

ハルデン負荷追従試験解析のための FEMAXI-ATRコードの改良・整備

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

1999年3月

株式会社CRC総合研究所

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下さい。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33
核燃料サイクル開発機構 東海事業所
運営管理部 技術情報室

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1999

JNC TJ8440 99-003
1999年3月

ハルデン負荷追従試験解析のための FEMAXI-ATR コードの改良・整備

斎藤 裕明*,入谷 佳一*,角田 達彦*

要 旨

負荷追従運転時の燃料棒照射挙動を評価するため、設計コード（許認可コード）の改良・整備を実施する。本設計コード「FEMAXI-ATR」は、核燃料サイクル開発機構（旧 動力炉・核燃料開発事業団）が、日本原子力研究所によって開発された水炉用 UO_2 燃料挙動解析コード「FEMAXI」をベースに、MOX 燃料も取り扱えるよう開発したものであり、コードの基本構造は公開コード「FEMAXI」とほぼ同様である。今回の改良・整備にあたっては、負荷追従試験データを用い、負荷追従運転時の出力変化による燃料棒内圧及び燃料棒伸びの挙動を模擬できるように解析モデルの改良を実施した。

また、「FEMAXI-ATR」コードを用い、負荷追従運転時における燃料棒照射挙動の詳細について評価・検討を実施した。

本報告書は、株式会社 CRC 総合研究所が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

契約番号：10C0026

機構担当部および担当者：プルトニウム燃料センター

　　製造加工部 技術開発室 菊池 圭一

*：株式会社 CRC 総合研究所 エネルギー技術部

ハルデン負荷追従試験解析のための FEMAXI-ATRコードの改良・整備 成果報告書

目 次

1. 目的	1
2. FEMAXI-ATRコードのリスタート機能の修正	2
2.1 FEMAXI-ATRコードにリスタート機能の追加	2
2.2 ペレットスウェリングモデルとホットプレスモデル	2
3. 負荷追従運転時解析モデルの修正	23
3.1 FEMAXI-ATRコードの機能追加	23
3.2 負荷追従運転燃料挙動解析用入出力ファイルの作成	24
3.2.1 FEMAXI-ATRコード用履歴データの作成	24
3.2.2 FEMAXI-ATRコード検証用出力ファイルの作成	25
4. 負荷追従運転時燃料棒挙動評価	28
4.1 FEMAXI-ATRコードの調整	28
APPENDIX-A FEMAXI-ATR入力マニュアル	145
参考文献	156

1. 目 的

負荷追従運転時の燃料棒照射挙動を評価するため、設計コード（許認可コード）の改良・整備を実施する。本設計コード「FEMAXI-ATR」は、核燃料サイクル開発機構（旧 動力炉・核燃料開発事業団）が、日本原子力研究所によって開発された水炉用 UO₂燃料挙動解析コード「FEMAXI」をベースに、MOX 燃料も取り扱えるよう開発したものであり、コードの基本構造は公開コード「FEMAXI」とほぼ同様である。今回の改良・整備にあたっては、負荷追従試験データを用い、負荷追従運転時の出力変化による燃料棒内圧及び燃料棒伸びの挙動を模擬できるように解析モデルの改良を実施する。

また、「FEMAXI-ATR」コードを用い、負荷追従運転時における燃料棒照射挙動の詳細について評価・検討を実施する。

2. FEMAXI - ATR コードのリストア機能の修正

負荷追従運転時解析を行うにあたっては、照射履歴の入力点数が膨大（約 15 万点）となるため、現在の本コードの最大の照射履歴の入力点数である 300 点では対応不可能である。そこで、本コードのオプション機能であるリストア機能を使用して解析を行うこととし、照射履歴の入力点数が約 15 万点となる負荷追従運転時解析に対応できるようリストア機能の修正を実施する。

また、照射履歴の入力点数が膨大であるため、照射履歴の作成に当っては、履歴点を間引きするプログラムを用いるが、適当な間引きが行われるように、プログラムの見直しを行う。

また、現在 FEMAXI - ATR コードは大型計算機により動作しているが、本解析は解析ケースが膨大となることが予想されるため、ワークステーション上で動作するようコードの整備を合わせて実施する。

2.1 FEMAXI-ATR コードにリストア機能の追加

FEMAXI-ATR コードにリストア機能を追加する。リストア機能の追加にあたっては、変数名を明らかにすることが機能追加するうえで都合が良いので、従来、ID、D の大領域を分割して変数に割り振っていた変数群をラベル付コモン変数に置き換える。これらの変数については、4 つのラベル付コモン（ARRAY1、ARRAY2、ARRAY3、ARRAY4）に割り振った。表 2.1 にこれらの変数の対応表について示す。また、従来コモン変数にはしていなかったが、リストア計算で保存する必要のある変数については、ラベル付コモン変数とし、新たにラベル付コモン ARRAY5 を追加した。

リストア計算で保存した変数名とその内容一覧を表 2.2 に示す。

2.2 リスタート計算の実行方法

FEMAXI-ATR コードの照射履歴の最大入力点数を、300 点から 1000 点に増加させたが、今回のハルデン燃料による負荷追従運転の解析では、約 5000 点の入力履歴点が必要であるため、リストア計算を行うこととなる。そこで、リストア計算の実行方法について説明する。

リストア計算は、INTST、IREST、NHST0 の 3 変数を用いてコントロールする。

図 2.1 に通常計算用の FEMAXI-ATR コードの入力データを示す。このデータをリストア計算用に変更する方法について示す。リストア計算用の入力データ作成方法としては、NHST0 を用いて、2 つの方法が用意されている。NHST0=0 を指定した場合のリストア用入力データについて図 2.2 に示す。この場合には、通常計算用の FEMAXI-ATR コードの入力データがあれば、簡単

に変更できる。

まず図 2.2(1)に示すとおり、リスタート用の出力ファイル(ユニット 11 に作成される。)を作成する場合には、リスタート用の出力ファイルを作成する履歴点での IP(カラム 66~70 で指定)を、10 又は 11 又は 12 とする。すなわち、通常の IP に 10 をたした値を入力する。図 2.2(1)の例では 12 番目の履歴点での IP が 11 に指定されている。すなわち、この点でリスタート用の出力ファイルが作成される。リスタート用の出力ファイルを作成するか否かを指定するのが INTST であり、作成する場合には INTST=1 とする。作成しない場合は INTST=0 である。

なお、図 2.2(1)の入力例は履歴点番号 12までの計算後、リスタート用の出力ファイルを作成して計算は終了し、その後の履歴点入力情報は無視される。次に、リスタート計算用の入力例を図 2.2(2)に示す。図 2.2(2)では、図 2.2(1)で入力作成したリスタート用の出力ファイルを読み込んで(ユニット 12 より読み込まれる。)、13 番目の履歴点から 26 番目までの履歴点について計算を実行し、26 番目の履歴点での結果が、リスタート用の出力ファイルとしてユニット 11 に出力される。このリスタート用の出力ファイルの読み込み指定が IREST で、IREST=1 とするとリスタートファイルから読み込まれる。(IREST=0 とすると通常計算であるから、計算は最初から実行され、26 番目の履歴点でリスタート用の出力ファイルが作成される。) 26 番目の履歴点とは、IP=11 で指定した履歴点である。この続きの計算の入力データを図 2.2(3)に示す。図 2.2(3)の入力データは、図 2.2(2)で示した入力データで作成されたリスタート用の出力ファイルを読み込んで、27 番目の履歴点から、最後の履歴点までの計算を実行する。すなわち、図 2.1 の入力データを用いて計算した場合と同じ計算が、図 2.2 の 3 組の入力データを用いて行うことができる。

次に、NHST0=1(NHST0>0 の値を指定すればよい)を指定した場合についてのリスタート用入力データの作成方法について説明する。図 2.3(1)の入力データで、12 番目の履歴点でリスタート用の出力ファイルが作成される。(INTST=1 が指定されている。) すなわち、図 2.2(1)と図 2.3(1)は、まったく同じ働きをする入力データでどちらを用いても結果は同じである。図 2.3(2)に図 2.2(2)と対応する入力データを示す。図 2.3(2)では、NHST0=1 が指定されている。この場合の入力データは、この計算の解析区間だけの履歴データを指定する。計算結果は、図 2.2(2)を用いた場合も図 2.3(2)を用いた場合もまったく同じである。同様に図 2.2(3)に対応して、NHST0=1 を指定した場合の入力データを図 2.3(3)に示す。すなわち、リスタート用の出力ファイル以降の入力データを指定するだけで同じ計算ができる。しかし、図 2.2 の入力データの組を用いた場合と図 2.3 の入力データの組を用いた場合では大きな差がある。図 2.2 の入力データを用いた場合には、全履歴点(入力例では 42 点)は 1000 点以下でなければならない。しかし、最終の出力結果では、図 2.1 と同じ履

歴サマリー出力を得ることができる。(すなわち、全履歴点でのサマリー出力が得られる。) 図 2.3 の入力データを用いた場合には、各履歴点データ組が独立しているので、毎回指定した履歴点数が 1000 点以下であればよい。すなわち、どんなに長い履歴点データであっても、1000 点以下の履歴点に分割すれば解析することが可能である。しかし、履歴点サマリー出力は、出力領域の最大値が 1000 点であるため、解析区間の出力結果しか得られない。

また、履歴点データを用いて、パソコン等でプロッター図を作成する場合、図 2.2 の入力データを用いた場合には、図 2.2(3)の入力データで INTST=1 を指定して出力ファイルを作成しておけば、ユニット 11 に全履歴点の主な出力結果の情報が出力されるので、1 つのファイルでこと足りるが、図 2.3 の入力データを用いた場合には、全リスト用の出力ファイルを取っておかないと、全履歴点の出力結果情報は得ることができない。

なお、今回解析に用いた比較的詳細な出力履歴の計算では、履歴点数が数千点になるため、図 2.3 の方法を用いる必要がある。

表 2.1(1/3) ブランクコモン変数をラベル付コモン変数に変換した変数一覧

変数名	コモン名	元の変数名	元の変数の領域数
PDIN(12)	ARRAY1	D(LPDI)	PDIN(NAX)
PDIA(12)	ARRAY1	D(LPDO)	PDIA(NAX)
PLENG(12)	ARRAY1	D(LPLE)	PLENG(NAX)
DZ(12)	ARRAY1	D(LDZ)	DZ(NAX)
FDENI(12)	ARRAY1	D(LFDI)	FDENI(NAX)
ENR(12)	ARRAY1	D(LENR)	ENR(NAX)
FDEN(12)	ARRAY1	D(LFDN)	FDEN(NAX)
IDISH(12)	ARRAY1	ID(LDIH)	IDISH(NAX)
ICHAM(12)	ARRAY1	ID(LICH)	ICHAM(NAX)
BU1(12)	ARRAY2	D(LBU1)	BU1(NAX)
BU2(12)	ARRAY2	D(LBU2)	BU2(NAX)
GAP(12)	ARRAY2	D(LGAP)	GAP(NAX)
TP1(11, 12)	ARRAY2	D(LTP1)	TP1(11, NAX)
TP2(11, 12)	ARRAY2	D(LTP2)	TP2(11, NAX)
TC1(4, 12)	ARRAY2	D(LTC1)	TC1(4, NAX)
TC2(4, 12)	ARRAY2	D(LTC2)	TC2(4, NAX)
PGAS1(10, 12)	ARRAY2	D(LPG1)	PGAS1(10, NAX)
PGAS2(10, 12)	ARRAY2	D(LPG2)	PGAS2(10, NAX)
RGAS1(10, 12)	ARRAY2	D(LRG1)	RGAS1(10, NAX)
RGAS2(10, 12)	ARRAY2	D(LRG2)	RGAS2(10, NAX)
GAPI(12)	ARRAY2	D(LGPI)	GAPI(NAX)
CSFRX(12)	ARRAY2	D(LCSX)	CSFRX(NAX)
CF(12)	ARRAY2	D(LCF)	CF(NAX)
VGAP(12)	ARRAY2	D(LVGP)	VGAP(NAX)
VHOL(12)	ARRAY2	D(LVHL)	VHOL(NAX)
VFORM(12)	ARRAY2	D(LVFM)	VFORM(NAX)
SUMV(13)	ARRAY2	D(LSUV)	SUMV(NAX+1)
SUMUSO(12)	ARRAY2	D(LSUO)	SUMUSO(NAX)
PTJ(12)	ARRAY2	D(LPTJ)	PTJ(NAX)

表 2.1(2/3) ブランクコモン変数をラベル付コモン変数に変換した変数一覧

変数名	コモン名	元の変数名	元の変数の領域数
PFACX(12)	ARRAY2	D(LPFC)	PFACX (NAX)
GCS(12)	ARRAY2	D(LGCS)	GCS (NAX)
GCG(12)	ARRAY2	D(LGCG)	GCG (NAX)
GCR(12)	ARRAY2	D(LGCR)	GCR (NAX)
GCD(12)	ARRAY2	D(LGCD)	GCD (NAX)
CSFRO(12)	ARRAY2	D(LCSO)	CSFRO (NAX)
CCRP(12)	ARRAY2	D(LCCR)	CCRP (NAX)
SUTHEX(12)	ARRAY2	D(LSUT)	SUTHEX (NAX)
SUSWEL(12)	ARRAY2	D(LSUS)	SUSWEL (NAX)
SUDEN(12)	ARRAY2	D(LSUD)	SUDEN (NAX)
SUREL(12)	ARRAY2	D(LSUR)	SUREL (NAX)
SUMUSW(12)	ARRAY2	D(LSUW)	SUMUSW (NAX)
PPP1(10, 12)	ARRAY2	D(LPP1)	PPP1 (10, NAX)
PPP2(10, 12)	ARRAY2	D(LPP2)	PPP2(10, NAX)
SPGAS(10, 12)	ARRAY2	D(LSPG)	SPGAS (10, NAX)
G2(12)	ARRAY2	D(LG2)	G2(NAX)
DG2(12)	ARRAY2	D(LDG2)	DG2(NAX)
F2(12)	ARRAY2	D(LF2)	F2(NAX)
DF2(12)	ARRAY2	D(LDF2)	DF2(NAX)
RLSPR(12)	ARRAY2	D(LRLS)	RLSPR(NAX)
SUMRP(12)	ARRAY2	D(LSMP)	SUMRP(NAX)
SUMRR(12)	ARRAY2	D(LSMR)	SUMRR(NAX)
XIODE(12)	ARRAY2	D(LXID)	XIODE(NAX)
GASGEN(NG2)	ARRAY2	D(LGAS)	GASGEN(NGR2)
REL RAT(NG2)	ARRAY2	D(LREL)	REL RAT(NGR2)
ISTFP(10, 12)	ARRAY2	ID(LIST)	ISTFP(10, NAX)
ISTN(20, NG3)	ARRAY2	ID(LSTN)	ISTN(20, NGR3)
ISTF(NG1, 10, 12)	ARRAY2	ID(LSTF)	ISTF(NGR1, 10, NAX)

NG1 = 20

NG2 = 30000

NG3 = 2000

表 2.1(3/3) ブランクコモン変数をラベル付コモン変数に変換した変数一覧

変数名	コモン名	元の変数名	元の変数の領域数
POWHIS(5, NHST)	ARRAY3	D(LPHS)	POWHIS(5, NHIST)
BUNP(NHST)	ARRAY3	D(LBUN)	BUNP(NHIST)
RELHT(12, NHST)	ARRAY3	D(LRLT)	RELHT(NAX, NHIST)
XY(ND2)	ARRAY3	D(LXY)	XY(NOD2)
TU(ND2)	ARRAY3	D(LTU)	TU(NOD2)
DU(ND2)	ARRAY3	D(LDU)	DU(NOD2)
TF(ND2)	ARRAY3	D(LTF)	TF(NMAX)
YIEP(4, NEM)	ARRAY3	D(LIEP)	YIEP(NGUS, NELM)
ZLOCA(NGX, 4, NHST)	ARRAY3	D(LZLO)	ZLOCA(NGX, NGUS, NELM)
TFM(NMKD)	ARRAY3	D(LTFM)	TFM(NMK)
TSM(MAXD)	ARRAY3	D(LTSM)	TSM(MAX)
RSM(NCRD)	ARRAY3	D(LRSM)	RSM(NCR)
CSM(NCRD)	ARRAY3	D(LCSM)	CSM(NCR)
IPSTG(NHST)	ARRAY3	ID(LIPS)	IPSTG(NHIST)
ISHAF(NHST)	ARRAY3	ID(LISF)	ISHAF(NHIST)
ITPB(NHST)	ARRAY3	ID(LTPB)	ITPB(NHIST)
MCNTB(NPON, NEM)	ARRAY3	ID(LMCN)	MCNTB(NPON, NELM)
NFIX(ND2)	ARRAY3	ID(LNFX)	NFIX(NOD2)
NPROF(ND2)	ARRAY3	ID(LNPR)	NPROF(NMAX)
KCM(3, 4, NEM)	ARRAY3	ID(LKCM)	KCM(3, NGUS, NELM)
IEP(2, 4, NEM)	ARRAY3	ID(LEP)	IEP(2, NGUS, NELM)
IEPJ(2, 4, NEM)	ARRAY3	ID(LEPJ)	IEPJ(2, NGUS, NELM)
IRV(4, NEM)	ARRAY3	ID(LIRV)	IRV(NGUS, NELM)
NCYCL(NMYD)	ARRAY3	ID(LNCY)	NCYCL(NMY)
NCPRF(NMKD)	ARRAY3	ID(LNCP)	NCPRF(NMK)
RELHR(12)	ARRAY4	D(LRLR)	RELHR(NAX)
WR(39, NHST)	ARRAY4	D(LWR)	WR(39, NHIST)
WRT(12, 15, NHST)	ARRAY4	D(LWRT)	WRT(NAX, 15, NHIST)
IWR(NHST)	ARRAY4	ID(LIWR)	IWR(NHIST)

NHST = 1000 ND2 = 300 NEM = 30 NGX = 106 NMKD = 10

MAXD = 5000 NCRD = 500 NPON = 9 NMYD = 22

表 2.2(1/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
TIME	TIMSTP	時間 (hr)
PLHR		線出力 (W/cm)
FAI		高速中性子束 (n/cm ² -sec)
FIS		核分裂密度 (fiss/cm ³ -sec)
FAIT		高速中性子フルエンス (n/cm ²)
DV		履歴データの補間パラメータ
BUNEW		燃焼度 (更新後) (GJ/KgU)
BUOLD		燃焼度 (更新前) (GJ/KgU)
DTM		次ステップの時間増分幅 (クリープによる) (hr)
NST		現ステップのタイムステップ番号
NHS		現ステップの履歴点番号
GASPR	PROPS	ガス圧力 (Pa)
GPIN		初期ガス圧力 (Pa)
PCOOL		冷却材圧力 (Pa)
TEMP1(16)		前ステップの温度 (着目セグメント) (K)
TEMP2(16)		現ステップの温度 (着目セグメント) (K)
TCOOL		冷却材温度 (K)
EPSRLI		初期リロケーション
EPSRL		初期リロケーションひずみ
EPSSWS		固体スエリングひずみ
EPSSWU		気泡スエリングひずみ
EPSGRS		リロケーションひずみの最小値
PCON		接触圧力 (Pa)
EPSO1(4,16)		タイムステップ前の初期ひずみ
EPSO2(4,16)		タイムステップ後の初期ひずみ
EPSTH(16)		径、周方向熱ひずみ
EPSTA(16)		軸方向熱ひずみ
EPSDEN		やきしまりひずみ
EPSSWL		スエリングひずみ
SMAX(10)		タイムステップ後のスエリングひずみ
USMAX(10)		タイムステップ前のスエリングひずみ
SWMAX(10)		タイムステップ後の気泡スエリングひずみ
SWMAXI(10)		タイムステップ前の気泡スエリングひずみ

表 2.2(2/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
GR	PROPS	ペレット結晶粒径 (mic)
GMIX(4)		現ステップのプレナムガス組成
GMIXO(4)		前ステップのプレナムガス組成
PCOOLI		初期冷却材圧力 (Pa)
XMOLO		プレナムガスモル数 (mol)
VTPLEN		プレナム容積をプレナム温度で除した値 (cm ³ /k)
SUMT		燃料スタック内容積 (cm ³)
PIS		Hot-Stand by でのガス圧力 (Pa)
PLENUM		プレナム部容積 (入力データ) (cm ³)
INS2		ビタンザ F P ガスモデルの領域の大きさ
INS3		ビタンザ F P ガスモデルの領域の大きさ
CFU(11)	GAPPAR	径方向接触圧力 (Pa)
CFV(11)		軸方向接触圧力 (Pa)
DELGP(11)		片側ギャップ幅 (cm)
SGN(11)		接触時のすべり方向
VMU(11)		接触時の摩擦係数
ALC		軸力が発生する軸方向位置 (cm)
ICNJ(11,4)		接触状態の補助領域
IALB(11,2)		タイムステップ後のペレット間の接触状態
IALBO(11)		タイムステップ前のペレット間の接触状態
IALBS(11)		ペレット間接触状態のための補助領域
NSO(11)		タイムステップ前のペレット・被覆管の接触状態
NMIN		軸力が発生する節点の位置
NPAX		軸力が発生する節点の自由度番号
IF		軸方向境界条件の選択フラグ
SBPON(11,2)	LINE	ペレット間の接触点での接触力 (N)
TMDATA(66)	HISOUT	プロッタ用出力領域
WRD(7)		Hot-Stand by の値を保存するための領域
FWR(24)		最終計算結果のための領域
IFWR(4)		出力オプションのための領域
NHIST0		リスタート時の履歴点番号
RPI(12)	PLVOL	軸方向セグメント毎のペレット内半径 (cm)
RPO(12)		軸方向セグメント毎のペレット外半径 (cm)

表 2.2(3/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
RCI(12)	PLVOL	軸方向セグメント毎の被覆管内半径 (cm)
RPOI(12)		軸方向セグメント毎の初期ペレット外半径 (cm)
RCII(12)		軸方向セグメント毎の初期被覆管内半径 (cm)
DZX(13)		現ステップでの軸方向セグメント長 (cm)
TPSTG(11)		現ステップでのペレット内温度 (K)
PLENLN		プレナム長 (cm)
TMOL1(2,13)	DIFARE	タイムステップ前の (He,Xe) のモル数 (mol)
TMOL2(2,13)		タイムステップ後の (He,Xe) のモル数 (mol)
TPA(3,13)		燃料棒内の各領域における温度 (K)
VL(3,13)		燃料棒内の各領域における体積 (m3)
GMD(2,13)		軸方向セグメント毎のモル密度 (mol/m3)
TML(13)		軸方向セグメント毎の全モル数 (mol)
OPT3(12)	OPTPV	やきしまり、スエリングによる変位量 (cm)
AA1(3)	STOREO	プロット用補助領域
IAA1(2)		プロット用補助領域
TMDT(66)		プロット用補助領域
TUU(160)		プロット用補助領域
PLDATA(12,12)	PLOTS	プロット用補助領域
ANEW(10,12)	SPEIT	タイムステップ後のペレット粒半径 (mic)
AOLD(10,12)		タイムステップ前のペレット粒半径 (mic)
CT(10,12)		タイムステップ後の粒内 FP ガス密度 (atoms/cm3)
CTO(10,12)		タイムステップ前の粒内 FP ガス密度 (atoms/cm3)
CX(3,10,12)		タイムステップ後粒内領域 FP ガス密度 (atoms/cm3)
CXO(3,10,12)		タイムステップ前粒内領域 FP ガス密度 (atoms/cm3)
PRO(10,12)		タイムステップ後粒内 FP 生成ガス密度 (atoms/cm3)
PROO(10,12)		タイムステップ前粒内 FP 生成ガス密度 (atoms/cm3)
AN(10,12)		タイムステップ後粒界ガス密度 (atoms/cm2)
ANO(10,12)		タイムステップ前粒界ガス密度 (atoms/cm2)
RLS(10,12)		FP ガス放出率
AKG(10,12)		FP ガス生成速度 (atoms/cm3-sec)
GRN(10,12)	GRAIN	タイムステップ後の粒径 (mic)
GRO(10,12)		タイムステップ前の粒径 (mic)
PHGAS1(10,12)	PHGAS	タイムステップ前の H e ガス生成量 (mol/cm)

表 2.2(4/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
PHGAS2(10,12)	PHGAS	タイムステップ後のH e ガス生成量 (mol/cm)
RHGAS1(10,12)		タイムステップ前のH e ガス放出量 (mol/cm)
RHGAS2(10,12)		タイムステップ後のH e ガス放出量 (mol/cm)
TM1	MELT	ペレット溶融時の時間 (hr)
BA1		ペレット溶融時の平均燃焼度 (GWd/t)
MLT1(12)		ペレットが溶融したか否かのフラグ
PTMLT(4,12)		ペレット溶融時の線出力、温度
TM2	EPV3	被覆管が 1 %塑性ひずみ到達時の時間 (hr)
BA2		被覆管が 1 %塑性ひずみ到達時平均燃焼度 (GWd/t)
MLT2(12)		被覆管が 1 %塑性ひずみ到達したか否かのフラグ
PEPV3(3,12)		1 %塑性ひずみ時燃焼度、線出力、被覆管塑性ひずみ
PTM2(12)		タイムステップ補間パラメータ
PEPV(4,200,12)	EPSPV	燃焼度、線出力、被覆管塑性ひずみ
EPSPV1(4,4,40)		タイムステップ前の塑性ひずみ
EPSPV2(4,4,40)		タイムステップ後の塑性ひずみ
LOCF	LOCA	LOCAオプションフラグ
LOC(200)		LOCAオプション格納領域
WLOC(13,6,99)		LOCAオプション出力内容記憶領域
FRLOC		LOCAオプションで指定する追加 FP ガス放出率
LOCT(99)		LOCAオプションのタイムステップ番号
FDENP(10,12)	FDENX	タイムステップ前のペレット相対密度
FDENN(10,12)		タイムステップ後のペレット相対密度
IDEN(10,12)		組織変化のためのフラグ
RFX(10,13)	PINPWR	径方向相対出力分布
IRAMP	RAMP	燃料棒内圧、伸びの出力を始める履歴点番号
TIMRP(200)		燃料棒内圧、伸びの出力する時間 (hr)
POWRP(200)		燃料棒内圧、伸びの出力する線出力 (W/cm)
PRSRP(200)		出力した燃料棒内圧 (Mpa)
EZRP(4,200,12)		出力した燃料棒伸び (mm)
IRP		燃料棒内圧、伸びの出力オプション
NRP		燃料棒内圧、伸びの出力のタイムステップカウント
BRP(7,200)		ペレット中心孔径、温度等の格納領域
TRAMP		燃料棒内圧、伸びの出力を始める時間 (hr)

表 2.2(5/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
GDIA	GDBAR	ガドリ棒直径 (cm)
JGD(11)		ガドリ棒とペレットとの接触状態
CNDISP(2,11)		ガドリ棒半径位置とペレット内半径位置 (cm)
GDGAP(3,200,12)	GD8	ガドリ棒とペレット間のギャップ幅 (cm)
SUMZRS	PLGASO	タイムステップ前の FP ガス放出量
SUMHRS		タイムステップ前の H e ガス放出量
SBPON1(11)	LINE1	タイムステップ前のペレット間接触点の接触力 (N)
RPISV(12)	RSAVE	タイムステップ後のペレット内半径 (cm)
RPISO(12)		タイムステップ前のペレット内半径 (cm)
EPSDNO	PROPSO	タイムステップ前のやきしまりひずみ
EPSSLO		タイムステップ前のスエリングひずみ
EPSSSO		タイムステップ前の固体スエリングひずみ
EPSSUO		タイムステップ前の気泡スエリングひずみ
ALHI	GDALH	ガドリ棒とペレットの接触タイムステップ制御
ALI(11)		ガドリ棒とペレット対毎の接触タイムステップ制御
GDR(11,2)		ガドリ棒とペレットの半径位置 (cm)
SWT(10,12)	PWT	ペレット内領域における単位軸長あたり重量 (g/cm)
JGDN(11)	GDBARI	更新後のガドリ棒とペレットとの接触状態
NCYCL2(11)	GDCYCL	ガドリ棒とペレットとの接触対自由度番号
VOL(12)	VOLP	軸方向セグメント毎の燃料棒内体積 (cm ³)
VOL1		ペレット有効部の燃料棒内体積 (cm ³)
VOL2		プレナム部の燃料棒内体積 (cm ³)
VOLT		燃料棒内体積 (cm ³)
USA1(10)	ISWL3	タイムステップ前の気泡スエリングひずみ補助領域
USA2(10)		タイムステップ後の気泡スエリングひずみ補助領域
USR1(10)		タイムステップ前の気泡スエリングひずみ補助領域
USR2(10)		タイムステップ後の気泡スエリングひずみ補助領域
GMIXN(4,12)	DISMIX	タイムステップ後のセグメント毎のガス組成
PDIN(12)	ARRAY1	ペレット内直径 (cm)
PDIA(12)		ペレット直径 (cm)
PLENG(12)		ペレット高さ (cm)
DZ(12)		軸方向セグメント長 (cm)
FDENI(12)		初期ペレット相対密度

表 2.2(6/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
ENR(12)	ARRAY1	初期ペレット濃縮度
FDEN(12)		ペレット相対密度
IDISH(12)		ディッシュオプション
ICHAM(12)		チャンファオプション
BU1(12)		タイムステップ前の燃焼度 (GJ/KgU)
BU2(12)		タイムステップ後の燃焼度 (GJ/KgU)
GAP(12)		ペレット被覆管間ギャップ幅 (cm)
TP1(11,12)		タイムステップ前のペレット温度 (K)
TP2(11,12)		タイムステップ後のペレット温度 (K)
TC1(4,12)		タイムステップ前の被覆管温度 (K)
TC2(4,12)		タイムステップ後の被覆管温度 (K)
PGAS1(10,12)		タイムステップ前の FP ガス生成量 (mol/cm)
PGAS2(10,12)		タイムステップ後の FP ガス生成量 (mol/cm)
RGAS1(10,12)		タイムステップ前の FP ガス放出量 (mol/cm)
RGAS2(10,12)		タイムステップ後の FP ガス放出量 (mol/cm)
GAPI(12)		ペレット被覆管間初期ギャップ幅 (cm)
CSFRX(12)		ペレット内面对ペレット外面の出力密度比
CF(12)		熱計算での接触圧力 (Pa)
VGAP(12)	ARRAY2	ギャップ部体積 (cm ³ /cm)
VHOL(12)		ペレット中心孔部体積 (cm ³ /cm)
VFORM(12)		ペレット内部体積 (cm ³ /cm)
SUMV(13)		軸方向セグメント毎のペレット内体積 (cm ³)
SUMUSO(12)		タイムステップ前の気泡スエリング変位 (m)
PTJ(12)		ペレット中心温度 (K)
PFACX(12)		径方向出力分布の次数
GCS(12)		ギャップコンダクタンス (固体成分) (W/cm ² ·k)
GCG(12)		ギャップコンダクタンス (ガス成分) (W/cm ² ·k)
GCR(12)		ギャップコンダクタンス (輻射成分) (W/cm ² ·k)
GCD(12)		ギャップコンダクタンス (W/cm ² ·k)
CSFRO(12)		前段のペレット内面对ペレット外面の出力密度比
CCRP(12)		被覆管クリープ変位 (m)
SUTHEX(12)		ペレット熱膨張変位 (m)
SUSWEL(12)		ペレットスエリング変位 (m)

表 2.2(7/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
SUDEN(12)	ARRAY2	ペレットやきしまり変位 (m)
SUREL(12)		ペレットリロケーション変位 (m)
SUMUSW(12)		ペレット気泡スエリング変位 (m)
PPP1(10,12)		タイムステップ前の FP ガス生成率 (mol/cm-hr)
PPP2(10,12)		タイムステップ後の FP ガス生成率 (mol/cm-hr)
SPGAS(10,12)		タイムステップ間の FP ガス生成量 (mol/cm)
G2(12)		収束計算中のギャップ幅 (m)
DG2(12)		収束計算中のギャップ幅増分 (m)
F2(12)		収束計算中の接触圧力 (Pa)
DF2(12)		収束計算中の接触圧力増分 (Pa)
RLSPR(12)		FP ガス放出率
SUMRP(12)		FP ガス生成量 (mol/cm)
SUMRR(12)		FP ガス放出量 (mol/cm)
XIODE(12)		ヨウ素濃度 (g/cm ²)
GASGEN(NG2)		FP ガス生成モル数 (mol)
REL RAT(NG2)		FP ガス放出率
ISTFP(10,12)		ビタンザモデルでの記憶領域の判別領域
ISTN(20,NG3)		ビタンザモデルでの記憶領域の判別領域
ISTF(NG1,10,12)		ビタンザモデルでの記憶領域の判別領域
POWHIS(5,NHST)	ARRAY3	履歴点での時間、線出力等の記憶領域
BUNP(NHST)		履歴点での燃焼度の記憶領域
RELHT(12,NHST)		履歴点での軸方向相対出力分布の記憶領域
XY(ND2)		応力計算でのメッシュ点座標 (cm)
TU(ND2)		応力計算でのメッシュ点変位 (cm)
TF(ND2)		応力計算でのメッシュ点の節点力 (N)
YIEP(4,NEM)		応力計算での要素ガウス点の降伏状態
ZLOCA(NGX,4,NHST)		応力計算での要素ガウス点の応力ひずみの格納領域
TFM(NMKD)		境界条件の節点力 (N)
TSM(MAXD)		有限要素法による全体マトリックスの対称部
RSM(NCRD)		有限要素法による全体マトリックスの非対称部
CSM(NCRD)		有限要素法による全体マトリックスの非対称部
IPSTG(NHST)		履歴点の出力フラグ
ISHAF(NHST)		履歴点のタイムステップ制御フラグ

表 2.2(8/8) リスタートのために保存した変数一覧

変数名	コモン名	内 容
ITPB(NHST)	ARRAY3	履歴点のタイムステップ制御フラグ
MCNTB(NPON,NEM)		要素コネクションテーブル
NFLX(ND2)		節点自由度テーブル
NPROF(ND2)		節点自由度とマトリックスとの対応テーブル
KCM(3,4,NEM)		要素ガウス点のクラック状態テーブル
IEP(2,4,NEM)		要素ガウス点の弾塑性状態テーブル
IEPJ(2,4,NEM)		要素ガウス点の弾塑性状態補助テーブル
NCPRF(NMKD)		境界条件の自由度とマトリックスとの対応テーブル
RELHR(12)	ARRAY4	軸方向相対出力分布
WR(39,NHST)		主要な出力の履歴情報の格納領域
WRT(12,15,NHST)		主要な出力の履歴情報の格納領域
IWR(NHST)		主要な出力の履歴情報の格納領域
TC(12)	ARRAY5	タイムステップ後の冷却材温度 (K)
TCO(12)		タイムステップ前の冷却材温度 (K)
SHFA(14)		被覆管外面熱流束 (W/cm ²)
URC(12)		被覆管変位 (m)
TMLT(12)		溶融温度 (K)
TP2C(2,12)		タイムステップ前後のペレット中心温度 (K)
PMLT(12)		溶融時の線出力を算出するための補助領域 (W/cm)
PMLTO(12)		溶融時の線出力を算出するための補助領域 (W/cm)
ALHM(12)		溶融時のタイムステップの制御
TCSF(12)		酸化膜とクラッド間の温度 (K)
DTCOR(12)		酸化膜の内側外側での温度差 (K)
DTCRD(12)		クラッドの内側外側での温度差 (K)
SUCRP(12)		ペレットクリープ変位 (m)
DSUCRP(12)		ペレットクリープ変位増分 (m)
CC1(12)		タイムステップ前の表面粗さ (mic)
CC2(12)		タイムステップ後の表面粗さ (mic)
TCC1(6,12)		タイムステップ前のペレット代表点温度 (K)
TCC2(6,12)		タイムステップ後のペレット代表点温度 (K)
UR1(12)		ペレット変位 (m)
UR2(12)		被覆管変位 (m)

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL (SEG-2) IFA591-6
\$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=0, IREST=0, INPOK=0, NHSTO=0,
FHEGAS=1.0, FPTHON=0.01, TS1=1900, FPCON=1.0, IFIX=-1,
IPRT=1, ECRC3=2.0E10, IPOPT=-5,
FREL0C=0.6, DG=4.0E-4, BG=1.0E-6, RF=0.15, XREL0C=0.2,
BETAX=0.002, HOT=1.0, TCS=2073.15, EPSRL2=0.001,
IFGR=1, IPEXT=3, OPOR0=0.02, IFORP=1, FACPC=2.0, ICO=1, TCRMX=1773.15,
GMIN=1.0E-4, IMLT=0, FCRFAC=5.0, ITIMY=0,
IPC=2, TMPEQ=16500., TMPCL=1900., FDENC=0.98, FPCCON=0.4, GAPLK=5.0,
SEND

10	5	2					
1	1.2700	1.4500	1.0	1.0			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
0.70	0.020						
0.070	0.030						
8.9390	0.3039	1.0	0.0	0.0	0.0		
0.0402	0.0072	0.2180	0.0666				
0.0140	0.0140	0.010	0.016	1.5	5000		
42	100						
0.0	0.001	0.001	559.0	7.16			
0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03
1.04							42
10.0	211.8	2.69E+13					
43.0	216.4	2.72E+13					
65.0	217.2	2.71E+13					
99.0	223.8	2.77E+13					
155.0	232.8	2.85E+13					
180.0	220.3	2.78E+13					
211.0	222.2	2.78E+13					
239.0	218.4	2.72E+13					
268.0	223.1	2.77E+13					
302.0	224.5	2.77E+13					
312.0	229.0	2.82E+13					
327.0	207.3	2.63E+13					1
356.0	206.5	2.60E+13					
384.0	211.7	2.66E+13					
412.0	209.9	2.63E+13					
440.0	211.8	2.64E+13					
475.0	213.6	2.65E+13					
505.0	228.6	2.84E+13					
517.0	194.9	2.50E+13					
545.0	198.7	2.54E+13					
573.0	199.4	2.54E+13					
601.0	208.3	2.64E+13					
636.0	207.5	2.63E+13					
664.0	210.9	2.67E+13					
678.0	223.8	2.82E+13					1
687.0	198.1	2.60E+13					
725.0	201.3	2.63E+13					
750.0	207.8	2.71E+13					
778.0	205.3	2.67E+13					
806.0	205.6	2.67E+13					
834.0	205.0	2.66E+13					
855.0	207.1	2.68E+13					
872.0	213.5	2.77E+13					
898.0	207.6	2.80E+13					
905.0	207.5	2.79E+13					
937.0	203.3	2.74E+13					
966.0	200.8	2.70E+13					
995.0	189.5	2.55E+13					
1019.0	186.3	2.51E+13					
1048.0	190.4	2.56E+13					
1057.0	0.001	0.001	559.0	7.16			1

STOP

図 2.1 通常の FEMAXI-ATR 用の入力例

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-B ROD SHORT FUEL(SEG-2) IFA591-6
 \$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=0, INPCK=0, NHST0=0,
 PHEGAS=1.0, FPTHON=0.01, TS1=1900, FPCON=1.0, IFLX=-1,
 IPRT=1, EGRAC3=2.0E10, IPOPT=-5,
 FRELOC=0.6, DG=4, E=4, BG=1, E=6, RF=0.15, XREL00=0.2,
 BETAX=0.002, HOT=1.0, TCS=2073.15, EPSRLZ=0.001,
 IFGR=1, IPEXT=3, OPOR0=0.02, IFOPR=1, FAOPC=2.0, ICC=1, TORIMX=1773.15,
 GMIN=1.E-4, IMLT=0, FCRFAC=5.0, ITIMY=0,
 IPC=2, TMPEQ=1650., TMPCL=1900., FDENO=0.98, FPCCON=0.4, GAPLK=5.0,
 SEND

	10	5	2				
	1	1.2700	1.4500	1.0	1.0		
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000 3.65000
	0.70	0.020					
	0.070	0.030					
	8.9390	0.3039	1.0	0.0	0.0	0.0	
	0.0402	0.0072	0.2180	0.0666			
	0.0140	0.0140	0.010	0.016	1.5	5000	
	42	100					
		0.0	0.001	0.001	559.0	7.16	
0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03 1.04
	10.0		211.8	2.69E+13			
	43.0		216.4	2.72E+13			
	65.0		217.2	2.71E+13			
	99.0		223.8	2.77E+13			
	155.0		232.8	2.85E+13			
	180.0		220.3	2.78E+13			
	211.0		222.2	2.78E+13			
	239.0		218.4	2.72E+13			
	268.0		223.1	2.77E+13			
	302.0		224.5	2.77E+13			
	312.0		229.0	2.82E+13			
	327.0		207.3	2.63E+13			
	356.0		206.5	2.60E+13			
	384.0		211.7	2.66E+13			
	412.0		209.9	2.63E+13			
	440.0		211.8	2.64E+13			
	475.0		213.6	2.65E+13			
	505.0		229.6	2.84E+13			
	517.0		194.9	2.50E+13			
	545.0		198.7	2.54E+13			
	573.0		199.4	2.54E+13			
	601.0		208.3	2.64E+13			
	636.0		207.5	2.63E+13			
	664.0		210.9	2.67E+13			
	678.0		223.8	2.82E+13			
	687.0		198.1	2.60E+13			
	725.0		201.3	2.63E+13			
	750.0		207.8	2.71E+13			
	778.0		205.3	2.67E+13			
	806.0		205.6	2.67E+13			
	834.0		205.0	2.66E+13			
	855.0		207.1	2.68E+13			
	872.0		213.5	2.77E+13			
	898.0		207.6	2.80E+13			
	905.0		207.5	2.79E+13			
	937.0		203.3	2.74E+13			
	966.0		200.8	2.70E+13			
	995.0		189.5	2.55E+13			
	1019.0		186.3	2.51E+13			
	1048.0		190.4	2.56E+13			
	1057.0		0.001	0.001	559.0	7.16	

STOP

図 2.2(1) リスタート計算を行う場合の FEMAXI-ATR の入力例(1)

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL(SEG-2) JFA591-6
\$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=1, INPCK=0, NHST0=0,
FHEGAS=1.0, FPTHON=0.01, TS1=1900, FPON=1.0, IFIX=-1,
IPRT=1, ECRA03=2.0E10, IPOTP=-5,
FREL00=0.6, DG=4.0E-4, BG=1.0E-6, RF=0.15, XREL00=0.2,
BETAX=0.002, HOT=1.0, TCS=2073.15, EPSRLZ=0.001,
IFGR=1, IPXT=3, OPOR0=0.02, IFOPR=1, FACPC=2.0, ICO=1, TCRMX=1773.15,
GMIN=1.E-4, IMLT=0, FCRFAC=5.0, ITIMY=0,
IPC=2, TMPEQ=1650., TMPOL=1900., FDENO=0.98, FPCCON=0.4, GAPLK=5.0,
\$END

10	5	2					
1	1.2700	1.4500	1.0	1.0			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000
0.70	0.020						
0.070	0.030						
8.9390	0.3039	1.0	0.0	0.0	0.0		
0.0402	0.0072	0.2180	0.0666				
0.0140	0.0140	0.010	0.016	1.5	5000		
42	100						
0.0		0.001	0.001	559.0	7.16		
0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02
						1.03	1.04
							42
10.0		211.8	2.69E+13				
43.0		216.4	2.72E+13				
65.0		217.2	2.71E+13				
99.0		223.8	2.77E+13				
155.0		232.8	2.85E+13				
180.0		220.3	2.78E+13				
211.0		222.2	2.78E+13				
239.0		218.4	2.72E+13				
268.0		223.1	2.77E+13				
302.0		224.5	2.77E+13				
312.0		229.0	2.82E+13				
327.0		207.3	2.63E+13				1
356.0		206.5	2.60E+13				
384.0		211.7	2.66E+13				
412.0		209.9	2.63E+13				
440.0		211.8	2.64E+13				
475.0		213.6	2.65E+13				
505.0		229.6	2.84E+13				
517.0		194.9	2.50E+13				
545.0		198.7	2.54E+13				
573.0		199.4	2.54E+13				
601.0		208.3	2.64E+13				
636.0		207.5	2.63E+13				
664.0		210.9	2.67E+13				
678.0		223.8	2.82E+13				11
687.0		198.1	2.60E+13				
725.0		201.3	2.63E+13				
750.0		207.8	2.71E+13				
778.0		205.3	2.67E+13				
806.0		205.6	2.67E+13				
834.0		205.0	2.66E+13				
855.0		207.1	2.68E+13				
872.0		213.5	2.77E+13				
898.0		207.6	2.80E+13				
905.0		207.5	2.79E+13				
937.0		203.3	2.74E+13				
966.0		200.8	2.70E+13				
995.0		189.5	2.55E+13				
1019.0		186.3	2.51E+13				
1048.0		190.4	2.55E+13				
1057.0		0.001	0.001	559.0	7.16		1

STOP

図 2.2(2) リスタート計算を行う場合の FEMAXI-ATR の入力例(1)

FEMAX1-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL(SEG-2) IFA591-6
 \$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=1, INPKC=0, NHSTO=0,
 FHEGAS=1.0, FPTHON=0.01, TS1=1900, FPCCON=1.0, IFLX=-1,
 IPRT=1, EORAC3=2.0E10, IOPPT=-5,
 FRELOC=0.6, DG=4, E=4, BG=1, E=6, RF=0.15, XRELLOC=0.2,
 BETAX=0.002, HOT=1.0, TOS=2073.15, EPSRLZ=0.001,
 IFGR=1, IPEXT=3, OPORO=0.02, IFCRP=1, FACPO=2.0, ICC=1, TORMX=1773.15,
 GMIN=1.E-4, IMLT=0, FCRFAO=5.0, ITIMY=0,
 IPO=2, TMPEQ=1650., TMPOL=1900., FDENC=0.98, FPCCON=0.4, GAPLK=5.0,
 \$END

	10	5	2							
	1	1.2700	1.4500	1.0	1.0					
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000			
	0.70	0.020								
	0.070	0.030								
	8.9390	0.3039	1.0	0.0	0.0	0.0				
	0.0402	0.0072	0.2180	0.0666						
	0.0140	0.0140	0.010	0.016	1.5	5000				
	42	100								
	0.0	0.001	0.001	559.0	7.16					
0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	42
10.0		211.8	2.69E+13							
43.0		216.4	2.72E+13							
65.0		217.2	2.71E+13							
99.0		223.8	2.77E+13							
155.0		232.8	2.85E+13							
180.0		220.3	2.78E+13							
211.0		222.2	2.78E+13							
239.0		218.4	2.72E+13							
268.0		223.1	2.77E+13							
302.0		224.5	2.77E+13							
312.0		229.0	2.82E+13							1
327.0		207.3	2.63E+13							
356.0		206.5	2.60E+13							
384.0		211.7	2.66E+13							
412.0		209.9	2.63E+13							
440.0		211.8	2.64E+13							
475.0		213.6	2.65E+13							
505.0		229.6	2.84E+13							
517.0		194.9	2.50E+13							
545.0		198.7	2.54E+13							
573.0		198.4	2.54E+13							
601.0		208.3	2.64E+13							
636.0		207.5	2.63E+13							
664.0		210.9	2.67E+13							
678.0		223.8	2.82E+13							1
687.0		198.1	2.60E+13							
725.0		201.3	2.63E+13							
750.0		207.8	2.71E+13							
778.0		205.3	2.67E+13							
806.0		205.6	2.67E+13							
834.0		205.0	2.66E+13							
855.0		207.1	2.68E+13							
872.0		213.5	2.77E+13							
898.0		207.6	2.80E+13							
905.0		207.5	2.79E+13							
937.0		203.3	2.74E+13							
966.0		200.8	2.70E+13							
995.0		189.5	2.55E+13							
1019.0		186.3	2.51E+13							
1048.0		190.4	2.56E+13							
1057.0		0.001	0.001	559.0	7.16					1

図 2.2(3) リスタート計算を行った場合の FEMAXI ATP の入力例(1)

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL (SEG-2) IFA591-6
 \$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=0, INPCK=0, NHST0=0,
 FHEGAS=1. 0, FPTHCHN=0. 01, TS1=1900, FPCON=1. 0, IFIX=-1,
 IPRT=1, ECRAC3=2. 0E10, IPOPT=-5,
 FRELOC=0. 6, DG=4. E-4, BG=1. E-6, RF=0. 15, XRELOC=0. 2,
 BETAX=0. 002, HOT=1. 0, TCS=2073. 15, EPSRLZ=0. 001,
 IFGR=1, IPEXT=3, OPORO=0. 02, IFCRP=1, FACPO=2. 0, ICC=1, TCRMX=1773. 15,
 GMIN=1. E-4, IMLT=0, FORFAC=5. 0, ITIMY=0,
 IPC=2, TMPEQ=1650. , TMPCL=1900. , FDENC=0. 98, FPCCON=0. 4, GAPLK=5. 0,
 \$END

10	5	2										
1	1. 2700	1. 4500	1. 0	1. 0								
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
0. 70	0. 020											
0. 070	0. 030											
8. 9390	0. 3039	1. 0	0. 0	0. 0	0. 0							
0. 0402	0. 0072	0. 2180	0. 0666									
0. 0140	0. 0140	0. 010	0. 016	1. 5	5000							
12	100											
0. 0		0. 001	0. 001	559. 0	7. 16							
0. 96	0. 97	0. 98	0. 99	1. 00	1. 00	1. 01	1. 02	1. 03	1. 04	12		
10. 0		211. 8	2. 69E+13									
43. 0		216. 4	2. 72E+13									
65. 0		217. 2	2. 71E+13									
99. 0		223. 8	2. 77E+13									
155. 0		232. 8	2. 85E+13									
180. 0		220. 3	2. 78E+13									
211. 0		222. 2	2. 78E+13									
239. 0		218. 4	2. 72E+13									
268. 0		223. 1	2. 77E+13									
302. 0		224. 5	2. 77E+13									
312. 0		229. 0	2. 82E+13									1

STOP

図 2.3(1) リスタート計算を行う場合の FEMAXI-ATR の入力例(2)

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL (SEG-2) IFA591-6
 \$INPUT ICK1=0, IBUMP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=1, INPCK=0, NHST0=1,
 FHEGAS=1. 0, FPTHCN=0. 01, TS1=1900, FPCON=1. 0, IFIX=-1,
 IPRT=1, ECRAC3=2. 0E10, IPOPT=-5,
 FRELOC=0. 6, DG=4. E-4, BG=1. E-6, RF=0. 15, XREL0C=0. 2,
 BETAX=0. 002, HOT=1. 0, TCS=2073. 15, EPSRLZ=0. 001,
 IFGR=1, IPEXT=3, OPOR0=0. 02, IFCRP=1, FACPC=2. 0, ICC=1, TCRMX=1773. 15,
 GMIN=1. E-4, IMLT=0, FCRFAC=5. 0, ITIMY=0,
 IPO=2, TMPEQ=1650., TMPCL=1900., FDENC=0. 98, FPCCON=0. 4, GAPLK=5. 0,
 \$END

10	5	2										
1	1. 2700	1. 4500	1. 0	1. 0								
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
2	1	0. 0	1. 2400	1. 3000	0. 0072	0. 95000	3. 65000					
0. 70	0. 020											
0. 070	0. 030											
8. 9390	0. 3039	1. 0	0. 0	0. 0	0. 0							
0. 0402	0. 0072	0. 2180	0. 0666									
0. 0140	0. 0140	0. 010	0. 016	1. 5	5000							
14	100											
327. 0		207. 3	2. 63E+13	559. 0	7. 16							
0. 96	0. 97	0. 98	0. 99	1. 00	1. 00	1. 01	1. 02	1. 03	1. 04	14		
356. 0		206. 5	2. 60E+13									
384. 0		211. 7	2. 66E+13									
412. 0		209. 9	2. 63E+13									
440. 0		211. 8	2. 64E+13									
475. 0		213. 6	2. 65E+13									
505. 0		229. 6	2. 84E+13									
517. 0		194. 9	2. 50E+13									
545. 0		198. 7	2. 54E+13									
573. 0		199. 4	2. 54E+13									
601. 0		208. 3	2. 64E+13									
636. 0		207. 5	2. 63E+13									
664. 0		210. 9	2. 67E+13									
678. 0		223. 8	2. 82E+13									1

STOP

図 2.3(2) リスタート計算を行う場合の FEMAXI-ATR の入力例(2)

FEMAXI-ATR *** FUG SEGMENT M-8 ROD SHORT FUEL(SEG-2) IFA591-6
 \$INPUT ICK1=0, IBUNP=1, IDAY=1, INTST=1, IREST=1, INPCK=0, NHST0=1,
 FHEGAS=1. 0, FPTHCN=0. 01, TS1=1900, FPCON=1. 0, IFIX=-1,
 IPRT=1, ECRAC3=2. 0E10, IPOPT=-5,
 FREL00=0. 6, DG=4. E-4, BG=1. E-6, RF=0. 15, XREL00=0. 2,
 BETAX=0. 002, HOT=1. 0, TCS=2073. 15, EPSRLZ=0. 001,
 IFGR=1, IPEXT=3, OPOR0=0. 02, IFCRP=1, FACPC=2. 0, ICO=1, TCRMX=1773. 15,
 GMIN=1. E-4, IMLT=0, FCRFAC=5. 0, ITIMY=0,
 IPO=2, TMPEQ=1650., TMPCL=1900., FDENC=0. 98, FPCON=0. 4, GAPLK=5. 0,
 \$END

10	5	2								
1	1.2700	1.4500	1.0	1.0						
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
2	1	0.0	1.2400	1.3000	0.0072	0.95000	3.65000			
0.70	0.020									
0.070	0.030									
8.9390	0.3039	1.0	0.0	0.0	0.0					
0.0402	0.0072	0.2180	0.0666							
0.0140	0.0140	0.010	0.016	1.5	5000					
16	100									
687.0		198.1	2.60E+13	559.0	7.16					
0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	16
725.0		201.3	2.63E+13							
750.0		207.8	2.71E+13							
778.0		205.3	2.67E+13							
806.0		205.6	2.67E+13							
834.0		205.0	2.66E+13							
855.0		207.1	2.68E+13							
872.0		213.5	2.77E+13							
898.0		207.6	2.80E+13							
905.0		207.5	2.79E+13							
937.0		203.3	2.74E+13							
966.0		200.8	2.70E+13							
995.0		189.5	2.55E+13							
1019.0		186.3	2.51E+13							
1048.0		190.4	2.56E+13							
1057.0		0.001	0.001	559.0	7.16		1			
STOP										

図 2.3(3) リスタート計算を行う場合の FEMAXI-ATR の入力例(2)

3. 負荷追従運転時解析モデルの修正

ハルデン炉の負荷追従試験データを用い、負荷追従運転による出力変化における燃料棒内圧、燃料棒伸び及び燃料棒外径変化の挙動を模擬できるように「FEMAXI-ATR」コードのモデルを修正する。コードの修正にあたっては、現在「FEMAXI-ATR」コードに内臓している機構論的ガス流動モデル、燃料棒内ガス流動モデル、接触圧力評価モデル、ペレットスエリングモデル、ペレットホットプレスモデル、ペレットクリープ速度、ペレット軸方向リロケーション及びペレット軸方向境界条件の調整を行い実施するものとする。

また、照射点数が膨大となるので、これに対応するために各変数の領域、出力ルーチン及びプロッター用ファイルルーチンの見直しを実施する。

3.1 FEMAXI-ATR コードの機能追加

今回の解析のために、リスタート機能の追加の他に被覆管の照射成長モデルを導入した。ジルカロイ被覆管の照射成長モデルは MATPRO-09⁽¹⁾のモデルを用いた。

MATPRO-09 モデルは以下の通りである。

$$\frac{\Delta L}{L} = A \left[\exp(240.8 / T) \right] [\phi t]^{1/2} [1 - 3f_z] [1 + 2.0CW] \quad (3.1)$$

$\frac{\Delta L}{L}$: 照射成長 (-)

$A = 1.407 \times 10^{-16} \quad (n/m^2)^{-1/2}$

T : 溫度 (K)

ϕt : 高速中性子照射量 (n/m^2) ($E \geq 1\text{MeV}$)

f_z : 軸方向ファクター (=0.05)

CW : コールドワーク (=0.81)

なお、ジルカロイの照射成長を調整するためのパラメータ RX を導入した。RX は MATPRO-09 モデルのジルカロイ照射成長ひずみを RX 倍するもので、RX の標準値は 1.0 である。

3.2 負荷追従運転燃料棒挙動解析用入出力ファイルの作成

3.2.1 FEMAXI-ATR コード用履歴データの作成

10 万を超える履歴データをもつハルデン炉の負荷追従試験データより 5000 点程度の履歴を抽出し、FEMAXI-ATR の数回のリストアートで計算可能な履歴データを作成した。

データ作成は、いくつかの単純な抽出手法を連続して適用することとし、これらの組み合わせを試行錯誤により決定することとした。試行錯誤の結果採用した手法は以下の 2 つである。

(1) 値の近いの区間を抽出：ある区間の開始から、指定した範囲を超える履歴点が現れるまで捨象する。指定した範囲を超える履歴点が現れたらその点を新しい区間の開始点とし、その直前の点を前の区間の終了点とする。(図 3.1)

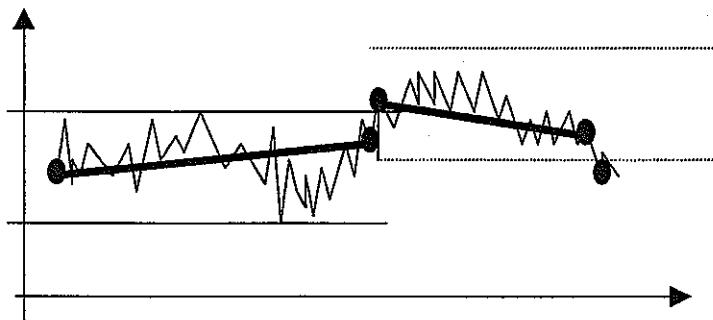


図 3.1 値の近いの区間を抽出

(2) 傾きの一定の区間を抽出：隣接する 3 履歴点について、1、2 番目の点の傾きと 2、3 番目の点の傾きが指定した範囲内であれば 2 番目の点を捨象する。(図 3.2)

実際の抽出では

手法(1) 範囲 0.1 → 手法(2) 範囲 0.30 → 手法(2) 範囲 0.30 → 手法(1) 範囲 1.5 → 手法(2) 範囲 0.30

の手順を採用した。

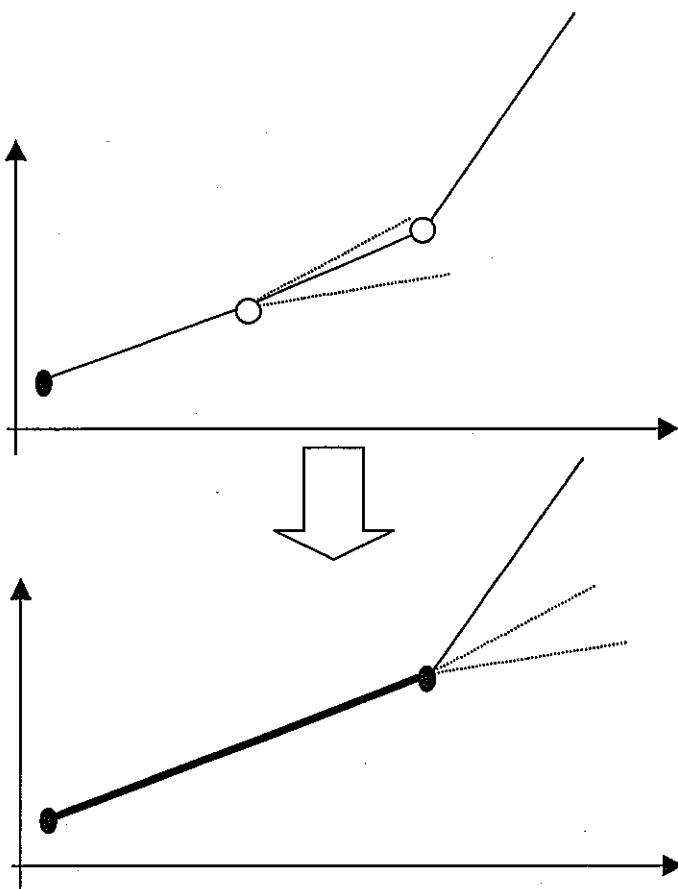


図 3.2 傾きの一定の区間を抽出

3.2.2 FEMAXI-ATR コード検証用出力ファイルの作成

次に FEMAXI-ATR コードからの解析値の取り出し方法について説明する。解析値はリストアト用の出力ファイル(機番 11)の出力結果を利用する。この際、履歴データとして表 3.1 及び表 3.2 に示す解析結果について利用することができる。表 3.1 の変数 WR は、着目セグメント及び燃料棒全体に対する解析値の保存テーブルで、燃料棒全体(又は平均)の値は表 3.1 中の WR(9, N)、WR(10, N)、WR(28, N)～WR(38, N)の解析値であり、その他の解析値は全て着目セグメント(IFEM で指定したセグメント)の値である。

表 3.2 の変数 WRT は、各軸方向セグメント毎の解析値である。今回測定値と比較する解析値は照射時間(WR(1, N))に対する線出力(WR(2, N))、ペレット軸方向ひずみ(WR(8, N))、被覆管リッジ部径方向変位(WR(11, N))、被覆管中央部径方向変位(WR(12, N))、被覆管軸方向ひずみ(WR(14, N))、燃料棒内圧(WR(32, N))についてである。これらのデータはサブプログラムによって $x-y$ の組として取り出すことができるようになっている。

表 3.1 変数 WR の内容(着目セグメント IFEM での値)

変数名	内 容	単位	変数名	内 容	単位
WR(1, N)	照射時間	hr	WR(21, N)	被覆管最大軸方向応力	MPa
WR(2, N)	線出力	W/cm	WR(22, N)	被覆管最大円周応力	MPa
WR(3, N)	燃焼度	MWd/tUO ₂	WR(23, N)	ペレット固体スエリングひずみ	0.01%
WR(4, N)	ペレット中心温度	°C	WR(24, N)	ペレットやきしまりひずみ	0.01%
WR(5, N)	ペレットリッジ部径方向変位	μm	WR(25, N)	平均直径ギャップ幅	μm
WR(6, N)	ペレット中央部径方向変位	μm	WR(26, N)	リッジ部直径ギャップ幅	μm
WR(7, N)	ペレット気泡スエリングひずみ	0.01%	WR(27, N)	被覆管最大円周クリープひずみ	0.01%
WR(8, N)	ペレット軸方向ひずみ	0.01%	WR(28, N)	燃料棒内ガスマル数	mol
WR(9, N)	燃料棒平均 FP ガス放出率	%	WR(29, N)	燃料棒内初期ガスマル数	mol
WR(10, N)	被覆管内面単位表面積あたりのヨウ素濃度	10 ⁻⁵ g/cm ²	WR(30, N)	放出された FP ガスマル数	mol
WR(11, N)	被覆管リッジ部径方向変位	μm	WR(31, N)	生成された FP ガスマル数	mol
WR(12, N)	被覆管中央部径方向変位	μm	WR(32, N)	燃料棒内圧	MPa
WR(13, N)	被覆管リッジ高さ	μm	WR(33, N)	燃料棒内ガス組成(He)	%
WR(14, N)	被覆管軸方向ひずみ	0.01%	WR(34, N)	燃料棒内ガス組成(Ar)	%
WR(15, N)	被覆管での円周ひずみ ／軸方向ひずみ	%	WR(35, N)	燃料棒内ガス組成(Kr)	%
WR(16, N)	被覆管最大相当塑性ひずみ	0.01%	WR(36, N)	燃料棒内ガス組成(Xe)	%
WR(17, N)	被覆管リッジ部相当応力	MPa	WR(37, N)	放出された He ガスマル数	mol
WR(18, N)	被覆管リッジ部軸方向応力	MPa	WR(38, N)	生成された He ガスマル数	mol
WR(19, N)	被覆管リッジ部円周応力	MPa	WR(39, N)	被覆管最大円周塑性ひずみ	0.01%
WR(20, N)	被覆管最大相当応力	MPa			

N : 履歴点番号

表 3.2 変数 WRT の内容(各軸方向セグメント毎)

変 数 名	内 容	単 位
WRT(J, 1, N)	線出力	W/cm
WRT(J, 2, N)	燃焼度	MWd/tUO ₂
WRT(J, 3, N)	ペレット中心温度	°C
WRT(J, 4, N)	ペレット表面温度	°C
WRT(J, 5, N)	被覆管内面温度	°C
WRT(J, 6, N)	被覆管健全層外側温度	°C
WRT(J, 7, N)	ギャップコンダクタンス	W/cm ² ·°C
WRT(J, 8, N)	ギャップコンダクタンス(ガス伝達成分)	W/cm ² ·°C
WRT(J, 9, N)	ギャップコンダクタンス(固体接触成分)	W/cm ² ·°C
WRT(J, 10, N)	片側ギャップ幅(熱計算の解析値)	μm
WRT(J, 11, N)	ペレット被覆管接触応力(熱計算の解析値)	MPa
WRT(J, 12, N)	FP ガス放出率	%
WRT(J, 13, N)	被覆管単位表面積あたりのヨウ素濃度	10 ⁻⁵ g/cm ²
WRT(J, 14, N)	ペレット溶融温度	°C
WRT(J, 15, N)	被覆管外面温度	°C

J: 軸方向セグメント番号

N: 履歴点番号

4. 負荷追従運転時燃料棒挙動評価

現在、「FEMAXI-ATR」コードには通常解析モデルと過渡解析モデルの2種類のモデルが内臓されている。そこで、定常照射期間には通常解析モデルを、また、負荷追従運転期間には過渡解析モデルを用いることにより、負荷追従試験燃料の挙動解析評価を実施することとする。解析・評価燃料としては、ハルデン炉において負荷追従試験に供された IFA-554/555 燃料棒 7 本を用いることとする。なお、各燃料棒共に 23 回の負荷追従運転、約 254 サイクル（約 10 サイクル／負荷追従運転 1 回）を経験しており、各負荷追従運転時の燃料棒内圧、燃料棒外径変化、及び燃料棒伸びの挙動実測データを 1~23 回の各負荷追従運転毎に模擬できるように各モデルのチューニングを実施することとする。また、チューニングに際しては、実測データとチューニング前の解析結果とを比較・検討した上で、燃料挙動の観点からチューニングすることが妥当なモデルについてチューニングを行い、実測データとチューニング後の解析結果とを比較しながら作業を進めることする。

4.1 FEMAXI-ATR コードの調整

今回解析を実施した IFA-554/555 燃料棒 7 本の燃料設計仕様を表 4.1 に、解析に用いた線出力履歴を図 4.1~図 4.7 に示す。

これら 7 本のハルデンにおける負荷追従運転燃料棒挙動解析を実施した結果、数多くの出力変動を扱うと特にクリープ挙動等に対するコードの安定性を確保することが難しくなることが判明した。これは、400W/cm 以上の高出力時のその影響が顕著に現れるため、400W/cm 以上におけるタイムステップ幅について特別な制約を設けた。すなわち、1 タイムステップ当たりの出力増加幅を 1W/cm、最大時間を 1 時間とした。また、燃料棒内圧の計算では、図 4.8~図 4.11 に示すとおり、照射前半では燃料棒内圧の解析値は測定値を下回り、照射後半の燃料棒内圧の解析値は測定値を上回る傾向にある。このため、FP ガス放出モデルの燃焼度依存項を変更した。

