

地球環境と原子力—高燃焼度燃料の開発—

Nuclear Energy and Global Environment—Development of High Burn-up Fuel—

原子力事業本部 牧 原 義 明^{*1} 金 川 孝^{*2}
神戸造船所 金 杉 克 正^{*3} 市 田 裕 和^{*4}

原子力発電は準国産エネルギーとして開発が進められてきたが、近年の地球温暖化問題に関連し、二酸化炭素ガスの排出の少ないエネルギー源としても注目されている。一方、使用済みの原子燃料の排出量を減少させ、環境への負荷を軽減させるために高燃焼度燃料の開発が進められている。本報では、環境的視点から見た原子力の特性について解説した後、高燃焼度燃料について燃料の開発状況及び高燃焼度燃料を使用した場合の炉心への影響について解説する。

Nuclear power has been developed as a semi-domestic energy resource for our country. This energy source also emits less carbon dioxide than fossil fuel. Since the spent nuclear fuel is highly radioactive, this must be strictly controlled. High burn-up fuel is now being developed to ease the load on the environment by reducing the amount of spent radioactive fuel. We first discuss the features of nuclear energy from a global environment view, then explain the current status of high burn-up fuel development and its effect on core characteristics.

1. はじめに

原子力発電は、資源小国である我が国の準国産エネルギーとして開発が進められ、現在では電力の1/3以上を供給するまでになっている。また近年、地球温暖化問題に関連し、二酸化炭素ガス排出の少ないエネルギー源という観点からも注目されている。

本報では、始めに地球環境の観点から見た原子力の特性を概説し、その後に放射性廃棄物を低減する方策として開発されている高燃焼度燃料について紹介する。

2. 環境的視点から見た原子力の特性

原子力は、以下に示すように他の化石燃料に比較して本質的に環境負荷が少ない特性を持っている。

第一に、原子力は非常に少ない燃料から高密度のエネルギーが得られる。図1に示すように、原子力発電は一定量の発電を行うのに必要な燃料量が化石燃料の約5万分の1で賄える⁽¹⁾。地球環境保護の観点から以下のようにいえる。

- 燃焼後、排出される廃棄物も少ない。
- 排出物のほとんどが燃料棒中に閉じ込められており、大気に拡

散したり、水に溶け出す恐れがない。

これより、廃棄物の隔離管理が容易である。図2に、各種電源の二酸化炭素ガス排出量の比較を示す⁽²⁾。原子力は発電時には二酸化炭素は放出されないため、環境への影響は化石燃料に比べて格段に小さい。

第二に、排出物である使用済み燃料はリサイクルが可能である。使用後に発電所から排出される使用済み燃料には約2%の核分裂物質が含まれる。これを再処理することにより、再度発電所で燃料として利用することができるため、実質的な放射性廃棄物は更に少なくできる。

加えて、燃料の高燃焼度化を図って1体の燃料集合体から取出すエネルギー量を増加させることにより、使用済み燃料の排出量を減少させることができる。また、燃料の高燃焼度化と同時に長サイクル運転を行って原子力発電所の稼働率を向上させると、その分化石燃料を燃やさなくて済むようになり、環境負荷の低減が図れる。

次章以降では、現在検討が進められている高燃焼度燃料について紹介する。

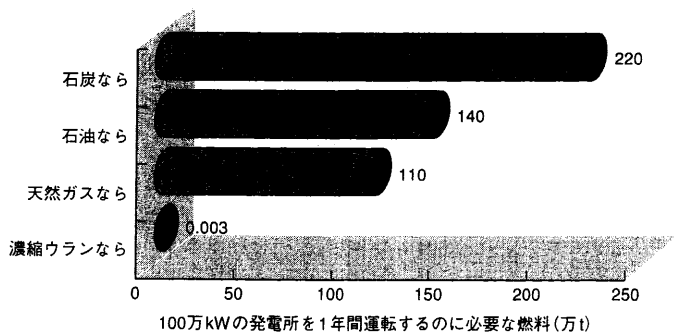
3. 高燃焼度燃料及び炉心の開発

現在、原子力発電所は法令によって定められている最長の運転期間である13箇月運転を実施し、燃料については燃焼度を48 GWd/tに制限している。これを15~18箇月の長サイクル運転に移行し、燃料については、燃焼度制限を55 GWd/tとする高燃焼度化の検討が進められている。高燃焼度燃料を使用した長サイクル炉心の炉心特性について述べる。

