

炉心湾曲解析コードの改良

(平成2年度作業)

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1991年3月

株式会社 日立製作所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

炉心湾曲解析コードの改良

(平成2年度作業)

澤田周作^{*}、大橋正久^{*}、金戸邦和^{*}

要 旨

高速実験炉「常陽」では、照射用炉心の長期的な運転計画、運転管理の検討のため、炉心湾曲解析コード“HIBEACON”の機能を充実し、湾曲挙動特性を迅速、かつ精度良く計算できるように改良してきた。本件は、炉心湾曲解析の入力となるラッパ管温度、中性子束分布を計算する“HITETRAS”コードを、これまでに改良を加えてきた上記“HIBEACON”コードと関係が取れるように改良し、ラッパ管温度、中性子束計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が出来るようにするとともに、上記改良を施したコードを用いて、「常陽」MK-Ⅲの炉心湾曲解析を実施し、MK-Ⅲの湾曲特性を明らかにすることを目的とする。

上記目的に基づき、下記を実施した。

(1) 炉心湾曲解析コードの改良

a HITETRASコードにおける温度、中性子束の出力機能の改良

これまでのHIBEACONコードの改良に対応して、ラッパ管温度、中性子束の出力方式の改良を行った。

b HITETRASコードのプログラムサイズの可変性

COMMON変数に対し、INCLUDE文、及びPARAMETER文を使い、解析対象に応じてプログラムサイズを変更できるようにした。

c HIBEACONコードの改良

下記(2)の「常陽」MK-Ⅲ炉心湾曲解析を実施するに当たり必要となった以下の改良を実施した。

(a) ラッパ管間ギャップ計算法の変更

(b) 自由湾曲量成分出力機能の追加

(c) リスト出力項目選択機能の追加

(2) 「常陽」MK-Ⅲ炉心湾曲解析

「常陽」MK-Ⅲは、高中性子束化、炉心の2領域化、照射スペースの増加等、MK-Ⅱ炉心から大きく異なる炉心特性を有する。そこで、改良した“HIBEACON”

本報告書は、株式会社日立製作所が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：02-C-3911

事業団担当部課室および担当者：大洗工学センター実験炉部技術課 青山卓史

^{*}日立工場 原子力開発部 原子炉計画グループ

CON”コード及び“HITETRAS”コードを用い、MK-III炉心の湾曲挙動を解析し、炉心湾曲の観点から健全性の面で特に問題になることはないことが明らかとなった。

March 1991

Improvement of a Three Dimensional Core Deformation Analysis Code

Shusaku Sawada*, Masahisa Ohhasi*,
and Kunikazu Kaneto*

Abstract

"HIBEACON", which is a three dimensional core deformation analysis code for the experimental fast reactor "JOYO", had been modified in order to expand the code's functions for planning a long-term operation and managing the operation of "JOYO", and to analyse the core deformation characteristics speedily and accurately. In this study, "HITETRAS", which is a code for calculating temperatures and fast neutron fluxes on wrapper tubes, has been modified in order for it to correspond with the modification of "HIBEACON". And, the core deformation analysis on "JOYO" Mk-III has been performed with those modified codes.

Results of this study are as follows:

(1) Improvement of core deformation analysis code.

- a Modification of function of "HITETRAS" to output temperatures and neutron fluxes

The method to output wrapper tubes' temperatures and neutron fluxes has been modified corresponding to the modification of "HIBEACON".

- b Addition of ability to alter program size of "HITETRAS"

An ability to alter the program size has been added to "HITETRAS" by using INCLUDE statement and PARAMETER statement of FORTRAN language.

- c Modification of "HIBEACON"

Following modifications, which are required for analysis on "JOYO" Mk-III, have been performed

- (a) alteration of calculation method for gap clearance between wrapper tubes

- (b) addition of function for outputting elements of free bowing deformation

Work performed by Hitachi, Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison: Takafumi Aoyama, Reactor Technology Section,
Experimental Reactor Division,
Oarai Engineering Center

*Advanced Reactor & Nuclear Fuel Cycle Dept.

(c) addition of function for selecting items to be output on list

(2) Core deformation analysis on "JOYO" Mk-III

"JOYO" Mk-III will have different core characteristics from Mk-II because of its higher neutron flux feature, two core regions, wider irradiation space, and so on. So, the core deformation behavior of "JOYO" Mk-III has been analysed with the modified codes above-mentioned, and it has been clarified that there is no problem on the core integrity of Mk-III from the view point of the core deformation.

4. 結言	4-1
5. 謝辞	5-1
6. 参考文献	6-1
7. 付録	7.1-1
7.1 プログラム使用マニュアル	7.1-1
7.1.1 HITETRAS	7.1-1
7.1.2 HIBEACON	7.1-1
7.2 HITETRASにおける改良内容	7.2-1
7.2.1 追加・変更COMMON変数	7.2-1
7.2.2 INCLUDE文対象COMMON変数	7.2-1
7.2.3 修正サブルーチン	7.2-1
7.3 HIBEACONにおける改良内容	7.3-1
7.3.1 変更COMMON変数	7.3-1
7.3.2 修正サブルーチン	7.3-1
7.3.3 追加サブルーチン	7.3-2
7.4 納入磁気テープ情報	7.4-1

表リスト

表2.1.1-1	ラッパ管温度、中性子束の計算法	2.1-3
表2.2.3-1	プログラムサイズ可変化の効果	2.2-3
表2.3.1-1	ラッパ管間ギャップ計算法の比較	2.3-3
表2.3.2-1	成分毎の自由湾曲量リスト出力例	2.3-4
表2.4.1-1	着目集合体(5F3)の頂部変位	2.4-17
表2.4.1-2	着目集合体(5F3)の残留変位(頂部変位)	2.4-18
表2.4.1-3	解析モデルによる最大変位の違い	2.4-19
表2.4.1-4	対角線列における、下部パッド位置での平均温度および平均中性子束	2.4-20
表2.4.1-5	対角線列における下部パッド位置での断面膨張量	2.4-21
表2.4.1-6	解析モデルによる自由湾曲量成分の違い	2.4-24
表2.4.1-7	着目集合体(5F3)における接触荷重	2.4-25
表2.4.1-8	解析モデルによる最大接触荷重の違い	2.4-26
表2.4.2-1	着目集合体(5F3)の頂部変位	2.4-38
表2.4.2-2	着目集合体(5F3)の残留変位(頂部変位)	2.4-39
表2.4.2-3	着目集合体(5F3)における接触荷重	2.4-42
表3.3.1-1	炉心構成要素の交換計画	3.3.1-3
表3.3.2-1	平均組成での線出力密度、集合体出力から 新燃料の出力を算出するための補正ファクタ	3.3.2-3
表3.3.2-2	冷却材流量配分	3.3.2-5
表3.3.3-1	燃料集合体バンドル圧損評価式	3.3.3-3
表3.3.3-2	改良オーステナイト鋼のスエリング・クリープ評価式	3.3.3-4
表3.3.3-3	フェライト・マルテンサイト鋼のスエリング・クリープ評価式	3.3.3-5
表3.3.3-4	ラッパ管の熱膨張率評価式	3.3.3-6
表3.4.2-1	各サイクルでの炉心構成要素頂部位置における最大変位	3.4.2-2
表3.4.2-2	各サイクルでの炉心構成要素下部パッド位置における最大変位	3.4.2-3
表3.4.2-3	原子炉停止後に交換される炉心燃料集合体の頂部残留変位	3.4.2-6
表3.4.2-4	原子炉停止後に交換される反射体の頂部残留変位	3.4.2-7
表3.4.2-5	各サイクルにおける最大接触荷重	3.4.2-9
表3.4.2-6	原子炉停止後に交換される構成要素の引抜き荷重	3.4.2-11
表3.4.2-7	第6サイクル時におけるフェライト鋼内側反射体(#95)の 頂部位置湾曲成分	3.4.2-14
表3.4.3-1	湾曲変形に係わる諸制限値との比較	3.4.3-4
表3.4.3-2	Mk-II制御棒移設炉心とMk-IIIの頂部最大変位の比較	3.4.3-10
表3.4.3-3	Mk-II制御棒移設炉心とMk-IIIの接触荷重の比較 (頂部パッド)	3.4.3-11
表3.4.3-4	Mk-II制御棒移設炉心とMk-IIIの接触荷重の比較 (下部パッド)	3.4.3-12
表7.1.1-1	HITETRASコードのパラメータ設定内容	7.1-2
表7.1.1-2	HITETRASコードの入力データ	7.1-3
表7.1.1-3	HITETRASコードの入力データフォーマット	7.1-18
表7.1.1-4	論理装置番号の内容説明	7.1-20
表7.1.2-1	HIBEACONコードのパラメータ設定内容	7.1-27
表7.1.2-2	HIBEACONコードの入力データ	7.1-28
表7.1.2-3	HIBEACONコードの入力データフォーマット	7.1-55

表 7.1.2-4	論理装置番号の内容説明.....	7.1-58
表 7.1.2-5	プログラム内蔵デフォルト値.....	7.1-59
表 7.1.2-6	プログラム内蔵スエリング式.....	7.1-65
表 7.1.2-7	プログラム内蔵クリーブ式.....	7.1-67
表 7.4-1	磁気テープの内容一覧.....	7.4-2
表 7.4-2	データセット中のメンバー名一覧 (HITETRAS.FORT).....	7.4-3
表 7.4-3	データセット中のメンバー名一覧 (HIBEACON.FORT).....	7.4-4
表 7.4-4	データセット中のメンバー名一覧 (INPUT.DATA)	7.4-5
表 7.4-5	データセット中のメンバー名一覧 (HIBEACON.LIBR).....	7.4-6

図リスト

図 2.2.2-1	パラメータ設定例	2.2-2
図 2.4.1-1	移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパー管温度分布 {面平均モデル、面2分割モデル、コーナモデル}	2.4-4
図 2.4.1-2	移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパー管温度分布 {面平均モデル、面2分割モデル、コーナモデル}	2.4-5
図 2.4.1-3	移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパー管高速中性子束分布 {面平均モデル、面2分割モデル、コーナモデル}	2.4-6
図 2.4.1-4	移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパー管高速中性子束分布 {面平均モデル、面2分割モデル、コーナモデル}	2.4-7
図 2.4.1-5	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部位置での変位 {ラッパー管面平均モデル}	2.4-8
図 2.4.1-6	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部位置での変位 {ラッパー管面2分割モデル}	2.4-9
図 2.4.1-7	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部位置での変位 {ラッパー管コーナモデル}	2.4-10
図 2.4.1-8	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 列方向変位 (対角線列) {ラッパー管面平均モデル}	2.4-11
図 2.4.1-9	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 列方向変位 (対角線列) {ラッパー管面2分割モデル}	2.4-12
図 2.4.1-10	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 列方向変位 (対角線列) {ラッパー管コーナモデル}	2.4-13
図 2.4.1-11	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部パッド位置での接触荷重 {ラッパー管面平均モデル}	2.4-14
図 2.4.1-12	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部パッド位置での接触荷重 {ラッパー管面2分割モデル}	2.4-15
図 2.4.1-13	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部パッド位置での接触荷重 {ラッパー管コーナモデル}	2.4-16
図 2.4.1-14	着目集合体5F3 (#14:燃料集合体)における計算モデルによる 最大頂部変位の違い (運転サイクル末期)	2.4-22
図 2.4.1-15	最大接触荷重発生集合体 (#41:外側(A)反射体)における計算 モデルによる最大頂部変位の違い (運転サイクル末期)	2.4-23
図 2.4.2-1	軸方向ノード分割図	2.4-29
図 2.4.2-2	移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパ管温度分布	2.4-30
図 2.4.2-3	移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパ管温度分布	2.4-31
図 2.4.2-4	移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパ管高速中性子束分布	2.4-32
図 2.4.2-5	移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパ管高速中性子束分布	2.4-33
図 2.4.2-6	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部位置での変位 {等分割ノード}	2.4-34
図 2.4.2-7	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部位置での変位 {不等分割ノード}	2.4-35
図 2.4.2-8	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 列方向変位 (対角線列) {等分割ノード}	2.4-36
図 2.4.2-9	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 列方向変位 (対角線列) {不等分割ノード}	2.4-37

図2.4.2-10	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部パッド位置での接触荷重 {等分割ノード}	2.4-40
図2.4.2-11	移設制御棒炉心第1サイクル初期における 頂部パッド位置での接触荷重 {不等分割ノード}	2.4-41
図2.5.2-1	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル初期:頂部位置での変位)	2.5-2
図2.5.2-2	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル初期:下部パッド位置での変位)	2.5-3
図2.5.2-3	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル初期:頂部パッド位置での荷重)	2.5-4
図2.5.2-4	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル初期:下部パッド位置での荷重)	2.5-5
図2.5.2-5	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期:頂部位置での変位)	2.5-6
図2.5.2-6	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期:下部パッド位置での変位)	2.5-7
図2.5.2-7	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期:頂部パッド位置での荷重)	2.5-8
図2.5.2-8	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期:下部パッド位置での荷重)	2.5-9
図2.5.2-9	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉0出力時<370°C>:頂部位置での変位)	2.5-10
図2.5.2-10	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉0出力時<370°C>:下部パッド位置での変位)	2.5-11
図2.5.2-11	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉0出力時<370°C>:頂部パッド位置での荷重)	2.5-12
図2.5.2-12	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉0出力時<370°C>:下部パッド位置での荷重)	2.5-13
図2.5.2-13	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉停止時<200°C>:変位)	2.5-14
図2.5.2-14	H I B E A C O Nコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉停止時<200°C>:荷重)	2.5-15
図3.2-1	炉心湾曲解析フロー.....	3.2.1-3
図3.2.1.1-1	炉心燃料集合体のモデル化.....	3.2.1-4
図3.2.1.2-1	制御棒のモデル化.....	3.2.1-5
図3.2.1.4-1	内側反射体のモデル化.....	3.2.1-6
図3.2.1.5-1	外側(A)反射体のモデル化.....	3.2.1-7
図3.2.1.6-1	外側(B)反射体のモデル化.....	3.2.1-8
図3.2.1.7-1	中性子源のモデル化.....	3.2.1-9
図3.2.1.8-1	軸方向ノード分割図.....	3.2.1-10
図3.2.2-1	実寸法体系.....	3.2.2-2
図3.2.2-2	解析体系モデル.....	3.2.2-3
図3.3.1-1	炉心配置.....	3.3.1-2
図3.3.1-2	炉心構成要素交換計画(炉心燃料).....	3.3.1-4
図3.3.1-3	炉心構成要素交換計画(反射体).....	3.3.1-5

図3.3.2-1	MAGIとHITETRAS、HIBEACONの 炉心構成要素番号の対応	3.3.2-4
図3.4.1-1	ラッパ管の軸方向温度分布、高速中性子束分布を図示した炉心構成要素	3.4.1-3
図3.4.1-2	炉内径方向温度分布を図示した炉心構成要素	3.4.1-4
図3.4.1.1-1	軸方向ラッパ管温度分布(第1, 2サイクル初期)	3.4.1-5
図3.4.1.1-2	軸方向ラッパ管温度分布(第3, 4サイクル初期)	3.4.1-6
図3.4.1.1-3	軸方向ラッパ管温度分布(第5, 6サイクル初期)	3.4.1-7
図3.4.1.2-1A	第1サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-8
図3.4.1.2-1B	第1サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-9
図3.4.1.2-1C	第1サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-10
図3.4.1.2-2A	第2サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-11
図3.4.1.2-2B	第2サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-12
図3.4.1.2-2C	第2サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-13
図3.4.1.2-3A	第3サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-14
図3.4.1.2-3B	第3サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-15
図3.4.1.2-3C	第3サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-16
図3.4.1.2-4A	第4サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-17
図3.4.1.2-4B	第4サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-18
図3.4.1.2-4C	第4サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-19
図3.4.1.2-5A	第5サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-20
図3.4.1.2-5B	第5サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-21
図3.4.1.2-5C	第5サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-22
図3.4.1.2-6A	第6サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心中心面)	3.4.1-23
図3.4.1.2-6B	第6サイクル初期炉内径方向温度分布(下部パッド位置)	3.4.1-24
図3.4.1.2-6C	第6サイクル初期炉内径方向温度分布(炉心上端面)	3.4.1-25
図3.4.1.3-1	軸方向ラッパ管高速中性子束分布(第1, 2サイクル初期)	3.4.1-26
図3.4.1.3-2	軸方向ラッパ管高速中性子束分布(第3, 4サイクル初期)	3.4.1-27
図3.4.1.3-3	軸方向ラッパ管高速中性子束分布(第5, 6サイクル初期)	3.4.1-28
図3.4.1.4-1	第1サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-29
図3.4.1.4-2	第2サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-30
図3.4.1.4-3	第3サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-31
図3.4.1.4-4	第4サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-32
図3.4.1.4-5	第5サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-33
図3.4.1.4-6	第6サイクル初期炉心構成要素出口温度分布	3.4.1-34
図3.4.2-1	第1サイクル初期における頂部位置での変位	3.4.2-15
図3.4.2-2	第1サイクル初期における下部パッド位置での変位	3.4.2-16
図3.4.2-3	第1サイクル末期における頂部位置での変位	3.4.2-17
図3.4.2-4	第1サイクル末期における下部パッド位置での変位	3.4.2-18
図3.4.2-5	第1サイクル末期原子炉0出力時における頂部位置での変位	3.4.2-19
図3.4.2-6	第1サイクル末期原子炉0出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-20
図3.4.2-7	第2サイクル初期における頂部位置での変位	3.4.2-21
図3.4.2-8	第2サイクル初期における下部パッド位置での変位	3.4.2-22
図3.4.2-9	第2サイクル末期における頂部位置での変位	3.4.2-23
図3.4.2-10	第2サイクル末期における下部パッド位置での変位	3.4.2-24

図 3.4.2-1 1	第2 サイクル末期原子炉0 出力時における頂部位置での変位	3.4.2-2 5
図 3.4.2-1 2	第2 サイクル末期原子炉0 出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-2 6
図 3.4.2-1 3	第3 サイクル初期における頂部位置での変位.....	3.4.2-2 7
図 3.4.2-1 4	第3 サイクル初期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-2 8
図 3.4.2-1 5	第3 サイクル末期における頂部位置での変位.....	3.4.2-2 9
図 3.4.2-1 6	第3 サイクル末期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-3 0
図 3.4.2-1 7	第3 サイクル末期原子炉0 出力時における頂部位置での変位	3.4.2-3 1
図 3.4.2-1 8	第3 サイクル末期原子炉0 出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-3 2
図 3.4.2-1 9	第4 サイクル初期における頂部位置での変位.....	3.4.2-3 3
図 3.4.2-2 0	第4 サイクル初期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-3 4
図 3.4.2-2 1	第4 サイクル末期における頂部位置での変位.....	3.4.2-3 5
図 3.4.2-2 2	第4 サイクル末期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-3 6
図 3.4.2-2 3	第4 サイクル末期原子炉0 出力時における頂部位置での変位	3.4.2-3 7
図 3.4.2-2 4	第4 サイクル末期原子炉0 出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-3 8
図 3.4.2-2 5	第5 サイクル初期における頂部位置での変位.....	3.4.2-3 9
図 3.4.2-2 6	第5 サイクル初期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-4 0
図 3.4.2-2 7	第5 サイクル末期における頂部位置での変位.....	3.4.2-4 1
図 3.4.2-2 8	第5 サイクル末期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-4 2
図 3.4.2-2 9	第5 サイクル末期原子炉0 出力時における頂部位置での変位	3.4.2-4 3
図 3.4.2-3 0	第5 サイクル末期原子炉0 出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-4 4
図 3.4.2-3 1	第6 サイクル初期における頂部位置での変位.....	3.4.2-4 5
図 3.4.2-3 2	第6 サイクル初期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-4 6
図 3.4.2-3 3	第6 サイクル末期における頂部位置での変位.....	3.4.2-4 7
図 3.4.2-3 4	第6 サイクル末期における下部パッド位置での変位.....	3.4.2-4 8
図 3.4.2-3 5	第6 サイクル末期原子炉0 出力時における頂部位置での変位	3.4.2-4 9
図 3.4.2-3 6	第6 サイクル末期原子炉0 出力時における下部パッド位置での変位	3.4.2-5 0
図 3.4.2-3 7	第1 サイクル初期における列方向変位.....	3.4.2-5 1
図 3.4.2-3 8	第1 サイクル末期における列方向変位.....	3.4.2-5 2
図 3.4.2-3 9	第1 サイクル末期原子炉0 出力時における列方向変位.....	3.4.2-5 3
図 3.4.2-4 0	第2 サイクル初期における列方向変位.....	3.4.2-5 4
図 3.4.2-4 1	第2 サイクル末期における列方向変位.....	3.4.2-5 5
図 3.4.2-4 2	第2 サイクル末期原子炉0 出力時における列方向変位.....	3.4.2-5 6
図 3.4.2-4 3	第3 サイクル初期における列方向変位.....	3.4.2-5 7
図 3.4.2-4 4	第3 サイクル末期における列方向変位.....	3.4.2-5 8
図 3.4.2-4 5	第3 サイクル末期原子炉0 出力時における列方向変位.....	3.4.2-5 9
図 3.4.2-4 6	第4 サイクル初期における列方向変位.....	3.4.2-6 0
図 3.4.2-4 7	第4 サイクル末期における列方向変位.....	3.4.2-6 1
図 3.4.2-4 8	第4 サイクル末期原子炉0 出力時における列方向変位.....	3.4.2-6 2
図 3.4.2-4 9	第5 サイクル初期における列方向変位.....	3.4.2-6 3
図 3.4.2-5 0	第5 サイクル末期における列方向変位.....	3.4.2-6 4

図3.4.2-5 1	第5サイクル末期原子炉0出力時における列方向変位……………	3.4.2-6 5
図3.4.2-5 2	第6サイクル初期における列方向変位……………	3.4.2-6 6
図3.4.2-5 3	第6サイクル末期における列方向変位……………	3.4.2-6 7
図3.4.2-5 4	第6サイクル末期原子炉0出力時における列方向変位……………	3.4.2-6 8
図3.4.2-5 5	第1サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-6 9
図3.4.2-5 6	第1サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 0
図3.4.2-5 7	第1サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 1
図3.4.2-5 8	第1サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 2
図3.4.2-5 9	第1サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-7 3
図3.4.2-6 0	第2サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 4
図3.4.2-6 1	第2サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 5
図3.4.2-6 2	第2サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 6
図3.4.2-6 3	第2サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 7
図3.4.2-6 4	第2サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-7 8
図3.4.2-6 5	第3サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-7 9
図3.4.2-6 6	第3サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 0
図3.4.2-6 7	第3サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 1
図3.4.2-6 8	第3サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 2
図3.4.2-6 9	第3サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-8 3
図3.4.2-7 0	第4サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 4
図3.4.2-7 1	第4サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 5
図3.4.2-7 2	第4サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 6
図3.4.2-7 3	第4サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 7
図3.4.2-7 4	第4サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-8 8
図3.4.2-7 5	第5サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-8 9
図3.4.2-7 6	第5サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 0
図3.4.2-7 7	第5サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 1
図3.4.2-7 8	第5サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 2
図3.4.2-7 9	第5サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-9 3
図3.4.2-8 0	第6サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 4
図3.4.2-8 1	第6サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 5
図3.4.2-8 2	第6サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 6
図3.4.2-8 3	第6サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重……………	3.4.2-9 7
図3.4.2-8 4	第6サイクル末期原子炉0出力時における頂部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-9 8
図3.4.2-8 5	第6サイクル末期原子炉0出力時における下部パッド位置での接触荷重 ……………	3.4.2-9 9
図3.4.2-8 6	内側反射体の自由湾曲量(第6サイクル末期)……………	3.4.2-4
図3.4.2-8 7	第6サイクル末期時における フェライト鋼内側反射体(#95)の変位……………	3.4.2-1 3
図3.4.3-1	制御棒保護管と案内管が3点接触した状況説明図……………	3.4.3-5
図3.4.3-2	フェライト鋼製、オーステナイト鋼製反射体の頂部残留変位の比較 ……………	3.4.3-7
図3.4.3-3	オーステナイト鋼製、フェライト鋼のスエリング量の比較……………	3.4.3-8
図3.4.3-4	炉心湾曲解析における使用スエリング評価式の比較……………	3.4.3-1 3

図7.1.1-1	炉心構成要素種類毎の軸方向section分割	7.1-21
図7.1.1-2	炉心構成要素種類毎のcontrol volume.....	7.1-22
図7.1.1-3	燃料集合体のcontrol volume.....	7.1-23
図7.1.1-4	「常陽」の反射体のcontrol volume.....	7.1-24
図7.1.1-5	炉心構成要素まわりのギャップ番号.....	7.1-25
図7.1.1-6	「常陽」の反射体の軸方向section分割	7.1-26
図7.1.2-1	炉心構成要素番号及び種類.....	7.1-69
図7.1.2-2	炉心湾曲解析に於けるJF方向IROW列番号 (もんじゅ1/6回転対称炉心)	7.1-70
図7.1.2-3	炉心構成要素番号及び種類(常陽1/6回転対称炉心)	7.1-71
図7.1.2-4	炉心構成要素番号及び種類(実証炉1/6回転対称炉心)	7.1-72
図7.2.2-1	HITETARSコードのINCLUDE文で引用するパラメータ設定例	7.2-2
図7.2.2-2	HITETARSコードのCOMMON変数(改良後)	7.2-3

1 緒 言

高速実験炉「常陽」では、照射用炉心の長期的な運転計画、運転管理の検討のため、炉心湾曲解析コード“H I B E A C O N”の機能を充実し、湾曲挙動特性を迅速、かつ精度良く計算できるように改良してきた。本件は、炉心湾曲解析の入力となるラッパ管温度、中性子束分布を計算する“H I T E T R A S”コードを、これまでに改良を加えてきた上記“H I B E A C O N”コードと関係が取れるように改良し、ラッパ管温度、中性子束計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が出来るようにするとともに、上記改良を施したコードを用いて、「常陽」MK-Ⅲの炉心湾曲解析を実施し、MK-Ⅲの湾曲特性を明らかにすることを目的とする。

上記目的に基づき、下記を実施した。

(1) 炉心湾曲解析コードの改良

これまでに改良を加えてきたH I B E A C O Nコードと関係が取れるようにH I T E T R A Sコードに以下の改良を加え、ラッパ管温度、高速中性子束分布計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が出来るようにした。

a. H I T E T R A Sコードにおける温度、中性子束の出力機能の改良

(a) ラッパ管温度、中性子束の出力方式の変更

H I B E A C O Nコードの自由湾曲量計算モデルの改良⁽¹⁾に対応して、ラッパ管温度、中性子束を以下の3方式で出力できるように改良した。

- i. ラッパ管各面についてその平均値を出力する（従来方式）
- ii. ラッパ管各面を周方向に2等分割し、その分割領域内の平均値を出力する。
- iii. ラッパ管各コーナでの値を出力する。

(b) ラッパ管温度、中性子束の出力軸方向ノードの不等分割化

従来、H I B E A C O Nコードの軸方向ノードは等分割であり、それに対応し、H I T E T R A Sコードはその等分割ノードに合わせてラッパ管温度、中性子束を出力していた。しかし、その後、H I B E A C O Nコードの軸方向ノードの不等分割化が実施されたため⁽²⁾、それに対応しその不等分割化ノードに合わせて、ラッパ管温度、中性子束を出力できるようにした。

b. H I T E T R A Sコードのプログラムサイズの可変性

COMMON変数に対し、INCLUDE文、及びPARAMETER文を使い、

解析対象に応じてプログラムサイズを変更できるようにした。

c H I B E A C O Nコードの改良

下記(2)の「常陽」MK-Ⅲ炉心湾曲解析を実施するに当たり必要となった以下の改良を実施した。

- (a) ラップ管間ギャップ計算法の変更
- (b) 自由湾曲量成分出力機能の追加
- (c) リスト出力項目選択機能の追加

(2) 「常陽」MK-Ⅲ炉心湾曲解析

「常陽」MK-Ⅲは、高中性子束化、炉心の2領域化、照射スペースの増加等、MK-Ⅱ炉心から大きく異なる炉心特性を有する。そこで、これまでに改良した“H I B E A C O N”コード及び本件にて改良する“H I T E T R A S”コードを用い、MK-Ⅲ炉心の湾曲挙動を明らかにすることを目的とし、以下の湾曲解析を実施した。

即ち、最終的なMK-Ⅲ炉心構成後の炉出力100MWからの出力増加を行うサイクル含め、1年間の運転サイクル(最大6サイクル程度)を対象に、下記データを解析した。

- a 炉心構成要素の変位
- b 炉心構成要素の取出し時残留変形量
- c 炉心構成要素の接触荷重
- d 炉心構成要素の取出し時引抜力

前記炉心湾曲解析コードの改良については、2章において、「常陽」MK-Ⅲ炉心湾曲解析については、3章において述べる。

2. 炉心湾曲解析コードの改良

2.1 H I T E T R A Sコードにおける温度、中性子束の出力機能の改良

これまでに改良を加えてきたH I B E A C O Nコードと関係が取れるようにH I T E T R A Sコードを改良し、ラッパ管温度、高速中性子束分布計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が出来るようにすることを本改良の目的とする。

以下に、改良の具体的内容について示す。

2.1.1 ラッパ管温度、中性子束の出力方式の変更

H I B E A C O Nコードの自由湾曲量計算モデルの改良⁽¹⁾に対応して、ラッパ管温度、中性子束を以下の3方式で出力できるように改良した。

- a. ラッパ管各面についてその平均値を出力する(従来方式)
- b. ラッパ管各面を周方向に2等分割し、その分割領域内の平均値を出力する。
- c. ラッパ管各コーナーでの値を出力する。

今回の改良は、次の事情に基づく。即ち、H I B E A C O Nコードが、従来上記 a のような面平均値に基づいて炉心構成要素の自由湾曲量を計算していたが、その方法によると、自由湾曲量を過小評価する場合があった。また、I A E A主催の炉心湾曲ベンチマーク解析でもラッパ管面を最低周方向に2分割することが必要との結論が得られていること、より実際に即したラッパ管周方向の温度、中性子束分布を取り入れるようにすることを目指し、H I B E A C O Nで b や c の方式に基づく分布で自由湾曲量が計算できるように改良が施された。⁽¹⁾しかし、H I T E T R A S側は、依然 a の方式の分布しか出力できなかったため、実質上、H I B E A C O Nも a の方式に基づく計算のみに制約されていた。今回、上記 b、c の方式の分布も出力できるようにH I T E T R A S側の改良を行い、上記制約を解消した。

尚、上記の3方式は、ユーザーがカード入力によっていずれかを選択できるようにした。また、ラッパ管面上の温度、中性子束の計算法は、表2.1.1-1に示す方式とした。

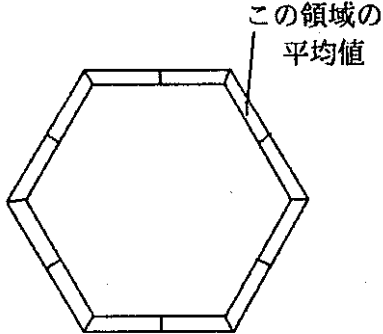
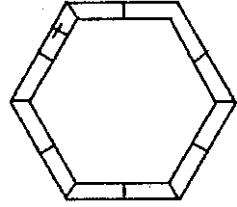
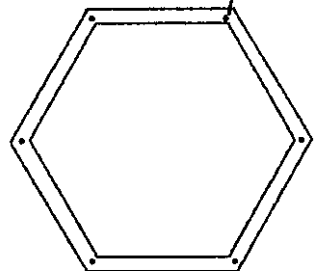
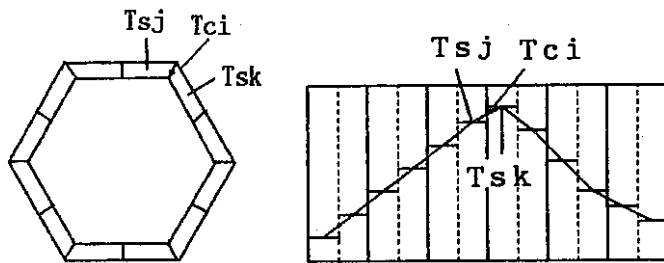
2.1.2 ラッパ管温度、中性子束の出力軸方向ノードの不等分割化

従来、H I B E A C O Nコードの軸方向ノード分割は等分割であった。そのた

め、HITETRASコードもその等分割ノードに合わせてラッパ管温度、中性子束分布を出力していた。その後、実機の炉心構成要素の断面形状に合わせたノード分割ができるように、HIBEACONコードの軸方向ノードの不等分割化が実施された⁽²⁾。しかし、HITETRASコードの方は上記のような等分割に基づく温度、中性子束分布出力を行っていたため、ノード分割に関し、HIBEACON側に制約が課されていた。そこで、今回、HITETRAS側も上記分布出力に関し、ノードの不等分割化を行い、HIBEACON側がノード分割に関し制約を受けることなく炉心湾曲解析を実施できるようにした。

尚、HITETRAS側へのHIBEACONコードの軸方向ノード分割データは、ユーザがカードにより入力することとした(従来はノード分割数のみを入力していた)。

表 2.1.1-1 ラップ管温度、中性子束の計算法

出力方式	ラップ管温度	ラップ管高速中性子束
ラップ管各面についてその平均値を出力する(従来方式)	従来通り	従来通り
<p>ラップ管各面を周方向に2等分し、その分割領域内の平均値を出力する。</p> 	<p>HITETRASコードでは、内部で左記1/12セクター毎の平均温度を計算している(従来方式では同一のラップ管面上の1/12セクターの温度の算術平均を出力している)ので、その温度をそのまま出力する。</p>	<p>従来、HITETRASコードでは燃料要素出力を求める方法として、制御棒中心とラップ管面中央位置の中性子束(Askewの方法によって求める)から、$\phi(x,y) = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2$の曲面を表わす方程式の係数を最小2乗法で求め、任意の点の中性子束を求める方法を採用している。この場合も上記方法を適用し、下図の1/12セクター各々の中心点(xで示す位置)における高速中性子束を求め、それを1/12セクター平均値とする。</p> 
<p>ラップ管各コーナでの値を出力する。</p> 	<p>下図のようにコーナiに接する1/12セクターの平均温度(従来のHITETRASコード内で計算している)を算術平均し、それをコーナ温度とする。</p> $T_{ci} = (1/2) \cdot (T_{sj} + T_{sk})$ 	<p>上記方法により、ラップ管コーナ部の高速中性子束を求める。</p>

2.2 HITETRASコードのプログラムサイズの変化

プログラムサイズが解析対象に応じて変更できるようになれば、解析対象が大型となってもプログラム上の配列制限を受けることがなくなるとともに、小さな解析対象に対しては、プログラムサイズを小さくし、計算実行時のジョブクラスを下げられる結果、ジョブのターンアラウンドタイムを短くすることが可能となる。

今回、COMMON変数に対し、INCLUDE文、及びPARAMETER文を使い、COMMON変数の配列サイズの変化を図り、解析対象に応じてプログラムサイズを変更できるようにした。

以下、その内容について説明する。

2.2.1 可変化対象変数

PARAMETER文で配列サイズが変更できる変数は、下記変数である。

- (1) 集合体数
- (2) 軸方向ノード分割数
 - a. 温度、高速中性子束計算用
 - b. HIBEACON用温度、高速中性子束出力用
- (3) 集合体間ギャップ数
- (4) 制御棒種類数
- (5) 軸方向出力分布及び、高速中性子束分布種類数
- (6) ギャップ流量の種類数
- (7) $\nu \Sigma f$, Σa , D規定用物質種類数
- (8) プロッタ出力用軸方向ノード総数
- (9) プロッタ出力用炉心構成要素総数

2.2.2 可変化変数指定方法

各変数の配列サイズは、PARAMETER文を使い、図2.2.2-1のように定義する。

```
STMT. COL. 1-----2-----3-----4-----5-----6-----
1      C----- SETTING PARAMETER -----
2      PARAMETER ( M*NTAS = 400 )
3      PARAMETER ( M*NDMX = 50 )
4      PARAMETER ( M*LDMX = 50 )
5      PARAMETER ( M*MXGP = 1100 )
6      PARAMETER ( M*MXKC = 4 )
7      PARAMETER ( M*MXAX = 20 )
8      PARAMETER ( M*MXGF = 20 )
9      PARAMETER ( M*MXMT = 20 )
10     PARAMETER ( M*NONO = 50 )
11     PARAMETER ( M*NELM = 20 )
```

図2.2.2-1 パラメータ設定例

2.2.3 可変化の効果

今回採用した方法により、プログラムサイズが具体的にどのように変化するかを確認するため、実際に前記2.2.1項で説明した変数に対し、下記4ケースの値を設定し、そのプログラムサイズを調べた。

ケース1：「常陽」1 / 6 炉心体系

ケース2：「常陽」1 / 3 炉心体系

ケース3：「常陽」1 / 2 炉心体系

ケース4：「常陽」全炉心体系

その結果を表2.2.3-1に示す。従来、「常陽」の全炉心体系は、配列の制限から計算が困難であったが、今回の改良でそれが可能となった。また、全炉心体系の必要でない解析の場合、例えば、1 / 6 炉心体系では、全炉心体系の約1 / 3の容量ですむことが表2.2.3-1からわかる。

表2.2.3-1 プログラムサイズ可変化の効果

対象：「常陽」炉心

項 目		ケースNo.	1	2	3	4
ケース説明			1 / 6 炉心体系	1 / 3 炉心体系	1 / 2 炉心体系	全 炉 心体系
配 列 サ イ ズ	炉心構成要素最大数		60	110	160	350
	軸方向ノード最大数		40	40	40	40
	HIBEACON用軸方向ノード 最大数		40	40	40	40
	炉心構成要素間ギャップの最大数		200	400	550	1050
	制御棒種類の最大数		2	2	2	2
	軸方向出力分布種類及び 高速中性子束分布種類の最大数		20	20	20	20
	ギャップ流量種類の最大数		4	10	10	10
	$\nu\Sigma f$, Σa , D規定用物質種類の 最大数		10	10	10	10
	プロッタ出力用軸方向ノード最大数		10	10	10	10
	プロッタ出力用炉心構成要素最大数		10	10	20	20
プログラムサイズ			0.63MB	0.8MB	0.98MB	1.65MB

2.3 H I B E A C O Nコードの改良

今回、「常陽」Mk-Ⅲの炉心湾曲解析を実施するにあたり、下記改良が必要になった。以下では、各々の改良内容について述べる。

- (1) ラップ管間ギャップ計算法の変更
- (2) 自由湾曲量成分出力機能の追加
- (3) リスト出力項目選択機能の追加

2.3.1 ラップ管間ギャップ計算法の変更

従来のH I B E A C O Nでは、ラップ管と炉心支持板の熱膨張率が同一であることを前提として、ラップ管間ギャップの計算は、炉心支持板温度（炉心入口温度）とラップ管温度の差に相当するラップ管の熱膨張量を基に計算されていた。しかし、「常陽」Mk-Ⅲでは、炉内にオーステナイト鋼製ラップ管とともに、フェライト鋼製ラップ管が装荷されるため、上記前提が成り立たない。

そこで、今回の改良では、H I B E A C O Nにおけるラップ管間ギャップ計算には、ラップ管、炉心支持板の各々の常温時からの熱膨張を用いるように変更した。即ち、ラップ管、炉心支持板の各々の常温時からの熱膨張量の差を常温時のラップ管間ギャップから差し引くことにより運転中のラップ管間ギャップを求めるといふ、より厳密な方法に変更したとともに、材質の差に伴う熱膨張の差が取り入れられるようにした。この変更に伴い、炉心構成要素毎にラップ管の熱膨張率評価式を指定できるようにするとともに、炉心支持板の熱膨張率評価式も指定できるようにした。

従来の計算法と改良後の計算法を比較したものを表2.3.1-1に示した。その表からわかるように、改良後の方法は、ラップ管、炉心支持板の熱膨張率を同じとすると従来法に比べ $\{P - (1/2) \cdot (D_1 + D_2)\} \cdot \int_{T_0}^{T_s} \alpha dT$ の項が余分についている。通常は、 $P > (1/2) \cdot (D_1 + D_2)$ であるため、従来法では、ギャップが狭く評価されるという欠点があったことが判る。ただし、 $P = (1/2) \cdot (D_1 + D_2)$ であるため、ラップ管、炉心支持板の熱膨張率が等しい場合その効果は小さいと予想される。その確認結果は、2.5項で示す。

2.3.2 自由湾曲量成分出力機能の追加

各タイムステップで計算される自由湾曲量を下記成分毎に出力できるように改良した。

- (1) 熱による自由湾曲成分
- (2) スエリングによる自由湾曲成分
- (3) クリープによる自由湾曲成分
- (4) 荷重項（接触荷重及び摩擦力）による自由湾曲成分

上記湾曲量は、各炉心構成要素の軸方向ノード毎に径方向変位量と変位方向の形式で出力される。出力リスト例を表2.3.2-1に示す。

2.3.3 リスト出力項目選択機能の追加

従来のHIBEACONでは、リスト出力する項目が多い上、今回の改良で自由湾曲量成分毎の出力が追加されることにより、かなりのリスト出力量となる。このため、解析ケースに応じて不必要と考えられる出力項目は削除できるように修正した。即ち、下記の入力データに所定フラグを立てることにより、必要な項目だけを出力できるようにした。

- I P R I N T (1) : ラ ッ パ 管 対 面 間 距 離
- I P R I N T (2) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 軸 方 向 歪
- I P R I N T (3) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 軸 方 向 変 位
- I P R I N T (4) : 接 触 荷 重
- I P R I N T (5) : 摩 擦 力
- I P R I N T (6) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 径 方 向 変 位
- I P R I N T (7) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 径 方 向 自 由 湾 曲 量 (熱 湾 曲)
- I P R I N T (8) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 径 方 向 自 由 湾 曲 量 (ス エ リ ン グ 湾 曲)
- I P R I N T (9) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 径 方 向 自 由 湾 曲 量 (ク リ ー プ 湾 曲)
- I P R I N T (10) : 集 合 体 ラ ッ パ 管 径 方 向 自 由 湾 曲 量 (荷 重 項 に よ る 湾 曲)
- I P R I N T (11) : 曲 げ 応 力

I P R I N T (12) ~ (20) は 未 使 用 。

I P R I N T (n) = 1 : 出 力 す る 。

≠ 1 : 出 力 し な い 。

n : 出 力 項 目 番 号

表2.3.1-1 ラップ管間ギャップ計算法の比較

	従 来 法	改 良 後 の 方 法
前 提	ラップ管と炉心支持板の熱膨張率は、等しい。	特に無。
ギャップ量 計算式	$g'(K) = g - \frac{1}{2} \cdot \{D_1 \cdot (\delta S_1(K) + \delta C_1(K) + \int_{T_s}^{T_1(K)} \alpha \, dT) + D_2 \cdot (\delta S_2(K) + \delta C_2(K) + \int_{T_s}^{T_2(K)} \alpha \, dT)\}$ <p style="text-align: right;">……(2.3.1-1)</p> <p>ここで、 $g'(K)$: ノードKのラップ管間ギャップ g : 常温、無変形時のラップ管間ギャップ $g = P - (1/2) \cdot (D_1 + D_2)$ P : 常温時炉心構成要素配列ピッチ D_i : 常温、無変形時のラップ管外側対面距離、 iは、ギャップを構成する炉心構成要素番号 $\delta S_i(K)$: 炉心構成要素<i>i</i>、ノードKのスエリング膨張率 $\delta C_i(K)$: 炉心構成要素<i>i</i>、ノードKのクリープ膨張率 T_s : 炉心支持板温度 $T_i(K)$: 炉心構成要素<i>i</i>、ノードKのラップ管平均温度 α : ラップ管、炉心支持板の瞬時熱膨張率 $\int \alpha \, dT$: 瞬時熱膨張率の温度に関する積分</p>	$g'(K) = P \cdot (1 + \int_{T_o}^{T_s} \alpha_s \, dT) - \frac{1}{2} \cdot \{D_1 \cdot (1 + \delta S_1(K) + \delta C_1(K) + \int_{T_o}^{T_1(K)} \alpha_1 \, dT) + D_2 \cdot (1 + \delta S_2(K) + \delta C_2(K) + \int_{T_o}^{T_2(K)} \alpha_2 \, dT)\}$ <p style="text-align: right;">……(2.3.1-2)</p> <p>ここで、下記記号以外は、左記の記号と同じ。 T_o : 常温温度 (=20℃) α_s : 炉心支持板瞬時熱膨張率 α_i : 炉心構成要素<i>i</i>のラップ管瞬時熱膨張率</p> <p>上記(2.3.1-2)式を変形すると以下のようになる。 $g'(K) = g - \frac{1}{2} \cdot \{D_1 \cdot (\delta S_1(K) + \delta C_1(K) + \int_{T_s}^{T_1(K)} \alpha_1 \, dT) + D_2 \cdot (\delta S_2(K) + \delta C_2(K) + \int_{T_s}^{T_2(K)} \alpha_2 \, dT)\} + P \cdot \int_{T_o}^{T_s} \alpha_s \, dT - \frac{1}{2} \cdot (D_1 \cdot \int_{T_o}^{T_s} \alpha_1 \, dT + D_2 \cdot \int_{T_o}^{T_s} \alpha_2 \, dT)$ <p style="text-align: right;">……(2.3.1-3)</p> <p>(2.3.1-1)式と(2.3.1-3)式を比較すると、(2.3.1-3)式は右辺第3項、4項が追加になっている。 $\alpha_s = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$とおくと、その第3項、4項は、以下のようになる。 第3項+4項 = $(P - \frac{1}{2} \cdot (D_1 + D_2)) \cdot \int_{T_o}^{T_s} \alpha \, dT$ ……(2.3.1-4)</p> <p>$P > (1/2) \cdot (D_1 + D_2)$であるから、改良後の方法は、従来法よりラップ管ギャップが広く評価される。</p> </p>

表 2.3.2-1 成分毎の自由湾曲量リスト出力例

```

*****
* FREE BOWING DISPLACEMENT *
* (TEMPERATURE) *
* ( ZMAX:CM ) ( PHIK:DEG ) *
*****
熱湾曲
** ASS NO. = 1 ** MAX. ZMAX = 0.115880E-01 AXIAL NODE = 37 PHIK = -130.893
ZMAX
1 0.422111E-07 2 0.148304E-06 3 0.198661E-06 4 0.329954E-06 5 0.486458E-06 6 0.642961E-06
7 0.213668E-04 8 0.957657E-04 9 0.237890E-03 10 0.371857E-03 11 0.631623E-03 12 0.843483E-03
13 0.104781E-02 14 0.130000E-02 15 0.153127E-02 16 0.178629E-02 17 0.206491E-02 18 0.228903E-02
19 0.252566E-02 20 0.277423E-02 21 0.303398E-02 22 0.339592E-02 23 0.377360E-02 24 0.416472E-02
25 0.461773E-02 26 0.513263E-02 27 0.565460E-02 28 0.669554E-02 29 0.770430E-02 30 0.864904E-02
31 0.923588E-02 32 0.976221E-02 33 0.104193E-01 34 0.109333E-01 35 0.113151E-01 36 0.115341E-01
37 0.115880E-01 38 0.115795E-01 39 0.115210E-01 40 0.113608E-01
PHIK
1 -130.893 2 -130.893 3 -130.893 4 -130.893 5 -130.893 6 -130.893
7 -130.893 8 -130.893 9 -130.893 10 -130.893 11 -130.893 12 -130.893
13 -130.893 14 -130.893 15 -130.893 16 -130.893 17 -130.893 18 -130.893
19 -130.893 20 -130.893 21 -130.893 22 -130.893 23 -130.893 24 -130.893
25 -130.893 26 -130.893 27 -130.893 28 -130.893 29 -130.893 30 -130.893
31 -130.893 32 -130.893 33 -130.893 34 -130.893 35 -130.893 36 -130.893
37 -130.893 38 -130.893 39 -130.893 40 -130.893

```

```

*****
* FREE BOWING DISPLACEMENT *
* (SWELLING) *
* ( ZMAX:CM ) ( PHIK:DEG ) *
*****
スエリング湾曲
** ASS NO. = 1 ** MAX. ZMAX = 0.208098E-08 AXIAL NODE = 40 PHIK = 49.107
ZMAX
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 0.0 8 0.371385E-12 9 0.107702E-11 10 0.153010E-11 11 0.218374E-11 12 0.430600E-11
13 0.213269E-10 14 0.488881E-10 15 0.733869E-10 16 0.978857E-10 17 0.122385E-09 18 0.140759E-09
19 0.159133E-09 20 0.177507E-09 21 0.195881E-09 22 0.220380E-09 23 0.244876E-09 24 0.269377E-09
25 0.296938E-09 26 0.327562E-09 27 0.358185E-09 28 0.473843E-09 29 0.643910E-09 30 0.813978E-09
31 0.929624E-09 32 0.104527E-08 33 0.121534E-08 34 0.138540E-08 35 0.156398E-08 36 0.174425E-08
37 0.188710E-08 38 0.192792E-08 39 0.199595E-08 40 0.208098E-08
PHIK
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 0.0 8 49.107 9 49.107 10 49.107 11 49.107 12 49.107
13 49.107 14 49.107 15 49.107 16 49.107 17 49.107 18 49.107
19 49.107 20 49.107 21 49.107 22 49.107 23 49.107 24 49.107
25 49.107 26 49.107 27 49.107 28 49.107 29 49.107 30 49.107
31 49.107 32 49.107 33 49.107 34 49.107 35 49.107 36 49.107
37 49.107 38 49.107 39 49.107 40 49.107

```

```

*****
* FREE BOWING DISPLACEMENT *
* (CREEP) *
* ( ZMAX:CM ) ( PHIK:DEG ) *
*****
クリープ湾曲
** ASS NO. = 1 ** MAX. ZMAX = 0.186828E-06 AXIAL NODE = 40 PHIK = 225.005
ZMAX
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 0.948726E-13 8 0.463334E-12 9 0.133408E-11 10 0.270035E-11 11 0.758003E-11 12 0.131838E-10
13 0.195174E-10 14 0.282754E-10 15 0.748455E-10 16 0.243779E-09 17 0.397947E-09 18 0.447509E-09
19 0.521612E-09 20 0.636040E-09 21 0.103164E-08 22 0.268618E-08 23 0.543512E-08 24 0.933619E-08
25 0.143476E-07 26 0.202159E-07 27 0.270271E-07 28 0.413530E-07 29 0.559842E-07 30 0.713792E-07
31 0.818611E-07 32 0.923656E-07 33 0.107841E-06 34 0.123337E-06 35 0.139624E-06 36 0.156076E-06
37 0.169120E-06 38 0.172848E-06 39 0.179061E-06 40 0.186828E-06
PHIK
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 292.543 8 292.002 9 289.998 10 290.513 11 292.986 12 294.353
13 296.931 14 296.125 15 -32.093 16 -28.166 17 -35.099 18 -48.118
19 -59.968 20 297.270 21 273.432 22 -110.937 23 -112.576 24 -112.339
25 -115.381 26 -117.950 27 239.789 28 235.672 29 232.571 30 230.213
31 229.130 32 228.293 33 227.358 34 226.658 35 226.090 36 225.637
37 225.341 38 225.264 39 225.144 40 225.005

```

```

*****
* FREE BOWING DISPLACEMENT *
* (CONTACT AND FRICTION) *
* ( ZMAX:CM ) ( PHIK:DEG ) *
*****
荷重項による湾曲
** ASS NO. = 1 ** MAX. ZMAX = 0.0 AXIAL NODE = 0 PHIK = 0.0
ZMAX
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 0.0 8 0.0 9 0.0 10 0.0 11 0.0 12 0.0
13 0.0 14 0.0 15 0.0 16 0.0 17 0.0 18 0.0
19 0.0 20 0.0 21 0.0 22 0.0 23 0.0 24 0.0
25 0.0 26 0.0 27 0.0 28 0.0 29 0.0 30 0.0
31 0.0 32 0.0 33 0.0 34 0.0 35 0.0 36 0.0
37 0.0 38 0.0 39 0.0 40 0.0
PHIK
1 0.0 2 0.0 3 0.0 4 0.0 5 0.0 6 0.0
7 0.0 8 0.0 9 0.0 10 0.0 11 0.0 12 0.0
13 0.0 14 0.0 15 0.0 16 0.0 17 0.0 18 0.0
19 0.0 20 0.0 21 0.0 22 0.0 23 0.0 24 0.0
25 0.0 26 0.0 27 0.0 28 0.0 29 0.0 30 0.0
31 0.0 32 0.0 33 0.0 34 0.0 35 0.0 36 0.0
37 0.0 38 0.0 39 0.0 40 0.0

```

2.4 HITETRASコードの試計算

2.1項で述べたHITETRASコードの改良部の妥当性を確認するために、試計算を行った。その結果を以下に示す。

2.4.1 ラッパ管温度、中性子束の出力方式に関する試計算

ラッパ管温度、中性子束の出力方式の改良(2.1.1項参照)によって追加した3種類の出力方式で、炉心湾曲解析を実施し、各出力方式による解析結果の検討を行い、今回の改良の妥当性を確認する事を本試計算の目的とする。

(1) 解析ケース及び条件

「常陽」Mk-II制御棒移設炉心⁽³⁾の制御棒移設直後の1サイクル1/6回転対称炉心(軸方向ノード分割は40不等分割)においてラッパ管温度、中性子束を以下の3方式で設定し、そのラッパ管温度、中性子束に基づく炉心湾曲解析を実施する。

- (i) ラッパ管各方面についてその平均値を与える(面平均モデル)
 - (ii) ラッパ管各面を周方向に2等分割し、その分割領域内の平均値を与える(面2分割モデル)
 - (iii) ラッパ管各コーナでの値を与える(コーナモデル)
- その他の条件は、移設制御棒の炉内変形量計算⁽³⁾と同一にする。

(2) 解析結果

(a) ラッパ管温度分布

図2.4.1-1に軸方向ラッパ管温度分布を示す。

図2.4.1-2に周方向ラッパ管温度分布を示す。

軸方向及び周方向ラッパ管分布共に各モデル間で大差ないことが示されている。

(b) ラッパ管高速中性子束分布

図2.4.1-3に軸方向ラッパ管高速中性子束分布を示す。

図2.4.1-4に周方向ラッパ管高速中性子束分布を示す。

コーナモデルが面平均モデル及び面2分割モデルに比べ各面間の差が若干大きくなっている。但し、軸方向及び周方向ラッパ管高速中性子束分布共各モデル間で全体的に見ると大差がない。

(c) 炉心湾曲解析

(i) 炉心構成要素の変位

1サイクル初期における頂部位置での変位を図2.4.1-5~7に示す。対角線列の列方向変位を図2.4.1-8~10に示す。

ラッパ管温度分布及びラッパ管高速中性子束分布の径方向勾配が比較的大きいと思われる内側反射体隣接炉心燃料集合体(5F3)に着目して、各モデルにおける頂部変位を表2.4.1-1にまとめる。

面2分割モデルが最も大きな変位を示した。次に面平均モデル、コーナモデルが最も小さな値を示したが、その差は0.5mm以下である。

頂部位置での残留変位を表2.4.1-2に示す。

面2分割モデルが最も大きな変位を示し、次いでコーナモデル、面平均モデルの順になっており、その差は1mm程度である。

また、解析モデルによる最大変位の違いを表2.4.1-3に示す。

各モデルで最大変位を比較すると、サイクル初期では面2分割モデルが一番大きく、順にコーナ、面平均モデルとなっている。

これらは、ラッパ管対面間距離の膨張量と自由湾曲によって決まるため、以下にその結果を示す。

各モデルにおける対角線列に並ぶ構成要素の平均温度及び平均中性子束を表2.4.1-4に示し、サイクル初期、末期、末期原子炉0出力時の断面膨張量を表2.4.1-5に示す。

平均温度、平均中性子束とは各面やコーナで入力した値を、各ノード毎で示した算術平均値で、上記表では下部パッド位置での平均値を表示している。この値により、着目ノードのラッパ管対辺間距離の膨張量が計算される。

平均温度に関しては、どのモデルでも同じ値であるが平均中性子束は、2.1.1章の表2.1.1-1で示したように、各面の中心位置やコーナ位置で中性子束を2次曲面を想定して計算しているため、必ずしも各モデルで同じにならない。

そのため、燃料集合体などの各モデルの中性子束の差が大きいところでは、断面膨張量が1%程度異なる場合がある。ただし、反射体など中性子束によるスエリングなどの膨張量が小さいところでは、どのモデルでも差はない。ラッパ管対辺間距離の膨張量についてまとめると、概ね以下の大小関係がある。

面平均<面2分割<コーナ

上記の大小関係は主に中性子束の平均値の大小関係に基づいている。

次に各モデルによる自由湾曲成分の違いを、図2.4.1-14に燃料集合体(#14)について、図2.4.1-15に外側反射体(#41)について各自由湾曲成分毎に示す。また上記図における各自由湾曲成分のデジタル値を表2.4.1-6に示す。

自由湾曲量についてまとめると次のようになる。

スエリングによる自由湾曲量は、概ね以下の大小関係となる。

面平均<面2分割<コーナ

一方、熱による自由湾曲量は、概ね以下のような大小関係となる。

面平均(コーナ)<コーナ(面平均)<面2分割

炉心構成要素の変位はスエリングや熱等の自由湾曲量の重ねあわせとなり、上記のような大小関係から、面2分割モデルが最も大きな変位を示す。ただし、細部についてみれば、ラッパ管の対辺間距離の膨張量も関与して、大小関係が変わってくることもありうる。

(ii) 炉心構成要素の接触荷重

1 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重を図2.4.1-11～13に示す。着目集合体の頂部パッド位置、下部パッド位置での、接触荷重を表2.4.1-7に示す。また、表2.4.1-8に各モデルによる最大接触荷重の違いを示す。表に示すように面2分割モデルが最も大きな荷重を示す結果となった。

どのモデルでも、構成要素間のギャップが狭い下部パッド位置で最大接触荷重がでている。各モデル間の比較では変位量も大きい、面2分割モデルが一番大きな荷重を示しており、順にコーナ、面平均モデルとなっている。

(3) 結 論

以上の試計算結果をまとめる。変位、荷重とも、モデル間の大小関係は概ね、面平均<コーナ<面2分割となった。これは、従来、面平均モデルが過小評価傾向を示すということにより他の2モデルを追加したという経緯から妥当な結果である。尚、これらの大小関係は湾曲の成分(熱、スエリング、クリープ)の大小関係、温度、中性子束分布の付き方等によって変わりうるが、概ね、面2分割が最も安全側の結果を与えると言える。また、前述のごとくコーナーモデルについては、変位を最も小さく評価するケースがあるが、これは制御棒等、温度や中性子束分布が大きく変動することによるものと考えられ、分布の変化がおだやかな場合には、コーナーモデルも使用可能と考えられる。

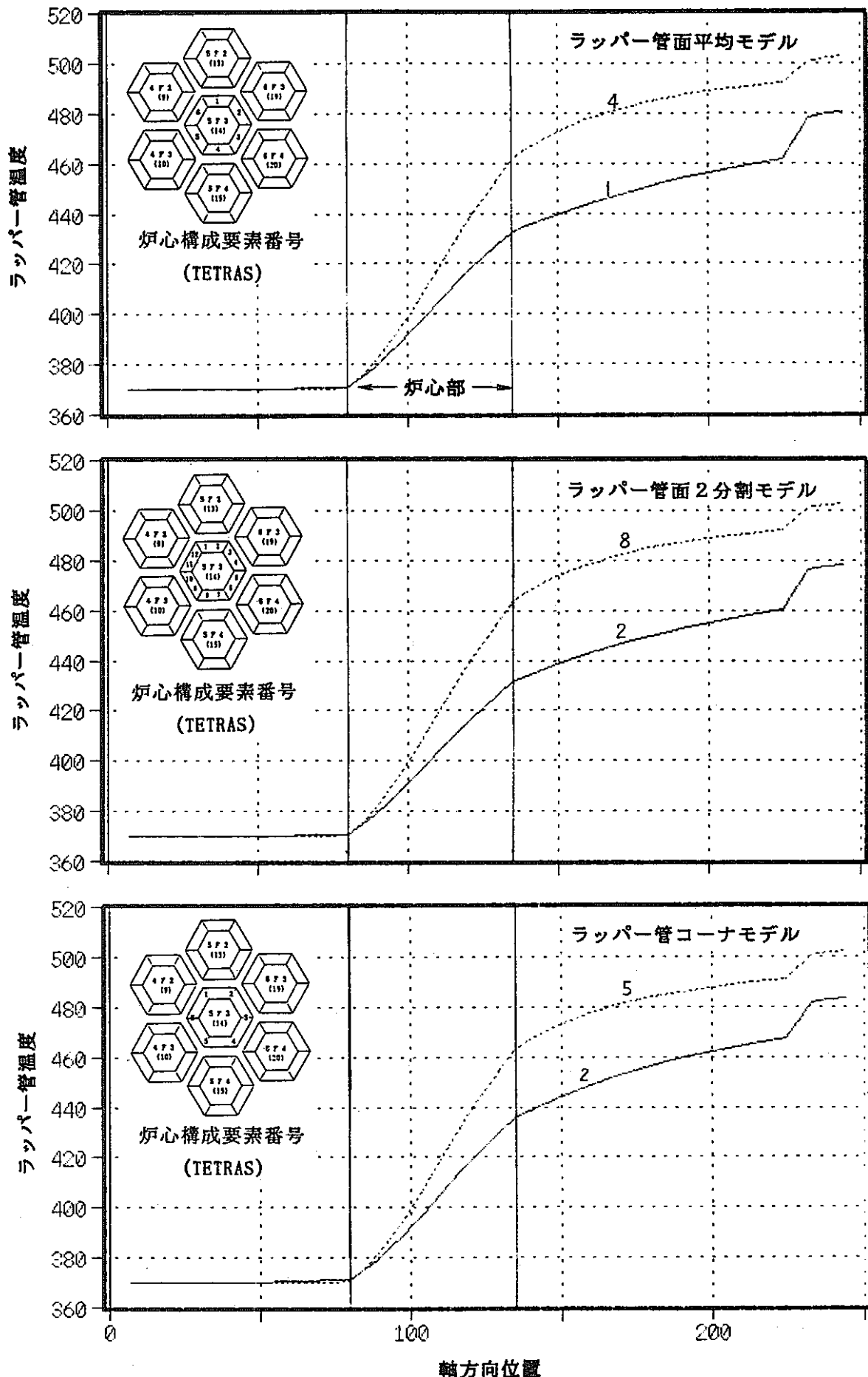


図 2.4.1-1 移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパー管温度分布

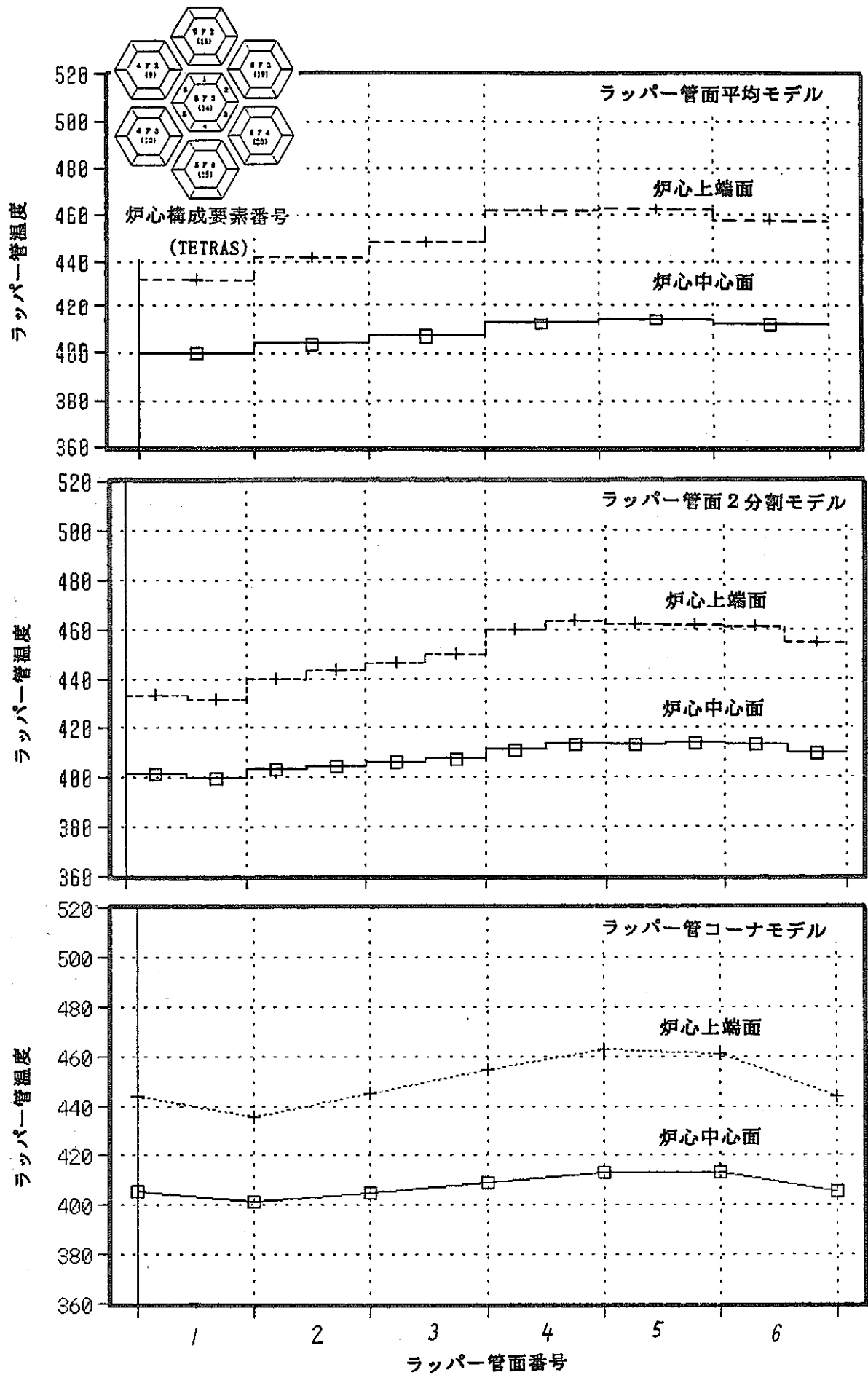


図 2.4.1-2 移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパー管温度分布

単位: (E+15)

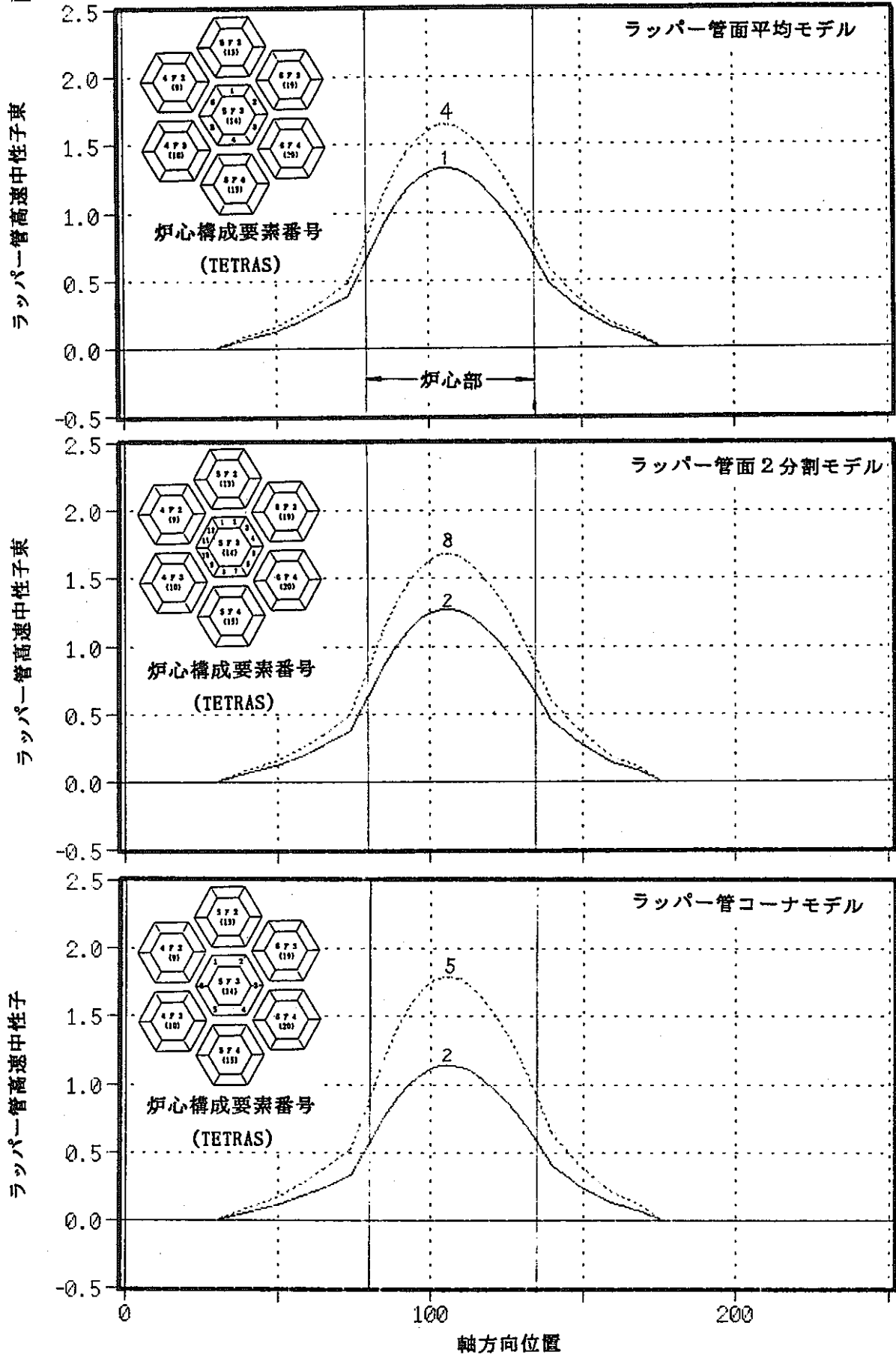


図2.4.1-3 移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパー管高速中性子束分布

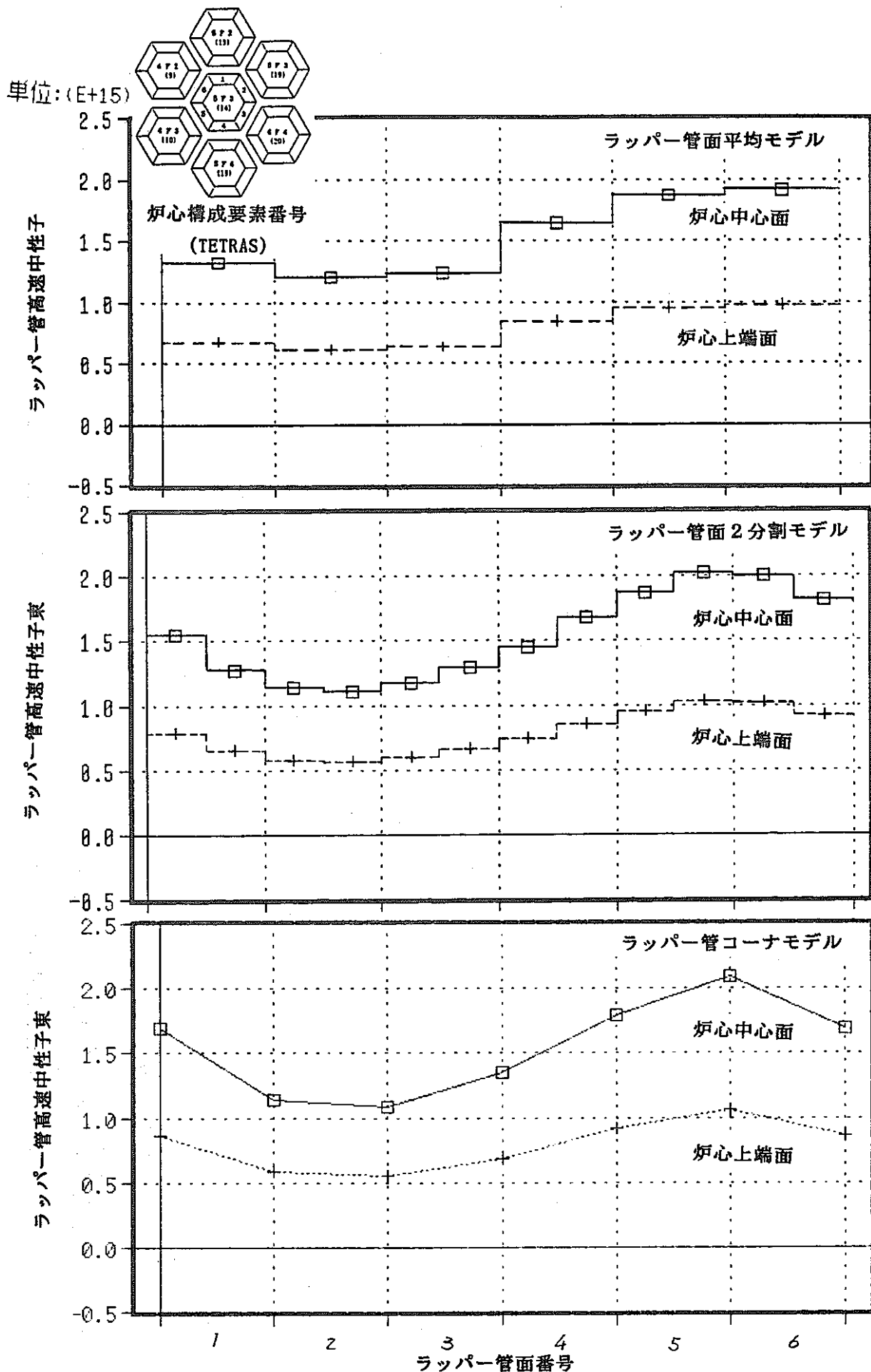
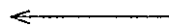
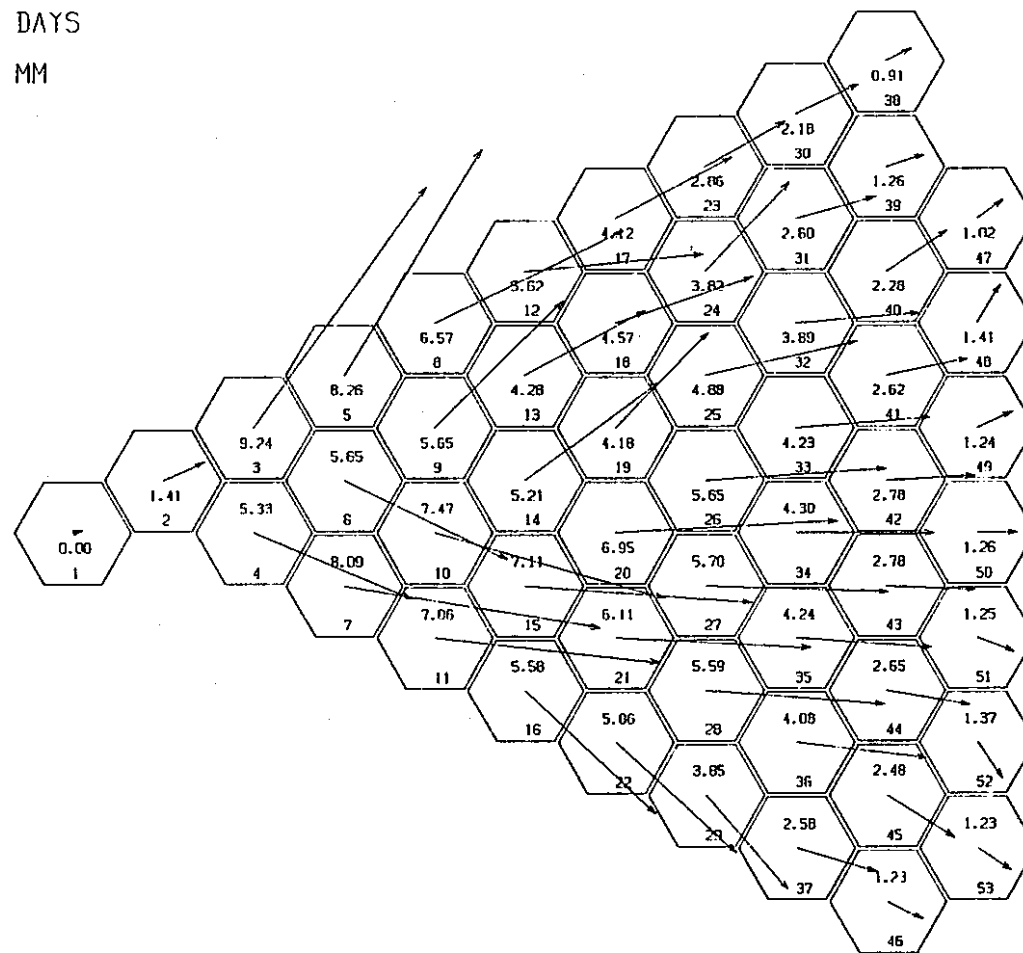


図 2.4.1-4 移設制御棒炉心第1サイクル初期周方向ラッパー管高速中性子束分布

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM
 IPUP = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

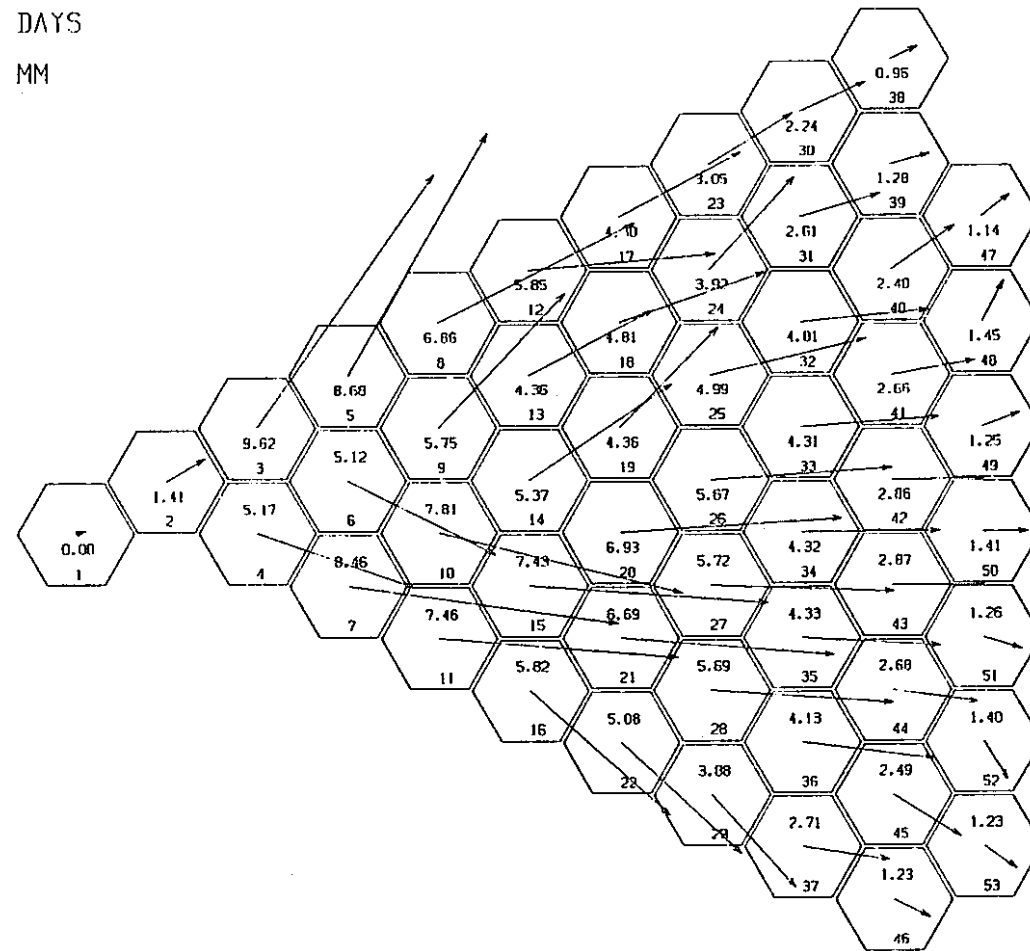
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 2.4.1-5 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期における頂部位置での変位 (ラッパー管面平均モデル)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 6



2.4-9



5 MM

DISPLACEMENT : 10x + 00 MM

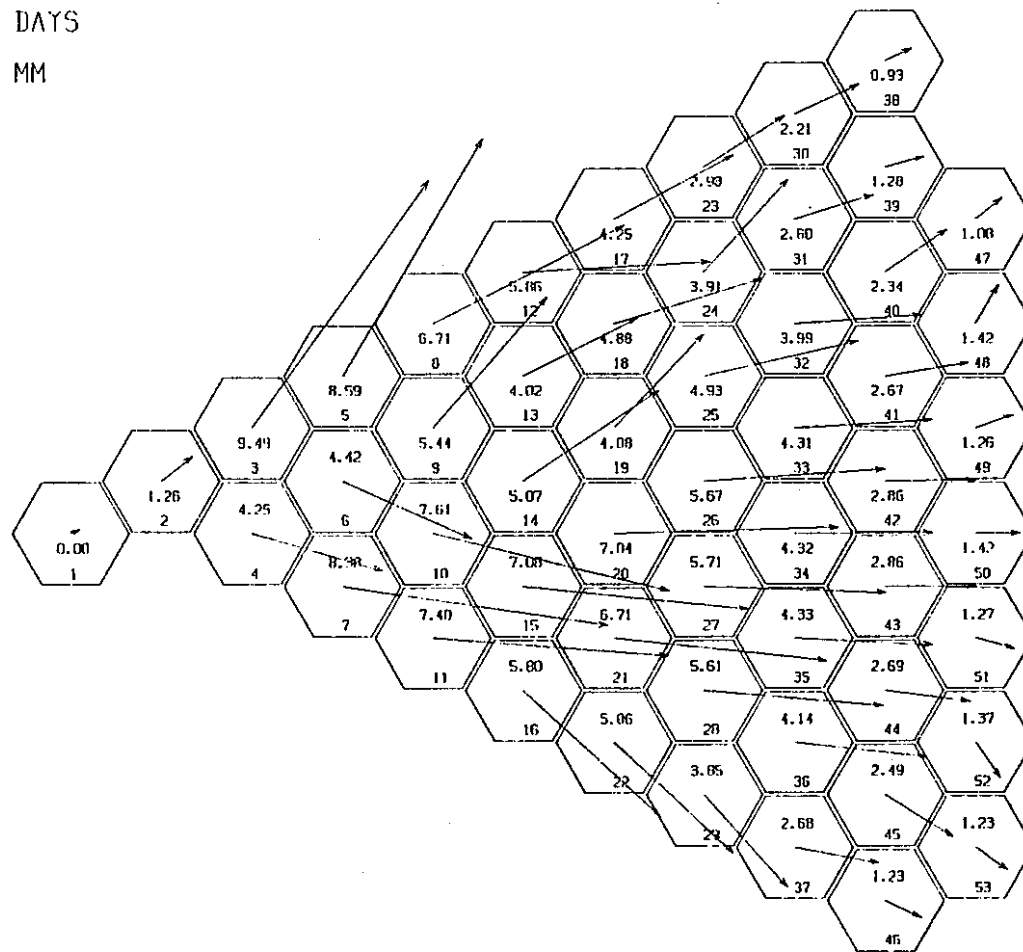
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 2.4.1-6 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部位置での変位 (ラッパー管面2分割モデル)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 6



2.4-10

5 MM

DISPLACEMENT : 10 \times +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 2.4.1-7 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期における頂部位置での変位 (ラッパー管コーナモデル)

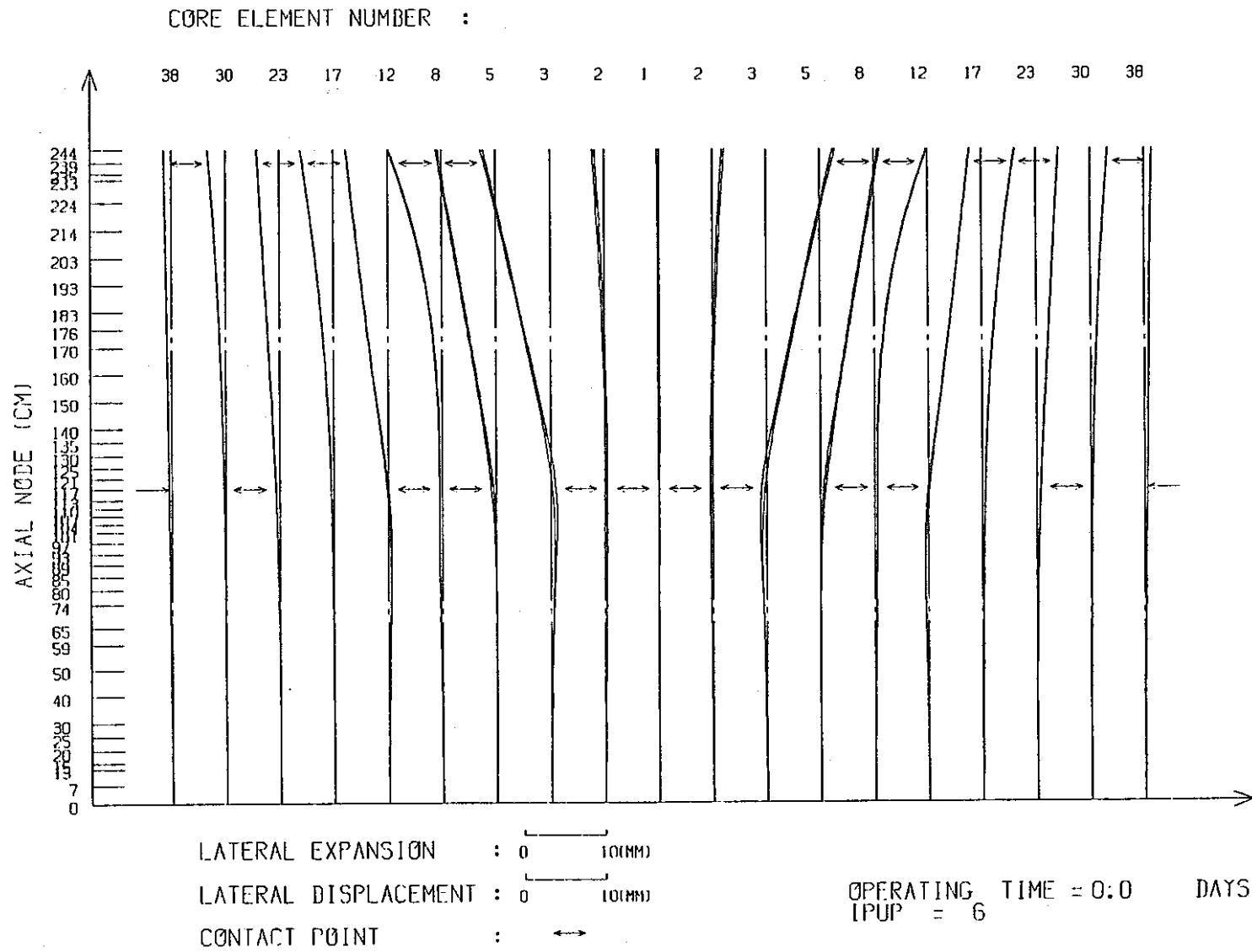


図 2.4.1-8 移設制御棒炉心第1サイクル初期における列方向変位(対角線列)(ラッパー管面平均モデル)

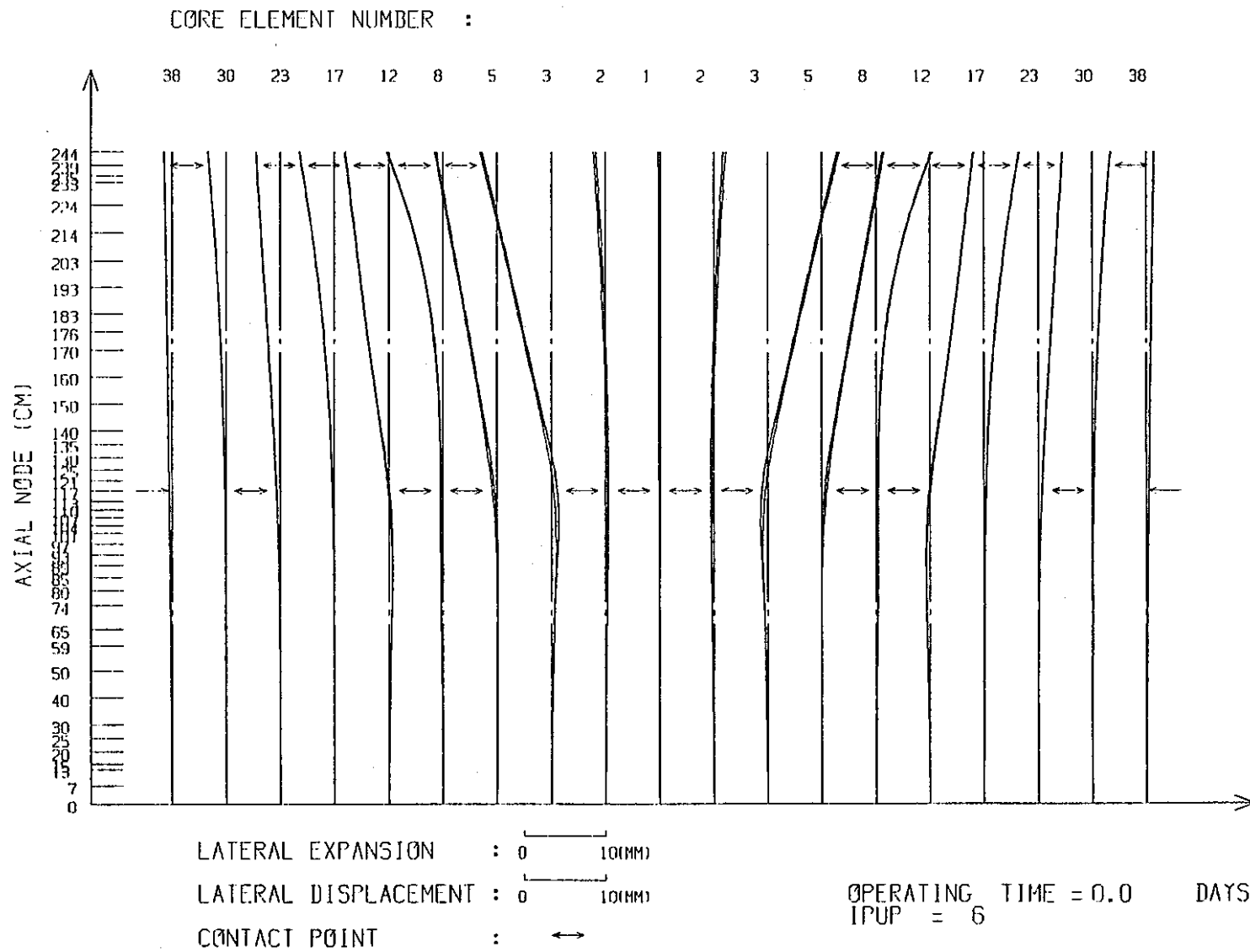


図 2.4.1-9 移設制御棒炉心第1サイクル初期における列方向変位(対角線列)(ラッパー管面2分割モデル)

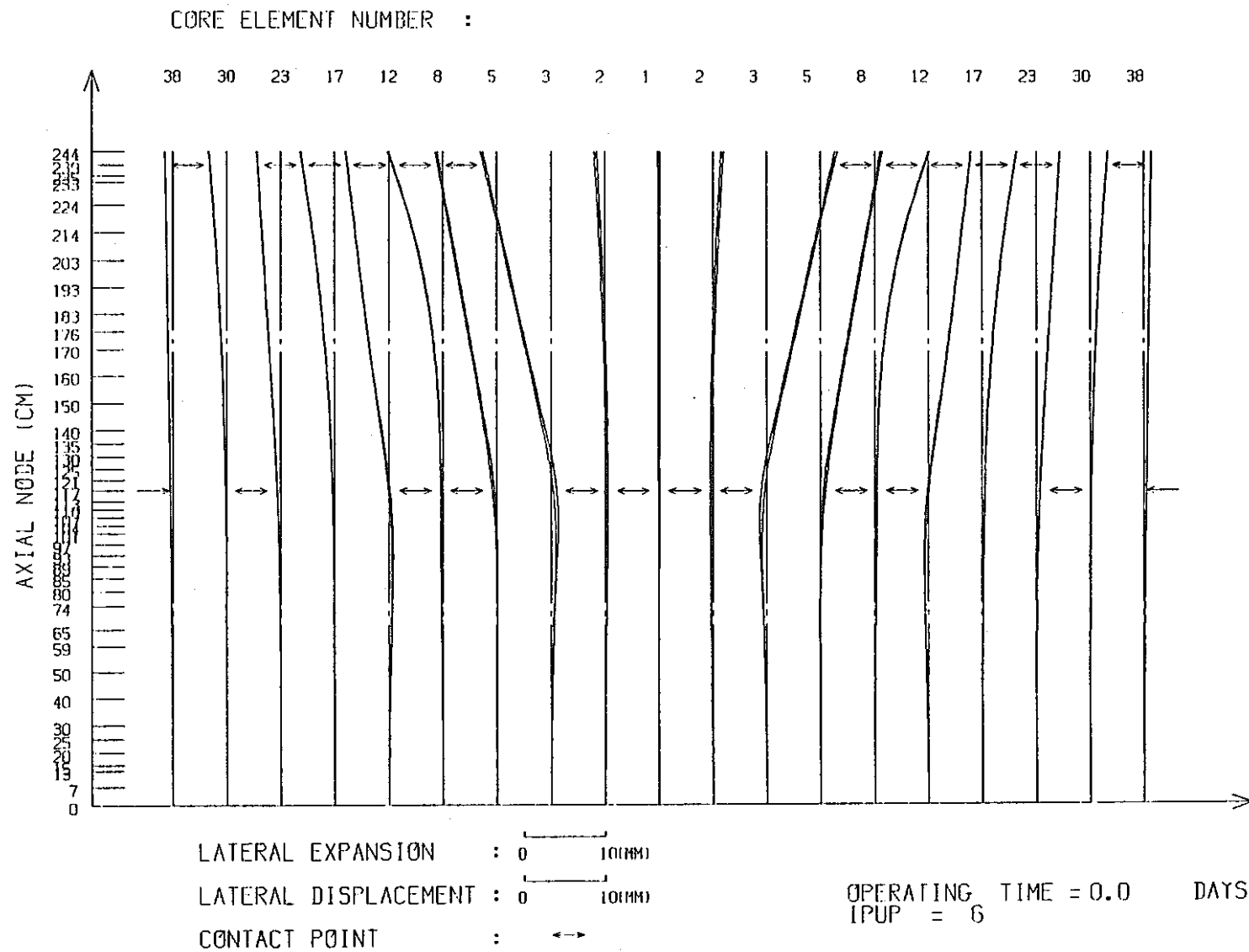
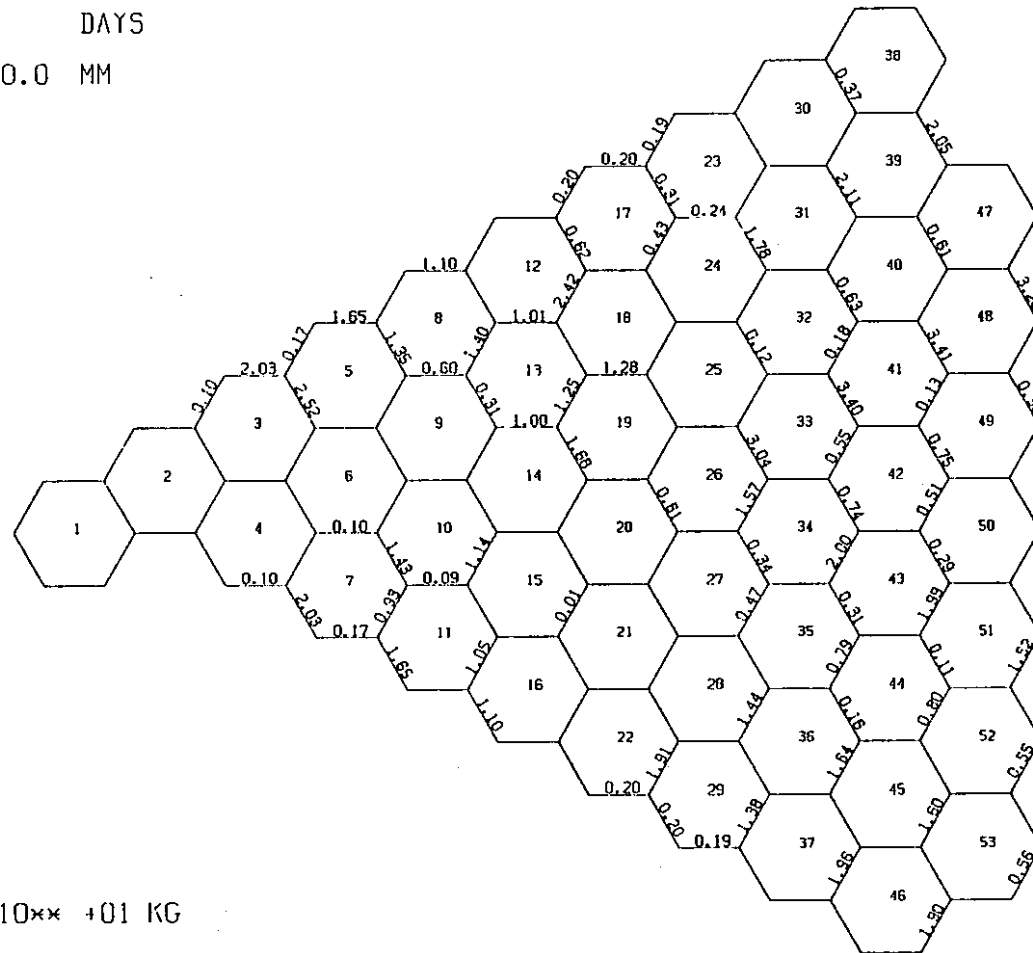


図 2.4.1-10 移設制御棒炉心第1サイクル初期における列方向変位(対角線列)(ラッパ管コーナモデル)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 6



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

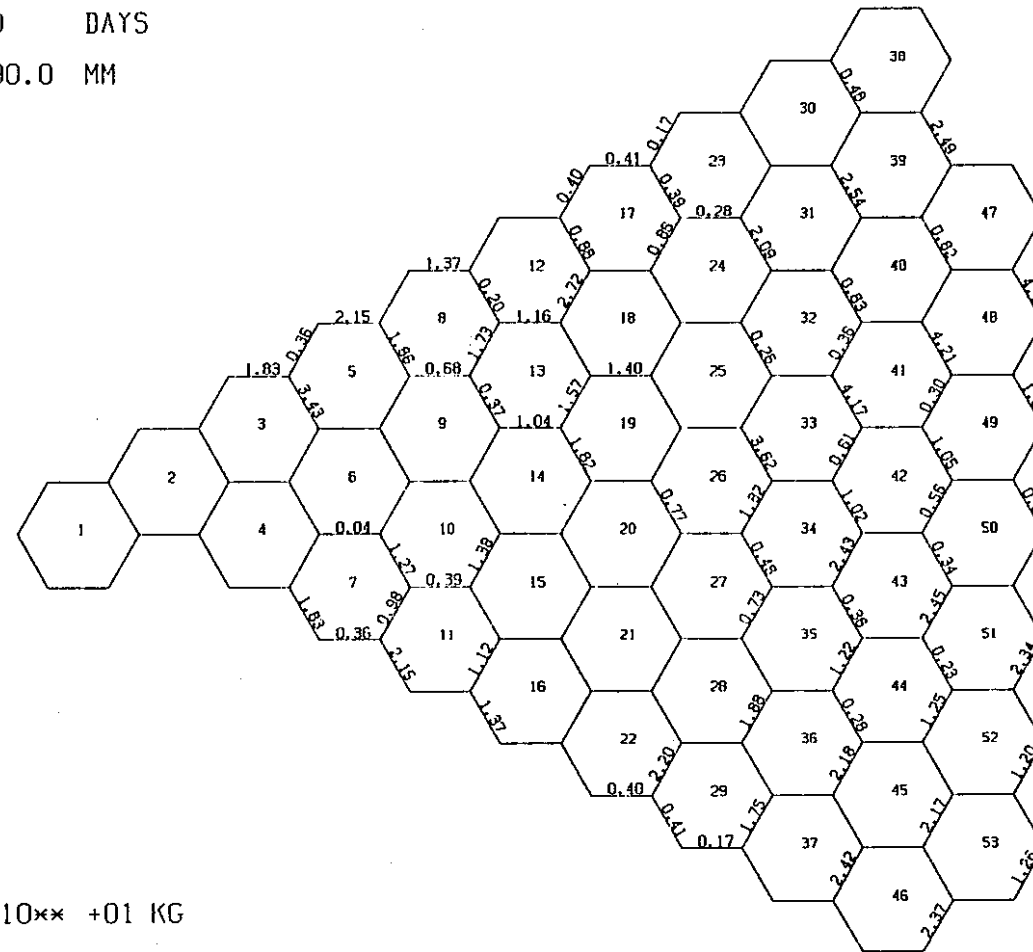
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 2.4.1-1 1 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重 (ラッパー管面平均モデル)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM

IPUP = 6

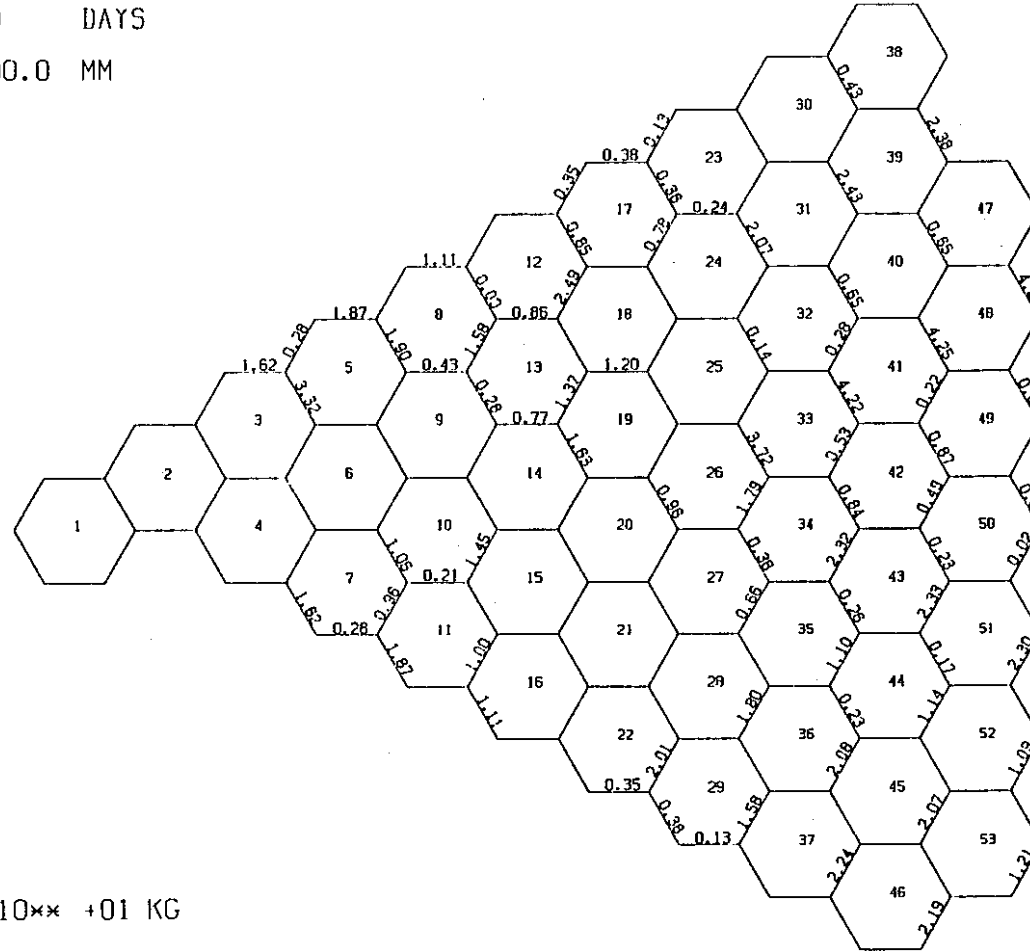


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 2.4.1-12 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重 (ラッパー管面2分割モデル)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 6



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 2.4.1-13 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重 (ラッパー管コーナモデル)

表 2. 4. 1 - 1 着目集合体 (5 F 3) の頂部変位

単位 (mm)

解析手法	運転サイクル初期	運転サイクル末期	原子炉停止時
面平均モデル	5.21	5.42	3.65
面 2 分割モデル	5.37	5.61	4.50
コーナモデル	5.07	5.25	3.97

表 2. 4. 1 - 2 着目集合体 (5 F 3) の残留変位 (頂部変位)

単位 (mm)

解析手法	着目集合体 (5 F 3)
面平均モデル	9.73
面 2 分割モデル	10.75
コーナモデル	9.89

表 2. 4. 1-3 解析モデルによる最大変位の違い

解析手法	運転サイクル初期		運転サイクル末期		原子炉停止時		頂部 残留 変位
	下部パッド 位置	頂部 位置	下部パッド 位置	頂部 位置	下部パッド 位置	頂部 位置	
面平均モデル	#3 0.96 (3.8)	#3 9.24 (144.3)	#12 0.69 (223.2)	#3 9.49 (148.8)	#17 1.26 (128.7)	#7 8.45 (73.7)	#3 16.15 (149.9)
面2分割モデル	#12 0.86 (213.3)	#3 9.62 (144.9)	#12 0.76 (238.0)	#3 10.00 (150.4)	#17 1.31 (131.0)	#7 8.93 (79.1)	#3 17.79 (145.7)
コーナモデル	#12 0.59 (93.0)	#3 9.50 (144.5)	#12 0.58 (95.5)	#3 9.29 (149.9)	#17 1.29 (130.1)	#7 8.74 (75.3)	#26 15.98 (97.4)

上段：炉心構成要素番号

中段：最大変位 (mm)

下段：変位方向 (deg)

表2. 4. 1 - 4 対角線列における、下部パッド位置での平均温度および平均中性子束

炉心構成 要素番号	平均温度(°C)			平均中性子束(n/cm ²)		
	面平均	面2分割	コーナー	面平均	面2分割	コーナー
#1	448.53	448.53	448.53	3.621E15	3.623E15	3.628E15
#2	445.26	445.26	445.25	3.448E15	3.450E15	3.457E15
#3	432.96	432.96	432.96	2.853E15	2.861E15	2.884E15
#5	428.58	428.58	428.58	2.246E15	2.245E15	2.242E15
#8	400.45	400.44	400.44	1.469E15	1.474E15	1.491E15
#12	410.97	410.97	410.97	8.330E14	8.349E14	8.408E14
#17	395.53	395.53	395.53	4.217E14	4.287E14	4.496E14
#23	396.08	396.08	396.08	2.115E14	2.128E14	2.165E14
#30	390.31	390.31	390.31	1.145E14	1.177E14	1.171E14
#38	388.31	388.31	388.31	6.298E13	6.372E13	6.594E13

表 2. 4. 1 - 5 対角線列における下部パッド位置での断面膨張量

{スエリング+クリープ+温度(20℃基準)}

炉心構成 要素番号	サイクル初期			サイクル末期			サイクル末期原子炉0出力時		
	面平均	面2分割	コーナー	面平均	面2分割	コーナー	面平均	面2分割	コーナー
#1	0.121	0.121	0.121	0.173	0.173	0.173	0.052	0.052	0.052
#2	0.163	0.163	0.163	0.248	0.248	0.249	0.132	0.132	0.132
#3	0.441	0.443	0.447	0.549	0.551	0.556	0.452	0.454	0.459
#5	0.254	0.254	0.254	0.319	0.319	0.319	0.229	0.229	0.228
#8	0.047	0.047	0.047	0.054	0.054	0.059	0.007	0.007	0.007
#12	0.176	0.180	0.181	0.197	0.198	0.199	0.134	0.135	0.136
#17	0.039	0.039	0.039	0.040	0.040	0.040	0.001	0.001	0.001
#23	0.052	0.053	0.052	0.053	0.054	0.054	0.013	0.014	0.014
#30	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036	0.036	0.003	0.005	0.005
#38	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.002	0.002	0.002

単位：(mm)

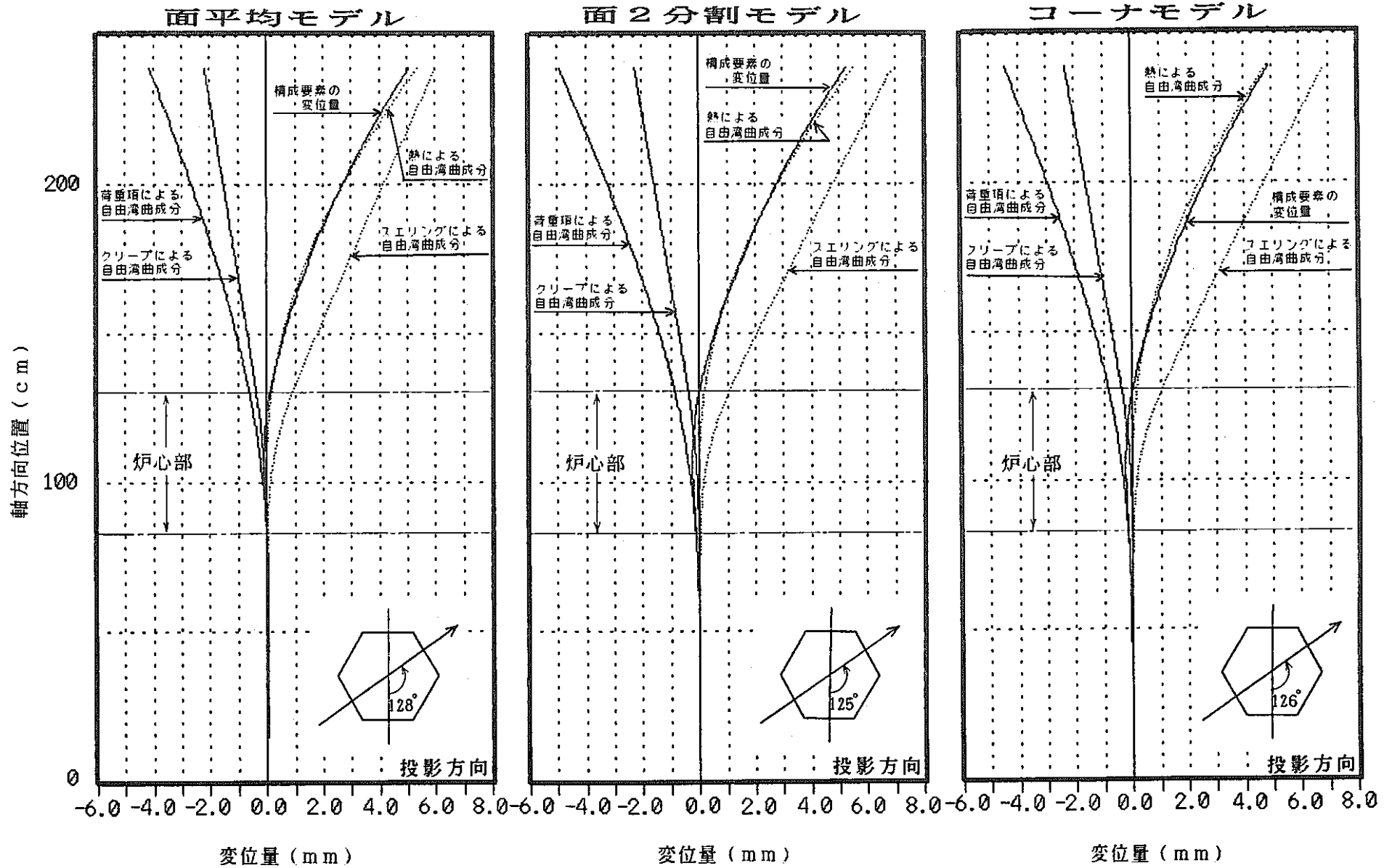


図 2. 4. 1-14 着目集合体 5F3 (#14: 燃料集合体) における
計算モデルによる最大頂部変位の違い (運転サイクル末期)

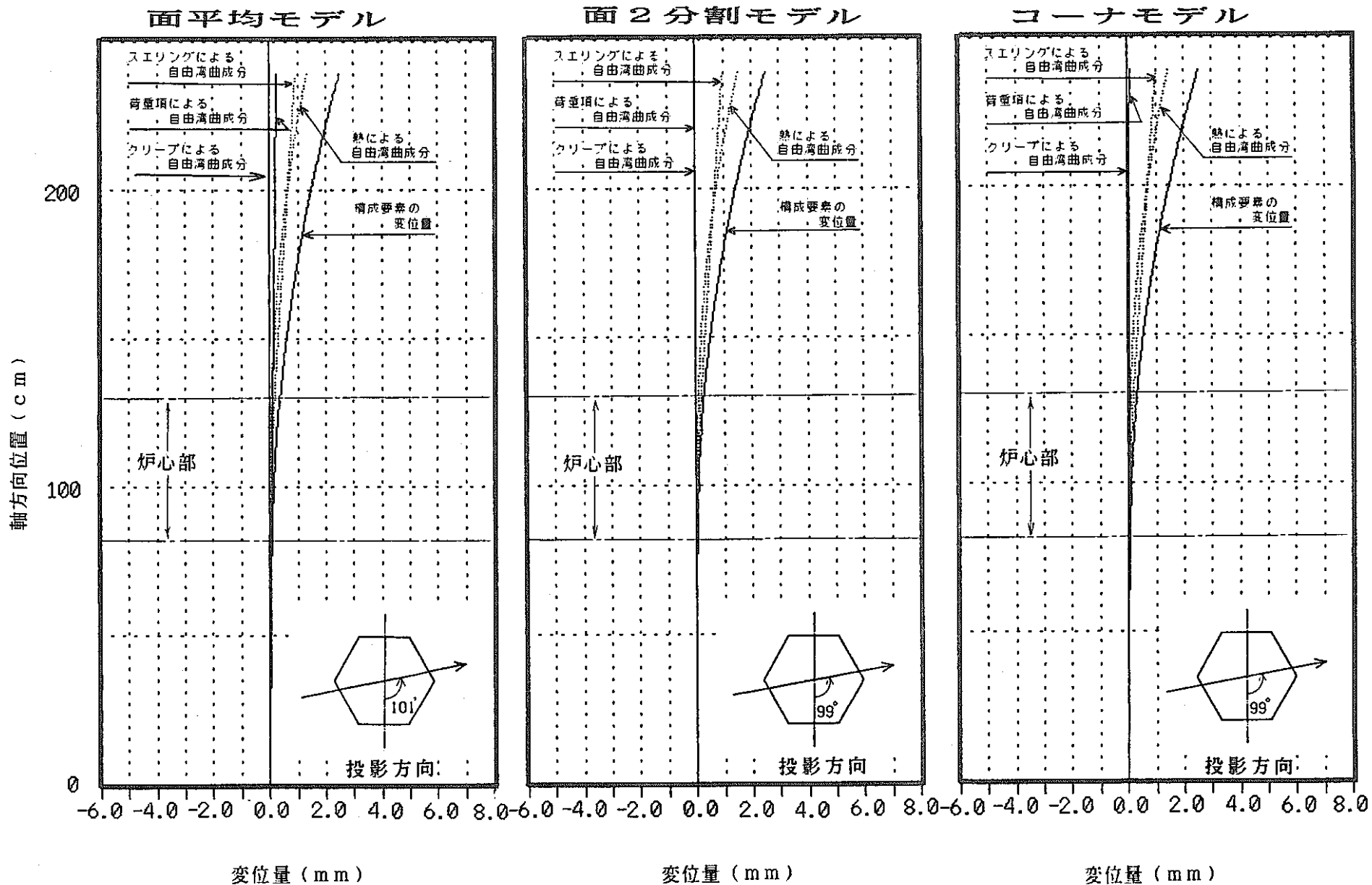


図 2. 4. 1-15 最大接触荷重発生集合体 (#41: 外側(A) 反射体) における計算モデルによる最大頂部変位の違い (運転サイクル末期)

表 2. 4. 1 - 6 解析モデルによる自由湾曲量成分の違い

集合体 No.	着目位置	解析手法	構成要素の変位		熱による自由湾曲量		スエリングによる 自由湾曲量		クリープによる 自由湾曲量		荷重項による 自由湾曲量	
			変位	角度	変位	角度	変位	角度	変位	角度	変位	角度
# 1 4	頂部位置	面平均モデル	5.417	127.8	6.190	149.6	6.562	109.9	2.264	-51.4	4.316	-48.9
		面2分割モデル	5.612	125.5	6.490	149.8	7.646	105.4	2.354	-49.8	5.139	-56.2
		コーナモデル	5.247	126.0	5.660	149.9	7.660	104.6	2.426	-57.5	4.650	-58.3
	炉心上端	面平均モデル	0.178	75.7	0.176	150.9	0.934	108.2	0.348	-49.8	0.596	296.4
		面2分割モデル	0.023	-39.3	0.187	150.0	1.097	103.6	0.375	-48.4	0.914	282.0
		コーナモデル	0.030	26.2	0.166	149.1	1.106	103.1	0.361	-57.2	0.875	284.8
	炉中心	面平均モデル	0.112	276.0	0.025	230.9	0.244	106.3	0.100	-47.1	0.255	276.1
		面2分割モデル	0.339	-97.4	0.025	227.8	0.290	101.5	0.113	-47.0	0.521	-95.1
		コーナモデル	0.303	270.6	0.021	224.7	0.295	101.2	0.098	-55.1	0.498	272.2
# 4 1	頂部位置	面平均モデル	2.632	100.7	1.467	114.7	0.957	105.2	0.009	-46.3	0.499	42.3
		面2分割モデル	2.667	99.3	1.708	114.5	1.030	106.0	0.008	-44.6	0.565	9.6
		コーナモデル	2.676	98.6	1.624	114.4	1.064	105.9	0.019	298.5	0.579	16.2
	炉心上端	面平均モデル	0.378	81.8	0.087	130.3	0.174	105.2	0.001	-28.2	0.209	42.3
		面2分割モデル	0.321	68.4	0.103	129.2	0.187	106.0	0.002	-29.6	0.236	9.6
		コーナモデル	0.350	69.9	0.099	128.4	0.194	105.9	0.003	-52.6	0.243	16.2
	炉中心	面平均モデル	0.214	68.9	0.033	136.6	0.072	105.1	0.001	-4.6	0.160	42.3
		面2分割モデル	0.186	45.1	0.039	134.6	0.077	105.9	0.001	-15.6	0.181	9.6
		コーナモデル	0.204	49.6	0.038	133.3	0.080	105.9	0.001	-40.3	0.186	16.2

表 2. 4. 1 - 7 着目集合体 (5 F 3) おける接触荷重

単位 (kg)

燃焼時期	解析手法	面番号 1		面番号 2		面番号 3		面番号 4		面番号 5		面番号 6	
		下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部
		ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット	ハット
		位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置	位置
運転サイクル初期	面平均モデル		16.8	8.9		22.5		34.1		10.3		10.0	
	面 2 分割モデル		18.2	12.8		29.3		30.6		19.6		10.4	
	コーナモデル		16.3	11.2		23.2		26.1		17.7		7.7	
運転サイクル末期	面平均モデル		16.6	8.5		14.1		35.8		6.8		6.9	
	面 2 分割モデル		18.9	9.2		21.4		32.9		13.2		6.9	
	コーナモデル		17.2	9.4		15.8		29.4		13.5		4.6	
原子炉停止時	面平均モデル	2.4	5.4	0.3				5.5					
	面 2 分割モデル	0.5	8.5	1.6				8.0					
	コーナモデル	1.1	7.2	1.2				6.5					

