

令和元年6月17日現在

機関番号：63902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14900

研究課題名(和文)中性子環境下におけるプラズマ放射イメージング計測手法の開発

研究課題名(英文)Development of plasma radiation imaging diagnostic in neutron environment

研究代表者

向井 清史(Mukai, Kiyofumi)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：90632266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：核融合発電の実現には装置内壁の局所熱負荷を減らす必要があり、放射損失を増やし熱負荷を分散する運転方法が検討されている。その物理機構の解明に必要な計測器としてイメージングボロメータの開発が進められており、核融合炉で想定される中性子環境へ適用させる必要がある。本研究では、中性子環境下で計測器を較正するために重要な、薄膜検出器両面での再現性・均一性に優れた炭素コーティング手法を開発した。従来のスプレー法に替わり真空蒸着法を用いたコーティングを行うことで、中性子環境下で較正した際の誤差を概ね10%以下に抑えることに成功し、総中性子発生量 3.6×10^{18} 個の環境下で検出器の劣化がないことを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合発電の実現には装置内壁の局所熱負荷を減らす必要があり、放射(放射)損失を増やして熱負荷を分散する、放射ダイバータと呼ばれる運転方法が検討されている。その物理機構の解明に必要な計測器としてイメージングボロメータの開発が進められており、核融合炉で想定される中性子環境へ適用させることが課題であった。本研究において、中性子環境下で較正可能なイメージングボロメータの検出器を開発したことで、今後の大型装置での放射ダイバータ研究にイメージングボロメータが活用され、その物理機構の解明が進展することが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce the local heat load in a fusion reactor, an operation scenario to disperse the heat load by enhancing the plasma radiation loss is investigated. An infrared imaging video bolometer (IRVB) is developed to reveal the mechanism underlying the scenario and the IRVB is required in order to survive the neutron environment of a fusion reactor. In this study, a new method for coating carbon on both sides of a IRVB foil detector with high-reproducibility and high-uniformity was developed, which is important to calibrate the detector in the neutron environment. By using the evaporation technique instead of the conventional spray technique, the calibration error under the neutron environment could be suppressed to less than approximately 10%. Moreover, it is confirmed that the characteristics of the new detector experienced no degradation for the total neutron emission of 3.6×10^{18} .

研究分野：プラズマ計測

キーワード：ボロメータ 放射計測 イメージング 真空蒸着 中性子 プラズマ計測 核融合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合発電の実現に必要なダイバータ板の局所熱負荷低減のため、輻射（放射）損失を増大させ熱負荷を分散する放射ダイバータが検討されているが、輻射は主に最外殻磁気面の外側で生じるため対称性の仮定ができず、多次元での計測が必要となる。そこで赤外イメージングビデオボロメータ（InfraRed imaging Video Bolometer, IRVB）が開発されているが、核融合炉で想定される中性子環境下へ適応させる必要がある。

2. 研究の目的

IRVB を中性子環境下へと適用させるには、薄膜検出器の熱特性（輻射率等）の較正を、プラズマ真空容器内へ設置した状態で行う必要がある。較正にはレーザー光源を検出器に照射するが、計測器の構造上、レーザーはプラズマ輻射光を検出する面の反対側から照射せざるを得ない。したがって、薄膜検出器表裏の炭素コートの一貫性が課題となる。コーティングが不均一であると較正データの誤差に直結する。そこで本研究では、真空蒸着法を用いて IRVB 薄膜検出器両面の炭素コートを均質化し、大型ヘリカル装置（LHD）プラズマ実験へと適用することを目的とする。

3. 研究の方法

IRVB 薄膜検出器両面の炭素コートを均質化するため、従来のスプレー法に替わり、真空蒸着法を導入した。小型のサンプルを作製して、実際の成膜厚さや検出器性能が最高となる膜厚を求めた。得られた成膜手法を基に検出器を大型化して、検出器両面から較正実験を行い、検出器熱特性分布の均一性を評価した。最終的に、LHD プラズマ実験の IRVB 計測へと適用した。

4. 研究成果

(1)炭素コートの手法として真空蒸着法を導入し、均一かつ再現性のある炭素コーティングを実現した。37 mm の小型サンプルを作製し、真空中で検出器に He-Ne レーザーを照射した。レーザーを検出器の表裏からそれぞれ照射した結果、図 1 に示すように、スプレー法と比較して再現性の高い温度上昇の分布が得られた。また、検出器上の異なる点にレーザーを照射した結果、図 2 に示すように、照射位置によらず均一な温度上昇の分布が得られた。

