「常陽」における燃料破損模擬試験 −FFDL炉内試験(Ⅲ)−

(技術報告)

2005年3月

核 燃 料 サイクル 開 発 機 構 大 洗 工 学 センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。 〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49 核燃料サイクル開発機構 技術展開部 技術協力課 電話:029-282-1122 (代表) ファックス:029-282-7980 電子メール: jserv@jnc.go.jp Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Cooperation Section, Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4–49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319–1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005 「常陽」における燃料破損模擬試験

-FFDL炉内試験(Ⅲ)-

(技術報告)

伊藤主税^{*1}、伊東秀明^{*1}、石田公一^{*1}、 服部和裕^{*1}、大山一弘^{*1}、助川一弥^{*5}、 村上隆典^{*2}、皆藤泰昭^{*2}、西野一成^{*3}、 青山卓史^{*3}、干場英明^{*4}、前田幸基^{*1}

要 旨

高速実験炉「常陽」では、国の安全研究の一つである「燃料破損時の運転手法最適化に関する研究」の一環として、炉内で放出された核分裂生成物(FP)の挙動と燃料破損検出設備(FD)およびシッピング法破損燃料位置検出設備(FFDL)の検出性能の評価を実施している。MK-II炉心においては、試験用燃料要素の被覆管のガスプレナム部にスリットを設けてこれを照射する試験(昭和60年4月、FFDL炉内試験(I))、試験用燃料要素の被覆管の燃料カラム部にスリットを設けて照射する試験(平成4年11月、FFDL炉内試験(II))を実施した。

「常陽」は、MK-Ⅲ炉心への改造を完了し、平成 16 年度よりMK-Ⅲ炉心での本格運転 を開始した。MK-Ⅲ炉心では、炉心構成等の変更に伴いFPのプラント系統内での挙動が変 化し、FFD設備やFFDL設備の感度・応答に影響を及ぼすことが考えられる。そのため、 MK-Ⅲ炉心における燃料破損時のFPの挙動やFFDおよびFFDL設備の性能を確認し ておく必要がある。さらには、前回のFFDL炉内試験(Ⅱ)を実施してから約 12 年が経過 しており、万一の燃料破損や、将来計画しているRTCB試験(燃料被覆管が破損に至るまで 照射を継続する試験)に備え、MK-Ⅲ炉心運転時における燃料破損時のプラント運転手順を 検証するとともに、対応能力の向上を図ることが重要である。

そこで、平成16年11月11日から11月29日までの期間において、FFDL炉内試験(Ⅲ) を実施した。本試験では、MK-Ⅲ炉心において、燃料被覆管に人工欠陥を設けた試験用燃料 要素を炉心中心に装荷して照射し、燃料破損を検知してから原子炉を停止して燃料を取り出す までの一連のプラント操作を行い、燃料破損発生時におけるFFDおよびFFDLの検出性能 を確認するとともに運転手法を検証した。

また、本試験において、運転・操作手順の改善や設備の改造・整備等の改善事項も摘出できた。今後は、これらの対応を図り、MK-Ⅲ炉心運転に反映するとともに、本試験結果を、将 来の FBR の安全性の向上に反映させていく。

*5: 検査開発㈱

^{*1:}核燃料サイクル開発機構大洗工学センター照射施設運転管理センター実験炉部技術課

^{*2:}核燃料サイクル開発機構大洗工学センター照射施設運転管理センター実験炉部原子炉第一課 *3:核燃料サイクル開発機構大洗工学センター照射施設運転管理センター実験炉部原子炉第二課

^{*4:}核燃料サイクル開発機構大洗工学センター安全管理部放射線管理課

Fuel Failure Simulation Test in JOYO - FFDL in-pile test(III) -

(Technical Document)

Chikara Ito^{*1}, Hideaki Ito^{*1}, Koichi Ishida^{*1}, Kazuhiro Hattori^{*1}, Kazuhiro Ohyama^{*1}, Kazuya Sukegawa^{*5}, Takanori Murakami^{*2}, Yasuaki Kaito^{*2}, kazunari Nishino^{*3}, Takafumi Aoyama^{*3}, Hideaki Hoshiba^{*4}, Yukimoto Maeda^{*1}

Abstract

Detecting and locating the release of fission products from failed fuel in a reactor is an important area of safety research in Japan. The experimental fast reactor JOYO is used to conduct tests with simulated fuel failures to examine the behavior of fission product(FP) releases in the core and to demonstrate the performance of the fuel failure detection (FFD) and fuel failure detection and location (FFDL) systems. Such tests in the JOYO MK-II core included the April 1985 FFDL in-pile test (I) which had a small artificial slit in the gas plenem region of the fuel pin cladding to simulate a fuel breach and the November 1992 FFDL in-pile test (II) which had a small artificial slit in the fuel column region of the fuel pin cladding.

In 2004 the JOYO MK-III reactor core replacement was completed. The behavior of fission product releases and the sensitivity of the FFD and FFDL systems needed to be confirmed with the many changes involved in the MK-III core upgrade. An FFDL simulated fuel failure test in the MK-III core would also serve to confirm the JOYO plant operation procedures for potential future fuel failure events and help prepare for future planned run-to-cladding-breach (RTCB) tests in JOYO.

Therefore, an FFDL in-pile test (III) was performed in the period from November 11 to November 29, 2004. Test fuel elements with an artificial slit in the fuel cladding was loaded in the core center position of the MK-III core. The test fuel elements were irradiated, the release of fission products was detected, and the location of the leaking test subassembly was identified. The performance of the FFD and FFDL systems and the plant operation procedure of fuel failure was confirmed.

This test also suggested improvement in the JOYO operation procedures and potential upgrades to the facilities. Some of these improvements is incorporated into the MK-III core operation and will be reflected to the safety enhancement of FBRs.

- *1 : Reactor Technology Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, O-arai Engineering Center, JNC
- *2 : Operation Engineering Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, O-arai Engineering Center, JNC
- *3 : Maintenance Engineering Section, Experimental Reactor Division, Irradiation Center, O-arai Engineering Center, JNC
- *4 : Radiation Control Section, Health and Safety Division, O-arai Engineering Center, JNC
- *5 : Inspection Development Company Ltd.

目

次

1. 13	まじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2. 討	、験計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.1	試験目的	2
2.2	試験内容	2
2.3	試験工程	2
3. 핥	\$\$、験設備の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
3.1	試験用集合体	7
3.2	燃料破損検出設備	11
3.3	オンラインγ線モニタ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
3.4	シッピング法破損燃料位置検出設備 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	23
4. 討	代験結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	31
4.1	原子炉の運転 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	31
4.2	FFDおよび炉内カバーガス中FP濃度の測定 ・・・・・・・・・・・・・・・・	34
4.3	FPの除去・回収 ······	62
4.4	破損燃料集合体の同定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	75
4.5	試験燃料集合体の取出しおよびFMFへの払い出し ・・・・・・・・・・・・	93
4.6	ナトリウムサンプリング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	108
4.7	ナトリウム分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	110
4.8	FPガスの放出管理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	113
5. 未	らわりに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	128
6. 謝	材辞 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	130
付録-	1 燃料カラム部破損を想定した場合の各種検討 ・・・・・・・・・・・・・・・ 付(1)-1

表リスト(1/2)

表 2.3-1	FFDL 炉内試験(Ⅲ)準備工程実績 ······	5
表 2.3-2	FFDL 炉内試験(Ⅲ)詳細実績工程 ······	6
表 4.1-1	MK-Ⅲ第2'サイクル運転の原子炉運転実績工程 ・・・・・・・・・	33
表 4.2.1-1(1/3)	FFD設備関連データ	38
表 4.2.1-1(2/3)	FFD設備関連データ	39
表 4.2.1-1(3/3)	FFD設備関連データ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
表 4.2.1-2	関連プラントデータ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	41
表 4.2.2-1	OLGM 用 Ge 検出器の検出効率 ······	46
表 4.2.2-2	各燃料体が破損した場合のカバーガス中 FP 放射能濃度比	
	及び OLGM 測定結果 ······	46
表 4.2.3-1	希ガス FP 核種及び 41Ar の放射能濃度測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	57
表 4.2.3-2	RIMS による Xe 同位体比の測定結果 ······	57
表 4.2.3-3	各燃料体が破損した場合のカバーガス中 FP 濃度の計算値と	
	RIMS による濃度測定結果	58
表 4.3.1-1	CGCS系統接続中及びその前後のFFD-CG法系統状態 ······	64
表 4.3.3-1(1/4)	セシウムトラップ運転記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	73
表 4.3.3-1(2/4)	セシウムトラップ運転記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	73
表 4.3.3-1(3/4)	セシウムトラップ運転記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	74
表 4.3.3-1(4/4)	セシウムトラップ運転記録 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	74
表 4.4.1-1	FFDL運転実績工程表	78
表 4.4.1-2(1/3)	FFDL計測運転記録	79
表 4.4.1-2(2/3)	FFDL計測運転記録	80
表 4.4.1-2(3/3)	FFDL計測運転記録	81
表 4.4.1-3	FFDL炉内試験(Ⅲ)における燃取系からの廃ガス発生量記録 ・・・	82
表 4.4.2-1	FFDL計測対象集合体 ·····	87
表 4.4.2-2	FFDL計測結果(BGO検出器)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	87
表 4.4.2-3	FFDL計測結果(Ge検出器) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	87
表 4.4.2-4	FFDLによるFP計数率算出結果	88
表 4.5.1-1(1/2)	試験用集合体移送運転実績工程	96
表 4.5.1-1(2/2)	試験用集合体移送運転実績工程	97
表 4.5.2-1	燃料出入機での希ガスの放射能濃度	100
表 4.5.3-1	トランスファロータでの希ガスの放射能濃度 ・・・・・・・・・・	104
表 4.5.4-1	キャスクカーでの希ガスの放射能濃度 ・・・・・・・・・・・・・・	107
表 4.7-1	ナトリウム分析結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	112
表 4.8.1-1	放射性ガス濃度測定結果	115
表 4.8.1-2	廃ガスタンク入口ガスモニタ(GM-11)の換算定数 ·····	116

表リスト (2/2)

表 4.8.2-1	廃ガスタンク内放射性希ガス濃度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	124
表 4.8.2-2	廃ガスタンク放出時のガス濃度及び放出量 ・・・・・・・・・・・・	125

図リスト (1/2)

図 3.1-1	FFDL 試験用集合体 ······	10
⊠ 3.2.1-1	FFD-CG法系統構成図 ·····	12
⊠ 3.2.1-2	プレシピテータの構成図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	13
⊠ 3.2.2-1	遅発中性子法体系および配管配置図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
⊠ 3.2.2-2	Aループ側遅発中性子法検出器およびグラファイト体系配置図	16
🗵 3.2.2-3	Aループ側遅発中性子法計装ブロック図 ・・・・・・・・・・・・・・・	17
⊠ 3.2.2-4	Bループ側遅発中性子法検出器およびポリエチレン体系配置図 ・・・・・	18
⊠ 3.2.2-5	Bループ側遅発中性子法計装ブロック図 ・・・・・・・・・・・・・・・・	19
⊠ 3.3-1	カバーガス・オンライン γ 線モニタ(OLGM)の系統図 ······	21
⊠ 3.3-2	OLGM ハードウエアシステム構成図 ·····	22
図 3.4-1	FFDL装置の据付状況図 ·····	26
図 3.4-2	FFDL装置の概略構造図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	27
図 3.4-3	シッピングポート概略図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
図 3.4-4	FFDL装置系統図 ·····	29
図 3.4-5	FFDL放射線計測部の構成	30
図 4.2.1-1	FFD-CG 法計数率の推移 ·····	37
⊠ 4.2.1-2	FFD-DN 法計数率の推移 ·····	37
図 4.2.2-1	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果 ····	47
図 4.2.2-2	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)	48
図 4.2.2-3	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)	49
図 4.2.2-4	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)	50
図 4.2.2-5	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)	51
図 4.2.2-6	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)	52
図 4.2.3-1	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果 ····	59
図 4.2.3-2	試料測定結果	
	(H16.11.11 サンプリング試料容器 No.7:Xe-H16.11.12 測定) ・・・・・・	60
図 4.2.3-3	試料測定結果	
	(H16.11.17 サンプリング試料容器 No.1:Xe-H16.11.17 測定) ・・・・・・	60
図 4.2.3-4	試料測定結果	
	(H16.11.18 サンプリング試料容器 No.4:Xe-H16.11.24 測定) ・・・・・・	60
図 4.2.3-5	試料測定結果	
	(H16.11.19 サンプリング試料容器 No.2:Xe-H16.11.25 測定) ・・・・・・	61
図 4.2.3-6	試料測定結果	
	(H16.11.20 サンプリング試料容器 No.3:Xe-H16.11.22 測定) ・・・・・・	61
図 4.2.3-7	試料測定結果	
	(H16.11.20 サンプリング試料容器 No.3:Xe-H16.12.8 測定) ・・・・・・	61

図リスト (2/2)

⊠ 4.3.1-1	CGCS系統概要 ······	65
⊠ 4.3.1-2	CGCS運転履歴	66
⊠ 4.3.1-3	CGCS運転によるカバーガス中放射能濃度の低減効果	
	(OLGM 測定結果) ······	67
⊠ 4.3.2-1	炉内ガスパージ(1回目)によるカバーガス中放射能濃度の低減効果	
	(OLGM 測定結果) ······	70
図 4.3.2-2	炉内ガスパージ(2回目)によるカバーガス中放射能濃度の低減効果	
	(OLGM 測定結果) ······	71
⊠ 4.4.2-1	FFDL計測結果(BGO検出器) ······	89
図 4.4.2-2	BGO 検出器による γ 線スペクトル測定結果(4E1) ・・・・・・・・・・・	90
図 4.4.2-3	BGO 検出器による γ 線スペクトル測定結果(000-80%-2) ·····	90
図 4.4.2-4	Ge 検出器による γ 線スペクトル測定結果(4E1) ・・・・・・・・・・・・・	91
図 4.4.2-5	Ge 検出器による γ 線スペクトル測定結果(000-80%-2) ・・・・・・・・・	91
図 4.4.2-6	FFDLによるFP検出性評価モデル概念 ・・・・・・・・・・・・・	92
図 4.5.2-1	燃料出入機でのγ線測定結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	101
図 4.8.1-1	廃ガス系サンプリング系統図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	117
⊠ 4.8.1-2	FFDL 運転に伴う廃ガスタンク入口ガスモニタ(GM-11)の指示値 ・・・・	118
図 4.8.1-3	キャスクカー本体パージに伴う廃ガスタンク入口ガスモニタ	
	(GM-11) の指示値 ······	119
⊠ 4.8.2-1	OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果 ····	126

1. はじめに

原子炉内で燃料破損が発生した場合、発生時点およびその規模をいち早く検知し、さ らにその破損した燃料集合体の位置を知ることがプラントの安全性の向上、被ばくや環 境への影響を低減させる観点から重要である。

高速実験炉「常陽」では、燃料破損検出設備(以下、FFDと略称)として、プレシ ビテータ法燃料破損検出設備(以下、FFD-CG法と略称)、遅発中性子法燃料破損 検出設備(以下、FFD-DN法と略称)およびオンラインγ線モニタ(以下、OLG Mと略称)を設置している。また、破損燃料集合体を同定するため、ナトリウムシッピ ング法による破損燃料位置検出設備(以下、FFDLと略称)を設置している。

「常陽」では、FFDの感度評価と検出器応答の把握、FFDLの検出性能の評価を 目的として、2回の燃料破損模擬試験をMK-II炉心において実施した。昭和 60 年 4 月には、試験用燃料要素の被覆管のガスプレナム部にスリットを設け、これを照射する 試験(FFDL炉内試験(I))を実施し、ガスプレナム部破損時のFFDLの検出性能 を確認した。平成4年11月には、試験用燃料要素の被覆管の燃料カラム部にスリット を設けて照射する試験(FFDL炉内試験(II))を実施し、燃料カラム部の初期欠陥 による燃料破損の検知性能と系統内に放出された希ガス核分裂生成物(以下、FPと略 称)が除去能力を確認した。

今回の試験は、これまでの試験結果を踏まえて、MK-Ⅲ炉心において、燃料被覆管 に人工欠陥を設けた試験用燃料要素を炉心中心に装荷して照射し、燃料破損を検知して から原子炉を停止して燃料を取り出すまでの一連のプラント操作を行い、燃料破損発生 時におけるFFDおよびFFDLの検出性能を確認するとともに運転手法を検証した。 本報告書は、試験の概要と主要な結果をまとめたものである。

-1 -

- 2. 試験計画
- 2.1 試験目的

MK-Ⅲ炉心において、燃料被覆管に人工欠陥を設けた試験用燃料要素を炉心中心に 装荷して照射し、燃料破損を検知してから原子炉を停止して燃料を取り出すまでの一連 のプラント操作を行い、燃料破損発生時におけるFFDおよびFFDLの検出性能を確 認するとともに、燃料破損時のプラント運転手法を検証する。

2.2 試験内容

試験用集合体を通常の手順により、炉心中心(炉心アドレス[000])に装荷する。通常の運転サイクルと同様に原子炉を起動し、出力上昇させる。被覆管の開口部から放出されたFPにより、FFD-CG法またはDN法の指示値が当該熱出力に対応したBG値の2倍を超えFP放出であると判断できた場合、または、警報設定値(CG法:140MWt出力時BG値の3倍)に達した場合、原子炉を停止(CG法の場合:通常停止、DN法の場合:手動スクラム)する。

ただし、通常の操作で出力上昇を行い定格熱出力に到達してもFFD-CG法の指示 値が運転制限値(BG値の 10 倍)に到達しない場合は、定格熱出力到達後あるいは原 子炉出力を変動させた後、通常停止操作により原子炉を停止する。

原子炉停止後は、カバーガス浄化設備(以下、CGCSと略称)の運転等によりカバ ーガス中のFPを除去した後、FFDLの運転により破損燃料集合体の同定を行う。そ の後、燃料出入機、トランスファロータおよびキャスクカーから試験用集合体内のガ スをサンプリングしてガス中のFP濃度を測定し、照射燃料集合体試験施設(以下、 FMFと略称)に払出す。

2.3 試験工程

FFDL炉内試験(Ⅲ)の準備については、平成15年から表2.3-1に示すとおり、燃料被覆管に人工欠陥を設けた試験用燃料要素を組み込んだ試験用集合体の設計および 工事の方法の認可(以下、設工認と略称)を取得して製作を開始した。平成16年度に は特殊試験計画書および実施要領書を作成し、実験炉部特別対策委員会(第12部会) において審議した後、特殊試験計画書は大洗工学センターの原子炉等安全委員会の審議 を受けた。これと並行して、燃料破損対応設備の整備・試運転を実施するとともに、運 転・操作手順(マニュアル)を改善し、試験に備えた。

試験は、表 2.3・2 に示すとおり、平成 16 年 11 月 11 日~11 月 29 日にて実施した。は じめに、原子炉起動前のFFD設備の信号等のプラントデータを採取し、原子炉の運転 は、MK-Ⅲ第 2'サイクル運転として、11 月 15 日~11 月 17 日に行った。燃料破損検 知による原子炉停止後は、CGCSの運転、カバーガスパージ、FFDL運転、試験用 集合体の炉外への取り出し、セシウムトラップ運転を行い、11 月 29 日に試験を終了し た。

試験における操作・測定等の主要な実績を以下に示す。

11/11~11/15 原子炉起動前FFD設備の信号等のプラントデータ採取

11/15 原子炉起動(MK-Ⅲ第2'サイクル運転)

臨界後、約 2MWt にて系統昇温(系統温度 250℃→350℃、夜間保持)、この 間に人工欠陥のシール材(ハンダ)の溶融温度約 300℃を通過

- 11/16 6:00 より出力上昇を開始し、原子炉出力約 25MWt で試験集合体の性能に係 る使用前検査(試験用燃料の性能検査)を受検、その後出力上昇を再開
- 11/17 原子炉熱出力約 120MWt において炉内カバーガス中のFP増加を確認、出力 保持(0:30頃)

燃料破損検出設備の信号の指示値に有意な上昇が見られたと判断(0:54)

OLGMおよびカバーガスサンプリング・y線測定の結果から、試験用集合体

からのFP放出と判断(3:10)

原子炉停止操作開始(3:30)

原子炉停止(7:15)

- 11/18 CGCSを運転し、炉内カバーガスの放射能濃度を約一桁低減
- 11/19 炉内カバーガスパージを実施し、炉内カバーガス放射能濃度を約一桁低減
- 11/20 FFDL装置により破損燃料を同定、FFDL装置運転による炉内カバーガス 中へのFP放出を検知
- 11/24 炉内燃料交换
- 11/26 炉外燃料交換(試験用燃料の原子炉容器外への取出しおよび「常陽」からFM Fへの払出し)

11/28 セシウムトラップ運転開始

- 11/29 セシウムトラップ運転終了(試験終了)
- 11/30 炉内カバーガスパージを実施して炉内カバーガス中 ¹³³Xe 濃度を低減させ、廃 ガス処理系を自動モードに切替

11/30~H17/1/17 OLGMによる炉内カバーガス中放射能濃度監視を継続

	2003年							2004年									
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
照射燃料集合体(B型照射燃料 集合体(FFDL試験用)の製作 (1)設工認	7/31 ≢ ☆	■請 8/2 ☆	2認可														
(2)製作			FF Ø	DL試験	, 第一要素 ////////	及びダミ ////////////////////////////////////	- 三一要素	(1)を除 ////////////////////////////////////	く構成部 //////// FFDI	ß品 └試験用	要素及	びダミ-	-要素(1) 集	合体組	立	
(3)使用前検査		9/20	 9/17申 ☆ ☆ ☆	 請 	 	1/	 23変更 ☆ 2/24]	 申請 2/16変 ☆ 計画書・ 計画書・	更申請 要領書i	改訂		7/	2検査 ^{*3} ☆		10)/14検査 ☆ 11/16	È ^{*4} 検査 ^{*5}
FFDL炉内試験(皿)実施計画 書·要領書 (1)計画書										6/`	10第12部	S会#2 ☆ 7/15ŧ 7/	7/5第12 ☆ IIの安全 ☆ /27原子! ☆	部会#3 技術検言 	 会		
(2)要領書														10/18	 第12部全	≩#4 ☆	

*1)理事長名についての変更申請
*2)熱遮へいペレットに繰越品を用いるための変更申請



表 2.3-2 FFDL炉内試験(Ⅲ)詳細実績工程

JNC TN9410 2005-003

6

- 試験設備の概要
- 3.1 試験用集合体
- a. 構造

燃料の初期欠陥を模擬する試験用集合体には、内部に試験用燃料要素(スリット付2 本、スリットなし1本)を装填している。燃料ペレットは、MK-Ⅲの炉心燃料要素(内 側)と同一である。

試験用集合体は、図 3.1-1 に示すように、試験用燃料要素3本、ダミー要素27本、 コンパートメント6本、コンパートメント上部および下部支持板、タイロッド、ハンド リングヘッド、ラッパ管、エントランスノズル等から構成されている。コンパートメン ト No.1には、試験用燃料要素(スリット付)1本、ダミー要素(I)4本、コンパー トメント No.2には、試験用燃料要素(スリット付)1本、ダミー要素(I)1本、ダ ミー要素(II)3本、コンパートメント No.3には、試験用燃料要素(スリットなし) 1本、ダミー要素(II)4本、コンパートメント No.4~6には、各々ダミー要素(II) 5本が装填されている。これらコンパートメント6本は、エントランスノズルに溶接さ れたコンパートメント下部支持板に支持される構造となっている。

(1) 試験用燃料要素(スリット付、2本)

試験用燃料要素は、外径 5.5mm、内径 4.8mm、肉厚 0.35mm の SUS316 相当ステ ンレス鋼の被覆管と上・下部端栓で溶接密封された構造で、全長 1,533mm である。内 部には上下に直径 4.6mm 高さ 12mm の劣化ウラン酸化物熱遮蔽ペレット、その中央に は直径 4.6mm 高さ 500mm のウラン・プルトニウム混合酸化物ペレット、熱遮蔽ペレ ットの上部と下部に要素反射体(上)と要素反射体(下)、要素反射体(上)の上部に はプレナムスプリングと抑え板付プレナムスリーブで構成されている。ペレットの組 成は、MK-Ⅲ炉心の炉心燃料要素(内側)と同一であり、燃料ペレット及び熱遮へ いペレットともに炉心燃料要素の繰越品を用いた。燃料要素の内部は、ヘリウムガス 雰囲気となっている。被覆管の外側には、直径 0.9mm のスペーサワイヤを 209mm ピ ッチで7回巻きつけ、両端を上・下部端栓部で玉止めしている。材質は、プレナムス プリングのみ SUS304 ステンレス鋼であり、下部端栓、被覆管およびスペーサワイヤ は SUS316 相当ステンレス鋼であり、その他は SUS316 である。

試験用燃料要素3本のうち2本の被覆管のガスプレナム部にはスリットが設けられている。このスリットは、幅0.1mm、長さ1.0mmであり、燃料要素および集合体の

組立並びに輸送時の密封性を確保するため、鉛を主成分としたシール材(ハンダ)に より密封している。なお、シール材は、原子炉内温度が約300℃になった時点で溶融し、 スリット部は開口する。

(2) 試験用燃料要素(スリットなし、1本)

試験用燃料要素(スリットなし)は、破損燃料要素との燃料挙動の比較および燃焼 度の測定を目的としている。被覆管にスリットを有していないことを除いて、すべて 試験用燃料要素(スリット付)と同様である。

(3) ダミー要素(I)(スリット付、1本)

ダミー要素(I)は、試験用燃料要素とのナトリウム浸入量の比較を目的として装 填している。寸法および構造は、試験用燃料要素と同一である。燃料部には、燃料体 を模擬した SUS316 ステンレス鋼を装填している。スリット部の閉塞の有無を確認す るため、被覆管へ試験用燃料要素と同様にスリットを設けている。また、試験用燃料 要素(スリット付)と同様に、鉛を主成分としたシール材により密封している。

(4) ダミー要素(Ⅱ)(スリットなし、26本)

ダミー要素(II)は、外形および全長が試験用燃料要素と同一である。構造は、ダ ミー棒へ試験用燃料要素と同様に直径 0.9mm のスペーサワイヤを 209mm ピッチで 7 回巻きつけ、両端を上・下部端栓部で玉止めしたものである。ダミー棒および上・下 部端栓の材質は SUS316 であり、スペーサワイヤの材質は SUS316 相当ステンレス鋼 である。

b. 製造実績

照射燃料集合体(FFDL試験用)の製作に係わる製造実績を以下に示す。

平成 15 年 7 月 31 日付け 15 サイクル機構(大洗) 099 をもって設計及び工事の方法の認可申請を行い、平成 15 年 8 月 22 日付け 15 諸文科科 2499 で認可された。

平成 15 年 9 月 17 日付け 15 サイクル機構 (大洗) 131 をもって使用前検査の申請を行い、 15 年 9 月 26 日付けで使用前検査計画書及び要領書が策定された。その後、平成 16 年 1 月 23 日付け 15 サイクル機構 (大洗) 233 で理事長名について使用前検査変更申請を行った。 また、平成 16 年 2 月 16 日付け 15 サイクル機構 (大洗) 247 で熱遮へいペレットに繰越品 を用いるための使用前検査変更申請を行い、平成 16 年 2 月 24 日付けで使用前検査計画 書及び要領書が改訂された。 平成 15 年 9 月から平成 16 年 3 月まで FFDL 試験用要素及びダミー要素(1)を除く構成部品を製作した。

平成16年4月より、FFDL試験用要素及びダミー要素(1)の製作を開始し、平成16年7月2日に同要素について使用前検査を受検した。

平成 16 年 9 月より集合体の組立を開始し、その他の構成部品及び完成品の使用前検 査を平成 16 年 10 月 14 日に受検した。

使用前検査のうち、性能検査として、過剰反応度及び集合体出口冷却材温度の検査を 平成16年11月16日に受検し、同日付で合格した。



図3.1-1 FFDL試験用集合体

3.2 燃料破損検出設備

3.2.1 プレシピテータ法燃料破損検出設備(FFD-CG法)

本設備は、炉内カバーガスを連続的にサンプリングして、燃料集合体の破損によりカ バーガス中に移行したFPガスをプレシピテータにより検出するための設備であり、系 統設備、計装設備および放射線計測設備から構成される。

系統設備は、サンプルガスの循環する主配管系統とプレシピテータに分流する系統、 機器のメンテナンス時に真空引きするための廃ガス系、ベーパトラップで除去された Na をドレンするためのドレン系、プレシピテータ内をパージおよびメンテナンス前後 に清浄 Ar ガスを充填するための清浄 Ar ガス系および廃ガス系から構成される。図 3.2.1-1 にFFD-CG法系統構成図を示す。

計装設備は、系統設備の運転操作に必要な計測制御設備で、プロセス計装機器、各種 インターロック、予熱制御設備、燃料破損検出系現場制御盤および予熱用電磁開閉器盤 から構成される。

放射線計測設備は、FPガスを検出するためのプレシピテータ、プレシピテータの制 御及び信号処理をするためのプレシピテータコンソールおよび燃料破損検出系監視盤 (遅発中性子法と共用)から構成される。燃料破損検出系監視盤には、記録計が設置され ている。プレシピテータ法設備の主要機器(プレシピテータ、コンプレッサ、ベーパトラ ップ等)は、原子炉建家地下中1階のプレシピテータ法 FFD 室(R-407)に、一部は原子炉 建家操作床上に設置されている。図 3.2.1-2 にプレシピテータ構成図を示す。

また、燃料破損検出系現場制御盤、予熱用電磁開閉器盤およびプレシピテータコンソ ールは、原子炉建家内コントロールセンタエリアに、燃料破損検出系監視盤(遅発中性子 法と共用)は中央制御室に設置されている。



図 3.2.1-1 FFD-CG法系統構成図



図 3.2.1-2 プレシピテータの構成図

- 13 .

