

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00799

研究課題名(和文) SiCセラミックスラスタに高い靱性を付与するハイパー・コンバージド技術

研究課題名(英文) Hyper converged method aiming to apply higher toughness for SiC ceramics composite thruster.

研究代表者

岸本 弘立 (Kishimoto, Hirotatsu)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30397533

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は航空宇宙機用の長繊維強化のSiC/SiCスラスタを、各種成型法のうち高密度で化学安定性の高いマトリックスを形成できるNITE法を中心に、複数の成型法を用いてスラスタ製作するとともに、燃焼試験研究を行った。NITE法で製作した要素部材にPIP法を用いて製作した外郭構造をかぶせ、更に反応焼結法を用いると、外郭構造と各要素部材が同時に接合されてSiC/SiCスラスタを製作できる。酸素と水素を推進剤とした燃焼実験ではSiC/SiCスラスタの燃焼器への取り付け法とシール方法を確立し、燃焼が高効率であることを示した。また短時間試験ではNITE-SiC/SiCスラスタが損傷を受けないことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長繊維強化のセラミック複合材料は製作が難しいため、航空宇宙機用スラスタは低靱性を忍んでもモノリシックセラミックで製作されている。耐熱性と化学安定性が高いNITE-SiC/SiCで全体を形成するのは難しいが、本研究では最適手段を組み合わせれば製作可能であることを示した。例えばPIP材は耐熱性は低い成型に加圧が不要で複雑形状にしやすく、NITE材とはRS法で一体化可能である。水素と酸素を推進剤に使ったSiC/SiCスラスタの燃焼実験では、この系の燃焼は高効率であることが示され、ガス供給法やシール法など様々な技術的知見が得られた。これらは航空宇宙機だけでなく水素エンジンにも利用可能である。

研究成果の概要(英文)：This research developed a fabrication process of a long fiber reinforced SiC/SiC thruster for aerospace systems using NITE method. The thruster is difficult to fabricate one time process of the NITE method, therefore NITE SiC/SiC segments which are parts having convenient shapes for the NITE process were produced followed by being united by an outer SiC/SiC structure fabricated by the PIP method. But the joints and interface of the thruster were fragile, it was consolidated by an applied reaction sintering method, and it was successfully established. A combustion test was performed for NITE SiC/SiC thruster. Gas oxygen and Gas hydrogen were used as propellant, the thruster was attached to a water-cooled combustor, and the flange was sealed by carbon gaskets. Though it is necessary to note that the available oxygen/fuel ratio was limited, and the exposure time was very short, the combustion was efficient, and the NITE SiC/SiC thruster did not suffer apparent damage in this research.

研究分野：材料工学

キーワード：セラミックスラスタ SiC/SiC複合材料 NITE法 燃焼試験 長繊維強化

1. 研究開始当初の背景

航空宇宙機分野では次世代の探査機用にセラミックスラスタの開発が進められている。セラミックスラスタは軽量で高温強度に優れる一方で、モノシックのセラミック材料は金属材料に比べて、決定的に靱性に劣る。靱性の向上は長繊維強化による複合化のみが唯一の手法であるが、成型法の課題は技術・コストの両面で解決されていない。炭化ケイ素 (SiC) は燃焼生成物との共存性と耐酸化性に優れ、本研究は長繊維で強化した SiC/SiC 複合材料のスラスタ製作法研究を液相焼結の応用技術である NITE 法を用いて行う。

2. 研究の目的

航空宇宙機分野では軽量であることからセラミックスラスタの開発が進められている。高温強度が高く、また強度特性の温度依存性が少ないために魅力が大きい。一方でセラミックスは金属材料に比べて、本質的に靱性に劣るという課題がある。セラミックスの靱性向上の根本的な解決法は、長繊維強化材を組み込んで複合材料とし巨視的な靱性を確保することである。モノシックのセラミック材料と異なり、長繊維を強化材とするセラミック複合材料では成型は難しく、求められる特性、性能を満足させる成型手法、コストといった制約条件の中で最適な手段を模索する必要がある。強度特性、密度、将来的な低コスト化という点では魅力的なナノ含侵遷移共晶相法 (NITE 法) で製作した SiC/SiC 複合材料は、成型において高温高压でのマトリックス原料粉末の焼結が必要であり、スラスタのような複雑形状では加圧のプロセスが課題となる。本研究は NITE SiC/SiC 複合材料スラスタの製作法の研究と、燃焼試験を実施して SiC/SiC スラスタ利用のための基礎的知見の蓄積を行う。