今回使用した FP ガス放出モデルは、ビタンザのモデルに燃焼度依存項を追加したもので、以下のとおりである。

$$R = R_1 + R_2 \quad (R \leq 1) \quad (4.1)$$

R : FP ガス放出率

R₁ : 温度・燃焼度依存(ビタンザモデル)の FP ガス放出率

R₂ : 燃焼度依存の追加 FP ガス放出率

①第 1 項 : R₁

$$BUP = 5 \exp\left(\frac{8033}{T_c}\right) \quad (4.2)$$

ここで、

BUP：しきい燃焼度(MWd/t)

T_c：ペレット中心温度(°C)

である。

i) Bu≤BUP の場合

$$R_1 = R_1^{\min} \quad (4.3)$$

R_1^{\min} : R_1 の下限値($R_1^{\min} = 0.05$)

ii) Bu>BUP の場合

$$R_1 = \left(\frac{T}{1800}\right)^5 \left(1 - \frac{BUP}{Bu}\right) \quad (T < 1800^\circ\text{C}) \quad (4.4)$$

$$R_1 = 1 \quad (T \geq 1800^\circ\text{C}) \quad (4.5)$$

ここで、

T：燃料温度(°C)

Bu：局所燃焼度(MWd/t)

である。

② 第2項

i) T<900°C の場合

$$R_2 = 0 \quad (4.6)$$

ii) T≥900°C の場合

$$R_2 = F2MAX \cdot F \quad (4.7)$$

ここで、

$$F = \frac{1}{1 + \exp(-F2ACC \cdot (Bu - F2Bu))} \quad (4.8)$$

F2MAX：最大 FP ガス放出率(F2MAX=0.269)

F2ACC=4.28×10⁻⁴

F2Bu=20000

である。

このうち、R₂について次のように変更した。

②' 第2項

i) $T < 950^{\circ}\text{C}$ の場合

$$R_2 = 0 \quad (4.9)$$

ii) $T \geq 950^{\circ}\text{C}$ の場合

$$R_2 = F2MAX \cdot F \quad (4.10)$$

ここで、

$$F = \frac{1}{1 + \exp(-F2ACC \cdot (Bu - F2Bu))} \quad (4.11)$$

F2MAX：最大 FP ガス放出率(F2MAX=0.269)

F2ACC=2.0×10⁻⁴

F2Bu=0.0

である。

②と②'の比較を図 4.12 に示す。また、FP ガス放出モデルの燃焼度依存性を変更したモデルを用いた場合の燃料棒内圧の測定値と解析値の比較を図 4.13～図 4.16 に示す。図から、特に照射前半において解析値と測定値との整合性がよくなっていることが分かる。なお、図 4.8～図 4.16 に示した解析値においては、高、低出力の内圧変動が大きすぎる傾向があるので、ギャップコンダクタンスの固体接触熱伝達項に対する倍率 FPCON を 0.1 から 1.0 に変更した条件を用いた。

次に、変形挙動についての調整について示す。図 4.17～図 4.20 に燃料棒伸びの測定値と解析値の比較について示す。図 4.17～図 4.20 に示すとおり、燃料棒の伸びの測定値と解析値を比較すると、照射初期においては両者は比較的よい一致を示しているが、照射が進むと、解析値は測定値に比べ過少評価する傾向がある。そこで、3.1 節で示したとおり、被覆管の照射成長を考慮することにし、MATPRO-09 のジルカロイ照射成長モデルを用いた場合の測定値と解析値の比較を図 4.21 ～図 4.24 に示す。

図 4.21～図 4.24 に示すとおり、解析値は測定値を全体的には過大評価しているが、図中の解析値は、最大出力箇所の被覆管軸方向歪みに燃料棒長を掛けて算出したものであるので、過大評価するのは当然の結果であると判断できる。何故なら、ペレットと被覆管の接触時には、被覆管には軸方向にも引っ張り応力が加わり、軸方向に塑性変形(軸方向クリープひずみ)を生じるが、最大出力箇所が軸方向に生じる塑性変形が最大となるためである。そこで、照射成長を考慮した方が妥当な結果であると判断できる。

次に、図 4.25～図 4.27 にペレット有効長の伸びの測定値と解析値との比較について示す。特に、Rod B1、Rod B2 ではペレット有効長伸び変化が照射とともに縮む傾向がある。これはペレット軸

方向の圧縮クリープによるが、タイムステップ幅が大きいために過大評価した結果であると考えられる。そこで、図4.28～図4.30に示すペレット有効長伸びの比較では、タイムステップ幅をより細分化した(400W/cm以上で1時間を上限とした)条件を用い、FP放出モデル及び被覆管照射成長モデルを変更した条件で解析した。この結果、ペレット軸方向の圧縮クリープひずみによる変形が小さくなり、解析値と測定値の整合性がよくなった。全体的には、解析値は測定値を上回っている傾向であるが、これについても解析値は最大出力箇所のペレット軸方向ひずみに燃料有効長を掛けて算出したものであるので定性的には妥当であると考えられる。

次に図4.31～図4.78に出力サイクル中の線出力及び被覆管外径変化の測定値と解析値の比較について示す。被覆管外径変化の測定値は最大出力部分(燃料セグメントの最上端部)における被覆管外径の最大値と最小値より与え、これと解析したペレットリッジ部と中央部の被覆管外径とを比較した。測定値と解析値の比較において、測定値はほぼセグメント位置に相当する区間の最大値と最小値を選び出したため、必ずしも同じ座標の変位とはなっていない。このため、出力履歴との対応が悪い。また例えば図4.44や図4.45では、測定値が300μmも振れてしまっているので、解析値がほぼ一定のような図になってしまった部分もある。測定値の変化は、時々大きく振れたりして、絶対値に対する信頼性についてあまりはつきりしないため、解析値と測定値とは數10μmのくい違いが発生している部分もある。全体的には、解析値は照射に伴う外径変化をやや過大評価している傾向があるといえる。

なお、解析では、全般的に出力変動時の被覆管外径変化が大きかったので、クラック時のペレットの剛性について 2×10^{10} MPaから 2×10^9 MPa(標準値)に変更して実施している。

図4.8～図4.78に示した解析値と測定値との比較では、2通りの計算条件で行った解析値に対しての比較について示しているので、図と計算条件の対応について表4.3に示した。

表 4.1(1/2) ハルデン燃料 IFA-554/555 燃料設計仕様

項目	単位	燃料棒番号		
		A1	A2	A3
1.燃料				
ペレット直径	mm	12.407	12.401	12.408
ペレット高さ	mm	13.140	12.933	13.121
ペレット密度	%TD	93.64	94.06	93.56
ペレット中心孔径	mm	0.0	0.0	3.5
ペレット形状	—	両ディッシュ チャンファ	両ディッシュ チャンファ	チャンファ
ディッシュ直径	mm	7.10	7.10	—
ディッシュ深さ	mm	0.30	0.30	—
チャンファ幅	mm	0.654	0.651	0.604
チャンファ高さ	mm	0.350	0.350	0.350
U235 濃縮度	wt%	0.71	0.71	0.71
PuO ₂ 重量比	wt%	4.48	4.48	4.48
Pu 富化度	wt%	3.48	3.48	3.48
2.被覆管				
被覆管外径	mm	14.459	14.455	14.460
被覆管内径	mm	12.705	12.712	12.706
被覆管熱処理	—	SR 材	SR 材	SR 材
被覆管 Zr ライナー層厚み	μm	—	59.0	—
3.燃料棒				
燃料有効長	mm	489.0	490.9	489.5
プレナム体積	cm ³	5.95	5.69	6.251
ギャップ幅	μm	298	311	298
初期内圧	bar	3.039	3.039	3.039
ガス組成	%	He100	He100	He100
4.冷却材				
冷却材圧力	MPa	7.21	7.21	7.21
入口温度	°C	~275	~275	~275
高速中性子束	n/cm ² ·s	1.34×10^{13}	1.34×10^{13}	1.34×10^{13}

表 4.1(2/2) ハルデン燃料 IFA-554/555 燃料設計仕様

項目	単位	燃料棒番号			
		B1	B2	B3	B4
1.燃料					
ペレット直徑	mm	12.408	12.408	12.409	12.409
ペレット高さ	mm	12.881	12.976	13.140	13.153
ペレット密度	%TD	93.59	93.63	93.53	93.60
ペレット中心孔径	mm	0.0	0.0	3.50	0.0
ペレット形状	—	両ディッシュ チャンファ	両ディッシュ チャンファ	チャンファ	両ディッシュ チャンファ
ディッシュ直徑	mm	7.10	7.10	—	7.10
ディッシュ深さ	mm	0.30	0.30	—	0.30
チャンファ幅	mm	0.654	0.654	0.605	0.655
チャンファ高さ	mm	0.350	0.350	0.300	0.350
U235 濃縮度	wt%	0.71	0.71	0.71	0.71
PuO ₂ 重量比	wt%	4.48	4.48	4.48	4.48
Pu 富化度	wt%	3.48	3.48	3.48	3.48
2.被覆管					
被覆管外径	mm	14.460	14.454	14.460	14.455
被覆管内径	mm	12.702	12.707	12.697	12.707
被覆管熱処理	—	SR 材	SR 材	SR 材	SR 材
被覆管 Zr ライナー層厚み	μm	—	59.0	—	59.0
3.燃料棒					
燃料有効長	mm	489.2	488.3	490.4	491.0
プレナム体積	cm ³	5.68	5.71	6.052	5.78
ギャップ幅	μm	294	299	288	298
初期内圧	bar	3.039	3.039	3.039	3.039
ガス組成	%	He100	He100	He100	He100
4.冷却材					
冷却材圧力	MPa	7.21	7.21	7.21	7.21
入口温度	°C	~275	~275	~275	~275
高速中性子束	n/cm ² -s	1.28×10^{13} , 4.27×10^{12}			

表 4.2 ハルデン燃料 IFA-554/555 実測データ

項目	IFA-554/555						
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4
燃料棒内圧				○	○	○	○
燃料有効長伸び				○	○	○	
燃料棒伸び	○	○	○				○
被覆管外径変化				○	○	○	○

表 4.3 測定値／解析値比較図と計算条件の対応

項目	Case.1	Case.2	
計算条件	FP 放出モデル 被覆管照射成長 タイムステップ条件	ビタンザ燃焼度依存モデル について調整 考慮しない 400W/cm 以上で出力変化幅を 1W/cm とする。	同左、燃焼度依存モデルについて調整 MATPRO-09 モデル 同左 + 400W/cm 以上で最大時間幅を 1 時間とする。
	線出力履歴	図 4.1～図 4.7 図 4.31、図 4.34、図 4.37、図 4.40 図 4.43、図 4.46、図 4.49、図 4.52 図 4.55、図 4.58、図 4.61、図 4.64 図 4.67、図 4.70、図 4.73、図 4.76	
	燃料棒内圧	図 4.8～図 4.11	図 4.13～図 4.16
燃料棒伸び	図 4.17～図 4.20	図 4.21～図 4.24	
ペレット有効長伸び	図 4.25～図 4.27	図 4.28～図 4.30	
被覆管外径変化		図 4.32、図 4.33、図 4.35、図 4.36 図 4.38、図 4.39、図 4.41、図 4.42 図 4.44、図 4.45、図 4.47、図 4.48 図 4.50、図 4.51、図 4.53、図 4.54 図 4.56、図 4.57、図 4.59、図 4.60 図 4.62、図 4.63、図 4.65、図 4.66 図 4.68、図 4.69、図 4.71、図 4.72 図 4.74、図 4.75、図 4.77、図 4.78	

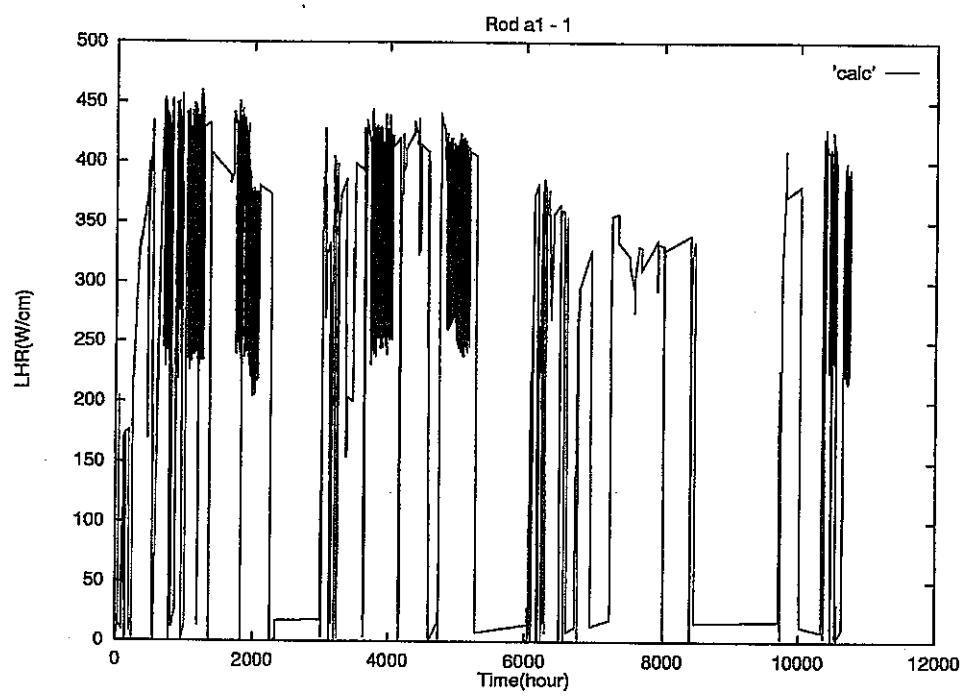


図 4.1(1/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A1)

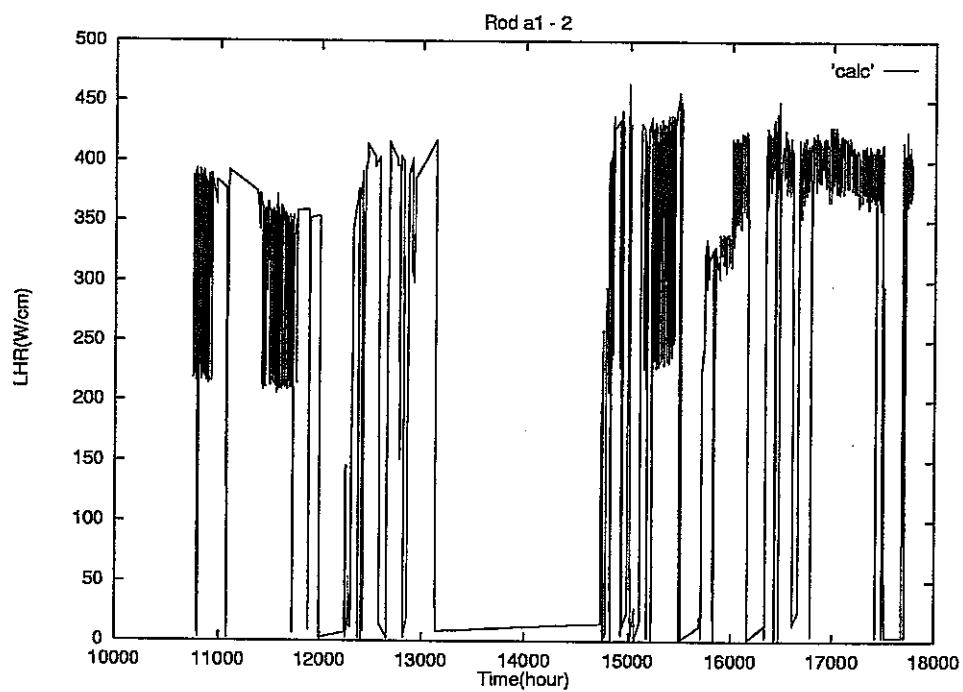


図 4.1(2/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A1)

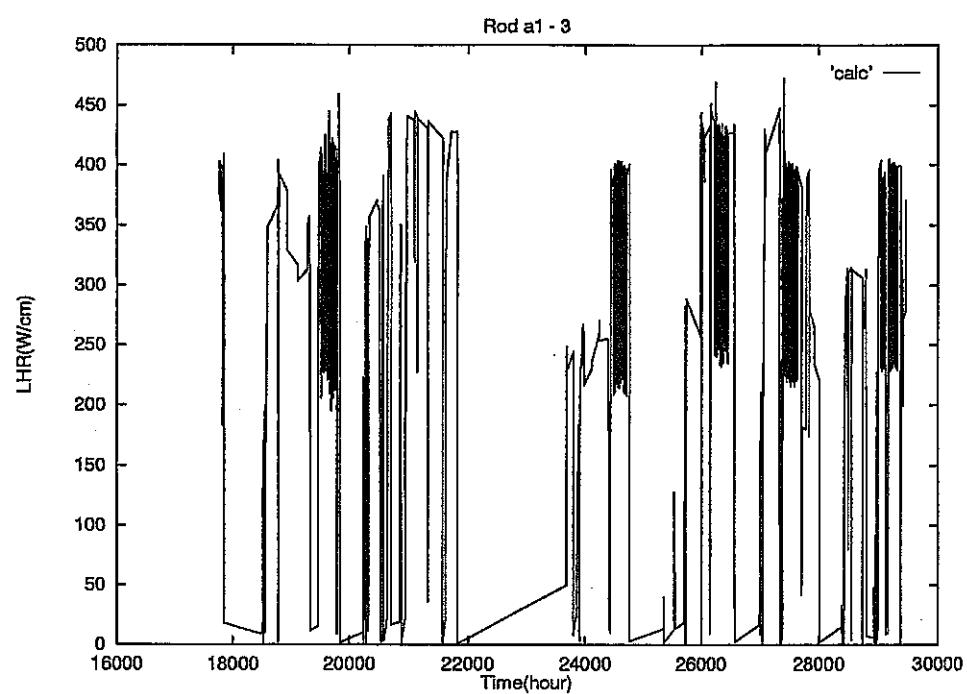


図 4.1(3/5) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod A1)

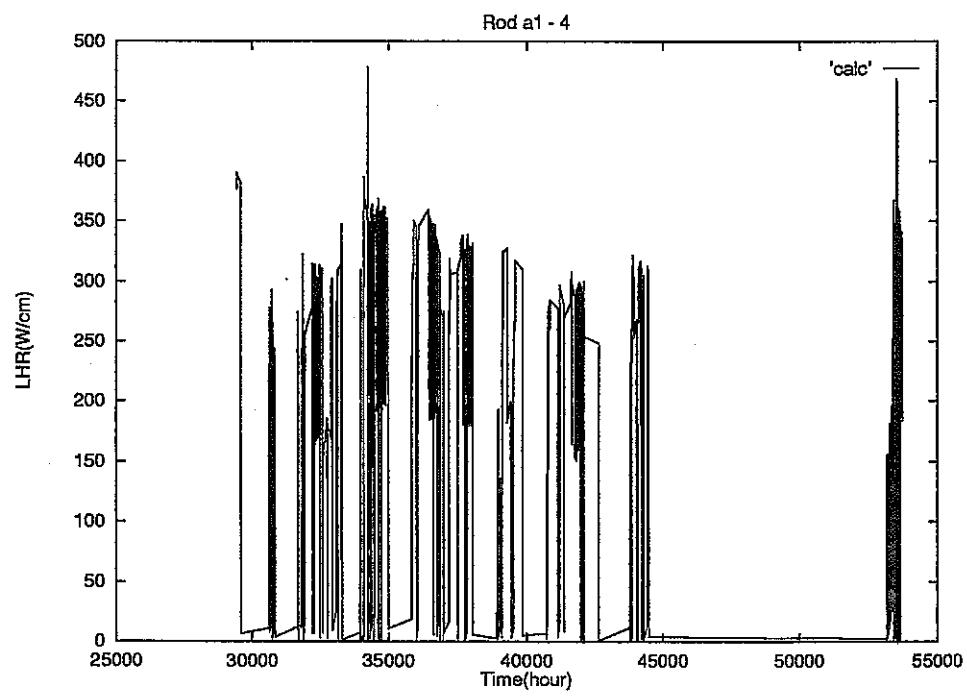


図 4.1(4/5) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod A1)

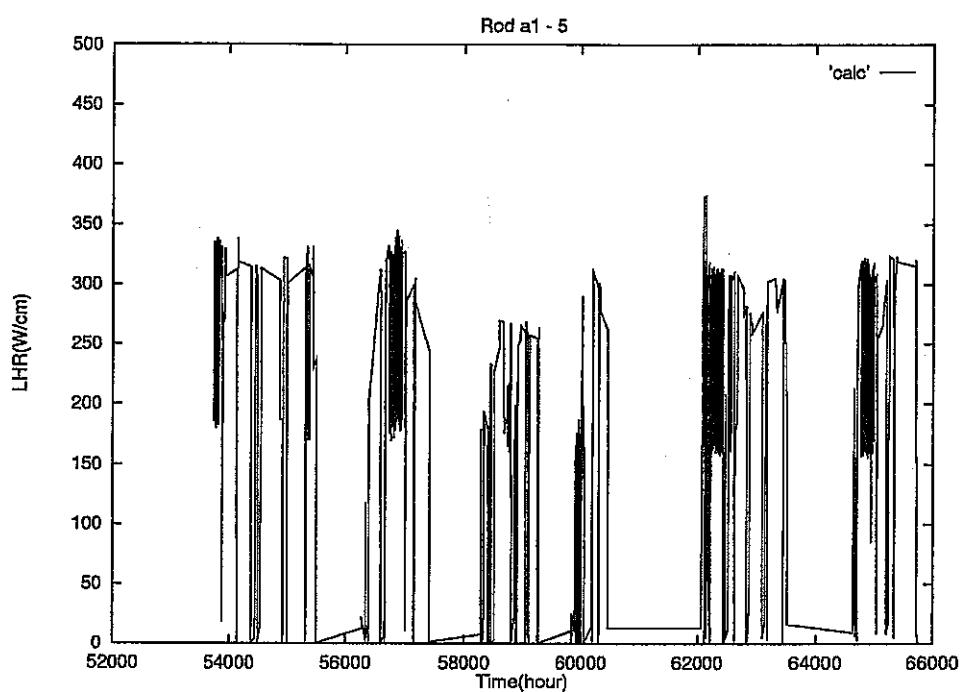


図 4.1(5/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A1)

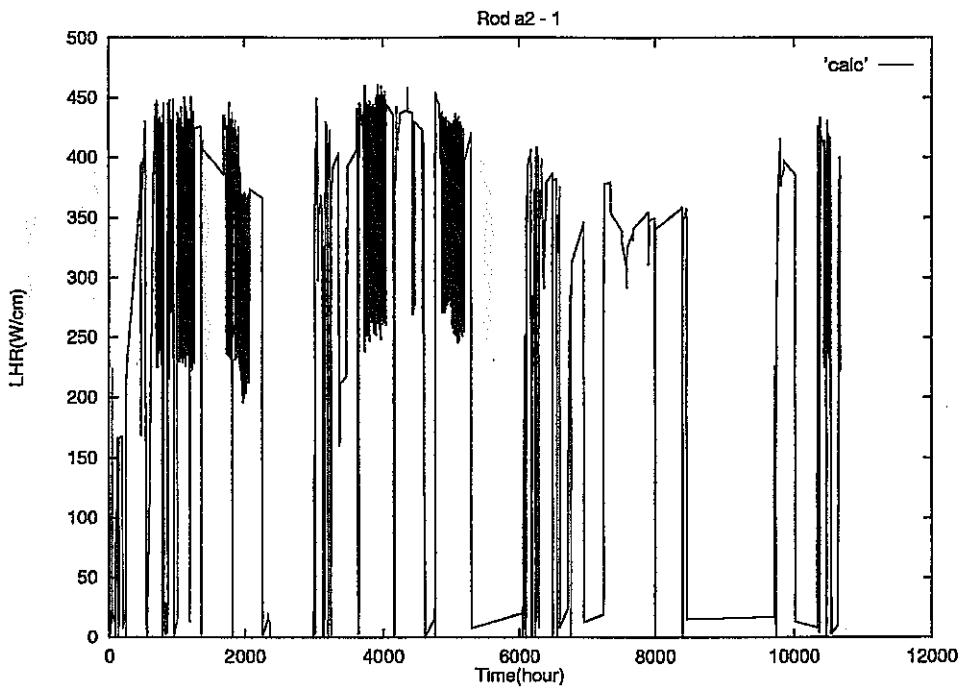


図 4.2(1/4) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A2)

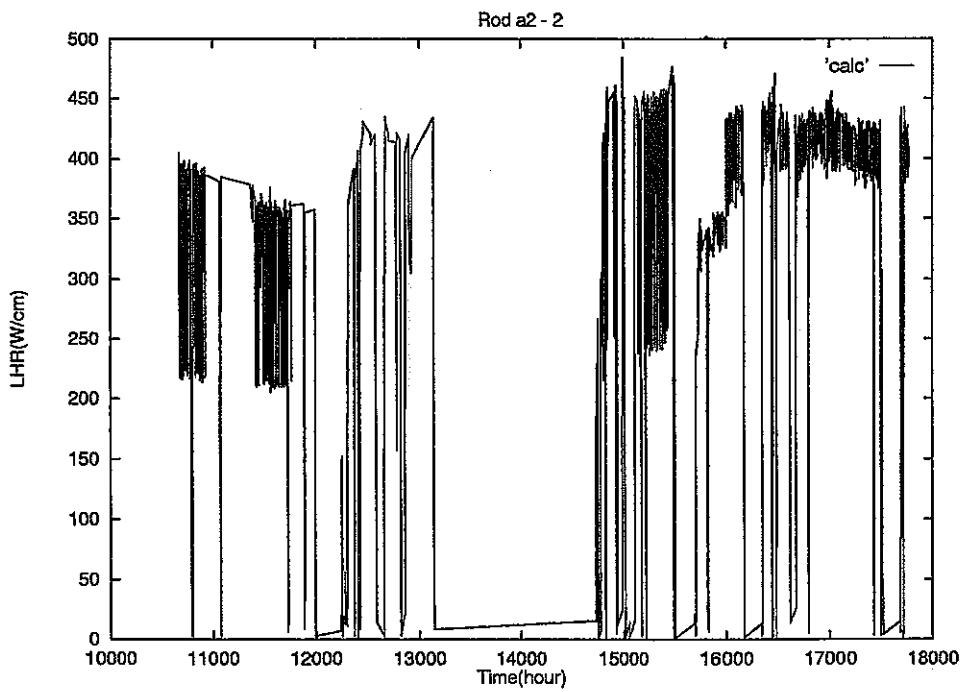


図 4.2(2/4) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A2)

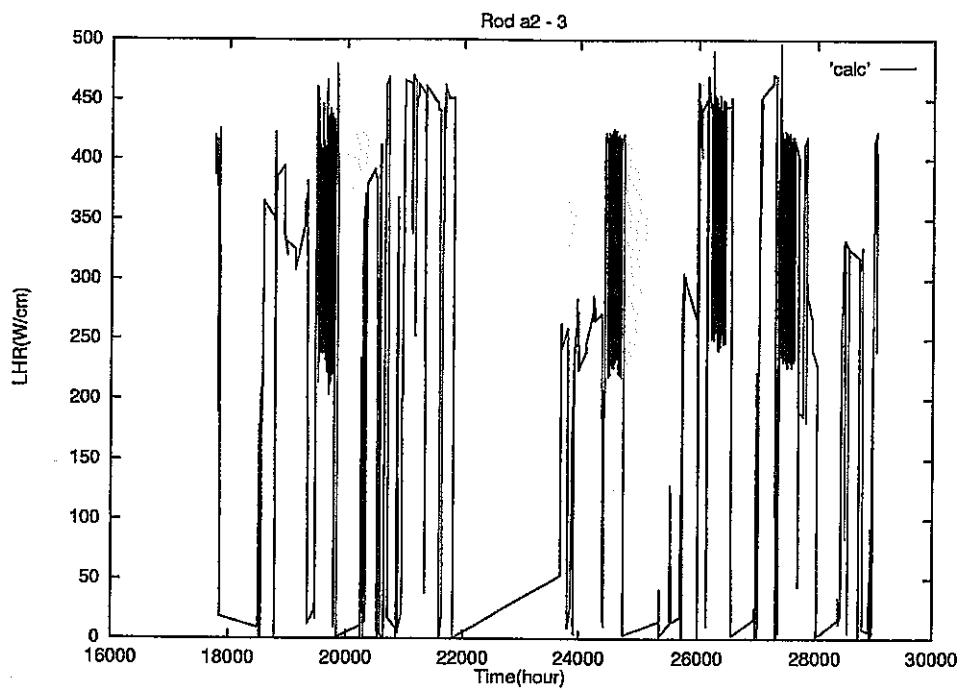


図 4.2(3/4) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A2)

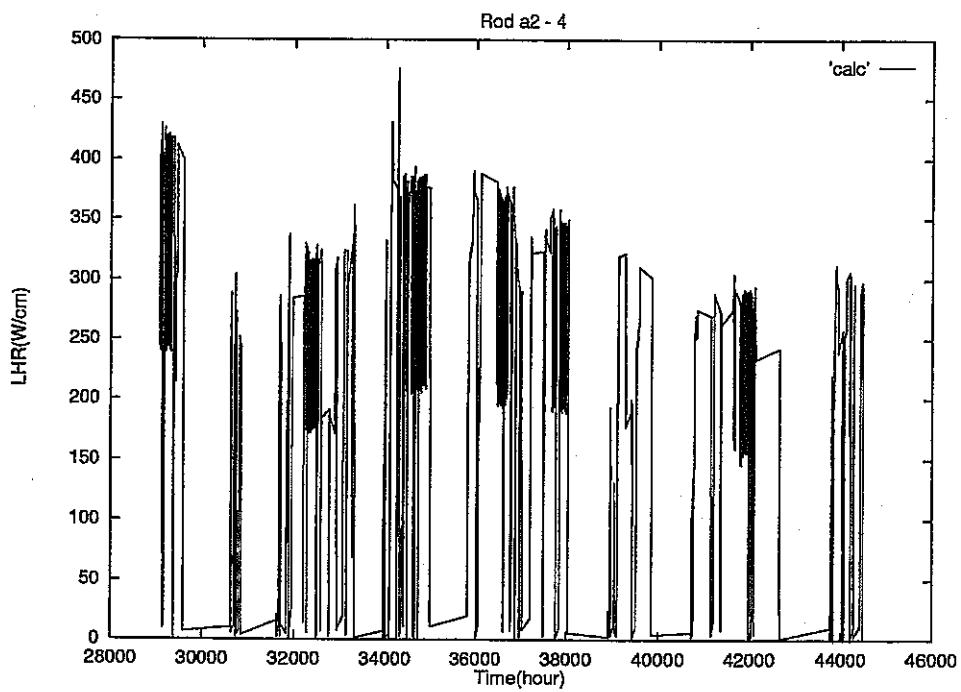


図 4.2(4/4) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A2)

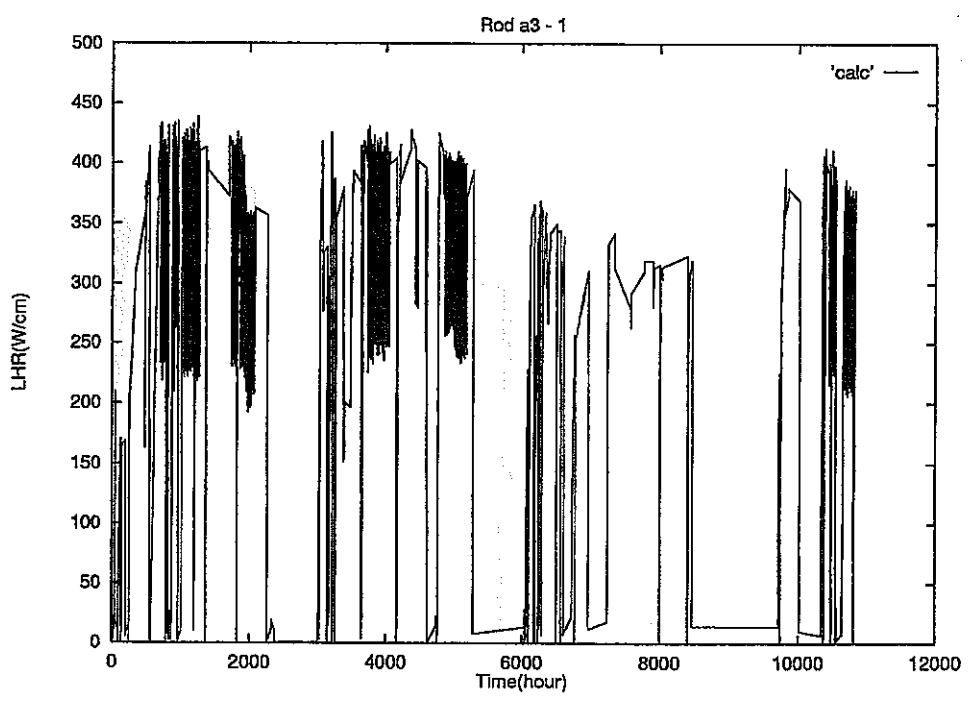


図 4.3(1/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A3)

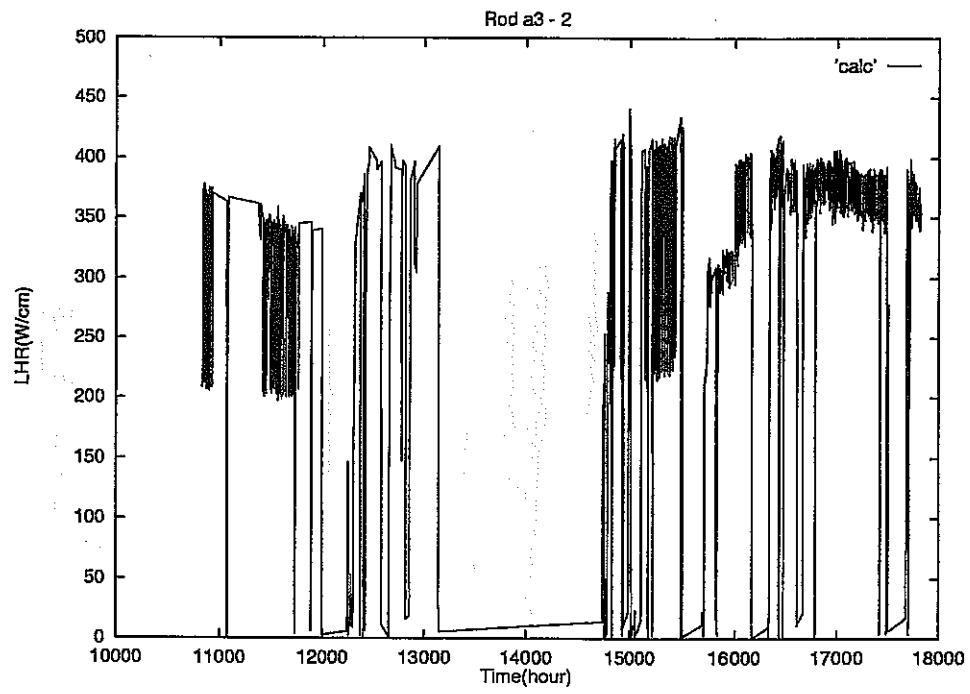


図 4.3(2/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A3)

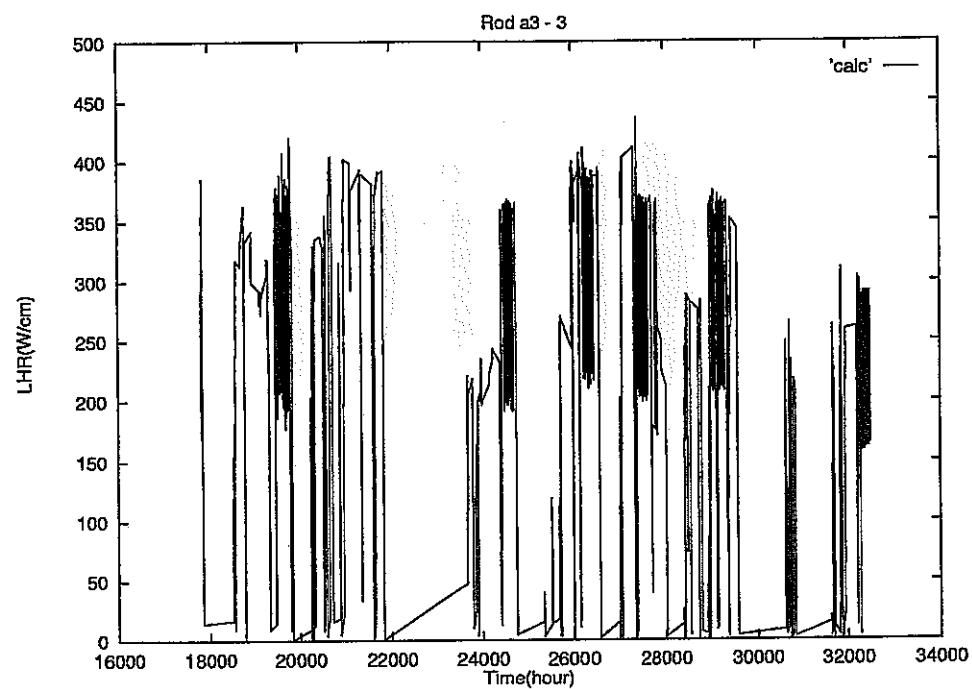


図 4.3(3/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A3)

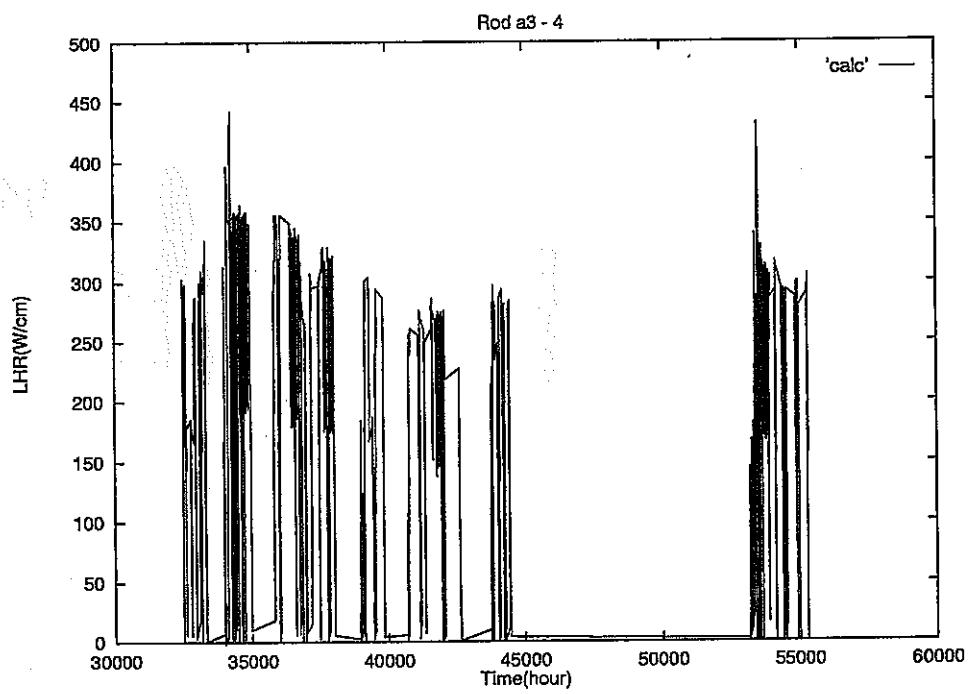


図 4.3(4/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A3)

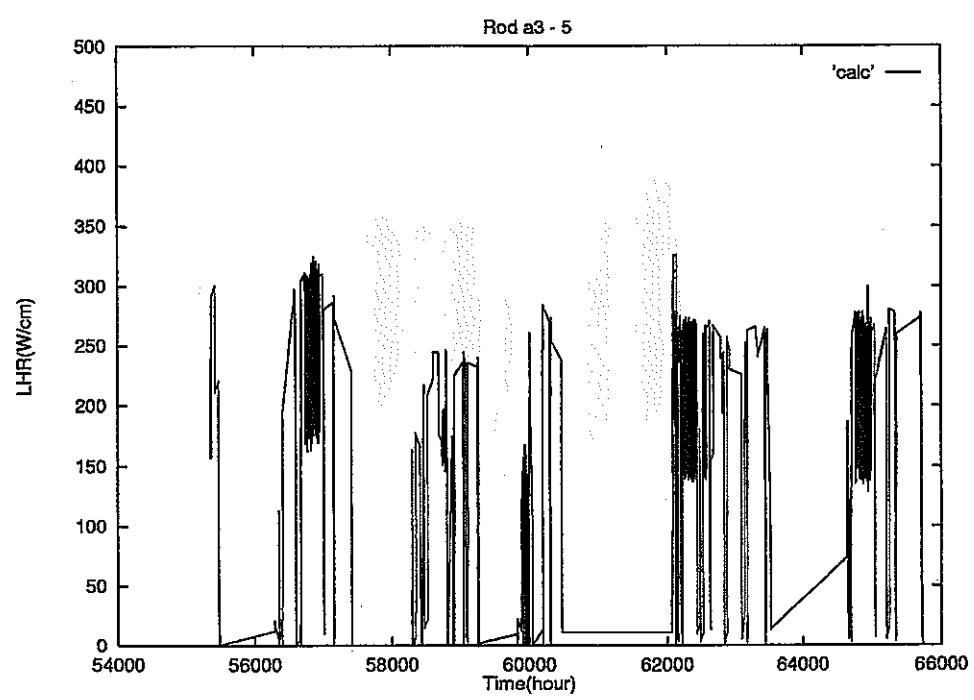


図 4.3(5/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod A3)

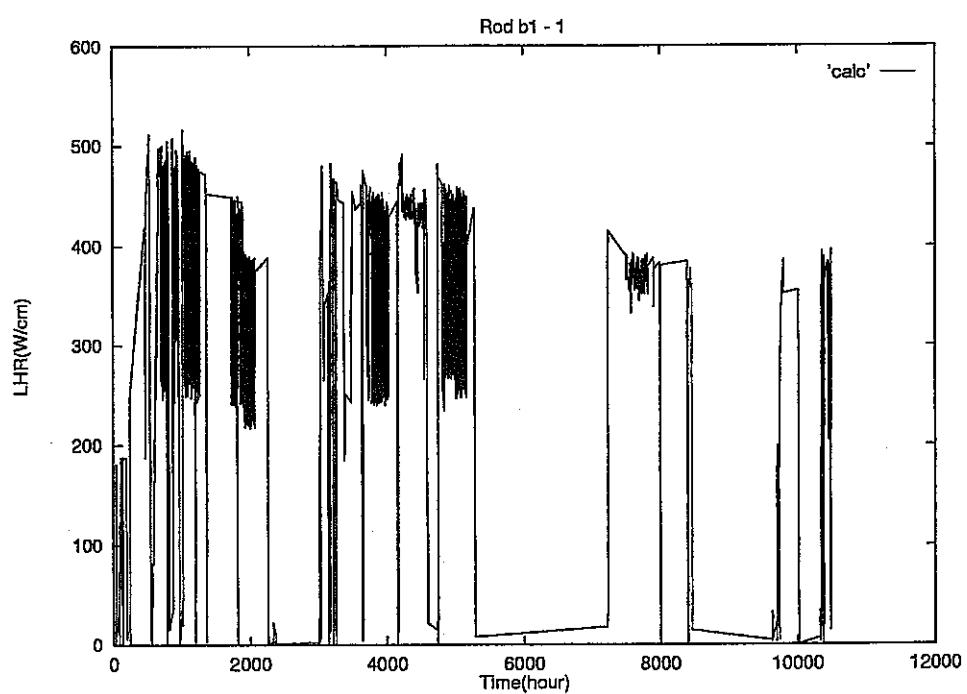


図 4.4(1/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B1)

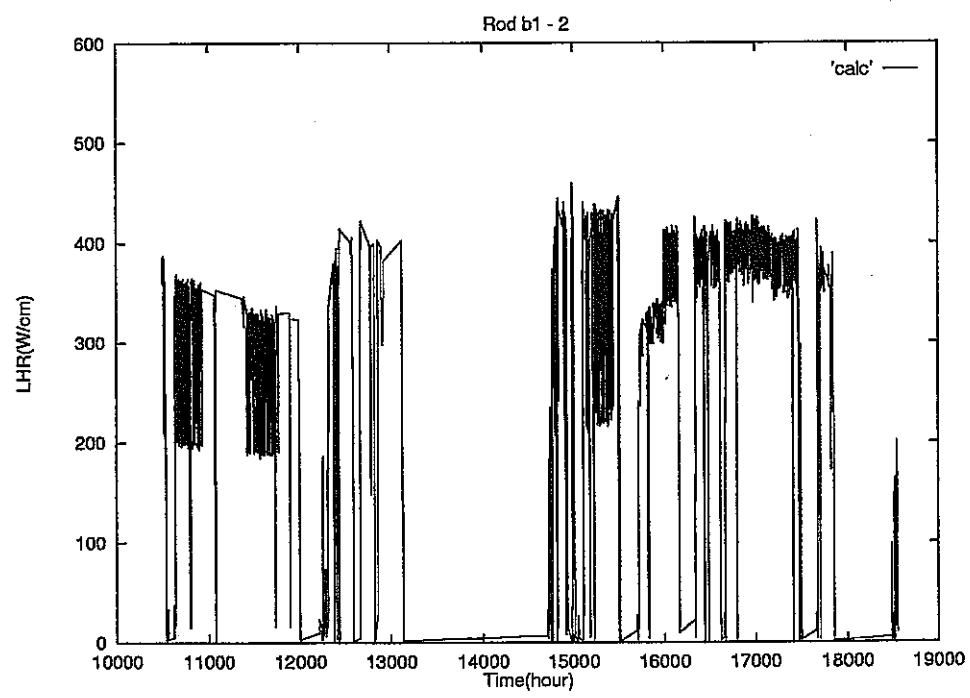


図 4.4(2/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B1)

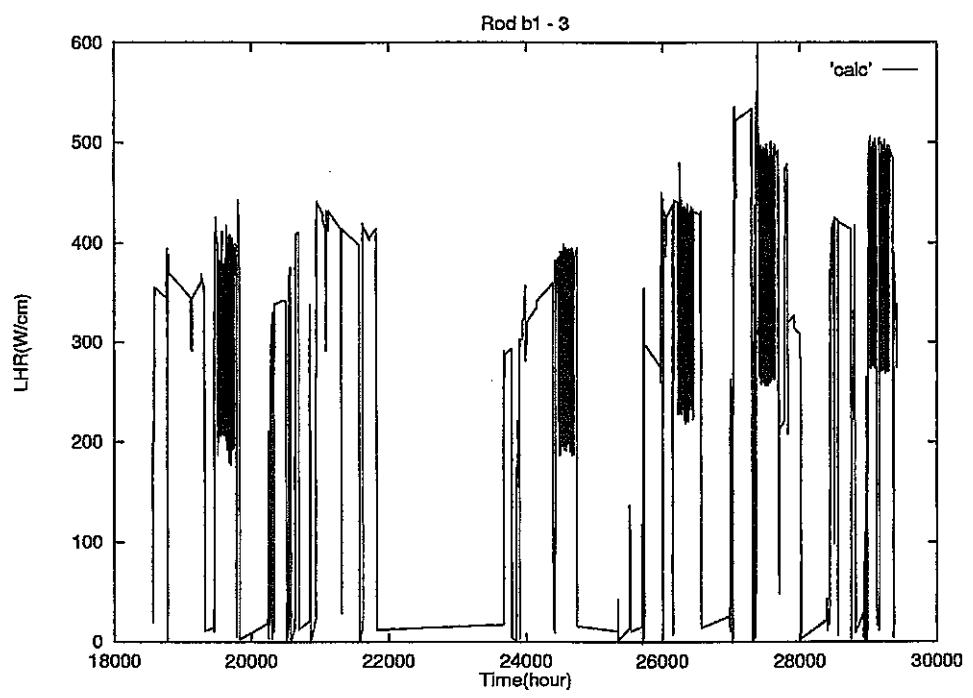


図 4.4(3/5) 線出力履歴 (IF A554/555 Rod B1)

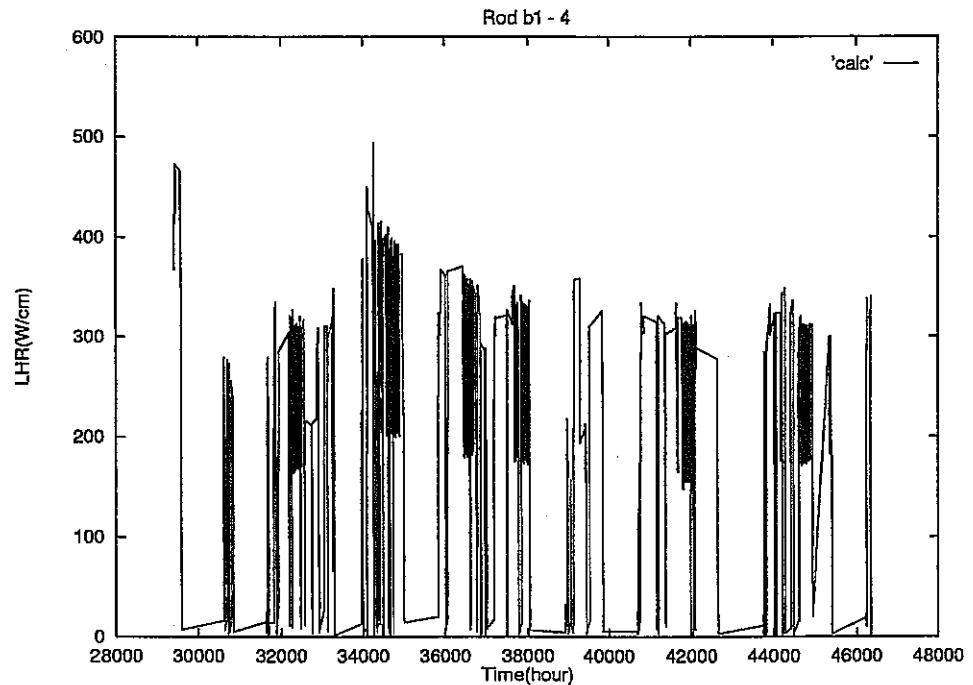


図 4.4(4/5) 線出力履歴 (IF A554/555 Rod B1)

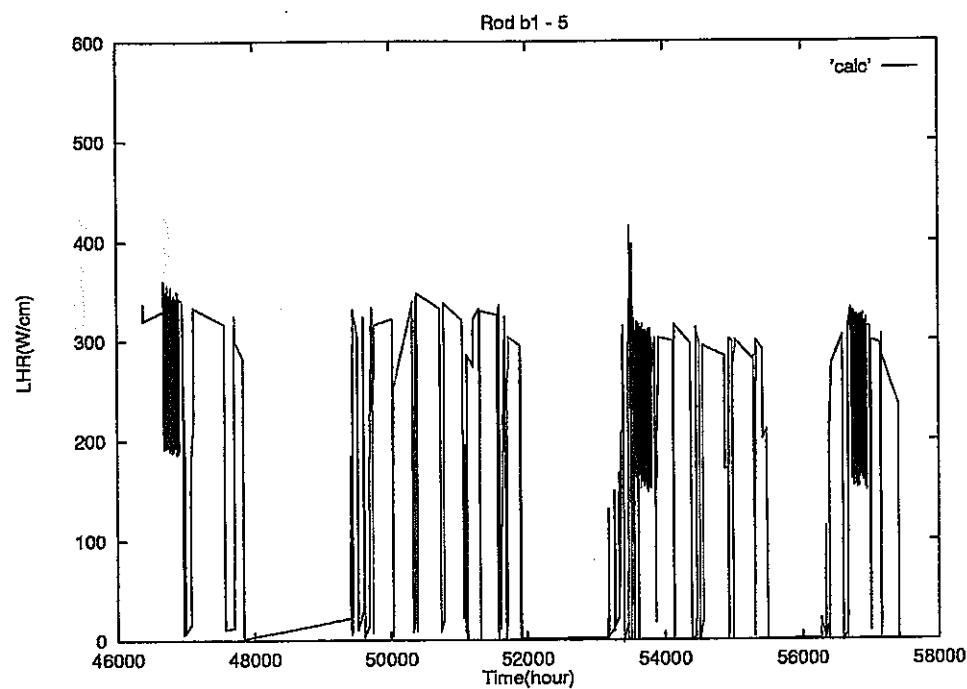


図 4.4(5/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B1)

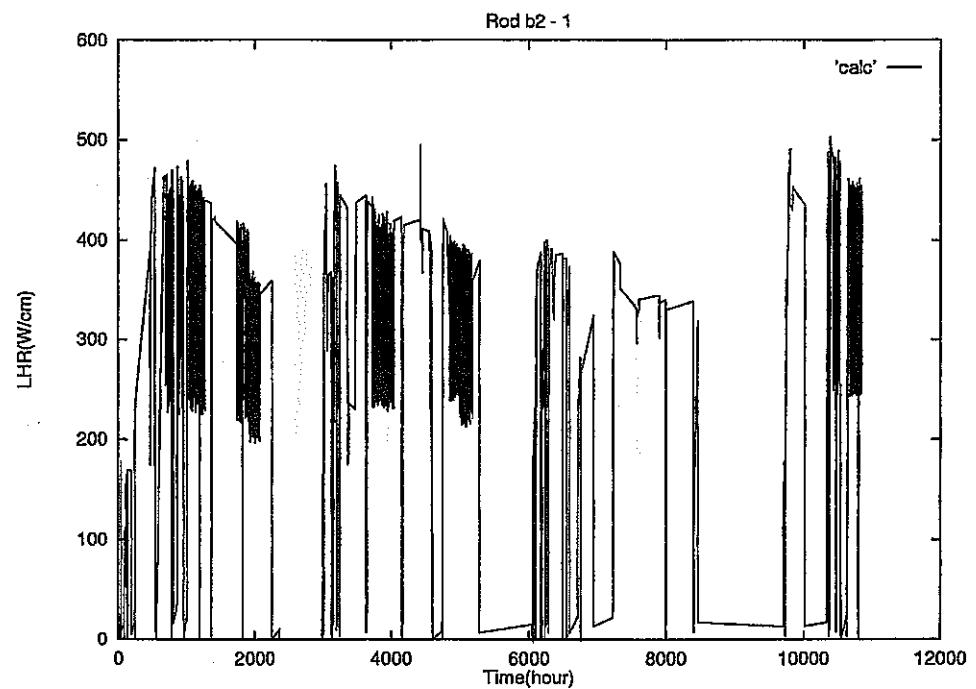


図 4.5(1/6) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B2)

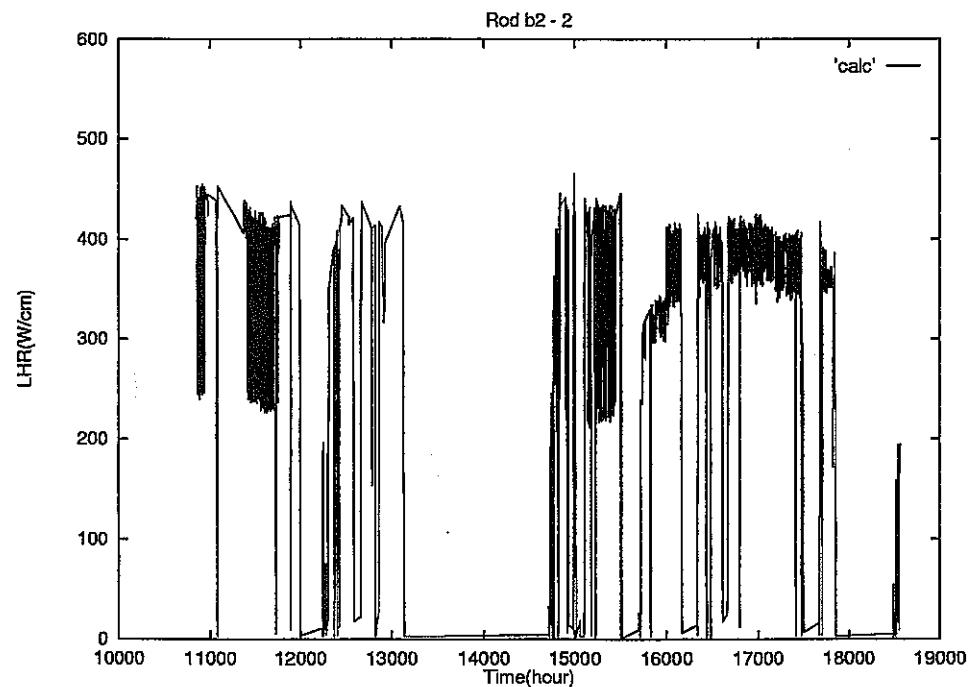


図 4.5(2/6) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B2)

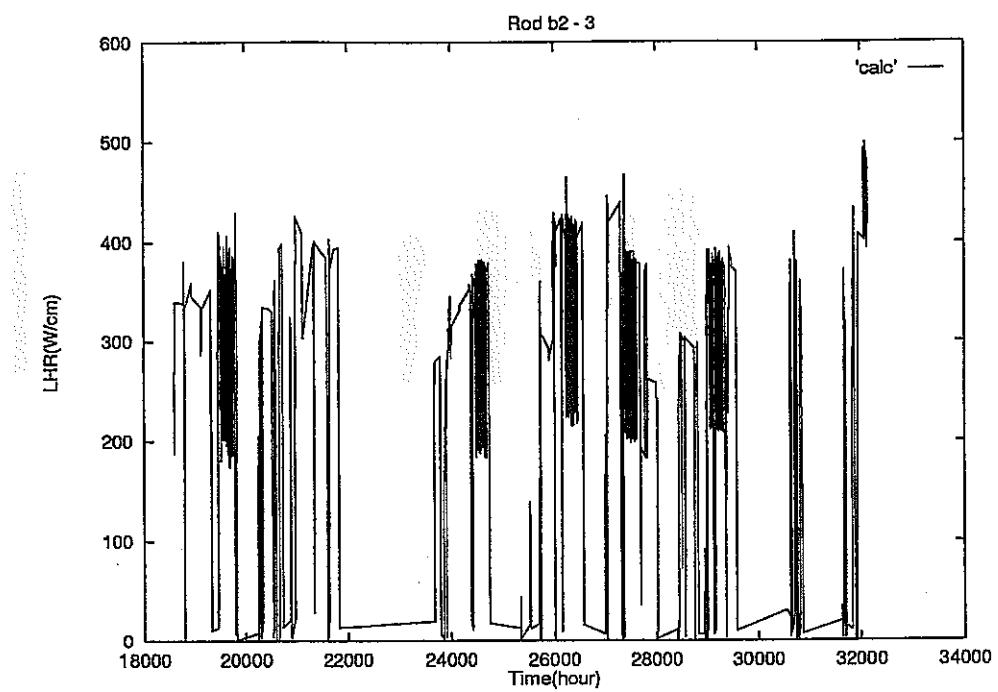


図 4.5(3/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

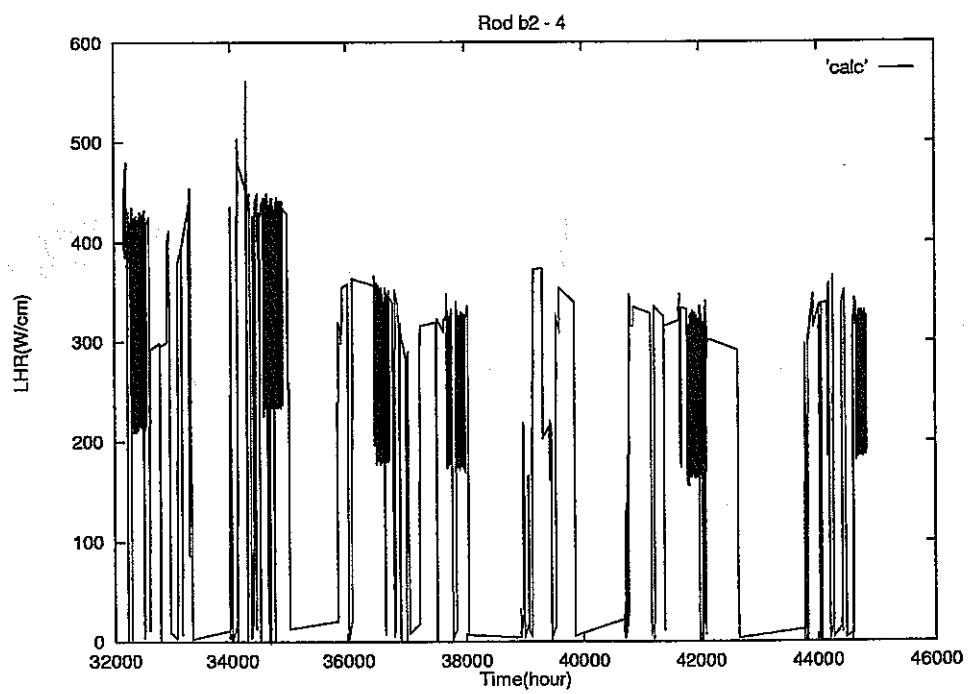


図 4.5(4/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

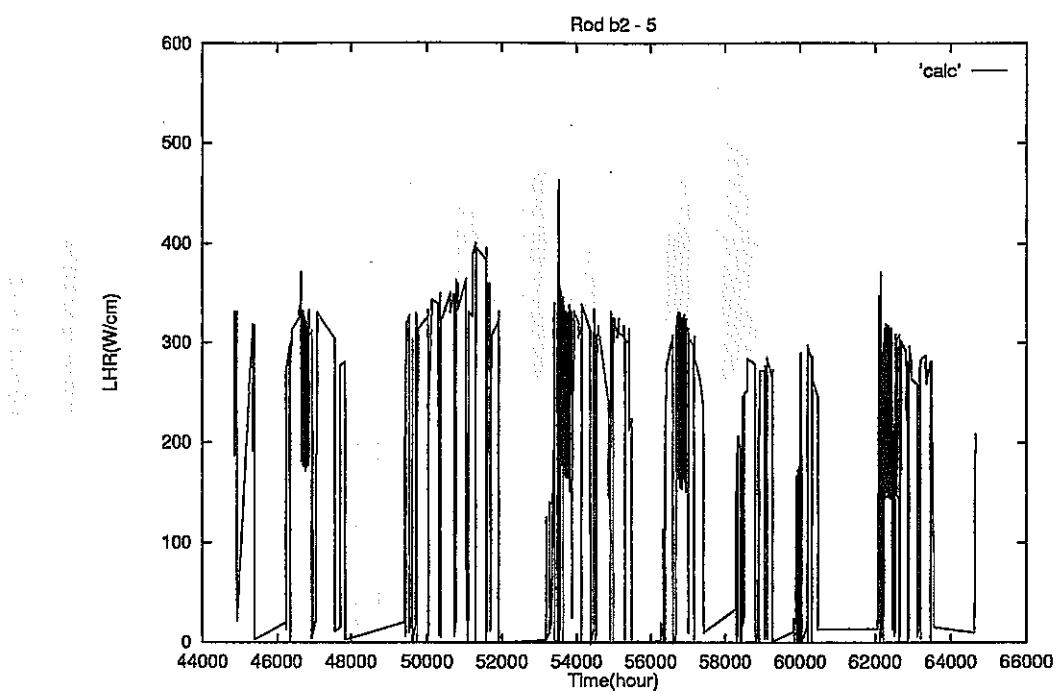


図 4.5(5/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

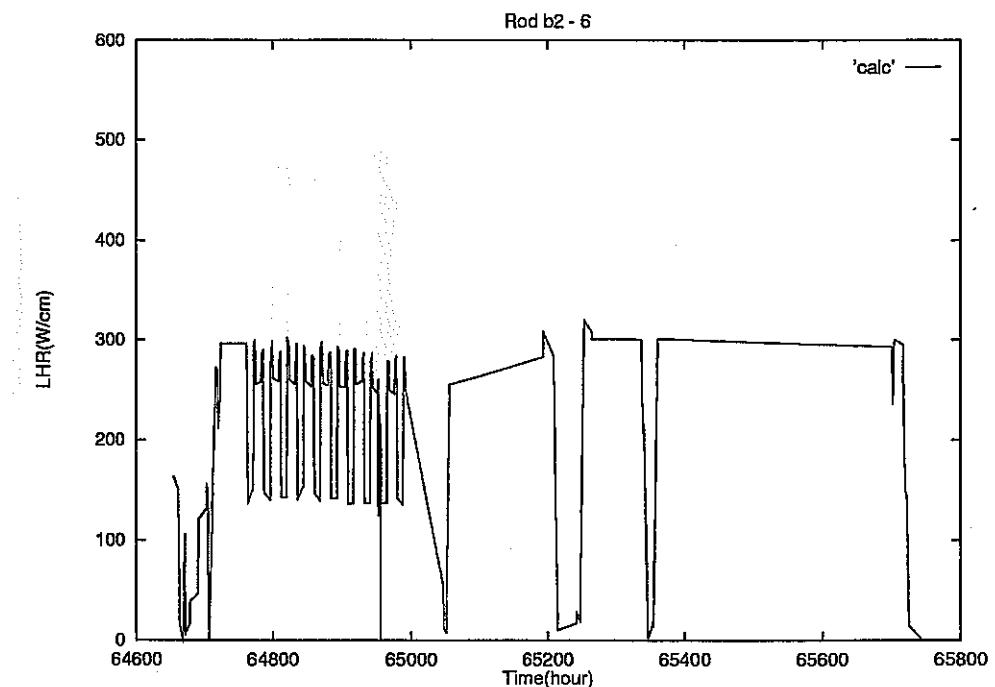


図 4.5(6/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

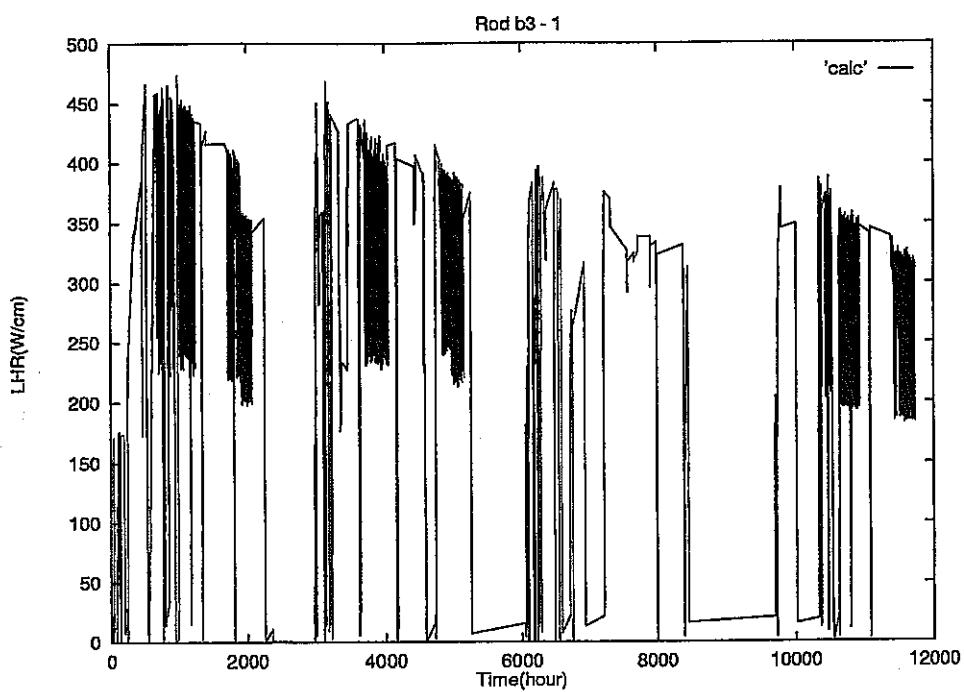


図 4.6(1/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B3)