3.2.2 遅発中性子法燃料破損検出設備(FFD-DN法)

本設備は、燃料集合体の破損により Na 冷却材中に溶出した F P から放出される遅発 中性子を検出するための設備で、遅発中性子を熱中性子化する減速体系と、熱中性子を 検出する計測設備とから構成される。

検出器は、A ループ側の場合 BF₃、¹⁰B 検出器が各 1 基、B ループ側の場合 BF₃×1 基、 ¹⁰B×2 基が 1 次主配管に近接して設置される。この位置は、炉容器出ロノズルから、流 出した Na が到達するまでに約 10 秒を要する位置であり、炉心上部プレナム部における 遅れ時間等を考慮すると、炉心部からは約 45 秒で到達する。図 3.2.2-1 に遅発中性子法 体系および配管配置図を示す。図 3.2.2-2~図 3.2.2-5 に遅発中性子法検出器の配置図等 を示す。

A ループ側遅発中性子設備では、減速材として黒鉛を用いる。黒鉛減速体系は、黒鉛 減速体、鉛遮へい体、熱中性子遮へい体、体系保持用枠組から構成される。黒鉛減速体 は、中性子スペクトルが最適となるように黒鉛ブロックを積み重ねたものであり、その 周囲は γ 線を遮へいするため鉛で囲まれている。さらに、その外側に、バックグラウ ンドの熱中性子を遮へいするため、ボラールおよびポリエチレンの熱中性子遮へい体が 設けられている。計測設備は、中性子検出器、前置増幅器、対数計数率計等から構成さ れる。中性子検出器は、BF3計数管と¹⁰B計数管があり、広い範囲にわたって遅発中性 子が検出できるよう配慮されている。異常を検出した場合は、アラーム信号を発生し、 原子炉制御盤の故障表示窓に表示される。

B ループ側遅発中性子法設備では、減速材としてポリエチレンを用いる。ポリエチレン減速体系は、検出器を内含し、遅発中性子を減速するためのポリエチレン減速体、バックグラウンド成分の中性子を吸収する B₄C 入ポリエチレン遮へい体、γ 線の遮へいを行う鉛遮へい体から構成される。計測設備は、中性子検出器、前置増幅器、対数計数率計等から構成され、中性子検出器は ¹⁰B、BF₃計数管が用いられる。



- 15 -

図 3.2.2-1 遅発中性子法体系および配管配置図



図 3.2.2-2 Aループ側遅発中性子法検出器およびグラファイト体系配置図



図 3.2.2-3 Aループ側遅発中性子法計装ブロック図



単位 (mm)

図 3.2.2-4 Bループ側遅発中性子検出器およびポリエチレン体系配置図



図 3.2.2-5 Bループ側遅発中性子法計装ブロック図

3.3 オンラインγ線モニタ

OLGMは、1次系カバーガス中のFPガスから放出されるγ線を検出し、核種別定 量分析を行うものである。

OLGMは、チャコール吸着床、Ge半導体検出器、計測制御機器、配管、弁、流量 計から構成されている。図 3.3-1 にOLGMの系統図を示す。

OLGMは、カバーガスをチャコール吸着床に注入させ、カバーガス中に含まれるF Pガスを吸着濃縮させ、吸着濃縮したFPガスのγ線スペクトルをGe半導体検出器に よって計測し、得られたγ線スペクトルのデータ処理を行い、定量分析を行うものであ る。チャコール吸着床は2基保有し、交互に吸着濃縮・測定を行っている。

図 3.3-2 にOLGMのハードウェアシステム構成図を示す。ハードウェアシステムは 測定制御・解析用コンピュータ、LAN接続用コンピュータ、PCI拡張バスユニット、 計測制御機器および y 線検出器から構成される。

測定制御・解析用コンピュータは、予め入力した運転パターンにより電磁弁およびマ ルチチャンネルアナライザ(MCA)を制御し、測定されたカバーガスのγ線スペクト ルを解析するものである。

LAN接続用コンピュータは得られた定量分析データをHUBから運転管理棟LA Nにデータ転送する装置である。また、PCI拡張バスユニットは、同じく得られた定 量分析データをD/A変換ボードによりアナログ変換させ、電圧ホールドアンプを通し て「常陽」データ処理装置(JOYDAS)へデータ転送する装置である。



図3.3·1 カバーガス・オンライン y 線モニタ(OLGM)の系統図



図 3.3-2 OLGM ハードウェアシステム構成図

- 22 -

3.4 シッピング法破損燃料位置検出設備

FFDLは、原子炉停止後に燃料交換機孔に据付け、回転プラグを回転させることにより任意の燃料集合体を選択し、その燃料集合体内の燃料要素の破損の有無を同定する 装置である。図 3.4-1 にFFDL装置の据付状況を示す。

「常陽」のFFDLは、ナトリウムシッピング方式であり、燃料集合体内の Na をナ トリウムタンクへ吸い上げて Ar ガスを吹き込むことにより Ar ガス層にFP ガスを移行 させる。この方式は、一旦 Na をタンクに溜めるため、Na を流動させながら Ar ガスを 吹き込む方法等の他の方式に比べて、一度吸い上げた Na 中に含まれるほとんどのFP ガスがキャリアガスへ移行する利点がある。FFDLの先端部は、燃料集合体頂部と密 着可能な構造となっており、燃料集合体内の圧力を変化させて、FP ガスの放出を促進 させる仕組みになっている。

「常陽」のFFDLは、大別して、ナトリウムサンプリング装置、ガス循環装置、FP ガス検出装置、ドアバルブ、シールフランジ、架台、駆動装置および盤から構成される。 図 3.4-2 にFFDL装置の概略構造図を示す。

(1) ナトリウムサンプリング装置

ナトリウムサンプリング装置は、燃料集合体内の Na を本装置内のナトリウムタンク へ吸い上げ、内部に含まれている F P ガスを Ar ガス中に移行させるためのものである。 このため、本装置のナトリウムタンクには、ナトリウムサンプリング管、ガス吹き込 みノズル、ガスサンプリング管、連続式レベル計等が設けられている。ナトリウムサ ンプリング管には、接点式レベル計が取り付けられており、Na の吸い上げ時の制御信 号となる。また、ナトリウムサンプリング装置の先端には、燃料集合体頂部と密着可 能なシッピングポートが設けられている。図 3.4-3 にシッピングポートの概略図を示す。

(2) ガス循環装置

ガス循環装置は、FFDL装置内のガス置換を行うためのガスパージ系およびドア バルブ間のガス置換用のドアバルブガスパージ系、サンプリング装置内のFPガスを 含む Ar ガスをFP検出装置へ導き、再びサンプリング装置内のガス吹き込みノズルへ 循環させ、ナトリウムタンクのガス圧を制御し、ナトリウムレベルを制御するガス循 環系から構成される。

ガス循環系は、ベーパトラップ、冷却器、循環ポンプ、弁類、圧力計、流量計等で 構成されている。ガス循環装置の Ar ガスの供給は、回転プラグ上に設けられた Ar ガ ス供給ヘッダから行い、排出は、サンプリング装置内の Ar ガス排出管を通じて炉内カ バーガス中へ行う。図 3.4-4 にFFDL装置の系統図を示す。

(3) F P ガス検出装置

F P ガス検出装置は、サンプリングガス循環系の途中に設けられたサンプラ、NaI シンチレータ、Ge 半導体検出器等から構成される。本装置は、Ar ガス中のγ線を測定 し、燃料要素の破損の有無を同定するものである。

図 3.4-5 にFFDL放射線計測部の構成を示す。放射線計測部の基本的な構成は、 BGO 検出器、Ge 検出器、MCA 等の計測機器、FFDL制御盤との制御信号をやりと りするコントローラからなる。BGO 検出器は、従来使用していた NaI 検出器と同等以 上の性能を有していることを確認した上で、今回の測定より採用した。

(4) ドアバルブ、シールフランジおよびシールベローズ

ドアバルブは、燃料交換機孔ドアバルブ上に設置されシールフランジとともにナト リウムサンプリング装置の運転前のガス置換および放射線の遮へいのために用いられ る。

シールフランジは、FFDL装置ドアバルブ上に設置され、炉内のナトリウムベー パを含む Ar ガスと炉外の空気雰囲気とのバウンダリを形成するものであり、Ar ガス パージ系を設け、炉内カバーガス圧を上回るガス圧でブローダウンする方式である。 また、FFDL装置本体を炉内より引き抜く際、付着した Na をかき落とす機能を有し ている。

シールベローズは、シールフランジが形成するバウンダリのバックアップおよび案 内管表面に付着する Na の酸化防止の機能を有するものであり、Ar ガス供給系および 真空引きラインにより駆動時の内圧が調整される。

(5) 架台

架台は、ドアバルブ上に設置し、据付け時および撤去時にナトリウムサンプリング 装置をガイドするとともに、上部には駆動装置、下部には盤が取り付けられている。

(6) 駆動装置

駆動装置は、電動機、減速機、クラッチ、位置検出器等から構成される。本装置は、 ナトリウムサンプリング装置の挿入時、引抜時および測定時に上下に駆動するために 用いられる。 (7) 盤

盤は、予熱操作盤、ガス系操作盤、駆動装置制御盤、FP検出盤から構成される。

予熱操作盤は、サンプリング装置内のナトリウムタンク、ナトリウムサンプリング 管等の予熱制御を行うものであり、架台に取り付けられている。

ガス系操作盤は、架台に取り付けられた運転モードを指定することにより、自動的 にガス弁の開閉が行われ、Naの吸い上げ、ナトリウムレベルの制御、ガスの循環、Na の置換が行われる。

駆動装置制御盤は、架台に取り付けられたナトリウムサンプリング装置を上下動さ せる時の駆動速度、停止位置等を制御する。

FP検出盤は、オペレーションフロアに設置し、FP検出装置のプリアンプからの 信号を処理し記録計に記録する。







図 3.4-2 FFDL装置の概略構造図


図 3.4-3 シッピングポート概略図





図 3.4-5 FFDL放射線計測部の構成

- 4. 試験結果
- 4.1 原子炉の運転
- a. 目的

燃料の初期欠陥を模擬したFFDL炉内試験(Ⅲ)を実施するため、運転操作要領 (OMP-02)に従い、MK-Ⅲ第2'サイクル運転を実施する。

b. 概要

運転操作要領(OMP-02)に従い、MK-Ⅲ第2'サイクル運転を実施する。

- (1) 原子炉を通常起動し、臨界点確認後、核加熱により系統昇温を行う。
- (2) 系統昇温後、引き続き出力上昇を行い、18MWt で主送風機を起動した後、25MWt にて使用前検査を受検する。
- (3) 使用前検査合格後、定格熱出力(140MWt)までの出力上昇を再開する。なお、 125MWt 到達時に燃料のプレコンディショニングのため、8時間出力を保持する。

出力上昇中、FFD-CG法またはFFD-DN法の指示値が当該熱出力に対応したBG値の2倍を超えFP放出であると判断できた場合、または、警報設定値(CG法:140MWt出力時BG値の3倍)に達した場合、原子炉を停止(CG法の場合:通常停止、DN法の場合:手動スクラム)する。

定格熱出力到達時、FFD-CG法の指示値に有意な上昇(定格熱出力に対応した BG値の2倍を目安)が無い場合は、原子炉出力を定格から50%出力(70MWt)の範 囲で下降・上昇させる。

- (4) FFD-CG法の指示値に有意な上昇(当該熱出力に対応したBG値の2倍を目安) が見られた時点で出力を保持し、各種プラントデータを採取後、通常停止手順に従い 35MWtまでの出力降下を行う。
- (5) 原子炉を通常停止(35MWtからの制御棒2本同時挿入)し、系統降温を行う。
- c. 結果

FFDL炉内試験(Ⅲ)に伴うMK-Ⅲ第2'サイクル運転(11月15日~11月17日) の原子炉運転実績工程を図 4.1-1 に示す。 d. 今後の予定

本試験結果に基づき、マニュアルヘFFD-CG法の有意値判断の手順等を反映する。

表 4.1-1 MK-Ⅲ第 2'サイクル運転の原子炉運転実績工程



- 33 -

- **4.2 FFDおよび炉内カバーガス中FP濃度の測定**
- 4.2.1 FFD設備
- a. 目的

本試験中におけるFFD-CG法およびFFD-DN法の指示値を連続監視し、試験 用集合体から冷却系あるいはカバーガス中へ移行したFPの挙動の把握、データ採取を 行う。

b. 概要

燃料破損を早期に検知するため、FFD-CG法およびFFD-DN法の指示値を連 続監視するとともに、データ採取を行った。FFD-CG法の指示値(積算計数または 計数率)については、直近の運転サイクルのデータをもとに原子炉起動から出力上昇時 の燃料破損が無い場合の通常バックグラウンド(BG)値の推移を事前に予測し、有意 な上昇(当該出力における通常BG値の2倍を目安)が認められた場合は、プレシピテ ータのカバーガスの吸着時間および計測時間(以下、ソークタイムと略称)を変更して 監視を強化するとともに、OLGMおよびカバーガスサンプリング・測定の結果も踏ま えて、燃料破損か否かの判断を行うこととした。

c. 結果

- FFD-CG法計数率
- (a) 試験中の推移

原子炉の起動(11月15日9時30分)から停止(11月17日7時15分)までの範 囲を含む本試験期間中のFFD-CG法計数率(積算計数測定結果を計測時間600秒 で除した値)の推移を、図4.2.1-1に示す。

有意な上昇の目安とした通常BGの2倍のラインは、中性子照射による核種の生成、 崩壊およびFFD-CG法計測までの到達時間遅れ等を考慮し、主なBG核種を⁸⁸Kr、 ¹³⁸Xe、²⁴Na、⁴¹Arとして、それぞれがBG計数率に寄与する割合を、MK-III性能試 験、運転特性試験(FFD特性試験、OLGM特性試験)等の結果から評価して求め たものである。

本試験における出力上昇中の監視は、600 秒毎に測定されるFFD-CG法の測定 結果(カウント、計数率)とその時点の原子炉熱出力を、FFD設備および「常陽」デー タ処理装置(JOYDAS)により確認してパソコン上で整理し、事前に評価した各 出力におけるBG値およびその2倍の値と比較しながら出力上昇操作の継続の可否を 判断する方法とした。

FFD-CG法計数率は、原子炉熱出力の上昇に伴って通常出力上昇時の各出力で のBG値と同程度の値で推移し、約120MWtにおいて、計数率が急激に増加し、定格 熱出力時BG通常値(第2サイクルでは約160cps)の2倍を超えた。計数率の最大は 350cpsであった。これによりFFD-CG法の指示値に有意な上昇がみられたと判断 し、出力上昇操作を中断して状態を保持し、OLGMによる炉内カバーガス中FP濃 度測定(4.2.2 参照)の結果およびカバーガスサンプリング・γ線測定(4.2.3 参照) の結果から、試験用要素からのFP放出によるものと判断して、原子炉停止操作に入 った(11月17日0時54分)。

(b) ソークタイムの変更

FFD-CG法指示値の連続監視により、出力上昇に伴う計数率の上昇の傾きが大 きくなった時点で、ソークタイムを 600 秒から 60 秒に変更した。ソークタイムの変 更に伴ってBG計数率が変わることから、それに応じた警報設定値の変更も行った。 BG計数率および警報設定値(BG計数の6倍)は、第1サイクルにおいて確認した 結果を参考に、下表に示す値とした。

ソーク タイム	BG計数率 (積算計数値)	警報設定値 (BGの 6 倍)	運転制限値 (BGの10倍)	備考
600 秒	200cps (120,000 count)	$720 imes 10^3$ count	$120 imes 10^4 ext{ count}$	通常値
60 秒	60cps (3,600 count)	$216 imes10^2$ count	$360 imes 10^2$ count	監視強化時

FFD-CG法ソークタイムと警報設定値および運転制限値

今回の測定においては、結果としてソークタイム変更後に出力上昇等のプラント状態の変更を行わず、状態を保持して原子炉停止の判断をしたことから、ソークタイム 変更後の継続監視時間がほとんど無く、ソークタイムの変更による監視強化の観点で の有効性は確認できなかった。また、急激な値の上昇を確認してからのソークタイム の変更は、以下のような理由により、値の上昇率変化時には実施しない方が良いと考 えられる。

- ・ 測定される計数(計数率)は、カバーガス中FP核種依存割合分のみがソークタイム比で減少するが、その割合は運転サイクルまたはタイミングによって同じではなく、ソークタイム変更前後のデータの連続性、監視者の比較感覚の追従性の点で、 混乱が生じ易い。
- ・ 上記に加えて、計測装置のレンジ切替を行うことによる収録データの混乱が考えられる。
- 実際の燃料破損を想定した場合、値の急激な上昇を認知してからの監視には十分注意を払う必要があるが、この時期に監視装置や警報値の設定に係る変更手続き、操作に労力を費やすのは不合理となる。
- FFD-DN法計数率

FFD-CG法と同様に、原子炉の起動(11月15日9時30分)から停止(11月17日9時15分)までの範囲を含む本試験期間中のFFD-DN法計数率の推移を、図
4.2.1-2に示す。

A, B各ループの BF₃、¹⁰B 検出器での計数率測定値は、これまでの運転サイクルと 同様に原子炉出力に依存して上昇・下降し、各出力での計数率も従来と同様であった。

(3) F F D 設備関連データ

試験期間中は、先に示したFFD-CG法およびDN法の指示値の推移を監視すると ともに、FFD計装設備に係る関連データを適宜確認して記録した。これらのデータを 表 4.2.1-1 に示す。また、関連するプラントデータを表 4.2.1-2 に示す。

- d. 今後の予定
 - ・ 今回の測定・監視結果を踏まえ、燃料破損の早期検知という観点から、今後の運転 (特に原子炉起動~出力上昇時)におけるFFD計装信号の監視方法(BGからの有 意値の判定、ソークタイム変更を含む)について検討するとともに、必要に応じてマ ニュアルへ反映する。
 - ソークタイム変更の際の指示値の連続性に関するデータ・知見を整理し、実施適否の条件、必要な手続きを含めてマニュアル化することを検討する。







図 4.2.1-2 FFD-DN法計数率の推移

表 4.2.1-1(1/3)	FFD設備関連データ
----------------	------------

		月 日			11/11		11/15					11/16					
		時 刻		11:00	12:09	13:14	9:01	11:15	13:43	19:53	22:25	5:55	7:33	8:05	9:12	10:00	10:20
	原子炉熱	出力	MWt	0		0	0	0	1	1	1	3.1	15.1	18	18	19	21
		ソークタイム	秒	600		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
	CG法	積算計数	カウント	0.15		0.17	0.18	0.22	0.20	0.11	0.11	0.12	0.14	0.16	0.26	0.38	0.44
		レンジ	-	3.0E+03		3.0E+03	3.0E+03	3.0E+03	3.0E+03	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04	1.0E+04
中中	DN法																
制御	A.1	BF ₃	cps	<1		<1	<1	<1	25	20	25	45	400	460	460	460	500
仰室	NV)	¹⁰ B	cps	<1		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.5	<1	1.6
		ch.1(¹⁰ B)	cps	<10		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	35	40	40	40	42
	Bループ	ch.2(¹⁰ B)	cps	<10		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	25	30	30	30	30
	D/4 /	ch.3(BF ₃)	cps	<10		<10	<10	<10	25	17	22	45	350	360	380	400	400
		ch.4(予備)	cps	<10		<10	<10	<10	20	13	15	35	250	300	280	300	300
	FPR46-	-2															
	ch.1	CG流量	L/min.	121.0	120.0		122.1			122.0		122.7	122.5	122.4	122.2	122.7	122.8
	ch.2	サンプルカス流量	mL/min.	362.0	361.0		355.3			348.0		352.4	354.7	351.9	353.4	350.3	356.5
	ch.3	CG圧力	kPa	-21.5	-21.5		-19.0			-19.0		-19.8	-19.8	-19.8	-19.8	-20.1	-20.1
	FPRA46	5-1															
	ch.1	CG流量	L/min.	121.2	120.2		121.5			122.0		122.7	122.5	122.1	122.5	122.9	123.1
R I	ch.2	サンプルガス流量	mL/min.	362.0	383.0		354.0			349.0		352.0	349.0	355.0	351.0	359.0	351.0
6 0	ch.3	PR46-1入口流量	mL/min.	13	11		13			12		12.0	13	13	13	8	12
1	ch.4	パージガス流量	mL/min.	239.0	239.0		236.0			234.0		237.0	237.0	237.0	237.0	236.0	235.0
#	ch.5	CG入口温度	°C	244.2	229.8		228.1			227.7		229.2	227.6	228.5	229.2	228.3	227.7
5 6	ch.7	ナトリウム温度	°C	228.3	229.7		227.5			227.6		227.9	227.1	227.6	228.1	227.6	227.4
4	ch.8	PR46-1入口温度	°C	31.0	31.6		32.8			33.5		33.9	33.9	33.9	33.9	34.0	34.0
	ch.9	CP46-1出口温度	°C	39.6	45.6		48.4			49.2		49.0	49.1	49.1	49.2	48.9	49.2
	ch.10	CG圧力	kPa	-21.4	-21.4		-18.9			-19.0		-19.8	-19.7	-19.7	-19.7	-19.9	-20.0
	ch.11	サンプルガス圧力	kPa	1.7	1.8		1.8			1.9		1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9
	ch.12	VT46-2差圧	kPa	0.350	0.359		0.126			0.126		0.126	0.126	0.125	0.126	0.126	0.126
	ch.13	CP46-1吐出圧	kPa	49.0	48.2		50.4			49.5		50.7	49.9	50.5	50.6	50.1	51.1
	V46-2 開	度指示計(%)	%	52.0	52		55.5			56		56	56	56	56	56	56
	記録者			佐井川、 飯村 他	服部	佐井川	服部	石田、 佐井川	←	服部、 佐井川	←				深見	←	←

38 Ι

(試驗開始前) (OLGM流調後) (試驗開始時) (原子炉起動前) (臨界時) (350°C到達) (臨界点確認後)

(プロワ起動前) (プロワ起動後)

表 4.2.1-1(2/3) FFD設備関連データ

		月 目								11,	/16						
		時 刻		11:01	12:00	12:40	13:23	14:09	14:50	15:43	16:23	17:10	17:42	18:26	19:22	19:58	20:40
	原子炉熱	出力	MWt	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
		ソークタイム	秒	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
	CG法	積算計数	カウント	0.56	0.70	0.82	0.90	1.05	1.22	1.50	1.70	0.20	0.20	0.22	0.27	0.30	0.31
		レンジ	-	1.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+04	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05
中血	DN法																
入制	Aller	BF ₃	cps	600	700	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	1,600	1,800	2,000	2,000	2,000	2,100
御室	AVV)	¹⁰ B	cps	2.2	2.0	3.0	4.0	3.3	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	7.5	9.0	9.0
		ch.1(¹⁰ B)	cps	50	65	70	80	100	110	120	120	120	120	160	180	200	200
	DJ-7	ch.2(¹⁰ B)	cps	37	45	51	60	70	70	80	90	95	100	100	110	110	110
	D/6.)	ch.3(BF ₃)	cps	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,100	1,100	1,100	1,300	1,500	1,800	1,850
		ch.4(予備)	cps	400	480	520	600	700	800	900	1,000	1,000	1,000	1,050	1,100	1,100	1,200
	FPR46-	-2															
	ch.1	CG流量	L/min.	121.9					122.8		122.4	121.6					120.8
	ch.2	サンプルガス流量	mL/min.	351.6					353.8		349.8	351.4					349.6
	ch.3	CG圧力	kPa	-19.8					-20.6		-20.4	-20.8					-21.6
	FPRA46	3-1															
	ch.1	CG流量	L/min.	121.9					122.8		122.3	121.7					120.7
R I	ch.2	サンプルガス流量	mL/min.	350.0					351.0		353.0	350.0					354.0
6 0	ch.3	PR46-1入口流量	mL/min.	13					12		12	12					12.0
1	ch.4	パージガス流量	mL/min.	235.0					234.0		235.0	235.0					237.0
#	ch.5	CG入口温度	°C	227.6					229.6		229.4	229.9					231.0
5 6	ch.7	ナトリウム温度	°C	226.8					228.5		229.0	228.9					229.8
4	ch.8	PR46-1入口温度	°C	34.0					34.2		34.2	34.4					34.4
	ch.9	CP46-1出口温度	°C	49.3					49.6		49.4	49.5					49.1
	ch.10	CG圧力	kPa	-19.7					-20.5		-20.2	-20.8					-21.5
	ch.11	サンプルガス圧力	kPa	1.8					1.9		1.9	1.9					1.8
	ch.12	VT46-2差圧	kPa	0.126					0.126		0.125	0.125					0.125
	ch.13	CP46-1吐出圧	kPa	49.3					50.7		50.1	49.6					48.6
	V46-2 開	度指示計(%)	%	56					56		56	56					56
		記録者		菅谷	深見	石田、 菅谷	深見	←	←	深見	←	伊藤主	←	←	←	←	←

