

室蘭工業大学 OASIS における先進エネルギー材料の研究

室蘭工業大学

環境・エネルギーシステム材料研究機構長 香山 晃

1. 緒言

室蘭工業大学 環境・エネルギーシステム材料研究機構 (OASIS: Organization of Advanced Sustainability Initiative for Energy System/Materials) は 2010 年に発足した学内でも比較的新しい組織です。室蘭工業大学 OASIS の目的は、環境を維持しながら人類が安心・安全に暮らせる社会を実現させ、更なる生活基盤の強化を可能とする高品位のエネルギーシステム及び先進エネルギー材料の開発を行う事です。

これらの活動は組織の中核を担う教官が京都大学エネルギー理工学研究所から移動して進められており、八戸工業大学を含む多くの大学等との協力の歴史を背景に立ち上げられています。特に、最近の 5 年間においては地域産業総合研究所 (四竈樹男所長) とその前身であるエネルギー環境システム研究所 (阿部勝憲所長: 当時) と密接な協力関係を構築し、文部科学省や経済産業省等からの競争的資金による大型研究にも協力して頂きながら環境・エネルギー問題に取り組んできました。

この関係は最近の両研究組織の学術・研究交流協定書の締結を契機に、より強力かつ広範な協力関係に進展する第一歩を記したところです。

本稿では室蘭工業大学 OASIS における、先進セラミックス複合材料の 1 つである SiC 繊維強化 SiC 基セラミックス複合材料 (SiC/SiC 複合材料) の早期実用化に向けた産業化製造プロセス開発とエネルギーシステムへの応用研究について簡単に紹介します。

2. 炭化ケイ素 (SiC) とは？

炭化ケイ素 (SiC) は金属と比べ軽量、優れた高温強度、化学的安定性、低放射化特性 (放射線による放射化を抑える特性) 等を有することから、主に原子力・核融合分野や航空宇宙分野等の過酷環境 (高温、腐食、放射線等) 下における高温構造材料として適用が検討されてきました。しかしながら、SiC はセラミックス材料ゆえの「脆性」という、構造材料としては致命的な弱点を有しているため、SiC/SiC 複合材料が開発されるまでは構造材料としての積極的な利用は進みませんでした。SiC/SiC 複合材料は SiC セラミックスを SiC 長繊維により強化 (高靱化) することで、SiC の優れた特性を生かしつつ、脆性を大きく改善させた材料です。

3. SiC/SiC 複合材料の研究開発

SiC 繊維の核融合炉への応用基礎研究は金属複合材料の開発研究と並行して 1976 年から開始され、SiC/SiC 複合材料への展開は次世代超音速旅客機の開発を目指した経済産業省の次世代複合材料開発事業 (1981 年 4 月～1989 年 3 月) を契機に東京大学井形研究室 (香山 助教授担当) での分担課題として始まりました。これらの研究は京都大学エネルギー理工学研究所の香山研究室の活動へとつながり、現在の室蘭工業大学 OASIS での活動に繋がります。この為、研究開発は航空宇宙と原子力・核融合への応用を中心として進められてきました。

室蘭工業大学 OASIS では香山らの国際特許である液相焼結法を基礎とする NITE (Nano-Infiltration and Transient Eutectic-phase) 法 SiC/SiC 複合材料の開発研究を進めています。NITE 法は高結晶・高密度・高強度の SiC マトリックスを高結晶性 SiC 繊維束内の微細な隙間にまで形成可能であることから、有力な構造用複合材料製造技術とされています。開発当初の NITE 法は液状の SiC スラリーを使用した湿式法であったため、素材のハンドリング性や均一性、量産性に課題がありました。これら課題解決を目指した研究開発により、現在では湿式法から乾式法 (乾式法となったプロセスを「DEMO-NITE 法」と定義) への製造プロセスの転換を行っています。DEMO-NITE 法の大きな特徴は、①乾式の間素材であるグリーンシート (SiC スラリーをシート化した素材) やプリプレグシート (グリーンシートと SiC 繊維を複合化した素材) 等を用いること、②量産化に向けて開発した製造装置を用いること、③最終工程で過酷環境下での使用を想定した耐環境性被覆を施すことです。本プロセスにより製品の均質性や生産性、材料特性の向上に加え、複雑かつ大型部材の製造も可能としているため、DEMO-NITE 法は産業化に近い製造プロセスです。DEMO-NITE 法 SiC/SiC 複合材料は他の製造方法では達成できていない高い密度とそれに伴う金属材料