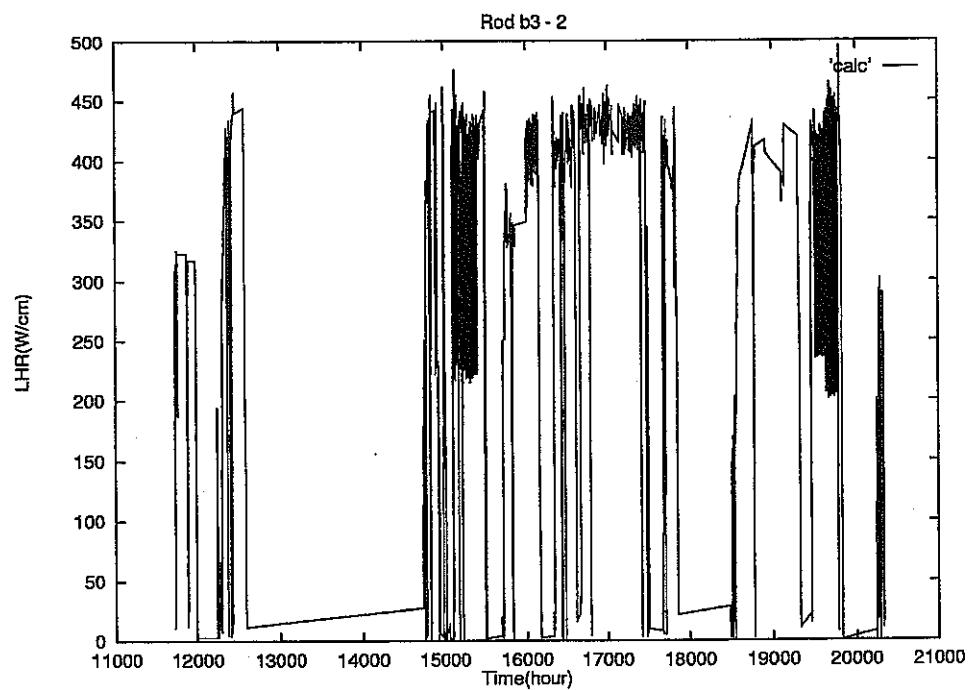


図 4.6(2/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B3)

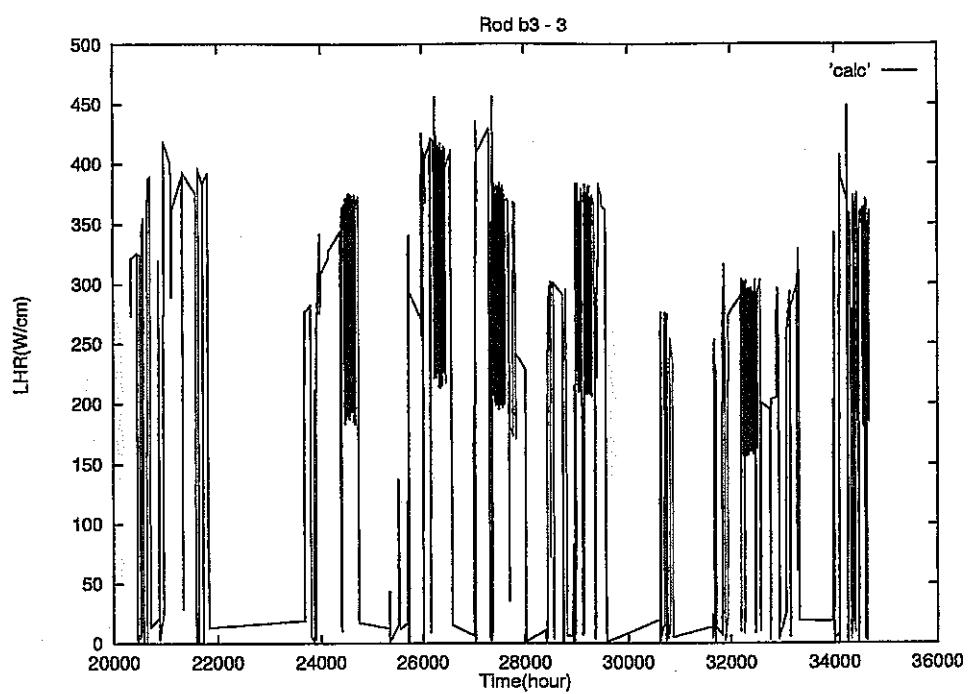


図 4.6(3/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B3)

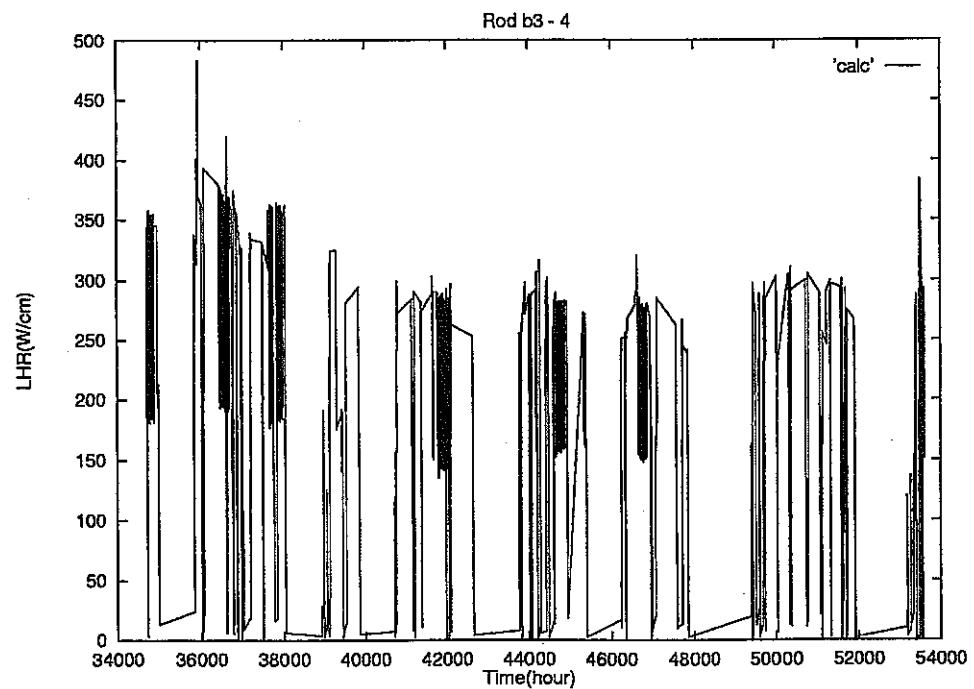


図 4.6(4/5) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B3)

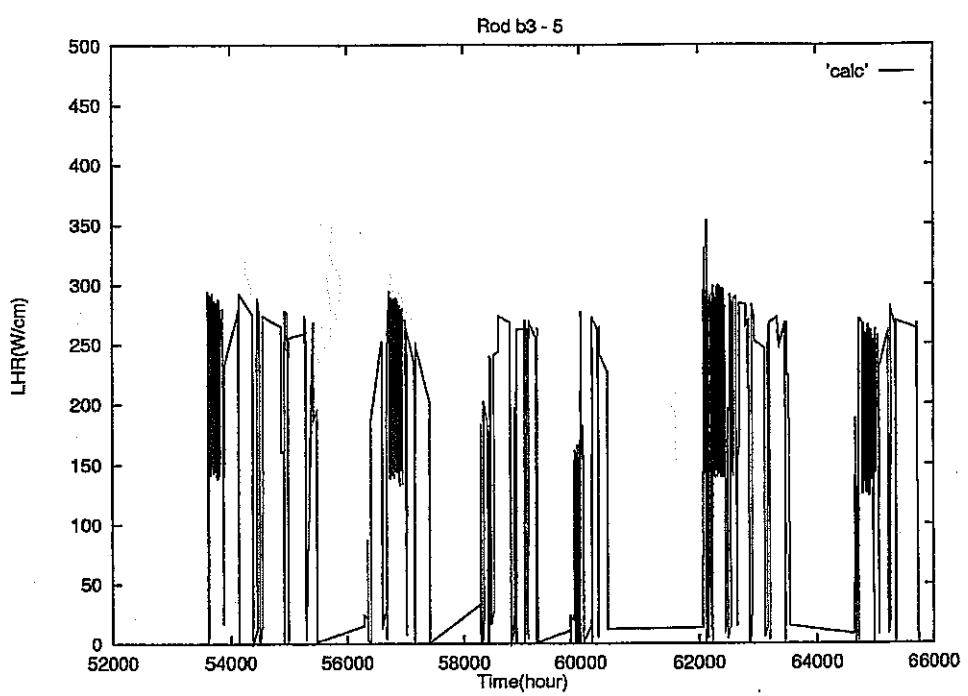


図 4.6(5/5) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B3)

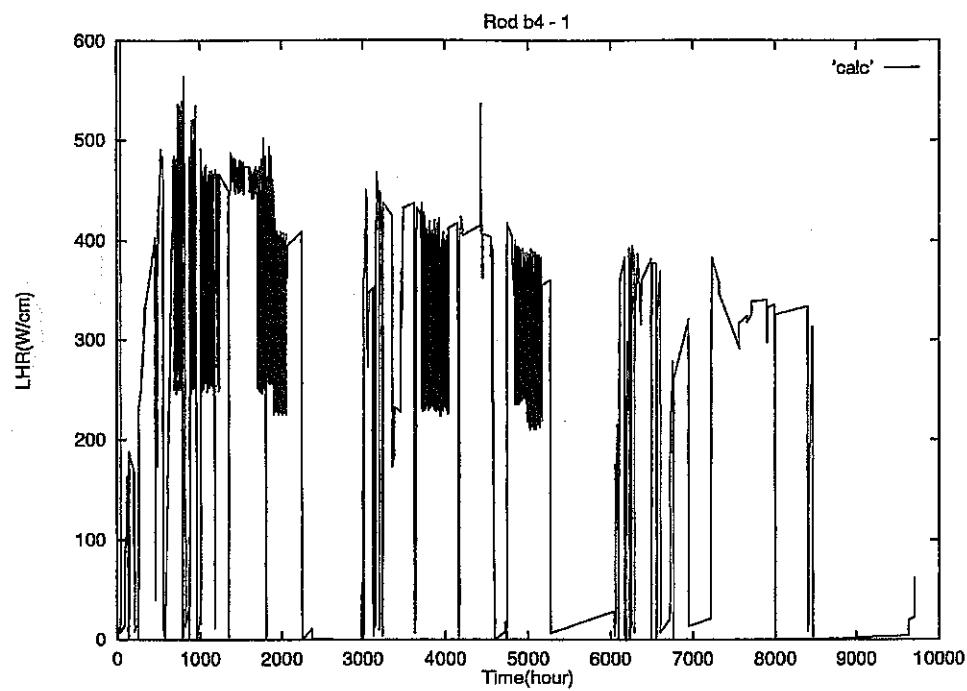


図 4.7(1/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

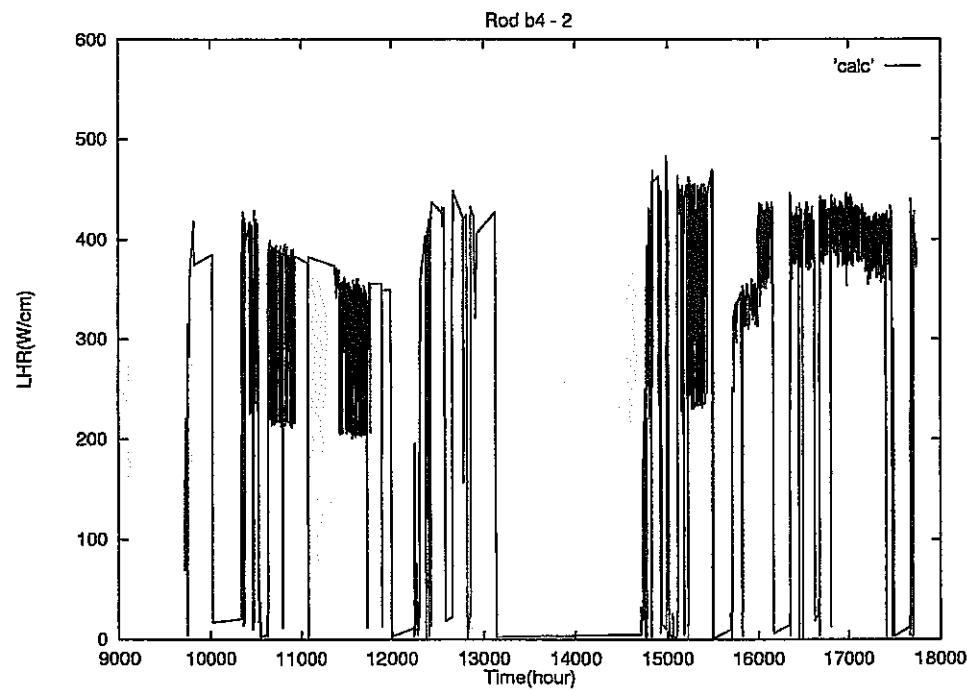


図 4.7(2/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

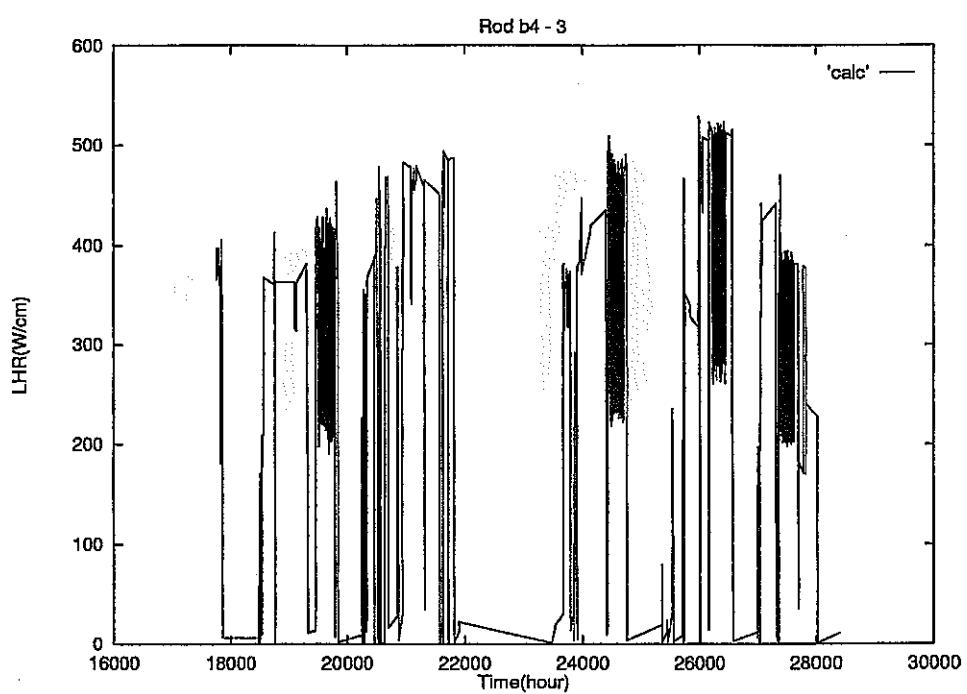


図 4.7(3/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

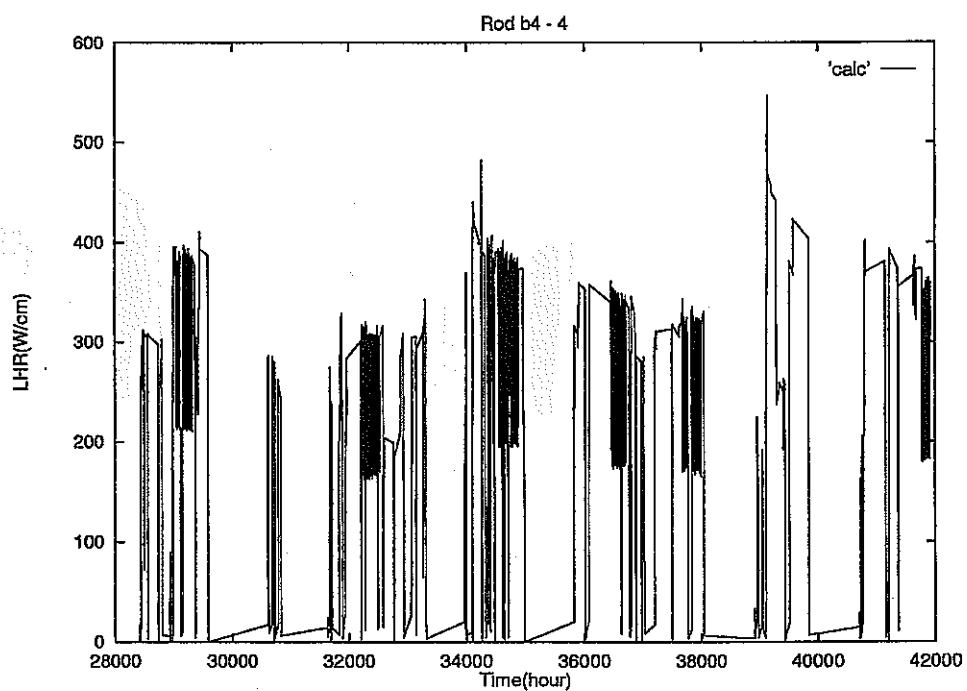


図 4.7(4/6) 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

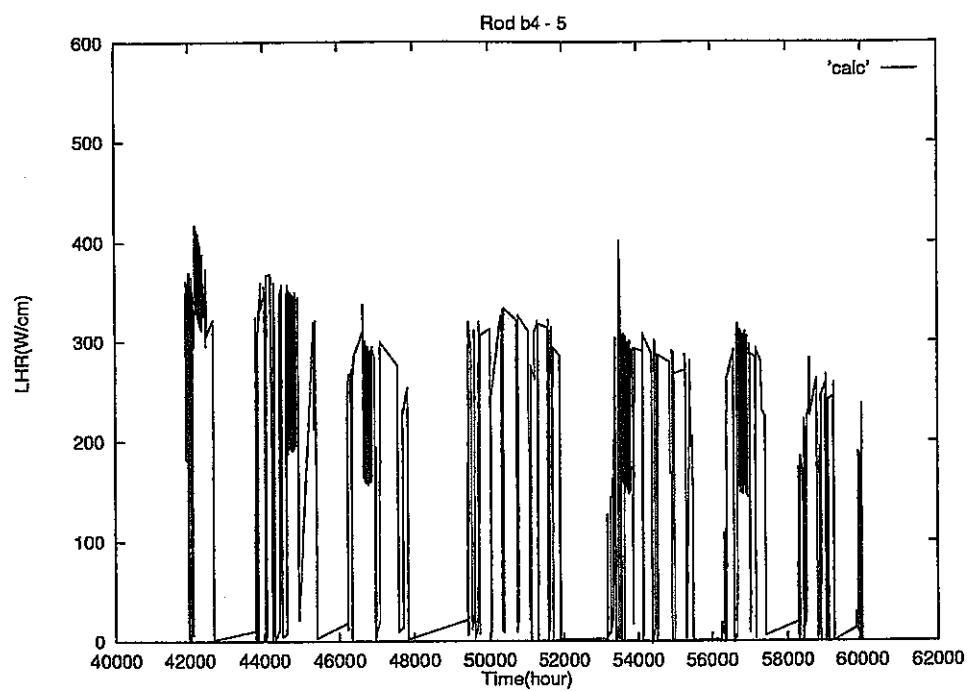


図 4.7(5/6) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B4)

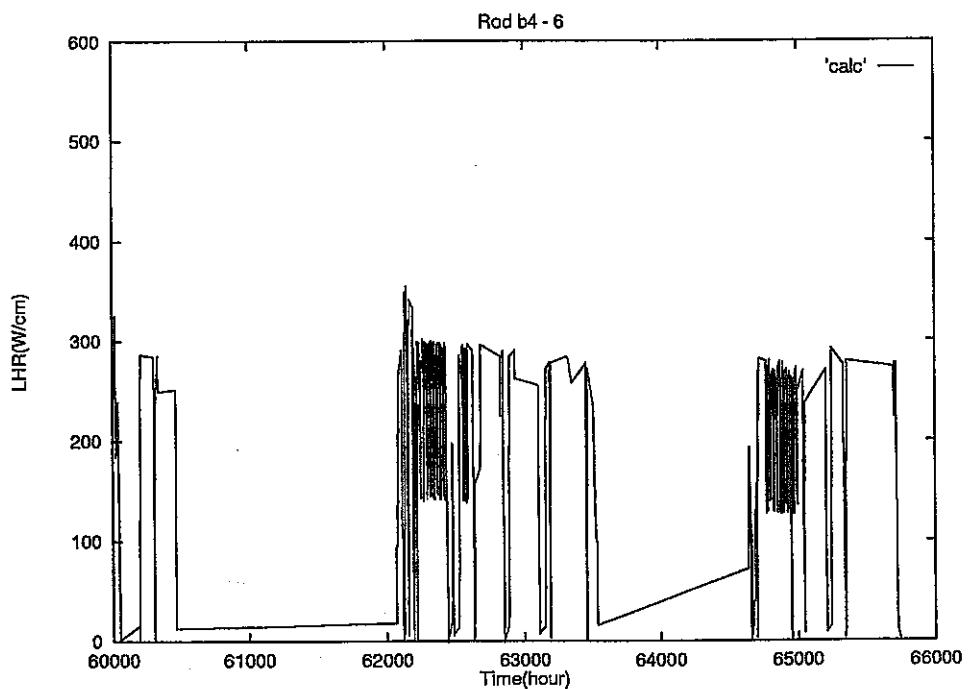


図 4.7(6/6) 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B4)

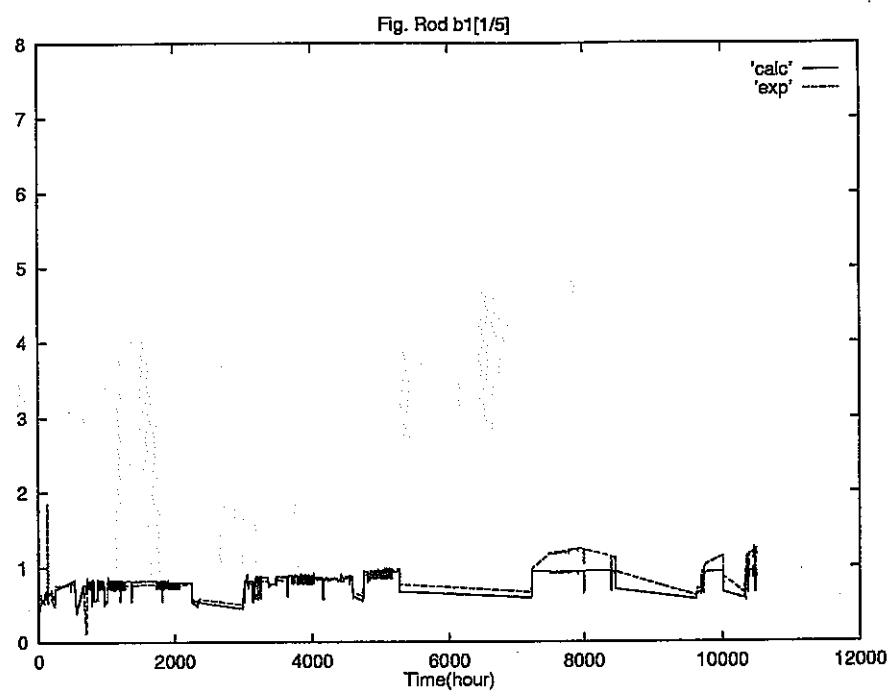


図 4.8(1/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

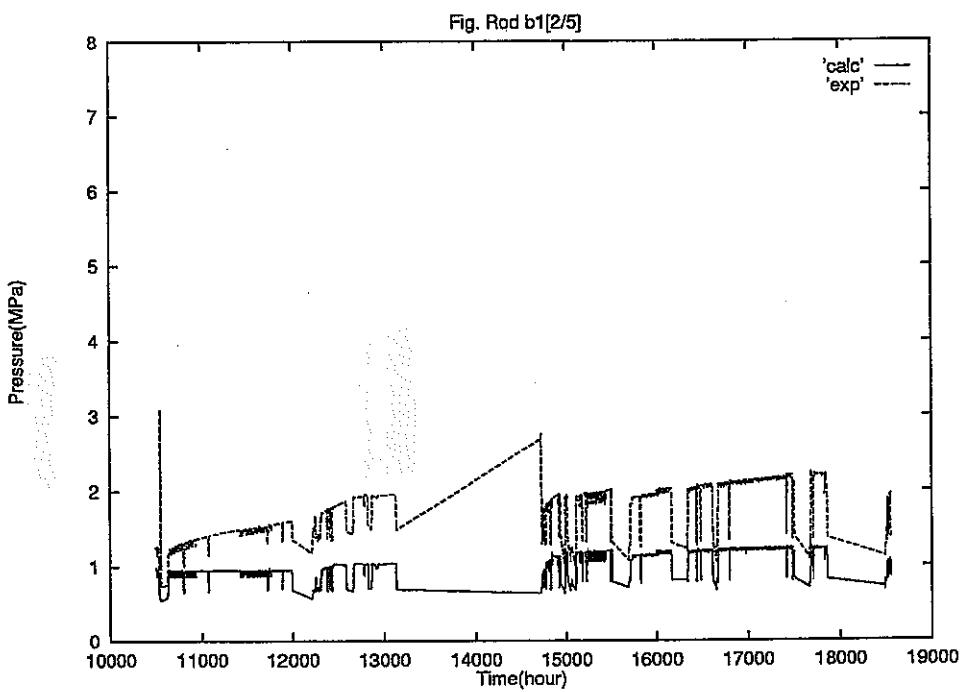


図 4.8(2/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

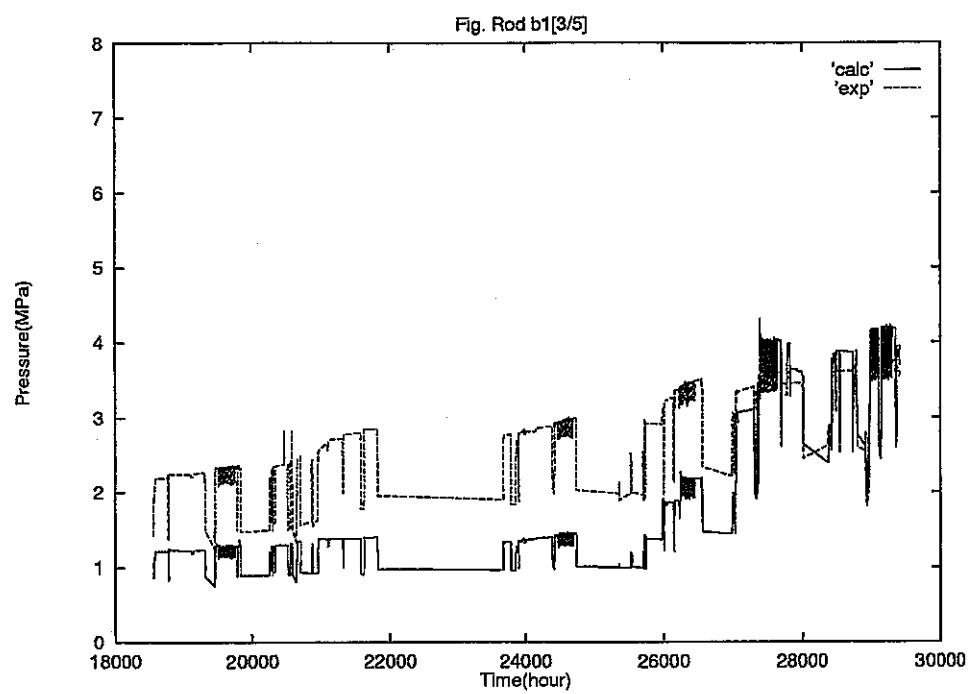


図 4.8(3/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

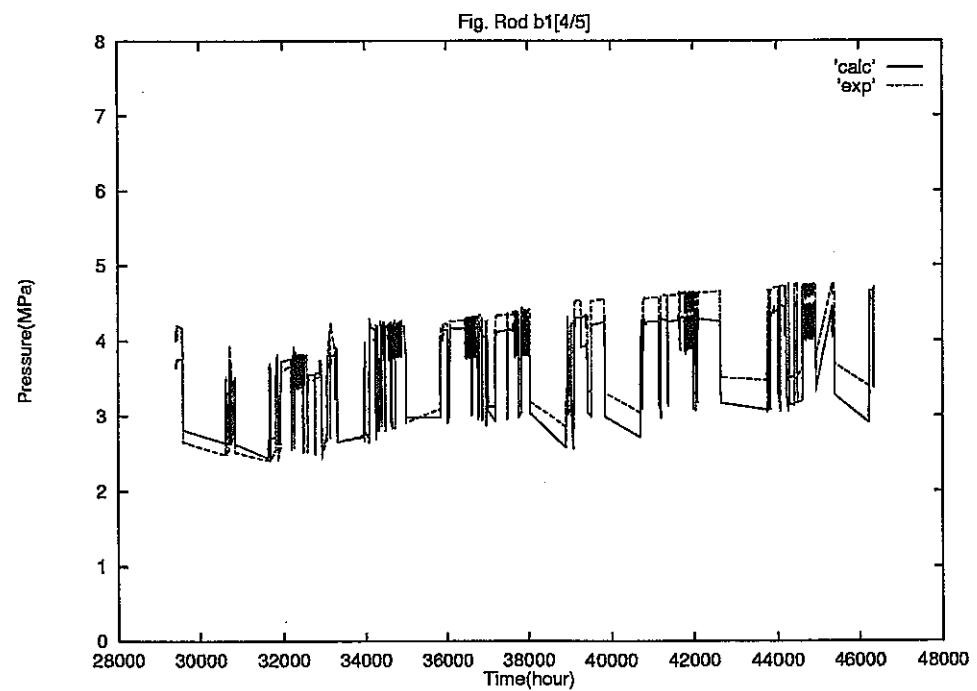


図 4.8(4/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

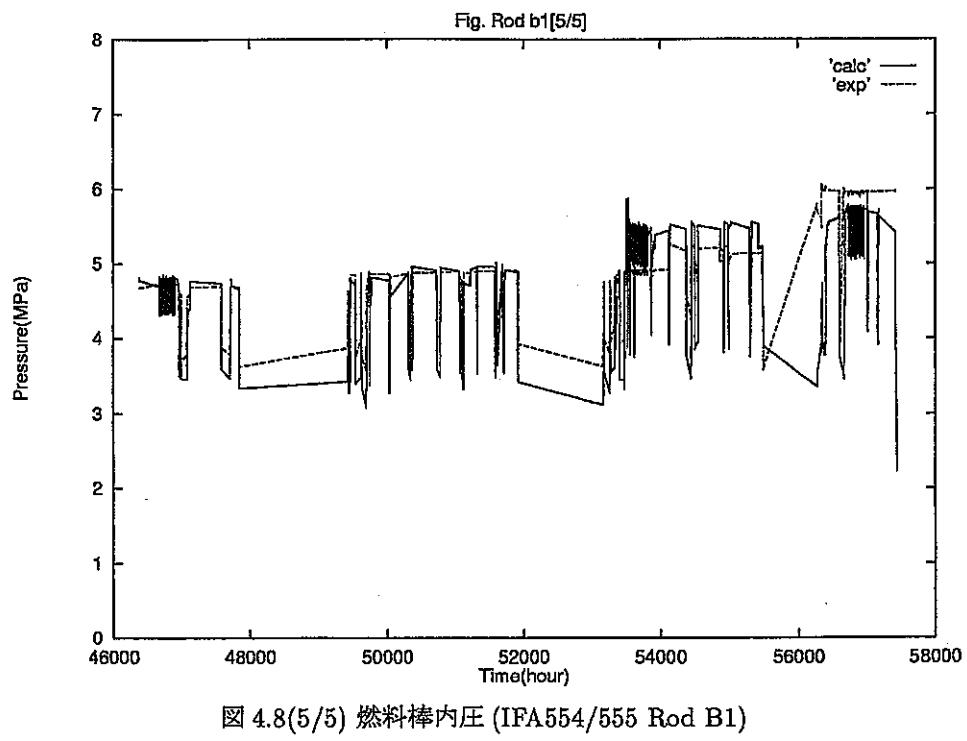


図 4.8(5/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

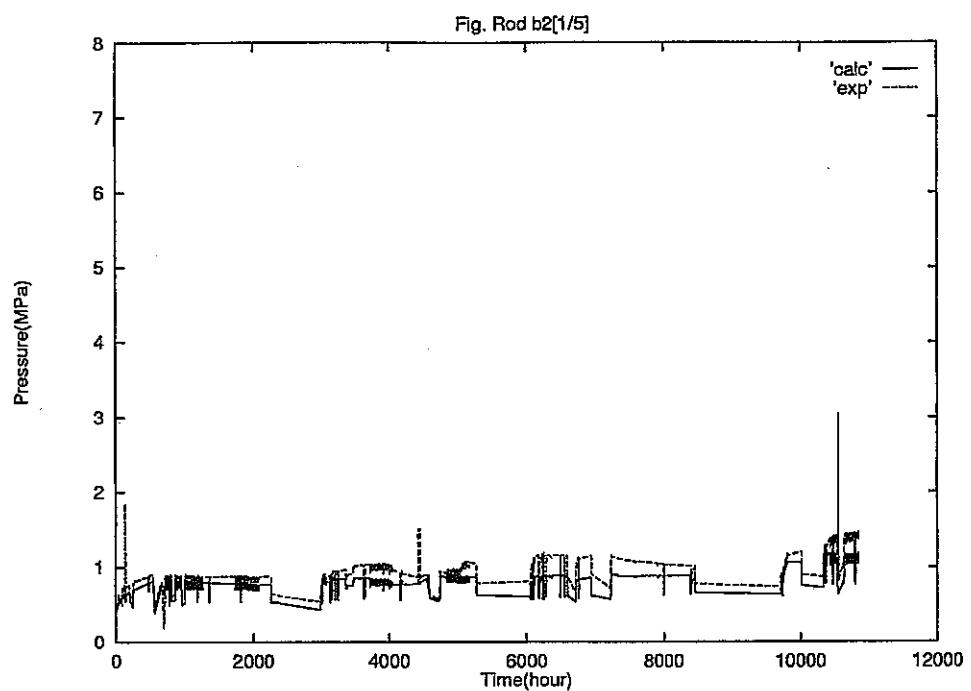


図 4.9(1/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

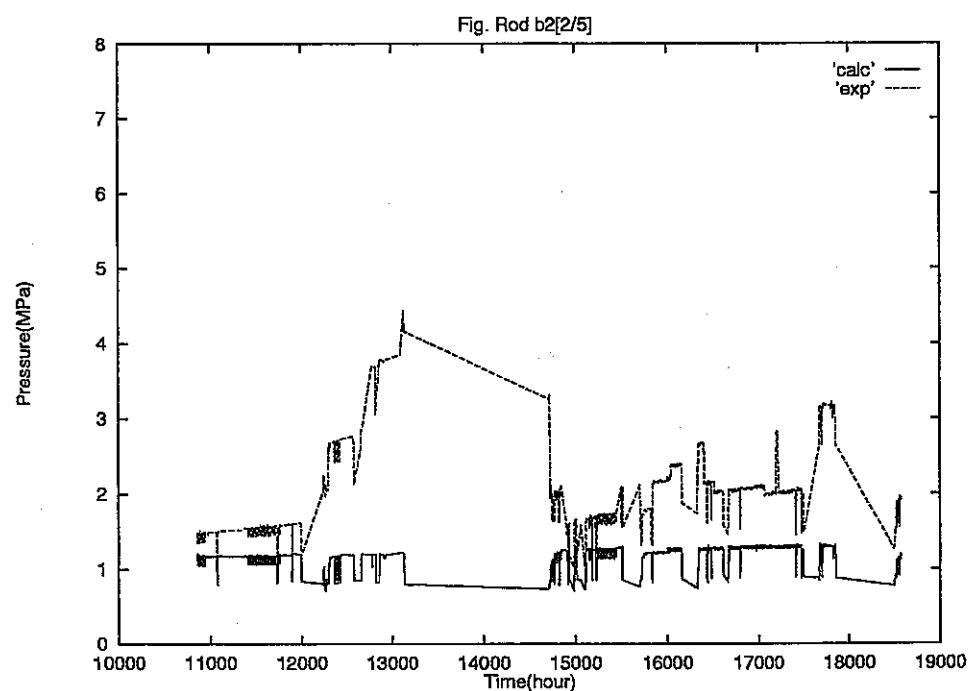


図 4.9(2/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

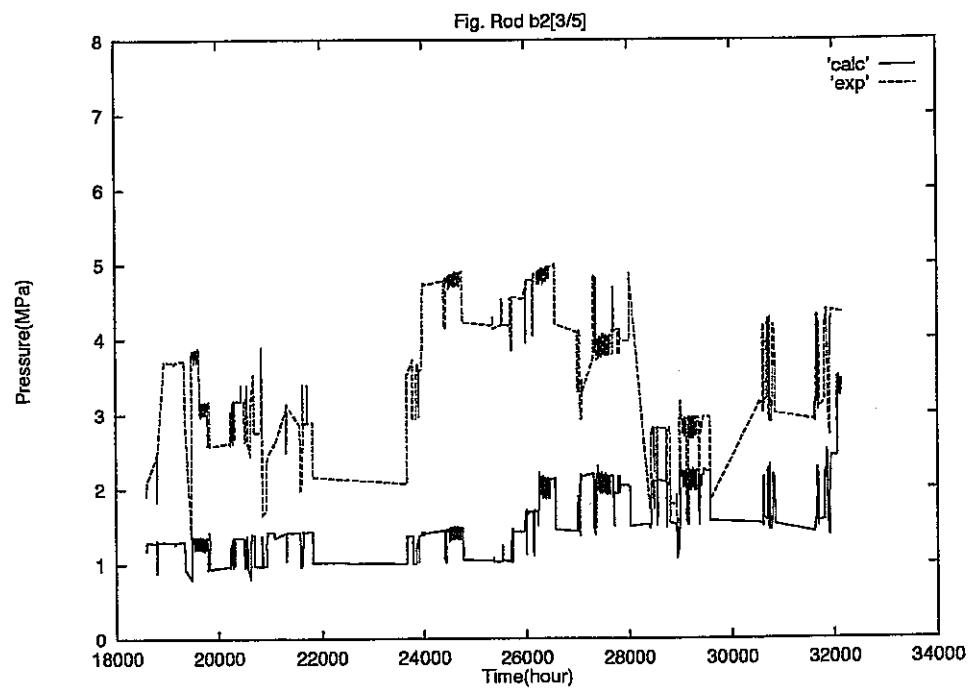


図 4.9(3/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

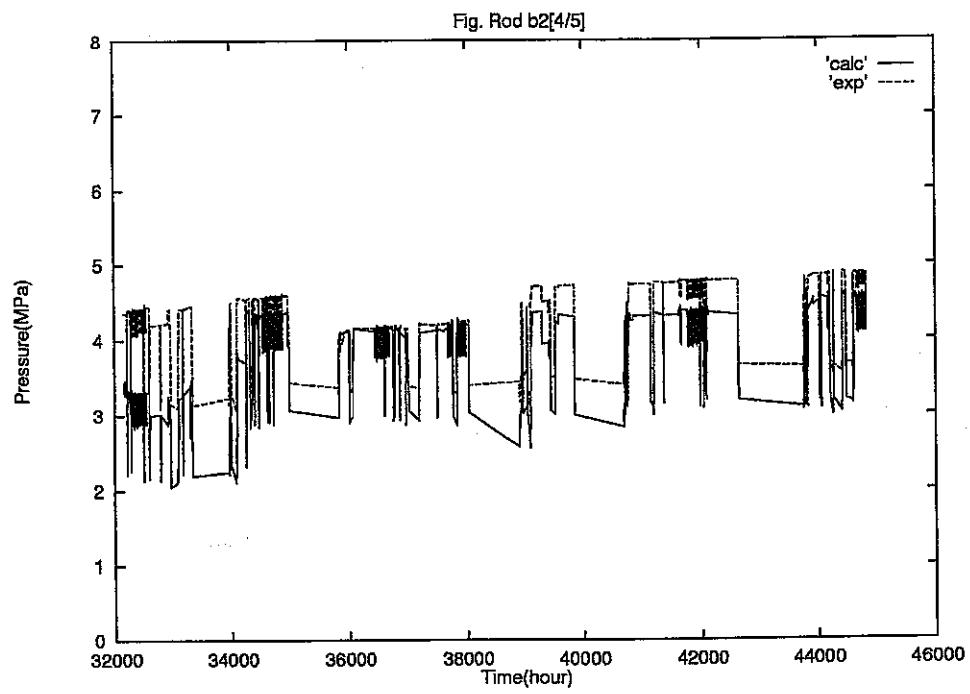


図 4.9(4/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

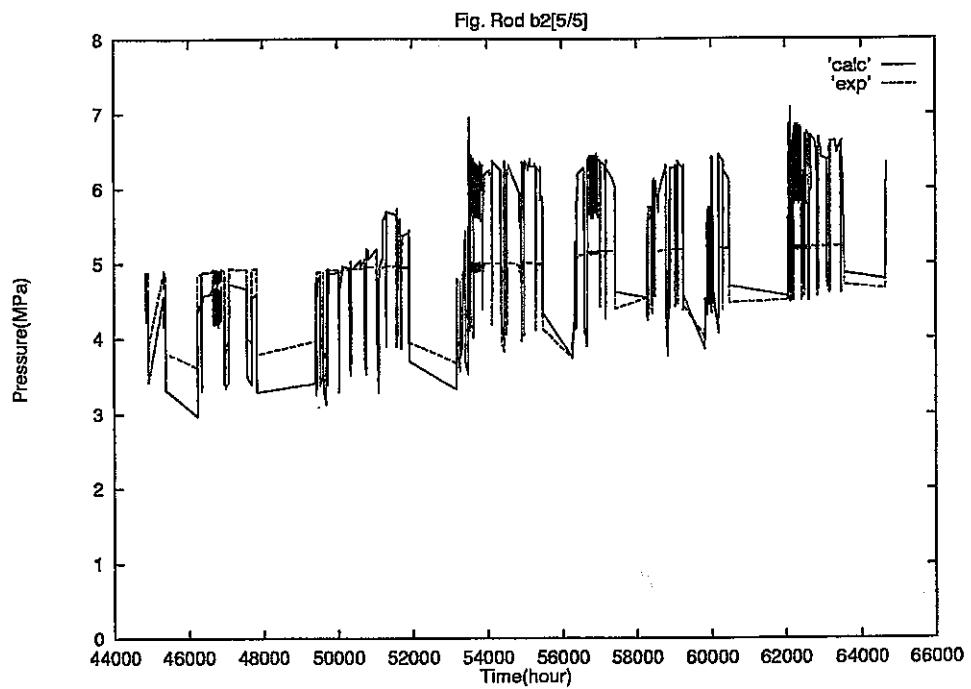


図 4.9(5/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

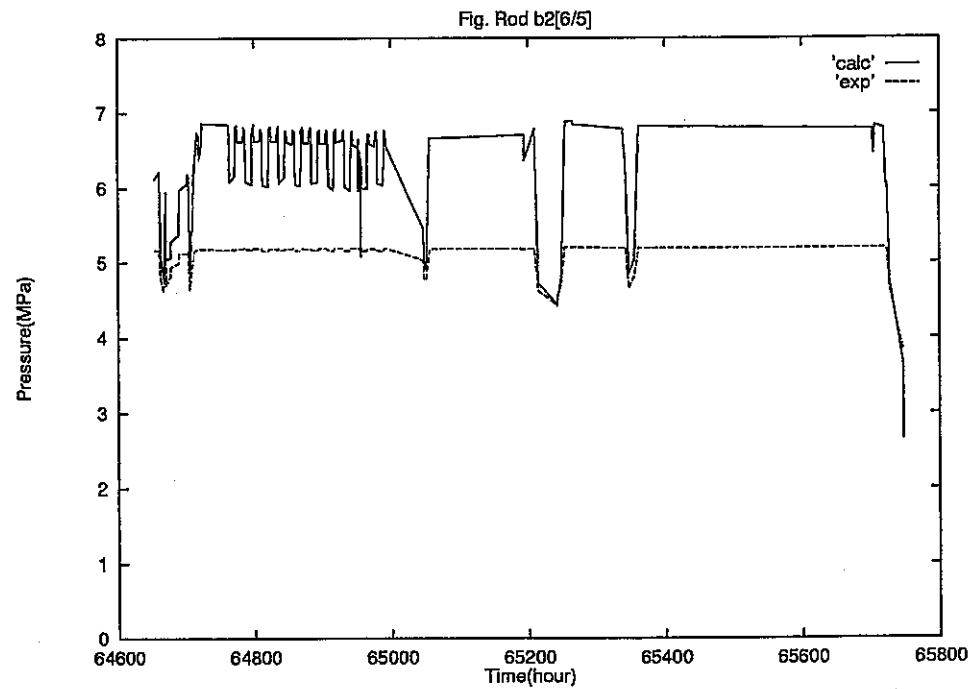


図 4.9(6/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

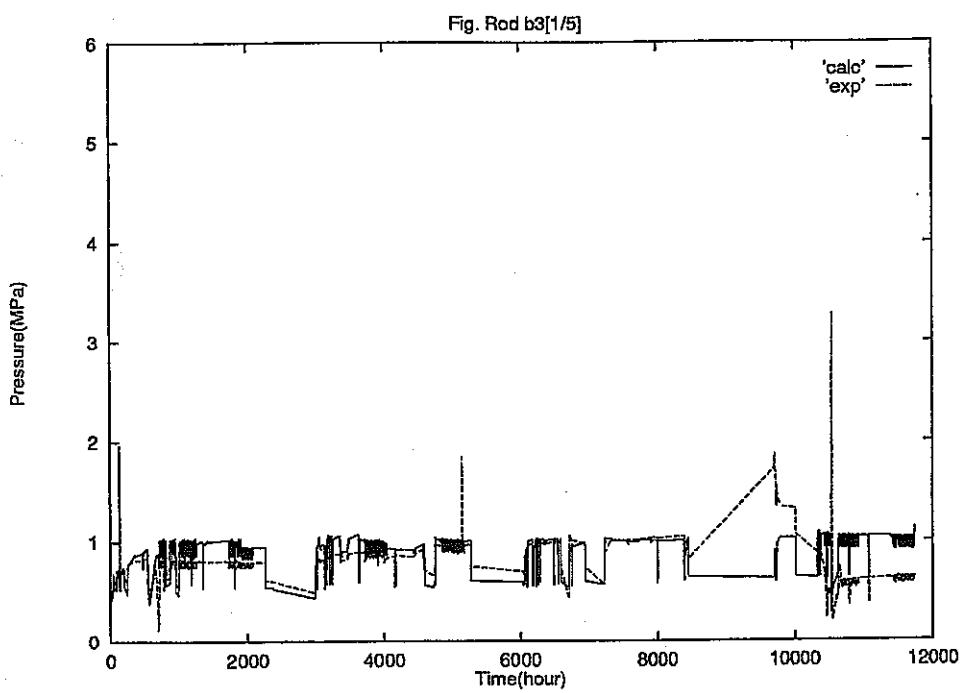


図 4.10(1/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

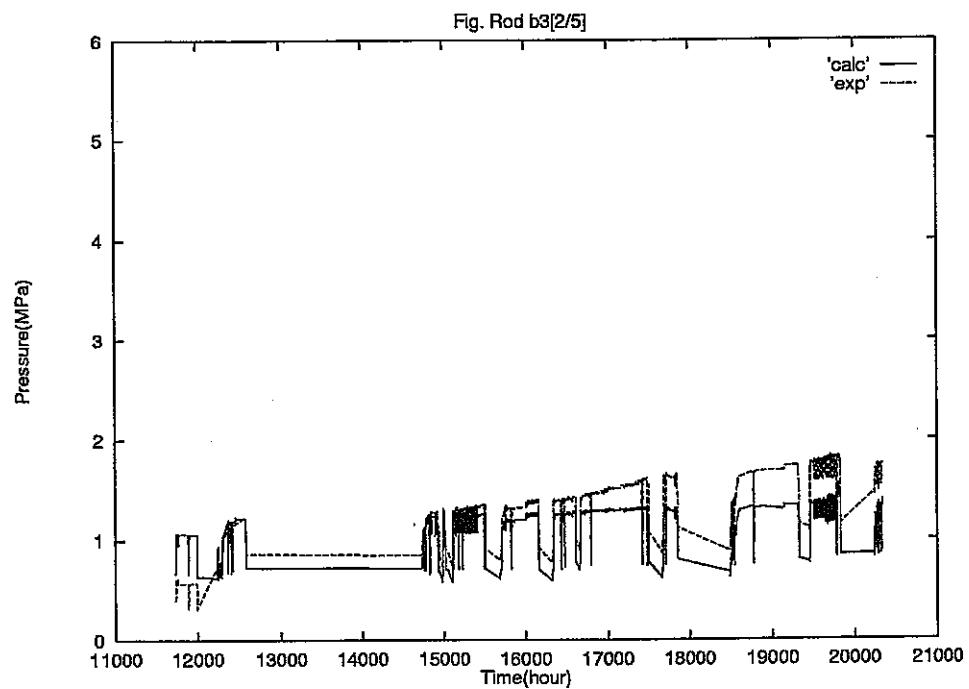


図 4.10(2/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

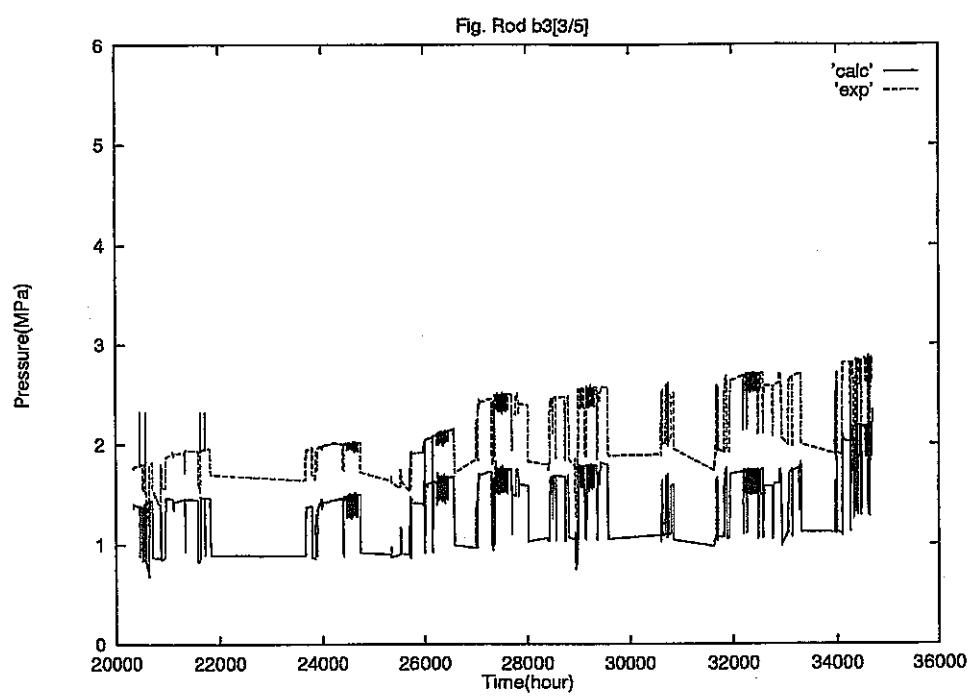


図 4.10(3/5) 燃料棒内圧 (IFAP54/555 Rod B3)

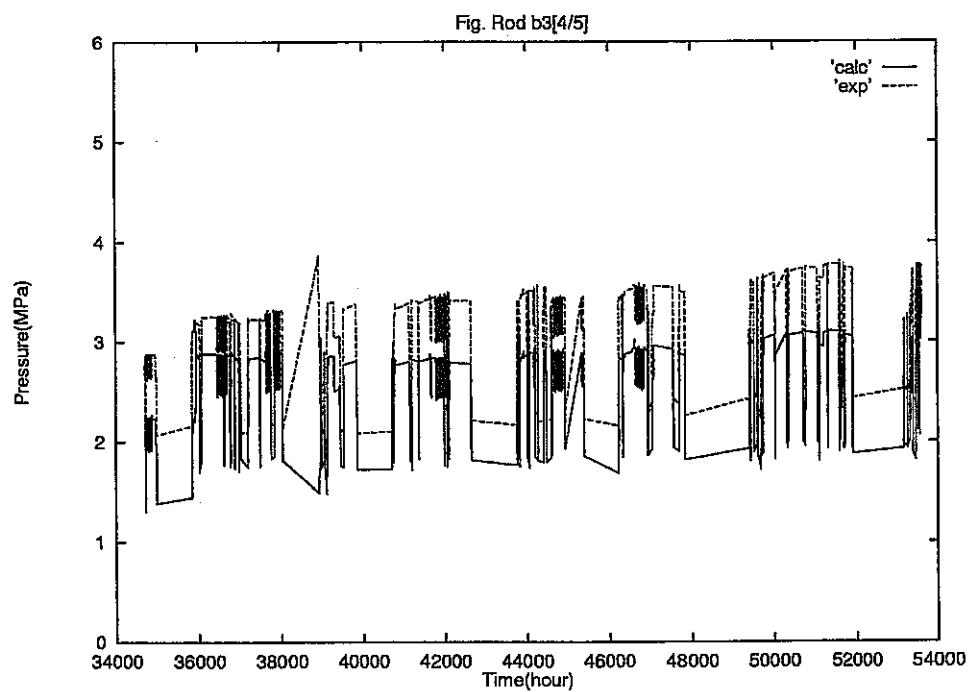


図 4.10(4/5) 燃料棒内圧 (IFAP54/555 Rod B3)

Fig. Rod b3[5/5]

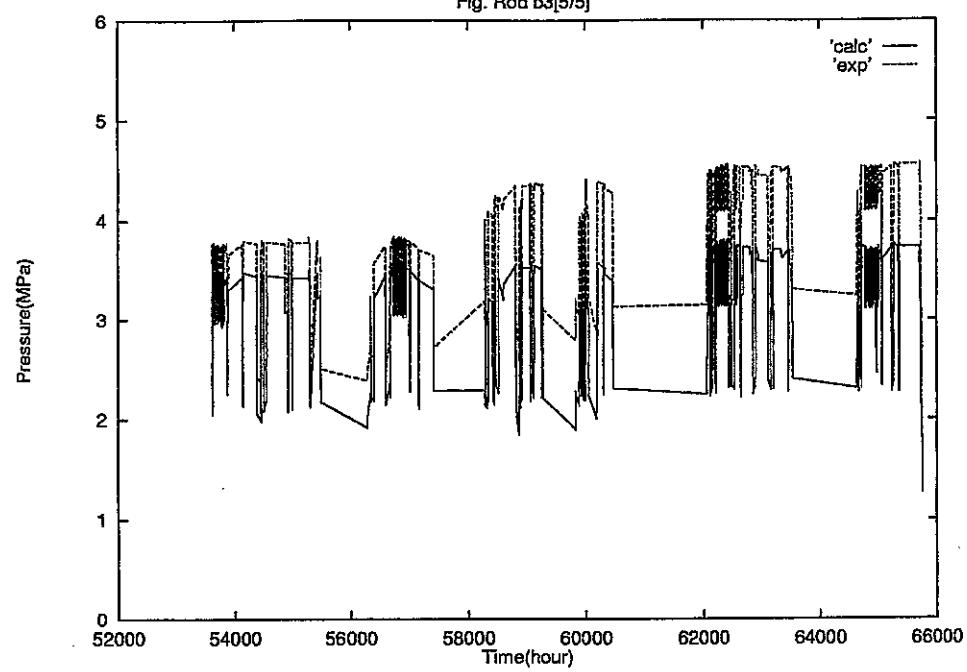


図 4.10(5/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

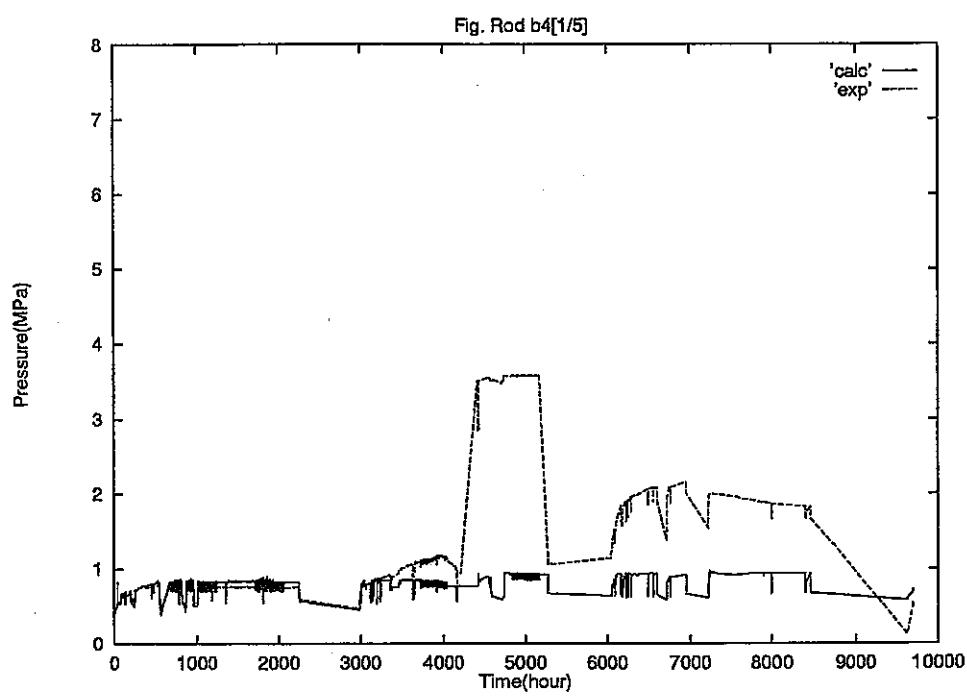


図 4.11(1/6) 燃料棒内圧 (IF4554/555 Rod B4)

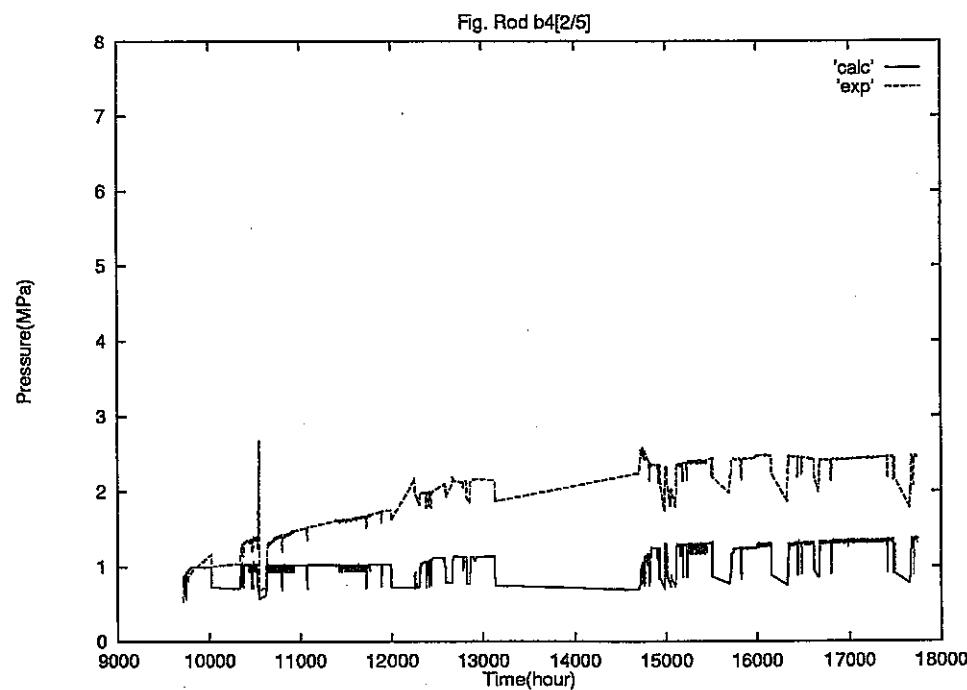


図 4.11(2/6) 燃料棒内圧 (IF4554/555 Rod B4)

