

超高燃焼度燃料研究の背景・目的

関本 博

東京工業大学 革新的原子力研究センター

CRINESセミナー

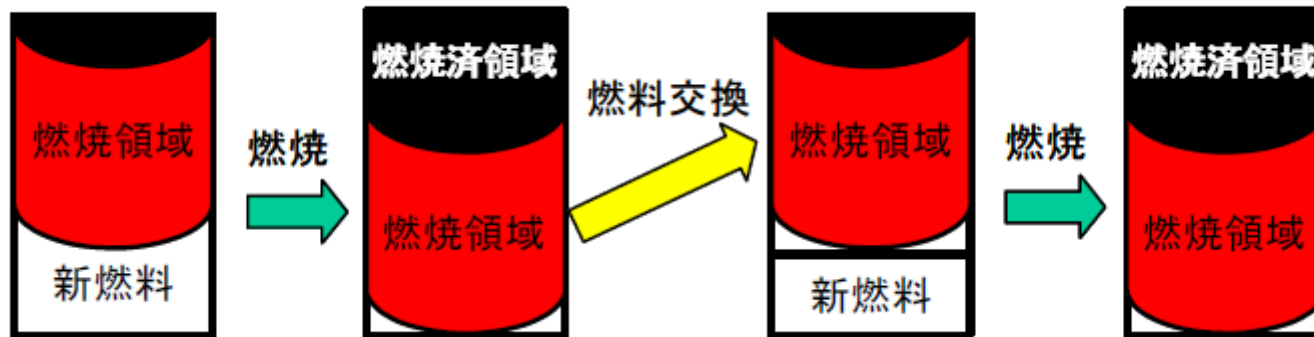
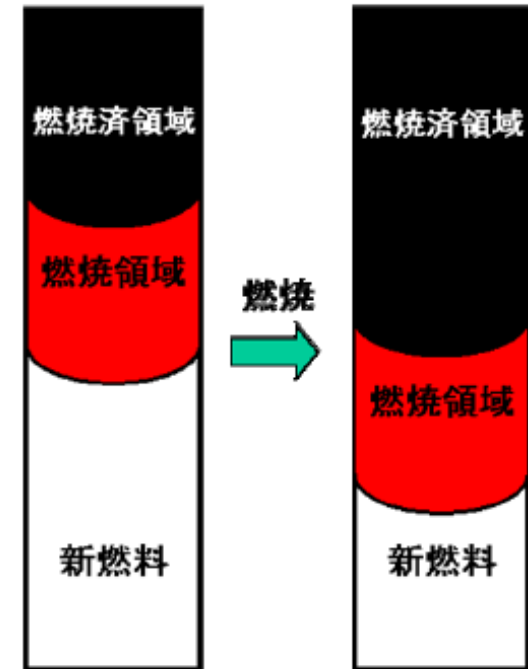
2011年3月11日、東京工業大学 原子炉工学研究所

CANDLE炉について(概要説明)

CANDLE というのは原子炉の新しい燃焼法であり、Constant Axial Shape of Neutron Flux, Nuclide Densities and Power Shape During Life of Energy Production の頭文字から作られた造語であるが、あたかも蠟燭のように燃えることを表してもいる。

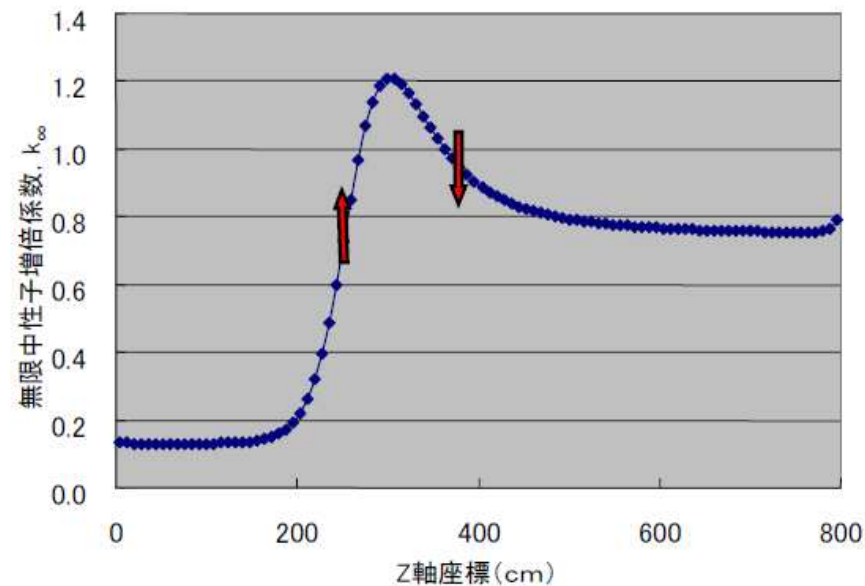
この燃焼法を採用すると、燃焼に伴い燃焼領域は、核種数密度や中性子束や出力の空間分布を変えず、軸方向に出力と比例した速さで移動していく。このため反応度も炉特性もまったく変化しない。ここで重要なのは、燃料は従来の設計と同じように固定されたままであるにもかかわらず、制御棒のような可動式燃焼反応度制御は一切不要であるということである。

