

「もんじゅ安全性調査検討専門委員会」

第11回委員会

高速増殖原型炉もんじゅ安全総点検の
対応状況について

安全性研究等の反映

平成14年9月3日

核燃料サイクル開発機構

「もんじゅ安全性調査検討委員会」

第11回委員会

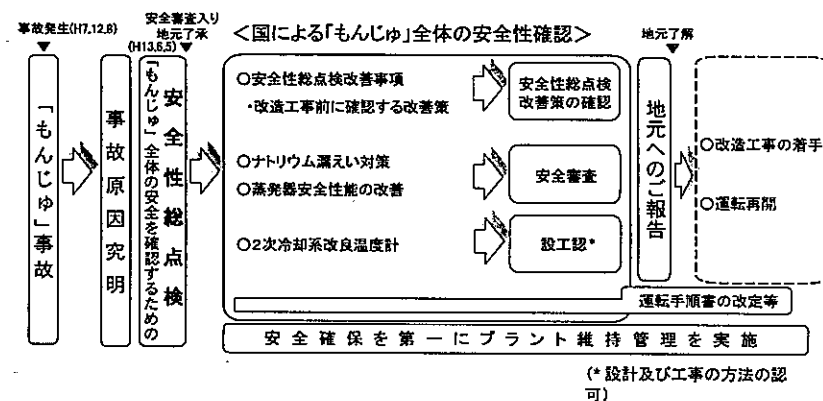
もんじゅ安全総点検

- ・信頼性向上等を目的とした設備改善
(ナトリウム漏えい対策以外)
- ・安全性研究等の反映

平成14年9月3日

核燃料サイクル開発機構

「もんじゅ」全体の安全性の確認状況



安全性総点検指摘事項の整理

安全性総点検 改善策の確認

設備改善

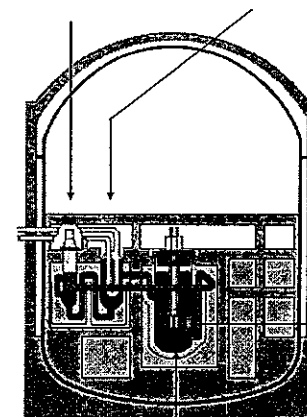
品質保証体系・活動の改善

運転手順書、運転管理体制等
の改善

安全性研究等の反映

- ・ 蒸気発生器伝熱管破損対策
- ・ 燃料温度評価の高度化
- ・ 制御棒の長寿命化

1次主冷却系循環ポンプ 中間熱交換器



原子炉容器

炉心

炉心構成要素		記号	数量
炉心燃料 集合体	内側炉心	⊙	108
	外側炉心	⊗	90
ブランケット燃料集合体		⊗	172
制御棒 集合体	微調整棒	Ⓔ	3
	粗調整棒	Ⓕ	10
	後端炉停止棒	Ⓖ	6
中性子源集合体		⊗	2

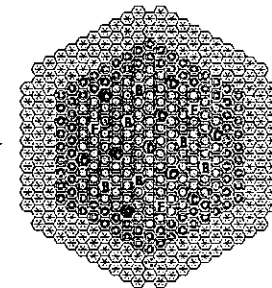


図3.1.1 1次主冷却系概念図

燃料温度の評価に係る新しい知見

○ 燃料の融点に係る知見

○ 「常陽」での照射試験結果
(燃料の溶融と線出力の関係に係る知見)

燃料温度の評価に係る新しい知見

○ 燃料の融点に係る知見

「もんじゅ」の燃料温度評価手法の設定に使用した
燃料の融点評価値を一部、低く見直す研究報告があった。

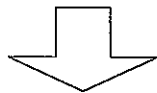
○ 「常陽」での照射試験結果

「もんじゅ」の燃料温度評価手法の設定に利用できる
新たな照射試験結果(燃料の溶融と線出力の関係に
係る知見)が得られた。

燃料の安全性

設置許可

燃料温度が融点未満であるよう設計する

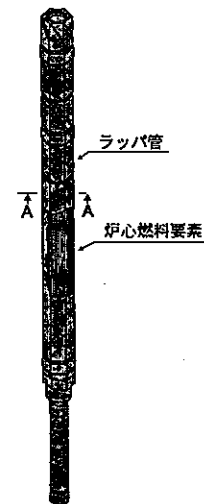


燃料の融点に関する新しい知見
(確認評価・データ拡充が必要)

