

<特集1>

玄海原子力発電所3号機 MOX 燃料装荷炉心における 炉物理検査について

九州電力株式会社

福井 敏洋

1. はじめに

平成19年より仏国メロックス社で製造していた九州電力(株)玄海原子力発電所3号機向け MOX 燃料16体が、平成21年5月、発電所に搬入され、同年8月からの同機定期検査にて炉心に装荷した。その後同機は、同年11月上旬に原子炉を起動し、炉物理検査を実施した後、同年12月上旬に通常運転に復帰し、プルサーマルを本格導入した。

本稿では、各種炉物理検査により、MOX 燃料装荷炉心(以下、「MOX 炉心」)に対する炉心設計の妥当性が確認できており、従来のウラン燃料装荷炉心(以下、「従来ウラン炉心」)と同等との結果を得たことから、その内容について紹介するものである。

なお、本炉心の取替炉心設計では、国内加圧水型軽水炉の55GWd/t燃料(いわゆる、高燃焼度ステップ2燃料)装荷炉心において十分な適用実績があり、かつ「発電用軽水型原子炉施設に用いられる混合酸化物燃料について(平成7年6月19日 原子力安全委員会了承)」において、MOX 炉心を適切に評価できるとされた PHOENIX-P/ANC コードシステムを使用している。

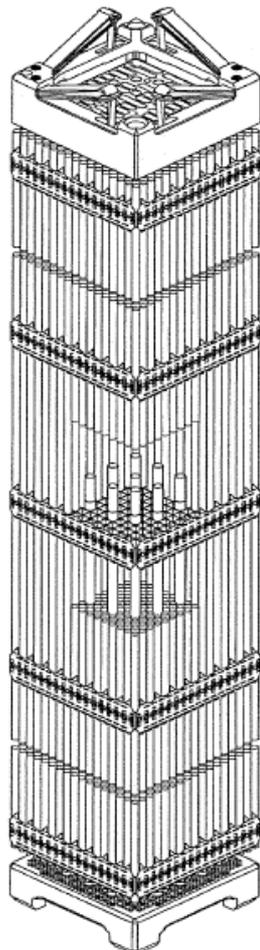
また、これまでのプルサーマル本格導入に係る筆者の経験をもとに、エピソードを簡単に紹介する。

2. MOX 燃料の概要

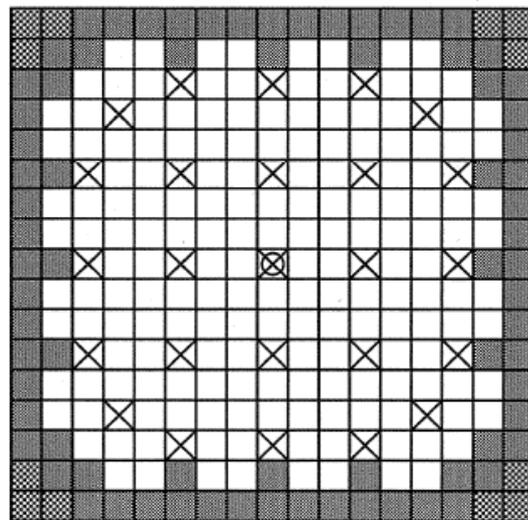
今回、玄海原子力発電所3号機に導入した MOX 燃料集合体は、基本構造はウラン燃料集合体と同一であり(次頁表参照)、燃料材がウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)で製造されたもので、燃料集合体内の出力分布を平坦化する目的により、集合体内燃料棒について、高・中・低の Pu 含有率分布を設定している。(図-1 参照)

表 燃料概要

燃料材の種類	MOX 焼結ペレット
初期濃縮度	プルトニウム含有率： 約 4.1wt%濃縮ウラン相当以下 (燃料体平均)
燃焼率	45,000MWd/t (燃料体最高)
燃料体の構造	17行 17列 [三菱重工業(株)設計燃料]
燃料体の個数	16体
燃料体の製造者並びに製造工場	メロックス社メロックス工場