	月日				11,	/16				11	/17			11/18		11/19		
		時 刻		21:17	21:55	22:55	23:30	0:00	0:30	1:13	11:30	13:43	14:40	10:57	16:06	1:03	9:26	13:38
	原子炉熱	、出力	MWt	95	100	105	110	115	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0
		ソークタイム	秒	600	600	600	600	600	600	60	600	600	600	600	600	600	600	600
	CG法	積算計数	カウント	0.31	0.36	0.42	0.44	0.45	0.48		0.35	1.53	1.21	0.69	0.60	0.50	0.40	0.35
		レンジ	-	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05	1.0E+05		1.0E+05	3.0E+04	3.0E+04	3.0E+03	3.0E+03	3.0E+03	3.0E+03	3.0E+03
中血	DN法																	
制御	A.1	BF ₃	cps	2,200	2,500	2,700	2,900	3,000	3,000		100	100	40	40	30	20	16	10
御室	AVV)	¹⁰ B	cps	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
		ch.1(¹⁰ B)	cps	200	200	200	210	250	300		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	Pil-7	ch.2(¹⁰ B)	cps	110	120	130	150	180	200		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	D/6.)	ch.3(BF ₃)	cps	2,000	2,000	2,000	2,000	2,100	2,200		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
		ch.4(予備)	cps	1,300	1,300	1,300	1,400	2,000	2,000		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
	FPR46	-2																
	ch.1	CG流量	L/min.									120.5	120.4				118.4	120.0
	ch.2	サンプルガス流量	mL/min.	-								350.8	352.9				347.6	371.8
	ch.3	CG圧力	kPa									-23.0	-23.0				-21.1	-21.1
	FPRA4	6-1																
	ch.1	CG流量	L/min.									120.6	120.4				118.7	120.0
	ch.2	サンプルガス流量	mL/min.									352.0	353.0				352.0	360.0
6	ch.3	PR46-1入口流量	mL/min.									12	13				11	12
1	ch.4	パージガス流量	mL/min.									235.0	235.0				236.0	236.0
#	ch.5	CG入口温度	°C									227.5	228.2				227.6	225.1
5 6	ch.7	ナトリウム温度	°C									227.7	227.8				227.4	226.7
4	ch.8	PR46-1入口温度	°C									34.7	34.6				34.3	34.0
	ch.9	CP46-1出口温度	°C									49.5	49.1				48.1	45.8
	ch.10	CG圧力	kPa									-22.9	-22.8				-21.1	-21.0
	ch.11	サンプルガス圧力	kPa									1.7	1.7				0.7	1.8
	ch.12	VT46-2差圧	kPa									0.126	0.126				0.126	0.125
	ch.13	CP46-1吐出圧	kPa									48.2	48.2				45.0	45.7
L	V46−2 閉	度指示計(%)	%									56	56				55	55
		記録者		伊藤主	←	~	←	←	←	~	石田	川原	←	~	←	←	大山	←

(ソークタイム変更) (系統降温中)

(炉内ハージ前) (ハージ後)

表 4.2.1-2 関連プラントデータ

日時	原子炉熱出力	原子炉出口 Na温度(A)	原子炉出口 Na温度(B)	原子炉入口 Na温度(A)	原子炉入口 Na温度(B)	燃料集合体出口 Na温度(000)	1次主循環 流量 (A)	1次主循環 流量 (B)	外気温	スタック排気ガス モニタ指示値	廃ガスタンク入口 ガスモニタ指示値	備考
	MWt	°C	°C	°C	°C	°C	m³/h	m³/h	°C	cps	cps	
2004/11/15 9:00	0	250.1	251.1	252.4	252.4	252.4	1543.0	1533.5	10.8	1.58	7.33	試験開始時
2004/11/15 11:10	0	250.5	251.5	253.0	253.0	253.0	1520.4	1534.3	11.3	1.68	7.85	臨界時
2004/11/15 19:50	0	346.8	346.3	347.8	347.8	350.2	1540.1	1544.3	11.3	1.58	7.41	系統昇温終了時
2004/11/15 22:20	0	347.3	347.3	349.0	349.0	350.8	1533.7	1543.3	11.1	1.58	7.33	臨界点確認後
2004/11/16 6:00	0	350.4	350.4	350.2	350.8	353.8	1526.5	1537.2	9.0	1.58	7.33	
2004/11/16 7:30	15	363.0	363.0	350.2	350.8	369.2	1541.7	1537.4	9.0	1.58	8.13	
2004/11/16 9:10	18	366.3	366.3	350.2	350.2	372.8	1536.9	1531.6	11.8	1.48	7.41	主送風機起動前
2004/11/16 10:00	19	366.3	366.8	349.3	349.9	373.1	1547.5	1535.8	12.7	1.58	7.85	主送風機起動後
2004/11/16 10:20	20	367.9	367.9	350.2	349.6	375.2	1538.2	1531.9	12.4	1.58	7.33	
2004/11/16 11:00	25	372.9	372.9	349.6	350.2	382.9	1525.5	1541.4	13.0	1.68	8.32	
2004/11/16 12:00	30	378.9	378.4	350.2	349.6	388.2	1542.5	1532.9	13.4	1.58	7.33	
2004/11/16 12:40	35	383.8	383.3	350.2	349.6	394.2	1540.1	1535.8	13.4	1.80	7.33	
2004/11/16 13:20	40	388.8	388.8	351.4	350.8	401.3	1541.2	1529.5	13.2	1.68	7.33	
2004/11/16 14:00	45	395.0	394.5	350.8	350.2	407.2	1533.2	1525.8	13.3	1.58	7.85	
2004/11/16 14:50	50	401.0	400.5	350.8	349.6	413.7	1541.7	1538.5	13.3	1.70	8.81	
2004/11/16 15:40	55	405.8	405.8	350.2	350.2	420.2	1529.5	1534.8	13.2	1.68	8.04	
2004/11/16 16:20	61	411.4	410.9	350.5	349.3	426.4	1542.5	1534.0	13.2	1.78	7.76	
2004/11/16 17:10	65	415.6	415.6	350.5	349.9	432.3	1542.0	1534.5	12.3	1.68	7.50	
2004/11/16 17:40	69	421.0	420.5	350.8	350.8	438.5	1544.9	1536.4	12.1	1.68	7.33	
2004/11/16 18:20	75	427.8	426.8	350.8	350.8	445.0	1529.5	1541.2	12.2	1.78	7.50	
2004/11/16 19:20	81	433.3	432.8	350.8	350.2	452.6	1549.7	1526.3	12.6	1.80	8.81	
2004/11/16 20:00	85	438.6	438.1	351.4	351.4	459.1	1545.1	1533.5	11.0	1.68	8.81	
2004/11/16 20:40	90	443.5	443.5	351.4	350.2	464.4	1535.3	1530.0	10.7	1.68	8.22	
2004/11/16 21:20	96	449.4	449.4	352.6	351.4	471.5	1544.6	1527.6	9.9	1.58	8.22	
2004/11/16 22:00	101	454.5	454.0	351.4	350.8	477.3	1548.1	1537.4	9.1	1.68	7.76	
2004/11/16 23:00	106	460.4	459.9	352.0	351.4	484.4	1546.7	1524.4	9.0	1.68	11.35	
2004/11/16 23:30	110	465.3	464.8	351.1	351.1	490.0	1536.9	1526.3	8.5	1.58	10.35	
2004/11/17 0:00	116	471.1	470.6	352.0	350.8	496.7	1535.6	1536.6	8.2	1.58	9.89	
2004/11/17 0:30	120	474.6	474.6	352.0	351.4	501.4	1543.0	1538.8	8.2	1.70	9.44	
2004/11/17 1:20	122	477.4	476.9	351.1	350.5	503.5	1540.4	1536.1	7.7	1.68	8.81	CG法ソークタイム変更時
2004/11/17 11:30	0	264.0	265.0	264.0	264.6	265.3	1540.6	1531.1	16.0	1.48	7.33	系統降温中
2004/11/17 13:40	0	247.3	248.3	249.4	250.0	249.4	1540.1	1536.9	15.4	1.58	7.33	
2004/11/17 14:40	0	246.4	247.4	248.7	249.4	248.7	1155.7	1145.1	15.3	1.68	7.33	
2004/11/18 11:00	0	246.9	247.4	248.7	248.7	/	1162.1	1144.0	13.7	1.58	7.33	CGCS系統接続前
2004/11/18 16:00	0	246.3	246.8	248.7	248.7	/	1148.0	1145.9	14.5	1.68	7.85	CGCS系統分離後
2004/11/19 1:00	0	246.9	247.4	248.7	249.4	/	1151.5	1147.2	12.4	1.50	7.33	
2004/11/19 9:20	0	250.3	250.8	253.0	253.0	/	1141.7	1150.2	14.2	1.68	7.76	炉内カバーガスパージ開始時
2004/11/19 13:40	0	249.8	250.8	253.0	253.6	/	1140.6	1141.7	12.8	1.68	7.33	炉内カバーガスパージ終了後
2004/11/20 9:20	0	249.6	250.6	252.4	253.0	/	1147.8	1151.0	15.3	1.70	7.33	FFDL運転開始前
2004/11/20 14:00	0	250.3	251.3	253.6	252.4	/	1156.5	1150.2	15.6	1.68	6.92	FFDL計測開始前
2004/11/20 17:20	0	250.3	251.3	253.0	253.6		1228.8	1226.7	14.4	1.48	6.92	80%流量シッピング開始前
2004/11/20 18:40	0	250.5	251.5	253.6	253.0		1152.8	1150.7	14.9	1.58	7.85	流量変更(80→75%)後
2004/11/21 9:00	0	249.8	250.8	252.4	251.8		1148.0	1148.0	11.8	1.58	7.76	流量変更(75%→燃交流量)開始時
2004/11/21 9:40	0	250.3	250.8	253.0	252.4		251.3	251.3	13.0	1.68	7.50	燃交流量到達時
2004/11/21 11:20	0	249.9	250.4	253.0	252.4	/	252.6	250.5	15.5	1.58	7.33	試験用集合体炉内移送開始前
2004/11/26 13:40	0	240.3	240.8	243.2	243.2	/	250.2	247.0	13.3	1.68	7.33	試験用集合体炉外移送開始前
2004/11/26 15:00	0	239.8	240.8	242.6	242.6	/	250.2	246.0	12.8	1.68	6.92	試験用集合体炉外取出後
2004/11/29 17:30	0	237.3	238.3	239.5	240.7	/	250.2	244.9	12.0	1.58	7.33	試験終了時

4.2.2 OLGMによる炉内カバーガス中FP濃度測定

a. 目的

OLGMの信号の推移より、被覆管開口部から放出されたFPの炉内挙動に関するデ ータを取得する。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)を通じて、校正したOLGMにより、炉内カバーガス中FP 核種のγ線スペクル測定を行い、FP核種の濃度を定量し、その推移を観測した。

また本試験の実績運転履歴を反映して燃料破損時のデータより、破損した燃料集合体 が試験用集合体かその他の燃料集合体か識別できるかどうか検討した。

c. 結果

OLGMの校正

MK-Ⅲ炉心第2,サイクル原子炉熱出力 120MWt 保持時(燃料破損検知後、11月 171時 30分)およびCGCS運転前(11月 18日 9時 37分)にサンプリングした1 次系カバーガスの放射能濃度からそれぞれ検出効率を求め、その平均を第2,サイクル のOLGMのGe検出器検出効率とした。また、その検出効率を用い原子炉容器から検 出器までのカバーガスの到達時間による減衰を補正し、OLGM計数率から炉内カバ ーガス放射能濃度への換算係数を求め、OLGM測定値を校正した。結果を表 4.2.2-1に示す。

OLGM測定結果

FFDL炉内試験(Ⅲ)を通じたOLGM測定結果を図 4.2.2-1 に示す。また、測定結果の詳細を以下に示す(図 4.2.2-2~図 4.2.2-6)。

①燃料破損検知

原子炉起動から燃料破損検知までの間、各FP核種(¹³⁵Xe、¹³⁷Xe、¹³⁸Xe、¹³³Xe、^{135m}Xe)の放射能濃度は出力上昇に伴い増加している。燃料破損時に、急激なFP核 種放射能濃度増加があり、その後、CGCS運転前までFP核種放射能濃度はほぼ各 核種の半減期で減衰しているため、今回の燃料破損によるFP放出は間欠的なものと 考えられる(図 4.2.2-2)。燃料破損直後に検出された各核種の放射能濃度は、¹³⁵Xe で 72Bq/cc、¹³⁷Xe で 18 Bq/cc、¹³⁸Xe で 42 Bq/cc、¹³³Xe で 2.6 Bq/cc、^{135m}Xe で 13 Bq/cc であった(11月17日0時09分のデータ)。

②CGCS運転

CGCS系統接続前(OLGMバイパス弁V46-57 調整開→全開)の11月18日9 時39分においてOLGMでは、¹³⁵Xe(6.6Bq/cc)および¹³³Xe(1.9Bq/cc)が計測 されている。その後CGCSを運転し、CGCS系統分離後(OLGMバイパス弁 V46-57 全開→調整開)の11月18日16時39分におけるOLGMでは、¹³⁵Xe (0.29Bq/cc)が計測されており(¹³³Xeは検出限界未満)、CGCS運転によりカバ ーガス中のFP濃度は、約20分の1以下に低減された(図4.2.2-2)。

③炉内カバーガスパージ(1回目)

CGCS運転終了後、よう素の崩壊やナトリウム中に溶解していたFP核種の析出 およびオーバーフロータンク、配管等に残留したFP核種によると思われるカバーガ ス中のFP核種放射能濃度の増加が見られ、11月19日10時39分にOLGMによ って¹³⁵Xe(0.29Bq/cc)および¹³³Xe(0.50Bq/cc)が計測されたため、炉内カバーガ スパージを実施した。炉内カバーガスパージ後(11月19日13時09分)において、 計測された¹³⁵Xe(0.028Bq/cc)から(¹³³Xeは検出限界未満)、炉内カバーガスパー ジによりカバーガス中のFP濃度は約10分の1に低減された(図4.2.2-3)。 ④FFDL計測運転(80%流量でシッピング(1回目))

11月20日 17時27分より、Na流量80%で試験用集合体のFFDL計測運転(シ

ッピング1回目)を開始したところ、OLGMにより¹³⁵Xe (13.6Bq/cc)および¹³³Xe (426 Bq/cc)が計測された (11月 20日 17時 39分のデータ、図 4.2.2-3)。

⑤FFDL計測運転(80%流量でシッピング(2回目))

11月20日18時02分より、Na流量80%で試験用集合体のFFDL計測運転(シ ッピング2回目)を開始したところ、OLGMにより¹³⁵Xe(18.3Bq/cc)および¹³³Xe (593 Bq/cc)が計測された(11月20日18時39分のデータ)。その後、FP核種 崩壊とFFDL装置のブローダウン効果等により徐々にFPガス濃度は減少してい る(図4.2.2-3)。

⑥炉内移送時

FP核種崩壊と燃料交換機据付後のブローダウン効果等により、カバーガス中のF Pガス濃度は減少傾向であったが、燃料の炉内移送を開始後、試験用集合体移送前に ステップ状のFP核種濃度の増加(¹³³Xe 5.2 Bq/cc→約 7.6 Bq/cc)が見られた(図 4.2.2-4)。これは、燃料交換機を試験用集合体に近接する燃料集合体(アドレス 1A1) を引き抜いた時に、試験用集合体に衝撃が加わったため、燃料ピン内に蓄積されてい たFPあるいは試験用集合体に付着していたFPが炉内カバーガス中に放出された ためと考えられる。

その後、FP核種崩壊と燃料交換機のブローダウン効果等によりFPガス濃度は減 少していたが、11月25日11時39分のOLGM測定結果より再び緩やかな上昇傾 向に転じた。この原因を明らかにすることはできていないが、この現象と同時期に原 子炉内のナトリウム温度が低下しており、これが影響した可能性がある。詳細原因に ついては今後検討する(図 4.2.2-5)。

⑦燃料出入機による新燃料装荷

燃料出入機により試験用集合体を炉外に払い出し、その後燃料出入機によって新燃料を取り扱った際の11月26日17時30分から17:39のOLGM測定結果において、 炉内カバーガスのFPガス濃度が急激に上昇している(133Xe約3.4 Bq/cc→約130 Bq/cc、図4.2.2-4)。これは、燃料出入機で試験用集合体格納中に燃料出入機内を負 圧としてFP核種を積極的に放出させており(4.5.2参照)、その後、燃料出入機にて 新燃料を扱う際、このFPガスが再び炉内に放出されたためであると考えられる。た だし、この時測定されている燃料出入機内の放射能濃度は約960Bq/ccであり、この ガスの全量が炉内カバーガス中に拡散したとしても、炉内カバーガス中の133Xe濃度 は、約40 Bq/ccまでしか上昇しない。従って、燃料出入機のサンプリングライン中 にFPガスがトラップされるような箇所があるか、または計測後、試験用試験体を燃 料出入機からトランスファーロータに移送した際にFPの追加放出があったと考え られる。その後は、FP核種崩壊の効果等によりFPガス濃度は徐々に減少している。 (8)炉内カバーガスパージ(2回目)

燃料出入機からのFP放出によって、炉内のFP濃度が上昇し、通常のFP核種崩 壊やカバーガスの呼吸による減衰のみでは、廃ガス貯留タンクの自動運転モードへの 切替基準(20Bq/cc)を満たすまでに時間がかかるため、二回目の炉内ガスパージを 行った。これにより、¹³³Xe が約 31Bq/cc より約 3Bq/cc (11 月 30 日 11 時 09 分お よび 13:39 のデータ、図 4.2.2-2)となり、FP濃度は約 1/10 に減少した。その後、 よう素の崩壊やナトリウム中に溶解していたFP核種の析出およびオーバーフロー タンク、配管等に残留したFP核種によると思われるFP核種の放射能濃度の増加が 見られたが、¹³³Xe で最大でも 10Bq 以下であったため、廃ガス貯留タンクの自動運転モードへの切り替えを実施した。

(3) 破損した燃料集合体の識別

第2 サイクル以前から使用されている燃料集合体等のピン内には既にFPガスが蓄 積されており、この中でも半減期の長い¹³³Xe(5.2d)は、第2'サイクル運転開始時で も残存している。したがって、¹³³Xeと原子炉の出力に伴い上昇する短半減期核種¹³⁵Xe (9.1h)との放射能濃度比を測定し、比較することで破損燃料体の識別が可能である。 そこで、本試験の実績運転履歴を反映して、燃焼計算コード ORIGEN 2 により、FP 核種放射能濃度比を計算し、OLGM計算結果と比較した。ここで比較検討対象とす る燃料集合体は、第2'サイクル運転開始時において¹³³Xeの残存量が最も少ない(最も 識別が困難である)第5列に装荷されているJS0001とした。結果を表4.2.2-2 に示す が、これより本試験で破損した燃料集合体が試験用集合体であることが識別できる。

また、本試験結果より計算された燃料破損検知時の間欠放出によるピン1本あたり のFP生成量に対するカバーガス中へのFP放出量の比((計測された放射能濃度)/ (ORIGEN2評価による放射能濃度)、以下FP放出量と略称)は、¹³³Xeに対して約 0.008%、¹³⁵Xeに対して約0.006%となった。

(4) 継続監視

定期検査作業等に伴う冷却系ナトリウムのドレン等により、タンクに残留したFP ガスが炉内への逆流する可能性もあったため、OLGMによる炉内カバーガス中FP 濃度の監視を平成 17 年 1 月 12 日まで継続したが、特に有意な変化はなかった(図 4.2.2-6)。

d. 今後の予定

MK-Ⅲ炉心性能試験から第2サイクルまでのOLGM測定結果より、OLGM検出 効率が吸着床温度に依存して2割から3割程度変動することが分かったため、この補正 方法について今後検討を行う予定である。

核種	γ線I和F-	光 鸿 相	放出率	減衰	減衰	検出	効率	検出効率
1久1里	(keV)	十极旁	(%)	係数1	係数2	11/17	11/18	(平均)
Xe-133	80.989	5.245 d	37.00	1.00	1.00	0.346	0.495	0.421
Xe-135	249.792	9.1 h	90.00	1.02	1.00	1.129	1.287	1.208
Xe-138 Xo-137	258.446 455.459	14.08 m 3 818 m	31.50 31.20	1.82	1.09	1.087	1.240	1.163
Xe-137 Xe-135m	433. 433 526. 563	15.65 m	81. 20	1.72	1.08	0. 313	0. 563	0. 528
Ar-41 (参考)	1293.640	1.83 h	99.16	1.08	1.01	0.182	0.207	0. 195

表 4.2.2-1 OLGM 用 Ge 検出器の検出効率

注)減衰係数 1:検出器から FFD-CG 法コンプレッサまでの到達時間(20秒)およびサンプリング時間(6分)、 計測時間(11分40秒)の減衰補正係数

減衰係数 2:コンプレッサから原子炉容器出口まで(ベーパトラップ 1,2 とバッファタンクを含む)の到達時間 (102.2 秒)の減衰補正係数

放射能濃度 :カバーガスサンプリングにより測定された放射能濃度(Bq/cc)

OLGM 係数率(cps)

OLGM用Ge検出器の検出効率 =

放射能濃度(Bq/cc)×γ線放出率

表 4.2.2-2 各燃料体が破損した場合のカバーガス中 FP 放射能濃度比及び OLGM 測定結果

	FP核種放射能濃度比	¹³⁵ Xe/ ¹³³ Xe
OPICEN9計質値	JS0001(前サイクル以前より使用)	4
ONIGEN2百异但	試験用集合体(当該サイクルのみ使用)	33
(11/16 23:090	OLGM測定結果の増分 Dデータ及び11/17 0:09のデータより算出)	25



図 4.2.2-1 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果

- 47 -



図 4.2.2-2 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)



図 4.2.2-3 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)

- 49 -



図 4.2.2-4 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)



図 4.2.2-5 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)

- 51 -



図 4.2.2-6 OLGM によるカバーガス中希ガス FP 核種の放射能濃度測定結果(詳細)

4.2.3 カバーガスサンプリング

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)の試験開始前および試験中に、炉内カバーガスのサンプリン グにより、カバーガス中のFP核種を定量し、データを蓄積するとともに、OLGMの 指示値を校正する。また、レーザ共鳴イオン化質量分析法(以下、RIMSと略称)を 用いてカバーガス中のXe、Krの同位体比を分析し、データを蓄積するとともに、破損 燃料の絞込み手法の確立を行う。なお、RIMSによるKrの測定については、レーザ 波長の切替作業が必要なため、試験終了後に順次行うこととした。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)中の以下に示す日時に炉内カバーガスのサンプリングを実施 し、濃縮した後、サンプリング試料及び濃縮試料のγ線スペクトル測定を行い、放射性 希ガス核種の定量分析を行った。また、RIMSを用いてカバーガス中の Xe の同位体 比分析を行った。

①原子炉起動前(11月11日13時30分)
②原子炉120MWt出力時(燃料破損検知後11月17日1時30分)
③CGCS運転開始前(11月18日9時37分)
④炉内カバーガスパージ開始前(11月19日9時35分)
⑤FFDL計測運転中(11月20日17時46分)

c. 結果

(1) カバーガス中の放射性希ガス核種測定結果

サンプリング試料及び濃縮試料のγ線スペクトル測定結果を表 4.2.3-1 に示す。また、 各測定結果の詳細を以下に示す。

①原子炉起動前(11月11日13時30分)にサンプリングしたガス中より検出された 放射性希ガス核種は、¹³³Xeのみであり、他の核種については有意なピークは検出さ れなかった。¹³³Xeの放射能濃度は0.13(Bq/cc)であり、第2サイクル運転前のF FD特性試験測定結果と同様に、前サイクルの運転終了からの期間が短かったため、 バックグラウンドのFP核種が残留したものである(図4.2.3-1)。

②原子炉 120MWt 出力時(燃料破損検知と判断後 11 月 17 日 1 時 30 分) にサンプ

リングしたガス中より検出された放射性希ガス核種は、¹³³Xe、¹³⁵Xe、^{85m}Kr の3核 種であり、他の核種については有意なピークは検出されなかった。

- ③CGCS運転開始前(11月18日9時37分)にサンプリングしたガス中より検出された放射性希ガス核種は、¹³³Xe、¹³⁵Xe、^{85m}Krの3核種であり、他の核種については有意なピークは検出されなかった。検出された核種は、図4.2.3-1より11月17日に放出されたFP核種の残留分である。
- ④炉内カバーガスパージ開始前(11月19日9時35分)にサンプリングしたガス中より検出された放射性希ガス核種は、¹³³Xe、¹³⁵Xeの2核種であり、他の核種については有意なピークは検出されなかった。検出された核種は、図4.2.3・1よりCGCSによる希ガス核種回収後のFP核種の残留分である。
- ⑤FFDL計測運転中(11月20日17時46分)にサンプリングしたガス中より検出 された放射性希ガス核種は、¹³³Xe、^{133m}Xe、¹³⁵Xeの3核種であり、他の核種につい ては有意なピークは検出されなかった。これは、FFDLシッピングにより、燃料 ピン内に蓄積していたFPが炉内カバーガス中に放出されたものである。
- (2) RIMS による Xe 同位体比の測定結果

RIMS による Xe 同位体比の測定結果を表 4.2.3-2 に、質量スペクトルを図 4.2.3-2~ 図 4.2.3-6 に示す。また、各測定結果の詳細を以下に示す。

- ①原子炉起動前(11月11日13時30分)サンプリング試料のXe同位体比測定結果は、天然組成比とほぼ一致した。また標準ガスを基に推定した元素濃度は約0.03ppbであり、MK-Ⅲ炉心のXeバックグラウンド濃度(性能試験時から第2サイクル時まで取得)とほぼ同等であった。
- ②原子炉熱出力約 120MWt 時(燃料破損検知と判断後 11月17日1時30分)サン プリング試料のXe同位体比測定結果は、FFD-CG法(プレシピテータ法、オン ラインy線モニタ(OLGM))において、FP放出が確認されたにもかかわらず、 天然組成比とほぼ一致し、元素濃度も約0.04ppbとMK-III炉心のXeバックグラウンド 濃度とほぼ同等であった。これは、FPがカバーガス中に拡散し、試料中の核種濃度が MK-III炉心のXeバックグラウンド濃度と比較して有意な差がなくなったためと推定さ れる。そこで、燃焼計算コードORIGEN2を用いて、今回の実績運転履歴を反映し てFP核種濃度を計算し、OLGM測定結果と比較したところ、ピン1本あたりの

FP生成量に対するカバーガス中へのFP放出量の比((計測された放射能濃度)/ (ORIGEN 2 評価による放射能濃度)、以下FP放出量と略す)は、¹³³Xe に対して 約 0.008%、¹³⁵Xe に対して約 0.006%となった。この放出量を基に、カバーガス中 に放出された放射性及び安定同位体FP核種濃度を算出した結果を表 4.2.3-3 に示す。 これより、今回の燃料破損検知時に放出されたFP核種がカバーガス中に拡散した 場合の濃度は、MK-III炉心のXe バックグラウンド濃度と比較して有意差はなく、今回 の測定結果と矛盾しない。

- ③CGCS運転開始前(11月18日9時37分)サンプリング試料のXe測定結果は、 同位体比が天然組成比とほぼ一致した。また標準ガスを基に推定した元素濃度は約 0.04ppbであり、「常陽」MK-Ⅲ炉心におけるカバーガス中のXe濃度バックグラウ ンドレベルと同等であった。
- ④炉内カバーガスパージ開始前(11月19日9時35分)サンプリング試料のXe測定結果は、同位体比が天然組成比とほぼ一致した。また標準ガスを基に推定した元素 濃度は約0.02ppbであり、「常陽」MK-Ⅲ炉心におけるカバーガス中のXe濃度バ ックグラウンドレベルと同等であった。
- ⑤FFDL計測運転中(11月20日)のサンプリング時には、FFDL装置を炉上部に据 え付ける際に、カバーガス中に混入した空気が残存しており、サンプリング試料に も空気が混入したと考えられる。そのため、11月22日に測定を行った質量スペクト ルには空気中の水分子のクラスターと考えられるピークが多量に検出され、イオン 検出器のプリアンプにオーバーロードが発生し、通常の測定条件では測定不可能で あった。

その後、水分除去を目的として、サンプルガスをドライアイスにより冷却し、ガス 中の水分を露結させた状態でXeの同位体比測定を行った。結果を図4.2.3-6に示す。 質量数(m/e)133に放射性FPである¹³³Xeと思われるピークが検出されたものの、 水分による影響を完全に抑制することができなかったため、本測定結果のみでは、こ のピークを¹³³Xeと断定することはできない。