念のため、
確認評価・データ拡充を進めながら、
新しい知見を反映した燃料温度評価を実施中

国への報告：未実施

炉心燃料集合体



燃料要素拡大図

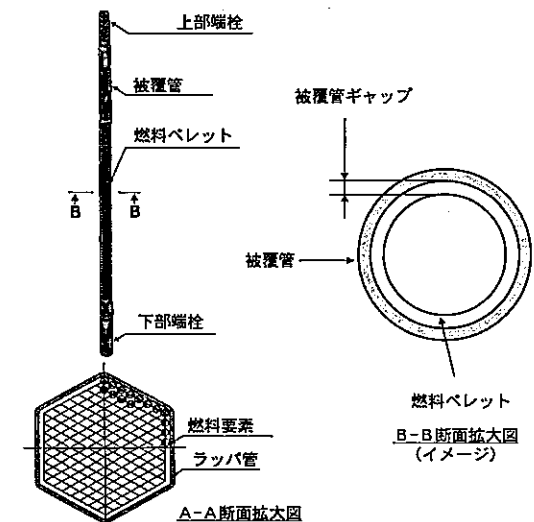


図3.1.2 炉心燃料集合体の構造

燃料温度の評価

○ 各種の照射試験結果(燃料の溶融と線出力の関係)から、燃料要素のギャップ熱伝達率を評価する。

◎ 評価したギャップ熱伝達率を用いて、冷却材ナトリウム温度から燃料温度(燃料中心温度)を評価する。

