



原子力工学第二講座 (原子炉材料学)

三宅正宣*

I. 講座の概要

昭和33年、当時の大学院原子核工学専攻の二番目の講座として、原子炉の燃料・材料に関する教育と研究を目的に本講座が開設され、佐野忠雄教授（現名誉教授）の担当のもとに発足した。その後、昭和37年、原子力工学科の設置に伴い、その第二講座となり、今日に至っている。また、昭和54年からは、電磁エネルギー工学専攻の協力講座として、エネルギー材料工学講座を受け持ち、この新しい大学院独立専攻の発展にも参画している。研究室の現教職員は、三宅正宣教授、桂正弘助教授、孫鳳根、山中伸介の両助手と新田由貴子事務官の5名で、これに大学院後期課程の3名をはじめ、前期課程、学部4年生を含め、学生総数約20名が所属し、活発な研究活動を進めている。

II. 研究の方向と内容

エネルギーと物質、材料の係わり合いが我々の色々な技術、工学の大きな基盤になっていることはいうまでもない。この事は、高密度、高エネルギーの取扱いで特徴づけられる原子力開発の分野において更に直接的である。しかし同時に、このような高密度エネルギーと物質の相互作用は常に困難な材料問題を提起するもので、これを克服するためには、エネルギーと材料の極限的な係わり合いを可能とする新しい材料とその利用技術の開発が必要とされる。もとより一朝一夕に進む事柄ではないが、このような見地に立ち、目標を抱きながら、我々は広く原子力材料に関する教育、研究を進めている。

現在の研究内容は、まず、a) 原子炉の燃

材料、b) 核融合炉材料、c) 高融点コーティング材料を対象としたものに大別できる。もちろん、これらの研究は互に関連し、或は、共通する部分も多いが、この中の高融点コーティング材料についての研究は、原子力はもとより、広く色々な分野へのこの種材料の応用を考えながら進めているものである。

a) 原子炉燃・材料に関する研究

i) 1979年の米国スリーマイル島発電所の冷却水漏洩事故（いわゆる、TMI 事故）以来、事故時の炉心損傷に関心が集中し、原子炉安全性の研究に新しい面が生れた。この流れに対応して、我々も、軽水炉事故時における燃料 (UO_2) と被覆管（ジルカロイ）の主として化学的相互作用を解析、評価するための基礎研究を行って来ている。即ち、 UO_2 とジルカロイの高温での接触反応により、両者の接触界面に生じる反応層の同定とその生成条件、挙動について反応論及び平衡論の双方から詳しく検討している。

ii) また、高速増殖炉の開発に関連して、燃料とステンレス鋼被覆管の化学的相互作用による被覆管内面の腐食挙動を実験、解析し、これから通常の運転時における被覆管健全性の評価とその向上について研究している。この化学的相互作用は、燃料成分のウラン等や核分裂生成物のセシウム、モリブデン、ヨウ素等が燃料棒内の酸素分圧に関連して色々な化学形の反応物となり、ステンレス鋼被覆管の酸化、腐食を惹き起こすものである。従って、この酸素分圧を低下、制御することで被覆管の腐食を低減できると考えられる。高速増殖炉の燃料は UO_2 や PuO_2 の、いわゆる混合酸化物燃料で、ウランやプルトニウムの核分裂によって酸素が遊離する。このような状況の下で酸素分圧を制御する方法として、適当な酸素ゲッター材を燃料棒内

*三宅正宣 (Masanobu MIYAKE), 大阪大学工学部, 原子力工学科, 教授, 原子炉材料学, エネルギー材料工学

に加えて置くことが考えられるが、そのための具体的な方法として、酸素ゲッター材をコーティングにより燃料棒内に付与することが有望と見られる。我々のコーティング材に関する研究をこの点で結びつけて応用発展させ、このアイデアの実現に向けて研究を進めている。

iii) 原子炉で使う燃料の多様化は、資源問題をはじめ、色々な技術的、政策的観点から、従来より我国にとって大きな課題であるが、これからの原子力開発の方向と関連して、ますますその重要性が高まって来ている。我々もトリウムセラミックス燃料の開発基礎データを得るため、現在、トリウム窒化物を中心に、その作成法や物理化学的性質などについて研究を進めている。また、作成したトリウム窒化物から種々の結晶化度を持つトリウム酸化物が生成されることを見出し、燃料として特性だけでなく、広くトリウムセラミックスの性質について興味深い知見とデータが得られている。

b) 核融合炉材料に関する研究

新しいエネルギー源としての核融合炉は、しばしば、この地球上のミニ太陽と例えられるが、これからすると、核融合炉材料はこのミニ太陽の家を作る材料ということになる。重水素と三重水素の核融合反応を代表例とすると、この反応では高エネルギーの中性子 (14 MeV) とヘリウムイオン (3.5 MeV) が放出される。自明の事ながら、ミニ太陽といっても、以上のような核融合反応で放出される粒子のエネルギーがミニになるのではなく、むしろ逆に、核融合はこのような高エネルギー粒子をミニの家の中で取扱い、このエネルギーの利用を計るものといえる。この点から、核融合炉材料は他に類のない非常に酷しい使用環境に置かれることになる。例えば、核融合炉の炉心のいわゆる第一壁材料等は、核融合燃料である重水素や三重水素等の雰囲気、前述のような高エネルギーの中性子や各種のイオンの照射と熱負荷を受ける。しかも、これらの負荷は通常の運転時でも周期的であり、場合によって場所的・時間的にきわめて局在、変動した形で加わる。このような使用環境に、その材料の固有の性質だけで十分適合できる材料はまず無いといえる。材料特性の制御とその利用技術を考え、使用環境への適合性

の向上を計ることはもちろん必要であるが、同時に、それらの材料がこのような環境でどこまで適応可能かその限度を正確に評価することが何よりも大切である。この見地から、黒鉛やチタン、チタン炭化物等の核融合炉候補材料を対象に、水素同位体、高エネルギー粒子の照射、および、熱負荷の三者が互に相関しながらこれらの材料特性に及ぼす効果、損傷を解析、評価することを行っている。なお、これらの研究は、近く、西ドイツ・ユーリッヒ原子力研究所と共同研究とし進める運びとなっている。

c) 高融点コーティング材料に関する研究

使用環境における材料とエネルギーや環境成分等との係わり合いは、多くの場合、まずその材料表面で起こる。そして、この使用環境条件が酷しくなればなる程、一般に、そのような環境条件への材料表面の性質の適合性が非常に重要な問題となる。この点から我々は、母材表面に適当なコーティングを施して、その表面特性を使用環境により適合させること、或はまた、先に酸素ゲッター材のコーティングについて触れたように、コーティング材により環境成分を制御すること等を目標に、高融点コーティング材料の開発を進めている。具体的にはステンレス鋼や黒鉛を母材とし、化学蒸着法を中心として、モリブデンやレニウム等の高融点金属をコーティングし、これらのコーティング材の諸特性を評価している。例えば、レニウムは炭化物を形成しない唯一の高融点金属であり、この特性を活かした興味あるコーティング材の作成に成功している。

III. おわりに

原子力材料は核的な性質も含め色々な高度の機能性と安全性を必要とするもので、その開発志向は、現在脚光を浴びている新素材、機能材料のそれと基本的には同様である。しかし、21世紀の前半を目標に進められている高速増殖炉や核融合炉の開発に対応して、これらに必要な原子力材料の開発は大変息の長い過程であり、我々もむしろ夢を持ってこの困難な分野の進展に努力し、その成果を次代に引き継いで行きたいと願っている。