

JAERI-Tech

JP0050868

2000-059



平成11年度におけるSTACYの運転記録  
—平板型炉心タンクと10%濃縮硝酸ウラニル  
水溶液を用いた2ユニット中性子  
相互干渉体系の実験（その1）—  
(受託研究)

2000年11月

小野寺 清二・曾野 浩樹・広瀬 秀幸・谷野 秀一・神永 城太  
明前 知樹・村上 清信・櫻庭 耕一・宮内 正勝・外池 幸太郎  
三好 慶典・柳澤 宏司・大野 秋男

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

---

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

平成11年度における STACY の運転記録  
－平板型炉心タンクと 10%濃縮硝酸ウラニル水溶液を用いた  
2 ユニット中性子相互干渉体系の実験(その 1)－  
(受託研究)

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター安全試験部  
小野寺 清二・曾野 浩樹\*\*・広瀬 秀幸・谷野 秀一・神永 城太  
明前 知樹・村上 清信・櫻庭 耕一・宮内 正勝・外池 幸太郎+  
三好 慶典+・柳澤 宏司・大野 秋男

(2000 年 8 月 18 日受理)

NUCEF(燃料サイクル安全工学研究施設)の STACY(定常臨界実験装置)では、平成 11 年度後半に 2 ユニット中性子相互干渉体系に関する新たな一連の実験を開始した。この実験では、2 基の平板型炉心タンクと 10%濃縮硝酸ウラニル水溶液を用いた。炉心タンクの寸法は、厚さ 35cm、幅 70cm、高さ 150cm である。実験では、2 基の炉心タンク間の中性子相互干渉による反応度効果を評価するために、反射材の無い条件で炉心タンク間の距離を変えて臨界液位等を測定した。

本報告書は、平成 11 年度後半に実施した計 25 回の実験に関する運転管理及び燃料管理データをまとめたものである。

---

本報告書は、電源開発促進対策特別会計法施行令に基づく科学技術庁の委託によってなされた成果の一部である。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

+ 燃料サイクル安全工学部

※ 現：総理府に出向中

**Annual Report of STACY Operation in FY. 1999**  
- Experiments on Two Unit Neutron-interacting System  
with Slab-shaped Core Tanks and 10% Enriched Uranyl Nitrate Solutions (1) -  
(Contract Research)

Seiji ONODERA, Hiroki SONO\*, Hideyuki HIROSE, Syuichi TANINO,  
Jyota KAMINAGA, Tomoki MYOUMAE, Kiyonobu MURAKAMI,  
Koichi SAKURABA, Masakatu MIYAUCHI, Kotaro TONOIKE<sup>+</sup>,  
Yoshinori MIYOSHI<sup>+</sup>, Hiroshi YANAGISAWA and Akio OHNO

Department of Safety Research Technical Support  
Nuclear Safety Research Center  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 18, 2000)

A new series of experiments on two unit neutron-interacting system started in the last half of FY.1999 at STACY (Static Experiment Critical Facility) in NUCEF (Nuclear Fuel Cycle Safety Engineering Research Facility). The experiments were conducted with two slab-shaped core tanks and 10 % enriched uranyl nitrate solution. The dimensions of the core tanks are 35 cm in thickness, 70 cm in width and 150 cm in height. In the experiments, critical level heights were measured varying the distance between the two core tanks under the non-reflected condition in order to evaluate reactivity effects on the neutron interaction between the two core tanks.

This report summarizes the data on the operation and the fuel management for the 25 experiments conducted in the last half of FY.1999.

Keywords: STACY, Two Unit Neutron-interacting System, 10%-enriched Uranyl Nitrate Solution, Two Slab-shaped Core Tanks, Experimental Data, Operation Data

---

This work was carried out under the auspices of the Science & Technology Agency, Japan.

+ Department of Fuel Cycle Safety Research

\*Prime Minister's Office, Office for Nuclear Safety Commission

## 目 次

1.はじめに .....	1
2.炉心構成 .....	2
2.1 炉心タンクの構造 .....	3
2.2 炉心タンクの配置 .....	5
2.3 核計装検出器の配置 .....	6
3.燃料管理データ .....	8
3.1 燃料貯蔵量 .....	8
3.2 燃料組成 .....	11
4.運転管理データ .....	14
4.1 350T 平板型相互干渉炉心における給液上の制限値 .....	14
4.2 起動用中性子源の挿入位置の確認 .....	16
4.3 核計装の出力較正 .....	17
4.4 反応度添加に関する運転データ .....	21
4.5 燃料条件と臨界量に関する運転データ .....	23
4.6 炉出力に関する運転データ .....	25
4.7 原子炉停止余裕に関する運転データ .....	26
5.まとめ .....	30
謝辞 .....	30
参考文献 .....	31
Appendix 1 実験用装荷物駆動装置(中性子検出器用)の概要 .....	32
Appendix 2 燃料組成の分析結果の評価について .....	34
Appendix 3 反応度添加に関する評価式について .....	37
Appendix 4 運転手順(R0244～R0268) .....	41

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Core Configuration .....	2
2.1 Configuration of Core Tanks .....	3
2.2 Arrangement of Core Tanks .....	5
2.3 Arrangement of Neutron Detectors .....	6
3. Fuel Management Data .....	8
3.1 Receipt of Fuel .....	8
3.2 Fuel Composition .....	11
4. Operation Data .....	14
4.1 Limit of Flow Rate by Feed Pump of 350T Two Unit Cores .....	14
4.2 Position Check of Start Up Neutron Source .....	16
4.3 Power Calibration of Neutron Detectors .....	17
4.4 Data on Reactivity Addition .....	21
4.5 Operation Date between Fuel Conditions and Criticality .....	23
4.6 Data on Reactor Power .....	25
4.7 Data on Reactor Shutdown Margin .....	26
5. Summary .....	30
Acknowledgments .....	30
References .....	31
Appendix 1 Brief Description of Drive Mechanism for Neutron Counter .....	32
Appendix 2 Evaluation of Fuel Compositions Based on Chemical Analyses .....	34
Appendix 3 Evaluation of Reactivity Addition .....	37
Appendix 4 Operational Steps R0244 through R0268 .....	41

## 1. はじめに

日本原子力研究所燃料サイクル安全工学研究施設(NUCEF)の定常臨界実験装置(STACY)は、ウランまたはプルトニウムを含む溶液状燃料の臨界特性に関する基礎データを測定するための臨界集合体である。STACY では、 $600\phi$  円筒型炉心タンク、280T 平板型炉心タンクおよび  $800\phi$  円筒型炉心タンクを用いた臨界実験を、平成 7 年から順次実施し、平成 10 年度にウラン系の単一炉心による均質炉心体系での臨界実験を終了した。

平成 10 年度末(平成 11 年 2 月)から、まず、350T 平板型炉心タンク(厚さ約 35cm、幅約 69cm、高さ約 150cm のステンレス鋼製の炉心タンク)2 基を用いた 350T 相互干渉炉心での臨界実験に備え炉心タンクの交換作業を行った。

平成 11 年度の後半(9 月から 2 月下旬)からは、350T 相互干渉炉心において、燃料に約 10% 濃縮硝酸ウラニル水溶液を用い、運転番号 R0244 から R0268 までの計 25 回の運転を行った。そのうち、R0244～R0260(平成 11 年 9 月 3 日～平成 12 年 1 月 20 日)の 15 ランは、350T 相互干渉炉心の性能に関わる使用前検査のための運転である(平成 12 年 1 月 28 日合格)。一方、R0261～R0268(平成 12 年 1 月 31 日～同年 2 月 23 日)の 8 ランは、350T 相互干渉炉心の特性を調べるための臨界実験である。

臨界実験では、350T 平板型炉心タンク 2 基の面間距離を順次変更し、主として、面間距離の違いによる反応度効果、臨界量等の測定を行った。なお、臨界実験計画に基づき、溶液燃料を順次希釈した。

本書は、平成 11 年度の後半に実施した R0244 から R0268 までの、350T 相互干渉炉心での運転管理およびその間の燃料管理に関する記録をまとめたものである。第 2 章では炉心構成機器について、第 3 章では STACY 施設における燃料管理データについて、第 4 章では STACY の運転管理データについて述べる。なお、実験解析については、別途報告する予定である。

## 2. 炉心構成

STACY の 350T 相互干渉炉心構成の概要を図 2.1 に示す。相互干渉炉心では、350T 平板型炉心タンク 2 基(固定側、移動側)を炉心水槽内に設置した。実験に応じ、移動側炉心タンクを動かすことによって炉心タンクの間隔を変更したり、反射材(軽水、固体反射体)を配置することができる。以降、炉心タンクの構造、配置および核計装検出器の配置について記す。なお、機器の詳細については、参考文献 1)、2)および Appendix 1 を参照されたい。

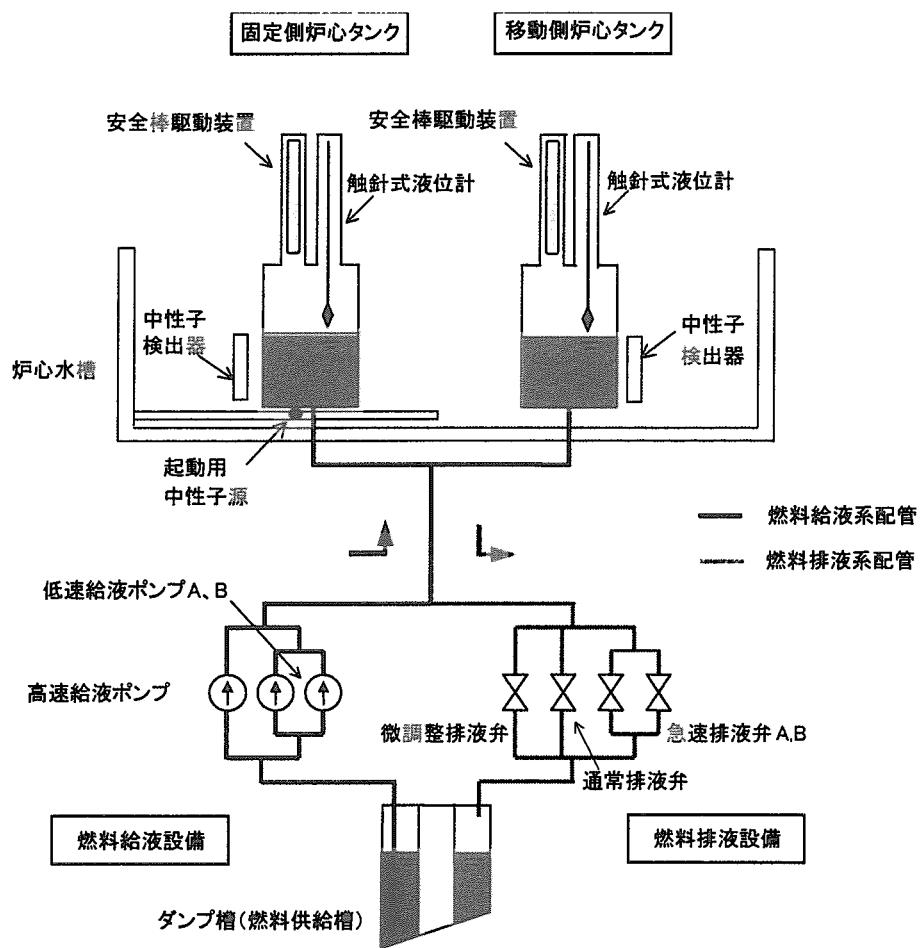


図 2.1 STACY の 350T 相互干渉炉心構成の概要

## 2.1 炉心タンクの構造

相互干渉用 350T 平板型炉心タンクの構造を図 2.2 に示す。350T 平板型炉心タンクは、幅約 700mm × 350mm、高さ約 1.5m のステンレス鋼製のタンクで、固定側と移動側の 2 基から成る。

固定側炉心タンクには、安全棒駆動装置 4 基、触針式液位計 1 基、実験用装荷物駆動装置 2 基(温度計用、中性子束検出器用各々 1 基)を設置した。移動側炉心タンクには、安全棒駆動装置 4 基、触針式液位計 1 基を設置した。また、両炉心タンクには、炉心タンク内の燃料温度を測定するための温度計が設置されている。さらに、各々の炉心タンク上部には槽ベント系配管が、炉心

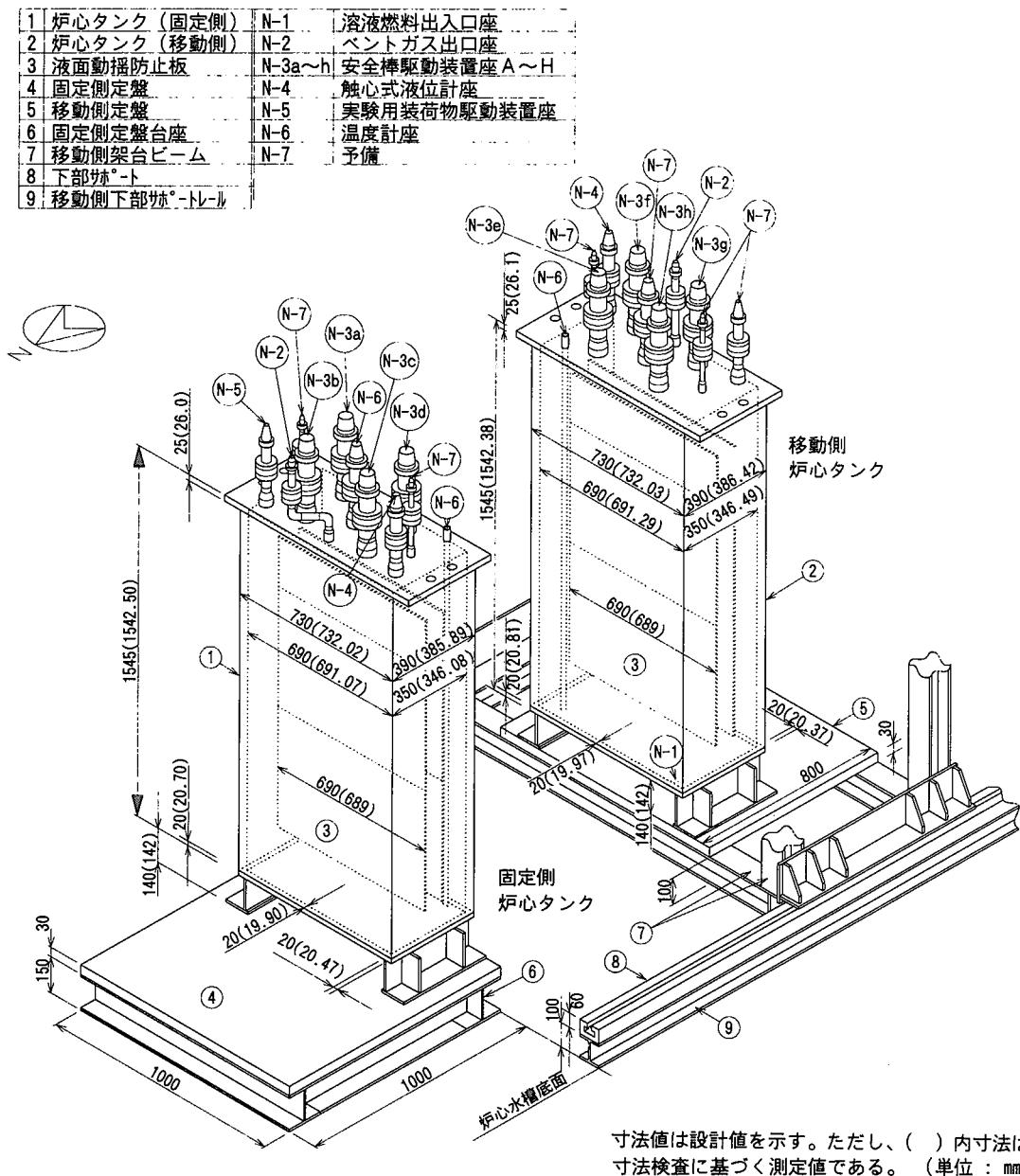


図 2.2 350T 平板型炉心タンクの構造

タンク下部には燃料給排液系の配管(2分岐配管)が、各々カプラ继手により接続される。なお、相互干渉炉心では、液面動搖により炉心に正の反応度が添加されることを防ぐため、固定側、移動側の両炉心タンク内に液面動搖防止板(材質ジルカロイ4)を2列に設けている。その幅は約689mm、厚さが約6.2mmで、炉心タンクの長手方向(図2.2参照)の中心軸に対し、約42.5mmの位置に平行に配置されている。

また、相互干渉炉心では、350T 平板型炉心タンクのうち、移動側炉心タンクが固定側炉心タンクと密着状態から最大1700mm 移動することが可能である。このため、移動側炉心タンクに接続される燃料給排液系の配管は、炉心タンクの移動に追従するように、カプラ继ぎ手により自在に回転するようになっている。燃料給排液系の配管(2分岐配管)の作動原理を図2.3に示す。図から、炉心タンク移動時には、カプラ继ぎ手Xを固定点(支点)として、カプラ继ぎ手Yがbからb'の範囲を回転し、カプラ继ぎ手Zはcからc'を直線上に動く。なお、カプラ继ぎ手Wは固定側炉心タンク接続用である。

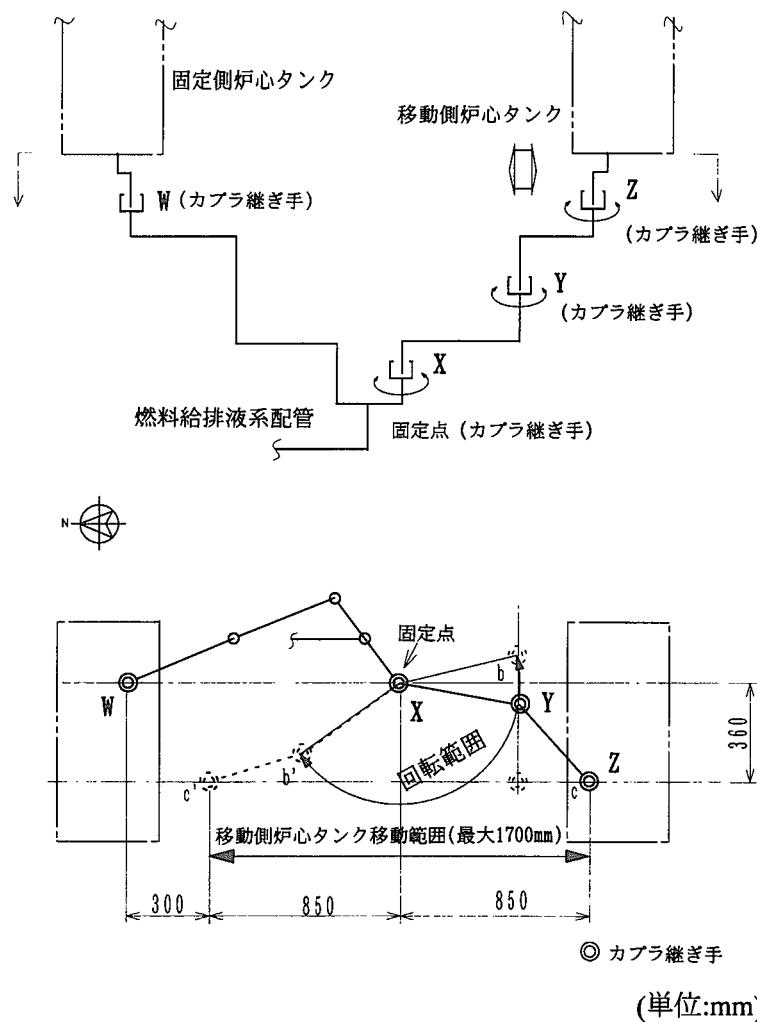


図2.3 燃料給排液系の配管(2分岐配管)の作動原理

## 2.2 炉心タンクの配置

350T 相互干渉炉心では、実験計画に応じ、炉心タンク間の面間距離を、密着状態(0cm)から7.5cm、15cm、30cm、50cm および 100cm の計 5 回変更を行った。350T 炉心タンクの配置例(面間距離 30cm)を図 2.4 に示す。固定側炉心タンクは炉心水槽内の固定側定盤上にボルト固定される。また、移動側炉心タンクは移動用架台上の移動側定盤上にボルト固定される。なお、炉心タンクの位置変更は、炉心水槽上部外側に設置されているレールおよび炉心水槽内の移動用下部サポートトレールに沿って移動用架台を動かすことにより行う。

