

玄海原子力発電所4号機
原子炉出力降下中における一時的な運転上の制限逸脱について
(出力領域半径方向中性子束偏差大警報発信)

1 事象概要 (添付資料-1、2)

玄海原子力発電所4号機(加圧水型軽水炉、定格電気出力118万キロワット、定格熱出力342.3万キロワット)は、第16回定期検査のため、2024年3月26日18時26分から出力降下中のところ、20時32分に原子炉出力が不均一になったことを示す警報「出力領域半径方向中性子束偏差大」^{*}が発信した。直ちに炉外中性子束検出器(N-41~N-44)^{*}(以下「NIS検出器」という)の指示値を確認したところ、N-44の1/4炉心出力偏差^{*}(以下「出力偏差」という)が1.02を超えていることを確認した。

このため、20時32分に保安規定第1編第32条に定める「1/4炉心出力偏差」について運転上の制限(以下「LC0」という)の逸脱を判断した。

その後、20時40分に警報が復帰し、出力偏差が1.02以下となったことを確認したことから、LC0逸脱から復帰したと判断した。

なお、本事象発生時の出力偏差の最大値は1.022(+2.2%)であった。また、事象発生時の原子炉出力は約66%であり、事象発生後も出力降下を継続し保安規定で要求される原子炉出力以下で推移したことから炉心の安全性に問題はなかった。

本事象による環境への放射能の影響はない。

※原子炉運転中は、原子炉の外側の上部及び下部にそれぞれ4つ設置している「炉外中性子束検出器(N-41~N-44)」にて、炉内で核分裂によって生じる中性子のうち炉外に透過してきた中性子の数を計測することで原子炉出力を監視している。

また、原子炉内の半径方向で燃料が均質に燃焼していることを確認するため、「1/4炉心出力偏差」(各検出器の指示値が4つの検出器の平均値に対してどの程度の偏差があるかを示すもの)を管理している。

それぞれの検出器の指示値(原子炉出力)の偏差が2%を超えると「出力領域半径方向中性子束偏差大」が発信する。

$$\text{1/4炉心出力偏差} = \frac{\text{各領域の原子炉出力 (各位置の炉外中性子束検出器の指示値)}}{\text{4つの領域の原子炉出力の平均 (4か所の炉外中性子束検出器の指示値の平均)}}$$

2 時系列

2024年3月26日（火）

18:26 第16回定期検査のため出力降下を開始

20:32 「出力領域半径方向中性子束偏差大」（上部）警報発信
（N-44 指示値：1.02、原子炉出力約66%）

20:32 LCO 逸脱判断
保安規定に定める要求される措置を実施（出力降下を継続）

20:39 「出力領域半径方向中性子束偏差大」（下部）警報発信
（N-44 指示値：1.02、原子炉出力約65%）

20:40 「出力領域半径方向中性子束偏差大」（上部、下部）警報復帰
LCO 逸脱復帰判断

22:11 原子炉出力が LCO の対象外となる 50%に到達

2024年3月27日（水）

1:00 発電機解列

4:00 原子炉停止

3 原因調査内容

「出力領域半径方向中性子束偏差大」警報が発信した原因について、以下のとおり調査を実施した。

(1) 炉外中性子束検出器の健全性確認 (添付資料-3~4)

a. 前回定期検査時の点検調査結果

前回（第15回）定期検査時において、N-44 の検出器と信号ケーブルの絶縁抵抗及び静電容量を測定した結果は、全て判定基準を満足しており、問題のないことを確認した。

b. 今回定期検査時の点検調査結果

今回（第16回）定期検査時において、N-44 の検出器と信号ケーブルの絶縁抵抗及び静電容量の測定並びに入出力特性試験を実施し、全て判定基準を満足しており、問題のないことを確認した。

c. プラント運転中の点検調査結果

今サイクルのプラント運転中に適宜、炉内出力分布測定を実施（計15回）し、その結果から炉内外核計装照合校正を2回（2023年2月12日、2023年8月24日）実施している。その結果はいずれも許容誤差範囲内であり、問題のないことを確認した。

d. NIS 検出器取替状況

点検計画に基づき、4サイクル毎に NIS 検出器の取替を実施しており、N-44 は至近で、第12回定期検査（2019年7月）にて取替を行っている。なお、今回（第16回）定期検査時において、点検計画に基づき取替を実施した（2024年3月30日）。

e. 停止時の NIS 検出器と炉内温度の挙動 (添付資料－ 1 1)

NIS 検出器と関連パラメータである炉内温度について挙動を確認した結果、出力降下に伴い、炉外の NIS 検出器の N-42, N-44 側が増加傾向、N-41, 43 側が減少傾向を示しており、炉内温度においても同様の挙動を示していることから、炉外で計測する NIS 検出器に異常がないことを確認した。

(2) 運転操作実績 (添付資料－ 5)

a. 運転操作及び手順の確認

出力降下操作のための制御棒挿入及び 1 次冷却材のほう酸添加は社内基準どおりに適切に行っており、問題のないことを確認した。

b. 関連パラメータの確認

関連パラメータ（発電機電力・電圧・周波数、出力領域上部／下部中性子束、主蒸気流量・主給水流量）に有意な変化はなく、問題のないことを確認した。

c. 出力降下レート変更の影響の確認

出力降下についてはステージ毎に出力降下レートが異なるが、出力降下レートの違いによる出力偏差に大きな差はないことを確認した。

(3) 制御棒動作実績

a. 制御棒の動作状況

出力降下中においては、制御棒の挿入状態をステップカウンタ及び制御棒位置指示装置により確認しており、異常はなく、警報の発信もなかった。

(4) 炉心状態 (添付資料－ 6 ～ 1 0)

a. 取替炉心の設計

起動前に実施した保安規定に基づく今サイクルの取替炉心の安全性確認項目について、解析値を改めて確認した結果、各解析値が制限値内であり、炉心の設計に問題のないことを確認した。また、プラント運転中の定期的な炉内出力分布測定結果も原子炉の安全性を確認するためのパラメータ (F_Q 、 $F_{\Delta H}^N$ *) が制限値を満足しており、問題がないことを確認した。

※ F_Q (熱流束熱水路係数) : 炉内における局所的な最大出力と平均出力の比

$F_{\Delta H}^N$ (核的エンタルピ上昇熱水路係数) : 炉内における燃料棒の最大出力と平均出力の比

b. 炉心の燃焼状態

今サイクル運転中の出力偏差は、炉内出力分布測定の結果に大きな差がなく、また領域間での違いがないことを確認した。今サイクル停止前

の炉内出力分布測定（2024年3月6日）においても、N-44側の領域は他の領域と比較しても大きな出力偏差はなかった。

また、今サイクル運転中1回目の炉内外核計装照合校正後のN-44の指示値は、他の検出器よりも僅かに高くなる傾向を示していることを確認した。今サイクル運転中2回目の炉内外核計装照合校正後、N-44の指示値が上部で僅かに正側、下部で僅かに負側を推移していた。

c. 出力降下前の炉心状態

今サイクル停止前の炉内出力分布測定（2024年3月6日）において、炉内の出力偏差は、N-44側で-0.2%であった。その際の炉外のN-44の出力偏差は上部側が+0.3%程度、下部側が-0.2%程度であった。

今サイクル中期から停止前（2023年10月11日：サイクル燃焼度約10,000MWd/tから2024年3月6日：サイクル燃焼度約15,000MWd/t）までの炉内出力分布測定で得られた炉内の出力偏差の推移は、N-41側とN-43側が正側、N-42側とN-44側が負側へ緩やかに変動している傾向が見られ、最大の変動でもN-44側が0.0%から-0.2%へ低下した小さなものであった。この炉内出力偏差の傾向を踏まえ、2024年3月6日時点において、今サイクル停止前の炉内出力分布測定時（2024年3月6日）から出力降下までの約3週間は、炉内の出力偏差は変動しないと予想したことから、炉内から透過してきた中性子の数を測定している炉外の出力偏差も変動せず、制限値(1.02)に対して余裕があると判断した。

実際の出力降下前（2024年3月26日）においても、炉外のN-44の出力偏差は上部側が+0.3%程度、下部側が-0.2%程度で、2024年3月6日の値から変動していなかった。

d. 出力偏差の拡大と原子炉出力の揺らぎ

通常運転の状態から、NIS検出器の指示値（原子炉出力）には常に揺らぎがある（添付資料-10参照）。また、出力降下時においては出力偏差の拡大傾向が確認されている（添付資料-1（2/2）参照）。

今回の出力降下時においても、同様の挙動（出力偏差の拡大とNIS検出器の指示値（原子炉出力）の揺らぎ）を示していたことを確認した。また、それらの値については想定している変動範囲内ではあるものの、比較的大きな値が一時的に重なっていたことを確認した。

以上より、炉外中性子束検出器、運転操作実績、制御棒動作実績、炉心状態に異常がなかったことを確認した。

4 推定原因及び対策

本事象は、出力降下時においてNIS検出器の出力偏差の拡大とNIS検出器

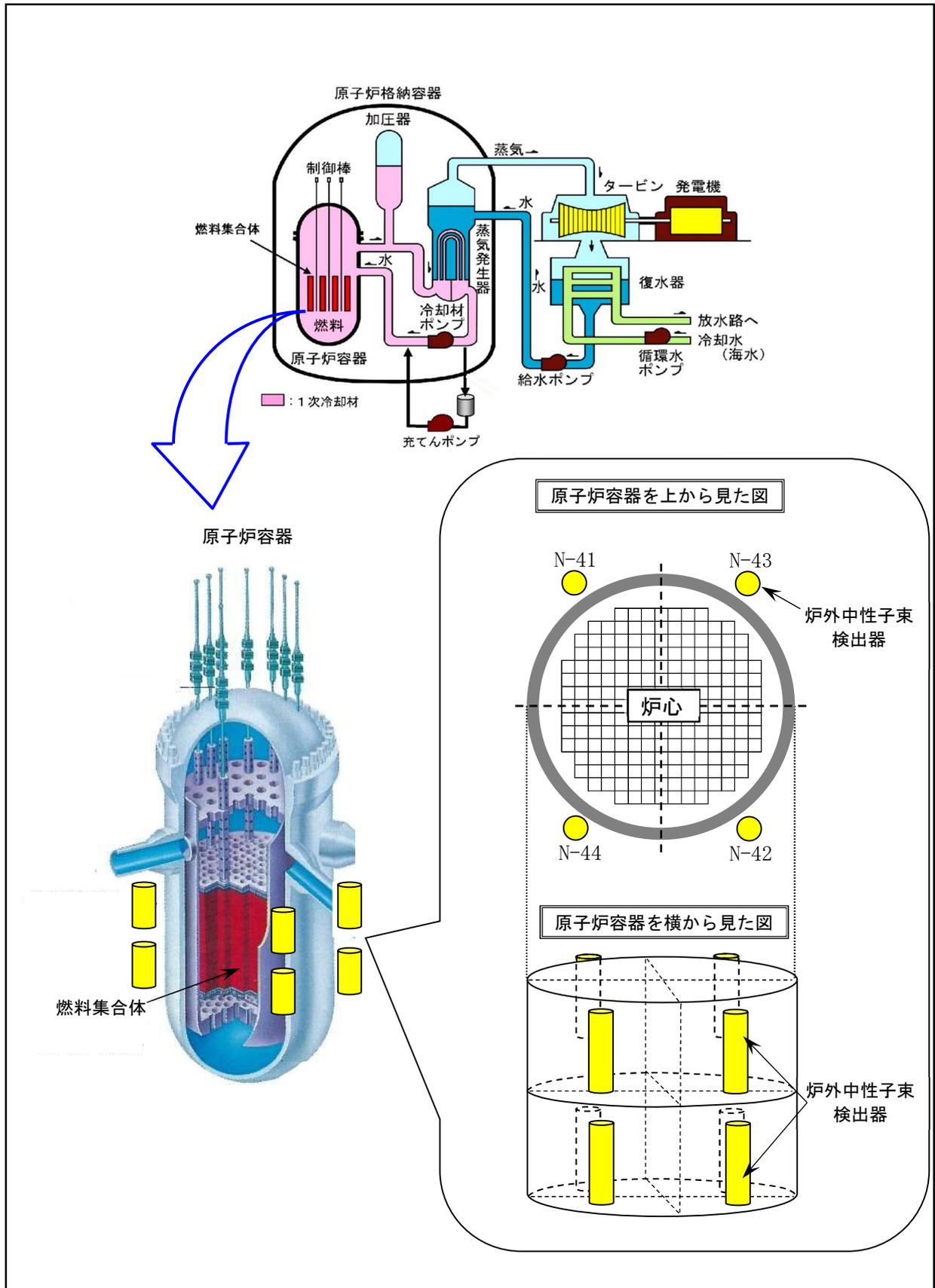
の指示値（原子炉出力）の揺らぎが、想定している変動範囲内ではあるもののそれぞれが大きな値となる状態が重なったことで、最も正側に推移していた N-44 の指示値が一時的に警報値（1.02）を超過したため、警報発信に至ったものと推定される。

