JAEA-Technology
2012-019

小型高温ガス炉システムの概念設計（Ⅲ）

－炉心熱流動設計－

Conceptual Design of Small-sized HTGR System（Ⅲ）
– Core Thermal and Hydraulic Design –

稲葉 良知　佐藤 博之　後藤 実　大橋 弘史
橘 幸男

Yoshitomo INABA, Hiroyuki SATO, Minoru GOTO, Hirofumi OHASHI
and Yukio TACHIBANA

原子力水素・熱利用研究センター
小型高温ガス炉研究開発ユニット

Small-sized HTGR Research & Development Division
Nuclear Hydrogen and Heat Application Research Center

June 2012

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

JAEA-Technology 2012-019

小型高温ガス炉システムの概念設計（Ⅲ）
－炉心熱流動設計－

日本原子力研究開発機構　原子力水素・熱利用研究センター
小型高温ガス炉研究開発ユニット
稲葉　良知、佐藤　博之、後藤　実、大橋　弘史、橘　幸男

（2012 年 3 月 30 日受理）

独立行政法人　日本原子力研究開発機構は、開発途上国等への 2030 年代の世界展開を目指し、蒸気タービンによる発電、工業プロセスへの高温蒸気や地域暖房への低温蒸気供給を行う小型高温ガス炉システムの概念設計を進めている。その第１段階における概念設計の１つとして、商用１号機あるいは実証炉と位置付けられるリファレンス原子炉システムとなる原子炉熱出力 50 MW の発電・蒸気供給小型高温ガス炉システム（HTR50S）の炉心熱流動設計（HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いた場合）を実施した。炉心熱流動設計の目標は、通常運転時における燃料最高温度が、燃料の健全性が維持される制限値以下となるようにすることである。また炉心熱流動設計に続き、減圧事故を想定した安全解析を実施した。通常運転時における燃料温度及び減圧事故時における燃料温度と原子炉圧力容器温度を評価した結果、燃料及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性は損なわれないことを明らかにした。

大洗研究開発センター（駐在）：〒311-1393　茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

Conceptual Design of Small-sized HTGR System (III)
– Core Thermal and Hydraulic Design –

Yoshitomo INABA, Hiroyuki SATO, Minoru GOTO, Hirofumi OHASHI and Yukio TACHIBANA

Small-sized HTGR Research & Development Division
Nuclear Hydrogen and Heat Application Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

（Received March 30, 2012）

The Japan Atomic Energy Agency has started the conceptual designs of small-sized High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) systems, aiming for the 2030s deployment into developing countries. The small-sized HTGR systems can provide power generation by steam turbine, high temperature steam for industry process and/or low temperature steam for district heating. As one of the conceptual designs in the first stage, the core thermal and hydraulic design of the power generation and steam supply small-sized HTGR system with a thermal power of 50 MW (HTR50S), which was a reference reactor system positioned as a first commercial or demonstration reactor system, was carried out. HTR50S in the first stage has the same coated particle fuel as HTTR. The purpose of the design is to make sure that the maximum fuel temperature in normal operation doesn't exceed the design target. Following the design, safety analysis assuming a depressurization accident was carried out. The fuel temperature in the normal operation and the fuel and reactor pressure vessel temperatures in the depressurization accident were evaluated. As a result, it was cleared that the thermal integrity of the fuel and the reactor coolant pressure boundary is not damaged.

Keywords: Small-sized High Temperature Gas-cooled Reactor System, HTR50S, Core Thermal and Hydraulic Design, Safety Analysis, Fuel Temperature, Reactor Pressure Vessel Temperature, Normal Operation, Depressurization Accident

目　次

Contents

1．緒　言

独立行政法人　日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）は、開発途上国等への 2030 年代の世界展開を目指し、蒸気タービンによる発電、工業プロセスへの高温蒸気や地域暖房への低温蒸気供給を行う小型高温ガス炉システムの概念設計を進めている。本システムでは、高温工学試験研究炉（High Temperature engineering Test Reactor : HTTR）[1-1]の試験・運転で得られた知見及び電気出力 300 MW のガスタービン発電システム（Gas Turbine High Temperature Reactor 300 : GTHTR300）[1-2]の設計結果を活用し、商用化に向けた性能向上及びコスト低減を図りながらも高い先進性を持ち、開発途上国に適合するシステムとすることを目標としている。第１段階として、商用１号機あるいは実証炉と位置付けられるリファレンス原子炉システムとなる原子炉熱出力 50 MW の発電・蒸気供給小型高温ガス炉システム(HTR50S)に関する概念設計を実施した。

HTR50S の概念設計の１つとして、HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる炉心の熱流動設計を実施した。炉心熱流動設計の目標は、通常運転時における燃料最高温度が、燃料の健全性が維持される制限値以下となるようにすることである。HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる HTR50S では、燃料温度制限値の目安を HTTR と同様に、通常時 1,495˚C 及び異常な過渡変化時 1,600˚C とした[1-3]。また炉心熱流動設計に続き、１次冷却設備二重管の破断によって冷却材が喪失し、炉心の強制冷却機能が失われる減圧事故を想定した安全解析を実施した。減圧事故時には、炉心の中心部から外側に向けて熱伝導及び熱放射による熱移動が生じ、原子炉圧力容器（以下、炉容器と呼ぶ。）を過熱することが考えられるため、燃料温度と共に炉容器温度についても評価した。事故時においては、燃料及び炉容器の健全性を維持する観点から、それぞれ 1,600˚C 及び 538˚C を判断基準とした。

本報告書では、HTR50S の通常運転時における燃料温度及び減圧事故時における燃料温度と炉容器温度の評価手法及び評価結果について述べる。

２．小型高温ガス炉システム HTR50S の概要

本章では、本報告書で評価対象となる小型高温ガス炉システム HTR50S の概要（基本仕様、原子炉の基本構成及び技術実証項目）について述べる。

２．１　基本仕様[2-1]

HTR50S で採用する原子炉は、定格原子炉熱出力 50 MW、原子炉入口冷却材温度 325°C、原子炉出口冷却材温度 750°C であり、減速材として黒鉛、冷却材として 4 MPa のヘリウムガスを用いる小型高温ガス炉である（国際原子力機関 IAEA の定義によれば、電気出力 300 MW までの原子炉を小型炉と呼ぶ。）。この原子炉に、蒸気タービンによる発電、工業プロセスへの高温蒸気や地域暖房への低温蒸気供給を行う熱利用システムを組み合わせている。HTR50S の基本仕様を Table 2.1 に、蒸気タービン発電と地域熱供給を組み合わせたコジェネレーションシステムの場合の系統構成例を Fig. 2.1 に示す。

第 1 章で述べたように、HTR50S の設計においては、HTTR をベースに、HTTR の試験・運転で得られた知見及び GTHTR300 の設計成果を活用する。ここで、HTR50S（HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる場合）と HTTR の炉心仕様の比較を Table 2.2 に示す。また、Table 2.3 に、HTTR で用いられている被覆粒子燃料の仕様を示す。以下に、HTR50S の熱出力、冷却材温度・圧力以外の仕様に関する主な特徴を示す。

・炉心有効高さ：燃料交換時に燃料体のシャッフリングを行うことを想定し、燃料体段数を偶数の 6 段にすることから、3.48 m（0.58 m×6 段）となる。なお、燃料体の寸法については、HTTR の知見を活かすために、HTTR と同様とする。HTTR 燃料の構造を Fig. 2.2 に示す。
・炉心等価直径：燃料体のカラム数が HTTR と同じ 30 カラムであることから、HTTR と同じく 2.3 m となる。
・出力密度：原子炉熱出力及び炉心寸法（炉心有効高さ及び炉心等価直径）から、3.5 MW/m^3 となる。
・初期ウラン燃料の濃縮度：低濃縮ウランとなる 20 wt%未満で、可能な限り低減する。また、燃料製造コストを削減する観点から、濃縮度数を 4 種類以下とする。HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる場合、ウラン濃縮度を 10 wt%未満とし、核設計の結果により濃縮度数は 3 種類とした。
・炉容器と蒸気発生器の配置：GTHTR300 設計の成果を活かし、高温配管の配管長をできるだけ短くするために、横出し配管（クロスダクト）接続によるサイドバイサイド配置とする。
・蒸気温度／圧力：米国で原型炉として建設された Fort St. Vrain 炉（FSV）[2-2]の蒸気条件（538°C／16.6 MPa）及び既存の小型蒸気タービンのメーカー実績を考慮し、538°C／12.5 MPa とする。
・熱利用系への供給熱量である熱供給用循環水との交換熱量：原子炉出力の 50%に相当する 25 MWt（最大）とする。地域熱供給を行う通常時の蒸気タービン発電量は 13.5 MWe であり、発電効率は 27%（熱利用率は 77%）である。

２．２　原子炉の基本構成

HTR50S の炉内構成要素及び炉内構造物の主要諸元を Table 2.4 及び Table 2.5 に、原子炉垂直断面図を Fig. 2.3 に、原子炉水平断面図を Fig. 2.4 に示す。

HTR50S の炉心領域は、六角柱状の黒鉛ブロックを積み重ねたカラムの集合体であり、燃料カラム 30 カラムと制御棒案内カラム 7 カラムの計 37 カラムから成る燃料領域と、それを取り囲む可動反射体カラム 18 カラムと制御棒案内カラム 6 カラムの計 24 カラムから成る可動反射体領域の合計 61 カラムにより構成されている。炉心は、その外周を黒鉛製の固定反射体ブロックにより取り囲まれ、さらにその外側に側部遮へい体及び炉心拘束機構が設置され、炉心拘束機構により水平方向の変位が拘束されている。

炉心の荷重は、高温プレナムブロック、サポートポスト、炉床部断熱層等の炉心支持黒鉛構造物及びサポートプレート、支持柱、炉心支持格子等の炉心支持鋼構造物を介して炉容器により支持される。

燃料体は、Fig. 2.2 に示すように、高さ 580 mm、面間距離 360 mm の黒鉛ブロックに燃料要素（燃料棒）を装荷し、冷却流路を確保したものである。黒鉛ブロックに 33 本の燃料棒挿入孔を設け、燃料棒を装荷したピンインブロック型燃料である。

１次冷却材（4 MPa のヘリウムガス）は、炉容器側部のクロスダクト外管（１次ヘリウムノズル）から 325℃ で流入し、炉床部及び炉側部の金属構造物、固定反射体及び炉容器壁を冷却しながら上向きに流れ、上部プレナムにおいて反転して下降流となり、燃料体及び制御棒案内ブロックの冷却流路に配分される。燃料カラムに配分された冷却材は、燃料要素により加熱されながら下向きに流れ、高温プレナムにおいて他の流路から流出する冷却材と混合した後、クロスダクト内管を通って炉外へ導かれる。炉心内の冷却材流路には、これらの計画された流路の他に、カラム間、固定反射体間、黒鉛ブロック間、黒鉛ブロック積層面等の隙間を流れる流路がある。

上部プレナム空間は、冷却材循環喪失時（加圧事故時）に、炉心から自然対流で上昇する高温の冷却材で加熱されることが考えられる。炉容器上鏡の冷却材による熱伝達及び炉心ブロック上面からの熱放射による過熱を防止するため、上鏡シュラウドを設置する。上鏡シュラウドは、側部遮へい体の上端に設置し、側部遮へい体と一体となって、炉容器胴部から上鏡にかけて冷却材が炉容器内面と直接熱伝達しないようにする。また、上鏡シュラウド自体も、炭素等の低い熱伝導率の材料で構成して断熱性を持たせる。

原子炉から取り出された 50 MW の熱は、Fig. 2.1 に示すように、蒸気発生器を介して蒸気タービン発電や地域暖房に利用される。

２．３　技術実証項目[2-1]

HTR50S において、新たに技術実証が必要な項目の内、主要なものを以下に示す。

- 出力密度を上げることで、HTTR から炉心サイズを大きく変更することなく、熱出力 30 MW から 50 MW へと 2 倍近い出力の達成。
- 燃料の濃縮度数低減（12 種類→4 種類以下）、高燃焼度化及びシャッフリングによる残存濃縮度の低減。
- 高燃焼度燃料の照射試験による健全性実証。

Table 2.1　Major specification of HTR50S

項　目	内　容
原子炉熱出力	50 MWt
１次冷却材	ヘリウムガス
原子炉入口／出口冷却材温度	325˚C／750˚C
冷却材流量	22.4 kg/s
冷却材圧力	4 MPa
炉心構造材	黒鉛
炉心有効高さ（燃料体積層高さ）	3.48 m（580 mm×6 段）
炉心等価直径	2.3 m
出力密度	3.5 MW/m^3
燃　料	二酸化ウラン・被覆粒子／黒鉛分散型
ウラン濃縮度	20 wt%未満
燃料体形式	ブロック型
炉容器	軽水炉用低合金鋼（Mn-Mo 鋼）
主冷却回路数	１ループ（蒸気発生器）
炉容器と蒸気発生器の配置	横出配管によるサイドバイサイド配置
蒸気温度（蒸気発生器出口）	538˚C
蒸気圧力（蒸気発生器出口）	12.5 MPa
蒸気タービンによる発電量	13.5 MWe（発電＋地域熱供給時）
熱利用系への供給熱量	25 MWt（最大）
用　途	発電及び蒸気供給

Table 2.2　Comparison of HTR50S and HTTR core design specifications

項　目	HTR50S	HTTR
使用燃料	HTTR と同じ被覆粒子燃料	被覆粒子燃料
原子炉熱出力	50 MW	30 MW
原子炉出口温度	750˚C	850˚C／950˚C
原子炉入口温度	325˚C	395˚C
燃料体の数	180 体（30 カラム×6 段）	150 体（30 カラム×5 段）
平均出力密度	3.5 MW/m^3	2.5 MW/m^3
濃縮度	10 wt%未満	3～10 wt%
濃縮度数	3	12
平均燃焼度	33 GWd/t	22 GWd/t
燃料体形式	HTTR と同じピンインブロック型	ピンインブロック型
シャッフリング	無し（１バッチ）	無し（１バッチ）
燃焼日数	730 日	660 日

Table 2.3　Specification of coated particle fuel used in HTTR

項　目	HTTR 燃料
燃料核直径	600 μm
第１層（低密度熱分解炭素）厚さ	60 μm
第２層（高密度熱分解炭素）厚さ	30 μm
第３層（炭化ケイ素）厚さ	25 μm
第４層（高密度熱分解炭素）厚さ	45 μm
被覆燃料粒子直径	920 μm
燃料温度制限値	通常運転時：1,495˚C、異常な過渡変化時：1,600˚C

Table 2.4　Major specification of HTR50S core components

炉内構成要素及び項目	内　容
（1）燃料体	
・ブロック数	30 カラム×6 段＝180
・形　状	六角柱状ブロック
・ブロック寸法	
対面間距離	360 mm
高　さ	580 mm
燃料棒挿入孔径	41 mm
・ブロック間ピッチ	約 362 mm（ブロック中心間距離）
・ブロック材質	黒鉛（IG-110）
・燃料体当りの燃料要素数	33
（2）制御棒案内ブロック	
・ブロック数	
燃料領域	7 カラム×6 段＝42
可動反射体領域	燃料領域側部：6 カラム×10 段＝60
	燃料領域上下部：7 カラム×4 段＝28
・形　状	六角柱状ブロック
・ブロック材質	黒鉛（IG-110）
・ブロック寸法	
対面間距離	360 mm
高　さ	580 mm 及び 440 mm（最下段）
・制御棒挿入孔	孔数：2（ブロック 1 体当り）
	孔径：123 mm 及び 140 mm
・炭化ホウ素ペレット落下孔	孔数：1（ブロック 1 体当り）
	孔径：123 mm
・他ブロックとのピッチ	約 362 mm

炉内構成要素及び項目	内　容
（3）可動反射体ブロック	
・ブロック数	
燃料領域上部	30 カラム×2 段＝60
燃料領域下部	30 カラム×2 段＝60
燃料領域側部	18 カラム×10 段＝180
・形　状	六角柱状ブロック
・ブロック材質	黒鉛（IG-110）
・ブロック寸法	
対面間距離	360 mm
高　さ	580 mm 及び 482 mm（最下段最外周角部 3 箇所）
・冷却孔	
燃料体カラム上部及び下部上段ブロック	孔数：33（ブロック 1 体当り）
燃料体カラム下部下段（最下段）ブロック	孔数：6（ブロック 1 体当り）
・他ブロックとのピッチ	約 362 mm（平均）

Table 2.5　Major specification of HTR50S core internals

炉内構造物及び項目	内　容
（1）固定反射体ブロック	
・ブロック数	12×7 段（炉側部）＋18×2 段（炉床部）＝120
・形　状	多角形状ブロック
・ブロック材質	黒鉛（炉側部：PGX、炉床部：IG-11）
・ブロック寸法	
高　さ	上から 6 段　：　850 mm（炉側部） 上から 7 段目：1,000 mm（炉側部） 上から 8 段目：1,200 mm（炉床部） 上から 9 段目：1,250 mm（炉床部）
（2）高温プレナムブロック	
・ブロック数	シール用ブロック：7（上層） キー結合用ブロック：7（下層）
・形　状	六角柱状ブロック
・ブロック材質	黒鉛（PGX）
・ブロック寸法	
対面間距離	シール用ブロック：953 mm（上層） キー結合用ブロック：955 mm（下層）
高　さ	シール用ブロック：350 mm（上層） キー結合用ブロック：550 mm（下層）

炉内構造物及び項目	内　容
（3）上部遮へい体ブロック	
・ブロック数	61
・形　状	六角柱状ブロック
・ブロック材質	SUS316、ボロン入り黒鉛
・ブロック寸法	
対面間距離	360 mm
高　さ	270 mm
・孔　数	0～33 （どのブロックの上部にあるかに依存）

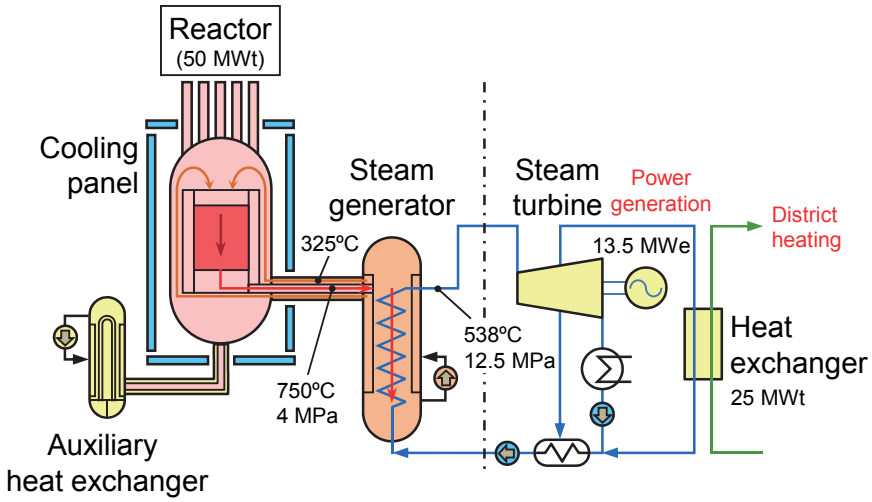


Fig. 2.1 Flow diagram of HTR50S for electricity and district heating cogeneration.

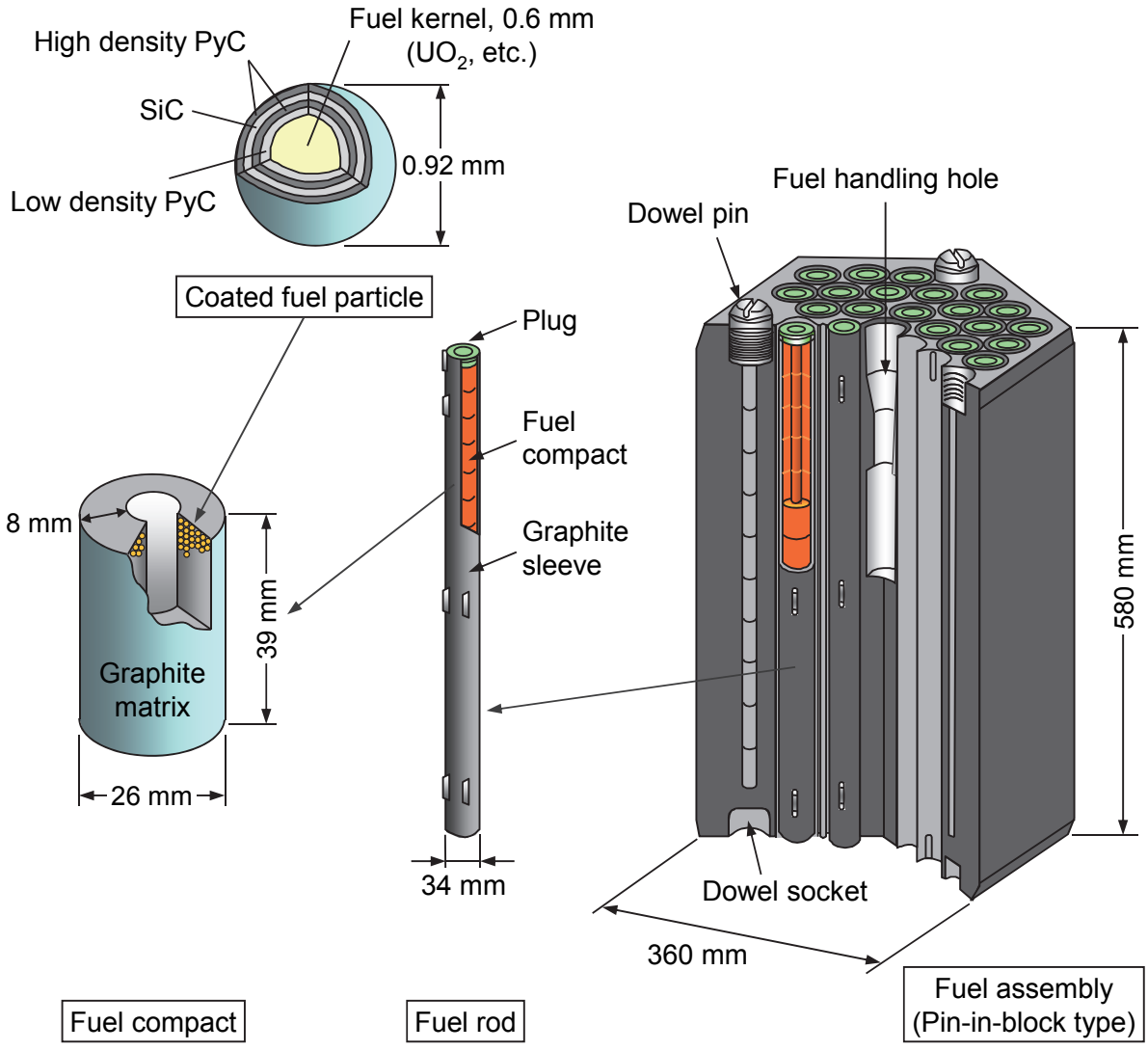


Fig. 2.2 Structure of HTTR fuel assembly.

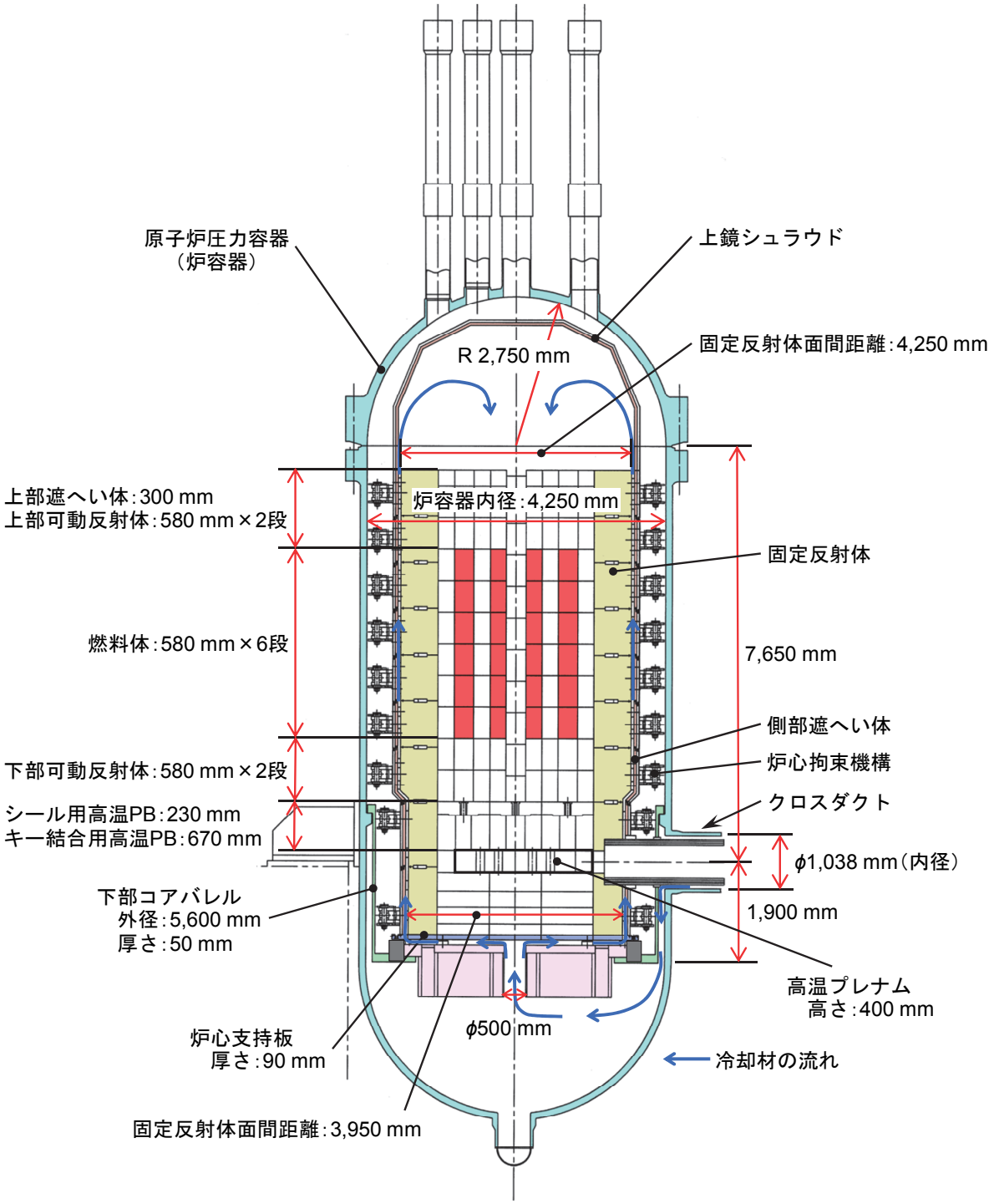


Fig. 2.3　Vertical sectional view of HTR50S reactor.

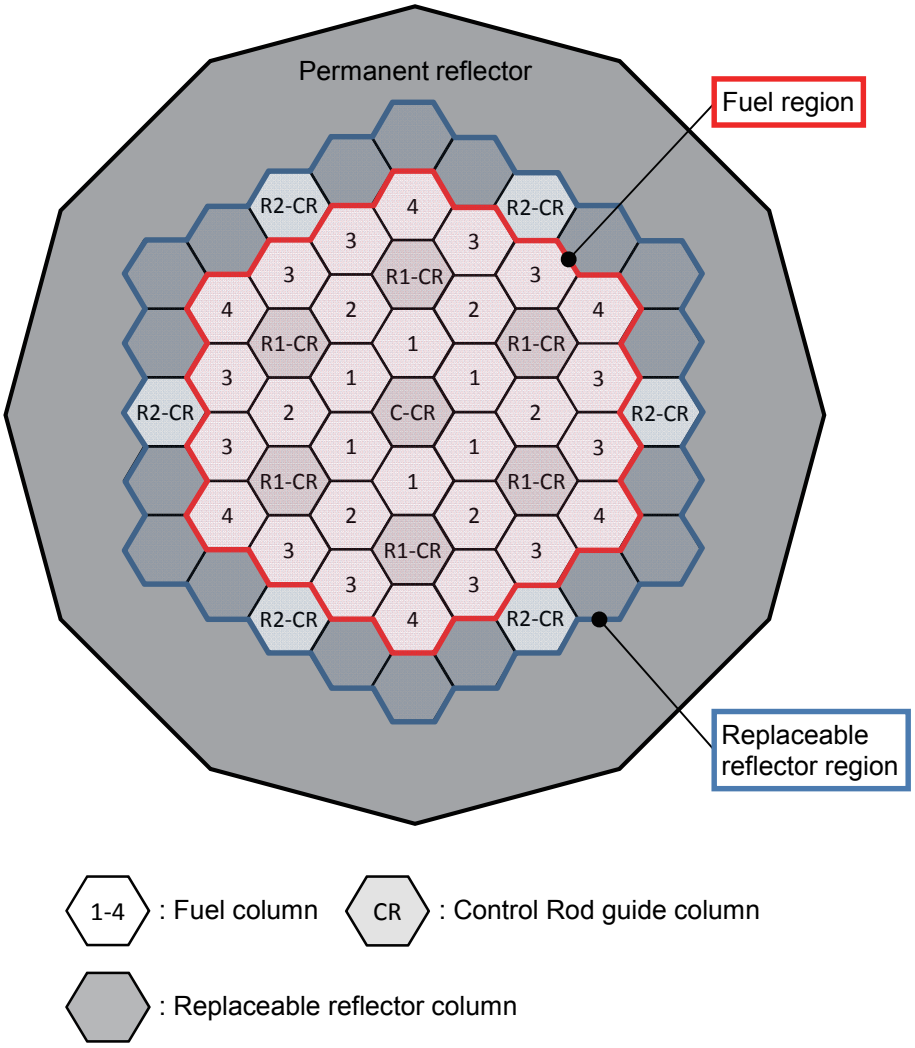


Fig. 2.4 Horizontal sectional view of HTR50S core components with permanent reflector.

３．炉心熱流動設計の特徴と手法

本章では、炉心熱流動設計の特徴と手法及び HTTR 設計時との違いについて述べる。

３．１　炉心熱流動設計の特徴[1-3]

HTR50S の炉心熱流動設計は、核設計から得られた出力分布（出力密度分布）及び照射量分布を基に熱出力、１次冷却材流量、工学的安全係数[3-1]、燃料体の形状、燃料温度制限等を勘案して決定される。通常運転時における熱流動設計の流れを Fig. 3.1 に示す。

燃料体、可動反射体ブロック、制御棒等の炉心構成要素は、その種類に応じて炉内における発熱量が異なる。また、燃料体は、燃料の濃縮度及び炉心に装荷される場所に応じて、その発熱量に差が生じる。従って、燃料の冷却に直接寄与する冷却材の炉心流量を確保し、定格出力運転時の燃料最高温度を極力低くすると共に、各カラムの燃料最高温度がほぼ均一となるように、流量配分を行う。

原子炉は、燃料体、可動反射体ブロック、固定反射体ブロック等の黒鉛構造物を積み重ねて構成されるため、炉心の冷却材流れには、燃料体の冷却流路の他に、固定反射体ブロック間の隙間から炉心に直接流れ込む漏れ流れ、燃料体等のカラム間の隙間を流れる流れ、燃料体等の積層面を横切るクロス流れがある。従って、流量配分解析では、これらの流れの流路を等価な流路長、流路断面積、等価水力直径を有する１次元流路でモデル化し、さらに流路間を等価な熱伝導率、熱伝導距離等を有する伝熱路で結合して、炉心内の流量配分及び冷却材温度を計算する。なお、燃料体及び制御棒案内ブロックの冷却材流路は、１ブロック当たり１流路でモデル化し、カラム毎の冷却材流量を計算する。

燃料温度解析では、流量配分解析により得られた１次冷却材流量及び核設計で得られた出力密度分布及び照射量分布を基に、工学的安全係数等を考慮して燃料温度分布を求める。解析では、燃料体内の１燃料棒に同心円筒モデルを適用し、燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間のギャップコンダクタンスを考慮して、燃料温度を計算する。

３．２　設計手順及び使用解析コード[1-3]

炉心熱流動設計は、Fig. 3.1 に示したように、炉内冷却材流量配分解析とその結果を用いる燃料温度解析から成る。

冷却材流量配分解析に関しては、HTTR の設計にも用いられた炉内流動解析コード FLOWNET[3-2]を使用し、炉内の流路を等価な流路長、流路断面積及び水力等価直径を有する１次元流路でモデル化し、さらに流路間を等価な熱伝導率、伝導距離等を有する伝熱路で結合した流路網モデルを構築して行う。解析に使用する流路データ、熱伝達率等は、あらかじめ実機と同規模の流動試験を行い、得られた結果を保守的に評価した値を用いる。また、クロス流れギャップ幅算出の基礎となるブロック変形量とブロック温度差の関係及び燃料冷却チャンネルとカラム間ギャップを流れる冷却材間の等価熱伝導率については、あらかじめ解析により評価式を定め、これを用いる。流量配分解析では、解析により得られた炉心構成要素等の温度分布から、カラム間ギャップ等を見直し、収束解を求める。流量

配分解析により得られた流量配分を用いて、燃料温度解析を行う。

燃料温度解析に関しては、流量配分解析により得られた冷却材流量及び核設計により得られた出力密度分布及び照射量分布を入力として、HTTR の設計にも用いられた燃料温度解析コード TEMDIM[3-3]を使用して行う。解析では、炉心を複数の円筒形状チャンネルで代表し、その２次元温度分布を与えられた境界条件のもとで求め、さらに工学的安全係数を考慮して燃料最高温度を算出する。燃料温度解析により得られた炉心燃料温度分布に基づいて、被覆燃料粒子の破損評価及び核分裂生成物（Fission Products：FP）放出量の評価が行われる。

HTR50S では、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時において、HTTR と同様に、燃料粒子被覆層の有意な破損及び著しい劣化を生じさせないため、通常運転時における熱的制限値を設定している（HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる炉心では、1,495℃ を目安とする。）。この制限値を超えた場合、まず熱流動設計に戻って、解析条件やモデルが過度に保守的なものになっていないか確認し、必要があればそれらを見直す。それでも制限値を満たせない場合、核設計に戻って、装荷濃縮度分布、可燃性毒物（Burnable Poison：BP）分布及び制御棒挿入度分布の調整を行い、最大出力密度及び燃料温度の低減化を図る。出力密度のピーク位置に関しては、より燃料体の上段でピークが生じるように設計を見直す。これによって、より低い温度の冷却材で出力密度ピーク位置の燃料体が冷却されるため、燃料温度の低減化につながる。

３．３　HTTR 設計時との違い

HTR50S の炉心熱流動設計（HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる場合）では、HTTR の試験・運転で得られた知見を反映して、以下の条件見直し及び改良を行った。

（１）工学的安全係数

燃料温度算出に際し、HTTR の試験・運転で得られた知見に基づき見直された工学的安全係数[3-1]を用いた。工学的安全係数の内、原子炉熱出力、軸方向出力分布及び流量配分に関するシステマティック因子が、HTTR 設計時と比べ、以下のように再検討・再設定された。

原子炉熱出力に係わる因子については、設計時において出力の測定誤差 2.0%と制御誤差 0.5%を加えた 2.5%に設定されていたが、出力上昇試験の結果、出力の測定誤差を 1.5%以内に収められると確認されたため、2.0%に再設定された。また、冷却材温度上昇に係わる因子については、設計時において 2.5%に設定されていたが、その他の因子と二重に考慮してしまうこととなるため 0.0%に再設定された。

軸方向出力分布に係わる因子については、設計時において燃料棒端部の端栓（黒鉛）による局所的な出力の歪（スパイク効果）を考慮して 4.0%に設定されていたが、炉内に装荷した燃料体の γ 線測定に基づく出力分布から、燃料棒端部における出力分布の歪はほとんどないことが示され、0.0%に再設定された。

流量配分に係わる因子については、設計時において冷却材温度上昇因子 4.0%、膜温度差上昇因子 3.2%に設定されていたが、炉心冷却材温度上昇について実測値と解析値を比較すると、解析値は実測値より安全側（炉心有効流量が少なくなる）に評価していたため、冷却材温度上昇因子 2.0%、膜温

度差上昇因子 1.6%に再設定された。

以上のような見直された工学的安全係数を用いることで、燃料最高温度の低減化を図った。

（2）燃料棒の軸方向メッシュ分割数の増大

燃料温度算出に際し、核設計から得られる出力密度分布を精度良く考慮できるように、１燃料棒当たりの軸方向メッシュ分割数を、HTTR 設計時の 4 分割から 14 分割へと増加させた解析モデルを用いた。

上記の工学的安全係数の見直し及び解析モデルの改良を行った場合、HTR50S に対する簡易燃料温度評価によれば、燃料最高温度を約 60℃ 低下させる効果があった。

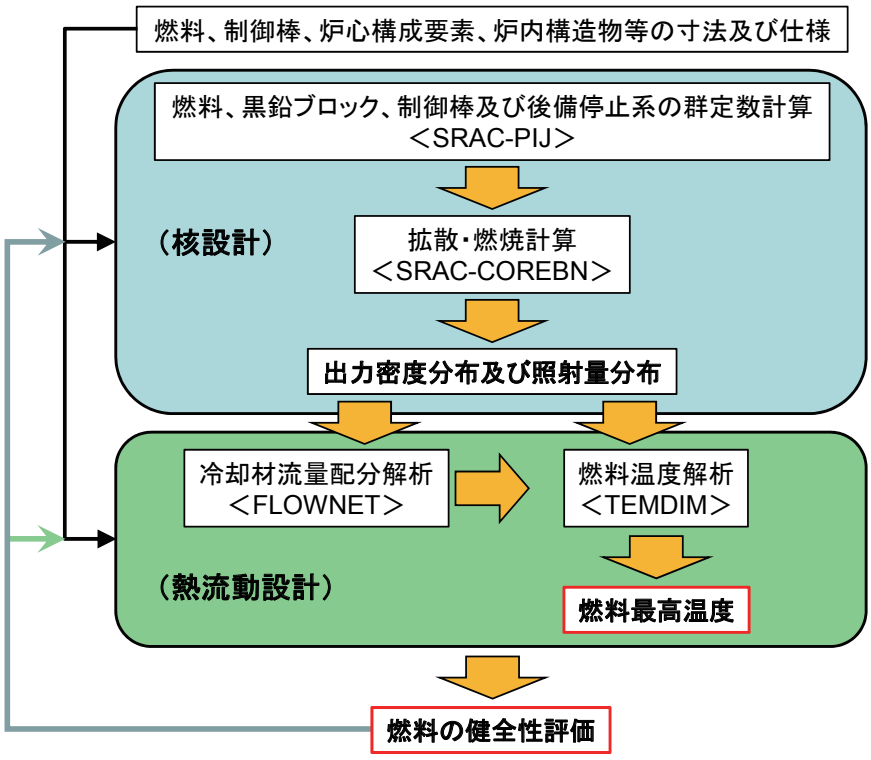


Fig. 3.1　Flow chart of HTR50S core thermal and hydraulic design in normal operation.

４．核設計の概要

本章では、HTR50S における核設計の手順、核設計で使用する計算コード及び核設計[4-1]の概要について述べる。

４．１　設計手順及び使用計算コード

前章の Fig. 3.1 で示したように、炉心熱流動設計では、３次元全炉心モデルに基づく核設計により得られた燃焼ステップ毎の出力密度分布及び照射量分布を用いる。

核設計では、燃料、制御棒、炉心構成要素、炉内構造物等の寸法及び仕様に基づいて、燃料、黒鉛ブロック、制御棒及び後備停止系の群定数計算を格子燃焼計算コード SRAC-PIJ[4-2]で、炉心体系計算を多次元拡散・燃焼計算コード SRAC-COREBN[4-3]で行い、炉心の出力密度分布及び照射量分布を算出する。算出された出力密度分布及び照射量分布を用いて炉心熱流動設計を行い、燃料最高温度を求める。燃料最高温度が制限値を上回った場合には、熱流動設計や核設計に立ち戻り、核設計においては燃料温度低減化に向けて、特に出力密度分布の再調整を図る。

４．２　計算モデル及び設計結果

（１）計算モデル

炉心熱流動設計に必要な出力密度分布及び照射量分布を算出する SRAC-COREBN における３次元全炉心モデルの水平断面とカラム識別を Fig. 4.1 に、垂直断面の領域分割を Fig. 4.2 に示す。炉心の外周部は固定反射体外面まで、上下は可動反射体の上下端までをモデル化範囲としており、径方向 24 メッシュ／ブロック、軸方向 14 メッシュ／ブロック（燃料領域）に分割している。炉心出力分布は、Table 4.1 に示すように、炉心を半径方向に 4 領域（燃料カラムグループ）、軸方向に 6 領域の合計 24 領域に分割し、それら 24 の領域に 3 種類の濃縮度を持つ燃料を装荷して最適化した分布である。また、Table 4.2 に示すように、BP 棒を燃料体当たり 2 本配置し、最適化した出力分布を保持した。

（２）設計結果

SRAC-COREBN によって得られた各燃焼日数（全出力換算時間 : Effective Full Power Days（EFPD））での軸方向出力密度分布（炉中心からの距離が同じとなる各燃料カラムグループ 1～4（Fig. 2.4 及び Fig. 4.1 参照）の平均値）及び径方向断面の出力分布（径方向ピーキング係数）を Fig. 4.3～Fig. 4.15 に示す。燃焼日数を通じて、出力密度の最大値は、燃料体上段（燃焼日数 1 日～60 日：１段目下端、それ以外の燃焼日数：２段目下端）にあることがわかる。なお、径方向ピーキング係数は、炉心全体の平均出力密度に対する該当チャンネルの平均出力密度の比として定義される。ここで、燃料カラム内を水平断面で 24 分割した三角柱の領域が１チャンネル（Fig. 4.1 の燃料カラム内１メッシュに相当）である。

通常運転時の燃料最高温度は、径方向出力ピーキング係数が最大となる燃料カラムにおいて生じる

[4-4]。従って、燃料最高温度を低減するためには、径方向の最大出力ピーキング係数を下げる必要がある。Fig. 4.3～Fig. 4.15 に示されるように、径方向出力ピーキング係数は、中性子の減速効果が大きく核分裂数が多くなる側部可動反射体に接する燃料体（カラム 3 及び 4）において、大きくなる傾向がある。また、側部可動反射体に接する 1 燃料体の内部においても、径方向出力ピーキング係数に大きな差が生じる。径方向出力ピーキング係数は、燃料カラム 3b（燃焼日数 10 日）において 1.23 となり、燃焼日数を通しての最大値となっている。また、カラム平均の出力密度も、燃焼日数 10 日における燃料カラムグループ 3 で最大値を生じている。

燃料温度を計算するための出力密度分布及び照射量分布の算出に当たっては、カラム平均の最大出力密度が 10 MW/m^3 を超えないという熱流動設計からの要求に基づき、出力密度分布の調整を行った。なお、設計要求「10 MW/m^3 を超えない」は、簡易燃料温度評価に基づくものである。出力密度のピーク位置が燃料体１段目から２段目に生じるよう BP を配置し、制御棒位置を調整した。これは、燃料体の上段で最大出力密度が生じれば、より低い温度の冷却材で燃料体が冷却されるため、燃料温度の低減化が図れるためである。その結果、炉心におけるカラム平均の最大出力密度は、燃焼日数 10 日で 9.4 MW/m^3 となり、10 MW/m^3 を下回った。詳細については、参考文献（４－１）を参照のこと。

Table 4.1　Fuel enrichment zoning plan of HTR50S

項　目	燃料領域 1	燃料領域 2	燃料領域 3	燃料領域 4
燃料体 1 段目	6.6 wt%	6.6 wt%	9.4 wt%	9.4 wt%
2 段目	6.6	6.6	9.4	9.4
3 段目	4.3	4.3	6.6	6.6
4 段目	4.3	4.3	6.6	6.6
5 段目	4.3	4.3	4.3	4.3
6 段目	4.3	4.3	4.3	4.3

Table 4.2　BP specification of HTR50S

項　目	HTR50S	HTTR（参考）
燃料濃縮度	4.3～9.4 wt%	3～10 wt%
BP 濃度	2.5 wt%	2.2 wt%, 2.7 wt%
BP 棒直径	13 mm, 18 mm	14 mm
BP 棒装荷数	2 本／燃料体	2 本／燃料体

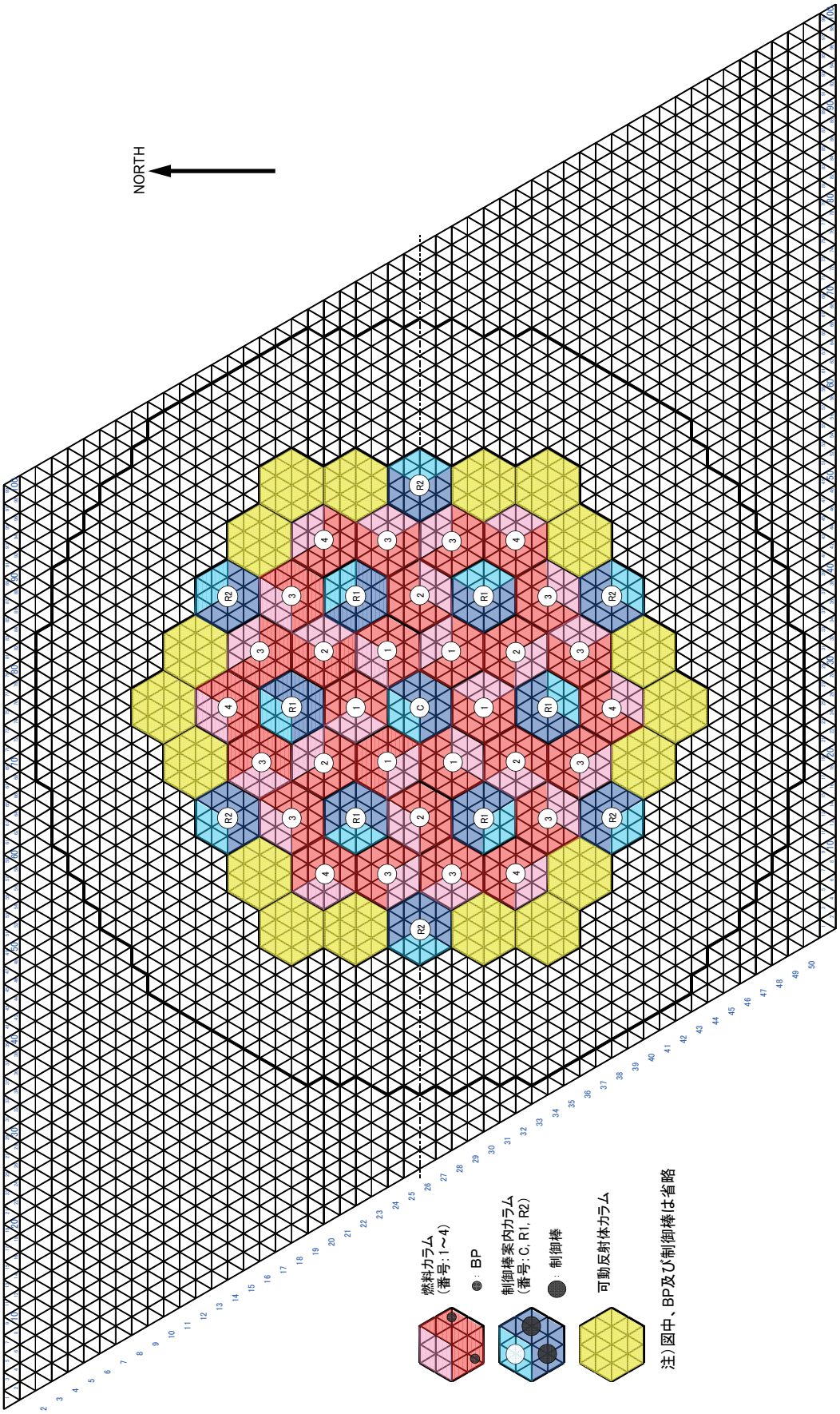
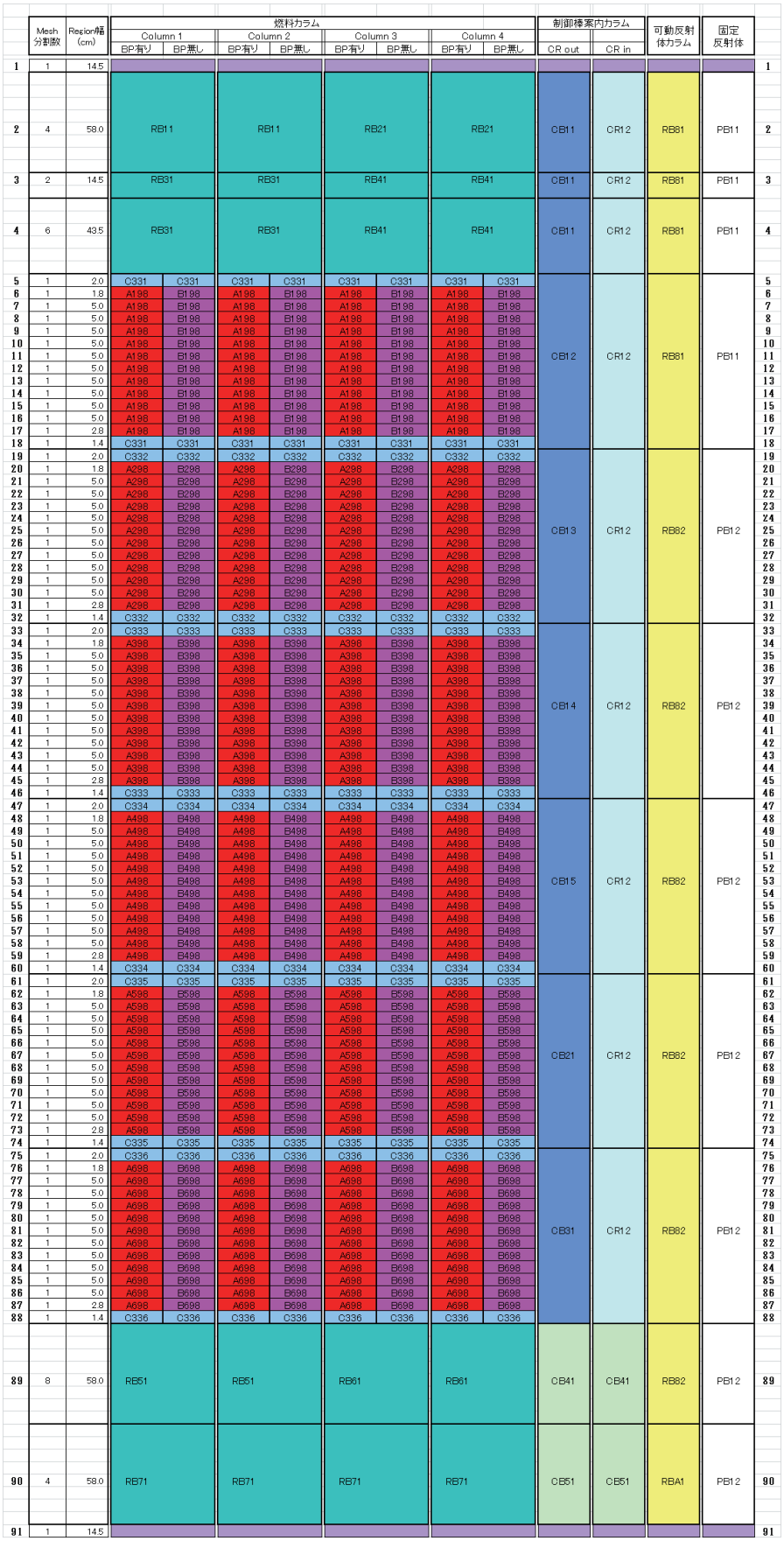
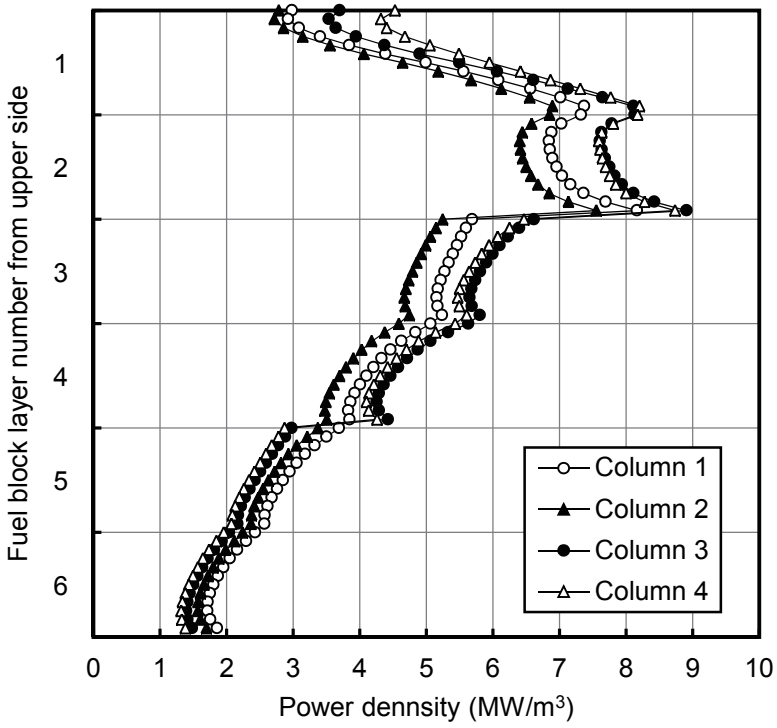


Fig. 4.1 Horizontal sectional view and column identification of core calculation model.