検出されたピークが ¹³³Xe であるかどうかを検討するために、¹³³Xe の減衰を待っ て約 16 日後(¹³³Xe 半減期 5.2 日、約 3 半減期)の 12 月 8 日に同条件で測定を行っ た。結果を図 4.2.3-7 に示すが、前回測定時(11 月 22 日)に質量数(m/e)133 に 検出されたピークが明らかに減衰しており、このピークは ¹³³Xe のものである可能性 が高い。しかし、前回同様水分の影響を抑制することができなかったため、同位体比の測定及び濃度(133Xeの減衰量)の定量は不可能であった。そのため今後、試料中の水分を除去する方法を検討して、残試料を再度測定し、安定同位体濃度の定量を行う予定である。

d. 今後の予定

RIMS測定に関しては、全5試料について Kr の測定を行う。また、RIMSサン プリング試料中の水分を除去する方法を検討し、FFDL計測運転中(11月20日)に採 取した試料の残試料について再度 Xe の同位体測定を行い、FP核種の生成量を評価す る予定である。

	原子炉	放射能濃度 (Bq∕cm ³)										
サンプリング日	熱出力	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe	^{85m} Kr	⁸⁷ Kr	88 Kr	$^{41}\mathrm{Ar}$				
	(MWt)	(5.2d) ^{*1}	(2.2d) ^{*1}	(9.1h) ^{*1}	(4.5h) ^{*1}	(76m) ^{*1}	(2.8h) ^{*1}	$(1.8h)^{*1}$				
2004/11/11 13:30 (試験前)	0	0.13*3 (11.8)	*2	*2	*2	*2	*2	*2				
2004/11/17 1:30 (燃料破損検知後)	120	3.15 ^{*3} (5.3)	*2	74.7 ^{*3} (6.1)	50.8 ^{*3} (4.6)	42.6 ^{*3} (3.9)	57.8 ^{*3} (3.6)	1252 ^{*4} (3.2)				
2004/11/18 9:37 (CGCS運転前)	0	1.95 ^{*3} (5.0)	*2	5.91 ^{*3} (6.4)	0.23 ^{*3} (36.3)	*2	*2	*2				
2004/11/19 9:35 (カバーガスパージ前)	0	0.49*3 (6.6)	*2	0.30 ^{*3} (9.1)	*2	*2	*2	*2				
2004/11/20 17:46 (FFDL計測運転中)	0	410 ^{*3} (4.1)	15.4 ^{*3} (6.7)	14.3 ^{*3} (6.3)	*2	*2	*2	*2				

表 4.2.3-1 希ガス FP 核種及び ⁴¹Ar の放射能濃度測定結果

注)・()内は誤差(1ヶ%)を示す。

・*1 半減期を示す。

・*2 有意なピークは検出されなかった。

・*3 濃縮ガス測定値(1回目)

・*4 直接採取ガス測定値

ヰヽ゚ゔ゚゚゚゚゚゚゚゚゚゚ヽ゚ゟ゙ヮ	测中口			Xe	同位体出	と(¹³² Xeを	1に規格	化			元素濃度
リンソリンクロ	测足口	¹²⁴ Xe	¹²⁶ Xe	¹²⁸ Xe	¹²⁹ Xe	¹³⁰ Xe	¹³¹ Xe	¹³² Xe	¹³⁴ Xe	¹³⁶ Xe	(ppb)
2004/11/11 13:30 (試験前)	11/12	1	-	(0.06)	0.99	(0.16)	0.77	1.00	0.37	0.33	0.03
2004/11/17 1:30 (燃料破損検知後)	11/17	I	I	(0.07)	0.96	(0.17)	0.80	1.00	0.43	0.36	0.04
2004/11/18 9:37 (CGCS運転前)	11/24	I	I	(0.07)	0.97	(0.15)	0.81	1.00	0.43	0.35	0.04
2004/11/19 9:35 (カバーガスパージ前)	11/25	I	I	(0.07)	1.01	(0.15)	0.72	1.00	0.33	(0.27)	0.02
2004/11/20 17:46 (FFDL計測運転中)	11/22	I	I	I	I	I	I	I	-	-	I
天然組成のXe同位体比		0.004	0.003	0.071	0.981	0.152	0.788	1.000	0.387	0.331	_

表 4.2.3-2 RIMS による Xe 同位体比の測定結果

()内は定量下限以下の核種である。

	FP核種濃度(ppt)				¹²⁹ Xe	¹³⁰ Xe	¹³¹ Xe	¹³² Xe	¹³⁴ Xe	¹³⁶ Xe
	*1	0	0.3	0.002	1	188	0.03	366	325	
ORIGEN計算値 (MK-Ⅲ第2サイクルより使用)		*1	0	0.01	0.00003	0.1	39	52	78	70
	試験用集合体 (本試験のみ使用)	*1	0	0	0	0.0001	0.02	0.1	0.8	0.7
測定値 (燃料破損検知時 2004/11/17 1:30サンプリング)		*2	*2	0.8	10	2	9	11	5	4
バックグラウンド測定値 (原子炉起動前 2004/11/11 13:30サンプリング)			*2	0.5	8	1	6	8	3	3

表 4.2.3-3 各燃料体が破損した場合のカバーガス中 FP 濃度の計算値と RIMS による濃度測定結果

注) 放出率には、OLGM測定結果より得られた¹³³Xeの放出率(0.008%)を使用。

*1 FPとして生成しない

*2 有意なピークは検出されなかった。





図 4.2.3-2 試料測定結果(H16.11.11 サンプリング試料容器No.7: Xe-H16.11.12 測定)



図 4.2.3-3 試料測定結果(H16.11.17 サンプリング試料容器No.1: Xe-H16.11.17 測定)



図 4.2.3・4 試料測定結果(H16.11.18 サンプリング試料容器No.4: Xe-H16.11.24 測定)



図 4.2.3-5 試料測定結果(H16.11.19 サンプリング試料容器No.2: Xe-H16.11.25 測定)



図 4.2.3-6 試料測定結果(H16.11.20 サンプリング試料容器No.3: Xe-H16.11.22 測定)



図 4.2.3-7 試料測定結果(H16.11.20 サンプリング試料容器No.3: Xe-H16.12.8 測定)

4.3 FPの除去・回収

4.3.1 CGCS運転

a. 目的

CGCSを運転して、炉内カバーガス中のFPを除去・回収する。

b. 概要

試験用集合体からのFP放出により原子炉を停止した後、CGCSの運転を行い、F FDL計測運転による破損燃料集合体の同定に影響を与える可能性のあるカバーガス 中放射能濃度を低減させた。CGCSは活性炭を用いた深冷吸着法によりカバーガス中 希ガスFP核種を吸着・分離して環境への放出を低減させるものである。CGCS系統 の概要を図 4.3.1-1 に示す。

c. 結果

CGCSの運転

CGCSの運転は、原子炉を停止した翌日(11月18日)、FFDL計測運転を行う 際の条件である1次主冷却系流量75%(約1,154m³/h/ループ)として実施した。

CGCS運転時のプラント状態を表 4.3.1-1 に、CGCSへのカバーガス通気(FF D系統への接続)中及びその前後のFFD系統状態を表 4.3.1-1 に示す。

本試験では、カバーガス中放射能濃度を 1 桁程度低下させることを目標に、CGC Sへのカバーガス通気時間を、これまでの試運転結果を踏まえて4時間とした。なお、 CGCS系統接続操作開始時点から終了までの間(通気4時間を含み5.5時間程度)、 FFD-CG法及びOLGMでの測定は、必要な流量配分ができないため中断した(従 来と同様)。

CGCS運転中の系統内圧力、希ガス回収フィルタ A, B の温度の履歴を図 4.3.1-2 に示す。運転開始から貯蔵シリンダへのFP回収までに要した時間は約 20 時間であった。また、フィルタの冷却で消費した液体窒素量は、約 400L(100L ボンベ 4 本)であった。

(2) カバーガス中FPの除去・回収

CGCS運転による炉内カバーガス中放射能濃度の低減効果を、図 4.3.1-3 (OLG

M測定結果)に示す。

CGCS運転後のカバーガス中放射能濃度は、CGCS系統接続時からの経過時間 分の減衰効果を考慮した上で¹³⁵Xe が約 92%減、¹³³Xe が約 94%減となり、CGCS運 転によりカバーガス中放射能濃度を1桁以上低下させることができた。

回収した希ガスFP核種は、CGCS系統内の貯蔵シリンダ1本に貯留した。貯蔵 シリンダ(容量:10L)への回収量は、回収操作前後の圧力差から、約6Lであった。

- (3) 課題
 - ・ 運転手法の改善・最適化による運転時間の短縮
 - ・吸着床温度制御性の向上(液体窒素以外の冷却ガスの適用、冷却ガス系統の容量の 減少、制御プログラムの改善等)
 - ・ 系統内流量、圧力監視の強化(監視計器の追加)
 - ・ CGCS運転中のカバーガス中放射能濃度の連続監視(OLGM等の監視系統への カバーガス流量配分)
 - ・ 装置全体のメンテナンス、更新
 - 定期的な運転による装置操作・運転技術の習熟・維持
- d. 今後の予定

本試験でのCGCS運転及び事前準備として行った試運転の結果から得られた上記 課題について検討し、計画的に対処する。また、毎運転サイクル前に試運転を実施し、 万一の燃料破損発生時の本運転に備えることとする。
No.	No. 項 目 2録計)					-		-	-	-	:	2004/11/1	8	-	-	-		-			
(記録計)	-2 1		9:23	10:22	10:40	11:00	11:23	11:26	11:40	11:53	12:25	13:15	14:05	14:41	14:58	15:42	16:00	16:12	16:25	17:23	17:45
1	カバーガス流量	L/min	120.6	127.0	126.0	126.0		106.6	107.2	106.9	105.0	105.9	105.1	106.7	104.5	105.6		119.9	119.9	121.4	119.8
2	サンプルガス流量	mL/min	356	344	348	347		487	274	254	215	367	330	112	345	226		354	354	357	352
3	プレシピテータ入口流量	mL/min	12	6	6	6		1	4	3	5	4	4	8	1	4	5	12	12	9	12
4	パージガス流量	mL/min	239	239	238	238		175	186	188	187	186	195	200	162	185		237	237	238	238
6	カバーガス入口温度	°C	228.0	227.4	227.2	226.5		225.0	224.3	224.0	223.7	223.3	223.8	224.8	225.0	226.1		226.1	226.3	226.9	227.0
7	ナトリウム温度	°C	227.9	226.9	226.6	226.0		225.2	224.9	224.7	224.4	224.0	224.7	225.5	225.7	227.0		227.0	226.8	226.9	226.8
8	プレシピテータ入口温度	°C	34.4	31.8	31.6	31.4		31.4	31.4	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4		31.4	31.3	31.2	31.2
9	コンプレッサー出口温度	°C	49.1	46.5	45.9	45.6		45.4	45.9	46.5	47.5	47.7	48.0	47.9	48.2	48.9		48.2	48.0	47.7	47.5
10	カバーガス圧力	kPa	-22.6	-24.0	-23.7	-23.8	-35.6	-33.2	-32.8	-33.5	-32.5	-33.2	-32.6	-33.3	-32.0	-32.6	-35.0	-21.3	-21.3	-21.3	-21.2
11	サンプルガス圧力	kPa	1.7	1.7	1.7	1.5		52.3	44.8	44.2	45.1	44.6	39.6	37.7	58.8	45.8		1.7	1.8	1.9	1.8
12	第2V/T差圧	kPa	0.126	0.132	0.132	0.132		0.092	0.093	0.092	0.092	0.093	0.092	0.093	0.092	0.092		0.126	0.126	0.128	0.125
13	コンプレッサー吐出圧力	kPa	48.5	16.9	16.7	16.5	11.8	59.8	52.9	51.7	52.6	51.9	47.3	45.8	65.6	53.2	11.9	45.3	45.5	46.2	45.1
	コンプレッサー差圧 [(コンプレッサー吐出圧力)ー(カ バーガス圧力)]	kPa	71.1	40.9	40.4	40.3	47.4	93.0	86.7	85.2	85.1	85.1	79.9	79.1	97.6	85.8	46.9	66.6	66.8	68.5	66.3
	V46-2 開度	%	55.5	Ļ	Ļ	Ļ	39	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	←	Ļ	Ļ	÷	←	Ļ	56	Ţ	Ţ	Ļ
_	V46-57 操作量	回転	-	-	-	_	2 (閉)	3/8 (閉)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2+3/8 (開)	-	-	-
—	V46-4 操作量	回転	-	-	-	_	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_
	V46-208 開度	%	100 (全開)	←	~	~	~	0 (全閉)	~	←	~	~	~	←	~	~	~	100 (全開)	\leftarrow	4	\leftarrow
	備考			フィルタA 冷却時	フィルタA −130℃		系統接続 開始時	通気開始 時		フィルタA −170℃								通気終了 系統切離	フィルタB 冷却開始	フィルタB −170℃	フィルタA 昇温開始

|--|





- 66 -



2004年 日時

図 4.3.1-3 CGCS運転によるカバーガス中放射能濃度の低減効果(OLGM測定結果)

- 67 -

カバーガス中放射能濃度 (Bq/cc)

4.3.2 炉内カバーガスパージ

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)に伴い試験用集合体から炉内カバーガス中に放出されたFP をパージする。

b. 概要

CGCS運転後のFFDL計測運転前に、運転操作要領(OMS-10-05)に従い、FF D-CG法からの排気による炉容器パージ法1(1次系ダンプタンクを隔離した状態で、 FFD-CG法から燃取系の廃ガスラインを用いて炉内カバーガスを排気して廃ガス タンクへ貯留しながら、呼吸ガスヘッダの自動給気によりアルゴンガスを炉容器に供給 する)にて炉内のカバーガスパージを実施する。

c. 結果

第1回パージ(FFDL計測運転前)

FFDL計測運転前の炉内カバーガスパージを 11 月 19 日 11 時 19 分から同日 13 時34分にかけて約2.3 時間実施した。FFD-CG法カバーガス流量(約120 NL/min) から算出したパージ量は約 13.0 Nm³である。なお、本パージ量は、廃ガスタンク(A) の圧力の変化(0.060 MPa→0.125 MPa)を基に算出した貯留ガス量約 13.2 Nm³とよ く一致した。

パージ効果としては、図 4.3.2-1 に示すOLGMの計測結果から炉内カバーガス中の FP(135Xe)濃度が約 10 分の1 に低減されたことが確認できた。

(2) 第2回パージ(燃料出入機からのFP放出後)

燃料出入機からのFP放出が確認された後の炉内カバーガスパージを11月30日11 時16分から同日13時41分にかけて約2.4h実施した。FFD-CG法カバーガス流 量(約120 NL/min)から算出したパージ量は約17.4 Nm³である。なお、本パージ量 は、廃ガスタンク(B)及び(C)の圧力の変化(タンク(B):0.715 MPa→0.775 MPa、タ ンク(C):0.010 MPa→0.035 MPa)を基に算出した貯留ガス量約17.4 Nm³とよく一致 した。

OLGMの計測結果から見たパージ効果としては、図 4.3.2-2 に示すように炉内カバ

ーガス中のFP(133Xe)濃度が約10分の1に低減された。

d. 今後の予定

今回の炉内カバーガスパージ操作で明らかになった以下の点を、実績として運転操作 要領(OMS-10-05)に反映する予定である。

- ・パージ時間とその効果の目安値
- ・燃取系真空ポンプを運転する必要がなく、バイパスラインの使用で十分にパージが できること。



図 4.3.2-1 炉内ガスパージ(1回目)によるカバーガス中放射能濃度の低減効果(OLGM 測定結果)



図 4.3.2-2 炉内ガスパージ(2回目)によるカバーガス中放射能濃度の低減効果(OLGM 測定結果)

4.3.3 セシウムトラップ

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)に伴い、破損燃料検出時の一連の運転・操作の一環として、 セシウムトラップの運転を行い、手順等を確認する。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)で試験用集合体の炉内移送が終了した後、運転操作要領 (OMS-20-04)に従い、セシウムトラップの運転を実施した。ただし、今回は計画した 試験条件の範囲内では¹³⁷Csの生成量が有意な値とならないと予想できたため、破損燃 料検出時の一連の運転・操作の一環として運転経験という観点から実施する。このため、 ナトリウム純度の保持(150℃以下)に重点を置き、コールドトラップの温度設定は150℃ とした。また、通液時間は、1次純化系流量(約11m³/h)の全量を通液することで 30 時間以上とした。

c. 結果

セシウムトラップ運転(通液)を11月28日1時17分から開始し、11月29日9時 34分まで(全量通液は11月28日2時00分~11月29日9時11分の約31.2時間) 実施した。表4.3.3-1にセシウムトラップ運転記録を示す。今回の運転で、1次純化系 流量(約11m³/h)の全量をセシウムトラップに通液した状態においても30時間以上安 定して運転できることが確認できた。

別途実施した1次系ナトリウムサンプリング(JNa I -04-03 及び JNa I -04-04)にお けるセシウムトラップ運転前後の¹³⁷Cs 濃度分析結果からは、¹³⁷Cs 濃度が低いために明 確な差異は見られず、セシウムトラップの性能確認はできなかった。

d. 今後の予定

今回得られた運転実績(通液量、通液時間)をもとに、運転操作要領(OMS-20-04) の見直しを検討する。

日 時 主系統流量調節弁 124 1-102関度(W)		11/28 0:00	1:13	1:25	1:35	1:38	1:45	1:49	1:55	2:00	2:30	3:00	11/28 4:00
主系統流 V34.1-10	量調節弁 3開度(%)	100	100	100	100	95	50	35	10	0	Ļ	Ļ	Ļ
Cs/T入口 V34.1-10	弁 1開度(%)	0	0	50	100	100	100	100	100	100	Ļ	Ļ	Ļ
Cs/T入口	流量 (m ³ /h)	0	0	2.7	3.1	3.3	4.9	6.2	8.9	10.9	10.7	10.7	10.7
	純化系流量(m ³ /h)	9	11	\downarrow	Ļ	\downarrow	Ļ	Ļ	Ļ	\downarrow	Ļ	Ļ	Ţ
	吐出圧力 (MPa)	0.120	0.145	0.140	0.140	0.140	0.145	0.150	0.162	0.175	0.175	0.175	0.175
純化系	電圧 (V)	123	140	138	138	138	141	142	147	153	152	152	153
EMP 電流 (A)		78	87	86	86	86	87	88	92	96	95	95	96
	ダクト温度(℃)	237.0	239. 7	239.0	239. 1	239.0	239.5	239. 8	241.1	242.4	242.3	242.5	242.4
コイル温度(℃)		28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.5	28.6	28.7	28.6
C/T設定温	昰度(℃)	130	150	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ
	H34.1-101 Cs/T入口配管	148	162	163	164	164	164	165	165	165	164	164	164
	H34.1-102 Cs/T入口流量計	202	169	168	173	173	174	174	174	174	173	174	174
	H34.1-103 Cs/T入口弁	196	196	167	166	166	165	165	165	180	182	169	177
予熱温度	H34.1-104 Cs/T本体	178	167	166	217	217	186	177	169	170	167	172	190
(°C)	H34.1-105 Cs/T出口配管	197	203	169	166	166	165	165	164	164	163	163	164
	H34.1-106 主系統(バイパス)配管	154	169	170	171	171	171	172	172	174	190	204	200
主示航(八小八)配官 H34.1-107 主系統流調弁		174	190	175	170	168	169	181	204	217	180	167	174
	H34.1-108 Cs/T出口弁	171	180	170	216	205	185	178	171	170	171	181	218
備考(特記事項)	運転前								全量通液	\downarrow	\leftarrow	\leftarrow

表 4.3.3・1 (1/4) セシウムトラップ運転記録

表 4.3.3-1 (2/4) セシウムトラップ運転記録

	日時	11/28 5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	11/28 16:00
主系統流: V34.1-10:	量調節弁 3開度(%)	0	Ţ	Ļ	Ļ	Ļ	\leftarrow	Ţ	Ļ	Ļ	\leftarrow	Ļ	Ļ
Cs/T入口 V34.1-10	弁 1開度(%)	100	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	\downarrow	Ļ	÷	÷	\downarrow	Ļ	÷
Cs/T入口	流量 (m ³ /h)	10.8	10.7	10.8	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.9
	純化系流量(m ³ /h)	11	Ţ	Ļ	Ţ	Ţ	\downarrow	Ţ	Ļ	Ļ	\downarrow	Ţ	\downarrow
	吐出圧力 (MPa)	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
純化系	電圧 (V)	154	153	154	154	154	154	154	154	153	154	154	153
EMP	電流 (A)	96	96	96	96	96	95	96	96	96	96	96	95
	ダクト温度 (℃)	242.4	242.3	242.3	242.1	242.1	241.9	241.7	241.9	241.7	241.7	241.7	241.5
	コイル温度(℃)	28.6	28.7	28.6	28.7	28.6	28.7	28.6	28.7	28.7	28.7	28.7	28.6
C/T設定温	L度 (℃)	150	Ļ	Ļ	\leftarrow	\leftarrow	←	Ļ	Ļ	Ļ	←	\leftarrow	Ļ
	H34.1-101 Cs/T入口配管	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	H34.1-102 Cs/T入口流量計	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174
	H34.1-103 Cs/T入口弁	165	171	205	166	173	175	167	201	168	208	167	168
予熱温度	H34.1-104 Cs/T本体	220	166	170	191	207	207	218	168	214	166	177	166
(°C)	H34.1-105 Cs/T出口配管	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	163	164
	H34.1-106 主系統(バイパス)配管	175	178	207	194	170	188	211	186	168	188	212	186
	H34.1-107 主系統流調弁	178	183	195	202	203	179	169	178	197	207	167	180
	H34.1-108 Cs/T出口弁	168	190	201	174	189	210	187	182	170	192	169	195
備考(特記事項)	全量通液	÷	÷	÷	÷	\leftarrow	Ļ	4	4	\leftarrow	÷	\leftarrow

日時		11/28 17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	11/29 0:00	1:00	2:00	3:00	11/28 4:00
主系統流 V34.1-10	量調節弁 3開度(%)	0	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ
Cs/T入口 V34.1-10	弁 1開度(%)	100	Ļ	Ļ	\downarrow	Ţ	Ţ	Ţ	Ļ	Ļ	\downarrow	Ţ	Ļ
Cs/T入口	流量 (m ³ /h)	10.8	10.7	10.7	10.7	10.8	10.8	10.7	10.8	10.6	10.7	10.7	10.7
	純化系流量(m ³ /h)	11	\leftarrow	Ļ	\downarrow	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	\downarrow	Ļ	Ļ
	吐出圧力 (MPa)	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
純化系	電圧 (V)	153	153	153	153	153	153	143	153	152	153	153	153
EMP 電流 (A)		96	96	96	96	96	94	96	96	95	95	95	95
ダクト温度 (℃)		241.6	241.6	241.5	241.5	241.5	241.5	241.3	241.3	240.9	241.2	241.1	241.1
コイル温度 (℃)		28.9	28.7	28.9	28.8	28.7	28.7	28.7	28.7	28.6	28.7	28.8	28.7
C/T設定温	昰度(℃)	150	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ
	H34.1-101 Cs/T入口配管	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	H34.1-102 Cs/T入口流量計	173	174	174	174	174	173	174	174	174	174	174	174
	H34.1-103 Cs/T入口弁	179	169	206	166	180	183	168	190	165	177	213	167
予熱温度	H34.1-104 Cs/T本体	218	172	168	176	191	212	166	174	192	215	166	172
(°C)	H34.1-105 Cs/T出口配管	163	163	164	163	164	164	164	163	163	164	163	164
	US/10日日配管 H34.1-106 主系統(バイパス)配管		187	214	186	165	193	212	184	166	198	208	182
<u> 王</u> 宗祝((<u>1)</u> 八) <u> 11</u> H34.1-107 主系統流調弁		174	178	190	209	214	188	173	180	182	191	190	166
	H34.1-108 Cs/T出口弁	206	167	177	207	168	182	213	172	193	182	176	211
備考(特記事項)	全量通液	<i>~</i>	Ļ	\leftarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	Ļ	\leftarrow	\leftarrow	\downarrow	Ļ

表 4.3.3-1 (3/4) セシウムトラップ運転記録

表 4.3.3-1 (4/4) セシウムトラップ運転記録

日 時 主系統流量調節弁		11/29 5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	9:34	11/29 16:15	:	:	:	:	:
主系統流: V34.1-103	量調節弁 3開度(%)	0	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	100	100					
Cs/T入口 V34.1-10	弁 1開度(%)	100	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	0	0					
Cs/T入口	流量 (m ³ /h)	10.7	10.7	10.7	10.7	10.9	0	0					
	純化系流量(m ³ /h)	$11 \mathrm{m}^3/\mathrm{h}$	\downarrow	\leftarrow	\downarrow	\leftarrow	$9{\rm m}^3/{\rm h}$	\downarrow					
	吐出圧力 (MPa)	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.145	0.120					
純化系	電圧 (V)	153	153	153	153	153	140	125					
EMP	EMP 電流 (A)		95	95	95	97	87	78					
ダクト温度 (℃)		240.9	240.9	240. 9	240.8	240.9	237.2	235.8					
	コイル温度(℃)	28.6	28.5	28.6	28.6	28.6	28.0	27.0					
C/T設定温	【度(℃)	150	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	Ļ	130					
	H34.1-101 Cs/T入口配管	164	164	164	164	164	163	148					
	H34.1-102 Cs/T入口流量計	174	174	174	174	173	196	165					
	H34.1-103 Cs/T入口弁	171	202	168	182	203	174	195					
予熱温度	H34.1-104 Cs/T本体	183	220	166	167	177	172	169					
(°C)	H34.1-105 Cs/T出口配管	163	164	163	164	163	169	198					
	H34.1-106 主系統(バイパス)配管	168	199	210	180	169	169	154					
	H34.1-107 主系統流調弁	167	174	189	196	203	203	196					
	H34.1-108 Cs/T出口弁	167	185	197	169	189	188	193					
備考(特記事項)	全量通液	\leftarrow	\leftarrow	\leftarrow	\leftarrow	通液停止	\leftarrow					

4.4 破損燃料集合体の同定

4.4.1 FFDL計測運転

a. 目的

破損した集合体(試験用集合体)を同定するために、FFDLの計測運転を行う。

b. 概要

破損した燃料集合体を同定するため、試験用集合体並びにバックグランド測定用として反射体および燃料集合体について、FFDLによる計測運転を行った。

- c. 結果
- FFDL本体パージ

FFDL炉内試験(Ⅲ)実施前にFFDL本体のArガス置換を行った。

FFDL本体の Ar ガス置換は、多量の廃ガスが発生することから、試験によって Ar 廃ガス系が貯留モードになる前に実施した。Ar ガス置換方法は平成 16 年 4 月に実 施した「FFDLの補修」に伴う He リーク試験後の Ar ガス置換として用いた。上部 フランジ配管から廃ガス系に排気しつつ、Ar ガスを系統内に供給するブローパージ後 の結果が 1 次系ガスクロの He 濃度で 5ppm から 10ppm の上昇で良好であったことか ら、同じ方法にて実施した。

この結果、11月19日にFFDLを炉上部に据え付けて、燃料交換機孔およびFFD Lドアバルブ「開」とした後の1次系ガスクロの不純物濃度に大きな変化は無かった。

- FFDL計測運転
- (a) 運転条件
 - i. 原子炉運転モードスイッチ:「燃料交換」
 - ii. 一次主循環ナトリウム流量:75% (1154 m³/h「MAN」)
 - ⅲ. 一次主循環ナトリウム温度:約250℃
- (b) 運転体制

FFDLの運転体制を次表に示す。

No.	配置	人数	役割
1	燃料交換運転責任者	1名	責任者
2	回転プラグ運転員	1名	回転プラグの位置決め操作
3	FFDL上部運転員	2名	手順チェック員1名含む
4	F F D L 上部計器監視員	2名	上部バルブラック左右にそれぞれ配置
5	FFDL計測運転データ記録員	1名	計器監視員と連絡し運転データを記録する
6	FFDL下部運転員	4名	回転プラグ回転時及びFFDL昇降の運転
			助勢

