

B₄C型長寿命制御棒の国内適用性についての検討

Study on B₄C long-lived control rod applicability to Japanese plant

(株) 東芝 田嶋 智子	Satoko TAJIMA	Non Member
(株) 東芝 林 大和	Yamato HAYASHI	Non Member
Westinghouse Electric Sweden AB	Bjorn Rebensdorff	Non Member

Control rods mainly used in Japanese BWRs are applied boron carbide powder as absorber material. In the case of conventional control rods are used for power control, a lot of nuclear wastes come up and time is needed to replace control rods. In the U.S. and Europe, control rod applied boron carbide pin as absorber material is used for power control. This is long-lived control rod called CR99, its design lifetime is more than 3 times compared with conventional control rods. This report is described CR99 applicability to Japanese BWRs.

Keywords: CR99, B₄C, Control Rod, Long-lived

1. 緒言

国内 BWR で主に使用されている制御棒は、中性子吸収材としてボロンカーバイド (B₄C) 粉末を使用している B₄C 型制御棒である。B₄C 型制御棒の概略構造を Fig.1 に示す。ステンレス製シースの内側に、B₄C 粉末を充填したステンレス細管を複数装填した構造である。B₄C 型制御棒は、その設計寿命により、出力制御に使用すると 1 年間程度の使用で取り替えなければならない。廃棄物量低減、制御棒取替工事期間の短縮のため、長寿命型制御棒の導入が望まれる。

海外 BWR においては、中性子吸収材に B₄C 焼結ピンを適用した長寿命型制御棒「CR99」が出力制御用として導入されている。

本稿では、CR99 型制御棒の国内 BWR への適用性を評価する上で重要な項目である核的寿命、制御棒価値、並びにスクラム性能 (地震時挿入性、スクラム耐久性) の実証試験結果を報告する。

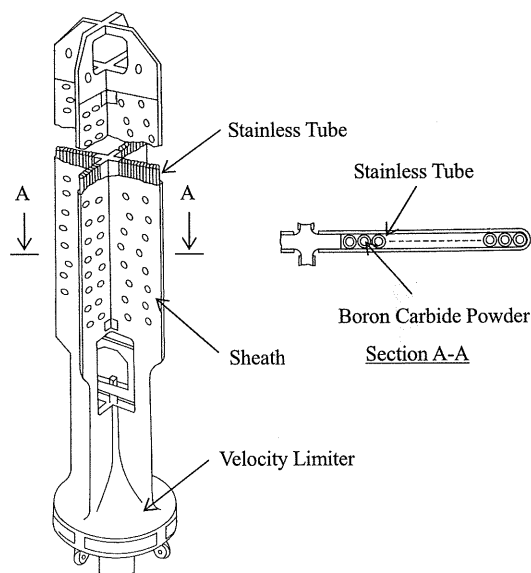


Fig.1 Outline of Conventional Boron Carbide Type Control Rod

2. 設計の特徴

2.1 概略構造

CR99 型制御棒の概略構造を Fig.2 に示す。CR99 型制御棒は、ステンレス製板の水平方向に横穴 (中性子吸収材充孔) を多数設け、中性子吸収材として B₄C 粉末を焼結させたピン (B₄C ピン) を装填したプレート 4 枚が十字に構成されている。シースがない設計であることから溶接部が少なく、またクレビスフリー構造であることから、信頼性の高い設計となっている。

連絡先: 田嶋智子、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町 8、(株) 東芝 原子力機器設計部、電話: 045-770-2152、e-mail: satoko.tajima@toshiba.co.jp

2.2 設計の特徴

B₄C 粉末は、照射に伴い焼きしまりが生じる。燃焼が進み、(n, α) 反応による He が結晶内に保持されてくると、B₄C にスウェリングが発生する。中性子吸収材充填孔やステンレス細管に B₄C 粉末を充填すると、使用初期に焼きしまりによるギャップ減少、その後のスウェリングによる B₄C と孔内面あるいはステンレス細管とのハードコンタクトが生じ、ブレードあるいはステンレス細管の損傷の可能性がある。

