

照射データ解析分科会 54年度作業報告

1980年4月

動力炉・核燃料開発事業団

この資料は、社内における検討、周知を目的

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

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

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

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



照射データ解析分科会

54年度作業報告

燃料データ運用委員会

照射データ解析分科会

主査 武藤 正*

〔要旨〕

昭和54年度に実施した、照射データ解析分科会の活動内容をまとめた。

* 東海事務所副所長

目 次

1. まえがき	1
2. 54年度作業概要	2
3. CEDAR-Iコード	4
3.1 仕様原案	4
3.2 他のコードとの解析能力の比較	6
3.3 CEDAR-Iの計算処理流れ図	8
3.4 燃料/被覆管境界条件の推定及びその収束判定	11
3.5 燃料内応力一歪計算	13
3.6 被覆管内応力一歪計算	15
3.7 プロッターアウトプット	17
4. CEDAR-Iの問題点及び改良	81
5. 残っている問題点	84
6. 今後の方針	93
7. 分科会議事録	95
8. ま と め	101
謝 辞	103

1. ま え が き

「照射データ解析分科会」は、データ・バンキング・システムにおいて集積されたデータを挙動解析コードに反映させることを目的として「燃料データ運用委員会」のもとに設置された。

照射データ解析分科会は、53年度に発足し、53年度においては、従来の燃料挙動解析コードを比較検討し、新コードの仕様原案を検討した。

本年度（54年度）は、前年度に決定された仕様原案に基づき、CEDAR（Code for Thermal and Deformation Analysis of Reactor Fuel）の作成を行った。本年度は、CEDARコードのバージョンは、CEDAR-IAまで進んでいる。

本報告書は、照射データ解析分科会において54年度に実施したCEDAR-Iコード作成に関するものである。

2. 54年度作業概要

本分科会では、動燃で所有している燃料ピンの照射挙動解析コードを統合したCEDARコードの開発を行った。

本作業は、53年度より開始され、54年度は、その継続という形で進められた。本年度の作業の概要を以下に示す。

- (1) 動燃で開発した燃料ピン挙動解析コード(PIPER, ACTIVE, MIPEC)及び海外で開発されたコード(LIFE, COMETHE)の比較検討を行ない新コードの仕様を決定した。

⇒ 照射データ解析分科会 53年度作業報告
N141-79-06, 1979年5月

- (2) 上記の結果、新コードの骨格として、FBR本部より、日立に開発を委託したMIPECが最適であるという結論に到達、これを基本として新コードの開発を行なうことが合意された。

- (3) MIPECは主として燃料-被覆管の機械的相互作用を解析するために開発された計算コードであり、燃料ピン内で起こる現象で照射挙動に重要な影響を及ぼすものを十分網羅していない。そこで幾つかのモデルの追加修正を行なうことにより、より詳細な挙動解析コードCEDARを開発した。

⇒ 燃料ピン挙動解析コードCEDAR
- その機能追加, 改造報告書 -
SN841-79-51, 1979年11月

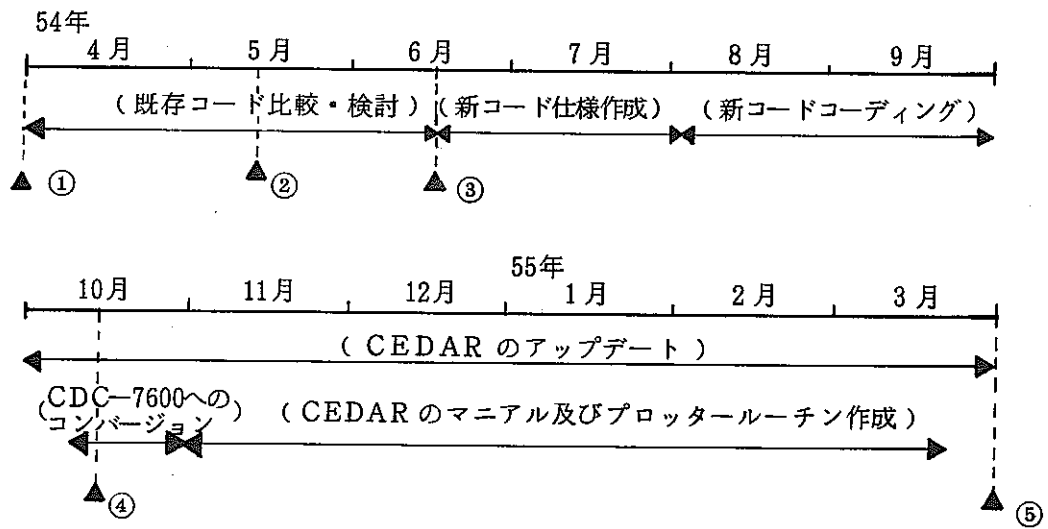
- (4) 54年5月に仏で開催されたIAEA主催の高速炉燃料ピンの照射挙動解析コードに関する専門家会議に53年度に行った作業をまとめ報告するとともに、今後のコード開発のための有益な情報を入手した。

- (5) WARDで使用しているコンピューターCDC-7600でも、計算可能な様に、コードのオーバーレイ及び幾つかの修正を行なった。

- (6) CEDARのテストランを重ね、応力-歪計算部分の改良を行ないCEDAR-IAバージョンを作成した。

- (7) CEDARコードの詳細なマニュアル及びプロッターの作成を行った。

以上の経過をタイムテーブルにして以下に記す。



- ① 新コード仕様原案決定
- ② IAEA 専門家会議
- ③ 新コードの基本を MIPEC と決定
- ④ CEDAR - I バージョンの作成
- ⑤ CEDAR - IA バージョンの作成

3. CEDAR-I コード

3.1 仕様原案

本会（照射データ解析分科会）の下部機関であるプログラム開発ワーキンググループにおいて討議された結果，新コードの骨格は MIPEC となった。

MIPEC は主として燃料-被覆管の機械的相互作用を解析するために開発された計算コードであるため，燃料ピンの総合的評価のために幾つかのモデルの追加修正が必要であった。従って，ここでは，追加，修正モデルの仕様原案の概要を述べることとする。詳細は，SN841-79-51を参照のこと。

追加，改良項目は大別して，

- (1) インプット・アウトプットの整備
- (2) 全体モデルの改良
- (3) 部分モデルの追加，改良

の3項目である。

(1)については，インプットの簡略化，アウトプットされる情報の追加を行った。

(2)については，下部プレナムの追加，被覆管メッシュの追加を行った。

(3)については，以下に記す部分モデルを追加した。

- O/M再分布モデル
- Pu 移動モデル
- 組織変化モデル（気孔移動，結晶成長）
- 焼きしまりモデル
- ホットプレッシングモデル
- ギャップコンダクタンスモデル
- FP ガス放出モデル
- FP ガススエリングモデル
- Solid FP スエリングモデル
- リロケーションモデル
- 被覆管クリープ寿命モデル
- 被覆管腐食モデル
- 径方向出力分布モデル

追加，改造した部分モデルの概要を下表に示す。

サブルーチン名	追加/改造	概 要
OXMIG	追 加	酸素の拡散に伴うO/M再分布の計算
PUMIG	追 加	Puの拡散に伴うPu再分布の計算
PORPOR	改 造	蒸発凝固機構による気孔の移動計算及び径方向ノード密度分布の計算
GRNGRW	追 加	結晶成長の計算
DENSFI	追 加	焼きしまりによる気孔率変化及び歪の計算
HOTPRS	追 加	ホットプレッシングによる気孔率変化及び歪の計算
GAPCON	改 造	被覆管内面腐食に伴うギャップコンダクタンス計算手法の改良
FPGAS	改 造	FPガスの温度勾配下における移動をも考慮したFPガス放出計算
GSWFLL	追 加	フリースエリングモデルを用いたFPガススエリング歪の計算
SSWFLL	追 加	Solid FPによるスエリング歪の計算
RELOCT	改 造	燃料のクラッキングによるリロケーションの計算
CLDLIF	追 加	クリープ損傷和による被覆管クリープ寿命計算
CLDCOR	追 加	被覆管内面（FPによる）及び外面（Naによる）腐食速度及び腐食量の計算
BURNUP	改 造	径方向の線出力分布，燃焼度分布の計算

3.2 他のコードとの解析能力の比較

3.1項で述べたような幾つかのモデルの追加，改造を行った結果 CEDAR-I ではほとんどの解析が可能となった。

右表に，既存コードである PIPER，ACTIVE，MIPEC と CEDAR-I における解析能力を比較して示す。

Features	PIPER	ACTIVE	MIPEC	CEDAR-I
◦ Fuel Analysis				
Annular Pellet	T	T	T	T
Pellet Radial Relocation	NT	NT	T	T
Plasticity	NT	NT	T	T
Thermal Creep	T	T	T	T
Irradiation Creep	T	T	T	T
Flux Depression	NT	IP	IP	T
Pellet in-pile Densification	NT	NT	NT	T
Solid FP Swelling	T	T	T	T
Fission Gas Bubble Swelling	T	T	T	T
Hot Pressing	T	T	T	T
Cracking and Crack Healing	T	T	T	T
Fission Gas Release	T	T	T	T
Melting Phenomena	NT	NT	NT	NT
Pore Migration	T	NT	T	T
Grain Growth	T	T	NT	T
Pu and Oxygen Migration	T	T	NT	T
Fission Gas Migration	NT	NT	NT	T
Radial Power Distribution due to Fuel Density Change	T	T	NT	T
due to Pu Migration	NT	NT	NT	T
◦ Cladding Analysis				
Cladding Failure	NT	NT	NT	T
Cladding Corrosion	NT	NT	NT	T
◦ General Analysis				
Gap Conductance	T	T	T	T
Friction Force	T	T	T	T
Hot Internal Pressure	T	T	NT	T
External Pressure	IP	IP	IP	IP
Axial Power Distribution	IP	IP	IP	IP
Gamma Heating in Cladding	NT	NT	NT	NT
Varied Power History	IP	IP	IP	IP
Axial Interaction	NT	NT	T	T
Lower Plenum	NT	NT	NT	T

T = treat (コード内で計算する)

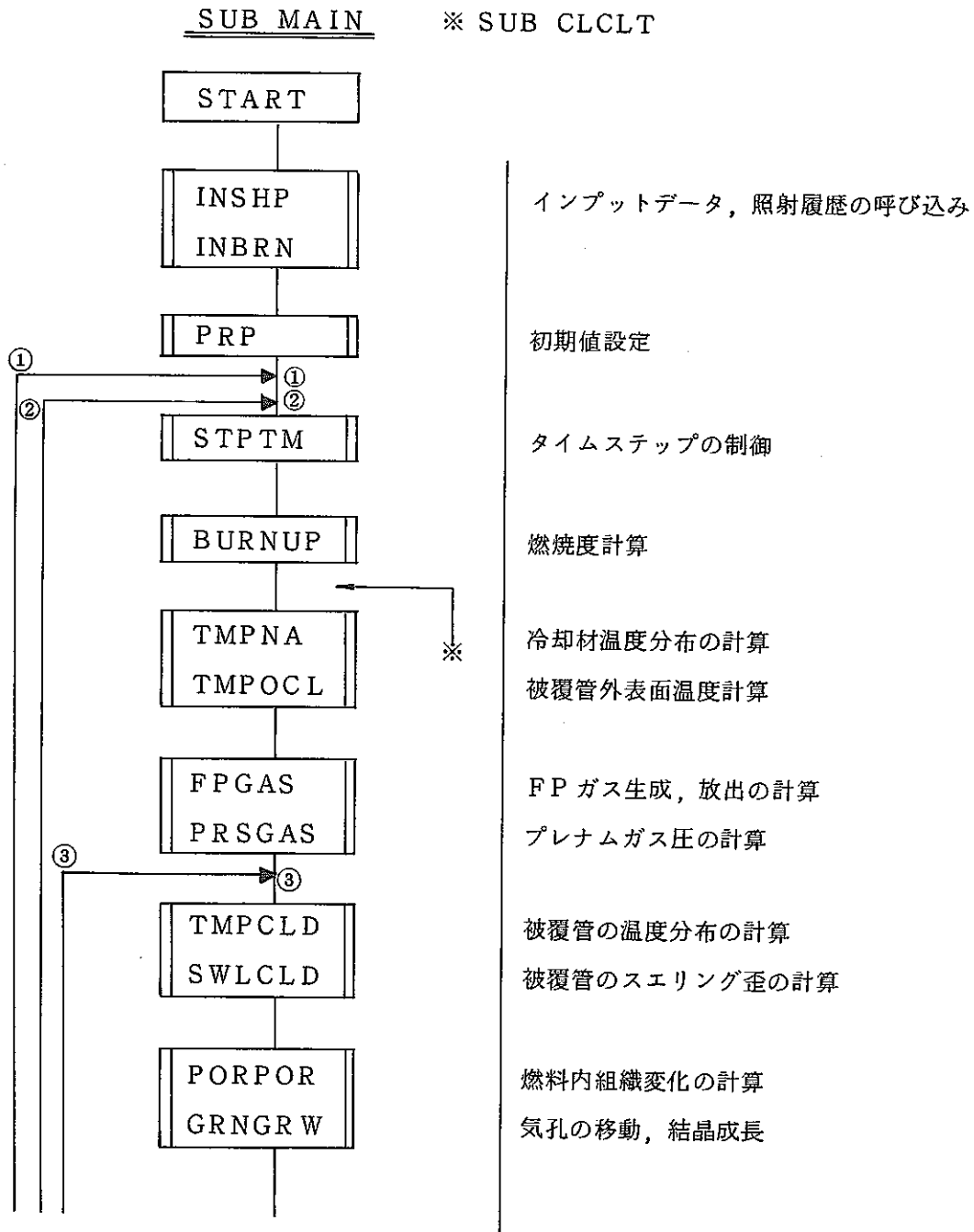
NT = not treat (考慮されていない)

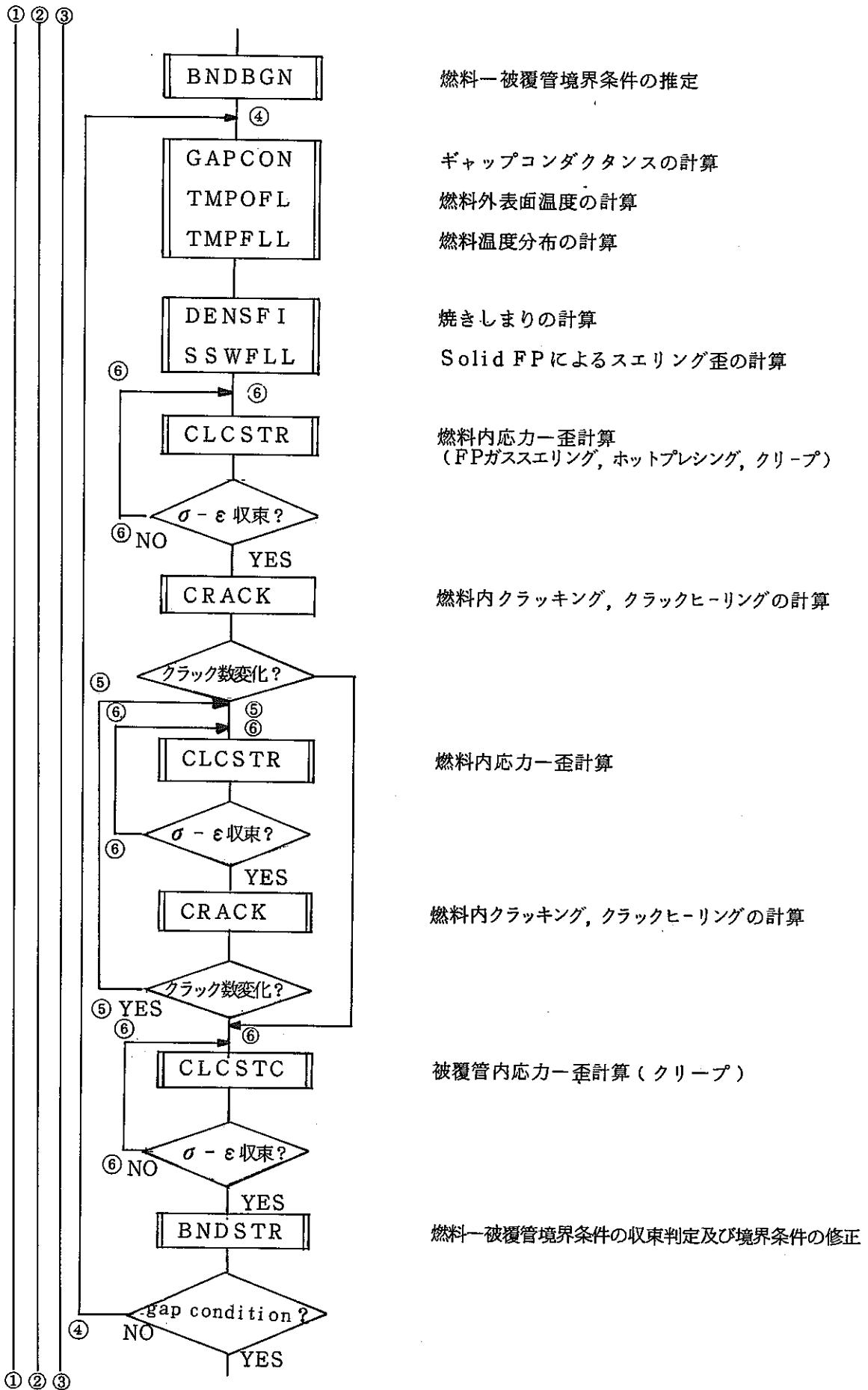
IP = input parameter (インプットとして数値を与える)

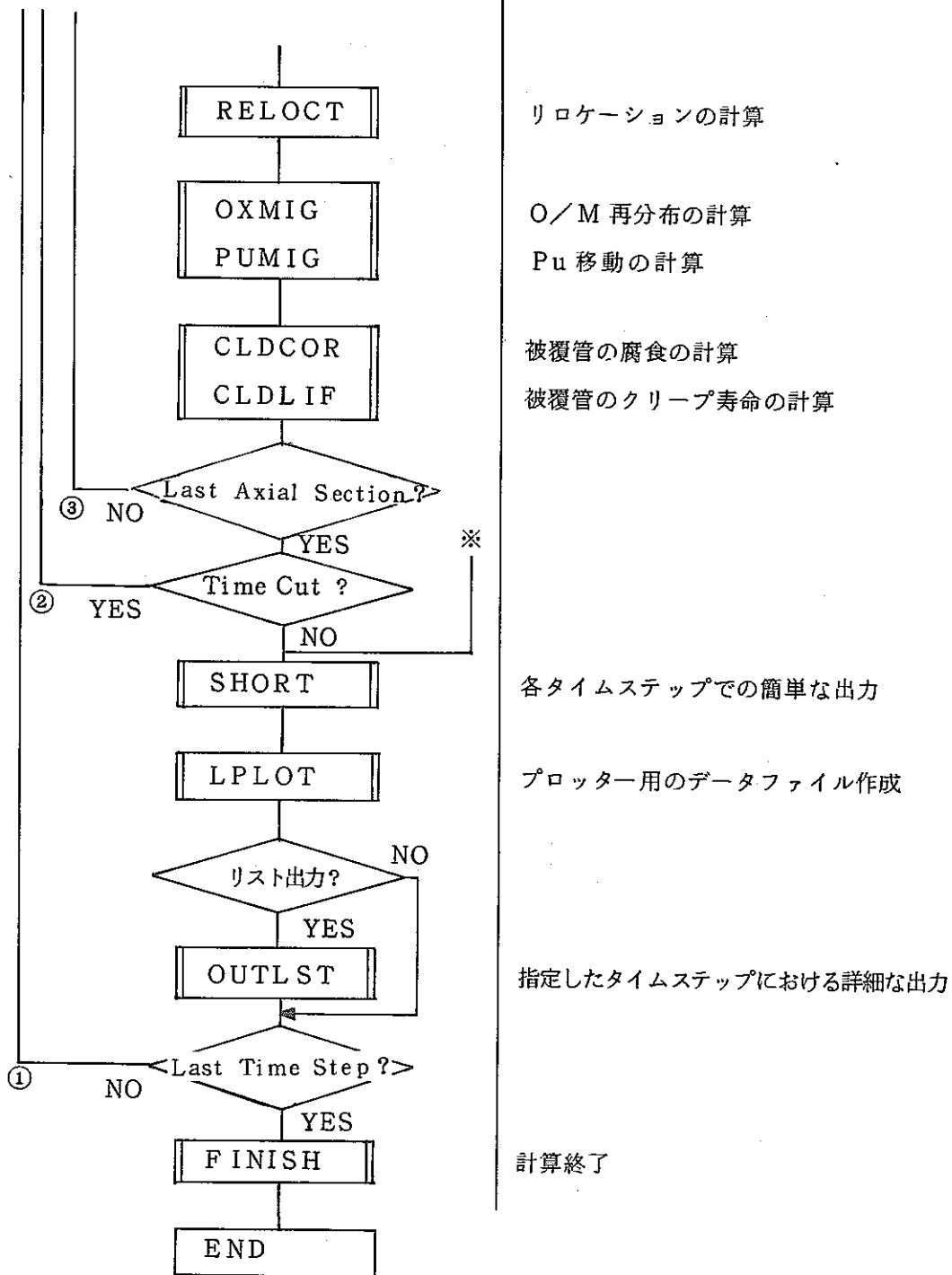
3.3 CEDAR-I の計算処理流れ図

CEDAR-I は約 100 のサブルーチンから構成されている。計算の全体の制御は、サブルーチン MAIN で行なわれており、このサブルーチン MAIN から呼ばれているサブルーチン CLCLT において主計算（応力-歪計算、温度計算等）が行なわれている。

CEDAR-I の計算フローの概略を以下に示す。







- ① タイムループ
- ② タイムループ (タイムカット)
- ③ IZ (軸方向) ループ
- ④ ギャップ反復計算ループ
- ⑤ クラックループ
- ⑥ 燃料及び被覆管応力歪計算ループ

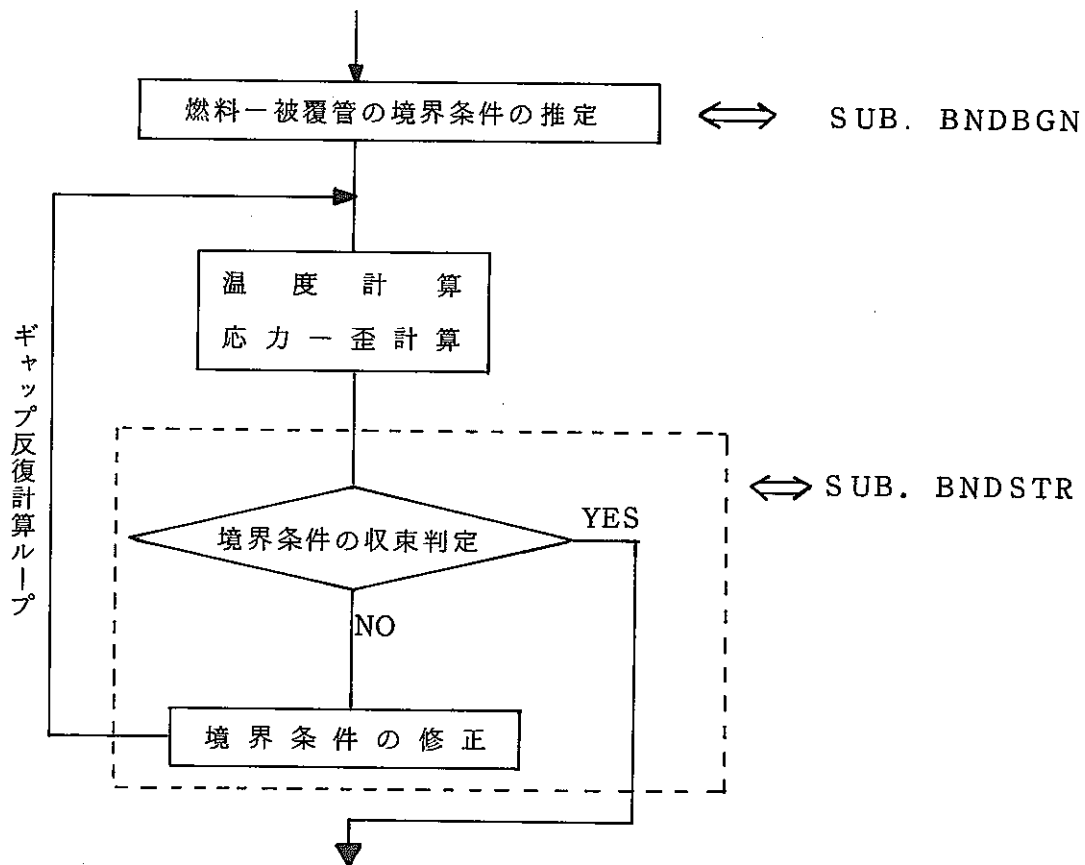
3.4 燃料／被覆管境界条件の推定及びその収束判定

3.3でも述べた様に、燃料－被覆管の境界条件に関する制御は、サブルーチン BNDBGN（境界条件の推定）及びサブルーチン BNDSTR（境界条件の収束判定及び修正）で行なわれている。

これらのサブルーチンでは、主として、燃料と被覆管が接触しているか否かを判定する。即ち、非接触のときは、ギャップ巾がどの程度であるか、また接触のときは、接触圧及びまさつ力が、どの程度であるかを推定し、これに基づいて温度計算、応力－歪計算を行ない、その後推定値と計算結果を比較することにより、収束判定を行なう。収束しない場合は、境界条件を修正し、再度、温度計算、応力－歪計算を行なう。

このように、燃料－被覆管の境界条件は繰り返し計算により決定される。

この概要を下図に示す。



次に、燃料-被覆管の境界条件の推定方法及び収束判定方法について、その概要を示す。

(1) 境界条件の推定方法

(ギャップ open の時)

○ギャップ巾

前回タイムステップでのギャップ巾とギャップ巾変化量から推定する。

○接触圧

ガス圧に等しいと推定する。

○まさつ圧

上部ノード接触の場合は、前回タイムステップにおけるまさつ力に等しいと推定する。

上部ノードが非接触の場合は、零と推定する。

(ギャップ close の時)

○ギャップ巾

零とする。

○接触圧

前回タイムステップでの接触圧と、接触圧変化量から推定する。

○まさつ力

前回タイムステップでのまさつ力に等しいと推定する。

(2) 境界条件の収束判定方法

燃料-被覆管の境界条件の収束判定は、以下に示す場合により、それぞれ異なる。



(ケース A)

○ギャップ巾の収束判定

(ケース B)

この場合、燃料は、軸方向に自由に伸びることはできない。

従って、2つの収束判定を必要とする。

- ギャップ巾の収束判定
- 燃料及び被覆管の軸方向歪差の零判定

(ケース C)

- ギャップ巾の零判定
- 燃料及び被覆管の軸方向歪差の零判定

この軸方向歪差の零判定は、困難であるため実際には、軸方向力の零判定がなされる。

(ケース D)

Slip の場合、燃料は、軸方向に自由に伸びることが可能である。

- ギャップ巾の零判定

ケース E, ケース F については、本年度は、検討していないので省略する。

3.5 燃料内応力-歪計算

平面歪近似により応力-歪の計算を行なっている。

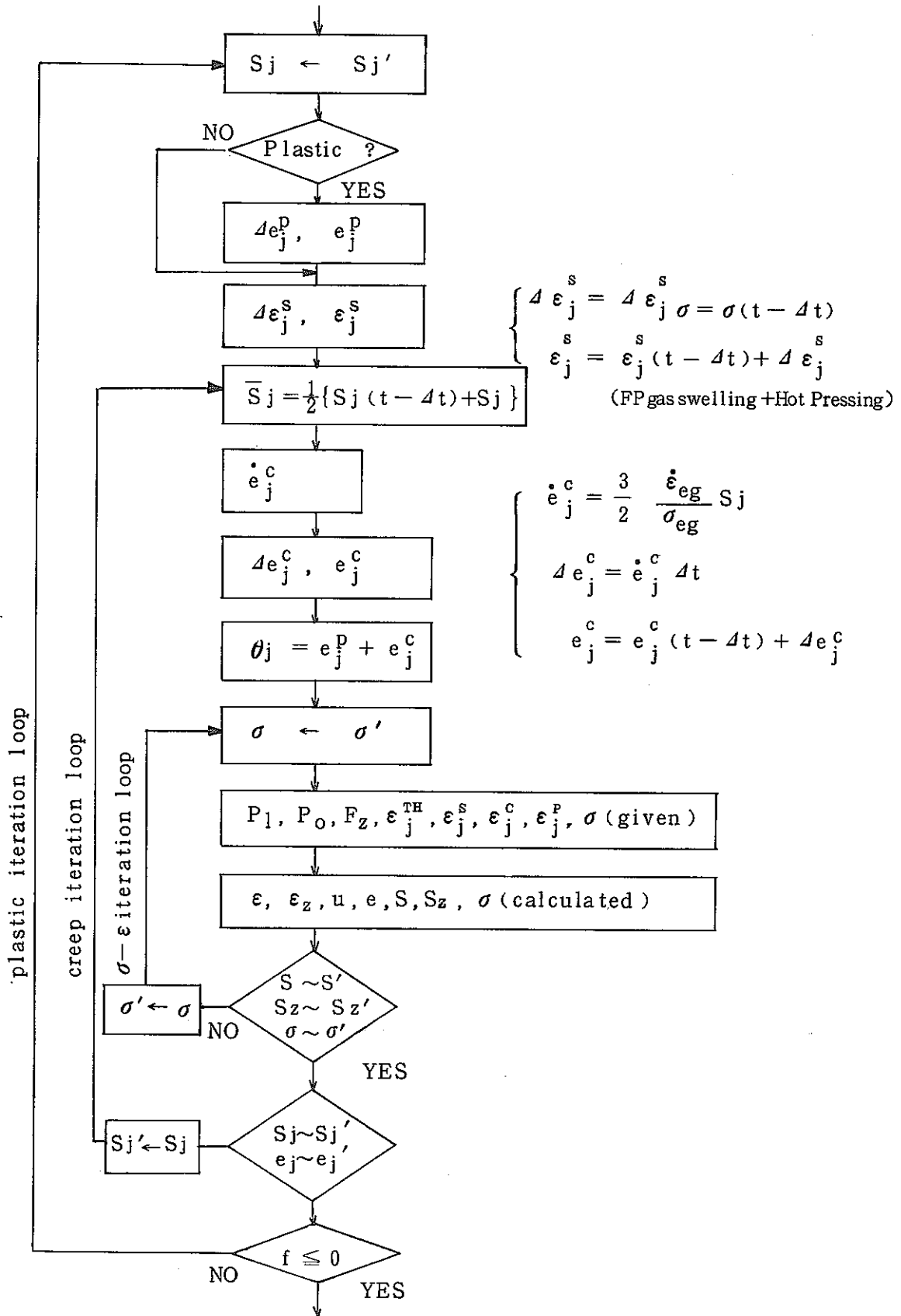
燃料内応力-歪計算は大別して3つのイタレーションループから成っている。内側から $\sigma - \varepsilon$ のループ、creep のループ、plastic のループである。

$\sigma - \varepsilon$ のループでは、燃料の内外径における径方向応力、軸方向力、熱膨張歪、スエリング歪、クリープ歪、塑性歪及び推定した平均応力をインプットとして与え、応力-歪方程式を解くことにより、平均応力、偏差応力、平均歪、偏差歪及び径方向の displacement を求めている。

このループにおける反復計算の収束判定は、応力-歪計算の前後での平均応力、偏差応力を比較することによりなされる。収束しない場合は、平均応力を、修正(適正な加速を行う)して再度、応力-歪方程式が解かれる。

クリープのループでは、 $\sigma - \varepsilon$ のループにインプットとして入るべきクリープ歪の計算を行なっている。クリープのループを設けるのは、クリープ歪速度が、他の歪成分に比べ大きいためであり、クリープ歪増分の変化に対して、応力-歪方程式を解いた後の平均歪及び偏差応力、偏差歪の収束判定を行なうことが、応力-歪方程式の数値解を安定させるために必要である。クリープのループにおいて、クリープ増分の適当な加速を行なって収束を早めている。

plasticのループに関しては、本年度は、検討していないので、省略する。
 以下に、燃料内での応力-歪解析のフローの概略を示す。



3.6 被覆管内応力-歪計算

平面歪近似により、応力-歪計算を行なっているのは、燃料部と同じである。

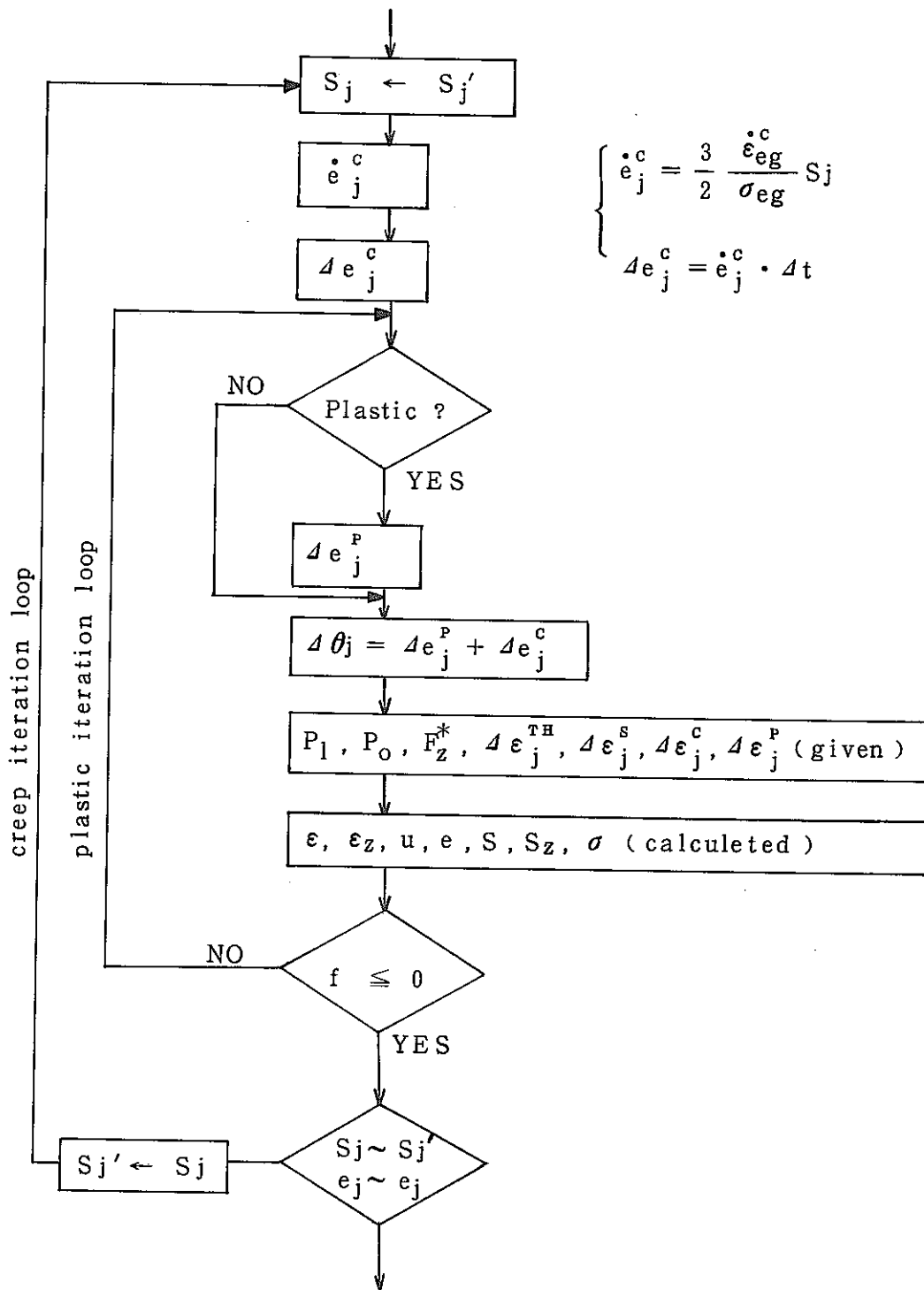
被覆管内の応力-歪計算は大別して2つの反復計算ループからなっており、内側から plastic のループ、creep のループとなっている。

被覆管内の応力-歪の解法は、燃料部とは異なっている。すなわち、平均応力の推定をせずに直接、応力及び歪の増分を求め、その増分より時刻 $t = t$ での応力及び歪を計算している。従って、燃料部の $\sigma - \varepsilon$ のループに対応するループはなく、応力-歪の計算は、常に1回のみ行なわれている。

クリープのループも燃料部とは異なり、クリープ増分を、反復計算において加速はしない。また、応力-歪方程式を解いて得られた応力を用いてクリープ増分を求めている。クリープのループでの収束判定には、偏差応力、平均歪、及び偏差歪を用いている。

plastic のループについては、本年度は検討していないので省略する。

以下に、被覆管内の応力-歪解析のフローの概略を示す。



3.7 プロッターアウトプット

CEDAR-I に設けられている図形処理用のプロッターは、全部で110種類の項目についてアウトプットが可能である。

これらの項目の概要は以下の通りである。

- (1) 径方向、軸方向のディメンションを持たず時間に対してプロットされる。
 - 線出力、燃焼度、FPガス放出、プレナムガス圧
 - 燃料及び被覆管の軸方向伸び
- (2) 軸方向を指定し、時間に対してプロットされる。
 - 中心空孔径、柱状晶半径、等軸晶半径、燃料外径、被覆管内径、腐食層深さ、被覆管外径
 - FPによる内面腐食層厚さ、Naによる外面腐食層厚さ
 - ギャップ巾、リロケーション量、ギャップコンダクタンス、接触圧
 - 線出力、燃焼度、FPガス放出
 - 被覆管外径変化、被覆管クリープ寿命、高速中性子束
 - 燃料及び被覆管の軸方向伸び
 - 燃料中心及び表面温度、被覆管内外面温度
- (3) 時刻を指定し、軸方向に対してプロットされる。
 - 被覆管外径変化、高速中性子束、被覆管の円周方向のスエリング及びクリープ歪
 - 被覆管のクリープ寿命
 - 中心空孔径、柱状晶半径、等軸晶半径、燃料外径、被覆管内径、腐食層深さ、被覆管外径
 - 線出力、燃焼度
 - 燃料中心及び表面温度、被覆管内外面温度
- (4) 軸方向を指定し、時間に対してプロットされる。(径方向は任意に選択)
 - クラック数
 - 結晶粒径
 - 応力
 - 歪

(5) 軸方向を指定し、径方向に対してプロットされる。(時刻は任意に選択)

- 気孔率
- 線出力, 燃焼度
- 残存 FPガス量
- Pu/Pu+Uの比
- O/M比
- 温度
- 結晶粒径
- 応力
- 歪

* 応力とは、 $\bar{\sigma}$, σ_r , σ_θ , σ_z , σ_{eg} , $S (= \sigma_r - \sigma_\theta)$, $S_z (= \sigma_z - \sigma)$ である。

* 歪の成分としては、 ϵ^E (弾性歪), ϵ^{TH} (熱膨張歪), ϵ^S (スエリング歪), ϵ^D (焼きしまり歪), ϵ^{HP} (ホット・プレッシング歪)を含む。

また、方向性のある歪成分については、 $\bar{\epsilon}$, ϵ_r , ϵ_θ , ϵ_z , $e (= \epsilon_r - \epsilon_\theta)$ を区別してプロットする。

上記項目のうち、どの項目についてプロットするかは、オプションにより選択できる様になっている。

オプションA：全ての項目についてプロットする。

オプションB：セットとして指定した項目についてプロットする。

オプションC：任意に選択した項目についてのみプロットする。

オプションD：時間軸について引き伸ばしてプロットする。

幾つかのプロッターアウトプットについて例を以下に示す。

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

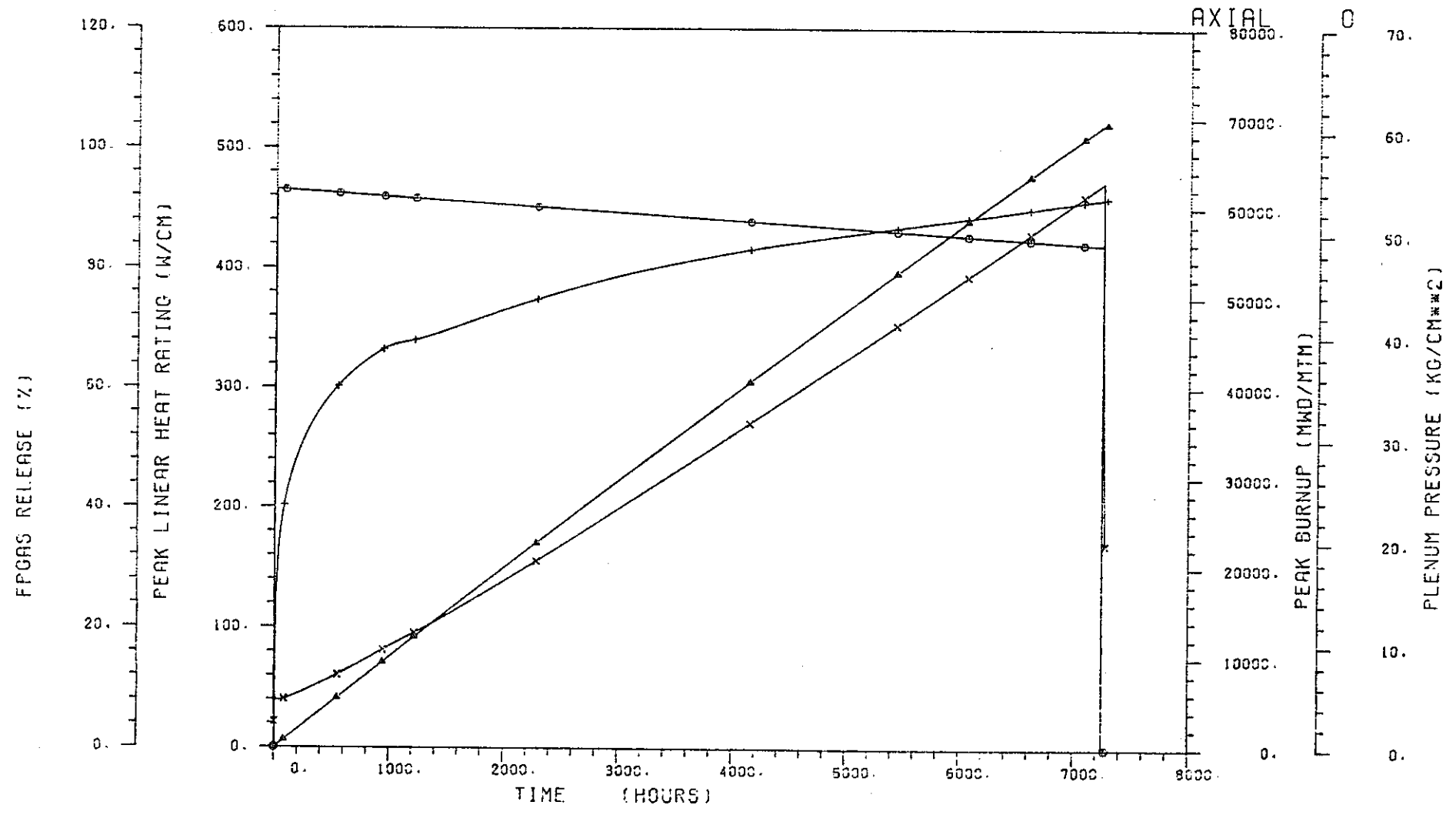


FIG. L. HEAT RATE, BURNUP, FPGAS, PLENUM PRS.

