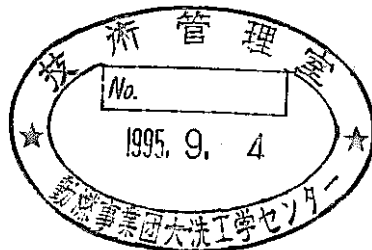


# 「常陽」MK-II 炉心における トリチウム挙動の解析

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1995年3月



株式会社 日立製作所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

## 「常陽」MK-II炉心におけるトリチウム挙動の解析

福本和佐男<sup>\*</sup> 中山忠和<sup>\*\*</sup>

竹内 純<sup>\*\*</sup> 鈴木 貢<sup>\*\*\*</sup>

### 要 旨

「常陽」MK-II炉心におけるトリチウムの生成・移行挙動をTTTコードを用いて計算し、測定結果と比較することにより、評価モデルの妥当性を評価した。

今回の研究で得られた成果は、次に示す通りである。

- (1) 原子炉運転中に生成し、1次冷却系に放出されるトリチウムの生成率に関して、時間ステップごとに入力値が変更できるよう改良したコード、TTT-94を作成した。
- (2) MK-II炉心で採用しているベント型制御棒でヘリウムとともに放出されるトリチウム量を1次系カバーガス中のヘリウム濃度推移の実測データに基づき計算し、生成率の変化に対するトリチウムの系内挙動への感度を調査した。
- (3) 原子炉運転中にカバーガスのパージによって生じる、1次カバーガスの希釈によるトリチウム濃度の変化を実測データに基づいて評価した。
- (4) 定格第24サイクル～第29サイクルにおける1次、2次系ナトリウム及びカバーガス中、配管室中のトリチウム濃度をTTT-94コードを用いて計算し、実測値と比較検討した。
- (5) MK-II炉心での評価により、解析モデルの妥当性の評価とMK-II炉心移行時の検討課題を抽出した。

---

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

契約番号：06C4765

事業団担当者：青山卓史（大洗工学センター実験炉部 技術課）

<sup>\*</sup>：株式会社日立製作所 日立工場

<sup>\*\*</sup>：日立エンジニアリング株式会社

<sup>\*\*\*</sup>：ビジネスオートメーション株式会社

# 目 次

要 旨	I
目 次	II
表リスト	III
図リスト	IV
1. 緒 言	1
2. トリチウムの生成率の見直しとカバーガスパーズの影響の評価	2
2.1 概 要	2
2.2 三体核分裂による生成	2
2.3 制御棒からの放出	3
2.4 ナトリウム中不純物の放射化反応による生成	4
2.5 カバーガスパーズの影響の評価	4
2.6 トリチウム生成率の感度評価	5
3. 「常陽」MK-II炉心でのトリチウム挙動の解析	34
3.1 概 要	34
3.2 実測値及び評価条件	34
3.3 実測値との比較検討	36
4. 解析モデルの検討及びMK-III移行時の検討課題の抽出	78
4.1 解析モデルの検討	78
4.2 MK-III移行時の検討課題の抽出	80
5. 結 言	82
6. 謝 辞	83
7. 参考文献	84

## 表リスト

表2-1 制御棒ベレットからカバーガスへのHe移行率-----	6
表2-2 冷却材中のT放出率-----	8
表2-3 トリチウム生成率-----	10
表3-1 「常陽」MK- 原子炉運転履歴-----	39
表3-2 「常陽」1次冷却系データ-----	40
表3-3 「常陽」におけるコールドトラップ運転履歴-----	41
表3-4 「常陽」1次冷却系の機器・配管からのトリチウム放出量評価領域-----	42
表3-5 「常陽」1次アルゴンガス系データ-----	44
表3-6 「常陽」2次冷却系データ-----	45
表3-7 「常陽」2次冷却系の機器・配管からのトリチウム放出量評価領域-----	46
表3-8 「常陽」2次アルゴンガス系データ-----	47
表3-9 空気冷却系データ-----	47
表3-10 雰囲気部屋データ-----	47
表3-11 「常陽」における各部屋の換気運転履歴-----	48
表3-12 トリチウム挙動に係る物性値及びモデルパラメータ-----	49
表3-12a 1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較-----	52
表3-12b 2次冷却系のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較-----	53
表3-12c 2次アルゴンガス系のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較-----	54
表3-13 「常陽」における1次冷却系のトリチウム濃度評価結果-----	55
表3-14 「常陽」における1次冷却系の水素濃度評価結果-----	55
表3-15 「常陽」における2次冷却系のトリチウム濃度評価結果-----	56
表3-16 「常陽」における2次冷却系の水素濃度評価結果-----	56
表3-17 「常陽」における1次アルゴンガス系のトリチウム濃度評価結果-----	57
表3-18 「常陽」における1次アルゴンガス系の水素濃度評価結果-----	57
表3-19 「常陽」における2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度評価結果-----	58
表3-20 「常陽」における2次アルゴンガス系(D/T)の水素濃度評価結果-----	58
表3-21 「常陽」における床下雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果-----	59
表3-22 「常陽」における床上雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果-----	59
表3-23 「常陽」における2次系配管室雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果-----	60
表3-24 「常陽」における空気冷却系中のトリチウム濃度評価結果-----	60

## 図リスト

図 2-1 a	「常陽」トリチウム挙動モデル (TTTコード) -----	1 1
図 2-1 b	「常陽」水素挙動モデル (TTTコード) -----	1 2
図 2-1	1次系ガスクロHe濃度-----	1 3
図 2-2	トリチウムの冷却材中への放出率-----	2 1
図 2-2 a	カバーガスパージによる1次アルゴンガス系トリチウム濃度変化-----	2 9
(第25サイクル)		
図 2-3	1次冷却系のトリチウム濃度の感度評価-----	3 0
図 2-4	2次冷却系のトリチウム濃度の感度評価-----	3 1
図 2-5	1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の感度評価-----	3 2
図 2-6	2次アルゴンガス系 (D/T) のトリチウム濃度の感度評価-----	3 3
図 3-1	「常陽」1次冷却系および2次冷却系概略系統図-----	6 1
図 3-2	「常陽」1次アルゴンガス系概略系統図-----	6 2
図 3-3	「常陽」2次アルゴンガス系概略系統図-----	6 3
図 3-4	1次冷却系のトリチウム濃度-----	6 4
図 3-5	1次冷却系の水素濃度-----	6 5
図 3-6	2次冷却系のトリチウム濃度-----	6 6
図 3-7	2次冷却系の水素濃度-----	6 7
図 3-8	1次アルゴンガス系のトリチウム濃度-----	6 8
図 3-9	1次アルゴンガス系の水素濃度-----	6 9
図 3-1 0	2次アルゴンガス系 (D/T) のトリチウム濃度-----	7 0
図 3-1 1	2次アルゴンガス系 (D/T) の水素濃度-----	7 1
図 3-1 2	系統別トリチウム濃度の時間変化-----	7 2
図 3-1 3	系統別水素濃度の時間変化-----	7 3
図 3-1 4	1次系トリチウム濃度の計算値と実測値-----	7 4
図 3-1 5	2次系トリチウム濃度の計算値と実測値-----	7 5
図 3-1 6	1次系水素濃度の計算値と実測値-----	7 6
図 3-1 7	2次系水素濃度の計算値と実測値-----	7 7

## 1. 緒 言

原子力プラントにおけるトリチウムは、燃料の三体核分裂、制御棒（CR）内のホウ素の中性子吸収反応及び冷却材中のリチウム等不純物の中性子吸収反応により生成される。高速増殖炉（FBR）の場合、燃料被覆管に比較的トリチウムが拡散しやすいステンレス鋼が使用され高温系であるため、破損燃料を有しない原子炉運転中であつてもナトリウムである冷却材中に移行する。冷却材中のトリチウムは殆どものがコールドトラップで捕獲除去されるが、一部のものがカバーガス系や機器・配管壁を拡散しプラント雰囲気へ移行し、これらは更にスタックや換気系を通じて環境中へ放出される。また、中間熱交換器（IHX）、蒸気発生器（SG）伝熱管壁を拡散し、2次冷却系や水・蒸気系にも移行する。

そのため、高速実験炉「常陽」では、FBRプラントにおけるトリチウム挙動解析コード”TTT”（Tritium Transport and Trap）の整備、検証を目的とした研究開発を昭和56年度から実施してきた。<sup>20)~22)</sup> また、平成5年度に従来から使用してきた”TTT”コードの解析モデル（Kumar's Model<sup>23)</sup>）の改良とモデルパラメータの最適化を「常陽」の定格第14～第23サイクルのトリチウム分布測定結果の評価に基づき行つた。<sup>24)</sup> 改良の主な点はナトリウム冷却系統内でのトリチウム挙動に対する不純物水素の影響と雰囲気移行における保温材の影響に関するものである。水素効果はコールドトラップとカバーガス系移行モデルに関連するもので前者ではトリチウムの捕獲機構として従来からの同位体交換捕獲に加えて水素との共沈捕獲機構を考慮した。後者ではナトリウムとカバーガス間での水素とトリチウム同位体交換機構の導入を図つた。

本研究では、トリチウム挙動解析手法の整備として「常陽」MK-II炉心のトリチウム生成・放出源である(1)三体核分裂による生成、(2)CRベント機構からの放出、(3)ナトリウム中不純物からの生成、についての見直しとカバーガスパージの影響の評価を行う。特に、(2)については、照射中に制御棒B<sub>4</sub>Cペレット内で生成し、クラック等を通じてペレット外へ放出されたヘリウムが圧力上昇によつてベント機構を通じて1次冷却材中に放出されるが、ヘリウムとともに放出される可能性のあるトリチウム量を1次系カバーガス中のヘリウム濃度推移の実測データに基づき評価する。さらに、「常陽」MK-II定格第24サイクル～第29サイクルにおける1次、2次ナトリウム及びカバーガス中、雰囲気トリチウム濃度の”TTT”コードによる計算値と実測値の比較により解析モデルの検討を行う。

## 2. トリチウムの生成率の見直しとカバーガスパージの影響の評価

### 2.1 概要

” TTT ” コードは、FBRプラントにおいて生成するトリチウムについて、1次冷却系、2次冷却系及び水・蒸気系等系統内の分布、系統周辺雰囲気や隣接する主要部屋内の濃度及び部屋雰囲気の排気や水・蒸気排出に伴う環境への放出量を、同位体である水素の挙動と合わせてプラントの構成、運転条件等に基づき経時的に計算するコード<sup>1)</sup>である。「常陽」体系の場合、蒸気発生器を有していないので水・蒸気系に変わるものとして空気冷却系があり、本系統の濃度を計算する。(図2-1a,図2-1b参照)

本章では、1次冷却系に放出されるトリチウムの生成率に関して、①三体核分裂による生成、②制御棒ベント機構からの放出、③ナトリウム中不純物の放射化反応による生成の発生源について見直し、生成率の変化に対するトリチウムの系内挙動への感度を調査する。さらに原子炉運転中にカバーガスのパージによって生じる、1次カバーガスの希釈によるトリチウム濃度の変化の結果を実測データに基づいて評価する。

### 2.2 三体核分裂による生成

燃料の照射中に三体核分裂によって生成するトリチウム量は以下とする。

$^{235}\text{U}$	生成割合	33% <sup>2)</sup> ,	核分裂収率	$2.00 \times 10^{-4} \text{T/f}^{3)}$
$^{238}\text{U}$	生成割合	13% ( $^{236}\text{U}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$ を含む) <sup>2)</sup> ,	核分裂収率	$2.30 \times 10^{-4} \text{T/f}^{3)}$
$^{239}\text{Pu}$	生成割合	54% ( $^{241}\text{Pu}$ を含む) <sup>2)</sup> ,	核分裂収率	$1.75 \times 10^{-4} \text{T/f}^{3)}$

$$\frac{3.1 \times 10^{18} (\text{f/s})^{2)} \times [2.00 \times 10^{-4} \times 0.33 + 2.30 \times 10^{-4} \times 0.13 + 1.75 \times 10^{-4} \times 0.54]}{6.025 \times 10^{23}}$$

$$= 9.80 \times 10^{-10} (\text{g-atom/s})$$

核分裂収率は、ORIGEN2コードのライブラリーデータ(評価済核定数ファイルENDF/B-III、IVがベース)より引用した。

なお、燃料中で三体核分裂により生成したトリチウムは、100%冷却材中に放出されるものとし、燃料ペレット内での保持効果は無視する。



### 2.3 制御棒からの放出

「常陽」MK-II炉心で採用しているベント型制御棒では、照射中にB<sub>4</sub>Cペレット内で生成し、クラック等を通じてペレット外へ放出されたHeが圧力上昇によってベント型機構を通じて1次冷却材中に放出されるが、Heとともに放出されるトリチウム量を1次系カバーガス中のHe濃度推移の実測データに基づき計算する。

ベント型制御棒B<sub>4</sub>Cから1次冷却材中へのトリチウムの放出率は、次式より計算する。

$$\left( \begin{array}{l} \text{冷却材中への} \\ \text{トリチウム放出率} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{カバーガスへの} \\ \text{He移行率} \end{array} \right) \times \frac{\text{(B}_4\text{C内トリチウム生成率)}}{\text{(B}_4\text{C内He生成率)}} \times \left( \begin{array}{l} \text{B}_4\text{Cペレット内} \\ \text{からペレット外} \\ \text{へのトリチウム} \\ \text{放出率} \end{array} \right)$$

ここで、B<sub>4</sub>C内で生成されたHeは100%カバーガスへ移行するものとし、カバーガスへのHe移行率は、オンラインガスクロによるHe濃度測定データ<sup>4)</sup>より算出する。

算出は以下の式よりXを求める。

$$C(t+\Delta t)V = C(t)Ve^{-Y \cdot \Delta t} + \frac{X}{Y} (1 - e^{-Y \cdot \Delta t})$$

ここで、

C : カバーガス中He濃度 (g-atom/m<sup>3</sup>)

X : カバーガス中へのHe移行率 (g-atom/h)

Y : カバーガスからのHe排出率 (1/h)

第24サイクル～第28サイクル      1.1 × 10<sup>-2</sup> (1/h)

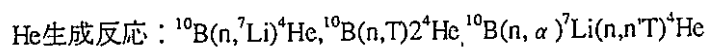
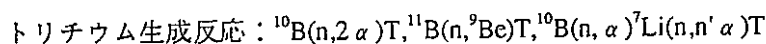
第29サイクル                              4.3 × 10<sup>-2</sup> (1/h)

t : 時間 (h)

V : カバーガス体積                              6.5 (m<sup>3</sup>)

その値を表2-1に示す。

B<sub>4</sub>C内トリチウム生成率及びHe生成率は次の反応を計算対象として計算したもので、その比は7.43 × 10<sup>-3</sup><sup>4)</sup> (<sup>3</sup>He生成率/He生成率) である。

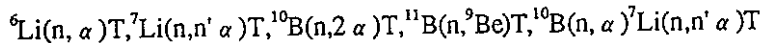


B<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率(f)は、0.0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0としてパラメータ解析を行う。

f=1.0とした場合の1次冷却材中へのトリチウム放出率を表2-2に示す。

#### 2.4 ナトリウム中不純物の放射化反応による生成

1次冷却材中に含まれる不純物の放射化反応によって生成するトリチウム量は、次の反応を計算対象として計算したもので、その合計値は $5.00 \times 10^{12} \text{g-atom/s}^4$  ( $3.02 \times 10^{12} \text{個/s}$ )である。



以上、3つのトリチウム生成率についての時間変化を表2-3及び図2-2に示す。ここで、制御棒のベント機構からのトリチウムの放出率は1次系カバーガス中のHe濃度推移の実測データに基づき計算しているが、その際、評価に用いる1次系カバーガス中のHe濃度を図2-1に示したようにある期間内で一定の値(平均値)とした。そのため図2-2に示すように制御棒のベント機構からのトリチウムの放出量もある期間内で一定の値となっている。原子炉運転中に生成し、1次冷却系に放出されるトリチウムの生成率に関して、時間ステップごとに入力値が変更できるよう”TTT-5”コードを改良した。(改良コードを”TTT-94”と呼称する)

#### 2.5 カバーガスパージの影響の評価

原子炉運転中にカバーガスのパージによって生じる1次カバーガスの希釈によるトリチウム濃度の変化の効果を実測データに基づいて評価する。

第29サイクルとその他のサイクルのカバーガスのパージ量は以下の通りである。

・ 炉容器カバーガス容量	$6.5 \times 10^6 \text{cm}^3$
・ パージガス量	第29サイクル 4.70l/min
	その他のサイクル 1.20l/min

第29サイクルでは1時間に約4.3%の炉容器カバーガスをパージし、その他のサイクルでは約1.1%をパージしている。

2.3で示した制御棒からのトリチウム放出量はこのカバーガスの影響を考慮して評価している。このカバーガスのパージの影響を定格第25サイクルにおいて検討した結果を図2-2aに示す。図2-2aにはカバーガスパージ流量を0.0、1.2、4.7 l/minとした場合の1次アルゴンガス系トリチウム濃度が示してある。カバーガスパージ流量が1.2 l/minの場合、カバーガスパージを行わない(流量が0.0 l/min)ときと比較すると約1/10であり、カバーガスパージ流量が4.7 l/minのときと比較すると約1/4である。

## 2.6 トリチウム生成率の感度評価

2.3で示した制御棒B<sub>4</sub>Cからのトリチウム放出に関してパラメータ解析を行う。B<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率(f)を0.0、0.1、0.2、0.5、1.0に変化させた場合のトリチウムの1次冷却系、2次冷却系、1次アルゴンガス系及び2次アルゴンガス系(D/T)の濃度を計算する。その結果を図2-3～図2-6に示す。

f=0.0は、制御棒のベント機構を通じてのトリチウムの放出がない場合で、トリチウムの生成源として三体核分裂とナトリウム中不純物の放射化反応を考慮していることになる。トリチウムの生成機構で、ナトリウム中の不純物の放射化反応は、三体核分裂に対して無視し得る(表2-3参照)ためf=0.0の場合のトリチウムの主要生成源は、三体核分裂である。

fを増加させるとトリチウムの生成機構で、制御棒のベント機構を通じてのトリチウムの放出の占める割合が大きくなるためトリチウムの系内濃度も増加する。トリチウムの制御棒のベント機構からの放出は、三体核分裂によるものに対して図2-2に示すように運転期間を通じて幅をもつ。これは、制御棒のベント機構からのトリチウムの放出を1次系カバーガス中のHe濃度推移の実測データに基づき計算しているための制御棒のベント機構からのトリチウム放出量が時間ステップごとに変化することによる。f=0.1からf=1.0に10倍増加させた場合、トリチウムの制御棒のベント機構からの放出は、三体核分裂によるものに対して運転期間の平均をとると約2倍となる。

1次冷却系及び1次アルゴンガス系のトリチウム濃度は、fを10倍増加させた場合、トリチウムの三体核分裂による生成の寄与分もあることより最大2～3倍の増加となる。

2次冷却系及び2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度はfを10倍増加させた場合、1次冷却系から移行してきたトリチウムのコールドトラップでの捕獲があることより最大1.5倍程度の増加となる。

表 2-1

制御棒ペレットからカバーガスへのHe移行率 (1/2)

運転 サイクル	期 間	運転 状態	EFPD (日)	運転日数 (日)	カバ-ガスHe濃度		カバ-ガスHe 移行率 (g-atom/h)*3
					(ppm)*1	(g-atom/m3)*2	
2 4	H4 3月14日 ~ 5月5日	運転	42.06	0 ~ 6	13.0	1.43E-03	1.29E-04
				6 ~ 10	25.0	2.75E-03	2.47E-04
				10 ~ 12	75.0	8.25E-03	1.16E-03
				12 ~ 29	140.0	1.54E-02	1.11E-03
				29 ~ 34	100.0	1.10E-02	6.72E-04
				34 ~ 42.06	75.0	8.25E-03	5.63E-04
	H4 5月6日 ~ 6月15日	停止	0	42.06 ~ 53	0.0	0.00E+00	0.00E+00
				53 ~ 57	0.0	0.00E+00	0.00E+00
				57 ~ 61	0.0	0.00E+00	0.00E+00
				61 ~ 94	0.0	0.00E+00	0.00E+00
2 4'	H4 6月16日 ~ 6月17日	運転	0.18	94 ~ 94.18	40.0	4.40E-03	6.78E-03
	H4 6月18日 ~ 8月13日	停止	0	94.18 ~ 96	0.0	0.00E+00	0.00E+00
				96 ~ 98	0.0	0.00E+00	0.00E+00
2 5	H4 8月14日 ~ 10月22日	運転	64.85	153 ~ 155	5.0	5.50E-04	9.59E-05
				155 ~ 165	90.0	9.90E-03	7.59E-04
				165 ~ 175	210.0	2.31E-02	1.72E-03
				175 ~ 191	270.0	2.97E-02	2.13E-03
	191 ~ 217.85	170.0	1.87E-02	1.34E-03			
H4 10月23日 ~ 11月24日	停止	0	217.85 ~ 223	0.0	0.00E+00	0.00E+00	
			223 ~ 235	0.0	0.00E+00	0.00E+00	
			235 ~ 256	0.0	0.00E+00	0.00E+00	
2 5'	H4 11月25日 ~ 11月29日	運転	3.33	256 ~ 259.33	75.0	8.25E-03	1.01E-03
	H4 11月30日 ~ 12月20日	停止	0	259.33 ~ 261	0.0	0.00E+00	0.00E+00
261 ~ 282				0.0	0.00E+00	0.00E+00	
2 6	H4 12月21日 ~ H5 2月2日	運転	39.51	282 ~ 298	200.0	2.20E-02	1.60E-03
				298 ~ 310	190.0	2.09E-02	1.38E-03
				310 ~ 321.51	140.0	1.54E-02	1.08E-03
H5 2月3日 ~ 2月19日	停止	0	321.51 ~ 326	0.0	0.00E+00	0.00E+00	
			326 ~ 343	0.0	0.00E+00	0.00E+00	
2 7	H5 2月20日 ~ 3月26日	運転	30.09	343 ~ 359	70.0	7.70E-03	5.59E-04
				359 ~ 373.09	120.0	1.32E-02	9.54E-04
	H5 3月27日 ~ H6 3月13日	停止	0	373.09 ~ 378	0.0	0.00E+00	0.00E+00
378 ~ 387				0.0	0.00E+00	0.00E+00	
				387 ~ 730	0.0	0.00E+00	0.00E+00

\*1 関連資料 (1) より引用 (図 2-1 参照)

\*2 \*1 の値に炉運転時  $1.1 \times 10^{-4}$  を乗じる。\*3  $C(t + \Delta t) \times V = C(t) \times V \times e^{-Y \Delta t} + (X/Y) \times (1 - e^{-Y \Delta t})$   
より X を算出するC : カバーガス中 He 濃度 (g-atom/m<sup>3</sup>)

X : カバーガス中への He 移行率 (g-atom/h)

Y : カバーガスからの He 排出率 (1/h)

第 24 ~ 第 28 サイクル  $1.1 \times 10^{-2}$  (1/h) -第 29 サイクル  $4.3 \times 10^{-2}$  (1/h)t : 時間 (h) V : カバーガス体積 6.5 (m<sup>3</sup>)

表2-1

制御棒ペレットからカバーガスへのHe移行率 (2/2)

運転 サイクル	期 間	運転 状態	EFPD (日)	運転日数 (h)	カバ-ガスHe濃度		カバ-ガスHe 移行率 (g-atom/h)*3
					(ppm)*1	(g-atom/m3)*2	
28	H6 3月14日 ~ 3月26日	運転	6.12	730 ~ 731	10.0	1.10E-03	3.39E-04
				731 ~ 732	80.0	8.80E-03	2.45E-03
				732 ~ 733	135.0	1.49E-02	2.49E-03
				733 ~ 734	155.0	1.71E-02	1.74E-03
				734 ~ 735	170.0	1.87E-02	1.73E-03
				735 ~ 736.12	180.0	1.98E-02	1.64E-03
	H6 3月27日 ~ 8月22日	停止	0	736.12 ~ 743 743 ~ 892	0.0 0.0	0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00
29	H6 8月23日 ~ 9月20日	運転	24.34	892 ~ 893 893 ~ 895 895 ~ 896 896 ~ 916.34	5.0 15.0 20.0 25.0	5.50E-04 1.65E-03 2.20E-03 2.75E-03	2.39E-04 6.31E-04 7.00E-04 7.69E-04

\*1 関連資料(1)より引用(図2-1参照)

\*2 \*1の値に炉運転時 $1.1 \times 10^{-4}$ を乗じる。

\*3  $C(t + \Delta t) \times V = C(t) \times V \times e^{-Y\Delta t} + (X/Y) \times (1 - e^{-Y\Delta t})$   
よりXを算出する

C : カバーガス中He濃度 (g-atom/m<sup>3</sup>)

X : カバーガス中へのHe移行率 (g-atom/h)

Y : カバーガスからのHe排出率 (1/h)

第24~第28サイクル  $1.1 \times 10^{-2}$  (1/h)

第29サイクル  $4.3 \times 10^{-2}$  (1/h)

t : 時間 (h) V : カバーガス体積 6.5 (m<sup>3</sup>)

表 2-2

冷却材中へのT放出率 (1/2)

運転 サイクル	期 間	運転 状態	EFPD (日)	運転日数 (h)	冷却材中への T放出率 (g-atom/h)*	冷却材中への T放出率 (g-atom/s)*
2 4	H4 3月14日 ～ 5月 5日	運転	42.06	0 ～ 6 6 ～ 10 10 ～ 12 12 ～ 29 29 ～ 34 34 ～ 42.06	9.58E-07 1.83E-06 8.58E-06 8.22E-06 4.99E-06 4.19E-06	2.66E-10 5.10E-10 2.38E-09 2.28E-09 1.39E-09 1.16E-09
	H4 5月 6日 ～ 6月15日	停止	0	42.06 ～ 53 53 ～ 57 57 ～ 61 61 ～ 94	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00
2 4'	H4 6月16日 ～ 6月17日	運転	0.18	94 ～ 94.18	5.04E-05	1.40E-08
	H4 6月18日 ～ 8月13日	停止	0	94.18 ～ 96 96 ～ 98 98 ～ 153	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00
2 5	H4 8月14日 ～ 10月22日	運転	64.85	153 ～ 155 155 ～ 165 165 ～ 175 175 ～ 191 191 ～ 217.85	7.13E-07 5.64E-06 1.28E-05 1.58E-05 9.93E-06	1.98E-10 1.57E-09 3.55E-09 4.39E-09 2.76E-09
	H4 10月23日 ～ 11月24日	停止	0	217.85 ～ 223 223 ～ 235 235 ～ 256	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00
2 5'	H4 11月25日 ～ 11月29日	運転	3.33	256 ～ 259.33	7.50E-06	2.08E-09
	H4 11月30日 ～ 12月20日	停止	0	259.33 ～ 261 261 ～ 282	0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00
2 6	H4 12月21日 ～ H5 2月2日	運転	39.51	282 ～ 298 298 ～ 310 310 ～ 321.51	1.19E-05 1.03E-05 8.02E-06	3.30E-09 2.85E-09 2.23E-09
	H5 2月 3日 ～ 2月19日	停止	0	321.51 ～ 326 326 ～ 343	0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00
2 7	H5 2月20日 ～ 3月26日	運転	30.09	343 ～ 359 359 ～ 373.09	4.15E-06 7.09E-06	1.15E-09 1.97E-09
	H5 3月27日 ～ H6 3月13日	停止	0	373.09 ～ 378 378 ～ 387 387 ～ 730	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00	0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00

\* f (B<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率) = 1.0

表 2 - 2

冷却材中へのT放出率 (2 / 2)

運転 サイクル	期 間	運転 状態	EFPD (日)	運転日数 ( h )	冷却材中への T放出率 (g-atom/s)*	冷却材中への T放出率 (g-atom/s)*
2 8	H6 3月14日 ～ 3月26日	運転	6.12	730 ～ 731	2.52E-06	7.00E-10
				731 ～ 732	1.82E-05	5.06E-09
				732 ～ 733	1.85E-05	5.14E-09
				733 ～ 734	1.29E-05	3.59E-09
				734 ～ 735	1.28E-05	3.57E-09
				735 ～ 736.12	1.22E-05	3.39E-09
2 8	H6 3月27日 ～ 8月22日	停止	0	736.12 ～ 743	0.00E+00	0.00E+00
				743 ～ 892	0.00E+00	0.00E+00
2 9	H6 8月23日 ～ 9月20日	運転	24.34	892 ～ 893	1.78E-06	4.93E-10
				893 ～ 895	4.69E-06	1.30E-09
				895 ～ 896	5.20E-06	1.44E-09
				896 ～ 916.34	5.71E-06	1.59E-09

\*  $f$  (B,Cベレット内からベレット外へのトリチウム放出率) = 1.0

表2-3 トリチウム生成率

サイクル	運転状態	評価期間 (日)	三体核分裂による生成 (Ci/s)	制御棒からの*放出 (Ci/s)	Na中での生成 (Ci/s)
24	運転	0~6	$2.83 \times 10^{-5}$	$7.69 \times 10^{-6}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		6~10	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.47 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		10~12	$2.83 \times 10^{-5}$	$6.88 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		12~29	$2.83 \times 10^{-5}$	$6.59 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		29~34	$2.83 \times 10^{-5}$	$4.02 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	34~42.06	$2.83 \times 10^{-5}$	$3.35 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
24'	運転	42.06~94	0	0	0
	停止	94~94.18	$2.83 \times 10^{-5}$	$4.05 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
25	運転	94.18~153	0	0	0
		153~155	$2.83 \times 10^{-5}$	$5.72 \times 10^{-6}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		155~165	$2.83 \times 10^{-5}$	$4.54 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		165~175	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.03 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		175~191	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.27 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	191~217.85	$2.83 \times 10^{-5}$	$7.98 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
25'	運転	217.85~256	0	0	0
	停止	256~259.33	$2.83 \times 10^{-5}$	$6.01 \times 10^{-6}$	$1.44 \times 10^{-7}$
26	運転	259.33~282	0	0	0
		282~298	$2.83 \times 10^{-5}$	$9.54 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		298~310	$2.83 \times 10^{-5}$	$8.24 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	310~321.51	$2.83 \times 10^{-5}$	$6.44 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
27	運転	521.51~343	0	0	0
		343~359	$2.83 \times 10^{-5}$	$3.32 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	359~373.09	$2.83 \times 10^{-5}$	$5.69 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
28	運転	373.09~730	0	0	0
		730~371	$2.83 \times 10^{-5}$	$2.02 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		731~732	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.46 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		732~733	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.49 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		733~734	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.04 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	734~735	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.03 \times 10^{-4}$	$1.44 \times 10^{-7}$
29	運転	735~736.12	$2.83 \times 10^{-5}$	$9.80 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		736.12~892	0	0	0
		892~893	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.04 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
	停止	893~895	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.38 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
29	運転	895~896	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.71 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$
		896~916.34	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.17 \times 10^{-5}$	$1.44 \times 10^{-7}$