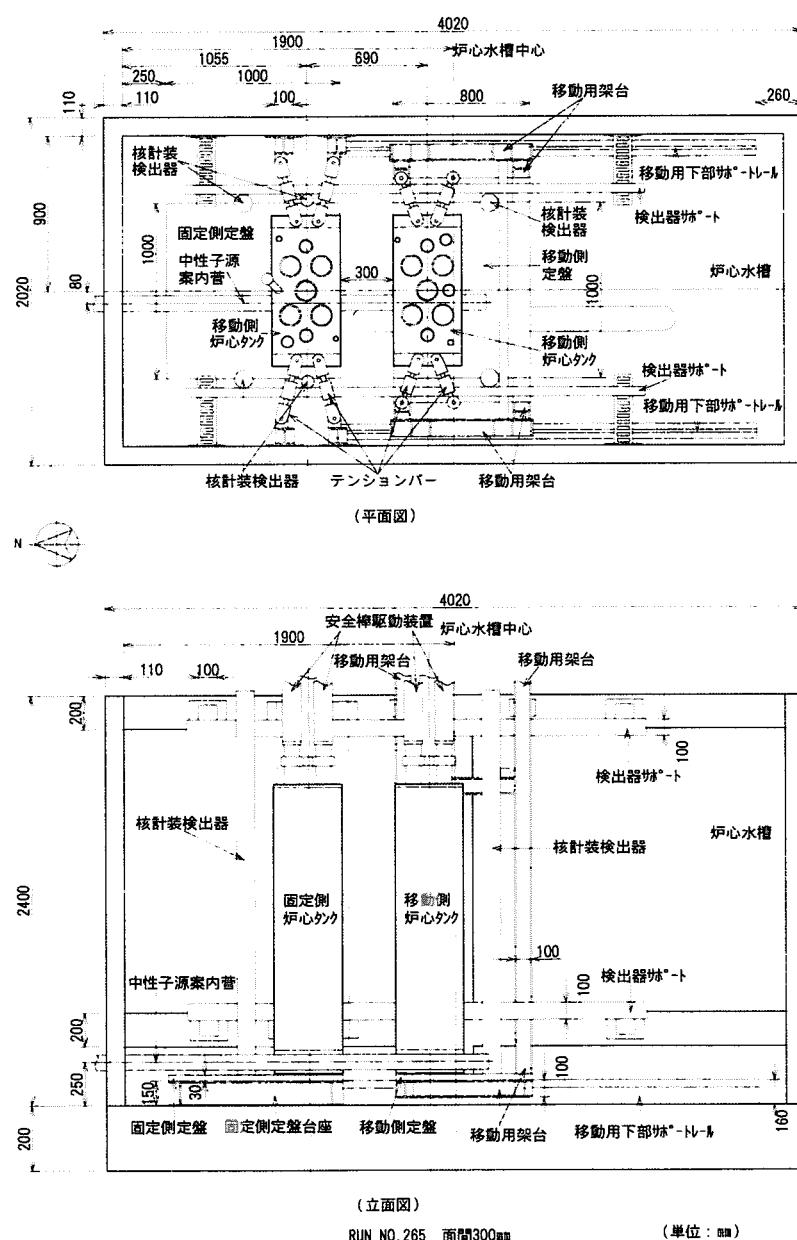


図 2.4 350T 炉心タンクの配置例(面間距離 30cm)

### 2.3 核計装検出器の配置

核計装検出器は、350T 平板型炉心タンクの周りに設置する起動系、運転系対数及び運転系線型と、炉室の天井部に設置(固定)されている安全出力系(CIC)の各々2系統(A、B)で構成される。炉心タンク周りの核計装検出器は、実験計画に応じ配置を変更した。核計装検出器の配置例(R0244)を図 2.5 に、運転毎の核計装検出器の配置を表 2.1 に示す。

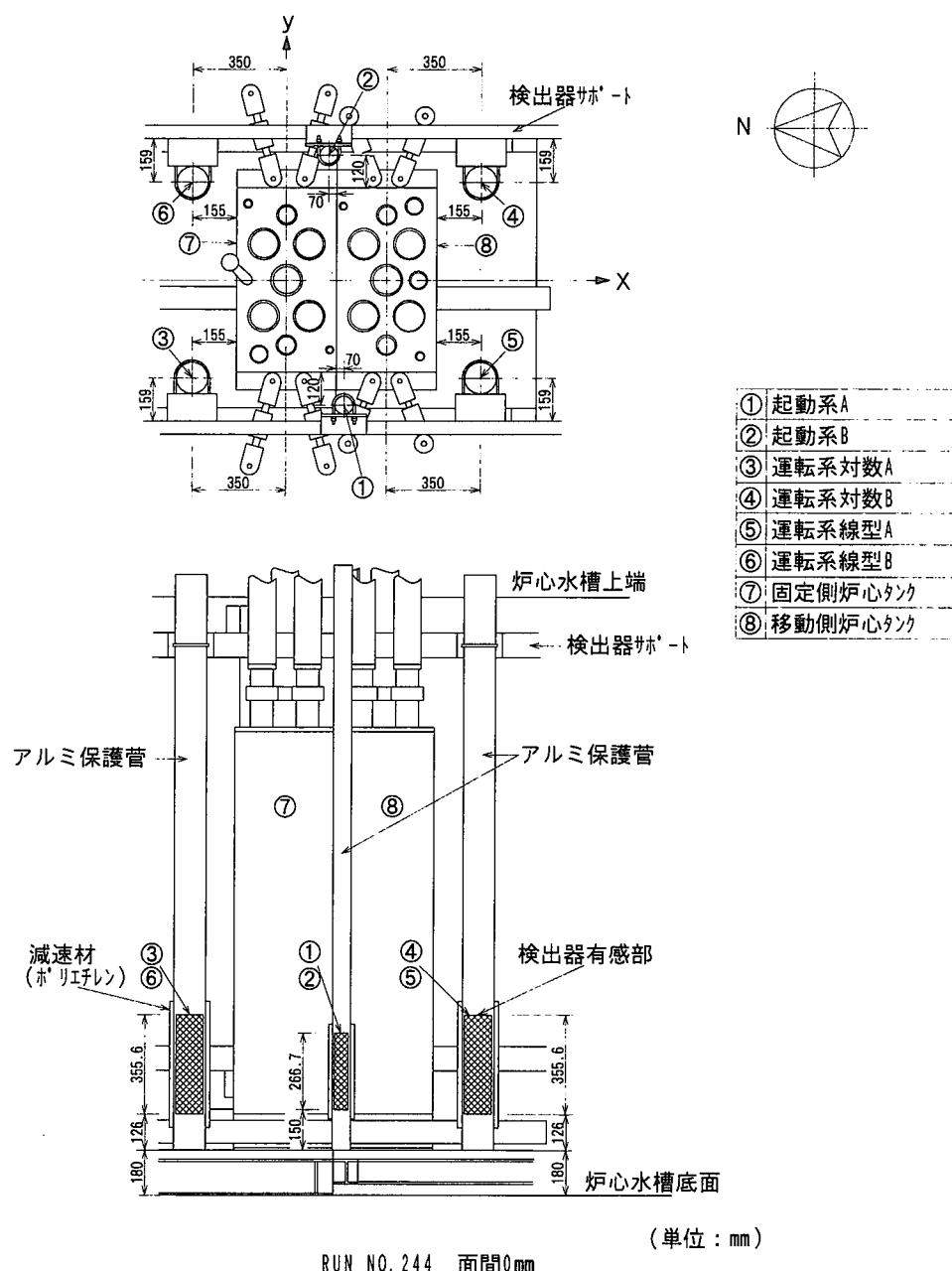


図 2.5 核計装検出器の配置例(R0244)

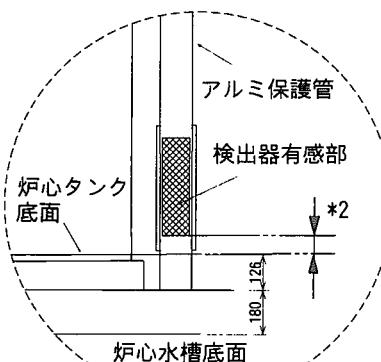
表 2.1 各運転毎の核計装検出器の配置(R0244～R0268)

運転番号	R0244～R260	R261	R262	R263	R264～R266	R267	R268
反射体	裸	裸	裸	裸	裸	裸	裸
起動系 A系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	265	0	0	0	0	0
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	-485	-525	-525	-525	-525	-525
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	67	67	67	67	67	67
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10
起動系 B系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	125	0	0	0	0	0
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	485	525	525	525	525	525
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	67	67	67	67	67	67
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10	ボリ10
運転系 線型 A系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	740	755	830	905	1055	1255
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	-400	-500	-500	-500	-500	-500
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	22	152	152	152	152	152
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5
運転系 線型 B系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	-350	-365	-365	-365	-365	-365
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	400	500	500	500	500	500
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	22	152	152	152	152	152
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5
運転系 対数 A系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	-350	-365	-365	-365	-365	-365
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	-400	-500	-500	-500	-500	-500
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	22	152	152	152	152	152
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5
運転系 対数 B系	検出器中心 x 座標 <sup>*1</sup>	740	755	830	905	1055	1255
	検出器中心 y 座標 <sup>*1</sup>	400	500	500	500	500	500
	検出器下限高さ <sup>*2</sup>	22	152	152	152	152	152
	減速材 <sup>*3</sup> の有無	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5	ボリ5

\*1 固定側 炉心タンクの中心軸を原点に、南方向を x (+) 、東方向を y (+) とする。単位 mm。(図2.5参照)

\*2 炉心タンク内底面から検出器有感部下端までの高さ(下記参考図のとおり)。単位 mm。

\*3 ボリ=ポリエチレン 数字=厚さ。単位 mm。



参考図 検出器下限高さ

### 3. 燃料管理データ

本章では、燃料管理データとして、平成 11 年度後半(9 月から 2 月)に実施した 350T 相互干渉炉心での運転期間中における燃料貯蔵量及び燃料組成の経時変化について述べる。

#### 3.1 燃料貯蔵量

##### 3.1.1 燃料の受入、希釀

平成 11 年度は、まず平成 11 年 7 月 28 日に燃料調製設備からダンプ槽 I B に燃料を受入れた。その後、350T 相互干渉炉心での性能検査(使用前検査)に使用する燃料として、平成 11 年 9 月 1 日、6 日に燃料調製設備から脱塩水を補給液調整槽に受入れ、ダンプ槽 I B に貯留されている燃料を希釀した。その後、実験計画に基づき、使用する燃料の希釀を随時行った。

燃料調整一覧を表 3.1 に示す。表中⑤では、350T 炉心タンク 2 基の面間距離を変えての臨界実験では燃料が不足するため、燃料調製設備からダンプ槽 I B に約 29kgU の燃料を受入れた。⑥は、その燃料の希釀を示す。

表 3.1 燃料調整一覧

燃料調整	実施日	対象槽	分析日	濃度 <sup>*</sup> (gU/ℓ)	遊離硝酸濃度 <sup>*</sup> (mol/ℓ)	密度 <sup>*</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	ウラン量 (kg)
① 燃料受入れ	H11.7.28	ダンプ槽 I B	H11.8.31	395.7	1.10	1.563	約109
② 希釀	H11.9.1	ダンプ槽 I B	H11.9.2	330.4	同上	1.472	約109
③ 希釀	H11.9.6	ダンプ槽 I B	H11.9.7	320.8	0.88	1.458	約109
④ 希釀	H12.1.13	ダンプ槽 I B	H12.1.12	331.0	0.92	1.473	約109
			H12.1.13	323.9	0.90	1.462	
⑤ 燃料增量	H12.1.24	ダンプ槽 I B	H12.1.22	324.8	0.90	1.463	約138
			H12.1.25	327.2	0.95	1.469	
⑥ 希釀	H12.1.26	ダンプ槽 I B	H12.1.27	290.0	同上	1.415	約138

\*: 値は全て分析値(上段: 調整前、下段: 調整後)を示す。

##### 3.1.2 ダンプ槽液位の経時変化

燃料の希釀操作後、次の希釀までの間におけるダンプ槽の燃料液位は、これまでと同様に、ほぼ一定割合の減少傾向を示した。これは、STACY のダンプ槽では、燃料から発生する気体廃棄物(ガス状の FP)を追い出すために流しているベントガス(槽ベントページ)によって燃料中の水分が蒸発し、ダンプ槽液位が時間とともに減少することによるものである<sup>2)~5)</sup>。ダンプ槽 I B の液位経時変化をそれぞれ図 3.1 に示す。

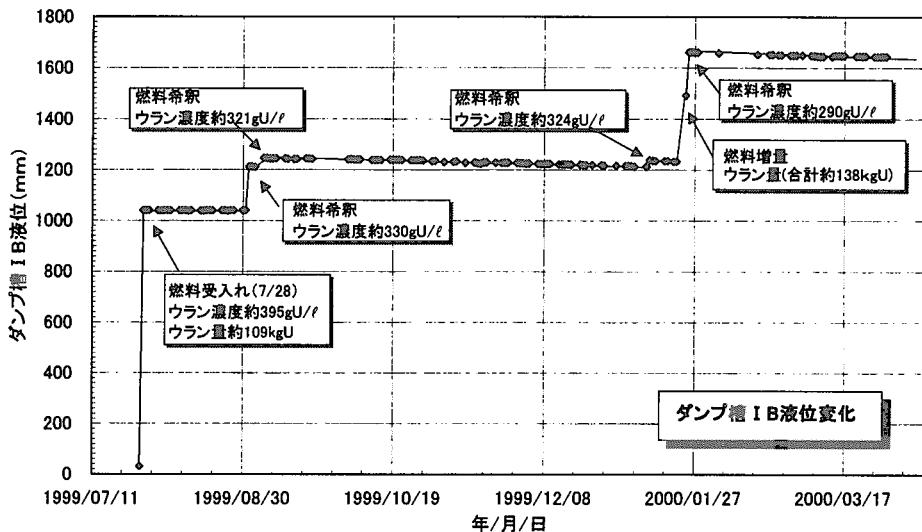


図 3.1 ダンプ槽 IBの液位経時変化

また、図 3.1 に示されるように、ダンプ槽 IB の燃料液位変化を直線でフィッティングし、その傾きから液位減少を評価することができる。その結果を図 3.2 に示す。ただし、燃料液位データのうち、最終希釈(ウラン濃度約 290gU/l)後の平成 12 年 1 月 27 日以降の評価にあたっては、一連の実験期間中における経時変化を考慮し、平成 12 年 4 月末までのデータを含めている。また、図中、期間の短いものについては、精度良いフィッティングができなかった。図 3.2 から、ダンプ槽 IB の 1 日当たりの液位減少量は、最大約-0.3mm/日(約 100cm<sup>3</sup>/日)で、平成 10 年度までの結果<sup>5)</sup>(最大約 270cm<sup>3</sup>/日)の範囲内であった。

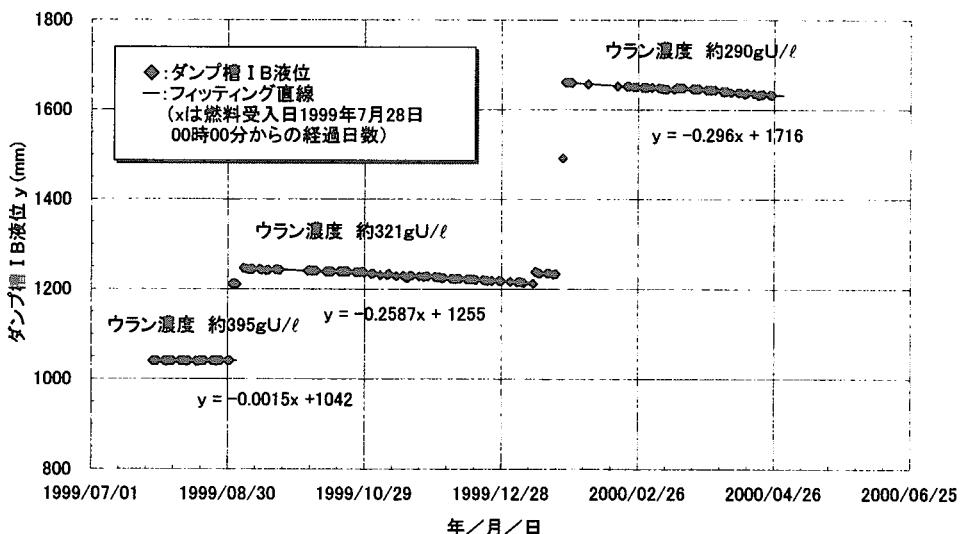


図 3.2 ダンプ槽 IB の燃料液位減少割合(フィッティングの結果)

なお、ダンプ槽のベントガス(槽ベントページ)流量とベントガスに含まれる水分を回収する凝縮液受槽の液位変化を図 3.3 に示す。平成 10 年度までの結果と同様に、ベントガス流量は特異な変動も無くほぼ一定で管理されている。また、凝縮液受槽の液位変化は、前半には例年通り約 8mm/日(約 80cm<sup>3</sup>/日)で水分が回収されているものの、後半にはその約半分に落ちている。ベントガスコンデンサの冷却能力の低下が考えられ、今後、ベントガスコンデンサ冷却水量の変化等の調査検討が必要と思われる。