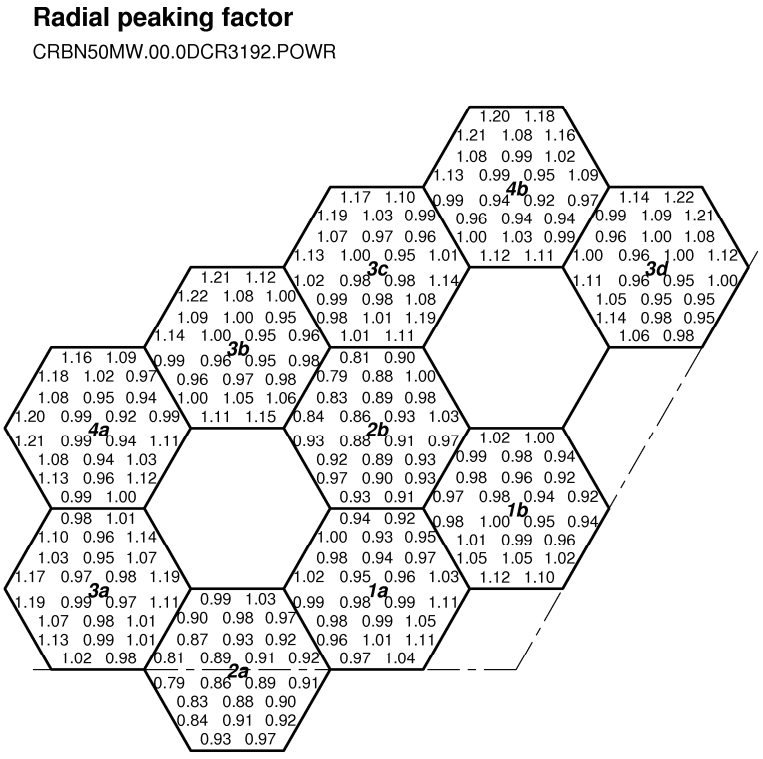


	Mesh 分割数	Region幅 (cm)	燃料カラム Column 1 BP有り	Column 1 BP無し	Column 2 BP有り	Column 2 BP無し	Column 3 BP有り	Column 3 BP無し	Column 4 BP有り	Column 4 BP無し	制御棒案内カラム CR out	CR in	可動反射体カラム	固定反射体	
1	1	14.5													1
2	4	58.0	RB11		RB11		RB21		RB21		CB11	CR12	RB81	PB11	2
3	2	14.5	RB31		RB31		RB41		RB41		CB11	CR12	RB81	PB11	3
4	6	43.5	RB31		RB31		RB41		RB41		CB11	CR12	RB81	PB11	4
5	1	2.0	C331	C331	C331	C331	C331	C331	C331	C331					5
6	1	1.8	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					6
7	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					7
8	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					8
9	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					9
10	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					10
11	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					11
12	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					12
13	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					13
14	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					14
15	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					15
16	1	5.0	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					16
17	1	2.8	A198	B198	A198	B198	A198	B198	A198	B198					17
18	1	1.4	C331	C331	C331	C331	C331	C331	C331	C331					18
19	1	2.0	C332	C332	C332	C332	C332	C332	C332	C332					19
20	1	1.8	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					20
21	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					21
22	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					22
23	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					23
24	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					24
25	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					25
26	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					26
27	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					27
28	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					28
29	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					29
30	1	5.0	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					30
31	1	2.8	A298	B298	A298	B298	A298	B298	A298	B298					31
32	1	1.4	C332	C332	C332	C332	C332	C332	C332	C332					32
33	1	2.0	C333	C333	C333	C333	C333	C333	C333	C333					33
34	1	1.8	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					34
35	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					35
36	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					36
37	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					37
38	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					38
39	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					39
40	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					40
41	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					41
42	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					42
43	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					43
44	1	5.0	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					44
45	1	2.8	A398	B398	A398	B398	A398	B398	A398	B398					45
46	1	1.4	C333	C333	C333	C333	C333	C333	C333	C333					46
47	1	2.0	C334	C334	C334	C334	C334	C334	C334	C334					47
48	1	1.8	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					48
49	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					49
50	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					50
51	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					51
52	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					52
53	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					53
54	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					54
55	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					55
56	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					56
57	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					57
58	1	5.0	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					58
59	1	2.8	A498	B498	A498	B498	A498	B498	A498	B498					59
60	1	1.4	C334	C334	C334	C334	C334	C334	C334	C334					60
61	1	2.0	C335	C335	C335	C335	C335	C335	C335	C335					61
62	1	1.8	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					62
63	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					63
64	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					64
65	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					65
66	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					66
67	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					67
68	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					68
69	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					69
70	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					70
71	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					71
72	1	5.0	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					72
73	1	2.8	A598	B598	A598	B598	A598	B598	A598	B598					73
74	1	1.4	C335	C335	C335	C335	C335	C335	C335	C335					74
75	1	2.0	C336	C336	C336	C336	C336	C336	C336	C336					75
76	1	1.8	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					76
77	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					77
78	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					78
79	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					79
80	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					80
81	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					81
82	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					82
83	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					83
84	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					84
85	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					85
86	1	5.0	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					86
87	1	2.8	A698	B698	A698	B698	A698	B698	A698	B698					87
88	1	1.4	C336	C336	C336	C336	C336	C336	C336	C336					88
89	8	58.0	RB51		RB51		RB61		RB61		CB41	CB41	RB82	PB12	89
90	4	58.0	RB71		RB71		RB71		RB71		CB51	CB51	RBA1	PB12	90
91	1	14.5													91

Fig. 4.2　Vertical mesh arrangement of core calculation model.

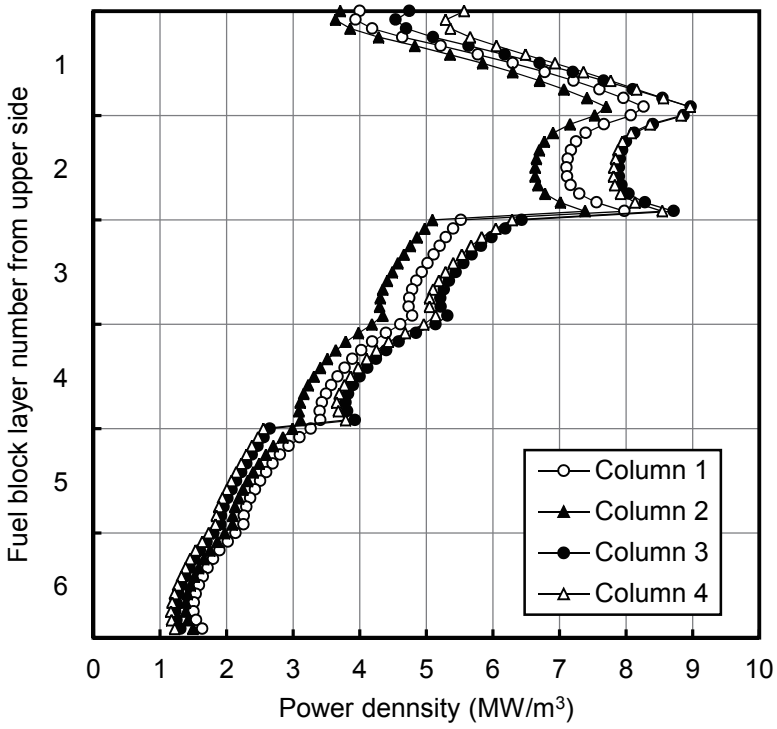


(a) Column group-averaged axial power density distribution

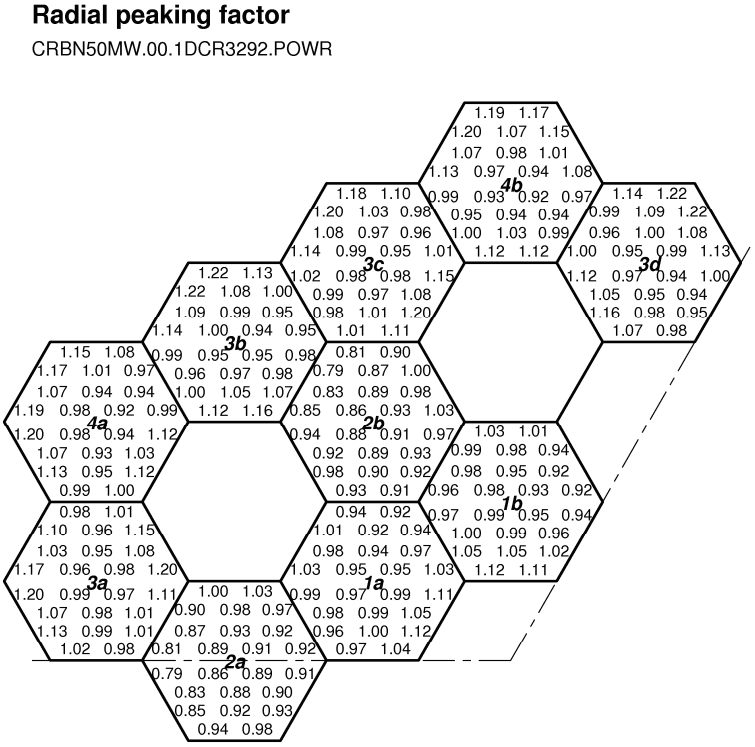


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.3 Power density and peaking factor distributions at Effective Full Power Day (EFPD) 0.

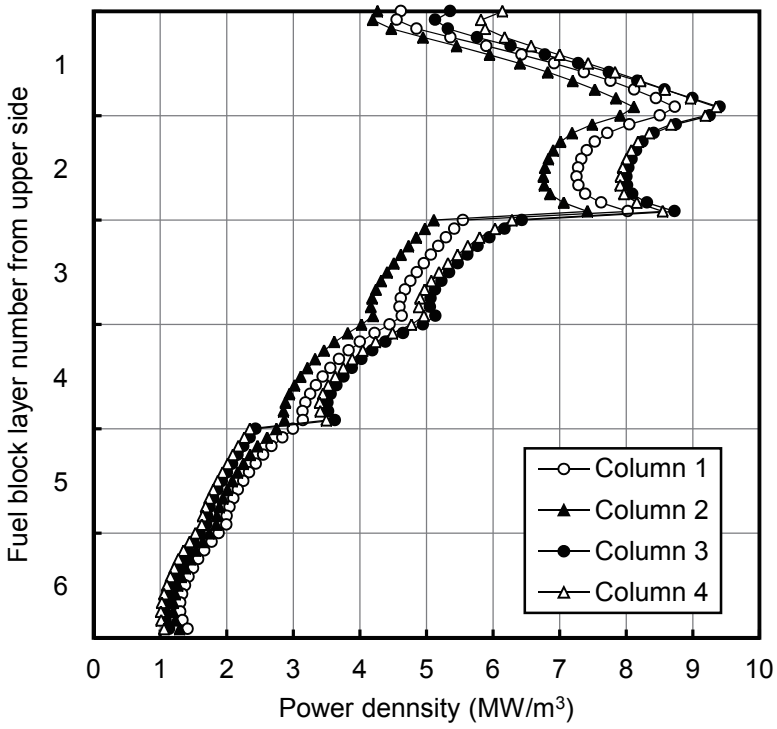


(a) Column group-averaged axial power density distribution

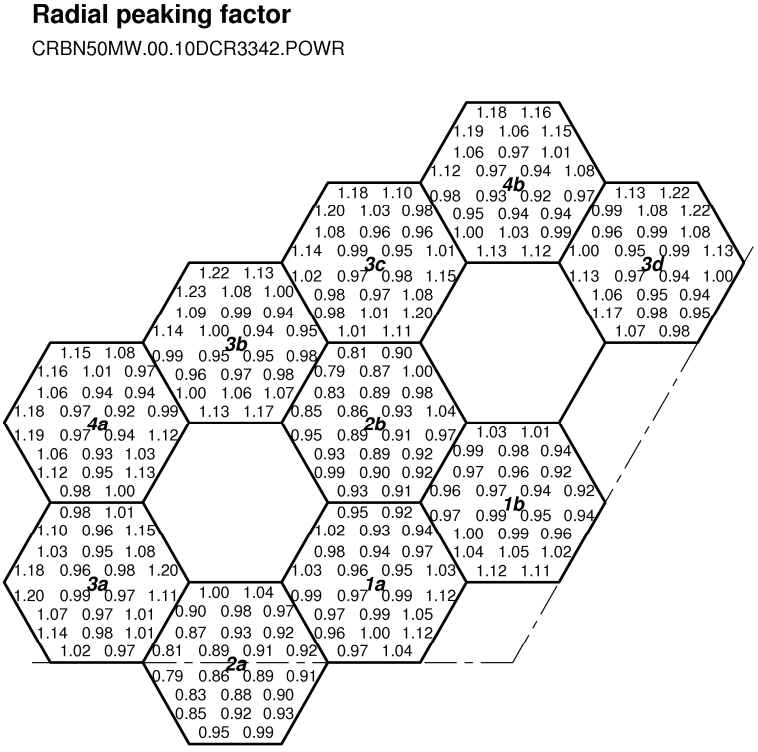


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.4 Power density and peaking factor distributions at EFPD 1.

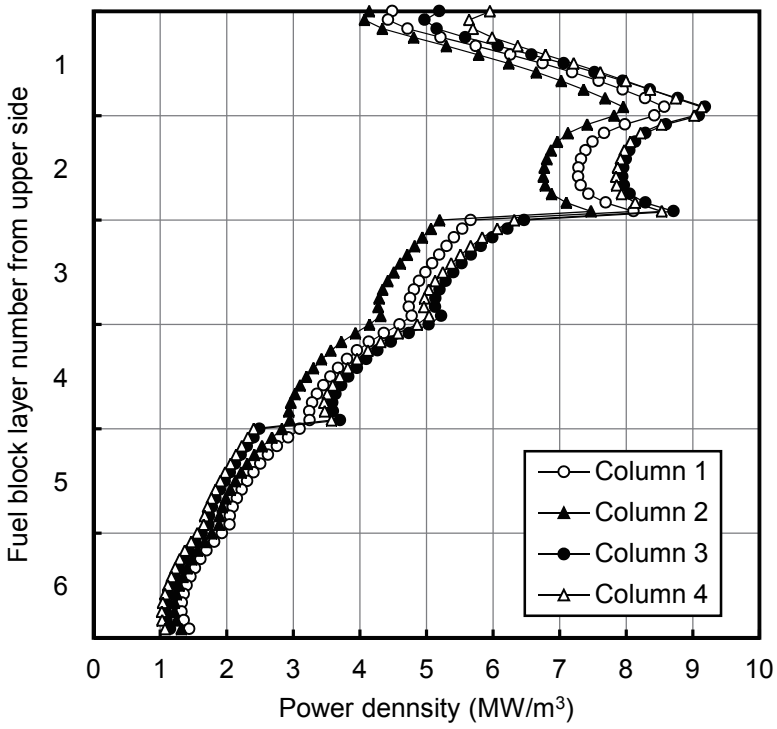


(a) Column group-averaged axial power density distribution

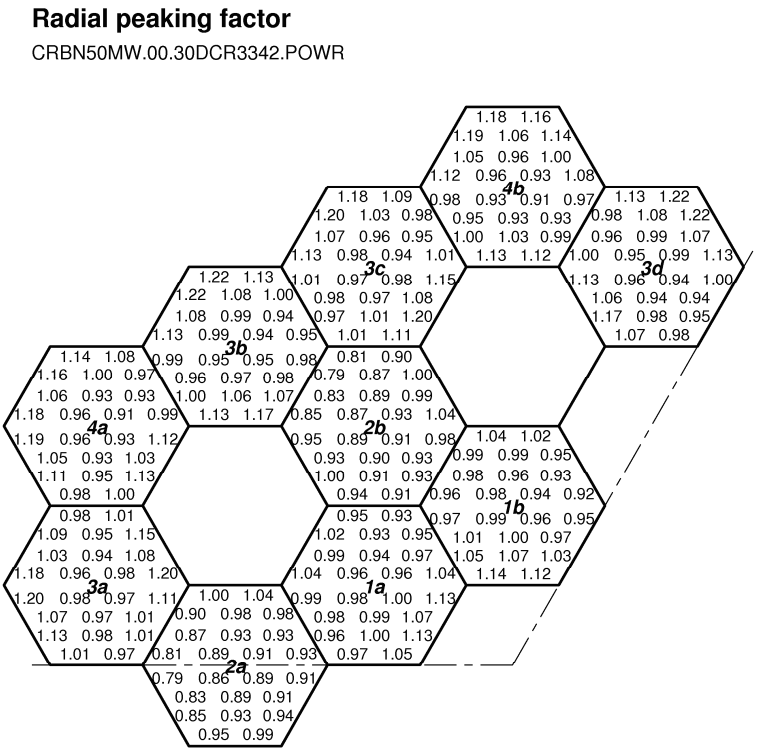


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.5 Power density and peaking factor distributions at EFPD 10.

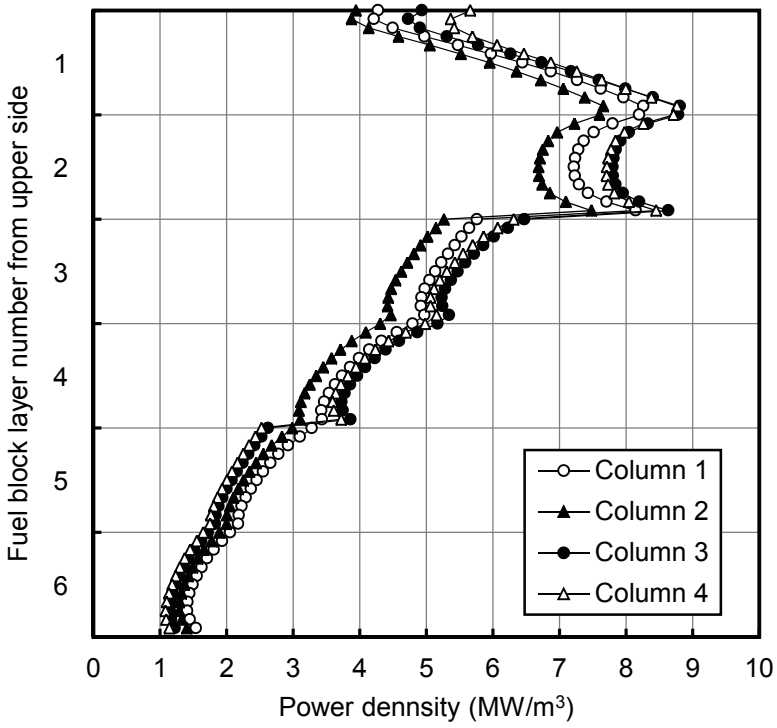


(a) Column group-averaged axial power density distribution

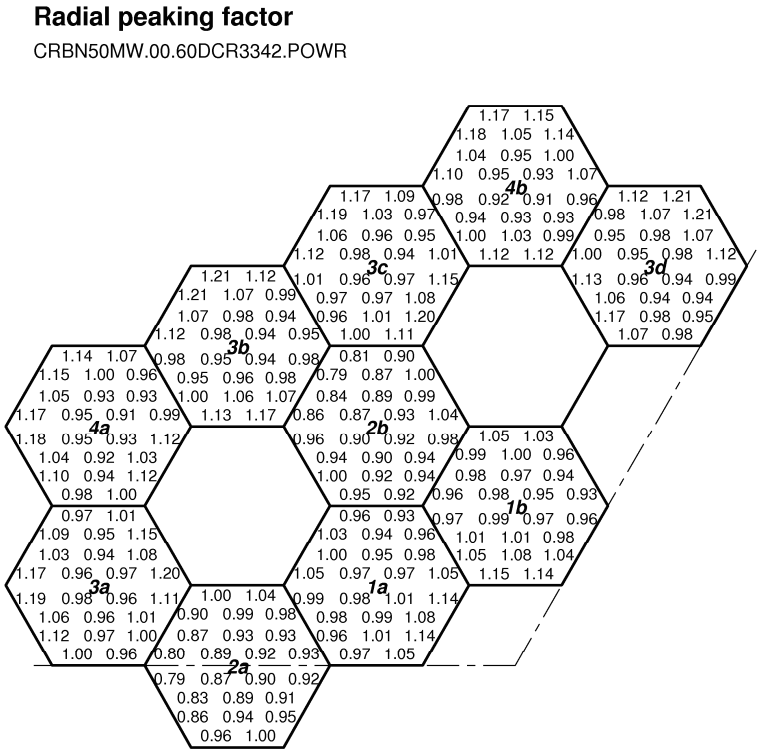


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.6 Power density and peaking factor distributions at EFPD 30.

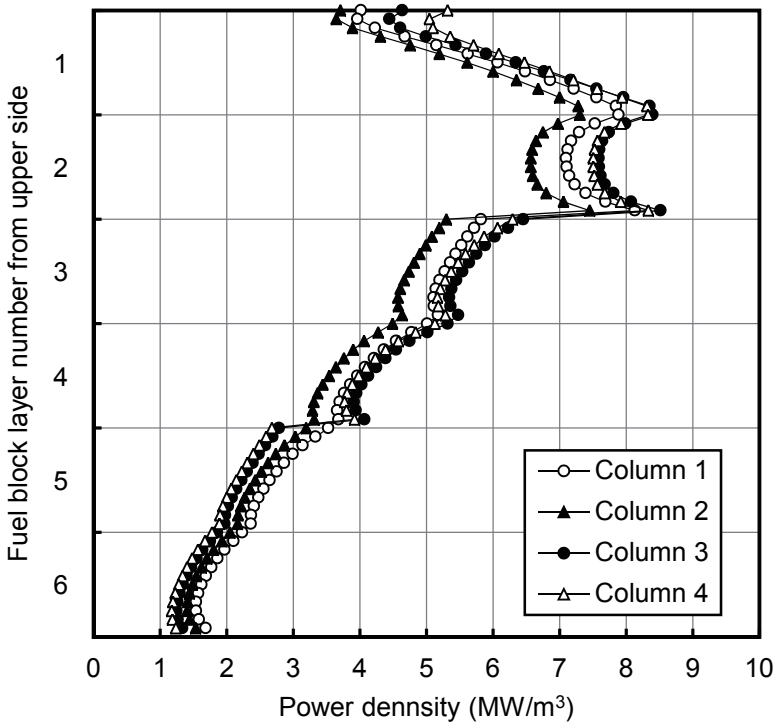


(a) Column group-averaged axial power density distribution

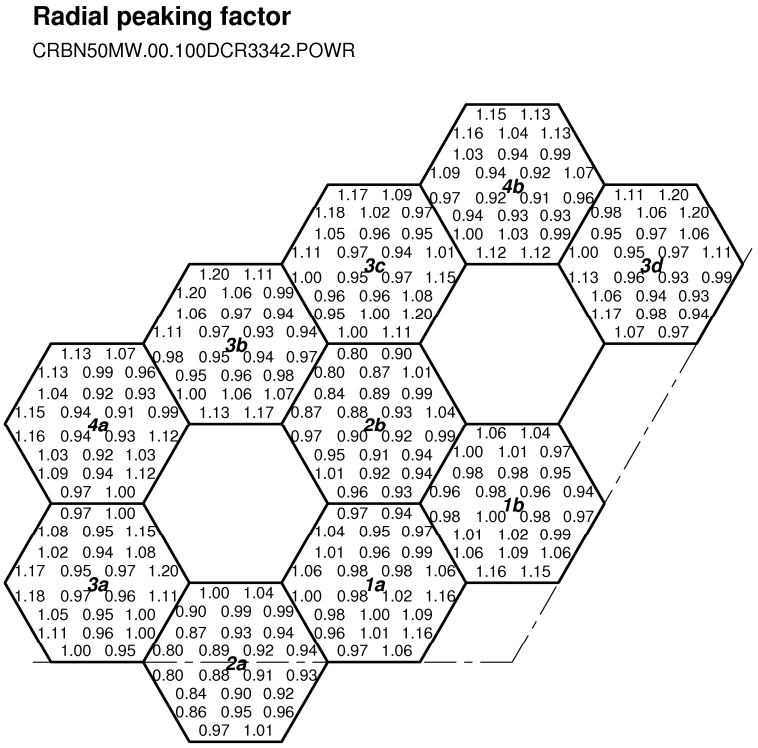


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.7 Power density and peaking factor distributions at EFPD 60.

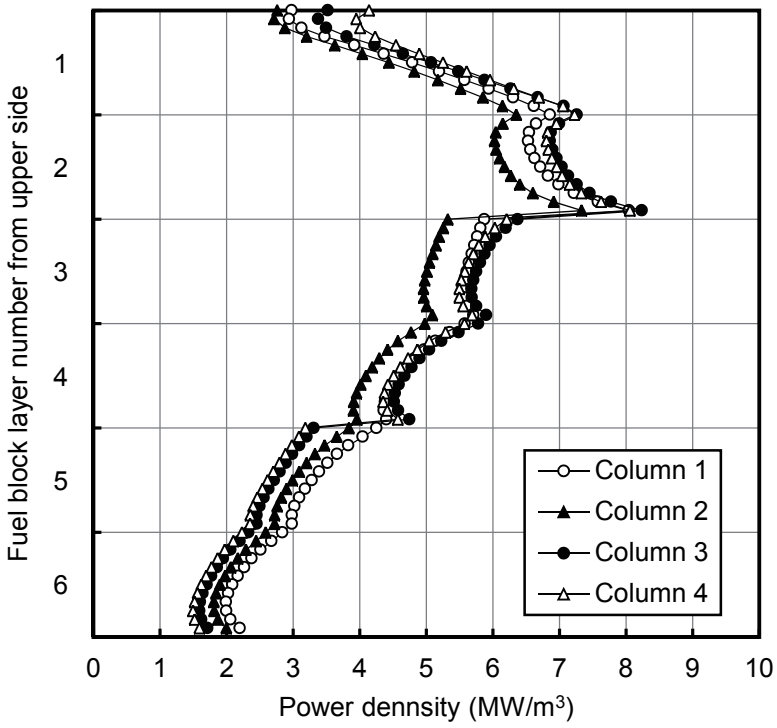


(a) Column group-averaged axial power density distribution

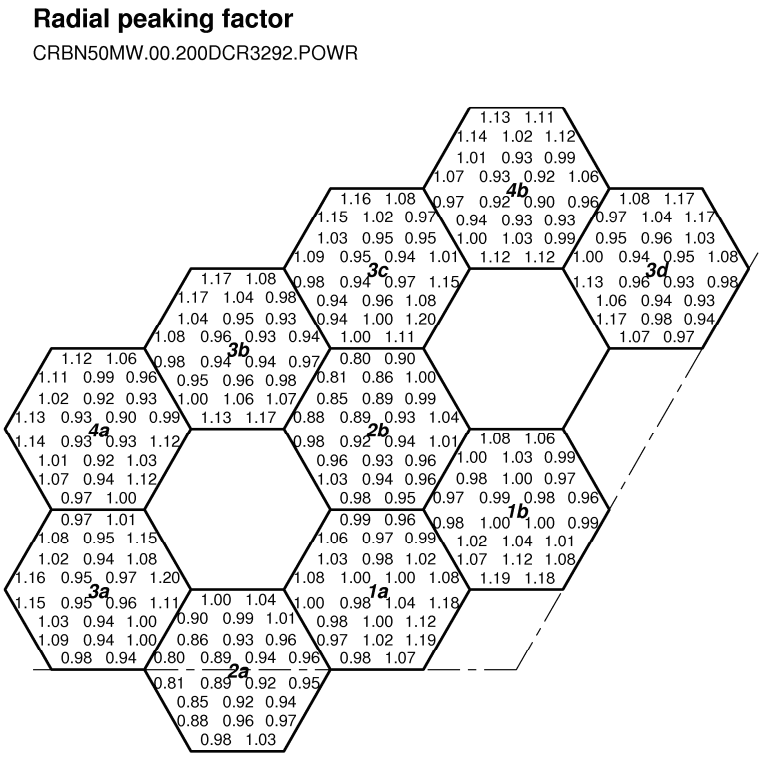


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.8 Power density and peaking factor distributions at EFPD 100.

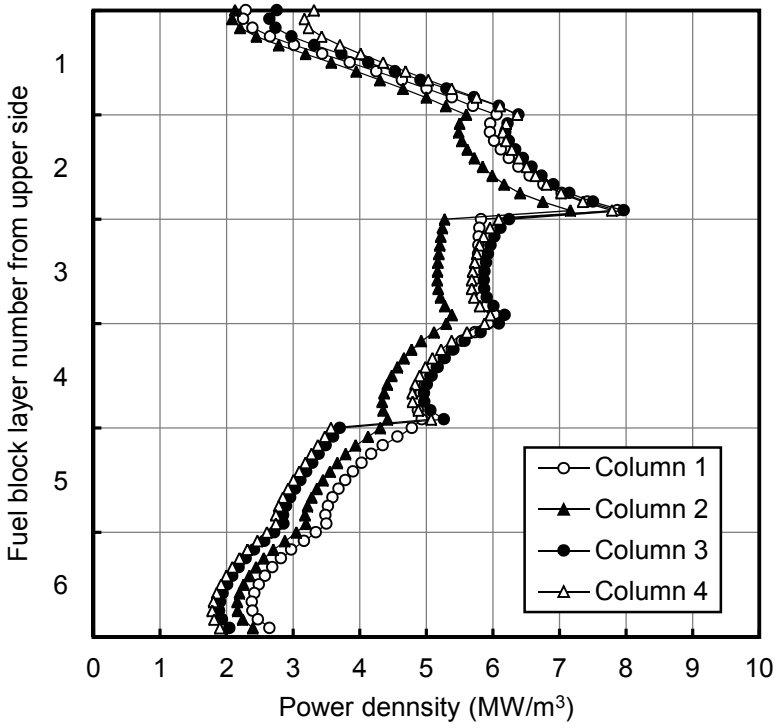


(a) Column group-averaged axial power density distribution

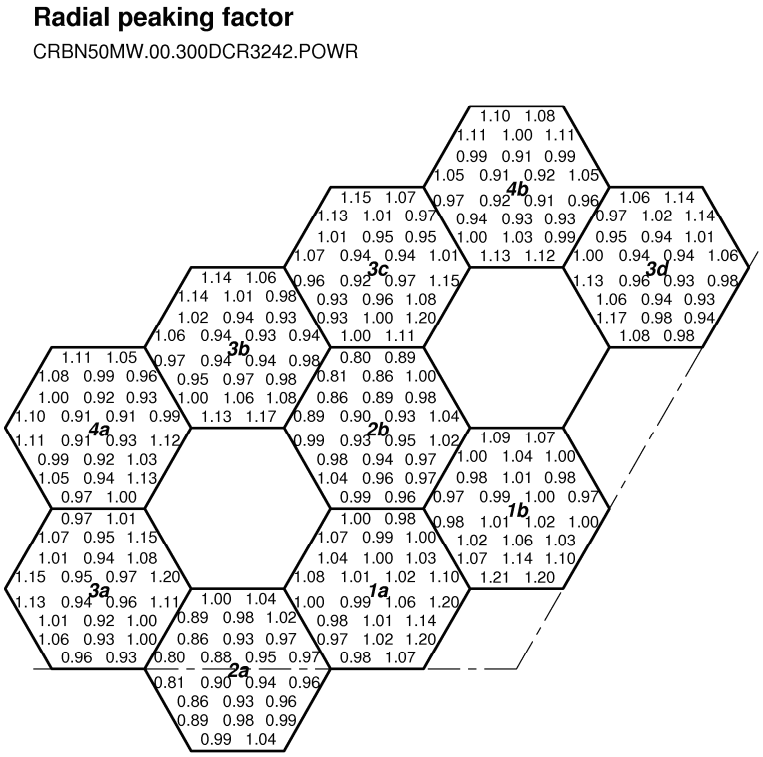


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.9 Power density and peaking factor distributions at EFPD 200.

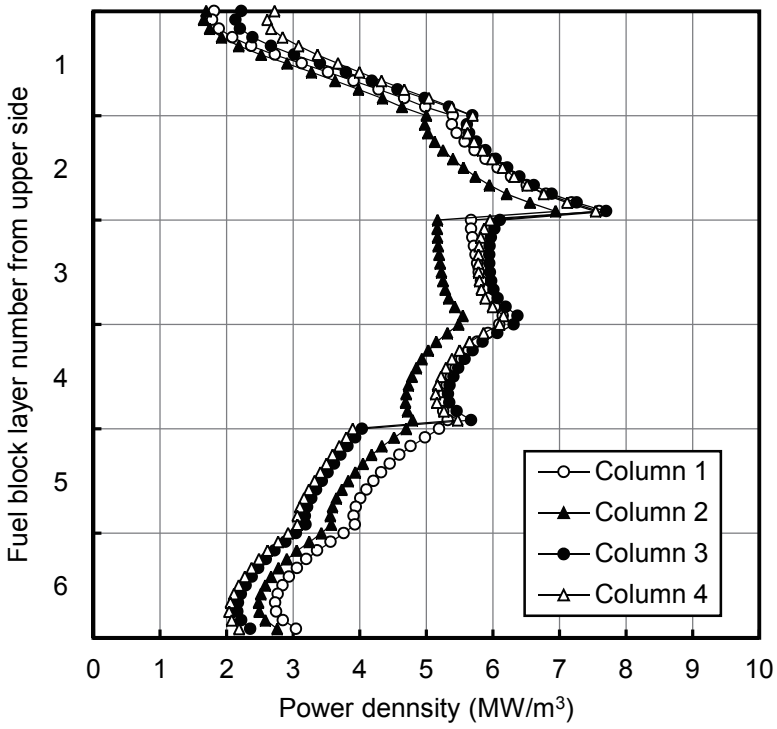


(a) Column group-averaged axial power density distribution

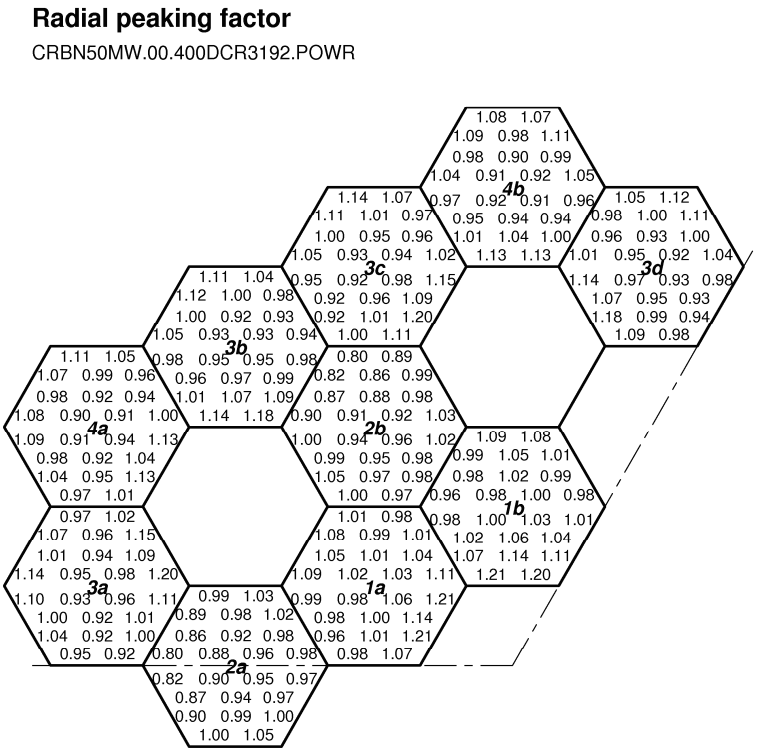


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.10 Power density and peaking factor distributions at EFPD 300.

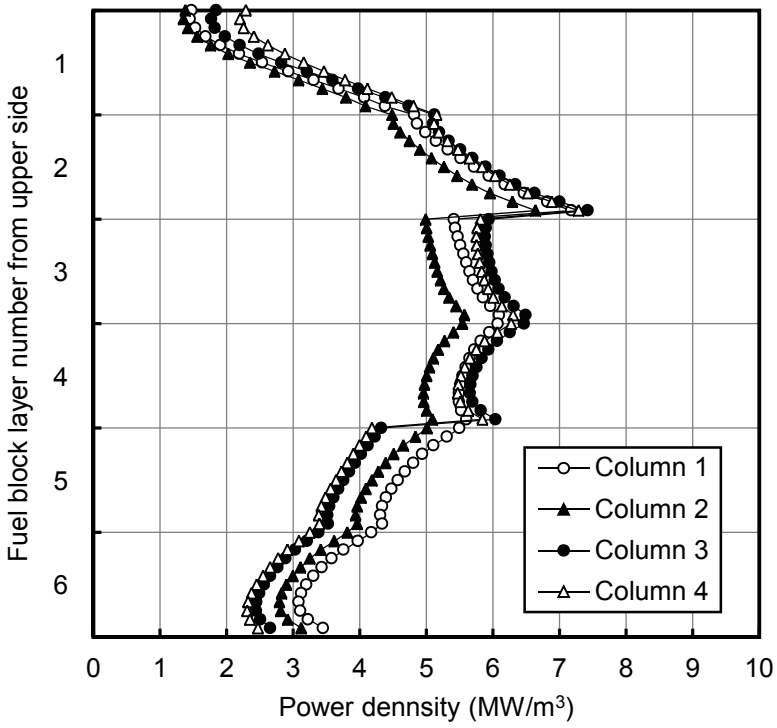


(a) Column group-averaged axial power density distribution

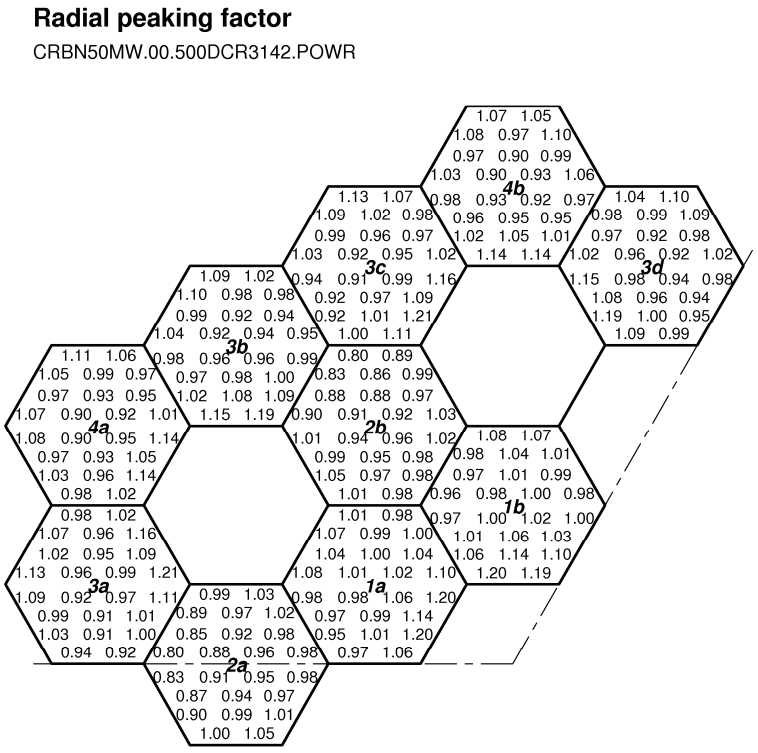


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.11 Power density and peaking factor distributions at EFPD 400.

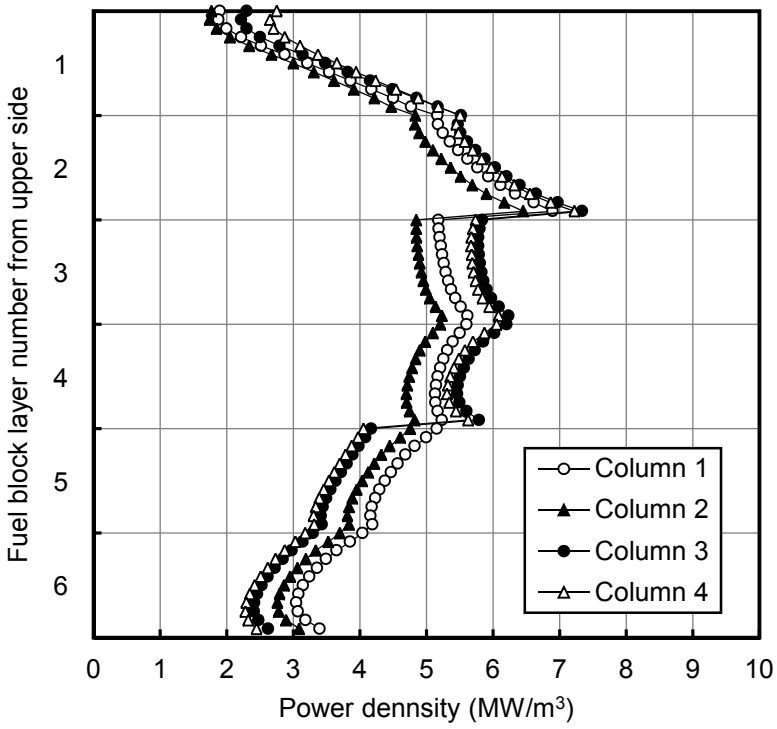


(a) Column group-averaged axial power density distribution

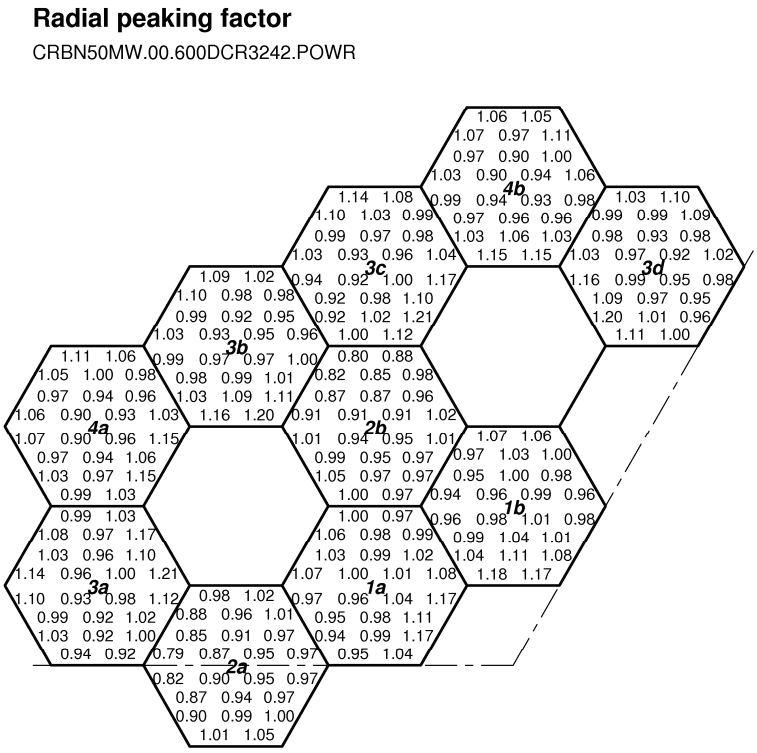


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.12 Power density and peaking factor distributions at EFPD 500.

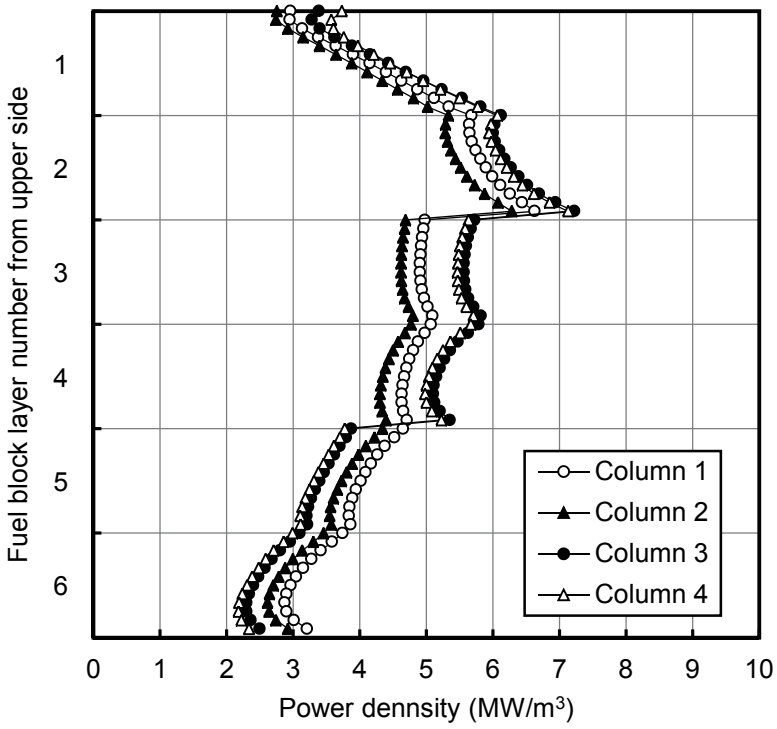


(a) Column group-averaged axial power density distribution

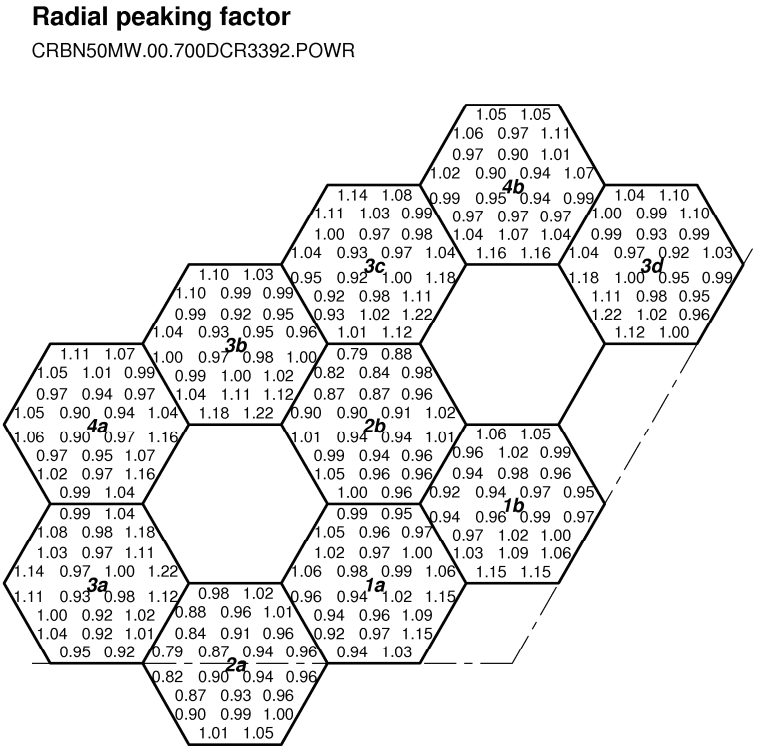


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.13 Power density and peaking factor distributions at EFPD 600.

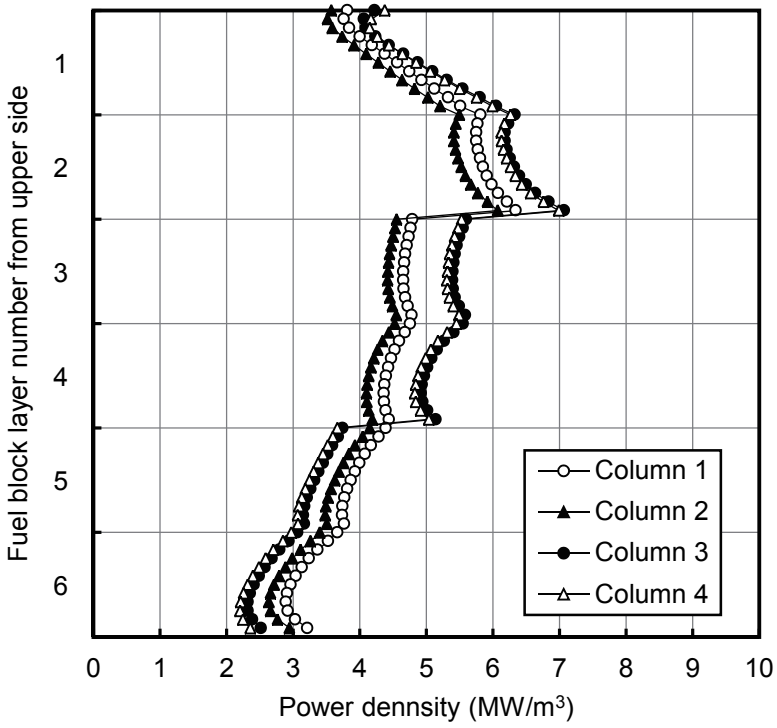


(a) Column group-averaged axial power density distribution

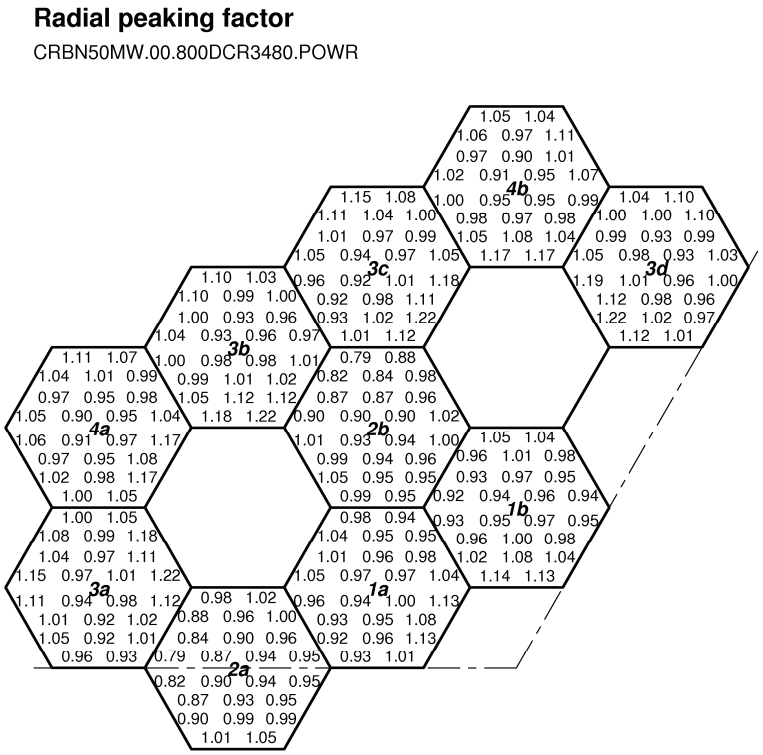


(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.14 Power density and peaking factor distributions at EFPD 700.



(a) Column group-averaged axial power density distribution



(b) Radial peaking factor distribution

Fig. 4.15 Power density and peaking factor distributions at EFPD 800.

