

独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所
のJRR - 3原子炉自動停止について（原因及び対策）

1．件名

JRR - 3原子炉自動停止

2．発生日時

平成21年6月8日（月）12時14分頃

3．発生場所

独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター
原子力科学研究所

4．原子力施設の名称

JRR - 3原子炉施設

5．発生の状況

JRR - 3（定格出力20MW）は、当機構、大学等による研究開発等を目的に、施設共用運転を行う研究用原子炉である（添付資料1参照）。

（1）発生前

平成21年6月8日から7月3日まで今年度3回目の施設共用運転を行うことになっていた。

6月8日11時に原子炉を起動して出力上昇を開始し、11時58分に2MWに到達した後、さらに12時13分に2MWから10MWに向けての出力上昇を開始した。

（2）発生時

12時14分頃、2系統ある安全系（添付資料2参照）のうちA系の「安全系中性子束高」のスクラム信号が発生し、原子炉が自動停止した。なお、原子炉出力は約3.3MW（対数出力計の指示値）に達していた。

（3）発生後

全制御棒が完全に挿入されていること、中性子出力が正常に低下したこと及び崩壊熱除去のために必要な冷却設備が正常に運転されていることから、原子炉が安全に停止し、施設の安全が確保されていることを確認した。さらに、停止後点検を実施し、異常がないことを確認した。

6．環境への影響等

排気筒ガスモニタ、排気筒ダストモニタ及びモニタリングポストの指示値に異常はなく、周辺公衆への影響はなかった（添付資料3参照）。また、作業等放射線被ばく、

人的障害及び物的損傷もなかった。

7．原因調査

「安全系中性子束高」のスクラム信号の発生原因として、原子炉出力が定格出力の110%（22MW）に到達したため、又は設備機器が誤作動したための2つが考えられる。調査はA系について「安全系中性子束高」が発生する要因に関する調査フロー」（添付資料4参照）に従い行った。これらに対する調査の方法及び結果を以下に示す。

7．1 原子炉出力についての調査

原子炉出力が定格出力の110%（22MW）に達すると「安全系中性子束高」のスクラム信号が発生する。

事象発生時においては、2MWから10MWへの出力上昇時に3.2MW付近で5MWレンジから25MWレンジに切り替わるときに事象が発生した。対数出力及び熱出力の記録紙（添付資料5参照）により、スクラム発生時の対数出力及び熱出力が約3.3MWであることから22MWに達していないことを確認した。なお、運転員の誤操作や自動制御回路（制御棒の自動制御により出力を目標値まで変化させる又は一定出力を維持する回路）の故障により異常な出力に達していないことも確認した。

以上のことから、実際の原子炉出力が定格出力の110%（22MW）に達したことによるスクラム信号の発生ではないことを確認した。

7．2 設備機器の誤作動についての調査

「安全系中性子束高」のスクラム信号は、設備機器の誤作動によっても発生する可能性がある。設備機器の誤作動として、安全系の誤作動及びノイズの影響が考えられるため、以下の項目について調査を実施した。

（1）安全系

安全系は、中性子検出器から送られてくる信号（直流電流）を中性子計装盤内の線形増幅器に入力し、電流を電圧に変換した後、絶縁増幅器を介して出力を指示計に表示するとともに、核出力が設定値に達した場合には、トリップ回路を介して警報設備及び原子炉保護設備に信号を送る設備である。これら安全系を構成する以下の機器について、調査を行った。

線形増幅器

3.2MWでの切替時に事象が発生していることからテスト信号発生器を用いた2MWからの出力上昇を模擬する再現試験を実施したところ、本来3.2MW付近で作動すべき線形増幅器の自動レンジ切替回路が正常に作動しない場合があり、その場合は「安全系中性子束高」のスクラム信号が発生することを確認した。線形増幅器については詳細調査を実施した。調査内容は7．3項に述べる。