3. 研究の方法

3-1: HCC 法技術検討と SiC/SiC スラスタの製作

本研究ではスラスタのニアネット成形を一回の成形で実施するのではなく、複数回の成形プロセスの組み合わせで実施する。スラスタの燃焼室やコーン内壁といった高温や燃焼ガスに晒される部位は、NITE 法で製作した SiC/SiC 複合材料である必要がある。そのため HCC 法ではスラスタを分割した形状の NITE 法で製作した SiC/SiC セグメントを製作する。第二段階としてセグメント同士を一体化するが、この際に円周方向の強化材を入れて一体化プロセスを行う。一体化プロセスは複雑形状となるので、現状において NITE 法で実施できず、PIP 法や反応焼結法 (RS 法) などによる成型技術研究を行う。

3-2: セラミックスラスタ燃焼実験技術研究

SiC/SiC スラスタのフランジ径は 40 とし、燃焼器は 2000K 程度までの長時間の実験を実施する仕様として上流部を水冷する。酸素と燃料の質量混合比 (Oxi/Fuel: O/F) を調整可能として、燃焼室自体は燃焼器内部に設け、火炎が SiC/SiC スラスタの燃焼室部に流れる設計にする。燃焼には着火が容易で、煤の発生が最も少ないガス水素 (GH₂) とガス酸素 (GO₂) を用いる。図 1 に断熱火炎温度 (よどみ点温度) およびスロート部での静温を示す。無冷却エンジンの従来材料であるニオブ合金以上の火炎温度 (1300K) を達成し、SiC/SiC 複合材料の耐熱温度の上限である 2000K 程度以下で作動させることを考慮すると O/F は 1.0~2.0 程度が妥当と考えられ、この条件で燃焼器を製作する。

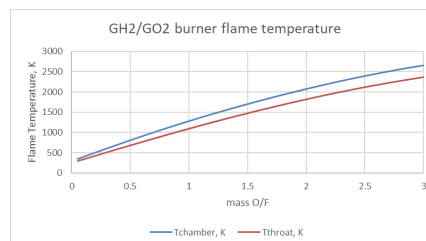


図 1 混合比と火炎温度の関係

4. 研究成果

4-1: HCC 法技術検討と SiC/SiC スラスタの製作

4-1-1: 疑似 HIP 法による SiC/SiC セグメントの製作

図 2(a) に計画当初案を示す。治具に SiC/SiC 複合材料のプリフォームを置き、粉末を圧力媒体にして成型する疑似 HIP 法でセグメントの成型体を作製し、このセグメントを一体化してスラスタとする。図 2(b) は疑似 HIP 後の SiC/SiC セグメントの成型体である。炭素治具と SiC/SiC セグメントの境界線を矢印で示した。図 2(c) は点線で示した内側が表面研磨

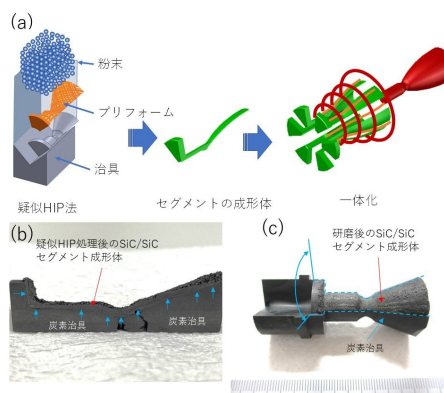


図 2 疑似 HIP 法による SiC/SiC セグメントの製作

後の SiC/SiC セグメントで SiC 繊維束が観察できる。この手法は炭素治具と SiC/SiC セグメントが接着されて炭素治具は使い捨てとなることが判明し、8 分割の場合は 1 個のスラストで 8 個の治具を必要とするため、本研究の範囲ではコスト的に実施が困難であり、手法の再検討を実施した。