同等またはそれ以上の気密性を実現しており、大型化も含めた一貫製造プロセスのプロトタイプも完成しています。

4. SiC/SiC 複合材料のエネルギーシステムへの応用研究

SiC/SiC 複合材料のエネルギーシステムへの応用は核融合炉におけるプラズマ対向部材や、ガス冷却高速炉の燃料被覆材料や燃料被覆管として研究開発が進められ、その中で優れた高温強度や耐中性子照射特性が確認されてきました。近年では、軽水炉の安全性向上を目的とした技術概念である事故耐性燃料（ATF：Accident Tolerant Fuel）における燃料被覆管素材としての適用研究も活発化しています。更に、材料の優れた特性を活かすものとして地熱発電・火力発電、燃料電池等のエネルギー分野への応用も進められています。

最近の重要な展開としては東日本大震災後の原子力発電における安全性を高める研究開発の促進を目指す事業として、経済産業省の平成24年度革新的実用原子力技術開発費補助金補助事業の「革新的安全性向上を実現させるセラミック複合材料の燃料集合体への適用技術開発（INSPIRE：Innovative SiC Fuel-Pin Research 計画）と文部科学省の平成24年度エネルギー対策特別会計委託事業の「高度の安全性を有する炉心用シリコンカーバイト燃料被覆管等の製造基盤技術に関する研究開発（SCARLET：SiC Fuel Cladding/Assembly Research Launching Extra-Safe Technology 計画）」の大型国家プロジェクトを実施しています。

経済産業省のINSPIRE計画では燃料集合体やチャンネルボックスを作製するためのNITE法SiC/SiC複合材料の要素技術統合を行い、当該技術によって製造された材料の炉外特性評価に加え、軽水炉水環境における中性子照射で健全性を維持できるポテンシャルの確認を行うことを目的としています。本事業の参加機関は八戸工業大学、北海道大学、大阪大学、日本原子力研究開発機構（JAEA）などであり、八戸工業大学の軽水炉水環境における材料研究の実績を背景に高温・高圧水環境下での材料挙動評価が今年度の重点項目として実施されています。2016年1月からは、ノルウェー・ハルデン原子炉において炉内・軽水炉水環境下でのSiC/SiC被覆管及びクーボン試験片の中性子照射試験を開始しており、昨年来八戸工業大学で行った予備試験の結果などを反映させた実験において世界初となる重要な知見が得られつつあります。研究室規模の材料での試験は別として密閉型（気密性を確保した）SiC/SiC燃料被覆管の模擬要素を用いる炉内・軽水炉水環境における中性子照射実験は世界初の実績であり、SiC/SiC複合材料被覆管の健全性を確認した事は世界に先駆けた特筆すべき成果です。

5. INSPIRE 計画における八戸工業大学の重要性

INSPIRE計画遂行のための重要な研究課題として、軽水炉水環境下におけるSiC/SiC複合材料の健全性評価があり、本課題は八戸工業大学への業務委託により実施されています。本課題では八戸工業大学が保有する高温・高圧水環境下材料試験装置を用い、非照射下におけるSiC/SiC複合材料と軽水炉冷却材を模擬した高温高圧水との共存性試験を実施し、SiC/SiC複合材料の健全性を確認することを目的としています。八戸工業大学にて実施した比較的短時間の腐食試験から、SiC/SiC複合材料における応力腐食割れの発生を示唆する結果が得られ、新たな学問分野を創出する可能性が見出されています。高温・高圧水環境下材料試験装置による成果取得をより効率的にするために、2015年12月には本装置を八戸工業大学から室蘭工業大学に移設しています。現在、室蘭工業大学においてハルデン原子炉における中性子照射試験と同様の条件・試験時間での試験を実施中であり、水化学分析を含む評価結果とハルデン原子炉での結果を総合的に解析することにより、中性子照射・軽水炉水環境下におけるSiC/SiC複合材料の腐食挙動を明らかにすることを目指しています。この活動はこれまで通り、本学OASISと八戸工業大学・地域産業総合研究所との協力の下で進められています。写真1は本装置の室蘭工業大学移設後の現状です。



写真1 室蘭工業大学に移設した高温・高圧水環境下材料試験装置の外観

6. 結言

SiC/SiC 複合材料は現行のエネルギーシステムにおける安全裕度の飛躍的な向上、エネルギー発生・変換効率の向上や構造物の簡素化など、これまでの材料では実現できなかった環境・エネルギーシステムの高度化に留まらず、画期的な新しい用途を開発するなど、人類の更なる発展に貢献する可能性を有する材料です。産業化に向けた製造プロセス開発は実用化を左右する重要な位置を占めることから、室蘭工業大学 OASIS における研究開発が八戸工業大学との研究協力などの連携を通して飛躍的に進展する事が期待されており、今後とも関係各位のご指導、ご支援を宜しくお願いするところです。

最後に、上記の装置での試験実施及び室蘭への移設における八戸工業大学 地域産業総合研究所所長・四竈樹男教授、機械情報技術学科・齋藤正博教授を始め、社会連携学術推進室各位のご協力、ご尽力に改めて深く感謝申し上げます。また、OASIS 側の担当者である柳谷絵里、本間将人研究員にも謝意を表します。