- x — PRESSURE
- + — FPGAS
- Δ — BURN UP
- o — L. HEAT R.

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

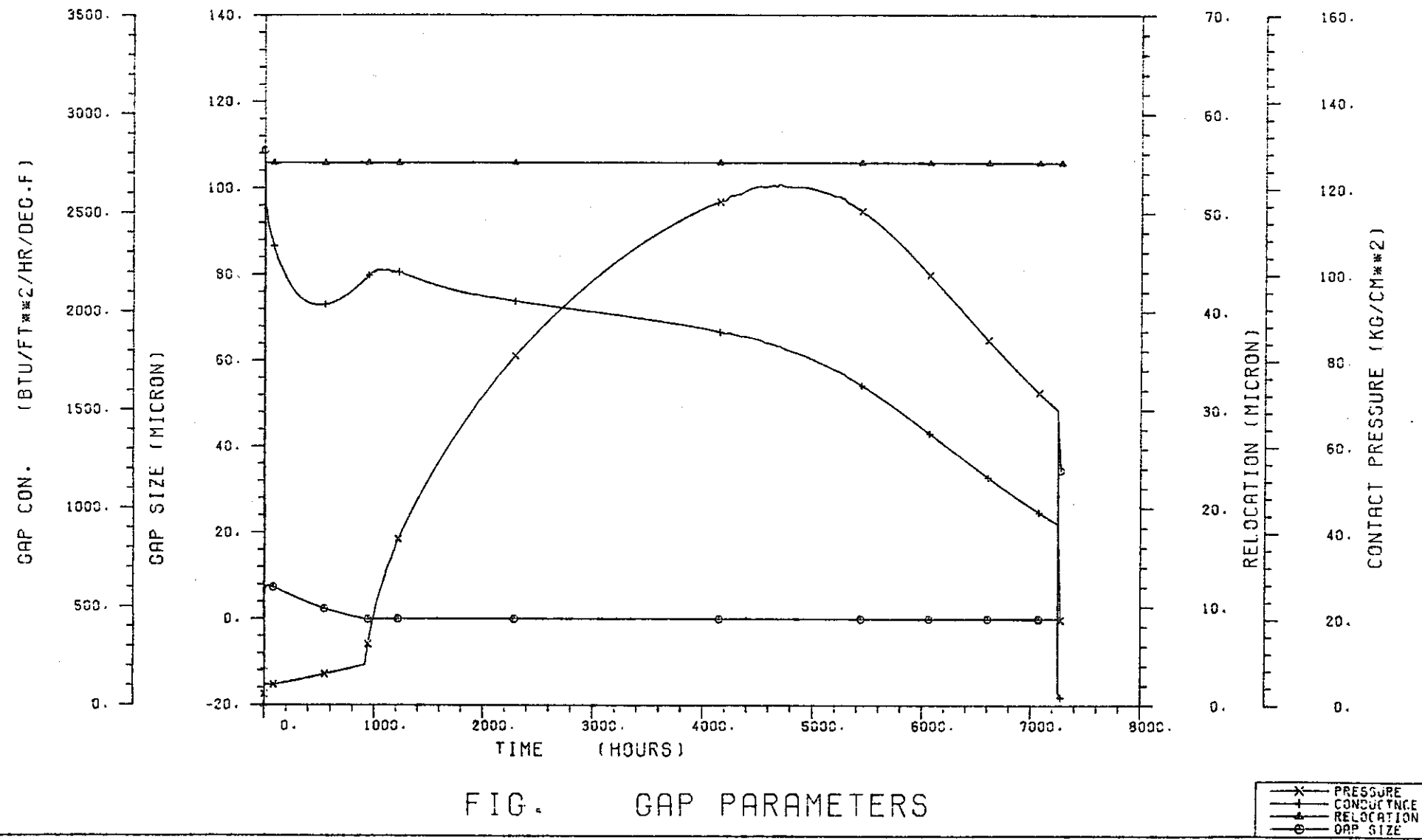


FIG. GAP PARAMETERS

CEDAR10-PL0T (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

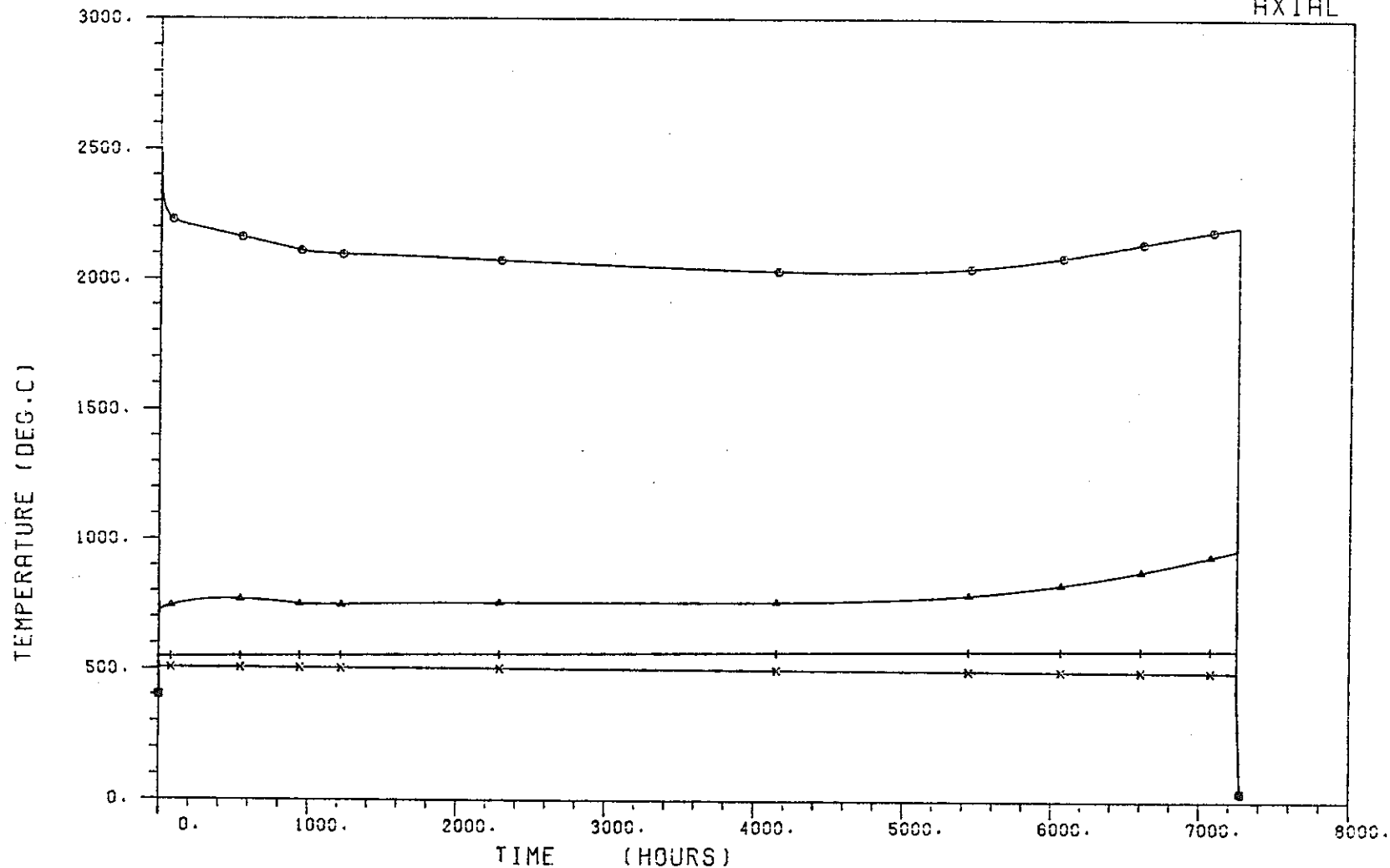


FIG. TEMPERATURES

- x CLAD OUTER
- CLAD INNER
- ▲ FUEL OUTER
- FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

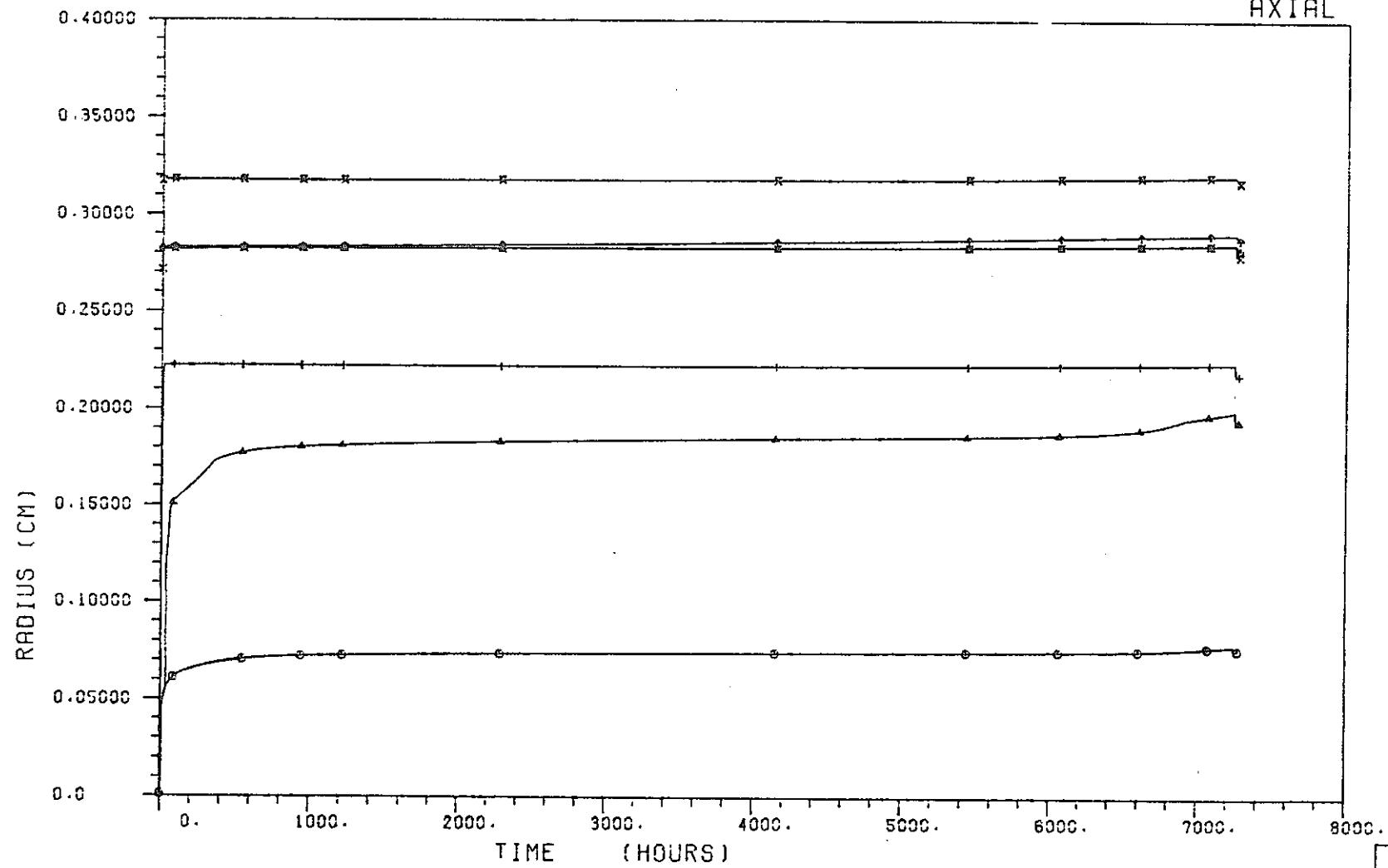


FIG. RESTRUCTURINGS

- x— CLAD OUTER
- +— CORROSION
- o— CLAD INNER
- x— FUEL OUTER
- +— EQUIAXED
- o— COLUMN
- o— FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

TIME 7275.4 HR

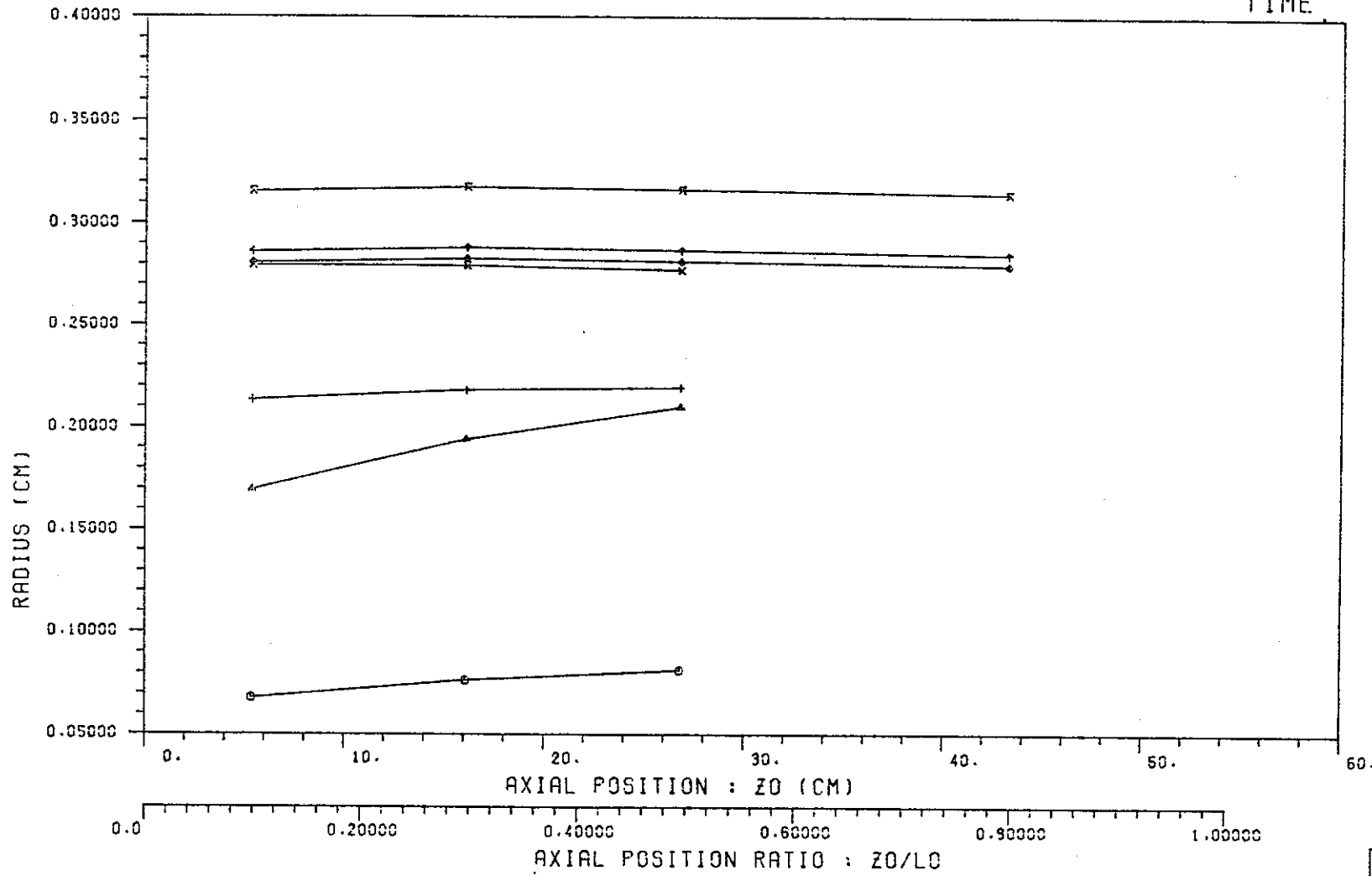


FIG. RESTRUCTURINGS

- x— CLAD OUTER
- +— CORROSION
- CLAD INNER
- x— FUEL OUTER
- +— EQUAXED COLUMN
- FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

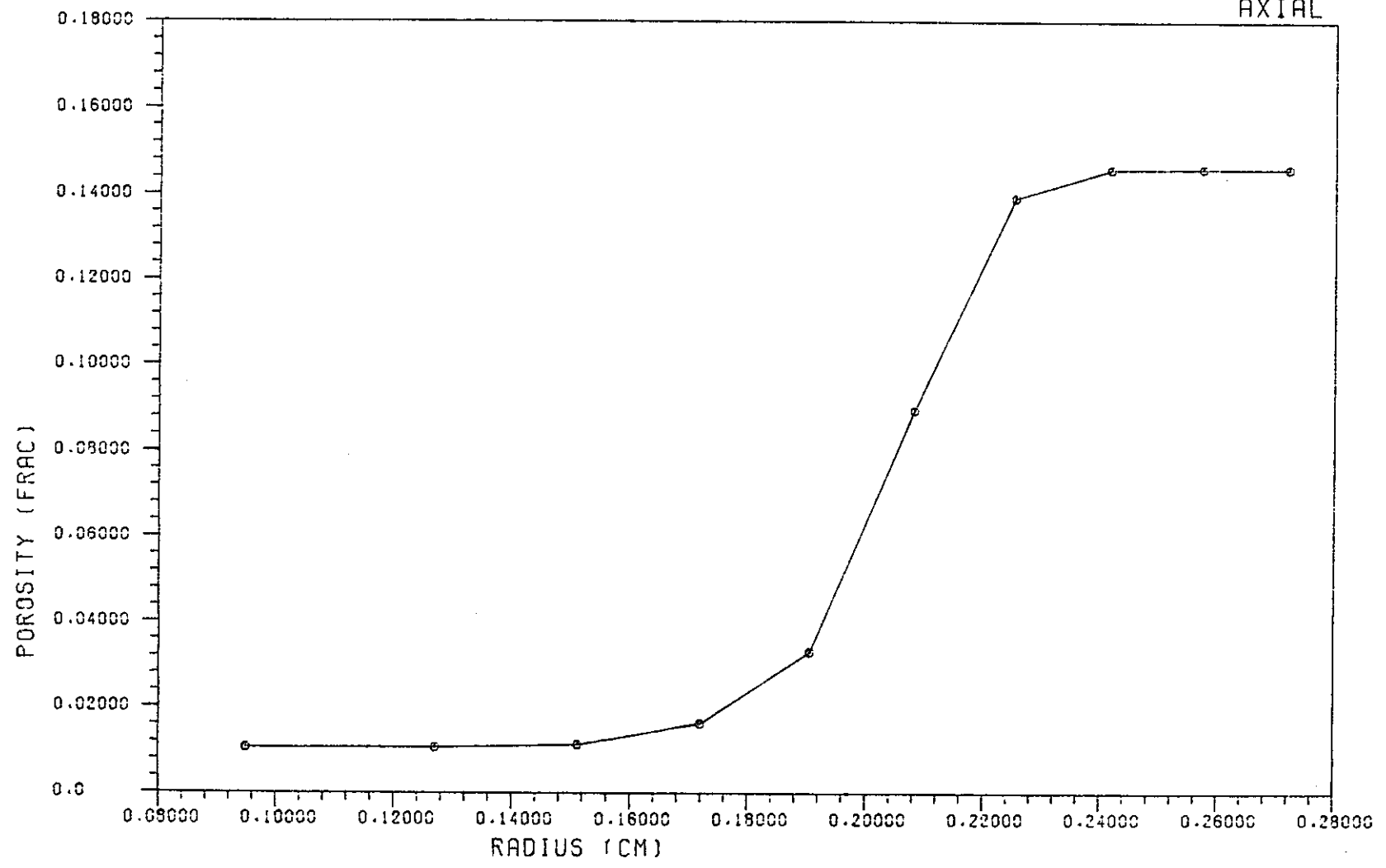


FIG. POROSITY DISTRIBUTION

7275.4 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

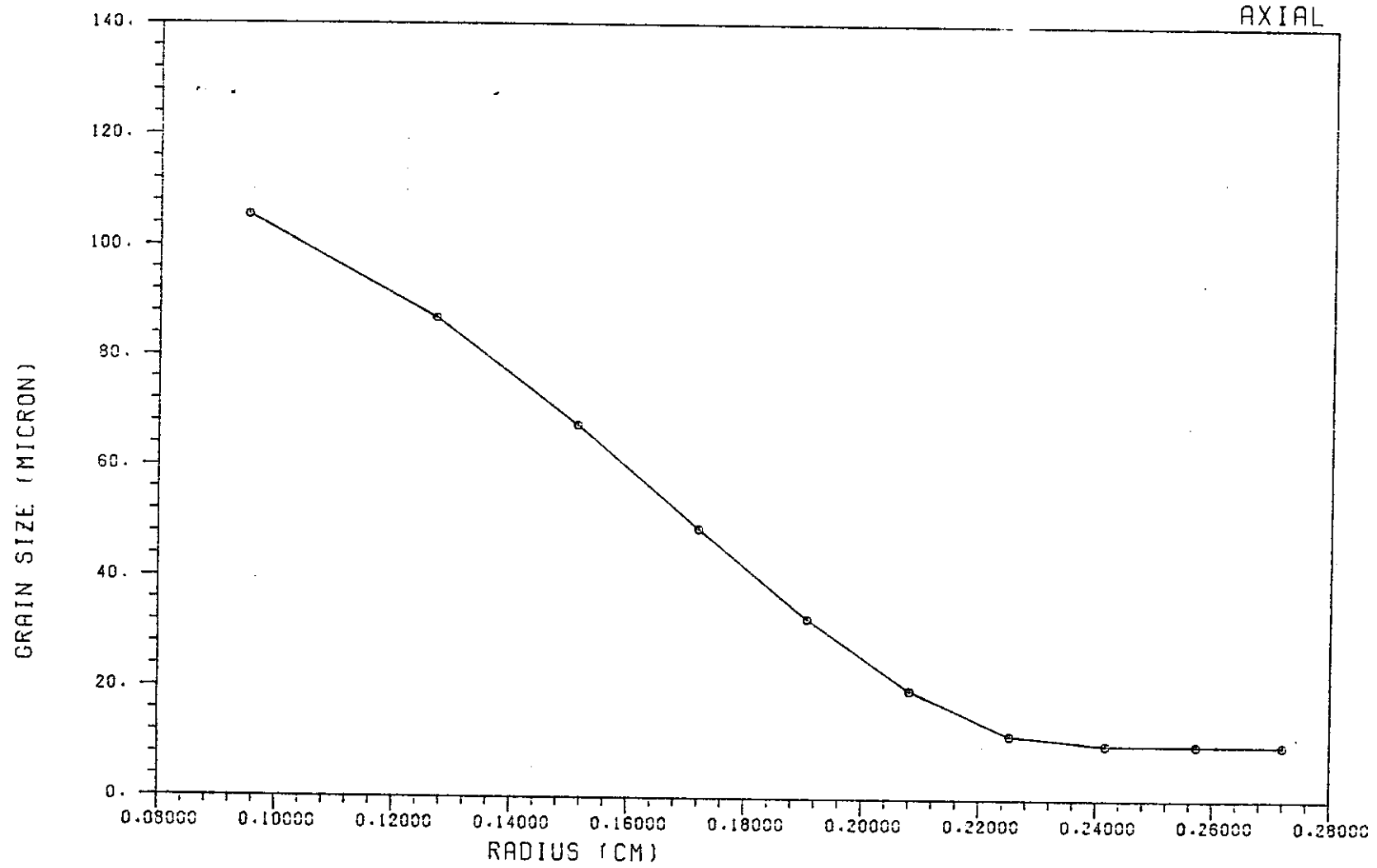


FIG. GRAIN SIZE

7275.4 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

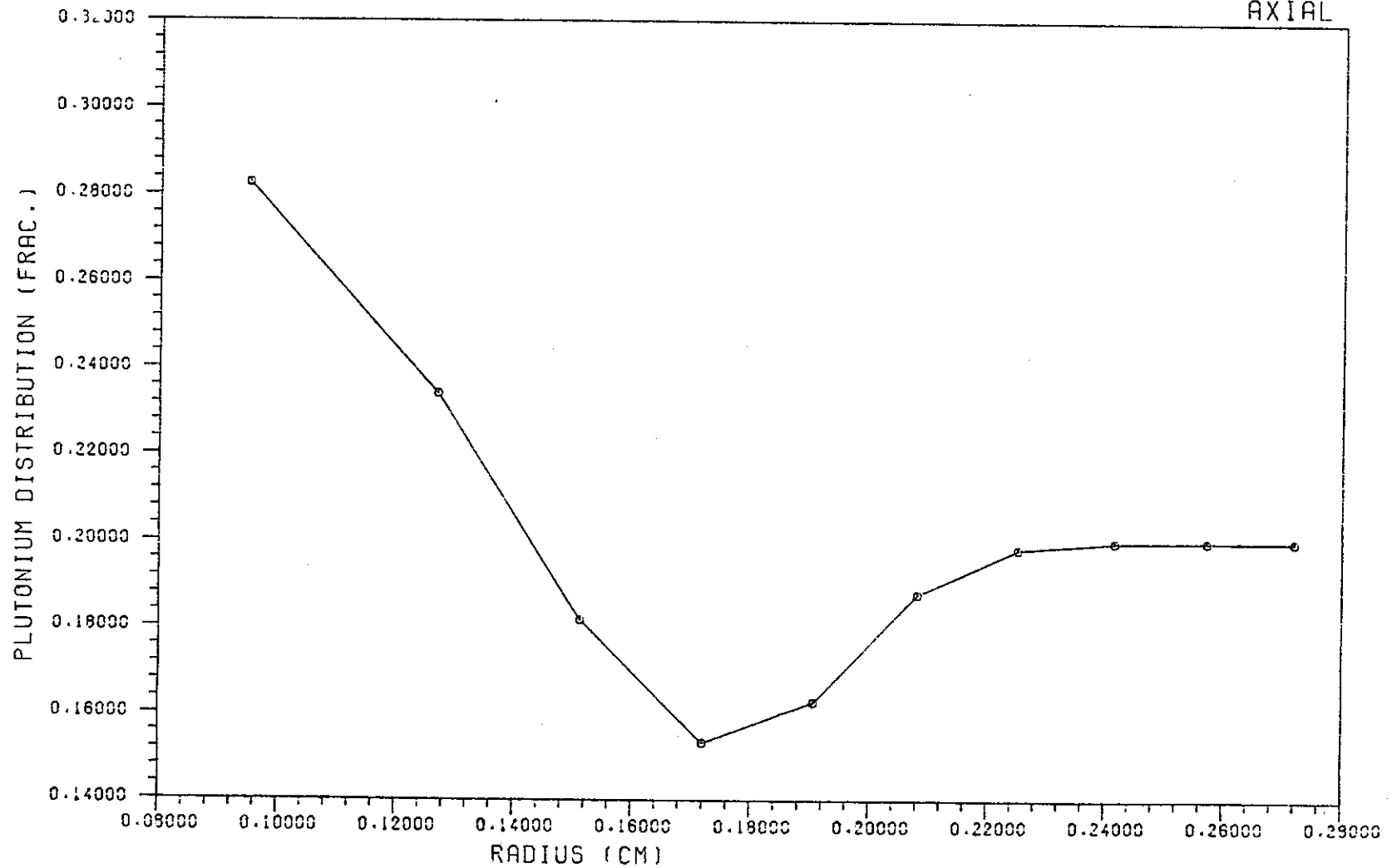


FIG. PLUTONIUM DISTRIBUTION

7275.4 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

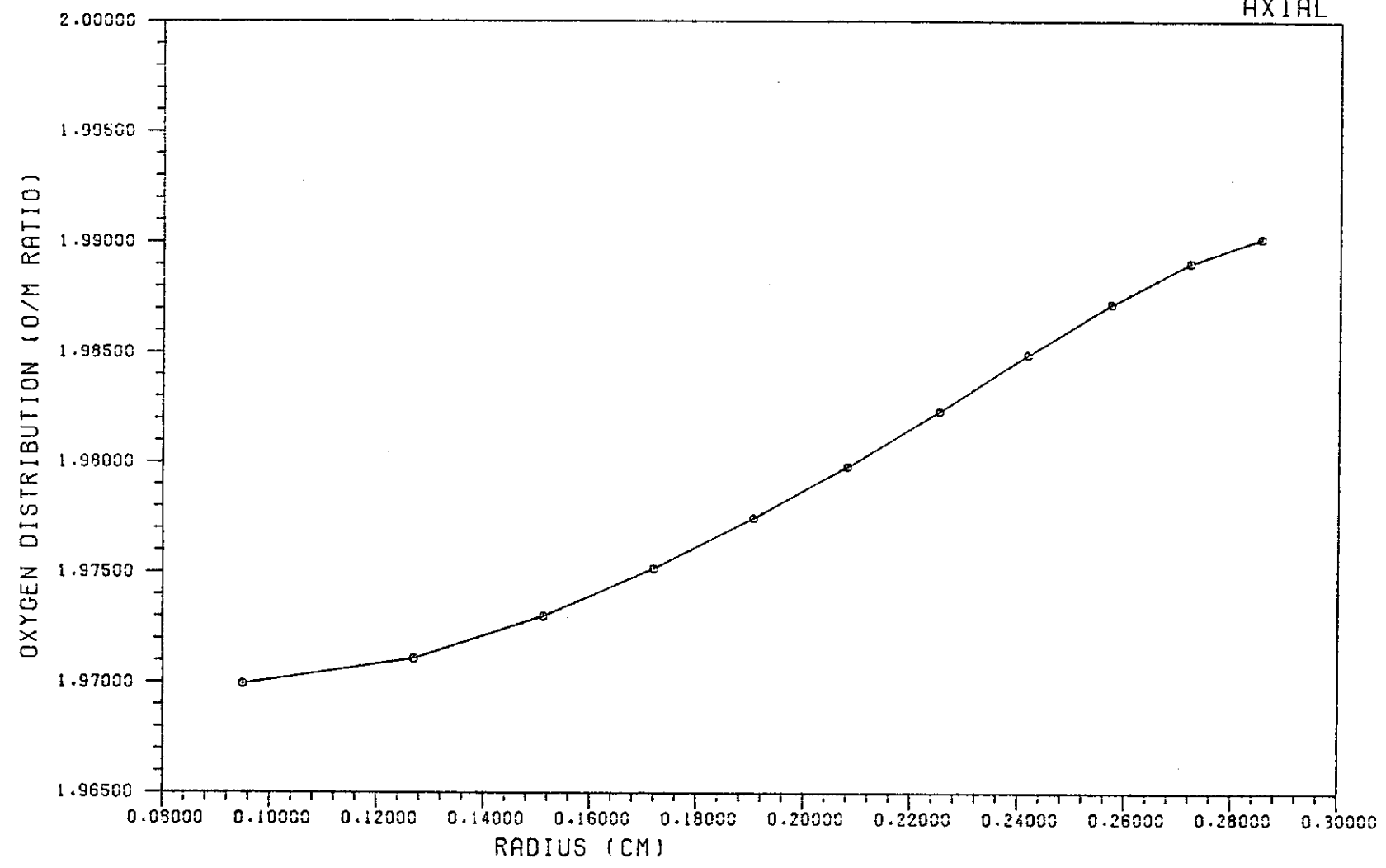


FIG. OXYGEN DISTRIBUTION

—○— 7275.4 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO. 4.