CR99 型制御棒は、B₄C 粉末を焼結させてピン形状に変更したことにより、焼きしまりによる形状変化を防止し、適切なピンと孔とのギャップコントロールによりハードコンタクトの問題を解決した設計である。照射に伴う B₄C のスウェリングによる寸法変化は、ピン径増加というパラメータで管理する。照射量に対するピン径増加割合を評価し、使用中の孔内面とピンとのハードコンタクトを防止する。

CR99 型制御棒は、B₄C ピン適用によりブレード損傷の可能性を低下させ、且つブレード横穴に中性子吸収材を装填したことにより充填量を増加させた長寿命型制御棒である。

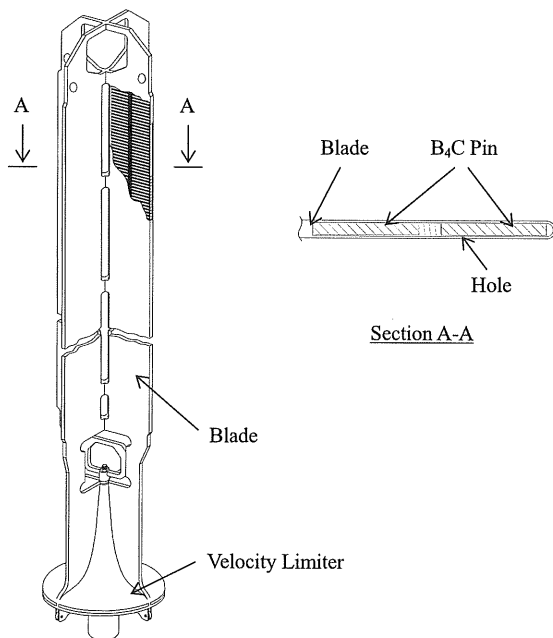


Fig.2 Outline of CR99

3. 核的特性

3.1 核的寿命

国内 BWR の主流である 9×9 燃料集合体と CR99 の組合せにより評価を行った。制御棒の複雑な構造を考慮するため、汎用 MCNP コードと ORIGEN コードを組み合わせて独自に開発した解析手法[1]を適用した。核的寿命とは、制御棒価値が 10%劣化した時点と定義される。ここでは例として、S 格子プラント (BWR5) の結果を Fig.4 に示す。核的寿命は B₄C 型制御棒の運用上の取替基準と比較して 3 倍以上の長寿命であることを確認した[2]。

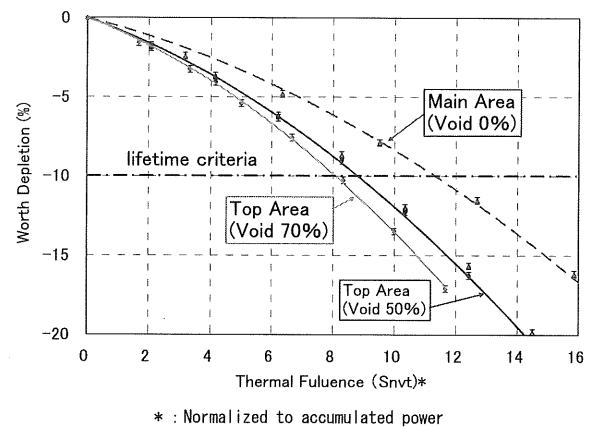


Fig.4 Nuclear Lifetime Evaluation

3.2 制御棒価値

核的寿命評価と同一のコードを適用して評価を行った。ここでは例として、S 格子プラント (BWR5) の結果を Fig.3 に示す。未照射時の制御棒価値は B₄C 型制御棒と同等であることを確認した。

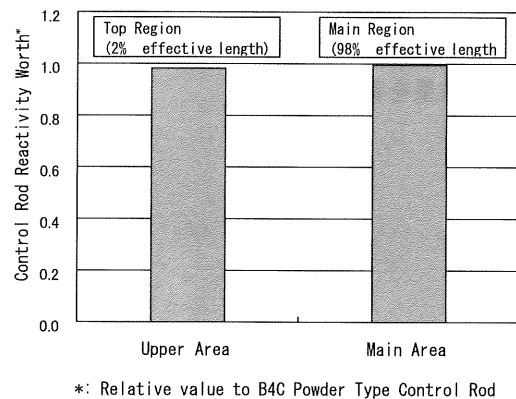


Fig.3 Control Rod Worth Evaluation

4. 機械的特性

CR99のスクラム性能の確認として、地震時挿入性試験、スクラム耐久性試験を行った。

ここでは例として、S格子プラント(BWR5)とN格子プラント(ABWR)の試験結果について報告する[2]。なお、地震時における制御棒の挿入時間に関する規定値は定められていないため、通常時のスクラム時間を仕様値として適用した。