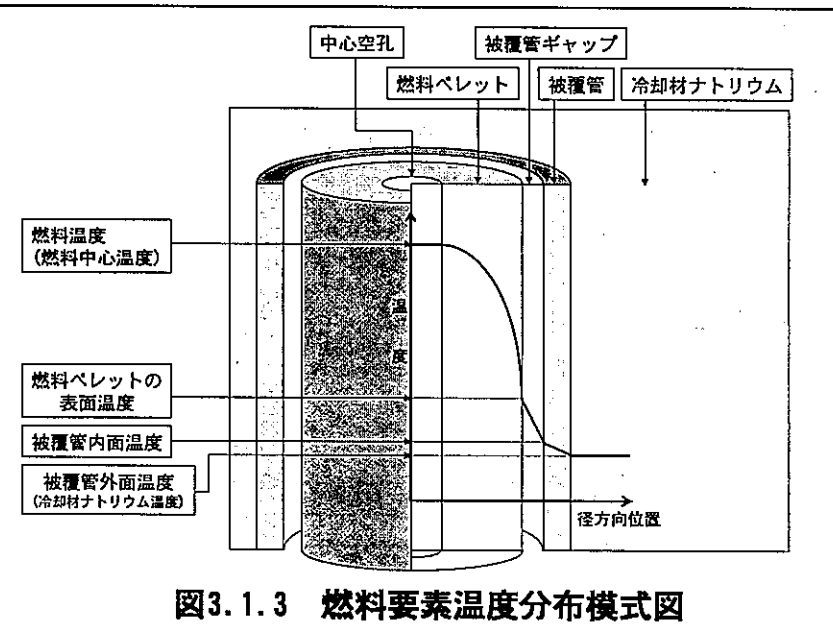
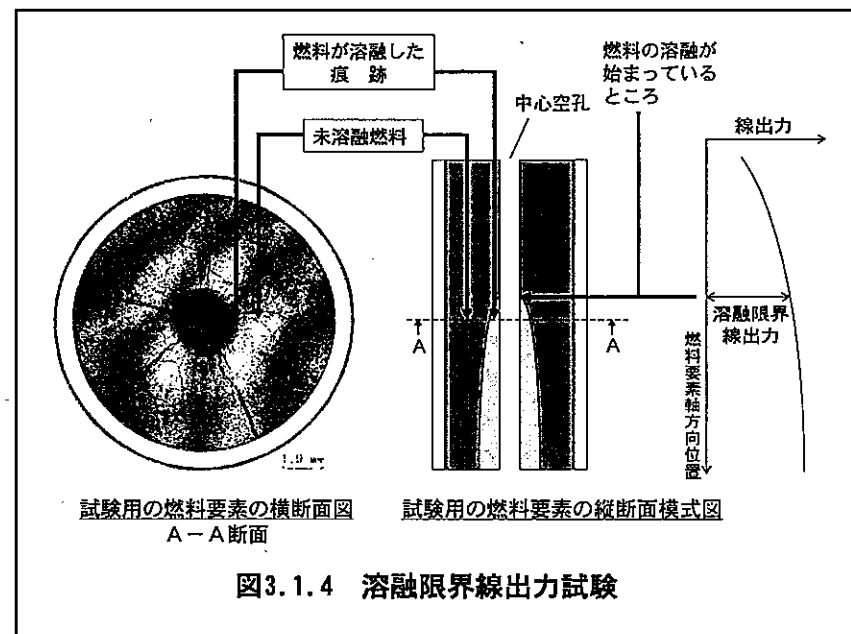
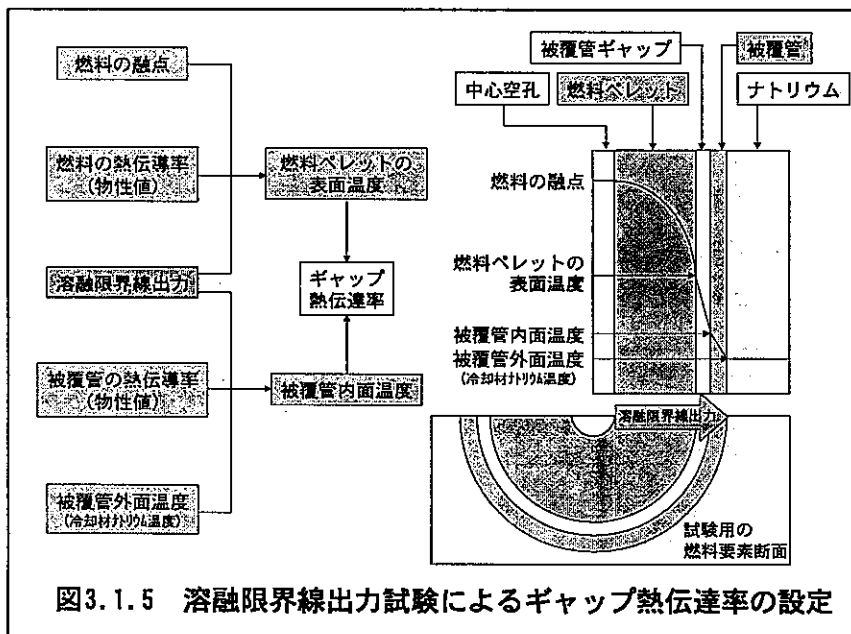
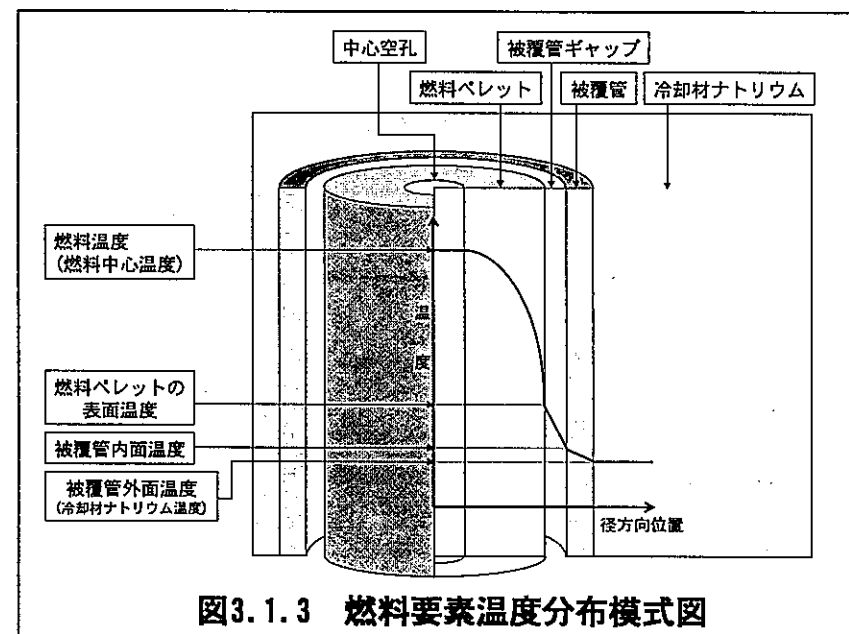
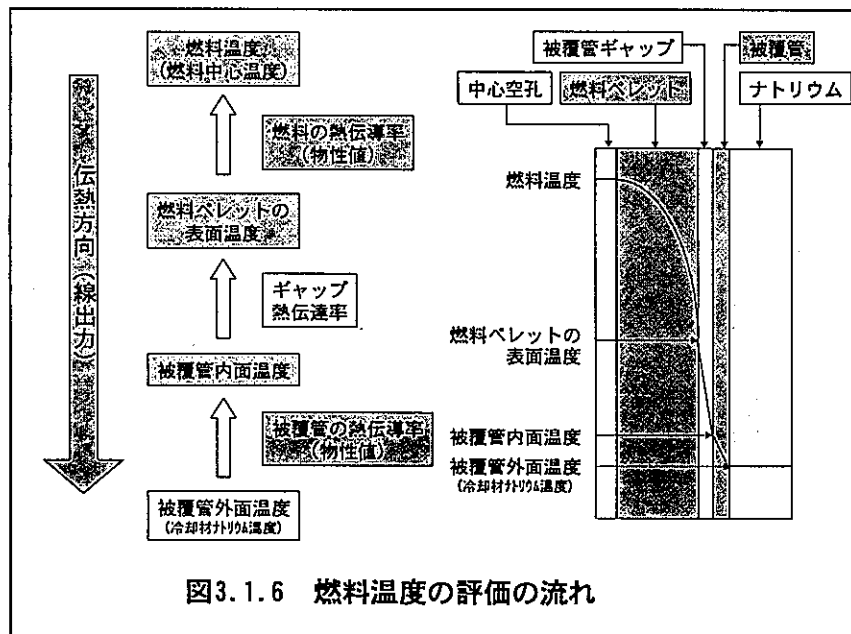