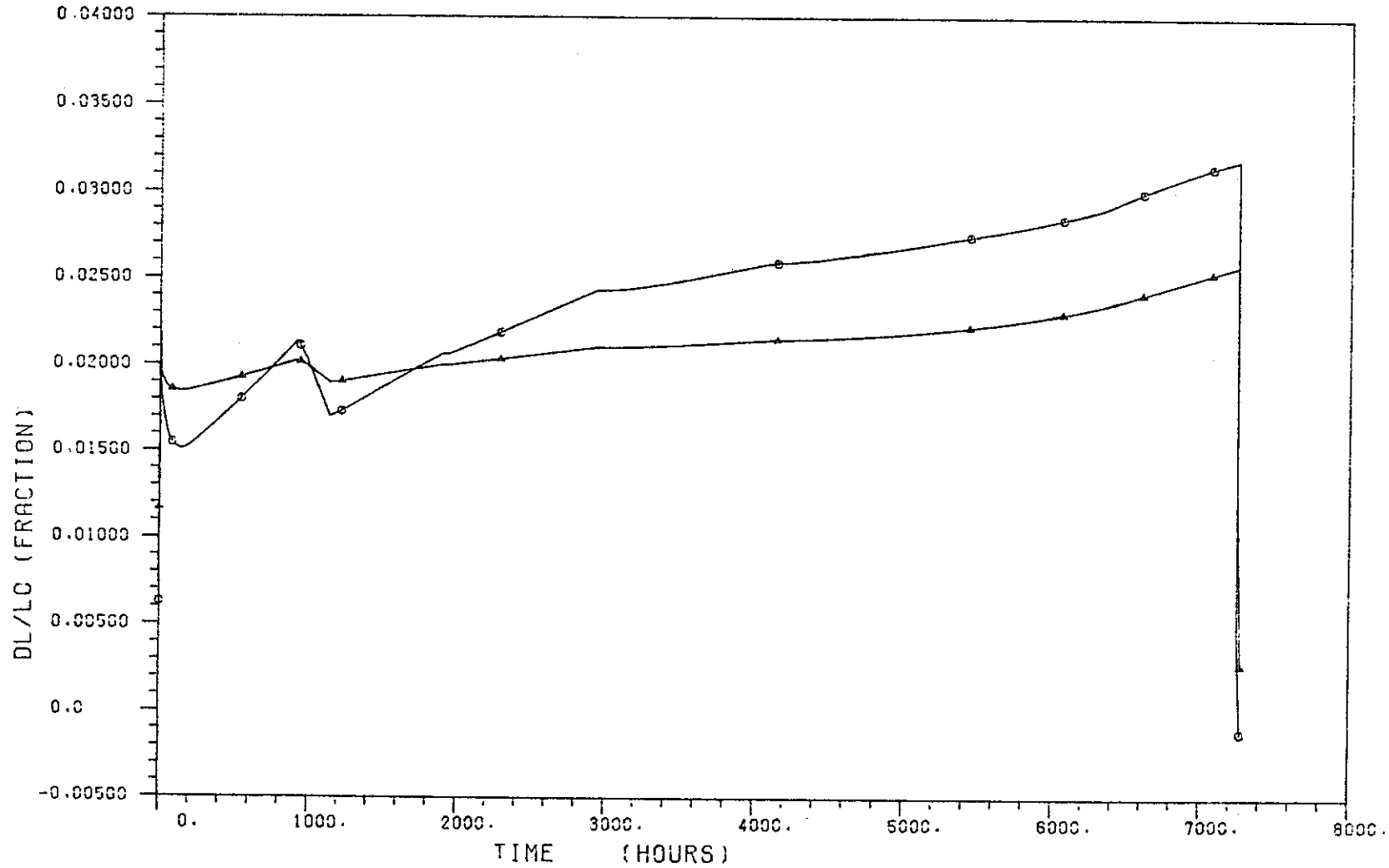


FIG. DL/LC FOR FUEL AND CLADDING

▲ CLAD
○ FUEL

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

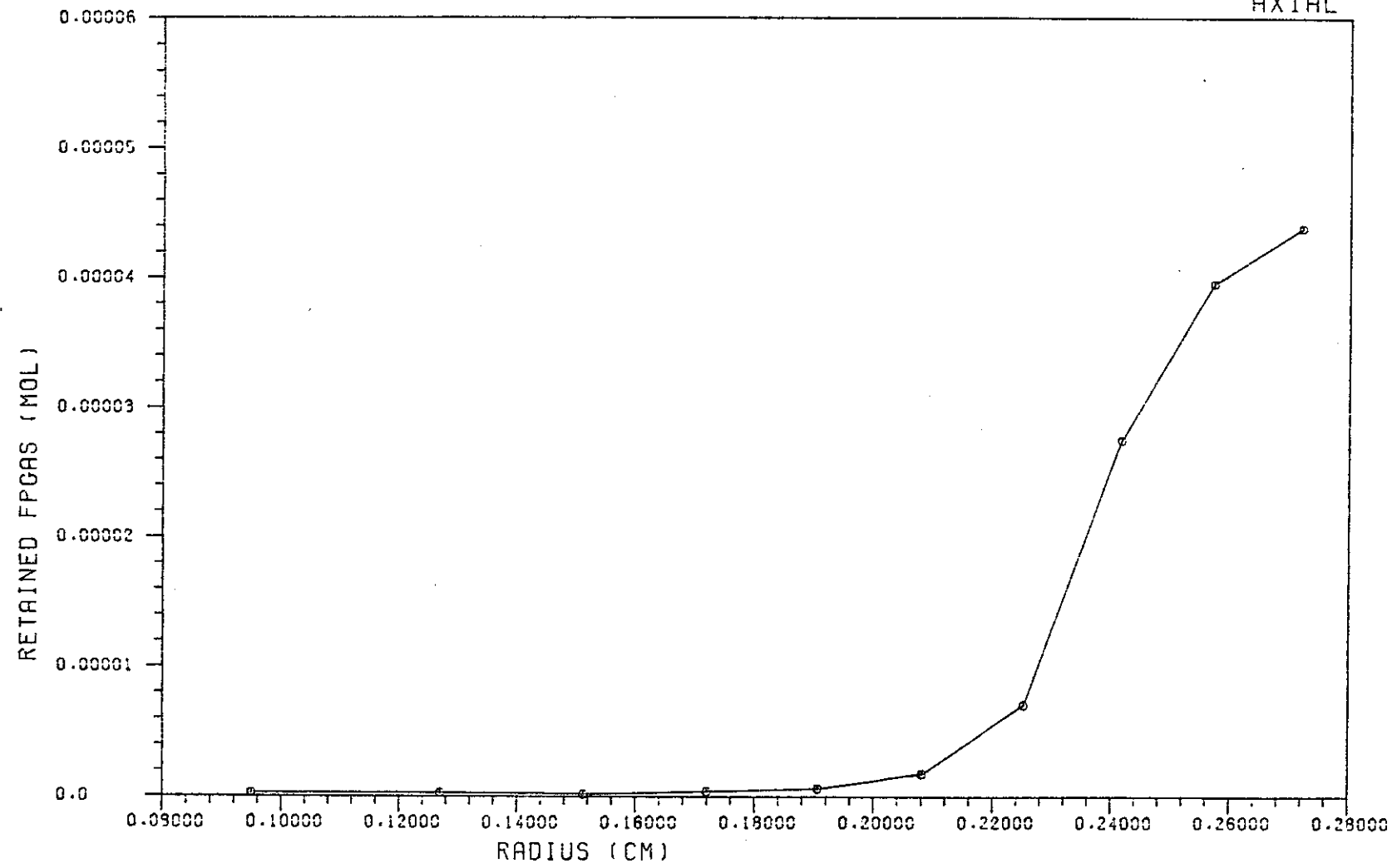


FIG. RETAINED FPGAS DSTRIBUTION

—○— 7275.4 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL

2

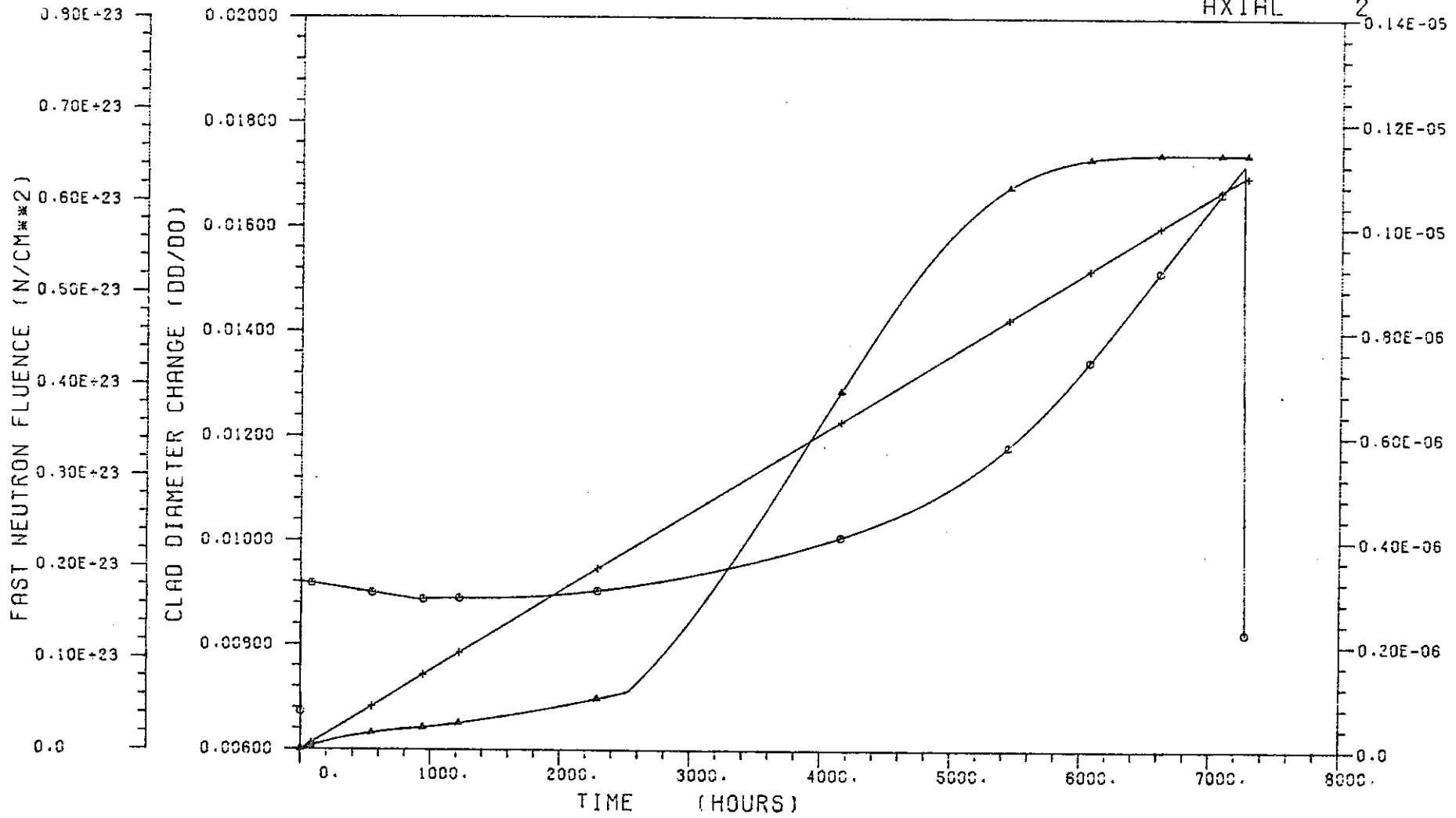


FIG. CLAD PARAMETERS

+ FLUENCE
 x LIFE FRAC.
 o OUTER RAD.

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

TIME 7275.4 HR
RADIUS 1

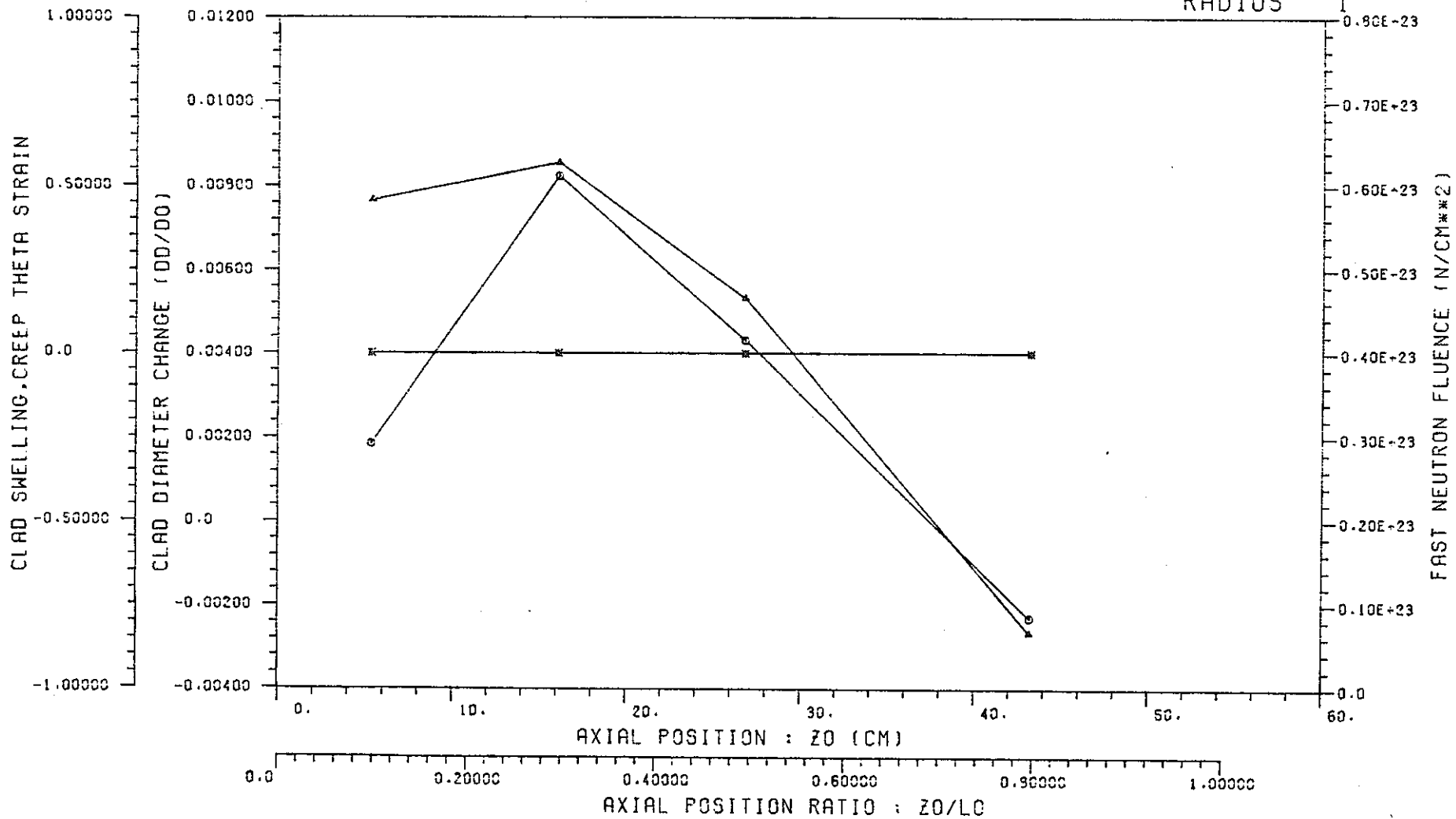


FIG. SWELLING AND DD/DO FOR CLADDING

x CREEP
+ SWELLING
o DD/DO
△ FLUENCE

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

TIME 7275.4 HR
RADIUS 5

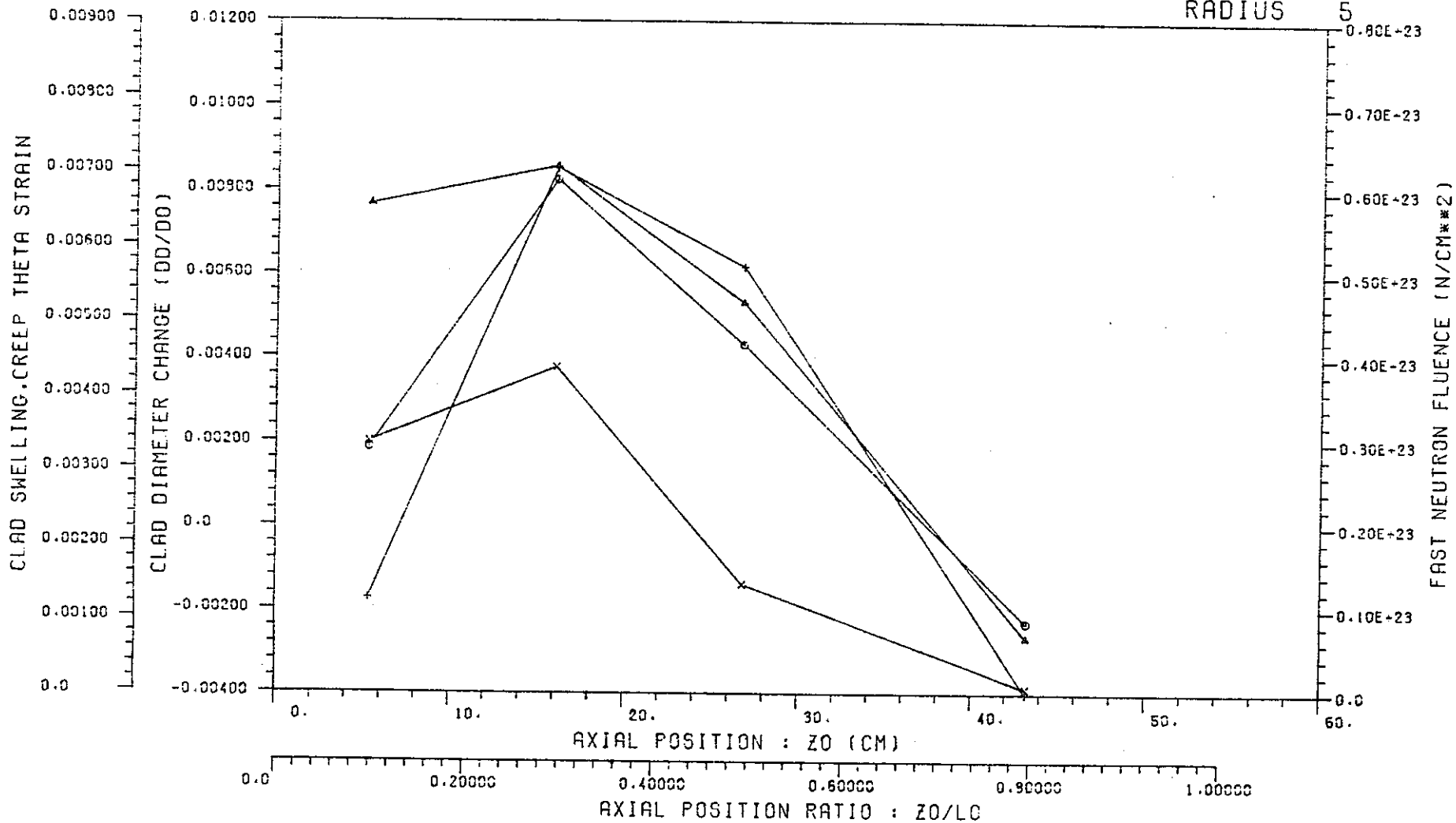


FIG. SWELLING AND DD/DO FOR CLADDING

x	CREEP
+	SWELLING
*	FLUENCE
o	DD/DO

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

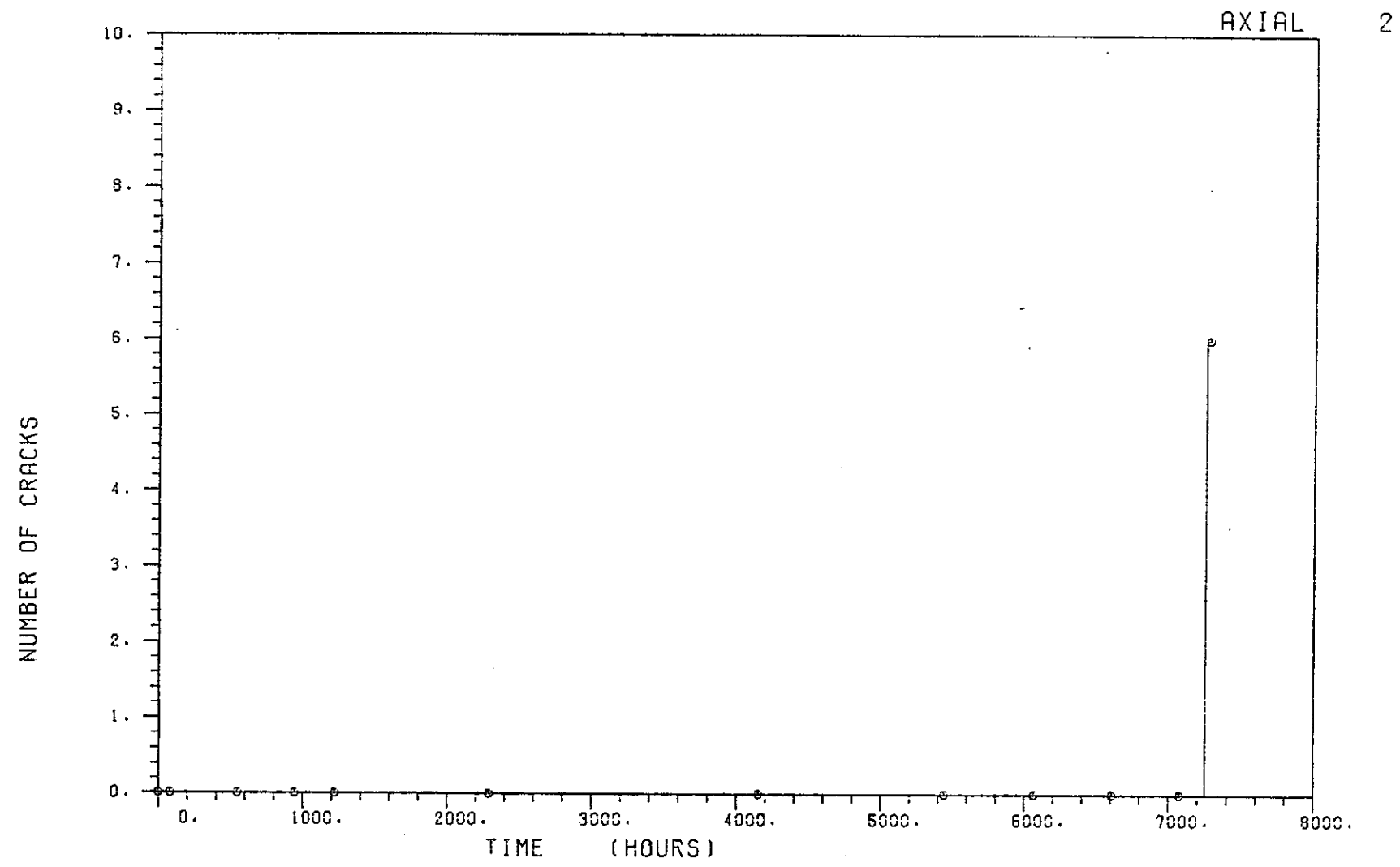


FIG. NUMBER OF CRACKS

IR = 5

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

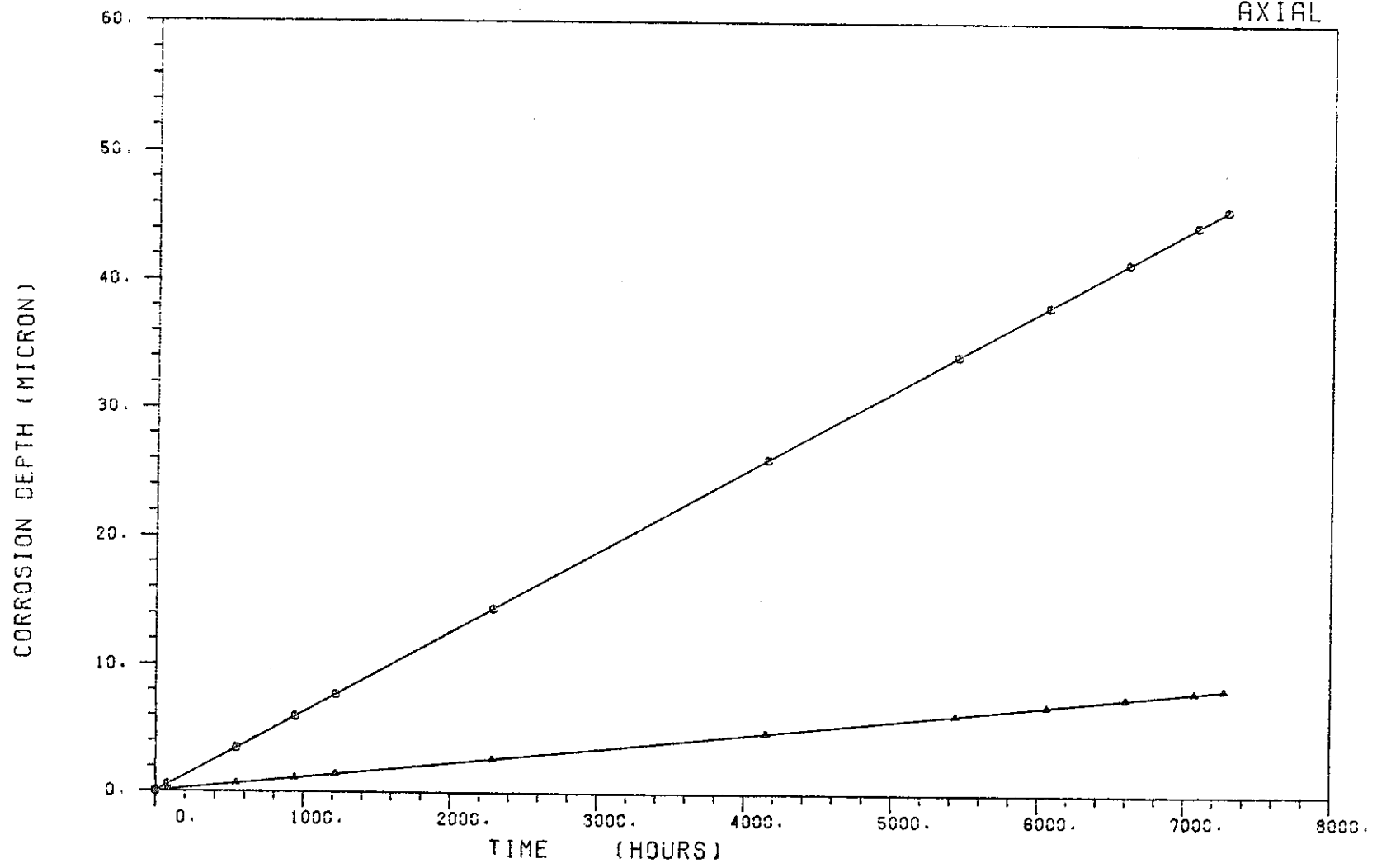


FIG. CORROSION DEPTH

▲ DUE TO NA
○ DUE TO FP

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO. 4.

AXIAL RADIUS 2 5

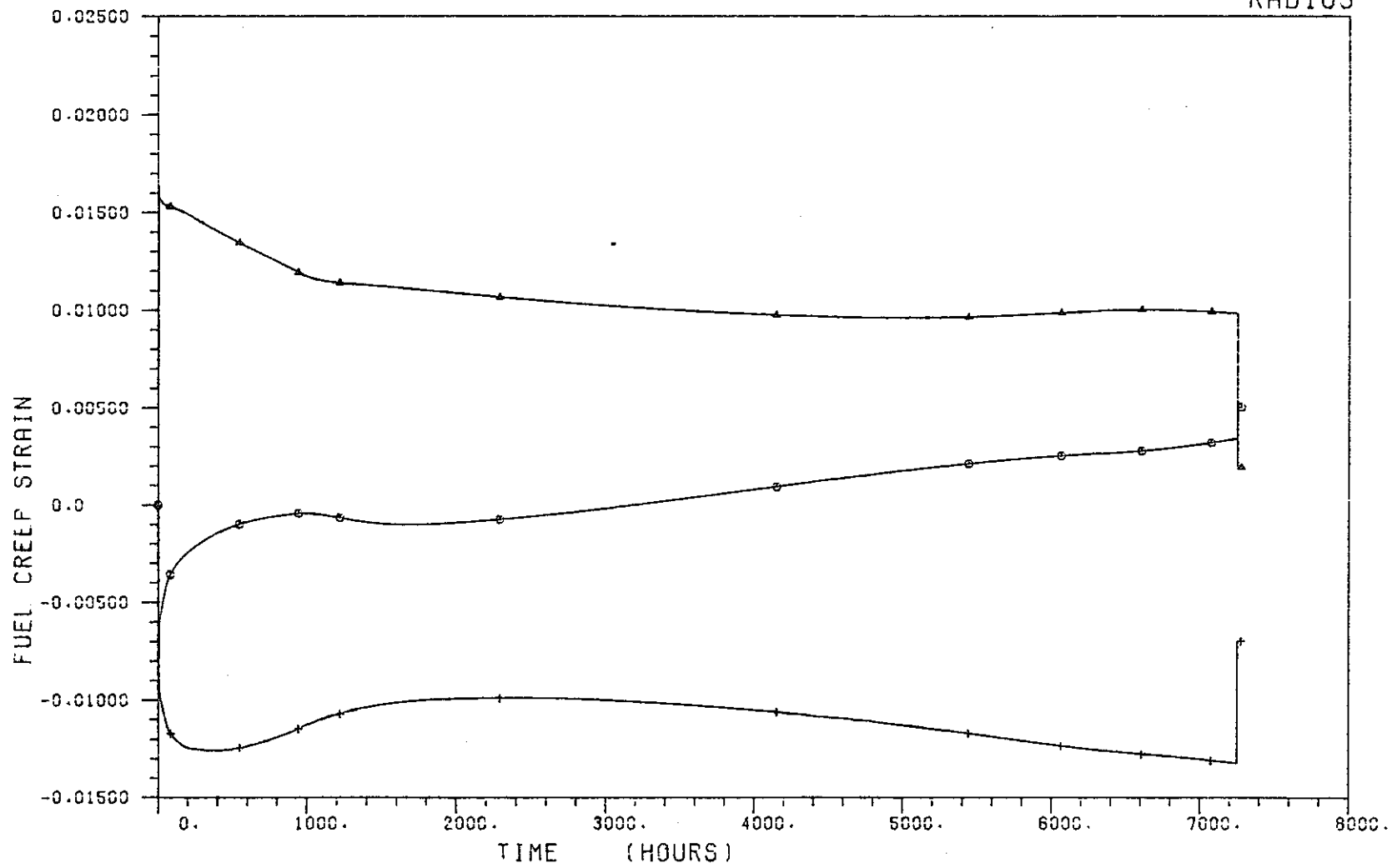


FIG. FUEL CREEP STRAIN

—+— AXIAL
—△— THETA
—○— RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL RADIUS 2 10

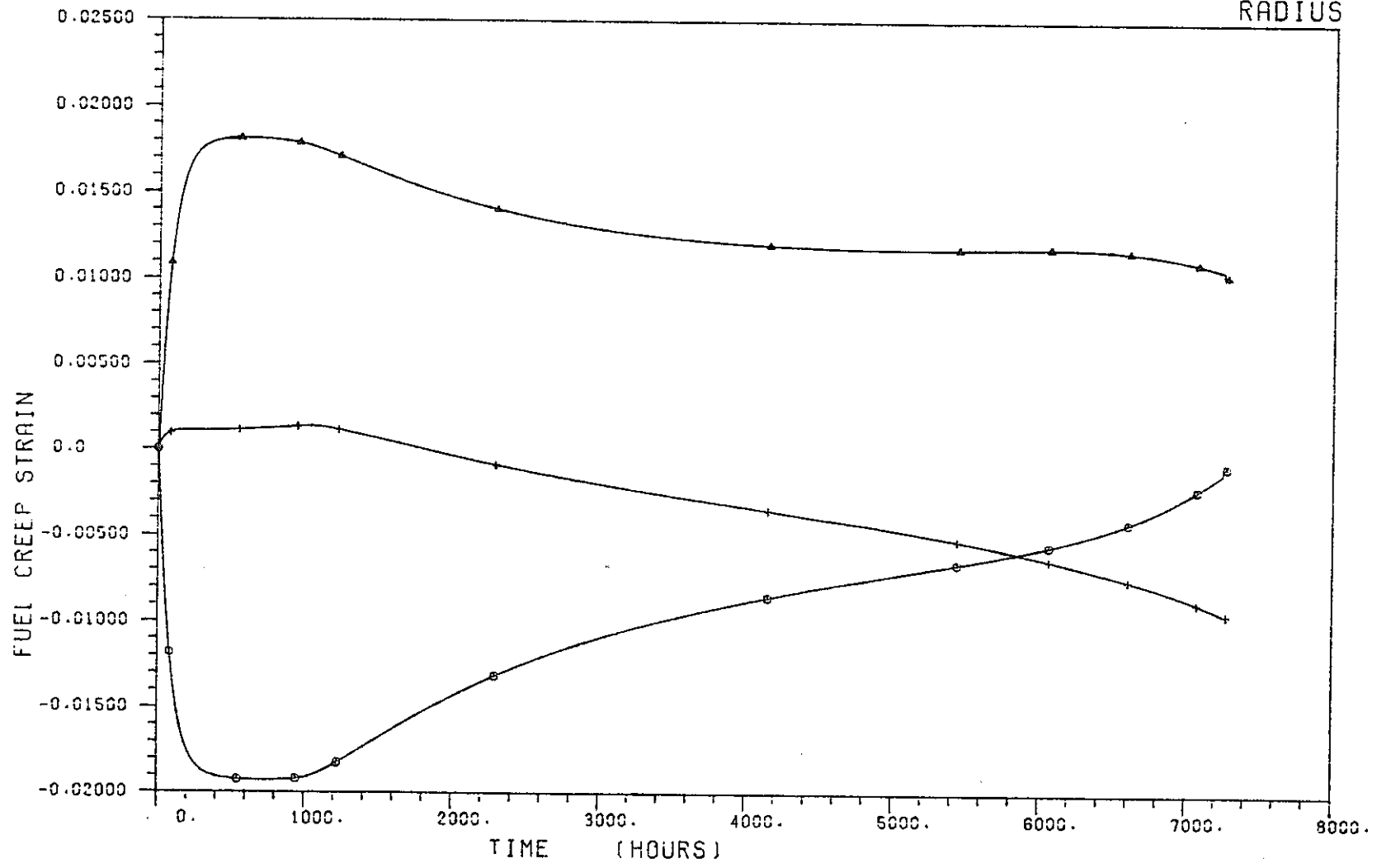


FIG. FUEL CREEP STRAIN

—+— AXIAL
—Δ— THETA
—○— RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL RADIUS 2
5

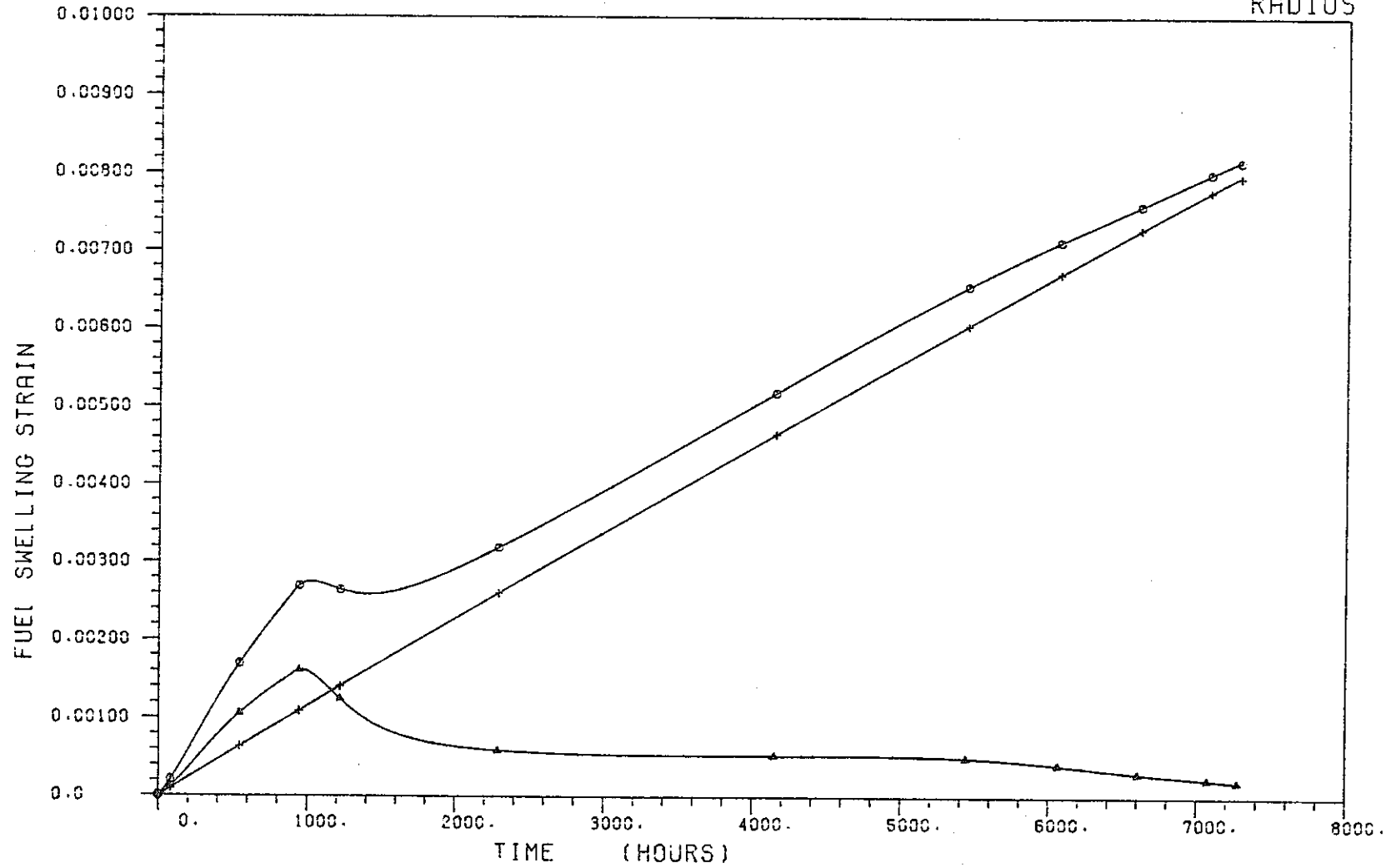


FIG. FUEL SWELLING STRAIN

+ SOLID FP
▲ FPGRS
○ TOTAL

CEDAR10-PLOT (80/4/2) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL RADIUS 2 10

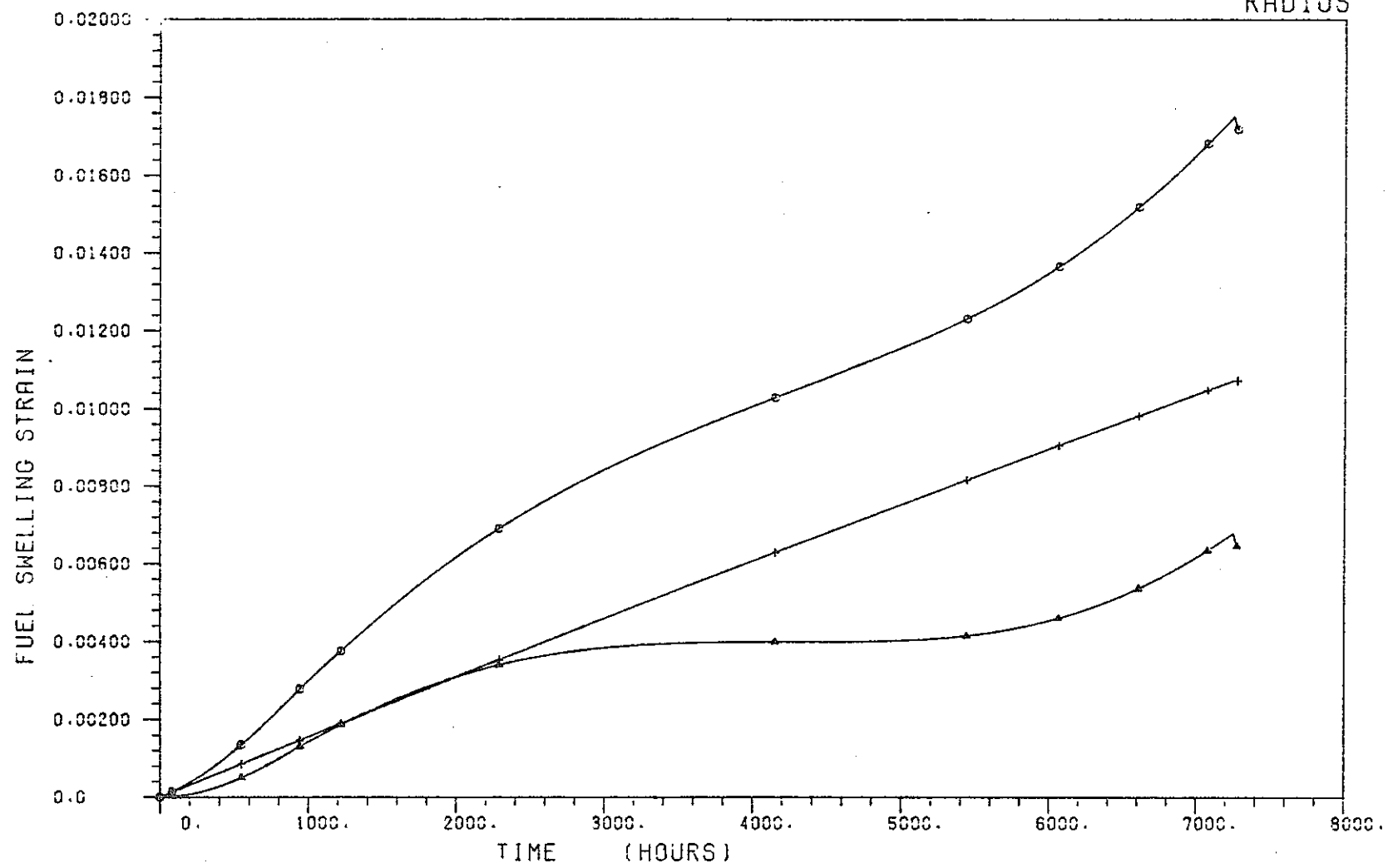


FIG. FUEL SWELLING STRAIN

Legend:
+ SOLID FP
▲ FPGAS
⊙ TOTAL

CEDAR10-PLOT (80/4/8) PNC-2 PIN NO.4.