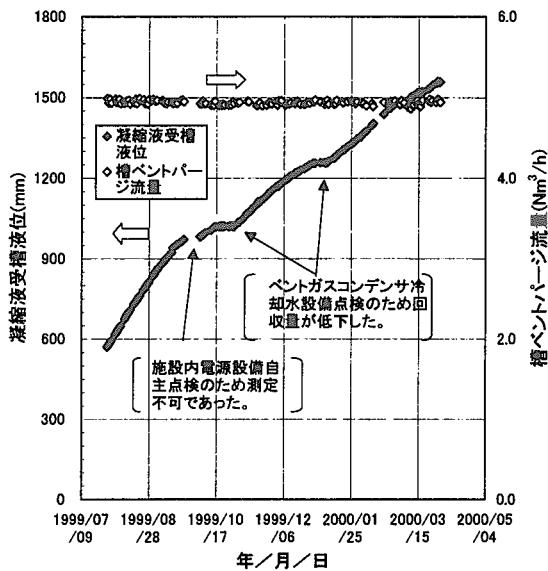


図 3.3 ベントガス(槽ベントページ)流量と凝縮液受槽液位の変化

### 3.1.3 燃料温度の経時変化

ダンプ槽貯留中の燃料温度の変化を図 3.4 に示す。ダンプ槽燃料温度は、温度が下がって溶液中のウランが析出しないよう、燃料貯槽室の換気空調設備により、ほぼ 24°C 前後で管理されている。

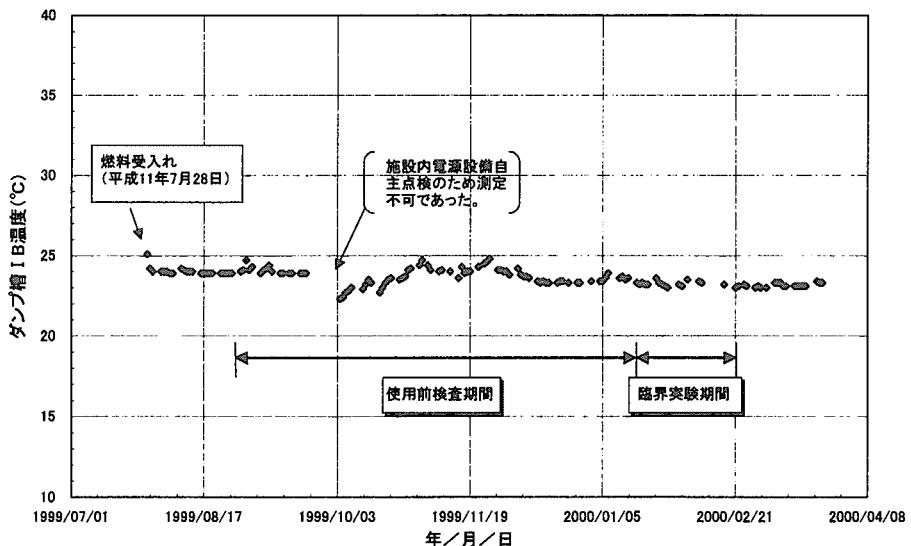


図 3.4 ダンプ槽 IB の燃料温度の変化

### 3.2 燃料組成

STACY の燃料組成については、実験日の前または後に、ダンプ槽サンプリング装置<sup>6)</sup>によって燃料を採取し、ウラン濃度、遊離硝酸濃度、密度、さらに必要に応じて不純物濃度の定量分析<sup>7)~9)</sup>を行った。ただし、全ての実験日の前または後に燃料採取は行っていない。

#### 3.2.1 燃料組成の変化

平成 11 年度後半(350T 相互干渉炉心実験)に実施した燃料分析結果一覧を表 3.2 に示す。ただし、表中、資料番号 495 は、燃料受入(平成 11 年 7 月 28 日)後の燃料分析結果を示す。なお、燃料調整(希釈、燃料增量)についての詳細は、3.1.1 項を参照されたい。

表 3.2 燃料分析結果一覧

試料番号	燃料サンプル採取日時／分析日時	ウラン濃度 [gU/l]	遊離硝酸濃度 [mol/l]	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]
495	1999/8/31 11:30	395.7 ± 0.4	1.10 ± 0.01	1.5625
497	1999/9/2 11:30	330.4 ± 0.2	0.91 ± 0.01	1.4720
499	1999/9/7 11:30	320.8 ± 0.4	0.88 ± 0.01	1.4575
500	1999/9/9 11:30	320.5 ± 0.6	0.88 ± 0.01	1.4581
502	1999/11/2 11:30	325.0 ± 0.4	0.90 ± 0.01	1.4616
504	1999/11/9 11:30	324.3 ± 0.2	0.92 ± 0.01	1.4626
505	1999/12/6 14:00	327.1 ± 0.3	0.92 ± 0.01	1.4676
507	1999/12/9 11:30	327.6 ± 0.2	0.90 ± 0.01	1.4681
509	2000/1/12 11:30	331.0 ± 0.2	0.92 ± 0.01	1.4727
510	2000/1/13 14:00	323.9 ± 0.2	0.90 ± 0.01	1.4621
511	2000/1/17 11:00	324.8 ± 0.6	0.89 ± 0.01	1.4626
513	2000/1/21 11:00	324.8 ± 0.6	0.90 ± 0.01	1.4633
515	2000/1/24 15:30	327.2 ± 0.2	0.95 ± 0.01	1.4692
516	2000/1/26 11:00	290.0 ± 0.2	0.83 ± 0.01	1.4152
519	2000/2/4 15:00	291.0 ± 0.2	0.83 ± 0.01	1.4166
520	2000/2/15 13:00	291.6 ± 0.4	0.83 ± 0.01	1.4173
522	2000/2/17 13:00	291.3 ± 0.2	0.84 ± 0.01	1.4177
524	2000/2/24 13:30	291.6 ± 0.4	0.84 ± 0.01	1.4184

#### 3.2.1.1 ウラン濃度、燃料密度および遊離硝酸濃度の経時変化

STACY では、平成 10 年度までの実績から、ウラン濃度および燃料密度は、溶液燃料中の水分の蒸発により時間とともに大きくなる傾向を示すことが確認されている<sup>2)~5)</sup>。平成 11 年度においても同様な傾向が示された。ウラン濃度および燃料密度の変化を図 3.5 に示す。なお、遊離硝酸濃度の経時変化については、各燃料希釈(表 3.1 参照)後の値が測定精度に比べて有意な変化が無く、ほぼ一定であったと言える。

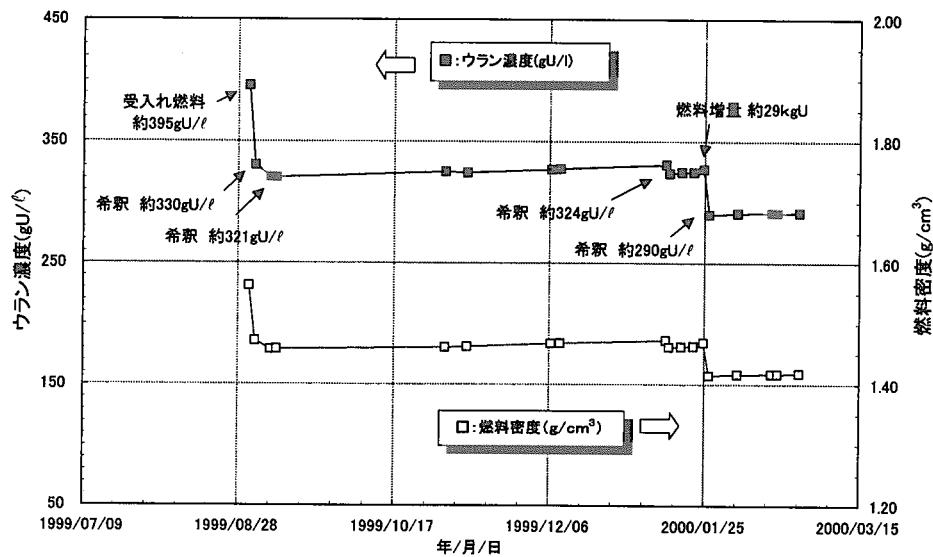


図 3.5 ウラン濃度および燃料密度の変化

ここで、ウラン濃度および燃料密度が、時間経過に対して濃くなる方向であることから、分析結果の平均値( Appendix 2 参照)を試料採取日に対し直線でフィッティングし、その変化率を評価した。ただし、燃料希釈(ウラン濃度 約 290gU/l)後の平成 12 年 1 月 27 日以降の評価については、一連の実験期間中における経時変化を考慮し、平成 12 年 4 月末までのデータを含めている。その結果を、ウラン濃度変化については図 3.6 に、燃料密度変化については図 3.7 に各々示す。なお、溶液燃料調整中のデータは除いている。また、分析データが一点のものはその値を採用している。

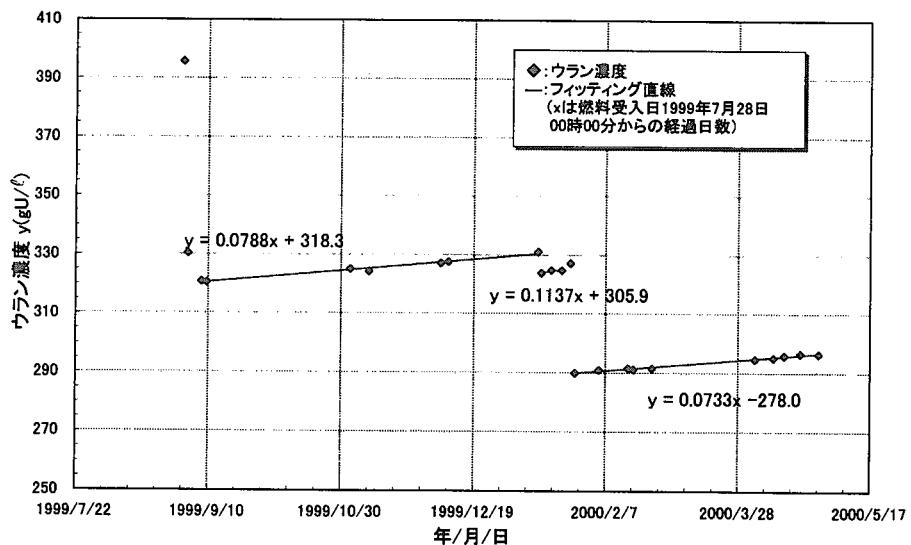


図 3.6 ウラン濃度変化(フィッティングの結果)

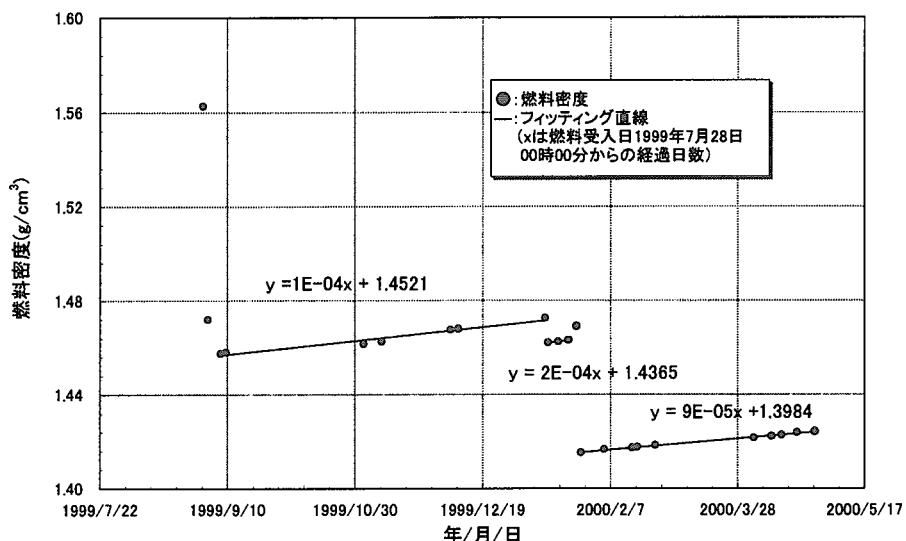


図 3.7 燃料密度変化(フィッティングの結果)

### 3.2.1.2 燃料中の不純物濃度の経時変化

運転期間中における燃料中の不純物濃度分析結果(ダンプ槽 I B)を表 3.3 に示す。測定対象はステンレス鋼の主成分である鉄、ニッケル、クロムである。なお、平成 11 年度では不純物濃度の分析を燃料受入れ後(8 月 31 日)に一度しか行っていないことから、平成 12 年度の 4 月 3 日に分析した結果を併せて示している。

なお、不純物濃度は、燃料の希釈に伴って相対的に減少する傾向を示すが、溶液燃料量から燃料中の不純物量を求めるとき、ほぼ一定であった。結果から、燃料受入れ後及び燃料增量後共に、全燃料中の不純物量は、鉄が約 33 g、ニッケルが約 5 g、クロムが約 6 g で、有意な増加は見られなかった。このことから、燃料貯槽、配管等の侵食は見られないものと考えられる。

表 3.3 不純物濃度分析結果(ダンプ槽 I B)

燃料サンプル分析日時	不純物濃度 [μg/mL]		
	鉄	ニッケル	クロム
1999/8/31 11:30	122.0 ± 6.1	23.0 ± 1.2	28.0 ± 1.4
2000/4/3 11:30	70.0 ± 3.5	10.0 ± 0.5	12.0 ± 0.6

#### 4. 運転管理データ

STACY では、350T 平板型炉心タンク交換後の使用前検査期間中における性能確認及び検査合格後の特性試験で、計 25 回（運転番号 R0244～R0268）の運転を行った。

本章では、まず運転管理上重要である 350T 平板型相互干渉炉心における給液上の制限値を示すとともに、初期の運転時に実施した中性子源挿入位置の確認、核計装出力較正について記す。次に平成 11 年度後半（9 月～2 月）に実施した 350T 平板型相互干渉炉心における運転管理データとして、反応度添加、燃料条件と臨界量、炉出力及び安全棒反応度価値に関するデータをまとめた。

##### 4.1 350T 平板型相互干渉炉心における給液上の制限値

燃料給液時の反応度添加に関する制限値は、炉心タンクに給液した燃料液位 1mm 当たりの反応度、すなわち液位反応度  $d\rho/dH$  に支配される。液位反応度は臨界液位に応じて(4.1)式で近似できる。

$$\frac{d\rho}{dH} = \frac{a}{(H_c + b)^3} \quad (4.1)$$

ただし、

- $d\rho/dH$  : 液位反応度 [cent/mm]
- $H_c$  : 臨界液位 [mm]
- $a, b$  : フィッティング定数 ( $a = 9.87 \times 10^8 \text{ cent} \cdot \text{mm}^2, b = 138 \text{ mm}$ )

ここで、 $a, b$  はこれまでの臨界実験の実測値<sup>9</sup>から推定した。（炉心タンク断面積がほぼ同じ 800 φ炉心で得られた液位反応度のフィッティング式を用いる）

以降、この式を用いて反応度添加に関する給液上の制限値を設定する。ここでは、最大添加反応度に関わる液位上昇制限液位（触針式液位計）および最大反応度添加率に関わる炉心タンクへの最大給液流量（給液ポンプ）について述べる。

###### 4.1.1 液位上昇制限液位

液位計上昇制限液位 ( $H_2$ ) は、ポンプによる炉心タンクへの燃料給液の際、過剰反応度が 20cent を超えないようにするために設けられた制限値である。設定値は、給液ポンプ停止後 1 秒間の液位上昇分（最大 3cent に相当）を考慮しても、過剰反応度が 20cent を超えないように、過剰反応度 17cent 相当の燃料液位である。

過剰反応度 17cent を与える臨界超過液位 ( $H_2$ ) は、各臨界液位に対し(4.2)式<sup>4),5),10)</sup>によって求めることができる。

$$H_2 = H_c + \frac{\rho}{d\rho/dH} = H_c + \frac{\rho \times (H_c + b)^3}{a} \quad (4.2)$$

ただし、

- $H_2$  : 液位計上昇制限液位 [mm]
- $d\rho/dH$  : 液位反応度 [cent/mm]
- $\rho$  : 過剰反応度 ( $\rho=17$ ) [cent]
- $H_c$  : 臨界液位 [mm]
- $a, b$  : フィッティング定数( $a = 9.87 \times 10^8 \text{ cent} \cdot \text{mm}^2, b = 138 \text{ mm}$ )

#### 4.1.2 最大給液流量

最大給液流量は、燃料給液時における反応度添加率の制限として設定する。炉心タンクへの燃料給液時には、燃料組成から予想される臨界液位の半分の液位（高速給液制限液位）までを高速給液ポンプで行い、その後、低速給液ポンプにより給液を行う。

高速給液ポンプの最大給液流量は、炉心タンク液位上昇速度（1mm/s 以下）によって制限される。低速給液ポンプの最大給液流量は、炉心タンク液位上昇速度（0.5mm/s 以下）または反応度添加率(3cent/s 以下)によって制限される給液流量のうち、小さいほうを制限値として設定する。

##### (1) 炉心タンク液位上昇速度

350T 平板型炉心タンク 2 基の水平断面積は、

$$\begin{aligned} & (\text{炉心タンク断面積}) - (\text{温度計案内管断面積}) - (\text{液面動搖防止板断面積}) \\ & = 2 \times ((689 \times 346.3) - (\pi \times 8.65^2) - (2 \times 689 \times 6)) \\ & = 4.602 \times 10^5 [\text{mm}^2] \end{aligned}$$

である。したがって、炉心タンク液位上昇速度 1mm/s(高速給液ポンプ) および 0.5mm/s(低速給液ポンプ)に相当する給液流量は、それぞれ次のとおりである。

$$\begin{aligned} & (\text{高速給液 } 1\text{mm/s 相当の給液流量}) = 4.602 \times 10^5 [\text{mm}^2] \times 1[\text{mm/s}] \\ & = 4.602 \times 10^5 [\text{mm}^3/\text{s}] \\ & = 27.7 [\ell/\text{min}] \\ & (\text{低速給液 } 0.5\text{mm/s 相当の給液流量}) = 4.602 \times 10^5 [\text{mm}^2] \times 0.5[\text{mm/s}] \\ & = 2.301 \times 10^5 [\text{mm}^3/\text{s}] \\ & = 13.8 [\ell/\text{min}] \end{aligned}$$

## (2) 最大反応度添加率相当流量

最大反応度添加率 (3cent/s) 相当を与える給液流量は次式で求めることができる。

$$\text{最大反応度添加率 } 3 \text{ cent/s} \text{ 相当の給液流量} = \frac{3[\text{cent/s}]}{d\rho / dH [\text{cent/mm}]} \times \text{炉心タンク断面積} [\text{mm}^2]$$

$$= 13.8[\ell/\text{min}]$$

となる。

ただし、液位反応度は、350T 相互干渉炉心における初回臨界液位を約 410mm として、(4.1) 式から 6 cent/mm とした。

なお、低速給液ポンプの最大給液流量としては、低速給液ポンプ (A) の性能上の最大流量が 10ℓ/min であることから、制限値 (13.8ℓ/min) を超えることはない。