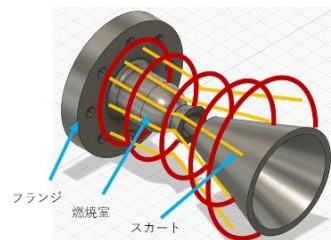


図 3 セグメント分割の再検討

4-1-2 : セグメント分割の再検討

NITE 法による SiC セグメントの分割数は 2 とし、燃焼試験において高温にさらされる内壁は NITE/SiC/SiC としたいので、燃焼室部はモノコック構造としてフランジと一体化した SiC/SiC ノズル部と、SiC/SiC スカート部の 2 つのセグメントとする。これらのセグメントは従来の NITE 法で製作可能で、技術的にもコスト的にも問題が無い。図 3 のようにこれら 2 つの SiC/SiC セグメントの接合を行うとともに、強化構造を有する SiC/SiC 外郭構造を形成してスラストとする。そのための外郭構造の成型法と接合法の検討を行った。

4-1-3 : 外郭構造形成法の検討 1 PIP/NITE SiC/SiC クラッド材の製作

スラストは内部に NITE SiC/SiC セグメント、外側に外郭 SiC/SiC 複合材料のクラッド構造となるため、PIP/NITE SiC/SiC クラッド材で技術研究を行った。図 4 に実験の模式図と製作したクラッド材の接合部の SEM 写真を示す。SiC の前駆体ポリマーであるポリカルボシラン (PCS) と SiC 粉末を混合し、有機溶媒と混合したスラリーを CVD 法で炭素被覆した高結晶化 SiC 繊維に含浸させて PIP-SiC/SiC プリフォームを製作した。この PIP-SiC/SiC プリフォームを NITE-SiC/SiC 板材上に配置して、Ar 中 1200 で 1h の焼成を行って PIP/NITE-SiC/SiC クラッド材を製作した。PIP-SiC/SiC 板材の SiC 繊維には損傷はほとんど認められないがマトリックスには PIP 法の特徴として気孔部が多数発生し、図 4 にも観察される。界面部の部分的な未接合とマトリックスの空隙により、PIP/NITE-SiC/SiC クラッド材の接合界面は脆弱であり、SiC/SiC 外郭構造の形成法としては PIP 法は適しているものの、クラッド構造の接合技術としては不適であることが示された。

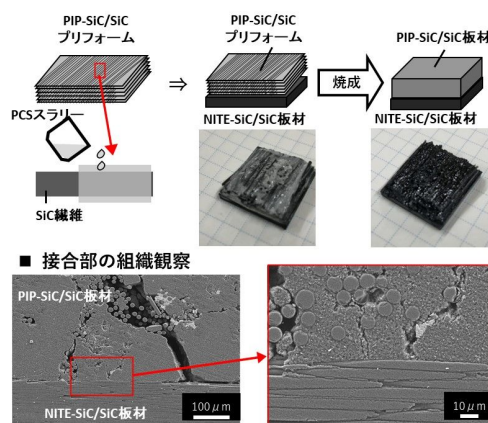


図 4 PIP/NITE SiC/SiC クラッド材の製作

4-1-4 : 外郭構造形成法の検討 2 RS/NITE SiC/SiC クラッド材の製作

RS/NITE-SiC/SiC クラッド材で技術研究を行った。図 5 にプロセスの概要と界面近傍の反射電子像、EDS マッピングを示す。CVD 法で炭素被覆した SiC 繊維と炭素粉末を混合したプリフォームを NITE-SiC/SiC 板材上の置き、さらにその上に金属 Si をおいて、真空中 1450 で 2h 保持して金属 Si を溶融させてプリフォーム中に含浸させ、マトリックス SiC を形成させた。反射電子像では RS-SiC/SiC 板材の界面まで Si 層が形成されており、NITE 材との界面まで達している。SiC 繊維と思われる円形形状は確認されるが、CVD で形成した炭素被覆は認められず、Si のマトリックスと SiC 繊維の境界面も不明瞭である。EDS マッピングでも NITE-SiC/SiC 板材の繊維束領域には被覆層の炭素が検出されるが、RS-SiC/SiC 板材側には炭素の領域はほぼ認められない。RS-SiC/SiC 板材の SiC 繊維の炭素被覆は Si と反応したと考えられ、金属 Si 量が多すぎると強化繊維が破壊され、複合材料で重要な靱性は期待できないと思われる。一方で溶融金属 Si は緻密な NITE-SiC/SiC 板材の内部には侵入せず、界面に拡散して板材同士を強固に固相接合しており、RS 法は一体化技術と接合法としては期待できる。