\*B<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率 (f) は、1.0



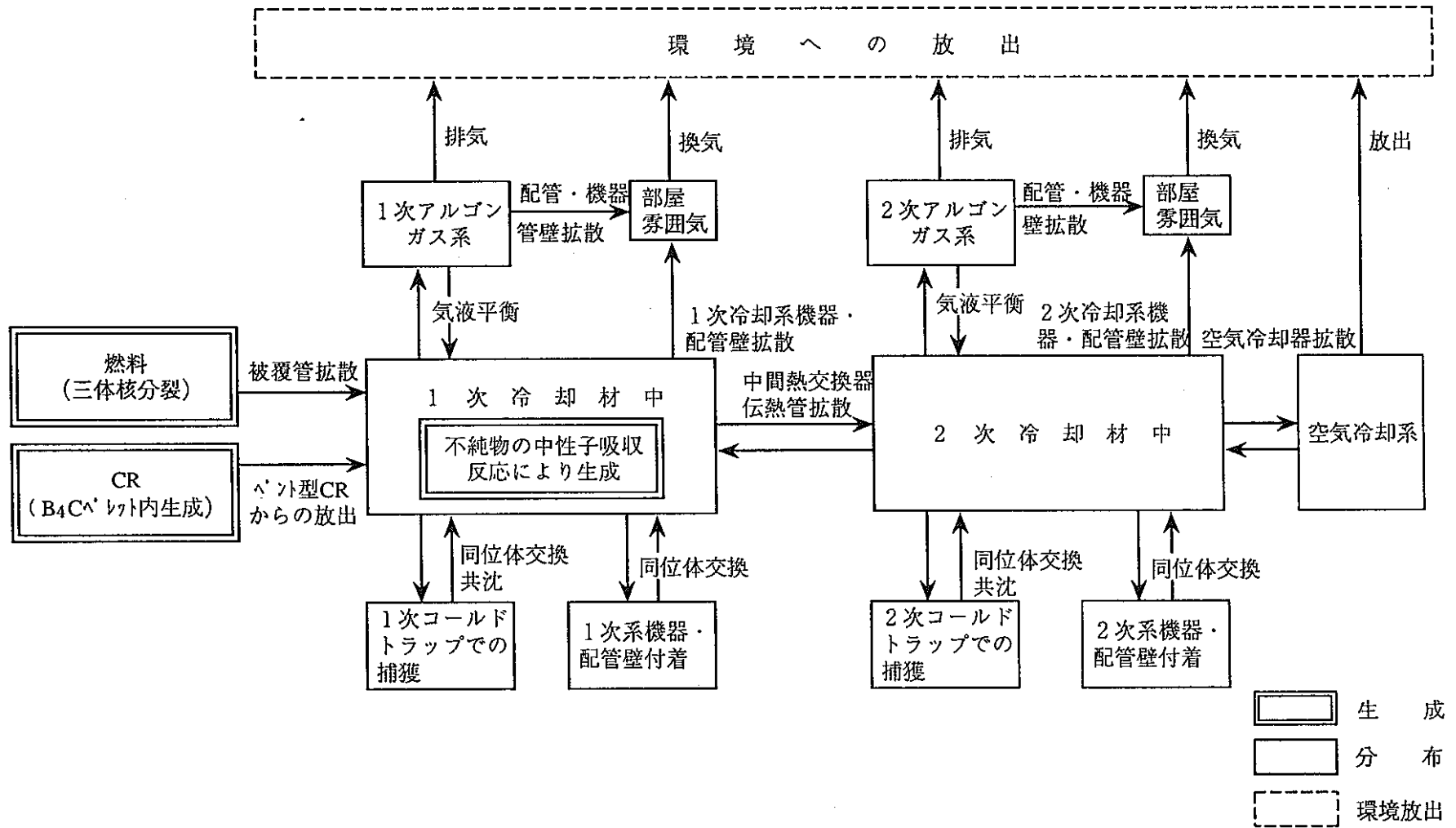


図2-1a 「常陽」トリチウム挙動モデル (TTTコード)

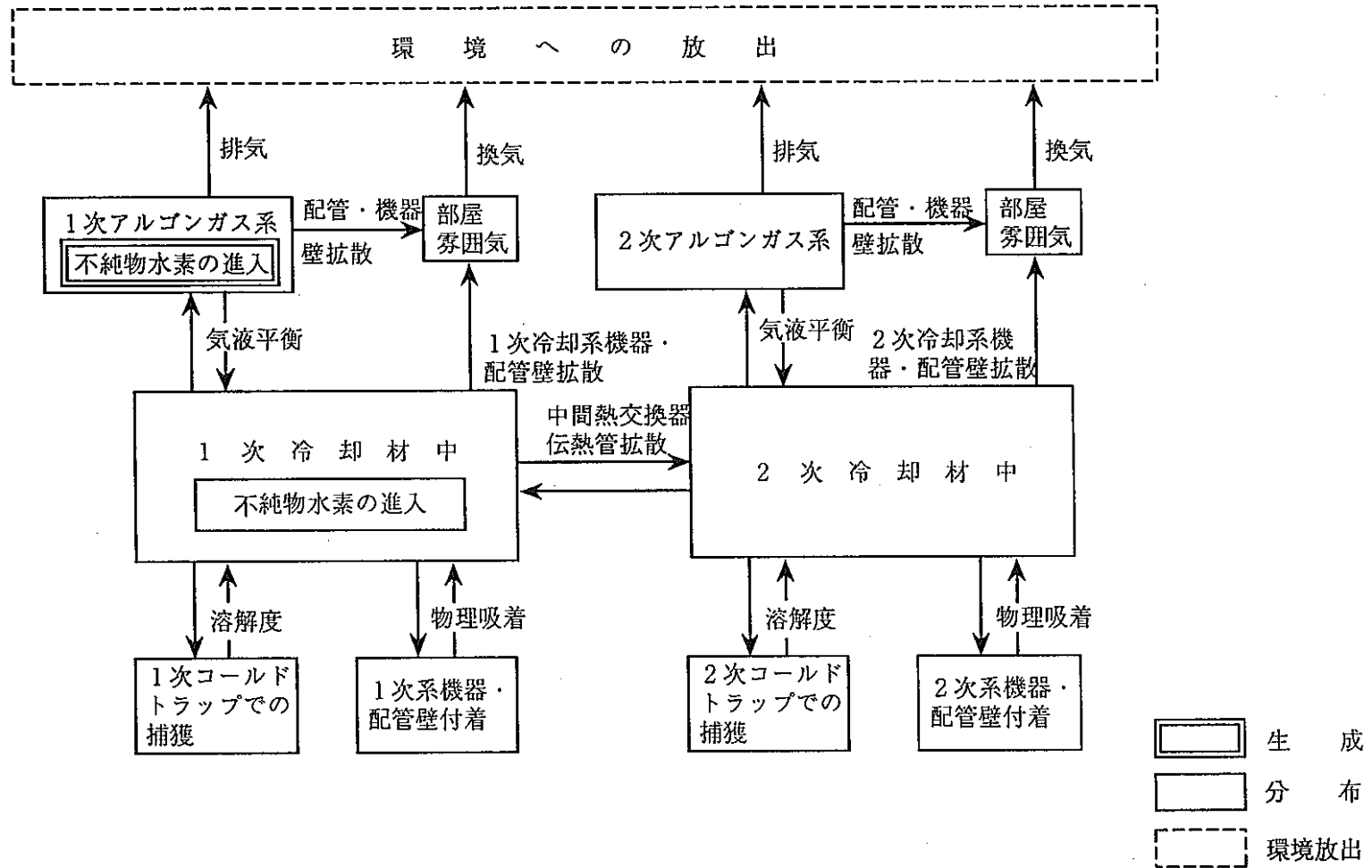
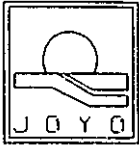


図2-1b 「常陽」水素挙動モデル (TTTコード)



MK-2炉心第25サイクル

(1992/8/12 2:0 ~1992/11/8 0:0)

○ SO45 1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

(PPM)

( ) 内のppmは評価に用いたカバーガス濃度

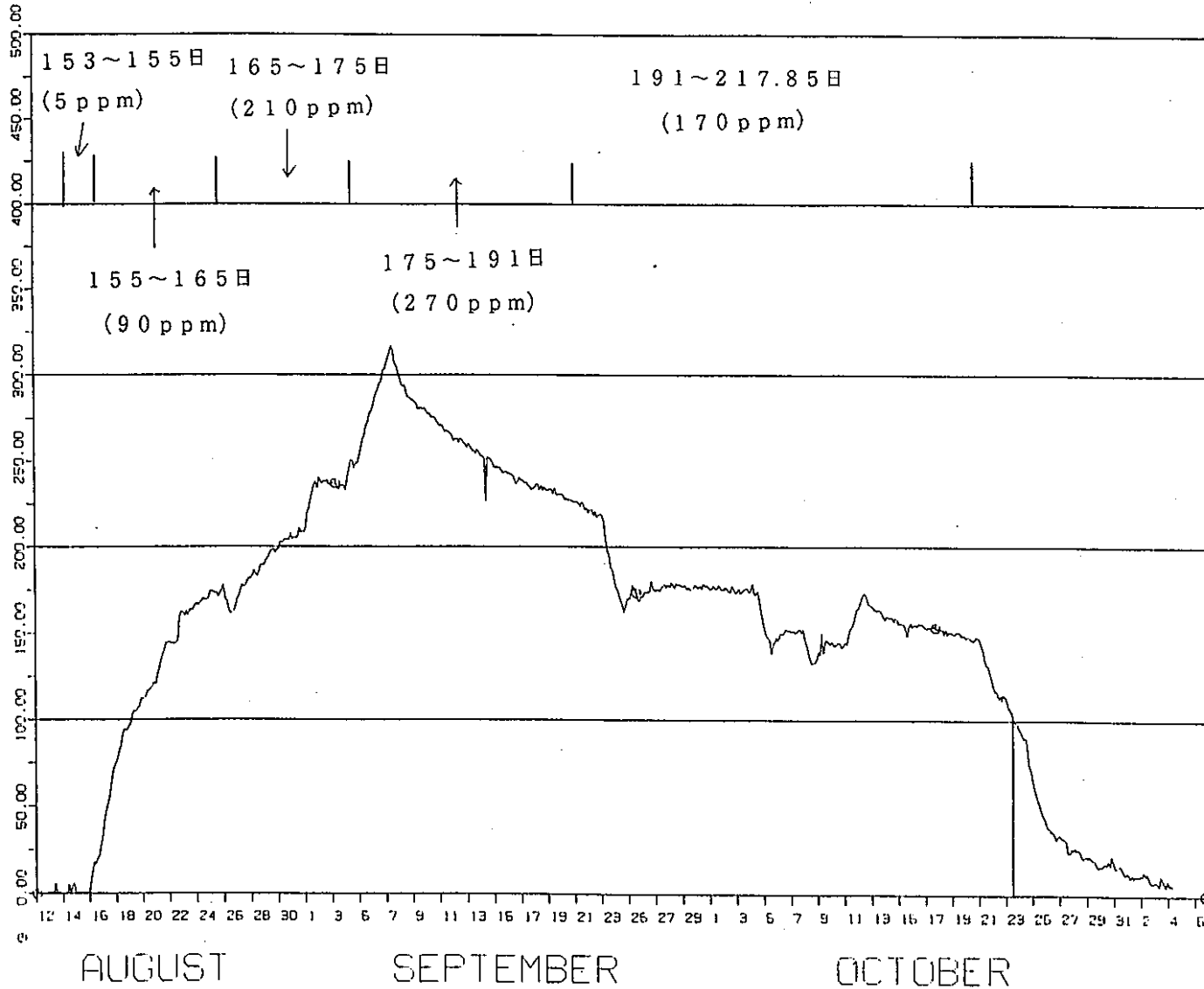
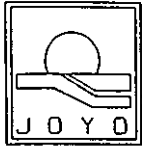


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (3/8)



MK-2炉心第24サイクル

(1992/3/12 15:0 ~ 1992/5/21 23:0)

○ S045 1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

[~~PPM~~]  
mV

( ) 内のppmは評価に用いたカバーガス濃度

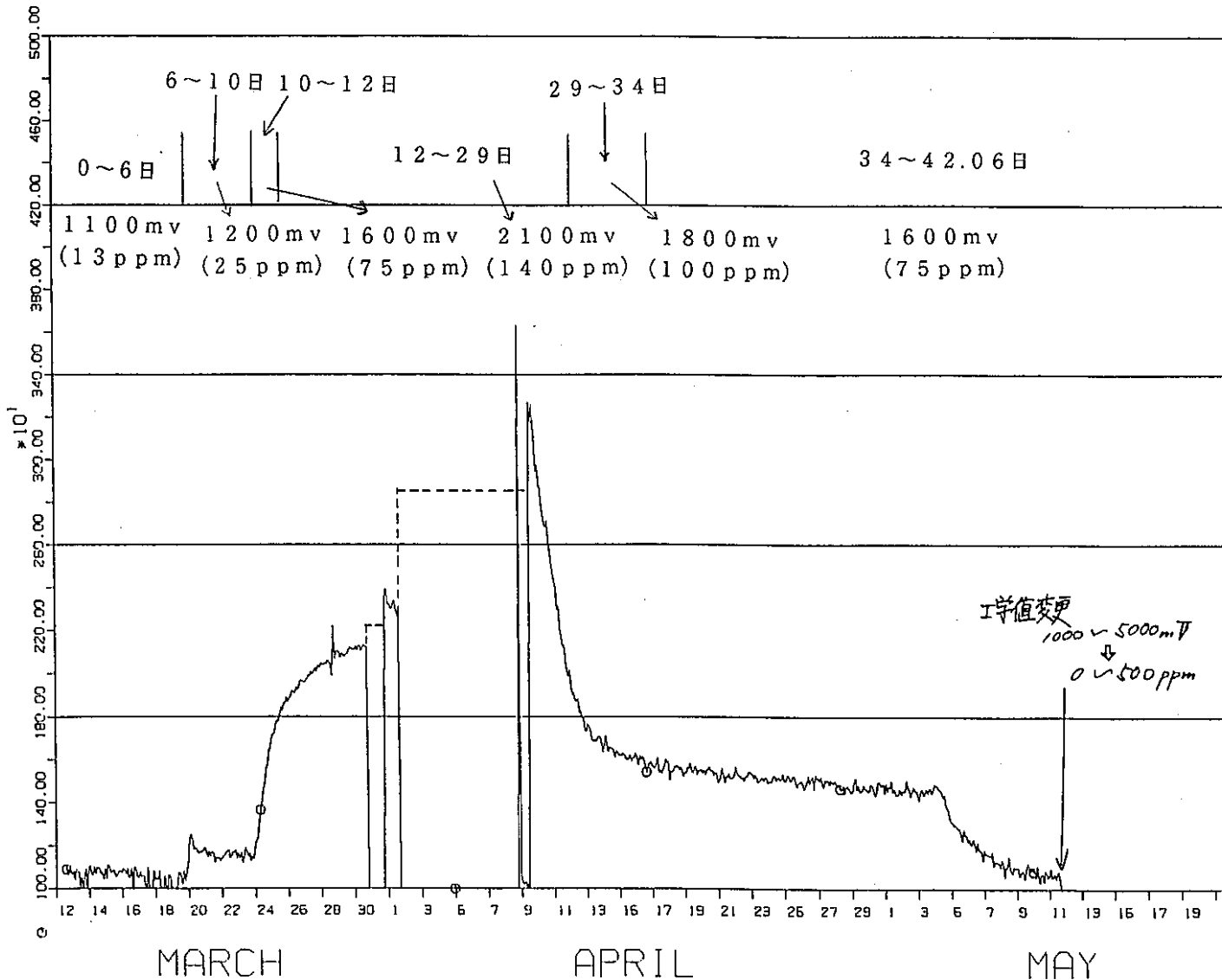
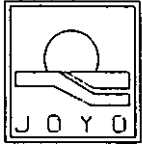


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (1/8)

PNC-JOYO JOYDIAS-PL0T



MK-2炉心第24' サイクル

(1992/6/14 0:0 ~1992/6/26 0:0)

○ SO45 1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

[PPM]

( ) 内のppmは評価に用いたカバーガス濃度

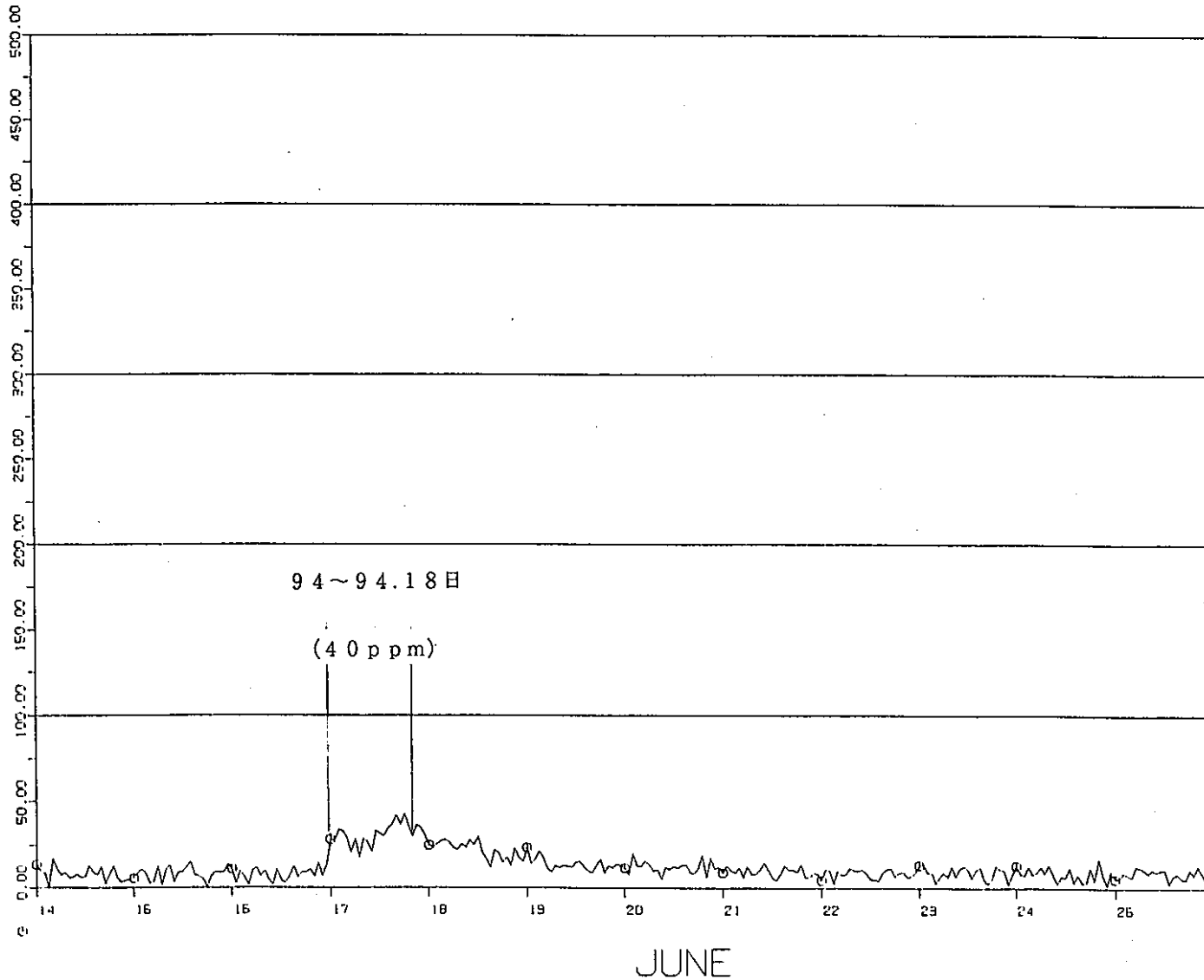
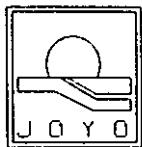


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (2/8)

PNC-JOYO JOYDAS-PI 01



MK-2炉心第25' サイクル

(1992/11/23 0:0 ~1992/12/8 0:0)

○ SO45 1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

[PPM]

( ) 内のppmは評価に用いたカバーガス濃度

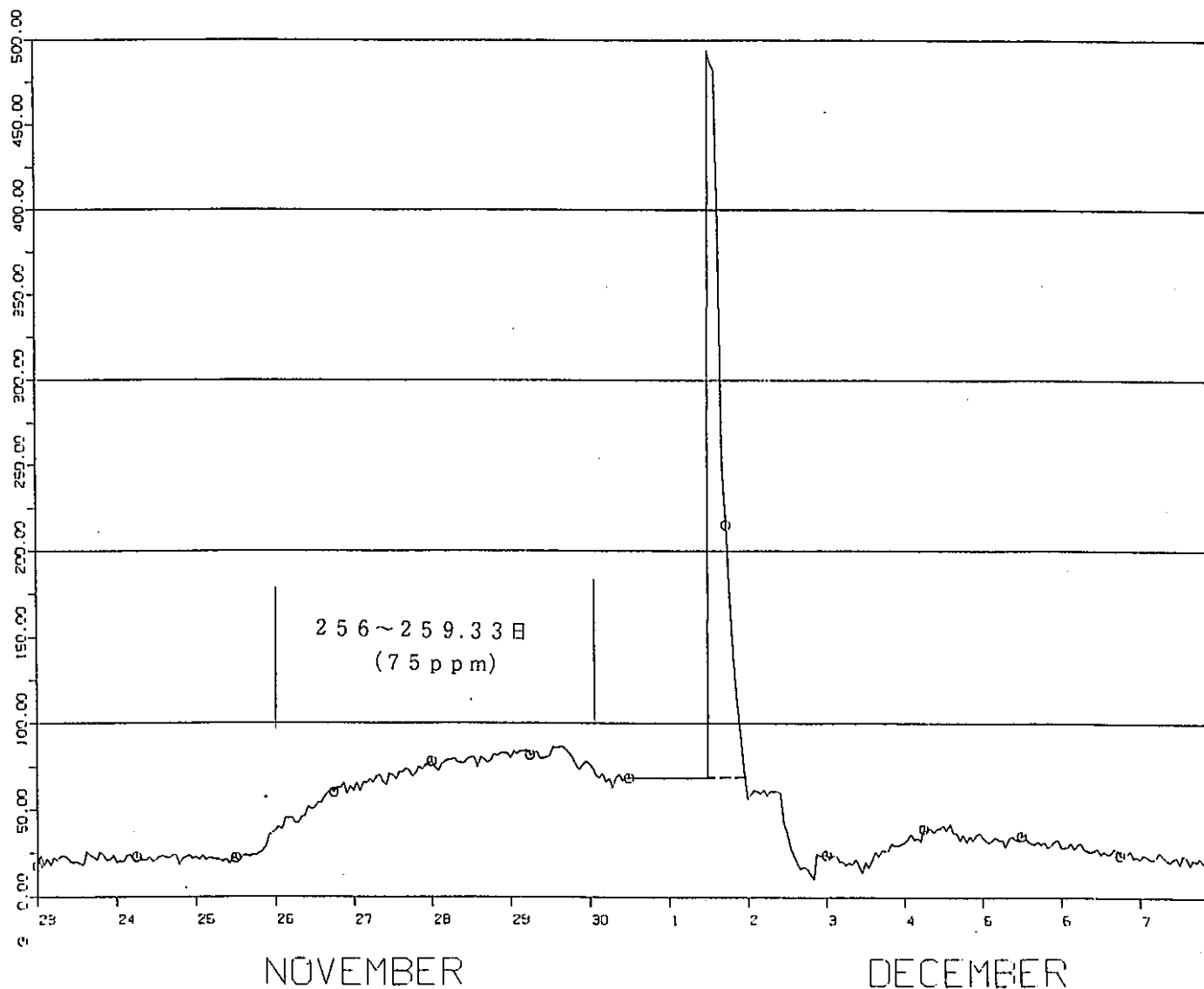
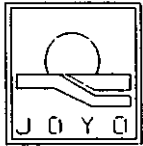


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (4/8)

PNC-JOYO JOYDAS-PL01



# MK-2炉心第26サイクル

(1992/12/15 1:0 ~1993/2/3 11:0)

◎ SO45 1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

[PPM]

( ) 内の ppm は評価に用いたカバーガス濃度

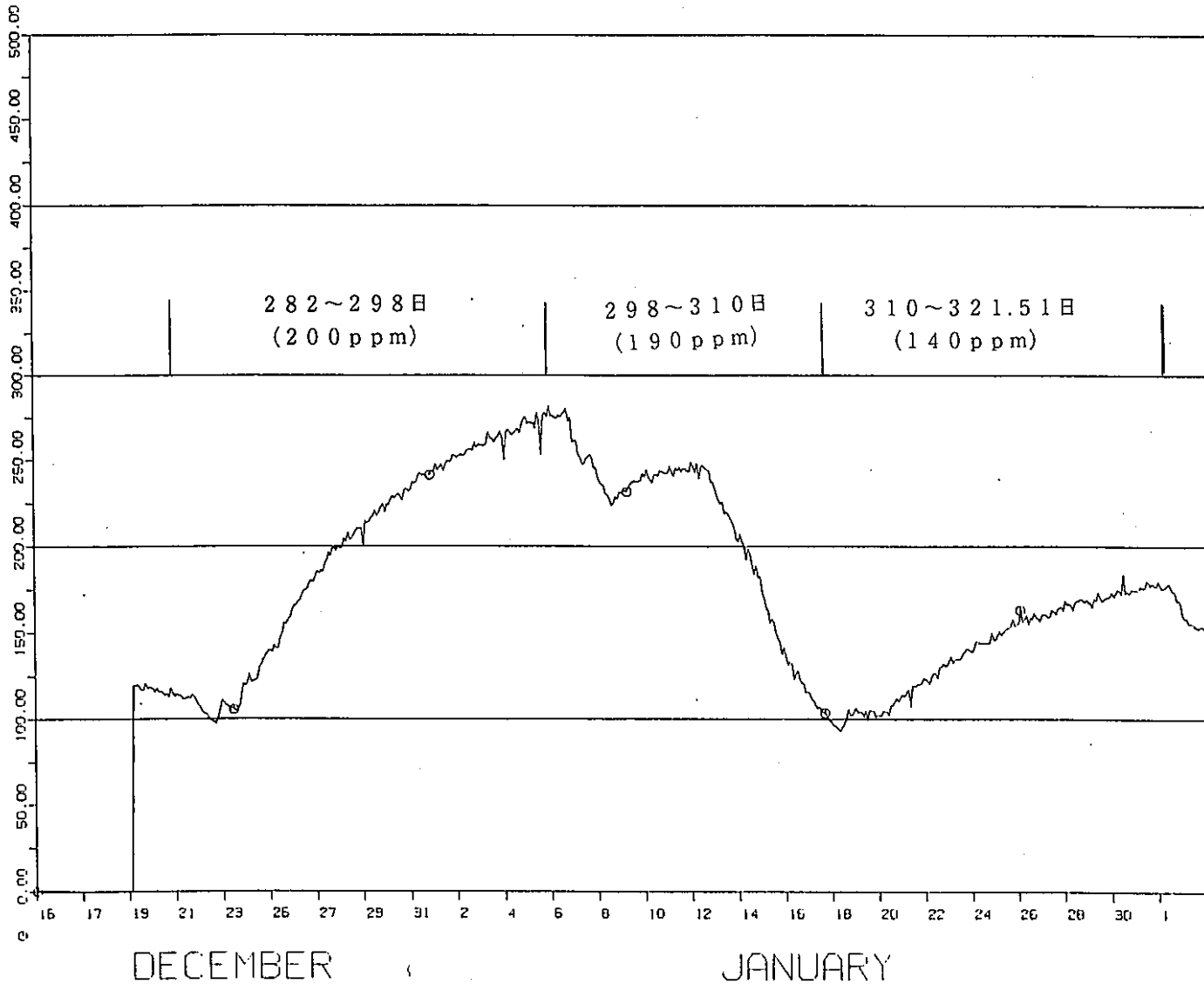
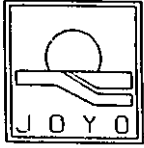


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (5/8)



MK-2炉心第27サイクル

(1993/2/20 0:0 ~1993/3/26 12:0)

1次系ガスクロ不純物濃度 (He)

( )内のppmは評価に用いたカバーガス濃度

PRI HE CONCENTRATION

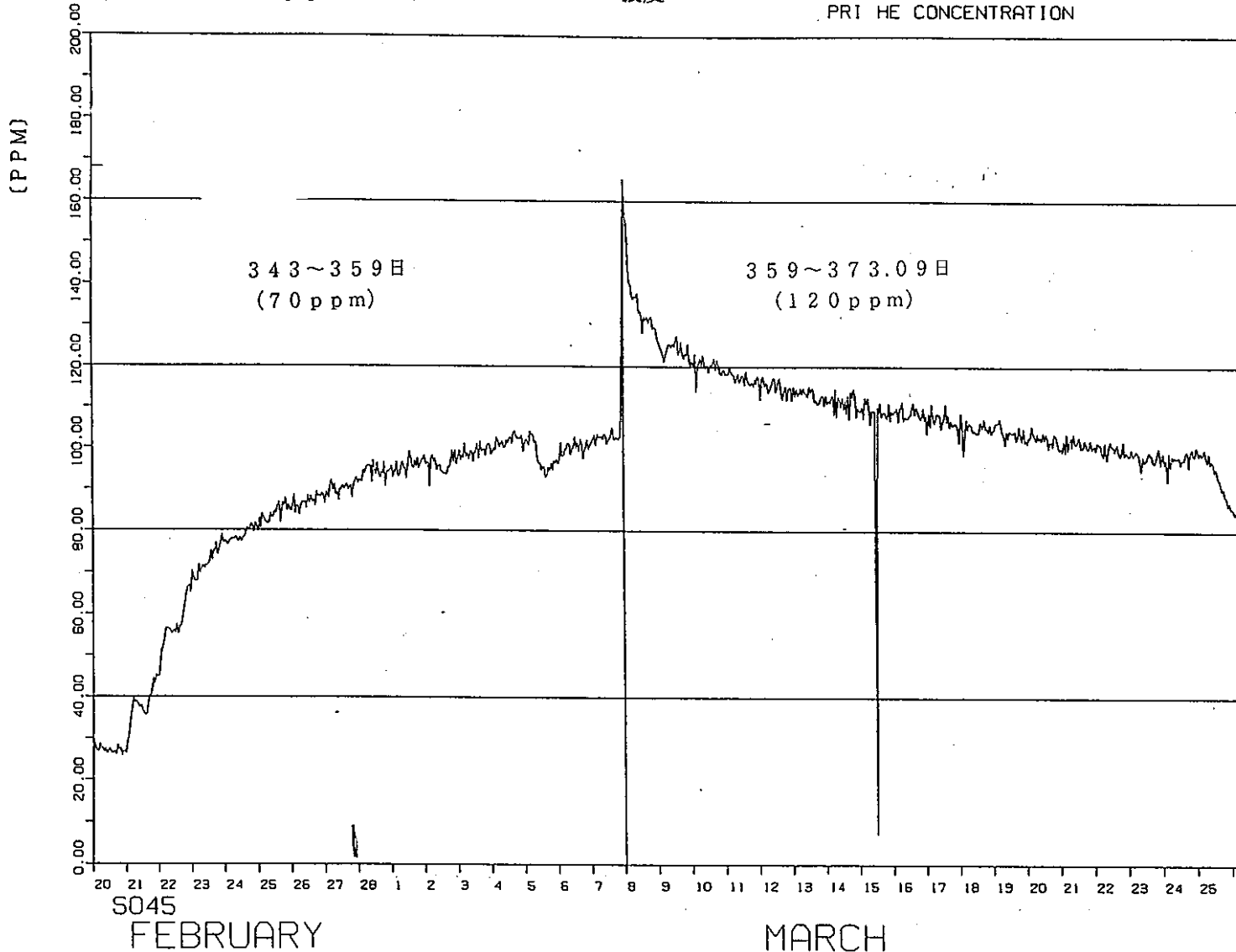
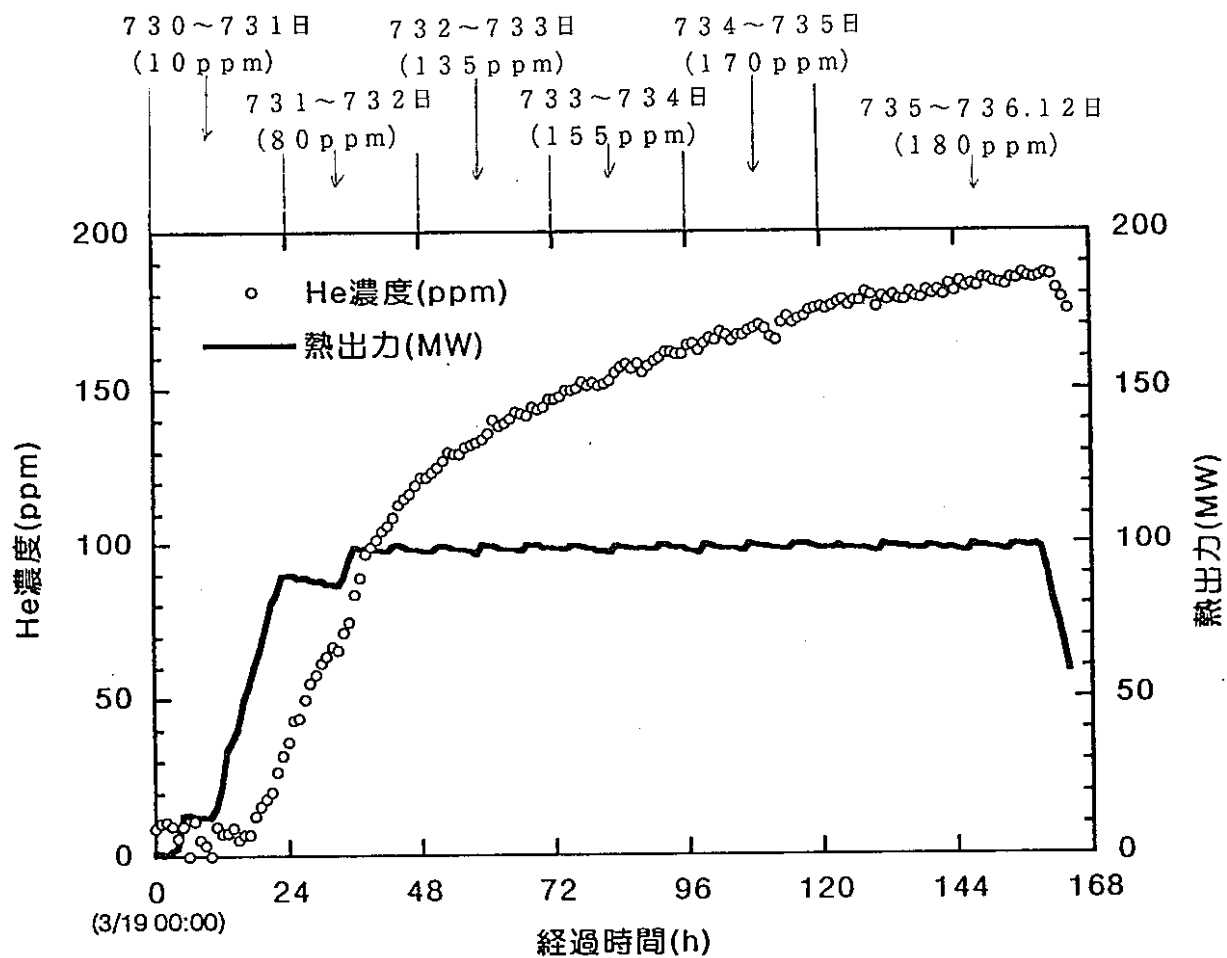