## 4.2 起動用中性子源の挿入位置の確認

350T 相互干渉炉心での最初の性能確認運転 (R0244) 時に、起動用中性子源 (Am-Be、74GBq) の挿入位置の確認を行った。図 4.1 に相互干渉用 350T 平板型炉心タンクと起動系検出器の配置を示す。挿入位置は、燃料給液後未臨界状態において、起動用中性子源の挿入位置を変えて核計装の起動系 A 系及び B 系の中性子計数率を測定し、中性子計数率がピークとなる位置に決定することとした。

図 4.2 に起動用中性子源挿入位置と中性子計数率の関係を示す。結果から、起動用中性子源を線源容器から 5.7m 炉心に挿入した位置（固定側炉心タンク寄り）に決定した。

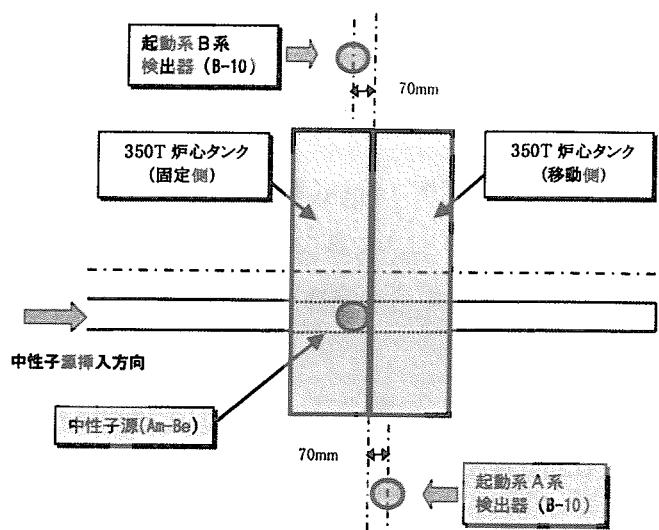


図 4.1 相互干渉用 350T 平板型炉心タンクと起動系検出器の配置

なお、実験計画に応じ、運転番号 R261 から R268 の中性子源挿入位置を、固定側炉心タンクのほぼ中心位置である 5.51m としている。

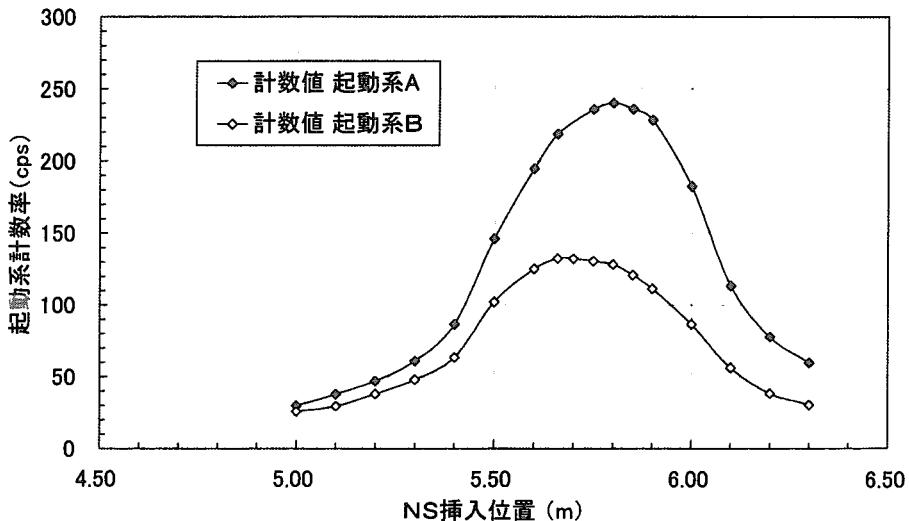


図 4.2 起動用中性子源挿入位置と中性子計数率の関係

#### 4.3 核計装の出力較正

STACY の炉出力は、安全出力系線型出力計(CIC)の指示値 [W] を目安にして、運転前後の溶液燃料の FP 分析結果をもとに調整する。出力較正は、まず、最初の運転(50W 程度の出力)後に燃料をサンプリングし、FP 分析結果から最終的に積分出力 [W·h] を求める。次に、FP 分析による出力を真値とし、安全側に約 10% の余裕をもたせた出力を指示するように、安全出力系線型出力計のアンプゲインを調整することで行う。なお、FP 分析対象核種のうち、核分裂収率および半減期を考慮して、<sup>143</sup>Ce の生成量から出力を較正している。

350T 相互干渉炉心での FP 分析結果に基づく出力評価を表 4.1 に示す。表中、運転番号 R0245 は較正前を示し、結果から FP 分析結果に基づく出力値に対し核計装指示値が約 20% 低めであった。この結果を受け、安全出力系線型出力計のアンプゲインを調整し、運転番号 R0257、R0260 および R0266 で確認を行った。較正後の確認の結果から、FP 分析結果に基づく出力値に対し、安全出力系の出力値が、安全側に約 15% の余裕をもち較正されていることが分かる。以下、FP 分析結果に基づく出力評価方法について示す。

表4.1 350 T相互干渉炉心でのFP分析結果に基づく出力評価

FP分析 日時/ j	FP 分析 値			運 転 デ タ			FP分析結果に基づく出力評価値			核計装指示値				
	FP分析値 $B_j$ [Bq/5cc]	ダンプ槽 IB液位 $h$ [mm]	燃料容積 $V [\ell]$	ダンプ槽貯留燃料中 の放射能 $A_j$ [Bq] 誤差 $\pm 0.2 [\ell]$	最終運転終了時 の累積放射能 [Bq]	運転 番号	運転終了 日時	炉心構成 (炉心タンク 面間距離)	臨界液位 $H_c$ [mm]	運転終了時の 放射能 $C_n$ [Bq]	FP分析結果に基づく出力評価値 $IP_n$ [W·h]	安全 出力系 総算出力 [W·h]	安全係数	備 考
9/09 , 11:30	11902 ± 3.05%	1244	340.0	8.09E+08 ± 3.05%		R0245	9/08 , 15:25	裸 (0cm)	422.48	1.23E+09 ± 3.06%	31.6 ± 1.0	25.5	0.81	調整前
12/09 , 11:30	13193 ± 3.02%	1223	333.3	8.79E+08 ± 3.02%	1.38E+09 ± 3.02%	R0257	12/08 , 14:02	裸 (0cm)	410.02	1.38E+09 ± 3.02%	35.4 ± 1.1	41.0	1.16	調整後
1/21 , 14:30	7127 ± 3.01%	1234	336.8	4.80E+08 ± 3.01%	8.37E+08 ± 3.01%	R0260	1/20 , 11:59	裸 (0cm)	415.22	8.37E+08 ± 3.01%	21.5 ± 0.6	25.1	1.17	調整後
2/17 , 15:00	12022 ± 3.06%	1652	472.0	1.13E+09 ± 3.06%	1.77E+09 ± 3.07%	R0266	2/16 , 17:30	裸 (30cm)	662.63	1.77E+09 ± 3.07%	45.4 ± 1.4	51.6	1.14	調整後

\* 安全係数 = 安全出力系総算出力 / FP分析結果に基づく出力評価値である。

### 4.3.1 ダンプ槽貯留燃料中の放射能

ダンプ槽貯留燃料中の放射能は(4.3)式によって求めることができる。

$$A_j = \frac{B_j}{5} \times V_k(h_{j,k}) \times 1000 \quad (4.3)$$

ただし、

- $A_j$  : 時刻  $j$  におけるダンプ槽貯留燃料中の放射能 [Bq]
- $B_j$  : 時刻  $j$  における FP 分析結果 [Bq/5cc]
- $V_k(h_{j,k})$  : ダンプ槽  $k$  ( $k=IA, IB$ ) の液位  $h$  [mm] のときの貯留燃料の体積 [ $\ell$ ]
  - ダンプ槽 IA :  $V(h) = 0.3216h - 61.40$  ( $h \geqq 400$ ) <sup>2)</sup>
  - ダンプ槽 IB :  $V(h) = 0.3235h - 62.39$  ( $h \geqq 400$ ) <sup>2)</sup>
- $h_{j,k}$  : 時刻  $j$  におけるダンプ槽  $k$  の液位指示値 [mm]

ダンプ槽貯留燃料中の放射能  $A_j$  の誤差  $\sigma_{A_j}$  [Bq] は(4.4)式によって求めることができる。

$$\sigma_{A_j} = A_j \sqrt{\left(\frac{\sigma_{B_j}}{B_j}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{V_j}}{V_j}\right)^2} \quad (4.4)$$

ただし、

- $\sigma_{B_j}$  : FP 分析における放射能の測定誤差 [Bq]
- $\sigma_{V_j}$  : ダンプ槽貯留燃料容量の誤差=約±0.2 [ $\ell$ ] (ダンプ槽 IA, IB)

### 4.3.2 運転による正味の生成放射能評価値

1回の運転による正味の放射能生成量は(4.5)式によって求めることができる。

$$\begin{aligned} C &= A'_{j+1} - A'_j \\ &= A_{j+1} \cdot \exp(\lambda \cdot t_a) - A_j \cdot \exp(-\lambda \cdot t_b) \end{aligned} \quad (4.5)$$

ただし、

- $C$  : 運転終了時の正味の放射能生成量 [Bq]
- $A'_j$  : 運転終了時のバックグラウンド放射能 [Bq]
- $A'_{j+1}$  : 運転終了時の放射能 [Bq]
- $A_j$  : 運転前の FP 分析時 (時刻  $j$ ) の放射能 [Bq]
- $A_{j+1}$  : 運転後の FP 分析時 (時刻  $j+1$ ) の放射能 [Bq]
- $t_b$  : 運転前の FP 分析 (時刻  $j$ ) から運転終了までの時間 [s]

- $t_a$  : 運転終了から運転後の FP 分析（時刻  $j+1$ ）までの時間 [s]  
 $\lambda$  : FP の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]

#### 4.3.3 FP 分析結果に基づく積分出力評価値

FP 分析結果に基づく積分出力評価値は(4.6)式によって求めることができる。

$$IP = \frac{C \cdot E}{\lambda \cdot Y} \quad (4.6)$$

ただし、

- $IP$  : FP 分析結果に基づく積分出力 [ $W \cdot h$ ]  
 $C$  : 運転終了直後の正味の  $^{143}\text{Ce}$  放射能生成量 [Bq]  
 $E$  :  $^{235}\text{U}$  の 1 核分裂当たりの放出熱エネルギー  
 $= (8.89 \times 10^{-15})$  [ $W \cdot h/\text{fission}$ ]  
 $\lambda$  : FP の崩壊定数 ( $^{143}\text{Ce} : = 5.83 \times 10^{-6}$ ) [ $s^{-1}$ ]  
 $Y$  : FP の核分裂収率 ( $^{143}\text{Ce} : = 0.0594$ ) [ $\text{fission}^{-1}$ ]

FP 分析結果に基づく積分出力評価値  $IP$  の誤差  $\sigma_{IP}$  [ $W \cdot h$ ] は(4.7)式によって求めることができる。

$$\sigma_{IP} = \frac{\sigma_C \cdot E}{\lambda \cdot Y} \quad (4.7)$$

ただし、

- $\sigma_C$  : 運転による正味の生成放射能評価値の誤差 [Bq]

#### 4.4 反応度添加に関する運転データ

350T 相互干渉炉心における燃料給液時の反応度添加に関する運転データとして、液位上昇速度、液位反応度及び反応度添加率等の測定結果を表 4.2 に示す。表 4.2 中、反応度添加に関する各々の制限値は、臨界近接時の過剰反応度  $\rho_{ex}$  が 17cent 以下、反応度添加率  $d\rho/dt$  が 3cent/s 以下、最大添加反応度 0.2\$ 以下および最大過剰反応度が 0.8\$ 以下である。なお、反応度添加に関する評価式を Appendix 3 に示す。

また、測定された臨界液位と液位反応度の関係を図 4.3 に示す。なお、図中の曲線は、350T 相互干渉炉心での臨界実験結果から得られた反応度測定値を、(4.1)式でフィッティングして求めたものである。ただし、フィッティングにあたっては、一連の実験期間中における測定結果として平成 12 年 4 月末までのデータを含めている。

結果から、350T 相互干渉炉心実験で得られたフィッティング式は、炉心タンク断面積がほぼ同じである 800φ円筒型炉心タンクの実験結果から得られたフィッティング式<sup>5),10)</sup> に、ほぼ一致した。なお、両者の液位反応度の差は、最大 1.2 % であった。ただし、誤差評価は行っていない。

- 800φ円筒炉心実験で得られたフィッティング式

$$\frac{d\rho}{dH} = \frac{9.8693E + 8}{(H_c + 137.76)^3}$$

- 350T 相互干渉炉心実験で得られたフィッティング式

$$\frac{d\rho}{dH} = \frac{9.7435E + 8}{(H_c + 133.42)^3}$$

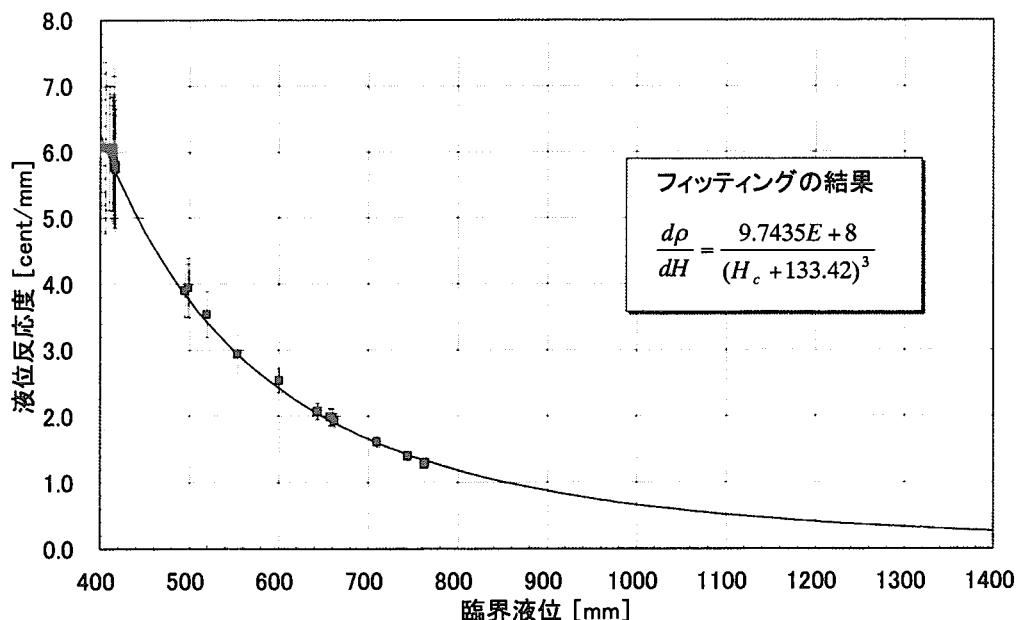


図 4.3 臨界液位と液位反応度の関係

表4.2 350T相互干渉炉心における燃料給液時の反応度添加に関する運動データ

運転形態	炉心構成 (面間距離:cm)	運転番号	運転日	液位計 上昇制限 液位 $H_2$ [mm]	液位測定 時間の燃料 液位 $H_d$ [mm]	液位上昇速度 $dH/dt$ [mm/sec]	出力倍増 時間 $t_d$ [sec]	出力倍増時間 測定期の 過剰反応度 $\rho_{ex}$ [cent]	液位反応度 $d\rho/dh$ [cent/mm]	反応度添加率 $d\rho/dt$ [cent/sec]	最大過剰反応度 [\$]
性能自主検査	裸 (0cm)	R0244	99/09/03	407.7	406.5	0.290 ± 0.004	88.3 ± 0.3	8.15 ± 0.29	6.07 ± 1.30	1.762 ± 0.377	0.137 ± 0.029
性能自主検査	裸 (0cm)	R0245	99/09/08	425.5	424.9	0.286 ± 0.002	57.4 ± 0.5	11.42 ± 0.41	4.64 ± 0.56	1.330 ± 0.160	0.154 ± 0.019
性能自主検査	裸 (0cm)	R0246	99/11/04	420.3	418.9	0.122 ± 0.001	63.9 ± 0.8	10.52 ± 0.38	5.75 ± 0.91	0.699 ± 0.111	0.194 ± 0.031
性能自主検査	裸 (0cm)	R0247	99/11/04	420.3	418.9	0.171	417.1	同上	同上	同上	0.297 ± 0.047
性能自主検査	裸 (0cm)	R0248	99/11/05	420.0	419.0	0.076 ± 0.000	47.9 ± 0.5	13.07 ± 0.46	5.81 ± 0.76	0.439 ± 0.057	0.195 ± 0.026
性能自主検査	裸 (0cm)	R0249	99/11/05	420.0	419.0	0.035 ± 0.000	52.8 ± 0.5	12.16 ± 0.43	5.88 ± 0.83	0.203 ± 0.029	0.165 ± 0.023
性能自主検査	裸 (0cm)	R0250	99/11/10	418.1	417.4	0.035 ± 0.000	52.8 ± 0.5	12.16 ± 0.43	5.88 ± 0.83	0.203 ± 0.029	0.165 ± 0.023
性能自主検査	裸 (0cm)	R0251	99/11/10	418.1	417.4	0.156	415.6	同上	同上	同上	0.271 ± 0.038
性能自主検査	裸 (0cm)	R0252	99/11/11	417.9	416.6	0.152	415.2	0.035 ± 0.000	80.9 ± 0.4	8.75 ± 0.32	6.07 ± 1.21
性能自主検査	裸 (0cm)	R0253	99/11/11	417.9	416.6	0.152	415.2	0.035 ± 0.000	73.6 ± 0.7	9.43 ± 0.34	6.04 ± 1.12
性能自主検査	裸 (0cm)	R0254	99/11/12	417.9	416.6	0.150	415.0	0.035 ± 0.000	73.6 ± 0.7	9.43 ± 0.34	6.04 ± 1.12
性能自主検査	裸 (0cm)	R0255	99/11/12	417.9	416.6	0.150	415.0	0.035 ± 0.000	73.6 ± 0.7	9.43 ± 0.34	6.04 ± 1.12
性能自主検査	裸 (0cm)	R0256	99/11/18	416.7	415.8	0.036 ± 0.001	53.0 ± 0.3	12.12 ± 0.43	5.97 ± 0.86	0.213 ± 0.032	0.178 ± 0.026
性能自主検査	裸 (0cm)	R0257	99/12/08	413.1	411.9	0.035 ± 0.000	58.1 ± 0.6	11.32 ± 0.41	6.07 ± 0.95	0.212 ± 0.033	0.189 ± 0.030
性能自主検査	裸 (0cm)	R0258	00/01/14	419.4	418.0	0.034 ± 0.003	73.9 ± 0.4	9.40 ± 0.34	5.77 ± 1.02	0.193 ± 0.038	0.176 ± 0.031
性能自主検査	裸 (0cm)	R0259	00/01/19	418.2	417.0	0.033 ± 0.003	63.2 ± 0.1	10.61 ± 0.38	5.92 ± 0.96	0.198 ± 0.036	0.179 ± 0.029
性能検査	裸 (0cm)	R0260	00/01/20	418.4	417.1	0.152	415.2	0.035 ± 0.000	60.4 ± 0.5	10.99 ± 0.39	5.92 ± 0.93
特性試験	裸 (0cm)	R0261	00/01/31	499.7	497.8	0.036 ± 0.000	57.6 ± 0.2	11.39 ± 0.40	3.90 ± 0.40	0.142 ± 0.015	0.188 ± 0.020
特性試験	裸 (7.5cm)	R0262	00/02/03	559.8	557.2	0.039 ± 0.003	80.9 ± 0.3	8.75 ± 0.32	2.94 ± 0.30	0.114 ± 0.015	0.165 ± 0.017
特性試験	裸 (15cm)	R0263	00/02/07	608.0	605.0	0.038 ± 0.002	55.3 ± 0.3	11.74 ± 0.42	2.54 ± 0.18	0.096 ± 0.008	0.195 ± 0.014
特性試験	裸 (30cm)	R0264	00/02/10	669.0	665.2	0.039 ± 0.002	65.4 ± 0.6	10.34 ± 0.37	1.98 ± 0.13	0.077 ± 0.006	0.179 ± 0.012
特性試験	裸 (30cm)	R0265	00/02/14	666.4	662.6	0.038 ± 0.000	69.6 ± 0.4	9.86 ± 0.35	1.99 ± 0.13	0.076 ± 0.005	0.175 ± 0.012
特性試験	裸 (30cm)	R0266	00/02/16	672.7	668.9	0.038 ± 0.001	52.5 ± 0.8	12.20 ± 0.44	1.93 ± 0.11	0.073 ± 0.004	0.195 ± 0.011
特性試験	裸 (50cm)	R0267	00/02/18	721.8	717.4	0.037 ± 0.001	52.8 ± 0.3	12.17 ± 0.43	1.61 ± 0.08	0.059 ± 0.003	0.193 ± 0.010
特性試験	裸 (100cm)	R0268	00/02/23	775.9	770.1	0.034 ± 0.001	78.7 ± 0.3	8.95 ± 0.32	1.30 ± 0.07	0.045 ± 0.003	0.165 ± 0.009