燃料集合体内 Pu 含有率分布



- 高 Pu 含有率燃料棒
- 中 Pu 含有率燃料棒
- ▨ 低 Pu 含有率燃料棒
- ⊗ 制御棒案内
シンプル
- ⊗ 炉内計装用案内
シンプル

基本構造はウラン燃料と同一

図-1 MOX 燃料集合体概要図

3. 炉物理検査結果

PWR プラントでは、通常、燃料取替後の原子炉起動時において、従来から以下に示す主要な炉心特性パラメータを含め、起動時の炉心特性を確認することとしている。

今回の検査にかかる炉心設計では、炉心設計コードを MOX 炉心の設計が可能な 3 次元炉心設計コード (PHOENIX-P/ANC) に変更した (注 1) 以外は、従来ウラン炉心と同様の手順で実施された。また、炉物理検査実施手順も、MOX 炉心特有の手順はなく、従来ウラン炉心と同様の手順で実施された。

検査結果は図-2～図-4 に示す。これらからわかるとおり、何れのパラメータも、従来ウラン炉心⁽¹⁾と同等の精度で予測できており、MOX 炉心の安全性が確認できた。

< 炉物理検査で確認される主要な炉心特性パラメータ >

- ① 臨界ボロン濃度
- ② 減速材温度係数
- ③ 制御棒価値 (注 2)