TIME 7275.4 HR
AXIAL 2

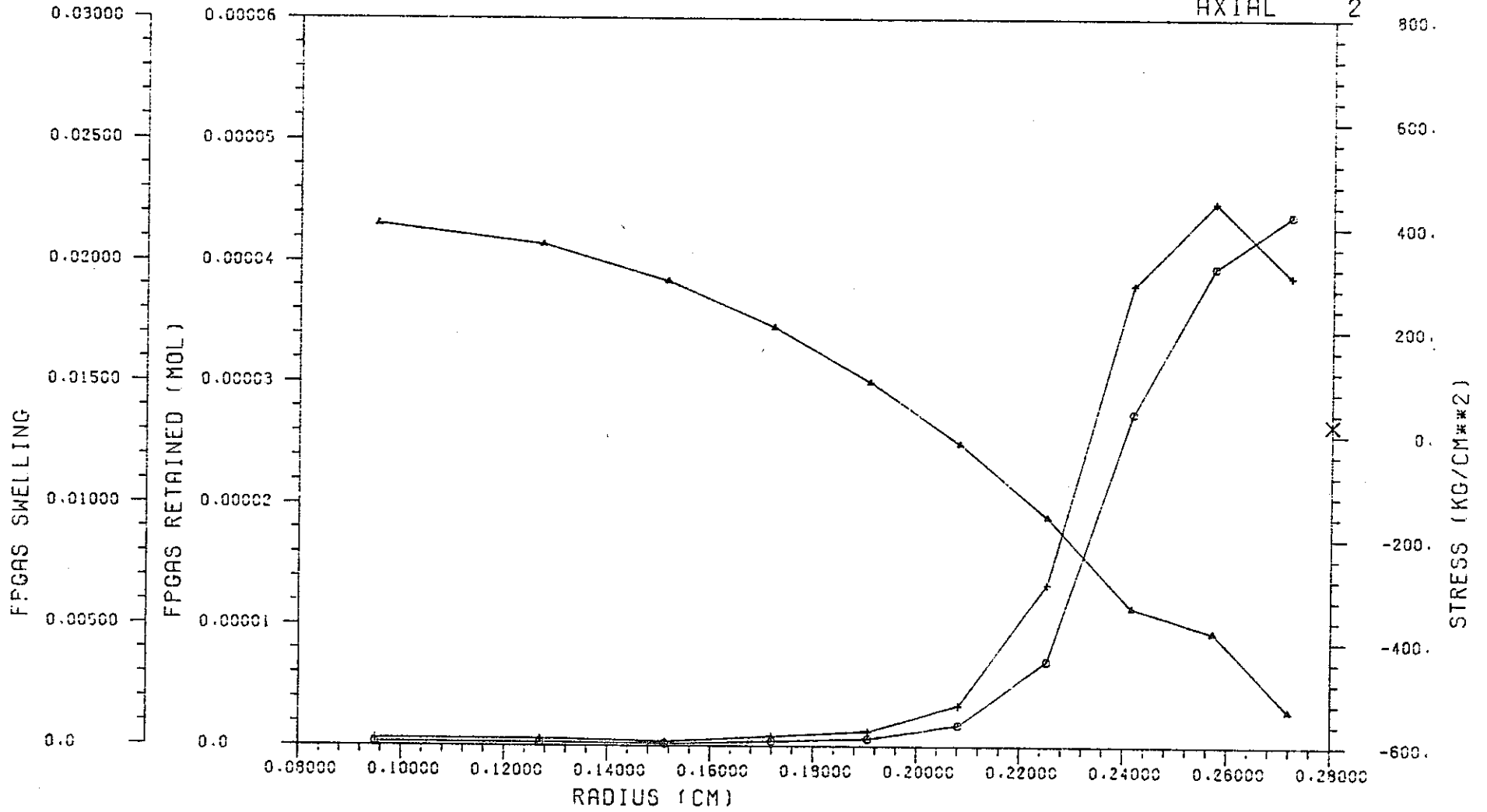


FIG. FPGAS RETN, FPGAS SWLL, MEAN STRS, CONTACT PRS

x	CONTACT PRS
△	FPGAS SWLL
○	MEAN STRS
□	FPGAS RETN

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO. 4.

AXIAL 2

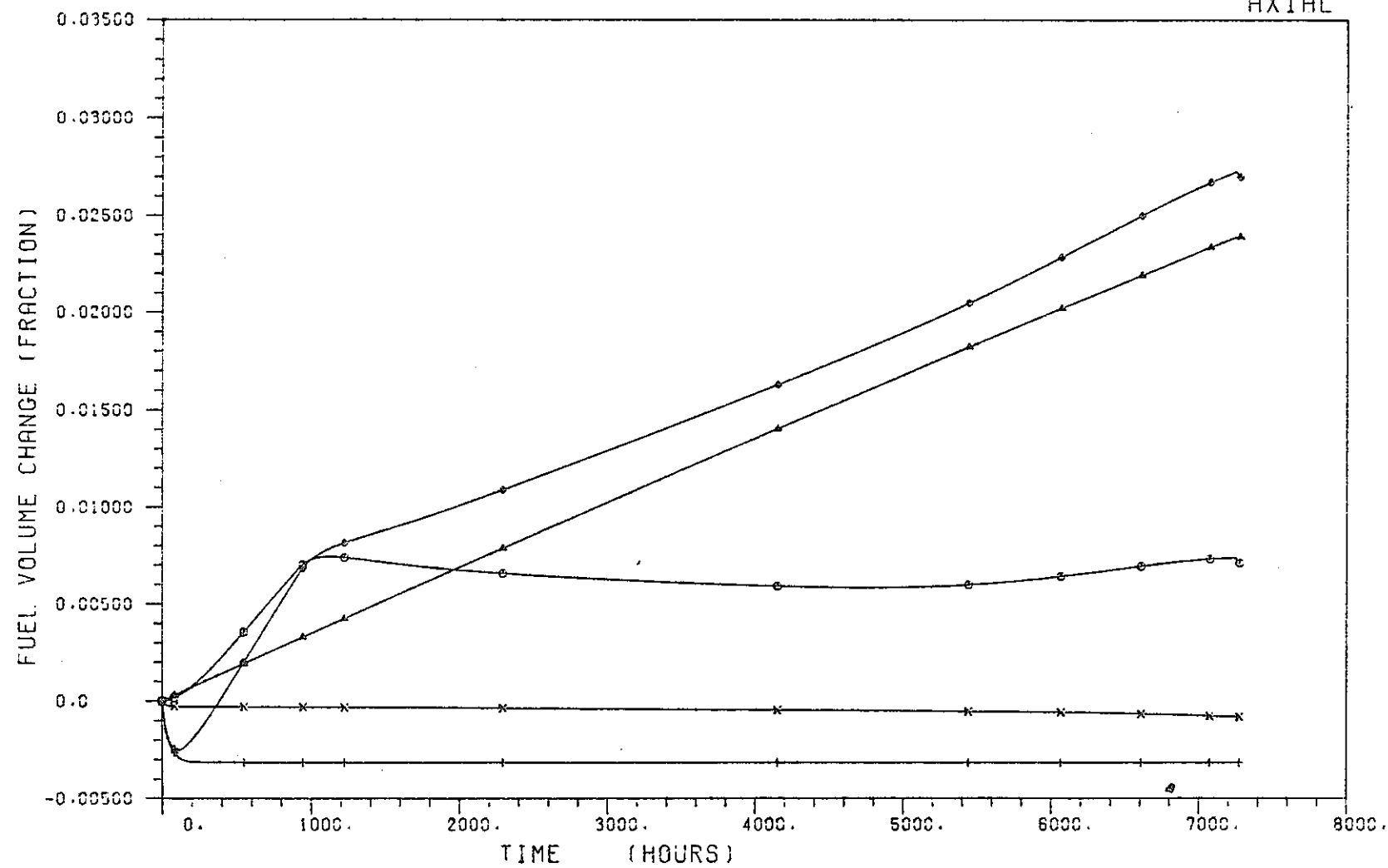


FIG. FUEL VOLUME CHANGE

- ◆ TOTAL
- × HOTPRESS
- + DENSIFICAT
- ▲ SLD FP SHL
- FPOAS SHL

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO. 4.

TIME
AXIAL

7275.4 HR
2

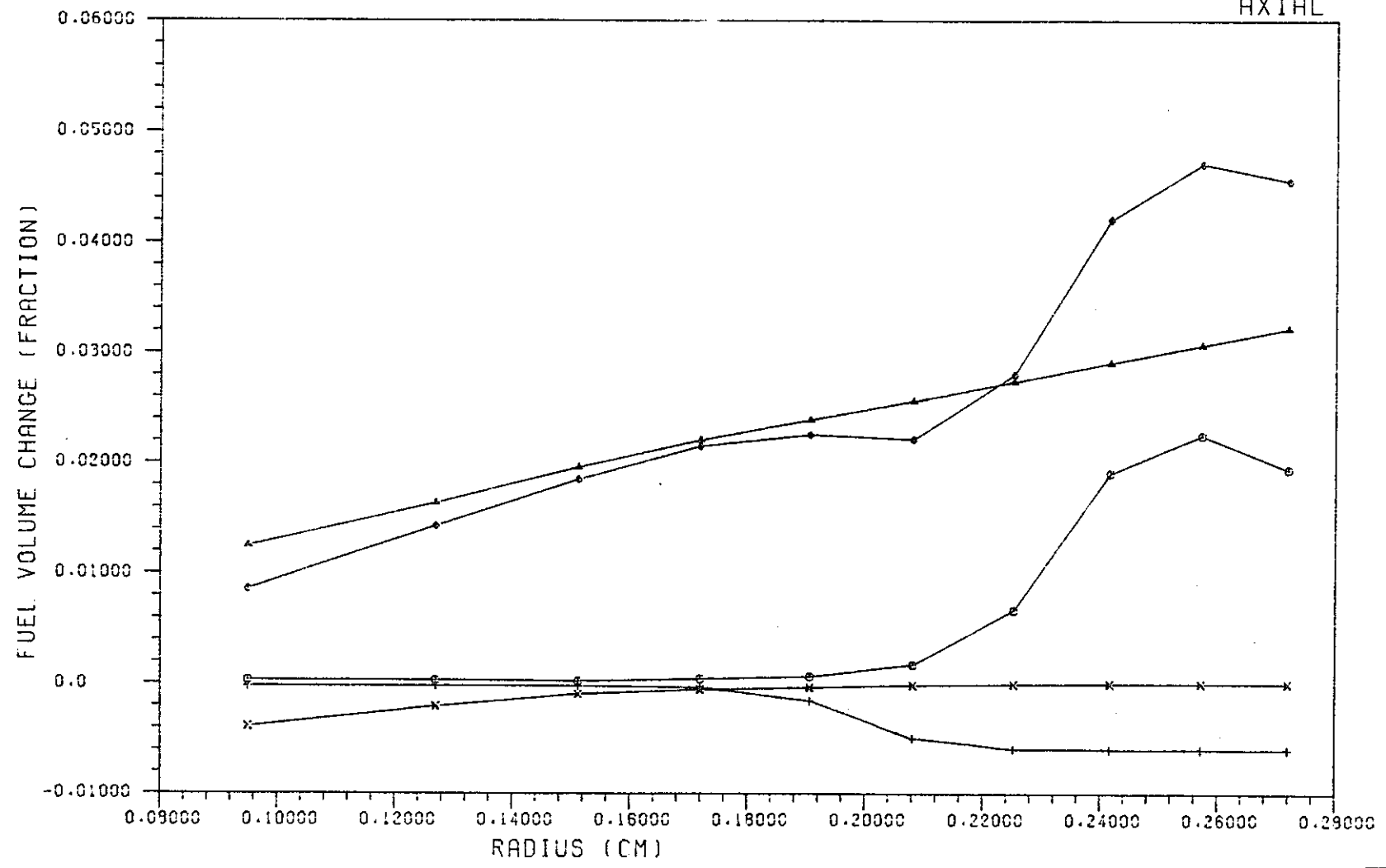


FIG. FUEL VOLUME CHANGE

○	TOTAL
×	HOTPRES
+	DENSIFICAT
△	SLG FP SWL
□	FPCRS SWL

CEDAR10-PL0T (80/4/4) PNC-2 PIN NO. 4.

AXIAL 2
RADIUS 5

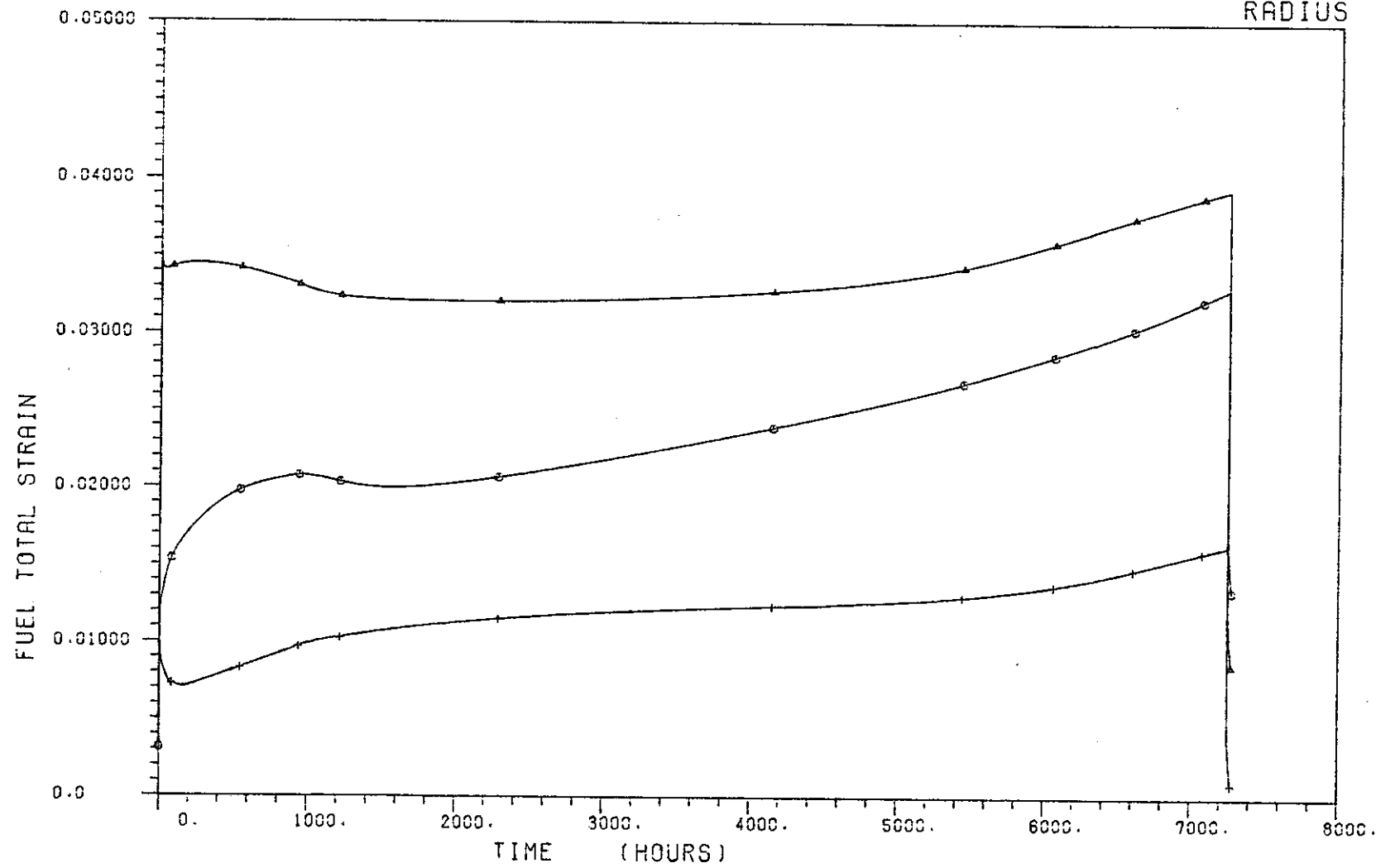


FIG. FUEL TOTAL STRAIN

+ AXIAL
Δ THETA
○ RADIAL

CEDAR10-PL0T (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL RADIUS 2
RADIUS 10

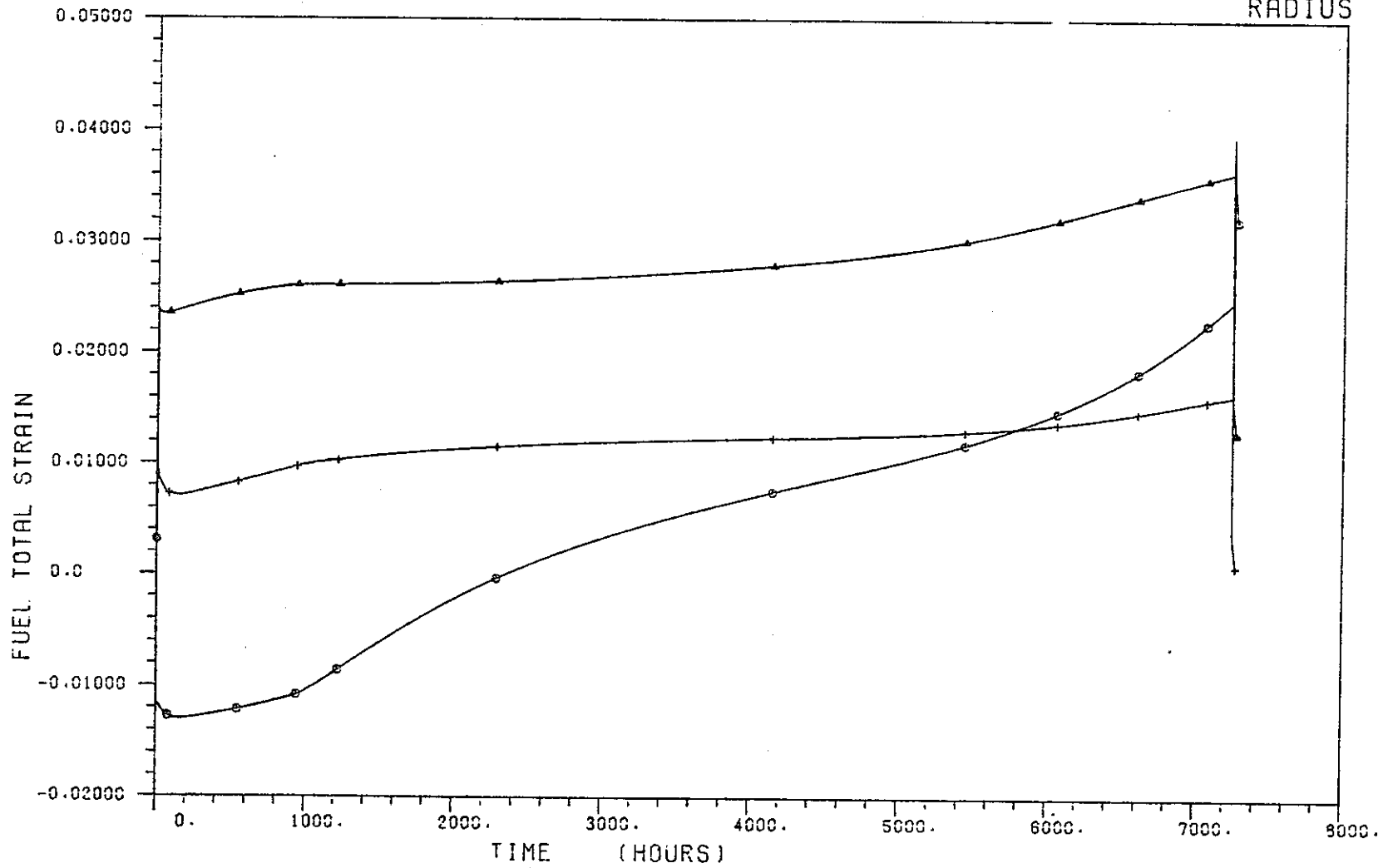


FIG. FUEL TOTAL STRAIN

—+— AXIAL
—▲— THETA
—○— RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2

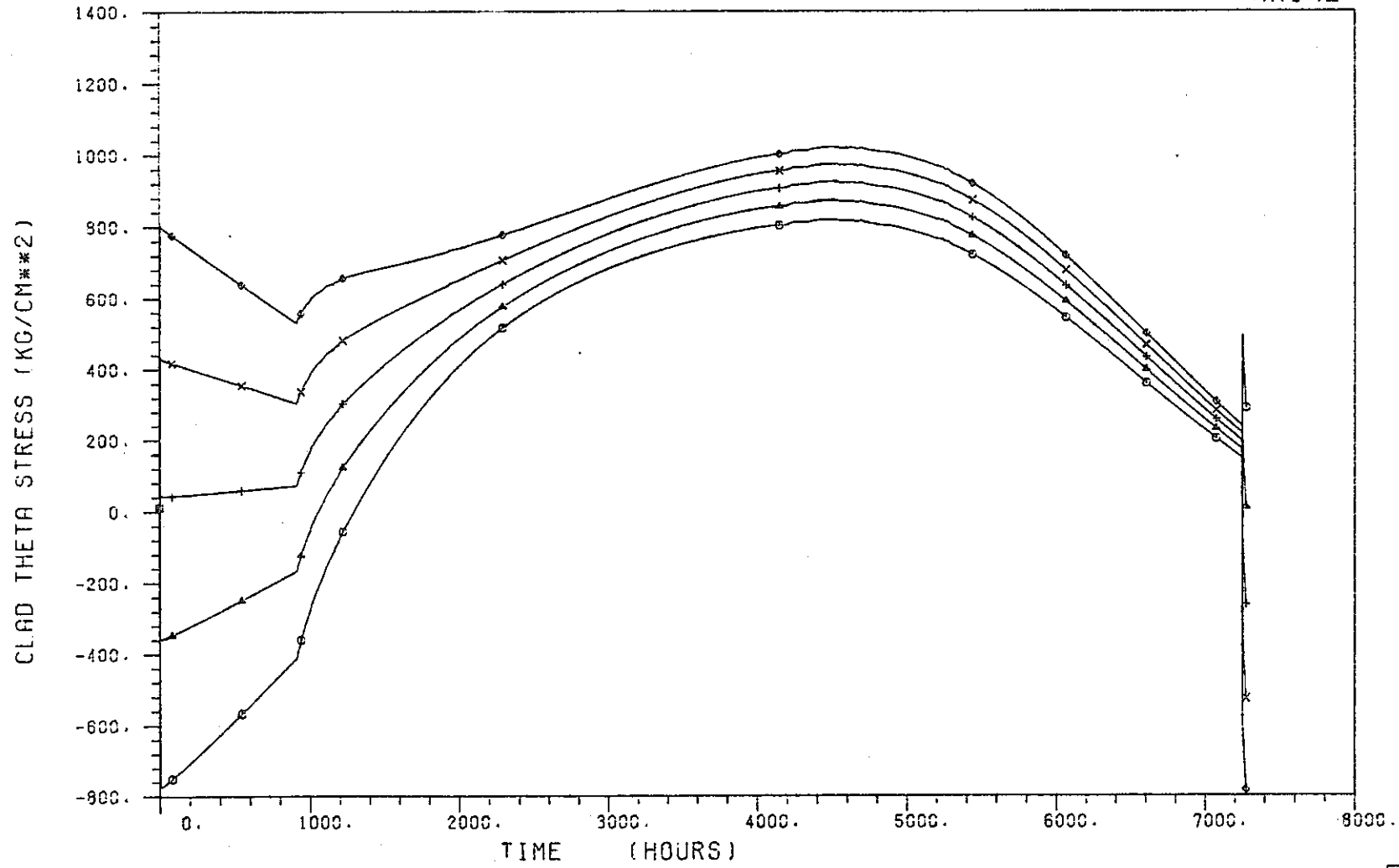


FIG. CLAD THETA STRESS

○	IR =	5
×	IR =	6
+	IR =	4
△	IR =	3
□	IR =	2

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2
RADIUS 6

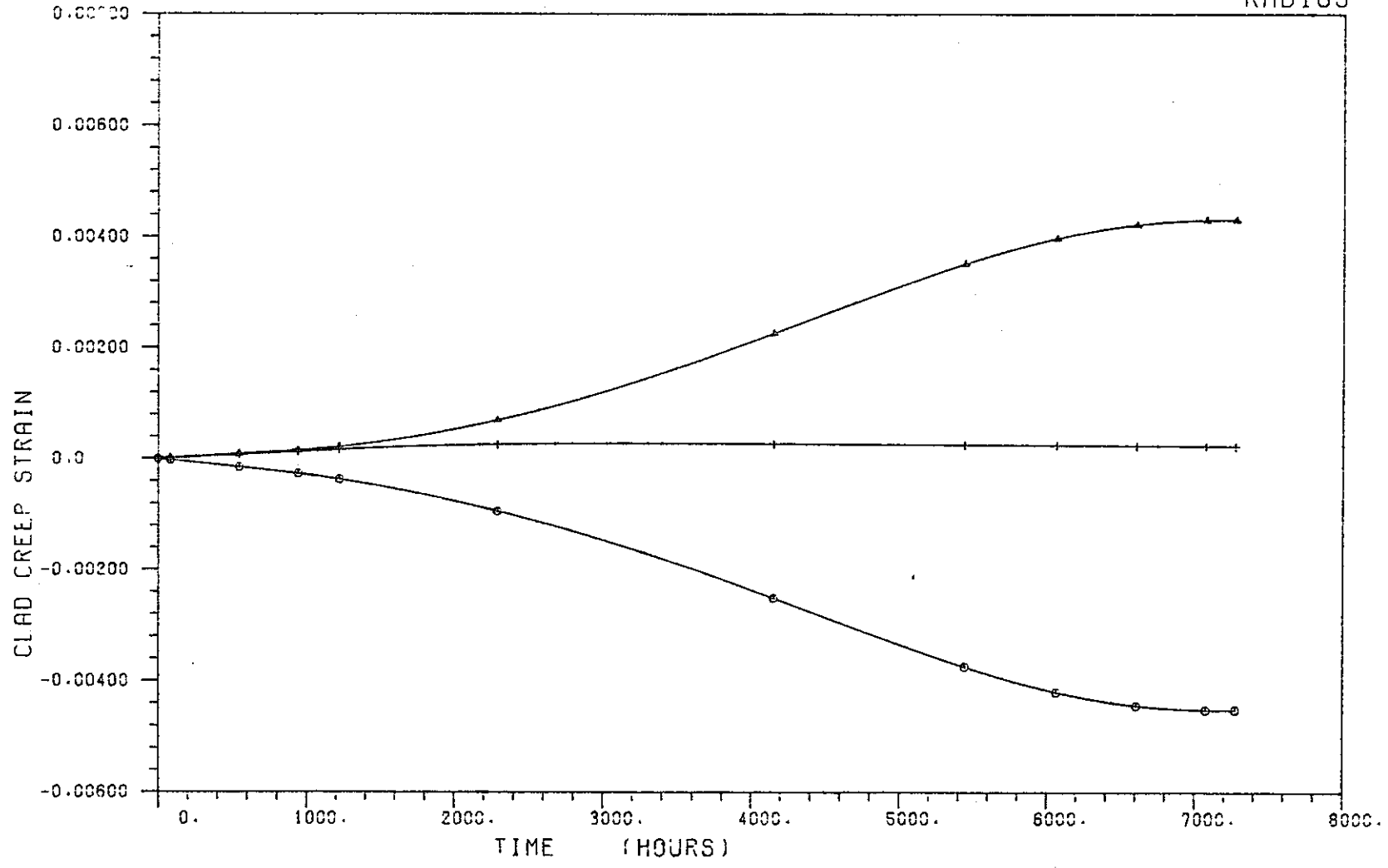


FIG. CLAD CREEP STRAIN

+ AXIAL
Δ THETA
○ RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL 2
RADIUS 6

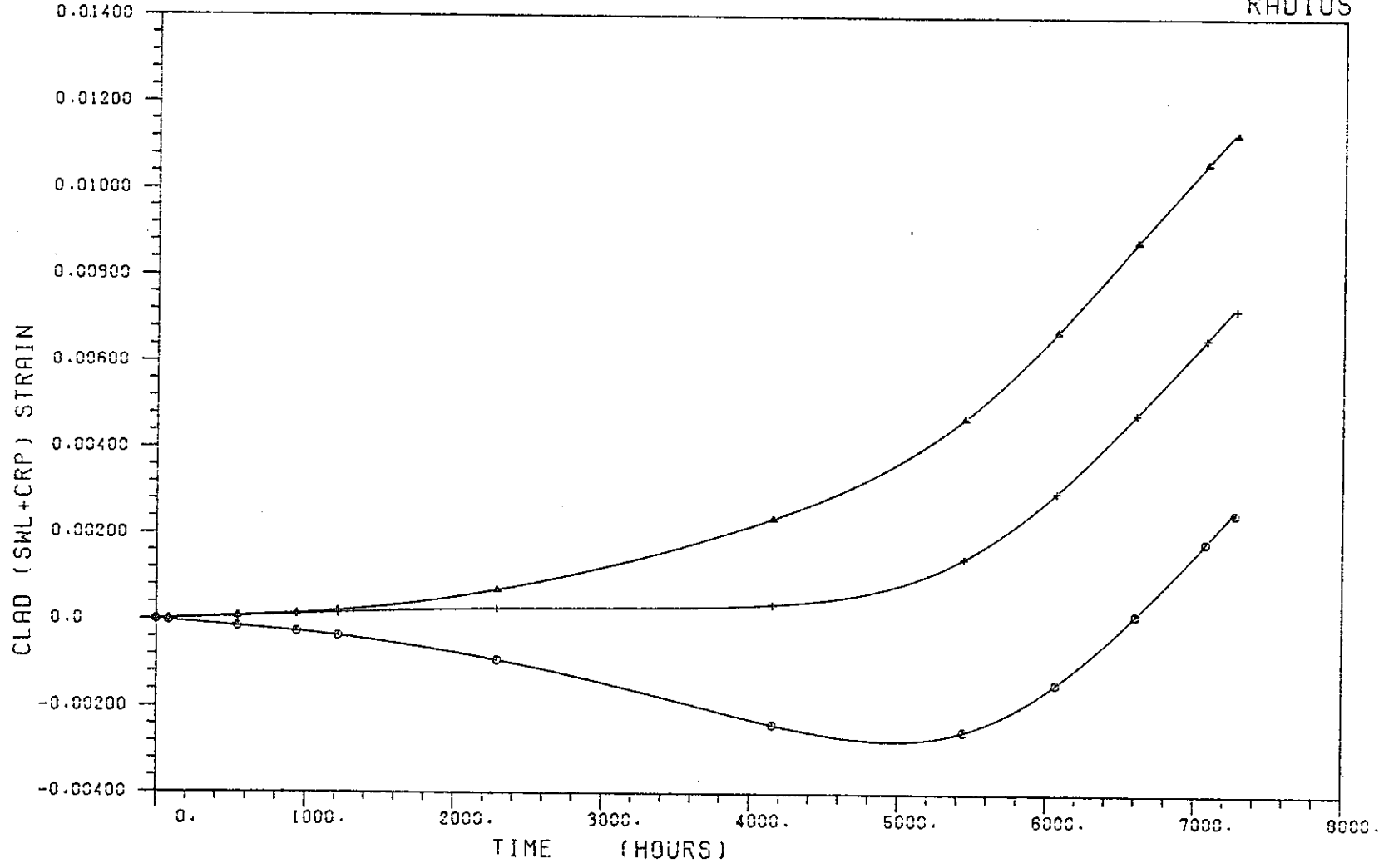


FIG. CLAD (SWL+CRP) STRAIN

+ AXIAL
x THETA
o RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/4) PNC-2 PIN NO.4.

AXIAL RADIUS 2 6

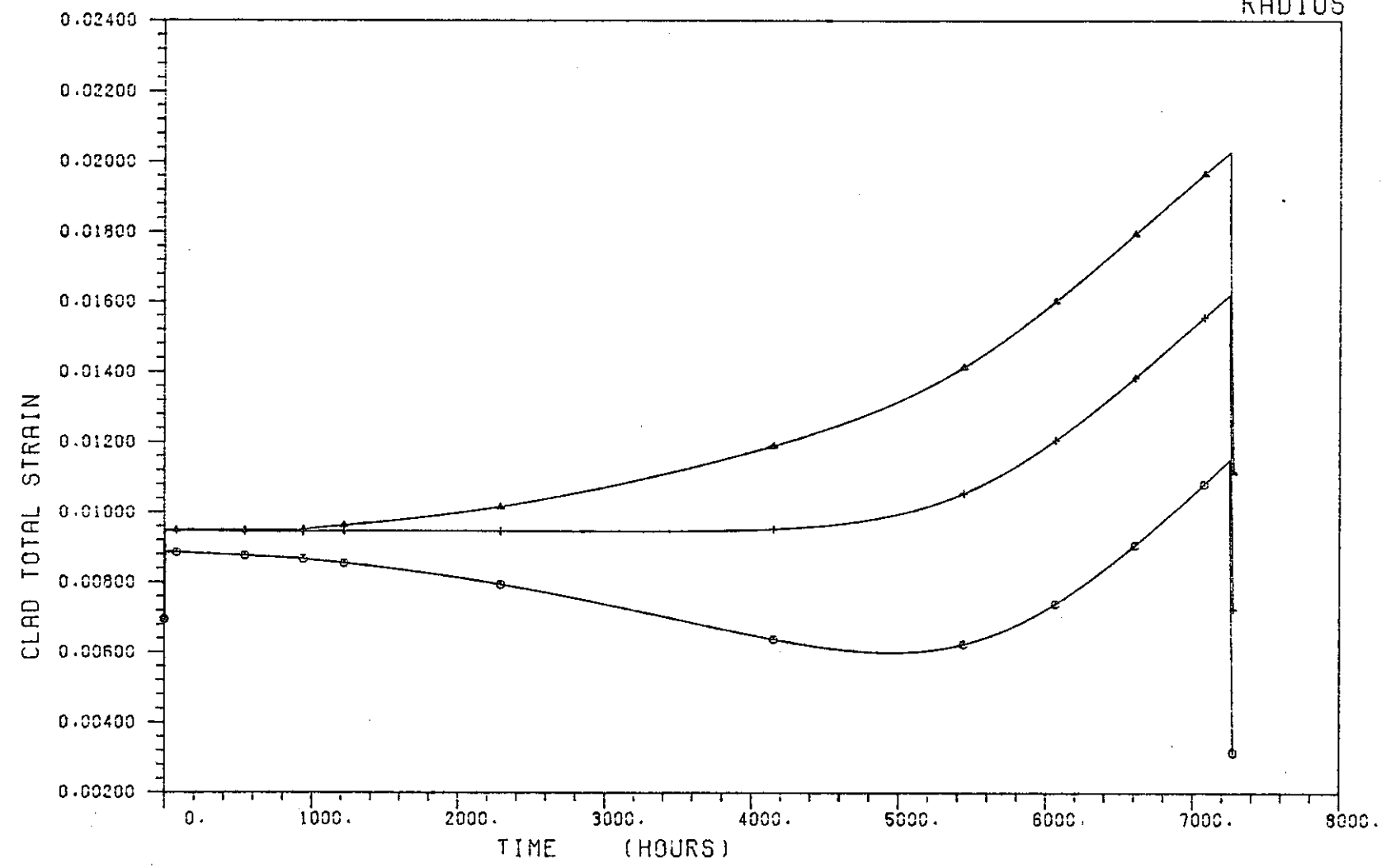


FIG. CLAD TOTAL STRAIN

—+— AXIAL
—▲— THETA
—○— RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

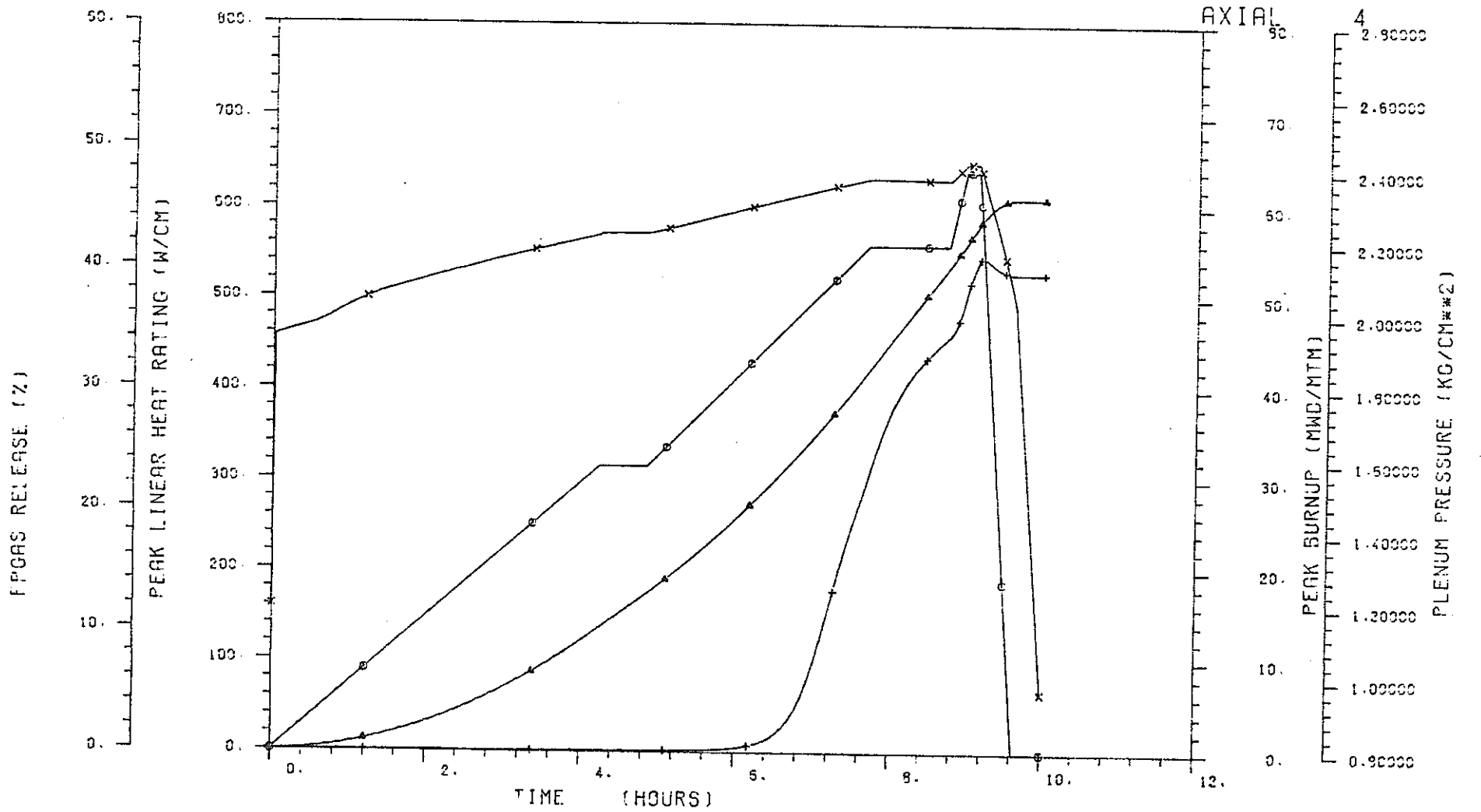


FIG. L. HEAT RATE, BURNUP, FPGAS, PLENUM PRS.

x	PRESSURE
+	FPGAS
Δ	BURN UP
○	L. HEAT R.