今後の対策として、定期的（1回/月）に実施している炉内出力分布測定に加え、定期検査における計画的な出力降下前に炉内出力分布測定を行い、炉内の出力偏差の変化傾向及び出力降下中の炉心の安全性に余裕があることを確認した上で、原則、炉内外核計装照合校正を実施する。

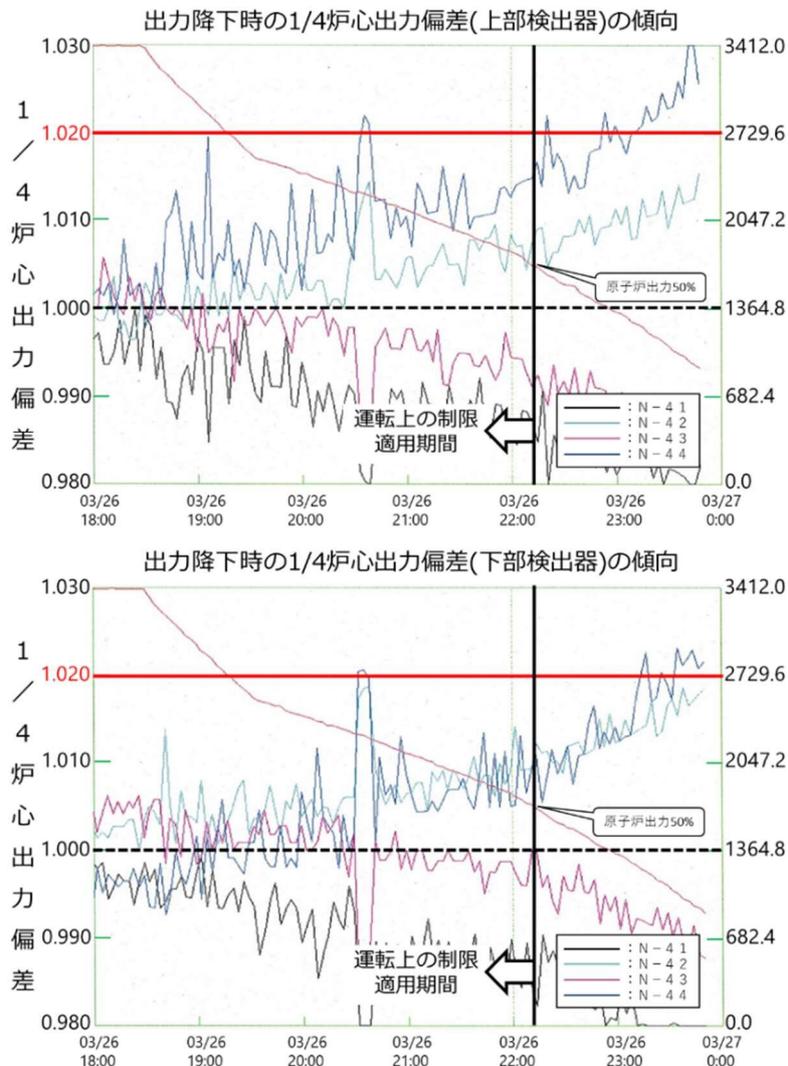
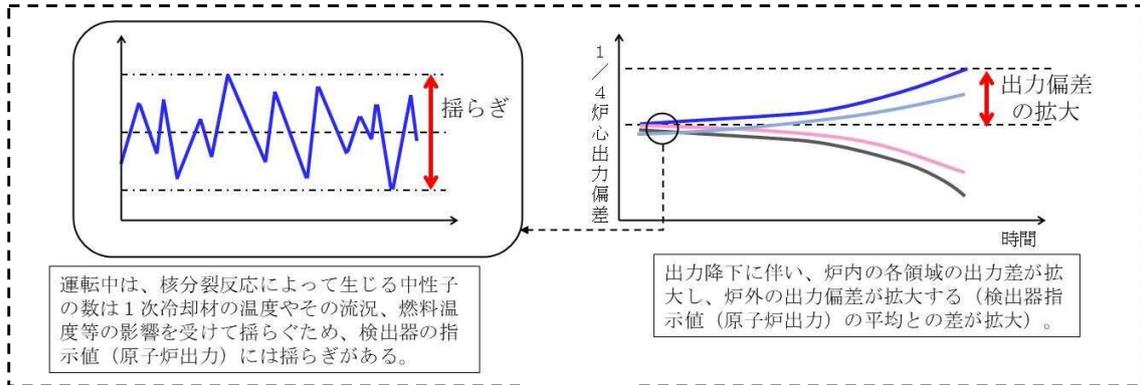
添付資料

1. 炉外中性子束検出器概要図、事象概要図
2. 玄海原子力発電所原子炉施設保安規定第 32 条（抜粋）
3. 定期検査時における NIS 検出器（N-44）点検調査結果
4. 通常運転時における NIS 検出器（N-44）点検調査結果
5. チャート（発電機電力・電圧・周波数、出力領域上部／下部中性子束、主蒸気・主給水流量）
6. 事象発生時の出力領域上部／下部中性子束出力偏差トレンド
7. 今サイクル取替炉心の安全性確認結果
8. 今サイクル炉内出力分布測定結果
9. 今サイクル停止前の炉内出力分布測定結果
10. 今サイクル運転中の NIS 検出器指示値推移
11. 今サイクル停止時における炉内温度偏差と 1/4 炉心出力偏差（上部）の比較

炉外中性子束検出器概要図



事象概要図



出力降下時において NIS 検出器の出力偏差の拡大と検出器の指示値（原子炉出力）の揺らぎが、想定している変動範囲内ではあるもののそれぞれが大きくなる状態が重なったことで、最も正側に推移していた N-44 の指示値が一時的に警報値（1.02）を超過。

玄海原子力発電所原子炉施設保安規定第 32 条（抜粋）

（1/4 炉心出力偏差）

第 32 条 モード 1（原子炉熱出力が 50%を超える）において、1/4 炉心出力偏差は、表 32－1 で定める事項を運転上の制限とする。

2 1/4 炉心出力偏差が前項で定める運転上の制限を満足していることを確認するため、次号を実施する。

(1) 発電第二課当直課長は、モード 1（原子炉熱出力が 50%を超える）において、1 週間に 1 回、1/4 炉心出力偏差を確認する。

ただし、出力領域上部中性子束偏差大を検知する警報又は出力領域下部中性子束偏差大を検知する警報が動作不能である場合、12 時間に 1 回、1/4 炉心出力偏差を確認する。また、出力領域中性子束計装からの 1/4 炉心出力偏差への入力が動作不能な場合、以下により 1/4 炉心出力偏差を確認する。

ア 発電第二課当直課長は、原子炉熱出力が 75%未満で、出力領域中性子束計装 1 チャンネルからの 1/4 炉心出力偏差への入力が動作不能な場合、1 週間に 1 回、残りの 3 チャンネルによる計算結果により確認する。

イ 技術第二課長は、原子炉熱出力が 75%未満で、出力領域中性子束計装 2 チャンネル以上からの 1/4 炉心出力偏差への入力が動作不能な場合、1 週間に 1 回、炉内出力分布測定結果により確認し、その結果を発電第二課当直課長に通知する。

ウ 技術第二課長は、原子炉熱出力が 75%以上で、出力領域中性子束計装 1 チャンネル以上からの 1/4 炉心出力偏差への入力が動作不能な場合、12 時間に 1 回、炉内出力分布測定結果により確認し、その結果を発電第二課当直課長に通知する。

3 発電第二課当直課長は、1/4 炉心出力偏差が第 1 項で定める運転上の制限を満足していないと判断した場合、表 32－2 の措置を講じるとともに、技術第二課長及び保修第二課長に通知する。通知を受けた技術第二課長及び保修第二課長は、同表の措置を講じる。

表 32－1

項目	運転上の制限
1/4 炉心出力偏差	1.02 以下であること

表 32-2

条 件	要求される措置	完了時間
A. 1/4 炉心出力偏差が運転上の制限を満足していない場合	A.1 発電第二課当直課長は、1/4 炉心出力偏差の 1.00 からの超過分 1% 当たり、原子炉熱出力を 100% から 3% 以上下げる。	2 時間
	及び A.2 発電第二課当直課長は、1/4 炉心出力偏差を確認し、A.1 措置後の状態から更に増加する傾向にある場合は、再度 A.1 の措置を講じる。	12 時間 その後の 12 時間に 1 回
	及び A.3 技術第二課長は、炉内出力分布測定を行い、 $F_Q(Z)$ 及び $F_{\Delta H}^N$ が運転上の制限を満足していることを確認し、その結果を発電第二課当直課長に通知する。	24 時間 その後の 1 週間に 1 回
	及び A.4 技術第二課長は、安全解析の再評価を行い、その結果が運転期間を通じて有効であることを確認し、その結果を発電第二課当直課長に通知する。	原子炉熱出力が A.1 の措置で制限される値を超える前
	及び A.5 保修第二課長は、1/4 炉心出力偏差をなくすように出力領域中性子束計装を調整し、その結果を発電第二課当直課長に通知する ^{※1} 。	原子炉熱出力が A.1 の措置で制限される値を超える前
	及び A.6 技術第二課長は、炉内出力分布測定を行い、 $F_Q(Z)$ 及び $F_{\Delta H}^N$ が運転上の制限を満足していることを確認し、その結果を発電第二課当直課長に通知する ^{※2} 。	原子炉熱出力 100% 到達後の 24 時間以内 又は 原子炉熱出力が A.1 の措置で制限される値を超えた後の 48 時間以内のいずれか早い方
B. 条件 A の措置を完了時間内に達成できない場合	B.1 発電第二課当直課長は、原子炉熱出力を 50% 以下に下げる。	4 時間

※1 : A.5 の措置は、A.4 の措置が完了後に実施すること。

※2 : 条件 A に至った場合は、1/4 炉心出力偏差が制限値内に回復しても、A.6 の措置を完了しなければならない。

定期検査時におけるNIS検出器(N-44)点検調査結果
(前回(第15回))

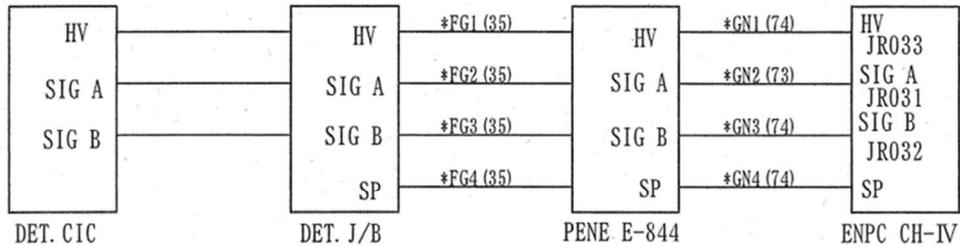
3. 出力領域検出器

【検出器・三重同軸ケーブル絶縁抵抗、静電容量測定】

測定者		作業実施者	
実施年月日	2022/10/15	転記者	

解列後実施
温度: 24℃ 湿度: 40%

出力領域 N-44



ケーブルNoの「*」は、RA06に読み替える。()内は、長さ(m)を示す。

測定箇所及び印加電圧

	測定箇所	C-I	I-0	0-E	I-E
HV	印加電圧	1000V	100V	500V	500V
SIG A, B	印加電圧	1000V	100V	500V	

測定値

判定:良

測定箇所	絶縁抵抗値(Ω)			静電容量(nF)	
	C-I	I-0	0-E	C-I	I-0
HV	5.43×10^{11}	8.50×10^9	8.65×10^9	10.5	72.2
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		
SIG A	8.10×10^{11}	8.06×10^9	9.67×10^9	8.77	72.4
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		
SIG B	8.07×10^{11}	8.32×10^9	9.38×10^9	9.09	72.2
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		