注 1 : 玄海 3 号機では、前サイクルまで 1/2 次元合成手法 (LEOPARD/PANDA/HIDRA) を使用していた。

注 2 : 測定された制御棒価値をもとに、別途原子炉停止余裕も評価している。

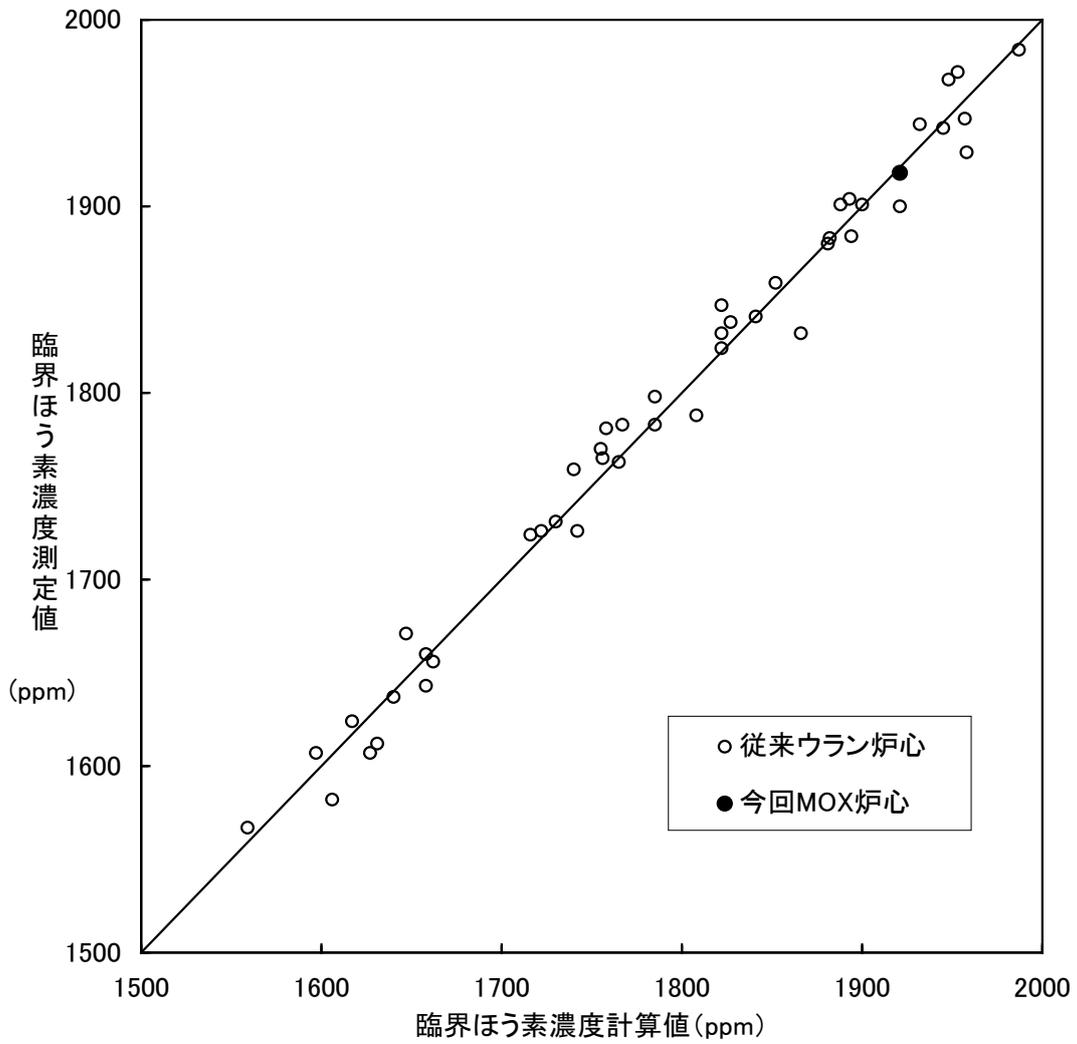


図-2 臨界ほう素濃度測定値と計算値の比較
(サイクル初期, 高温零出力, 制御棒全引き抜き状態)
(従来ウラン炉心のデータは, 参考文献(1)を参照)