中性子検出器（ケーブルを含む。）

中性子検出器の異常として、絶縁の劣化が考えられるため、絶縁抵抗測定によ

る調査を行った。その結果、絶縁抵抗値は正常であり、中性子検出器の状態は健全であることを確認した。

絶縁増幅器

線形増幅器から外部機器（安全系指示計）への出力は絶縁増幅器を介して出力される。外部機器からの異常な信号の流入による誤作動が考えられるため、模擬入力による調査を行った。その結果、入出力の結果には異常はなく、絶縁増幅器は正常であることを確認した。

トリップ回路

トリップ回路は線形増幅器からの出力信号を判定し、スクラム設定値に達した時は、スクラム信号を原子炉保護設備へ出力する。トリップ回路の異常の有無の確認及び作動点検による調査を行った。その結果、線形増幅器からの信号に応じて、原子炉保護設備にスクラム信号を正常に出力しており、トリップ回路は正常であることを確認した。

(2) ノイズの影響

スクラム信号発生時に溶接機、電動工具等ノイズを発生させる可能性がある機器の使用の有無を原子炉設備利用者に聴き取り調査を行った。他の計器にノイズの記録が認められないことも含めて、ノイズの影響ではないことを確認した。

なお、安全系のトリップ回路からの信号を検知し、原子炉をスクラムさせる原子炉保護設備についても、正常であることを確認した。

7.3 線形増幅器の詳細調査

線形増幅器は、電流電圧変換回路、電圧増幅回路及び自動レンジ切替回路で構成される（添付資料6参照）。前述の再現試験により、線形増幅器の自動レンジ切替回路が正常に作動しない場合にスクラム信号が発生することが確認されたため、線形増幅器について詳細調査を行った。詳細調査は「線形増幅器調査フロー」（添付資料7参照）に従って行った。

(1) 電流電圧変換回路

電流電圧変換回路は、中性子検出器からの電流信号を電圧に変換する回路である。模擬電流を入力し、入力に応じた正常な電圧が出力されているかどうかの調査を行った。その結果、正常な電圧を出力していることから、電流電圧変換回路は正常であることを確認した。

(2) 電圧増幅回路

電圧増幅回路は、電流電圧変換回路で変換された電圧を増幅し出力する回路である。模擬電圧を入力し、正常に電圧が増幅されているかどうかの調査を行った。その結果、正常に電圧が増幅され出力していることから、電圧増幅回路は正常であることを確認した。

(3) 基板接続コネクタ

基板の接続部について接触不良がないか目視及び通電による確認を行った。その結果、基板の接続は正常であることを確認した。

(4) 自動レンジ切替回路

自動レンジ切替回路は、比較器、レンジ切替信号発生回路及びレンジ切替回路で構成され、中性子計装設備に特有の回路である（添付資料6参照）。比較器は各レンジの80%^{*1}に出力が上昇すると、レンジ切替信号発生回路へレンジ上昇命令信号を出力し、各レンジの15%^{*1}に出力が下降すると、レンジ切替信号発生回路へレンジ下降命令信号を出力する。レンジ切替回路はレンジ切替信号発生回路の信号を受けて、レンジの切り替えを行う。

*1：各レンジのフルスケールは125%である。例えば、5MWレンジでは5MWが125%であり、4MWが100%となる。

比較器

本事象は、5MWレンジにおいて上位のレンジへ切り替わる出力設定値である80%（3.2MWに相当）付近で発生したため、80%に達した際に発生する信号の波形を測定し、比較器が正常に作動しているかどうかの調査を行った。その結果、比較器からの出力信号波形が歪んでおり、その程度によってレンジ切替が誤作動する可能性があることが判明した。比較器からの出力信号は後段のレンジ切替信号発生回路の入力信号となるが、比較器の出力信号の異常波形がレンジ切替信号発生回路、更にはレンジ切替回路の作動に影響を及ぼすことを確認した。比較器の構成部品である集積回路（IC）を新品に交換して波形を確認したところ、出力波形の歪みは発生しなくなることを確認し、出力波形の異常はICの経年変化に起因するものと判断した。なお、B系についても同様の傾向を認めた（添付資料8参照）。

さらに、15%に低下した際に発生する信号の波形を測定し、比較器が正常に作動しているかどうかの調査を行った。その結果、レンジ切替信号発生回路及びレンジ切替回路の作動に影響を及ぼすような信号を出力していないことを確認した。