(c) 運転実績

本試験におけるFFDLの運転工程は、ナトリウムレベル計の作動確認及びガス循 環系統調整のため反射体位置(6D6)、BG計測のため健全な燃料集合体位置(4E1) での計測運転を実施した。その後に試験燃料集合体位置(000)、最後にBG確認のた め健全な燃料集合体位置(4E1)で計測運転を行った。表 4.4.1-1 に実績工程を示す。

表 4.4.1-2 に、各々の集合体位置おける FFDL計測運転記録を示す。

i. 一次主循環ナトリウム流量 80%条件における運転経験

試験燃料集合体位置(000)で実施した3回の計測運転うち、1回目の計測運転 を一次主循環ナトリウム流量75%条件で実施したが、FPの放出が確認できなかっ た。このため2回目はFFDL回転位置の状態で一次主循環ナトリウム流量を80% に変更して計測運転を行った。

一次主循環ナトリウム流量 80%条件で実施した結果、V135-1の設定が「5・1/4
 開」、V135-65「調整開」(固定)、V135-66「開」とした状態で、計測下降中の流量ブロックが FI-2 は 65~70L/min、FI-5 は 7.0~7.3L/min、P-1 から P-5 は 0.230
 ~0.235MPa {2.35~2.40kg/cm²} で実施すると、ナトリウムタンクのナトリウム 液位を低と中の間で適切に維持してシッピングが行える実績を得た。

なお、試験用集合体を計測した後回転プラグを回転させる時には、一次系流量を 75%に戻した。

(d) 廃ガス発生量の実績

本試験におけるFFDL運転準備から燃料交換作業(使用済燃料:4体、新燃料:3 体)を含む破損燃料のFMFへの移送、後始末に至る運転期間の廃ガス発生量は261.5 m³(廃ガスタンク約 1.5/3 基分) であった。(表 4.4.1-3 参照)

d. 今後の予定

- (1) 一次主循環ナトリウム流量 80%条件でFFDL運転を行う場合は、回転プラグの移動毎に 75%流量に変更する必要があるため、今後運転手順書等に反映する。
- (2) 各燃料集合体での計測運転後に、系統内で汚染廃ガスが残留する循環ポンプと計測 シリンダー間のArガスブローを実施してBGを低下させる運転を実施し良好であるこ とを確認した。今後運転手順書等に反映する。
- (3) 従前の検討では、燃焼初期でのFFDLの使用時期を原子炉停止後48時間後(2日) としている。これを今回の試験と同様に原子炉停止後の作業を連続3直体制としない 場合は、FFDL計測運転開始までに原子炉停止後84時間(3.5日)程度必要となる。 微小な燃料破損を想定すると、FFDLによる検出確率を高めるため可能な限り早く FFDL計測運転に着手することが望ましいことから、燃料破損時の対応体制強化お よびFFDL運転要員の計画的な養成を進めることが必要である。



実施日: 平成16年11月20日

表4.4.1-2(1/3) FFDL計測運転記録

開始時間:	アドレス :	6 D 6	対象:	R I H 4 0 5		V135-1操作	前: 5•	3/4 回転開	뤼	
	時間	ストローク	F1-2	F1-5	P1	P2	P3	P4	P5	
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備考
回転位置	10:10	460	72	7.0	0. 230	0. 230	0. 230	0. 230	0. 230	
下降中			68	7. 2	0. 230	0.350	0. 230	0. 235	0. 235	
着座	11:03	2	68	7. 2	0. 235	0.350	0. 230	0. 235	0. 235	
上昇開始										
Na導入					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
一時停止		100			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
再上昇										
回転位置		460	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0. 000	
計測循環			0	4. 2	-0. 050	-0.050	0. 025	0.050	0.050	
Naレベル低点灯			0	4. 2	-0. 050	-0.050	0. 025	0.050	0. 050	
V135-1 1/4回転閉			0	4. 5	-0. 050	-0.050	0. 025	0.050	0.050	合計1/2 回転閉
計測循環終了時			8	7.5	0. 280	0. 270	0. 270	0. 275	0. 280	

開始時間

:アドレス :4 E 1 対象 : JS0002

V135-1操作前: 5・1/4 回転開

	時間	ストローク	FI-2	FI-5	P1	P2	P3	P4	P5	
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備
回転位置	15:35	460	65	7.5	0. 235	0. 240	0. 235	0. 240	0. 237	
下降中			65	7.4	0. 235	0. 239	0. 235	0. 240	0. 237	
着座	15:38	2	43	5.0	0. 260	0.260	0. 260	0. 260	0. 260	
上昇開始										
Na導入					0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
一時停止		100			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
再上昇										
回転位置	1543	460	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
計測循環	15:48		0	4. 2	-0. 050	-0.055	0. 020	0. 050	0. 050	
Naレベル低点灯			0	4. 2	-0. 050	-0.055	0. 020	0. 050	0. 050	
V135-1 1/4回転閉			-	-	-	-	-	_	-	
計測循環終了時	16:03		8	7.8	0.000	0.000	0.000	0. 280	0. 275	

・アドレス ・606

実施日: 平成16年11月20日

表4.4.1-2(2/3) FFDL計測運転記録

開始時間:	アドレス :	0 0 0	対象:	PFBF40		V135-1操作	前: 5•	1/4 回転開	用		
	時間	ストローク	FI-2	F1-5	P1	P2	P3	P4	P5		
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備	考
回転位置	16:20	460	65	7. 2	0. 235	0.240	0. 240	0. 240	0. 238		
下降中			65	7.3	0. 235	0.240	0. 240	0. 240	0. 270		
着座	16:23	0	55	6. 2	0. 250	0. 250	0. 250	0. 250	0. 250		
上昇開始											
Na導入	1626				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
一時停止		90			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
再上昇											
回転位置	1629	460	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0. 000		
計測循環			0	4. 2	-0. 050	-0.050	0. 020	0.050	0. 045		
Naレベル低点灯			0	4. 5	-0. 050	-0.050	0. 040	0.050	0.050		
V135-1 1/4回転閉			-	-	-	-	-	-	-		
計測循環終了時	16:46		8	7.5	0. 270	0. 270	0. 270	0. 280	0. 275		

08

開始時間

:アドレス :0 0 0 対 象 : PFBF40

V135-1操作前: 5・1/4 回転開

	時間	ストローク	F1-2	FI-5	P1	P2	P3	P4	P5	
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備
回転位置	17:15	460	70	7. 2	0. 235	0. 235	0. 230	0. 235	0. 235	※1次主循環ポンプ75%流量→80%流量
下降中			70	7. 2	0. 235	0. 235	0. 230	0. 235	0. 235	
着座	17:16	0	50	5. 8	0. 255	0. 255	0. 255	0. 255	0. 235	
上昇開始	17:18									
Na導入	17:21				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
一時停止		90			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
再上昇										
回転位置	17:28	460	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
計測循環	17:28		0	4. 2	-0. 050	-0.050	0.040	0.050	0.045	
Naレベル低点灯	17:33		0	4. 2	-0. 050	-0. 050	0. 040	0. 050	0. 045	
V135-1 1/4回転閉			-	-	-	-	-	-	-	
計測循環終了時	17:59		10	7.5	0.275	0.275	0. 275	0.275	0. 275	

実施日: 平成16年11月20日

JNC TN9410 2005-003

表4.4.1-2(3/3) FFDL計測運転記録

開始時間:	アドレス :	0 0 0	対象:	PFBF40		V135-1操作	前: 5•	1/4 回転開	用		
	時間	ストローク	F1-2	F1-5	P1	P2	P3	P4	P5		
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備	考
回転位置	18:07	465	63	6. 4	0. 235	0. 235	0. 235	0. 240	0. 235		
下降中			65	7.0	0. 235	0. 235	0. 235	0. 240	0. 235		
着座	18:11	10	48	5.8	0. 255	0. 255	0. 258	0. 260	0. 255		
上昇開始	18:13										
Na導入	18:15				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
一時停止		100			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
再上昇											
回転位置	18:17	465	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
計測循環	18:25		0	4. 5	-0. 053	-0.050	0.040	0. 050	-0. 043		
Naレベル低点灯			0	4. 5	-0. 053	-0.050	0.040	0.050	-0. 043		
V135-1 1/4回転閉			-	-	-	-	-	-	-		
計測循環終了時			12	0.0	0. 275	0. 275	0. 275	0. 275	0. 275		

開始時間 :アドレス :0 0 0 対 象 : PFBF40

V135-1操作前: 5・1/4 回転開

	時間	ストローク	F1-2	F1-5	P1	P2	P3	P4	P5	
操作等		(mm)	(L/min)	(L/min)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	備
回転位置	18:56	460	71	6. 7	0. 235	0. 235	0. 235	0. 235	0. 235	
下降中			68	6.8	0. 235	0. 235	0. 235	0. 235	0. 235	
着座	19:00	0	43	4. 5	0.260	0.260	0. 260	0. 260	0. 260	
上昇開始	19:02									
Na導入	19:04				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
一時停止		100			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
再上昇										
回転位置	19:06	460	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
計測循環	19:09		0	4. 5	-0. 050	-0.050	0.040	0.050	0. 045	
Naレベル低点灯	19:14		0	4. 5	-0. 043	-0.043	0. 050	0. 050	0. 050	19:12 V135-1 1/4回転閉操作で低点灯
V135-1 1/4回転閉			_	-	-	-	-	-	-	
計測循環終了時	19:25		12	7.9	0.000	0.000	0.000	0. 275	0. 280	

売441-3	FEDI 后内封路	(皿)における	ス獣取玄からの	の廃ガス発生量記録
衣4.4.1-3	「「リニル」の武殿	(=こしのこう	の燃収ホルらり) 虎ノヘ光土里記 3

月日	時間	工程	廃ガスタンク圧力	PRA61-1 (MPa)	圧力変化	備考
	• • •		実施前	実施後	(MPa)	
11•17	10:30~17:30	運転前確認	0.02	0.025	0.005	
11•18	09:08~16:00	運転前確認	0.03	0.045	0.015	呼吸ガスヘッダ排気、CGCSパージに伴う排気あり
11.19	13:45~16:30	孔プラグ引抜	0.135	0.15	0.015	プラグ等保守装置、出入機により
	18:11~21:26	FFDL取付から予熱位置	0.15	0.195	0.045	本体パージ10回は予め実施済み
	21:26~翌9:45	予熱位置ブローダウン(約15L/min)	0.195	0.245	0.05	FI1=8L、FI7=7L、FI6=5L以下(呼吸ガスヘッダ排気約18分/回)
11.20	09:45~20:33	計測運転(ブローダウン含む)	0.245	0.34	0.095	
	20:33~翌9:21	予熱位置ブローダウン(約15L/min)	0.34	0.39	0.05	
11.21	09:21~09:35	予熱位置から格納(切離パージ含む)	0.39	0.395	0.005	
	09:35~10:50	FFDL取外	0.395	0.41	0.015	
	13:30~翌9:00	洗浄運転	0.415	0.455	0.04	
11.22	09:00~16:57	FFDL取外(格納から)	0.455	0.625	0.17	FFDL本体パージ5回+切離パージ
	17:20~18:32	燃料交換機取付	0.625	0.625	0	
	19:20~翌8:38	ブローダウン(10L/min)	0.625	0.76	0.135	
11.24	08:38~23:30	炉内移送(ブローダウン含む)	0.76	0.78	0.02	
	23:30~翌8:40	燃料交換機ブローダウン	0	0.085	0.085	廃ガスタンクA→B(0.78MPaで手動で切替)
11.25	9:00~09:48	燃料交換機取外	0.085	0.09	0.005	
	9:48~18:00	炉外移送(S/F:2体、N/F:1体)	0.09	0.22	0.13	
11.26	9:00~19:35	炉外移送(S/F:2体、N/F:2体)	0.235	0.355	0.12	EXTR、C/CにおけるS.P作業含む
	19:35~20:33	C/Cコフィン内正圧パージ	0.355	0.43	0.075	FMF払出時におけるFPガス濃度の低減化を行った。(16㎡/hで1h)
	20:50~21:46	″ (「常陽」→FMF)	0.43	0.435	0.005	
	21:46~02:30	炉外移送(N/F:1体)	0.435	0.505	0.07	C/C本体パージ2セット(2回で1セット)、EXTR Gr洗浄含む
11•27	9:00~10:12	EXTR Gr洗浄後確認	0.505	0.525	0.02	
	10:12~14:08	メンテプラグ装荷	0.525	0.54	0.015	
	14:16~15:50	出入機D/P交換	0.54	0.555	0.015	
	16:55~18:40	つかみ部洗浄交換機取付グリッパ洗	0.555	0.57	0.015	
11•28	09:00~13:35	つかみ部洗浄交換機取外(格納から	0.58	0.585	0.005	
	13:45~16:49	案内スリーブ I 洗浄	0.585	0.63	0.045	呼吸ガスヘッダ排気あり
	16:49~19:52	11フラク洗浄	0.63	0.69	0.06	
				수 計	1 225	 広ガスランク容景(20Nm × 0kg/am2 × 3其一)540Nm
				百百	1.325)溌刀 ヘフノン 谷 重 (201N M × 9Kg/ cm2 × 3 奉 三 / 340N M

実績: 廃ガス発生量(20Nm^{*}×1.325MPa÷0.101325MPa=)**261.5m**

4.4.2 FFDLによる計測および破損燃料集合体の同定

a. 目的

原子炉停止後にFFDLの計測運転を行い、破損した集合体(試験用集合体)を同定 する。

b. 概要

試験用集合体並びにバックグラウンド測定用として反射体および燃料集合体について、FFDLによる計測運転を行い、その放射線計測結果の比較により破損した燃料集合体を同定できることを確認した。

c. 結果

FFDL計測運転は、原子炉停止後にCGCS運転および炉内カバーガスパージによ りカバーガス中放射能濃度をバックグラウンドレベルまで低減させた後(原子炉停止後 約80時間)に行った(11月20日)。計測の際の1次主冷却系流量は、冷却系各機器の 液面変動の観点から回転プラグ回転時の最大流量としている75%(約1,154m³/h/ルー プ)とした。計測対象とした集合体は、表4.4.2-1のとおりである。試験用集合体(炉 心アドレス:000)の計測では、1回目の結果がバックグラウンドレベルであり、FP 放出は検出されなかった。1次主冷却系流量75%での破損孔(スリット)部に加えられ た圧力は、約0.29MPaと予測される。そこで、圧力変化を大きくするため1次主循環 流量を80%(約1,230m³/h/ループ)に変更して、シッピング・計測を2回実施した。 1次主冷却系流量80%での破損孔(スリット)部に加えられた圧力は、約0.31MPaと 予測される。なお、シッピング・計測は、実施の度に系統内パージを行い、次計測への 影響を極力排除した。

各集合体におけるシッピング後の放射線計測結果を表 4.4.2-2、表 4.4.2-3 および図 4.4.2-1 に示す。また、BGO 検出器により得られたエネルギースペクトルの一例として、 燃料集合体 (4E1) および試験用集合体の 80%流量で計測した 2 回目のものを、図 4.4.2-2 および図 4.4.2-3 に示す。さらに、同じケースの Ge 検出器によるエネルギースペクトル を、図 4.4.2-4 および図 4.4.2-5 に示す。

1次主循環流量を 80%として行った試験用集合体の計測の結果、はじめに測定した反射体、炉心燃料集合体の計数率に対して、¹³³Xe (81keV) で 600 倍程度、¹³⁵Xe (250keV)

で 80 倍程度の値が確認でき、破損燃料集合体と判定するに十分な結果が得られた。本 結果により、運転初期の燃料のガスプレナム破損の場合は、ナトリウムシッピング法F FDLによる破損燃料集合体の同定が可能であることを確認した。

d. 評価

FFDL検出性

FFDL検出性に関して、FFDLシッピング操作後の放射線計測結果と計算値の 比較を行い考察する。

(i) 計算方法

以下の手順により、FFDLによるFP計数率を計算した。FFDLによるFP検 出性評価モデルの概念図を図 4.4.2-6 に示す。

① シッピング操作時の炉内カバーガス中放射能濃度 C₁(1³³Xe、実測値)より、燃料 要素からのFP放出量 Q₁を算出。

 $\mathbf{Q}_1 = \mathbf{C}_1 \times \mathbf{V}_1$

C₁: カバーガス中放射能濃度(Bq/cm³)

V₁: カバーガス容積(cm³)

② 計算で求められるシッピング操作時の破損孔部(スリット)部に加えられた圧力
 P2、等より、燃料要素外へ放出されたFPガス体積 V4を算出。

$$V_4 = (V_2 - V_3) \times \frac{(P_2 - P_1)}{P_2}$$

 V_2 : 燃料ピン内空間部容積(cm³) V_3 : 原子炉停止時のピン内ガス温度降下に伴うピン内Na浸入量(cm³) P_1 : スリット部外圧(kg/cm²) P_2 : シッピングポート着座時のスリット部外圧(kg/cm²)

③ ORIGEN2 にて求めた F P 生成量 Q₂(燃料要素 2本分)と上記①の F P 放出量 Q₁
 より、燃料ペレットから炉内カバーガスへの F P 移行率 R₁を算出。

$$R_1 = \frac{Q_2}{Q_1}$$

 Q_2 : ORIGEN2解析によるFP生成量(¹³³I+¹³³Xe) (Bq)

④ 上記②の燃料要素外へ放出されたFPガス体積 V4より、燃料要素内から燃料要素
 外へのFP放出率 R2を算出。

$$R_2 = \frac{V_4}{(V_2 - V_3)}$$

⑤ 上記③、④より、燃料ペレットから燃料要素内へのFP放出率 R₃を算出。

$$R_3 = \frac{R_1}{R_2 \times \lambda_d}$$

 λ_d : ナトリウム中から炉内カバーガスへのFP移行率 (7%)

6 上記③~⑤より、FFDLによるFP計数率CRを算出。

$$C_R = Q_2 \times \eta_1 \times R_2 \times R_3 \times \eta_2$$

 η_1 : FP減衰割合
 η_2 : FFDLによるFP抽出効率
(y線検出器の検出効率 :0.405(cps/Bq/cc)、バブリングによる抽出効率 :0.9、等)

(ii) 計算結果

上記方法により計算した結果を表 4.4.2-4 に示す。ガスプレナム部破損での計算値は 約 860cps であり、FFDLシッピング操作後の放射線計測結果を上回っているものの 大きな差ではなく、計算方法が妥当なものであることが確認できる。

(2) 1次主循環流量 80%で有効な検出値が得られた点について

本試験および MK-Ⅱ 炉心を用いた F F D L 炉内試験(I)における破損孔(スリット) 部に加えられた圧力の概算値を以下に示す。

①本試験

- ・1次主冷却系流量 75% ··· 約 0.29 MPa
- ・1次主冷却系流量 80%···約 0.31MPa
- ②MK-II 炉心を用いたFFDL炉内試験(I)
 - ・1次主冷却系流量 75% ··· 約 0.30 MPa

1次主循環流量 75%での破損孔(スリット)部に加えられた圧力は、MK-II 炉心を 用いたFFDL炉内試験(I)での同流量(75%)時よりも若干低く、1次主循環流量 75% で有効な検出値が得られなかった要因の一つとして、シッピング圧力が不足していた ことが挙げられる。 d. 今後の予定

試験用集合体の照射後試験結果に基づき、FFDL検出性能に関する詳細な評価、および1次主循環流量75%で実施した1回目の試験用集合体のシッピング・計測において 有効な検出値が得られなかったことについて詳細に検討する。

No.	種類	炉心アドレス	備考						
1	反射体	6D6	バックグラウンド計測用						
2	燃料集合体 (JS0002)	4E1	バックグラウンド計測用 (最高燃焼度の炉心燃料集合体)						
3	試験用集合体 (F4B)	000	試験用集合体の計測						
4	燃料集合体 (JS0002)	4E1	バックグラウンド計測用						

表 4.4.2-1 FFDL計測対象集合体

表 4.4.2-2 F F D L 計測結果 (BGO 検出器)

	恒心	計測	計測	積算	〔計数(カウ	ント)	計数率 (cps)				
No.	アドレス	日時	時間	¹³³ Xe (81keV)	¹³⁵ Xe (250keV)	Total	¹³³ Xe (81keV)	¹³⁵ Xe (250keV)	Total		
1	6D6	11/20 14:57	483*	658	774	3,014	1.4	1.6	6.2		
2	4E1	11/20 15:58	600	830	943	3,791	1.4	1.6	6.3		
3	000	11/20 16:31	600	775	987	3,684	1.3	1.6	6.1		
4	000-80%-1	11/20 17:26	605*	341,434	75,482	449,238	564.4	124.8	742.5		
5	000-80%-2	11/20 18:24	607**	371,218	76,691	479,986	611.6	126.3	790.8		
6	4E1	11/20 19:09	611**	2,412	1,155	5,742	3.9	1.9	9.4		

*:プリセット時間を長め(1,800秒)にセットし手動で停止 **:プリセット時間(600秒)で停止せず手動で停止

表 4.4.2-3 F F D L 計測結果 (Ge 検出器)

	炉心	計測	計測	積算	〔計数(カウン	~ト)	計数率				
No.	アドレス	日時	時間	¹³³ Xe (81keV)	¹³⁵ Xe (250keV)	Total	¹³³ Xe (81keV)	¹³⁵ Xe (250keV)	Total		
1	6D6	11/20 14:41	600	_	_	_	_	_	_		
2	4E1	11/20 15:49	600	_	_			_	_		
3	000	11/20 16:32	600	_	_	_	_	_	_		
4	000-80%-1	11/20 17:27	603*	31,004	3,969	35,639	51.4	6.6	59.1		
5	000-80%-2	11/20 18:21	600	41,101	6,631	46,695	68.2	11.0	77.4		
6	4E1	11/20 19:09	600	120	_	135	0.2	_	0.2		

*: プリセット時間を長め(1,800秒)にセットし手動で停止した

	計算結果
①燃料要素からのFP放出量 ^{*1} Q1 (Bq)	3.9×10 ⁹
②燃料要素外へ放出されたFPガス体積 V ₄ (cm ³)	4.3
③FP生成量*2Q2(Bq)	2.3×10^{13}
燃料ペレットから炉内カバーガスへのFP移行率 R ₁ (%)	0.2
④燃料要素内から燃料要素外へのFP放出率 R ₂ (%)	53
⑤燃料ペレットから燃料要素内へのFP放出率*3R ₃ (%)	0.5
⑥ F P 減衰割合 ^{*4} η 1(%)	12
F F D L に よ る F P 抽出 効率 η 2	3.1×10^{-3}
FFDLによるFP計数率 C _R (cps) 【計算値】	約 860
FFDLによるFP計数率(cps) 【測定値】	<i>养</i> 匀 600

表 4.4.2-4 FFDLによるFP計数率算出結果

(*1)カバーガス中FP濃度(OLGMデータより)

(*2)解析值(¹³³I+¹³³Xe、燃料要素2本分)。

(*3)本試験結果に基づく計算値。過去の試験実績では2.5%。

(*4) F F D L 計測運転時点までの減衰割合。



図 4.4.2-1 FFDL計測結果(BGO 検出器)

- 89 -



図 4.4.2-2 BGO 検出器による γ 線スペクトル測定結果 (4E1)



図 4.4.2-3 BGO 検出器による y 線スペクトル測定結果(000-80%-2)



図 4.4.2-4 Ge 検出器による γ 線スペクトル測定結果(4E1)



図 4.4.2-5 Ge 検出器による y 線スペクトル測定結果(000-80%-2)



図 4.4.2-6 FFDLによるFP検出性評価モデル概念

- 4.5 試験燃料集合体の取出しおよびFMFへの払い出し
- 4.5.1 試験燃料集合体の取出しおよびFMFへの移送運転
- a. 目的

試験用集合体の取出しおよびFMFへの払出し移送運転中における破損燃料取扱い 方法を確立する。

b. 概要

試験用集合体は燃料交換機、燃料出入機、トランスファロータ及び燃料取扱用キャス クカーによりFMFへ移送した。この移送運転中に燃料出入機、トランスファロータ及 び燃料取扱用キャスクカーの各設備から試験用集合体内のガスをサンプリングし、FP ガス濃度の測定を行い、破損燃料取扱い方法を確立するための知見とする。

- c. 結果
- (1) 試験用集合体移送運転

試験用集合体は 11 月 24 日に炉心から炉内貯蔵ラックに移送し、11 月 26 日に燃料 出入機、燃料取扱用キャスクカーによるガスサンプリングを実施後、キャスクカーエ リア(A-510) FMFポートによりFMFへ移送した。表 4.5.1-1 に実績工程を示す。

(2) 燃料出入機によるサンプリング操作

燃料出入機によるサンプリング操作は、試験用集合体入り燃料移送用ポットをグリ ッパにて保持した状態で実施した。

燃料出入機コフィン内の負圧操作により-43kPa {-0.44kg/cm²} まで降圧し、この 状態を5分間保持後、通常の運転圧までのArガス供給操作を行った。その後の試験班 によるガスサンプリングを行い、FPの放出、燃料出入機コフィン内FP量を確認し た。

(3) 燃料出入機による破損燃料集合体の炉上部接続操作

サンプリングが終了し試験用集合体入り燃料移送用ポットをトランスファロータに 装荷して払出し、次の新燃料集合体をトランスファロータから取り出して炉内貯蔵ラ ック位置に装荷した。この運転で燃料出入機を炉上部に接続した直後に、OLGMの 指示値上昇が確認された。原因は、燃料出入機のコフィン内に放出されたFPガスが 新燃料と共に炉内カバーガス中に移行したことによるものであった。これらのことを 踏まえ、今後、燃料出入機により破損燃料集合体を取扱した後に炉上部に接続する場 合には燃料出入機コフィンの本体パージを実施する必要がある。

(4) 燃料取扱用キャスクカーによるサンプリング操作

燃料取扱用キャスクカーによるサンプリング操作は試験用集合体をグリッパにて本 体内に収納し、循環ブロワ起動後15分間崩壊熱を冷却すると共にサンプリングライン ヘガスを循環する方法で実施した。

i. 高濃度 F P の放出に伴う対応

サンプリングの結果、¹³³Xe で約 1750Bq/mL、^{133m}Xe で約 23Bq/mLのFP放出 が確認された。この状態で、FMFに払い出すには濃度が高いため、集合体における 圧力の外乱を考慮し、キャスク本体内圧力を運転圧(微正圧)の状態でガス置換する Ar ガスブローパージを実施した。以下にブローパージ実施時の廃ガスタンクBの圧 力の実績を示す。

	時 間	廃ガスタンク圧力(MPa)	備考
操作開始	19:35	0.355	
	19:38	0.355	以下 10 分毎に記録
	19:48	0.370	
	19:58	0.385	
	20:08	0.400	
	20:18	0.410	
	20:28	0.425	
操作終了	20:33	0.430	
合 計	00:58	0.075	(開始時-終了時)

廃ガス発生量=20 m³×0.075 MPa/0.101325 MPa(標準圧)/1h≒14.804N m³/h

ブローパージ実施後に行ったサンプリングによって濃度を測定した結果、¹³³Xe約 34Bq/mL、^{133m}Xe約 0.22Bq/mL であり、本試験でのFMFと取り合う目標濃度の 3.7Bq/mL は満たしていなかったが、FMF側と試験班との協議の結果に従いFMF へ試験用集合体を移送した。

ii. FMFとの取合操作

「常陽」キャスカーは、FMFキャスクカーに試験用集合体を装荷後、グリッパ上限となった時点で循環ブロワを停止し、キャスク本体内圧を 0kPa まで減圧して、FMFキャスカーと切り離す手順で実施した。これは、FMFキャスクカーをバックアウトするまでのガス減圧量を低減することを考慮したものである。