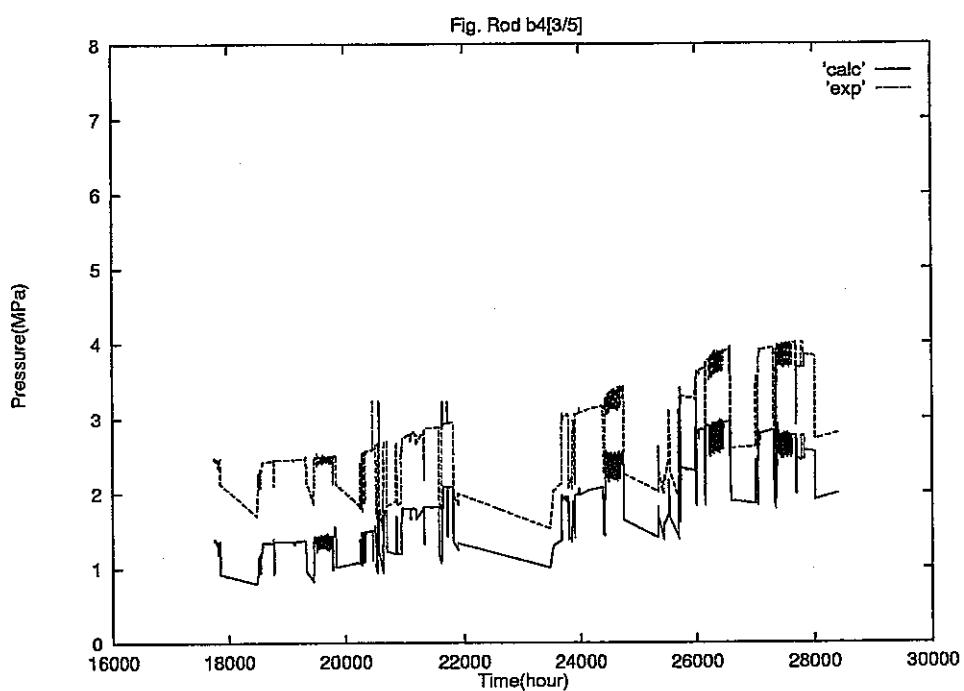


図 4.11(3/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

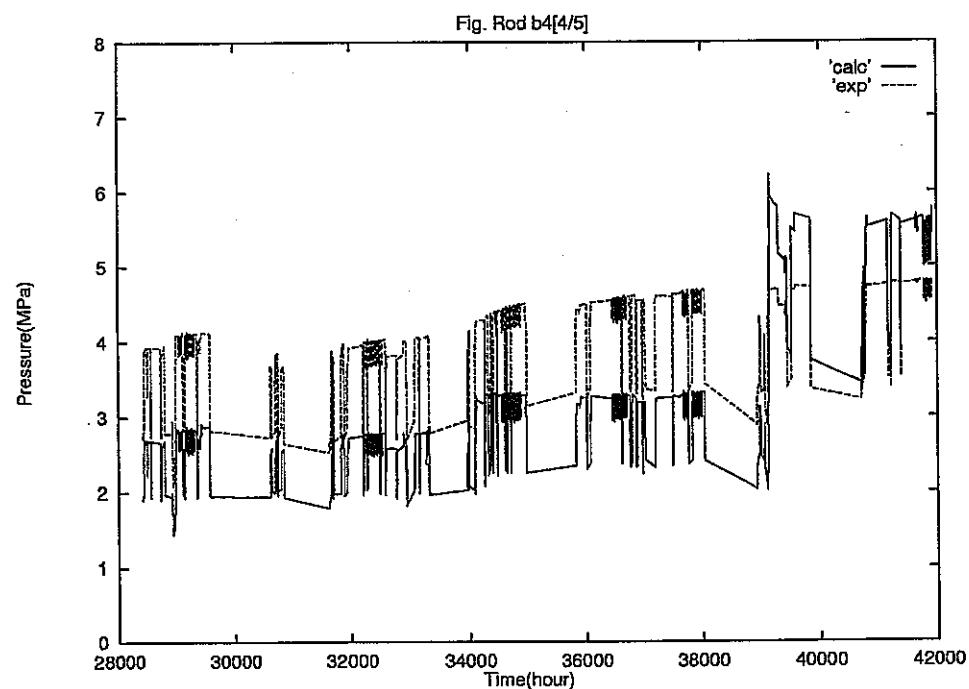


図 4.11(4/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

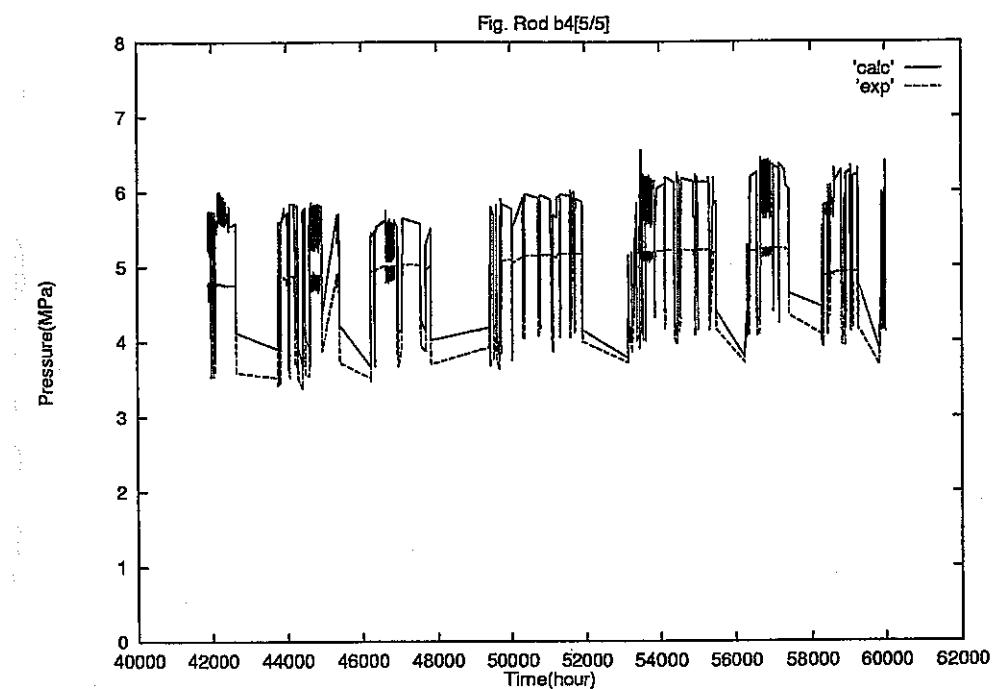


図 4.11(5/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

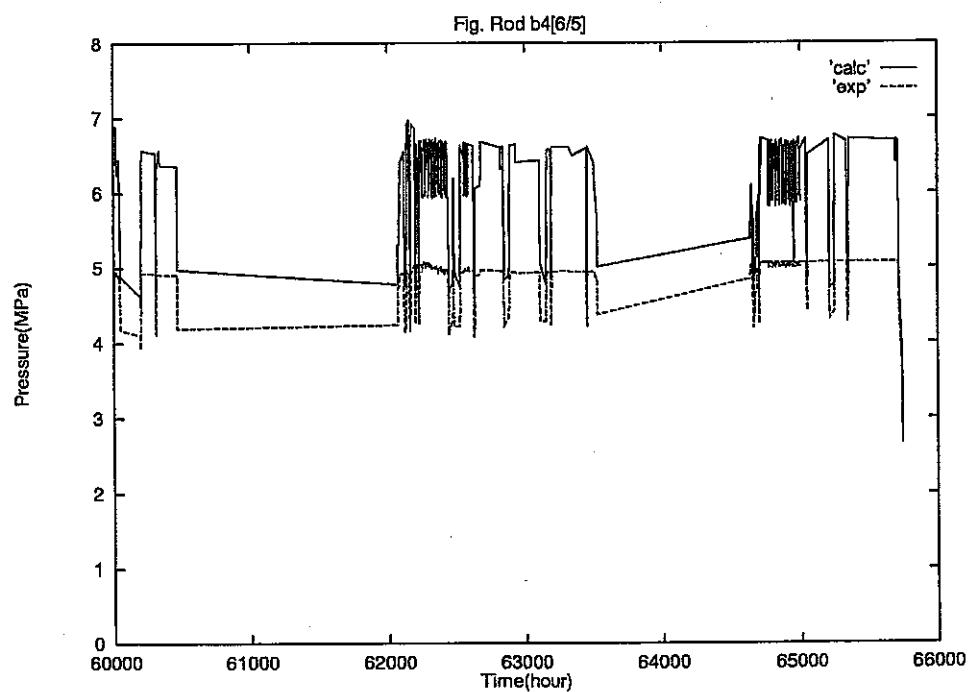


図 4.11(6/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

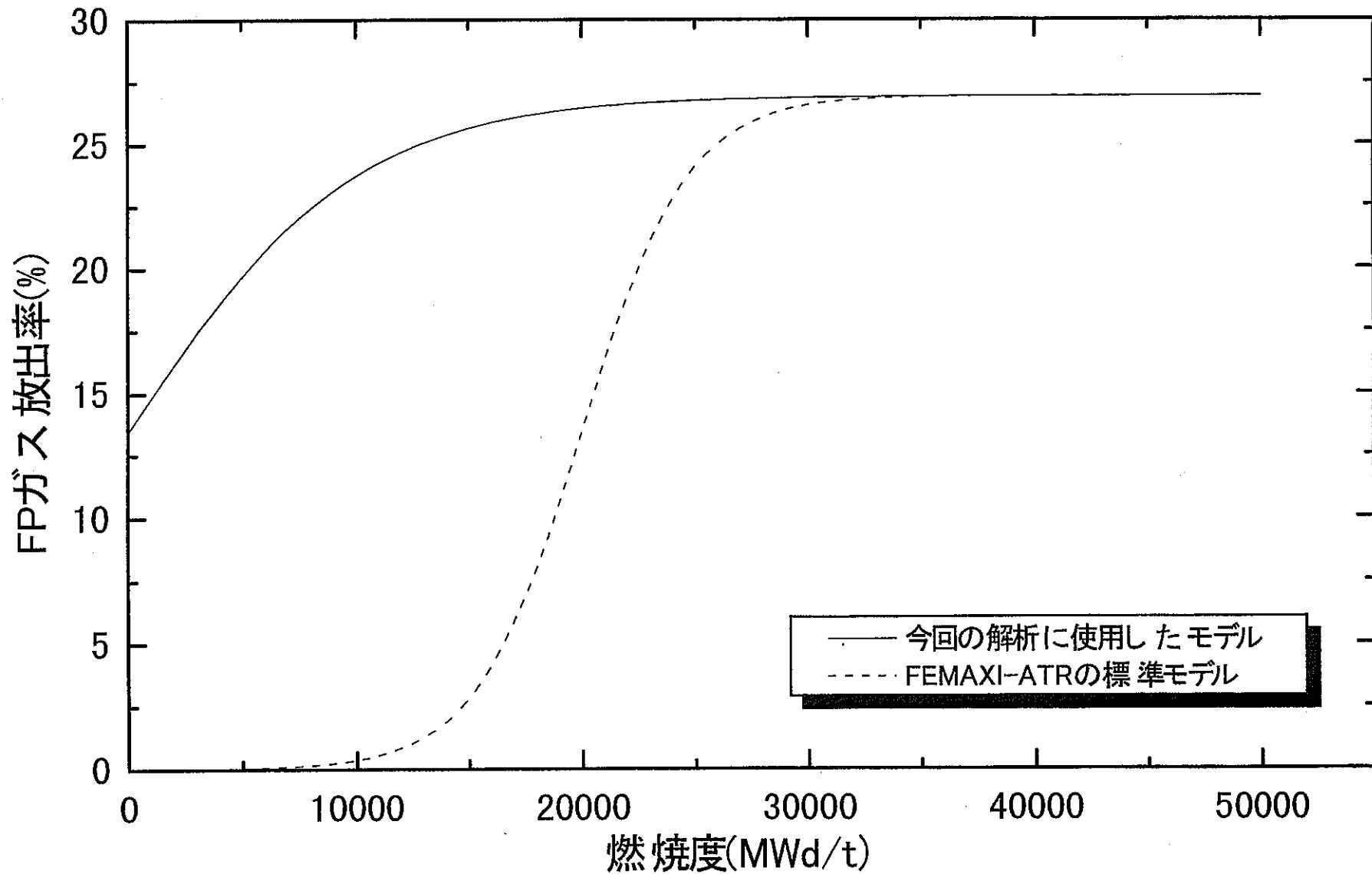


図4.12 燃焼度依存追加FPガス放出率の比較

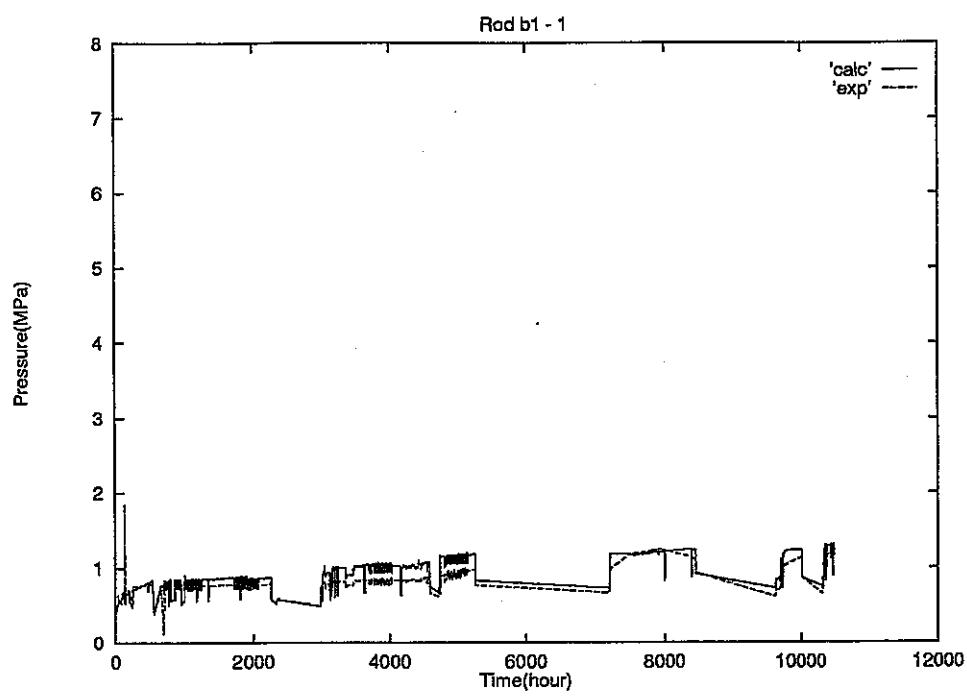


図 4.13(1/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

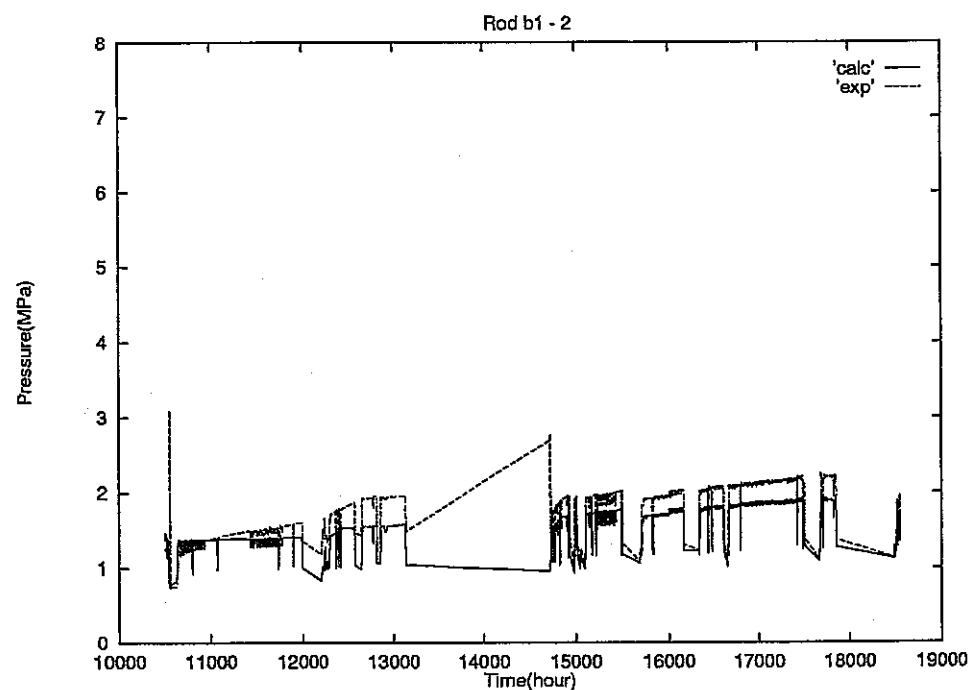


図 4.13(2/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

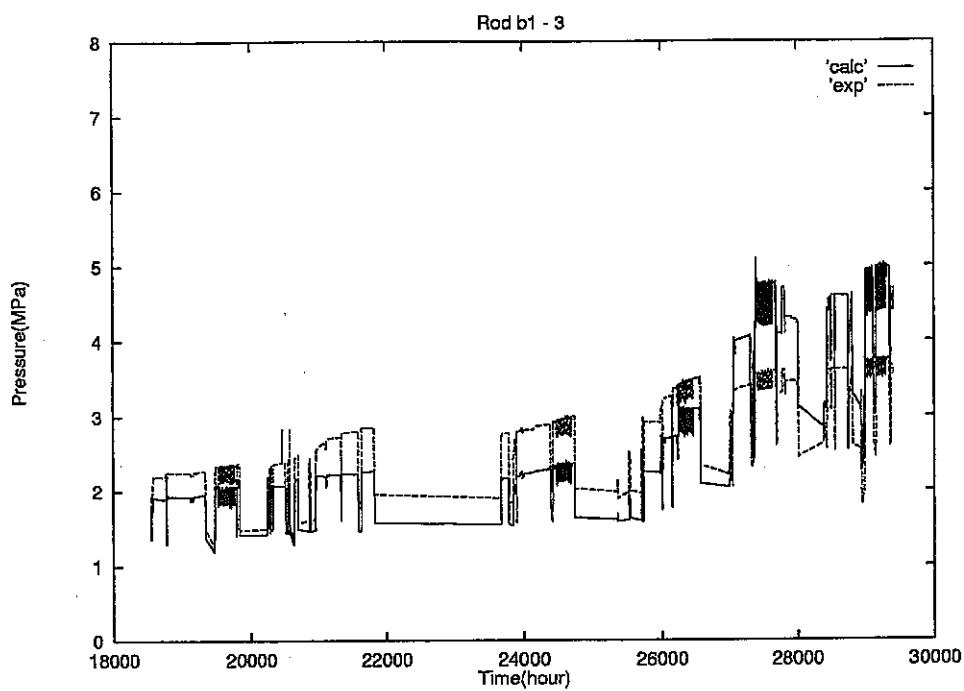


図 4.13(3/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

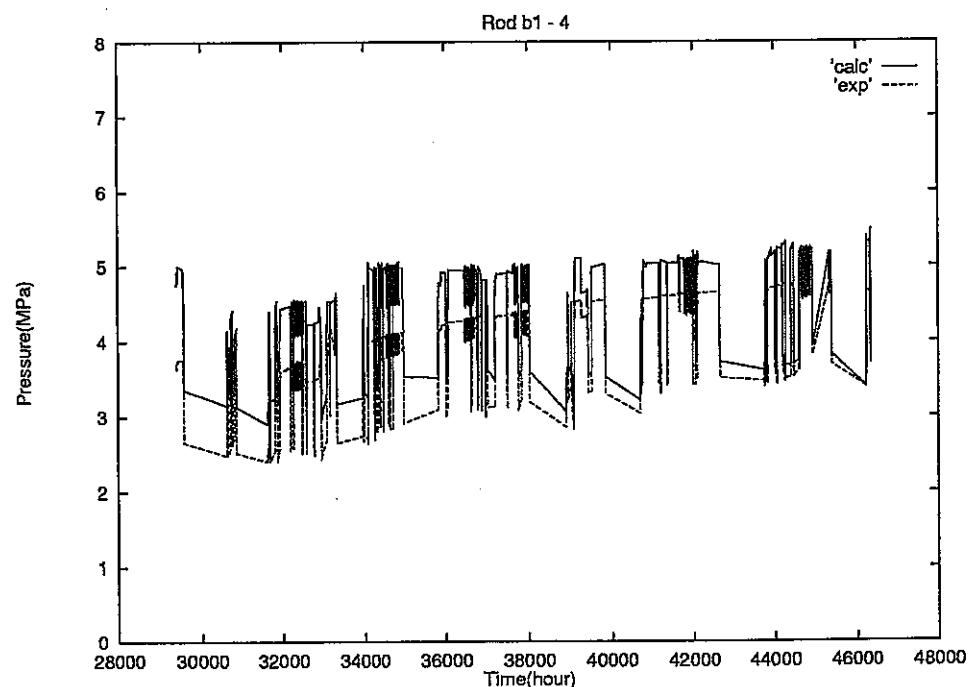


図 4.13(4/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

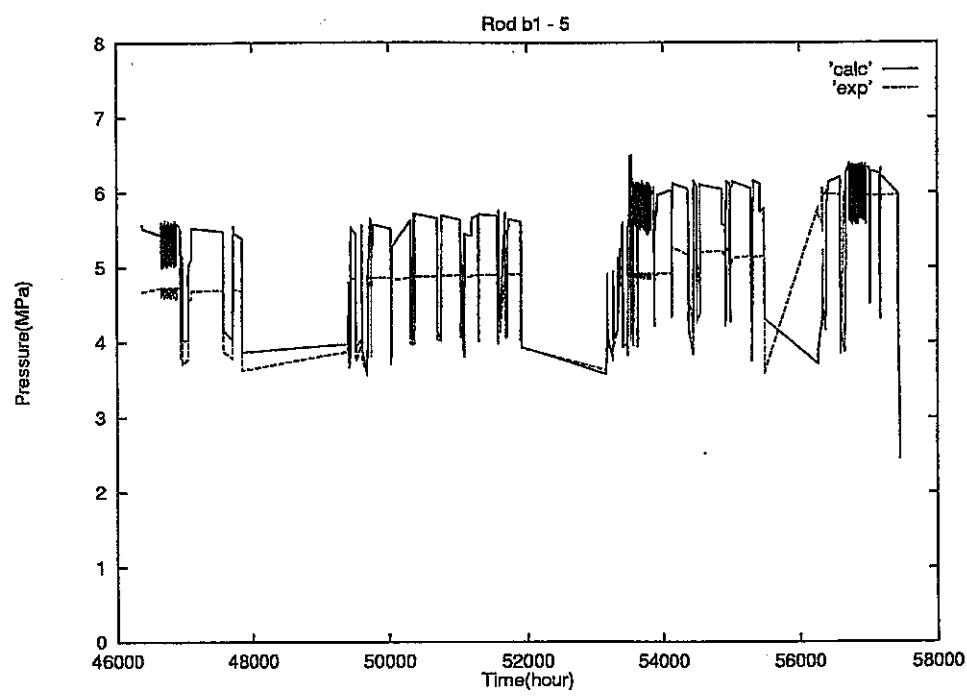


図 4.13(5/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B1)

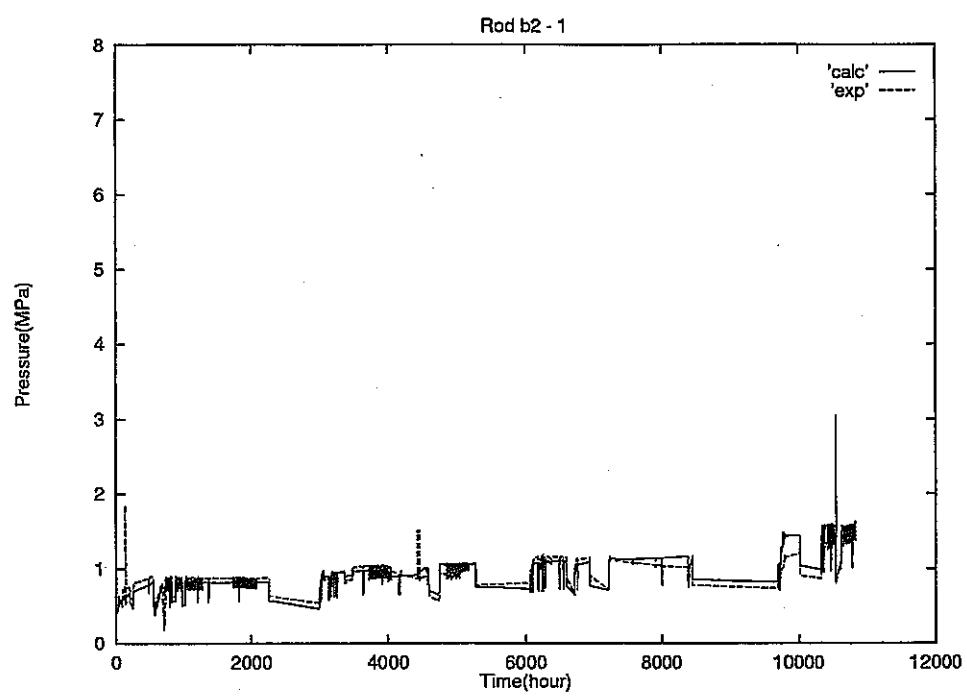


図 4.14(1/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

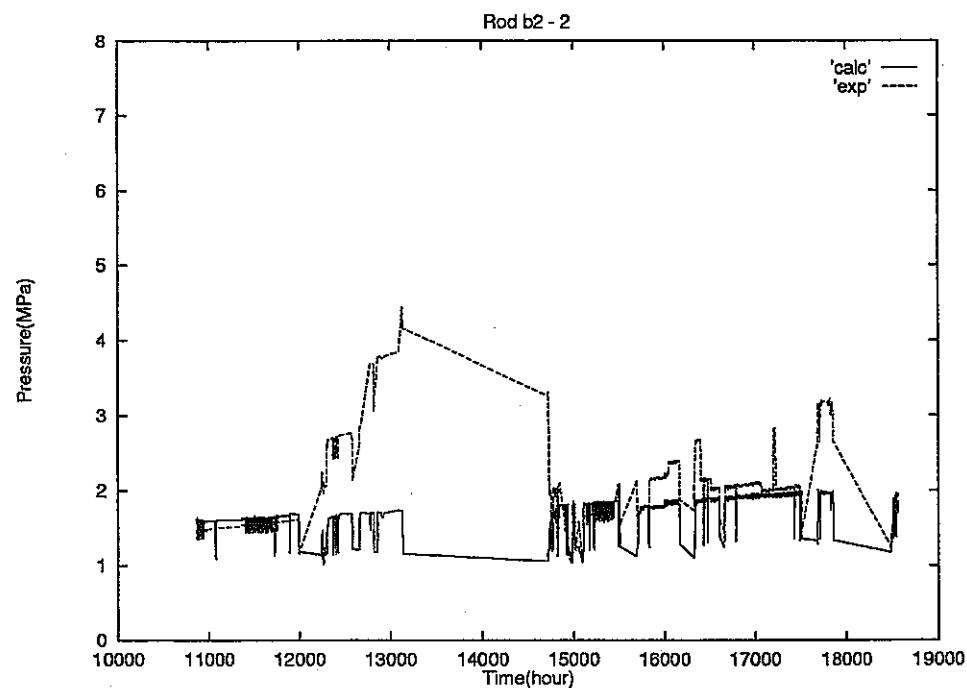


図 4.14(2/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

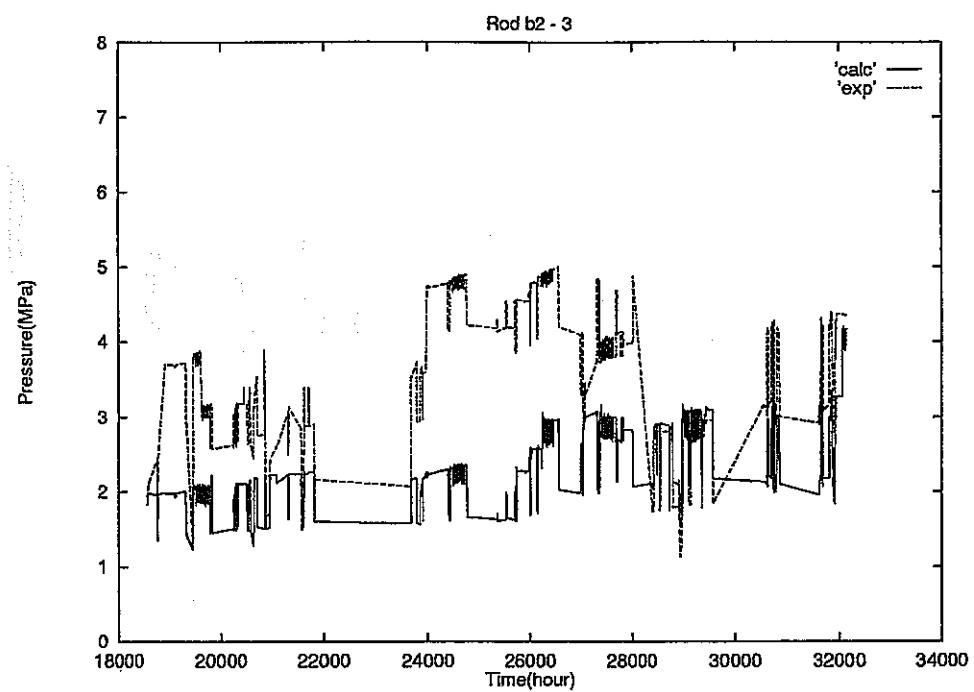


図 4.14(3/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

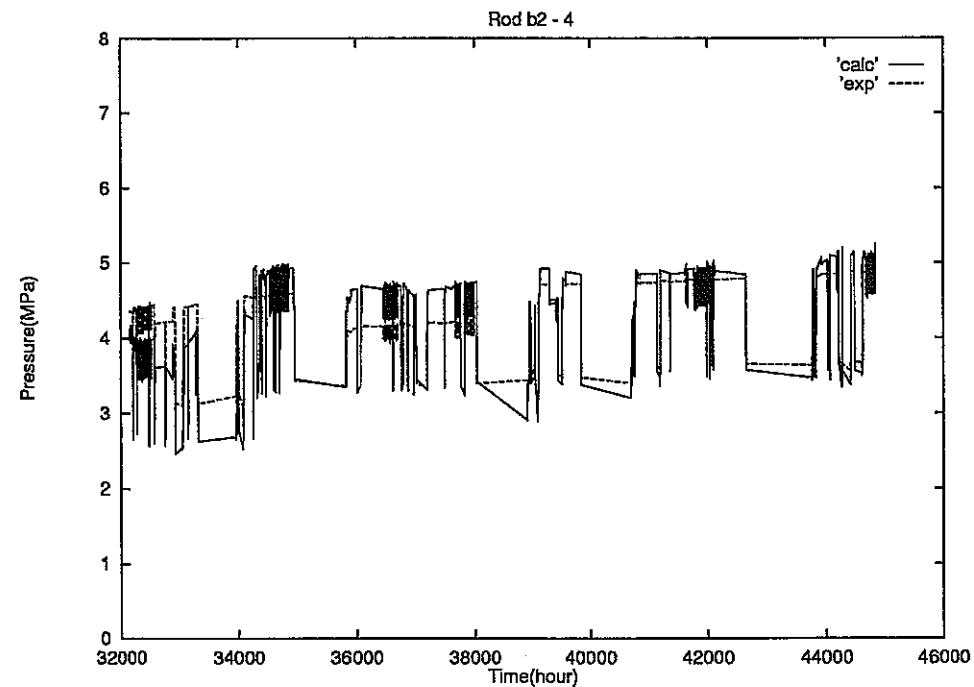


図 4.14(4/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B2)

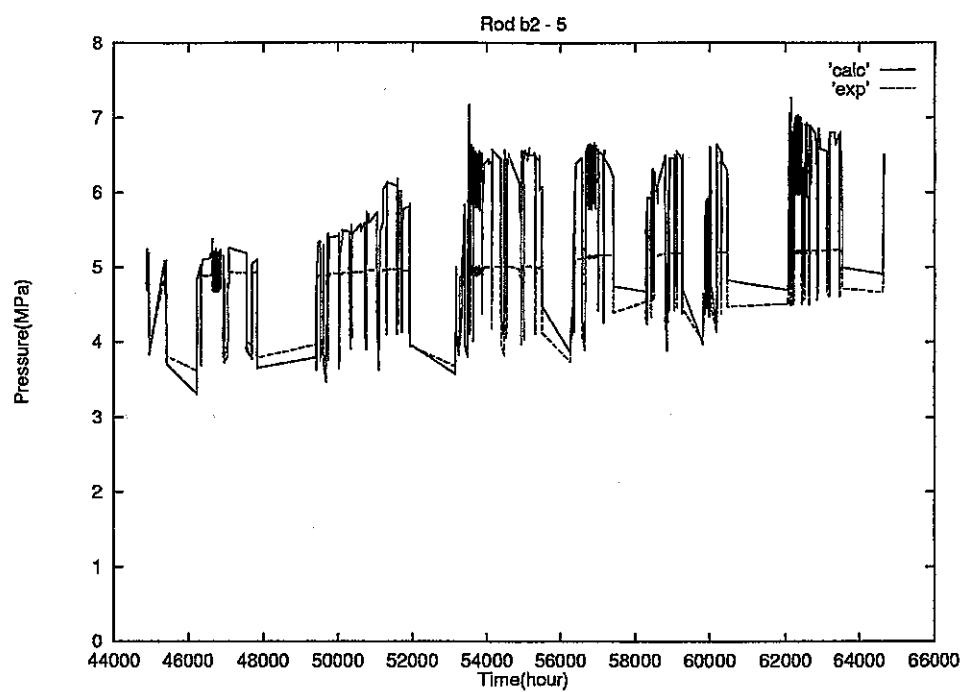


図 4.14(5/6) 燃料棒内圧 (IF A554/555 Rod B2)

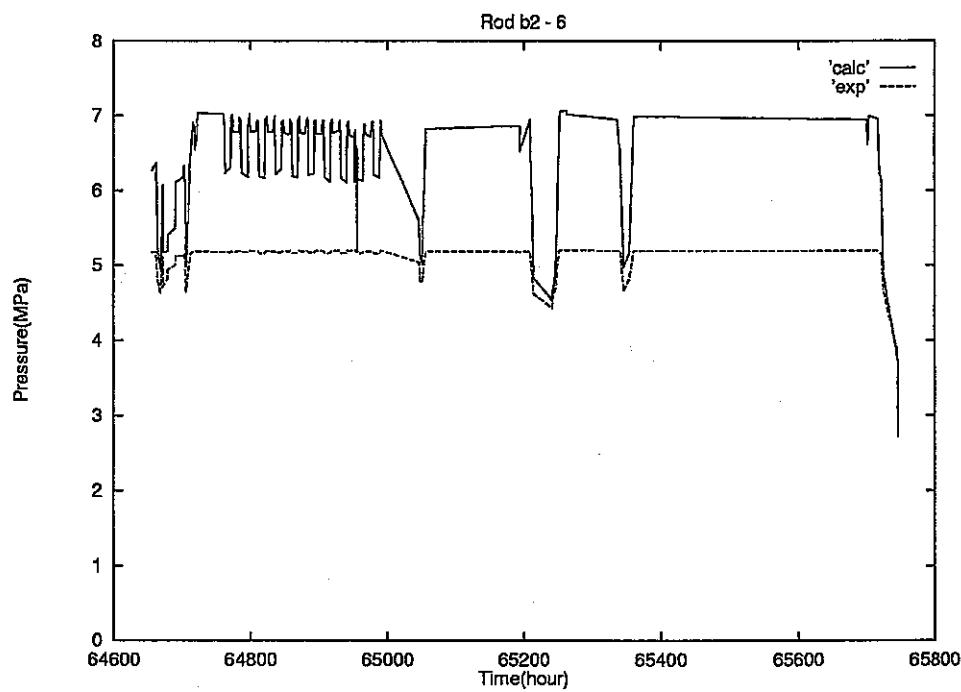


図 4.14(6/6) 燃料棒内圧 (IF A554/555 Rod B2)

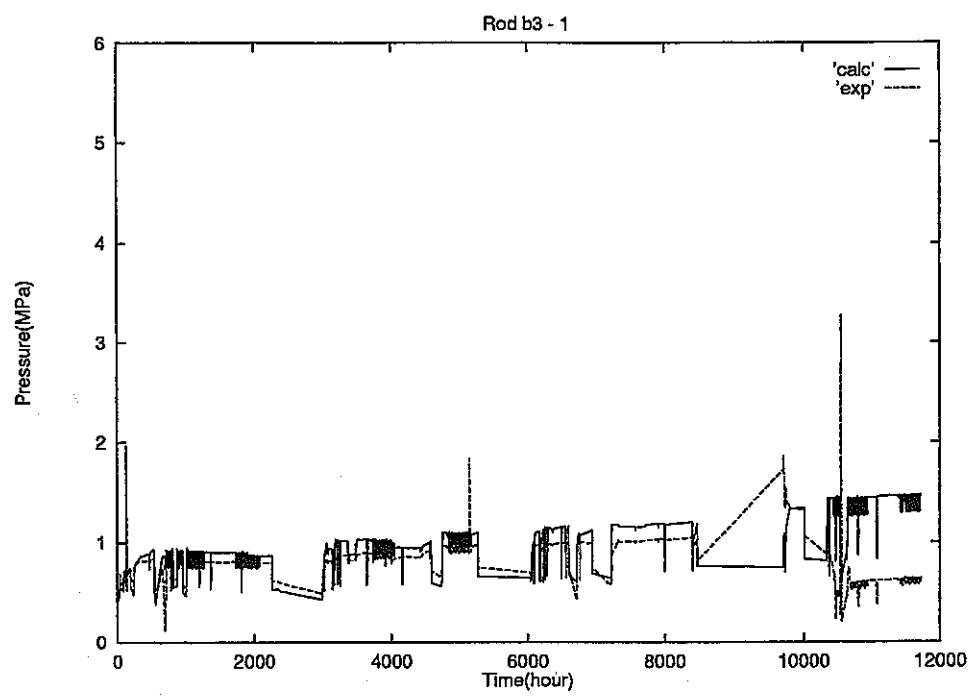


図 4.15(1/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

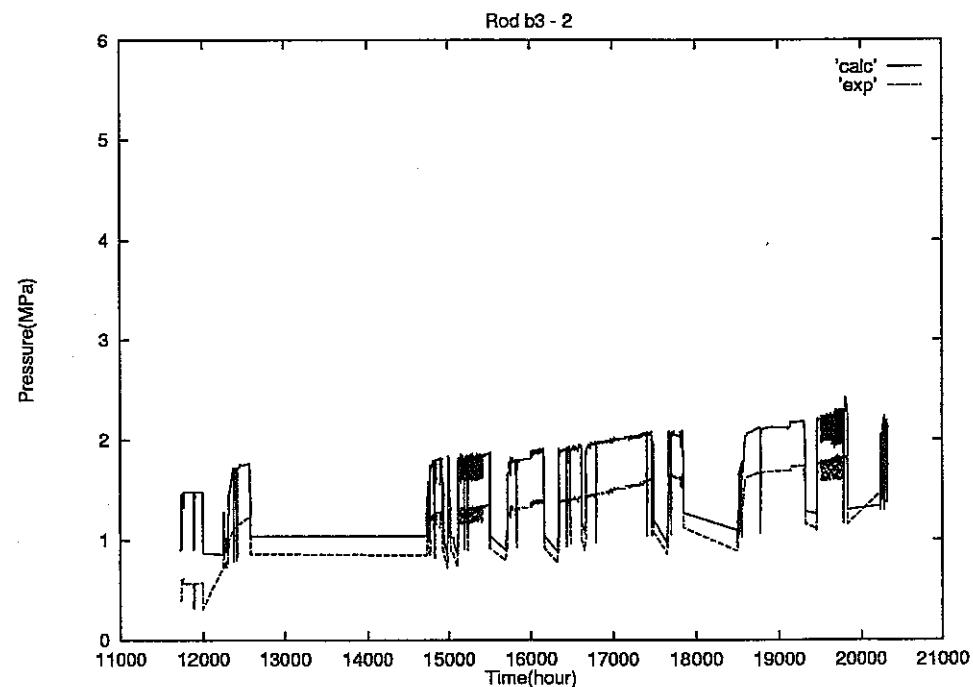


図 4.15(2/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

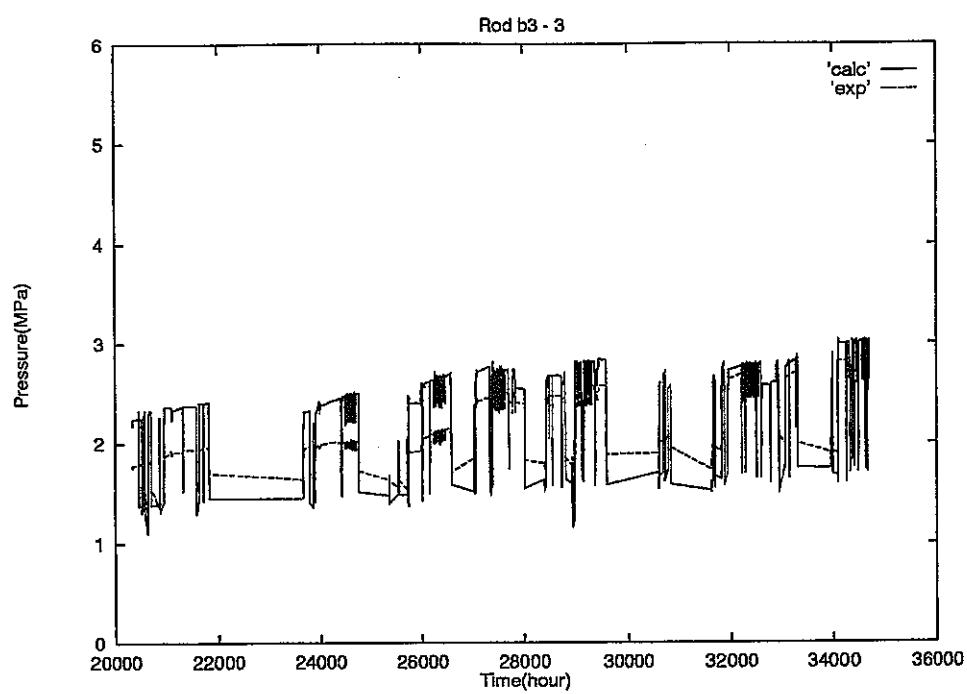


図 4.15(3/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

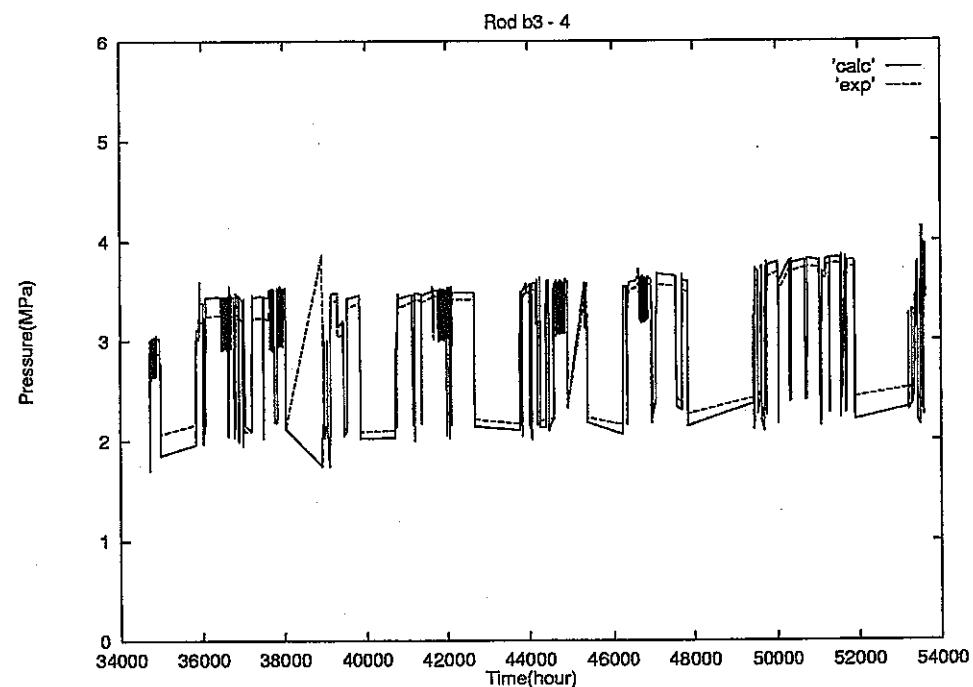


図 4.15(4/5) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B3)

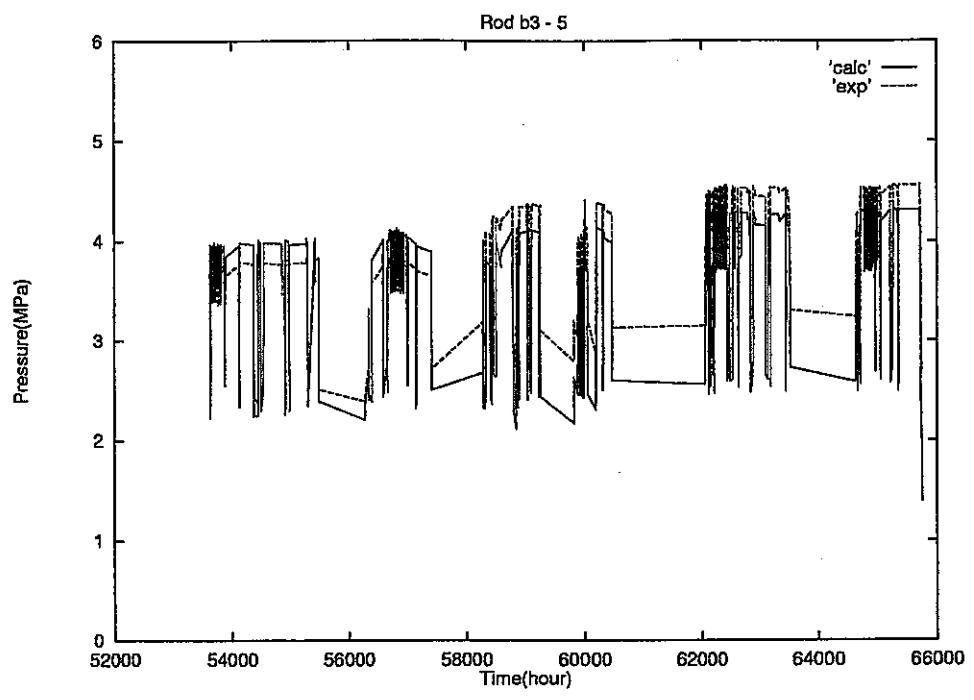


図 4.15(5/5) 燃料棒内圧 (IFAF554/555 Rod B3)

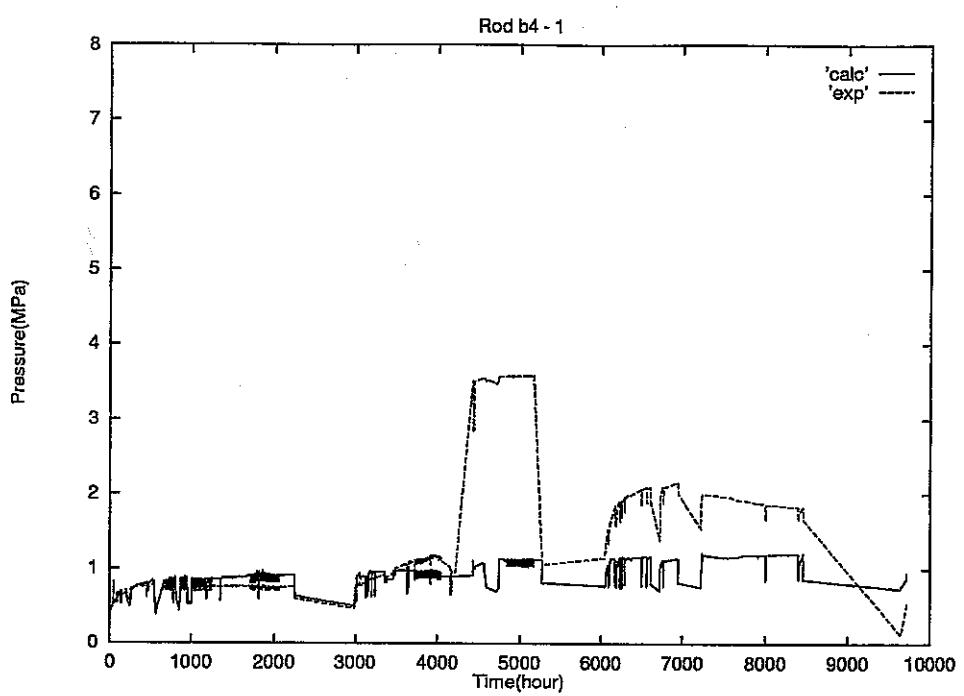


図 4.16(1/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

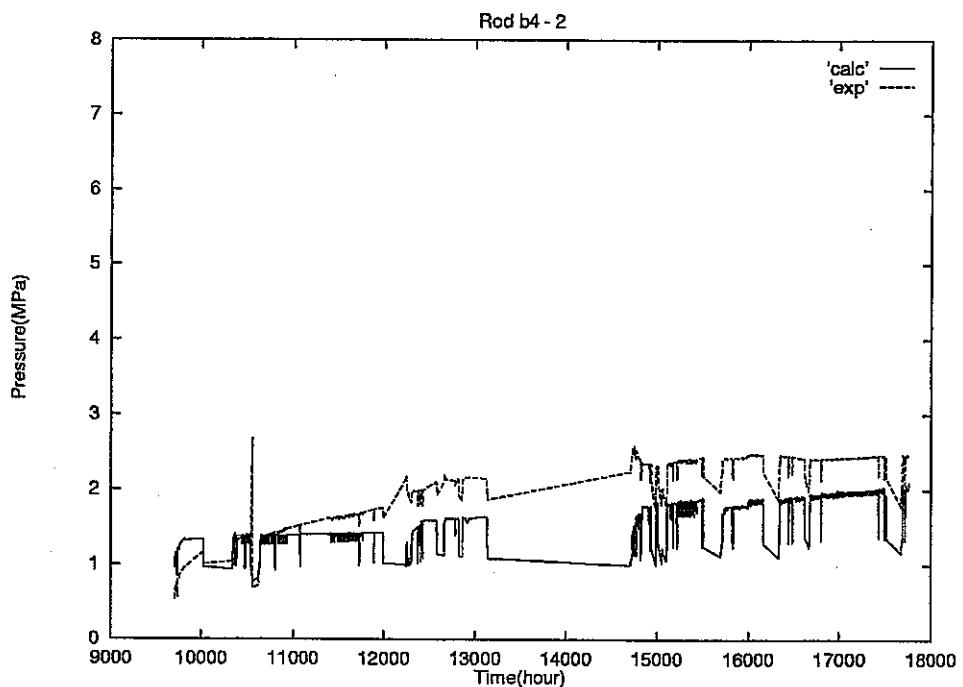


図 4.16(2/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

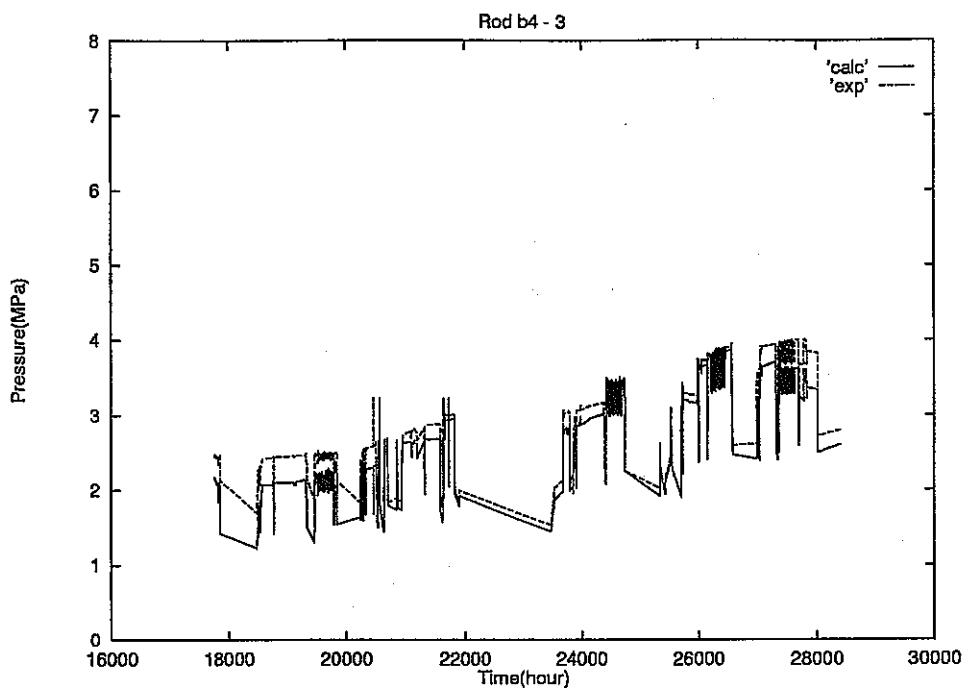


図 4.16(3/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

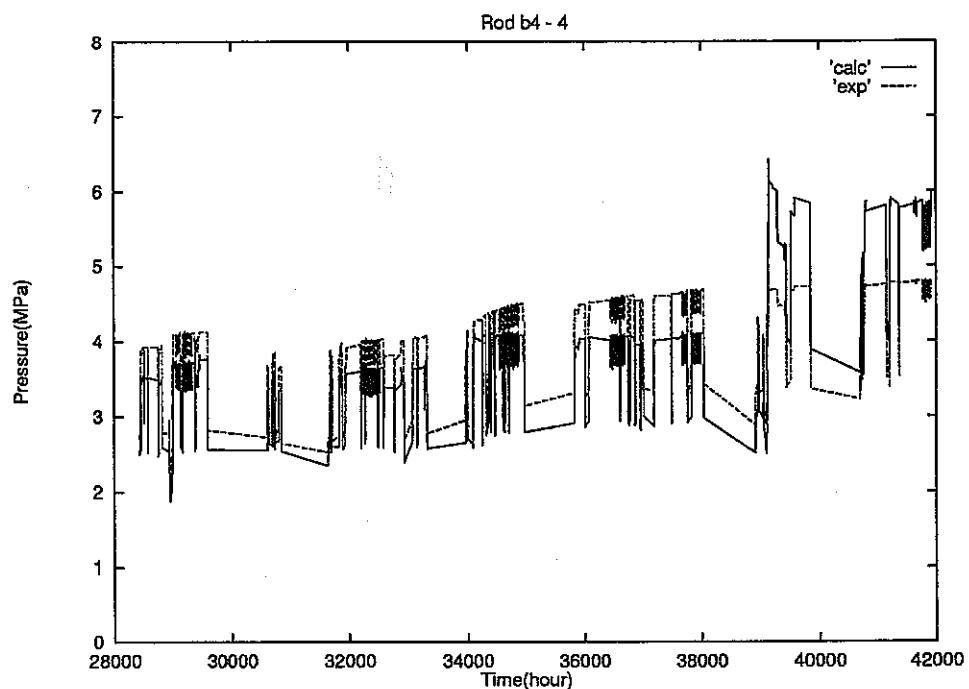


図 4.16(4/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

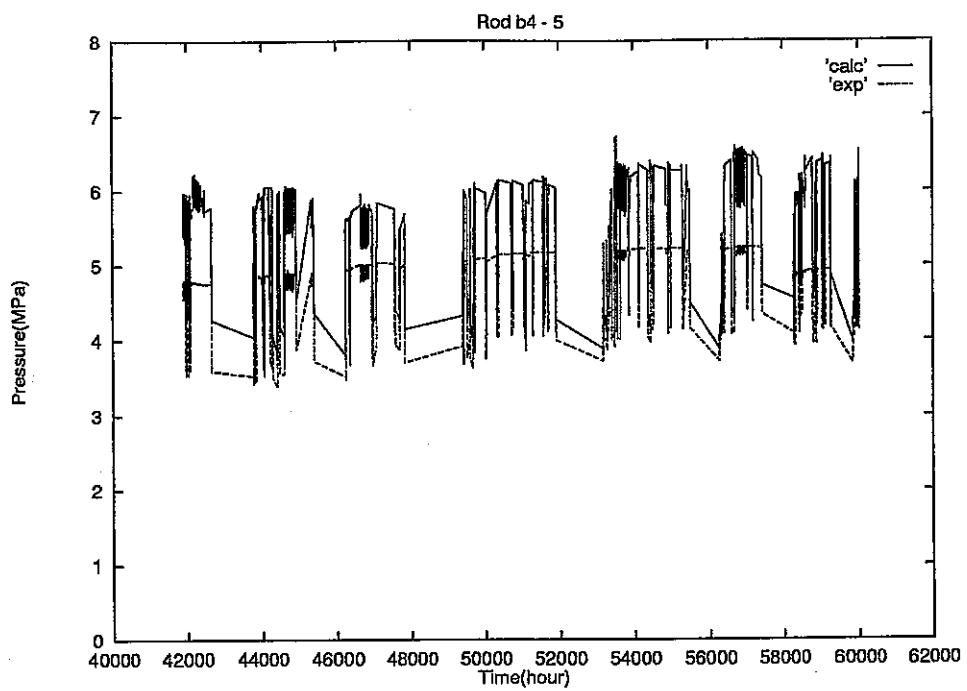


図 4.16(5/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

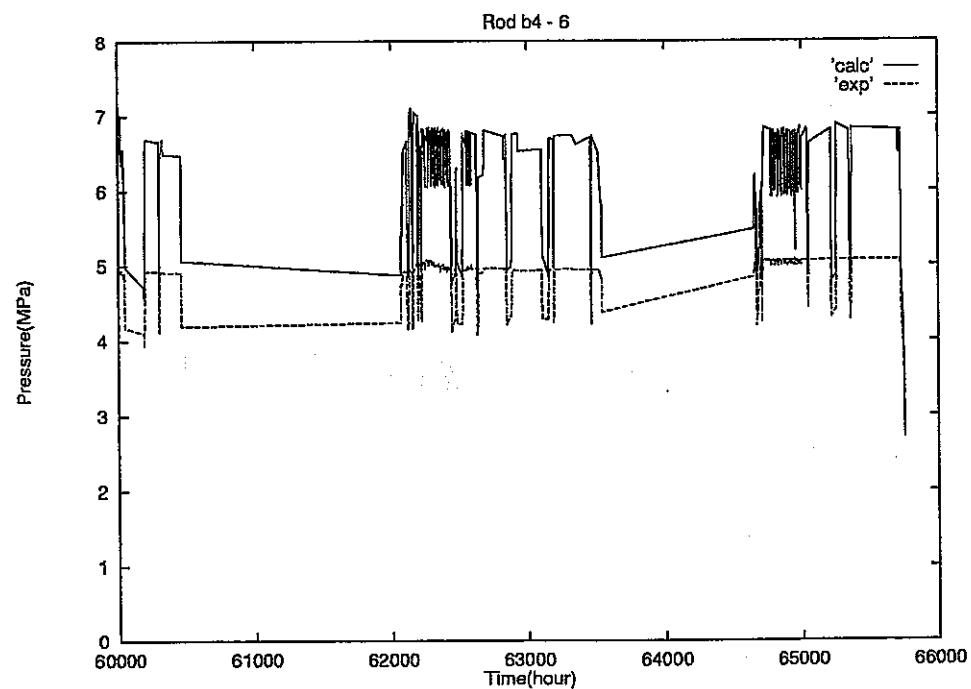


図 4.16(6/6) 燃料棒内圧 (IFA554/555 Rod B4)