3.1 高燃焼度燃料の開発

55 GWd/tの高燃焼度燃料の開発に当たって、技術的課題を解決するために実施してきた改良の概要を以下に示す。

始めに被覆管の耐食性を改良するため、これまで被覆材として使用してきたジルカロイ-4に代って、ニオブ(Nb)0.5%添加等の合金組成調整を行った新合金MDA(Mitsubishi Development Alloy)を開発した⁽³⁾。MDA被覆管の耐食性改良効果については、炉外試験及び海外の商業炉における照射試験により確認し



出典：資源エネルギー庁公益事業部“'98原子力発電その必要性と安全性”

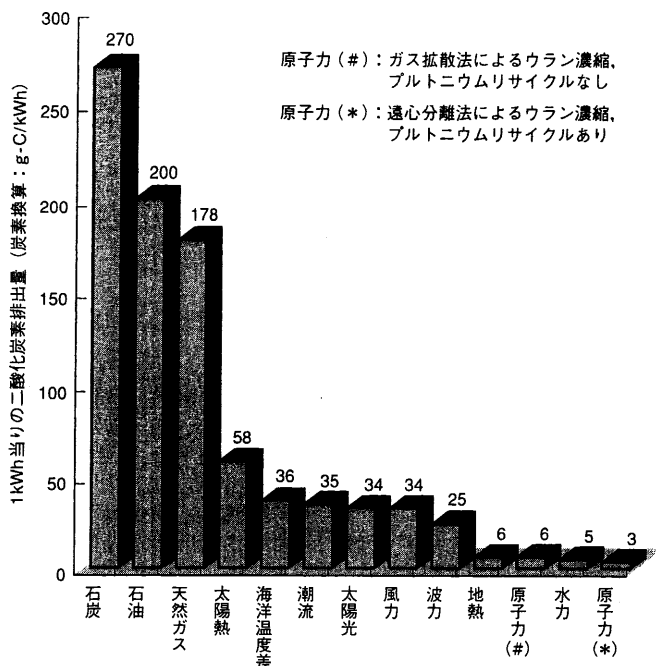
図1 必要な燃料量の比較 100万kWの発電所を1年間運転するのに必要な燃料の量を、化石燃料と原子力で比較し示す。
Comparison of amount of fossil fuel and nuclear fuel to generate 1 000 MWe-year electricity

*1 原子力技術センター軽水炉プラント技術部主管

*2 原子力技術センター原子炉・安全技術部原子炉技術課主務

*3 原子燃料・炉心技術部燃料設計課

*4 原子燃料・炉心技術部炉心技術課



(注) 原料の採掘から建設・輸送・精製・運用(実際の発電)・保守などのために消費されるすべてのエネルギーを対象として二酸化炭素排出量を算定。
(例) 石炭：[採掘、選炭] → [輸送] → [精製] → [発電] → [灰捨]

出典：電力中央研究所「発電システムのライフサイクル分析 平成7年3月」

図2 各種電源の二酸化炭素排出量 1 kWh当りの二酸化炭素排出量を、化石燃料を含む各種電源と原子力を比較示す。
Comparison of discharged carbon dioxide from various energy sources

た⁽⁴⁾。

第二に、ペレットからの腐食性FPの放出及びペレット-被覆管相互作用(PCI)による被覆管の応力腐食割れ破損を防止するため、集合組織を調整した被覆管を開発した。この被覆管を原子炉で照射した後、試験炉で出力急昇試験を実施した結果、その有効性を確認した。