図3.1.3 燃料要素温度分布模式図





燃料の融点に係る新しい知見

- 1985年(昭和60年)に米国の研究者が、それまでの燃料融点の測定値の一部を約25℃低く見直した値を公開した。
- サイクル機構でも燃料融点の測定を実施してきており、その測定値は米国の研究者の見直し結果とほぼ一致している。
- 今後とも燃料融点のデータを蓄積して行く。

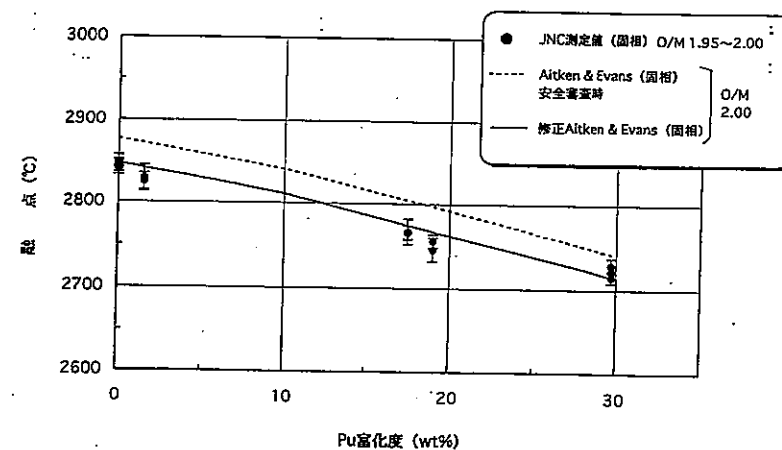


図3.1.10 燃料融点測定値の比較

「常陽」での照射試験の結果
(燃料の溶融と線出力の関係)

- 溶融限界線出力の値
 - ・ 米国での試験：470W/cm～650W/cm程度
 - ・ 「常陽」での試験：600W/cm～670W/cm程度
- 溶融限界線出力は「もんじゅ」の安全審査で
使用したデータよりも高い値が得られている。

➡ 安全側の結果

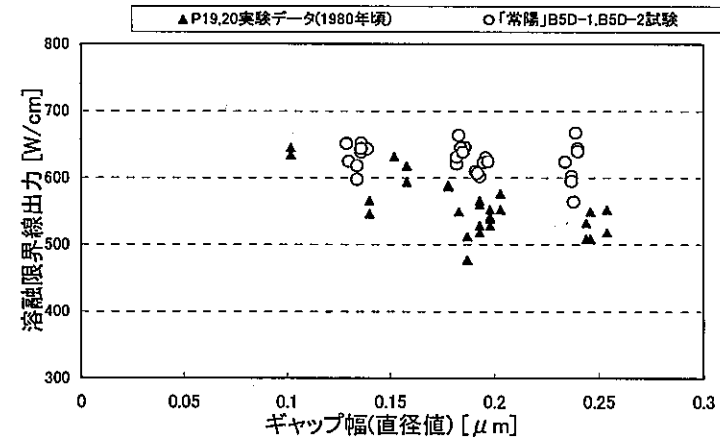


図3.1.13 P19、20試験結果とB5D-1、 B5D-2試験結果、

最新知見を反映した燃料温度評価

- 燃料融点の最新知見及び「常陽」での照射試験結果(燃料の溶融と線出力の関係)を用いてギャップ熱伝達率(式)を策定した。
- 策定したギャップ熱伝達率(式)は、安全審査時に使用した値よりも約1割向上した。
- 策定したギャップ熱伝達率(式)を用い、「常陽」での照射試験の燃料温度評価を行ったところ、精度よい評価値が得られた。