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

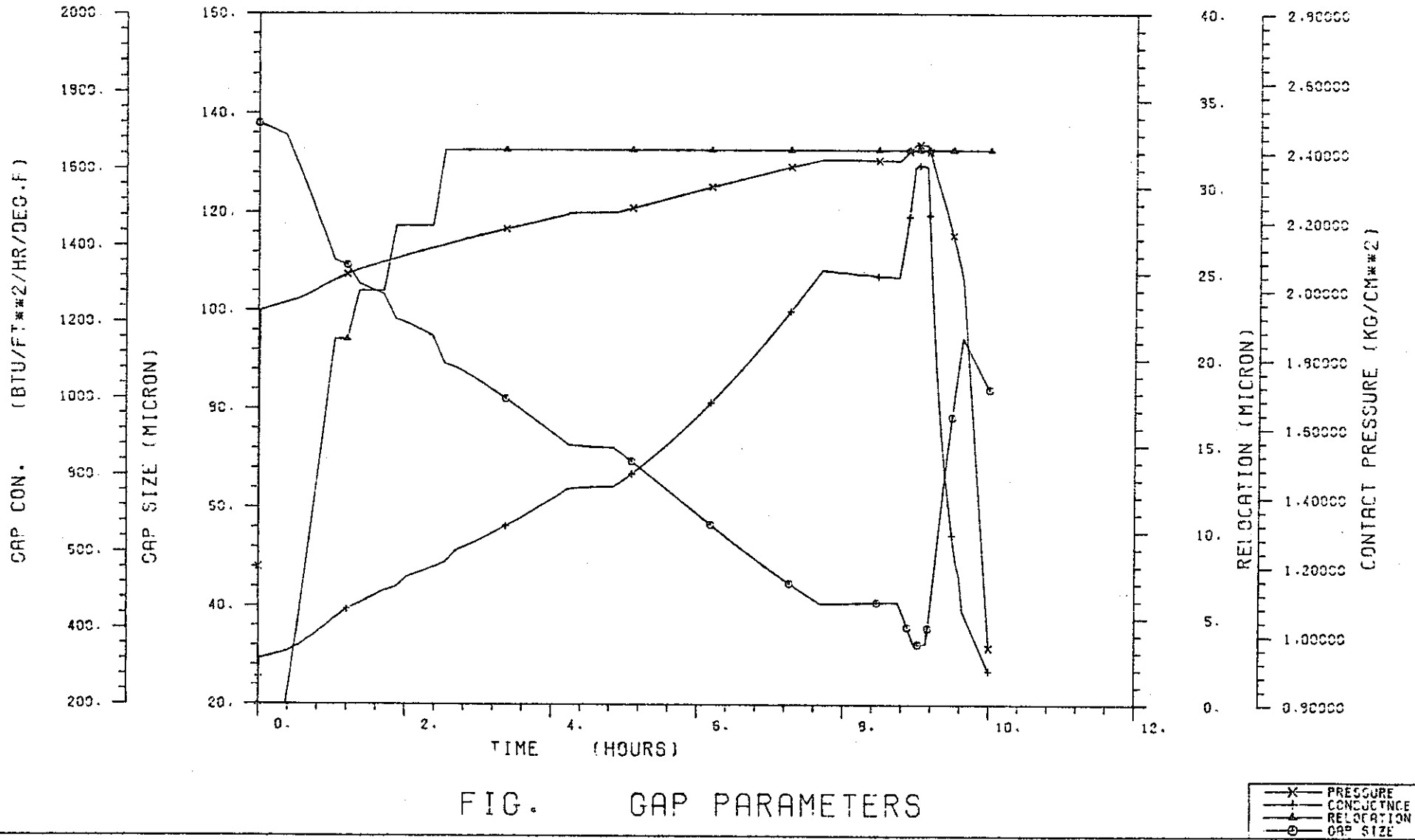


FIG. GAP PARAMETERS

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

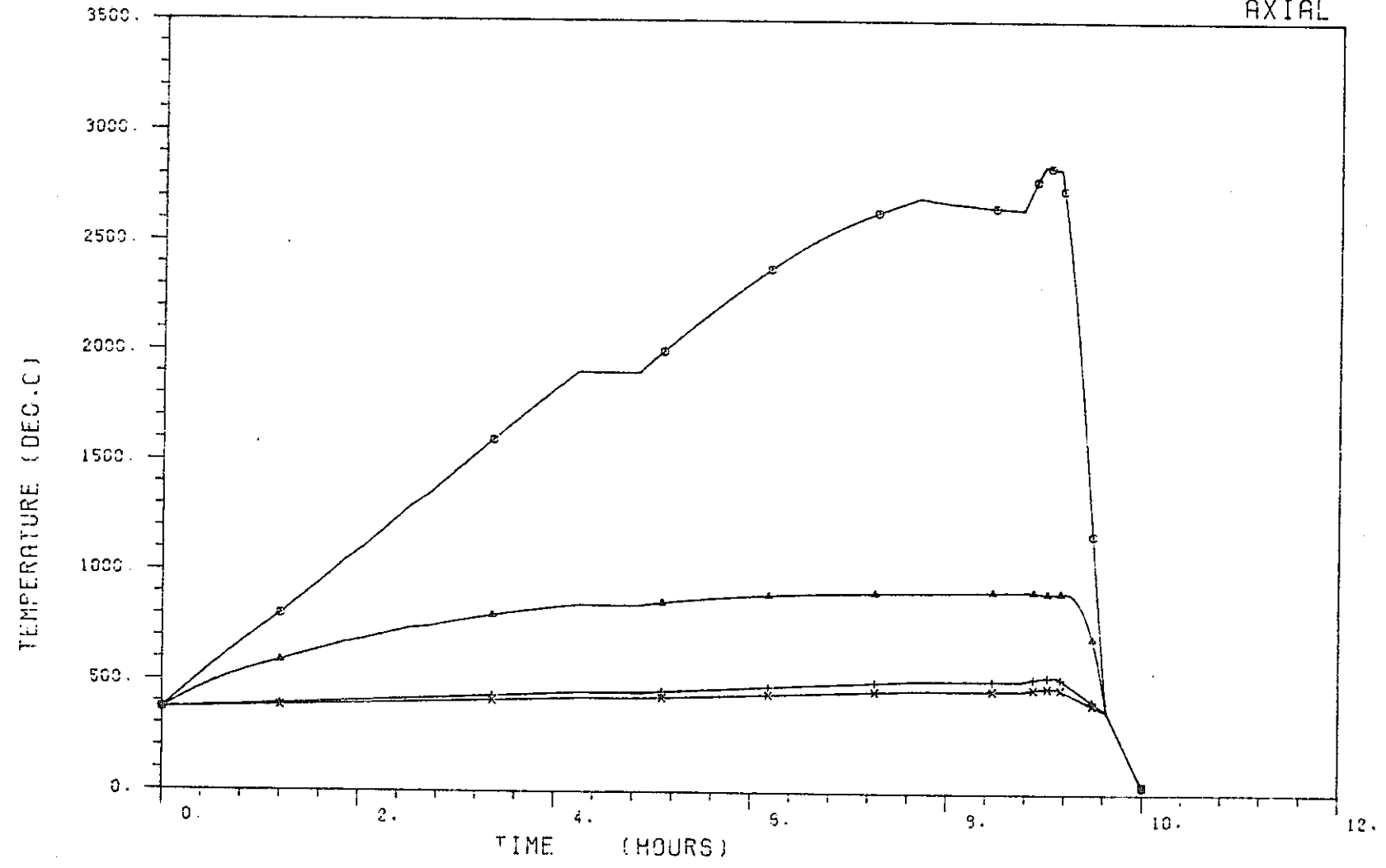


FIG. TEMPERATURES

- x CLAD OUTER
- + CLAD INNER
- △ FUEL OUTER
- FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

TIME 9.0 HR

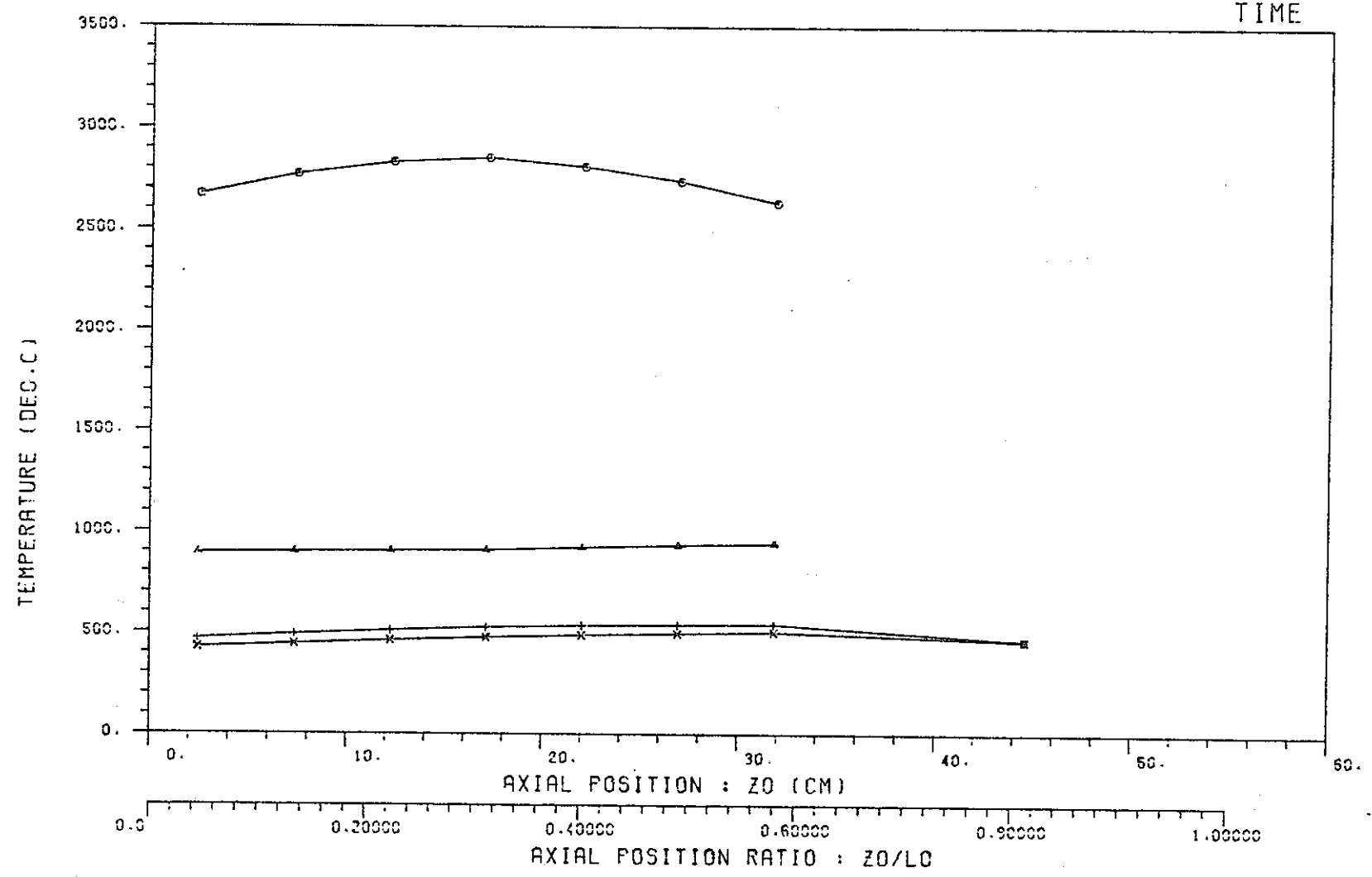


FIG. TEMPERATURES

—x— CLAD OUTER
—+— CLAD INNER
—△— FUEL OUTER
—○— FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

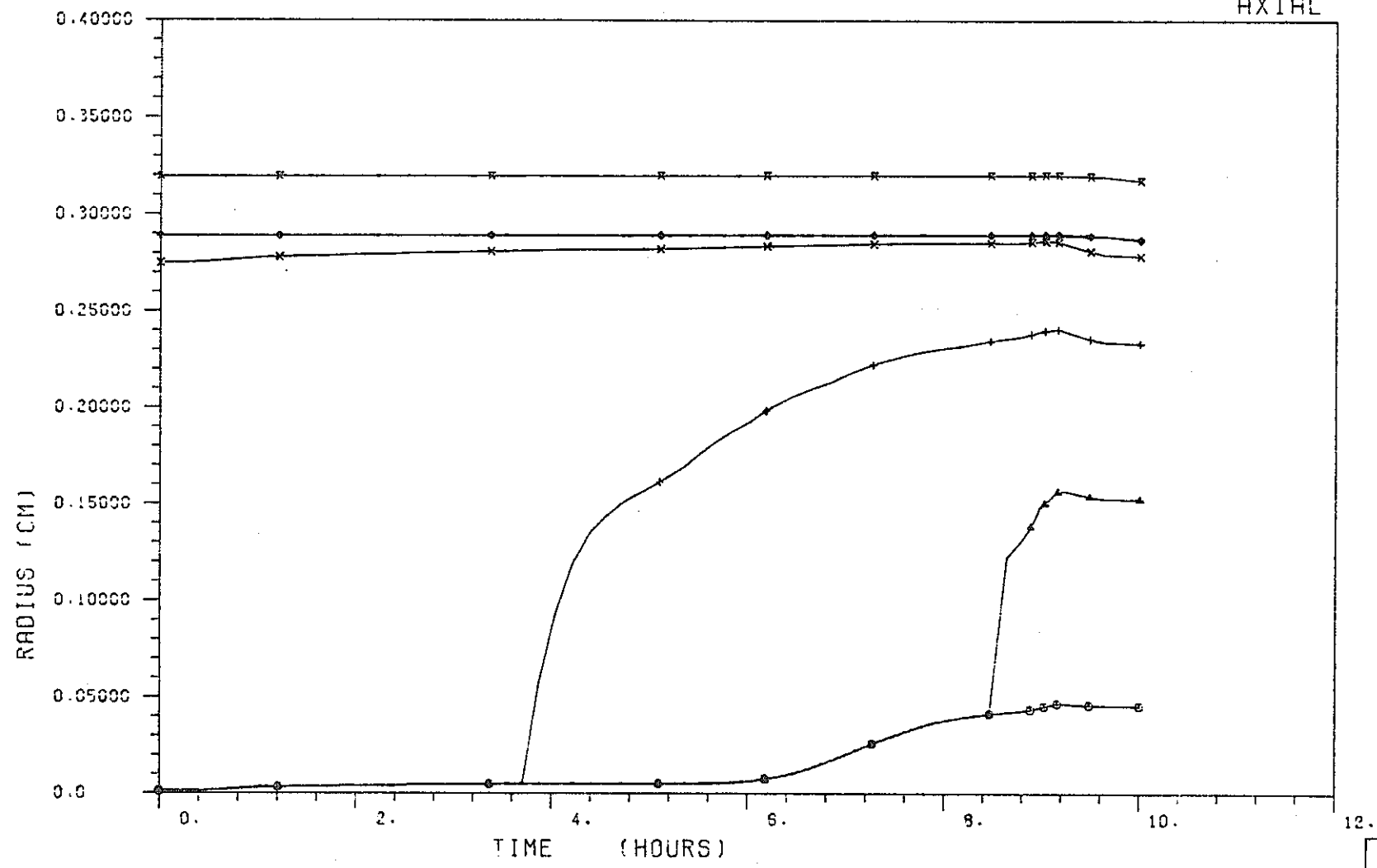


FIG. RESTRUCTURINGS

- x CLAD OUTER
- CORROSION
- o CLAD INNER
- x FUEL OUTER
- + EQUIAXED
- Δ COLUMNER
- o FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

TIME 10.0 HR

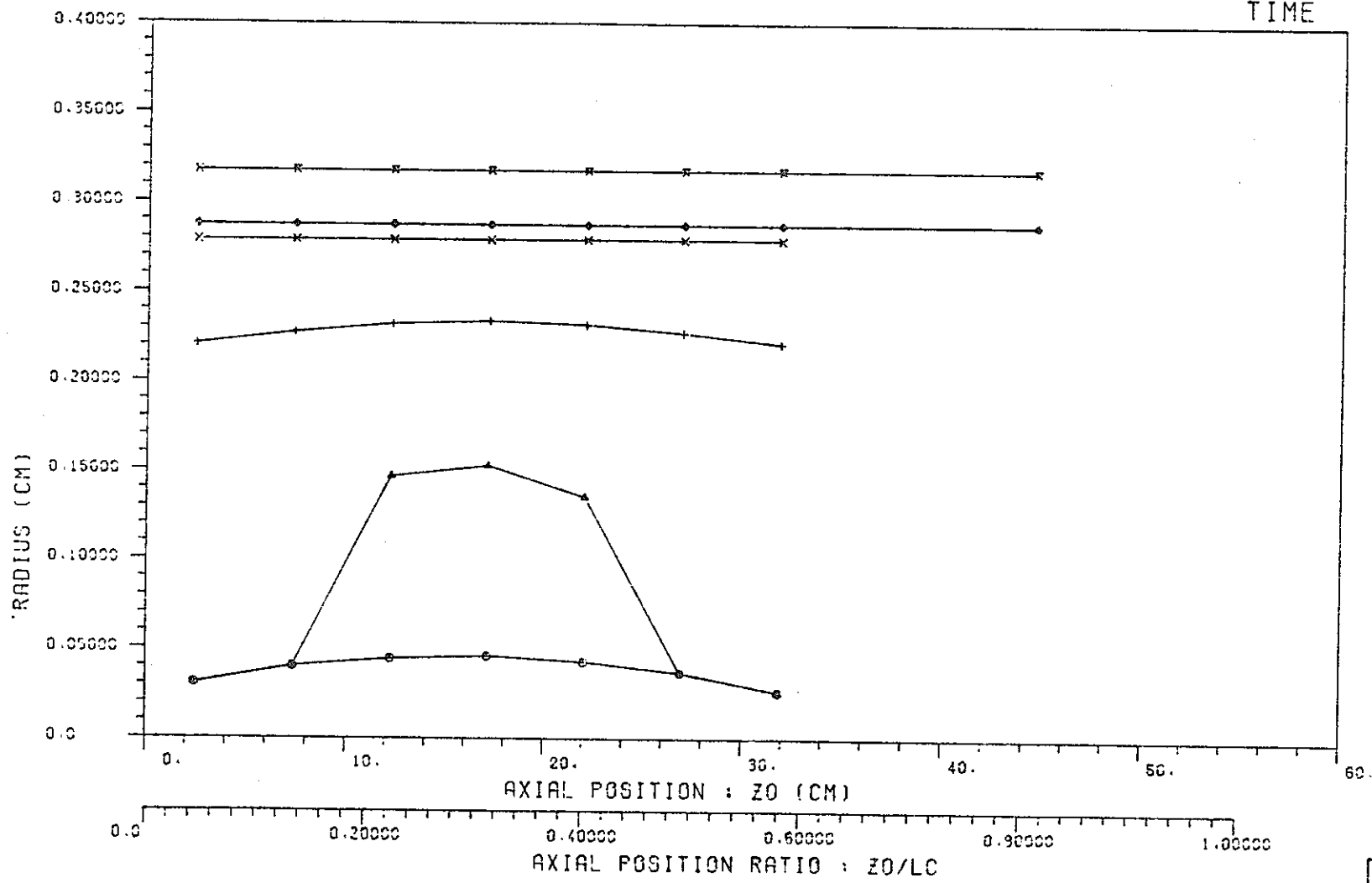


FIG. RESTRUCTURINGS

- * CLAD OUTER
- + CORROSION
- ◇ CLAD INNER
- × FUEL OUTER
- △ EQUIAXED
- COLUMNAR
- FUEL INNER

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

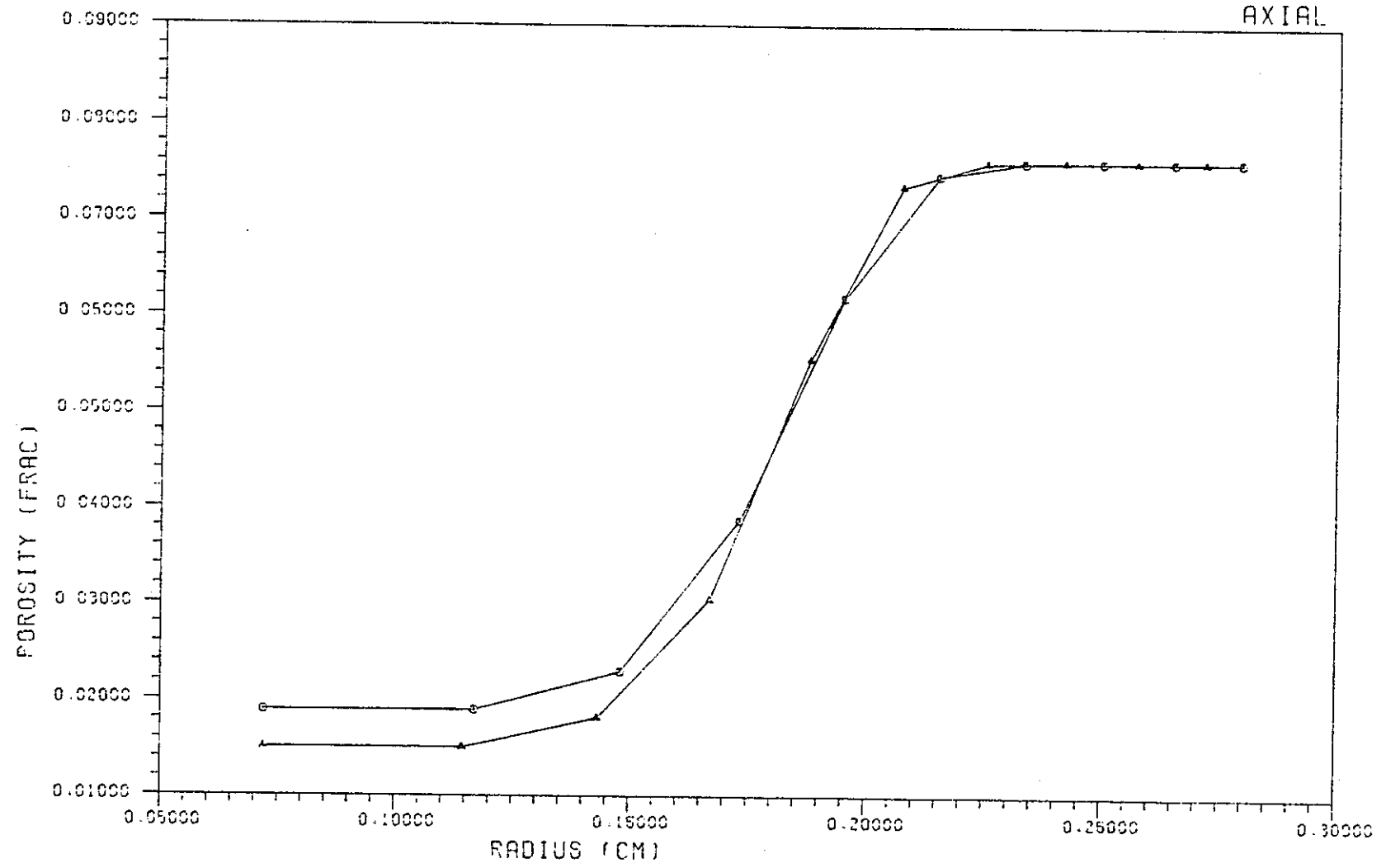


FIG. POROSITY DISTRIBUTION.

—□—	10 C H
—△—	9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

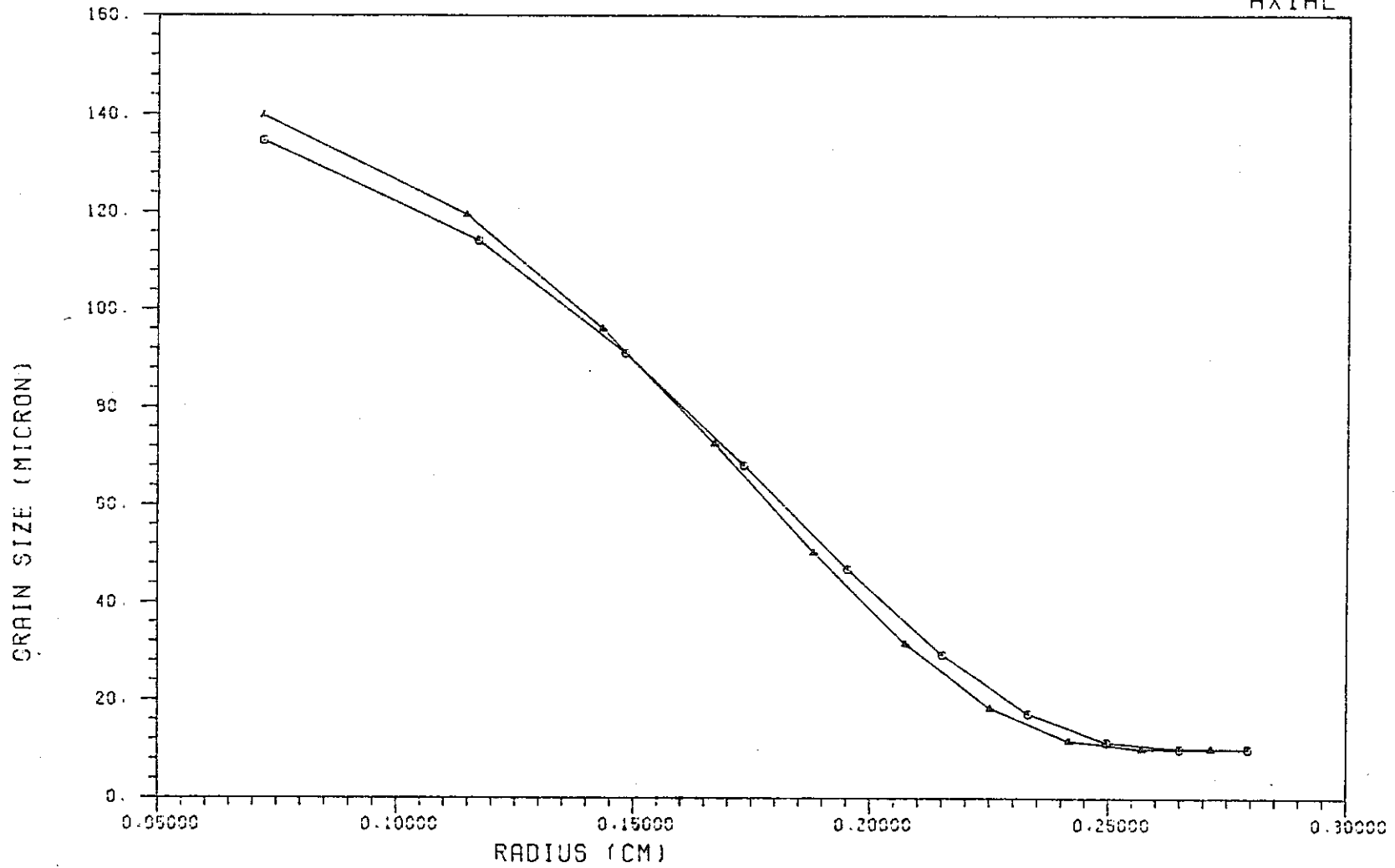


FIG. GRAIN SIZE

▲ 10.0 H
○ 9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

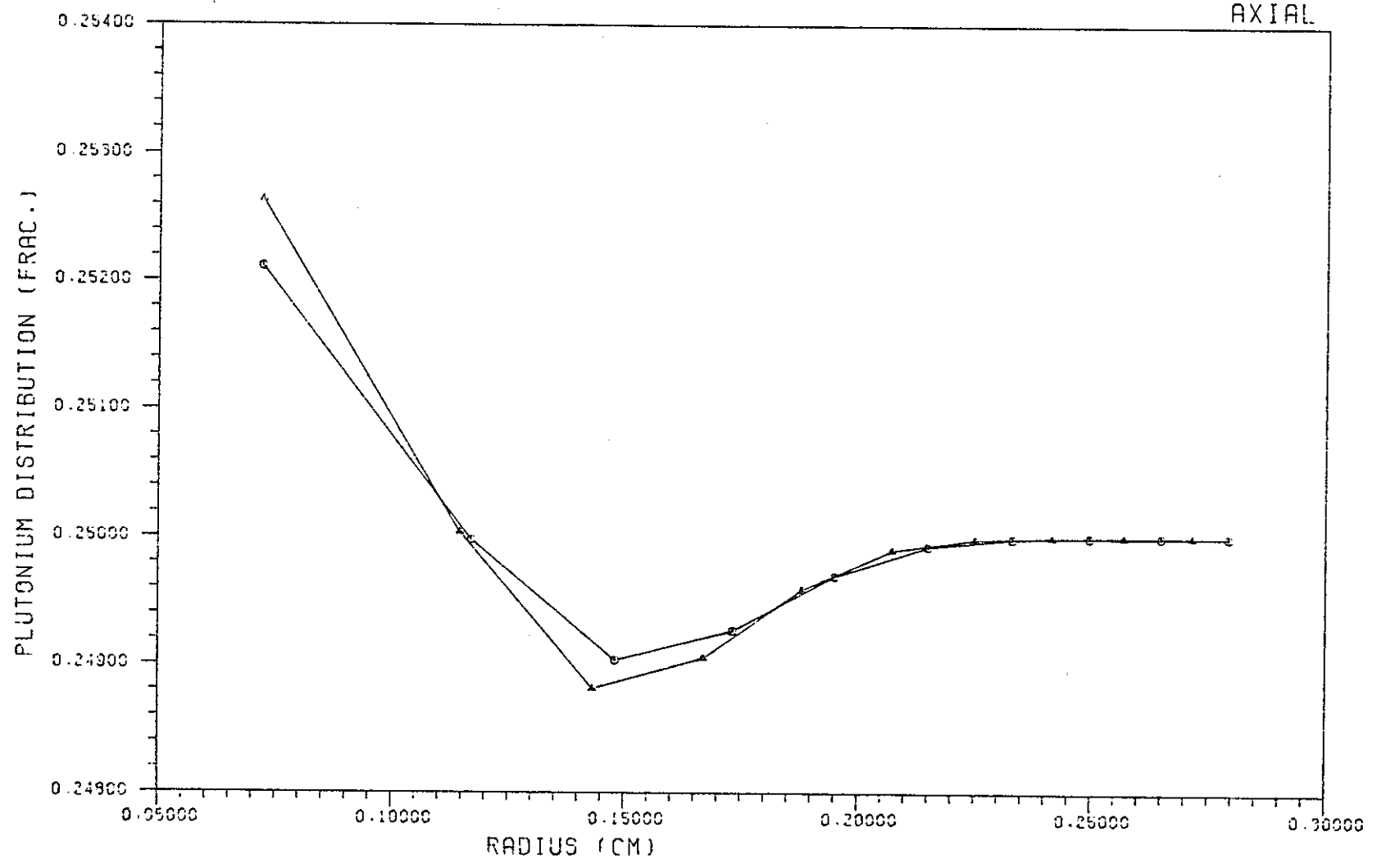


FIG. PLUTONIUM DISTRIBUTION

10.0 H
9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

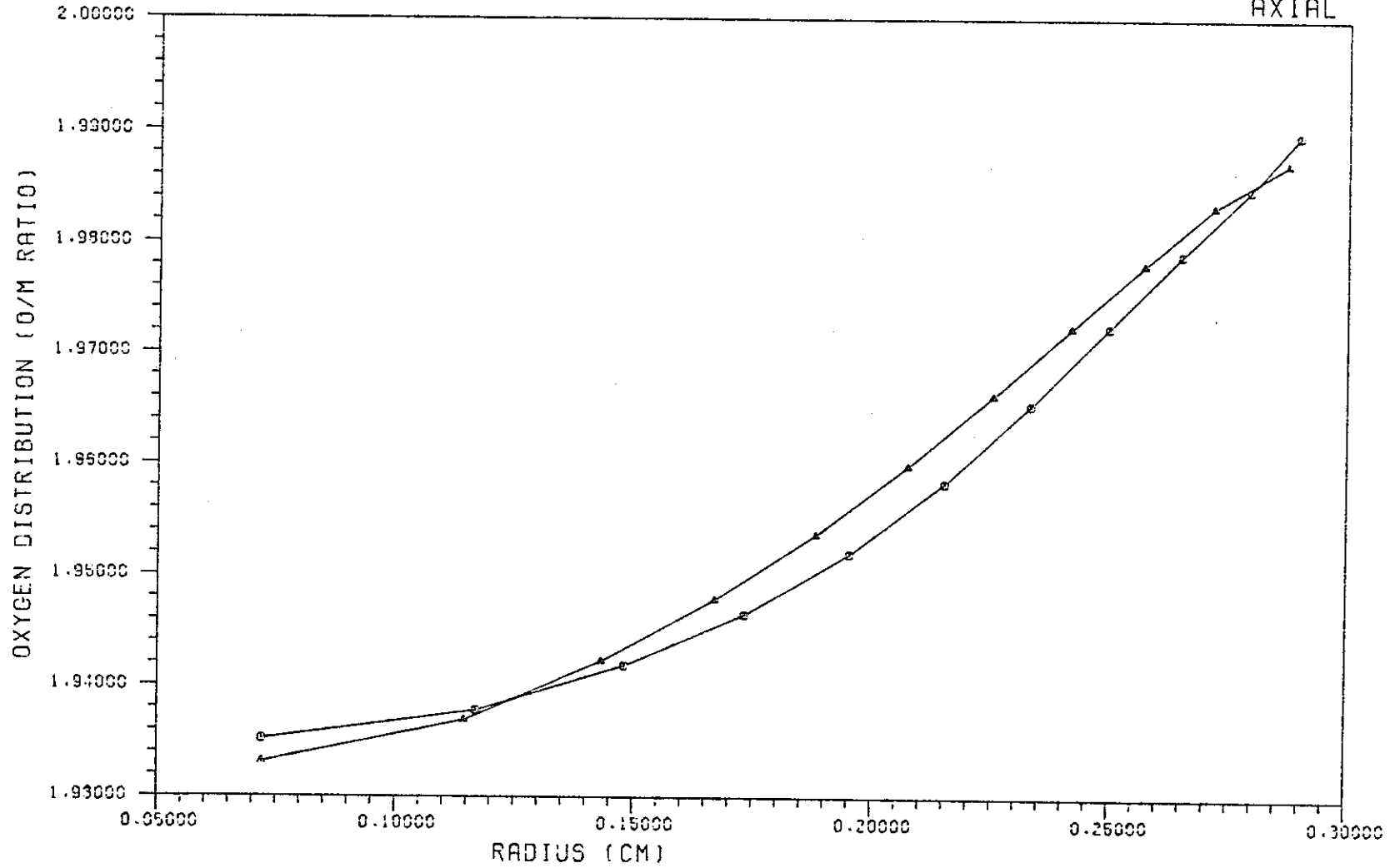


FIG. OXYGEN DISTRIBUTION

10.0 H
9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

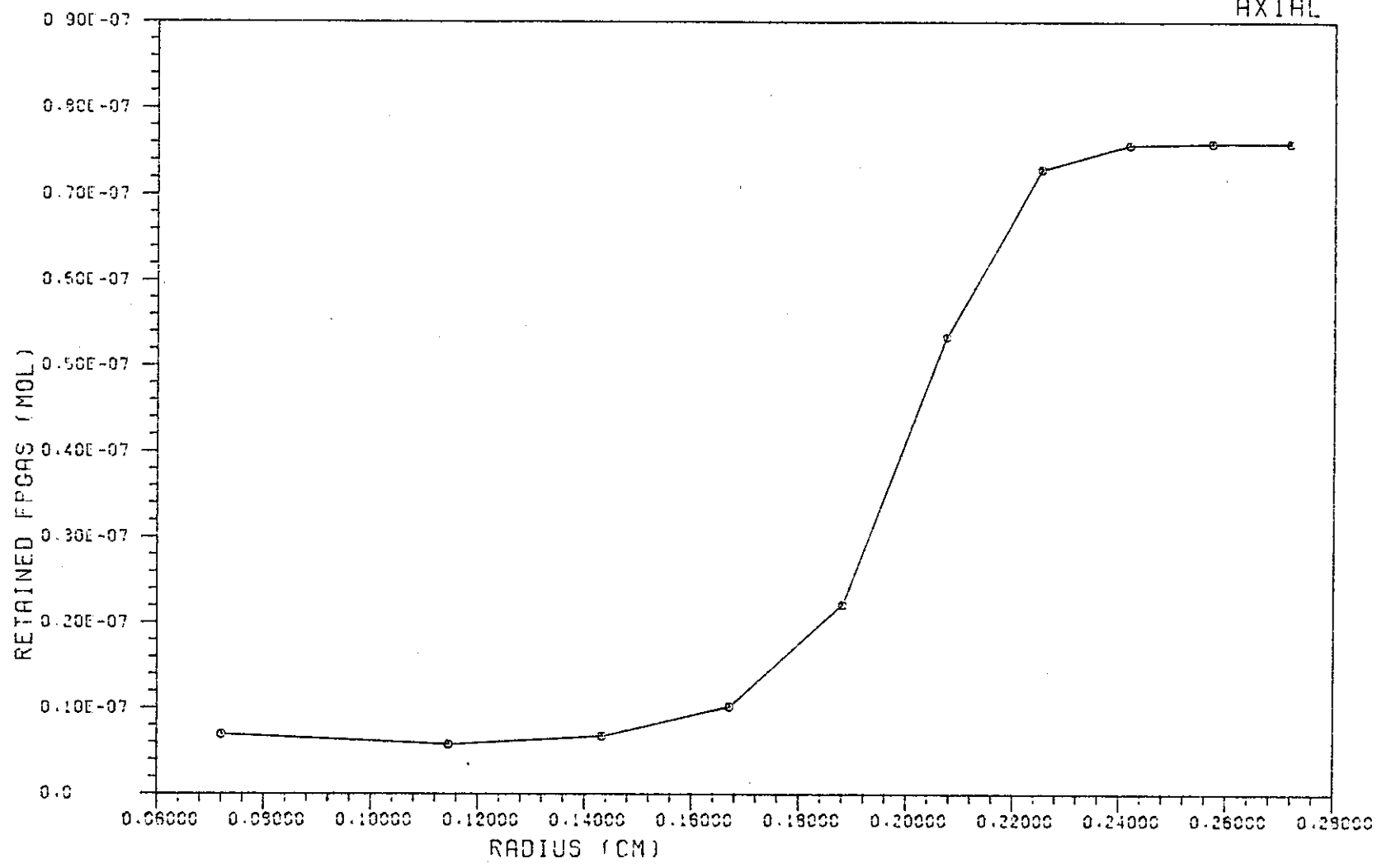
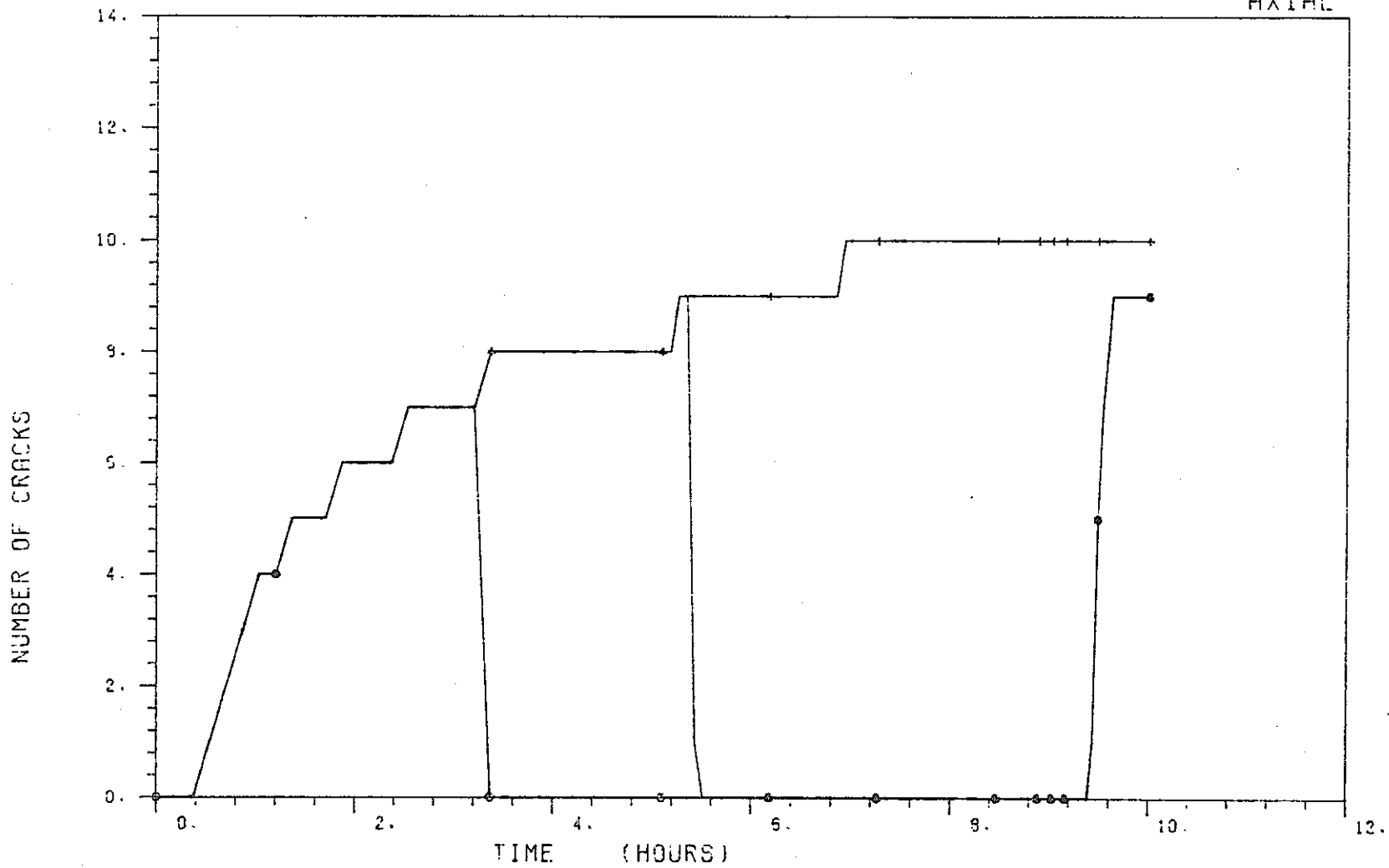