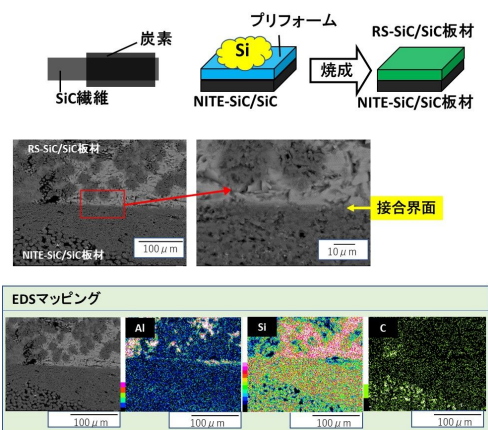


図 5 RS/NITE SiC/SiC クラッド材

4-1-5 : 外郭構造形成法の検討 3 PIP 法による外郭構造の形成と RS 法による接合・一体化

PIP 法を基本に外郭構造を製作し、RS 法で NITE-SiC/SiC 材と外郭構造の接合、一体化を行う。図 6 は試験の手順である。既に示した通り、PIP 法で外郭構造を形成しても気孔が多く NITE-SiC/SiC 板材とは強固に接着されない。PIP-SiC/SiC 板材に多く気孔が形成され、また前駆体ポリマーの残留炭素が含まれる。この気孔を熔融金属 Si の流路に利用すると同時に、RS 法によるマトリックス形成に活用する。繊維の損傷を抑えるために PCS に SiC 粉末を混合して PIP 法を実施し、マトリックス領域を緻密化して、熔融金属 Si が PIP 板材中での SiC 繊維に接触面積を低減した。

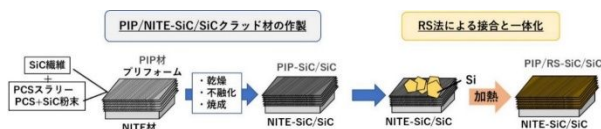


図 6 PIP/RS 法による外郭構造の形成検討

図 7 は PIP/RS 法で形成した外郭構造と NITE SiC/SiC 板材の接合界面の反射電子像 (BEI) と EDS マッピングによる元素分析である。BEI に示した A の領域は PIP 法で形成された SiC マトリックス領域と思われる。B に示した SiC 繊維が SiC マトリックスに囲まれており、繊維の形態を維持している。C の領域は EDS マッピングの結果から Si 層である。熔融 Si は PIP-SiC/SiC 板材を浸透して NITE-SiC/SiC 板材との接合界面に到達すると、界面上を拡散して両板材の接合に貢献する。EDS マッピングでは NITE-SiC/SiC 板材の繊維の周囲には炭素被覆の炭素相が明瞭に見えていて SiC 繊維の炭素被覆に損傷はないが、PIP/RS-SiC/SiC 板材では繊維周囲に炭素層が観察されず、熔融 Si は PIP-SiC マトリックスにも浸透して炭素被覆と反応した可能性がある。RS 法で SiC 繊維の炭素被覆を残す条件と手法は今後の研究が必要である。

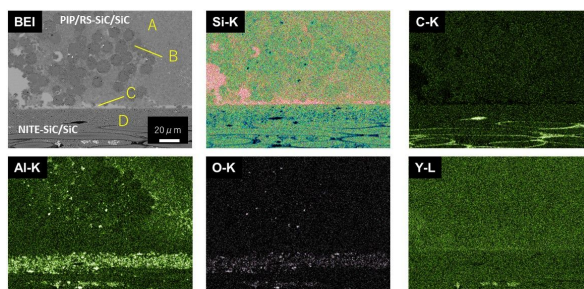


図 7 PIP/RS 法で形成した外郭構造と NITE SiC/SiC 板材の接合界面の反射電子像と EDS マッピング

4-1-6 : SiC/SiC スラスタの製作

製作はまず NITE 法でスカート部、ノズル部のセグメントを製作する。高結晶化繊維 Hi-Nicalon TypeS を強化材として、ホットプレス装置を用いて圧力 20MPa、保持温度 1820、保持時間 1.5 時間で NITE SiC/SiC 複合材料を成型し、機械加工によりスカート部とノズル部の形状を整えた。このセグメントの外側に PCS スラリーを含浸した SiC 繊維から作製した PIP プリプレグシートを、繊維配向が長手方向と周方向となるように積層し、外郭構造のプリフォームを形成し、Ar 中で 1200 で 1h の焼成を行って PIP-SiC/SiC 外郭構造を成型した。ここにプリフォームをるつぼの中に入れて、るつぼとの隙間に金属 Si を配置し、真空中 1450 で 15 分保持して金属 Si を熔融し PIP-SiC/SiC 外郭構造に含浸させた。図 8 に機械加工後の SiC/SiC スラスタを示す。熔融金属 Si は PIP-SiC/SiC 外郭構造を通り抜けてスカートセグメントとノズルセグメントの接合部に達し、両セグメントを接合して一体化に成功した。一方で表面を研磨すると外郭構造には細かな気孔が散見され、PIP-SiC/SiC に熔融 Si を均一に含浸させるには技術研究が必要である。



図 8 SiC/SiC スラスタの作製プロセス

4-2 : セラミックスラスタ燃焼実験技術研究

4-2-1 : 燃焼器の仕様

配管は 1/4 インチで 1 MPaG (1.1MPaA= 11 気圧) 以下にポンペを調圧して供給する。上流圧が 以下にポンペを調圧して供給する。この系統では上流圧が 1.1MPaA に制限されるため、水素ガス供給流量の上限 0.8 g/s、酸素ガス供給流量の上限は 3 g/s 程度となる。このレンジの流量で試験を行うことを考える。燃焼室の圧力 p_c はスロートでチョークさせるため、少なくとも大気圧の 2 倍以上である必要がある一方、上流供給圧力の観点から高すぎて良くなく、0.5MPa 以下が望ましい。水素の流量を 0.8 g/s と固定し、図 1 で述べた火炎温度を達成するための酸素流量と、スロート径 による燃焼室圧力の関係を次式を用いて計算した。

$$p_c A_{th} = \dot{m} c^*$$

P_c は燃焼室圧力、 A_{th} はスロート断面積、 m_i は水素と酸素を合わせた総流量、 c^* は O/F で

決まる特性排気速度である。表 1 に計算結果を示す。代表値として $c^*=2500$ m/s を採用すると、スロート径 3 mm の場合は燃焼室圧力がやや高く、5 mm の場合はチョーク条件にかかるため、スロート径は 4 mm が適当と考えられ、図 8 のノズルセグメントのスロート径は 4mm で製作されている。密燃焼試験のために密閉型水冷燃焼器を設計した。図 9 に水冷燃焼器の模式図を示す。壁面を水冷とし、先端のフランジに NITE-SiC/SiC ノズルを取り付ける。水冷燃焼器と NITE-SiC/SiC ノズルのフランジのシールには耐熱温度 3000 のカーボンシールを使用する。カーボンシールは酸化しやすいため実験毎に交換するものとする。ガス水素とガス酸素の流量は手動減圧弁によって調整し、燃焼器上流のチョークオリフィス上流圧・温度を計測することで酸素/水素混合比を調整する。冷却水流量の計算から概ね 5L/min の冷却水で温度上昇は 15K 程度と見込まれる。

表 1 スロート径と燃焼室圧力の関係

スロート径 Dth, mm	O/F	\dot{m}_f g/s	\dot{m}_o g/s	Pc, MPaA
3	1.0	0.8	0.8	0.57
3	2.0	0.8	1.6	0.85
4	1.0	0.8	0.8	0.32
4	2.0	0.8	1.6	0.48
5	1.0	0.8	0.8	0.2
5	2.0	0.8	1.6	0.31

4-2-2：燃焼試験

2022 年度に、7 回の燃焼試験を実施した。図 10 に水冷燃焼器を用いた燃焼試験の様態を示す。表 2 に示す、Fire1 から Fire7 までの 7 回の試験を実施したが、実際の混合比から計算される理論火炎温度と実測の測温データはよく一致しており、燃焼効率は 100% に近いと推定される。Fire1, 2 では実際の混合比が 0.9 程度であったが、スパークプラグで着火しないという事象が認められた。

また、Fire5 の混合比 1.56 では予定の燃焼火炎温度は 1600K 程度であったと推定されるが、水冷燃焼器のスパークプラグ周辺の口付け位置から漏れが発生した。ガス水素=ガス酸素燃焼器では混合比 (O/F) が高いほど着火性が良く、スパークプラグ付近で平均よりも少し酸素リッチ側とする設計が有効であり、本研究の水冷燃焼器も酸素を上流から流し、水素は水平対向させている。本水冷燃焼器の燃焼室部は水冷されているが、スパークプラグとガス酸素、ガス酸素導入管部分は冷却されておらず、使用しているニッケルロウの溶損温度は 1100K 程度であり、O/F=1.56 程度の試験時には火炎温度が高くなるため、非冷却部内壁が溶損温度を越えたと考えられる。一方で本水冷燃焼器は O/F=0.9 では着火せず、本燃焼器では 1000K 以下の火炎温度の試験は難しく、実験可能な条件の領域はかなり狭いことが示された。