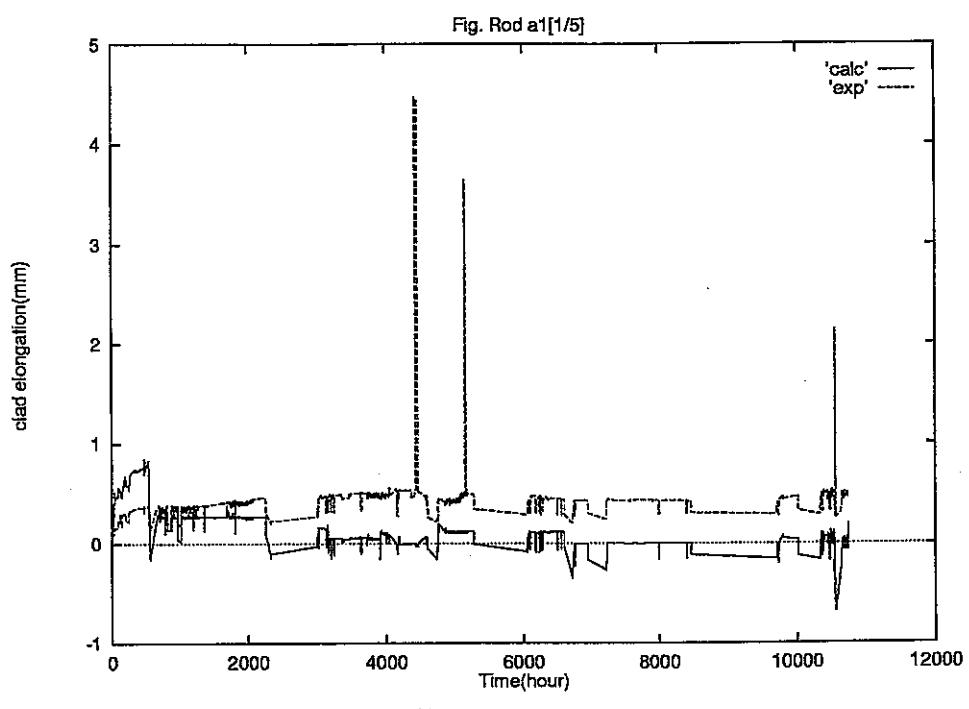


図 4.17(1/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

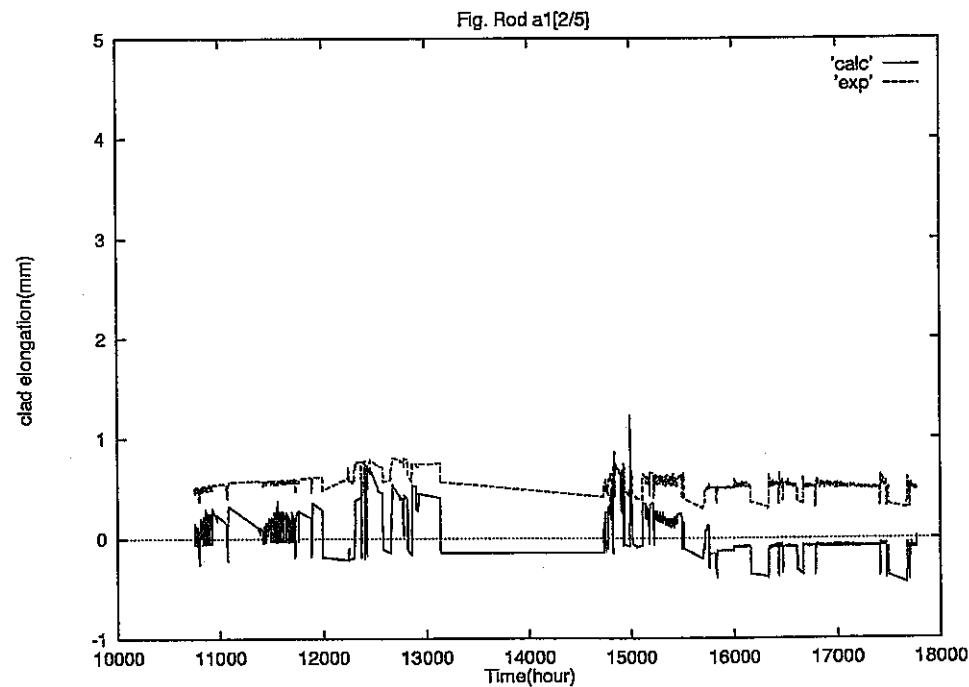


図 4.17(2/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

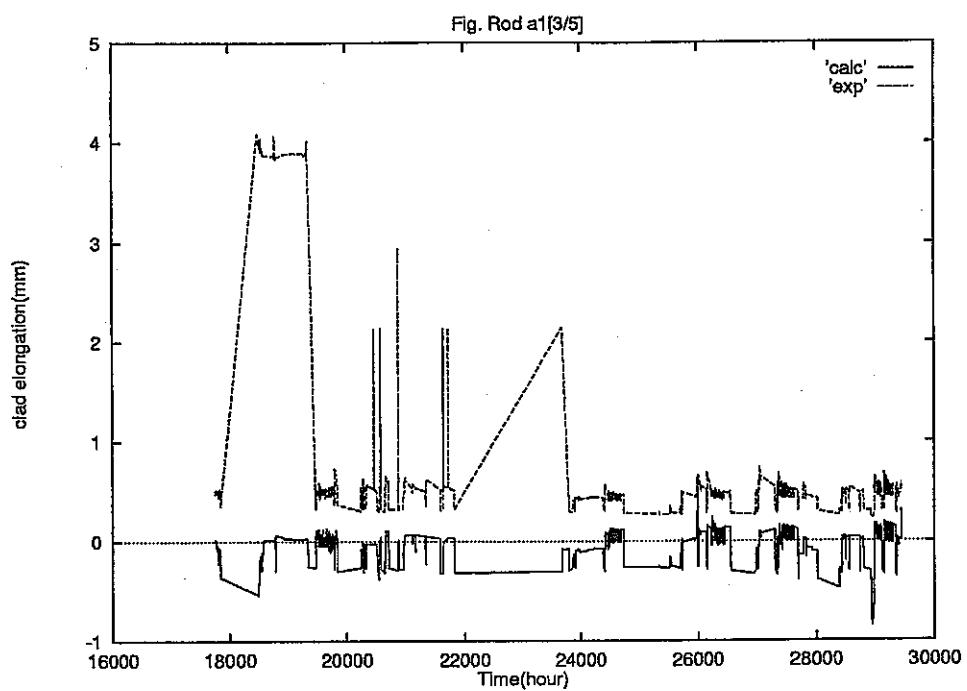


図 4.17(3/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

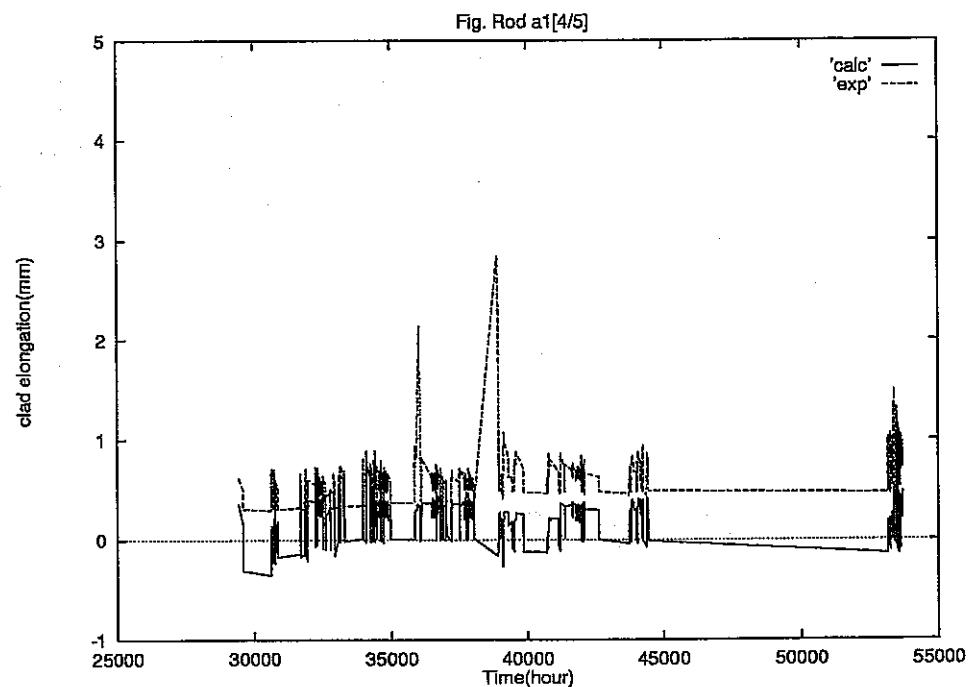


図 4.17(4/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

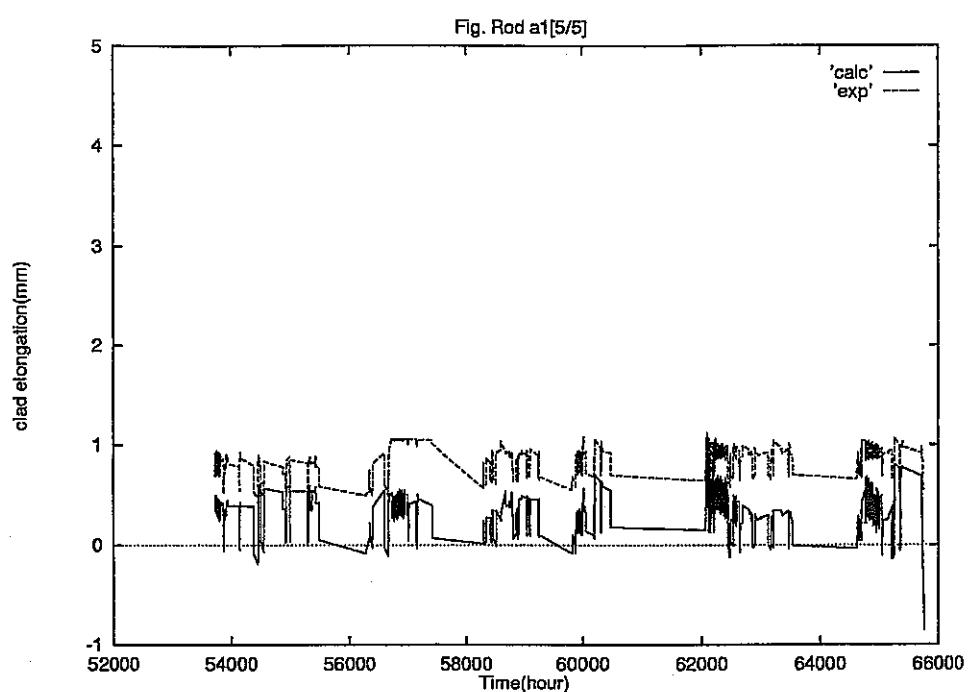


図 4.17(5/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

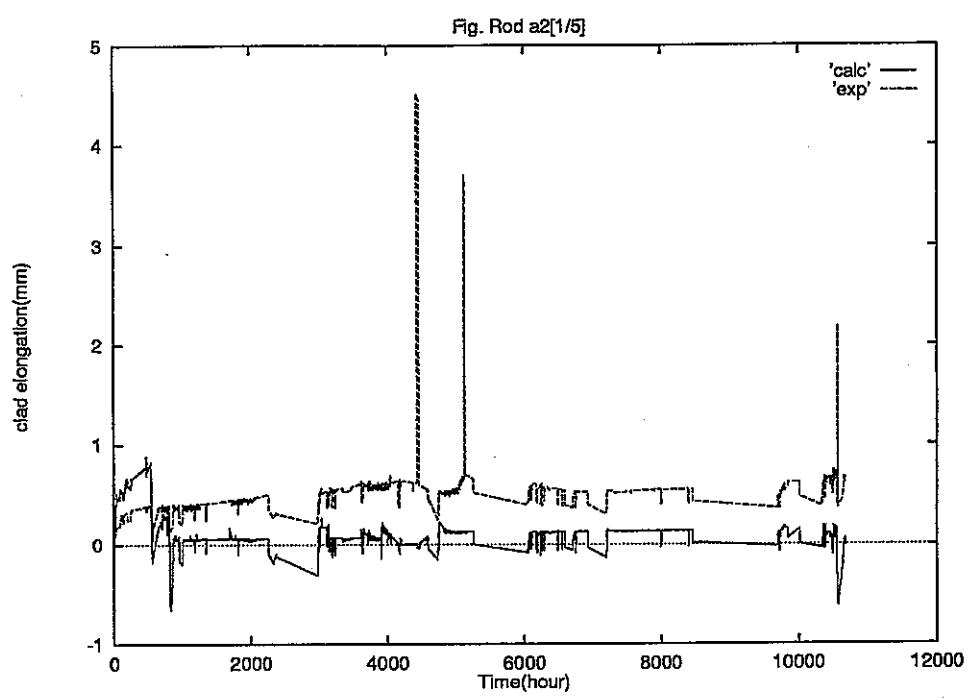


図 4.18(1/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

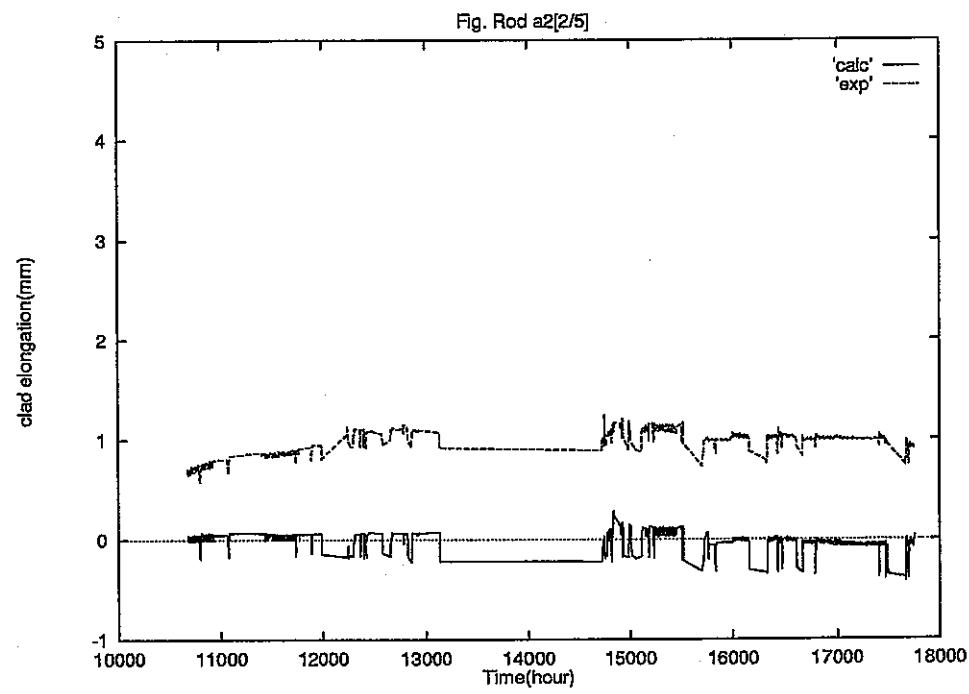


図 4.18(2/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

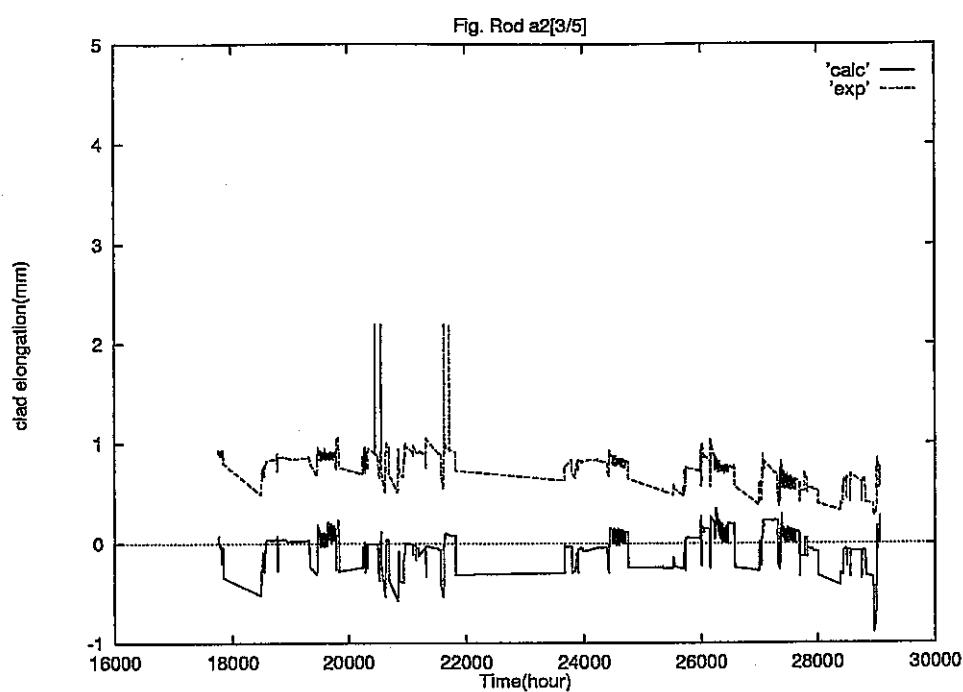


図 4.18(3/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

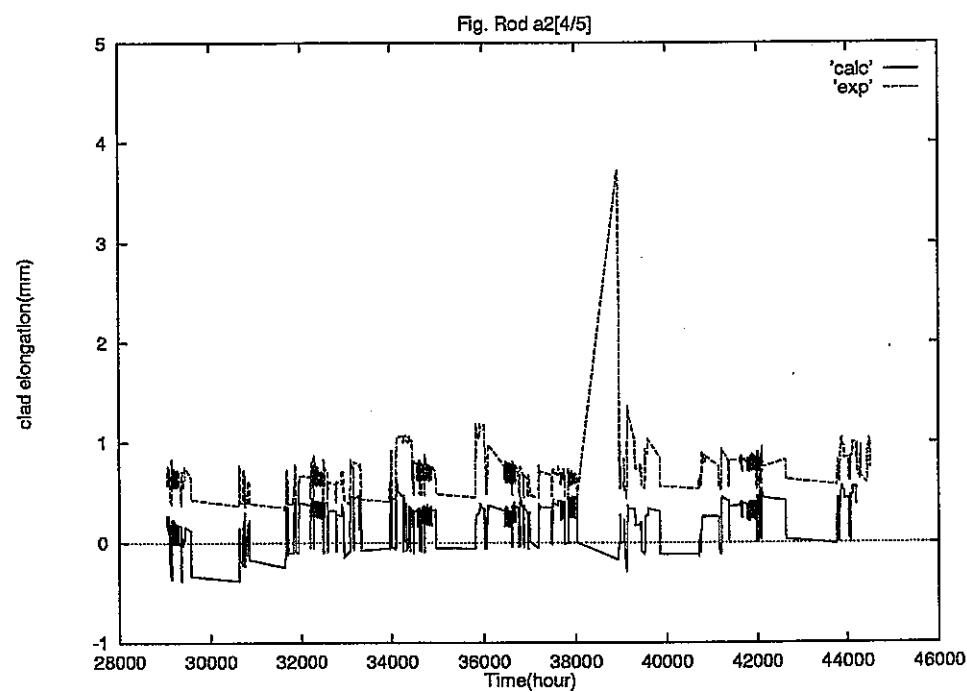


図 4.18(4/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

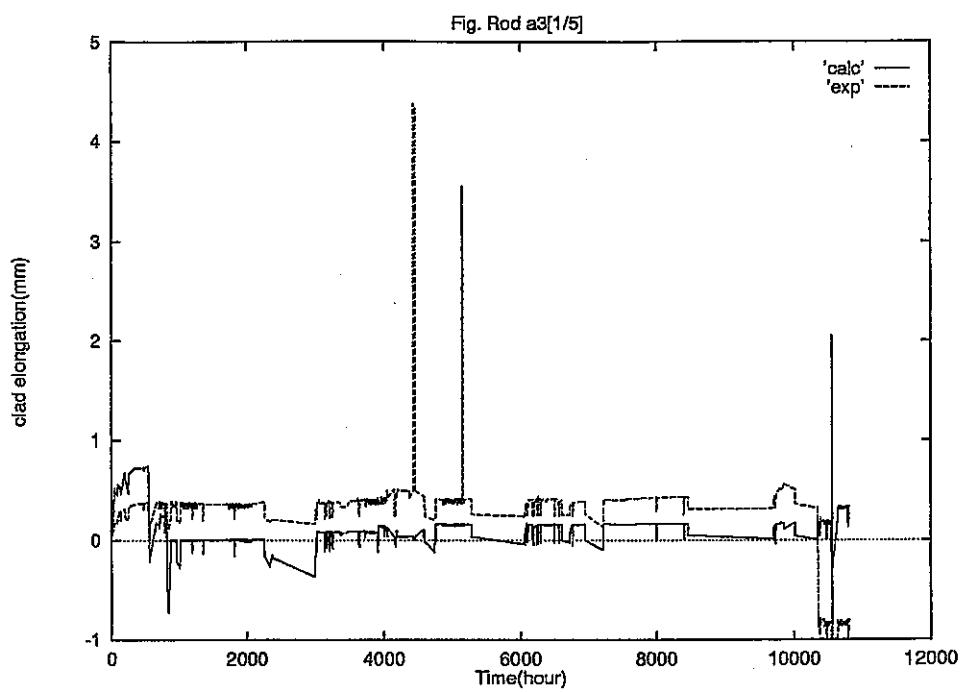


図 4.19(1/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

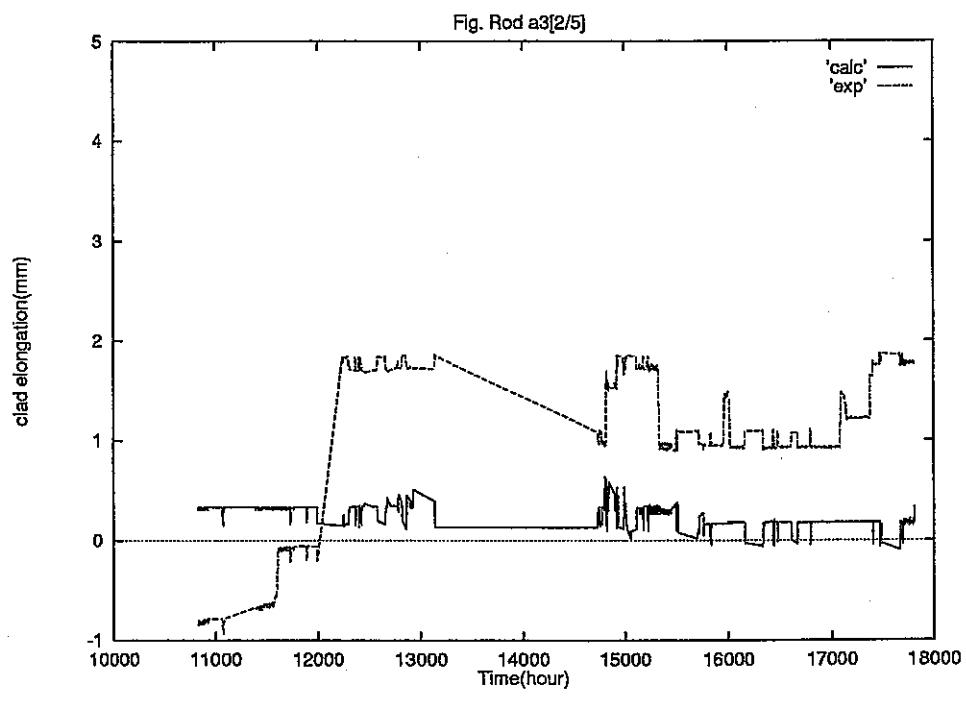


図 4.19(2/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

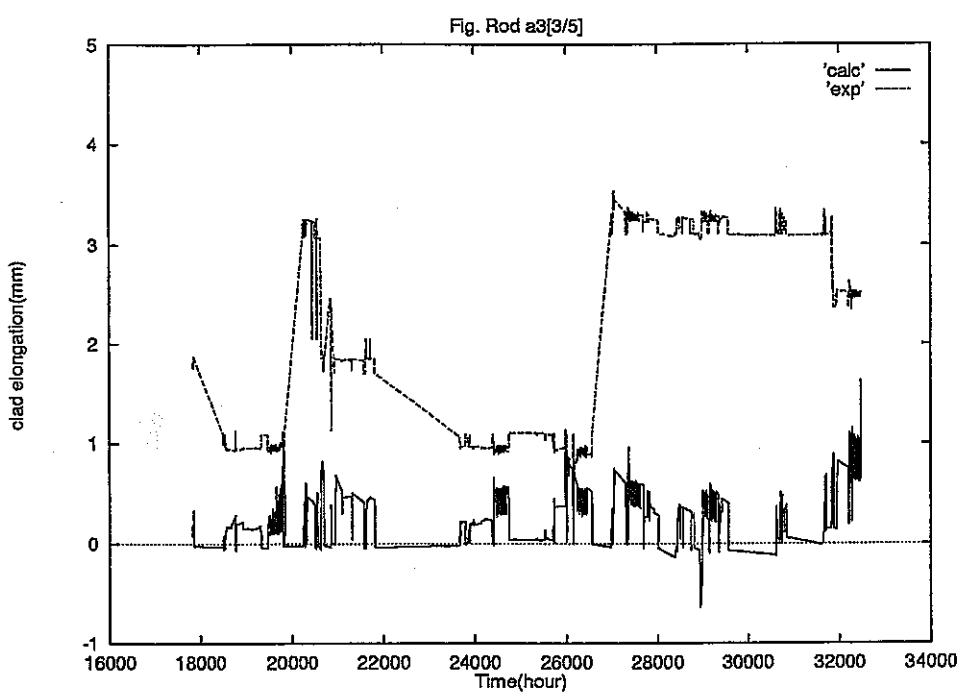


図 4.19(3/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

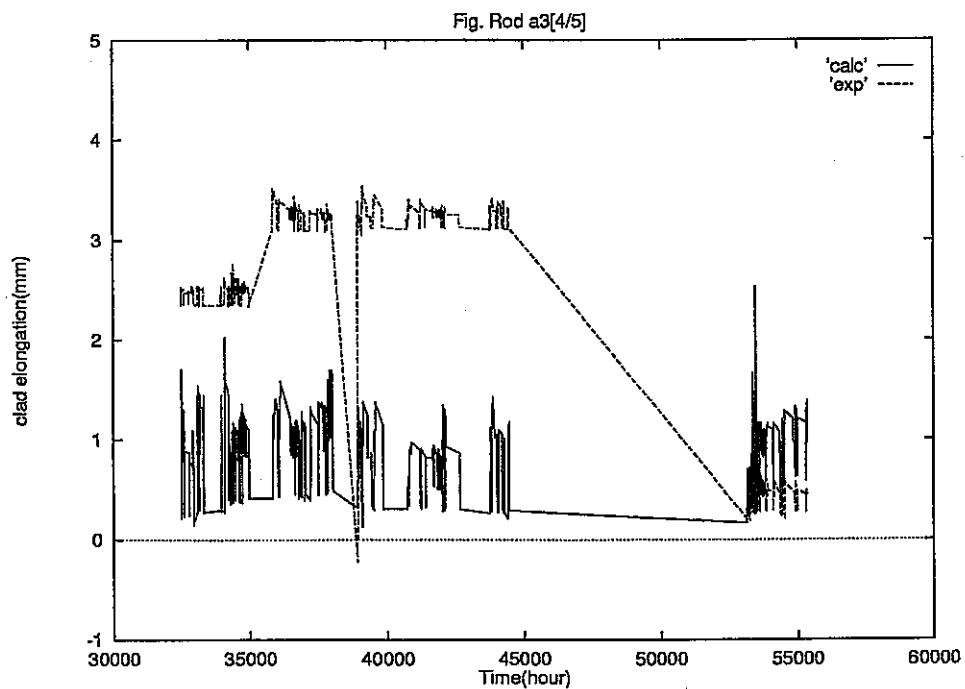


図 4.19(4/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

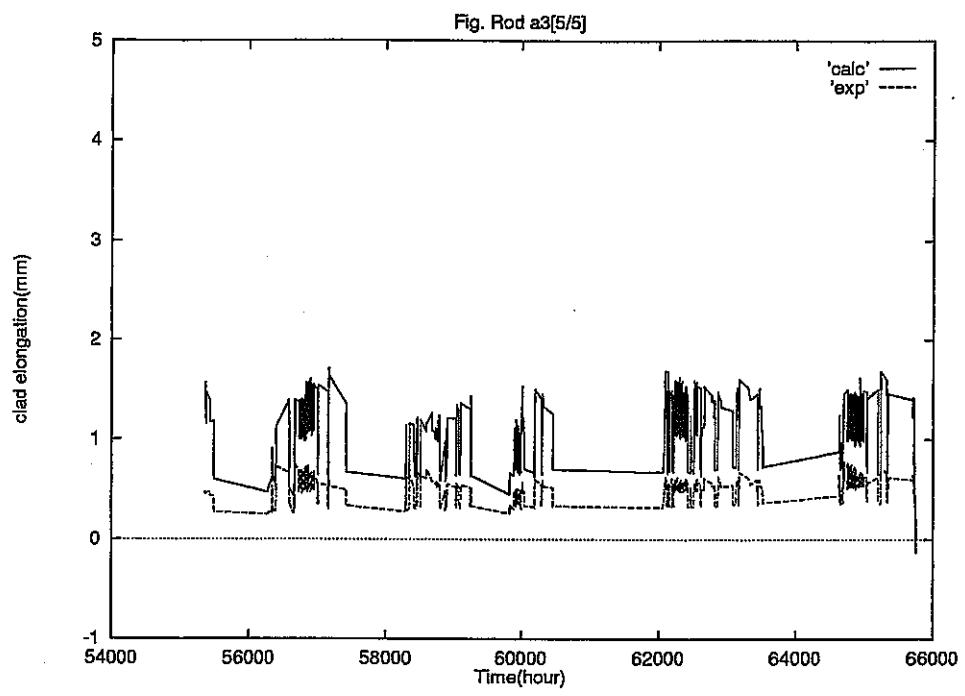


図 4.19(5/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

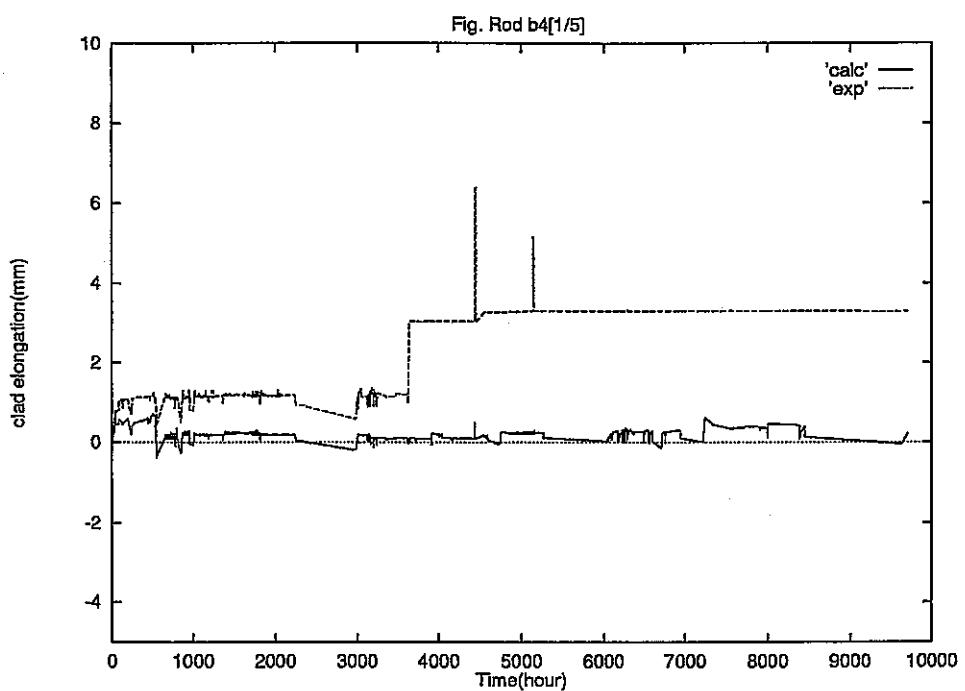


図 4.20(1/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

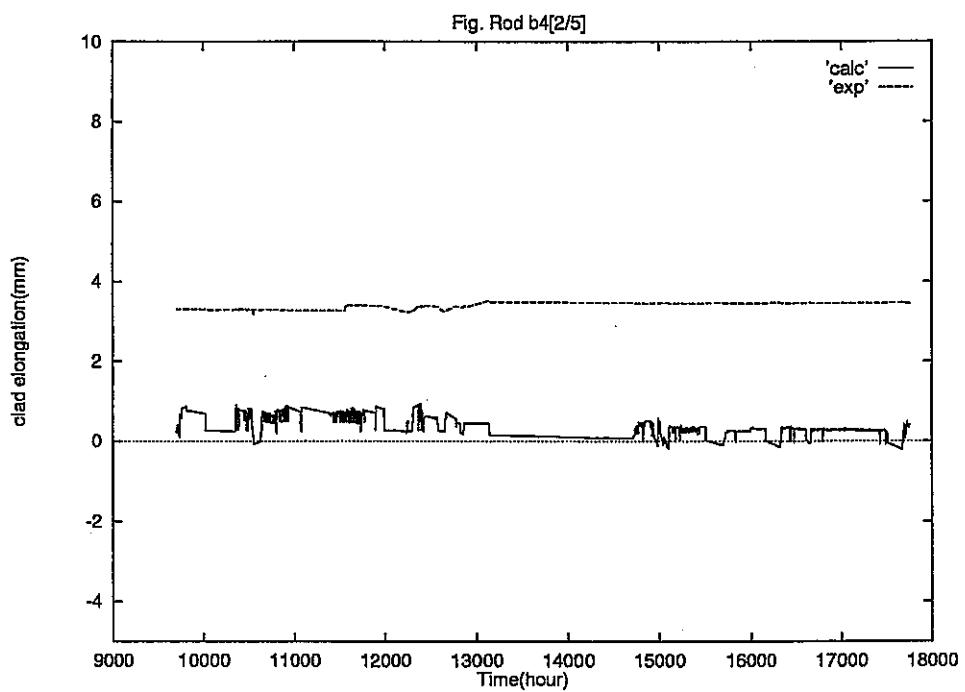


図 4.20(2/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

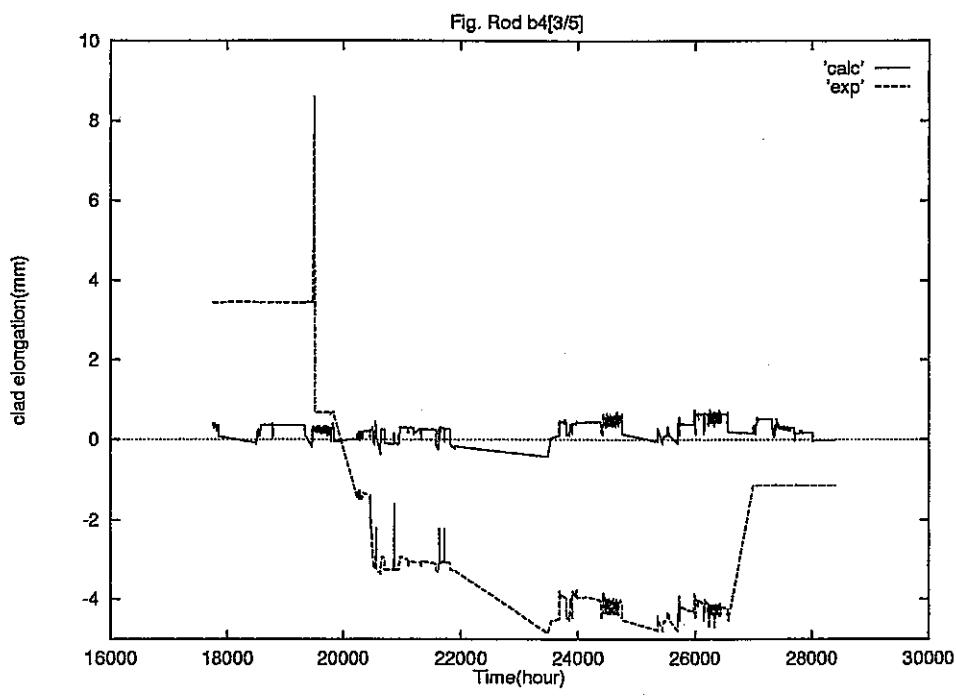


図 4.20(3/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

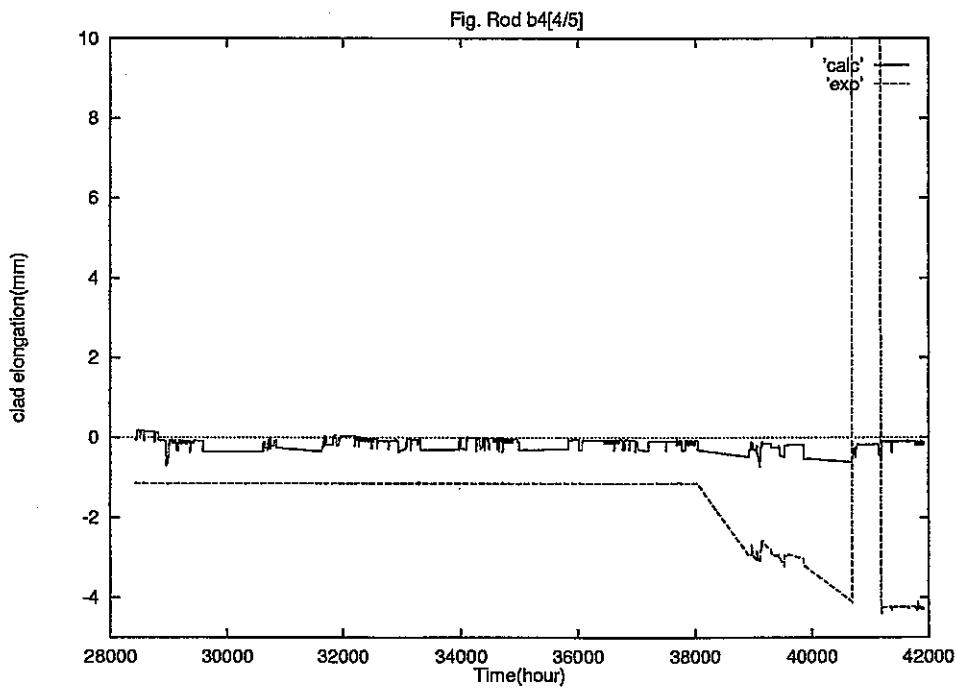


図 4.20(4/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

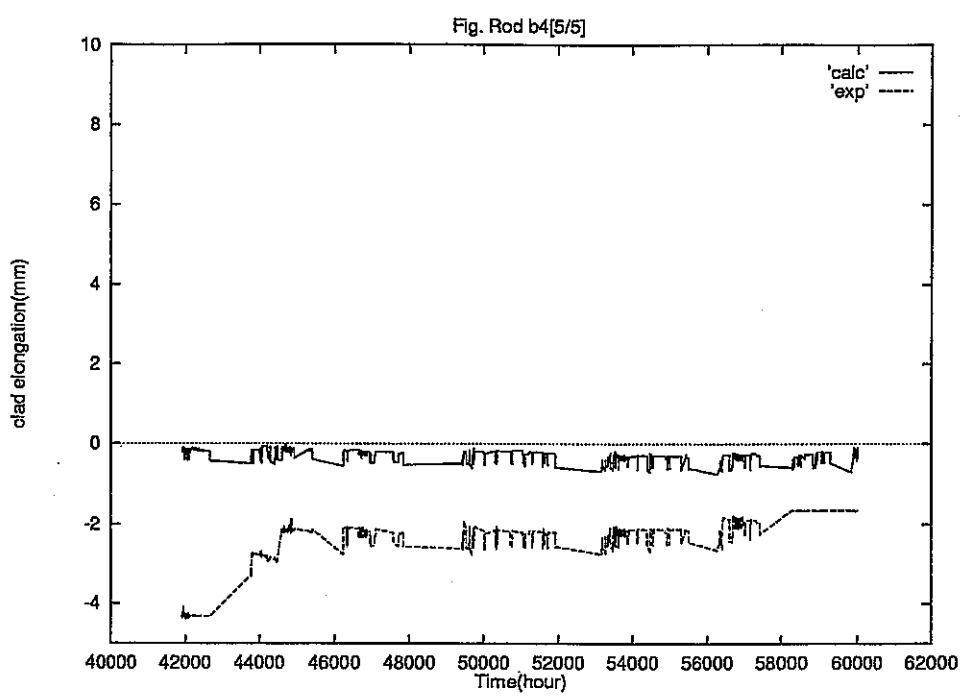


図 4.20(5/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

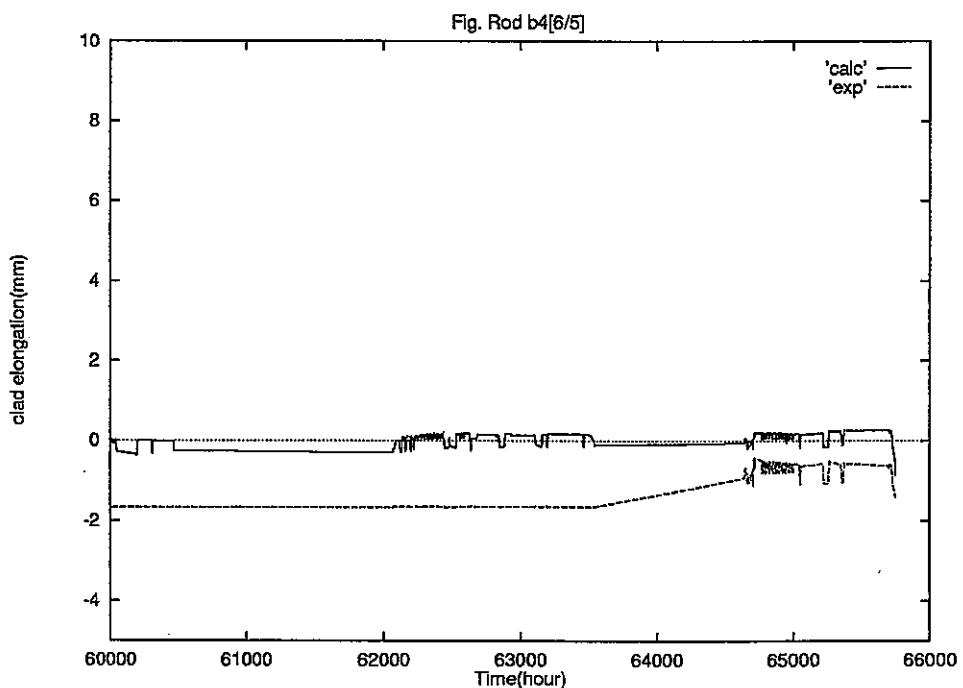


図 4.20(6/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

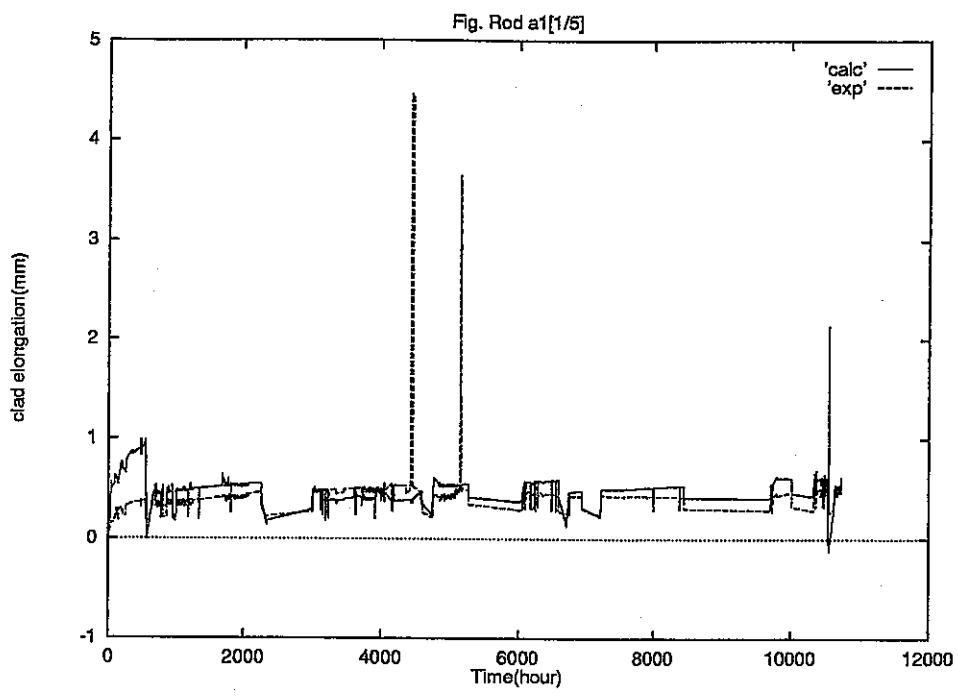


図 4.21(1/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

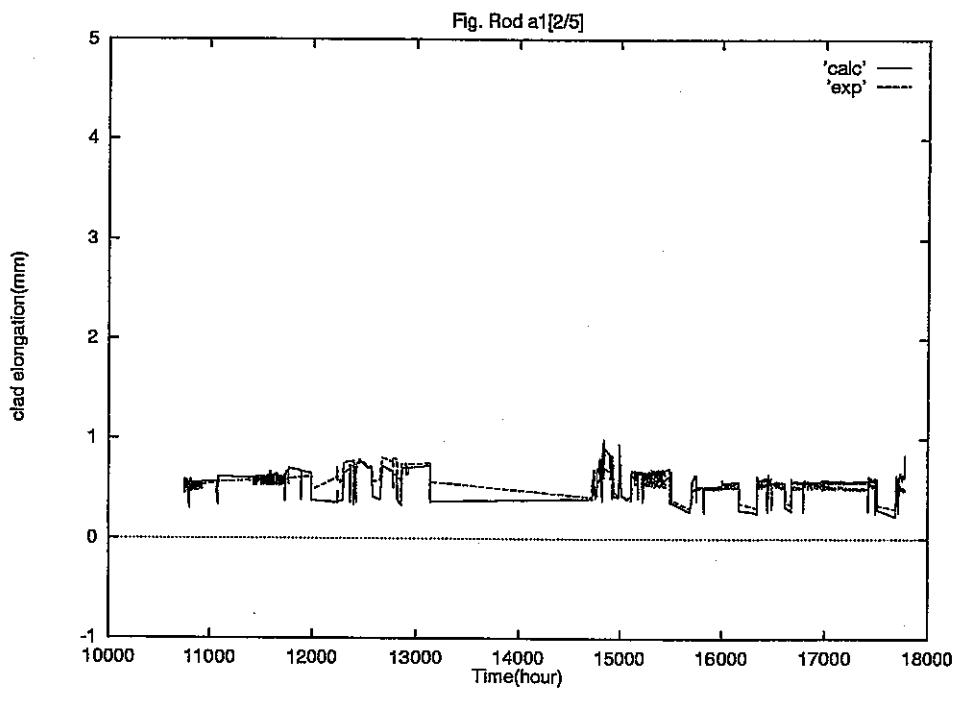


図 4.21(2/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

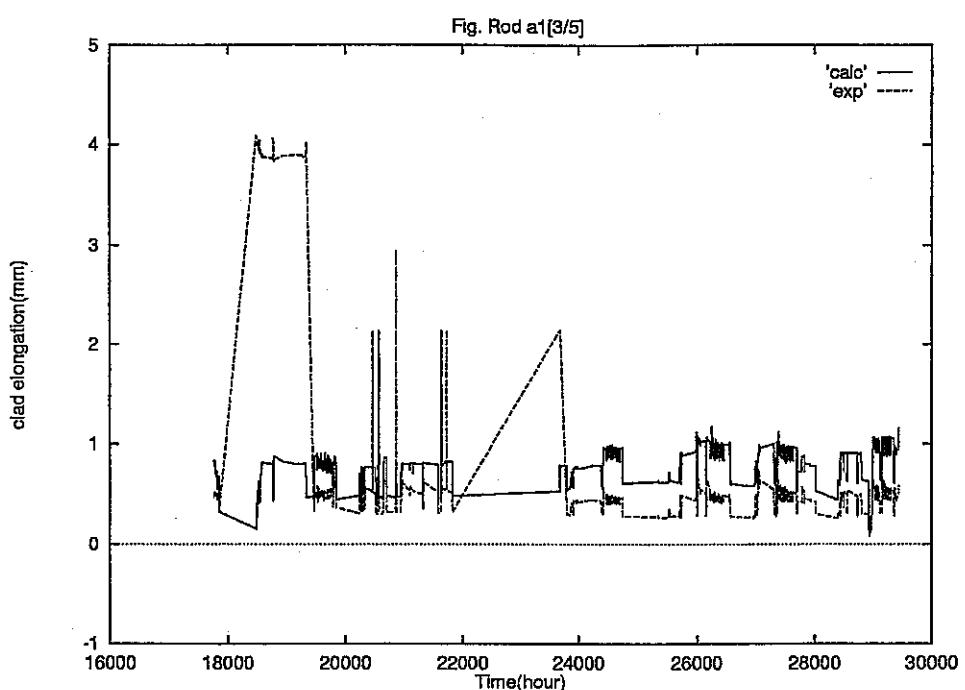


図 4.21(3/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

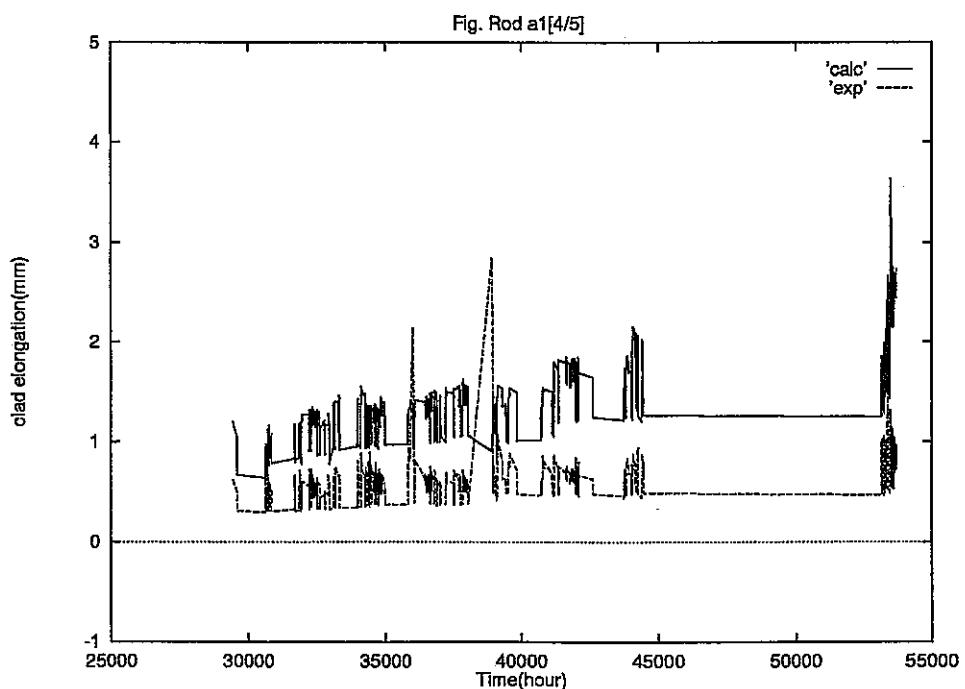


図 4.21(4/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

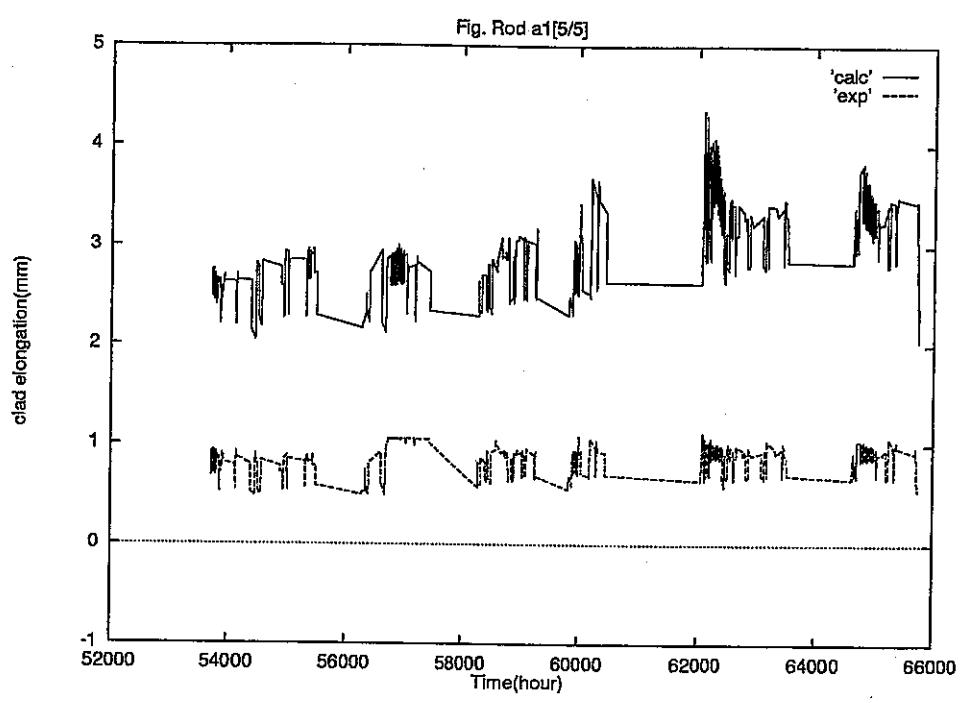


図 4.21(5/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A1)

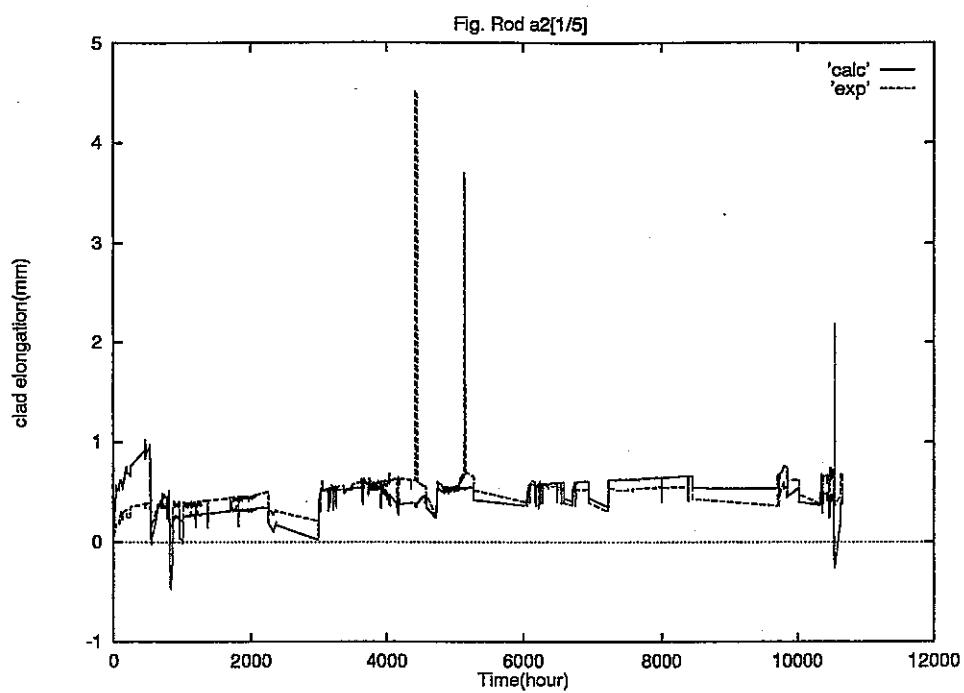


図 4.22(1/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

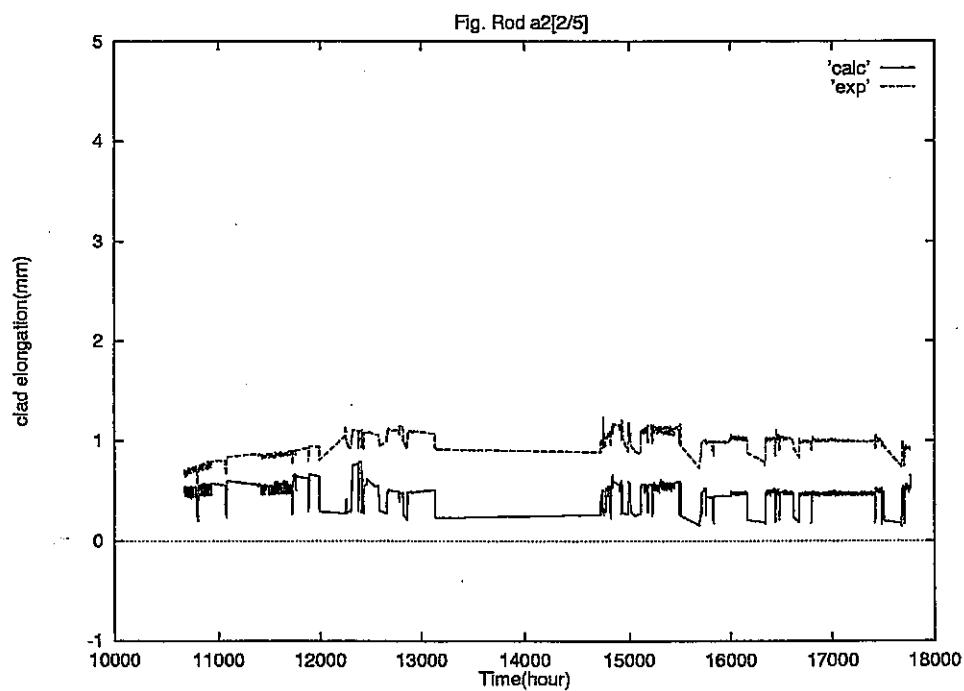


図 4.22(2/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

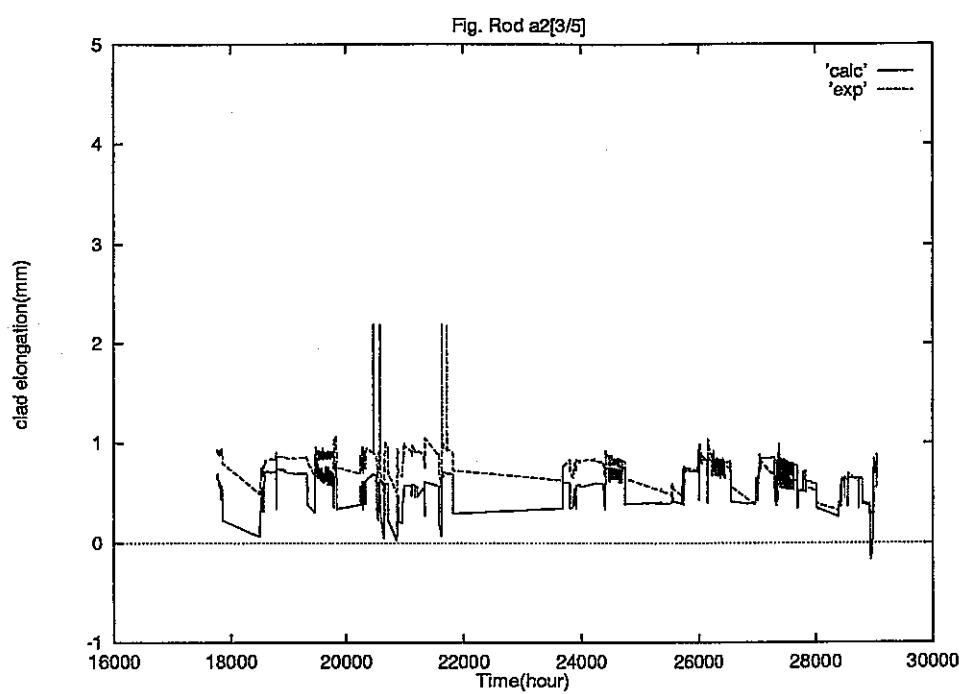


図 4.22(3/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

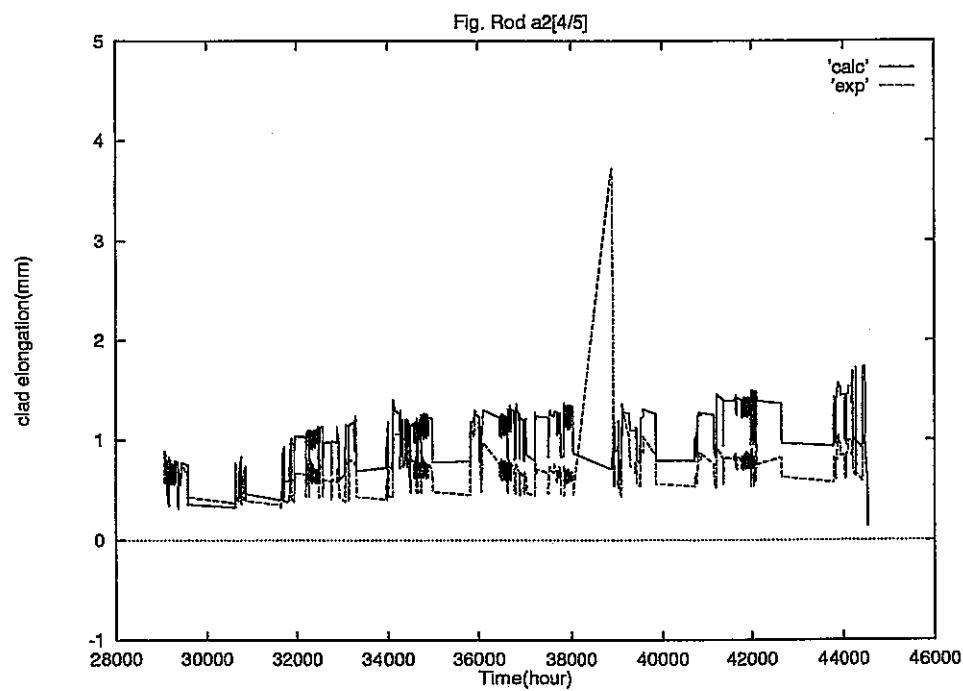


図 4.22(4/4) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A2)

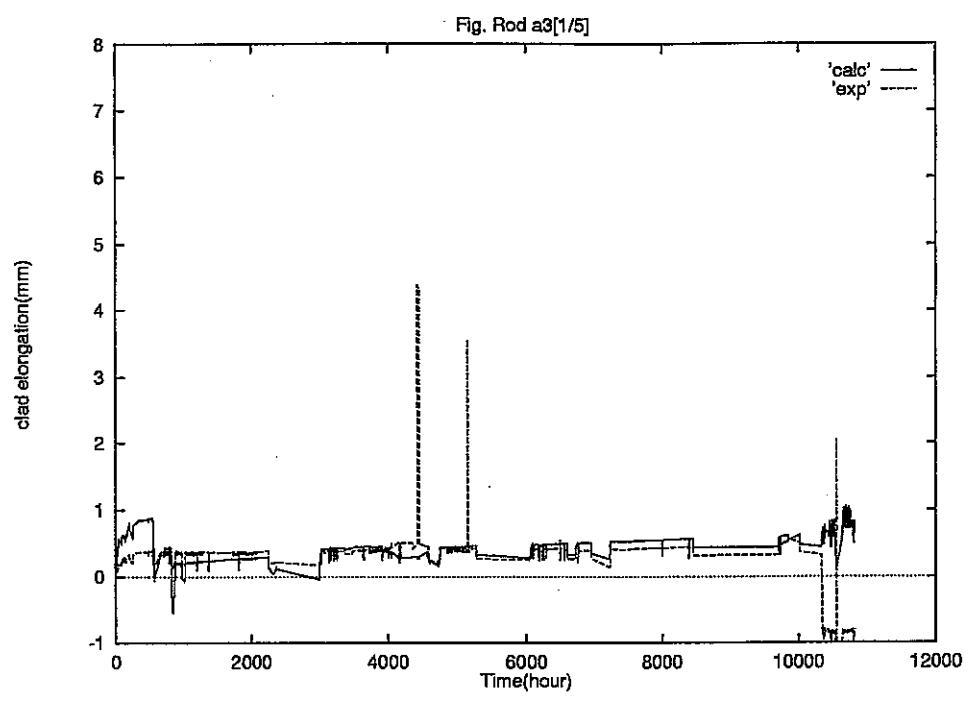


図 4.23(1/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

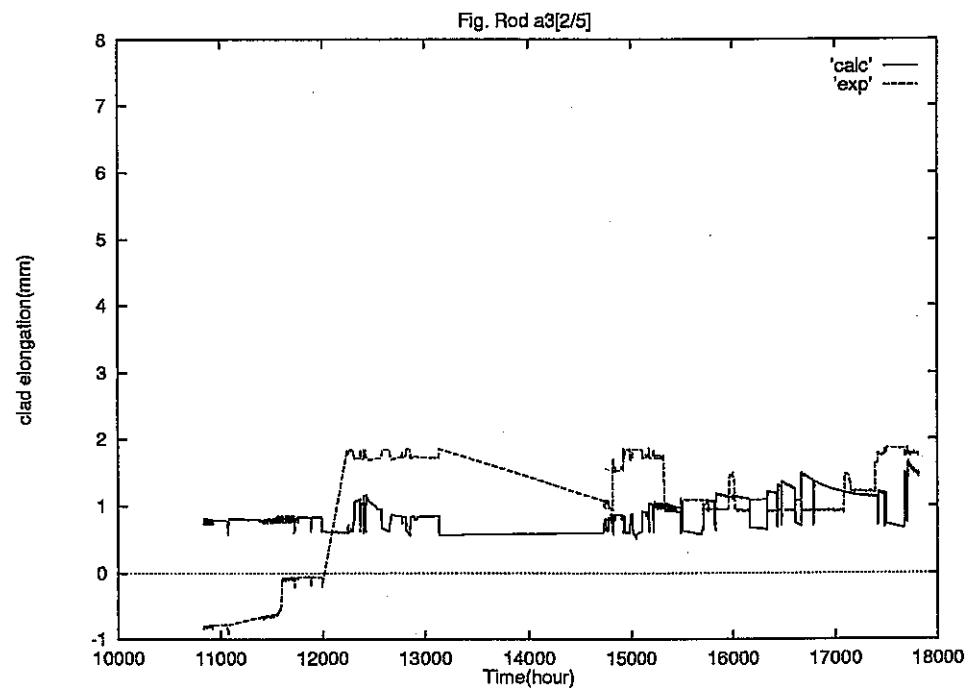


図 4.23(2/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

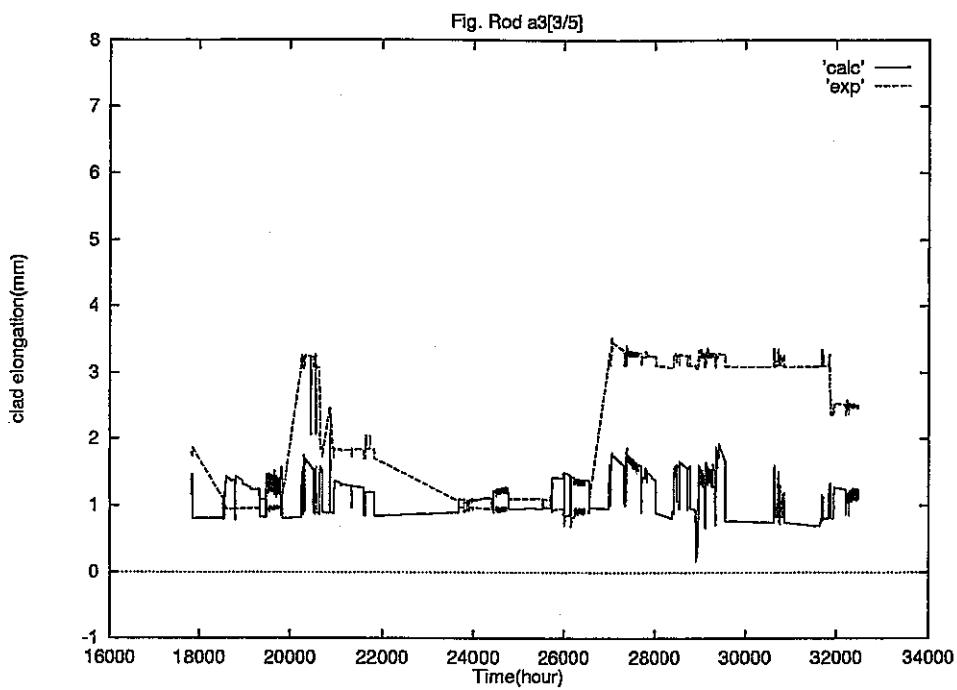


図 4.23(3/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

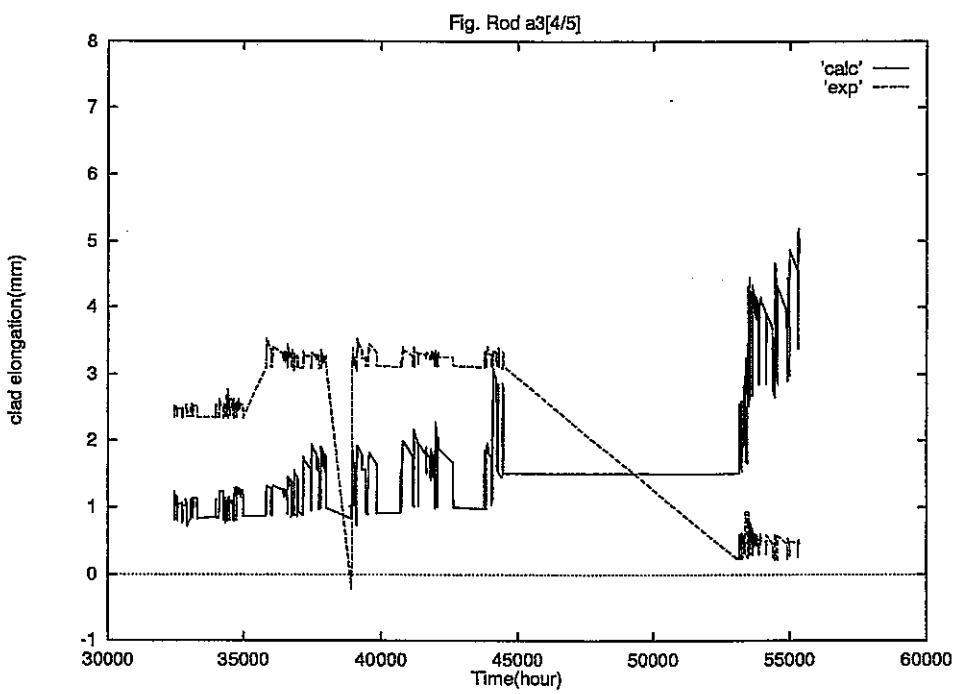


図 4.23(4/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

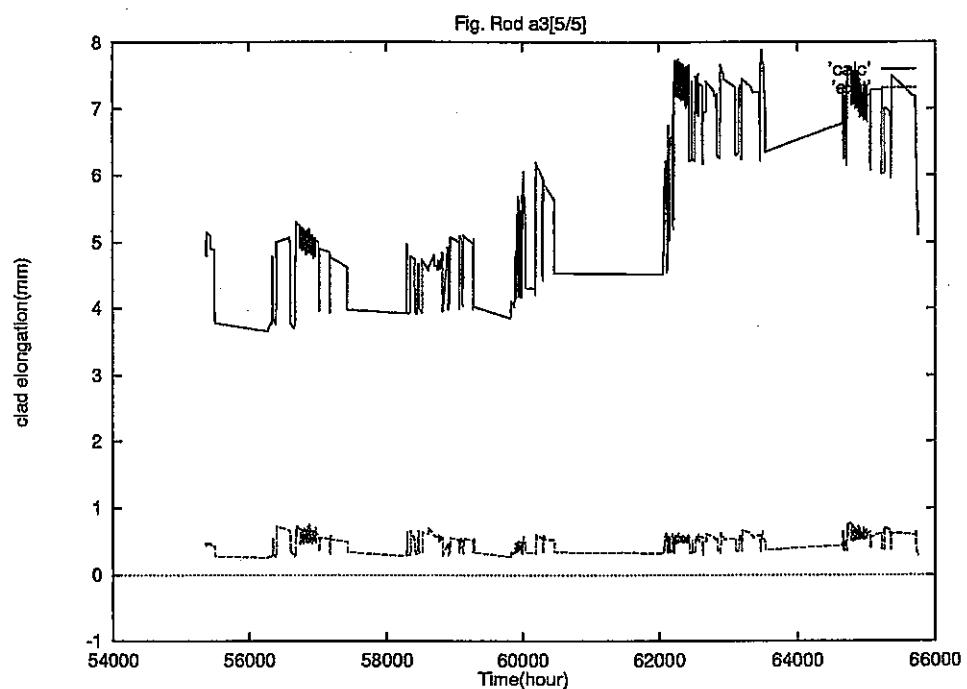


図 4.23(5/5) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod A3)

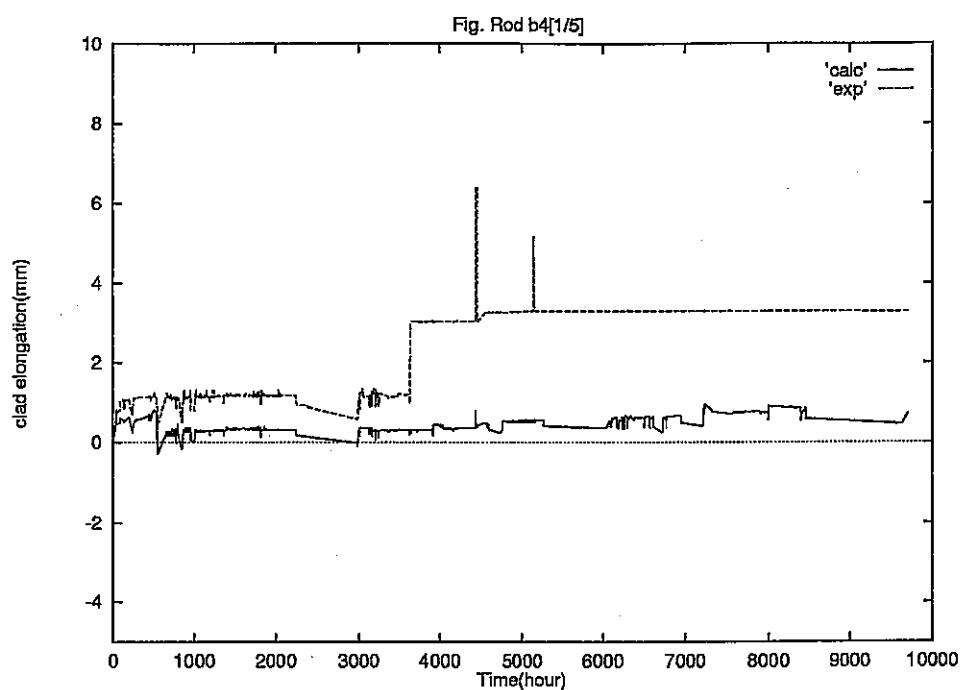


図 4.24(1/6) 燃料棒伸び (IFAP45/555 Rod B4)

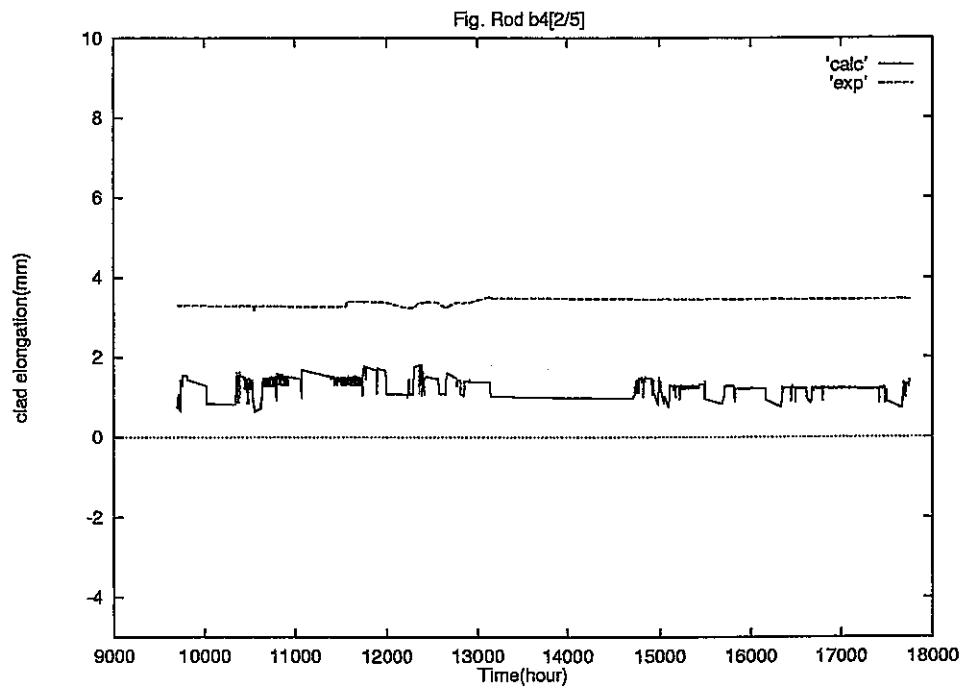


図 4.24(2/6) 燃料棒伸び (IFAP45/555 Rod B4)