I-E 7.49×10^9 (Ω) 規格: 1.0×10^7 以上

・測定値の下段は規格を示す。なお、静電容量は参考値である。

テストケーブル	絶縁抵抗値(Ω)		静電容量(pF)
C-I	at1000V: 1.0×10^{13} 以上	3.17×10^{13}	47.8
I-0	at100V: 1.0×10^{12} 以上	8.77×10^{12}	346

試験器: スーパーメガ (3422-13-01), LCRメータ (3422-22-01)

NIS検出器と信号ケーブルの絶縁抵抗及び静電容量を測定した結果、全て判定基準を満足していることを確認した。

定期検査時におけるNIS検出器(N-44)点検調査結果
(今回(第16回))

3. 出力領域検出器

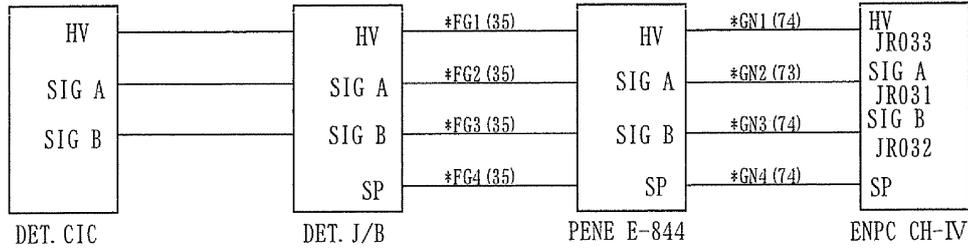
【検出器・三重同軸ケーブル絶縁抵抗、静電容量測定】

測定者		作業実施者	
実施年月日	2024/3/30	転記者	

解列後実施

温度: 21℃ 湿度: 34%

出力領域 N-44



ケーブルNoの「*」は、RA06に読み替える。()内は、長さ(m)を示す。

測定箇所及び印加電圧

	測定箇所	C-I	I-O	O-E	I-E
HV	印加電圧	1000V	100V	500V	500V
SIG A, B	印加電圧	1000V	100V	500V	

測定値

判定:良

測定箇所 測定ケーブル	絶縁抵抗値(Ω)			静電容量(mF)	
	C-I	I-O	O-E	C-I	I-O
HV	3.20×10^{11}	2.10×10^9	1.09×10^{10}	10.4	75.8
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		
SIG A	4.72×10^{11}	2.01×10^9	8.11×10^9	8.79	72.0
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		
SIG B	5.08×10^{11}	2.02×10^9	8.22×10^9	9.08	71.8
	1.0×10^{10} 以上	1.0×10^7 以上	1.0×10^7 以上		

I-E 6.54×10^9 (Ω) 規格: 1.0×10^7 以上

・測定値の下段は規格を示す。なお、静電容量は参考値である。

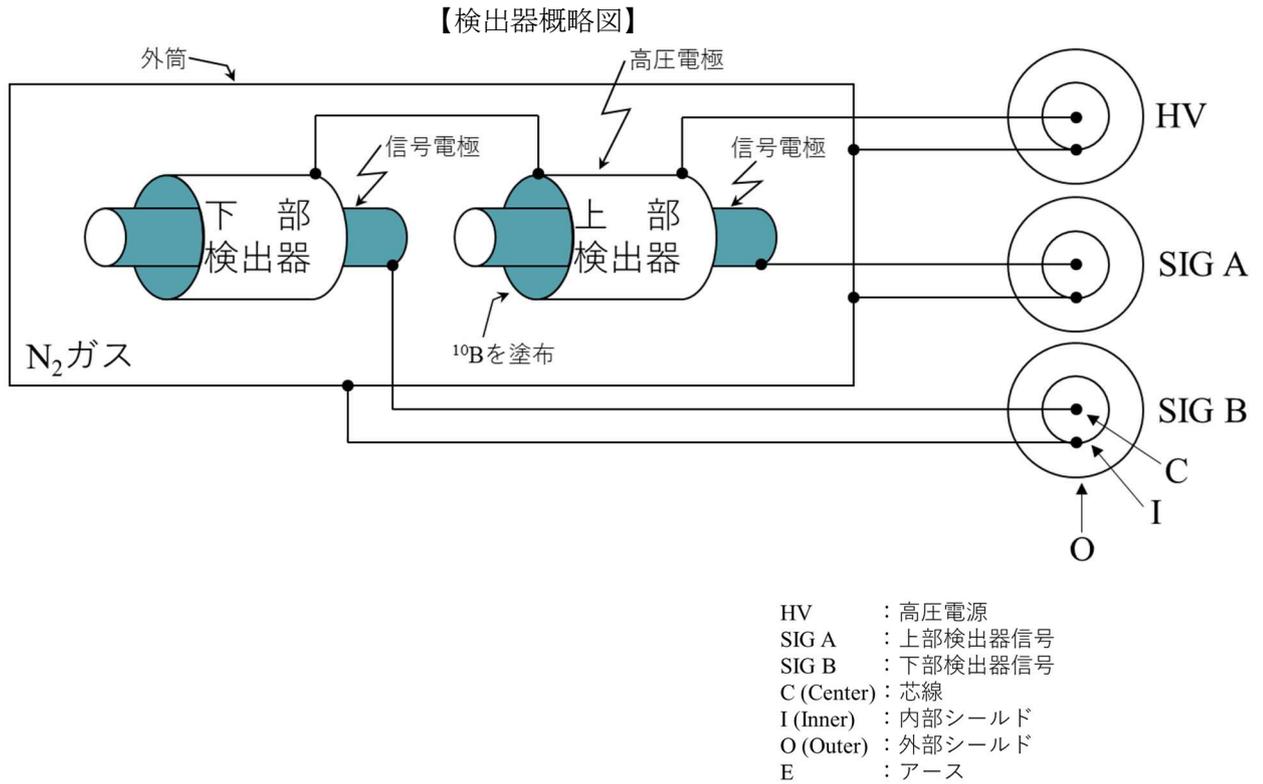
テストケーブル	絶縁抵抗値(Ω)		静電容量(pF)
C-I	at1000V: 1.0×10^{13} 以上	1.51×10^{11}	45.0
I-O	at100V: 1.0×10^{12} 以上	6.07×10^{13}	342.0

試験器: スパーク (3423-09-02), LCRメータ (007-01)

NIS 検出器と信号ケーブルの絶縁抵抗及び静電容量を測定した結果、全て判定基準を満足していることを確認した。

定期検査時における NIS 検出器 (N-44) 点検調査結果 (絶縁抵抗・静電容量測定概要)

検出器の上部・下部信号ケーブル及び高圧電極ケーブルの同軸コネクタに、試験用コネクタを接続し、各計測ポイント間における絶縁抵抗及び静電容量を計測し、健全性を確認している。



通常運転時におけるNIS検出器(N-44)点検調査結果

2023年8月24日 炉内外核計装照合校正実施結果

データシート(指示値確認)

チャンネルNo. N-44

A.O. (%)	基準入力		データ 分類	加算増幅器出力				⑤ ΔI 回路出力 NM44D * (V)	アイソレーション増幅器出力		軸方向偏差 記録計 NR-48 (%)	炉出力 記録計 NR-45 ** (%)	炉出力 指示 (CRT) (%)						
	上部 (μA)	下部 (μA)		① 上部 * (V)	② 下部 * (V)	③ 平均 * (V)	④ 過大出力 * (V)		⑥ NY-44F (V)	⑦ NY-44G (V)									
50	316.0	146.1	校正値	10.041	4.803	8.716	5.244	8.569	8.567	8.569	50.0	104.6	104.6						
			計算値	10.043	4.813	8.720	5.232	8.571	8.571	8.571	50.0	104.6	104.6						
35	288.7	167.4	校正値	9.172	5.503	8.602	5.175	7.498	7.495	7.497	35.0	103.2	103.2						
			計算値	9.173	5.512	8.604	5.162	7.500	7.500	7.500	35.0	103.2	103.2						
22	264.9	185.8	校正値																
			計算値	8.419	6.118	8.503	5.102	6.571	6.571	6.571	22.0	102.0	102.0						
9	241.2	204.2	校正値																
			計算値	7.665	6.724	8.403	5.042	5.643	5.643	5.643	9.0	100.8	100.8						
0	224.8	216.9	校正値	7.141	7.134	8.332	5.013	4.995	4.992	4.992	0.0	100.0	100.0						
			計算値	7.143	7.143	8.333	5.000	5.000	5.000	5.000	0.0	100.0	100.0						
-20	188.3	245.2	校正値																
			計算値	5.983	8.075	8.178	4.907	3.571	3.571	3.571	-20.0	98.1	98.1						
-35	160.9	266.4	校正値	5.112	8.760	8.061	4.850	2.504	2.502	2.502	-35.0	96.6	96.7						
			計算値	5.113	8.774	8.062	4.837	2.500	2.500	2.500	-35.0	96.8	96.8						
-50	133.5	287.7	校正値	4.242	9.459	7.947	4.781	1.434	1.433	1.432	-50.0	95.4	95.4						
			計算値	4.243	9.473	7.946	4.768	1.429	1.429	1.429	-50.0	95.4	95.4						
-55	124.4	294.7	校正値																
			計算値	3.953	9.707	7.908	4.745	1.071	1.071	1.071	-55.0	94.9	94.9						
許容誤差(参考)				±0.035V		±0.041V		±0.050V		±0.042V		±0.042V		±0.71%		±0.8%		-	

*: 基準値はA, O校正表の値を使用する。 ** : ループ校正表の"炉出力指示計, 平均出力記録計"の値を使用する。
 注1: 各A, O(%)の下段は基準値
 注2: 炉出力指示(CRT)の値は, 画面No. MO-4. 1/2(主要パラメータ"ΔI(出力)"の値を用いること。
 注3: 過大出力, アイソレーション増幅器出力及び炉出力指示(CRT)の基準値は次式によること。
 ・過大出力(V)=平均(V)×120/200
 ・アイソレーション増幅器出力=ΔI回路出力
 ・炉出力指示CRT=炉出力記録計NR-45
 太文字: 保守作業手順書への記載値

2023年8月24日に炉内外核計装照合校正を実施した結果、全て許容誤差範囲内であり問題のないことを確認した。

2024年3月30日 第16回定期検査入出力特性試験実施結果

9. 出力領域 (ENPCIV)

測定者	作業実施者	係	副長
実施年月日 2024/3/30	転記者		

【入出力特性試験】(4/4)