レンジ切替信号発生回路

本回路が比較器からのレンジ上昇あるいは下降命令信号を受けて正常なレンジ切替信号を出力しているかどうかの調査を行った。その結果、比較器からの正常な入力に対しては、正常な切替信号が出力されており、レンジ切替信号発生回路は正常であることを確認した（添付資料8参照）。

レンジ切替回路

レンジ切替信号発生回路からの信号を受けて、レンジ切替が正常に行われているかどうかの調査を行った。その結果、レンジ切替信号によって正常にレンジ切替が行われており、レンジ切替回路は正常であることを確認した。

以上のことから、中性子計装設備に特有の自動レンジ切替回路で使用されている比較器が、異常な波形の信号を出力した場合には、レンジ切替信号発生回路も異常な波

形の信号を出力することになる。それに伴いレンジ切替回路が正常に作動せず誤ったレンジへ切り替えられたことが判った。そのため、線形増幅器の出力はフルスケールを超えた値となり、トリップ回路がそれを検知しスクラムに至ったと判断した。なお、B系についても同様の事象が発生することを確認した。

8. 原因

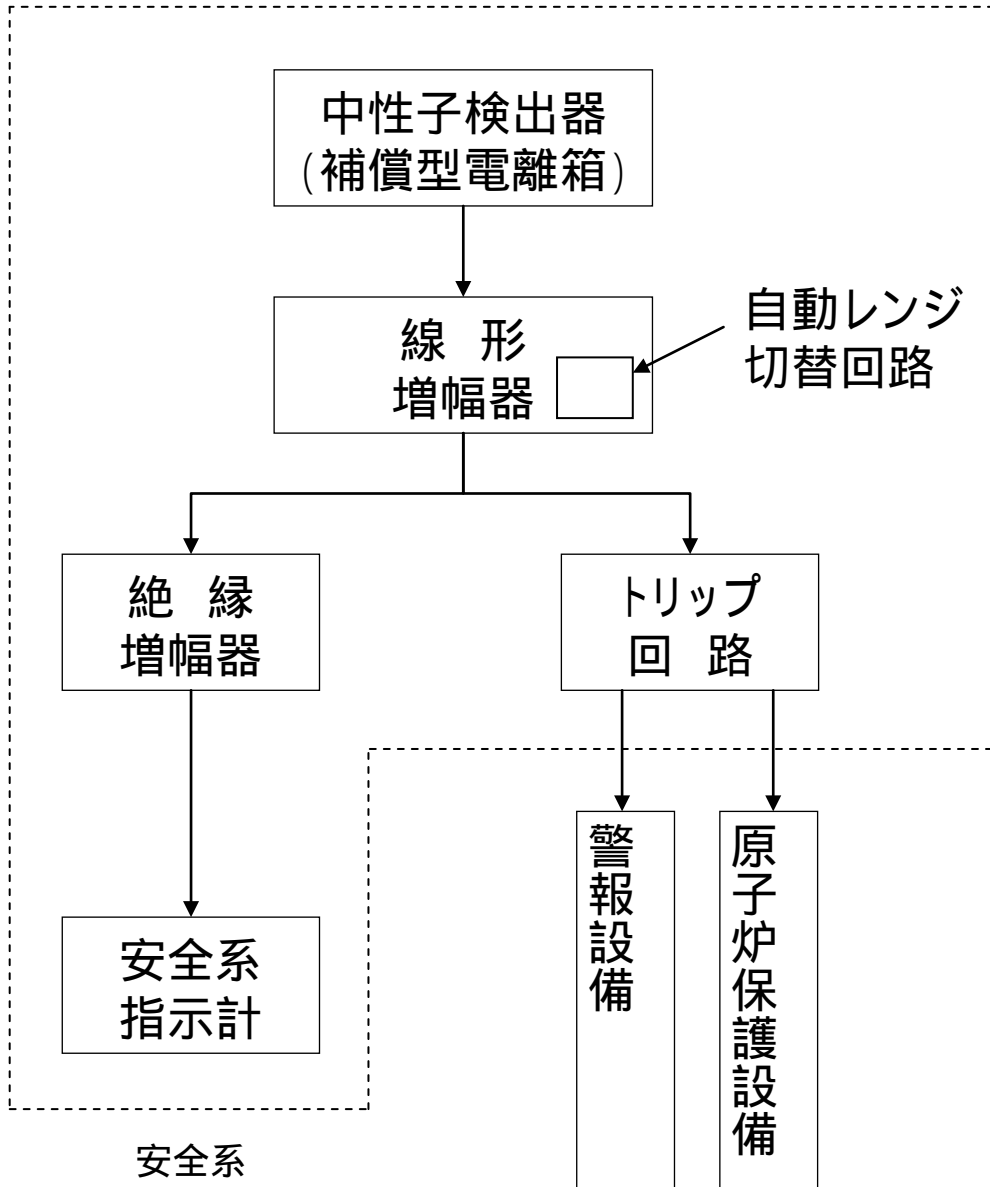
前述のとおり、「安全系中性子束高」のスクラム信号の発生は、安全系の線形増幅器のうち、自動レンジ切替回路の比較器に使用されているICの出力波形の異常に起因する誤作動によるものと判断した。そこで、自動レンジ切替回路の比較器に使用されているICを新品のものに取り替え比較器の特性を確認したところ、出力される信号の波形は正常に戻った。したがって、当該ICの経年変化が原因であると特定した。