#### 4.5 燃料条件と臨界量に関する運転データ

臨界量に関する運転データとして、運転時の燃料組成と臨界液位、炉心燃料温度及び燃料装荷量について、表 4.3 に示す。ただし、臨界液位は同一ランにおいて複数回測定しているが、それらの中で最初に測定したものを見ている。また、運転日の燃料組成については、燃料組成が時間とともに変化するので、その経時変化を直線により内挿補間した値である。(Appendix 2 参照)

表 4.3 燃料条件と臨界量に関する運転データ

運転形態	炉心構成 (炉心タンク面間 距離) <sup>*1</sup>	運転 番号	運転月日	ウラン濃度 [gU/ℓ] <sup>*2</sup>	遊離硝酸 濃度 [mol/ℓ] <sup>*3</sup>	密度 [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>*2</sup>	臨界液位 [mm] <sup>*4</sup>	炉心タンク内 燃料装荷量 [ℓ] <sup>*5</sup>	臨界時の 炉心燃料 温度[℃]
性能自主検査	裸 (0cm)	R0244	99/09/03	330.4	0.91	1.4720	404.9	186.3	24.7
性能自主検査	裸 (0cm)	R0245	99/09/08	321.7	0.91	1.4570	422.2	194.3	24.6
性能自主検査	裸 (0cm)	R0246	99/11/04	326.1	0.91	1.4627	417.1	191.9	24.4
性能自主検査	裸 (0cm)	R0247	99/11/04	326.1	0.91	1.4627	417.1	191.9	24.2
性能自主検査	裸 (0cm)	R0248	99/11/05	326.2	0.91	1.4628	416.7	191.8	24.1
性能自主検査	裸 (0cm)	R0249	99/11/05	326.2	0.91	1.4628	416.7	191.8	24.0
性能自主検査	裸 (0cm)	R0250	99/11/10	326.6	0.91	1.4633	415.3	191.1	24.0
性能自主検査	裸 (0cm)	R0251	99/11/10	326.6	0.91	1.4633	415.6	191.2	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0252	99/11/11	326.7	0.91	1.4634	415.2	191.1	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0253	99/11/11	326.7	0.91	1.4634	415.2	191.1	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0254	99/11/12	326.8	0.91	1.4635	415.0	191.0	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0255	99/11/12	326.8	0.91	1.4635	415.0	191.0	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0256	99/11/18	327.3	0.91	1.4641	413.8	190.4	24.0
性能自主検査	裸 (0cm)	R0257	99/12/08	328.8	0.91	1.4661	410.0	188.7	23.8
性能自主検査	裸 (0cm)	R0258	00/01/14	325.3	0.89	1.4718	416.4	191.6	23.5
性能検査	裸 (0cm)	R0259	00/01/19	325.9	0.89	1.4728	415.2	191.1	23.4
性能検査	裸 (0cm)	R0260	00/01/20	326.0	0.89	1.4730	415.2	191.1	23.3
特性試験	裸 (0cm)	R0261	00/01/31	291.7	0.84	1.4158	494.9	227.8	23.3
特性試験	裸 (7.5cm)	R0262	00/02/03	292.0	0.84	1.4161	554.2	255.0	23.2
特性試験	裸 (15cm)	R0263	00/02/07	292.3	0.84	1.4165	600.4	276.3	23.3
特性試験	裸 (30cm)	R0264	00/02/10	292.5	0.84	1.4167	660.0	303.7	23.3
特性試験	裸 (30cm)	R0265	00/02/14	292.8	0.84	1.4171	657.7	302.7	23.3
特性試験	裸 (30cm)	R0266	00/02/16	292.9	0.84	1.4173	662.6	304.9	23.2
特性試験	裸 (50cm)	R0267	00/02/18	293.1	0.84	1.4174	709.8	326.7	23.2
特性試験	裸 (100cm)	R0268	00/02/23	293.4	0.84	1.4179	763.3	351.3	23.0

\*1 固定側炉心タンクと移動側炉心タンクとの面間距離(基準値)を示す。

\*2 燃料濃度の経時変化を考慮して、運転日の14:00で直線内挿した。Appendix 2参照。

(1999年7月28日00:00を基準日とする。)

\*3 同一燃料期間中の平均値を示す。

\*4 臨界時の触針液位計A(a·b)・B(a·b)の測定データの平均値を示す。

\*5 炉心タンク内燃料装荷量[ℓ] = 0.4602 × 臨界液位[mm]

##### 4.5.1 炉心タンク面間距離と臨界液位

350T 相互干渉炉心での実験では、固定側炉心タンクと移動側炉心タンクの面間距離を密着状態から 100cmまで計 5 回 (0, 7.5, 15, 30, 50, 100 cm) の変更を行った。表 4.3 に示す臨界液位の測定結果から、運転 No.R0261 から R0268 について、炉心タンク面間距離と臨界液位の関係を図 4.4 に示す。図中、推定値で示される曲線(点線)は、予備解析によって求められた予想臨界液位の結果から(4.8)式でフィッティングして求めたものである。

また、臨界液位測定値に対し(4.8)式を用いフィッティングした結果を実線で示している。この結果から、350T 炉心タンクの面間距離に対する臨界液位の評価式として(4.8)式を用いると良好なフィッティングができることがわかった。ただし、これら 2 つの曲線を比較する場合には、測定値に対して、溶液燃料のウラン濃度、遊離硝酸濃度等の経時変化による反応度効果を補正することが必要である。

$$Hc = Hc_1 + Hc_2 (1 - \exp(-a \times L)) \quad (4.8)$$

ただし、

$Hc$  : 350T 面間距離 Lcm のときの臨界液位(mm)

$Hc_1$  : 350T 面間距離 0cm での予想臨界液位(mm)

$Hc_2$  : (350T 単一炉心での予想臨界液位) -  $Hc_1$  (mm)

$a$  : フィッティング定数

L : 350T 炉心タンクの面間距離(mm)

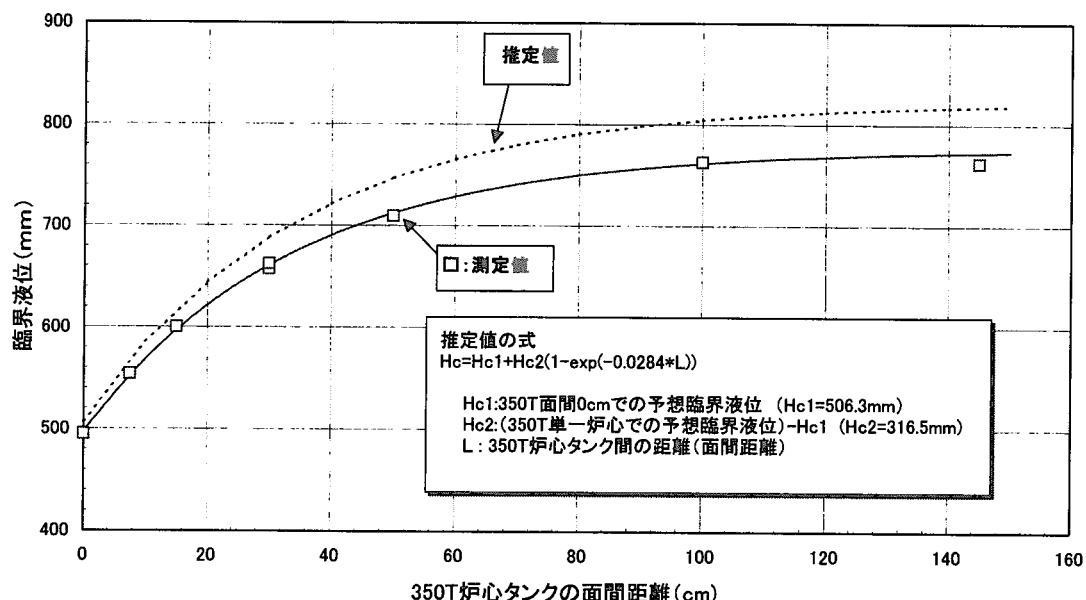


図 4.4 350T 炉心タンクの面間距離と臨界液位の関係

#### 4.6 炉出力に関する運転データ

350T 相互干渉炉心における運転毎の運転時間、最大熱出力及び積算出力を表 4.4 および図 4.5 に示す。350T相互干渉炉心の運転時間合計は 107 時間 19 分、積算出力合計が 143.4W・h であった。なお、STACY 初臨界(平成 6 年度)からの運転時間累計は 1361 時間 38 分、積算出力累計が 2631.88W・h になった。

表 4.4 運転毎の運転時間、最大熱出力(350T 相互干渉炉心)

運転形態	運転番号	運転月日	運転開始時刻	運転終了時刻	運転時間[min]	最大熱出力[W]	積算出力[W・h]	炉心構成(面間距離)	備考
使用前検査 期間	R0244	99/09/03	10:25	14:48	263	0.0	0.0	裸(0cm)	(自主検査)
	R0245	99/09/08	10:21	15:25	304	51.2	25.5	裸(0cm)	"
	R0246	99/11/04	10:38	14:19	221	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0247	99/11/04	14:22	16:09	107	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0248	99/11/05	9:58	13:48	230	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0249	99/11/05	13:53	15:23	90	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0250	99/11/10	10:36	14:40	244	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0251	99/11/10	14:43	16:46	123	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0252	99/11/11	10:15	14:04	229	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0253	99/11/11	14:07	15:59	112	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0254	99/11/12	10:15	14:12	237	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0255	99/11/12	14:20	16:19	119	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0256	99/11/18	10:35	15:01	266	0.0	0.0	裸(0cm)	"
特性試験 期間	R0257	99/12/08	10:26	14:02	216	200.0	41.0	裸(0cm)	"
	R0258	00/01/14	10:37	14:55	258	0.0	0.0	裸(0cm)	"
	R0259	00/01/19	10:55	15:46	291	0.0	0.0	裸(0cm)	(STA立会検査)
	R0260	00/01/20	8:39	11:59	200	200.0	25.1	裸(0cm)	(STA立会検査)
	R0261	00/01/31	10:20	16:44	384	0.0	0.0	裸(0cm)	
	R0262	00/02/03	13:02	18:45	343	0.0	0.0	裸(7.5cm)	
	R0263	00/02/07	13:02	19:18	376	0.8	0.0	裸(15cm)	
	R0264	00/02/10	10:24	17:31	427	1.4	0.2	裸(30cm)	(炉心タンク面間距離変更)
	R0265	00/02/14	10:59	18:56	477	1.3	0.1	裸(30cm)	
	R0266	00/02/16	13:05	17:30	265	53.8	51.4	裸(30cm)	
	R0267	00/02/18	13:02	18:31	329	1.0	0.1	裸(50cm)	
	R0268	00/02/23	13:02	18:30	328	0.0	0.0	裸(100cm)	

運転時間合計 = 6439 (min)

積算出力合計 = 143.4 (W・h)

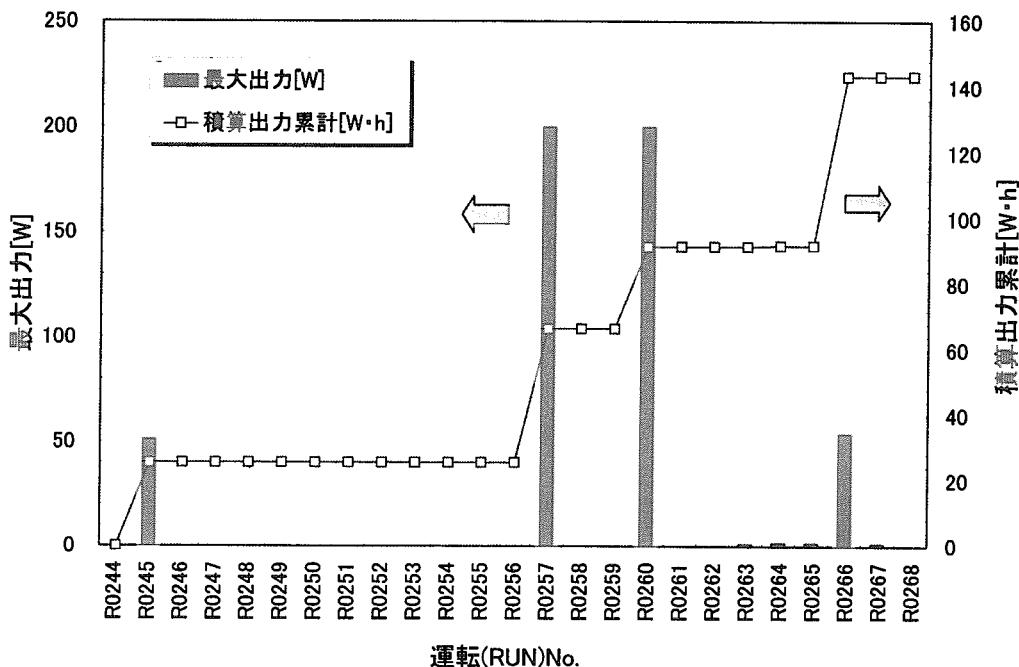


図 4.5 最大熱出力の経過

#### 4.7 原子炉停止余裕に関する運転データ

原子炉停止余裕すなわち安全棒反応度価値の測定は、ロッドドロップ法(積分法)によった。

##### 4.7.1 安全棒反応度価値

安全棒反応度価値は、(4.9)式から求めた。

$$\rho_{rod,j} = -C \times \frac{A_c - A_b}{A_t - A_b \cdot t_{At}} \times \beta_{eff} \quad (4.9)$$

ただし、

$\rho_{rod,j}$  : 起動系j系 ( $j=A,B$ ) で測定した安全棒反応度価値 [ $\Delta k/k$ ]

$C$  : 定数 ( $=13.04 \pm 2.29 [\text{s}]^2$ )<sup>2)</sup>

$A_c$  : 安全棒挿入前の平均計数率 [ $\text{s}^{-1}$ ]

$A_t$  : 安全棒挿入後の積算計数 [count]

$A_b$  : バックグラウンド計数率 [ $\text{s}^{-1}$ ]

$t_{At}$  : 積算計数の測定時間 [s]

$\beta_{eff}$  : 実効遅発中性子割合 ( $=0.007 \pm 0.0003$ )<sup>2)</sup>

また、安全棒反応度価値の誤差は、(4.9)式より次式で表すことができる。

$$\sigma_{prod,j} \cong \rho_{rod,j} \times \sqrt{\frac{1}{A_c \cdot t_{Ac}} + \frac{1}{A_t} + \left(\frac{\sigma_C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\beta_{eff}}}{\beta_{eff}}\right)^2} \quad (4.10)$$

ただし、

- $\sigma_{prod,j}$  : 起動系j系 ( $j = A, B$ ) で測定した安全棒反応度価値の誤差 [ $\Delta k/k$ ]
- $t_{Ac}$  : 安全棒挿入前の平均計数率測定時間 [s]
- $t_{At}$  : 安全棒挿入後の積算計数測定時間 [s]

ここで、積分法における中性子計数率及び積算計数の測定は、起動系 A 系、B 系を用いた。なお、積算計数の測定にあたっては、専用の計数測定装置<sup>4)</sup>を用いた。また、バックグラウンド計数率は、十分に出力の下がった安全棒挿入後 10 分からの計数率の値を用いた。

#### 4.7.2 原子炉停止余裕

原子炉停止余裕は、起動系 A 系、B 系でそれぞれ求めた安全棒反応度価値の平均値を基に、(4.11) 式から求めた。

$$k_{eff,rod} = \frac{1}{1 - \rho_{rod,Ave}} \quad (4.11)$$

ただし、

- $k_{eff,rod}$  : 原子炉停止余裕(安全棒挿入後の実効増倍率)
- $\rho_{rod,Ave}$  : 起動系 A 系及び B 系で測定した平均安全棒反応度価値 [ $\Delta k/k$ ]

なお、原子炉停止余裕の誤差は(4.11)式より次式で表される。

$$\sigma_{keff,rod} = k_{eff}^2 \times \sigma_{prod,Ave} \quad (4.12)$$

ここで、

$$\sigma_{prod,Ave} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{prod,A}^2 + \sigma_{prod,B}^2} \quad (4.13)$$