表 2. 4. 1 - 8 解析モデルによる最大接触荷重の違い

解析手法	運転サイクル初期		運転サイクル末期		原子炉停止時	
	下部パッド 位置	頂部パッド 位置	下部パッド 位置	頂部パッド 位置	下部パッド 位置	頂部パッド 位置
面平均モデル	#19-#26 52.1	#41-#48 34.1	#19-#26 53.4	#41-#48 36.1	#8-#12 29.7	#5-#8 14.3
面 2 分割モデル	#19-#26 62.2	#41-#48 42.1	#19-#26 63.2	#41-#48 44.3	#3-#4 22.0	#5-#8 18.5
コ ー ナ モ デ ル	#19-#26 58.7	#41-#48 42.5	#19-#26 58.5	#41-#48 42.8	#3-#4 16.7	#5-#8 15.8

上段：炉心構成要素番号

下段：接触荷重 (k g)

2.4.2 ラッパ管温度、中性子束の出力軸方向ノードの不等分割に関する試計算

ラッパ管温度、中性子束の出力軸方向ノードの不等分割化の改良後のコードを用い、軸方向出力ノードが等分割及び不等分割に於ける炉心湾曲解析を実施し、両者の解析結果の検討を行い、今回の改良が妥当である事を示す。

(1) 解析ケース及び条件

「常陽」Mk-II制御棒移設炉心⁽³⁾の制御棒移設直後の1サイクル1/6回転対称炉心において、軸方向分割を以下の2方式で設定し、ラッパ管温度、中性子束を解析し、そのラッパ管温度、中性子束に基づく炉心湾曲解析を実施する。

(i) 軸方向ノード40等分割 (等分割ノード)

(ii) 軸方向ノード40不等分割 (不等分割ノード)

ラッパ管温度、中性子束の出力方式は共に面平均モデルとし、その他の条件は移設制御棒の炉内変形量計算⁽³⁾と同一にする。

この試計算に於いて、常陽制御棒移設炉心で軸方向ノード分割数を40とした為、図2.4.2-1に示す様に等分割ノードのメッシュ幅は、6.1cmと比較的小さい。ラッパ管温度、中性子束の軸方向分布の傾きの変化の激しい炉心部に於ける、不等分割ノードのメッシュ幅3.0~5.0と比較し、メッシュ幅にそれほど差がなく、解析結果について両者間に大差が生じないと推測される。

(2) 解析結果

(a) ラッパ管温度分布

図2.4.2-2に軸方向ラッパ管温度分布を示す。

図2.4.2-3に周方向ラッパ管温度分布を示す。

周方向ラッパ管温度分布において、炉心中心面で等分割ノードの方が若干大きな値を示しているが、これは表示軸方向高さが等分割ノードの方が若干高いためで温度分布は大差がない。

(b) ラッパ管高速中性子束分布

図2.4.2-4に軸方向ラッパ管高速中性子束分布を示す。

図2.4.2-5に周方向ラッパ管高速中性子束分布を示す。

軸方向及び周方向ラッパ管高速中性子束分布共等分割ノードと不当分割ノードでは全体的に見ると大差がない。

(c) 炉心湾曲解析

(i) 炉心構成要素の変位

1サイクル初期における頂部位置での変位を図2.4.2-6~7に示す。対角線列の列方向変位を図2.4.2-8~9に示す。

ラッパ管温度分布及びラッパ管高速中性子束分布の径方向勾配が比較的大きいと思われる内側反射体隣接炉心燃料集合体(5F3)に着目して、頂部変位を表2.4.2-1にまとめる。

等分割ノードが大きな変位を示したが、その差は0.1mm以下である。

また、頂部位置での残留変位を表2.4.2-2に示す。

等分割ノードが大きな変位を示したが、その差は0.2mm程度である。

(ii) 炉心構成要素の接触荷重

1 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重を図 2. 4. 2-10 ~ 11 に示す。着目集合体の頂部パッド位置、下部パッド位置での、接触荷重を表 2. 4. 2-3 に示す。表に示すように等分割ノードが大きな荷重を示す結果となったが大差は生じていない。

(3) 結論

解析結果に示された通り、等分割ノードと不等分割ノードの両者の解析結果に大きな差は生じておらず、今回のコード改良が正しく行われていると言える。

等分割ノード				不等分割ノード			
中心点				中心点			
40	6.1	244.0	240.95	40	5.0	244.0	241.50
39	6.1	237.9	234.85	39	4.0	239.0	237.00
38	6.1	231.8	228.75	38	2.4	235.0	233.80
37	6.1	225.7	222.65	37	8.4	232.6	228.40
36	6.1	219.6	216.55	36	10.6	224.2	218.90
35	6.1	213.5	210.45	35	10.5	213.6	208.35
34	6.1	207.4	204.35	34	10.0	203.1	198.10
33	6.1	201.3	198.25	33	10.0	193.1	188.10
32	6.1	195.2	192.15	32	6.8	183.1	179.70
31	6.1	189.1	186.05	31	6.8	176.3	172.90
30	6.1	183.0	179.95	30	10.0	169.5	164.50
29	6.1	176.9	173.85	29	10.0	159.5	154.50
28	6.1	170.8	167.75	28	10.0	149.5	144.50
27	6.1	164.7	161.65	27	5.0	139.5	137.00
26	6.1	158.6	155.55	26	5.0	134.5	132.00
25	6.1	152.5	149.45	25	4.5	129.5	127.25
24	6.1	146.4	143.35	24	4.0	125.0	123.00
23	6.1	140.3	137.25	23	4.0	121.0	119.00
22	6.1	134.2	131.15	22	4.0	117.0	115.00
21	6.1	128.1	125.05	21	3.0	113.0	111.50
20	6.1	122.0	118.95	20	3.0	110.0	108.50
19	6.1	115.9	112.85	19	3.0	107.0	105.50
18	6.1	109.8	106.75	18	3.0	104.0	102.50
17	6.1	103.7	100.65	17	4.0	101.0	99.00
16	6.1	97.6	94.55	16	4.0	97.0	95.00
15	6.1	91.5	88.45	15	4.0	93.0	91.00
14	6.1	85.4	82.35	14	4.5	89.0	86.75
13	6.1	79.3	76.25	13	5.0	84.5	82.00
12	6.1	73.2	70.15	12	5.6	79.5	76.70
11	6.1	67.1	64.05	11	8.8	73.9	69.50
10	6.1	61.0	57.95	10	6.1	65.1	62.05
9	6.1	54.9	51.85	9	9.5	59.0	54.25
8	6.1	48.8	45.75	8	10.0	49.5	44.50
7	6.1	42.7	39.65	7	10.0	39.5	34.50
6	6.1	36.6	33.55	6	5.0	29.5	27.00
5	6.1	30.5	27.45	5	5.0	24.5	22.00
4	6.1	24.4	21.35	4	4.5	19.5	17.25
3	6.1	18.3	15.25	3	2.0	15.0	14.00
2	6.1	12.2	9.15	2	6.0	13.0	10.00
1	6.1	6.1	3.05	1	7.0	7.0	3.50

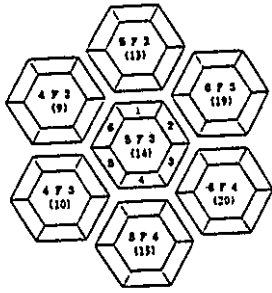
◎炉中心
(107.0)

◎炉中心
(107.0)

炉心部

炉心部

図 2.4.2-1 軸方向ノード分割図



炉心構成要素番号
(TETRAS)

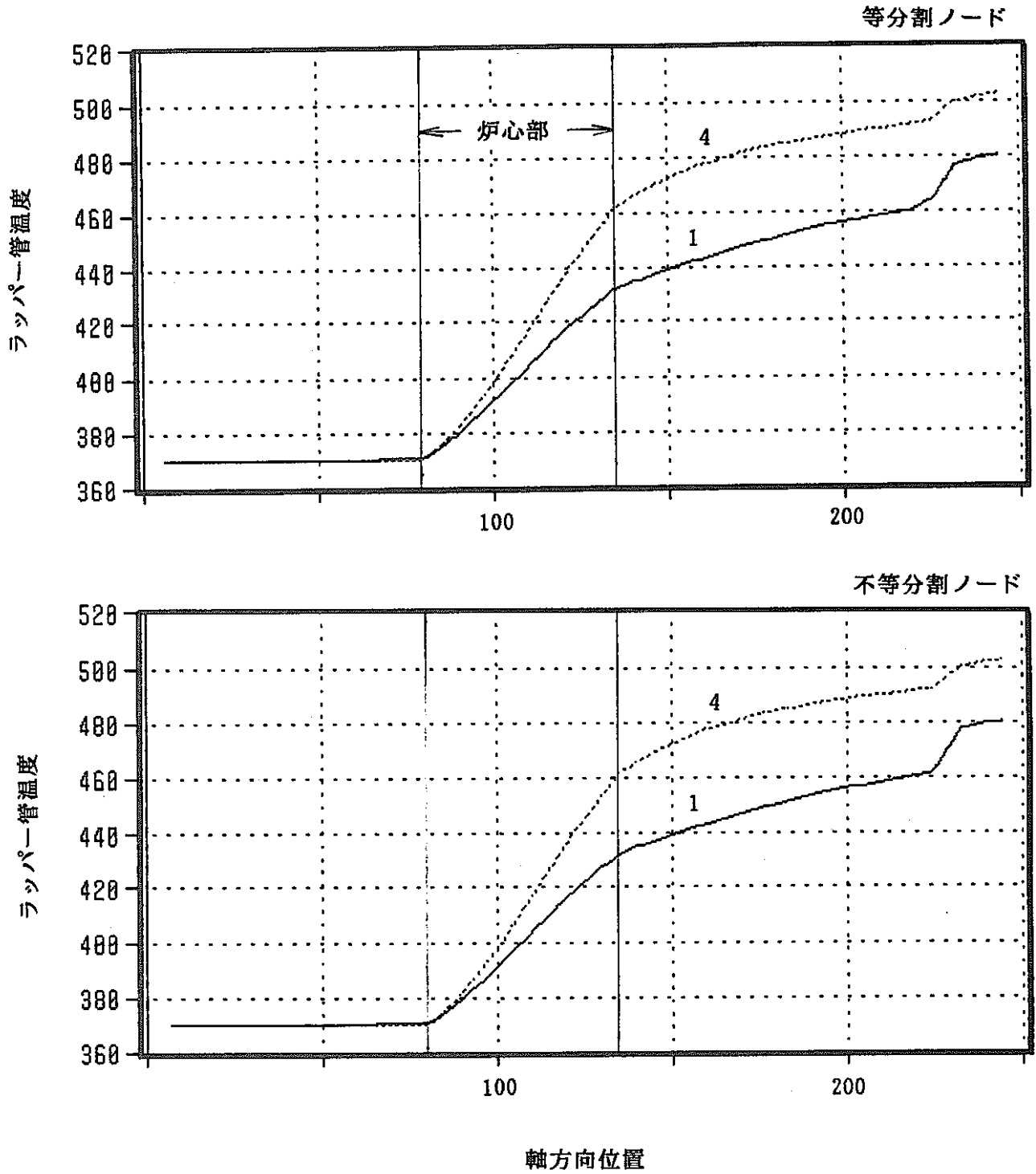
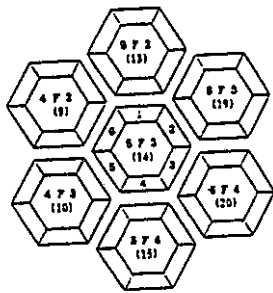


図 2.4.2-2 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期軸方向ラッパ管温度分布



炉心構成要素番号
(TETRAS)

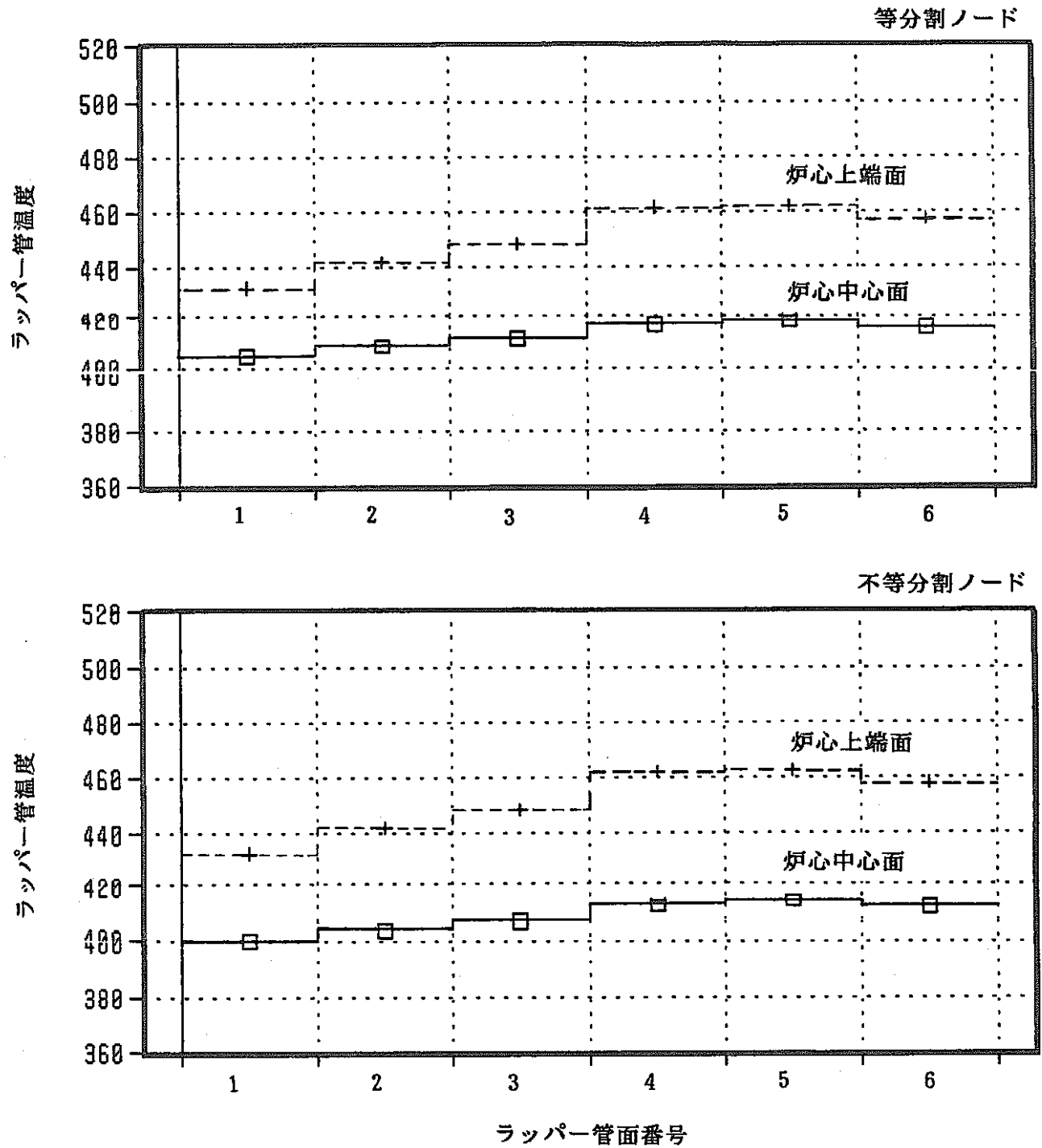
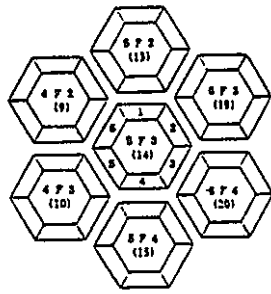


図 2.4.2-3 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期周方向ラッパ-管温度分布



炉心構成要素番号
(TETRAS)

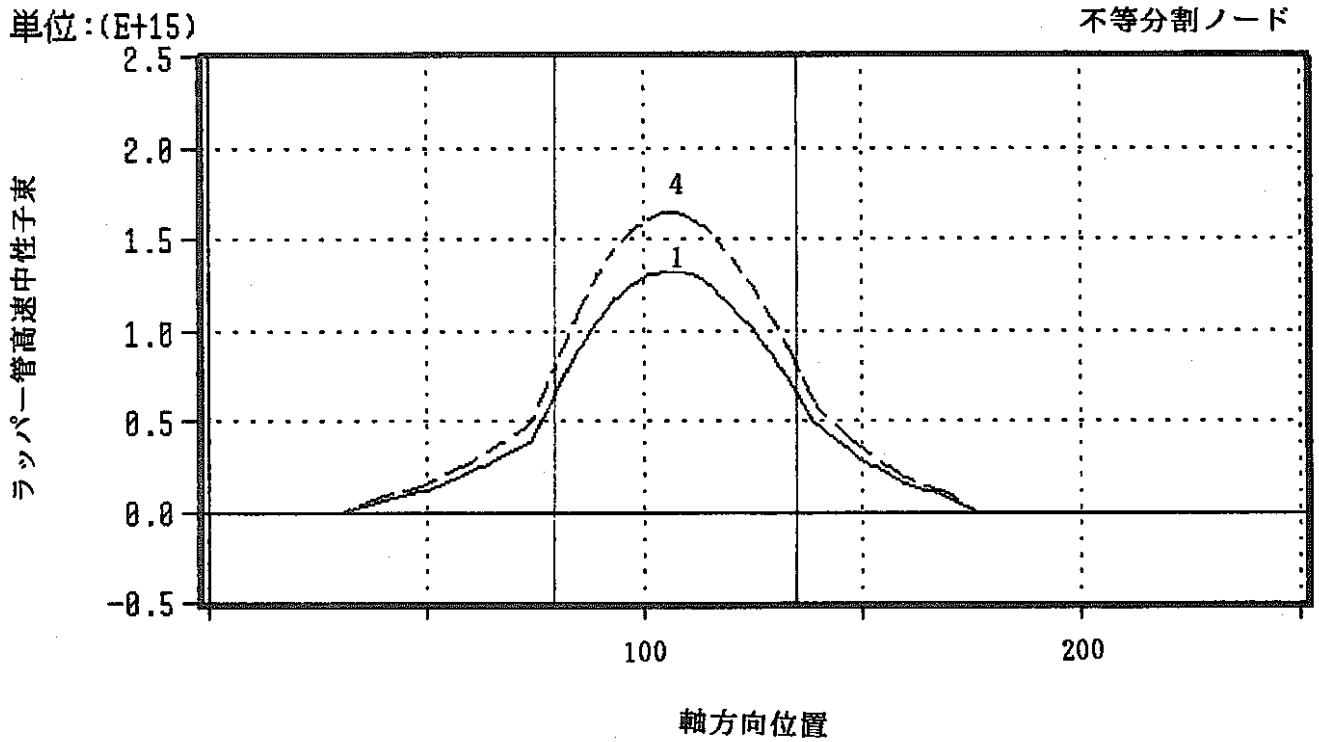
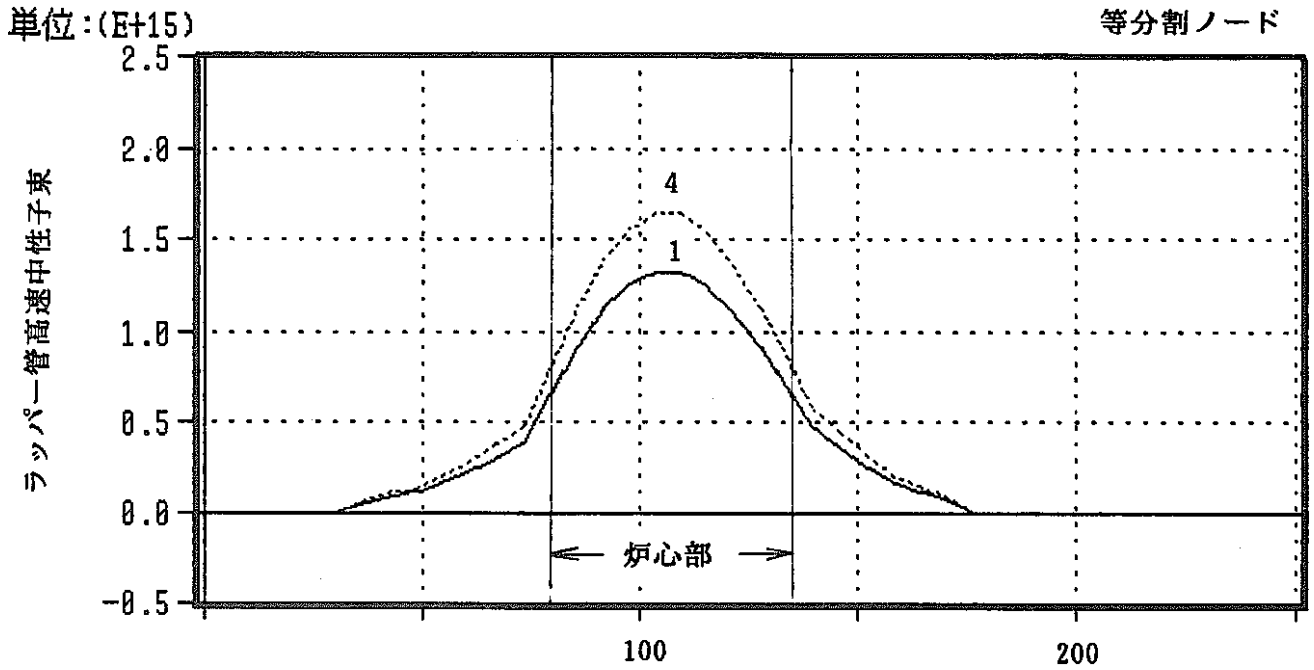
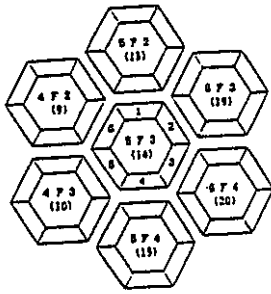


図2.4.2-4 移設制御棒炉心第1サイクル初期軸方向ラッパ一管高速中性子束分布



炉心構成要素番号
(TETRAS)

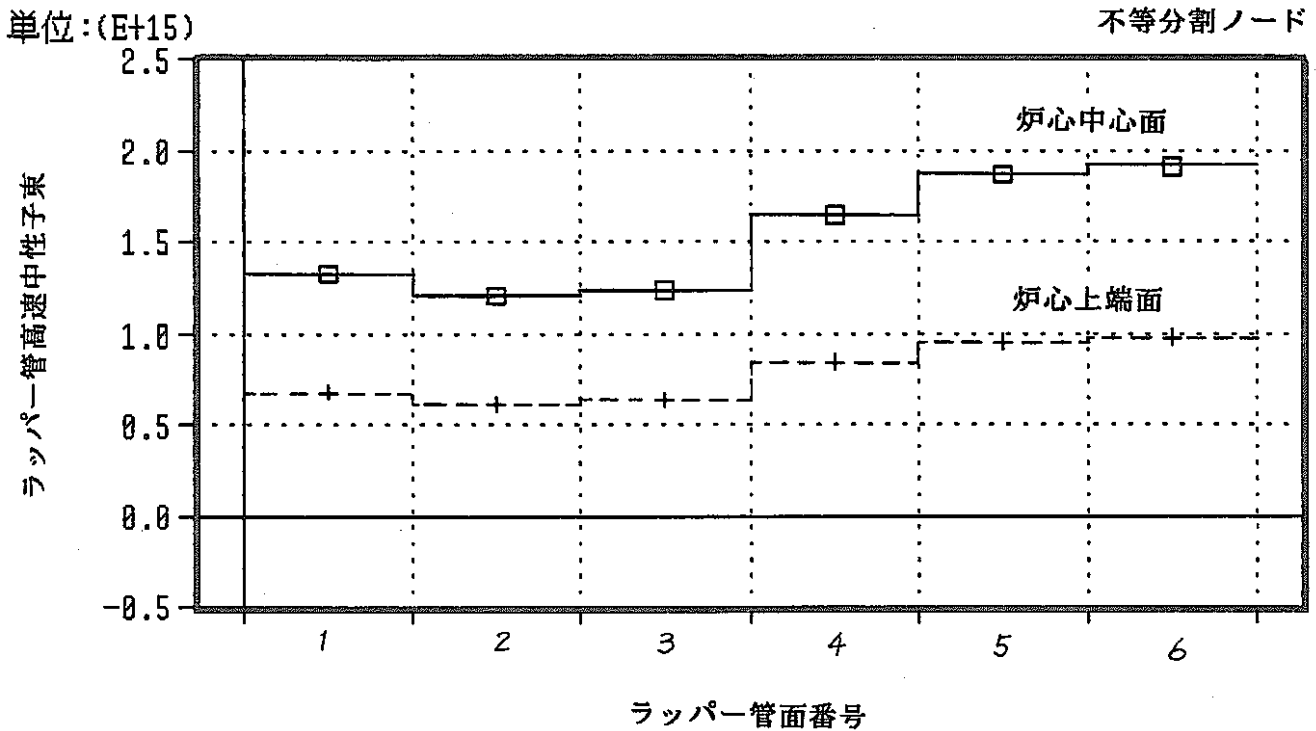
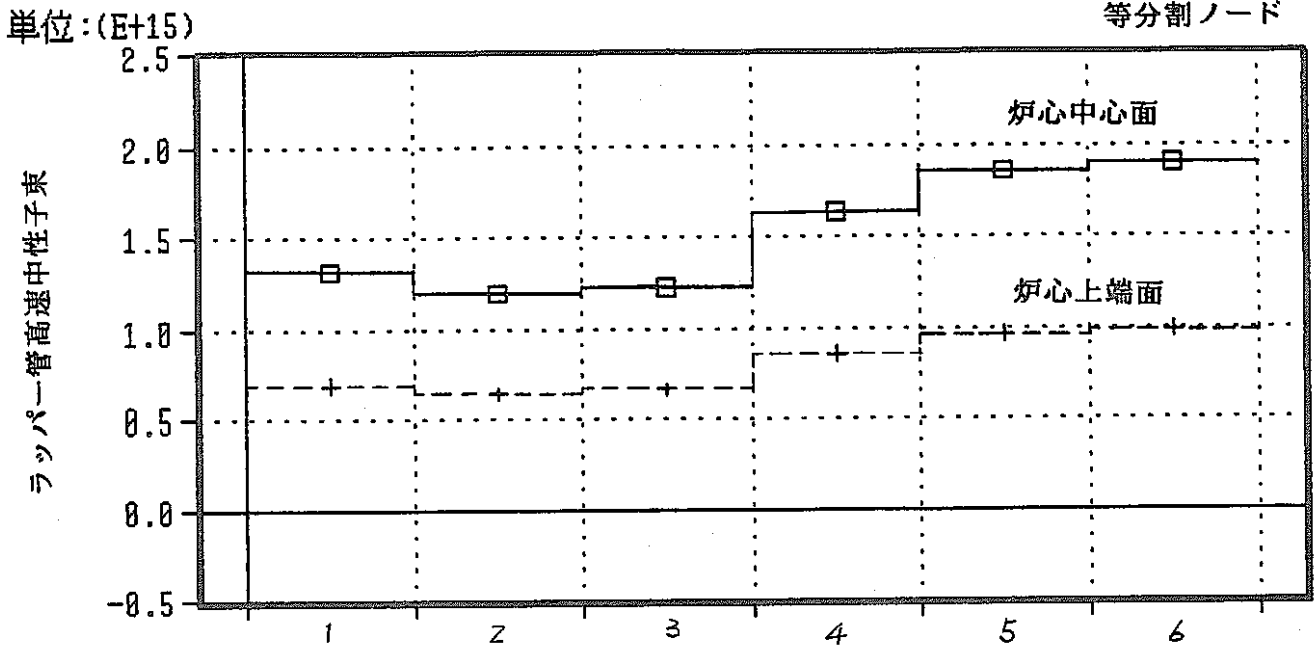
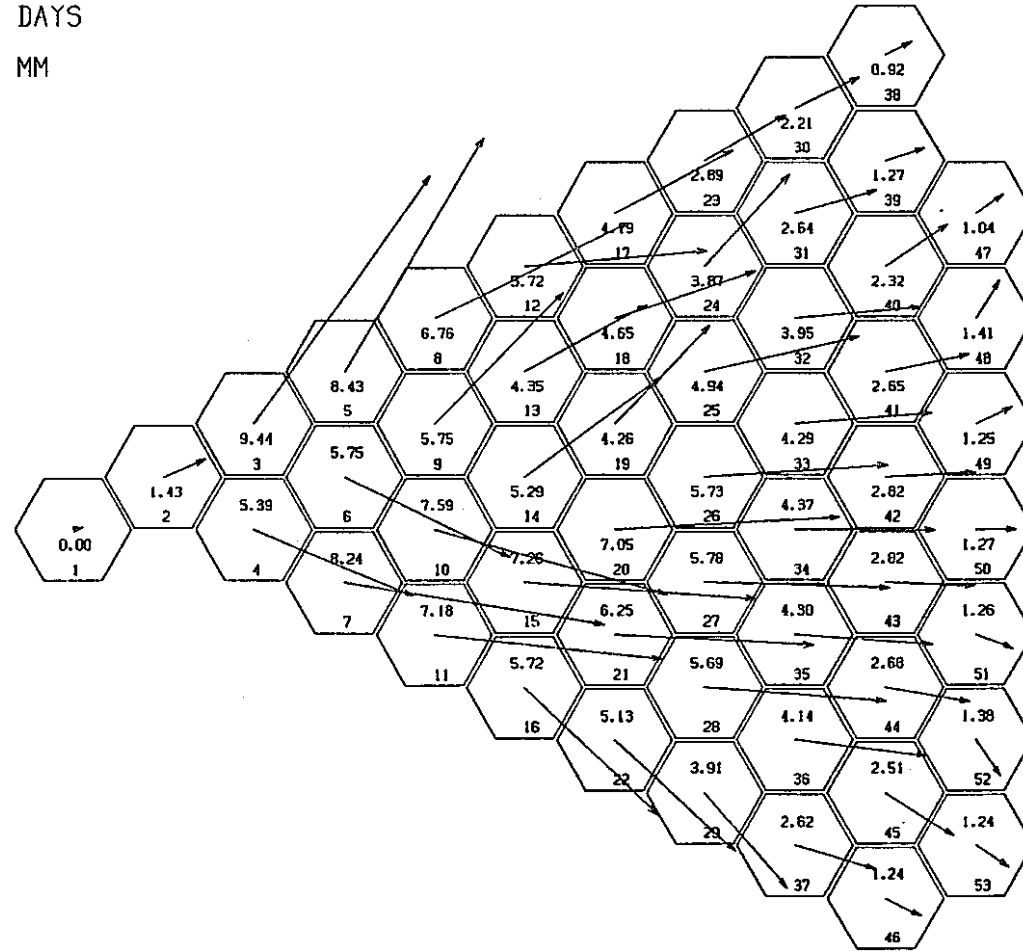


図 2.4.2-5 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期周方向ラッパ管高速中性子束分布

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 6



2.4-34



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

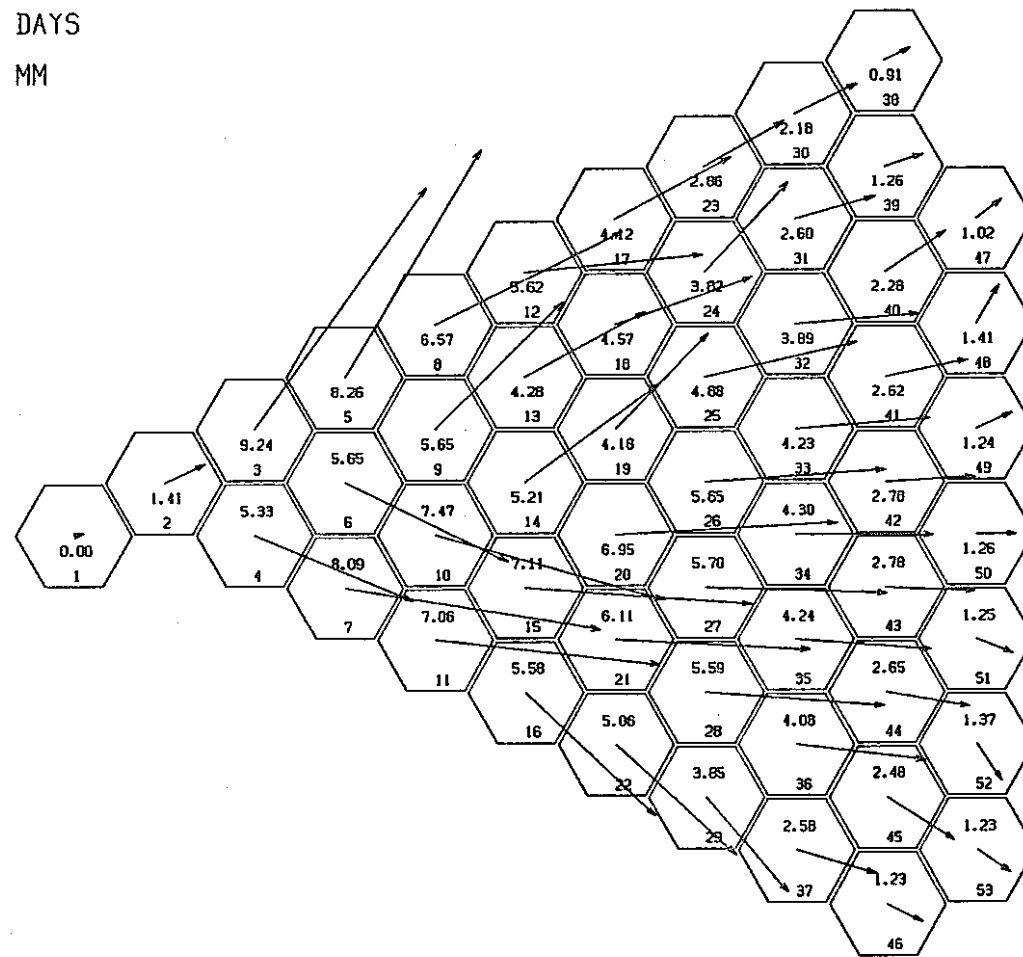
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図2.4.2-6 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部位置での変位(等分割ノード)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 6



2.4-35

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図2.4.2-7 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部位置での変位 (不等分割ノード)

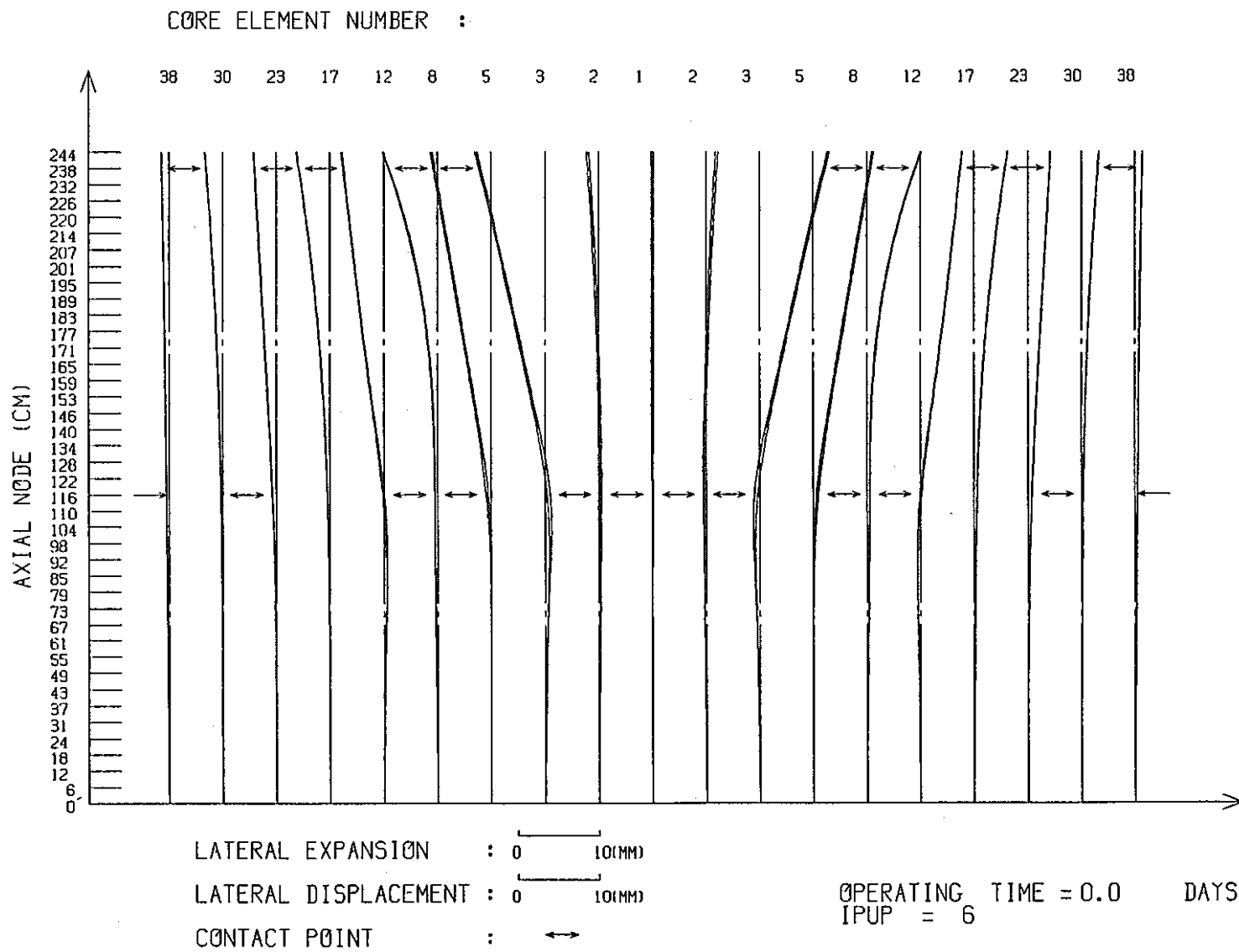


図2.4.2-8 移設制御棒炉心第1サイクル初期における列方向変位（対角線列）（等分割ノード）

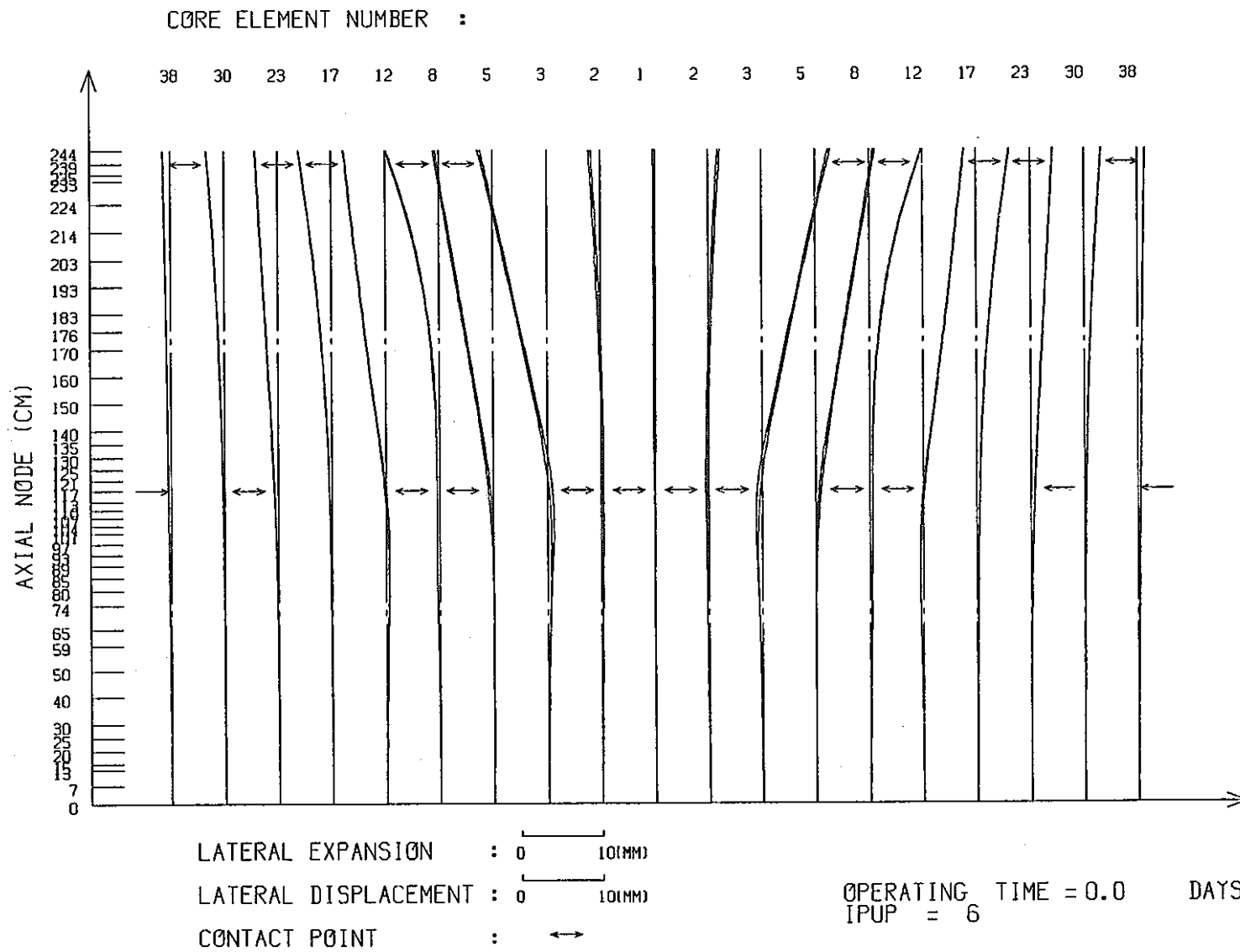


図 2.4.2-9 移設制御棒炉心第 1 サイクル初期における列方向変位 (対角線列) (不等分割ノード)

表 2. 4. 2 - 1 着目集合体 (5 F 3) の頂部変位

単位 (mm)

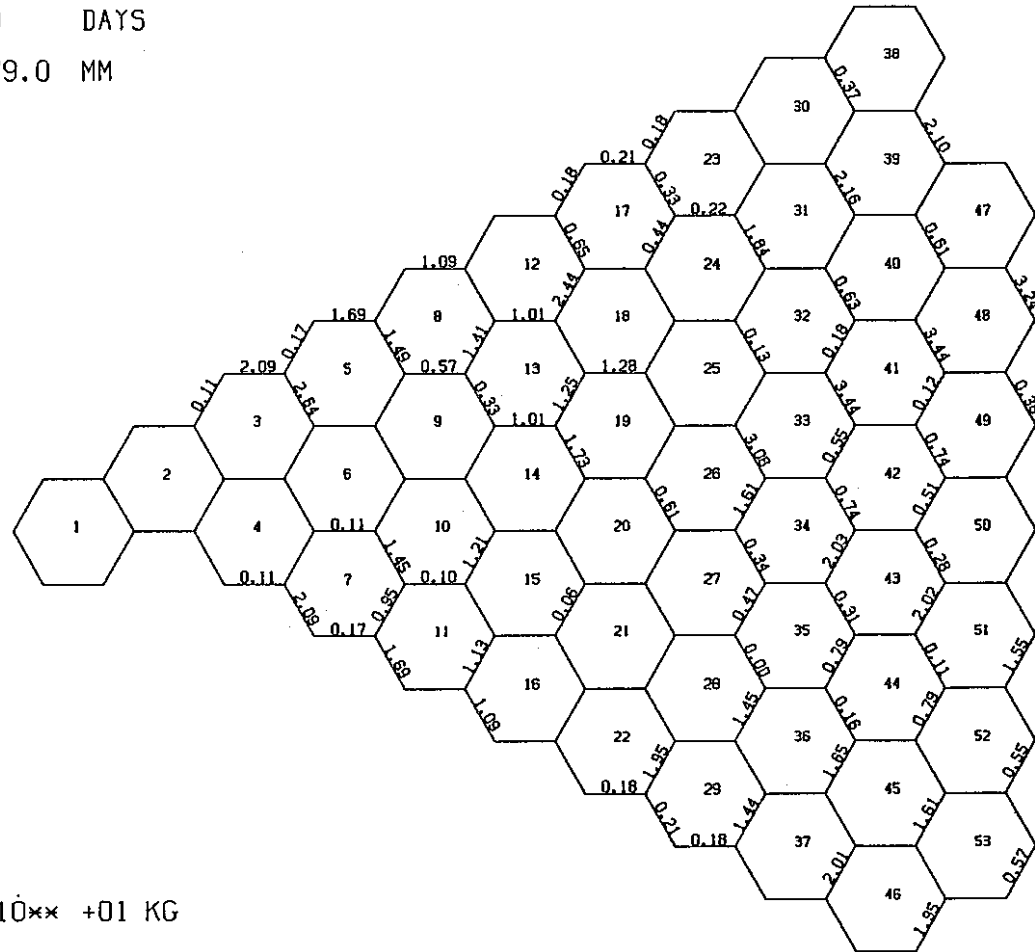
解析手法	運転サイクル初期	運転サイクル末期	原子炉停止時
等分割ノード	5.29	5.48	3.71
不等分割ノード	5.21	5.42	3.65

表 2.4.2-2 着目集合体 (5F3) の残留変位 (頂部変位)

単位 (mm)

解析手法	着目集合体 (5F3)
等分割ノード	9.92
不等分割ノード	9.73

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2379.0 MM
 IPUP = 6



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

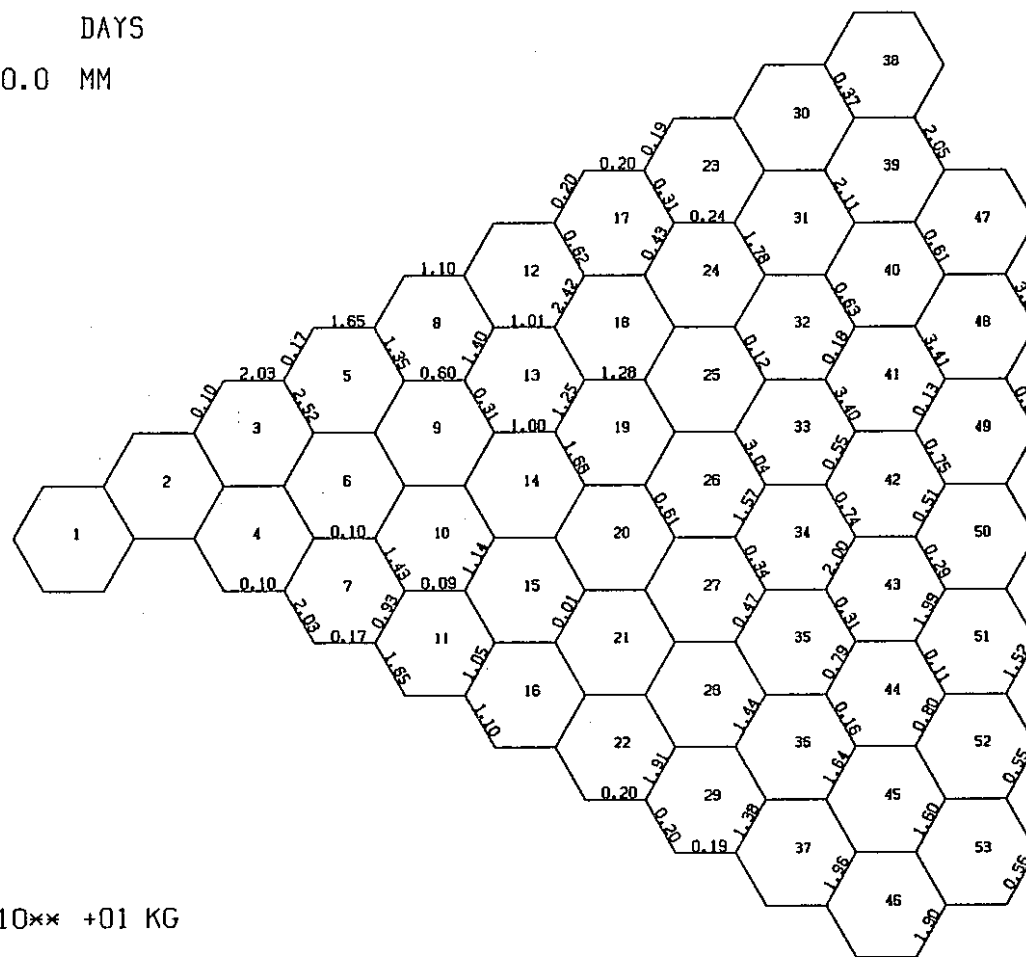
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図2.4.2-10 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重(等分割ノード)

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM

IPUP = 6



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図2.4.2-11 移設制御棒炉心第1サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重（不等分割ノード）

表 2.4.2-3 着目集合体 (5F3) おける接触荷重

		単位 (kg)											
燃焼時期	解析手法	面番号 1		面番号 2		面番号 3		面番号 4		面番号 5		面番号 6	
		下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部	下部	頂部
		ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置	ハット 位置
運転サイクル初期	等分割ノード		17.3	9.1		22.5		35.4		10.3			10.1
	不等分割ノード		16.8	8.9		22.5		34.1		10.3			10.0
運転サイクル末期	等分割ノード		17.0	8.7		14.3		36.6		6.9			7.0
	不等分割ノード		16.6	8.5		14.1		35.8		6.8			6.9
原子炉停止時	等分割ノード	2.6	5.6	0.6				5.8					
	不等分割ノード	2.4	5.4	0.3				5.5					

2.5 H I B E A C O Nコードの試計算

ラッパ管間ギャップ計算法の変更に関する試計算について以下に述べる。

2.5.1 目的

2.3.1項で述べたように、ラッパ管間ギャップ計算法の改良によりラッパ管間ギャップは、従来法より若干広く評価される。その効果が従来法の計算法に基づくこれまでの解析結果に及ぼす影響は小さいことを確認するために本試計算を実施した。

計算は、ラッパ管と炉心支持板の熱膨張率が等しい条件での「常陽」制御棒移設炉心⁽³⁾を対象とした。

2.5.2 解析条件

「常陽」制御棒移設炉心⁽³⁾の制御棒移設直後の1サイクル1/6回転対称炉心と同一の条件で解析する。今回の改良に伴い、炉心支持板部の熱膨張率の入力を必要とするが、本試計算では、オーステナイト鋼製ラッパ管と同一とする。即ち、下式を用いる。

$$A L P H A = 14.877 \times 10^{-6} + 1.6999 \times 10^{-8} \times T - 1.4541 \times 10^{-11} \times T^2 + 4.5929 \times 10^{-15} \times T^3$$

2.5.3 解析結果

試計算の解析結果を改良前後で比較して示したものを図2.5.2-1~12に示す。これらは、第1サイクル初期、末期、並びに末期原子炉0出力時の集合体変位、接触荷重を示したものである。ここで、末期原子炉0出力時とは、炉心入口温度の370℃まで炉心全体の温度が低下した状態を表す。

さらに、原子炉停止時で炉心全体の温度が200℃まで低下した状態での湾曲状況を図2.5.2-13、14に示した。

改良前後で、解析結果を比較すると、全体的に変位は、1%前後大きくなり、接触荷重は、1kg以内で小さくなっているが、その差は小さい。これは、今回の改良後の方法は従来法よりラッパ管間ギャップを大きめに評価するが、ラッパ管と炉心支持板の熱膨張率が同じ場合、その効果は小さい、即ち、その場合には、従来法でも特に問題無いことを示している。

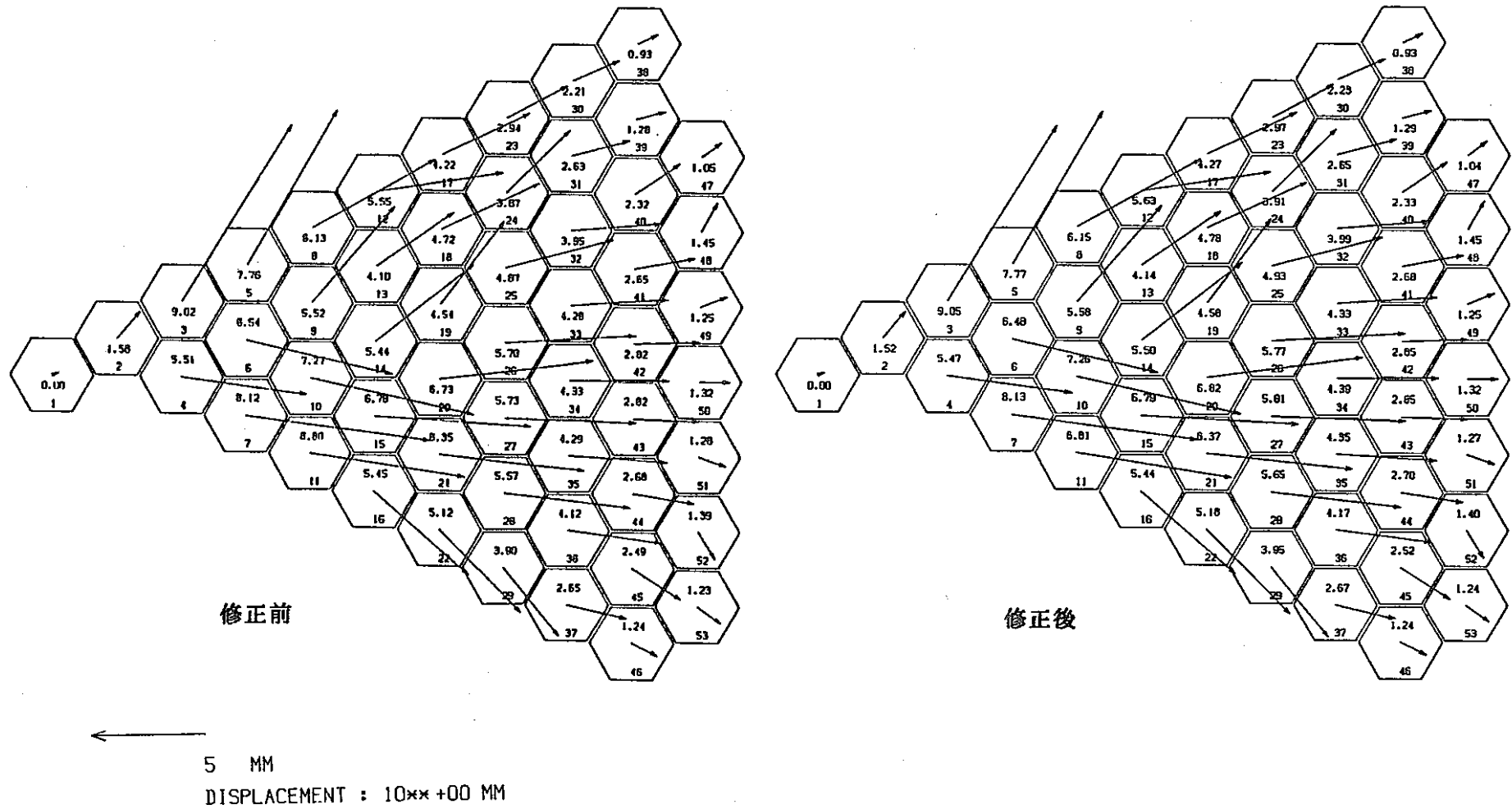


図 2.5.2-1 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル初期: 頂部位置での変位)

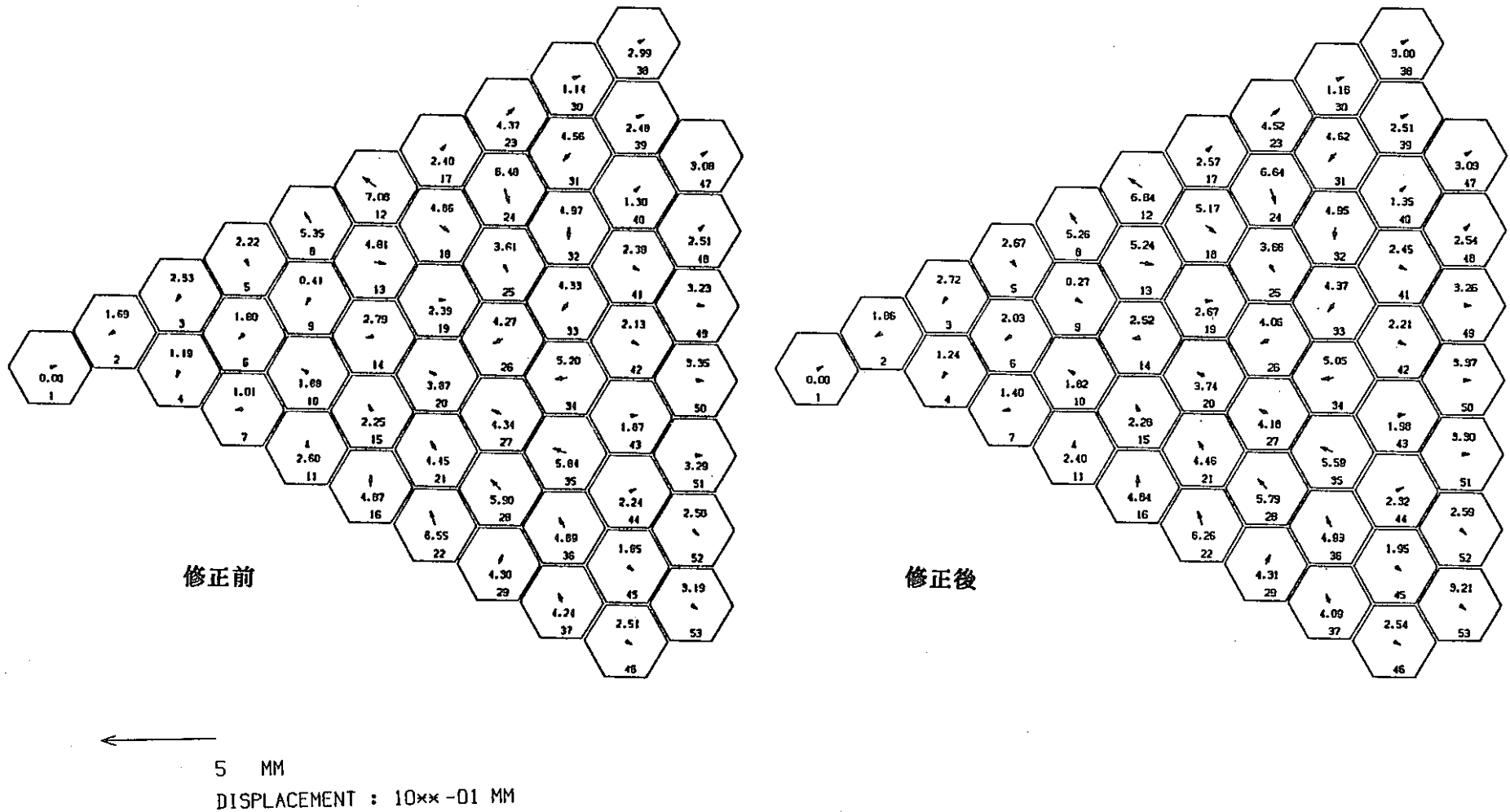
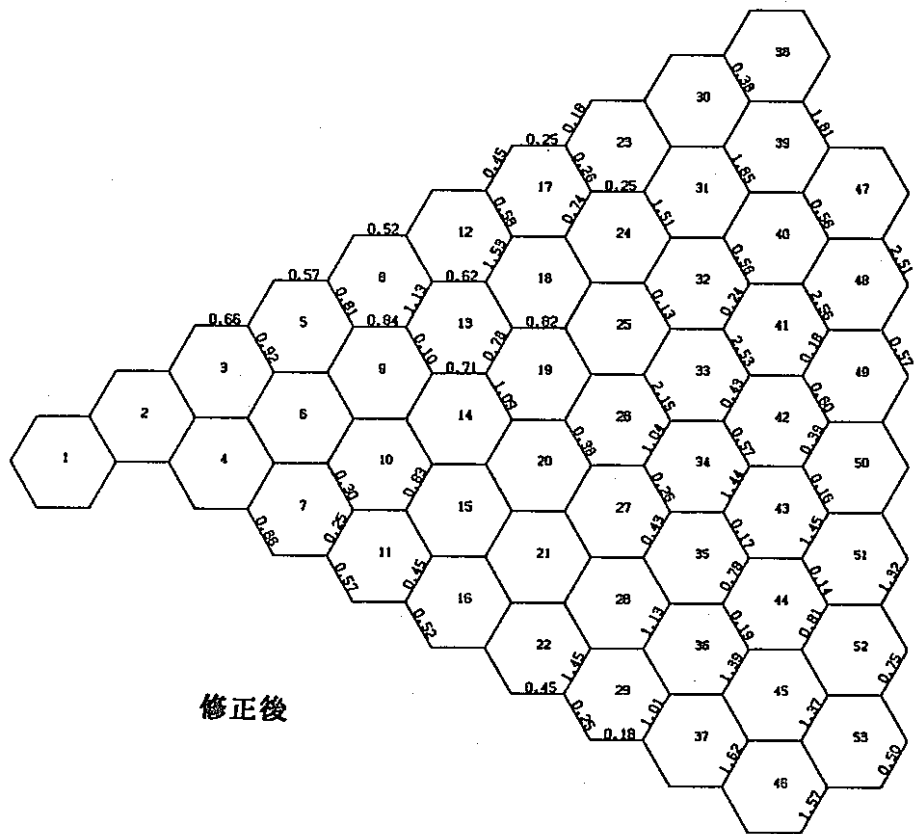
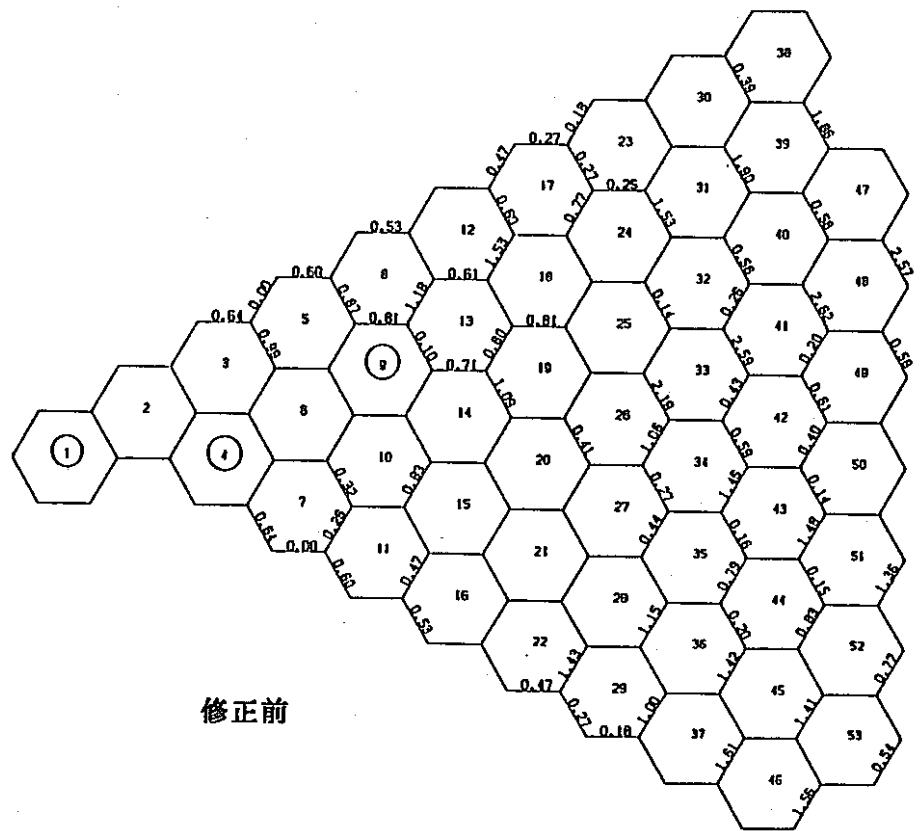
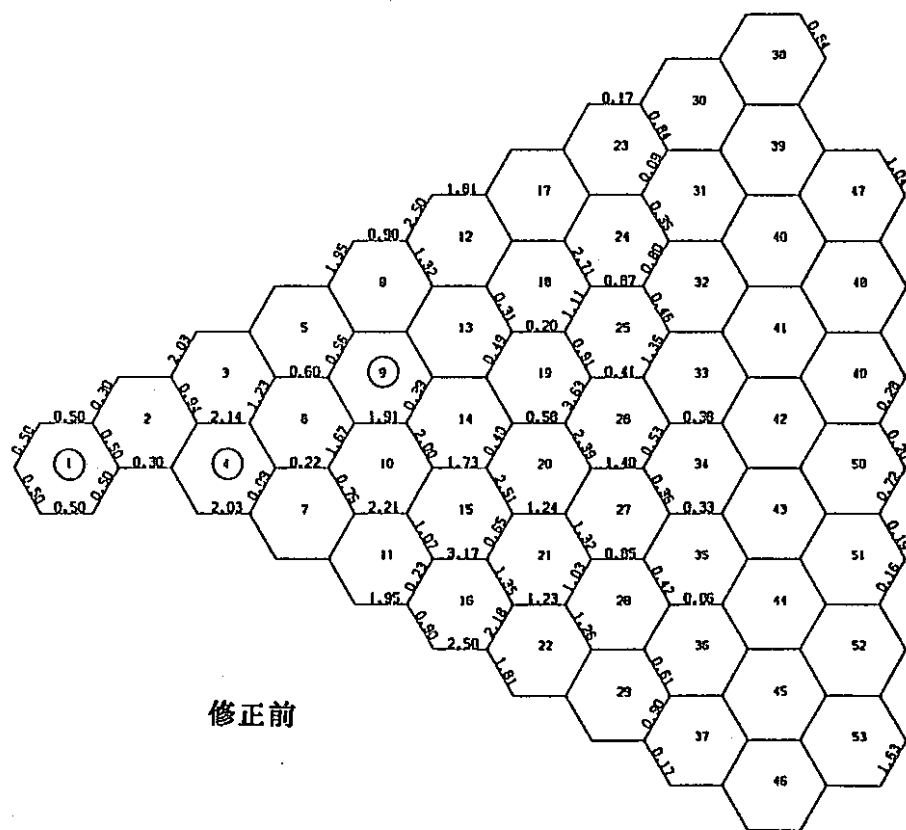


図 2.5.2-2 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル初期:下部パッド位置での変位)

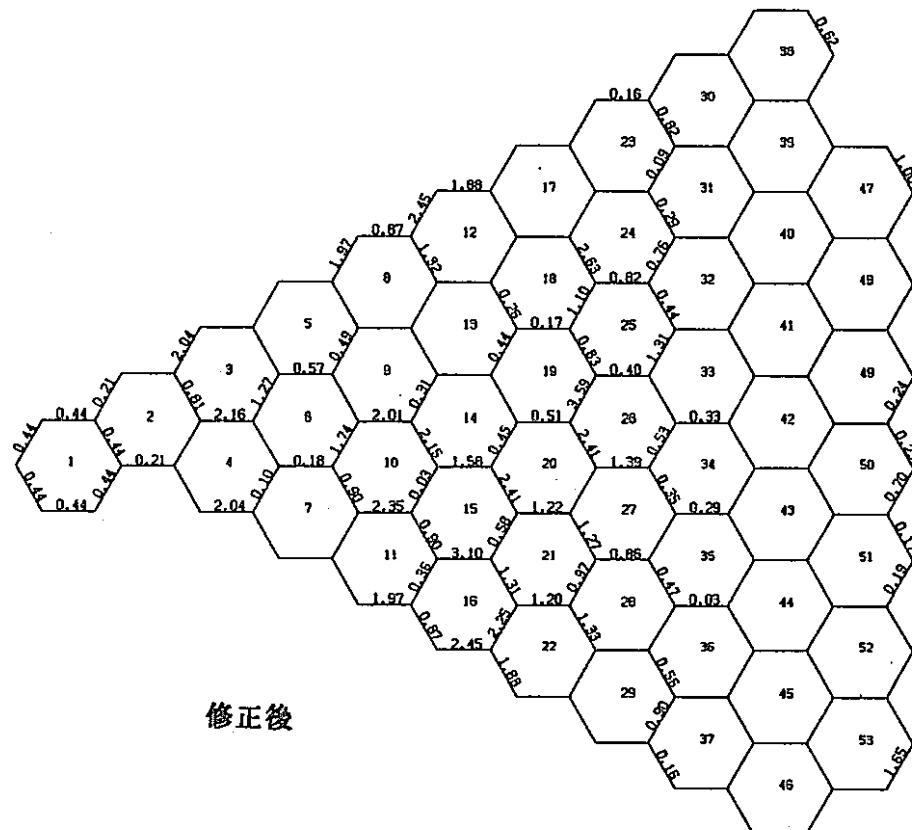


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

図 2.5.2-3 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル初期: 頂部パッド位置での荷重)



修正前



修正後

CONTACT FORCES : 10** +01 KG

図 2.5.2-4 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル初期:下部パッド位置での荷重)

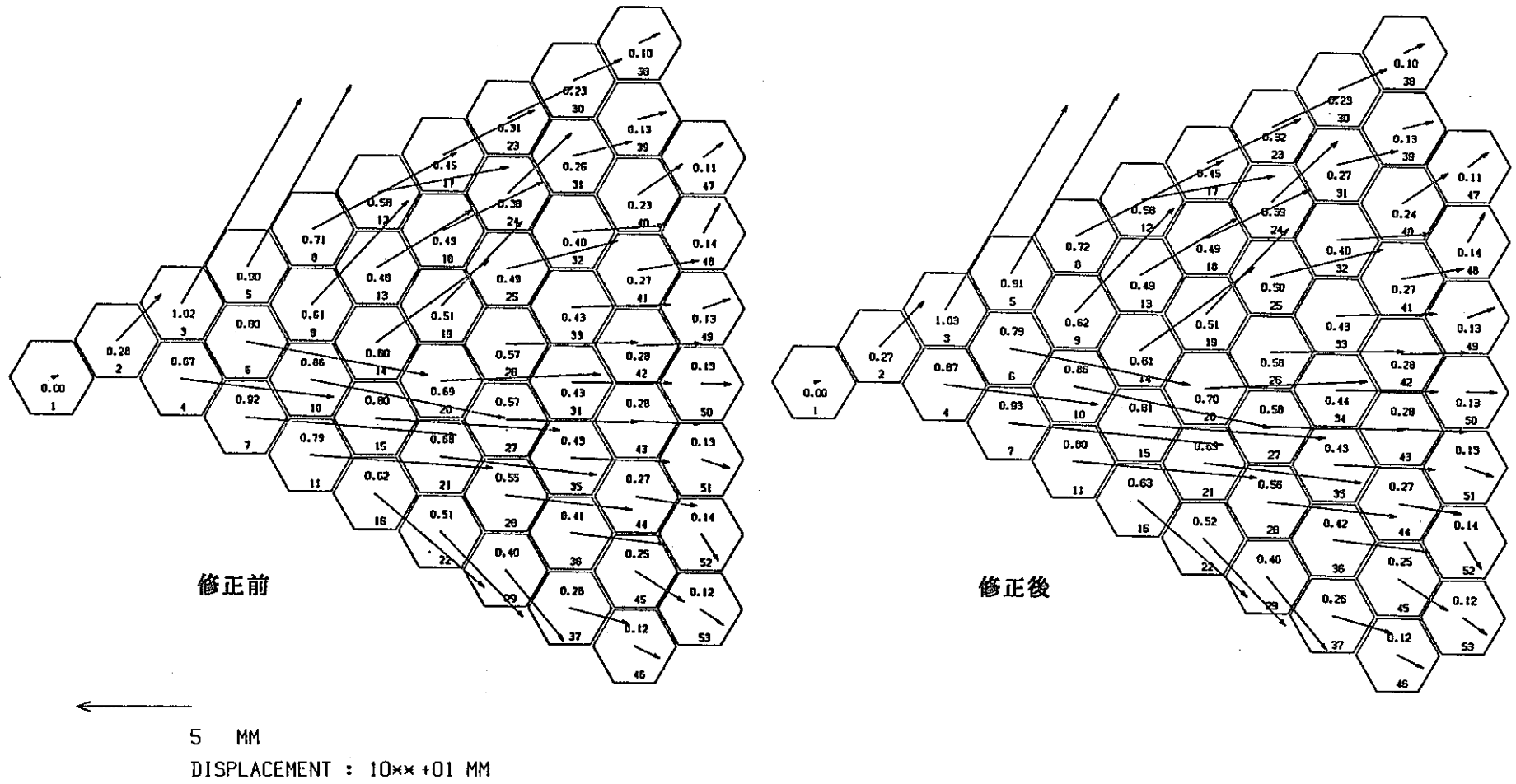


図 2.5.2-5 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期:頂部位置での変位)

2.5-7

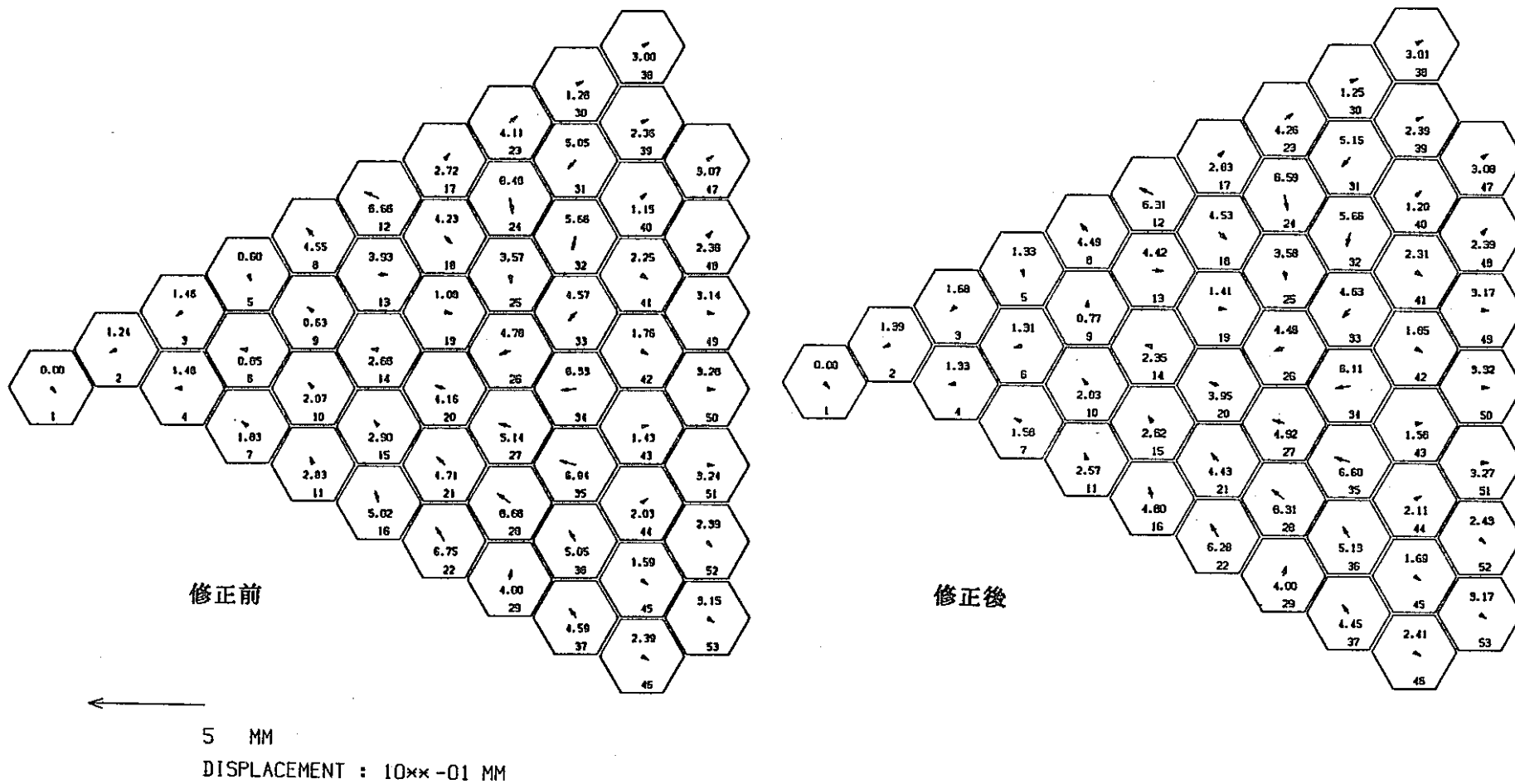
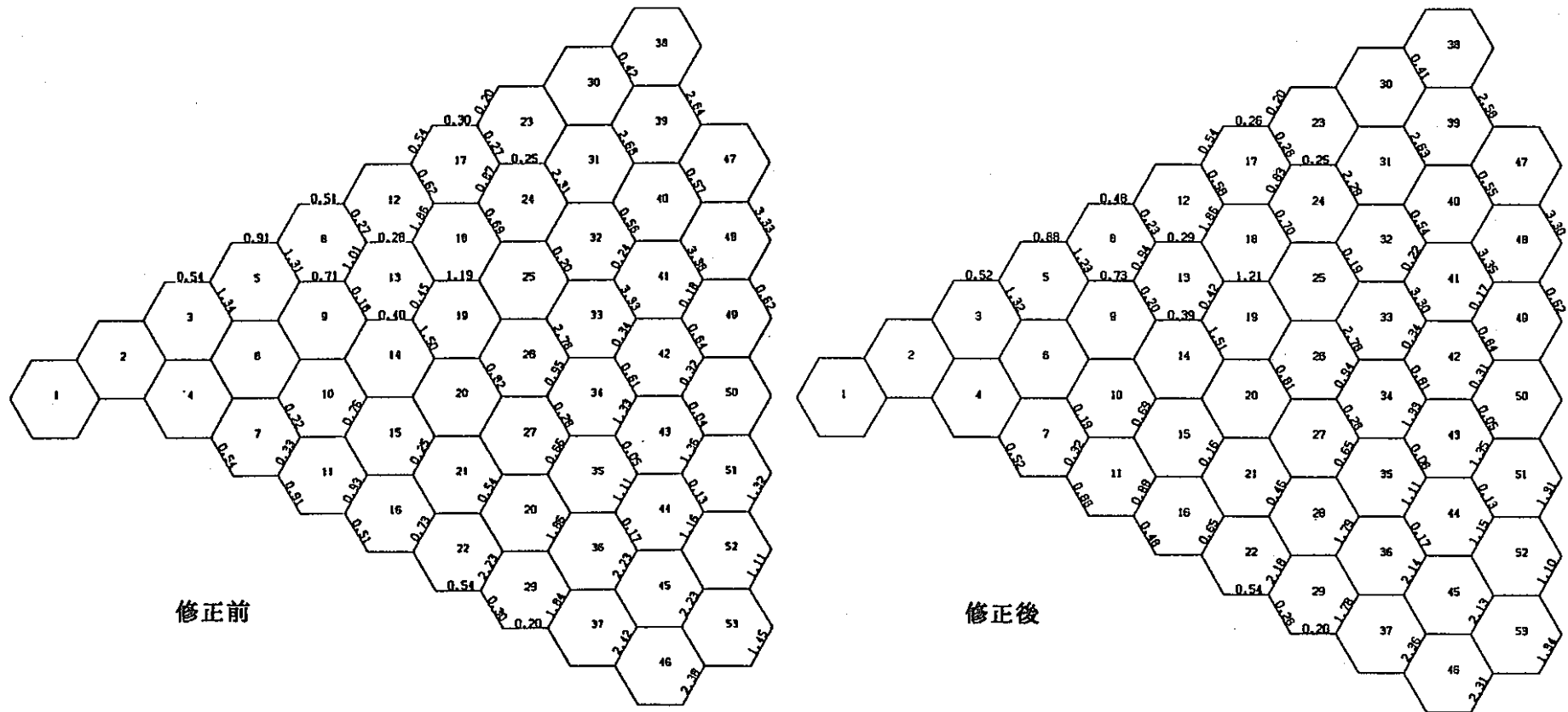
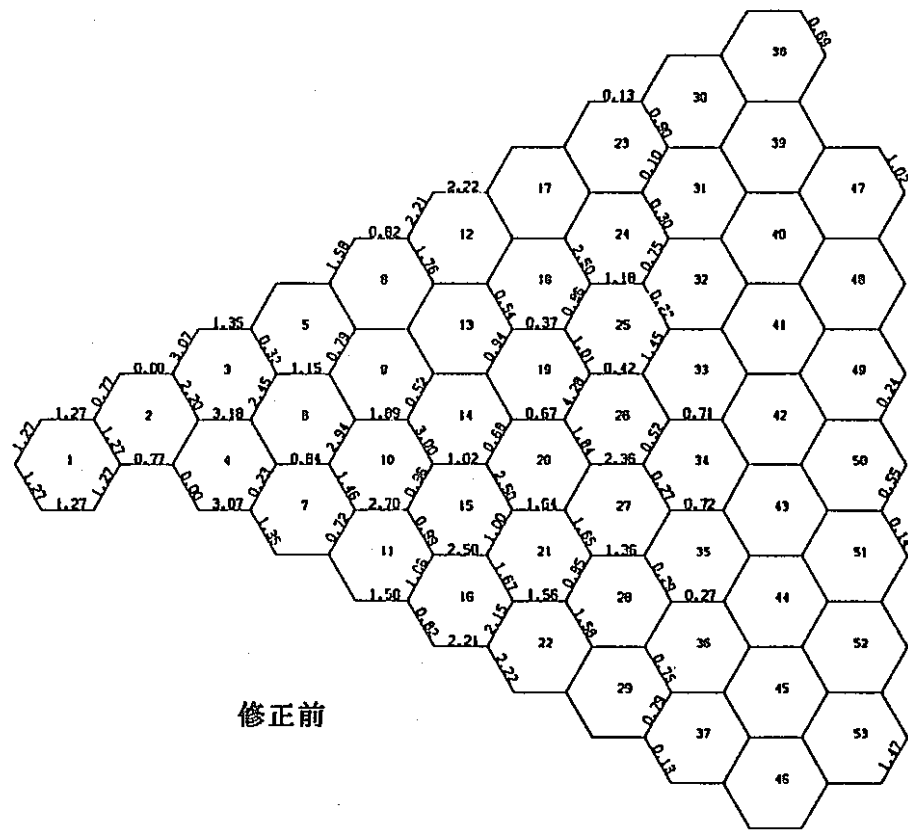


図2.5.2-6 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期:下部パッド位置での変位)

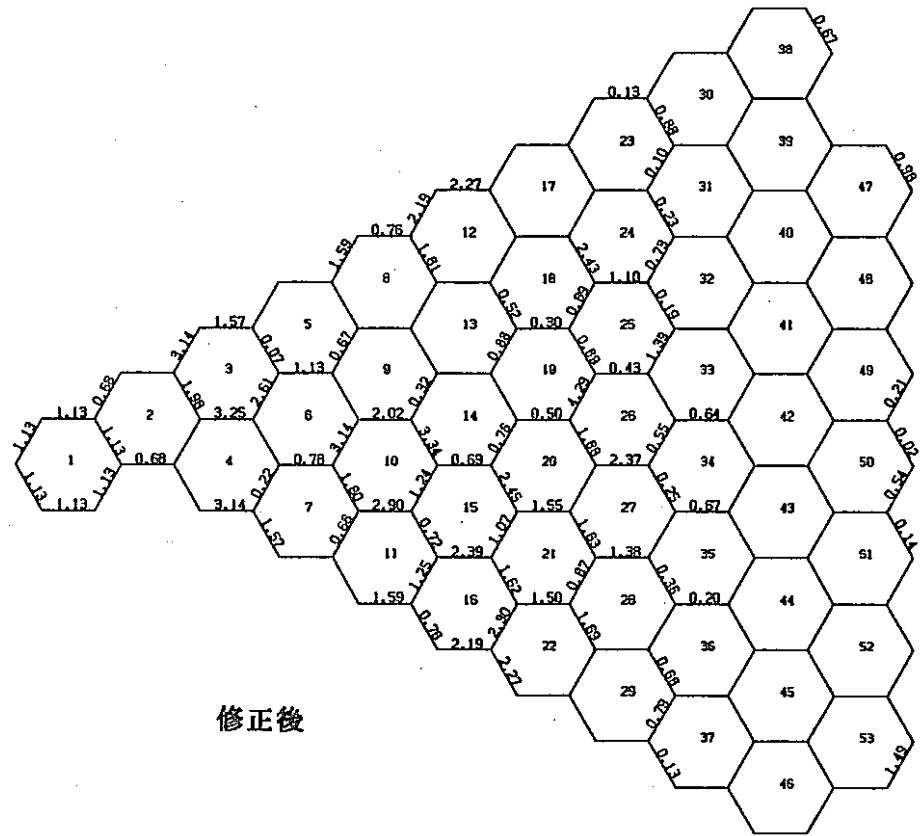


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

図 2.5.2-7 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期: 頂部パッド位置での荷重)



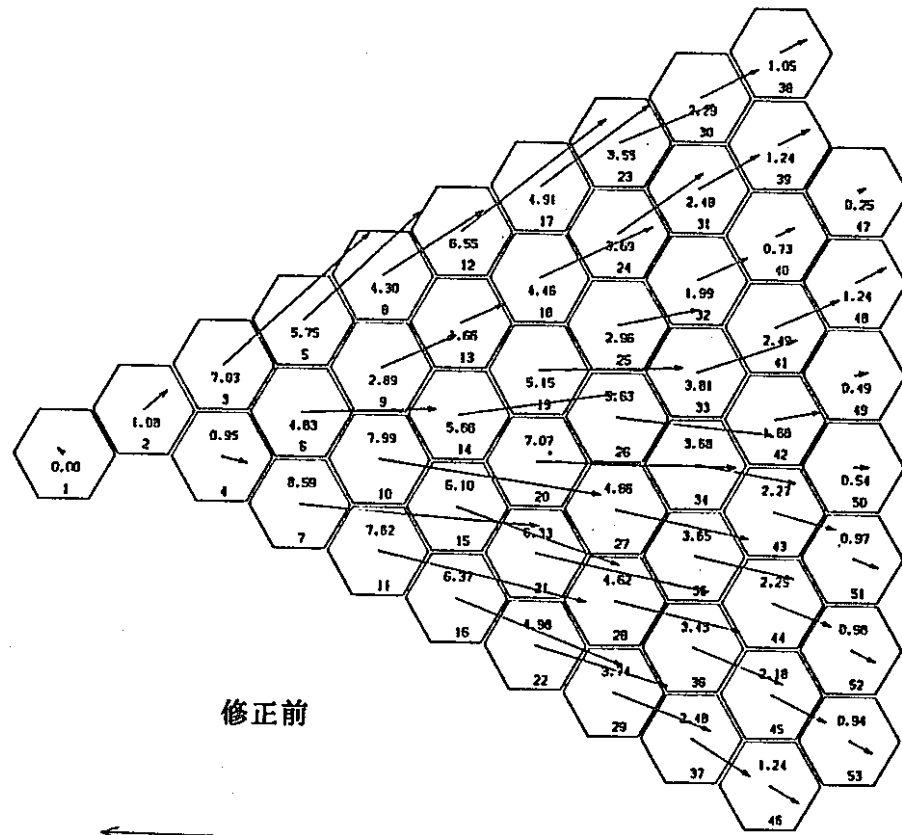
修正前



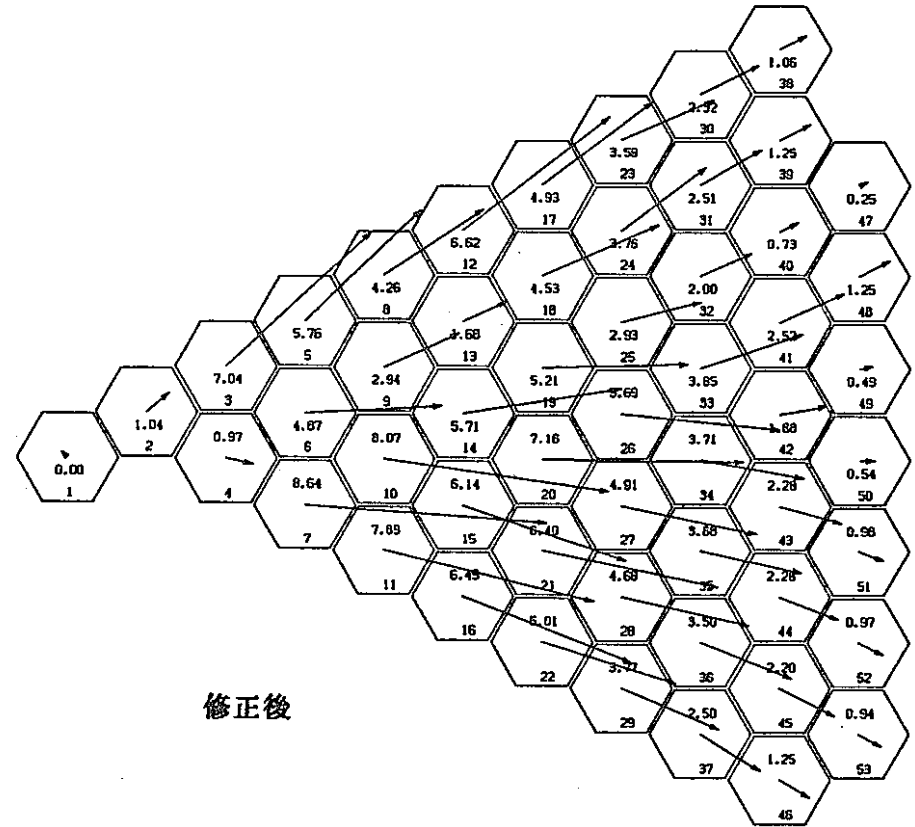
修正後

CONTACT FORCES : 10** +01 KG

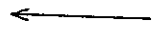
図 2.5.2-8 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期:下部パッド位置での荷重)



修正前



修正後



5 MM

DISPLACEMENT : 10××+00 MM

図 2.5.2-9 HIBEACONコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉0出力時<370℃> : 頂部位置での変位)

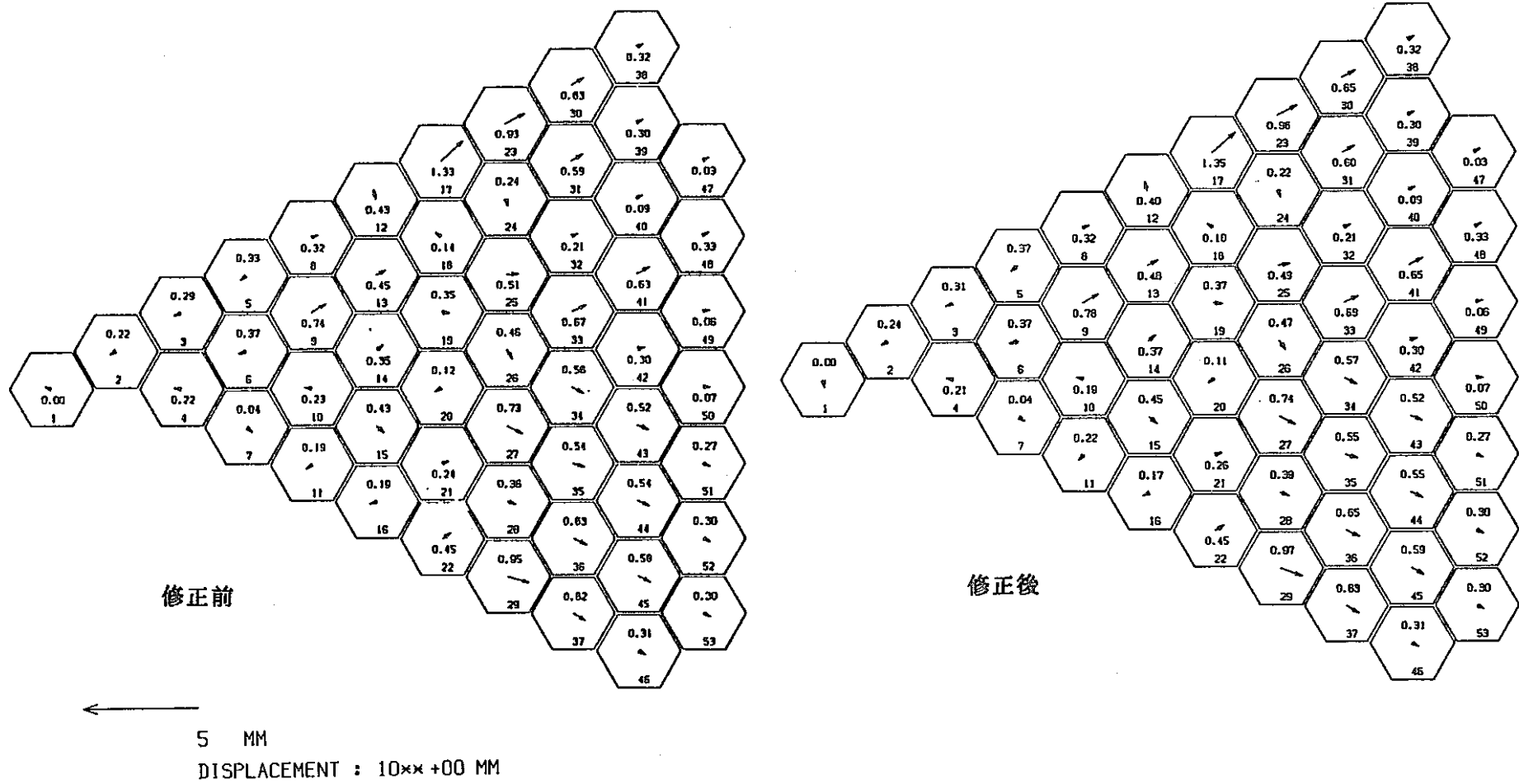
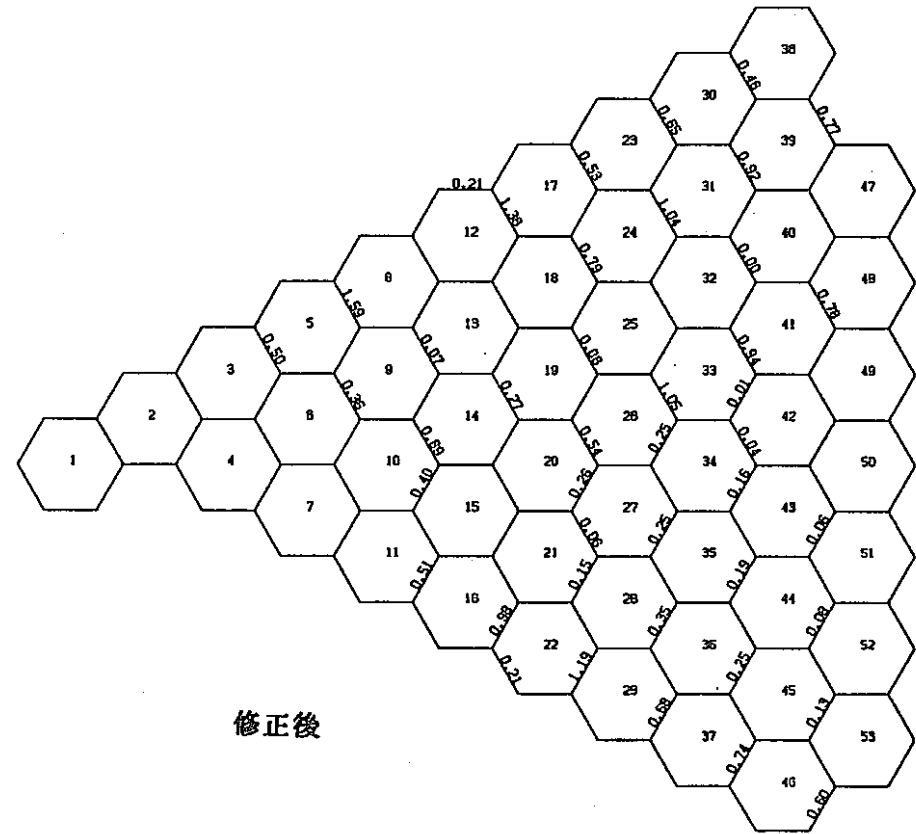
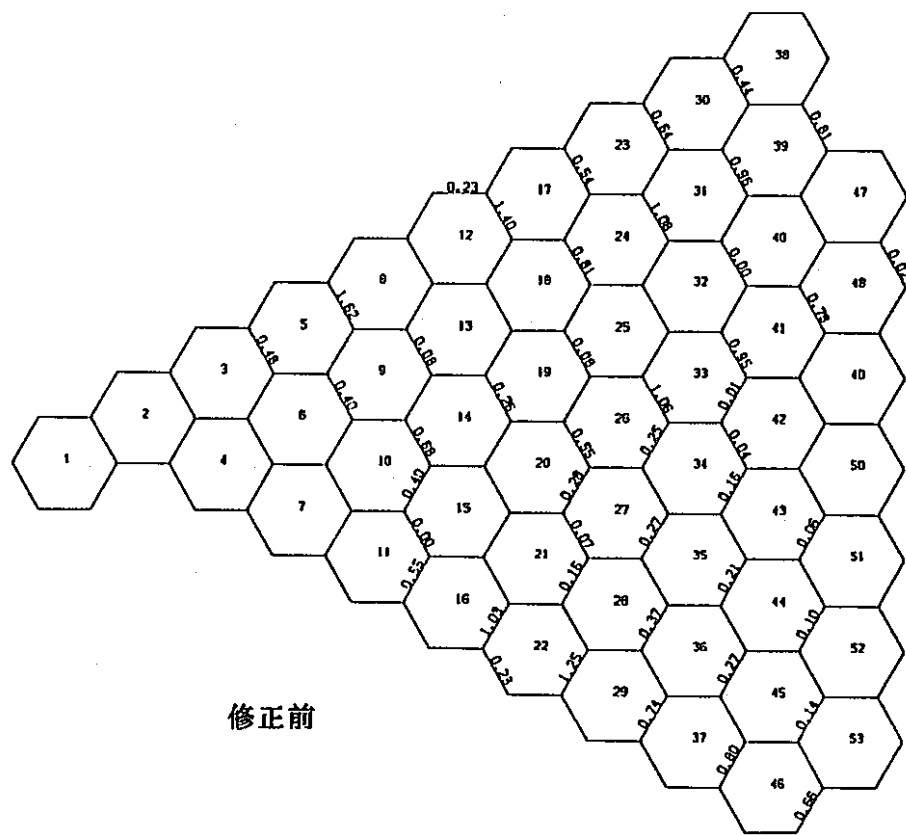
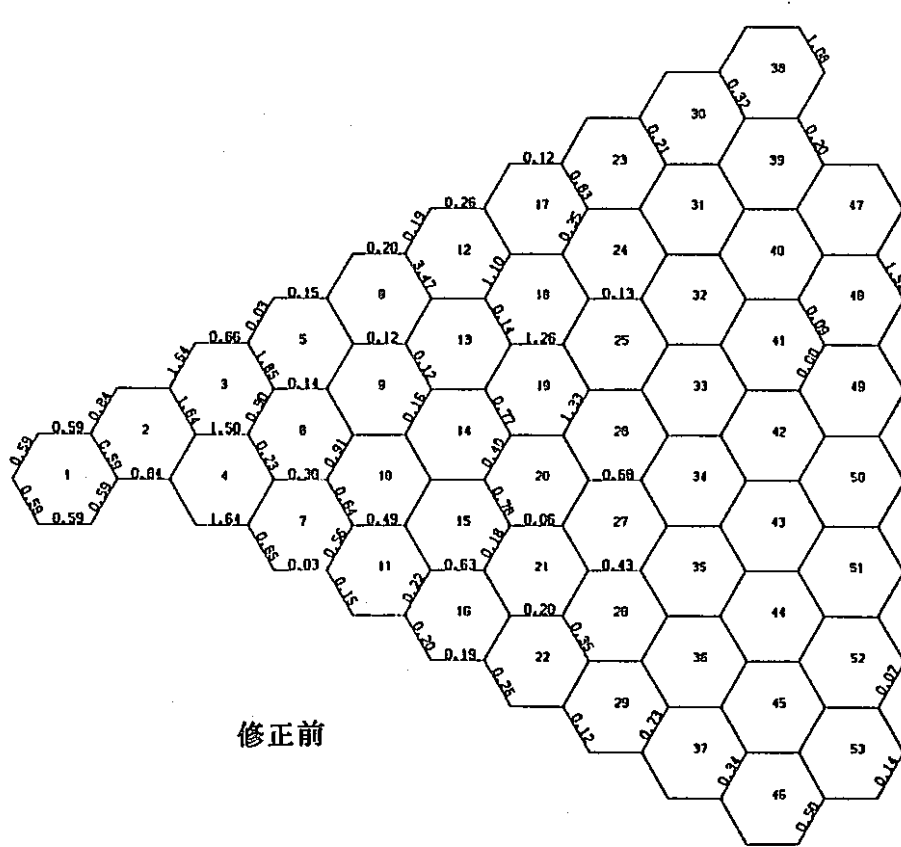


図 2.5.2-10 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期原子炉0出力時<370℃> : 下部パッド位置での変位)

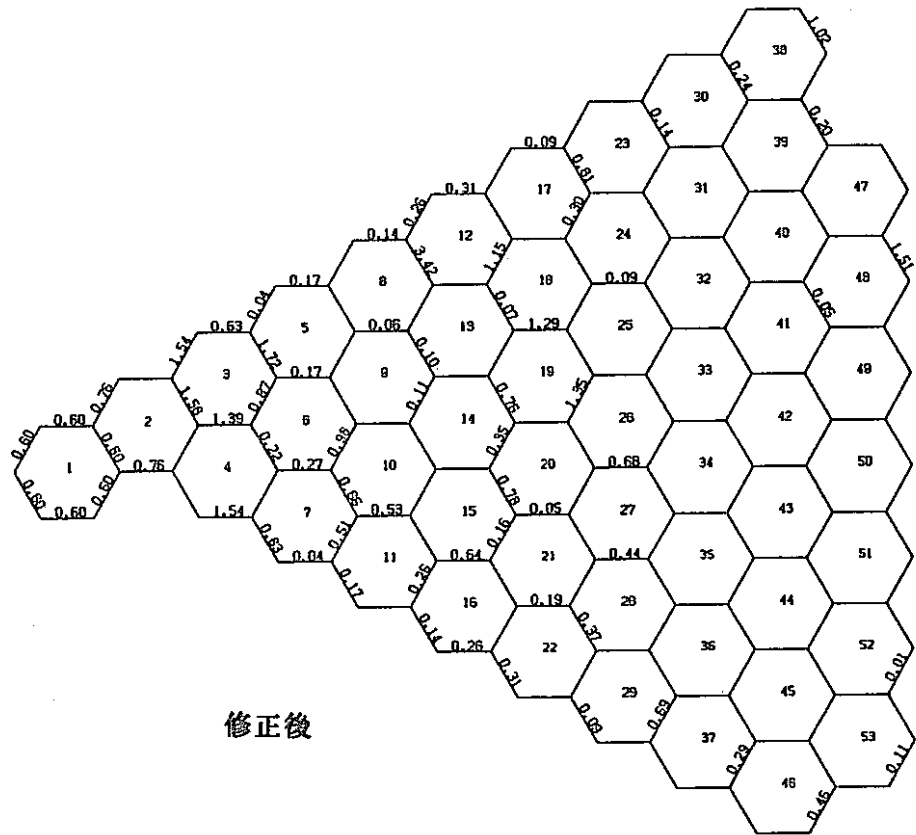


CONTACT FORCES : 10~~xx~~ +01 KG

図 2.5.2-1 1 H I B E A C O N コードの試計算結果 (第 1 サイクル末期原子炉 0 出力時 <370℃> : 頂部パッド位置での荷重)



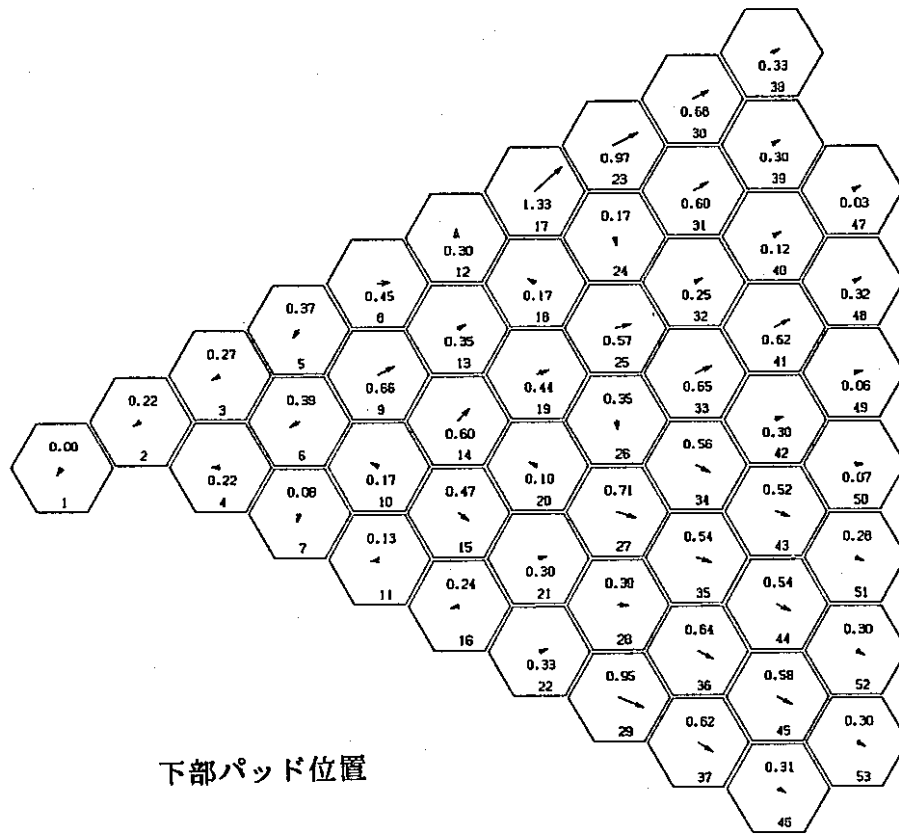
修正前



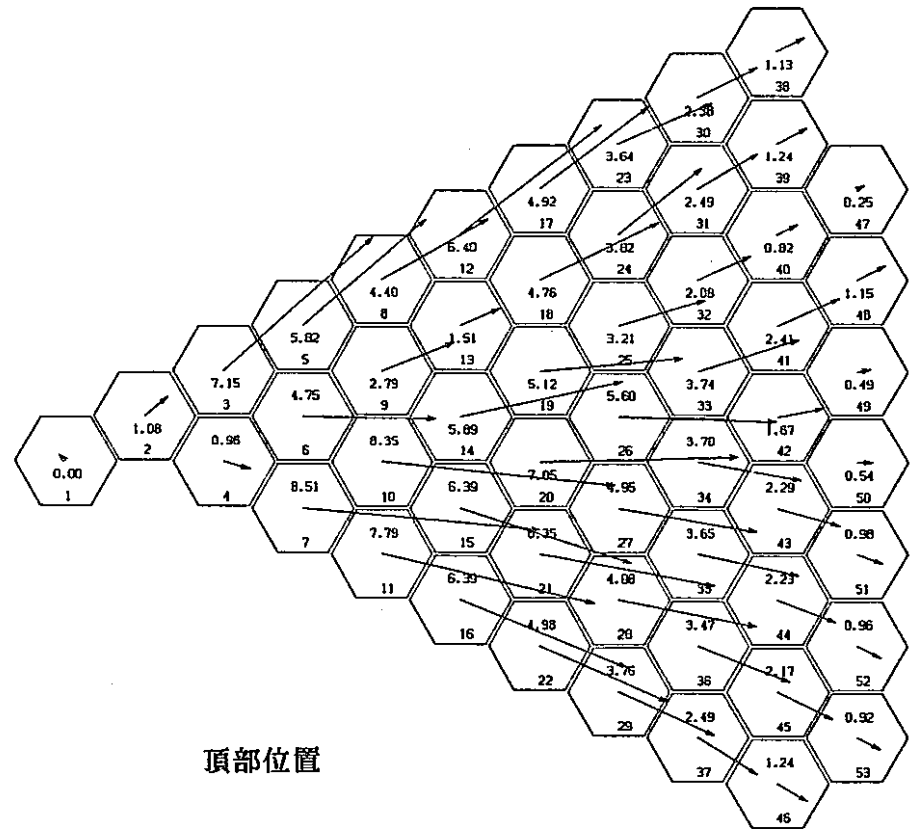
修正後

CONTACT FORCES : 10^{xx} +01 KG

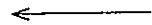
図 2.5.2-12 HIBEACONコードの試計算結果(第1サイクル末期原子炉0出力時<370℃>:下部パッド位置での荷重)



下部パッド位置



頂部位置



5 MM

DISPLACEMENT : 10*x + 00 MM

図 2.5.2-13 HIBEACONコードの試計算結果 (第1サイクル末期原子炉停止時<200℃> : 変位)

3. 「常陽」Mk-III炉心湾曲解析

3.1 解析対象

最終的なMk-III炉心構成後の1年間の運転サイクル(6サイクル)を対象とする。

3.2 解析モデル

本節では図3.2-1炉心湾曲解析フロー中のラッパ管群温度解析コードHITETRAS、及び炉心湾曲解析コードHIBEACONの解析モデルについて以下に述べる。

3.2.1 ラッパ管温度、高速中性子束計算

湾曲解析では、まず炉心構成要素の湾曲変形の要因となるラッパ管の温度、高速中性子束分布計算を行う。この計算は動燃殿より御提示頂いた炉心構成要素の各部寸法⁽⁴⁾に基づき、断面形状モデルを作成しこれを用いて、HITETRASコードによる計算を実施した。以下に各炉心構成要素の断面形状について示す。

3.2.1.1 炉心燃料集合体

図3.2.1.1-1に示すように、炉心燃料集合体の計算モデル体系は燃料要素等の断面積から燃料集合体内周辺流路の面積(以降 Control Volumeと呼ぶ。)を36設定し、ラッパ管壁の温度分布、又、高速中性子束分布計算に用いる。他の各部詳細寸法は動燃殿より御提示頂いた各部寸法⁽⁴⁾通りとする。尚、Mk-III炉心の燃料ペレットスタック長は、Mk-II炉心に対し下端位置は変えずに5.0cm短尺化されている。

3.2.1.2 制御棒

図3.2.1.2-1に示すように、実機において制御棒にはラッパ管は存在しないが計算コード上、極薄な仮想のラッパ管を設定する。案内管についても、仮想ラッパ管との間のControl Volume面積をできるだけ小さくするため、実機が外径7.83(cm)であるが7.8498(cm)としている。そして前述のモデルを考慮しControl Volumeを36設定する。

3.2.1.3 特殊燃料集合体・タイプA

特殊燃料集合体は、前項3.2.1.1炉心燃料集合体と計算モデルは同様扱いとする。

3.2.1.4 内側反射体

図3.2.1.4-1に示すように内側反射体はラッパ管内を6等分し、その等分領域をControl Volumeとして設定する。

3.2.1.5 外側 (A) 反射体

図3.2.1.5-1に示すように外側 (A) 反射体のしゃへいブロックは実機では六角形であるが計算コード上、円形でモデル化しなければならない為、ラッパ管との間の面積を考慮しラッパ管の内側対面間距離をしゃへいブロック外径として、Control Volumeを36設定する。

3.2.1.6 外側 (B) 反射体 (B₄C内蔵モデル及びスリット付モデル)

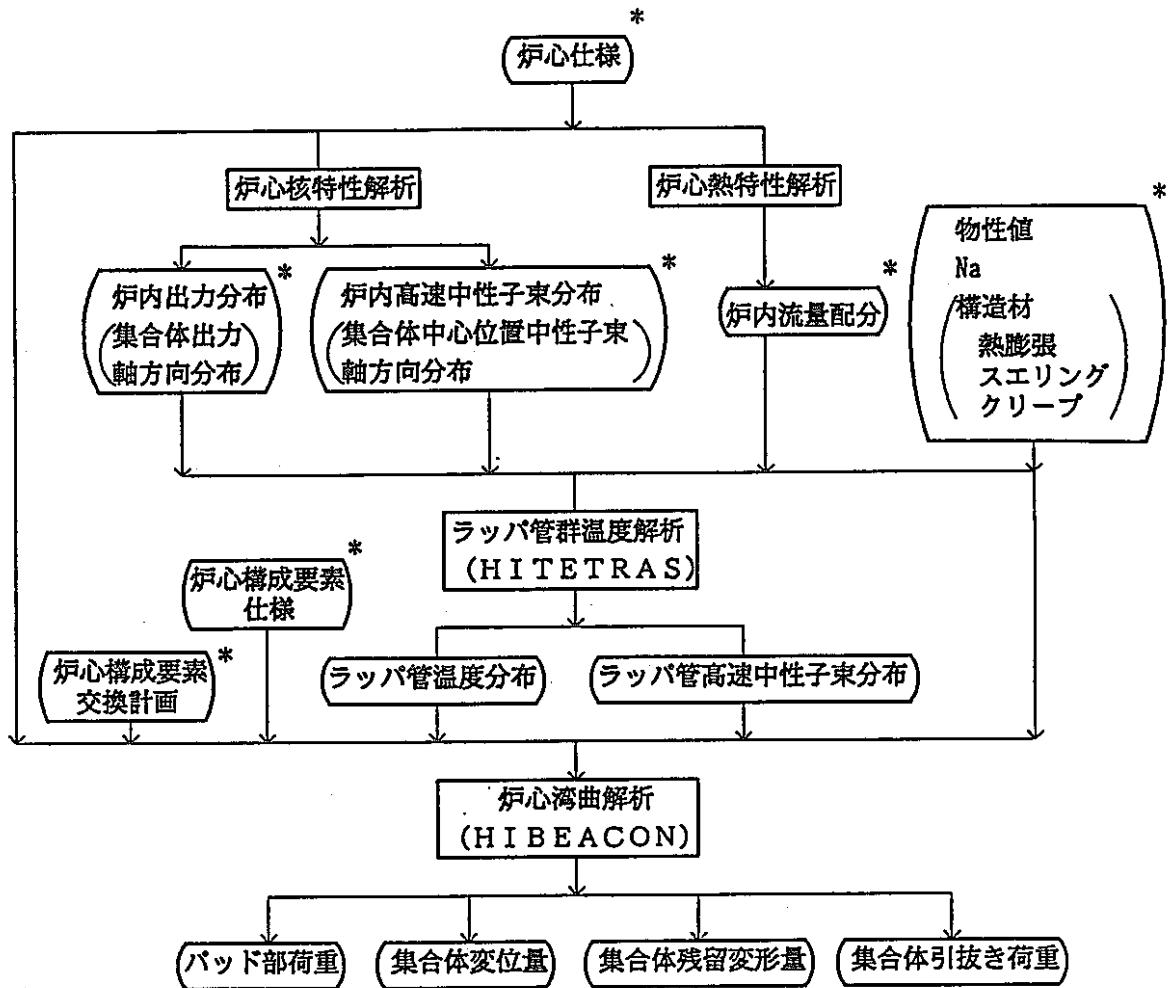
図3.2.1.6-1に示すように外側 (B) 反射体は前項3.2.1.4内側反射体と同様にラッパ管内の面積よりしゃへいブロックを差引いた面積を6等分しControl Volumeとして設定する。

3.2.1.7 中性子源

図3.2.1.7-1に示すように中性子源は、前項b、制御棒と同様、実機にはラッパ管が存在しない為、計算コード上極薄な仮想のラッパ管を設定する。又、実機にアンチモン被覆管内 (コード上では保護管扱い) に冷却材は流れない為、ベリリウム被覆管とアンチモン被覆管との間に極薄な仮想保護管を設けて体系を模擬する。

3.2.1.8 軸方向ノード分割

「常陽」Mk-III炉心ではMk-II炉心に対し、燃料ペレットスタック長が5.0cm短尺化されている。これに伴い、HITETRASコードにおいては炉心部のノード範囲をMk-IIでは12から21とした。このノード分割を図3.2.1.8-1に示す。

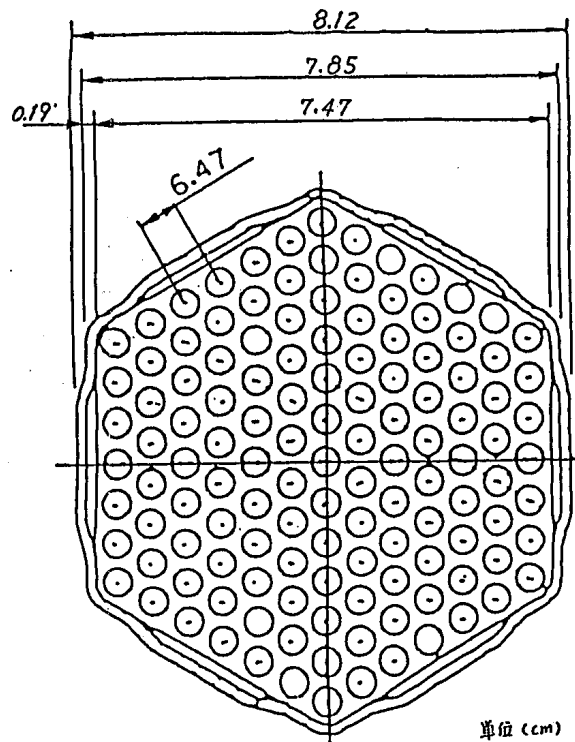


* 動燃殿御提示

図 3.2-1 炉心湾曲解析フロー

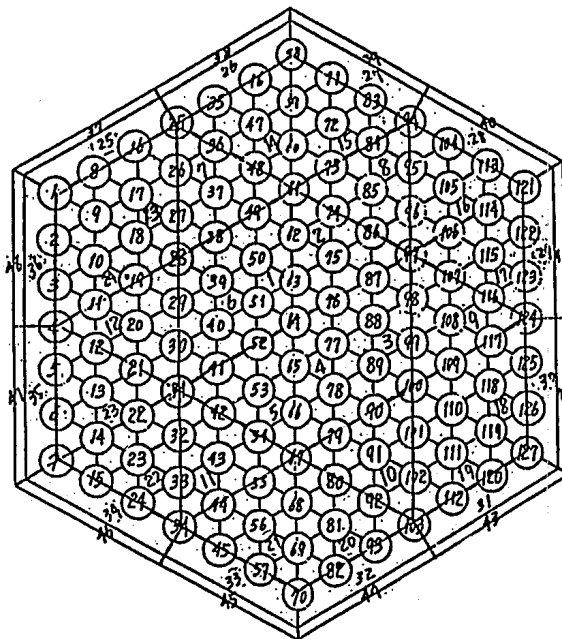
燃料集合体のControl Volumeの流路面積(炉心燃料集合体)

・燃料要素配列ピッチ : 0.647	・燃料要素外径 : 0.55
・ラッパ管肉厚 : 0.19	・燃料要素数 : 127
・ラッパ管内径 : 7.47 (cm)	・ワイヤースペース径 : 0.09 (cm)



単位 (cm)

燃料集合体実寸法



燃料集合体計算モデル体型

及び Control Volume

$$\begin{aligned} \text{燃料要素断面積 } S_f &= \pi \times (0.55 / 2)^2 \\ &= 0.2375829 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ワイヤースペース断面積 } S_w &= \pi \times (0.09 / 2)^2 \\ &= 0.0063617 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

流路面積

$$\begin{aligned} \text{Control Volume 1} \sim 6, 13 \sim 24 \\ &= ((0.647 \times 3)^2 \times \sin 60^\circ / 2) - ((S_f + S_w) \times 9 / 2) \\ &= 0.5336164 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