図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (6/8)



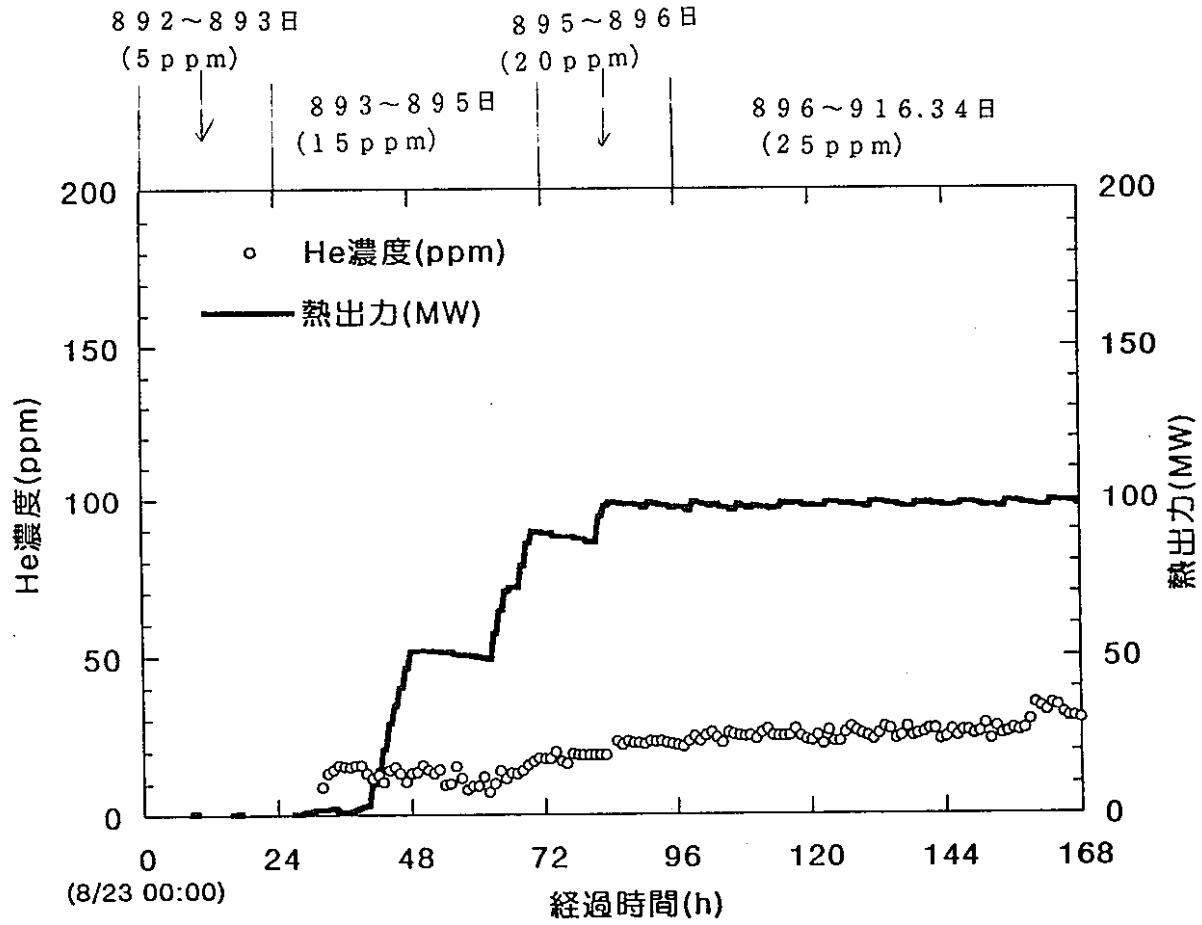
( ) 内の ppm は評価に用いたカバーガス濃度



1次系カバーガスオンラインガスクロHe濃度の経時変化(第28サイクル)

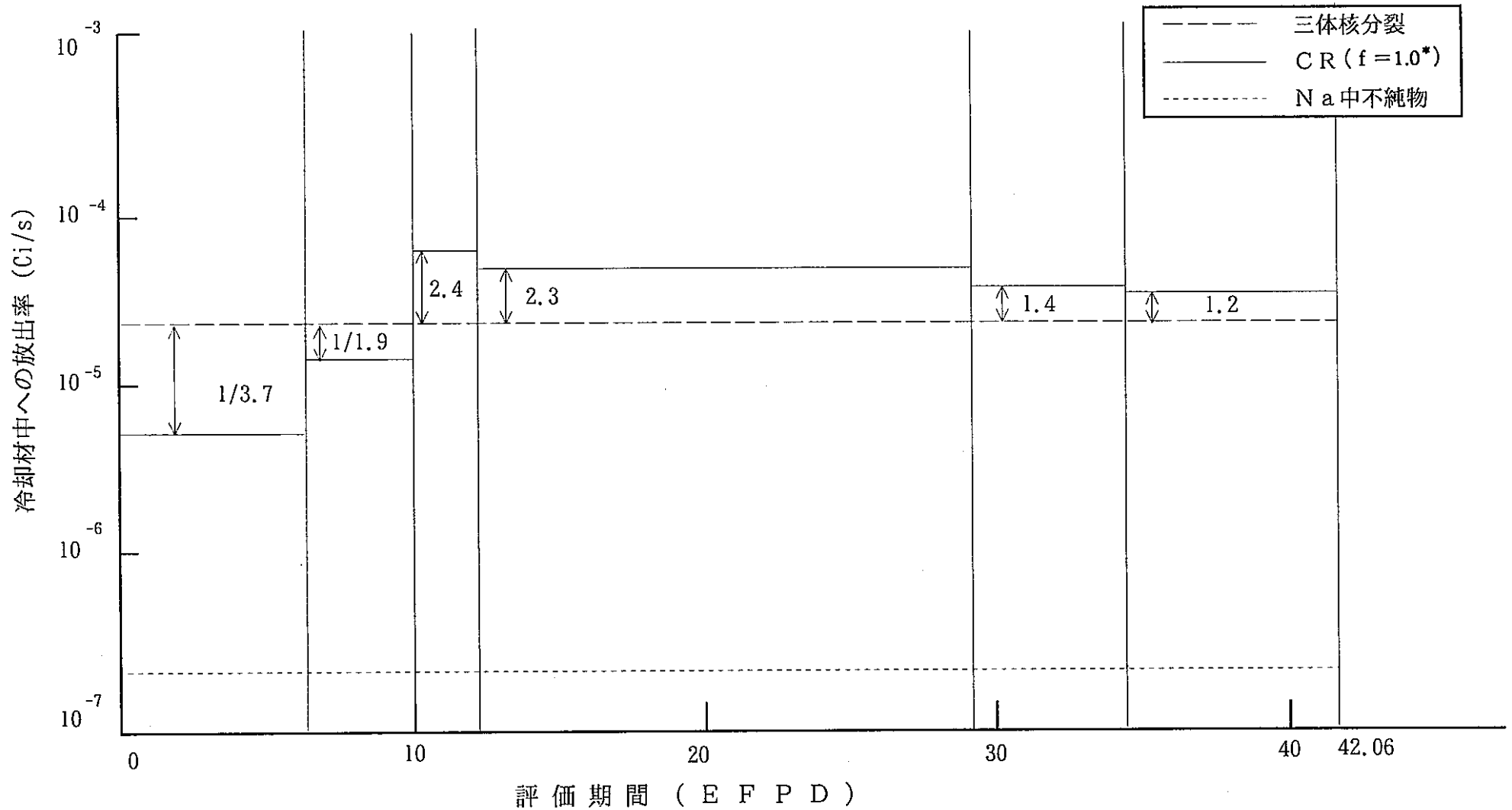
図2-1 1次系ガスクロHe濃度(7/8)

( ) 内の p p m は評価に用いたカバーガス濃度



1次系カバーガスオンラインガスクロHe濃度の経時変化(第29サイクル)

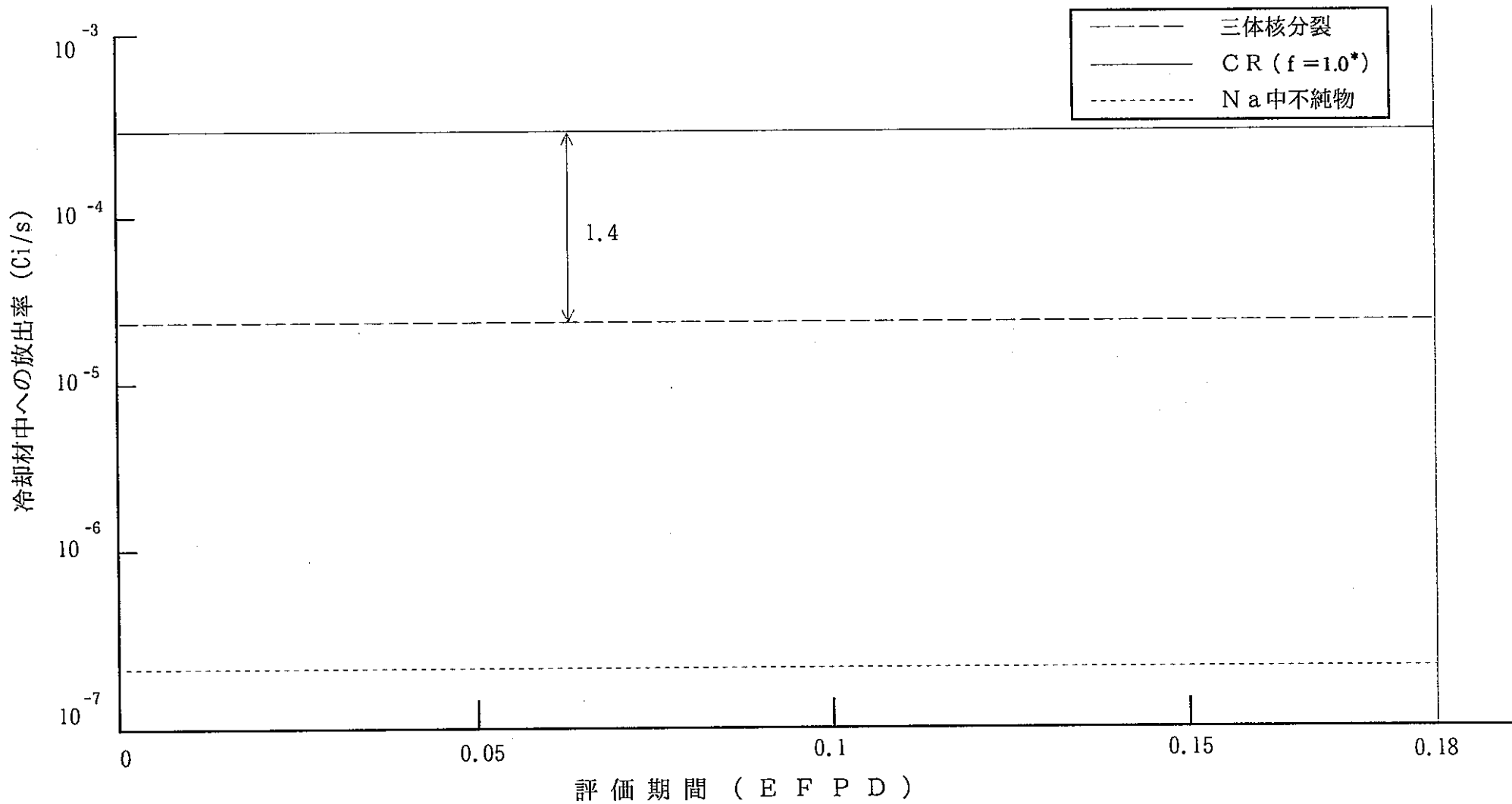
図2-1 1次系ガスクロHe濃度 (8/8)



図中の数値はCRからの放出率/燃料（三体核分裂）からの放出率

\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

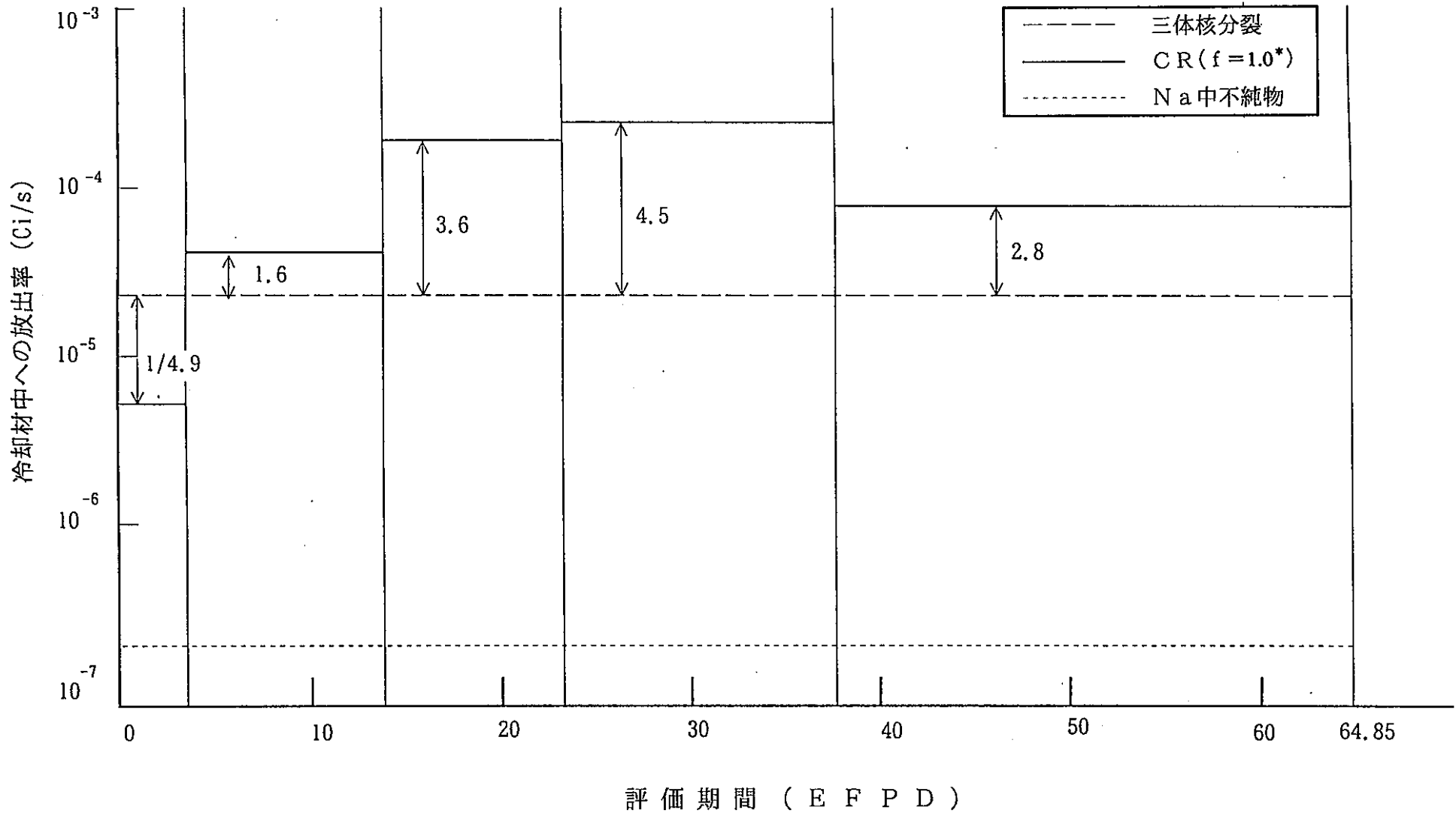
図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率 (1/8) (第24サイクル)



図中の数値はCRからの放出率/燃料(三体核分裂)からの放出率

\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

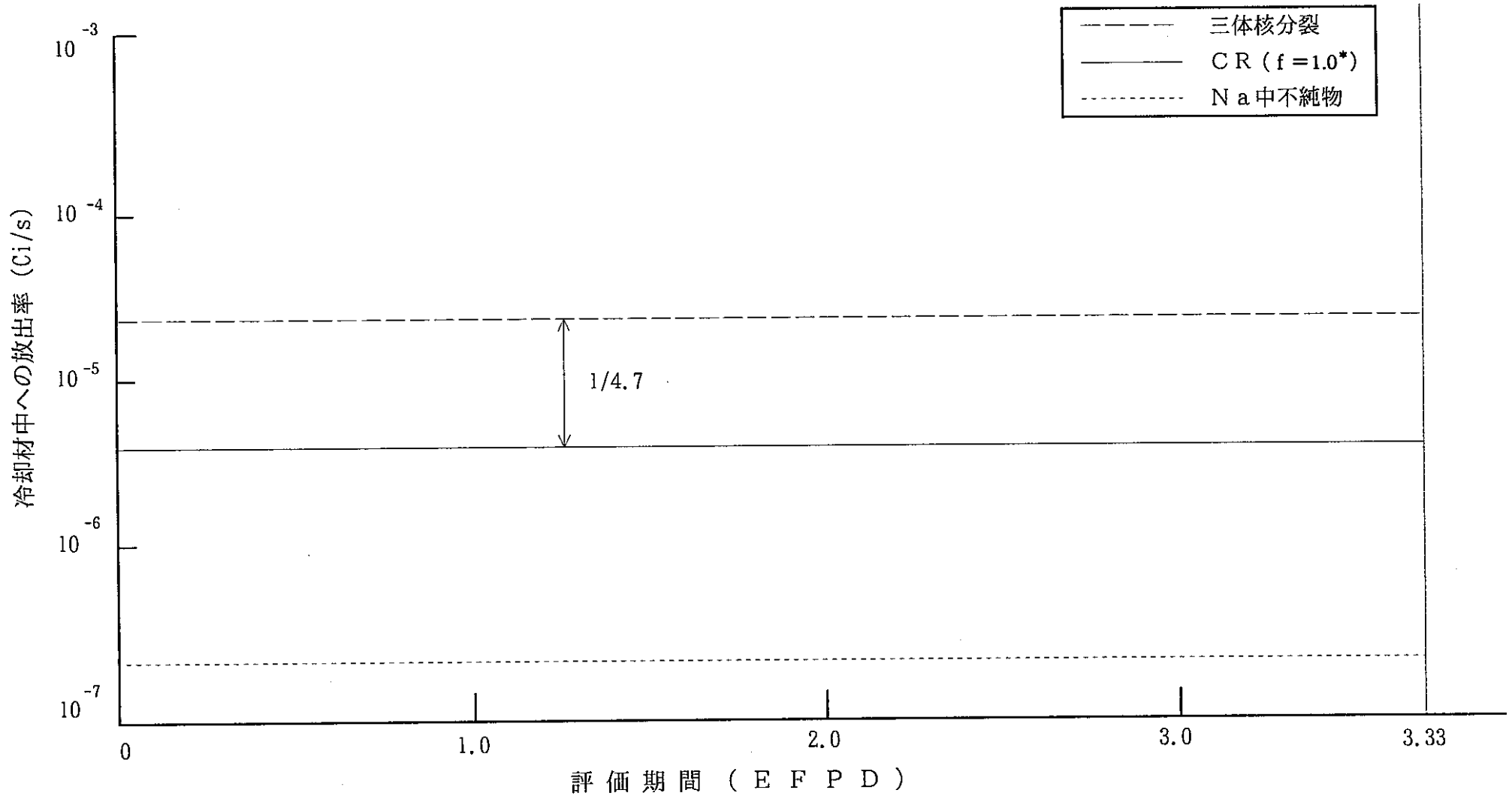
図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率(2/8)(第24'サイクル)



図中の数値はCRからの放出率/燃料（三体核分裂）からの放出率

\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

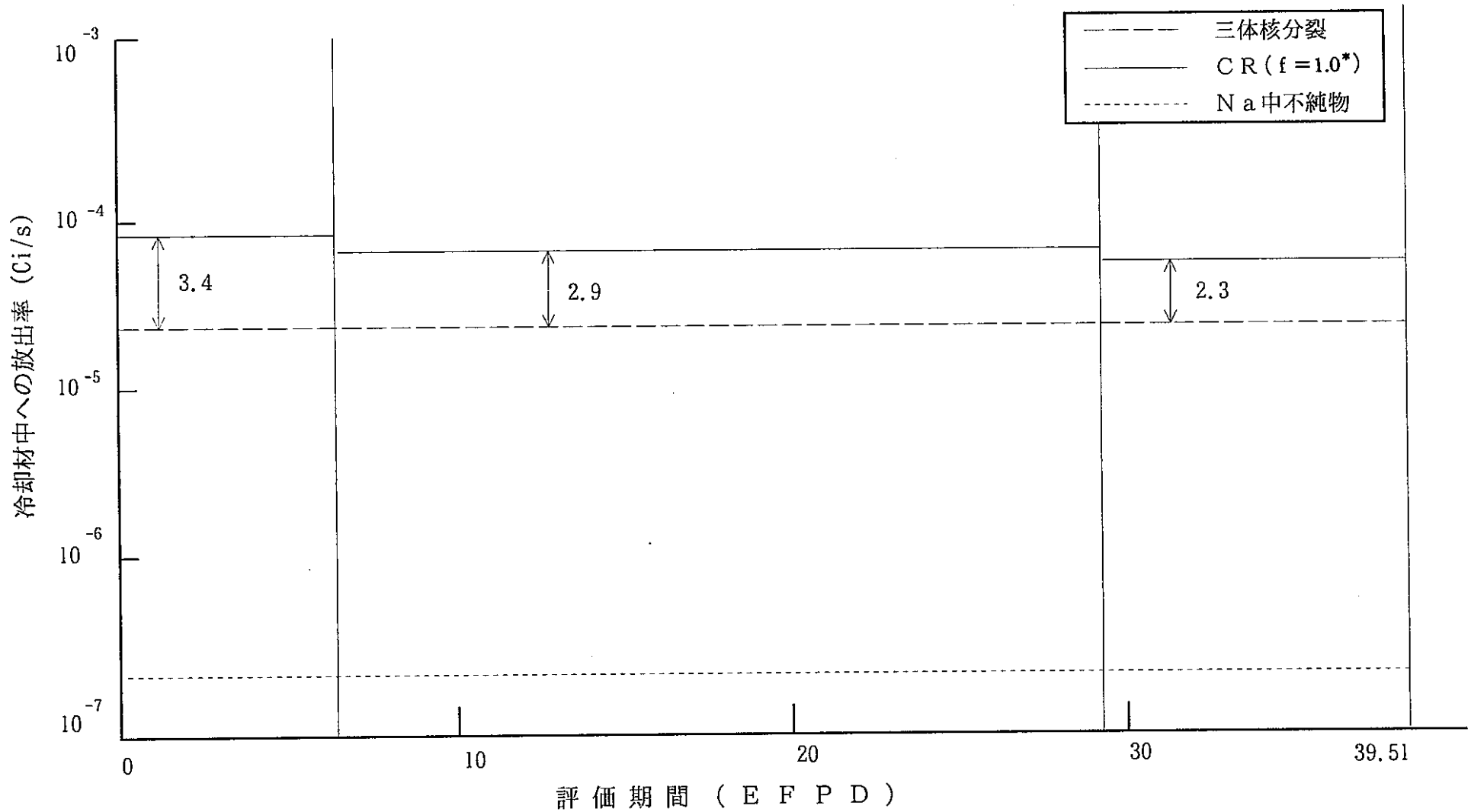
図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率（3/8）（第25サイクル）



図中の数値はCRからの放出率/燃料(三体核分裂)からの放出率

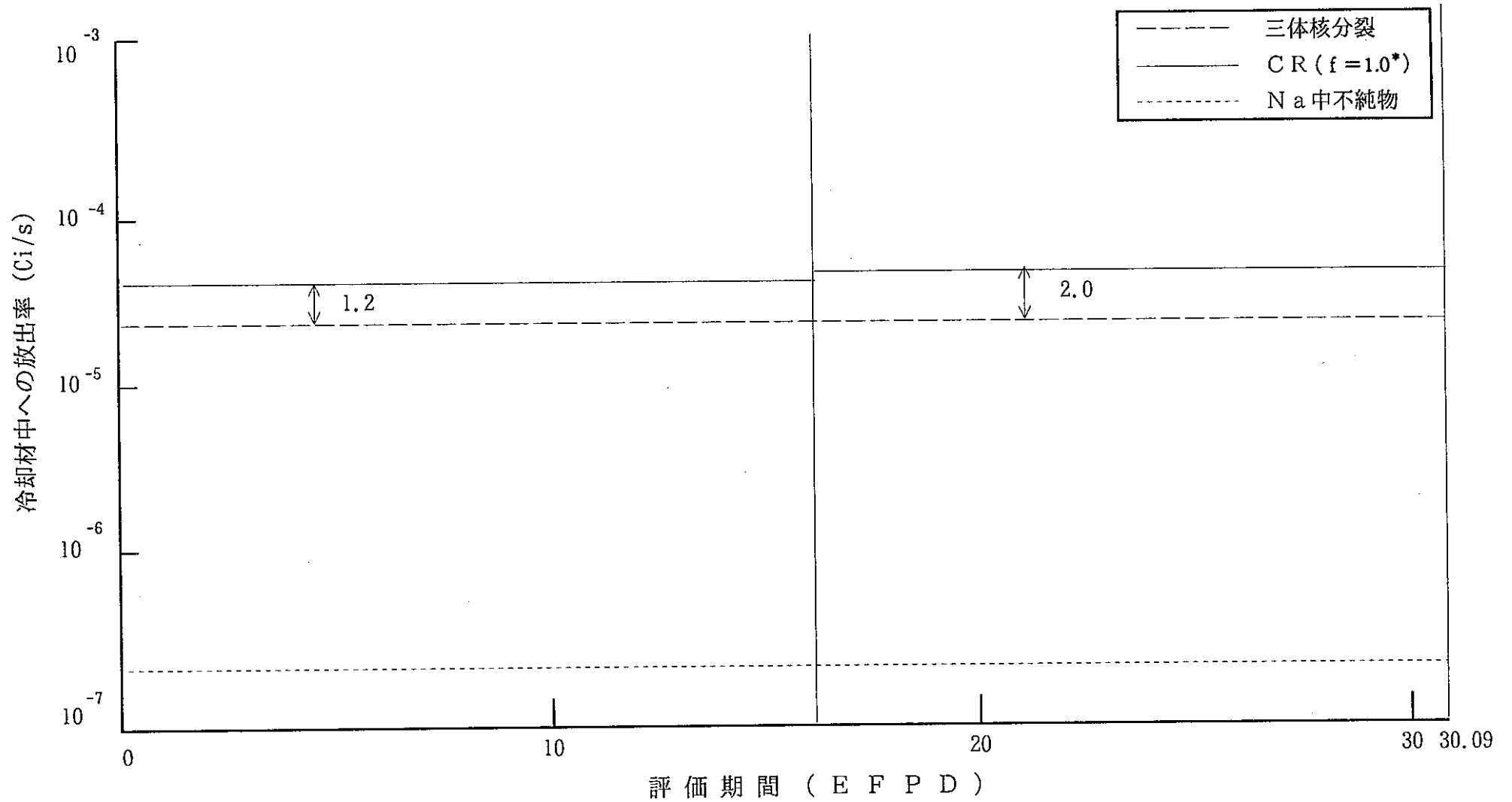
\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率(4/8) (第25' サイクル)



図中の数値はCRからの放出率/燃料（三体核分裂）からの放出率  
\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率（5/8）（第26サイクル）