ただし、

- $\sigma_{keff,rod}$  : 原子炉停止余裕(安全棒挿入後の実効増倍率)の誤差 [ $\Delta k/k$ ]
- $\sigma_{prod,Ave}$  : 平均安全棒反応度価値の誤差 [ $\Delta k/k$ ]
- $\sigma_{prod,A}$  : 起動系 A 系で測定した安全棒反応度価値の誤差 [ $\Delta k/k$ ]
- $\sigma_{prod,B}$  : 起動系 B 系で測定した安全棒反応度価値の誤差 [ $\Delta k/k$ ]

### 4.7.3 測定結果

安全棒反応度価値及び原子炉停止余裕(安全棒挿入後の実効増倍率)の測定結果を表 4.5 に示す。また、図 4.6 に臨界液位と原子炉停止余裕(安全棒挿入後の実効増倍率)の関係を示す。図中、ワンロッドスタックの A～E は挿入させない安全棒の番号を示す。結果から、安全棒 8 基全てを炉心に挿入した場合の中性子実効増倍率の制限値は 0.985、安全棒 1 本が挿入不能(ワンロッドスタック)な場合は 0.995 であり、測定値は制限値を十分満足している。なお、参考として、移動側炉心タンクの安全棒 4 本のみを落下させたときの値( $K_{eff}=0.971$ )を図中に示している。

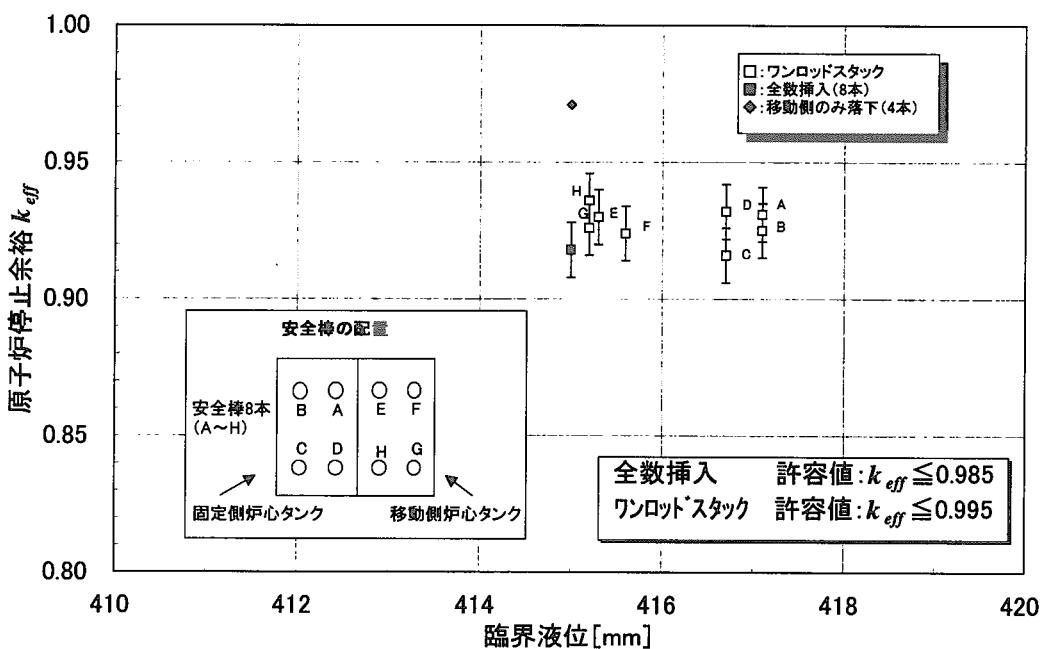


図 4.6 臨界液位と原子炉停止余裕(安全棒挿入後の実効増倍率)の関係

表4.5 安全棒反応度価値測定結果

運転 形態	炉心構成	運転 番号	挿入 安全棒	挿入前 臨界時		挿入後 燃料液位 $H_c$ [mm]	挿入後 燃料液位 $H_c$ [mm]	起動系B系		平均反応度価値 $\bar{\rho}_{red}$ [Δk/k]	安全棒挿入後 実効増倍率 <sup>*2</sup> $k_{eff,rod}$				
				挿入 安全棒 位置 $H_c$ [mm] <sup>*1</sup>	燃料温度 [°C]			起動系A系							
								$\rho_{redA}$ [Δk/k]	$\rho_{redB}$ [Δk/k]						
性能自主検査	裸	R246	B,C,D,E,F,G,H	417.1	24.4	435.9	-0.085 ± 0.015	-0.063 ± 0.011	-0.074 ± 0.009	0.931 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R247	A,C,D,E,F,G,H	417.1	24.3	436.0	-0.084 ± 0.015	-0.079 ± 0.014	-0.082 ± 0.010	0.925 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R248	A,B,D,E,F,G,H	416.7	24.1	435.6	-0.088 ± 0.016	-0.095 ± 0.017	-0.091 ± 0.012	0.916 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R249	A,B,C,E,F,G,H	416.7	24.0	435.7	-0.066 ± 0.012	-0.079 ± 0.014	-0.073 ± 0.009	0.932 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R250	A,B,C,D,F,G,H	415.3	24.0	434.3	-0.082 ± 0.015	-0.069 ± 0.012	-0.075 ± 0.010	0.930 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R251	A,B,C,D,E,G,H	415.6	23.8	434.4	-0.084 ± 0.015	-0.081 ± 0.015	-0.082 ± 0.011	0.924 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R252	A,B,C,D,E,F,H	415.2	23.8	434.1	-0.074 ± 0.013	-0.085 ± 0.015	-0.079 ± 0.010	0.926 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R253	A,B,C,D,E,F,G	415.2	23.8	434.1	-0.069 ± 0.011	-0.078 ± 0.014	-0.068 ± 0.009	0.936 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R254	全数	415.0	23.8	436.8	-0.069 ± 0.016	-0.090 ± 0.016	-0.090 ± 0.011	0.918 ± 0.01					
性能自主検査	裸	R255	E,F,G,H	415.0	23.8	425.5	-0.033 ± 0.006	-0.026 ± 0.005	-0.029 ± 0.004	0.971 ± 0.00					

\*1: 安全棒落下直前の液位を示す。  
 \*2: 平均反応度価値から算出している。

## 5. まとめ

定常臨界実験装置 STACY では、平成 10 年度後半から平成 11 年度前半に  $800\phi$  円筒型炉心タンクから相互干渉用 350T 平板型炉心タンクへの交換作業を行った。その後、平成 11 年 9 月から 350T 炉心タンク 2 基用いた相互干渉炉心体系での性能確認および特性実験を行った。本報告は、その運転期間中における STACY の燃料管理および運転管理に関するデータについて、まとめたものである。

燃料管理データのうち、ダンプ槽の燃料液位の減少傾向およびウラン濃度と水溶液密度の増加傾向については、今までと同様に、各々の変化傾向について直線でフィッティングして内挿補間し、その変化量を定量的に把握した。一方、遊離硝酸濃度については、燃料希釀により薄まる傾向があったが、次の希釀までの期間についてはほぼ一定の値であった。また、不純物(Fe, Cr, Ni)量は、全期間を通じて有意な増加が見られなかった。

運転管理に関するデータについては、反応度添加量、燃料条件と臨界液位の関係、炉出力及び原子炉停止余裕に関するデータをまとめた。また、実験時における液位反応度測定値から求めた臨界液位-液位反応度フィッティング式は、 $800\phi$  円筒炉心での結果から得られた値とほぼ同じであった。

STACY の初臨界(平成 7 年 2 月 23 日)からの通算運転回数は 268 回、通算運転時間は 1361 時間 38 分であった。なお、平成 12 年度は、引き続き、相互干渉炉心体系での実験を行う予定である。

## 謝 辞

本報告をまとめるにあたり、種々の助言を戴いた安全性試験研究センター長竹下功氏および安全試験部長鈴木康文氏に深く感謝致します。STACY 施設の運転、点検等においては、東京ニュークリアサービス㈱の七字勇氏、根本憲司氏、高倉耕祐氏、市村正秀氏には様々な協力をいただきました。また、相互干渉炉心タンクの間隔変更、核計装検出器の配置替え作業においては、特に千代田メンテナンス㈱の堀田隆氏、二上和弘氏、新井健之氏の協力をいただきました。最後に、STACY の運転を支援していただいている安全試験部 NUCEF 技術第 2 課、同技術第 3 課、同管理課、技術部施設第 3 課、保健物理部施設放射線管理第 2 課の皆様に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 村上清信他, “定常臨界実験装置(STACY)の製作”, JAERI-Tech 98-033(1998).
- 2) 曽野浩樹他, “平成 7 年における定常臨界実験装置 STACY の運転記録 – 600  $\phi$  円筒炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液 –”, JAERI-Tech 97-005(1997).
- 3) 小野寺清二他, “平成 9 年度における定常臨界実験装置 STACY の運転記録 – 280T 平板炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液 –”, JAERI-Tech 98-023(1998).
- 4) 小野寺清二他, “平成 10 年度における定常臨界実験装置 STACY の運転記録 (その 1) – 280T 平板炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液 –”, JAERI-Tech 99-084(1999).
- 5) 小野寺清二他, “平成 10 年度における定常臨界実験装置 STACY の運転記録 (その 2) – 800  $\phi$  円筒炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液 –”, JAERI-Tech 2000-013(2000).
- 6) 広瀬秀幸他, “STACY 及び TRACY 用燃料サンプリング装置の改良”, JAERI-Tech 98-015(1998).
- 7) 宮内正勝他 “NUCEF 分析設備”, JAERI-Tech 96-007(1996).
- 8) W.Davies, W.Gray; Talanta, 11,1203(1964) .
- 9) 半田宗男他, “発光分光分析法による核燃料中の金属不純物元素の定量の現状”, JAERI-M-99-015(1990) .
- 10) 曽野浩樹他, “STACYT800mm  $\phi$  円筒炉心における 10%濃縮ウラン硝酸水溶液を用いた臨界実験の予備解析”, JAERI-Tech 98-016(1998) .

## Appendix 1 実験用装荷物駆動装置(中性子検出器用)の概要

350T 平板型相互干渉炉心タンクには、実験に応じ、炉心タンク内の中性束分布を測定するための実験用装荷物駆動装置が設置されている。平成 11 年度は、固定側炉心タンクに据付けた。なお、駆動装置は、炉心タンク中央部（上部）の台座上にカプラ継手により接続されている。図 A.1.1 に実験用装荷物駆動装置（中性子検出器用）の構造を示す。表 A.1.1 に実験用装荷物駆動装置（中性子検出器用）の主な仕様を示す。

表 A.1.1 実験用装荷物駆動装置（中性子検出器用）の主な仕様

型式	ボールスクリュー駆動式
駆動速度	40 cm/min
駆動長さ	1845 mm
主要寸法	ハウジング 110×190mm 高さ 3781 mm 厚さ 5 mm
主要材料	SUS304L

また、中性子束検出器は、駆動装置ハウジング内のガイド管（材質ジルカロイ 4、内径 12  $\phi$ ）に挿入されている。表 A.1.2 に中性子束検出器の主な仕様を示す。

表 A.1.2 中性子束検出器の主な仕様

種類	$^3\text{He}$ 比例計数管
型式	RS-P4-0201-205 (Reuter-Stokes社製)
主要寸法	外径6.3 $\phi$ × 78.4 mm

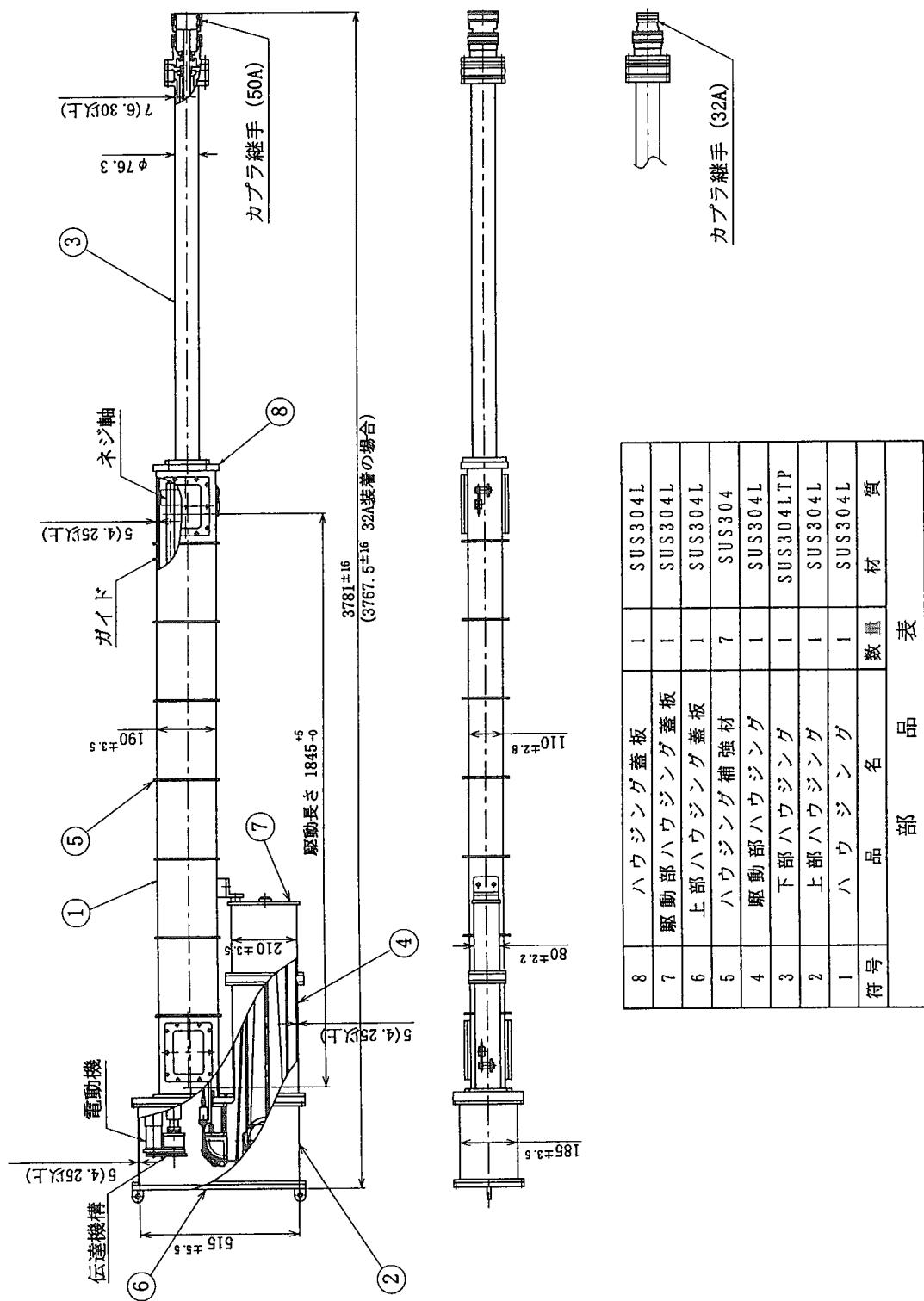


図 A.1.1 に実験用装荷物駆動装置（中性子検出器用）の構造

## Appendix 2 燃料組成の分析結果の評価について

ここでは、硝酸ウラニル水溶液の主要な分析項目のうちウラン濃度、遊離硝酸濃度および燃料密度について、その変化率を評価するために用いた燃料組成の代表値を示すと共に、各運転時における燃料組成の推定を行った。なお、評価にあたっては、一連の実験期間中における燃料組成の経時変化を考慮し、平成 12 年 4 月末までのデータを含めている。

### A.2.1 燃料組成の代表値

STACY では、これまでに実施した燃料分析の結果から、長期保存中における硝酸ウラニル水溶液の組成が、時間経過に対して濃くなる方向で推移することが分かっている。このため、分析値を試料の採取日時に対して直線によるフィッティングを行った。ここで、フィッティングに用いた燃料組成の代表値として、表 A.2.1 に溶液燃料分析結果を示す。

### A.2.2 運転時の燃料組成の推定値

前節のフィッティング式から、各運転時（運転日の 14 時）に内挿して、運転時の燃料組成を推定した。表 A.2.2 に運転時の燃料組成推定値を示す。ただし、遊離硝酸濃度については、有意な経時変化が判別できなかったので、同一燃料期間中の平均値を採用した。

表 A.2.1 溶液燃料分析結果

試料番号	燃料サンプル採取日時／分析日時	ウラン濃度 [gU/l]	遊離硝酸濃度 [mol/l]	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]
495	1999/8/31 11:30	395.7 ± 0.4	1.10 ± 0.01	1.5625
497	1999/9/2 11:30	330.4 ± 0.2	0.91 ± 0.01	1.4720
499	1999/9/7 11:30	320.8 ± 0.4	0.88 ± 0.01	1.4575
500	1999/9/9 11:30	320.5 ± 0.6	0.88 ± 0.01	1.4581
502	1999/11/2 11:30	325.0 ± 0.4	0.90 ± 0.01	1.4616
504	1999/11/9 11:30	324.3 ± 0.2	0.92 ± 0.01	1.4626
505	1999/12/6 14:00	327.1 ± 0.3	0.92 ± 0.01	1.4676
507	1999/12/9 11:30	327.6 ± 0.2	0.90 ± 0.01	1.4681
509	2000/1/12 11:30	331.0 ± 0.2	0.92 ± 0.01	1.4727
510	2000/1/13 14:00	323.9 ± 0.2	0.90 ± 0.01	1.4621
511	2000/1/17 11:00	324.8 ± 0.6	0.89 ± 0.01	1.4626
513	2000/1/21 11:00	324.8 ± 0.6	0.90 ± 0.01	1.4633
515	2000/1/24 15:30	327.2 ± 0.2	0.95 ± 0.01	1.4692
516	2000/1/26 11:00	290.0 ± 0.2	0.83 ± 0.01	1.4152
519	2000/2/4 15:00	291.0 ± 0.2	0.83 ± 0.01	1.4166
520	2000/2/15 13:00	291.6 ± 0.4	0.83 ± 0.01	1.4173
522	2000/2/17 13:00	291.3 ± 0.2	0.84 ± 0.01	1.4177
524	2000/2/24 13:30	291.6 ± 0.4	0.84 ± 0.01	1.4184
526	2000/4/3 11:30	294.8 ± 0.2	0.85 ± 0.01	1.4216
527	2000/4/10 10:30	295.2 ± 0.3	0.84 ± 0.01	1.4222
529	2000/4/14 11:30	296.0 ± 0.2	0.85 ± 0.01	1.4227
531	2000/4/20 11:30	296.6 ± 0.5	0.85 ± 0.01	1.4238
532	2000/4/27 11:30	296.5 ± 0.1	0.86 ± 0.01	1.4244

表A.2.2 運転時の燃料組成(フィッティングの結果)

