

原子力システム研究開発事業 – 基礎研究開発分野 –
若手対象型 事後評価総合所見公表用フォーマット

| <p>研究開発課題名（研究機関名） ガス冷却高速炉用先進材料のナノメカニクス接合解析技術の開発（国立大学法人北海道大学）</p> <p>研究開発担当者 機関名：国立大学法人北海道大学 総括代表者：柴山環樹 機関名：日本原子力研究開発機構 代表者：矢野康英 機関名：国立大学法人京都大学 代表者：香山 晃</p> <p>研究期間及び予算額 平成17年度～平成19年度（3年計画） 37,727 千円</p> | |
|--|---|
| 項目 | 要 約 |
| <p>1. 当初の目的・目標</p> | <p>高速炉燃料サイクルの実用化のため、いくつかの概念に基づく革新的原子力システムの研究開発が進められており、国内ではナトリウム冷却高速炉を中核に据え発電プラントを有する「もんじゅ」の研究開発が独立行政法人日本原子力研究開発機構によって進められている。一方、ナトリウム冷却高速炉を補完する革新的原子力システムの中でもガス冷却高速炉は、最近画期的な先進材料が開発されたことから研究開発の機運が高まると共に実機として 850℃から 1300℃の範囲に渡る冷却ガス取り出し温度を実現できる可能性があることから、(1)画期的な高効率発電を実現できるガスタービンを利用できること、(2)水蒸気改質などの水素製造の熱源として利用できること、(3)高温ガス炉で計画された鉄の直接還元への適用可能性等、既存の化石燃料発電設備や化学プラント、製鉄設備では実現することが困難な環境調和型の工業基盤を構築できる可能性を有しているため実用化が期待されている。しかしながら、商用段階では 850℃から 1300℃の範囲に渡る冷却ガス取り出し温度を想定しているため、既存の金属系高温材料では炉心構造体はもちろんのこと炉心機器構成材料への適用も実現困難である。最近、高温強度や耐照射特性に優れ且つ低放射化材料である先進 SiC/SiC 複合材料が研究開発されガス冷却高速炉の炉心構成材料として期待されている。これまで複合材料同士の接合や異種材料との接合に技術的課題が存在しており、これらを解決する材料科学的研究が切望されていた。金属との接合強度は、接合手法に強く依存するものの、一般的に接合界面に脆い反応層が形成するため接合条件の改善の余地が有ることや接合界面のクラックの起点や進展経路について評価するマクロスケールでの試験方法がまだ検討段階にあり、測定評価手法自体に技術課題が存在していた。更に、実機で想定される照射環境下での接合部位の健全性については、現在照射中の挙動を直接その場観察する手段が無いことから、その革新的評価技術の開発が強く望まれていた。</p> <p>そこで、本業務では平成 17 年度から平成 19 年度の 3 ヶ年計画で高効率発電や水素製造等の多目的な利用に対応できるガス冷却高速炉を実現するために重要な先進 SiC/SiC 複合材料の接合技術とその接合解析技術の開発を目的とし、実機を模擬した照射を行いながら先進材料内のクラック進展や破壊挙動をその場観察評価できるナノメカニクス接合</p> |

解析技術を開発すると共に、SiC/SiC 複合材料の接合試験片のナノメカニクス接合解析評価と高速実験炉「常陽」で既に高速中性子照射済の β -SiCの微細組織観察評価を実施することを計画立案した。また、本業務実施に当たっては、5つの項目を設け北海道大学の他に京都大学と原子力機構を再委託先とし実施した。以下に本業務で実施した各項目とその計画を述べる。

(1) ナノメカニクス接合解析装置の開発目標の設定と設計

ガス冷却高速炉用先進材料の接合特性を評価するため、要求される接合材料に関する文献調査、及びその材料のナノメカニクス接合解析装置の開発目標の設定と設計を行い、本装置の適性評価を行う。