(5) トランスファロータによるサンプリング操作

試験用集合体取出し時及び、その3日後にトランスファロータ内ガスサンプリング を実施した。サンプリングは、トランスファロータまでのラインを約20分間サンプリ ングポンプで循環させてサンプリングを行った。特に問題なくサンプリング操作を実 施することができた。

d. 今後の予定

今回の試験において、試験用集合体を炉外へ取出した後に新燃料を取扱った際に炉内 ヘFPガスを戻したこと等について、その対応等を検討し、必要に応じてマニュアルへ 反映する。

実績版													原日燃	-1-1
		表 1 5 1-	1(1/9)	₽齢田隹∕	合体移送	運転実績	了程	課長	課代 1	F.L 担当	_	平成 16年	12月 2日 作戎	
		1 4.0.1	1(1/ <i>2</i>) #	冰厉不	口 14912	建铅天桐					改訂1			
或 16年 11月 26日	(金)実施分	_									改訂2			
	時刻	1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 1-	4 15	16 17	18	19 20	21 22	23
	中央道		(田直)			×	(直)			<u>z</u>	(O &)		文	(01 Å.)
	燃取直 ——	<u> </u>	(面直)			<u> </u>		直)		<u> </u>		([] #[)	
新炉心的	構成	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		JS0061 03→R2	7						JS006	2 04→R30		
要素移	90 90							JS0060 02	2 → R24					
回転ブ	3 T					5 87\$777 B								
(R/P))					(R27)	(R24)				(R30)			
燃料出	入機					(R27) (R31)	(R27) (R	24)	(7 29)7 927) (R31) (R24)		0	R31) (# 3427' 127' 18:32	0
(2.4.1 K)	1.5) 先浄位置)								(R:33)	- T				
(19	产上位置)					S/FFI¢	N/F號椅		S/F引載	N/	***			
(7	(0.0.1)													
	/ (12,2)					S/F號	©N/F31#K			S/F党府 N/F引政				
トランスファー (工/R)	0-9)					格内(B 回転)	-A)			終内(A→B) 回転				
						\$\$ \$\$.→B)			\$5/h(B→ A)				
新燃料移送台:	*		N/F T &	應料)			N/F于些(燃料)				N/FŤ!	5(燃料)		
(IN/ P) 装填燃料移送(,					N/F装着(JSO	60)	N/F 靴柄O	50062)					
(NFST	r)-					- 收納 - 装荷)	No02	- 礼	购售Nc04 有角度248.4					
(T	/R位重)					N/F著有 S/	Filik		NT/IC at at	S/F filts				
						-	(4.349.8)					(7° 0-n° -5°)	(1.8() T)	
燃料取扱用キ	+スクカー				C/C7 01	(N/F) (T/R)	(C/P)	(N/F) (T/R)			(T/R) (T/R)	(オスキングリング) (豪華位王)	(FMF)	OVERT/
(C/C)	/F位星)				7-7起動	N/F引載		N/F 14				T	C/C本体/	
	7 m m #1				送風機起動 Art 北小起動		S/F提椅							
10	/ P(Z)													
(F	MF位置)					建 次移: 【循環運動	L			·是洪移达 ▼			S/F¥#	
燃料法济济储备						1	6.0E C/IC-8-94	3.4.5						
(C∕P))					•								
回転移;	送機							86						
	L						2	÷18						
(CAN)	J					0	-02.Y-11)	(F/02	2)					
水 中 音 : (UWC)	*)							****	单将勤 1					
使用済燃料移 (S/F)	送機)							s	√F发荷 ■■					
								(X	-05,Y-03)					_
使用满;	*~2						JU0022 R27→(X-0	5,Y-03)						
構成要:	* 6 \$									PFBF4	R24→FMF	-		
	1													

宝结锅	:																						原目標	8-1-1
ブ 、 や男 104	•	表	45	1-1(9	2/2)	試測	論田倉	も合く	木移-	送诣	電転信	€ 繣 ⊤	程		課長	æ	代	T. L	担 当		平式 1)	年 12月 2	日作成	
		11	. ч.о	.1 1(2		μ-γ w	以/11ラ	КЦI	19		ビギムフ	て順ユ	→ 小土							<u>क</u> ौ 1				
平式 16年 11月 :	27日(土)実施	8																		成訂2				
	163 BH		1	2	3	4	5	6	7	8	0	10	11	12	13	14	15	16	: 17	19	9 20	91	99	93
	中央道		•	-	(I	 II .å.)		-u			¢	10		(1.al)	10	1.4	1.0	<u>\$</u>		(E.A.)			2	(IIA)
	燃取道	Ź				(田乱)					交			(1	(ā)				<u>\$</u>			(II.£.)		
86 B.	出煤或	JS0	062 04-	→R30								भूति सं भ जन्म संग्रह	11年1月4日 1月1日日 日		新新教育: 新新教育:	勤長 平 南京 平		탄달 감 1 탄글 1914			에 들었다 공국화학원		2.12	66731) Abb 21
要 末	移 勳														rst-rij. Filip									en sisik En sisik
en #≾ : (R,	7 7 7 ∕P)	,	(+9\$9°92\$\$																		a - Grana I - Grana I - Grana			
燃料; (EX)	に 入 機 ΓRA) (洗浄位重)	(R3 (R30)	(R33) またまた	12月 洗净											111									
	(炉上位量)	N/1	F X A	Τ-		#A.	2 Jun 762-8	中浸渍洗汗			alea Alean Main		1 1 N 1 1 4 N 1 1 4 N 1		1. 书名 4- 14 书名 4-	2 7 3 8 4 4 8 4 4								
	(T∕R住 里)	N/F引线	±∧#	DVE-FOF	 								in slani Roberts Roberts	i si si si si Cita di si si Cita di si si si	inter de las Inter de las Inter de las Inter Inter de las Inter	1999年前 1993年1月2日 1993年1月2日			19434					
トランス:	7+0-9	移 内(B→A	0									1994	1.1.15	11.510	1.8.8.2.8		2.2	4 9. F. S	the startes	a data a ta a	19-9-9 0 Se A			<u> </u>
11,	/ IK)	\$ \$\$\$(A→B)											с. Д	ヤッスプラブ 装用										n a chean Righteacha Righteacha
新燃料移动	志台車 /F)										「「「「「」」		****	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							98.5			
发填燃料	5送機									1			# >	重内简取外	1.2 2 5 6		dans.	ranse e	n na set		() 黄金()	自己的人	4447	2 - 2 - 2 - 2 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2
(NP	51)										1.44		1.5			· 利用 自 - 利用 : 1		Ż.	H.6.9	en e	19 8 9 7 1 9 8 9 7 1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		한 종종 2월 통 및 왕강 2월
	(T/R位置)												主人提	DVE-PON	(140°C):=#34		n ja ni	(it	清位 王)	Para de Mai			9911	之。这个学校。" 1993年———————————————————————————————————
													14/04	「特してから士」	へ機DVヒータ	OFF							1.400	
		(基準住工)									(1995년) - 국내(191				新生产的 15- 19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-19-1	1. 2. M.						in de Arde Claig had	al and all	
二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二	モキャスタカー	C/C##	#n"-2"													3 B ()								
	(N/F位置)	C/C7	079 4 jt.												(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	4.4-1				67. 6 9 9 9 9 9		211		14999 1499
	(CZP线星)	-												64 A 44			i Anton Antonio	k el sé e e el a s						
											-	- basi		and at a			N-R			38.8.8 C.	使使使	The start		
	(FMF位星)	-											1日本人名		87. ⁻ A	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1994年 8月1日年					and the		44444
J#191.15.75.7	5-0 5	_		_								3.4.4.4				1970		11.12		ki sala	*****			1.4.4.4.4
(C)	<pre>/P)</pre>										140				2168	1.1					a contra	i felicia de	en el com	4 4 4 4
8 16 1	多送機									-		98月号号 9110月1日月 9111月	1年4月1日 1日日日	and the	i est							為時時時 1913年後月		带中于 11月 餐厅————————————————————————————————————
(R) 告はう	/T)					-			-	-				A B GAR							1994	+1	家时	使中华生态
(C)	AN)										66							1.0		garde doels	446			科相
* * *	3 *																41.	1.00				1918年1月	에는 것이다. 1995년 1월 1997년 1월 19	dog-tageda-
(U) 使用済燃料	v∈) 斗移送機		+ -							-			19-18-1941 1-1-2-18-18-	in frifige Scherker		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				1110		観察とも、		in pair anns A chuir an der
(S,	(F)										644	64.15			1 8 A 18 A		19.44	a († 4 1						
	5 40 - M																1.1111 1111	aia dia	c in the set		医白色		176	2 - 2 - 2 - 2 - 2 2 - 8 - 4 - 5 - 4
														Cik dan		1					10.2.44		11H	22433
構成等	- 末移動																	S E E		hi-have				

- 97 -

JNC TN9410 2005-003

4.5.2 燃料出入機における測定

a. 目的

燃料破損時における燃料出入機の取扱い方法を確立する。

b. 概要

燃料出入機コフィン内に試験用集合体を格納し、コフィン内のガスを循環させ、Ge 検出器による測定を行った後、ガスサンプリングを行い Ge 検出器にてFPガス濃度の 測定を実施した。また同様に、出入機における試験用集合体の取り扱い実施後において もコフィン内のガスサンプリングを行い、FPガス濃度の測定を実施した。

サンプリングには、ポリプロピレンサンプラー(500mL)及び SUS サンプラー(300mL)を使用した。この際、ポリプロピレンサンプラーは A-515 室の Ge 検出器を用い て測定し、SUS サンプラーは A-304 室の Ge 検出器を用いて、30mL ガラスバイアルに 分取または濃縮後に測定を行った。

c. 結果

燃料出入機コフィン内ガスの放射能濃度測定結果のまとめを表 4.5.2-1 に示す。また、 試験の詳細を以下に示す。

(1) 試験用集合体格納中のコフィン内ガスの Ge 検出器による測定

燃料出入機コフィン内に試験用集合体を格納し、サンプリングガス循環ラインに設置されている Ge 検出器用の 1000mL サンプラー近傍に Ge 検出器及び遮へい体を設置した。続けて、コフィン内を負圧にして積極的に FPをコフィン内に放出させた後、コフィン内ガスをサンプリングラインに循環させ、11 月 26 日 15 時 00 分より、Ge 検出器を用いて 600 秒間 γ線計測を行った。測定された γ線スペクトルを図 4.5.2-1 に示す。これより、FP核種である ¹³³Xe 及び ^{133m}Xe が計測され、燃料出入機において、格納した試験用集合体から FPガスを放出させ、これを計測可能であること確認した。

(2) 試験用集合体格納中のガスサンプリング

Ge 検出器による計測後、試験用集合体格納中の 11 月 29 日 15 時 30 分に SUS サン プラーを、同日 15 時 32 分にポリプロピレンサンプラーをサンプリングラインに接続 し、ガスサンプリングを行った。SUS サンプラー(ガラスバイアルに分取) 測定結果 及びポリプロピレンサンプラー測定結果を表 4.5.2-1 に示す。これより¹³³Xe及び^{133m}Xe が計測されており、その濃度は、約 960Bq/mL、約 12Bq/mL(SUS サンプラー測定結 果)であった。

(3) 試験用集合体払出後のガスサンプリング

試験用集合体払出後の 11 月 29 日 14 時 27 分、SUS サンプラーを、同日 14 時 29 分にポリプロピレンサンプラーをサンプリングラインに接続し、ガスサンプリングを 行った。SUS サンプラー(ガラスバイアルに分取)測定結果及びポリプロピレンサン プラー測定結果を表 4.5.2-1 に示す。これより ¹³³Xe が計測されており、その濃度は、 約 0.68Bg/mL (ポリプロピレンサンプラー測定結果) であった。

d. 今後の予定

燃料出入機により試験用集合体を炉外に払い出し、その後に燃料出入機によって新燃 料を炉内に装荷した際の11月26日17時30分~17時39分のOLGM測定結果にお いて、炉内カバーガスのFPガス濃度が急激に上昇している(4.2.2参照)。これは、本 試験において、燃料出入機で試験用集合体格納中に燃料出入機コフィン内を負圧として 積極的に放出させたFPガスが、トランスファロータ側へ放出されず残留し、新燃料を 扱う際に炉内へ放出されたためであると考えられる。しかし、この時測定されている燃 料出入機内のガスの全量が炉内カバーガス中に拡散したとしても、カバーガス中の¹³³Xe 濃度の増加量と一致しない。従って、燃料出入機のサンプリングライン中にFPガスが トラップされるような箇所があるか、または計測後、試験用集合体を燃料出入機からト ランスファーロータに移送した際にFPの追加放出があったと考えられる。しかし、原 因を特定することは困難である。

また、今回の測定値は Ge 検出器を液体線源で校正したときの効率曲線を用いて放射 能濃度を算出しており、実際のガス線源の測定値とは異なるため、今後その補正を実施 する。また、試験用集合体からのFP放出量の定性的・定量的な評価を行っていく予定 である。
表4.5.2-1	燃料出入機での希ガスの放射能濃度

		サンプラー : S	US 300mL	サンプラー : ポリプロピレン500mL				
		於	b射能濃度(Bq/ml		放射能濃度(Bq/mL)			
	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe
		$(5.2d)^{*1}$ $(2.2d)^{*1}$ $(9.1h)^{*1}$			$(5.2d)^{*1}$	$(2.2d)^{*1}$	$(9.1h)^{*1}$	
試験用集合体格納中	2004/11/26 15:30	959 (4.14) ^{*2}	$11.8 (11.7)^{*2}$		2004/11/26 15:32	955	11.8	
試験用集合体払出後					2004/11/29 14:29	0.677	_	—

注) •^{*1} 半減期を示す。

•^{*2} ()内は誤差(1σ%)を示す。

・--:有意なピークは検出されなかった。

•/:測定未実施



図4.5.2-1 燃料出入機でのγ線測定結果

4.5.3 トランスファロータにおける測定

a. 目的

燃料破損時におけるトランスファロータの取扱い方法を確立する。

b. 概要

トランスファロータタンク内において試験用集合体を格納、払出しを行った後、タン ク内のガスサンプリングを行い Ge 検出器にてFPガス濃度の測定を実施した。

サンプリングには、ポリプロピレンサンプラー(500mL)及び SUS サンプラー(300 mL)を使用した。この際、ポリプロピレンサンプラーは A-515 室の Ge 検出器を用い て測定し、SUS サンプラーは A-304 室の Ge 検出器を用いて、30mL ガラスバイアルに 分取または濃縮後に測定を行った。

c. 結果

トランスファロータ内ガスの放射能濃度測定結果を表 4.5.3-1 に示す。また、試験の 詳細を以下に示す。

(1) 試験用集合体払出後のガスサンプリング(一回目)

試験用集合体払出後にトランスファロータ内ガスを約 20 分間循環させた後、11 月 26 日 21 時 30 分、SUS サンプラーをサンプリングラインに接続し、ガスサンプリン グを行った。SUS サンプラー(ガラスバイアルに分取)測定結果では、¹³³Xe が計測さ れており、その濃度は、約 3.4Bq/mL (SUS サンプラー測定結果)であった。

(2) 試験用集合体払出後のガスサンプリング(二回目)

トランスファロータ内のガスの拡散傾向を観察するため、前回サンプリングより 3 日後の 11 月 29 日 10 時 49 分に、SUS サンプラーを、同日 10 時 51 分にポリプロピレ ンサンプラーをサンプリングラインに接続し、同様の手順でガスサンプリングを行っ た。SUS サンプラー (ガラスバイアルに分取) 測定結果及びポリプロピレンサンプラ ー測定結果では、¹³³Xe が計測されており、その濃度は、約 2.3Bq/mL (SUS サンプラ ー測定結果) であり、¹³³Xe (半減期 5.2 日)の減衰を考慮すると試験用集合体払出後 のガスサンプリング (一回目)の値とほぼ同等であった。これより、破損燃料取扱直 後に、F P ガスはトランスファロータ内でほぼ均一に希釈されているものと考えられ る。

d. 今後の予定

今回の測定値は Ge 検出器を液体線源で校正したときの効率曲線を用いて放射能濃度 を算出しており、実際のガス線源の測定値とは異なるため、今後その補正を実施する。 また、試験用集合体からのFP放出量について評価を行う。

表4.5.3-1 トランスファロータでの希ガスの放射能濃度

		サンプラー : S	US 300mL		サンプラー : ポリプロピレン500mL			
		が		放射能濃度(Bq/mL)				
	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe
		$(5.2d)^{*1}$	$(2.2d)^{*1}$	$(9.1h)^{*1}$		$(5.2d)^{*1}$	$(2.2d)^{*1}$	$(9.1h)^{*1}$
試験用集合体払出後(1回目)	2004/11/26 21:30	$3.39 (13.74)^{*2}$						\setminus
試験用集合体払出後(2回目)	2004/11/29 10:49	$2.33 (3.76)^{*2}$			2004/11/29 10:51	3.08	_	

注)・^{*1} 半減期を示す。

・^{*2} ()内は誤差(1σ%)を示す。

・- : 有意なピークは検出されなかった。

・/ : 測定未実施

4.5.4 燃料取扱用キャスクカーにおける測定

a. 目的

燃料破損時における燃料取扱用キャスクカーの取扱い方法を確立する。

b. 概要

燃料取扱用キャスクカーコフィン内に試験用集合体を格納し、コフィン内のガスサン プリングを行い Ge 検出器にてFPガス濃度の測定を実施した。また同様に、キャスク カーにて試験用集合体取り扱い実施後のコフィン内のガスサンプリングを行い、FPガ ス濃度の測定を実施した。

サンプリングには、ポリプロピレンサンプラー(500mL)及び SUS サンプラー(300 mL)を使用した。この際、ポリプロピレンサンプラーは A-515 室の Ge 検出器を用い て測定し、SUS サンプラーは A-304 室の Ge 検出器を用いて、30mL ガラスバイアルに 分取または濃縮後に測定を行った。

c. 結果

燃料取扱用キャスクカーコフィン内ガスの放射能濃度測定結果のまとめを表 4.5.4-1 に示す。また、試験の詳細を以下に示す。

(1) 試験用集合体格納中のガスサンプリング(一回目)

試験用集合体格納後、燃料取扱用キャスクカーブロワによって計測ガスを15分間循 環させた後、11月26日17時01分にSUSサンプラーを、同日17時02分にポリプ ロピレンサンプラーをサンプリングラインに接続し、ガスサンプリングを行った。SUS サンプラー(ガラスバイアルに分取)測定結果及びポリプロピレンサンプラー測定結 果を表4.5.4-1に示す。この際¹³³Xeで約1,750Bq/mL、^{133m}Xeで約23Bq/mL(SUS サンプラー測定結果)が計測され、FMFへの払い出し時の目標濃度(3.7Bq/mL)を大 きく超えており、キャスクカーのブローパージを実施することとなった(4.5.1参照)。

(2) 試験用集合体格納中のガスサンプリング(二回目)

燃料取扱用キャスクカーのブローパージ後に、試験用集合体を格納した状態でもう 一度 FMF への払い出しの目標濃度を満たすか否かの確認を行った。ガスサンプリング は、11 月 26 日 20 時 10 分に SUS サンプラーを、同日 20 時 11 分にポリプロピレン サンプラーをサンプリングラインに接続して実施した。SUS サンプラー(ガラスバイ アルに分取)測定結果及びポリプロピレンサンプラー測定結果を表 4.5.4-1 に示す。こ れより ¹³³Xe 及び ^{133m}Xe が計測されており、その濃度は、約 34Bq/mL、約 0.22Bq/mL (SUS サンプラー測定結果)であり、FMFへの払い出し時の目標濃度(3.7Bq/mL) を満たしていなかったが、FMF側との協議結果に従い試験用集合体を払い出すこと とした。

(3) 試験用集合体払出後のガスサンプリング(一回目、パージ前)

試験用集合体払出直後の11月26日22時02分、SUSサンプラーを、同日22時03 分にポリプロピレンサンプラーをサンプリングラインに接続し、ガスサンプリングを 行った。SUSサンプラー(ガラスバイアルに分取)測定結果及びポリプロピレンサン プラー測定結果を表4.5.4-1に示す。これより¹³³Xe及び^{133m}Xeが計測されており、そ の濃度は、約16Bg/mL、約0.09Bg/mL (SUSサンプラー測定結果)であった。

(4) 試験用集合体払出後のガスサンプリング(二回目、パージ後)

試験用集合体払出後で、キャスクカー本体内が十分に正常なガスに置換された後の 11月29日13時53分にポリプロピレンサンプラーをサンプリングラインに接続し、 ガスサンプリングを行った。ポリプロピレンサンプラー測定結果を表4.5.4-1に示す。 これより¹³³Xeが計測されており、その濃度は、約0.76Bq/mL(ポリプロピレンサン プラー測定結果)であった。

d. 今後の予定

今回の測定値は Ge 検出器を液体線源で校正したときの効率曲線を用いて放射能濃度 を算出しており、実際のガス線源の測定値とは異なるため、今後その補正を実施する。 また、試験用集合体からの FP 放出量の評価を行う。

		サンプラー : SUS 300mL				サンプラー : ポリプロピレン500mL				
		放射能濃度 (Bq/mL)					放射能濃度 (Bq/mL)			
	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe	採取日時	¹³³ Xe	^{133m} Xe	¹³⁵ Xe		
		$(5.2d)^{*1}$	$(2.2d)^{*1}$	$(9.1h)^{*1}$		$(5.2d)^{*1}$	$(2.2d)^{*1}$	$(9.1h)^{*1}$		
試験用集合体格納中(1回目、パージ前)	2004/11/26 17:01	$1752 (4.08)^{*2}$	$22.7 (7.06)^{*2}$	—	2004/11/26 17:02	1615	20.0	0.006		
試験用集合体格納中(2回目、パージ後)	2004/11/26 20:10	$33.5 (3.16)^{*2}$	0.220 (19.41)*2		2004/11/26 20:11	33.4	0.469	0.002		
試験用集合体払出後(1回目、パージ前)	2004/11/26 22:02	$16.0 (3.23)^{*2}$	$0.090(29.3)^{*2}$		2004/11/26 22:03	17.0	0.204			
試験用集合体払出後(2回目、パージ後)					2004/11/29 13:53	0.755				

注) •^{*1} 半減期を示す。

・^{*2} ()内は誤差(1σ%)を示す。

・- : 有意なピークは検出されなかった。

·/ : 測定未実施

4.6 ナトリウムサンプリング

a. 目的

1次系ナトリウム分析を行い、FFDL炉内試験(Ⅲ)により1次系ナトリウム中に 放出されるFP濃度を把握するため、1次系ナトリウム試料を採取する。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)に伴う原子炉の運転が終了した後、運転操作要領(OMS-20-09) に従い、1次系ナトリウムのサンプリングを実施した。

c. 結果

(1) 第1回サンプリング試料 (JNa I -04-03: 原子炉停止後)

(a) サンプリング実績工程

- ·予熱開始:11月17日 10時00分
- ・フラッシング:11月18日 10時37分~11月20日 11時41分
- ・コイル冷却:11月20日 11時51分~11月20日 15時10分
- ・コイル取外し・取付け:11月29日 9時16分~11月29日 11時49分

(b) ナトリウム採取条件

- ・フラッシング時間:49時間04分
- ・ナトリウム温度 オーバフロータンク:237.4℃、コールドトラップ:130.8℃
- ・プラギング温度 フラッシング前:123℃、フラッシング後:125.5℃
- ・採取ナトリウム重量:90.5g
- (2) 第2回サンプリング試料(JNaI-04-04:セシウムトラップ運転後)

(a) サンプリング実績工程

- ・予熱開始:11月30日 10時45分
- ・フラッシング:12月1日 10時32分~12月3日 10時35分
- ・コイル冷却:12月3日 10時45分 ~ 12月3日 13時43分
- ・コイル取外し・取付け:12月10日 13時24分~12月10日 15時06分

- (b) ナトリウム採取条件
 - ・フラッシング時間:48時間 03分
 - ・ナトリウム温度 オーバフロータンク:224℃、コールドトラップ:130℃
 - ・プラギング温度 フラッシング前:128℃、フラッシング後:129℃
 - ・採取ナトリウム重量:88.0g
- d. 今後の予定

特になし。

4.7 ナトリウム分析

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)により1次系ナトリウム中に放出される燃料物質およびFP 物質の挙動を把握するため、1次系ナトリウムの分析を行う。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)での原子炉停止後、1次系ナトリウムをサンプリングして、 冷却材中の燃料物質(²³⁸U、²³⁹Pu)およびFP物質(¹³⁷Cs)の分析を行い破損燃料の 挙動を調査した。

また、FP除去のためのセシウムトラップを運転した後、セシウムトラップの性能確 認を行うために、Cs 濃度の分析を実施した。

c. 結果

- (1) ナトリウム分析結果
- (a) 第1回サンプリング試料(JNaI-04-03:原子炉停止後)、第2回サンプリング試料(JNaI-04-04:セシウムトラップ運転後)および比較用サンプリング試料(JNaI-04-02:第2サイクル運転後)の²³⁸U、²³⁹Puおよび¹³⁷Csの分析結果を表 4.7-1に示す。
- (b) ²³⁸U 分析結果

第1回サンプリング試料の ²³⁸U 濃度は 0.0031ng/g であった。比較用サンプリング 試料の ²³⁸U 濃度は 0.0030ng/g であり有意な差は見られなかった。このことから、F FDL炉内試験(III)においてナトリウム中への燃料物質の放出はほとんど無かった と推測される。第2回サンプリング試料の ²³⁸U 濃度は 0.0046ng/g であり、第1回サ ンプリング試料および比較用サンプリング試料よりも多少高い値であった。

本試験での分析値を直近(平成16年8月 MK-Ⅲ第1サイクル終了後、燃交中) の試料の分析値(0.010ng/g)と比較すると、いずれも1/3~1/2の範囲内で低く、バ ックグランドレベル内での変動と判断できる。

(c) ²³⁹Pu 分析結果

第1回、第2回および比較用サンプリング試料の²³⁹Pu 濃度は全試料とも1.4×10⁻⁵ Bq/g 未満(検出下限値未満)であった。²³⁹Pu の放射能濃度から総Pu 重量濃度に換 算すると 0.01pg/g 未満となる。²³⁸U 分析結果と同様に、ナトリウム中への燃料物質 の放出はほとんど無かったと推測される。

(d) ¹³⁷Cs 分析結果

第1回サンプリング試料の¹³⁷Cs 濃度は0.64 Bq/g、第2回サンプリング試料は0.60 Bq/g、比較用サンプリング試料は0.50 Bq/gであった。第1回サンプリング試料の¹³⁷Cs 濃度は0.64 Bq/gであり、比較用サンプリング試料と比較すると0.14 Bq/g 増加して いるが、分析誤差(±0.11 Bq/g)と同程度の差であり、バラツキの範囲内と判断する。 また、セシウムトラップ運転前後の¹³⁷Cs 濃度を比較すると運転後で0.04 Bq/g 減少 しているが、両者の差は分析誤差の範囲内であり、セシウムトラップ運転の効果を明 確に評価するには至らなかった。今試験における分析値は、平成7年に実施したセシ ウムトラップ機能確認試験における第3回通液後(セシウムトラップ通液通算60時 間)の分析値0.42 Bq/g と同程度の低い値で推移している。

	成分	238U	$^{239}\mathrm{Pu}$	$^{137}\mathrm{Cs}$
試料名		(ng/g)	(Bq/g)	(Bq/g)
第1回サンプリ (JNa I -04-08	リング試料 3:原子炉停止後)	0.0031 (±0.0003)	<1.4×10 ⁻⁵	0.64 (±0.06)
第2回サンプリ (JNa I -04-04 プ運転後)	リング試料 L:セシウムトラッ	0.0046 (±0.0005)	<1.4×10 ⁻⁵	0.60 (±0.06)
比較用サンプリ (JNa I -04-02 運転後)	リング試料 2:第 2 サイクル	0.0030 (±0.0003)	<1.4×10 ⁻⁵	0.50 (± 0.05)