NITE-SiC/SiC ノズルと水冷燃焼器間のカーボンシールによる気密はよく出来ており、今後も本手法で設計できると思われる。また NITE-SiC/SiC ノズルと水冷燃焼器間を接続する SUS ボルトも溶損せず、いずれも短時間の燃焼実験であったため NITE-SiC/SiC ノズルに目に見える変化は生じなかった。

まとめ

1. NITE-SiC/SiC セグメントを接合と PIP 法で製作した外郭構造の一体化を RS 法で実施することで HCC 法での SiC/SiC スラスタは製作可能であった。内部の NITE-SiC/SiC は外郭構造成時にほぼ損傷を受けない。一方で外郭構造の SiC 繊維の炭素被覆は RS 法で損傷し、また研磨後の外郭構造表面に気孔が見られ、外郭構造の品質確保には研究を要する。
2. 水冷燃焼器と NITE-SiC/SiC の気密性確保はフランジのねじ止めとカーボンシールにより可能であり、今後も本手法で試験可能となった。
3. 水冷燃焼器の混合比と理論火炎温度の関係は試験でよく再現されており、燃焼効率は高い。
4. 水冷燃焼器は O/F が小さいと点火せず、O/F が大きいと燃焼器非冷却部の温度が上がりすぎるため現時点では試験条件の制約が大きい。燃焼器システムの改良によりより幅広い条件での試験可能とする必要がある。
5. NITE-SiC/SiC ノズルは本研究の短秒時の火炎暴露試験では明らかな損傷を受けない。

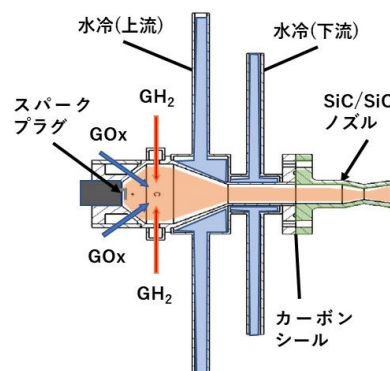


図 9 水冷燃焼器の模式図



図 10 水冷燃焼器を用いた燃焼試験

表 2 試験条件と着火状況

試験番号	Fire01	Fire02	Fire03	Fire04	Fire05	Fire06	Fire07
着火の可否	×	×	○	○	○	○	○
目標混合比	1.00	1.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50
実際混合比	0.89	0.87	1.26	1.26	1.56	1.39	1.35