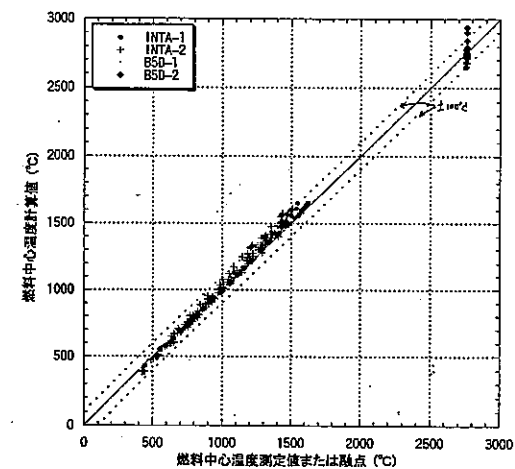


図3.1.16 「常陽」照射試験から作成したギャップ熱伝達率による試験燃料温度評価

最新知見を反映した燃料温度評価

- 燃料融点データの更なる蓄積、評価が必要であり、今後、継続的に実施してゆく。

◎ 念のため、最新知見を反映してギャップ熱伝達率を評価し、「もんじゅ」の燃料温度を評価をしたところ、従来の評価値より約30℃低い値が得られた。

表 新知見を反映した燃料温度評価手法による「もんじゅ」の燃料最高温度

	新知見を反映した* 評価値	従来評価値
定格出力時の 燃料最高温度	約2320℃	約2350℃
過出力時の** 燃料最高温度	約2570℃	約2600℃

燃料の熔融を防止する観点から設定した燃料温度の制限値：2650℃

* 評価誤差の見直しも含む

** 116%出力

安全性総点検指摘事項の整理

安全性総点検
改善策の確認

設備改善

品質保証体系・活動の改善

運転手順書、運転管理体制等
の改善

安全性研究等の反映

- ・ 蒸気発生器伝熱管破損対策
- ・ 燃料温度評価の高度化
- ・ 制御棒の長寿命化

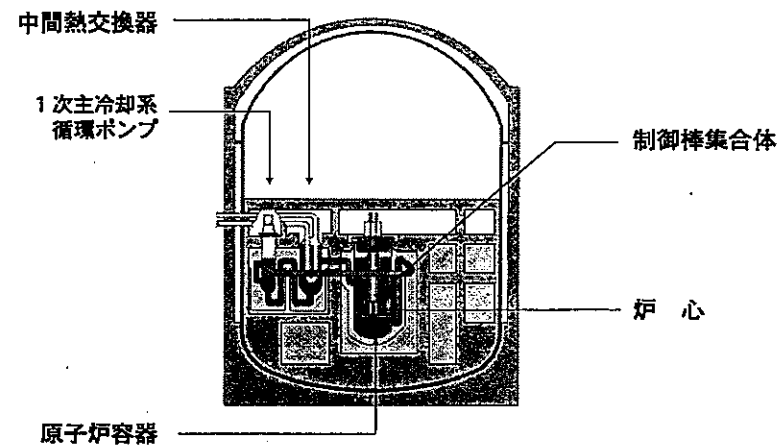


図3.2.1 1次主冷却系概念図

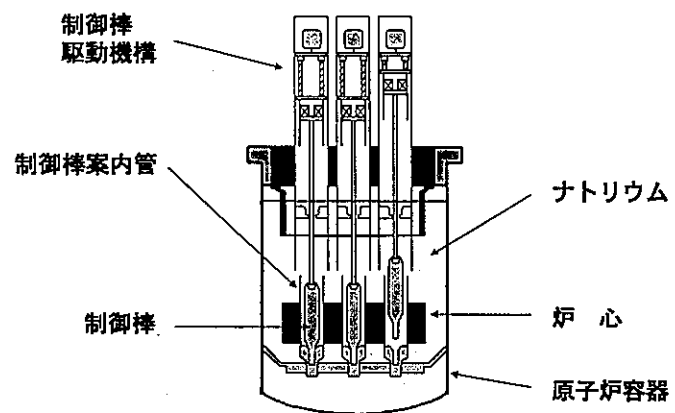


図3.2.2 制御棒の動き

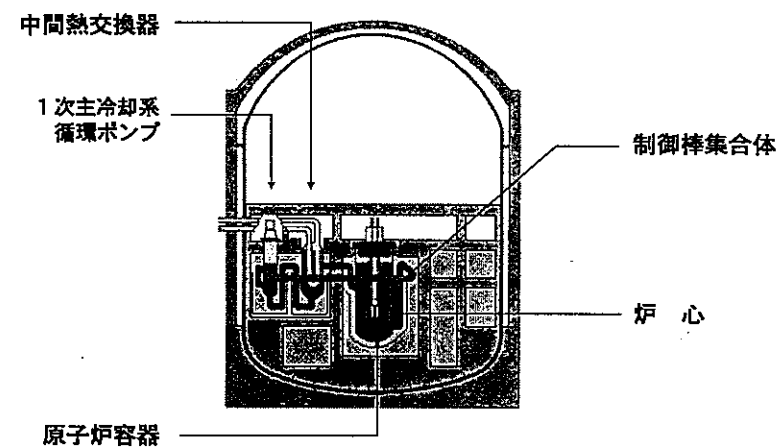
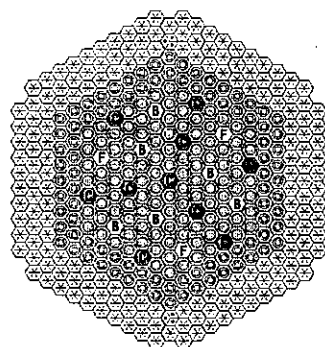


図3.2.1 1次主冷却系概念図



炉心構成要素		記号	数量
炉心燃料 集合体	内側炉心	⊙	108
	外側炉心	⊗	90
ブランケット燃料集合体		⊕	172
制御棒 集合体	微調整棒	Ⓔ	3
	粗調整棒	Ⓕ	10
	後備炉停止棒	Ⓖ	6
中性子源集合体		⊛	2