５．通常運転時燃料温度解析

本章（通常運転時の炉心熱流動設計）では、第４章で示した核設計の結果（出力密度分布及び照射量分布）を基に、炉内冷却材流量配分解析及び燃料温度解析を実施し、燃料最高温度が制限値以内になっているかを評価する。

５．１　炉内冷却材流量配分解析

炉内冷却材流量配分解析では、定格出力運転時の燃料最高温度を極力低くするように、燃料の冷却に直接寄与しない冷却材流量を低減し、燃料体の冷却材流路を流れる炉心流量を確保するように流量配分を行う。

炉内冷却材流量配分解析に関わる原子炉の主要諸元を、Table 5.1.1 に示す。解析には、炉内流動解析コード FLOWNET を用いる（第３章参照）。

５．１．１　解析方法及び解析条件

（１）基本解析モデルと条件

解析領域は、炉心の対称性から１/６炉心を対象とする。軸方向流路モデルを Fig. 5.1.1 に、径方向流路モデルを Fig. 5.1.2、Fig. 5.1.4、Fig. 5.1.6 及び Fig. 5.1.8 に示す。これらの図に示すように、本流路モデルは、１カラムを１流路で代表した F1～F4 の燃料カラム内チャンネル、C1～C3 の制御棒案内カラム内の冷却チャンネル、X1～X3 の後備停止系素子挿入孔チャンネル、六角形の柱状ブロックの１～６辺相当を１流路で模擬した G1～G9 で示すカラム間ギャップチャンネル及び固定反射体と炉容器間の環状部（B 及び V で示す）から成る軸方向流路と、これらの流路に接続されたクロス流れ流路、各種漏れ流路等で構成される。一方、伝熱路は、Fig. 5.1.9 に示すように、燃料体内チャンネル及び制御棒案内ブロック内チャンネルとカラム間ギャップとの間、側部可動反射体ブロック及び制御棒案内ブロック周辺のギャップ間、炉側部環状流路と固定反射体に接するカラム間ギャップとの間及び燃料冷却チャンネルに設けている。燃料棒の黒鉛スリーブから黒鉛ブロック、黒鉛ブロック側面間（制御棒案内ブロック及び側部可動反射体ブロック側面）及び側部可動反射体ブロックから固定反射体側面に放射伝熱を考慮する。

解析に当たっては、炉心の出力分布に燃焼及び運転温度を考慮した３次元全炉心対象の核設計計算結果を用いており（第４章参照）、炉心の発熱割合については核設計計算結果に基づいて燃料体で約 98%、燃料領域の制御棒案ブロックで約 1%、炉心領域外周部制御棒案内ブロック、側部可動反射体及び固定反射体ブロックで合わせて約 1%とする。また、冷却材流量は、炉容器冷却設備（Vessel Cooling System：VCS）による炉容器からの冷却 1%を考慮して 22.4 kg/s とする。VCS は、炉容器を取り巻いて設置される施設で、自然対流と熱放射によって間接的に炉心を冷却するシステムである。

なお、全冷却材流量は、VCS による除熱量を考慮して、所定の出口温度（750°C）になるように調整した流量である。HTTR では、VCS による除熱量割合を 1～2%の範囲で設計しており、保守的な

結果が得られるように解析条件としては 2%とした。HTR50S の設計では、HTTR より全熱出力が約 1.7 倍大きくなっていること、炉容器表面積が余り大きくなっていないことから、VCS 除熱量は HTTR ほど大きくならないと考え、除熱量割合を 1%に設定する。

（2）冷却材の流量配分

冷却材の流量配分は、HTTR の設計と同様に、次のとおりとする。

① 制御棒には１カラム当たり（１対当たり）0.03 kg/s を割り当てる。

② 炉内構造物と計測用案内管との隙間、炉床部の漏れ流れ等、解析モデルに明示的に含まれていない漏れ流れに、全流量の約 1%を割り当てる。

③ 各種漏れ流れを低減するために、炉心拘束機構及び各種シール要素を設けるが、燃料カラムに流量制御板等の機構は設けず、燃料カラム間で流量配分の調整を行わない。

（2）流路での圧力損失

流路での圧力損失は、次式で算出する[3-2]。

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho}\left\{\lambda\frac{L}{D} + K + 2\rho\left(\frac{1}{\rho_{out}} - \frac{1}{\rho_{in}}\right)\right\}\frac{m^2}{A^2} \qquad (5.1.1)$$

ここで、ρ：流路での平均密度、ρ_{in}, ρ_{out}：流路入口及び出口部の密度、L：流路の長さ、D：等価直径、A：流路断面積、K：形状圧損係数、λ：摩擦圧損係数及び m：質量流量である。

主要流路について、解析で使用した値や摩擦相関式を Table 5.1.2 (a)に示す。なお、ρ、ρ_{in} 及びρ_{out} は、FLOWNET により逐次計算される。

（3）カラム間ギャップ

(a)カラム間ギャップ幅の設定条件

カラム間ギャップ幅は、ブロック温度及び照射量から決まる熱膨張率及び照射変形率を用いて設定する。ブロック温度については、HTTR で用いた温度条件とする。照射量は、燃焼末期とする。使用する温度条件及び照射量条件を Table 5.1.3 及び Table 5.1.4 に示す。

黒鉛の物性値については、HTTR の設計で用いたもの[5-1]を使用するが、400℃ 以下については外挿して設定する。

(b)カラム間ギャップ幅の算出方法

カラム間ギャップ幅は、Fig. 5.1.3 に示すように、次の３つの寸法変化を考慮して定める[5-2]。

① 高温プレナムブロック高さの固定反射体の位置（複数の固定反射体全体の大きさ）によりに決まる高温プレナムブロックのピッチ。

② 高温プレナムブロックの熱膨張量により決まる当該高温プレナムブロックに積載されている炉心カラム間のピッチ。

③ 炉心ブロックの熱膨張及び照射収縮により決まる炉心ブロックの寸法。

上記の考えに従って、カラム間ギャップ幅は、次式で求める。

・プレナムブロック間カラム間ギャップ幅 δ_{out}

$$\delta_{out} = \delta_{0out} - \frac{1}{2}D_P\left(T_{P1}\alpha_{P1} + T_{P2}\alpha_{P2}\right) - \frac{1}{2}D_B\left(T_{B1}\alpha_{B1} + T_{B2}\alpha_{B2}\right) + \frac{1}{2}D_B\left(\varsigma_{B1} + \varsigma_{B2}\right) \quad (5.1.2)$$

・領域内部ギャップ幅 δ_{in}

$$\delta_{in} = \delta_{0in} + D_P T_P \alpha_P - \frac{1}{2}D_B\left(T_{B1}\alpha_{B1} + T_{B2}\alpha_{B2}\right) + \frac{1}{2}D_B\left(\varsigma_{B1} + \varsigma_{B2}\right) \quad (5.1.3)$$

ここで、δ_{0out} ：プレナムブロック間カラム間ギャップ幅の初期値、δ_{0in} ：領域内部ギャップ幅の初期値、T_{B1}, T_{B2}, α_{B1}, α_{B2}：炉心ブロックの温度及び熱膨張率（膨張を正とする）、T_P, T_{P1}, T_{P2}, α_P, α_{P1}, α_{P2}：高温プレナムブロックの温度及び熱膨張率（膨張を正とする）、$\varsigma_{B1}, \varsigma_{B2}$ ：炉心ブロックの照射変形率（収縮を正とする）及び D_B, D_P：炉心ブロックの平径及び平均ピッチである。

カラム間ギャップ幅は、製造公差、物性値誤差及び温度評価誤差を考慮して、定格出力運転中に以下の最小ギャップ幅が必要である。なお、使用した物性値は、IG-110 の 20℃ からの平均熱膨張率であり、次の値である。

熱膨張率　5.13×10^{-6} （1/℃）　（900℃、照射後）
　　4.55×10^{-6} （1/℃）　（900℃、未照射）
　　4.29×10^{-6} （1/℃）　（600℃、未照射）

・プレナムブロック間カラム間ギャップの最小必要幅 $\delta_{out}^{\min}$

炉心カラム公差： $a = \dfrac{\sqrt{0.2^2 \times 9}}{9} = 0.07\,\mathrm{mm}$

固定反射体公差： $b = \dfrac{\sqrt{0.4^2 \times 12}}{\pi} \times \dfrac{1}{3} = 0.15\,\mathrm{mm}$

炉心カラム物性値誤差： $c = 5.13\times10^{-6} \times 0.2 \times 900 \times 360 = 0.33\,\mathrm{mm}$

固定反射体物性値誤差： $d = 4.29\times10^{-6} \times 0.2 \times 600 \times 4250 \times \dfrac{1}{4} = 0.55\,\mathrm{mm}$

高温プレナムブロック物性値誤差： $e = 4.55\times10^{-6} \times 0.2 \times 900 \times 362 \times 2 = 0.59\,\mathrm{mm}$

炉心カラム温度見積誤差： $f = 5.13\times10^{-6} \times 50 \times 360 = 0.09\,\mathrm{mm}$

固定反射体温度見積誤差： $g = 4.29\times10^{-6} \times 50 \times 4250 \times \dfrac{1}{4} = 0.23\,\mathrm{mm}$

高温プレナムブロック温度見積誤差： $h = 4.55\times10^{-6} \times 50 \times 362 \times 2 = 0.16\,\mathrm{mm}$

$$\delta_{out}^{\min} = a + b + \sqrt{c^2 + d^2 + e^2} + f + g + h = 1.6\,\mathrm{mm}$$

・領域内部ギャップの最小必要幅 $\delta_{in}^{\min}$

炉心ブロックピッチ公差： $i = 0.2\,\mathrm{mm}$

高温プレナムブロック物性値誤差： $j = 4.55\times10^{-6} \times 0.2 \times 900 \times 362 = 0.33\,\mathrm{mm}$

高温プレナムブロック温度見積誤差： $k = 4.55\times10^{-6} \times 50 \times 362 = 0.09\,\mathrm{mm}$

$$\delta_{in}^{\min} = a + i + \sqrt{c^2 + j^2} + f + k = 0.9\,\mathrm{mm}$$

δ_{0in} 及び δ_{0out} は、運転中において上記 $\delta_{in}^{\min}$ 及び $\delta_{out}^{\min}$ が確保されるよう、次のように定める。

$$\delta_{0out} = 4.9 \text{ mm}$$
$$\delta_{0in} = 1.0 \text{ mm}$$

(c) カラム間ギャップ流路

カラム間ギャップは、Fig. 5.1.1 に示す軸方向の流れと Fig. 5.1.4 に示す水平方向の流れに分けて流路モデルを作成する。水平方向流れは、隣接するカラム間ギャップの間の流れであり、流路を各ブロックの垂直方向接触部に設定し、Fig. 5.1.5 の網掛け部分の範囲を流路断面積とする。流路長は、ブロック平径の半分（1/2）とする。

(d) クロス流れギャップ

クロス流れギャップの幅は、カラム間ギャップと同様に、HTTR の設計で使用した Table 5.1.4 に示す燃焼末期の照射量、Table 5.1.3 及び Table 5.1.5 に示す温度条件を用いて設定し、HTTR と同様の手法にて、ブロックの熱変形量及び照射収縮量を考慮して定める[5-2]。クロス流れ流路の解析モデルを Fig. 5.1.6 に示す。

(e) 固定反射体部漏れ流れ

固定反射体部漏れ流れは、冷却材であるヘリウムガスの構造材料内の透過、当たり面部での流れ及び面取り部での流れにより生じるが、これらを以下のとおりモデル化する。

・透過

固定反射体の材料は、HTTR では PGX であったが、HTR50S では IG 材に変更する予定である。しかし、IG 材のヘリウムガス透過率測定データは無いこと、PGX に比べて緻密であるので透過率は小さいと予想できることから、ここでは保守的な設定として PGX のヘリウムガス透過率 KD=1.18×10^{-13}（m^2）を用いる（Fig. 5.1.7 参照）[5-3]。透過面積は固定反射体外側表面積、透過距離は固定反射体当り面奥行き長さとする。

・当り面部での流れ

炉心拘束機構により固定反射体が拘束されていることから、Table 5.1.2 (b)に示すように、上下及び左右に隣接する固定反射体間のギャップ幅は 0.1 mm、当り面奥行き長さは 130 mm とする。

・面取り部での流れ

面取り寸法は、1.6 mm（角部面取り）とする。

以上を考慮して設定した流路モデルを Fig. 5.1.8 に示す。図中の *P* は透過、*V* は垂直ギャップ、*VK* は垂直キー、*C* は面取り、*H* は水平ギャップ、*HK* は水平キー及び *KG* は水平キー継目を示す。

(f) その他の漏れ流れ

上部遮へい体間ギャップ及び高温プレナムブロックにおける隙間は、Table 5.1.2 (b)に示すとおりに設定する。

（4）伝熱モデル

伝熱（熱接続）モデルを Fig. 5.1.9 に示す。燃料チャンネルでの燃料スリーブ表面と黒鉛ブロック

燃料棒挿入孔内面との間及びカラム間ギャップ部において、熱放射による熱移動を考慮する。その際の放射率は、保守的に 0.8 とする。なお、燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間の熱移動については、流量配分の計算結果に影響しないことから、簡略化のため熱放射は考慮せず、ギャップ幅 0.125 mm のヘリウムガスの熱伝導のみを、次式で考慮する。

$$\Delta T_{gap} = q\frac{1}{2\pi k}\ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right) \qquad (5.1.4)$$

ここで、ΔT_{gap} ：ギャップ部の温度差、q：線出力、R_i, R_o ：ギャップ部の内半径及び外半径及び k：ヘリウムガスの熱伝導率である。

各部の発熱割合は、HTTR の設計と同様に、次のとおりとする。

燃料棒	97.5%
燃料領域の制御棒案内ブロック	0.94%
側部可動反射体	1.44%
固定反射体	0.12%

（５）出力密度分布及び照射量分布

燃料温度解析に用いる出力密度分布及び照射量分布は、第４章で示した核設計の結果（対象とするカラム内チャンネルの平均分布）を用いる。

５．１．２　解析結果及び考察

５．１．１項で示した解析方法、解析条件及び解析モデルを用いて、各燃焼日数における炉内冷却材流量配分を求めた。燃料カラムと制御棒案内カラムを流れる冷却材流量割合の変化、炉心圧力損失、各カラムにおける冷却材流量の軸方向変化及び燃料コンパクト、黒鉛スリーブと黒鉛ブロックの平均温度を Fig. 5.1.10～Fig. 5.1.22 に示す。流量配分算出に必要な出力密度については、第４章で示した燃焼日数 0 日～800 日までのものを用いた。なお図中、US は上部遮へい体、UR1 及び UR2 は上部可動反射体、LF1～LF6 は燃料体、LR1 及び LR2 は下部可動反射体及び HP1 はシール用高温プレナムブロックの位置を示す。なお HP2 は、キー結合用高温プレナムブロックを示す。燃料冷却流路を流れる冷却材流量（炉心有効流量）は、カラム間ギャップ流路との間のクロス流れにより、燃料体４段目までは減少傾向を、それ以降では増加傾向となっている。燃料温度解析では、このような軸方向の冷却材流量の変化を考慮して、燃料温度を算出する（５．２節参照）。

炉心有効流量割合の軸方向最小値は、各燃焼日数において 86.6%～86.8%であり、約 87%となった。燃焼日数によって、燃料チャンネル流量割合がほとんど変化しないのは、燃焼末期の照射量から求めたギャップ幅を用いて流量配分を計算していることによる。HTTR の 850˚C 運転での炉心有効流量割合は約 89%であり[1-3]、これと比べるとやや小さい値となった。これは、出口温度が HTTR より低いものの、冷却材流量が大きいこと及び炉心段数が増えたことから炉心圧力損失が大きくなり、漏れ流れが大きくなったことが原因と考えられる。なお、炉心圧力損失は 23.7 kPa となり、HTTR の 850˚C 運転での炉心圧力損失 8.8 kPa の 2.7 倍となった。

Table 5.1.1　Main specification of HTR50S for FLOWNET analysis

項　目	設定値	単　位	備　考
原子炉入口冷却材温度	325	℃	
原子炉出口冷却材圧力	4.0	MPa (abs)	
原子炉出口冷却材温度	750	℃	
VCS 除熱量	1	%	
冷却材流量	22.4	kg/s	VCS 除熱量を考慮して設定
冷却材流路内径／外径	3.4／4.1	cm	
原子炉熱出力	50	MW	
発熱割合			
燃料棒	97.5	%	
燃料領域の制御棒案内ブロック	0.94	%	
側部可動反射体	1.44	%	
固定反射体	0.12	%	
(燃料棒諸元)			
スリーブ内径／外径	2.625／3.4	cm	
燃料コンパクト内径／外径	1.0／2.6	cm	
燃料体高さ	58.0	cm	
カラム当り冷却チャンネル数	33	ﾁｬﾝﾈﾙ	
燃料カラム数	30	ｶﾗﾑ	
燃料ピン数/カラム	33	本/ｶﾗﾑ	
軸方向燃料体段数	6	段	
炉側部構造	炉側部流路方式		炉心拘束機構による固定反射体の拘束を想定

Table 5.1.2　Analysis conditions of flow paths for FLOWNET

(a) 主要流路

項　目	等価直径 (m)	長さ (m)	形状圧損係数 K	摩擦圧損係数 λ
燃料カラム				
上部遮へい体	0.023	0.27	1.9	$0.316Re^{-0.25}$
上部反射体上段	0.023	0.58	0	$0.316Re^{-0.25}$
上部反射体下段	0.023	0.58	0.8	$0.316Re^{-0.25}$
燃料体	外径:0.041 内径:0.034	0.58	0.1	$0.407Re^{-0.25}$
下部可動反射体上段	0.023	0.58	1.7	$0.316Re^{-0.25}$
下部可動反射体下段	0.054	0.482	1.1	$0.316Re^{-0.25}$
制御棒案内カラム				
上部反射体上段～ 燃料体３段目	0.123	0.58	0	$0.316Re^{-0.25}$
燃料体４段目～下部可動 反射体上段	0.140	0.58	0	$0.316Re^{-0.25}$
下部可動反射体下段	0.0095	0.44	0.44	$0.316Re^{-0.25}$
高温プレナムブロック上段	0.08	0.35	0.7	$0.316Re^{-0.25}$
高温プレナムブロック下段	0.35	0.55	5	$0.316Re^{-0.25}$

(b) 漏れ流れ流路

固定反射体間

炉心拘束機構により、固定反射体は締め付けられており、その結果、隣接固定反射体のギャップ幅は、当り面部で 0.1 mm とする。当り面長さは、130 mm とする（HTTR と同様）。

上部遮へい体間ギャップ

運転時、隙間 0.33 mm を仮定する。

高温プレナムブロック

シール用高温プレナムブロックを設けて、そのレベルにシール要素を設置する。

運転時の隙間は、次のとおりとする。

高温プレナムブロック間の隙間 ：2 mm 以下

シール端部の隙間長さ　　：2 mm 以下

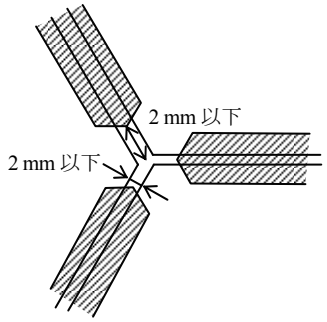


Table 5.1.3 Temperature conditions for gap width calculation

Position*	F1	F2	F3	F4	C1	C2	C3	SR1	SR2	PR
UR1	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
UR2	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
LF1	465.2	467.8	466.0	465.4	518.1	509.7	482.6	482.6	482.6	430.0
LF2	625.4	634.5	628.5	627.4	661.4	657.4	605.4	605.4	605.4	500.0
LF3	775.0	790.7	779.4	778.7	803.1	802.4	729.0	729.0	729.0	600.0
LF4	775.0	790.7	779.4	778.7	803.1	802.4	729.0	729.0	729.0	600.0
LF5	890.1	908.4	890.8	889.4	912.5	915.7	823.2	823.2	823.2	650.0
LF6	971.7	989.2	964.4	961.7	987.4	989.5	877.9	877.9	877.9	650.0
LR1	1004.6	1020.7	988.5	982.7	1016.6	1021.6	893.7	893.7	893.7	650.0
LR2	1003.6	1018.7	980.9	973.1	917.6	951.9	815.4	815.4	815.4	600.0

Unit: ˚C

Table 5.1.4 Irradiation conditions for gap width calculation

Position*	F1	F2	F3	F4	C1	C2	C3	SR1	SR2	PR
UR1	1.17E+18	1.12E+18	8.86E+17	8.12E+17	1.46E+18	1.38E+18	4.04E+17	2.70E+17	1.48E+17	1.17E+18
UR2	1.04E+20	1.02E+20	9.06E+19	8.77E+19	9.32E+19	9.11E+19	2.93E+19	2.49E+19	1.42E+19	1.04E+20
LF1	1.23E+21	1.18E+21	1.09E+21	1.05E+21	8.56E+20	8.30E+20	2.93E+20	2.38E+20	1.29E+20	1.23E+21
LF2	1.98E+21	1.90E+21	1.70E+21	1.57E+21	1.42E+21	1.35E+21	4.86E+20	3.72E+20	1.94E+20	1.98E+21
LF3	1.79E+21	1.72E+21	1.54E+21	1.41E+21	1.31E+21	1.25E+21	4.49E+20	3.38E+20	1.74E+20	1.79E+21
LF4	1.58E+21	1.50E+21	1.32E+21	1.21E+21	1.15E+21	1.08E+21	3.83E+20	2.89E+20	1.48E+20	1.58E+21
LF5	1.26E+21	1.15E+21	8.79E+20	7.91E+20	9.47E+20	8.12E+20	2.65E+20	1.92E+20	9.66E+19	1.26E+21
LF6	8.35E+20	7.55E+20	5.61E+20	5.00E+20	6.24E+20	5.20E+20	1.64E+20	1.20E+20	5.99E+19	8.35E+20
LR1	1.03E+20	9.20E+19	6.25E+19	5.36E+19	1.05E+20	8.61E+19	2.69E+19	1.63E+19	7.79E+18	1.03E+20
LR2	1.53E+18	1.34E+18	7.78E+17	6.42E+17	2.22E+18	1.79E+18	5.73E+17	2.31E+17	9.29E+16	1.53E+18

Unit: n/cm^2

Table 5.1.5 Block surface temperatures for gap width calculation

Position*	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	SR1	SR2	PR
UR1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UR2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LF1	53.7	38.2	44.7	45.8	47.7	0.0	49.1	35.6	38.2	38.2	53.7
LF2	47.0	31.7	57.3	62.8	67.0	0.0	31.6	54.2	97.0	97.0	47.0
LF3	35.3	22.8	75.3	77.3	83.1	0.0	26.7	116.7	182.2	182.2	35.3
LF4	35.3	22.8	75.3	77.3	83.1	0.0	26.7	116.7	182.2	182.2	35.3
LF5	19.6	12.7	90.1	85.5	97.7	0.0	20.1	190.3	262.1	262.1	19.6
LF6	14.7	8.7	103.9	101.9	112.8	0.0	24.4	240.1	300.0	300.0	14.7
LR1	12.6	25.0	119.1	116.1	104.0	0.0	29.7	289.0	300.0	300.0	12.6
LR2	122.1	81.7	186.0	197.1	179.8	0.0	65.7	132.8	195.3	195.3	122.1

Unit: ˚C

＊ F1～F4：燃料カラム、C1～C3：制御棒案内カラム、SR1, SR2：側部可動反射体カラム及び PR：固定反射体における UR1, UR2：上部可動反射体、LF1～LF6：燃料体及び LR1, LR2：下部可動反射体の各高さ位置を示す。

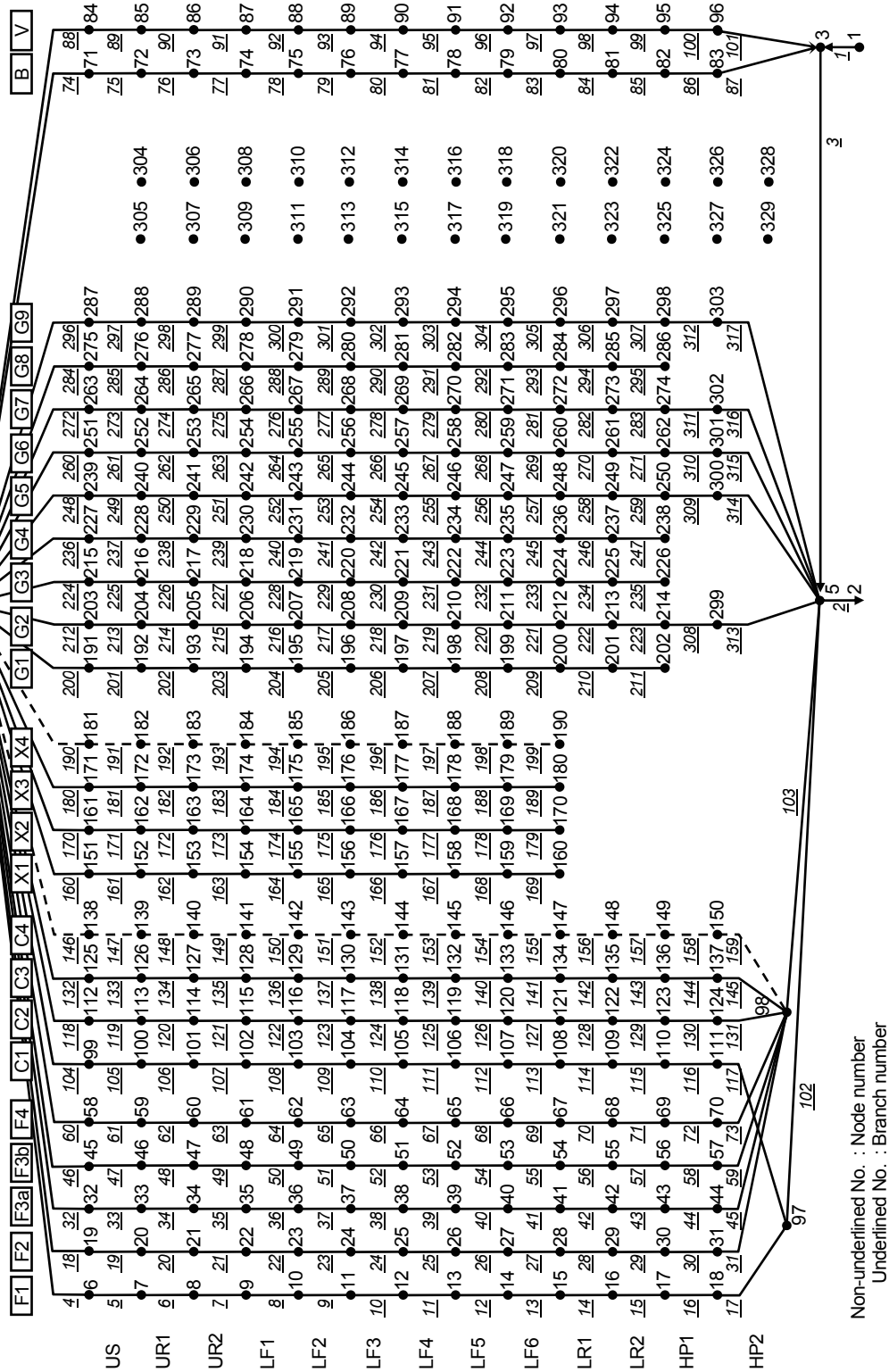


Fig. 5.1.1 FLOWNET analysis model (axial direction).

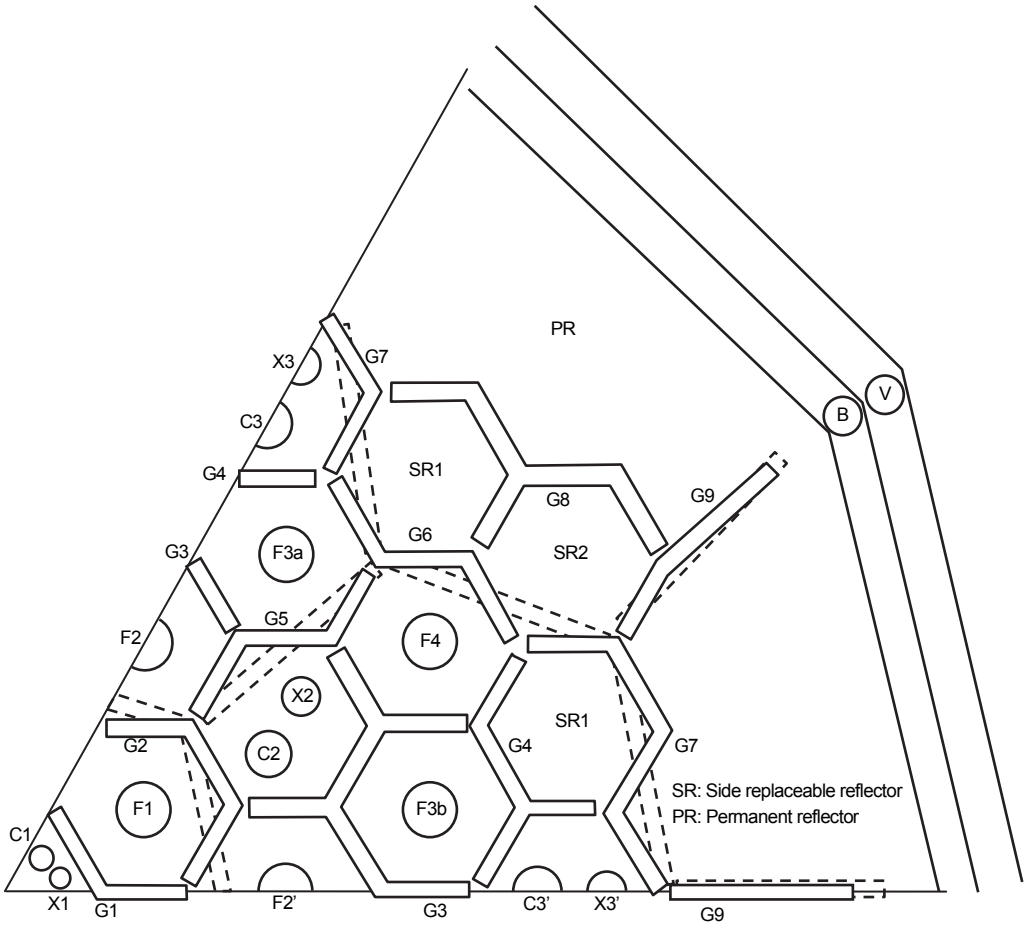
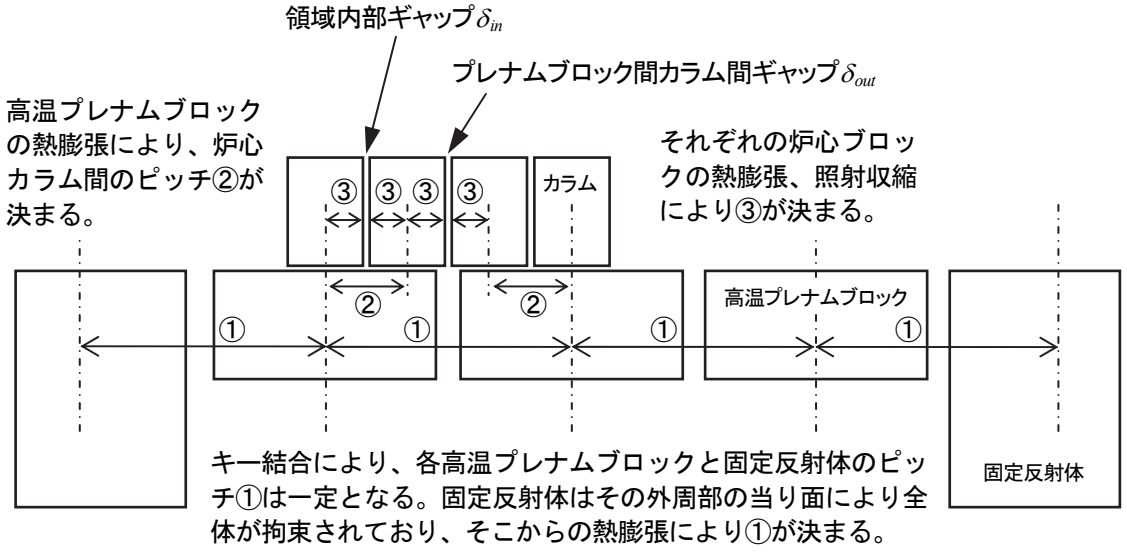


Fig. 5.1.2　FLOWNET analysis model (radial direction).



【補足】領域内部ギャップには、②の熱膨張はギャップ幅を広くする効果がある。プレナムブロック間カラム間ギャップには、②の熱膨張はギャップ幅を狭くする効果がある。

Fig. 5.1.3　Calculation procedure of gap width between columns.

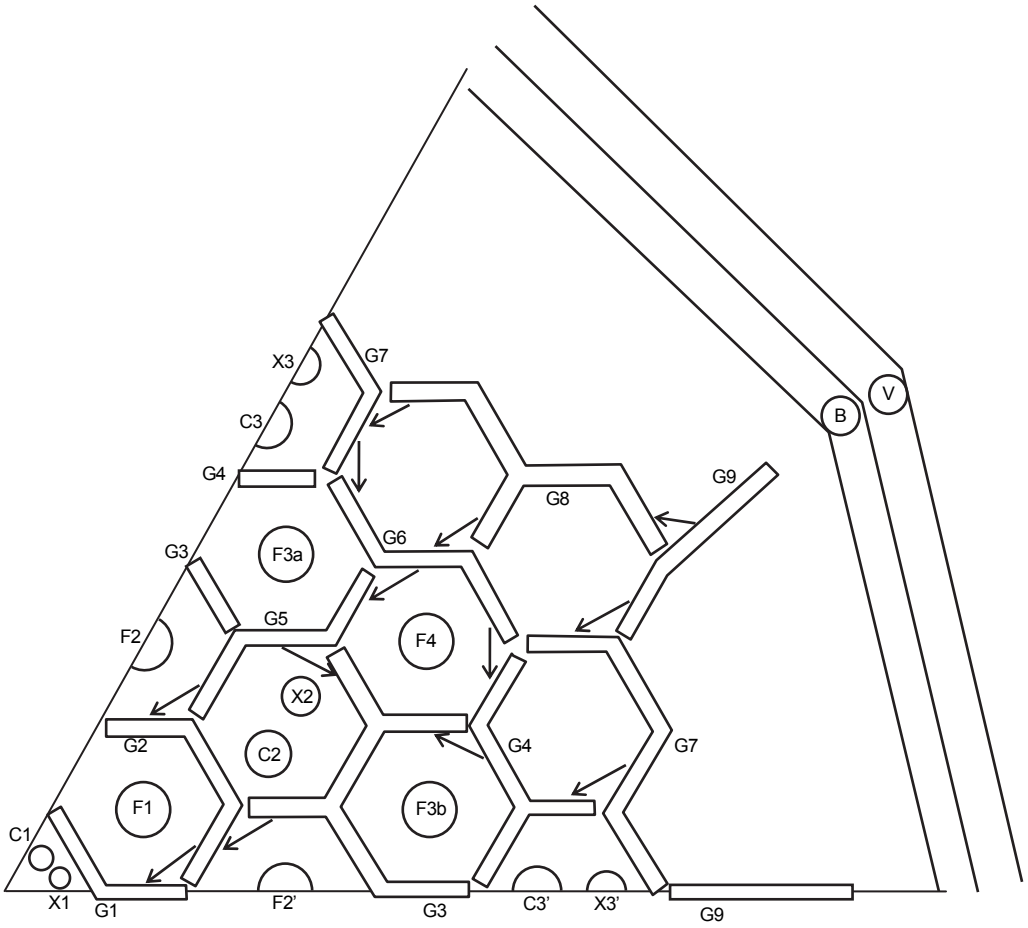


Fig. 5.1.4　FLOWNET analysis model of horizontal flow in gap between columns.

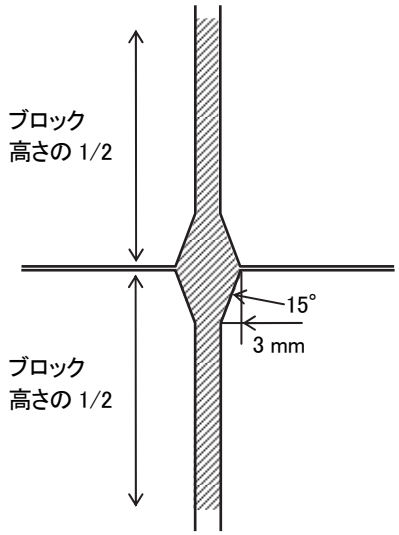


Fig. 5.1.5　Cross-section area of gap channel between columns.

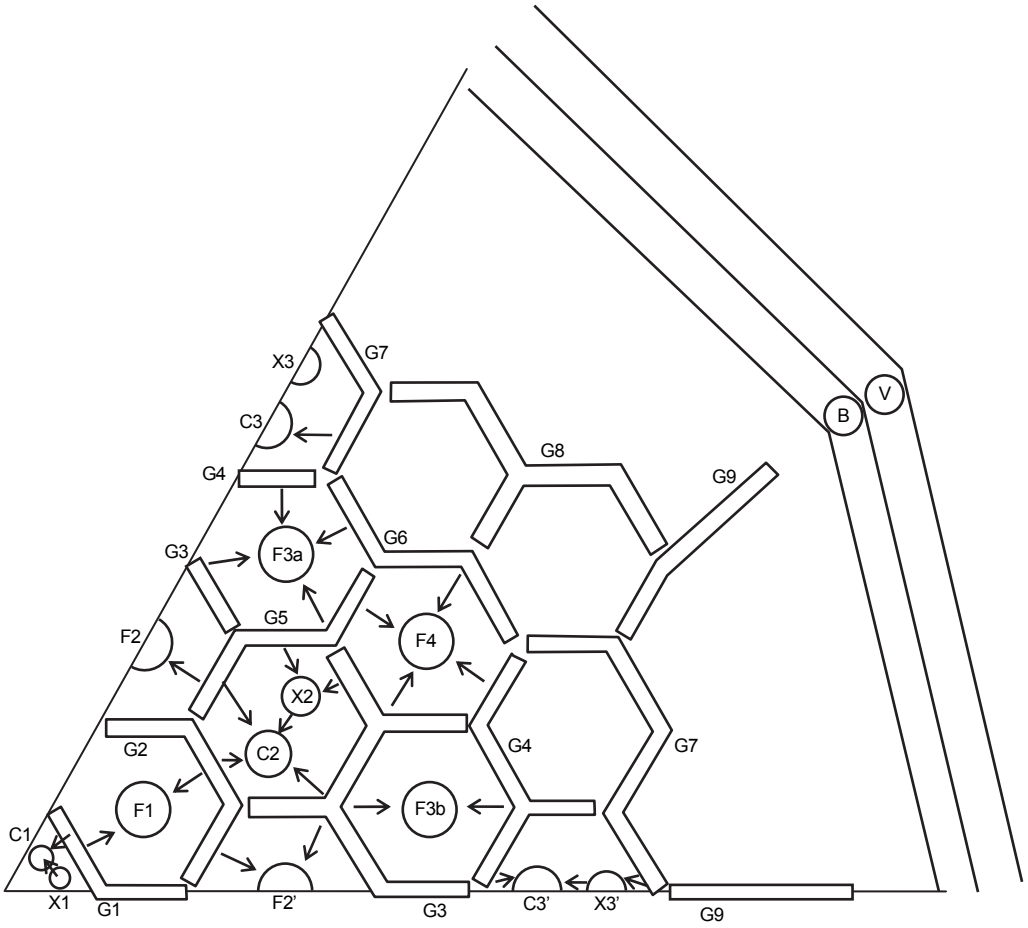


Fig. 5.1.6 FLOWNET analysis model of cross flow in columns.

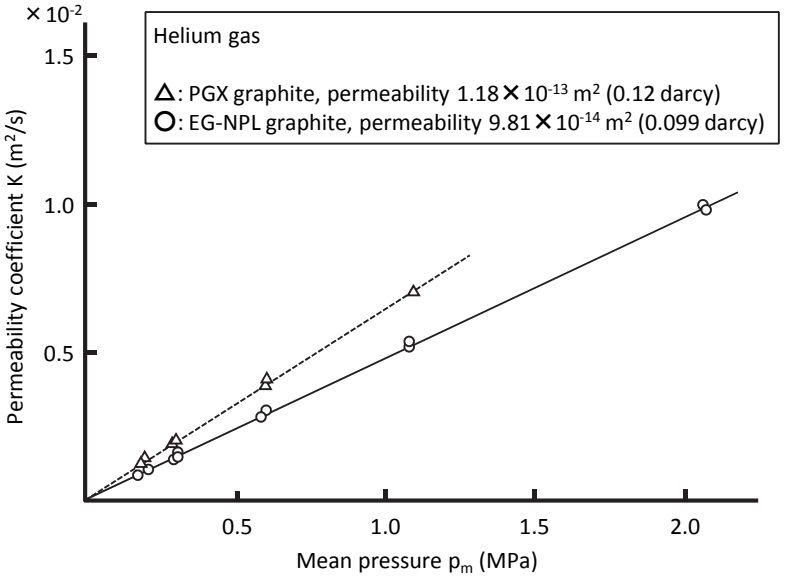


Fig. 5.1.7 Helium gas permeability of PGX graphite.

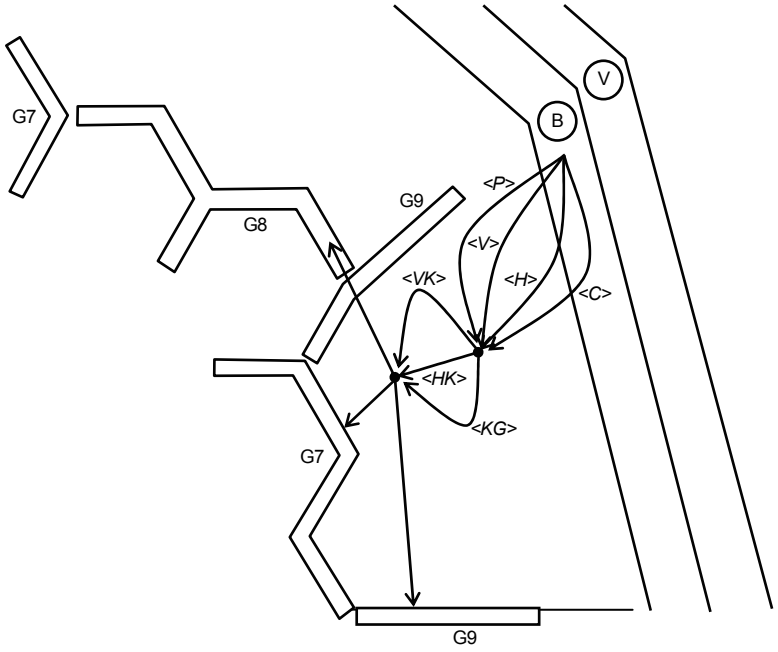


Fig. 5.1.8 FLOWNET analysis model of leak flow paths in permanent reflectors.

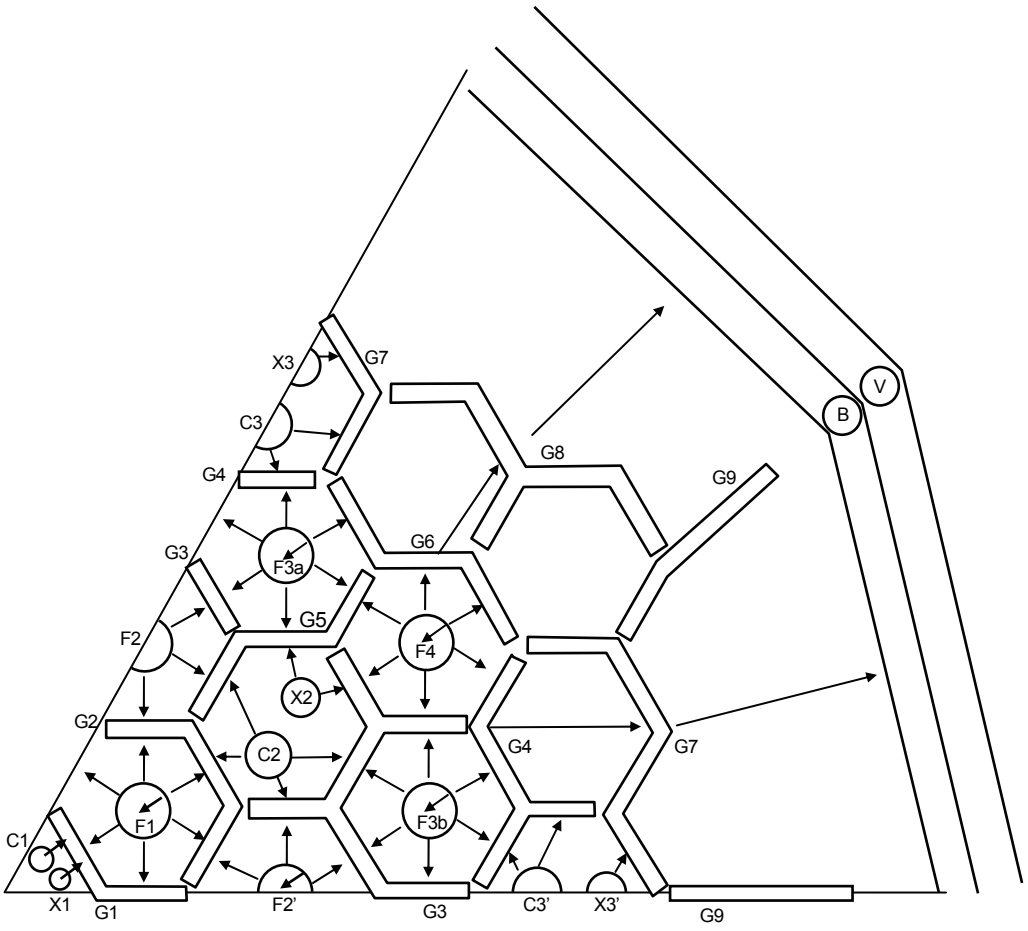
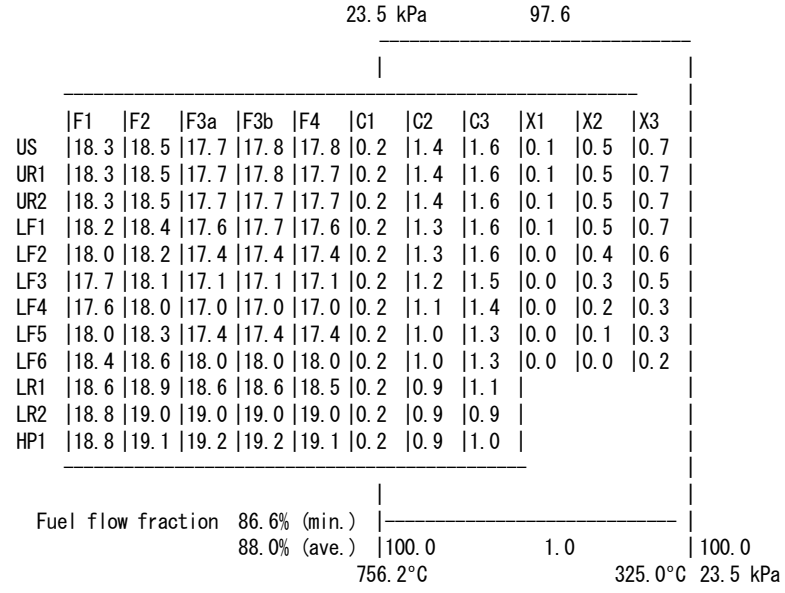


Fig. 5.1.9 FLOWNET analysis model of thermal connections.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6849	0.6913	0.6625	0.6641	0.6636
UR2	0.6841	0.6906	0.6617	0.6633	0.6628
LF1	0.6804	0.6880	0.6589	0.6605	0.6599
LF2	0.6715	0.6822	0.6508	0.6517	0.6513
LF3	0.6616	0.6756	0.6396	0.6399	0.6406
LF4	0.6595	0.6749	0.6345	0.6348	0.6369
LF5	0.6718	0.6842	0.6496	0.6494	0.6512
LF6	0.6873	0.6968	0.6746	0.6737	0.6743
LR1	0.6965	0.7056	0.6961	0.6950	0.6936
LR2	0.7028	0.7119	0.7122	0.7119	0.7088

	C1	C2	C3
UR1	0.0444	0.0507	0.0583
UR2	0.0443	0.0506	0.0583
LF1	0.0442	0.0501	0.0583
LF2	0.0439	0.0484	0.0581
LF3	0.0429	0.0457	0.0569
LF4	0.0404	0.0410	0.0526
LF5	0.0385	0.0385	0.0504
LF6	0.0359	0.0362	0.0470
LR1	0.0345	0.0349	0.0411
LR2	0.0337	0.0330	0.0340

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	668.9	644.7	713.2	700.7	747.5
LF2	897.5	858.4	964.3	960.5	967.2
LF3	885.9	839.8	955.9	953.9	951.1
LF4	898.6	850.1	968.4	967.3	961.2
LF5	882.9	841.2	902.3	902.4	897.1
LF6	863.9	825.1	877.9	879.0	871.8

Graphite sleeve average temperature (°C)

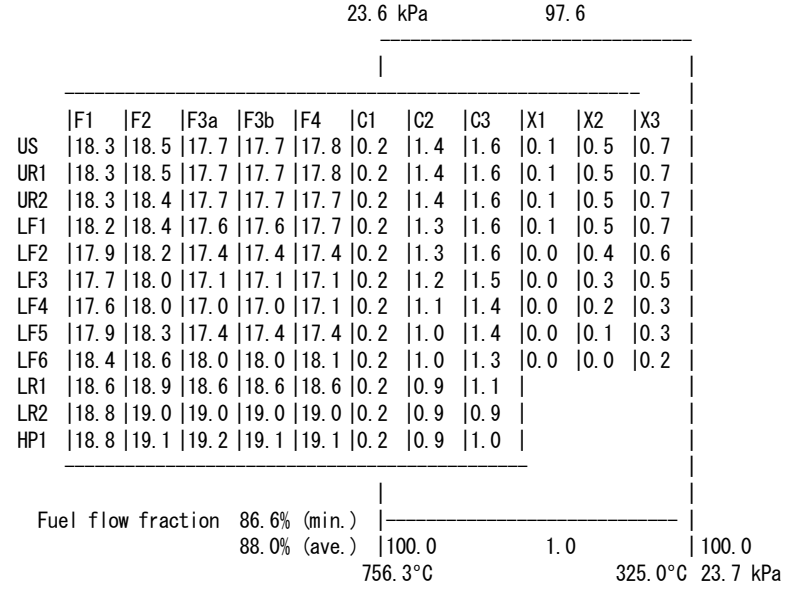
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	525.9	510.3	556.1	547.9	578.0
LF2	703.6	675.2	754.0	750.5	758.8
LF3	743.3	708.0	800.6	798.4	800.1
LF4	787.2	747.8	848.5	847.3	845.3
LF5	805.5	768.8	838.0	838.1	835.0
LF6	813.4	778.1	836.4	837.7	832.3

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	366.3	364.4	369.2	368.6	371.8
LF2	471.0	465.7	485.6	487.7	487.8
LF3	573.0	566.0	599.7	606.1	599.0
LF4	650.7	641.0	681.7	688.0	677.5
LF5	713.5	700.9	733.0	741.8	725.2
LF6	758.9	741.2	762.4	770.1	751.2

Fig. 5.1.10 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 0.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6835	0.6904	0.6618	0.6630	0.6641
UR2	0.6828	0.6896	0.6610	0.6623	0.6633
LF1	0.6790	0.6870	0.6581	0.6593	0.6603
LF2	0.6703	0.6813	0.6502	0.6508	0.6518
LF3	0.6606	0.6748	0.6392	0.6392	0.6414
LF4	0.6588	0.6743	0.6344	0.6344	0.6378
LF5	0.6711	0.6836	0.6495	0.6491	0.6522
LF6	0.6866	0.6962	0.6746	0.6734	0.6752
LR1	0.6959	0.7050	0.6962	0.6948	0.6945
LR2	0.7021	0.7113	0.7123	0.7117	0.7098

	C1	C2	C3
UR1	0.0447	0.0511	0.0588
UR2	0.0446	0.0510	0.0587
LF1	0.0445	0.0505	0.0587
LF2	0.0442	0.0488	0.0585
LF3	0.0431	0.0459	0.0573
LF4	0.0405	0.0411	0.0529
LF5	0.0386	0.0387	0.0507
LF6	0.0360	0.0363	0.0472
LR1	0.0346	0.0350	0.0413
LR2	0.0338	0.0331	0.0341

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	747.8	716.5	788.4	778.3	811.8
LF2	929.0	886.9	994.2	991.3	992.5
LF3	886.5	840.9	954.0	952.9	946.7
LF4	887.9	840.8	953.9	953.7	944.8
LF5	871.2	830.7	892.3	893.1	885.0
LF6	854.3	816.6	869.4	871.2	861.4

Graphite sleeve average temperature (°C)

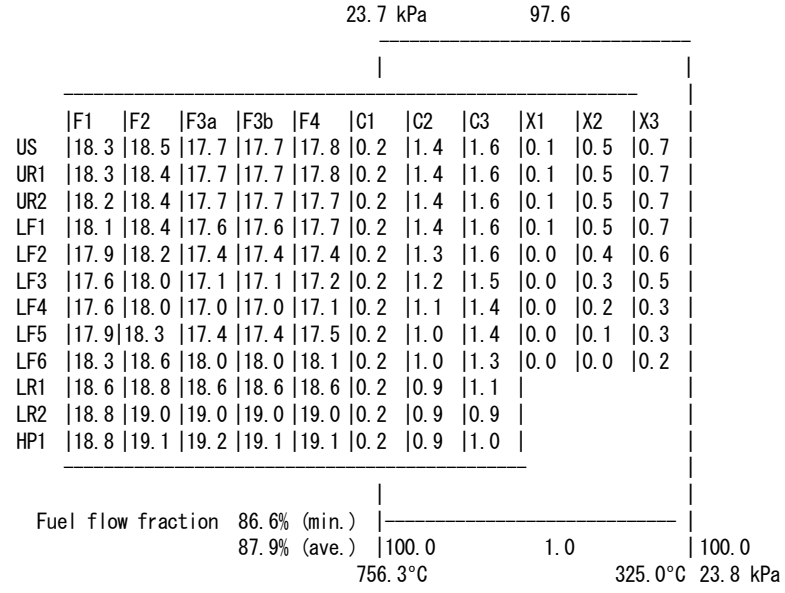
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	575.9	555.3	604.6	597.8	619.8
LF2	731.5	700.4	780.6	778.0	781.2
LF3	753.0	717.2	808.1	806.9	804.6
LF4	787.9	749.0	845.9	845.7	840.3
LF5	802.9	766.7	835.1	836.1	829.7
LF6	809.8	775.1	832.6	834.6	826.4

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	376.8	373.8	379.0	378.8	380.3
LF2	493.7	486.5	506.9	510.5	506.3
LF3	593.9	585.2	618.6	626.1	615.4
LF4	665.0	654.1	693.1	699.8	686.9
LF5	721.5	708.0	738.6	747.3	729.1
LF6	761.7	743.7	763.8	771.5	751.2

Fig. 5.1.11 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 1.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column, kg/s

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6826	0.6899	0.6614	0.6625	0.6643
UR2	0.6818	0.6891	0.6606	0.6617	0.6635
LF1	0.6780	0.6864	0.6577	0.6587	0.6604
LF2	0.6694	0.6808	0.6499	0.6503	0.6520
LF3	0.6598	0.6744	0.6390	0.6388	0.6417
LF4	0.6582	0.6740	0.6344	0.6341	0.6383
LF5	0.6705	0.6833	0.6496	0.6489	0.6527
LF6	0.6860	0.6959	0.6747	0.6733	0.6757
LR1	0.6953	0.7047	0.6962	0.6947	0.6950
LR2	0.7016	0.7110	0.7124	0.7116	0.7103

	C1	C2	C3
UR1	0.0448	0.0513	0.0590
UR2	0.0447	0.0512	0.0590
LF1	0.0446	0.0507	0.0590
LF2	0.0443	0.0489	0.0588
LF3	0.0433	0.0461	0.0575
LF4	0.0406	0.0413	0.0531
LF5	0.0387	0.0388	0.0508
LF6	0.0361	0.0364	0.0473
LR1	0.0347	0.0351	0.0413
LR2	0.0338	0.0332	0.0341

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	788.9	753.7	826.9	818.2	844.9
LF2	951.3	906.3	1013.4	1011.0	1009.5
LF3	895.1	847.6	959.5	959.0	950.8
LF4	886.4	838.7	949.1	949.5	938.9
LF5	864.0	823.2	885.3	886.8	877.0
LF6	845.5	807.8	861.2	863.4	852.5

Graphite sleeve average temperature (°C)

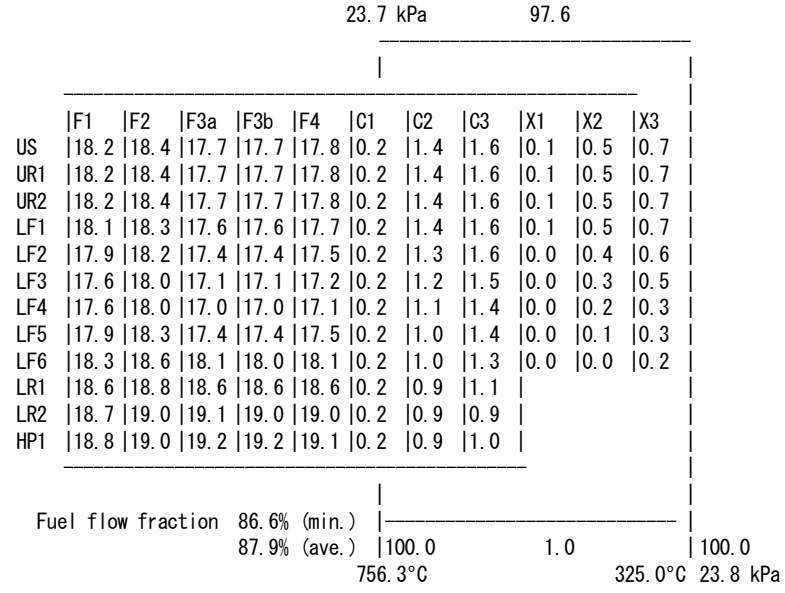
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	602.4	578.9	629.8	623.9	641.4
LF2	749.8	716.3	796.6	794.6	795.2
LF3	763.8	726.3	816.5	815.8	811.4
LF4	792.2	752.2	847.3	847.8	840.4
LF5	802.4	765.6	833.7	835.3	827.1
LF6	806.8	771.6	829.0	831.4	821.8