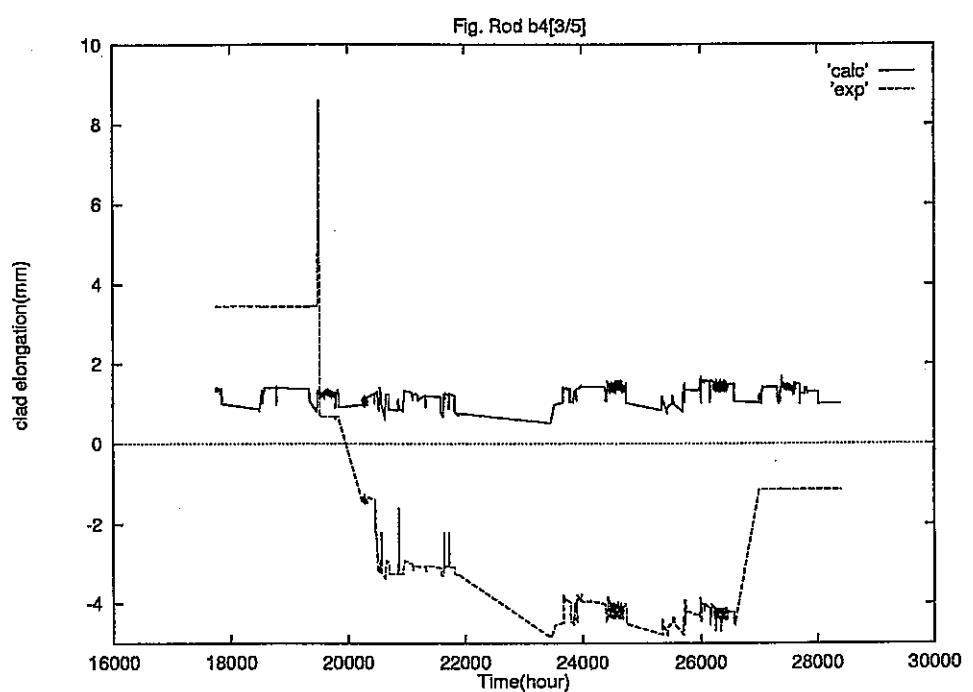


図 4.24(3/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

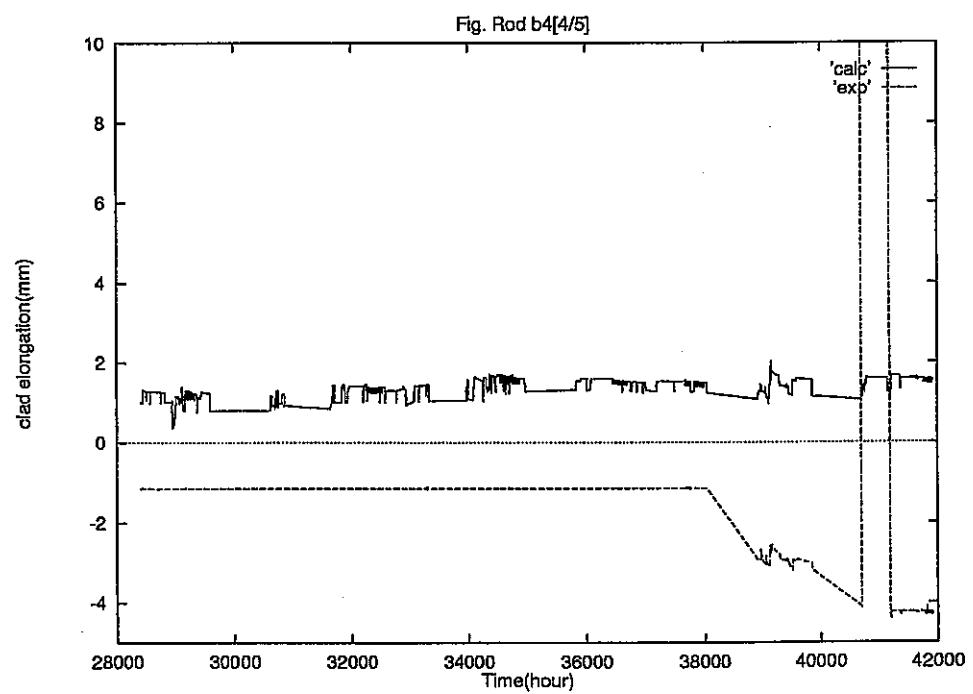


図 4.24(4/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

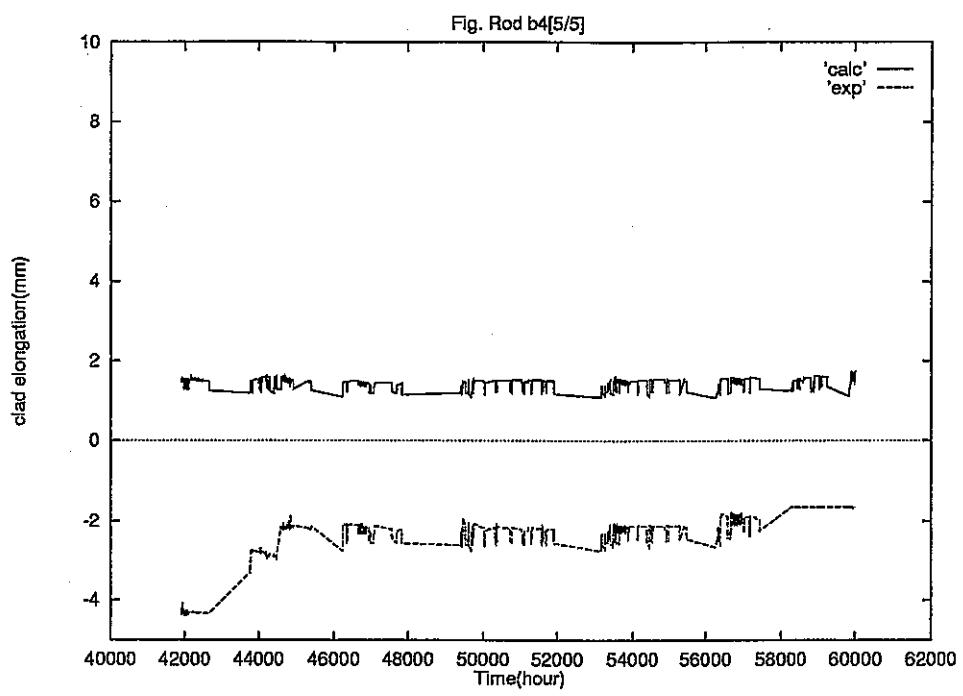


図 4.24(5/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

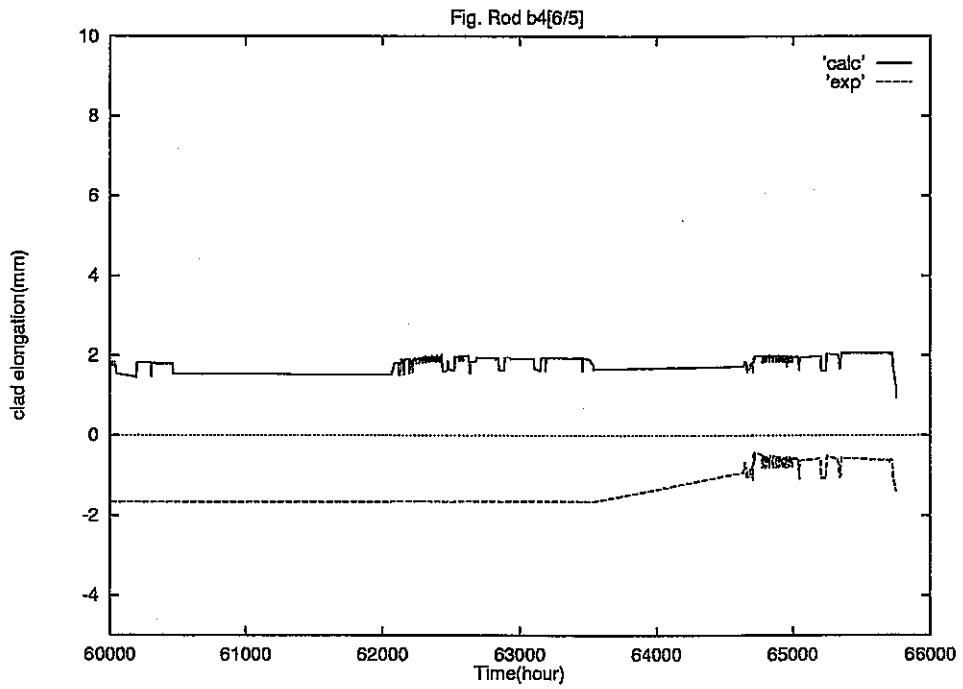


図 4.24(6/6) 燃料棒伸び (IFA545/555 Rod B4)

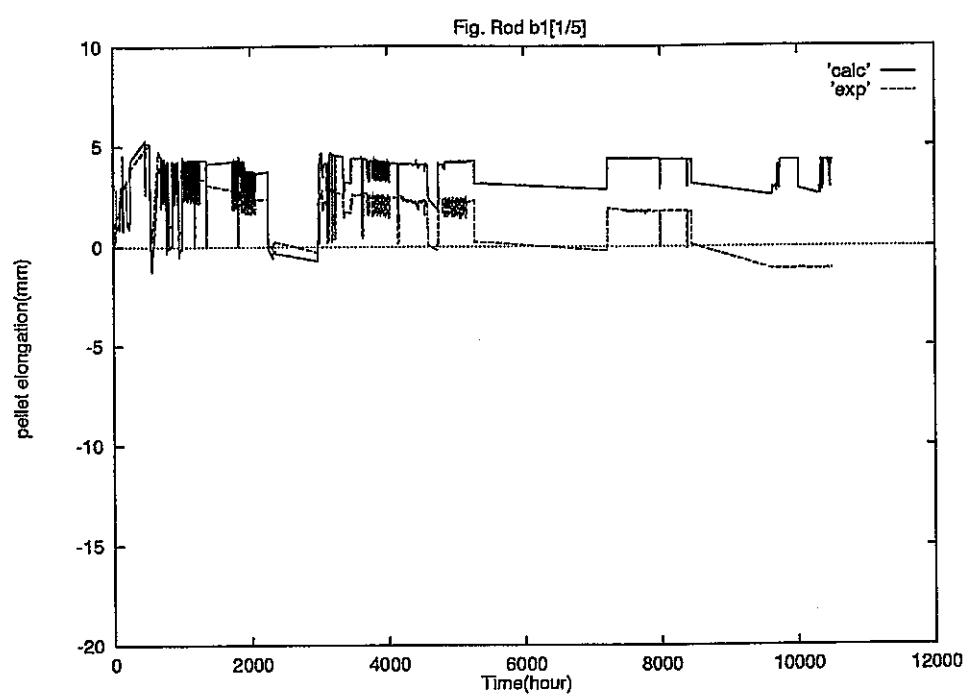


図 4.25(1/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B1)

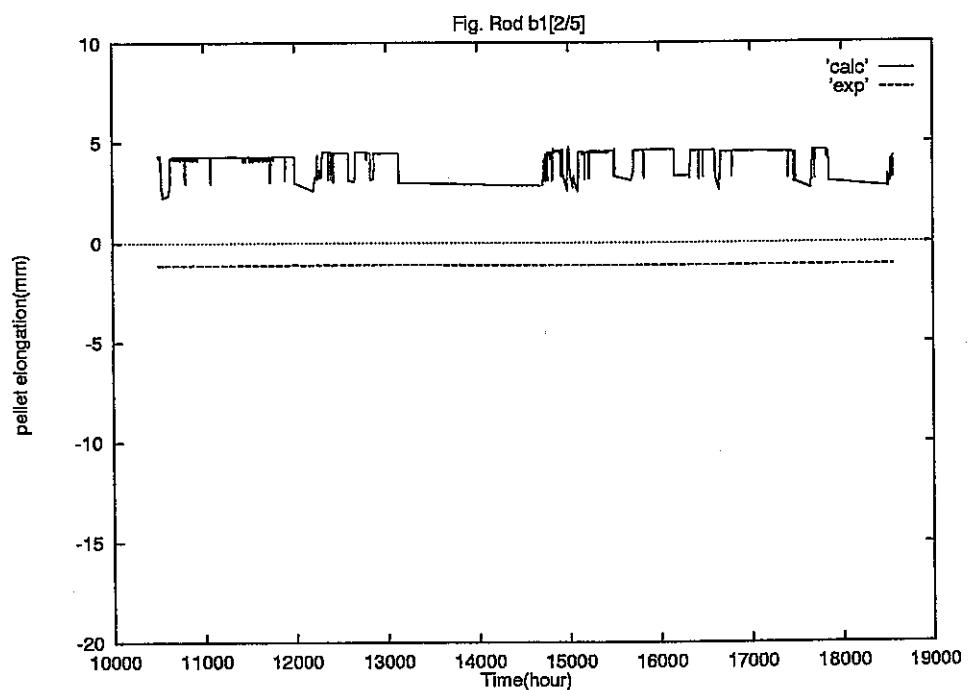


図 4.25(2/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B1)

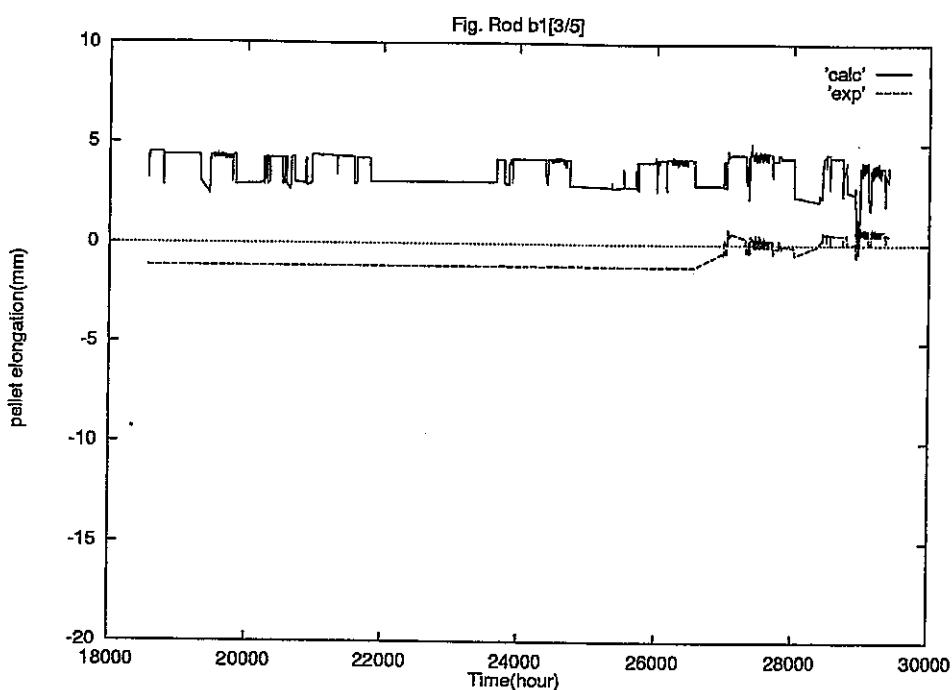


図 4.25(3/5) ペレット有効長伸び (IF554/555 Rod B1)

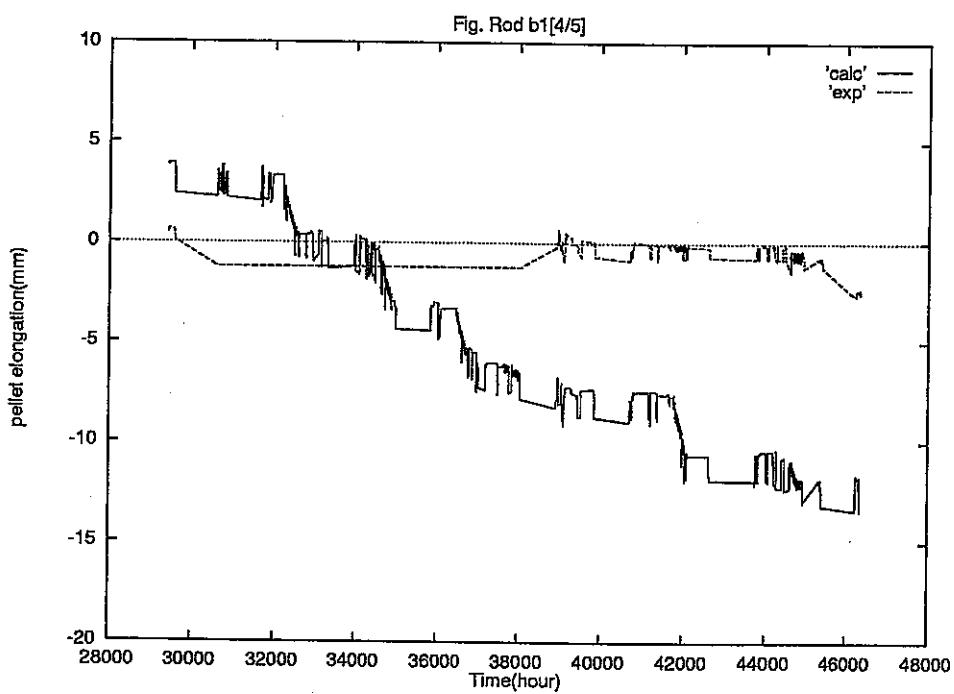


図 4.25(4/5) ペレット有効長伸び (IF554/555 Rod B1)

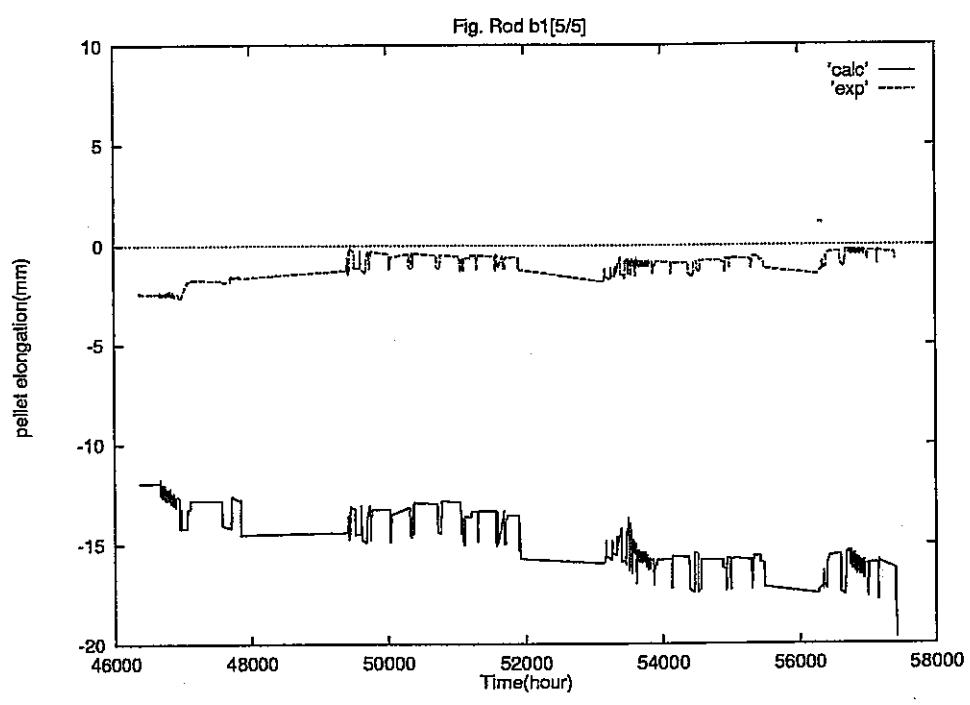


図 4.25(5/5) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B1)

Fig. Rod b2[1/5]

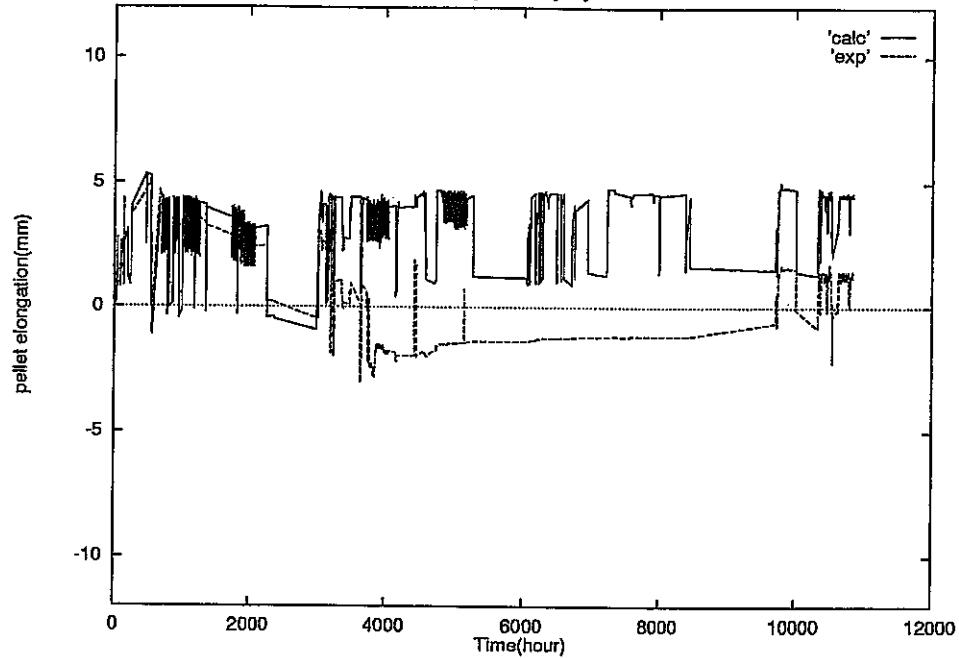


図 4.26(1/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[2/5]

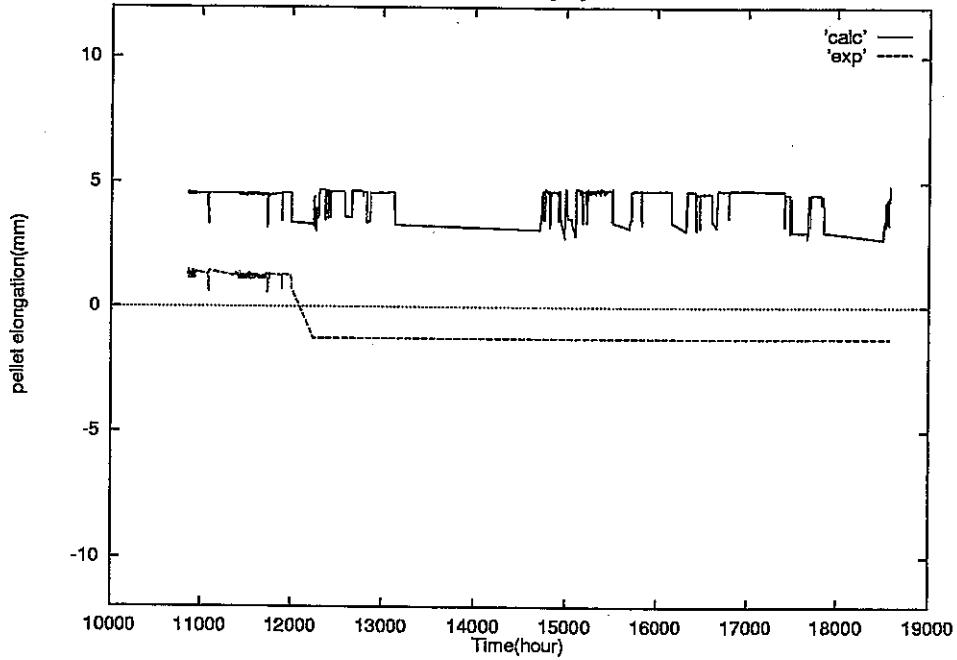


図 4.26(2/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[3/5]

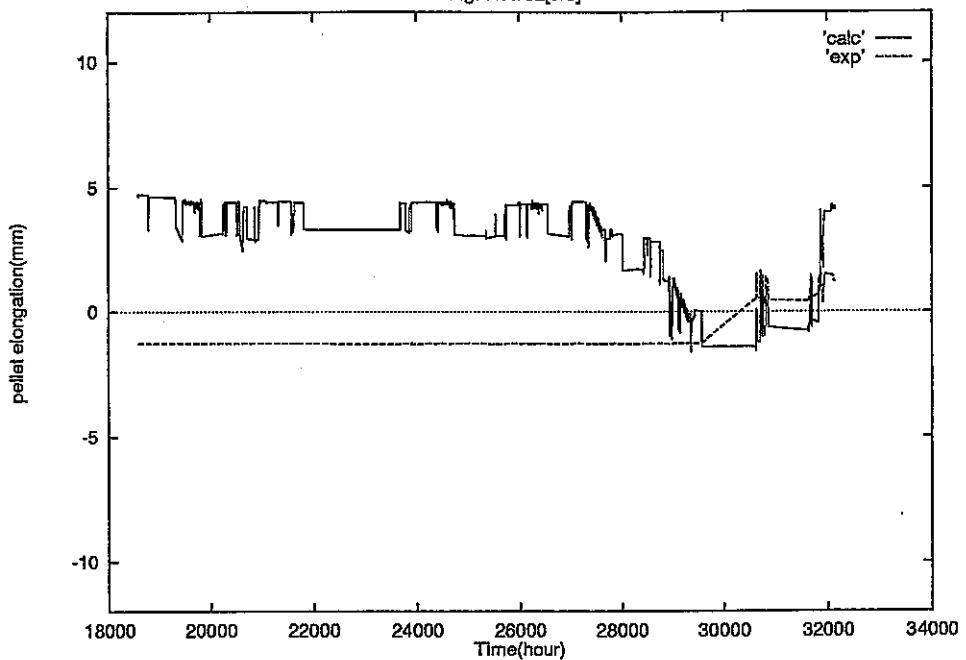


図 4.26(3/6) ペレット有効長伸び (IFAP554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[4/5]

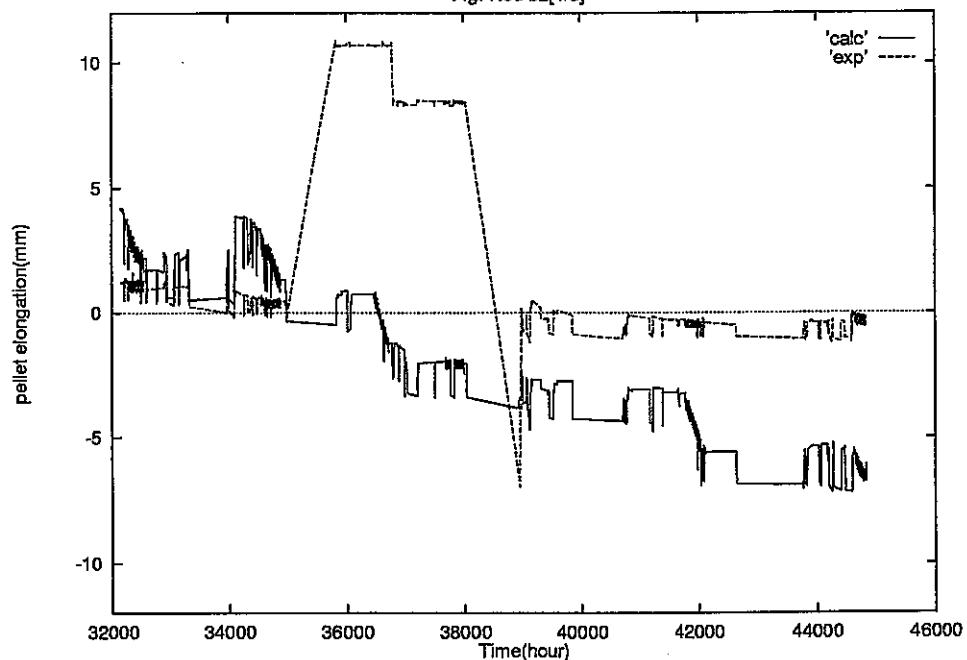


図 4.26(4/6) ペレット有効長伸び (IFAP554/555 Rod B2)

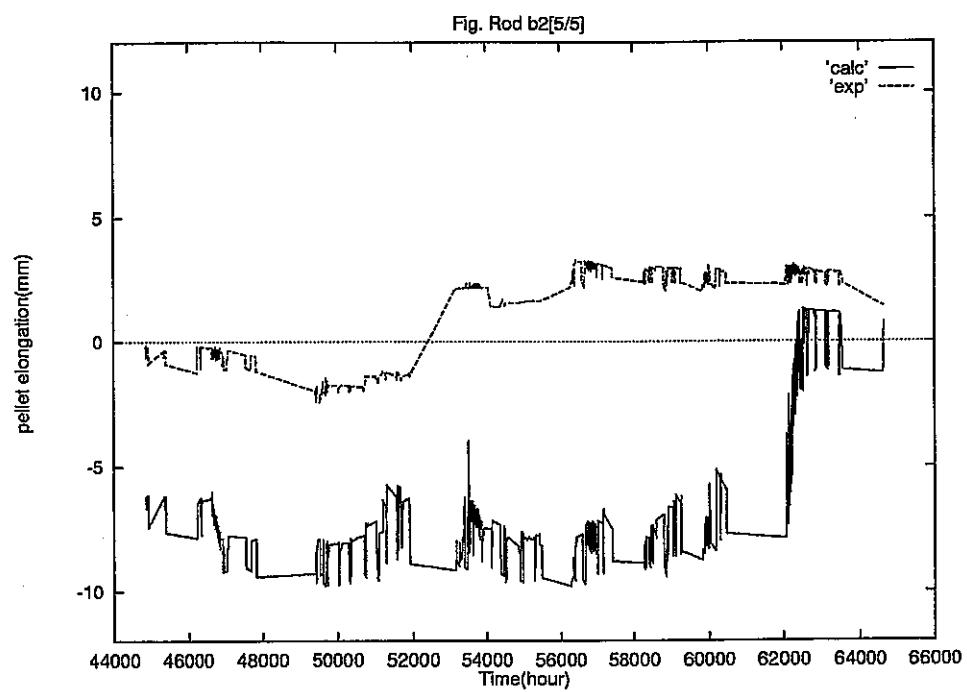


図 4.26(5/6) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B2)

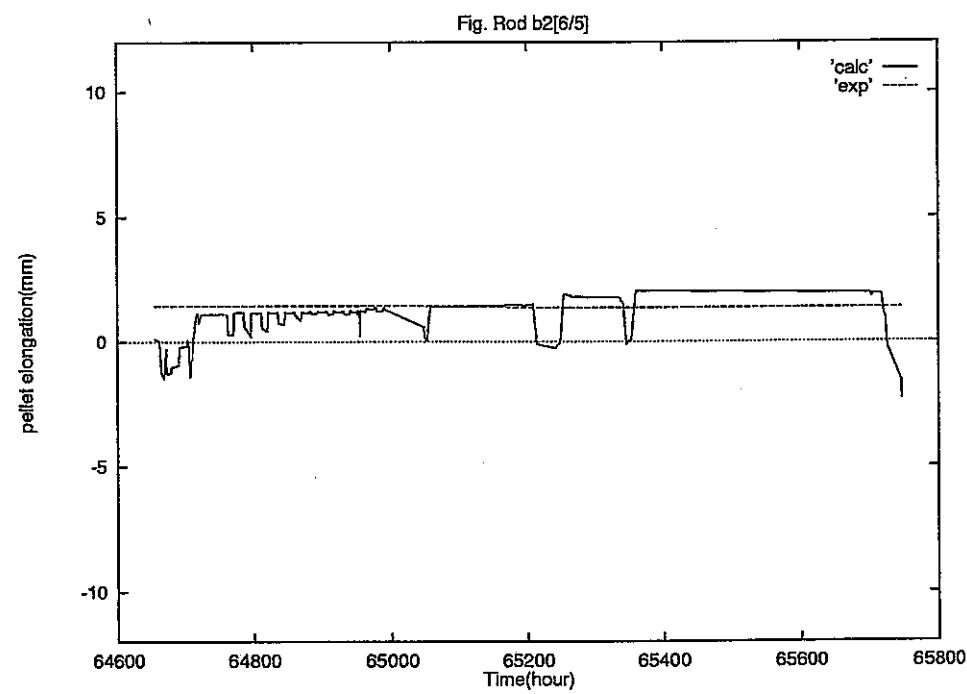


図 4.26(6/6) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B2)

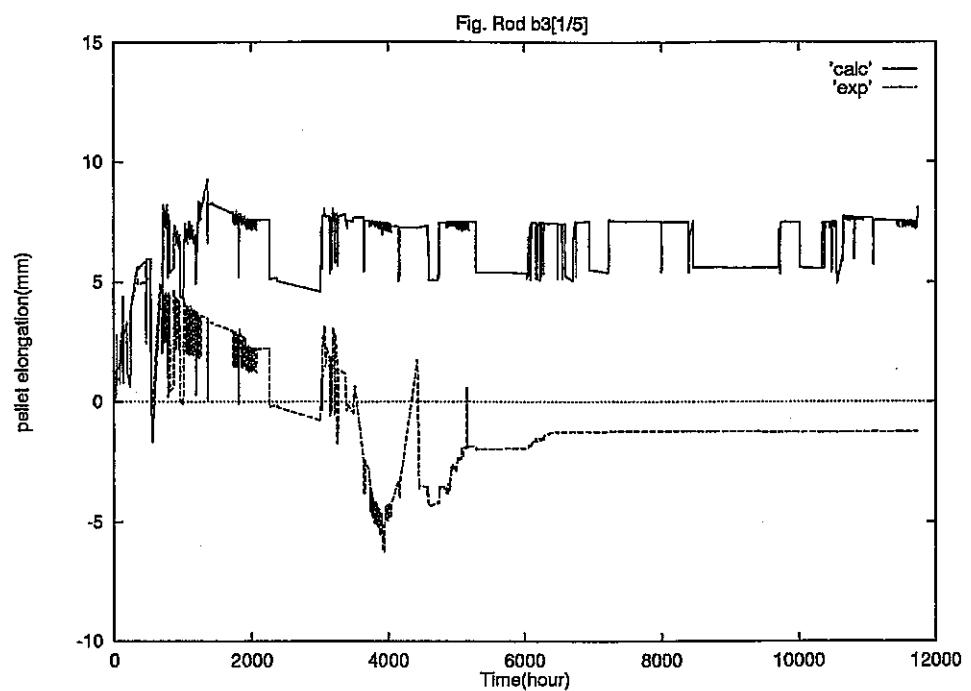


図 4.27(1/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

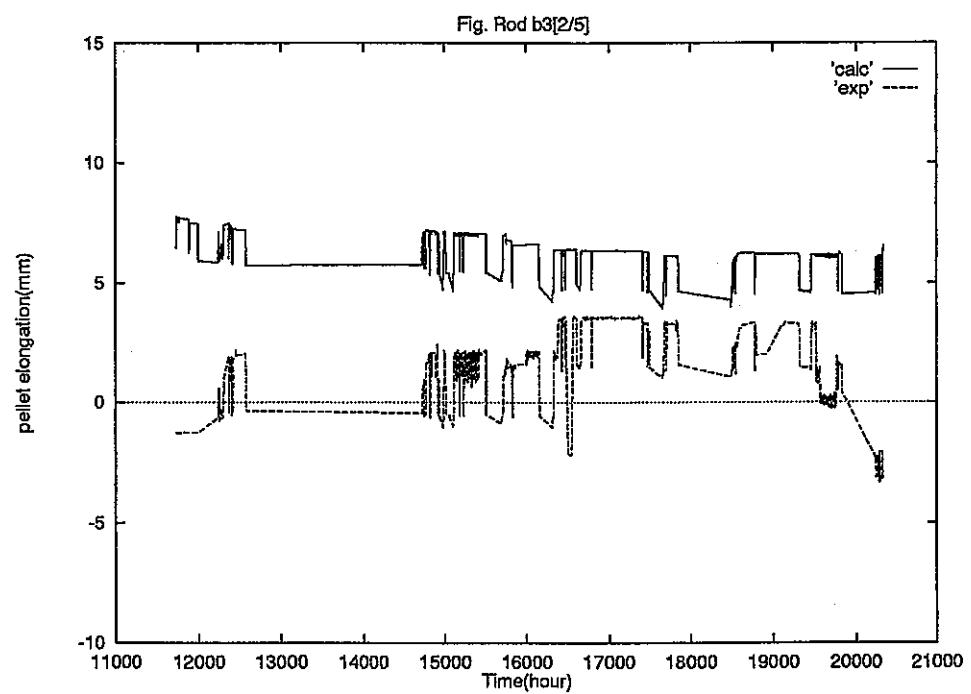


図 4.27(2/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

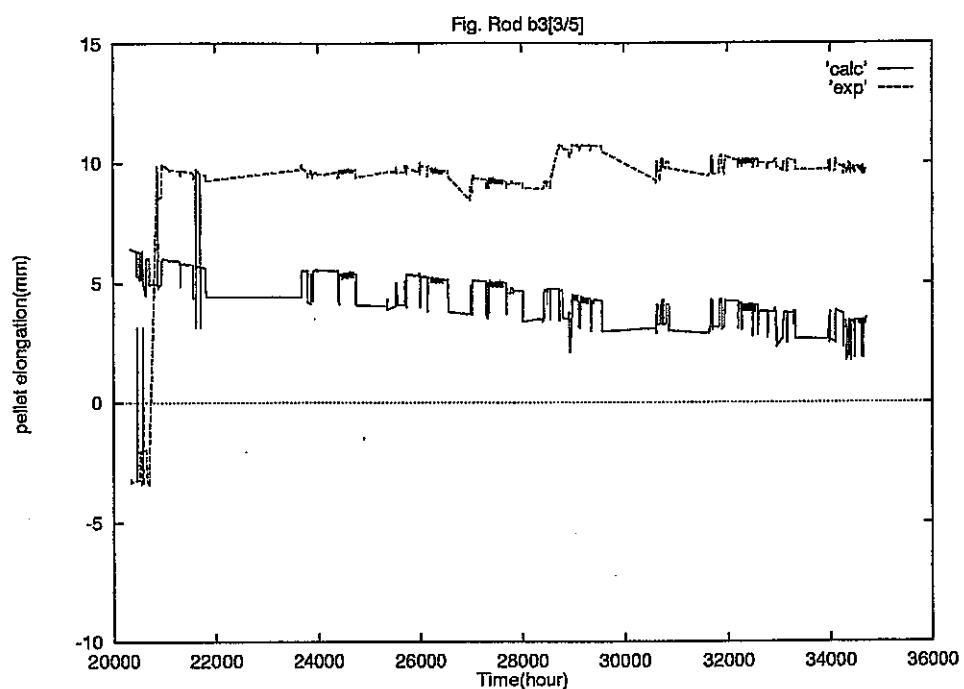


図 4.27(3/5) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B3)

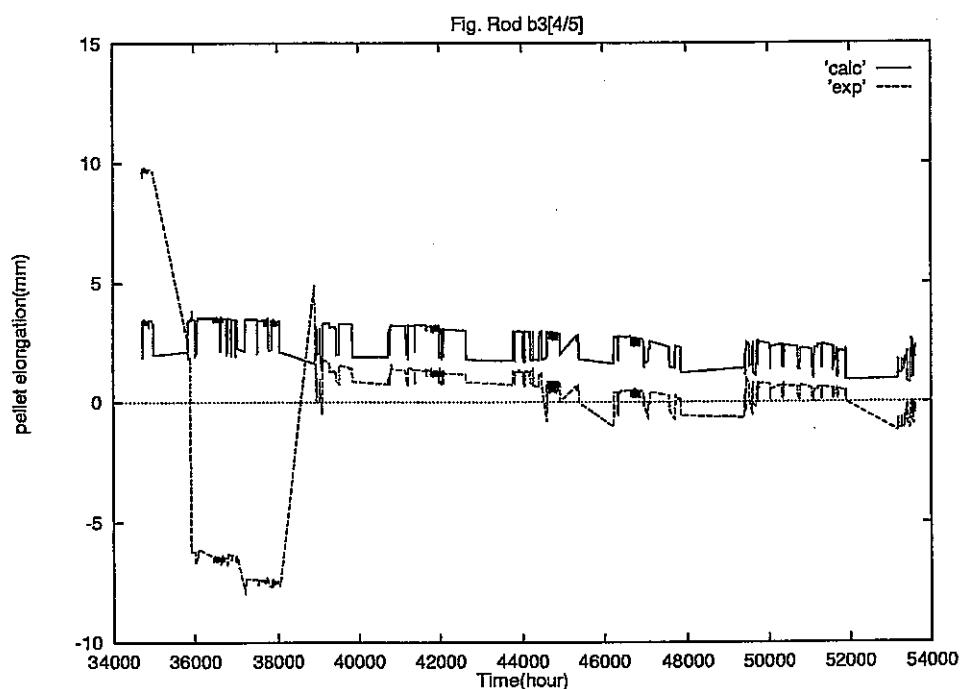


図 4.27(4/5) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B3)

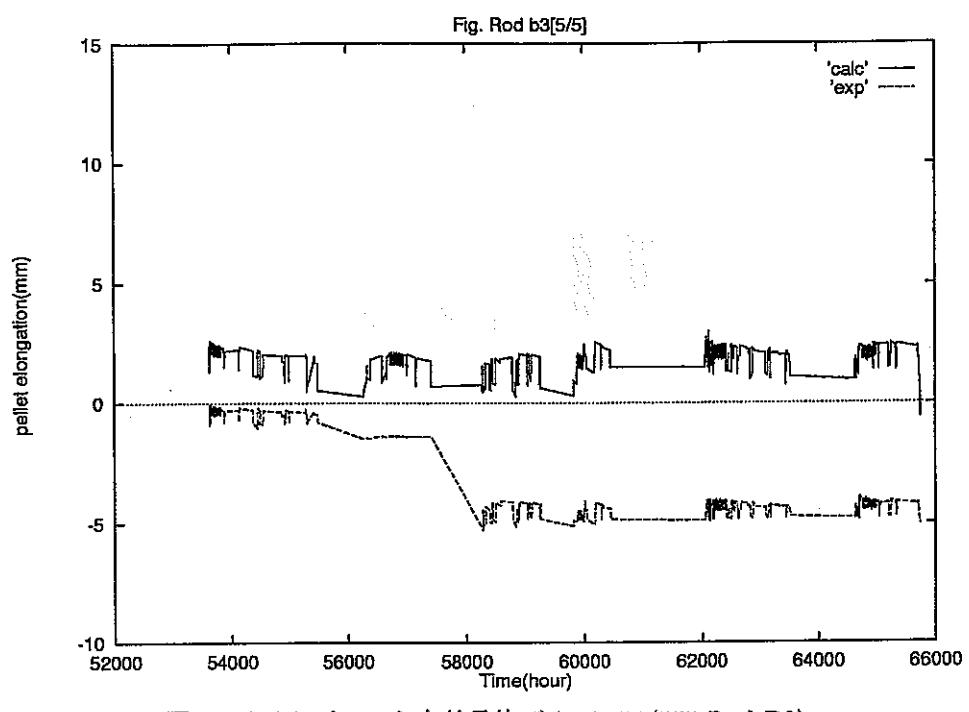


図 4.27(5/5) ペレット有効長伸び (IF A554/555 Rod B3)

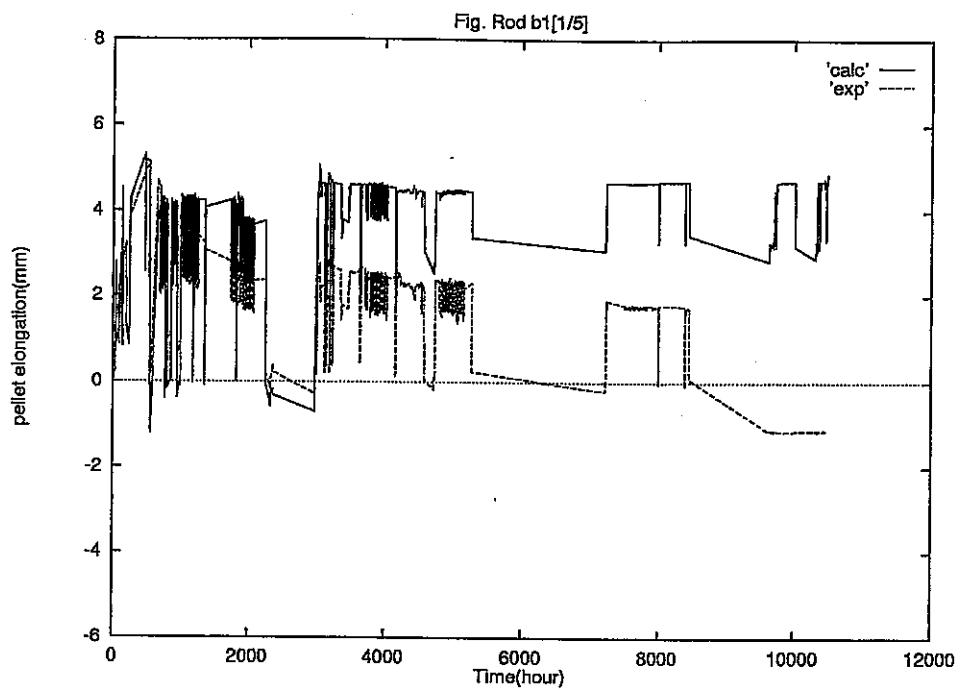


図 4.28(1/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B1)

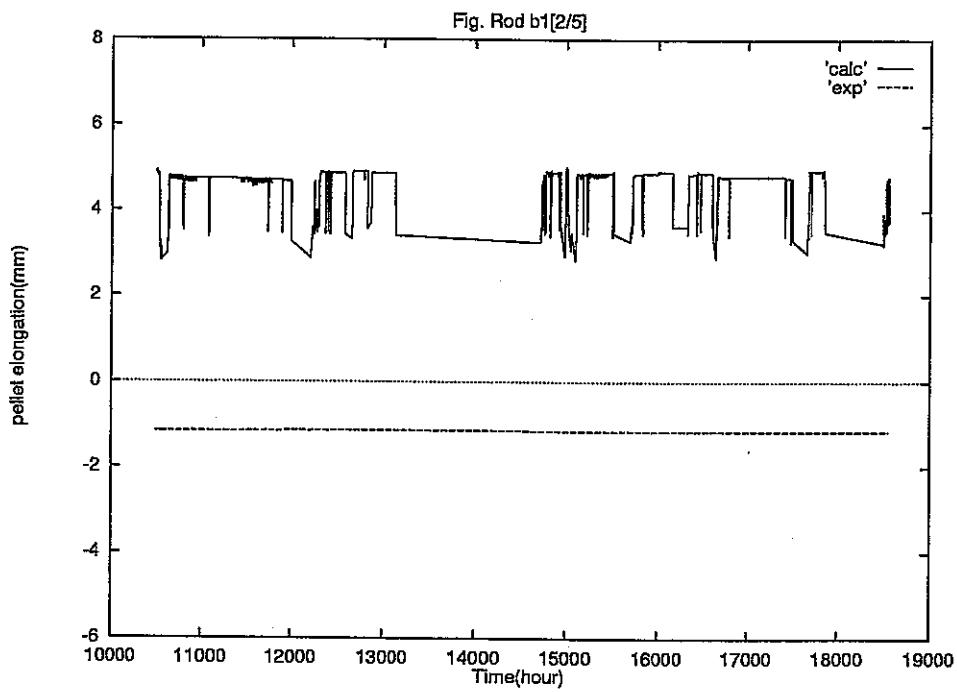


図 4.28(2/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B1)

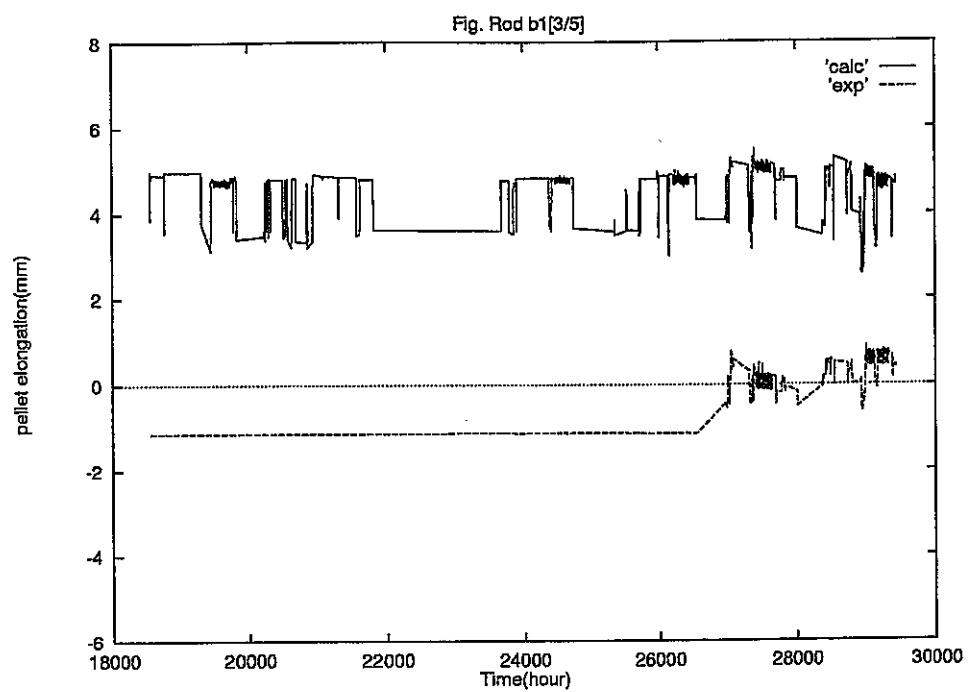


図 4.28(3/5) ペレット有効長伸び (IFAP54/555 Rod B1)

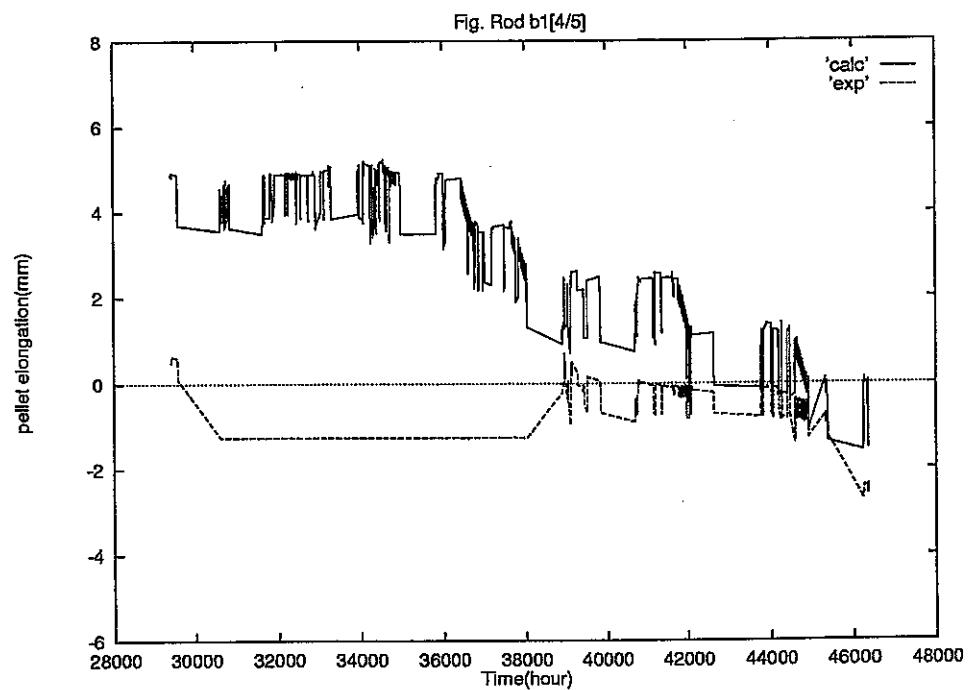


図 4.28(4/5) ペレット有効長伸び (IFAP54/555 Rod B1)

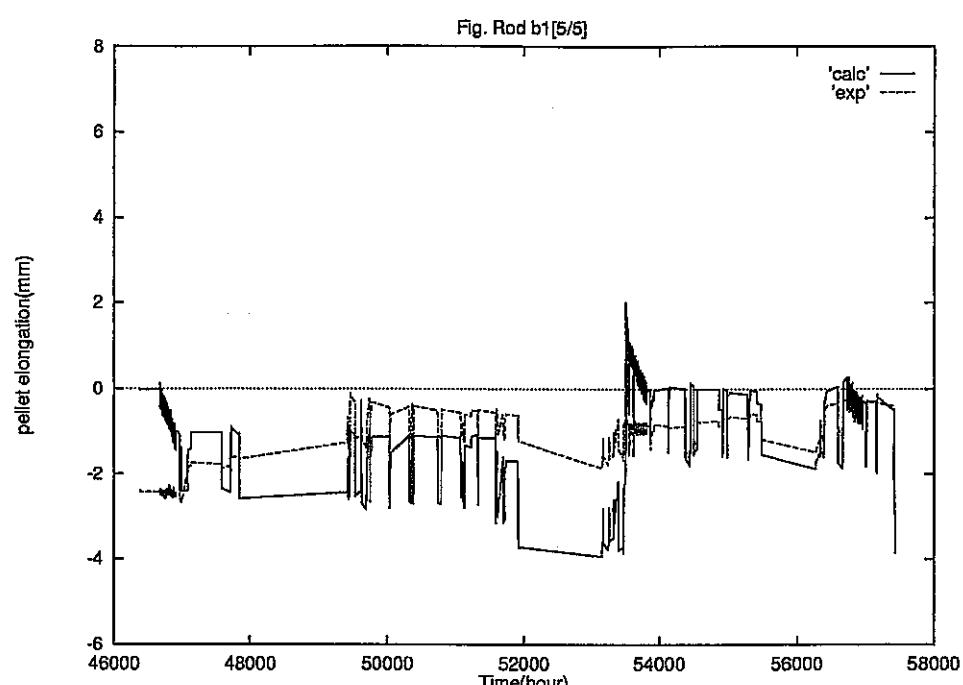


図 4.28(5/5) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B1)

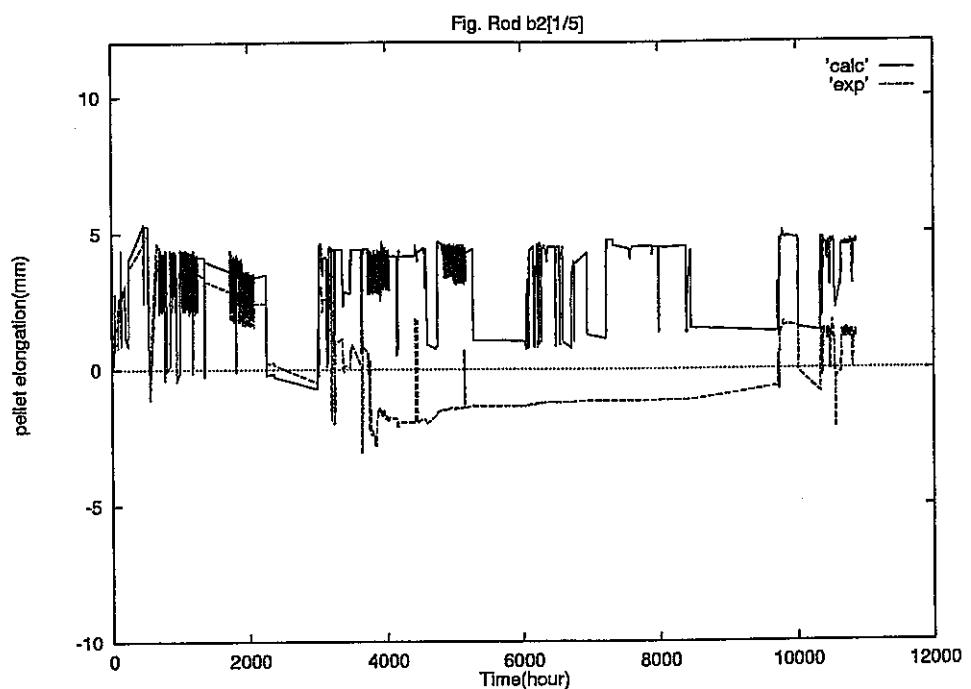


図 4.29(1/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

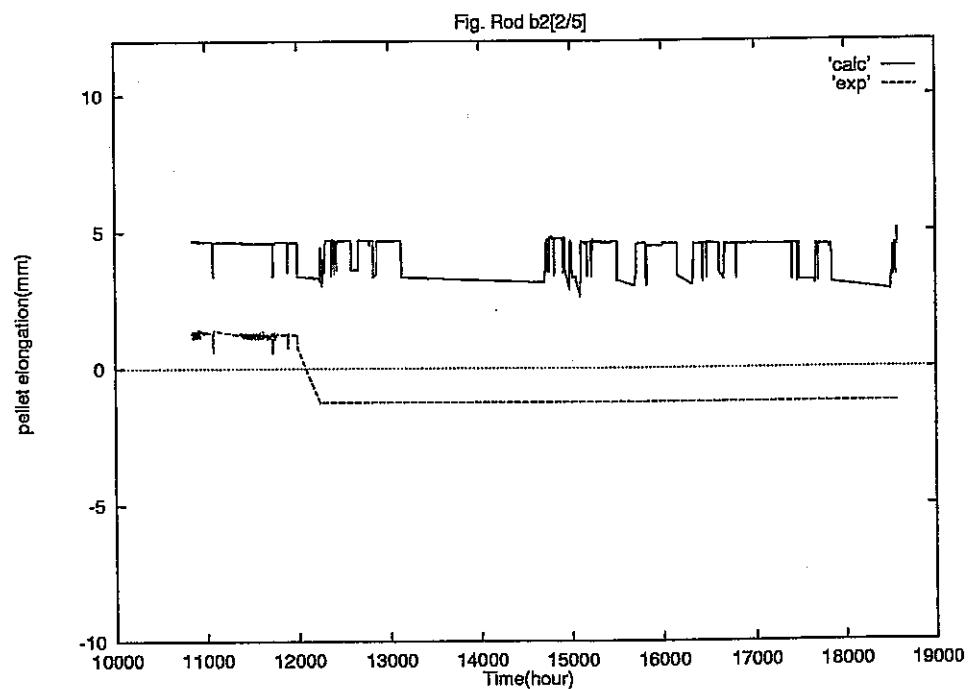


図 4.29(2/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[3/5]

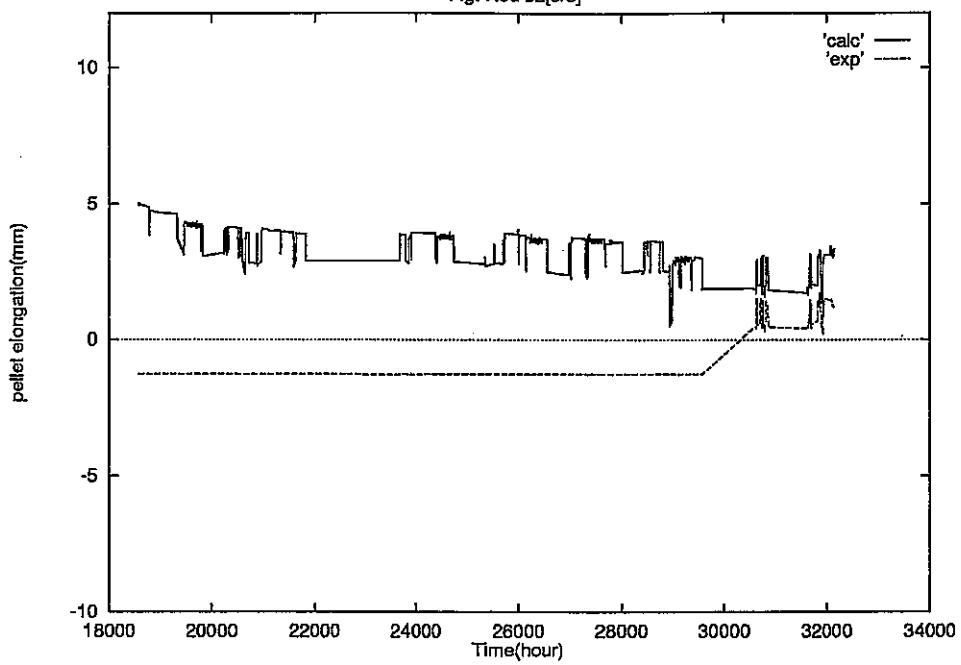


図 4.29(3/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[4/5]

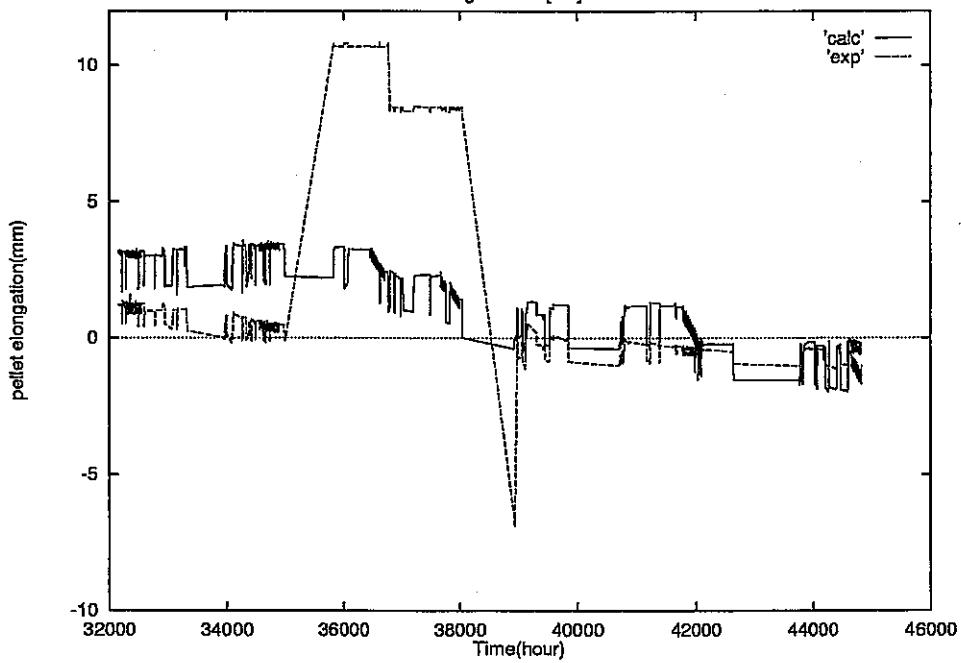


図 4.29(4/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[5/5]

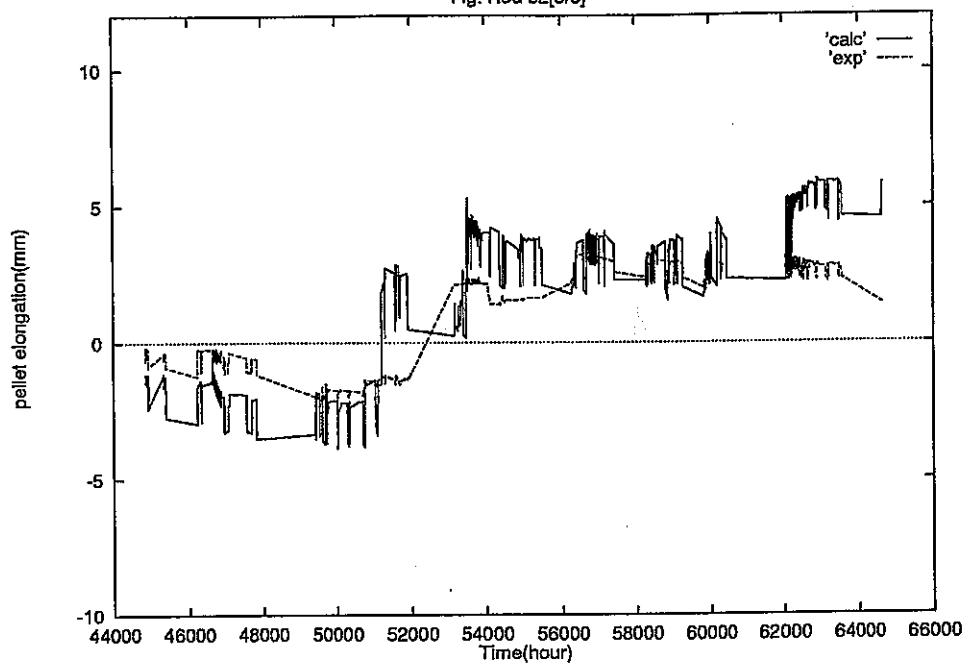


図 4.29(5/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

Fig. Rod b2[6/5]

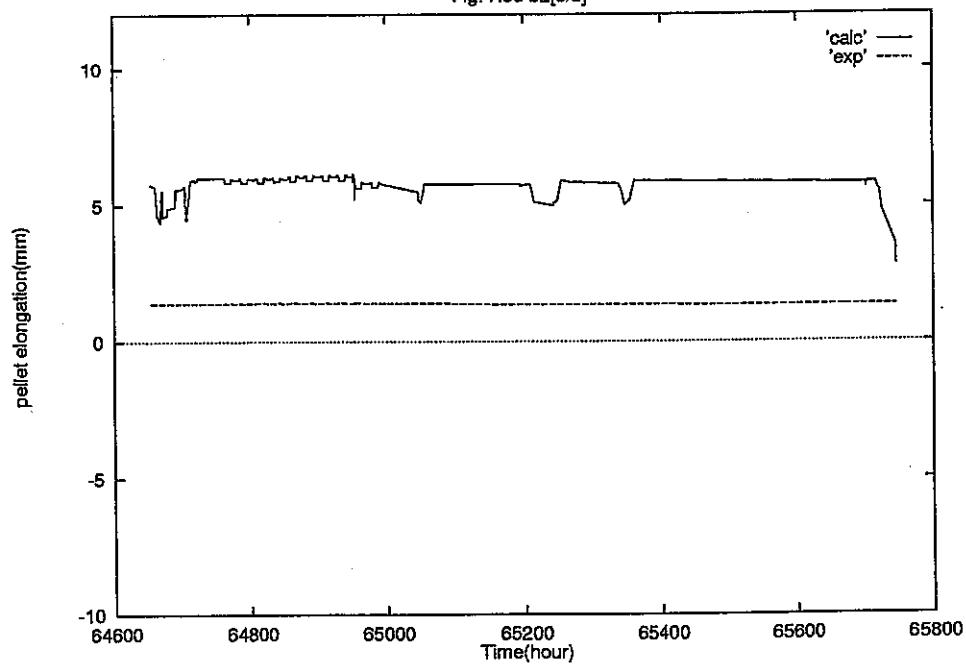


図 4.29(6/6) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B2)

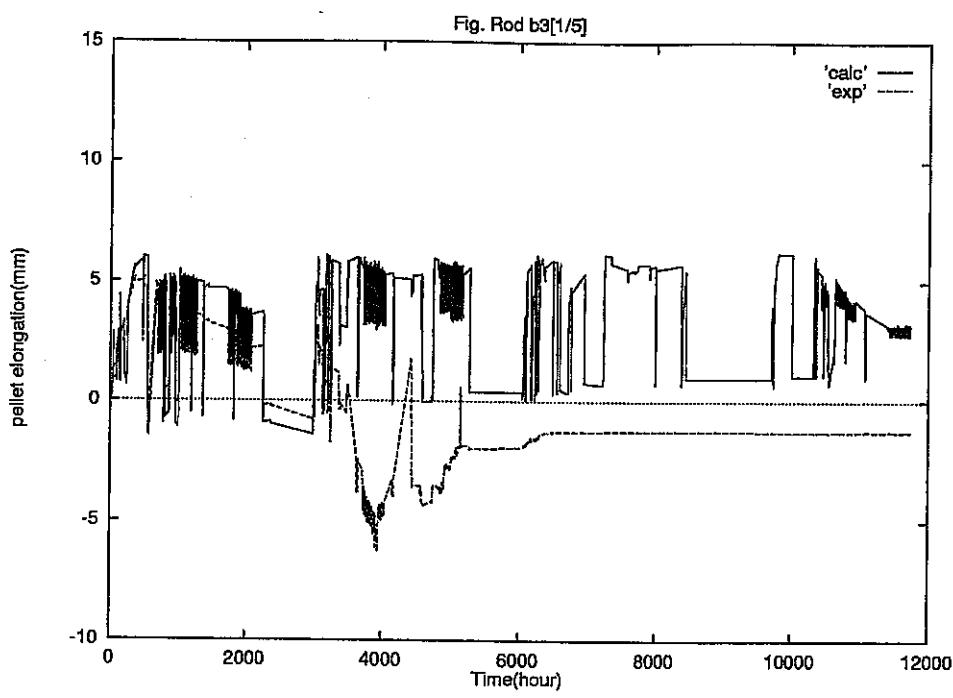


図 4.30(1/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

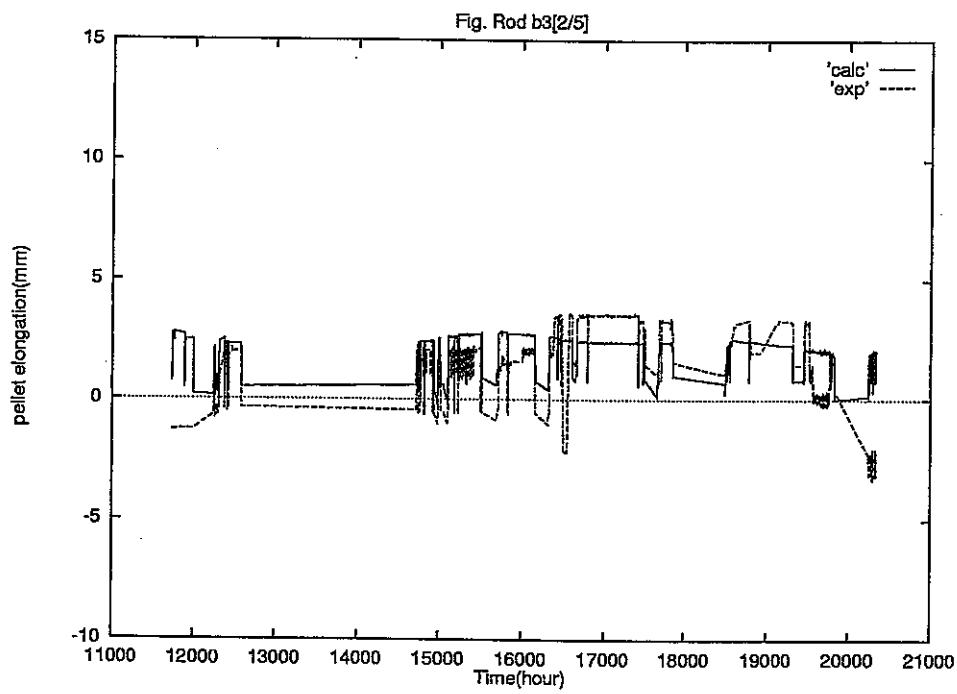


図 4.30(2/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

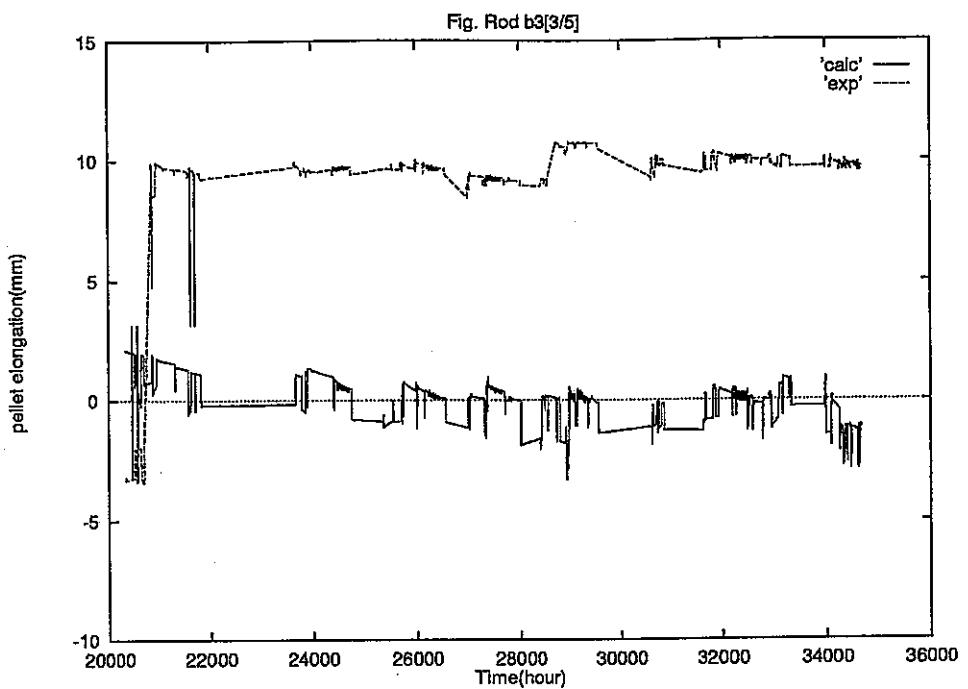


図 4.30(3/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

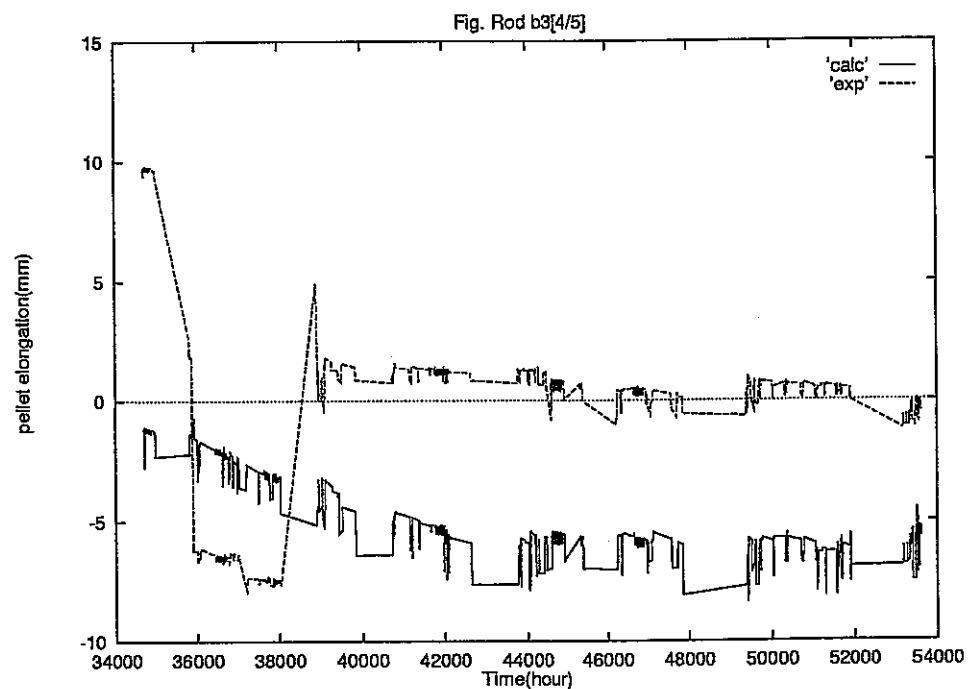


図 4.30(4/5) ペレット有効長伸び (IFA554/555 Rod B3)