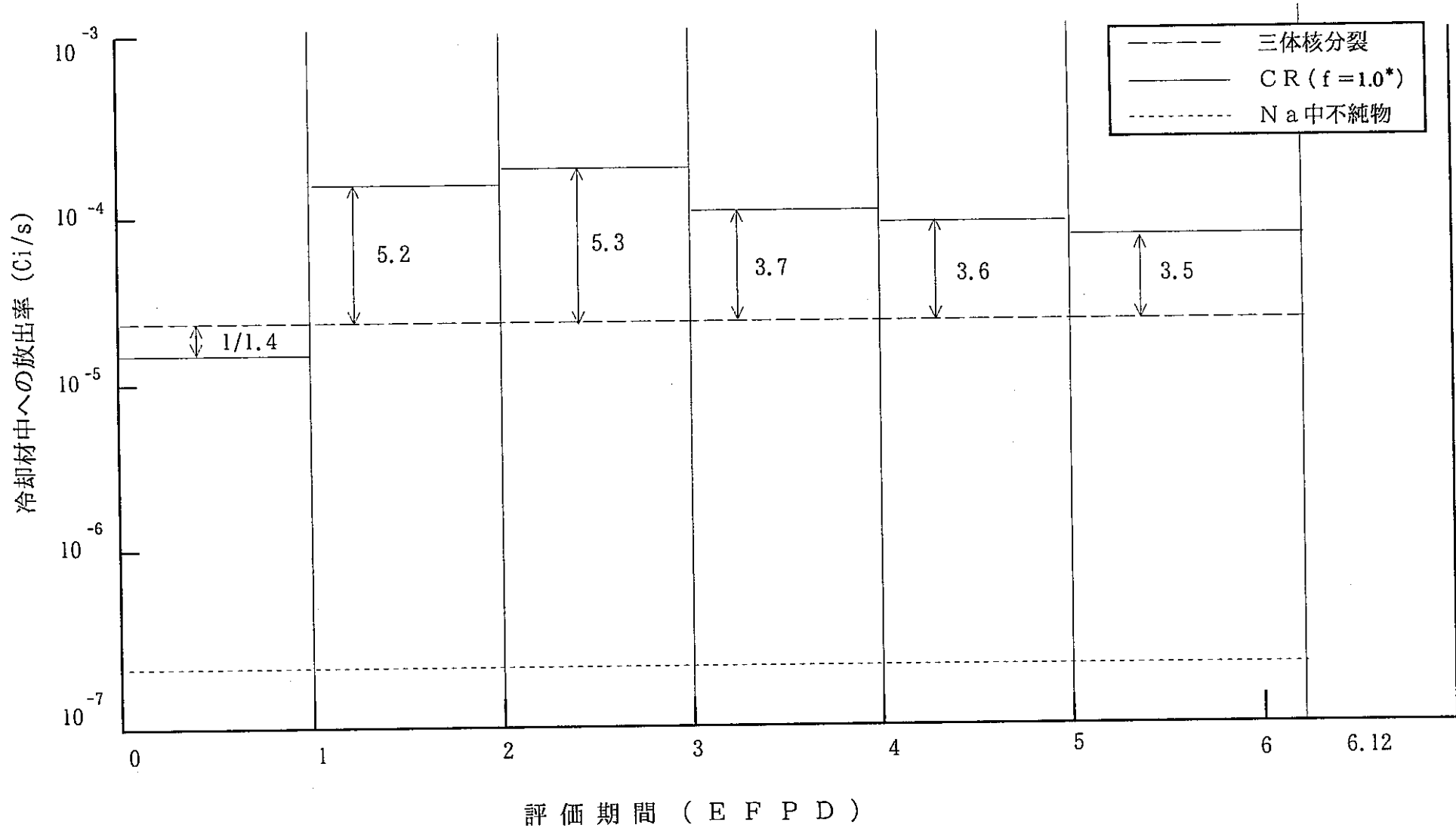


図中の数値はCRからの放出率/燃料（三体核分裂）からの放出率

\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

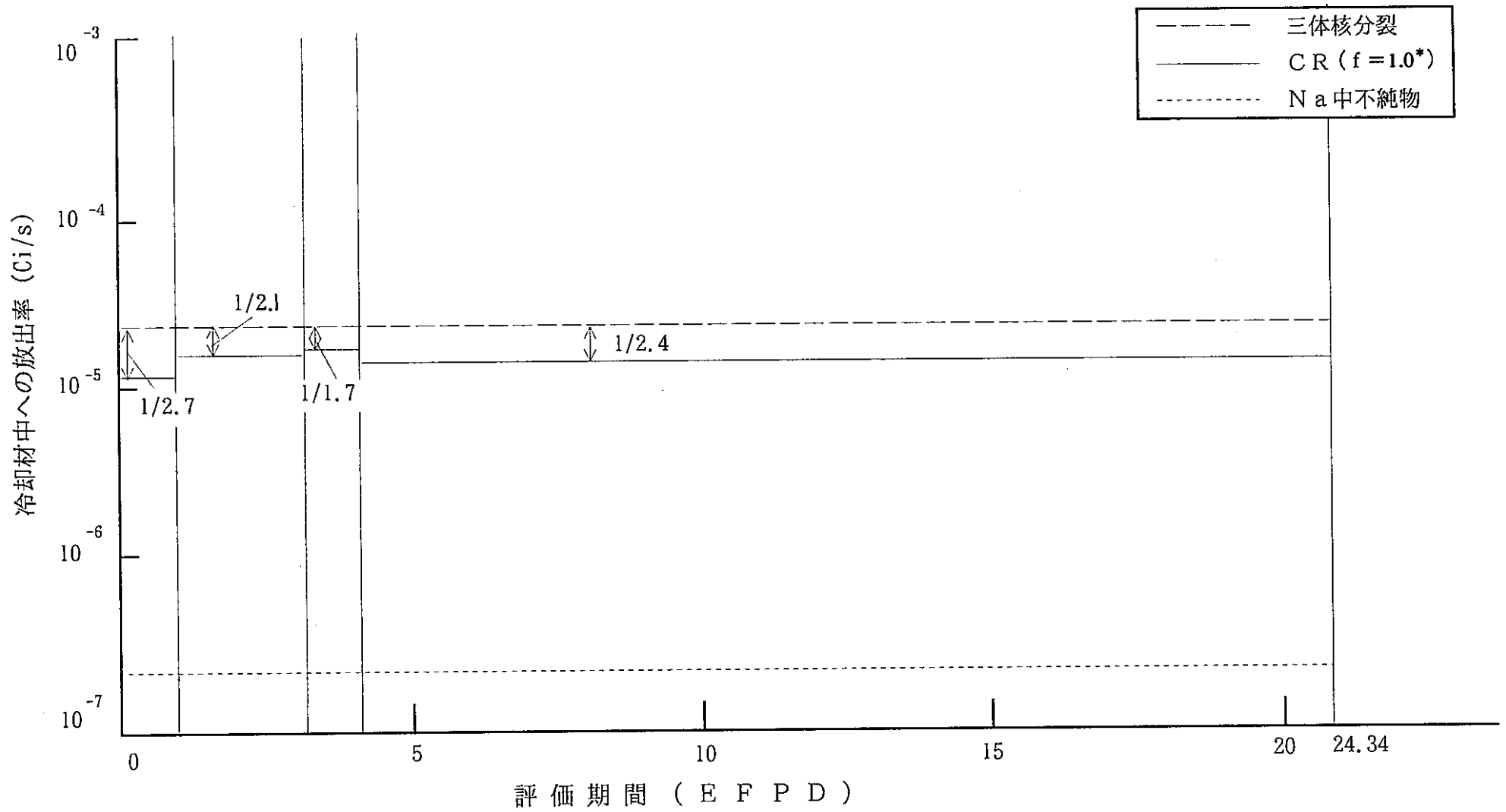
図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率 (6/8) (第27サイクル)





図中の数値はCRからの放出率/燃料（三体核分裂）からの放出率  
\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率 (7/8) (第28サイクル)



図中の数値はCRからの放出率/燃料(三体核分裂)からの放出率

\* B4Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率

図2-2 トリチウムの1次冷却材中への放出率(8/8) (第29サイクル)

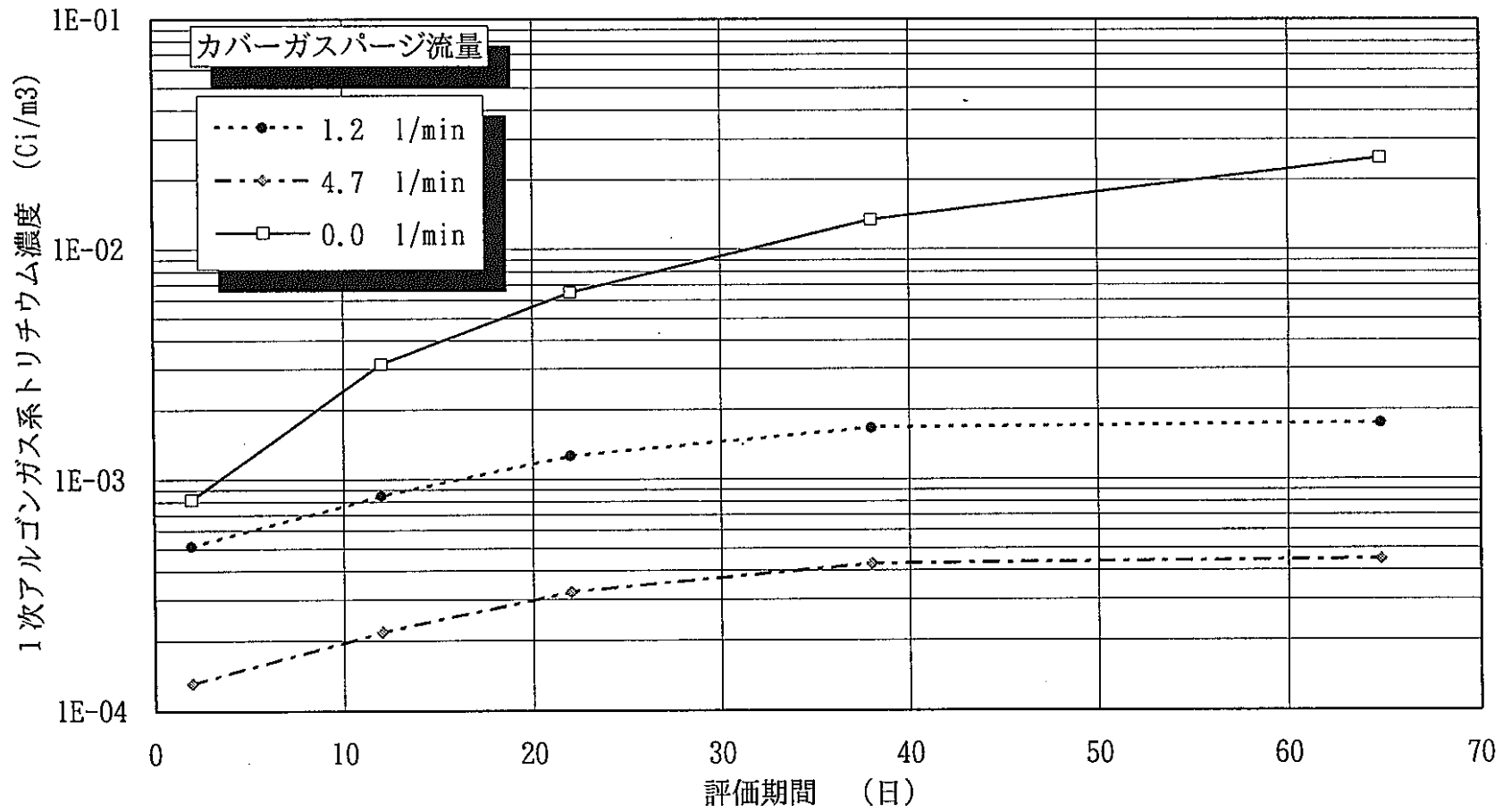


図 2-2a カバークラスパーズによる 1 次アルゴンガス系トリチウム濃度変化 (第25サイクル)

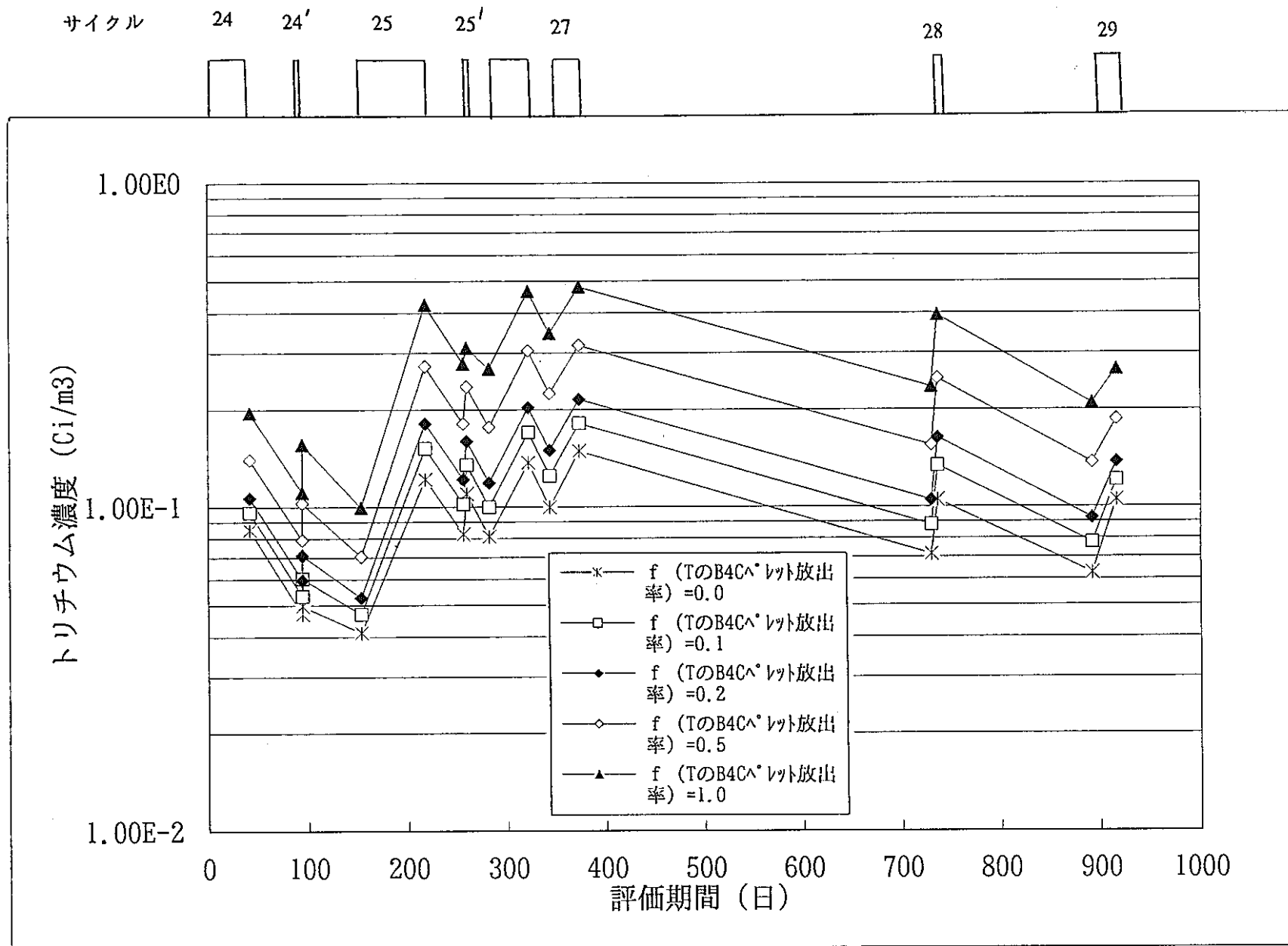


図2-3 1次冷却系のトリチウム濃度の感度評価

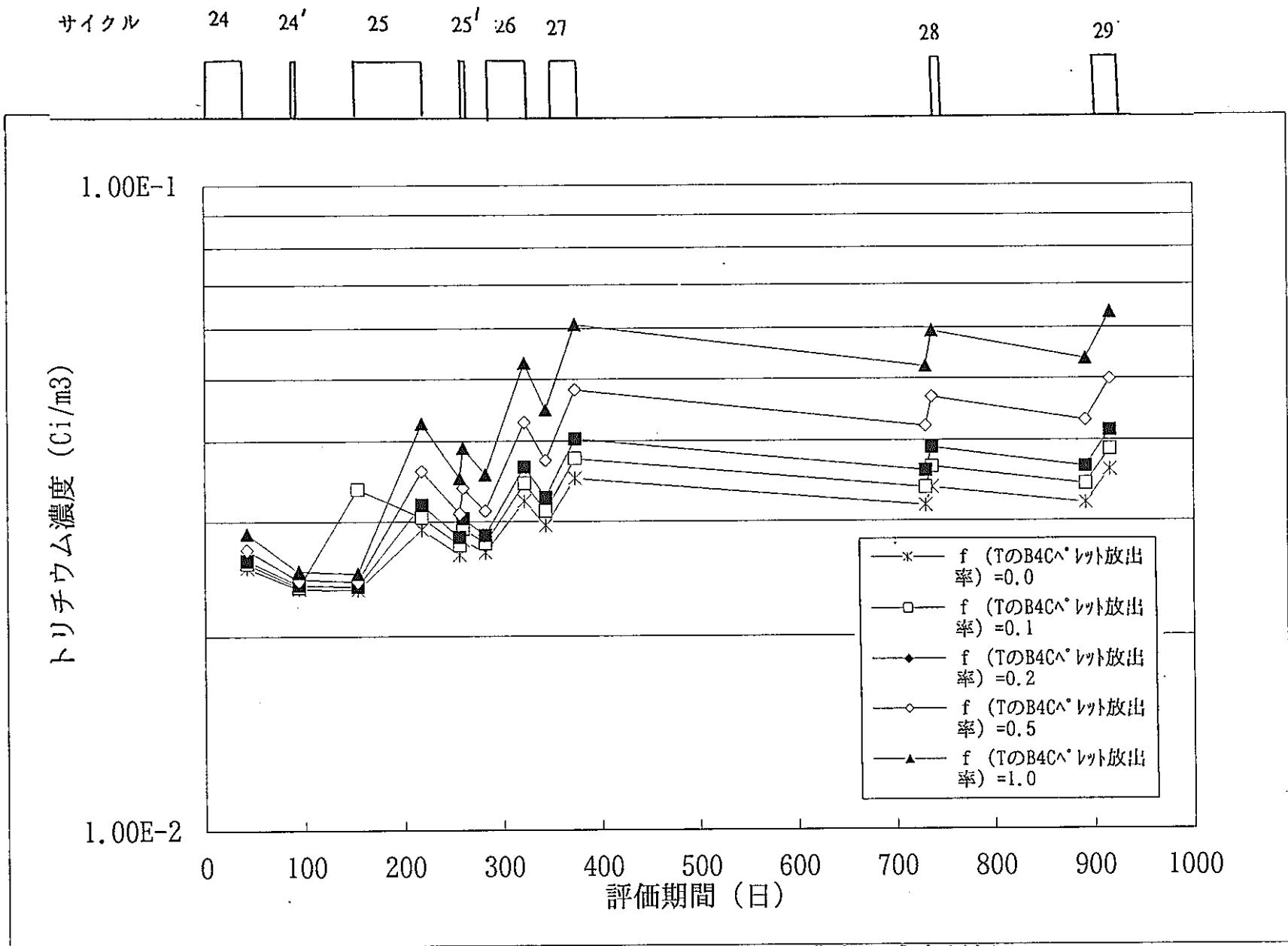


図2-4 2次冷却系のトリチウム濃度の感度評価

サイクル 24 24' 25 25' 26 27 28 29

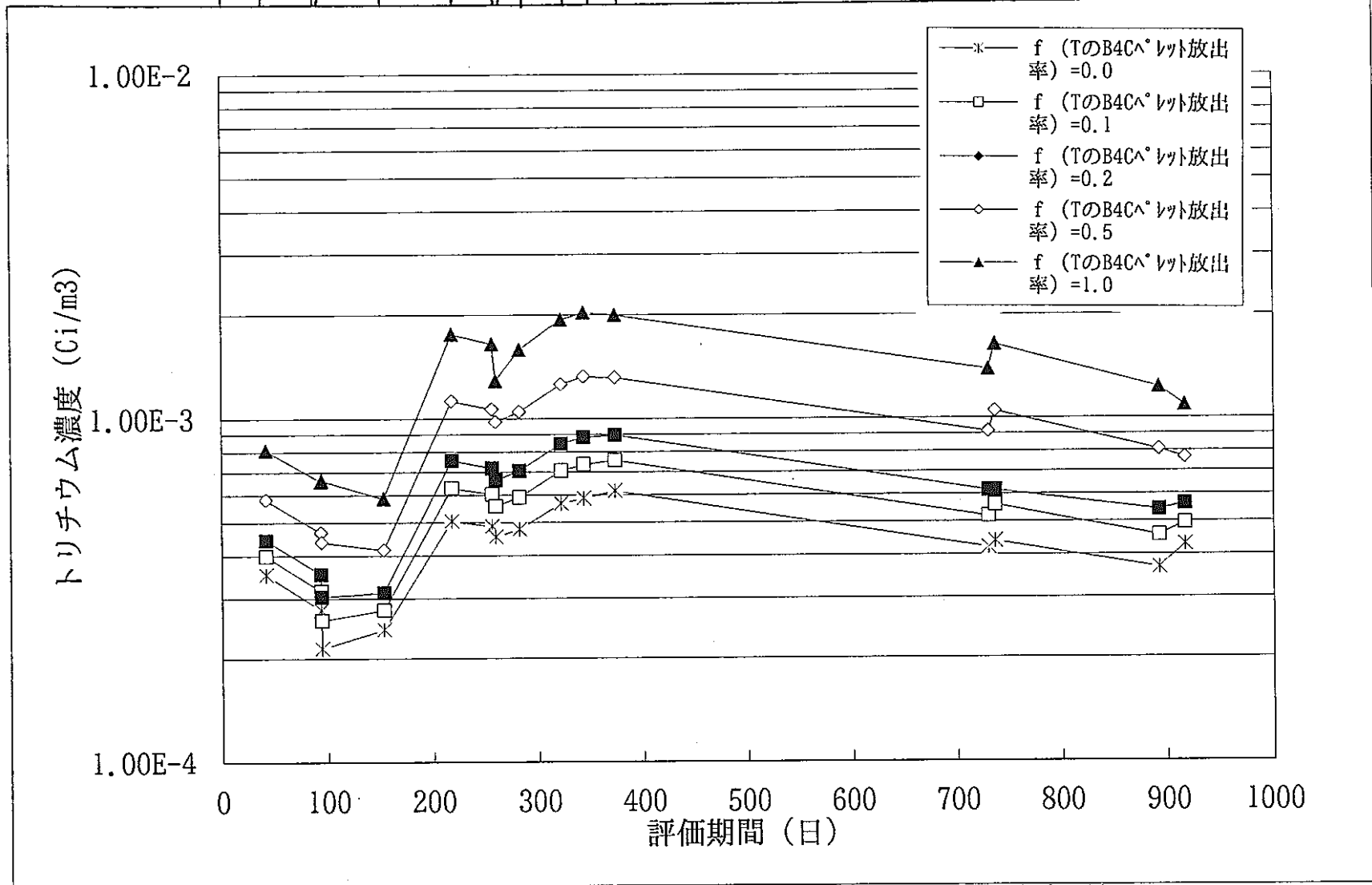


図2-5 1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の感度評価

サイクル 24 24' 25 25' 26 27 28 29'

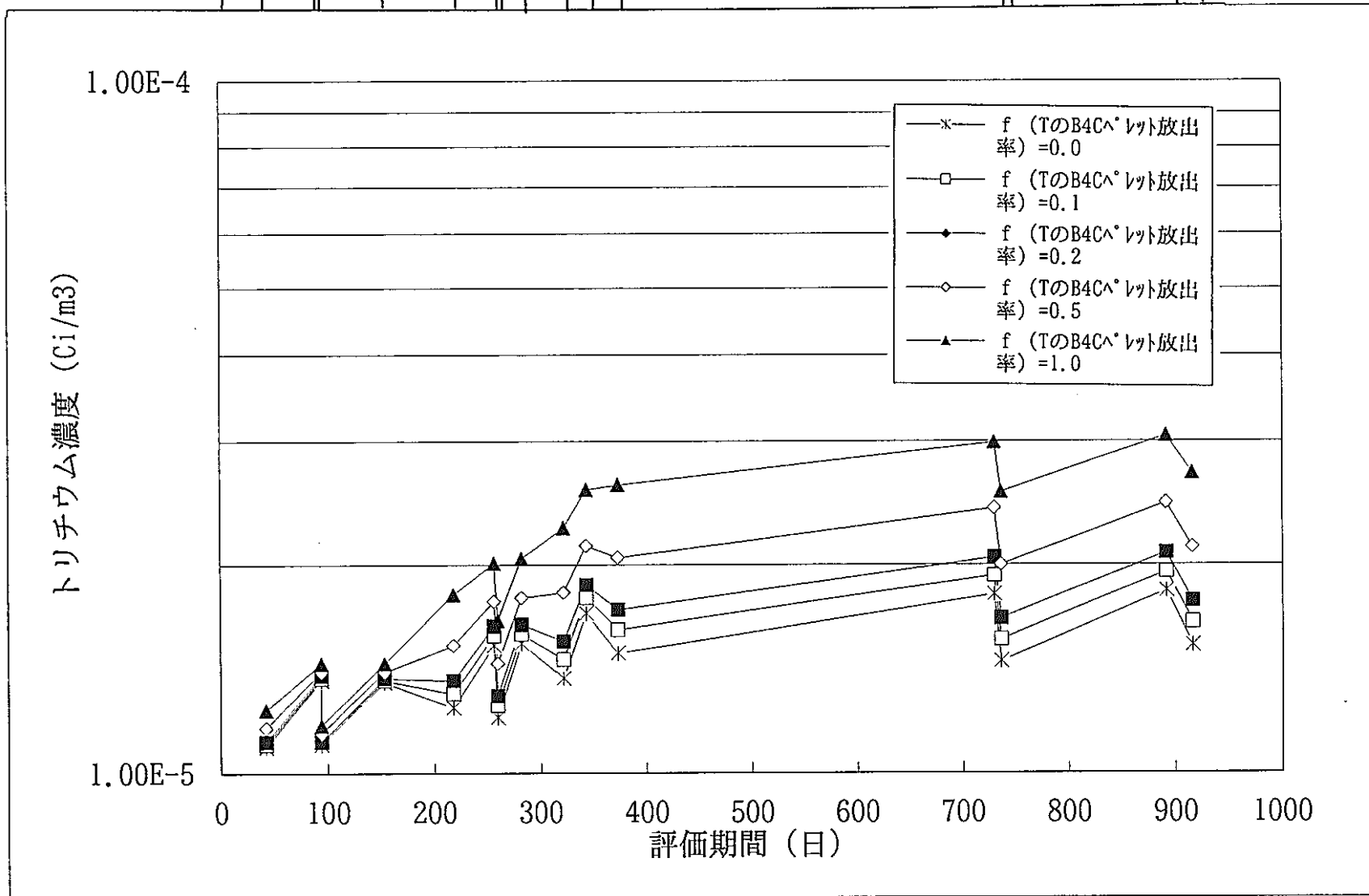
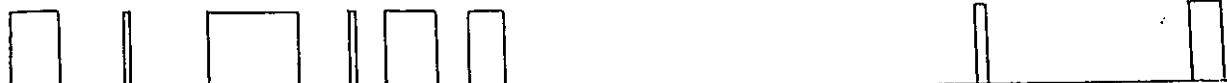


図2-6 2次アルゴンガス系 (D/T) のトリチウム濃度の感度評価

### 3. 「常陽」MK-II炉心でのトリチウム挙動の解析

#### 3.1 概要

「常陽」冷却系及び雰囲気トリチウム濃度測定データを用いて、前記改良コード(TTT-94)の検証を実施する。

「常陽」MK-II炉心体系について、定格第24サイクルから定格第29サイクルまでの系統内トリチウム濃度、雰囲気中のトリチウム濃度実測値と"TTT-94"コードによるトリチウム移行・分布評価結果との比較検討について述べる。

#### 3.2 実測値及び評価条件

##### 3.2.1 実測値

"TTT-94"コードの検証を進める上での判断材料は、系統内の水素及びトリチウム分布と雰囲気中のトリチウム濃度である。「常陽」における系統内の水素及びトリチウム分布について、1次冷却材中、1次アルゴンガス中、2次冷却材中及び2次アルゴンガス中の濃度が定期的に測定されている。

一方、「常陽」における雰囲気中のトリチウム濃度は、主に床下雰囲気、床上雰囲気(R501室)、2次系配管室、空気冷却系について測定が実施されている。これら実測値を表3-13から表3-20に示す。

##### 3.2.2 評価条件及びデータ

評価に際し設定した主要条件及びデータは次に示すとおりである。

##### (1) 原子炉運転履歴

評価の対象とした「常陽」MK-IIにおける定格第24サイクルから定格第29サイクルまでの原子炉運転履歴を表3-1に示す。

##### (2) トリチウム生成率

前記2.2～2.4に示したように次のとおりとする。

(a) 三体核分裂による生成  $9.80 \times 10^{-10}$  (g-atom/s)

(b) 制御棒からの放出 表2-2の値 ( $f=1.0$ の値)

(B<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外へのトリチウム放出率( $f$ )は、0.0, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0としてパラメータ解析を行う。表2-2の値は  $f=1.0$ の場合であるので  $f=0.1$ の場合は表2-2の値の1/10、 $f=0.2$ の場合は表2-2の値の1/5、 $f=0.5$ の場合は表2-2の値の1/2となる)

(c) ナトリウム中不純物の放射化反応による生成  $5.00 \times 10^{-12}$  (g-atom/s)



### (3) 1次系データ

#### ① 1次冷却系

1次冷却系、1次系コールドトラップ（以下C/Tと略す）及び中間熱交換器（以下IHXと略す）関連データを表3-2に示す。1次系C/Tの運転履歴は表3-3に示す<sup>2)</sup>とおりでであるが本解析では一律127℃とした。なお、1次冷却材中の初期水素濃度及びトリチウム濃度は定格第23サイクル運転終了後の実測値<sup>4)</sup>を用いた。また、1次C/T中の初期水素濃度及びトリチウム濃度は実測されていないため水素濃度は定格第23サイクル運転終了後の計算値<sup>1)</sup>を、トリチウム濃度は1次冷却材中の水素濃度及びトリチウム濃度の実測値の比とC/T中の同位体比とが等しくなるよう設定した。

#### ② 1次冷却系機器・配管

原子炉容器、1次冷却系機器・配管データを表3-4に示す。1次冷却系は図3-1に示すように主冷却系、ナトリウム純化系から成り、ナトリウム温度、機器・配管・肉厚条件及び隣接する部屋雰囲気に合わせて領域分割した。

#### ③ 1次アルゴンガス系

1次アルゴンガス系の主要データを表3-5に、また、系統の概略を図3-2に示す。

### (4) 2次系データ

#### ① 2次冷却系

2次冷却系、2次C/T、空気冷却器（以下DHXと略す）関連データを表3-6に示す。2次C/Tの運転履歴は表3-3に示す<sup>2)</sup>とおりでであるが本解析では一律135℃とした。なお、2次冷却材中の初期水素濃度及びトリチウム濃度は定格第23サイクル運転終了後の実測値<sup>4)</sup>を用いた。また、2次C/T中の初期水素濃度及びトリチウム濃度は実測されていないため水素濃度は定格第23サイクル運転終了後の計算値<sup>1)</sup>を、トリチウム濃度は2次冷却材中の水素濃度及びトリチウム濃度の実測値の比とC/T中の同位体比とが等しくなるよう設定した。

#### ② 2次系冷却機器・配管

2次冷却機器・配管データを表3-7に示す。ここで領域分割方法としては、1次系同様、ナトリウム温度、機器・配管肉厚条件及び隣接する部屋雰囲気に合わせて分割した。

#### ③ 2次アルゴンガス系

2次アルゴンガス系の主要データを表3-8に、また、系統の概略を図3-3に示す。

(5) 空気冷却系データ

空気冷却系主要データを表3-9に示す。なお、原子炉停止中の空気冷却系流量は多少の流れがあるものと考え、 $1\text{ m}^3/\text{s}$ と仮定した。

(6) 雰囲気部屋データ

部屋の空間体積、リーク率を表3-10に示す。

(7) 各部屋の換気運転履歴

表3-11に示す。

(8) 物性値及びモデルパラメータ

トリチウム挙動に係わる物性値及びモデルパラメータを表3-12に示す。

### 3.3 実測値との比較検討

(1) 最適ケースの検討

トリチウムの $B_4C$ ペレット放出率( $f$ )を0.0、0.1、0.2、0.5、1.0とした場合の1次冷却系のトリチウム濃度を図3-4に、1次冷却系の水素濃度を図3-5に、2次冷却系のトリチウム濃度を図3-6に、2次冷却系の水素濃度を図3-7に、1次アルゴンガス系のトリチウム濃度を図3-8に、1次アルゴンガス系の水素濃度を図3-9に、2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度を図3-10に、2次アルゴンガス系(D/T)の水素濃度を図3-11に示す。

