

29pA31P

## CVI-, RS-, PIP-SiC/SiC 複合材料の高温における中性子照射効果

High-Temperature Neutron Effect on Mechanical Properties of CVI-, RS- and PIP-SiC/SiC Composites

野澤貴史<sup>1</sup>、檜木達也<sup>2</sup>、加藤雄大<sup>3</sup>、香山 晃<sup>3</sup>、鳴井 実<sup>4</sup><sup>1</sup>京大工ネ科、<sup>2</sup>ORNL、<sup>3</sup>京大工ネ理工研、<sup>4</sup>東北大金研T. Nozawa<sup>1</sup>, T. Hinoki<sup>2</sup>, Y. Katoh<sup>3</sup>, A. Kohyama<sup>3</sup> and M. Narui<sup>4</sup><sup>1</sup>Graduate School of Energy Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Oak Ridge National Laboratory,<sup>3</sup>Institute of Advanced Energy, Kyoto University, <sup>4</sup>Institute for Materials Research, Tohoku University

SiC/SiC 複合材料は中性子環境下での安定性に優れた低放射化構造材料の一つであり、特に近年の繊維、マトリックス、界面構造の最適化により耐照射特性に更なる向上が期待される。本研究では SiC マトリックスに着目し、これまでの照射研究の中核であった化学気相浸透(CVI)法で作製された複合材料に加え、近年精力的に開発が進められてきた反応焼結(RS)法やポリマー含侵 焼成(PIP)法で作製された材料の組織安定性、曲げ強度特性に及ぼす中性子照射効果を評価し、今後の材料開発の指針を得る。特にこれまで報告例の少ない高温での中性子照射に対する曲げ強度特性の照射効果を明らかにすることを目的とした。

中性子照射試験材として低酸素含有結晶 SiC 繊維 Hi-Nicalon™、化学量論組成高結晶 SiC 繊維 Hi-Nicalon™ Type-S および Tyranno™-SA 強化 CVI-SiC マトリックス複合材料、Hi-Nicalon™繊維強化 RS-SiC マトリックス複合材料、非晶質 SiC 繊維 Tyranno™-TE 強化 PIP-SiC 複合材料を準備した。CVI 材は全て熱分解炭素 (PyC) を、RS 材は窒化ボロン (BN) を、PIP 材は組成傾斜炭素を界面相として有する。中性子照射は JMTR 材料試験炉にて 800°C、 $0.4 \times 10^{25} \text{n/m}^2 E > 0.1 \text{MeV}$  の条件下にて行った。照射後は形状安定性評価および 3 点曲げ強度試験による強度解析を行い、照射前後での特性値の比較検討を行った。

CVI 試料では最大曲げ強度、降伏強度にほとんど有意な変化は見られなかった。これは使用した繊維、マトリックスの種類によらず、それらへの照射効果が小さかったためだと考えられる。高結晶性 SiC は 0.4dpa の照射損傷量に対して点欠陥の蓄積によりスウェーリングするも、その方向は等方的であり繊維・マトリックスが同様の挙動を示すことにより形状安定性が極めて高かった。同時に、この欠陥生成量は少なく、さらに 800°C の高温照射であることを考慮すると欠陥の消滅も起こっていたため結局のところ照射効果は極小であったと考えられる。一方で結晶性が劣る Hi-Nicalon 繊維を用いた場合でも微小ではあるが結晶化に伴う高密度化が生じるため、決して強度が落ちることはない。RS、PIP-SiC/SiC に関しても同様で、その構成繊維、マトリックスは高温 0.4dpa での中性子照射に対して有意な照射劣化は生じ得ないことから強度に関して著しい変化は起こらなかったと考えられる。しかしながら弾性定数はこのような低い損傷量に対しても顕著な低下が確認された。これは PyC を始めとする構成界面の照射初期からの段階的な劣化が界面強度を低下させた結果として弾性定数の低下を引き起こしたものと考えられる。高温照射初期の機械特性への照射効果は SiC 繊維、マトリックスよりも界面要素が強く影響を及ぼしていることが本研究により示唆された。