7キシャル オフセット (%)	基準入力		加算増幅器出力 (V)				ΔI出力 (V)		アイソレーション増幅器出力 (V)				記録計指示 (%)		CRT指示 (%)		
	上部	下部	4NM-44A 上部 チェック端子		4NM-44B 下部 チェック端子		4NM-44C 平均 チェック端子		4NM-44E 過大 チェック端子		4NY-44F ISO.出力 RSIC用		4NY-44G ISO.出力 PSSC用		平均 4NR-45 ベン2	平均 M44D	ΔI N64A
			調整前	調整後	調整前	調整後	調整前	調整後	調整前	調整後	調整前	調整後					
+50	316.0	146.1	10.042 (10.043)	4.817 (4.813)	8.699 (8.720)	5.234 (5.232)	8.556 (8.571)	8.552 (8.571)	8.552 (8.571)	8.554 (8.571)	8.554 (8.571)	104.2 (104.6)	104.3 (104.6)	49.8 (50.0)			
+35	288.7	167.4	9.179 (9.173)	5.515 (5.512)	8.588 (8.604)	5.167 (5.162)	7.492 (7.500)	7.488 (7.500)	7.488 (7.500)	7.490 (7.500)	7.490 (7.500)	103.0 (103.2)	103.0 (103.2)	34.9 (35.0)			
+22	264.9	185.8	8.418 (8.419)	6.127 (6.118)	8.487 (8.503)	5.106 (5.102)	6.555 (6.571)	6.552 (6.571)	6.552 (6.571)	6.554 (6.571)	6.554 (6.571)	102.0 (102.0)	101.8 (102.0)	21.8 (22.0)			
+9	241.2	204.2	7.669 (7.665)	6.731 (6.724)	8.389 (8.403)	5.047 (5.042)	5.633 (5.643)	5.630 (5.643)	5.630 (5.643)	5.632 (5.643)	5.632 (5.643)	101.0 (100.8)	100.6 (100.8)	8.9 (9.0)			
0	224.8	216.9	7.150 (7.143)	7.150 (7.143)	8.321 (8.333)	5.007 (5.000)	4.994 (5.000)	4.992 (5.000)	4.992 (5.000)	4.993 (5.000)	4.993 (5.000)	100.0 (100.0)	99.8 (100.0)	-0.1 (0.0)			
-20	188.3	245.2	5.988 (5.983)	8.083 (8.075)	8.165 (8.178)	4.912 (4.907)	3.565 (3.571)	3.563 (3.571)	3.563 (3.571)	3.564 (3.571)	3.564 (3.571)	97.8 (98.1)	97.9 (98.1)	-20.1 (-20.0)			
-35	160.9	266.4	5.112 (5.113)	8.779 (8.774)	8.043 (8.062)	4.839 (4.837)	2.494 (2.500)	2.492 (2.500)	2.492 (2.500)	2.492 (2.500)	2.492 (2.500)	96.0 (96.8)	96.5 (96.8)	-35.1 (-35.0)			
-50	133.5	287.7	4.247 (4.243)	9.485 (9.473)	7.934 (7.946)	4.774 (4.768)	1.422 (1.429)	1.422 (1.429)	1.420 (1.429)	1.420 (1.429)	1.420 (1.429)	95.0 (95.4)	95.2 (95.4)	-50.0 (-50.0)			
-55	124.4	294.7	3.959 (3.953)	9.715 (9.707)	7.895 (7.908)	4.750 (4.745)	1.068 (1.071)	1.067 (1.071)	1.067 (1.071)	1.067 (1.071)	1.067 (1.071)	94.2 (94.9)	94.7 (94.9)	-			
最大誤差			+0.10P.U (+0.007V)	-	+0.17P.U (+0.012V)	-	0.25P.U (+0.021V)	+0.14P.U (+0.007V)	-0.22P.U (-0.016V)	-	-0.27P.U (-0.019V)	-	-0.24P.U (-0.017V)	-	-0.87F.U (-0.80%)	-0.25P.U (-0.30P.U)	-0.20P.U (-0.20%)
判定基準			±0.5P.U (±0.035V)		±0.5P.U (±0.041V)	±1.0P.U (±0.050V)	±0.6P.U (±0.042V)	±0.6P.U (±0.042V)				±1.0P.U(%) (±0.8%F.S)	±0.6P.U(%) (±0.5%F.S)	±0.64P.U(%) (±0.64%F.S)			
判定			良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	

試験器: デイジタラメータ(4-001-10), 直流電圧電流発生器(上部 4-002-19, 下部 4-002-18)

()内は基準値

入出力特性試験を実施した結果、全て判定基準を満足していることを確認した。

検出回路概略図

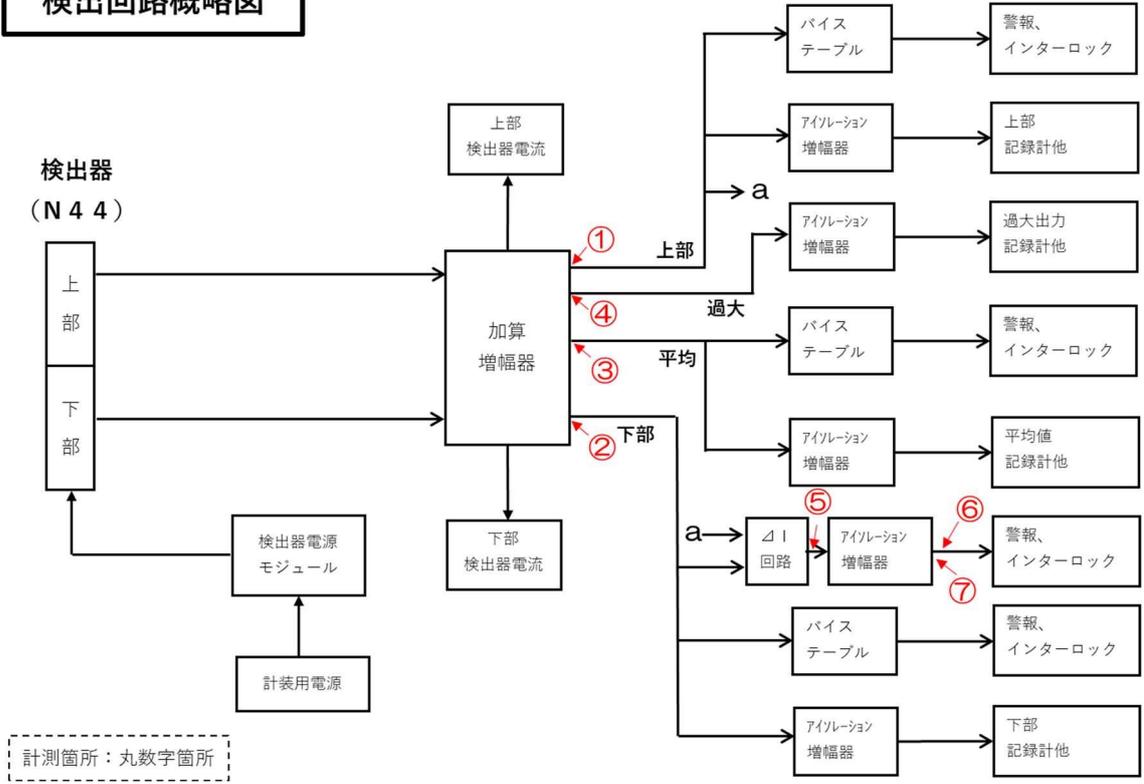


チャート (発電機電力・電圧・周波数)

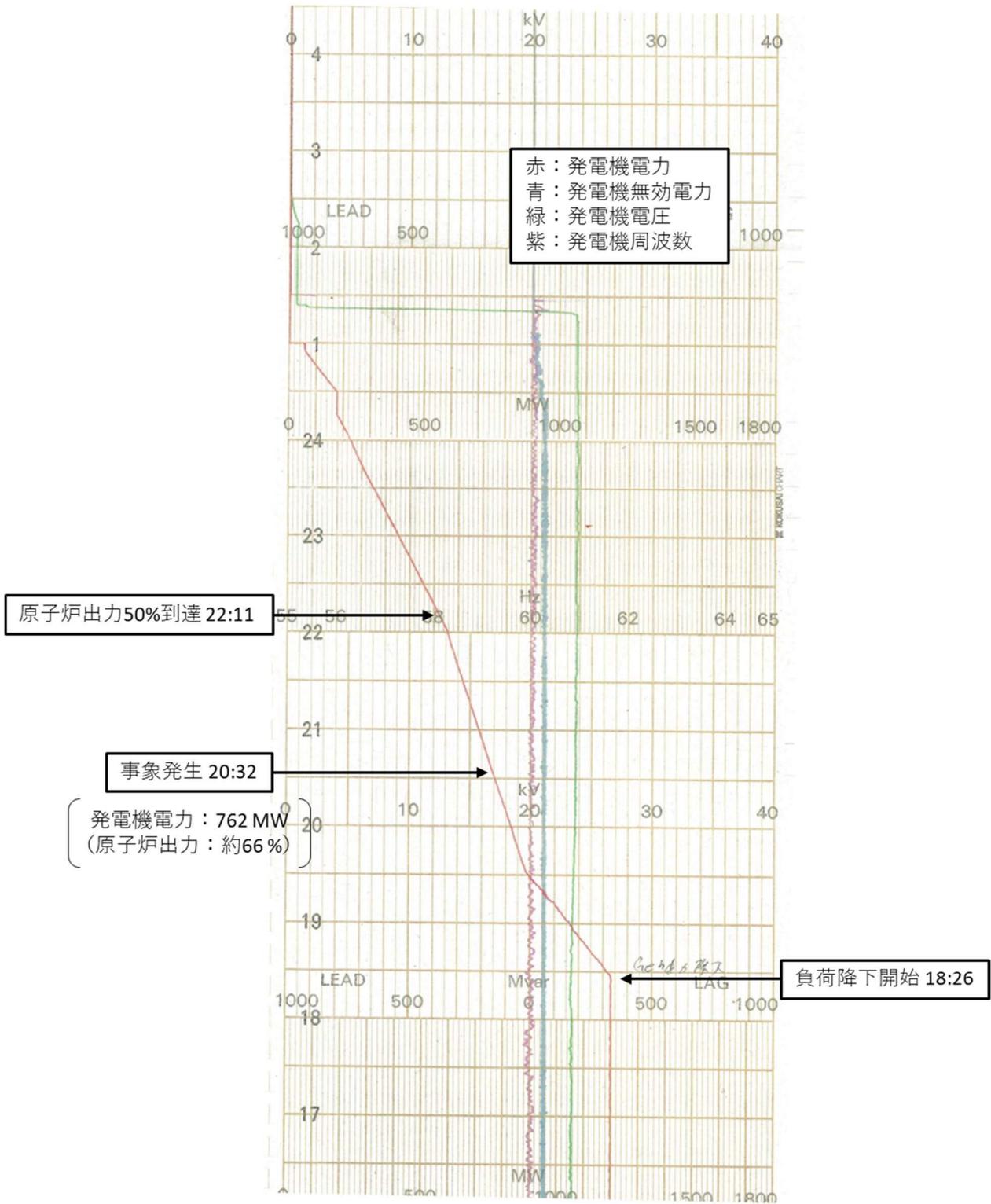


チャート (出力領域上部中性子束 (I・II・III・IV))

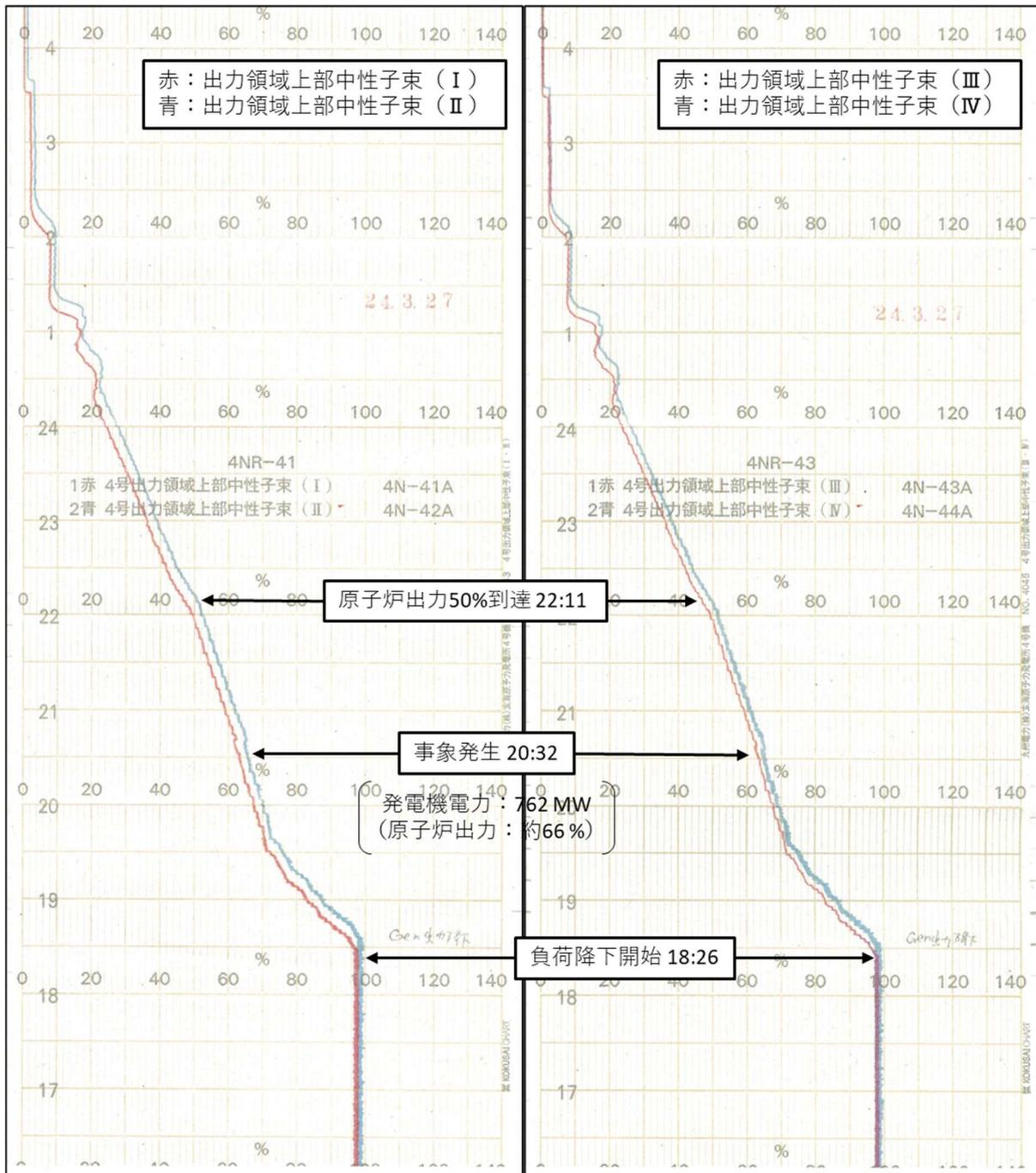


チャート (出力領域下部中性子束 (I・II・III・IV))