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	382.5	378.9	384.3	384.4	384.9
LF2	506.4	497.8	518.3	522.9	516.3
LF3	607.4	597.1	630.1	638.5	625.6
LF4	676.0	663.5	701.4	708.5	694.1
LF5	728.5	713.6	743.2	751.9	732.8
LF6	764.5	745.5	765.0	772.7	751.7

Fig. 5.1.12 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 10 days.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6817	0.6894	0.6620	0.6631	0.6650
UR2	0.6809	0.6886	0.6612	0.6623	0.6642
LF1	0.6772	0.6860	0.6583	0.6593	0.6612
LF2	0.6685	0.6803	0.6505	0.6508	0.6527
LF3	0.6589	0.6739	0.6395	0.6394	0.6423
LF4	0.6571	0.6735	0.6349	0.6346	0.6389
LF5	0.6694	0.6828	0.6501	0.6494	0.6533
LF6	0.6848	0.6953	0.6752	0.6738	0.6764
LR1	0.6941	0.7042	0.6968	0.6952	0.6957
LR2	0.7004	0.7104	0.7129	0.7121	0.7110

	C1	C2	C3
UR1	0.0447	0.0512	0.0589
UR2	0.0447	0.0511	0.0589
LF1	0.0446	0.0506	0.0589
LF2	0.0442	0.0489	0.0587
LF3	0.0432	0.0461	0.0574
LF4	0.0406	0.0412	0.0531
LF5	0.0386	0.0388	0.0508
LF6	0.0360	0.0364	0.0473
LR1	0.0346	0.0350	0.0413
LR2	0.0338	0.0331	0.0341

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	778.4	743.4	813.2	804.7	830.7
LF2	949.4	903.1	1004.8	1002.4	1000.7
LF3	901.3	851.4	958.6	958.0	949.4
LF4	893.9	843.6	950.0	950.4	939.2
LF5	870.1	827.1	885.3	886.7	876.5
LF6	850.4	810.4	860.4	862.7	851.2

Graphite sleeve average temperature (°C)

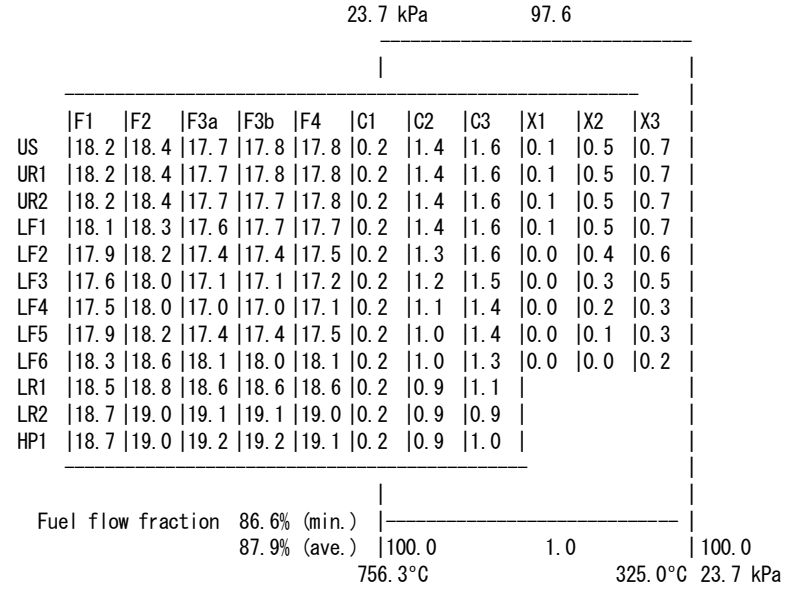
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	595.7	572.4	620.7	615.0	632.0
LF2	747.7	713.3	789.7	787.6	788.0
LF3	766.8	727.5	813.9	813.2	808.5
LF4	796.8	754.8	846.3	846.7	838.9
LF5	806.9	768.0	832.6	834.1	825.5
LF6	810.9	773.6	827.8	830.2	820.1

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	381.1	377.5	382.5	382.5	383.0
LF2	503.8	494.8	513.8	518.2	511.8
LF3	606.2	594.7	625.8	634.0	621.2
LF4	677.0	662.7	698.3	705.4	690.8
LF5	730.9	713.9	741.0	749.8	730.4
LF6	767.7	746.4	763.4	771.2	749.8

Fig. 5.1.13 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 30.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X3
US	18.2	18.4	17.7	17.8	17.8	0.2	1.4	1.6	0.1	0.5	0.7
UR1	18.2	18.4	17.7	17.8	17.8	0.2	1.4	1.6	0.1	0.5	0.7
UR2	18.2	18.4	17.7	17.7	17.8	0.2	1.4	1.6	0.1	0.5	0.7
LF1	18.1	18.3	17.6	17.7	17.7	0.2	1.4	1.6	0.1	0.5	0.7
LF2	17.9	18.2	17.4	17.4	17.5	0.2	1.3	1.6	0.0	0.4	0.6
LF3	17.6	18.0	17.1	17.1	17.2	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.5	18.0	17.0	17.0	17.1	0.2	1.1	1.4	0.0	0.2	0.3
LF5	17.9	18.2	17.4	17.4	17.5	0.2	1.0	1.4	0.0	0.1	0.3
LF6	18.3	18.6	18.1	18.0	18.1	0.2	1.0	1.3	0.0	0.0	0.2
LR1	18.5	18.8	18.6	18.6	18.6	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.7	19.0	19.1	19.1	19.0	0.2	0.9	0.9			
HP1	18.7	19.0	19.2	19.2	19.1	0.2	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6808	0.6889	0.6628	0.6639	0.6659
UR2	0.6801	0.6882	0.6620	0.6631	0.6652
LF1	0.6763	0.6856	0.6591	0.6601	0.6621
LF2	0.6676	0.6798	0.6512	0.6516	0.6537
LF3	0.6579	0.6734	0.6402	0.6401	0.6432
LF4	0.6559	0.6729	0.6355	0.6353	0.6398
LF5	0.6681	0.6821	0.6507	0.6501	0.6542
LF6	0.6835	0.6947	0.6759	0.6744	0.6773
LR1	0.6927	0.7035	0.6974	0.6959	0.6966
LR2	0.6990	0.7098	0.7136	0.7128	0.7119

	C1	C2	C3
UR1	0.0446	0.0511	0.0588
UR2	0.0446	0.0510	0.0588
LF1	0.0444	0.0505	0.0588
LF2	0.0441	0.0488	0.0586
LF3	0.0431	0.0460	0.0573
LF4	0.0405	0.0412	0.0530
LF5	0.0385	0.0387	0.0507
LF6	0.0359	0.0364	0.0473
LR1	0.0345	0.0350	0.0413
LR2	0.0337	0.0331	0.0341

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	759.7	725.8	791.5	783.4	808.1
LF2	940.5	893.4	988.7	986.2	984.3
LF3	905.5	853.3	954.7	954.0	944.7
LF4	902.7	849.6	951.2	951.6	939.6
LF5	879.7	833.7	887.0	888.4	877.5
LF6	859.2	816.4	861.8	864.1	851.8

Graphite sleeve average temperature (°C)

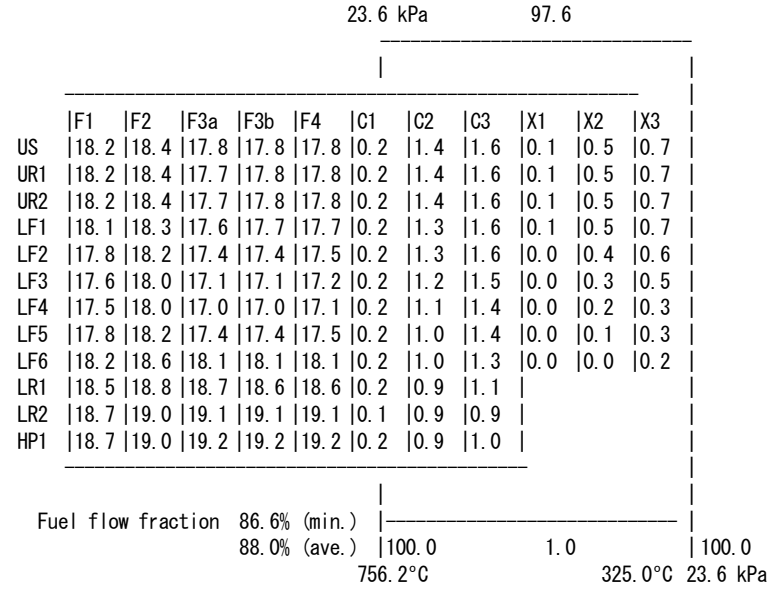
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	583.9	561.4	606.5	601.1	617.2
LF2	740.3	705.5	777.0	774.9	775.1
LF3	767.2	726.3	808.0	807.3	802.0
LF4	801.0	756.7	844.0	844.3	835.9
LF5	812.7	771.3	831.4	833.0	823.7
LF6	817.2	777.4	827.2	829.6	818.8

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	378.7	375.2	379.6	379.7	380.0
LF2	498.3	489.0	506.4	510.5	504.4
LF3	601.8	589.2	617.9	625.8	613.2
LF4	675.5	659.4	692.3	699.5	684.5
LF5	732.3	712.8	737.0	746.1	726.0
LF6	771.1	747.1	761.0	769.1	747.1

Fig. 5.1.14 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 60.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6801	0.6885	0.6637	0.6647	0.6670
UR2	0.6793	0.6877	0.6629	0.6639	0.6662
LF1	0.6756	0.6851	0.6600	0.6610	0.6632
LF2	0.6668	0.6794	0.6521	0.6524	0.6547
LF3	0.6570	0.6729	0.6410	0.6408	0.6441
LF4	0.6548	0.6722	0.6362	0.6359	0.6406
LF5	0.6669	0.6815	0.6514	0.6507	0.6550
LF6	0.6822	0.6940	0.6766	0.6751	0.6781
LR1	0.6914	0.7029	0.6981	0.6965	0.6975
LR2	0.6976	0.7091	0.7143	0.7134	0.7128

	C1	C2	C3
UR1	0.0445	0.0509	0.0586
UR2	0.0444	0.0508	0.0586
LF1	0.0443	0.0504	0.0586
LF2	0.0440	0.0487	0.0584
LF3	0.0429	0.0458	0.0572
LF4	0.0403	0.0411	0.0529
LF5	0.0384	0.0386	0.0506
LF6	0.0358	0.0363	0.0472
LR1	0.0344	0.0350	0.0413
LR2	0.0336	0.0331	0.0341

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	736.3	704.4	765.8	758.3	781.5
LF2	927.0	879.9	968.2	965.9	963.7
LF3	907.0	853.1	948.7	948.0	938.3
LF4	911.9	856.2	952.8	953.1	940.4
LF5	890.9	842.2	889.9	891.3	879.5
LF6	869.9	824.4	864.6	867.0	853.8

Graphite sleeve average temperature (°C)

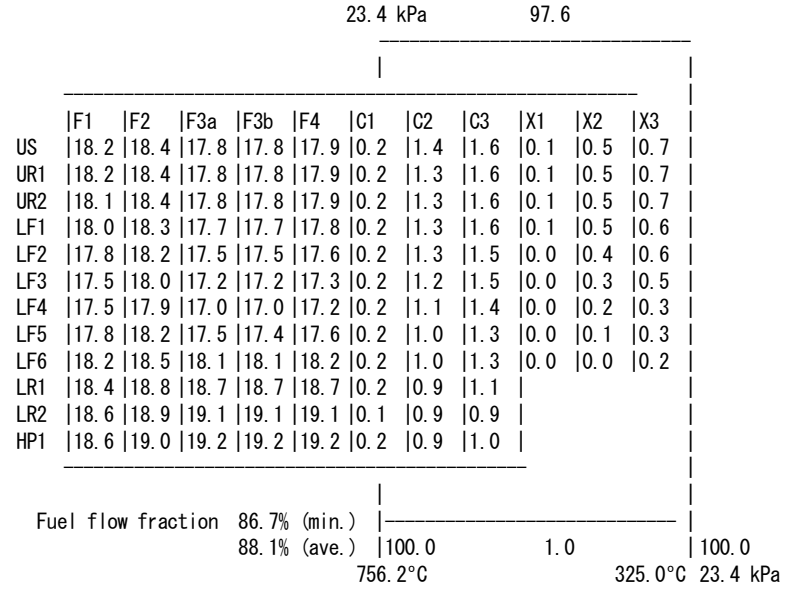
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	569.1	547.9	589.8	584.8	599.8
LF2	729.5	694.9	761.2	759.2	759.2
LF3	765.0	723.2	800.1	799.4	793.7
LF4	804.5	758.3	841.1	841.5	832.3
LF5	818.8	775.2	830.4	832.1	822.0
LF6	824.3	782.0	827.1	829.7	818.1

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	375.7	372.5	376.3	376.4	376.6
LF2	491.0	481.8	497.5	501.3	495.5
LF3	595.1	581.9	608.2	615.7	603.3
LF4	672.1	654.5	684.8	692.0	676.8
LF5	732.4	710.8	732.1	741.5	720.8
LF6	774.2	747.6	758.4	766.7	744.0

Fig. 5.1.15 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 100.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6793	0.6881	0.6657	0.6668	0.6689
UR2	0.6786	0.6873	0.6650	0.6661	0.6681
LF1	0.6749	0.6848	0.6622	0.6632	0.6652
LF2	0.6660	0.6790	0.6541	0.6546	0.6566
LF3	0.6559	0.6722	0.6427	0.6426	0.6458
LF4	0.6531	0.6713	0.6376	0.6374	0.6420
LF5	0.6649	0.6805	0.6528	0.6521	0.6564
LF6	0.6801	0.6930	0.6779	0.6765	0.6795
LR1	0.6892	0.7018	0.6994	0.6978	0.6988
LR2	0.6954	0.7080	0.7156	0.7147	0.7141

	C1	C2	C3
UR1	0.0440	0.0505	0.0581
UR2	0.0440	0.0504	0.0581
LF1	0.0438	0.0499	0.0580
LF2	0.0435	0.0482	0.0579
LF3	0.0425	0.0455	0.0566
LF4	0.0400	0.0408	0.0525
LF5	0.0381	0.0384	0.0503
LF6	0.0356	0.0361	0.0469
LR1	0.0342	0.0348	0.0411
LR2	0.0334	0.0329	0.0340

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	653.4	628.4	680.7	673.4	698.8
LF2	879.4	833.9	908.9	906.3	905.8
LF3	901.7	845.6	931.5	930.4	921.3
LF4	931.6	870.8	960.3	960.2	947.2
LF5	920.5	866.0	902.2	903.2	891.0
LF6	900.1	848.5	877.8	880.1	865.9

Graphite sleeve average temperature (°C)

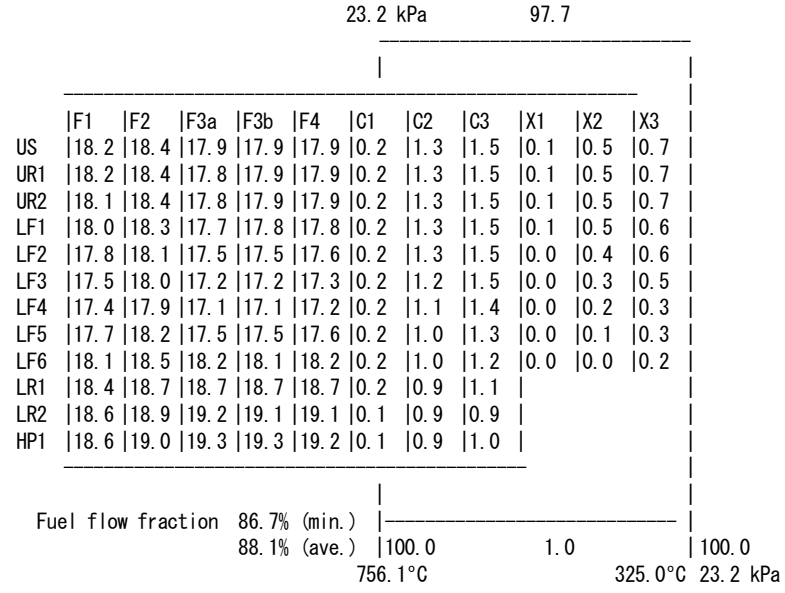
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	516.9	500.6	535.3	530.5	546.6
LF2	691.3	658.4	714.6	712.4	713.8
LF3	750.9	708.0	776.7	775.6	770.7
LF4	807.7	758.2	834.3	834.1	825.2
LF5	832.0	784.0	829.9	831.2	821.1
LF6	842.0	794.6	830.5	832.9	820.7

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	365.2	362.9	365.9	365.8	366.5
LF2	465.4	457.5	470.0	472.6	469.0
LF3	569.6	556.1	578.2	584.6	574.4
LF4	655.3	635.8	662.0	669.0	654.5
LF5	726.5	701.5	718.0	728.0	706.8
LF6	778.4	746.9	751.9	760.9	737.3

Fig. 5.1.16 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 200.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X3
US	18.2	18.4	17.9	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR1	18.2	18.4	17.8	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR2	18.1	18.4	17.8	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
LF1	18.0	18.3	17.7	17.8	17.8	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF2	17.8	18.1	17.5	17.5	17.6	0.2	1.3	1.5	0.0	0.4	0.6
LF3	17.5	18.0	17.2	17.2	17.3	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.4	17.9	17.1	17.1	17.2	0.2	1.1	1.4	0.0	0.2	0.3
LF5	17.7	18.2	17.5	17.5	17.6	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	0.3
LF6	18.1	18.5	18.2	18.1	18.2	0.2	1.0	1.2	0.0	0.0	0.2
LR1	18.4	18.7	18.7	18.7	18.7	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.6	18.9	19.2	19.1	19.1	0.1	0.9	0.9			
HP1	18.6	19.0	19.3	19.3	19.2	0.1	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6789	0.6878	0.6672	0.6685	0.6703
UR2	0.6781	0.6870	0.6665	0.6677	0.6696
LF1	0.6745	0.6846	0.6637	0.6649	0.6667
LF2	0.6655	0.6787	0.6556	0.6562	0.6580
LF3	0.6551	0.6718	0.6440	0.6440	0.6470
LF4	0.6519	0.6706	0.6386	0.6385	0.6430
LF5	0.6636	0.6798	0.6537	0.6532	0.6574
LF6	0.6788	0.6923	0.6788	0.6774	0.6805
LR1	0.6878	0.7010	0.7003	0.6988	0.6998
LR2	0.6939	0.7072	0.7165	0.7156	0.7151

	C1	C2	C3
UR1	0.0437	0.0501	0.0576
UR2	0.0436	0.0500	0.0576
LF1	0.0435	0.0495	0.0576
LF2	0.0432	0.0479	0.0574
LF3	0.0422	0.0452	0.0562
LF4	0.0397	0.0406	0.0521
LF5	0.0379	0.0382	0.0500
LF6	0.0354	0.0360	0.0467
LR1	0.0340	0.0347	0.0409
LR2	0.0332	0.0328	0.0340

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	593.5	573.1	618.5	611.1	637.7
LF2	841.0	797.0	862.1	859.2	859.7
LF3	892.8	836.9	916.4	914.8	906.2
LF4	943.5	879.6	965.2	964.6	951.4
LF5	942.4	884.3	912.4	913.0	900.5
LF6	924.8	868.7	889.9	891.8	876.9

Graphite sleeve average temperature (°C)

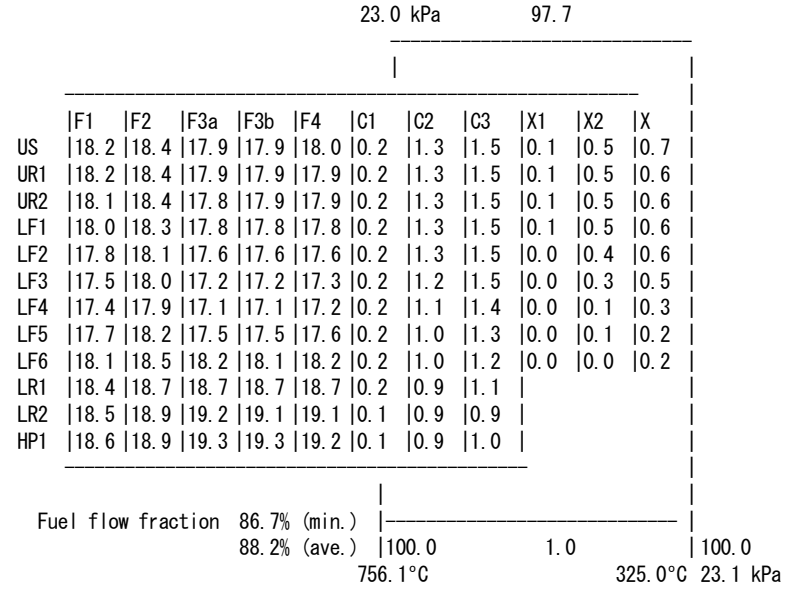
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	480.0	467.0	496.2	491.5	508.0
LF2	661.1	629.8	678.4	676.0	678.2
LF3	737.2	694.8	757.7	756.3	752.0
LF4	807.9	756.6	828.4	827.9	819.1
LF5	841.1	790.5	829.8	830.7	820.6
LF6	855.9	805.0	834.1	836.3	823.7

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	358.0	356.3	358.8	358.7	359.6
LF2	446.6	439.6	449.9	451.6	449.5
LF3	549.6	536.3	555.4	560.7	552.1
LF4	641.0	620.7	644.1	650.8	636.9
LF5	720.4	693.4	706.8	717.2	695.7
LF6	780.7	746.2	747.0	756.5	732.1

Fig. 5.1.17 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 300.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X
US	18.2	18.4	17.9	17.9	18.0	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR1	18.2	18.4	17.9	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
UR2	18.1	18.4	17.8	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF1	18.0	18.3	17.8	17.8	17.8	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF2	17.8	18.1	17.6	17.6	17.6	0.2	1.3	1.5	0.0	0.4	0.6
LF3	17.5	18.0	17.2	17.2	17.3	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.4	17.9	17.1	17.1	17.2	0.2	1.1	1.4	0.0	0.1	0.3
LF5	17.7	18.2	17.5	17.5	17.6	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	0.2
LF6	18.1	18.5	18.2	18.1	18.2	0.2	1.0	1.2	0.0	0.0	0.2
LR1	18.4	18.7	18.7	18.7	18.7	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.5	18.9	19.2	19.1	19.1	0.1	0.9	0.9			
HP1	18.6	18.9	19.3	19.3	19.2	0.1	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6793	0.6877	0.6681	0.6695	0.6711
UR2	0.6786	0.6870	0.6674	0.6687	0.6703
LF1	0.6750	0.6845	0.6647	0.6660	0.6675
LF2	0.6660	0.6786	0.6565	0.6572	0.6587
LF3	0.6554	0.6716	0.6447	0.6448	0.6476
LF4	0.6519	0.6703	0.6391	0.6391	0.6434
LF5	0.6636	0.6794	0.6541	0.6537	0.6578
LF6	0.6787	0.6919	0.6792	0.6779	0.6808
LR1	0.6876	0.7006	0.7007	0.6992	0.7001
LR2	0.6937	0.7068	0.7168	0.7160	0.7154

	C1	C2	C3
UR1	0.0434	0.0498	0.0573
UR2	0.0434	0.0497	0.0572
LF1	0.0432	0.0492	0.0572
LF2	0.0429	0.0476	0.0571
LF3	0.0420	0.0449	0.0559
LF4	0.0396	0.0404	0.0519
LF5	0.0377	0.0381	0.0498
LF6	0.0353	0.0359	0.0465
LR1	0.0339	0.0346	0.0408
LR2	0.0331	0.0327	0.0339

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	548.4	531.7	571.8	564.4	592.2
LF2	806.6	765.9	824.6	821.5	823.3
LF3	877.6	825.6	903.6	901.6	894.2
LF4	946.5	884.2	969.6	968.7	956.2
LF5	957.0	898.6	921.5	921.8	909.7
LF6	942.6	885.8	901.9	903.8	888.7

Graphite sleeve average temperature (°C)

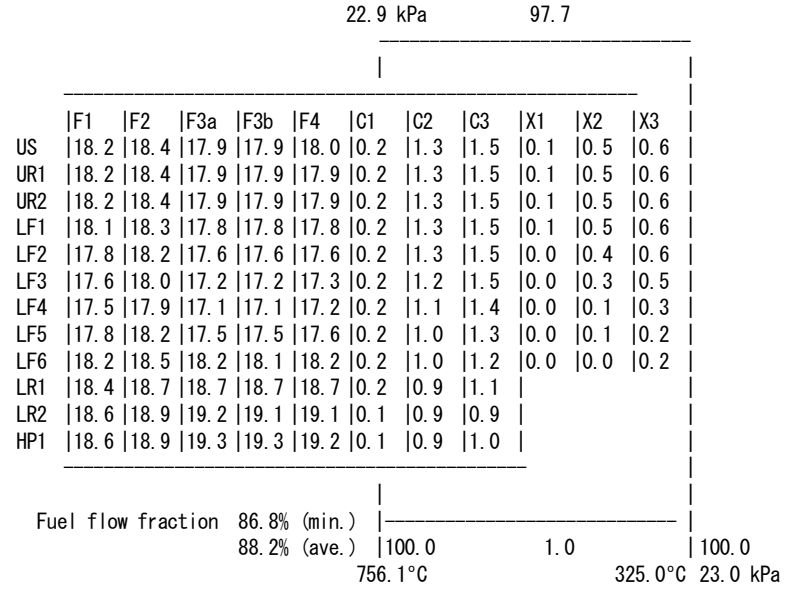
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	452.6	442.2	467.5	462.9	479.8
LF2	634.9	606.2	649.9	647.3	650.5
LF3	721.0	681.6	742.5	740.7	737.4
LF4	803.0	753.5	824.3	823.5	815.5
LF5	845.1	795.0	830.5	831.1	821.5
LF6	864.4	813.5	838.7	840.7	828.2

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	352.8	351.5	353.9	353.7	354.8
LF2	432.0	425.9	434.9	435.9	435.0
LF3	532.1	520.2	537.7	542.2	535.0
LF4	626.3	607.5	630.1	636.5	623.5
LF5	712.0	686.0	698.3	708.8	687.5
LF6	779.4	744.9	743.8	753.7	729.0

Fig. 5.1.18 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 400.

Flow fraction(%) and pressure difference



Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6808	0.6881	0.6684	0.6698	0.6710
UR2	0.6801	0.6874	0.6677	0.6691	0.6703
LF1	0.6766	0.6849	0.6651	0.6664	0.6675
LF2	0.6676	0.6790	0.6568	0.6575	0.6587
LF3	0.6569	0.6719	0.6449	0.6450	0.6474
LF4	0.6533	0.6705	0.6391	0.6391	0.6430
LF5	0.6650	0.6796	0.6540	0.6536	0.6573
LF6	0.6801	0.6921	0.6791	0.6777	0.6803
LR1	0.6890	0.7008	0.7005	0.6989	0.6995
LR2	0.6951	0.7070	0.7166	0.7158	0.7148

	C1	C2	C3
UR1	0.0432	0.0495	0.0569
UR2	0.0432	0.0494	0.0569
LF1	0.0431	0.0490	0.0569
LF2	0.0428	0.0474	0.0567
LF3	0.0418	0.0447	0.0556
LF4	0.0394	0.0402	0.0516
LF5	0.0376	0.0380	0.0495
LF6	0.0352	0.0358	0.0463
LR1	0.0339	0.0345	0.0407
LR2	0.0331	0.0327	0.0339

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	512.7	499.3	535.8	528.4	557.4
LF2	771.5	736.2	792.6	789.6	792.9
LF3	853.6	809.1	890.7	888.7	883.4
LF4	939.2	883.6	974.1	972.9	962.2
LF5	964.4	909.8	932.1	932.4	921.4
LF6	955.9	901.3	915.6	917.5	903.0

Graphite sleeve average temperature (°C)

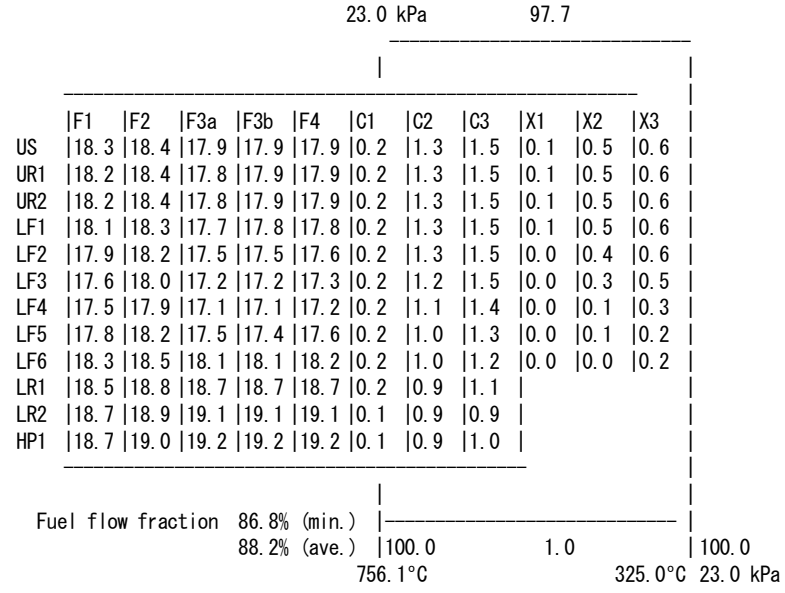
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	431.3	423.0	445.7	441.2	458.7
LF2	609.1	584.5	626.0	623.4	627.9
LF3	699.8	666.0	728.6	726.8	725.2
LF4	791.1	747.1	821.5	820.4	813.9
LF5	843.1	797.1	833.0	833.5	825.2
LF6	868.1	820.3	845.1	847.1	835.4

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	348.9	347.9	350.3	350.1	351.5
LF2	419.5	414.8	423.1	423.8	423.9
LF3	514.8	505.6	523.0	527.0	521.2
LF4	608.9	594.2	618.4	624.5	612.7
LF5	699.2	677.6	691.6	702.4	681.6
LF6	773.3	742.5	742.4	752.6	728.2

Fig. 5.1.19 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 500.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X3
US	18.3	18.4	17.9	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
UR1	18.2	18.4	17.8	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
UR2	18.2	18.4	17.8	17.9	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF1	18.1	18.3	17.7	17.8	17.8	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF2	17.9	18.2	17.5	17.5	17.6	0.2	1.3	1.5	0.0	0.4	0.6
LF3	17.6	18.0	17.2	17.2	17.3	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.5	17.9	17.1	17.1	17.2	0.2	1.1	1.4	0.0	0.1	0.3
LF5	17.8	18.2	17.5	17.4	17.6	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	0.2
LF6	18.3	18.5	18.1	18.1	18.2	0.2	1.0	1.2	0.0	0.0	0.2
LR1	18.5	18.8	18.7	18.7	18.7	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.7	18.9	19.1	19.1	19.1	0.1	0.9	0.9			
HP1	18.7	19.0	19.2	19.2	19.2	0.1	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6824	0.6883	0.6672	0.6683	0.6702
UR2	0.6817	0.6875	0.6665	0.6676	0.6694
LF1	0.6782	0.6851	0.6638	0.6649	0.6666
LF2	0.6692	0.6792	0.6557	0.6561	0.6579
LF3	0.6588	0.6722	0.6438	0.6437	0.6467
LF4	0.6556	0.6709	0.6381	0.6379	0.6423
LF5	0.6674	0.6801	0.6530	0.6524	0.6565
LF6	0.6827	0.6926	0.6780	0.6765	0.6794
LR1	0.6917	0.7013	0.6994	0.6977	0.6986
LR2	0.6978	0.7075	0.7155	0.7145	0.7139

	C1	C2	C3
UR1	0.0434	0.0497	0.0571
UR2	0.0434	0.0496	0.0571
LF1	0.0433	0.0491	0.0571
LF2	0.0430	0.0475	0.0569
LF3	0.0420	0.0448	0.0558
LF4	0.0396	0.0403	0.0517
LF5	0.0378	0.0380	0.0496
LF6	0.0354	0.0358	0.0464
LR1	0.0340	0.0345	0.0407
LR2	0.0332	0.0327	0.0338

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	549.9	534.5	574.0	568.2	589.7
LF2	783.3	751.2	812.2	810.1	810.7
LF3	839.0	802.7	891.5	890.2	884.8
LF4	916.8	871.5	969.4	968.8	958.6
LF5	947.1	900.9	930.2	931.1	920.0
LF6	944.3	897.1	916.8	919.2	904.3

Graphite sleeve average temperature (°C)

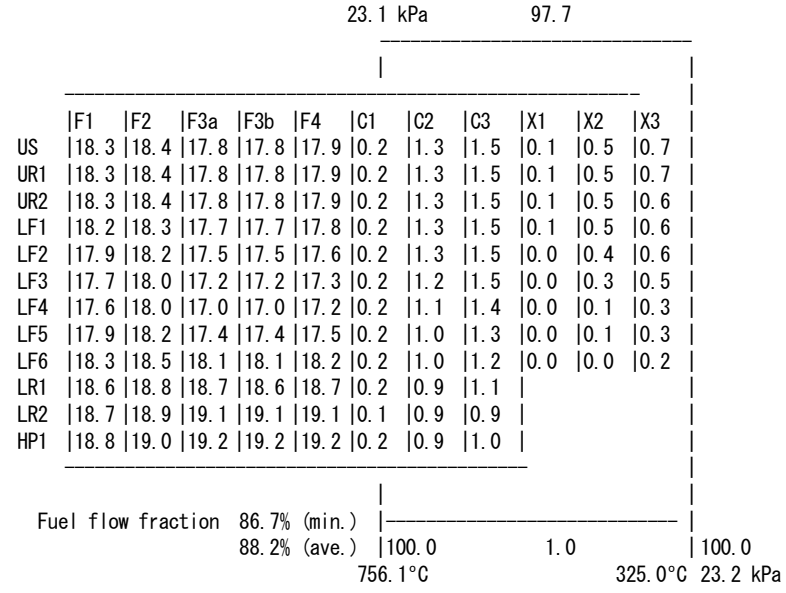
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	453.4	443.9	469.0	465.4	478.5
LF2	620.0	597.3	642.4	640.6	642.5
LF3	694.2	666.1	733.9	732.8	730.2
LF4	778.2	742.1	822.2	821.8	815.0
LF5	830.9	792.3	834.3	835.5	826.6
LF6	858.1	817.4	847.4	850.0	837.7

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	353.3	352.1	354.3	354.3	354.9
LF2	429.4	424.9	433.9	435.3	433.3
LF3	521.5	514.3	533.7	538.4	530.9
LF4	608.8	598.7	625.8	632.3	619.7
LF5	693.9	678.6	696.4	707.3	686.3
LF6	765.5	741.6	745.7	756.1	731.5

Fig. 5.1.20 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 600.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X3
US	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR1	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR2	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF1	18.2	18.3	17.7	17.7	17.8	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF2	17.9	18.2	17.5	17.5	17.6	0.2	1.3	1.5	0.0	0.4	0.6
LF3	17.7	18.0	17.2	17.2	17.3	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.6	18.0	17.0	17.0	17.2	0.2	1.1	1.4	0.0	0.1	0.3
LF5	17.9	18.2	17.4	17.4	17.5	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	0.3
LF6	18.3	18.5	18.1	18.1	18.2	0.2	1.0	1.2	0.0	0.0	0.2
LR1	18.6	18.8	18.7	18.6	18.7	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.7	18.9	19.1	19.1	19.1	0.1	0.9	0.9			
HP1	18.8	19.0	19.2	19.2	19.2	0.2	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6834	0.6882	0.6657	0.6665	0.6694
UR2	0.6827	0.6875	0.6650	0.6657	0.6687
LF1	0.6791	0.6850	0.6623	0.6629	0.6658
LF2	0.6703	0.6792	0.6542	0.6543	0.6571
LF3	0.6601	0.6724	0.6426	0.6422	0.6461
LF4	0.6574	0.6713	0.6371	0.6365	0.6418
LF5	0.6694	0.6805	0.6520	0.6510	0.6559
LF6	0.6848	0.6930	0.6770	0.6751	0.6789
LR1	0.6938	0.7018	0.6984	0.6963	0.6980
LR2	0.7000	0.7080	0.7144	0.7132	0.7133

	C1	C2	C3
UR1	0.0437	0.0500	0.0575
UR2	0.0437	0.0499	0.0575
LF1	0.0435	0.0494	0.0575
LF2	0.0432	0.0478	0.0573
LF3	0.0423	0.0451	0.0561
LF4	0.0398	0.0405	0.0520
LF5	0.0380	0.0381	0.0498
LF6	0.0356	0.0359	0.0465
LR1	0.0342	0.0346	0.0408
LR2	0.0334	0.0328	0.0339

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	614.7	595.7	640.4	637.6	646.3
LF2	807.0	776.4	844.5	843.1	840.1
LF3	830.8	799.5	893.5	893.3	886.1
LF4	894.1	857.2	960.2	960.8	949.9
LF5	925.0	886.6	923.9	925.9	913.5
LF6	927.7	887.3	913.4	916.7	900.6

Graphite sleeve average temperature (°C)

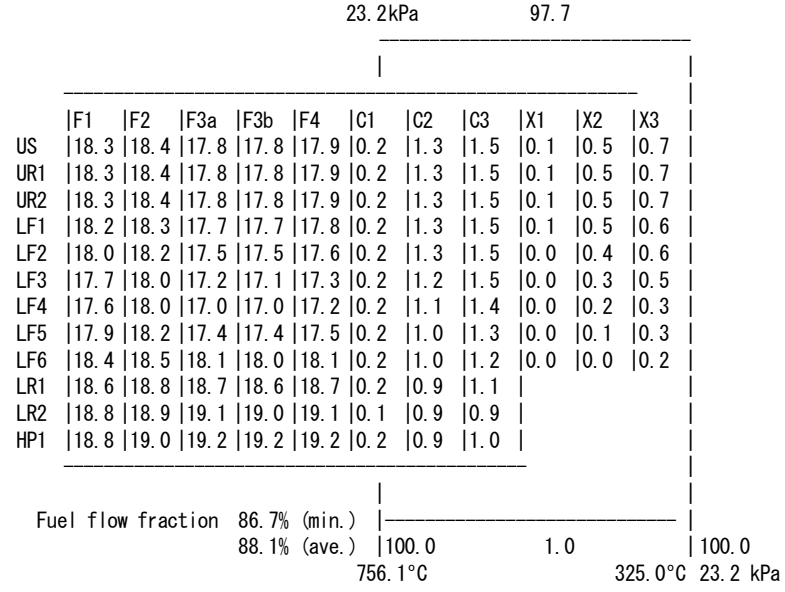
	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	492.9	480.9	510.3	508.4	513.8
LF2	641.1	619.1	669.5	668.5	666.7
LF3	696.0	671.2	743.2	743.2	738.1
LF4	768.5	738.4	822.9	823.6	815.1
LF5	818.2	786.1	834.4	836.7	826.0
LF6	846.3	811.9	847.6	851.1	837.4

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	361.5	359.8	362.1	362.5	361.4
LF2	446.7	441.9	452.4	455.1	449.7
LF3	536.3	530.3	551.8	557.7	547.3
LF4	615.8	608.7	638.2	645.3	631.0
LF5	693.3	682.7	703.8	714.8	693.0
LF6	759.8	741.6	749.8	760.3	735.1

Fig. 5.1.21 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 700.

Flow fraction(%) and pressure difference



	F1	F2	F3a	F3b	F4	C1	C2	C3	X1	X2	X3
US	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR1	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
UR2	18.3	18.4	17.8	17.8	17.9	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.7
LF1	18.2	18.3	17.7	17.7	17.8	0.2	1.3	1.5	0.1	0.5	0.6
LF2	18.0	18.2	17.5	17.5	17.6	0.2	1.3	1.5	0.0	0.4	0.6
LF3	17.7	18.0	17.2	17.1	17.3	0.2	1.2	1.5	0.0	0.3	0.5
LF4	17.6	18.0	17.0	17.0	17.2	0.2	1.1	1.4	0.0	0.2	0.3
LF5	17.9	18.2	17.4	17.4	17.5	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	0.3
LF6	18.4	18.5	18.1	18.0	18.1	0.2	1.0	1.2	0.0	0.0	0.2
LR1	18.6	18.8	18.7	18.6	18.7	0.2	0.9	1.1			
LR2	18.8	18.9	19.1	19.0	19.1	0.1	0.9	0.9			
HP1	18.8	19.0	19.2	19.2	19.2	0.2	0.9	1.0			

Flowrate in a column (kg/s)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
UR1	0.6844	0.6883	0.6649	0.6654	0.6689
UR2	0.6836	0.6876	0.6642	0.6647	0.6681
LF1	0.6800	0.6851	0.6614	0.6618	0.6653
LF2	0.6713	0.6793	0.6535	0.6533	0.6567
LF3	0.6613	0.6726	0.6420	0.6413	0.6457
LF4	0.6588	0.6716	0.6365	0.6357	0.6414
LF5	0.6710	0.6808	0.6514	0.6502	0.6555
LF6	0.6864	0.6933	0.6763	0.6743	0.6784
LR1	0.6955	0.7021	0.6977	0.6955	0.6976
LR2	0.7016	0.7082	0.7137	0.7123	0.7128

	C1	C2	C3
UR1	0.0439	0.0501	0.0577
UR2	0.0438	0.0500	0.0577
LF1	0.0437	0.0496	0.0576
LF2	0.0434	0.0479	0.0574
LF3	0.0424	0.0452	0.0562
LF4	0.0399	0.0406	0.0521
LF5	0.0381	0.0382	0.0499
LF6	0.0357	0.0359	0.0466
LR1	0.0343	0.0346	0.0408
LR2	0.0335	0.0328	0.0339

Fuel compact average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	648.2	628.1	676.0	675.0	675.9
LF2	811.0	783.7	855.7	855.3	850.7
LF3	820.7	794.1	891.2	891.5	883.8
LF4	878.5	847.2	953.8	955.1	943.9
LF5	912.7	880.0	921.8	924.5	911.6
LF6	921.9	886.2	915.4	919.3	902.6

Graphite sleeve average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	513.8	500.9	532.9	532.3	532.6
LF2	646.6	626.7	680.0	679.9	676.4
LF3	692.4	671.0	745.5	746.1	739.9
LF4	759.7	734.1	821.5	822.9	813.6
LF5	809.7	782.4	834.5	837.4	826.0
LF6	840.7	810.8	849.6	853.7	839.2

Graphite block average temperature (°C)

	F1	F2	F3a	F3b	F4
LF1	366.2	364.4	366.8	367.5	365.2
LF2	454.4	450.1	461.4	464.8	457.6
LF3	541.2	536.8	559.6	566.2	554.4
LF4	616.0	611.6	642.9	650.3	635.2
LF5	689.7	683.0	706.3	717.5	695.3
LF6	754.9	740.9	751.6	762.4	736.9

Fig. 5.1.22 Result of coolant flow distribution analysis at EFPD 800.

５．２　燃料温度解析

燃料温度の評価では、燃料要素の熱伝導及び熱伝達の燃焼による変化、工学的安全係数等を考慮して燃料温度を算出し、第１章及び第２章で示した燃料温度の制限値を満足することを確認する。

炉内温度分布解析に関わる原子炉の主要諸元を Table 5.2.1 に示す。全ての燃料領域について、１ブロック当たりの冷却チャンネル数は 33 とする。解析には、燃料温度解析コード TEMDIM を用いる（第３章参照）。

５．２．１　解析方法及び解析条件

（１）解析モデル

解析領域は、Fig. 5.2.1 に示すように、炉心の対称性から１/３炉心を対象とする。燃料温度の計算は、中空の燃料コンパクト、燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間のギャップ、黒鉛スリーブ及び冷却材流路からなる同心状の多重円筒モデルを用いて、燃料棒を半径方向及び軸方向に分割して行う。Fig. 5.2.2 に、燃料温度の解析モデルを示す。燃料温度算出に用いる出力分布は、核設計で得られた出力密度分布（第４章参照）を基に、各カラム内メッシュの軸方向積分出力が最大値となるチャンネルのものを用いる。また、温度計算に用いるカラム内の冷却材流量は、流量配分解析で得られたカラム毎の流量配分を基に、燃料体の局所的な出力分布の歪の効果を考慮して算出した流量とする。黒鉛ブロックの外側及び上下の境界は、断熱条件とする。燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間及び黒鉛スリーブと黒鉛ブロック間では、熱放射を考慮する。黒鉛ブロックの温度は、黒鉛スリーブからの熱放射、冷却材への熱伝達及び黒鉛ブロック内の熱伝導のバランスによって決める。黒鉛スリーブと黒鉛ブロック間の冷却材流路の照射による寸法変化は考慮せず、一定値を用いる。燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間のギャップ幅は、公称寸法の 0.0125 cm とする。ただし、ギャップ熱伝達率の算出では、照射に伴う寸法変化を考慮したギャップ幅を用いる。

（２）燃料温度の算出方法

燃料温度は、第４章に示す出力分布及び５．１節に示す炉内冷却材流量配分を用いて得られる公称燃料温度（ノミナル燃料温度）を基に、工学的安全係数であるランダム因子及びシステマティック因子を考慮して算出する。この時、炉心における発熱割合は、燃料領域において 99%、可動反射体及び固定反射体において 1%とし、燃料領域における発熱の内訳は、燃料コンパクトの発熱が 95%、黒鉛ブロックの発熱が 5%とする。

任意の評価点における燃料温度は、Fig. 5.2.3 に示すように炉心入口冷却材温度に各部の温度差を加算することにより得られる。従って、軸方向の任意の評価点における公称燃料温度 T_f^N は、次式により計算する。

$$T_f^N = T_{gin} + \sum_{i=1}^{5} \Delta T_i^N \qquad (5.2.1)$$

ここで、T_{gin}：炉心入口冷却材温度、ΔT_i^N：公称温度差（$i=1$：冷却材温度上昇、$i=2$：膜温度差、$i=3$：スリーブ（被覆部）温度差、$i=4$：ギャップ温度差、$i=5$：コンパクト（燃料部）温度差）である。

燃料最高温度は、公称温度差 ΔT_i^N に基づいて得られるシステマティックランダム燃料温度の最大値である。システマティックランダム燃料温度は、工学的安全係数を用いて、次式により計算する。

$$\begin{aligned} T_f &= T_{gin} + \sum_{i=1}^{5} \Delta T_i \\ &= T_{gin} + \sum_{i=1}^{5} \left[\prod_{j=1}^{n} f_{ij}^S \left\{ \sqrt{\sum_{k=1}^{m} \left(f_{ik}^R \right)^2} + 1 \right\} \right] \cdot \Delta T_i^N \end{aligned} \tag{5.2.2}$$

ここで、T_f：システマティックランダム燃料温度、ΔT_i：工学的安全係数を考慮した温度差、f_{ij}^S：ΔT_i^N に係るシステマティック因子、n：システマティック因子の数、f_{ik}^R：ΔT_i^N に係るランダム因子及び m：ランダム因子の数である。従って、任意の燃焼ステップ及び任意の対象領域における燃料最高温度 T_f^{max} は、次式から得られる。

$$T_f^{\max} = Max(T_f) \tag{5.2.3}$$

（3）工学的安全係数

燃料最高温度評価には、工学的安全係数の因子であるシステマティック因子とランダム因子を考慮する。適用した工学的安全係数[3-1]（システマティック因子及びランダム因子）を Table 5.2.2 に示す。

核設計計算では、1カラムを 24 分割したメッシュ毎に燃料（UO_2）、減速材（黒鉛）、反応度調製材（B_4C）等を均質化したモデルを用いている。従って、燃料及び反応度調製材配置の非均質性及び燃料体外周部黒鉛リガメントの反射体効果によるカラム内出力分布の歪を、非均質効果として考慮する必要がある。しかしながら、1カラムを 24 分割した核設計計算のモデルにより得られた出力密度分布は、測定値（グロスガンマ線分布）[5-4]との比較において、燃料の径方向内側領域を除いて測定誤差の範囲内に収まっていること、また出力ピーキング係数は径方向外側領域で大きいことから、本燃料温度解析では非均質効果を考慮しないこととする。

（4）炉内冷却材流量配分

燃料温度解析においては、５．１節の FLOWNET を用いた炉内冷却材流量配分解析により得られたカラム毎の冷却材流量に基づいて、カラム内の局所的な出力分布の歪を考慮して算出した燃料冷却流路毎の冷却材流量を用いる。流路毎の流量は、FLOWNET により、流路外周を断熱条件とした単チャンネルモデルを用い、流路出口間の圧力損失を一定に保ち、軸方向積分出力をパラメータとした解析を行って定めたものである[1-3]。解析結果から、各流路の流量に関しては、次式により得られる係数 G（流量再配分割合）を、炉内冷却材流量配分解析によって得られたカラム内燃料冷却流路平均流量に乗じて得られる値を用いる。

$$G = \frac{1}{1 + (P_2 - 1) \times 0.235} = \frac{1}{0.235 \times P_2 + 0.765} \tag{5.2.4}$$

ここで、P_2 は、

P_2 ＝（対象とするカラム内チャンネルの軸方向積分出力の最大値）／
（対象とするカラム内チャンネルの軸方向積分出力の平均値）

（＝（対象とするカラム内メッシュの軸方向積分出力の最大値）／
（対象とするカラム内メッシュの軸方向積分出力の平均値））　（5.2.5）

である。ここで、核設計計算モデルの最小メッシュである 1/24 ブロックをチャンネルと呼ぶ。

具体的な流量再配分の手順は、以下のとおりである。

① Table 5.2.3 の FLOWNET カラム番号と TEMDIM カラム番号の対応表に従って、FLOWNET による流量配分結果を TEMDIM の評価対象カラムに割り当てる。

② 式（5.2.4）から算出した流量再配分割合を FLOWNET から求めた流量に乗じて、TEMDIM 用の流量に再配分する。

③ 炉内冷却材流量配分解析では１カラム１流路でモデル化しているので、各カラムの燃料棒 1 本当たりの流量（チャンネル流量）を、カラム当たりの燃料チャンネル数（33）で割って求める。

燃料温度解析に用いた各燃焼日数におけるカラム内チャンネルの流量データを Table 5.2.4～Table 5.2.16 に示す。

（５）出力密度分布及び照射量分布

燃料温度解析に用いる出力密度分布及び照射量分布は、第４章で示した核設計の結果（対象とするカラム内メッシュの軸方向積分出力が最大値となるチャンネルの分布）を用いる。各燃焼日数におけるカラム内チャンネルの照射量データを Table 5.2.17～Table 5.2.29 に、燃料最高温度が出現したカラム内チャンネル（P_2 出現チャンネル）の軸方向出力密度分布を Table 5.2.30～Table 5.2.32 に示す。

（６）使用物性値及び熱伝達相関式

燃料温度解析に用いる物性値及び熱伝達相関式に関しては、参考文献（５－５）を参照のこと。

５．２．２　解析結果及び評価

（１）通常運転時の燃料最高温度

燃料温度解析の結果として、各燃焼日数における燃料最高温度が出現したカラム内チャンネルの燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間のギャップ幅を Table 5.2.33～Table 5.2.35 に、各カラムの燃料最高温度とピーキング係数を Table 5.2.36～Table 5.2.48 に、燃料最高温度が出現したカラム内チャンネルの軸方向温度分布（ノミナル値及びシステマティックランダム値）を Fig. 5.2.4～Fig. 5.2.29 に示す。また、燃焼日数と燃料最高温度との関係を Fig. 5.2.30 に示す。なお、Table 5.2.36～Table 5.2.48 中のピーキング係数 P_1 及び P_2 は、炉心の径方向出力分布を特徴づける量であり、各カラム及び各チャンネル出力の軸方向積分値に基づいて、次式により計算した。

P_1 ＝（対象とするカラムの軸方向積分出力）／
（全カラムの軸方向積分出力の平均値）　（5.2.6）

P_2 ＝ 式（5.2.5）

Table 5.2.39、Fig. 5.2.10 及び Fig. 5.2.11 に示すように、燃焼日数 800 日までの燃料最高温度は、燃焼日数 30 日のカラム 9、燃料体２段目下端において生じている（ノミナル値：1,271℃ 及びシステマティックランダム値：1,464℃）。また、各燃焼日数における燃料最高温度は、燃焼日数を通して炉

心周辺部で発生している。これは、出力密度及び径方向出力ピーキング係数が、燃焼中周辺部にあるのに一致している（Fig. 4.3～Fig. 4.15 参照）。さらに Fig. 5.2.30 に示すように、燃料最高温度は、燃焼初期（燃焼日数 30 日）で最大値に達し、その後は燃焼日数 400 日まで減少、500 日まで増加、そして 800 日まで減少と推移している。この推移は、定格出力運転中における臨界制御棒位置の変化に沿ったものである。なお、燃料温度に大きく影響する燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間のギャップ幅は、燃焼前の 0.0125 cm から燃焼末期（燃焼日数 800 日）の 0.0282 cm へと２倍以上に増加した。

工学的安全係数を考慮した燃料最高温度は 1,464˚C であり、通常運転時の燃料温度制限値（1,495˚C）を満足している。

（２）過出力時の燃料最高温度

通常運転時の燃料最高温度は、先に述べたように、燃焼日数 30 日における 1,464˚C であり、燃料温度制限値を満足している。また、炉心熱流動設計においては、燃料の許容設計限界として 1,600˚C を定め、運転時の異常な過渡変化時において、燃料最高温度がこれを超えないように設計する。従って、原子炉が準静的に過出力状態で運転されるものとして、過出力状態における燃料最高温度を求め、これが 1,600˚C を超えないことを確認する。

HTTR では、過出力保護のため、安全保護系による「出力領域中性子束高」スクラム動作が働く。「出力領域中性子高」の計器設定値は、定格出力の 105.5%である。HTR50S でもこれを適用すると、この時の燃料最高温度は、