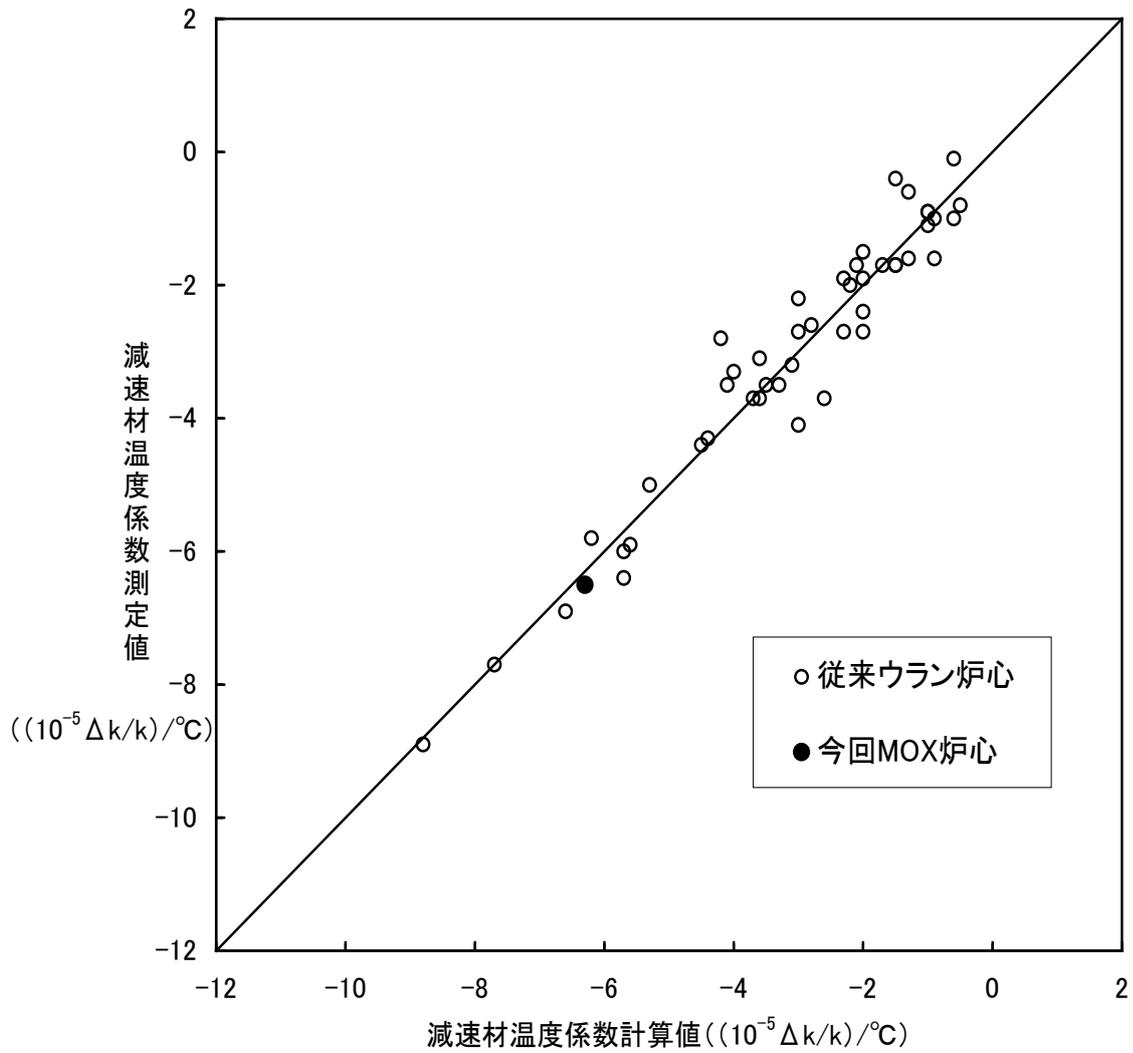


図-3 減速材温度係数測定値と計算値の比較
(サイクル初期, 高温零出力, 制御棒全引き抜き状態)
(従来ウラン炉心のデータは, 参考文献(1)を参照)