図3.2.3 「もんじゅ」の炉心

微調整棒集合体
(3体)
原子炉出力が変化した時の
反応度変化を制御する制御棒

粗調整棒集合体
(10体)
原子炉を起動させ、定格出力まで
出力を上昇させる制御棒

後備炉停止棒集合体
(6体)
万一、調整棒による原子炉停止が
できない場合、代わって原子炉を
停止する制御棒



約4.2m



図3.2.4 3種類の制御棒

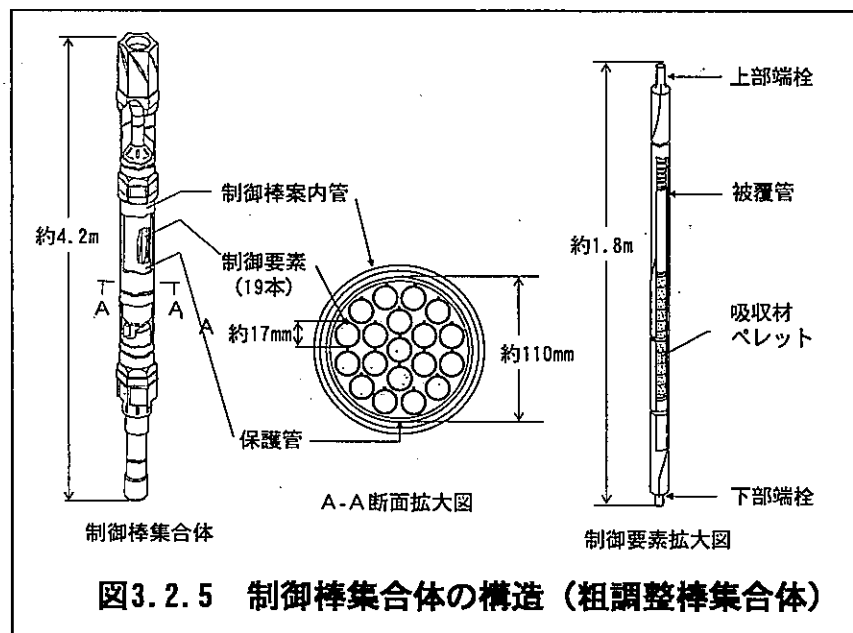
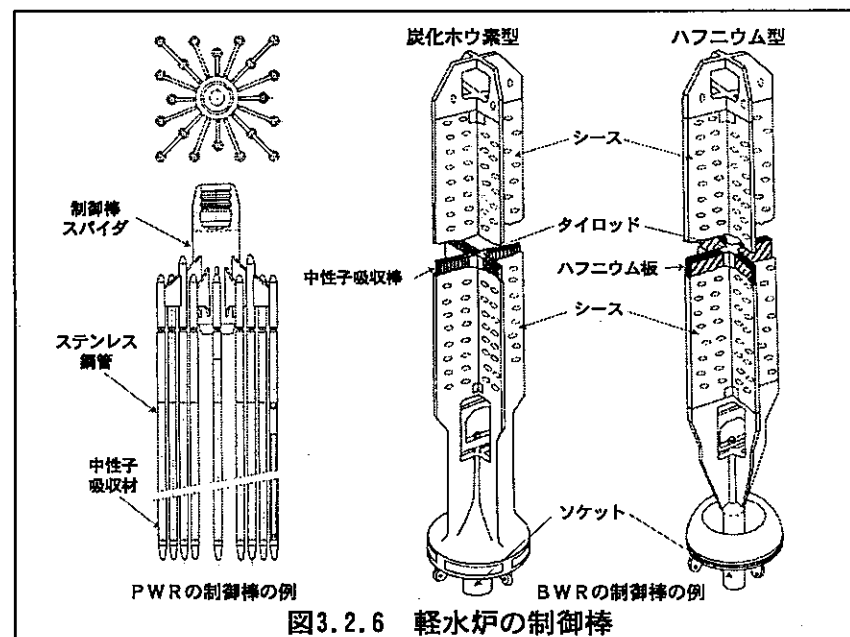
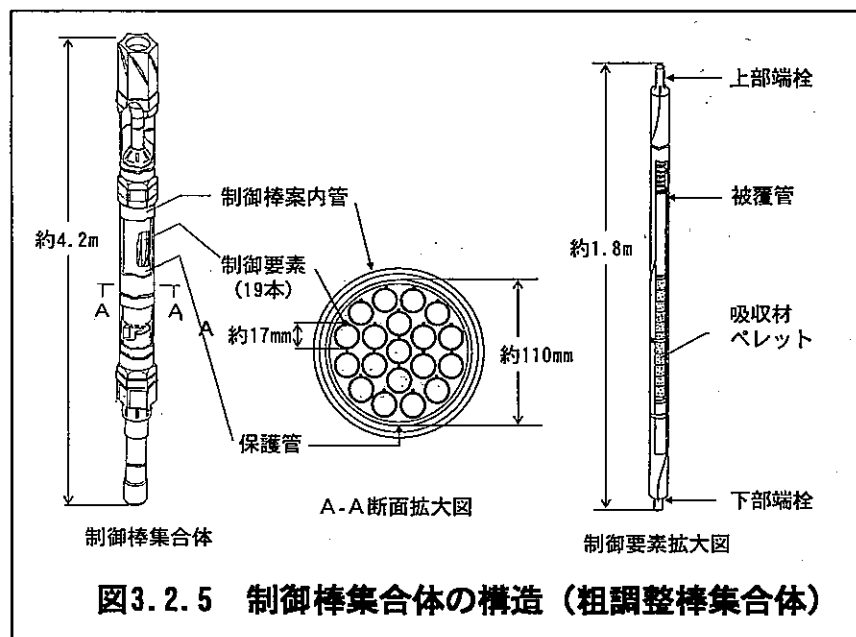


表3.2.1 制御棒集合体主要仕様

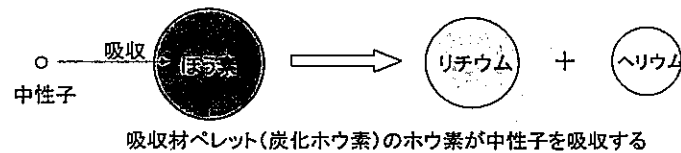
	微調整棒集合体 粗調整棒集合体	後備炉停止棒集合体
吸収材	炭化ホウ素	炭化ホウ素
吸収材ペレット直径	約13mm	約15mm
被覆管材質	ステンレス鋼	ステンレス鋼
被覆管外形	約17mm	約17mm
被覆管厚さ	約2mm	約1mm
制御要素長さ	約1.8m	約1.8m
制御要素数	19本	19本
案内管外径	約110mm	約110mm
制御棒集合体長さ	約4.2m	約4.2m



