



日本原子力研究開発機構が提案する高温ガス炉の
SiC母材燃料に係る関連米国特許の
非侵害性に関する鑑定結果

Non-infringement of U.S. Patent by the Japan Atomic Energy Agency's Proposed
Silicon Carbide Fuel Matrix for HTGR

深谷 裕司 浅野 和仁 佐藤 博之 大橋 弘史
坂場 成昭

Yuji FUKAYA, Kazuhito ASANO, Hiroyuki SATO, Hirofumi OHASHI
and Nariaki SAKABA

エネルギー研究開発領域
高温ガス炉プロジェクト推進室

HTGR Project Management Office
Nuclear Energy Research and Development Domain

June 2026

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所 プロモーション・オフィス 科学技術情報課
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Promotion Office, Nuclear Science Research Institute, Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

日本原子力研究開発機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料に係る 関連米国特許の非侵害性に関する鑑定結果

日本原子力研究開発機構 エネルギー研究開発領域

高温ガス炉プロジェクト推進室

深谷 裕司、浅野 和仁、佐藤 博之、大橋 弘史、坂場 成昭

(2026 年 4 月 17 日受理)

日本原子力研究開発機構（以降、原子力機構という）では耐酸化性を高める燃料として SiC 母材燃料を開発する。その製法は原料を水に溶かし、成型後、焼結させるスラリー法を用いる。この手法は、大量生産を考慮し製作性を追求した簡便な製法である。

一方で、米国の特許に、SiC 母材燃料の特許があり、原子力機構の SiC 母材燃料技術がこの特許に侵害する懸念があり確認する必要がある。その結果によっては、その技術の社会実装の障害となりうる。

そのため、原子力機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料が、前記米国特許に対し特許権侵害に該当するのかが鑑定するため、米国の大手特許法律事務所へ侵害鑑定を依頼した。結果、原子力機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料は、前記米国特許に対し特許権侵害に該当しない旨の鑑定を得た。これにより、原子力機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料の将来展開の障害が取り除かれた。

**Non-infringement of U.S. Patent by the Japan Atomic Energy Agency's Proposed
Silicon Carbide Fuel Matrix for HTGR**

Yuji FUKAYA, Kazuhito ASANO, Hiroyuki SATO,
Hirofumi OHASHI and Nariaki SAKABA

HTGR Project Management Office
Nuclear Energy Research and Development Domain
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken
(Received April 17, 2026)

The Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is developing SiC matrix fuel as a fuel to improve oxidation resistance. It is a simple manufacturing method called the slurry method, in which raw materials are dissolved in water, molded, and sintered, and are designed to pursue manufacturability in consideration of mass production.

On the other hand, there is a patent in the U.S. for SiC matrix fuel, and it was expressed that there is a risk that the JAEA's SiC matrix fuel technology may infringe this patent, and it should be confirmed. In that case of infringement, it could become an obstacle to the social implementation of that technology.

Therefore, in order to determine whether the SiC-based fuel for HTGR proposed by the JAEA would constitute a patent infringement against the aforementioned U.S. patent, JAEA requested a formal infringement evaluation from a major U.S. patent law firm. As a result, it was determined that the SiC-based fuel for high-temperature gas reactors proposed by the JAEA does not constitute a patent infringement against the aforementioned U.S. patent. This removed obstacles to the future deployment of the SiC matrix fuel proposed by the JAEA for high temperature gas-cooled reactors.

Keywords: SiC Matrix Fuel, Patent Infringement

目 次

1. 序論	1
2. SiC 母材燃料と特許の侵害鑑定	2
2.1 特許の侵害鑑定	2
2.2 米国特許第 9,299,464 号に記載された SiC 母材燃料	2
2.3 日本原子力研究開発機構の提案する SiC 母材燃料	3
3. SiC 母材燃料の特許侵害鑑定の結果（結論）	8
謝辞	10
参考文献	10

Contents

1. Introduction	1
2. SiC Matrix Fuel and Patent Infringement Determination	2
2.1 Patent Infringement Determination	2
2.2 SiC Matrix Fuel Described in U.S. Patent No. 9,299,464	2
2.3 SiC Matrix Fuel Proposed by the Japan Atomic Energy Agency	3
3. Results of the Patent Infringement Determination for SiC Matrix Fuel (Conclusion)	8
Acknowledgements	10
References	10

図リスト

Fig.1	被覆燃料粒子及びコンパクト	5
Fig.2	ピン・イン・ブロック型燃料体	5
Fig.3	マルチホール型燃料体	5
Fig.4	耐事故燃料集合体	5
Fig.5	スラリー製造法	6
Fig.6	成形、乾燥	6
Fig.7	ホットプレスによる焼結	6
Fig.8	弁理士法人 日峯国際特許事務所が発行した鑑定結果報告書	9

This is a blank page.