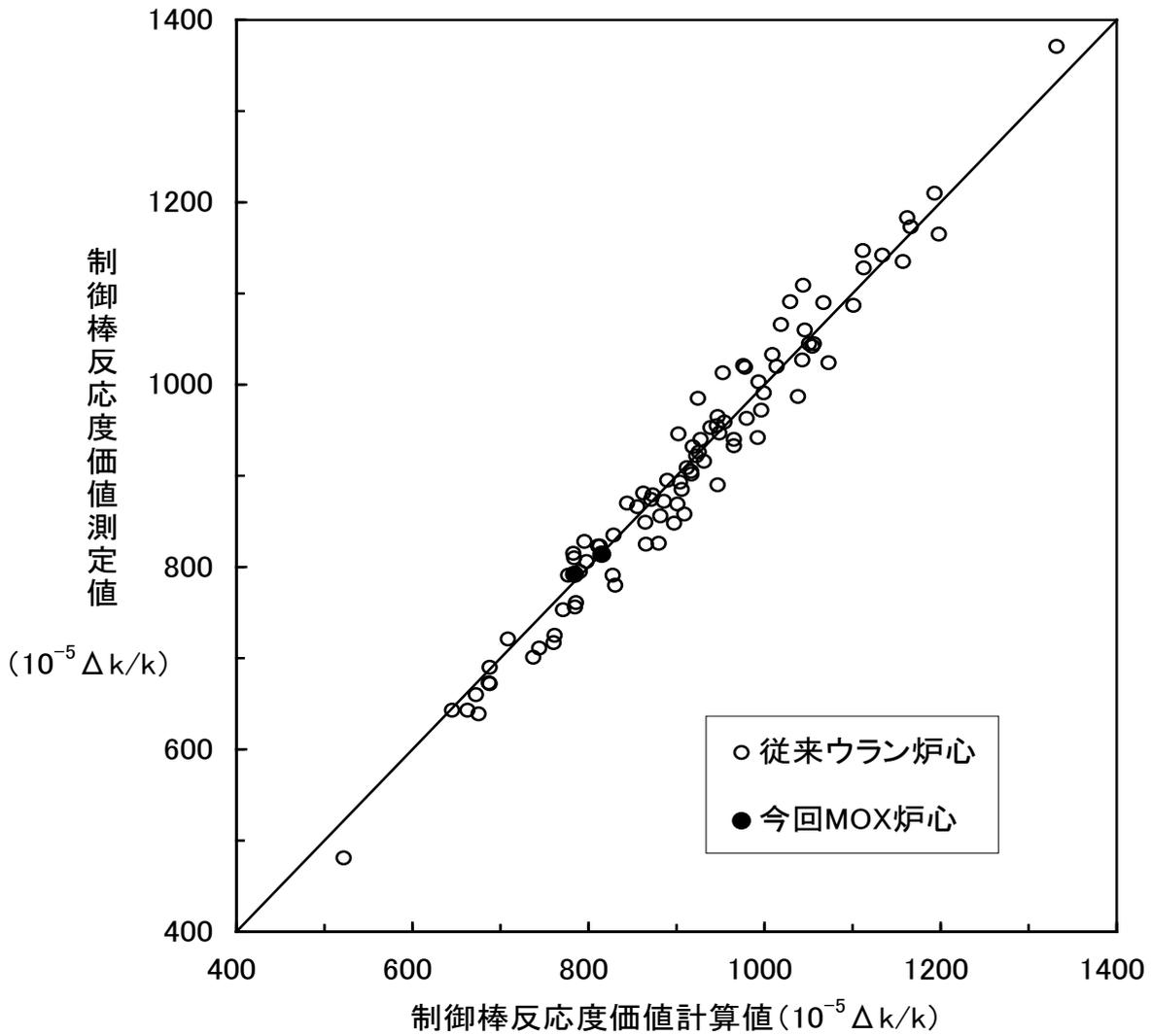


図-4 制御用制御棒バンク D 及び C の制御棒反応度値
(サイクル初期, 高温零出力)
(従来ウラン炉心のデータは, 参考文献 (1) を参照)

4. 筆者雑感

玄海原子力発電所3号機へのMOX燃料導入においては、平成16年5月の原子炉設置変更許可申請に始まり、工事計画認可対応、輸入燃料体検査対応、使用前検査対応等の各種許認可手続き、平成19年10月から開始した仏国メロックス工場での当社玄海原子力発電所3号機向けMOX燃料製造に係る現地駐在対応、また、設置変更許可申請と平行して本格的に始まった地元への理解活動など、社内関係箇所が密接に連携し、国の関係省庁や地元自治体等のご協力を頂きながら着実に進め、平成21年12月の通常運転復帰を向かえることができた。

このうち、筆者は一連の許認可手続き及び現地駐在対応を行った経験がある。「炉物理」という観点からは馴染まないかもしれないが、この貴重な紙面をお借りして、エピソードを紹介したい。今後、仏国で就労予定の方、特に仏国でのMOX燃料加工に携わられる電力や燃料メーカー関係者の方々へのアドバイスになれば幸いである。

当社では、平成19年度以降2度にわたって仏国メロックス工場にてMOX燃料製造を行っており、筆者は第2回加工中に3ヶ月間現地駐在対応を行った。

当初は平成21年6月下旬から7月末までの1ヶ月強の滞在計画であり、その後入れ替わりで、後任者が派遣される予定であった。仏国で長期間就労する場合、就労ビザが必要であり、手続きとしては、まず、日本側からメロックス社へ、仏国大使館の就労ビザ発給に必要な仏国内手続き（移民局へ）をお願いすることになる。その後、移民局より日本の仏国大使館へ連絡が入り、日本の仏国大使館にて仏国での就労ビザが発給される流れである。

しかし、ここで我々日本人の常識からは想定できない落とし穴があったのである。仏国では労働者の当然の権利として、夏のバカンス（3週間程度）を取得する習慣がある。バカンスを取ることは特段問題ないのだが、業務（今回の場合は、ビザ発給にかかる仏国内手続き）もその担当者がバカンスに入ると滞ってしまうことに注意が必要である。加えて、筆者の場合は、メロックス社側及び仏国移民局側担当者が立て続けにバカンスに入ってしまう、後任者のビザ発給が結局2ヶ月近くも滞ってしまったのである。休暇中の自分の業務について、よほどのことがない限り、他人に引き継ぐ（または、他人の仕事を引き受ける）といった発想はないようである。もちろん、工場の稼働に必要な人員は確保されており、バカンス期間中に工場の稼働率が低下するわけではなく、また、メロックス社側も九電の加工以来、数社の日本電力駐在者の対応をしてきており、日本人の考え方や習慣なども理解しつつあるようであるが、特に夏場に、事務手続きのような担当者任せになる可能性のある業務を依頼する場合は、バカンスによる遅延リスクがあることをお忘れなく。

5. 最後に

玄海原子力発電所3号機MOX炉心において、炉物理検査を経て、晴れて通常運転に復帰できたことは、関係者一同にとって大きな喜びである。

しかしながら、これがゴールではなく、これからの良好な運転実績の積み重ねが、更なる原子力への理解活動の一助になるものと改めて強く認識しているところである。

今後とも安全の確保について万全を期し、慎重な運転を続けてまいります。

6. 参考文献

(1) 「三菱PWRのPHOENIX-P/ANCによる核設計の信頼性」

MHI-NES-1025 三菱重工業