表 4.7-1 ナトリウム分析結果

1)下段()内は分析誤差を表す。

4.8 F P ガスの放出管理

4.8.1 試験時の廃ガス管理

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)中に発生する廃ガスの放出を適切に管理するため、廃ガス処 理系での廃ガス管理を行う。

b. 概要

FFDL炉内試験(Ⅲ)中に発生する廃ガスは、最終的に Ar 廃ガス処理系へ排出さ れる。その管理の方法は、Ar 廃ガス処理系ガスモニタによる廃ガス貯留への自動操作、 またはカバーガス中への有意なFPガスの放出が確認された時に手動で廃ガスタンク 貯留モードに切替えることにより行った。また、燃料破損が起こった時に放出されるF Pガスに対する廃ガス処理系ガスモニタの感度等のデータを取得するため、カバーガス パージ前、カバーガスパージ中、FFDL運転時、キャスクカー本体パージ時の適切な 時期に、廃ガス処理系ガスモニタの指示値の確認および廃ガスコンプレッサー出口側で の廃ガスサンプリングを実施した。

- c. 結果
- (1) 廃ガスタンク貯留モードに係るバルブ操作

原子炉起動からカバーガス中への有意なFPガスの放出が見られるまでは、Ar 廃ガ ス処理系ガスモニタによる廃ガス処理系バルブの自動切替操作により廃ガス管理を行 った。11月17日0時54分にカバーガス中への有意なFPガスの放出が見られたこと から、11月17日1時04分に手動による廃ガスタンク貯留モードへのバルブの切替え を行い、その状態を維持した。最終的に試験用燃料集合体をFMFに払い出し、カバー ガス中のFP濃度を低下させるカバーガスパージを11月30日11時16分~13時41 分に実施し、OLGMによる炉内カバーガス中のFP濃度が20Bq/cm³未満であること を確認した後、11月30日14時21分に廃ガス処理系バルブの自動操作に切り替えた。 これらの操作により、試験期間中にスタックからの有意なFPガスの放出は無かった。

(2) 廃ガス処理系ガスモニタの感度
 図 4.8.1-1 に廃ガス処理系サンプリング系統図を示す。
 当初、カバーガスパージ前、カバーガスパージ中、FFDL運転時、キャスクカー

本体パージ時に、廃ガスコンプレッサー出口側から廃ガスサンプリングを実施する計 画であったが、カバーガスパージ前の廃ガスコンプレッサー出口からのサンプリング を実施したところ、サンプリングボックス内のサンプリングヘッダに廃ガスが導入で きないことが確認された。調査の結果、逆止弁(V-61-178)が固着している可能性が あることから、カバーガスパージ前、カバーガスパージ中のサンプリングは実施せず、 FFDL運転時、キャスクカー本体パージ時のサンプリングを廃ガスコンプレッサー 出口側圧力計配管接続部(PI61-4)から実施することとした。

表 4.8.1-1 にFFDL運転時、キャスクカー本体パージ時に廃ガスコンプレッサー出 ロ側からサンプリングし放射性ガス濃度を測定した結果を図 4.8.1-2、図 4.8.1-3 に、 その時の廃ガスタンク入口ガスモニタ (GM-11)の指示値を示す。廃ガスタンク入口 ガスモニタ (GM-11)の指示値が有意な上昇を示したのは、キャスクカーの本体パー ジを実施している時であり、その上昇値は 1.78cps であった。しかし、この時の系統内 の圧力は-0.02MPa 程度であり、大気圧に換算した上昇値は 2.2cps 程度となる。その 時の廃ガスコンプレッサー出口側からサンプリング結果は、¹³³Xe については 4.4×10²Bq/cm³、^{133m}Xe で 5.5×10⁰Bq/cm³ あった。これらから廃ガスタンク入口ガス モニタ (GM-11)の換算定数を求めた結果は、表 4.8.1-2 に示すとおり主要核種である ¹³³Xe に対して 2.0×10²Bq/cm³/cps であり、計算での換算定数とほぼ同じ値であり、低 い感度であった。

d. 今後の予定

以上の結果、燃料破損が発生した場合の Ar 廃ガス処理系の廃ガス管理は、主要核種 である ¹³³Xe に対する感度が低いことから、ガスモニタによる廃ガス処理系バルブの自 動操作により行うことは難しいと思われる。従って、本試験時と同様にカバーガス中へ の有意なFPガスの放出が見られた時点で手動により廃ガスタンク貯留モードへの切 替えを行い、OLGMの濃度、廃ガス処理系からのサンプリングによる濃度から、廃ガ スタンク貯留を自動操作で管理できることを確認した後に、自動操作に切り換える必要 があると考える。

試料採取時期	FFDL 運転時	キャスクカー本体パージ時				
測定結果	${}^{41}\text{Ar} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{133}\text{Xe} : \underline{6.8 \times 10^1} & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{135}\text{Xe} : \underline{2.3 \times 10^0} & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{85\text{m}}\text{Kr} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{88}\text{Kr} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{133\text{m}}\text{Xe} : \underline{2.8 \times 10^0} & \text{Bq /cm^3} \\ \end{array}$	${}^{41}\text{Ar} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{133}\text{Xe} : \underline{4.4 \times 10^2} & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{135}\text{Xe} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{85\text{m}}\text{Kr} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{88}\text{Kr} : & \text{Bq /cm^3} \\ {}^{133\text{m}}\text{Xe} : \underline{5.5 \times 10^0} & \text{Bq /cm^3} \\ \end{array}$				

表 4.8.1-1 放射性ガス濃度測定結果

キャスクカー本体 ハージ 時の GM-11 の指示値	0 17
(11/26 19:41~19:45 の平均値)	9. I/Cps
キャスクカー本体ハージ 前の GM-11 の指示値	7 39cps
(11/26 19:00~19:19 の平均値)	1.00003
ト見信(感ガス系結内の圧力が_0_09MD。の信)	1. 78cps
上昇値(廃ガス系統内の圧力を大気圧(0.101MPa)に補正した値)	2. 22cps
キャスクカー本体 バージ 時の 廃ガスコンブレッサ出口 側圧力計配管接続	$4 4 \times 10^{2} B g / c m^{3}$
部(PI61-4)のガス濃度(¹³³ Xe の濃度)	
上記データからの換算定数	2. 0×10²Bq∕cm³∕cps
計算での換算定数	1. 4×10²Bq∕cm³∕cps

表 4.8.1-2 廃ガスタンク入口ガスモニタ (GM-11)の換算定数





- 117 -



図4.8.1-2 FFDL運転に伴う廃ガスタンク入口ガスモニタ(GM-11)の指示値



図4.8.1-3 キャスクカー本体パージに伴う廃ガスタンク入口ガスモニタ(GM-11)の指示値

4.8.2 廃ガス貯留タンク内貯留ガスの放出

a. 目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)中に発生する廃ガス管理を適切に行うため、廃ガス貯留タン ク内貯留ガスの放出管理を行う。

b. 概要

廃ガス貯留タンクに貯留された廃ガスは、2基目の廃ガスタンクの圧力が0.78MPa に なった時にサンプリングし、原子炉施設保安規定および茨城県原子力安全協定*1に基づ く放出量以下であることを確認した後にスタックより放出する。

(*1)·原子炉施設保安規定

排気口における廃ガス貯留タンクから放出されるFPガスの放出管理目

標值:8.1×10¹⁴Bq

·茨城県原子力安全協定

3ヶ月平均濃度: 2×10⁻²Bq/cm³

3ヶ月放出量 : 1.6×10¹⁴Bq

年間放出量 : 4.4×10¹⁴Bq

c. 結果

廃ガスタンクへの貯留は 11 月 17 日 1 時 04 分に手動による廃ガスタンク(A)の貯 留が開始され、11 月 24 日 11 時 51 分に廃ガスタンク(A)から廃ガスタンク(B)へ の切替え、11 月 30 日 13 時 03 分には廃ガスタンク(B)から廃ガスタンク(C)への 切替えが行われた。廃ガスタンク(A)および廃ガスタンク(B)の放射性希ガスの濃度 の測定結果を表 4.8.2-1 に示す。廃ガスタンク(A)のサンプリングは 11 月 29 日に実 施し、その濃度は、¹³³Xe で 3.5×10⁰Bq/cm³、^{133m}Xe で 3.4×10⁻²Bq/cm³であった。廃ガ スタンク(B)のサンプリングは 12 月 2 日に実施し、その濃度は、¹³³Xe で 7.0×10⁰Bq/cm³、 ^{133m}Xe で 4.7×10⁻²Bq/cm³であった。

廃ガスタンクからの放出に伴う廃ガスタンク(A)および(B)のサンプリングを平成 17年1月7日、廃ガスタンク(C)のサンプリングを平成17年1月20日に実施し、廃 ガスタンク(A)の放出を平成17年1月8日、廃ガスタンク(B)の放出を平成17年1 月9日、廃ガスタンク(C)の放出を平成17年1月21日に実施した。その結果を表4.8.2-2 に示す。なお、廃ガスタンク(C)については、希ガスに対して有意値は検出されなか った。廃ガスタンクからの放出量は総量で1.2×10⁷Bqであり、茨城県原子力安全協定 で定められている放出量に比べ十分低い値であった。

d. 試験期間中に放出された F P ガス放出量

- (1) 試験期間中における試験用集合体からのFPガスの放出量について、OLGMやサンプリング結果に基づき各時点でのFPガス量を算出し、廃ガス処理系バルブを手動から自動モードに切替えた11月30日時点でのFPガス量を概算した。
 - i. 試験期間中に放出された 11月 30 日時点での F P ガス量
 - (a) 有意な F P 放出と判断した時点(11月17日)(図4.8.2-1①)
 - ・FPガス濃度(133Xe、OLGMデータ);約3.0Bq/cm³
 - ・FPガス量 (133 Xe); 3.0Bq/cm $^{3} \times 6.5 \times 10^{6}$ cm $^{3} = 2.0 \times 10^{7}$ Bq
 - ・11月30日時点でのFPガス量(¹³³Xe);

$$2.0 \times 10^7 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 13} = 3.6 \times 10^6 \text{Bq}$$
 ...(i)

- (b) FFDL計測運転時(11月20日)(図4.8.2-1②)
 - ・FPガス濃度(¹³³Xe、OLGMデータ);約600Bq/cm³
 - ・FPガス量 (¹³³Xe); 600Bq/cm³×6.5×10⁶cm³ = 3.9×10⁹Bq
 - ・11月30日時点でのFPガス量(¹³³Xe);

$$3.9 \times 10^9 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 10} = 1.0 \times 10^9 \text{Bq} \quad \cdots \text{(ii)}$$

- (c) 炉内移送時(11月24日)(図4.8.2-1③)
 - ・FPガス濃度(133Xe、OLGMデータ);約2.0Bq/cm³
 - ・FPガス量 (133Xe); 2.0Bq/cm³×6.5×10⁶cm³ = 1.3×10⁷Bq
 - ・11月30日時点でのFPガス量(133Xe);

$$1.3 \times 10^7 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 6} = 5.9 \times 10^6 \text{Bq} \quad \cdots (\text{iii})$$

- (d) 燃料出入機で新燃料を炉内へ戻した時点(11月26日)(図4.8.2-1④)
 - ・FPガス濃度(¹³³Xe、OLGMデータ);約144Bq/cm³
 - ・FPガス量 (¹³³Xe); 144Bq/cm³×6.5×10⁶cm³ = 9.4×10⁸Bq

・11月30日時点でのFPガス量(133Xe);

$$9.4 \times 10^8 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 4} = 5.5 \times 10^8 \text{Bq} \quad \cdots \text{(iv)}$$

$$6.3 \times 10^8 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 4} = 3.7 \times 10^8 \text{Bq} \quad \cdots (v)$$

(f) キャスクカー本体ブローパージ(11月26日)(図4.8.2-1④)

- ・FPガス量 (¹³³Xe); 1700Bq/cm³×1.76×10⁵cm³ = 3.0×10⁸Bq
- ・11月30日時点でのFPガス量(¹³³Xe);

$$3.0 \times 10^8 \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 4} = 1.8 \times 10^8 \text{Bq} \quad \dots (\text{vi})$$

以上より、試験期間中に放出された 11 月 30 日時点でのFPガス量は、(i)~(vi) を合計して約 2.1×10⁹Bq となる。

また、上記FPガス量は、下記のとおり茨城県原子力安全協定の年間放出量等に 比べて十分小さい。

- ・茨城県へ事前説明した放出量(4.3×10¹¹Bq)の約 200 分の1
- ・茨城県原子力安全協定の年間放出量(4.4×10¹⁴Bq)の約 200,000 分の1

ii. 廃ガスタンクから放出するFPガス量

廃ガスタンクからの放出は、平成 17 年 1 月 7 日に廃ガスタンク(A)、(B)のサン プリングおよび濃度評価を行い、平成 17 年 1 月 8 日に廃ガスタンク(A)、平成 17 年 1 月 9 日に廃ガスタンク(B)の放出を行った。廃ガスタンク(A)、(B)のサンプリン グおよび濃度評価を行った平成 17 年 1 月 7 日時点でのF Pガス量は、以下のとお り約 1.3×10⁷Bq となる。 ・廃ガスタンク(A)のFPガス量(133Xe);
2.2×10⁻²Bq/cm³×160×10⁶cm³ = 3.5×10⁶Bq
・廃ガスタンク(B)のFPガス量(133Xe);
5.8×10⁻²Bq/cm³×160×10⁶cm³ = 9.3×10⁶Bq

・上記の合計; 3.5×10⁶Bq+9.3×10⁶Bq=1.3×10⁷Bq

一方、廃ガスタンク(A)、(B)のサンプリングおよび濃度評価を行った平成17年1 月7日時点での試験期間中に放出されたFPガス量は、前述した11月30日時点で のFPガス量より、CGCSでの回収分およびトランスファロータ内FPガス量(上 記i.(e))を差し引き、減衰補正した量となり、以下のとおり約1.3×10⁷Bgとなる。

・CGCS での回収分

FPガス濃度(133Xe、OLGMデータ);約2.5Bq/cm³

FPガス量 (133 Xe); 2.5Bq/cm³×6.5×10⁶cm³ = 1.6×10⁷Bq

11月30日時点でのFPガス量 (¹³³Xe); 1.6×10⁷×e^{-0.693}/_{5.245}×12 = 3.3×10⁶Bq ・廃ガスタンクから放出するFPガス量

$$(2.1 \times 10^9 - 3.3 \times 10^6 - 3.7 \times 10^8) \times e^{-\frac{0.693}{5.245} \times 37} = 1.3 \times 10^7 Bq$$

以上より、試験期間中に放出されたFPガス量と廃ガスタンクに貯留されたFP ガス量が同じであることが分かった。

(2) (1)より、本試験期間中に放出されたFPガスは、設備内の貯留が把握されているCGCSでの回収分およびトランスファロータタンク内貯留分以外は設備内に留まることがなく、ほとんどが廃ガスタンクに移行したと考えられる。

採取場所	廃ガスタンク(A)	廃ガスタンク(B)				
採取日	平成 16 年 11 月 29 日	平成 16 年 12 月 2 日				
測定結果	^{41}Ar : — Bq /cm ³ ^{133}Xe : 3.5×10^{0} Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{85m}Kr : — Bq /cm ³ ^{88}Kr : — Bq /cm ³ ^{133m}Xe : 3.4×10^{-2} Bq /cm ³	${}^{41}Ar : - Bq /cm^{3}$ ${}^{133}Xe : 7.0 \times 10^{0} Bq /cm^{3}$ ${}^{135}Xe : - Bq /cm^{3}$ ${}^{85m}Kr : - Bq /cm^{3}$ ${}^{88}Kr : - Bq /cm^{3}$ ${}^{133m}Xe : 4.7 \times 10^{-2} Bq /cm^{3}$				

表 4.8.2-1 廃ガスタンク内放射性希ガス濃度

採取場所	廃ガスタンク(A)	廃ガスタンク (B)	廃ガスタンク(C)		
採取日	平成17年1月7日	平成 17 年 1 月 7 日	平成 17 年 1 月 20 日		
測定結果	^{41}Ar : — Bq /cm ³ ^{133}Xe : $2.2 \times 10^{\cdot 2}$ Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{85m}Kr : — Bq /cm ³ ^{88}Kr : — Bq /cm ³ ^{133m}Xe : — Bq /cm ³	^{41}Ar : — Bq /cm ³ ^{133}Xe : 5.8×10^{-2} Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{85m}Kr : — Bq /cm ³ ^{88}Kr : — Bq /cm ³ ^{133m}Xe : — Bq /cm ³	^{41}Ar : — Bq /cm ³ ^{133}Xe : — Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{135}Xe : — Bq /cm ³ ^{85m}Kr : — Bq /cm ³ ^{88}Kr : — Bq /cm ³ ^{133m}Xe : — Bq /cm ³		
放出日	平成 17 年 1 月 8 日	平成 17 年 1 月 9 日	平成 17 年 1 月 21 日		
放出量	3.1×10 ⁶ Bq	8.4×10 ⁶ Bq	0 Bq		
放出総量		1.2×10 ⁷ Bq			



4.8.3 CGCS貯蔵シリンダ内貯留ガスの放出

a. 目的

CGCS運転で回収したFPの貯蔵シリンダからの放出管理を行う。

b. 概要

CGCS運転にて回収したFPは、放射能が十分減衰するまで*1貯蔵シリンダ内に貯 留した後、燃料取扱系廃ガスラインを介してスタックより放出する。

(燃料取扱系廃ガスラインへ開放後は、通常時の廃ガス管理と同様)

(*1)CGCS運転前後のOLGMの結果から求めた回収FP放射能濃度より計算にて求 める。

c. 結果

CGCSの運転により炉内カバーガス中の希ガスFP核種を回収し、放射能濃度は約 1桁減少した(4.3.1参照)。この際に回収したガスは、CGCS系統内の貯蔵シリンダ 1本に貯留した(ガス封入前後の圧力差より回収ガス量は約6L程度と考えられる)。

シリンダ内貯留ガスは、放射能を十分に減衰させた上で、廃ガスラインを通じて放出 することとしている。

d. 今後の予定

CGCS運転開始時のカバーガス中放射能濃度は、¹³³Xe(半減期 5.2 日)で約 3Bq/cc であり、貯留ガスの放射能は大きく見積もっても 2×10⁴Bq 程度である。これは、以下 に示す放出管理目標値、茨城県原子力安全協定で定める値に比べて十分に小さい。よっ て、CGCS貯蔵シリンダ内の貯留ガスの放出は、今後のプラント側の状況をみた上で、 適切な時期に放出することとする。

・ 排気口における廃ガス貯留タンクから放出される FP ガスの放出管理目標値

: 8.1×10^{14} Bq

- •茨城県原子力安全協定
 - 3ヶ月平均濃度 : 2×10⁻²Bq/cm³
 - 3ヶ月放出量 : 1.6×10¹⁴Bq
 - 年間放出量 : 4.4×10¹⁴Bq

- 5. おわりに
- (1) 試験結果

「常陽」MK-Ⅲ炉心において、燃料被覆管に人工欠陥を設けた試験用燃料集合体 を用いて燃料破損模擬試験を行い、FFD設備による燃料破損の検知、FPの除去・ 回収、FFDL運転による破損燃料集合体の同定、炉外への燃料集合体の取り出しま での一連のプラント操作を検証した。

各々の主要な結果は以下のとおりである。

- (a) FFD-CG法の監視により、燃料破損を早期に検知し、安全に原子炉を停止で きることを確認した。さらに、OLGMにより、破損燃料が新燃料であることを 判別し、RIMSでのFP分析データを取得できた。これらについて、燃焼度推 定による被疑破損燃料の絞込み等、幅広いFFDLシステムとして適用できる可 能性を示した。
- (b) CGCSによりFPを回収し、炉内カバーガスの放射能濃度を約1桁低減できた。 また、炉内カバーガスパージにより、放射能濃度を約1桁低減できた。
- (c) ナトリウムシッピング法FFDLにより、試験用燃料集合体から放出されたFP を高感度で検出でき、破損燃料集合体の同定が行えることを確認した。
- (d) 試験用燃料を原子炉から取り出し、照射燃料集合体試験施設まで安全に移送できることを示した。
- (e) 燃料出入機および燃料取扱用キャスクカーでのガスサンプリング・γ線測定によりFPを検出でき、試験用集合体であることを再確認するとともに、当該設備におけるドライシッピング法FFDLの可能性を示した。
- (2) 今後の課題

本試験結果を踏まえ、運転・操作手順の改善や設備の改造・整備等、以下に示すような課題を摘出できた。今後は、これらの課題を解決してMK-Ⅲ炉心運転に反映す

るとともに、課題の解決を含めた本試験結果を、将来のFBRの安全性の向上に反映 させていく。

- (a) 今後の運転(特に原子炉起動~出力上昇時)におけるFFD計装信号の監視については、出力上昇率を可変とした場合においてもその状態に応じたFFD設備のバックグラウンド信号を算出する方法やソークタイム変更前後の信号の変化について検討したうえで、今後運転マニュアルへ反映していく。
- (b) カバーガス中に放出されたFPの除去・回収において、CGCS運転については、本試験結果を反映して、温度制御性の向上、運転員の負担軽減等の観点から、運転手法の最適化、設備の改造・整備を行うことを検討する。また、炉内カバーガスパージにおいても、本試験結果より運転時間と効果の関係等を評価し、手順の最適化を図る。
- (c)本試験実績では、原子炉停止後、運転直以外の作業員を連続3 直体制としなかったため、原子炉停止後からFFDL計測運転開始までに3.5 日程度を要した。本試験では、スリットの位置がガスプレナム部にあり要素内のFPガスを直接シッピングできたことから、高感度でFPを計測できた。しかし、実際の燃料破損を想定すると、シッピング効率の低下によりナトリウム中のよう素(133I:半減期20h)で検出せざるを得ない場合や破損燃料を同定するまでのシッピング対象の燃料集合体本数の増大などを勘案して、FFDL計測運転準備を早期に着手できるよう、今回の経験を踏まえた燃料破損時の対応体制の強化(原子炉停止後連続3 直体制、等)が必要である。
- (d) FFDL計測運転については、1次主循環流量と燃料集合体への圧力変動を評価して、どのように運転手順に取り込むか検討し、マニュアルに反映させる。
- (e) 炉内・炉外移送時においては、ガスパージによる燃料取扱用キャスクカー内の放射能濃度低減方法、破損燃料取扱後の操作による燃料出入機から炉内へのFPガスの還流に対する評価と方策等の検討を行い、運転手順へ反映する。

6. 謝辞

高速実験炉「常陽」特殊試験FFDL炉内試験(Ⅲ)の実施及び試験の成功は、関係 者全員の協力のもとに成し得たものである。準備段階では、実験炉部特別対策委員会(第 12部会)等により審議・コメントを得ることで、より客観性のある計画、要領を作成す ることができ、また、試験期間中では、燃料材料試験部を始め、多くの方々の協力を頂 いたことに感謝致します。

付録-1

燃料カラム部破損を想定した場合の各種検討

FFDL炉内試験(Ⅲ)の試験条件(原子炉の運転条件)について、FFDL炉内試験(Ⅱ)等の実績を踏まえて検討した。本資料は、第12部会(平成16年度第2回:H16.6.10)時に提示した資料である。

1. 試験目的

FFDL炉内試験(Ⅲ)では、燃料カラム部の初期欠陥を模擬し、通常運転時と同様に原 子炉を運転して燃料破損を検知し、原子炉を停止して、破損燃料を同定し、炉外へ取り出 す。これにより、破損燃料ピンからのFP 挙動データを取得するとともに、一連のプラント運転 手順を確認する。

2. 通常運転を行った場合のFFDL炉内試験(Ⅲ)試験における原子炉停止時期の予測【別 添-1】

上記の目的に従い、通常の運転サイクルと同様に原子炉を起動、出力上昇させる。模擬 破損孔から放出された FP により FFD 設備の信号が保安規定に定める運転制限値 (FFD-CG 法:B.G×10 倍、FFD-DN 法:B.G×5 倍)に到達したら、原子炉を停止する。

FFDL炉内試験(Ⅱ)の結果から、FFDL炉内試験(Ⅲ)におけるFFD信号推移を予測すると、原子炉熱出力 55~70MWtの範囲において FFD-CG 法の計数率が運転制限値に到達するものと予想される。なお、FFD-DN 法は、スリット開口面積が小さいため、計数率の有意な上昇はない。

3. FFDL 装置による同定が可能な原子炉運転範囲 【別添-2】

FFDL 装置の y 線検出器で破損集合体の同定に必要な計数率が得られるのは、原子炉 出力 18MWt 以上(通常の出力上昇操作(5MWt/30min)後、通常停止)と予想される。した がって、上記の 55~70MWt まで出力上昇すれば、FFDL 装置により同定できる。

ただし、同定の信頼性を向上させる観点からは、試験用要素内部に FP の蓄積量が多く なるよう、できるだけ原子炉の運転を継続するのが望ましい。

4. スリットの閉塞を回避できる原子炉運転範囲 【別添-3】

FFDL炉内試験(Ⅱ)データに基づいて、燃料ーナトリウム反応生成物(FSRP)の生成に よる試験用要素のスリットの閉塞を回避できる運転範囲は、定格熱出力到達後最大約9時 間と推測されるが、FSRPの生成を抑制する観点からは運転時間を短くすることが望ましい。 これより、通常の操作で出力上昇を行い、定格熱出力に到達しても FFD-CG 法の計数率 が B.G.×10 倍に到達しない場合は、定格熱出力到達後に各種プラントデータ(FFD 設備、 OLGM、カバーガスサンプリング等)を取得した後、通常停止操作により原子炉を停止す る。

5. FFDL炉内試験(Ⅲ)における原子炉の運転方法(案)

上記 2.~4.を踏まえた上で、以下の運転案における FFDL 装置による同定について検討した。

(1) 原子炉の運転方法(案)

FFDL炉内試験(Ⅲ)の試験工程(案)を表1に示す。このうち、原子炉及びFFDL運転に係る手順は以下のとおりである。

- ① 原子炉を起動し、30MWt^{*1}まで出力上昇(5MWt/30min)
- ② 30MWt^{*1}で約3時間保持し、FFDL炉内試験(Ⅲ)の使用前検査(性能検査:燃料集合 体冷却材温度)を受検
- ③ 30MWt^{*1}からの出力上昇(5MWt/30min)
- ④ 原子炉熱出力 55~70MWtの時点で FFD-CG 法指示値が B.G.×10 倍に到達する見込み
- ⑤ 通常停止操作(5MWt/10min)により、原子炉停止
- ⑥ CGCS 運転、炉内パージ等(60時間)
- ⑦ FFDL 運転
- *1:定格熱出力時の燃料集合体出口温度が外挿でき、かつ、FFD-CG 法の計数率が運転 制限値に到達するまでに十分な余裕を見込んだ暫定値であり、今後詳細に検討して 決定する。なお、この時の FFD-CG 法指示値は約 40cps であり、運転制限値の約 1/50 と予測される。
- (2) FFDL 装置による同定

FFDL 装置による B.G.計数率は、約 1.0±0.2cps であり、同定に必要な計数率の下限は、 B.G.ゆらぎ幅の 3 倍(0.6cps)とする。

上記(1)の運転を行う場合の FFDL 計数率の推移を図1に示す。

上記(1)の運転を行う場合、FFD-CG法指示値がB.G.×10倍に到達する時点でFFDL計 数率は約8.4~13.0cps(B.G.ゆらぎ幅の42~65倍)と予測される。

表1 FFDL炉内試験(Ⅲ)実施工程(案)