新燃料として天然ウランや劣化ウランの使用が可能になる。しかもこれらの約40%が燃える。



CANDLE炉について(概要説明)

左側が新燃料側であり、右側が燃焼済みに対応する。ピークより左側では燃焼とともに k_{∞} が増加し、右側では減少する。このためピークは左側、即ち新燃料側にシフトすることになる。 k_{∞} がピークをとるあたりで中性子束もピークをとる。ピークから離れると k_{∞} は小さな値をとりやがて1 以下となるので、中性子束もゼロに近づく。このため燃焼が起こらないので、左端及び右端では k_{∞} は一定の値を示すようになる。平衡状態になると k_{∞} の空間分布は時間とともに変化しなくなり、形を変えずに新燃料側にシフトしていくだけということになる。



CANDLE炉について(概要説明)

(特長)

- 燃焼制御のための制御装置が不要となる。
- 燃焼に伴う炉心特性の変化がない。
- オリフィスによる燃焼に伴う流量調整の必要がない。
- 半径方向出力分布の最適化に優れる。
- 炉心の高さを大きくすることにより、原子炉の寿命を簡単に長くできる。
- 取替炉心新燃料の無限体系中性子増倍係数が1以下となる。

(問題点)

- 軸方向に長い炉心になりやすく、冷却材の圧力損失が大きくなりやすい。
- 軸方向出力分布の調整の自由度が少ない。
- 初期炉心の構成が困難である。
- **燃料燃焼度は約40at%に達するが、燃料健全性に関する検討が実施されていない。**

研究の背景

- 現在40at%も燃焼させた時の材料健全性に関するデータは見当たらない。
- 高速炉用酸化物燃料に対しては、1970年代に入ってから、実証試験における最大燃焼度が順調に伸び続け、1990年に入ると20at%を超えるデータが現れたが、1994年以降データが突然出なくなりました。その理由は、アメリカの高速炉計画が無くなったためだと聞いている。
- 40at%までは困難かもしれないが、今まで実験がなされていないだけで、かなり高い値でも大丈夫かもしれない。
- また、照射損傷は熱処理によってかなり改善されるとされているが、このようなことも利用できるかもしれない。
- いずれにしろ、近未来ではそのような材料は期待できないかもしれないが、その場合でも適当な燃焼度に達した燃料要素を簡易処理(被覆管の更新程度)することにより解決できると考えられる。

超高燃焼度燃料の健全性評価に関する研究が必要である。

研究の目的

- 概念検討のレベルではあるが、超高燃焼度燃料の健全性評価結果を得る。
- 燃料設計成立性を得るための条件(課題)を明確にする。
- 課題解決のための方策について検討する。

共同研究の内容(東工大、原子力機構、電中研)

1. 研究の具体的な方針と計画を検討し、決定する。(東工大)
 - 金属燃料、窒化物燃料、酸化物燃料(参考)を対象として燃焼度50at%まで燃焼させた場合の燃料健全性を評価する。(方針)
 - 研究内容2-5を実施する。(計画)
2. 燃料設計仕様(燃料仕様及び照射条件)を検討・整理する。(東工大)
 - 燃料仕様は先行高速炉の燃料仕様を参考とし、超高燃焼度での使用条件を考慮し設定する。
 - 照射条件はCANDLEの設計結果を踏まえ設定する。
3. 燃料挙動評価に必要な燃料および燃料被覆管の物性値・モデルを収集・評価する。(東工大、原子力機構、電中研)
 - 物性値・モデルのうち、被覆管のスエリング、照射クリープ、クリープ強度について設計式を新規に検討する。(東工大、原子力機構)
4. 上記2で検討した燃料設計仕様に基づき、燃料挙動解析コードを使用して燃料健全性を評価する。(原子力機構、電中研)
 - 金属燃料ではALFUSコード(電中研)、窒化物燃料及び酸化物燃料ではSIMPLEコード(原子力機構)を用いて解析する。
5. 設計成立のための課題及びその解決方策を検討・整理する。(東工大、原子力機構、電中研)
 - 設計が成立する条件を見つけ出す。