前報<sup>1)</sup>にて述べたとおり定格16サイクル以降、1次冷却系のトリチウム濃度の実測値は低下している(定格15サイクル時に対して約 $1/50$ になっている)にもかかわらず1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の変化は小さい。また、2次冷却系及び2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度の計算値は実測値を良く再現している。このことより、今回の解析においては、1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のトリチウム濃度の計算値と実測値を比較することにより、トリチウムの $B_4C$ ペレット放出率( $f$ )を設定する。トリチウムの $B_4C$ ペレット放出率( $f$ )を変化させた場合の1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度の計算値を実測値と比較してそれぞれ表3-12 a、表3-12 b及び表3-12 cに示す。定格24サイクル~定格29サイクル全体をみた場合、1次アルゴンガス系の計算値と実測値の比(C/E)がファクター2程度以内で、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のC/Eが1に近いのは $f=0.2$ であるため、今回の解析においては $f=0.2$ を設定する。

(2) 定格24サイクル~定格29サイクルの解析

トリチウムの $B_4C$ ペレット放出率( $f$ )を0.2として場合の計算値を実測値と比較して表3-

13～表3-24に示す。また、系統別トリチウム及び水素濃度の時間変化を、図3-12、図3-13に、1次系トリチウム濃度の計算値と実測値を図3-14に、2次系トリチウム濃度の計算値と実値を図3-15に、1次系水素濃度の計算値と実測値を図3-16に、2次系水素濃度の計算値と実測値を図3-17に示す。

(a) 1次冷却系

トリチウム濃度の実測値は前に述べた通り定格16サイクル以降急激に低下しており（定格15サイクル時に対して約1/50）、その後安定している。この低下が”TTT-94”コードによる計算で再現できない。そのため実測値に対して計算値がかなり大きくなっている。（表3-13参照）

水素濃度は1次系コールドトラップ温度でのナトリウム中の水素飽和溶解度に保たれており、計算値はファクター2以内で実測値と一致する。

(b) 1次アルゴンガス系

1次冷却系トリチウム濃度の計算値が実測値に対してかなり大きくなるにもかかわらず1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の計算値はファクター3程度で実測値と一致する。また、1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の時間変化は、1次冷却系のトリチウム濃度の時間変化とほぼ同じ傾向にある。（図3-14参照）図3-4に示すように1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の時間変化を定格28サイクル（評価期間730～736.12日）と定格29サイクル（評価期間892～916.34日）と比較してみると定格29サイクルのほうが増加率が小さい。これは、本解析でモデル化したカバーガスのパージによるトリチウム濃度の変化の効果である。

水素濃度は、1次冷却系と同様にファクター2程度で実測値と一致する。

(c) 2次冷却系

1次冷却系トリチウム濃度の計算値が実測値に対してかなり大きくなるにもかかわらず2次冷却系のトリチウム濃度の計算値はファクター2以内で実測値と一致する。

水素濃度は1次系コールドトラップ温度でのナトリウム中の水素飽和溶解度に保たれており、計算値はファクター2以内で実測値と一致する。

(d) 2次アルゴンガス系

水素濃度は、2次冷却系と同様にファクター2程度で実測値と一致する。

(e) 雰囲気濃度

雰囲気ガス中のトリチウム濃度については、計算値と実測値の比（C/E）にバラツキがあ

り、雰囲気濃度測定値の場所依存性、雰囲気部屋のガス混合率、リーク率及び換気率等の詳細データの取り込みが必要である。

表3-1 「常陽」MK-II 原子炉運履歴

サイクル	運 転 モード	期 間	日 数 (日)	EFPD (日)	評価期間 (日)	備 考
24	運 転	H4 3月14日 ～ 5月5日	53	42.06	42.06 (42.06) *	
	停止	H4 5月6日 ～ 6月15日	41	0	51.94 (94)	(53-42.06) +41
24'	運 転	H4 6月16日 ～ 6月17日	2	0.18	0.18 (94.18)	
	停止	H4 6月18日 ～ 8月13日	57	0	58.82 (153)	(2-0.18) +57
25	運 転	H4 8月14日 ～ 10月22日	70	64.85	64.85 (217.85)	
	停止	H4 10月23日 ～ 11月24日	33	0	38.15 (256)	(70-64.85) +33
25'	運 転	H4 11月25日 ～ 11月29日	5	3.33	3.33 (259.33)	
	停止	H4 11月30日 ～ 12月20日	21	0	22.67 (282)	(5-3.33) +21
26	運 転	H4 12月21日 H5 2月2日	44	39.51	39.51 (321.51)	
	停止	H5 2月3日 ～ 2月19日	17	0	21.49 (343)	(44-39.51) +17
27	運 転	H5 2月20日 ～ 3月26日	35	30.09	30.09 (373.09)	
	停止	H5 3月27日 H6 3月13日	352	0	356.91 (730)	(35-30.09) +352
28	運 転	H6 3月14日 ～ 3月26日	13	6.12	6.12 (736.12)	
	停止	H6 3月27日 ～ 8月22日	149	0	155.88 (892)	(13-6.12) +149
29	運 転	H6 8月23日 ～ 9月20日	29	24.34	24.34 (916.34)	

\* ( ) 内は積算日数

表3-2 「常陽」1次冷却系データ

系統・機器	項 目	デ ー タ	備 考
1次冷却系	冷却材体積 (m <sup>3</sup> )	137.7	
	冷却材中初期水素濃度 (g·atom/m <sup>3</sup> )	0.17	0.20wtppm 4)
	冷却材中初期トリチウム 濃度(g·atom/m <sup>3</sup> )	$5.8 \times 10^{-7}$	0.0168Ci/m <sup>3</sup> 1)
コールド トラップ	初期水素量(g·atom)	100	1)
	初期トリチウム量(g·atom)	$3.4 \times 10^{-4}$	$100 \times (5.8 \times 10^{-7} / 0.17)$
	流量(m <sup>3</sup> /s)	$2.5 \times 10^{-3}$	9 m <sup>3</sup> /h
	Na温度(°C)	表3-3参照	
中間熱交換 器(IHX)	材 質	SUS304	
	伝熱面積(m <sup>2</sup> )	A : 354 B : 356	
	伝熱管肉厚(m)	A : $1.1 \times 10^{-3}$ B : $1.2 \times 10^{-3}$	
	1次Na入口温度(°C)	運転 : 500 停止 : 250	
	1次Na出口温度(°C)	運転 : 370 停止 : 250	
	2次Na入口温度(°C)	運転 : 340 停止 : 250	
	2次Na出口温度(°C)	運転 : 470 停止 : 250	

表 3-3 「常陽」におけるコールドトラップ運転履歴

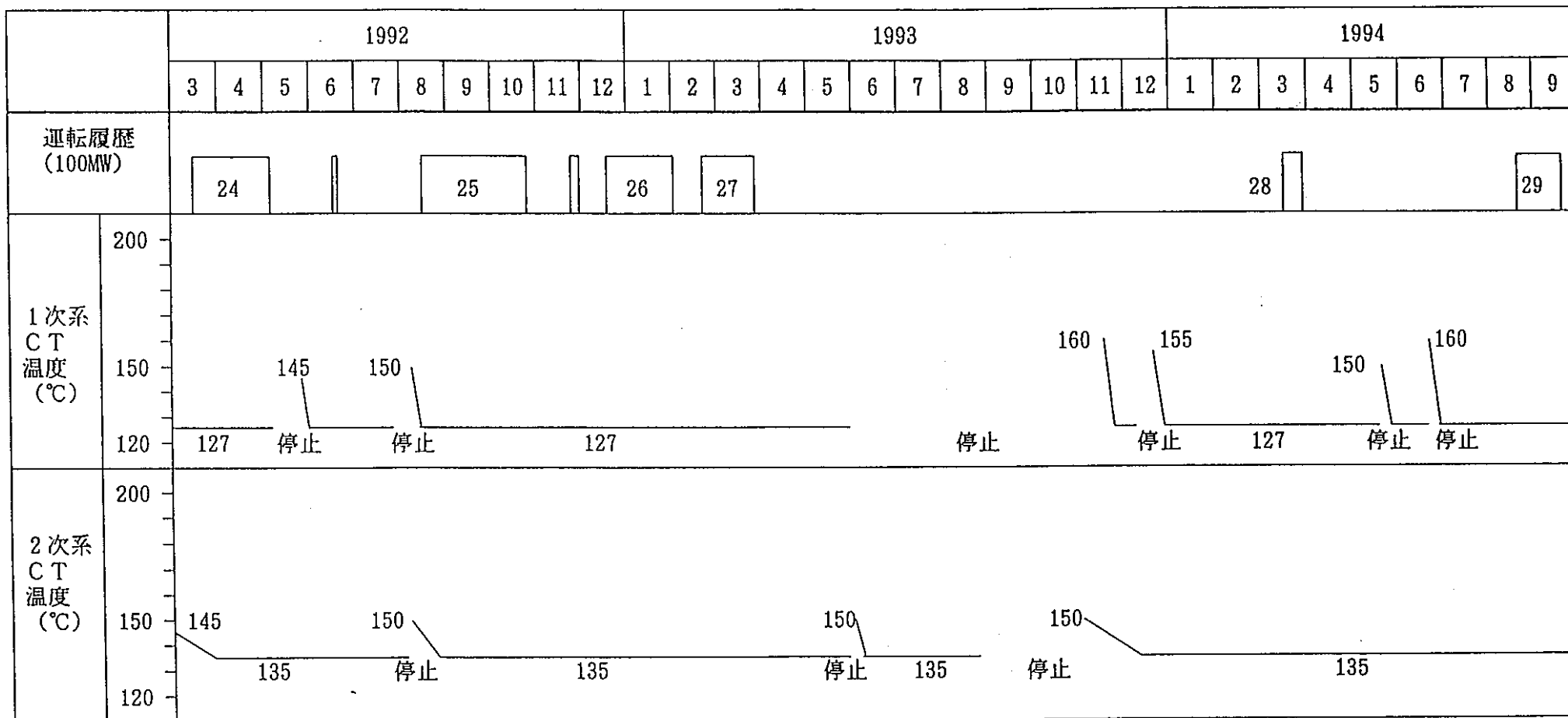


表3-4 「常陽」1次冷却系の機器・配管からのトリチウム放出量評価領域(1/2)

No.	領 域	材 質	表面積 (m <sup>2</sup> )	肉 厚 (mm)	温 度 (°C)		券囲気 部屋番号*	備 考
					炉運転中	炉停止中		
1	R/V (下部)	SUS304	21	25	370	245	4	
2	R/V (中間部)	SUS304	31	25	435	246	4	
3	R/V (上部)	SUS304	38	25	500	247	4	
4	R/V~IHX(1/3)	SUS304	80.6	9.5	500	247	2	炉容器ピット壁~IHX
5	IHX (A)	SUS304	26	16	435	246	2	
6	IHX (B)	SUS304	28	18	435	246	2	
7	IHX~循環ポンプ	SUS304	60.5	7.9	370	245	2	
8	循環ポンプ	SUS304	15.2	20	370	245	2	
9	オーバーフローカラム	SUS304	12.8	9.0	370	245	2	機器と配管を分離。(配管はNo.24)
10	循環ポンプ~R/V (1/3)	SUS304	39.6	6.5	370	245	2	循環ポンプ~炉容器ピット壁
11	R/V~ オーバーフ ロータンク	SUS304	12.6	4.0	500	247	2	
12	オーバーフロータンク	SUS304	35	14.0	440	234	2	
13	オーバーフ ロータンク ~R/V	SUS304	10.3	3.5	440	234	2	
14	オーバーフ エコノマ ロータンク ~イザー	SUS304	88.6	3.5	440	234	2	
15	エコノマイザー	SUS304	9.36	3.5	160	144	2	
16	エコノマ コールド イザー ~ トラップ	SUS304	3.23	3.5	170	144	2	

\* : 表4-10に示す券囲気部屋番号。



表3-4「常陽」1次冷却系の機器・配管からのトリチウム放出量評価領域(2/2)

No.	領域	材質	表面積 (m <sup>2</sup> )	肉厚 (mm)	温度(°C)		雰囲気 部屋番号*	備考
					炉運転中	炉停止中		
17	コールドトラップ	SUS304	11.3	10.0	120	119	2	上下ナトリウム側平板間
18	コールドエコノマ トラップ~イザ	SUS304	3.26	3.5	135	130	2	
19	エコノマオーバーフ イザ~ロータンク	SUS304	4.40	3.5	440	234	2	
20	R/V~補助中間 熱交換器	SUS304	5.17	4.0	418	250	2	
21	補助中間交換器	SUS304	5.6	6.0	432	247	2	
22	補助中間 ~R/V 熱交換器	SUS304	10.1	4.0	445	243	2	
23	サイフォンブレイク 配管	SUS304	2.6	2.9	370	245	2	
24	オーバーフローカラム 配管	SUS304	7.48	6.5	370	245	2	
25	R/V~IH X (2/3)	SUS304	4.31	9.5	500	247	4	炉容器~安全容器
26	R/V~IH X (3/3)	SUS304	2.02	9.5	500	247	3	安全容器~炉容器ピット壁
27	循環ポンプ~R/V(2/3)	SUS304	13.9	6.5	370	245	4	安全容器~炉容器
28	循環ポンプ~R/V(3/3)	SUS304	1.27	6.5	370	245	3	炉容器ピット壁~安全容器

\* : 表4-10に示す雰囲気部屋番号。

表 3-5 「常陽」 1次アルゴンガス系データ

系統・機器	項 目		データ	備 考
1次アルゴン ガス系	カバーガス 流量 (m <sup>3</sup> /s)	炉上部 (FFDライン)	7.0×10 <sup>-6</sup>	420ml/min
	液面温度 (°C)	炉上部	運転中 500 停止中 250	28)
	供給ガス中不 純物水素濃度 (g·atom/m <sup>3</sup> )	炉上部	運転中 9.90×10 <sup>-6</sup> 停止中 1.40×10 <sup>-5</sup>	9)
	液面表面積 (m <sup>2</sup> )	炉上部	1 0	
	圧 力 (Torr)	炉上部	運転中 775 停止中 775	28)

表3-6 「常陽」2次冷却系データ

系統・機器	項目	データ	備考
2次冷却系	冷却材体積 (m <sup>3</sup> )	77.6	
	冷却材中初期水素濃度 (g·atom/m <sup>3</sup> )	0.14	0.0.16wtppm 4)
	冷却材中初期トリチウム 濃度 (g·atom/m <sup>3</sup> )	$1.2 \times 10^{-6}$	1500Bq/g 4)
コールド トラップ	初期水素量(g·atom)	120	1)
	初期トリチウム量 (g·atom)	$1.0 \times 10^{-3}$	$120 \times (1.2 \times 10^{-6} / 0.14)$
	流量(m <sup>3</sup> /S)	$1.11 \times 10^{-3}$	4 m <sup>3</sup> /h
	Na温度 (°C)	表3-3参照	
空気冷却器 (DHX)	材質	$\frac{1}{2}Cr-1Mo$ 4	
	伝熱面積 (m <sup>2</sup> )	1225 × 2基	
	伝熱管肉厚 (m)	$2.0 \times 10^{-3}$	
	2次Na入口温度 (°C)	運転 470 停止 250	} 運転中200°C 停止中114°C
	2次Na出口温度 (°C)	運転 340 停止 250	
	空気冷却系入口温度 (°C)	運転 } 30 停止 }	(対数平均)
	空気冷却系出口温度 (°C)	運転 190 停止 80	

表3-7 2次冷却系の機器・配管からのトリチウム放出量評価領域

No.	領 域	材 質	表面積 (㎡)	肉 厚 (mm)	温 度 (°C)		雰囲気 部屋番号*	備 考
					炉運転中	炉停止中		
1	IHX～主冷却器 (ホット配管) (1/2)	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	279	10.3	470	245	—	
2	主冷却器～循環ポンプ	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	121	10.3	340	245	—	
3	循環ポンプ	SUS304	9.5	6.0	340	245	—	
4	循環ポンプ～IHX (ゴールド配管) (1/2)	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	188	10.3	340	245	—	
5	循環オーバーフロー ポンプ～タンク	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	12	7.11	340	245	—	
6	オーバーフロータンク	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	20	9.0	340	245	—	液面までの高さ1m。
7	オーバーフロータンク～タンク	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	5.7	3.91	340	245	—	
8	ダンプタンク	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	26.6	14.0	340	233	—	液面までの高さ0.8m。
9	ダンプ～コールド タンク～トラップ	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	1.9	3.68	340	233	—	
10	コールドトラップ	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	9.34	8.0	120	165	—	上下ナトリウム側平板間
11	コールド～循環 トラップ～ポンプ	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	4.4	3.38	340	245	—	
12	オーバーフロー～主循環ポ ンプ吸込口	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	4.2	5.49	340	245	—	
13	IHX～主冷却器 (ホット配管) (2/2)	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	9.35	10.3	470	245	5	配管長さ10m Aループのみ
14	循環ポンプ～IHX (コールド配管) (2/2)	2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	9.35	10.3	340	245	5	配管長さ10m Aループのみ

\*：表3-10に示す雰囲気部屋番号。

表3-8 「常陽」2次アルゴンガス系データ

系統・機器	項目	データ	備考
2次アルゴ	ガバ-ガス流量 (m <sup>3</sup> /s)	O/F/T 1.0×10 <sup>-4</sup>	6.15 ℓ/min
		D/T 1.0×10 <sup>-4</sup>	6.15 ℓ/min
ンガス系	液面温度 (°C)	O/F/T 運転中 335°C 停止中 250°C	28)
		D/T 運転中 350°C 停止中 235°C	28)
	供給ガス中不純物水素濃度 (g·atom/m <sup>3</sup> )	O/F/T 運転中 1.17×10 <sup>-5</sup> 停止中 1.40×10 <sup>-6</sup>	0.3vol·ppm
		D/T 運転中 1.17×10 <sup>-5</sup> 停止中 1.40×10 <sup>-6</sup>	0.3vol·ppm
	液面表面積 (m <sup>2</sup> )	O/F/T 9.2 D/T 30	r
	圧力 (Torr)	O/F/T 運転中 940 停止中 940	28)
		D/T 運転中 940 停止中 940	28)

表3-9 空気冷却系データ

系統・機器	項目	データ	備考
空気冷却系	流量 (m <sup>3</sup> /s)	運転 123 停止 1	7380N <sup>3</sup> /min×195mmHg

表3-10 雰囲気部屋データ

番号	部屋の名称	空間体積 (m <sup>3</sup> )	リーク率 (1/s)
1	床上雰囲気	13,30	0
2	床下雰囲気	5,000	2.68×10 <sup>-6</sup> *
3	シャコン系	244	0
4	安全容器	19	0
5	2次系配管室	290	0

\* : 床上へリーク, 34760m<sup>3</sup>/月 (S63.8のN<sub>2</sub>受入量)

表3-11 「常陽」における各部屋の換気運転履歴

		1992												1993												1994																																																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																												
運転履歴 (100MW)		24												25												26												27												28									29																	
床 上	スタッ	0												15900m <sup>3</sup> /h												68400m <sup>3</sup> /h												68400m <sup>3</sup> /h																																						
	床下	15900m <sup>3</sup> /h												0												68400m <sup>3</sup> /h												0																																						
遮コン	床下	24m <sup>3</sup> /h												7m <sup>3</sup> /h												15m <sup>3</sup> /h												27m <sup>3</sup> /h																																						
	スタッ	0.135m <sup>3</sup> /h																																																																										
床 下	スタッ	15900m <sup>3</sup> /h												2200m <sup>3</sup> /h												15900m <sup>3</sup> /h												0												2200m <sup>3</sup> /h									15900m <sup>3</sup> /h									2200m <sup>3</sup> /h								
	床上	0												68400m <sup>3</sup> /h												68400m <sup>3</sup> /h												68400m <sup>3</sup> /h																																						
2次系配管室	大気																																																	2880m <sup>3</sup> /h																										

表3-12 トリチウム挙動に係わる物性値及びモデルパラメータ (1/3)

\* TTT92に使用

名称	物質系	適用領域	評価式	引用文献	備考
Na 中 溶 解 度	Na/NaI	Na	$* \log S_H(\text{wppm}) = 6.067 - \frac{2880}{T^\circ \text{K}}$ $\log S_H(\text{wppm}) = 6.175 - \frac{2893}{T^\circ \text{K}}$ $\log S_H(\text{wppm}) = 4.825 - \frac{2398}{T^\circ \text{K}}$ $S_H(\text{atoms/kg}) = \exp\left(-\frac{6550}{T^\circ \text{K}} + 61.52\right)$	D.R.Vissers 5) 武田 6) T.Funada 7), 8) R.Kumar 9)	TTT88 & 92に使用。S <sub>T</sub> = S <sub>H</sub> と仮定。 ANL トリチウム挙動解析モデルに使用。S <sub>T</sub> = S <sub>H</sub> と仮定。
シ ー ベ ル ツ 定 数	Na/NaI	Na	$* \log K_H(\text{wppm Torr}^{-1/2}) = 0.860 - \frac{122.0}{T^\circ \text{K}}$ $\log K_H(\text{wppm Torr}^{-1/2}) = \left(0.50 + \frac{80.5}{T^\circ \text{K}}\right) + \left(6.5 \times 10^{-4} + \frac{1.0}{T^\circ \text{K}}\right) C_{\text{Ox}}$ 但し、C <sub>Ox</sub> は酸素濃度 (wppm O <sub>x</sub> ) $\log K_H(\text{wppm Torr}^{-1/2}) = 0.171 + \frac{198.1}{T^\circ \text{K}}$ $K_H = 5 \text{ wppm Torr}^{-1/2} = 0.83 \times 10^{23} (\text{atoms/kg}) / (\text{atm}^{1/2})$ $K_H = 4.6 \text{ wppm Torr}^{-1/2}$	D.R Vissers 10) 武田 T.Funada R.Kumar H.U.Borgstedt 11)	TTT88及び92 (但しK <sub>H</sub> =K <sub>T</sub> を仮定) 使用。 弱い酸素濃度依存性を主張。 ANLトリチウム挙動解析モデルに使用。K <sub>H</sub> =K <sub>T</sub> と仮定。
平 衡 定 数	$\text{H}_2 + \text{T}_2 = \text{HT}$ $\text{HT} + \text{H}_2\text{O} = \text{HTO} + \text{H}_2$	ガス-ガス SG	$* K_{P1} = \frac{P_{\text{HT}}^2}{P_{\text{H}_2} P_{\text{T}_2}} = \exp\left(1.46966 - \frac{133}{T^\circ \text{K}}\right)$ $* K_{P2} = \frac{P_{\text{H}_2, \text{SG}} \chi_{\text{HTO}, \text{SG}}}{P_{\text{HT}, \text{SG}}}$ 但し、χ <sub>HTO, SG</sub> は水・蒸気系におけるHTOのモル分率	R.Kumar TTT92で導入	ANL トリチウム挙動解析モデルに使用。TTT92で使用。 TTT92では形式のみ与えておき $\exp\left(A - \frac{B}{T}\right)$ 今回はK <sub>P2</sub> =0(χ <sub>HTO, SG</sub> =0)として実計算に備える(最大側の推定)。

表3-12 トリチウム挙動に係わる物性値及びモデルパラメータ (2/3)

\* TTT92に使用

名称	物質系	適用領域	評 価 式	引 用 文 献	備 考
透過係数	II / SUS304	管壁	* $\alpha_{II} = 2.65 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{8189}{T^\circ K}\right) \frac{(Ncc)(cm)}{(sec)(cm^2)(atm^{1/2})}$	R.Webb 12)	ANLトリチウム挙動解析モデル及びTTT88、TTT92 (但し $\alpha_T = \alpha_{II} / \sqrt{3}$ とする)で使用。 TTT92 (但し $\alpha_T = \alpha_{II} / \sqrt{3}$ とする)で使用。 実証炉SG用伝熱管参考用。 フェライト網ではCr濃度と共に減少。 ANLトリチウム挙動解析モデルに使用。 測定範囲450-750°C。TTTに使用している $\alpha_T$ の検証。
	II / 21/4 Cr (Fe-2.51%Cr)	管壁	* $\alpha_{II} = 4.74 \times 10^{-3} \exp\left(-\frac{5140}{T^\circ K}\right) \frac{(Ncc)(cm)}{(sec)(cm^2)(atm^{1/2})}$	P.L.Chang 16)	
	II / 9Cr-1Mo (Fe-4.25%Cr)	管壁	$\alpha_{II} = 6.29 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{5150}{T^\circ K}\right) \frac{(Ncc)(cm)}{(sec)(cm^2)(atm^{1/2})}$	P.L.Chang	
	T / SUS304	同上	$\alpha_T = 6.08 \times 10^{-2} \exp\left(-\frac{7773}{T^\circ K}\right) \frac{(cc)(cm)}{(sec)(cm^2)(atm^{1/2})}$	R.Kumar	
	T / SUS304L	同上	$\alpha_T = 3.84 \times 10^{-7} \exp\left(-\frac{17500}{R T^\circ K}\right) \frac{(mol[T_2])(m)}{(sec)(m^2)(Pa^{1/2})}$	M.Matsuyama 13)	
			但し、 $R=1.9862 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$		
CT捕獲効率	II or T / NaII or NaT	Na	* $\epsilon_{II} = 1$ (水素及びトリチウム共沈捕獲) * $\epsilon_T = 0.3$ (トリチウム同位体交換捕獲)  これ等は炉外試験 (ANL:AMPS) とEBR-IIの測定データより求められた値で、冷却材のコールドラップ内滞在時間に依存する (ここに示した値は600 sec の場合のものである)。	C.C.McPheeters 14)	ANL トリチウム挙動解析モデルに使用されていると推定される。TTT92ではパラメータとして扱う ( $\epsilon_T$ ) が、暫定値としてこの値を使用する。TTT92を用いた「常陽」Na冷却材データ (II or T)のCT温度依存性、II/T相関
カバーガス系移行率	II <sup>2</sup> or HT, T <sup>2</sup> /Na	カバーガス	飽和溶液からの移行フラックス * $v_d (\text{mm}^3 [\text{STP}] \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-2}) = \exp\left(15.71 - \frac{12630}{T^\circ K}\right)$ (ガスバージ法による)  $v_d = \exp\left(13.13 - \frac{6935}{T^\circ K}\right) (\text{mm}^3 [\text{STP}] \text{ s}^{-1} \text{ mm}^{-2})$	J.R.Gwyther 15)	等) 解析により最終決定する。 CT再生手法開発に関連して実施された、Na/NaII飽和溶液 (290-360°C) からの水素放出実験結果による。原子炉容器内Naに適用する場合この結果は最大側の推定となる。



表3-12 トリチウム挙動に係わる物性値及びモデルパラメータ (3/3)

\* TTT92に使用

名称	物質系	適用領域	評 価 式	引 用 文 献	備 考
水			カバーガス系移行率 (排気法) $* \alpha_H (\text{cm/s}) = \frac{v_d}{\frac{S_H}{K_H} \frac{N_A}{RT}}$ (解離・移行) 但し、単位系は [cm f or atom, sec, °K, Torr] とし、 気体定数 $R = 6.24 \times 10^4 (\text{Torr cc}) / (^\circ\text{K mol})$ である。 $* \alpha_T = \alpha_H$ とする。	TTT92で見直し	TTT92では移行率 ( $\alpha$ , $J_b$ ) をパラメータとして扱い、定常解離移行に対してはこの計算式を用いて得られるものを暫定値とし、解析コードを用いて「常陽」データの解析により最終決定する。「常陽」の場合、500℃で $\alpha_H \leq 2.77(-4)(*)$ となる。
			$* J_{b,N}^{H \text{ or } T} (\text{atom cm}^{-2} \text{s}^{-1})$ (機械的移行) 「常陽」データとの適合による決定する。	TTT92で導入	
蒸気系水素分圧	H <sub>2</sub> or HT / H <sub>2</sub> O or HTO	SG	$* P_{H_2, SG}^{1/2} (\text{Torr}^{-1/2}) = J_{H, SG} \frac{w}{x_{H, M}}$ 但し、SG伝熱管水素透過フラックス $J_{H, SG} (\text{atom cm}^{-2} \text{s}^{-1})$ には50MWSGモックアップ実験値 (TTT88) を使用。w (cm) は伝熱管厚み、 $x_{H, M} (\text{atom cm}^{-2} \text{Torr}^{-1/2})$ は2 1/4 Cr-1Mo鋼中の水素透過係数。	TTT92で見直し	
保排温散材係数 の	HTO / 保温材	保温材	原子炉運転中 $2.2 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 停止中 $3.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$	TTT92で導入	「常陽」配管透過試験結果評価による。TTT92に使用。