FIG. RETAINED FPGAS DSTRIBUTION

10.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4



-59-

FIG. NUMBER OF CRACKS

+	IR = 10
*	IR = 5
o	IR = 1

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

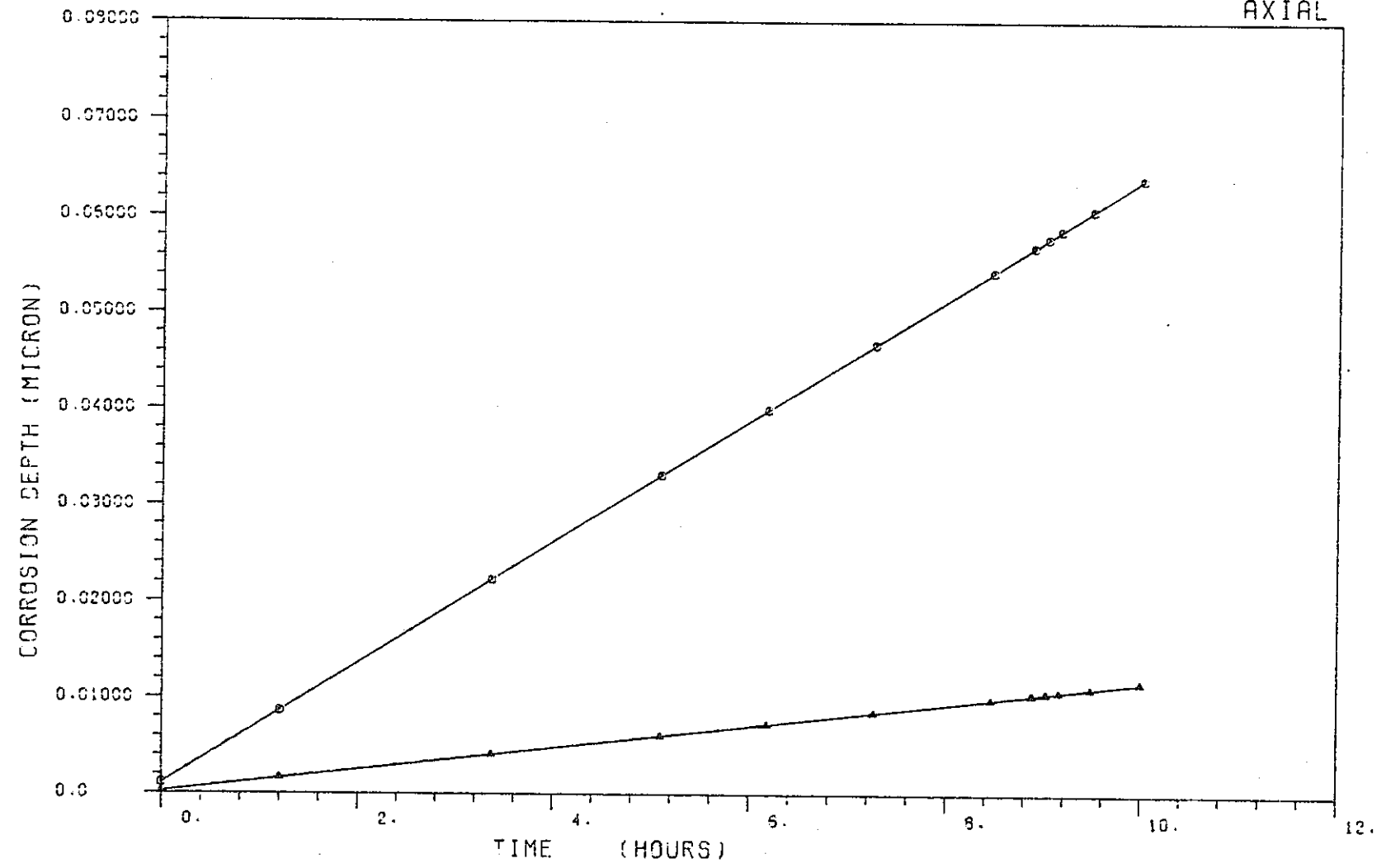


FIG. CORROSION DEPTH

—▲— DUE TO NA
—○— DUE TO FF

CEDAR10-PL0T (80/4/1) P19-03R

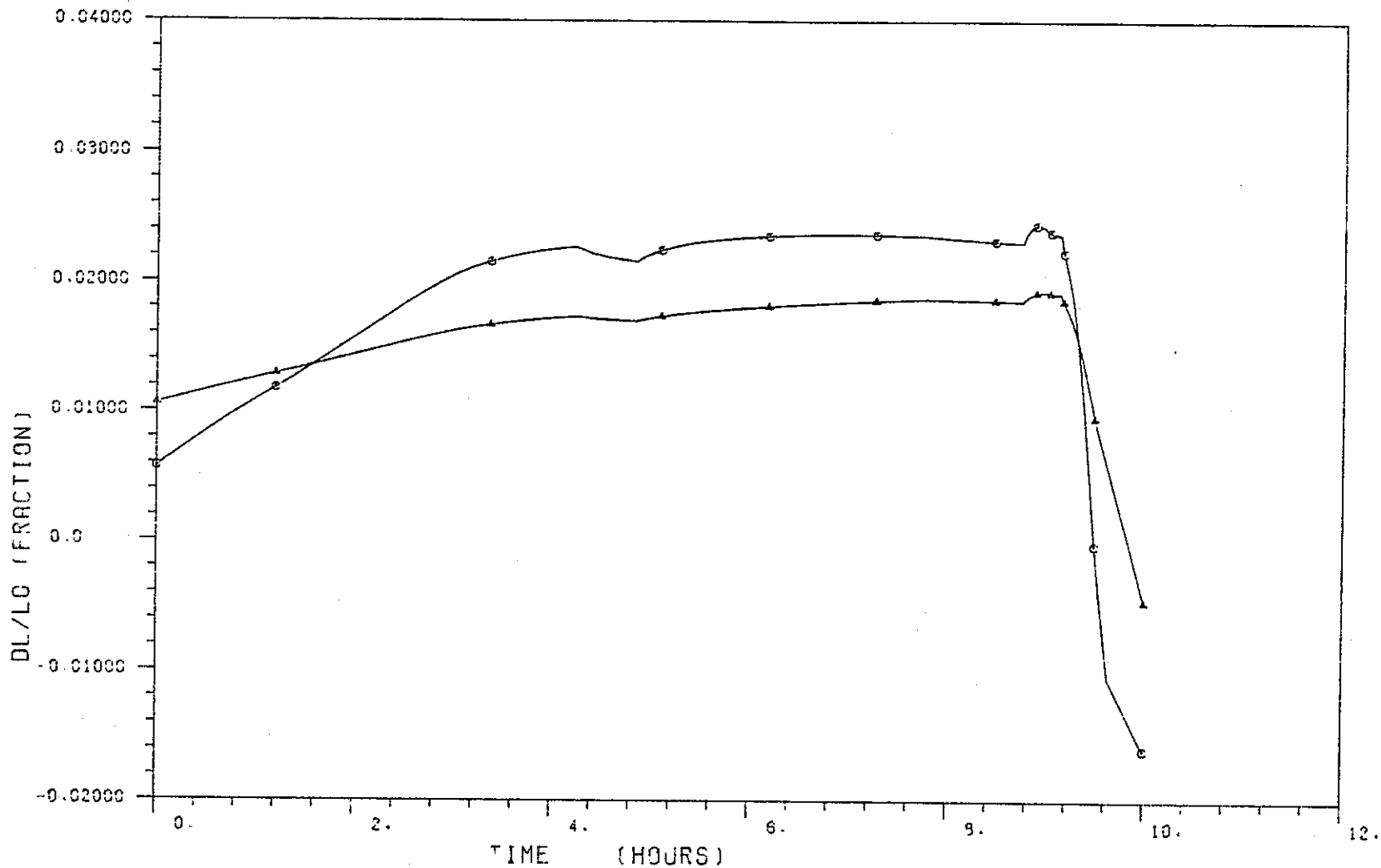


FIG. DL/LG FOR FUEL AND CLADDING

▲ CLAD
○ FUEL

CEDAR10-PL0T (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

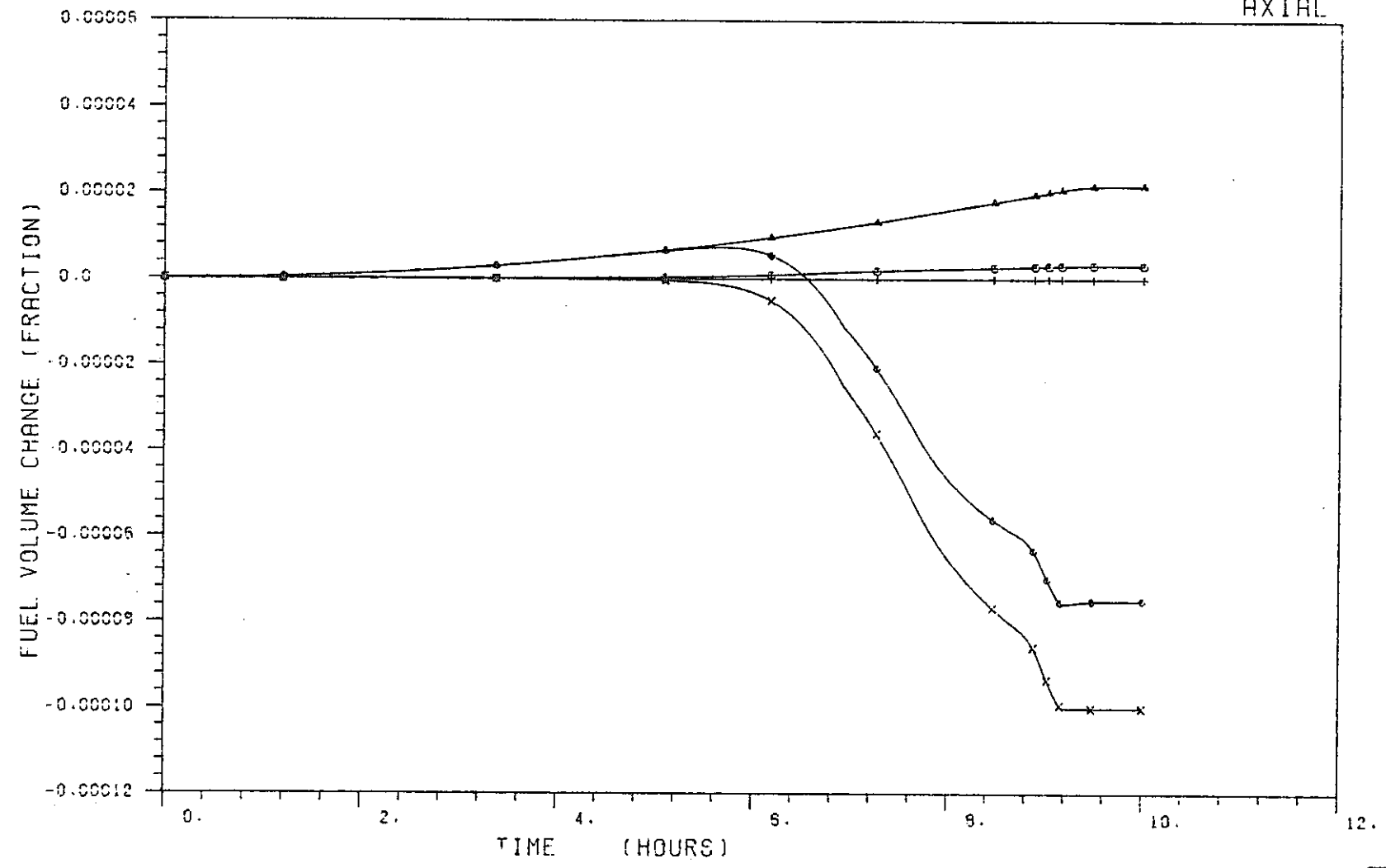


FIG. FUEL VOLUME CHANGE

- ◇ TOTAL
- × HOTPRESS
- △ DENSITY
- FPCAS SWL

CEDAR10-PL0T (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

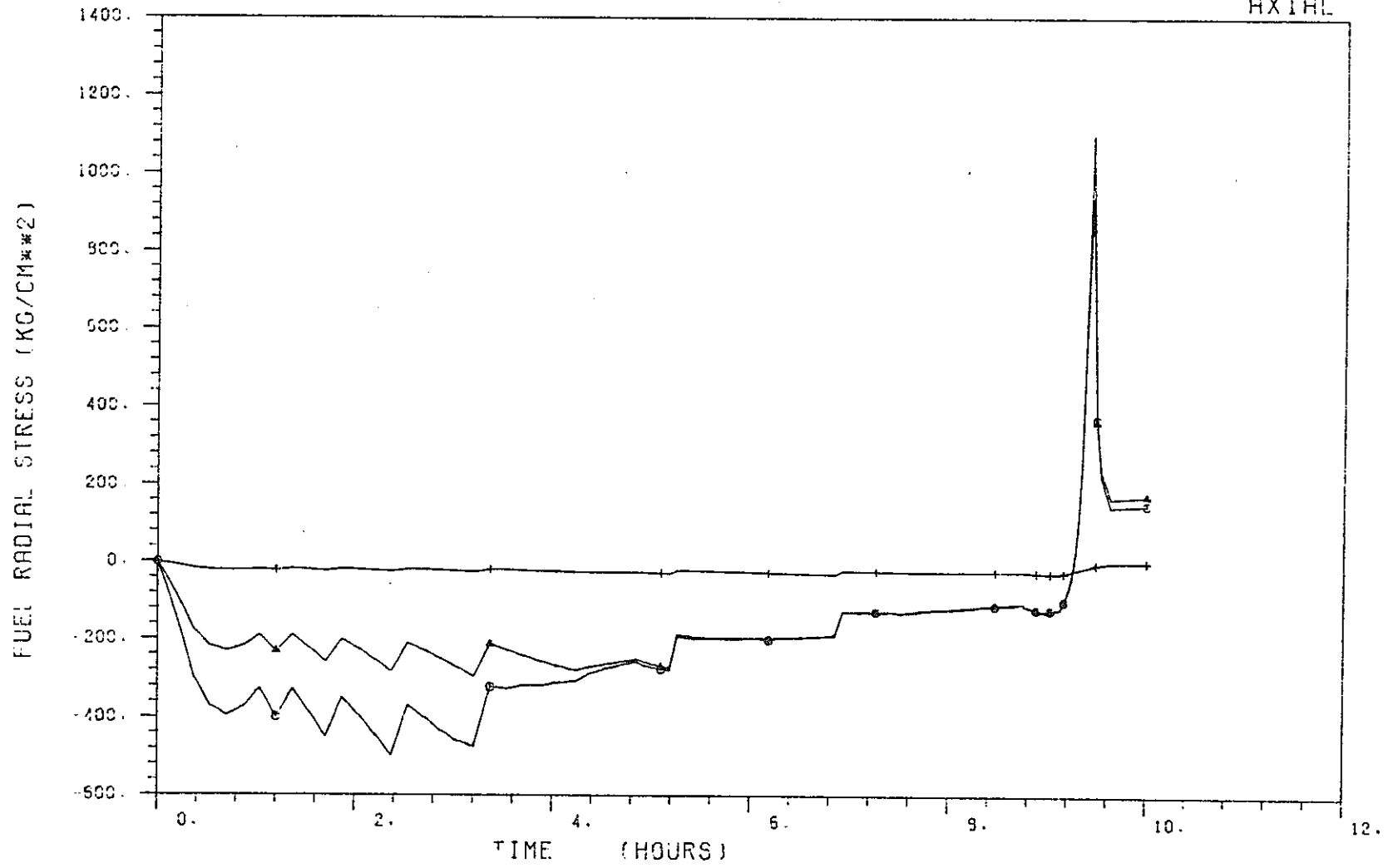


FIG. FUEL RADIAL STRESS

+ IR = 10
x IR = 5
o IR = 1

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

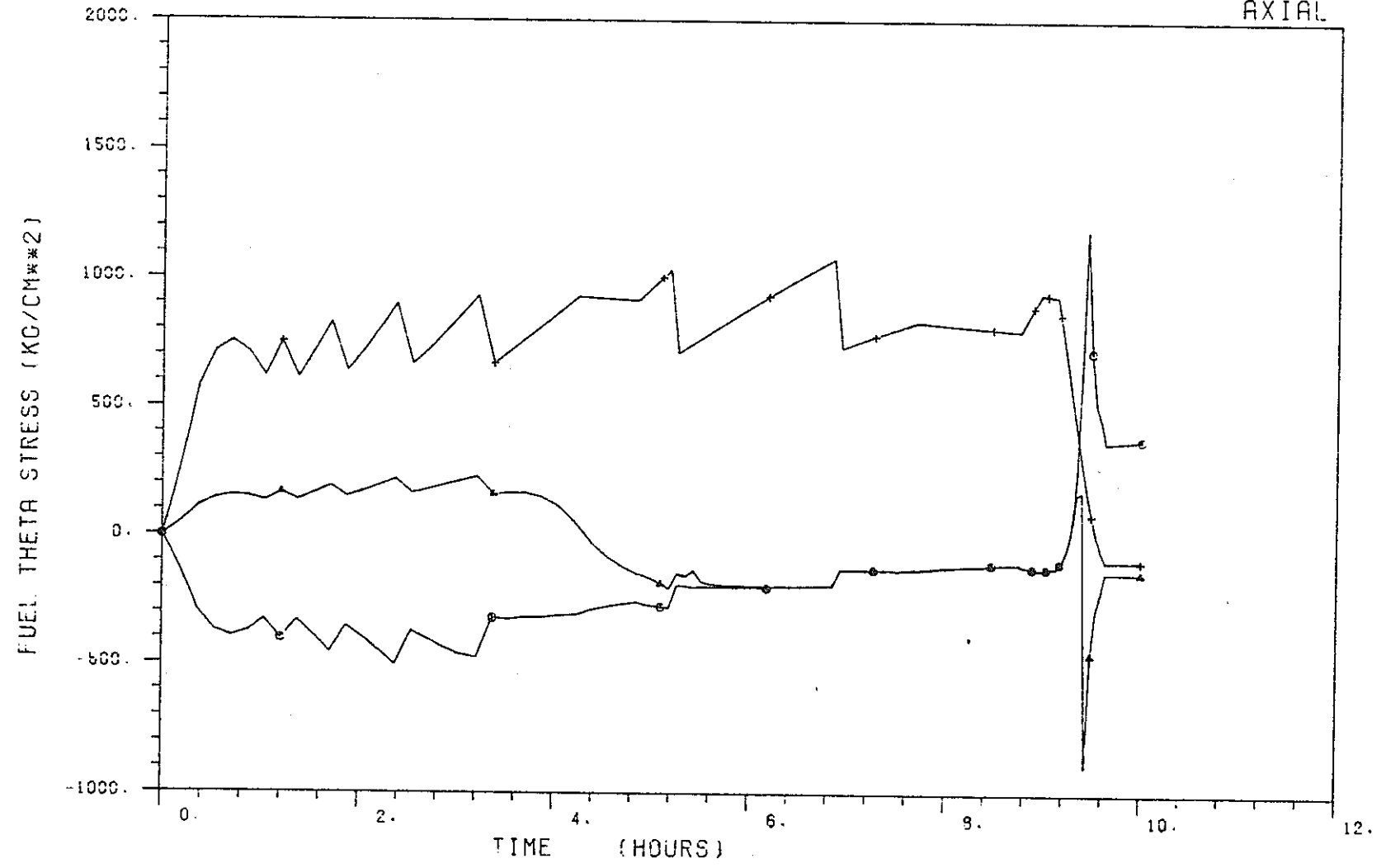


FIG. FUEL THETA STRESS

+	IR = 10
A	IR = 5
O	IR = 1

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

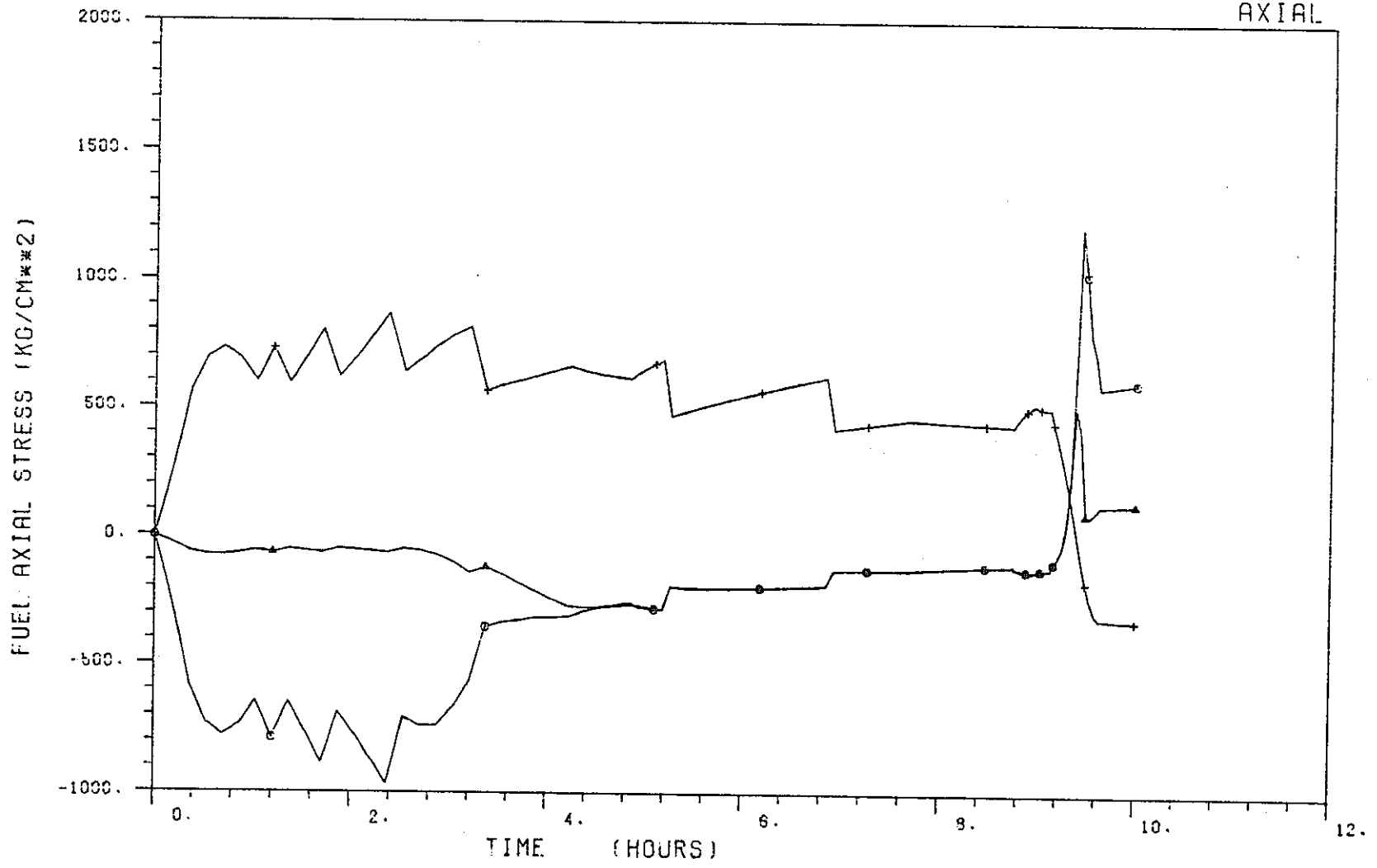


FIG. FUEL AXIAL STRESS

+	IR = 10
△	IR = 5
○	IR = 1

CEDAR10-PL0T (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

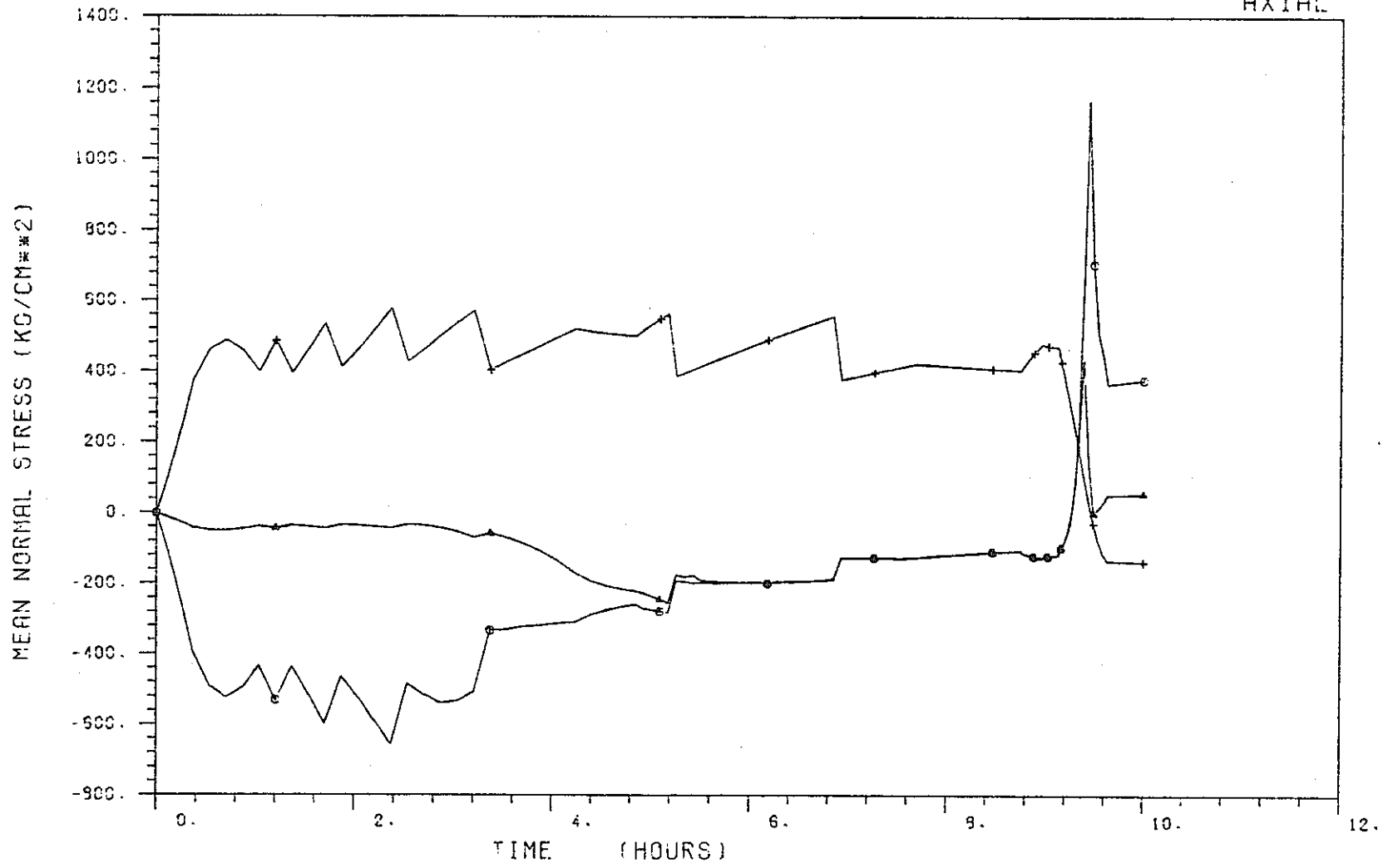


FIG. FUEL MEAN NORMAL STRESS

+	IR = 10
x	IR = 5
o	IR = 1

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4

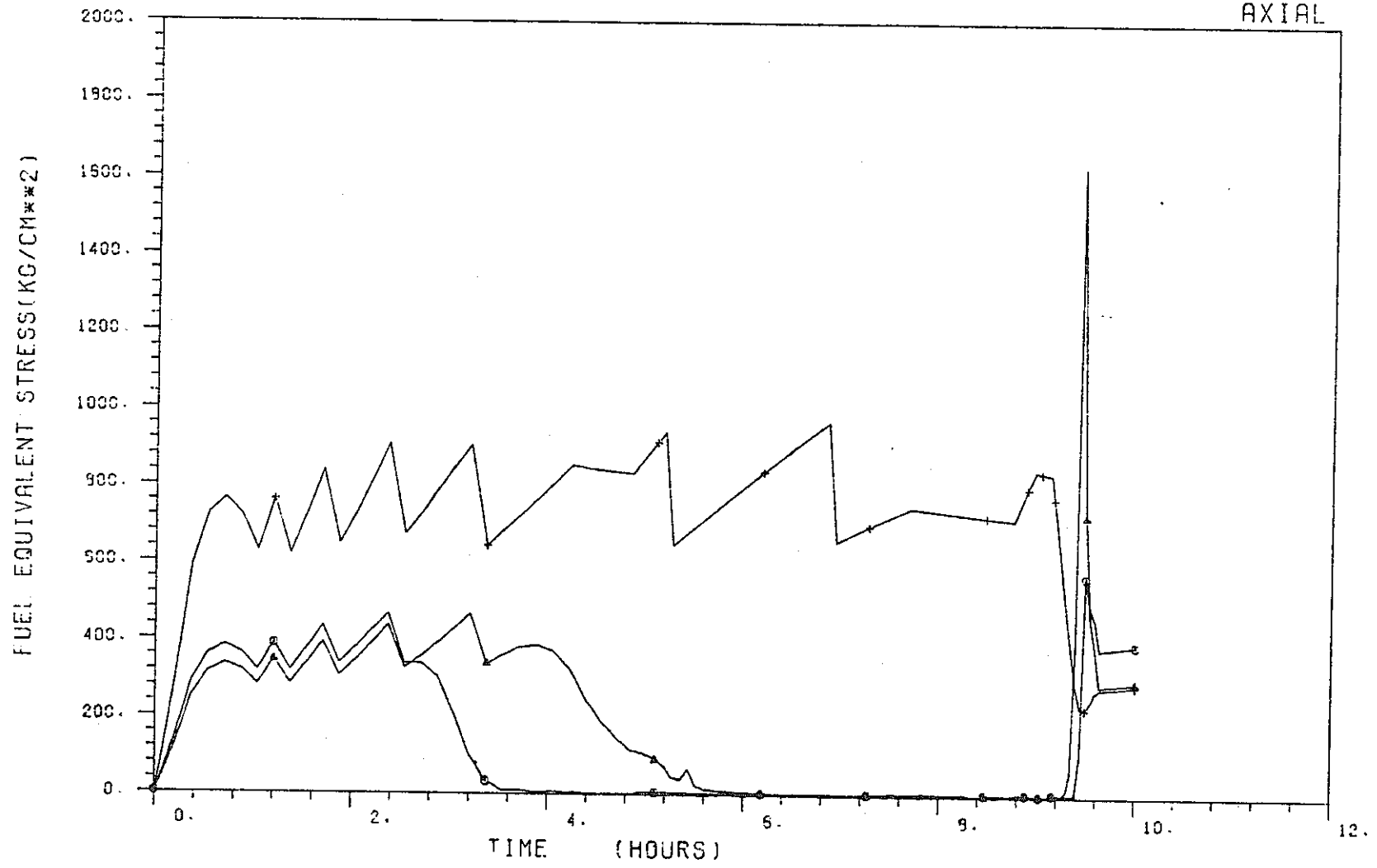


FIG. FUEL EQUIVALENT STRESS

—▲—	IR = 10
—△—	IR = 5
—○—	IR = 1

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4
RADIUS 1

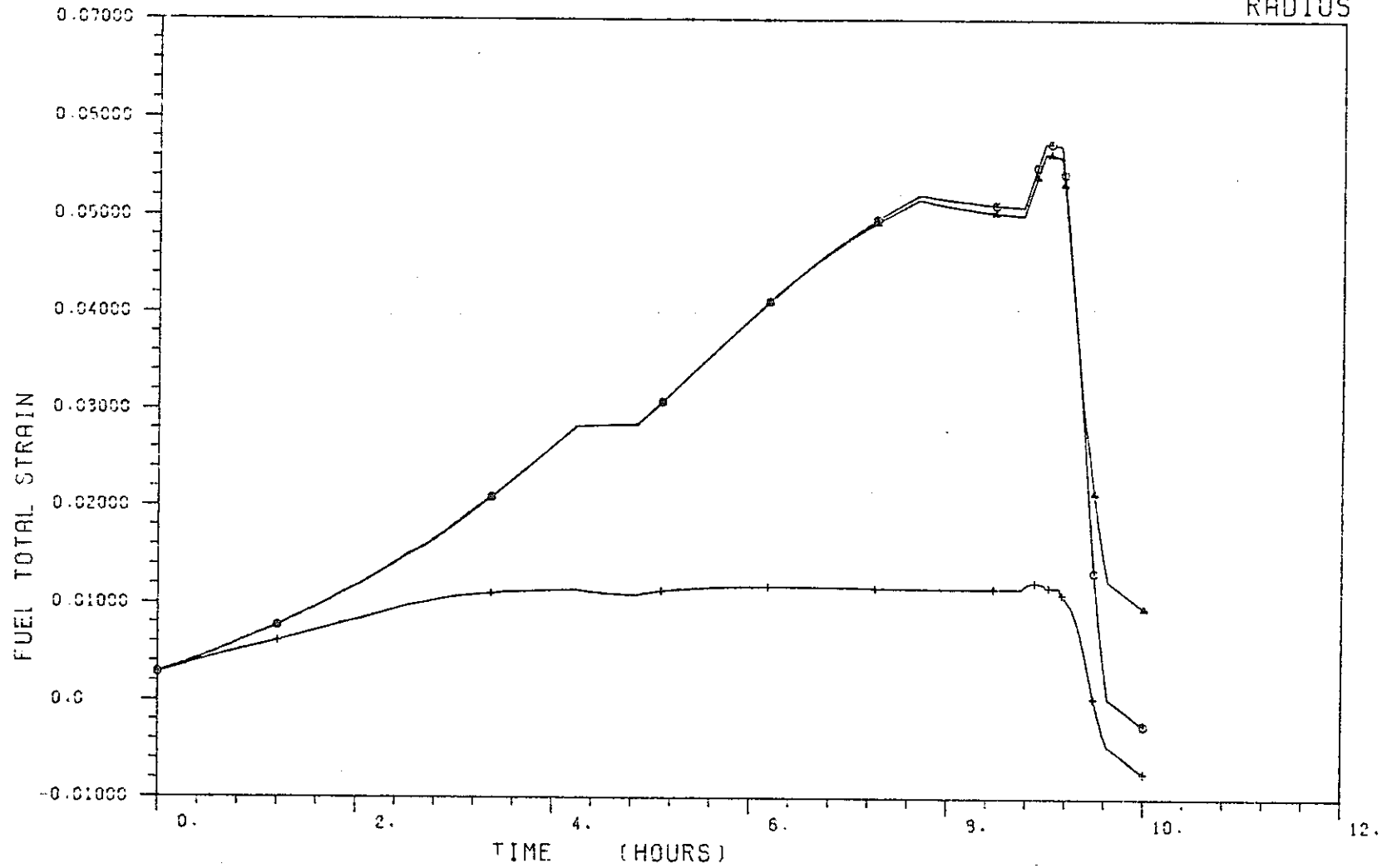


FIG. FUEL TOTAL STRAIN

AXIAL
THETA
RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

TIME
AXIAL 4 9.0 HR