(2) ナノメカニクス接合解析装置等の作製と評価

① ナノメカニクス接合解析装置の作製

ナノメカニクス接合解析装置を構成するピエゾドライブ駆動装置等の作製を行う。

② ナノメカニクス接合解析装置評価

ナノメカニクス接合解析装置を構成するピエゾドライブ駆動装置等の性能評価を行う。

③ ナノメカニクス接合解析用試料加熱装置の作製

ナノメカニクス接合解析装置を構成する試料加熱装置等の作製を行う。

④ ナノメカニクス接合解析用試料加熱装置評価

ナノメカニクス接合解析装置を構成する試料加熱装置等の性能評価を行う。

(3) フィールドエミッション TEM 観察試験

電子線照射によりセラミックス材中に生じる欠陥をその場観察することにより、セラミックス材の放射線損傷過程を調べる。

① 組織観察用試料作製とその場観察電子線照射試験

β -SiCの組織観察用試料を作製するとともに、これを用いた電子線照射試験を行い、その場観察により材料内に発生する点欠陥の組織観察とその評価を行う。

② 中性子照射材の組織観察用試料作製と組織観察

高速実験炉「常陽」で中性子照射した β -SiCの組織観察用試料の作製とこれを用いた点欠陥の組織観察とその評価を行う。

(4) 接合試験片の評価

① 接合試験片の作製

ナノメカニクス接合解析試験を行うために必要な形状を有する試験片の作製を行う。

② 表面形態の観察評価

ナノメカニクス接合解析試験用試験片の表面形態の観察・評価を行う。

(5) 実機サイズ接合体の作製

接合条件の最適化を行うとともに、実機サイズの接合体を設計し、その最適化条件の下で実機を作製し、その接合体の性能評価

| | |
|---|---|
| | <p>を実施する。</p> <p>①実機サイズの接合体の設計と試作 実機サイズの接合体を設計し、試作するとともに接合条件の最適化を行う。</p> <p>②実機サイズの接合体の製作 実機サイズの接合体の設計と試作において見出した最適な接合条件で実機サイズの接合体を製作する。</p> <p>(6)まとめと評価 平成17年度から平成19年度の3ヵ年計画で実施した本事業のまとめと評価を行う。</p> |
| <p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等 | <p>【事業項目1】 ナノメカニクス接合解析装置の開発目標の設定と設計 ガス冷却高速炉用先進材料の接合特性を評価するため、要求される接合特性や評価方法について先進セラミックス複合材料であるSiC/SiCとW等の接合材料に関する文献調査を行い、ナノメカニクス接合解析装置の開発目標をカーボン(グラファイト)層の格子像が室温でその場観察できる分解能(0.34nm)を有すること、安定度の指標としてその場観察中にシャッタースピード(1sec)でTEMフィルムに記録できることと設定しナノメカニクス接合解析装置の設計を行った。</p> <p>【事業項目2】 ナノメカニクス接合解析装置等の作製と評価</p> <p>①ナノメカニクス接合解析装置の作製 事業項目1によるナノメカニクス接合解析装置の開発目標の設定と設計を基にナノメカニクス接合解析装置を構成するピエゾドライブ駆動装置等の作製を行った。</p> <p>②ナノメカニクス接合解析装置評価 室温において、電子線を照射しながら接合条件の異なる試料のナノメカニクス接合解析試験を行い、接合部分のクラック進展をその場観察し接合条件によるクラック進展の違いに関して評価を行った。</p> <p>接合界面層の幅がおよそ1μmを超えている場合、カンチレバー式のナノメカニクス接合解析試験片の接合界面に印加されるせん断応力の分布が均一にならないことが分かった。そこで、ミニチュアサイズのDouble Notch Shear型のナノメカニクス接合解析試験片にすることで接合界面に印加されるせん断応力分布を均一にすることができた。また、接合条件によらずクラックはSiCとWの反応層とWの界面を進展すること並びにSiCとWの反応層に微細な析出物が存在する場合クラックはそれらを迂回することからピン止め効果により接合強度が向上することがわかった。</p> <p>得られたデータは画像処理システムで解析し、室温におけるナノメカニクス接合解析用試料加熱装置の試験中の安定度、分解能についての評価を行った。試験中の安定度については、インデンターの移動中及びその場観察中に、1秒間のシャッタースピードでTEMフィルムに記録できるかどうかを指標として評価し、インデンターがぶれないで明</p> |

瞭に SiC/SiC 複合材料の接合界面と共に記録できることを確認した。また、分解能については開発目標であるカーボン（グラファイト）層の格子像が室温でその場観察できる分解能（0.34nm）を有することを確認した。