運転形態	炉心構成 (炉心タンク面 間距離) <sup>4)</sup>	運転 番号	運転 月日	ウラン濃度 [g/U/l] <sup>*2</sup>	遊離硝酸 濃度 [mol/l] <sup>*4</sup>	密度 [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>*2</sup>	フィッティング直線(フィッティング・パラメータ/99年7月28日00:00を基準)		
							a	b	ウラン濃度 a
性能自主検査	裸 (0cm)	R244	1999/09/03 14:00	330.4	0.91	1.4720	*3	330.4	0.91
性能自主検査	裸 (0cm)	R245	1999/09/08 14:00	321.7	0.91	1.4570			
性能自主検査	裸 (0cm)	R246	1999/11/04 14:00	326.1	0.91	1.4627			
性能自主検査	裸 (0cm)	R247	1999/11/04 14:00	326.1	0.91	1.4627			
性能自主検査	裸 (0cm)	R248	1999/11/05 14:00	326.2	0.91	1.4628			
性能自主検査	裸 (0cm)	R249	1999/11/05 14:00	326.2	0.91	1.4628			
性能自主検査	裸 (0cm)	R250	1999/11/10 14:00	326.6	0.91	1.4633			
性能自主検査	裸 (0cm)	R251	1999/11/10 14:00	326.6	0.91	1.4633			
性能自主検査	裸 (0cm)	R252	1999/11/11 14:00	326.7	0.91	1.4634			
性能自主検査	裸 (0cm)	R253	1999/11/11 14:00	326.7	0.91	1.4634			
性能自主検査	裸 (0cm)	R254	1999/11/12 14:00	326.8	0.91	1.4635			
性能自主検査	裸 (0cm)	R255	1999/11/12 14:00	326.8	0.91	1.4635			
性能自主検査	裸 (0cm)	R256	1999/11/18 14:00	327.3	0.91	1.4641			
性能自主検査	裸 (0cm)	R257	1999/12/08 14:00	328.8	0.91	1.4661			
性能自主検査	裸 (0cm)	R258	2000/01/14 14:00	325.3	0.89	1.4718			
性能検査	裸 (0cm)	R259	2000/01/19 14:00	325.9	0.89	1.4728			
性能検査	裸 (0cm)	R260	2000/01/20 14:00	326.0	0.89	1.4730			
特性試験	裸 (0cm)	R261	2000/01/31 14:00	291.7	0.84	1.4158			
特性試験	裸(7.5cm)	R262	2000/02/03 14:00	292.0	0.84	1.4161			
特性試験	裸 (15cm)	R263	2000/02/07 14:00	292.3	0.84	1.4165			
特性試験	裸 (30cm)	R264	2000/02/10 14:00	292.5	0.84	1.4167			
特性試験	裸 (30cm)	R265	2000/02/14 14:00	292.8	0.84	1.4171			
特性試験	裸 (30cm)	R266	2000/02/16 14:00	292.9	0.84	1.4173			
特性試験	裸 (50cm)	R267	2000/02/18 14:00	293.1	0.84	1.4174			
特性試験	裸(100cm)	R268	2000/02/23 14:00	293.4	0.84	1.4179			
特性試験	裸(150cm)	R269	2000/04/05 14:00	296.5	0.84	1.4217			
特性試験	裸(100cm)	R270	2000/04/07 14:00	296.7	0.84	1.4219			
特性試験	裸 (30cm)	R271	2000/04/12 14:00	297.0	0.84	1.4223			
特性試験	裸 (30cm)	R272	2000/04/13 14:00	297.1	0.84	1.4224			
特性試験	裸 (5cm)	R273	2000/04/17 14:00	297.4	0.84	1.4228			
特性試験	裸(2.5cm)	R274	2000/04/19 14:00	297.5	0.84	1.4229			

\*1: 固定側炉心タンクと移動側炉心タンクとの隙間を示す。

\*2: フィッティング直線(y=aX+b)から、運転日の14:00で直線内挿した。  
(xは、燃料受入日1999年7月28日00時0分からの経過日数を示す。)

\*3: サンプルが1点のみで経時変化を無視している。

\*4: 平均値を採用している。

## Appendix 3 反応度添加に関する評価式について

STACYの反応度制御は、燃料の炉心タンクへの給排液による液位調整によって行われる。ここでは、反応度添加に関する主要な運転データとして、臨界近傍における、①炉心タンクに給液した燃料液位 1mm 当たりの微分反応度(以下、液位反応度という。)、②低速給液ポンプによる燃料給液時の炉心タンク燃料液位上昇速度(以下、液位上昇速度といふ。)、及び③前二者の積で表される燃料給液時間 1 秒当たりの反応度添加率(以下、反応度添加率といふ。)の評価方法について示す。

### A.3 反応度添加に関する評価式

#### A3.1 液位反応度

液位反応度は、過剰反応度が小さいという前提の下、臨界液位超過分と過剰反応度との間に線型関係が成り立つると仮定して、(A3.1)式で求める。

$$\frac{d\rho}{dH} = \frac{\rho_{ex}}{(H_d - H_c)} \quad (\text{A3.1})$$

ここで、

$$\rho_{ex} = \sum_{i=1}^6 \frac{a_i}{1 + \lambda_i t_p} \times 100 \quad (\text{A3.2})$$

$$t_p = \frac{t_d}{\ln 2} \quad (\text{A3.3})$$

ただし、

- $d\rho/dH$  : 液位反応度 [cent/mm]
- $\rho_{ex}$  : 出力倍増時間測定時の過剰反応度 [cent]
- $H_d$  : 出力倍増時間測定時の炉心タンク燃料液位 [mm]
- $H_c$  : 臨界液位 [mm]
- $a_i$  : 遅発中性子割合第  $i$  群の相対収率 ( $= \beta_i / \beta$ )
- $\lambda_i$  : 遅発中性子割合第  $i$  群の崩壊定数 [ $s^{-1}$ ]
- $t_p$  : ペリオド [s]
- $t_d$  : 出力倍増時間 [s]

(A3.2)式中で用いる遅発中性子の定数を表 A3.1 に示す。

表 A3.1 遅発中性子に関する定数<sup>2,3)</sup>

遅発 中性子 第 <i>i</i> 群	相対収率 <sup>*</sup> $a_i = \beta_i / \beta$	崩壊定数 $\lambda_i [s^{-1}]$
1	0.033 ± 0.003	0.0124 ± 0.0003
2	0.219 ± 0.009	0.0305 ± 0.0010
3	0.196 ± 0.022	0.111 ± 0.004
4	0.395 ± 0.011	0.301 ± 0.011
5	0.115 ± 0.009	1.14 ± 0.15
6	0.042 ± 0.008	3.01 ± 0.29

\* :  $^{235}\text{U}$  の熱核分裂による値。

なお、液位反応度の誤差は、(A3.1)式から(A3.3)式より、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_{d\rho/dH} &\equiv \frac{d\rho}{dH} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\rho_{ex}}}{\rho_{ex}}\right)^2 + 2\left(\frac{\sigma_h}{dH}\right)^2} \\ &= \frac{d\rho}{dH} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\rho_{ex}}}{\rho_{ex}}\right)^2 + \frac{0.08}{(H_d - H_c)^2}} \end{aligned} \quad (\text{A3.4})$$

ここで、

$$\sigma_{\rho_{ex}}^2 = \sum_{i=1}^6 \sigma_i^2 \quad (\text{A3.5})$$

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{a_i}{1 + \lambda_i t_p}\right)^2 \left[ \left(\frac{\sigma_{ai}}{a_i}\right)^2 + \left(\frac{\lambda_i t_p}{1 + \lambda_i t_p}\right)^2 \left\{ \left(\frac{\sigma_{\lambda i}}{\lambda_i}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{tp}}{t_p}\right)^2 \right\} \right] \quad (\text{A3.6})$$

$$\sigma_{tp} = \frac{\sigma_{td}}{\ln 2} \quad (\text{A3.7})$$

ただし、

- $\sigma_{d\rho/dH}$  : 液位反応度の誤差 [cent/mm]
- $\sigma_{\rho_{ex}}$  : 過剰反応度の誤差 [cent]
- $\sigma_{td}$  : 出力倍増時間の測定誤差(標準偏差) [s]
- $\sigma_h$  : 触針式液位計の測定誤差( $= \pm 0.2$ ) [mm]
- $\sigma_{ai}$  : 遅発中性子割合第*i*群の相対収率の誤差
- $\sigma_{\lambda i}$  : 遅発中性子割合第*i*群の崩壊定数の誤差 [ $s^{-1}$ ]

### A3.2 液位計上昇速度

液位上昇速度は(A3.8)式で求められる。

$$\frac{dH}{dt} = \frac{(h_2 - h_1) - (h_4 - h_3)}{\Delta t_1 - \Delta t_2} \quad (\text{A3.8})$$

ただし、

- $dH/dt$  : 液位上昇速度 [mm/s]  
 $h_1$  : 燃料給液 1 回目の給液前の炉心タンク燃料液位\* [mm]  
 $h_2$  : 燃料給液 1 回目の給液後の炉心タンク燃料液位\* [mm]  
 $h_3$  : 燃料給液 2 回目の給液前の炉心タンク燃料液位\* [mm]  
 $h_4$  : 燃料給液 2 回目の給液後の炉心タンク燃料液位\* [mm]  
 $\Delta t_1$  : 燃料給液 1 回目の給液時間 [s]  
 $\Delta t_2$  : 燃料給液 2 回目の給液時間 [s]
- (\* 臨界近接時において臨界近傍の任意の液位に設定する)

なお、液位上昇速度の誤差は、(A3.8)式より次式のようになる。

$$\sigma_{dH/dt} = \frac{dH}{dt} \sqrt{\frac{4\sigma_h^2}{\{(h_2 - h_1) - (h_4 - h_3)\}^2} + \frac{2\sigma_{\Delta t}^2}{(\Delta t_1 - \Delta t_2)^2}} \quad (\text{A3.9})$$

ただし、

- $\sigma_{dH/dt}$  : 液位上昇速度の誤差 [mm/s]  
 $\sigma_{\Delta t}$  : 給液時間の測定誤差 ( $= \pm 0.5$ ) [s]  
 $\sigma_h$  : 触針式液位計の測定誤差 ( $= \pm 0.2$ ) [mm]

### A3.3 反応度添加率

反応度添加率は(A3.10)式で表される。

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{dH} \times \frac{dH}{dt} \quad (\text{A3.10})$$

ただし、

- $d\rho/dt$  : 反応度添加率 [cent/s]  
 $d\rho/dH$  : 液位反応度 [cent/mm]  
 $dH/dt$  : 液位上昇速度 [mm/s]

なお、反応度添加率の誤差は、(A3.10)式より、次式のようになる。

$$\sigma_{d\rho/dt} = \frac{d\rho}{dt} \times \sqrt{\left( \frac{\sigma_{d\rho/dH}}{d\rho/dH} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{dH/dt}}{dH/dt} \right)^2} \quad (\text{A3.11})$$

ただし、

$\sigma_{d\rho/dt}$  : 反応度添加率の誤差[cent/s]

$\sigma_{d\rho/dH}$  : 液位反応度の誤差[cent/mm]

$\sigma_{dH/dt}$  : 液位上昇速度の誤差[mm/s]

## Appendix 4 運転手順(R0244~R0268)

R0244 (平成11年9月3日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.81	8.0		24.8		8
2	高速給液	39.81	99.43	10.0		24.5	1/M測定	11
3	高速給液	99.43	199.62	10.0		24.4	1/M測定	11
4	低速給液	199.62	249.90	8.4		24.5	1/M測定	10
5	低速給液	249.90	299.93	8.4		24.5	1/M測定・給液時間測定・NS強度分布測定	82
6	低速給液	299.93	318.65	8.4		24.7	1/M測定・給液時間測定	7
7	低速給液	318.65	339.09	8.4		24.7	1/M測定	7
8	低速給液	339.09	359.75	8.4		24.7	1/M測定	8
9	低速給液	359.75	379.72	8.4		24.7	1/M測定	9
10	低速給液	379.72	389.61	8.4		24.7	1/M測定	14
11	低速給液	389.61	399.68	8.4		24.7	1/M測定	14
12	臨界超過	399.68	407.08	8.4		24.7	出力倍増時間測定	12
13	臨界調整	407.08	405.74	-	0	24.7	臨界	9
14	出力調整	405.74	405.70	-	0	24.7	臨界	20
15	燃料排液	405.70	0.00	-			排液流量確認	8
								所要時間合計(min)
								230

R0245 (平成11年9月8日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.61	10.0		24.8		8
2	高速給液	39.61	197.55	15.0		24.3	1/M測定	13
3	低速給液	197.55	299.23	8.3		24.4	1/M測定	11
4	低速給液	299.23	379.43	8.3		24.4	1/M測定・給液時間測定	10
5	低速給液	379.43	399.30	8.3		24.4	1/M測定・給液時間測定	94
6	臨界超過	399.30	424.94	8.3		24.6	出力倍増時間測定	9
7	臨界調整	424.94	422.48	-	0	24.6	臨界	22
8	実装物A挿入	422.99	422.99	-		24.6	実装物Aワース測定	6
9	臨界調整	422.99	423.03	-	0	24.6	臨界	4
10	実装物A引抜	423.03	422.99	-		24.7	実装物A引抜	10
11	実装物B挿入	422.99	422.99	-		24.7	実装物B挿入	6
12	臨界調整開始	422.99	424.59	-	0	24.7	臨界	14
13	実装物A挿入	424.59	424.59	-		24.7	実装物A挿入	5
14	臨界調整	424.59	424.64	-	0	24.7	臨界	5
15	少量排液	424.64	424.13	-		24.7		1
16	実装物A、B引抜	424.13	424.13	-		24.7	実装物A、B引抜	10
17	臨界調整	424.13	423.00	-	0	24.7	臨界	8
18	出力臨界調整	423.00	424.51	-		24.7	出力倍増時間測定	10
19	高出力	424.51	423.03	-	51.2	24.7	臨界	29
20	燃料排液	423.03	0.00	-			スクラム落下時間測定	7
								所要時間合計(min)
								282

R0246 (平成11年11月4日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.45	8.0		24.5		8
2	高速給液	39.45	197.28	15.0		24.2	1/M測定	18
3	低速給液	197.28	299.30	8.0		24.3	1/M測定	13
4	低速給液	299.30	306.78	8.0		24.3		6
5	低速給液	306.78	379.93	4.0		24.3	1/M測定・給液時間測定	80
6	低速給液	379.93	399.99	4.0		24.4	1/M測定・給液時間測定	13
7	低速給液	399.99	409.28	8.0		24.4	1/M測定・給液時間測定	17
8	臨界超過	409.28	418.88	4.0		24.4	出力倍増時間測定	6
9	臨界調整	418.88	417.05	-	0	24.4	臨界	13
10	安全棒挿入	417.05	435.93	-		24.4	ワンロッドスタックマージン(A)	17
11	燃料排液	435.93	0.00	-			排液流量確認	5
								所要時間合計(min)
								196

R0247 (平成11年11月4日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	197.08	15.0		24.2		13
2	低速給液	197.08	399.26	8.0		24.2	給液時間測定	20
3	臨界超過	399.26	418.00	8.0		24.2		3
4	臨界調整	418.00	417.07	-	0	24.2	ワンロッドスタックマージン(B)	29
5	安全棒挿入	417.07	436.03	-		24.2	排液流量確認	18
6	燃料排液	436.03	0.00	-				6
								所要時間合計(min)
								89

R0248 (平成11年11月5日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.74	4.8		24.1		10
2	高速給液	39.74	199.75	4.8		24.0	1/M測定	24
3	低速給液	199.75	399.96	2.2		24.0	1/M測定・給液時間測定	128
4	臨界超過	399.96	418.97	2.1		24.1	出力倍増時間測定	8
5	臨界調整	418.97	416.72	-	0	24.1	臨界	12
6	安全棒挿入	416.72	435.60	-		24.1	ワンロッドスタックマージン(C)	17
7	燃料排液	435.60	0.00	-			排液流量確認	7
所要時間合計(min)								206

R0249 (平成11年11月5日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	197.32	15.0		24.0		11
2	低速給液	197.32	379.22	8.0		24.0		16
3	低速給液	379.22	400.03	2.1		24.0		8
4	臨界超過	400.03	416.68	2.1		24.0		5
5	臨界調整	416.68	416.68	-	0	24.0	臨界	11
6	安全棒挿入	416.68	435.71	-		24.0	ワンロッドスタックマージン(D)	15
7	燃料排液	435.71	0.00	-			排液流量確認	7
所要時間合計(min)								73

R0250 (平成11年11月10日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.33	8.0		24.1		8
2	高速給液	39.33	197.57	15.0		23.8	1/M測定	13
3	低速給液	197.57	349.85	1.0		24.0	1/M測定・給液時間測定	109
4	低速給液	349.85	399.89	1.0		24.0	1/M測定・給液時間測定	34
5	臨界超過	399.89	417.39	1.0		24.0	出力倍増時間測定	12
6	臨界調整	417.39	415.32	-	0	24.0	臨界	22
7	安全棒挿入	415.32	434.25	-		24.0	ワンロッドスタックマージン(E)	15
8	燃料排液	434.25	0.00	-			排液流量確認	7
所要時間合計(min)								200

R0251 (平成11年11月10日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	202.18	15.0		23.8		12
2	低速給液	202.18	400.00	2.0		23.8		54
3	臨界超過	400.00	416.90	2.0		-		5
4	臨界調整	416.90	415.47	-	0	23.8	臨界	13
5	安全棒挿入	415.47	434.44	-		23.8	ワンロッドスタックマージン(F)	16
6	燃料排液	434.44	0.00	-		-	排液流量確認	6
所要時間合計(min)								106

R0252 (平成11年11月11日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	39.18	8.0		23.8		9
2	高速給液	39.18	198.92	8.0		23.7	1/M測定	18
3	低速給液	198.92	399.87	1.0		23.8	1/M測定	124
4	臨界超過	399.87	416.61	1.0		23.8	出力倍増時間測定	14
5	臨界調整	416.61	415.17	-	0	23.8	臨界	20
6	安全棒挿入	415.17	434.08	-		23.8	ワンロッドスタックマージン(G)	15
7	燃料排液	434.08	0.00	-			排液流量確認	5
所要時間合計(min)								205

R0253 (平成11年11月11日)

STEP	操作	給液開始 液位 (mm)	給液停止 液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力 系熱出力 (W)	炉心燃料 温度 (℃)	備考(測定項目)	所要 時間 (min)
1	高速給液	0.00	197.24	15.0		23.6		10
2	低速給液	197.24	400.01	2.0		23.7		53
3	臨界超過	400.01	-	2.0		-		5
4	臨界調整	-	415.17	-	0	23.8	臨界	9
5	安全棒挿入	415.17	434.08	-		23.7	ワンロッドスタックマージン(H)	14
6	燃料排液	434.08	0.00	-		-	排液流量確認	5
所要時間合計(min)								96

R0254 (平成11年11月12日)