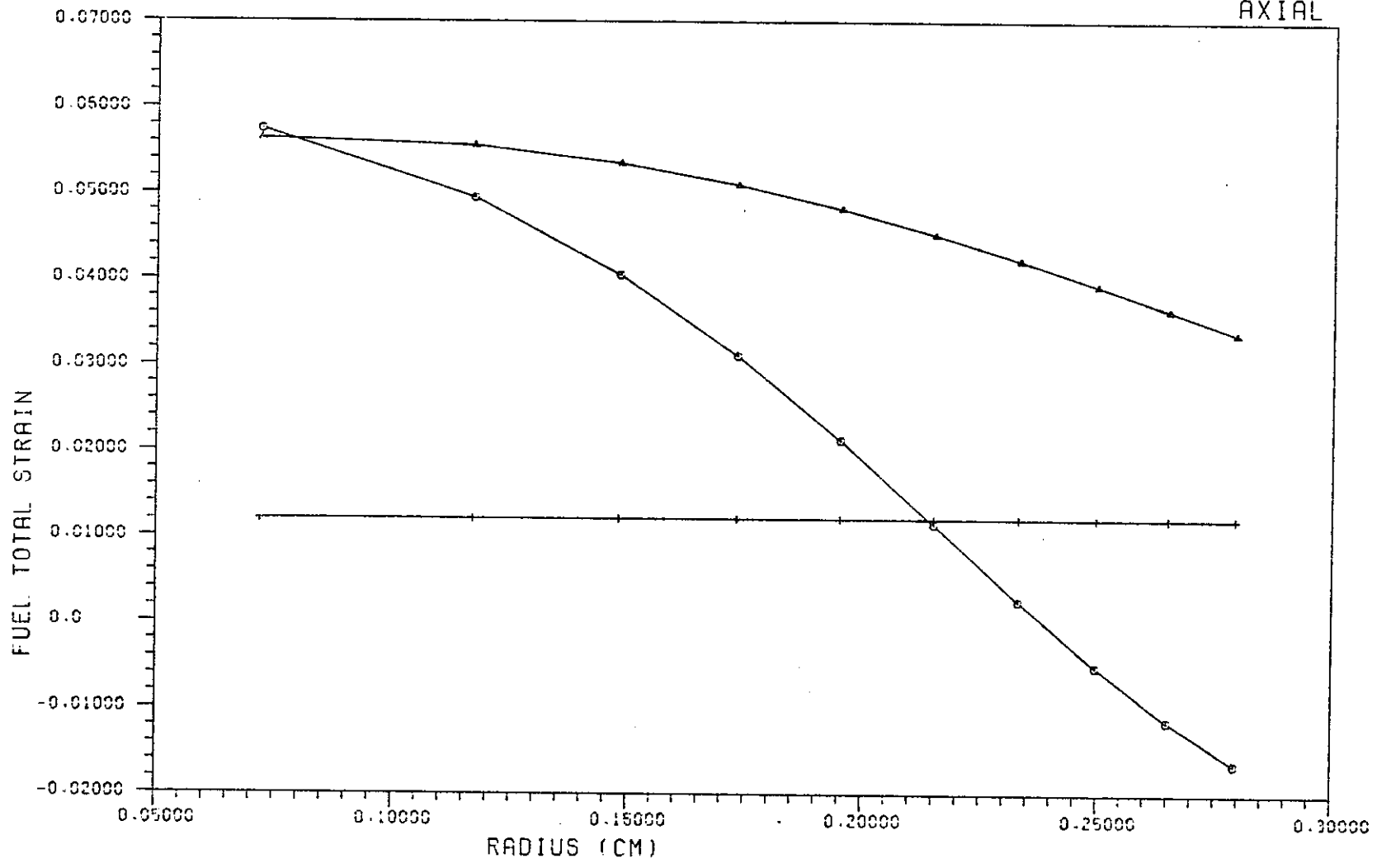


FIG. FUEL TOTAL STRAIN

AXIAL
THETA
RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL 4
RADIUS 1

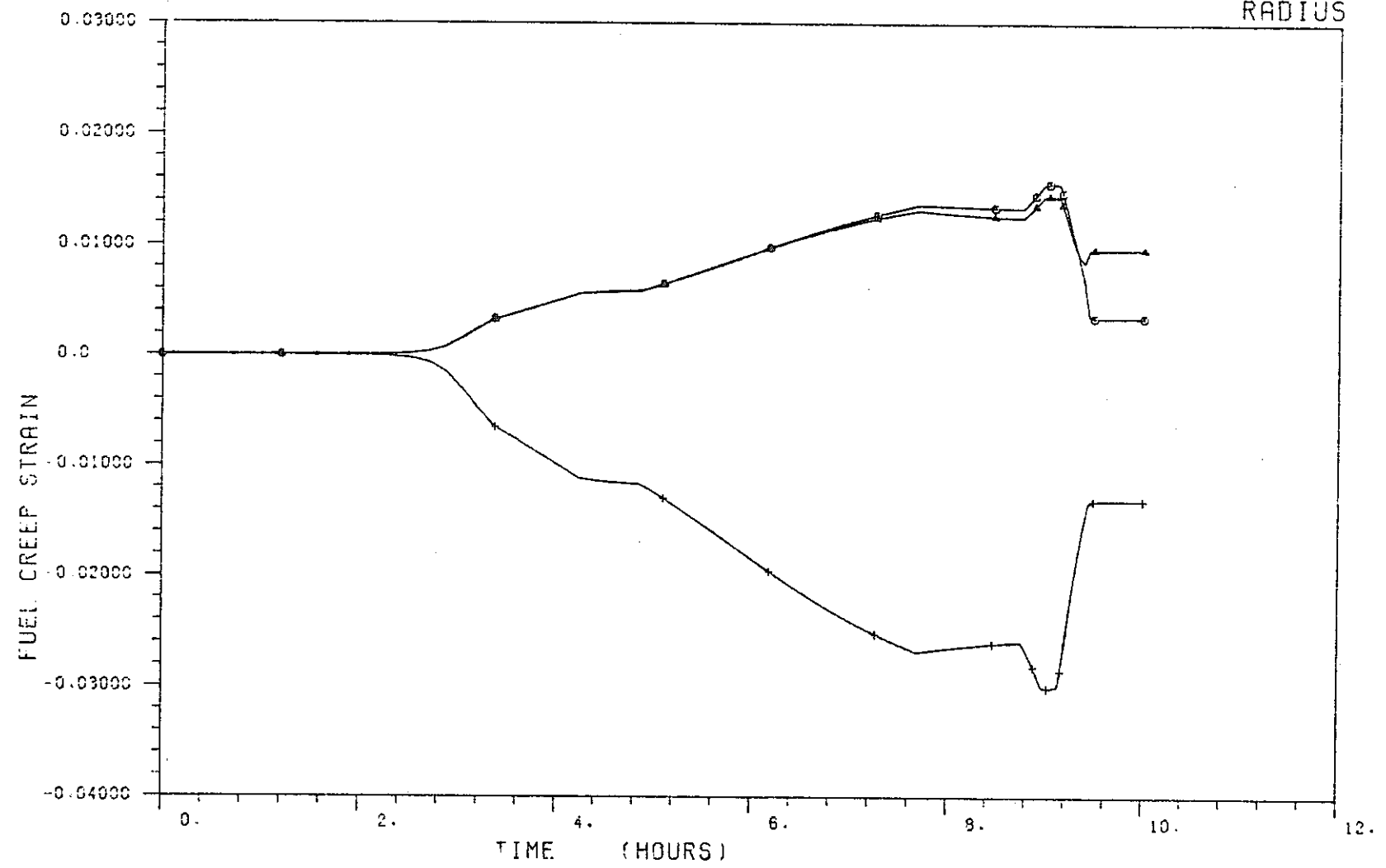


FIG. FUEL CREEP STRAIN

+ AXIAL
x THETA
o RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

TIME
AXIAL 4 9.0 HR

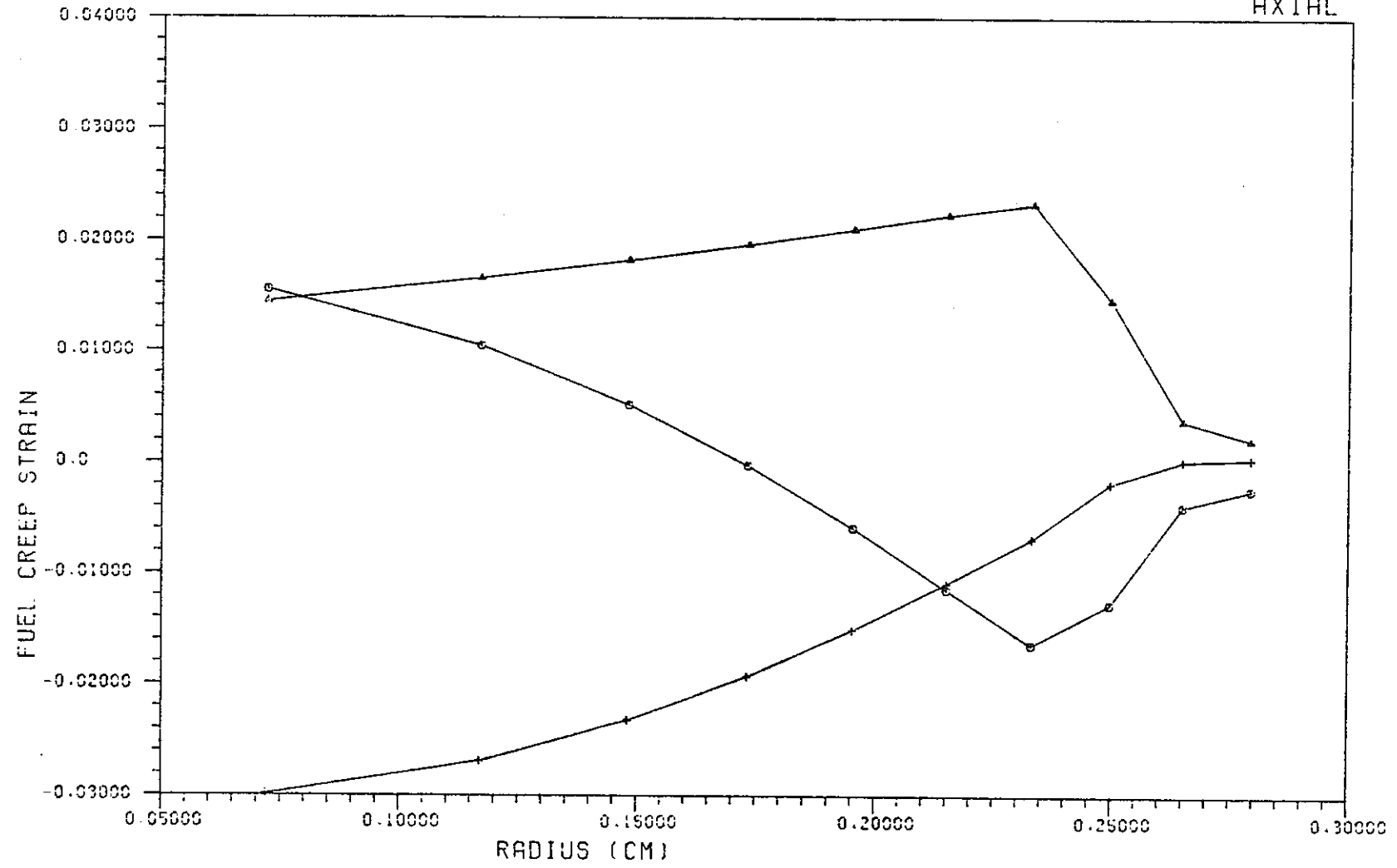


FIG. FUEL CREEP STRAIN

—+— AXIAL
—▲— THETA
—○— RADIAL

CEDAR10-PL0T (80/4/1) P19-03R

TIME 9.0 HR
AXIAL 4

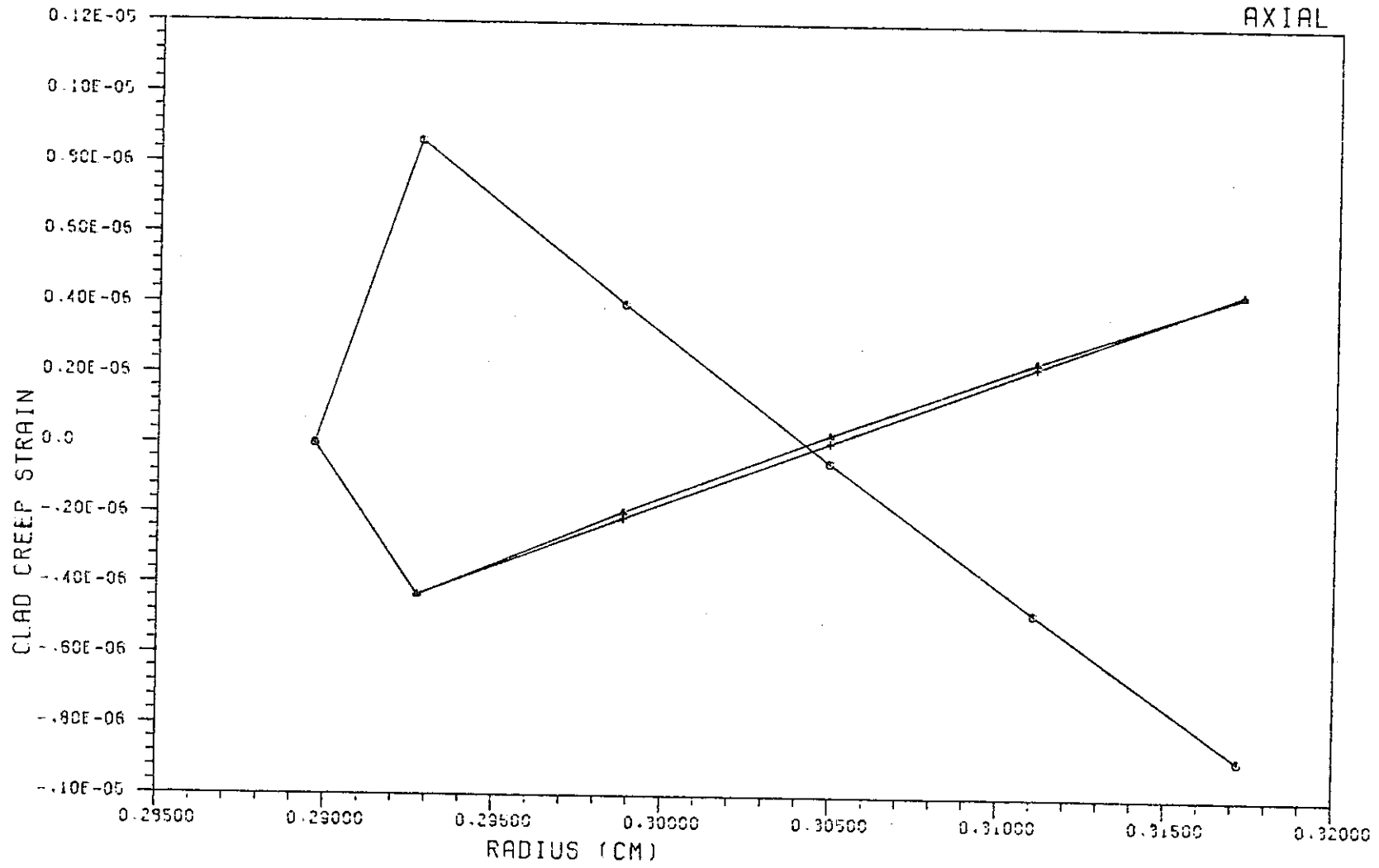


FIG. CLAD CREEP STRAIN

AXIAL
THETA
RADIAL

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL RADIUS 4 1

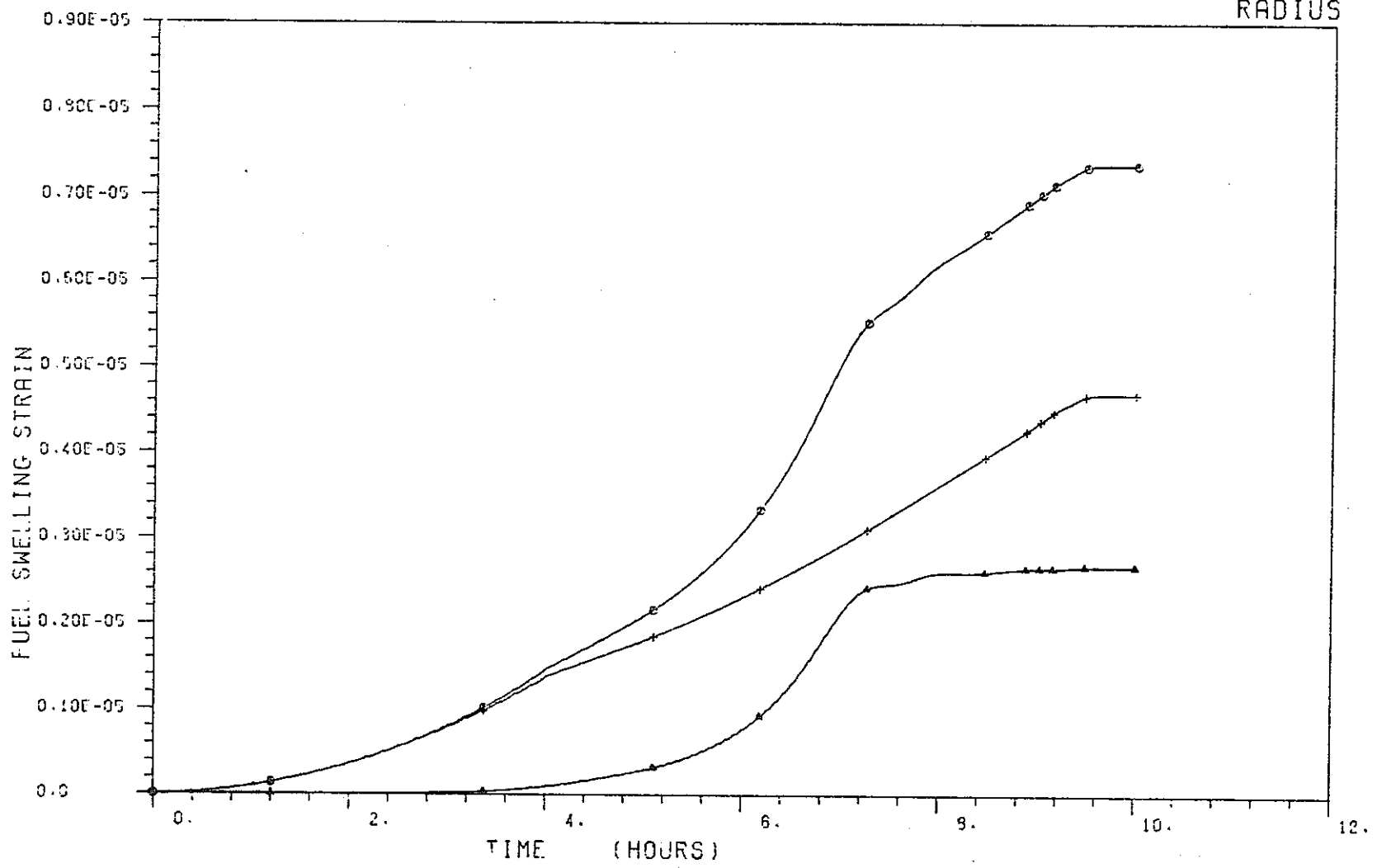


FIG. FUEL SWELLING STRAIN

—▲— SOLID FP
—+— FPGRS
—○— TOTAL

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

TIME
AXIAL 4 9.0 HR

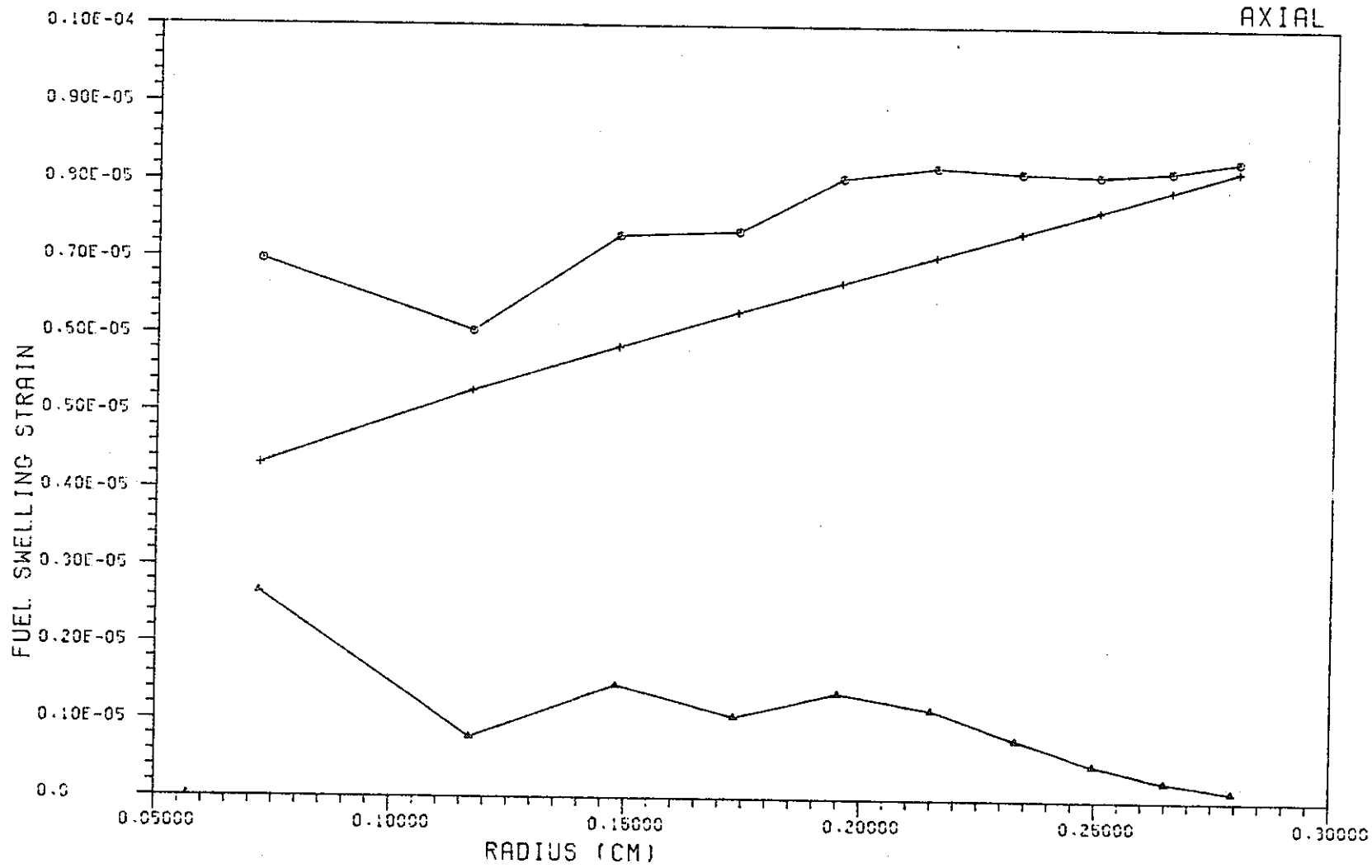


FIG. FUEL SWELLING STRAIN

—+— SOLID FP
—▲— FPGAS
—○— TOTAL

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

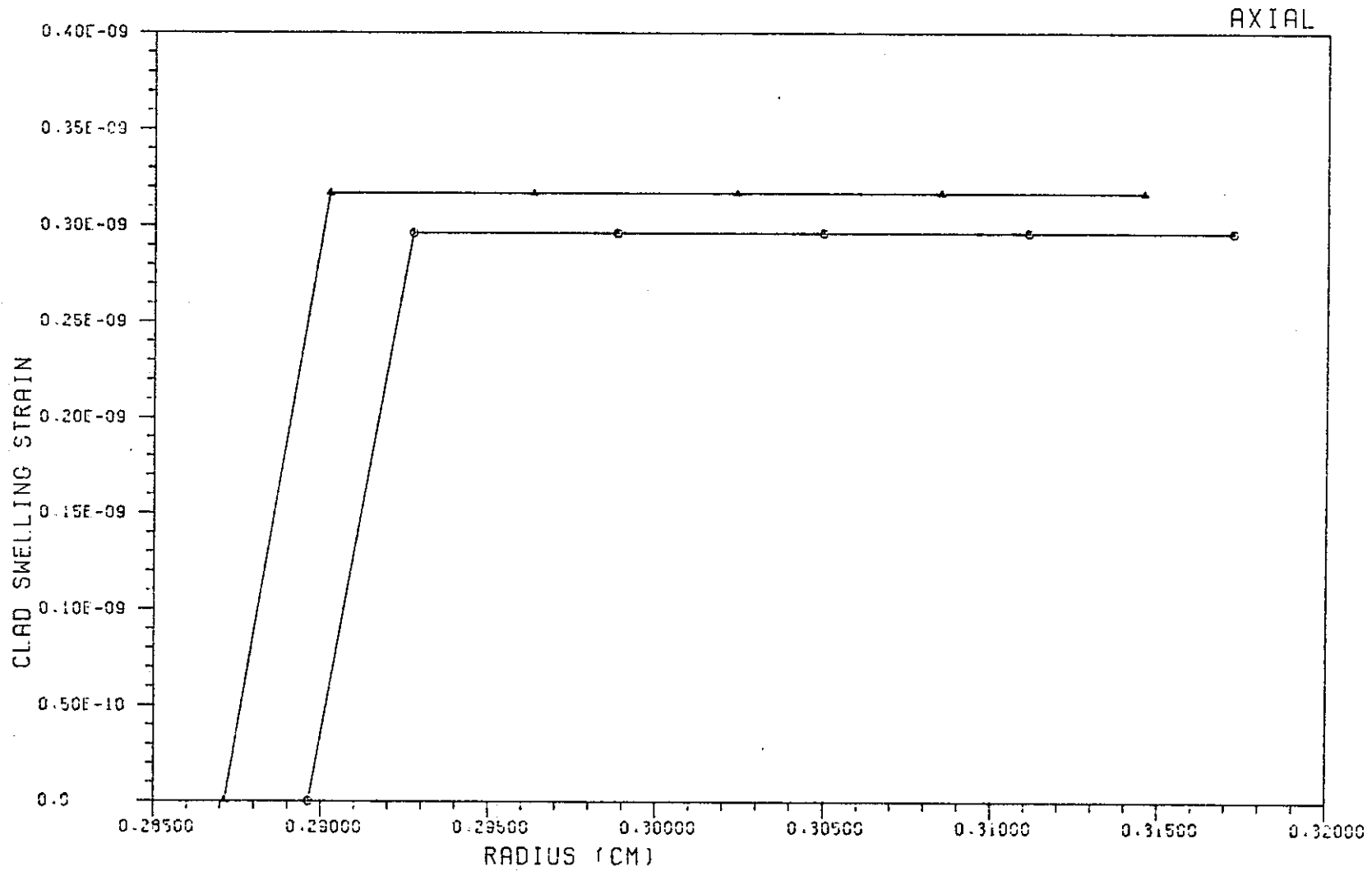


FIG. CLAD SWELLING STRAIN

10.0 H
9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL

4

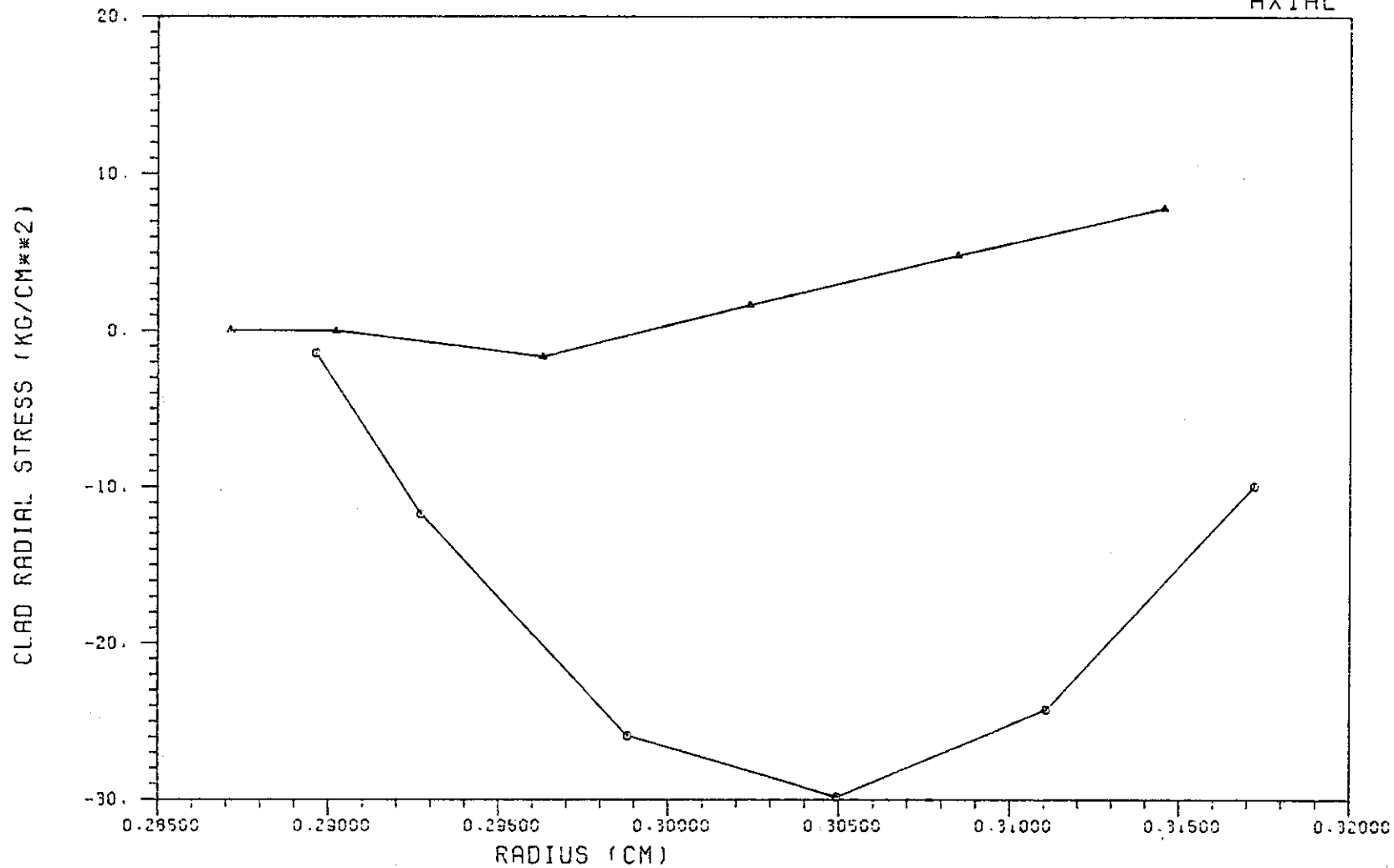


FIG. CLAD RADIAL STRESS

▲ 10.0 H
○ 9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

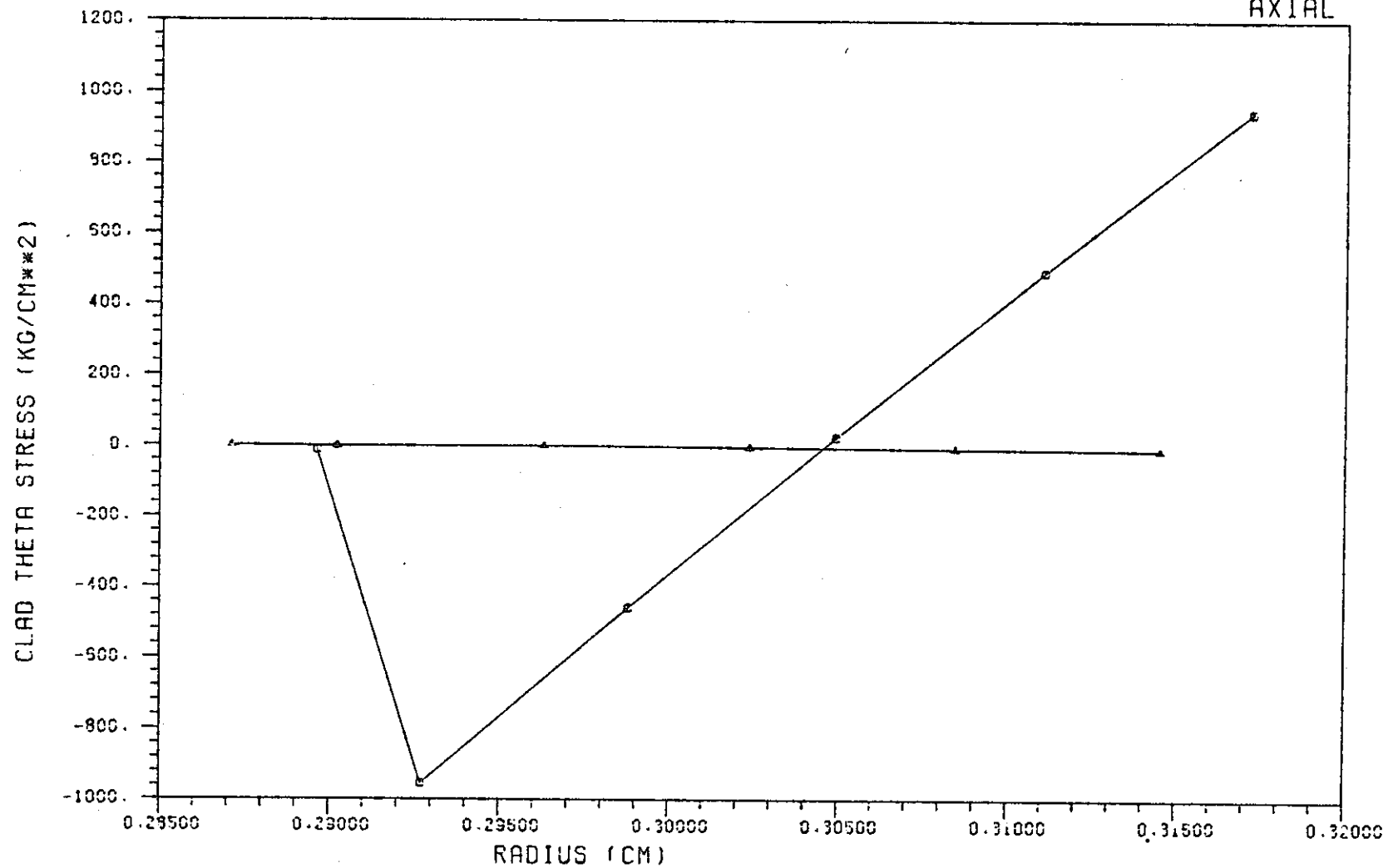


FIG. CLAD THETA STRESS

▲ 10.0 H
○ 9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

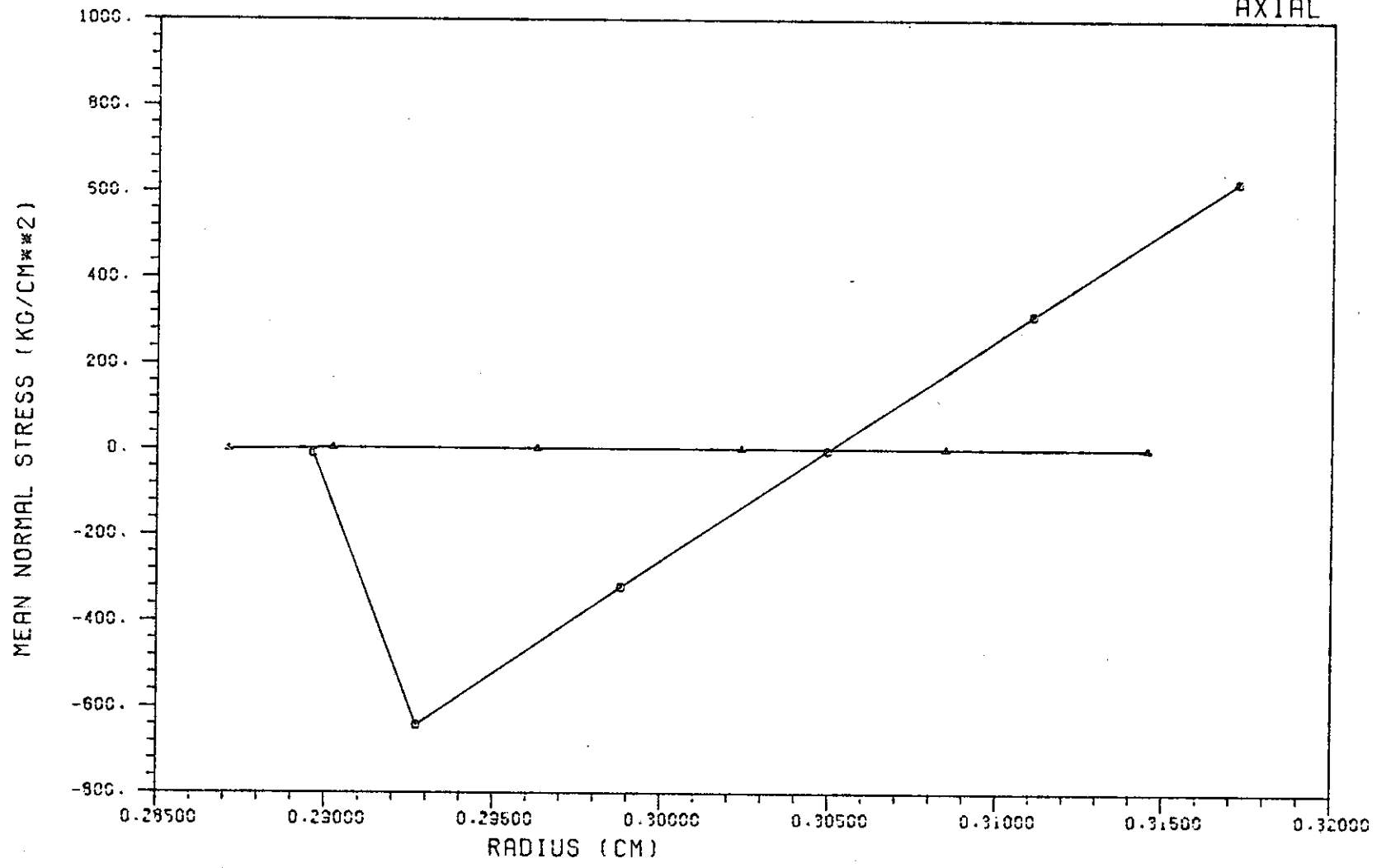


FIG. CLAD MEAN NORMAL STRESS

10.0 H
9.0 H

CEDAR10-PLOT (80/4/1) P19-03R

AXIAL 4

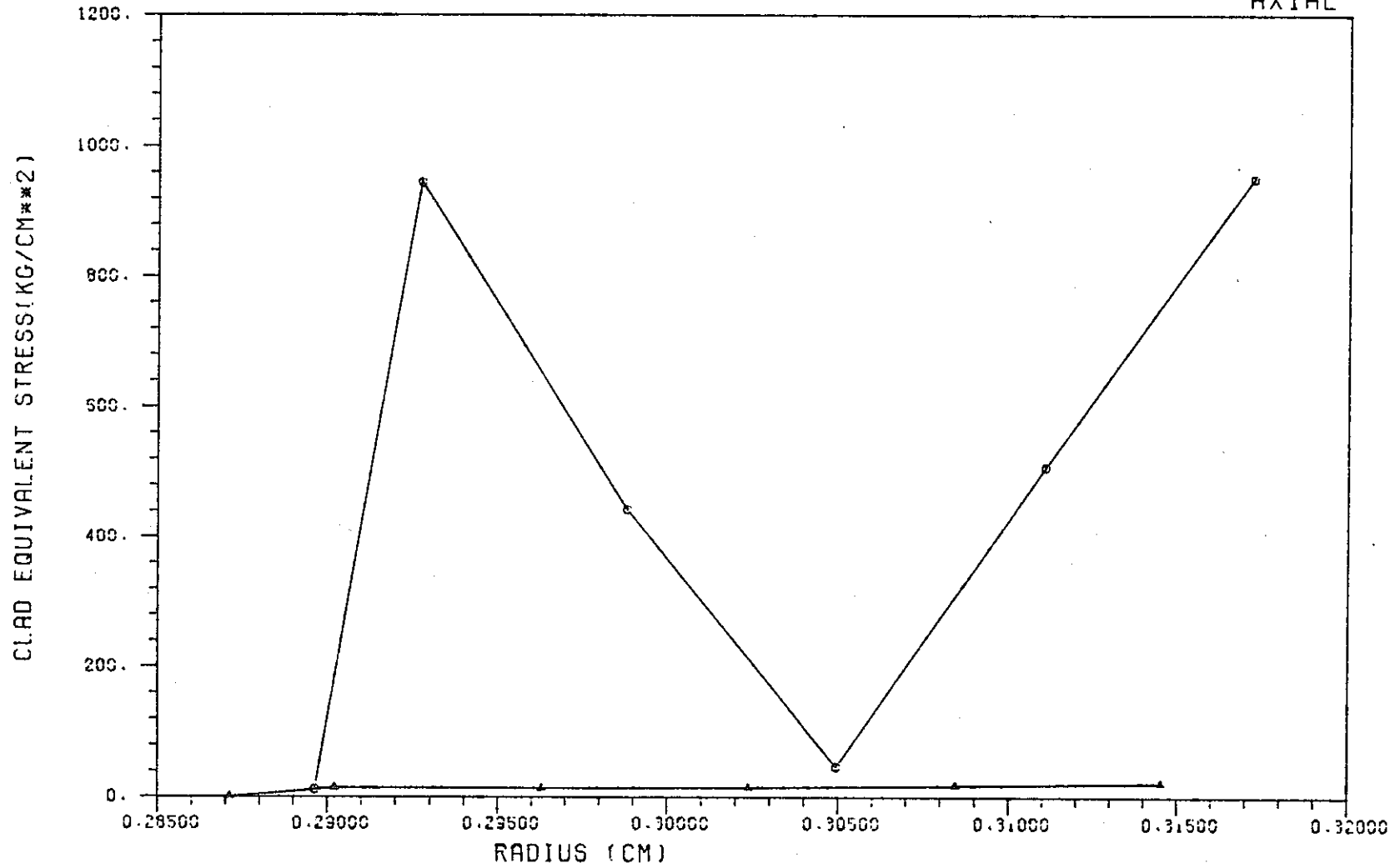


FIG. CLAD EQUIVALENT STRESS

—▲— 10.0 M
—○— 9.0 M

CEDAR10-PLOT (80/4/2) P19-03R

AXIAL RADIUS 4
1400.