表3-12a 1次アルゴンガス系のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較

( ) 内の数値は計算値/実測値

サイト クル	運転モード	評価期間 (日)	トリチウム濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )					
			実測値	f=0.0	f=0.1	f=0.2	f=0.5	f=1.0
24	運転	42.06	—	3.11E-4 (—)	3.99E-4 (—)	4.45E-4 (—)	5.83E-4 (—)	8.12E-4 (—)
	停止	94.0	—	2.78E-4 (—)	3.40E-4 (—)	3.54E-4 (—)	4.68E-4 (—)	6.58E-4 (—)
24'	運転	94.18	—	2.15E-4 (—)	2.60E-4 (—)	3.04E-4 (—)	4.39E-4 (—)	6.63E-4 (—)
	停止	153.0	3.76E-4	2.44E-4 (0.65)	2.78E-4 (0.74)	3.13E-4 (0.83)	4.17E-4 (1.11)	5.89E-4 (1.57)
25	運転	217.85	1.87E-4	5.05E-4 (2.70)	6.30E-4 (3.37)	7.56E-4 (4.04)	1.13E-3 (6.04)	1.76E-3 (9.41)
	停止	256.0	6.61E-4	4.88E-4 (0.74)	6.04E-4 (0.91)	7.19E-4 (1.09)	1.07E-3 (1.62)	1.65E-3 (2.50)
25'	運転	259.33	—	4.54E-4 (—)	5.59E-4 (—)	6.64E-4 (—)	9.79E-4 (—)	1.29E-3 (—)
	停止	282.0	1.80E-3	4.79E-4 (0.27)	5.93E-4 (0.33)	7.06E-4 (0.39)	1.05E-3 (0.58)	1.59E-3 (0.88)
26	運転	321.51	2.91E-4	5.68E-4 (1.95)	7.07E-4 (2.43)	8.46E-4 (2.91)	1.26E-3 (4.33)	1.94E-3 (6.67)
	停止	343.0	7.96E-4	5.89E-4 (0.74)	7.36E-4 (0.92)	8.84E-4 (1.11)	1.33E-3 (1.67)	2.04E-3 (2.56)
27	運転	373.09	2.91E-4	6.18E-4 (2.10)	7.57E-4 (2.60)	8.97E-4 (3.08)	1.32E-3 (4.54)	2.00E-3 (6.87)
	停止	730.0	3.15E-4~6.76E-4	4.21E-4 (1.34)	5.19E-4 (1.65)	6.18E-4 (1.96)	9.14E-4 (2.90)	1.39E-3 (4.41)
28	運転	736.12	2.18E-4	4.38E-4 (2.01)	5.60E-4 (2.57)	6.81E-4 (3.12)	1.05E-3 (4.82)	1.64E-3 (7.52)
	停止	892.0	—	3.67E-4 (—)	4.55E-4 (—)	5.42E-4 (—)	8.07E-4 (—)	1.23E-3 (—)
29	運転	916.34	3.54E-4	4.28E-4 (1.21)	4.95E-4 (1.40)	5.63E-4 (2.16)	7.66E-4 (2.16)	1.09E-3 (3.08)
			平均値	(1.37)	(1.69)	(2.07)	(2.98)	(4.55)

f : トリチウムのB<sub>4</sub>Cペレットからの放出率

表3-1 2 b 2次冷却系のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較

( ) 内の数値は計算値/実測値

サイクル	運転モード	評価期間 (日)	トリチウム濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )					
			実測値	f=0.0	f=0.1	f=0.2	f=0.5	f=1.0
24	運転	42.06	2.30E-2	2.38E-2 (1.03)	2.58E-2 (1.12)	2.62E-2 (1.14)	2.72E-2 (1.18)	2.88E-2 (1.25)
	停止	94.0	—	2.37E-2 (—)	2.38E-2 (—)	2.40E-2 (—)	2.44E-2 (—)	2.51E-2 (—)
24'	運転	94.18	—	2.37E-2 (—)	2.38E-2 (—)	2.40E-2 (—)	2.45E-2 (—)	2.52E-2 (—)
	停止	153.0	2.99E-2	2.36E-2 (0.79)	2.37E-2 (0.79)	2.39E-2 (0.80)	2.43E-2 (0.81)	2.50E-2 (0.84)
25	運転	217.85	3.91E-2	2.92E-2 (0.75)	3.05E-2 (0.78)	3.19E-2 (0.82)	3.59E-2 (0.92)	4.26E-2 (1.09)
	停止	256.0	4.59E-2	2.67E-2 (0.58)	2.76E-2 (0.60)	2.84E-2 (0.62)	3.09E-2 (0.67)	3.50E-2 (0.76)
25'	運転	259.33	—	2.81E-2 (—)	2.93E-2 (—)	3.04E-2 (—)	3.38E-2 (—)	3.90E-2 (—)
	停止	282.0	5.28E-2	2.69E-2 (0.51)	2.78E-2 (0.53)	2.86E-2 (0.54)	3.12E-2 (0.59)	3.55E-2 (0.67)
26	運転	321.51	4.36E-2	3.23E-2 (0.74)	3.44E-2 (0.79)	3.65E-2 (0.84)	4.28E-2 (0.98)	5.30E-2 (1.22)
	停止	343.0	5.02E-2	2.96E-2 (0.59)	3.12E-2 (0.62)	3.27E-2 (0.65)	3.73E-2 (0.74)	4.47E-2 (0.89)
27	運転	373.09	4.14E-2	3.50E-2 (0.85)	3.76E-2 (0.91)	4.03E-2 (0.97)	4.81E-2 (1.16)	6.09E-2 (1.47)
	停止	730.0	3.22E-2~2.07E-1	3.17E-2 (0.98)	3.38E-2 (1.05)	3.59E-2 (1.11)	4.21E-2 (1.25)	5.23E-2 (1.62)
28	運転	736.12	—	3.38E-2 (—)	3.64E-2 (—)	3.90E-2 (—)	4.68E-2 (—)	5.94E-2 (—)
	停止	892.0	2.53E-2	3.20E-2 (1.26)	3.42E-2 (1.35)	3.64E-2 (1.44)	4.30E-2 (1.70)	5.37E-2 (2.12)
29	運転	916.34	2.76E-2	3.60E-2 (1.30)	3.88E-2 (1.41)	4.15E-2 (1.50)	4.99E-2 (1.81)	6.34E-2 (2.30)
			平均値	(0.85)	(0.90)	(0.95)	(1.1)	(1.3)

f : トリチウムのB4Cペレットからの放出率

表3-12c 2次アルゴンガス系 (D/T) のトリチウム濃度の実測値と計算値の比較

( ) 内の数値は計算値/実測値

サイクル	運転モード	評価期間 (日)	トリチウム濃度 (Ci/m <sup>3</sup> )					
			実測値	f=0.0	f=0.1	f=0.2	f=0.5	f=1.0
24	運転	42.06	2.39E-5	1.09E-5 (0.46)	1.10E-5 (0.46)	1.11E-5 (0.46)	1.16E-5 (0.49)	1.23E-5 (0.51)
	停止	94.0	—	1.36E-5 (—)	1.37E-5 (—)	1.38E-5 (—)	1.40E-5 (—)	1.44E-5 (—)
24'	運転	94.18	—	1.10E-5 (—)	1.11E-5 (—)	1.11E-5 (—)	1.14E-5 (—)	1.17E-5 (—)
	停止	153.0	3.86E-5	1.35E-5 (0.35)	1.36E-5 (0.35)	1.37E-5 (0.35)	1.40E-5 (0.36)	1.44E-5 (0.37)
25	運転	217.85	2.23E-5	1.24E-5 (0.56)	1.30E-5 (0.58)	1.36E-5 (0.61)	1.53E-5 (0.69)	1.81E-5 (0.81)
	停止	256.0	5.02E-5	1.53E-5 (0.30)	1.58E-5 (0.31)	1.63E-5 (0.32)	1.77E-5 (0.35)	2.01E-5 (0.40)
25'	運転	259.33	—	1.20E-5 (—)	1.25E-5 (—)	1.29E-5 (—)	1.44E-5 (—)	1.66E-5 (—)
	停止	282.0	2.70E-5	1.54E-5 (0.57)	1.59E-5 (0.59)	1.64E-5 (0.61)	1.79E-5 (0.66)	2.04E-5 (0.76)
26	運転	321.51	1.08E-5	1.37E-5 (1.27)	1.46E-5 (1.35)	1.55E-5 (1.44)	1.82E-5 (1.69)	2.26E-5 (2.09)
	停止	343.0	6.37E-6	1.70E-5 (2.67)	1.79E-5 (2.81)	1.87E-5 (2.94)	2.13E-5 (3.34)	2.56E-5 (4.02)
27	運転	373.09	1.51E-5	1.49E-5 (0.99)	1.61E-5 (1.07)	1.72E-5 (1.14)	2.05E-5 (1.36)	2.60E-5 (1.72)
	停止	730.0	1.08E-5~3.28E-4	1.81E-5 (1.68)	1.93E-5 (1.79)	2.05E-5 (1.90)	2.41E-5 (2.23)	2.99E-5 (2.77)
28	運転	736.12	—	1.45E-5 (—)	1.56E-5 (—)	1.67E-5 (3.12)	2.00E-5 (—)	2.54E-5 (—)
	停止	892.0	6.18E-5	1.83E-5 (0.30)	1.95E-5 (0.32)	2.08E-5 (0.34)	2.45E-5 (0.40)	3.06E-5 (0.50)
29	運転	916.34	—	1.53E-5 (—)	1.65E-5 (—)	1.77E-5 (—)	2.12E-5 (—)	2.70E-5 (—)
			平均値	(0.92)	(0.96)	(1.01)	(1.16)	(1.40)

f : トリチウムのB<sub>4</sub>Cペレットからの放出率

表3-13 「常陽」における1次冷却系のトリチウム濃度評価結果

サイクル	運転モード	トリチウム (Ci/m3)		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	3.22E-3	1.07E-1	33.27
	停止	4.14E-3	5.99E-2	14.49
24'	運転	-	7.11E-2	-
	停止	-	5.29E-2	-
25	運転	-	1.82E-1	-
	停止	-	1.22E-1	-
25'	運転	-	1.60E-1	-
	停止	-	1.19E-1	-
26	運転	9.88E-4	2.04E-1	206.48
	停止	-	1.50E-1	-
27	運転	6.89E-2	2.16E-1	3.13
	停止	8.73E-3 ~ 2.76E-2	1.05E-1	12.03 ~ 3.81
28	運転	1.17E-3	1.64E-1	140.17
	停止	3.22E-3	9.24E-2	28.73
29	運転	-	1.38E-1	-

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-14 「常陽」における1次冷却系の水素濃度評価結果

サイクル	運転モード	水素 (g/m3)		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	1.19E-1	6.89E-2	0.58
	停止	1.02E-1	6.92E-2	0.68
24'	運転	-	6.92E-2	-
	停止	-	6.92E-2	-
25	運転	-	6.89E-2	-
	停止	-	6.92E-2	-
25'	運転	-	6.89E-2	-
	停止	-	6.92E-2	-
26	運転	9.35E-2	6.89E-2	0.74
	停止	-	6.92E-2	-
27	運転	1.19E-1	6.89E-2	0.58
	停止	1.19E-1 ~ 1.36E-1	6.92E-2	0.58 ~ 0.51
28	運転	1.19E-1	6.89E-2	0.58
	停止	1.53E-1	6.92E-2	0.45
29	運転	-	6.89E-2	-

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-15 「常陽」における2次冷却系のトリチウム濃度評価結果

サイクル	運転モード	トリチウム (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	2.30E-2	2.62E-2	1.14
	停止	-	2.40E-2	-
24'	運転	-	2.40E-2	-
	停止	2.99E-2	2.39E-2	0.80
25	運転	3.91E-2	3.19E-2	0.82
	停止	4.59E-2	2.84E-2	0.62
25'	運転	-	3.04E-2	-
	停止	5.28E-2	2.86E-2	0.54
26	運転	4.36E-2	3.65E-2	0.84
	停止	5.05E-2	3.27E-2	0.65
27	運転	4.14E-2	4.03E-2	0.97
	停止	3.22E-2 ~ 2.07E-1	3.59E-2	1.12 ~ 0.17
28	運転	-	3.90E-2	-
	停止	2.53E-2	3.64E-2	1.44
29	運転	2.76E-2	4.15E-2	1.51

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-16 「常陽」における2次冷却系の水素濃度評価結果

サイクル	運転モード	水素 (g/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	1.11E-1	9.12E-2	0.83
	停止	-	9.32E-2	-
24'	運転	-	9.29E-2	-
	停止	1.36E-1	9.32E-2	0.69
25	運転	1.19E-1	9.12E-2	0.77
	停止	1.19E-1	9.32E-2	0.78
25'	運転	-	9.13E-2	-
	停止	9.35E-2	9.32E-2	1.00
26	運転	1.11E-1	9.12E-2	0.83
	停止	1.19E-1	9.32E-2	0.78
27	運転	9.35E-2	9.12E-2	0.98
	停止	1.02E-1 ~ 2.13E-1	9.32E-2	0.91 ~ 0.44
28	運転	-	9.12E-2	-
	停止	-	9.32E-2	-
29	運転	1.28E-1	9.12E-2	0.72

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-17 「常陽」における1次アルゴンガス系のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	トリチウム (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	-	4.45E-4	-
	停止	-	3.54E-4	-
24'	運転	-	3.04E-4	-
	停止	3.76E-4	3.13E-4	0.83
25	運転	1.87E-4	7.56E-4	4.04
	停止	6.61E-4	7.19E-4	1.09
25'	運転	-	6.64E-4	-
	停止	1.80E-3	7.06E-4	-
26	運転	2.91E-4	8.46E-4	2.91
	停止	7.96E-4	8.84E-4	1.11
27	運転	2.91E-4	8.97E-4	3.08
	停止	3.15E-4 ~ 6.76E-4	6.18E-4	1.96 ~ 0.91
28	運転	2.18E-4	6.81E-4	3.12
	停止	-	5.42E-4	-
29	運転	3.54E-4	5.63E-4	1.59

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-18 「常陽」における1次アルゴンガス系の水素濃度評価結果

サイ クル	運転モード	水素 (g/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	-	5.51E-4	-
	停止	-	7.83E-4	-
24'	運転	-	5.67E-4	-
	停止	1.63E-3	7.82E-4	0.48
25	運転	-	5.52E-4	-
	停止	1.11E-3	7.82E-4	0.71
25'	運転	-	5.51E-4	-
	停止	2.09E-3	7.79E-4	0.37
26	運転	-	5.51E-4	-
	停止	2.41E-3	7.75E-4	0.32
27	運転	7.72E-4	5.57E-4	0.72
	停止	1.03E-3 ~ 1.03E-3	7.68E-4	0.75 ~ 0.75
28	運転	1.02E-3	5.60E-4	0.55
	停止	-	7.63E-4	-
29	運転	-	5.46E-4	-

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-19 「常陽」における2次アルゴンガス系(D/T)のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	トリチウム (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	2.39E-5	1.11E-5	0.46
	停止	-	1.38E-5	-
24'	運転	-	1.11E-5	-
	停止	3.86E-5	1.37E-5	0.35
25	運転	2.23E-5	1.36E-5	0.61
	停止	5.02E-5	1.63E-5	0.32
25'	運転	-	1.29E-5	-
	停止	2.70E-5	1.64E-5	0.61
26	運転	1.08E-5	1.55E-5	1.44
	停止	6.37E-6	1.87E-5	2.94
27	運転	1.51E-5	1.72E-5	1.14
	停止	1.08E-5 ~ 3.28E-4	2.05E-5	1.90 ~ 0.06
28	運転	-	1.67E-5	-
	停止	6.18E-5	2.08E-5	-
29	運転	-	1.77E-5	-

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-20 「常陽」における2次アルゴンガス系(D/T)の水素濃度評価結果

サイ クル	運転モード	水素 (g/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	3.65E-5	2.70E-5	0.74
	停止	-	3.78E-5	-
24'	運転	-	3.05E-5	-
	停止	4.46E-5	3.78E-5	0.85
25	運転	6.79E-5	2.70E-5	0.40
	停止	1.53E-4	3.78E-5	0.25
25'	運転	-	2.71E-5	-
	停止	8.93E-5	3.77E-5	0.42
26	運転	7.31E-5	2.70E-5	0.37
	停止	6.38E-5	3.77E-5	0.59
27	運転	3.13E-5	2.71E-5	0.87
	停止	2.55E-5 ~ 1.26E-3	3.76E-5	1.47 ~ 0.0297
28	運転	-	2.71E-5	-
	停止	2.04E-4	3.76E-5	0.18424
29	運転	-	2.70E-5	-

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2



表3-21 「常陽」における床下雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	床下 (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	3.24E-9 ~ 3.24E-8	1.08E-7	33.30 ~ 3.33
	停止	7.30E-9 ~ 9.73E-8	1.22E-10	0.02 ~ 0.0013
24'	運転	-	1.32E-7	-
	停止	8.92E-8	7.44E-10	0.01
25	運転	2.24E-7 ~ 3.24E-7	1.83E-7	0.82 ~ 0.56
	停止	4.59E-7	3.42E-10	0.00074
25'	運転	-	1.62E-7	-
	停止	-	1.93E-9	-
26	運転	5.68E-7	2.05E-7	0.36
	停止	2.35E-6	2.80E-9	0.00119
27	運転	-	2.16E-7	-
	停止	-	9.97E-10	-
28	運転	-	1.63E-7	-
	停止	-	1.01E-9	-
29	運転	9.46E-7	1.39E-7	0.15

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-22 「常陽」における床上雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	床上 (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	2.16E-10 ~ 2.22E-9	3.27E-10	1.51 ~ 0.15
	停止	6.22E-10 ~ 6.49E-10	9.11E-11	0.15 ~ 0.14
24'	運転	-	3.51E-10	-
	停止	6.22E-10	4.11E-13	0.00
25	運転	6.76E-10	5.55E-10	0.82
	停止	1.49E-9	1.86E-10	0.13
25'	運転	-	4.94E-10	-
	停止	-	9.35E-13	-
26	運転	1.03E-9	6.22E-10	0.61
	停止	1.59E-9 ~ 1.95E-9	1.19E-12	0.0007 ~ 0.0006
27	運転	-	6.58E-10	-
	停止	-	2.44E-10	-
28	運転	-	4.98E-10	-
	停止	1.59E-9	2.47E-10	0.16
29	運転	1.46E-10	4.20E-10	2.88

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-23 「常陽」における2次系配管室雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	2次系配管室 (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	2.41E-9 ~ 2.03E-8	2.60E-10	0.11 ~ 0.01
	停止	-	6.00E-10	-
24'	運転	-	6.02E-10	-
	停止	-	6.99E-10	-
25	運転	2.59E-9	1.58E-9	0.61
	停止	-	1.54E-9	-
25'	運転	-	1.58E-9	-
	停止	-	1.55E-9	-
26	運転	2.97E-9	2.03E-9	0.68
	停止	1.05E-10	1.99E-9	18.88
27	運転	-	2.36E-9	-
	停止	-	1.82E-9	-
28	運転	-	1.87E-9	-
	停止	1.05E-11	1.73E-9	164.76
29	運転	1.05E-9	1.91E-9	1.81

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

表3-24 「常陽」における空気冷却系雰囲気ガス中のトリチウム濃度評価結果

サイ クル	運転モード	空気冷却系 (Ci/m <sup>3</sup> )		
		実測値 (E)	計算値 (C)	C/E
24	運転	4.32E-8	1.24E-9	0.03
	停止	1.14E-8	1.13E-9	0.10
24'	運転	-	1.13E-9	-
	停止	6.76E-9	1.13E-9	0.17
25	運転	5.95E-9 ~ 5.41E-8	1.85E-8	3.11 ~ 0.34
	停止	-	1.34E-9	-
25'	運転	-	1.43E-9	-
	停止	-	1.35E-9	-
26	運転	2.70E-9	1.72E-9	0.64
	停止	2.46E-11 ~ 5.95E-9	1.54E-9	62.62 ~ 0.26
27	運転	-	2.33E-8	-
	停止	-	1.69E-9	-
28	運転	-	2.26E-8	-
	停止	2.46E-11	1.71E-9	69.51
29	運転	2.97E-9	1.96E-9	0.66