（1,464˚C－345˚C）×105.5%／102.5%＋345˚C＝1,497˚C

であり、1,600˚C を超えることはない。

一方、上記のスクラム計器設定値に設定誤差等を考慮すると、スクラム時の原子炉出力は、定格出力の 112%となる。この時の燃料最高温度は、

（1,464˚C－345˚C）×112.0%／102.5%＋345˚C＝1,568˚C

であり、1,600˚C を超えることはない。

Table 5.2.1　Main specification of HTR50S for TEMDIM analysis

項　目	値	単　位
原子炉入口冷却材温度	325	˚C
原子炉出口冷却材圧力	4.0	MPa (abs)
原子炉出口冷却材温度	750	˚C
冷却材流量（VCS 除熱量を 1%に設定）	22.4	kg/s
炉心流量配分割合	FLOWNET で計算	－
冷却材流路内径／外径	3.4／4.1	cm
原子炉熱出力	50	MW
発熱割合（炉内冷却材流量配分解析時）		
燃料棒	97.5	%
燃料領域の制御棒案内ブロック	0.94	%
側部可動反射体	1.44	%
固定反射体	0.12	%
発熱割合（燃料温度解析時）		
燃料領域	99	%
（燃料ｺﾝﾊﾟｸﾄ/黒鉛ｽﾘｰﾌﾞ/黒鉛ﾌﾞﾛｯｸ）	95/0/5	%
側部可動反射体及び固定反射体	1	%
(燃料棒諸元)		
スリーブ内径／外径	2.625／3.4	cm
燃料コンパクト内径／外径	1.0／2.6	cm
燃料体高さ	58.0	cm
カラム当りチャンネル数	33	ﾁｬﾝﾈﾙ
燃料カラム数	30	ｶﾗﾑ
燃料ピン数/カラム	33	本/ｶﾗﾑ
軸方向燃料体段数	6	段

Table 5.2.2　Hot spot factors used in HTR50S designing

項　目	冷却材 温度上昇 誤差因子	膜温度差 上昇因子	スリーブ 温度差 上昇因子	ギャップ 温度差 上昇因子	コンパクト 温度差 上昇因子
・ランダム因子					
コンパクト内径	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
コンパクト外径	0.0	0.0	0.0	0.37	0.012
スリーブ内径	0.0	0.0	0.015	0.37	0.0
スリーブ外径	0.0	0.017	0.012	0.0	0.0
挿入孔径	0.0	0.014	0.0	0.0	0.0
燃料有効長	0.0	0.002	0.002	0.002	0.002
燃料核直径	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
燃料核密度	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
濃縮度	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
ウラン量	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
冷却材比熱	0.002	0.001	0.0	0.0	0.0
冷却材熱伝導率	0.0	0.018	0.0	0.03	0.0
冷却材粘性係数	0.0	0.012	0.0	0.0	0.0
照射変形	0.0	0.0	0.0	0.21	0.0
ギャップコンダクタンス	0.0	0.0	0.0	0.10	0.0
コンパクト偏心効果	0.0	0.041	0.041	0.041	0.041
出力分布	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
流量配分					
基準炉心	0.04	0.032	0.0	0.0	0.0
・システマティック因子					
出力	1.00	1.02	1.02	1.02	1.02
出力分布					
半径方向	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
軸方向	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
冷却材流量	1.01	1.008	1.0	1.0	1.0
流量配分					
基準炉心	1.02	1.016	1.0	1.0	1.0
炉心入口冷却材温度	+20°C				

Table 5.2.3　Correspondence of column numbers between FLOWNET and TEMDIM

FLOWNET カラム番号	F1	F1	F2	F3b	F2	F3a	F4	F3a	F3b	F4
TEMDIM カラム番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Table 5.2.4　Channel flow rate of each column at EFPD 0

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	72.04	71.10	70.05	69.83	71.13	72.77
2	72.14	71.20	70.15	69.93	71.23	72.88
3	72.82	72.21	71.51	71.44	72.42	73.75
4	69.14	68.22	66.99	66.45	67.98	70.52
5	72.85	72.23	71.53	71.46	72.44	73.78
6	69.56	68.71	67.52	66.99	68.58	71.22
7	69.35	68.44	67.32	66.93	68.43	70.86
8	69.57	68.71	67.53	66.99	68.59	71.23
9	69.14	68.22	66.98	66.45	67.98	70.52
10	69.35	68.45	67.32	66.94	68.44	70.87

Unit: kg/h

Table 5.2.5　Channel flow rate of each column at EFPD 1

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.85	70.93	69.90	69.71	71.01	72.65
2	71.93	71.01	69.98	69.79	71.09	72.73
3	72.62	72.02	71.33	71.28	72.26	73.59
4	69.01	68.12	66.90	66.40	67.94	70.48
5	72.64	72.04	71.35	71.30	72.28	73.61
6	69.37	68.54	67.38	66.88	68.47	71.11
7	69.44	68.55	67.45	67.08	68.59	71.01
8	69.38	68.54	67.38	66.88	68.47	71.12
9	69.00	68.11	66.90	66.40	67.94	70.48
10	69.44	68.55	67.46	67.08	68.59	71.01

Unit: kg/h

Table 5.2.6　Channel flow rate of each column at EFPD 10

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.70	70.79	69.77	69.60	70.90	72.54
2	71.76	70.85	69.84	69.67	70.97	72.61
3	72.51	71.92	71.24	71.20	72.18	73.51
4	68.94	68.06	66.86	66.37	67.92	70.47
5	72.53	71.94	71.26	71.22	72.20	73.53
6	69.26	68.44	67.29	66.80	68.40	71.05
7	69.48	68.60	67.52	67.16	68.67	71.09
8	69.26	68.44	67.29	66.81	68.41	71.05
9	68.94	68.06	66.86	66.37	67.92	70.47
10	69.49	68.60	67.52	67.16	68.68	71.10

Unit: kg/h

Table 5.2.7　Channel flow rate of each column at EFPD 30

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.55	70.63	69.61	69.42	70.72	72.35
2	71.61	70.69	69.68	69.49	70.79	72.42
3	72.50	71.89	71.22	71.18	72.16	73.48
4	69.04	68.15	66.96	66.46	68.01	70.56
5	72.51	71.91	71.24	71.19	72.18	73.50
6	69.27	68.45	67.29	66.80	68.40	71.04
7	69.61	68.71	67.62	67.26	68.78	71.21
8	69.27	68.45	67.29	66.81	68.41	71.05
9	69.04	68.15	66.96	66.46	68.01	70.56
10	69.61	68.72	67.62	67.26	68.78	71.21

Unit: kg/h

Table 5.2.8　Channel flow rate of each column at EFPD 60

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.38	70.46	69.43	69.22	70.51	72.14
2	71.44	70.52	69.49	69.28	70.57	72.20
3	72.51	71.89	71.22	71.16	72.14	73.47
4	69.20	68.31	67.10	66.60	68.15	70.70
5	72.52	71.91	71.23	71.18	72.15	73.48
6	69.28	68.45	67.30	66.80	68.40	71.05
7	69.78	68.89	67.79	67.43	68.95	71.38
8	69.29	68.46	67.30	66.81	68.41	71.06
9	69.20	68.31	67.10	66.60	68.15	70.70
10	69.78	68.90	67.79	67.43	68.95	71.38

Unit: kg/h

Table 5.2.9　Channel flow rate of each column at EFPD 100

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.22	70.30	69.26	69.03	70.31	71.92
2	71.28	70.35	69.32	69.09	70.36	71.98
3	72.52	71.92	71.23	71.16	72.14	73.47
4	69.39	68.49	67.27	66.76	68.31	70.87
5	72.54	71.93	71.24	71.17	72.16	73.48
6	69.31	68.48	67.31	66.81	68.40	71.05
7	70.00	69.10	67.98	67.62	69.14	71.57
8	69.31	68.48	67.31	66.81	68.41	71.05
9	69.39	68.49	67.27	66.76	68.31	70.87
10	70.00	69.10	67.99	67.62	69.14	71.57

Unit: kg/h

Table 5.2.10　Channel flow rate of each column at EFPD 200

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.02	70.08	69.02	68.72	69.97	71.56
2	71.07	70.14	69.07	68.78	70.02	71.62
3	72.70	72.08	71.36	71.27	72.24	73.57
4	69.88	68.98	67.71	67.16	68.71	71.28
5	72.71	72.09	71.37	71.28	72.25	73.58
6	69.41	68.56	67.36	66.83	68.42	71.05
7	70.47	69.56	68.42	68.01	69.54	71.99
8	69.41	68.56	67.37	66.83	68.42	71.05
9	69.89	68.98	67.72	67.17	68.72	71.29
10	70.47	69.56	68.42	68.01	69.54	71.99

Unit: kg/h

Table 5.2.11　Channel flow rate of each column at EFPD 300

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	70.89	69.95	68.85	68.52	69.75	71.34
2	70.95	70.00	68.91	68.57	69.80	71.40
3	72.81	72.18	71.44	71.32	72.30	73.62
4	69.89	68.97	67.69	67.11	68.66	71.20
5	72.80	72.17	71.44	71.31	72.29	73.62
6	69.44	68.59	67.38	66.81	68.39	71.02
7	70.66	69.74	68.57	68.15	69.68	72.12
8	69.44	68.59	67.38	66.82	68.40	71.02
9	69.89	68.97	67.69	67.11	68.66	71.20
10	70.67	69.74	68.58	68.15	69.68	72.13

Unit: kg/h

Table 5.2.12　Channel flow rate of each column at EFPD 400

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	70.93	69.98	68.87	68.50	69.73	71.32
2	70.98	70.03	68.92	68.55	69.78	71.37
3	72.73	72.11	71.36	71.23	72.19	73.52
4	69.86	68.94	67.64	67.04	68.57	71.11
5	72.73	72.10	71.36	71.22	72.18	73.51
6	69.46	68.60	67.37	66.78	68.35	70.97
7	70.61	69.68	68.51	68.06	69.59	72.02
8	69.46	68.61	67.37	66.79	68.35	70.98
9	69.86	68.94	67.64	67.04	68.57	71.11
10	70.61	69.68	68.51	68.07	69.59	72.02

Unit: kg/h

Table 5.2.13　Channel flow rate of each column at EFPD 500

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.14	70.19	69.07	68.69	69.92	71.51
2	71.18	70.23	69.11	68.73	69.96	71.55
3	72.76	72.13	71.37	71.23	72.19	73.52
4	69.83	68.89	67.58	66.97	68.48	71.01
5	72.75	72.12	71.37	71.22	72.19	73.51
6	69.48	68.61	67.37	66.76	68.32	70.94
7	70.53	69.60	68.40	67.94	69.45	71.88
8	69.48	68.61	67.37	66.76	68.32	70.94
9	69.83	68.90	67.59	66.97	68.49	71.01
10	70.53	69.60	68.41	67.94	69.45	71.88

Unit: kg/h

Table 5.2.14　Channel flow rate of each column at EFPD 600

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.39	70.44	69.35	69.01	70.25	71.86
2	71.42	70.47	69.38	69.04	70.28	71.90
3	72.71	72.08	71.34	71.20	72.18	73.51
4	69.58	68.66	67.36	66.75	68.27	70.79
5	72.71	72.08	71.34	71.20	72.17	73.50
6	69.34	68.50	67.25	66.66	68.22	70.83
7	70.34	69.42	68.24	67.78	69.27	71.69
8	69.34	68.50	67.26	66.66	68.22	70.83
9	69.58	68.66	67.36	66.76	68.27	70.80
10	70.34	69.43	68.24	67.78	69.28	71.69

Unit: kg/h

Table 5.2.15　Channel flow rate of each column at EFPD 700

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.56	70.64	69.56	69.28	70.54	72.17
2	71.59	70.66	69.59	69.30	70.57	72.19
3	72.62	72.00	71.28	71.17	72.14	73.47
4	69.28	68.38	67.11	66.52	68.03	70.55
5	72.62	72.00	71.28	71.16	72.14	73.46
6	69.20	68.35	67.14	66.56	68.12	70.73
7	70.17	69.26	68.10	67.64	69.13	71.55
8	69.20	68.35	67.14	66.56	68.12	70.73
9	69.28	68.38	67.11	66.52	68.03	70.55
10	70.17	69.26	68.10	67.64	69.13	71.56

Unit: kg/h

Table 5.2.16　Channel flow rate of each column at EFPD 800

カラム番　号	燃料体段数					
	1	2	3	4	5	6
1	71.74	70.82	69.76	69.50	70.79	72.41
2	71.75	70.83	69.78	69.51	70.80	72.43
3	72.60	71.99	71.28	71.17	72.15	73.47
4	69.12	68.23	66.98	66.40	67.91	70.43
5	72.60	71.99	71.28	71.17	72.15	73.47
6	69.13	68.30	67.10	66.52	68.08	70.68
7	70.08	69.17	68.02	67.56	69.05	71.46
8	69.13	68.30	67.10	66.53	68.08	70.69
9	69.12	68.23	66.98	66.40	67.91	70.43
10	70.08	69.18	68.02	67.56	69.05	71.46

Unit: kg/h

Table 5.2.17　Neutron fluence of each column at EFPD 0

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	0	0	0	0
1 段目下部	0	0	0	0
2 段目上部	0	0	0	0
2 段目下部	0	0	0	0
3 段目上部	0	0	0	0
3 段目下部	0	0	0	0
4 段目上部	0	0	0	0
4 段目下部	0	0	0	0
5 段目上部	0	0	0	0
5 段目下部	0	0	0	0
6 段目上部	0	0	0	0
6 段目下部	0	0	0	0

Unit: n/cm^2

Table 5.2.18　Neutron fluence of each column at EFPD 1

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	1.52E+18	1.47E+18	1.44E+18	1.43E+18
1 段目下部	2.43E+18	2.36E+18	2.26E+18	2.13E+18
2 段目上部	2.58E+18	2.51E+18	2.45E+18	2.26E+18
2 段目下部	2.47E+18	2.40E+18	2.36E+18	2.16E+18
3 段目上部	1.95E+18	1.89E+18	1.87E+18	1.69E+18
3 段目下部	1.70E+18	1.63E+18	1.61E+18	1.45E+18
4 段目上部	1.45E+18	1.39E+18	1.36E+18	1.23E+18
4 段目下部	1.24E+18	1.18E+18	1.14E+18	1.03E+18
5 段目上部	1.01E+18	9.46E+17	8.02E+17	7.10E+17
5 段目下部	8.35E+17	7.74E+17	6.37E+17	5.61E+17
6 段目上部	6.53E+17	6.03E+17	4.92E+17	4.31E+17
6 段目下部	4.76E+17	4.38E+17	3.55E+17	3.10E+17

Unit: n/cm^2

Table 5.2.19　Neutron fluence of each column at EFPD 10

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	1.69E+19	1.64E+19	1.58E+19	1.55E+19
1 段目下部	2.60E+19	2.51E+19	2.40E+19	2.24E+19
2 段目上部	2.68E+19	2.61E+19	2.53E+19	2.32E+19
2 段目下部	2.51E+19	2.44E+19	2.39E+19	2.19E+19
3 段目上部	1.95E+19	1.89E+19	1.86E+19	1.69E+19
3 段目下部	1.66E+19	1.60E+19	1.57E+19	1.42E+19
4 段目上部	1.39E+19	1.33E+19	1.31E+19	1.18E+19
4 段目下部	1.16E+19	1.11E+19	1.07E+19	9.66E+18
5 段目上部	9.33E+18	8.72E+18	7.40E+18	6.56E+18
5 段目下部	7.55E+18	7.00E+18	5.77E+18	5.09E+18
6 段目上部	5.81E+18	5.37E+18	4.39E+18	3.85E+18
6 段目下部	4.20E+18	3.86E+18	3.13E+18	2.74E+18

Unit: n/cm^2

Table 5.2.20　Neutron fluence of each column at EFPD 30

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	5.41E+19	5.21E+19	4.98E+19	4.81E+19
1 段目下部	8.04E+19	7.75E+19	7.37E+19	6.85E+19
2 段目上部	8.17E+19	7.91E+19	7.62E+19	7.00E+19
2 段目下部	7.57E+19	7.33E+19	7.13E+19	6.52E+19
3 段目上部	5.85E+19	5.64E+19	5.52E+19	5.00E+19
3 段目下部	4.95E+19	4.75E+19	4.64E+19	4.19E+19
4 段目上部	4.10E+19	3.91E+19	3.82E+19	3.45E+19
4 段目下部	3.39E+19	3.22E+19	3.11E+19	2.80E+19
5 段目上部	2.69E+19	2.51E+19	2.13E+19	1.89E+19
5 段目下部	2.16E+19	2.00E+19	1.65E+19	1.45E+19
6 段目上部	1.64E+19	1.52E+19	1.24E+19	1.09E+19
6 段目下部	1.18E+19	1.09E+19	8.82E+18	7.70E+18

Unit: n/cm^2

Table 5.2.21　Neutron fluence of each column at EFPD 60

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	1.02E+20	9.84E+19	9.43E+19	9.15E+19
1 段目下部	1.55E+20	1.49E+20	1.42E+20	1.32E+20
2 段目上部	1.61E+20	1.56E+20	1.50E+20	1.37E+20
2 段目下部	1.52E+20	1.47E+20	1.42E+20	1.30E+20
3 段目上部	1.20E+20	1.15E+20	1.12E+20	1.01E+20
3 段目下部	1.03E+20	9.83E+19	9.54E+19	8.62E+19
4 段目上部	8.62E+19	8.2E+19	7.95E+19	7.16E+19
4 段目下部	7.18E+19	6.81E+19	6.52E+19	5.86E+19
5 段目上部	5.74E+19	5.34E+19	4.50E+19	3.99E+19
5 段目下部	4.61E+19	4.26E+19	3.50E+19	3.08E+19
6 段目上部	3.52E+19	3.25E+19	2.64E+19	2.32E+19
6 段目下部	2.53E+19	2.32E+19	1.88E+19	1.64E+19

Unit: n/cm^2

Table 5.2.22　Neutron fluence of each column at EFPD 100

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	1.63E+20	1.57E+20	1.5E+20	1.46E+20
1 段目下部	2.50E+20	2.41E+20	2.28E+20	2.13E+20
2 段目上部	2.65E+20	2.56E+20	2.44E+20	2.24E+20
2 段目下部	2.54E+20	2.44E+20	2.35E+20	2.15E+20
3 段目上部	2.04E+20	1.95E+20	1.88E+20	1.71E+20
3 段目下部	1.77E+20	1.69E+20	1.62E+20	1.46E+20
4 段目上部	1.50E+20	1.42E+20	1.37E+20	1.23E+20
4 段目下部	1.26E+20	1.19E+20	1.13E+20	1.02E+20
5 段目上部	1.01E+20	9.39E+19	7.88E+19	6.97E+19
5 段目下部	8.16E+19	7.52E+19	6.16E+19	5.42E+19
6 段目上部	6.25E+19	5.75E+19	4.67E+19	4.09E+19
6 段目下部	4.49E+19	4.12E+19	3.33E+19	2.90E+19

Unit: n/cm^2

Table 5.2.23　Neutron fluence of each column at EFPD 200

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	2.81E+20	2.71E+20	2.61E+20	2.56E+20
1 段目下部	4.49E+20	4.32E+20	4.10E+20	3.83E+20
2 段目上部	5.02E+20	4.83E+20	4.59E+20	4.22E+20
2 段目下部	5.04E+20	4.82E+20	4.59E+20	4.19E+20
3 段目上部	4.23E+20	4.02E+20	3.83E+20	3.47E+20
3 段目下部	3.81E+20	3.60E+20	3.42E+20	3.08E+20
4 段目上部	3.33E+20	3.14E+20	2.97E+20	2.67E+20
4 段目下部	2.87E+20	2.70E+20	2.52E+20	2.27E+20
5 段目上部	2.37E+20	2.18E+20	1.81E+20	1.60E+20
5 段目下部	1.94E+20	1.78E+20	1.44E+20	1.27E+20
6 段目上部	1.50E+20	1.38E+20	1.11E+20	9.73E+19
6 段目下部	1.09E+20	9.96E+19	7.98E+19	6.95E+19

Unit: n/cm^2

Table 5.2.24　Neutron fluence of each column at EFPD 300

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	3.75E+20	3.62E+20	3.49E+20	3.46E+20
1 段目下部	6.18E+20	5.95E+20	5.64E+20	5.28E+20
2 段目上部	7.22E+20	6.93E+20	6.55E+20	6.02E+20
2 段目下部	7.47E+20	7.13E+20	6.74E+20	6.16E+20
3 段目上部	6.46E+20	6.13E+20	5.79E+20	5.24E+20
3 段目下部	5.96E+20	5.62E+20	5.29E+20	4.77E+20
4 段目上部	5.33E+20	5.01E+20	4.70E+20	4.23E+20
4 段目下部	4.69E+20	4.38E+20	4.07E+20	3.65E+20
5 段目上部	3.92E+20	3.61E+20	2.98E+20	2.64E+20
5 段目下部	3.26E+20	2.98E+20	2.41E+20	2.12E+20
6 段目上部	2.55E+20	2.33E+20	1.87E+20	1.64E+20
6 段目下部	1.86E+20	1.70E+20	1.35E+20	1.18E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.25　Neutron fluence of each column at EFPD 400

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	4.51E+20	4.35E+20	4.22E+20	4.21E+20
1 段目下部	7.63E+20	7.35E+20	6.97E+20	6.55E+20
2 段目上部	9.26E+20	8.87E+20	8.36E+20	7.69E+20
2 段目下部	9.83E+20	9.37E+20	8.81E+20	8.05E+20
3 段目上部	8.68E+20	8.23E+20	7.76E+20	7.02E+20
3 段目下部	8.17E+20	7.70E+20	7.23E+20	6.52E+20
4 段目上部	7.44E+20	6.98E+20	6.53E+20	5.88E+20
4 段目下部	6.64E+20	6.20E+20	5.74E+20	5.15E+20
5 段目上部	5.64E+20	5.19E+20	4.27E+20	3.78E+20
5 段目下部	4.74E+20	4.33E+20	3.49E+20	3.07E+20
6 段目上部	3.75E+20	3.42E+20	2.74E+20	2.40E+20
6 段目下部	2.75E+20	2.51E+20	1.99E+20	1.74E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.26　Neutron fluence of each column at EFPD 500

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	4.91E+20	4.75E+20	4.35E+20	4.35E+20
1 段目下部	8.51E+20	8.20E+20	7.21E+20	6.85E+20
2 段目上部	1.06E+21	1.01E+21	8.70E+20	8.13E+20
2 段目下部	1.14E+21	1.08E+21	9.21E+20	8.57E+20
3 段目上部	1.02E+21	9.69E+20	8.15E+20	7.54E+20
3 段目下部	9.71E+20	9.16E+20	7.62E+20	7.03E+20
4 段目上部	8.96E+20	8.41E+20	6.91E+20	6.38E+20
4 段目下部	8.10E+20	7.54E+20	6.08E+20	5.61E+20
5 段目上部	7.00E+20	6.35E+20	4.55E+20	4.16E+20
5 段目下部	5.93E+20	5.34E+20	3.72E+20	3.39E+20
6 段目上部	4.74E+20	4.24E+20	2.93E+20	2.66E+20
6 段目下部	3.46E+20	3.08E+20	2.13E+20	1.92E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.27　Neutron fluence of each column at EFPD 600

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	5.70E+20	5.52E+20	5.10E+20	5.11E+20
1 段目下部	9.96E+20	9.60E+20	8.55E+20	8.11E+20
2 段目上部	1.25E+21	1.20E+21	1.05E+21	9.77E+20
2 段目下部	1.36E+21	1.30E+21	1.12E+21	1.04E+21
3 段目上部	1.23E+21	1.17E+21	1.01E+21	9.29E+20
3 段目下部	1.18E+21	1.12E+21	9.54E+20	8.78E+20
4 段目上部	1.10E+21	1.04E+21	8.76E+20	8.06E+20
4 段目下部	1.00E+21	9.39E+20	7.81E+20	7.17E+20
5 段目上部	8.77E+20	8.00E+20	5.91E+20	5.37E+20
5 段目下部	7.52E+20	6.79E+20	4.89E+20	4.42E+20
6 段目上部	6.06E+20	5.45E+20	3.89E+20	3.50E+20
6 段目下部	4.46E+20	3.99E+20	2.84E+20	2.54E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.28　Neutron fluence of each column at EFPD 700

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	6.82E+20	6.60E+20	6.13E+20	6.10E+20
1 段目下部	1.17E+21	1.13E+21	1.01E+21	9.58E+20
2 段目上部	1.47E+21	1.41E+21	1.24E+21	1.15E+21
2 段目下部	1.59E+21	1.52E+21	1.33E+21	1.23E+21
3 段目上部	1.43E+21	1.36E+21	1.19E+21	1.10E+21
3 段目下部	1.37E+21	1.30E+21	1.14E+21	1.05E+21
4 段目上部	1.28E+21	1.22E+21	1.05E+21	9.65E+20
4 段目下部	1.18E+21	1.11E+21	9.43E+20	8.64E+20
5 段目上部	1.04E+21	9.53E+20	7.18E+20	6.51E+20
5 段目下部	8.99E+20	8.15E+20	5.99E+20	5.40E+20
6 段目上部	7.30E+20	6.59E+20	4.79E+20	4.30E+20
6 段目下部	5.41E+20	4.86E+20	3.53E+20	3.14E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.29　Neutron fluence of each column at EFPD 800

燃料体	カラム 1,2	カラム 3,5	カラム 4,6,8,9	カラム 7,10
1 段目上部	8.12E+20	7.86E+20	7.34E+20	7.22E+20
1 段目下部	1.36E+21	1.31E+21	1.19E+21	1.12E+21
2 段目上部	1.68E+21	1.62E+21	1.44E+21	1.34E+21
2 段目下部	1.81E+21	1.74E+21	1.54E+21	1.42E+21
3 段目上部	1.62E+21	1.56E+21	1.38E+21	1.27E+21
3 段目下部	1.55E+21	1.49E+21	1.31E+21	1.21E+21
4 段目上部	1.46E+21	1.39E+21	1.22E+21	1.12E+21
4 段目下部	1.35E+21	1.28E+21	1.10E+21	1.01E+21
5 段目上部	1.20E+21	1.10E+21	8.43E+20	7.63E+20
5 段目下部	1.04E+21	9.49E+20	7.08E+20	6.37E+20
6 段目上部	8.54E+20	7.73E+20	5.71E+20	5.11E+20
6 段目下部	6.37E+20	5.74E+20	4.22E+20	3.75E+20

Unit: n/cm^2

Table 5.2.30 Axial power density distribution in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 0 to 60

ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 0 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 1 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 10 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 30 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 60 日 ｶﾗﾑ 9	ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 0 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 1 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 10 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 30 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 60 日 ｶﾗﾑ 9
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	3.422	4.411	5.028	4.879	5.224	44	6.580	6.039	5.816	5.893	5.922
3	3.378	4.385	5.023	4.874	5.174	45	6.302	5.765	5.538	5.614	5.598
4	3.601	4.743	5.470	5.309	5.543	46	6.053	5.515	5.278	5.352	5.316
5	3.995	5.335	6.135	5.957	6.121	47	5.857	5.319	5.070	5.143	5.102
6	4.533	6.057	6.816	6.622	6.746	48	5.687	5.148	4.888	4.961	4.921
7	5.203	6.754	7.466	7.258	7.360	49	5.531	4.993	4.722	4.794	4.760
8	5.957	7.400	8.069	7.850	7.939	50	5.388	4.851	4.570	4.641	4.615
9	6.667	7.997	8.622	8.395	8.471	51	5.259	4.723	4.432	4.503	4.488
10	7.325	8.546	9.129	8.897	8.953	52	5.147	4.613	4.311	4.381	4.381
11	7.943	9.063	9.606	9.372	9.392	53	5.063	4.528	4.216	4.286	4.304
12	8.565	9.593	10.101	9.866	9.813	54	5.027	4.489	4.164	4.236	4.283
13	9.145	10.121	10.612	10.374	10.198	55	5.079	4.533	4.194	4.268	4.364
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	56	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	9.393	10.241	10.683	10.468	10.198	58	3.358	2.999	2.765	2.823	2.931
17	9.233	9.969	10.362	10.164	9.737	59	3.256	2.905	2.671	2.726	2.822
18	9.258	9.868	10.208	10.026	9.481	60	3.144	2.802	2.566	2.618	2.706
19	9.352	9.852	10.145	9.977	9.363	61	3.040	2.707	2.470	2.519	2.602
20	9.460	9.858	10.108	9.954	9.298	62	2.939	2.614	2.378	2.423	2.505
21	9.565	9.865	10.075	9.936	9.259	63	2.841	2.525	2.288	2.331	2.412
22	9.663	9.871	10.042	9.917	9.237	64	2.745	2.438	2.202	2.243	2.324
23	9.758	9.877	10.012	9.901	9.234	65	2.654	2.355	2.120	2.158	2.242
24	9.863	9.898	9.998	9.900	9.262	66	2.568	2.278	2.043	2.079	2.166
25	10.006	9.960	10.026	9.943	9.349	67	2.489	2.206	1.973	2.007	2.100
26	10.248	10.123	10.158	10.089	9.556	68	2.421	2.145	1.913	1.946	2.046
27	10.643	10.461	10.474	10.415	9.956	69	2.385	2.113	1.881	1.913	2.027
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	7.831	7.649	7.646	7.647	7.419	72	2.243	1.987	1.764	1.794	1.910
31	7.643	7.427	7.408	7.416	7.158	73	2.137	1.892	1.676	1.703	1.804
32	7.494	7.234	7.192	7.207	6.949	74	2.022	1.791	1.581	1.605	1.697
33	7.374	7.073	7.010	7.031	6.788	75	1.924	1.703	1.499	1.522	1.609
34	7.262	6.923	6.838	6.867	6.642	76	1.834	1.623	1.426	1.446	1.533
35	7.152	6.778	6.674	6.709	6.506	77	1.752	1.550	1.358	1.377	1.466
36	7.045	6.639	6.516	6.557	6.376	78	1.676	1.483	1.297	1.314	1.408
37	6.945	6.509	6.367	6.414	6.257	79	1.609	1.424	1.242	1.258	1.360
38	6.854	6.391	6.231	6.284	6.152	80	1.553	1.374	1.197	1.212	1.326
39	6.784	6.296	6.117	6.176	6.074	81	1.511	1.337	1.163	1.178	1.311
40	6.754	6.241	6.044	6.109	6.047	82	1.492	1.320	1.148	1.163	1.323
41	6.807	6.273	6.061	6.131	6.125	83	1.510	1.336	1.162	1.177	1.374
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	84	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Unit: MW/m^3

Table 5.2.31 Axial power density distribution in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 100 to 500

ﾒｯｼｭ	燃焼 100 日	燃焼 200 日	燃焼 300 日	燃焼 400 日	燃焼 500 日	ﾒｯｼｭ	燃焼 100 日	燃焼 200 日	燃焼 300 日	燃焼 400 日	燃焼 500 日
番号	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	番号	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	43	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	4.375	3.681	2.850	2.275	1.868	44	6.116	6.762	7.200	7.508	7.692
3	4.377	3.645	2.820	2.248	1.845	45	5.844	6.449	6.912	7.256	7.488
4	4.772	3.900	3.008	2.390	1.955	46	5.594	6.183	6.669	7.043	7.316
5	5.360	4.338	3.344	2.650	2.158	47	5.397	5.988	6.493	6.890	7.187
6	5.963	4.879	3.791	3.007	2.440	48	5.226	5.826	6.349	6.759	7.084
7	6.544	5.430	4.306	3.445	2.797	49	5.071	5.685	6.226	6.649	6.999
8	7.085	5.957	4.819	3.937	3.226	50	4.929	5.560	6.115	6.556	6.929
9	7.586	6.454	5.310	4.423	3.700	51	4.801	5.453	6.022	6.480	6.876
10	8.054	6.921	5.776	4.894	4.171	52	4.691	5.369	5.953	6.429	6.847
11	8.503	7.362	6.226	5.348	4.633	53	4.607	5.320	5.923	6.417	6.854
12	8.974	7.799	6.674	5.803	5.092	54	4.571	5.337	5.966	6.477	6.930
13	9.451	8.186	7.063	6.192	5.477	55	4.621	5.468	6.130	6.653	7.108
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	56	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	9.593	8.504	7.505	6.704	6.024	58	3.109	3.769	4.259	4.677	5.026
17	9.358	8.258	7.380	6.672	6.067	59	3.008	3.648	4.139	4.554	4.914
18	9.274	8.183	7.411	6.784	6.241	60	2.895	3.517	4.010	4.421	4.791
19	9.270	8.206	7.516	6.951	6.455	61	2.791	3.402	3.894	4.301	4.680
20	9.290	8.270	7.652	7.142	6.686	62	2.692	3.292	3.784	4.188	4.574
21	9.315	8.353	7.804	7.345	6.925	63	2.595	3.188	3.678	4.079	4.472
22	9.341	8.450	7.967	7.558	7.172	64	2.502	3.088	3.576	3.974	4.373
23	9.371	8.564	8.146	7.784	7.429	65	2.414	2.995	3.481	3.876	4.280
24	9.416	8.707	8.352	8.035	7.706	66	2.331	2.909	3.393	3.786	4.194
25	9.502	8.903	8.606	8.328	8.018	67	2.255	2.833	3.314	3.708	4.115
26	9.686	9.209	8.958	8.706	8.398	68	2.191	2.776	3.255	3.651	4.060
27	10.026	9.653	9.410	9.142	8.809	69	2.159	2.761	3.245	3.644	4.058
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	71	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30	7.486	7.448	7.372	7.247	7.046	72	2.031	2.621	3.087	3.484	3.888
31	7.291	7.263	7.246	7.175	7.022	73	1.930	2.482	2.926	3.315	3.705
32	7.122	7.136	7.177	7.157	7.050	74	1.820	2.340	2.764	3.143	3.518
33	6.981	7.049	7.140	7.163	7.094	75	1.726	2.223	2.631	3.003	3.364
34	6.850	6.975	7.112	7.174	7.142	76	1.642	2.121	2.517	2.881	3.231
35	6.725	6.907	7.088	7.189	7.190	77	1.565	2.033	2.417	2.774	3.115
36	6.605	6.844	7.068	7.205	7.240	78	1.495	1.956	2.331	2.678	3.015
37	6.492	6.790	7.055	7.227	7.295	79	1.433	1.895	2.262	2.602	2.937
38	6.392	6.750	7.054	7.261	7.359	80	1.381	1.852	2.216	2.551	2.887
39	6.312	6.735	7.077	7.315	7.441	81	1.345	1.837	2.202	2.539	2.878
40	6.274	6.773	7.151	7.415	7.560	82	1.330	1.862	2.237	2.586	2.932
41	6.321	6.905	7.305	7.577	7.724	83	1.350	1.944	2.338	2.710	3.067
42	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	84	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Unit: MW/m^3

Table 5.2.32 Axial power density distribution in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 600 to 800

ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 600 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 700 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 800 日 ｶﾗﾑ 4	ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 600 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 700 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 800 日 ｶﾗﾑ 4
1	0.000	0.000	0.000	43	0.000	0.000	0.000
2	2.373	3.627	4.354	44	7.348	6.820	6.539
3	2.361	3.641	4.443	45	7.183	6.679	6.416
4	2.527	3.895	4.698	46	7.036	6.545	6.295
5	2.814	4.226	4.990	47	6.918	6.443	6.199
6	3.196	4.575	5.284	48	6.824	6.359	6.119
7	3.632	4.921	5.570	49	6.746	6.287	6.052
8	4.065	5.255	5.840	50	6.681	6.226	5.996
9	4.483	5.573	6.096	51	6.633	6.178	5.951
10	4.885	5.878	6.344	52	6.604	6.146	5.922
11	5.274	6.177	6.589	53	6.607	6.140	5.914
12	5.665	6.485	6.844	54	6.667	6.176	5.941
13	6.001	6.762	7.073	55	6.808	6.274	6.021
14	0.000	0.000	0.000	56	0.000	0.000	0.000
15	0.000	0.000	0.000	57	0.000	0.000	0.000
16	6.512	7.232	7.503	58	4.842	4.486	4.324
17	6.516	7.184	7.448	59	4.744	4.396	4.247
18	6.632	7.220	7.453	60	4.634	4.294	4.160
19	6.787	7.296	7.491	61	4.532	4.203	4.081
20	6.960	7.392	7.545	62	4.430	4.117	4.004
21	7.144	7.500	7.611	63	4.333	4.034	3.929
22	7.336	7.618	7.687	64	4.240	3.955	3.857
23	7.541	7.749	7.775	65	4.152	3.881	3.790
24	7.765	7.892	7.880	66	4.072	3.813	3.729
25	8.024	8.063	8.008	67	4.003	3.755	3.677
26	8.342	8.279	8.175	68	3.954	3.714	3.641
27	8.684	8.518	8.360	69	3.952	3.711	3.640
28	0.000	0.000	0.000	70	0.000	0.000	0.000
29	0.000	0.000	0.000	71	0.000	0.000	0.000
30	6.900	6.740	6.608	72	3.801	3.575	3.523
31	6.882	6.706	6.573	73	3.638	3.426	3.393
32	6.901	6.689	6.545	74	3.468	3.270	3.250
33	6.929	6.680	6.523	75	3.325	3.140	3.124
34	6.959	6.674	6.503	76	3.194	3.026	3.015
35	6.989	6.671	6.486	77	3.079	2.926	2.919
36	7.022	6.671	6.474	78	2.983	2.842	2.838
37	7.059	6.677	6.467	79	2.907	2.776	2.776
38	7.105	6.693	6.469	80	2.859	2.736	2.739
39	7.166	6.722	6.483	81	2.852	2.732	2.739
40	7.256	6.776	6.518	82	2.909	2.784	2.796
41	7.379	6.860	6.581	83	3.044	2.903	2.917
42	0.000	0.000	0.000	84	0.000	0.000	0.000

Unit: MW/m^3

Table 5.2.33 Gap width between fuel compact and graphite sleeve in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 0 to 60

ﾒｯｼｭ	燃焼 0 日	燃焼 1 日	燃焼 10 日	燃焼 30 日	燃焼 60 日	ﾒｯｼｭ	燃焼 0 日	燃焼 1 日	燃焼 10 日	燃焼 30 日	燃焼 60 日
番号	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	番号	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9	ｶﾗﾑ 9
1	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	43	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
2	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	44	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
3	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	45	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
4	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	46	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
5	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	47	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
6	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	48	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
7	0.01569	0.01571	0.01601	0.01668	0.01749	49	0.01569	0.01571	0.01595	0.01645	0.01724
8	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	50	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
9	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	51	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
10	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	52	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
11	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	53	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
12	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	54	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
13	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	55	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
14	0.01569	0.01573	0.01617	0.01713	0.01832	56	0.01569	0.01571	0.01591	0.01631	0.01696
15	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	57	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
16	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	58	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
17	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	59	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
18	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	60	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
19	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	61	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
20	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	62	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
21	0.01569	0.01573	0.01619	0.01716	0.01845	63	0.01569	0.01571	0.01583	0.01611	0.01658
22	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	64	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
23	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	65	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
24	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	66	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
25	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	67	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
26	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	68	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
27	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	69	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
28	0.01569	0.01573	0.01617	0.01707	0.01832	70	0.01569	0.01571	0.01581	0.01603	0.01639
29	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	71	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
30	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	72	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
31	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	73	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
32	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	74	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
33	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	75	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
34	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	76	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
35	0.01569	0.01573	0.01607	0.01677	0.01781	77	0.01569	0.01569	0.01577	0.01593	0.01621
36	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	78	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
37	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	79	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
38	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	80	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
39	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	81	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
40	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	82	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
41	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	83	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607
42	0.01569	0.01573	0.01601	0.01660	0.01751	84	0.01569	0.01569	0.01575	0.01587	0.01607

Unit: cm

Table 5.2.34 Gap width between fuel compact and graphite sleeve in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 100 to 500

ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 100 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 200 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 300 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 400 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 500 日 ｶﾗﾑ 8	ﾒｯｼｭ 番号	燃焼 100 日 ｶﾗﾑ 9	燃焼 200 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 300 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 400 日 ｶﾗﾑ 8	燃焼 500 日 ｶﾗﾑ 8
1	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	43	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
2	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	44	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
3	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	45	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
4	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	46	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
5	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	47	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
6	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	48	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
7	0.01845	0.02013	0.02126	0.02209	0.02222	49	0.01823	0.02061	0.02257	0.02409	0.02435
8	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	50	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
9	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	51	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
10	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	52	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
11	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	53	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
12	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	54	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
13	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	55	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
14	0.01966	0.02196	0.02342	0.02439	0.02454	56	0.01782	0.02000	0.02193	0.02350	0.02377
15	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	57	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
16	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	58	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
17	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	59	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
18	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	60	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
19	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	61	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
20	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	62	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
21	0.01989	0.02247	0.02411	0.02519	0.02536	63	0.01722	0.01895	0.02063	0.02214	0.02243
22	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	64	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
23	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	65	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
24	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	66	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
25	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	67	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
26	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	68	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
27	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	69	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
28	0.01976	0.02247	0.02424	0.02542	0.02560	70	0.01690	0.01835	0.01985	0.02126	0.02153
29	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	71	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
30	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	72	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
31	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	73	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
32	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	74	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
33	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	75	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
34	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	76	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
35	0.01906	0.02166	0.02354	0.02487	0.02508	77	0.01662	0.01779	0.01904	0.02031	0.02056
36	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	78	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
37	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	79	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
38	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	80	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
39	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	81	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
40	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	82	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
41	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	83	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944
42	0.01865	0.02118	0.02312	0.02456	0.02479	84	0.01635	0.01724	0.01820	0.01923	0.01944

Unit: cm

Table 5.2.35 Gap width between fuel compact and graphite sleeve in appearance column of maximum fuel temperature at EFPD 600 to 800

ﾒｯｼｭ	燃焼 600 日	燃焼 700 日	燃焼 800 日	ﾒｯｼｭ	燃焼 600 日	燃焼 700 日	燃焼 800 日
番号	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 4	番号	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 8	ｶﾗﾑ 4
1	0.02295	0.02380	0.02462	43	0.02539	0.02615	0.02680
2	0.02295	0.02380	0.02462	44	0.02539	0.02615	0.02680
3	0.02295	0.02380	0.02462	45	0.02539	0.02615	0.02680
4	0.02295	0.02380	0.02462	46	0.02539	0.02615	0.02680
5	0.02295	0.02380	0.02462	47	0.02539	0.02615	0.02680
6	0.02295	0.02380	0.02462	48	0.02539	0.02615	0.02680
7	0.02295	0.02380	0.02462	49	0.02539	0.02615	0.02680
8	0.02529	0.02599	0.02668	50	0.02490	0.02570	0.02634
9	0.02529	0.02599	0.02668	51	0.02490	0.02570	0.02634
10	0.02529	0.02599	0.02668	52	0.02490	0.02570	0.02634
11	0.02529	0.02599	0.02668	53	0.02490	0.02570	0.02634
12	0.02529	0.02599	0.02668	54	0.02490	0.02570	0.02634
13	0.02529	0.02599	0.02668	55	0.02490	0.02570	0.02634
14	0.02529	0.02599	0.02668	56	0.02490	0.02570	0.02634
15	0.02615	0.02688	0.02772	57	0.02363	0.02453	0.02523
16	0.02615	0.02688	0.02772	58	0.02363	0.02453	0.02523
17	0.02615	0.02688	0.02772	59	0.02363	0.02453	0.02523
18	0.02615	0.02688	0.02772	60	0.02363	0.02453	0.02523
19	0.02615	0.02688	0.02772	61	0.02363	0.02453	0.02523
20	0.02615	0.02688	0.02772	62	0.02363	0.02453	0.02523
21	0.02615	0.02688	0.02772	63	0.02363	0.02453	0.02523
22	0.02642	0.02723	0.02823	64	0.02276	0.02370	0.02446
23	0.02642	0.02723	0.02823	65	0.02276	0.02370	0.02446
24	0.02642	0.02723	0.02823	66	0.02276	0.02370	0.02446
25	0.02642	0.02723	0.02823	67	0.02276	0.02370	0.02446
26	0.02642	0.02723	0.02823	68	0.02276	0.02370	0.02446
27	0.02642	0.02723	0.02823	69	0.02276	0.02370	0.02446
28	0.02642	0.02723	0.02823	70	0.02276	0.02370	0.02446
29	0.02599	0.02668	0.02745	71	0.02173	0.02266	0.02347
30	0.02599	0.02668	0.02745	72	0.02173	0.02266	0.02347
31	0.02599	0.02668	0.02745	73	0.02173	0.02266	0.02347
32	0.02599	0.02668	0.02745	74	0.02173	0.02266	0.02347
33	0.02599	0.02668	0.02745	75	0.02173	0.02266	0.02347
34	0.02599	0.02668	0.02745	76	0.02173	0.02266	0.02347
35	0.02599	0.02668	0.02745	77	0.02173	0.02266	0.02347
36	0.02575	0.02650	0.02715	78	0.02044	0.02131	0.02209
37	0.02575	0.02650	0.02715	79	0.02044	0.02131	0.02209
38	0.02575	0.02650	0.02715	80	0.02044	0.02131	0.02209
39	0.02575	0.02650	0.02715	81	0.02044	0.02131	0.02209
40	0.02575	0.02650	0.02715	82	0.02044	0.02131	0.02209
41	0.02575	0.02650	0.02715	83	0.02044	0.02131	0.02209
42	0.02575	0.02650	0.02715	84	0.02044	0.02131	0.02209

Unit: cm

Table 5.2.36　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 0

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	0.987	1.129	1.114	1120.6	1287.0
2	0.987	1.123	1.108	1117.6	1283.8
3	0.904	1.131	1.022	1071.5	1230.2
4	1.031	1.179	1.216	1242.8	1430.4
5	0.906	1.129	1.023	1072.0	1230.8
6	1.039	1.142	1.186	1209.5	1390.4
7	1.037	1.162	1.205	1226.4	1408.5
8	1.040	1.141	1.187	1210.0	1391.0
9	1.033	1.179	1.218	1244.0	1431.8
10	1.037	1.162	1.205	1226.2	1408.3

Table 5.2.37　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 1

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	0.987	1.132	1.117	1134.1	1299.3
2	0.987	1.127	1.112	1131.7	1296.8
3	0.906	1.136	1.029	1085.0	1242.7
4	1.034	1.180	1.220	1255.4	1441.8
5	0.908	1.135	1.030	1085.3	1243.0
6	1.040	1.148	1.194	1223.5	1403.2
7	1.032	1.159	1.196	1231.2	1411.6
8	1.040	1.148	1.195	1237.2	1421.3
9	1.035	1.180	1.221	1256.5	1443.0
10	1.033	1.159	1.197	1231.3	1411.7

Table 5.2.38　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 10

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	0.988	1.135	1.121	1156.0	1325.0
2	0.988	1.131	1.117	1154.1	1323.0
3	0.906	1.139	1.032	1103.2	1263.9
4	1.035	1.180	1.221	1272.1	1461.3
5	0.908	1.138	1.033	1103.5	1264.2
6	1.040	1.153	1.199	1243.2	1425.9
7	1.030	1.157	1.192	1243.6	1426.3
8	1.040	1.153	1.199	1243.6	1426.4
9	1.036	1.180	1.222	1273.1	1462.4
10	1.030	1.157	1.192	1243.6	1426.2

Table 5.2.39　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 30

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	0.994	1.139	1.132	1169.9	1345.0
2	0.994	1.135	1.128	1168.0	1343.1
3	0.910	1.137	1.035	1108.8	1273.8
4	1.031	1.178	1.215	1270.5	1462.9
5	0.911	1.136	1.036	1109.1	1274.2
6	1.036	1.157	1.199	1247.1	1434.0
7	1.026	1.154	1.184	1240.9	1426.2
8	1.037	1.156	1.199	1247.4	1434.4
9	1.032	1.178	1.216	1271.4	1463.9
10	1.026	1.154	1.184	1240.8	1426.2

Table 5.2.40　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 60

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.002	1.143	1.146	1180.5	1362.4
2	1.003	1.140	1.142	1178.8	1360.6
3	0.915	1.134	1.038	1109.8	1279.6
4	1.028	1.173	1.205	1261.8	1457.5
5	0.916	1.133	1.038	1110.1	1279.8
6	1.033	1.161	1.199	1246.5	1438.3
7	1.021	1.149	1.174	1231.2	1419.3
8	1.033	1.161	1.199	1246.8	1438.5
9	1.029	1.173	1.207	1262.7	1458.5
10	1.021	1.149	1.174	1231.3	1419.4

Table 5.2.41　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 100

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.011	1.148	1.160	1188.0	1377.0
2	1.011	1.145	1.157	1186.4	1375.3
3	0.920	1.130	1.040	1107.4	1281.7
4	1.024	1.167	1.194	1248.5	1447.0
5	0.921	1.129	1.040	1107.6	1281.9
6	1.029	1.165	1.199	1242.9	1439.4
7	1.016	1.143	1.161	1217.2	1407.8
8	1.029	1.165	1.199	1243.1	1439.6
9	1.025	1.167	1.195	1249.3	1447.9
10	1.016	1.143	1.161	1217.3	1407.9

Table 5.2.42　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 200

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.026	1.156	1.187	1185.0	1385.1
2	1.026	1.153	1.183	1183.4	1383.4
3	0.930	1.118	1.040	1085.6	1266.2
4	1.015	1.150	1.168	1202.3	1403.7
5	0.931	1.117	1.040	1085.9	1266.5
6	1.020	1.174	1.198	1221.3	1425.5
7	1.007	1.127	1.134	1176.0	1369.4
8	1.021	1.174	1.198	1221.6	1425.8
9	1.016	1.150	1.168	1202.5	1404.0
10	1.007	1.127	1.134	1176.0	1369.3

Table 5.2.43　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 300

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.037	1.162	1.205	1172.4	1377.1
2	1.037	1.158	1.201	1170.7	1375.4
3	0.938	1.110	1.040	1072.6	1257.8
4	1.009	1.161	1.172	1184.3	1389.8
5	0.939	1.110	1.042	1073.7	1259.0
6	1.015	1.182	1.199	1199.5	1407.0
7	1.001	1.125	1.125	1144.2	1339.6
8	1.015	1.182	1.200	1199.9	1407.4
9	1.010	1.161	1.173	1184.6	1390.1
10	1.001	1.124	1.125	1144.1	1339.4

Table 5.2.44　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 400

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.040	1.163	1.209	1162.8	1350.9
2	1.040	1.159	1.206	1160.6	1348.4
3	0.942	1.113	1.049	1056.4	1242.2
4	1.007	1.170	1.178	1211.2	1376.8
5	0.943	1.114	1.051	1057.3	1243.3
6	1.012	1.187	1.201	1225.7	1392.9
7	0.998	1.133	1.131	1165.3	1323.5
8	1.013	1.187	1.202	1226.0	1393.2
9	1.007	1.170	1.178	1211.3	1376.9
10	0.998	1.133	1.131	1165.2	1323.3

Table 5.2.45　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 500

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.034	1.160	1.199	1166.8	1331.5
2	1.034	1.157	1.197	1165.2	1329.7
3	0.943	1.115	1.051	1064.7	1213.1
4	1.008	1.175	1.184	1231.6	1405.0
5	0.944	1.115	1.053	1065.4	1213.9
6	1.013	1.189	1.204	1243.0	1417.6
7	1.001	1.138	1.140	1187.5	1352.9
8	1.014	1.188	1.205	1243.3	1417.9
9	1.008	1.175	1.184	1231.7	1405.1
10	1.001	1.138	1.140	1187.4	1352.7

Table 5.2.46　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 600

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.017	1.155	1.175	1143.1	1297.2
2	1.017	1.153	1.173	1141.7	1295.9
3	0.939	1.119	1.051	1054.5	1211.7
4	1.015	1.181	1.199	1231.5	1404.2
5	0.940	1.119	1.052	1055.0	1212.4
6	1.020	1.189	1.212	1238.2	1411.5
7	1.008	1.144	1.153	1188.4	1353.6
8	1.020	1.188	1.212	1238.4	1411.7
9	1.016	1.181	1.199	1231.5	1404.2
10	1.008	1.144	1.152	1188.3	1353.4

Table 5.2.47　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 700

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	1.002	1.150	1.152	1117.4	1284.1
2	1.002	1.148	1.151	1116.2	1283.1
3	0.935	1.124	1.050	1041.3	1222.4
4	1.024	1.187	1.215	1220.6	1387.7
5	0.935	1.124	1.051	1041.5	1222.6
6	1.027	1.188	1.220	1221.8	1389.0
7	1.012	1.149	1.163	1177.0	1337.3
8	1.027	1.188	1.220	1221.9	1389.1
9	1.024	1.187	1.215	1220.6	1387.7
10	1.012	1.149	1.163	1176.9	1337.2

Table 5.2.48　Maximum fuel temperatures and peaking factors at EFPD 800

カラム番号	P_1	P_2	$P_1 \cdot P_2$	ノミナル燃料最高温度(℃)	システマティックランダム燃料最高温度(℃)
1	0.992	1.145	1.136	1110.4	1267.8
2	0.992	1.144	1.135	1109.9	1267.3
3	0.932	1.125	1.049	1038.2	1218.1
4	1.030	1.189	1.225	1214.8	1381.9
5	0.933	1.125	1.049	1038.2	1218.1
6	1.031	1.186	1.223	1212.4	1377.2
7	1.016	1.152	1.170	1171.3	1332.6
8	1.031	1.186	1.223	1212.5	1377.3
9	1.029	1.189	1.224	1214.7	1381.6
10	1.016	1.152	1.170	1171.2	1332.4

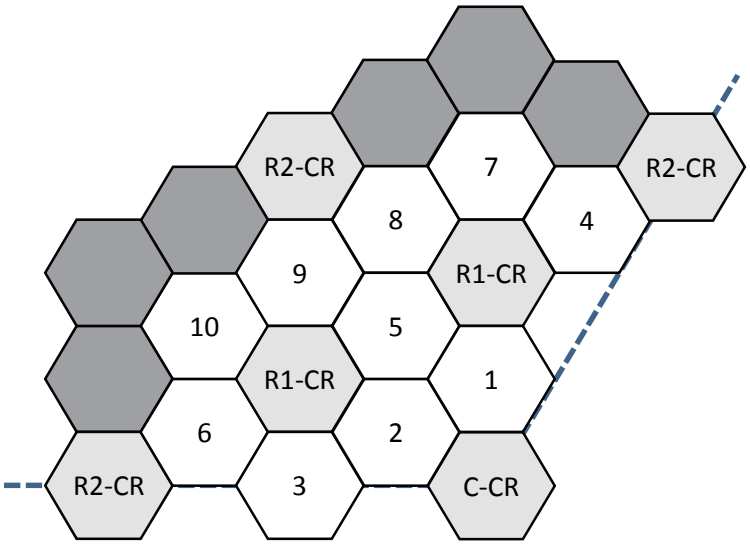


Fig. 5.2.1 TEMDIM analysis domain in radial direction.

