

もんじゅナトリウム漏えい事故の調査状況について

平成 9 年 1 月 2 4 日
科学技術庁原子力安全局
原 子 炉 規 制 課

もんじゅナトリウム漏えい事故の原因究明については、「もんじゅナトリウム漏えい事故調査・検討タスクフォース」(以下、タスクフォースという。)での検討を踏まえ、平成 8 年 5 月 2 3 日に報告書(以下、報告書という。)を取りまとめた。報告書は、事故の原因となった温度計の破損原因の究明について見通しが立ち、他の調査項目についても相当程度明らかになったことからまとめたものであり、事故の根幹は示されている。

報告書のとりまとめ以降も調査を継続するとしていた主要な事項は、同一設計の温度計のうち、1 本だけが破損した原因及びナトリウムと床ライナ等との反応についてである。このうち、後者については、平成 8 年 6 月に実施したナトリウム漏えい燃焼実験-II において、床ライナが損傷した結果を得たことから、同実験結果の解析と併せて検討を進めた。

平成 8 年 7 月以降、6 回のタスクフォース全体会合を開催し、継続調査事項について検討を進めてきたが、温度計が 1 本だけ破損した原因についての検討は終了しており、また、ナトリウムと床ライナ等との化学反応についても、もんじゅ事故時の反応と燃焼実験-II の時の反応それぞれに関して反応機構を解明し、技術的な検討は終了した。

1. 2 次系温度計が 1 本だけ破損した原因について

2 次系温度計は全体で 4 8 本設置されており、温度計を大きく主冷却系配管に設置されているもの(10 本/ループ)、補助冷却系配管に設置されているもの(6 本/ループ)に分け、更に、主冷却系配管ではホットレグ(中間熱交換器出口から過熱器入口まで)、ミドルレグ(過熱器出口から蒸発器入口まで)及びコールドレグ(蒸発器出口から中間熱交換器入口まで)に分けた。

温度計の破損に関係すると思われる要素(流速、細管段付部の丸み、材料の結晶粒度、表面硬さ、振動の減衰特性、シース付熱電対の挿入状態等)を抽出して、各々について検討した。検討は A、B、C 各ループ間に条件の大きな差はないと考えられるので、C-ループについて詳細に考察した。

補助冷却系の温度計については、これまでのもんじゅの運転状態では、抗力方向の振動が発生する条件と考えている無次元流速が 1 以上という条件に至らないことから、破損が生じる可能性はなかったと判断した。

主冷却系の各温度計については、温度計さやの振動の減衰特性以外に大きな相違はなく、コールドレグ温度計さやの場合他のものより減衰が大きくなりさや細管部の振動振幅はもっとも小さくなった。

ホットレグ及びミドルレグの温度計では、温度計さや中に挿入しているシース付熱電対(以下、シースという。)の状況を基に検討を進め、シースが曲がって挿入されていたことと、振動の減衰との関係を考察した。その結果、シースの先端から約 150mm のところで曲がったシースが挿入されている場合には、振動の減衰が小さいことが判明した。同時にシース外表面に残されていた摺動痕とシースの曲がり方との関係を考察した。

それらの結果から、破損した温度計では、シースが、振動の減衰が小さくなる曲がり方をして挿入されていたことが 1 本だけ破損した原因であるとの結論を得た。

2. ナトリウムと床ライナ等との反応について

報告書において、換気空調ダクトとグレーチングが損傷した原因をナトリウム酸化物と鉄または鉄酸化物とが反応して複合酸化物を形成したことに起因すると推定した。動燃の大洗工学センターで、ナトリウム漏えい燃焼実験-I と II が実施され、前者ではもんじゅ事故時と類似の堆積物が形成されたものの、換気系の目詰まりにより 1 時間 30 分程で実験を中止した。後者においては、3 時間 42 分ナトリウムを漏えいさせたが、形成された堆積物は極めて薄く、堆積状態ももんじゅ事故時とは異なるものであり、かつ、床ライナが損傷した。

両実験とも堆積物の分析において、ナトリウム・鉄の複合酸化物の形成が確認でき、換気空調ダクト、グレーチング及び床ライナとも熱により溶融する温度には至っていないことから、化学反応による鋼材の損傷が明確になった。

もんじゅ事故の場合と燃焼実験-II とを比較すると、換気空調ダクト、グレーチング、床ライナの位置関係は合わせているが、実験装置の大きさ、観察のためのカメラ設置及びカメラ前面への空気の吹き込み、コンクリート壁の配置状態等において条件が相違していた。

堆積物の成分分析により、燃焼実験-II では、水酸化ナトリウムが多量に存在したことが判明した他、鋼材の損傷部分の分析で選択的な腐食が認められるとともに、グレーチングの減肉形態がもんじゅ事故時と相違していた。

これらの点に着目して反応の過程を考察した結果、

- 1) もんじゅでナトリウム漏えいが発生した配管室と実験装置との大きさの違いにより、実験装置内部の温度の方が高くなり、コンクリート壁の温度も実験装置の方が高くなった。
- 2) コンクリート壁からの水分放出及び換気空調系からの水分供給を合わせた水分量が燃焼実験-II の方が多くなった。
- 3) 水分は、漏えいナトリウムのエアロゾル(酸化ナトリウム又は過酸化ナトリウム)と反応して水酸化ナトリウムとなるが、燃焼実験-II ではエアロゾルと反応しなかった余剰水分が生じ、その水分が堆積物に作用し水酸化ナトリウムが形成された。
- 4) もんじゅ事故の場合は、酸化ナトリウムを含むナトリウムの溶融体が形成され、燃え尽きた酸化ナトリウムが下側に層をなし、そこに滴下した未燃焼ナトリウムが存在し

た状態で酸化ナトリウム層に浸み込みながら燃焼した。この環境下で、鉄が酸化ナトリウムと反応することで複合酸化物を形成し、軽微な腐食が生じた。

燃焼実験-II の場合は、水酸化ナトリウムの溶融体が形成され、その上で未燃焼ナトリウムが滴下して燃焼し、酸化ナトリウム及び過酸化ナトリウムが水酸化ナトリウム溶融体中に溶け込んだ状態となった。この溶融体中で過酸化ナトリウムが解離することで発生する酸素イオンが鋼材を腐食させた。

- 5) もんじゅ事故の場合、ライナに 1 mm 強の部分腐食がみられ、一方、燃焼実験-II では、ライナに穴があいたが、それぞれの腐食機構は異なるものであった。ナトリウム中に酸化ナトリウムを溶け込ませた溶融体や水酸化ナトリウム中に過酸化ナトリウムを溶け込ませた溶融体を用いて実施した鋼材の腐食試験の結果から推定した腐食速度からみても、もんじゅ事故時の床ライナの減肉及び燃焼実験-II での床ライナ損傷が可能である。