1. 序論

高温ガス炉の燃料は、被覆燃料粒子を母材で焼き固めたものである。原子力機構の大洗原子力工学研究所に設置された高温ガス炉の試験研究炉 HTTR（高温工学試験研究炉）では、被覆燃料粒子は黒鉛粉末とフェノール樹脂を母材として燃料コンパクトを成形し、焼き固める。それを黒鉛製の燃料スリーブに入れて燃料棒を形成する。炉内が高温になる高温ガス炉では、配管破断時の炉心へ空気が侵入する事故を想定して、黒鉛が酸化減肉してもその構造を保てる厚さを燃料スリーブに持たせている。一方で、燃料スリーブと燃料コンパクトのギャップによる除熱性能の低下を考えると、燃料コンパクト自体に耐酸化性を持たせ、燃料スリーブを排すことにより伝熱性能を上げる設計も考えられる。

これを実現するため、高温ガス炉の炉内環境でアクティブ酸化を起こさない、SiC 母材燃料の開発を始めた。その手法は、スラリー法と呼ぶ、原料を水に溶かし、成型後、焼結させる、大量生産を考慮し、製作性を追求した簡便な製法である。焼結時も被覆燃料粒子を加えることから加圧や焼結助剤を用いず、その焼結密度は、理論密度の 5 割程度である。本手法では、技術が成熟してもその焼結密度は、8 割が限界である。

一方、米国特許第 9,299,464 号は、高い焼結密度をもつ SiC 母材燃料の特許であり、原子力機構が開発を進める SiC 母材燃料に係る技術と目的が異なり、請求範囲も重ならないが原子力機構の SiC 母材燃料が米国特許第 9,299,464 号に侵害するとの議論が巻き起こり、本技術を開発すべきかとの議論につながった。そこで、原子力機構が提案する SiC 母材燃料が米国特許第 9,299,464 号の権利を侵害するか米国の現地特許事務所に鑑定を依頼した。本報告書は原子力機構が提案する SiC 母材燃料技術、米国特許第 9,299,464 号の概要に加え、特許侵害鑑定結果を述べる。

2. SiC 母材燃料と特許の侵害鑑定

2.1 特許の侵害鑑定

特許権とは排他的産業権の一つであり、登録された技術を権利者が独占的に使用し、他人の模倣や実施を排除できる権利である。その範囲は請求項によって限定される。特許の侵害鑑定とは、判断の対象とされる技術が、既存の特許で申請された請求項で定められる範囲に抵触していないかを鑑定することである。

今回の侵害鑑定は、請求項だけではなく要約、明細書、その審査の経緯も含め調査対象とする。また、鑑定自体は、その国の文化、考え方などの環境にも依存するため、今回の特許の出願国である米国の特許事務所に侵害鑑定を依頼した。

なお、侵害鑑定の結果は、実際に、特許侵害訴訟が起こされた際に、確実に勝訴を勝ち取るための法的拘束力はない。しかし、敗訴し、かつ、故意の侵害と判断された場合、損害賠償の額の3倍の支払い義務が発生するが、事前に特許侵害鑑定を行い、特許侵害が無いと判断されれば、請求額は損害賠償の額のみとなる。

2.2 米国特許第 9,299,464 号に記載された SiC 母材燃料

米国特許第 9,299,464 号¹⁾の概要を以下に示す。

タイトル：FULLY CERAMIC NUCLEAR FUEL AND RELATED METHODS

高压で焼結し 95%程度の高い焼結密度が得られることから Fully は高い焼結密度を意味する。

請求項：

1. A nuclear fuel comprising:

a fuel element comprising a plurality of tristructural-iso tropic fuel particles intermixed in a silicon carbide matrix, wherein the silicon carbide matrix separates at least one of the plurality of tristructural-isotropic fuel particles embedded in the silicon carbide matrix from the other tristructural-isotropic fuel particles embedded in the silicon carbide matrix, wherein the silicon carbide matrix has a density substantially equal to the theoretical density of stoichiometric silicon carbide.

2. The nuclear fuel of claim 1, wherein each of the tristructural-isotropic fuel particles comprises a fuel kernel disposed Substantially at the center and a ceramic layer surrounding the fuel kernel.