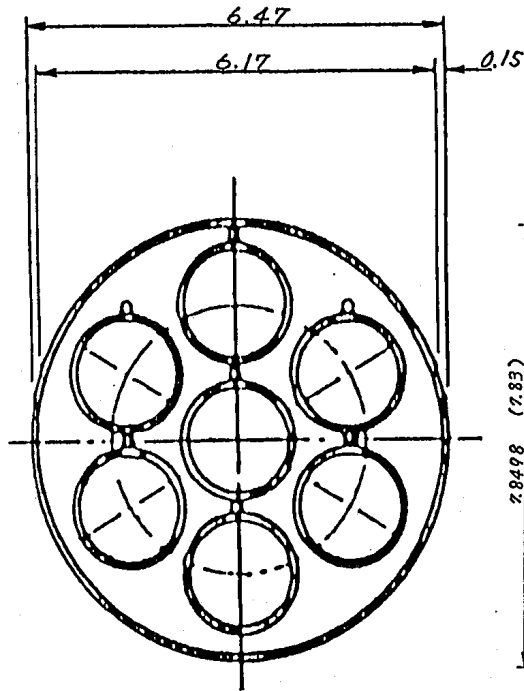
$$\begin{aligned} \text{Control Volume 7} \sim 12 \\ &= ((0.647 \times 3)^2 \times \sin 60^\circ / 2) - ((S_f + S_w) \times 9 / 2) \\ &= 0.5336164 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Control Volume 25} \sim 36 \\ &= (((7.47)^2 \times \sqrt{3} / 2) - ((0.647 \times 3)^2 \times \sin 60^\circ / 2) \\ &\quad \times 24) / 12 - ((S_f + S_w) \times 19 / 12) \\ &= 0.3781032 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

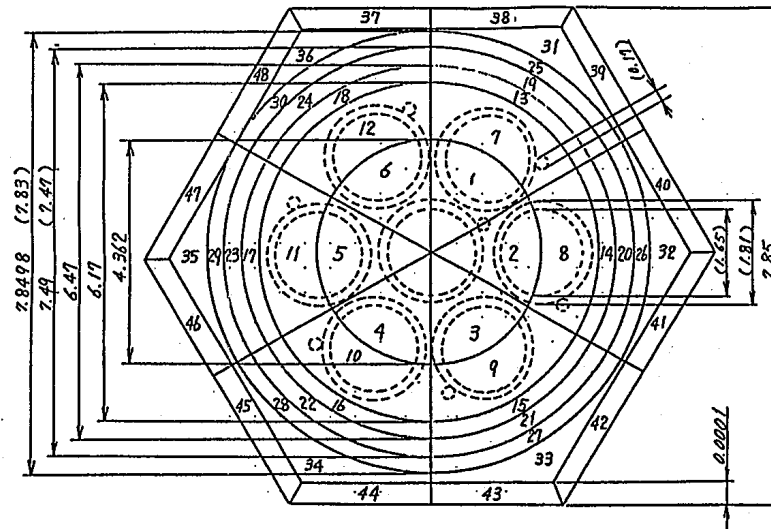
図 3.2.1.1-1 炉心燃料集合体のモデル化

制御棒諸元

・ラップ管外径 : 7.85	・吸収材外径 : (1.81)
・ " 肉厚 : 0.0001 $\frac{1}{2}$	・ " 内径 : (1.65)
・案内管外径 : 7.8498(7.83)	・ラッピングワイヤ径 : (0.17)
・ " 内径 : 7.49 ($\frac{7.47}{2}$)	・ Control Volume 1-6全体の外半径 : 2.181 $\frac{1}{2}$
・保護管外径 : 6.47	
・ " 内径 : 6.17	



制御棒実寸法



制御棒計算モデル体型図

Control Volume

$\frac{1}{2}$; 制御棒にラップ管は無いが計算コード上、仮想値として、微小値を入力する。
 $\frac{2}{2}$; 実機は7.83であるが、プログラムのモデルを考慮し、薄肉のラップ管を設けるため、7.8498とする。
 $\frac{3}{2}$; 保護管内(内側7本の吸収材要素およびラッピングワイヤを含む)面積の半分の半径

$$\text{半径} = \sqrt{\{(6.17/2)^2 \times \pi\} / 2 / \pi} = 2.181 \text{ (cm)}$$

流量面積 / 全体の流量割合

Control Volume 1 ~ 6, 7 ~ 12

$$= \{[(6.17)^2 - (1.81)^2 \times 7 - (0.17)^2 \times 7] \times \pi / 4\} / 2 / 6$$

$$= 0.977(\text{cm}^2) / 0.2103$$

Control Volume 13 ~ 24

$$= \{[(7.49)^2 - (6.47)^2] \times \pi / 4\} / 6$$

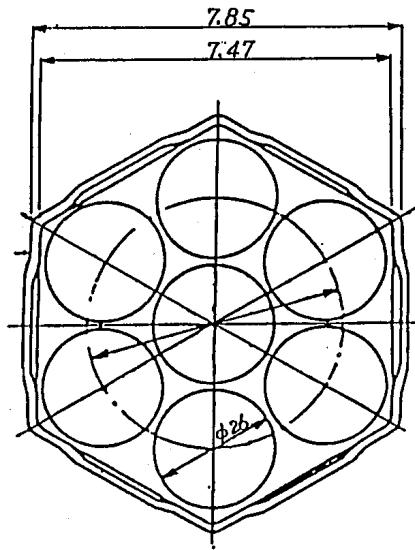
$$= 1.864(\text{cm}^2) / 0.4012$$

Control Volume 25 ~ 36

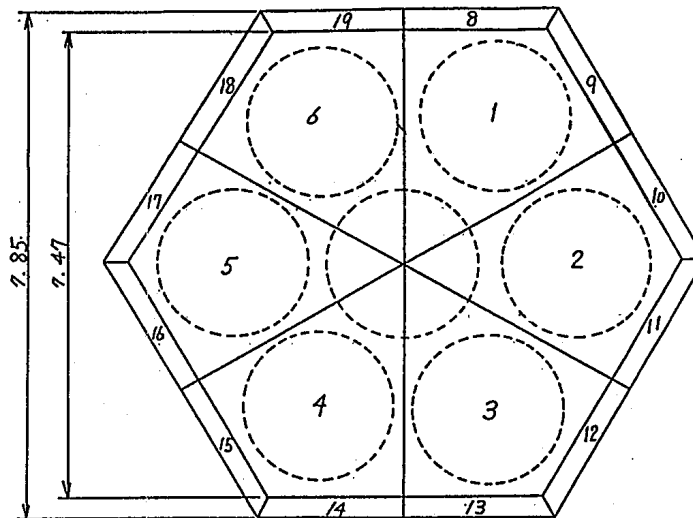
$$= \{\sqrt{3} / 2 \times (7.8498)^2 - \pi \times (7.8498 / 2)^2\} / 6$$

$$= 0.828(\text{cm}^2) / 0.1782$$

図 3.2.1.2-1 制御棒のモデル化



内側反射体実寸法



内側反射体計算モデル体型及び

Control Volume

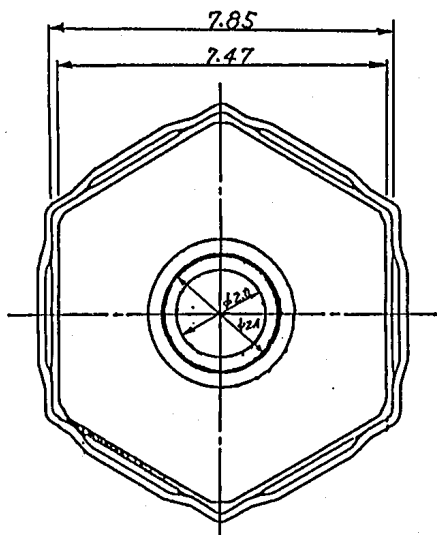
内側反射体のControl Volumeの流路面積

・ラップ管外径	: 7.85
・ " 内径	: 7.47
・遮蔽ブロック外径	: (2.6)

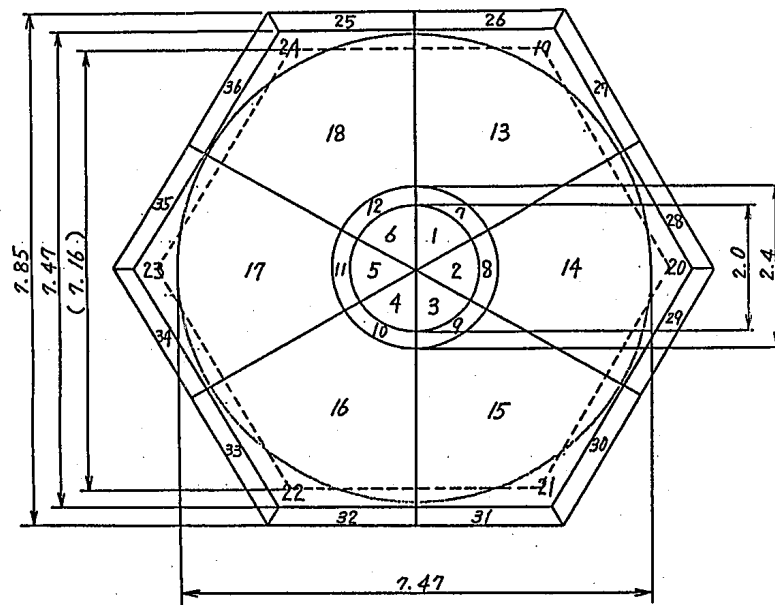
Control Volume1個あたりの流路面積

$$\{\sqrt{3}/2 \times (7.47)^2 - (2.6)^2 \times \pi / 4 \times 7\} / 6 = 1.8600 \text{ (cm}^2\text{)}$$

図 3.2.1.4-1 内側反射体のモデル化



外側(A)反射体実寸法



外側(A)反射体計算モデル体型B₀
Control Volume

外側反射体(A)諸元

・ラッパ管外径	: 7.85
・ " 内径	: 7.47
・遮蔽ブロック外径	: (7.16)
・遮蔽ブロック内側被覆管外径	: 2.4
・ " 内径	: 2.0
	(cm)

遮蔽ブロック外半径

真値 { 面積 ; $S = \sqrt{3} / 2 \times (7.16)^2 = 44.397312$ }
 { 等価半径 ; $r = \sqrt{S / \pi} = 3.759269$ }

以上のように真値 $r=3.759269$ であるがこれを用いると、直径(7.518538)がラッパ管内径よりも大きくなってしまいますので、ラッパ管内側対辺間距離を遮蔽ブロック外径とする。

$\therefore r = 7.47 / 2 = 3.735$ (cm)

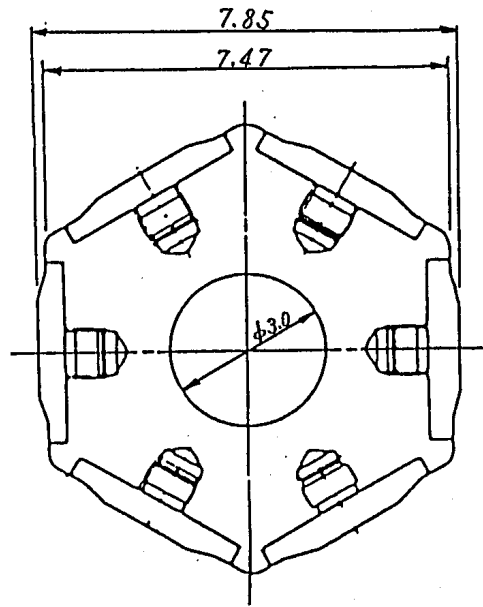
遮蔽ブロック内側の流路面積/流量割合

$(2.0)^2 \times \pi / 4$
 $= 3.1415927$ (cm²) / 0.4112

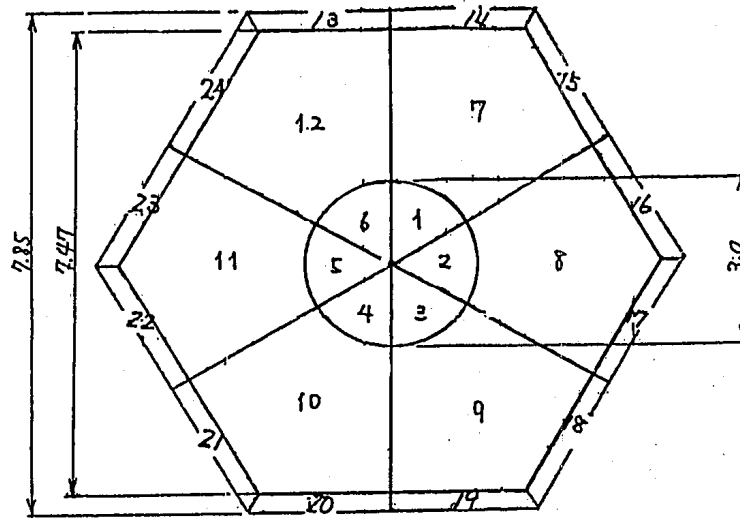
遮蔽ブロックラッパ管の間の流路面積/流量割合

$\sqrt{3} / 2 \times (7.47)^2 - \pi \times (3.735)^2$
 $= 4.4990726$ (cm²) / 0.5888

図 3.2.1.5-1 外側(A)反射体のモデル化



外側(B)反射体実寸法



外側(B)反射体計算モデル体系及び

Control Volume

外側反射体(B)諸元

・ラッパ管外径	: 7.85
・ " 内径	: 7.47
・遮蔽ブロック外径	: 3.0 (cm)

遮蔽ブロック内半径

$$3.0 / 2 = 1.5 \text{ (cm)}$$

図 3.2.1.6-1 外側(B)反射体のモデル化

中性子源要素諸元

・ラッパ管外径	: 7.85	・ベリリウム内側被覆管外径	: 3.40
・ " 内径	: 7.8498	・ " 内径	: 3.10
・ベリリウム外側被覆管外径	: 7.8498	・アンチモン被覆管外径	: (1.75)
" 内径	: 7.48	" 内径	: (1.55)
	(6.88)		(cm)

()内は実寸法

註¹; 中性子源にはラッパ管は無いが、計算コード上仮想値として微小値を入力する。

註²; 被覆管内径は、体積保存法により設定。

・中性子源においてはアンチモン被覆管内(コード上では保護管扱い)に冷却材は流れないため、ベリリウム被覆管とアンチモン被覆管との間に極薄な仮想保護管を設けて体型を模擬する。

1. 仮想保護管の内径および外径 (Volumeを等分割にて設定)

仮想保護管の内径および外径は、ベリリウム内側被覆管とアンチモン被覆管の間の面積を等分割するように、径を設定する。

・外形: 2.52 (cm)

・内径: 保護管の肉厚は0.0001 (cm)とする。

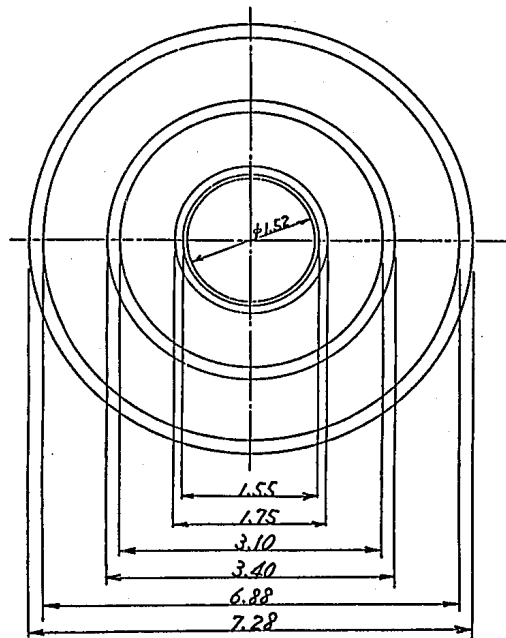
$$2.52 - 0.0002 = 2.5198 \text{ (cm)}$$

2. 中性子源要素における各部全体の流量割合 (Total = 1.0)

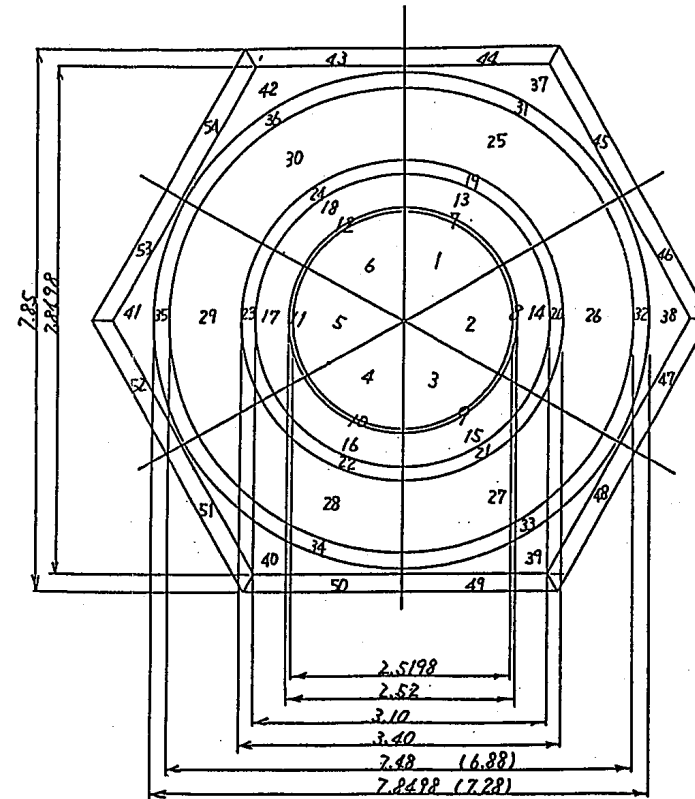
・保護管内部	: 0.4	} MK-Iの値より推定。
・保護管、ベリリウム内側被覆管の間	: 0.4	
・ベリリウム外側被覆管、ラッパ管の間	: 0.2	

3. 中性子源要素における各部全体の出力割合 (Total = 1.0)

・保護管内部	: 0.29	} MK-Iの値より推定。
・保護管	: 0.01	
・ベリリウム内側被覆管	: 0.2	
・ベリリウム	: 0.3	
・ベリリウム外側被覆管	: 0.2	



中性子源実寸法



中性子源計算モデル体型及び

Control Volume

図 3.2.1.7-1 中性子源のモデル化

HITETRAS

HIBEACON

中心点

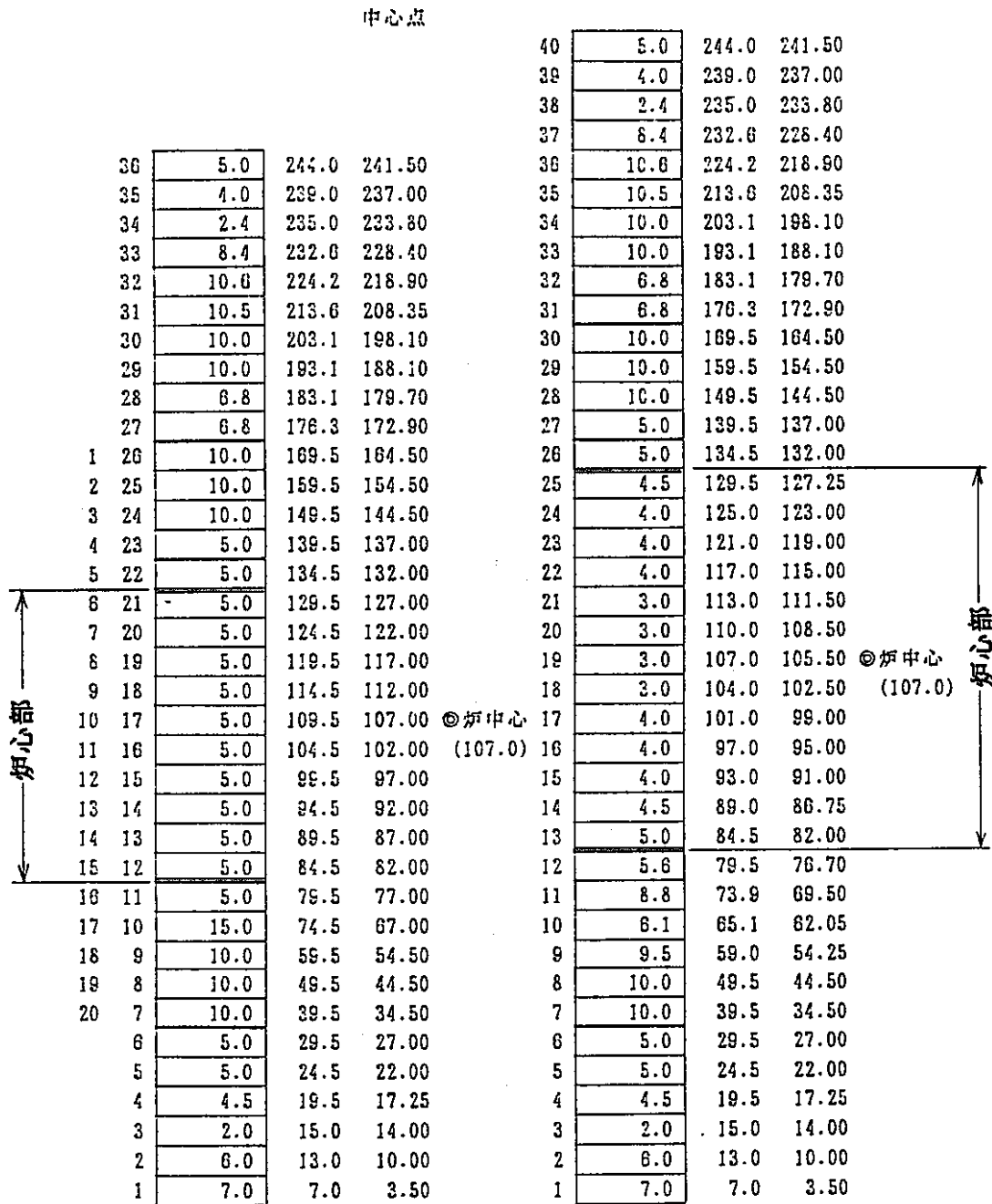


図 3.2.1.8-1 軸方向ノード分割図

3.2.2 炉心湾曲解析

(1) 断面形状

断面形状のモデル化は、実寸法体系における、剛性（断面2次モーメント）を保存するように、ラッパ管外側対面距離を7.85cmに固定し、肉厚を調整している。（これは、炉心湾曲解析コードHIBEACONでは外側対面距離が一定でなければならぬ。通常ラッパ管以外のところでは、温度、中性子束勾配が付かないため、断面を六角形状としてもラッパ管の湾曲には、影響が及ばないためである。）

モデル化前の断面形状の実寸法を図3.2.2-1に示す。

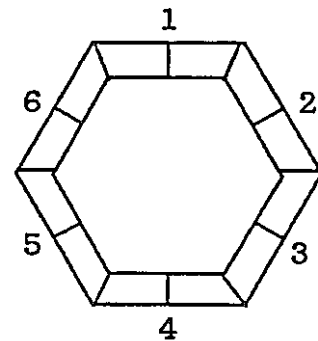
モデル化した断面形状を図3.2.2-2に示す。尚、図3.2.2-2には、軸方向ノード分割も併せて示した。

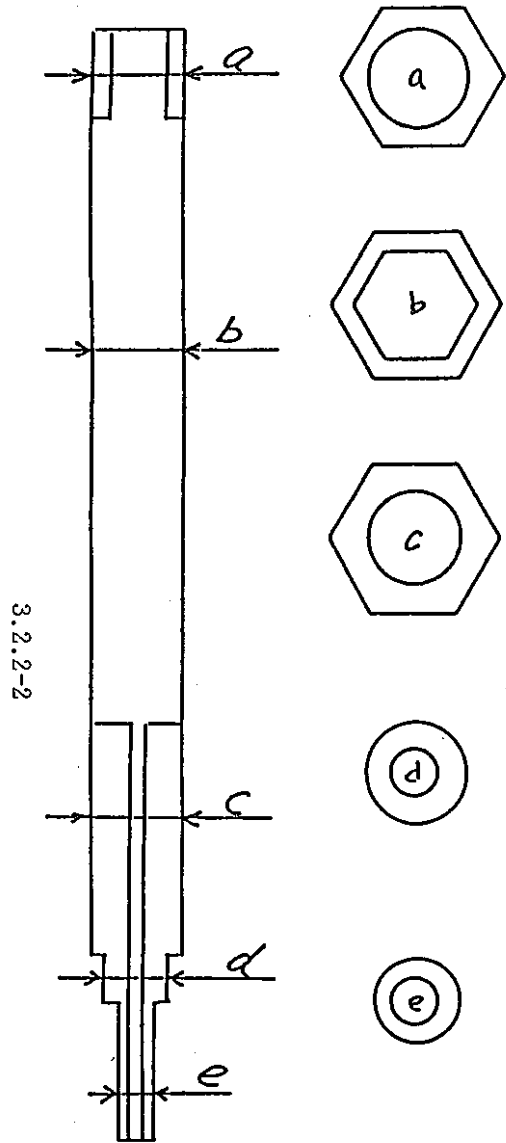
(2) 炉心構成要素支持条件

炉心構成要素エントランスノズル上/下部嵌合部におけるギャップ無2点ピン支持条件とする。各炉心構成要素の支持部の断面形状は、図3.2.2-2（e部）に示す。

(3) ラッパ管の周方向メッシュ分割

下図に示すようにラッパ管1面当り、2分割し、ラッパ管温度及び高速中性子束を設定する。





3.2.2-2

断面 2 次モーメント

単位 cm^4

	炉心燃料	特燃 A	制御棒	中性子源	内側反射体	外側反射体 A	外側反射体 B
a	123.418	123.418	123.418	123.418	123.418	123.418	123.418
b	41.112	41.112	31.663	31.663	41.112	41.112	224.398
c	140.750	160.408	177.949	181.900	75.529	225.765	227.589
d	45.257	44.108	45.257	102.347	65.973	102.347	104.170
e	11.506	11.506	10.222	11.262	11.672	11.673	9.450

外径及び内径

単位 cm

		炉心燃料	特燃 A	制御棒	中性子源	内側反射体	外側反射体 A	外側反射体 B
a	外径	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
	内径	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$
b	外径	7.85	7.85	$\phi 7.83$	$\phi 7.83$	7.85	7.85	7.85
	内径	7.47	7.47	$\phi 7.47$	$\phi 7.47$	7.47	7.47	$\phi 3.00$
c	外径	7.85	7.85	$\phi 7.83$	$\phi 7.83$	7.85	7.85	7.85
	内径	$\phi 6.50$	$\phi 6.10$	$\phi 3.40$	$\phi 2.70$	$\phi 7.47$	$\phi 2.70$	$\phi 2.00$
d	外径	$\phi 5.70$	$\phi 5.70$	$\phi 5.70$	$\phi 6.80$	$\phi 6.20$	$\phi 6.80$	$\phi 6.80$
	内径	$\phi 3.40$	$\phi 3.54$	$\phi 3.40$	$\phi 2.70$	$\phi 3.40$	$\phi 2.70$	$\phi 2.00$
e	外径	$\phi 4.38$	$\phi 4.38$	$\phi 4.30$	$\phi 4.10$	$\phi 4.39$	$\phi 4.13$	$\phi 3.80$
	内径	$\phi 3.40$	$\phi 3.40$	$\phi 3.40$	$\phi 2.70$	$\phi 3.40$	$\phi 2.70$	$\phi 2.00$

図 3. 2. 2-1 実寸法体系

燃料 特燃 制御棒 中性子源 内側反射体 外側反射体A 外側反射体B

40	11.4	244.0	11.4	244.0	11.4	244.0	11.4	244.0	11.4	244.0	11.4	244.0	11.4	244.0	40
39															39
38	a		a		a		a		a		a		a		38
37	173.6	232.6	173.6	232.6	217.0	232.0	158.7	232.6	213.1	232.6	208.1	232.6	199.6	212.6	37
36															36
35															35
34															34
32	b		b		b		b		b		b		b		32
30															30
29															29
28															28
27															27
26															26
25															25
24															24
23															23
22															22
21															21
20															20
19															19
18															18
17															17
16															16
15															15
14															14
13															13
12															12
11															11
10							66.9	73.9							10
9	52.0	59.0	52.0	59.0											9
8															8
7															7
6	c		c				c				17.5	24.5			6
5															5
4									12.5	19.5					4
3					8.0	15.0			c		c				3
2					c								6.0 c	13.0	2
d (1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	1

e : エントランスノズル部

	炉心燃料	特燃 A	制御棒	中性子源	内側反射体	外側反射体A	外側反射体B
a	外径	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
	内径	6.464	6.464	6.464	6.464	6.464	6.464
	肉厚	0.693	0.693	0.693	0.693	0.693	0.693
b	外径	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
	内径	7.47	7.47	7.56	7.56	7.47	2.85
	肉厚	0.19	0.19	0.145	0.145	0.19	2.50
c	外径	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
	内径	6.178	5.798	5.380	5.272	7.100	2.566
	肉厚	0.836	1.026	1.235	1.289	0.375	2.642
d	外径	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85	7.85
	内径	7.428	7.44	7.428	6.766	7.208	6.766
	肉厚	0.221	0.205	0.221	0.542	0.321	0.542
e	外径	φ 4.38	φ 4.38	φ 4.30	φ 4.10	φ 4.39	φ 4.13
	内径	φ 3.40	φ 3.40	φ 3.40	φ 2.70	φ 3.40	φ 2.70

上記寸法は、剛性を考慮して外径・内径・ラッパ-管肉厚を設定している。

内径 (cm)
単位 : 外径 (cm)
ラッパ-管肉厚 (cm)

図 3.2.2-2 解析体系モデル

3.3 主要解析条件

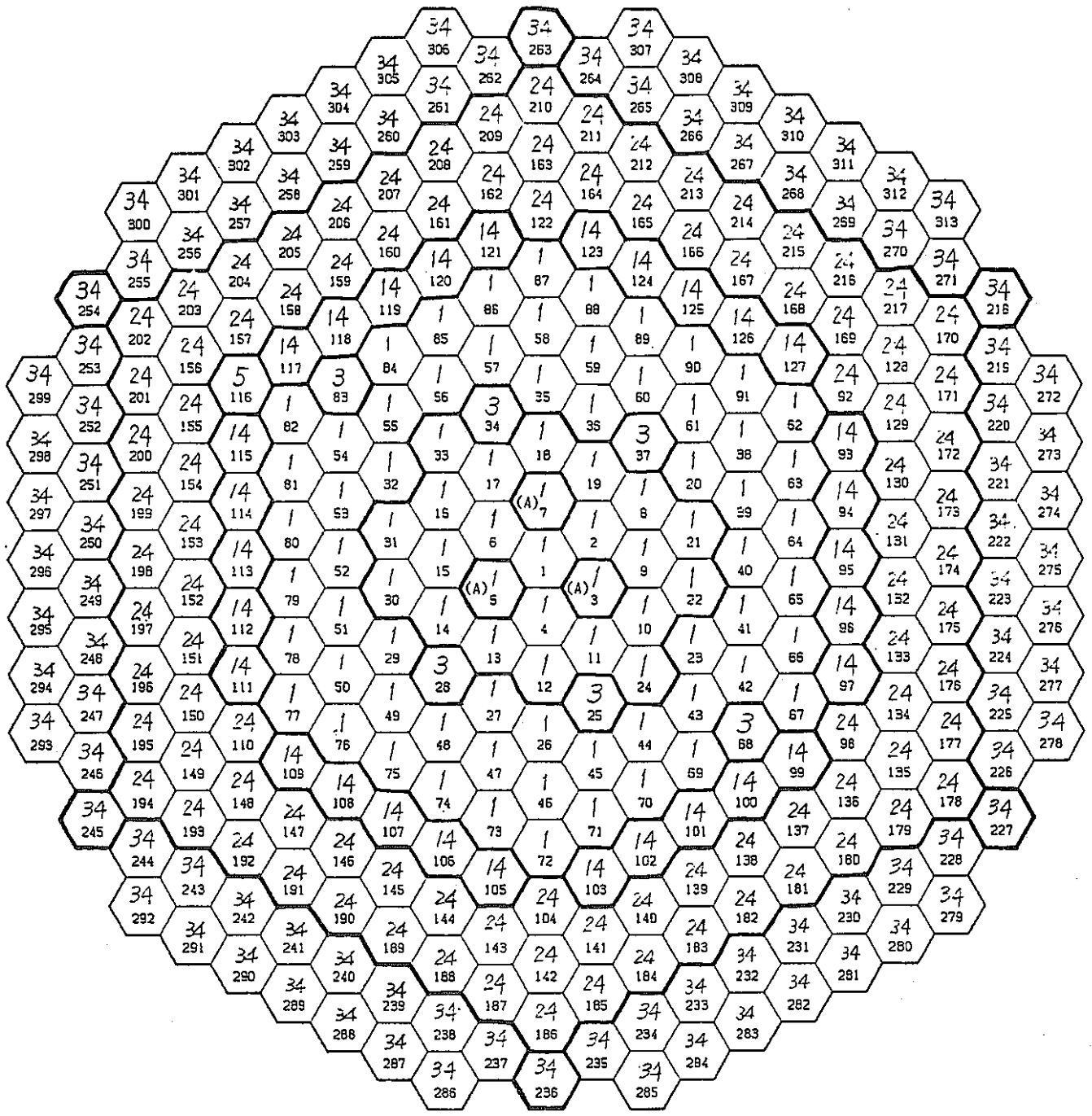
3.3.1 プラント基本条件

プラント基本条件として、下記を設定した。

- (1) 炉心出力：140MWt
- (2) 炉心入口温度：370℃
- (3) 運転サイクル長さ：60日／サイクル
- (4) 炉心配置：図3.3.1-1に示す
- (5) 炉心構成要素交換計画

炉心構成要素交換計画は動燃殿より御提示頂いた炉心燃料の交換バッチ数（表3.3.1-1⁽⁴⁾）及び反射体の中性子照射量制限値⁽⁴⁾に基づき設定した。尚、本交換計画は次項の出力分布、高速中性子束分布設定の際に用いられる。

- a. 炉心燃料：図3.3.1-2に示す。
- b. 反射体：中性子束と照射量制限値により決まる炉内滞在サイクル数から内側反射体、外側（A）反射体及び、外側（B）反射体各々について各サイクルほぼ均等に交換する計画を作成した。この計画を図3.3.1-3に示す。



- 1 : 炉 心 燃 料
- 14 : 内 側 反 射 体
- 3 : 制 御 棒
- 24 : 外 側 (A) 反 射 体
- 5 : 中 性 子 源
- 34 : 外 側 (B) 反 射 体
- 1 : 特 殊 燃 料 集 合 体 (A)

(注) 炉心構成要素中の数字は、
HITETRASコードの
炉心構成要素種類番号を示す。

図 3.3.1-1 炉心配置

(1) 炉心燃料

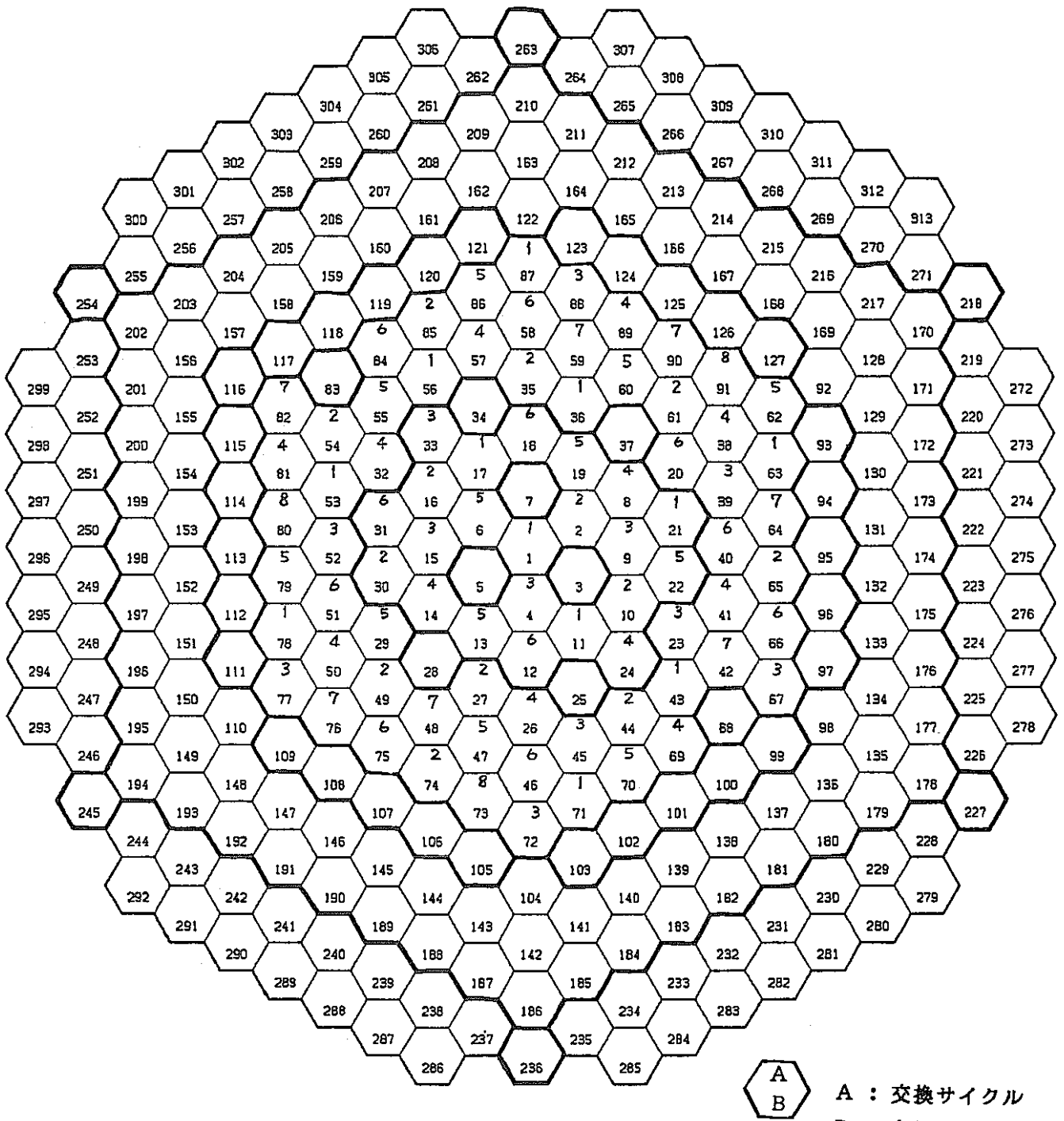
列	交換バッチ数
0	5
1	5
2	6
3	6 (内、外共通)
4	7
5	8
特燃 (TYPE1)	10 ~ 11

(2) 反射体照射制限値

1. 内側反射体 5.5E22nvt (>0.1MeV)
2. 外側 (A) 反射体 4.6E22nvt (>0.1MeV)
3. 外側 (B) 反射体 4.6E22nvt (>0.1MeV)

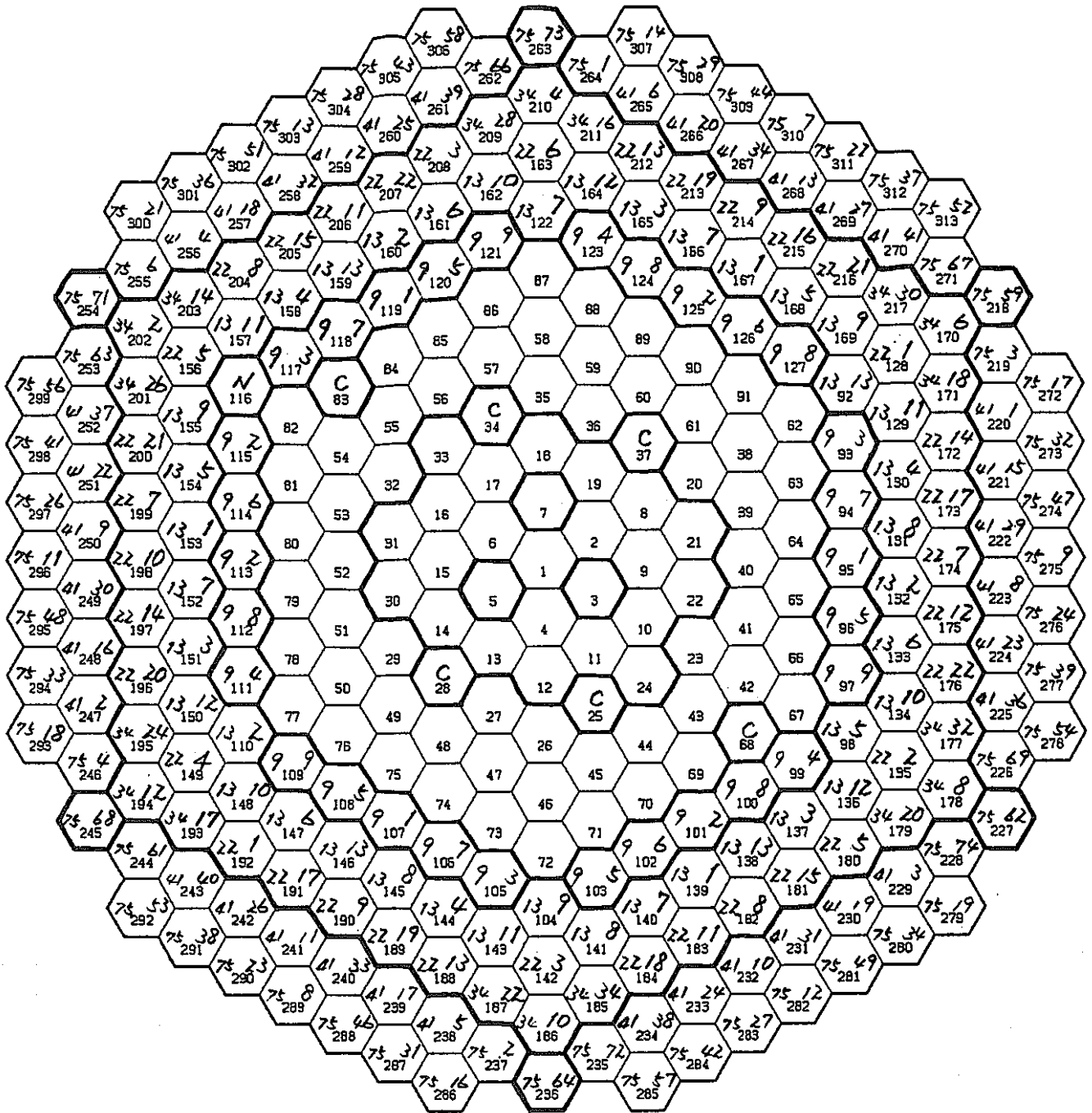
* ただし、従来のオーステナイト鋼反射体からフェライト鋼反射体に交換されたら、以後交換しないものとする。

表 3.3.1-1 炉心構成要素の交換計画



A : 交換サイクル
 B : 全炉心体系の
 要素番号

図 3.3.1-2 炉心構成要素交換計画 (炉心燃料)





 A : 交換サイクル
 B : 交換バッチ数

図 3.3.1-3 炉心構成要素交換計画 (反射体)

3.3.2 ラップ管温度、中性子束計算の条件

(1) 出力分布

出力分布はラップ管温度計算に用いられるもので、それは各サイクル毎に異なっている。動燃殿より御提示頂いたMAGIによる出力ファイル⁽⁴⁾は平均燃料組成におけるものであることから、前記炉心構成要素計画に基づき、表3.3.2-1に示す補正ファクタ⁽⁴⁾を用い、以下で示す手法で各サイクル毎の補正係数を求める。次にこれを平均燃料組成に基づく出力に乗じて各サイクル毎の出力分布を設定した。尚、MAGIコードの炉心構成要素番号と、HITETRASコードの炉心構成要素番号との対応を図3.3.2-1に示す。

a. 炉心燃料集合体

HITETRASでは各サイクル初期を対象に計算する。例えばサイクル中期においては、5パッチ交換燃料（表3.3.1-1より、1列目の燃料）は0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5、サイクル滞在の燃料であり、その平均滞在サイクル数は2.5サイクルである。前記、平均燃料組成は2.5サイクル燃焼した燃料の組成とし、平均組成時の集合体出力から各サイクル初期での集合体出力を求める為の補正ファクタを以下のように算出した。

$$1 \text{ サイクル滞在燃料} : \frac{1 - 1.0741}{2.5} \times 1 + 1.0741 = 1.04446 \text{ をデータに乗ずる。}$$

$$4 \text{ サイクル滞在燃料} : \frac{1 - 1.0741}{2.5} \times 4 + 1.0741 = 0.95554 \text{ をデータに乗ずる。}$$

b. 炉心燃料以外

炉心燃料以外の集合体については出力ファイルのデータをそのまま使用する。

c. 出力の規格化

炉心熱出力が140MWtとなるようa.項のファクターを乗じた出力を規格化する。

(2) 冷却材流量配分

本冷却材流量配分は、ラップ管温度分布を計算するために使用するものである。動燃殿より御提示頂いたデータ⁽⁴⁾に基づき表3.3.2-2に示す流量を設定した。

(3) 高速中性子束分布

本高速中性子束分布は、HITETRASコードでラップ管面上の高速中性子束

分布を求めるための、炉心構成要素中心軸上の分布である。その分布は、動燃殿より御提示頂いたMAGIコードによる中性子束ファイル⁽⁴⁾（出力と同様、平均燃料組成による）に基づき、以下のように設定した。

a. 炉心燃料集合体

本節(1)項の「出力分布」で述べたように表3.3.2.-1に示した補正ファクタを使用し、同様な手法で補正する。

b. 炉心燃料集合体以外

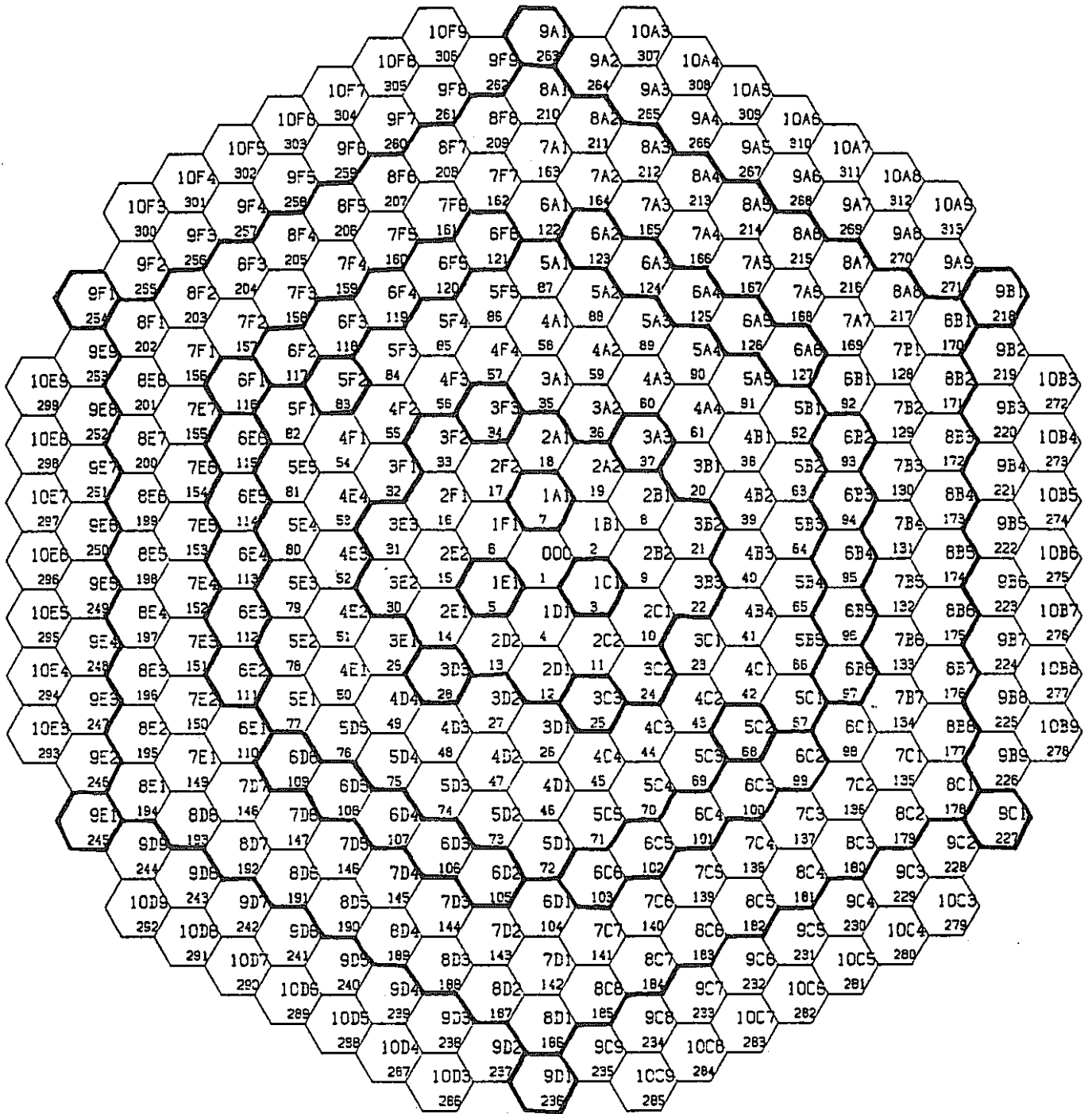
本節(1)項の「出力分布」と同様な手法を用いる。

c. 中性子束の規格化

出力の規格化に用いた規格化ファクタ $\frac{140\text{MWt}}{\Sigma \text{集合体出力(炉心燃料、炉心燃料以外)}}$ を中性子束に乗じる。

列	線出力密度 (ϕ)の上昇	集合体出力 の上昇
0	1.0741	1.0741
1	1.0835	1.0835
2	1.0774	1.0774
3	1.0772	1.0772
4	1.0805	1.0805
5	1.0770	1.0770

表 3.3.2-1 平均組成での線出力密度、集合体出力から
新燃料の出力を算出するための補正ファクタ



A : MAGI 出力ファイルにおける炉内アドレス番号
 B : HITETRAS 及び HIBEACON コードにおける炉心構成要素番号

図 3.3.2-1 MAGI と HITETRAS, HIBEACON の炉心構成要素番号の対応

集合体種類	領域	集合体数	集合体番号	集合体1体当りの 流量 (kg/sec)
炉心燃料	内側	4	1, 2, 4, 6	8.723
		12	8~19	8.252
		6	21, 22, 24, 30, 31, 33	8.132
	外側	8	20, 23, 26, 27, 29, 32, 35, 36	8.132
		24	38~61	7.648
		28	62~67, 69~82, 84~91	6.351
制御棒	内側	4	25, 28, 34, 37	3.953
	外側	2	68, 83	3.953
内側反射体		30	93~97, 99~103, 105~109 111~115, 117~121, 123~127	0.198
外側反射体 (A)		5	92, 98, 104, 110, 122	0.199
		42	128~169	0.199
		48	170~217	0.199
外側反射体 (B)		48	219~226, 228~235, 237~244 246~253, 255~262, 264~271	0.174
		42	272~278, 279~285, 286~292 293~299, 300~306, 307~313	0.174
		6 (スリット)	218, 227, 236, 245, 254, 263	0.174
特殊燃料(T-A)		3	3, 5, 7	8.288
中性子源		1	116	0.199

表 3.3.2-2 冷却材流量配分

3.3.3 炉心湾曲解析の条件

(1) 解析対象

a. 期間及び時期 ; 6サイクルの初期, 末期, 並びに末期原子炉0出力時。
(尚、燃料交換を考慮する。)

b. 炉心体系 ; 全炉心領域で解析を行う。

c. 燃料集合体バンドル部圧損

炉心燃料集合体については、ラッパ管の冷却材外圧差によるクリープ膨れ（バルジング）を考慮する。冷却材内外圧差を求めるため、題記圧損が必要である。題記圧損は表3.3.3-1 に示す動燃殿御提示の圧損評価式⁽⁴⁾をH I B E A C O Nコードに組込んだ。

d. ラッパ管の物性データ

今回の解析では、ラッパ管が改良オーステナイト鋼と、フェライトマルテンサイト鋼の2種類存在し、以下に各々の物性値を示す。

・スエリング, 照射クリープ

表3.3.3-2, 3.3.3-3 に示す動燃殿御提示の評価式⁽⁴⁾を用いた。

・熱膨張率

表3.3.3-4 に示す動燃殿御提示の評価式⁽⁴⁾のうち、熱膨張によるラッパ管断面膨張, 自由湾曲量計算には瞬間熱膨張率の評価式を用いた。

ラッパ管の応力計算においては、450℃における平均熱膨張率を用いた。

・ラッパ管のヤング率, ポアソン比

改良オーステナイト鋼については、450℃におけるSUS316ST及び20%CW材の下記値を使用した。

ヤング率 : 18880 kg f/mm^2 (450℃)

$$E = 2.213 \times 10^5 - 78.875 \cdot T \quad (0 < T < 400)$$

$$E = 2.213 \times 10^5 - 111.46 \cdot T + 0.17899 \cdot T^2 - 2.5333 \times 10^{-4} \cdot T^3$$

$$(400 \leq T \leq 700)$$

E : 縦弾性係数 (MPa)

T : 温度 (℃)

ポアソン比：0.317 (450℃)

$$\nu = 0.29 + 6 \times 10^{-5} \cdot T$$

ν ：ポアソン比

T：温度 (℃)

・パッド部圧縮剛性

下部パッドのみ有限の断面圧縮剛性を考慮し、上部パッドについては、十分剛として取扱う。下部パッド部の断面圧縮剛性については、改良オーステナイト鋼の場合、動燃殿御提示の下記数値を使用し、フェライトマルテンサイト鋼の場合には、ヤング率を考慮して補正した。

改良オーステナイト鋼の断面圧縮剛性 : $2.35 \times 10^3 \text{ N/mm}$
(対面同時圧縮時)

フェライトマルテンサント断面圧縮剛性 : $2.657 \times 10^3 \text{ N/mm}$
(対面同時圧縮時)

表3.3.3-1 燃料集合体バンドル圧損評価式⁽⁴⁾

内側炉心	第0、1列	$\Delta P = 1.809 \times 10^{-4} W^{1.828}$
	第2列	$\Delta P = 1.688 \times 10^{-4} W^{1.847}$
	第3列	$\Delta P = 1.437 \times 10^{-4} W^{1.868}$
外側炉心	第3列	$\Delta P = 1.437 \times 10^{-4} W^{1.868}$
	第4列	$\Delta P = 1.267 \times 10^{-4} W^{1.895}$
	第5列	$\Delta P = 1.818 \times 10^{-4} W^{1.894}$
特殊燃料集合体 (タイプA)		$\Delta P = 1.494 \times 10^{-4} W^{1.8597}$

$P = \text{g/cm}^2$ 、 $(W : \text{g/sec})$

表3.3.3-2 改良オーステナイト鋼のスエリング，クリープ評価式⁽⁴⁾

(1) スエリング

$$\frac{\Delta V}{V} = R \cdot \left[\phi t + \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{1 + \exp [\alpha (\tau - \phi t)]}{1 + \exp (\alpha \tau)} \right\} \right]$$

$$R = R_0 \cdot \exp \{ A \cdot (T - T_p)^2 \}$$

$$R_0 = 1.25 \qquad A = -4.34 \times 10^{-5}$$

$$T_p = 475 \qquad \alpha = 0.25$$

$$\tau = 27$$

ϕt : 中性子照射量 (10^{22} n/cm^2 , $E > 0.1 \text{ MeV}$)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

(2) 照射クリープ

$$\epsilon = B \cdot \phi t' \cdot \sigma^{1.3} + D \cdot S \cdot \sigma$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 400^{\circ}\text{C} \leq T \leq 500^{\circ}\text{C} \\ B = 9.4425 \times 10^{-2} - 3.564 \times 10^{-4} T + 3.351 \times 10^{-7} T^2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 500^{\circ}\text{C} < T \leq 850^{\circ}\text{C} \\ B = 0 \end{array} \right.$$

$$\phi t' = \phi t + \ln \left\{ \frac{1 + \exp (\Omega - \phi t)}{1 + \exp (\Omega)} \right\}$$

$$\Omega = 0.185 \cdot \tau$$

$$\tau = 27$$

$$D = 1.32 \times 10^{-2}$$

ϵ : 照射クリープ相当ひずみ (%)

σ : 相当応力 (kgf/mm^2)

S : スエリング量 ($\Delta V/V$ %)

ϕt : 中性子照射量 (10^{22} n/cm^2 , $E > 0.1 \text{ MeV}$)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

表3.3.3-3 フェライトマルテンサイト鋼のスエリング、クリープ評価式⁽⁴⁾

(1) スエリング

$$\frac{\Delta V}{V} = R \cdot \phi t$$

$$R = 3 \cdot \exp(-4.260 - 1.825\beta - 2.176\beta^2 + 0.579\beta^3 - 0.027\beta^4)$$

$$\beta = \frac{T - 437}{100}$$

ϕt : 中性子照射量 (10^{22} n/cm^2 , $E > 0.1 \text{ MeV}$)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

(2) 照射クリープ

$$\epsilon = 100 \cdot (B \cdot \phi t \cdot \sigma^{1.3})$$

$$B = (-56.36 + 18.46 \times 10^{-2} \cdot T) \times 10^{-28}$$

ϵ : 照射クリープひずみ (%)

σ : 応力 (kgf/mm^2)

ϕt : 中性子照射量 ($\text{n/cm}^2 \cdot E > 0.1 \text{ MeV}$)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

表3.3.3-4 ラッパ管の熱膨張率評価式⁽⁴⁾

(1) 改良オーステナイト鋼の熱膨張率評価式

◦ 瞬間熱膨張率

$$\alpha_o = 14.8778 + 1.6999 \times 10^{-2} \cdot T - 1.4541 \times 10^{-5} \cdot T^2 + 4.5929 \times 10^{-9} \cdot T^3$$

◦ 平均熱膨張率

$$\begin{aligned} \alpha_m &= 15.0113 + 0.8726 \times 10^{-2} \cdot T - 0.5872 \times 10^{-5} \cdot T^2 + 0.1931 \times 10^{-9} \cdot T^3 \\ &= 17.92 \quad (450^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

ここで

α_o, α_m : 熱膨張率 (mm/mm/°C, $\times 10^{-6}$)

T: 温度 (°C)

(2) フェライトマルテンサイト鋼の熱膨張率評価式

◦ 瞬間熱膨張率

$$\alpha_o = 10.406 + 10.70 \times 10^{-3} \cdot T - 8.43 \times 10^{-6} \cdot T^2$$

◦ 平均熱膨張率

$$\begin{aligned} \alpha_m &= 10.512 + 5.294 \times 10^{-3} \cdot T - 2.810 \times 10^{-6} \cdot T^2 \\ &= 12.33 \quad (450^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

α_m : 平均熱膨張率 ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)

α_o : 瞬間熱膨張率 ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)

T: 温度 (°C)

3.4 解析結果

本節では、前節3.3で設定した主要解析条件によりH I T E T R A Sコードを用いた3次元ラッパ管温度及び高速中性子束の解析結果をM k - III炉心構成後の第6サイクルまで示す。またこのラッパ管温度分布、高速中性子束分布及び炉心構成要素交換計画等を入力としたH I B E A C O Nコードを用いた炉心湾曲解析の結果を同じく第6サイクルまで示す。

3.4.1 ラッパ管温度、中性子束計算結果

軸方向のラッパ管温度分布、及び高速中性子束分布は、図3.4.1-1に示すように、炉心燃料（5 B 5）と内側反射体（6 B 6）を図示の対象とし、一方向より図示する。ここで、上記の炉心構成要素を選定した理由は、温度、並びに高速中性子束の径方向の勾配が大きいためである。また、炉内径方向温度分布は図3.4.1-2に示すように炉中心を通る直線上の19体の炉心構成要素を図示の対象とし、軸方向高さは炉心中心面、下部パッド位置、炉心上端面の位置とする。

3.4.1.1 軸方向ラッパ管温度分布

図3.4.1.1-1～3に第1サイクル初期から第6サイクル初期までの軸方向ラッパ管温度分布を示す。温度分布の傾向は次のとおりである。5 B 5（図3.4.1-1に示した「常陽」炉内アドレス番号）の炉心燃料のラッパ管温度（図中に示すラッパ管壁1，2番）は6 B 6の内側反射体のラッパ管温度（図中に示すラッパ管壁3，4番）に比べ約40℃程度高く、その差の変化は6サイクルを通じ少ない。

また、炉心部（発熱部）の温度上昇に対しラッパ管上部の温度上昇は、発熱要素がないため緩やかになっている。

燃料交換による温度分布の変化は5 B 5が第6サイクルに交換されるため炉心上側からラッパ管上部において、平均10℃程度温度が上昇し、更に6 B 6の5 B 5側のラッパ管温度は熱移動による温度上昇の傾向を示している。

3.4.1.2 炉内径方向温度分布

図3.4.1.2-1A～6Cに第1サイクル初期から第6サイクル初期までの炉内径方向温度分布を示す。

本解析対象の「常陽」M k - III炉心においては、炉心燃料の配置が二領域化されている。図中においては炉心構成要素番号の10，3，1，6，16番が

内側領域炉心燃料となっており、67, 42, 23, 32, 54, 82番が外側領域の炉心燃料となっている。第1サイクル初期における温度分布は、内側領域の中央部は高く、中央部より外層においては徐々に温度は下降している。また外側領域においても、外側領域中の最内層の燃料(23, 32番)は内側領域中の最外層の燃料(10, 16番)より温度は高くなっており、これより外側方向では温度は徐々に下降している。

この温度分布の傾向は炉心燃料の二領域化によるものと言えるが、第2サイクル以降燃料交換を実施する燃料集合体(第2サイクルで10, 16, 54番、第3サイクルで23, 67番、第4サイクルで32番、第5サイクルで6番、第6サイクルで1番)については、20~30℃程度の温度上昇を示している。また、燃料交換を実施しない燃料集合体の温度は徐々に下降している。

3.4.1.3 軸方向ラッパ管高速中性子束分布

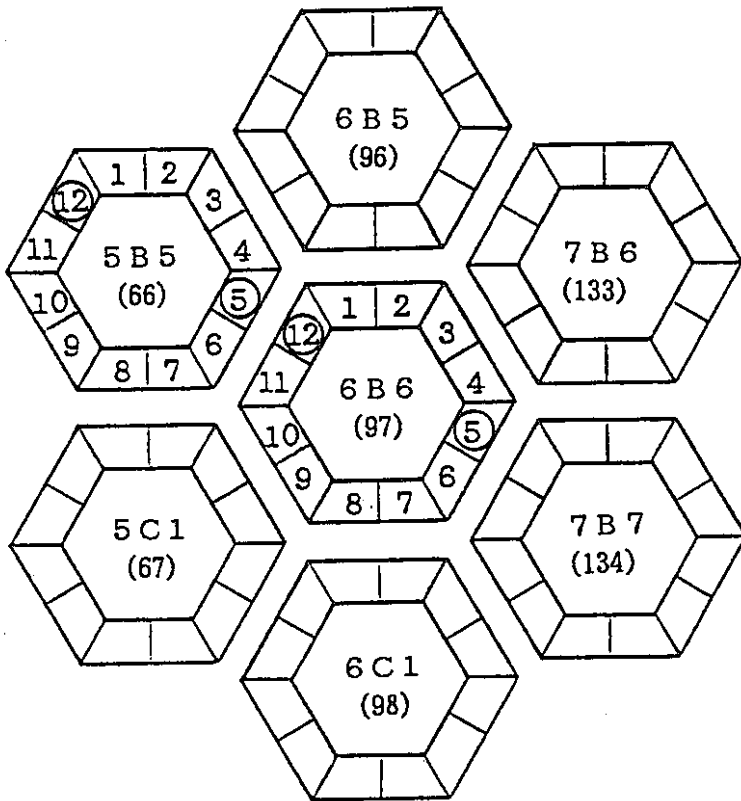
図3.4.1.3-1~3に第1サイクル初期から第6サイクル初期までの軸方向ラッパ管高速中性子束分布を示す。ラッパ管高速中性子束分布は、前述の軸方向ラッパ管温度分布と同様に5B5の炉心燃料(ラッパ管壁番号1番)は6B6の内側反射体(ラッパ管壁番号4番)に対し高くなっている。また、ラッパ管壁2, 3番は、炉心部においてほぼ同一の分布を示している。

6サイクルを通じての燃料交換によるラッパ管高速中性子束分布の変化の傾向は、前述の3.4.1.1項軸方向ラッパ管温度分布と同様に、第6サイクルにおいて炉心燃料である5B5の集合体が交換されるため他のサイクルに比べ高い分布を示すものとなっている。

3.4.1.4 炉心構成要素出口温度分布

図3.4.1.4-1~6に第1サイクル初期から第6サイクル初期までの炉心構成要素出口温度分布を示す。

炉心燃料集合体では各サイクル毎に12体(第2サイクルのみ13体)の燃料交換が実施されており、燃料交換直前サイクルに比べ約20℃程度の温度上昇が見られ、また燃料交換の実施されない集合体については各サイクル毎に3~5℃程度の割合で下降する傾向を示している。燃料以外(制御棒、特殊燃料、照射用集合体、反射体)の炉心構成要素においては出口温度の変化はほとんど見られない。



5B5: 炉心燃料
 5C1: "
 6B5: 内側反射体
 6B6: "
 6C1: 外側(A)反射体
 7B6: "
 7B7: "

- ・集合体内中央の番号はMAGI出力ファイルによる炉心アドレス番号
- ・集合体内下段の番号はHITETRAS及びHIBEACONコードにおける炉心構成要素番号

◎ラッパ管壁の数値はHITETRASコードによるラッパ管温度、及び中性子束を12点で出力(2.1項で述べた機能)した時の番号付である。また、丸付けの番号は本項で図示の対象となったラッパ管壁の番号となっている。

図 3.4.1-1 ラッパ管の軸方向温度分布、高速中性子束分布を図示した炉心構成要素

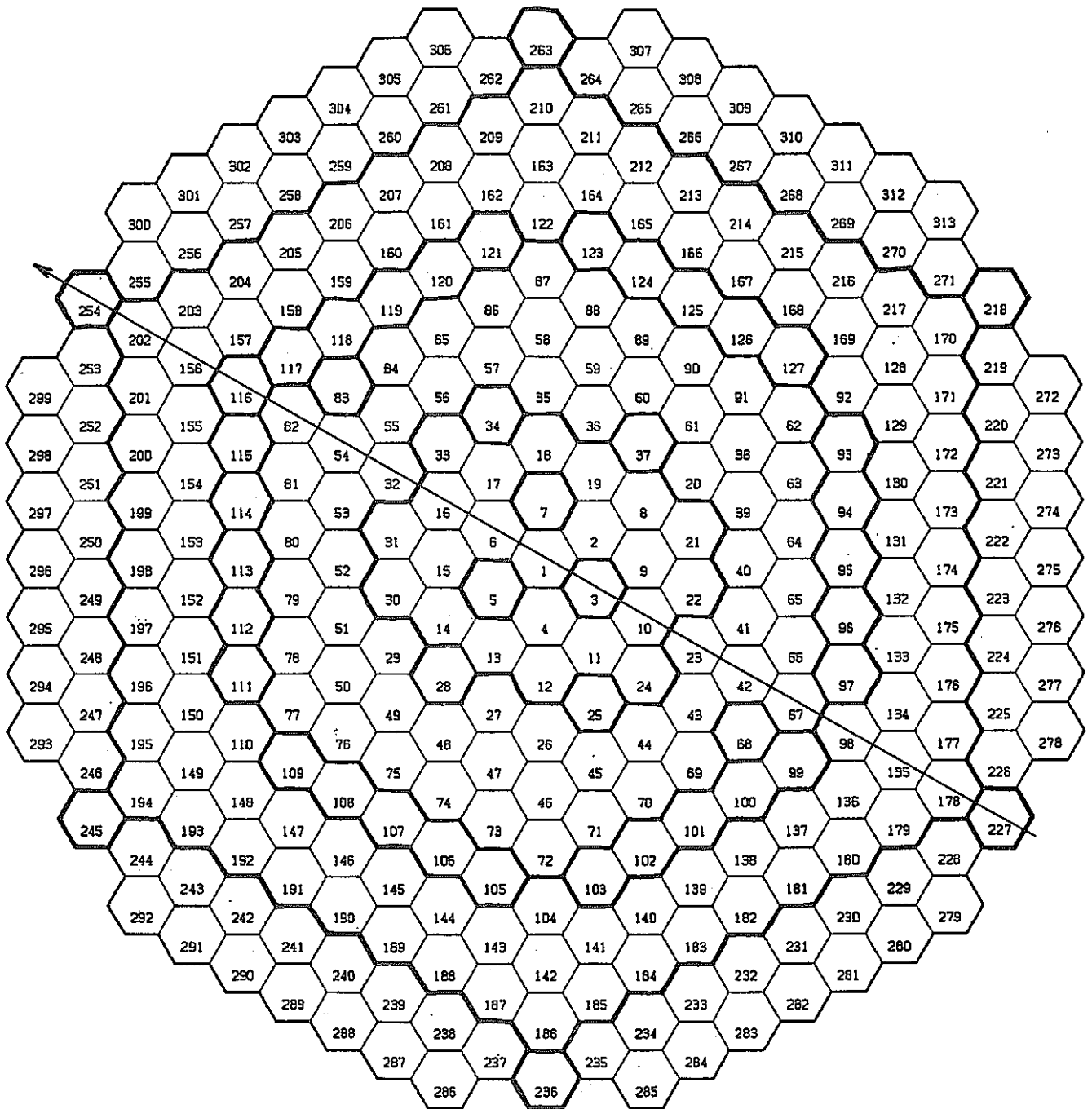


図 3.4.1-2 炉内径方向温度分布を図示した炉心構成要素

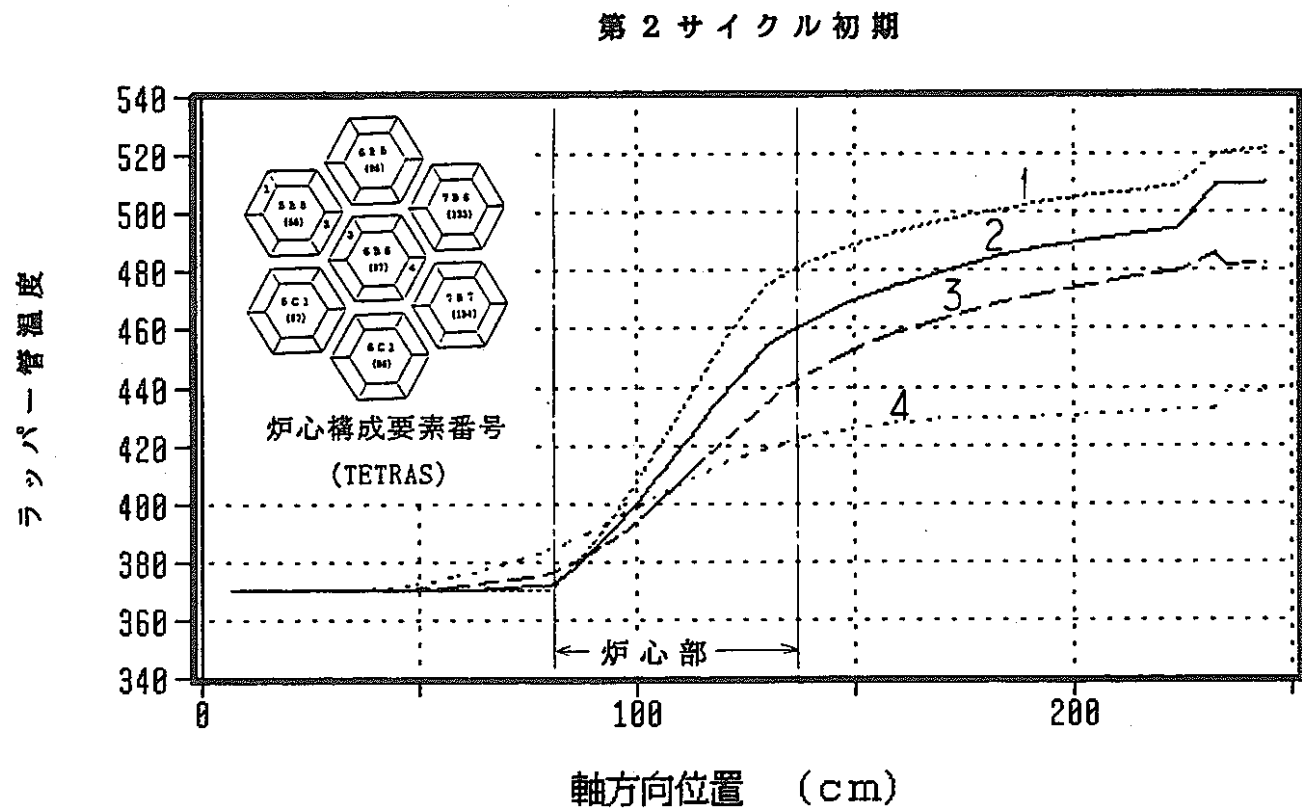
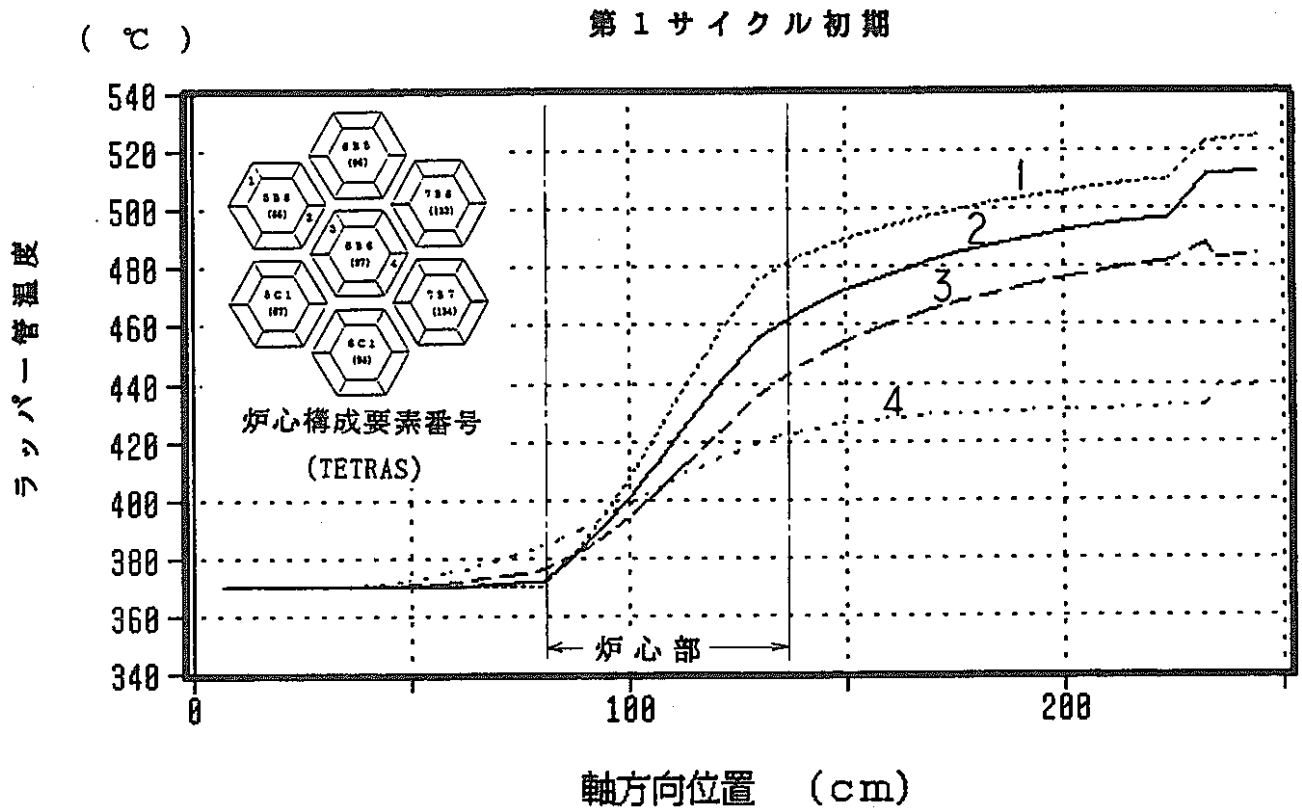
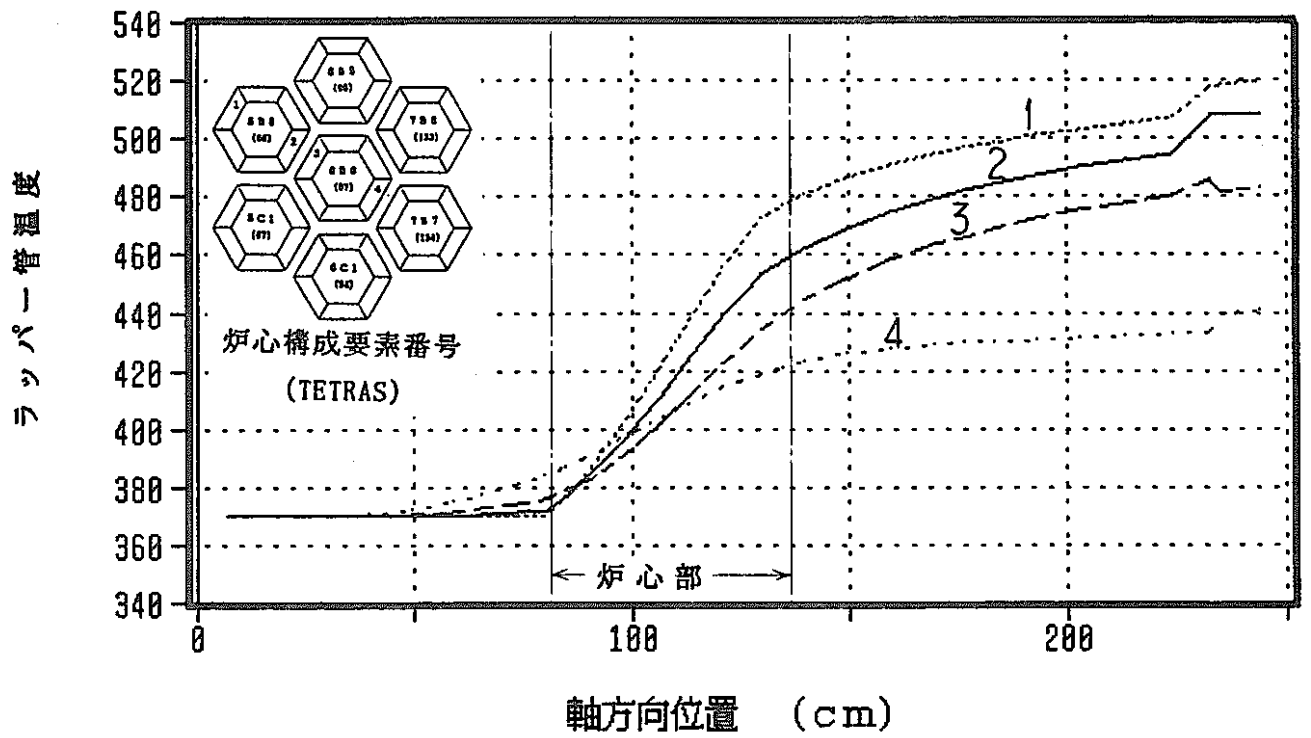


図 3.4.1.1-1 軸方向ラッパー管温度分布
(第1,2サイクル初期)

(°C)

第 3 サイクル 初期



第 4 サイクル 初期

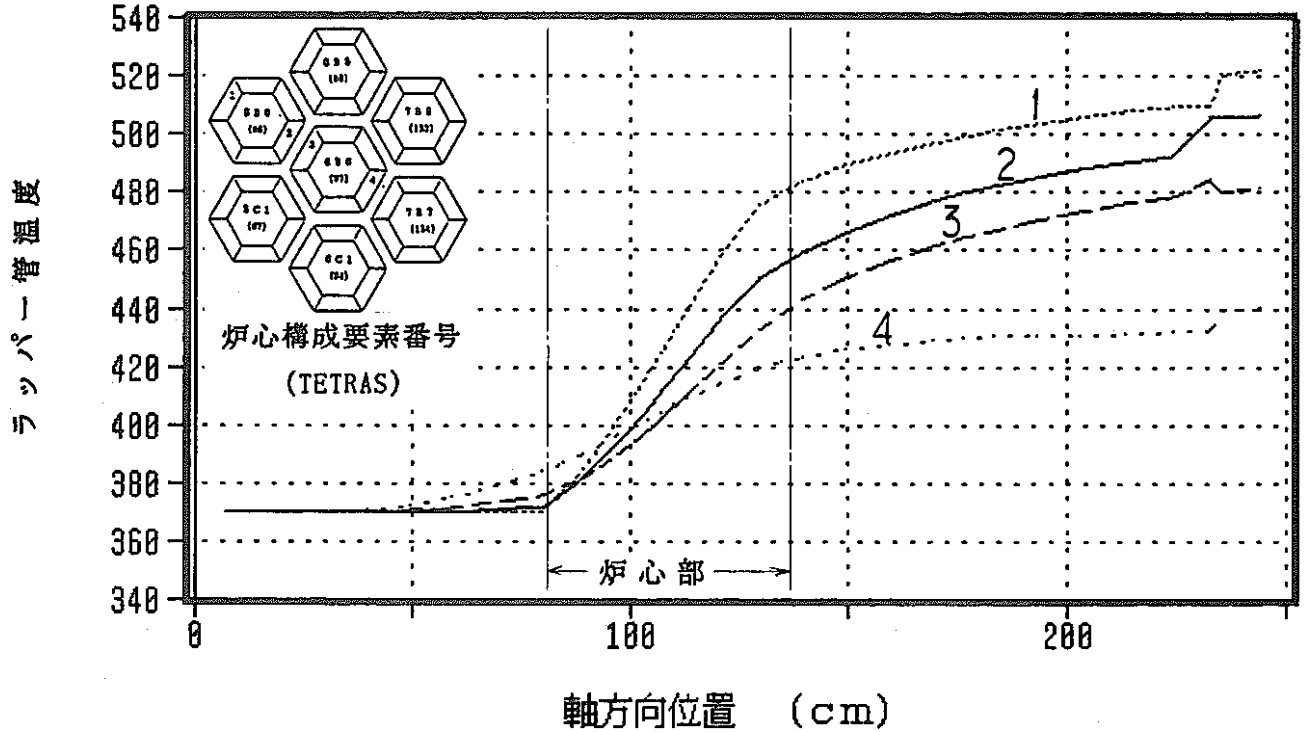
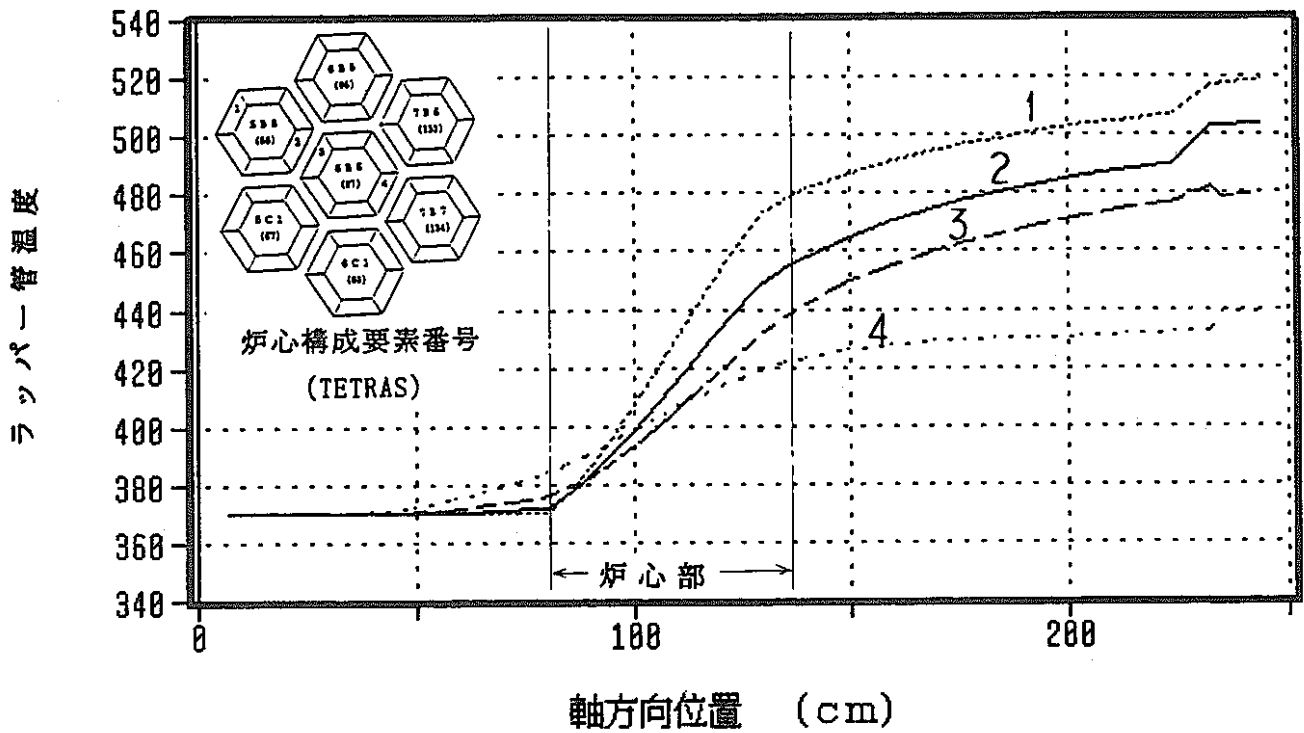


図 3. 4. 1. 1 - 2 軸方向ラッパー管温度分布
(第 3, 4 サイクル 初期)

(°C)

第5サイクル初期



第6サイクル初期

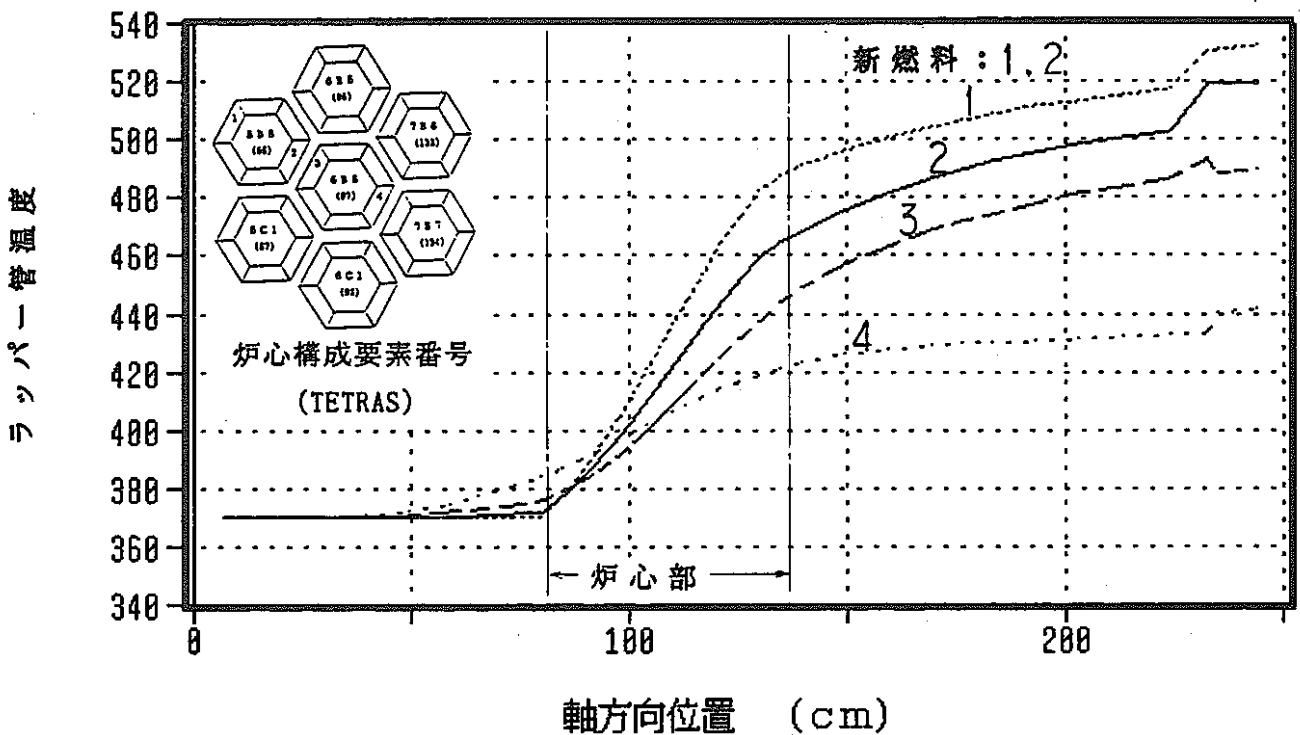
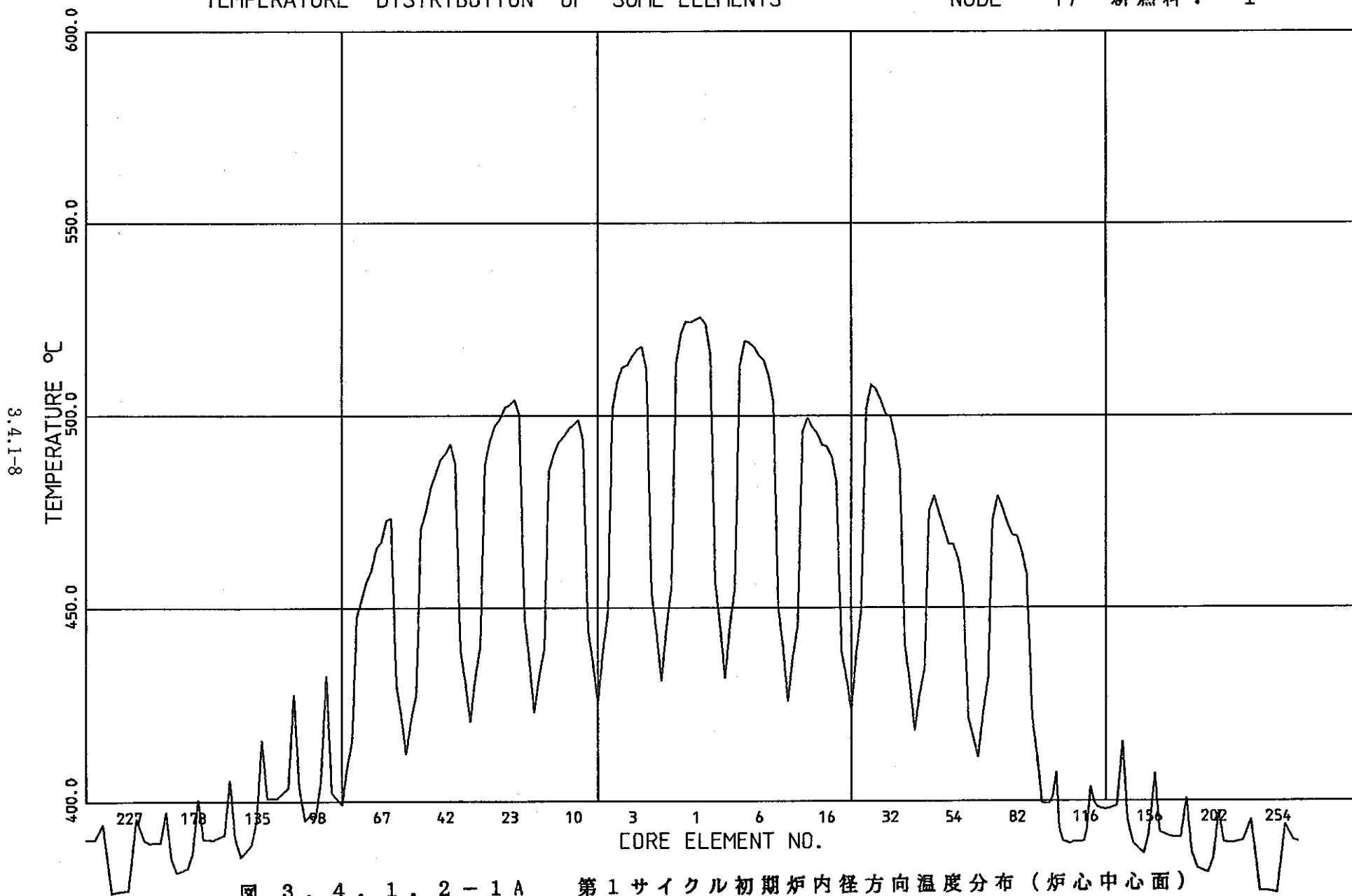


図 3.4.1.1-3 軸方向ラッパー管温度分布 (第5,6サイクル初期)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 17 新燃料: 1



TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 19 新燃料: 1

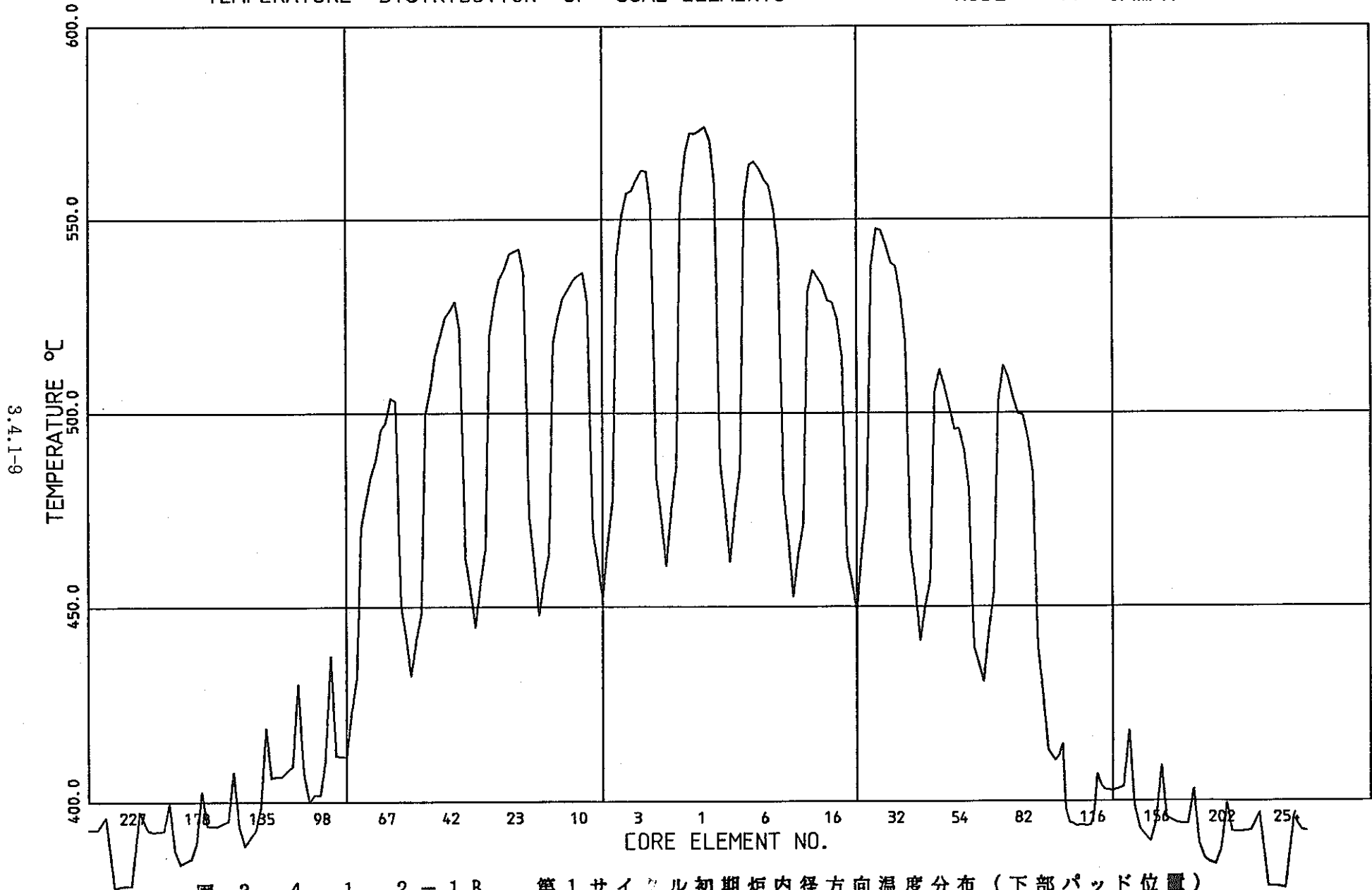


図 3.4.1.2-1B 第1サイクル初期炉内径方向温度分布 (下部パッド位置)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 21 新燃料: 1

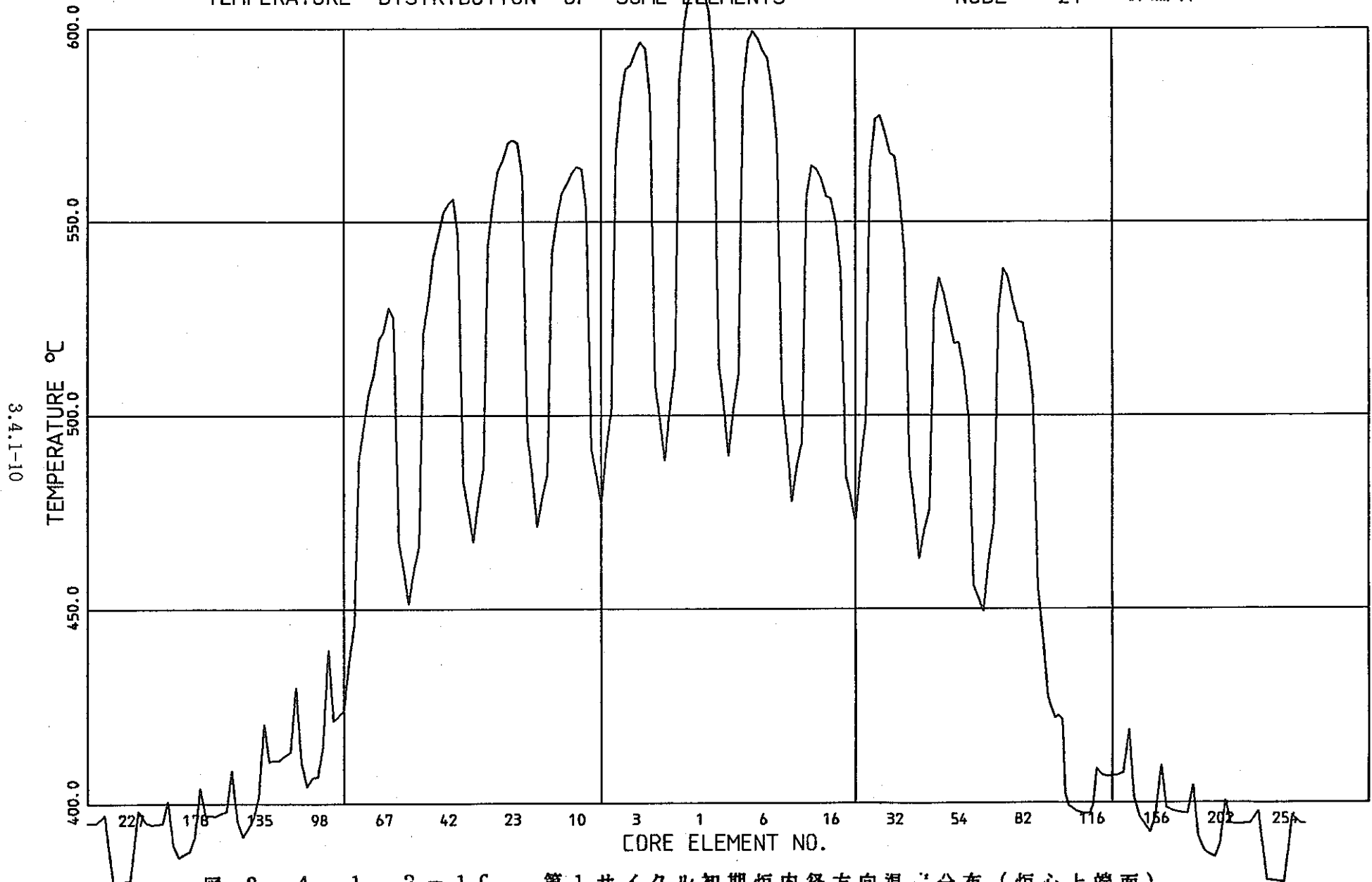


図 3.4.1.2-1C 第1サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 17 新燃料: 10, 16, 54

3.4.1-11

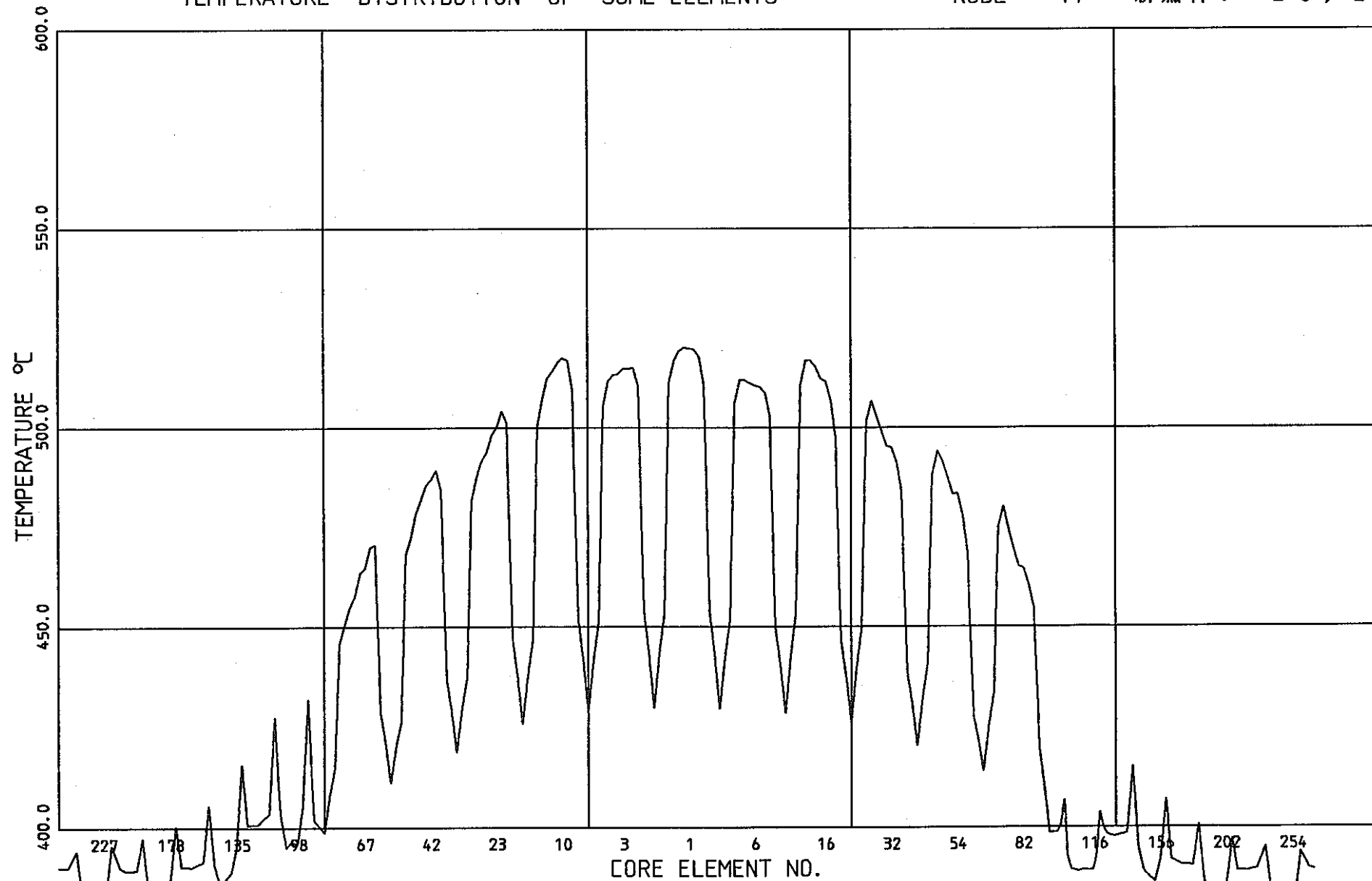
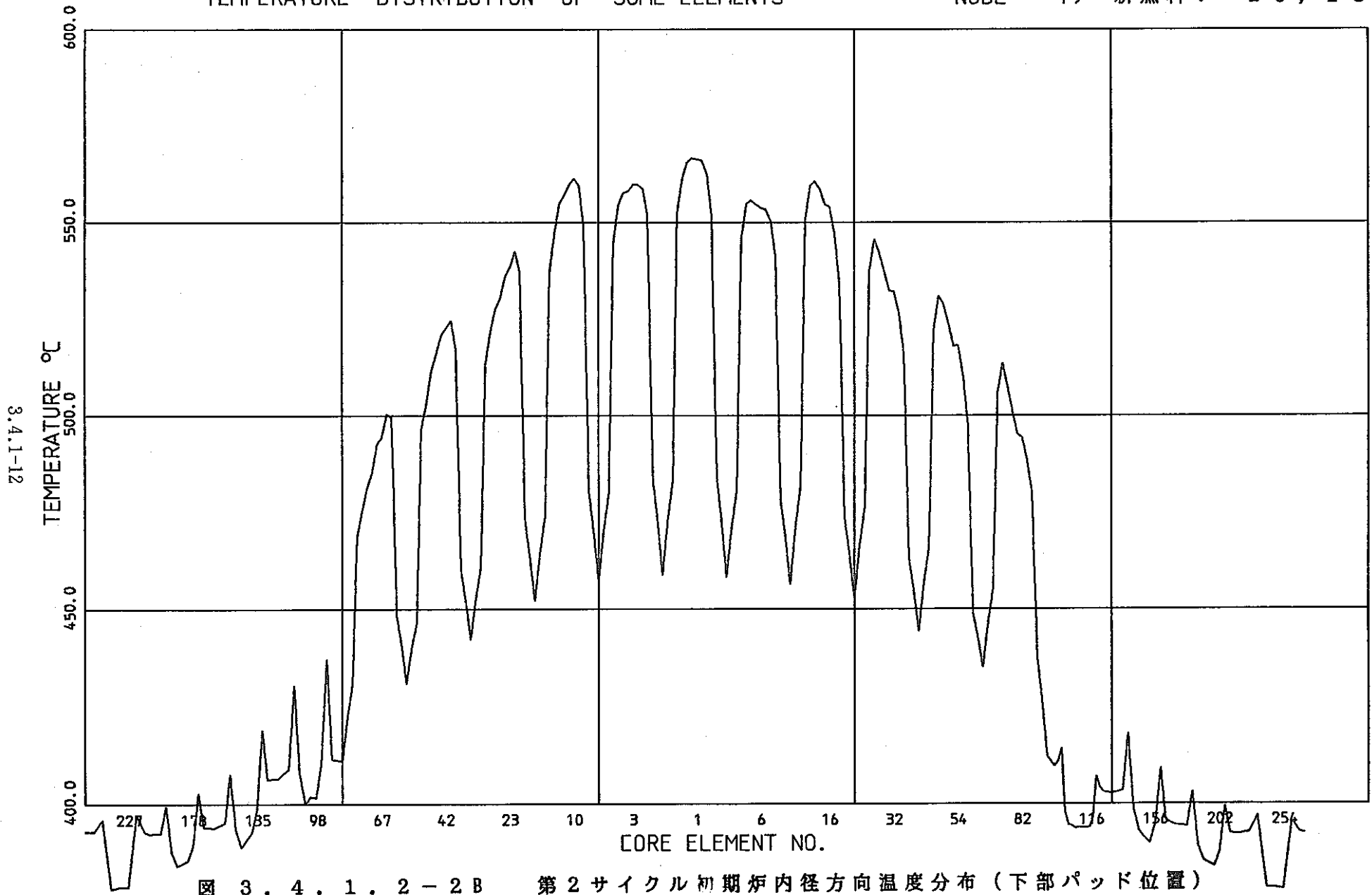


図 3.4.1.2-2A 第2サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心中心面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 19 新燃料: 10, 16, 54



TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 21 新燃料: 10, 16, 54

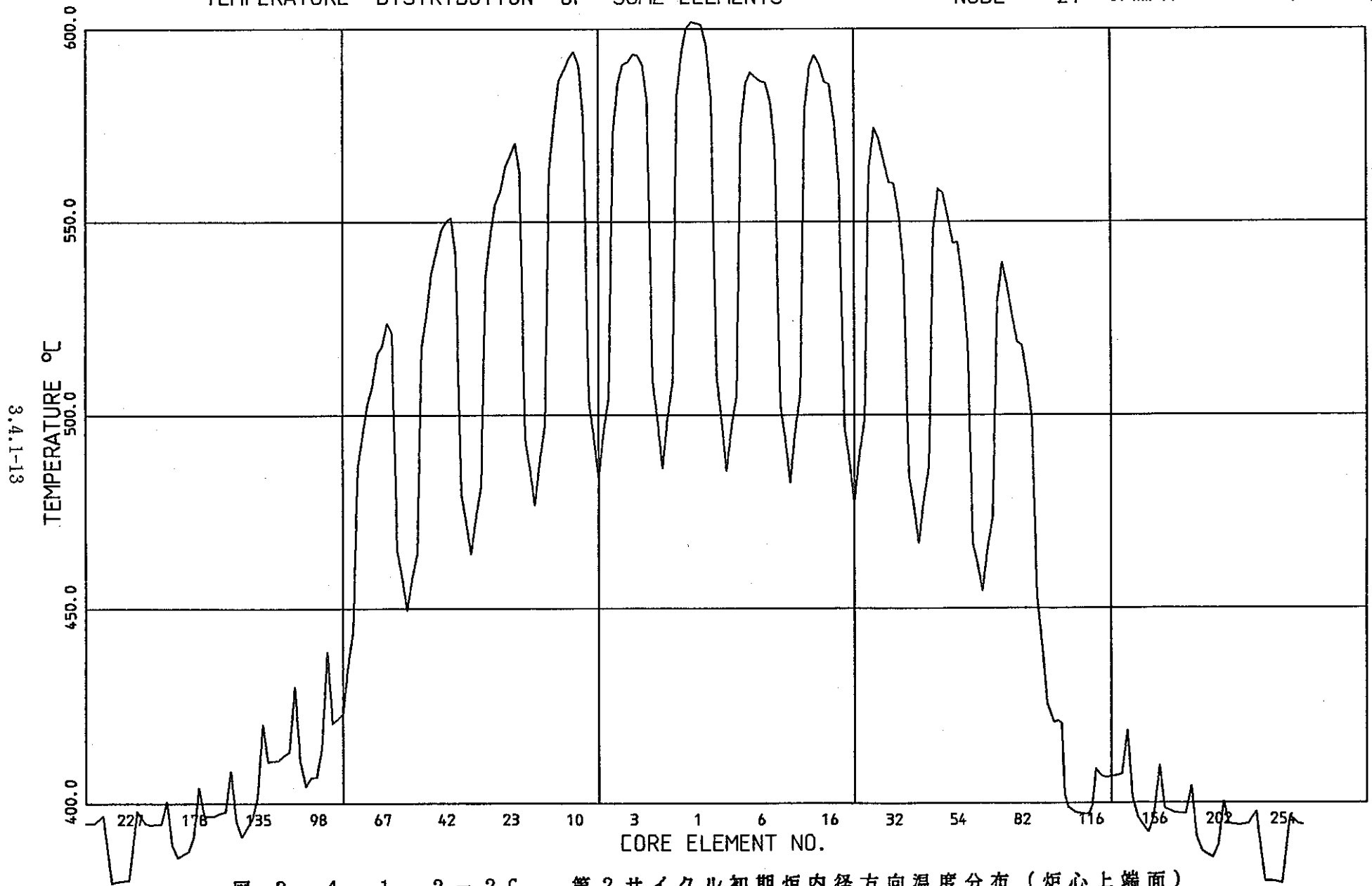


図 3.4.1.2-2C 第2サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 17 新燃料: 23, 67

3.4.1-14

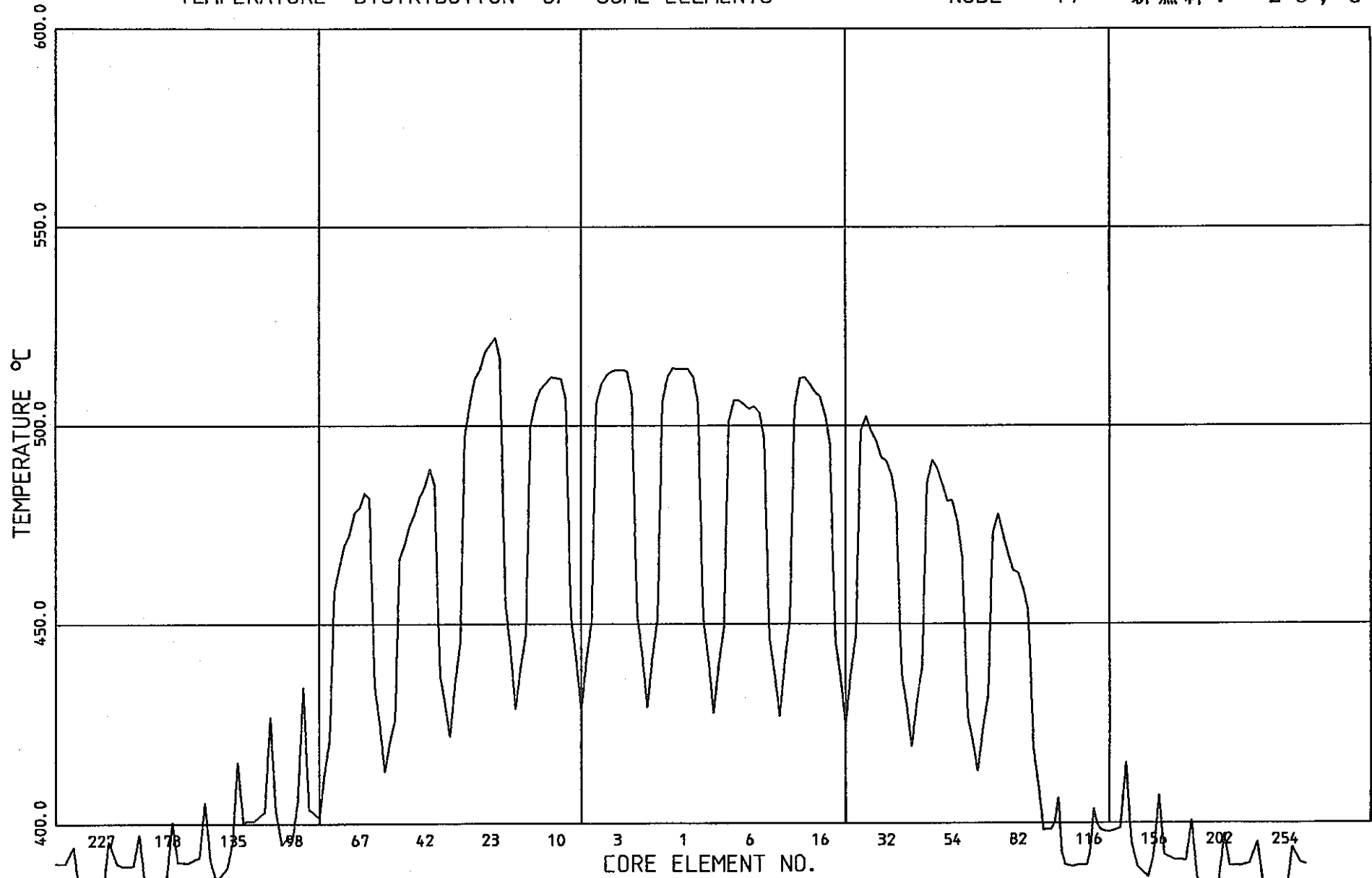


図 3.4.1.2-3A 第3サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心中心面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 19 新燃料: 23, 67

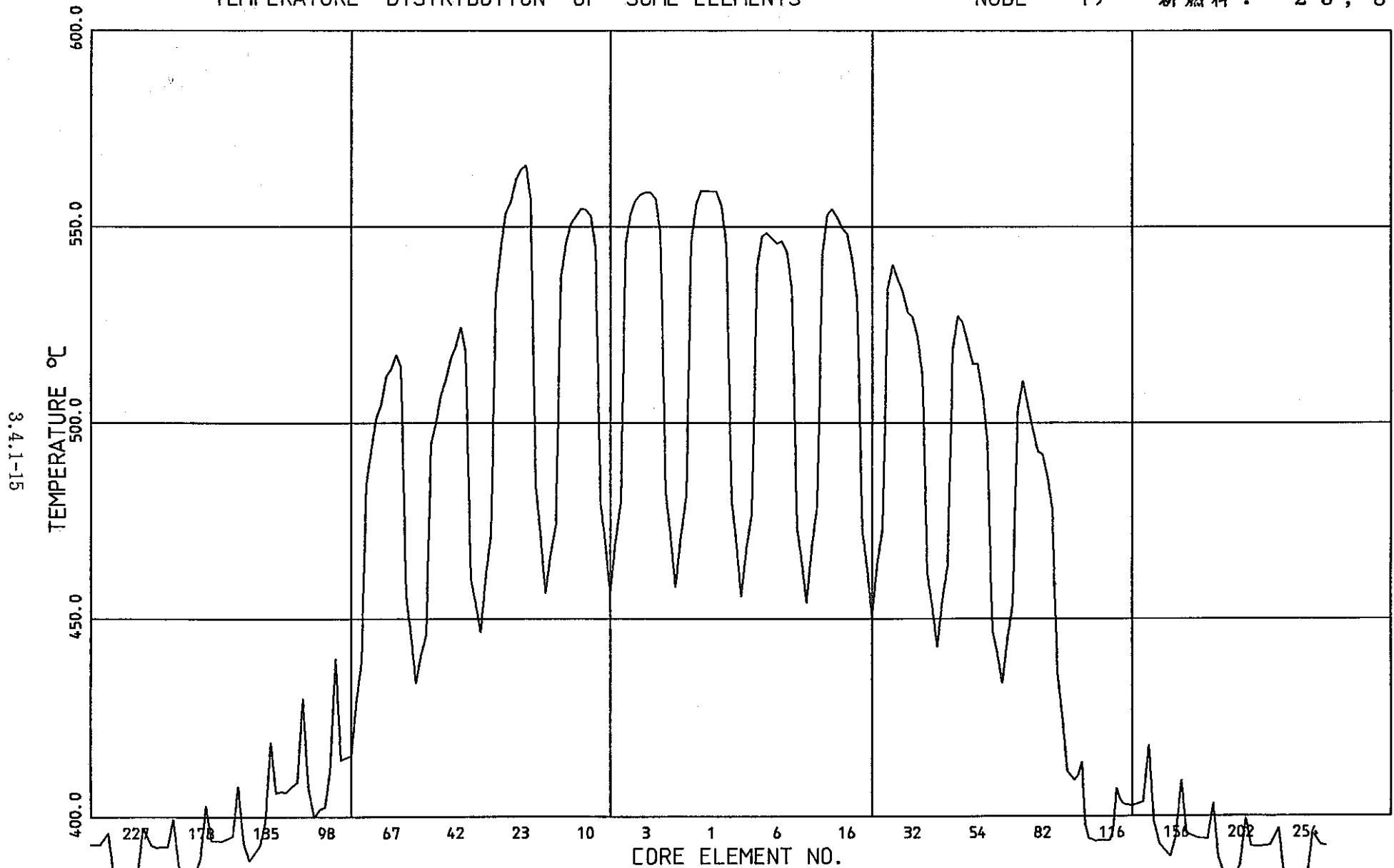


図 3.4.1.2-3B 第3サイクル初期炉内径方向温度分布 (下部パッド位置)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 21 新燃料: 23, 67