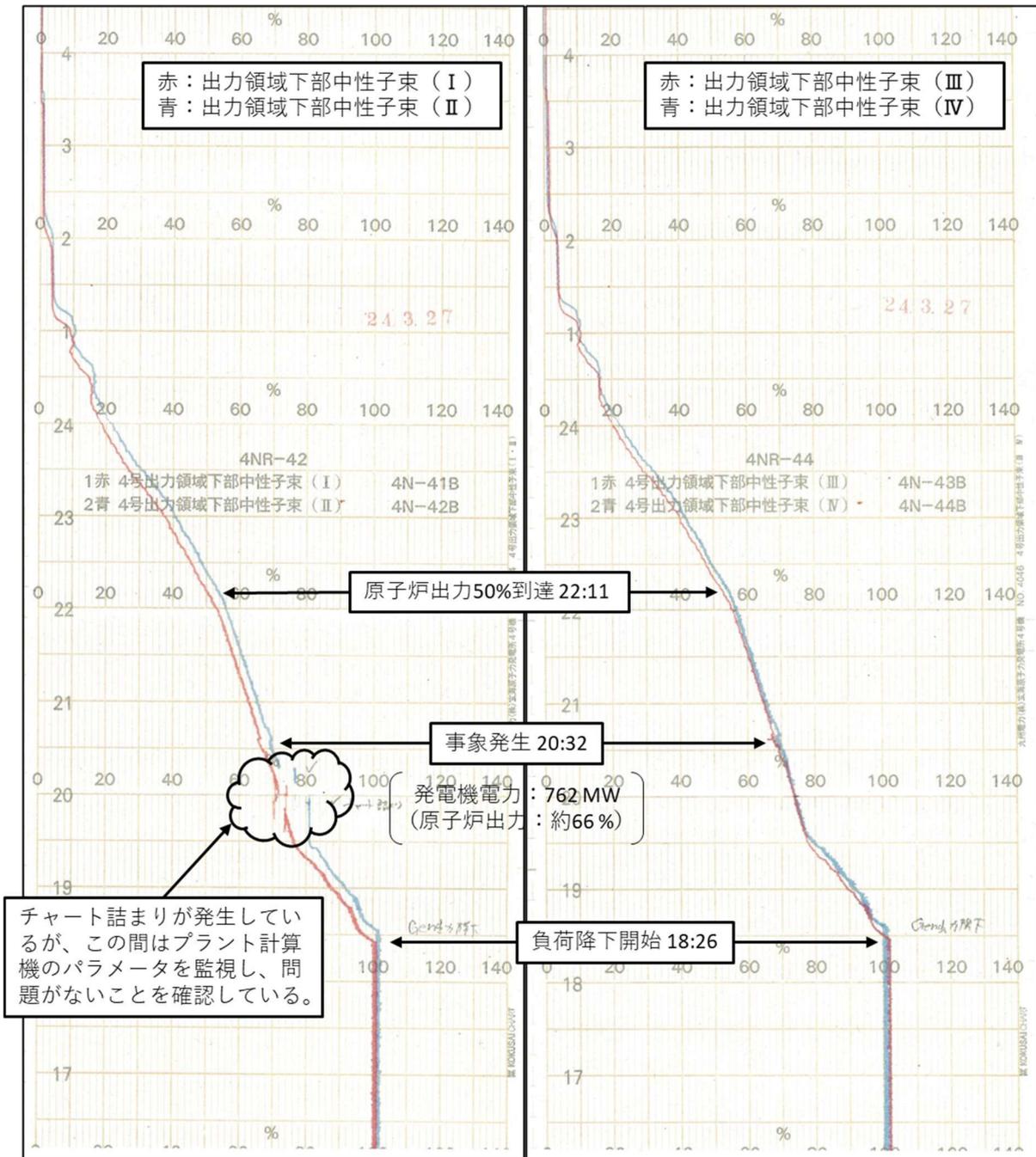


チャート (4A-SG主蒸気・主給水流量)

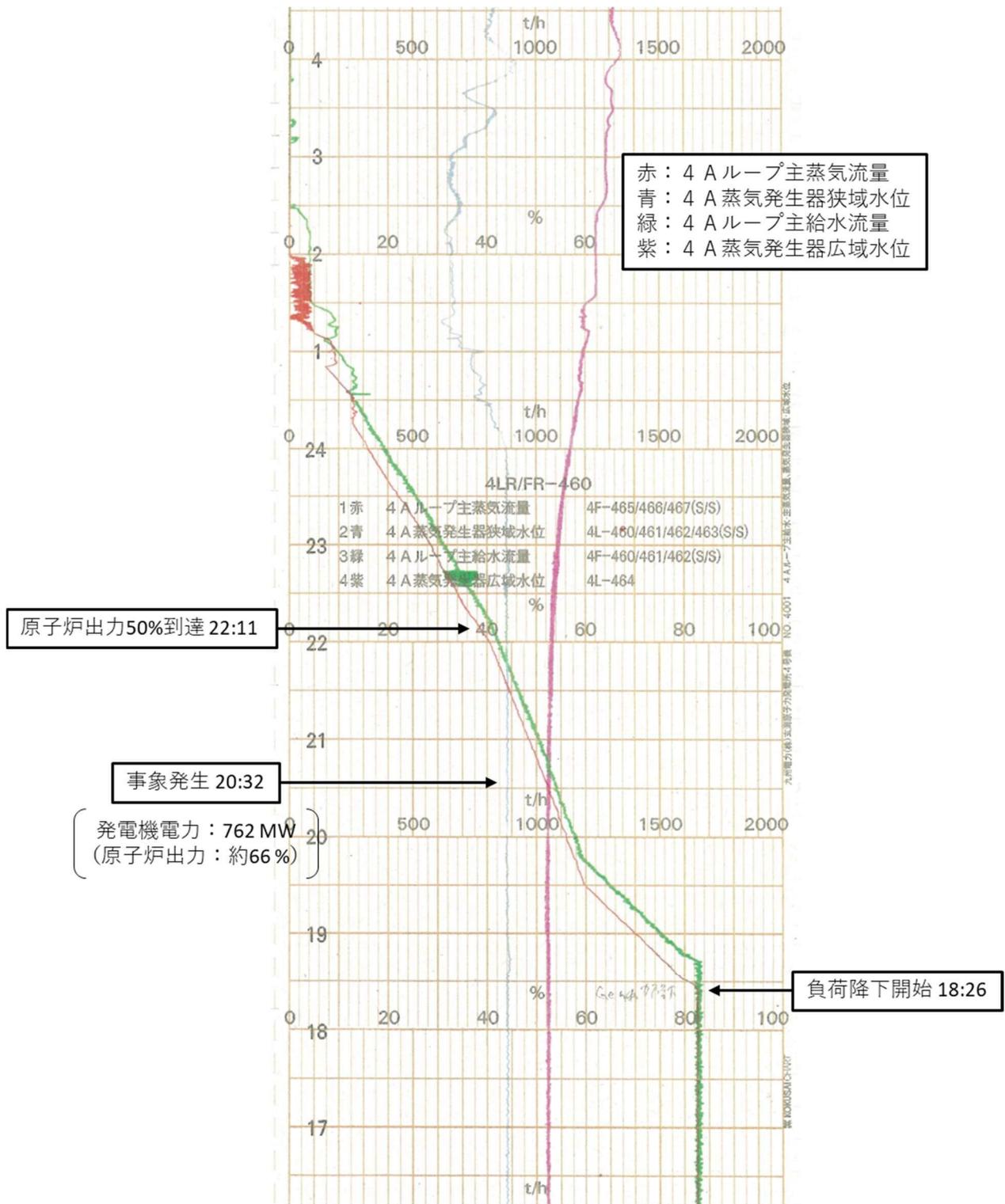


チャート (4B-SG主蒸気・主給水流量)

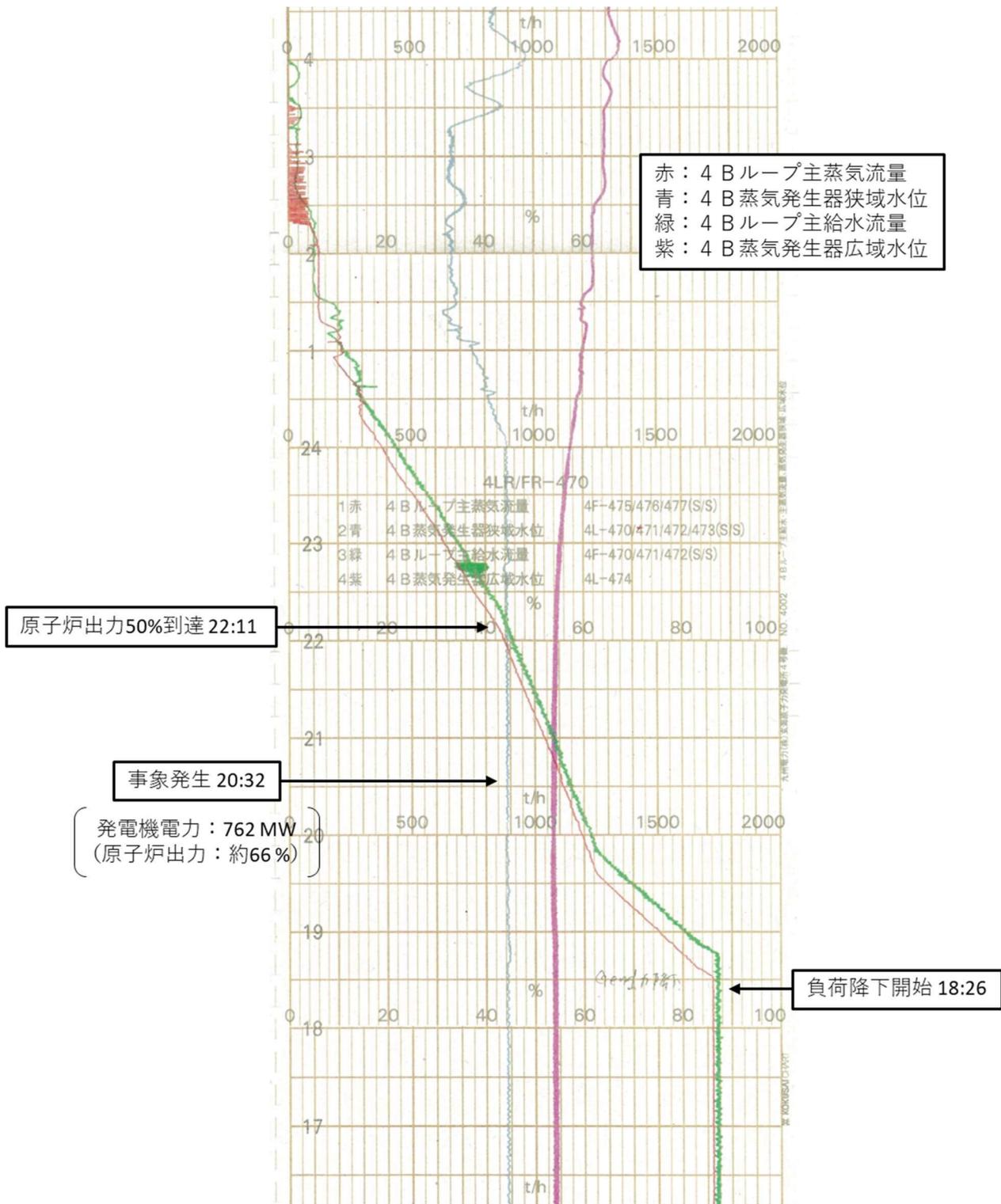


チャート (4C-SG主蒸気・主給水流量)