3. The nuclear fuel of claim 1, wherein the fuel element has a shape of a cylindrical pellet.

4. The nuclear fuel of claim 1, further comprising:

a tubular enclosure defining an interior space, wherein an outer surface of the tubular enclosure is configured to contact a coolant of a nuclear reactor, wherein the fuel element is disposed in the interior space.

5. The nuclear fuel of claim 4, wherein the tubular enclosure is a metallic cladding tube.
6. The nuclear fuel of claim 1, further comprising a graphite block having one or more holes, wherein the fuel element is disposed inside the one or more holes.
7. The nuclear fuel of claim 1, wherein the plurality of tristructural-isotropic fuel particles comprise transuranic elements extracted from a spent fuel of a light water reactor.
8. The nuclear fuel of claim 1, wherein the plurality of tristructural-isotropic fuel particles comprise transuranic elements extracted from a nuclear weapon.
9. A nuclear fuel comprising:
 - a fuel element comprising a plurality of tristructural-isotropic fuel particles intermixed in a silicon carbide matrix, wherein the silicon carbide matrix separates at least one of the plurality of tristructural-isotropic fuel particles embedded in the silicon carbide matrix from the other tristructural-isotropic fuel particles embedded in the silicon carbide matrix, wherein the silicon carbide matrix is near-stoichiometric and has pockets of porosity of not more than 4%, and wherein the pockets include only rare earth oxides or tramp elements.
10. The nuclear fuel of claim 9, wherein the fuel element has a shape of a cylindrical pellet.
11. The nuclear fuel of claim 9, further comprising:
 - a tubular enclosure defining an interior space, wherein an outer surface of the tubular enclosure is configured to contact a coolant of a nuclear reactor, wherein the fuel element is disposed in the interior space.
12. The nuclear fuel of claim 9, further comprising a graphite block having one or more holes, wherein the fuel element is disposed inside the one or more holes.
13. The nuclear fuel of claim 9, wherein the plurality of tristructural-isotropic fuel particles comprise transuranic elements extracted from a spent fuel of a light water reactor.
14. The nuclear fuel of claim 9, wherein the plurality of tristructural-isotropic fuel particles comprise transuranic elements extracted from a nuclear weapon.

請求項では、請求項 1 及び請求項 9 でその密度の高さを主張する。

請求項 1 では、 a density substantially equal to the theoretical density of stoichiometric silicon carbide とあり実質的に理論密度である旨が示される。

請求項 9 では、 wherein the silicon carbide matrix is near-stoichiometric and has pockets of porosity of not more than 4%, and wherein the pockets include only rare earth oxides or tramp elements. とあり、理論密度に近く 4%以下の空孔を持つとしており、96%以上といえる。

なお、請求項 9 では、 and wherein the pockets include only rare earth oxides or tramp elements. とあり、請求項 1 に加え、焼結助剤を使った場合も例示し請求範囲を広める。

2.3 日本原子力研究開発機構の提案する SiC 母材燃料

はじめに、USNC の特許は米国で登録されているため、それに対する侵害鑑定は、現地の文

化が反映される必要があるため、現地の特許事務所でなければ、正確な判断ができない。そのため今回は、米国の特許事務所に日本原子力研究開発機構の提案した SiC 母材燃料の侵害鑑定を依頼した。特許侵害鑑定を行うために米国の特許事務所に対象技術の仕様を示す必要がある。このために日本原子力研究開発機構の示した SiC 母材燃料仕様及びそれを用いた実施行為を以下に示す。なお、実施行為は、侵害鑑定を行う上で、指定する必要があるため、当時、考える実施行為を列挙した。

1) SiC 母材燃料の概要

【0001】 Fig.1 に示す、被覆燃料粒子 6 を格納し燃料要素を形成する母材 7 のうち、SiC を材料とするものを対象とする。

【0002】 Fig.1 に示す、被覆燃料粒子 6 は、燃料核 1 を中心として構成される。燃料核 1 は核分裂性物質、もしくは、親物質（例えば、ウラン、プルトニウム、トリウム、等）を含み酸化物、炭化物、もしくは、炭素酸化物の化学形を取る。

【0003】 Fig.1 に示す、燃料核 1 は、4つの被覆層、(1) 低密度炭素層 2、(2) 内側熱分解炭素層 3、(3) SiC 層 4、(4) 外側熱分解炭素層 5 からなる。ただし、酸素ゲッターとして、ZrC 層を燃料核 1 の外側、(1) 低密度炭素層 2 の内側に配置することがある。