との結論を得た。

2次系温度計の個体差に関する調査概要

項目	補助冷却系	主冷却系			調査概要
		ホットレグ	ミドルレグ	コールドレグ	
200℃、100%流量 運転時温度、m/s (無次元流速 $V_{in}/V_{(D)}$)	0.60 (約0.23) 抗力方向振動 は発生せず	5.2 (約2.0)	5.2 (約2.0)	5.2 (約2.0)	主冷却系各レグ間で流速の差は無い。()は試験が発生したと考えられる200℃等温運転状態での流速を参照した無次元流速。対称構造を有する抗力方向振動は、 $V_{in}/V_{(D)} > 1.2$ 程度から生じる。したがって、補助冷却系では抗力方向振動は発生しないと考えられる。
逆流		TE1よりTE2 は逆流大	TE3A,3Bは 逆流成分はと んど無し	TE6は当該部 より逆流大	破損当該部 (CグループTE1) の逆流成分は約20% (1/5スケール水試験の結果)。その他の逆流成分の大きさは、エルボからの距離で定性的に判断した。 水流動試験の結果では逆流が振動振幅に与える影響は小さい。また、破損部が最も逆流が大きい訳ではない。コールドレグのTE4A,4B,4C,5A,5Bは逆流成分ほとんど無し。これらから、逆流による抗力方向振動の差は小さいと考えられる。
温度 運転時間		200℃ (定格運転時 505℃)	200℃ (定格運転時 469℃)	200℃ (定格運転時 325℃)	試験が発生したと考えられる100%流量運転状態は等温運転であり、今回の破損に関しては運転温度の差の影響は小さいと考えられる。Cグループの100%流量運転時間はAグループのそれよりも10~30時間短い。このことから、運転時間の差が試験発生に差をもたらしたことは考え難い。
配管直径 (受入時検査結果)		10.2~ 10.5mm	10.0~ 10.5mm	10.4~ 10.5mm	破損当該温度計さやの配管直径の測定結果は、受入時検査、事後検査とも10.4mmである。 配管直径のバラツキは小さく流力振動に与える影響は小さいと考えられる。
配管溶接部のR		当該温度計で は0.1mm、 Cグループの TE2では 0.13mm	Cグループの TE3Bでは 0.13mm	Cグループの TE6では 0.14mm	破損当該温度計のRは0.1mm、Cグループも切り出したその他の温度計では0.13~0.14mmと実測されている。この程度の差では、疲労強度の低減の程度に与える影響が小さいと評価される。
テーパ部の壁厚		当該温度計で は約5.0mm、 Cグループの TE2では 約4.7mm	Cグループの TE3Bでは 約5.9mm	Cグループの TE6では 約4.9mm	設計上の公称値3mm。壁厚が公称値3mmに対し1/2~2倍と異なっても固有振動数は0.91~1.04倍となる程度との計算結果が得られており、影響は小さい。壁厚は発生応力に影響するが、破損当該温度計の壁厚が特に小さいとの実測値は得られていない。(壁厚はJITにより測定した数値(周方向平均)である。)
材料の機械強度 耐力 (Kg/mm ²) 引張強さ (Kg/mm ²)		22~23 54~56	22~23 54~56	22~26 54~56	耐力、引張強さは疲労強度に影響を及ぼすが、当該さやの材料は規格要求値を満足している。破損さやの材料の耐力22Kg/mm ² 、引張強さ54Kg/mm ² であり、他との有意差なし。
材料の結晶粒度		当該温度計では約170μm CグループのTE6 (B出入口温度計) では 約150μm			粗大結晶粒は疲労強度を低下させる傾向にある。破損当該さやの結晶粒度が比較的大きいがB出入口と大差は無い。切削したさやから採取した微小試験片の疲労試験では疲労寿命に異変なし。また、ミルシートの材料強度を見る限りは影響はあまりない。なお、材料強度のバラツキは非常に重要であるが、減衰定数が1%の場合、累積疲労損傷は無視できる。
材料の熱処理時間		当該温度計約 3hr、その他 約1.5~2hr	約3hr	約1.5~3.5hr	比較的長時間の熱処理により強度が低下した可能性は否定できないが、ミルシートの引張強度を見る限りは小さい。また、当該温度計のみが特に熱処理が長いという訳ではない。切削したさやから採取した微小試験片の疲労試験でも疲労寿命に異変なし。
機械加工 ・表面硬さ ・表面粗さ ・残留応力		(参考) ●破損温度計 太径部外表面近傍硬さ 約170Hv 表面以外硬さ 150~160Hv 外表面硬化部厚さ 最大500μm (すべり線領域 30μm) ●CグループTE6 (B出入口) 太径部外表面近傍硬さ 約170Hv 表面以外硬さ 130~160Hv 段付部外表面近傍硬さ 約150Hv 表面以外硬さ 約150Hv 外表面硬化部厚さ 最大500μm (すべり線領域 20μm)			B出入口のさや太径部の硬さ試験結果には有意差なし。B出入口のさや太径部と段付部の硬さ試験結果にも有意差なし。金相による太径部の加工層の厚さにもB出入口で差はない。よって、表面硬さに関しては影響は少ないと推定される。 表面粗さおよび残留応力については、破損当該温度計とその他の温度計 (2次系CグループのB出入口、過熱器出入口温度計の3本) のさやと差はほとんど無い。よって、加工の影響については差はないと推定される。
固有振動		破損当該部における固有振動数は約3.4Hz			さやの固有振動数に対して、破損当該部の1次の固有振動数は十分に小さく固有振動との共振振動が生じる可能性は低い。(Aグループとも同様)
ニップル長さ (振動モード)		ニップル長 さ:185mm	ニップル長 さ:160mm	ニップル長 さ:110mm 抗力方向振動 幅は小さく $D_1 < 1$ ($\delta > 0.5\%$)	ニップル長さの違いが振動モードに影響を及ぼす。ホットとミドルレグでは差は小さいが、コールドレグでは、2次モードにおけるニップル部の振動が顕在化し、検査減衰も大きくなるため、抗力方向の振動の振幅が小さくなり、減衰定数が0.5%を超えると、累積疲労損傷係数は $D_1 < 1$ となる。
減衰特性		減衰特性の測定結果にはある程度のバラツキがある。シースに曲がりがない場合には減衰定数は約1%程度。シースに曲がりがある (屈曲点が段付近傍部にある) 場合には、減衰定数は約0.5%程度と大差、見逃もすることがある。			減衰特性が疲労損傷に与える影響は大。ホットレグ温度計では、減衰定数が0.5%と1.0%の場合の段付部近傍ひずみ減衰は、それぞれ約0.17%および0.04%であり、対応する累積疲労損傷係数はそれぞれ約1.000および0.0と、大きな差違になって現れる。減衰定数が同一の場合でも、ホットレグ、ミドルレグ、コールドレグの順に検査減衰が大きくなり、これに伴って流力振動に伴うひずみ減衰および累積疲労損傷係数はこの順に小さくなる。減衰定数を0.5%とすると、累積疲労損傷係数は、それぞれ、約1.000、3.000および0である。
熱電対シースの 曲がり さやの振動に 与える影響		(当該温度計 以外) 曲がり無し又は は元元からの 曲がり 減衰:大 振動振幅:小	(全ての 温度計) 曲がり無し又は は元元からの 曲がり 減衰:大 振動振幅:小		熱電対シースが減衰特性に与える影響は大。シースが真直又は元元から曲がっている場合は減衰効果が大。シースが中間部から曲がっている場合は減衰が小さい。ホットレグ及びミドルレグの温度計の中で、当該破損温度計以外は全てシースが真直又は元元から曲がっているため、減衰が大きい振動振幅が小さく、有意な疲労損傷を生じていない。 当該破損温度計のシース外表面の粗さ計測の結果、先端から約150mmの位置でシースの曲がりがあったために発生したと見られる屈曲部の形状と粗さのプロファイルが確認された。ホットレグ及びミドルレグの温度計の中で、熱電対シースが中間部から曲がっていたのは当該破損温度計のみである。したがって、当該温度計のみが減衰が小さくなったため、振動振幅が大きくなり疲労破損に至ったと推定される。