③ナノメカニクス接合解析用試料加熱装置の作製

ガス冷却高速炉用先進材料の実機の運転条件に相当する高温照射下での接合特性を評価するために、本事業項目では、ナノメカニクス接合解析用試料加熱装置の基本的な考えをまとめ、事業項目1で実施した開発目標の設定と設計の評価結果から、ナノメカニクス接合解析装置を構成する試料加熱装置の作製を行った。それを基にナノメカニクス接合解析装置を構成する試料加熱装置等の作製を行った。

④ナノメカニクス接合解析用試料加熱装置評価

通常の TEM 観察用試料ホルダーより大きな空間を設けたことで、炉体からの輻射熱を反射させることができるようにした。また、ラジエーションシールドをナノメカニクス接合解析用加熱装置の上部に装着することで効率的に加熱できるようにした。本装置を使用してナノメカニクス接合解析試験を行い、接合部分のクラック進展に関して 700°C までのその場観察実験を行った。これにより得られたデータを画像処理システムで解析し、高温におけるナノメカニクス接合解析用試料加熱装置の試験中の安定度、分解能についての評価を行った。試験中の安定度については、500°C 以上ではドリフト量が大きくなり室温での 1.0 秒間のシャッター速度では TEM フィルムには記録できないことから、インデンターの移動中及びその場観察中に、0.1 秒間のシャッター速度で TEM フィルムに記録できるかどうかを指標として評価し、インデンターがぶれないで明瞭に SiC/SiC 複合材料の接合界面と共に記録できることを確認した。また、分解能については開発目標であるカーボン（グラファイト）層の格子像が 700°C でその場観察できる分解能（0.34nm）を有することを確認した。

【事業項目3】フィールドエミッション TEM 観察試験

①組織観察用試料作製とその場観察電子線照射試験

文献調査により見出した β -SiC の TEM 観察用薄膜試料作製方法により TEM 観察用試料を作製した。この試料に対して北海道大学の超高压電子顕微鏡を用いて電子線照射を行い、 β -SiC 薄膜試料の点欠陥の形態や成長に関する微細組織変化をその場観察した。また、この実験で観察された点欠陥の数や電子線回折像の変化から照射誘起された歪についても評価した。照射温度は室温から 700°C で照射量は 9.7 dpa までの条件で照射試験を実施した結果、点欠陥の蓄積や空孔集合体によるスエリングは観察できなかったことから、本実験条件の範囲では SiC と W の接合界面における照射誘起による歪は十分に小さいことが分かった。

②中性子照射材の組織観察用試料作製と組織観察

高速実験炉「常陽」にて 4 条件（382°C、2 dpa (1.5×10^{25} n/m² (E>0.1 MeV))、383°C、0.27 dpa (2.0×10^{24} n/m² (E>0.1 MeV))、648°C、80 dpa

($8.4 \times 10^{26} \text{ n/m}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$)), 740°C 、 70 dpa ($7.2 \times 10^{26} \text{ n/m}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$)) で中性子照射済みの β -SiC から再委託先の日本原子力研究開発機構にて試料切断機にダイヤモンドディスクを取り付けて切断し、研磨装置に DP-ペーストを塗布して研磨することによって薄片化し、放射性物質用集束イオンビーム試料加工装置を使用して TEM 観察用試料を作製した。放射性物質用 400 keV 高分解能分析透過電子顕微鏡と放射性物質用フィールドエミッション高分解能分析透過電子顕微鏡を使用して中性子照射による点欠陥の形態や数密度及び実機で想定される点欠陥の蓄積による歪を微細組織観察から評価した。電子照射試験は、欠陥の生成プロセスが中性子照射と異なることから電子照射試験で得られたデータと実機による中性子照射実験からそのデータの相関について検討した。その結果、点欠陥の形態や数密度はほぼ同じ傾向を示していたことから本事業で実施した電子線照射の結果は妥当であることが分かった。更に、この実験で観察された点欠陥の数や電子回折像の変化から照射誘起された歪について評価した。①で得られた電子線照射データとの相関について検討した結果、本業務の実験条件の範囲では SiC の接合界面における照射誘起による歪は十分に小さいと考えられることが分かった。