29pA32P

## JT-60 改修装置における超伝導トロイダル磁場コイルの応力評価

Stress analysis of the JT-60 superconducting toroidal field coil

土屋勝彦, 木津 要, 三浦友史, 中嶋秀夫, 安藤俊就, 松川 誠, 逆井 章, 石田真一  
原研 那珂K. Tsuchiya, K. Kizu, Y. M. Miura, H. Nakajima, T. Ando, M. Matsukawa, A. Sakasai, S. Ishida  
JAERI, Naka Fusion Research Establishment

原研では、プラズマ電流 4MA、プラズマ中心 ( $R=2.8m$ ) 磁場 3.8T において、臨界クラスの高性能プラズマを電流拡散時間よりも十分長い時間（約 100 秒間）維持するための超伝導コイル化を伴う、JT-60 改修を検討している。本改修装置には、D 型のトロイダル磁場 (TF) コイルが 18 個設置され、その形状は、コイル巻線導体の製作時に大きな熱処理炉を必要としない、リアクト&ワインド法（熱処理後に巻線作業を行う製作法）による導体製作を採用できるよう、歪みを 0.4% 以内に抑えた曲率としている（図参照）<sup>1</sup>。コイル導体は強制冷却型ケーブルインコングリット構造を採用しており、巻線自身の強度を高めている。また、この巻線を収納するコイルケースは SS316LN で製作することを検討している<sup>2</sup>。

TF コイルの支持法として、重力を含む垂直方向荷重については、板バネ状の支持脚を採用する。本支持脚には、冷却時のコイル縮小にともなう水平方向荷重、および地震発生時の不均一な水平方向荷重も考慮する必要がある。4 個の中心ソレノイド (CS) および 6 個のプラズマ平衡制御用 (EF) コイルとの相互電磁力荷重を軽減することが、垂直方向支持体の設計条件を緩和することにつながるので、現在これらと TF コイルとを一体化する方針で検討している。TF コイル 1 個あたり 35.8MN に達する向心力については、一部は後述するシアパネルでも分担するが、TF コイルのトーラス中心側に設けてあるテーパー面（ウェッジ）でほぼ全体の荷重を支持する方針である。TF コイル間に、キーを挿入することでコイル全体を一体化させる。これにより、広い CS 用空間が確保され、プラズマへの供給磁束を大きく設定できる。この時の支持面の領域として、ウェッジ厚内部に限定する場合と全面を使う場合の各々について評価する必要がある。転倒力に対しては、ディスラップション時に発生する最大電磁力を設計条件として検討を進めている。現在は、2 個の TF コイルケースを一体化させ、全体としての剛性を高める方向で検討を進めている。また、計測・加熱機器用のポートを避けてシアパネルを各 TF コイル間に設置し、変位に対する剛性の向上を可能な限り図っている。

本 TF コイルの最大経験磁場は 7.6T であり超伝導フィラメントの高密度電流化が可能である。このため、高い鋼比の素線を採用し、コイルのコンパクト化を図っているが、構造解析に基づいてコイルケースの厚みやキー配置を最適化することにより、コイルの剛性を十分確保することが必要である。本講演では、単体モデルの場合と 2 個一体化モデルとの比較を行った解析結果、及びディスラップション時における評価やウェッジ支持法の最適化の方法について報告する予定である。

&lt;参考文献&gt;

1) T. Ando, et al., 17th International Conference on Magnet Technology

2) K. Kizu, et al., 17th International Conference on Magnet Technology

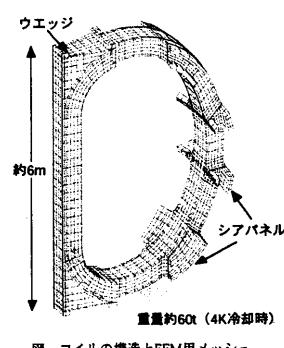


図 コイルの構造とFEM用メッシュ