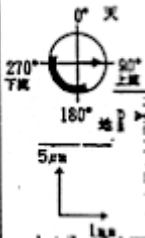
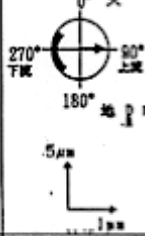
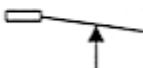
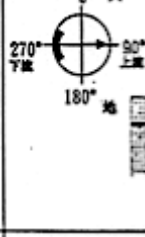
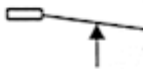
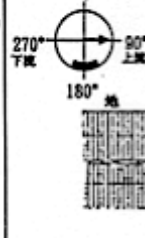
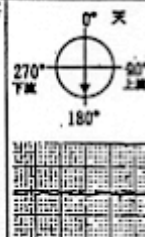
摺動痕特性調査のための水流動試験と実機（Cループ）における粗さ／形状の特徴比較

(水流動試験)		— 温度計挿入例 —		温度計先端例
TP-No.	形状	マクロ観察結果	段付部における代表的な粗さ形状	特徴
—	健全部	健全部のマクロ観察は実施していないが、マクロ的には傷はなし。		健全部の粗さはシースにより若干異なるが $Ra=0.16\sim0.24\mu m$ 、 $Rt=1.95\sim3.72\mu m$ となっている。
TP-A1 (TP-1)	 曲がりなし	細いはっきりとした線状の摺動痕が段付き部の位置に約3/4周観察される。幅広のうすいすじ状摺動痕が段付き部から約10mm先端側の位置にほぼ全周発生している。		粗さプロフィールでは段付き部位置が明確には分らない。粗さは $Ra=0.24\sim0.32\mu m$ 、 $Rt=2.48\sim3.68\mu m$ となっており、健全部との比は $Ra:1.0\sim1.5$ 倍、 $Rt:0.9\sim1.5$ 倍であり、ほぼ同等。
TP-A2	 曲がりなし	線状摺動痕が段付き部位置に観察され、途中で途切れている。その場所に軸方向に幅のある小さな摺動痕が観察される。		線状痕、及びその間にある摺動痕部分の粗さは低く、 $Ra=0.13\sim0.21\mu m$ 、 $Rt=1.85\sim4.60\mu m$ である。健全部との比は $Ra:0.9\sim1.5$ 倍、 $Rt:0.8\sim2.0$ 倍となる。
TP-A3	 曲がりなし	段付き部に明確な線状痕が観察される。その中間部が幅広くなっている。		粗さプロフィールから、線状痕が深いことが分かる。そのため、 Rt 値が非常に大きな値となっている。粗さは、 $Ra=0.34\sim0.44\mu m$ 、 $Rt=10.85\sim13.40\mu m$ であり、健全部との比は $Ra:2.0\sim2.6$ 倍、 $Rt:2.6\sim3.2$ 倍となっている。

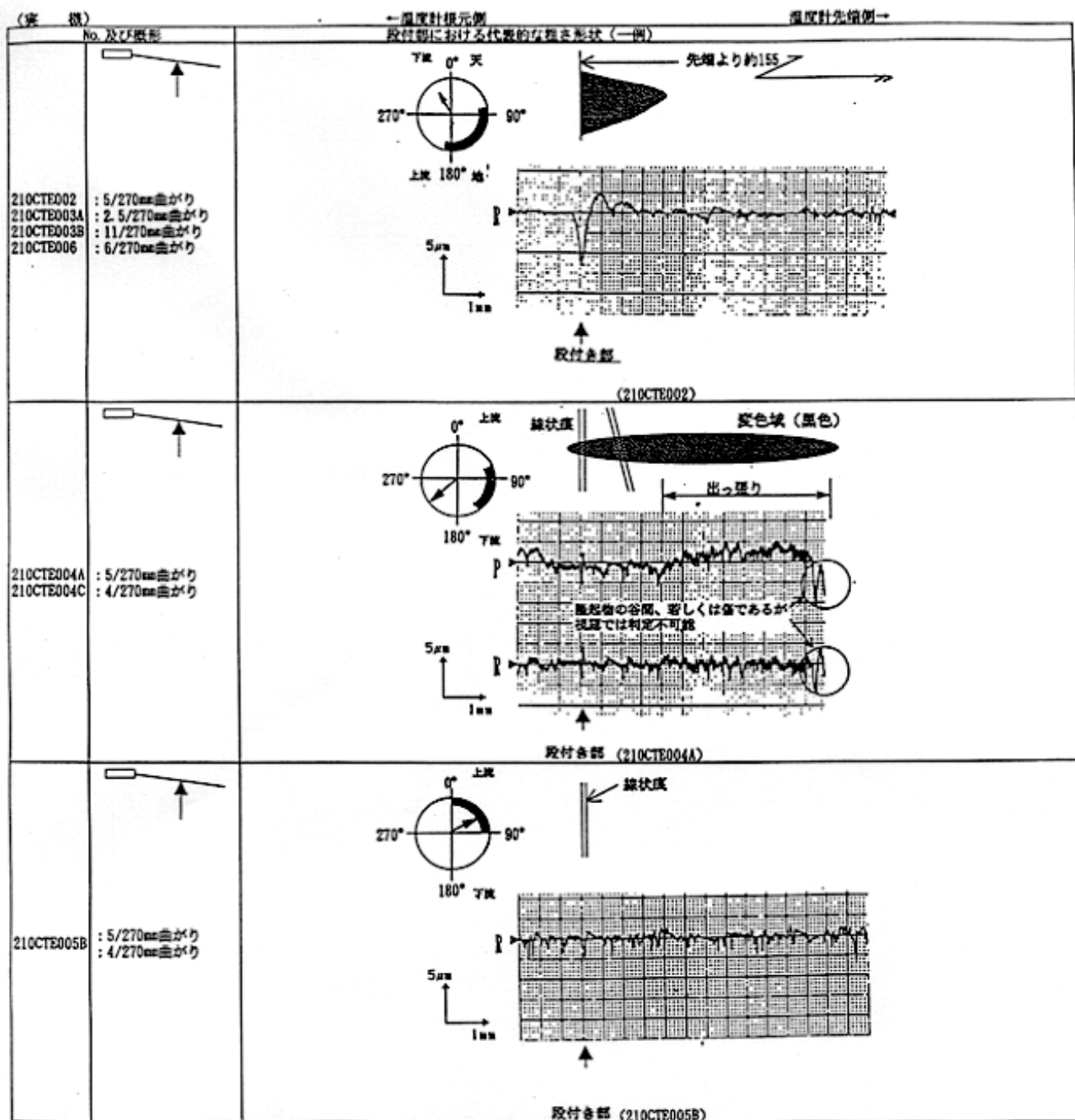
(実機)		段付部における代表的な粗さ形状	
No. 及び形状			
210CTE004B	 曲がりなし		
210CTE005A	 曲がりなし		