【事業項目 4】接合試験片の評価

①接合試験片の作製

接合解析試験に必要な試験片形状や作製法に関する文献調査を行った。この情報を基に、試料加工装置で SiC/SiC 複合材料・W 接合材の試験片の加工を行った。その際、加工時の最適な Ga イオン照射量やそのビーム径、ビームの照射角度等の評価を行った結果、接合条件により界面の反応層の厚さが異なり、Ga イオンに対するスパッタ率も異なることが分かったためナノメカニクス接合解析試験に必要な均一な膜厚を得るための FIB 加工時の最適な Ga イオン照射量やそのビーム径、ビームの照射角度等を評価した。接合界面における反応層のスパッタ率が反応層、W、SiC の順に高く、接合界面の反応層が優先的に削れるため粗削り時のビーム角度などを集中的に検討した。粗削り時には内径 $600 \mu\text{m}$ の絞りをを用いて非点調整を精密に行ない、 $60 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$ のビーム量で試料傾きをビーム入射方向に垂直にすることで、ナノメカニクス接合解析試験片に十分な粗加工形状が得られる事がわかった。内径 $400 \mu\text{m}$ 及び $200 \mu\text{m}$ の絞りをを用いた細加工では均一な試験片切り出しには薄膜面全体に平成 18 年度までに実施した一様な加工を行なうのではなく、接合反応層部をより多く加工しておくことが必要であり、Polishmill を用いて部分的な加工を繰り返して平均化する事で、ナノメカニクス接合解析試験片に重要な均一な膜厚を有する試験片が得られた。

②表面形態の観察評価

接合材料から集束イオンビーム試料加工装置で作製した試験片の表面形態を電界放射形走査電子顕微鏡で観察し、加工条件の検討・評価を行った。また、集束イオンビーム加工中に形成する表面欠陥等の評

価を行った。その結果、反応層の幅が広い接合試料では界面のタングステン側に数 μm の均一な反応相が認められると同時に、反応相から数十 μm に渡り腕状に反応相がタングステン内に伸びていた。この接合材の不均一な加工状態は、表面形態観察の結果、反応層が三次元的に不均一でイオンビームに対するスパッタレートも不均一となるためであることから、ナノメカニクス接合解析試験片に必要な均一な膜厚を得るため以下に示す指針を得た。

① Gaイオンビームに対するスパッタレートの不均一を補正するために試料の薄膜化の妨げにならないように予備FIB加工試験を行い各領域のGaイオンビームに対するスパッタレートについて評価を行う。

② ①により、得られたGaイオンビームに対するスパッタレートが遅い領域とスパッタレートが速い領域とをそれぞれ個別にFIB加工を行いそれぞれが等しい膜厚になるように薄膜化する。

③ 特に反応層が三次元的に不均一でありスパッタレートがその領域内でも異なる場合は、更に薄膜化加工領域を細分化し追加工を行う。

【事業項目5】実機サイズ接合体の作製

①実機サイズの接合体の設計と試作

ナノメカニクス接合解析試験の結果から接合条件の最適化を行うと共に、実機サイズ接合体の設計を試みた。その結果、20MPa で加圧し1500°Cまで加熱し1時間保持する条件を見出し実機サイズの接合体を試作した。また、実機サイズの試作接合体の性能評価を実施し接合界面に目視による空隙等の欠陥が無いことが分かった。

②実機サイズの接合体の製作（再委託先：京都大学）

実機サイズの接合体の試作結果から最適化条件の下で実機サイズ接合体の製作を試み、その接合体の性能評価を実施した。ガス冷却高速炉の概念設計で示されている径とほぼ等しい $\phi 10\text{mm}$ のW製のエンドキャップとNITE SiCチューブを実機サイズの試作条件に基づいて、接合を行なった。実機サイズの接合体製作は、接合断面積が小さいためホットプレス中の加圧状態が試作条件に対して不安定であったため、加圧制御のためのホットプレス内での試料据置方法の改善を行うことによって試作条件どおりの加圧条件（20MPa）で製作できた。ビデオマイクロスコープを用いた界面部観察によりタングステンとSiCの間に隙間の無い完全な密着状態が得られていることが確認された。

【事業項目6】まとめと評価

本業務では、平成17年度から平成19年度の3ヵ年計画で高効率発電や水素製造等の多目的な利用に対応できる高温ガス冷却高速炉を実現するために重要なガス冷却高速炉用SiC/SiC複合先進材料の接合技術とその評価技術の開発を目的とし、微小な応力を付加することが出来る装置を用いて実機を模擬した照射をしながらナノスケールの破壊試験をその場観察することが出来る革新的解析技術であるナノメカニクス接合解析技術を開発した。更に、SiC/SiC複合材料の接合試験片のナノメカニ