トリチウムのB4Cペレット放出率 (f) = 0.2

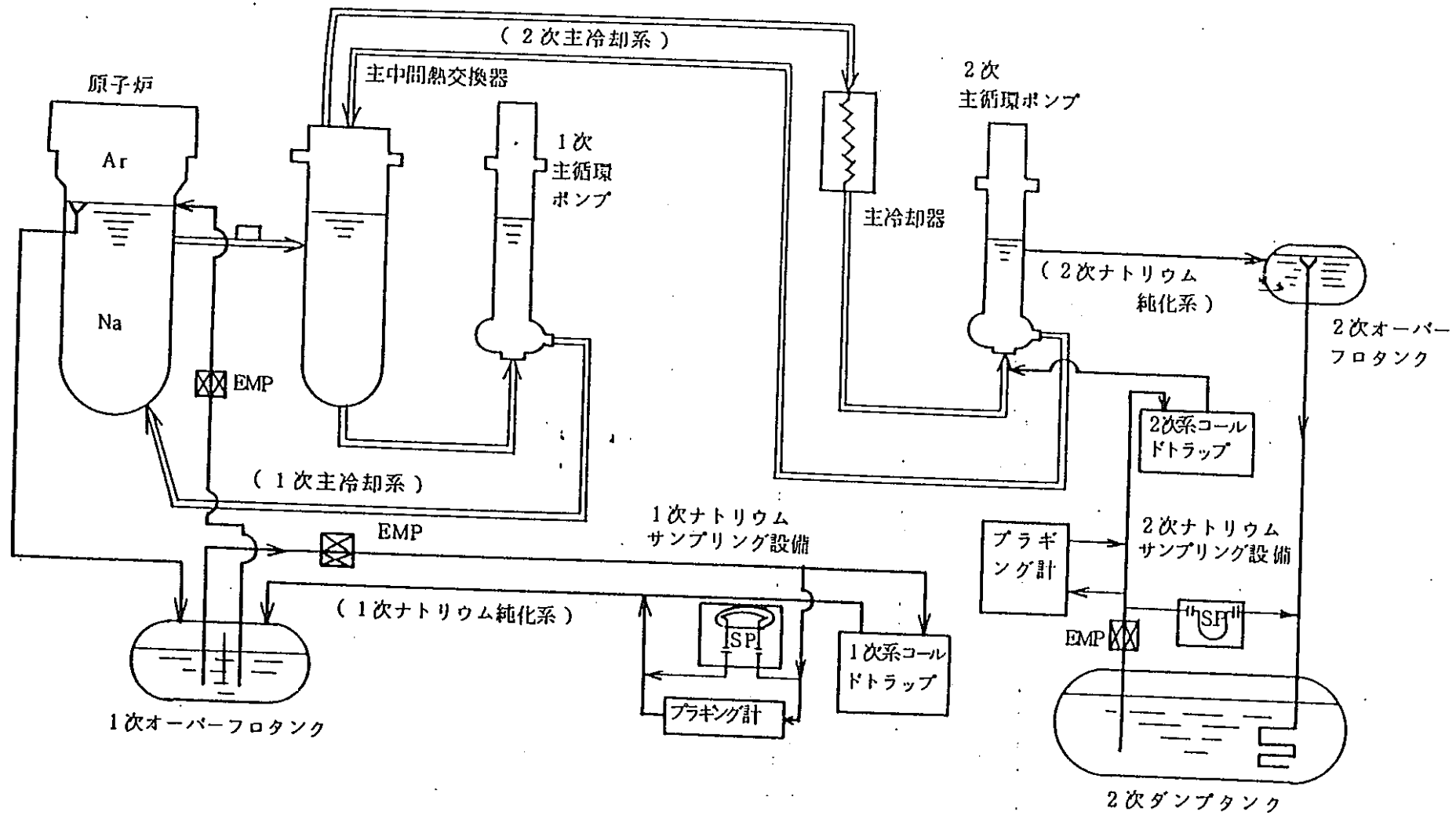


図3-1 「常陽」1次冷却系および2次冷却系概略系統図

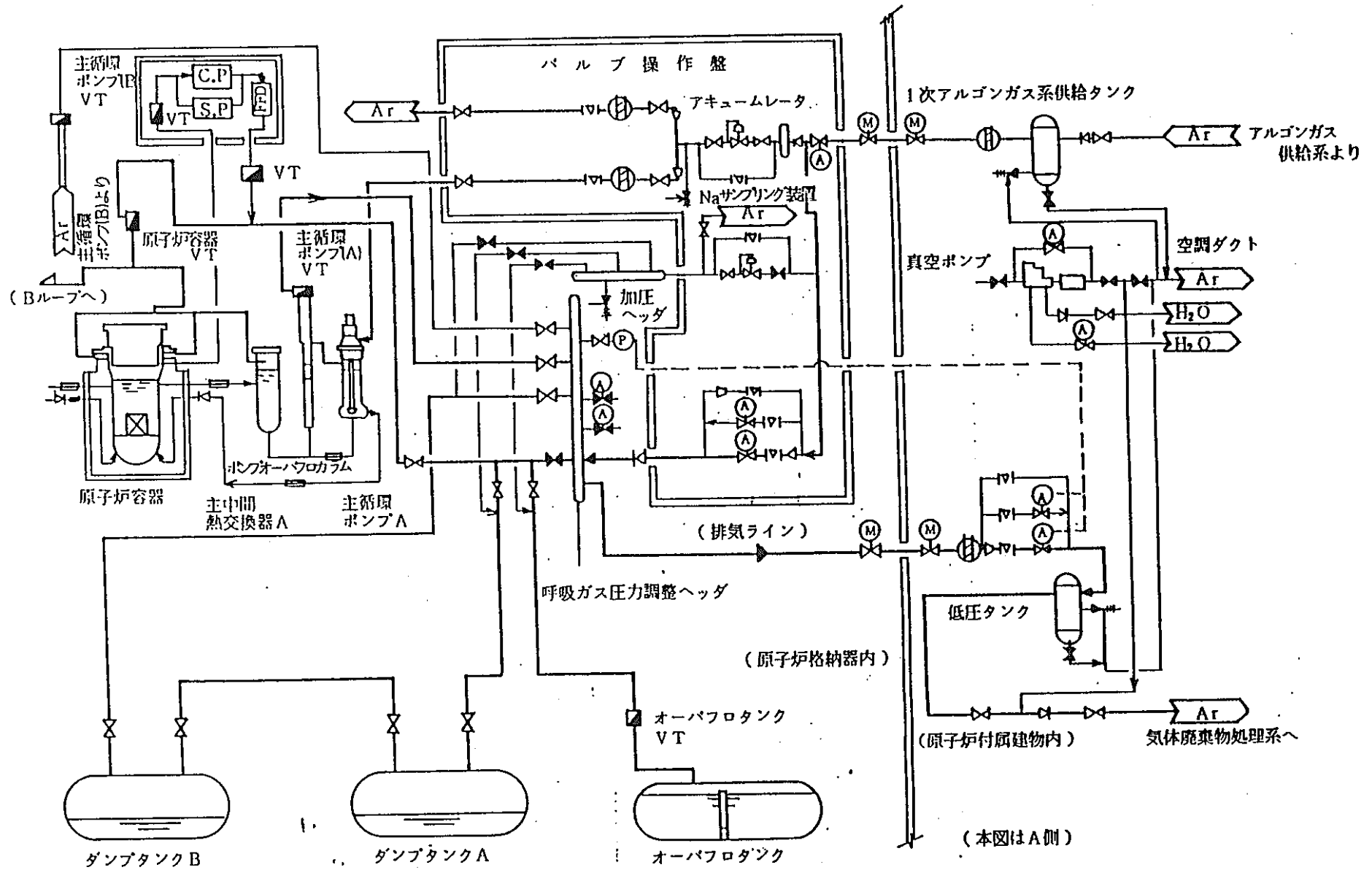


図3-2 「常陽」1次アルゴンガス系概略系統図

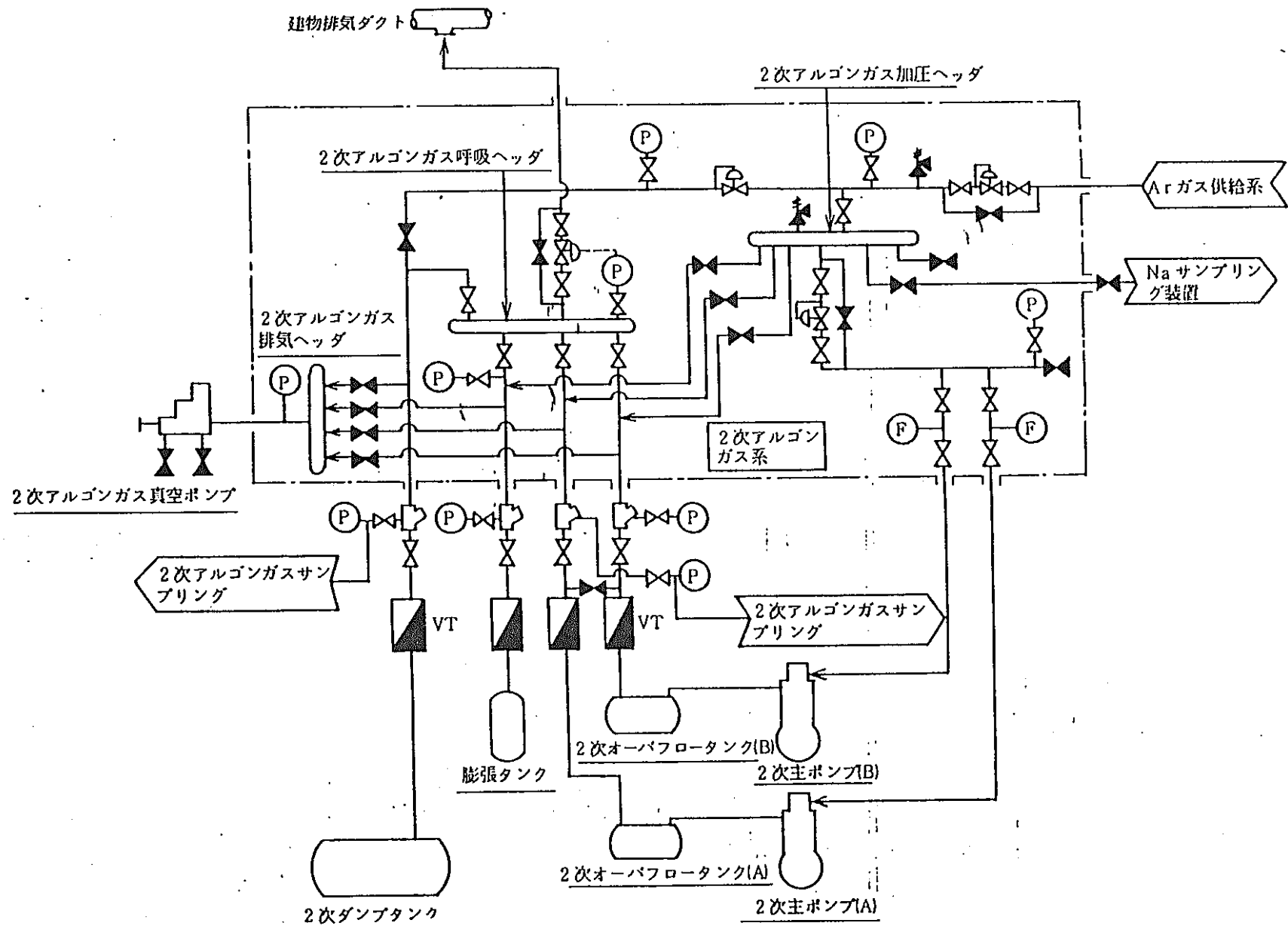


図 3-3 「常陽」 2次アルゴンガス系概略系統図

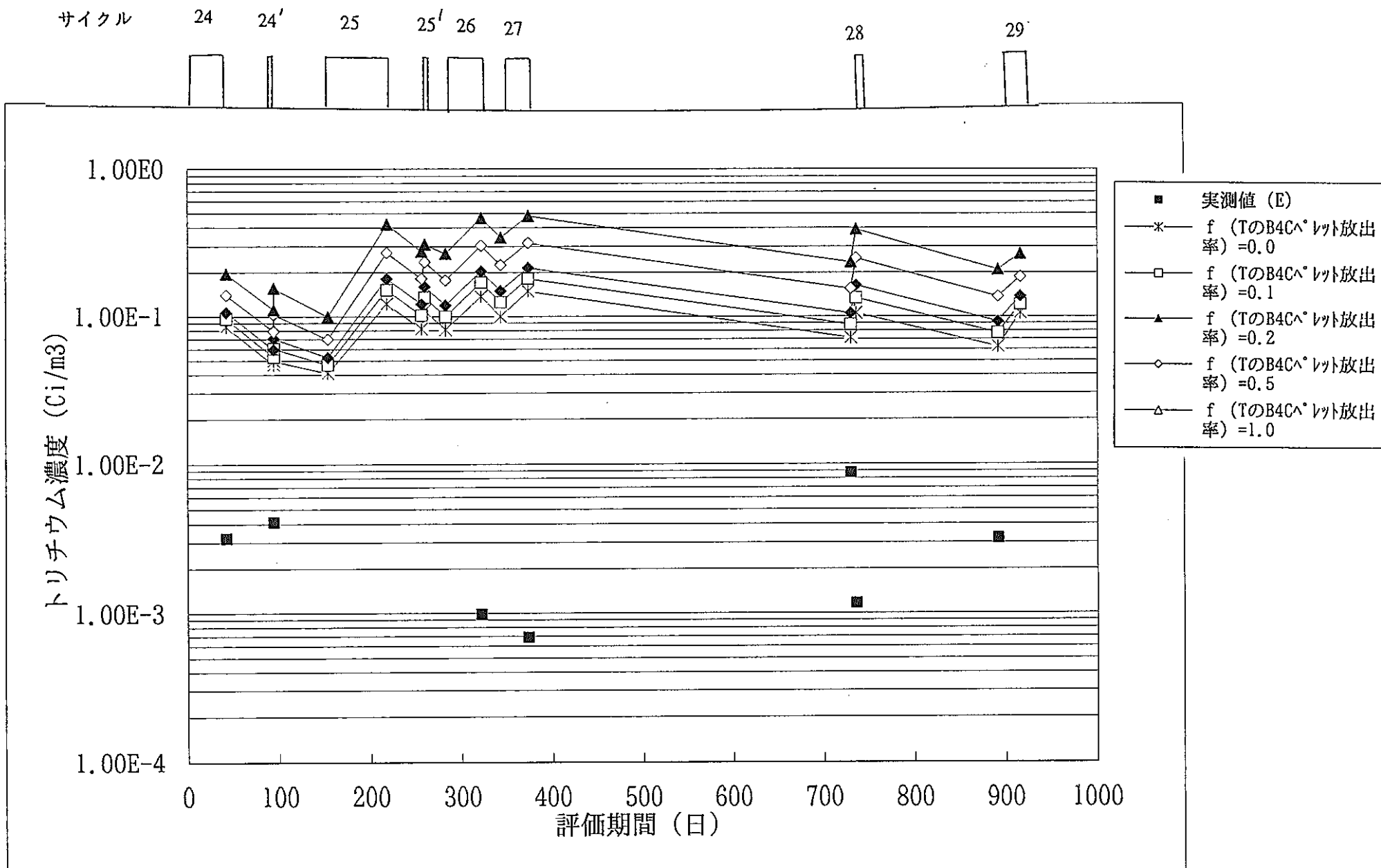


図3-4 1次冷却系のトリチウム濃度

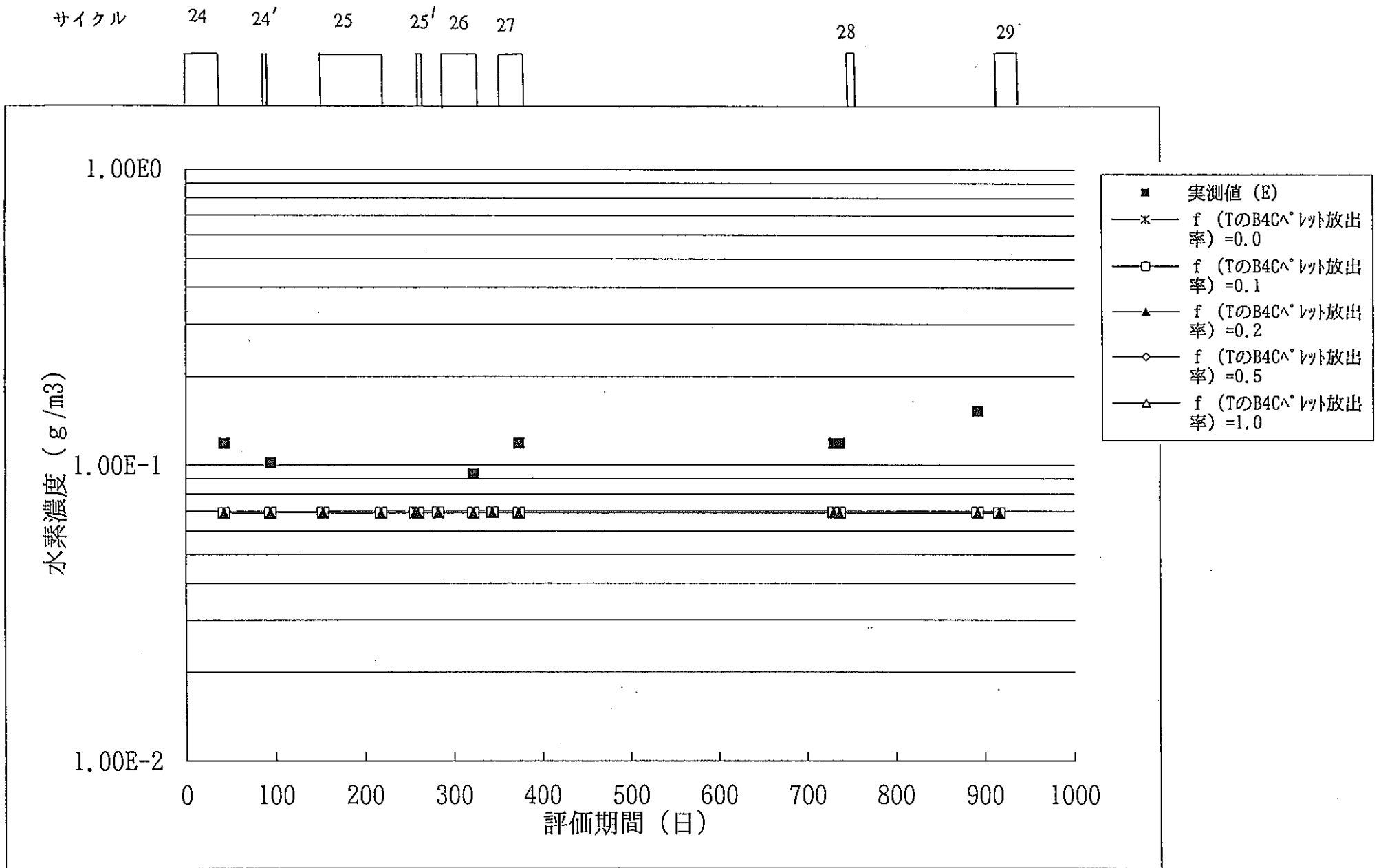


図 3 - 5 1次冷却系の水素濃度

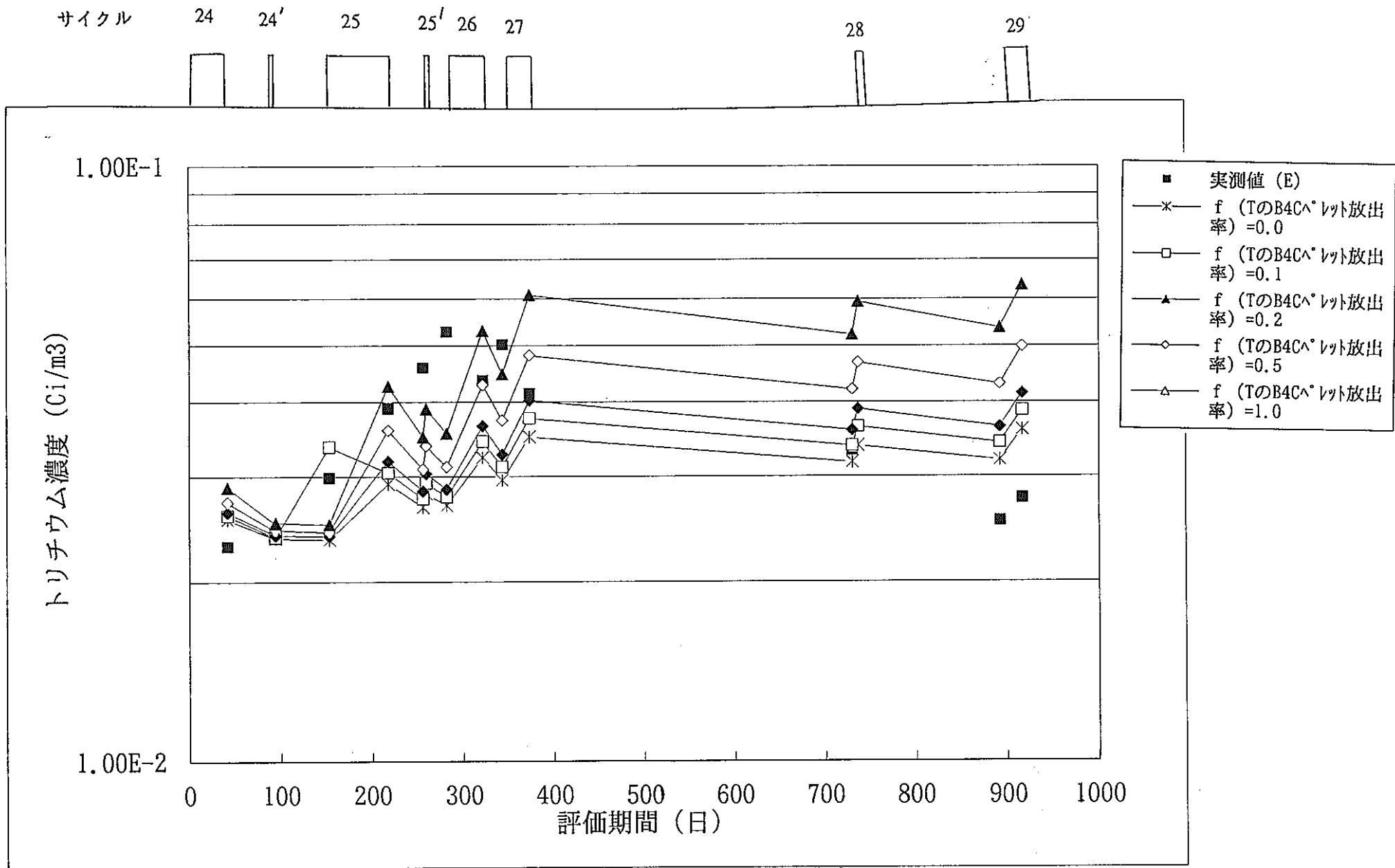


図3-6 2次冷却系のトリチウム濃度



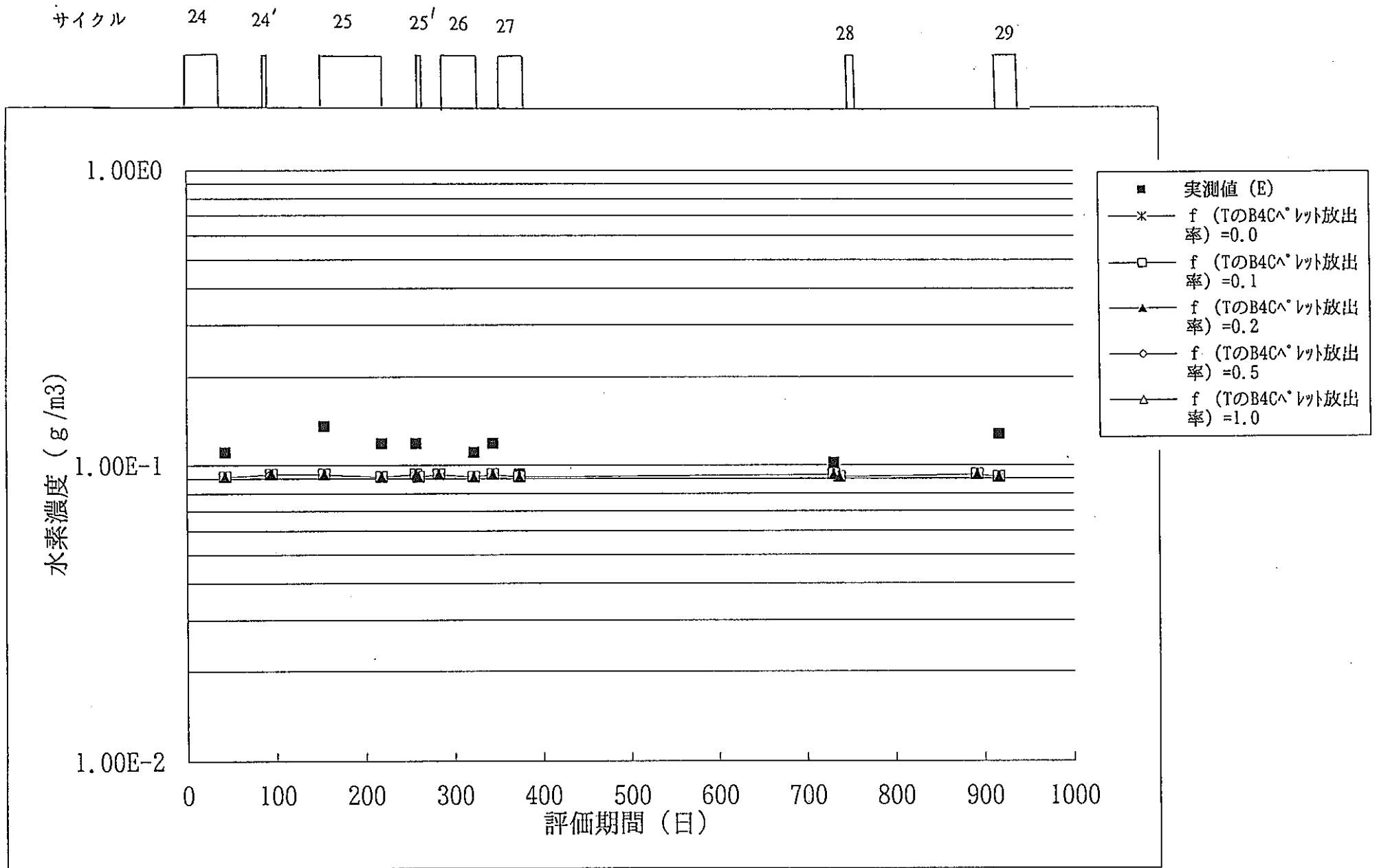


図 3 - 7 2次冷却系の水素濃度

サイクル

24

24'

25

25'

26

27

28

29

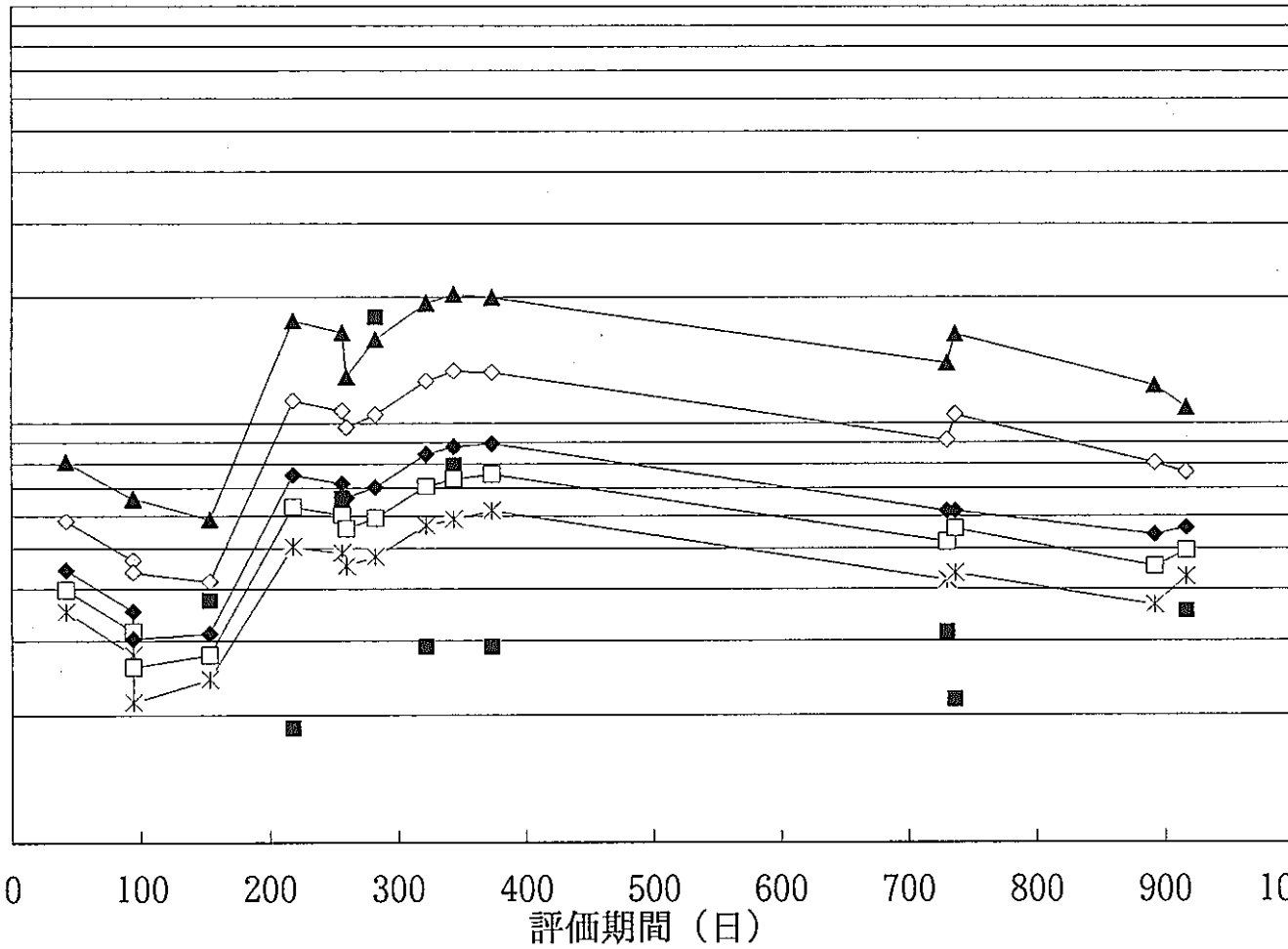


1.00E-2

トリチウム濃度 (Ci/m<sup>3</sup>)

1.00E-3

1.00E-4



- 実測値 (E)
- \*— f (TのB4C<sup>+</sup>レット放出率) = 0.0
- f (TのB4C<sup>+</sup>レット放出率) = 0.1
- ▲— f (TのB4C<sup>+</sup>レット放出率) = 0.2
- ◇— f (TのB4C<sup>+</sup>レット放出率) = 0.5
- △— f (TのB4C<sup>+</sup>レット放出率) = 1.0

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000  
評価期間 (日)

図3-8 1次アルゴンガス系のトリチウム濃度

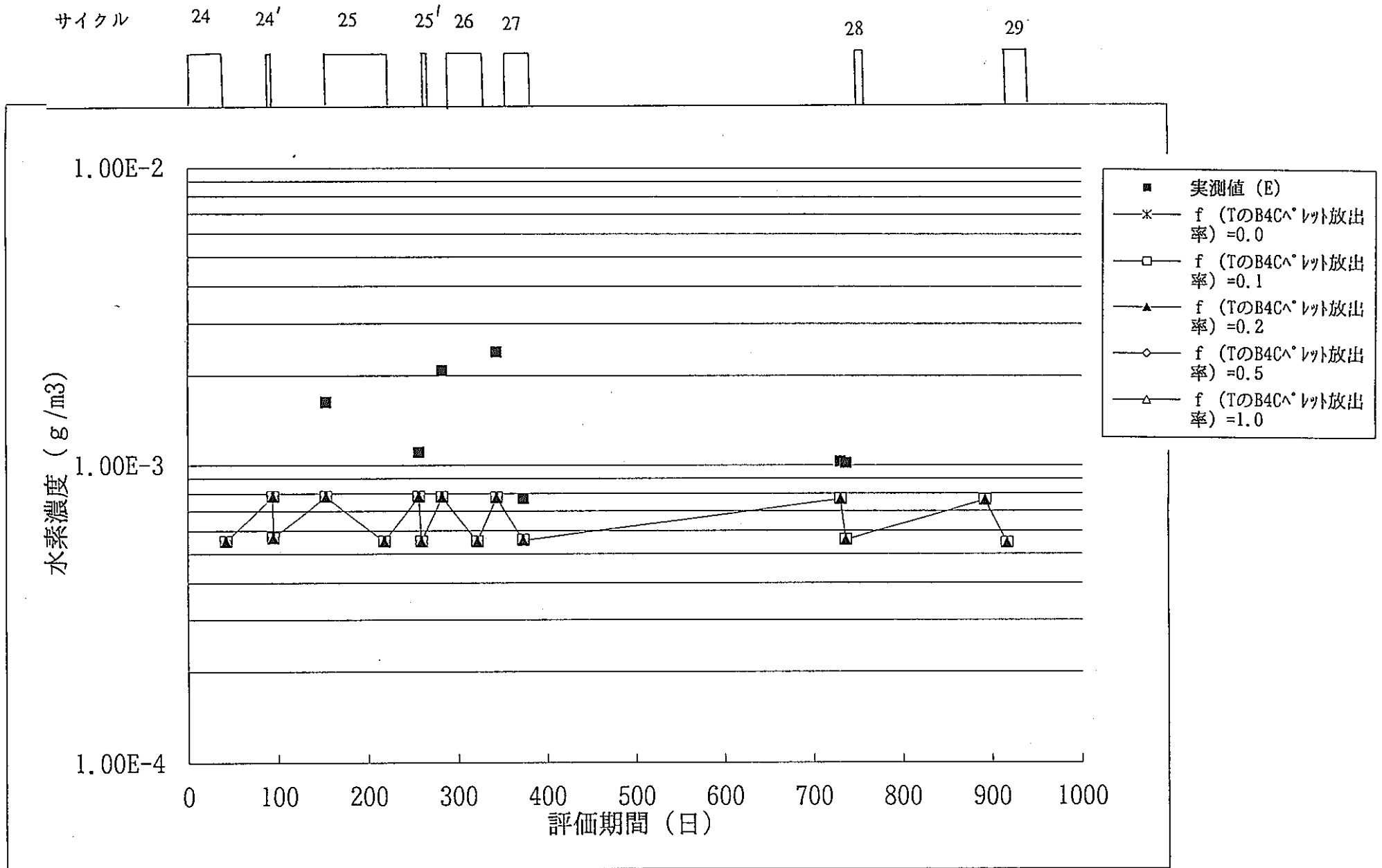


図3-9 1次アルゴンガス系の水素濃度

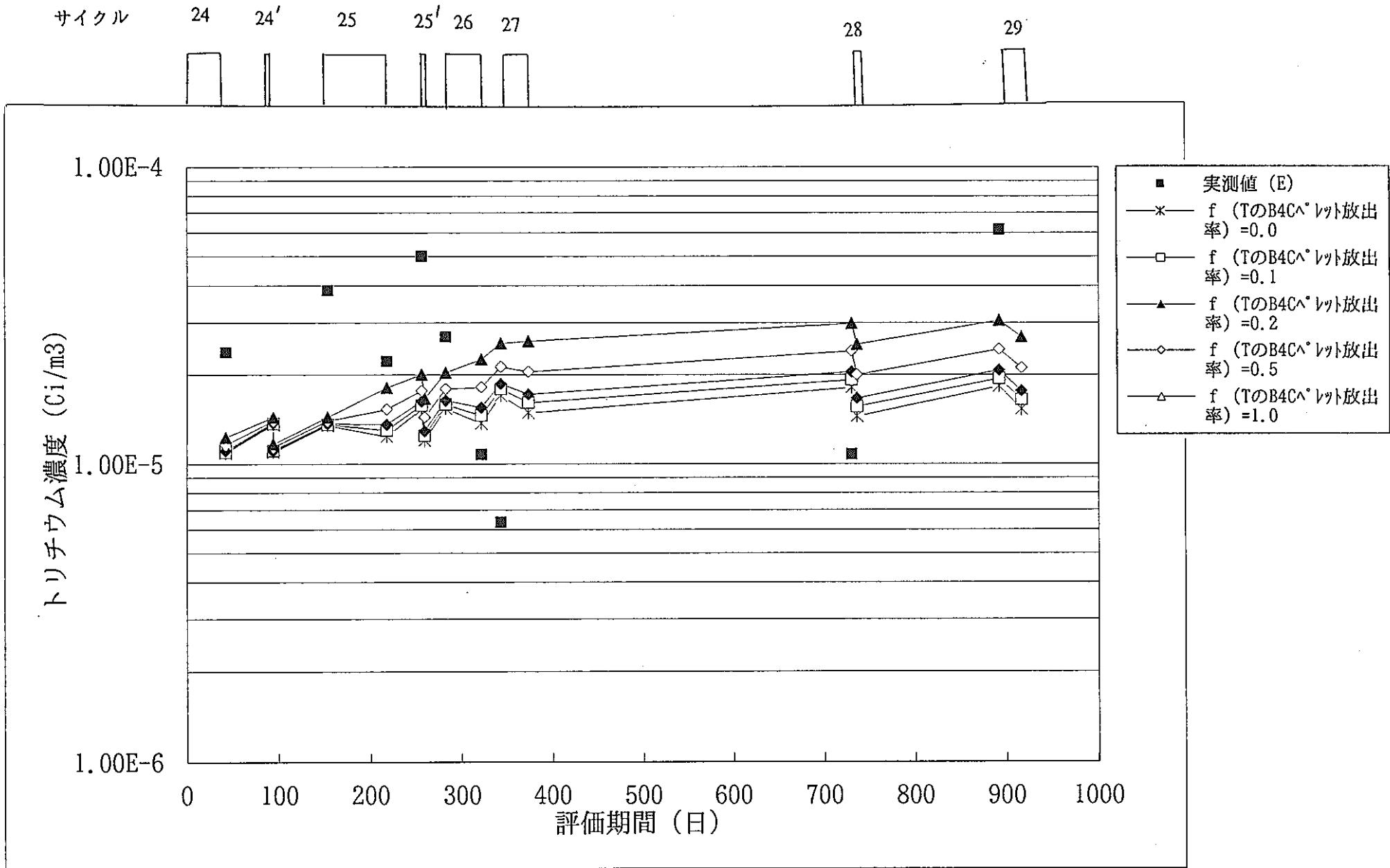


図3-10 2次アルゴンガス系 (D/T) のトリチウム濃度

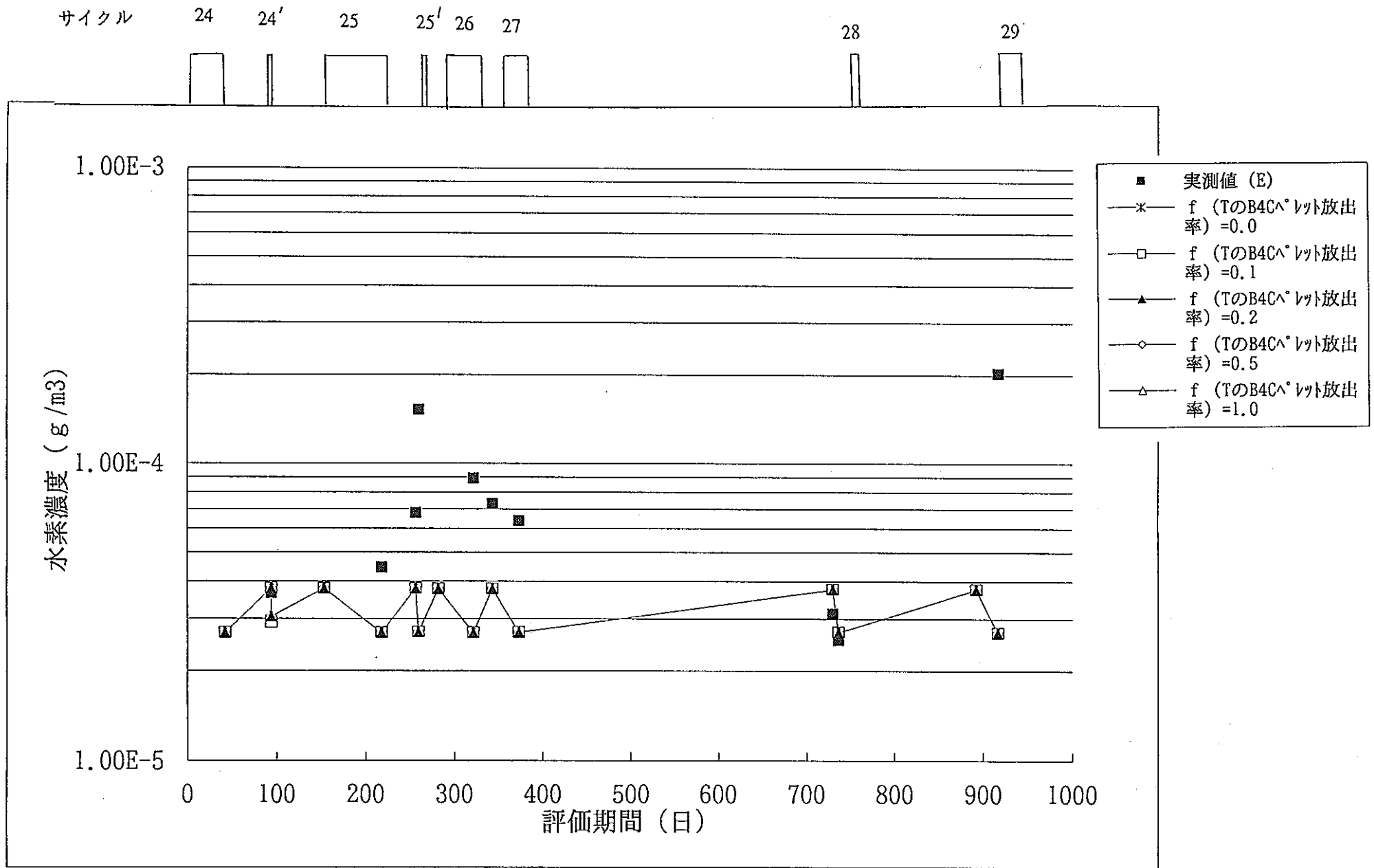


図3-11 2次アルゴンガス系 (D/T) の水素濃度

サイクル

24

24'

25

25'