9. 対策

本事象の原因となった安全系A系の当該IC(80%用比較器)について交換を行った。B系に使われている同IC(80%用比較器)についても交換を行った。また、自動レンジ切替回路の比較器として同様に使われているICについて調査を行った。そのうち、原子炉保護設備の作動に影響を与える回路のIC(安全系の予備器の80%用比較器並びにA系、B系及び予備器の15%用比較器)についても、予防保全の観点から交換を行った。交換後、自動レンジ切替回路が正常に作動していることを確認するとともに、安全系に対して実施する施設定期自主検査と同等の検査を行い、安全系が正常であることを確認した。今後、これらのICの経年変化を把握するため、施設定期自主検査の期間毎に比較器の出力波形を確認し、その健全性を確保していくこととする。

なお、JRR-3の安全系の線形増幅器の製作メーカーによる当機構への納入実績を調査し、自動レンジ切替回路の比較器として原子炉保護設備の作動に影響を与える回路に使用されているICはないことを確認した。

- 添付資料1 独立行政法人日本原子力研究開発機構東海研究開発センター
原子力科学研究所内の施設配置図
- 添付資料2 安全系の構成(A系、B系)
- 添付資料3 JRR-3排気筒モニタ及びモニタリングポストの指示記録
- 添付資料4 「安全系中性子束高」が発生する要因に関する調査フロー
- 添付資料5 対数出力及び熱出力の記録紙
- 添付資料6 線形増幅器の構成
- 添付資料7 線形増幅器調査フロー
- 添付資料8 比較器及びレンジ切替信号発生回路の出力波形



安全系の構成 (A系、B系)