4.1 試験内容

(1) 地震時挿入性試験

試験装置をFig.5に示す。実機プラント炉心の1セルを実規模大で模擬した加振試験装置であり、実機仕様の炉内構造物、制御棒、制御棒駆動機構を使用した。加振台により燃料集合体に0,10,20,30,40,50mmの変位を生じさせ、加振状態で制御棒をスクラム挿入した。スクラムは燃料変位ごとに3回実施し、挿入時間と試験後の健全性を確認した。

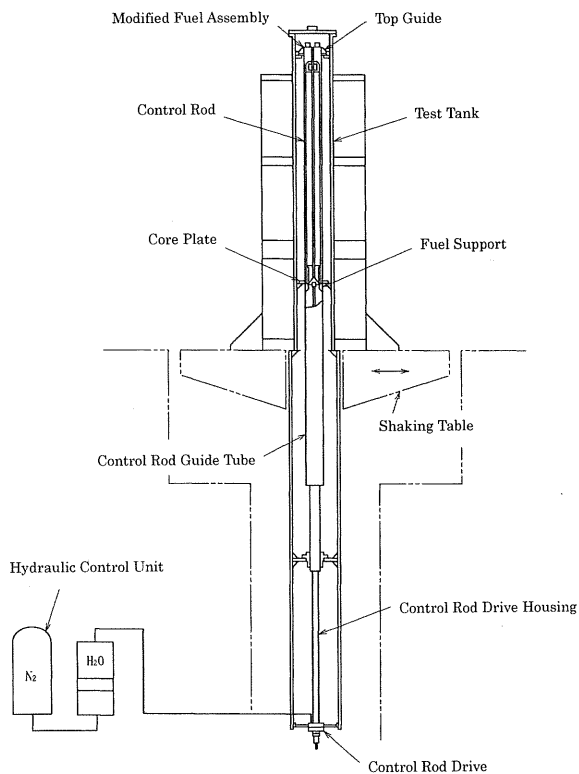


Fig.5 Test Facility of Seismic Scrammability Test

(2) スクラム耐久性試験

試験装置をFig.6に示す。地震時挿入性試験装置と同様に実機プラント炉心の1セルを実規模大で模擬した試験装置であり、実機仕様の炉内構造物、制御棒、制御棒駆動機構を使用した。プラント寿命中に想定される100回の連続スクラムを実機と同等の高温高圧条件で実施し、挿入時間と試験後の健全性を確認した。

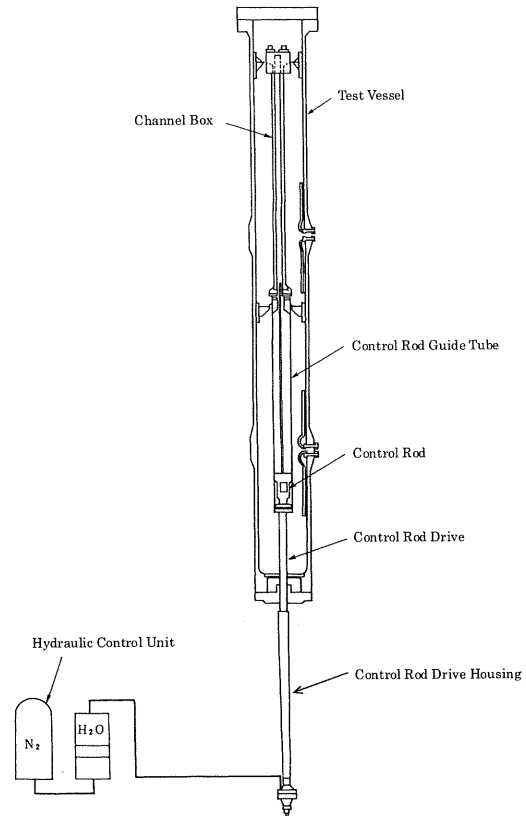


Fig.6 Test Facility of Scram Test

4.2 試験結果

(1) 地震時挿入性試験

S格子プラントの試験結果をFig.7に、N格子プラントの試験結果をFig.8に示す。燃料集合体相対変位が50mmにおいても、スクラム時間は通常時の仕様値を満足した。また、試験後の外観点検の結果、CR99に有意な変形はなく、健全であることを確認した。