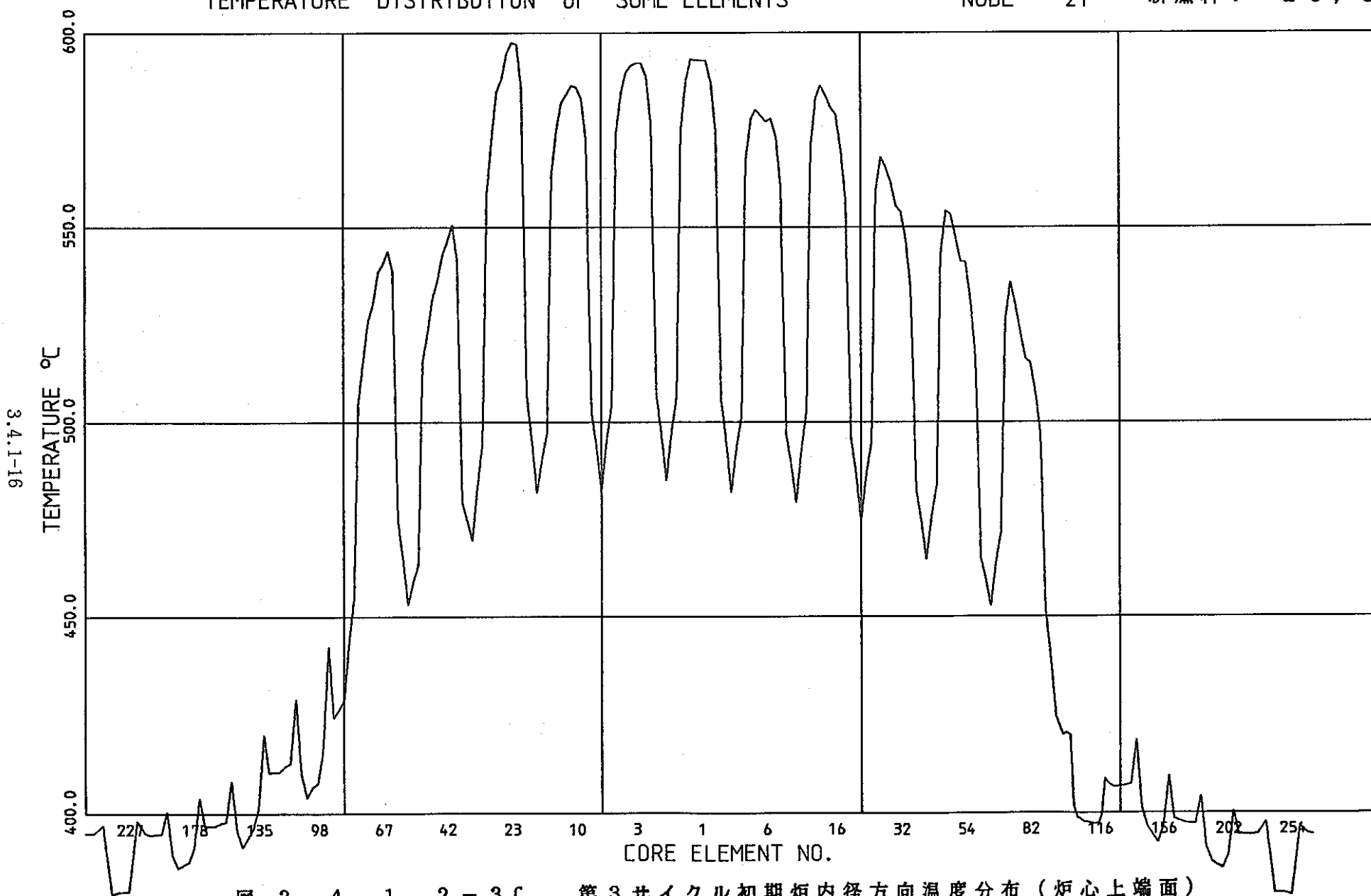


図 3.4.1.2-3C 第3サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

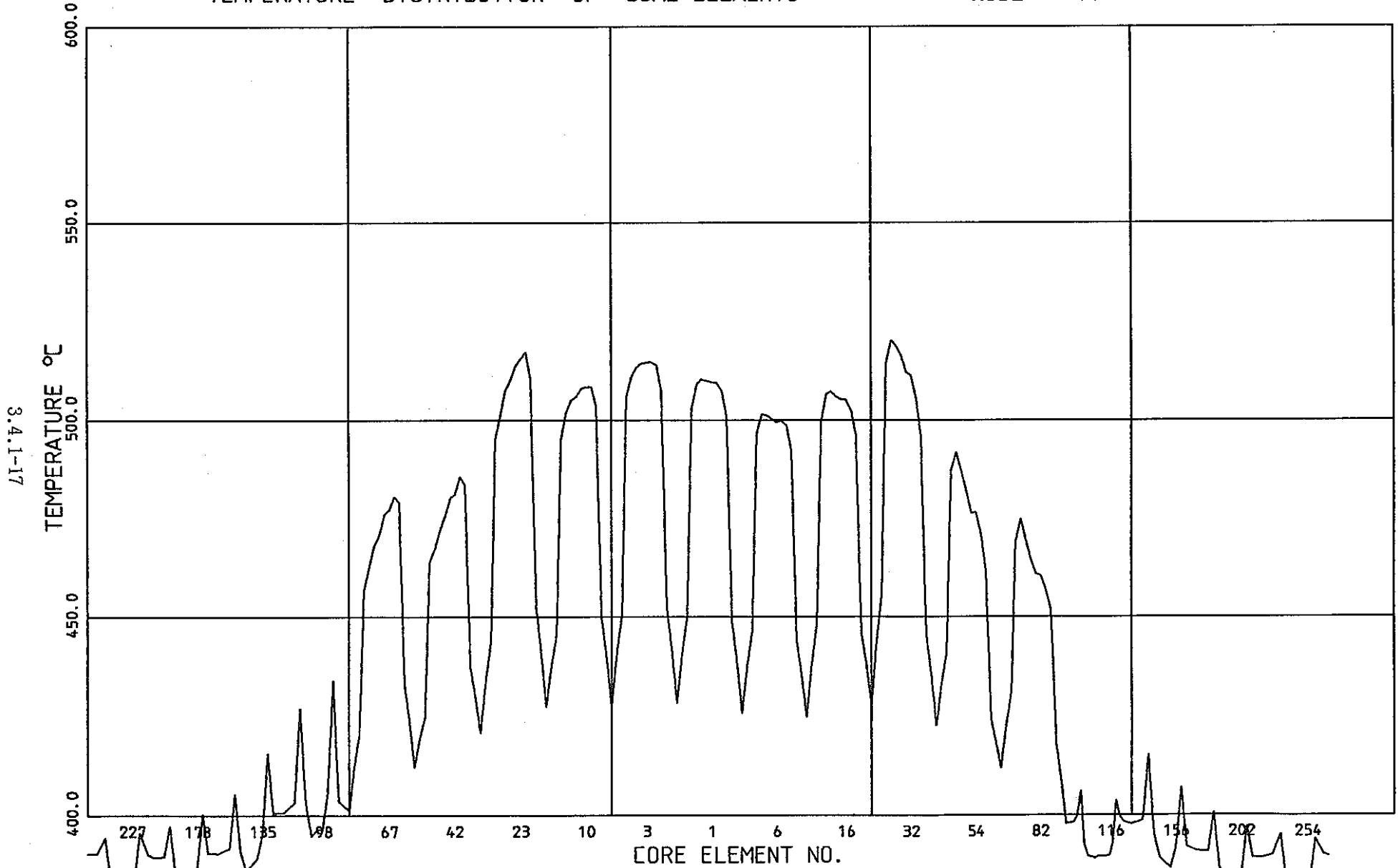
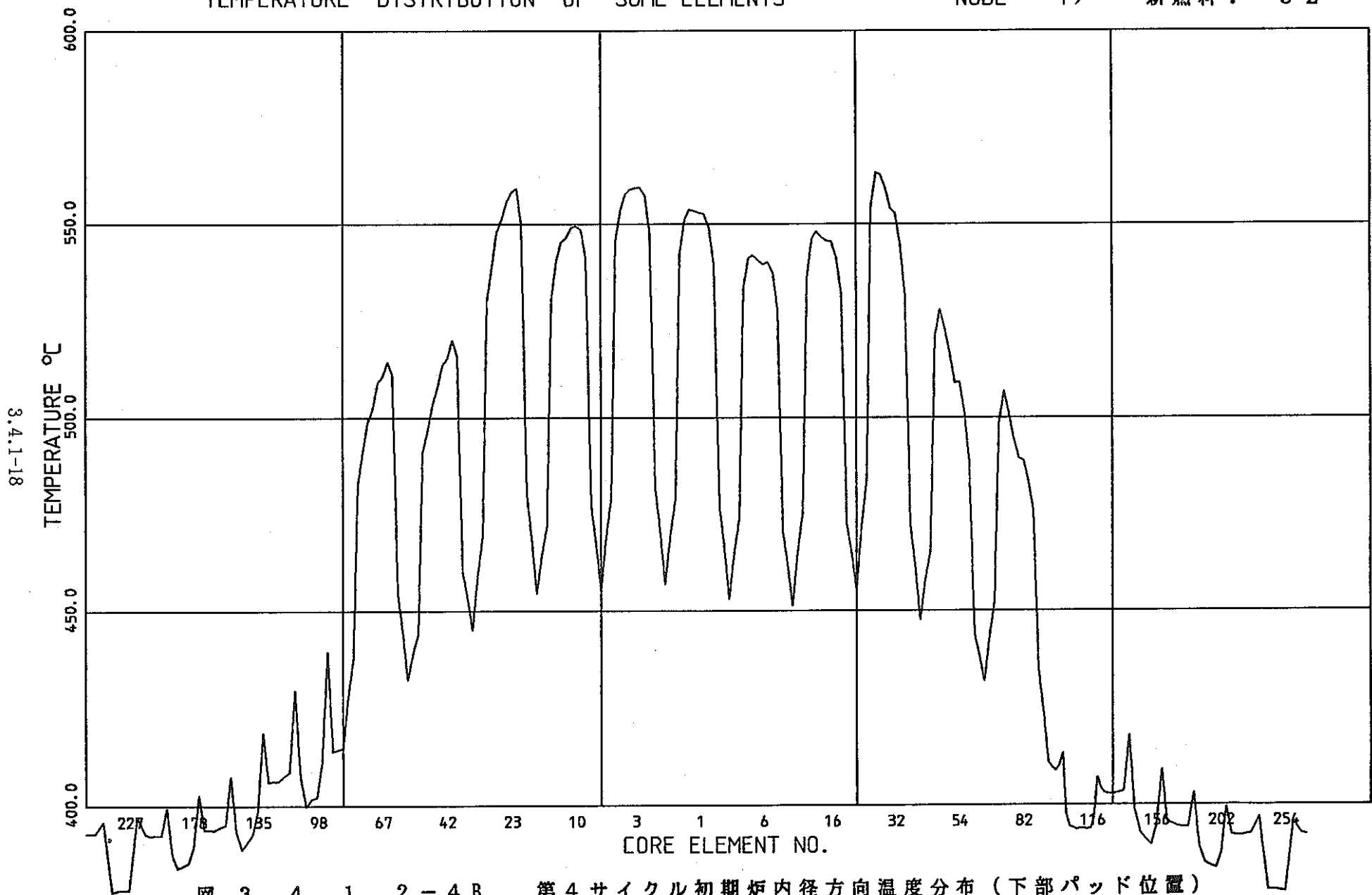


図 3.4.1.2-4 A 第4サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心中心面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 19

新燃料 : 3 2



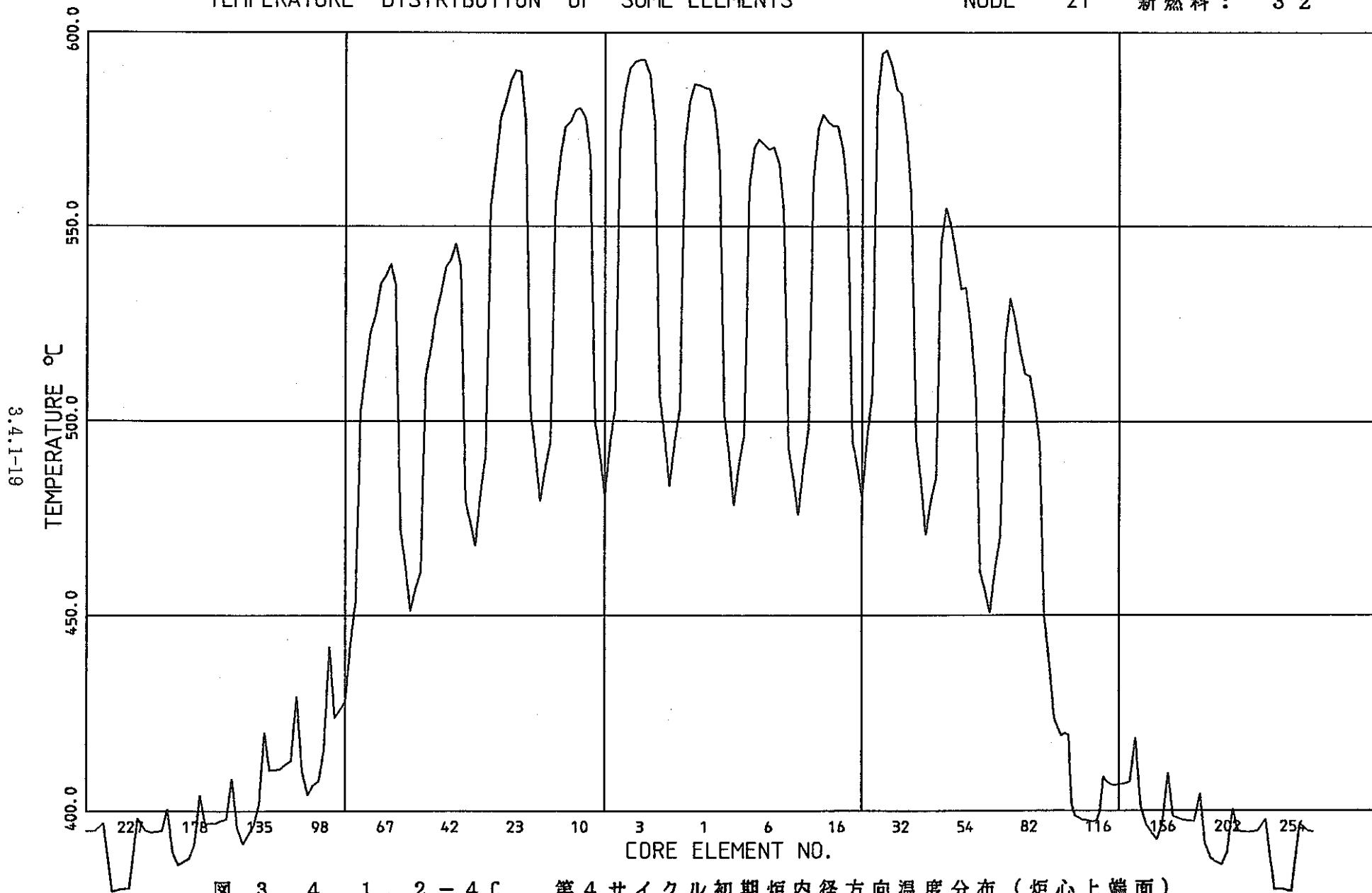
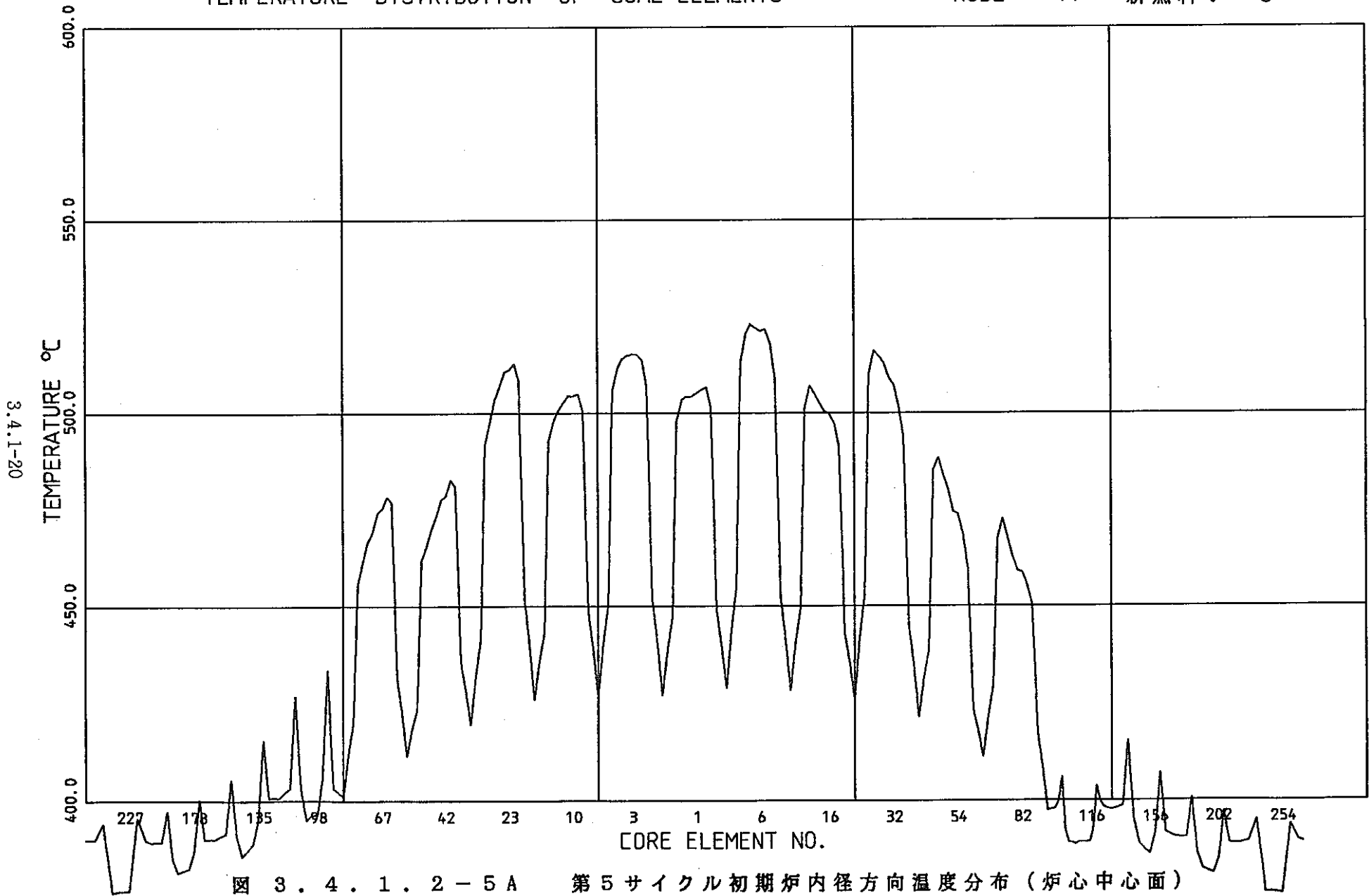


図 3.4.1.2-4C 第4サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 17 新燃料: 6



3.4.1-21

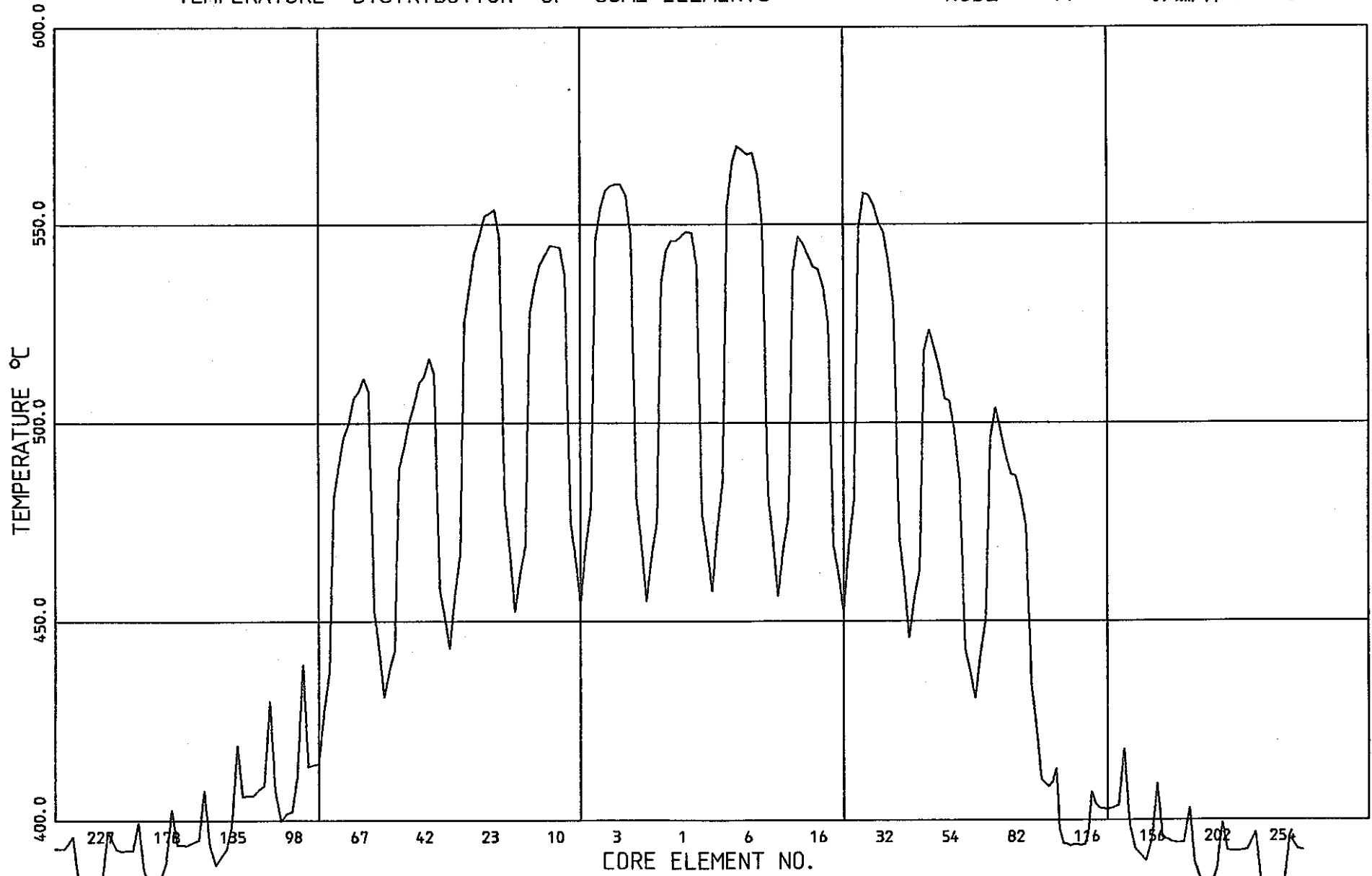


図 3.4.1.2-5B 第5サイクル初期炉内径方向温度分布 (下部パッド位置)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 21 新燃料: 6

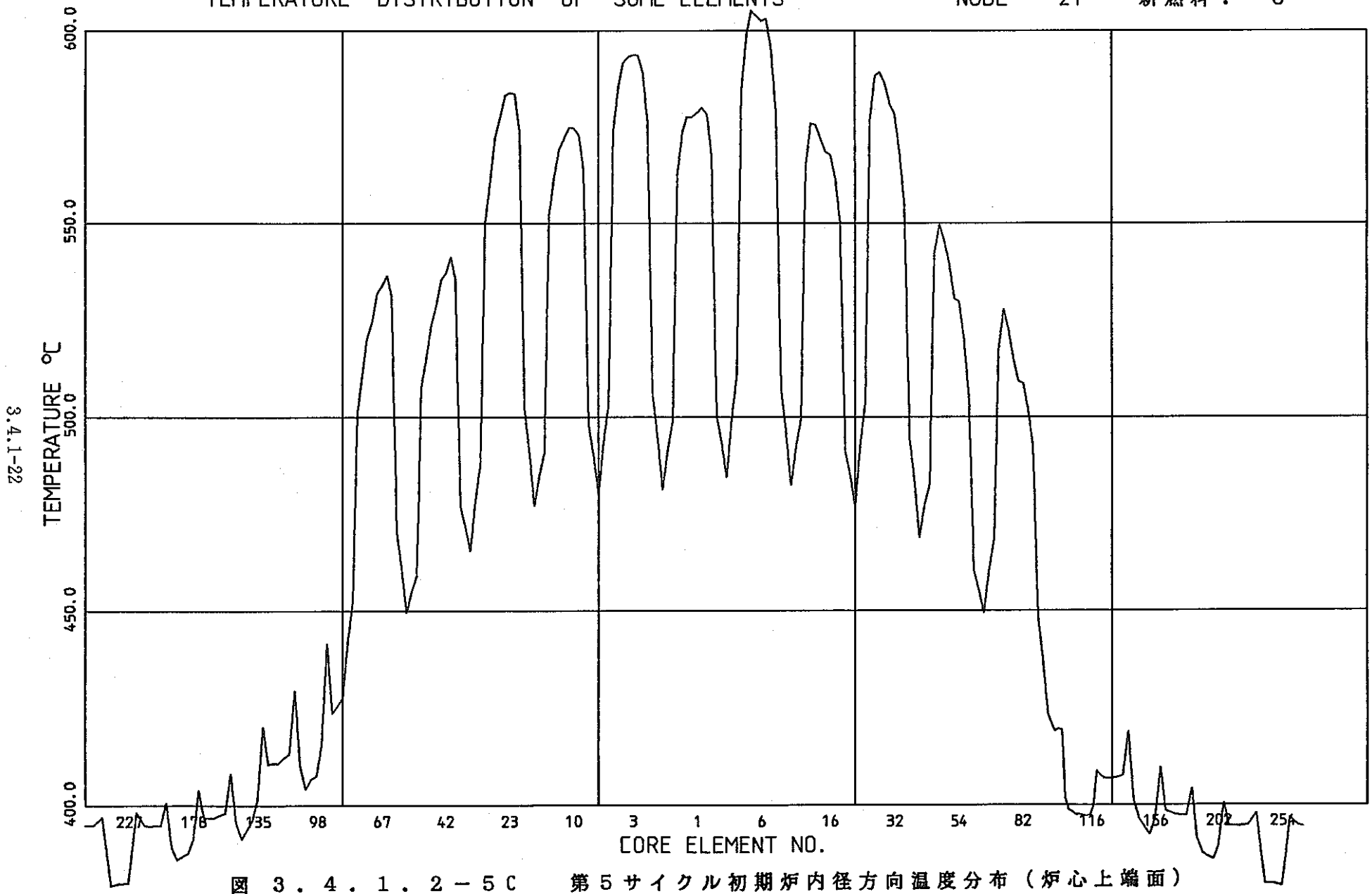
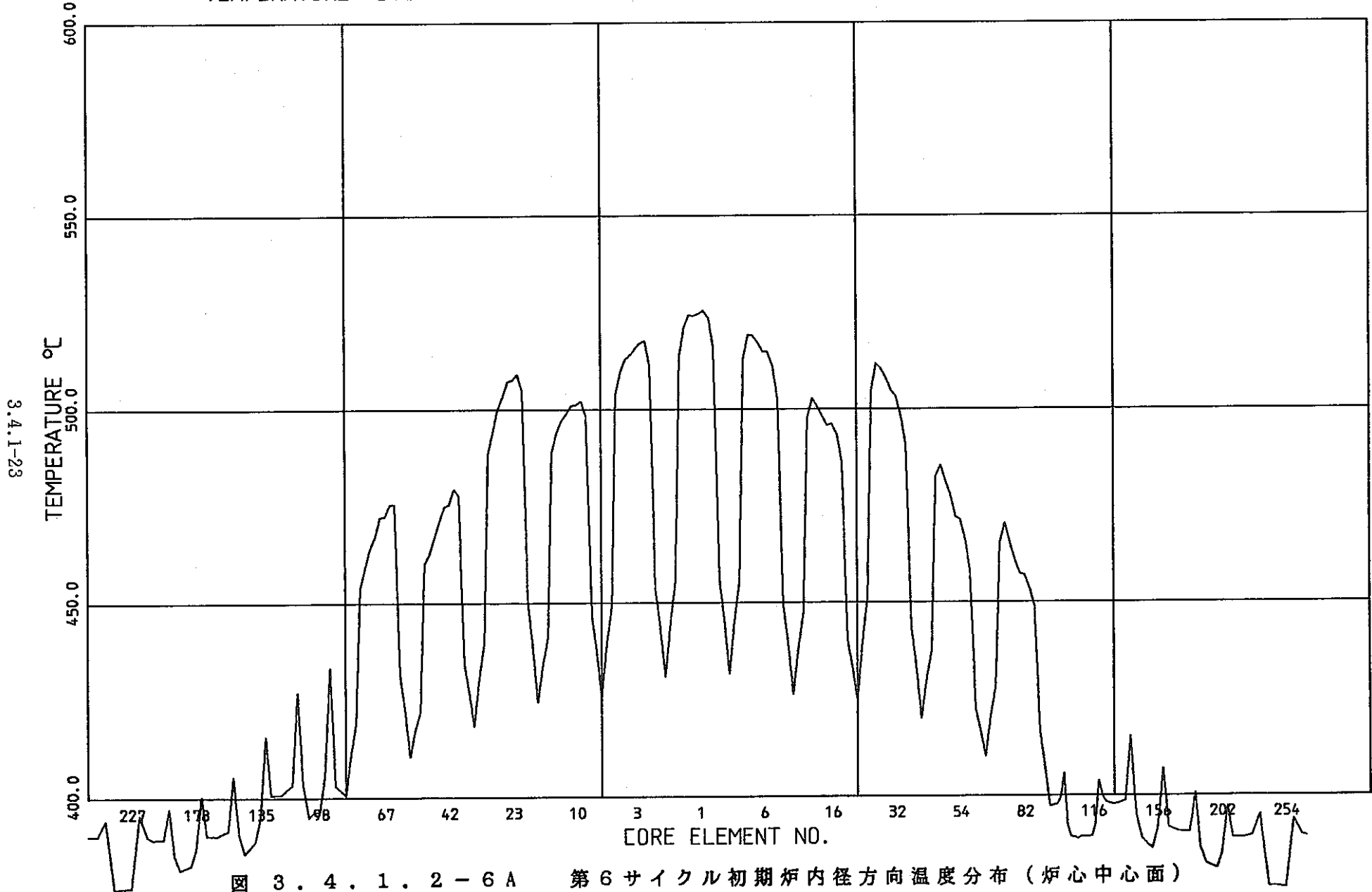


図 3.4.1.2-5 C 第5サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 17

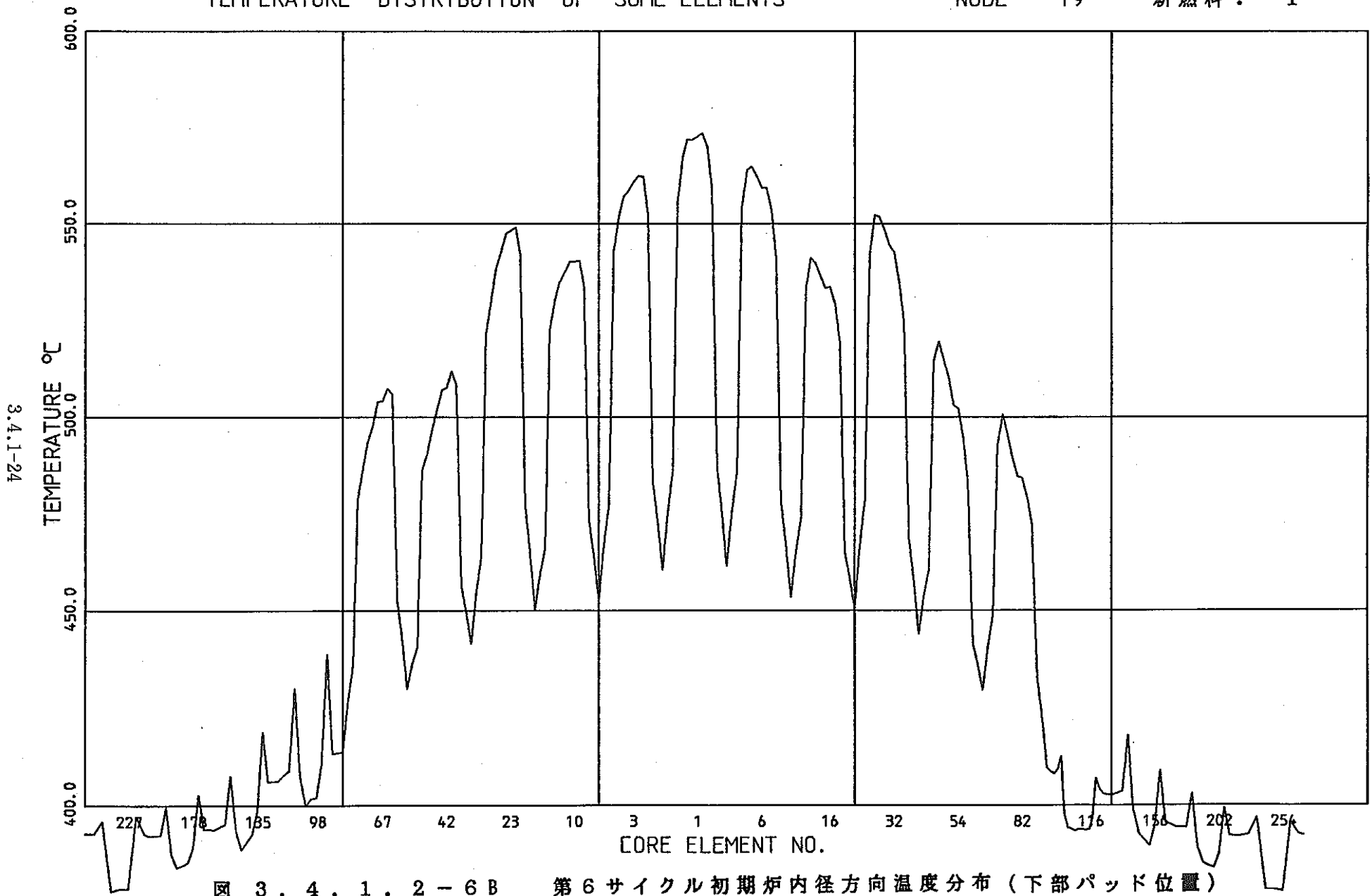
新燃料: 1



TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 19

新燃料: 1



TEMPERATURE DISTRIBUTION OF SOME ELEMENTS

NODE 21

新燃料: 1

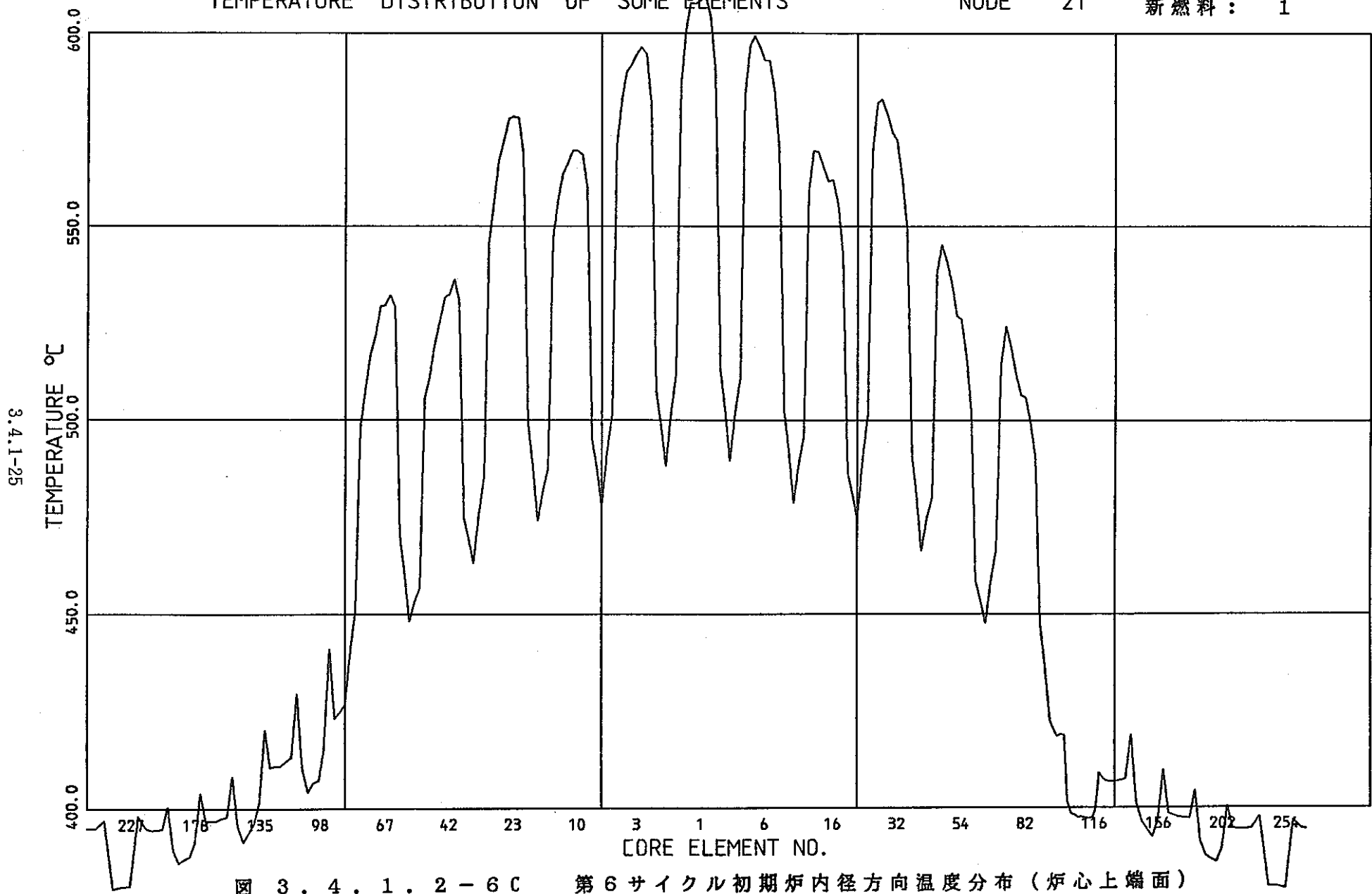
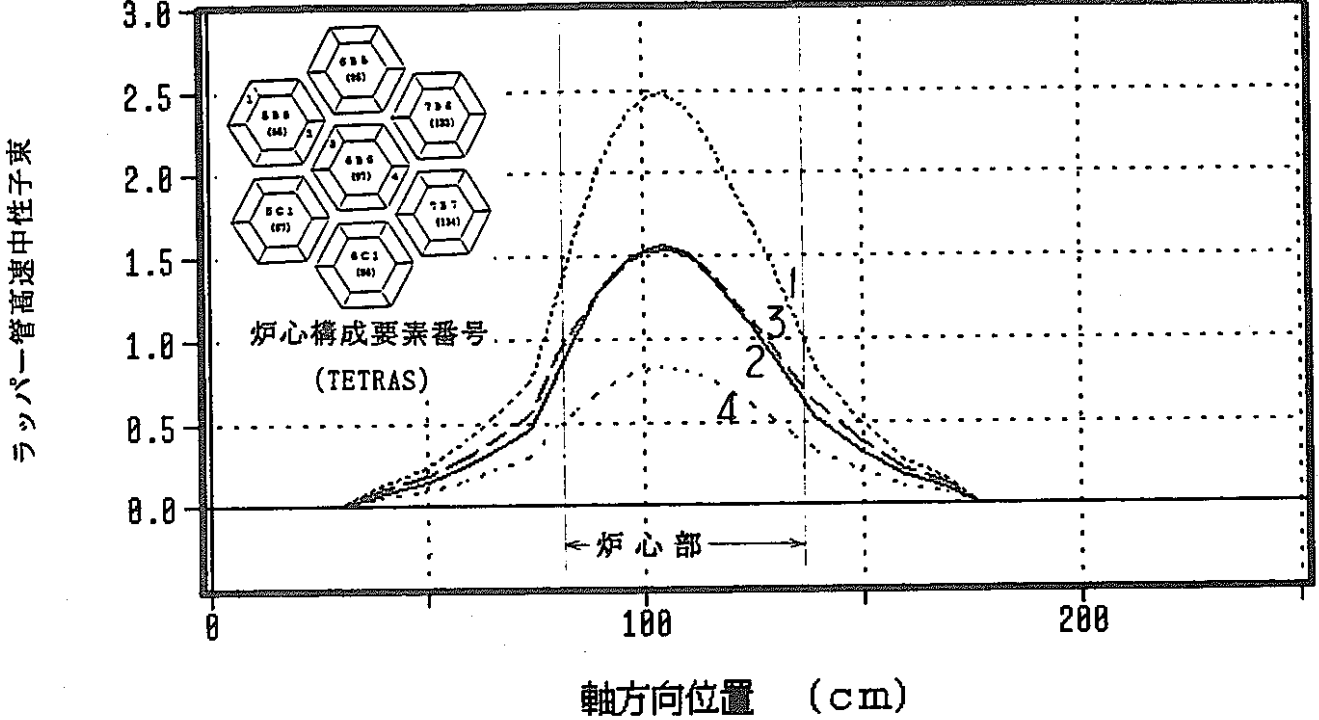


図 3.4.1.2-6C 第6サイクル初期炉内径方向温度分布 (炉心上端面)

第 1 サイクル 初期

単位:(E+15)



第 2 サイクル 初期

単位:(E+15)

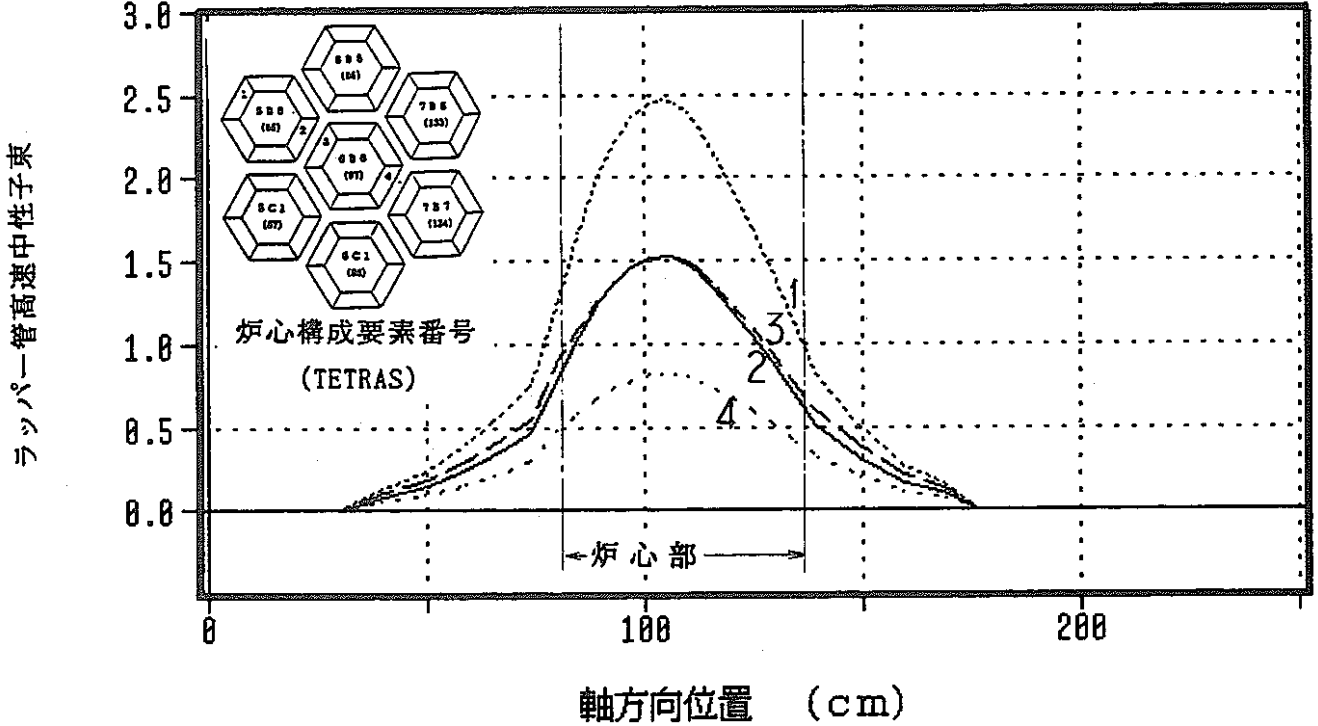
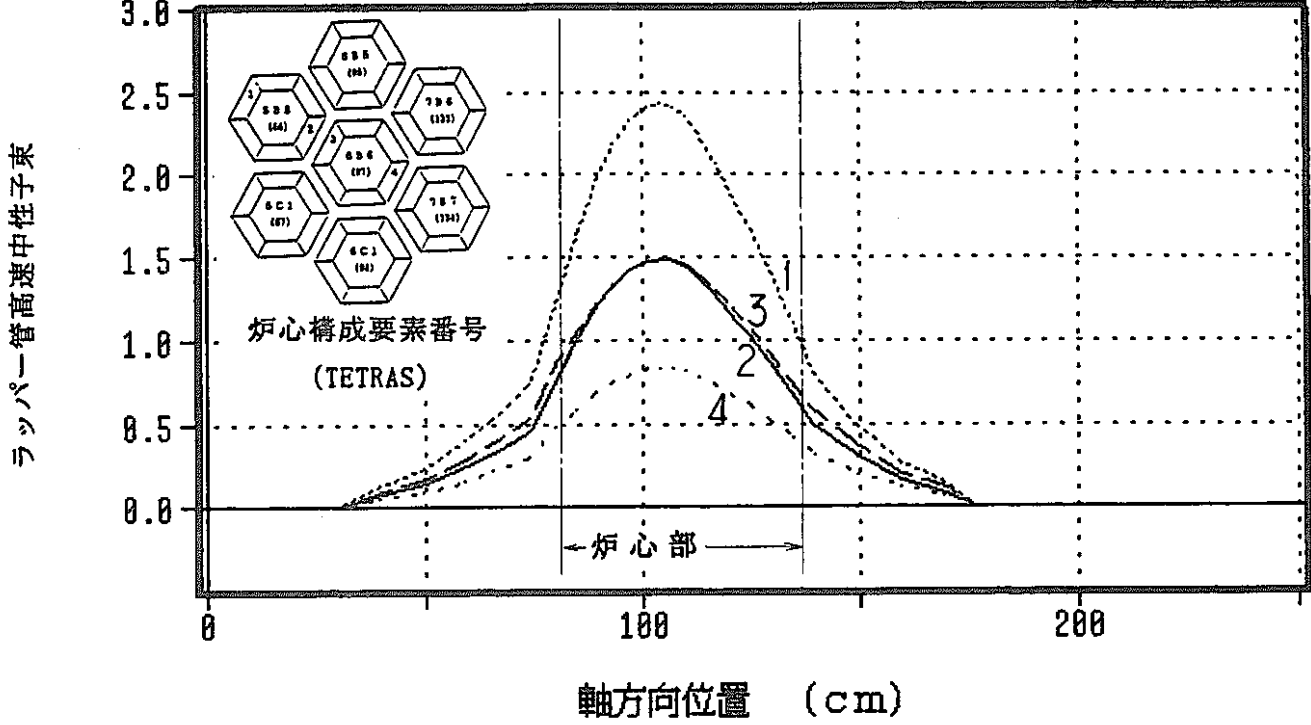


図 3.4.1.3-1 軸方向ラッパー管高速中性子束分布
(第 1, 2 サイクル 初期)

第3サイクル初期

単位:(E+15)



第4サイクル初期

単位:(E+15)

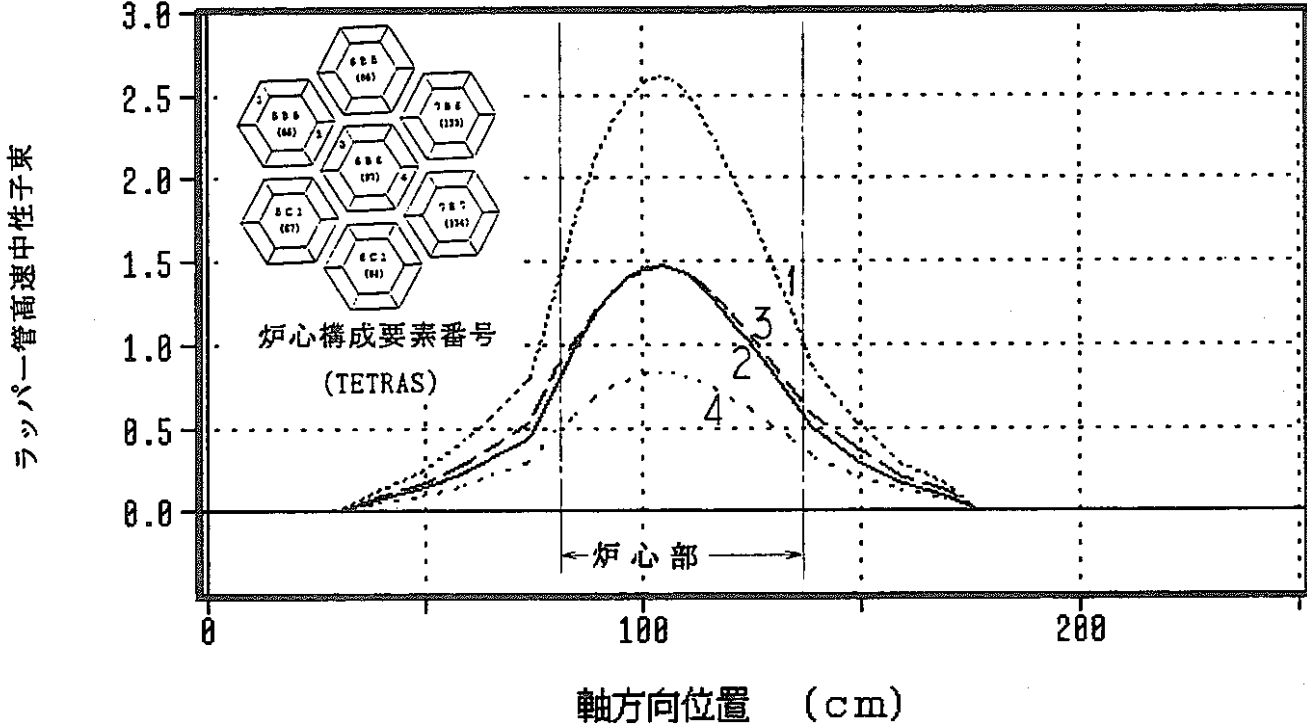
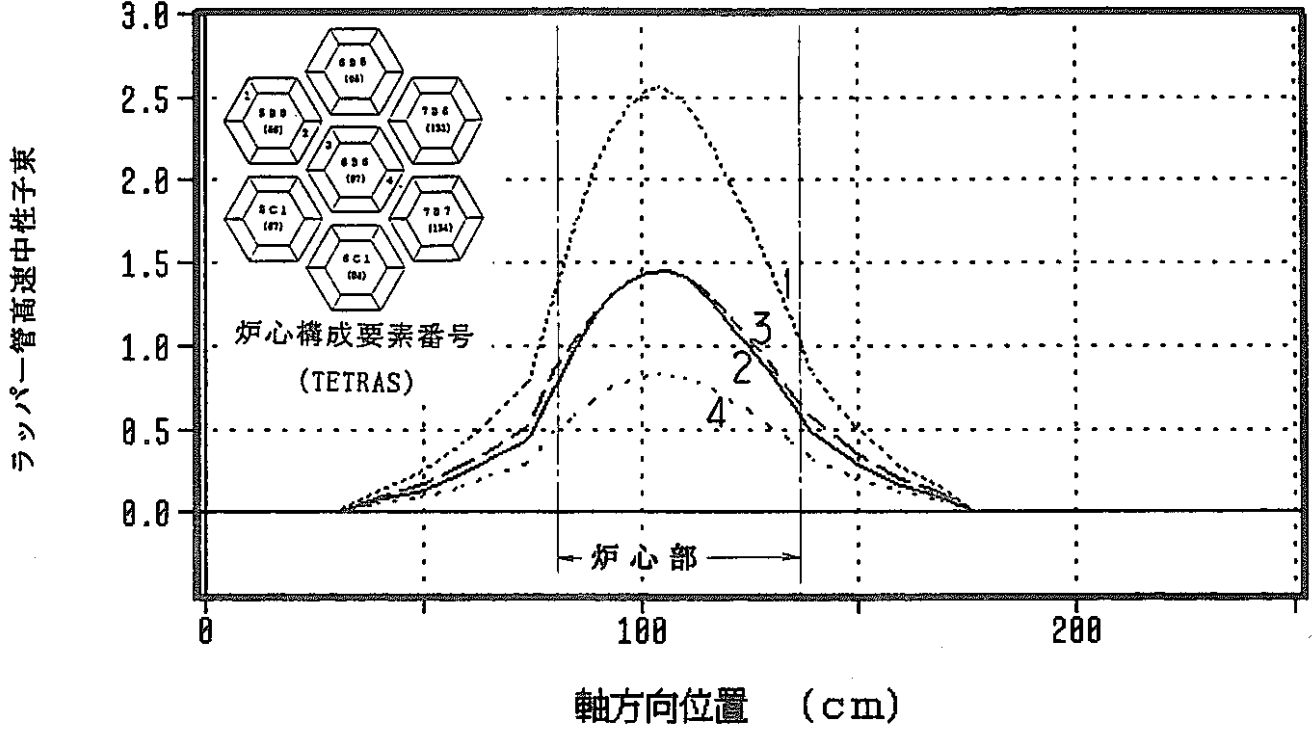


図 3.4.1.3-2 軸方向ラッパー管高速中性子束分布
(第3,4サイクル初期)

第5サイクル初期

単位:(E+15)



第6サイクル初期

単位:(E+15)

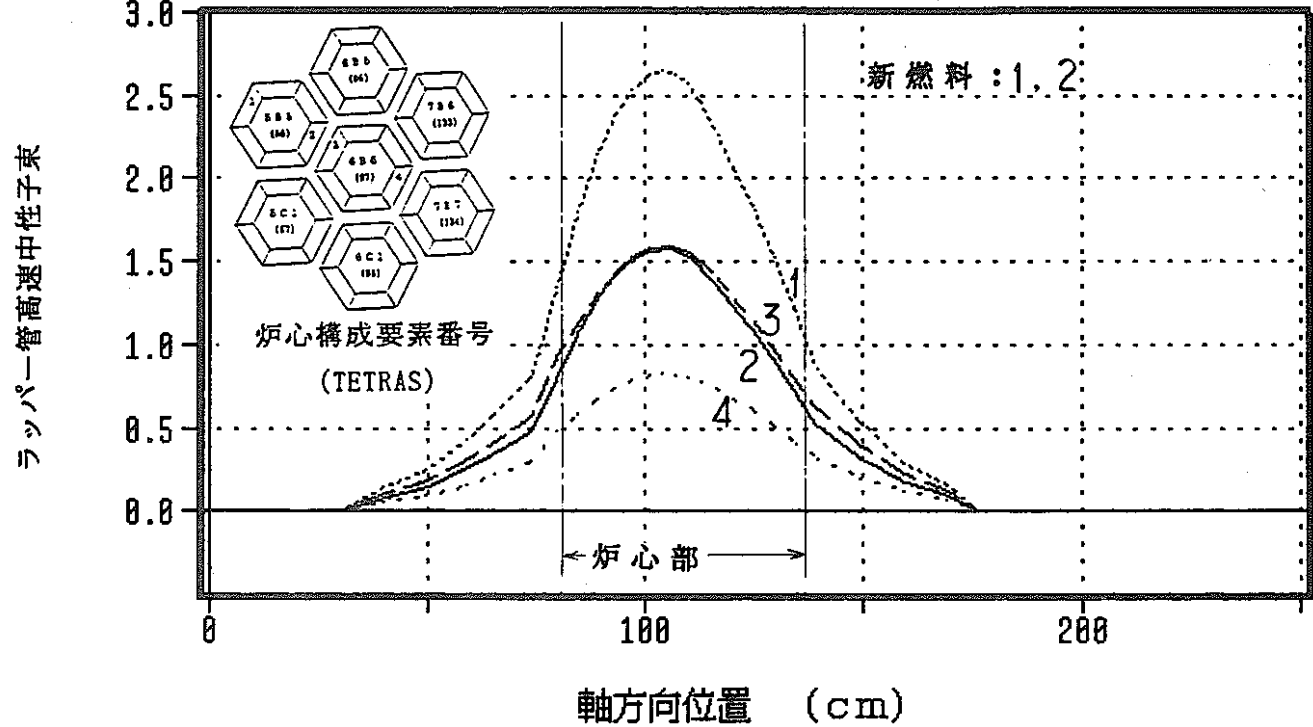


図 3.4.1.3-3 軸方向ラッパー管高速中性子束分布 (第5,6サイクル初期)

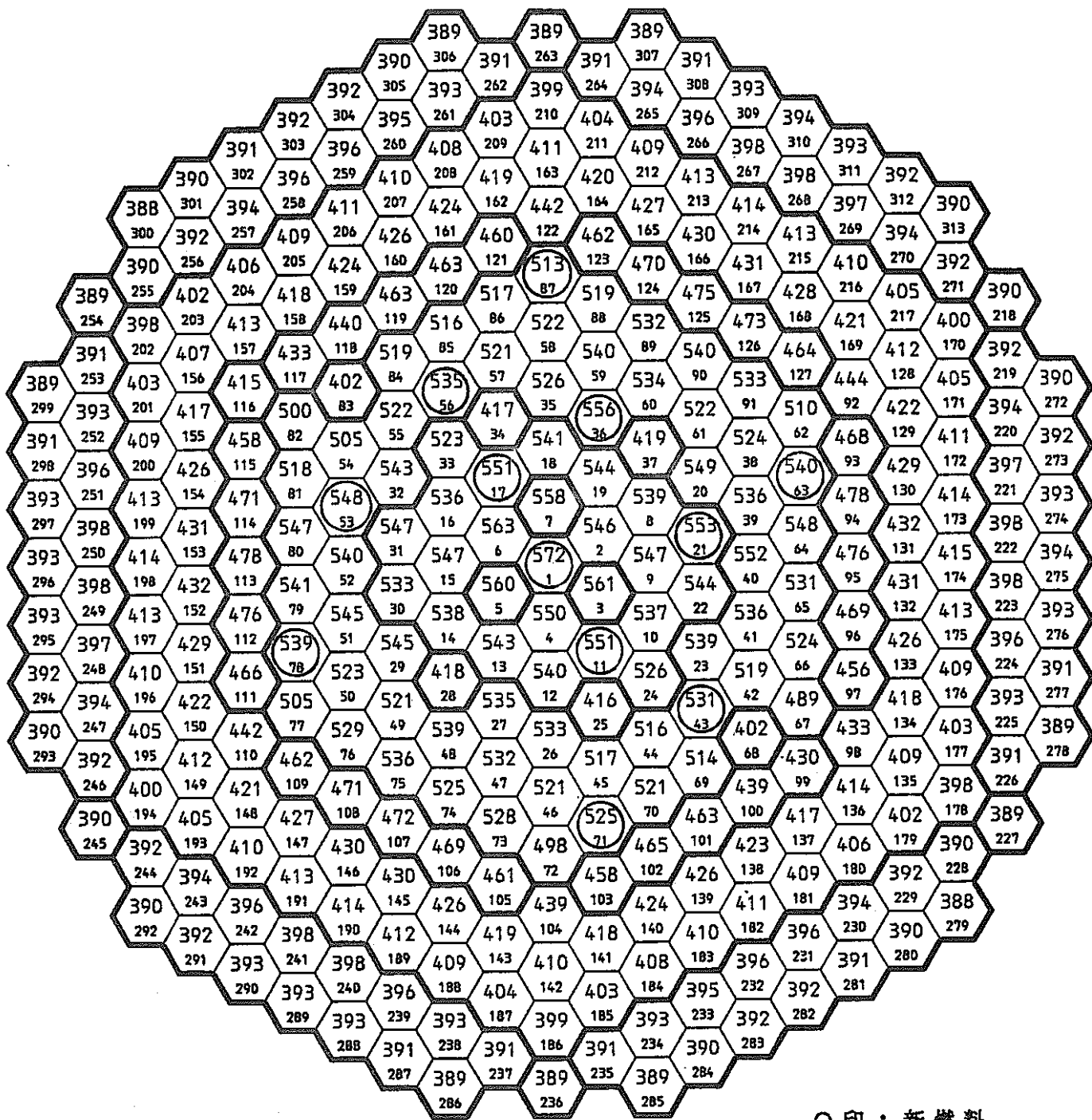


図 3.4.1.4-1 第1サイクル初期炉心構成要素出口温度分布

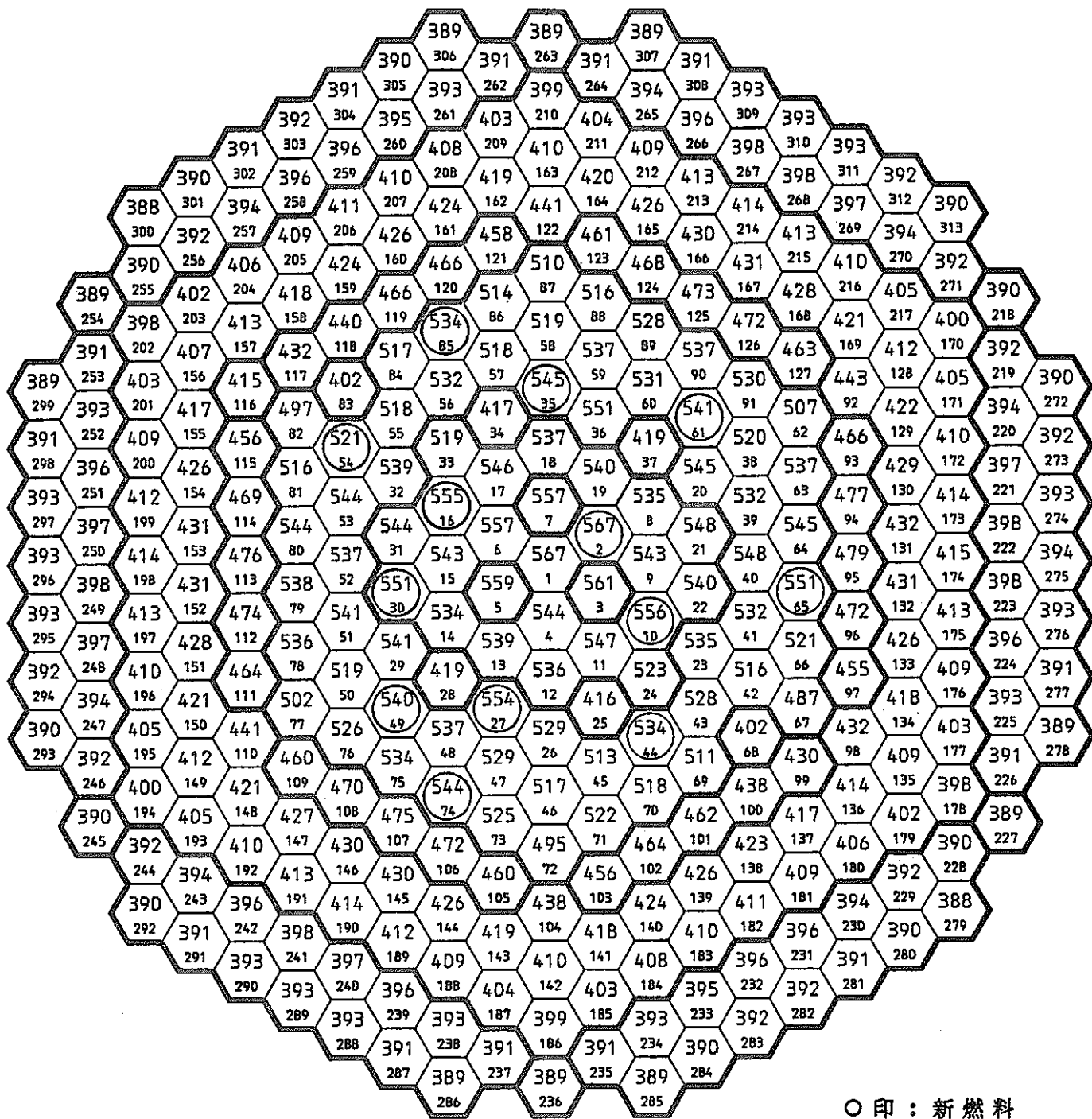


図 3.4.1.4-2 第2サイクル初期炉心構成要素出口温度分布

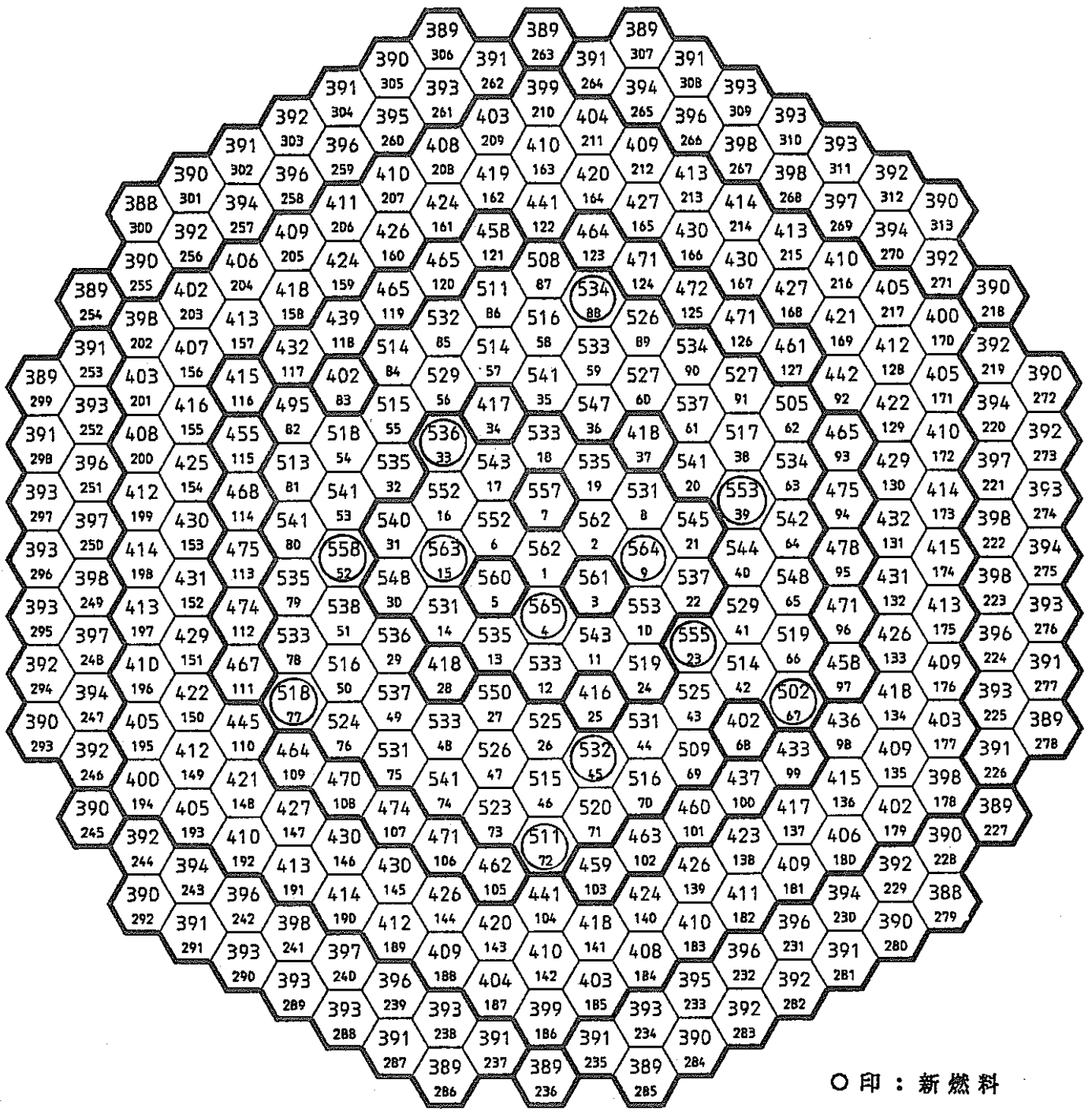


図 3. 4. 1. 4 - 3 第3サイクル初期炉心構成要素出口温度分布

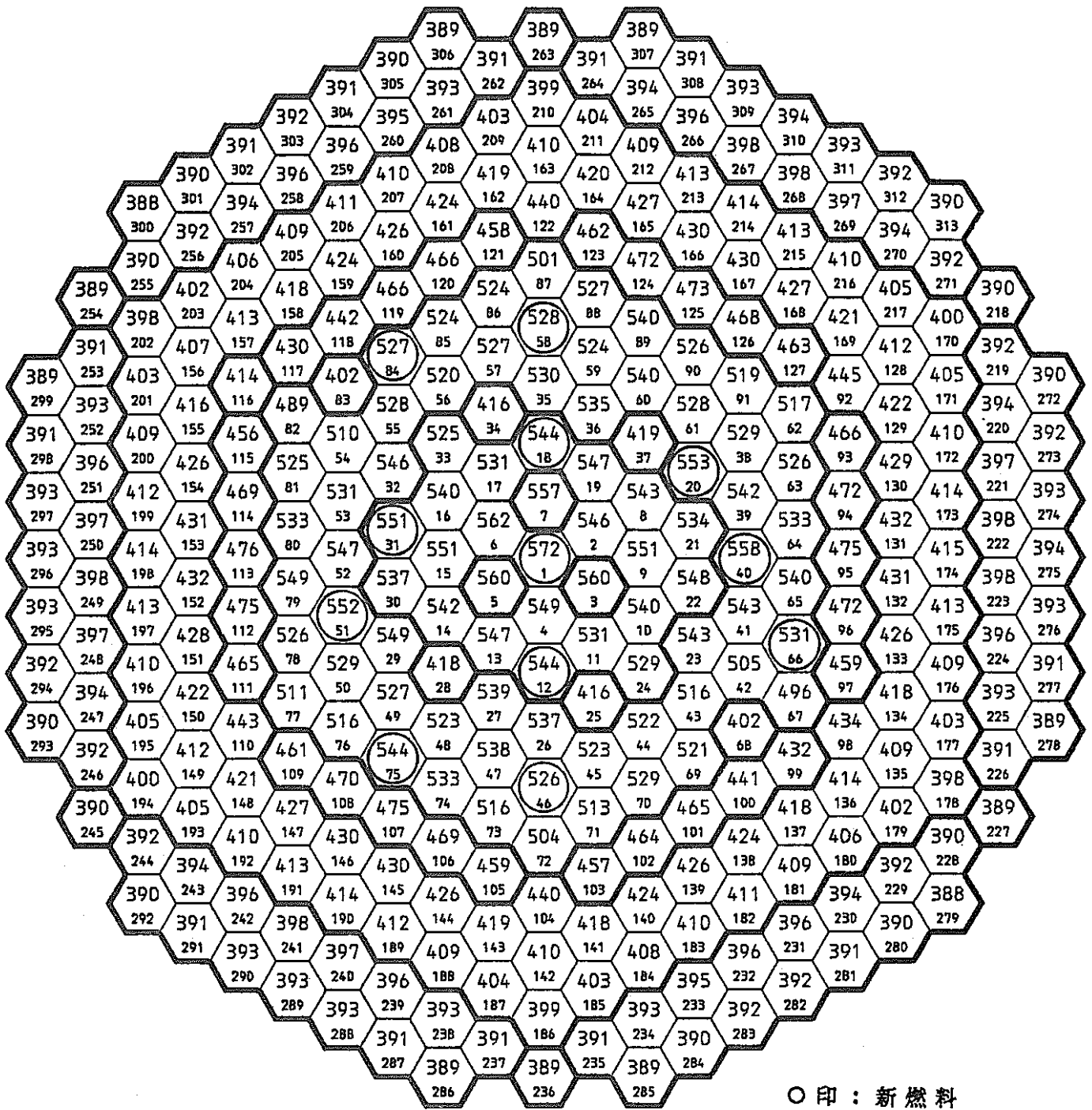


図 3.4.1.4-6

第6サイクル初期炉心構成要素出口温度分布

3.4.2 炉心湾曲解析結果

本章では3.4.1章で計算したラッパ管温度分布、高速中性子束分布及び炉心構成要素交換計画等を入力とし、H I B E A C O Nコードを用いた炉心湾曲解析結果を示す。

3.4.2.1 炉心構成要素の変位

各運転サイクル初期、末期、サイクル末期原子炉0出力時(サイクル末期で原子炉出力が0まで下降し炉心全体が370°Cとなった時)における頂部位置及び下部パッド位置での変位を図3.4.2-1～図3.4.2-36に示し、列方向変位を図3.4.2-37～図3.4.2-54に示す。尚、列方向変位は対角線列を示している。

また、各サイクルでの炉心構成要素頂部位置における最大変位を表3.4.2-1に示し、下部パッド位置における最大変位を表3.4.2-2に示す。

各サイクルでの最大変位は、サイクル末期時の内側反射体の頂部位置で発生しており、どのサイクルでもその頂部位置の変位量は7.0mm程度で変化はあまりない。また、下部パッド位置では構成要素間のギャップが狭いため、最大変位量は約1.0mm前後でやはり内側反体で発生している。

このように、内側反射体で最大値が発生しているのは、図3.4.2-86 に示した内側反射体のように、燃料集合体に隣接した面と外側反射体に隣接した面の温度勾配が大きく、熱による湾曲が他の構成要素に比べ大きくなるためだと考えられる。

表3.4.2-1 各サイクルでの炉心構成要素頂部位置における最大変位

運転 サイクル	初 期						末 期						サイクル末期原子炉O出力時					
	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体
	内側	外側					内側	外側					内側	外側				
1	#17 3.79 (221.2)	#74 6.15 (-2.9)	#83 3.98 (230.9)	#113 6.66 (270.5)	#92 4.90 (123.8)	#252 2.84 (-156.7)	#11 3.84 (41.0)	#74 6.41 (-3.1)	#83 4.25 (-114.3)	#94 6.67 (97.8)	#159 5.03 (-154.4)	#252 2.80 (-155.7)	#33 1.10 (278.5)	#44 1.73 (57.8)	#83 0.37 (271.9)	#100 0.82 (-5.5)	#153 0.57 (-96.7)	#220 0.27 (107.5)
2	#17 4.16 (224.0)	#81 5.91 (-90.1)	#83 4.28 (-113.0)	#113 6.52 (-90.4)	#159 4.93 (-155.5)	#225 2.87 (22.3)	#17 3.96 (226.4)	#75 5.89 (-20.9)	#83 4.31 (-116.8)	#94 6.60 (97.8)	#159 4.99 (-156.0)	#225 2.86 (22.8)	#33 1.48 (279.1)	#45 1.94 (10.9)	#83 0.61 (274.8)	#95 1.53 (89.4)	#153 1.14 (-96.5)	#220 0.53 (107.6)
3	#17 3.91 (215.8)	#64 5.99 (106.6)	#83 4.39 (-110.6)	#94 6.46 (97.4)	#98 5.05 (72.8)	#225 2.88 (21.8)	#17 3.70 (217.5)	#80 6.06 (279.6)	#83 4.40 (-114.3)	#94 6.54 (97.1)	#104 4.98 (1.2)	#225 2.84 (23.0)	#14 1.76 (-169.5)	#57 2.02 (-167.8)	#83 0.84 (273.4)	#95 2.05 (86.6)	#153 1.65 (-95.9)	#220 0.80 (107.6)
4	#11 3.27 (32.2)	#66 6.34 (83.9)	#83 4.50 (-115.2)	#124 6.76 (160.9)	#104 4.99 (1.8)	#225 2.89 (21.9)	#13 3.31 (-14.0)	#66 6.34 (83.5)	#83 4.59 (-117.3)	#124 6.79 (160.0)	#104 5.02 (2.3)	#252 2.85 (-156.4)	#13 1.33 (128.1)	#60 1.94 (161.4)	#34 1.14 (215.6)	#95 2.52 (84.2)	#153 1.93 (-95.5)	#220 1.06 (107.6)
5	#13 3.56 (-16.2)	#66 6.13 (80.9)	#83 4.72 (-114.9)	#113 6.93 (-100.3)	#104 4.98 (3.3)	#265 2.83 (213.3)	#13 3.68 (-15.9)	#90 6.28 (154.0)	#83 4.88 (-117.4)	#113 6.98 (-100.2)	#153 5.30 (102.1)	#265 2.84 (212.7)	#12 1.60 (-98.6)	#20 1.78 (82.2)	#34 1.47 (212.0)	#95 2.98 (82.6)	#153 2.19 (-96.2)	#264 0.83 (179.0)
6	#13 3.53 (-20.3)	#63 5.46 (124.4)	#83 4.93 (-111.9)	#113 6.86 (-102.5)	#153 5.29 (-102.2)	#265 2.81 (213.1)	#11 3.78 (48.7)	#64 6.70 (142.9)	#83 5.14 (-113.0)	#113 6.92 (-102.0)	#153 5.37 (-101.3)	#251 2.69 (222.1)	#17 1.74 (-5.8)	#48 2.07 (-11.8)	#25 2.05 (32.5)	#95 3.37 (80.9)	#153 2.45 (-96.7)	#220 1.51 (106.9)

上段：炉心構成要素番号
 中段：最大変位 (mm)
 下段：変位方向 (deg)

表3.4.2-2 各サイクルでの炉心構成要素下部パッド位置における最大変位

運転 サイクル	初 期						末 期						サイクル末期原子炉出力時					
	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体	炉心燃料		制御棒	内側 反射体	外側A 反射体	外側B 反射体
	内側	外側					内側	外側					内側	外側				
1	#14 0.66 (174.6)	#20 0.88 (52.7)	#83 0.59 (-30.7)	#117 1.09 (276.1)	#159 0.64 (153.9)	#220 0.39 (143.3)	#14 0.60 (160.8)	#20 0.84 (52.7)	#83 0.71 (-34.9)	#117 1.06 (273.3)	#159 0.69 (161.2)	#259 0.39 (169.1)	#33 0.13 (279.0)	#26 0.15 (34.5)	#83 0.05 (276.5)	#95 0.12 (85.4)	#153 0.09 (-96.8)	#220 0.04 (108.7)
2	#17 0.87 (-19.7)	#84 0.87 (174.9)	#83 0.78 (-25.6)	#118 1.11 (160.1)	#159 0.68 (155.2)	#259 0.38 (168.8)	#17 0.68 (-16.8)	#84 0.88 (172.6)	#83 0.78 (-29.8)	#118 1.08 (154.9)	#159 0.73 (156.5)	#259 0.39 (169.5)	#33 0.15 (280.1)	#57 0.17 (-167.5)	#83 0.08 (278.7)	#95 0.25 (88.1)	#153 0.18 (-96.7)	#220 0.08 (108.9)
3	#14 0.62 (-164.0)	#20 0.93 (66.3)	#83 0.85 (-31.7)	#117 1.06 (-113.7)	#98 0.73 (166.0)	#219 0.37 (114.7)	#11 0.62 (-166.9)	#20 0.83 (66.2)	#83 0.79 (-32.5)	#117 1.00 (-92.1)	#98 0.69 (169.4)	#228 1.49 (93.1)	#15 0.17 (-179.6)	#60 0.19 (159.9)	#83 0.11 (277.2)	#95 0.29 (80.1)	#153 0.25 (-95.4)	#220 0.11 (108.8)
4	#8 0.61 (-0.4)	#84 0.79 (171.5)	#83 0.75 (-38.8)	#118 1.09 (162.7)	#159 0.71 (158.5)	#259 0.38 (169.4)	#14 0.60 (-175.4)	#69 0.77 (-17.3)	#83 0.72 (-39.3)	#118 1.03 (160.1)	#159 0.70 (159.1)	#228 0.38 (22.6)	#13 0.19 (-172.6)	#29 0.18 (-106.4)	#34 0.14 (216.9)	#95 0.33 (72.0)	#153 0.24 (-94.1)	#220 0.15 (108.9)
5	#8 0.68 (-11.6)	#45 0.82 (28.9)	#83 0.78 (-25.4)	#117 0.97 (-101.0)	#159 0.67 (160.5)	#259 0.37 (169.4)	#8 0.65 (-12.9)	#69 0.79 (-9.4)	#83 0.71 (-24.5)	#118 0.99 (168.6)	#159 0.69 (163.5)	#259 0.38 (169.9)	#17 0.14 (-5.0)	#36 0.16 (165.8)	#34 0.18 (213.2)	#95 0.36 (65.8)	#159 0.33 (239.2)	#220 0.19 (108.9)
6	#33 0.69 (286.6)	#29 0.89 (-104.4)	#83 0.72 (-41.3)	#117 0.96 (-92.5)	#207 0.60 (177.8)	#255 0.37 (-117.7)	#33 0.74 (286.3)	#29 0.86 (-104.6)	#83 0.71 (-47.8)	#117 0.93 (-90.3)	#207 0.63 (178.0)	#260 0.37 (159.6)	#6 0.18 (-0.8)	#74 0.20 (-3.6)	#25 0.25 (33.4)	#95 0.39 (58.1)	#159 0.39 (239.2)	#220 0.19 (106.6)

上段：炉心構成要素番号
 中段：最大変位 (mm)
 下段：変位方向 (deg)

1 1 3 : 内側 反射体

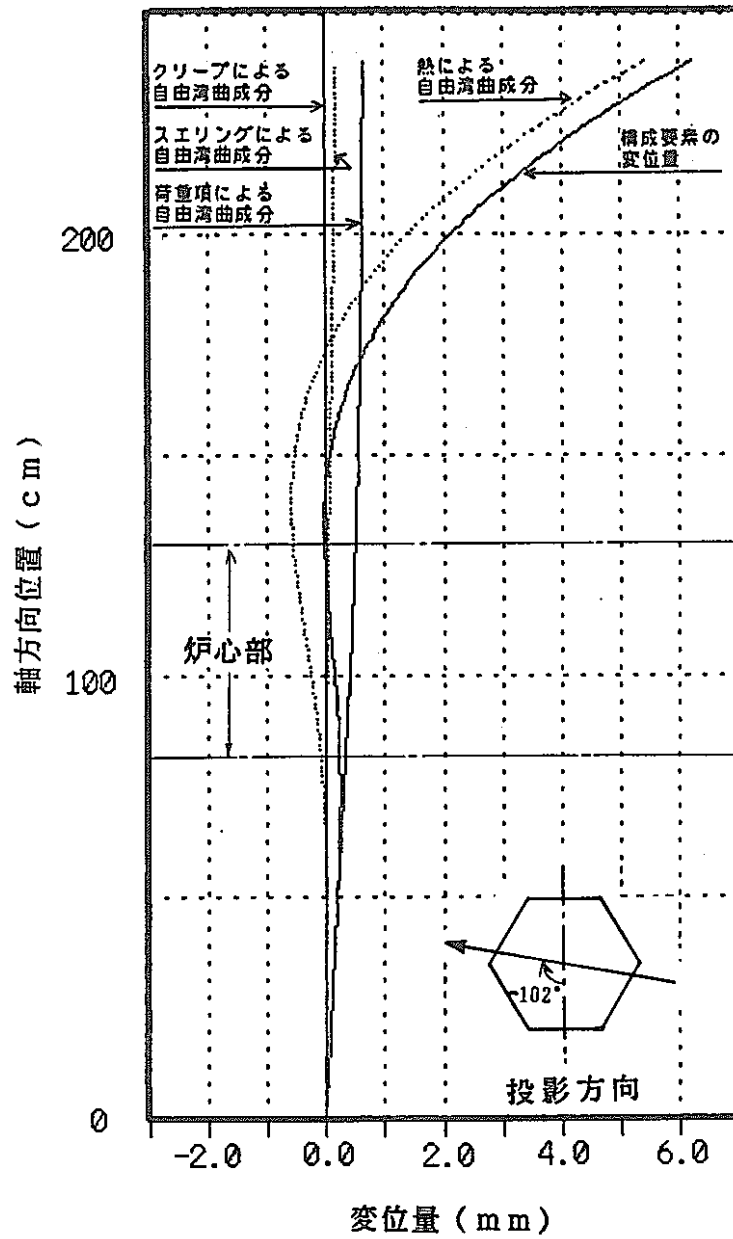


図3.4.2-86 内側反射体の自由湾曲量 (第6サイクル末期)

3.4.2.2 炉心構成要素の取出し時残量変形量

原子炉停止後に交換される炉心燃料集合体の頂部残留変位を表3.4.2-3に示し、原子炉停止後に交換される反射体の頂部残留変位を表3.4.2-4に示す。

内側炉心燃料及び外側炉心燃料ともに、制御棒に隣接した構成要素(表3.4.2-3中隣接構成要素には*1または*12を付けた。)の残留変位が大きく(最大値:約3mm)、外側炉心燃料については、内側反射体と隣接している構成要素(表3.4.2-3中隣接構成要素に*2を付けた。)も残留変位が約1.0mm前後と大きい。

また内側反射体についても、制御棒に隣接している構成要素(表3.4.2-4中隣接構成要素に*1を付けた。)は残留変位が約1.1mm~1.4mm程度で大きくなっている。

外側反射体については、反射体A, B共に残留変位は小さく、0.5mm以下で約0.2mm前後のものがほとんどである。

これらの結果は、制御棒などによりラップ管面上の中性子束勾配の大きい構成要素でスエリングによる湾曲の影響が大きく残ったためと考えられる。

表 3. 4. 2 - 3

原子炉停止後に交換される炉心燃料集合体の頂部残留変位

運転 サイクル	内側炉心燃料				外側炉心燃料									
	#2	#10	#16	#30	#27 *12	#35 *12	#44 *12	#49 *12	#54 *1	#61 *12	#65	#74	#85	
1	0.206 (137.2)	0.478 (43.1)	0.560 (226.4)	0.401 (284.3)	1.907 (55.4)	1.923 (115.4)	2.548 (58.5)	1.887 (-53.0)	0.812 (-38.4)	2.049 (126.1)	0.734 (79.3)	0.693 (-23.5)	0.510 (-159.5)	
2	0.243 (-10.8)	0.476 (80.4)	0.374 (279.1)	1.530 (279.8)	0.536 (49.7)	0.815 (105.4)	2.507 (8.4)	0.821 (272.0)	0.288 (129.9)	0.425 (-10.7)	0.482 (292.1)	0.648 (161.5)	----	
3	2.147 (9.4)	2.218 (-171.7)	1.730 (97.7)	----	1.772 (295.7)	0.602 (224.3)	0.665 (123.7)	0.747 (67.2)	0.632 (-57.2)	2.281 (-168.3)	1.331 (284.6)	0.630 (-122.0)	0.847 (156.9)	
4	0.138 (221.7)	1.748 (107.6)	1.725 (286.5)	0.564 (71.3)	2.069 (-108.0)	0.653 (-13.5)	0.709 (106.1)	2.471 (165.4)	0.589 (111.9)	0.730 (25.4)	1.038 (273.9)	0.690 (-162.0)	----	
5	0.023 (110.1)	2.162 (-94.3)	2.100 (86.0)	0.588 (-108.9)	0.117 (-58.9)	0.899 (92.0)	0.621 (0.6)	0.876 (286.1)	0.608 (-176.5)	0.751 (65.7)	0.944 (-35.6)	1.107 (122.0)	----	
6	0.156 (150.2)	2.132 (173.0)	2.230 (-4.6)	0.515 (105.3)	1.731 (238.4)	0.815 (122.1)	2.575 (-11.3)	0.632 (168.6)	1.173 (91.3)	0.837 (-46.6)	0.435 (283.1)	0.964 (144.1)	----	

3.4.2-6

* 1 制御棒に隣接する集合体番号

* 2 内側炉心燃料に隣接する集合体番号

上段：炉心構成要素番号

* 1 2 制御棒および内側炉心燃料に隣接する集合体番号

中段：残留変位 (mm)

下段：変位方向 (deg)

表 3. 4. 2 - 4 原子炉停止後に交換される反射体の頂部残留変位

運転 サイクル	内側反射対				外側A反射対						外側B反射対	
	#101	#115	#125	----	#110	#132	#135	#160	#202	----	#237	#247
1	0.276 (36.1)	0.228 (-102.1)	0.362 (153.0)	----	0.240 (300.0)	0.132 (83.6)	0.086 (42.2)	0.101 (211.9)	0.031 (238.0)	----	0.118 (-34.0)	0.111 (-90.7)
2	#93 0.161 (72.7)	#100 *1 1.137 (-2.5)	#105 0.216 (-32.0)	#117 *1 1.115 (-111.6)	#137 0.140 (37.4)	#142 0.029 (-6.9)	#151 0.150 (278.3)	#165 0.139 (159.1)	#208 0.100 (-174.0)	----	#219 0.177 (81.1)	#229 0.103 (30.4)
3	#99 *1 1.365 (66.1)	#111 0.194 (-98.1)	#123 0.258 (153.1)	----	#130 0.192 (101.1)	#144 0.188 (-18.4)	#149 0.033 (-49.1)	#158 0.162 (220.1)	#210 0.079 (179.1)	----	#246 0.204 (-98.9)	#256 0.098 (213.9)
4	#96 0.456 (95.5)	#103 0.192 (41.9)	#108 0.482 (-29.8)	#120 0.359 (216.1)	#98 0.470 (62.7)	#154 0.202 (-103.6)	#156 0.096 (237.5)	#168 0.216 (139.9)	#180 0.102 (46.1)	----	#238 0.174 (-29.6)	----
5	#102 0.426 (32.0)	#114 0.510 (270.5)	#126 0.507 (150.8)	----	#133 0.235 (77.3)	#147 0.242 (-39.7)	#161 0.217 (-158.5)	#163 0.083 (176.1)	#170 0.113 (119.8)	----	#255 0.146 (-152.4)	#265 0.202 (149.5)
6	#94 0.603 (93.8)	#106 0.394 (-34.6)	#118 *1 1.187 (-175.7)	----	#122 0.357 (176.6)	#140 0.237 (22.1)	#152 0.285 (271.2)	#166 0.274 (151.9)	#174 0.249 (86.8)	#199 0.261 (-108.1)	#310 0.019 (-29.4)	----

* 1 制御棒に隣接する内側反射体

上段：炉心構成要素番号
中段：残留変位 (mm)
下段：変位方向 (deg)

3.4.2.3 炉心構成要素の接触荷重

各運転サイクル初期、末期、末期原子炉0出力時に於ける頂部パッド位置と下部パッド位置での接触荷重を図3.4.2-55～図3.4.2-85に示す。

また、各サイクルに於ける最大荷重を表3.4.2-5に示す。

最大接触荷重は、各サイクルともにサイクル末期時の下部パッド位置で発生しており、約21～29Kg程度で安定している。頂部位置では約10～13Kg程度である。

サイクル末期原子炉0出力時では、変位量が少ないため、接触も少ない。第1サイクルから第5サイクルまでは下部パッドでの接触はなく、第6サイクルでも3ヶ所接触している程度で、どのサイクルも接触荷重としては、1 Kg以内がほとんどである。

上記最大接触荷重はどれも、制御棒に隣接した燃料集合体を含んでいる場合が多い。その燃料集合体の熱、及びスエリング湾曲により、頂部パッド位置では制御棒側と接触し、下部パッド位置では制御棒と反対側で接触する形で最大荷重が発生している。

表3.4.2-5 各サイクルにおける最大接触荷重

運転 サイクル	初 期		末 期		サイクル末期 原子炉0出力時	
	頂部パッド	下部パッド	頂部パッド	下部パッド	頂部パッド	下部パッド
1	#56-34 11.2	#99-136 24.6	#56-34 12.5	#56-84 26.5	#44-69 0.83	----
2	#56-34 10.4	#99-136 23.1	#56-34 12.2	#56-34 29.3	#45-71 0.59	----
3	#68-99 9.9	#44-69 20.3	#68-99 9.6	#35-36 22.6	#14-15 0.47	----
4	#14-28 11.4	#14-15 22.8	#14-28 12.1	#14-15 25.2	#12-13 0.66	----
5	#68-99 9.9	#8-9 21.3	#68-99 10.0	#26-27 21.4	#119-159 0.81	----
6	#34-18 10.6	#57-86 26.3	#34-18 11.6	#18-19 25.0	#119-159 1.12	#131-179 0.34

上段：炉心構成要素番号
下段：接触荷重 (kg)

3.4.2.4 炉心構成要素の取出し時引抜力

原子炉停止後に交換される炉心構成要素の取出し時引抜力を表3.4.2-6に示す。引抜力は炉心燃料集合体の場合で、10Kg以下(自重含まず)と小さく、反射体の場合でも7.0Kg以下となった。

さらに、原子炉停止後では隣接している構成要素間で接触していないところが多く、引抜力も0Kgの場合が多い。これらは3.4.2.2項でも述べたように、炉心構成要素自身の残留変位が小さいため接触がなく、その結果引抜力にも隣接した構成要素からの接触荷重による影響がなくなるためである。

表 3. 4. 2 - 6 原子炉停止後に交換される構成要素の引抜き荷重

サイクル	原子炉停止時における炉心燃料集合体の引抜き荷重 (kg)												
1	#2 0.0	#10 0.0	#16 0.0	#27 5.8	#30 0.0	#35 3.7	#44 9.7	#49 3.0	#54 0.0	#61 4.2	#65 0.0	#74 0.0	#85 0.0
2	#4 0.0	#9 0.7	#15 2.0	#23 0.0	#33 0.7	#39 0.0	#45 6.8	#52 0.0	#67 0.0	#72 0.0	#77 0.0	#88 0.0	
3	#8 5.1	#14 5.5	#24 2.1	#26 1.5	#32 0.0	#38 0.0	#41 0.0	#50 0.0	#57 3.2	#69 0.0	#81 0.0	#89 0.0	
4	#6 0.0	#13 8.2	#19 7.4	#22 0.0	#29 2.3	#47 0.0	#55 0.0	#60 6.5	#62 0.0	#70 0.0	#79 0.0	#86 0.0	
5	#1 0.0	#12 6.9	#18 7.3	#26 0.0	#31 0.0	#40 0.0	#46 0.0	#51 0.0	#58 0.0	#66 0.0	#75 0.0	#84 2.2	
6	#2 0.0	#11 6.8	#17 5.8	#21 0.0	#36 5.7	#42 0.0	#48 6.1	#59 0.0	#64 0.0	#76 0.0	#82 0.0	#90 0.0	

サイクル	原子炉停止時における反射体の引抜き荷重 (kg)												
1	#101 0.0	#110 0.0	#115 0.0	#125 0.0	#132 0.0	#135 0.0	#160 0.0	#202 0.0	#237 0.0	#247 0.0			
2	#93 0.0	#100 0.0	#105 0.0	#117 0.0	#137 0.0	#142 0.0	#151 0.0	#165 0.0	#208 0.0	#219 0.0	#229 0.0		
3	#99 0.3	#111 0.0	#123 0.0	#130 0.0	#144 0.0	#149 0.0	#158 0.0	#210 0.0	#246 0.0	#256 0.0			
4	#96 0.0	#98 0.0	#103 0.0	#108 0.0	#120 0.0	#154 0.0	#156 0.0	#168 0.0	#180 0.0	#238 0.0			
5	#102 0.0	#114 0.0	#126 0.0	#133 0.0	#147 0.0	#161 0.0	#163 0.0	#170 2.4	#255 0.0	#265 0.0			
6	#94 0.0	#106 0.0	#118 0.0	#122 0.0	#140 0.0	#152 0.0	#166 5.4	#174 1.2	#199 7.2	#310 0.0			

3.4.2.5 自由湾曲量変位成分

一例として、第6サイクルに於けるフェライト鋼反射体で、末期に最大変位を示した内側反射体(#95)の自由湾曲量成分を図3.4.2-87に示し、その頂部位置における湾曲成分のデジタル値を表3.4.2-7に示す。

これらは、上記構成要素の変位量とその変位量を構成する熱、スエリング、クリープ、荷重項による各自由湾曲量成分で示してある。

このフェライト鋼内側反射体(#95)では、第1サイクル初期に交換されており、熱やスエリングによる自由湾曲成分は頂部位値で3.5mm、4.4mm(末期)程度変位しているが、接触荷重が小さいためクリープによる自由湾曲成分は0.16mmと小さくなっている。

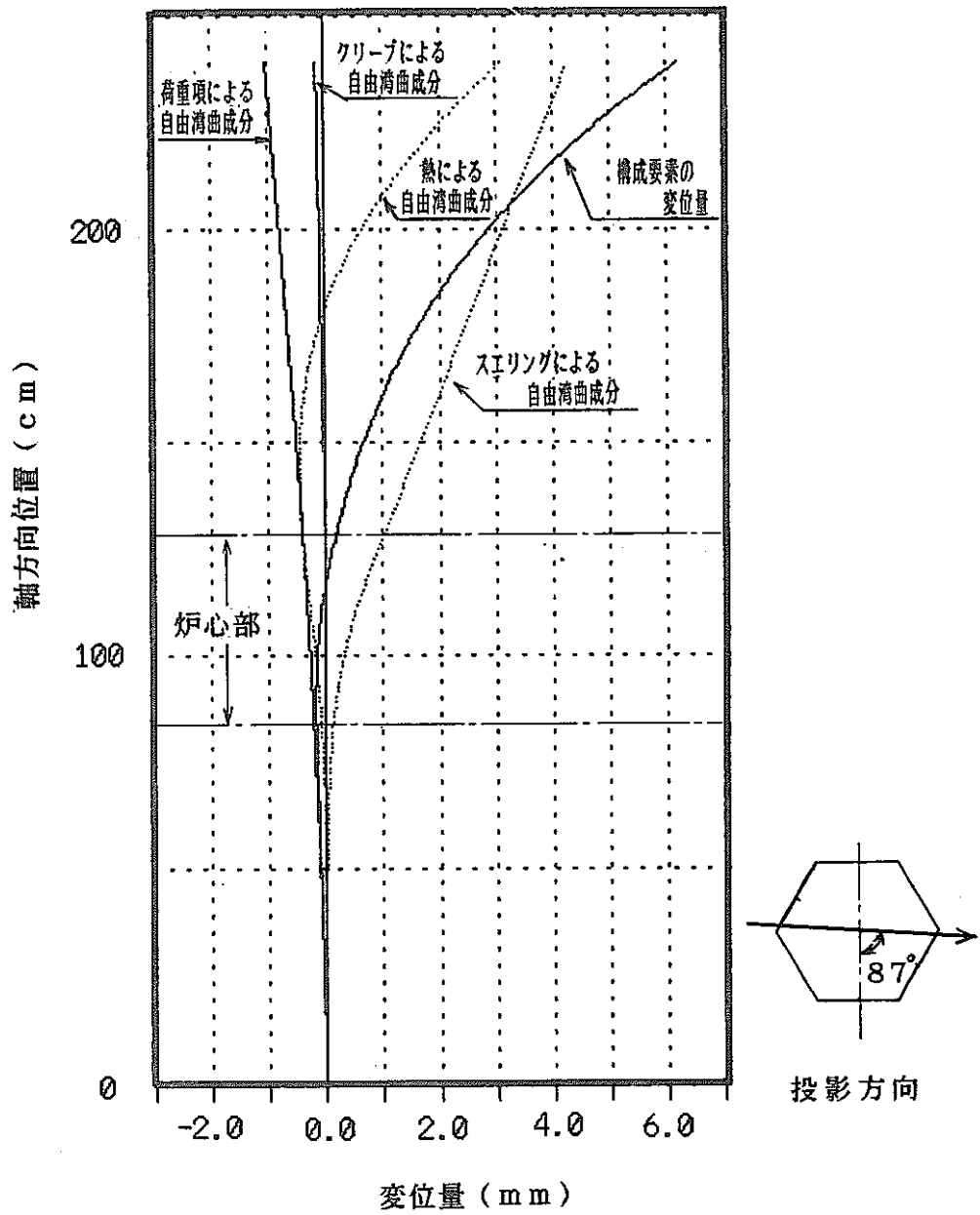


図 3. 4. 2 - 8 7 第 6 サイクル 末期 時 に お け る フェ ラ イ ト 鋼 内 側 反 射 体 (# 9 5) の 変 位

表3.4.2-7 第6サイクル時におけるフェライト鋼内側反射体（#95）の頂部位置湾曲成分

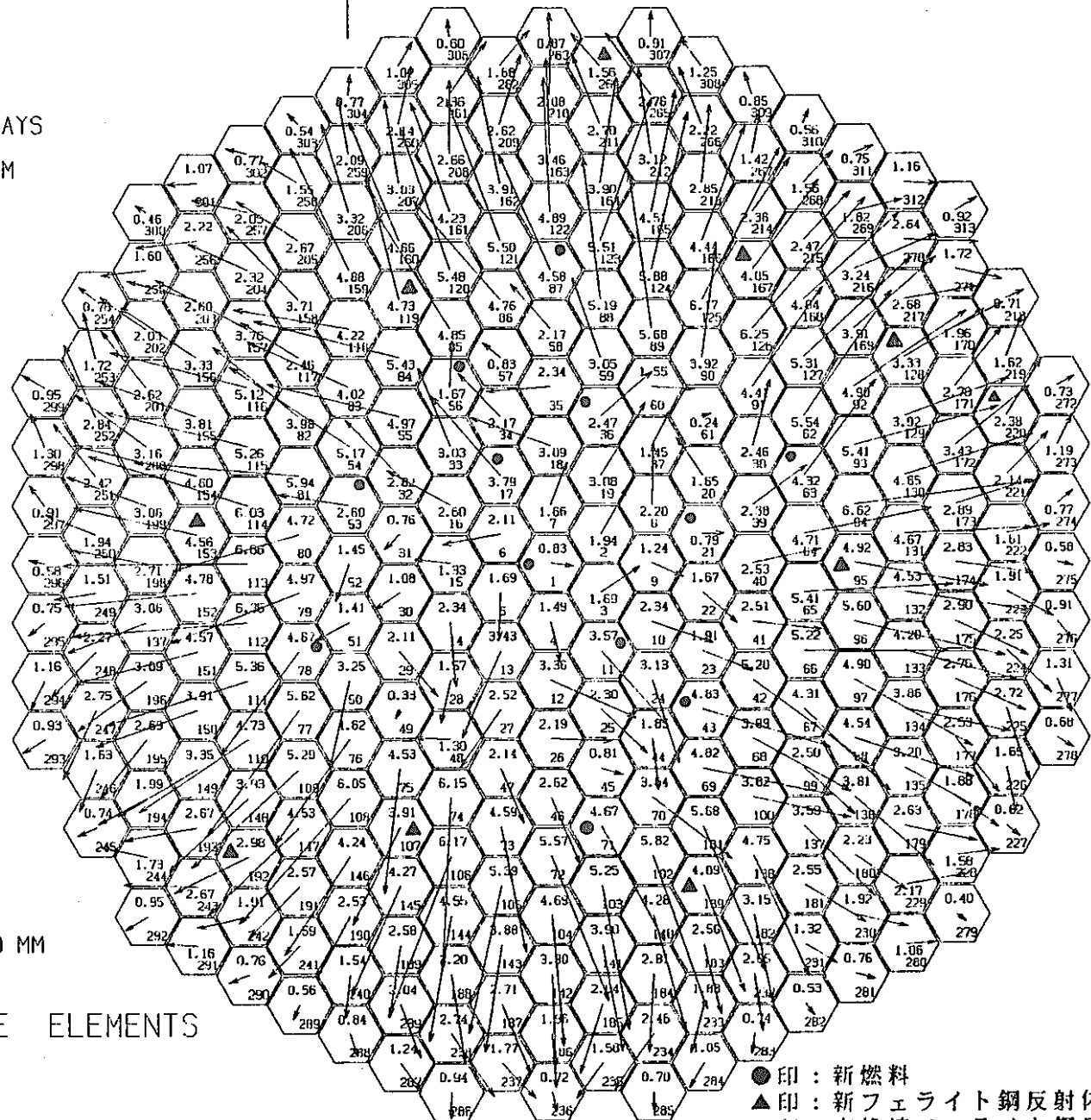
	構成要素の 変位量	熱による 自由湾曲成分	スエリングによる 自由湾曲成分	クリープによる 自由湾曲成分	荷重項による 自由湾曲成分
初期	6.487 (87.5)	3.526 (88.3)	3.733 (90.0)	0.101 (-93.9)	0.703 (285.7)
末期	6.726 (86.9)	3.526 (88.3)	4.434 (90.2)	0.155 (-91.5)	1.123 (284.5)
原子炉 0出力時	3.366 (80.9)	0.0 (0.0)	4.434 (90.2)	0.155 (-91.5)	1.102 (300.0)

上段：変位量（mm）
下段：変位方向（Deg）

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 2



3.4.2-15

5 MM

DISPLACEMENT : 10^{-4} +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

●印 : 新燃料
 ▲印 : 新フェライト鋼反射体
 △印 : 交換済フェライト鋼反射体

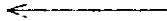
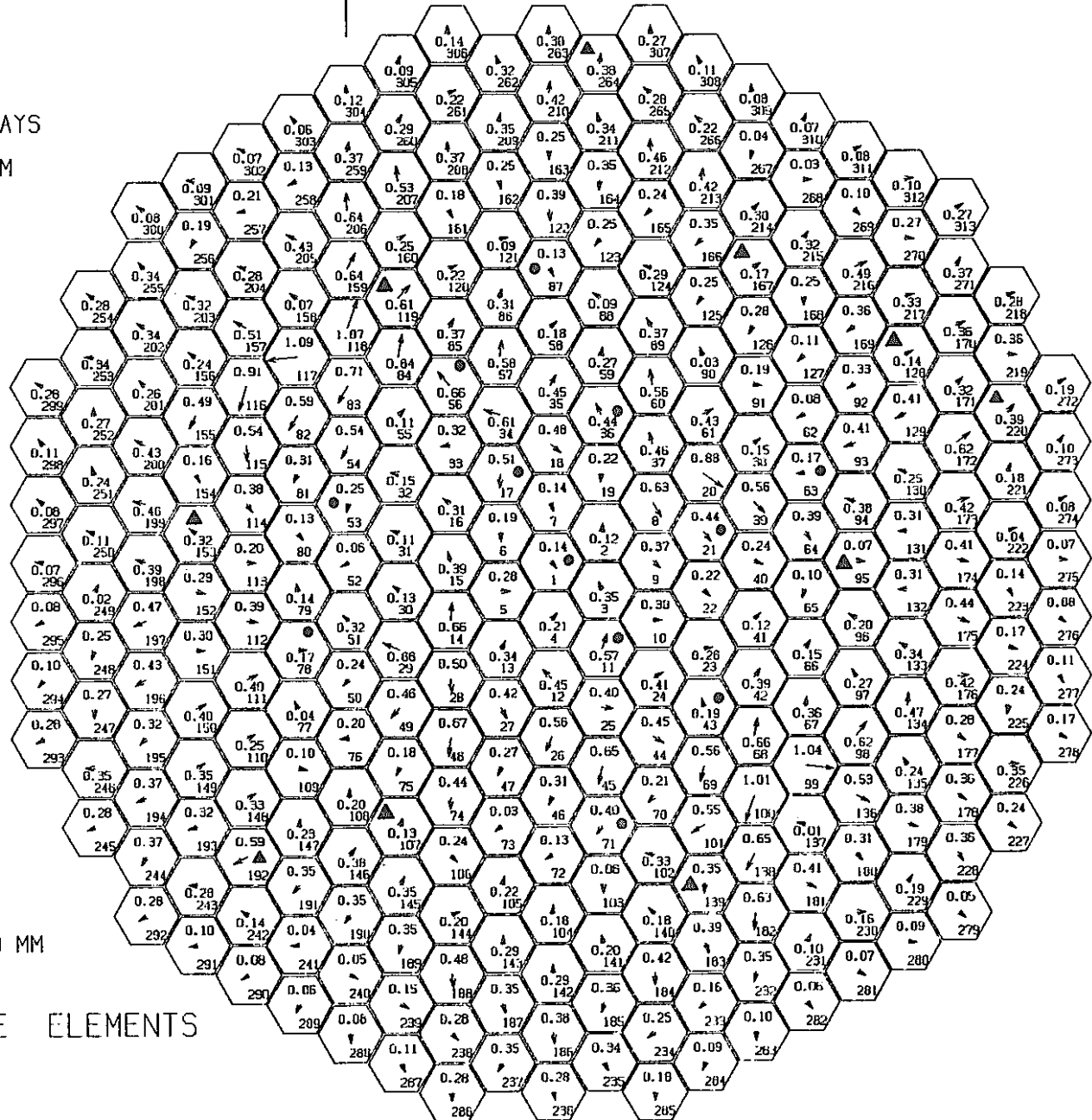
図 3. 4. 2 - 1

第 1 サイクル初期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : 10×× +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-16

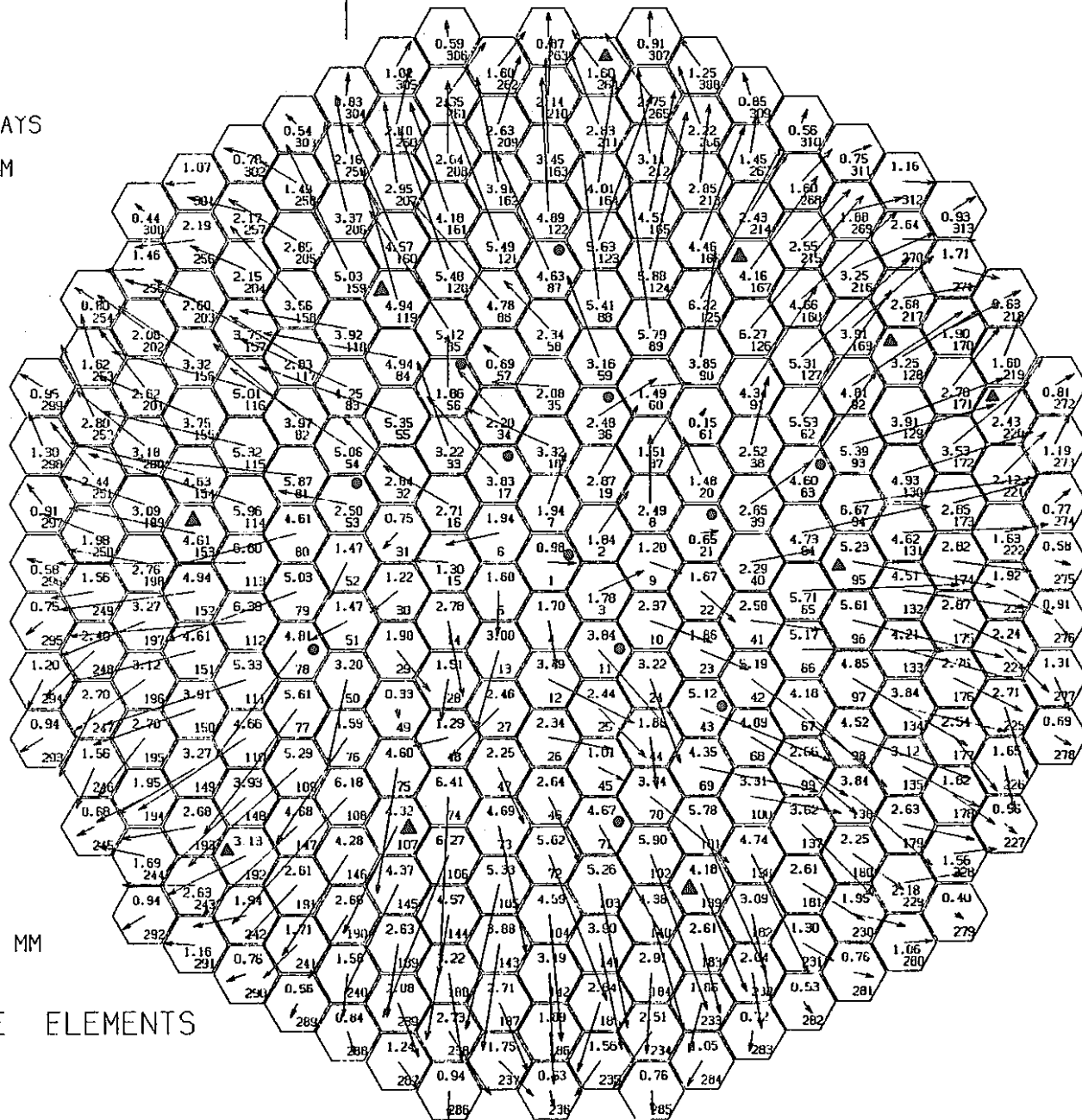
図 3. 4. 2 - 2

第 1 サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-17

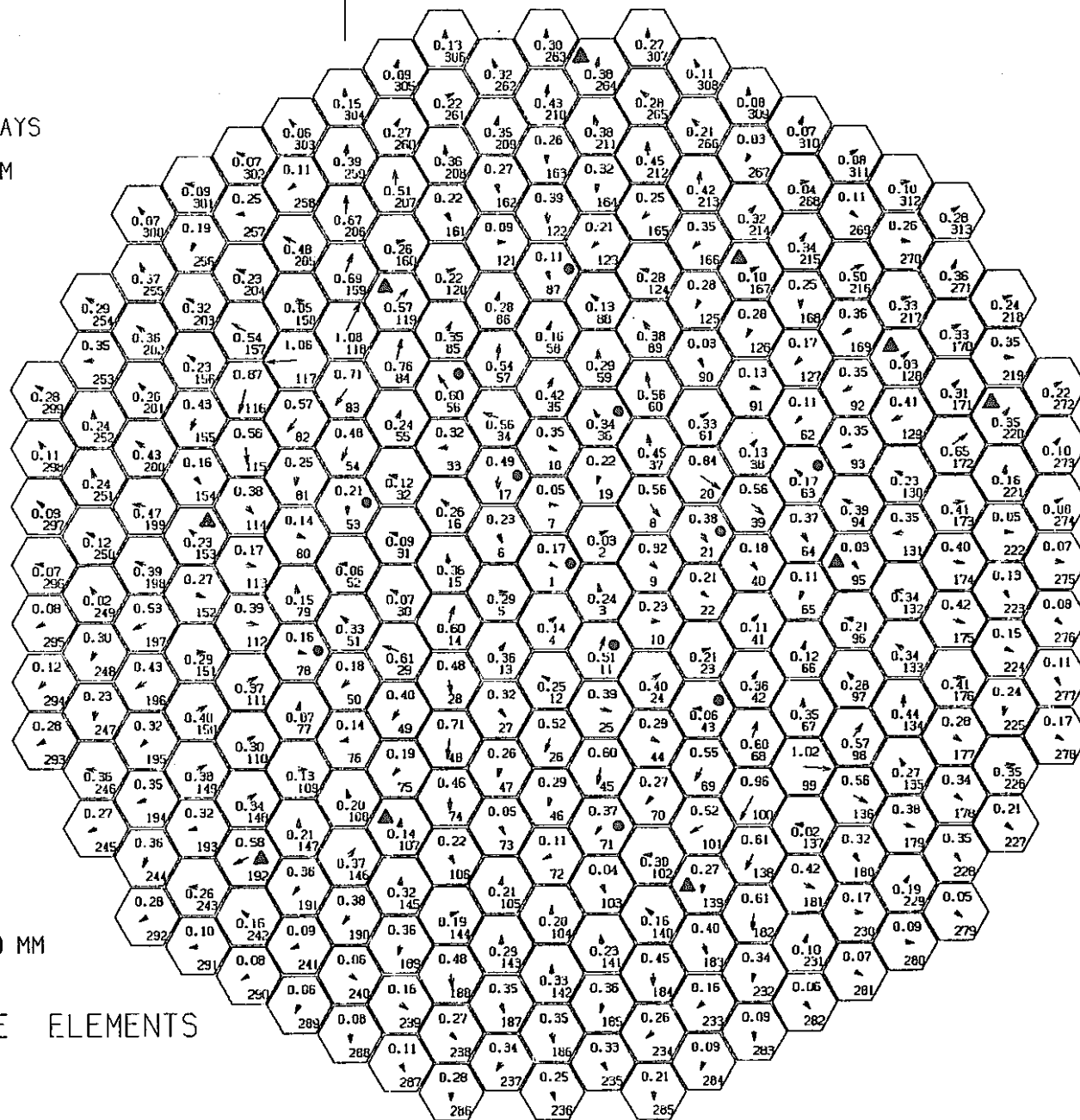
図 3. 4. 2 - 3

第 1 サイクル末期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-18

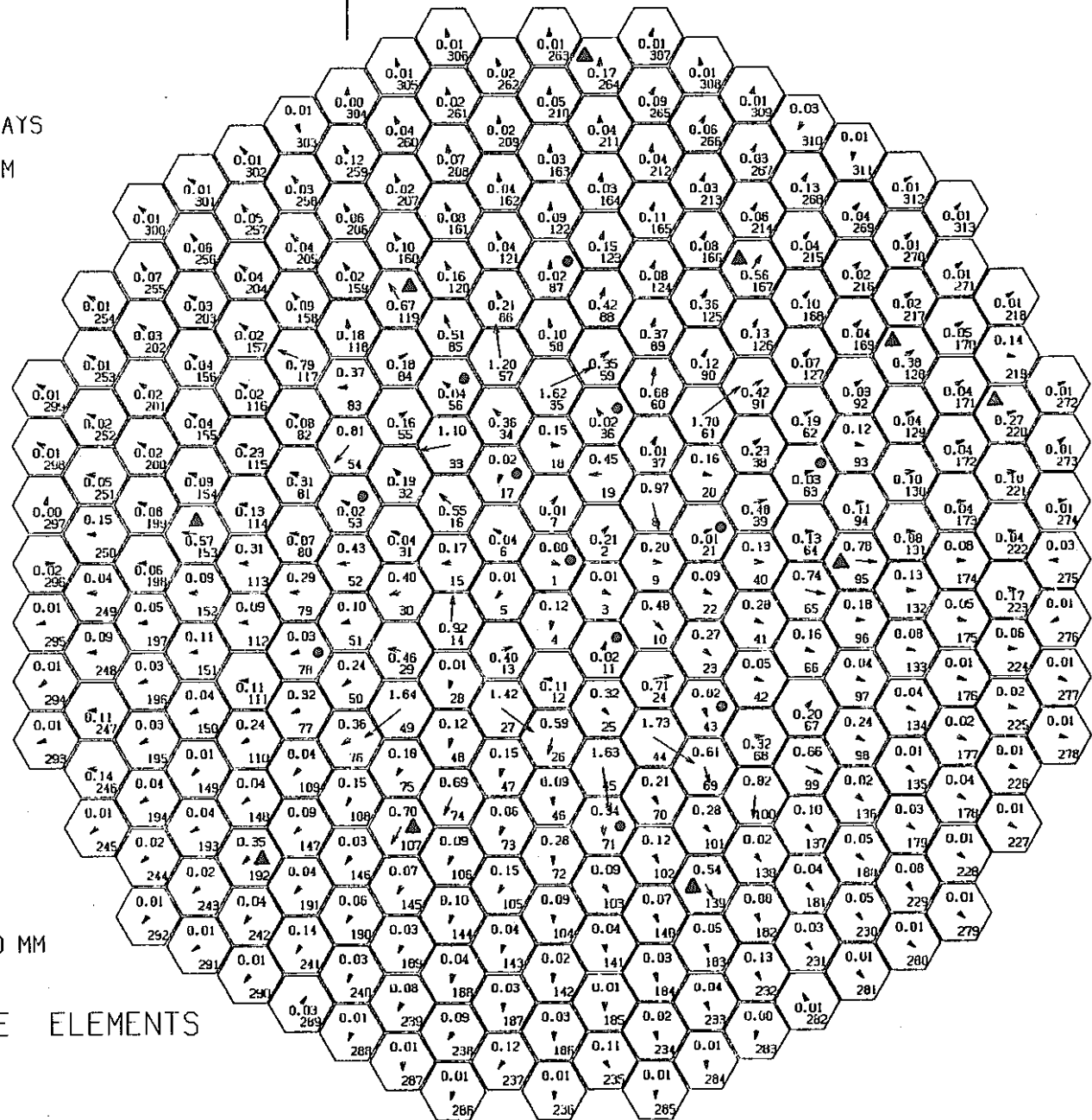
図 3. 4. 2 - 4

第 1 サイクル末期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPDN = 1



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-19

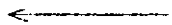
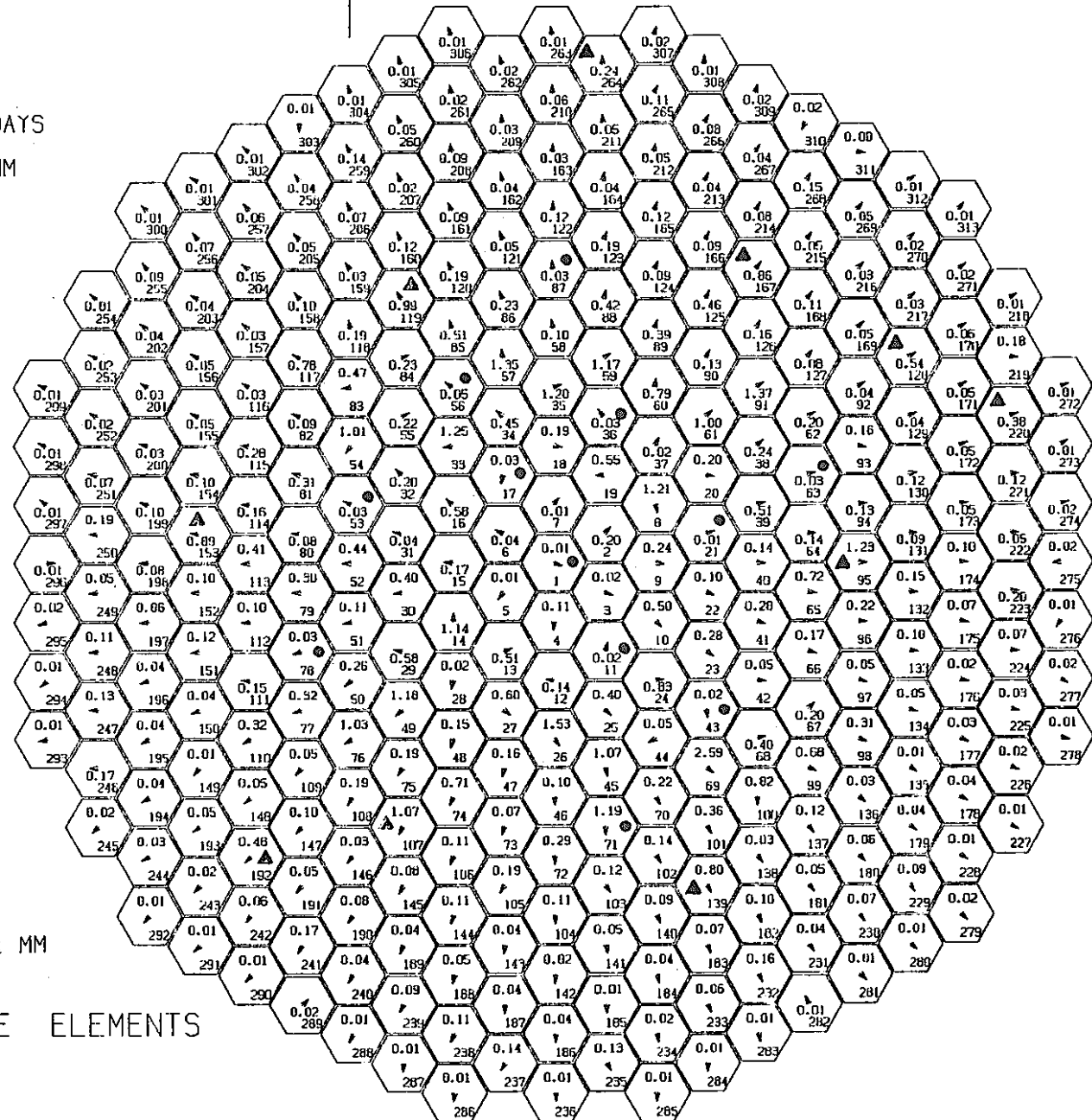
図 3. 4. 2 - 5