(注) 方位図中の矢印はシースの曲げ方向を示す

摺動痕特性調査のための水流動試験と実機（Cループ）における粗さ／形状の特徴比較

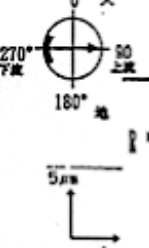
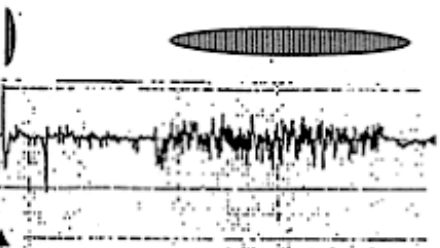
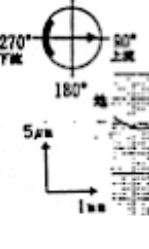
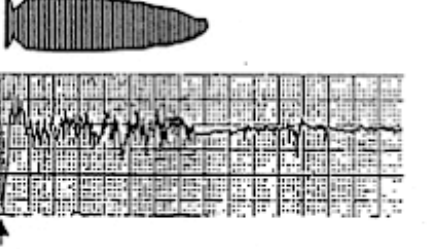
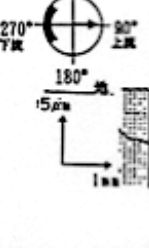
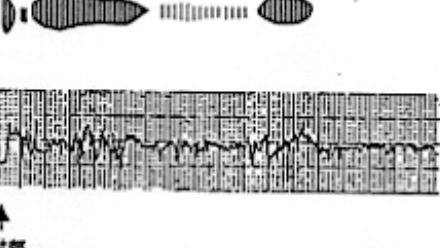
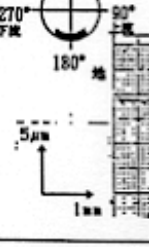
(水流動試験)		—温度計探頭例—		温度計先端例—	特徴
TP-No.	概形	マクロ観察結果	段付部における代表的な粗さ形状		
TP-B1 (TP-3)	 10mm/250mm曲がり	はっきりとした線状摺動痕が段付部位置に約1/2周に、幅広のうすいすじ状摺動痕が段付きから約10mm先端側にほぼ全周に発生している。			粗さプロフィールでは段付部位置が明確には分らない。粗さは Ra=0.20~0.28μm、 Rt=2.92~3.68μmとなっており、健全部との比は Ra:1.3~1.8倍、 Rt:1.1~1.4倍とほぼ同等である。
TP-B2 (TP-6)	 12mm/250mm曲がり	マクロ的には段付き部に約1/3周程度のつめ状摺動痕が観察される。			段付き部の位置に明らかな粗さの変化が認められる。粗さは Ra=0.28~0.44μm、 Rt=4.35~9.40μmとなっており段付き部の大きな凹凸が全体の粗さを大きくしている。また、Rt（最大高さ）の増加が顕著である。健全部との比は Ra:1.2~1.8倍、 Rt:2.2~4.8倍
TP-B3	 10mm/270mm曲がり	段付部につめ状の摺動痕が観察される。目視ではやや強く見える摺動痕である。			最大粗さRtが段付部で発生しその他の部位では粗さの低い、つめ状痕に共通するプロフィールである。粗さは、 Ra=0.24~0.37μm、 Rt=5.95~7.45μmであり、健全部との比は Ra:1.5~2.3倍、 Rt:1.5~1.9倍となっている。
TP-B4	 10mm/270mm曲がり	曲げの背側とは90°異なる180°側に小さなつめ状と思われる摺動痕が発生している。			段付部に粗さのピークがあり、その他の部位は粗さの低いつめ状痕のプロフィールを示す。粗さは Ra=0.19~0.24μm、 Rt=4.4~6.2μmであり、健全部との比は Ra:1.0~1.3倍、 Rt:1.6~2.2倍である。
TP-BY	 10mm/270mm曲がり	段付部に摺動痕は観察されない。			段付部近傍に摺動痕は見当たらないため、段付き部の代表部の粗さプロフィールを提示した。粗さは Ra=0.11μm、 Rt=2.2μmであり、健全部との比は Ra:0.5倍、 Rt:0.7倍となっており、段付部に摺動痕が無いことが確認された。

(注)方位図中の矢印はシースの曲げ方向を示す

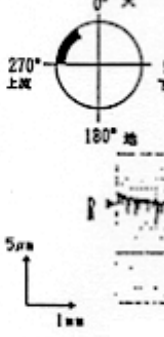
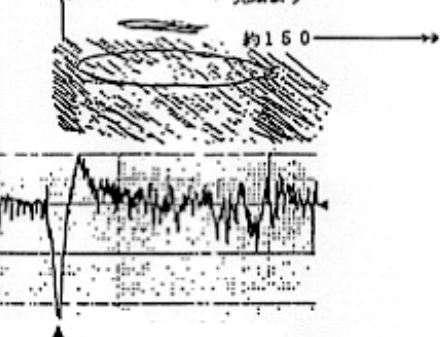


(注) 方位図中の矢印はシースの曲げ方向を示す

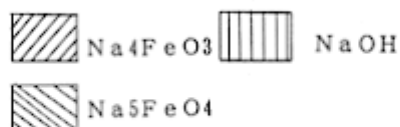
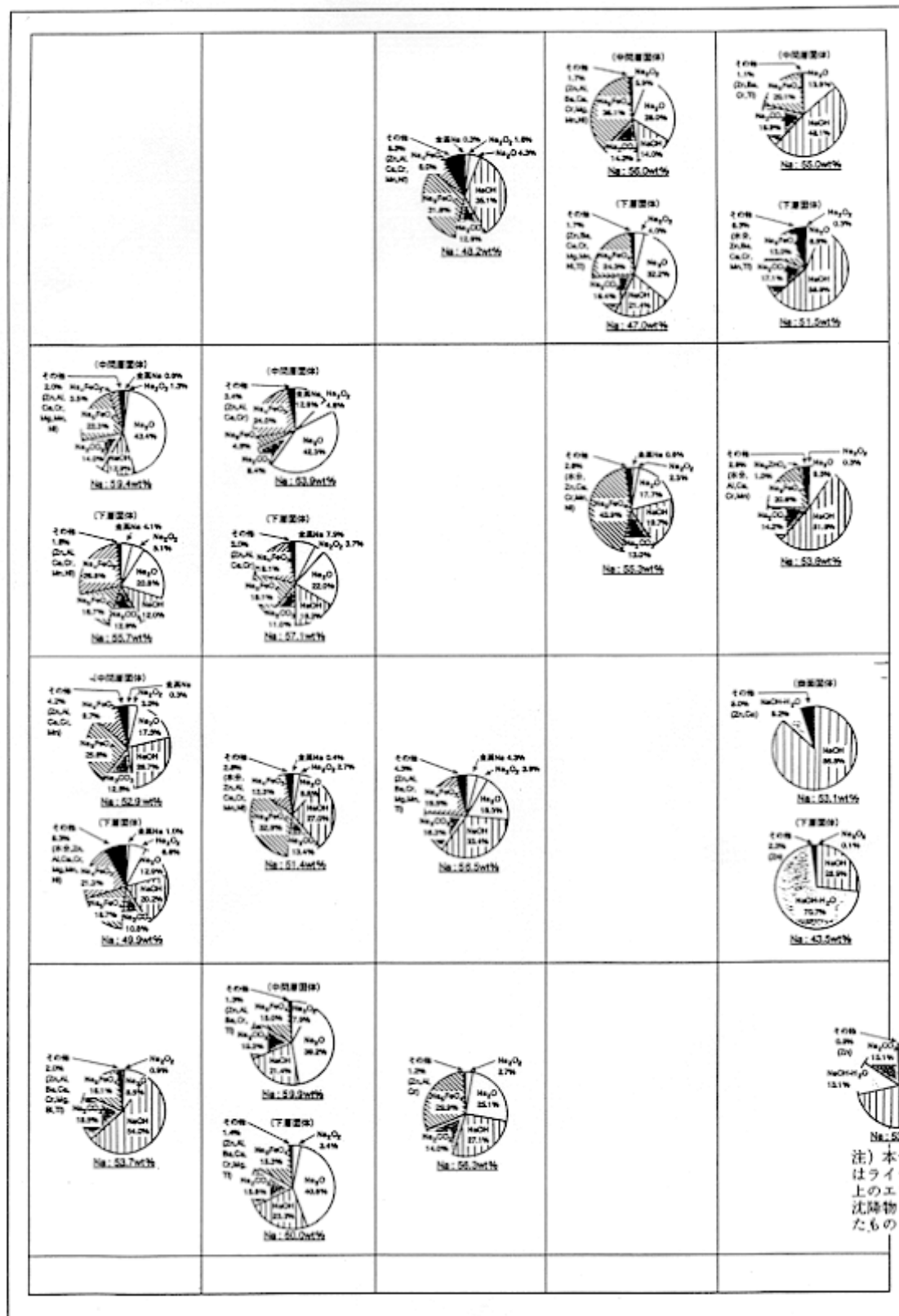
摺動痕特性調査のための水流動試験と実機（Cループ）における粗さ／形状の特徴比較