(2) スクラム耐久性試験

S格子プラントの試験結果をTable 1に、N格子プラントの試験結果をTable 2に示す。スクラム時間は仕様値を満足するとともに、100回の連続スクラム時間は安定していた。また、試験後の外観点検の結果、CR99に有意な変形はなく、健全であることを確認した。

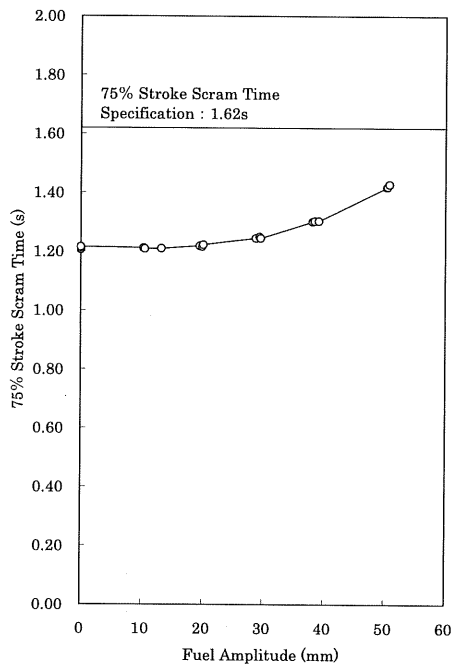


Fig.7 Test Result of Seismic Scrammability Test for S-lattice (BWR5)

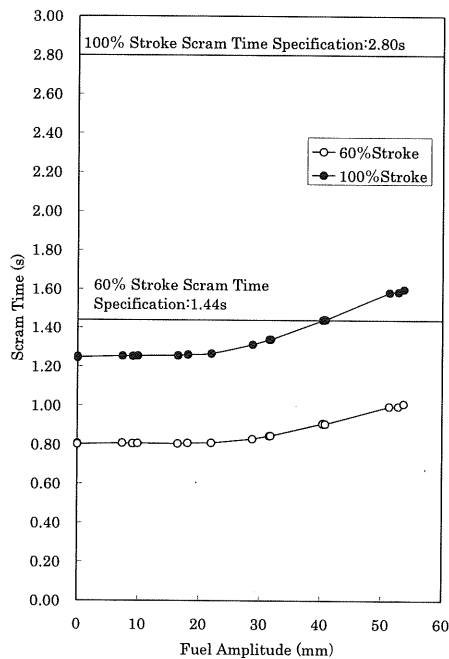


Fig.8 Test Result of Seismic Scrammability Test for N-lattice (ABWR)

Table 1 Test Result of Scam Test for S-lattice (BWR5)

	75% Stroke Scram Time (s)
Test Result (Average)	1.15
Specification	1.62

Table 2 Test Result of Scam Test for N-lattice (ABWR)

	60% Stroke Scram Time (s)	100% Stroke Scram Time (s)
Test Result (Average)	0.73	1.11
Specification	1.44	2.80

5. 結言

CR99の寿命は現行B₄C型制御棒の3倍以上であり、制御棒価値は現行B₄C型制御棒と同等であることを確認した。

また、燃料に50mm程度の変位が生じる地震時においても、CR99は仕様値以内でスクラム挿入することが可能であり、健全性への影響がないことを確認した。さらに、スクラム耐久性上の問題もないことを確認した。

以上より、CR99は国内BWRへ適用可能であり、廃棄物量低減、制御棒取替工事期間短縮が図られる。

参考文献

- [1] 吉岡、安藤、三橋、桜田「モンテカルロ燃焼計算コードの開発」日本原子力学会2002年春の年会G58
- [2] 田嶋、林、Bjorn 他「B₄C型長寿命制御棒の国内適用性についての検討(1)~(3)」日本原子力学会2008秋の大会 C39~C41