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yang Subing, Nakagawa Yuki, Shibayama Tamaki	4. 巻 579
2. 論文標題 An investigation of surface contamination introduced during He+ implantation and subsequent effects on the thermal oxidation of Cu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 152163 ~ 152163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2021.152163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yang Subing, Nakagawa Yuki, Kondo Minako, Shibayama Tamaki	4. 巻 211
2. 論文標題 Anisotropic defect distribution in He+-irradiated 4H-SiC: Effect of stress on defect distribution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 116845 ~ 116845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.116845	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yang Subing, Nakagawa Yuki, Shibayama Tamaki	4. 巻 591
2. 論文標題 Tailored copper oxidation in alkaline aqueous solution after helium cation implantation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 153087 ~ 153087
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2022.153087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Jung Sang-Hyun, Kishimoto Hirotatsu, Nakazato Naofumi, Nakata Daisuke, Park Joon-Soo, Kohyama Akira	4. 巻 48
2. 論文標題 Effect of the fabrication process on the microstructural evolution of carbon fibers and flexural property on C/SiC composites by the NITE method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 32712 ~ 32722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2022.07.073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Sang-Hyun Jung、中里直史、岸本弘立、香山晃
2. 発表標題 種々の炭素繊維で強化したNITE C/SiC複合材料の強度特性と微細組織の相関
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kishimoto, N. Nakazato, D. Nakata, S-H. Jung, H-C. Jung, M. Onoi
2. 発表標題 Fabrication Technique Developments of Complex Shaped NITE SiC/SiC Composites for Aero-space System Components
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramics and Glass Technology (PacRim 14) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S-H Jung, N. Nakazato, H. Kishimoto, A. Kohyama
2. 発表標題 Mechanical and Thermal Property Investigation of NITE C/SiC Composites Reinforced by Various Carbon Fibers
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramics and Glass Technology (PacRim 14) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Nakazato, R. Kakiuchi, H. Kishimoto, S-H. Jung, H-C. Jung, M. Onoi
2. 発表標題 NITE SiC/SiC Composites Fabricated with Higher Pressure using Improved HIP Technique
3. 学会等名 14th Pacific Rim Conference on Ceramics and Glass Technology (PacRim 14) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Kishimoto, N. Nakazato, S-H. Jung, J-S. Park, A. Kohyama
2. 発表標題 Current Status of Development of SiC Matrix Composites Fabricated by NITE Method aiming to Nuclear and High temperature Components
3. 学会等名 Korea-Japan Joint Workshop on Ceramic Matrix Composites (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋裕三、中里直史、岸本弘立
2. 発表標題 複雑形状部材を考慮したSiC/SiC複合材料製造プロセスの検討
3. 学会等名 2021年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸本 弘立、中里 直史、朴 峻秀、香山 晃
2. 発表標題 SiC/SiC複合材料およびその接合部材の原子炉冷却水中における照射下安定性
3. 学会等名 日本原子力学会2021年春の年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市川 乃史親, 岸本 弘立, 中里 直史
2. 発表標題 メカニカルアロイング法を用いた SiC ナノ粉末表面の改質 の検討
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本 凌一、中里 直史、岸本 弘立
2. 発表標題 先進ダイバータへの応用を目的としたNITE SiCの 焼結助剤の検討
3. 学会等名 2019年 日本原子力学会秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川乃史親, 中里直史, 岸本弘立
2. 発表標題 SiC/SiC 複合材料製スラスタ製造プロセスに関する研究開発 -(1) SiC ナノ粉末の表面性状に及ぼす酸化処理の効果-
3. 学会等名 2019年 日本金属学会・日本鉄鋼協会両支部合同サマーセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉本凌一, 中里直史, 岸本弘立
2. 発表標題 SiC/SiC 複合材料製スラスタ製造プロセスに関する研究開発 -(2)NITE 法による SiC マトリックス形成のための焼結助剤の可能性検討-
3. 学会等名 2019年 日本金属学会・日本鉄鋼協会両支部合同サマーセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西條友章, 中里直史, 岸本弘立
2. 発表標題 SiC/SiC 複合材料製スラスタ製造プロセスに関する研究開発 -(3)SiC/SiC 複合材料の基本特性に及ぼすバインダーと強化繊維の影響-
3. 学会等名 2019年 日本金属学会・日本鉄鋼協会両支部合同サマーセッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Shibayama, Subing Yang, Y. Nakagawa and H. Kishimoto
2. 発表標題 Non-destructive evaluation of the strain distribution in ion irradiated wide-gap semiconductors for MOSFETs
3. 学会等名 13th Polish-Japanese Joint Seminar on Micro and Nano Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村将基, 中里直史, 岸本弘立
2. 発表標題 NITE法SiC/SiC複合材料の複雑形状部材作製に向けた擬似HIP成型法の検討
3. 学会等名 2022年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡地架, 中里直史, 高橋裕三, 岸本弘立
2. 発表標題 PIP法とRS法を併用したNITE 法SiC/SiC 複合材料部材作製の検討
3. 学会等名 2022年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川千尋, 中里直史, 垣内陸, 岸本弘立
2. 発表標題 HIP法を用いたNITE-SiC/SiC複合材料の高圧力成型の可能性検討
3. 学会等名 2022年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同サマーセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊瀬 公哉、中里 直史、浜地 志憲、申 晶潔、岸本 弘立
2. 発表標題 ACT2を用いた高熱負荷環境下におけるW-SiC/SiC接合材の熱的特性評価の検討
3. 学会等名 日本原子力学会2022年秋の大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柴山 環樹 (Shibayama Tamaki) (10241564)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	芹澤 久 (Serizawa Hisashi) (20294134)	大阪大学・接合科学研究所・教授 (14401)	
研究分担者	中里 直史 (Nakazato Naofumi) (70714864)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教 (10103)	
研究分担者	中田 大将 (Nakata Daisuke) (90571969)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授 (10103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------