	第1日目(11/11)	第2日目(11/12)	第3日目(11/15)	第4日目(11/16)	第5日目(11/17)	第6日目(11/18)	第7日目(11/19)	第8日目(11/20)	第9日目(11/21)	第10日目(11/22)	第12日目(11/24)	第14日目(11/26)	第17日目(11/29)以降
			臨界点確認·昇温	出力上昇	運転	CGCS運転	炉内パージ	FFDL運転			炉内移送	炉外移送	
原子炉出力			使 	用前検査(性能検 ▼ <u>30MW±^{*1}</u>	^{至)} 140MWt ^{*2}								
1次主冷却系 Na流量				定格流量		約1154m ³ /h							
原子炉入口 Na温度	約250°C			約350°C		約250°C							
FFDL運転						(運転前点検)	(炉上部据付)	(計測運転)	(洗浄)	(保管・据付)			
Csトラップ運転													
カバーガスパージ													
Naサンプリング													
FFDLによる測定													
FFD設備/OLGMによ る測定													
カバーガスサンプリン グ及び濃縮													
Ge検出器及びRIMSに よる測定				•									
ナトリウム分析													
燃取系での測定													
CGCS運転													

(*1)定格熱出力時の燃料集合体出口温度が外挿でき、かつ、FFD-CG法の計数率が運転制限値に到達するまでに十分な余裕を見込んだ暫定値であり、今後詳細に検討して決定する。

(*2)FFD-GG法の計数率が運転制限値(B.G.×10倍)に到達したら、保安規定に従い、原子炉を停止する。定格熱出力に到達してもFFD-CG法の計数率がB.G.×10倍に到達しない場合は、定格熱出力到達後、各種プラントデータ(FFD設備、OLGM、カバー ガスサンプリング等)を取得し、通常停止操作により原子炉を停止する。



図1 原子炉の運転方法(案)での FFDL 計数率の推移

通常運転を行った場合のFFDL炉内試験(Ⅲ)における原子炉停止時期の予測

FFDL 炉内試験(Ⅲ)の際、運転中に連続監視する FFD-DN 法、FFD-CG 法の指示値が運転 上の制限値を超える場合は、保安規定、運転要領に従って原子炉を停止する。

FFDL 炉内試験(Ⅱ)の実績から、FFDL 炉内試験(Ⅲ)において、FFD-CG 法の指示値がバッ クグラウンドの 10 倍に到達して原子炉を停止することとなる原子炉熱出力について予測した。



図 1-1 FFDL 炉内試験(Ⅲ)時の FFD-CG, DN 法指示値の推移

図 1-1 において、以下のような挙動が確認できる。なお、FFD-CG 法の検出遅れ時間は 10 分程度 と見積もって(添付-1に示す)考察した。

- ① FFD-CG 法指示値の上昇は、FFD-DN 法指示値の推移と同様の傾向で若干上昇しているが、 出力に依存するバックグランドの上昇と同程度と考えられ、大きな FP の放出はない。
 - 【~30%出力】
- ② ①以降の範囲で出力の上昇に伴う試験用要素内部の温度上昇によって FP が放出されたと推定される。運転制限値に到達するような変化ではない。【~40%出力】
- ③ FP の放出により指示値が急上昇した(900cps→7000cps)。【40~50%出力】

FFDL 炉内試験(Ⅲ)は、表 1-1 に示すとおり、線出力、温度等が FFDL 炉内試験(Ⅱ)と同程度である。これらの結果から、FFDL 炉内試験(Ⅲ)では、原子炉熱出力が約 55~70MWt 以降の範囲に
おいて運転制限値に到達するものと予想される。

	FFDL 炉内試験(I) (実績)	FFDL 炉内試験(Ⅱ) (実績)	FFDL 炉内試験(Ⅲ) (計画)
試験時期	MK-II 7' (1985 年)	MK-II 25'(1992 年)	MK-III 2'(2004 年)
スリット付燃料ピン本数	2	2	2
スリット位置	プレナム	燃料カラム中央	燃料カラム中央
運転期間 EFPD	2.06	3.33	< 0.4
被覆管最高温度℃	535	524	518
ピーク線出力 W/cm	378	394	406

表 1-1 燃料破損模擬試験仕様

上記の現象について、計数率が急上昇する前までの範囲(~40%出力)を対象に、FP 放出量、カ バーガスへの FP 移行割合、カバーガス中放射能濃度(計数率)に関する簡易計算モデルを実測結 果に基づいて作成し、それに FFDL 炉内試験(III)の FP 生成量等を用いて、FFDL 炉内試験(III) 時の FFD-CG 法計数率の変化を試算した。計算の結果、FFDL 炉内試験(II)と FFDL 炉内試験 (III)の出力(%)に対する計数率の変化は通常運転時のバックグラウンドの低下分だけ減少したもの となり、FFDL 炉内試験(III)においても、約 40%出力までの範囲においては、FFD-CG 法指示値が 運転制限値(MK-IIIでは 2000cps)に到達しないと考えられる。

簡易計算モデルによる FFDL 炉内試験(Ⅲ)予測計算

出力 (%)	FP生成量 (出力依存)	移行割合 (出力依存)	カバーガス中 放射能濃度 (Ba)	カバーガス中 放射能濃度 (Bg/cc)	138Xe計数	CG法計数 (138Xe+88Kr)	CG法計数率 (cps)
15	8.18E+12	1.30E-05	1.07E+08	1.64E+01	9.45E+03	3.78E+04	3.0
20	1.09E+13	1.61E-05	1.75E+08	2.70E+01	1.55E+04	6.22E+04	23.7
25	1.36E+13	2.01E-05	2.74E+08	4.22E+01	2.44E+04	9.74E+04	62.4
30	1.64E+13	2.52E-05	4.13E+08	6.35E+01	3.66E+04	1.47E+05	124.2
35	1.91E+13	3.14E-05	5.99E+08	9.21E+01	5.31E+04	2.13E+05	214.3
40	2.18E+13	3.86E-05	8.41E+08	1.29E+02	7.46E+04	2.99E+05	337.6





別添一2

FFDL 装置による同定が可能な原子炉運転範囲

1. 概要

FFDLの検出性を上げる観点からは、試験用要素内部のFP 蓄積量が多くなるよう、運転を継続することが望ましい。

ここでは、原子炉熱出力(5MWt~定格熱出力)をパラメータとして、FFDL で検出可能な原子炉 熱出力の下限をサーベイした。本検討においては、原子炉起動、出力上昇(5MWt/30min)を行って、 その原子炉熱出力に到達後、原子炉を通常停止操作(5MWt/10min)により停止させることとした。

2. 計算モデル

FFDL 検出特性評価モデルの概念図を 2-1 に示す。計算方法等の詳細を添付-2に示す。

- ① 燃料ペレットの FP 生成量は、ORIGEN2 解析結果を用いる。
- 燃料ペレットからの放出率(約 2.5%)は、FFDL 炉内試験(I)の実績を用いる。
- ③ シッピング操作前のピン内ナトリウム量は、原子炉停止時のピン内ガス温度降下(~250℃)に伴 う浸入量から100%→75%流量減少時の放出量を差し引いた量とする。
- ④ シッピング操作時のナトリウムサンプリング量は、操作によりピン内ガスが圧縮されることに伴う浸入量とする。
- ⑤ γ 線検出器の検出効率及びバブリングによる抽出効率は、炉外試験データを用いる。





3. 計算結果

原子炉熱出力とFFDL 計数率の関係を図 2-2 に示す。

B.G.計数率(破損なしの集合体)は約 1.0±0.2cps であり、B.G.ゆらぎ幅の 3 倍の計数率(0.6cps)を 検出下限とすると、この時の原子炉熱出力は、約 18MWt である。



図 2-2 原子炉熱出力とFFDL 計数率の関係

別添一3

スリットの閉塞を回避できる原子炉運転範囲

1. 実績データの分析(FFDL 炉内試験(Ⅱ)結果)

FFDL 炉内試験(Ⅱ)時の OLGM 測定結果について、短半減期核種(¹³⁸Xe)の挙動に着目した分析を行った(図 3-1 参照)。なお、試験用要素内の FP 放出の状態等が OLGM の指示値に現れるまでの検出遅れ時間は、添付−1に示すように 45~75 分と見積もることができる。



図 3-1 FFDL 炉内試験(II)時の OLGM 測定結果(¹³⁸Xe)

- (1) カバーガス中放射能濃度の全体推移
 - ① 原子炉熱出力の上昇に伴ってカバーガス中放射能濃度は上昇。(ナトリウム温度の上昇に伴う要素内外圧力差によるFPの放出)
 - ② カバーガス中放射能濃度は定格熱出力到達前(原子炉熱出力約 70MWt の時点)にピークとなり、それ以降はゆるやかに減少した。(試験用要素内外圧力がバランスしたことにより FP 放出の増加は止まるが、スリットは閉塞することなくFPの放出は継続している。)
 - ③ 定格出力到達時点から約9時間後(ピーク時点から約13時間後)に、カバーガス中放射能濃度の減少が一旦止まり、若干上昇するような不安定な挙動が約12時間続いた。(FPの放出は継続している。)
 - ④ 定格熱出力到達時点から約 21 時間後に、カバーガス中放射能濃度は急激に減少し、バック グラウンドレベル近傍の値となった。(試験用要素のスリットが閉塞したことによりFP放出が無く なった。)

上記①~②のカバーガス中放射能濃度の推移(上昇→ピーク→ゆるやかに下降)は、FFDL 炉 内試験(I)時のデータでも確認することができる(図 3-2 参照)。なお、FFDL 炉内試験(I)の試 験用要素のスリットは閉塞していない。

参考として、EBR-IIで実施された RTCB 試験(破損燃料の継続運転試験)においても、燃料カ ラム部を薄肉処理した試験用燃料ピンを用いた試験で、破損口の閉塞によるものと推定される FP ガス信号の低下が観測されている。



図 3-2 FFDL 炉内試験(I)時の OLGM 測定結果(¹³⁸Xe)

添付-1

FFD-CG 法の検出遅れ時間について

FP が要素から放出されてから、FFD-CG 法で検出されるまでの時間遅れを評価した。

炉容器カバーガス空間から FFD-CG 法及び OLGM までの輸送時間と各検出設備の計測時間 を図 A-1に示す。



図 A-1 FFD-CG 法及び OLGM への FP 輸送時間並びに各検出設備の計測時間

図A-1より、炉容器ナトリウム及びアルゴンガス中の移行挙動を除く検出時間遅れとその内訳は 以下のとおりとなる。

FFD-CG法(FFDL 炉内試験(II)時):約9~10分

炉容器カバーガス空間からの輸送時間: 7.7 分*1

計測時間による遅れ: 1~2分*2

FFD-CG法(FFDL 炉内試験(Ⅲ)時):約27~37分

炉容器カバーガス空間からの輸送時間: 16.7 分*1

計測時間による遅れ: 10~20分*2

OLGM:<u>14~44 分</u>

炉容器カバーガス空間からの輸送時間: 2分 計測時間による遅れ: 12~42分

- *1 コンプレッサ~FFD-CG法の流量は、FFDL 炉内試験(Ⅱ)時は現在(FFDL 炉内試験(Ⅲ)
 時)の約 2.7 倍。
- *2 FFD-CG 法のソークタイムは、FFDL 炉内試験(Ⅱ)は1分、FFDL 炉内試験(Ⅲ)時は 10 分。

① ボイド状 FP の移行モードに係る検出遅れ時間

ボイド状 FP は、要素からナトリウム中に放出された後、時間遅れは小さく、極短時間でカバー ガスに移行すると考えられる。MARICO-1の試料破断をボイド計(試料近傍に設置され、試料 からのタグガス放出時からの遅れ時間は無視できる。)と OLGM の両者で検出した結果を図 A-2に示す。2回の事象のボイド計(即ちタグガス放出時)とOLGM による検出時間差は19分と 40分であった。この結果は、炉容器カバーガス空間から OLGM までの輸送遅れ時間 14~44 分の範囲内に入る結果であり、炉容器ナトリウム及びアルゴンガス中の移行による時間遅れが 小さい(~1分)ことを示している。

したがって、ボイド状のFPの移行モードにおけるFFD-CG法の検出時間の遅れは、カバーガ ス空間移行の輸送及び計測の遅れであり、FFDL 炉内試験(Ⅱ)時で 9~10 分、FFDL 炉内試 験(Ⅲ)時で 27~37 分と推定される。



図 A-2 MARICO-1 (MK-II 第 29 サイクル)の測定結果

② ナトリウム中の FP の移行にモードに係る検出遅れ時間

MK-III 性能試験の手動スクラム試験時の FFD-CG 法データを図 A-3 に示す。原子炉停止 後、FFD-CG 法の指示値が減少を開始するまでの時間は 60 分であった。この結果から、ナトリ ウム中の FP による検出遅れ時間は最大 60 分間程度であると考えられる。



図 A-3 MK-III性能試験時の FFD-CG 法 B.G.計数率の変化に関する測定結果の例

FFDL 炉内試験(II)の FFD-CG 法データ及び OLGM データの分析に際しての検出遅れ時間は、 上記を考慮して、以下と見積もった。

・FFD-CG法(計数率上昇時データ):15分(実績 9~10 分を保守的に 15 分とした)

・OLGM(全体挙動): 15 分~75 分(Na 中からの放出の場合の最大 60 分+15 分)

添付-2

FFDL 検出特性評価に用いた計算式及び計算結果

1. 概要

原子炉熱出力(5MWt~定格熱出力)をパラメータとして、FFDL で検出可能な原子炉熱出力の 下限をサーベイした。本検討においては、原子炉起動、出力上昇(5MWt/30min)を行って、その原 子炉熱出力に到達後、原子炉を通常停止操作(5MWt/10min)により停止させることとした。 以下に、評価に用いた計算式、計算結果、等を示す。

- 2. 計算式
 - EFPD 照射直後の¹³³Iの放射能: I₀ ORIGEN2の計算結果を用いる。
 - (2) ペレットからの FP ガス放出率: R
 2.5% ※FFDL 炉内試験(I)の実績
 - (3) 1次系冷却材流量 75%時のスリット部外圧 P₁ スリット部外圧は、下記の式で算出される。

 $P_1 = P_0 + P_{Na1} + P_{Na2} + P_{Na3}$ P_0 : 大気圧(kg/cm²)

- P_{Na1} :水頭圧(kg/cm²) P_{Na2} :上部ストレーナ圧損(kg/cm²)
- P_{Na3}:スリット~ピン上端の圧損(kg/cm²)

$$\therefore \mathbf{P}_1 = 1 + 0.43 + 0.031 + 0.72 \times 0.32 \times \frac{1055}{1533} = 1.62$$

(4) シッピングポート着座時のスリット部外圧 P2

$$P_2 = P_0 + P_{Na1} + k_b \times W_b^2$$

k_b:流路ブロックの圧力損失係数(薄刃オリフィスの式^{*1})

W_b:着座時冷却材流量(kg/s);MAGI計算結果を基に算出

$$\begin{split} W_{b} = \left(\begin{array}{c} \frac{\Delta P_{f}}{k_{f} + k_{b}} \right)^{0.5} \times 0.75 \\ & \Delta P_{f} : 100\%流量時の圧力損失(kg/cm^{2}) \\ & k_{f} : 燃料ピン及びオリフィス部の圧力損失係数 (= \Delta P_{f} / W_{f}^{2}) \\ & W_{f} : 100%流量時の集合体内流量(kg/s) \\ \therefore P_{2} = 1 + 0.43 + 0.709 \times 1.379^{2} = 2.78 \end{split}$$

(*1)機械工学便覧(新版) A5 編流体工学 23-5 流量測定 参照

(5) シッピング試験前のピン内 Na 量

①原子炉停止時のピン内ガス温度降下に伴う Na 浸入量 V_{NA1} 原子炉停止後、ピン内のガス温度降下に伴い Na が浸入する。

$$V_{Na1} = V_0 (1 - \frac{T_1}{T_0})$$

V₀:燃料ピン空間部体積(cc)

T₀: ピン上部温度(K)(第1サイクル燃料集合体出口温度分布測定結果より)

T₁:原子炉停止時系統温度(K):250℃

②シッピング試験前のピン内 Na 残存量 V_{NA2}

上記 Na 浸入量 V_{NA1} から、流量減少時の放出量 V_{NA4} を差し引いた量がピン内に残存する。 $V_{Na2} = V_{Na1} - V_{Na4}$

③シッピング試験時のNa サンプリング量V_{NA3}

シッピング試験時、ピン内に存在するガスが P1 から P2 に圧縮されることにより、Na がサン プリングされる。

$$V_{Na3} = (V_0 - V_{Na2}) \times (1 - \frac{P_1}{P_2})$$

(7) シッピング試験時のピン内 Na 中の¹³³Xe 放射能

燃焼終了 60hr (2.5day) 後、FFDL 装置を運転する場合のピン内 Na 中の FP 量は、下式で算出 される。

 $Xe = Xe(60hr) \times I_0 \times R \times g_0$

Xe(60hr): 60 時間後のピン内 Na 中の Xe 濃度

I₀: EFPD 照射直後の¹³³I の放射能(Bq)

R:ペレットからの FP ガス放出率

 $g_0: ピン内 Na の残存率 ((V_{Na1}-V_{Na2}) / V_{Na1})$

(8) FFDL 装置の採取効率: η₁下式により算出される。

Na 採取量:5kg S/AのNa 流量:2.824kg/s FFDLのNa 採取時間:5分とする。

$$\eta_1 = \frac{5}{2.824 \times 60 \times 5} = 5.902 \times 10^{-3}$$

(9) FFDL ナトリウムタンク内に抽出される¹³³Xe 抽出量

FFDL 炉内試験(Ⅲ)では、燃料中心部にスリットが設けられており、FFDL 運転時のピン内 Na 液面はスリットより上部となる。そのため、シッピングによりピン内の Na が採取されるこ とから、FFDL ナトリウムタンク内に抽出される¹³³Xe 抽出量は、下式により算出される。

¹³³Xe 抽出量=Xe×V_{Na3}/ (V_{Na3}+V_{Na2}) × η_1

(10) 計数率:C

C =
$$\frac{\eta_2 \times \eta_3 \times^{133} \text{Xe}$$
抽出量}{V_1}
 η_2 : NaI 検出器の検出効率 (=0.405(cps/Bq/cc)^{*2})
 V_1 : 循環ガス体積 (10000cc)
 η_3 : バブリングによる抽出効率 (0.9)
(*2) 炉外試験データより

3. 計算結果

2章に示す計算式を基にして、原子炉熱出力(5MWt~定格熱出力)をパラメータとして算出した FFDL計数率を表1に示す。

表1 原子炉出力をパラメータとしたFFDL計数率算出結果

Qr(MWt)	75%流量時のスリット 部外圧: P1(kg/cm2)	シッピングポート着座 時のスリット部外圧: P2(kg/cm2)	原子炉停止時の ピン内ガス温度降 下に伴うNa浸入 量 : VNa1(cc)	シッピング試験前 のピン内Na残存 量:VNa2(cc)	シッピング試験 時のNa浸入 量: VNa3(cc)	スリット部外圧 の低下によ る放出Na 量: VNa4(cc)	Xe (60)	ピン内Na 中残存率	^{ペレットから} のFP放出率	FFDL装置の採 取効率 : η1	Nal検出 器の検出 効率: η2(cps/ (Bq/cc))	バブリング による抽 出効率: η3
5	1.62	2. 78	1. 74	1.22	3. 75	0. 52	3. 60E-03	0. 299	0. 025	5.90E-03	0. 405	0. 9
10	1.62	2. 78	1.84	1.32	3. 70	0. 52	3. 60E-03	0. 283	0. 025	5.90E-03	0.405	0. 9
15	1.62	2. 78	1.94	1. 42	3.66	0. 52	3. 60E-03	0. 269	0. 025	5.90E-03	0. 405	0.9
20	1.62	2. 78	2.03	1.51	3.62	0. 52	3. 60E-03	0. 256	0. 025	5.90E-03	0. 405	0. 9
25	1.62	2. 78	2. 12	1.60	3. 59	0. 52	3. 60E-03	0. 245	0. 025	5.90E-03	0. 405	0. 9
30	1.62	2. 78	2. 21	1.69	3. 55	0. 52	3. 60E-03	0. 235	0. 025	5.90E-03	0. 405	0.9
40	1.62	2. 78	2. 38	1.86	3. 48	0. 52	3. 60E-03	0. 219	0. 025	5.90E-03	0. 405	0. 9
50	1.62	2. 78	2. 53	2.01	3. 42	0. 52	3. 60E-03	0. 206	0. 025	5.90E-03	0. 405	0.9
60	1.62	2. 78	2. 68	2.16	3.35	0. 52	3. 60E-03	0. 194	0. 025	5.90E-03	0.405	0.9
70	1.62	2. 78	2.82	2.30	3. 29	0. 52	3. 60E-03	0. 184	0. 025	5.90E-03	0.405	0.9
140	1.62	2. 78	3. 64	3. 12	2.95	0. 52	3. 60E-03	0. 143	0. 025	5.90E-03	0.405	0. 9

Qr(MWt)	1331放射能(EFPD 照射直後)(Bq)	ピン内Na中のI放 射能(Bq)	60時間後のピン 内Na中Xe放射能	Xe抽出量(Bq)	計数率(cps)
5	9. 07E+09	2. 27E+08	2. 44E+05	1. 09E+03	0. 04
10	4. 86E+10	1.22E+09	1. 24E+06	5. 39E+03	0. 20
15	1. 11E+11	2. 77E+09	2. 68E+06	1. 14E+04	0. 42
20	2. 18E+11	5. 45E+09	5. 02E+06	2. 09E+04	0. 76
25	3. 54E+11	8. 84E+09	7. 80E+06	3. 18E+04	1.16
30	6. 41E+11	1.60E+10	1. 36E+07	5. 42E+04	1. 98
40	1. 07E+12	2. 68E+10	2. 11E+07	8. 13E+04	2.96
50	1. 86E+12	4. 66E+10	3. 45E+07	1. 28E+05	4. 67
60	2. 86E+12	7. 14E+10	4. 99E+07	1. 79E+05	6. 54
70	4. 09E+12	1.02E+11	6. 78E+07	2. 36E+05	8.59
140	1. 62E+13	4. 05E+11	2. 08E+08	5. 98E+05	21.81

※燃料ピン空間部体積

$$V_{0} = V_{1} + V_{2} + V_{3}$$

$$= \frac{\pi (0.55 - 0.35 \times 2)^{2}}{4} \times 52.5 + \frac{\pi [(0.55 - 0.35 \times 2)^{2} - 0.4^{2}]}{4} \times 5.5 + \frac{\pi [(0.55 - 0.35 \times 2)^{2} - 0.45^{2}]}{4} \times 18.3$$

$$= 9.5 + 0.3 + 0.4 = 10.2 \text{ cc}$$

添付-3

FFDL 炉内試験(Ⅱ)における燃料ペレット・ナトリウム反応に関する検討

1. はじめに

FFDL 炉内試験(Ⅱ)(約 3.3EFPD)では燃料ペレットとナトリウムの反応生成物 (FSRP)が開口部を閉塞させてしまい、FFDL 装置の性能確認に必要な試験データを 取得できなかった。

そこで、FFDL 炉内試験(Ⅲ)の燃料ピン仕様、開口、運転パターン等は FFDL 炉内試験(Ⅱ)と同等であることから、FFDL 炉内試験(Ⅱ)における燃料ペレットとナトリウム との反応挙動を検討した。

		FFDL 炉内試験(Ⅱ) (実績)	FFDL 炉内試験(Ⅲ) (計画)	
試験時期		MK-II 25'cy(1992 年)	MK-III 2'cy(2004 年)	
スリット付燃料ピン本数		2	2	
スリット位置		燃料カラム中央	燃料カラム中央	
運転期間	EFPD	3.33	< 0.4	
被覆管最高温度	°C	524	518	
ピーク線出力	W/cm	394	406	

表1 FFDL 炉内試験(Ⅱ)及び FFDL 炉内試験(Ⅱ)の試験仕様

2. データベース

FFDL 炉内試験(Ⅱ)の横断面光学顕微鏡写真(金相写真)を図1~図5に示す。図2、 図4、図5はいずれも燃料カラム部中心付近の金相写真である。図2と図4はスリット あり、図5はスリットなしである。さらに、OLGM 信号データ(カバーガス中のFP 核 種濃度)を図6に示す。

3. FFDL 炉内試験(Ⅱ)用燃料の組織変化の特徴

- ① 燃料カラム中心部の図2、図4、図5を比較すると、スリットの有無によって原子 炉起動時の亀裂の生成と燃料ペレット中心部における結晶粒成長に顕著な差がある。 スリットありの燃料ピンでは出力上昇段階で既に燃料ピン内部にナトリウムが侵入 しており、燃料ペレットと被覆管の熱伝達を改善していたと判断できる。
- ② スリットありの燃料ピンでは、燃料ペレット外周部においてナトリウムとの反応領域が同心円状に発達しており、FSRP は短期間照射時において特徴的な燃料ペレット外周部の粒界に沿った網目状の生成を示す。
- ③ 図2と図4の燃料カラム部中心付近では燃料ペレットと被覆管とのギャップ幅は ほとんど認められず、要素の内側領域で原子炉停止時に生じた周方向の亀裂が観察さ

れる。照射終了時(100%出力時)は燃料ペレットと被覆管は密着して、ギャップは 閉塞していたと推定される。

4. OLGM 信号データを加えた FFDL 炉内試験(Ⅱ)の時系列的考察

(1) 区間A(図6)

- 観察: 原子炉出力の上昇によって信号値が急上昇し、出力との直線関係は成立してい ないが、出力変化への応答もよい。
- 考察: 出力上昇速度と計数率変化の大きさはよく対応しており、プレナムガス圧力の 上昇による開口部からの放出速度の増大を示唆している。 出力上昇によるプレナムガス圧力の増大は次第に飽和するため、OLGM 信号

データは100MWt 到達前に減少傾向に転じている。同様の現象は、プレナム部に 開口を設けた FFDL 炉内試験(I)でも観察されている。

なお、出力の上昇は燃料ペレット温度を上昇させるので、燃料ペレットとナト リウムとの反応は出力の上昇とともに指数関数的に大きくなり、放出速度に影響 している推定される。具体的な効果は下記のとおりである。

- ⑤ 燃料ペレットの微小割れによる表面積の増大による、FP 放出速度の増加
- ② 燃料ペレットとナトリウムとの接触面(表面)付近における FSRP の生成と 成長による先行核種の拡散放出の促進による、FP 放出速度の増加

(2) 区間 B (図 6)

- 観察: 100MWt (MK-II 炉心 100%出力) 到達後は、短半減期核種である¹³⁷Xe、¹³⁸Xe の信号値がほぼ単調に減少している。
- 考察: 出力の上昇によるプレナムガス圧力の増大効果がなくなり、燃料ペレットとナ トリウムとの反応の効果(@)が増して放出速度が減少し、短半減期核種の信号 値を減少させていると推定される。

(3) 区間C(図6)

- 観察: 短半減期核種の信号の単調減少から転じて、増大、低下の不規則な発生が認め られる。
- 考察: 出力調整等の外乱により燃料ペレットに割れが生じて実効的な表面積が増大 し(⑤)、開口部からの放出量が増大するとともに、新たに生じた割れが FSRP 生成によって塞がり、放出量は低下するといった挙動が繰り返されていると予想 される。つまり、燃料ペレットと被覆管のギャップはかなり小さくなっているが、 完全な密着状態には至っていない段階と推定される。

(4) 区間 D (図 6)

- 観察: 11/27の15時過ぎに短半減期核種の信号値がほぼバックグラウンドレベルとなった。その後は出力調整を行っても有意な信号値の変化は認められない。
- 考察: バックグラウンドへの収束と安定化は、開口部の閉塞に至った(燃料ペレット と被覆管のギャップが塞がった)結果と推定される。



図1 F3Bスリット付きピン(H1P1)(燃料上端部)



図2 F3Bスリット付きピン(H1P1)(燃料中央部)



図3 F3Bスリット付きピン(H1P1)(燃料下端部)



図4 F3Bスリット付きピン(H1P2)(燃料中央部)



図5 F3Bスリットなしピン(燃料中央部)



図6 OLGM信号の推移