(水流動試験)	No. 及び形状	マクロ観察結果	温度計検出例	温度計先端測一	特徴
TP-C1 (TP-2)		小さなつめ状の摺動痕が曲がりの反対側に段付き部の位置に発生している。小判状の摺動痕が段付き部から約5mm先端側の位置に発生している。			段付き部の位置に粗さの変化が明確に認められる。小判状摺動痕位置になると粗さが明らかに粗くなっている様子が観察される。小判状摺動痕の粗さは Ra=0.56~0.68µm、 Rt=5.12~10.8µm 程度であり、健全部との比 Ra:2.8~3.4倍、 Rt:2.2~4.7倍 と明らかに粗くなっている。
TP-C2		段付き部に小さなつめ状摺動痕があり、それに隣接して小判状摺動痕が生じ、両者が一部重なっている。			段付き部の小さなつめ状で最大粗さが発生し、Rtは非常に大きい。また、平均粗さも高く、隣接して小判状摺動痕が存在することを示している。粗さは、 Ra=0.42~0.58µm、 Rt=8.55~16.3µm であり、健全部との比は Ra:2.6~3.6倍、 Rt:3.2~6.0倍 となっている。
TP-C3		段付き部に小さなつめ状摺動痕が生じ、それに隣接して小判状摺動痕が観察され、一部粗さの低い部分がある。			段付き部の小さなつめ状摺動痕で最大粗さが発生している。また、隣接する小判状摺動痕の平均粗さも高い。粗さは、 Ra=0.4~0.5µm、 Rt=4.75~7.15µm である。また、健全部との比は Ra:1.9~2.4倍、 Rt:1.2~1.8倍 となっている。
TP-CV		段付き部に小さなつめ状の摺動痕と短い小判状の摺動痕が複合したような摺動痕が観察され、一見つめ状に見える。			段付き部に生じた小さいつめ状摺動痕は非常に深いことが分かる。また、平均粗さも高く、小判状摺動痕が存在することを示している。粗さは、 Ra=0.61~0.72µm、 Rt=17.4~20.0µm であり、健全部との比は Ra:4.7~5.5倍、 Rt:9.9~11.4倍 となっている。

(実機)

No. 及び形状	段付き部における代表的な粗さ形状
210CTE001 : 破損当該部	  先端より 約150 段付き部

(注)方位図中の矢印はシースの曲げ方向を示す



燃焼実験Ⅱの床ライナ上堆積物(下層部分)のサンプル分析結果

「もんじゅ」、 「燃焼実験Ⅰ」 および 「燃焼実験Ⅱ」 の X線回折結果概要

対象	試料採取位置	計測温度 (℃)※	NaOH 類※	Na ₂ O	Na ₂ CO ₃ 類※	Na ₂ CO ₃ 類※	α-Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ 類※	Fe(OH) ₃	NaFeO ₂ 類※	Na ₂ FeO ₄	NaFe ₂ O ₆	Na ₂ Fe ₂ O ₇	Na ₂ Fe ₂ O ₇	Na ₂ Fe ₂ O ₇	ZnO	ZnFe ₂ O ₄	選択腐食 食形態	備 考
もんじゅ	空間ダクト外板※	～ 800						++								+		無	
	空間ダクト外板付着物※	—				++												—	
	グレーティング※	～ 1150				++		+							+			無	NaFeO ₂ 微量検出
	グレーティング付着物※	—				++												—	ZnO検出
	床ライナ※	～ 700				++	++											無	Fe ₂ O ₃ 検出
	床ライナ付着物※	—				++												—	Fe ₂ O ₃ 検出
燃焼実験Ⅰ	空間ダクト外板※	～ 680	++	++	++	+	++	+			+							無	Na, ZnO, 検出
	空間ダクト外板付着物※	—	++	++		++		+		+	+			+				—	Na, ZnO, 検出
	グレーティング※	～ 1000				++	++	+										無	Na ₂ FeO ₄ 微量検出
	グレーティング付着物※	—	++	+							+							—	Na ₂ FeO ₄ 微量検出
	受け皿※	～ 750		+		++	++	++										無	ZnFe ₂ O ₄ 微量検出
	受け皿堆積物※																		
燃焼実験Ⅱ	空間ダクト外板外側※	～ 700				++	++	++		+		+					++	有	
	空間ダクト外板付着物※	—	***			++		+				+						—	NaFeO ₂ , Na ₂ FeO ₄ 微量検出
	グレーティング※	～ 1000				++	++					+						有	Fe ₂ O ₃ 検出, NaFeO ₂ 微量
	グレーティング付着物※	—				++												—	Fe ₂ O ₃ , NaFeO ₂ , ZnFe ₂ O ₄ 検出, NaFeO ₂ 微量検出
	床ライナ裏※	～ 850				++	++	+		++					+			顕著	NaFeO ₂ , ZnFe ₂ O ₄ 検出, Fe(OH) ₃ 微量検出
	床ライナ裏※	～ 850				+	++	+		++								顕著	NaFeO ₂ , Na ₂ FeO ₄ , TiO ₂ 検出, Fe(OH) ₃ 微量検出
	床表面堆積物・欠損部※	—	++	+		++	++	+	+	++	+	+	+	+	+		+	—	Na, Al, ZnCO ₃ , ZnAl ₂ O ₄ , Na ₂ Fe ₂ O ₇ , Na ₂ FeO ₄ , Na ₂ ZnSiO ₄ 検出, Na ₂ O微量検出
	床表面付着物・欠損部※	—	+			++	+			+		+						—	Fe ₂ O ₃ , Na ₂ CaSiO ₄ , 複数のCa-Al-Si-O, Zn, Ti ₂ O ₃ , TiO ₂ 検出
	床表面堆積物・健全部※	～ 300	++			++								+				—	NaFeO ₂ , Na ₂ O検出, NaFeO ₂ , Na ₂ O微量検出

注) 表はX線回折結果における(存在)確からしさを++, +および+以下の3段階評価で判定し, +以上となった化合物を示している。
(堆積物: 材料表面に堆積した物質, 付着物: 堆積物除去後に残った材料面と接触している部分の物質)