制 御 棒

○ 吸収材ペレットが中性子を吸収し、原子炉出力を調整

○ 吸収材ペレットは、中性子を吸収するに従い、
膨れて大きくなる。



中性子吸収前の吸収材ペレット

中性子吸収後の吸収材ペレット

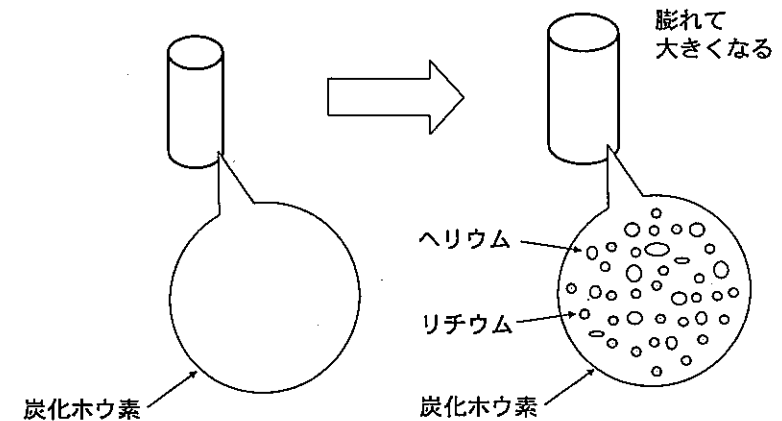


図3.2.7 中性子吸収による吸収材ペレットの膨れ
(イメージ図)

制御棒の設計

- 吸収材ペレットの膨れ代を考慮した制御要素の設計



- 吸収材ペレットと被覆管の間隙（被覆管ギャップ）の大きさを適切に設定する。

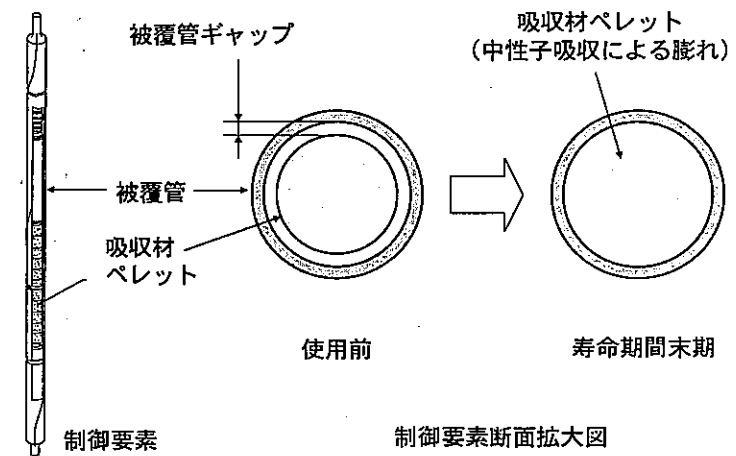


図3.2.8 制御要素断面図（イメージ）

被覆管ギャップの大きさの設定

被覆管ギャップ：小

吸収材ペレットの膨れ代がなくなり、
吸収材ペレットが被覆管を押し広げる

被覆管ギャップが大きいほど制御棒の寿命は長い

被覆管ギャップ：大

被覆管ギャップの伝熱性が低い

被覆管に
亀裂が発生

吸収材
ペレットの
温度が
上がり過ぎる

被覆管
ギャップ
小

被覆管
ギャップ
適切

被覆管
ギャップ
大

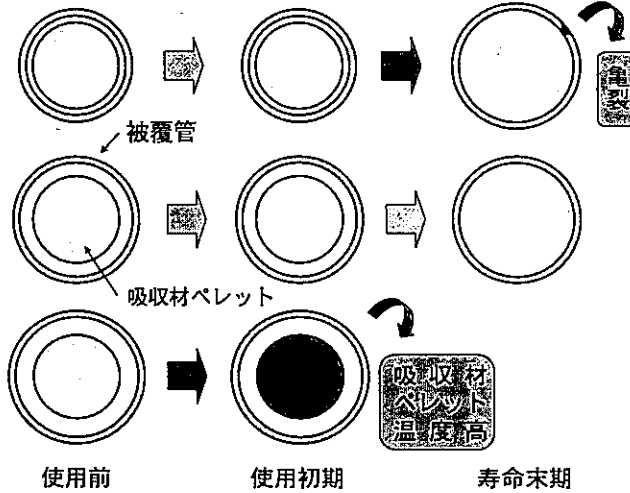
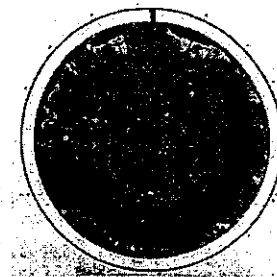


図3.2.9 被覆管ギャップの適切な設定

「常陽」の運転経験

最大中性子束
「常陽」 : $4.9 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
「もんじゅ」 : $6.0 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$

