

(様式3)

論文の内容の要旨

氏名 鈴木 一彦

高速増殖炉や核融合システムのような次世代原子力システムにおいては、安全性の飛躍的な向上及び経済性の一層の向上を図るため、使用条件が苛酷化するとともに種々の新しい技術の開発、導入が求められている。構造規格としてこれらの技術等を規格化するためには、現行の規格の前提や適用範囲を超える場合があり、新たな考え方を構築する必要がある。個々の技術に対する規格化の考え方はお互いに関連する場合があるため、適用範囲を拡大するためには一貫した考え方で拡大する必要がある。従って、個別に構築するのではなく体系化した考え方として構築すべきであることが指摘されてきた。本研究では、次世代原子力システムを実現するために解決すべき課題のうち、従来の構造規格の前提や適用範囲を超える基本的な課題として次の3つを選び、破壊挙動等を調べたうえで、規格化に向けた課題解決法を提案するとともに、体系化概念構築の方向を示した。

- ・高照射損傷を受け、延性低下する機器の健全性維持
- ・製作段階において接合時の熱処理により母材にも強度変化を大きく生ずる場合の健全性確保
- ・脆性非金属部品の構造健全性確保・維持

「高照射損傷を受け、延性が低下した機器の健全性維持」に関する研究では、従来、非クリープ温度域において高照射損傷を受けると破断伸びが著しく低下するなどの問題が指摘されていた。そこで、まず、真応力-真ひずみ関係を構造健全性の観点から詳細検討し、破壊直前の高ひずみ領域で一層の硬化が生じていることを明らかにした。次に、実機構造物における変形挙動を解明し、引張試験片から求めた真応力-真ひずみ関係が適用可能であることを明らかにした。高照射損傷を受けて延性と塑性硬化率が低下する結果、従来は塑性崩壊として防止していた局部的延性破壊を直接に取り扱わねばならず、延性破壊条件の定式化が必要となることを示した。延性破壊はボイドの発生からき裂化、破壊までの一連のプロセスであり、これを破壊点として定義する必要がある。そこで、中性子小角散乱法に着目してボイドの発生、成長過程を検討するとともに、試験体を工夫し、き裂発生の様子が試験体外部から観察されるようにして破壊条件を検討した。その結果、破壊点はひずみが引張試験の公称応力-公称ひずみ曲線の屈曲点でのひずみに達した時とすることが合理的であることを認めた。この破壊ひずみ ϵ_f のデータを整理し、照射硬化を予ひずみ ϵ_0 と表し、 $\epsilon_{f,0}$ を非照射材の破壊ひずみとすると、 $\epsilon_0 + \epsilon_f = \epsilon_{f,0}$ の関係が成立することを明らかにした。以上の成果に基づき、想定すべき破損様式を「き裂化」と「過大な変形」に大別した。許容制限については、延性破壊に至る変形の安定性の有無により許容値のベースとなる特性が異なることに着目し、これを適切に考慮した制限式を提案した。また、照射により強度等が変化していく場合の設計値等の設定方法について提案した。

「接合時の熱処理により母材にも強度変化を生ずる場合の健全性確保」に関する研究では、

まず、接合条件について安定な範囲が存在するかどうか検討したうえで設計値等をどう定めるか、その責任をいかに保証するかについて考察した。具体例として、トカマク型核融合システムのブランケットにおいて銅合金とベリリウム等とをHIP接合する場合を取り上げ、最適な焼き入れ、時効条件を定めた。設計値を定めるうえでの大きな問題点は、製作メーカーによって接合条件が異なり強度が異なることであった。そこで、接合条件範囲を定めて設計値は最悪条件から定める方法と、製作メーカーを限定して接合条件を限定する方法との2案を検討し、それぞれの長所、短所を明らかにした。これらの成果は、国際熱核融合実験炉 ITER のブランケット設計に反映されている。

「脆性的非金属部品の健全性確保・維持」に関する研究では、核融合システムの放射性物質閉じ込め障壁及び強度部材として用いる合成石英ガラス、人工サファイア及び人工ダイヤモンドについて、破壊特性が大きくなばらつきを生ずる原因について調べた。これらの材料では即時破壊は不可避であるが、人工ダイヤモンドでは環境効果としての繰返し破壊などは生じないことを明らかにした。さらに、破壊特性のばらつきについては、表面層や内部の欠陥に加えて、表面層の状態や表面層、内部の残留応力などが大きく影響することを明らかにした。これらの成果から、構造健全性確保・維持の方法として、欠陥を検出して制御する方法と、最終的に実機構造物を破壊して破壊特性を把握する方法とを検討したが、欠陥検出の信頼性等も考慮し、後者の方法について具体化を図った。

「体系化概念の構築」に関する研究では、以上の経験に基づき体系化概念の方向を示した。核融合システムで採用する新しい技術がその工程内で要求される裕度を確保できない場合における対処方法について、システム化規格概念を適用して示した。単独の工程ごとに必要な裕度を確保できないときに別の工程で裕度を補完するなど、全工程を通して必要な裕度を確保できるようにした。規格の前提や適用範囲を拡大するためには、拡大した前提や適用範囲を俯瞰して一貫した体系的な考え方を構築する必要がある。そのために、破損様式の体系化概念を提案し、これに基づいて具体的な破損防止策の体系化概念を示した。これら一連の研究成果は ITER の真空容器やブランケットなどの設計に反映された。