第 1 サイクル末期原子炉 0 出力時における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



5 MM

DISPLACEMENT : 10** -01 MM

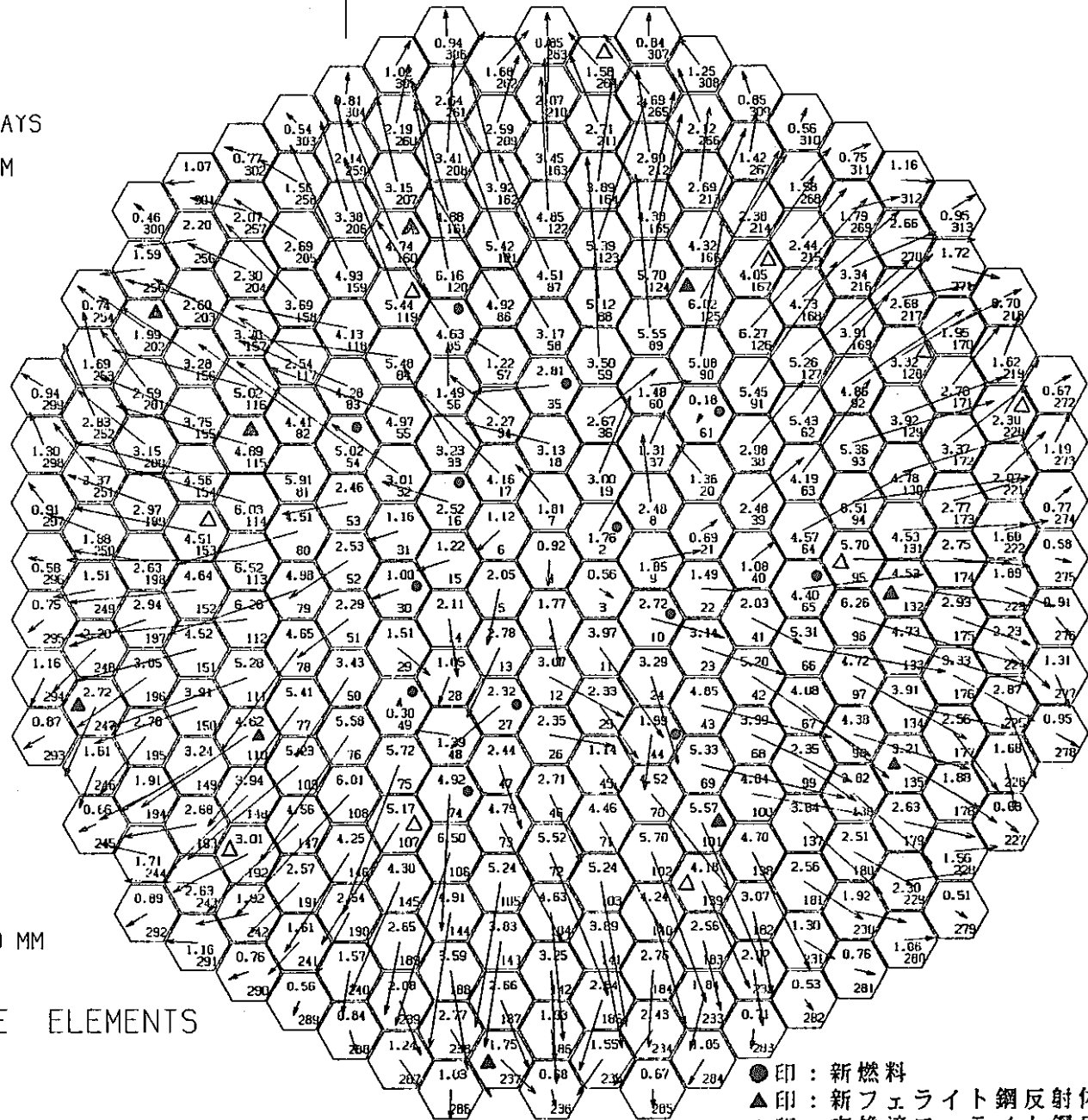
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-20

図 3. 4. 2 - 6

第 1 サイクル末期原子炉出力時における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM
 IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

●印 : 新燃料
 ▲印 : 新フェライト鋼反射体
 △印 : 交換済フェライト鋼反射体

3.4.2-21

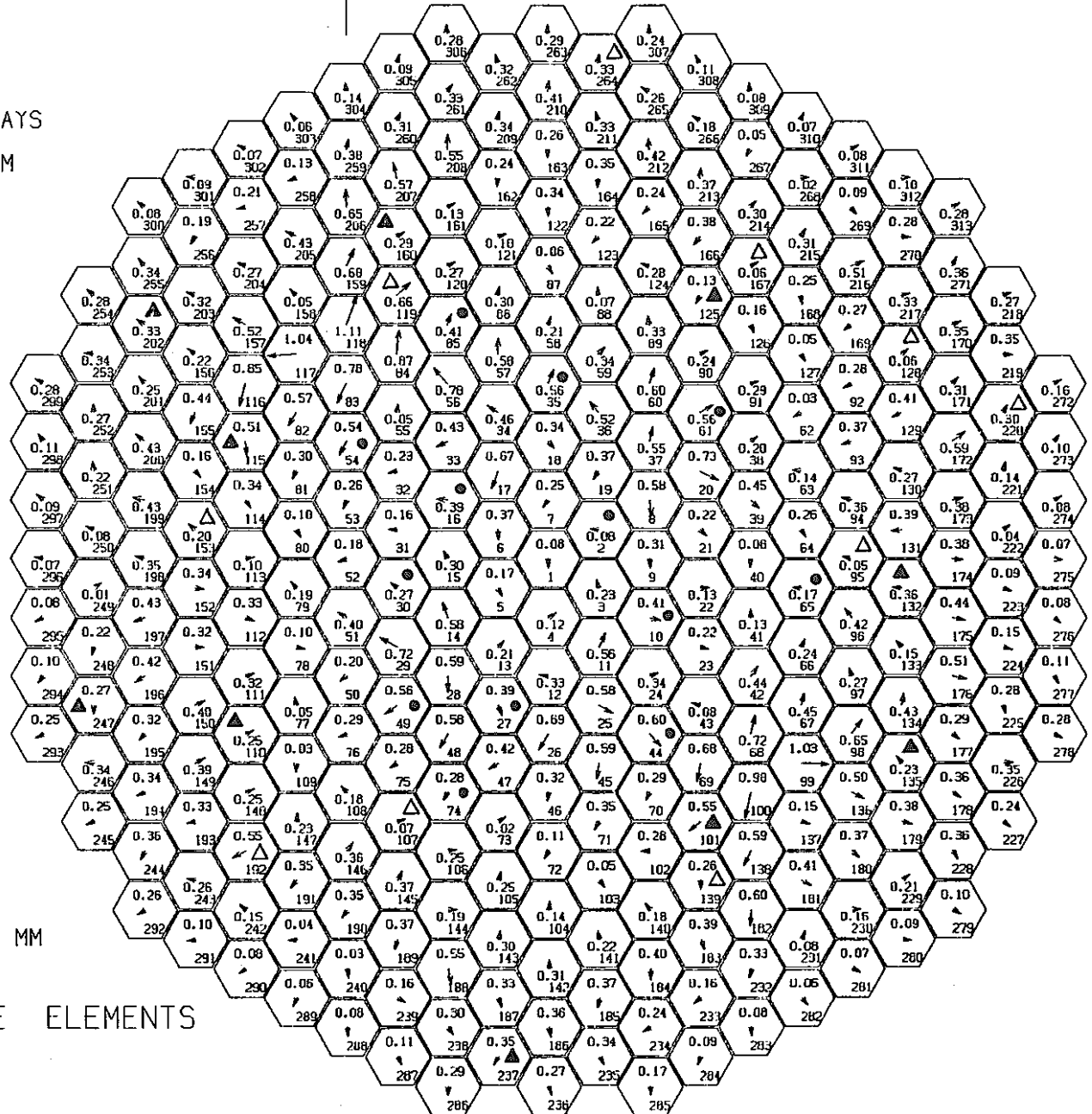
図 3. 4. 2 - 7

第 2 サイクル初期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-22

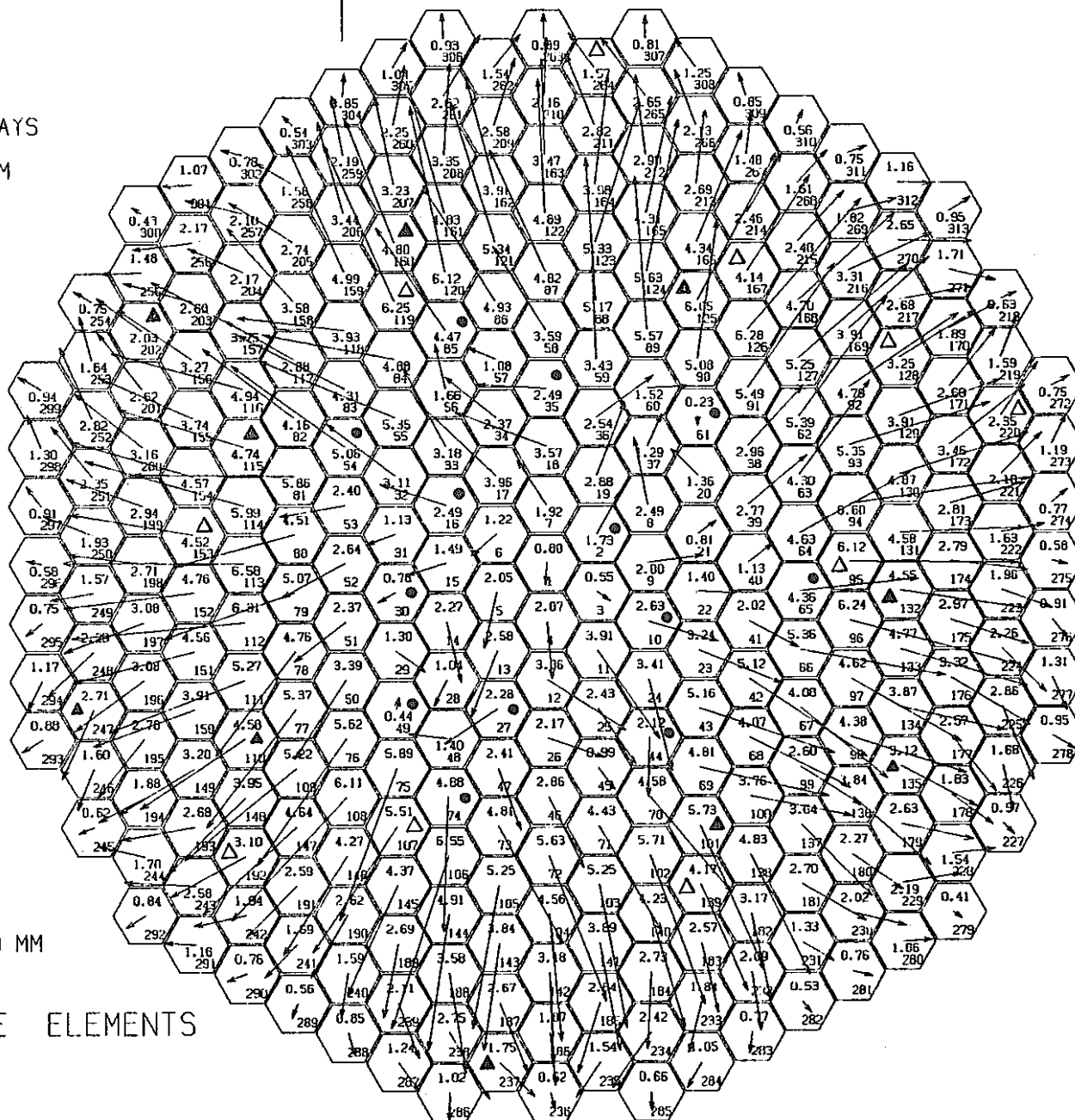
図 3. 4. 2 - 8

第2サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-23

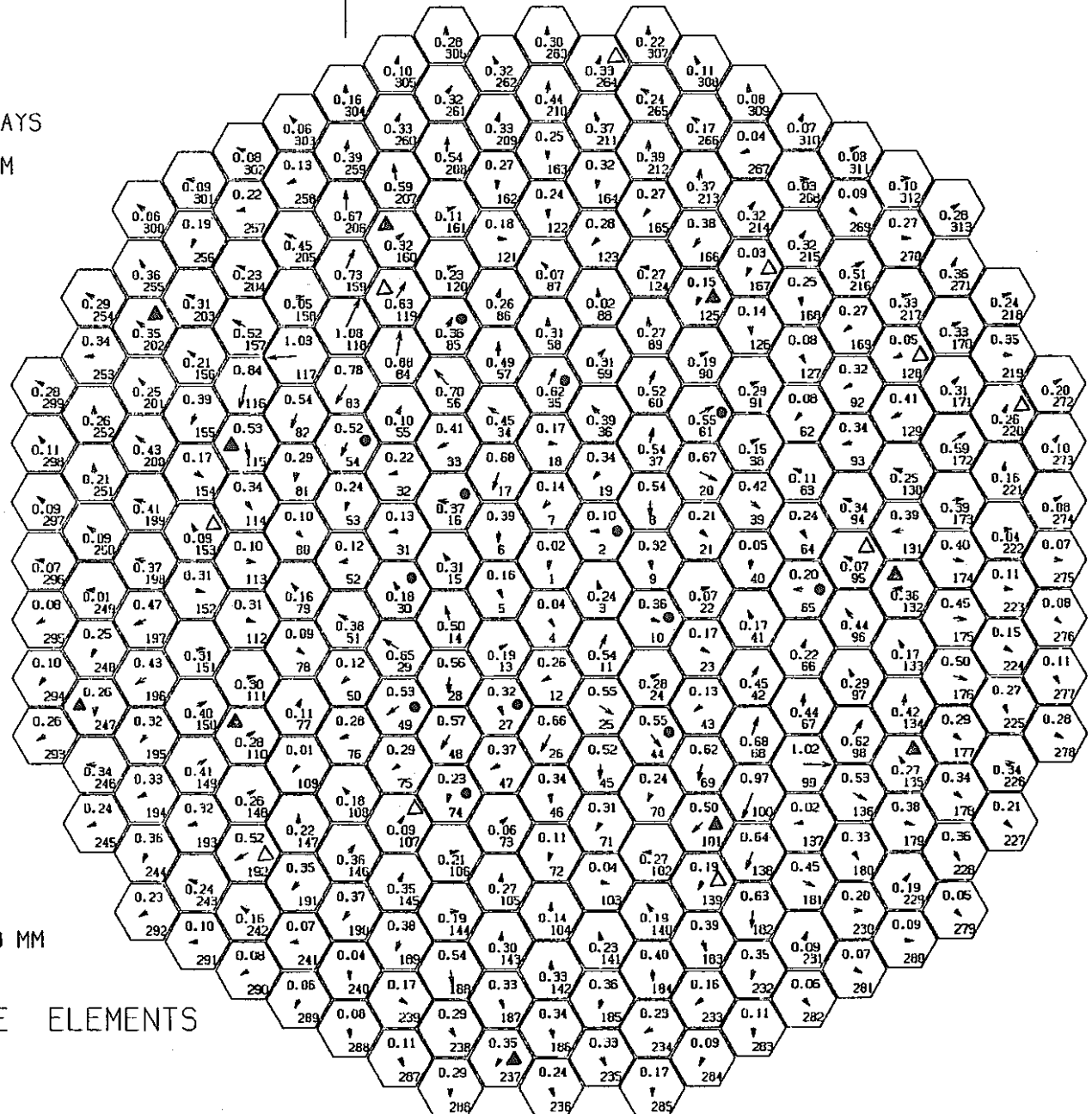
図 3. 4. 2 - 9

第 2 サイクル 末期 における 頂部 位置 での 変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



5 MM

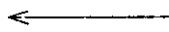
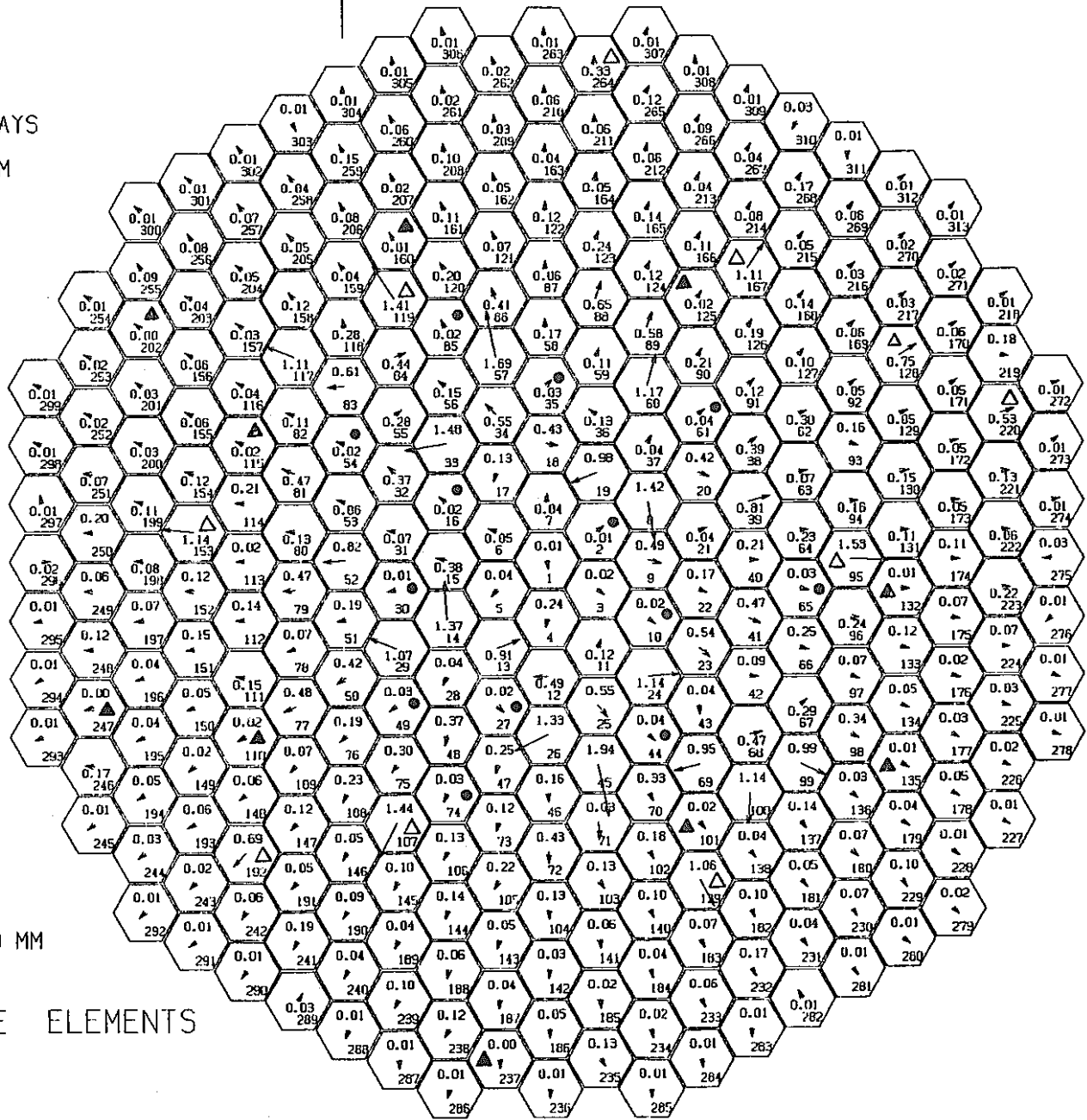
DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-24

図 3.4.2-10 第2サイクル末期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM
 IPDN = 1



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

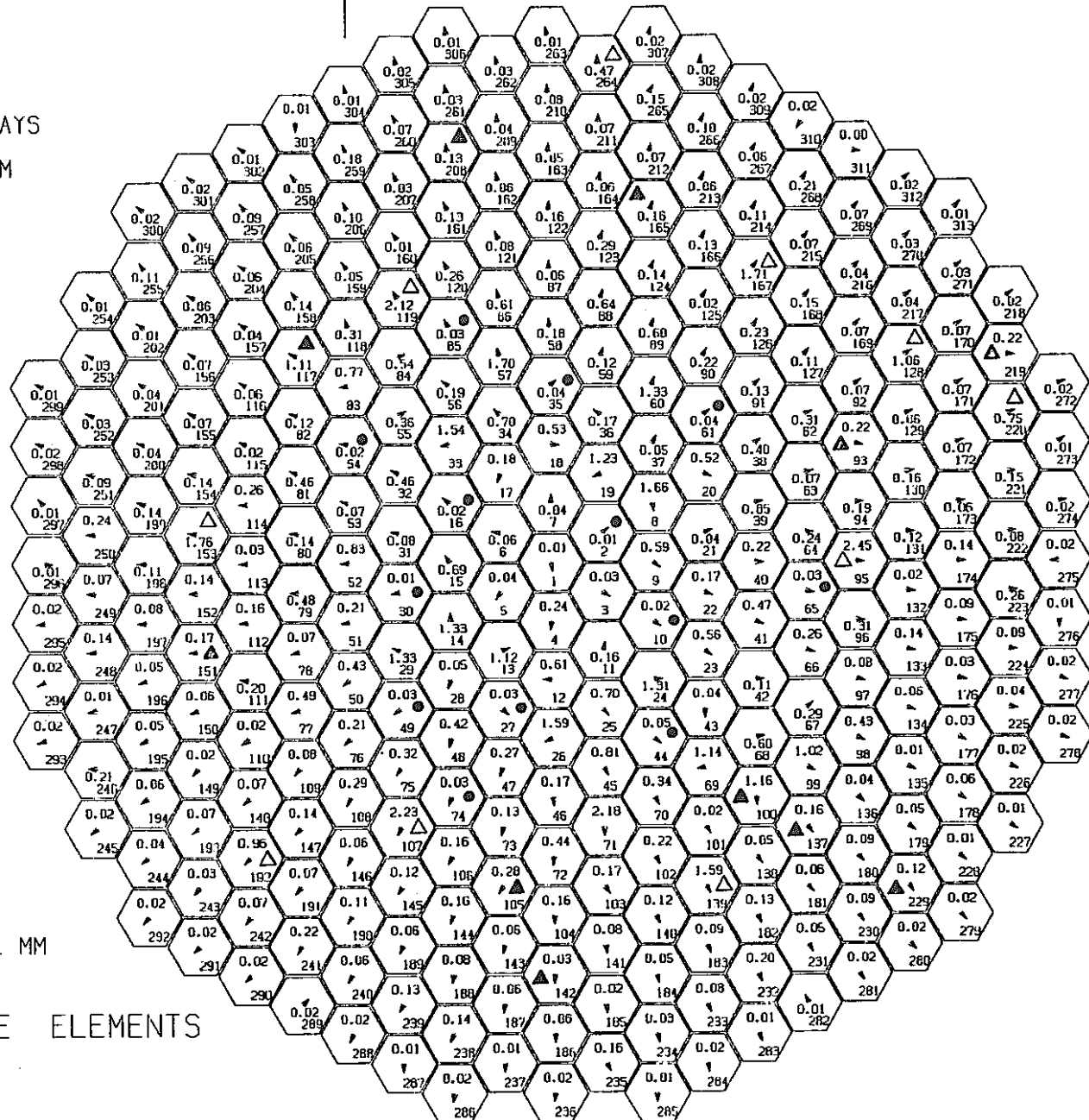
3.4.2-25

図 3. 4. 2 - 1 1 第 2 サイクル末期原子炉の出力時における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



5 MM

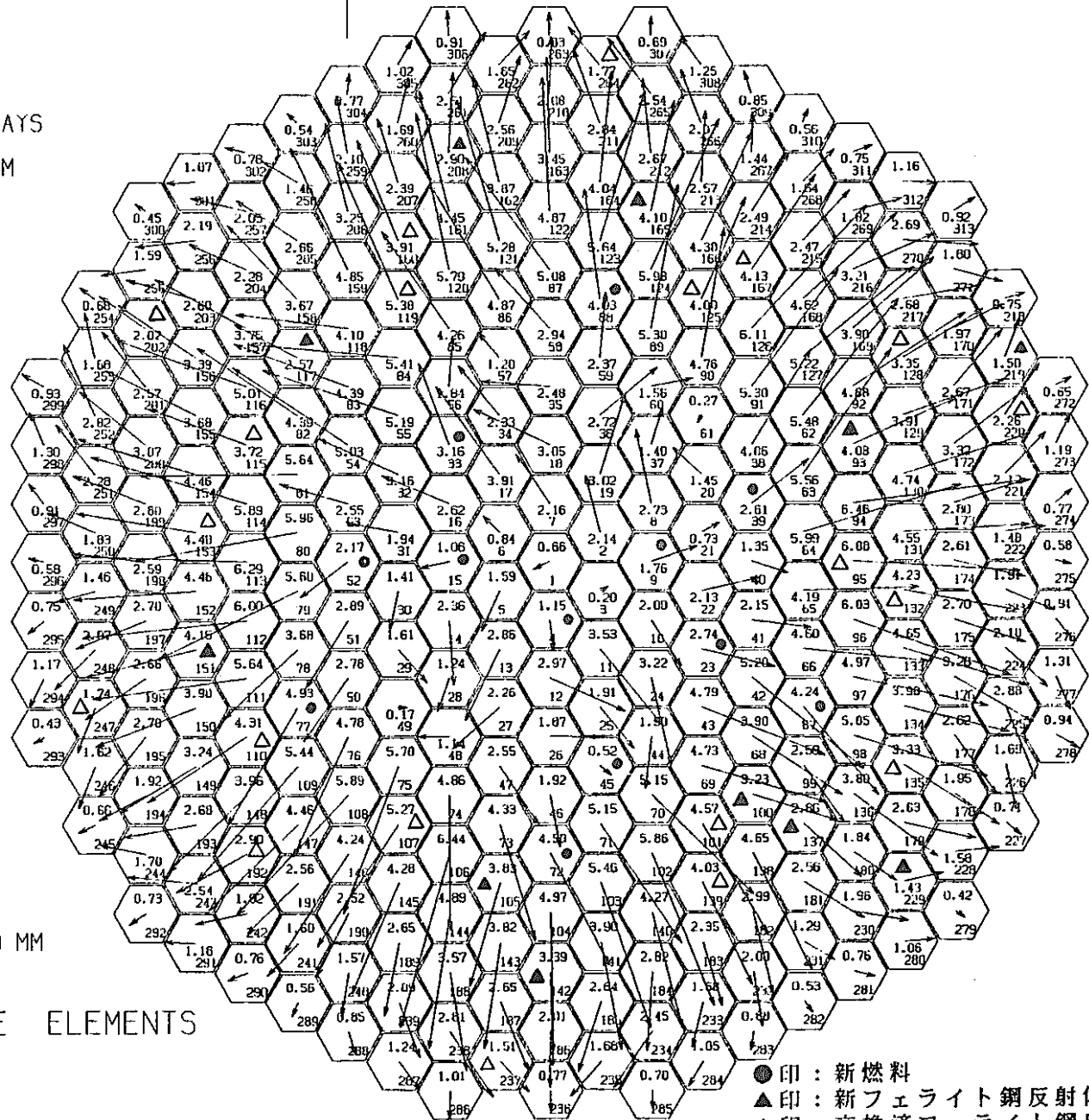
DISPLACEMENT : 10** -01 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-26

図 3. 4. 2 - 1 2 第 2 サイクル 末期 原子 炉 の 出力 時 に お け る 下 部 パ ッ ド 位 置 で の 変 位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM
 IPUP = 2



3.4.2-27

5 MM
 DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

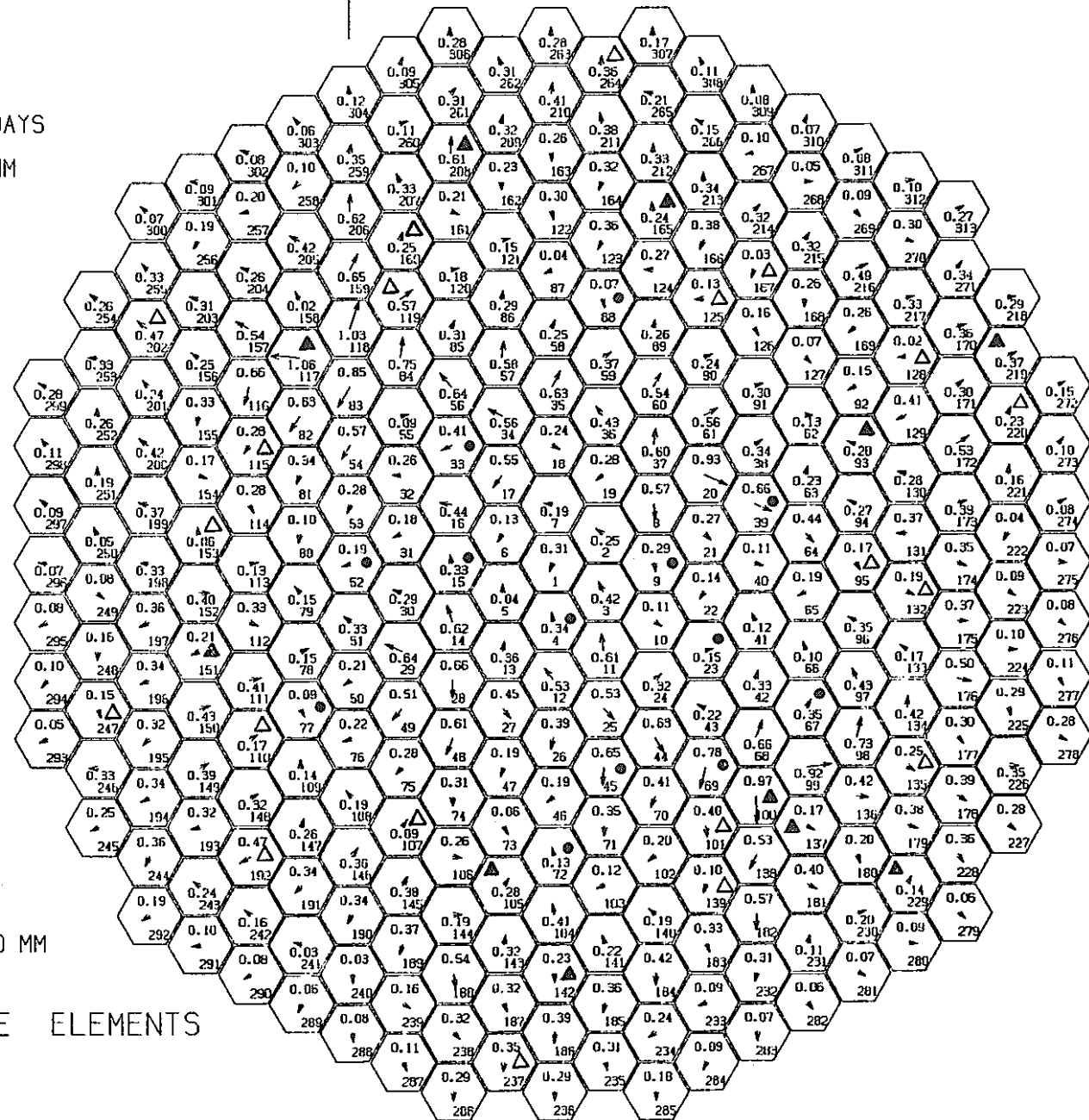
●印 : 新燃料
 ▲印 : 新フェライト鋼反射体
 △印 : 交換済フェライト鋼反射体

図 3. 4. 2 - 13 第 3 サイクル初期における頂部位置での変位

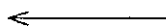
OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



3.4.2-28



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

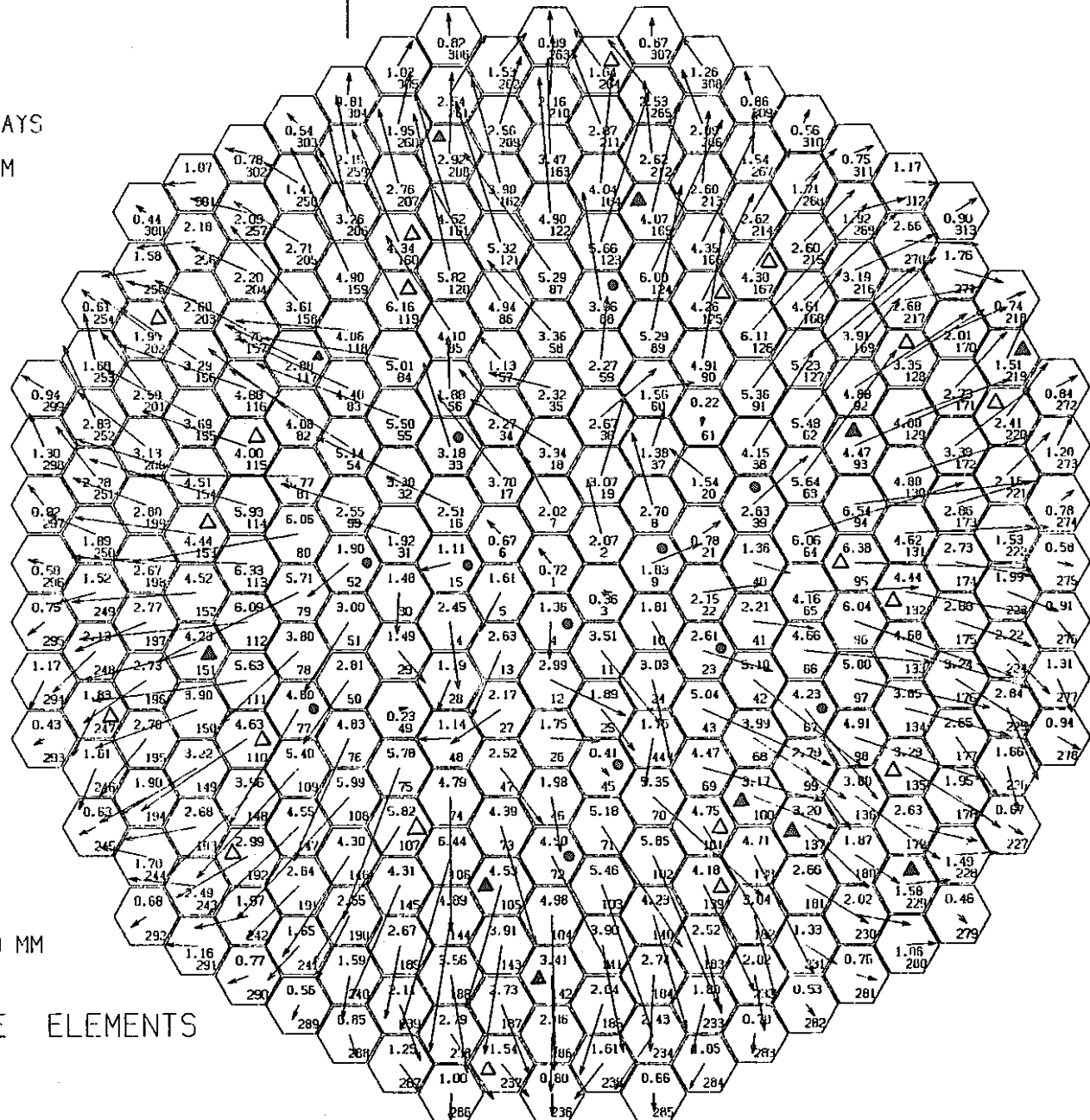
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 1 4 第 3 サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

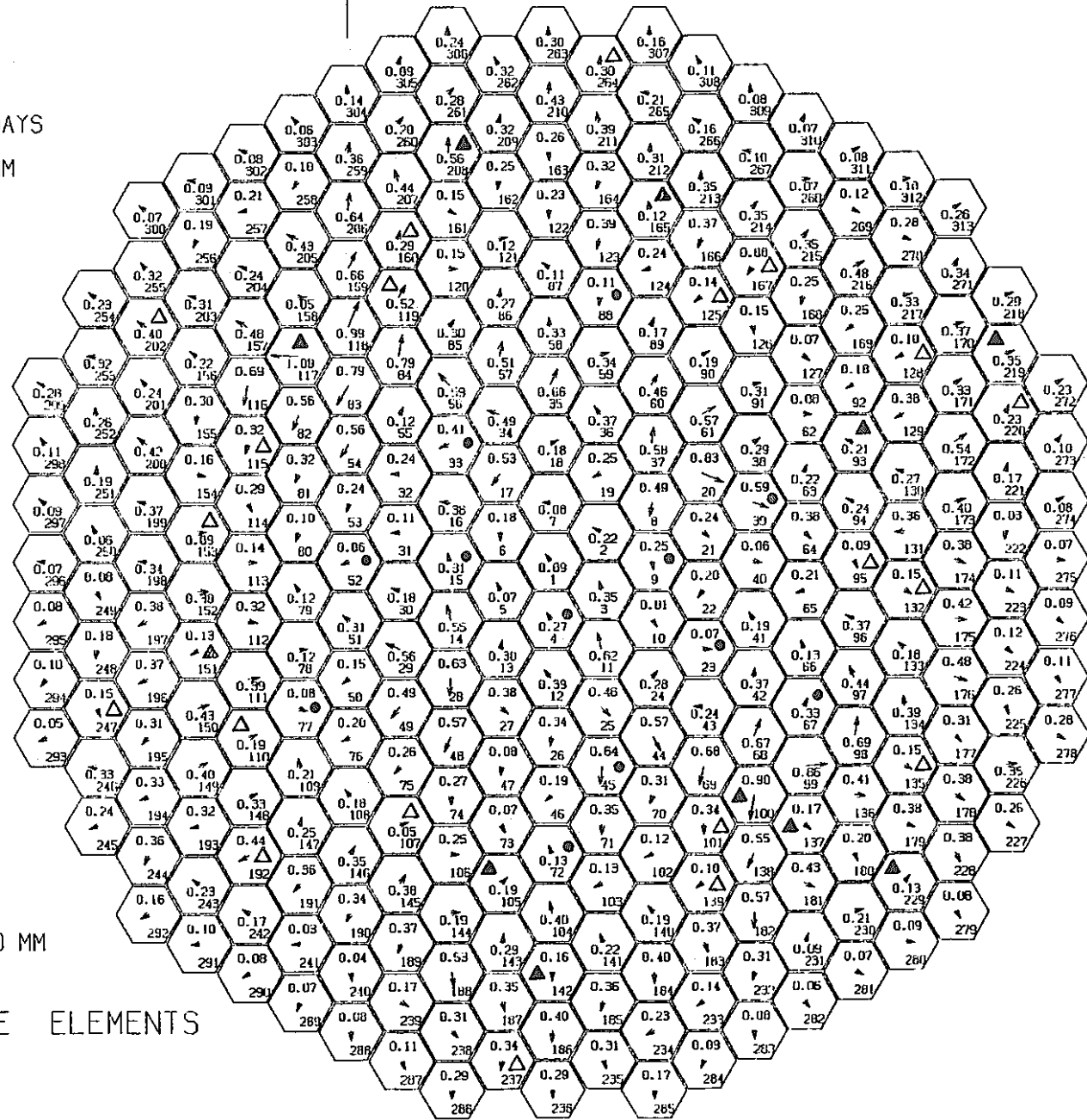
3.4.2-29

図 3. 4. 2 - 15 第 3 サイクル末期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

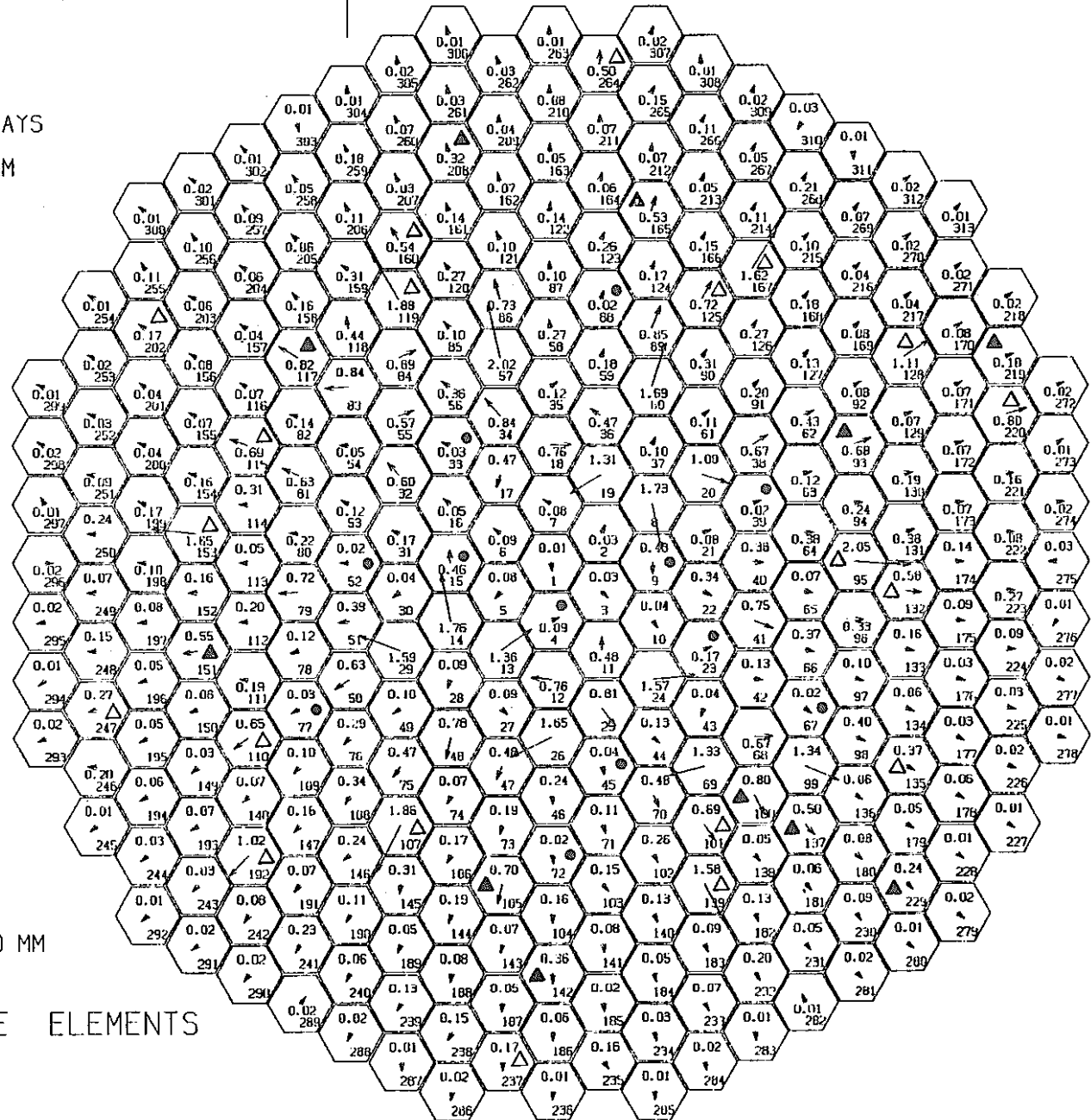
3.4.2-30

図 3. 4. 2 - 1 6 第 3 サイクル 末期 における 下部 パッド 位置 での 変位

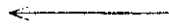
OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-31



5 MM

DISPLACEMENT : 10⁻³ +00 MM

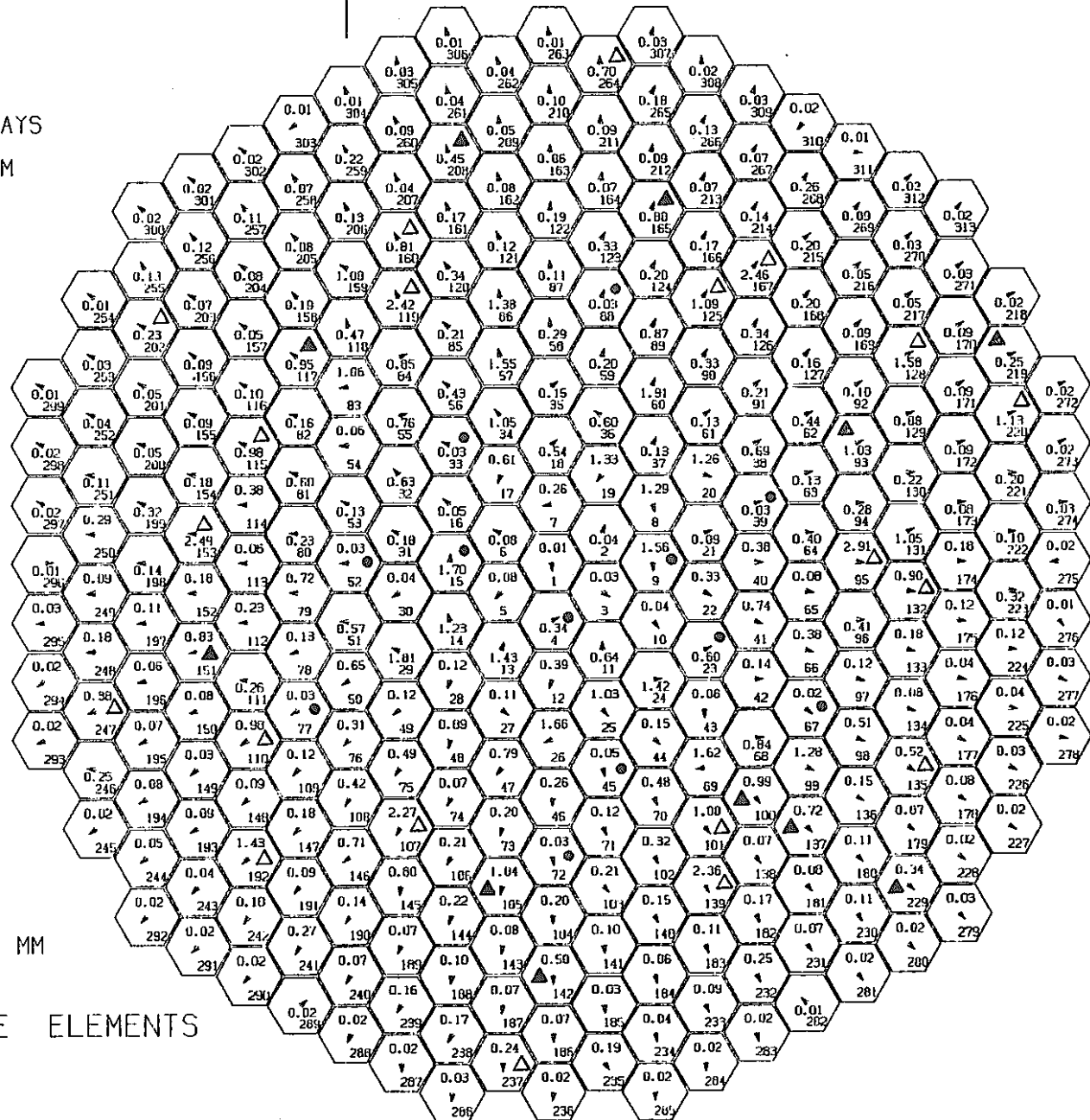
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 17 第 3 サイクル末期原子炉 0 出力時における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-32

5 MM

DISPLACEMENT : 10** -01 MM

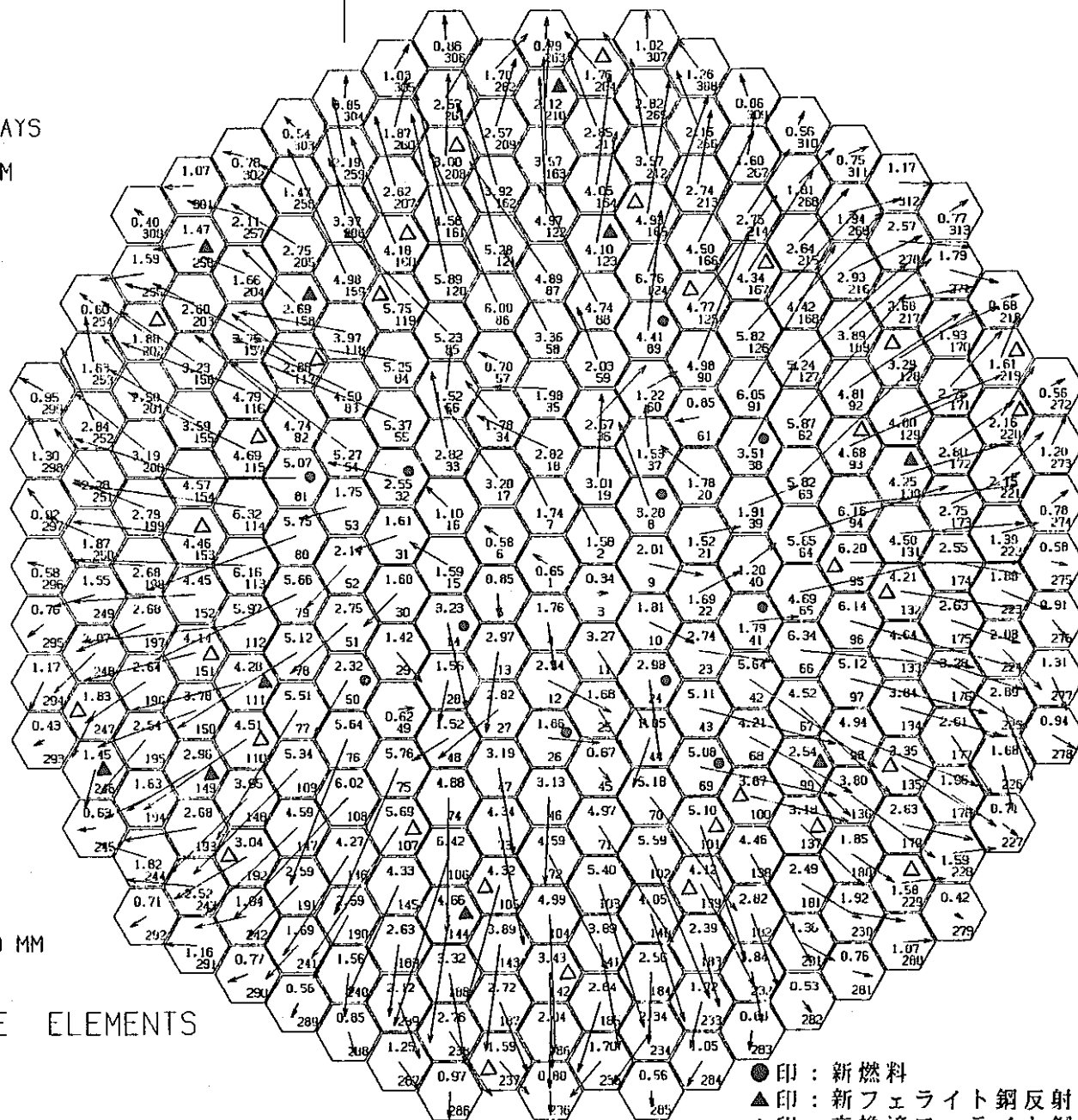
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 1 8 第 3 サイクル末期原子炉 0 出力時における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 2



3.4.2-33

5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

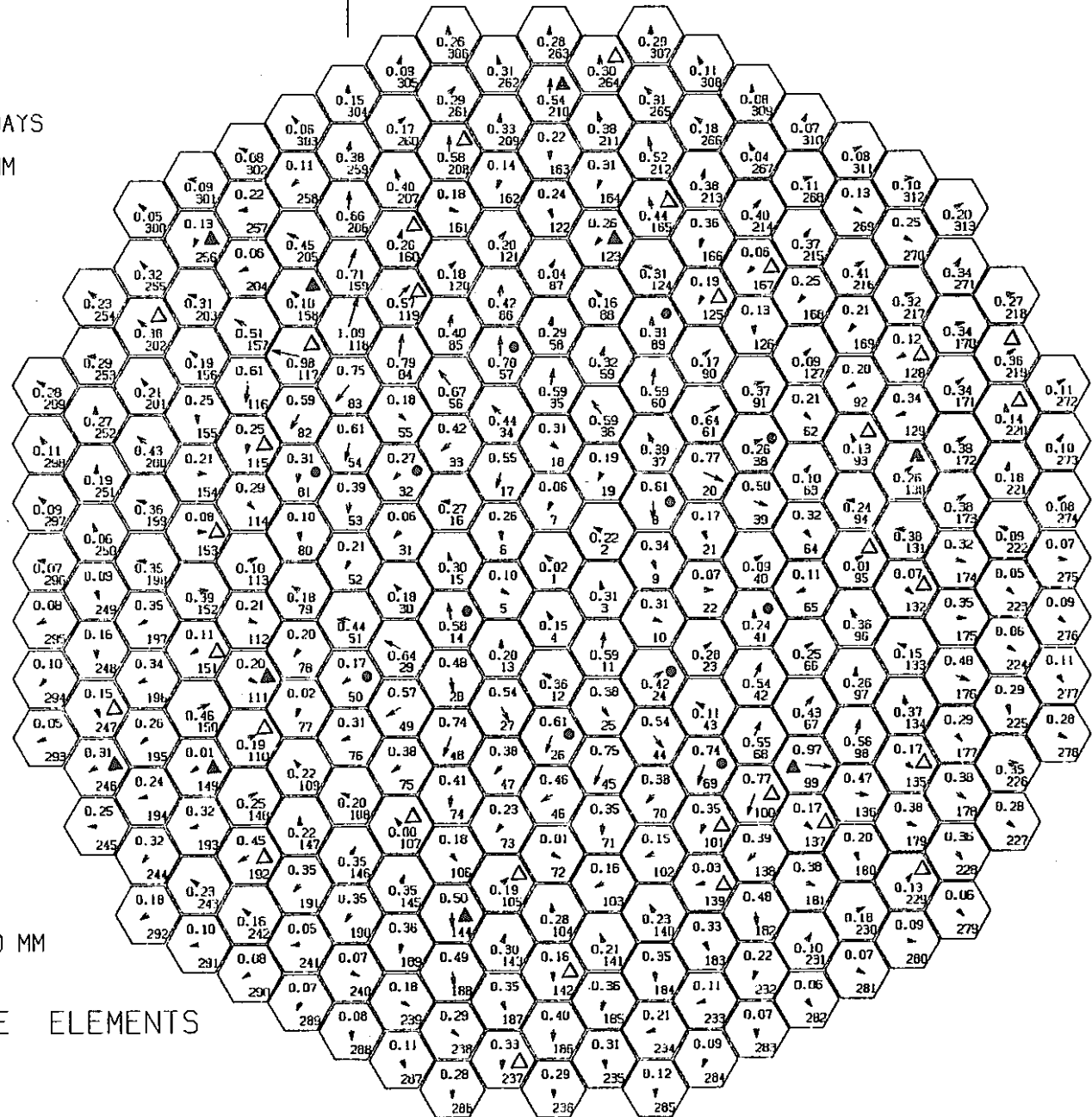
●印 : 新燃料
▲印 : 新フェライト鋼反射体
△印 : 交換済フェライト鋼反射体

図 3. 4. 2 - 19 第4サイクル初期における頂部位置での変位

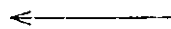
OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



3.4.2-34



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

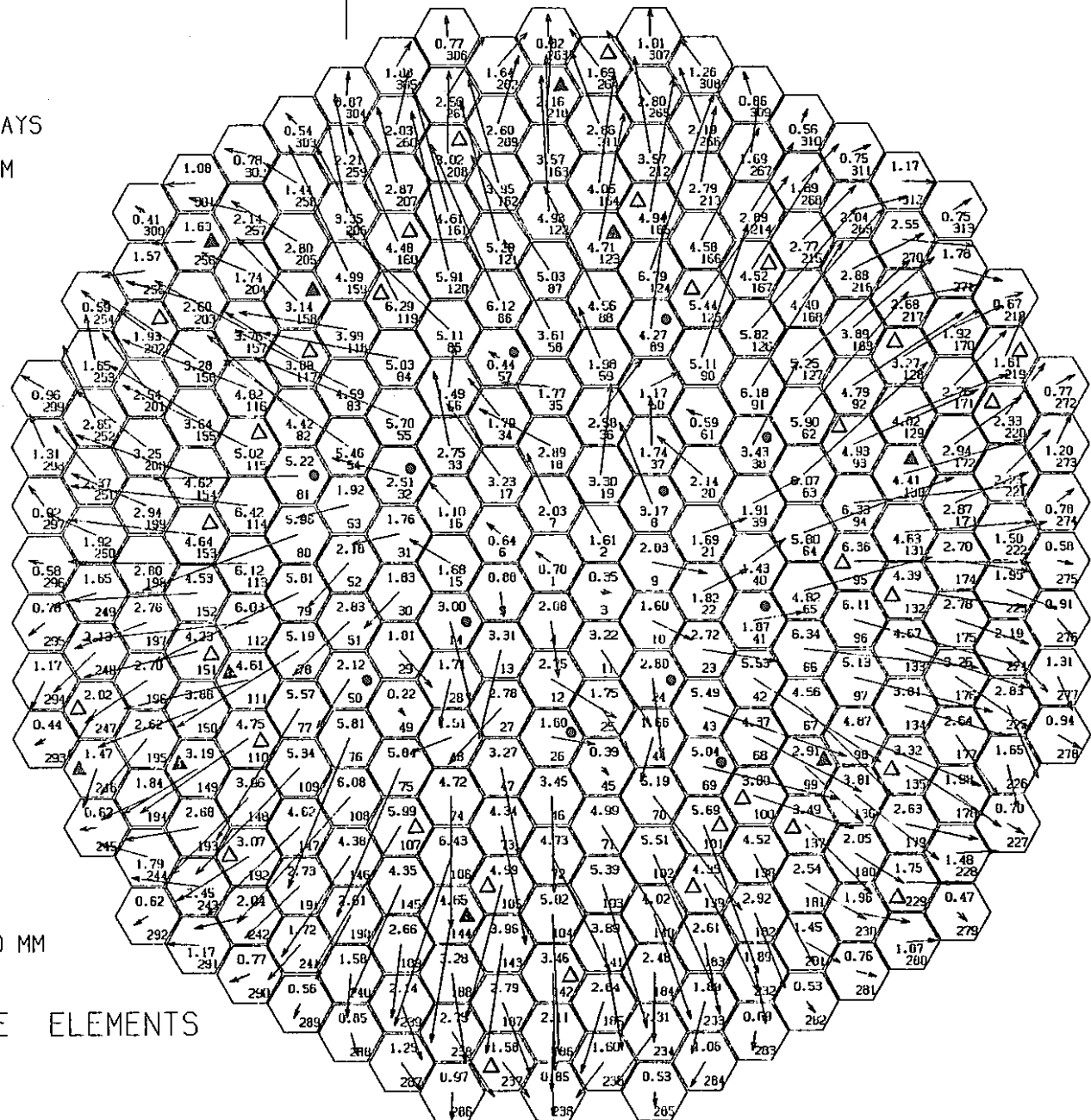
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 2 0 第 4 サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

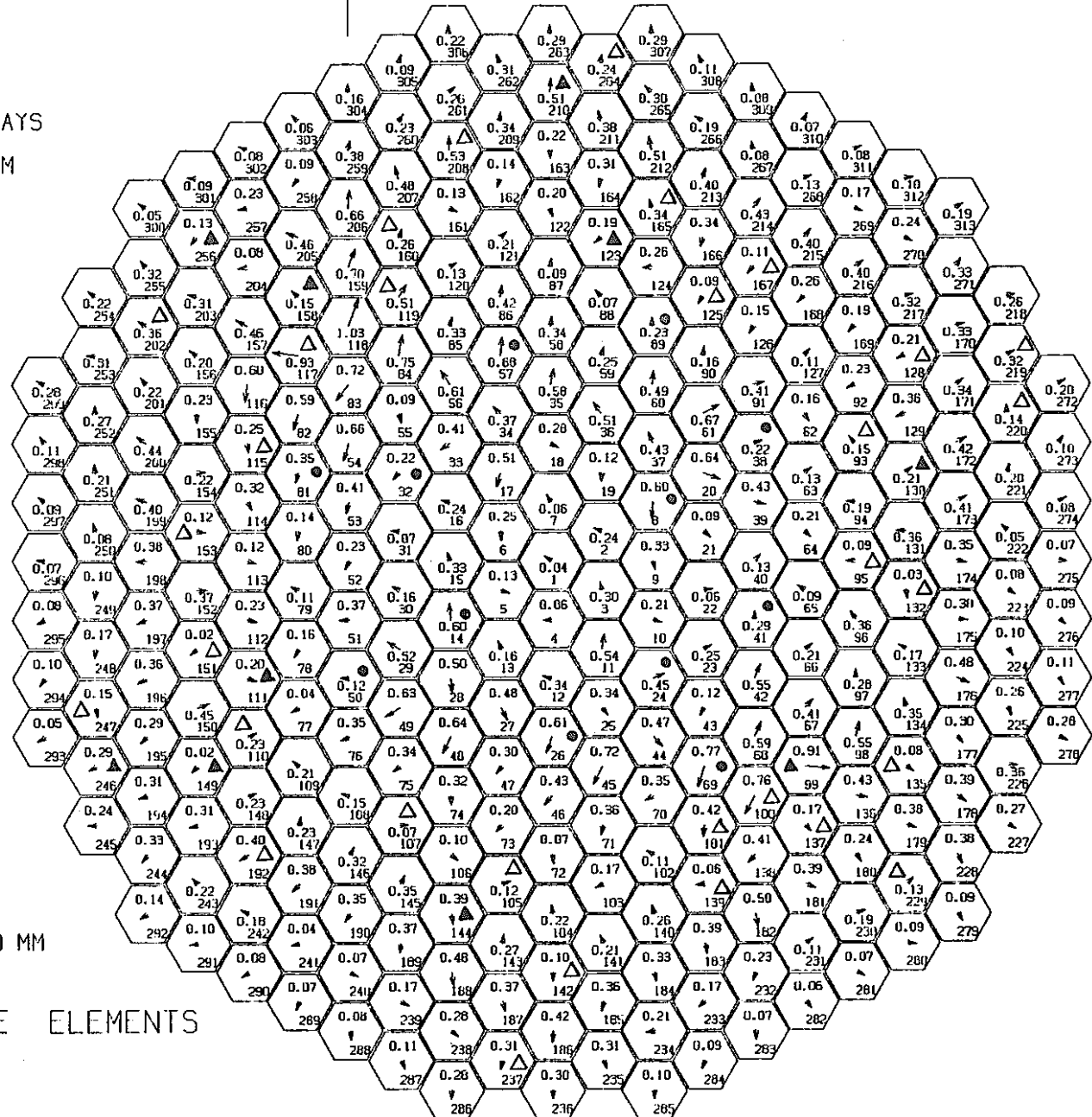
3.4.2-35

図 3. 4. 2 - 2 1 第 4 サイクル末期における頂部位置での変位

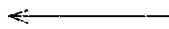
OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



3.4.2-36



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

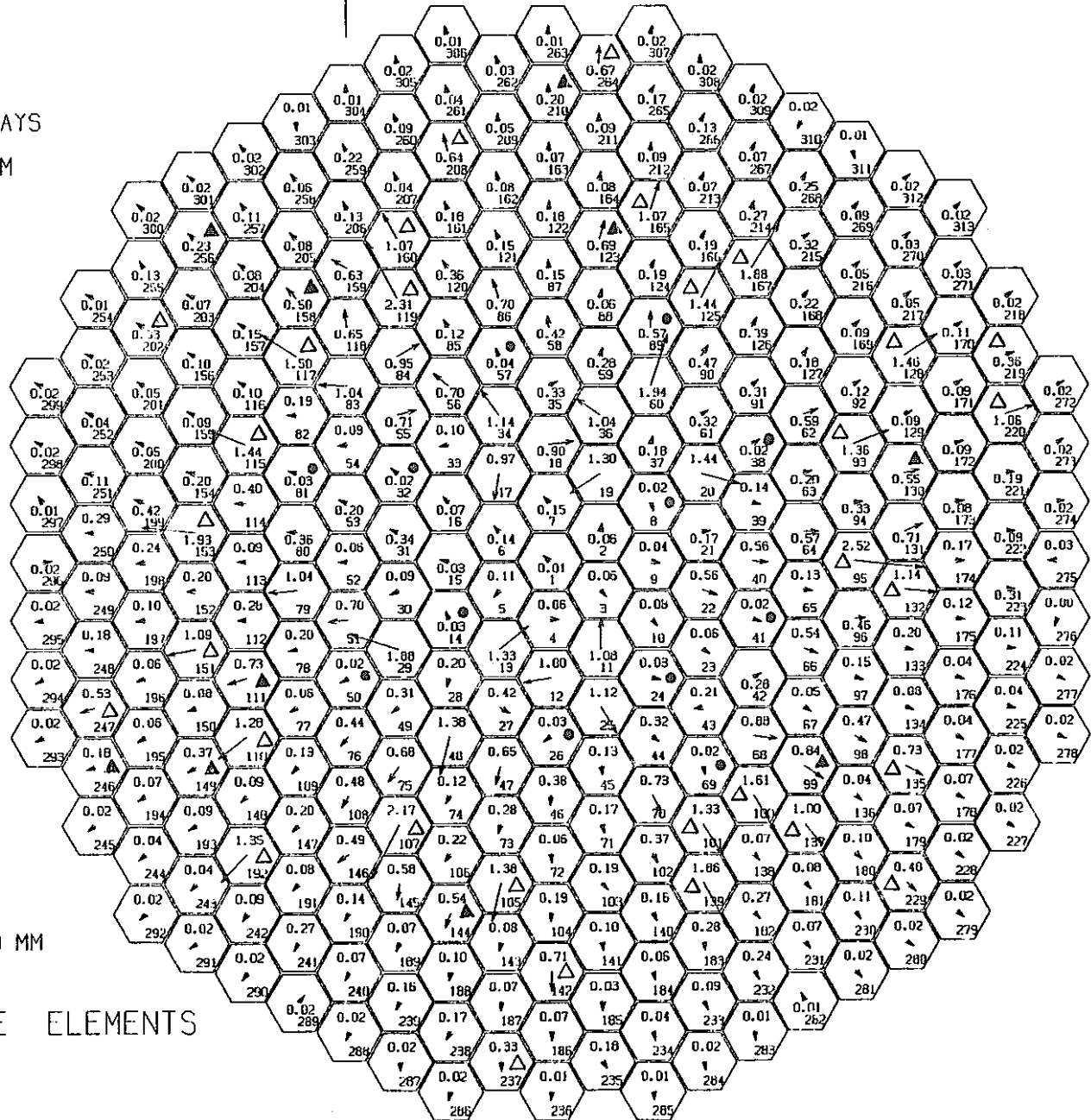
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 2 2 第 4 サイクル末期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-37



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

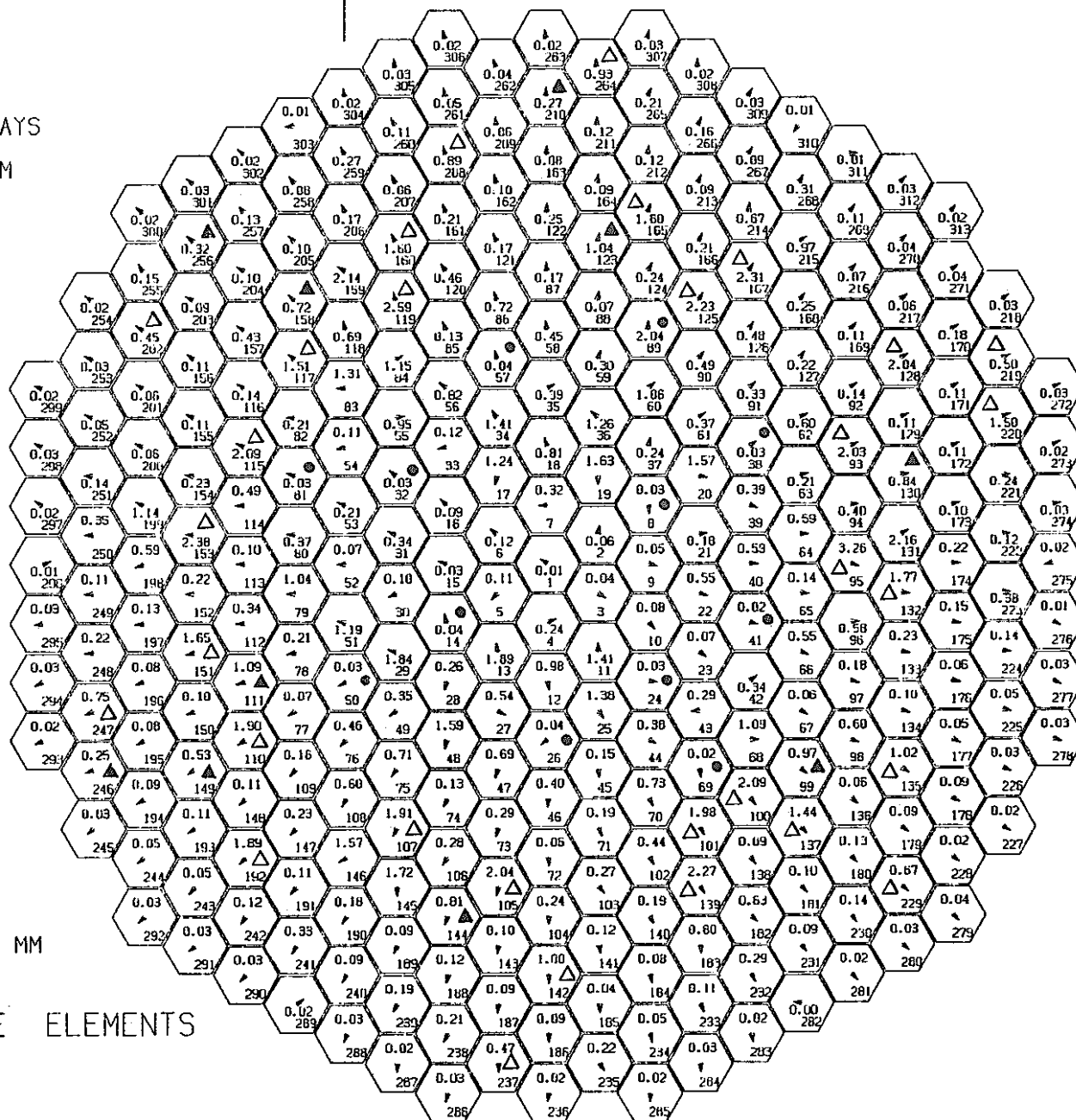
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 2 3 第 4 サイクル 末期 原子 炉 0 出 力 時 に お け る 頂 部 位 置 で の 変 位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



5 MM

DISPLACEMENT : 10** -01 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

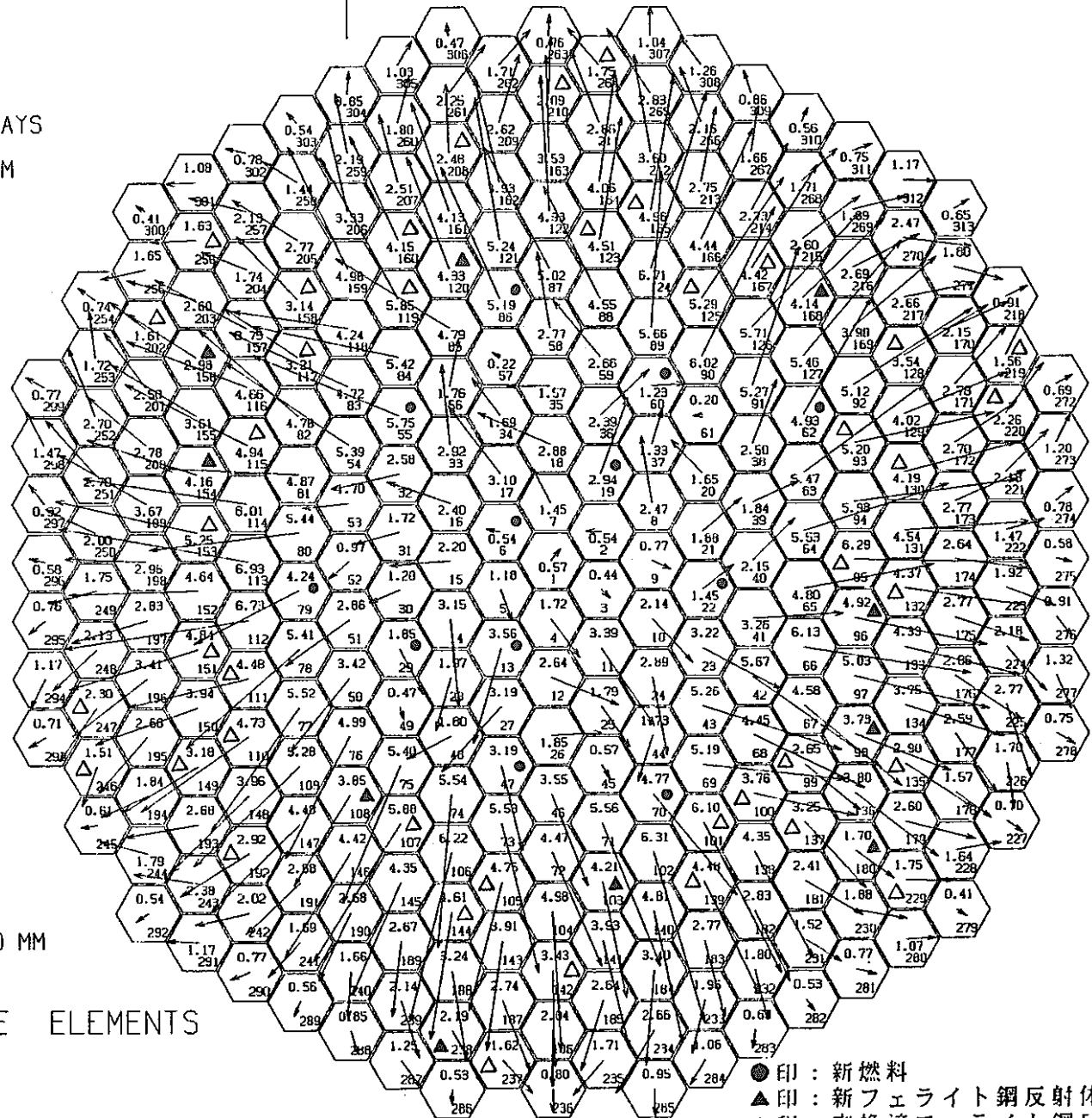
3.4.2-38

図 3. 4. 2 - 2 4 第 4 サイクル 末期 原子 炉 0 出力 時 に お け る 下 部 パ ッ ド 位 置 で の 変 位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : 10**+00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

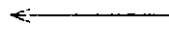
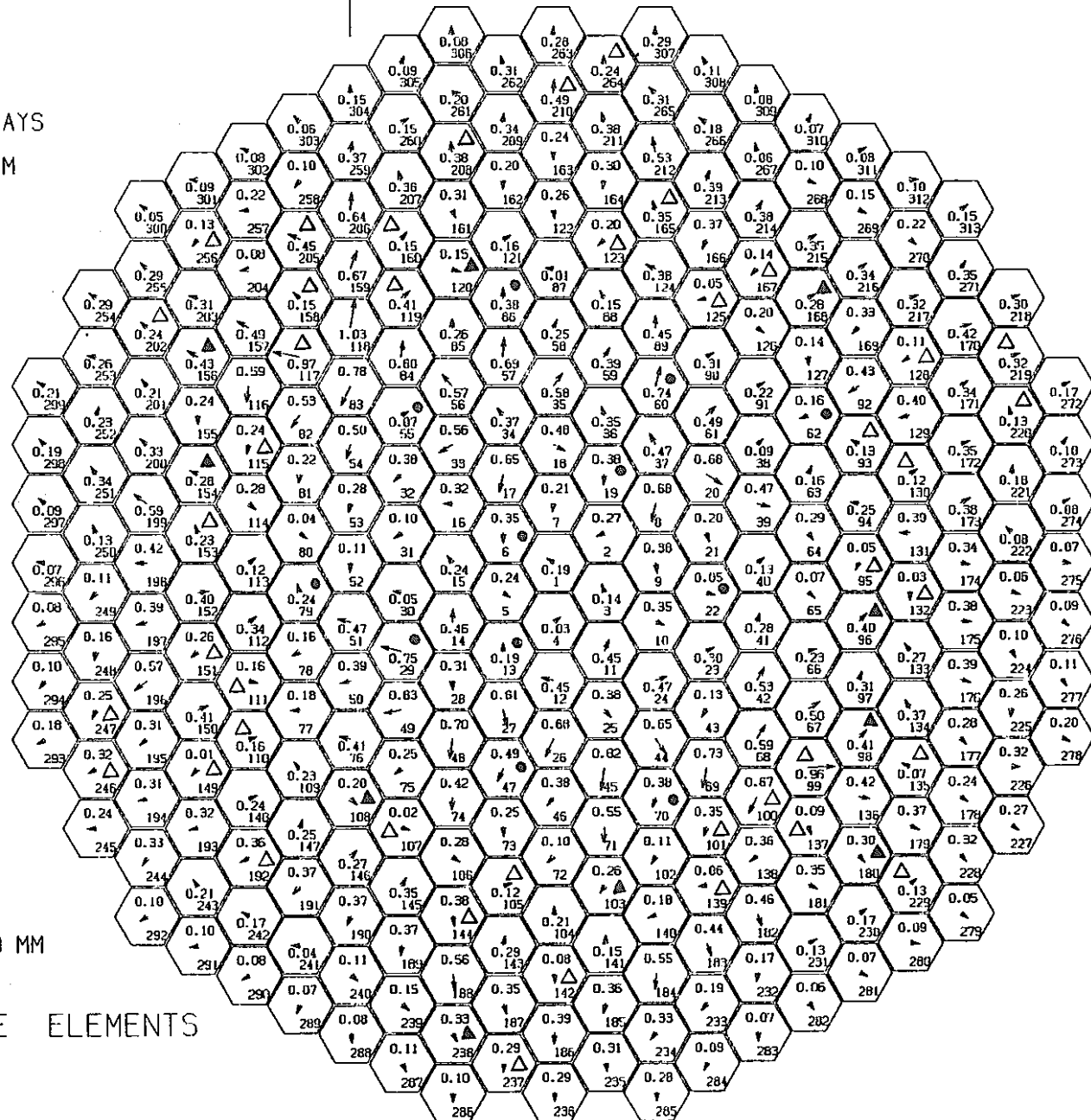
●印 : 新燃料
▲印 : 新フェライト鋼反射体
△印 : 交換済フェライト鋼反射体

図 3. 4. 2 - 25 第 5 サイクル初期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : $10 \times x + 00$ MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

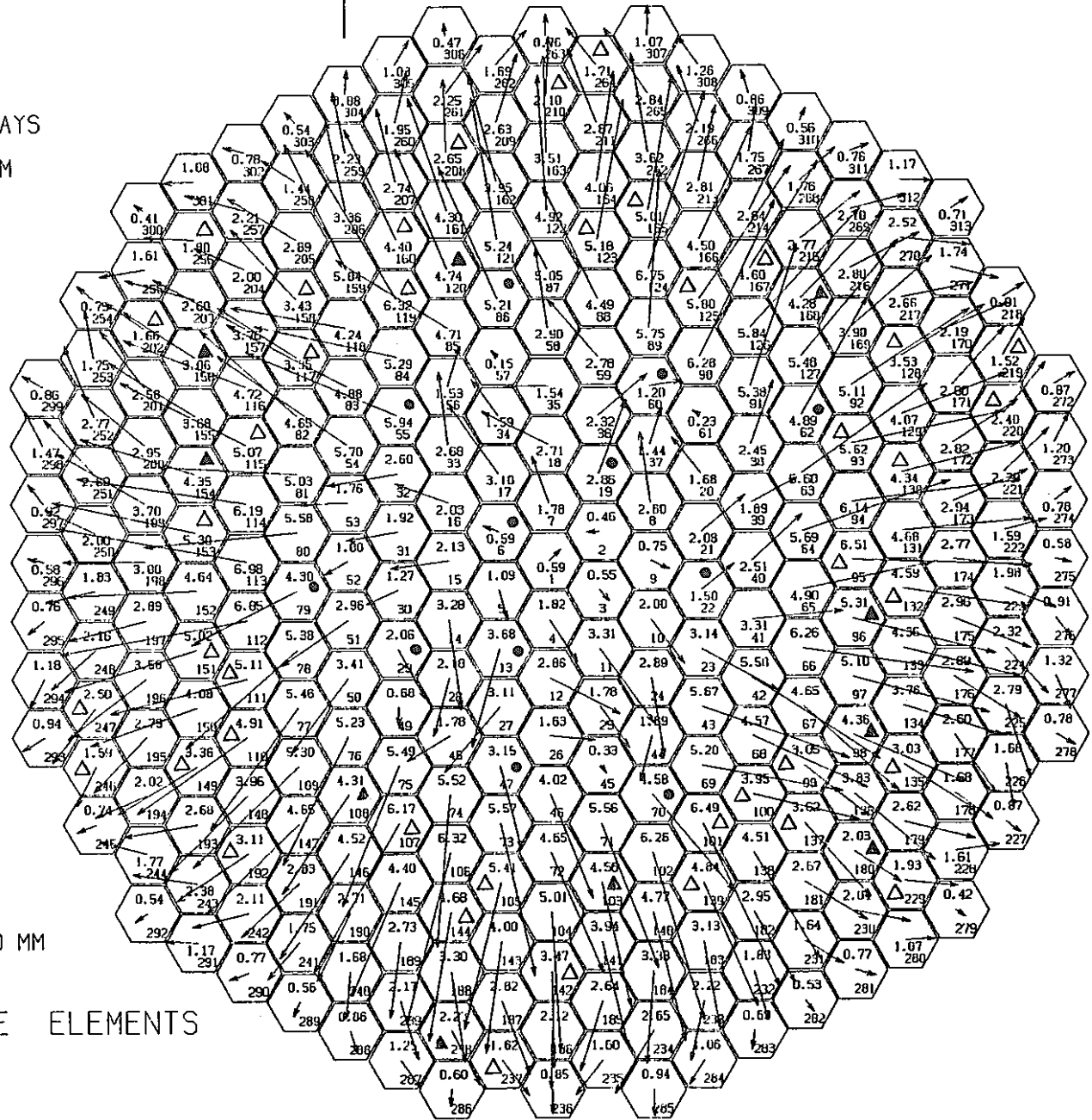
3.4.2-40

図 3. 4. 2 - 2 6 第 5 サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10**x +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

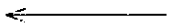
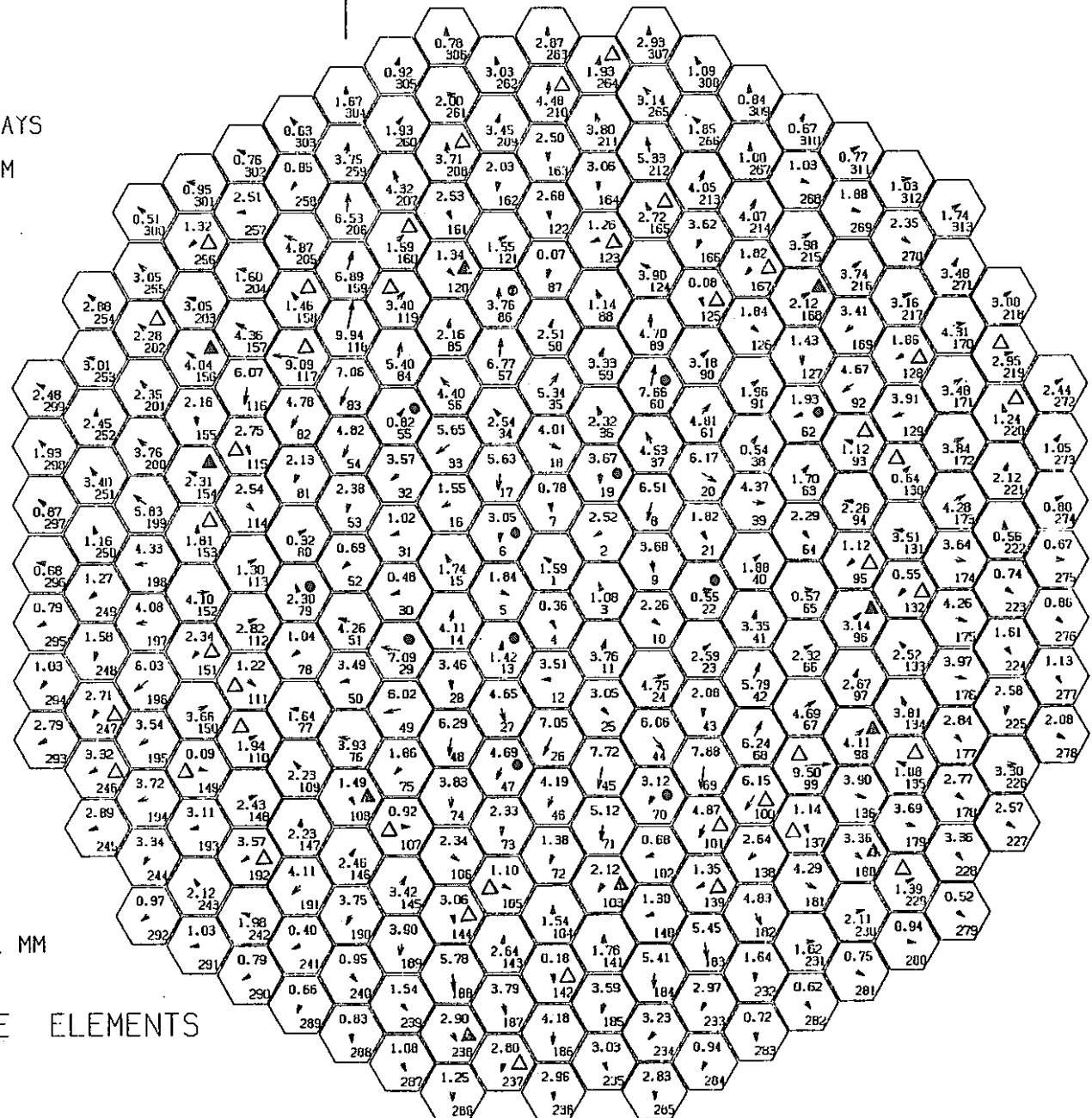
3.4.2-41

図 3. 4. 2-27 第5サイクル末期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



5 MM

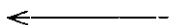
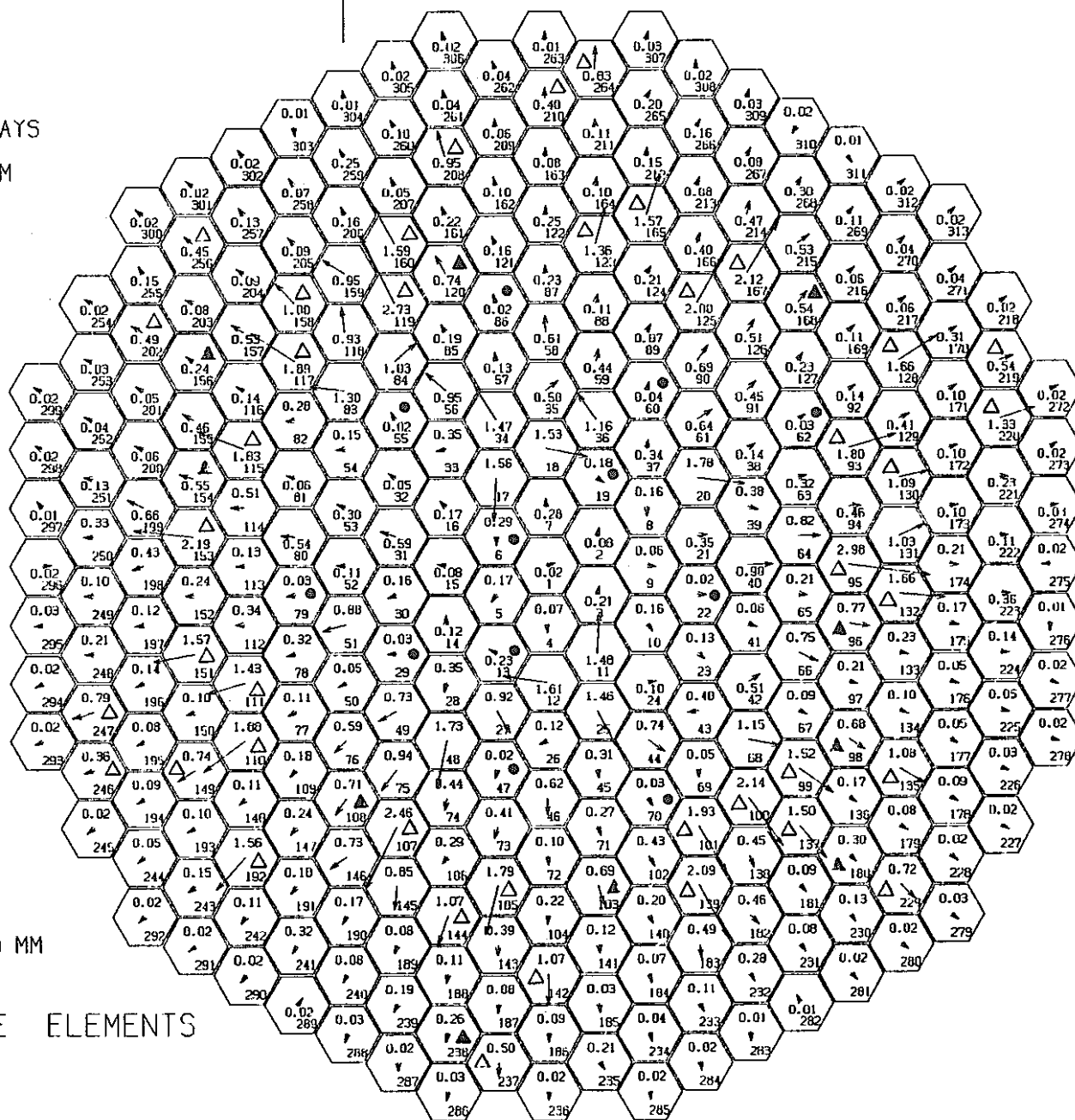
DISPLACEMENT : $10^{*} - 01$ MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

3.4.2-42

図 3. 4. 2 - 2 8 第 5 サイクル末期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM
 IPDN = 1



5 MM

DISPLACEMENT : 10**x +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

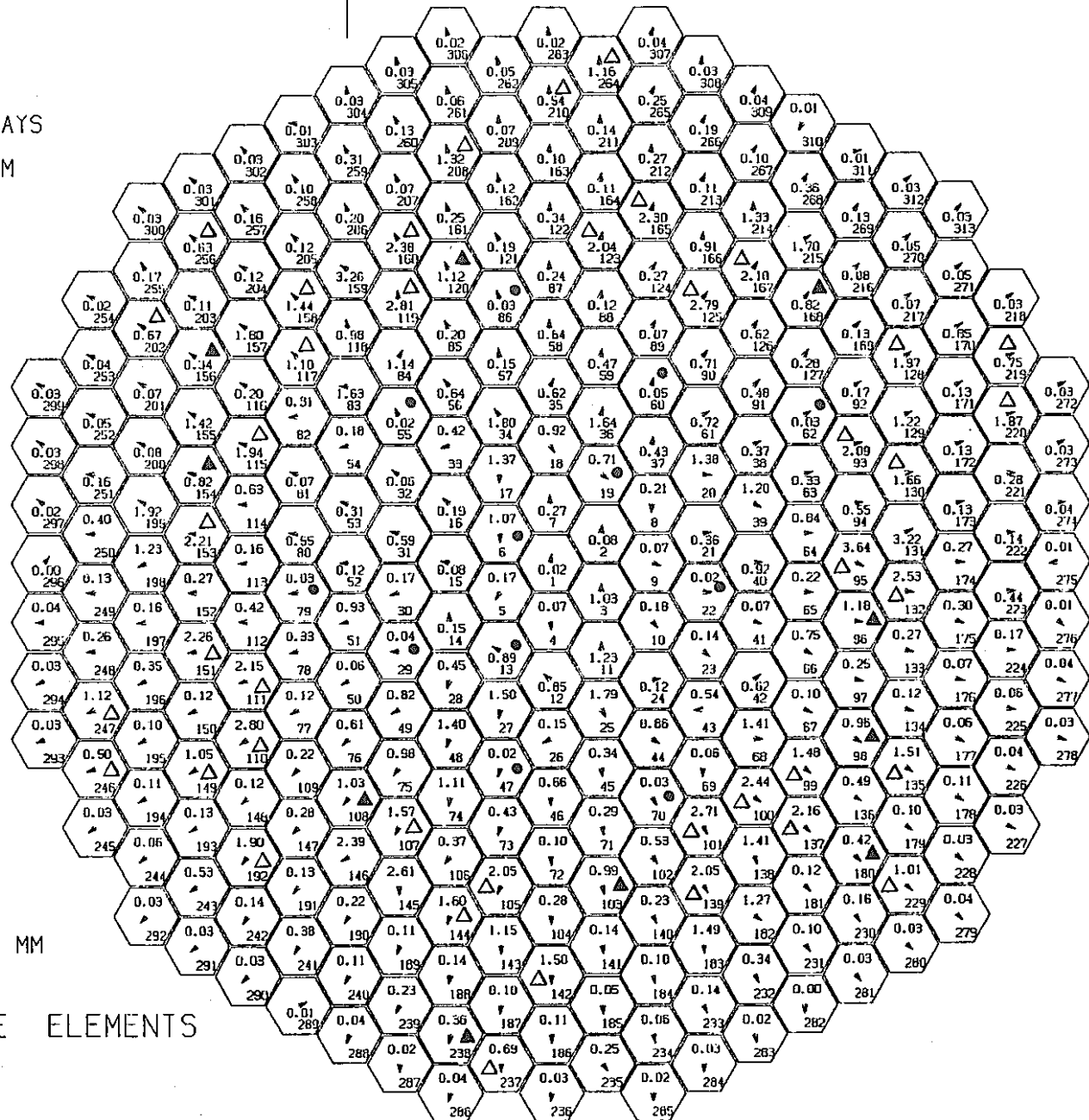
3.4.2-43

図 3. 4. 2 - 2 9 第 5 サイクル 末期 原子 炉 0 出 力 時 に お け る 頂 部 位 置 で の 変 位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-44

5 MM

DISPLACEMENT : 10** -01 MM

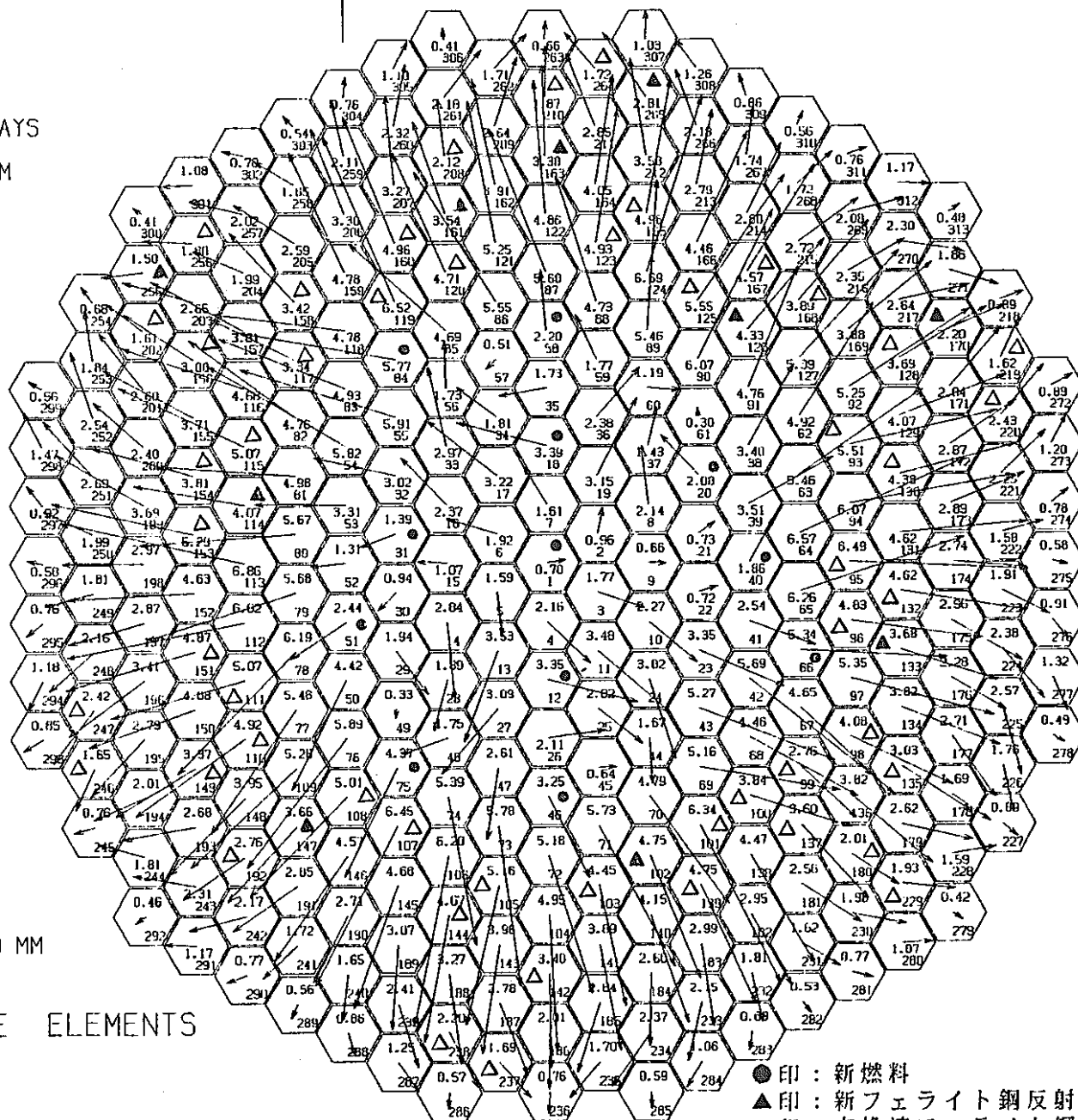
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 3 0 第 5 サイクル末期原子炉 0 出力時における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPUP = 2



5 MM

DISPLACEMENT : 10 \times \times +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

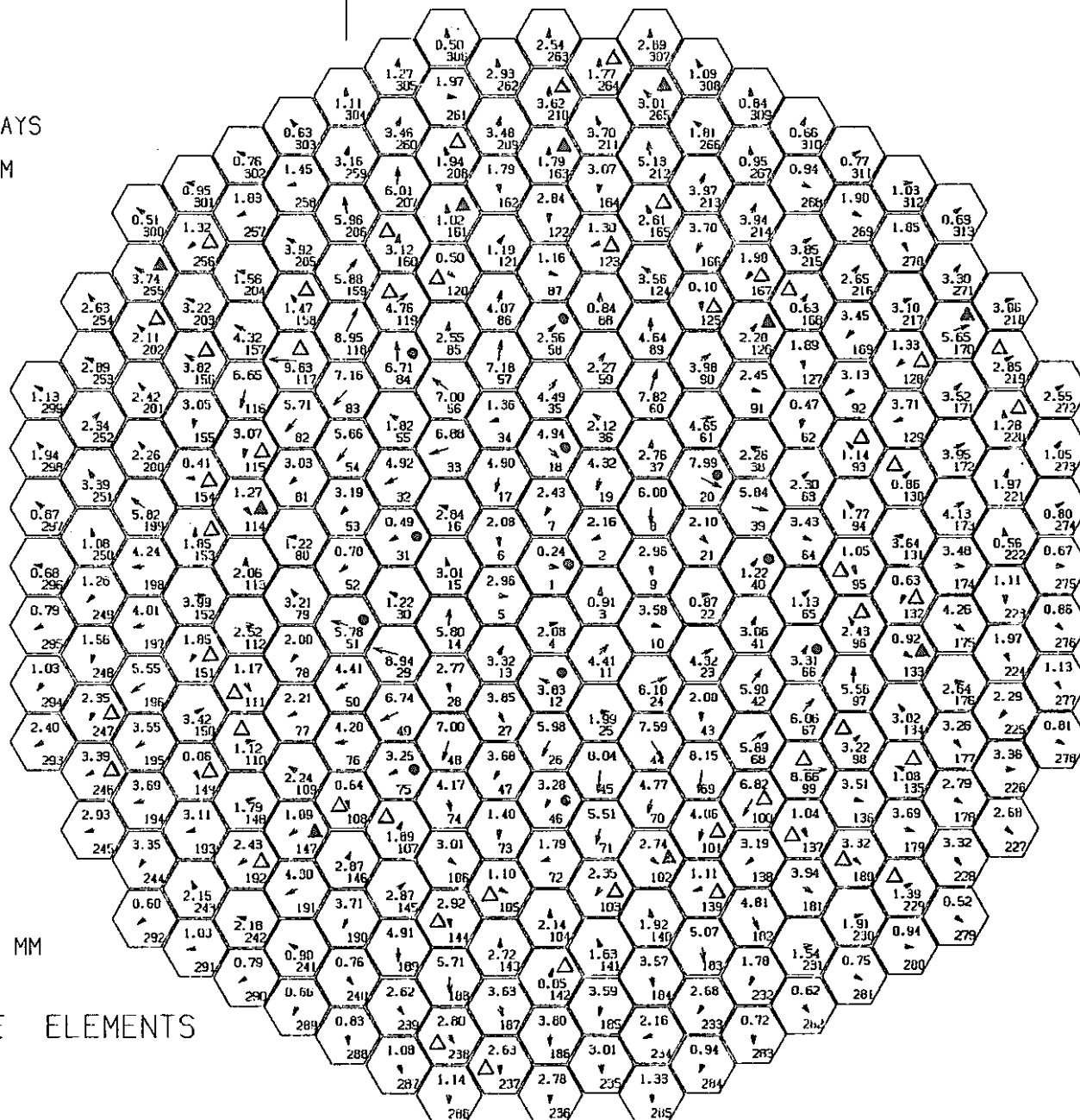
●印 : 新燃料
▲印 : 新フェライト鋼反射体
△印 : 交換済フェライト鋼反射体

図 3. 4. 2 - 3 1 第 6 サイクル初期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPUP = 2



3.4.2-46



5 MM

DISPLACEMENT : 10^{-1} MM

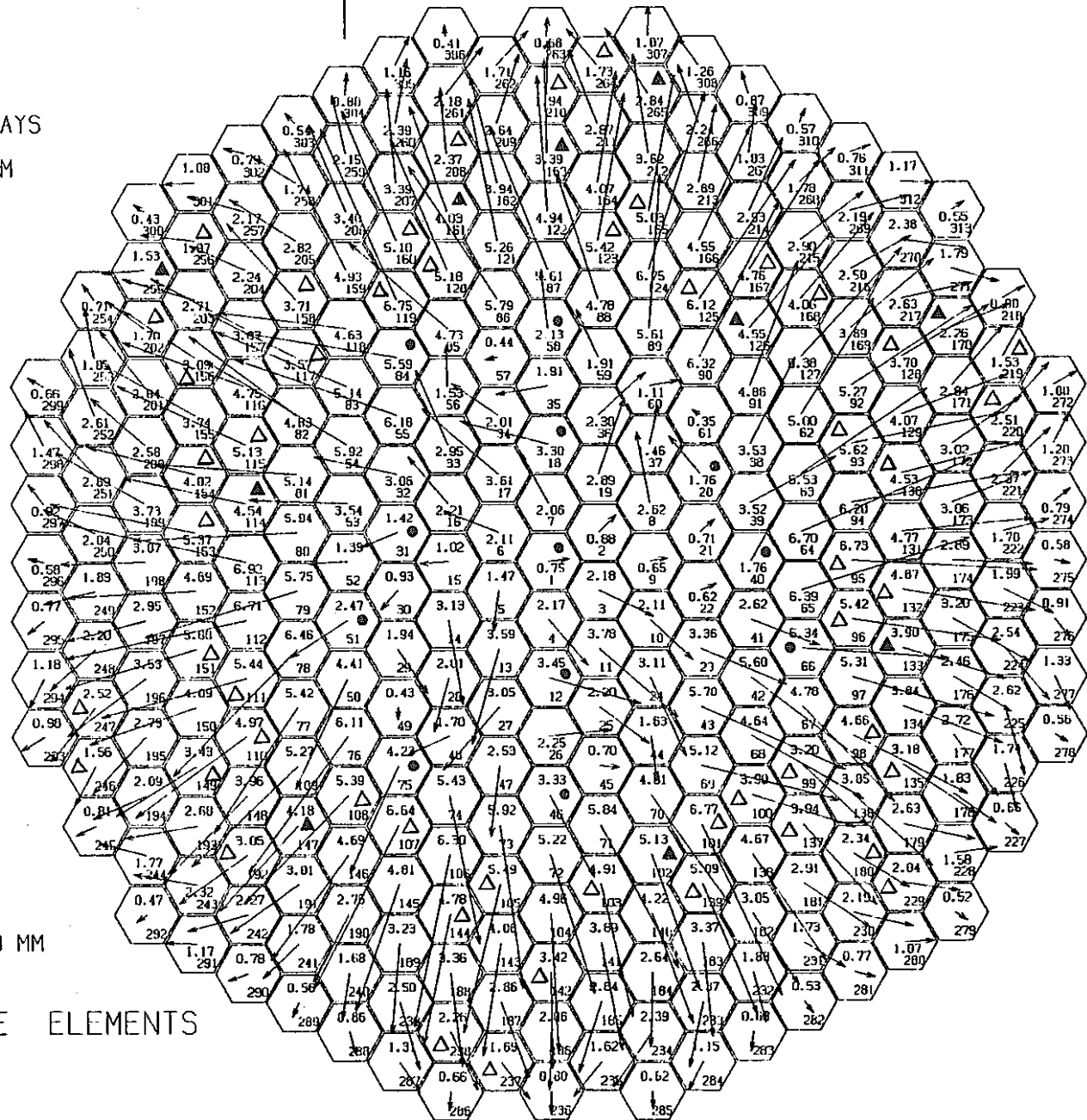
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 3 2 第 6 サイクル初期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

ITIME = 6



5 MM

DISPLACEMENT : 10xx +00 MM

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

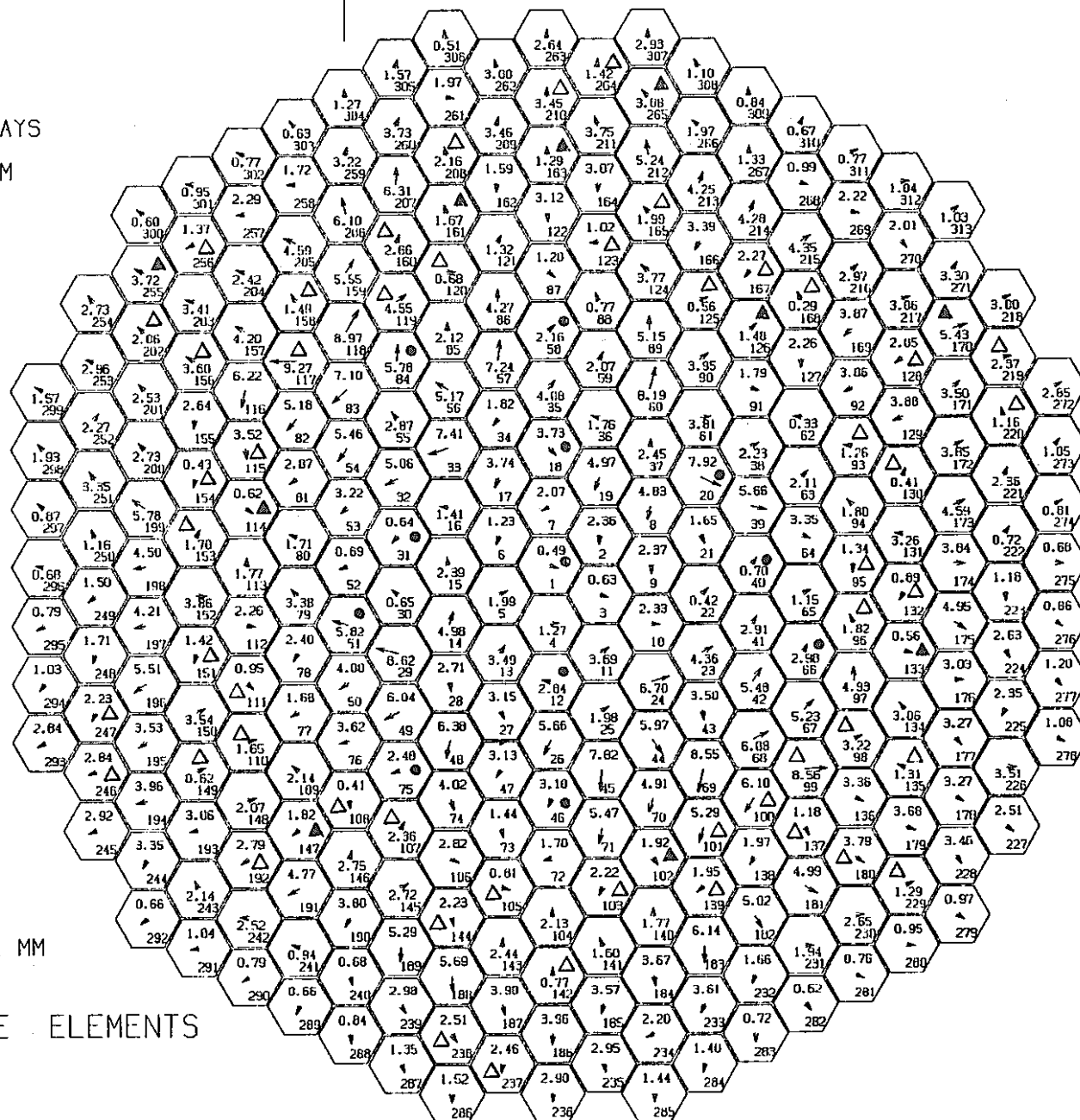
3.4.2-47

図 3. 4. 2 - 33 第 6 サイクル末期における頂部位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

ITIME = 6



3.4.2-48



5 MM

DISPLACEMENT : 10×× -01 MM

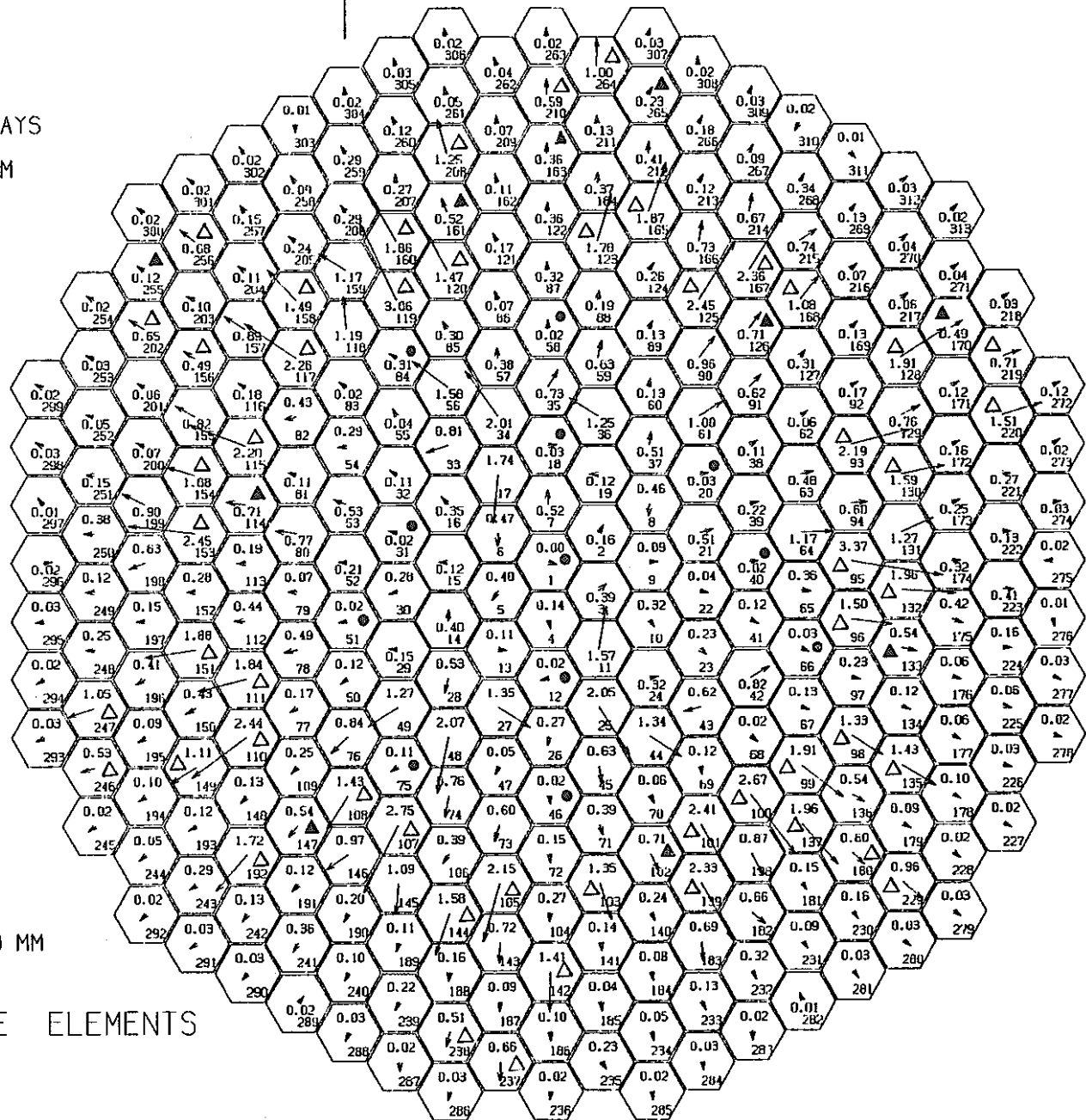
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 3 4 第 6 サイクル末期における下部パッド位置での変位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2440.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-49