【0004】 原子炉に装荷する際は、黒鉛ブロックからなる燃料体として装荷され、Fig.2 に示す、ピン・イン・ブロック型 14 と Fig.3 に示す、マルチホール型 17 の2つに分けられる。

【0005】 Fig.2 に示す、ピン・イン・ブロック型 14 では、Fig.1、Fig.2 に示す中空燃料コンパクト 9 を黒鉛スリーブ 10 に格納した燃料棒 11 を黒鉛ブロック 12 の冷却孔 13 に挿入することにより、燃料体 14 を構成する。燃料棒 11 の直径は冷却孔 13 の直径より、余裕をもって小さく設計されており、その間を冷却材が流れる構造となる。

【0006】 Fig.3 に示す、マルチホール型 18 では、Fig.1、Fig.3 に示す燃料コンパクト 8 を黒鉛ブロック 17 に開けられた、燃料孔 15 に隙間なく埋め込む。これにより燃料体 18 が構成される。別途、冷却孔 16 が設けられており、黒鉛ブロックを冷却することが可能である。

【0007】 また、Fig.4 に示すように、軽水炉の耐事故燃料 20 にも用いることができる。

Fig.1、Fig.4 に示す燃料コンパクト 8 を被覆管 18 に格納する。この燃料棒 19 を束ねて燃料集合体 20 とする。これは、軽水炉燃料のペレットから、燃料コンパクト 8 へ置換することにより耐熱性を高め、軽水炉の安全性に資する設計となる。なお、被覆管 18 は Zry のものもあれば、SiC に置換されるものもある。

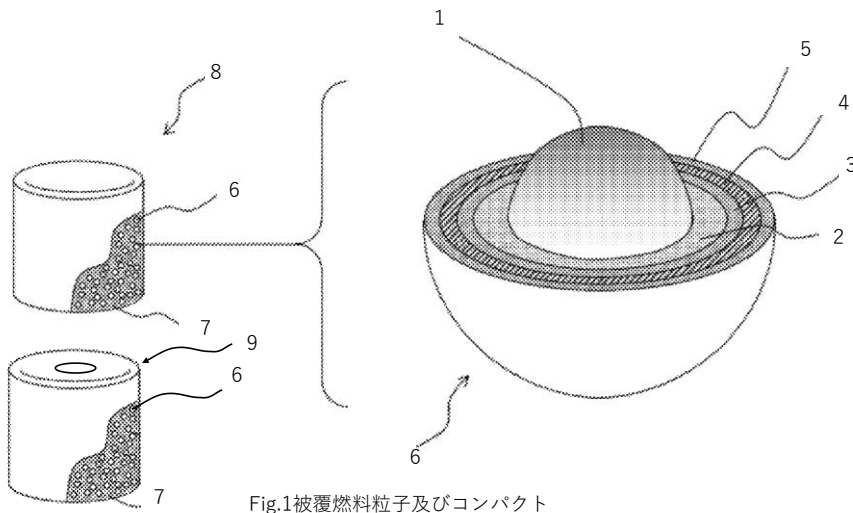


Fig.1 被覆燃料粒子及びコンパクト

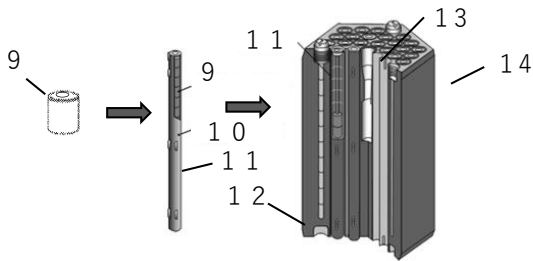


Fig.2 ピン・イン・ブロック型燃料体

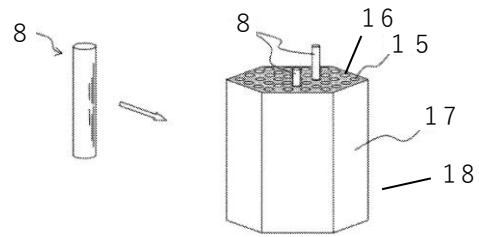


Fig.3 マルチホール型燃料体

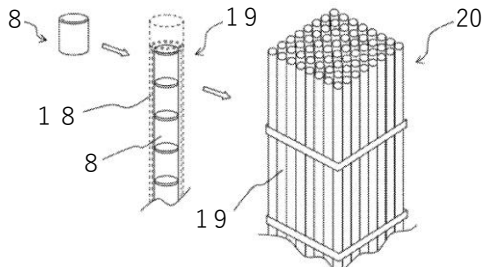


Fig.4 耐事故燃料集合体

2) SiC 母材燃料に係る技術開発等の経緯

【0008】 これまでに高温工学試験研究炉（HTTR）を完成させ、その安全性を実証してきたところである。一方、将来の高温ガス炉の商用炉の技術開発については、その安全性とともに経済性の向上を目的としており、格納容器から簡略化したコンファインメントを採用する設計方針とする。