※1: 1試料のみの分析結果は, 評価をそのまま記載

※2: 2試料による分析結果で, 複数評価がある場合, 評価の高い方を記載(表にない化合物で+以上は「備考」に「検出」, +の判定で重要と思われる化合物のみ「備考」に「微量検出」と記載)

※3: 3試料以上による分析結果で, ①++が2試料以上で認められる: ++, ②++が1試料のみ/++がなく+が2試料以上で認められる: +, ③++がなく+が1試料のみ: 「備考」に「検出」を記載, ④++および++がなく+のみの判定: 重要と思われる化合物のみ「備考」に「微量検出」と記載, ⑤表にない化合物で+以上は「備考」に「検出」と記載

※4: この値は温度のめやすとして, もんじゅでは推定温度のおおよその最高, 実験Ⅰ及び実験Ⅱでは計測温度のおおよその最高を示したものである。

※5: NaOH, NaOH/H₂O

※6: Na₂O, Na₂O+2H₂O

※7: Na₂CO₃, Na₂CO₃+H₂O, Na₂CO₃+1.5H₂O, Na₂CO₃+10H₂O, Na₂H(CO₃)+2H₂O

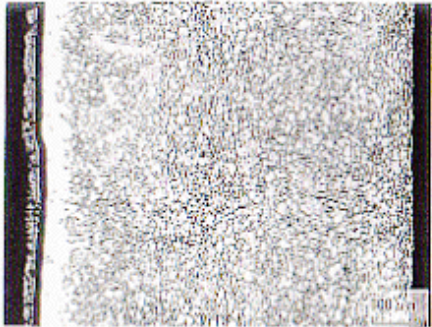
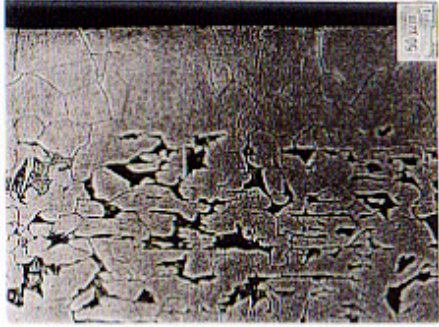
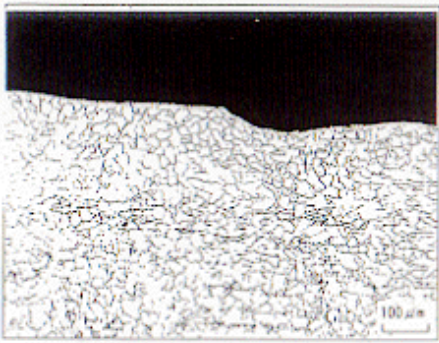
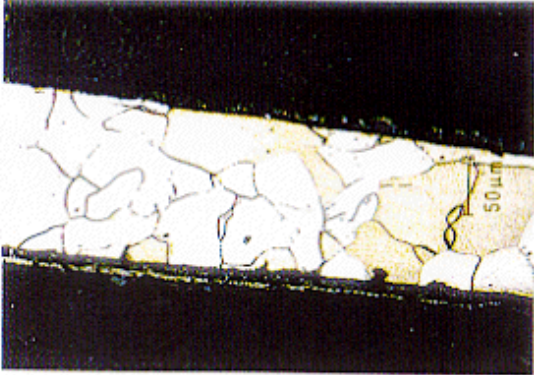
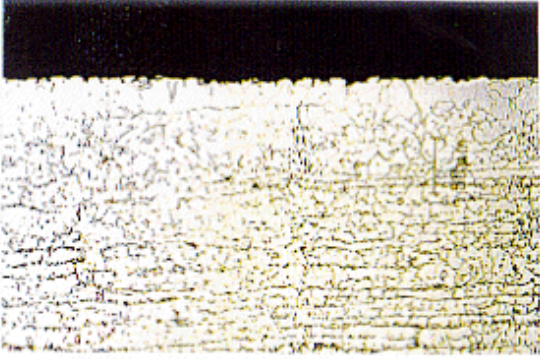
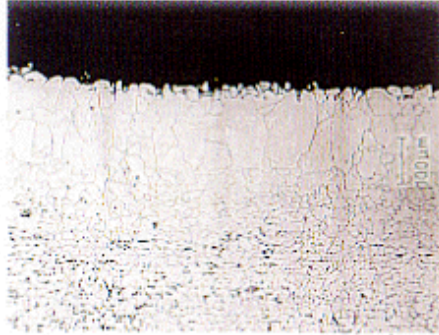
※8: Fe₂O₃, Fe₂O₃+H₂O

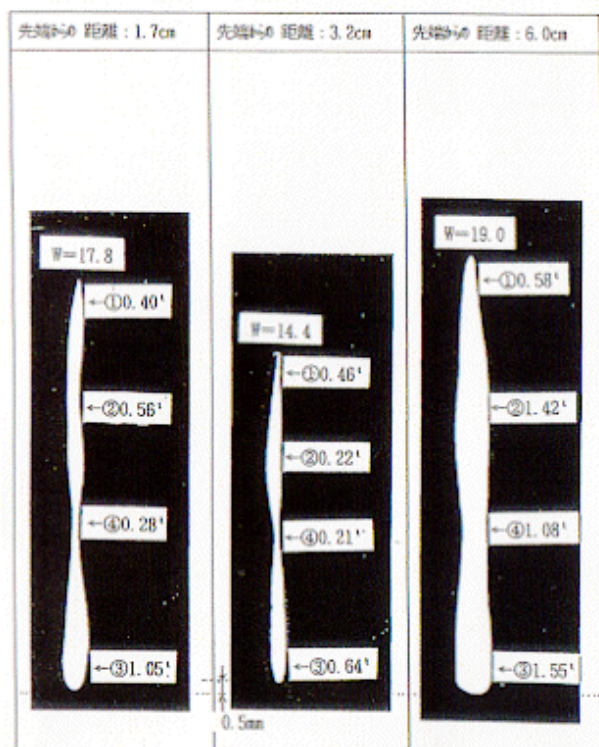
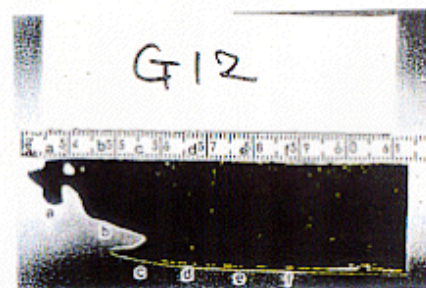
※9: NaFeO₂, NaFeO₂+H₂O