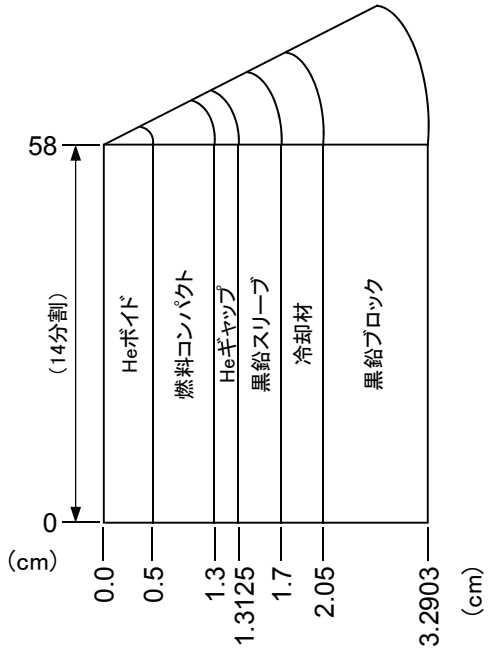


Fig. 5.2.2 TEMDIM analysis model of fuel temperature calculation.

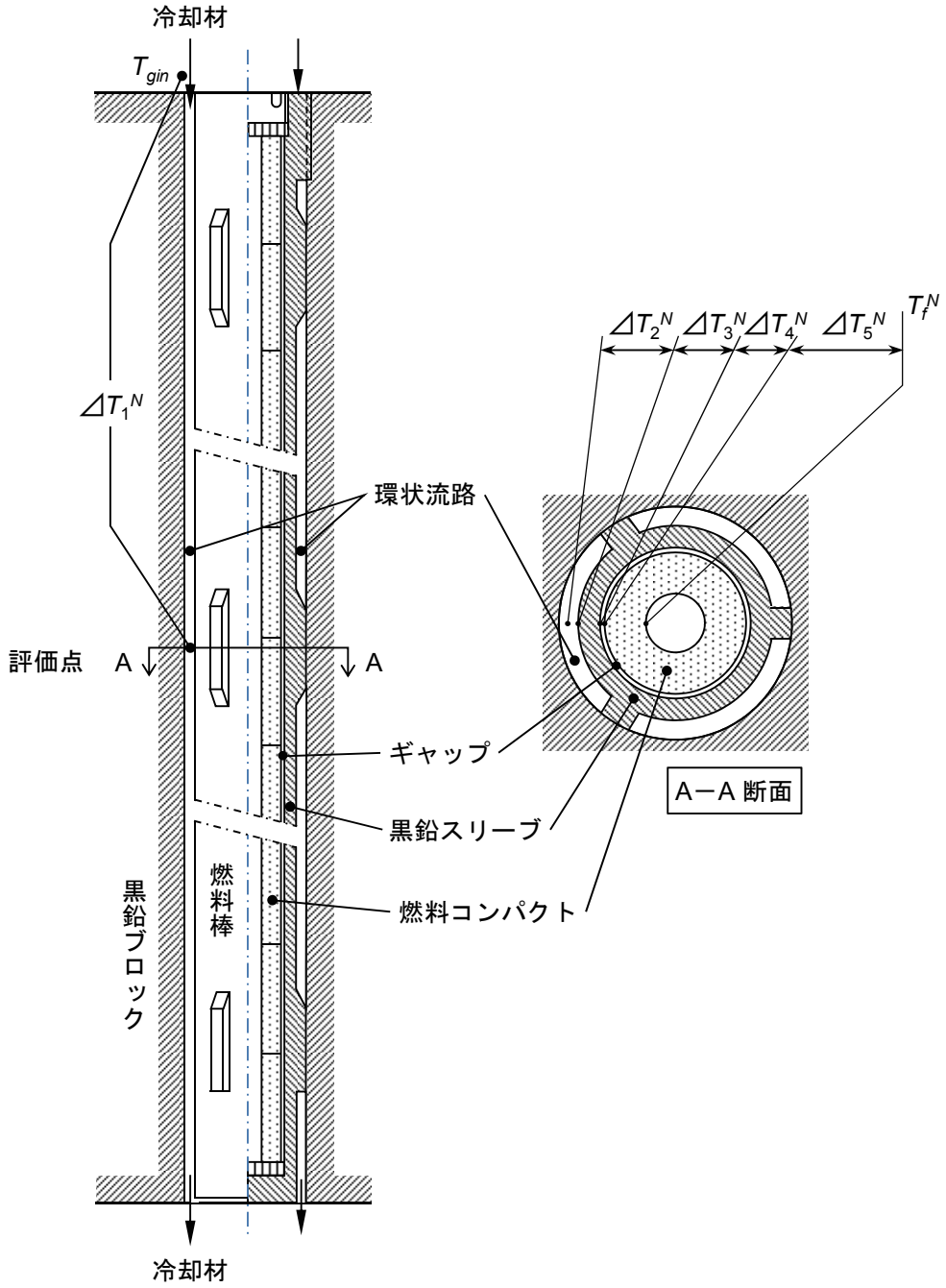


Fig. 5.2.3 Concept of fuel temperature estimation.

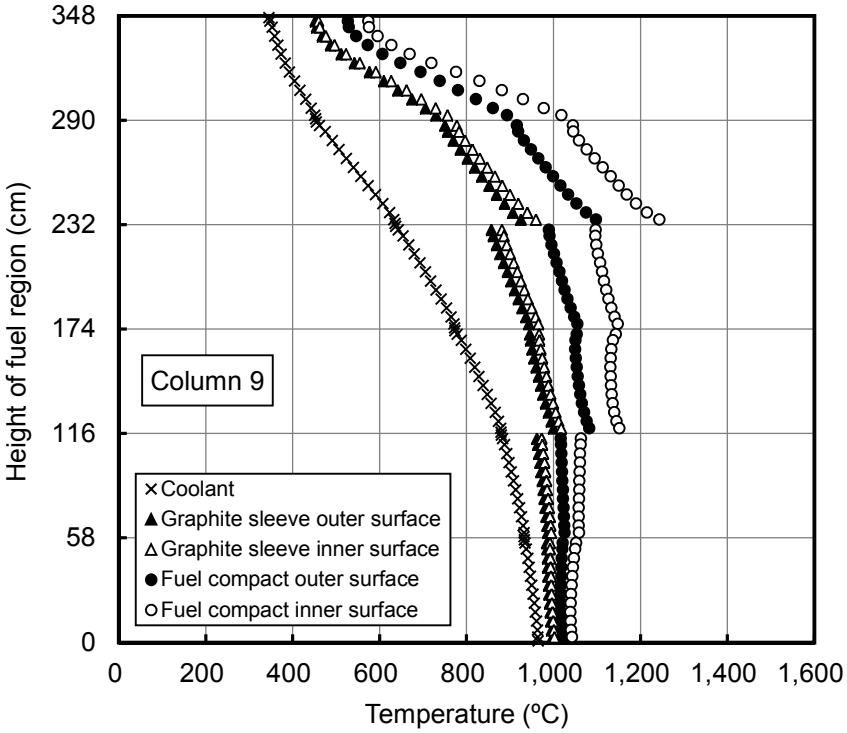


Fig. 5.2.4 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 0.

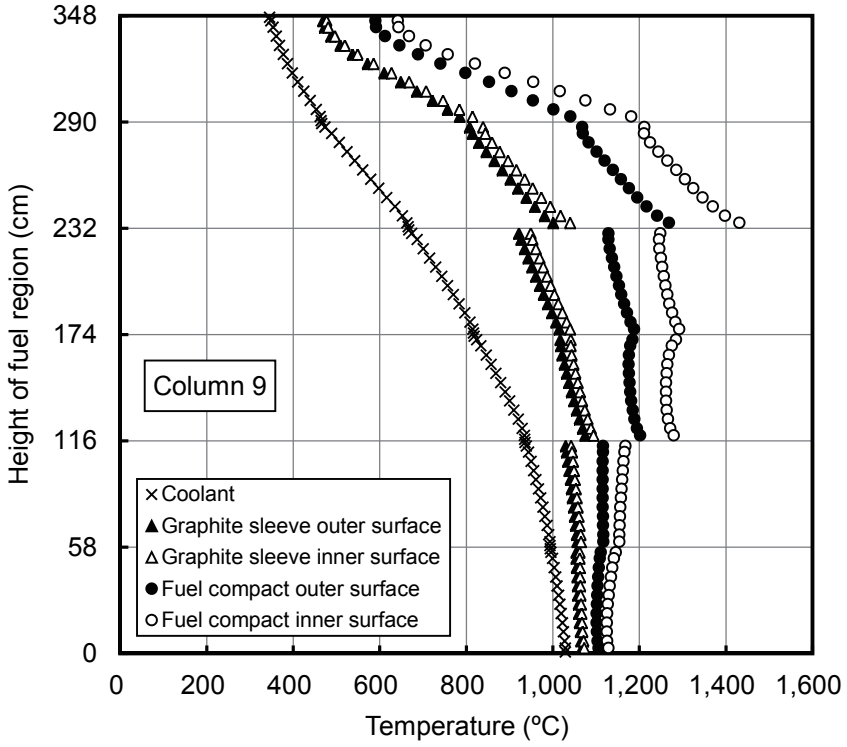


Fig. 5.2.5 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 0.

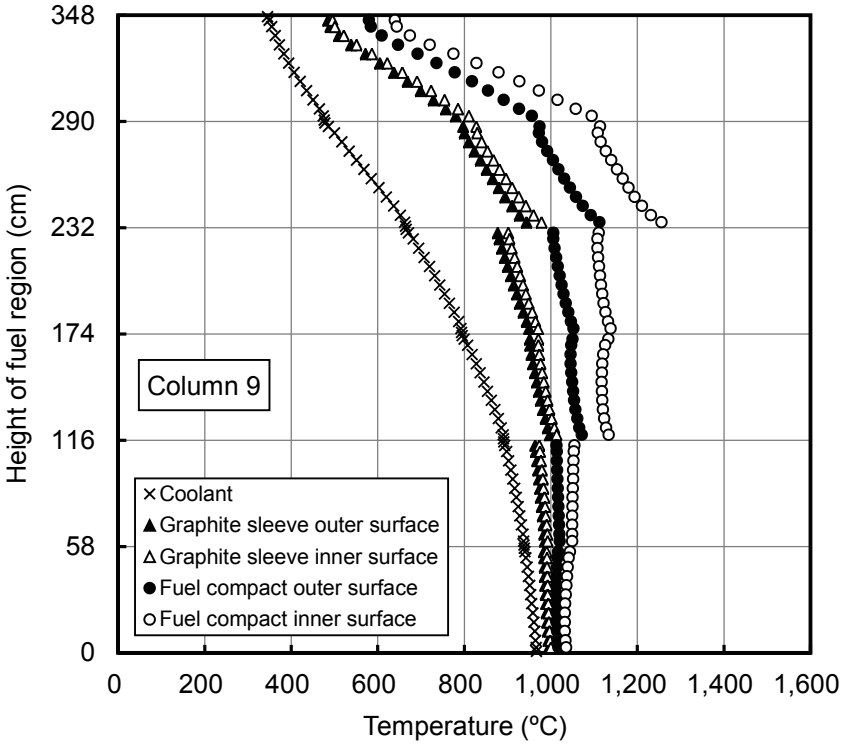


Fig. 5.2.6 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 1.

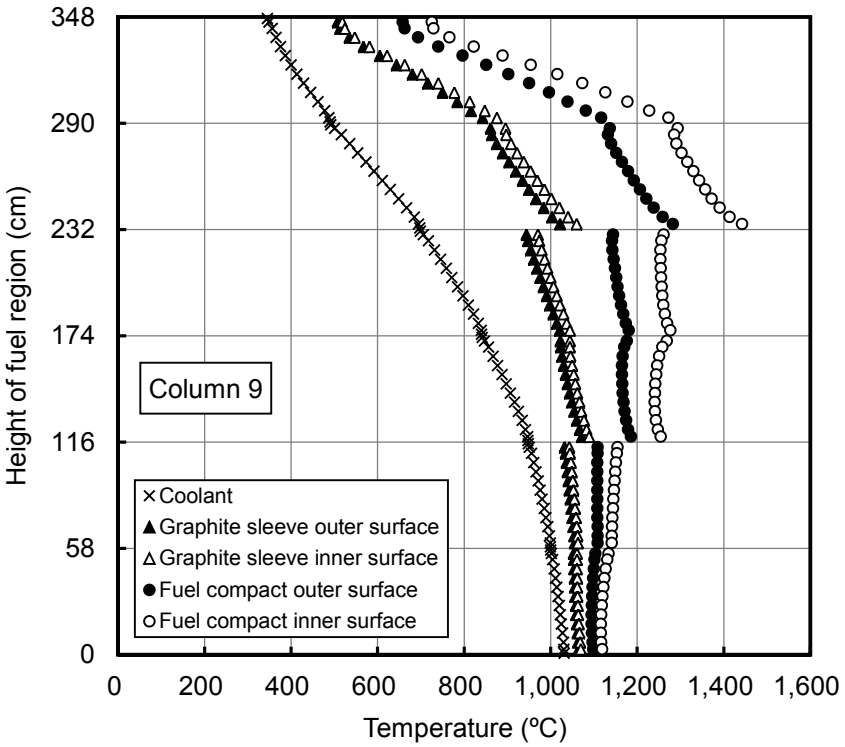


Fig. 5.2.7 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 1.

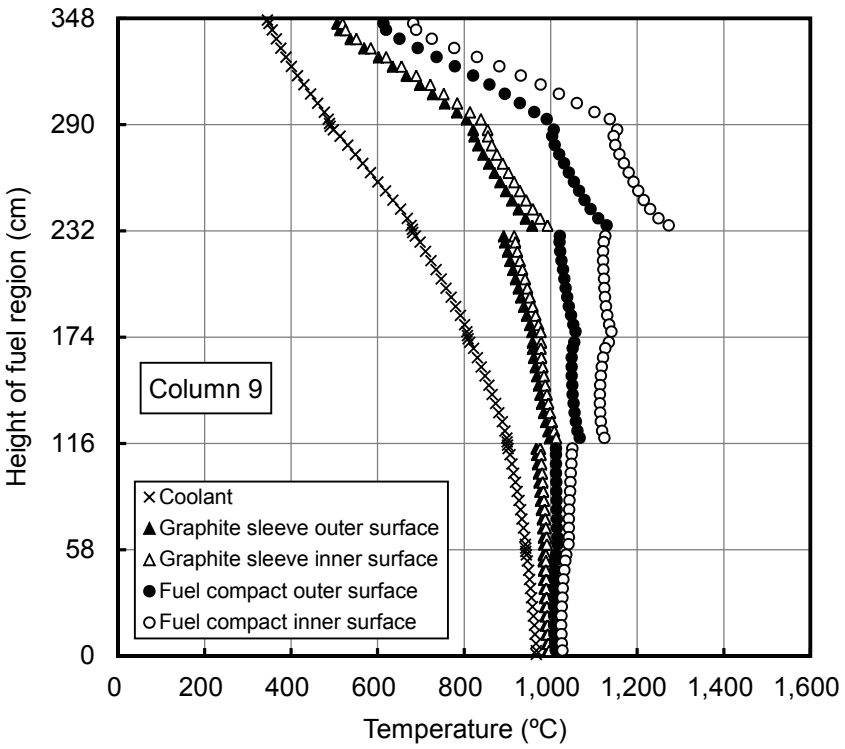


Fig. 5.2.8 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 10.

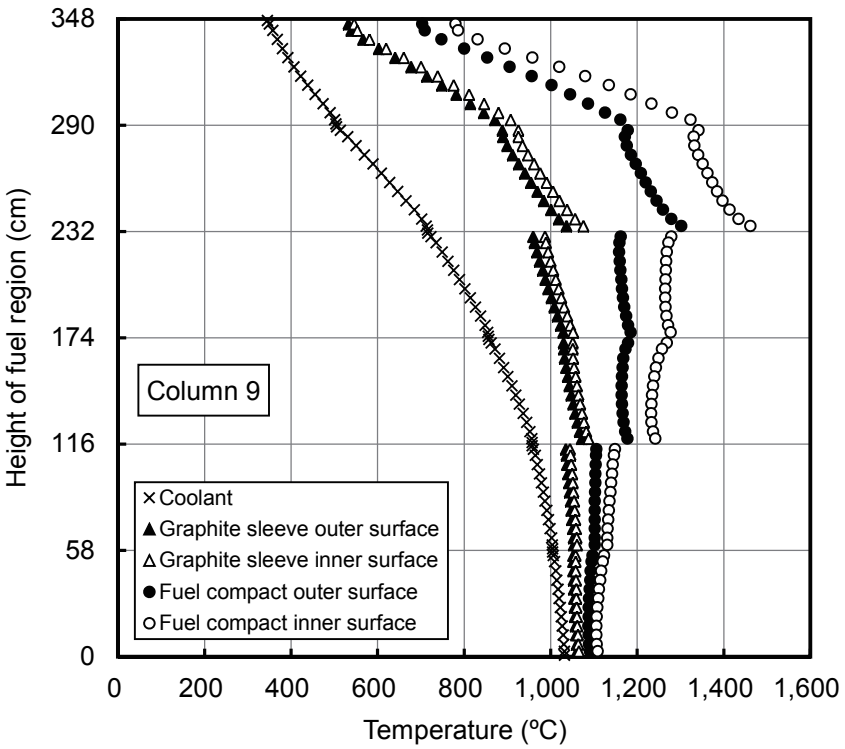


Fig. 5.2.9 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 10.

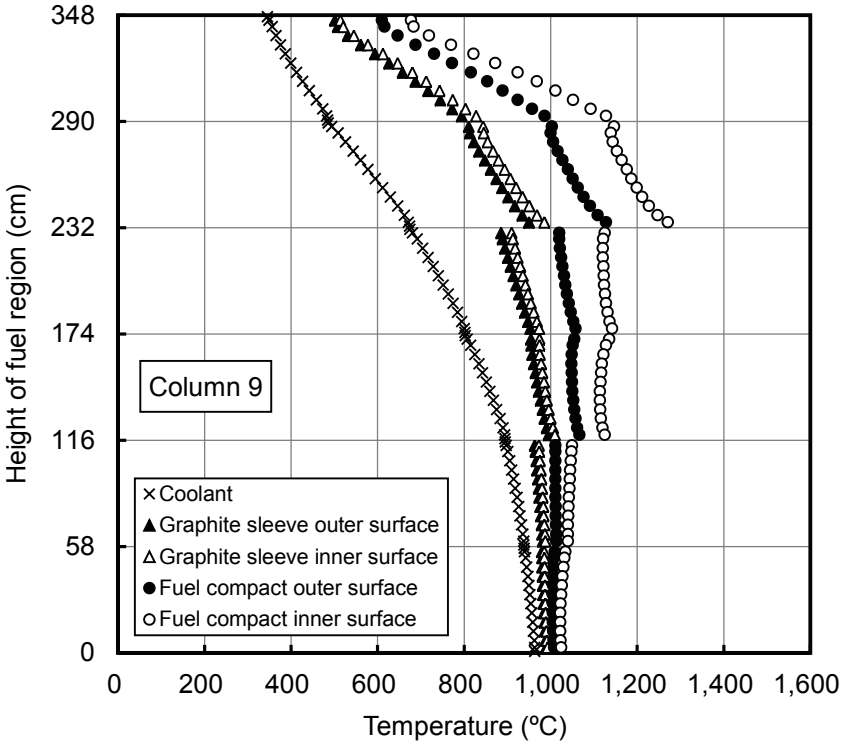


Fig. 5.2.10 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 30.

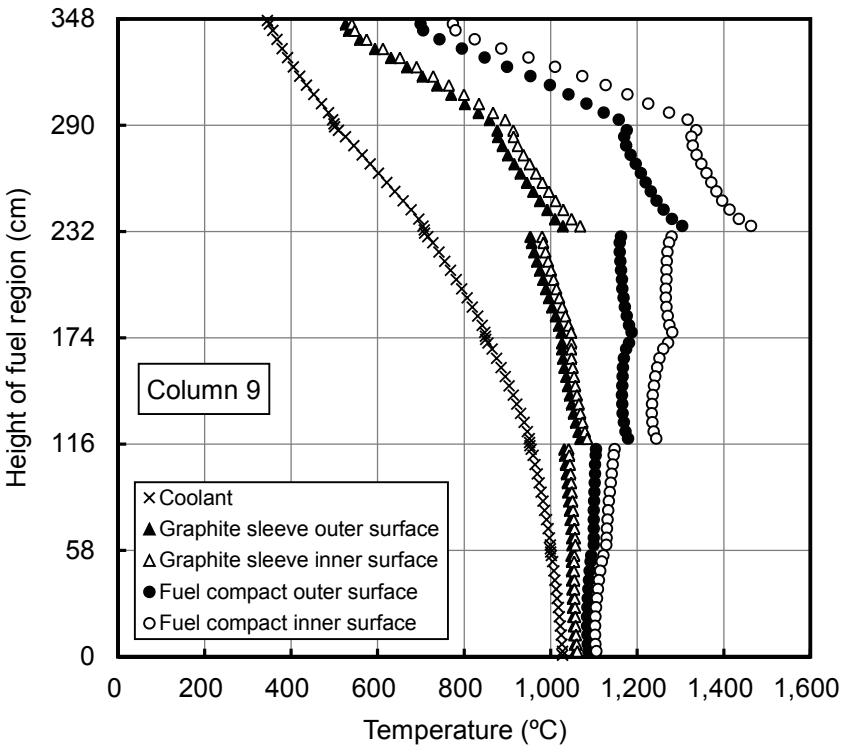


Fig. 5.2.11 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 30.

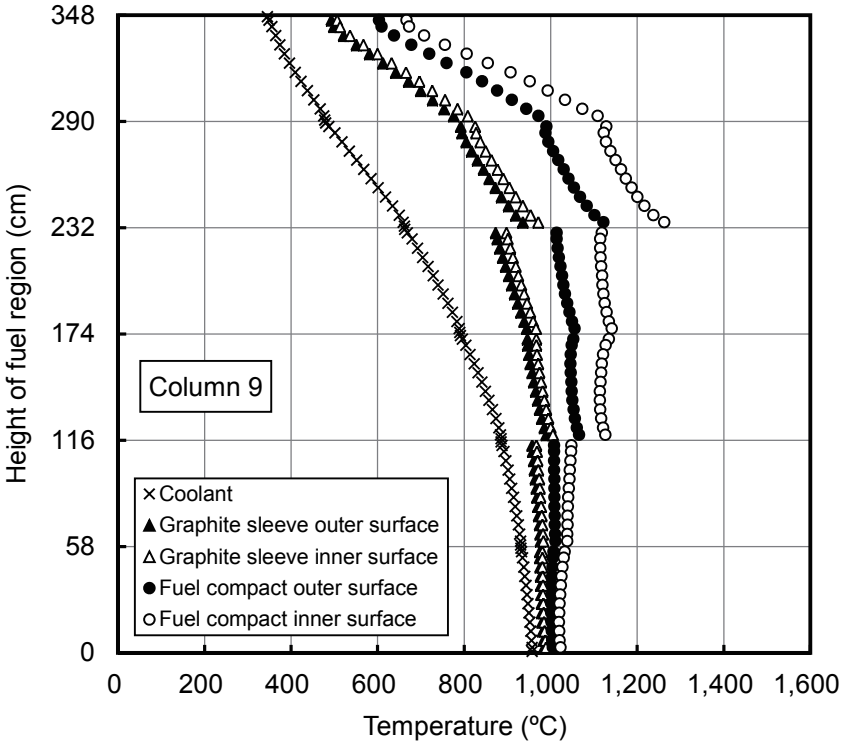


Fig. 5.2.12 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 60.

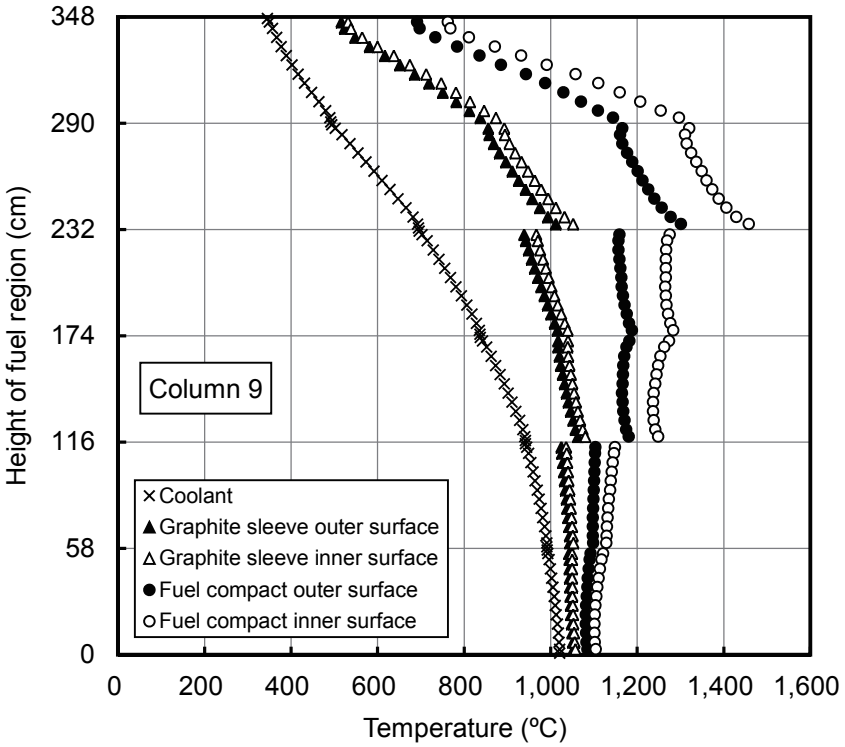


Fig. 5.2.13 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 60.

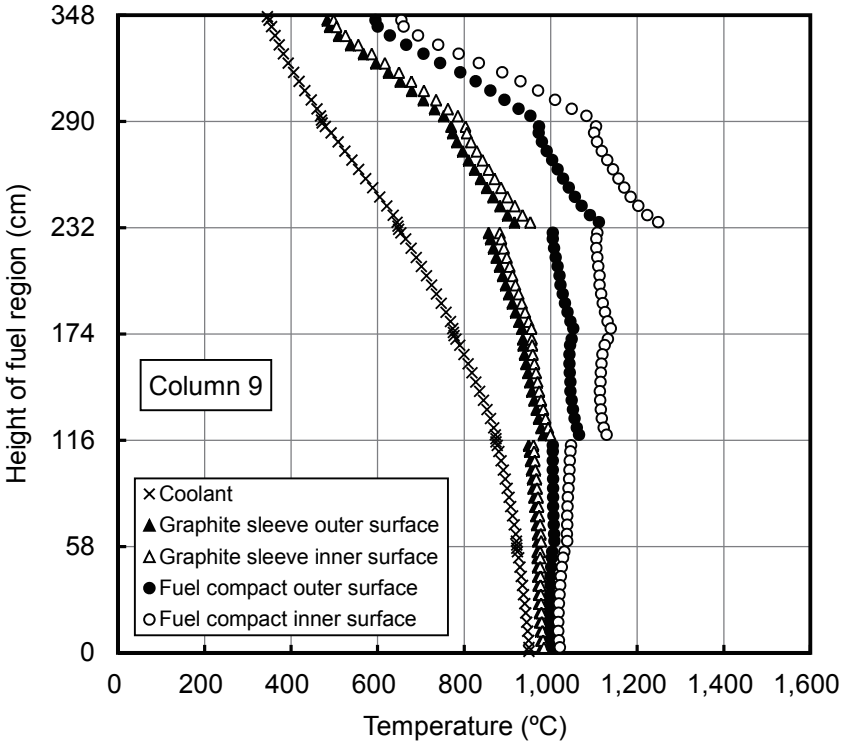


Fig. 5.2.14 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 100.

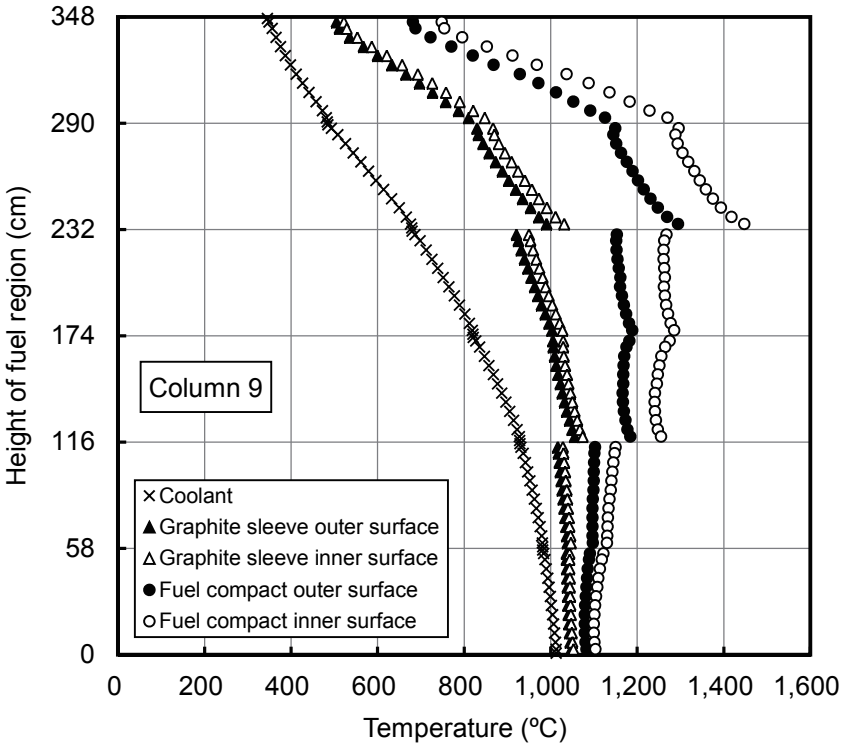


Fig. 5.2.15 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 100.

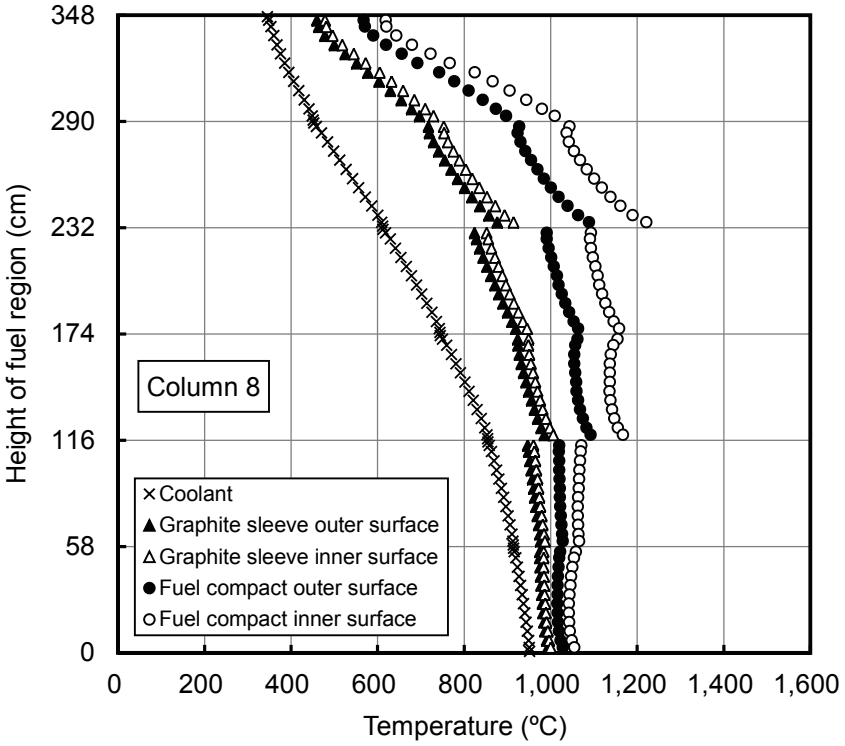


Fig. 5.2.16 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 200.

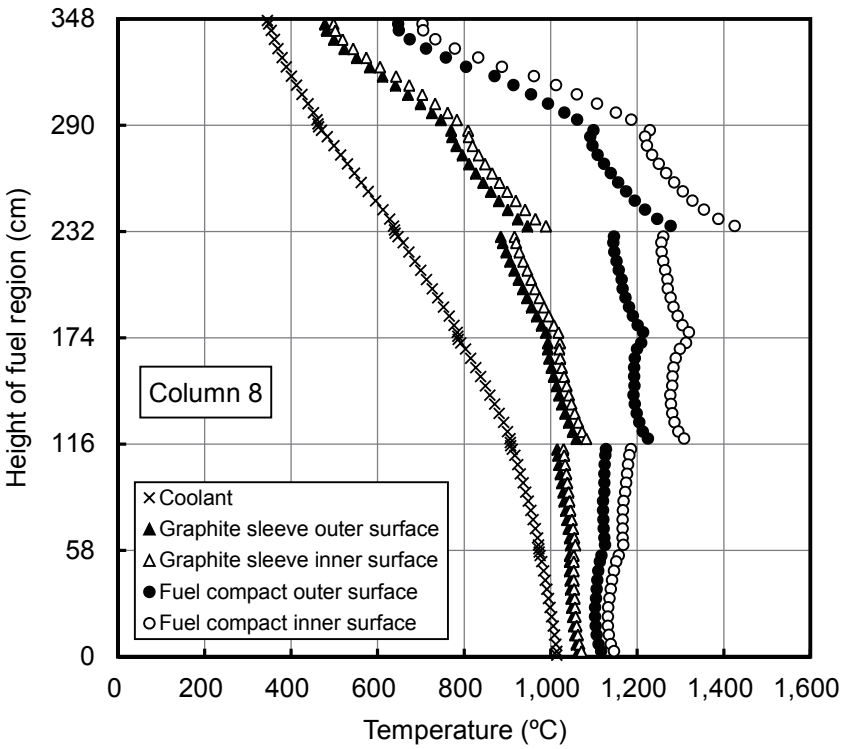


Fig. 5.2.17 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 200.

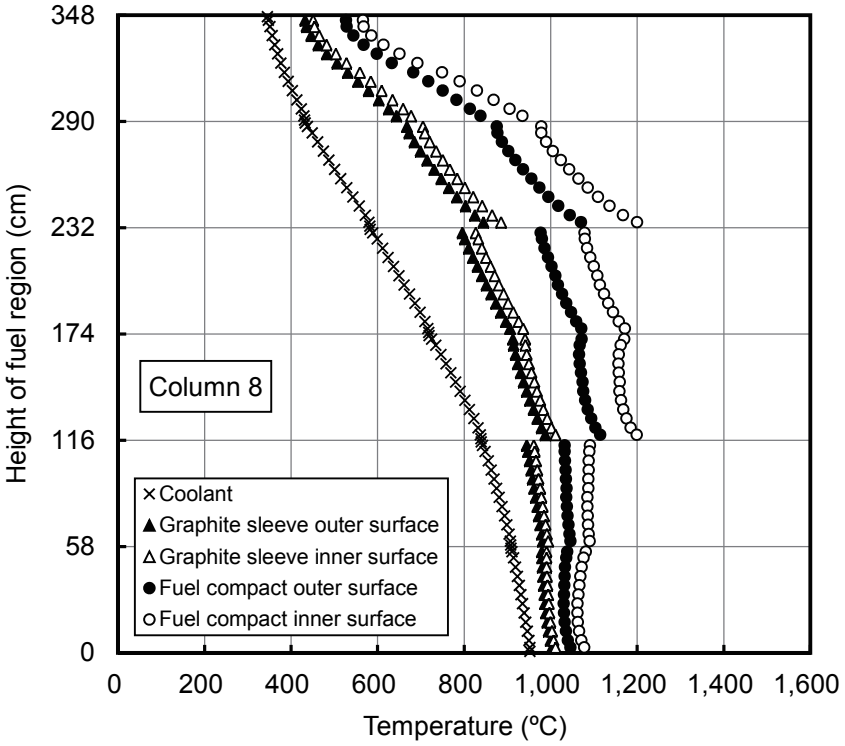


Fig. 5.2.18 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 300.

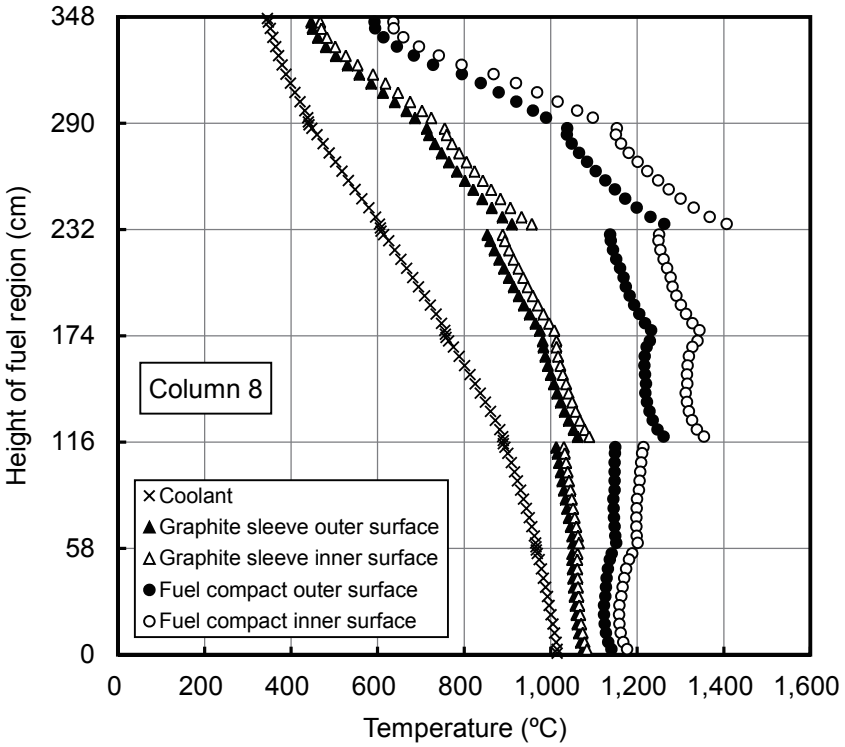


Fig. 5.2.19 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 300.

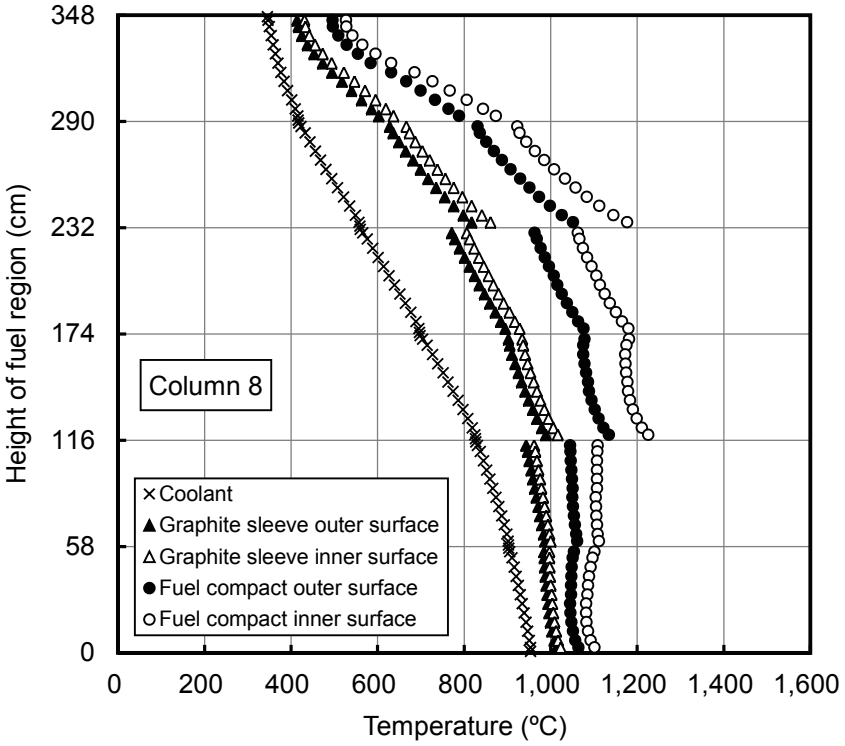


Fig. 5.2.20 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 400.

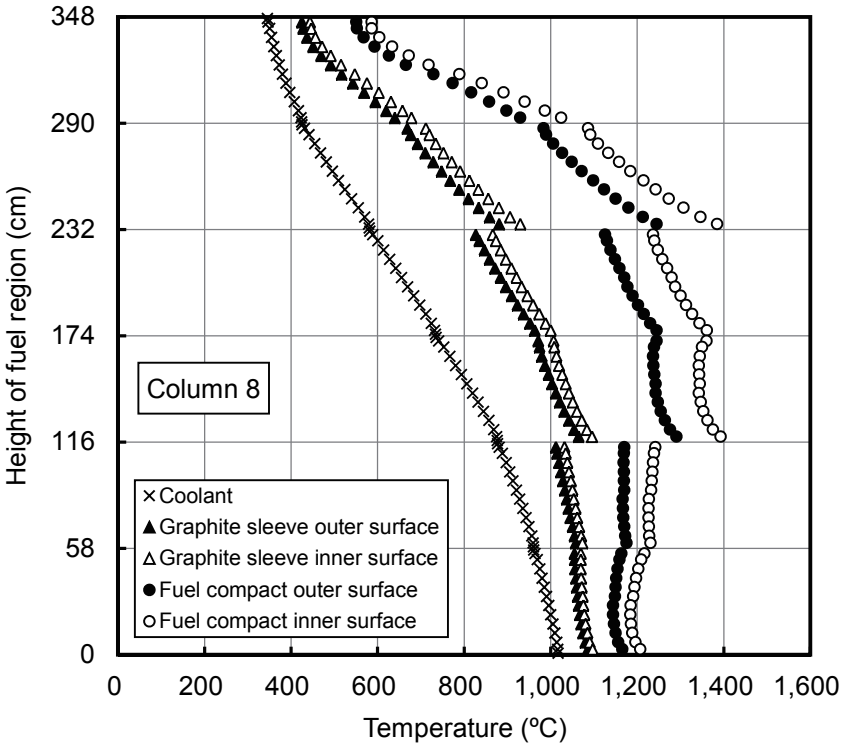


Fig. 5.2.21 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 400.

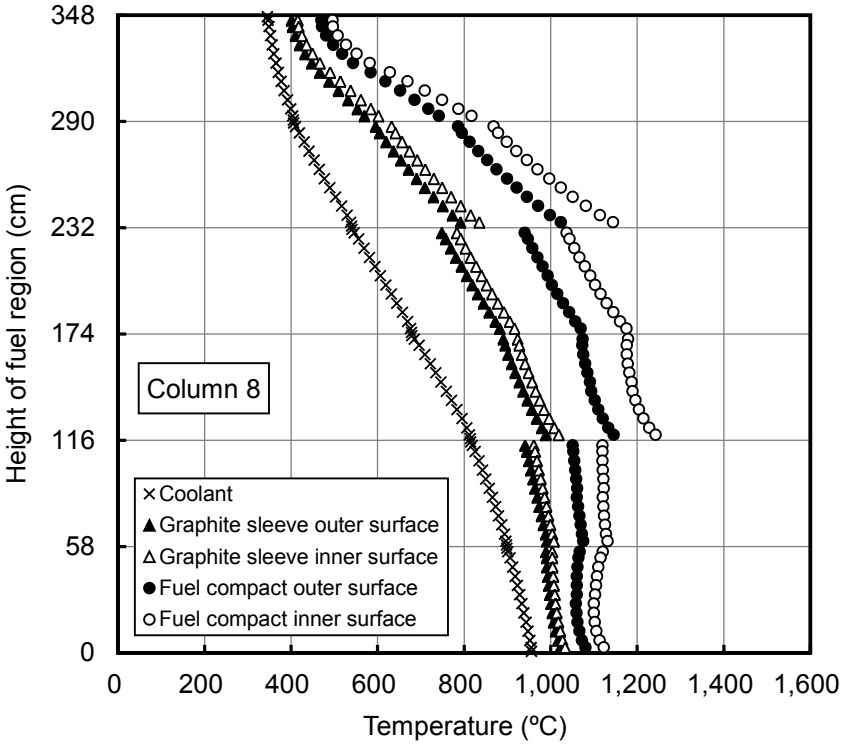


Fig. 5.2.22 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 500.

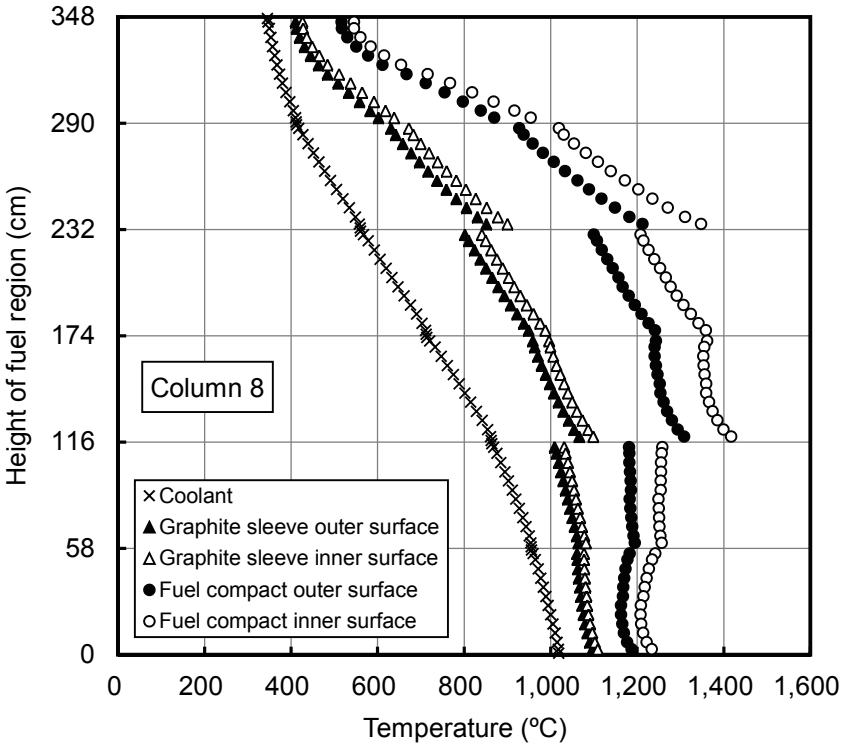


Fig. 5.2.23 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 500.

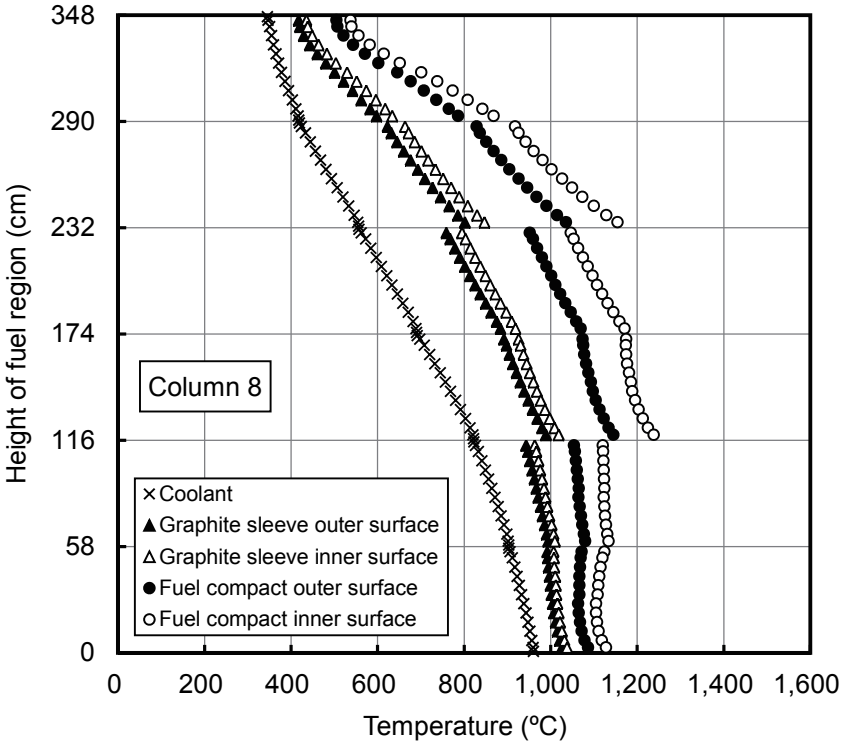


Fig. 5.2.24 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 600.

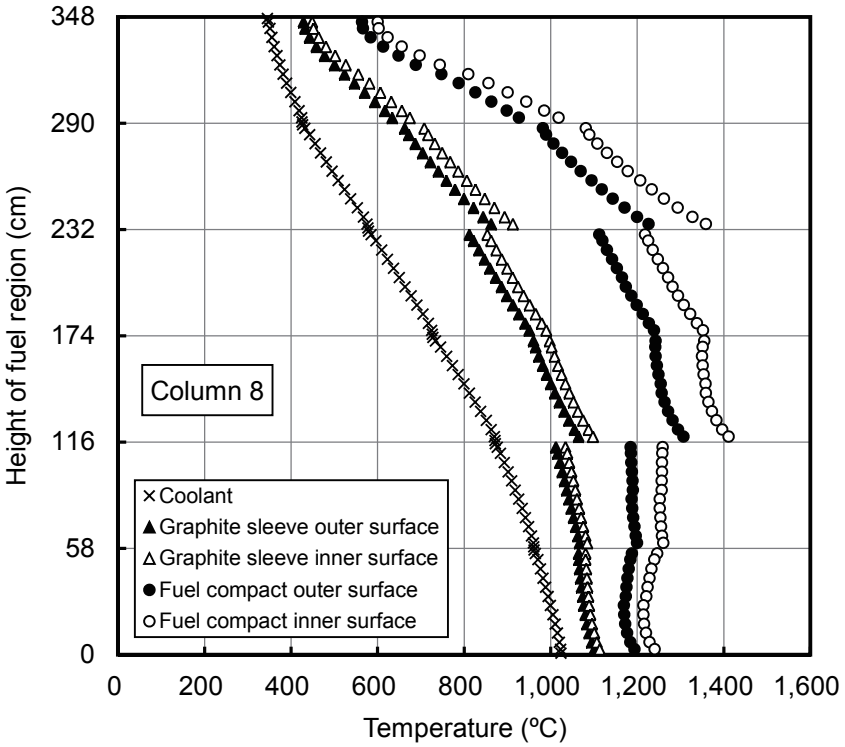


Fig. 5.2.25 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 600.

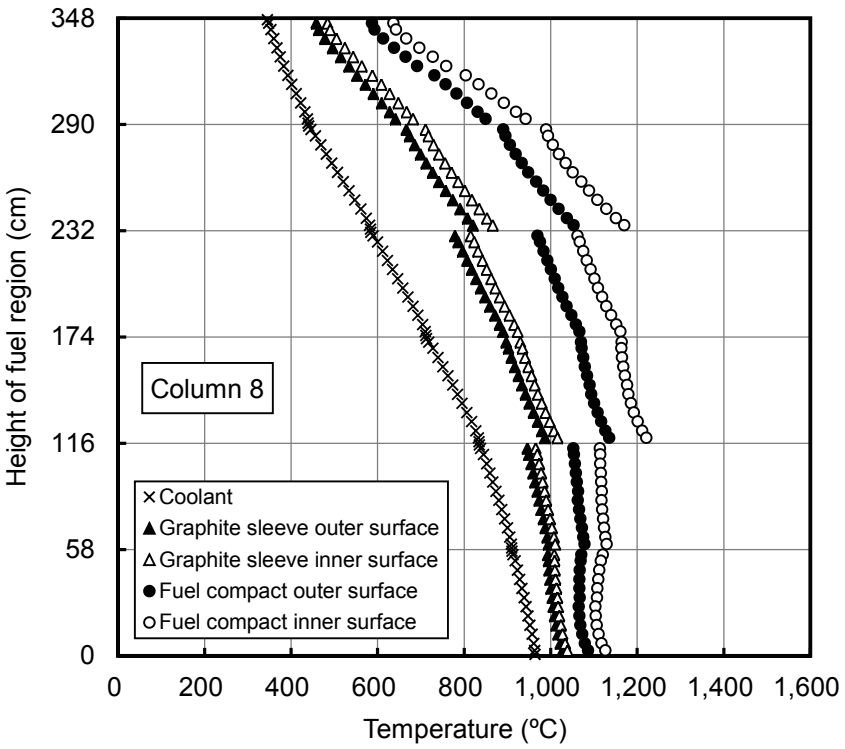


Fig. 5.2.26 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 700.

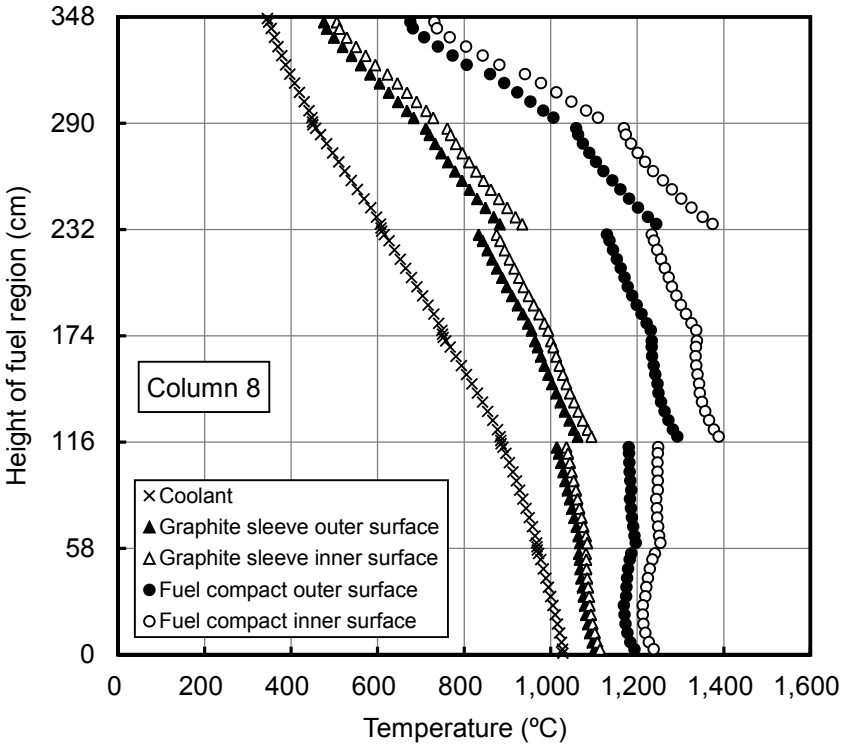


Fig. 5.2.27 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 700.