5 MM

DISPLACEMENT : 10** +00 MM

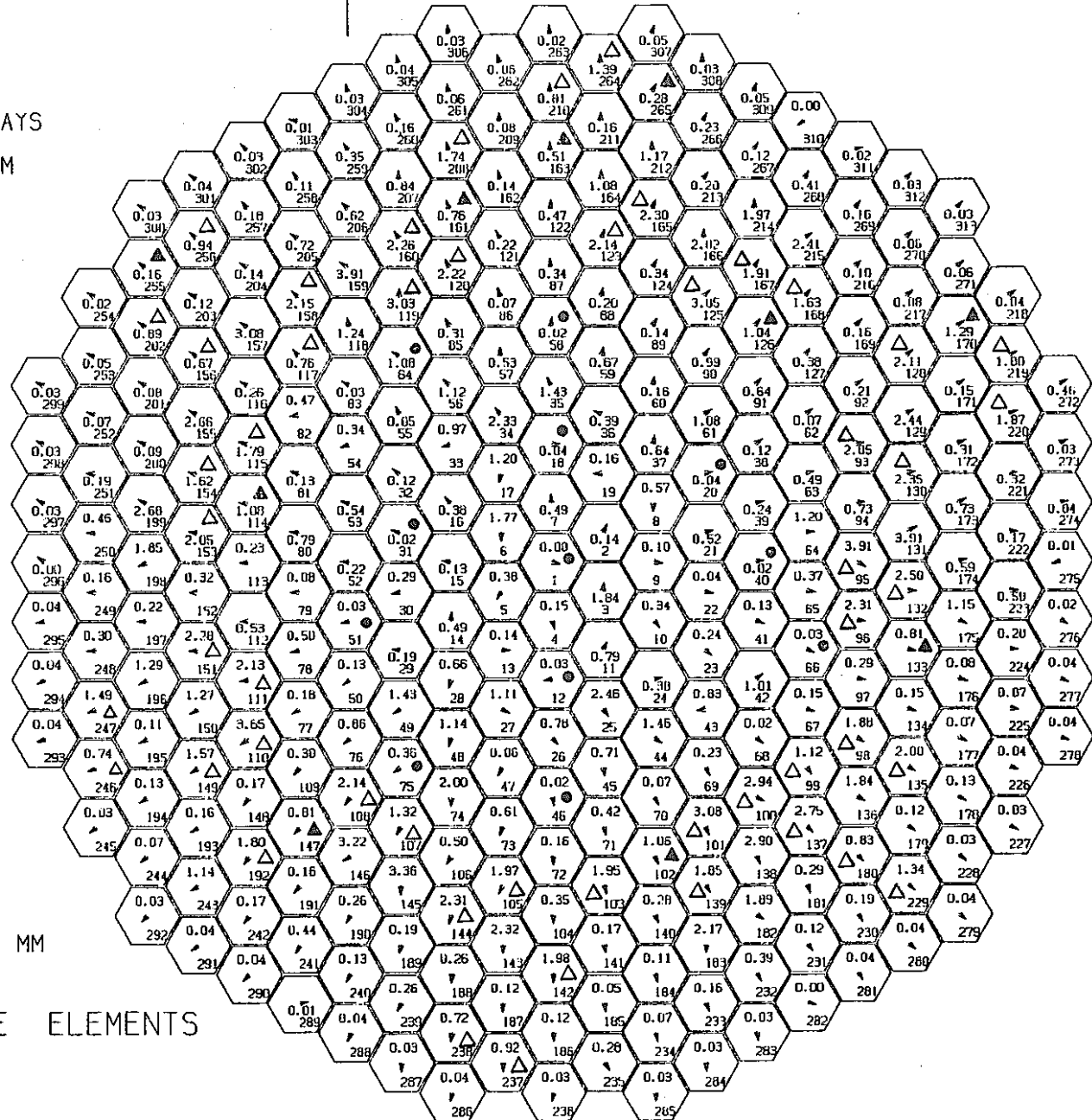
DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 3 5 第 6 サイクル 末期 原子 炉 の 出 力 時 に お け る 頂 部 位 置 で の 変 位

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM

IPDN = 1



3.4.2-50

DISPLACEMENTS OF CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 3 6 第 6 サイクル末期原子炉の出力時における下部パッド位置での変位

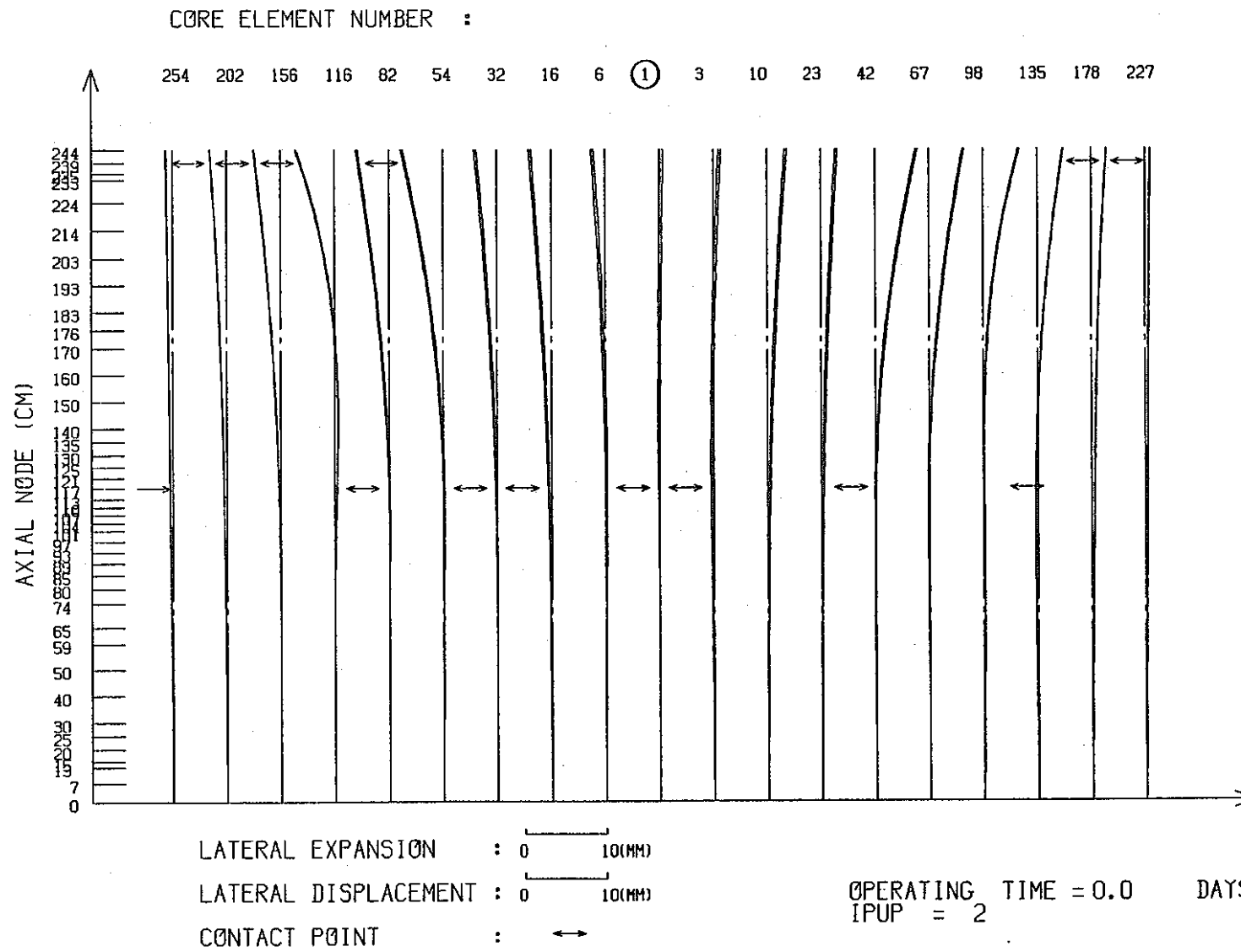


図 3 . 4 . 2 - 3 7 第 1 サイクル 初期 における 列 方向 変位

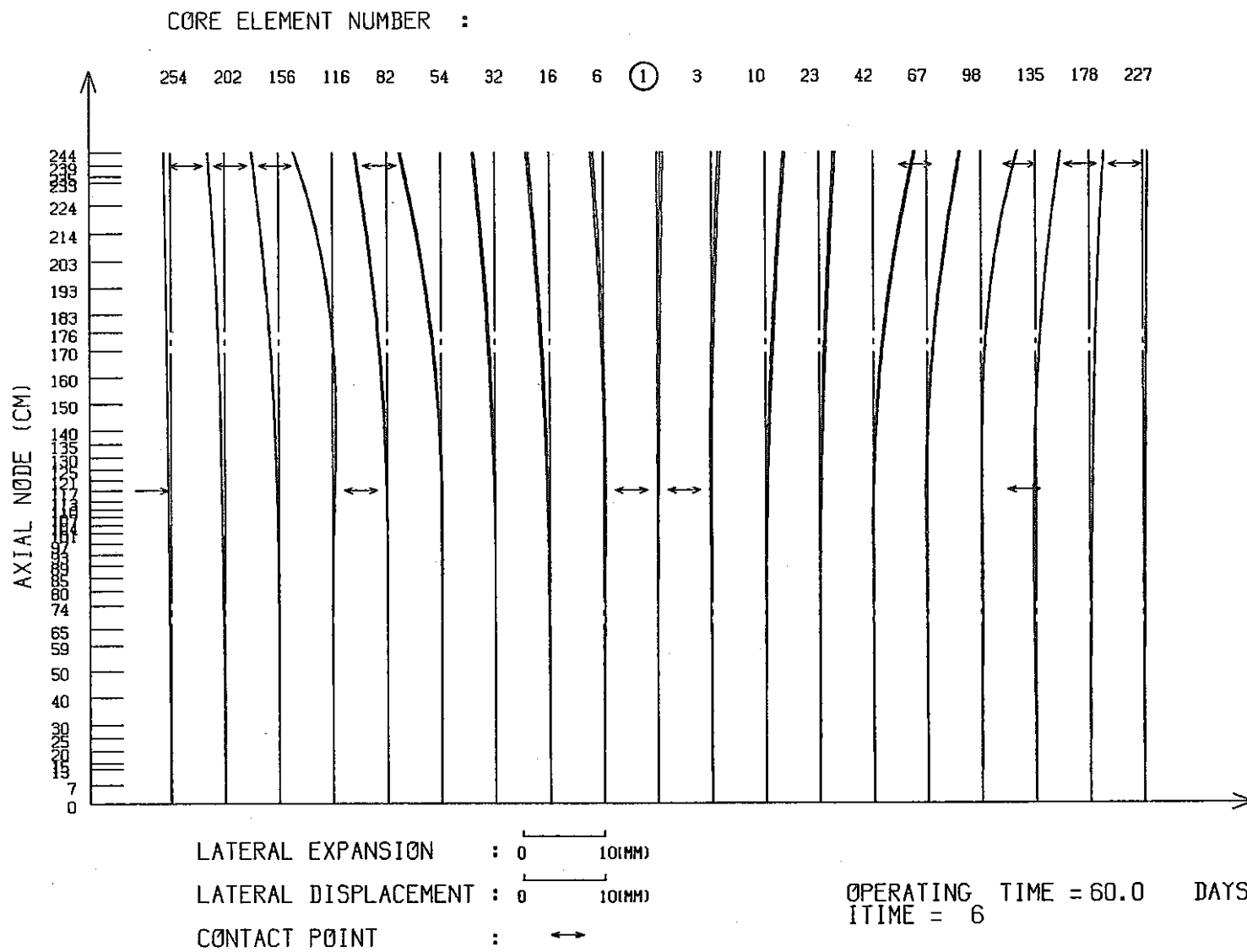


図 3 . 4 . 2 - 3 8 第 1 サイクル末期における列方向変位

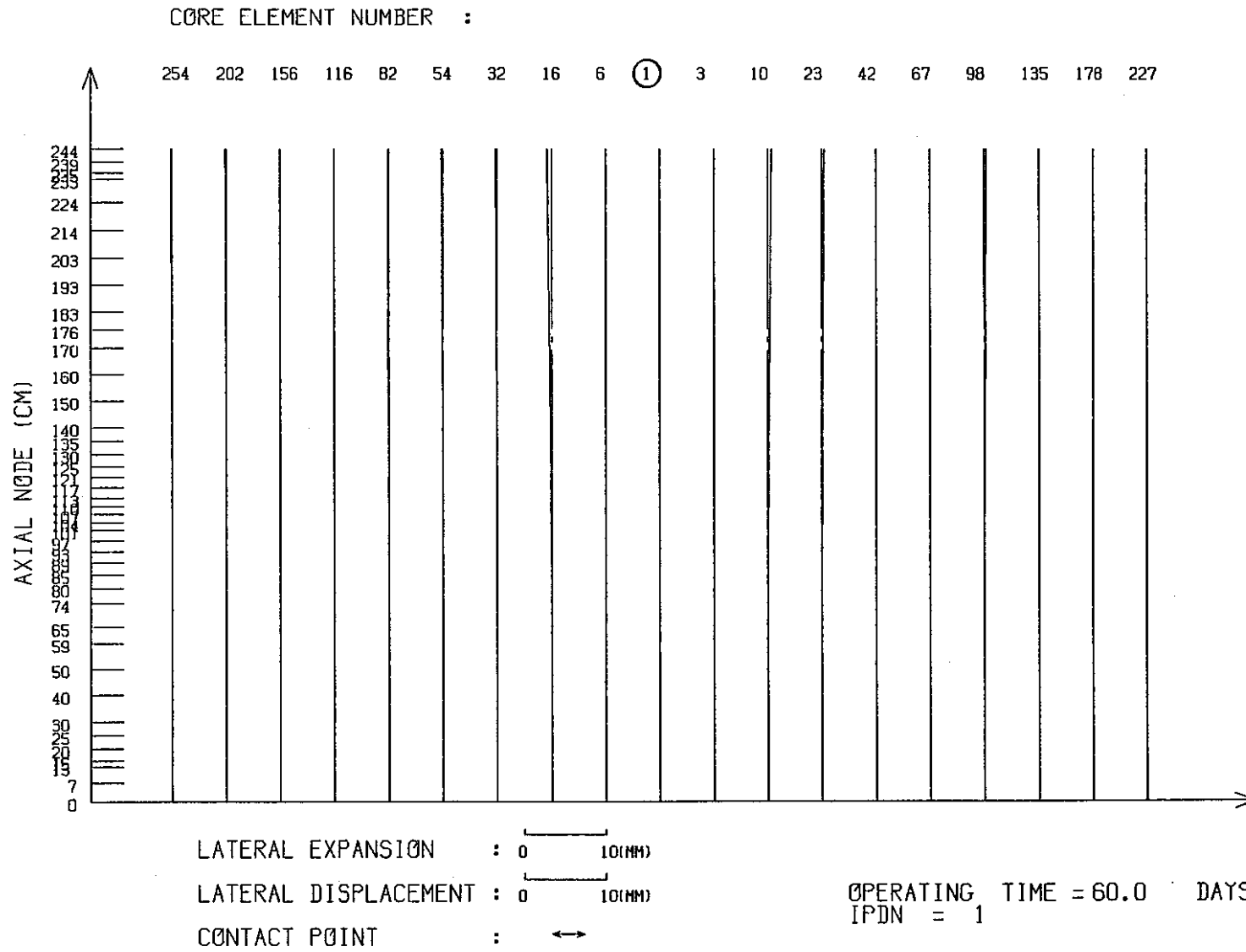
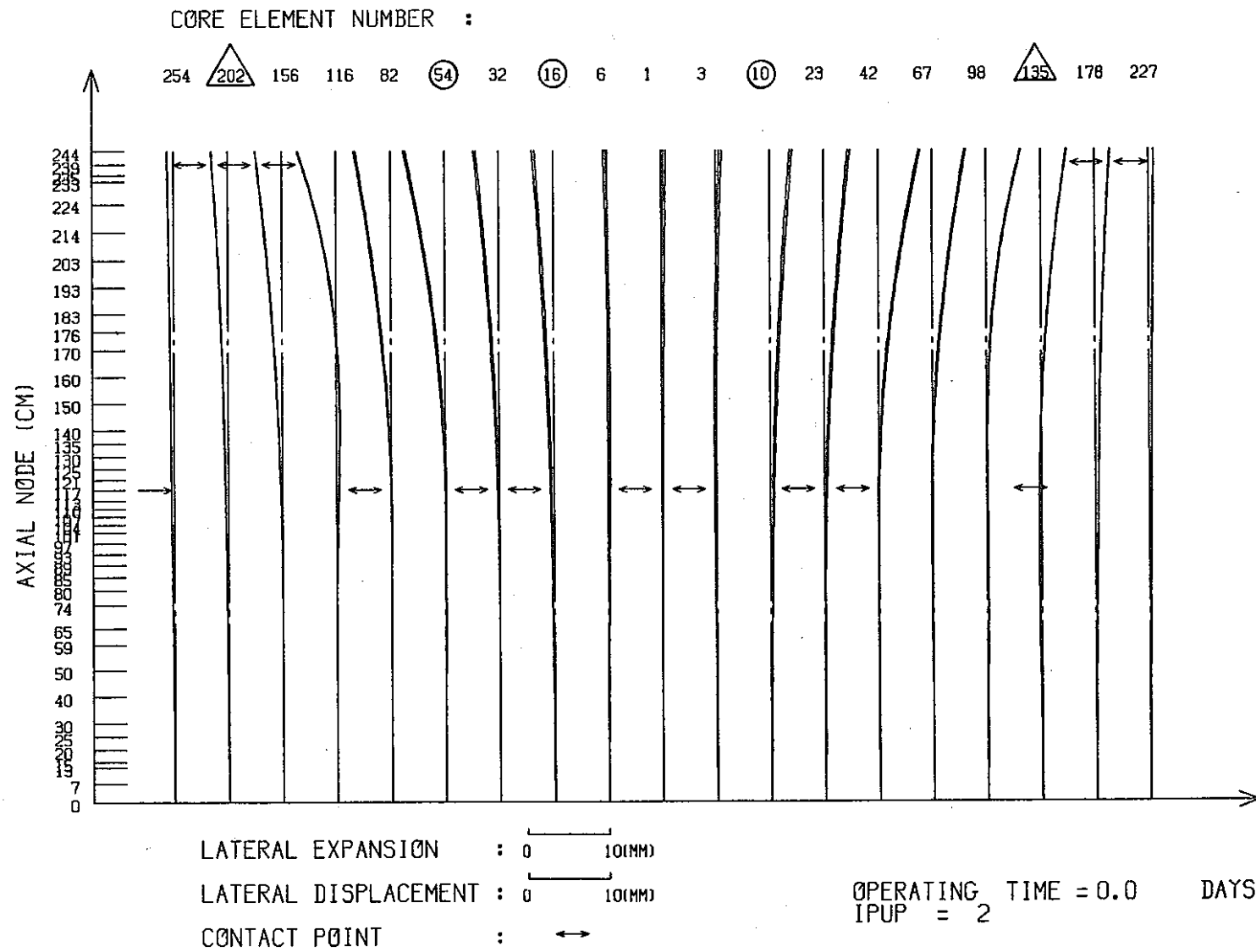


図 3. 4. 2 - 3 9 第 1 サイクル末期原子炉の出力時における列方向変位



○印：新燃料
△印：新反射体

図 3. 4. 2 - 4 0 第 2 サイクル初期における列方向変位

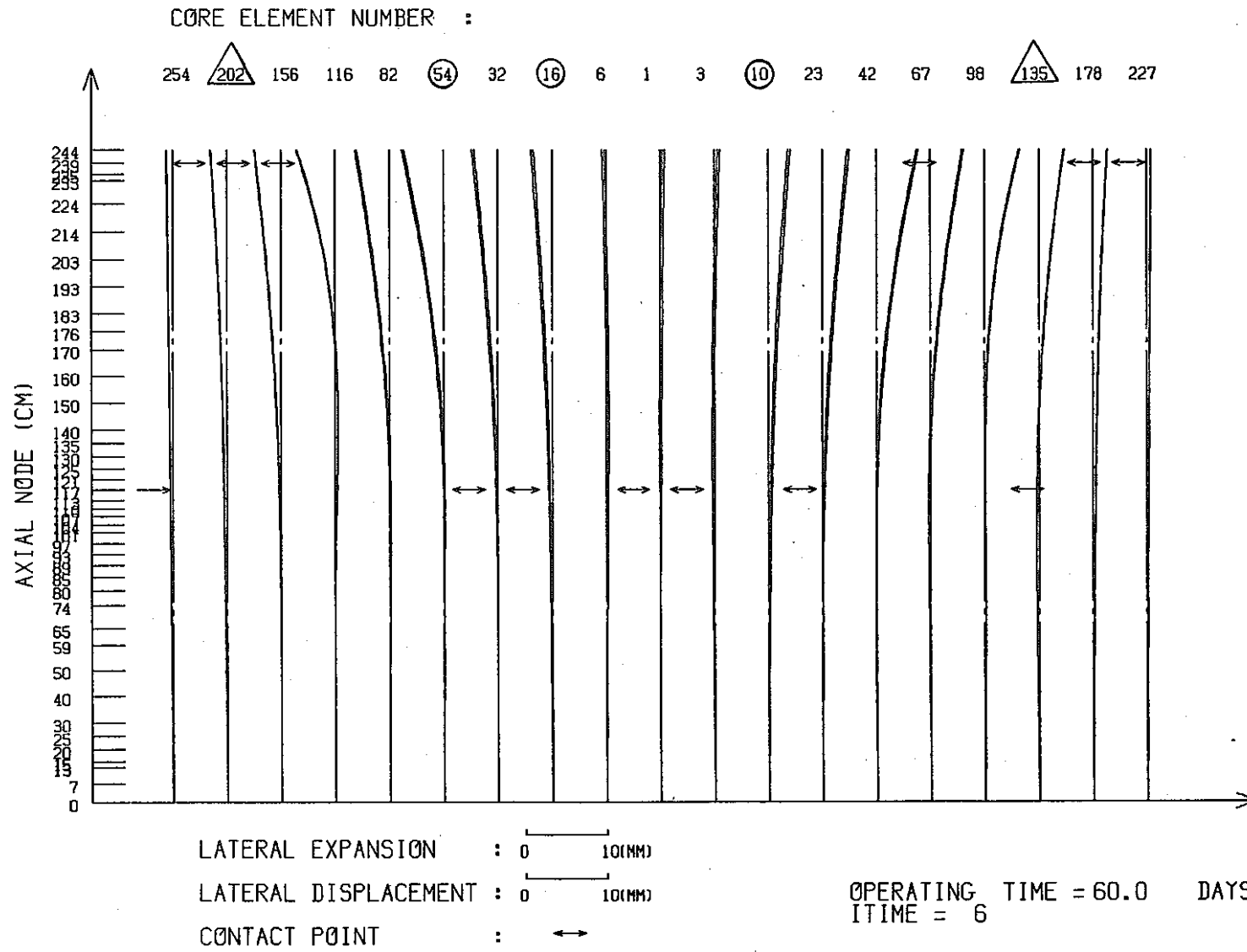


図 3. 4. 2 - 4 1 第 2 サイクル末期における列方向変位

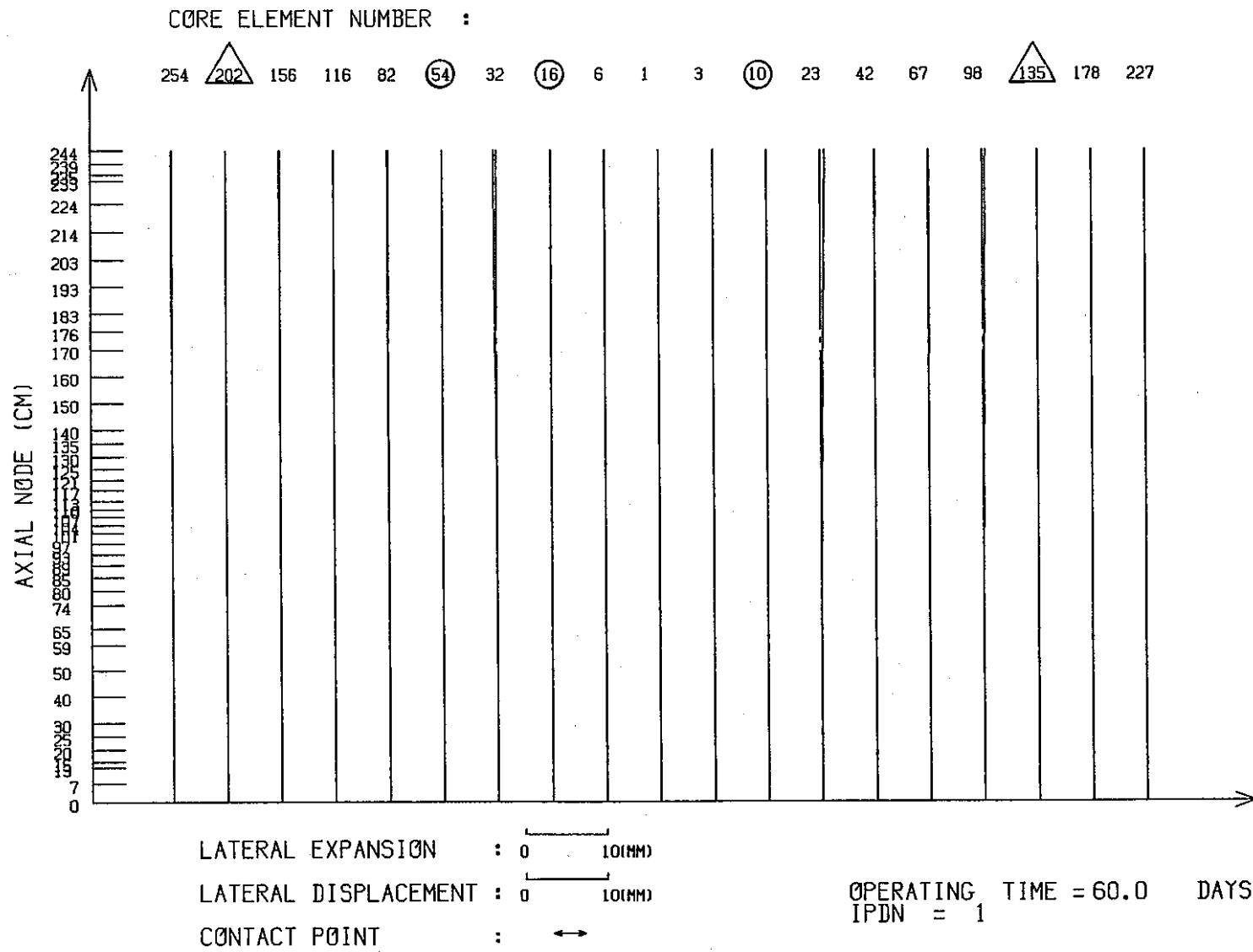
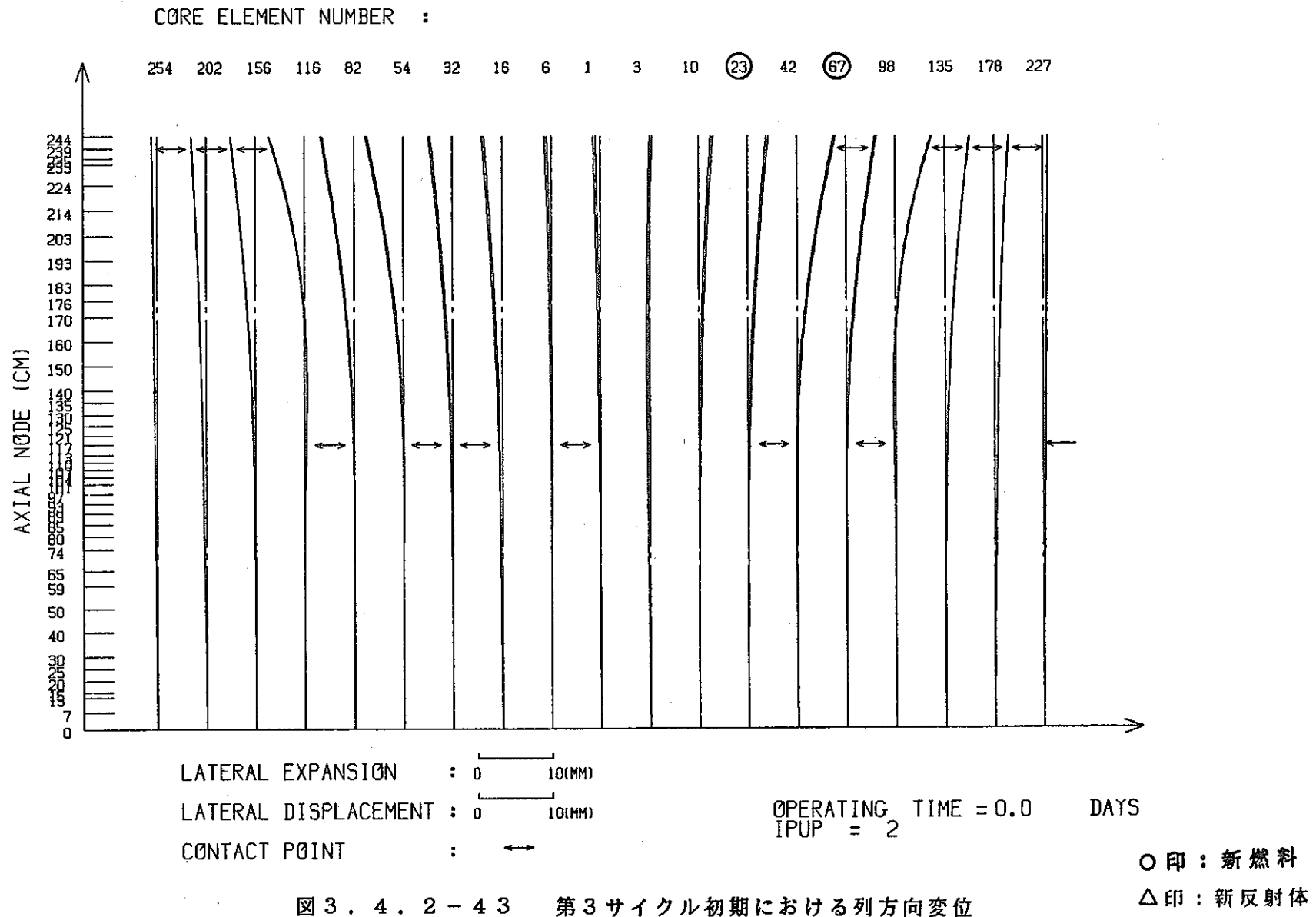


図 3.4.2-42 第2サイクル末期原子炉出力時における列方向変位



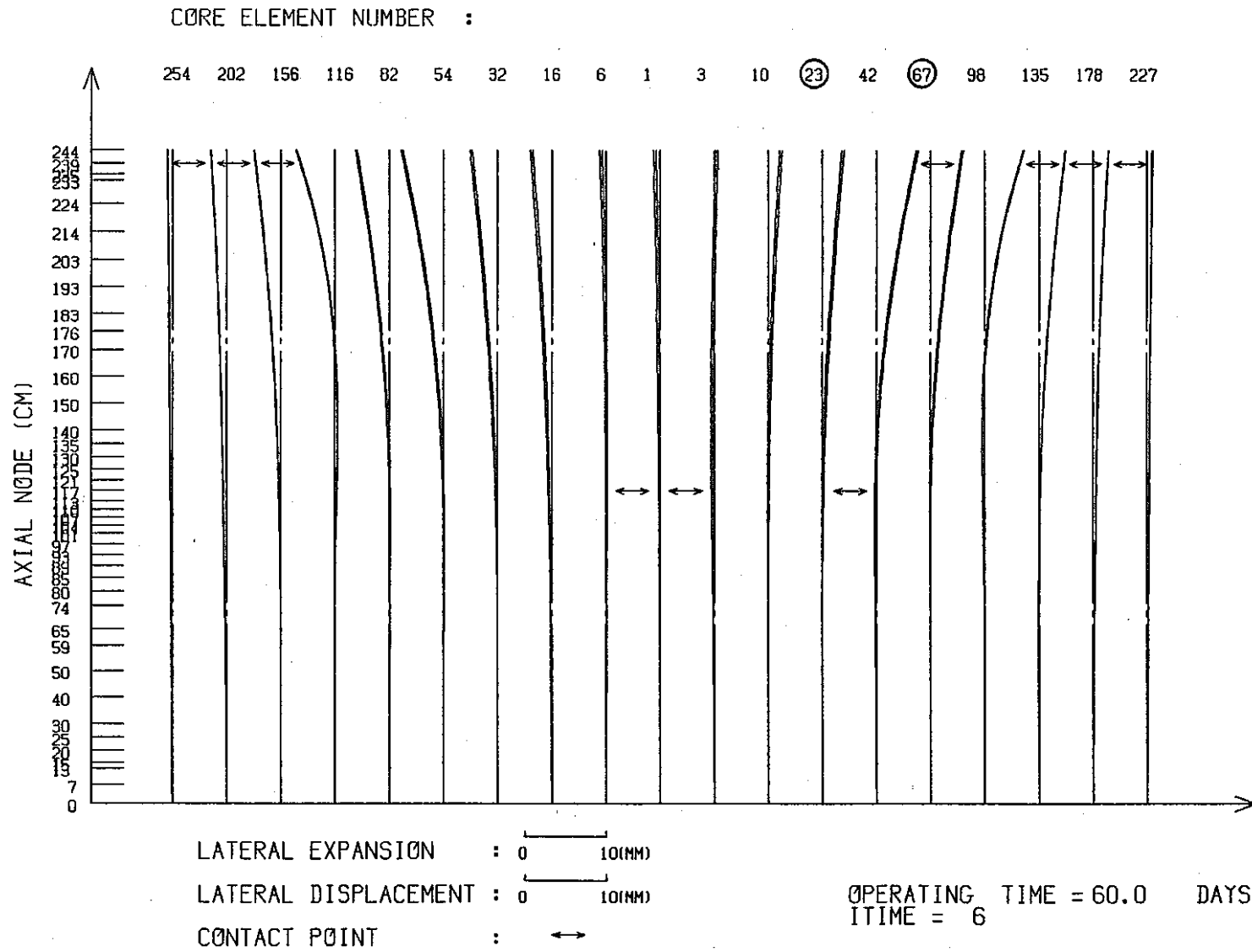


図 3 . 4 . 2 - 4 4 第 3 サイクル末期における列方向変位

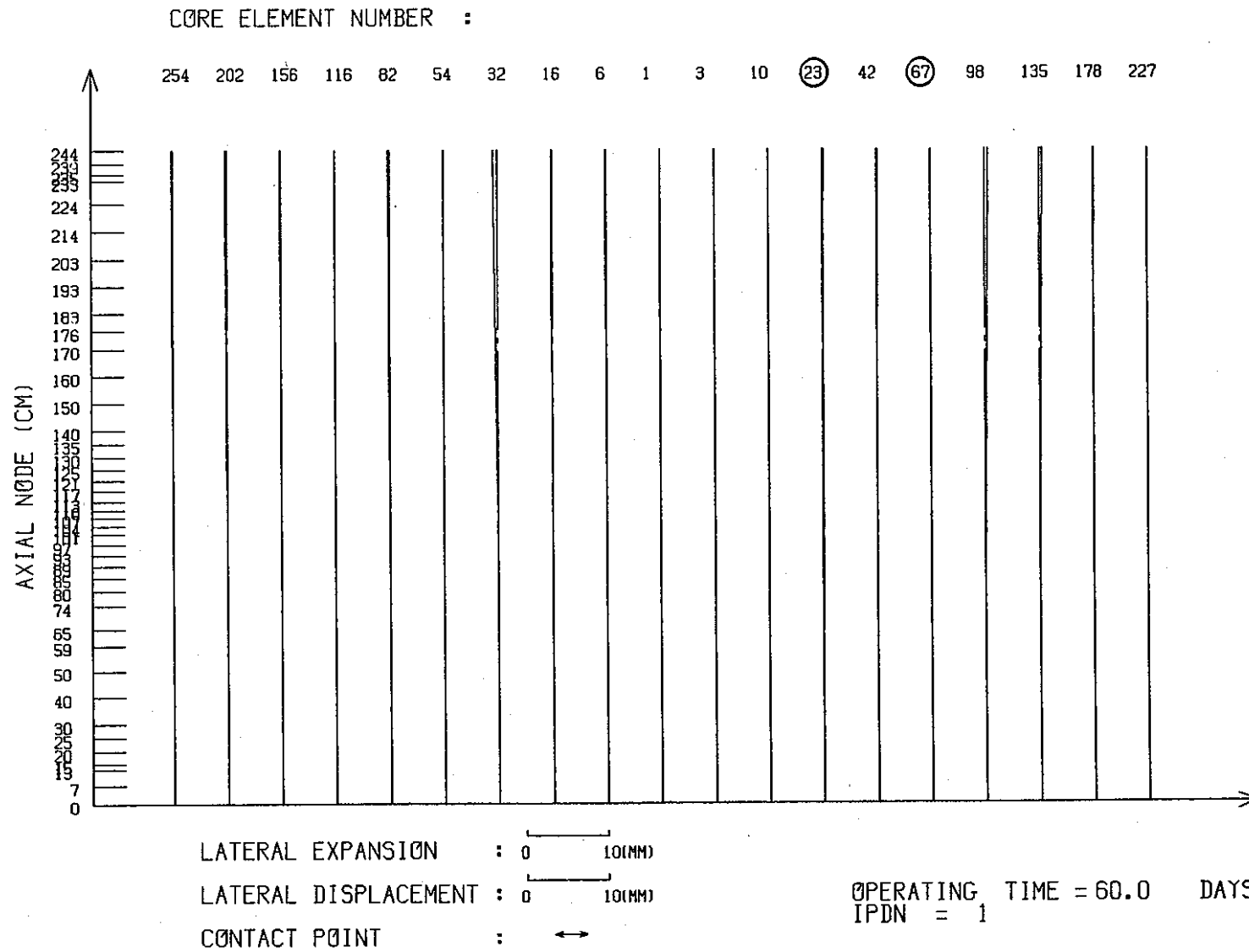


図 3 . 4 . 2 - 4 5 第 3 サイクル末期原子炉 0 出力時における列方向変位

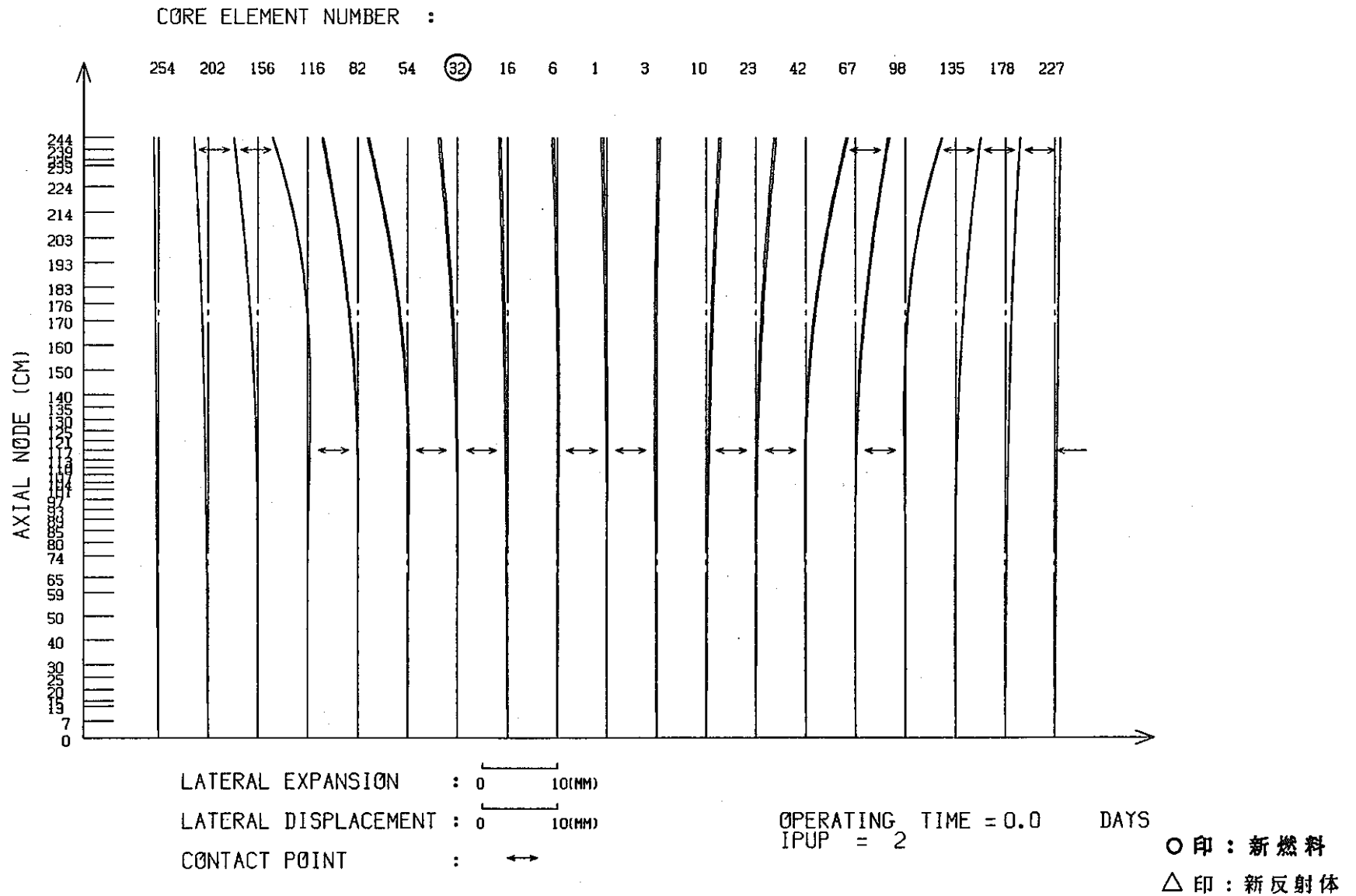


図 3 . 4 . 2 - 4 6 第 4 サイクル初期における列方向変位

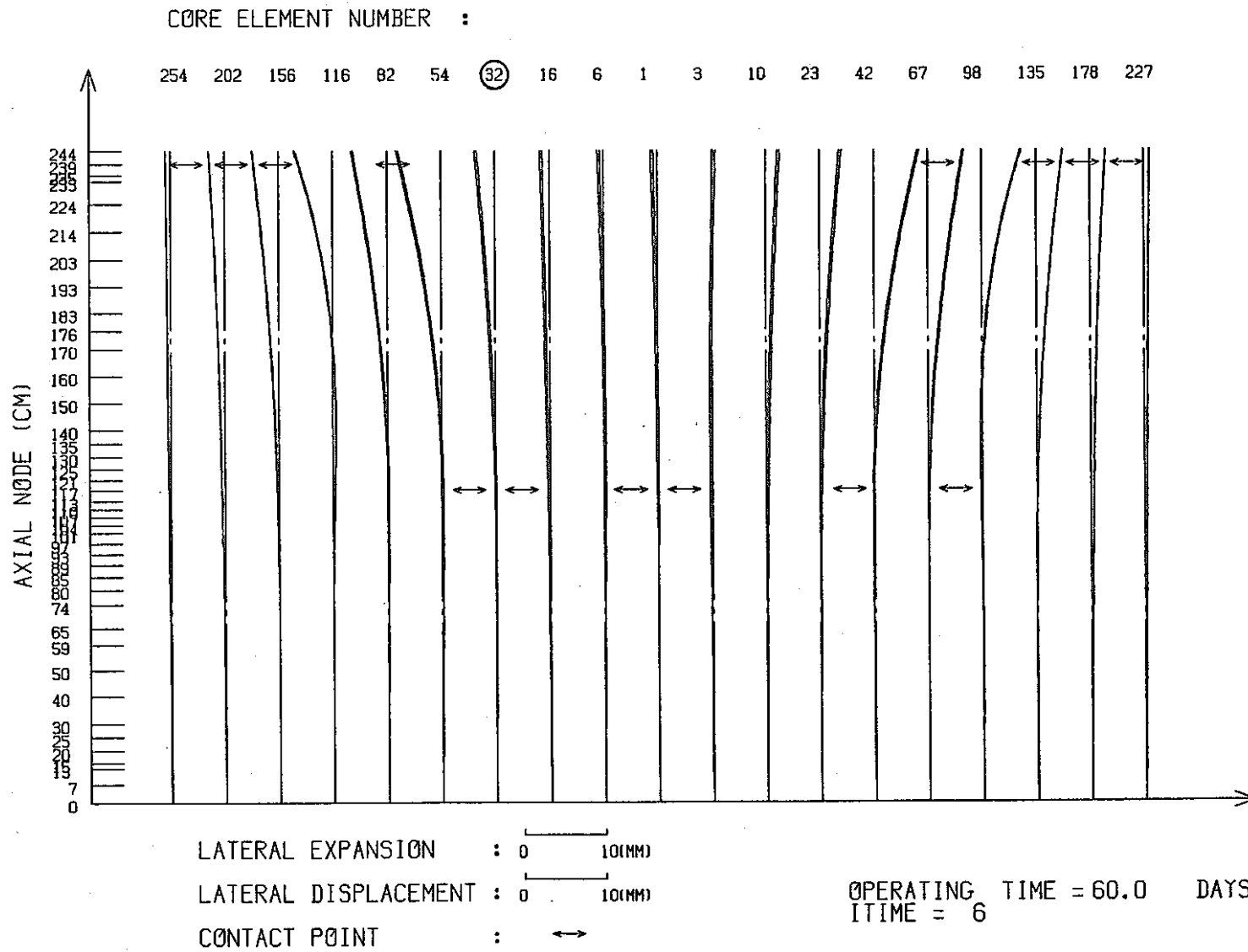


図 3. 4. 2 - 4 7 第 4 サイクル末期における列方向変位

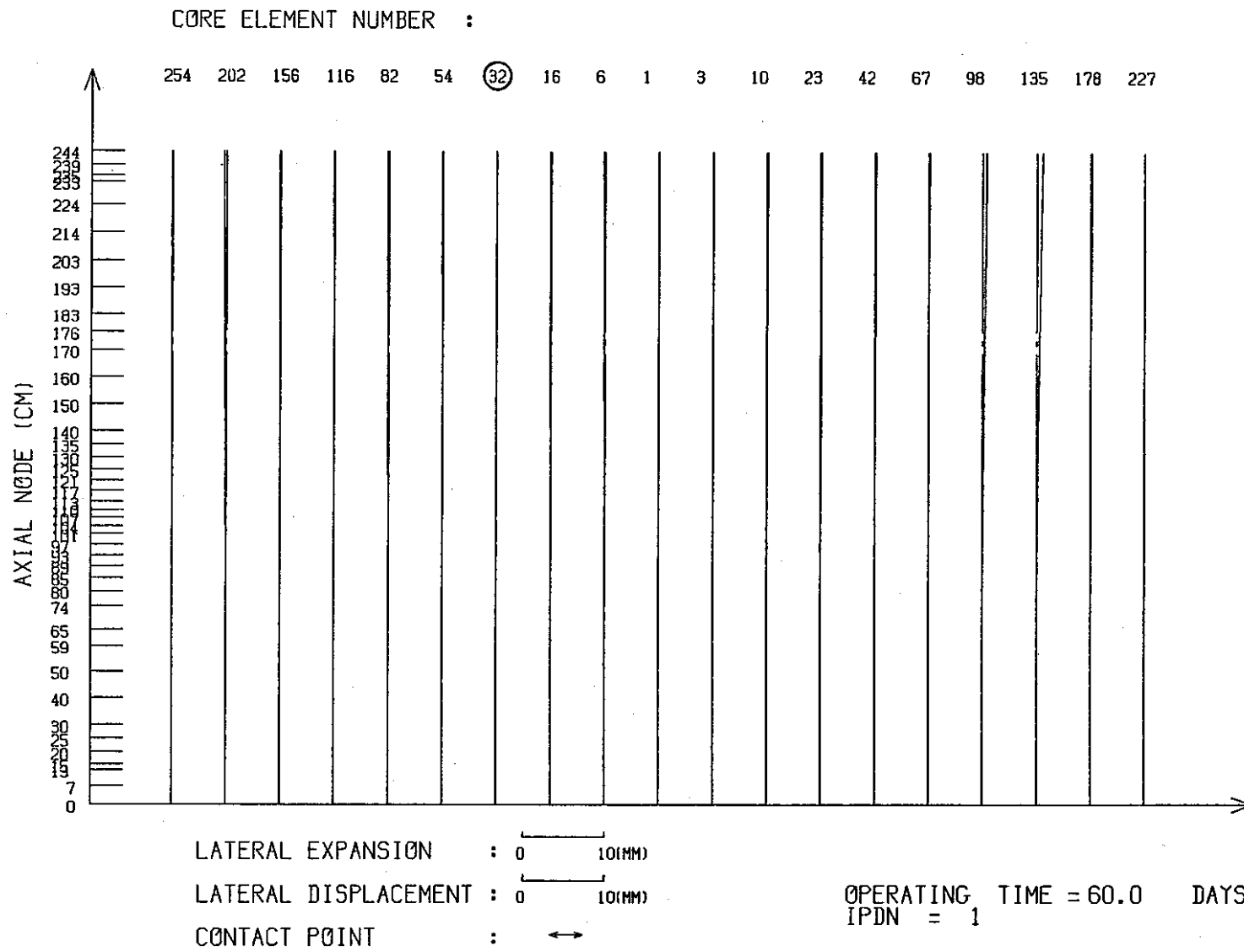
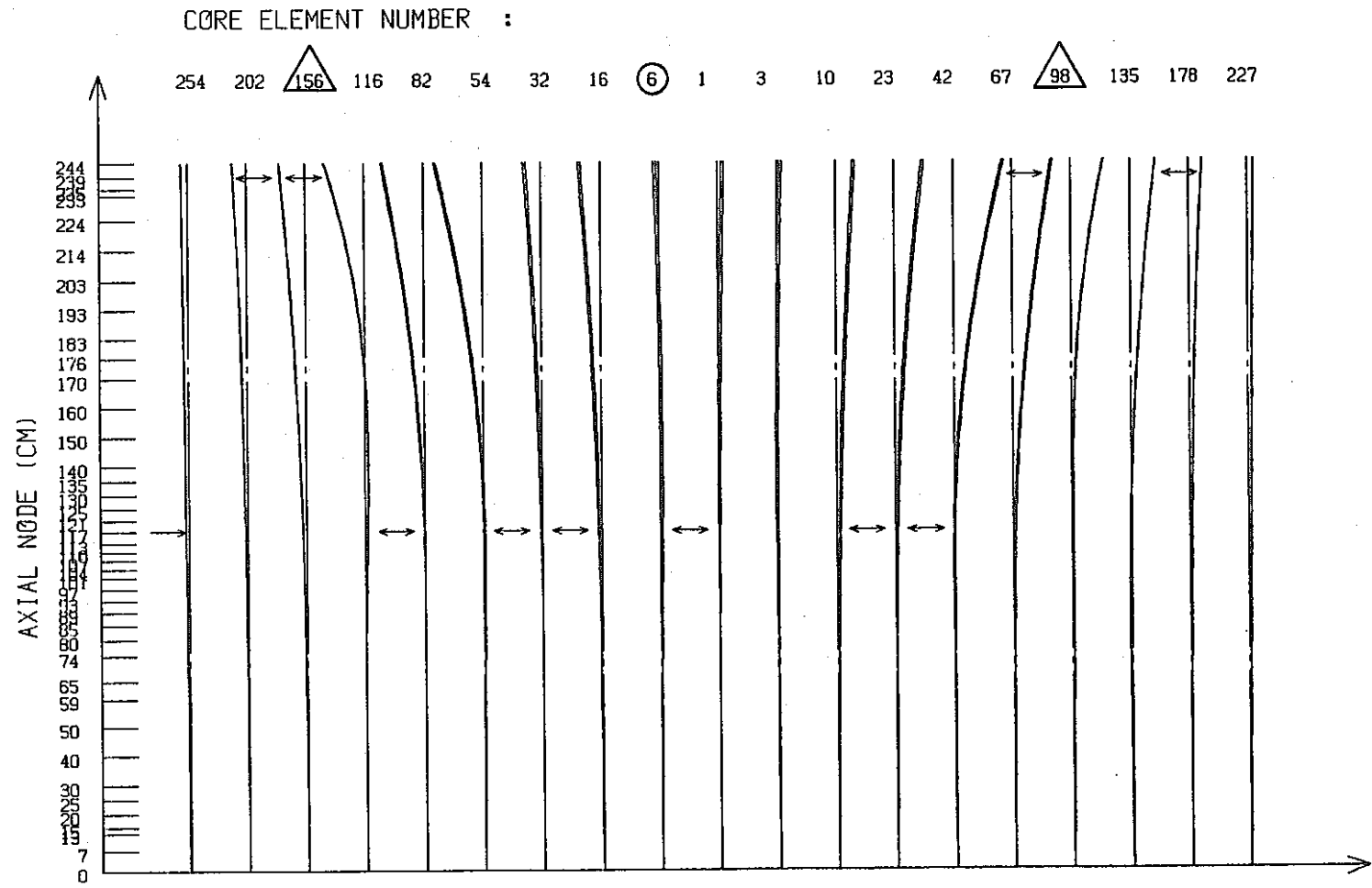


図 3 . 4 . 2 - 4 8 第 4 サイクル末期原子炉 0 出力時における列方向変位



LATERAL EXPANSION : 0 10(MM)
 LATERAL DISPLACEMENT : 0 10(MM)
 CONTACT POINT : ↔

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 IPUP = 2

○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

図 3.4.2-49 第5サイクル初期における列方向変位

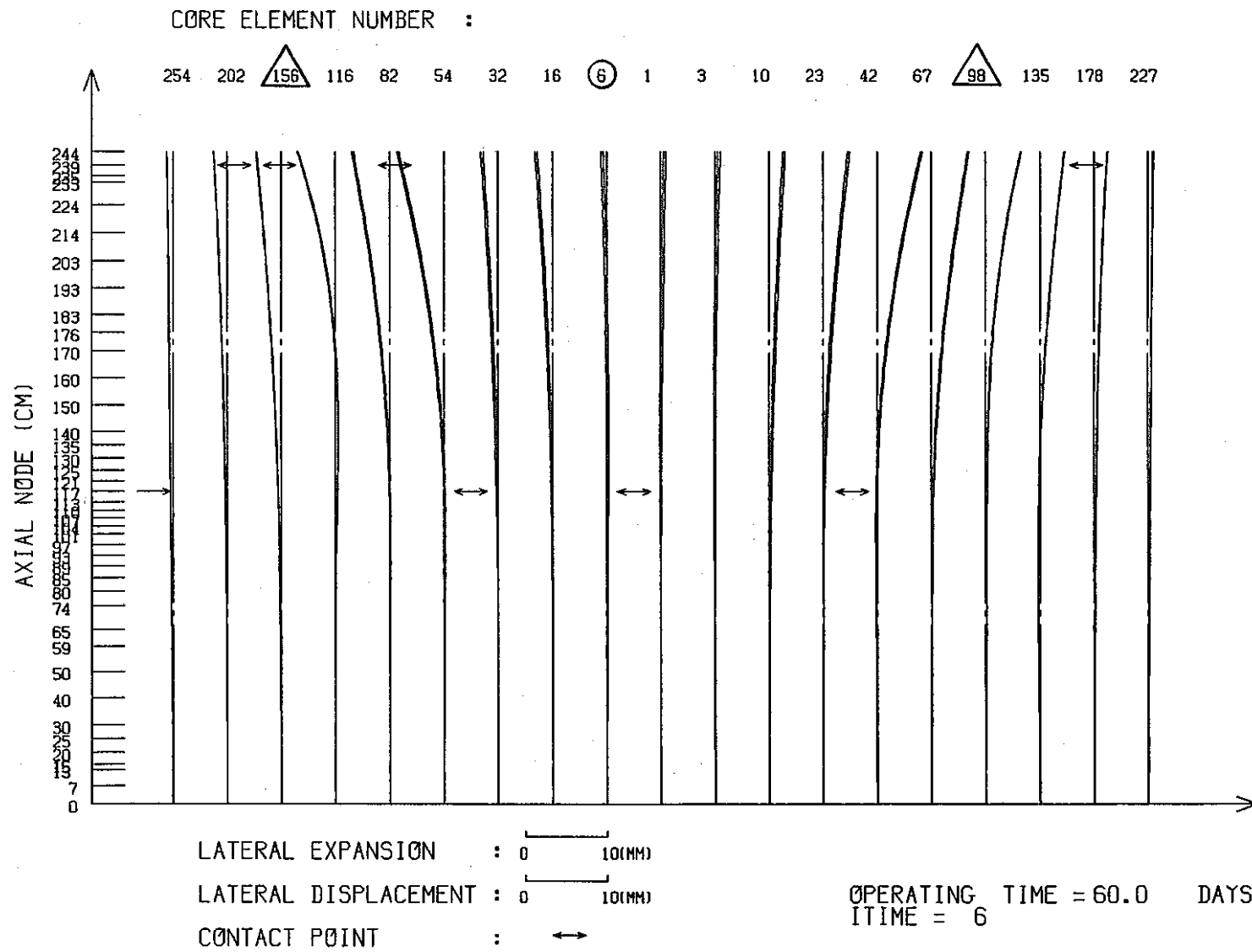
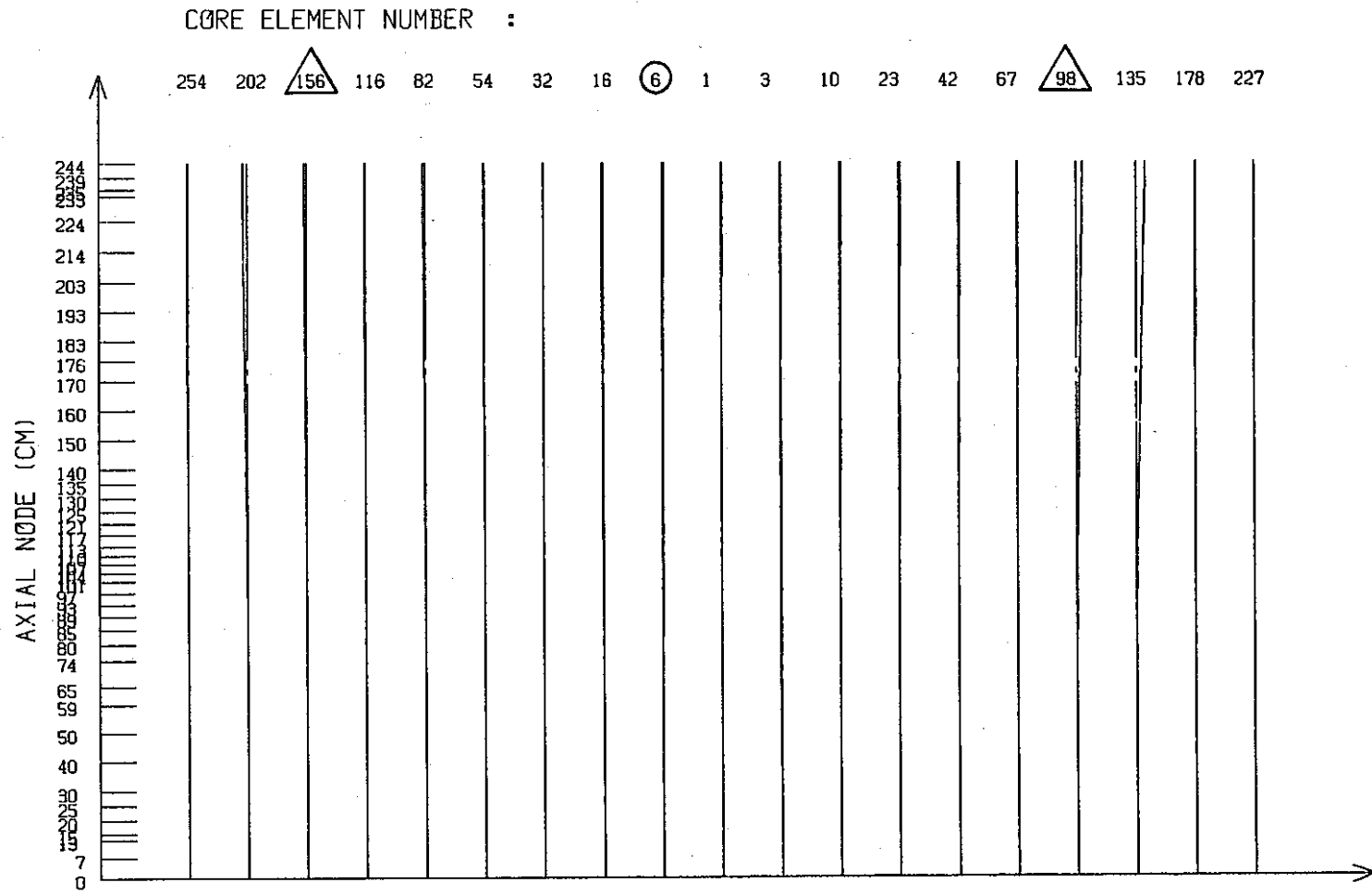


図 3. 4. 2 - 5 0 第 5 サイクル末期における列方向変位



LATERAL EXPANSION : 0 10(MM)

LATERAL DISPLACEMENT : 0 10(MM)

CONTACT POINT :
←
→

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
IPDN = 1

図 3.4.2-51 第5サイクル末期原子炉出力時における列方向変位

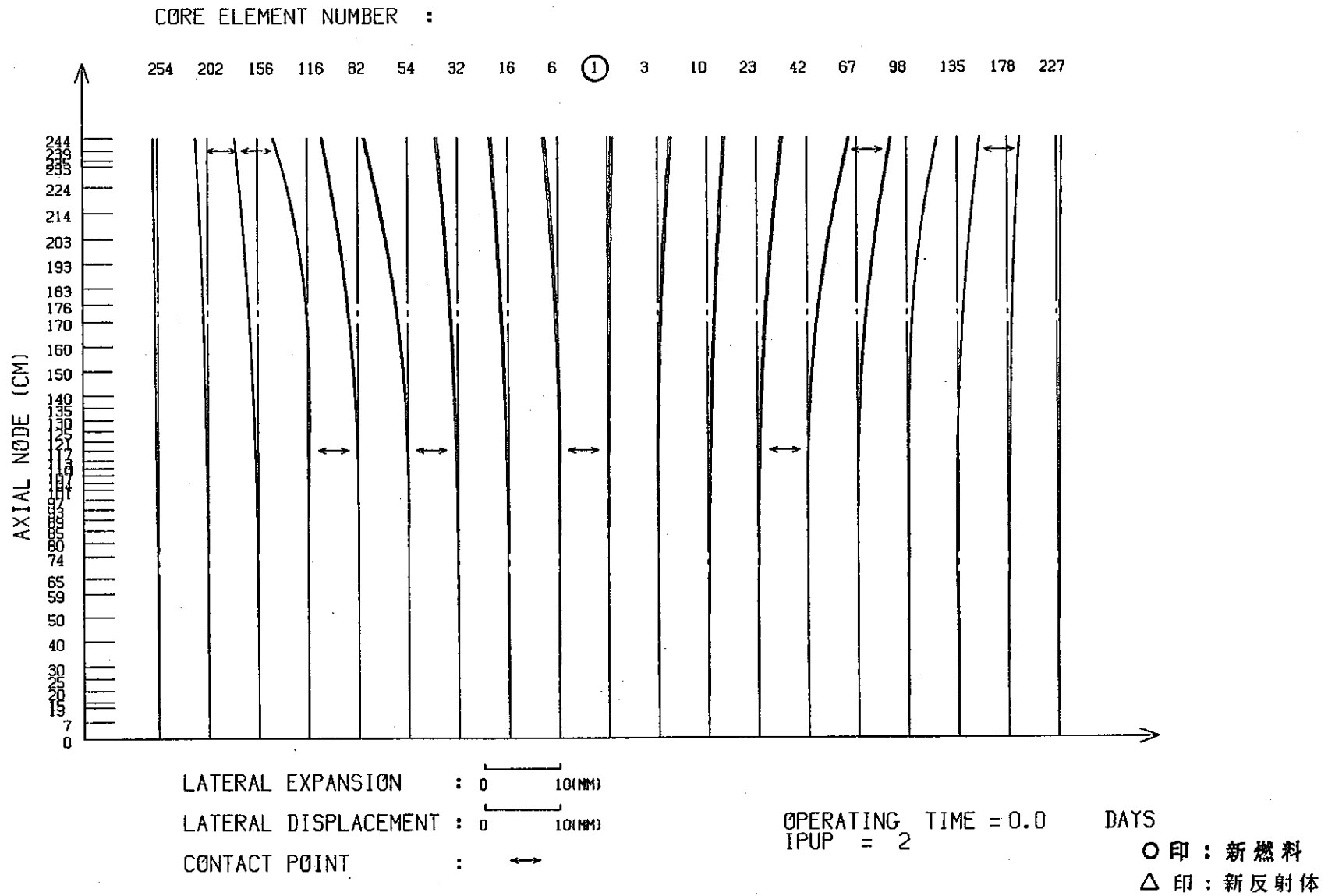


図 3.4.2-52 第6サイクル初期における列方向変位

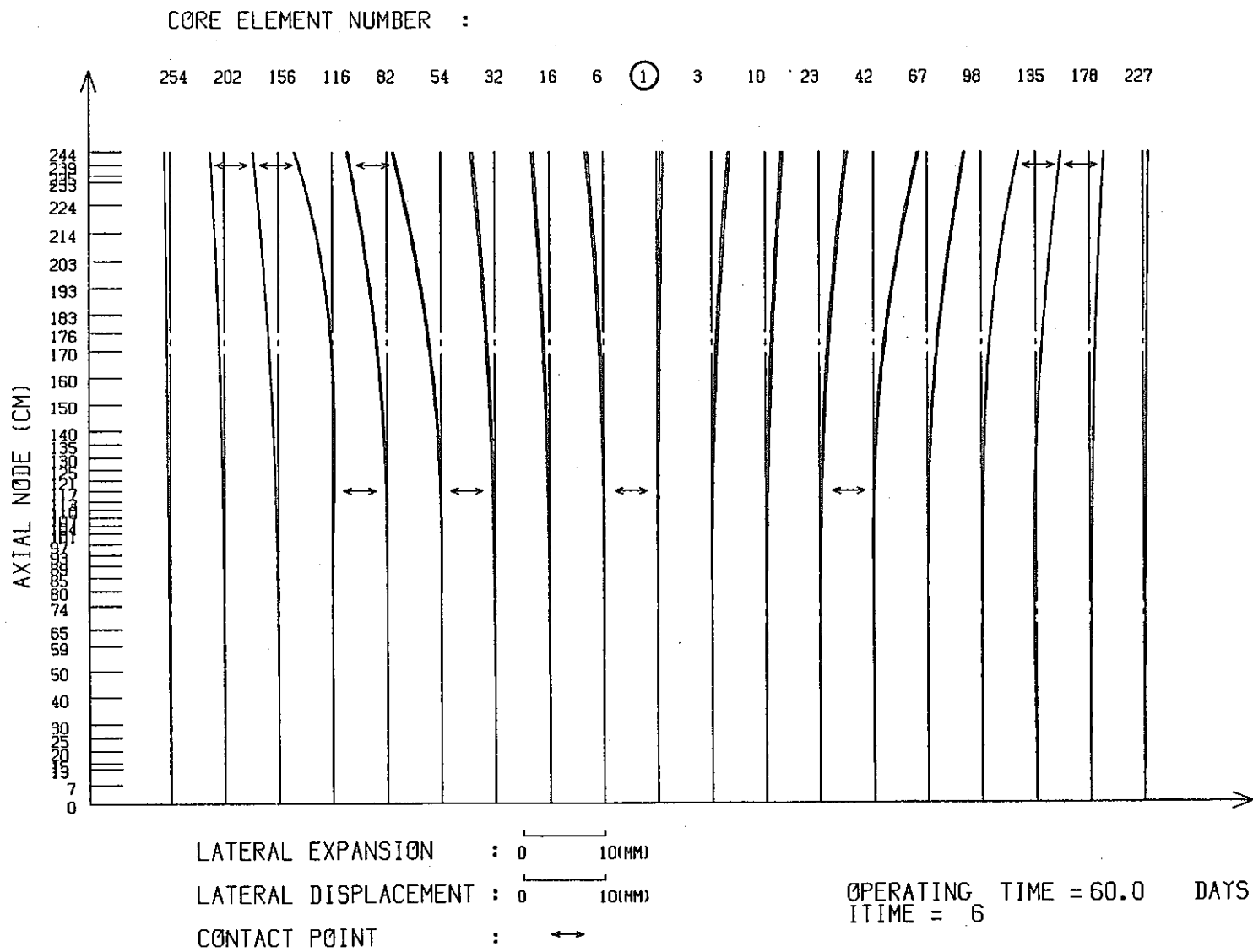


図 3 . 4 . 2 - 5 3 第 6 サイクル末期における列方向変位

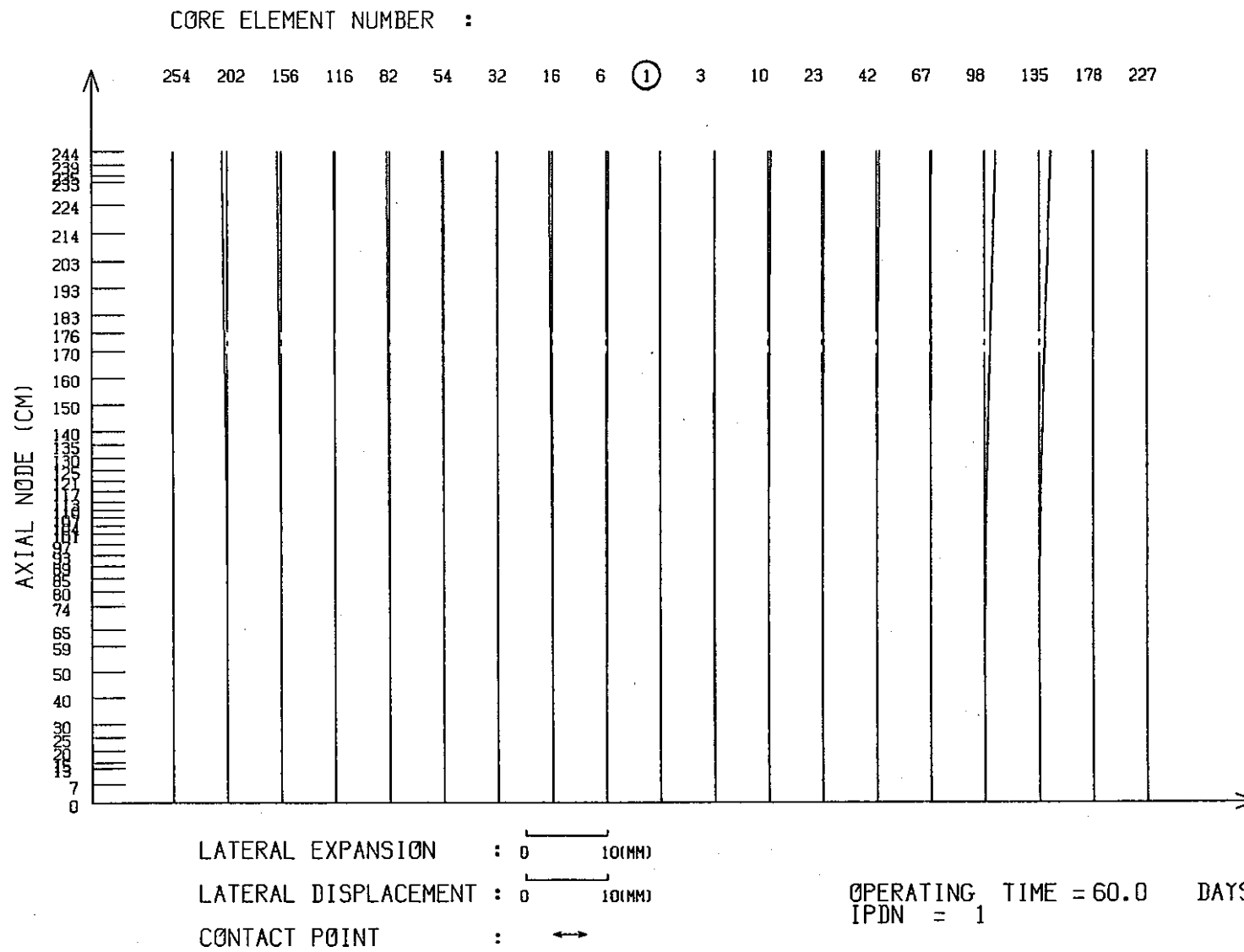
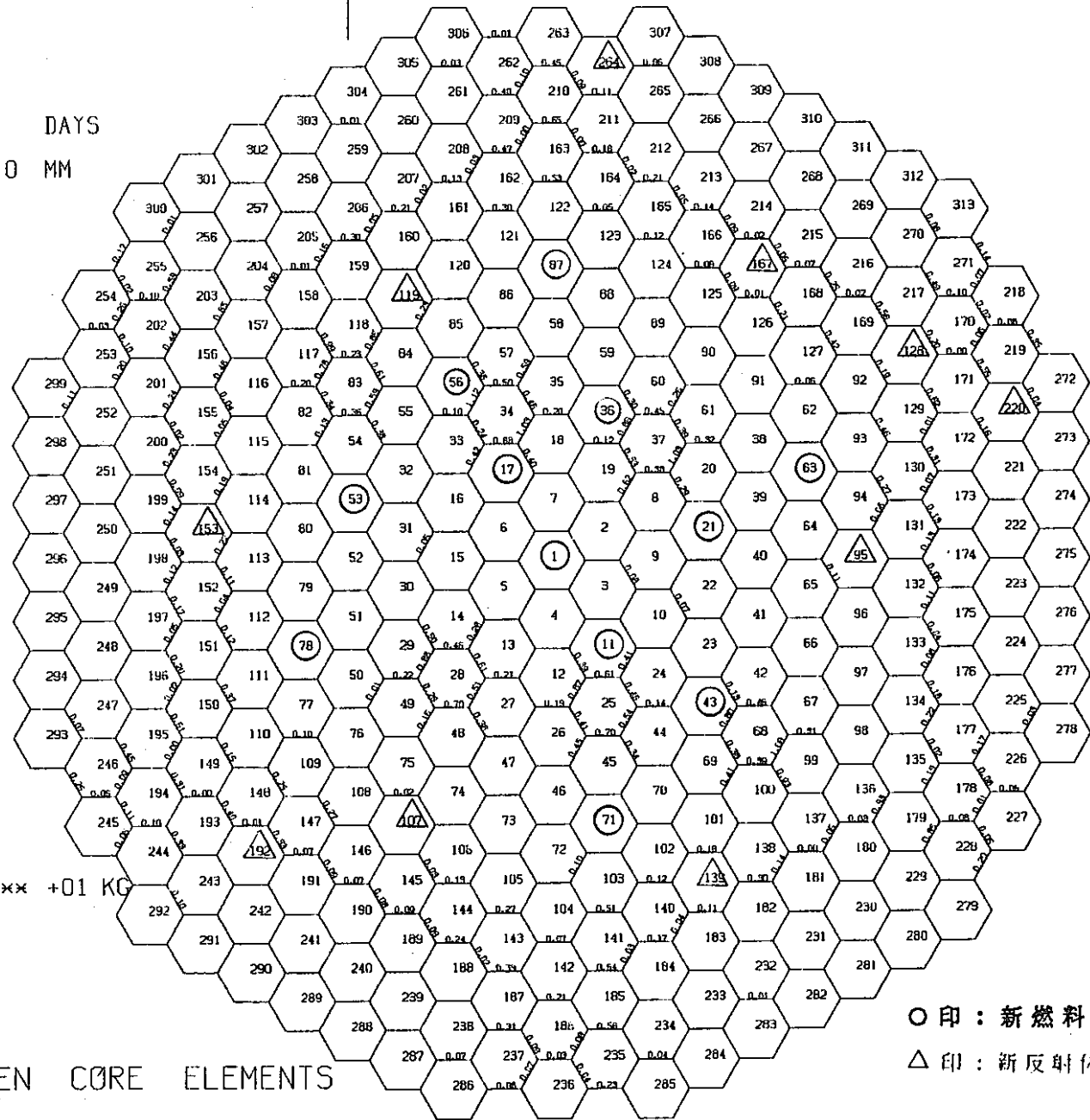


図 3. 4. 2 - 5 4 第 6 サイクル末期原子炉 0 出力時における列方向変位

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 2

CONTACT FORCES : $10 \times 10^4 + 01$ KG

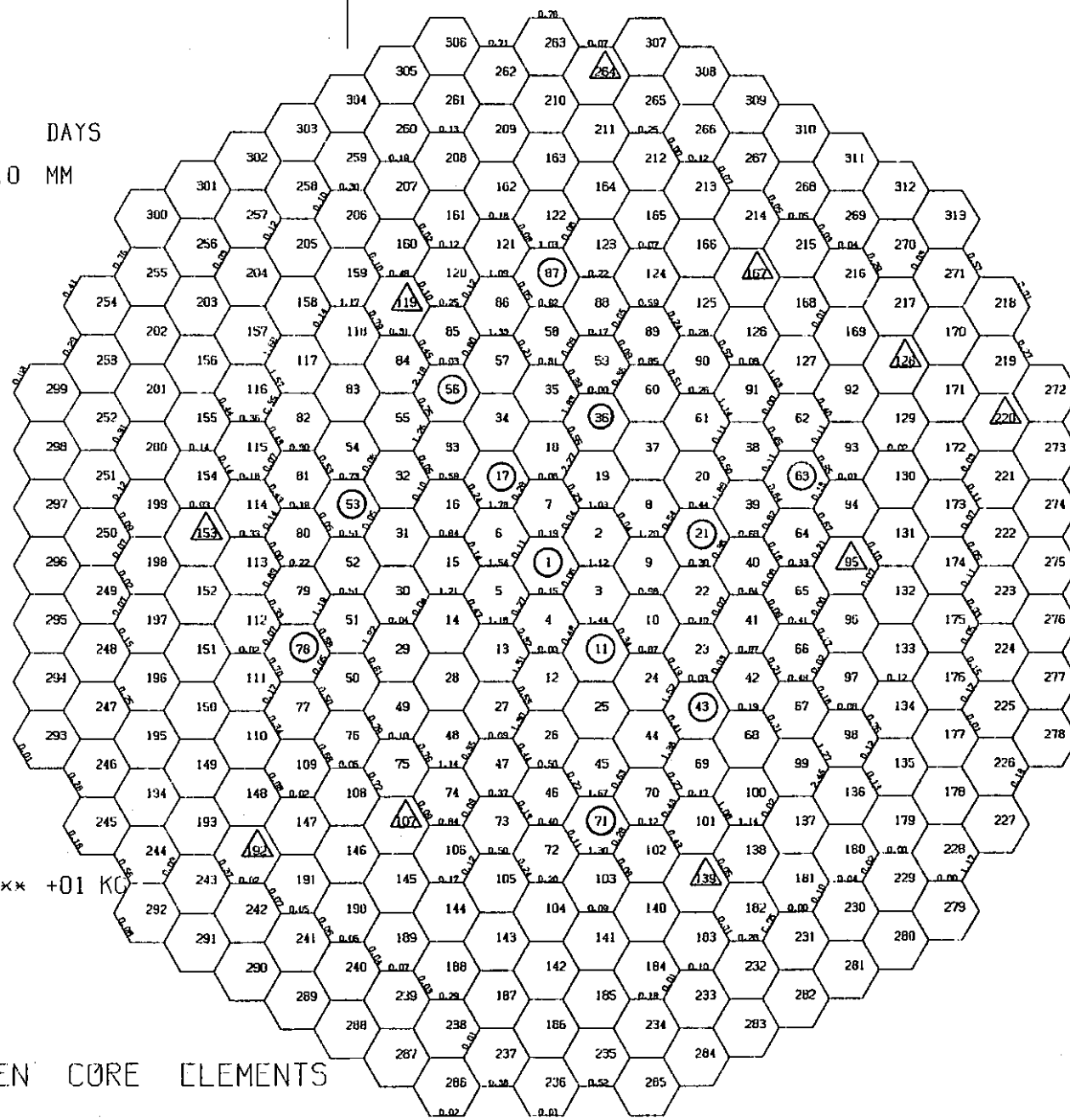
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS



○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

図 3. 4. 2 - 5 5 第 1 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2



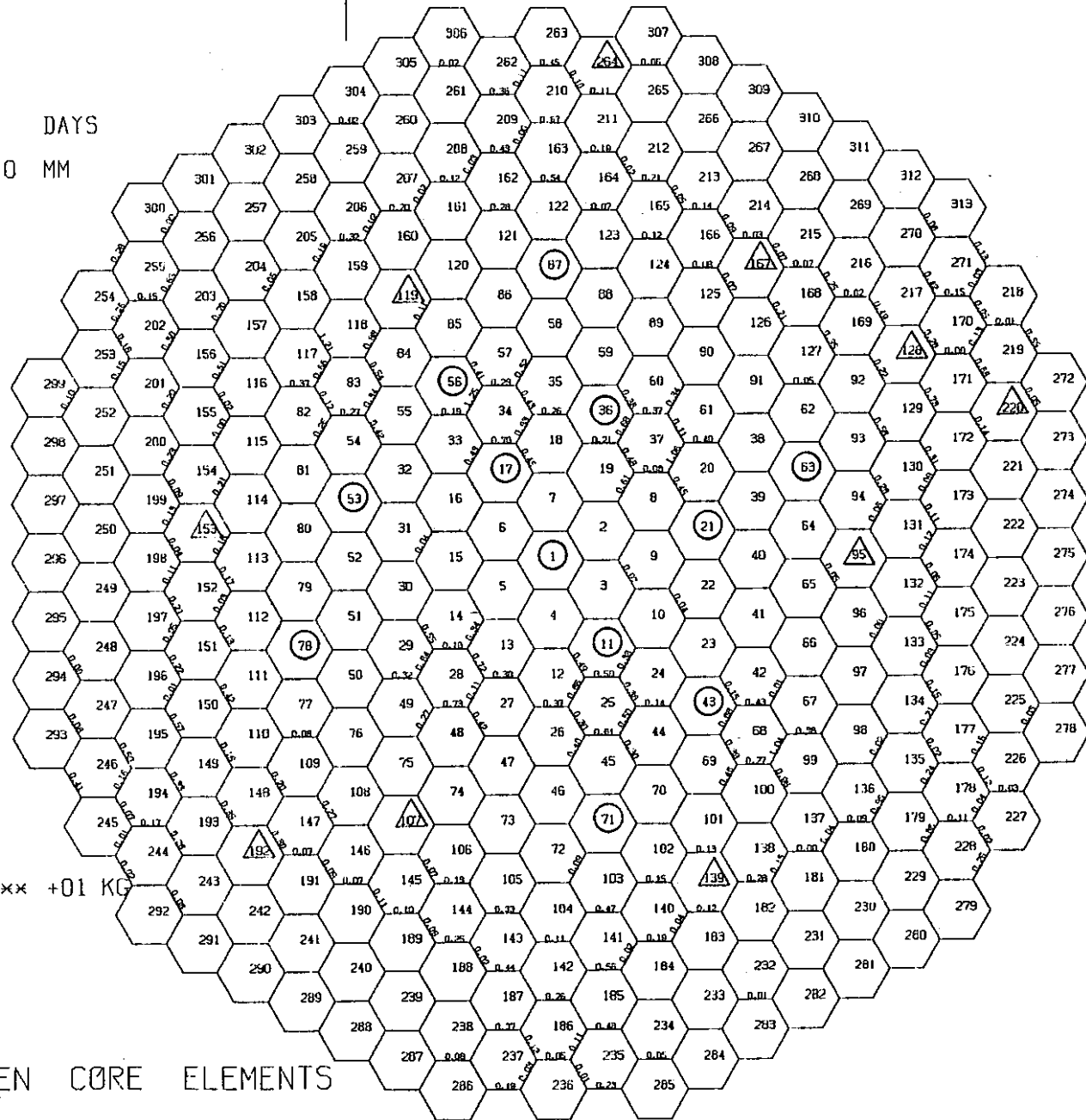
CONTACT FORCES : 10** +01 KC

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-70

図 3. 4. 2 - 5 6 第 1 サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 I TIME = 6



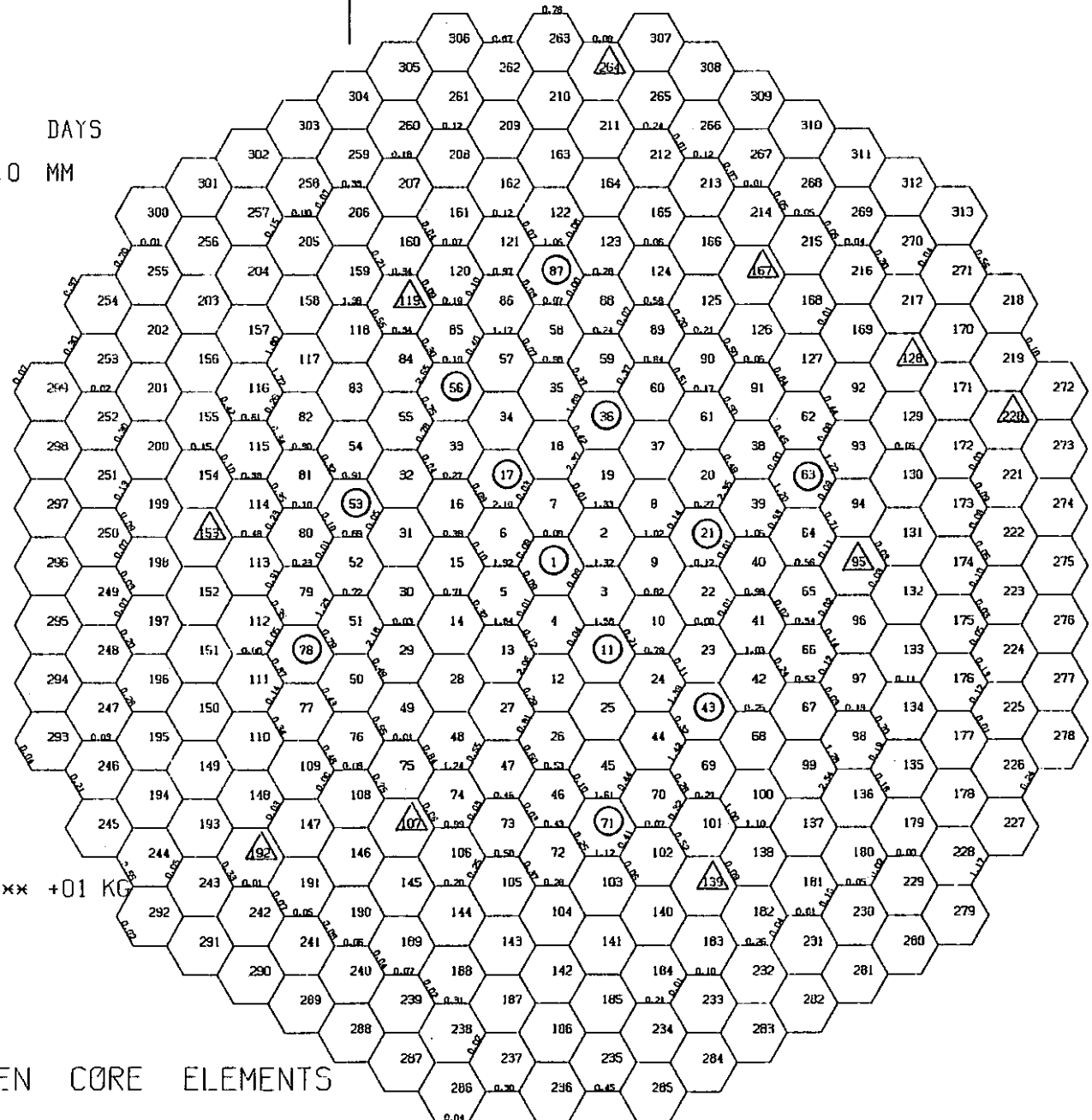
CONTACT FORCES : 10^x +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-71

図 3.4.2-57 第1サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 ITIME = 6



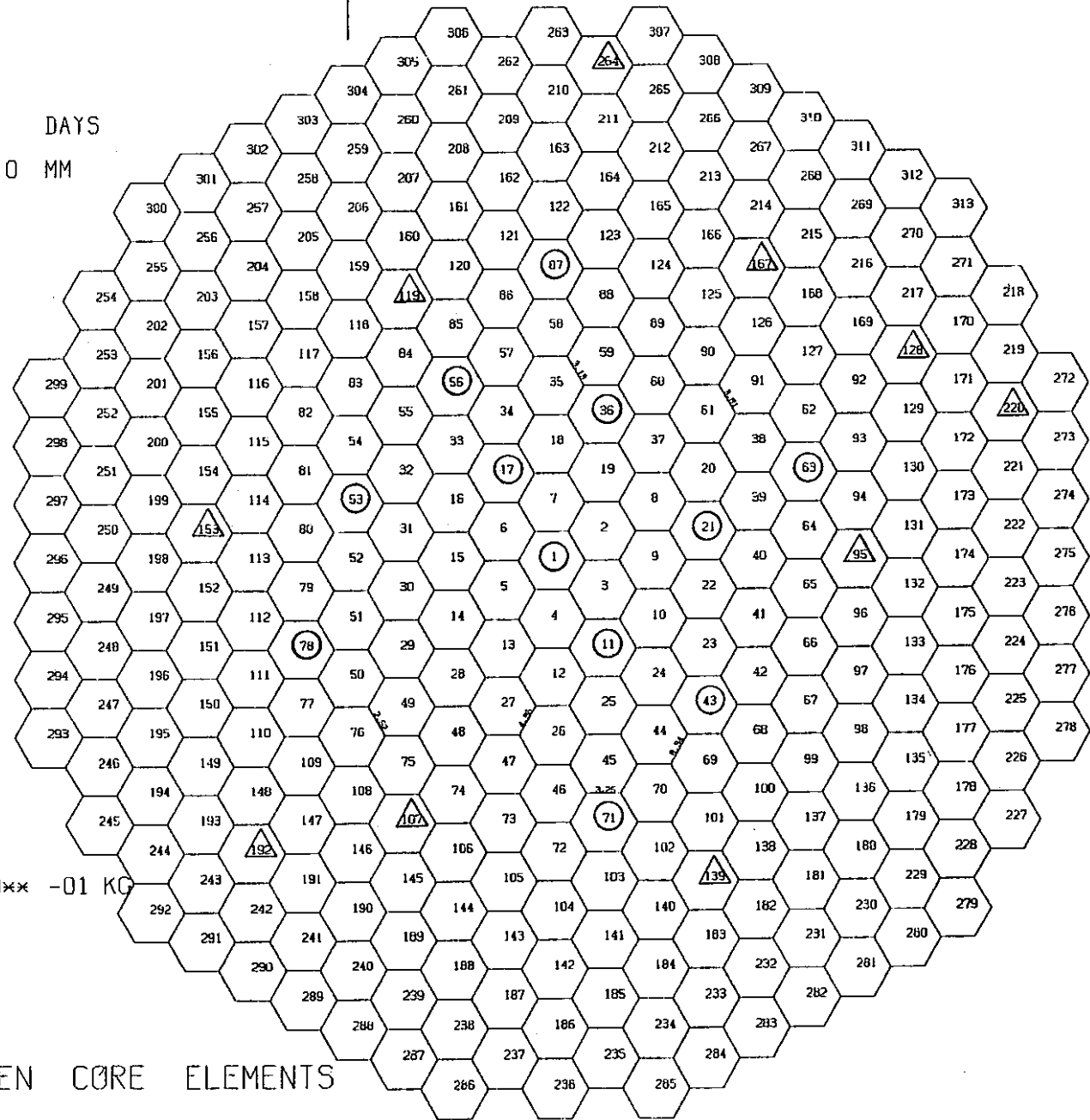
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-72

図 3. 4. 2 - 5 8 第 1 サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPDN = 1



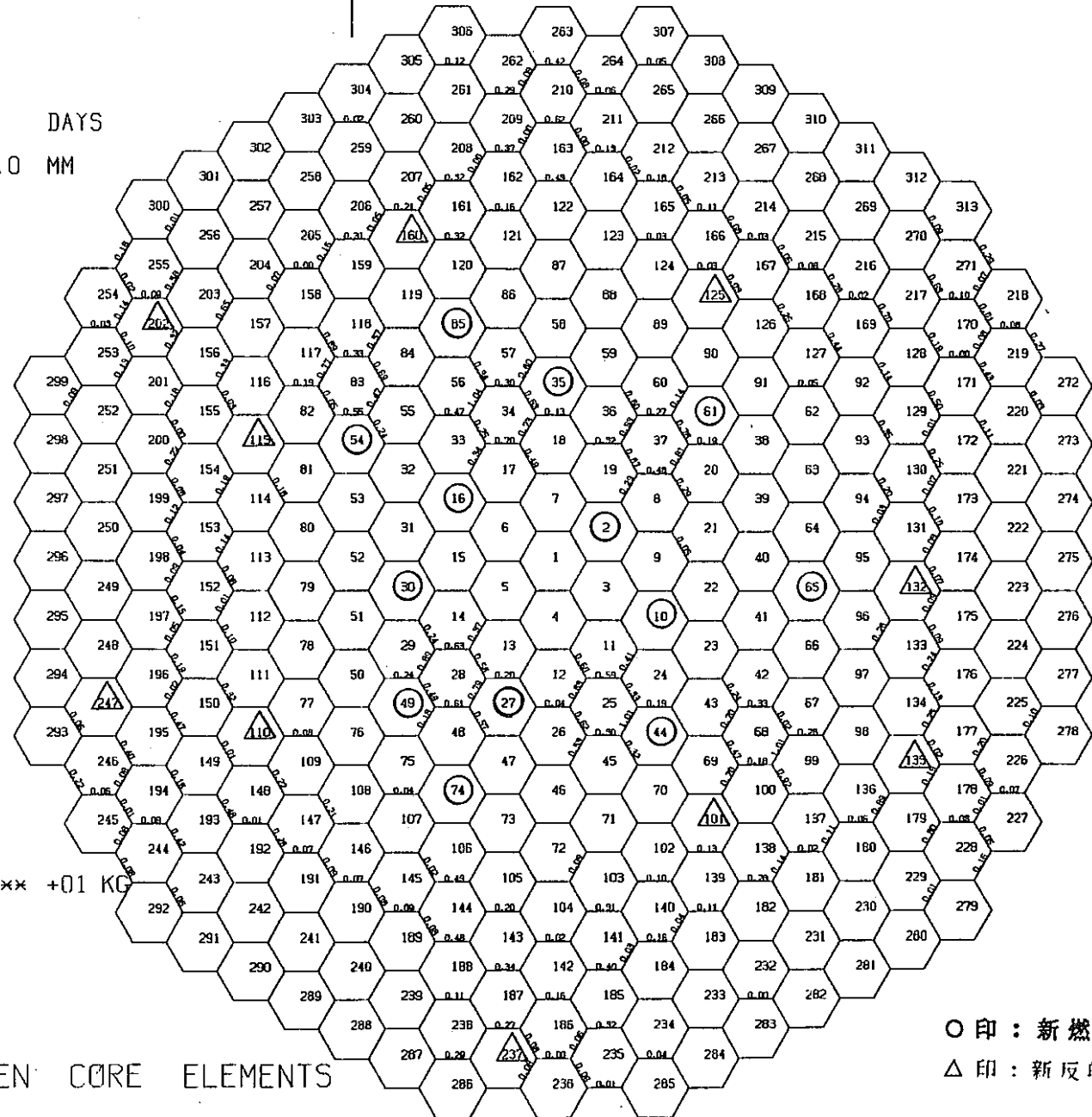
CONTACT FORCES : 10** -01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-73

図 3. 4. 2 - 59 第 1 サイクル 末期 原子 炉 0 出 力 時 に お け る 頂 部 パ ッ ド 位 置 で の 接 触 荷 重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 2



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

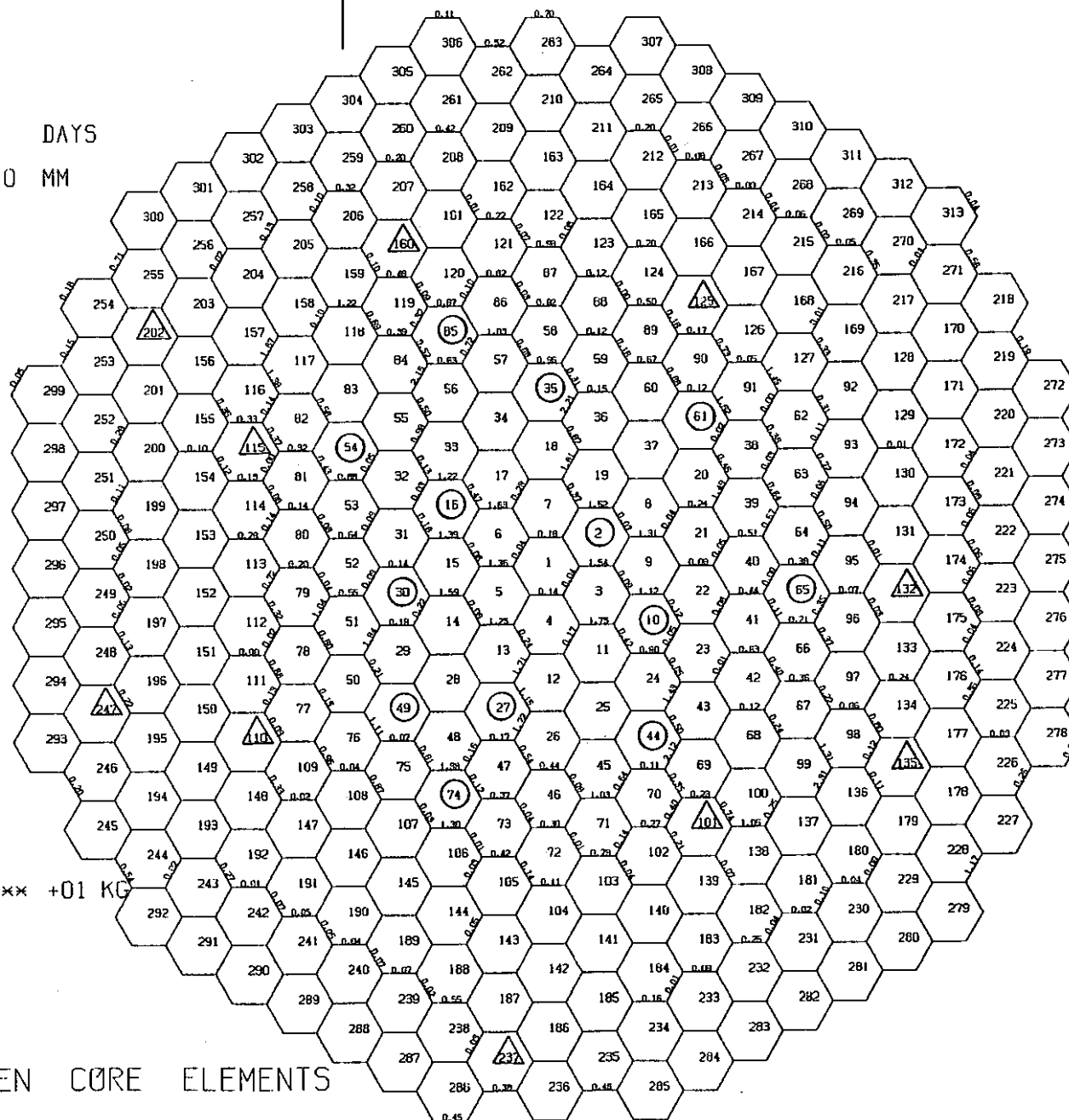
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

3.4.2-74

図 3. 4. 2 - 6 0 第 2 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2



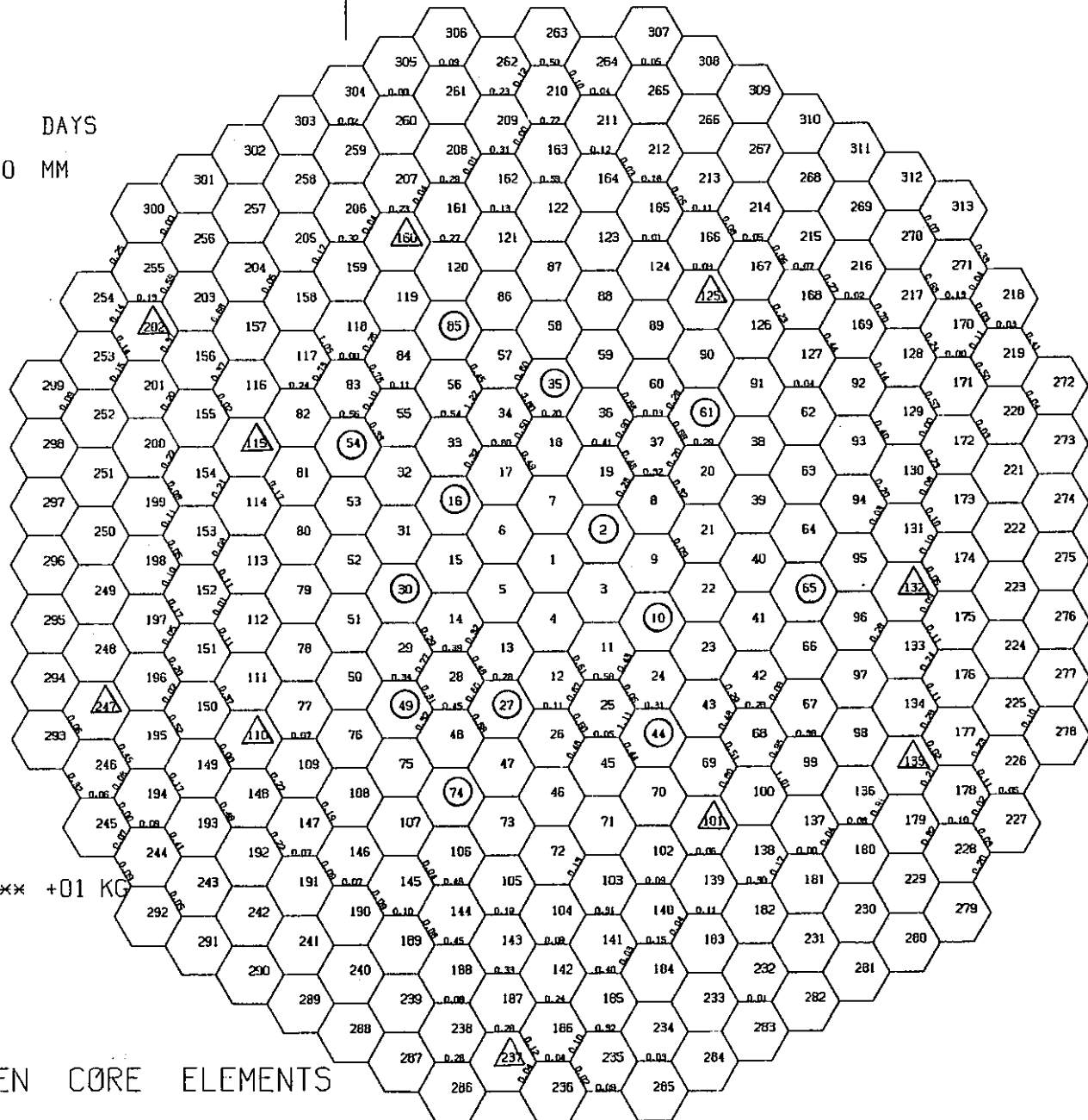
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-75

図 3. 4. 2 - 6 1 第 2 サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 ITIME = 6



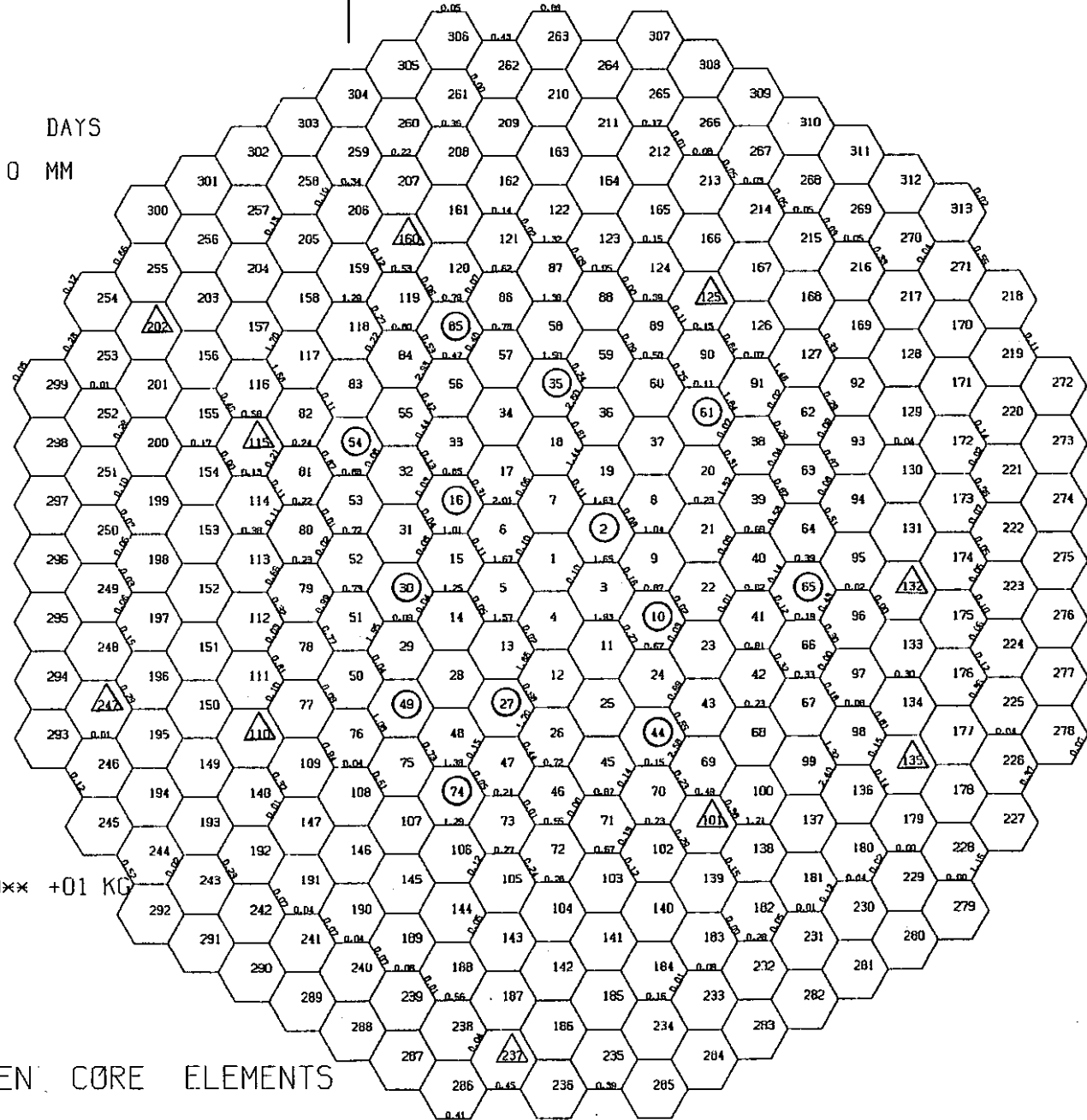
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-76

図 3. 4. 2 - 6 2 第 2 サイクル 末期 における 頂部 パッド 位置 での 接触 荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 I TIME = 6



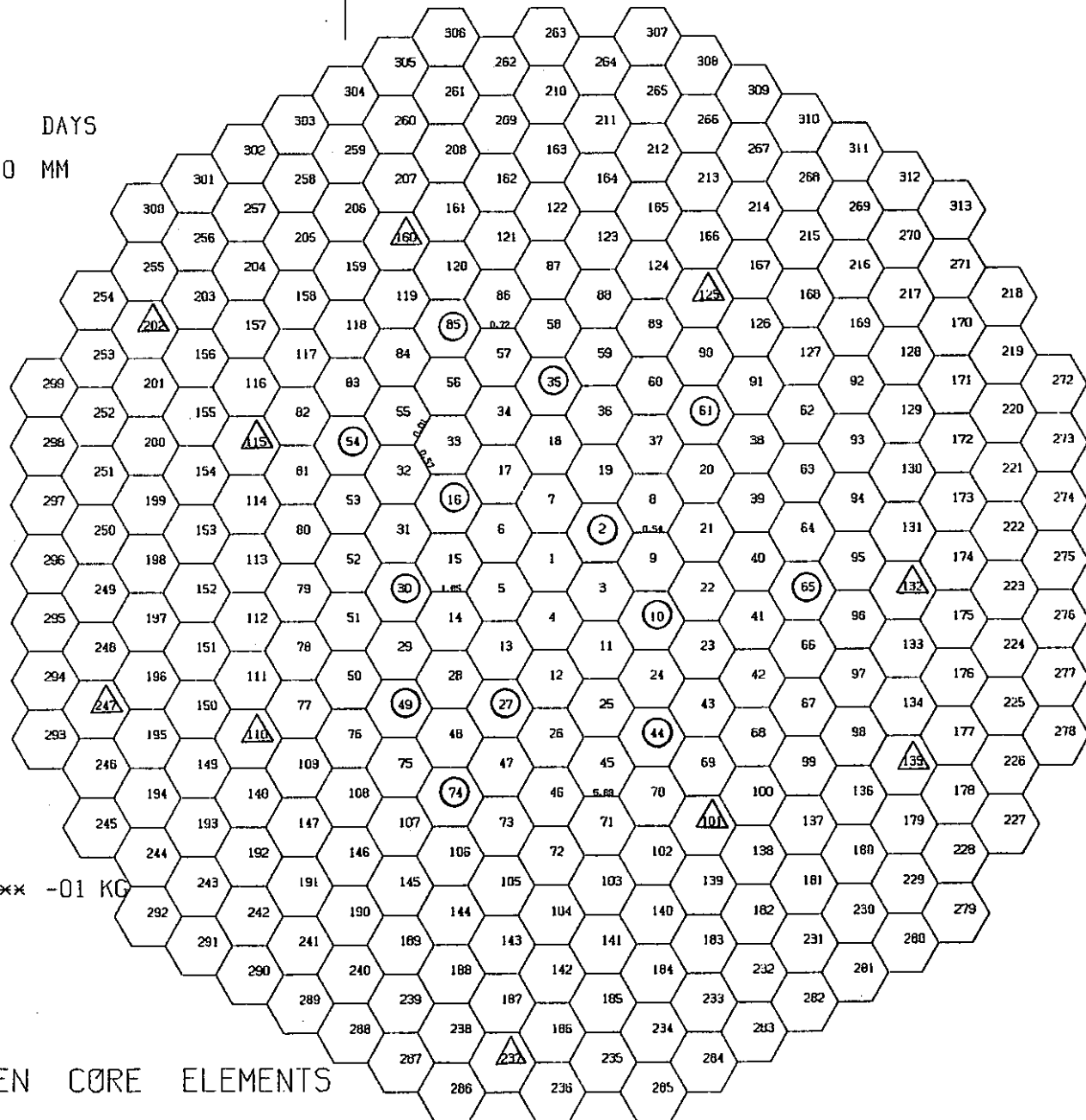
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-77

図 3. 4. 2 - 6 3 第 2 サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPDN = 1

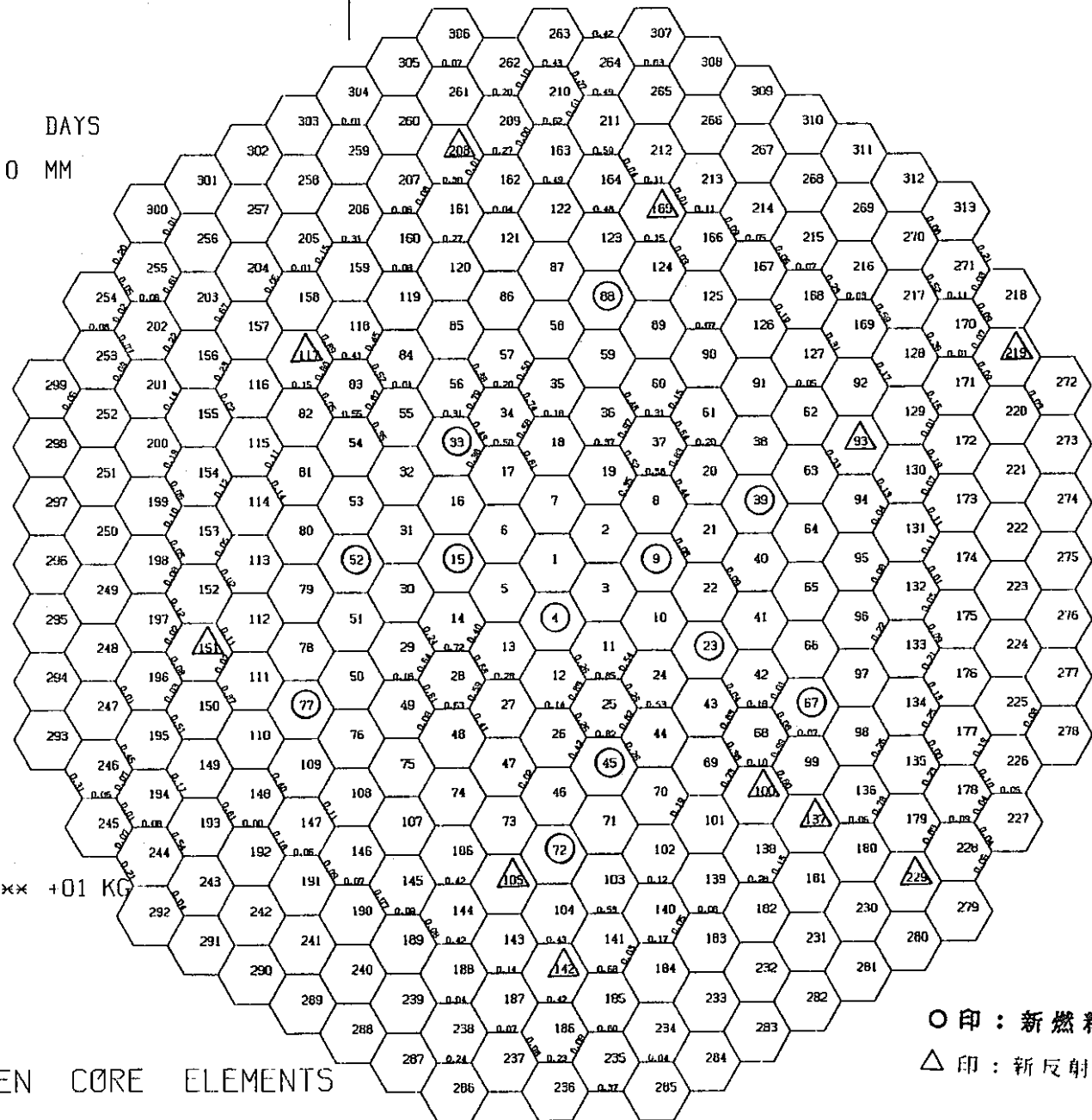


CONTACT FORCES : 10** -01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 6 4 第 2 サイクル末期原子炉 0 出力時における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 2



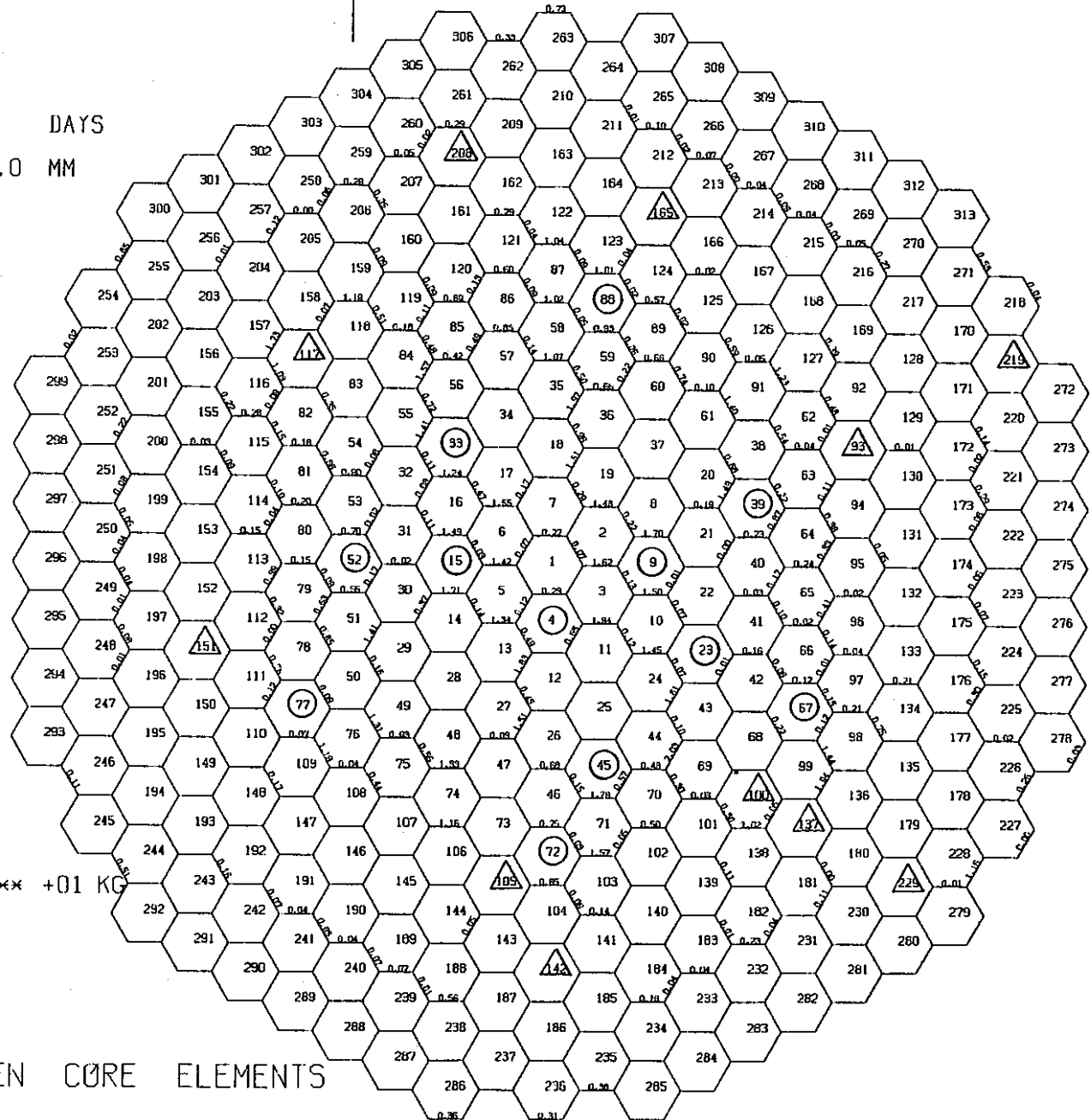
CONTACT FORCES : 10^{xx} +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