※10: 堆積物下層の4試料の化学分析から2試料でNaOHを検出

※11: 堆積物の評価の中には一部化学分析結果も参照したものもある。

「もんじゅ」、「燃焼実験Ⅰ」及び「燃焼実験Ⅱ」の各部材料の表層断面観察結果の比較

	ダクト外板	グレーティング・ブレード	床ライナ（受皿）表面
もんじゅ			
燃焼実験Ⅰ			
燃焼実験Ⅱ			



もんじゅ

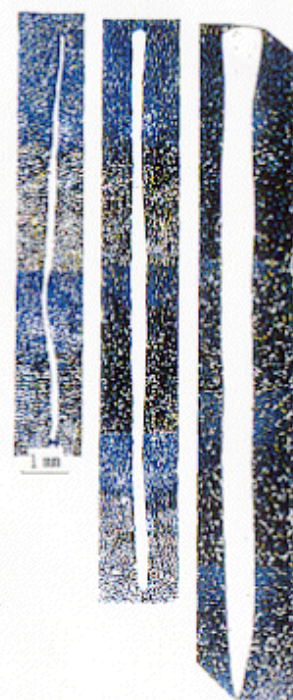


A部断面



B部断面

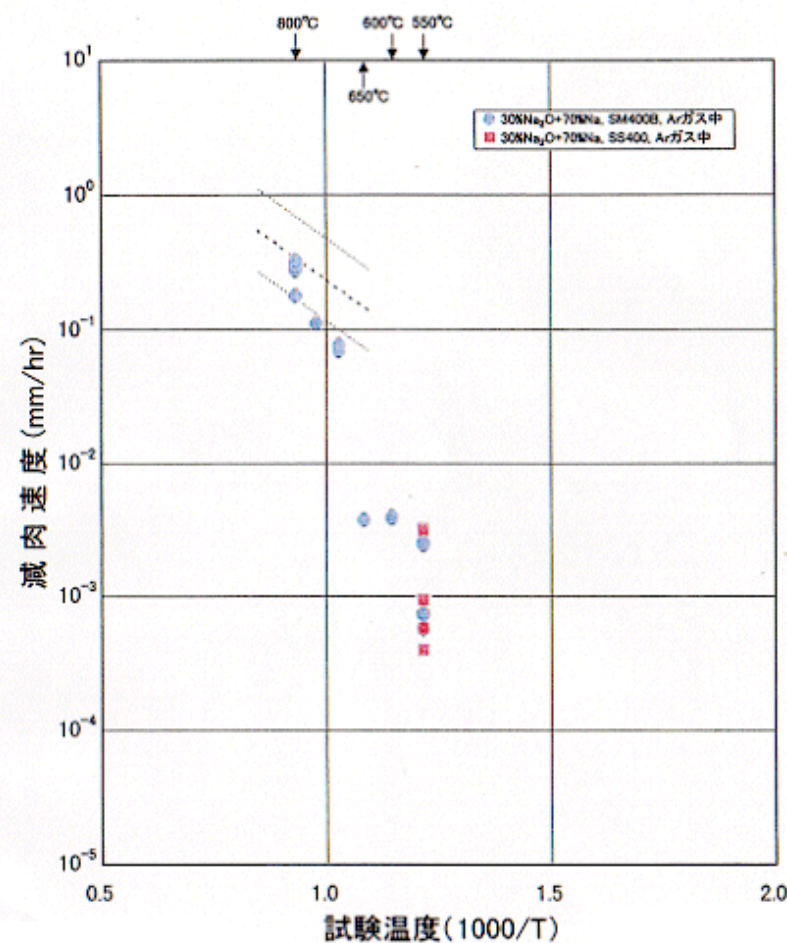
燃烧実験 I



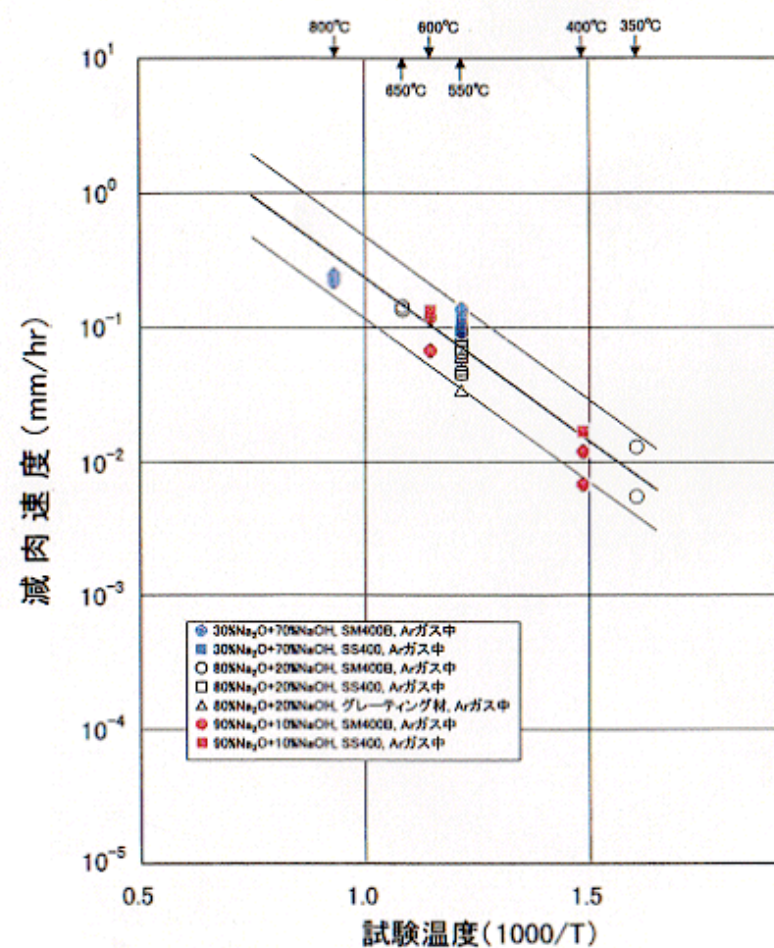
aa断面 bb断面 cc断面

燃烧実験 II

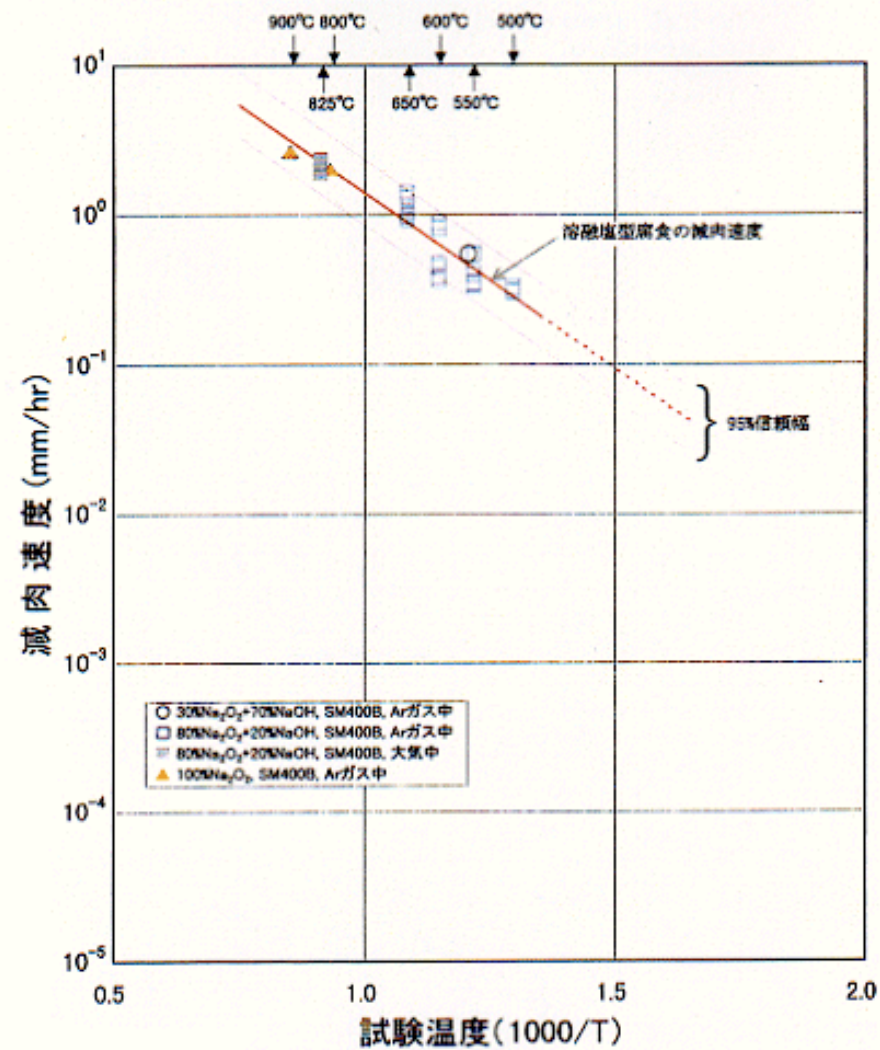