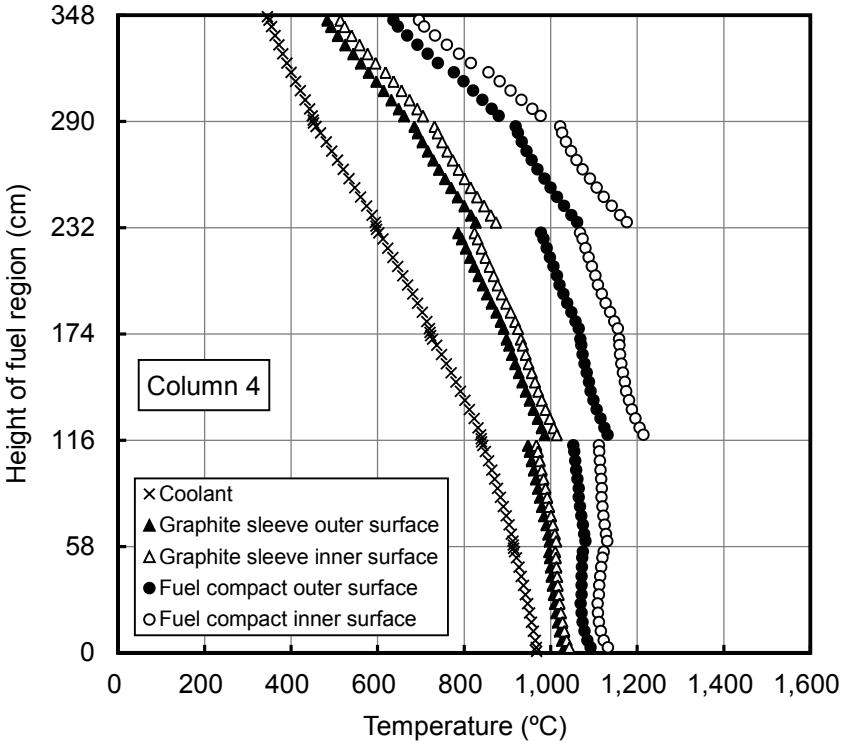


Fig. 5.2.28 Axial temperature distribution in appearance channel of nominal max. fuel temperature at EFPD 800.

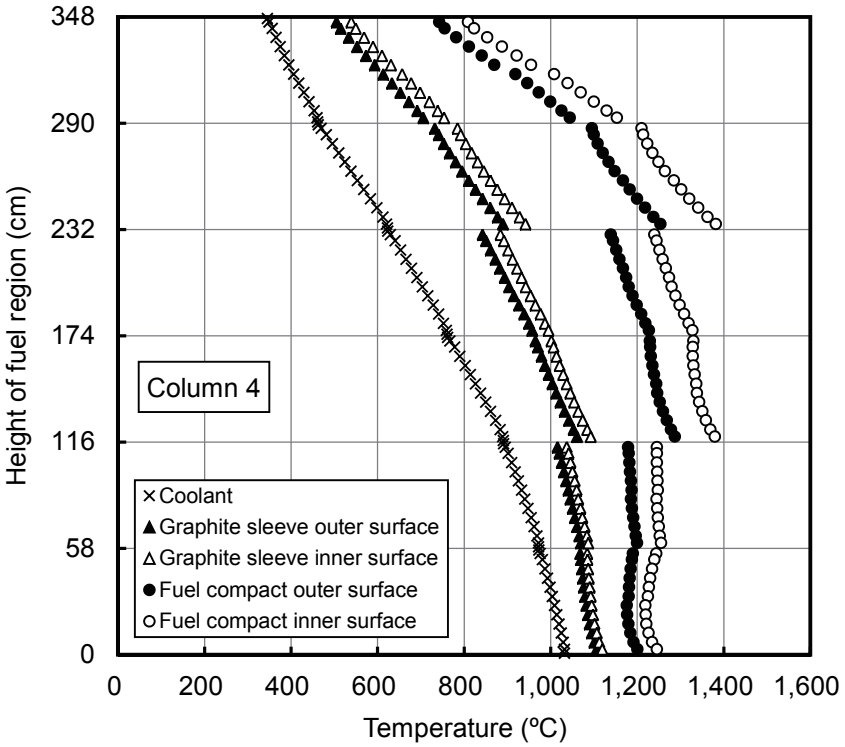


Fig. 5.2.29 Axial temperature distribution in appearance channel of systematic random max. fuel temperature at EFPD 800.

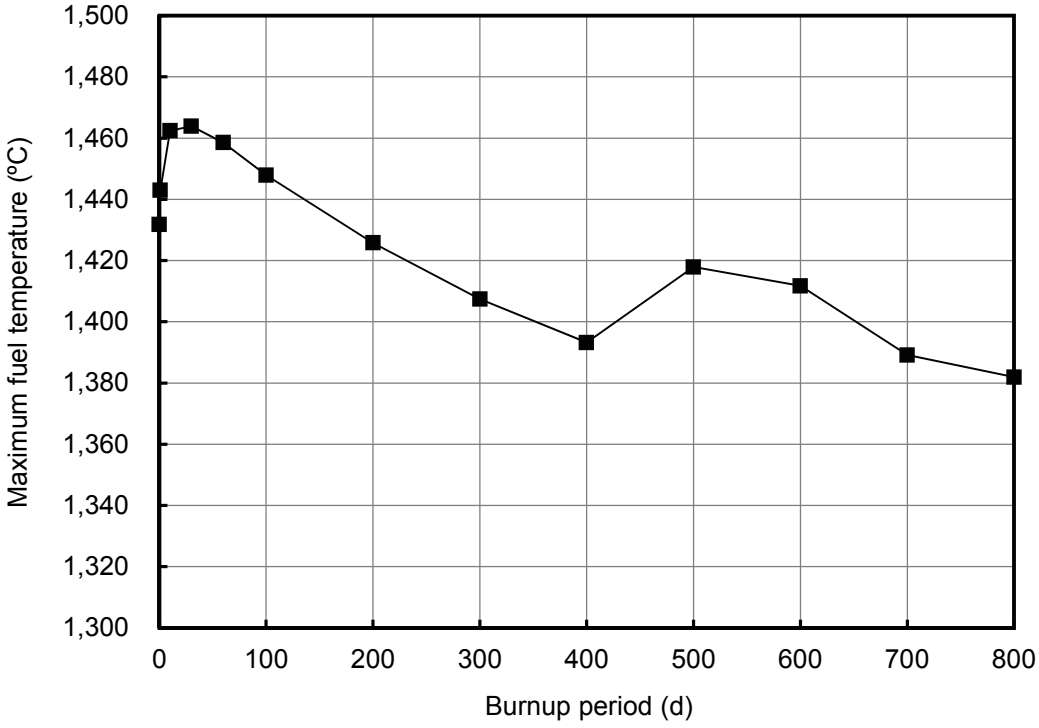


Fig. 5.2.30 Relationship between burnup period (EFPD) and maximum fuel temperature.

６．減圧事故時温度解析

HTR50S を対象に、１次冷却設備二重管の破断等により冷却材であるヘリウムガスが喪失する減圧事故事象における炉心の冷却性能を評価するため、安全解析（減圧事故時温度解析）を実施した。本章では、評価方針、解析手順と使用解析コード、解析モデルの概要、解析条件及び解析結果について述べる。

６．１　評価方針

本解析では、定格運転状態からの減圧事故を想定した場合の燃料最高温度及び炉容器最高温度を評価対象とする。評価に当っては、まず、ノミナル評価条件を用いて燃焼 0 日から 800 日までのサイクル期間における各燃焼日数での燃料最高温度及び炉容器最高温度を評価し、それぞれの温度が最も高くなる燃焼日数を求める。次に、求めた燃焼日数を対象に、運転条件及び物性値のばらつきについて保守的な解析条件を設定した評価を行い、燃料最高温度及び炉容器最高温度を導出する。

６．２　解析手順及び使用解析コード

HTR50S の事故時における安全解析は、核設計から得られた出力分布（出力密度分布）及び照射量分布を基に、熱出力、１次冷却材流量、熱出力の誤差、燃料最高温度に対する制限値の目安等を勘案して決定される。事故時における安全解析の流れを Fig. 6.1 に示す。安全解析は、炉内温度分布解析から成る。

本解析では、HTTR の設置許可申請において減圧事故の解析に用いられた２次元非定常熱伝導解析コード TAC-NC[6-1]を使用した。TAC-NC は米国ゼネラルアトミックス社が開発した TAC-2D[6-2]を改良し、事故時における原子炉内の自然循環挙動による伝熱評価を可能としている。TAC-2D のメインプログラムである RAT は、米国 Fort St. Vrain 炉の安全審査に用いられた実績を有し、さらに改良部分については減圧事故模擬試験のデータを用いた検証が行われており、十分な信頼性を有することが確認されている[6-3]。

TAC-NC では、炉心を等価な物性値を持つ均質体として取り扱い、その温度分布及び過渡挙動を非定常の熱伝導方程式を用いて計算する。冷却材は座標軸に平行な流れ方向に対して取り扱い、基礎式は流路において運動量保存式、プレナムにおいて連続の式及び状態方程式を考慮する。冷却材と構造材との交換熱量は、時間ステップ毎に計算し、非定常熱伝導方程式における発熱項として取り扱う。

HTR50S では、事故時において、燃料に対する制限温度は無いが、燃料粒子被覆層の有意な破損及び著しい劣化を生じさせないことが望ましいため、事故時における判断基準（1,600℃）を設定している。また、炉容器に対しては、使用材料の健全性の観点から判断基準（538℃ を目安）を設定している。詳細は、６．５節を参照のこと。これらの判断基準を超えた場合、炉心熱流動設計と同様に、安全解析及び核設計に戻って、これらの再検討を行う。

６．３　解析モデルの概要

解析には、前述の TAC-NC を使用した。解析対象のモデル図を Fig. 6.2 に示す。モデル化の範囲は炉容器と VCS とし、２次元軸対称でモデル化する。モデル形状は、HTR50S の炉容器及び炉内構造物の設計に基づき設定する。スタンドパイプ、フランジ等の構造物は、炉容器の最高温度発生位置から十分離れていることから考慮しない。燃料体及び可動反射体ブロックの領域は、リング（Fig. 6.2 中の R1～R5）毎に分割し、さらに燃料領域は１つのリングを厚さの等しい２つのメッシュに分割する。固定反射体領域は、径方向に等間隔で３分割する。また、燃料体及び下部可動反射体領域は１体当り軸方向に等間隔で２分割、高温プレナムブロック領域は軸方向に等間隔で３分割する。解析モデルの径方向及び軸方向座標を、以下のとおり設定する。

（１）径方向座標

・燃料体及び可動反射体ブロック領域の外径は、１ブロックの面間寸法についてカラム間ギャップ 2 mm を考慮した 36.2 cm とした場合に計算される領域面積と等価な面積を持つ円として設定する。
・固定反射体ブロック領域の外径は、炉心レベルにおける固定反射体（面間寸法 425 cm）の領域面積と等価な面積を持つ円として設定する。
・炉内構造物の設計に準じ、固定反射体ブロックと側部遮へい体ブロックの隙間を 5 cm、側部遮へい体の厚さを 9 cm とする。
・炉容器設計に準じ、炉容器の内径を 550 cm、肉厚を 7.7 cm とする。
・HTTR 設計に準じ、炉容器冷却パネルは外側半径 406.2 cm、内側半径 404.2 cm とし、内側に厚さ 0.2 cm の熱反射板を設け、熱反射板とパネル間のギャップを 2 cm とする。

（２）軸方向座標

・HTTR の設計に準じ、炉容器上鏡上面から VCS パネルまでの距離を 147 cm とする。
・炉容器設計に準じ、上鏡厚さを 10 cm とする。また、上鏡内面から上部遮へい体ブロック上面までの距離を 305cm とする。加えて、上鏡内側には、厚さ 15 cm の熱遮へい板領域を設ける。
・炉内構造物の設計に準じ、上部遮へい体ブロック高さ 30 cm、２段積みの上部可動反射体ブロック 1 体の高さ 58 cm、６段積みの燃料体 1 体の高さ 58 cm、２段積みの下部可動反射体ブロックは 1 体の高さ 58 cm、高温プレナムブロック領域高さ 90 cm（シール用ブロック及びキー結合用ブロックの合計高さ）、高温プレナム領域高さ 40 cm、プレナム下部ブロック高さ 35 cm、断熱ブロック高さ 30 cm、下端ブロック高さ 20cm 及び炉心支持板厚さ 9 cm に設定する。
・炉心支持板より下側の各領域の高さは、HTTR の設計と同じにする。

冷却材流路として、側部遮へい体内外の炉側部流路及び燃料チャンネル流路を、冷却材流路として考慮する。燃料チャンネル流路は、各リングにおける流路断面積と等価な流路としてモデル化する。通常運転時において冷却材は、炉側部流路を上昇し、上部プレナム空間で向きを反転して燃料チャンネル流路を下向きに流れる。事故時には、燃料チャンネル流路での自然循環流に応じて流れ方向が決定される。炉容器外表面から VCS への除熱については熱放射のみとし、対流による除熱は考慮しない。

６．４　解析条件

（１）燃焼日

燃焼 1 日、10 日、30 日、60 日、100 日、100 日以降は 100 日間隔毎の燃焼日とし、計 12 ケースを対象に解析を実施する。なお、設計対象の炉心燃焼サイクル期間は 730 日であるが、黒鉛ブロックの熱伝導率が燃焼の進行と共に低下することや、燃焼 700 日と 800 日の出力密度がほぼ変わらないことから、燃焼 800 日での評価が燃焼 730 日での燃料最高温度及び炉容器温度での評価を包絡するため、燃焼 800 日を燃焼サイクル終了時点の解析対象とする。

（２）初期定常運転状態

解析に用いる初期条件（通常運転時）を Table 6.1 に示す。

原子炉出力について、ノミナル評価においては設計定格熱出力である 50 MW を用いる。燃料最高温度及び炉容器最高温度を保守的に評価する場合においては、HTTR の安全審査時に用いた熱出力設定誤差 2%（１次冷却材温度、流量及び圧力の測定誤差に基づく）及び定常時の制御安定性設計値 0.5%の値を取り、評価項目に対して厳しい条件となる+2.5%を採用し[6-4]、初期定常運転における原子炉熱出力を 51.25 MW とする。

燃料チャンネルを流れる冷却材流量は、原子炉に流入する冷却材流量に対し、炉内冷却材流量配分解析により得られた炉心有効流量割合 88%（平均値）を乗じて得られる炉心有効流量が全冷却チャンネルに等分に配分されるとして設定する。

（３）出力分布

核設計により得られた評価対象燃焼日における出力分布を用い、リング２からリング４の燃料領域それぞれに対して軸方向に 12 分割したデータとして設定する。本解析で用いる出力分布割合（合計が 1.0 となるように規格化した値）を Table 6.2 に示す。

（４）中性子照射量

核設計により得られた評価対象燃焼日における高速中性子束を用い、各燃焼日間の平均中性子束及び燃焼日数を用いて算出した各領域の中性子照射量を用いる。HTR50S のプラント稼働率の目標値が 90%であることから、本評価では中性子照射量の計算にプラント稼働率を考慮しない。また、燃焼１日の中性子照射量はごくわずかであることから、中性子照射量を考慮しない。本評価で用いる高速中性子照射量を Table. 6.3 に示す。

（５）VCS パネル温度

VCS パネル温度を境界条件とし、通常運転時は水冷管パネル温度 60℃ とするが、事故時は VCS の最高使用温度（暫定）である 90℃ に設定する。

（６）崩壊熱

原子炉スクラム後の崩壊熱として、Shure の式の 1.2 倍にアクチノイド崩壊熱を合計したものを用

いる。なお、本解析では、暫定的に原子炉運転中の U-239 の生成率として HTTR の安全評価における値（燃焼 330 日の値の 1.2 倍）[6-1]を用いる。

（7）物性値

Table 6.4 に、本解析で用いる物性値の一覧を示す。また、Table 6.5 に炉容器の熱物性値[6-5]を、Table 6.6 に IG-110 の熱伝導率[6-6]を、Table 6.7 に炉心領域の等価熱伝導率を、Table 6.8 に炭素ブロック（ASR-0RB 相当）の熱伝導率を、Table 6.9 に固定反射体ブロック（PGX 黒鉛）及び下部プレナムブロックの熱伝導率を、Table 6.10 に燃料コンパクトの熱伝導率[6-7]を示す。

黒鉛の照射温度は、定常計算による黒鉛ブロック温度とし、測定温度は過渡計算における計算ステップ時点での黒鉛ブロック温度とする。なお、熱伝導率計算式の適用範囲である照射温度 350℃～1,527℃ 及び測定温度 27℃～1,527℃ を逸脱する温度範囲に関し、照射温度 350℃ 以下の熱伝導率は全て照射温度 350℃ と同一とし、照射温度及び測定温度が 1,527℃ を超える場合には外挿値を用いる。

燃料領域の水平方向の熱伝導率には、汎用有限要素法解析コード ANSYS[6-8]を用い、Fig. 6.3 に示す 33 ピンの燃料体平面形状をモデル化した解析体系にて高温側及び低温側の温度設定点に温度差 50℃の温度を設定し、伝熱解析により求められたた熱移動量を用いて、以下の式により等価熱伝導率を算出する。

$$\lambda_{eff} = \frac{Q}{A} \times \frac{L}{T_H - T_L} \tag{6.1}$$

ここで、λ_{eff}：燃料体水平方向等価熱伝導率（W/(m･K)）、Q：熱移動量（W）、A：断面積（m^2）、L：代表長さ（m）、T_H 及び T_L：高温及び低温側温度（℃）である。本解析では、ブロック間ギャップでの熱伝導は TAC-NC のモデルで見込むことから、ギャップ材質を IG-110 として取り扱う。また、燃料コンパクトと黒鉛スリーブ間では、熱放射を考慮する。計算により得られたノミナル評価用の等価熱伝導率を Table 6.7 (a)に、保守的評価の内、燃料最高温度評価用の等価熱伝導率を Table 6.7 (b)に示す。また、炉容器温度の最高温度評価では中性子照射の影響は考慮しないため、未照射の燃料体の等価熱伝導率である Table 6.7 (c)の値を用いる。

燃料領域の軸方向の熱伝導率は、燃料体上下面に占める燃料棒と黒鉛分の表面積の割合を勘案した Table 6.4 に示す計算式を用いて導出する。

炉心中心部及び周辺部の制御棒案内カラムを含む領域での熱伝導率は、IG-110 単体の熱伝導率に制御棒案内ブロック断面の黒鉛割合（全領域断面積から制御棒挿入孔空隙割合を控除した表面積と全領域断面積との比）を乗じた Table 6.4 に示す計算式を用いて導出する。

６．５　判断基準

（1）燃料温度

HTR50S を含む小型高温ガス炉システムの安全設計方針において、事故時の判断基準は「炉心は大きな損傷にいたることなく、かつ、十分な冷却が可能であること。」としており、燃料温度に対する制限値を設けていない。ただし、燃料粒子被覆層に有意な破損を与えないことが望ましいことから、1,600℃ を燃料の健全性に関する判断基準とする。

（2）炉容器温度

HTR50S における炉容器の使用材料である調質 Mn-Mo 鋼が十分に安定した特性及び強度を確保できる温度として、ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case N-499-1[6-9]の供用状態 C 及び D の規定である 538°C を判断基準とする。

６．６　解析結果及び評価

（1）ノミナル条件を用いた燃料最高温度及び炉容器最高温度の評価

燃焼日数毎の燃料最高温度及び炉容器最高温度の解析結果を Table 6.11 に示す。燃焼初期には発熱密度が高いものの、黒鉛ブロックの中性子照射量が少ないことから熱伝導率が高く、燃料最高温度は低い結果となった。一方、炉容器最高温度については、発熱密度が高く、かつ、黒鉛ブロックの熱伝導率が高い燃焼初期において最も高い値を示す。燃料最高温度は、燃焼 800 日が最も高く 1,215°C であった。炉容器最高温度は、燃焼 1 日が最も高く 328°C であった。

以上の結果から、保守的条件を考慮に入れた評価において用いる出力分布及び中性子照射量について、燃料最高温度の評価に対しては燃焼 800 日のものを、炉容器最高温度評価に対しては燃焼 1 日のものを用いる。

（2）保守的条件を用いた燃料最高温度の評価

ノミナル条件下での燃料最高温度及び燃焼 800 日の出力分布・中性子照射量と６．４節に記載の保守的条件を用いた燃料最高温度の過渡挙動を Fig. 6.4 に示す。燃料最高温度は、ノミナル条件を用いた場合、約 24 時間後にピークを示すのに対し、保守的条件を用いた場合、黒鉛ブロックの熱伝導率の低下により炉心の冷却性能が低下するため約 33 時間後にピークを示した。この時、燃料最高温度の上昇は 1,363°C にとどまり、ノミナル条件を用いた場合に比べ約 148°C 高い結果となるものの、判断基準である 1,600°C を満足することから炉心の健全性が確保されることがわかった。

保守的条件下において、燃料最高温度を示す軸方向及び径方向座標における通常運転時（0 時間）から燃料温度がピークに達する 33 時間までの径方向温度分布の変化（軸方向において燃料温度が最も高くなる位置）及び軸方向温度分布の変化を、それぞれ Fig. 6.5 及び Fig. 6.6 に示す。径方向においては、事故発生に伴う原子炉内での強制循環流の停止により、VCS から最も距離が遠く、かつ、崩壊熱が生じる燃料領域内側において最も高い燃料温度となった。本評価条件では、黒鉛の熱伝導率が低いことから、燃料領域の中心と周辺部での温度差は最大約 430°C に達した。軸方向においては、燃料領域の最下段から燃料領域の２段目において最も高い燃料温度となった。これは、冷却材の流れが止まることにより冷却能力が低下するためであり、出力密度の最大位置と軸方向での燃料最高温度位置が重なる結果となった。

（3）保守的条件を用いた炉容器最高温度の評価

ノミナル条件下での炉容器最高温度及び燃焼 1 日の出力分布・中性子照射量と保守的条件を考慮した炉容器最高温度の過渡挙動を Fig. 6.7 に示す。炉容器最高温度は、ノミナル条件を用いた場合、炉容器の最高温度は約 18 時間後にピークを示すのに対し、保守的条件を用いた場合、輻射率や黒鉛ブ

ロック熱伝導率の向上により炉心の冷却性能が向上するためピーク発生時間が早まり、約 10 時間後にピークを示した。この時、炉容器最高温度は 374℃ であり、ノミナル条件を用いた場合に比べ約 46℃ 上昇するものの、判断基準である 538℃ を満足することから、炉容器の健全性に問題がないことがわかった。

保守的条件下において、炉容器最高温度を示す軸方向及び径方向座標での通常運転時（0 時間）から炉容器温度がピークに達する 10 時間までの径方向温度分布の変化及び軸方向温度分布の変化を、それぞれ Fig. 6.8 及び Fig. 6.9 に示す。（２）の燃料最高温度評価と同様に、径方向においては、燃料領域内側において最も高い燃料温度となった。軸方向においては、事故発生により原子炉内での強制循環流が喪失すると、燃料領域下段位置における炉容器温度は上昇するものの、ピークの出現する位置は出力密度の最大位置と一致しなかった。これは、強制循環流の停止により、崩壊熱が生じない上部可動反射体温度が低下し、燃料領域上段での温度上昇が低減されるためである。

本章では、HTR50S の減圧事故時における冷却性能評価として、保守的条件を考慮した燃料最高温度及び炉容器温度の評価結果について述べた。評価の結果、燃焼サイクル期間を通して、燃料温度及び炉容器温度はそれぞれの判断基準を満足し、燃料及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が損なわれることがないことを明らかにした。

Table 6.1 Analysis conditions for steady state

Conditions	Values
Reactor thermal power	50 MW (Nominal)
	51.25 MW (Conservative)
Coolant pressure	4.0 MPa
Core inlet temperature	325˚C (Nominal)
	345˚C (Conservative)
Core flow rate	19.9 kg/s

Table 6.2 Power distribution used in depressurization accident analysis (1/5)

(a) EFPD 1

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0173	0.0160	0.0587
	Lower part	0.0274	0.0255	0.0880
Layer-2	Upper part	0.0271	0.0253	0.0894
	Lower part	0.0275	0.0256	0.0907
Layer-3	Upper part	0.0192	0.0176	0.0644
	Lower part	0.0181	0.0164	0.0591
Layer-4	Upper part	0.0150	0.0136	0.0489
	Lower part	0.0132	0.0119	0.0432
Layer-5	Upper part	0.0105	0.00968	0.0262
	Lower part	0.00887	0.00820	0.0224
Layer-6	Upper part	0.00675	0.00623	0.0168
	Lower part	0.00582	0.00535	0.0141

(b) EFPD 10

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0198	0.0183	0.0653
	Lower part	0.0294	0.0273	0.0935
Layer-2	Upper part	0.0282	0.0263	0.0922
	Lower part	0.0279	0.0260	0.0915
Layer-3	Upper part	0.0191	0.0175	0.0638
	Lower part	0.0176	0.0160	0.0576
Layer-4	Upper part	0.0143	0.0130	0.0466
	Lower part	0.0123	0.0111	0.0402
Layer-5	Upper part	0.00954	0.00879	0.0238
	Lower part	0.00790	0.00731	0.0200
Layer-6	Upper part	0.00591	0.00545	0.0148
	Lower part	0.00503	0.00463	0.0122

Table 6.2 Power distribution used in depressurization accident analysis (2/5)

(c) EFPD 30

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0192	0.0177	0.0633
	Lower part	0.0288	0.0267	0.0910
Layer-2	Upper part	0.0280	0.0261	0.0909
	Lower part	0.0281	0.0262	0.0909
Layer-3	Upper part	0.0196	0.0178	0.0643
	Lower part	0.0182	0.0164	0.0584
Layer-4	Upper part	0.0148	0.0133	0.0474
	Lower part	0.0126	0.0114	0.0410
Layer-5	Upper part	0.00982	0.00903	0.0244
	Lower part	0.00810	0.00747	0.0204
Layer-6	Upper part	0.00603	0.00555	0.0150
	Lower part	0.00512	0.00470	0.0124

(d) EFPD 60

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0183	0.0169	0.0602
	Lower part	0.0276	0.0256	0.0870
Layer-2	Upper part	0.0275	0.0255	0.0884
	Lower part	0.0280	0.0259	0.0896
Layer-3	Upper part	0.0200	0.0182	0.0647
	Lower part	0.0188	0.0169	0.0594
Layer-4	Upper part	0.0155	0.0139	0.0488
	Lower part	0.0133	0.0120	0.0425
Layer-5	Upper part	0.0104	0.00955	0.0256
	Lower part	0.00861	0.00792	0.0215
Layer-6	Upper part	0.00642	0.00590	0.0159
	Lower part	0.00546	0.00500	0.0131

(e) EFPD 100

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0172	0.0159	0.0567
	Lower part	0.0261	0.0242	0.0822
Layer-2	Upper part	0.0268	0.0248	0.0852
	Lower part	0.0278	0.0256	0.0878
Layer-3	Upper part	0.0204	0.0184	0.0649
	Lower part	0.0194	0.0174	0.0604
Layer-4	Upper part	0.0163	0.0146	0.0505
	Lower part	0.0142	0.0127	0.0445
Layer-5	Upper part	0.0112	0.0102	0.0273
	Lower part	0.00931	0.00854	0.0231
Layer-6	Upper part	0.00699	0.00640	0.0172
	Lower part	0.00595	0.00544	0.0142

Table 6.2 Power distribution used in depressurization accident analysis (3/5)

(f) EFPD 200

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0130	0.0120	0.0439
	Lower part	0.0213	0.0198	0.0679
Layer-2	Upper part	0.0243	0.0224	0.0763
	Lower part	0.0269	0.0247	0.0832
Layer-3	Upper part	0.0211	0.0190	0.0656
	Lower part	0.0210	0.0188	0.0639
Layer-4	Upper part	0.0185	0.0165	0.0559
	Lower part	0.0167	0.0149	0.0512
Layer-5	Upper part	0.0137	0.0124	0.0328
	Lower part	0.0116	0.0106	0.0285
Layer-6	Upper part	0.00893	0.00814	0.0216
	Lower part	0.00770	0.00700	0.0181

(g) EFPD 300

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0100	0.00927	0.0348
	Lower part	0.0178	0.0165	0.0572
Layer-2	Upper part	0.0223	0.0205	0.0692
	Lower part	0.0261	0.0238	0.0793
Layer-3	Upper part	0.0213	0.0192	0.0656
	Lower part	0.0219	0.0196	0.0662
Layer-4	Upper part	0.0200	0.0178	0.0598
	Lower part	0.0186	0.0165	0.0562
Layer-5	Upper part	0.0156	0.0141	0.0372
	Lower part	0.0135	0.0124	0.0329
Layer-6	Upper part	0.0106	0.00961	0.0254
	Lower part	0.00922	0.00836	0.0215

(h) EFPD 400

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.00792	0.00733	0.0283
	Lower part	0.0151	0.0140	0.0490
Layer-2	Upper part	0.0206	0.0190	0.0636
	Lower part	0.0251	0.0229	0.0760
Layer-3	Upper part	0.0210	0.0191	0.0653
	Lower part	0.0222	0.0200	0.0678
Layer-4	Upper part	0.0209	0.0187	0.0629
	Lower part	0.0199	0.0178	0.0603
Layer-5	Upper part	0.0171	0.0156	0.0408
	Lower part	0.0151	0.0138	0.0365
Layer-6	Upper part	0.0120	0.0109	0.0287
	Lower part	0.0106	0.00960	0.0246

Table 6.2 Power distribution used in depressurization accident analysis (4/5)

(i) EFPD 500

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.00640	0.00593	0.0236
	Lower part	0.0129	0.0120	0.0424
Layer-2	Upper part	0.0189	0.0175	0.0589
	Lower part	0.0238	0.0219	0.0729
Layer-3	Upper part	0.0203	0.0186	0.0647
	Lower part	0.0219	0.0200	0.0688
Layer-4	Upper part	0.0212	0.0192	0.0655
	Lower part	0.0208	0.0188	0.0640
Layer-5	Upper part	0.0184	0.0168	0.0442
	Lower part	0.0166	0.0152	0.0402
Layer-6	Upper part	0.0134	0.0122	0.0320
	Lower part	0.0119	0.0108	0.0278

(j) EFPD 600

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.00837	0.00777	0.0293
	Lower part	0.0149	0.0139	0.0484
Layer-2	Upper part	0.0197	0.0184	0.0620
	Lower part	0.0234	0.0218	0.0734
Layer-3	Upper part	0.0192	0.0179	0.0635
	Lower part	0.0203	0.0189	0.0667
Layer-4	Upper part	0.0197	0.0182	0.0633
	Lower part	0.0194	0.0178	0.0618
Layer-5	Upper part	0.0174	0.0161	0.0427
	Lower part	0.0159	0.0147	0.0391
Layer-6	Upper part	0.0131	0.0119	0.0314
	Lower part	0.0118	0.0107	0.0274

(k) EFPD 700

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0124	0.0116	0.0407
	Lower part	0.0177	0.0166	0.0570
Layer-2	Upper part	0.0210	0.0196	0.0667
	Lower part	0.0233	0.0219	0.0744
Layer-3	Upper part	0.0181	0.0171	0.0616
	Lower part	0.0187	0.0176	0.0631
Layer-4	Upper part	0.0178	0.0167	0.0593
	Lower part	0.0175	0.0163	0.0577
Layer-5	Upper part	0.0158	0.0148	0.0398
	Lower part	0.0147	0.0136	0.0366
Layer-6	Upper part	0.0122	0.0112	0.0297
	Lower part	0.0111	0.0101	0.0261

Table 6.2 Power distribution used in depressurization accident analysis (5/5)

(l) EFPD 800

Place		R2	R3	R4
Layer-1	Upper part	0.0148	0.0138	0.0475
	Lower part	0.0188	0.0177	0.0608
Layer-2	Upper part	0.0212	0.0200	0.0684
	Lower part	0.0227	0.0216	0.0740
Layer-3	Upper part	0.0173	0.0165	0.0601
	Lower part	0.0176	0.0167	0.0610
Layer-4	Upper part	0.0167	0.0158	0.0571
	Lower part	0.0165	0.0155	0.0557
Layer-5	Upper part	0.0151	0.0142	0.0387
	Lower part	0.0142	0.0133	0.0360
Layer-6	Upper part	0.0121	0.0111	0.0296
	Lower part	0.0112	0.0102	0.0263

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (1/6)

(a) EFPD 10 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	14	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (2/6)

(b) EFPD 30 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
	10	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
	12	0.05	0.08	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
	14	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	16	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	18	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

(c) EFPD 60 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
	10	0.11	0.16	0.16	0.13	0.13	0.14	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.11	0.16	0.16	0.13	0.13	0.14	0.14	0.03	0.00	0.00	0.00
	12	0.10	0.15	0.15	0.12	0.12	0.14	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.08	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00
	14	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
	16	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	18	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (3/6)

(d) EFPD 100 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.11	0.17	0.17	0.13	0.13	0.15	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00
	10	0.17	0.25	0.25	0.20	0.20	0.22	0.22	0.04	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.18	0.27	0.27	0.22	0.22	0.24	0.24	0.04	0.00	0.00	0.00
	12	0.17	0.25	0.25	0.21	0.21	0.23	0.23	0.04	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.14	0.20	0.20	0.17	0.17	0.18	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00
	14	0.12	0.17	0.17	0.14	0.14	0.15	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.10	0.15	0.15	0.12	0.12	0.13	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00
	16	0.09	0.12	0.12	0.10	0.10	0.11	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.07	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
	18	0.06	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.04	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	20	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

(e) EFPD 200 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.20	0.30	0.30	0.24	0.24	0.28	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00
	10	0.32	0.47	0.47	0.38	0.38	0.42	0.42	0.07	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.36	0.51	0.51	0.42	0.42	0.45	0.45	0.08	0.00	0.00	0.00
	12	0.35	0.51	0.51	0.41	0.41	0.44	0.44	0.08	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.30	0.42	0.42	0.34	0.34	0.36	0.36	0.07	0.00	0.00	0.00
	14	0.26	0.37	0.37	0.30	0.30	0.32	0.32	0.06	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.22	0.32	0.32	0.25	0.25	0.27	0.27	0.05	0.00	0.00	0.00
	16	0.19	0.27	0.27	0.22	0.22	0.23	0.23	0.04	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.16	0.22	0.22	0.17	0.17	0.16	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00
	18	0.13	0.18	0.18	0.14	0.14	0.13	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.10	0.14	0.14	0.11	0.11	0.10	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00
	20	0.07	0.10	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (4/6)

(f) EFPD 300 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.27	0.41	0.41	0.33	0.33	0.38	0.38	0.06	0.00	0.00	0.00
	10	0.44	0.66	0.66	0.53	0.53	0.58	0.58	0.10	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.52	0.74	0.74	0.60	0.60	0.65	0.65	0.12	0.00	0.00	0.00
	12	0.52	0.75	0.75	0.61	0.61	0.65	0.65	0.12	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.45	0.64	0.64	0.52	0.52	0.55	0.55	0.10	0.00	0.00	0.00
	14	0.41	0.58	0.58	0.46	0.46	0.49	0.49	0.09	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.36	0.51	0.51	0.41	0.41	0.43	0.43	0.08	0.00	0.00	0.00
	16	0.31	0.44	0.44	0.35	0.35	0.37	0.37	0.06	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.27	0.37	0.37	0.28	0.28	0.26	0.26	0.05	0.00	0.00	0.00
	18	0.22	0.30	0.30	0.23	0.23	0.21	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.17	0.24	0.24	0.18	0.18	0.16	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00
	20	0.12	0.17	0.17	0.13	0.13	0.12	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

(g) EFPD 400 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.32	0.49	0.49	0.40	0.40	0.46	0.46	0.08	0.00	0.00	0.00
	10	0.55	0.81	0.81	0.66	0.66	0.72	0.72	0.12	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.66	0.95	0.95	0.77	0.77	0.83	0.83	0.15	0.00	0.00	0.00
	12	0.69	0.99	0.99	0.80	0.80	0.86	0.86	0.15	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.61	0.86	0.86	0.69	0.69	0.74	0.74	0.13	0.00	0.00	0.00
	14	0.56	0.80	0.80	0.64	0.64	0.67	0.67	0.12	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.50	0.71	0.71	0.57	0.57	0.60	0.60	0.11	0.00	0.00	0.00
	16	0.45	0.63	0.63	0.50	0.50	0.52	0.52	0.09	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.39	0.53	0.53	0.41	0.41	0.38	0.38	0.07	0.00	0.00	0.00
	18	0.32	0.44	0.44	0.34	0.34	0.31	0.31	0.05	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.25	0.35	0.35	0.26	0.26	0.24	0.24	0.04	0.00	0.00	0.00
	20	0.18	0.25	0.25	0.19	0.19	0.17	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (5/6)

(h) EFPD 500 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.37	0.55	0.55	0.45	0.45	0.50	0.50	0.09	0.00	0.00	0.00
	10	0.65	0.93	0.93	0.76	0.76	0.80	0.80	0.15	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.80	1.12	1.12	0.92	0.92	0.94	0.94	0.18	0.00	0.00	0.00
	12	0.85	1.19	1.19	0.96	0.96	0.98	0.98	0.18	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.77	1.05	1.05	0.86	0.86	0.85	0.85	0.16	0.00	0.00	0.00
	14	0.71	0.98	0.98	0.79	0.79	0.79	0.79	0.15	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.65	0.90	0.90	0.72	0.72	0.71	0.71	0.14	0.00	0.00	0.00
	16	0.59	0.80	0.80	0.64	0.64	0.62	0.62	0.12	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.51	0.68	0.68	0.53	0.53	0.46	0.46	0.09	0.00	0.00	0.00
	18	0.44	0.58	0.58	0.44	0.44	0.37	0.37	0.07	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.35	0.46	0.46	0.35	0.35	0.29	0.29	0.06	0.00	0.00	0.00
	20	0.25	0.33	0.33	0.25	0.25	0.21	0.21	0.04	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	22	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

(i) EFPD 600 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.42	0.61	0.61	0.50	0.50	0.54	0.54	0.10	0.00	0.00	0.00
	10	0.75	1.05	1.05	0.86	0.86	0.88	0.88	0.17	0.00	0.00	0.00
L2	11	0.94	1.29	1.29	1.06	1.06	1.04	1.04	0.21	0.00	0.00	0.00
	12	1.00	1.38	1.38	1.13	1.13	1.10	1.10	0.22	0.00	0.00	0.00
L3	13	0.91	1.23	1.23	1.01	1.01	0.97	0.97	0.20	0.00	0.00	0.00
	14	0.86	1.16	1.16	0.95	0.95	0.90	0.90	0.18	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.80	1.07	1.07	0.87	0.87	0.82	0.82	0.17	0.00	0.00	0.00
	16	0.72	0.97	0.97	0.78	0.78	0.72	0.72	0.15	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.64	0.84	0.84	0.66	0.66	0.54	0.54	0.11	0.00	0.00	0.00
	18	0.55	0.71	0.71	0.55	0.55	0.44	0.44	0.09	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.45	0.57	0.57	0.44	0.44	0.35	0.35	0.07	0.00	0.00	0.00
	20	0.32	0.42	0.42	0.32	0.32	0.25	0.25	0.05	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	22	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.3 Fast neutron fluences used in depressurization accident analysis (6/6)

(j) EFPD 700 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.49	0.70	0.70	0.58	0.58	0.63	0.63	0.12	0.00	0.00	0.00
	10	0.86	1.20	1.20	0.99	0.99	1.02	1.02	0.19	0.00	0.00	0.00
L2	11	1.08	1.49	1.49	1.23	1.23	1.22	1.22	0.24	0.01	0.01	0.01
	12	1.16	1.60	1.60	1.31	1.31	1.29	1.29	0.25	0.01	0.01	0.01
L3	13	1.06	1.43	1.43	1.18	1.18	1.15	1.15	0.23	0.01	0.01	0.01
	14	1.00	1.36	1.36	1.12	1.12	1.08	1.08	0.21	0.00	0.00	0.00
L4	15	0.93	1.27	1.27	1.03	1.03	0.99	0.99	0.20	0.00	0.00	0.00
	16	0.85	1.16	1.16	0.93	0.93	0.88	0.88	0.17	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.77	1.01	1.01	0.79	0.79	0.66	0.66	0.13	0.00	0.00	0.00
	18	0.66	0.87	0.87	0.67	0.67	0.55	0.55	0.11	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.54	0.70	0.70	0.54	0.54	0.43	0.43	0.09	0.00	0.00	0.00
	20	0.39	0.52	0.52	0.39	0.39	0.32	0.32	0.06	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	22	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

(k) EFPD 800 ($\times 10^{25}$ n/m^2)

Position		R1	R2		R3		R4		SR	PR		
	Mesh#	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
UR	7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00
L1	9	0.57	0.83	0.83	0.68	0.68	0.74	0.74	0.13	0.00	0.00	0.00
	10	0.98	1.38	1.38	1.14	1.14	1.18	1.18	0.22	0.00	0.00	0.00
L2	11	1.23	1.71	1.71	1.40	1.40	1.41	1.41	0.27	0.01	0.01	0.01
	12	1.31	1.83	1.83	1.50	1.50	1.49	1.49	0.29	0.01	0.01	0.01
L3	13	1.20	1.63	1.63	1.35	1.35	1.33	1.33	0.26	0.01	0.01	0.01
	14	1.13	1.55	1.55	1.28	1.28	1.25	1.25	0.24	0.01	0.01	0.01
L4	15	1.06	1.45	1.45	1.19	1.19	1.16	1.16	0.22	0.01	0.01	0.01
	16	0.98	1.33	1.33	1.08	1.08	1.03	1.03	0.20	0.00	0.00	0.00
L5	17	0.88	1.17	1.17	0.92	0.92	0.78	0.78	0.15	0.00	0.00	0.00
	18	0.77	1.01	1.01	0.79	0.79	0.65	0.65	0.13	0.00	0.00	0.00
L6	19	0.63	0.82	0.82	0.64	0.64	0.52	0.52	0.10	0.00	0.00	0.00
	20	0.45	0.61	0.61	0.46	0.46	0.38	0.38	0.07	0.00	0.00	0.00
LR	21	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
	22	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.05	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

See Fig.6.2 for Mesh #.

(UR: Upper reflector, L: Layer, LR: Lower reflector, R: Ring, SR: Side reflector, PR: Permanent reflector)

Table 6.4 Thermal properties used in depressurization accident analysis (1/4)

Material name	Thermal conductivity (W/(m・K))	Volumetric capacity (kJ/(m^3・K))	Emissivity
Reactor Pressure Vessel (RPV), VCS panel (SA533/SA508)	Table 6.5	Table 6.5	Nominal: 0.6(6-1) Fuel: 0.6(6-1) RPV: 1.0(6-1)
Thermal shield(6-1) (SUS304)	$\lambda = 0.0125(T - 273.15) + 11.5$	$\rho C_p = 4.186 \times 0.238846 \times 7890 \times \left[2.25 \times 10^{-4}(T - 273.15) + 0.421\right]$	Nominal: 0.68 Fuel: 0.36 RPV: 1.0
Upper shield(6-1) (SUS304 + B_4C/C)	$\lambda = \left[0.0125(T - 273.15) + 11.5\right] \times 0.667 + C_1 \times 0.333 \times 1.163$ Nominal: C_1=16.2 Fuel: C_1=7.2 RPV: C_1=25.2	$\rho C_p = 4.186 \times 0.238846 \times 7890 \times \left[2.25 \times 10^{-4}(T - 273.15) + 0.421\right] \times C_2 \times 0.333$ $C_2 = \begin{pmatrix} 0.54212 - 2.42667 \times 10^{-6} T - 90.2725 T^{-1} \\ -4.34493 \times 10^4 T^{-2} + 1.59309 \times 10^7 T^3 \\ -1.43668 \times 10^9 T^{-4} \end{pmatrix} \times 1750$	Nominal: 0.68 Fuel: 0.36 RPV: 1.0
Replaceable reflector(6-1) (IG-110)	$\lambda = \lambda_{IG-110} \times 0.8778$ λ_{IG-110}: Table 6.6	$\rho C_p = 4.186 \times C_2 \times 0.84879$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0

Table 6.4　Thermal properties used in depressurization accident analysis (2/4)

Material name	Thermal conductivity （W/(m･K)）	Volumetric capacity （kJ/(m^3･K)）	Emissivity
Core region[6-1]	Radial direction: $\lambda = \lambda_{eff} \times \frac{30}{37} + \lambda_{IG-110} \times 0.6824 \times \frac{7}{37}$ Axial direction: $\lambda = 0.155 \times 10.8 + 0.845 \times \lambda_{IG-110} \times \frac{30}{37} + \lambda_{IG-110} \times 0.6824 \times \frac{7}{37}$ λ_{eff} : Table 6.7	$\rho C_p = 4.186 \times \left[C_2 \times (0.65606 + 0.08464) + C_3 \times 0.1058\right]$ $C_3 = \left(\begin{array}{l} 0.115689 + 5.387149 \times 10^{-4} T - 6.27977 \times 10^{-7} T^2 \\ + 3.82411 \times 10^{-10} T^3 - 1.12556 \times 10^{-13} T^4 \\ + 1.27705 \times 10^{-17} T^5 \end{array}\right) \times 2460$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Side reflector[6-1] (IG-110)	$\lambda = \lambda_{IG-110} \times 0.9206$	$\rho C_p = 4.186 \times C_2 \times 0.9206$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Hot plenum block[6-1] (IG-110)	$\lambda = \lambda_{IG-110} \times 0.887$	$\rho C_p = 4.186 \times C_2 \times 0.887$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0

Table 6.4 Thermal properties used in depressurization accident analysis (3/4)

Material name	Thermal conductivity (W/(m·K))	Volumetric capacity (kJ/(m^3·K))	Emissivity
Center control rod guide block[6-1]	$\lambda = \lambda_{IG-110} \times 0.6824$	$\rho C_p = 4.186 \times C_2 \times 0.6824$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Carbon block[6-1] (ASR-0RB)	Table 6.8	$\rho C_p = 4.186 \times \left(\begin{array}{l} 0.508433 + 96.0852 T^{-1} - 2.13944 \times 10^5 T^{-2} \\ + 7.37673 \times 10^7 T^{-3} - 8.13649 \times 10^3 T^{-4} \end{array} \right) \times 1650$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Support rib (SA533)	Multiply 0.261[6-1] to the value in Table 2.5	Multiply 0.261[6-1] to the value in Table 2.5	Nominal: 0.8[6-1] Fuel: 0.6[6-1] RPV: 1.0[6-1]
Reactor cavity[6-1]	Radial direction: $\lambda = 10000$ Axial direction: $\lambda = 0$	$\rho C_p = 10$	0.6
Reactor surroundings[6-1]	Radial direction: $\lambda = 10$ Axial direction: $\lambda = 10000$	$\rho C_p = 10$	Nominal: 0.8 Fuel: 0.6 RPV: 1.0

Table 6.4 Thermal properties used in depressurization accident analysis (4/4)

Material name	Thermal conductivity (W/(m・K))	Volumetric capacity (kJ/(m^3・K))	Emissivity
Permanent reflector, Lower plenum block[6-1] (PGX)	Table 6.9	$\rho C_p = 4.186 \times C_2$	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Core support plate[6-1] (Cr-Mo Steel)	$\lambda = 21.5 \times 1.488 \times 1.163$ (T_F<555.37) $\lambda = \left(-5.2817 \times 10^{-7} T_F + 24.352\right) \times 1.488 \times 1.163$ (555.37<T_F<949.82)	$\rho C_p = \dfrac{4.186 \times C_3}{0.092903 \times \left(-1.8867 \times 10^{-7} T_F + 0.428\right)}$	Nominal: 0.8 Fuel: 0.8 RPV: 1.0
Side shielding[6-1] (SUS304 + B_4C/C)	$\lambda = \left[0.0125\left(T - 273.15\right) + 11.5\right] \times 0.468$ $+ C_1 \times 0.532 \times 1.163$	$\rho C_p = 4.186 \times 0.238846 \times 7890$ $\times \left[2.25 \times 10^{-4}\left(T - 273.15\right) + 0.468\right] \times C_2 \times 0.532$	Nominal: 0.68 Fuel: 0.36 RPV: 1.0
Fuel compact*1	Table 6.10	—	Nominal: 0.9 Fuel: 0.8 RPV: 1.0

T_F: Temperature (°F)

*1: Thermal conductivity and emissivity are used in ANSYS to calculate effective thermal conductivity of core region.