J R R - 3 排気筒モニタ及びモニタリングポストの指示記録

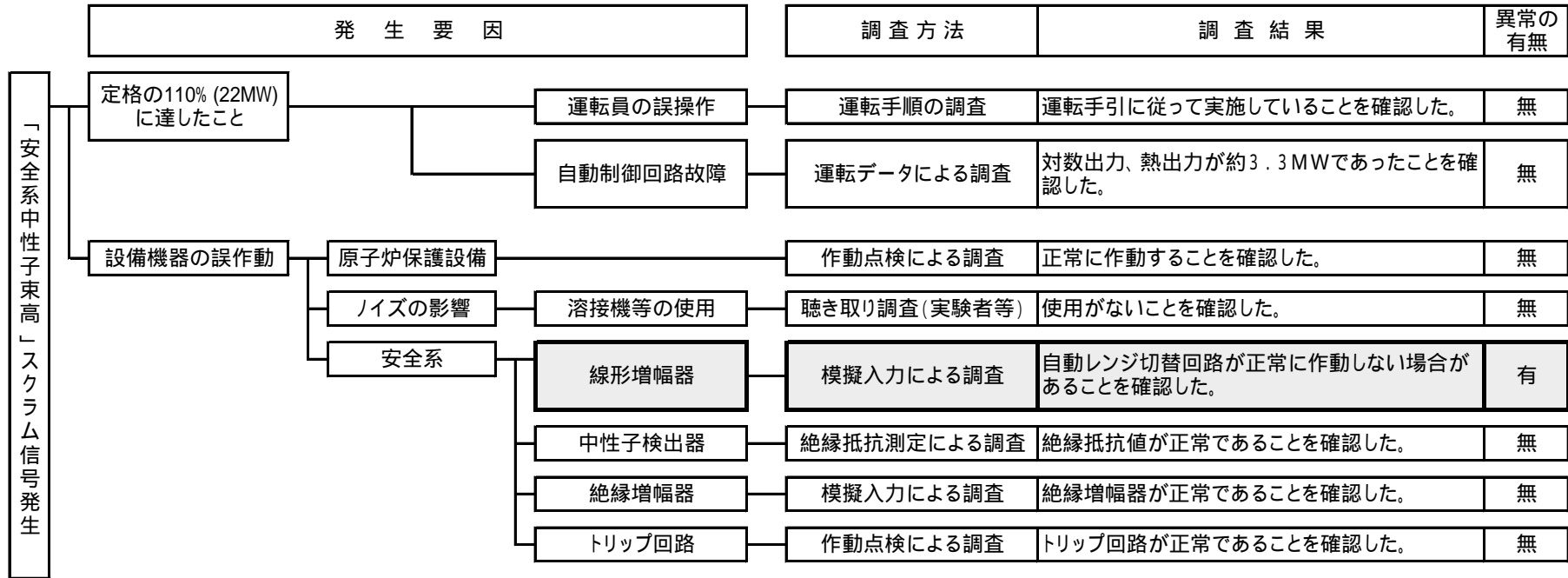
モニタ名	指示値	備考
排気筒ガスモニタ	0.014 Bq/cm ³ *1)	平常の変動範囲内 (0.013 ~ 0.018 Bq/cm ³)
排気筒ダストモニタ	0.44 s ⁻¹ *1)	平常の変動範囲内 (0.39 ~ 0.79 s ⁻¹)
モニタリングポスト	3.2 ~ 4.5 × 10 ⁻² μGy/h *2)	平常の変動範囲内 (3 ~ 11 × 10 ⁻² μGy/h)

*1) 平成 21 年 6 月 8 日 12 時 18 分確認結果

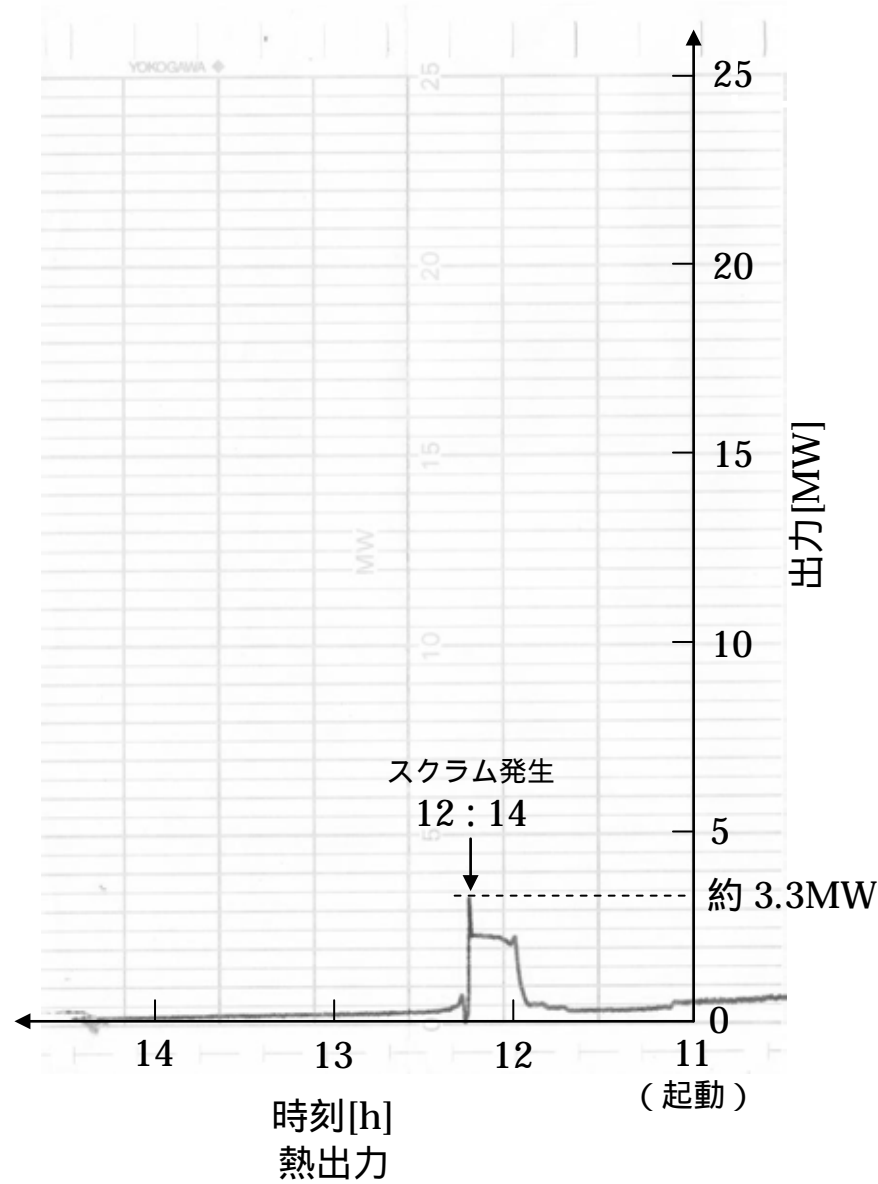
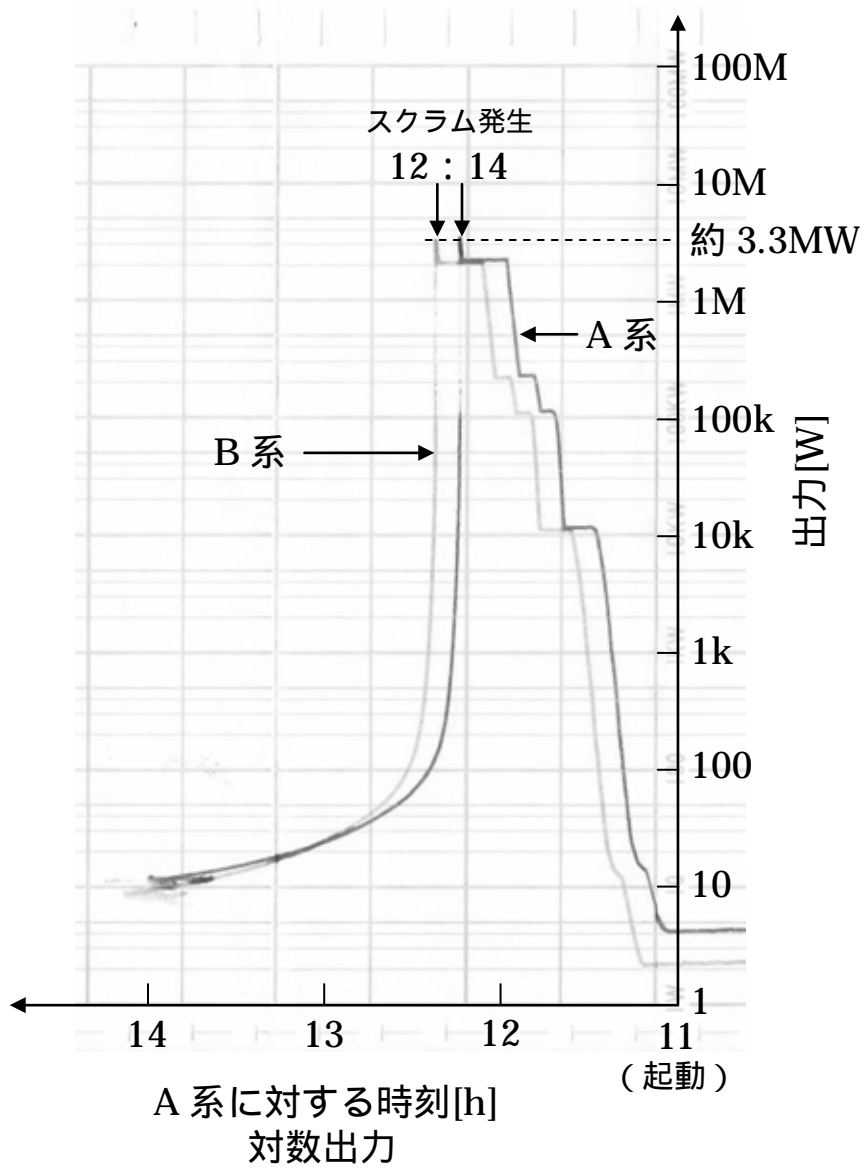
*2) 平成 21 年 6 月 8 日 12 時 30 分 ~ 12 時 40 分の平均値