クス接合解析評価と高速実験炉「常陽」で既に高速中性子照射済みの β -SiCの微細組織観察評価を計画立案し実施した。その結果、微小な応力を付加することが出来る装置を用いて照射をしながらガス冷却高速炉用SiC/SiC複合先進材料の接合界面におけるナノスケールの破壊試験をその場観察することに初めて成功した。本業務の実験条件の範囲では照射誘起によるSiC界面の歪は十分に小さいこと並びに電子線照射と中性子照射では、欠陥の生成プロセスが異なるが本業務の実験条件の範囲ではSiCの界面における照射誘起による歪は十分に小さいことが明らかになった。また、ナノメカニクス接合解析試験片に必要な均一な膜厚を得るための指針を得て均一な膜厚を有するナノメカニクス接合解析試験片を作製することが出来た。これまでの成果を基に実機サイズの接合体製作を試み、3ヵ年計画の全ての業務を実施し所期の目標を達成した。

【事業全体】

本業務では、平成17年度から平成19年度の3ヵ年計画で高効率発電や水素製造等の多目的な利用に対応できるガス冷却高速炉を実現するために重要なガス冷却高速炉用SiC/SiC複合先進材料の接合技術とその接合解析技術の開発を目的とし、微小な応力を付加することが出来る装置を用いて実機を模擬した照射をしながらナノスケールの破壊試験をその場観察することが出来る革新的解析技術を開発することを計画した。更に、SiC/SiC複合材料の接合試験片のナノメカニクス接合解析評価と高速実験炉「常陽」で既に高速中性子照射済みの β -SiCの微細組織観察評価を計画立案した。そこで、本業務の実施に当たっては効率的に本業務の目標を達成するために(1)ナノメカニクス接合解析装置の開発目標の設定と設計、(2)ナノメカニクス接合解析装置等の作製と評価、(3)フィールドエミッションTEM観察試験、(4)接合試験片の評価、(5)実機サイズ接合体の作製の5つの項目を設け、(3)と(4)はそれぞれ日本原子力研究開発機構と京都大学に再委託し(5)の一部については京都大学に再委託した。最終年度である平成19年度は(6)まとめと評価も合わせて実施した。その結果、微小な応力を付加することが出来る装置を用いて照射をしながらナノスケールの破壊試験をその場観察することが出来る革新的解析技術であるナノメカニクス接合解析技術を初めて開発した。SiCとWの熱膨張係数はほぼ等しく接合界面に熱応力による歪が発生しないことからガス冷却高速炉の材料接合システムとして期待されている。しかしながら、照射による点欠陥の蓄積によって界面に誘起される歪を評価する必要がある。そこで、本事業にて β -SiCの電子線及び中性子照射後の組織観察を実施し照射により誘起される歪みについて評価した。その結果、電子線照射と中性子照射では、欠陥の生成プロセスが異なるが本業務の実験条件の範囲ではSiCの界面における照射誘起による歪は十分に小さいことが明らかになった。透過電子顕微鏡内でピエゾ素子を駆動することによりナノ物質の挙動をその場観察する装置は、いくつかの報告があるが、本研究の様な接合部分の試験に応用した研究は皆無である。また、微小な応力を付加することが

出来る装置を用いて照射をしながらナノスケールの破壊試験をその場観察する装置は技術的観点から電子顕微鏡においては著者が知る限り世界的に初めてである。また、ナノメカニクス接合解析試験片に必要な均一な膜厚を得るための指針を得て均一な膜厚を有するナノメカニクス接合解析試験片を作製することが出来た。これらの成果を基に作製した試験片を使用してナノメカニクス接合解析試験を行った結果、先進SiC/SiC複合材料とWを堅牢に接合するためには、接合界面に形成する反応層の形成を抑制することと反応層内の析出物のサイズを微細化し分散することが重要であることが明らかになった。この成果を基に実機サイズの接合体製作を試み、3ヵ年計画の全ての業務を実施し所期の目標を達成した。

現在、軽水炉の長寿命化やライセンス期間の延長によって原子炉構造材料の健全性評価について研究が進められている。そこで、本業務で開発したナノメカニクス接合解析技術を応用して電子顕微鏡内で照射領域をナノインデントで応力を加え転位の運動をその場観察し転位の運動を阻害する障害物との相互作用について評価することや半導体デバイス界面の接合強度を評価するなど当初想定していなかった新しい研究へと展開しつつある。

論文、特許等については、以下のとおりである。

○学会口頭発表

論文発表：1件。

1. 日本金属学会、まてりあ 2008年12号にショートノートとして掲載決定、それ以外の論文については投稿準備中です。

特許：特になし。

データベース化：1件。

1. 北大工学シーズ集 Vol. 4、国立大学法人北海道大学大学院工学研究科、2007年1月10日

表彰：特になし。

受賞：特になし。

口頭発表：1件。

1. ガス冷却高速炉用先進材料のナノメカニクス接合解析技術の開発、北大エネマテ ○柴山環樹、JAEA 大洗 矢野康英、京大エネ理工 岸本弘立 香山 晃、日本金属学会春期大会、千葉工業大学、2007年3月27日

| | |
|--|--|
| <p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力 | <p>【目的・目標の設定の妥当性】</p> <p>・本事業で対象としたような先進材料をバルク材として中性子照射のような特殊環境中でその破壊特性等を評価することは極めて困難であることから、ミニチュアサンプルによる評価は重要・不可欠であり、特に照射下での異種材料の接合体の界面破壊現象の解明には本事業において目的としたナノメカニクス解析技術の開発は妥当であり目標の設定も適切である。ただし、ナノメカニクス接合解析結果が、実機サイズ接合体作製にどのように生かされたかの関連がやや薄いように感じられる。ナノメカニクス接合解析試験はSiC/SiC-W接合を取り扱っており、フィールドエミッション TEM 観察はβ-SiCを取り扱っている。両者の関連が全体計画の中で十分に整合していないように見受けられる</p> <p>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗状況】</p> <p>・計画通りに進捗したものと考える。なお、中間フォローにおけるプログラムオフィサーのコメントに基づき、最終年度に実機サイズの接合体の設計・製作を試みるなど、得られた成果の応用を目指すよう計画を適切に変更したことも評価できる。</p> <p>【研究交流、人材育成、研究者の研究能力、成果】</p> <p>・高温照射下でのSiC-W接合体界面の破壊挙動をその場観察できるナノメカニクス解析技術を開発するという当初想定した通りの成果が得られたものと評価する。また、開発された解析技術は、本事業で対象とした異材接合体界面の破壊挙動の解明以外にも、ミニチュアサンプルによる材料特性の評価研究など基礎研究への応用展開が期待される。さらに、本事業のようなプロジェクト研究推進のノウハウの会得など、人材育成においても成果があったものと思われる。ただし、得られた成果の外部発表が少ないので、今後は研究成果を積極的に、学術誌へ投稿してもらいたい。</p> |
| <p>4. その他</p> | <p>・破壊挙動は試験片のサイズに依存するため、実機材料及び薄膜材料では破壊のメカニズムが異なると推測される。サイズ効果の影響調査が必要になると思われる。一方、脆性材料においては、試験片サイズの小型化による応力状態の変化が破壊様式に与える影響は小さいとも言えるので、その場観察により効果的な評価が可能な項目を整理しておく作業が必要である。界面反応相、キャビティおよび接合界面損傷組織が破壊の経路に与える影響は興味深いので、調査してほしい。照射影響については、照射による相変化や損傷組織の形成が接合界面の破壊様式に与える影響について、さらに詳細に調査する必要がある。</p> <p>また、SiC複合材料をプラントの構造材料として使用する場合、脆性材料を実機に使用する場合の規格基準に関する検討が不可欠になる。支持構造材料としての使用や、遮熱体としての使用など、材料の特性に適合した材料開発指針を設定して、開発研究を進めることが肝要である。</p> |

| | |
|---------|---|
| 5. 総合評価 | <p>・本事業では、独創性・新規性の高い解析装置を考案し、高温照射下での異材接合界面の破壊挙動のその場観察に成功している。本技術は、対象とした高温ガス冷却炉用複合材料のみならずバルク材での評価が困難な先進材料など、より広範な材料評価のための学術的な基礎研究への適用が期待される。</p> <p>・今後、本成果を用いて、ガス冷却高速炉の冷却材温度条件下での実験、評価を行うと共に、高温化を図る上での開発課題を整理してもらいたい。</p> |
| | <p>A) 想定以上の成果が得られ、今後に大いに期待できる。</p> <p>B) 想定通りの成果が得られ、今後が期待できる。</p> <p>C) 想定通りの成果が一部得られなかった。</p> <p>D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p> |