第三に、ペレットからのFPガス放出量の増加に伴う燃料棒内圧の上昇を低減するため、FPガス放出率の小さい大粒径ペレットを開発した。試験炉における照射試験により、大粒径化による高出力時のFPガス放出率の低減を確認した⁽⁴⁾。

3.2 高燃焼度燃料を使用した長サイクル炉心の検討

高燃焼度燃料を使用した長サイクル炉心の炉心特性への影響及び対策について以下に解説する。

第一に、高燃焼度燃料を使用した炉心では、既に1又は2サイクル燃焼した燃料と新燃料とでは出力差が大きくなることから、出力の大きい燃料の限界熱流束(燃料棒が熱的に破損する熱流束)に対する余裕が減少する。このため、限界熱流束を厳密に評価する手法を開発し、出力の大きい燃料の健全性に影響しないことを確認した。

第二に、高燃焼度燃料は濃縮度が高いため燃焼初期に持っている余剰反応度が大きくなる。この対策として、燃料ペレットの中に混入する反応度抑制材(通常ガドリニアを使用)の濃度及び反応度抑制材を混入する燃料棒本数を増加させた。

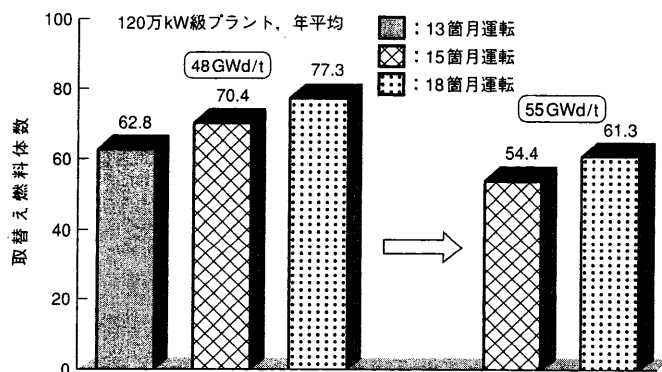


図3 高燃焼度燃料採用による燃料取替え体数の低減効果 高燃焼度燃料を使用した場合と使用しない場合について、取替え燃料体数(使用済み燃料発生量)を比較示す。
Reduction of generated spent fuel by adopting high burn-up fuel

第三に、高燃焼度燃料を装荷した炉心では、制御棒の効きが悪くなるため、制御棒による炉心の停止能力を厳密に評価する手法を開発し、停止能力が確保できることを確認した。

図3に示すように、55 GWd/tの高燃焼度燃料を使用した18箇月運転をした場合、現行の48 GWd/t燃料を使用した13箇月運転をした場合より年当りの使用済み燃料排出量を20%以上少なくできることを確認した。この分環境への負荷を軽減できることとなる。

4. おわりに

本報では地球環境問題に対する原子力の特性と役割について概説するとともに、現在、原子力発電所における環境負荷低減と経済性向上のための施策として計画している高燃焼度燃料について紹介した。

さらに将来を考えた場合、二酸化炭素ガスなど廃棄物、排出物の点で限界を迎えている石油文明に代り得る未来への広がりを持った技術として、原子力を捕えていく必要がある。原子力利用は、原子力発電などのエネルギー供給と医療用などの放射線利用に分けることができる。エネルギー利用の面では、原子力発電に加えて種々の産業用エネルギー源としての利用も期待される。これにより化石燃料消費量と二酸化炭素ガス排出量を大幅低減し、地球温暖化問題の解決に寄与できる。放射線利用の面では、医療や放射線による物質変換を利用した半導体製造などに加え、汚水の滅菌処理などへの応用が今後の課題である。

参考文献

- (1) 電力中央研究所、発電システムのライフサイクル分析(1995)
- (2) 資源エネルギー庁、'98原子力発電 その必要性と安全性(1998)
- (3) 木戸ほか、高燃焼度対応改良被覆管の開発(2)、日本原子力学会(1994春の年会)
- (4) Takahashi, T. et al., Advanced Fuel Development For Burnup Extension, ANS International Topical Meeting on LWR Fuel Performance, Portland (1997)