「安全系中性子束高」が発生する要因に関する調査フロー

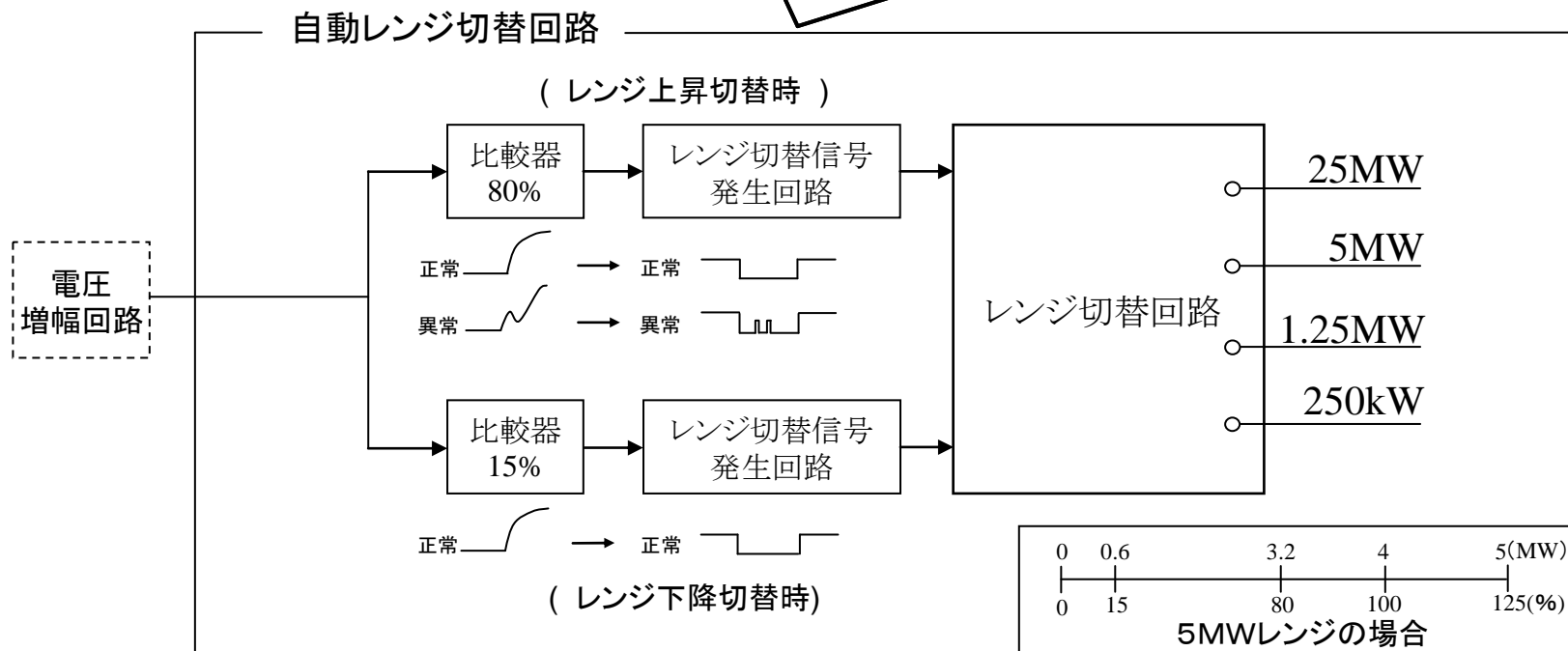
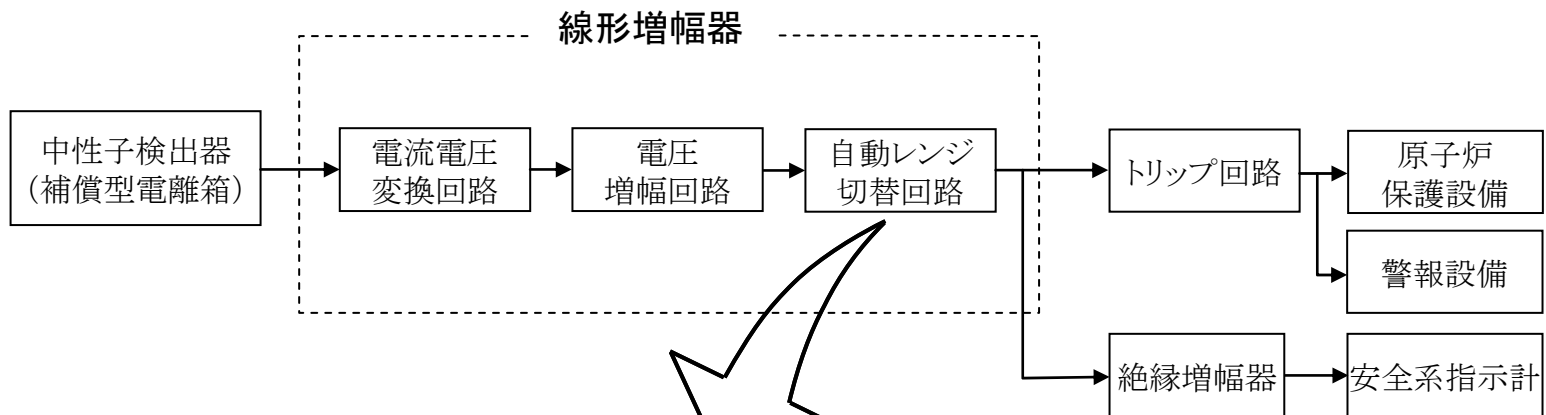
6