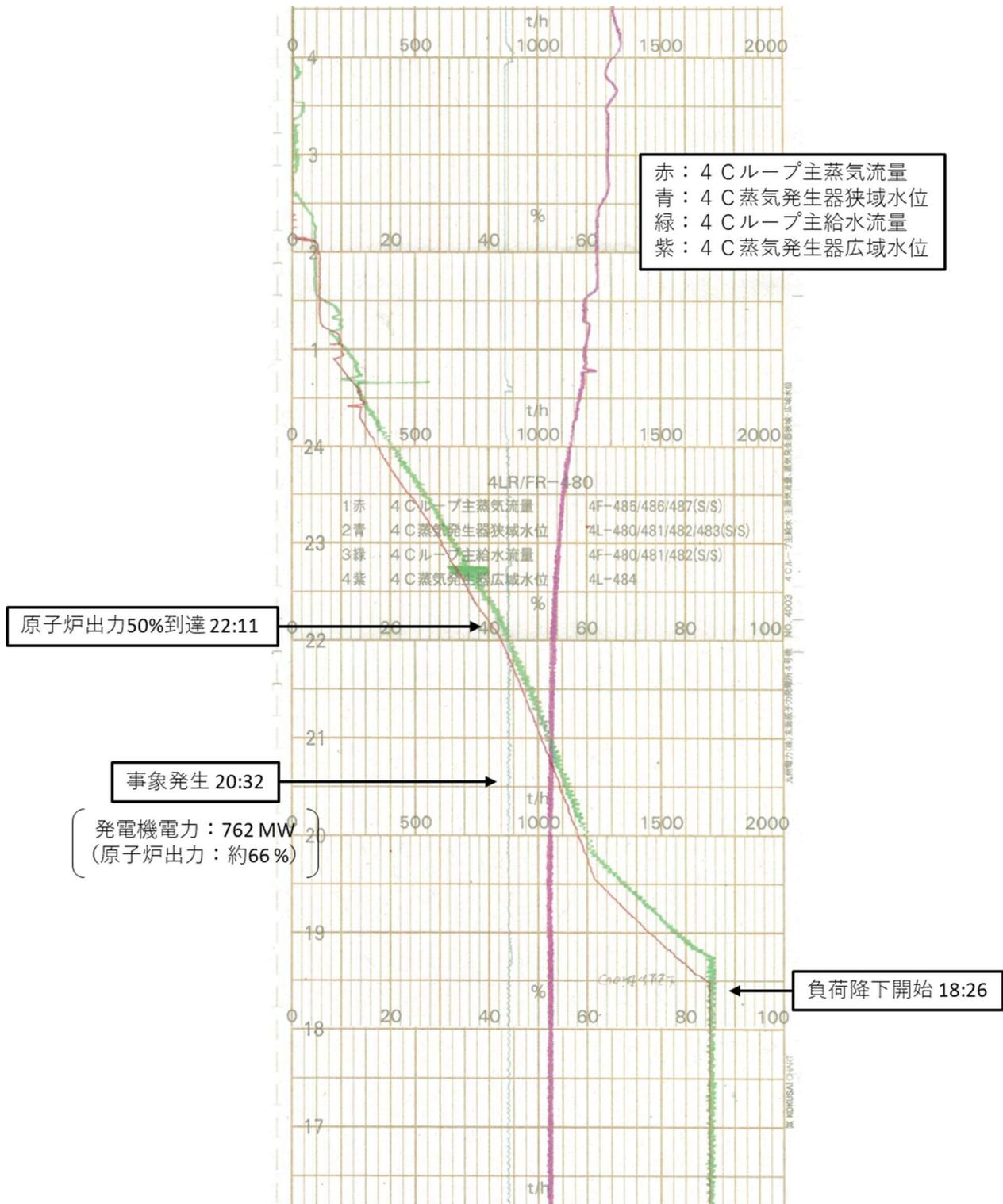
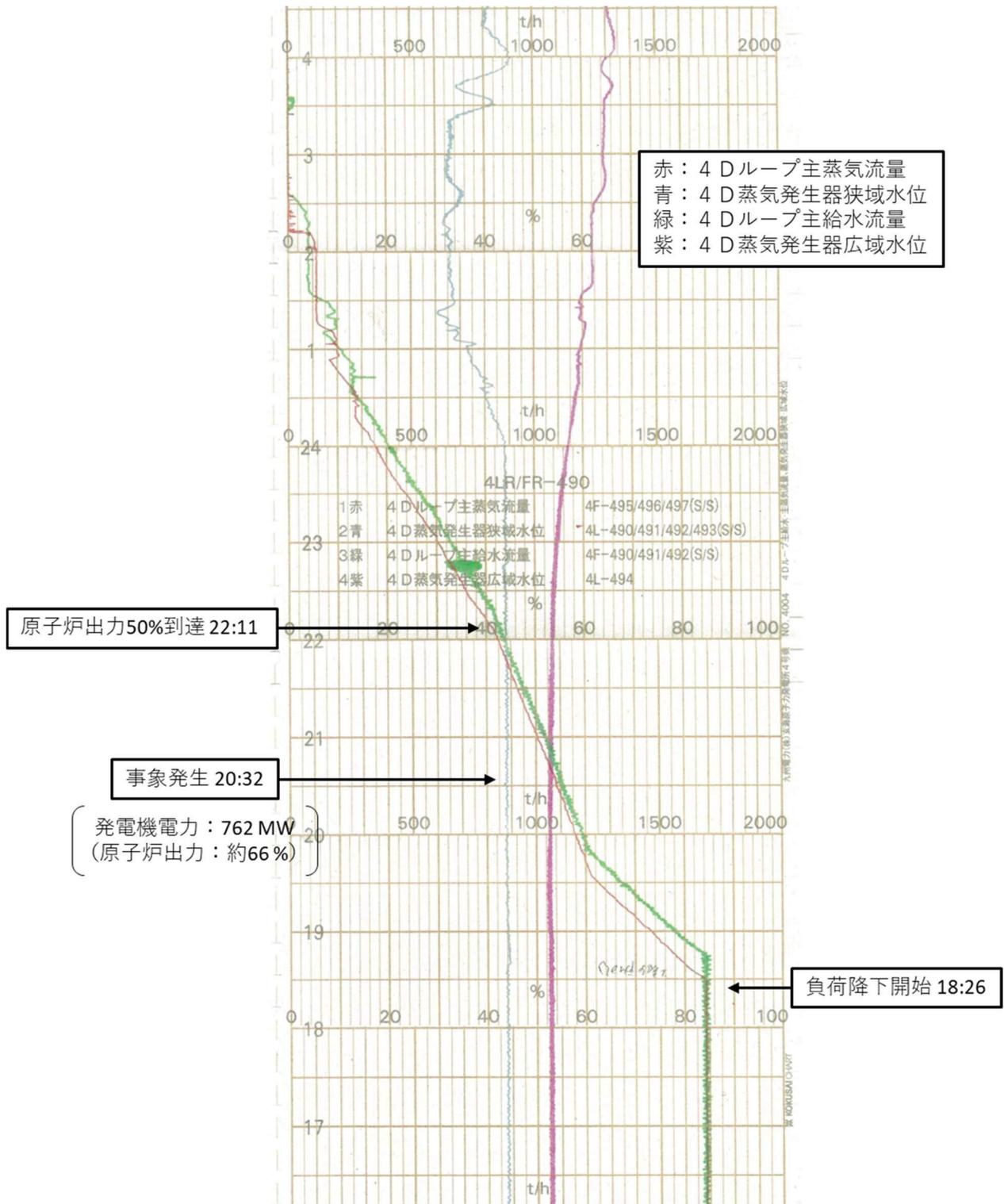
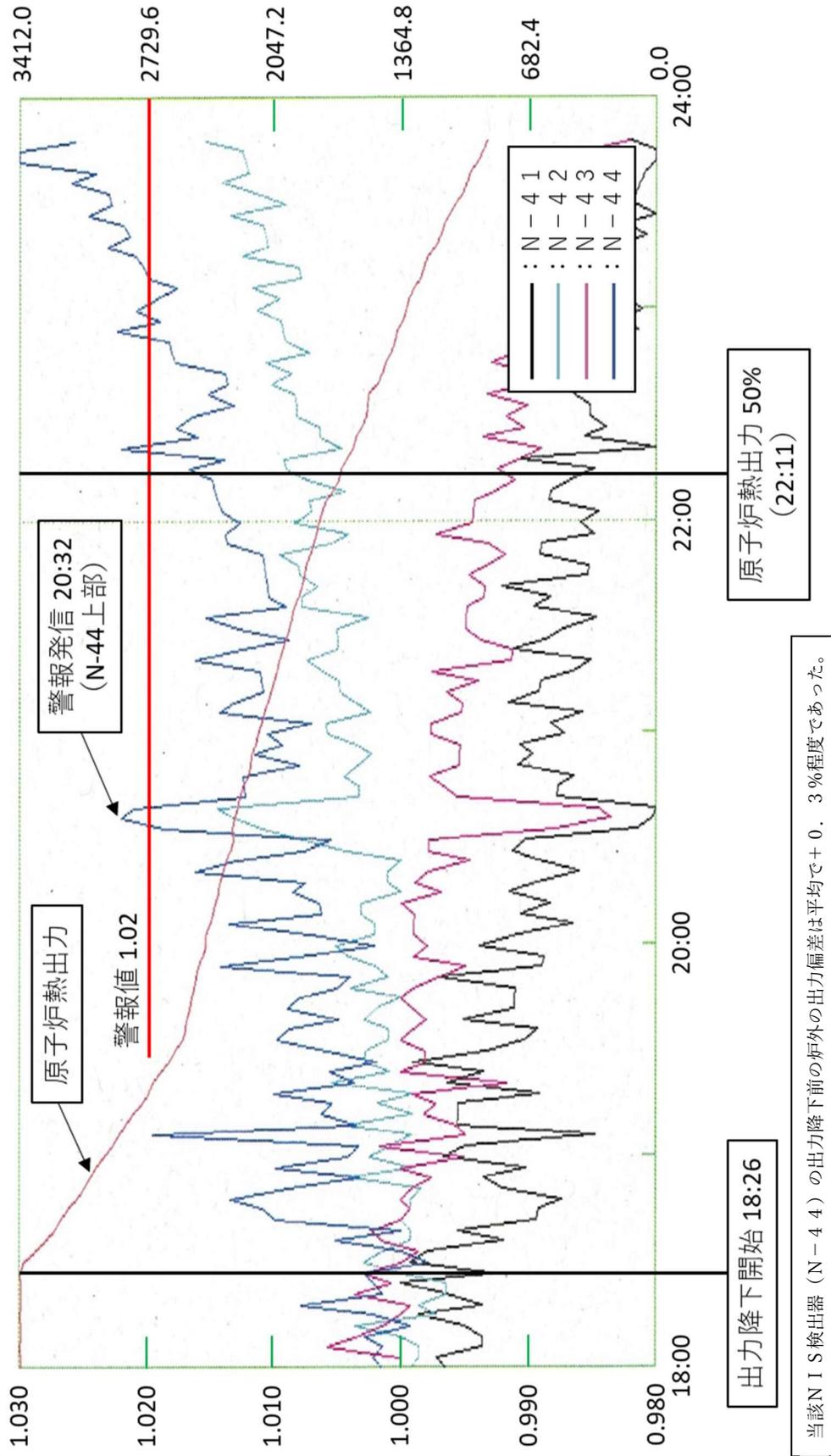