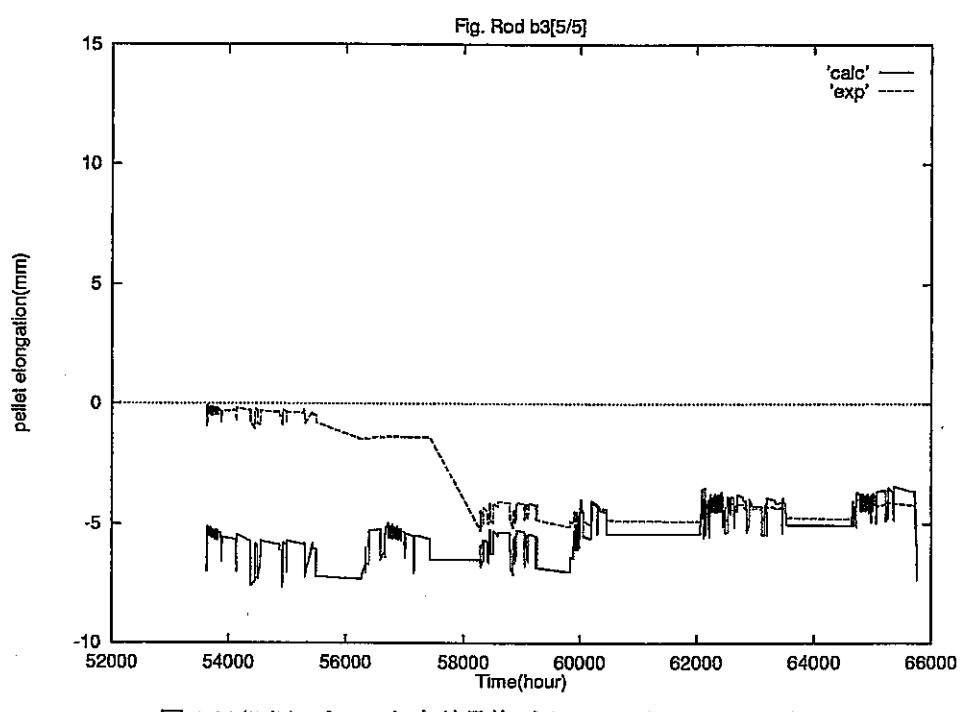


図 4.30(5/5) ペレット有効長伸び (IFAF554/555 Rod B3)

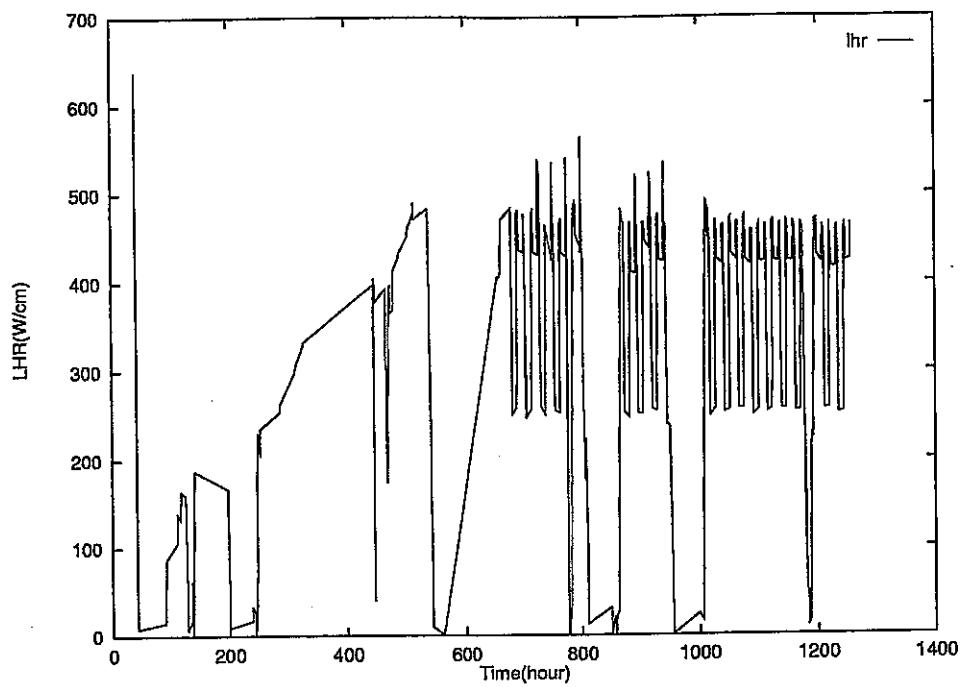


図 4.31 サイクル 1 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

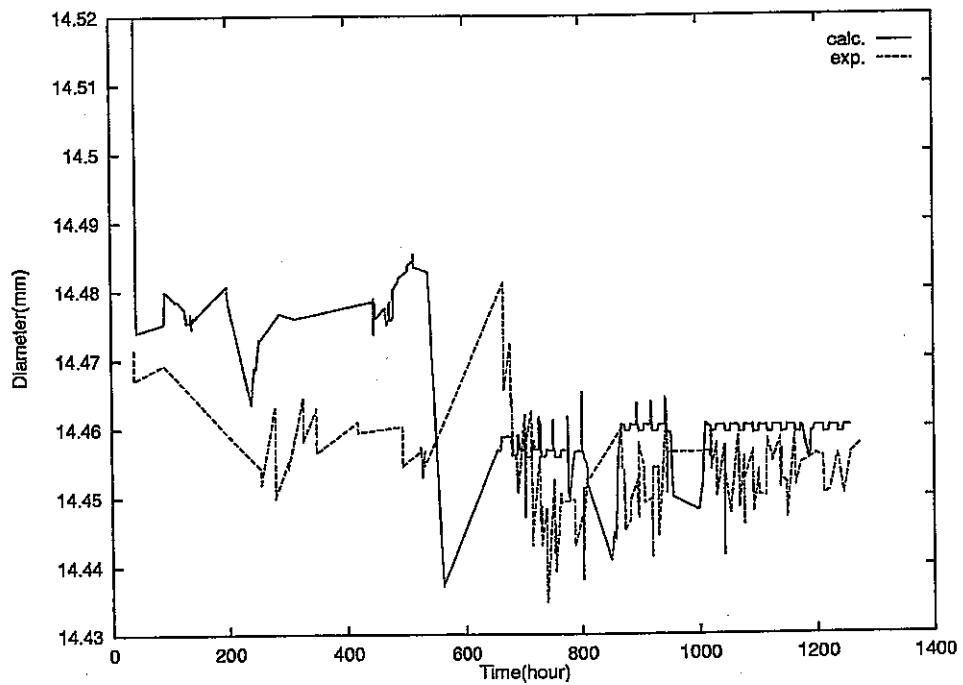


図 4.32 サイクル 1 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B4)

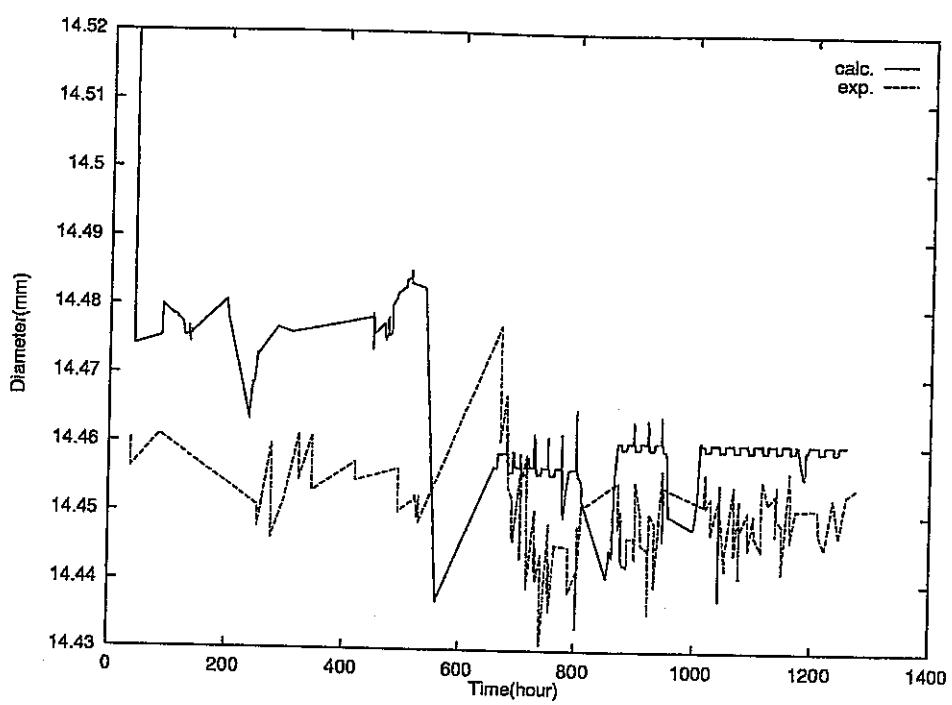


図 4.33 サイクル1被覆管直径最小(IFA554/555 Rod B4)

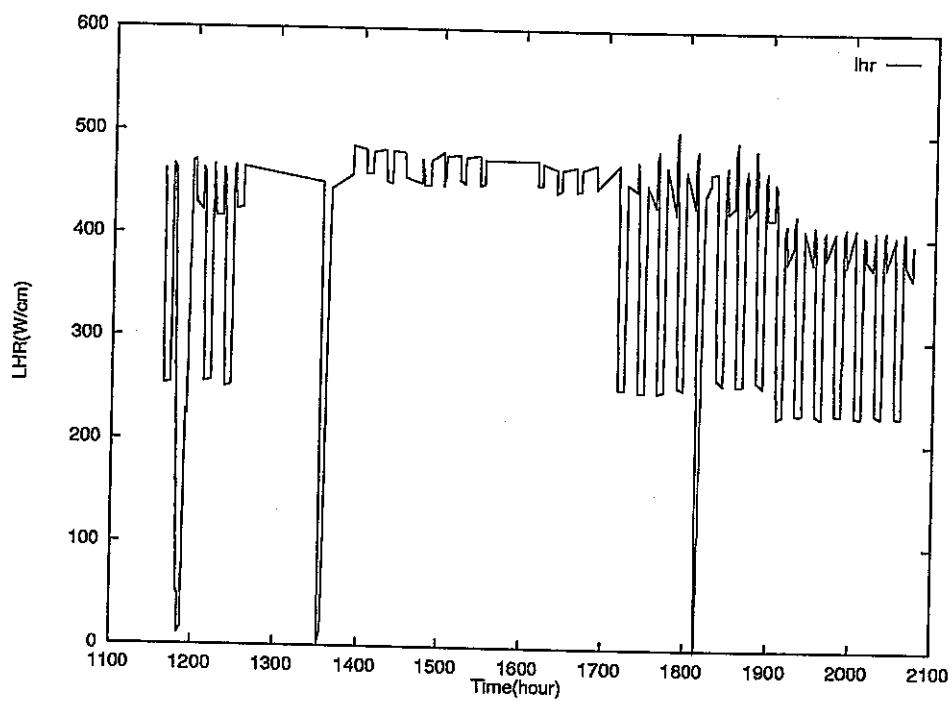


図 4.34 サイクル2線出力履歴(IFA554/555 Rod B4)

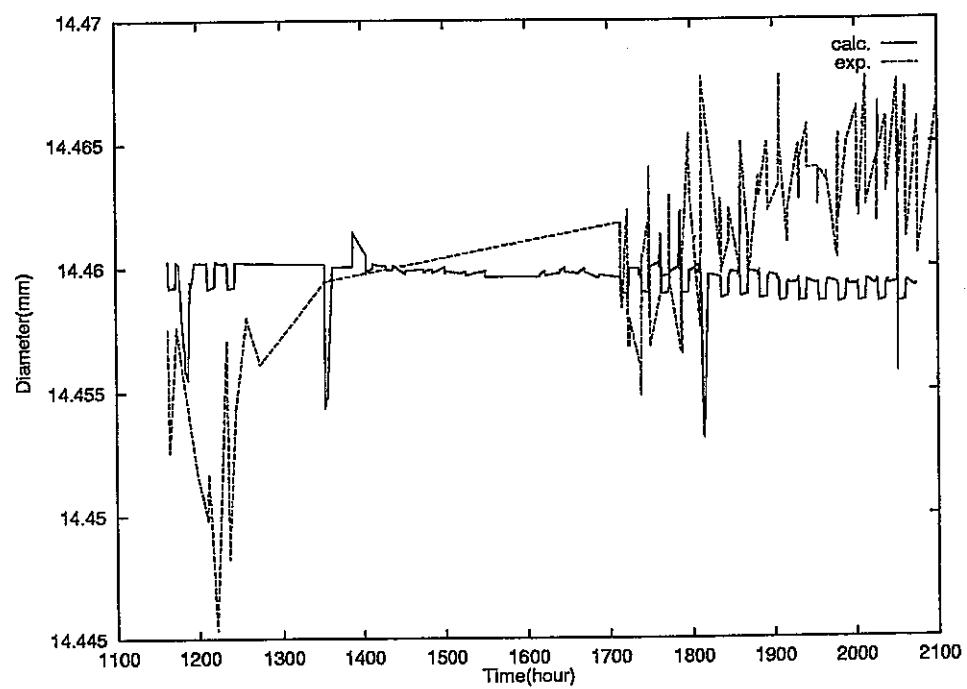


図 4.35 サイクル 2 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B4)

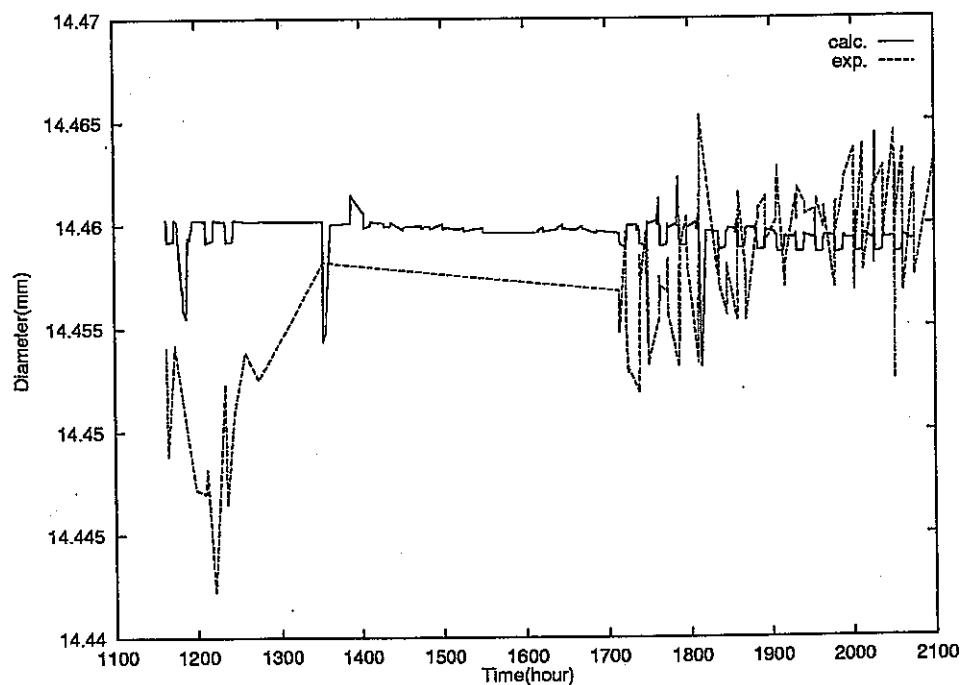


図 4.36 サイクル 2 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B4)

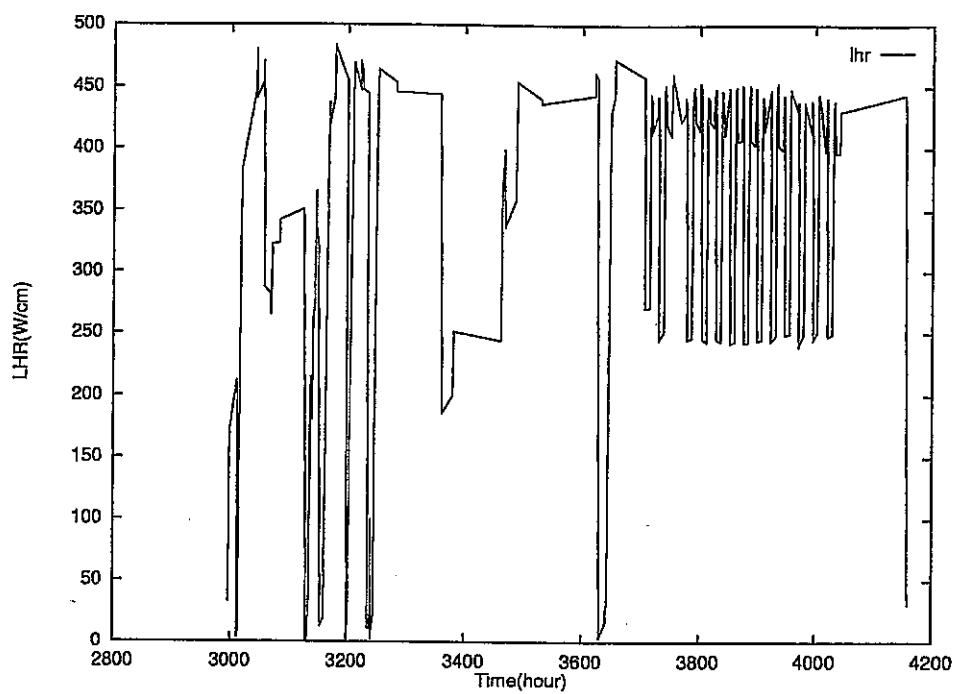


図 4.37 サイクル 3 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B1)

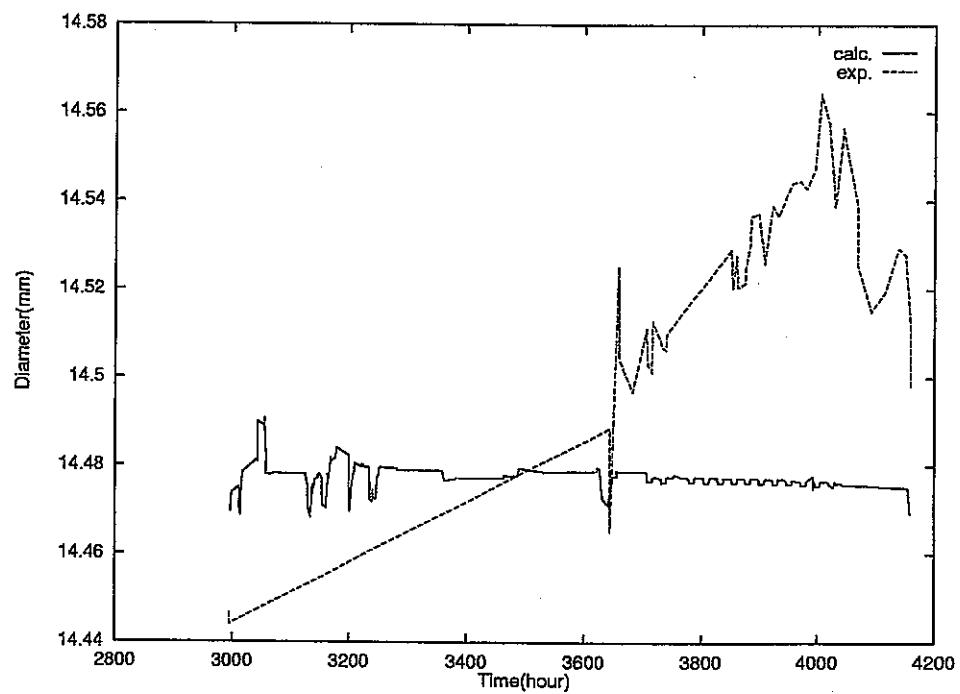


図 4.38 サイクル 3 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B1)

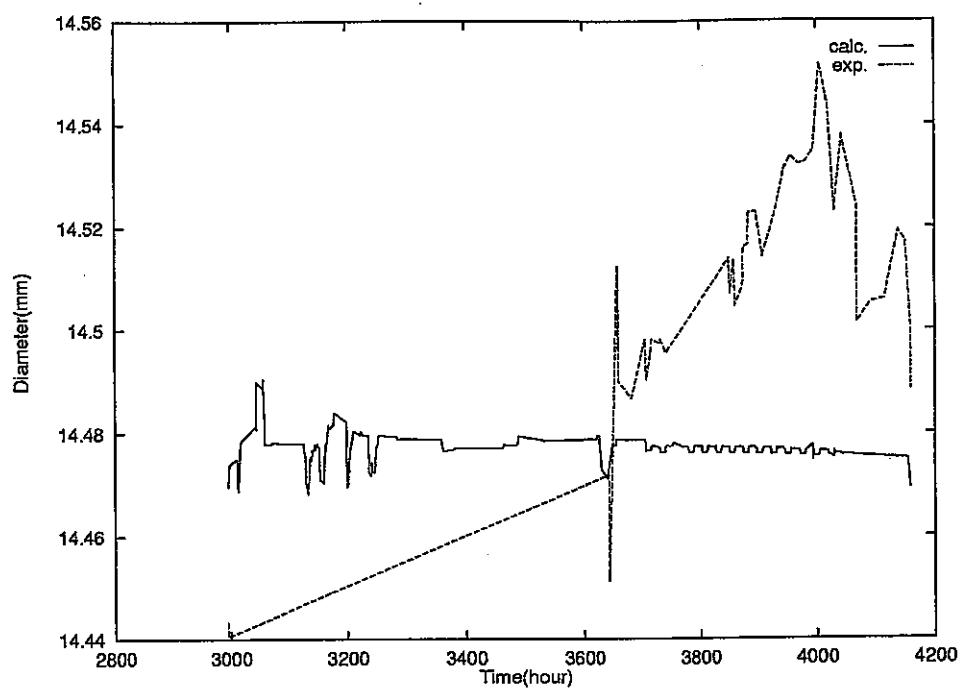


図 4.39 サイクル 3 被覆管直径最小 (IFAP554/555 Rod B1)

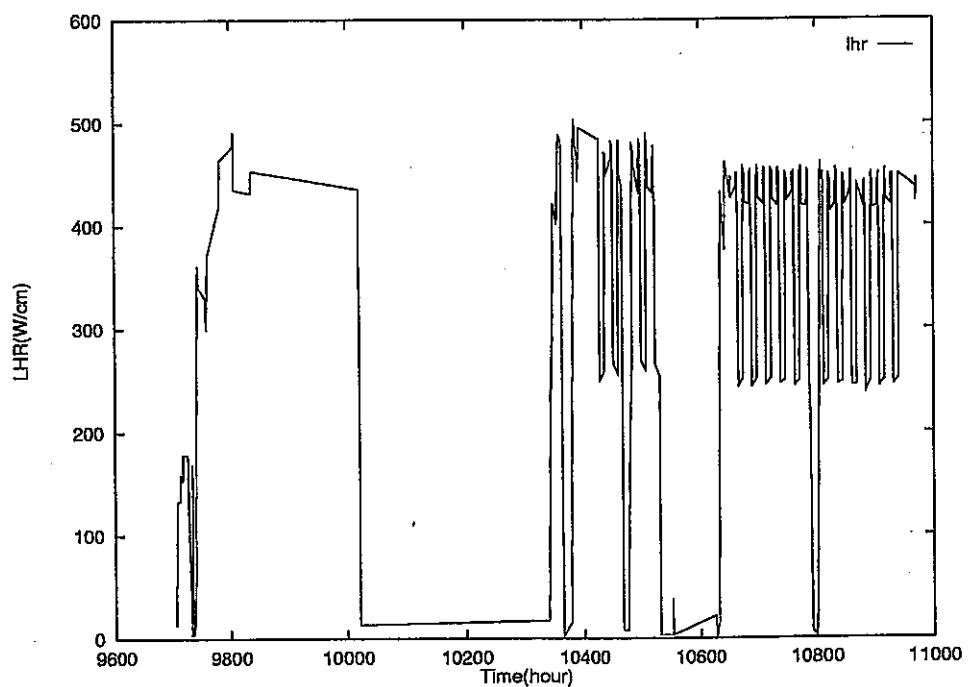


図 4.40 サイクル 5 線出力履歴 (IFAP554/555 Rod B2)

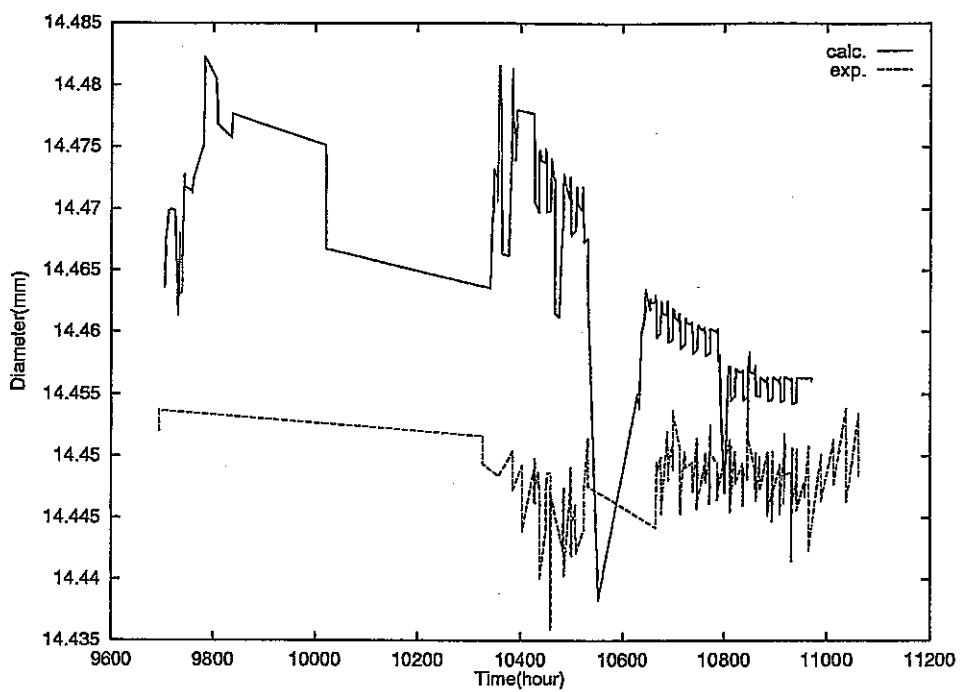


図 4.41 サイクル 5 被覆管直径最大 (IF A554/555 Rod B2)

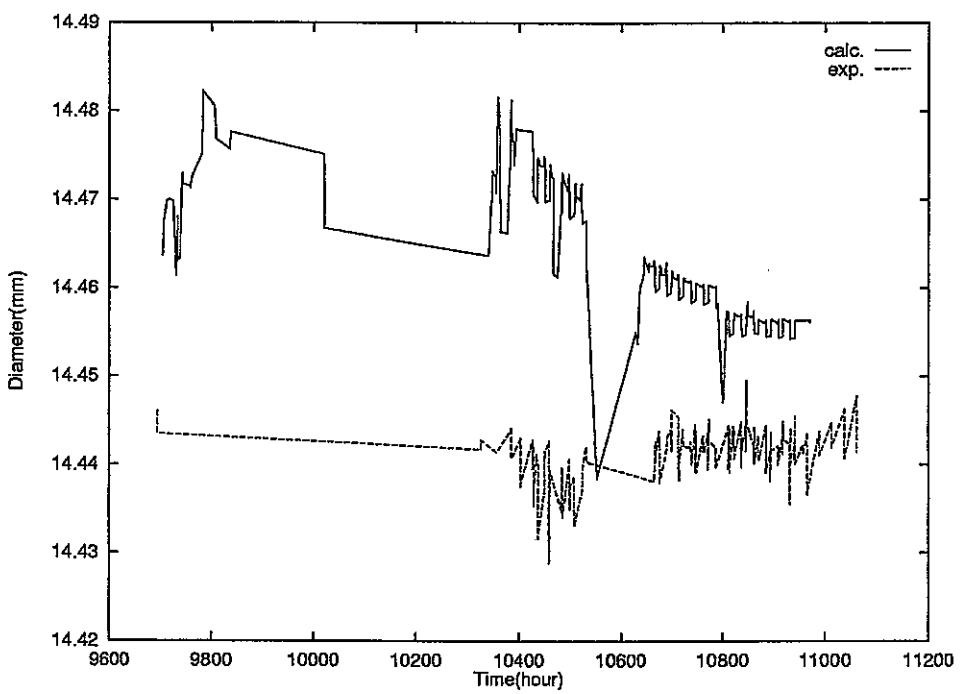


図 4.42 サイクル 5 被覆管直径最小 (IF A554/555 Rod B2)

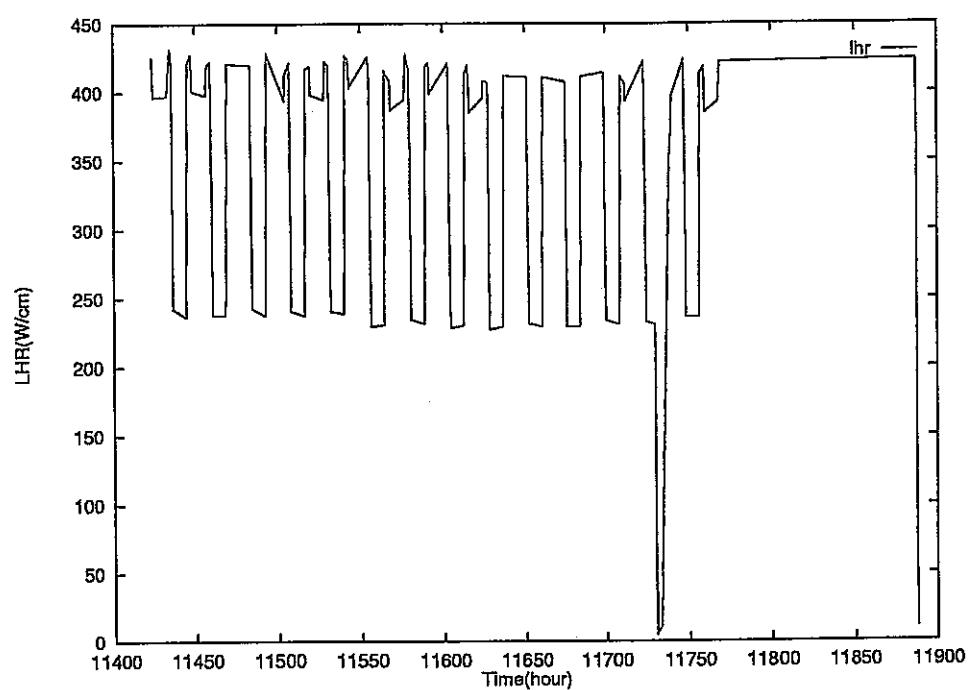


図 4.43 サイクル 6 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

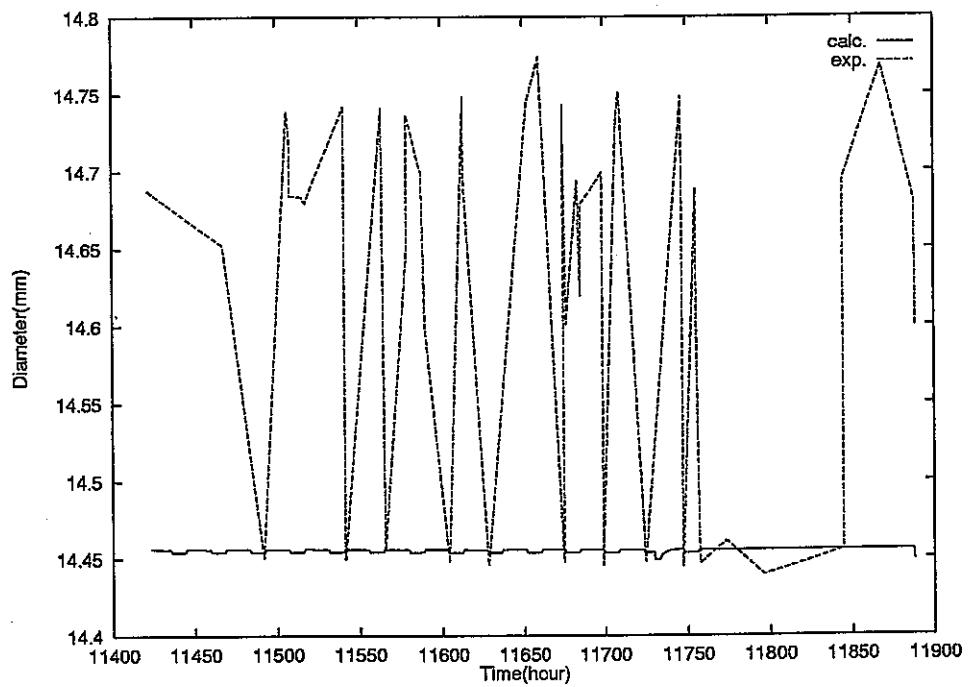


図 4.44 サイクル 6 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B2)

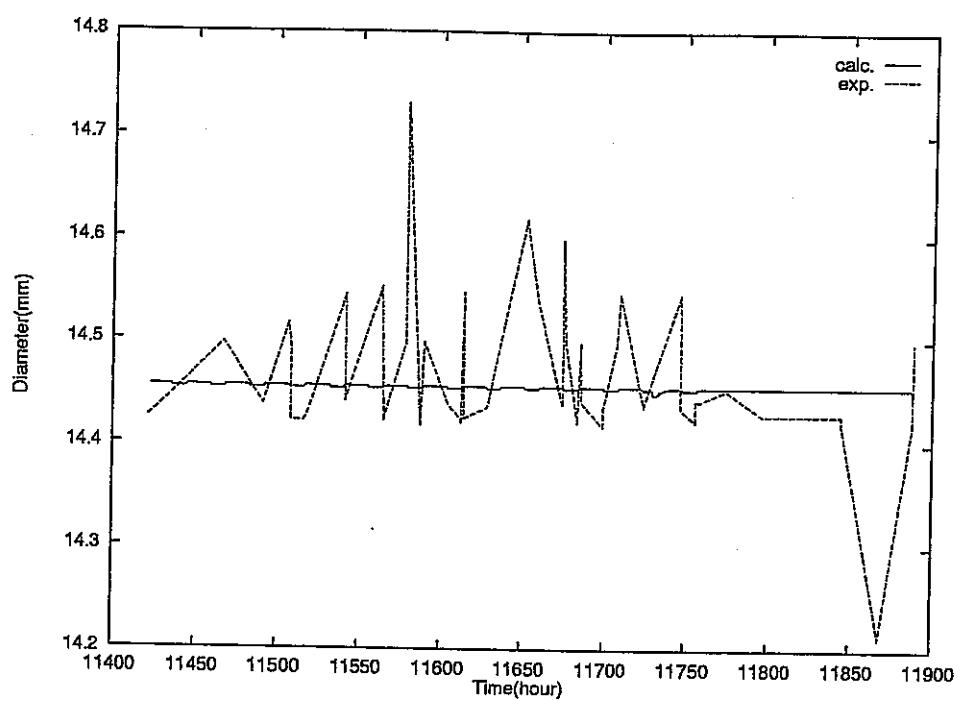


図 4.45 サイクル6被覆管直径最小(IFA554/555 Rod B2)

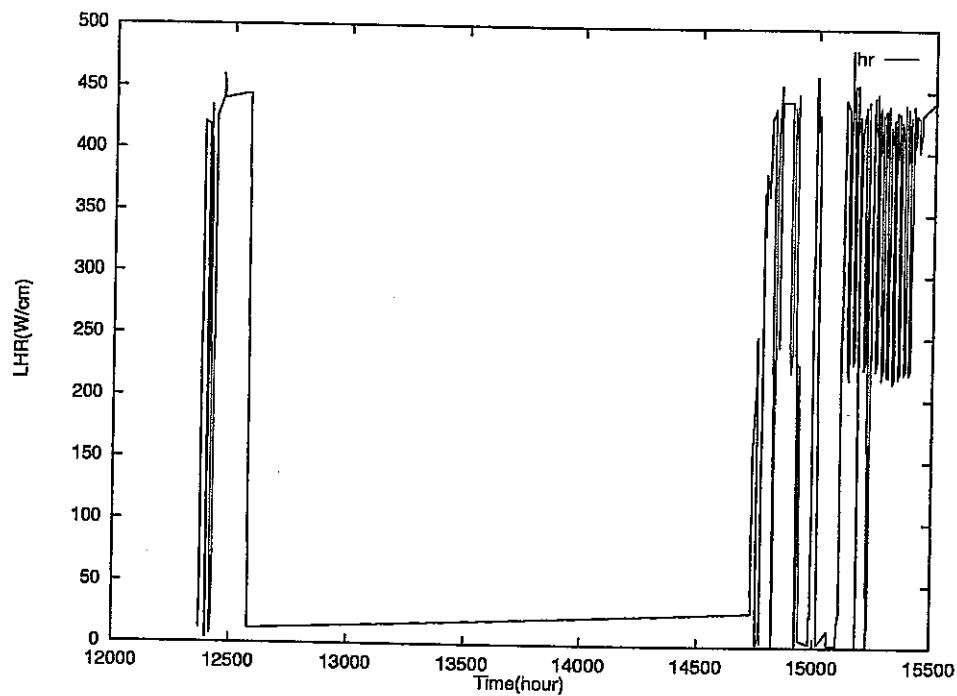


図 4.46 サイクル7線出力履歴(IFA554/555 Rod B3)

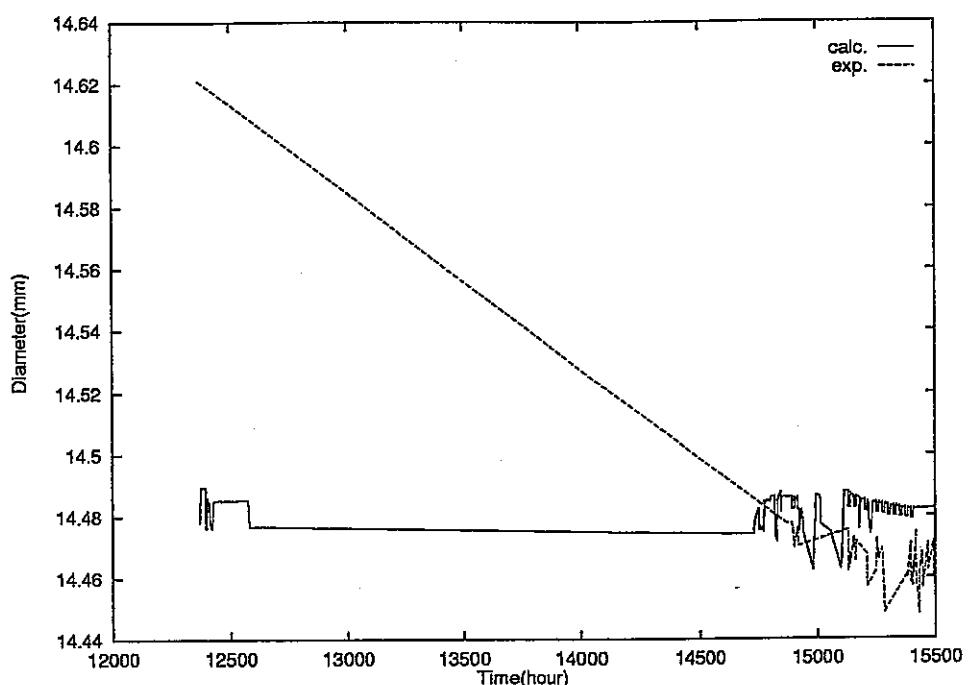


図 4.47 サイクル 7 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B3)

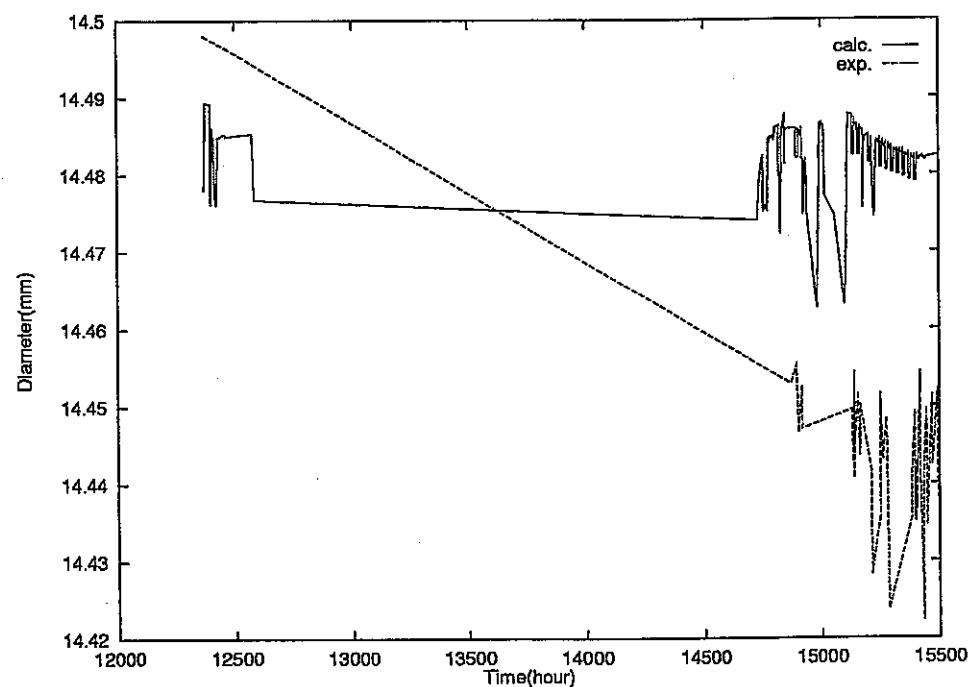


図 4.48 サイクル 7 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B3)

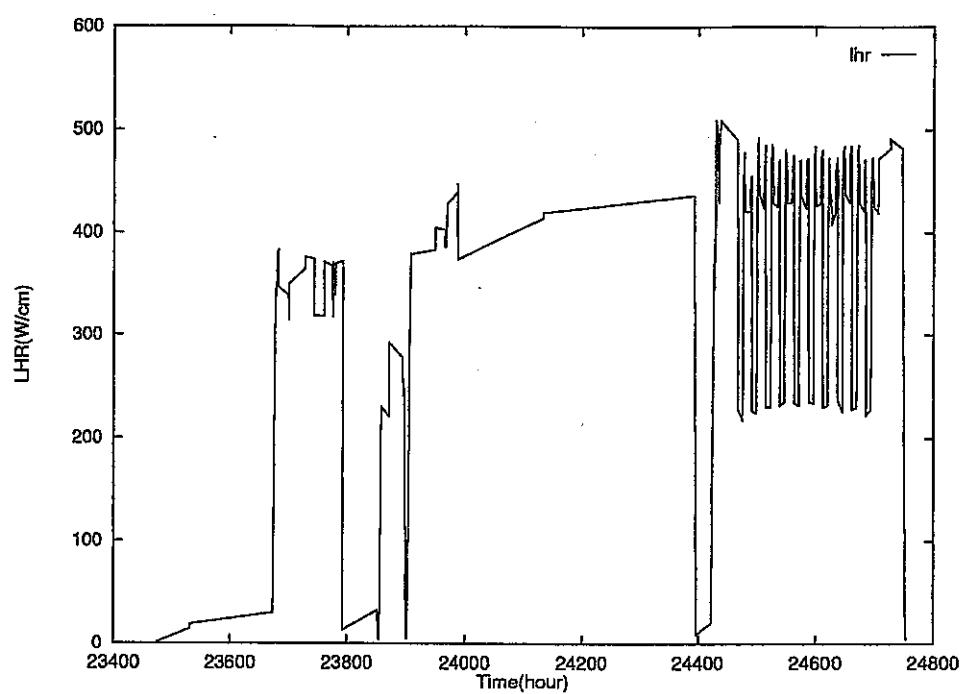


図 4.49 サイクル 9 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

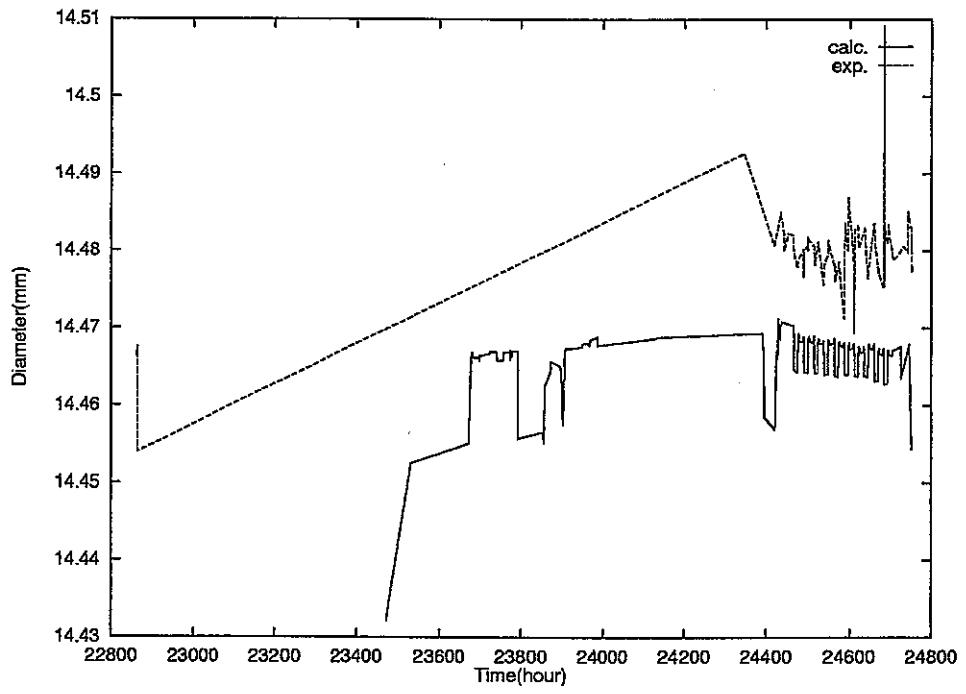


図 4.50 サイクル 9 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B4)

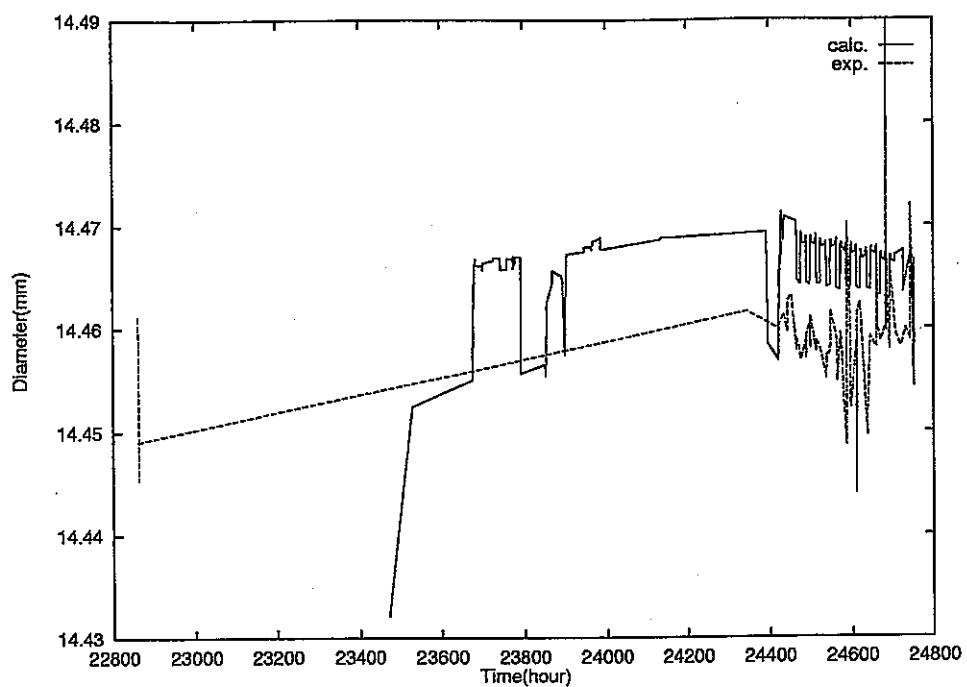


図 4.51 サイクル 9 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B4)

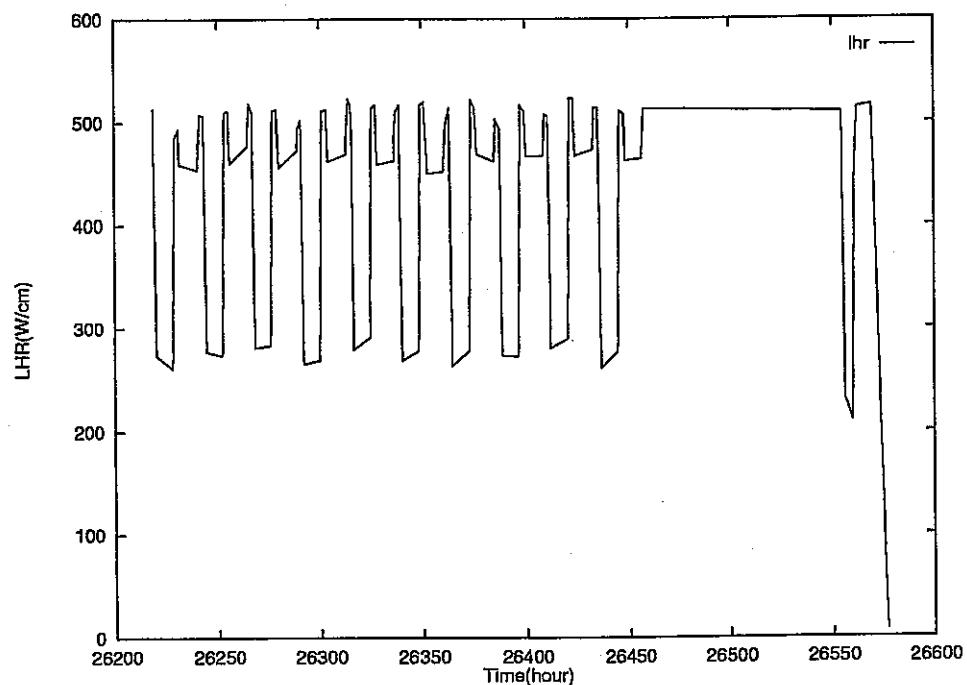


図 4.52 サイクル 10 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B4)

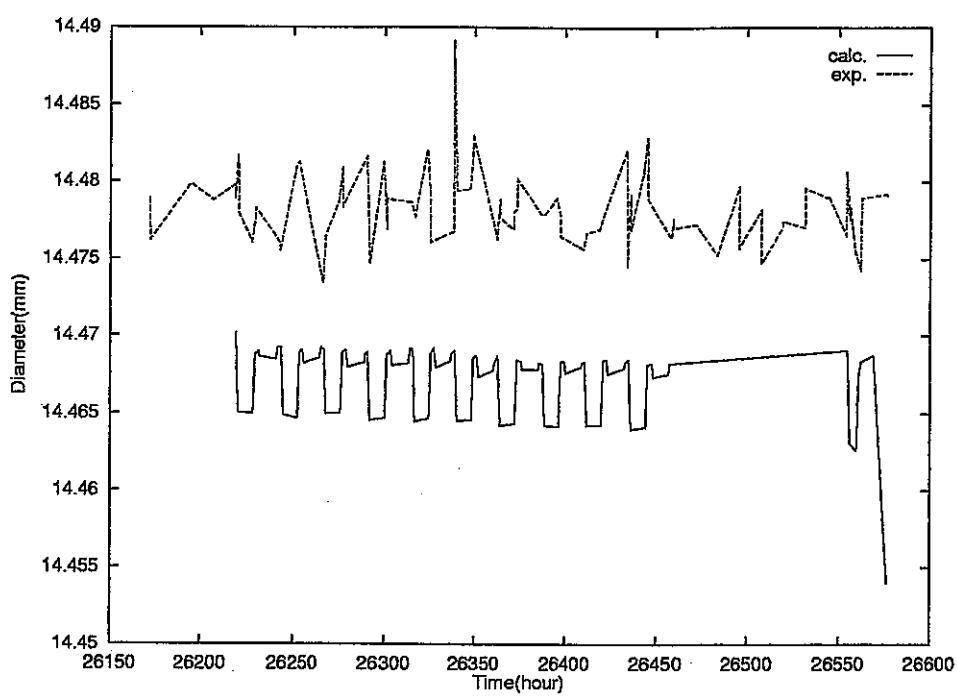


図 4.53 サイクル 10 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B4)

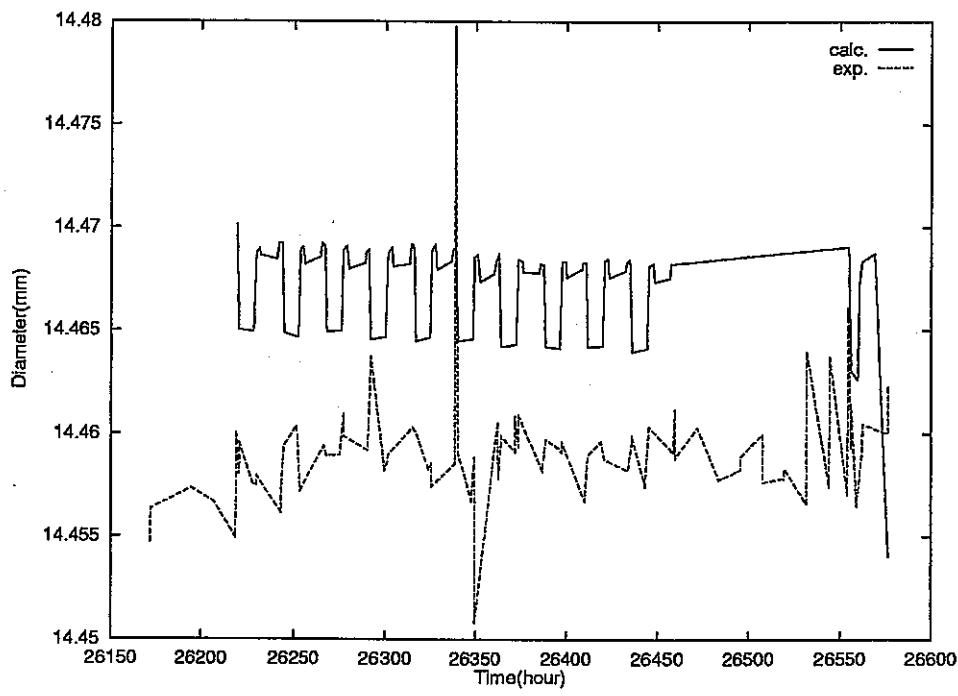


図 4.54 サイクル 10 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B4)

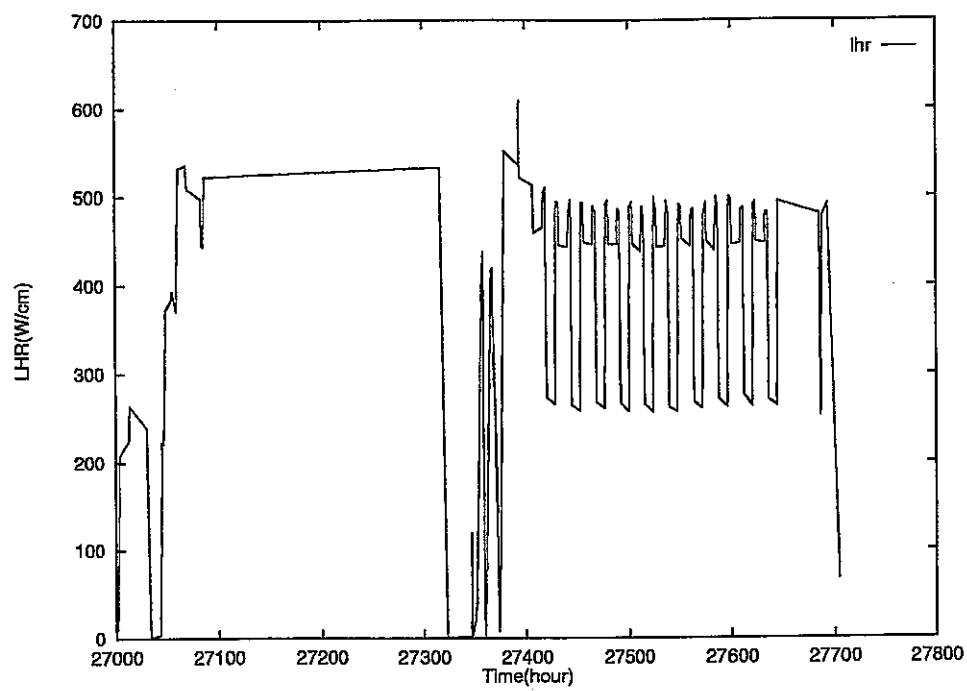


図 4.55 サイクル 11 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B1)

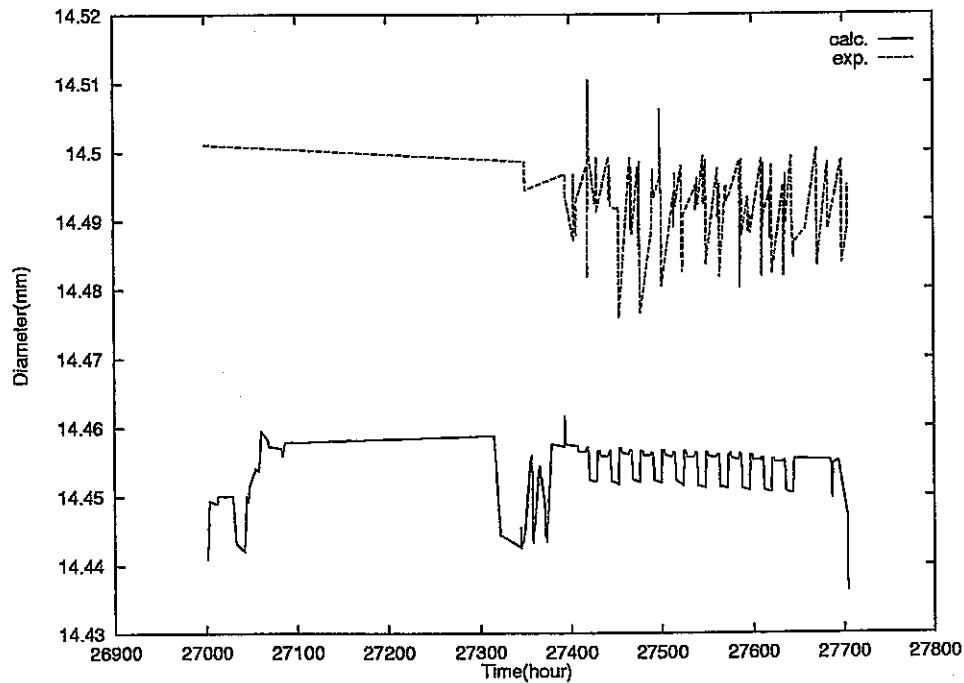


図 4.56 サイクル 11 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B1)

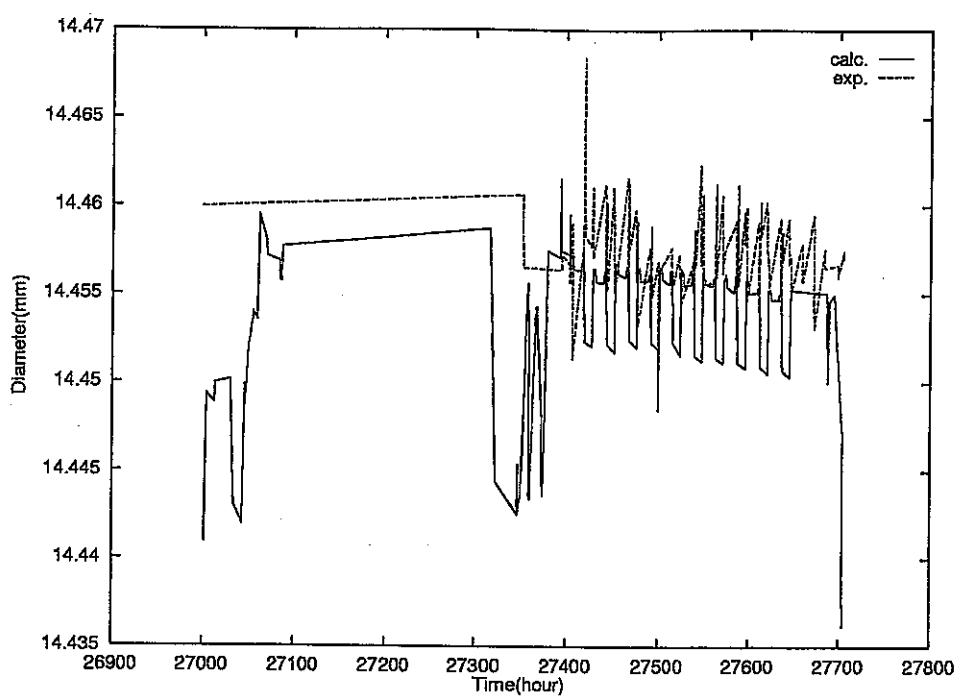


図 4.57 サイクル 11 被覆管直径最小 (IFAF554/555 Rod B1)

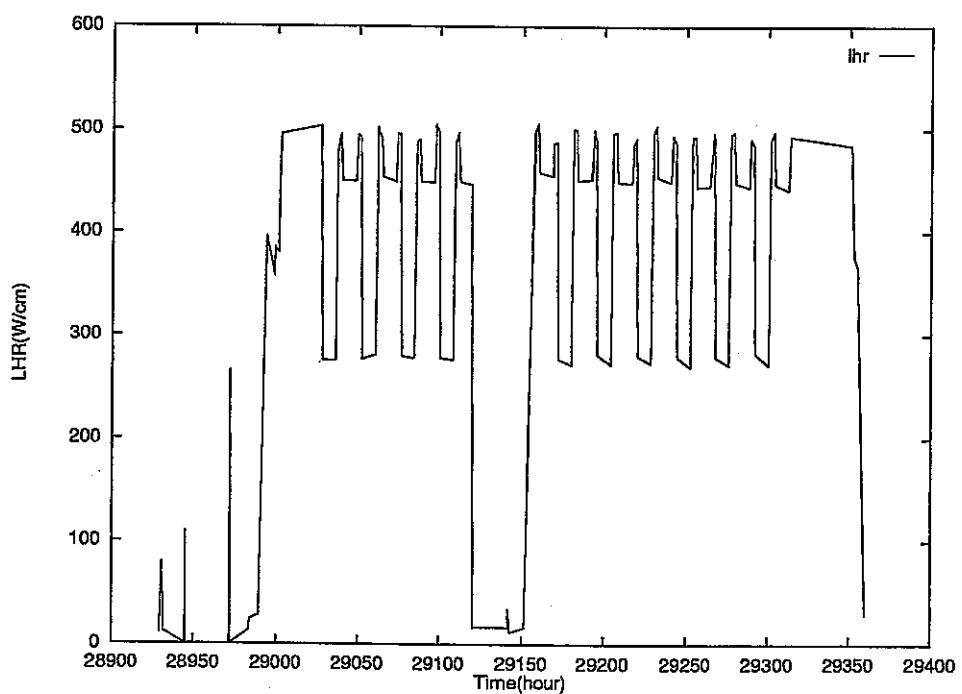


図 4.58 サイクル 12 線出力履歴 (IFAF554/555 Rod B1)