STEP	操作	給液開始液位(mm)	給液停止液位(mm)	給液流量(ℓ/min)	安全出力系熱出力(W)	炉心燃料温度(℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.27	8.0		23.8		7
2	高速給液	39.27	198.90	8.0		23.7		17
3	低速給液	198.90	350.03	2.0		23.7	1/M測定	41
4	低速給液	350.03	399.89	1.0		23.8	1/M測定	96
5	臨界超過	399.89	416.57	1.0		23.8	出力倍増時間測定	13
6	臨界調整	416.57	415.01	-	0	23.8	臨界	21
7	安全棒挿入	415.01	436.77	-		23.8	原子炉停止余裕測定	14
8	燃料排液	436.77	0.00	-			排液流量確認	6
所要時間合計(min)								215

R0255 (平成11年11月12日)

STEP	操作	給液開始液位(mm)	給液停止液位(mm)	給液流量(ℓ/min)	安全出力系熱出力(W)	炉心燃料温度(℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	198.76	8.0		23.6		14
2	低速給液	198.76	400.02	2.0		23.7		53
3	臨界超過	400.02	-	2.0		-		5
4	臨界調整	-	414.98	-	0	23.8	臨界	9
5	安全棒挿入	414.98	425.46	-		23.8	移動側4本挿入(E,F,G,H)	17
6	燃料排液	425.46	0.00	-			排液流量確認	5
所要時間合計(min)								103

R0256 (平成11年11月18日)

STEP	操作	給液開始液位(mm)	給液停止液位(mm)	給液流量(ℓ/min)	安全出力系熱出力(W)	炉心燃料温度(℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.18	8.0		24.2		7
2	高速給液	39.18	198.83	8.0		23.9	1/M測定	16
3	低速給液	198.83	369.87	1.0		24.0	1/M測定	86
4	低速給液	369.87	389.91	1.0		24.0	1/M測定・給液時間測定	15
5	低速給液	389.91	399.89	1.0		24.0	1/M測定・給液時間測定	18
6	臨界超過	399.89	415.78	1.0		24.1	出力倍増時間測定	11
7	臨界調整	415.78	413.75	-	0	24.0	臨界	8
8	実装物A挿入	413.75	-	-				4
9	臨界調整	413.80	413.80	-	0	24.1	臨界、実装物A反応度測定	5
10	実装物A引抜	413.80	-	-				7
11	実装物B挿入	415.33	-	-			臨界、実装物B反応度測定	7
12	臨界調整	415.33	415.33	-	0	24.1		13
13	実装物B引抜	415.33	-	-				5
14	出力臨界調整	414.18	414.18	-	0	24.1	臨界	19
15	安全棒挿入	414.18	432.57	-		24.1	ワンロッドスタックマージン(D)	16
16	燃料排液	432.57	0.00	-			排液流量確認	6
所要時間合計(min)								243

R0257 (平成11年12月8日)

STEP	操作	給液開始液位(mm)	給液停止液位(mm)	給液流量(ℓ/min)	安全出力系熱出力(W)	炉心燃料温度(℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.09	8.0		24.1		8
2	高速給液	39.09	198.93	8.0		23.7	1/M測定	18
3	低速給液	198.93	379.84	1.0		23.8	1/M測定・給液時間測定	92
4	低速給液	379.84	399.87	1.0		23.8	1/M測定・給液時間測定	21
5	臨界超過	399.87	411.89	1.0		23.8	出力倍増時間測定	12
6	臨界調整	411.89	410.02	-	0	23.8	臨界	13
7	出力調整	410.02	411.46	1.0		23.8	出力倍増時間測定、180Wで上昇停止	11
8	臨界調整・維持	411.46	410.17	-	200	23.8	臨界、線量率測定	9
9	手動スクラム	410.17	-	-			安全棒落下時間測定	8
所要時間合計(min)								192

R0258 (平成12年1月14日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.29	8.0		23.5		9
2	高速給液	39.29	207.94	8.0		23.4	1/M測定	17
3	低速給液	207.94	299.80	1.0		23.5	1/M測定	51
4	低速給液	299.80	384.85	1.0		23.5	1/M測定	47
5	低速給液	384.85	399.82	1.0		23.5	1/M測定・給液時間測定	13
6	低速給液	399.82	409.82	1.0		23.5	1/M測定・給液時間測定	15
7	臨界超過	409.82	418.01	1.0		23.5	出力倍増時間測定・反応度検査	9
8	臨界調整	418.01	416.38	-	0	23.5	臨界	12
9	実装物A挿入	416.38	416.38	-		23.5		5
10	臨界調整	416.38	416.43	-	0	23.5	臨界・実装物A反応度検査	9
11	実装物A引抜	416.43	416.43	-		23.5		5
12	実装物B挿入	416.43	416.43	-		23.5		5
13	臨界調整	416.43	418.00	1.0	0	23.5	臨界・実装物B反応度検査	11
14	少量排液	418.00	416.21	-		23.5		2
15	実装物B引抜	416.21	416.21	-		23.5		5
16	臨界調整	416.21	416.41	-	0	23.5	臨界	12
17	燃料排液	416.41	0.00	-			排液流量確認	5
所要時間合計(min)								232

R0259 (平成12年1月19日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	38.91	8.0		23.5		8
2	高速給液	38.91	198.84	8.0		23.3	1/M測定	17
3	低速給液	198.84	384.97	1.0		23.4	1/M測定	100
4	低速給液	384.97	399.96	1.0		23.5	1/M測定・給液時間測定	13
5	低速給液	399.96	409.96	1.0		23.5	1/M測定・給液時間測定	16
6	臨界超過	409.96	417.00	1.0		23.4	出力倍増時間測定・反応度検査	8
7	臨界調整	417.00	415.21	-	0	23.4	臨界	14
8	実装荷物A挿入	415.21	415.21	-		23.4		7
9	臨界調整	415.21	415.26	-	0	23.4	臨界・実装物A反応度検査	11
10	実装荷物A引抜	415.26	415.26	-		23.4		5
11	実装荷物B挿入	415.26	415.26	-		23.4		6
12	臨界調整	415.26	416.81	1.0	0	23.4	臨界・実装物B反応度検査	9
13	少量排液	416.81	416.81	-		23.4		3
14	実装荷物B引抜	416.81	416.81	-		23.4		5
15	出力臨界調整	416.81	415.17	-	0	23.5	臨界・起動系7000cps程度	16
16	安全棒挿入	415.17	434.09	-		23.5	ワンロッド・スタックマージン(A)	20
17	燃料排液	434.09	0.00	-			排液流量確認	8
所要時間合計(min)								266

R0260 (平成12年1月20日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.34	8.0		23.2		8
2	高速給液	39.34	198.97	8.0		23.1	1/M測定	16
3	低速給液	198.97	379.86	1.0		23.2	1/M測定・給液時間測定	93
4	低速給液	379.86	409.89	1.0		23.2	1/M測定・給液時間測定	24
5	臨界超過	409.89	417.07	1.0		23.2	出力倍増時間測定	8
6	臨界調整	417.07	415.22	-	0	23.3	臨界	6
7	出力調整	415.22	416.99	1.0		23.2	出力倍増時間測定、180Wで上昇停止	8
8	臨界調整・維持	416.99	415.43	-	200	23.2	熱出力検査、線量率検査	6
9	手動スクラム	415.43	0.00	-			安全棒落下時間検査	8
所要時間合計(min)								177

R0261 (平成12年1月31日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.02	8.0		23.3(23.5)		9
2	高速給液	39.02	248.82	8.0		23.2(23.4)	γ線測定、1/M測定	28
3	低速給液	248.82	349.96	2.0		23.2(23.4)	γ線測定、1/M測定	32
4	低速給液	349.96	410.00	2.0		23.2(23.2)	γ線測定、1/M測定	68
5	低速給液	410.00	439.90	1.0		23.2(23.4)	γ線測定、1/M測定	19
6	低速給液	439.90	479.90	1.0		23.2(23.4)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	30
7	低速給液	479.90	489.93	1.0		23.2(23.4)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	24
8	臨界超過	489.93	497.83	1.0		23.2(23.4)	出力倍増時間測定、反応度測定	8
9	臨界調整	497.83	494.91	-	0	23.2(23.4)	臨界、反応度測定	35
10	出力調整	494.91	494.48	-		23.2(23.4)	反応度測定	18
11	出力臨界調整	494.48	494.94	-	0	23.3(23.4)	臨界、反応度測定、ノイズ法	40
12	出力臨界調整	494.94	494.91	-	0	23.3(23.4)	臨界、反応度測定、ノイズ法	22
13	臨界調整	494.91	494.94	-	0	23.3(23.4)	臨界	9
14	安全棒挿入	494.94	498.01	-		23.3(23.4)	挿入安全棒(B)	12
15	燃料排液	498.01	0.00	-			排液流量確認	6
所要時間合計(min)								360

R0262 (平成12年2月3日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.25	8.0		23.1(23.4)		7
2	高速給液	39.25	273.97	8.0		23.0(23.2)	γ線測定、1/M測定	22
3	低速給液	273.97	429.90	2.0		23.1(23.2)	γ線測定、1/M測定	72
4	低速給液	429.90	469.87	2.0		23.1(23.2)	γ線測定、1/M測定	16
5	低速給液	469.87	519.79	1.0		23.1(23.3)	γ線測定、1/M測定	27
6	低速給液	519.79	534.80	1.0		23.1(23.2)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	35
7	低速給液	534.80	544.78	1.0		23.1(23.3)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	17
8	臨界超過	544.78	557.19	1.0		23.1(23.3)	出力倍増時間測定、反応度測定	11
9	臨界調整	557.19	554.21	-	0	23.1(23.3)	臨界、反応度測定	14
10	出力調整	554.21	554.25	-	0	23.1(23.3)	出力調整、臨界	17
11	NS挿入法	554.25	554.25	-		23.1(23.3)	NS挿入(0~5.57m)	9
12	出力調整	554.25	554.18	-	0	23.1(23.3)	出力調整、臨界	15
13	NS挿入法	554.18	554.18	-		23.1(23.3)	NS挿入(0~5.53m)	8
14	出力調整	554.18	554.26	-	0	23.1(23.3)	出力調整、臨界	28
15	安全棒挿入	554.26	557.70	-		23.1(23.3)	挿入安全棒(B)	12
16	燃料排液	557.70	0.00	-		-	排液流量確認	6
所要時間合計(min)								316

R0263 (平成12年2月7日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.25	8.0		23.2(23.4)		8
2	高速給液	39.25	273.94	8.0		23.1(23.2)	γ線測定、1/M測定	23
3	低速給液	273.94	449.96	2.0		23.2(23.2)	γ線測定、1/M測定	45
4	低速給液	449.96	499.95	2.0		23.2(23.3)	γ線測定、1/M測定・液位変動測定	53
5	低速給液	499.95	559.88	1.0		23.2(23.3)	γ線測定、1/M測定	33
6	低速給液	559.88	579.85	1.0		23.2(23.3)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	29
7	低速給液	579.85	589.85	1.0		23.2(23.3)	γ線測定、1/M測定・給液時間測定	14
8	臨界超過	589.85	604.97	1.0		23.2(23.3)	出力倍増時間測定・反応度測定	12
9	臨界調整	604.97	600.35	-	0.8	23.2(23.3)	臨界	54
10	出力調整	600.35	600.28	-	0	23.2(23.3)	臨界	22
11	NS挿入法	600.28	600.28	-		23.2(23.3)	NS位置(5.32)	6
12	NS挿入法	600.28	600.28	-		23.2(23.3)	NS位置(5.51)	7
13	出力調整	600.28	600.19	-	0	23.2(23.3)	臨界	22
14	安全棒挿入	600.19	603.96	-		23.2(23.4)	挿入安全棒(B)	12
15	燃料排液	603.96	0.00	-		-	排液流量確認	9
所要時間合計(min)								349

R0264 (平成12年2月10日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.22	8.0		23.2(23.4)		8
2	高速給液	39.22	328.84	8.0		23.1(23.3)	1/M測定	23
3	低速給液	328.84	479.99	2.0		23.2(23.3)	1/M測定	39
4	低速給液	479.99	540.00	2.0		23.2(23.3)	1/M測定	25
5	NS移動	540.00	540.00	-		23.2(23.3)	液位変化	89
6	低速給液	540.00	614.90	1.0		23.2(23.4)	1/M測定	42
7	低速給液	614.90	639.83	1.0		23.2(23.3)	1/M測定・給液時間測定	23
8	NS移動	639.83	639.83	-		23.2(23.3)	1/M測定	19
9	低速給液	639.83	654.95	1.0		23.2(23.4)	1/M測定・給液時間測定	22
10	臨界超過	654.95	665.21	1.0		23.2(23.4)	出力倍増時間測定	10
11	臨界調整	665.21	660.00	-	1.4	23.3(23.4)	臨界	42
12	出力臨界調整	660.00	659.87	-	0	23.3(23.4)	臨界	32
13	NS挿入法	659.87	660.16	-		23.3(23.4)	NS位置(5.35m)	6
14	NS挿入法	660.16	660.07	-		23.3(23.4)	NS位置(5.51m)	10
15	燃料排液	660.07	0.00	-		-	排液流量確認	8
所要時間合計(min)								398

R0265 (平成12年2月14日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (°C)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.25	8.0		23.3(23.4)		7
2	高速給液	39.25	328.64	8.0		23.3(23.4)		20
3	低速給液	328.64	539.98	2.0		23.3(23.4)	1/M測定	144
4	パルス中性子	539.98	539.98	-		23.3(23.4)	液位変化・パルス中性子法(38000発)	56
5	低速給液	539.18	639.86	1.0		23.3(23.4)	1/M測定・給液時間測定	71
6	パルス中性子	639.86	639.74	-		23.3(23.4)	液位変化・パルス中性子法(19000発)	37
7	低速給液	639.74	649.92	1.0		23.3(23.4)	1/M測定・給液時間測定	20
8	臨界超過	649.92	662.61	1.0		23.3(23.4)	出力倍増時間測定	12
9	臨界調整	662.61	657.66	-	1.3	23.3(23.4)	臨界	24
10	出力臨界調整	657.66	657.63	-	0	23.3(23.4)	臨界	40
11	安全棒挿入	657.50	661.63	-		23.3(23.4)	挿入安全棒(B)	12
12	燃料排液	657.50	0.00	-		-	排液流量確認	8
所要時間合計(min)								451

R0266 (平成12年2月16日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.30	8.0		23.1(23.3)		8
2	高速給液	39.30	328.66	8.0		23.0(23.2)		21
3	低速給液	328.66	600.05	2.0		23.1(23.2)	1/M測定	68
4	低速給液	600.05	602.20	2.0		23.1(23.2)	給液流量変更 21 → 11	5
5	低速給液	602.20	639.88	1.0		23.1(23.2)	1/M測定・給液時間測定	23
6	低速給液	639.88	649.95	1.0		23.1(23.2)	1/M測定・給液時間測定	16
7	臨界超過	649.95	668.95	1.0		23.1(23.2)	出力倍増時間測定	13
8	臨界調整	668.95	662.63	-	2	23.1(23.2)	臨界	14
9	出力上昇	662.63	668.91	-		23.1(23.2)		5
10	高出力	668.91	662.81	-	53.8	23.1(23.2)	熱出力 50W	57
11	燃料排液	662.81	0.00	-			排液流量確認	10
所要時間合計(min)								240

R0267 (平成12年2月18日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.23	8.0		23.1(23.3)		9
2	高速給液	39.23	356.19	8.0		22.9(23.2)	1/M測定	27
3	低速給液	356.19	500.01	2.0		23.0(23.2)	1/M測定	37
4	低速給液	500.01	564.96	2.0		23.0(23.2)	1/M測定	20
5	低速給液	564.96	655.03	1.0		23.0(23.2)	1/M測定	45
6	低速給液	655.03	684.75	1.0		23.0(23.2)	1/M測定・給液時間測定	20
7	低速給液	684.75	700.01	1.0		23.0(23.2)	1/M測定・給液時間測定	17
8	臨界超過	700.01	717.42	1.0		23.0(23.2)	出力倍増時間測定	11
9	臨界調整	717.42	709.85	-	0	23.1(23.2)	臨界	55
10	出力調整	709.85	709.83	-	1	23.1(23.2)	臨界	21
11	NS挿入	709.83	709.83	-		-	NS位置(5.35m)	6
12	NS挿入	709.83	709.83	-		-	NS位置(5.51m)	4
13	出力調整	709.83	709.94	-	0	23.1(23.2)	臨界	13
14	安全棒挿入	709.94	714.46	-		23.1(23.2)	挿入安全棒(B)	12
15	燃料排液	714.46	0.00	-			排液流量確認	9
所要時間合計(min)								306

R0268 (平成12年2月23日)

STEP	操作	給液開始液位 (mm)	給液停止液位 (mm)	給液流量 (ℓ/min)	安全出力系熱出力 (W)	炉心燃料温度 (℃)	備考(測定項目)	所要時間(min)
1	高速給液	0.00	39.32	8.0		23.1(23.3)		7
2	高速給液	39.32	382.02	8.0		22.9(23.1)	1/M測定	27
3	低速給液	382.02	519.78	2.0		23.0(23.1)	1/M測定	40
4	低速給液	519.78	589.76	2.0		23.0(23.1)	1/M測定	22
5	低速給液	589.76	694.70	1.0		23.0(23.1)	1/M測定	55
6	低速給液	694.70	719.66	1.0		23.0(23.1)	1/M測定・給液時間測定	24
7	低速給液	719.66	749.69	1.0		23.0(23.1)	1/M測定・給液時間測定	29
8	低速給液	749.69	759.64	1.0		23.0(23.1)		13
9	臨界調整	759.64	763.26	-	0	23.0(23.1)	臨界	20
10	臨界超過	763.26	770.13	1.0		23.0(23.1)	出力倍増時間測定	8
11	出力調整・臨界調整	770.13	763.27	1.0	0	23.0(23.1)	臨界	23
12	出力調整・臨界調整	763.27	763.17	-	0	23.0(23.1)	臨界	18
13	安全棒挿入	763.17	767.98	-		23.0(23.1)	挿入安全棒(B)	12
14	燃料排液	767.98	-	-			排液流量確認	8
所要時間合計(min)								306

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力 エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
工率、放射束	ジュール	J	N·m
電気量、電荷	ワット	W	J/s
電位、電圧、起電力	クロン	C	A·s
静電容量	ボルト	V	W/A
電気抵抗	アーマ	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, L
トント	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レンントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際量衡局1985年刊行による。ただし、1  $\text{u}$  の値はCODATAの1986年推定によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類される。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N(=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P(ポアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	= 4.184 J(熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>	= 4.1855 J(15 °C)
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>	= 4.1868 J(国際蒸気)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>	仕事率 1 PS(仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	= 735.499 W
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1	

放射能	Bq	Ci	吸收線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>		1	100		1	3876		100	
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1		0.01	1		2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1	0.01	1	

(86年12月26日現在)

