

Improvement of Fatigue Test Technology using Small Specimen for Evaluation of Neutron Irradiation Effect

野上修平¹、日坂知明²、藤原昌晴²、佐藤佑毅¹、管文海¹、長谷川晃¹
 NOGAMI Shuhei¹, HISAKA Chiaki², FUJIWARA Masaharu², SATO Yuki¹, GUAN Wenhai¹, HASEGAWA Akira¹

¹東北大学、²(株)神戸工業試験場

¹Tohoku Univ., ²KMTL

1. 緒言

核融合炉材料に対しては、研究炉などを使った中性子照射損傷の影響評価のため、微小試験片による機械試験技術が適用される場合がある。微小試験片を用いた試験では、標準試験片を用いた規格試験に比べ要求精度が高いため、サイズ効果や形状効果の理解に基づく試験片最適設計や、ひずみ計測・制御技術を中心とした要素技術の最適化が必要である。本研究では、標準試験片と同等の疲労寿命の評価が可能な微小試験片用の高温疲労試験技術の開発を目的とした。

2. 開発概要

主な開発項目は、試験片形状・サイズの最適化、試験片製作方法の最適化、試験片取付け方法の最適化、ひずみ計測・制御技術の開発、試験片均一安定加熱技術の開発である。開発思想として、微

小試験片では、標準試験片で許容される種々のばらつき等を概ね試験片サイズ比に合わせて低減・抑制することが必要であるとの認識に立脚し、それらを解決するための構造最適化や要素技術の開発を実施した。

試験片は、従来日本で使用されてきた砂時計型試験片の標準試験片に対する寿命の相違を解消するため、数値シミュレーションによる原因究明と構造最適化を実施し、図1に示すようにその課題を解決した。また、試験片は、開発した自動研磨装置を適用し、加工層と表面傷の安定的な除去を実現し、ロバスト性を追求した。さらに、微小試験片は標準試験片に比べて試験機アライメント起因のねじりや曲げの影響度が高いため、新たな治具構造を開発し、原理的にそれらの影響を排除した。ひずみ計測・制御技術としては、数マイクロメートルオーダーの変位計測・制御が必要で