「常陽」MK-II 制御棒の照射後試験



制御要素金相写真

吸収材ペレット破片の移動が制御棒の寿命に影響を及ぼす。

吸収材ペレット破片が被覆管ギャップに詰まり、
制御棒の寿命期間が短くなる。

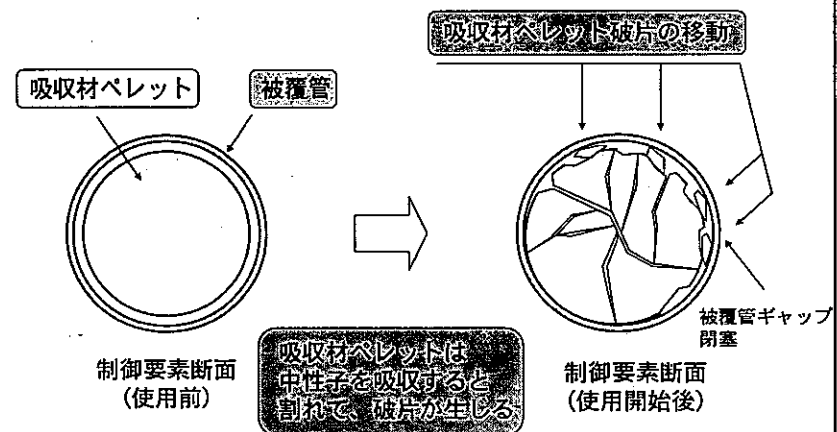


図3.2.10 吸収材ペレット破片の移動による
被覆管ギャップの閉塞（イメージ）

制御棒の長寿命化

- 吸収材ペレット破片の移動対策を行う。

シュラウド管の設置

- 被覆管ギャップを広くとった設計にする。

制御要素内へのナトリウム導入

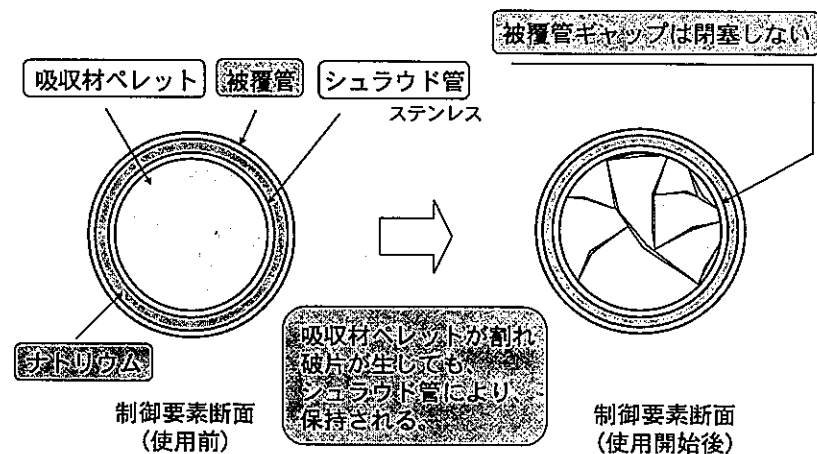


図3.2.11 シュラウド管の設置による吸収材ペレット破片の移動防止 (イメージ)

制御要素内にナトリウムを導入する方法

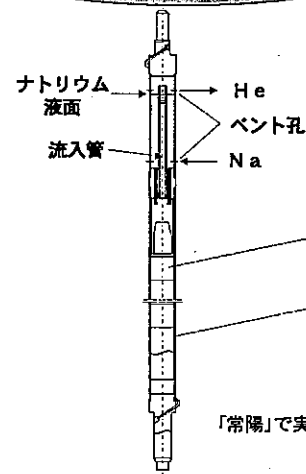
ダブルポーラスプラグ型

- 上部端栓と下部端栓に多孔質の焼結金属等（ナトリウムを通すフィルター状のもの）を設置し、制御棒をナトリウムに入れた時、制御要素の下部からナトリウムを導入

ダブルベント上部流入管型

- 上部端栓に流入管を設置し、制御棒をナトリウムに入れた時、制御要素の上部からナトリウムを導入

ダブルベント上部流入管型



ダブルポーラスプラグ型

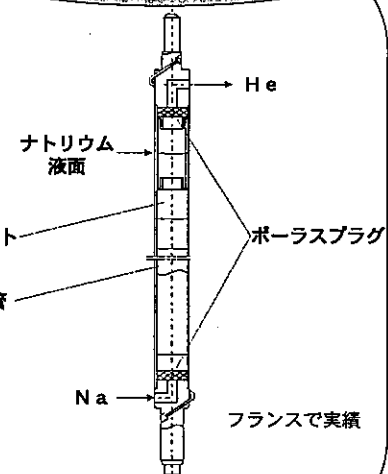


図3.2.12 制御要素内へのナトリウム導入方式

制御棒の長寿命化目標

燃焼度：約 200×10^{26} cap/m³
（「もんじゅ」の4サイクル運転期間以上に相当）

現在の制御棒の使用期間：「もんじゅ」の1サイクル運転期間

- フランス フェニックス炉の実績
：約 150×10^{26} cap/m³
（「もんじゅ」の3サイクル運転期間以上に相当）
- フランス フェニックス炉の照射試験実績
：約 220×10^{26} cap/m³
（「もんじゅ」の4サイクル運転期間以上に相当）

制御棒の長寿命化に向けた検討

- 制御要素内にナトリウムが確実に入るかどうかの検討
- シュラウド管が吸収材ペレット破片の移動を抑制できるかどうかの検討
- 使用済み制御棒の制御要素内のナトリウムが洗浄できるかどうかの検討