図 3. 4. 2 - 6 5 第 3 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2



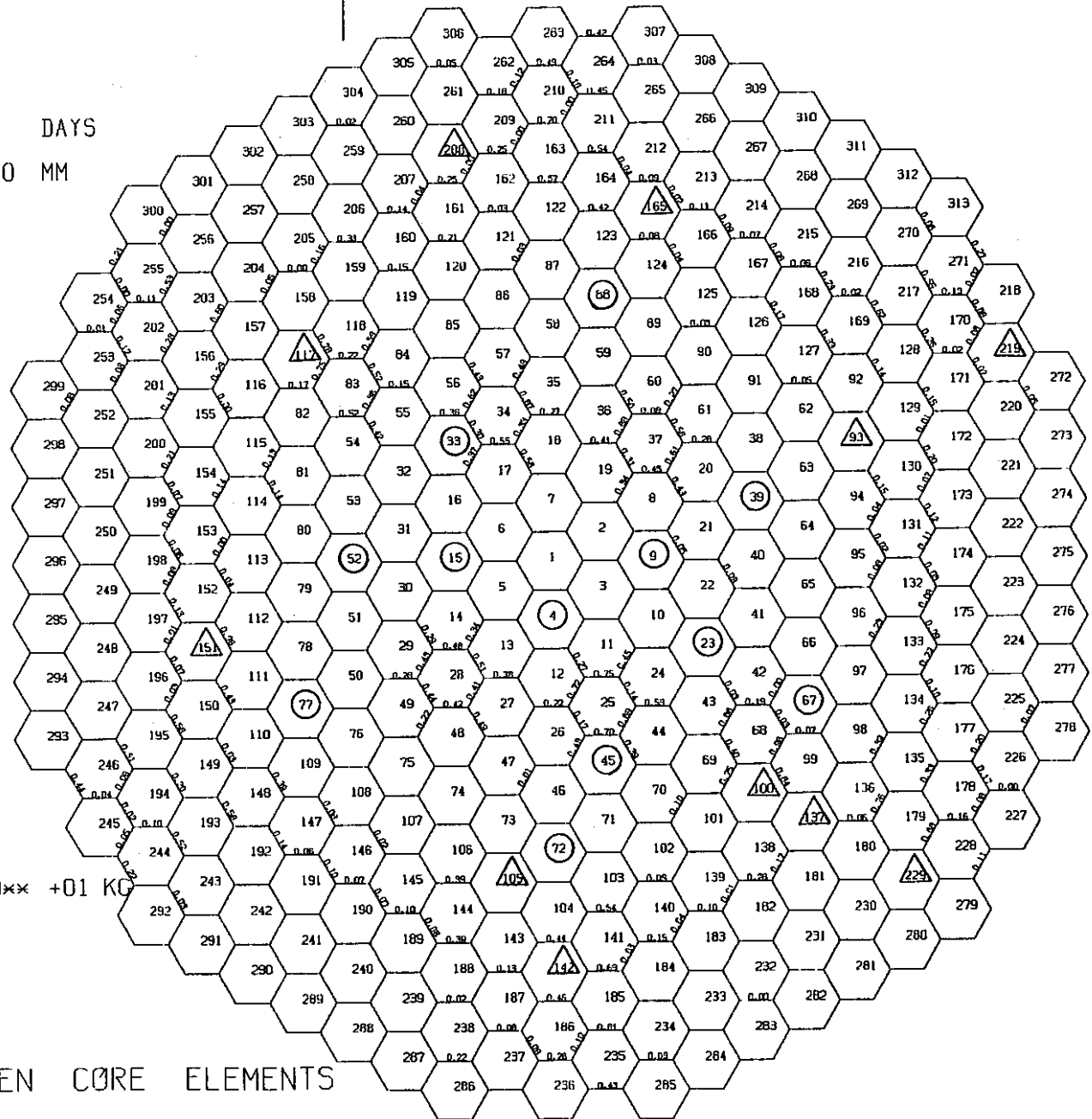
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-80

図 3. 4. 2 - 6 6 第 3 サイクル 初期 における 下部 パッド 位置 での 接触 荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 ITIME = 6

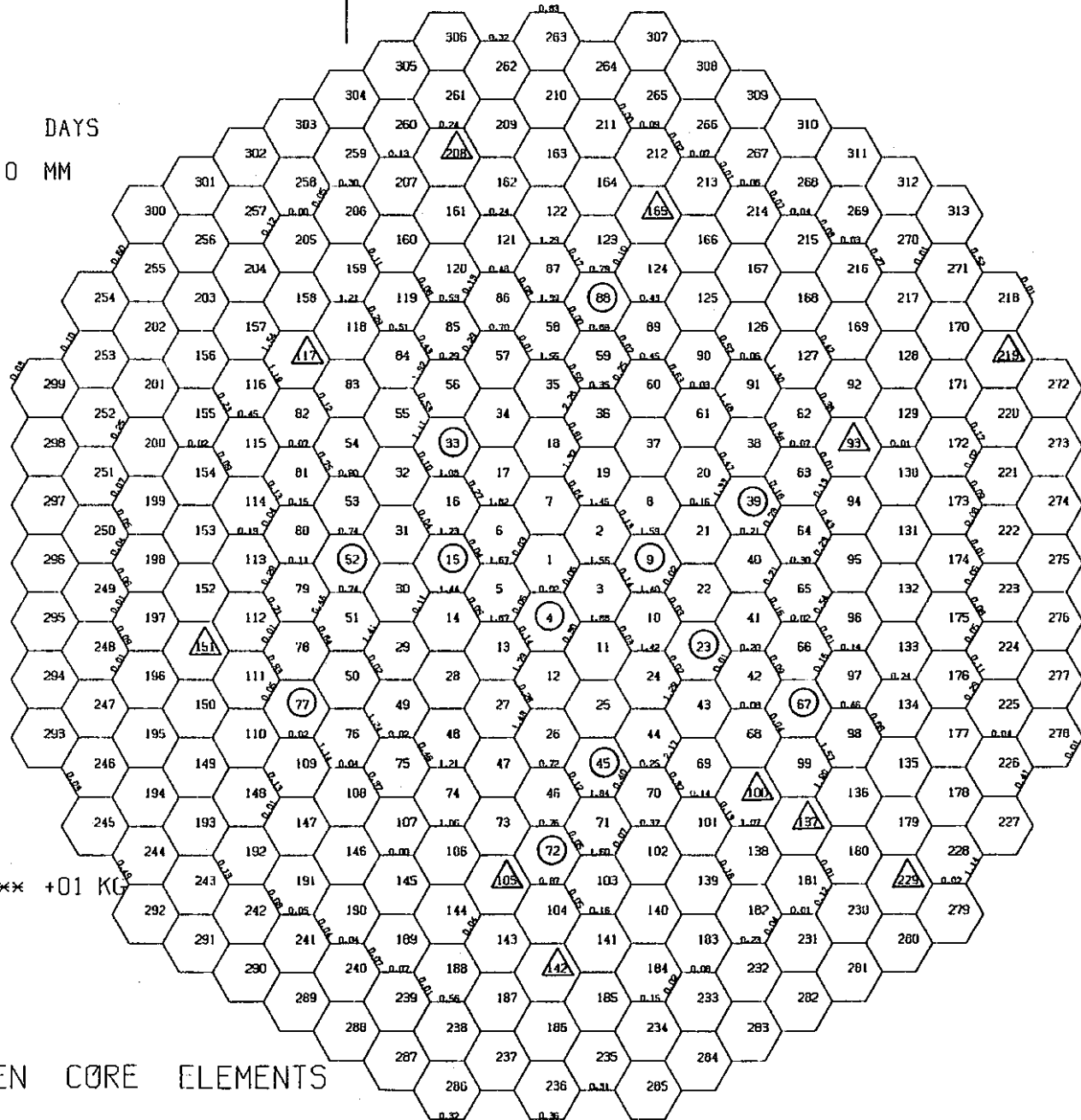


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3.4.2-67 第3サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 ITIME = 6



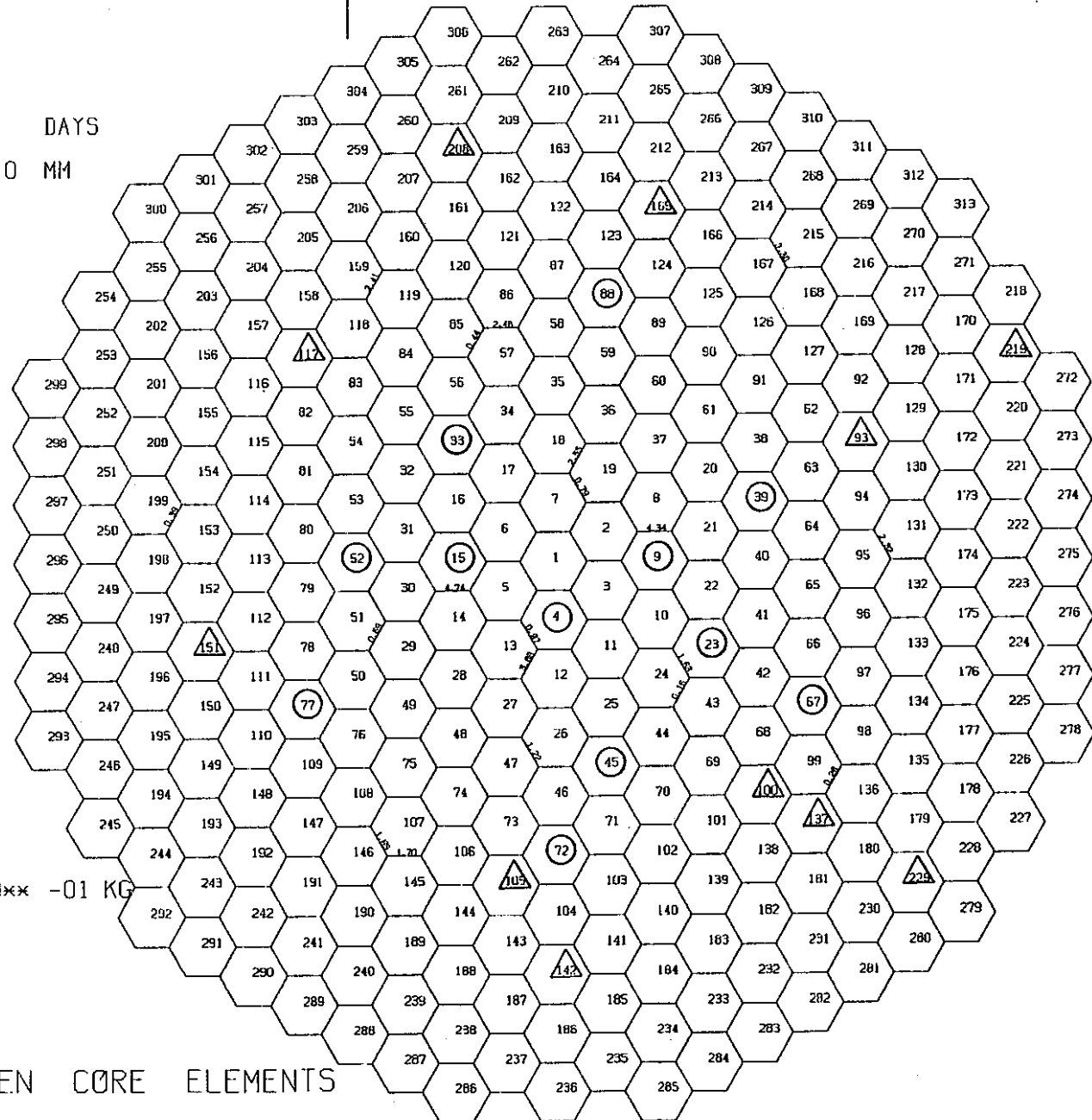
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-82

図 3. 4. 2 - 6 8 第 3 サイクル 末期 における 下部 パッド 位置 での 接触 荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPDN = 1



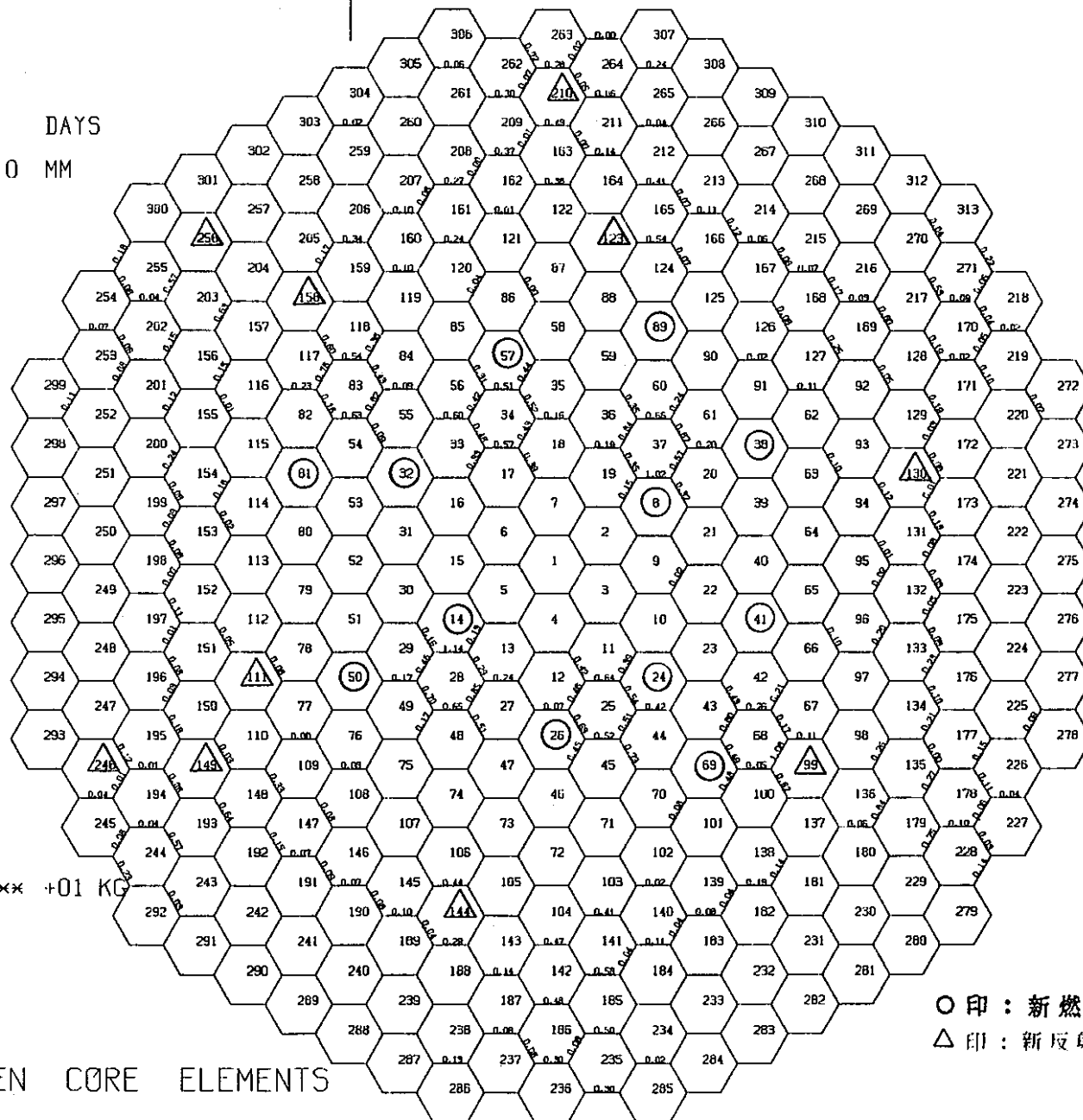
CONTACT FORCES : 10⁻¹ kg

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-83

図 3. 4. 2 - 6 9 第 3 サイクル 末期 原子 炉 0 出力 時 に お け る 頂 部 パ ッ ド 位 置 で の 接 触 荷 重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 2



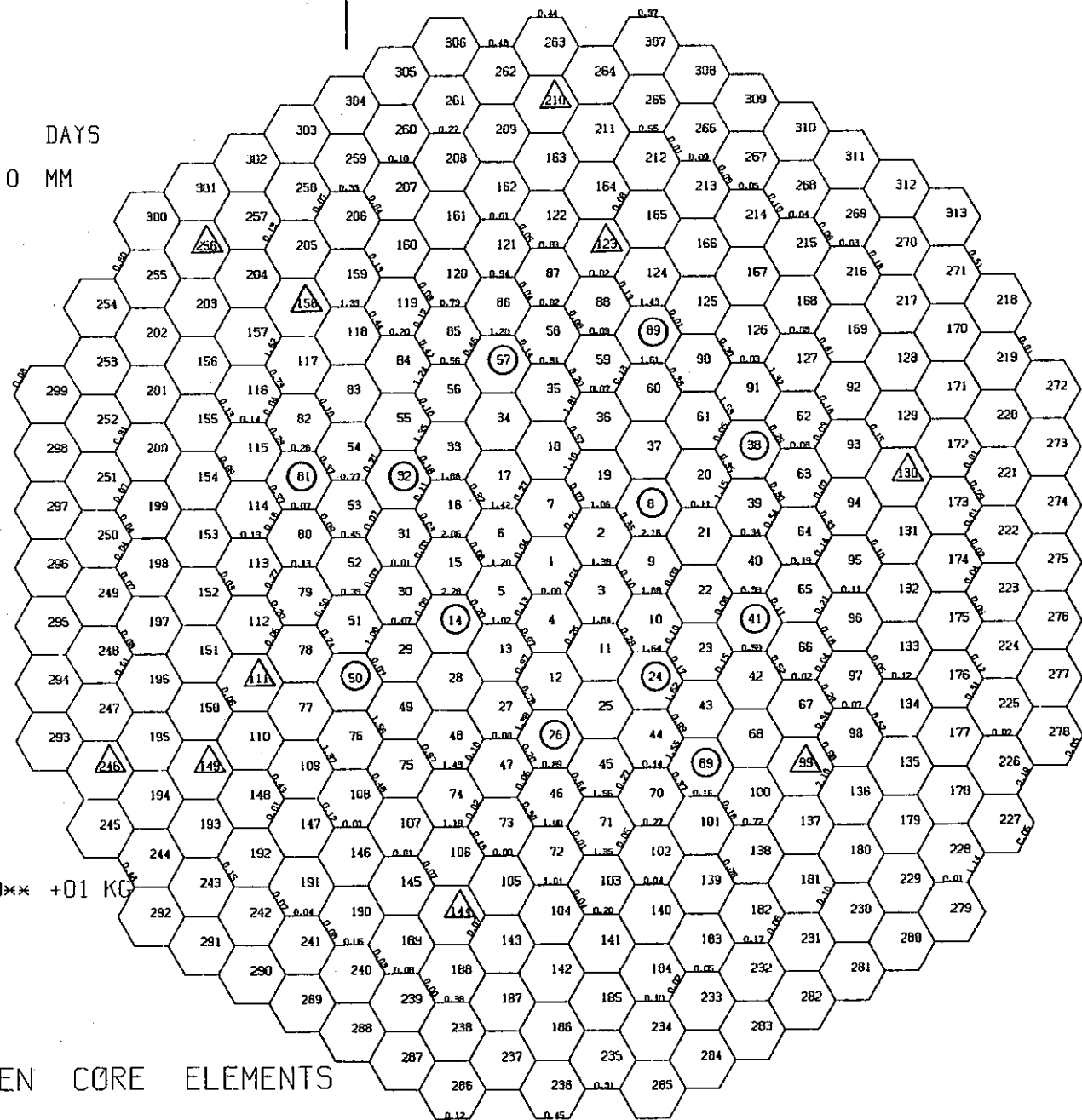
CONTACT FORCES : 10^{xx} +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

図 3. 4. 2 - 7 0 第 4 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2

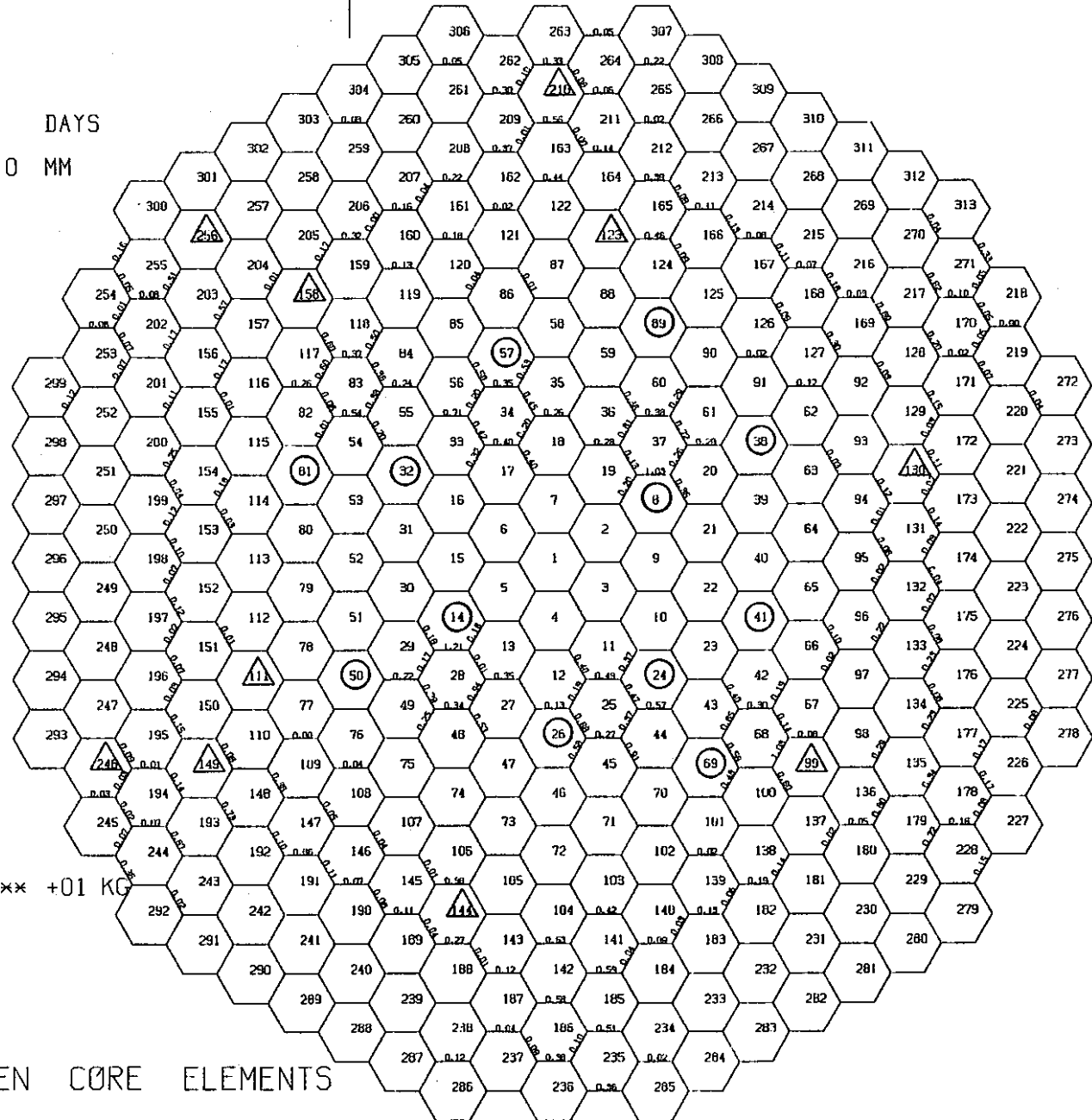


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 7 1 第 4 サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 I TIME = 6



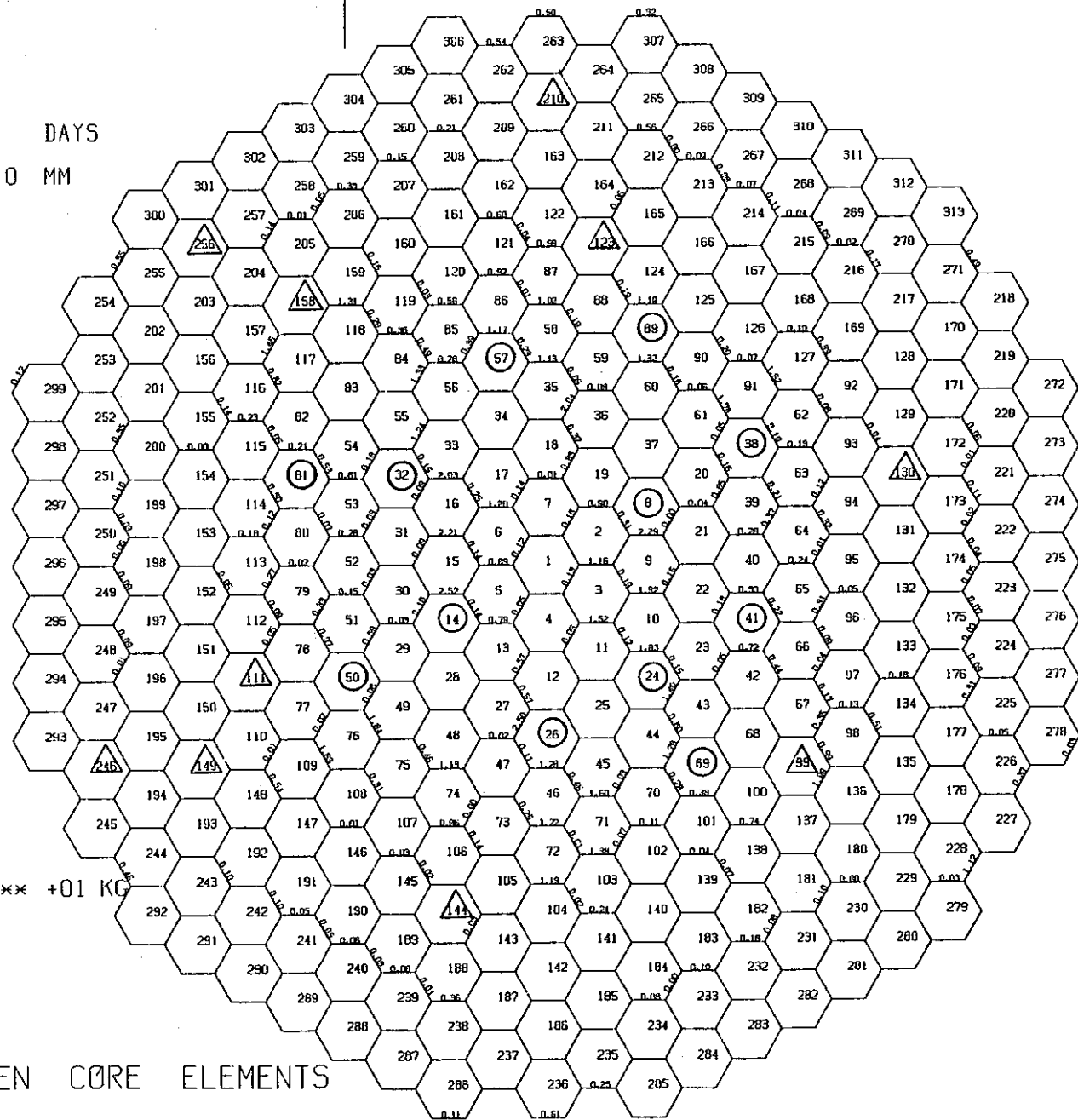
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-86

図 3. 4. 2 - 7 2 第 4 サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 ITIME = 6

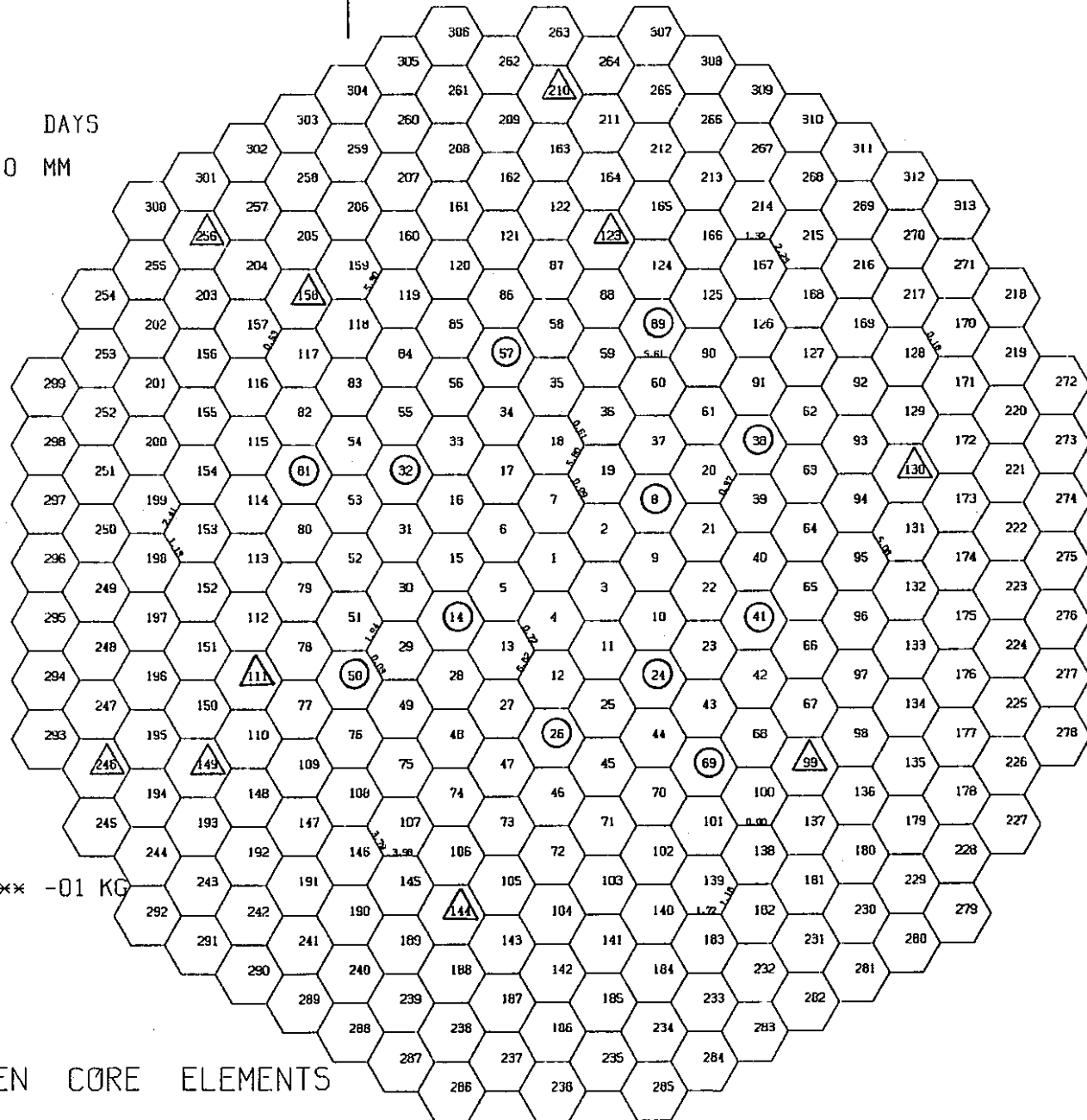


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 7 3 第 4 サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPDN = 1



CONTACT FORCES : 10** -01 KG

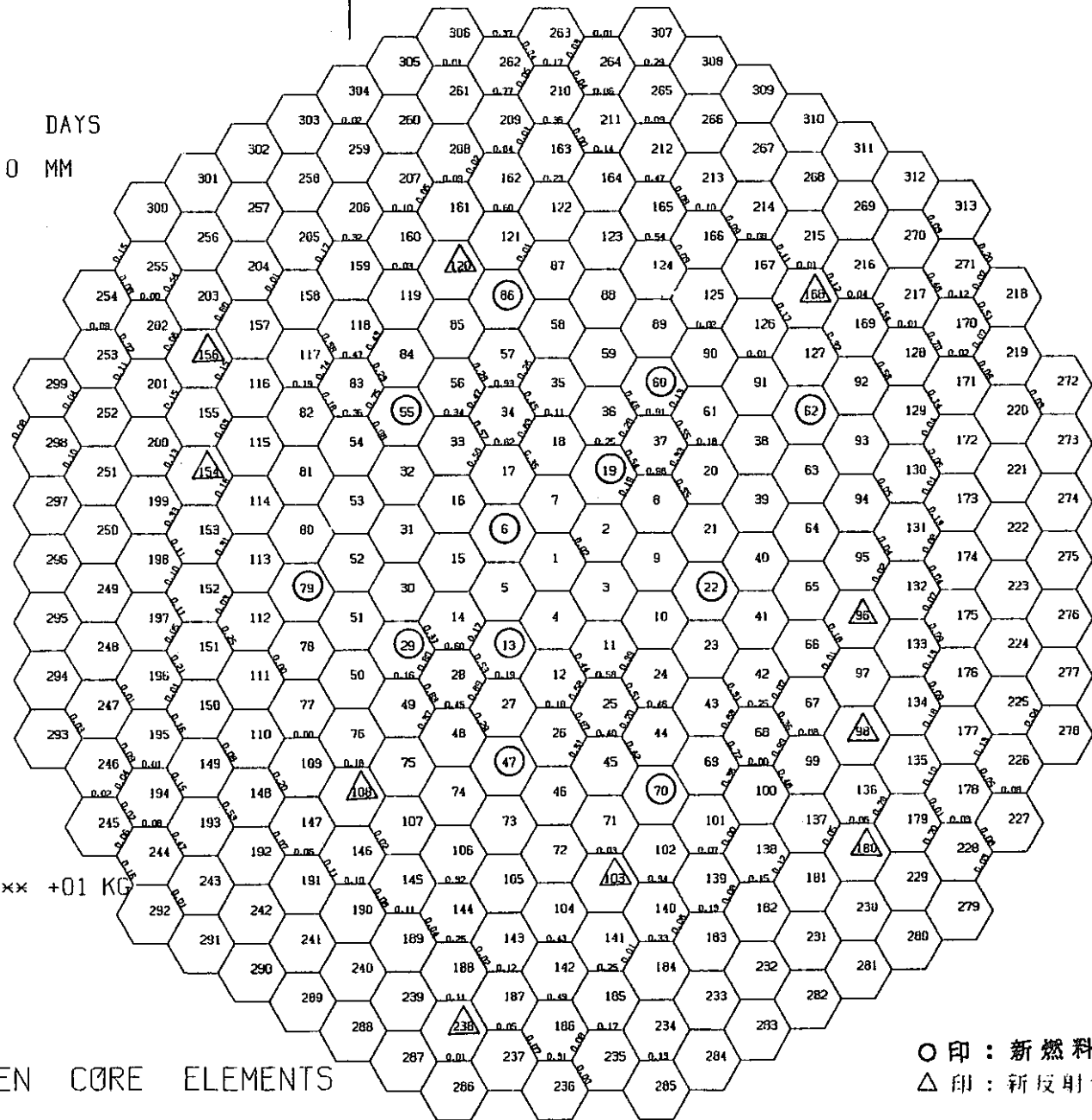
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 7 4 第 4 サイクル 末期 原子 炉 0 出力 時 に お け る 頂 部 パ ッ ド 位 置 で の 接 触 荷 重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM

IPUP = 2



CONTACT FORCES : 10^{xx} +01 KG

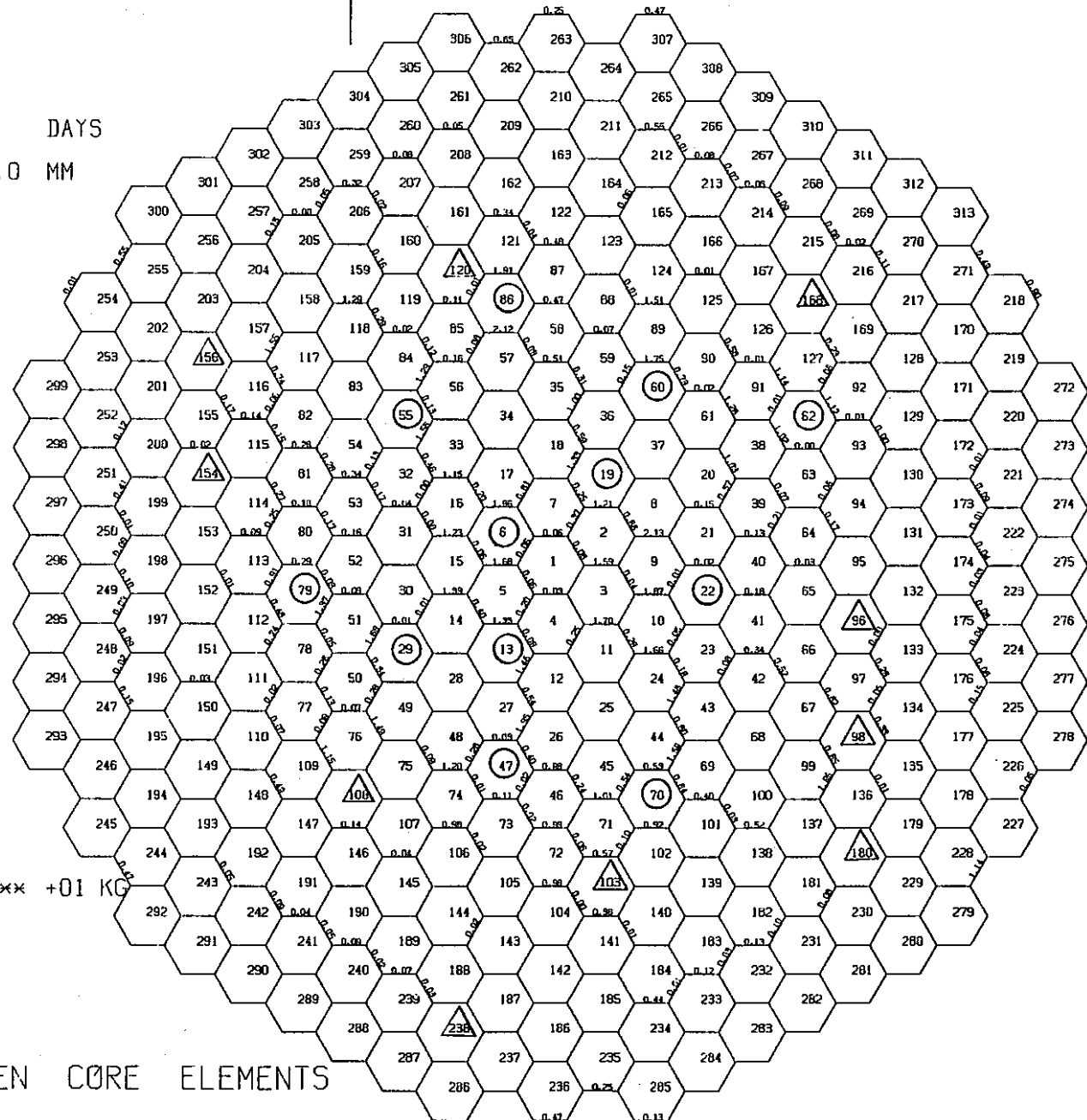
CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

○印 : 新燃料
△印 : 新反射体

3.4.2-89

図 3. 4. 2 - 7 5 第 5 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2



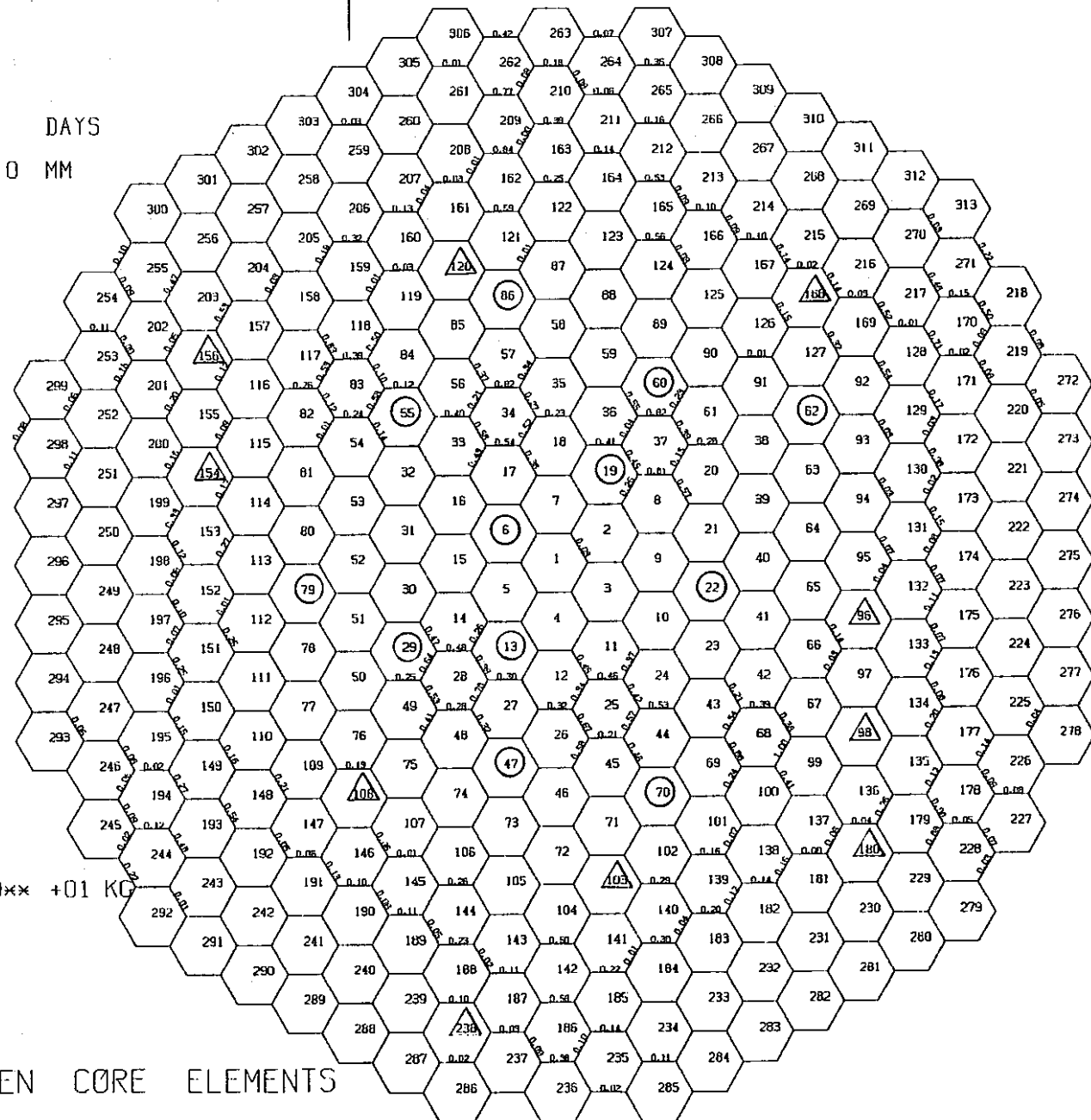
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-90

図 3. 4. 2 - 7 6 第 5 サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 I TIME = 6



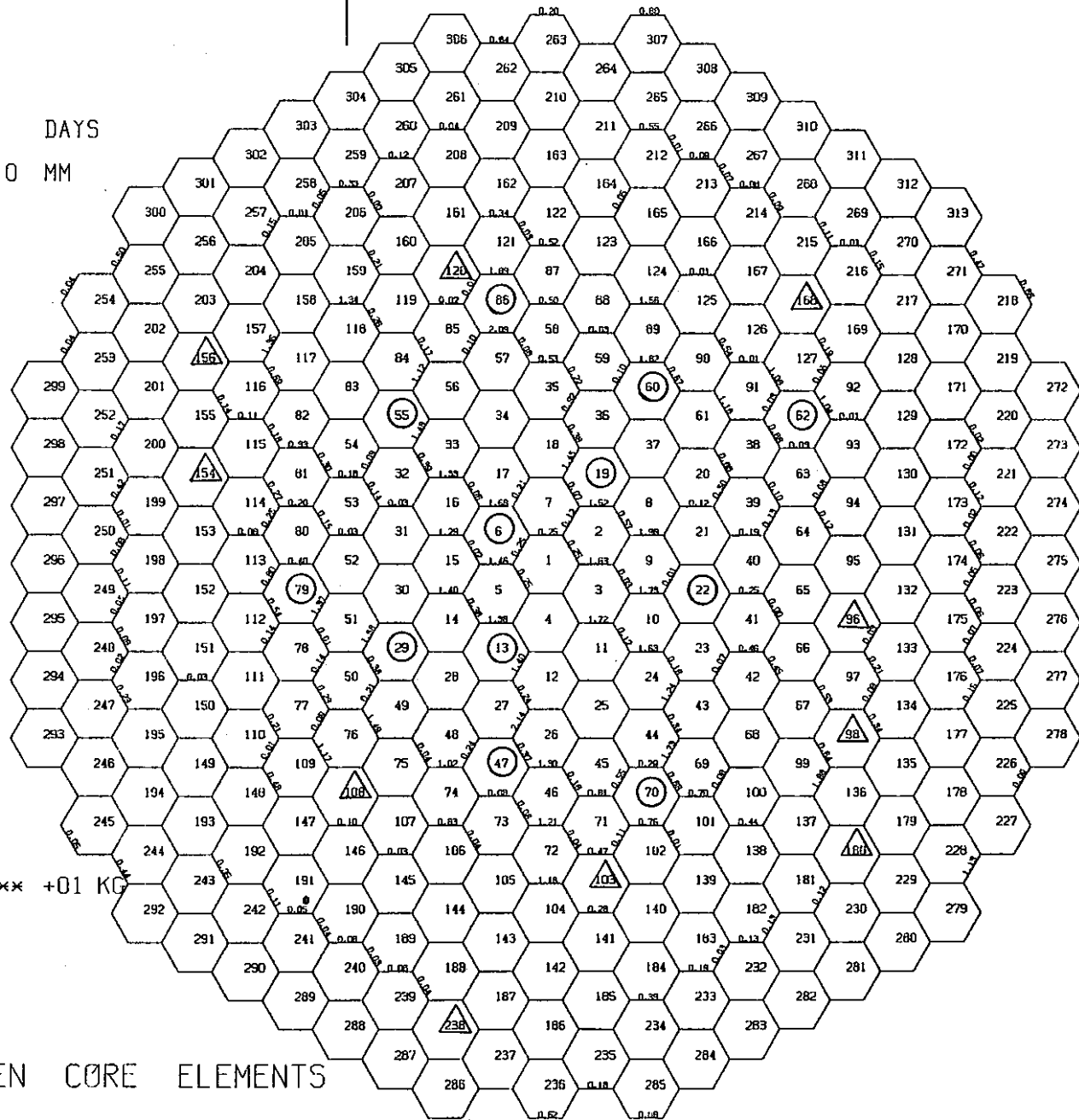
CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-91

図 3. 4. 2 - 77 第 5 サイクル 末期 における 頂部 パッド 位置 での 接触 荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 ITIME = 6



CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

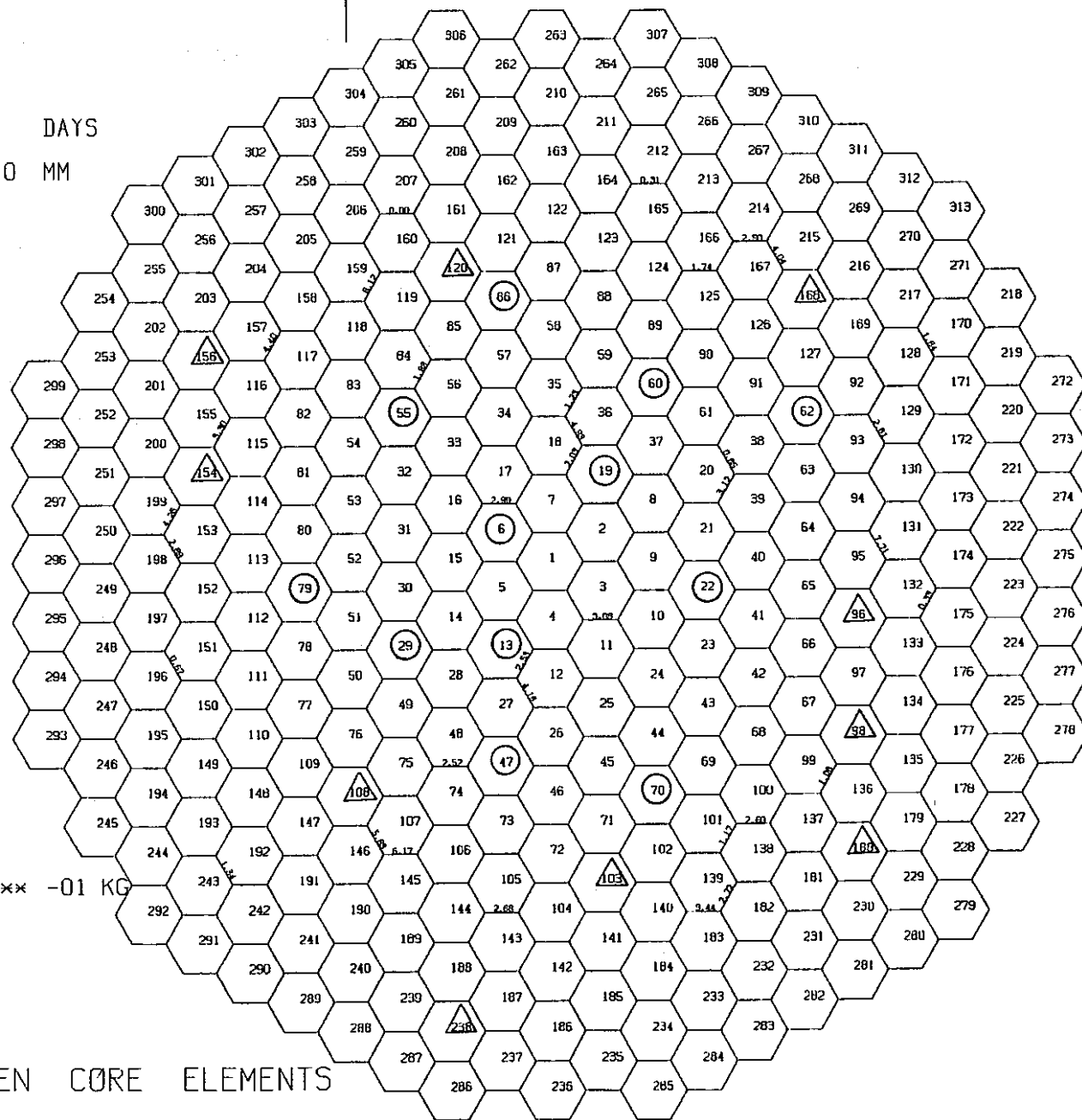
3.4.2-92

図 3. 4. 2 - 7 8 第 5 サイクル 末期 における 下部 パッド 位置 での 接触 荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS

AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM

IPDN = 1



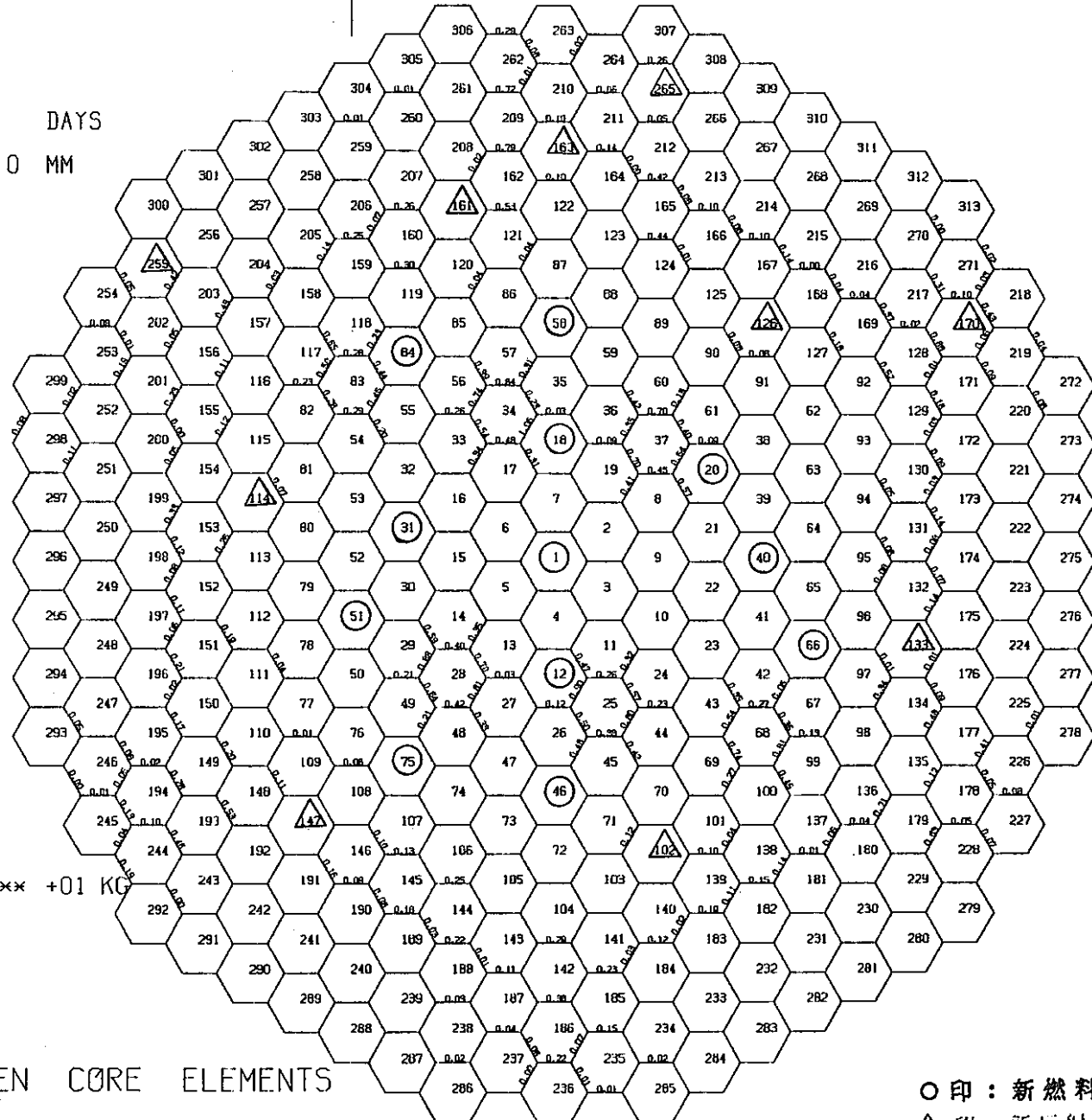
CONTACT FORCES : 10** -01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-93

図 3. 4. 2 - 7 9 第 5 サイクル末期原子炉の出力時における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPUP = 2



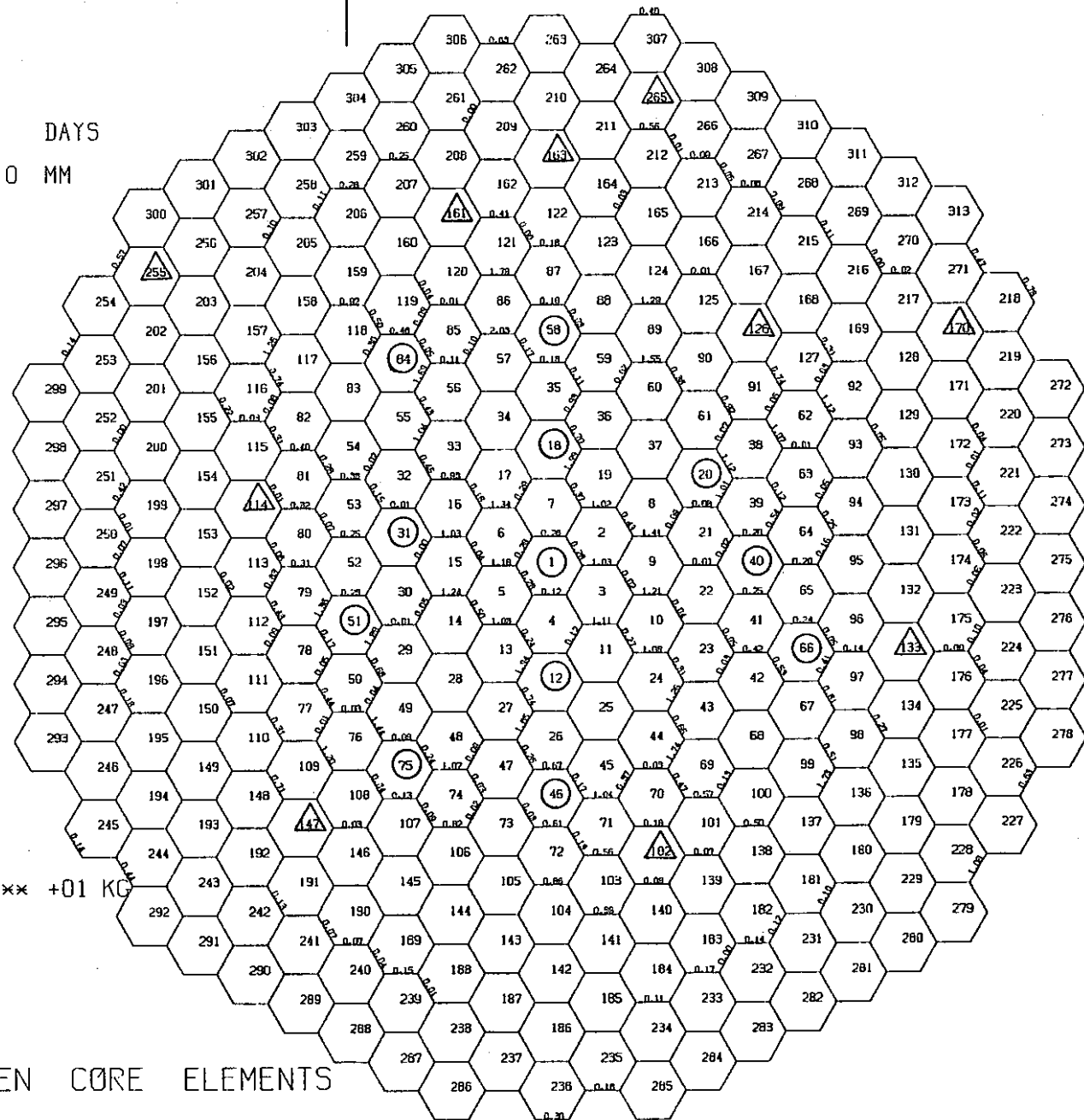
CONTACT FORCES : 10^x +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

○印 : 新燃料
 △印 : 新反射体

図 3. 4. 2 - 80 第 6 サイクル初期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 0.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPUP = 2

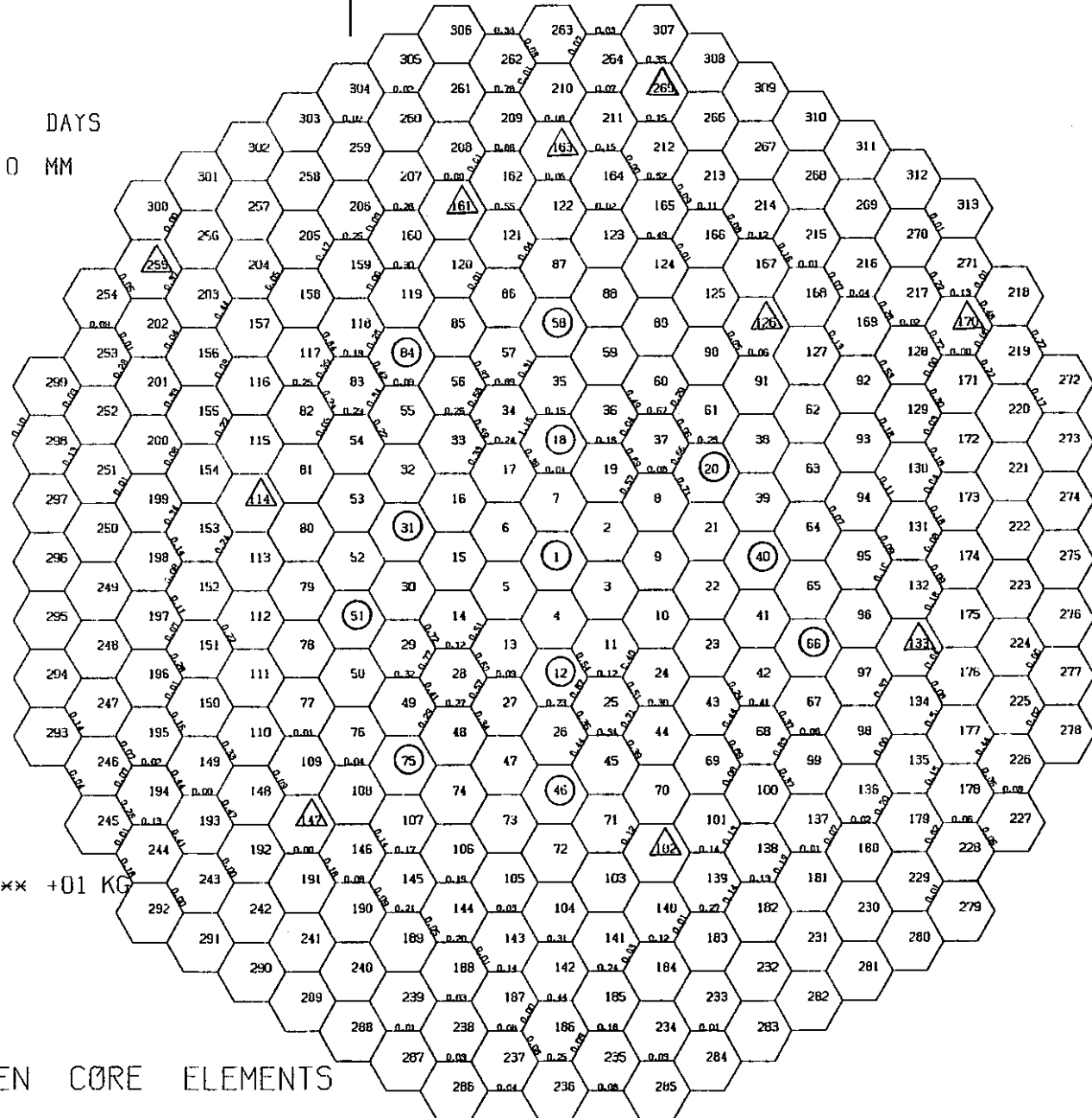


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 81 第 6 サイクル初期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
ITIME = 6

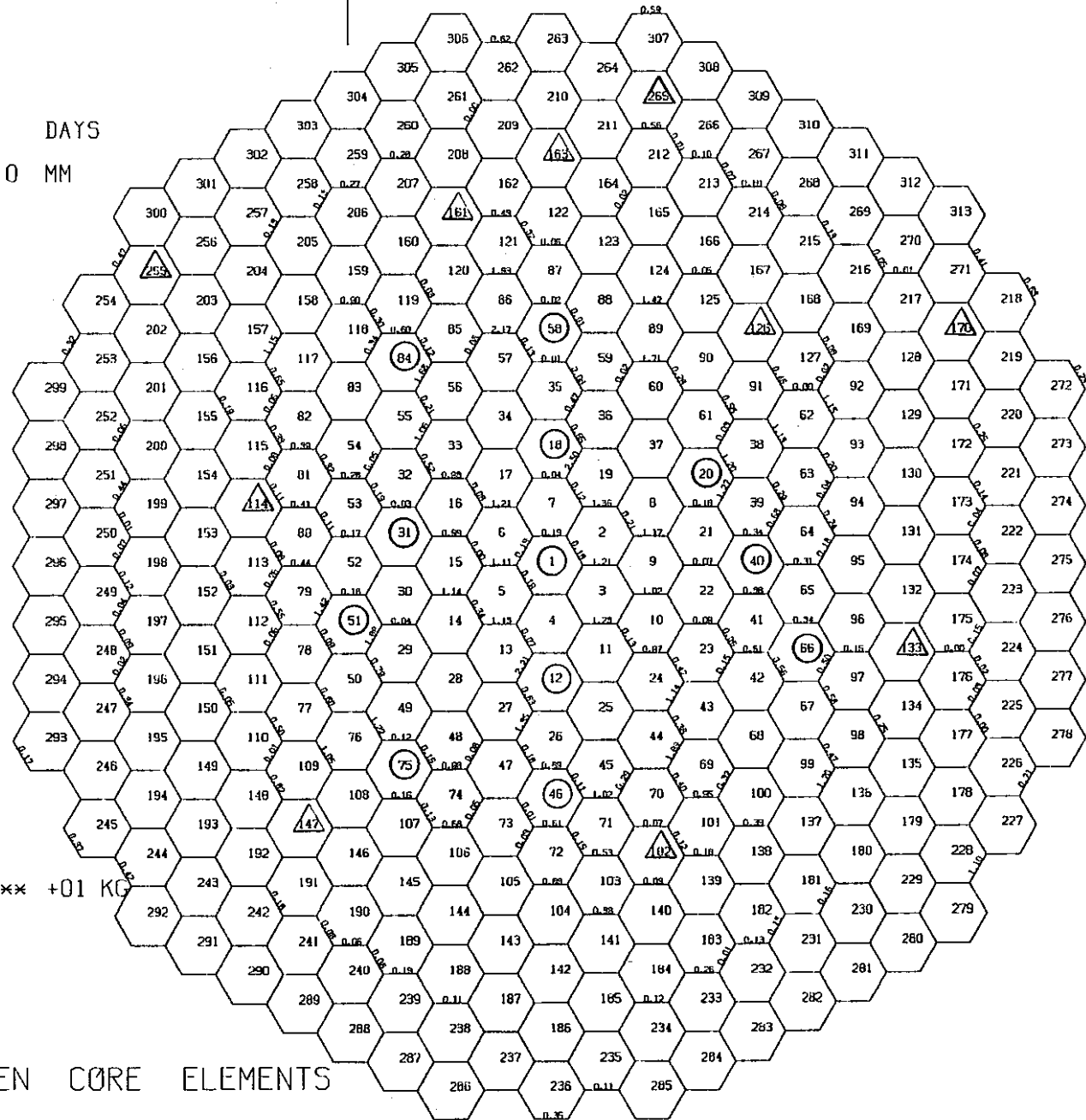


CONTACT FORCES : 10** +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 8 2 第 6 サイクル末期における頂部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 I TIME = 6



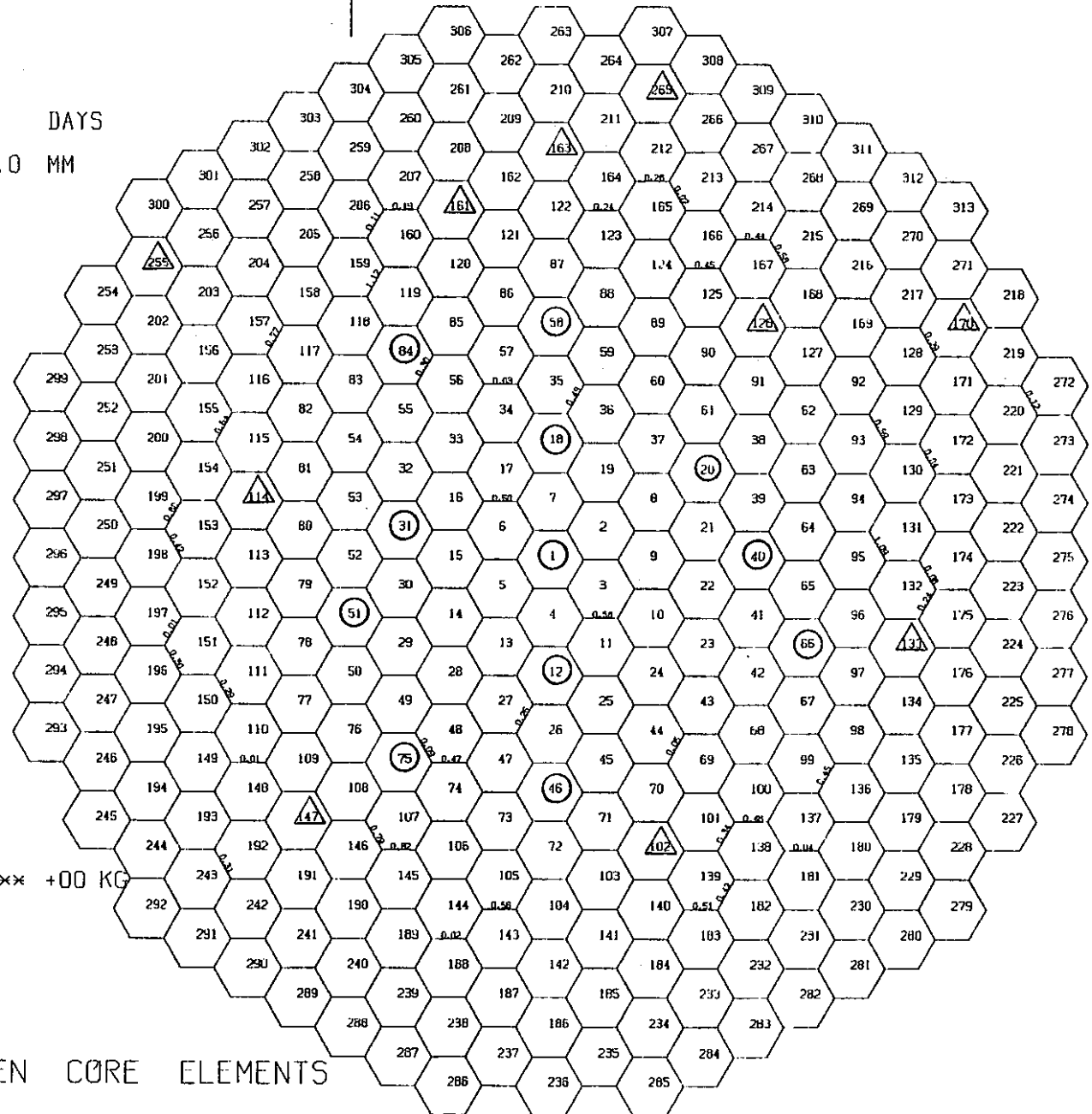
CONTACT FORCES : 10^{xx} +01 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-97

図 3. 4. 2 - 8 3 第 6 サイクル末期における下部パッド位置での接触荷重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 2390.0 MM
 IPDN = 1



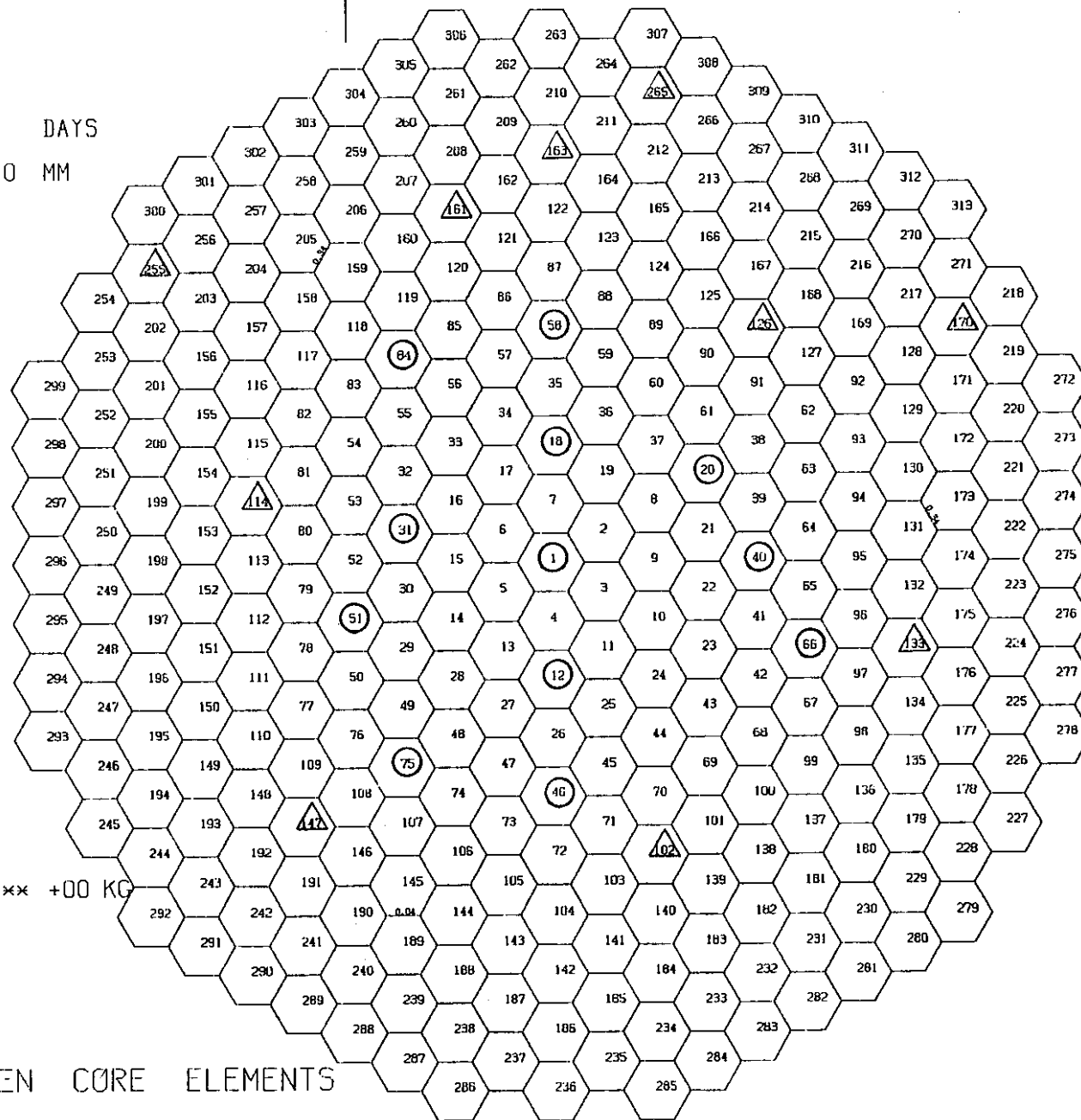
CONTACT FORCES : 10** +00 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

3.4.2-98

図 3. 4. 2 - 8 4 第 6 サイクル 末期 原子 炉 0 出力 時 に お け る 頂 部 パ ッ ド 位 置 で の 接 触 荷 重

OPERATING TIME = 60.0 DAYS
 AXIAL DISTANCE = 1170.0 MM
 IPDN = 1



CONTACT FORCES : 10** +00 KG

CONTACT FORCES BETWEEN CORE ELEMENTS

図 3. 4. 2 - 8 5 第 6 サイクル 末期 原子 炉 の 出力 時 に お け る 下 部 パ ッ ド 位 置 で の 接 触 荷 重

3.4.2-99

3.4.3 炉心湾曲解析結果に関する検討

3.4.3.1 湾曲変形に係る制限値との比較

3.4.2項で示したMk-III移行後6サイクルまでの湾曲変形データと諸制限値とを比較し、「常陽」Mk-III炉心の湾曲変形に係る健全性を確認した。その結果をまとめて表3.4.3-1に示す。以下では、表3.4.3-1を参照しながら比較結果を述べる。

a 接触荷重

3.4.2.3項の表3.4.2-5に示したように、最大接触荷重は、第2サイクル末期の#56(4F3)の外側炉心燃料と#34(3F3)の制御棒間の下部パッド位置で発生しており、約30kgである。表3.4.3-1に示したように、制限値は、170kgであり、制限値を十分満足している。

b 炉心構成要素の引抜き荷重

3.4.2.4項の表3.4.2-6に示したように、サイクル末期に取り出される炉心構成要素の引抜き荷重の最大値は、第1サイクル末期に取り出される外側炉心燃料(#44[4C3])の約10kg(自重含まず)であり、これに自重(70kg)を加えると、約80kgとなる。これは、表3.4.3-1に示した引抜き荷重制限値900kgに対して十分小さい。

c 燃料ポットへの炉心構成要素挿入性

3.4.2.2項の表3.4.2-3、4に示したように、サイクル末期に取り出される炉心構成要素の最大頂部残留変位は、2.6mm(第6サイクル末期に取り出される#48[4D3]の外側炉心燃料)である。これに、最大膨張量(200℃時)の1/2を加えると、2.8mmとなる。これは、燃料ポットのクリアランス18mmと比べ十分小さく、問題無い。

d 制御棒の挿入性

制御棒挿入性は、制御棒案内管の膨れ、保護管の膨れ、並びに案内管の湾曲状態で決まる。即ち、案内管、保護管が膨れた状態で案内管が湾曲した時に、保護管が案内管と3点接触しなければ、制御棒挿入性は確保される(図3.4.3-1参照)。以下では、3点接触を生じない条件(案内管の最小曲率半径)を示すとともに、今回、解析で得られた案内管の最小曲率半径について述べる。

(a) 保護管が案内管と3点接触を生じない条件

図3.4.3-1は保護管が案内管と3点接触した時の状態である。その時の案内管の曲率半径をRとすると、すべての軸方向位置において曲率半径がRより大きければ3点接触は生じないと言える。以下では、上記Rの算出法について述べる。

今、下記のように記号を定義する。

D : 案内管の膨張後の内径。実際には、Dは軸方向位置により異なるが保守性を確保した上で軸方向に一様の値を設定する。

d₁ : 制御棒保護管下端についたローラ部の外接円径。スエリング、熱膨張

を考慮した膨張後の値を設定する。

d_2 : 制御棒保護管の膨張後の外径。実際には、 d_2 は軸方向位置により異なるが、 D と同様保守性を確保した上で軸方向に一様の値を設定する。

L : 保護管のローラ部から上のハンドリングヘッドを除く全長。

図 5.4-1 からわかるように、下記の関係が成立する。

$$\left\{ R - \frac{D}{2} + d_2 + \frac{1}{4}(d_1 - d_2) \right\}^2 + \frac{1}{4} \left[\left\{ \frac{1}{2}(d_1 - d_2) \right\}^2 + L^2 \right] = \left(R + \frac{D}{2} \right)^2$$

上式を R について解くと、下式のようなになる。

$$R = \frac{\{D/2 - d_2 - (1/4)(d_1 - d_2)\}^2 + (1/16)(d_1 - d_2)^2 + (1/4)L^2 - (1/4)D^2}{D + 2\{D/2 - d_2 - (1/4)(d_1 - d_2)\}}$$

次に、 D 、 d_1 、 d_2 、 L の設定法を以下に述べる。

d_2 : 保護管の膨張量は H I B E A C O N コードでは算出されないので、案内管の最大膨張率（熱＋スエリング）を適用する。第 3 列制御棒、第 5 列制御棒案内管の上記最大膨張率は各々、0.681%、0.623% である。また、保護管の製作時外径は 64.7 mm であるので d_2 は各々 65.2 mm、65.1 mm となる。

d_1 : d_2 と同じ膨張率を適用し、各々 71.2 mm、71.2 mm とする。

（製作時寸法：70.7 mm）

D : 案内管の内径は、保守的に考えて、熱膨張のみ、しかも炉心入口温度（370℃）相当分の熱膨張のみを考える。そうすると、第 3 列制御棒、第 5 列制御棒とも 75.1 mm となる（74.7 × 1.0061）。

L : ローラ部から上のハンドリングヘッド部を除く部分を 1650 mm とする。

以上から、 R は以下のようなになる。

	第 3 列制御棒	第 5 列制御棒
d_1	71.2 mm	71.2 mm
d_2	65.2 mm	65.1 mm
D	75.1 mm	75.1 mm
L	1650 mm	1650 mm
R	4050 cm	4020 cm

(b) 案内管の最小曲率半径

案内管の頂部変位が最大となる時の曲率半径を H I B E A C O N の解析結果から算出した。その結果、軸方向全域に渡っての最小曲率半径は、第 3 列制御棒、第 5 列制御棒各々で 16900 cm、4900 cm となった。これらは、前記 (a) で述べた 3 点接触を生じる曲率半径と比べ十分大きく、挿入性は確保される。

(c) 制御棒移設炉心との比較

制御棒移設炉心では、制御棒案内管と保護管の3点接触を回避する最小曲率半径は、次のとおりである⁽³⁾。

	第3列制御棒	第5列制御棒
R	4100 cm	4200 cm

この値は、今回の「常陽」Mk-IIIの解析値と比べると若干大きな値となっている。即ち、制御棒移設炉心の方が、若干保護管の膨張が大きいことを意味している。これは、スエリング評価式の差によると考えられる。

一方、制御棒移設炉心の制御棒案内管の最小曲率半径は次のとおりである。⁽³⁾

	第3列制御棒	第5列制御棒
最小曲率半径	9600 cm	5800 cm

これを、今回の「常陽」Mk-IIIの解析値と比べると制御棒移設炉心の方が第3列では小さく、第5列では逆に大きくなっている。これは、使用したスエリング評価式の違いにより、制御棒移設炉心の方が、スエリングが大きいこと、第3列制御棒では、スエリングの曲がりが大きくなったこと、第5列制御棒では、同列より内側の下部パッドレベルでのギャップ総量が少なくなったため、案内管の下部パッドレベルの炉心中心側への変位が小さくなり、2次モード的曲がり緩和されたためと考えられる。因に、第5列の下部パッドの接触は、制御棒移設炉心では生じているが、今回の「常陽」Mk-IIIの解析では、生じていない。

e まとめ

以上で示したように、「常陽」Mk-III移行後6サイクルまでの炉心湾曲挙動は、それにかかわる制限値を満足しており、炉心健全性上問題無いと言える。

ただし、「常陽」Mk-IIIでは、反射体は、フェライト鋼製ラップ管反射体に交換された後は、交換されないため、長期間の反射体装荷による湾曲挙動への影響については、別途検討が必要である。

表3.4.3-1 湾曲変形に係る諸制限値との比較

項 目	制 限 値	最大値 (最小値)	炉心構成要素/時期	判定*	備 考
最大接触荷重	$\leq 170 \text{ kg}$ (下部バッド)	30 kg	#56(4F3)-#34(3F3) /第2サイクル末期	○	表3.4.2-5 より
炉心構成要素の 引抜荷重	$\leq 900 \text{ kg}$ (自重含み)	80 kg (9.7+70(自重))	#44(4C3) /第1サイクル末期	○	表3.4.2-6 より
燃料ポットへの 炉心構成要素の 挿入性	最大頂部残留変位 +最大片側断面膨張量 $\leq 18 \text{ mm}$ (燃料ポットクリアランス)	2.8 mm (2.6+0.2)	#48(4D3) /第6サイクル末期	○	表3.4.2-3 ,4より
制御棒 の挿入性	制御棒案内管と 制御棒保護管の 3点接触回避 曲率半径 >4050 cm (第3列制御棒) >4020 cm (第5列制御棒)	16900 cm 4900 cm	#25(3C3) /第6サイクル末期 #83(5F2) /第5サイクル末期	○ ○	

* ○印：制限値を満足する

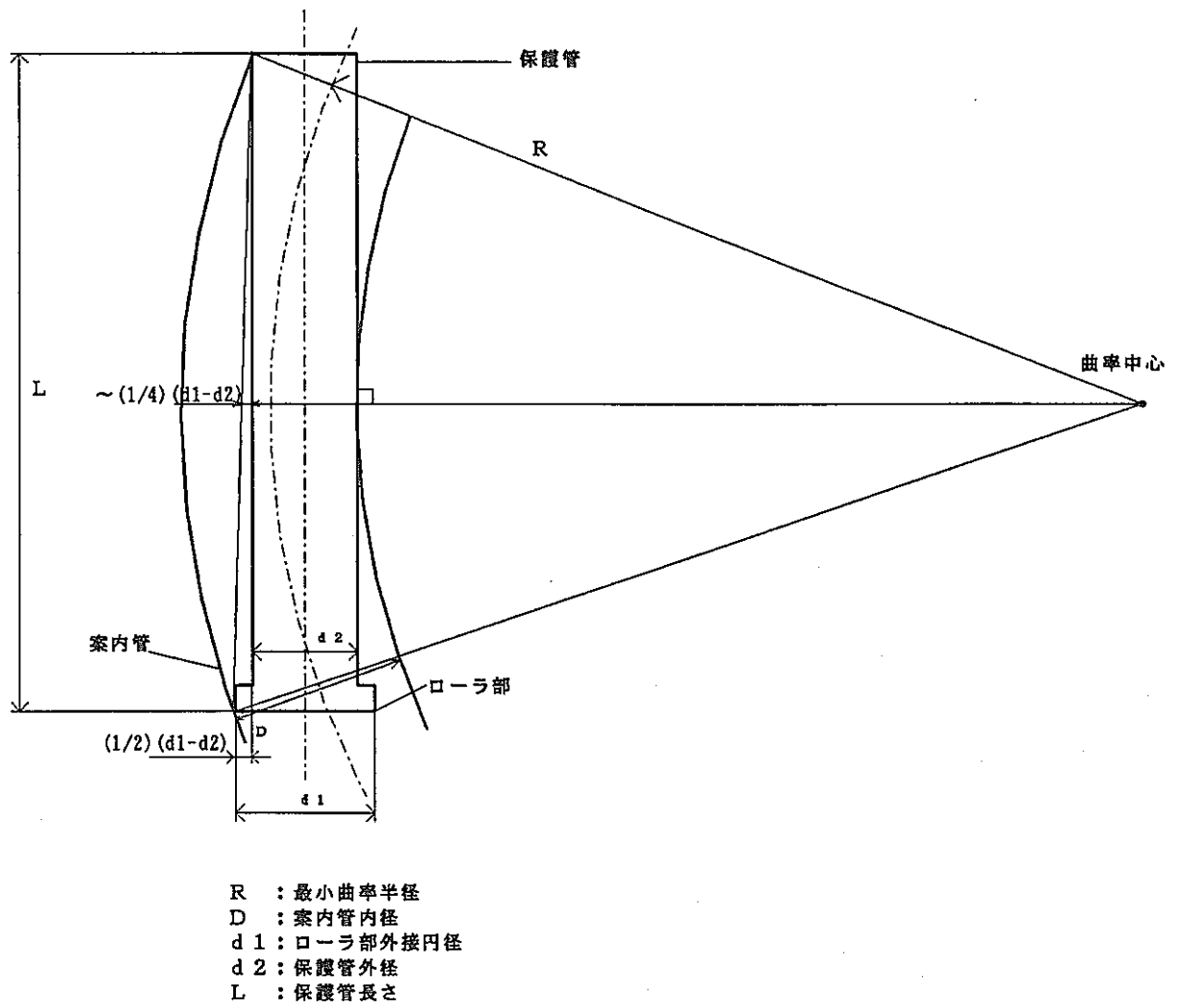


図 3.4.3-1 制御棒保護管と案内管が 3 点接触した状況説明図

3.4.3.2 フェライト鋼製ラッパ管反射体の装荷の効果

「常陽」Mk-IIIでは、取替え反射体としてフェライト鋼製ラッパ管反射体を装荷することが計画されており、今回の解析でも取替え反射体には、オーステナイト鋼製ではなくフェライト鋼製を装荷するとした。フェライト鋼製ラッパ管反射体を装荷した効果を定量的に評価するには、今回実施した解析に加えて、取替え反射体にオーステナイト鋼製を装荷するケースを実施し、湾曲挙動についての両者の比較が必要である。しかし、そのケースは、実施していないので、今回は、フェライト鋼製反射体を装荷した効果を今回の解析結果から定性的に推測した。

図3.4.3-2には、炉内の径方向的に類似した位置に装荷されたフェライト鋼製内側反射体とオーステナイト鋼製内側反射体の頂部残留変位を中性子照射量との関係で比較したものを示す。炉内に、6サイクル程度装荷された時の照射量では、残留変位は、オーステナイト鋼製内側反射体の方が小さい。これは、6サイクル程度の照射量 ($\sim 4 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$) では、スエリング評価式が図3.4.3-3に示すような温度依存性を持っており、オーステナイト鋼のスエリング評価式がフェライト鋼のそれよりスエリングを過少評価しているためである。後述の図3.4.3-4に示すように照射量が $\sim 20 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ を越えるとフェライト鋼のスエリング量がオーステナイト鋼のそれより小さくなり、フェライト鋼製反射体を装荷するメリットが出てくる。尚、従来の SUS 316 のスエリング評価式 (WARD の式) と上記オーステナイト鋼の評価式とを比べると後者の方が小さく、オーステナイト鋼のスエリング評価式でも残留変位は制限値に対して十分小さい。

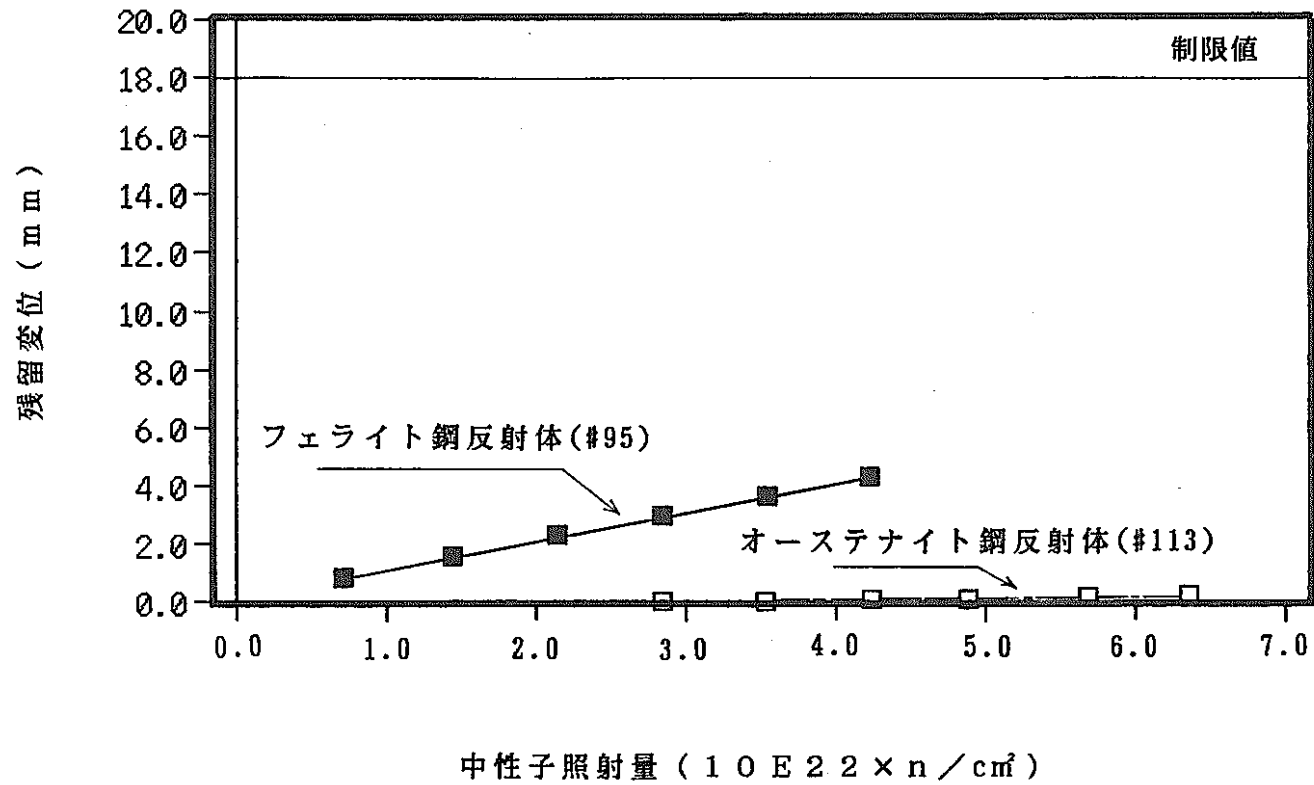


図 3. 4. 3. - 2 フェライト鋼製、オーステナイト鋼製反射体の頂部残留変位の比較

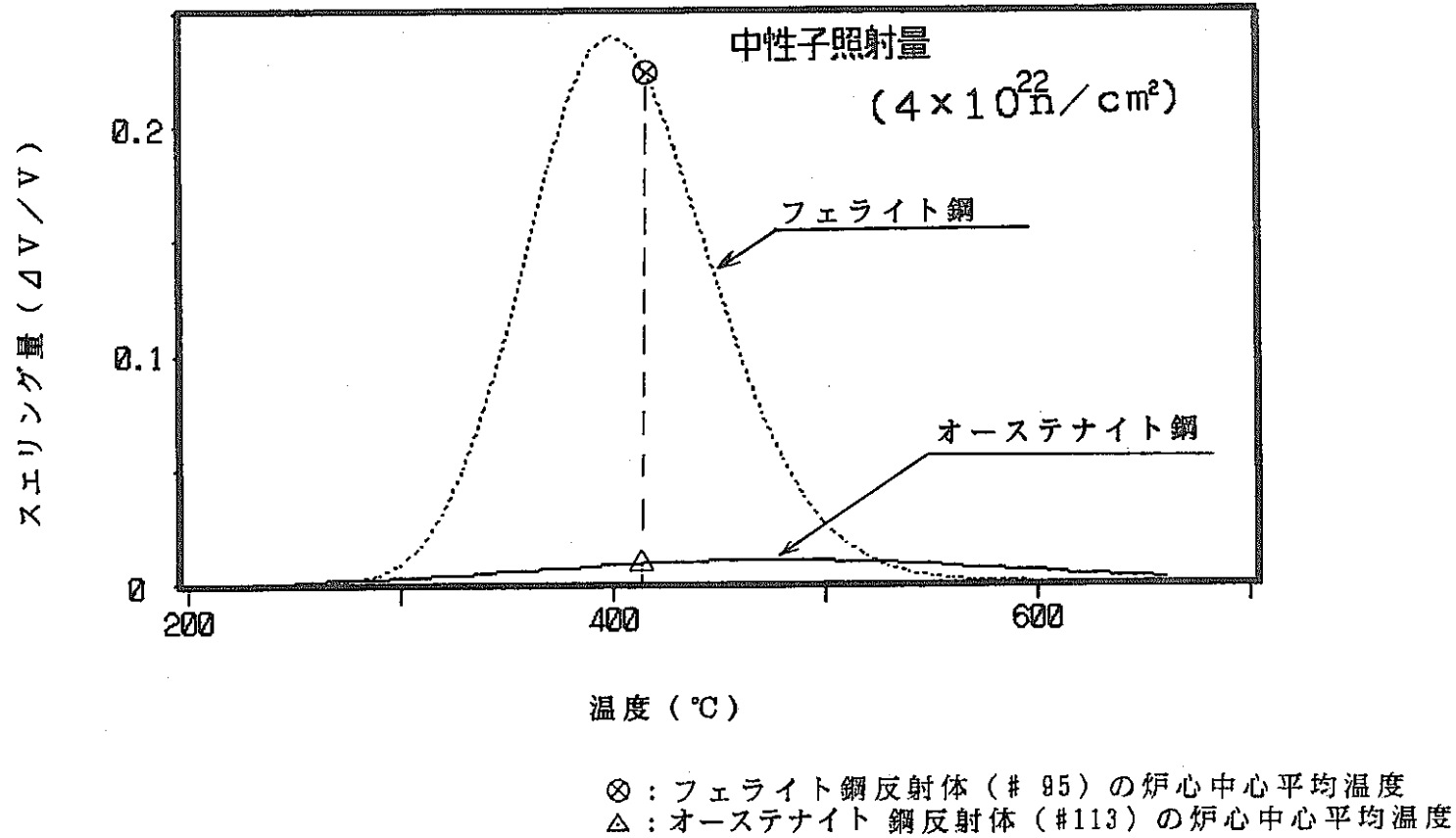


図 3. 4. 3 - 3 オーステナイト鋼製、フェライト鋼 のスエリング量の比較

3.4.3.3 制御棒移設炉心との比較（反射体における比較）

「常陽」Mk-II制御棒移設炉心湾曲解析⁽³⁾と今回解析を実施した「常陽」Mk-III炉心湾曲解析の反射体における最大変位の比較を表3.4.3-2に示し反射体を含む最大荷重を表3.4.3-3, 4に示す。

運転サイクル初期、末期の最大変位では、内側反射体及び外側(A)反射体の場合、Mk-II制御棒移設炉心の方が10%前後大きく、外側(B)反射体ではMk-III炉心の方が約2倍程度大きくなっている。

これらの相違は、スエリングの評価式の違いによるものである。即ち、図3.4.3-3に示したそれぞれの炉心湾曲解析において使用したスエリング評価式の比較から分かるように、Mk-III湾曲解析におけるスエリング評価式は、潜伏期間が $27 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ と大きく、今回の解析の範囲の照射量ではスエリングによる湾曲が小さくなるためである。

また、そのために、サイクル末期原子炉0出力時では、スエリングとクリープによる湾曲だけが残るため、Mk-II制御棒移設炉心に比べMk-III炉心の方が非常に小さな変位となっている。

外側(B)反射体の場合、Mk-II制御棒移設炉心は、最外側1層であるのに対し、Mk-III炉心では最外側2層であり、体系が異なり、Mk-III炉心の最大変位は外側から2層目で発生しており、倒れる範囲がMk-II制御棒移設炉心の外側から1層目に比べ大きいからである。

最大接触荷重では、前記に示したようにスエリングによる湾曲が小さい、Mk-III炉心の方が小さくMk-II制御棒移設炉心に比べ約 $1/2 \sim 1/5$ 程度である。Mk-III炉心では、スエリング及びクリープによる湾曲が非常に小さいため、サイクル末期原子炉0出力時にはほとんど接触がない。

表3.4.3-2 M k - II 制御棒移設炉心とM k - IIIの頂部最大変位の比較

運転 サイクル	初 期			末 期			サイクル末期原子炉O出力時			
	内側反射体	外側(A)反射体	外側(B)反射体	内側反射体	外側(A)反射体	外側(B)反射体	内側反射体	外側(A)反射体	外側(B)反射体	
1	制御棒 移設炉心 M k - II	6F4 6.73 (97.422)	7F5 5.73 (88.221)	10F4 1.45 (151.050)	6F4 6.93 (93.055)	7F5 5.73 (89.431)	10F4 1.44 (150.805)	6F4 7.07 (89.377)	7F4 5.63 (84.262)	10F4 1.24 (117.973)
	M k - III	6E4 6.66 (270.5)	6B1 4.90 (123.8)	9E6 2.84 (-156.7)	6B3 6.67 (97.8)	7F4 5.03 (-154.4)	9E6 2.80 (-155.7)	6C3 0.82 (-5.5)	7E5 0.57 (-96.7)	9B3 0.27 (107.5)
2	制御棒 移設炉心 M k - II	6F4 7.01 (93.230)	7F5 5.73 (89.176)	10F4 1.44 (150.799)	6F4 7.10 (90.504)	7F5 5.73 (89.513)	10F4 1.44 (150.527)	6F4 7.11 (86.645)	7F4 5.70 (83.165)	10F4 1.24 (117.626)
	M k - III	6E4 6.52 (-90.1)	7F4 4.93 (-155.5)	9B8 2.87 (22.3)	6B3 6.60 (97.8)	7F4 4.99 (156.0)	9B8 2.86 (22.8)	6B4 1.53 (89.4)	7E5 1.1 (-96.5)	9B3 0.53 (107.6)
3	制御棒 移設炉心 M k - II	6F5 6.97 (88.815)	7F5 5.72 (89.623)	10F4 1.44 (150.540)	6F5 7.06 (89.543)	7F5 5.72 (89.811)	10F4 1.44 (150.256)	6F3 6.11 (89.560)	7F4 5.60 (85.231)	10F4 1.24 (117.266)
	M k - III	6B3 6.46 (97.4)	6C1 5.05 (72.8)	9B8 2.88 (21.8)	6B3 6.54 (97.1)	6D1 4.98 (1.2)	9B8 2.84 (23.0)	6B4 2.05 (86.6)	7E5 1.65 (-95.9)	9B3 0.80 (107.6)
4	制御棒 移設炉心 M k - II	6F5 7.06 (89.989)	7F5 5.72 (89.828)	10F4 1.44 (150.266)	6F5 7.06 (89.877)	7F5 5.72 (89.507)	10F4 1.43 (150.001)	6F5 7.11 (83.370)	7F4 5.69 (84.586)	10F4 1.24 (116.931)
	M k - III	6A3 6.76 (160.9)	6D1 4.99 (1.8)	9B8 2.89 (21.9)	6A3 6.79 (160.0)	6D1 5.02 (2.3)	9E6 2.85 (-156.4)	6B4 2.52 (84.2)	7E5 1.93 (-95.5)	9B3 1.06 (107.6)
5	制御棒 移設炉心 M k - II	6F5 7.05 (89.738)	7F5 5.72 (89.516)	10F4 1.43 (149.982)	6F5 7.05 (89.492)	7F5 5.73 (89.450)	10F4 1.43 (149.710)	6F3 6.91 (93.343)	7F4 5.63 (86.159)	10F4 1.24 (116.592)
	M k - III	6E4 6.93 (-100.3)	6D1 4.98 (3.3)	9A3 2.83 (213.3)	6E4 6.98 (-100.2)	7E5 5.30 (102.1)	9A3 2.84 (212.7)	6B4 2.98 (82.6)	7E5 2.19 (-96.2)	9A2 0.83 (179.0)
6	制御棒 移設炉心 M k - II	6F3 6.37 (136.413)	7F5 5.71 (89.547)	10F4 1.43 (149.668)	6F3 6.39 (134.168)	7F5 5.71 (89.539)	10F4 1.43 (149.400)	6F3 6.35 (106.016)	7F5 5.76 (90.101)	10F7 1.28 (74.204)
	M k - III	6E4 6.86 (-102.5)	7E5 5.29 (-102.2)	9A3 2.81 (213.1)	6E4 6.92 (-102.0)	7E5 5.37 (-101.3)	9E7 2.69 (222.1)	6B4 3.37 (80.9)	7E5 2.45 (-96.7)	9B3 1.51 (106.9)
7	制御棒 移設炉心 M k - II	6F3 6.35 (135.974)	7F5 5.72 (89.767)	10F4 1.43 (149.434)	6F4 5.65 (97.356)	7F5 5.72 (89.816)	10F4 1.42 (149.146)	6F3 6.50 (103.063)	7F5 5.77 (90.000)	10F7 1.29 (75.399)
8	制御棒 移設炉心 M k - II	6F3 6.29 (136.131)	7F5 5.73 (89.776)	10F4 1.42 (149.169)	6F5 6.40 (43.808)	7F5 5.72 (90.030)	10F4 1.42 (148.855)	6F1 6.78 (131.208)	7F5 5.78 (91.822)	10F7 1.29 (76.574)
9	制御棒 移設炉心 M k - II	5F5 6.21 (49.899)	7F5 5.72 (87.728)	10F4 1.42 (148.853)	6F4 6.64 (98.737)	7F5 5.72 (89.501)	10F6 1.42 (90.120)	6F1 6.57 (131.468)	7F5 5.81 (95.736)	10F5 1.29 (104.863)
10	制御棒 移設炉心 M k - II	6F4 6.41 (100.344)	7F5 5.72 (87.340)	10F6 1.42 (90.120)	6F4 6.72 (96.973)	7F5 5.72 (89.515)	10F6 1.42 (90.121)	6F4 6.82 (86.055)	7F5 5.81 (95.196)	10F6 1.34 (93.272)

上段：M A G I 出力ファイルにおける炉内アドレス番号

中段：最大変位(mm)

下段：変位方向(deg)

*1) 制御棒移設炉心M k - II：解析サイクル10サイクル(1/6回転対称炉心体系)

*2) 「常陽」：解析サイクル6サイクル(全炉心体系)

表3.4.3-3 M k - II 制御棒移設炉心とM k - IIIの接触荷重の比較 (頂部パッド)

運転 サイクル		初 期	末 期	サイクル末期 原子炉0出力時
1	制御棒 *1 移設炉心 M k - II	9F4-10F4 26.2	9F4-10F4 33.8	5F1-6F1 14.0
	*2 M k - III	5C2-6C2 10.6	5F2-6F3 12.1	
2	制御棒 移設炉心 M k - II	9F4-10F4 28.2	9F4-10F4 37.2	6F6-7F7 17.4
	M k - III	5C2-6C2 10.1	6F2-6F3 10.5	
3	制御棒 移設炉心 M k - II	9F4-10F4 29.0	9F8-10F9 36.3	6F2-7F2 10.6
	M k - III	5C2-6C2 9.9	5C2-6C2 9.6	6F4-7F4 0.24
4	制御棒 移設炉心 M k - II	9F8-10F9 31.1	9F8-10F9 44.8	7F6-8F7 11.9
	M k - III	5C2-6C2 10.8	5C2-6C2 10.3	6F4-7F4 0.53
5	制御棒 移設炉心 M k - II	9F8-10F9 41.0	9F8-10F9 51.4	7F6-8F7 19.4
	M k - III	5C2-6C2 9.9	5C2-6C2 10.0	6F4-7F4 0.81
6	制御棒 移設炉心 M k - II	9F8-10F9 30.9	9F8-10F9 35.2	7F3-8F3 10.4
	M k - III	5C2-6C2 8.1	5C2-6C2 8.3	6F4-7F4 1.12
7	制御棒 移設炉心 M k - II	9F8-10F9 28.2	9F8-10F9 30.8	9F3-10F3 9.2
8	制御棒 移設炉心 M k - II	9F8-10F9 28.8	9F8-10F9 31.3	7F3-8F3 12.4
9	制御棒 移設炉心 M k - II	9F3-10F3 28.0	8F8-9F9 33.1	8F8-9F9 13.9
10	制御棒 移設炉心 M k - II	8F8-9F9 29.5	9F9-外 37.5	8F8-9F9 15.6

上段 : M A G I 出力ファイルにおける炉内アドレス番号
下段 : 接触荷重 (kg)

- *1) 制御棒移設炉心 M k - II : 解析サイクル 10 サイクル (1/6 回転対称炉心体系)
*2) 「常陽」 : 解析サイクル 6 サイクル (全炉心体系)

表3.4.3-4 Mk-II制御棒移設炉心とMk-IIIの接触荷重の比較(下部パッド)

運転 サイクル		初 期	末 期	サイクル末期 原子炉O出力時
1	制御棒 *1 移設炉心 Mk-II	6F3-7F4 36.3	6F3-7F4 42.8	4F1-5F1 34.7
	*2 Mk-III	6C2-7C2 24.6	6C2-7C2 25.4	
2	制御棒 移設炉心 Mk-II	5F1-6F6 45.4	5F1-6F6 53.2	5F1-6F2 18.2
	Mk-III	6C2-7C2 23.1	6C2-7C2 24.0	
3	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F4-7F4 44.3	5F1-6F6 47.5	5F2-6F2 12.5
	Mk-III	6C2-7C2 19.4	6C2-7C2 19.0	
4	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F4-7F4 40.4	5F1-6F6 45.7	10F9-外 11.1
	Mk-III	6C2-7C2 21.0	6C2-7C2 19.9	
5	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F4-7F4 36.6	6F3-7F4 40.1	10F9-外 9.4
	Mk-III	6C2-7C2 19.6	5F5-6F6 18.9	
6	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F2-7F2 29.3	6F5-7F6 49.4	6F5-7F6 21.8
	Mk-III	5F5-6F6 17.8	5F5-6F6 19.3	7B4-8B5 0.34
7	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F5-7F6 38.7	6F5-7F6 32.8	5F3-6F3 16.1
8	制御棒 移設炉心 Mk-II	6F5-7F6 37.4	6F5-7F6 34.0	5F3-6F3 18.7
9	制御棒 移設炉心 MK-II	6F3-7F3 46.9	6F3-7F3 44.3	7F4-8F4 13.2
10	制御棒 移設炉心 MK-II	6F3-7F3 45.7	6F3-7F3 43.8	7F4-8F4 11.0

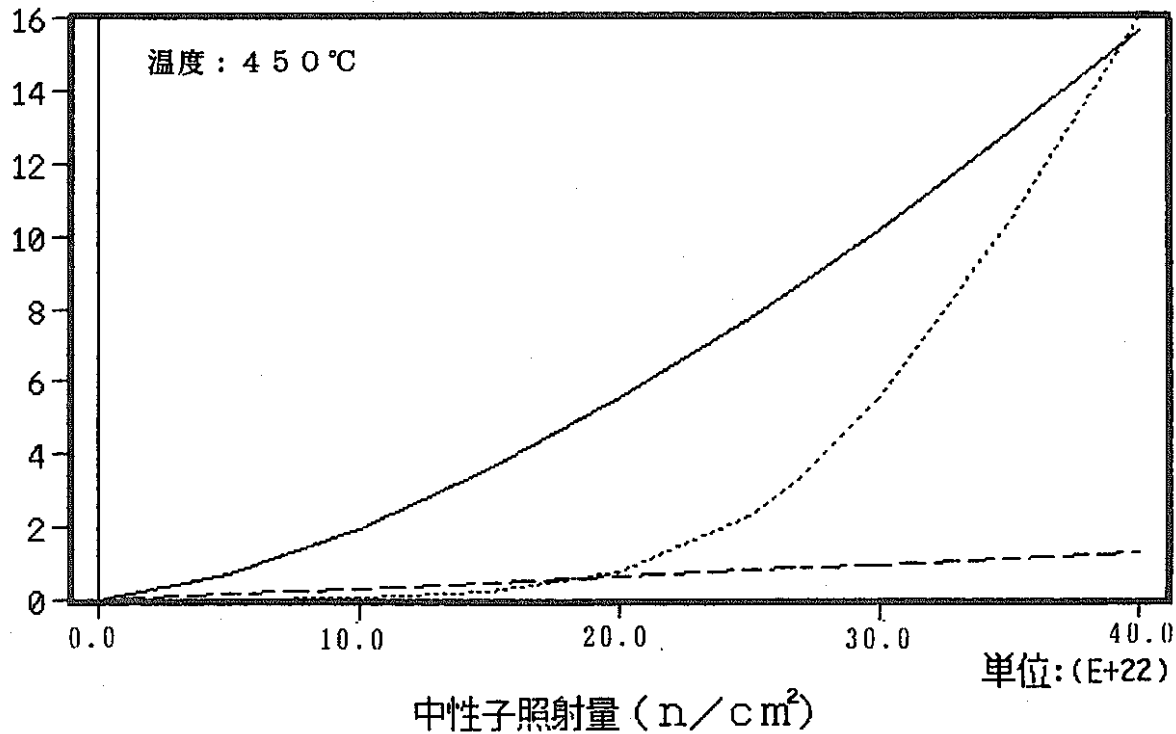
上段：MAGI出力ファイルにおける炉内アドレス番号

下段：接触荷重(kg)

*1) 制御棒移設炉心Mk-II：解析サイクル10サイクル(1/6回転対称炉心体系)

*2) 「常陽」：解析サイクル6サイクル(全炉心体系)

スエリング量 (%・T.O.V)



- : 移設制御棒湾曲解析時スエリング評価式 (WARDの式)
- : 「常陽」Mk-III湾曲解析時スエリング評価式
(改良オーステナイト鋼評価式)
- - - : 「常陽」Mk-III湾曲解析時スエリング評価式
(フェライト・マルテンサイト鋼評価式)

図3.4.3-4 炉心湾曲解析における使用スエリング評価式の比較

4 結 言

炉心湾曲解析の入力となるラッパ管温度、中性子束分布を計算する“HITETRAS”コードを、これまでに改良を加えてきた“HIBEACON”コードと関係が取れるように改良し、ラッパ管温度、中性子束計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が出来るようにするとともに、上記改良を施したコードを用いて、「常陽」MK-IIIの炉心湾曲解析を実施し、Mk-IIIの湾曲特性を明らかにした。

本研究の成果を以下にまとめる。

(1) 炉心湾曲解析コードの改良

これまでに改良を加えてきたHIBEACONコードと関係が取れるようにHITETRASコードに以下の改良を加え、ラッパ管温度、高速中性子束分布計算から炉心湾曲解析までの一連の計算が何等かの制約を受けること無く出来るようにした。

a HITETRASコードにおける温度、中性子束の出力機能の改良

(a) ラッパ管温度、中性子束の出力方式の変更

HIBEACONコードの自由湾曲量計算モデルの改良に対応して、ラッパ管温度、中性子束を以下の3方式で出力できるように改良した。

- i. ラッパ管各面についてその平均値を出力する（従来方式）
- ii. ラッパ管各面を周方向に2等分割し、その分割領域内の平均値を出力する。
- iii. ラッパ管各コーナでの値を出力する。

従来、HIBEACONコードでは、実質的にiの方式でしか計算できなかったが、本改良により、その制約が解消された。

(b) ラッパ管温度、中性子束の出力軸方向ノードの不等分割化

従来、HIBEACONコードの軸方向ノードは等分割であり、それに対応し、HITETRASコードはその等分割ノードに合わせてラッパ管温度、中性子束を出力していた。しかし、その後、HIBEACONコードの軸方向ノードの不等分割化が実施されたため、それに対応しその不等分割化ノードに合わせて、ラッパ管温度、中性子束を出力できるようにした。

本改良により、HIBEACONコード側でノード分割に関し制約を受けること無く、炉心湾曲解析ができるようになった。

b HITETRASコードのプログラムサイズの可変性

COMMON変数に対し、INCLUDE文、及びPARAMETER文を使い、解析対象に応じてプログラムサイズを変更できるようにした。

この結果、「常陽」全炉心解析には、1.7MBの容量が必要であり、また、1/6回転対称体系の解析では、その約1/3程度の容量ですむことがわかった。

c HIBEACONコードの改良

下記(2)の「常陽」MK-III炉心湾曲解析を実施するに当たり必要となった以下の改良を実施した。

(a) ラッパ管間ギャップ計算法の変更

(b) 自由湾曲量成分出力機能の追加

(c) リスト出力項目選択機能の追加

ラッパ管間ギャップ計算法の変更では、ラッパ管と炉心支持板の熱膨張率が同じであれば、解析結果は、改良前と大差無いことを確認した。

(2) 「常陽」Mk-III炉心湾曲解析

「常陽」Mk-IIIは、高中性子束化、炉心の2領域化、照射スペースの増加等、Mk-II炉心から大きく異なる炉心特性を有する。そこで、改良した“HIBEACON”コード及び“HITETRAS”コードを用い、Mk-III炉心の湾曲挙動を全炉心体系で解析した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- a 炉心構成要素の最大変位は、頂部で7mm程度、下部パッド位置で1mm程度である。また、取出し時の最大残留変位（頂部）も2～3mm程度である。
- b 最大接触荷重は、高々30kg、最大引抜き荷重も高々10kg（自重含まず）である。
- c 上記の結果を炉心湾曲に係る諸制限値と比較した結果、今回解析対象としたMk-III炉心移行後第6サイクルまでは、炉心湾曲の観点から特に健全性上問題にならないことを確認した。尚、反射体としてフェライト鋼製反射体を装荷した場合、照射量の低い領域でフェライト鋼製反射体の残留変形量がオーステナイト鋼製反射体のそれより大きくなる場合があった。これは、低照射量領域（ $< \sim 15 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ ）でオーステナイト鋼スエリング評価式がフェライト鋼のそれよりスエリングを過小評価しているためである。
- d 「常陽」Mk-II制御棒移設炉心の湾曲解析結果⁽³⁾と今回のMk-III炉心湾曲解析結果を比較したところ、変位、荷重とも前者の方が大きいことがわかった。これは、解析に使用したスエリング評価式について前者（SUS316用スエリング評価式、WARDの式）の方が後者（改良オーステナイト鋼用評価式）よりも大きいためである。

5. 謝 辞

本業務の遂行に当たり、動力炉・核燃料開発事業団、大洗工学センター、実験炉部技術課の小林孝良氏、並びに青山卓史氏には、データの御支給、ご助言等を頂き、深く感謝の意を表します。

6. 参考文献

- (1) 日立 : 「炉心湾曲解析コードの改良 (平成元年度作業)」
PNC SJ9124 90-001, 動燃契約業務報告書
- (2) 日立 : 「炉心湾曲解析コードの改良 (昭和63年度作業分)」
PNC SJ9124 89-003, 動燃契約業務報告書
- (3) 日立 : 「移設制御棒の炉内変形量計算」
PNC SJ9124 90-004, 動燃契約業務報告書
- (4) 動燃 : 「「常陽」高性能炉心における炉心湾曲解析用データの支給」
技-2-241, 実験炉部, 技術課メモ

7. 付 録

7.1 プログラム使用マニュアル

今回の改良にともない。プログラム使用マニュアルを改訂した。

プログラム使用マニュアルは、下記のものからなる。

7.1.1 HITETRAS

- (1) パラメータ設定内容 : 表7.1.1-1
- (2) 入力データ : 表7.1.1-2
- (3) 入力データフォーマット : 表7.1.1-3
- (4) 論理装置番号とその内容 : 表7.1.1-4

7.1.2 HIBEACON

- (1) パラメータ設定内容 : 表7.1.2-1
- (2) 入力データ : 表7.1.2-2
- (3) 入力データフォーマット : 表7.1.2-3
- (4) 論理装置番号とその内容 : 表7.1.2-4
- (5) プログラム内蔵デフォルト値 : 表7.1.2-5

表7.1.1-1 HITETRASコードのパラメータ設定内容

変数名	内容	備考
M¥NTAS	炉心構成要素最大数	
M¥NDMX	軸方向ノード最大数	
M¥LDMX	HIBEACON用軸向ノード最大数	
M¥MXGP	炉心構成要素間ギャップの最大数	
M¥MXKC	制御棒要素の最大種類数	
M¥MXAX	軸方向出力分布種類及び高速中性子束分布種類の最大数	
M¥MXGF	ギャップ流量種類の最大数	
M¥MXMT	$\nu\Sigma f$, Σa , D規定用物質種類の最大数	
M¥NONO	プロッタ出力用軸方向ノード最大数	
M¥NELM	プロッタ出力用炉心構成要素最大数	

表7.1.1-2(1) HITETRASコードの入力データ

データ分類; タイトル

No.	変 数 名	配 列 数	内 容	備 考
①-1	ITITLE(I)	I = 1, 20	タイトル	

表7.1.1-2(3) HITETRASコードの入力データ

データ分類；解析炉心体系関連データ

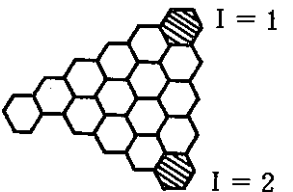
No.	変数名	配列数	内 容	備 考
③-1	NTAS		炉心構成要素の総数 [NTAS<MYNTAS]	 <p>各炉心構成要素の軸方向のSectionの分割は図7.1.1-1を参照する。</p> <p>I = 1 ; section II 2 ; section III</p>
2	LDMAX		HIBEACON用軸方向ノードの総数 [LDMAX<MYLDMX]	
3	TL		上部支持板から上側の炉心構成要素の長さ (cm)	
4	PITCH		炉心構成要素の配列ピッチ (cm)	
5	DFLATO		ラッパ管外側対辺間距離 (cm)	
6	IOPT3		炉心形状 $IOPT3 = \begin{cases} 1 ; 1 / 6 \text{ 回転対称炉心} \\ 2 ; 1 / 3 \text{ 回転対称炉心} \\ 3 ; 1 / 2 \text{ 回転対称炉心} \\ 6 ; \text{全炉心} \end{cases}$	
7	LAYER		炉心層数 但し、炉心中心の炉心構成要素も1層とする。	
8	IBREAK (I)	I = 1, 2	炉心最外層の上下炉心構成要素の欠け数 (1 / 6 回転対称炉心を対象とした欠け数)	
9	TINLET		原子炉入口温度 (°C)	
10	MXKC		制御棒要素の種類 [MXKC<MYMXKC]	
11	NODEFA		燃料集合体のsection IIの最初の軸方向ノード	
12	NODERF		中性子しゃへい体のsection IIの最初の軸方向ノード	
13	NODENS (I)	I = 1, 2	中性子源要素のsection II, section IIIの最初の軸方向ノード	

表7.1.1-2(4) HITETRASコードの入力データ

データ分類：解析炉心体系関連データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
③-14	NODECR(J,I)	I = 1, 2 J = 1, MXKC	制御棒要素のsection II, IIIの最初の軸方向ノード	I = 1 ; Section II 2 ; Section III
15	KCNO(I,J)	J = 1, 10 I = 1, MXKC	I番目の種類に属する制御棒である炉心構成要素番号 (不要のときKCNO = 0)	
16	BAX(I)	I = 1, LDMAX	HIBEACON用軸方向ノード I の長さ (cm)	

表7.1.1-2(5) HITETRASコードの入力データ

データ分類；炉心構成要素仕様

No.	変数名	配列数	内容	備考
④-1	MAS(I)	I = 1, NTAS	I番目の炉心構成要素が以下のいずれに属するかを示す。 MAS(I) = { 1 : 炉心燃料集合体 (特殊燃料集合体を含む) 2 : ブランケット燃料集合体 3 : 制御棒要素 4 : 中性子しゃへい体 5 : 中性子源要素 14 : 内側反射体 (照射用集合体を含む) 24 : 外側反射体 (A) 25 : 外側反射体 (B)	図7.2参照
2	PINP(J)	J = 1, 2	燃料要素の配列ピッチ (cm) J = 1 : 炉心燃料集合体, J = 2 : ブランケット燃料集合体	
3	DDPIN(J)	J = 1, 2	燃料被覆管肉厚 (cm)	
4	IASTY(J)	J = 1, 2	ラッパ管に沿って並んだ燃料要素数 [IASTY ≤ 10]	
5	DWRAP(M)	M = 1, 5	ラッパ管の肉厚 (cm) M = 1 : 炉心燃料集合体 M = 2 : ブランケット燃料集合体 M = 3 : 制御棒要素 M = 4 : 中性子しゃへい体 M = 5 : 中性子源要素	
6	DPIN(J)	J = 1, 2	燃料要素外径 (cm) [J = 1, : 炉心, J = 2 : ブランケット]	
7	WIREP(J)	J = 1, 2	ワイヤスペーサ巻ピッチ (cm)	