10



対数出力及び熱出力の記録紙



線形増幅器の構成

線形増幅器調査フロー

調査対象		調査方法	調査結果	異常の有無	
線形増幅器の異常	電流電圧変換回路	入力電流に対し、正常な電圧値を出力しているか。	各レンジ正常な電圧を出力している。	無	
	電圧増幅回路	入力電圧に対し、正常な電圧を出力しているか。	入力に応じた正常な電圧値が出力されている。	無	
	基板接続コネクタ	接触不良はないか。	目視確認及び通電確認にて異常はみられなかった。	無	
	自動レンジ切替回路	レンジ切替信号発生回路	正常な切り替え信号が出力されているか。	比較器(80%)からの出力波形に異常な波形が生じなければ、レンジ切替信号発生回路は正常な切替信号を出力する。	無
		レンジ切替回路	レンジ切替が正常に行われているか。	レンジ切替が正常に行われている。	無
		比較器(15%)	レンジの15%以下に下降すると信号を出力しているか。	レンジの15%以下に下降すると信号を出力している。	無
			出力波形に異常がないか。	出力波形に異常はない。	無
		比較器(80%)	レンジの80%以上に上昇すると信号を出力しているか。	レンジの80%以上に上昇すると信号を出力している。	無
	出力波形に異常がないか。		出力波形に異常な場合がある。	有	

比較器及びレンジ切替信号発生回路の出力波形