グレーチング横板の減肉様相の比較



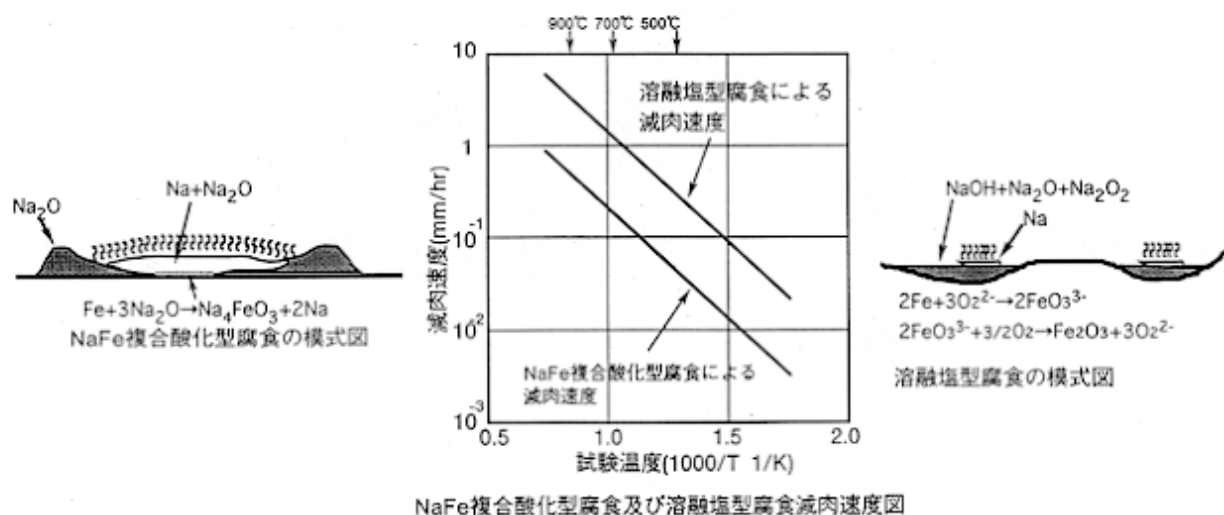
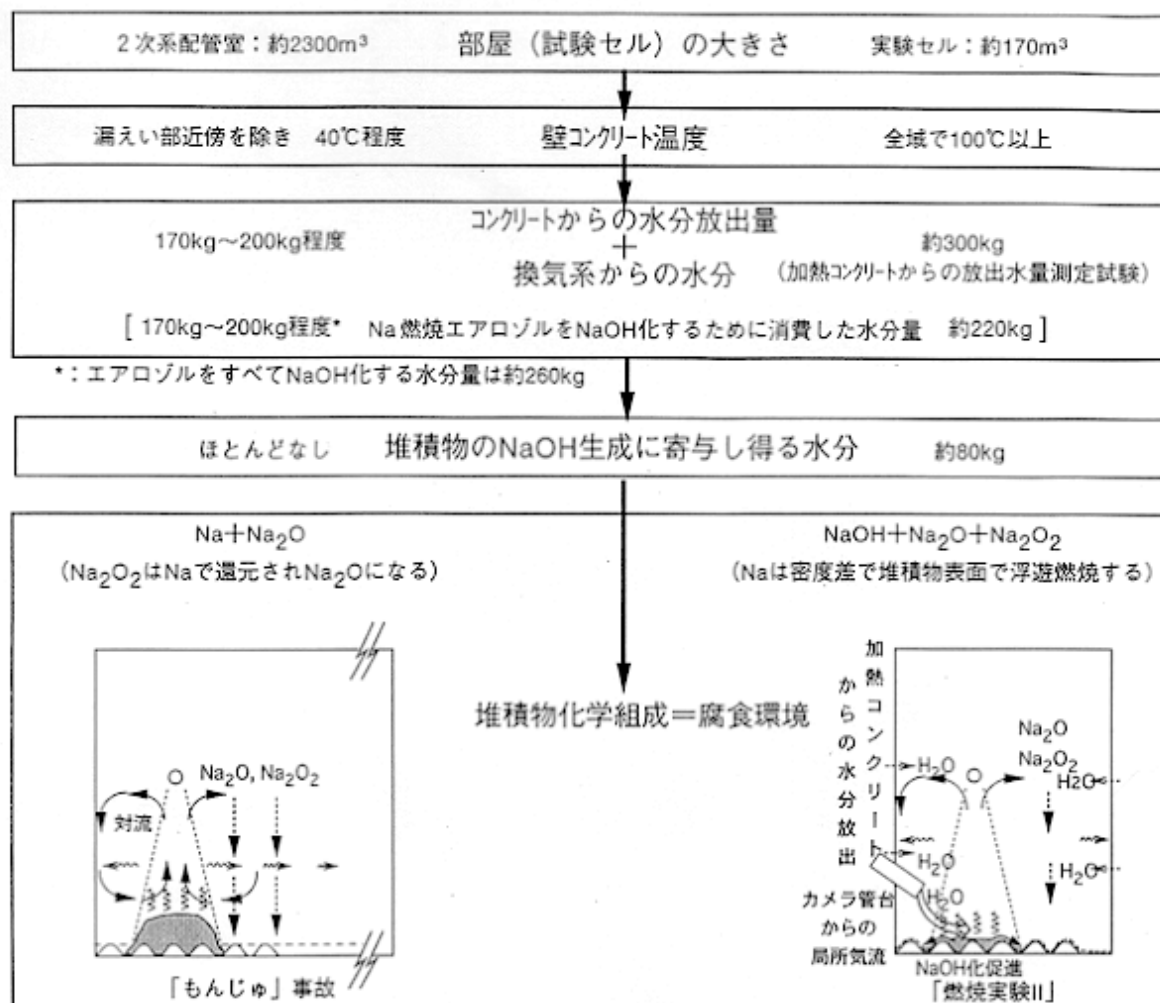
Na+Na₂O 環境試験データの温度依存性



NaFe複合酸化型腐食における減肉速度の温度依存性



溶融塩型腐食の減肉速度の温度依存性
※図中の試薬組成は試験初期条件



減肉速度	中央値：0.2～0.3mm/hr (700～750℃) 最大値：0.4～0.5mm/hr	減肉量の確認	減肉速度	中央値：2～3mm/hr (800～850℃) 最大値：3～4mm/hr
ライナの1～1.5mm程度の減肉は予想できる			ライナの貫通孔は予想できる範囲	

「もんじゅ」事故及び「燃焼実験Ⅱ」のライナ材料等の腐食挙動