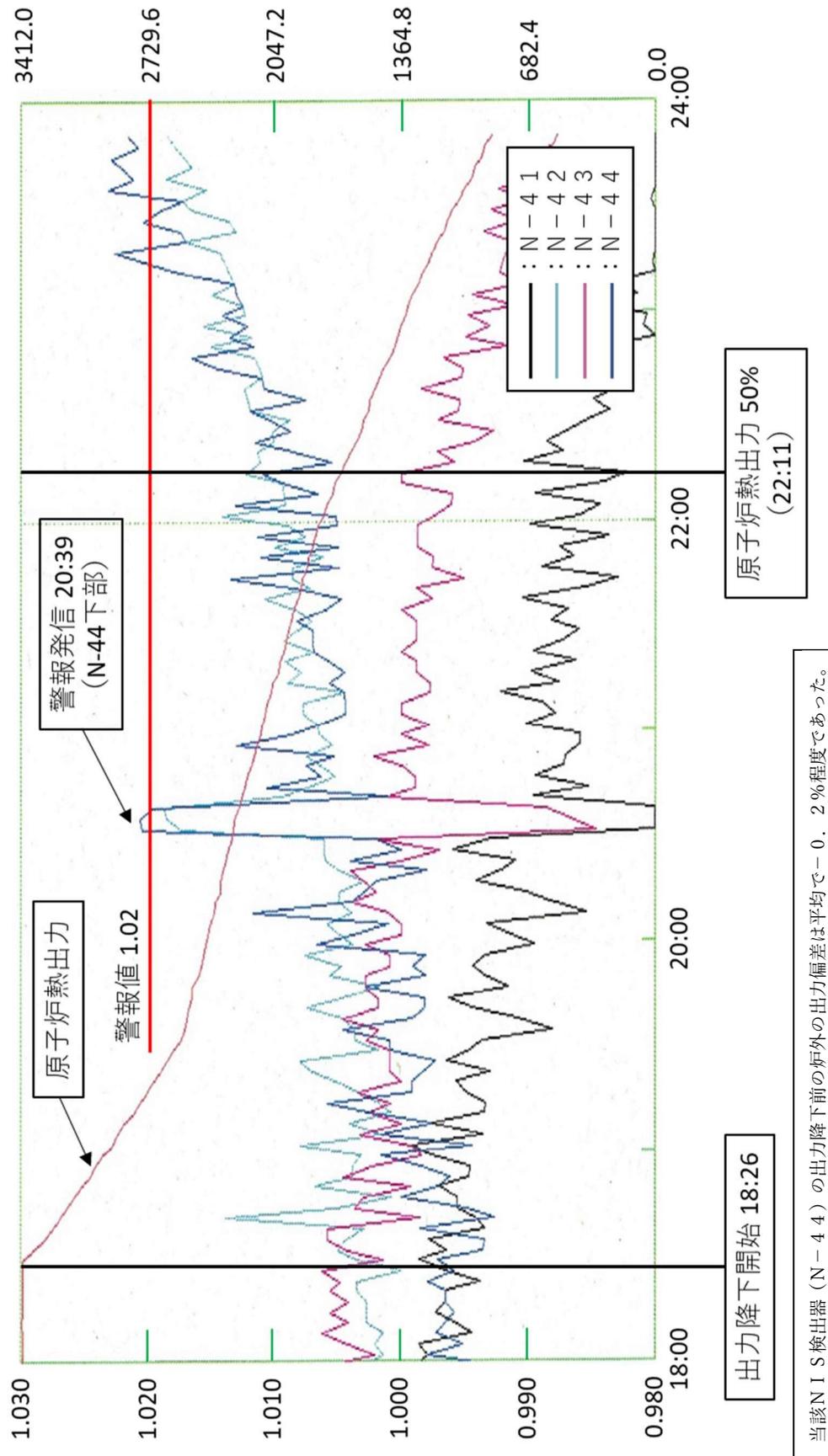
チャート (4D-SG主蒸気・主給水流量)



事象発生時の出力領域上部中性子束出力偏差トレンド



事象発生時の出力領域下部中性子束出力偏差トレンド



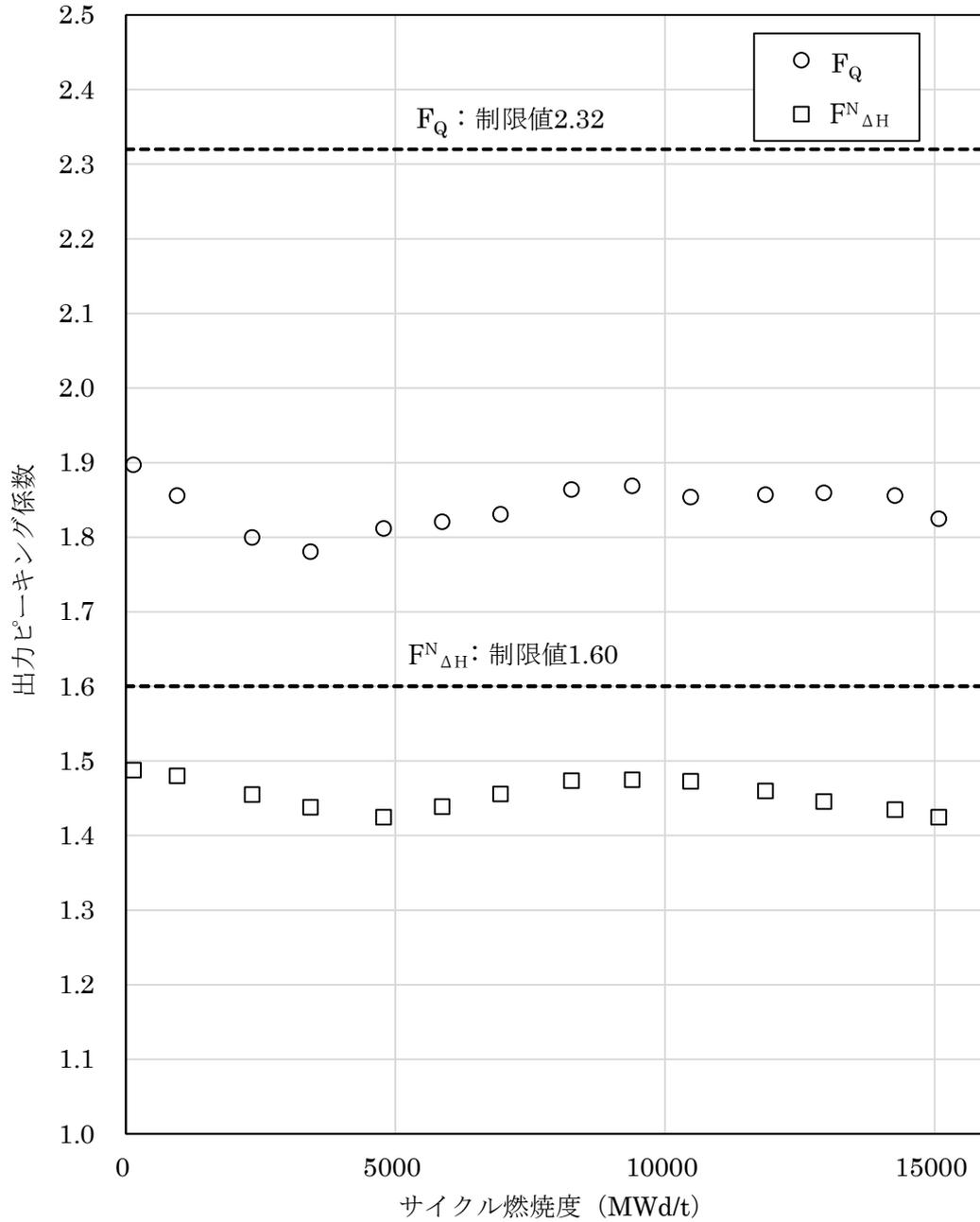
当該N I S 検出器 (N - 4 4) の出力降下前の炉外の出力偏差は平均で - 0. 2 % 程度であった。

今サイクル取替炉心の安全性確認結果

確認項目	解析値	制限値	確認結果
反応度停止余裕	1.98% $\Delta k/k$	1.6% $\Delta k/k$ 以上	良
最大線出力密度	38.2kW/m	41.5kW/m 以下	良
燃料集合体最高燃焼度	47,300MWd/t	48,000MWd/t 以下	良
水平方向ピーキング係数 F_{XY}^N	1.427	1.48 以下	良
減速材温度係数 ($\times 10^{-5}(\Delta k/k)/^{\circ}C$)	$-62 \leq \frac{\delta\rho}{\delta T_m} \leq -1.6$	$-94 \leq \frac{\delta\rho}{\delta T_m} < 0$	良
出力運転時ほう素濃度	1,751ppm	2,100ppm 以下	良
最大反応度添加率	$42 \times 10^{-5}(\Delta k/k)/秒$	$75 \times 10^{-5}(\Delta k/k)/秒$ 以下	良
制御棒クラスタ落下時の ワース（値）及び 核的エンタルピ上昇熱水路係数 $F_{\Delta H}^N$	ワース $F_{\Delta H}^N$ (% $\Delta k/k$) 0.15 1.69	ワース $F_{\Delta H}^N$ (% $\Delta k/k$) 0.25 以下 1.87 以下	良
制御棒クラスタ飛出し時の ワース（値）及び F_Q サイクル初期 全出力 サイクル初期 零出力 サイクル末期 全出力 サイクル末期 零出力	ワース F_Q (% $\Delta k/k$) 0.04 4.0 0.41 10.7 0.10 3.9 0.61 19.2	ワース F_Q (% $\Delta k/k$) 0.12 以下 7.0 以下 0.66 以下 15 以下 0.18 以下 6.8 以下 0.87 以下 25 以下	良

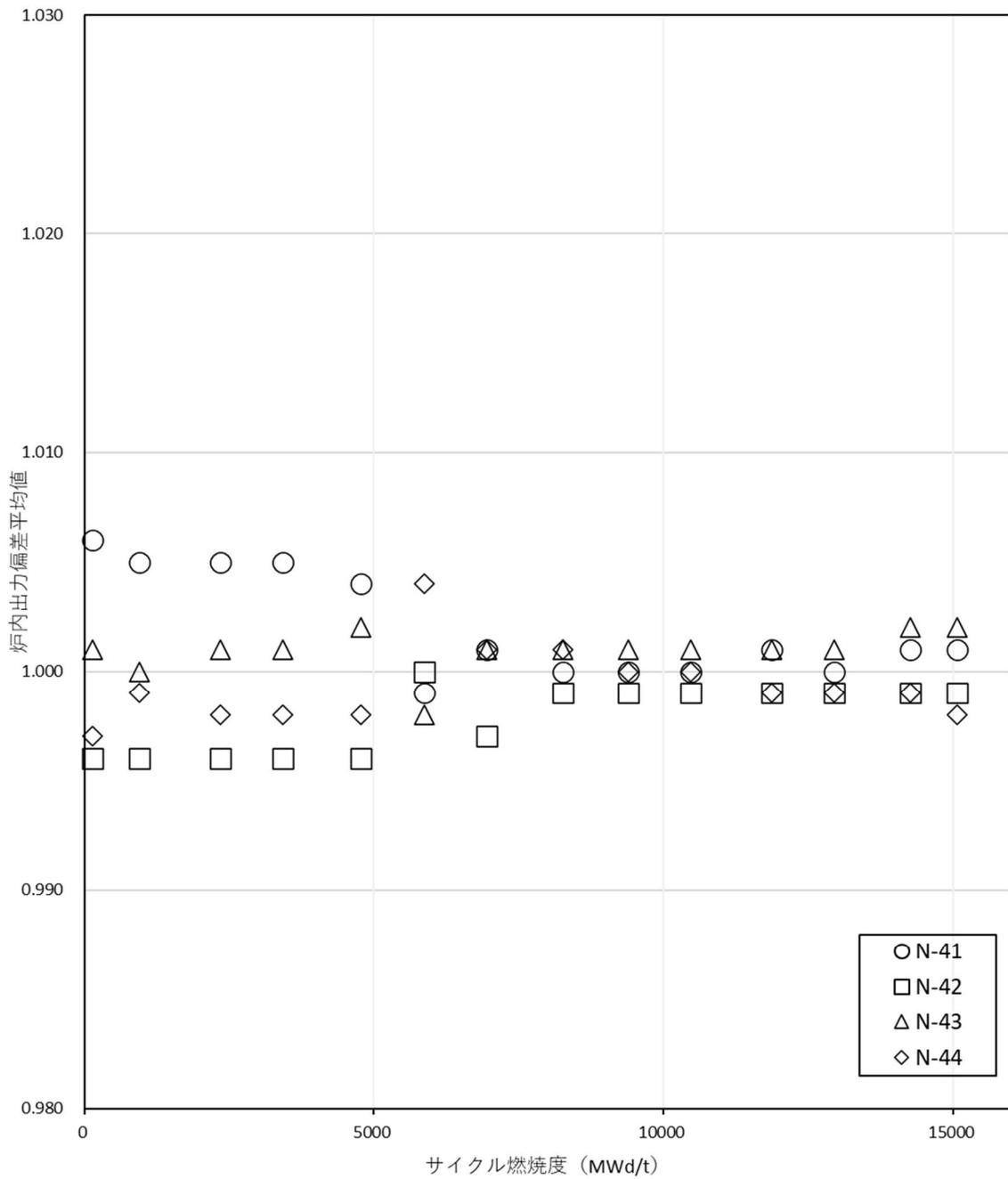
保安規定に基づく取替炉心の安全性確認項目について、各解析値が制限値内であり、今サイクル炉心設計に問題のないことを確認した。