26

27

28

29

トリチウムのB4C内ペレット放出率  $f = 0.2$

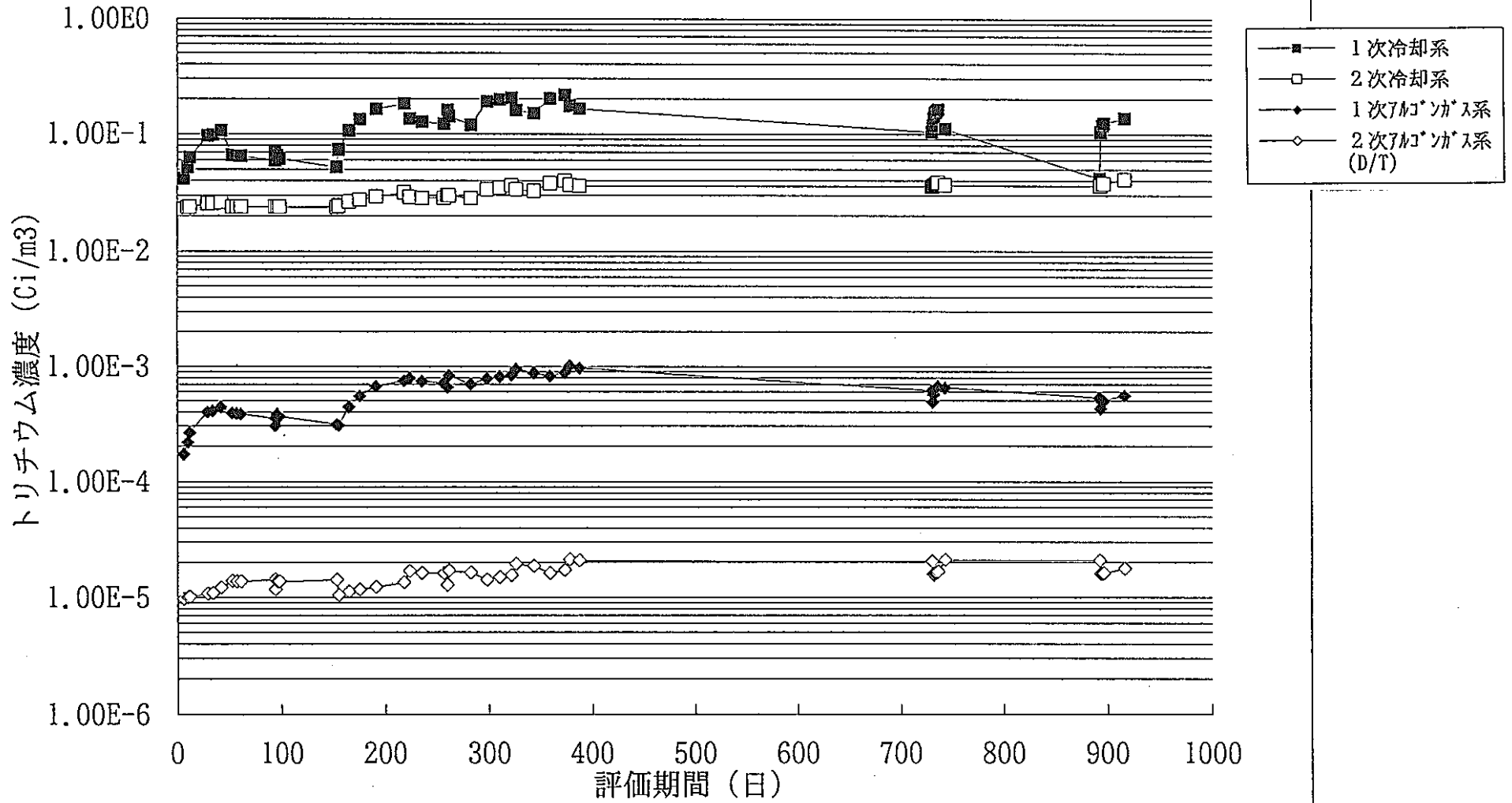


図3-12 系統別トリチウム濃度の時間変化

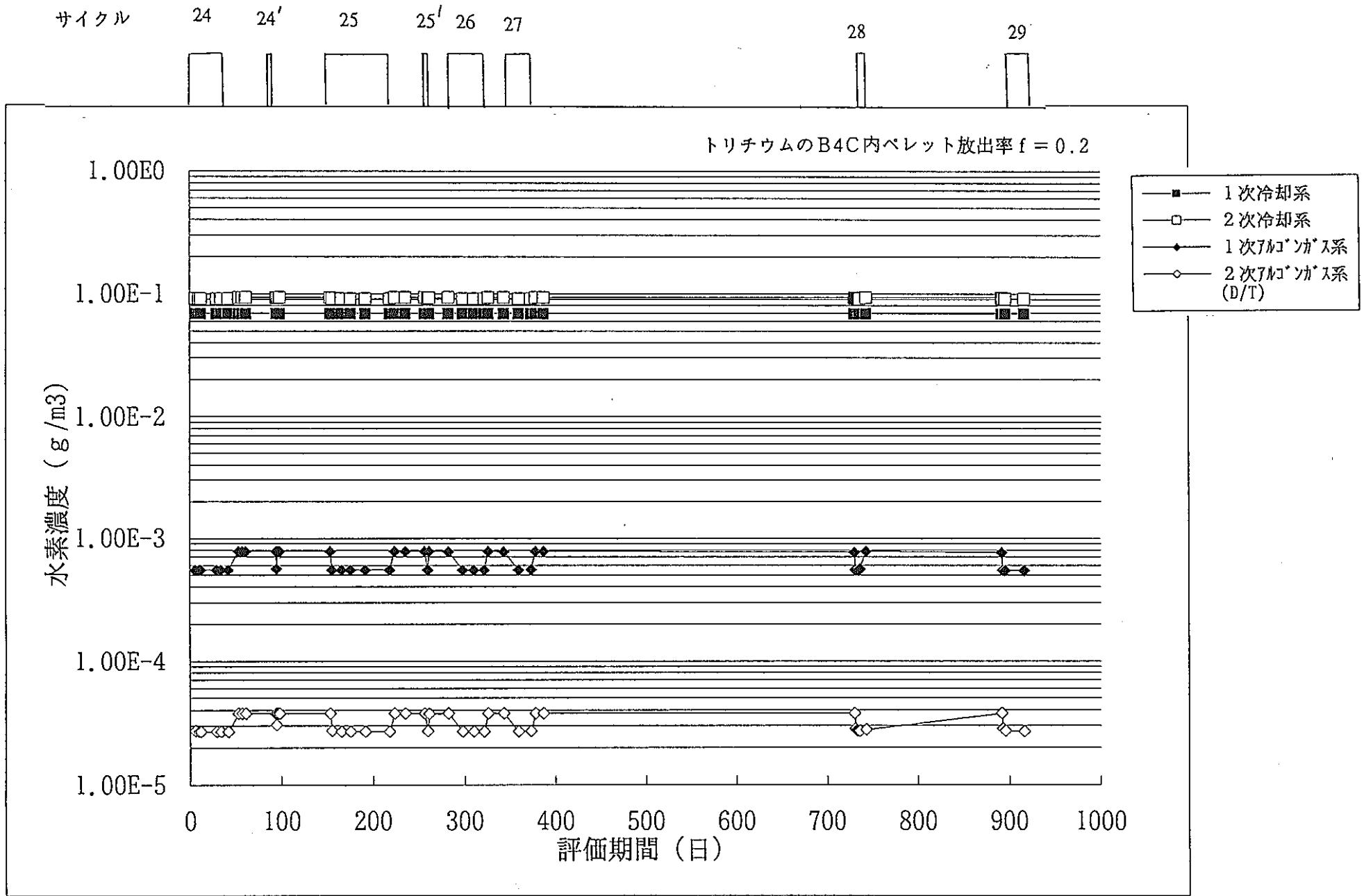


図 3 - 1 3 系統別水素濃度の時間変化

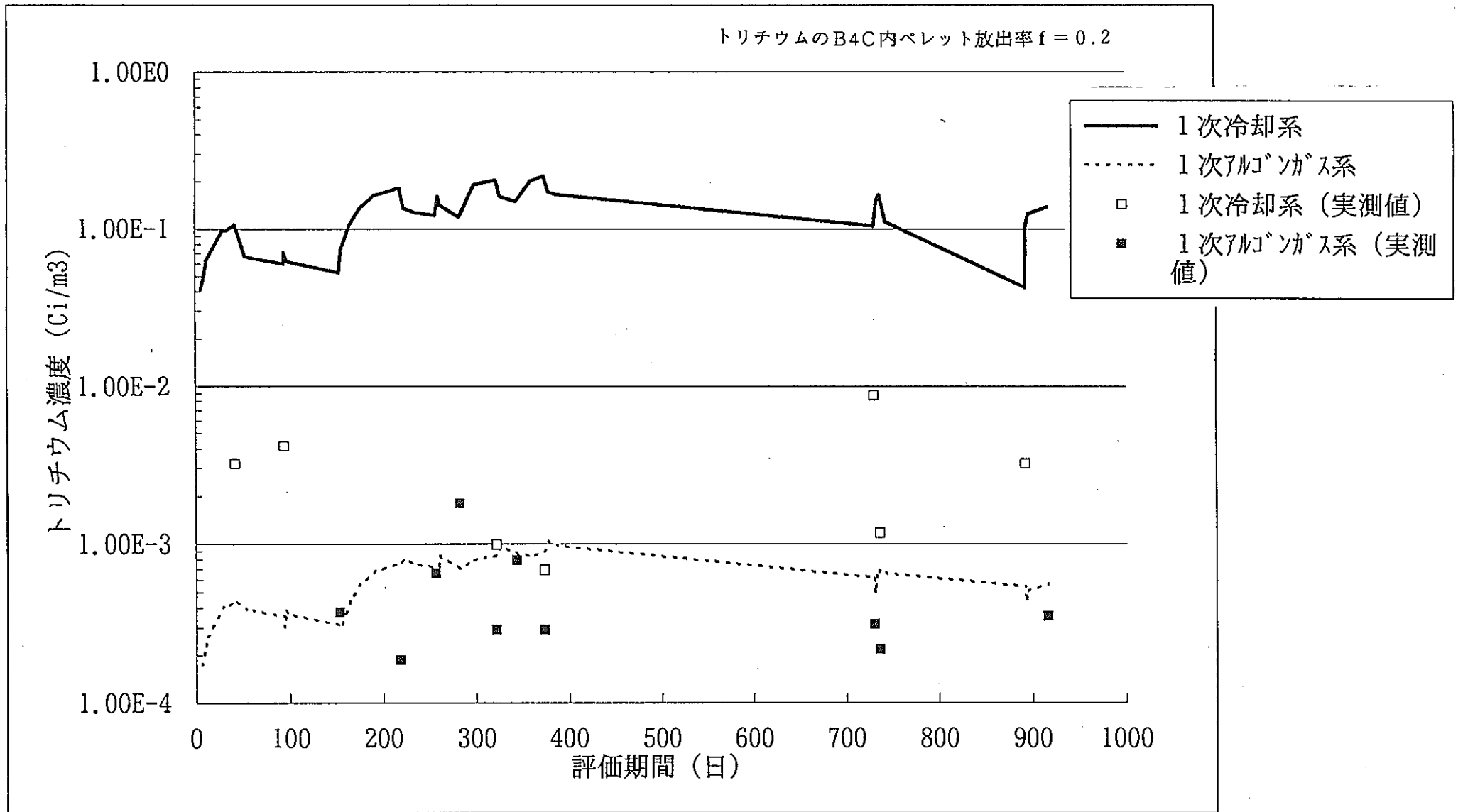


図3-14 1次系トリチウム濃度の計算値と実測値



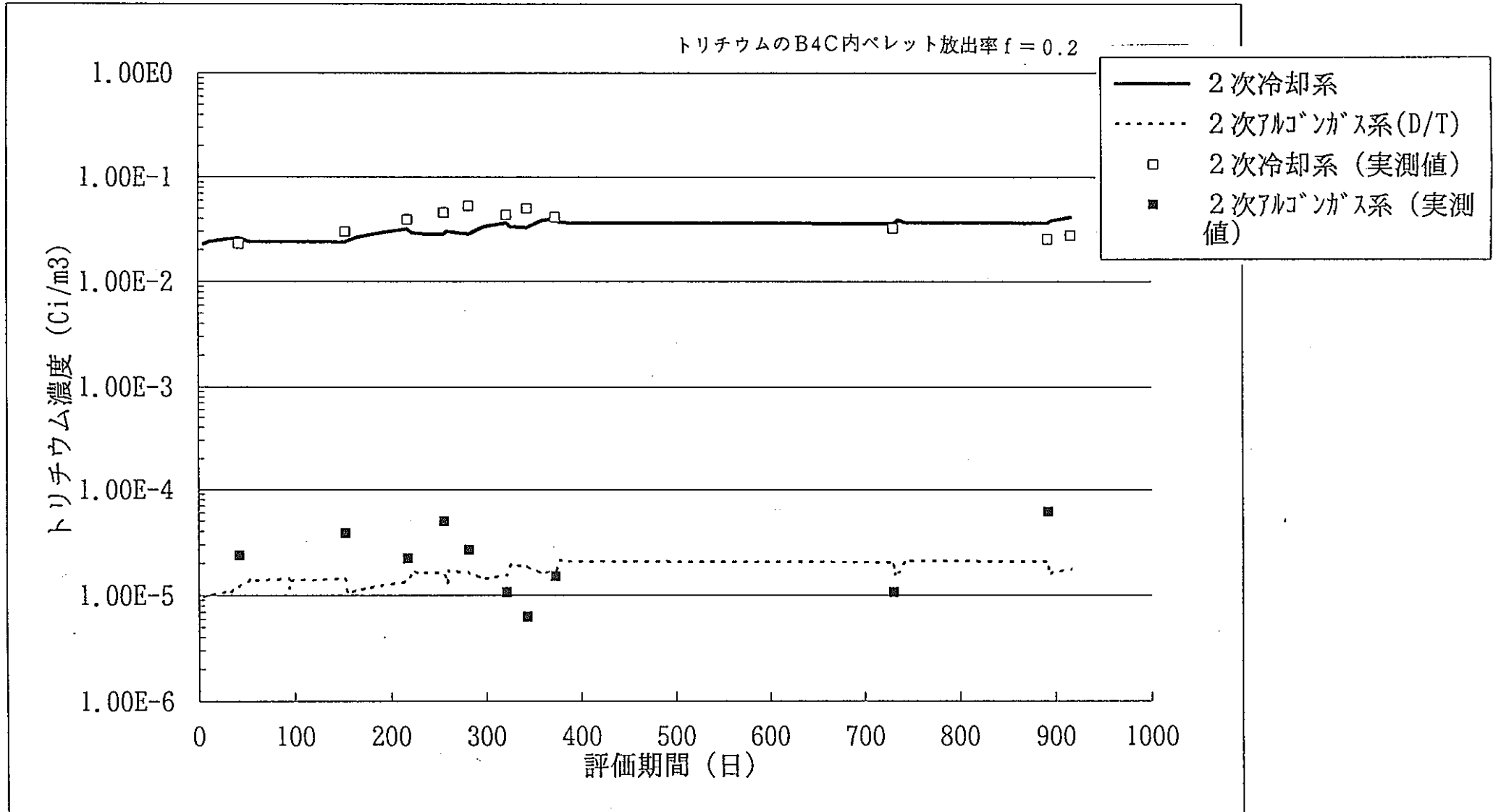


図3-15 2次系トリチウム濃度の計算値と実測値

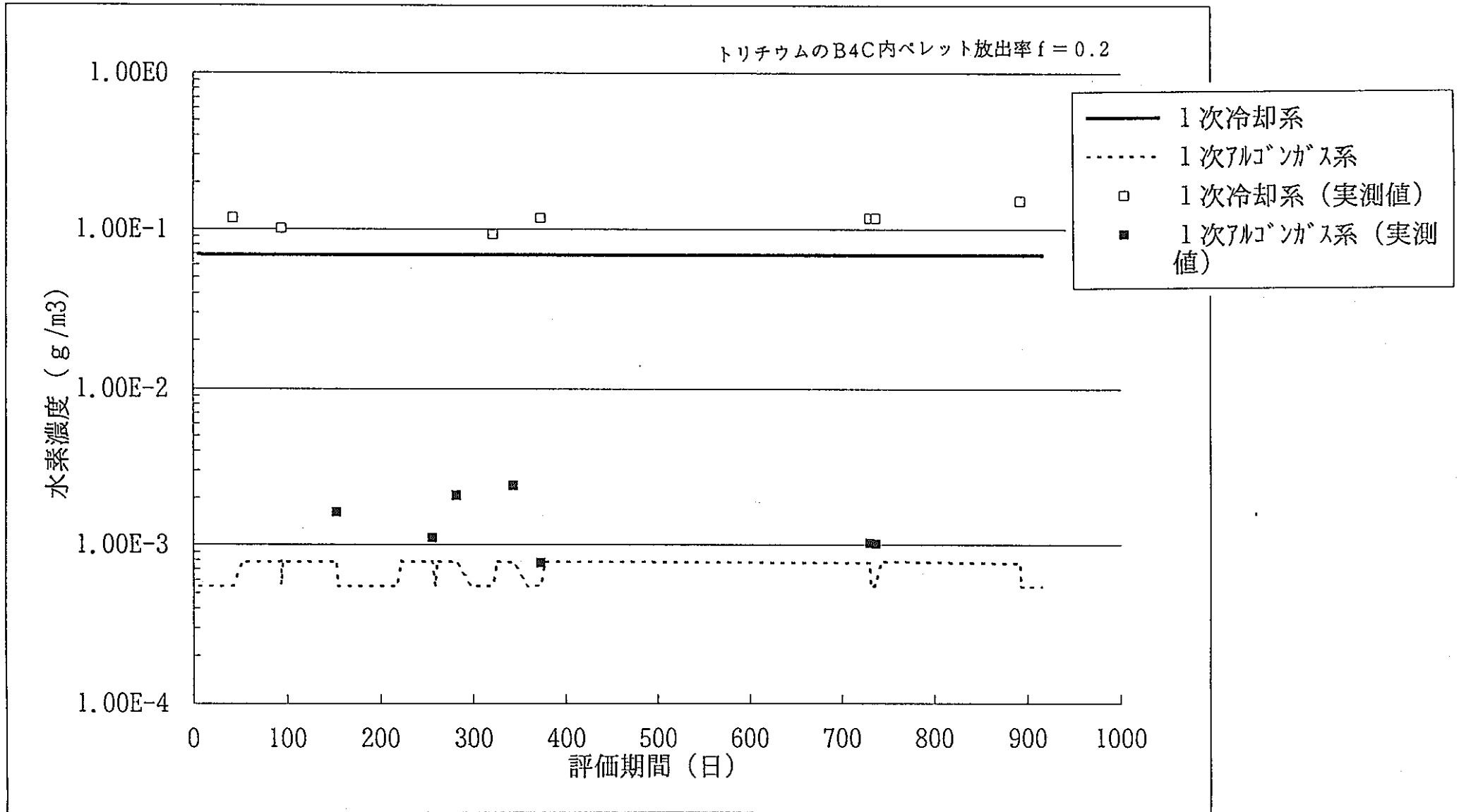


図3-16 1次系水素濃度の計算値と実測値

トリチウムのB4C内ベレット放出率  $f = 0.2$

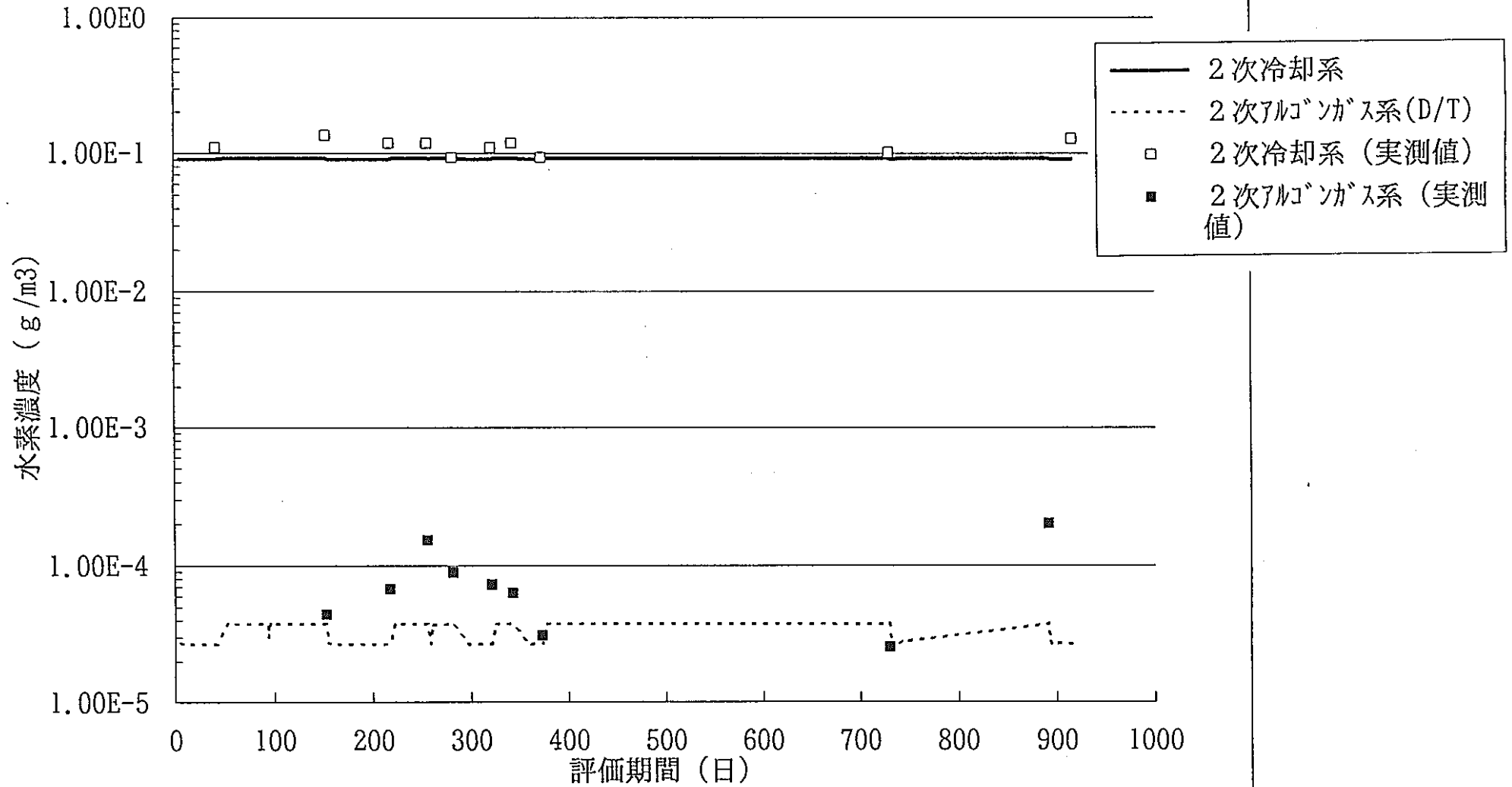


図3-17 2次系水素濃度の計算値と実測値

## 4. 解析モデルの検討及びMK-III移行時の検討課題の抽出

### 4.1 解析モデルの検討

#### (1) 燃料中で三体核分裂により生成したトリチウムの冷却系への移行モデル

燃料中で三体核分裂により生成したトリチウムは100%1次冷却材中に放出されるとした。これは、軽水炉と異なり燃料被覆管がトリチウムを拡散しやすいステンレス鋼であり、高温下で使用されるため燃料内で生成したトリチウムのほとんどが1次冷却材であるナトリウム中に放出されることによる<sup>25)</sup>。また、トリチウムの燃料被覆管(SUS316)に対する拡散係数を水素の $\sqrt{3}$ の値を用いて計算すると全量が放出する結果になる。よつて燃料ギャップより燃料被覆管を通じてのトリチウムの1次冷却系への移行を100%とする条件は妥当と思われる。今後は、燃料ペレット内でのトリチウムの生成形態を考慮した燃料ペレット内からのトリチウム放出率の調査を行う必要がある。

#### (2) ベント型CRからのトリチウムの放出モデル

##### (a) B<sub>4</sub>C内トリチウムの生成率

トリチウムについては、 $^{10}\text{B}(n, 2\alpha)\text{T}$ 、ヘリウム生成については $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応が支配的であり、反応率は、DOT3.5コードで計算された中性子束とJENDL-3より作成された反応断面積を乗じて求めた。トリチウムの生成反応は、しきい値反応であるため中性子束を過小に評価していると思われる。またCRの位置を2次元R-Z体系で模擬しているため幾何形状モデル化にあたっては過大に評価していると思われる。そのため今後、誤差評価が必要である。

##### (b) ベント型CRからのトリチウムの放出率

ベント型CRからのトリチウムの放出に関連し、トリチウムのB<sub>4</sub>Cペレット内からペレット外への放出率の設定は、トリチウムの1次冷却系濃度の実測値と計算値の比較に基づき設定するのが最適であるが、本解析では、1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系濃度を対象にした。これは3.3で述べたように定格16サイクル以降、1次冷却系のトリチウム濃度の実測値が低下(定格15サイクル時に対して約1/50であり、2次冷却系濃度より約1桁小さい)しており計算において再現できないにもかかわらず1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のトリチウム濃度は実測値に大きな変動がなく計算において比較的再現できていることによる。

B<sub>4</sub>Cペレット内でのトリチウム保持については、以下のことが文献に示されている。

(イ) ホウ素の中性子吸収反応で生成するリチウムがB<sub>4</sub>Cペレットからのトリチウムの放出を妨げる。<sup>17)</sup>

(ロ) B<sub>4</sub>Cペレット内でLiTのようなかなり安定な化合物が生成されている。<sup>18)</sup>

(ハ) Milesの実験によると、6804Mwd/T照射のB<sub>4</sub>Cペレット中心温度552～604℃ではトリチウムは全量保持される。<sup>19)</sup>

(ニ) Hollenbergの実験によると、 $7 \times 10^{21}$  capture/cc照射のB<sub>4</sub>Cペレット中心温度565～982℃ではトリチウムはほとんど保持される。<sup>17)</sup>

以上より、CRからのトリチウムの放出については、CRが密閉型でもベント型でもあまり変化はなくCRのB<sub>4</sub>Cペレット温度（温度が高いほど放出しやすい）及び照射時間（時間が長いほど放出しやすい）等に影響があると思われる。

「常陽」のCRベント機構を通じてトリチウムの放出の有無を”TTT-94”コードによるトリチウムのB<sub>4</sub>Cペレット放出率（f）をパラメータとした場合の1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のトリチウム濃度の計算値（C）と実測値（E）の比較（表3-12a、表3-12b、表3-12c参照）により行った。定格24サイクル～定格29サイクル全体をみた場合、C/Eが2程度以内で、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のトリチウム濃度のC/Eが1に近いのはf=0.2である。

本方法でCRベント機構を通じてトリチウムの放出の有無を確定するのは困難である（計算及び測定誤差を考慮した評価になつていないため）が、今回の解析においては、f=0.2を設定し、定格24サイクル～定格29サイクルの解析を行った。

今後は、実測値の誤差評価を解析に反映させる必要がある。

### (3) 定格24サイクル～定格29サイクルの解析

トリチウムのB<sub>4</sub>Cペレット放出率（f）を0.2とした場合の系統内トリチウム及び水素の濃度C/Eは1次冷却系トリチウム濃度を除き2～3程度（表3-13～表3-20）である。1次冷却系のトリチウム濃度は前に述べたように定格16サイクル以降の実測値の低下が計算において再現できない。実測値がそろつている第25サイクルでトリチウムのマスバランスを示すと以下の通りである。

	計算値		実測値
(a) 1次冷却系	~5.1%*	(~9.1%)	(~4%)
(b) 2次冷却系	~0.5%*	(~9%)	(~9.6%)
(c) 1次アルゴンガス系	0.01%以下*	(0.01%以下)	(0.01%以下)
(d) 2次アルゴンガス系	0.01%以下*	(0.01%以下)	(0.01%以下)
(e) 1次系コールドトラップ	~8.8%*		
(f) 2次系コールドトラップ	~5.6%*		

計算値で\*がついている値は全体（(a)～(f)の合計）に対する存在比を表している。また、（ ）内の値は1次、2次コールドトラップを除いた系統内（(a)～(d)の合計）に対する存在比を表している。実測値は1次、2次コールドトラップでの値がないため1次、2次コールドトラップを除いた系統内（(a)～(d)の合計）に対する存在比のみを示している。

トリチウムは燃料、CR等で生成され1次冷却系に移行（ほとんどが1次系コールドトラップで捕獲、一部が1次アルゴンガス系へ移行）し、一部が中間熱交換器伝熱管を拡散して2次冷却系へと移行（ほとんどが2次系コールドトラップで捕獲、一部が2次アルゴンガス系へ移行）するもの。マスバランス的には、1次系の存在比が大きい。”TTT-94”による計算値と実測値を比較すると3.3で述べた通り1次アルゴンガス系、2次冷却系及び2次アルゴンガス系濃度はファクタ2～3程度であり、1次冷却系のトリチウム濃度の時間変化は2次アルゴンガス系のトリチウム濃度の時間変化と、2次冷却系のトリチウム濃度の時間変化は2次アルゴンガス系のトリチウム濃度の時間変化と同じ傾向にある。

以上より、”TTT-94”コードはプラント内トリチウム分布をオーダで予測するには十分である。今後、照射後試験結果に基づき照射中の $B_4C$ の温度や燃焼度に応じた $B_4C$ からのトリチウム放出率を考慮した解析を行う必要がある。

#### 4.2 MK-III移行時の検討課題の抽出

MK-III移行時の課題として以下が考えられ、検討を行う必要がある。

##### (1) 炉心熱出力上昇による核分裂率の増加

炉心熱出力が上昇することにより核分裂割合が変更になり、核分裂数が増加する。これにより三体核分裂により生成するトリチウム量が増加する。

(2) ボンド型CR使用に伴う $B_4C$ ペレットからのトリチウムの放出率の変化

CRからのトリチウムの放出については、CRが密閉型でもベント型でもボンド型でもあまり変化はなくCRの $B_4C$ ペレット温度（温度が高いほど放出しやすい）及び照射時間（時間が長いほど放出しやすい）等に影響があると思われる。ボンド型CR使用によりCRの温度が変わり、CRの $B_4C$ ペレットからのトリチウムの放出率に変化があると思われる。

(3) CR配置の変更によるCRからのトリチウム放出率の変化

CR配置の変更によるCRのトリチウム生成量に変化があると思われる。

(4) 炉心第9、10列の反射体を $B_4C$ 遮蔽体に置換したことによる新たなトリチウムの生成源の追加

炉心第9、10列の反射体を $B_4C$ 遮蔽体に置換した場合には、ホウ素と中性子との反応でトリチウムが生成される。この生成量を評価する必要がある。

(5) 中間熱交換器の交換等のプラントの改造に起因する系内のトリチウムの移行状況の変化

MK-III移行時に伴い中間熱交換器が交換になり伝熱管温度分布等の変更により系内のトリチウムの移行状況に変化があると思われる。

## 5. 結 言

「常陽」MK-Ⅲ炉心のトリチウム挙動の予測に反映する目的で、MK-Ⅱ炉心におけるトリチウムの生成・移行挙動をTTT-94コードを用いて計算し測定結果と比較することにより、評価モデルの妥当性を評価した。

今回の研究で得られた成果は、次に示す通りである。

- (1) トリチウムの生成率、カバーガスのパーシ率を時間ステップごとに入力値が変更できるように改良したコード、TTT94を作成した。
- (2) MK-Ⅱ炉心で採用しているベント型制御棒でヘリウムとともに放出されるトリチウム量を、1次系カバーガス中のHe濃度推移の実測データに基づき評価するモデルを作成した。
- (3) 定格第24～第29サイクルの系統内トリチウム濃度の計算値(C)と実測値(E)の比較によりベント型CRからのトリチウム放出率(f)の感度を検討した。その結果、定格24サイクル～定格29サイクル全体をみた場合1次アルゴンガス系のC/Eが2程度以内で、2次冷却系及び2次アルゴンガス系のナトリウム濃度のC/Eが1に近いのは $f = 0.2$ である。
- (4)  $f = 0.2$ とし、定格第24～第29サイクルの系統内トリチウム濃度の計算を行った。計算値と実測値の比較を行った結果、1次冷却材中のトリチウム濃度を除き計算値と実測値の比はファクタ2以内で一致した。
- (5) MK-Ⅱ炉心での評価により解析モデルの検討とMK-Ⅲ炉心移行時の検討課題を抽出した。



## 6. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、ご協力、御指導頂いた動力炉・核燃料開発事業団、大洗工学センター実験炉部技術課の青山卓史氏をはじめ関係各位に感謝の意を表します。

## 7. 参考文献

- 1) 高速炉トリチウム挙動解析コードの改良整備 PNC PJ9124 93-010 (1)
- 2) 「常陽」トリチウム挙動解析用データの支給 (その2) 技-6-212
- 3) A Users Manual for the ORIGEN2 computer  
code ORNL/TM-7/75
- 4) 「常陽」トリチウム挙動解析用データの支給 技-6-194
- 5) D.R.Visser et al; 「A Hydrogen-Activity Meter for Liquid Sodium and Its Application to Hydrogen Solubility Measurements」、Nucl. Technol. 21、p235
- 6) 武田邦雄等; PNC SN941 79-60 「ナトリウム純度管理に関する試験研究 (第13報-液体中の水素溶解度及び水素分圧)、1979.9
- 7) Toshio Funada et al、 「Measurements of Hydrogen Concentration in Liquid Sodium by Using an Inert Gas Carrier Method」、Nuc. Technology、Vol.45 (1979)
- 8) 舟田敏雄等、PNC SN9410 78-56、 「不活性ガス平衡法によるナトリウム中水素及び炭素濃度の測定」、1978.4
- 9) R.Kumar; 「Tritium Transport in an LMFBR」 ANL-8089、1974
- 10) D.R.Visser et al 「A Hydrogen-Activity Meter for Liquid Sodium and Its Application to Hydrogen Solubility Measurements」、Nucl. Technol、21、(1974)
- 11) H.U.Borgstedt; 「The Applied Chemistry of the Alkali Metals」、Plenum Press. 1987
- 12) R.W.Webb; Pre-meatation of Hydrogen through

Metals, NAA-SR-10462, 1965

- 13) Masao Matsuyama et, Tritium Permeability and Pressure Dependence of 3.4L Stainless Steel in the Temperature Range 723 to 1023 k, Metallurgical Trans, vol. (1983)
- 14) C.C.Mcpheters et al; [Control of Tritium in LMFBR Sodium by Cold Trapping] International Conference on Liquid Metal Technology in PEnergy Production, 1980
- 15) J.R.Gwyther et al; [The Kinetics of Hydrogen Removal from Liquid Sodium], Material Behaviour and Physical Chemistry in Liquid System (edited by H.U.Borgstedt), Plenum Press 19892
- 16) P.L.chang et al, Journal of the Iron and Steel Institute, vol.170, p205 (1952)
- 17) G.W.Hollenberg, Tritium Release from Fast Neutron Irradiated Boron Carbide, HEDL-SA-1164-FP
- 18) W.R.Yario Proceedings: Tritium Technology in Fission, Fusion and Isotopic Applications
- 19) C.C.Miles, S.Wexier, and E.R.Ebersole ; Tritium retention in EBR- irradiated boron carbite, ANL-8107
- 20) 高速実験炉「常陽」トリチウムの系統内分布と環境への放出量評価 PNC SJ902 82-02
- 21) 高速実験炉「常陽」トリチウムの系統内分布と環境への放出量評価 (2) PNC SJ902 83-01
- 22) 高速炉トリチウム挙動解析コードの改良整備 PNC PJ9124 93-010(1)
- 23) R.Kumar: Tritium Tyansport in LMFBR: ANL-8089
- 24) 高速増殖炉もんじゅ発電所 放射性物質の挙動評価 (8) PNC ZJ1124 94-002
- 25) 日本原子力学会: トリチウムその性質と挙動 1972年