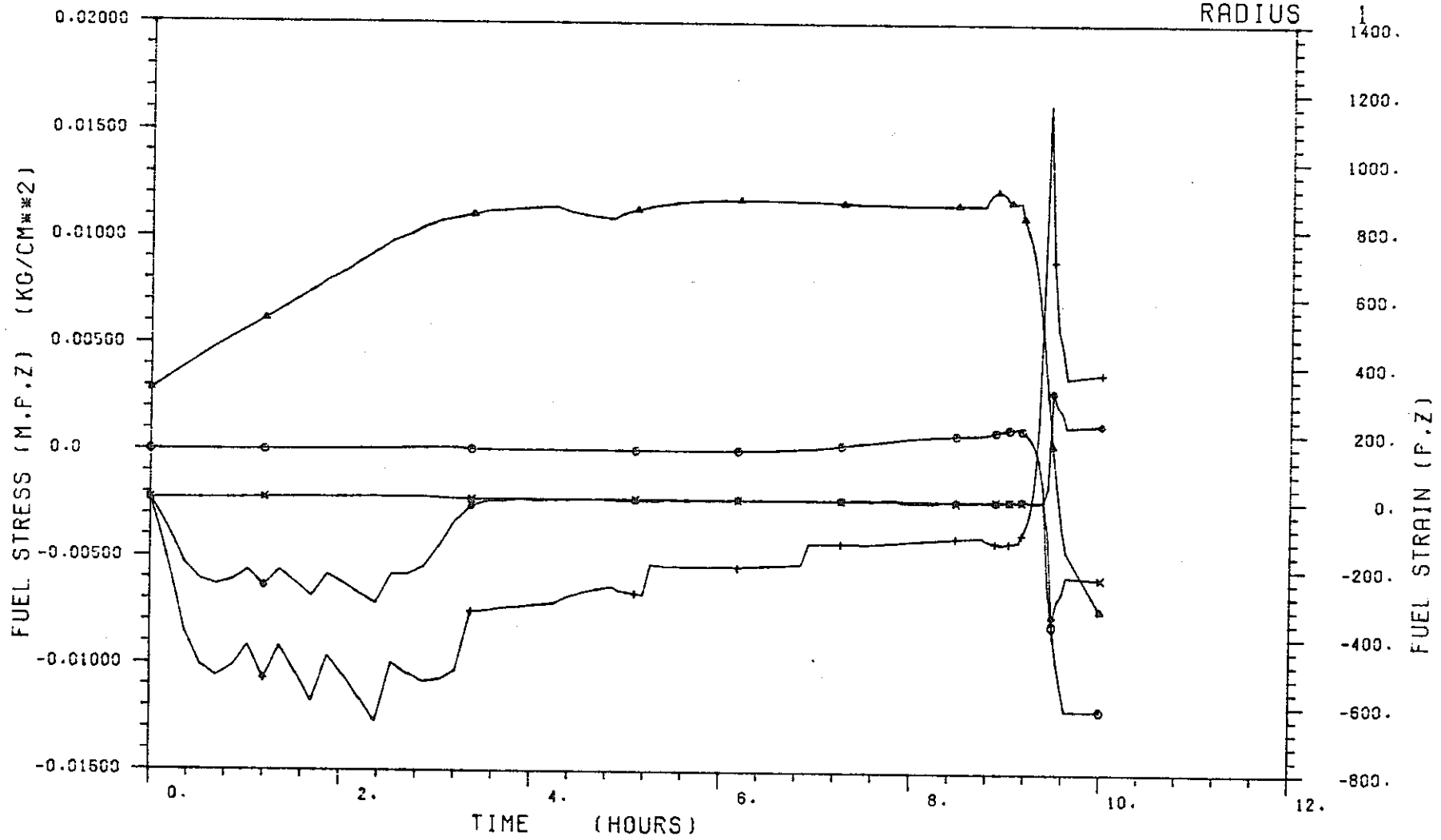


FIG. FUEL STRESS AND STRAIN

- ◆ STS-Z
- × STS-P
- + STS-H
- ▲ STN-Z
- STN-P

4. CEDAR-Iの問題点及び改良

54年10月に、CEDARコードのオリジナルバージョン(CEDAR-I)を、完成したが、この時点では、high power や high burnup のケースでの計算は不可能であった。また、Rapsodie や DFR のケースでも幾つかの問題点があった。

54年10月から55年3月の間に、これら問題点の幾つかを改良し、改良後のバージョンをCEDAR-IAとした。

以下に問題点を示すと伴に、改良経過について、その概要を報告する。

(問題点)

(1) 燃料温度が高い場合の計算

燃料が、かなり高温の場合、クリープ速度が大きくなり、燃料内の応力-歪計算が収束しなくなる。

high power のケースは、これに相当する。

(2) ギャップコンダクタンスが悪い場合の計算

燃焼度がかなり進行すると、被覆管のスエリングが大きくなり接触していた燃料-被覆管が Re-open する。このとき、ギャップコンダクタンスが600~700 Btu 程度となり、燃料表面温度が1000~1100℃程度となる。この様な場合、燃料の温度は、ギャップ中に非常に敏感となる。従って、熱膨張歪が、ギャップ反復計算において、かなりふらつき、ギャップ反復計算の収束が、うまく行かなくなる。このときは、燃料内の応力-歪計算の解も非常に不安定となる。

high burnup のケースは、これに相当する。

(3) 燃料ペレットの軸方向の異常な伸び

燃料-被覆管が、接触する直前に、燃料ペレットが軸方向に異常に伸び出し、それに伴って燃料外径が減少を起し、燃料-被覆管の接触が起こらなくなる。

(4) フリースエリングモデルの計算

FPガススエリングの速度を早くし、かつ、応力依存性をもたせると応力-歪計算において、平均応力が発散する。

(5) 上部ノード接触のときの燃料の軸方向伸び

燃料-被覆管のギャップが開であっても、上部ノードが、接触している時、ギャップ反復計算における収束条件は、反復計算前後でのギャップ巾が等しくかつ燃料

一被覆管の軸方向の伸びが等しいの2点である。

この2つの収束条件を、満足するように、ギャップ巾とまさつ力(実際は、まさつ力は働いていないが、軸方向力を修正するため仮想的に働かせている)の2つのパラメーターを境界条件として用いている。

この2つのパラメーターの決定が難かしく、ギャップ反復計算において特に、軸方向歪差は収束しない。

(6) 燃料-被覆管接触時の燃料の軸方向伸び

燃料-被覆管が接触している場合、ギャップ反復計算における収束条件は、ギャップ巾が零で、燃料と被覆管の軸方向伸びが等しいの2点である。

この2つの収束条件を、満足するように、接触圧と、まさつ力の2つのパラメーターを境界条件として用いている。

上記(5)と同様の問題が生じる。

(改良)

(1), (2), (3)の問題点の改良

- 応力-歪方程式を解く基盤となる燃料-被覆管の境界条件を正確に決める、即ち、ギャップ反復計算の収束をきつくすれば応力-歪方程式の解が安定し、不正な応力や歪の発生を防げると考え、収束条件を強めた。

ギャップ反復計算ループは、その内側にクリープのループ、応力-歪のループ(3.3, 3.4, 3.5参照)を有しているため、ギャップ反復計算の収束をきつくするためには、当然内側のループであるクリープ、応力-歪のループでも、その収束判定をきつくする必要があった。従って、各ループでの収束条件を、以下の様に改良した。

ループ	パラメーター	CEDAR-I	CEDAR-IA
応力-歪	σ	0.01	0.001
	S	ナシ	0.001
	S_z	ナシ	0.001
クリープ	S	0.01	0.01
	S_z	0.01	0.01
	e	0.01	5×10^{-4}
	ϵ_z	0.01	5×10^{-4}
ギャップ	ギャップ巾	$1.5 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$

$$S = \sigma_r - \sigma_\theta, \quad S_z = \sigma_z - \sigma, \quad e = \epsilon_r - \epsilon_\theta$$

- ギャップ中の加速方法として、Lagrange の補間法を用いることにより、より正確なギャップ巾を推定出来るようになった。
- 計算精度の関係上、倍精度を使用することにした。

(4)の問題点の改良

- CEDAR-I では、FPガススエリング歪の計算は、応力-歪のループで行っていた。
この場合、大きく変化するスエリング歪を用いて、応力-歪方程式を解くことになり、解かれた応力が、このスエリング歪に対応して、大きく振動を起し、このループでの収束がうまく行かなかった。
- FP ガススエリング歪の計算する応力として、前回タイムステップでの値を用いることにより解決した。
- フリースエリングモデルを導入した結果、燃料-被覆管の接触が早くなった。

(5)の問題点の改良

- ギャップが開である場合は、上部ノードが接触していたとしても非接触とみなして計算を進めることにより、漸定的に解決させた。
- この問題については、軸方向の相互作用をどう取り扱うかという根本的な問題とも関連するので、今後の検討課題とする。

(6)の問題点については、未解決である。

5. 残っている問題点

本分科会の54年度の作業において、CEDAR-IAバージョンを作成したわけであるが、ここでは、CEDAR-IAバージョンが有している問題点をかかげる。

これら問題点は、今後、本分科会の下部機関であるプログラム開発ワーキンググループにおいて、討議改良されなければならない。

残されている問題点は、モデル、物性値に関する問題点及び、応力-歪解法に関する問題点に分けることができるであろう。

55年度は、前者の問題点の改良を考えており、後者の改良については、56年度以降を予定している。

モデル・物性値に関する問題点

モデル・物性値に関する問題点としては、熱的挙動に関するものと機械的挙動に関するものとに分けることができる。

(熱的挙動に関するもの)

(1) リロケーション

(現 状)

燃料クラッキングによるリロケーションモデルを採用しており、リロケーションの motive force としては、クラッキング直前に燃料が持っている弾性エネルギー全部を考えている。

(モデル)

- リロケーションの motive force として、弾性エネルギー全部を考えることは妥当か。
- 現在のモデルでは、リロケーション量とペレット1個分の高さが、直線関係となっているが妥当か。
- リロケーションと被覆管の変形量とが、どのような相関関係となっているか。(PCMIの検討)
- 全体のバランスにおいて、リロケーション量を、フリースエリングやクリープとの兼ね合いにおいてどの程度とするか。
- 燃料のクラッキングモデルとの兼ね合いもあるが、クラッキングによる変位又は歪として、リロケーションだけを考えているが、塑性歪も加えるべきではないか。

塑性歪を加えるとすれば、リロケーションと塑性歪を、どの様に分配するか。

- high power (power to melt 実験) 及び low power (Joyo の照射実験) での両方の中心温度をフィットさせるようなリロケーションモデルとなっているか。
- 残留ギャップ巾測定の数値とどの程度フィットしているか。

(物性値)

- 燃料ペレット間の摩擦係数

(2) ギャップコンダクタンス

(現状)

ギャップコンダクタンスモデルとしては、Ross & Stoute モデルを用いている。

(モデル)

- hg, hr, hc のバランスをどうするか。
- ペレット内不純物ガスの放出をどう考えるか。
- 混合ガスの熱伝導度の評価をどうするか。
- roughness, hardness の燃焼に伴う変化をどう考えるか。これを、どのようにして、ギャップコンダクタンスにフィードバックさせるか。
- 接触時のギャップコンダクタンスの考え方が現状のモデルでよいか。
- re-open の時のギャップコンダクタンスが悪すぎる。
実際は、もっとよいのではないか。よいのだとすれば、どう改良するか。
- 腐食層の熱伝達率の評価は現状のモデルで妥当か。

現状のモデルでは、

$$\frac{1}{h_R} = \frac{\Delta r_I}{K_I} + \frac{\Delta r_M}{K_M}$$

$$K_I = K_C \times 0.9$$

$$K_M = K_C \times 0.1$$

K_C : 被覆管の熱伝導度

Δr_I : 粒界腐食層の厚さ

Δr_M : 全面腐食層の厚さ

- Ross & Stoute モデル以外の簡便モデルを1つ入れておいた方がよいのではないか。

(物性値)

- 腐食層の熱伝導度
現状では、被覆管の $\frac{1}{10}$ としている。
- ガスの熱伝導度

(3) 燃料の熱伝導度

(現 状)

燃料の熱伝導度は、密度の関数となっている。

(物性値)

- O/M, 密度, プルトニウム富化度, 燃焼度の関数として, 熱伝導度を評価すべきである。

(4) 柱状晶, 等軸晶領域の決定

(現 状)

柱状晶は, 密度がある値以上となった領域を, 等軸晶は, 結晶粒径が, 初期結晶粒径の 1.5 倍となった領域として決定している。

(モデル)

- ある過渡的な状態を考えた場合, 気孔率分布が, 燃料中心付近で高くなってもかまわないのではないか。
現状では, 気孔率は, 燃料中心にむかって単調に減少するようになっている。
- 結晶成長モデルとして Ainscough のモデルを用いているが, 妥当か。
- 気孔中の温度勾配を燃料内に比べどの程度とするか。
- 気孔移動, 結晶成長の結果を用い, どこに, 3 領域決定の基準を置くか。

(物性値)

- 気孔移動速度の評価
現在は, Chapman によって導出された式を使っている。
- 結晶成長速度の評価

(5) FP ガス放出

(現 状)

結晶粒界等を通しての放出(温度により放出割合を決定)の他に, 温度勾配下での FP ガスバブルの移動による中心空孔への放出を考えている。

(モデル)

- 全体の放出量が, PIE データと合致するか。

- 径方向残存量が、PIE データと合致するか。

(物性値)

- FP ガスバブルの移動速度の評価
- 放出割合の評価
- 核分裂当りの FP ガス生成量の評価

(6) 被覆管の腐食

(現 状)

FP による腐食と Na による腐食を考えており、前者は、ギャップコンダクタンス及び、応力の伝達媒体として考えており、後者は、単なる被覆管肉厚減少を考えている。

(物性値)

- FP による腐食速度を、O/M, 温度, 燃焼度の関数として評価する。
現状は、 $50 \mu / \text{year}$ としている。
- Na による腐食速度の評価
現状は、 $10 \mu / \text{year}$ としている。

(機械的挙動に関するもの)

(7) 燃料のクラッキング

(現 状)

温度が、遷移温度以下であって、引張り応力が、破壊応力を越えた場合クラックを発生させる。

このとき、 r , θ , z 方向の応力が全て引張りであって、かつ、破壊応力を越えていても、応力が最大である方向にのみクラックが発生する。

また、温度がヒーリング温度以上であって、圧縮応力が働く場合、クラックは、瞬時にヒーリングする。

(モデル)

- r - , θ - , z - 方向のどのクラックも入るように、モデルを修正すべきである。
現状では、 θ - 方向引張り応力が最大となるため、径方向にしかクラックは入らない。
- クラックが入った場合、LIFE 流に、塑性歪みを導入するかどうかの検討。

現状では、クラックが入っても塑性歪は加えず、ヤング率とポアソン比だけを修正している。

- 等価弾性定数をどう決めるか。

CEDAR-IA と LIFE では、考え方が異なっている。

- クラックヒーリングに、時間、温度、圧縮応力依存性をもたせてはどうか。
- クラックが入ったペレットに対する熱膨張をどう評価するか。即ち、クラックが入っていないペレットと同じとするか、もしくは、クラック部に対応する割合で減少させるか。

(物性値)

- 破壊応力の評価

(8) ヤング率

(物性値)

- 高温での値を、そのまま低温からの外そう値としても妥当か。

(9) フリースエリング (FP ガススエリング)

(現 状)

FP ガスバブル内は、理想気体とみなし、 $PV = nRT$ よりバブル内部のガス圧を計算する。そして、このガス圧と、バブルに働く表面張力及び平均垂直応力との相関で、バブルの成長又は収縮を計算することにより、スエリング歪を求めている。

(モデル)

- 現状のモデルが妥当か。
スエリングモデルの調査、検討が必要であろう。
- Dienst のフリースエリングのデータを用いてキャリブレーションを行っているが妥当か。
現状で入手できた、フリースエリングに関するデータは Dienst のもののみであった。
- 残存する FP ガスのうち、どの程度の割合が、FP ガススエリングに効くのか。
- FP ガスバブルへの応力集中はどの程度か。
- 今後の PIE データの収集。

(10) 固体FPによるスエリング

(現 状)

$\Delta V/V = 0.15 \sim 0.45 \% \text{ per } 10^{20} \text{ fissions/cm}^3$ なるスエリング率を与えており、燃料の中心から表面までを、0.15から0.45の間で分配している。

(モデル)

- 径方向のスエリング歪の分布が妥当か。
- 他のパラメーター（例えば結晶径粒等）との関係はどうなっているのか。

(物性値)

- スエリング率の評価

(11) 焼きしまり

(現 状)

燃焼度に対して1次の飽和曲線で評価している。

(モデル)

- Fast と Thermal Version での相異点は何か。
特に焼きしまりは Thermal Version で重要になってくるだろう。
- ホットプレッシング歪と焼きしまりによる歪とを、どのように区別して取り扱うか。（どちらか1つだけにしてはどうか。）
- 応力依存性、異方性の検討。
- 速度定数を、どの様にキャリブレーションするか。

(12) ホットプレッシング

(現 状)

気孔率、温度、平均垂直応力の関数として、ホットプレッシング歪を計算している。

(モデル)

- 現状のモデルは妥当か。
- キャリブレーションをどうするか。
- 焼きしまりとどう区別するか。

(13) 熱クリープ（燃料）

(物性値)

- 高温におけるクリープ速度の評価

(14) 照射クリープ(燃料)

(現 状)

応力及び核分裂速度に比例するとして、照射クリープ歪を評価している。

(モデル)

- 現状のモデルは妥当か。
- 照射クリープの考え方を検討評価する必要がある。

(物性値)

- 照射クリープ速度の評価。

(15) 被覆管のクリープ及びスエリング

(物性値)

- 材質によりデータを整理し、材質に合わせたデータを計算に使用すべきである。

(16) 被覆管のクリープ寿命

(現 状)

θ 方向応力及び温度の関数として、Life Fractionを求め、この Life Fraction の和により、クリープ寿命の評価を行っている。

(モデル)

- 熱クリープ速度と同じものを用いて評価すべきである。
(物性値の統一をはかる。)
- 照射効果をどのようにとり入れるか。
- ワイヤーと接触している部分の温度の評価をどうするか。
- 破損ピンの解析。

(そ の 他)

(17) プロッター

(現 状)

110種類のプロッターアウトプットが可能であるが、タイムステップ数が多い場合は、プロッター用のデータ収集整理に時間がかかりすぎる。

例えば、800ステップのケースでは、1枚の図を書くのに約3分要している。

プロッター用、データ収集、整理方法を改良し、プロッターのスピードアップをはかる必要がある。

応力-歪解法に関する問題点

応力-歪解法に関する問題点として、基本的な問題点と、技術的な問題点に分けることができる。

(基本的な問題点)

- (1) 応力-歪方程式を解く際に、燃料と被覆管を、別々に解くか、同時に解くか。
- 現状では別々に解いている。
 - 別々に解く場合
 - (長所) ○ 被覆管の応力-歪計算は燃料に比べ早く、別々に解く場合は、被覆管部は早く済む。
 - (短所) ○ 燃料-被覆管接触時に、燃料及び被覆管の軸方向伸びが等しいという収束判定をする必要がある。(この収束が、うまく行かない場合が多い。)
 - 同時に解く場合
 - (長所) ○ 軸方向伸びが等しいという判定をしなくて済む。
 - (短所) ○ 応力-歪計算上、燃料-被覆管のギャップ部の不連続を、どう取り扱うか。
- (2) 応力-歪方程式を解く基盤を、ホット状態での半径とするか、コールド状態での半径とするか。
- ホットの半径を用いる場合、応力は正しく評価する。コールドの半径を用いる場合、応力は $(1 + \epsilon^t)$ (ϵ^t ; 全歪み) 分だけ、大きく評価することになる。各歪成分 (ϵ^{th} , ϵ^B , ϵ^S , ϵ^C , ϵ^P) の displacement への寄与を考えた場合、ホットの半径を用いる場合は $(1 + \epsilon^{th})(1 + \epsilon^B)(1 + \epsilon^S)(1 + \epsilon^C)(1 + \epsilon^P)$ を考えることになり、コールドの半径を用いる場合は、 $1 + \epsilon^{th} + \epsilon^B + \epsilon^S + \epsilon^C + \epsilon^P$ を考えることになる。歪と displacement の相関を考えた場合、コールドの半径を用いた方が考えやすい。
 - ギャップ反復計算において、ホットの半径を用いることは、熱膨張歪及び応力-歪方程式を解く場の2つを変化させることになる。コールドの半径を用いることは、熱膨張歪だけを変化させることになる。
 - 両方の場合をテストランした。計算結果は、両方で異なるが、応力-歪の解は、コールドの半径を用いた方が安定していた。従って、CEDAR-IAでは、コールドの半径を用いている。

(3) 応力-歪計算用のメッシュ数と温度計算用のメッシュ数とを同じにする必要があるか。

- 現状では同じになっている。(10メッシュ)
- 応力-歪計算に10メッシュも必要か。
- 正確な応力と歪の値を得るためには、最低どの程度のメッシュ数が必要か。

(4) 軸方向での相互作用をどの様に考えるか。

- 現状では上部ノードが接触している場合、下部ノードは上部ノードから軸方向力を受ける。このため、上部ノードが接触していると下部ノードは軸方向力のため、容易に θ 方向にクリープし、ギャップは簡単に閉じる。
この現象は真実であるかどうか。
- 軸方向での相互作用は、考慮すべき問題であるが、初歩的には、軸方向ノードは、完全に独立に解くことから出発してはどうか。

(技術的な問題点)

技術的な問題点として、加速方法及び収束判定がある。

(1) 加速方法

- ギャップ中の推定としてギャップ開のとき、Lagrangeの補間法を用いている。
正確な値を推定するため使用することとした。
- 燃料-被覆管が接触のとき、まさつ力と接触圧の2つのパラメーターを推定する必要がある。
2変数の推定には、Lagrangeの補間法は用いることができない。
2変数の推定方法を検討する必要がある。
- ギャップ中の加速として(前回値) $\times 0.7$ + (今回値) $\times 0.3$ を使用しているが、加速係数の検討が必要である。
- クリープ歪の加速においては、加速係数として(1.7, -0.7)の組と、(0.7, 0.3)の組み合わせを使用しているが、検討の必要がある。

(2) 収束判定

- 「4. CEDAR-Iの問題点及び改良」のところで示した様な収束判定を行っている。
- 上記の他に、クリープのループで、最外ノードにおける $\bar{\epsilon}$, e 及び ϵ_z の収束の収束判定を、出力が定常状態にある時とっている。(収束判定 1×10^{-6})
- 計算精度と計算時間の兼ね合いで収束判定をどの程度にするかは、検討が必要である。

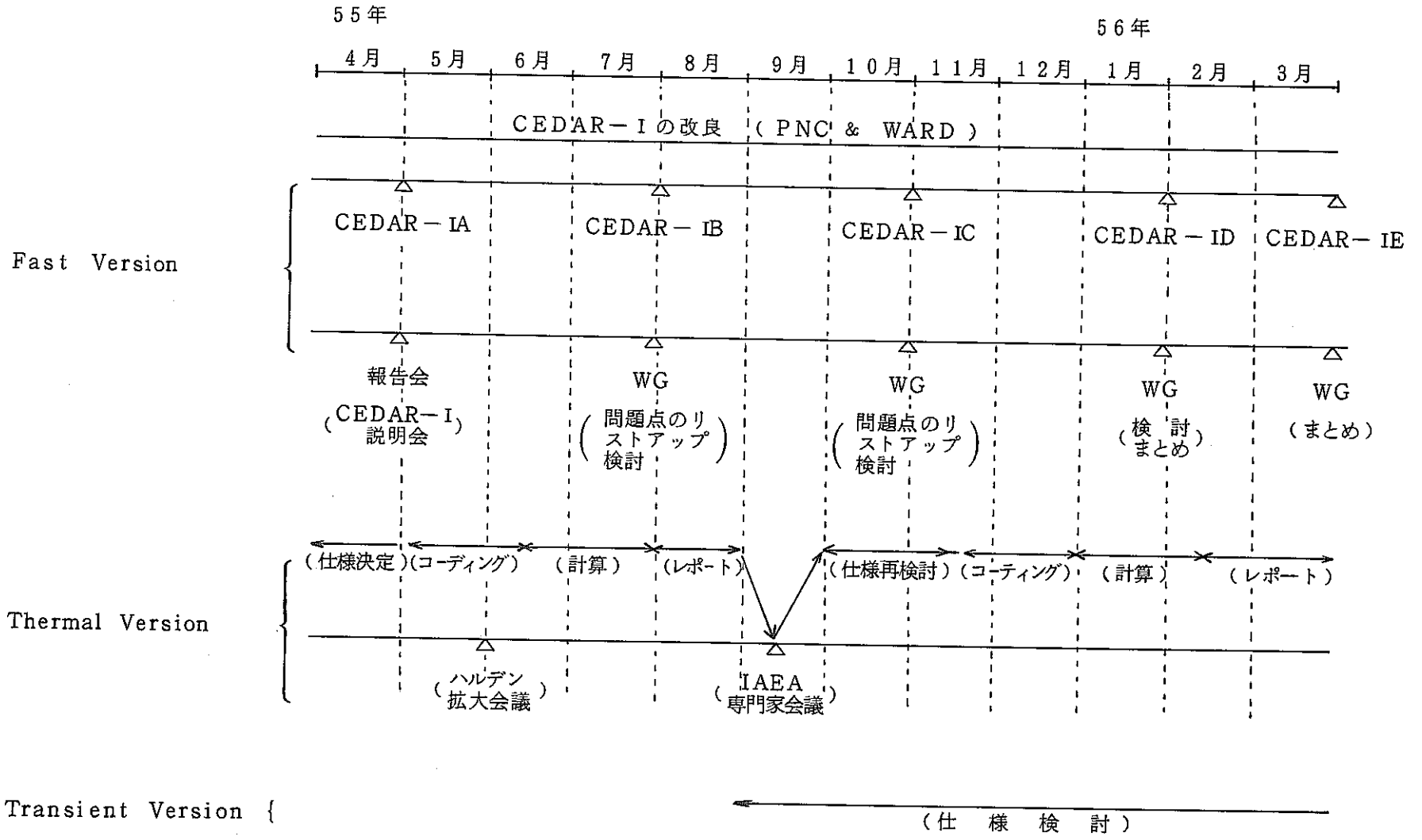
6. 今後の方針

新コードの First Version (CEDAR-I) の作成は、本年度の作業において完了した。

CEDAR-I は、図形処理用のプロッタールーチルを有しており、また全社的に使用してもらうためのマニュアルも整備した。

来年度以降の作業として以下のことが考えられる。

- (1) PNC-DOE コード開発における日本側のバックアップ
PNC 側の Version と DOE で使用する Version の統一をはかること。
また、DOE に派遣された者との連絡を密にとり、CEDAR コードの日本側での開発に DOE からの情報をフィードバックすること。
- (2) CEDAR コードの整備
コード内で使用している物性値及びモデルの評価、改良追加を行なう。
- (3) CEDAR コードのフィッティング
コード内で使用している物性値及びパラメーターを照射データとフィットするよう校正する。
- (4) サーマルバージョンの作成およびフィッティング
物性値の変更、モデルの修正追加により、サーマル用燃料ピンの挙動を計算可能とし、ATR 燃料に応用する。
- (5) トランジェント・バージョンの仕様検討
燃料のオペレーショナルトランジェント条件の計算を行なう上での問題点の適出、コード変更のための仕様検討を行なう。
同時に、応力歪解析における plastic ループの検討を行なう必要がある。
来年度の作業概要を、タイムテーブルとして次頁に示す。



7. 分科会議事録

ここでは、本分科会の下部機関であるプログラム開発ワーキンググループの活動状況を報告する。

また、本分科会の議事録を添付する。

プログラム開発ワーキンググループは、本年度は4回（4/19～20, 6/21, 9/13, 3/5）開催された。このワーキンググループでの討議内容の概要を示す。

○ 54年4月19～20日

各種モデル（例えばリロケーション、ギャップコンダクタンス等）の検討及びIAEA 専門家会議発表論文の検討。

○ 6月21日

新コード（CEDAR）仕様原案の説明及び、それに対する討議。

○ 9月13日

CEDAR-I 作成経過報告。

CEDAR-I の基礎となった MIPEC コードのテストランの結果報告及びそれらに対する討議。

SIMPLE コード * の検討。

○ 55年3月5日

CEDAR-I 作成，サンプル計算結果及び現状報告とそれに対する討議。

SIMPLE の現状報告と討議。 れらに

* SIMPLE コードは、fast running を目指したコードであり CEDAR コードの簡略版となるべき性格を有している。

照射データ解析分科会は、本年度は、第5回（9/9）第6回（12/14）の2回開催された。

この時の分科会議事録を以下に添付する。

出張 会議 打合議事録		配布先名					
		配布部数					
件名	第5回照射データ解析分科会						
日時	54年9月19日13:30-			場所	東海事務棟会議室		
出席者名	武藤主査, 北川(FBR, もんじゅ), 桂川(FBR, 燃料), 小堀(FBR, 安全性), 小松, 松丸(大洗 AGF), 篠原(大洗, AES)			作成者名	金子		
	大竹(大洗, 実験炉部), 三浦, 田中(東海, 検査課), 金子(東海, プル燃)			確認証			
項目	記事			処置			
<p>議題</p> <ol style="list-style-type: none"> 53年度作業報告 PNC/DOE のコード開発協力 MIPEC-RZ 改良作業報告 SIMPLE コード開発 今後の課題 <p>1について</p> <ul style="list-style-type: none"> 桂川より, 報告書内容について各部分の概略の説明あり。 武藤主査からのコメント 基本的なコード体系のフィロソフィーを本分科会で議論する必要があるだろう。 <p>2について</p> <ul style="list-style-type: none"> 桂川より, PNC/DOE コード開発についての概略の説明あり。 メイン・バージョンをどうするのか? 契約上, 詳細の意味をはっきりさせておく必要があるとのコメントあり。 				<p>桂川より現コード体系の概略説明あり。</p> <p>WARD 側は CDC-7600 PNC 側は FACOM-M-160 か M-190 を考えている。</p>			

項	記 事	処 置
	<p><u>3</u> について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 金子より、新コードの骨格となった MIPEC-RZ の改良作業についての報告あり。 <p><u>4</u> について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 桂川より事情説明あり。 ○ SIMPLE と新コード間の調整の必要性 ○ コードフィッティング用に PNC の照射データの整備を考えている。 <p><u>5</u> について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 桂川より説明あり。 	<p>事務局である程度、案を作って審議する。</p>

出張 会議 打合議事録		配布先名					
		配布部数					
件名	第6回照射データ解析分科会						
日時	54年12月14日 13:30-16:30			場所	本社第2会議室		
出席者名	武藤主査, 栗橋, 河田(FBR, もんじゅ), 桂川 (FBR, 燃料), 鹿倉(大洗, FMF), 宮川(大洗 実験炉部), 金子, 中江(東海, プル燃)			作成者名	中江		
				確認証	金子		
項目	記事			処置			
	<p>配布資料</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Minutes of PNC/W-ARD Meeting November 1-2, 1979 ○ CEDAR 作業報告 ○ 今後の作業に関するメモ <p>議題</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. W-ARD との打ち合せ報告 2. CEDAR 作業報告 <p>1について</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 金子から PNC/DOE 間のコード開発に関して PNC の技術者の受け入れ先である WARD との打 ち合せの結果が説明された。 ○ CDC-7600 を使用して WARD/PNC 間の 回線がつながることを確認した。(金子) ○ PNC 技術者の DOE 派遣は, 55年1月中であろ うとの補足説明あり。(桂川) <p>2について</p> <p>中江より, CEDAR 作業報告あり。 以下, 質疑事項を列記する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ FP ガス放出に関して FP ガスバルブの移動は燃焼度が進行すると遅れ くなる。 			<p>原典を調査し検討する。</p>			

項	記 事	処 置
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 残存 FP ガス量が high burn-up (~4at%) 程度から減少する傾向があるのは何故？ ○ FP gas swelling のキャリブレーションの方法をどう考えているか？ ○ Swelling モデルとして従来のものをオプションで入れた方がよいのではないか？ ○ 腐食層の性質はどのようなものか？ ○ 応力/歪解析のフローを Cladding でも書いてもらいたい。 (何故なら Cladding の Swelling が応力依存となっている可能性があるだろう。) ○ 熱膨張モデルの取り扱い方についてどうしているか？ (クラックボイドを熱膨張によりつぶしているか。) ○ 吸着ガスの量的評価はチェックしたか？ ○ Rap. PNC-2 Pin No. 4 の線出力は低すぎないか？ ○ ギャップコンダクタンスが接触圧に対して敏感すぎないか？ ○ 残存 FP gas 量と燃料組織変化とを対比させて検討してはどうか？ ○ 使用している物性値を全社的に統一したものとしてもらいたい。 	<p>燃料温度のためと考えられるが、その他の機構については PIE データの検討により考える。</p> <p>残存 FP gas 量を取り合えず PIE データと合わせるが、具体的な案はない。</p> <p>オプションで入れることとする。但し、次回アップテントのときに組み込むこととしたい。</p> <p>応力伝達媒体と考える。ゴムのようなものと想定している。</p> <p>54年度作業報告書の中、及び CEDAR マニュアル中に記入する。</p> <p>特に考慮していない。</p> <p>チェックしていないが、早急に検討したい。</p> <p>チェックしてみるが今回の試算には影響ないであろう。</p> <p>今後検討する。</p> <p>今後検討する。</p> <p>物性データ評価分科会との兼ね合いもあり今後検討する。</p>

項	記 事	処 置
	<ul style="list-style-type: none"> ○ モデルについてもモデル検討サブグループで検討したものを使用してもらいたい。 ○ プロッターについて ○ ハルデンのデータをキャリブレーション用に使うため CEDAR に ATR もしくは LWR 用のバージョンをもたせるべきだ。 ○ CEDAR 作業報告資料の Fig. 13 において cladding の stress が照射の進行と共に減少するのはどうしてか？ <p><u>その他</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CEDAR の Thermal Version の作成をどうするか？ ○ CEDAR の開発に対する来年度の予算について。 ○ PNC / DOE のコード開発に対する日本側のバックアップ体制について 	<p>今後、モデル検討サブグループの会合を頻繁に開き考慮する。</p> <p>55年3月の時点で、プロッター処理の実現を考えている。</p> <p>本分科会において、今後検討を進める。</p> <p>cladding 内の熱応力が緩和されたためであろう。</p> <p>事務局の方で原案を早急に考える。</p> <p>武藤主査が核燃、ATR に依頼する。</p>

8. ま と め

「照射データ解析分科会」（主査 武藤正 東海事務所副所長）は、「照射データ運用委員会」（委員長 鈴木進 核燃料部長）のもとに設置された分科会であり、データ・バンキング・システムにおいて、集積されたデータを燃料挙動解析コードに集約することを目的としている。

この分科会は、53年度より開始され、本年度（54年度）は動燃内で統一化された燃料挙動解析コード（CEDAR）の作成を行なった。CEDARコードは、54年10月にオリジナルバージョンが作られ、その後のアップデートにより、現在ではCEDAR-Iバージョンに達している。

本年度の作業の概要を以下に記す。

(1) 既存コードの比較検討

新コードの骨格を決めるため各種の挙動解析コードのフロー及び解析能力、全体としてのバランス等を考案した。

この結果、新コードの骨格をFBR本部が、日立に開発を依頼したMIPECコードと決定した。

(2) 新コードの仕様作成

MIPECは、燃料ピンの照射挙動を総合的に解析するためには、幾つかの解析モデルの追加、修正が必要であった。これらのモデルの検討と、その仕様書を作成した。

(3) 新コードのコーディング

コーディングは、(株)構造計画研究所に委託した。

コーディング完了時点で、CEDARコードのオリジナル・バージョンとした。

(4) CEDARコードのアップデート

応力一歪解析による数値解が、非常に不安定であったため、この点について精力的にアップデートを行ないCEDAR-IAバージョンとした。

(5) CDC-7600へのコンバージョン

新コード開発の今後の計画に極めて重大な関係を持つ合意が、米国DOEと動燃の間に成立した。

これは、FBR燃料挙動解析コードの日本における開発を飛躍させるため、55年春より、2年間に渡り動燃よりDOEに技術者を派遣し、DOEの照射データの提供と、

CEDAR コードのモデル改良に関する DOE 側、LIFE-III コードのモデル呈示を受け、LIFE-III との比較計算を行なうという内容のものである。

このため、CEDAR コードを WARD で使用しているマシン CDC-7600 へのコンバージョンを行う必要があり、CEDAR コードのオーバーレイにより、コンバージョンを行なった。

(6) CEDAR コードのマニュアル及びプロッターの整備

CEDAR を全社的に使用してもらうため、マニュアルを作成した。

また、図形処理用のプロッタールーチンも作成した。

本作業は、プル燃開発課が中心となり行なった。今後の課題は、CEDAR の普及、アップデート、及び PNC-DOE のコード開発を効果的に行なうための動燃側のバックアップ体制を強化することである。

謝 辞

本作業を進めるにあたり、東海事業所、計算機センター 青木 実氏（東海事業所所付）に、多大な御支援を得たことを感謝します。