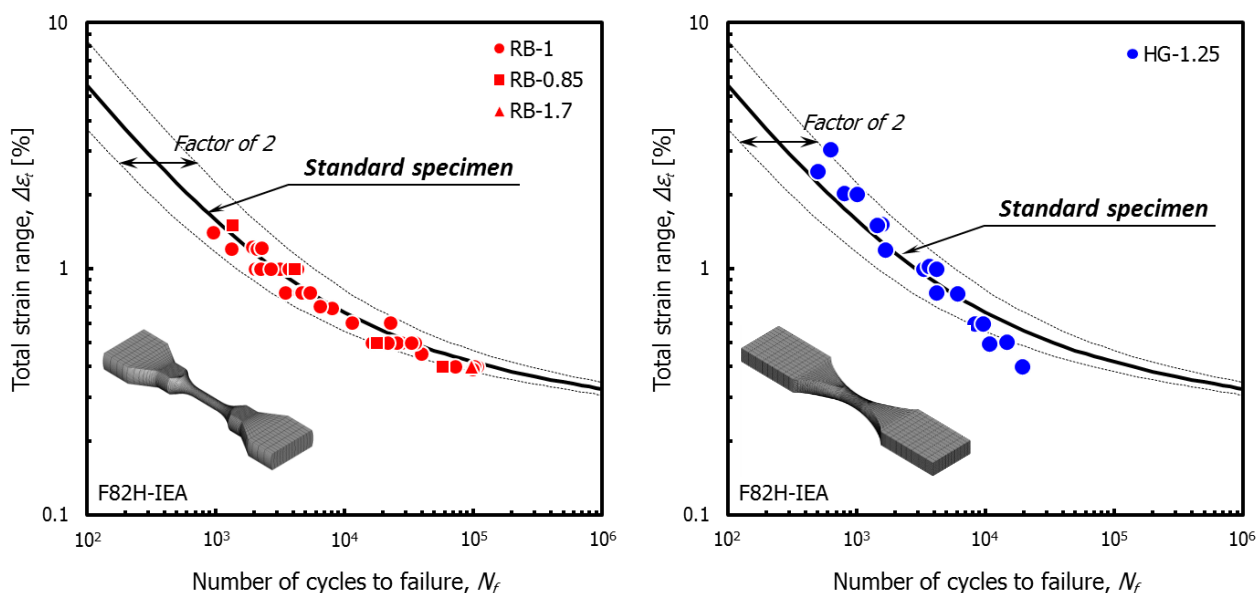


図 1. (左) 新規開発した平滑丸棒型微小試験片と (右) 従来の砂時計型微小試験片の室温疲労寿命

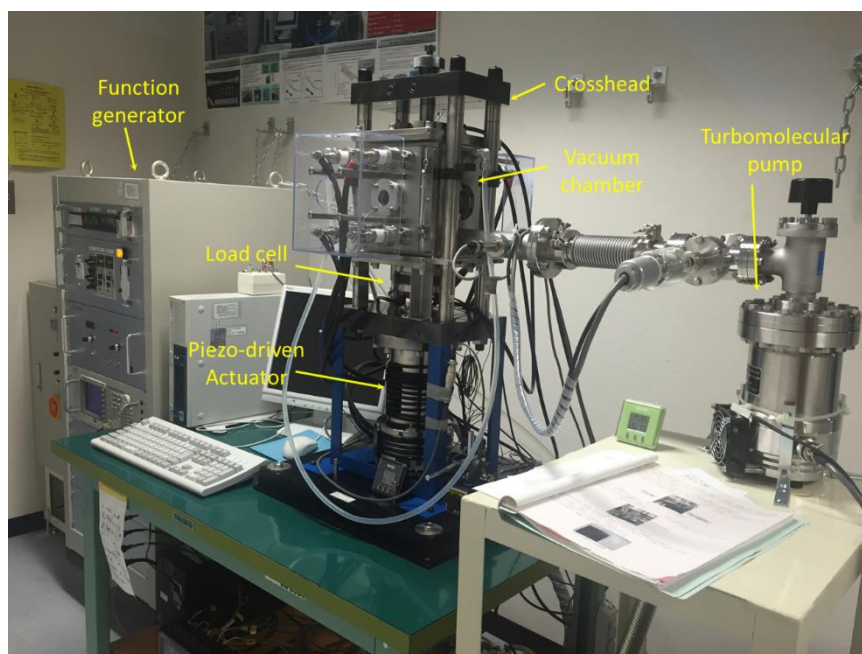


図 2. 微小試験片用高温低サイクル試験装置の外観

あるため、新たにレーザー変位計と接触式変位センサーを用いたひずみ計測・制御装置を開発した。これら開発した要素技術を統合した新規システムとして、図2に示す微小試験片用の高温低サイクル試験装置を製作した。

3. 主な核融合炉用材料の評価

要素技術を統合した新規システムの核融合炉材料への適用性を評価した。本研究では、広範な核融合炉材料の評価を目指し、図1に示す低放射化フェライト鋼のほかに、タングステンおよびSiC/SiC複合材料を対象とした。

ブランケット構造材料として期待される低放射化フェライト鋼は、構造設計に足る疲労寿命データが必要である。本開発技術により、想定使用温度域において、試験片サイズの影響のない疲労寿命の評価が可能であることを確認し、データベース構築を開始した。

ダイバータ材料として期待されるタングステンは、熱疲労が主要な材料課題となる。しかし従来は、規格化された試験技術の適用例も少なく、疲労寿命のデータは非常に限られていた。本開発技術により、各種タングステンの疲労試験を開始され、合金化など材料改質の効果を明らかにしつつある。

先進ブランケット材料として期待されるSiC/SiC複合材料は、セラミックス特有の脆さにより、従来は疲労試験自身が困難であった。本開発技術は当該材料の疲労試験をも実現し、疲労下

における損傷形成機構について明らかにしつつある。

以上より、本研究の開発技術は、主要な核融合炉材料の微小試験片による疲労寿命評価を実現するものであり、中性子照射影響などの評価を通じ、核融合炉開発に資することが期待される。

4. 規格化に向けた取り組み

本研究で開発した新たな試験技術で取得したデータを核融合炉の設計や保全に適用するためには、試験技術としての枠組みやその客観性や信頼性などを保証するため、例えばASTM Internationalなどにおいて認証を受けることが要求される可能性がある。核融合関係で策定された規格としては、例えば日本機械学会・核融合設備規格・超伝導マグネット構造規格があるが、材料試験技術に関して規格化された例はない。筆者らは、IAEAの呼びかけの下、Consultancy Meeting Towards Standardization of Small Specimen Test Technique for Fusion Applicationsを2016年に実施し、日米欧の専門家による規格化に向けた議論を開始した。規格化までの取り組みは多くの時間を要し、要求されるデータ数も非常に多いことが予想されるが、将来的な核融合炉の実現のためには、本研究で開発した疲労試験技術だけでなく、核融合炉開発の中で生まれた技術を規格化する取り組みが必要であると考えられる。