

高経済性 低減速スペクトルBWR

軽水炉での核燃料増殖を目指して

近年、第4世代原子炉(Generation IV)に代表される次世代原子炉が、国際協力のもと活発に開発が進められています。東芝でも複数の次世代原子炉開発を行っていますが、低減速スペクトルBWR(Boiling Water Reactor)についても開発を進めています。

低減速スペクトルBWR開発では、開発コストを大幅に圧縮するため、既設の改良型沸騰水型原子力発電所(ABWR: Advanced BWR)を最小限改造して実現することを目指しています。更に、低減速スペクトルBWRでは、使用済み核燃料から取り出されたプルトニウムを繰り返し安全かつ低コストで再利用して、核燃料資源の有効利用を実現します。経済性を高めたとこの点から、高経済性低減速スペクトルBWRと呼んでいます(図1)。

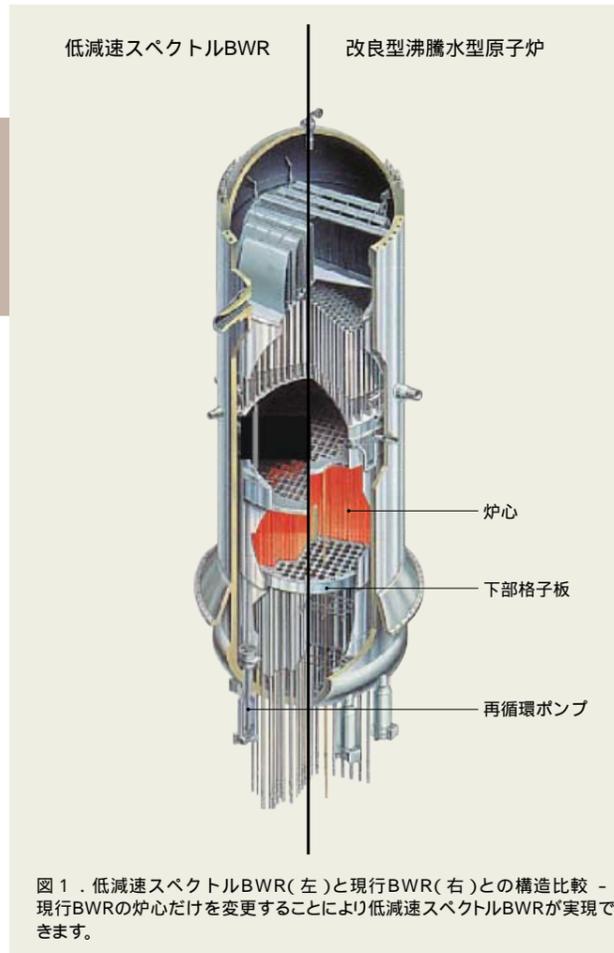


図1. 低減速スペクトルBWR(左)と現行BWR(右)との構造比較 - 現行BWRの炉心だけを変更することにより低減速スペクトルBWRが実現できます。

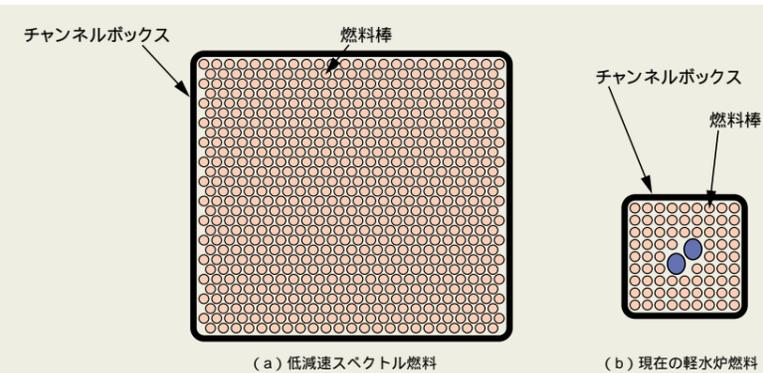


図2. 低減速スペクトル燃料と現行燃料との配列比較 - 低減速スペクトル燃料では、水の量をできる限り少なくするために、燃料棒を三角配列にしています。これで、核燃料を増殖することができます。

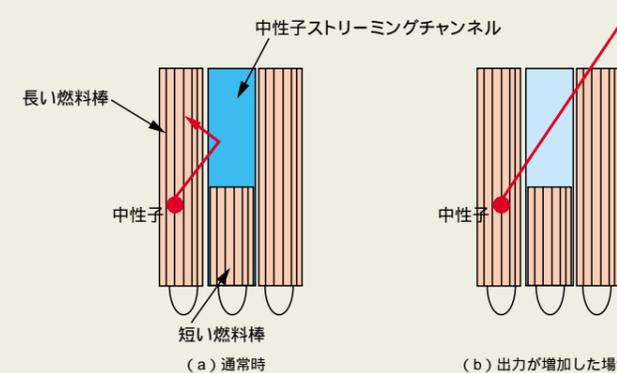


図3. 中性子ストリーミング - 短い燃料棒の上の空間部分を、中性子ストリーミングチャンネルと呼んでいます。この採用により、出力増加に伴う蒸気量増大で、中性子の炉心上部への流れ(中性子ストリーミング)が促進でき、出力を自然に減少することができます。