Table 6.5 Thermal properties of reactor pressure vessel[6-5]

Temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))	Volumetric capacity (kJ/(m^3・K))
293.15	41.0	3454.08
373.15	40.6	3731.61
473.15	40.1	4083.49
573.15	38.7	4387.77
673.15	36.8	4711.89
773.15	34.8	5140.32
873.15	32.8	5764.32
973.15	29.1	6659.05

Table 6.6 Thermal conductivity of IG-110 (1/4)[6-6]

(a) Un-irradiated graphite

Measured temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))
573.15	88.9
673.15	79.6
773.15	71.9
873.15	65.5
973.15	60.2
1073.15	55.8
1173.15	52.2
1273.15	49.2
1373.15	46.8
1473.15	44.7
1573.15	43.1
1673.15	41.8
1773.15	40.8
1873.15	40.2
1973.15	40.0
2073.15	40.3
2173.15	41.1
2273.15	42.7

Table 6.6 Thermal conductivity of IG-110 (2/4)(6-6)

(b) Fast neutron fluence 0.1 $\times 10^{25}$ n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m・K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	2.0	23.0	44.1	73.1	80.1	83.3
673.15	3.2	22.5	41.9	66.8	72.5	75.1
773.15	4.1	21.9	39.7	61.3	66.0	68.2
873.15	4.8	21.2	37.5	56.5	60.6	62.4
973.15	5.3	20.5	35.6	52.5	56.0	57.5
1073.15	6.0	20.1	34.2	49.2	52.2	53.5
1173.15	6.5	19.8	33.0	46.4	49.1	50.2
1273.15	6.9	19.4	31.8	44.1	46.5	47.5
1373.15	7.3	19.1	30.9	42.1	44.3	45.2
1473.15	7.5	18.7	30.0	40.5	42.5	43.3
1573.15	7.7	18.5	29.3	39.1	41.0	41.8
1673.15	7.9	18.3	28.7	38.1	39.8	40.5
1773.15	8.1	18.2	28.3	37.3	38.9	39.6
1873.15	8.4	18.3	28.2	36.9	38.4	39.1
1973.15	8.7	18.5	28.3	36.8	38.3	38.9
2073.15	9.2	19.0	28.8	37.1	38.6	39.2
2173.15	9.8	19.8	29.7	38.0	39.5	40.1
2273.15	10.6	20.9	31.2	39.6	41.0	41.7

(c) Fast neutron fluence 0.2 $\times 10^{25}$ n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m・K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	12.2	20.0	27.9	60.6	72.3	78.2
673.15	12.3	19.7	27.1	56.3	66.2	71.0
773.15	12.3	19.2	26.1	52.3	60.8	64.8
873.15	12.1	18.6	25.1	48.7	56.1	59.5
973.15	11.9	18.1	24.2	45.7	52.1	55.0
1073.15	12.0	17.8	23.6	43.2	48.8	51.4
1173.15	12.0	17.6	23.1	41.1	46.1	48.4
1273.15	12.0	17.3	22.6	39.3	43.8	45.8
1373.15	11.9	17.0	22.1	37.8	41.9	43.7
1473.15	11.9	16.8	21.7	36.5	40.3	41.9
1573.15	11.8	16.6	21.3	35.4	38.9	40.5
1673.15	11.8	16.5	21.1	34.5	37.9	39.4
1773.15	11.9	16.4	20.9	33.9	37.1	38.5
1873.15	12.0	16.5	20.9	33.6	36.7	38.0
1973.15	12.2	16.7	21.2	33.6	36.6	37.9
2073.15	12.7	17.2	21.7	34.0	37.0	38.2
2173.15	13.3	17.9	22.5	34.9	37.8	39.1
2273.15	14.2	19.0	23.7	36.5	39.4	40.7

Table 6.6 Thermal conductivity of IG-110 (3/4)[6-6]

(d) Fast neutron fluence 0.5 ×10^{25} n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m・K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	18.6	19.9	21.2	38.7	55.2	65.8
673.15	18.4	19.6	20.8	37.1	51.6	60.7
773.15	17.9	19.1	20.3	35.3	48.3	56.1
873.15	17.4	18.5	19.6	33.6	45.2	52.1
973.15	16.9	18.0	19.0	32.0	42.5	48.6
1073.15	16.7	17.7	18.7	30.9	40.4	45.8
1173.15	16.5	17.5	18.4	29.9	38.6	43.4
1273.15	16.3	17.2	18.1	29.0	37.0	41.4
1373.15	16.1	17.0	17.9	28.2	35.7	39.7
1473.15	15.8	16.7	17.6	27.5	34.5	38.2
1573.15	15.7	16.5	17.4	26.9	33.5	37.0
1673.15	15.6	16.4	17.2	26.4	32.8	36.1
1773.15	15.5	16.3	17.2	26.1	32.3	35.4
1873.15	15.6	16.4	17.2	26.0	32.0	35.0
1973.15	15.8	16.6	17.4	26.2	32.0	35.0
2073.15	16.3	17.1	17.9	26.7	32.5	35.4
2173.15	17.0	17.8	18.6	27.6	33.4	36.3
2273.15	18.0	18.9	19.8	29.0	34.9	37.8

(e) Fast neutron fluence 1.0 ×10^{25} n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m・K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	18.8	19.9	21.1	28.4	40.8	53.0
673.15	18.5	19.6	20.7	27.6	39.0	49.8
773.15	18.1	19.1	20.2	26.6	37.1	46.6
873.15	17.5	18.5	19.5	25.5	35.2	43.7
973.15	17.0	18.0	18.9	24.6	33.5	41.2
1073.15	16.8	17.7	18.6	24.0	32.2	39.3
1173.15	16.6	17.5	18.3	23.5	31.2	37.6
1273.15	16.4	17.2	18.0	22.9	30.1	36.1
1373.15	16.2	17.0	17.8	22.5	29.3	34.8
1473.15	15.9	16.7	17.5	22.0	28.5	33.7
1573.15	15.8	16.5	17.3	21.6	27.8	32.8
1673.15	15.7	16.4	17.1	21.4	27.4	32.1
1773.15	15.6	16.3	17.1	21.2	27.0	31.6
1873.15	15.7	16.4	17.1	21.2	26.9	31.3
1973.15	15.9	16.6	17.4	21.4	27.1	31.4
2073.15	16.4	17.1	17.8	21.9	27.6	31.8
2173.15	17.1	17.8	18.6	22.8	28.5	32.7
2273.15	18.1	18.9	19.7	24.0	29.9	34.2

Table 6.6 Thermal conductivity of IG-110 (4/4)(6-6)

(f) Fast neutron fluence 2.0 ×10^{25} n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m･K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	18.8	19.9	21.1	26.4	33.8	43.4
673.15	18.5	19.6	20.7	25.7	32.6	41.3
773.15	18.1	19.1	20.2	24.9	31.2	39.1
873.15	17.5	18.5	19.5	24.0	29.8	37.0
973.15	17.0	18.0	18.9	23.1	28.6	35.1
1073.15	16.8	17.7	18.6	22.6	27.7	33.8
1173.15	16.6	17.5	18.3	22.1	26.9	32.6
1273.15	16.4	17.2	18.0	21.7	26.2	31.4
1373.15	16.2	17.0	17.8	21.3	25.6	30.5
1473.15	15.9	16.7	17.5	20.8	25.0	29.6
1573.15	15.8	16.5	17.3	20.5	24.5	28.9
1673.15	15.7	16.4	17.1	20.3	24.1	28.4
1773.15	15.6	16.3	17.1	20.2	23.9	28.1
1873.15	15.7	16.4	17.1	20.2	23.9	27.9
1973.15	15.9	16.6	17.4	20.4	24.1	28.0
2073.15	16.4	17.1	17.8	20.9	24.5	28.5
2173.15	17.1	17.8	18.6	21.7	25.4	29.4
2273.15	18.1	18.9	19.7	22.9	26.8	30.9

(g) Fast neutron fluence 3.0 ×10^{25} n/m^2

Measured temperature (K)	Irradiated temperature (K) / Thermal conductivity (W/(m･K))					
	573.15	623.15	673.15	873.15	1073.15	1273.15
573.15	18.8	19.9	21.1	26.4	32.9	41.2
673.15	18.5	19.6	20.7	25.7	31.8	39.3
773.15	18.1	19.1	20.2	24.9	30.5	37.3
873.15	17.5	18.5	19.5	23.9	29.2	35.4
973.15	17.0	18.0	18.9	23.1	28.0	33.7
1073.15	16.8	17.7	18.6	22.6	27.1	32.5
1173.15	16.6	17.5	18.3	22.1	26.4	31.3
1273.15	16.4	17.2	18.0	21.6	25.7	30.3
1373.15	16.2	17.0	17.8	21.2	25.1	29.4
1473.15	15.9	16.7	17.5	20.8	24.5	28.6
1573.15	15.8	16.5	17.3	20.5	24.1	28.0
1673.15	15.7	16.4	17.1	20.3	23.7	27.5
1773.15	15.6	16.3	17.1	20.1	23.5	27.2
1873.15	15.7	16.4	17.1	20.2	23.5	27.1
1973.15	15.9	16.6	17.4	20.4	23.7	27.2
2073.15	16.4	17.1	17.8	20.9	24.2	27.7
2173.15	17.1	17.8	18.6	21.7	25.0	28.6
2273.15	18.1	18.9	19.7	22.9	26.4	30.0

Table 6.7 Effective thermal conductivity of core region (1/4)

(a) Nominal condition (1/2)

Irradiated temperature (K)	Measurement temperature (K)	Fast fluence ($\times 10^{25}$ n/m^2) / Thermal conductivity (W/(m･K))						
		0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
623.15	573.15	39.4	11.1	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
	673.15	36.4	11.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	873.15	31.7	11.4	10.2	10.3	10.3	10.3	10.3
	1073.15	28.9	11.7	10.8	10.8	10.7	10.7	10.7
	1273.15	26.3	12.2	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
	1473.15	25.8	12.8	11.8	11.9	11.9	11.9	11.9
	1673.15	25.9	13.5	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
	1873.15	26.5	14.4	13.6	13.5	13.5	13.5	13.5
	2073.15	28.7	16.0	15.2	15.1	15.1	15.1	15.1
	2273.15	30.8	17.6	16.8	16.7	16.7	16.7	16.7
673.15	573.15	39.4	20.3	13.3	10.4	10.4	10.4	10.4
	673.15	36.4	19.8	13.3	10.5	10.5	10.5	10.5
	873.15	31.7	18.9	13.3	10.7	10.8	10.8	10.8
	1073.15	28.9	18.5	13.5	11.2	11.2	11.2	11.2
	1273.15	26.3	18.2	13.9	11.7	11.7	11.7	11.7
	1473.15	25.8	18.5	14.4	12.4	12.3	12.3	12.3
	1673.15	25.9	19.1	15.2	13.1	13.1	13.1	13.1
	1873.15	26.5	19.9	16.1	14.0	13.9	13.9	13.9
	2073.15	28.7	21.9	17.8	15.6	15.5	15.5	15.5
	2273.15	30.8	23.9	19.6	17.2	17.2	17.2	17.2
873.15	573.15	39.4	32.7	27.4	18.0	13.5	12.7	12.7
	673.15	36.4	30.7	26.0	17.6	13.5	12.7	12.7
	873.15	31.7	27.5	23.9	17.1	13.5	12.8	12.7
	1073.15	28.9	25.5	22.7	16.9	13.7	13.0	13.0
	1273.15	26.3	23.8	21.6	16.8	14.0	13.4	13.4
	1473.15	25.8	23.5	21.6	17.2	14.6	14.0	14.0
	1673.15	25.9	23.7	22.0	17.9	15.3	14.8	14.7
	1873.15	26.5	24.4	22.7	18.8	16.2	15.6	15.6
	2073.15	28.7	26.4	24.7	20.7	18.0	17.4	17.3
	2273.15	30.8	28.4	26.8	22.6	19.8	19.1	19.1

Table 6.7 Effective thermal conductivity of core region (2/4)

(a) Nominal condition (2/2)

Irradiated temperature (K)	Measurement temperature (K)	Fast fluence ($\times 10^{25}$ n/m^2) / Thermal conductivity (W/(m･K))						
		0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
1073.15	573.15	39.4	35.7	32.4	25.0	18.9	15.8	15.5
	673.15	36.4	33.2	30.4	23.9	18.4	15.6	15.3
	873.15	31.7	29.3	27.3	22.3	17.8	15.4	15.1
	1073.15	28.9	27.0	25.4	21.3	17.5	15.4	15.1
	1273.15	26.3	24.8	23.6	20.5	17.3	15.5	15.3
	1473.15	25.8	24.4	23.4	20.6	17.6	16.0	15.8
	1673.15	25.9	24.6	23.6	21.1	18.4	16.7	16.5
	1873.15	26.5	25.1	24.3	21.8	19.2	17.6	17.4
	2073.15	28.7	27.2	26.3	23.8	21.1	19.5	19.2
	2273.15	30.8	29.2	28.3	25.8	23.1	21.3	21.1
1273.15	573.15	39.4	37.0	34.9	29.5	24.1	20.0	19.0
	673.15	36.4	34.4	32.5	27.9	23.1	19.4	18.6
	873.15	31.7	30.2	28.8	25.4	21.6	18.6	17.9
	1073.15	28.9	27.6	26.6	23.8	20.8	18.2	17.6
	1273.15	26.3	25.3	24.5	22.5	20.1	17.9	17.4
	1473.15	25.8	24.8	24.2	22.4	20.2	18.3	17.8
	1673.15	25.9	24.9	24.3	22.7	20.7	18.9	18.4
	1873.15	26.5	25.5	24.9	23.4	21.5	19.7	19.3
	2073.15	28.7	27.5	27.0	25.4	23.5	21.7	21.2
	2273.15	30.8	29.6	29.0	27.4	25.5	23.6	23.2

Table 6.7 Effective thermal conductivity of core region (3/4)

(b) Conservative condition for fuel temperature (1/2)

Irradiated temperature (K)	Measurement temperature (K)	Fast fluence ($\times 10^{25}$ n/m^2) / Thermal conductivity (W/(m･K))						
		0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
623.15	573.15	31.9	9.1	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1
	673.15	29.5	9.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
	873.15	25.8	9.5	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6
	1073.15	23.7	9.9	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
	1273.15	21.8	10.3	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
	1473.15	21.5	10.8	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
	1673.15	21.7	11.5	10.9	10.8	10.8	10.8	10.8
	1873.15	22.2	12.3	11.6	11.6	12.3	11.6	11.6
	2073.15	24.0	13.7	13.0	12.9	12.9	12.9	12.9
	2273.15	25.9	15.2	14.4	14.3	14.3	14.3	14.3
673.15	573.15	31.9	16.5	10.9	8.6	8.5	8.5	8.5
	673.15	29.5	16.1	10.9	8.7	8.7	8.7	8.7
	873.15	25.8	15.6	11.0	9.0	9.0	9.0	9.0
	1073.15	23.7	15.3	11.3	9.5	9.4	9.4	9.4
	1273.15	21.8	15.2	11.7	9.9	9.9	9.9	9.9
	1473.15	21.5	15.6	12.3	10.5	10.5	10.5	10.5
	1673.15	21.7	16.2	12.9	11.2	11.2	11.2	11.2
	1873.15	22.2	16.9	13.7	12.0	12.3	11.9	11.9
	2073.15	24.0	18.6	15.3	13.4	13.3	13.3	13.3
	2273.15	25.9	20.3	16.8	14.8	14.7	14.7	14.7
873.15	573.15	31.9	26.5	22.2	14.6	11.1	10.4	10.4
	673.15	29.5	24.9	21.2	14.4	11.1	10.4	10.4
	873.15	25.8	22.5	19.6	14.1	11.2	10.6	10.6
	1073.15	23.7	21.0	18.8	14.1	11.5	10.9	10.9
	1273.15	21.8	19.8	18.0	14.1	11.8	11.3	11.3
	1473.15	21.5	19.7	18.1	14.6	12.4	11.9	11.9
	1673.15	21.7	20.0	18.6	15.2	13.1	12.6	12.6
	1873.15	22.2	20.6	19.2	16.0	13.8	13.4	13.3
	2073.15	24.0	22.4	21.0	17.6	15.4	14.9	14.8
	2273.15	25.9	24.1	22.8	19.3	16.9	16.4	16.4

Table 6.7 Effective thermal conductivity of core region (4/4)

(b) Conservative condition for fuel temperature (2/2)

Irradiated temperature (K)	Measurement temperature (K)	Fast fluence ($\times 10^{25}$ n/m^2) / Thermal conductivity (W/(m・K))						
		0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
1073.15	573.15	31.9	28.8	26.2	20.3	15.4	12.9	12.7
	673.15	29.5	26.9	24.7	19.5	15.1	12.8	12.6
	873.15	25.8	23.9	22.3	18.3	14.7	12.7	12.5
	1073.15	23.7	22.2	20.9	17.6	14.6	12.9	12.6
	1273.15	21.8	20.6	19.7	17.1	14.6	13.1	12.9
	1473.15	21.5	20.3	19.6	17.3	15.0	13.6	13.4
	1673.15	21.7	20.5	19.9	17.8	15.6	14.2	14.1
	1873.15	22.2	21.2	20.5	18.5	16.4	15.0	14.8
	2073.15	24.0	23.0	22.3	20.2	18.0	16.6	16.4
	2273.15	25.9	24.8	24.1	22.0	19.7	18.2	18.0
1273.15	573.15	31.9	29.9	28.2	23.9	19.5	16.2	15.5
	673.15	29.5	27.8	26.4	22.7	18.8	15.9	15.2
	873.15	25.8	24.6	23.5	20.8	17.8	15.3	14.8
	1073.15	23.7	22.7	21.9	19.7	17.2	15.1	14.6
	1273.15	21.8	21.0	20.4	18.7	16.8	15.0	14.6
	1473.15	21.5	20.8	20.3	18.8	17.0	15.4	15.0
	1673.15	21.7	21.0	20.5	19.1	17.5	16.0	15.6
	1873.15	22.2	21.5	21.1	19.8	18.2	16.8	16.4
	2073.15	24.0	23.3	22.8	21.5	20.0	18.5	18.1
	2273.15	25.9	25.1	24.6	23.3	21.7	20.2	19.8

(c) Conservative evaluation for reactor pressure vessel temperature

Measured temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))
573.15	47.2
673.15	43.6
873.15	38.0
1073.15	34.8
1273.15	31.9
1473.15	31.5
1673.15	31.7
1873.15	32.5
2073.15	35.0
2273.15	37.6

Table 6.8 Thermal conductivity of carbon block

Temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m･K))		
	Nominal condition	Conservative condition for fuel temperature	Conservative condition for reactor pressure vessel temperature
373.15	8.67	7.62	9.71
473.15	9.17	8.12	10.22
573.15	9.59	8.54	10.63
673.15	9.92	8.88	10.97
773.15	10.26	9.21	11.30
873.15	10.51	9.46	11.56
973.15	10.72	9.68	11.77
1073.15	10.89	9.84	11.93
1173.15	11.01	9.96	12.06
1273.15	11.10	10.05	12.14
1373.15	11.18	10.13	12.22

Table 6.9 Thermal conductivity of permanent reflector and lower plenum blocks

(a) Radial direction

Temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))		
	Nominal condition	Conservative condition for fuel temperature	Conservative condition for reactor pressure vessel temperature
373.15	106.69	127.63	117.16
473.15	96.85	117.79	107.32
573.15	87.95	108.88	98.41
673.15	79.91	100.84	90.38
773.15	72.73	93.67	83.20
873.15	66.30	87.24	76.77
973.15	60.69	81.62	71.15
1073.15	55.70	76.63	66.16
1173.15	51.43	72.36	61.89
1273.15	47.75	68.69	58.22
1373.15	44.65	65.58	55.11
1473.15	42.03	62.96	52.50
1573.15	39.97	60.91	50.44
1673.15	38.32	59.25	48.79
1773.15	37.01	57.94	47.47
1873.15	36.10	57.03	46.57

(b) Axial direction

Temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))		
	Nominal condition	Conservative condition for fuel temperature	Conservative condition for reactor pressure vessel temperature
373.15	76.20	97.13	86.67
473.15	68.08	89.02	78.55
573.15	60.87	81.81	71.34
673.15	54.51	75.44	64.98
773.15	48.90	69.84	59.37
873.15	44.04	64.98	54.51
973.15	39.90	60.84	50.37
1073.15	36.34	57.28	46.81
1173.15	33.33	54.27	43.80
1273.15	30.82	51.75	41.29
1373.15	28.76	49.69	39.23
1473.15	27.13	48.07	37.60
1573.15	25.80	46.73	36.26
1673.15	24.75	45.68	35.22
1773.15	23.95	44.88	34.41
1873.15	23.28	44.22	33.75

Table 6.10 Thermal conductivity of fuel compact[6-7]

Temperature (K)	Thermal conductivity (W/(m・K))	
	Un-irradiated*1	Irradiated*2
293.15	43.0	12.6
573.15	31.9	12.6
773.15	26.6	12.6
1273.15	20.2	12.6
1573.15	19.2	12.6
1873.15	18.8	12.6

*1: Multiply 0.8 for conservative condition for fuel temperature and multiply 1.2 for conservative condition for reactor pressure vessel temperature.

*2: Values shown in the table are used for nominal and conservative conditions.

Table 6.11 Calculation results of maximum fuel temperature and reactor pressure vessel temperature in nominal condition

EFPD	Maximum fuel temperature (˚C)		Maximum reactor pressure vessel temperature (˚C)	
	Initial value	Peak value	Initial value	Peak value
1	842	1021	302	327
10	841	1035	302	328
30	839	1069	302	328
60	838	1080	302	327
100	837	1093	302	327
200	836	1119	301	325
300	835	1166	301	323
400	835	1190	300	321
500	837	1205	300	319
600	840	1210	300	318
700	843	1209	300	318
800	845	1210	300	319

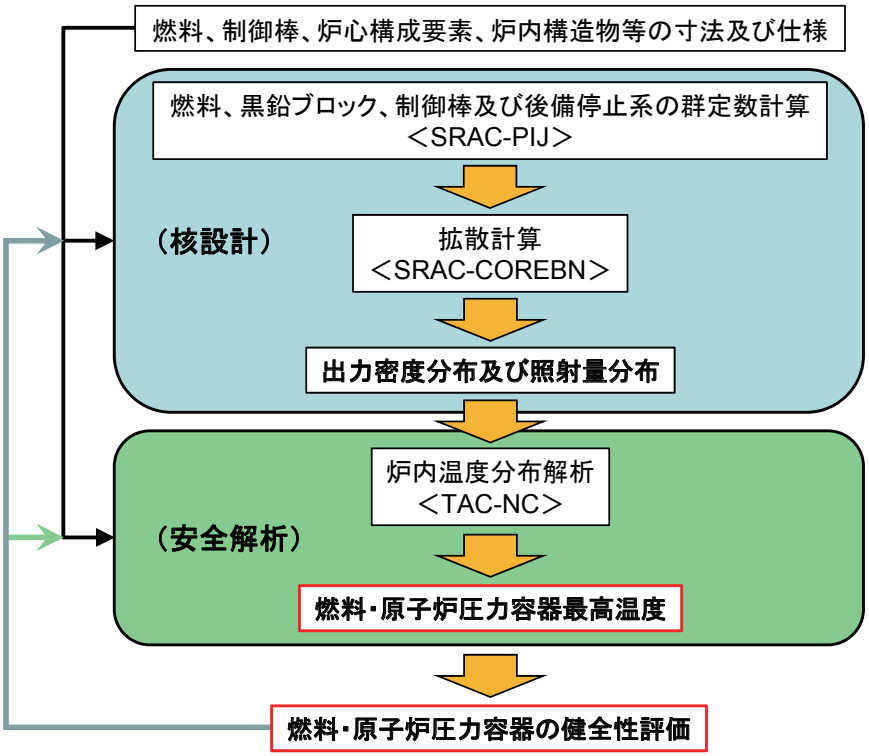


Fig. 6.1　Flow chart of HTR50S safety analysis in accident.

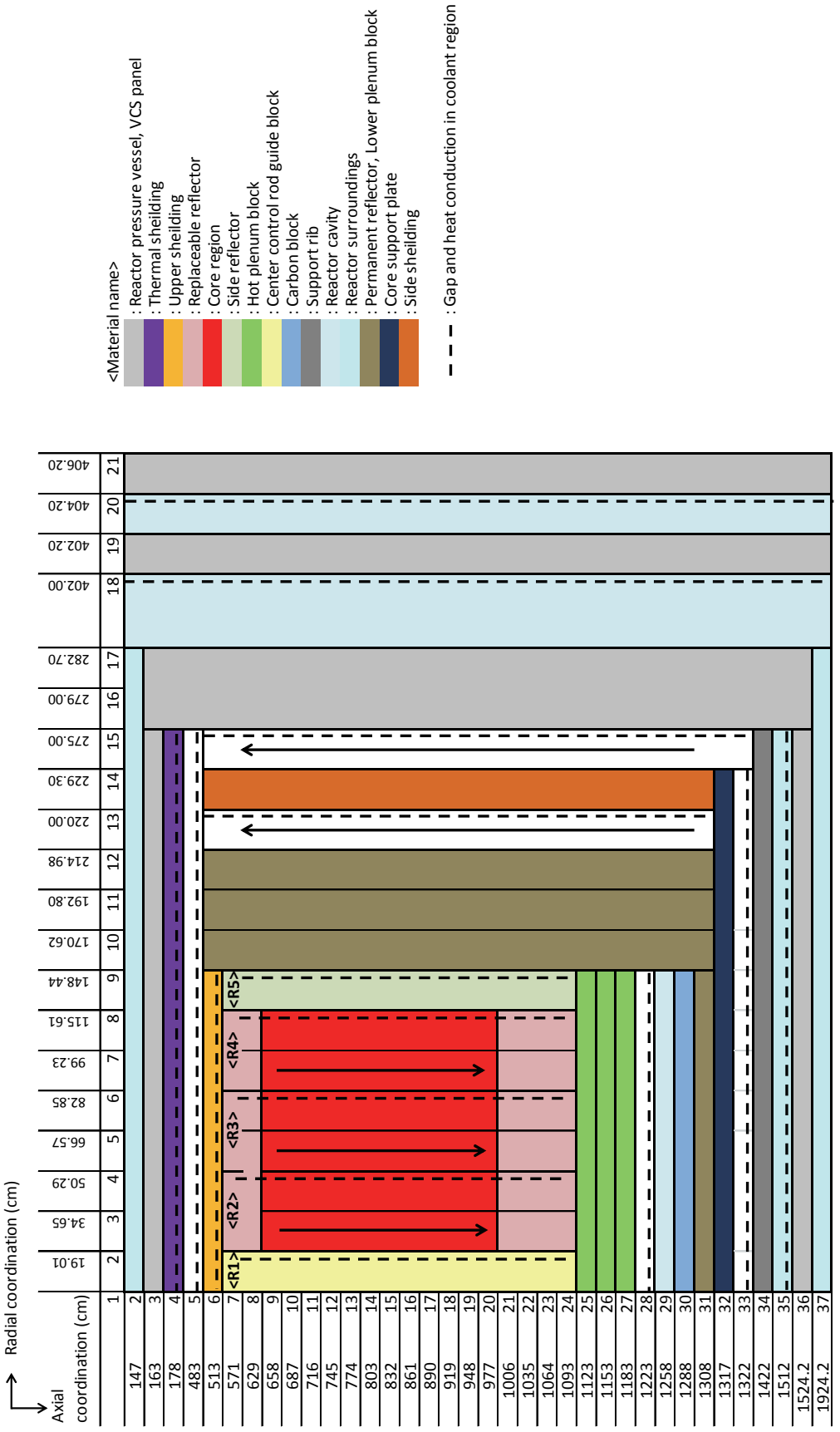


Fig. 6.2 Vertical sectional view of TAC-NC analysis model.

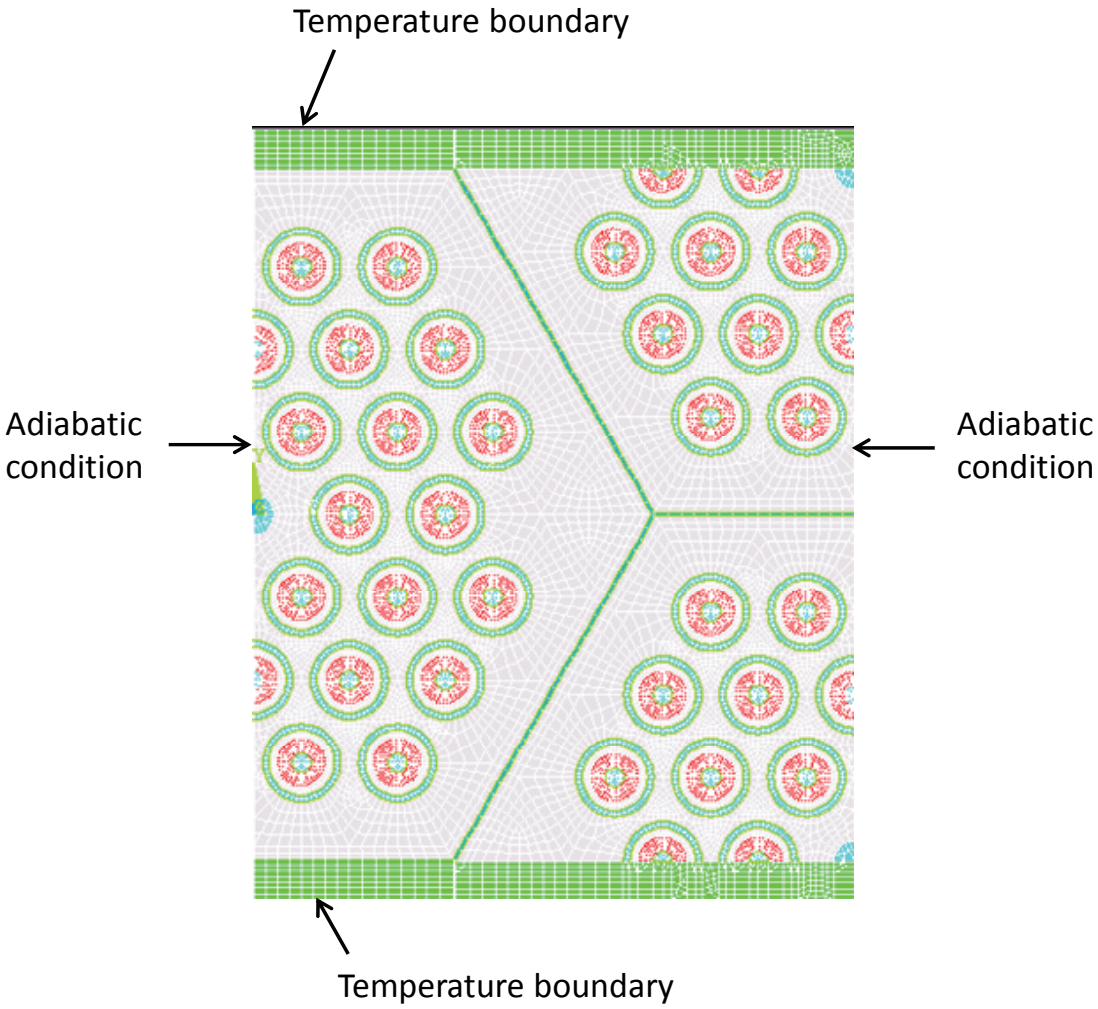


Fig. 6.3 Analysis model for effective thermal conductivity in core region.

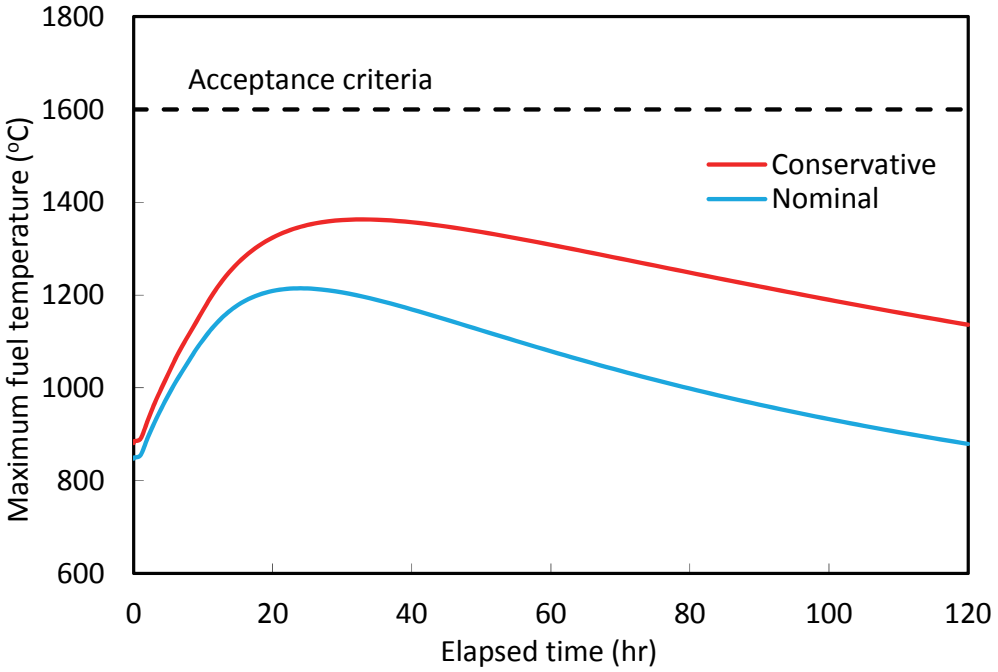


Fig. 6.4 Transient response of maximum fuel temperature and reactor pressure vessel temperature during depressurization accident at end of cycle

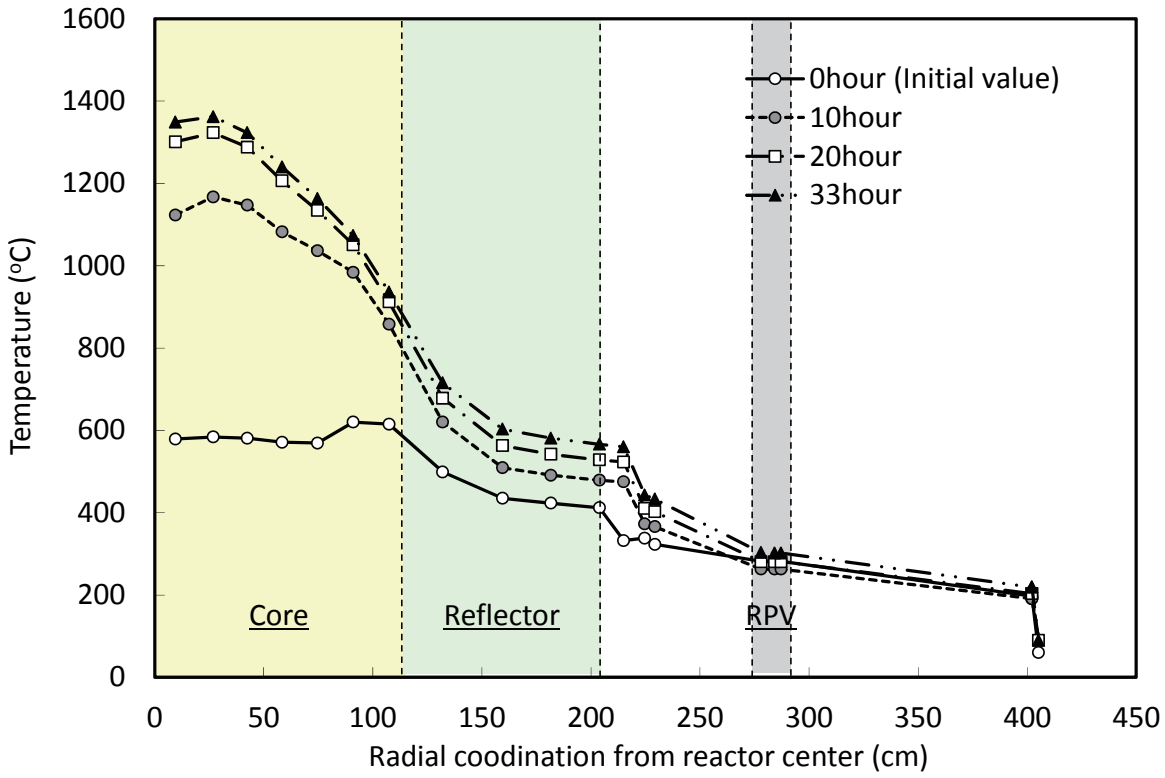


Fig. 6.5 Transition of radial temperature distribution at fuel hot spot plane under conservative condition for fuel temperature.

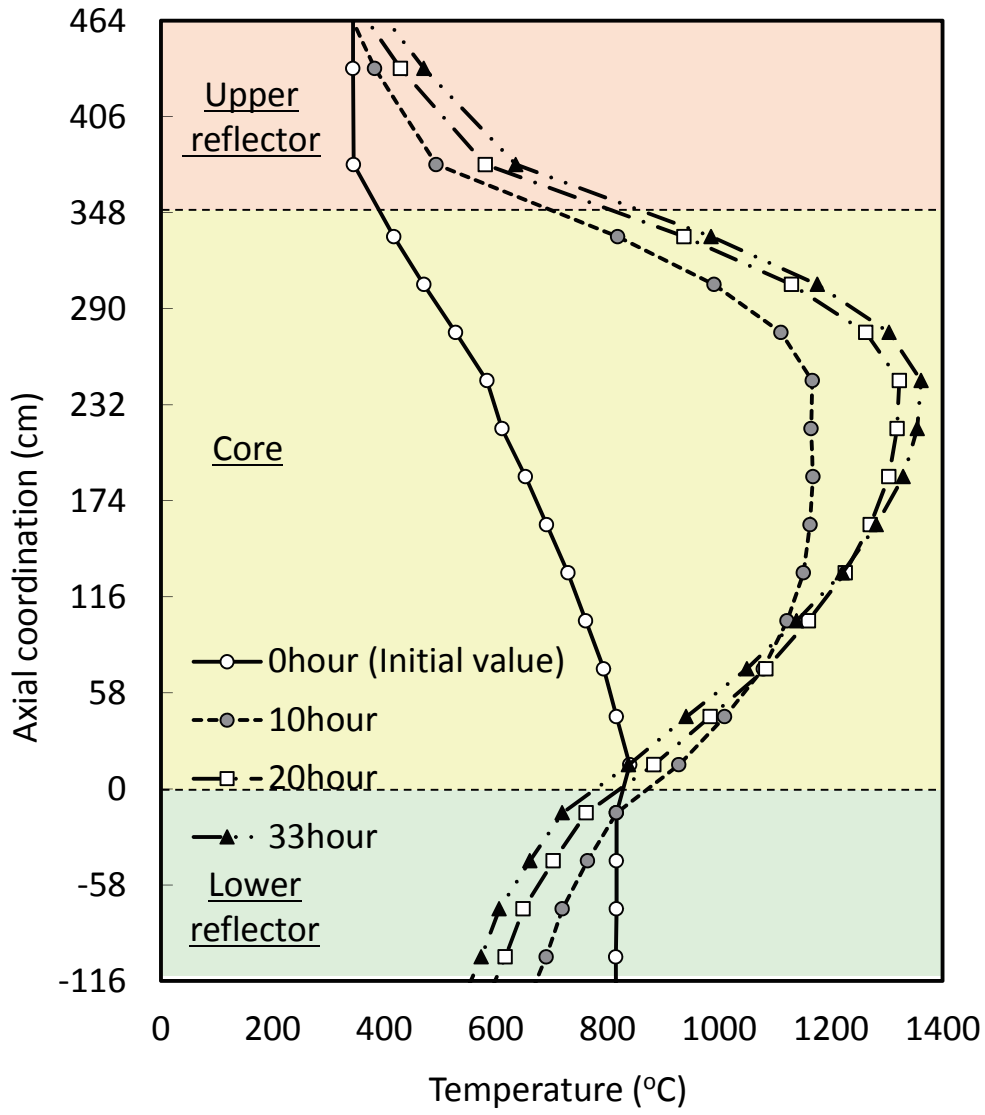


Fig. 6.6 Transition of axial temperature distribution at fuel hot spot plane under conservative condition for fuel temperature.

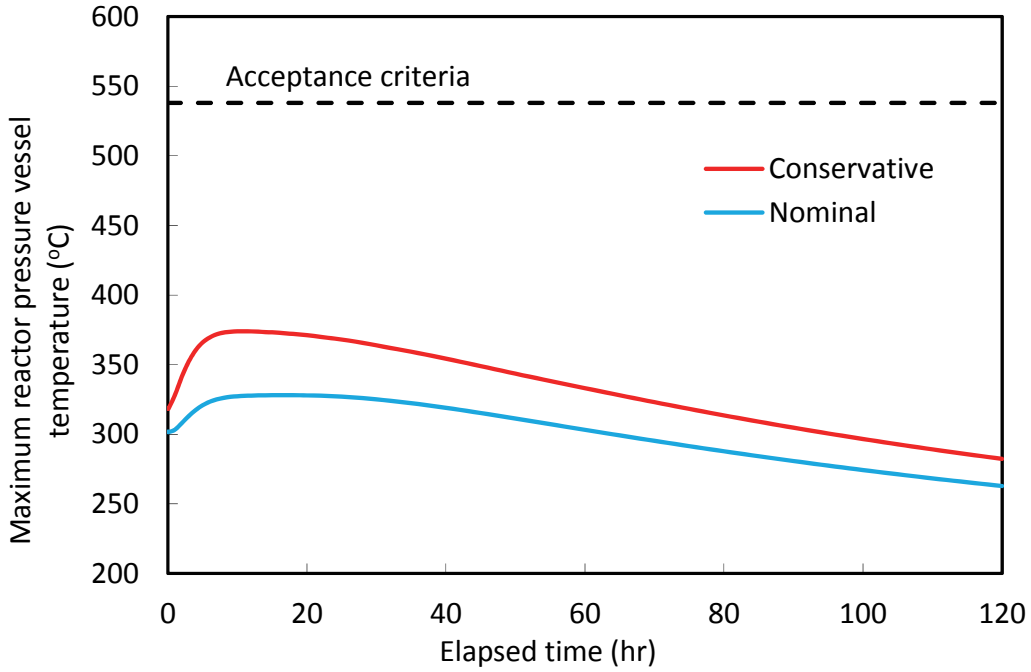


Fig. 6.7 Transient response of maximum fuel temperature and reactor pressure vessel temperature during depressurization accident at beginning of cycle.

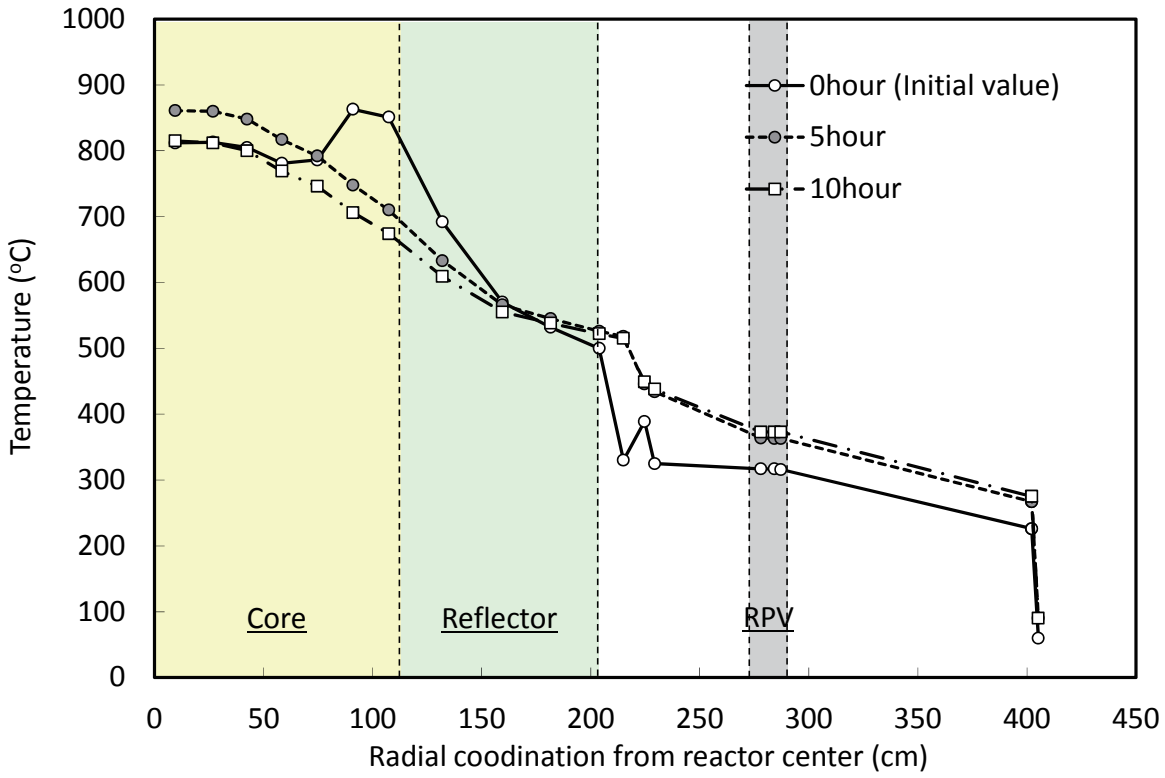


Fig. 6.8 Transition of radial temperature distribution at hot spot plane of reactor pressure vessel under conservative condition for reactor pressure vessel temperature.

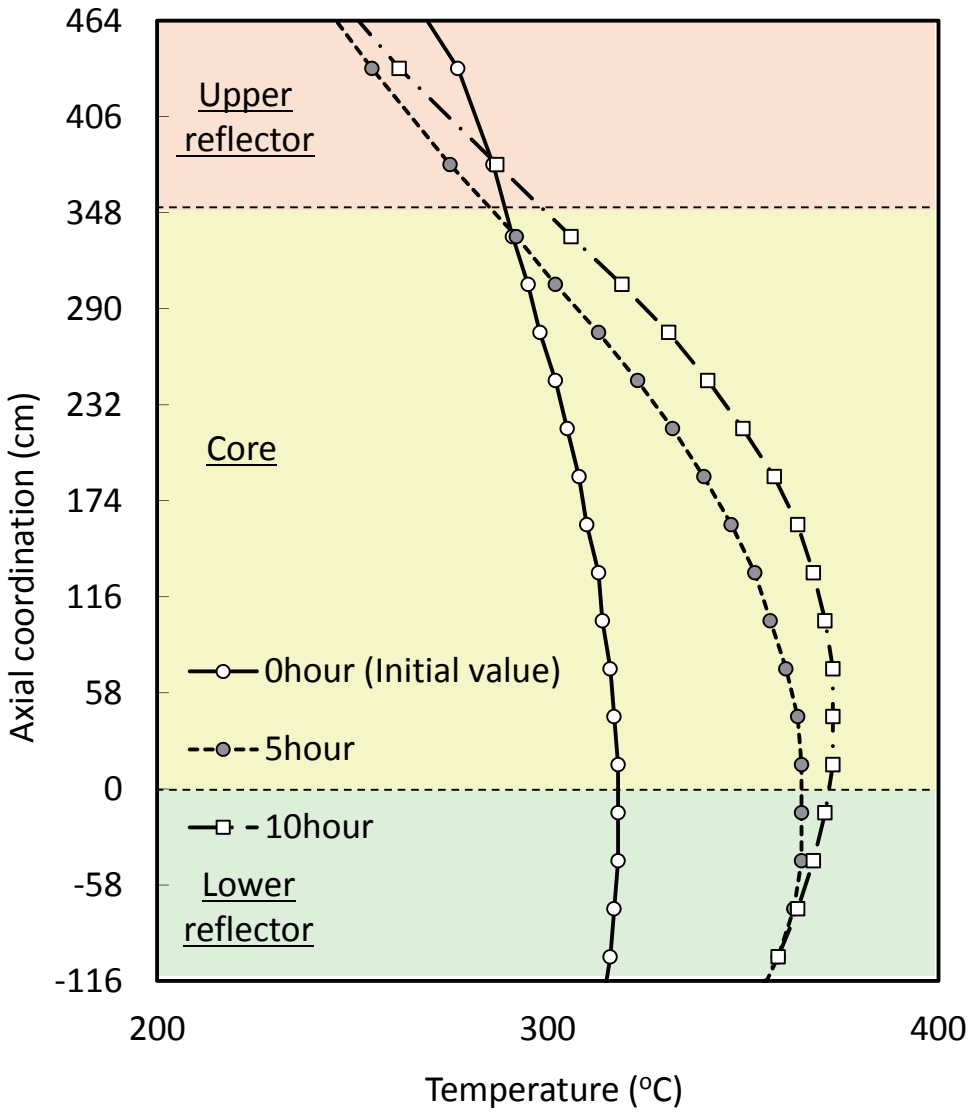


Fig. 6.9 Transition of axial temperature distribution at hot spot plane of reactor pressure vessel under conservative condition for reactor pressure vessel temperature.

7．今後の課題

HTR50S を含む小型高温ガス炉システムの炉心熱流動設計及び安全解析を行う上で、特に燃料温度算出に係わる今後の課題を以下に示す。

（1）炉心熱流動設計

・工学的安全係数の見直し

HTR50S（HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いる場合）の熱流動設計では、原子炉熱出力、軸方向出力分布及び流量配分に関するシステマティック因子が見直された工学的安全係数[3-1]を用いた。工学的安全係数のランダム因子に関しては見直されておらず、特にギャップ温度差上昇因子は他の因子と比べて相対的に値が大きく、燃料温度に与える影響が大きい。そこで、実際に製造された HTTR の燃料コンパクトと黒鉛スリーブの寸法公差を求めることで、本因子の再評価を行い、燃料温度の低減化が図れないか検討する。

・使用物性値の見直し

HTTR 設計時の炉心熱流動設計では、日本で初めての高温ガス炉であることを考慮して、過度に保守的な物性値が使用された。そこで、燃料コンパクトの熱伝導率等、適切な値に見直すことを検討する。また、黒鉛の物性値に関しては、HTTR の設計後、高温ガス炉黒鉛構造物規格案[7-1]がまとめられており、最新の知見により見直すことを検討する。

・燃料コンパクトー黒鉛スリーブ間ギャップの低減化

燃料コンパクトー黒鉛スリーブ間ギャップは、燃料温度に与える影響が大きく、このギャップ幅を低減することができれば、燃料温度の低減化につながる。そこで、黒鉛スリーブ内径を燃料コンパクトが挿入可能な最小値にすることを検討する。

（2）安全解析

・炉心の径方向等価熱伝導率の最適化

事故時の評価において、炉心は燃料体、制御棒案内ブロック及び可動反射体ブロックから構成されるが、これらを均質化した物質としてモデル化している。今回の解析では、制御棒案内カラムの制御棒挿入孔や燃料体カラムの燃料コンパクト中空部を断熱として扱い、径方向の等価熱伝導率を求めた。より最適な等価熱伝導率を得るため、制御棒挿入孔や燃料コンパクト中空部に放射熱伝達を考慮し、等価熱伝導率を求めることを検討する。

８．結　言

原子力機構では、開発途上国等への 2030 年代の世界展開を目指し、蒸気タービンによる発電、工業プロセスへの高温蒸気や地域暖房への低温蒸気供給を行う小型高温ガス炉システムの概念設計を進めている。その第１段階の１つとして、商用１号機あるいは実証炉と位置付けられるリファレンス原子炉システムとなる原子炉熱出力 50MWt の発電・蒸気供給小型高温ガス炉システム（HTR50S）に関する炉心熱流動設計を実施した。また、炉心熱流動設計に続き、減圧事故を対象とした安全解析を実施した。なお、本設計では、HTTR と同じ被覆粒子燃料を用いた場合を想定した。

炉心熱流動設計及び減圧事故を対象とした安全解析の結果は、以下のとおりである。

１．炉心熱流動設計

燃料の冷却に直接寄与する冷却材流量の最小割合（炉心有効流量割合）は 87%、炉心の圧力損失は 23.7 kPa となった。

HTTR の試験・運転で得られた知見に基づき見直された工学的安全係数及び詳細化された解析モデルを用いて燃料温度を評価した結果、燃料最高温度は燃焼日数 30 日で 1,464℃ となり、制限値である 1,495℃ 以下となった。燃料温度は判断基準を満足し、燃料の健全性が損なわれることがないことを明らかにした。

２．減圧事故を対象とした安全解析

燃焼サイクル期間を通しての燃料最高温度 1,363℃ 及び炉容器最高温度 374℃ は、それぞれの判断基準 1,600℃ 及び 538℃ を満足し、燃料及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が損なわれることがないことを明らかにした。

以上のように、核設計に基づいた炉心熱流動設計及び安全解析を実施し、通常運転時及び事故時においても、燃料及び原子炉冷却材圧力バウンダリの健全性が損なわれないことを示した。今後は、さらに HTTR の試験・運転で得られた知見及び GTHTR300 の設計結果を活かし、炉心熱流動設計及び安全解析の高度化（解析モデルの改良や解析条件の更新）を図っていく。

謝　辞

原子力機構原子力水素・熱利用研究センターの中川繁昭氏には、本報告書をまとめるにあたり御助言を頂きました。ここに明記し、謝意を表します。また、本検討の一部にご尽力頂いた（株）東芝の福家賢氏、春日章治氏、富士電機ホールディングス（株）の大橋一孝氏、中野正明氏及び川崎重工業（株）の前川勇氏、毛利智聡氏に感謝いたします。

参考文献

（1－1）S. Saito，T. Tanaka，Y. Sudo et al.：“Design of High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR)”， JAERI 1332（1994）.

（1－2）國富一彦，片西昌司，高田昌二，他：「高温ガス炉ガスタービン発電システム（GTHTR300）の設計研究」，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 1, No. 4, pp. 352−360（2002）.

（1－3）丸山創，藤本望，山下清信，他：「高温工学試験研究炉炉心熱流力設計」，JAERI-M 88-255,（1988）.

（2－1）大橋弘史，佐藤博之，田澤勇次郎，他：「小型高温ガス炉システムの概念設計（Ⅰ）－基本仕様及び系統概念設計－」，JAEA-Technology 2011-013，（2011）.

（2－2）H. G. Olson，H. L. Brey and F. E. Swart：“The Fort St Vrain High Temperature Gas-cooled Reactor”，Nuclear Engineering and Design，Vol. 61，pp. 303−314（1980）.

（3－1）栃尾大輔，角田淳弥，高田英治，他：「高温ガス炉 HTTR の高温試験運転における燃料温度の評価」，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 5, No. 1, pp. 57−67（2006）.

（3－2）丸山創，村上知行，木曽芳広，数土幸夫：「炉内流動解析コード FLOWNET の検証」，JAERI-M 88-138，（1988）.

（3－3）丸山創，藤本望，藤井貞夫，他：「燃料温度解析コード TEMDIM の検証」，JAERI-M 88-170，（1988）.

（4－1）後藤実，関靖圭，稲葉良知，他：「小型高温ガス炉システムの概念設計（Ⅱ）－核設計－」，JAEA-Technology 2012-017，（2012）.

（4－2）K. Okumura，T. Kugo，K. Kaneko，K. Tsuchihashi：“SRAC2006 : A Comprehensive Neutronics Calculation Code System”，JAEA-Data/Code 2007-004，（2007）.

（4－3）K. Okumura：“COREBN：A Core Burn-up Calculation Module for SRAC2006”，JAEA-Data/Code 2007-003，（2007）.

（4－4）毛利智聡，西原哲夫，國富一彦：「MOX 燃料を使用した高温ガス炉の核熱設計」，日本原子力学会和文論文誌，Vol. 6, No. 3, pp. 253−261（2007）.

（5－1）佐藤貞夫，伊与久達夫，石原正博，塩沢周策：私信.

（5－2）丸山創，藤本望，木曽芳広，他：「高温工学試験研究炉の炉心内流量配分計画と評価」，JAERI-M 88-154，（1988）.

（5－3）文沢元雄，滝塚貴和，鈴木邦彦：「VHTR シール性能試験装置用黒鉛材中のガス透過」，JAERI-M 84-234，（1985）.

（5－4）藤本望，野尻直喜：「HTTR の反応度調整材の燃焼挙動と炉心特性の評価」，JAEA-Technology 2005-008，（2005）.

（5－5）独立行政法人 日本原子力研究開発機構：「独立行政法人 日本原子力研究開発機構　大洗研究開発センター（北地区）原子炉設置許可申請書（完本）［別冊３ HTTR］」，（2006）.

（6－1）國富一彦，中川繁昭，鈴木勝男，他：「高温工学試験研究炉の炉内２次元温度分布解析コード TAC-NC とその検証」，JAERI-M 89-001，（1989）.

（６－２）J. F. Peterson：“TAC2D　A General Purpose Two-dimensional Heat Transfer Computer Code – User's Manual –”，GA-A14032（1976）.

（６－３）K. Kunitomi，I. Nishiguchi，H. Wada et al.：“Depressurization Accident Analysis for the FTTR by the TAC-NC”，Energy，Vol. 16，No. 1-2，pp. 471−480（1991）.

（６－４）日本原子力研究所：「日本原子力研究所大洗研究所 原子炉設置変更許可申請書［別冊３ HTTR］」，(2001).

（６－５）ASME：“ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II Part D”，(2010).

（６－６）石原正博，伊与久達夫，豊田純二，他：「高温工学試験研究炉・炉心黒鉛構造設計方針における設計用データの解説」，JAERI-M 91-153，(1991).

（６－７）菊池輝男，岩本多實，井川　勝市：「キャプセル照射による高温ガス炉用燃料棒の伝熱物性の測定（Ⅰ）」，JAERI-M 82-134，(1982).

（６－８）ANSYS：“ANSYS Thermal Analysis Guide”，Version 13.0，ANSYS Inc.，Houston，TX，USA，(2011).

（６－９）ASME：“ASME Boiler and Pressure Vessel Code Case N-499-1”，(2001).

（７－１）國本英治，柴田大受，島崎洋祐，他：「高温ガス炉黒鉛構造物の設計用照射データの内外挿法による拡張－IG-110 黒鉛構造物の設計用照射データの評価－」，JAEA-Research 2009-008，(2009).

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度(a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率(b)	（数字の） 1	1
比透磁率(b)	（数字の） 1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s^{-2}
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	m^{-1} kg s^{-2}
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	m^2 kg s^{-2}
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	m^2 kg s^{-3}
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	m^2 kg s^{-3} A^{-1}
静電容量	ファラド	F	C/V	m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m^2 kg s^{-3} A^{-2}
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m^2 kg s^{-2} A^{-1}
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
酸素活性	カタール	kat		s^{-1} mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m^2 kg s^{-2}
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s^{-2}
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m^{-1} s^{-1}=s^{-1}
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2}=s^{-2}
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s^{-3}
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m^2 s^{-2}
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s^{-3} K^{-1}
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	m^{-3} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
モルエントロピー，モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	kg^{-1} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m^2 s^{-3}
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-3}=m^2 kg s^{-3}
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m^2 m^{-2} kg s^{-3}=kg s^{-3}
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}$ J
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}$N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1Pa s
ストークス	St	1 St =$1cm^2$ s^{-1}=$10^{-4}m^2$ s^{-1}
スチルブ	sb	1 sb =1cd cm^{-2}=10^4cd m^{-2}
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm^{-2} 10^4lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s^{-2}=$10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1G cm^2=10^{-8}Wb
ガウス	G	1 G =1Mx cm^{-2} =10^{-4}T
エルステッド(c)	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)$A m^{-1}

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	$1\ \gamma=1\ nT=10\text{-}9T$
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー） 4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています