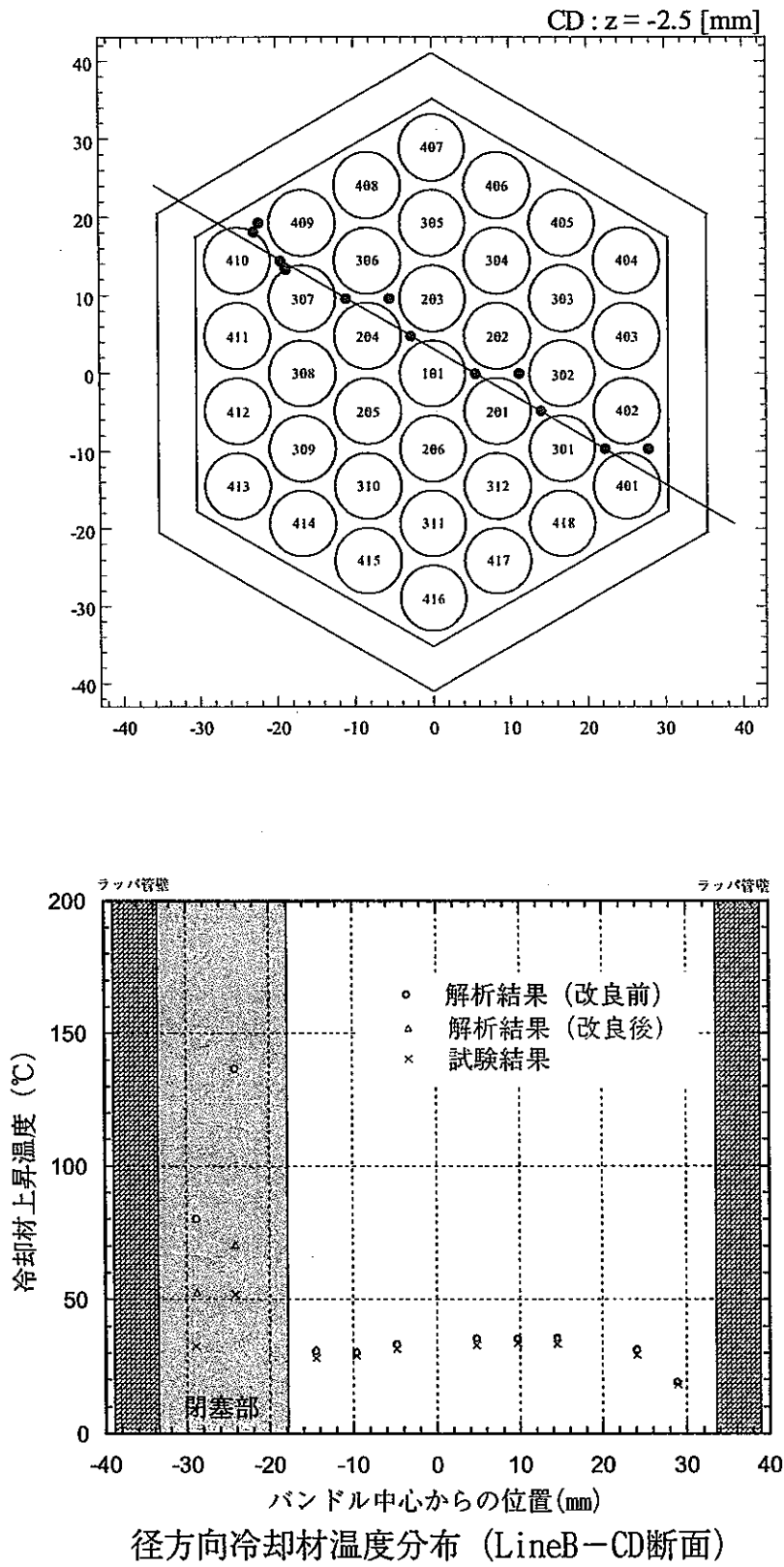


図 3-32 径方向冷却材温度分布 (Line B-CD 断面)

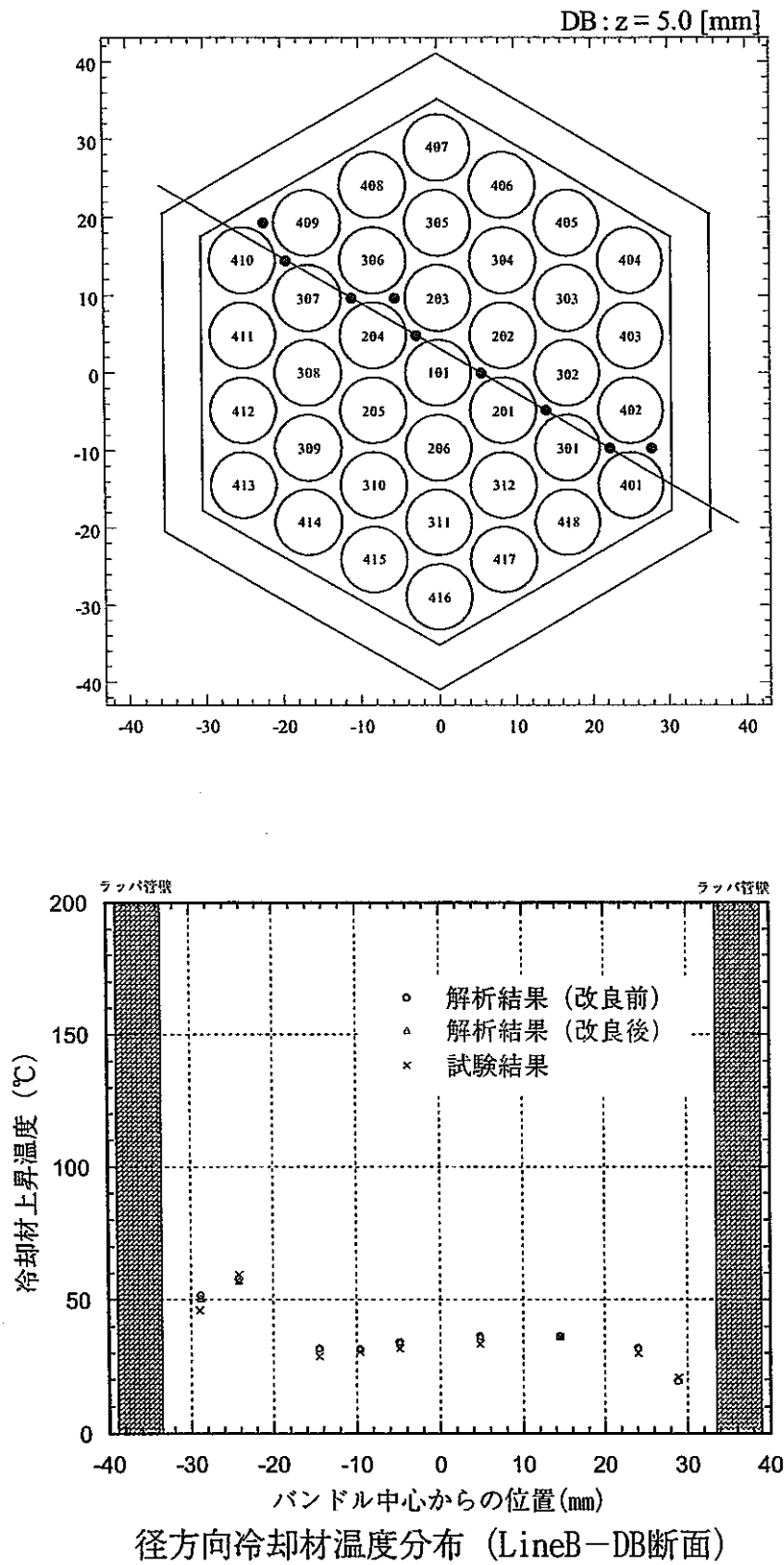


図 3-33 径方向冷却材温度分布 (Line B-DB 断面)

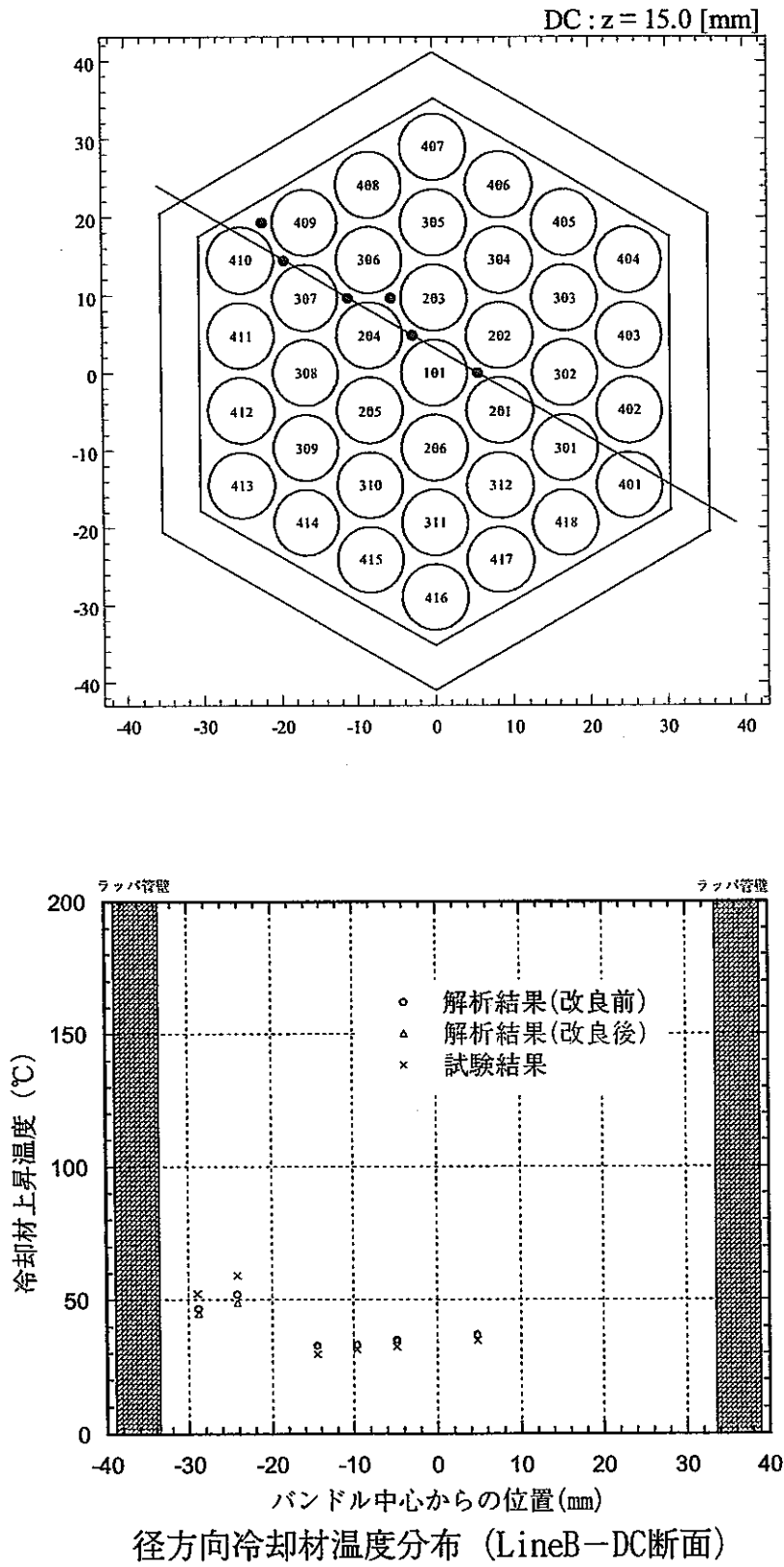


図 3-34 径方向冷却材温度分布 (Line B-DC 断面)

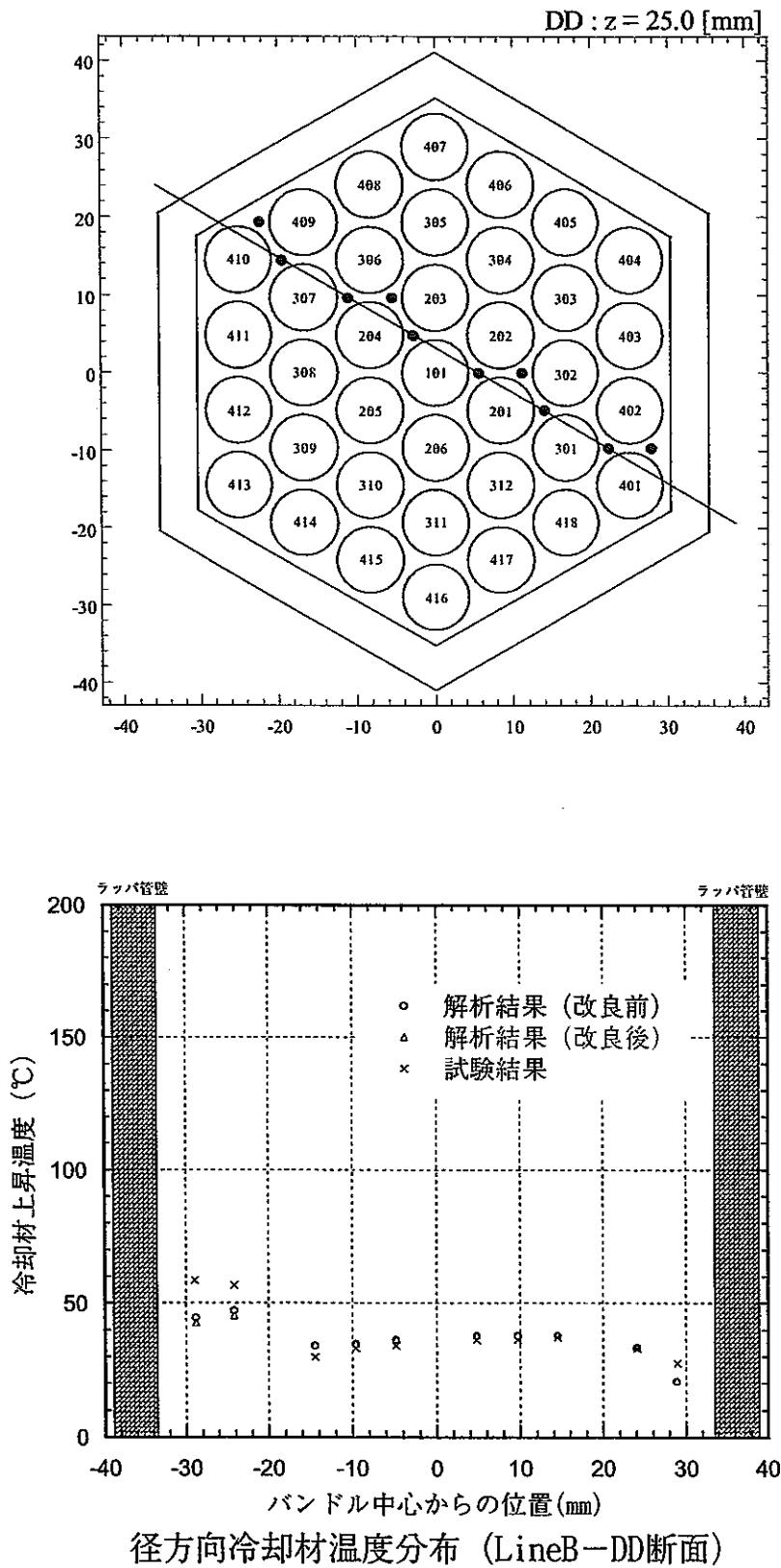


図 3-35 径方向冷却材温度分布 (Line B-DD 断面)



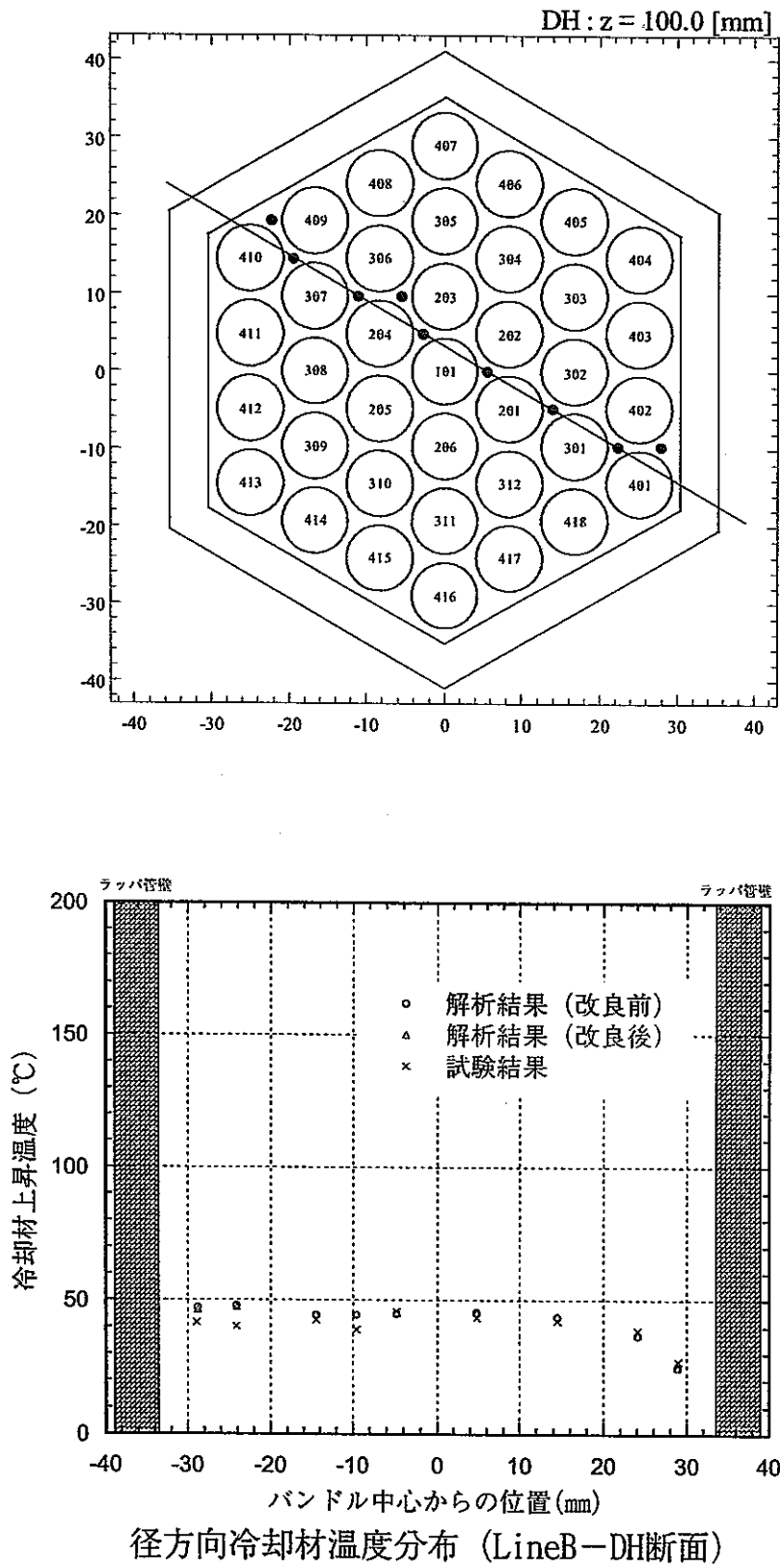


図 3-37 径方向冷却材温度分布 (Line B-DH 断面)

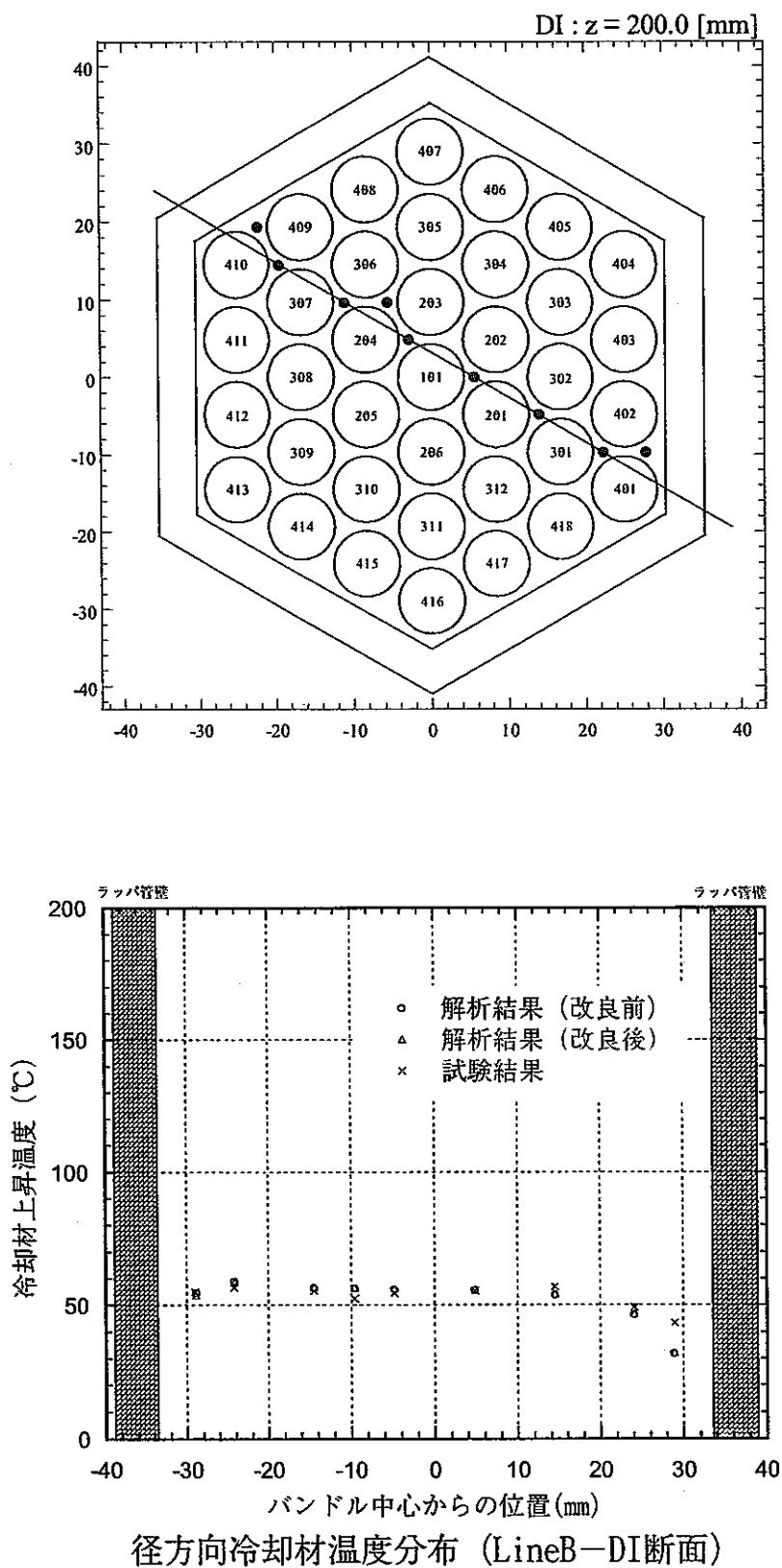


図 3-38 径方向冷却材温度分布 (Line B-DI 断面)

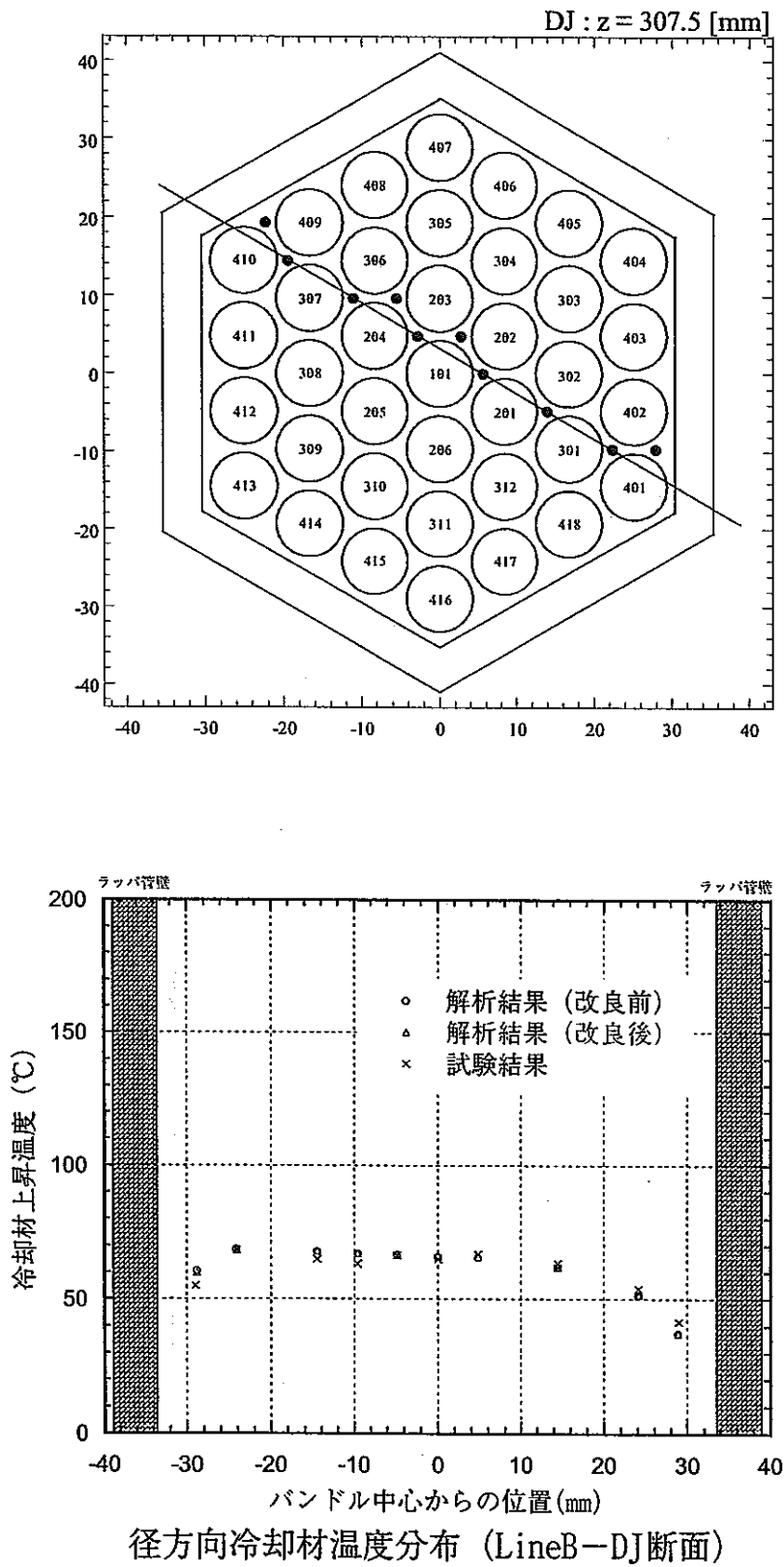


図 3-39 径方向冷却材温度分布 (Line B-DJ 断面)

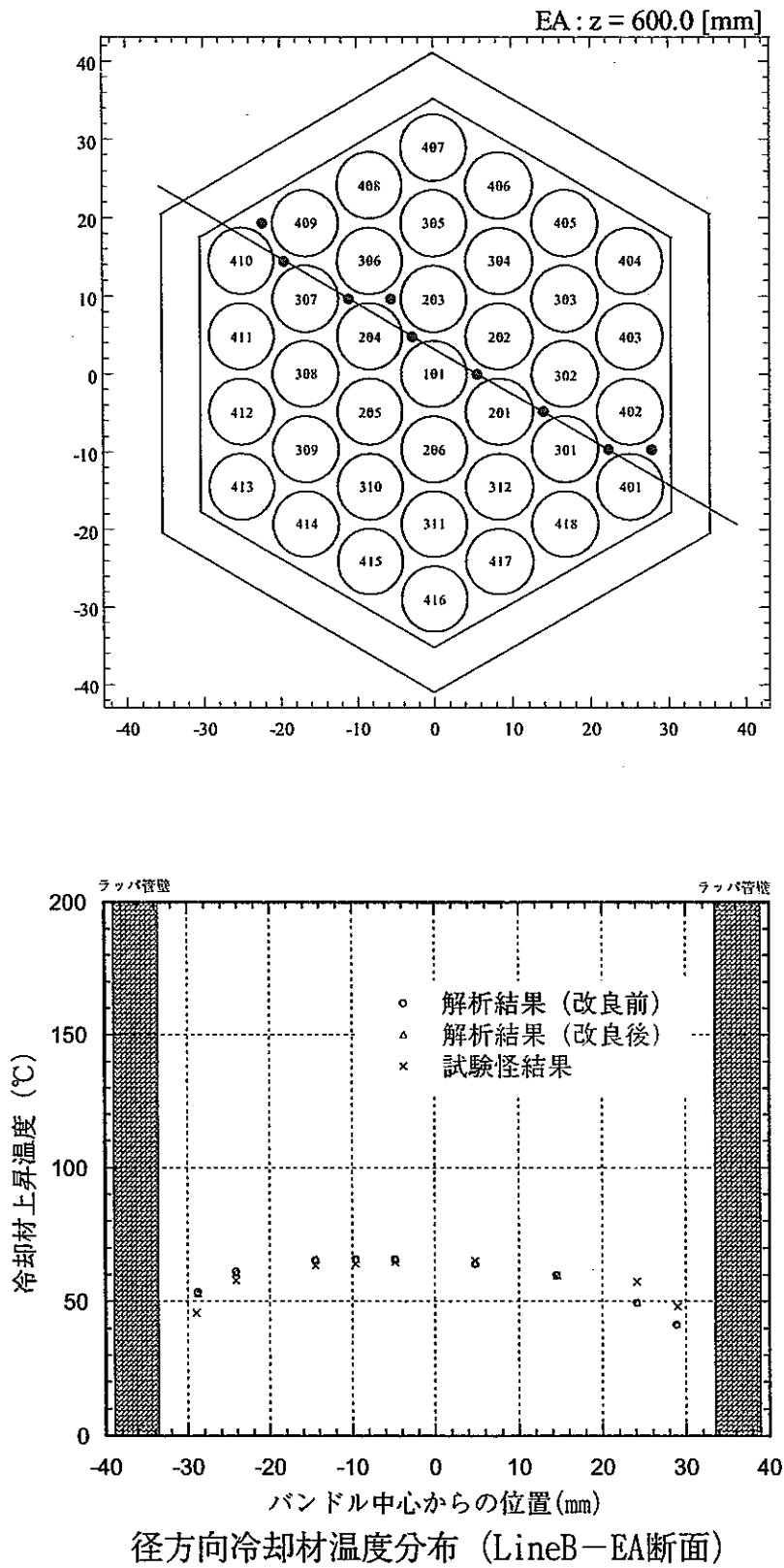


図 3-40 径方向冷却材温度分布 (Line B-EA 断面)

## < 付 録 1 >

### 入力使用の変更

## 入力データ読み込みのためのサブルーチン、READIN.fの改良

従来の、閉塞領域を区別するための変数 K を、閉塞モデルパラメータに関してグルーピングされた K 種類目の閉塞として識別するための変数とした。また、変数 NBLCK は従来閉塞領域の個数であったが、改良後は閉塞モデルパラメータに関する種類の個数とした。閉塞を識別するための変数 K は、1~NBLCK の値をとり、閉塞が平板閉塞の場合もこの変数の中にカウントするとした。

さらに、以下の変数を新たに導入した。

IBLCK(I,L) : C.V-I (I,J)がどの種類の閉塞に属するかを識別するための変数。  
 NPB : NBLCK 種類ある閉塞の中でのポーラス状閉塞の個数をカウントするための変数。  
 NBLCV(K) : K 番目の種類の閉塞モデルパラメータを持つ C.V-I の個数。

また、次の変数を以下のように変更した。

LBI(I,K) : 閉塞領域 K を構成する C.V-I の内、サブチャンネルに関して I 個目の (入力.TXT 上でサブチャンネルに関して I 番目の) C.V-I のサブチャンネル番号。  
 ↓

LBI(N,K) : 閉塞モデルパラメータに関して、K 番目の種類の閉塞を構成する C.V-I の内、N 個目の (入力.TXT 上で N 番目の) C.V-I のサブチャンネル番号。

LBL(L,K) : 閉塞領域 K を構成する C.V-I の内、軸方向メッシュに関して L 個目の (入力.TXT 上で軸方向メッシュに関して L 番目の) C.V-I の軸方向メッシュ番号。  
 ↓

LBL(N,K) : 閉塞モデルパラメータに関して、K 番目の種類の閉塞を構成する C.V-I の内、N 個目の (入力.TXT 上で軸方向メッシュに関して L 番目の) C.V-I の軸方向メッシュ番号。

閉塞に関する諸物理量は、共通ブロック名 BLK の COMMON 文で宣言した。但し、IBLCK(I,L)については、新たな共通ブロック名 LCBLK の COMMON 文の中で宣言した。

```
COMMON /BLK / NBLCK, IBFRI,FVOL(10),FARA(10),
1           FARL(10),DHBP,DHBA,DHBL,CSHAP,CVEL1(10),
```

```
2          IBHTM,NDMY1,TKBLK,HWB,HBLL,ABLI,CEL,CVEL2(10)
COMMON /LCBLK/ IBLCK(IMAX_,LMAX_)
```

また、今回変更した変数 LBI(N,K)、LBL(N,K)の次元を(IMAX\_<sub>×</sub>LMAX\_<sub>)</sub>×10とし、SIZ\_PARM の中で新たに CVMAX\_<sub>=</sub>IMAX\_<sub>\*</sub>LMAX\_<sub>を付け加えた。</sub>

```
PARAMETER(CVMAX_=IMAX_*LMAX_)
```

LBI(N,K),LBL(N,K)と同時に NBLCV(10)も宣言し、以下のように DIMENSION 文の中で宣言し直した。

```
DIMENSION LBL(CVMAX_,10),LBI(CVMAX_,10),NBLCV(10),
```

## 変更後のサブルーチン READIN.f

(閉塞に関する諸物理量は、共通ブロック名 BLK の COMMON 文で宣言。)

```
⇒ COMMON /BLK /  NBLCK,NBLCV(10),IBFRI,FVOL(10), FARA(10),
    1          FARL(10),DHBP,DHBA,DHBL,CSHAP,CVEL1(10),
    2          IBHTM,NDMY1,TKBLK,HWB,HBLI,ABLI,CEL,CVEL2(10)
```

(PARAMETER(CVMAX\_=LMAX\_\*NMAX\_) を付加。)

```
⇒ INCLUDE 'INCCOM/SIZ_PARM'
```

(IBLCK(I,L)については、新たな共通ブロック名 LCBLK の COMMON 文の中で宣言。)

```
⇒ COMMON /LCBLK /  IBLCK(IMAX_,LMAX_)
```

(LBI(N,K)、LBL(N,K)の宣言。)

```
⇒ DIMENSION LBL(CVMAX_,10),LBI(CVMAX_,10)
```

C\*\*\* BLOCKAGE INFORMATION

C

DO 7100 I=1,NCHAN

DO 7100 L=NBOT,NTOP

LBS(I,L)=0

(C.V-I(I,J)がどの種類の閉塞に属するかを識別するための変数IBLCK(I,J)に、バンドルのサブチャンネルすべてにわたり0を入力。)

⇒ IBLCK(I,L)=0

LGS(I,L)=0

7100 CONTINUE

READ(IREN,100) NBLCK,IBFRI,IBHTM

IF(NBLCK.LE.0) THEN

GOTO 7200

ELSE IF(NBLCK.GT.IMAX) THEN

WRITE(6,9900)

STOP

ENDIF

WRITE(IPRN,871) NBLCK

IF(IBFRI.EQ.0) THEN

WRITE(IPRN,872)

ELSE IF(IBFRI.EQ.1) THEN

WRITE(IPRN,873)

ELSE

WRITE(IPRN,874)

ENDIF

WRITE(IPRN,876) IBHTM

(閉塞モデルパラメータ以外の閉塞に関する物性値を入力.TXTから読み込む。)

⇒ READ(IREN,110) DHBP,DHBA,DHBL,CEL,CSHAP

⇒ READ(IREN,110) TKBLK,HWB,HBLI,ABLI

(出力.TXTに、'BLOCKAGE INFORMATION'と表示)

⇒ WRITE(IPRN,880)

(ボース状閉塞の個数をカウントするための変数NPBに0を入力。)

⇒ NPB=0

DO 7110 K=1,NBLCK

(何番目の種類の閉塞に属するかを出力.TXTに表示。)

⇒ WRITE(IPRN,883) K

(読み取ったK番目の種類の閉塞が何個の C.V-I から構成されているのかを入力.TXT から読み込む。)

⇒ READ(IRED,100) NBLCV(K)

(閉塞 K の閉塞モデルパラメータを入力.TXT から読み込む。)

⇒ READ(IRED,110) FVOL(K),FARA(K),FARL(K),CVEL1(K),CVEL2(K)

(閉塞 K がポーラス状閉塞の場合は出力.TXT に以下のように表示。)

BLOCKAGE DATA ( POROUS BLOCKAGE WHEN VOLUME POROSITY > 1.0D-10 )

IF(FVOL(K).GE.1.0D-10) THEN

⇒ WRITE(IPRN,881)

(閉塞 K が平板閉塞の場合は出力.TXT に以下のように表示。)

BLOCKAGE DATA ( SOLID BLOCKAGE WHEN VOLUME POROSITY < 1.0D-10 )

EISE

⇒ WRITE(IPRN,882)

END IF

(読み取ったK番目の種類の閉塞が何個の C.V-I から構成されているのかを入力.TXT から読み込む。)

⇒ READ(IRED,100) NBLCV(K)

(閉塞 K の閉塞モデルパラメータを出力.TXT に表示。)

⇒ WRITE(IPRN,884) FVOL(K)

WRITE(IPRN,885) FARA(K)

WRITE(IPRN,886) FARL(K)

WRITE(IPRN,887) CVEL1(K)

WRITE(IPRN,888) CVEL2(K)

IF(FVOL(K).LT.1.0D-10) THEN

IPB =1

ELSE

IPB =2

(NBLCCK 種類在る閉塞の中でのポーラス状閉塞の個数をカウント。)

⇒ NPB=NPB+1

END IF

DO 7300 J=1,NBLCV(K)

(閉塞 K の N 番目の C.V-I (I,J)のサブチャンネル位置と軸方向メッシュ番号を入力.TXT から読み込む。)

⇒ READ(IRED,100) LBI(J,K), LBL(J,K)

IB =LBI(J,K)

LB =LBL(J,K)

(閉塞がポーラス状閉塞の場合、C.V-I (IB,JB)が閉塞 K に属することを記録するために、識別肢 IBLCCK(IB,JB)に K を入力。)



## < 付 録 2 >

検証解析に使用した入力データリスト

燃料集合体ポーラス状周辺流路閉塞ナトリウム試験解析

178	78	114	37	0	2	0	1	15	8	178
0	500		0.0	5000	1	0				
2	0		1.0E-8		1.0E-8		1.0E-8			
0	1		0	0	1	1	2			
1	178									
8.5E-3	9.65E-3		0.0E+0	5.3986E-3						
0.00	0.00									
-9.8070	3.141593		0.72							
0.0600	1.3000		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
1	5000		0.0E+0	1.0E-10	1.0000	0.0000	.0000			
9										
8.3330E-03	1	54	4	1	0					
5.6250E-03	55	58	4	1	0					
3.7500E-03	59	62	4	1	0					
2.5000E-03	63	70	4	1	0					
2.5000E-03	71	84	4	1	0					
2.5000E-03	85	92	4	1	0					
3.7500E-03	93	96	4	1	0					
5.6250E-03	97	100	4	1	0					
8.3330E-03	101	178	4	1	0					
78										
1	3	0	6	2	0					
2	2	0	8	1	3					
3	2	0	10	2	4					
4	2	0	12	3	5					
5	3	0	4	14	0					
6	2	0	1	15	7					
7	1	0	17	6	8					
8	1	0	2	7	9					
9	1	0	19	8	10					
10	1	0	3	9	11					
11	1	0	21	10	12					
12	1	0	4	11	13					
13	1	0	23	12	14					
14	2	0	5	13	25					
15	2	0	6	26	16					
16	1	0	28	15	17					
17	1	0	7	16	18					
18	1	0	30	17	19					
19	1	0	9	18	20					
20	1	0	32	19	21					
21	1	0	11	20	22					
22	1	0	34	21	23					
23	1	0	13	22	24					
24	1	0	36	23	25					
25	2	0	14	24	38					
26	2	0	15	40	27					
27	1	0	42	26	28					
28	1	0	16	27	29					
29	1	0	44	28	30					
30	1	0	18	29	31					
31	1	0	46	30	32					
32	1	0	20	31	33					
33	1	0	48	32	34					
34	1	0	22	33	35					
35	1	0	50	34	36					
36	1	0	24	35	37					
37	1	0	52	36	38					
38	2	0	25	37	39					
39	3	0	53	38	0					
40	3	0	26	41	0					
41	2	0	54	40	42					
42	1	0	27	41	43					
43	1	0	55	42	44					

44	1	0	29	43	45
45	1	0	57	44	46
46	1	0	31	45	47
47	1	0	59	46	48
48	1	0	33	47	49
49	1	0	61	48	50
50	1	0	35	49	51
51	1	0	63	50	52
52	1	0	37	51	53
53	2	0	64	52	39
54	2	0	65	41	55
55	1	0	43	54	56
56	1	0	66	55	57
57	1	0	45	56	58
58	1	0	68	57	59
59	1	0	47	58	60
60	1	0	70	59	61
61	1	0	49	60	62
62	1	0	72	61	63
63	1	0	51	62	64
64	2	0	73	63	53
65	2	0	74	54	66
66	1	0	56	65	67
67	1	0	75	66	68
68	1	0	58	67	69
69	1	0	76	68	70
70	1	0	60	69	71
71	1	0	77	70	72
72	1	0	62	71	73
73	2	0	78	72	64
74	3	0	65	75	0
75	2	0	67	74	76
76	2	0	69	75	77
77	2	0	71	76	78
78	3	0	73	77	0
1	79	11	0	0	
2	79	11	0	0	
3	79	11	0	0	
4	80	0	5	6	
5	74	7	3	0	
6	75	1	5	0	
7	80	0	3	5	
8	76	1	3	5	
9	80	0	3	5	
10	77	1	3	5	
11	80	0	3	5	
12	78	6	3	0	
13	79	11	0	0	
14	79	11	0	0	
15	79	11	0	0	
16	79	11	0	0	
17	79	11	0	0	
18	80	0	5	6	
19	65	2	2	3	
20	66	1	0	0	
21	67	2	0	0	
22	68	1	0	0	
23	69	2	0	0	
24	70	1	0	0	
25	71	2	0	0	
26	72	1	0	0	
27	73	2	5	0	
28	80	0	3	6	
29	79	11	0	0	
30	79	11	0	0	

31	79	11	0	0
32	80	0	5	6
33	54	2	2	3
34	55	1	0	0
35	56	2	0	0
36	57	1	0	0
37	58	2	0	0
38	59	1	0	0
39	60	2	0	0
40	61	1	0	0
41	62	2	0	0
42	63	1	0	0
43	64	2	2	5
44	80	0	3	6
45	79	11	0	0
46	40	3	6	0
47	41	2	2	0
48	42	1	0	0
49	43	2	0	0
50	44	1	0	0
51	45	2	0	0
52	46	1	0	0
53	47	2	0	0
54	48	1	0	0
55	49	2	0	0
56	50	1	0	0
57	51	2	0	0
58	52	1	0	0
59	53	2	2	5
60	80	0	3	6
61	80	0	2	5
62	26	1	3	6
63	27	2	0	0
64	28	1	0	0
65	29	2	0	0
66	30	1	0	0
67	31	2	0	0
68	32	1	0	0
69	33	2	0	0
70	34	1	0	0
71	35	2	0	0
72	36	1	0	0
73	37	2	0	0
74	38	1	6	0
75	39	4	2	0
76	79	11	0	0
77	80	0	2	5
78	15	1	3	6
79	16	2	0	0
80	17	1	0	0
81	18	2	0	0
82	19	1	0	0
83	20	2	0	0
84	21	1	0	0
85	22	2	0	0
86	23	1	0	0
87	24	2	0	0
88	25	1	5	6
89	80	0	2	3
90	79	11	0	0
91	79	11	0	0
92	79	11	0	0
93	80	0	2	5
94	6	1	3	0
95	7	2	0	0

96	8	1	0	0							
97	9	2	0	0							
98	10	1	0	0							
99	11	2	0	0							
100	12	1	0	0							
101	13	2	0	0							
102	14	1	5	6							
103	80	0	2	3							
104	79	11	0	0							
105	79	11	0	0							
106	79	11	0	0							
107	79	11	0	0							
108	79	11	0	0							
109	1	5	5	0							
110	80	0	3	5							
111	2	2	3	5							
112	80	0	3	5							
113	3	2	3	5							
114	80	0	3	5							
115	4	2	3	0							
116	5	7	5	0							
117	80	0	2	3							
118	79	11	0	0							
119	79	11	0	0							
120	79	11	0	0							
-6	1	1	1	-5	6	1	-1	1	-1	1	-1
1	-4	6	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
-4	6	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	-4	9	6	-7	-1	1	-1	1	-1	1	-1
1	-1	1	-1	9	-7	-1	1	-1	1	-1	1
-1	1	-1	9	-7	-1	1	-1	1	-1	1	-1
9	7	-1	-1	-1	-9						
5	-5	-5	-5	4	-6	-2	-3	-2	-3	-2	-3
-2	-3	-6	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2
-3	-6	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3
-2	-3	-4	-7	7	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3
-2	-3	-2	-3	-2	7	-3	-2	-3	-2	-3	-2
-3	-2	-3	-2	7	-3	-2	-3	-2	-3	-2	-3
-2	-8	8	8	8	8						
0	5	5	5	0	2	3	2	3	2	3	2
3	4	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
4	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
3	4	0	0	3	2	3	2	3	2	3	2
3	2	3	2	-9	3	2	3	2	3	2	3
2	3	2	-9	3	2	3	2	3	2	3	2
-9	0	-8	-8	-8	0						
24											
1	2										
2	1										
3	1										
4	1										
5	2										
6	1										
14	1										
15	1										
25	1										
26	1										
38	1										
39	2										
40	2										
41	1										
53	1										
54	1										
64	1										
65	1										

73	1				
74	2				
75	1				
76	1				
77	1				
78	2				
1	2	0	10	11	240.0
2	1	0	3	4	0.0
3	2	4	13	14	270.0
4	2	3	5	6	0.0
5	4	6	16	17	270.0
6	4	5	7	8	0.0
7	6	8	19	20	270.0
8	6	7	9	0	0.0
9	8	0	22	23	300.0
10	1	11	24	25	240.0
11	1	10	12	13	330.0
12	11	13	27	28	270.0
13	11	12	3	14	30.0
14	3	13	15	16	330.0
15	14	16	30	31	270.0
16	14	15	5	17	30.0
17	5	16	18	19	330.0
18	17	19	33	34	270.0
19	17	18	7	20	30.0
20	7	19	21	22	330.0
21	20	22	36	37	270.0
22	20	21	9	23	30.0
23	9	22	39	40	300.0
24	10	25	41	42	240.0
25	10	24	26	27	330.0
26	25	27	44	45	270.0
27	25	26	12	28	30.0
28	12	27	29	30	330.0
29	28	30	47	48	270.0
30	28	29	15	31	30.0
31	15	30	32	33	330.0
32	31	33	50	51	270.0
33	31	32	18	34	30.0
34	18	33	35	36	330.0
35	34	36	53	54	270.0
36	34	35	21	37	30.0
37	21	36	38	39	330.0
38	37	39	56	57	270.0
39	37	38	23	40	30.0
40	23	39	59	60	300.0
41	24	42	62	0	240.0
42	24	41	43	44	330.0
43	42	44	64	65	270.0
44	42	43	26	45	30.0
45	26	44	46	47	330.0
46	45	47	67	68	270.0
47	45	46	29	48	30.0
48	29	47	49	50	330.0
49	48	50	70	71	270.0
50	48	49	32	51	30.0
51	32	50	52	53	330.0
52	51	53	73	74	270.0
53	51	52	35	54	30.0
54	35	53	55	56	330.0
55	54	56	76	77	270.0
56	54	55	38	57	30.0
57	38	56	58	59	330.0
58	57	59	79	80	270.0
59	57	58	40	60	30.0

60	40	59	61	0	300.0
61	60	0	80	81	240.0
62	41	0	63	64	300.0
63	62	64	82	83	300.0
64	62	63	43	65	30.0
65	43	64	66	67	330.0
66	65	67	83	84	270.0
67	65	66	46	68	30.0
68	46	67	69	70	330.0
69	68	70	86	87	270.0
70	68	69	49	71	30.0
71	49	70	72	73	330.0
72	71	73	89	90	270.0
73	71	72	52	74	30.0
74	52	73	75	76	330.0
75	74	76	92	93	270.0
76	74	75	55	77	30.0
77	55	76	78	79	330.0
78	77	79	95	96	270.0
79	77	78	58	80	30.0
80	58	79	61	81	330.0
81	61	80	96	97	240.0
82	63	83	98	99	300.0
83	63	82	66	84	30.0
84	66	83	85	86	330.0
85	84	86	99	100	270.0
86	84	85	69	87	30.0
87	69	86	88	89	330.0
88	87	89	102	103	270.0
89	87	88	72	90	30.0
90	72	89	91	92	330.0
91	90	92	105	106	270.0
92	90	91	75	93	30.0
93	75	92	94	95	330.0
94	93	95	108	109	270.0
95	93	94	78	96	30.0
96	78	95	81	97	330.0
97	81	96	109	110	240.0
98	82	99	111	0	300.0
99	82	98	85	100	30.0
100	85	99	101	102	330.0
101	100	102	111	112	270.0
102	100	101	88	103	30.0
103	88	102	104	105	330.0
104	103	105	112	113	270.0
105	103	104	91	106	30.0
106	91	105	107	108	330.0
107	106	108	113	114	270.0
108	106	107	94	109	30.0
109	94	108	97	110	330.0
110	97	109	114	0	240.0
111	98	0	101	112	0.0
112	101	111	104	113	0.0
113	104	112	107	114	0.0
114	107	113	110	0	0.0

37

1	1	1	1.0	5	1.1667	2.2500	6.2500	7.1667	8.1667	0
2	1	1	1.0	5	2.2500	3.2500	8.1667	9.1667	10.1667	0
3	1	1	1.0	5	3.2500	4.2500	10.1667	11.1667	12.1667	0
4	1	1	1.0	5	4.2500	5.1667	12.1667	13.1667	14.2500	0
5	1	1	1.0	5	6.2500	7.1667	15.2500	16.1667	17.1667	0
6	1	1	1.0	6	7.1667	8.1667	9.1667	17.1667	18.1667	19.1667
7	1	1	1.0	6	9.1667	10.1667	11.1667	19.1667	20.1667	21.1667
8	1	1	1.0	6	11.1667	12.1667	13.1667	21.1667	22.1667	23.1667
9	1	1	1.0	5	13.1667	14.2500	23.1667	24.1667	25.2500	0

10	1	1	1.0	5 15 .2500	16 .1667	26 .2500	27 .1667	28 .1667	0
11	1	1	1.0	6 16 .1667	17 .1667	18 .1667	28 .1667	29 .1667	30 .1667
12	1	1	1.0	6 18 .1667	19 .1667	20 .1667	30 .1667	31 .1667	32 .1667
13	1	1	1.0	6 20 .1667	21 .1667	22 .1667	32 .1667	33 .1667	34 .1667
14	1	1	1.0	6 22 .1667	23 .1667	24 .1667	34 .1667	35 .1667	36 .1667
15	1	1	1.0	5 24 .1667	25 .2500	36 .1667	37 .1667	38 .2500	0
16	1	1	1.0	5 26 .2500	27 .1667	40 .1667	41 .2500	42 .1667	0
17	1	1	1.0	6 27 .1667	28 .1667	29 .1667	42 .1667	43 .1667	44 .1667
18	1	1	1.0	6 29 .1667	30 .1667	31 .1667	44 .1667	45 .1667	46 .1667
19	1	1	1.0	6 31 .1667	32 .1667	33 .1667	46 .1667	47 .1667	48 .1667
20	1	1	1.0	6 33 .1667	34 .1667	35 .1667	48 .1667	49 .1667	50 .1667
21	1	1	1.0	6 35 .1667	36 .1667	37 .1667	50 .1667	51 .1667	52 .1667
22	1	1	1.0	5 37 .1667	38 .2500	39 .1667	52 .1667	53 .2500	0
23	1	1	1.0	5 41 .2500	42 .1667	43 .1667	54 .2500	55 .1667	0
24	1	1	1.0	6 43 .1667	44 .1667	45 .1667	55 .1667	56 .1667	57 .1667
25	1	1	1.0	6 45 .1667	46 .1667	47 .1667	57 .1667	58 .1667	59 .1667
26	1	1	1.0	6 47 .1667	48 .1667	49 .1667	59 .1667	60 .1667	61 .1667
27	1	1	1.0	6 49 .1667	50 .1667	51 .1667	61 .1667	62 .1667	63 .1667
28	1	1	1.0	5 51 .1667	52 .1667	53 .2500	63 .1667	64 .2500	0
29	1	1	1.0	5 54 .2500	55 .1667	56 .1667	65 .2500	66 .1667	0
30	1	1	1.0	6 56 .1667	57 .1667	58 .1667	66 .1667	67 .1667	68 .1667
31	1	1	1.0	6 58 .1667	59 .1667	60 .1667	68 .1667	69 .1667	70 .1667
32	1	1	1.0	6 60 .1667	61 .1667	62 .1667	70 .1667	71 .1667	72 .1667
33	1	1	1.0	5 62 .1667	63 .1667	64 .2500	72 .1667	73 .2500	0
34	1	1	1.0	5 65 .2500	66 .1667	67 .1667	74 .1667	75 .2500	0
35	1	1	1.0	5 67 .1667	68 .1667	69 .1667	75 .2500	76 .2500	0
36	1	1	1.0	5 69 .1667	70 .1667	71 .1667	76 .2500	77 .2500	0
37	1	1	1.0	5 71 .1667	72 .1667	73 .2500	77 .2500	78 .1667	0

1	0		
0.0011		0.2	119.5
1	0	0	
1	2	0	
2	3	0	
3	4	0	
4	0	0	
5	1	0	
5	6	1	
6	2	1	
6	7	2	
7	3	2	
7	8	3	
8	4	3	
8	9	4	
4	9	0	
10	5	0	
10	11	5	
11	6	5	
11	12	6	
12	7	6	
12	13	7	
13	8	7	
13	14	8	
14	9	8	
14	15	9	
9	15	0	
16	10	0	
16	17	10	
17	11	10	
17	18	11	
18	12	11	
18	19	12	
19	13	12	
19	20	13	
20	14	13	
20	21	14	

21	15	14
21	22	15
15	22	0
22	0	0
16	0	0
23	16	0
23	17	16
23	24	17
24	18	17
24	25	18
25	19	18
25	26	19
26	20	19
26	27	20
27	21	20
27	28	21
28	22	21
22	28	0
29	23	0
29	24	23
29	30	24
30	25	24
30	31	25
31	26	25
31	32	26
32	27	26
32	33	27
33	28	27
28	33	0
34	29	0
34	30	29
34	35	30
35	31	30
35	36	31
36	32	31
36	37	32
37	33	32
33	37	0
34	0	0
35	34	0
36	35	0
37	36	0
37	0	0
1	0	
1	0	
1	2	
2	0	
2	3	
3	0	
3	4	
4	0	
4	0	
5	0	
5	1	
5	6	
6	1	
6	2	
6	7	
7	2	
7	3	
7	8	
8	3	
8	4	
8	9	
9	4	

9	0
10	0
10	5
10	11
11	5
11	6
11	12
12	6
12	7
12	13
13	7
13	8
13	14
14	8
14	9
14	15
15	9
15	0
16	0
16	10
16	17
17	10
17	11
17	18
18	11
18	12
18	19
19	12
19	13
19	20
20	13
20	14
20	21
21	14
21	15
21	22
22	15
22	0
22	0
16	0
23	0
23	16
23	17
23	24
24	17
24	18
24	25
25	18
25	19
25	26
26	19
26	20
26	27
27	20
27	21
27	28
28	21
28	22
28	0
29	0
29	23
29	24
29	30
30	24
30	25

30	31		
31	25		
31	26		
31	32		
32	26		
32	27		
32	33		
33	27		
33	28		
33	0		
34	0		
34	29		
34	30		
34	35		
35	30		
35	31		
35	36		
36	31		
36	32		
36	37		
37	32		
37	33		
37	0		
34	0		
35	0		
36	0		
37	0		
0			
1	0	0	
1	2		
1	0.0	0.00425	
1	2		
1	.0		
1	0	0	
1	2		
1	0.0	0.00425	
1	2		
1	.0		
1	0	0	
1	2		
1	0.0	0.00425	
1	2		
1	.0		
1	0	0	
1	2		
1	0.0	0.00425	
1	2		
1	.0		
1	0	0	



18	6.7304	633.121
19	6.7304	633.121
20	6.7304	633.121
21	6.7304	633.121
22	6.7304	633.121
23	6.7304	633.121
24	6.7304	633.121
25	6.7304	633.121
26	6.7304	633.121
27	6.7304	633.121
28	6.7304	633.121
29	6.7304	633.121
30	6.7304	633.121
31	6.7304	633.121
32	6.7304	633.121
33	6.7304	633.121
34	6.7304	633.121
35	6.7304	633.121
36	6.7304	633.121
37	6.7304	633.121
38	6.7304	633.121
39	6.7304	633.121
40	6.7304	633.121
41	6.7304	633.121
42	6.7304	633.121
43	6.7304	633.121
44	6.7304	633.121
45	6.7304	633.121
46	6.7304	633.121
47	6.7304	633.121
48	6.7304	633.121
49	6.7304	633.121
50	6.7304	633.121
51	6.7304	633.121
52	6.7304	633.121
53	6.7304	633.121
54	6.7304	633.121
55	6.7304	633.121
56	6.7304	633.121
57	6.7304	633.121
58	6.7304	633.121
59	6.7304	633.121
60	6.7304	633.121
61	6.7304	633.121
62	6.7304	633.121
63	6.7304	633.121
64	6.7304	633.121
65	6.7304	633.121
66	6.7304	633.121
67	6.7304	633.121
68	6.7304	633.121
69	6.7304	633.121
70	6.7304	633.121
71	6.7304	633.121
72	6.7304	633.121
73	6.7304	633.121
74	6.7304	633.121
75	6.7304	633.121
76	6.7304	633.121
77	6.7304	633.121
78	6.7304	633.121
2.0E+5	581.48	0.0
2		
0.0	2	4
2.0E+5	581.48	6.3433

2.0E+5	646.57	0.0			
100.0	2 4				
2.0E+5	581.48	6.3433			
2.0E+5	646.57	0.0			
2					
	0.0 6.6414E+5	0.0E+0	0.0E+0	4.2651E+5	
	100.0 6.6414E+5	0.0E+0	0.0E+0	4.2651E+5	
2	100.0				
	0.0 1.0E-5	1.0E-1			
	100.0 1.0E-5	1.0E-1			
2					
10	1.0				
10	10.0				
3P	TL VL				
1FRC					
0					
0					
2	10 0				
3	87 10 87				
	0 0 0 0 0 0 0 0				
5	1 2				
	3.0E-4 3.0E-4	0.0E+0	0.0	0.0	
25.0	0.0	0.0	0.0		
28					
	0.52 0.624	0.624	0.192	1.0	
1	71				
1	72				
1	73				
1	74				
1	75				
1	76				
1	77				
1	78				
1	79				
1	80				
1	81				
1	82				
1	83				
1	84				
5	71				
5	72				
5	73				
5	74				
5	75				
5	76				
5	77				
5	78				
5	79				
5	80				
5	81				
5	82				
5	83				
5	84				
42					
	0.519 0.623	0.623	0.193	1.0	
2	71				
2	72				
2	73				
2	74				
2	75				
2	76				
2	77				
2	78				
2	79				
2	80				

2	81				
2	82				
2	83				
2	84				
3	71				
3	72				
3	73				
3	74				
3	75				
3	76				
3	77				
3	78				
3	79				
3	80				
3	81				
3	82				
3	83				
3	84				
4	71				
4	72				
4	73				
4	74				
4	75				
4	76				
4	77				
4	78				
4	79				
4	80				
4	81				
4	82				
4	83				
4	84				
28					
	0.523	0.628	0.628	0.191	1.0
6	71				
6	72				
6	73				
6	74				
6	75				
6	76				
6	77				
6	78				
6	79				
6	80				
6	81				
6	82				
6	83				
6	84				
14	71				
14	72				
14	73				
14	74				
14	75				
14	76				
14	77				
14	78				
14	79				
14	80				
14	81				
14	82				
14	83				
14	84				
42					
	0.55	0.66	0.66	0.182	1.0
8	71				

8	72				
8	73				
8	74				
8	75				
8	76				
8	77				
8	78				
8	79				
8	80				
8	81				
8	82				
8	83				
8	84				
10	71				
10	72				
10	73				
10	74				
10	75				
10	76				
10	77				
10	78				
10	79				
10	80				
10	81				
10	82				
10	83				
10	84				
12	71				
12	72				
12	73				
12	74				
12	75				
12	76				
12	77				
12	78				
12	79				
12	80				
12	81				
12	82				
12	83				
12	84				
56					
	0.53	0.636	0.636	0.189	1.0
7	71				
7	72				
7	73				
7	74				
7	75				
7	76				
7	77				
7	78				
7	79				
7	80				
7	81				
7	82				
7	83				
7	84				
9	71				
9	72				
9	73				
9	74				
9	75				
9	76				
9	77				
9	78				

9	79					
9	80					
9	81					
9	82					
9	83					
9	84					
11	71					
11	72					
11	73					
11	74					
11	75					
11	76					
11	77					
11	78					
11	79					
11	80					
11	81					
11	82					
11	83					
11	84					
13	71					
13	72					
13	73					
13	74					
13	75					
13	76					
13	77					
13	78					
13	79					
13	80					
13	81					
13	82					
13	83					
13	84					
0		0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	0.0E+0