低減速スペクトルBWRでは、水が少なく蒸気量が多くなるため、蒸気量が増加しても出力が減少しにくい傾向があります。そこで、安全性を確保する工夫として、中性子の漏れを自然にコントロールできる構造を考案しました(図3)。この工夫では、通常の長さの燃料棒と短い燃料棒を組み合わせ、短い燃料棒の上の空間部分を中性子ストリーミングチャンネルと呼んでいます。これにより、出力増加に伴う蒸気量増大で、炉心上部への中性子の流れ(中性子ストリーミング)が促進でき、出力を自然に減少することができます。

なお、この開発は経済産業省の“革新的実用原子力技術開発公募事業”として、当社と岐阜大学の共同研究で実施しています。

今後の展望

今後、シミュレーションや試験により低減速スペクトルBWRの性能を確認し、外国そして国内の研究機関と連携して、この炉の開発を推進していきます。

師岡 慎一

電力・社会システム社
電力・社会システム技術開発センター
機器・システム開発部参事、工博

山岡 光明

電力・社会システム社
電力・社会システム技術開発センター
システム解析技術開発部主査

次世代原子炉の開発動向

原子炉は、初期の試験炉の第1世代、現在稼働している軽水炉などの第2世代、第2世代の改良型であるABWRなどの第3世代と推移してきており、2030年ころには核不拡散性や経済性に優れた第4世代原子炉の時代に入ると予想されています。東芝は、ABWRを第3世代として既に建設しており、第3世代以降の複数の次世代炉についての研究開発を行っています。

低減速スペクトルBWRは、第3と第4世代の中間にあたる炉と認識されており、日本原子力研究所が中心となって研究が進められ、当社及び各社も協力しつつ開発が進んでいます。

核分裂と核燃料の増殖

原子力による発電は、火力発電とほぼ同じです。火力発電所のボイラにあたるものが原子炉で、この中でウラン235や、ウラン238から生成されたプルトニウムが核分裂を起こして熱を作っています。この熱により水を蒸気に変え、発電機を回し、発電しています。

核燃料は、金属被覆管にウラン235、238やプルトニウムが入っています。中性子がこのウラン235とプルトニウムの原子核に衝突して核分裂を起こし、このときに大量の熱が発生します。中性子のスピード(エネルギー)が速すぎると核分裂の効率が悪いので、BWRでは水で中性子の速度を遅く(減速)し

ています。ウラン238は、核分裂しにくく熱発生にはあまり寄与しませんが、中性子を吸収してプルトニウムを生成します。

プルトニウムができる割合は、中性子の速度が高速になるほど大きくなり、プルトニウムは、高速中性子(速い速度の中性子)によっても核分裂効率が低いという特徴があります。

原子炉では、このような原理で新しい燃料が生まれます。

低減速スペクトルBWRとは

低減速スペクトルBWRとは、水の量を現在のBWRより少なくし、高速中性子が減速される程度を低くし、中性子のエネルギー(スペクトル)を高くして

運転される炉で、中性子の減速の程度を低くするためにこう呼ばれています(図1)。

このように中性子エネルギーを高くすることにより、核分裂しにくいウラン238を核分裂しやすいプルトニウム、つまり新しい核燃料へ転換します。新しい核燃料ができる割合である増殖比を、BWRのウラン炉心の約0.6から1近傍あるいは1以上に増加することが可能となり、ウラン資源やプルトニウムの有効利用を達成できます。

東芝低減速スペクトルBWRの特徴

現在のBWRを利用するために、水が流れる流路は正方形のままとしています(図2)。これで、ABWRの核燃料

を取り替え、部分的に改造するだけで、低減速スペクトルBWRが実現できるため、開発コストを低減できます。増殖を実現するためには水を減らす必要があります。核燃料棒の並べ方を現在の正方形格子配列から三角配列として、水を可能な限り減らしています(図2)。

安全性確保の工夫

BWRでは、安全性を確保するために、出力が上昇したり冷却用の水が減って蒸気が増えた場合、水に比べて蒸気での中性子の減速度合いが小さくなるため、ウラン235が核分裂しにくくなり、出力が自然に下がるような設計になっています。これを自己制御性と呼んでいます。