表7.1.1-2(6) HITETRASコードの入力データ

データ分類：出力分布関連データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑤-1	MIDZ		Axial Peakingが最大となる軸方向ノード番号	
2	MXAX		軸方向出力分布の種類 [MXAX<M _Y MXAX]	
3	NODEMX		軸方向ノードの総数 [NODEMX<M _Y NODEMX]	
4	KAXPW(I)	I = 1, NTAS	炉心構成要素Iは, MXAX種類の軸方向出力分布及び、高速中性子束分布のいずれに属するかを示す。	
5	TPOWER(I)	I = 1, NTAS	炉心構成要素Iの発熱量 (W)	
6	POAX(N,K)	N = 1, NODEMX K = 1, MXAX	軸方向ノードNでの軸方向出力ピーキングファクタ (相対値)	
7	AX (N)	N = 1, NODEMX	軸方向ノードNの長さ (cm)	
8	CPW (K)	K = 1, 4	制御棒要素における各部全体の出力割合 (Total=1.0) $K = \begin{cases} 1 : \text{Control Volume 1} \sim 6 \text{ 全体} \\ 2 : \text{Control Volume 7} \sim 12 \text{ 全体} \\ 3 : \text{保護管} \\ 4 : \text{案内管} \end{cases}$	各炉心構成要素のControl Volumeの分割状態とその番号付けは図7.1.1-2~4を参照する。
9	SNPW (K)	K = 1, 5	中性子源要素における各部全体の出力割合 (Total=1.0) $K = \begin{cases} 1, 2 : \text{保護管内部, 保護管} \\ 3 : \text{ベリリウム内側被覆管} \\ 4 : \text{ベリリウム} \\ 5 : \text{ベリリウム外側被覆管} \end{cases}$	Sb-Be中性子源使用の場合
10	FLAX(N,K)	N = 1, NODEMX K = 1, MXAX	軸方向ノードNでの軸方向高速中性子束分布 (相対値)	

表7.1.1-2(7) HITETRASコードの入力データ

データ分類; Control Volume関連データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑥-1	FAREA (J,I)	J = 1, 2 I = 1, 3	燃料集合体におけるControl Volume 1体あたりの流路面積 (cm ²) I = { 1 : Control Volume No. 1 ~ 6, 13~24 2 : Control Volume No. 7~12 3 : Control Volume No. 25~36	J = 1 炉心燃料集合体 J = 2 フランカ燃料集合体 ○Section Iにおける流路面積 ○燃料集合体における燃料要素とControl Volumeとの関係を図7.1.1-3に示す。 図7.1.1-2参照
2	CRAD(I)	I = 1, 5	制御棒要素における各部の半径 (cm) I = { 1 : Control Volume 1 ~ 6 全体の外半径 2, 3 : 保護管内半径・外半径 4, 5 : 案内管内半径・外半径	図7.1.1-2参照
3	CAREA (K)	K = 1, 2	制御棒要素におけるControl Volume 1体あたりの流路面積 (cm ²) K = { 1 : Control Volume No. 1 ~ 6 2 : Control Volume No. 7 ~ 12	Section IIにおける流路面積
4	RFRAD (I)	I = 1, 3	中性子しゃへい体における各部の半径 (cm) I = { 1 : 内側しゃへいブロック外半径 2, 3 : 外側しゃへいブロック内半径・外半径	
5	SNDR (I)	I = 1, 6	中性子源要素における各部の半径 (cm) I = { 1, 2 : 保護管内半径・外半径 3, 4 : ベリリウム内側被覆管内半径・外半径 5, 6 : ベリリウム外側被覆管内半径・外半径	Sb-Be中性子源使用の場合 図7.1.1-2参照
6	SNAREA		中性子源要素のControl Volume (No. 1 ~ 6) 全体の流路面積 (cm ²)	Section IIにおける流路面積

表7.1.1-2(8) HITETRASコードの入力データ

データ分類 ; Control Volume関連データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑥-7	SHAREA (J)	J = 1, 2 [※]	燃料集合体のsection IIの流路面積 (cm ²)	<p>※ J = 1 : 炉心燃料集合体 J = 2 : フランケット燃料集合体</p> <p>※※ 制御棒要素, 中性子源要素のsection Iの流路面積は、section IIの入力値から計算される。section IIIは、section Iと断面形状が異っても良いようにするため入力するものである。</p>
8	RDAREA		制御棒要素のsection IIIの流路面積 (cm ²) ^{※※}	
9	SBAREA		中性子源要素のsection IIIの流路面積 (cm ²) ^{※※}	

表7.1.1-2(9) HITETRASコードの入力データ

データ分類；冷却材流量関連データ

No.	変数名	配列数	内容	備考
⑦-1	CFLOW (I)	I = 1, 3	制御棒要素における各部全体の流量割合 (Total=1.0) $I = \begin{cases} 1 : \text{保護管内部} \\ 2 : \text{保護管・案内管の間} \\ 3 : \text{案内管外部} \end{cases}$	
2	RFFLOW (K)	K = 1, 2	中性子しゃへい体における各部全体の流量割合 (Total=1.0) $K = \begin{cases} 1 : \text{内側・外側しゃへいブロック間} \\ 2 : \text{外側しゃへいブロック・ラッパ管の間} \end{cases}$	
3	SNFLOW (I)	I = 1, 3	中性子源要素における各部全体の流量割合 (Total=1.0) $I = \begin{cases} 1 : \text{保護管内部} \\ 2 : \text{保護管・ベリリウム内側被覆管の間} \\ 3 : \text{ベリリウム外側被覆・ラッパ管の間} \end{cases}$	Sb-Be中性子源使用の場合
4	TFLOW (I)	I = 1, NTAS	炉心構成要素 I の冷却材流量 (g/s)	
5	MXGAP		炉心構成要素間ギャップの量大番号 [MXGAP<MYMXGP]	
6	MXGPFL		ギャップ流量をMXGPFLの種類にわけ [MXGPFL<MYMXGF]	
7	KGPF (I)	I = 1, MXGAP	ギャップ I がKGPF番目の種類のギャップ流量に属する。	
8	GPFLOW (KG)	KG = 1, MXGPFL	KG番目の種類のギャップ流量 (g/s)	炉心構成要素とギャップ番号との関係は図7.1.1-5を参照する。

表7.1.1-2(10) HITETRASコードの入力データ

データ分類：核データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑧-1	MXMAT		物質番号の総数 [MXMAT<M Y MXMT]	
2	MATNO (I)	I = 1, NTAS	I番目の炉心構成要素が何番目の物質番号に相当するかを示す。	
3	EFK		実効増倍率	
4	SIGF (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの生成断面積 (cm ⁻¹) ($\nu \Sigma f$)	Total 1群における値
5	SIGA (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの吸収断面積 (cm ⁻¹) (Σa)	同 上
6	DIFS (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの拡散係数 (cm) (D) (No. 1 ~ No. 6 は, 要素内部の出力分布計算に使用)	同 上
7	FSIGF (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの高速群生成断面積 (cm ⁻¹) ($\nu \Sigma f$)	
8	FSIGA (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの高速群吸収断面積 (cm ⁻¹) (Σa)	
9	FDIFS (M)	M = 1, MXMAT	物質番号Mの高速群拡散係数 (cm) (D) (No. 7 ~ No. 9 はHIBEACONの入力となるラッパ管壁の高速中性子束計算に使用)	

表7.1.1-2(11) HITETRASコードの入力データ

データ分類：中性子束分布データ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑨-1	TFLUX (I)	I = 1, NTAS	I 番目の炉心構成要素の軸方向中心における中性子束 (相対値) (要素内部の出力分布計算に使用)	炉心構成要素中心での中性子束
2	FSFLUX(1)	I = 1, NTAS	I 番目の炉心構成要素の軸方向中心における高速中性子束 ($n/cm^2 \cdot s$) (HIBEACONの入力となるラッパ管壁各6面の平均高速中性子束計算に使用)	炉心構成要素中心での中性子束

表7.1.1-2(12) HITETRASコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No.	変数名	配列数	内容	備考
⑩-1	NONON		炉心構成要素内部およびギャップにおける温度をプリントおよびプロッター出力する軸方向ノードの総数と、軸方向ノード番号。	
2	NNNO (I)	I = 1, NONON	[NONON<MYNONO] プリントは全ての要素およびギャップの温度を出力。 プロッターは、以下で指定する要素、ギャップの温度のみ出力。	
3	NELM		プロッター出力する炉心構成要素の総数および要素番号 [NELM<MYNELM] (要素番号は出力する順に入力する。)	
4	NELMT (I)	I = 1, NELM		
5	NCV (I,M)	I = 1, NELM M = 1, NCON	No.4で指定した炉心構成要素ごとに、プロッター出力する内部のcontrol Volume番号を入力する。(出力する順に入力する。) NCON=出力するcontrol Volume個数≤20	
6	NOGAP (M)	M = 1, NELM	プロッター出力する炉心構成要素間のギャップ番号。 (出力する順に入力する)	
7	ELS		プロッター出力する際の炉心構成要素の幅 (cm) $ELS = \begin{cases} 1.56667 & (NELM \leq 15) \\ 1.15 & (NELM \leq 16) \end{cases}$	
8	NELM2 (I)	I = 1, 2	1列上に並んだ炉心構成要素及び炉心構成要素間のギャップをプロッター出力する場合に最初と最後の炉心構成番号を指定する。 (この場合No.3～No.6は不要となる。)	
9	NANTAS		炉心構成要素ごとに、No.5で指定した一連のControl Volume番号を変更する総数[NANTAS≤10]	

表7.1.1-2(13) HITETRASコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑩-10	NANODE (I)	I = 1, NANTAS	Control Volume番号を変更する軸方向ノード番号をNANTAS個入力する。	
11	NAELM (I)	I = 1, NANTAS	Control Volume番号を変更する炉心構成要素番号をNANTAS個入力する。	
12	NANCV (I,M)	I = 1, NANTAS M = 1, NCON	No.10, 11で指定した順にControl Volume番号をNCON個入力する。 (No.5参照) NCON = 出力するControl Volume個数	
13	NOWRAP		NOWRAP = 0 のとき, 各炉心構成要素ごとに, ラッパ管6面の温度をプリントする。NOWRAP ≠ 0 のとき出力しない。	

表7.1.1-2(14) HITETRASコードの入力データ

データ分類; 物性値

No.	変数名	配列数	内 容	備 考
⑪-1	CP		ナトリウム定圧比熱 ($CP=1.2623W \cdot \text{sec} / g \cdot ^\circ\text{C}$)	
2	ROU		ナトリウム密度 (g / cm^3)	
3	CONDNA		ナトリウム熱伝導率 ($W / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)	
4	CONDSS		構造材の熱伝導率 ($W / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)	
5	CONDBE		ベリリウムペレットの熱伝導率 ($W / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)	
6	GAPCON		ベリリウム被覆管内のギャップコンダクタンス ($W / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)	

表7.1.1-2(15) HITETRASコードの入力データ

データ分類：常陽用反射体Control Volume関連データ

No.	変数名	配列数	内容	備考
⑫-1	RFRAP (I)	I = 1, 3	反射体のラッパ管肉厚 (cm) $I = \begin{cases} 1 ; \text{内側反射体} \\ 2 ; \text{外側反射体 (A)} \\ 3 ; \text{外側反射体 (B)} \end{cases}$	各反射体のControl Volumeの分割状況とその番号付は図7.1.1-4を参照。 各反射体の軸方向のsectionの分割は、図7.1.1-6を参照。
2	RFLARA		内側反射体のControl Volume (No.1~6) 1個あたりの流路面積 (cm ²)	
3	NODRFI		内側反射体のSection IIの最初の軸方向ノード番号	
4	RFARAD (I)	I = 1, 3	外側反射体 (A) における各部の半径 (cm) $I = \begin{cases} 1 ; \text{保護管内半径} \\ 2 ; \text{保護管外半径} \\ 3 ; \text{しゃへいブロック外半径} \end{cases}$	
5	RFAFLW (I)	I = 1, 2	外側反射体 (A) における各部全体の流量割合 (Total=1.0) $I = \begin{cases} 1 ; \text{保護管内部} \\ 2 ; \text{しゃへいブロック・ラッパ管の間} \end{cases}$	
6	RFAPW (I)	I = 1, 2	外側反射体 (A) における各部全体の出力割合 (Total=1.0) $I = \begin{cases} 1 ; \text{保護管} \\ 2 ; \text{しゃへいブロック} \end{cases}$	
7	NODERFA		外側反射体 (A) のSection IIの最初の軸方向ノード番号	
8	REBRAD		外側反射体 (B) におけるしゃへいブロック内半径 (cm)	
9	NODERFB		外側反射体 (B) のSection IIの最初の軸方向ノード番号	

表7.1.1-3(1) HITETRASコードの入力データフォーマット

No.	変数名	FORMAT	枚数	Input Cards
①	ITITLE(I)	20 A 4	1	
②	IOPT ↓ IBOPT	NAMELIST 形式 BLOCK名 =NM01		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">EPS2 = 0.1 &END</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">&NM01 IOPT = 0</div> <p>① 最初のカードには第2カラムから&NM01をパンチし、1カラム以上あけて(変数名) = (数値)としてパンチする。</p> <p>② 2枚目以降のカードも2カラムからパンチする。ただし&NM01をパンチする必要はない。</p> <p>③ データの最後には&ENDをパンチする。最後のデータの後にはコンマは不要</p> <p>④ すべてのデータがデフォルト値を使用する場合も下記カードだけは使用する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">&NM01 &END</div>
③	NTAS ↓ BAX(I)	NAMELIST 形式 BLOCK名 =NM02		<p>上記に準ずる</p> <p style="text-align: center;">&NM02 ~ &END</p>
④	MAS(I) ↓ WIREP(J)	NAMELIST 形式 BLOCK名 =NM03		<p>上記に準ずる</p> <p style="text-align: center;">&NM03 ~ &END</p>
⑤	MIDZ ↓ FLAX(N,K)	NAMELIST 形式 BLOCK名 =NM04		<p>上記に準ずる</p> <p style="text-align: center;">&NM04 ~ &END</p>

表7.1.1-3(2) HITETRASコードの入力データフォーマット

No.	変数名	FORMAT	枚数	Input Cards
⑥	FAREA(J, I) ↓ SBAREA	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM05		上記に準ずる &NM05~&END
⑦	CFLOW(I) ↓ GPFLOW(KG)	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM06		上記に準ずる &NM06~&END
⑧	MXMAT ↓ FDIFS(M)	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM07		上記に準ずる &NM07~&END
⑨	TFLUX(I) ↓ FSFLUX(I)	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM08		上記に準ずる &NM08~&END
⑩	NONON ↓ NOWRAP	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM09		上記に準ずる &NM09~&END
⑪	CP ↓ GAPCON	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM10		上記に準ずる &NM10~&END
⑫	RFRAP(I) ↓ NODRFB	NAMelist 形式 BLOCK名 =NM15		上記に準ずる &NM15~&END

表7.1.1-4 論理装置番号の内容説明

装置 番号	用途	説明
5	入力	入力データ
6	出力	計算結果（リスト出力）
8	出力	ラッパー管壁の温度分布
9	出力	ラッパー管壁の高速中性子束分布
20	出力	集合体出口温度

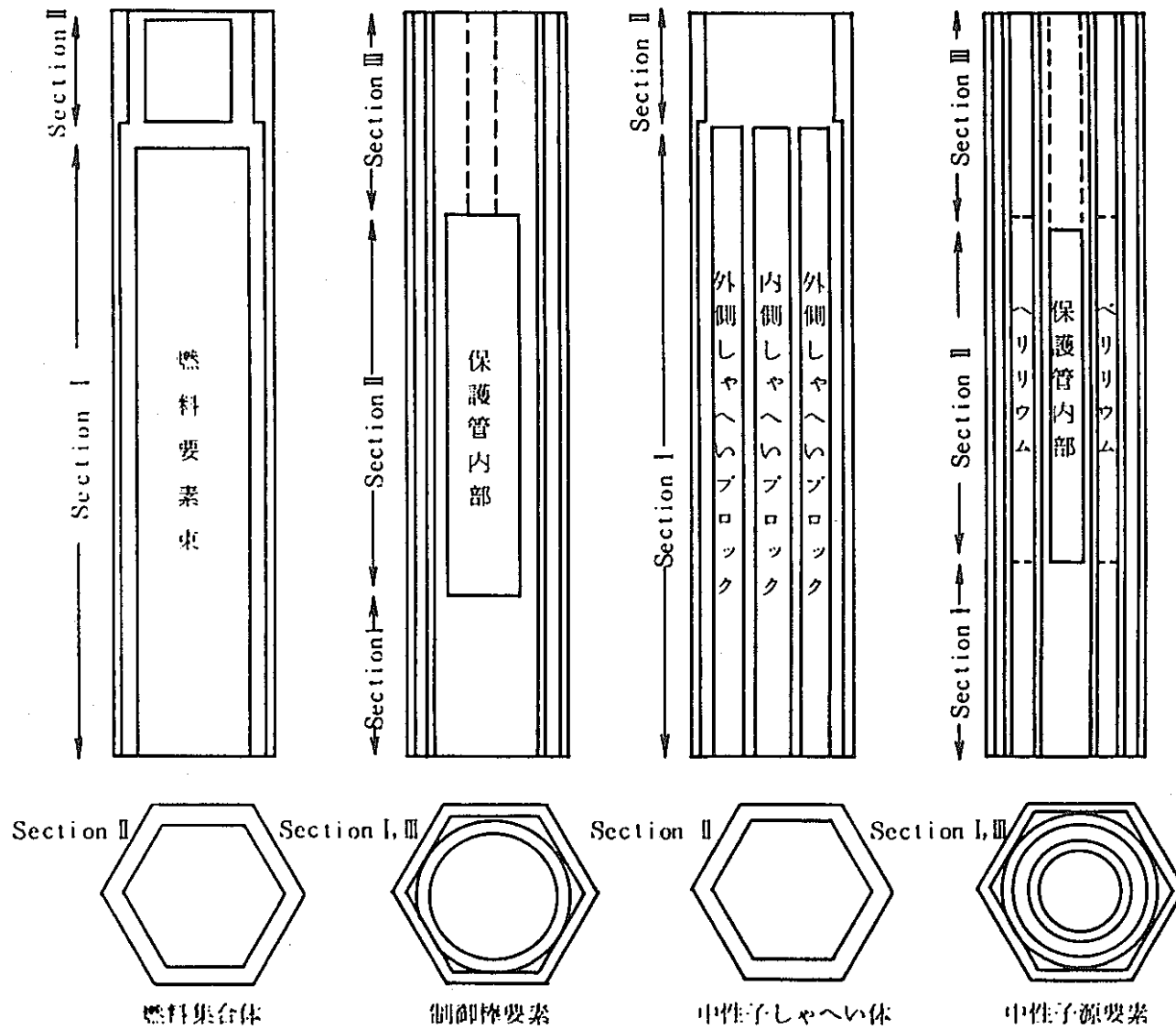
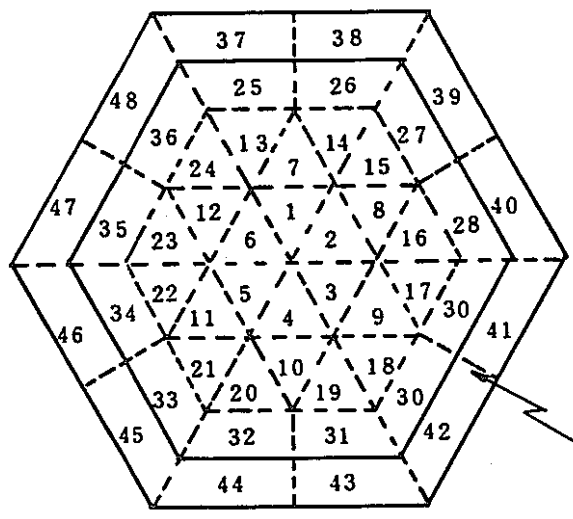
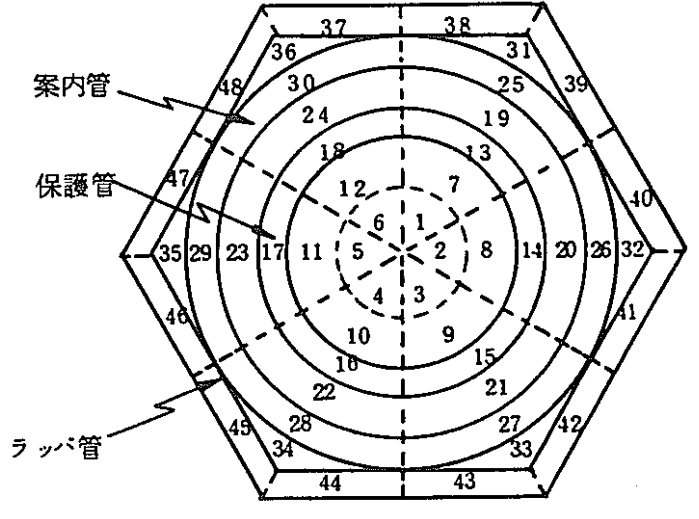


図7.1.1-1 炉心構成要素種類毎の軸方向section分割

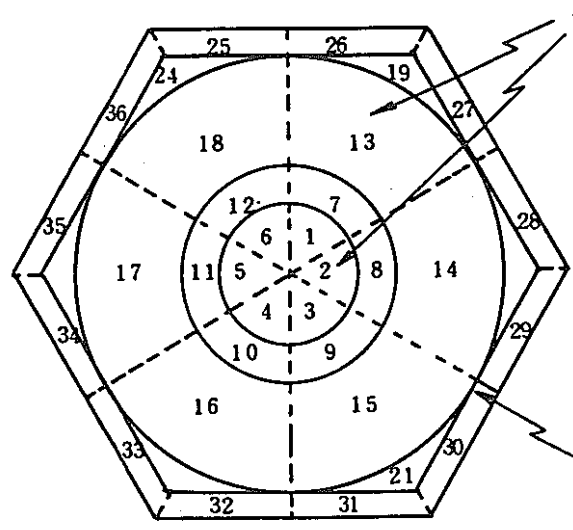


燃料集合体

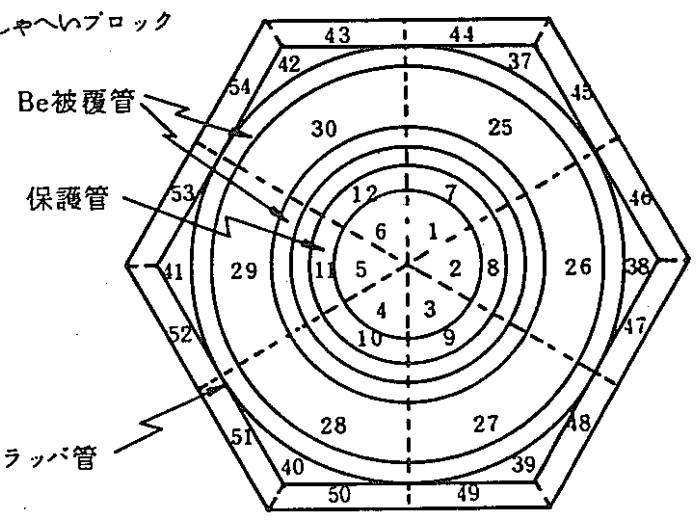
(炉心燃料集合体, ブランケット燃料集合体)



制御棒要素

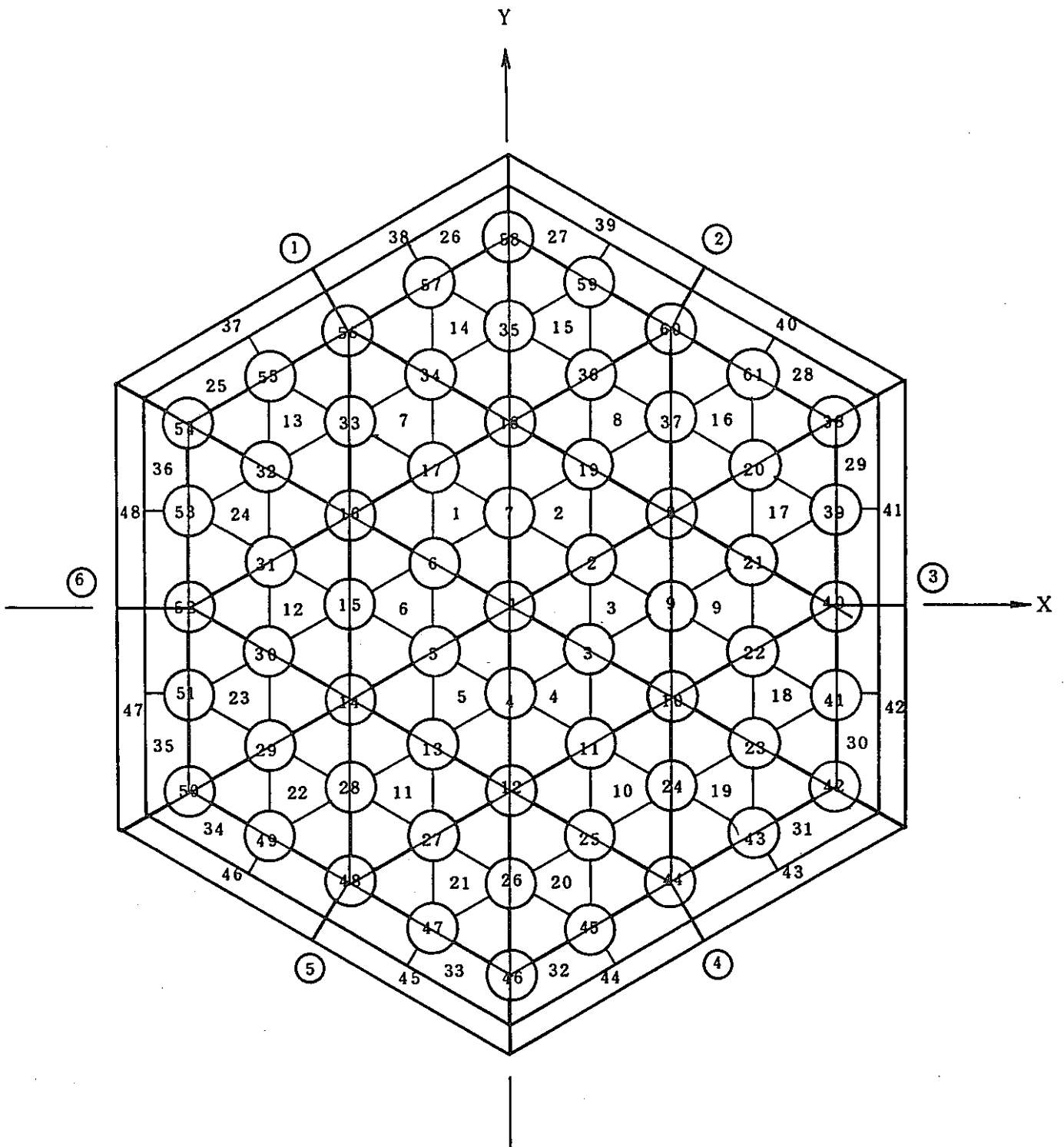


中性子しゃへい体



中性子源要素

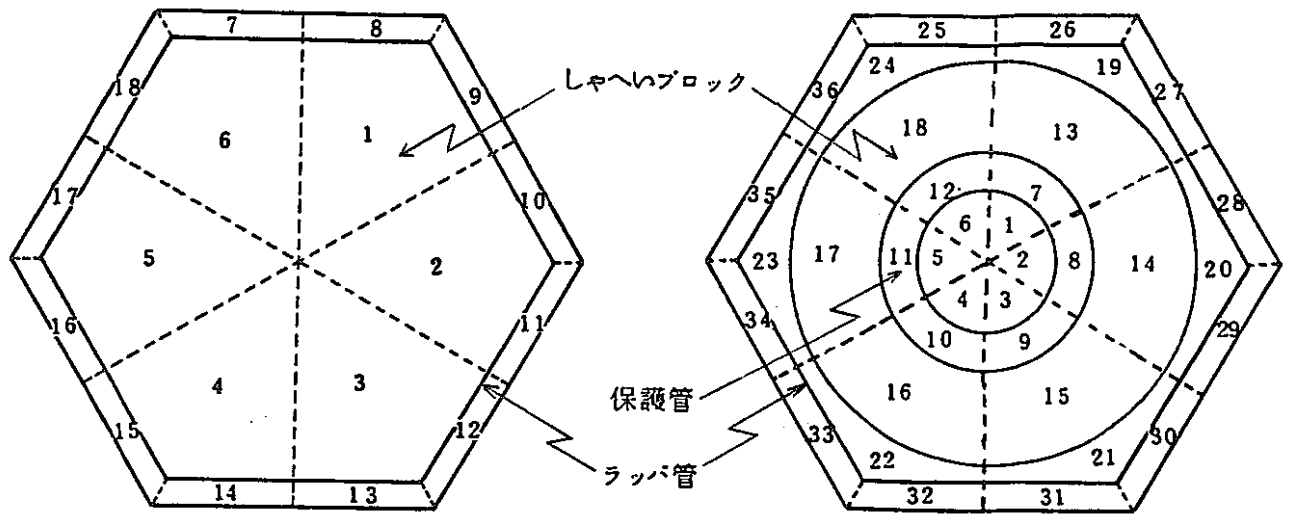
図7.1.1-2 炉心構成要素種類毎のControl Volume



IELGP (I, J)

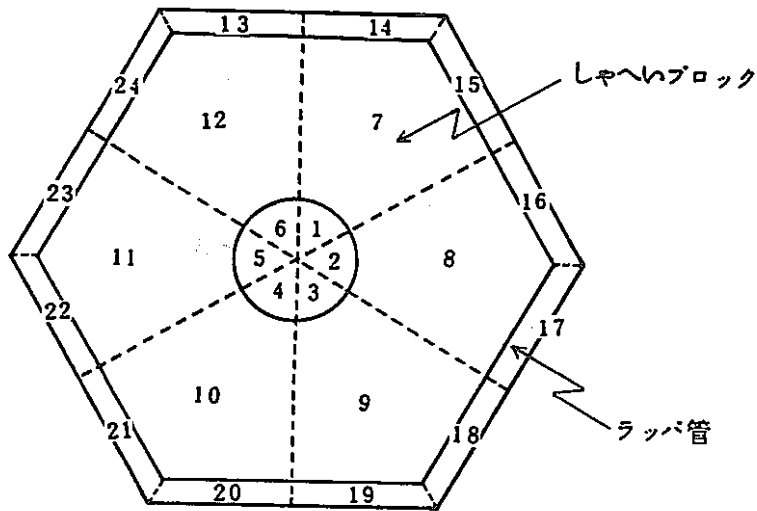
①まわりのギャップ番号

図7.1.1-3 燃料集合体のControl Volume



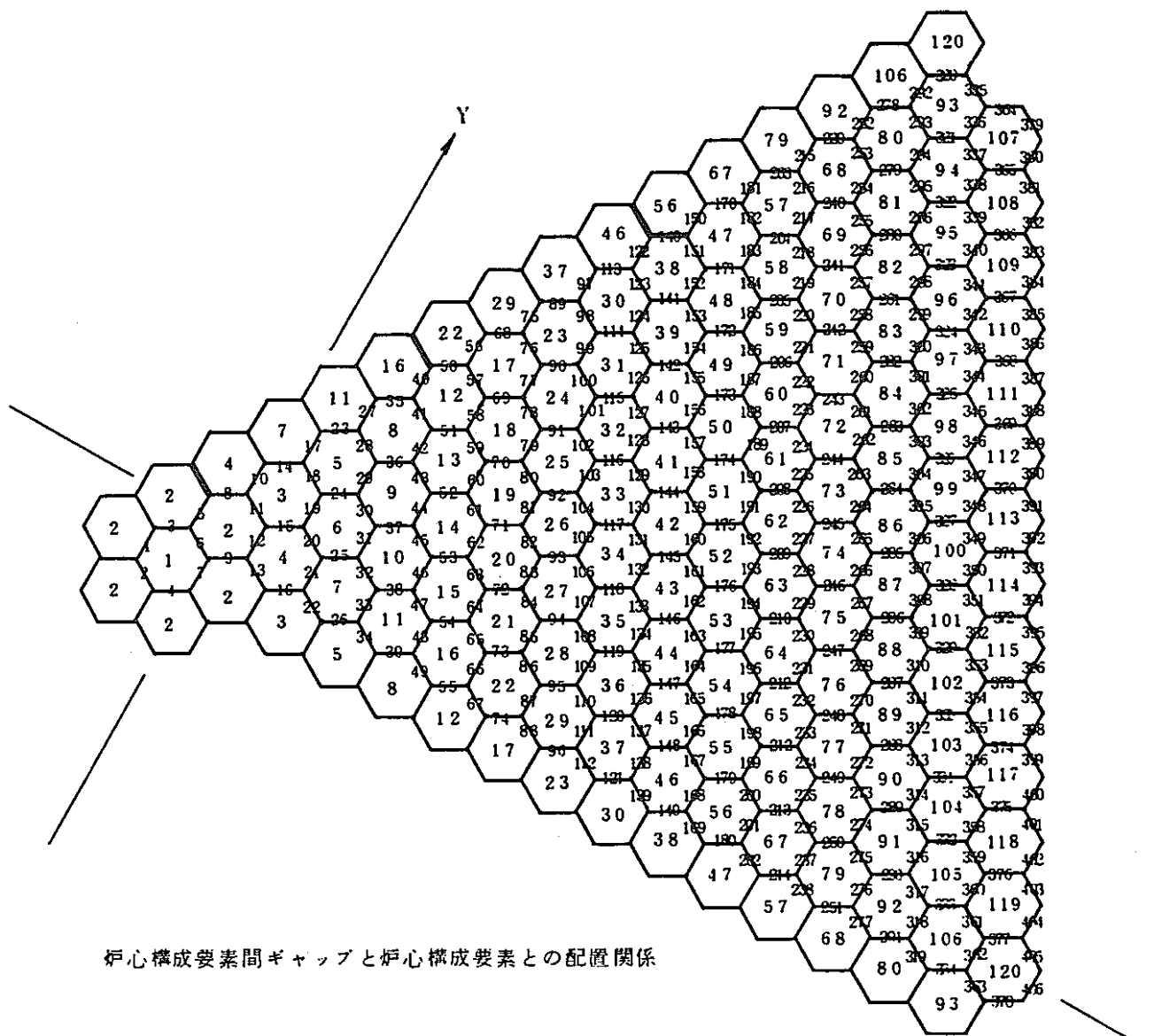
内側反射体

外側反射体(A)



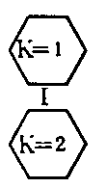
外側反射体(B)

図7.1.1-4 「常陽」の反射体のControl Volume

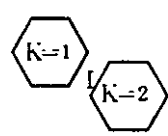


炉心構成要素間ギャップと炉心構成要素との配置関係

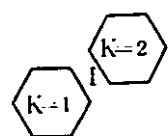
配置関係 1



配置関係 2



配置関係 3



IGPEL(I, K)

IGPJF(I)

図7.1.1-5 炉心構成要素まわりのギャップ番号

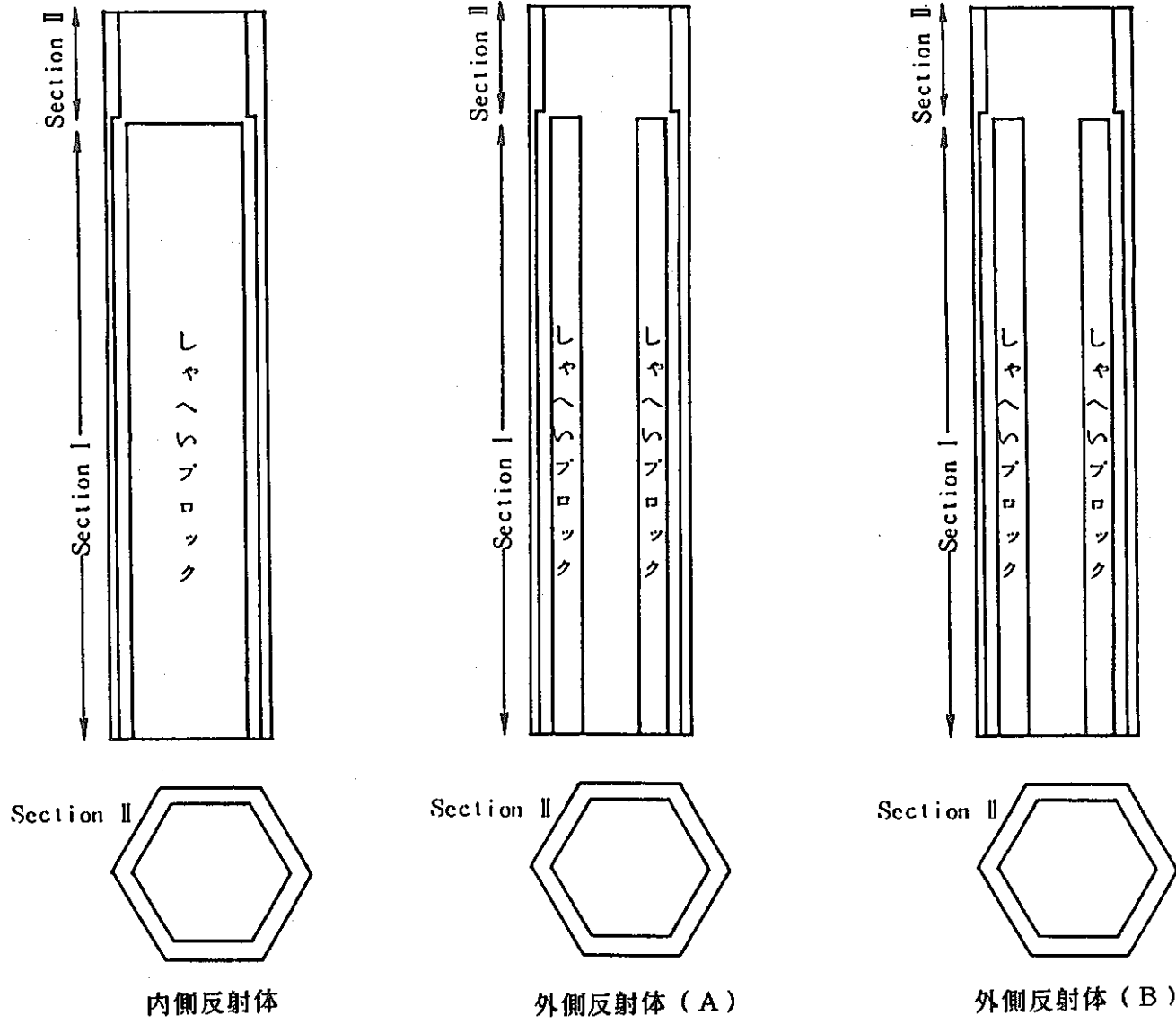


図7.1.1-6 「常陽」の反射体の軸方向section分割

表7.1.2-1 HIBEACONコードのパラメータ設定内容

変数名	内容	備考
M ∇ NTAS	炉心構成要素最大数	
M ∇ LDMX	軸方向ノード最大数	
M ∇ NLY	1列内炉心構成要素最大数	
M ∇ MMAX	炉心構成要素種類最大数	
M ∇ LMAS	炉心構成要素断面形状タイプ最大数	
M ∇ TIME	タイムステップ最大数	
M ∇ PUP	出力上昇時分割ステップ最大数	
M ∇ PDN	出力下降時分割ステップ最大数	
M ∇ CRP	応力、クリープ計算を行う炉心構成要素最大数	
M ∇ PAD	パッド位置最大数	
M ∇ OCP	外部クランピング位置最大数	
M ∇ MSYN	対称条件設定用データエリア最大数	
M ∇ PLT1	XYプロッタ出力する列最大数	
M ∇ PLT2	XYプロッタ出力する炉心構成要素最大数	
M ∇ PLT3	XYプロッタ出力する軸方向ノード最大数	

表7.1.2-2 (1) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；タイトル

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
①-1	ITITLE(I)	I=1, 20	タイトル		

表7.1.2-2 (2) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：計算回数

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
②-1	NRUN		連続計算の回数		

表7.1.2-2 (3) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；入力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
③-1	INTCRP		INTCRP = 1 : 前回のサイクルで計算したクリープ歪をディスク(12)から入力 ≠ 1 : クリープ歪を零にセットし、ディスクから入力しない		
2	INTSWL		INTSWL = 1 : 前回のサイクルで計算したサイクル末期スエリング歪をディスク(24)から入力 ≠ 1 : 上記スエリングをディスクから入力しない (スエリング歪は計算し直す。)		
3	LITOPT		ラッパー管温度の入力コントロールフラグ LITOPT = 1 : カード入力 ≠ 1 : ディスク入力		
4	LIFOPT		ラッパー管高速中性子束の入力コントロールフラグ LIFOPT = 1 : カード入力 ≠ 1 : ディスク入力		
5	LIGAPT		エントランスノズル部変位量, 変位方向, 変位量3方向成分の入力コントロールフラグ LIGAPT = 1 : 前回のサイクルの計算結果をディスク(18)より入力する。 ≠ 1 : ディスクに入力しない。 IOPLB=1, 2の時は, LIGAPT≠1とする。		

表7. 1. 2-2 (4) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：入力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
③-6	I START		カード入力データの入力コントロールフラグ = 1 : カード入力データをディスク(22) I START より入力する ≠ 1 : ディスクから入力しない。		
7	I NDATA		カード入力データの入力オプション (I START=1のときのみ) = 1 : カード入力データのみ入力する I NDATA ≠ 1 : カード入力データ及び解析データ* を入力する		* リスタートに必要な解析結果データであり、スエリング歪、クリープ歪自由湾曲量、荷重等のデータを含む
8	I B L K D		プログラム内蔵デフォルト値選択オプション = 0 : プログラム内蔵デフォルト値は使用しない = 1 : 常陽1/6炉心解析用デフォルト値を使用する I B L K D = 2 : もんじゅ1/6炉心解析用デフォルト値を使用する = 3 : 実証炉1/6炉心解析用デフォルト値を使用する。		

表7.1.2-2 (5) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：出力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-1	IFNCRP		= 1 : サイクル末期におけるクリープ 歪をディスク(13)に出力する ≠ 1 : ディスクに出力しない (NRUN ≥ 2 のときは、ディスクに出力しない)		
2	IFNSWL		= 1 : サイクル末期におけるスエリング 歪をディスク(23)に出力する ≠ 1 : ディスクに出力しない (NRUN ≥ 2 のときは、ディスクに出力しない)		
3	LOGAPT		エントランスノズル部変位量, 変位方向, 変位量3方向 成分の出力コントロールフラグ = 1 : サイクル末期における計算結果を LOGAPT ディスク(19)に出力する。 ≠ 1 : ディスクに出力しない。 IOPLB=1, 2の時、LOGAPT≠1とする。		

表7. 1. 2-2 (6) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-4	I STOP (I)	I = 1, 2	<p>カード入力データの出力コントロールフラグ = 0 : 出力しない</p> <p>I STOP (1) = M* : 運転サイクルのM番目のタイムステップにおいてカード入力データをディスク(21)に出力する</p> <p>I STOP (2) = N : 出力上昇時または出力下降時のN番のステップにおいてカード入力データをディスク(21)に出力</p> <p>出力上昇：I STOP (1) = 1とした時 出力下降時：I STOP (1) = 出力下降ステップに対応するタイムステップ番号とした時</p>		<p>* Mが負の場合は運転サイクル末期にカード入力データのみ出力する。</p>
5	I FDATA		<p>カード入力データの出力オプション (I STOP (1) > 0のときのみ)</p> <p>= 1 : カード入力データのみ出力する</p> <p>I FDATA ≠ 1 : カード入力データ及び解析データ*を出力する</p>		<p>* リスタートに必要な解析結果データであり、スエリング歪、クリープ歪自由湾曲量、荷重等のデータを含む</p>

表7.1.2-2 (7) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No.	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-6	NWTIME (I)	I = 1, MXTIME	ラッパー管外側対辺間距離および炉心構成要素の変位量と変位方向の出力コントロールフラグ。各タイムステップごとに指定する。 NWTIME (I) = 1 : ディスクに出力する。 ≠ 1 : ディスクに出力しない。 ・出力装置は以下のとおり 外側対辺間距離 (クリープ考慮) ディスク 14 番 変位量 " 15 番 変位方向 " 16 番 外側対辺間距離 (クリープ考慮なし) " 17 番		
7	NWPUP (I)	I = 1, MXPUP+1 (MAXPUP ≤ M≠PUP)	ラッパー管外側対辺間距離および炉心構成要素の変位量と変位方向の出力コントロールフラグ。各IPUPステップごとに指定する。 NWPUP (I) = 1 : ディスクに出力する。 ≠ 1 : ディスクに出力しない。		
8	MASFLG (I)	I = 1, MXTIME (MXTIME ≤ M≠TIME)	炉心構成要素の変位量・変位方向の出力オプション。各タイムステップごとに指定。 MASFLG (I) 0 : 出力しない N : N本の炉心構成要素を出力 (出力の場合、各タイムステップでNは共通とする) [MASFLG ≤ 150 and MASFLG ≤ NTAS] [NTAS ≤ M≠NTAS]		応力計算結果を出力するためには必ず指定する。
9	IASBOX (I)	I = 1, MASFLG (MASFLG ≤ M≠CRP)	変位量・変位方向を出力する炉心構成要素番号 [MASFLG = NTAS or MASFLG = 0 のときは IASBOX (I) = 1 とする] [NTAS ≤ M≠NTAS]		

表 7. 1. 2-2 (8) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No	変 数 名	配 列 数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-10	MXTOUT		炉心断面における集合体の変位量および荷重を燃料サイクルのITOUT番目のステップにおいて、リスト出力する。 $[MXTOUT \leq MXTIME]$ $[MXTIME \leq M\#TIME]$		
11	ITOUT (I) *	I = 1, MXTOUT			
12	MXPOUT		炉心断面における集合体の変位量および荷重を出力上昇時のIPOUT番目のステップにおいて、リスト出力する。 $[MXPOUT \leq MXPUP]$ $[MXPUP \leq M\#PUP]$		
13	IPOUT (I) *	I = 1, MXPOUT			
14	MXDOUT		炉心断面における集合体の変位量および荷重を出力降下時のIDOUT番目のステップにおいて、リスト出力する。 $[MXDOUT \leq MXP DN]$ $[MXP DN \leq M\#PDN]$		
15	IDOUT (I) *	I = 1, MXDOUT			* JFRIC=1の時、タイムステップ番号を負とすればせん断力/摩擦力繰り返し計算毎の結果がアウトプット出力される。

表7. 1. 2-2 (9) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-16	I X Y P R T (I T)	I T = 1, M ¥ T I M E	M I T E Rのiterationのうち、湾曲形状のプリントと X Yプロッター表示をするiteration番号	○	No 1 6以降は、プロ ッターのため入力デ ータ
17	I R W O T (J)	J = 1, M ¥ P L T 1	炉心構成要素の中心軸の変位成分を出力する列番号。 X Yプロッターにより、湾曲形状も図示される。 I R W O T < 0とすれば出力しない。		
18	X M		X Yプロッターによる炉心構成要素の湾曲形状の作図に おける構成要素中心軸間の距離 (cm)	○	
19	Y D L		X Yプロッター作図における縦軸長さ	○	
20	X F A C T		X Yプロッター作図において、炉心構成要素の変位量は X F A C T倍されて図示される。 X F A C T > 0.0: X F A C Tの倍率でプロットされる。 ≤ 0.0: プロット図における炉心構成要素の中心軸間の距離が炉心構成要素間のギャップ幅となるよ うにX F A C Tが自動設定される。	○	
21	P R A T I O		炉心断面の縮尺率	○	
22	Z R A T I O		炉心構成要素の変位量の倍率	○	
23	I P L M X		変位をプロッター出力する炉心構成要素の総数および要 素番号, I P L O T (I) < 0のとき, 全要素の変位を プロッター出力する。		
24	I P L O T (N)	N = 1, I P L M X (I P L M X ≤			
25	L D P M X	M ¥ P L T 2)	変位をプロッター出力する軸方向ノードの総数およびノ ード番号		
26	L D P L O T (J)	J = 1, L D P M X (L D P M X ≤	L D P M X = 0のとき, プロッター出力しない。		
27	N C E N T	M ¥ P L T 3)	A 4サイズのプロッター図面の中心に位置する炉心構成 要素番号	○	

表7.1.2-2 (10) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No.	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-28	NOPLT		NOPLT ≠ 0 : 接触荷重をプロッター出力する。 = 0 : 出力しない	○	
29	MAXXY		荷重は、接触が生じている全ての軸方向位置ごとに、炉心断面図としてプロッター出力される。 炉心断面における集合体の変位量および荷重を運転サイクルのITXY番目のステップにおいて、プロッター出力する。[MAXXY ≤ MXTIME]		
30	ITXY (I) *	I = 1, MAXXY	[MXTIME ≤ M \neq TIME]		
31	MPXXY		炉心断面における集合体の変位量および荷重を出力上昇時のIPXY番目のステップにおいて、プロッター出力する。[MPXXY ≤ MXPUP] [MXPUP ≤ M \neq PUP]		* JFRIC = 1 のとき、タイムステップ番号を負とすればせん断力/摩擦力繰り返し計算毎の結果がプロッター出力される。
32	IPXY (I) *	I = 1, MPXXY			
33	MDXXY		炉心断面における集合体の変位量および荷重を出力降下時のIDXY番目のステップにおいて、プロッター出力する。[MDXXY ≤ MXPDN] [MXPDN ≤ M \neq PDN]		
34	IDXY (I) *	I = 1, MDXXY			

表7. 1. 2-2 (11) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；出力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-35	NPTYPE		接触荷重プロット形式オプション NPTYPE = 1 : 接触荷重を矢印の長さで表示 = 2 : 接触荷重を数値で表示		
36	NTANI		接触荷重プロット時の単位オプション (NPTYPE = 2 の時のみ) NTANI = 1 : kgf単位で表示 = 2 : N単位で表示		
37	MPTYPE		炉心構成要素の軸方向レベルにおける変位ベクトル図を 出力する際の変位置量デジタル値出力選択オプション MPTYPE = 1 : 変位ベクトル+デジタル値 ≠ 1 : 変位ベクトルのみ		
38	IOPFG		炉心構成要素の変位軸方向プロファイルにおける断面膨 張状態の出力選択オプション IOPFG = 1 : 中心軸変位+断面膨張状態 ≠ 1 : 中心軸変位のみ		

表7.1.2-2 (12) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；入力・出力コントロールデータ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
④-39	IPRINT (I)	I = 1, 20	<p>リスト出力フラグ</p> <p>IPRINT = 1 : リスト出力する ≠ 1 : リスト出力しない</p> <p>本変数により、リスト出力制御される項目は以下。</p> <p>IPRINT (1) : ラップ管対面間距離 (2) : 集合体ラップ管軸方向歪 (3) : 集合体ラップ管軸方向変位 (4) : 接触荷重 (5) : 摩擦力 (6) : 集合体ラップ管径方向変位 (7) : 集合体ラップ管径方向自由湾曲量 (熱湾曲) (8) : 集合体ラップ管径方向自由湾曲量 (スエリング湾曲) (9) : 集合体ラップ管径方向自由湾曲量 (クリープ湾曲) (10) : 集合体ラップ管径方向自由湾曲量 (荷重項による湾曲) (11) : 曲げ応力</p> <p>IPRINT (12) ~ (20) は、未使用。</p>		

表7.1.2-2 (13) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；解析モデルコントロール

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑤-1	IOPLB		炉心構成要素下部支持モデル選択オプション 1：完全固定モデル 2：完全固定+回転バネモデル 3：下部支持板ギャップモデル 4：上部+下部支持板ギャップモデル	○	
2	ILPMAX		outer iteration の最大数[ILPMAX=15~20]	○	
3	CFACT		炉心構成要素の湾曲形状の重なりに対する最大許容誤差 { $0 \geq CFACT > -0.005$ cm}	○	
4	MITER		接触位置および反力計算のための iteration 数	○	
5	JCENTR		炉心構成要素1（炉心中心に位置する）についてJF=JCENTR方向の反力・接触位置を他の2方向にも適用する。3方向ごとに反力・接触位置が異なればJCENTR \leq 0とする。	○	
6	MXGAP		エントランスノズル部のクリアランス効果を計算する際の繰返し回数。IOPLB=3, 4の時のみ有効。	○	IOPLB=1, 2の時MXGAP=0とする。
7	MAXCRP		応力・クリープを計算する炉心構成要素の最大番号 {MAXCRP \leq NTAS and MAXCRP \leq M \neq CRP}	○	炉心構成要素の番号付けは図7.1.2-1を参照。
8	MCMAX		応力・クリープを計算する炉心構成要素の最大種類 [MCMAX \leq MMAX and MCMAX \leq M \neq MMAX]	○	
9	MCHOOS(M)	M=1, MMAX (MMAX \leq M \neq MMAX)	応力・クリープを計算する炉心構成要素の種類がMMAX種類のうち何番目かを指定する。	○	

表7.1.2-2 (14) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；解析モデルコントロール

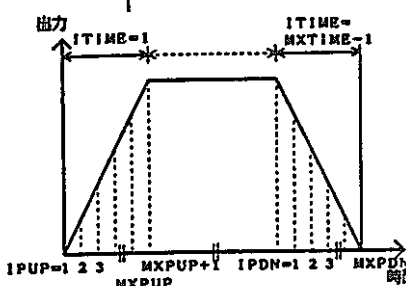
No	変数名	配列数	内容	デフォルト値設定	備考
⑤-10	ITNO		応力・クリープ計算のために、分割された燃焼期間 ΔtL をさらにITNO個に区分する。 $\Delta ts = \Delta tL / ITNO$	○	
11	MXTIME		燃料交換サイクルはMXTIME個のステップに分割される。 $[2 \leq MXTIME \leq M\#TIME]$		
12	MXPUP		原子炉停止状態から全出力状態に移ったときの温度上昇幅はMXPUPに分割される。 $[MXPUP \leq M\#PUP]$		(MXPUP+1)ステップの解析を行う
13	IDSNT		出力降下実施のオプション = 1 : 実施する。 IDSNT ≠ 1 : 実施しない。		
14	MXPDN		全出力状態から原子炉停止状態に移ったときの温度降下巾はMXPDN個に分割される。 $[MXPDN \leq M\#PDN]$		
15	ICRUMP		拘束解除実施のオプション = 1 : 実施する。 ICRUMP ≠ 1 : 実施しない。 [IDSNT = ICRUMPとして入力する]		

表 7. 1. 2-2 (15) H I B E A C O N コードの入力データ

データ分類; 解析モデルコントロール

No	変 数 名	配 列 数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑤-16	J F R I C		摩擦力実施のオプション = 1 : 実施する。 J F R I C = 0 : 実施しない。		
17	I S T M A X		せん断力増分繰り返し計算部の最大繰り返し計算回数	○	JFRIC=1の時、必要
18	I F R M A X		せん断力/摩擦力計算部の最大繰り返し計算回数	○	"
19	A F A C T		摩擦力(Sliding)計算時のDamping Factor (外部拘束枠未接触時に使用)	○	"
20	A F S C T 2		摩擦力(Sliding)計算時のDamping Factor (外部拘束枠接触時に使用)	○	"
21	S F A C T		せん断力計算時変位収束判定条件 (相対値)	○	"
22	F F A C T		せん断力及び摩擦力収束判定条件 (相対値)	○	"
23	E F A C T		StickingからSlidingへの変化判定条件 (cm)	○	"
24	E F A C T 2		せん断力増分を考慮するかどうかの判定条件 (cm)	○	"
25	I M O N		ラッパ管温度と中性子束データの設定オプション = 1 : 面平均 I M O N = 2 : 面 2 分割 = 3 : コーナ		

表7.1.2-2 (16) HIBEACONコードの入力データ

データ分類; 解析モデルコントロール

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑤-26	REPS		エントランスノズルギャップの開/閉状態判定時に用いるエントランスノズル上/下端位置におけるラップ管部外部荷重によるモーメントの正/0/負判定用判定条件 (数値計算上の誤差を考慮し、 $-REPS < M < REPS$ の時、モーメントMは、0とみなす。)	○	IOPLB=3,4の時のみ有効
27	DGAP		ギャップループ計算のギャップ増分量 (cm)	○	"
28	GFACT		エントランスノズル変位増分のDamping Factor (≤ 1.0)	○	"
29	CONVFA		ギャップ計算時のE/N変位収束判定条件 (ギャップループ毎にひとつ前のループ時との変位量の差 (Δd) が下記の時、収束したと判定する)。 $ \Delta d \leq CONVFA$	○	"

表7.1.2-2 (17) HIBEACONコードの入力データ

データ分類; 解析炉心体系関連データ

No	変数名	配列数	内容	デフォルト値設定	備考
⑥-1	NTAS		炉心構成要素の総数 [NTAS ≤ M ≠ NTAS]	○	
2	LDMAX		軸方向ノードの総数 [LDMAX ≤ M ≠ LDMX]	○	
3	TMANIF		上部支持板における炉心構成要素の温度 (°C)	○	
4	TL		上部支持板より上側の炉心構成要素の長さ (cm)	○	
5	DISGRP		上部および下部支持板間の距離 (cm)	○	
6	PITCH		炉心構成要素の配列ピッチ (cm)	○	
7	DFLATO		ラッパー管外側対辺間距離 (cm)	○	
8	MAXOCP		外部クランピングの軸方向位置の数 [MAXCOP ≤ M ≠ OCP]	○	
9	OUTCRP(J,I,K)	J = 1,	軸方向ノードLOCP (J) における最外周の炉心構成要素と炉心拘束棒との距離。この距離は、各々60°の角度を成すJF方向の列における炉心最外周に位置する最初と最後の炉心構成要素で変えることができる。	○	JFRIC=1のときMAXPAD ≤ 2とする
10	LOCP (J)	MAXOCP (MAXOCP ≤ M ≠ OCP) I = 1, 3 K = 1, 2		○	
11	MAXPAD		炉心構成要素のスペーサパッド位置数 [MAXPAD ≤ M ≠ PAD]	○	
12	PAD (J)	J = 1	軸方向ノードLPAD (J) におけるスペーサパッドの肉厚 (片側) がPAD (J) である。 (cm)	○	
13	LPAD (J)	MAXPAD (MAXPAD ≤ M ≠ PAD)		○	

表7.1.2-2 (18) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；解析炉心体系関連データ

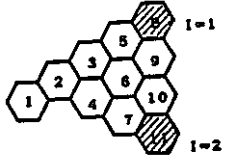
No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑥-14	NOCRMP (JF, IROW)	JF=1, 3 IROW ≤ 40	外部拘束が直接、影響しない列 (JF, IROW) では NOCRMP=1とする。	○	○ その他は0とする ○ JF方向, IROW列 の番号付けは 図7.1.2-2を参照
15	EGAPU		エントランスノズル部上部のクリアランス (片側) (cm)	○	
16	EGAPL		エントランスノズル部下部のクリアランス (片側) (cm)	○	
17	CTEMP		瞬間冷却後の一定温度 (°C)	○	
18	UNCRP		拘束解除したときの最外周要素と拘束棒間の距離 (cm)		
19	NSYM		炉心形状 NSYM= 1 ; 1/6回転対称炉心 2 ; 1/3回転対称炉心 3 ; 1/2回転対称炉心 6 ; 全炉心	○	
20	NLAY		炉心層数 但し、炉心中心の炉心構成要素も1層とする炉心	○	
21	IBREAK (I)	I = 1, 2	炉心最外層の上下の炉心構成要素の欠け数 (1/6回転対称炉心を対象とした欠け数)	○	
22	STEMP		炉心構成要素の室温時温度 (°C)	○	
23	DMESH (I)	I = 1, LDMAX	軸方向ノード長さ (cm) (下端から入力する)		

表7.1.2-2 (19) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；解析炉心体系関連データ

№	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑦-1	M MAX		炉心構成要素の種類の数 ($M \text{ MAX} \leq M \neq M \text{ MAX}$)	○	
2	M A S (I)	I = 1, N T A S (N T A S ≤ M ≠ N T A S)	第 I 番目の炉心構成要素が M M A X 種類のうち何番目の種類に属するかを示す。 1 : 炉心燃料集合体 2 : ブランケット燃料集合体 M A S (I) = 3 : 制御棒要素 4 : 中性子しゃへい体 5 : 中性子源要素	○	6 ~ 15 番は、予備棒とし、炉心構成要素種類は、特に限定されない。
3	M E Q T (N)	N = 1, L M A S (L M A S ≤ M ≠ L M A S)	形状タイプ*の断面2次モーメントの計算指定オプション = 1 : ラッパー管を薄肉構造としてプログラム内部で計算 M E Q T ≠ 1 : ラッパー管の肉厚、内部構造を考慮するためデータとして入力。	○	*⑦-18参照
4	D W R A P (N)	N = 1, L M A S	ラッパー管肉厚 (cm) M E Q T (N) の如何にかかわらず入力する。	○	
5	M O M I N (N)	N = 1, L M A S	炉心構成要素のラッパー管の断面2次モーメント (cm ⁴) [M E Q T (N) ≠ 1 のときのみ]		
6	B E N M O N (K , N)	K = 1, 6 N = 1, L M A S	ラッパー管の曲げモーメント計算のための係数 g k [M E Q T (N) ≠ 1 のときのみ]		
7	N O P I N (J)	J = 1, M M A X	燃料集合体の燃料要素の総数	○	燃料集合体にのみ必ず数値を設定する。

表7.1.2-2 (20) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：解析炉心体系関連データ

No	変数名	配列数	内容	デフォルト値設定	備考
⑦-8	PINP (J)	J = 1, MMAX	燃料要素の配列ピッチ (cm)	○	
9	DPIN (J)	J = 1, MMAX	燃料要素の外径 (cm)	○	
10	DWIRE (J)	J = 1, MMAX	ワイヤスペーサ径 (cm)	○	
11	WIREF (J)	J = 1, MMAX	ワイヤスペーサ巻きピッチ (cm)	○	
12	TLEN	(MMAX ≤ M ≠ MMAX)	燃料要素の全長 (cm)	○	
13	DNOUP		燃料要素最下端と炉心上部支持板との距離 (cm)	○	
14	STIFF (I, J)	I=1, MAXPAD+1 (MAXPAD ≤ M ≠ PAD) J=1, LMAS (LMAS ≤ M ≠ LMAS)	パッド部断面圧縮剛性 (kg/cm) (片面の圧縮剛性)		
15	BMOMIN (I)	I=1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	エントランスノズル部の断面2次モーメント (cm ⁴) (LENT (I) ≠ 1のときのみ)		
16	DOUTNZ (I)	I=1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	エントランスノズル部断面の外径 (cm) (LENT (I) = 1のときのみ)	○	
17	DINNZN (I)	I=1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	エントランスノズル部断面の内径 (cm) (LENT (I) = 1のときのみ)	○	

表 7. 1. 2-2 (21) H I B E A C O N コードの入力データ

データ分類；解析炉心体系関連データ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑦-18	LMAS		形状タイプ*の数 (LMAS ≤ M ≠ LMAS)	○	* 炉心構成要素の断面形状、材質に関する属性で区別されるもの。軸方向の断面2次モーメント、物性値を定義する際にこの番号を用いる。
19	MASLD(I, M)	I = 1, LDMAX M = 1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	炉心構成要素の各軸方向ノード位置における形状タイプの種類がLMAS種類のうち何番目かを示す。		
20	LENT(M)	M = 1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	エントランスノズル部の断面2次モーメントの計算指定オプション LENT = 1 : エントランスノズルを薄肉構造としてプログラム内部で計算 ≠ 1 : エントランスノズルの肉厚、内部構造を考慮するためデータとして入力。	○	
21	ISPR		支持部回転バネ剛性入力オプション (IOPLB=2の時のみ有効) = 1 : 回転バネ剛性の入力 ≠ 1 : 支持部の断面2次モーメント、ヤング率などから計算する。		
22	TSPR(I)	I = 1, MMAX (MMAX ≤ M ≠ MMAX)	回転バネ剛性 (kg・cm/rad) IOPLB = 2, かつ ISPR = 1 のフラグの場合のみ入力する。		

表7.1.2-2 (22) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；冷却材流速データ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑧-1	VLCTY (I)	I = 1, NTAS	燃料集合体内の燃料要素束部における冷却材平均流速 (cm/sec) [燃料集合体以外の炉心構成要素については零をセット しておく]		燃料集合体については、 VLCTY ≠ 0.0 にする。

表7.1.2-2 (23) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：物性値

No	変数名	配列数	内容	デフォルト値設定	備考
⑨-1	NSWELL (I)	I = 1, MMAX (MMAX ≤	スエリング評価式番号 (表7.1.2-6)	○	
2	COEF1 (N)	M ≠ MMAX)	ラッパー管の熱膨張率ALPHAを計算するための係数	○	
3	COEF2 (N)	N = 1, LMAS	ALPHA = COEF1 + COEF2 × T	○	
4	COEF3 (N)		+ COEF3 × T ² + COEF4 × T ³	○	
5	COEF4 (N)		T : 温度 (°C)	○	
6	EYNG (N)	N = 1, LMAS	ラッパー管のヤング率 (kg/cm ²)	○	
7	EYNG0 (I)		エントランスノズルのヤング率 (kg/cm ²)	○	
8	NCREEP (I)	I = 1, MMAX (MMAX ≤	クリープ評価式番号 (表7.1.2-7)	○	
9	ALPHAC (I)	M ≠ MMAX)	ラッパー管の平均熱膨張率 (1/°C)	○	FEM3D部では熱膨張係数はここで入力する一定値を用いる。
10	SDMU		ナトリウム動粘性係数 (cm ² /sec)	○	
11	SDROU		ナトリウム密度 (kg/cm ³)	○	
12	CMU (N)	N = 1, LMAS	ポアソン比	○	
13	FRICS		ラッパー管パッド部静止摩擦係数(接触部摩擦モデル用)		
14	FRICD		ラッパー管パッド部動摩擦係数 (接触部摩擦モデル用)		
15	FRICR		ラッパー管パッド部静止摩擦係数(集合体引抜き計算用)		
16	FRICE		エントランス・ノズル部静止摩擦係数 (集合体引抜き計算用)		

表7.1.2-2 (24) HIBEACONコードの入力データ

データ分類：物性値

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑨-17 18 19 20	SCOF1 SCOF2 SCOF3 SCOF4		炉心支持板の熱膨張率ALPHAを計算するための係数 $ALPHA = SCOF1 + SCOF2 \times T$ $+ SCOF3 \times T^2 + SCOF4 \times T^3$ T：温度 (°C)		

表7.1.2-2 (25) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；滞在日数データ

No.	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
⑩-1	DEXDAY (I)	I = 1, MXTIME - 1	分割された燃焼期間 $\Delta t L$ のうち、第 (I + 1) ステップの期間が DEXDAY (I) となる。		
2	BFDAY (NAS)	NAS = 1, NTAS	着目している燃料交換サイクル以前の照射日数 (day) (注, 交換した燃料の日数は0.0とする)		着目しているサイクルBOCの照射日数

表7.1.2-2 (26) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；永久変形量評価用データ

No	変数名	配列数	内 容	デフォルト値設定	備 考
①-1 2	MXREF NOREF (I)	I = 1, MXREF	着目サイクル末期に炉心から取り出す炉心構成要素の総数および炉心構成要素番号 (小さい順に入力) [MXREF ≤ M ≠ CRP]		この入力指定により、燃料交換時の取り出し炉心構成要素の永久変形量及び引抜き荷重が計算される。

表7.1.2-2 (27) HIBEACONコードの入力データ

データ分類；温度・中性子束分布

No.	変数名	配列数	内容	デフォルト値設定	備考
⑫-1	TEMP (K, I)	I=1, LDMAX K=1, 6	炉心構成要素のK番目のラッパー管壁の軸方向ノードI での温度(°C) (LITOPT≠1のとき不要)		
⑬-1	FLUX (K, I)	I=1, LDMAX K=1, 6	ラッパー管壁の高速中性子束 ($n/cm^2 \cdot s$) (LIFOPT≠1のとき不要)		

表7.1.2-3(1) HIBEACONコードの入力データフォーマット

No	変数名	FORMAT	枚数	Input Cards
①	ITITLE(1)	20A4	1	
②	NRUN	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM00		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> &END </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> &NM00 NRUN=1 </div> <p>①最初のカードには第2カラムから&NM00をパンチし、1カラム以上あけて(変数名)=(数値)としてパンチする。データの後にコンマをパンチする。</p> <p>②2枚目以降のカードも2カラムからパンチする。ただし&NM00をパンチする必要はない。</p> <p>③データの最後には&ENDをパンチする。最後のデータの最後にはコンマは不要</p> <p>④すべてのデータがデフォルト値を使用する場合も下記カードだけは使用する。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> &NM00 &END </div>
③	INTCRP ↓ IBLKD	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM01		上記に準ずる &NM01~&END
④	IFNCRP ↓ IPRINT	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM02		上記に準ずる &NM02~&END
⑤	IOPLB ↓ CONVFA	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM03		上記に準ずる &NM03~&END

表 7. 1. 2-3 (2) HIBEACONコードの入力データフォーマット

No.	変 数 名	FORMAT	枚数	Input Cards
⑥	NTAS ↓ DMESH(I)	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM04		上記に準ずる &NM04~&END
⑦	MMAX ↓ TSPR(I)	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM05		上記に準ずる &NM05~&END
⑧	VLCTY(I)	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM06		上記に準ずる &NM06~&END
⑨	NSWELL(I) ↓ SCOF4	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM07		上記に準ずる &NM07~&END
⑩	DEXDAY(I) ↓ BFDAY(I)	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM08		上記に準ずる &NM08~&END
⑪	MXREF ↓ NOREFF(I)	NAMELIST 形式 BLOCK 名 =NM09		上記に準ずる &NM09~&END
⑫	TEMP(K, I)	6F10.1	NTAS *LDMAX	LITOPT=1のときのみ

表7.1.2-3 (3) HIBEACONコードの入力データフォーマット

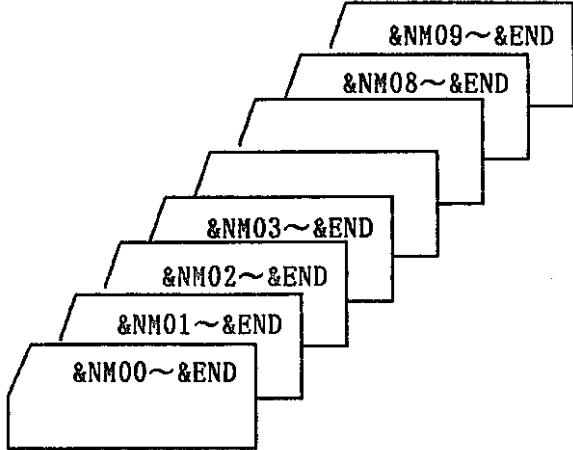
No	変数名	FORMAT	枚数	Input Cards
⑬	FLUX (K,I)	6F10.1	NTAS *LDMAX	LITOPT=1のときのみ, 上記に準ずる。
				 <p>The diagram illustrates a sequence of ten input cards, each representing a different iteration or data set. The cards are stacked and slightly offset to the right, showing a progression from the bottom card, labeled '&NM00~&END', to the top card, labeled '&NM09~&END'. Intermediate cards are labeled '&NM01~&END', '&NM02~&END', '&NM03~&END', and '&NM08~&END'.</p>
				<p>① 変更するデータのみ (変数名) = (数値) として入力する。</p> <p>② 変更しない場合も, 上記カードだけは使用する。</p>

表 7. 1. 2-4 論理装置番号の内容説明

装置番号	用途	説明
5	入力	入力データ
⑧	入力	ラッパー管壁の温度分布 (HITETRASコードの計算結果)
⑨	入力	ラッパー管壁の高速中性子束 (HITETRASコードの計算結果)
⑫	入力	クリープ歪量 (HIBEACONコードの前解析計算結果)
⑬	入力	エントランスノズル部の変位量, 変位方向, 変位量3方向成分 (HIBEACONコードの前解析計算結果)
⑳	入力	カード入力データ、及び解析結果データ
㉒	入力	スエリング歪量 (HIBEACONコード前解析計算結果)
6	出力	計算結果 (リスト出力)
⑬	出力	クリープ歪量
⑭	出力	ラッパー管外側対辺間距離 (熱膨張, スエリング, クリープを考慮)
⑮	出力	炉心構成要素中心軸の変位量
⑯	出力	炉心構成要素中心軸の変位方向
⑰	出力	ラッパー管外側対辺間距離 (熱膨張, スエリングを考慮)
⑱	出力	エントランスノズル部の変位量, 変位方向, 変位量3方向成分
㉑	出力	カード入力データ、及び解析結果データ
㉓	出力	スエリング歪量
1	作業スペース	自由湾曲量 3方向成分
2	作業スペース	自由湾曲量 3方向成分
10	作業スペース	ラッパー管壁の温度分布
11	作業スペース	ラッパー管壁の高速中性子束

注) ○; オプションにより使用

表7.1.2-5(1) プログラム内蔵デフォルト値

番号	変数名	配列数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心
④-16	IXYPRT(IT)	IT=1, MXTIME	5	5	5
④-18	XM		0.7	0.7	0.6
④-19	YDL		13.5	13.5	13.5
④-20	XFACT		0.5	0.5	0.8
④-21	PRATIO		0.1	0.1	0.05
④-22	ZRATIO		1.0	1.0	5.0
④-27	NCENT		15	15	20
④-28	NOPLT		1	1	1
⑤-1	IOPLB		2	2	2
⑥-2	ILPMAX		20	20	20
⑤-3	CFACT		-0.001	-0.005	-0.002

表 7. 1. 2-5 (2) プログラム内蔵デフォルト値

番号	変数名	配列数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心
⑤-4	MITER		5	5	5
⑤-5	JCENTR		3	3	3
⑤-6	MXGAP		3	3	3
⑤-7	MAXCRP		53	120	91
⑤-8	MCMAX		5	4	4
⑤-9	MCHOOS(M)	M=1,MMAX	1,2,3,4,5	1,2,3,4	1,2,3,4
⑤-10	ITNO		4	4	4
⑤-17	ISTMAX		20	20	20
⑤-18	IFRMAX		10	10	10
⑤-19	AFACT		1.0	1.0	1.0
⑤-20	AFACT2		0.1	0.1	0.1
⑤-21	SFACT		0.001	0.001	0.001
⑤-22	FFACT		0.005	0.005	0.005
⑤-23	EFACT		0.001	0.001	0.001
⑤-24	EFACT2		0.0001	0.0001	0.0001
⑤-26	REPS		0.0001	0.0001	0.0001
⑤-27	DGAP		0.002	0.002	0.002
⑤-28	GFACT		0.5	0.5	0.5
⑤-29	CONVFA		0.0001	0.0001	0.0001

表 7. 1. 2-5 (3) プログラム内蔵デフォルト値

番 号	変 数 名	配 列 数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心																														
⑥- 1	NTAS		53	120	184																														
⑥- 2	LDMAX		20	20	20																														
⑥- 3	TMANIF		370.0	397.0	360.0																														
⑥- 4	TL		244.0	369.5	395.0																														
⑥- 5	DISGRP		53.0	50.5	35.0																														
⑥- 6	PITCH		8.15	11.56	17.98																														
⑥- 7	DFLATO		7.85	11.06	17.38																														
⑥- 8	MAXOCP		2	2	2																														
⑥- 9	OUTCRP(J, JF, IS)	J=1, MAXOCP JF=1, 3 IS=1, 2	JF=1~3, IS=1, 2に対し共通 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LOCP</th> <th>OUTCRP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>0.025</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>0.135</td> </tr> </tbody> </table>	J	LOCP	OUTCRP	1	10	0.025	2	20	0.135	JF=1~3, IS=1, 2に対し共通 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LOCP</th> <th>OUTCRP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>12</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>19</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	J	LOCP	OUTCRP	1	12	0.1	2	19	0.05	JF=1~3, IS=1, 2に対し共通 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LOCP</th> <th>OUTCRP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>14</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>19</td> <td>0.07</td> </tr> </tbody> </table>	J	LOCP	OUTCRP	1	14	0.1	2	19	0.07			
J	LOCP	OUTCRP																																	
1	10	0.025																																	
2	20	0.135																																	
J	LOCP	OUTCRP																																	
1	12	0.1																																	
2	19	0.05																																	
J	LOCP	OUTCRP																																	
1	14	0.1																																	
2	19	0.07																																	
⑥- 10	LOCP(J) MAXPAD PAD(J) LPAD(J)	J=1, MAXOCP J=1, MAXPAD	2 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LPAD</th> <th>PAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10</td> <td>0.135</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> <td>0.09</td> </tr> </tbody> </table>	J	LPAD	PAD	1	10	0.135	2	20	0.09	3 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LPAD</th> <th>PAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0.215</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>12</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>19</td> <td>0.215</td> </tr> </tbody> </table>	J	LPAD	PAD	1	1	0.215	2	12	0.2	3	19	0.215	2 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>LPAD</th> <th>PAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>14</td> <td>0.250</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>19</td> <td>0.265</td> </tr> </tbody> </table>	J	LPAD	PAD	1	14	0.250	2	19	0.265
J	LPAD	PAD																																	
1	10	0.135																																	
2	20	0.09																																	
J	LPAD	PAD																																	
1	1	0.215																																	
2	12	0.2																																	
3	19	0.215																																	
J	LPAD	PAD																																	
1	14	0.250																																	
2	19	0.265																																	

表7.1.2-5 (4) プログラム内蔵デフォルト値

番号	変数名	配列数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心
⑥-14	NOCRMP (JF, IROW)	JF=1,3 IROW ≤ 40	120*0	120*0	120*0
⑥-15	EGAPU		0.01	0.01	0.01
⑥-16	EGAPL		0.01	0.01	0.01
⑥-17	CTEMP		200.0	200.0	250.0
⑥-18	NSYM		1	1	1
⑥-19	NLAY		11	16	20
⑥-20	IBREAK (I)	I=1,2	2,1	1,0	4,3
⑥-21	STEMP		20.0	20.0	20.0
⑦-1	MMAX		5	4	5
⑦-2	MAS (I)	I=1,NTAS	図7.1.2-3	図7.1.2-1	図7.1.2-4
⑦-3	MEQT (N)	N=1,LMAS	1,1,1,1,1 (LMAS=5)	1,1,1,1 (LMAS=4)	1,1,1,1,1 (LMAS=5)
⑦-4	DWRAP (N)	N=1,LMAS	0.19,0.19,0.2709,0.1942, 2.4993	0.3,0.3,0.3,2.8740	0.4,0.4,0.323,1.398,0.645
⑦-7	NOPIN (J)	J=1,MMAX	127,0,0,0,0	169,61,0,0	271,127,0,0,0

表7. 1. 2-5 (5) プログラム内蔵デフォルト値

番号	変数名	配列数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心
⑦- 8	PINP(J)	J=1,MMAX	0.647	0.787,1.315,0.0,0.0	0.99,1.446,0.0,0.0,0.0
⑦- 9	DPIN(J)	J=1,MMAX	0.55,0.0,0.0,0.0,0.0	0.65,1.16,0.0,0.0	0.83,1.34,0.0,0.0,0.0
⑦-10	DWIRE(J)	J=1,MMAX	0.09,0.0,0.0,0.0,0.0	0.132,0.126,0.0,0.0	0.15,0.10,0.0,0.0,0.0
⑦-11	WIREP(J)	J=1,MMAX	20.9,0.0,0.0,0.0,0.0	30.7,25.1,0.0,0.0	16.5,16.5,0.0,0.0,0.0
⑦-12	TLEN		153.3	281.3	270.0
⑦-13	DNOUP		70.9	60.2	30.0
⑦-16	DOUTNZ(N)	N=1,LMAS	5*4.38	4*7.2	5*11.5
⑦-17	DINNZN(N)	N=1,LMAS	5*3.4	4*6.0	5*10.1
⑦-18	LMAS		5	4	5
⑦-19	MASLD(I,M)	I=1,LDMAX M=1,MMAX	MASLD(I,1)=1 MASLD(I,2)=2 MASLD(I,3)=3 MASLD(I,4)=4 MASLD(I,5)=5 I=1,LDMAX	MASLD(I,1)=1 MASLD(I,2)=2 MASLD(I,3)=3 MASLD(I,4)=4 I=1,LDMAX	MASLD(I,1)=1 MASLD(I,2)=2 MASLD(I,3)=3 MASLD(I,4)=4 MASLD(I,5)=5 I=1,LDMAX
⑦-20	LENT(J)	J=1,MMAX	1,1,1,1,1	1,1,1,1	1,1,1,1,1

表 7. 1. 2-5 (6) プログラム内蔵デフォルト値

番号	変数名	配列数	常陽 1/6 炉心	もんじゅ 1/6 炉心	実証炉 1/6 炉心
⑨- 1	NSWELL(I)	I=1,MMAX	7,7,7,7,7	7,7,7,7	7,7,7,7,7
2	COEF1(N)	N=1,LMAS	14.877×10^{-6}	同左	同左
3	COEF2(N)		1.6999×10^{-8}	同左	同左
4	COEF3(N)		-1.4541×10^{-11}	同左	同左
5	COEF4(N)		4.5929×10^{-15}	同左	同左
6	EYNG(N)	N=1,LMAS	1.69×10^6 (N=1,LMAS)	1.69×10^6 (N=1,LMAS)	1.69×10^6 (N=1,LMAS)
7	EYNG0(I)		1.69×10^6	1.69×10^6	1.69×10^6
8	NCREEP(I)	I=1,MMAX	5,5,5,5,5	5,5,5,5	5,5,5,5,5
9	ALPHAC(I)		1.792×10^{-5}	1.792×10^{-5}	1.792×10^{-5}
10	SDMU		2.8412×10^{-3}	2.8412×10^{-3}	3.117×10^{-3}
11	SDROU		0.832×10^{-3}	0.832×10^{-3}	0.849×10^{-3}
12	CMU(N)	N=1,LMAS	0.32	0.32	0.295
17	SCOF1		14.877×10^{-6}	同左	同左
18	SCOF2		1.6999×10^{-8}	同左	同左
19	SCOF3		-1.4541×10^{-11}	同左	同左
20	SCOF4		4.5929×10^{-15}	同左	同左

表7.1.2-6 プログラム内蔵スエリング式

$$\text{NSWELL}=1 : \frac{\Delta V}{V} = 3.14 \times 10^{-4} \times (\phi t \times 10^{-22})^{1.81} \times (T-360)^{0.693} \times (775-T)^{0.577}$$

$$2 : \frac{\Delta V}{V} = \frac{6.7 \times 10^{-5} \times (\phi t \times 10^{-22})^2 \times \exp\left\{\frac{15670}{TK} - \left(\frac{2710}{TK}\right)^2\right\}}{1 - 6.7 \times 10^{-5} \times (\phi t \times 10^{-22})^2 \times \exp\left\{\frac{15670}{TK} - \left(\frac{2710}{TK}\right)^2\right\}} \times 100$$

$$3 : \frac{\Delta V}{V} = 10^{-49.31} \times (\phi t)^{1.71} \times 10 \left\{ \frac{1.55 \times 10^4}{TK} - \frac{5.99 \times 10^6}{TK^2} \right\}$$

$$4 : \frac{\Delta V}{V} = 4.3 \times 10^{-49} \times (\phi t)^{1.71} \times \exp\left\{ \frac{3.57 \times 10^4}{TK} - \frac{1.38 \times 10^7}{TK^2} \right\}$$

$$5 : \frac{\Delta V}{V} = 10^{-36} \times (\phi t)^{1.69} \times \left\{ \exp\left(\frac{7800}{R \times TK}\right) - 5.48 \times 10^3 \times \exp\left(-\frac{25300}{R \times TK}\right) \right\}$$

R=1.986

$$6 : \frac{\Delta V}{V} = (\phi t \times 10^{-22}) \left\{ 2.05 - \frac{27}{TK-623} + \frac{75}{(TK-623)^2} \right\}$$

$$\times (TK-40) \times 10^{-10} \times \exp\left(-0.15 \times TK - \frac{5100}{TK} + 32.6\right)$$

$$7 : \frac{\Delta V}{V} = 9 \times 10^{-35} \times (\phi t)^{1.5} \times (4.028 - 3.712 \times 10^{-2} \times T + 1.0145 \times 10^{-4} \times T^2 - 7.879 \times 10^{-9} \times T^3)$$

(WARDの式)

$$8 : \frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \times \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha(\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$$

R = exp(0.0419 + 1.498 × β + 0.122 × β² - 0.332 × β³ - 0.441 × β⁴)

β = (T-500)/100

α = 2.0

τ = 7.0

(HEDLの式)

$$9 : \frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \times \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha(\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$$

R = exp(0.205505 + 1.59339 × β - 1.01571 × β² + 0.321840 × β³ - 0.437479 × β⁴)

β = (T-500)/100

α = -1.12 + 0.00689 × T

τ = exp(1.89071 + 0.309441 × β - 0.552831 × β² + 0.150112 × β³ - 0.00278713 × β⁴)

$$10 : \frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \times \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha (\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$$

$$R = \exp(-0.088681 + 2.10574 \times \beta - 1.5667 \times \beta^2 + 0.30981 \times \beta^3)$$

$$\beta = (T - 500) / 100$$

$$\alpha = 0.75$$

$$\tau = \exp(2.39964 + 0.25137 \times \beta - 0.98722 \times \beta^2 + 0.40776 \times \beta^3 + 0.39017 \times \beta^4)$$

$$11 : \text{NSWELL} = 8 \times 0.1$$

$$12 : \text{NSWELL} = 8 \times 0.3$$

$$13 : \text{NSWELL} = 8 \times 0.7$$

$$14 : \frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \times \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha (\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$$

$$R = \exp(-0.0419 + 1.498 \times \beta + 0.122 \times \beta^2 - 0.332 \times \beta^3 - 0.441 \times \beta^4)$$

$$\beta = (T - 500) / 100$$

$$\alpha = 0.75$$

$$\tau = 13.0$$

$$15 : \frac{\Delta V}{V} = D \times 0.03 \quad (\text{IAEA/IWGFR ベンチマーク用})$$

$$16 : \frac{\Delta V}{V} = R \times \phi t \times 10^{-22}$$

$$R = 3 \times \exp(-4.260 - 1.825 \times \beta - 2.176 \times \beta^2 + 0.579 \times \beta^3 - 0.027 \times \beta^4)$$

$$\beta = (T - 437) / 100$$

$$17 : \frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \times \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha (\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$$

$$R = 1.25 \times \exp(-4.34 \times 10^{-5} \times (T - 475)^2)$$

$$\alpha = 0.25$$

$$\tau = 27.0$$

ここで $\frac{\Delta V}{V}$: 体積スエリング率 (%)

ϕt : 高速中性子照射量 (n/cm², E ≥ 0.1MeV)

T : 温度 (°C), TK : T + 273 (°K)

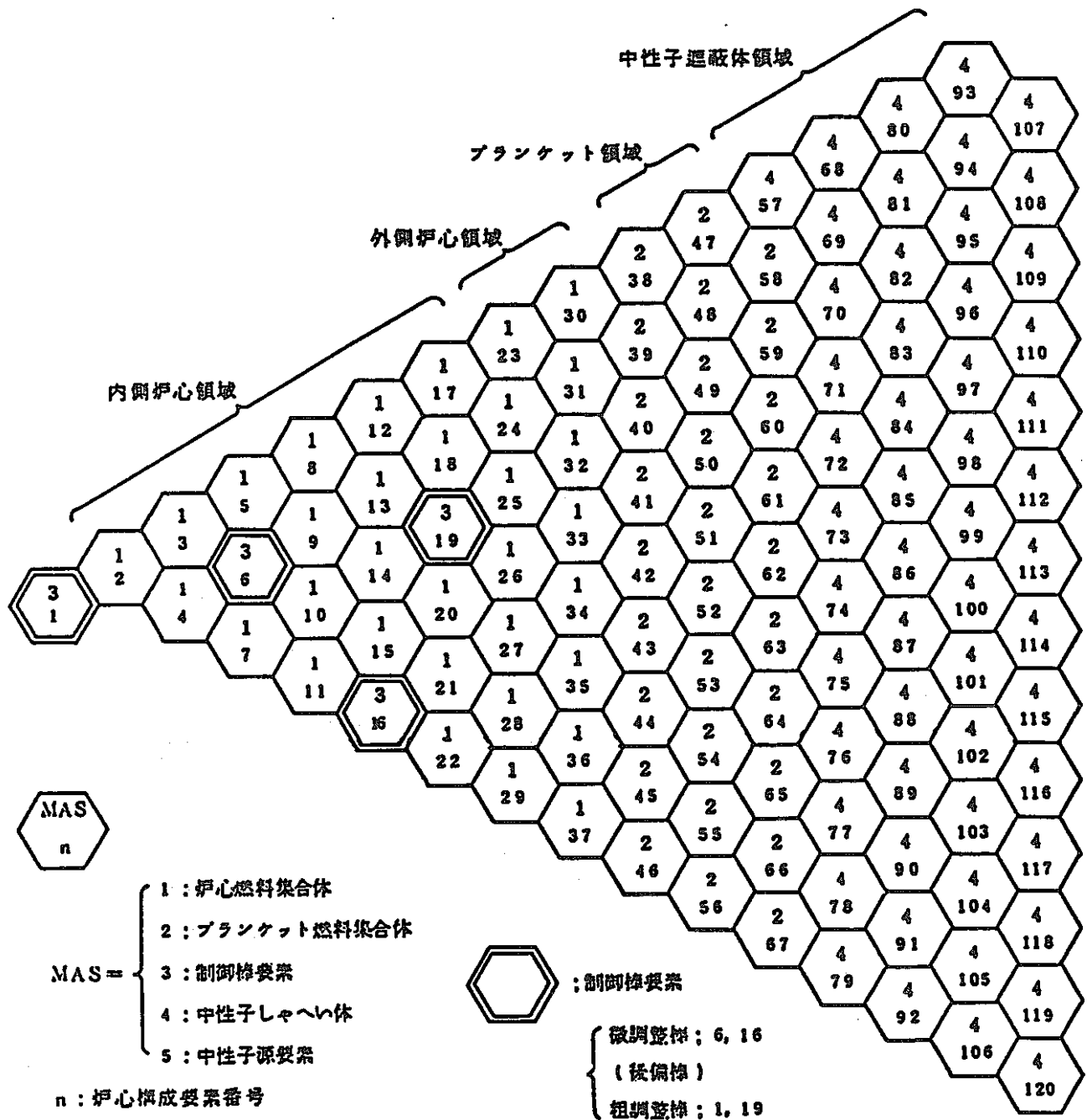
D : 照射損傷量 (dpa)

表7.1.2-7 プログラム内蔵クリープ式

- NCREEP=1 : $\epsilon^c = 10^{-9} \times \bar{\sigma} \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{(\phi t)}{10^{20}}\right) \right\} + 4.6 \times 10^{-30} \times \sigma \times (\phi t)$
- 2 : $\epsilon^c = 1.8 \times 10^{-9} \times \bar{\sigma} \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{(1.65 \times \phi t)}{1.465 \times 10^{21}}\right) \right\}$
 $+ 1.87 \times 10^{-30} \times \alpha \times (1.65 \times \phi t) \times \bar{\sigma}$
 $\alpha = \exp(1.405 - 0.0027 \times TK)$
- 3 : $\epsilon^c = 1.8 \times 10^{-9} \times \alpha \times \bar{\sigma} \times \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{(1.65 \times \phi t)}{1.47 \times 10^{21}}\right) \right\}$
 $+ 2.2 \times 10^{-30} \times \alpha \times (1.65 \times \phi t) \times \bar{\sigma}$
 $+ 7.75 \times 10^{21} \times \sinh \left\{ (4.31 \times 10^{-5} \times \bar{\sigma})^{6.16} \right\} \times \exp\left(-\frac{55359}{TK}\right)$
 $\times \left[1 - \exp \left\{ -0.105 - \left(\frac{10^{22}}{(1.65 \times \phi t)} \right)^{1.1} \right\} \right] \times t$
 $\alpha = \exp(1.405 - 0.0027 \times TK)$
- 4 : $\epsilon^c = (0.8 \times 10^{-9} + 1.86 \times 10^{-30} \times \alpha \times (1.65 \times \phi t)) \times \bar{\sigma}$
 $\alpha = \exp(1.405 - 0.0027 \times TK)$
- 5 : $\epsilon^c = \bar{\sigma} \times \left\{ 0.67 \times D + 5.8 \times 10^4 \times \exp\left(-\frac{16000}{R \times T}\right) \left[F - 8.5 \tanh\left(\frac{D}{8.5}\right) \right] \right\} 10^{-6}$
- 6 : NCREEP=5 × 0.3
- 7 : $\epsilon^c = \frac{D}{4} \times \frac{\bar{\sigma}}{E}$ (IAEA/IWGFR ベンチマーク用)
- 8 : $\epsilon^c = B \times \phi t \times \sigma^{1.3}$
 $B = (-56.36 + 18.46 \times 10^{-2} \times T) \times 10^{-29}$
- 9 : $\epsilon^c = (B \times \phi t' \times \bar{\sigma}^{1.3} + 1.32 \times 10^{-2} \times S \times \bar{\sigma}) / 100$
 $400^\circ\text{C} \leq T \leq 500^\circ\text{C}$
 $B = 9.4425 \times 10^{-2} - 3.564 \times 10^{-4} \times T + 3.351 \times 10^{-7} \times T^2$
 $500^\circ\text{C} < T \leq 850^\circ\text{C}$
 $B = 0$
 $\phi t' = \phi t \times 10^{-22} + \ln \left\{ \frac{1 + \exp(\Omega - \phi t \times 10^{-22})}{1 + \exp(\Omega)} \right\}$
 $\Omega = 0.185 \times \tau$
 $S = R \left[\phi t \times 10^{-22} + \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{1 + \exp[\alpha (\tau - \phi t \times 10^{-22})]}{1 + \exp(\alpha \tau)} \right\} \right]$
 $R = 1.25 \times \exp\{-4.34 \times 10^{-5} \times (T - 475)^2\}$
 $\alpha = 0.25$
 $\tau = 27$

ここで

- ϵ^c : クリープ歪
- ϕt : 高速中性子照射量 (n/cm^2 , $E \geq 0.1 MeV$)
- T : 温度 ($^{\circ}C$), TK : $T + 273$ ($^{\circ}K$)
- D : 照射損傷量 (dpa)
- $\bar{\sigma}$: 応力 (単位: 1~4式: psi, 5,6,7式: Mpa)
- E : ヤング率 (Mpa)
- t : 照射時間 (hr)



(もんじゅ 1/6 回転対称炉心)

図 7.1.2-1 炉心構成要素番号及び種類

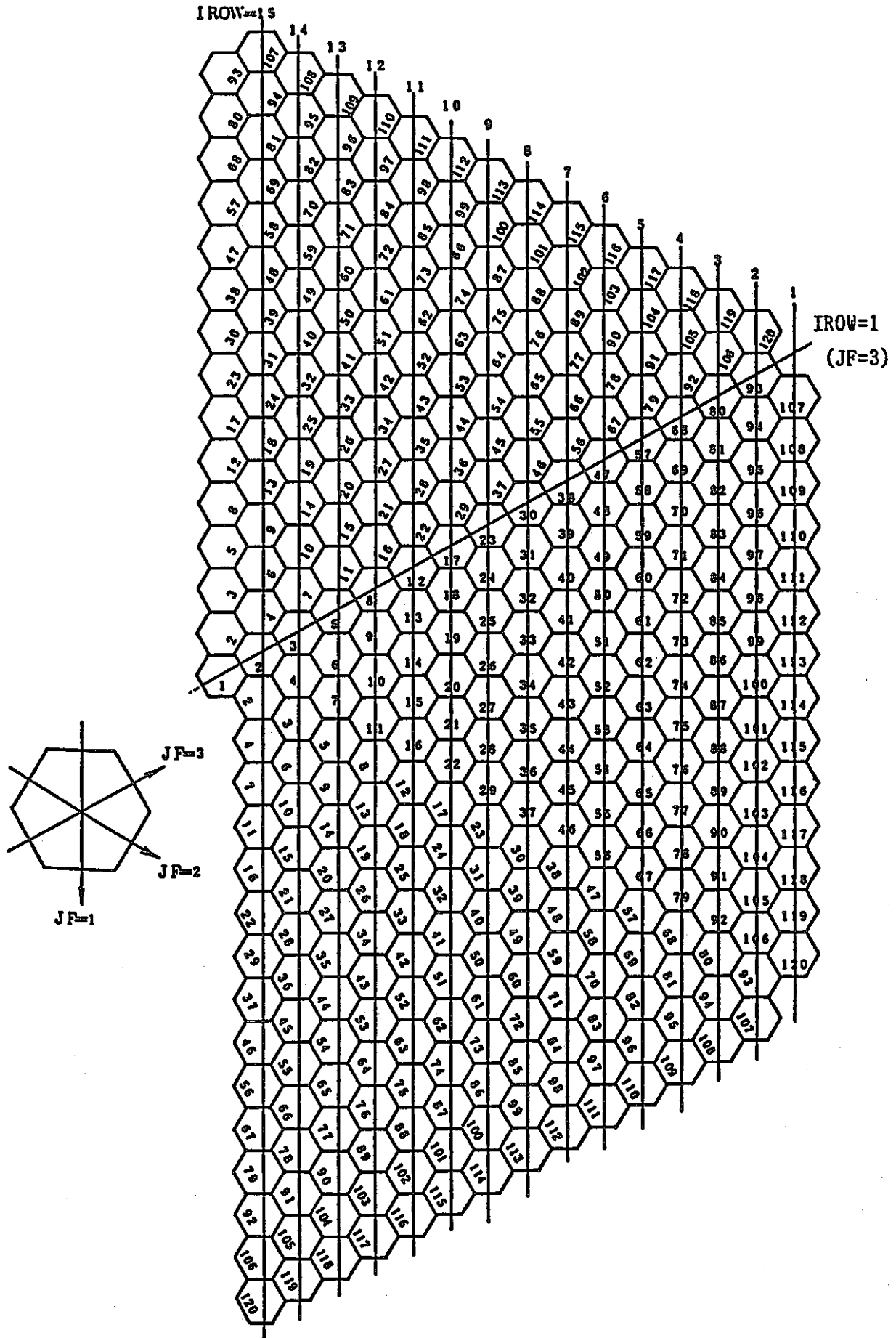


図7.1.2-2 炉心湾曲解析に於けるJF方向IROW列番号

(もんじゅ1/6回転対称炉心)

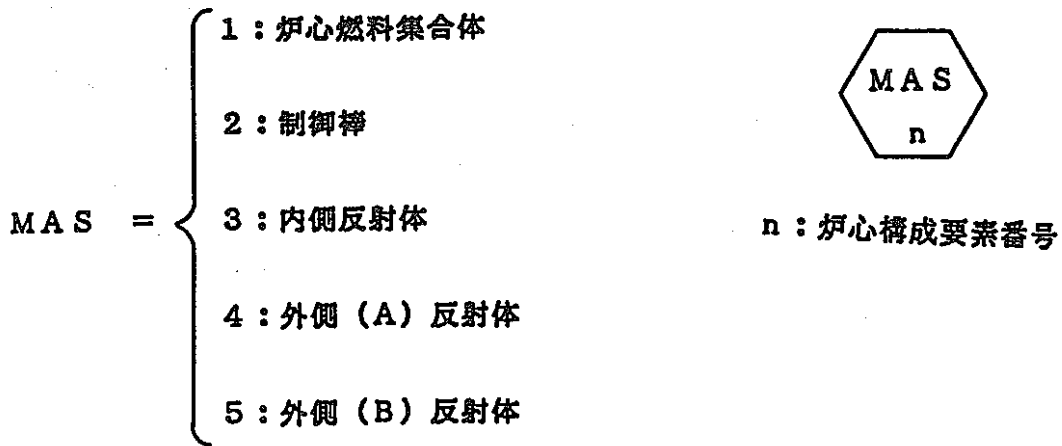
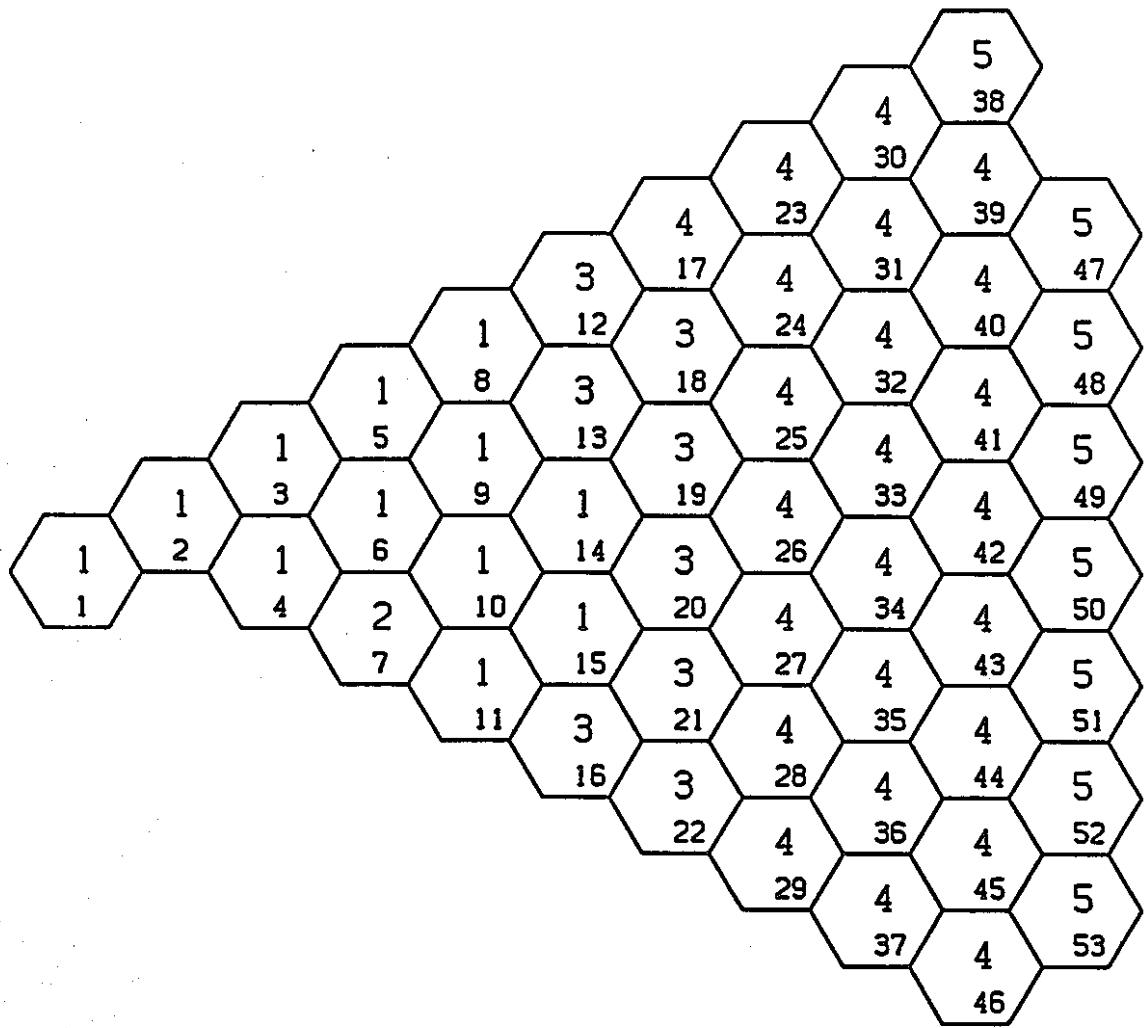
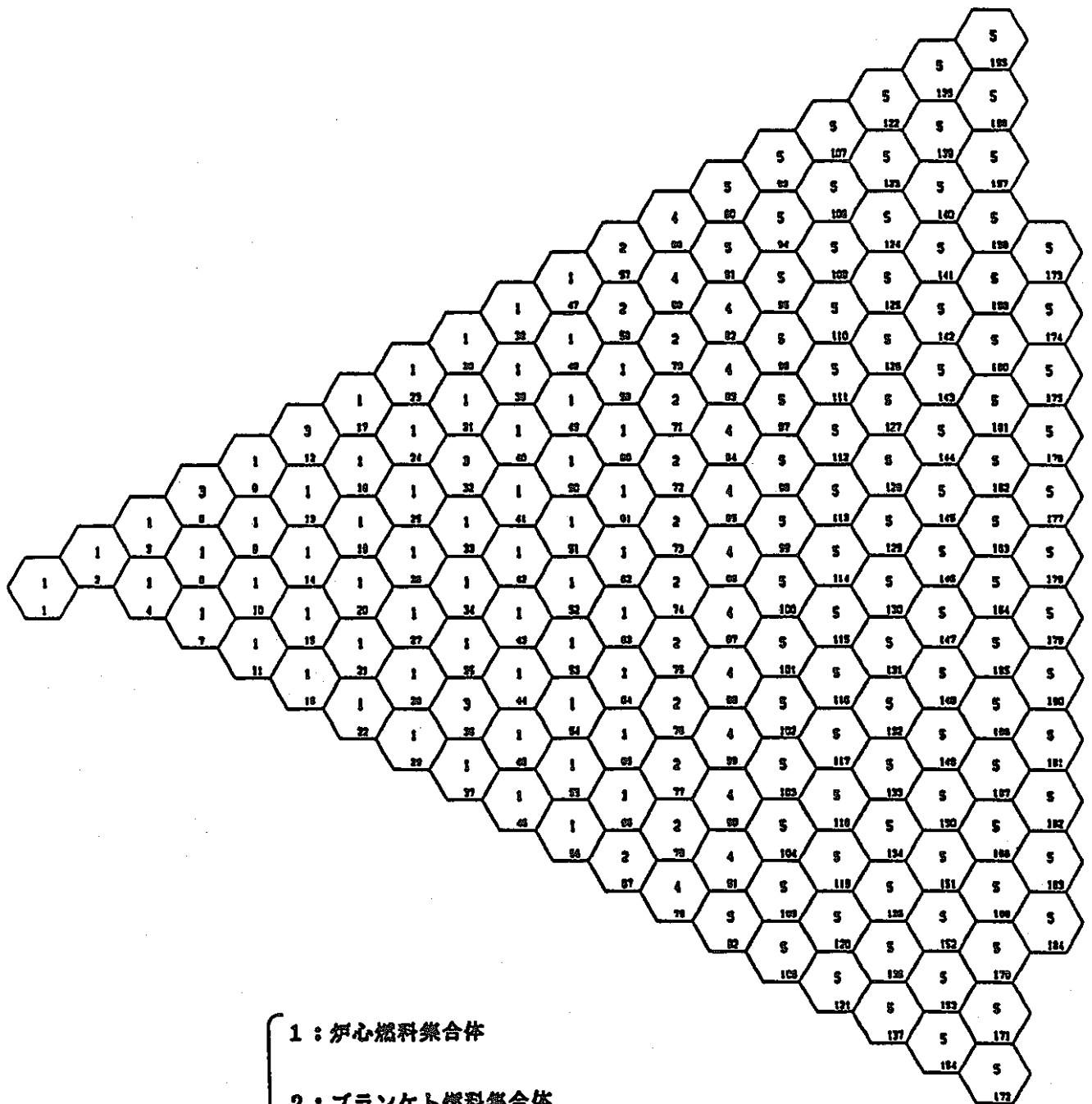


図 7.1.2-3 炉心構成要素番号及び種類 (常陽 1/6 回転対称炉心)



MAS = {

- 1 : 炉心燃料集合体
- 2 : ブランケット燃料集合体
- 3 : 制御棒
- 4, 5 : 中性子遮蔽体



n : 炉心構成要素番号

図 7.1.2-4 炉心構成要素番号及び種類 (実証炉 1 / 6 回転対称炉心)

7.2 HITETRASにおける改良内容

7.2.1 追加変更 COMMON 変数

(1) 追加 COMMON

今回の改良に伴い、追加した COMMON 文の各変数名及び内容を以下に示す。

COMMON名	変数名	配 列 数	内 容
OPT189	IBOPT	—	・ラッパ管温度，中性子束の 出力オプション
	BAX(I)	I = 1, MYLDMX	・HIBEACON用軸方向ノード

(2) 変更 COMMON

今回，プログラムサイズの可変化に伴う配列の変更があったが，それらについては，改良後の変更内容として7.2.2節に示した。

7.2.2 INCLUDE 文対象 COMMON変数

プログラムサイズの可変化に伴い，INCLUDE文で引用する各パラメータの設定例を図7.2.2-1に示す。また，この各パラメータで設定されたときのCOMMON変数を図7.2.2-2に示す。

7.2.3 修正サブルーチン

今回の改良に伴い，修正したサブルーチンと，追加となったCOMMONの対応表を下記に示す。ただし，プログラムサイズの可変化によるCOMMON変数の修正を除く。

修正サブルーチン名	追加となったCOMMON名
READIN	OPT189
CALSFP	OPT189
NTFLUX	OPT189
CONVRT	OPT189
SRTCVT	OPT189

STMT.	COL.	-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1		C----- SETTING PARAMETER -----
2		PARAMETER (M*NTAS = 400)
3		PARAMETER (M*NDMX = 50)
4		PARAMETER (M*LDMX = 50)
5		PARAMETER (M*MXGP = 1100)
6		PARAMETER (M*MXKC = 4)
7		PARAMETER (M*MXAX = 20)
8		PARAMETER (M*MXGF = 20)
9		PARAMETER (M*MXMT = 20)
10		PARAMETER (M*NONO = 50)
11		PARAMETER (M*NELM = 20)

図7.2.2-1 HITETRASコードのINCLUDE文で引用するパラメータ設定例

```

STMT. COL. -----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
1          ***** NEW PROGRAM COMMON *****
2
3          COMMON / BLK1 / NTAS, LDMAX, TL, NODEMX
4          COMMON / BLK2 / PITCH, DFLATO, MMS(M%NTAS)
5          COMMON / BLK3 / MXMAT, MATNO(M%NTAS), SIGF(M%MXMT),
6          1          SIGA(M%MXMT), DIFS(M%MXMT), EFK, TFLUX(M%NTAS)
7          COMMON / BLK4 / PINP(2), JASTY(2)
8          COMMON / BLK5 / MXPIN(2), ICVPIN(2,36,15), FCVPIN(2,36,15)
9          COMMON / BLK6 / FAREA(2,3), CAREA(2), SNAREA, SHAREA(2),
10         1          RDAREA, SBAREA
11         COMMON / BLK7 / DWRAP(5)
12         COMMON / BLK8 / CRAD(5), RFRAD(3), SNDR(6)
13         COMMON / BLK9 / MXGAP, IGPPEL(M%MXGP,2), IGPJF(M%MXGP),
14         1          IELGP(M%NTAS,6)
15         COMMON / BLK10 / CFLOW(3), RFFLOW(2), SNFLOW(3)
16         COMMON / BLK11 / CPW(4), SNPW(5)
17         COMMON / BLK12 / GPFLOW(M%MXGF), MXGPFL, KGPFL(M%MXGP)
18         COMMON / BLK13 / TINLET, MXAX, KAXPW(M%NTAS), AX(M%NDMX),
19         1          PAX(M%MXAX,M%NDMX)
20         COMMON / BLK14 / TFLOW(M%NTAS), TPOWER(M%NTAS)
21         COMMON / BLK15 / NODEFA, NODECR(M%MXKC,2), NODERF, NODENS(2),
22         1          MXKC, KCNO(M%MXKC,10)
23         COMMON / BLK16 / DPIN(2), CP, ROU, WIREP(2), GAPCON,
24         1          ITURN(2)
25         COMMON / BLK17 / CONDNA, CONDSS, CONDBE
26         COMMON / BLK18 / EPS1, EPS2
27         COMMON / BLK19 / FLUXSF(M%MXGF)
28         COMMON / BLK30 / CREQ1, CREQ2, RFREQ1, RFREQ2, SNREQ
29         COMMON / BLK31 / RFS1, RFS2
30         COMMON / BLK32 / L1(5), L2(5), L3(5), L4(5), L5(5)
31         COMMON / BLK33 / X1(5), X2(5), X3(5), X4(5), X5(5)
32         COMMON / BLK34 / S1(5), S2(5), S3(5), S4(5), S5(5), S6(5), S7(5),
33         1          S8(5), S9(5), S10(5), S11(5), S12(5), S13(5)
34         COMMON / BLK35 / TD(M%NTAS,55), TGAPD(M%MXGP,2)
35         COMMON / BLK36 / WCOND(M%NTAS,5), BECOND(2), GPCOND(M%MXGF),
36         1          COND(M%NTAS), OTCOND(M%NTAS,2)
37         COMMON / BLK37 / FWCV(M%NTAS,4)
38         COMMON / BLK38 / RPF(M%NTAS,55), QAX(M%NTAS)
39         COMMON / BLK39 / SPAX(M%MXAX)
40         COMMON / BLK40 / TWALL(M%NTAS,12), TEL(M%NTAS,55)
41         COMMON / BLK41 / TGP(M%MXGP,2)
42         COMMON / BLK42 / US(M%NTAS)
43         COMMON / BLK43 / ZN(M%NDMX), ZL(M%LDMX), NIL
44         COMMON / BLK44 / NONON, NNON(M%NONO)
45         COMMON / BLK45 / ABTWRP(12,M%LDMX,M%NTAS)
46         COMMON / BLK60 / NELMT(M%NELM), NCV(M%NELM,20), MCV(M%NELM),
47         1          NOGAP(M%NELM), ELS, NELM
48         COMMON / BLK61 / NANTAS, NANODE(10), NAELM(10), NANCV(10,20)
49         COMMON / BLK65 / NDWRAP
50         COMMON / BLK72 / DDPIN(2)
51         COMMON / BLK75 / DUMMY3(5), MXNP(2)
52         COMMON / BLK86 / VARI(6,50), DUMMY1(540), TAREA(M%NTAS,50)
53         COMMON / BLK91 / IRWPIN(2,6,20), RPIN(M%NTAS,6,20), FSUM(2)
54         COMMON / BLK92 / IOPT, IOPT2
55         COMMON / BLK93 / WFD(M%NTAS,8), WF(M%NTAS,8), DWF(M%NTAS,6.4)
56         COMMON / FLUX / FAX(M%MXAX,M%NDMX)
STMT. COL. -----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8
57         COMMON / FAST / FSIGF(M%MXMT), FSIGA(M%MXMT), FDIFS(M%MXMT),
58         1          MID2, FSFLUX(M%NTAS)
59         COMMON / BUNDL / FBOW
60
61         C
62         COMMON / CNFIG / XAXIS, YAXIS, XFIRST, YFIRST, XDELTA, YDELTA,
63         1          XD, YD, XG, YG
64         COMMON / CRSUNI / UNIT
65         COMMON / CRSCN1 / WRATIO, H, XGMIN, YXJT, HTTL, HSYM, EE
66         COMMON / CRSCN2 / INP, IXL, IYL, IXT, IYT, IHT, IPN, IYN,
67         1          IO9, IO10, IKD, IX1, IX2, IDX, IXK, ITL,
68         2          IT2, IT3, IT4, IFS, IDL, IYC, IMJ
69         COMMON / BLKDTA / FACT(6,2), IS(13), NCVF1(24,3), NCVF2(12,2),
70         1          NWT(5,3,2,2), PID3
71         COMMON / BLKRF1 / RFARAD(3), RFRAD, RFIARA, RFAFLW(2),
72         1          RFAPW(2), RFRAP(3)
73         COMMON / BLKRF2 / NODRF1, NODRFA, NODRFB
74         COMMON / BLKRF3 / RFIRQ1, RFARQ1, RFARQ2, RFBRO1, RFBRO2,
75         1          RFL1(3), RFL2(3), RES1(3), RES2(3),
76         2          RES3(3), RES4(3), RES5(3), RES6(3),
77         3          RES7(3), RES8(3), RFIDE(2), RFADE(3),
78         4          RFBDE(2), SRFIN(3), RFX3(3)
79         COMMON / BLKRF4 / NWTRF(3,3,2,2)
80         COMMON / OPT189 / IBOPT, BAX(M%LDMX)

```

図7.2.2-2 HITETRASコードのCOMMON変数(改良後)

7.3 HIBEACONに於ける改良内容

7.3.1 変更COMMON変数

今回の改良に伴い、COMMON文中変数の変更及び追加内容を以下に示す。

COMMON名	変数名	配列数	内容
BLK4	COEF1(I) COEF2(I) COEF3(I) COEF4(I)	I=1, M \times LMAS+1	各構成要素の種類毎の熱膨張評価式に於ける係数
STF	EYNGO(N)	N=1, M \times MMAX	エントランスノズル部のヤング率
BLKNW1	CMU(M)	M=1, M \times LMAS	ポアソン比
BLK37	ALPHAC(M)		応力解析用平均熱膨張率
BLKNWE	IPRINT(J)	J=1, 20	出力リストコントロールフラグ

7.3.2 修正サブルーチン

今回の改良に伴い、修正したサブルーチンを示す。

修正サブルーチン名	変更COMMON名
BECN3D	BLKNWE
READIN	BLK4, BLK37, BLKNWE, BLKNW1
ALPHA	BLK4
PRECAL	BLKNWE, BLKNW1
CPRECA	BLKNWE, BLKNW1
DPRECA	BLKNWE, BLKNW1
FEM3D	BLKNWE
LVECTR	STF, BLK37
STRESS	BLK37
FCREEP	修正のみ
FSWELL	修正のみ
SCREEP	修正のみ
ASGAP	修正のみ
COMPOS	BLKNWE

修正サブルーチン名	変更COMMON名
FRICAL	BLKNWE
NWCOMP	BLKNWE
OUTFIL	BLK4, BLK37, BLKNWE, BLKNW1
INFIL	BLK4, BLK37, BLKNWE, BLKNW1
BLOCKD	BLK4, BLKNWE, BLKNW1, BLK37

7.3.3 追加サブルーチン

今回の改良に伴い、追加したサブルーチンを示す。

追加サブルーチン名	内容
LOADBW	自由湾曲量出力サブルーチン

7.4 納入磁気テープ情報

納入磁気テープの内容一覧を表7.4-1に示す。また、同表記載の各データセット中のメンバーの一覧を表7.4-2~表7.4-4に示す。

表7.4-1 磁気テープの内容一覧

TAPE VOLUME=H2BECN		DCB (DEN=4)			NOTE
LABEL	DATASET NAME	RECFM	LRECL	BLKSIZE	
(01, SL)	HITETRAS.FORT	FB	80	6160	HITETRASプログラムソース
(02, SL)	HIBEACON.FORT	FB	80	6160	HIBEACONプログラムソース
(03, SL)	INPUT.DATA	FB	80	6160	サンプルデータ及びJCLデータ
(04, SL)	HIBEACON.LIBR	VBS	516	6196	温度分布、中性子束分布、スエリング歪、クリープ歪データ
(05, SL)	HITETRAS.SAMPLE	FBA	133	1330	HITETRASサンプル計算結果(1サイクル)
(06, SL)	HIBEACON.SAMPLE	FBA	133	1330	HIBEACONサンプル計算結果(1サイクル)