【0009】 この設計方針においては、配管破断事故の想定に際して、HTTR と同様の黒鉛母材燃料では空気侵入時に燃料酸化による燃料破損が懸念されており、原子力機構の中長期計画において、「将来の燃料技術として除熱性能や耐酸化性能を向上させる燃料技術開発」を掲げ技術開発を行ってきたところである。2016年には、文部科学省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」において、模擬粒子を用いた SiC 母材燃料の試作を行った。

【0010】 その過程において、従来のシリコンと炭素の粉末を反応させる焼結法の扱いの困難さに気づき、量産型に適したスラリー法の考案に至り、現在、小規模な試作に成功した状況であ

る 2)。

3) SiC 母材燃料に係る仕様

【0011】 Fig.5、Fig.6 に示す通り、SiC 母材となる **SiC 粉末 21** と **水 22** を混合してできる水溶液の **スラリー 23** と **被覆燃料粒子 24** を型に入れ成形し、乾燥後焼結するものであり、量産化に適した簡易的な方法である。焼結は 1800℃程度で加熱・焼結する再結晶法と呼ばれるものである。

【0012】 現在は、概念確認のための試作段階であり SiC 母材の密度は SiC の結晶の理論密度の 50%程度の焼結密度であると推定されるが、一般的な再結晶法では、Fig.7 に示すようなホットプレス法により加圧しながら焼結する。**炉壁部 27** で径方向の形状及び 1800℃程度の高温を保ちつつ、**圧縮部 26** で圧縮し高い密度での焼結を達成する。

【0013】 同様の手法で得られる SiC 母材の密度は既存の実績からも 80%程度 3)の焼結密度を得るため、本手法の最終的な目標も焼結密度 80%とする。USNC の発明特許は理論密度に近い焼結密度を得られるものであり、USNC の特許の請求項である「理論密度に近い焼結密度」との差別化が十分に可能である。

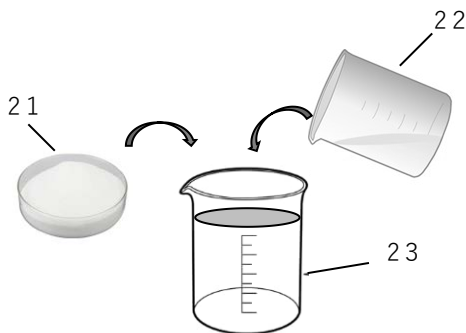


Fig.5 スラリー製造法

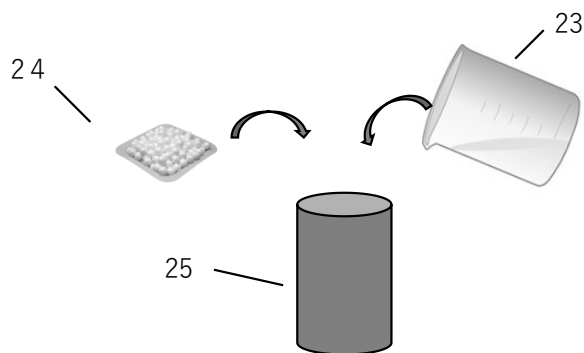


Fig.6 成形、乾燥

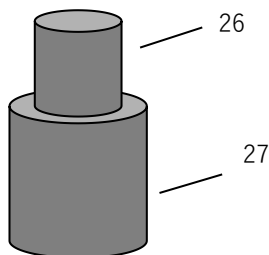


Fig.7 ホットプレスによる焼結

4) SiC 母材燃料に係る実施行為

(1) 製造

国内における燃料製造、事業者は原子燃料工業株式会社

米国における燃料製造、事業者は USNC、ウエスティングハウス、X-energy

韓国における燃料製造、事業者は韓電原子力燃料株式会社
英国における燃料製造、事業者はスプリングフィールド社
中国における燃料製造、事業者は中国核工業集団

(2) 販売（譲渡）

製造からの販売

国内においては、原子燃料工業株式会社
米国においては、USNC、ウエスティングハウス、X-energy
韓国においては、韓電原子力燃料株式会社
英国においては、スプリングフィールド社
中国においては、中国核工業集団