今サイクル炉内出力分布測定結果 (1/2)



運転中の定期的な炉内出力分布測定結果について熱的制限値である F_Q 、 $F^N_{\Delta H}$ が制限値を満足しており、問題がないことを確認した。

今サイクル炉内出力分布測定結果 (2 / 2)



今サイクル運転中の出力偏差は、炉内出力分布測定の結果に大きな差がなく、また領域間での違いがないことを確認した。

今サイクル停止前の炉内出力分布測定結果

2024年3月6日

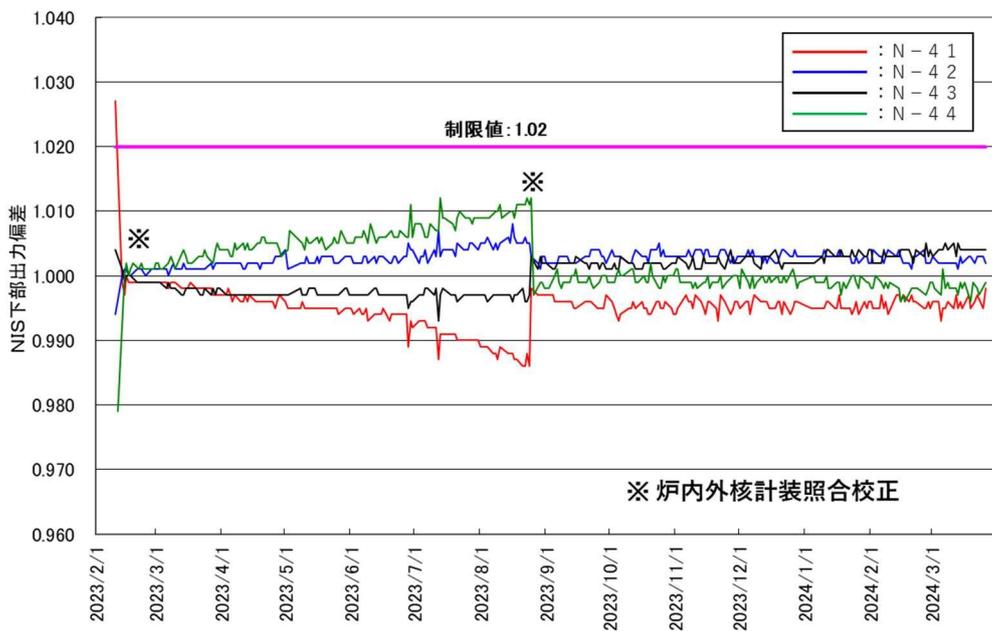
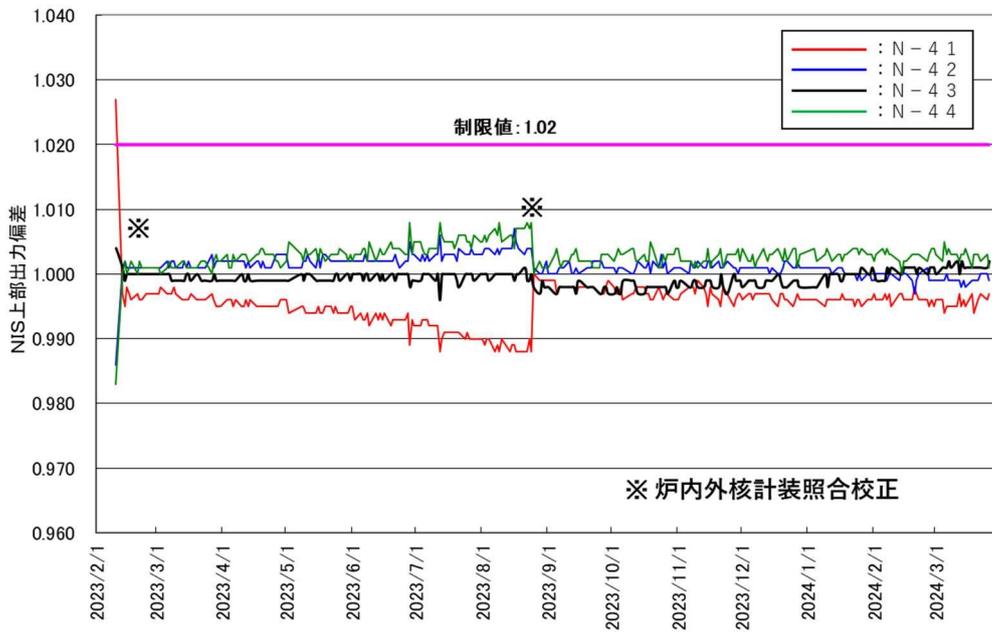
	R	P	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A		
								180°									
1					0.683	0.761	0.880	0.712	0.873	0.749	0.672						
2			0.667	0.800	1.101	1.239	1.194	1.015	1.207	1.229	1.095	0.812	0.669				
3		0.670	1.073	1.181	1.044	1.039	1.045	1.194	1.047	1.035	1.041	1.191	1.072	0.663			
4		0.806	1.183	0.974	1.231	1.044	1.003	0.987	1.002	1.038	1.224	0.975	1.181	0.801			
5	0.675	1.093	1.037	1.224	0.992	1.208	1.054	0.998	1.051	1.204	0.988	1.221	1.039	1.098	0.684		
6	0.750	1.230	1.036	1.037	1.205	0.899	0.899	1.171	0.901	0.896	1.204	1.035	1.035	1.240	0.763		
7	0.873	1.205	1.045	1.002	1.044	0.894	1.153	0.884	1.162	0.898	1.048	1.000	1.048	1.217	0.887		
8	90°	0.714	1.020	1.195	0.982	0.986	1.161	0.874	0.769	0.878	1.165	0.994	0.985	1.197	1.019	0.714	270°
9		0.881	1.212	1.047	1.003	1.047	0.893	1.151	0.874	1.148	0.894	1.043	1.002	1.050	1.212	0.881	
10		0.753	1.231	1.041	1.042	1.204	0.899	0.892	1.158	0.889	0.897	1.202	1.041	1.036	1.225	0.751	
11		0.669	1.079	1.049	1.233	0.987	1.203	1.043	0.986	1.040	1.202	0.979	1.220	1.037	1.080	0.669	
12		0.795	1.170	0.966	1.221	1.035	1.002	0.980	1.004	1.042	1.221	0.968	1.172	0.795			
13		0.662	1.061	1.172	1.039	1.038	1.048	1.196	1.050	1.043	1.039	1.178	1.068	0.663			
14		0.662	0.794	1.079	1.226	1.212	1.017	1.194	1.245	1.097	0.802	0.666					
15					0.662	0.749	0.880	0.712	0.879	0.762	0.680						
								0°									

(1 / 4 炉内出力偏差)

1.001	1.002
0.998	0.999

今サイクル停止前の炉内出力分布測定（2024年3月6日）においては、N-44側の領域は他の領域と比較しても大きな出力偏差はなかった。

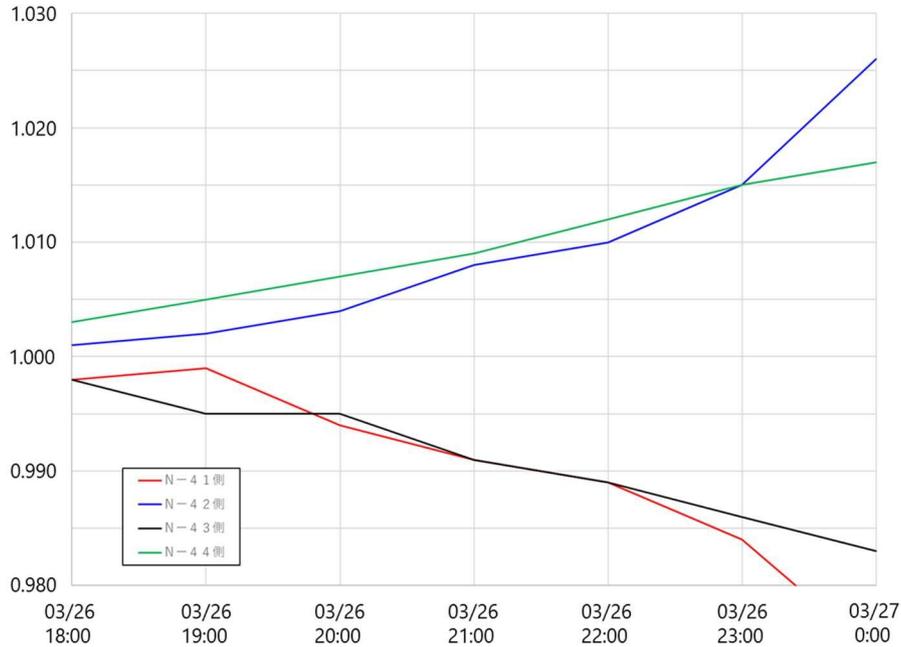
今サイクル運転中のNIS 検出器指示値推移



今サイクル運転中1回目の炉内外核計装照合校正後の N-44 の指示値は、他の検出器よりも僅かに高くなる傾向を示していることを確認した。今サイクル運転中2回目の炉内外核計装照合校正後、N-44 の出力偏差が上部で僅かに正側、下部で僅かに負側を推移していた。

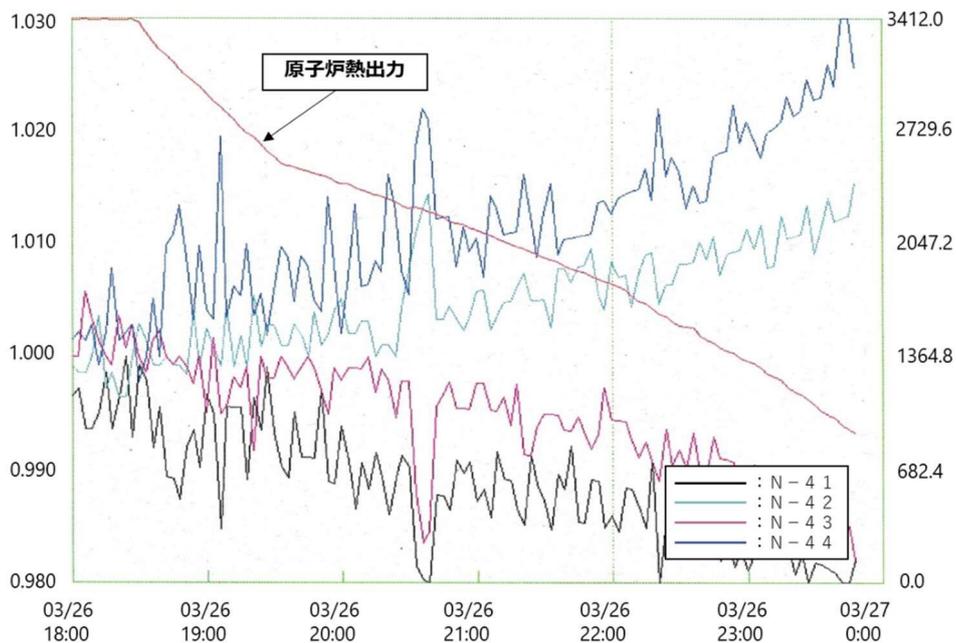
今サイクル停止時における
炉内温度偏差と 1/4 炉心出力偏差（上部）の比較

炉内温度偏差



1/4 炉心出力偏差（上部※）

※炉内温度偏差は炉心上部で測定しているため、1 / 4 炉心出力偏差（上部）と比較



NIS 検出器と関連パラメータである炉内温度について挙動を確認した結果、出力降下に伴い、炉外の NIS 検出器の N-42,N-44 側が増加傾向、N-41,43 側が減少傾向を示しており、炉内温度においても同様の挙動を示していることから、炉外で計測する NIS 検出器に異常がないことを確認した。