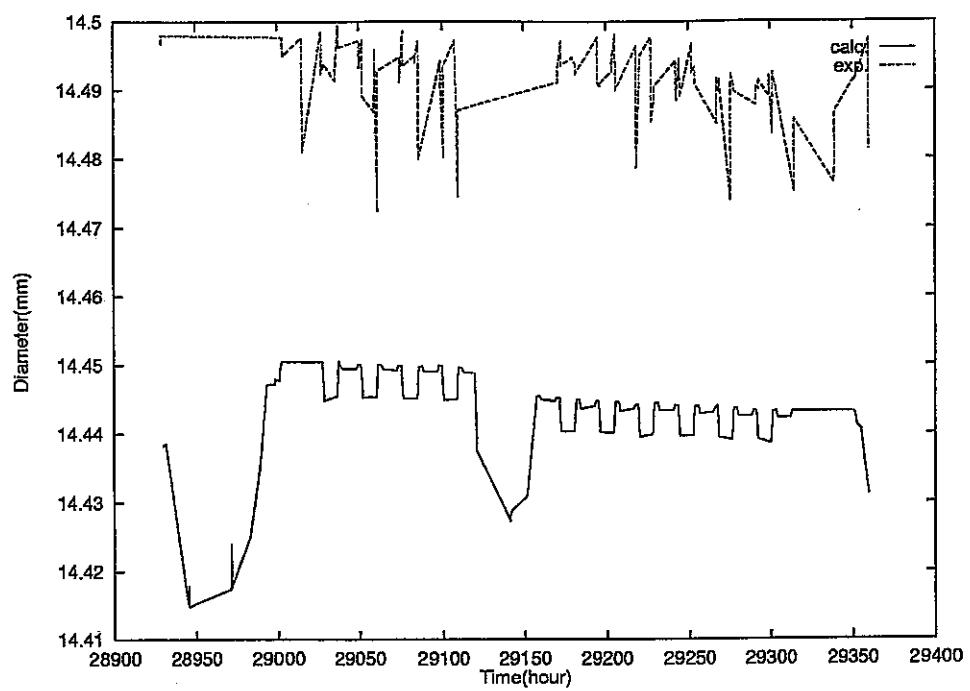


図 4.59 サイクル 12 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B1)

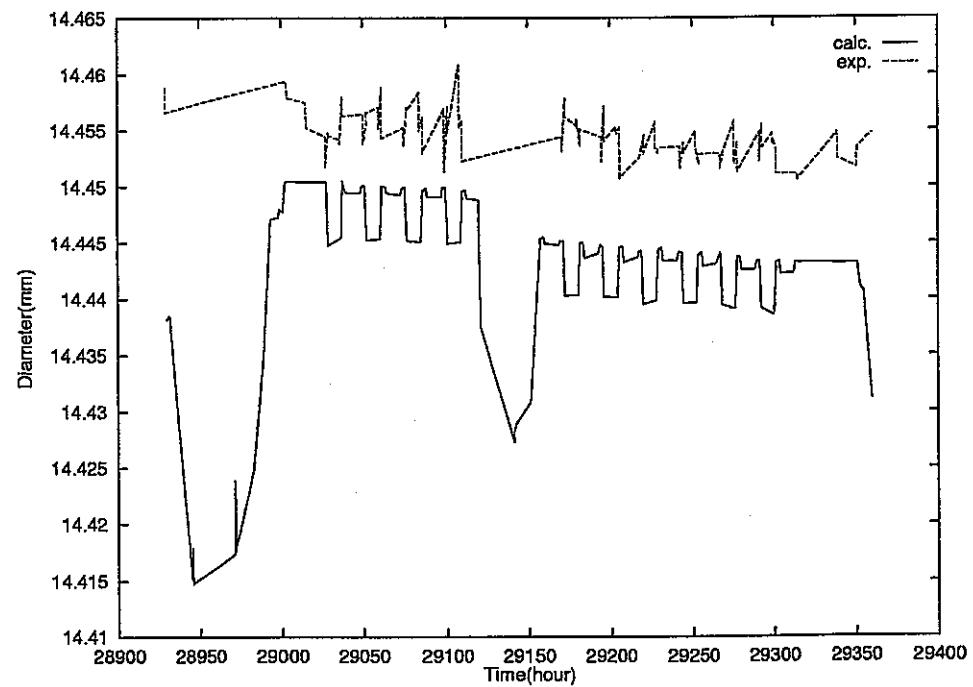


図 4.60 サイクル 12 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B1)

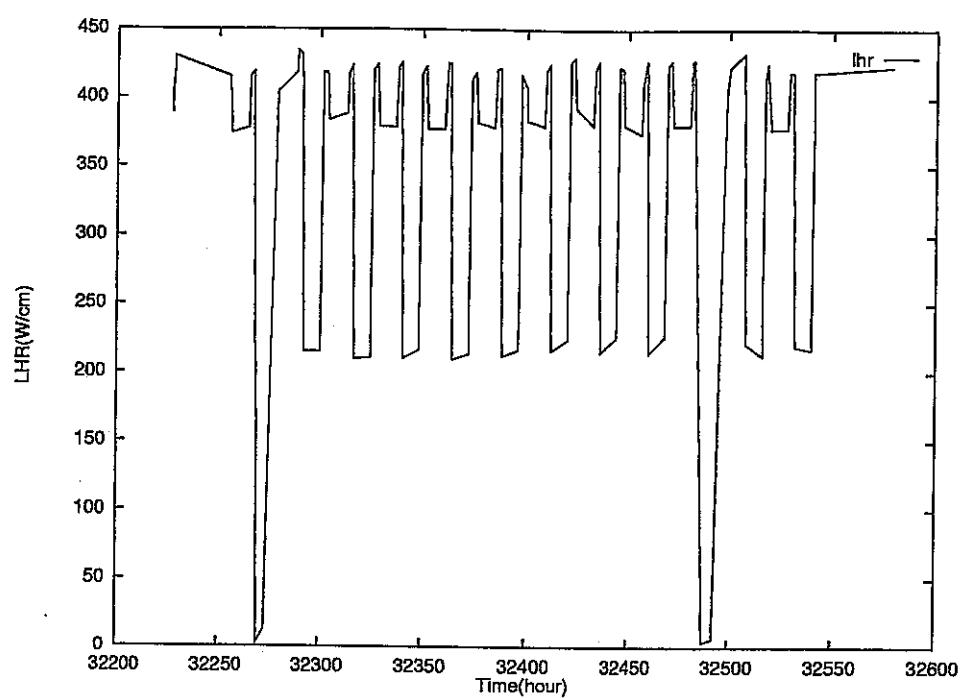


図 4.61 サイクル 13 線出力履歴 (IFB554/555 Rod B2)

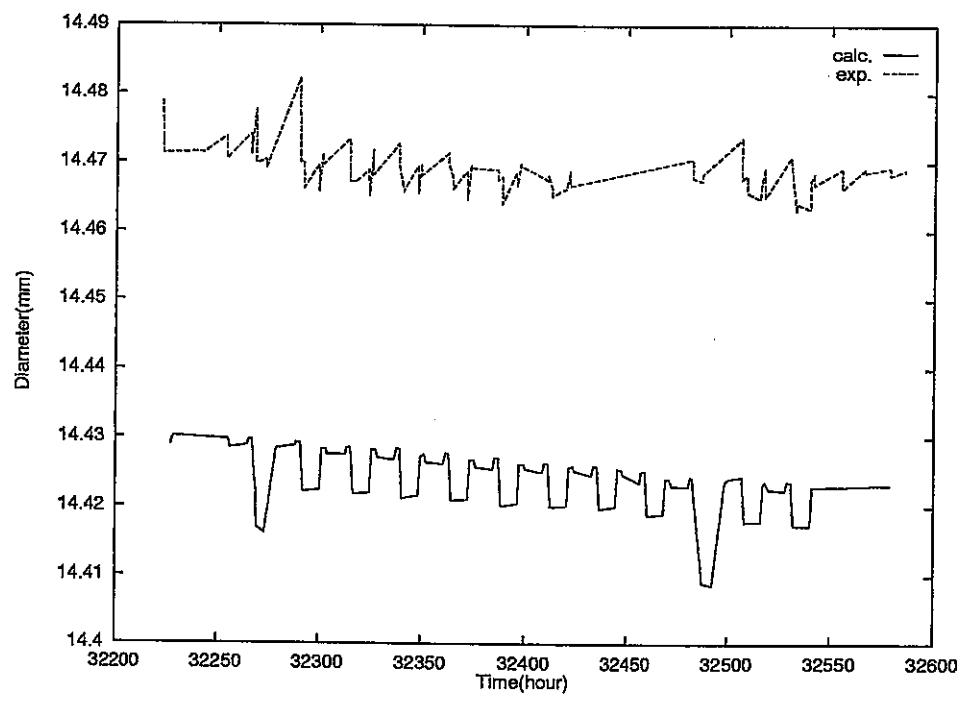


図 4.62 サイクル 13 被覆管直径最大 (IFB554/555 Rod B2)

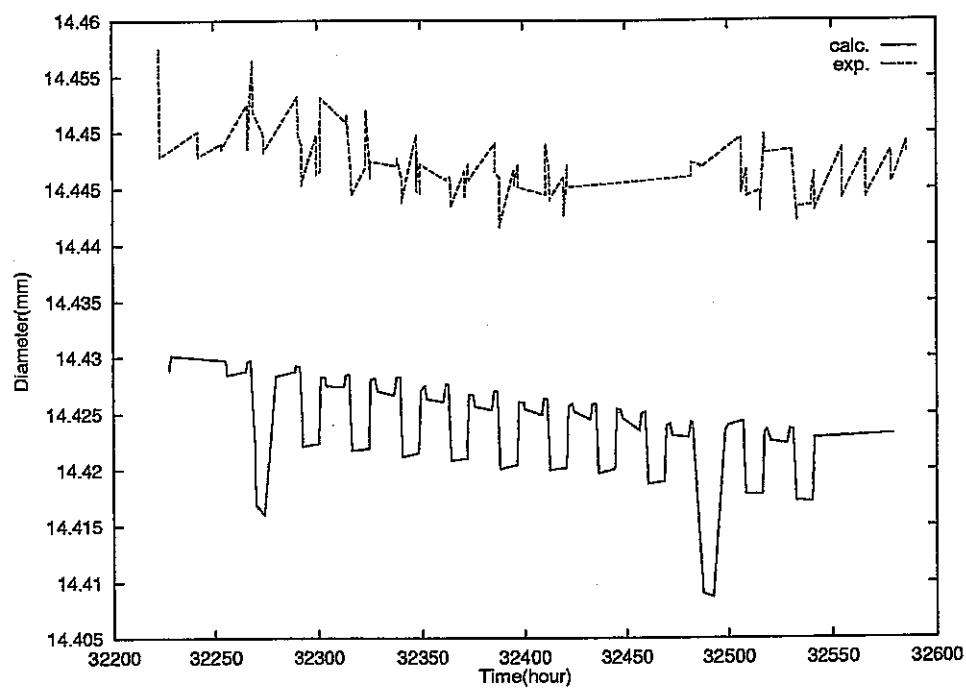


図 4.63 サイクル 13 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B2)

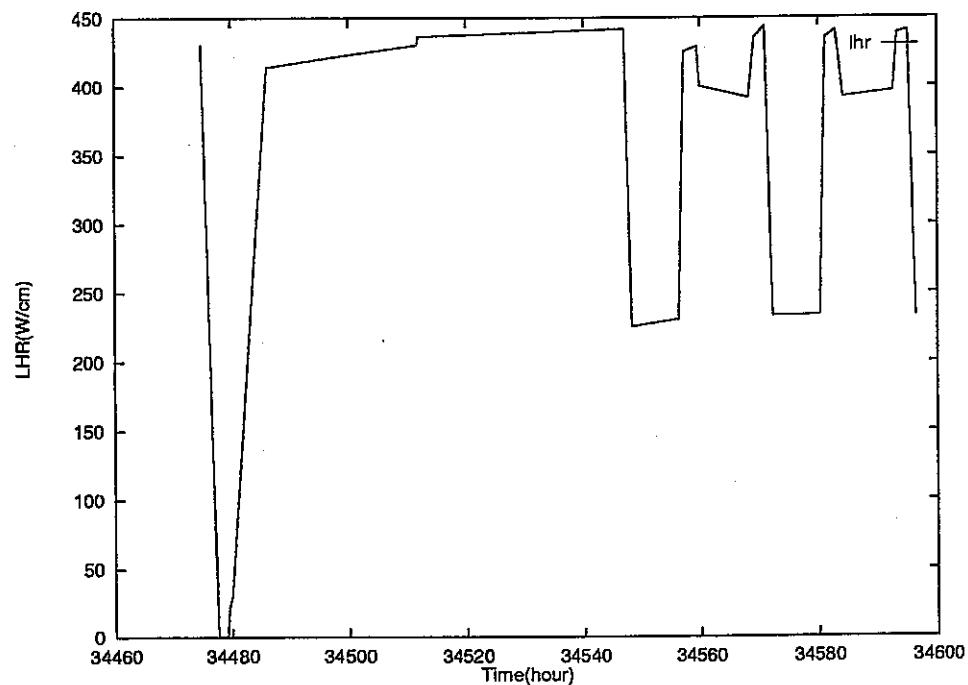


図 4.64 サイクル 14 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

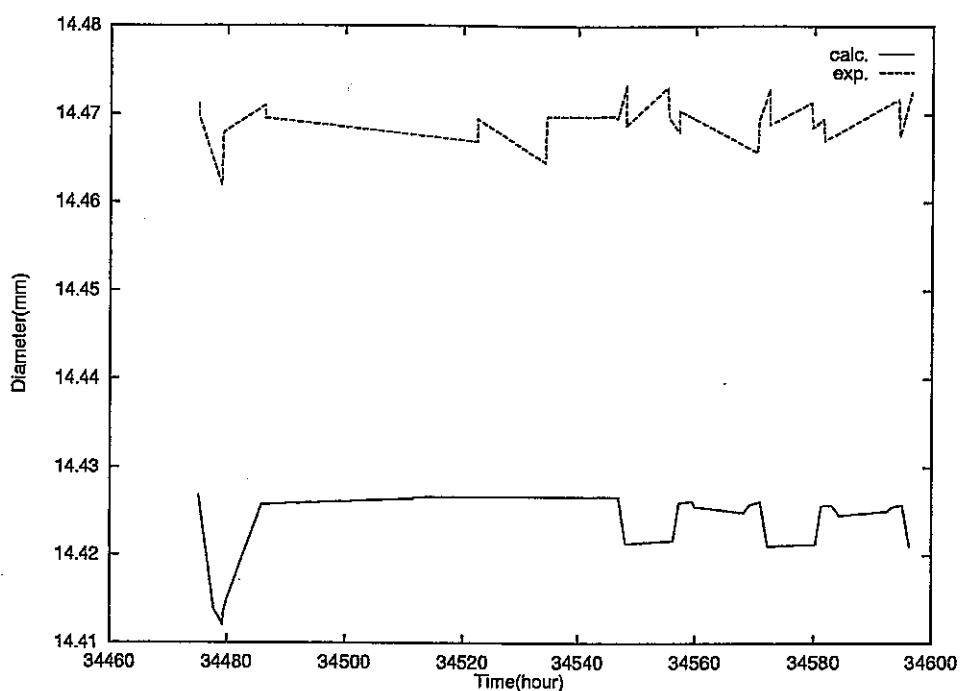


図 4.65 サイクル 14 被覆管直径最大 (IF A554/555 Rod B2)

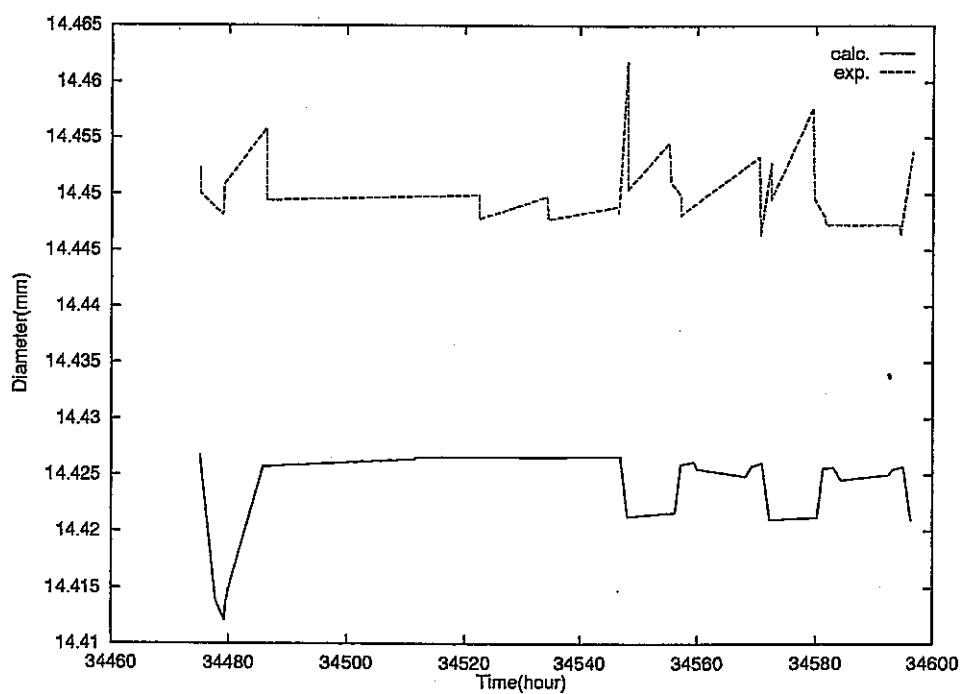


図 4.66 サイクル 14 被覆管直径最小 (IF A554/555 Rod B2)

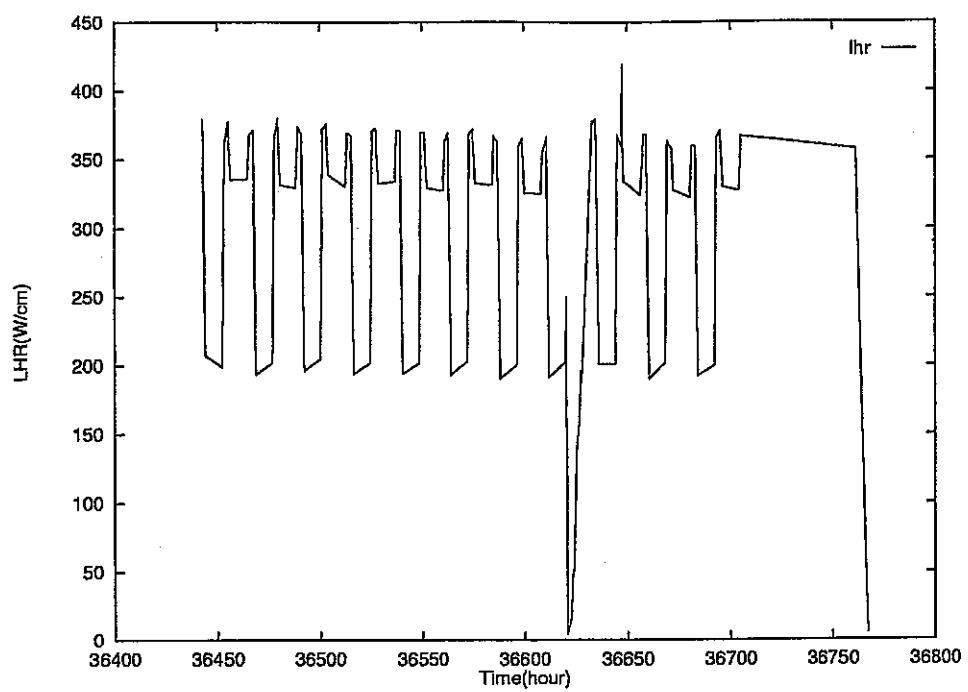


図 4.67 サイクル 15 線出力履歴 (IFAP554/555 Rod B3)

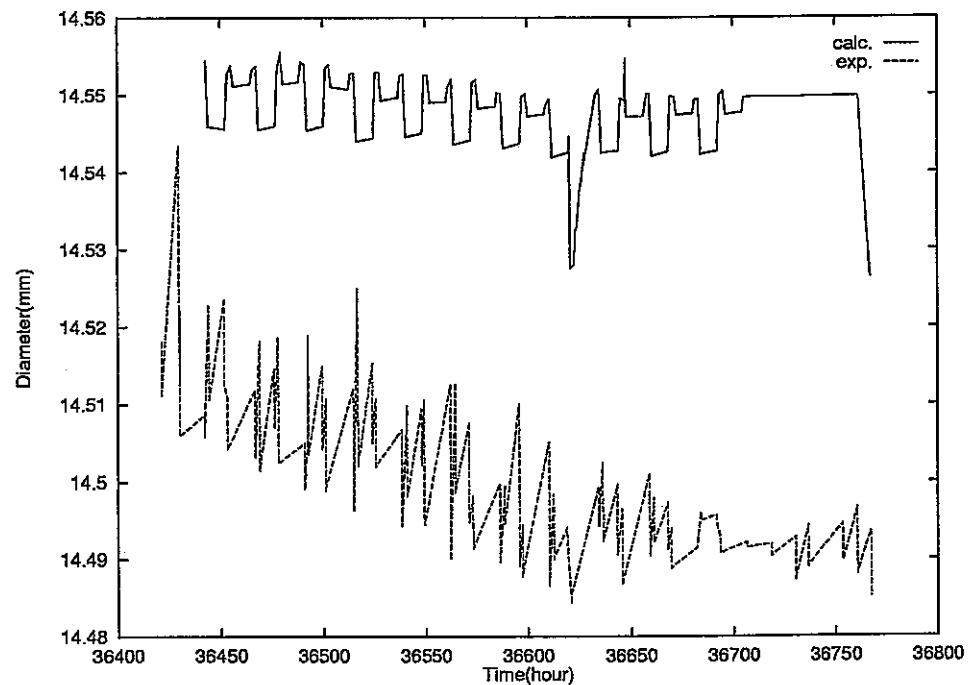


図 4.68 サイクル 15 被覆管直径最大 (IFAP554/555 Rod B3)

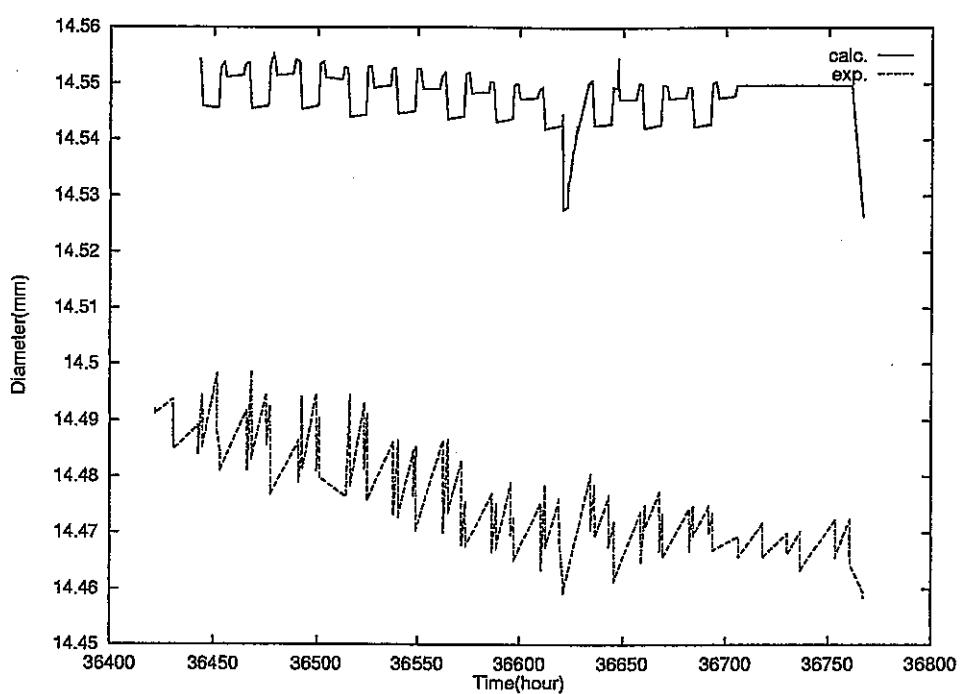


図 4.69 サイクル 15 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B3)

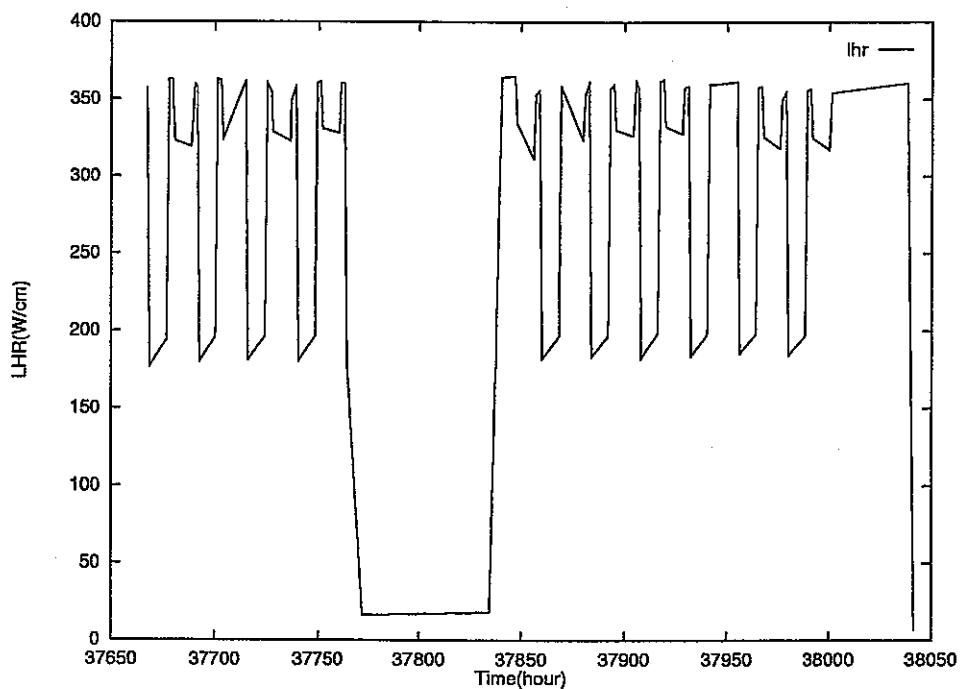


図 4.70 サイクル 16 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B3)

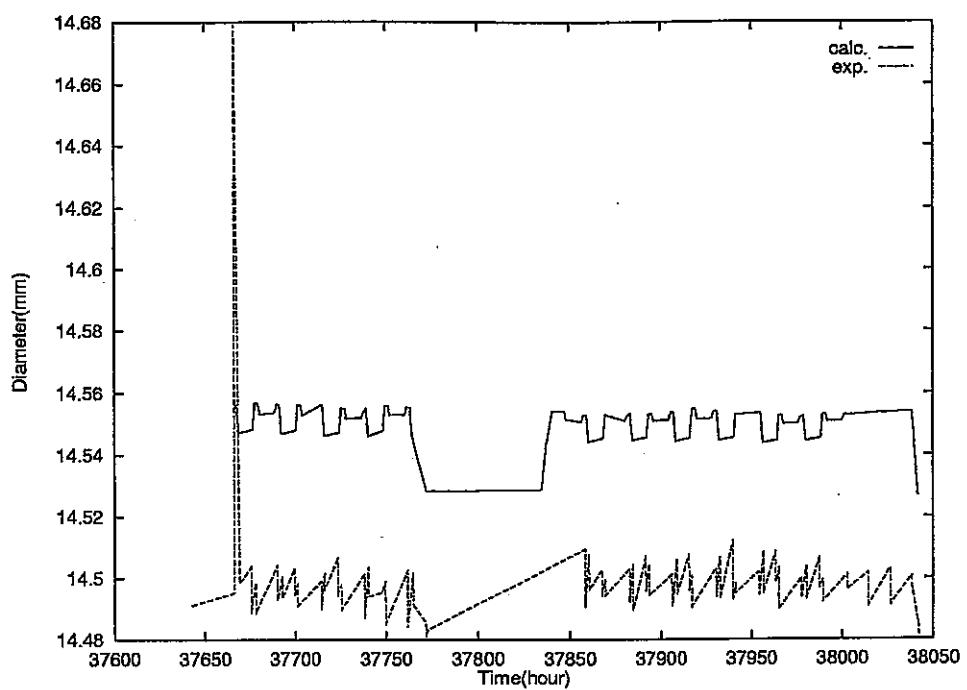


図 4.71 サイクル 16 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B3)

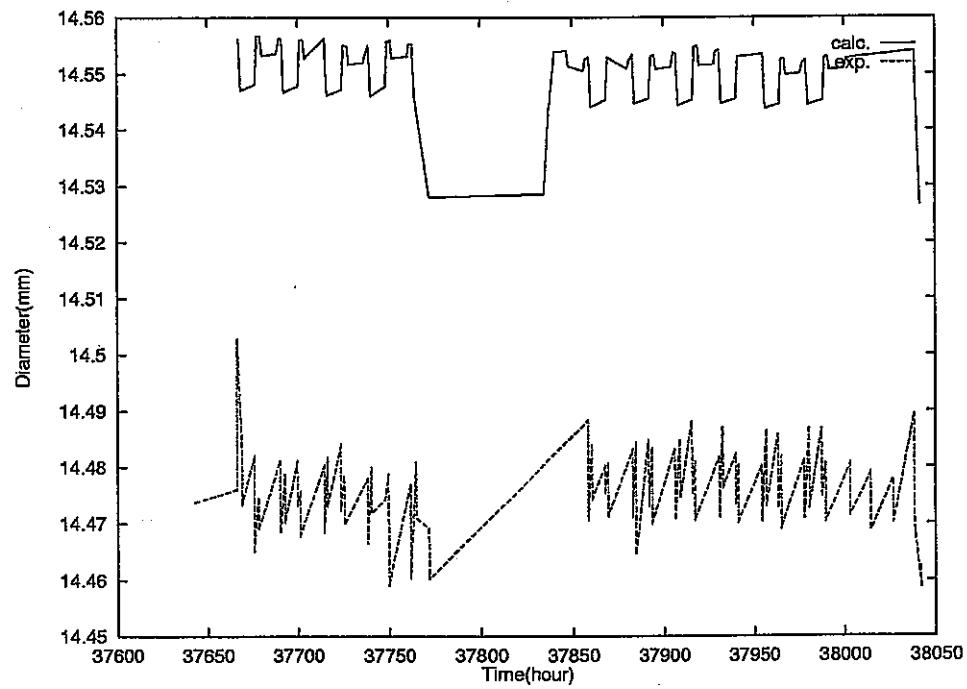


図 4.72 サイクル 16 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B3)

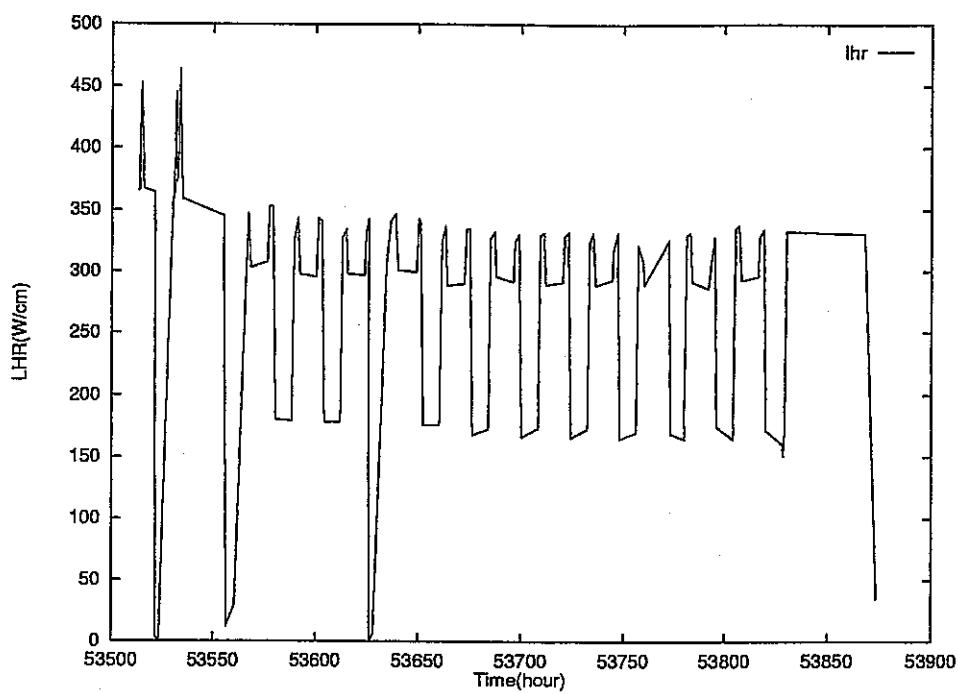


図 4.73 サイクル 20 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

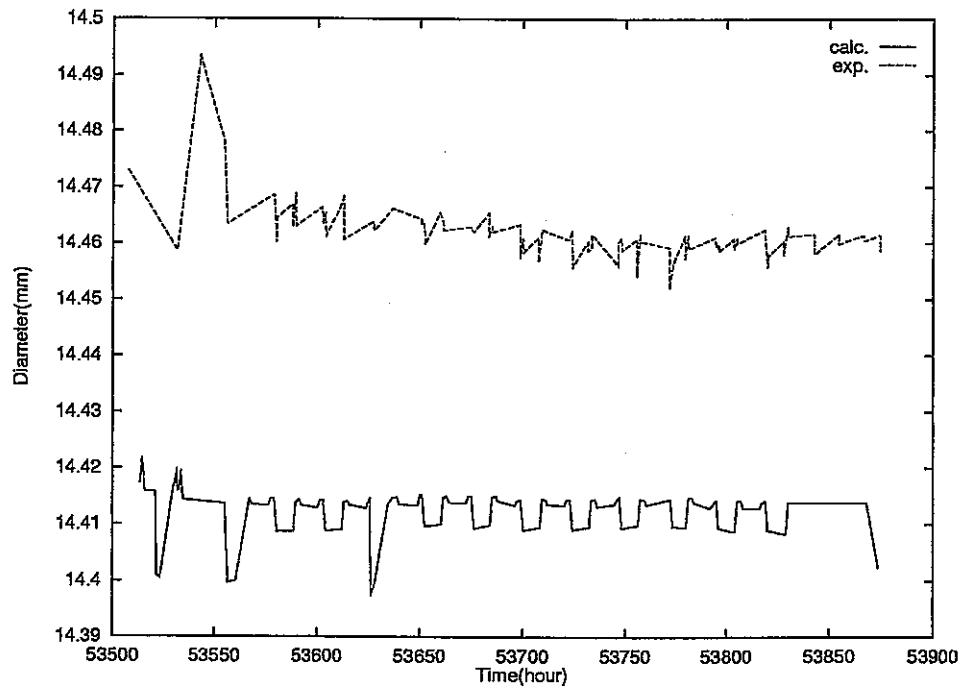


図 4.74 サイクル 20 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B2)

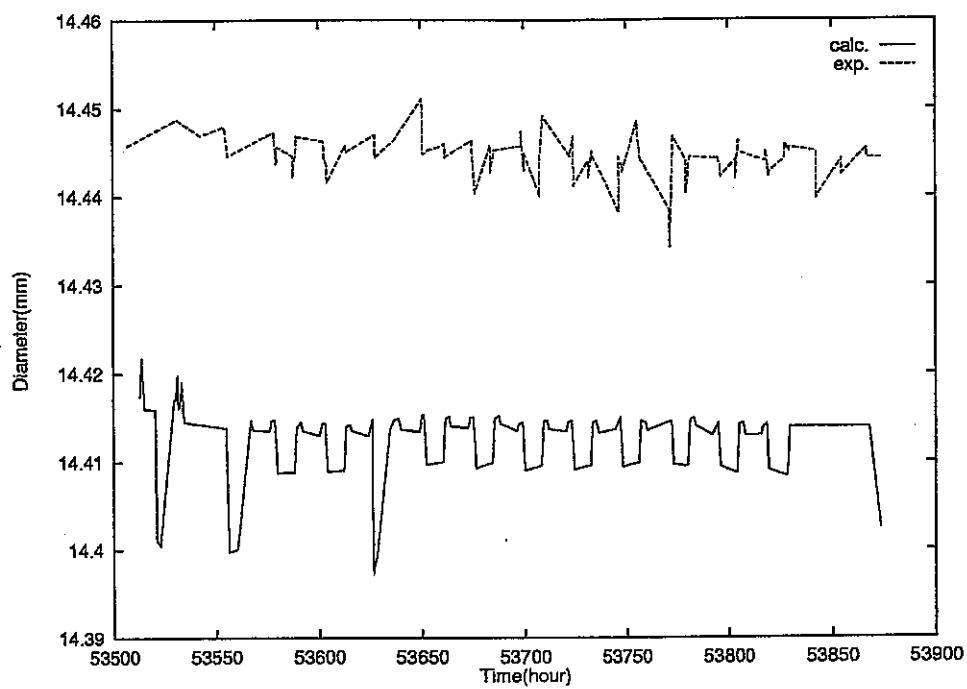


図 4.75 サイクル 20 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B2)

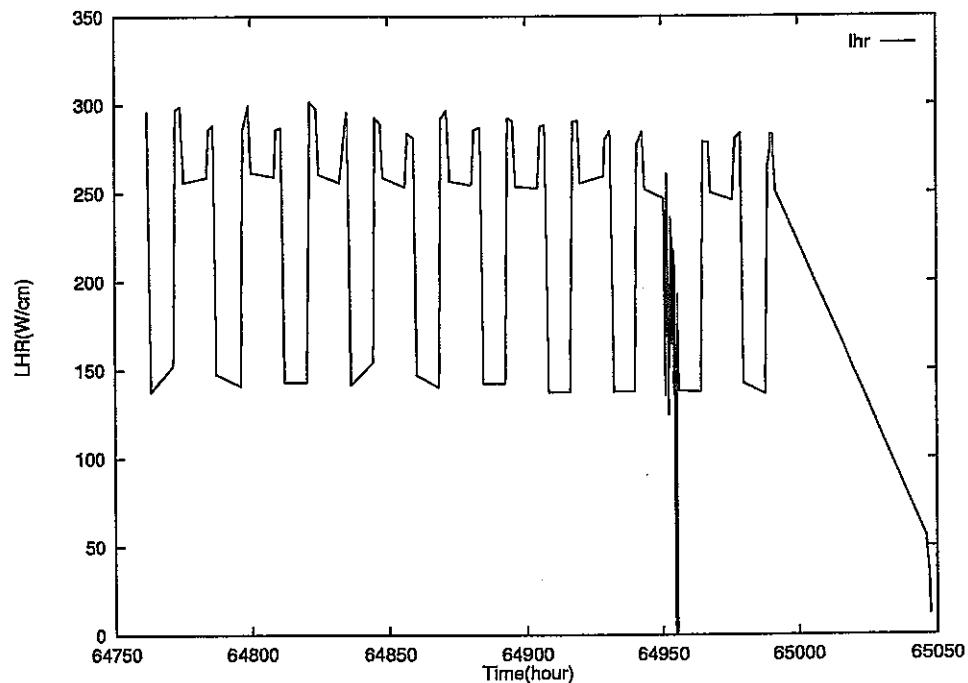


図 4.76 サイクル 23 線出力履歴 (IFA554/555 Rod B2)

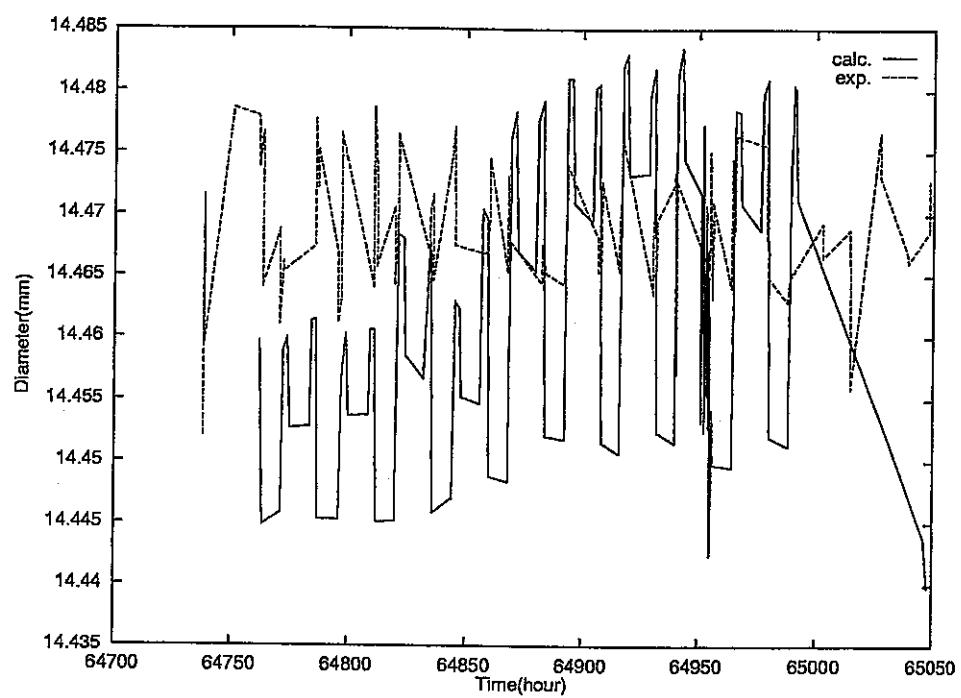


図 4.77 サイクル 23 被覆管直径最大 (IFA554/555 Rod B2)

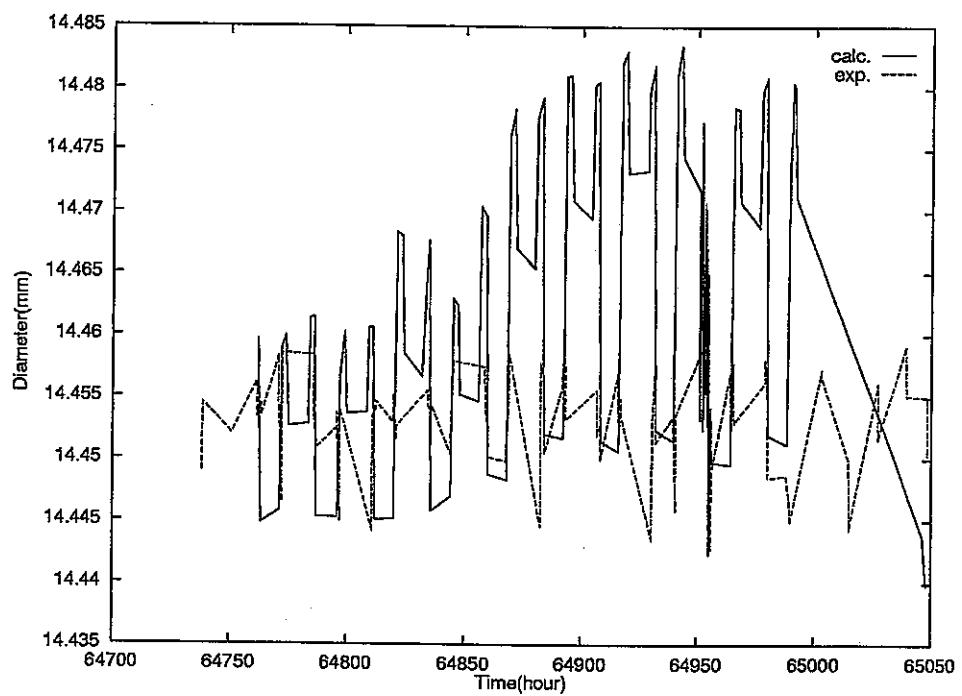


図 4.78 サイクル 23 被覆管直径最小 (IFA554/555 Rod B2)

APPENDIX-A

FEMAXI-ATR入力マニュアル

A. 1 入力形式

FEMAXI-ATRにおける入力は Table 1 で示す入力形式にしたがって行う。

FEMAXI-ATRの入力形式

Card No.	SYBOL (FORMAT)	
1	MTITL(I), I = 1,20 (20A4)	任意のタイトル
2	¥INPUT ¥END (2~80カラム)	計算パラメータ 計算パラメータをName Listにて指定する。
3	NAX,IFEM,IPLANT (3I10)	燃料棒仕様 NAX = 軸方向ノード数(1≤NAX≤12) IFEM = 第1着目ノード番号(1≤IFEM≤NAX) IPLANT = 1 …… Halden BWR の場合 = 2 …… その他の BWR の場合 = 3 …… PWR の場合
4	MRASA, CDIN, CDOOUT, R1, R2 (I10, 4F10.0)	被覆管仕様 MRASA = 0 …… RA 材 = 1 …… SR 材 CDIN = 被覆管内径 (cm) CDOOUT = 被覆管外径 (cm) R1 = ペレット表面粗さ(μm) (標準値1μm) R2 = 被覆管内表面粗さ(μm) (標準値1μm)
5	<u>NAX枚必要</u> (I = 1, NAX) IDISH(I),ICHAM(I),PDIN(I),PDIA(I),PLENG(I), ENR(I),FDENI(I),DZ(I) (2I10,6F10.0)	ペレット仕様 IDISH(I) = 0 …… ディッシュなしペレット = 1 …… 片端面ディッシュペレット = 2 …… 両端面ディッシュペレット ICHAM(I) = 0 …… チャンファなしペレット = 1 …… チャンファペレット PDIN (I) = ペレット中心孔直径 (cm) PDIA (I) = ペレット直径 (cm) PLENG(I) = 1ペレット長さ (cm) ENR (I) = U-235 濃縮度 (-) FDENI(I) = ペレット密度対理論密度比 (-) DZ (I) = ノードの軸方向長さ (cm)

Card No.	SYBOL (FORMAT)	
6	<u>IDISH = 1 or 2 の場合のみ入力</u> DISH,DEPTH,DISHB (3F10.0)	ディッシュ仕様
	DISH = ディッシュ直径 (cm) DEPTH = ディッシュ深さ (cm) DISHB = ディッシュ底直径 (cm)	
7	<u>ICHAM = 1の場合のみ入力</u> CHAMR, CHAMZ (2F10.0)	チャンファ仕様
	CHAMR = チャンファ幅 (cm) CHAMZ = チャンファ深さ (cm)	
8	PLENUM,GPIN,(GMIXO(I),I=1,4),PWEIT (7F10.0)	プレナム仕様
	PLENUM = プレナム部容積 (cm ³) GPIN = 初期ガス圧力 (MPa) GMIXO(I) = 初期ガス組成 (-) i = 1 … He, i = 2 … Ar, i = 3 … Kr, i = 4 … Xe PWEIT = ペレット総重量 (gram)	
9	FPU02,FU235,FPU240,FPU241,GD,AM,GDIA (7F10.0)	ペレット重量比
	FPU02 = 重量比 PuO ₂ /(UO ₂ +PuO ₂) (-) FU235 = 重量比 U ²³⁵ /(U ²³⁵ +U ²³⁸) (-) FPU240 = 重量比 Pu ²⁴⁰ /(Pu ²³⁹ +Pu ²⁴⁰ +Pu ²⁴¹) (-) FPU241 = 重量比 Pu ²⁴¹ /(Pu ²³⁹ +Pu ²⁴⁰ +Pu ²⁴¹) (-) GD = Gd ₂ O ₃ 濃度 (wt.frac.) AM = アメリシウム濃度 (wt.frac.) GDIA = Gd棒直徑(cm)	
10	THCRD,THOXI,VECRD,VEOXI,DMAX,SBU (6F10.0)	クーラント仕様
	THCRD = crudの熱伝導度 (W/cm·°C) THOXI = 酸化膜の熱伝導度 (W/cm·°C) VECRD = crudの附着速度 (mm/year) VEOXI = 酸化膜の附着速度 (mm/year) DMAX = 再焼結における密度増加 (標準値 1.0%) SBU = 焼きしまり完了時燃焼度 (標準値 2500MWd/tUO ₂)	
11	NHIST,NFACT (2I10)	履歴点数
	NHIST>1を入力 NFACT = 出力係数 (%) CARD12, CARD13についてNHIST組入力する。	

Card No.	SYBOL (FORMAT)	
12	A1, B1, A2, A5 A3, A4, IT, IP, IL (6F10.0,3I5) A1 = 時間 (HOUR) B1 = 燃焼度 IBUNP = 0 ; (MWD/TUO ₂) IBUNP = 1 ; (MWD/TU) IBUNP = 2 ; (GJ/KGU) A2 = 線出力 (W/cm) A5 = 高速中性子束 (n/cm ² -sec) A3 = 冷却材温度 (°K) A4 = 冷却材圧力 (MPa) IT = 入力ジェネレータ IP = 0 出力しない履歴点 = 1 出力する履歴点 = 2 出力する履歴点 (最終情報出力をあたえる履歴点) (ただし、IP=IP+10の値を指定した履歴点でリスト用の出力ファイル をユニット11に作成する。) IL = 0 LOCAオプションリストを出力しない履歴点 = 1 LOCAオプションリストを出力する履歴点 (ただし IL=1 で指定できる履歴点数は 99 を上限とする)	履歴点データ
13	(RH(I), I = 1, 12), II (12F5.0,I5) RH(I)=軸方向ノードjの相対出力 (-) (NAX個のデータ) II = 同様の相対出力を行う履歴点数	相対出力分布
14	IFLX枚必要(I=1,IFLX)。ただし,IFLX=0又はIFLX ≥ 100 なら入力不要 RFLXBU(I),(RFLXTB(J,I),J=1,10) (F10.0,10F5.0) RFLXBU(I)=径方向出力分布に対応する燃焼度(単位はIBUNPの指定による) (NAX個のデータ) RFLXTB(J,I)=ペレット内径方向出力分布(10等分割)	径方向出力分布
15	IEND (A4) STOP を入力する	入力終了カード

A. 2 計算オプション

計算オプションはNAMELIST DATAにて指定する。

各オプション群には、それぞれ標準値がセットされており、標準値を変更して使用する変数についてのみ指定する。NAMELISTで指定できる変数名、内容、標準値について以下に示す。

(尚、*で示した変数は熱計算用のパラメータであり、**は力学計算用のパラメータである。)

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
IREST	リスタート計算オプション(=0: no restart, =1: restart)	0
INTST	リスタートテープの作成オプション(=0: 作成しない, =1: 作成する)	0
NGR2*	ガス生成量、放出量の位置、時刻ごとの記憶領域の大きさ。	5000
NGR3*	ガス生成量、放出率の記憶場所の指定テーブルの大きさ。	300
CRFAC**	PWR燃料、クリープ速度式をCRFAC倍とする。	1.3
INPCK	入力チェックオプション(=0: 通常計算, =1: 入力チェックのみ計算は行わない)	0
IBUNP	入力燃焼度の単位指定(=0: MWD/tUO ₂ , =1: MWD/tU, =2: GJ/KgU)	0
ICK1	温度計算オプション(=0: 通常計算, =1: 温度計算のみを行う)	0
DE*	冷却材流路の相当直径(cm)	1.8
V*	冷却材流速(cm/sec)	500
IPH	出力増分オプション(=0: 着目ノードで出力増分を決定, =1: 最大出力変動ノードで出力増分を決定)	0
IOPT1*	下部プレナムオプション(=0: 下部プレナムはない, =1: 下部プレナムはある)	0
IFLX*	ペレット発熱分布の指定オプション = 0 : コード指定(Robertsonの式) 1 ≤ n ≤ 10 : 入力指定(n: 燃焼度に対する入力点数) (n ≤ 10) = 100 : コード指定 コード内蔵の燃焼度依存の出力分布を用いる。ただし、等分割での出力分布を用いる。 = 101 : コード指定 コード内蔵の燃焼度依存の出力分布を用いる。ただし、等積メッシュでの出力分布を用いる。 = -1 : コード指定 95年度納入のコード内蔵の燃焼度依存の出力分布を用いる。ただし、等分割での出力分布を用いる。	0

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
IFFLX	高速中性子束オプション(=0:出力分布と同じ,=1:一定値)	0
IATR1*	ペレット熱伝導度(=0:UO ₂ の物性値,=1:PuO ₂ との整合した物性値)	1
IATR2	ペレット熱膨張率(=0:UO ₂ の物性値,=1:PuO ₂ との整合した物性値)	1
(IWREL(I), I=1,24)	出力オプション (要素ガウス点における出力情報を与える) IWRELの内容と標準値(=0:出力しない, =1:出力する)	
1	径方向応力 (σ_r)	0
2	軸方向応力 (σ_z)	1
3	円周応力 (σ_θ)	1
4	剪断応力 (τ_{rz})	0
5	相当応力 ($\bar{\sigma}$)	1
6	降伏応力 (σ_y)	0
7	径方向ひずみ (ε_r)	0
8	軸方向ひずみ (ε_z)	0
9	円周ひずみ (ε_θ)	0
10	剪断ひずみ (γ_{rz})	0
11	相当塑性ひずみ ($\bar{\varepsilon}_p$)	1
12	径方向ひずみ ($\varepsilon_{c,r}$)	0
13	軸方向クリープひずみ ($\varepsilon_{c,z}$)	0
14	円周クリープひずみ ($\varepsilon_{c,\theta}$)	1
15	径方向弾性ひずみ (ε_r^e)	0
16	軸方向弾性ひずみ (ε_z^e)	0
17	円周弾性ひずみ (ε_θ^e)	0
18	径、円周熱ひずみ ($\varepsilon_r^{TH}, \theta$)	0
19	軸方向熱ひずみ (ε_z^{TH})	0
20	やきしまりひずみ (ε^{den})	0
21	スエリングひずみ (ε^{sw})	0
22	径方向ヤング率 (E_r)	0
23	軸方向ヤング率 (E_z)	0
24	円周ヤング率 (E_θ)	0
IDAY	時間入力オプション(=0:入力単位はhr, =1:入力単位はday)	0
XRELOC*	熱計算で用いるリロケーションパラメータ	0.4
IPUGH**	応力反転時クリープモデル(=0:使用しない、=1:使用する)	0
ZR	被覆管ライナー層肉厚 (cm)	0
NN	ペレット径方向層数	5
MM	被覆管径方向層数	1
KK	軸方向層数	3
IZB**	軸力オプション(=0:ロッキング, =1:接触力ベース)	0
AZ**	軸力パラメータ。軸方向接触力のAZ倍を軸力として与える(IZB=1の時)	1.0

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
IZR **	<p>チャンファの形状データオプション IZR=0; チャンファのコーナーAがコーナーBより先に接触することが予想される時 IZR=1; チャンファのコーナーBがコーナーAより先に接触することが予想される時</p>	1
IPLT	プロッターオプション	0
IZRF *	熱計算上の力学的モデルオプション(マイヤー硬度、限界接触力を0.5倍)	0
ZZZ(3)	軸方向分割割合 (3層)	1, 2, 1
FACD *	FPガス拡散係数に係るファクター	1.0
BFCT *	粒内気泡からの再溶解確率に係るファクター	1.0
BG *	粒界から粒内への再溶解率 (1/sec)	10^{-6}
IGRAIN *	粒成長オプション [=0:計算しない, =1:Modified Ainscough, =2:Ainscough, =3:Mac Ewan, =4:Lions, =5:MATPRO-09]	1
AG *	粒成長モデル (IGRAIN=1) におけるフィッティングパラメータE	1.0
GRWF *	粒成長モデル (IGRAIN=1) での粒成長調整因子	1.0
GRMAX *	粒成長による結晶粒径の限界値 (cm)	0.01
DG *	初期結晶粒径 (cm)	0.001
PSAT *	粒界での飽和ガス原子密度の算出式用いる外力の限界値 (Pa)	10^8
IPEXT *	粒界での飽和ガス原子密度の算出式用いる外力のオプション [=0:外力はなし, =1:外力はプレナム圧力 =2:外力は接触圧力, =3:外力はプレナム圧力+接触圧力]	0
ISHFL *	シャフリング (この場合はペレット粒界にあるFPガスが放出する。) による影響を考慮する履歴番号。このときペレット粒界に留まるFPガス原子数密度の限界値は、BFAC倍される。	0
BFAC *	ISHFLで指定した履歴点で粒界での飽和ガス原子密度に対する粒界に留まるガス原子密度の割合	1.0
BTIME *	ISHFLで一端低下した粒界での飽和ガス原子数が95%まで回復するまでの経過時間(hr)	3.0
OPORO *	オープンポアの割合	0.0

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
FACOP*	粒界を占めるポロシティに対するオープンポアの割合と全ポロシティに対する全オープンポアの割合との比	1.0
IFGR*	FPガス放出モデルオプション =0:Vitanzaモデル, =1:機構論的モデル, =2:Vitanza+加速効果モデル =3:Vitanza+加速効果モデル (=2と同様、ただしパラメータフィッティングが可能)	3
IFEMS(12)	FEM解析を行なうノード番号を指定する。 〔ただし、IFEMSで指定したノードを最初に実行し、後は下部ノードより順にソートされて実行する。〕	0
IPRT	最終の熱計算結果の出力オプション = -1:計算結果の最後に出力する。 = 0:IFEMSで指定したすべての結果について出力する。 = 1:最初のノードで出力する。	0
FRELOC**	機械計算で用いるリロケーションパラメータ	0.5
ECRAC3**	ペレット完全クラック時の剛性 (Pa)	2.0E9
SPCON**	非拘束スエリングを止める圧縮応力 (Pa)	-1.0E6
XN**	非拘束スエリングの圧縮応力に対する応答係数	1.0
GAPLK**	ペレットがロッキングする半径方向ギャップ幅 (μm) (IGAPLKで指定した履歴点以降で用いる。)	3.0
AY**	ペレットティルティングモデルオプション (cm)	0.002
ZXE*	Xe割合	0.87
ZKR*	Kr割合	0.13
F2MAX*	加速効果モデル 最大FPガス放出率	0.4
F2ACC*	加速効果モデル	4.28E-4
F2BU*	加速効果モデル FPガス加速燃焼度 (MWd/tU)	20000
FPMIN*	FPガス放出率の下限値(-)	0.005
EPSRLZ**	ペレット軸方向リロケーション	0.003
N94	N94 = 0 : UO ₂ 物性値 = 1 : MOX物性値	1
MATES	N94=1の場合でもMATES(i)=0とするとi番目の物性値についてはUO ₂ 物性値を用いる。 〔i=1:Xe/Kr比, i=2:熱伝導度, i=3:熱膨張 i=4:ヤング率, i=5:ポアソン比, i=6:クリープ〕	6*1

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
HEFAC*	Heガス放出率をFPガス放出率のHEFAC倍とする。	3.0
NHSIN**	入力した履歴データのNHSIN番目以降の計算ではペレットクリープ、ホットプレス、被覆管クリープが無視される。 ただし、NHSIN=0の場合は通常計算	0
FHEGAS*	He生成モデルでのFEMAXI-ATR内蔵テーブルより算出したHeガス生成量にかかるファクター	1.0
TS1*	FPガス放出モデルでFPガス放出率が100%になる温度	1800.0
TS2*	加速効果が適用される温度領域の下限	900.0
FPCON*	ペレット被覆管接触圧力にかかるファクター ギャップコンダクタンス計算用の固体接触熱伝達項の計算に用いる ペレット被覆管接触圧力をFPCON倍する。	0.1
FXMOLO*	初期封入ガスにかかるファクター (初期封入ガス中に放出されたFPガスと混合する割合)	1.0
FPTHCN*	1GWd/t当たりのペレット熱伝導度の低下割合 (frac./GWd/t) 例えれば FPTHCN=0.01で50GWd/tの場合にはペレット熱伝導度は $1/(1+0.01 \times 50) = 1/1.5$ 倍される。	0.0
FURS*	ペレットガススエリングの熱計算用評価ファクター ギャップコンダクタンス計算用のギャップ幅算出時に用いる ペレットガススエリングにかかるファクター	1.0
DPXI	NHSINで指定した後のタイムステップでの 1タイムステップあたりの出力 増分幅。	10.0
IOPMLT	ペレット溶融時における融点を超えた領域に対してIOPMLT=1の場合には 参照温度を融点温度とする。	0
IPLOCA	安全解析初期条件用結果のアウトプットオプション IPLOCA = 1 の場合 リストアウトする (ユニット番号7) IPLOCA = 0 の場合 リストアウトしない	1
FRLOC	LOCAオプションで指定する FP ガス追加放出率 (一)	0.0
DTPL*	プレナム温度と冷却材温度との温度差 (°C)	25.0
BETAX**	ペレットホットプレスパラメータ	0.002
HOT**	ペレットホットプレスが完了するペレット理論密度比 (一) ただし、HOT=0.0 の場合にはホットプレスに対するペレット内のポロシティの制限はない。	0.0
TCS**	ペレットクリープ計算で参照する温度の上限値 (K)	2073.15

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
ITRAN*	ガス流動モデルオプション ITRAN=0 : 瞬時完全混合モデルを使用する。 ITRAN=N : N番目の履歴番号以降でガス流動モデルを使用する。 (N番目の履歴点の時刻までは瞬時完全混合モデルを用いる)	0
ICC*	表面粗さに関するオプション ICC=0 : 表面粗さは接触圧力の関数とする。 ICC=1 : 接触圧力で減少した表面粗さは回復しないとする。	0
FACPC*	接触圧力による表面粗さ減少率を調整するためのファクター	1.0
IFCRP*	ギャップコンダクタンス計算で用いる接触圧力について、ペレットクリープによる緩和を考慮するか否かのオプション。 IFCRP=0 : 考慮しない、IFCRP=1 : 考慮する	0
TFCRFC*	ギャップコンダクタンス計算で用いるペレットクリープ速度をTFCRFC倍して与える。	1.0
TCRMX*	ギャップコンダクタンス計算で用いるペレットクリープ計算で 参照する温度の上限値(K)	1773.15
GMIN*	ガス流動モデルで用いる接触セグメントにおける片側ギャップ幅(cm)	0.001
IRP	TRAMPで指定した時刻以降における燃料棒内圧および燃料棒伸びデータをユニット8に出力する。 (=1:IFA591-3の場合, =2:IFA591-6の場合, =3:その他の場合)	0
IRAMP	燃料棒内圧および燃料棒伸びデータの出力を開始する履歴点番号	0.0
IPC*	ペレット温度がTMPEQ以上の場合、ペレット内の組織変化を考慮するオプション(ペレット熱伝導、中心ボイド作成に用いる)。ペレット熱伝導のみを考慮する場合はIPC=1、ペレット熱伝導、中心ボイドの作成とともに考慮する場合はIPC=2とする。	0
TMPEQ*	ペレット密度が稠密化を開始する温度(°C)。	1500.0
TMPCL*	ペレット密度がFDENCになる温度(°C)。 尚、TMPEQとTMPCLの間の温度では、ペレット密度は径方向座標に比例して稠密化する。また、一端稠密化したペレット密度は元に戻らない。	1800.0
SIGMAX*	ペレット、被覆管の接触圧の最大値を決定する。SIGMAX(Pa)は被覆管内面の最大円周応力に対応する。尚、SIGMAX=0の場合はLWR=300(MPa), HWR=450(MPa), Zrライナー付=150(MPa)である。	0
RF*	ペレット粒界のバブル半径(μm)。	0.5
FCRFAC**	ペレットクリープ速度にかかるファクター。	1.0
FDENC*	TMPCL以上の温度領域(柱状晶領域)で用いるペレット密度。	0.98

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
IMLT*	IMLT=1を指定した場合、ペレット溶融による中心孔ボイドの拡大を考慮できる。	0
FPCCON*	粒界バブルにかかる外力として、接触圧力をFPCCON倍して与える。	1.0
ITIMY**	弾塑性判定のタイムステップコントロールオプション。 (ITIMY=1の場合タイムステップコントロールを行う。ITIMY=0の場合タイムステップコントロールは行わず、不平衡残差として処理する。この場合計算時間を短縮することができる。)	1
ITIME*	ITIMEで指定した履歴番号で燃料棒内圧およびガス組成を指定し、それ以降の解析は指定した条件に基づく。	0
GASPRC*	履歴番号ITIMEでの燃料棒内圧(MPa)	0.0
GMIXC(4)*	履歴番号ITIMEでのガス組成(-) i=1…He, i=2…Ar, i=3…Kr, i=4…Xe	4*0.0
IGAPLK**	ペレットがロッキングする半径方向ギャップ幅を変更する場合に用いる。 IGAPLKは変更する履歴点番号を指定する。	0
ISWEL**	燃料のガススエリングの取り扱いに関するオプション。 ISWEL=0の場合はペレット内のガススエリングが径方向の平均値を径方向各要素に一様に与える。 ISWEL=1の場合はペレット内のガススエリングを径方向要素毎に独立て与える。 ISWEL=2の場合は径方向を独立に扱う。軸方向にはディッシュが閉じるまでガススエリングにより体積増加し、径方向には中心孔が閉じるまでガススエリングにより体積増加する。 ISWEL=3の場合はISWEL=2と同様であるが径方向にはガススエリングを平均化する。	0
ICHI	変形計算チェック用のオプション ICHI=0:通常計算 ICHI=1:熱膨張、クリープを考慮した弾塑性計算 ICHI=2:熱膨張、やきしまり、スエリングを考慮した弾塑性計算 ICHI=3:熱膨張、やきしまり、スエリング、クリープを考慮した弾性計算 ICHI=4:熱膨張のみを考慮した弾塑性計算 ICHI=5:熱膨張、クリープを考慮した弾性計算 ICHI=6:熱膨張、やきしまり、スエリングを考慮した弾性計算 ICHI=7:熱膨張のみを考慮した弾性計算	0
DTM	1タイムステップあたりの許容最大時間(hr)	100.0

NAMELISTで指定する変数

変数名	内 容	標準値
EFCOEF**	<p>クリープによるタイムステップ幅決定因子</p> $\Delta t = \frac{\bar{\sigma}}{E \cdot \dot{\varepsilon}_c} \cdot EFCOEF$ <p>ここで、$\bar{\sigma}$(相当応力)、E(ヤング率)、$\dot{\varepsilon}_c$(相当クリープひずみ速度)である。</p>	10.0
ILOCK**	<p>ペレット軸力オプション</p> <p>=0 : ペレット被覆管ギャップ幅がGAPLK以下になると軸力が発生する。</p> <p>=1 : ペレット被覆管ギャップ幅が軸力解放時のギャップ幅になると軸力が発生する。ただし、初期の軸力発生条件はILOCK=0の場合と同様である。</p>	0
NHST0	<p>リストア用入力オプション</p> <p>=0 : 全履歴データを入力データとして与える</p> <p>>0 : リスタート計算での解析区間だけの履歴データを入力データとして与える。</p>	0
IPOPT	<p>履歴サマリー出力オプション</p> <p>=0 : 出力を指定した履歴点(Card No.12でIP>0とした履歴点)のみをサマリー出力する。</p> <p>=1 : 全履歴点についてサマリー出力する。</p> <p>=-n : n点おきに履歴点をサマリー出力する。 ただし、出力を指定した履歴点についてはサマリー出力に含む。</p>	1
ICAGRW**	被覆管照射成長モデルオプション =0 : 考慮しない =1 : MATPRO-09モデル	0
RX**	被覆管照射成長の調整ファクター	1.0

参考文献

- (1) MATPRO-09,A Handbook of Materials Properties
for Use in the Analysis of Light Water Reactor
fuel Rod Behavior, USNRC TURE NUREG-1005(1976)