(3) 使用

高温ガス炉における利用

日本、英国、米国、韓国、中国、インドネシア、ポーランド

耐事故燃料として軽水炉における利用

日本、英国、米国、韓国、中国、インドネシア、ポーランド、フランス

(4) 輸出、及び輸入

「(2)販売」国から輸出、「(3)使用」国へ輸入。

(5) その他（一部実施等）

特になし。

以上

3. SiC 母材燃料の特許侵害鑑定の結果（結論）

結果は、Fig.8 に示すように、原子力機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料は、米国特許第 9,299,464 号に対し特許侵害に該当しない。今回は、日峯国際特許事務所を通じて米国現地の特許事務所に鑑定依頼を出した。なお、墨消しは、現地特許事務所の社名及び特許弁護士の個人名である。その結果が記載された別添の Memorandum の主な論点は、請求項 1 及び請求項 9 から得られる理論密度の値である。請求項 1 の *substantially equal to the theoretical density* の実質的に理論密度に等しいという表現は曖昧であると指摘しながらも、明細書との比較から 95%と読むべきとの見解が示された。請求項 9 の *wherein the silicon carbide matrix is near-stoichiometric and has pockets of porosity of not more than 4%* は、請求範囲を 96%以上と解釈した。結果として、原子力機構が提案する高温ガス炉の SiC 母材燃料は、米国特許第 9,299,464 号に対し特許侵害に該当しないと結論付けた。

なお、特許権の所有者に USNC との記載があるが、本特許の取得時の所有者であり、現在は、UT-Battelle, LLC と Logos Technologies に所有権が移った。なお、本特許は韓国においても申請されていたが、2025 年 8 月 11 日をもって特許料不納により、権利は消滅した。

鑑定結果報告書

2026年2月19日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 殿
弁理士法人日峯国際特許事務所
茨城県水戸市大町一丁目2番6号
代表 弁理士 関山 健一



原子力機構の SiC 母材燃料に係る USNC 社米国内特許に対する侵害成否判断

対象特許： U.S. Patent No. 9,299,464 (US 2012140867 A1 対応)

鑑定依頼先：



対象製品：別添の Memorandum に記載の SiC 母材燃料

鑑定結果：対象の SiC 母材燃料は、U.S. Patent No. 9,299,464 を侵害しない。

理由：

対象の 9,299,464 特許の内容、その審査経過、および JAEA から提供された炭化ケイ素燃料マトリックスに関する技術情報、etc. に基づいて、様々な観点から鑑定した結果、JAEA が提案する SiC 燃料マトリックスの製造に使用される SiC 母材燃料は、独立請求項 1 で要求される「化学量論的炭化ケイ素の理論密度に実質的に等しい密度」を有さず、独立請求項 9 で要求される「炭化ケイ素マトリックスは化学量論に近く、4%以下の多孔度のポケットを有し、ポケットには希土類酸化物またはトランプ元素のみが含まれる」という限定を満たしていない。

したがって、JAEA が提案する SiC 燃料マトリックスは、9,299,464 特許のいずれの請求項も侵害しない。

鑑定内容の詳細については、別添の「Memorandum」を参照されたい。

以上

【添付書類】

- (1) 「Memorandum」及びその日本語対訳（機械翻訳）
- (2) SiC マトリックスの技術資料
- (3) アメリカ特許弁護士からの質問と回答
- (4) 記録媒体（本書及び上記 1～3 の書類の電子記録）

ご参考

本特許は現在も有効に係属中であり、現時点の特許権者はテネシー州オークリッジの UT-Battelle, LLC およびバージニア州フェアファックスの Logos Technologies LLC である。

Fig.8 弁理士法人 日峯国際特許事務所が発行した鑑定結果報告書

謝 辞

日峯国際特許事務所の柴山隆幸先生に特許侵害鑑定に関しご尽力いただきました。この場を持ちましてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) U.S. Patent No.9,299,464
- 2) N. Mizuta, T.Aoki, S.Ueta, et al., “Study of SiC-matrix Fuel Element for HTGR”, Proc. of ICONE-27, #2157,(2019)
- 3) 田中英彦, “炭化ケイ素の粉末合成とその焼結”,セラミックス 42[5],(2007)