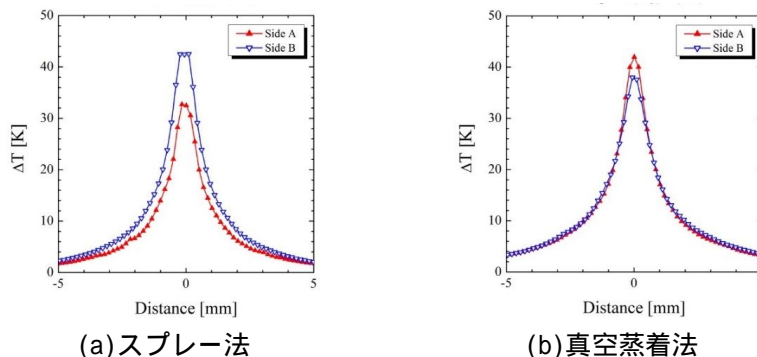


図 1 検出器の小型サンプルに、レーザーを表裏それぞれから照射した際の温度上昇の分布。

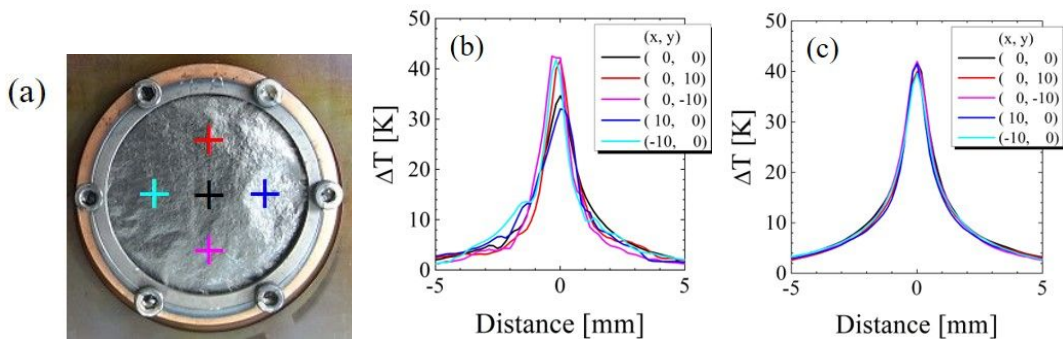


図 2 (a)検出器の小型サンプルと較正用レーザー照射点。(b)スプレー法、(c)真空蒸着法によるサンプルにレーザーを照射した際の温度上昇の分布。

(2) 膜厚センサで計測されるコート厚を較正した。センサの計測値は、ターゲットとセンサ位置の違いや、蒸着開始時のセンサの温度変化から誤差が生じる。そこで、コート厚の異なるサンプルを作製、走査型電子顕微鏡で観察し、実際のコート厚を測定した。センサ計測値の補正

係数を明らかにしたことで、破壊検査をすることなくコート厚を把握できるようになった。

(3) IRVB の性能指標「レーザー照射時の温度上昇 T/時定数」が最大となるコート厚を求めた。コート厚の異なるサンプルに真空中でパルス状のレーザーを照射、温度変化を赤外線カメラで計測した。その結果、コート厚が 160 nm 以上で T/ が飽和することを明らかにした。厚いコートを得るには多数回の蒸着が必要であり、真空引きと大気開放の繰り返しで 2.5 ミクロン厚の白金薄膜が損傷するリスクが高まるため、160 nm を検出器性能が最高となるコート厚とした。本成果は従来のスプレー法では得られなかった新しい知見である。

(4) LHD プラズマ実験で用いる 130 mm × 100 mm、厚さ 2.5 ミクロンの白金薄膜両面に対し、(1)-(2) で確立した手法での炭素コートを行った。薄膜検出器表裏の熱特性の均質性を評価するため、検出器の表側と裏側それぞれから熱特性(放射率・熱伝導率・熱拡散率)の較正実験を行った。その結果、図 3 に示すように、特に放射率について、従来のスプレー法では表裏での誤差が 30% を超えるピクセルが 130 ピクセル中 1 割程度あったのに対し、新しい検出器ではほぼ全てのピクセルで表裏での誤差が 10% 以下と大幅に改善することに成功した。

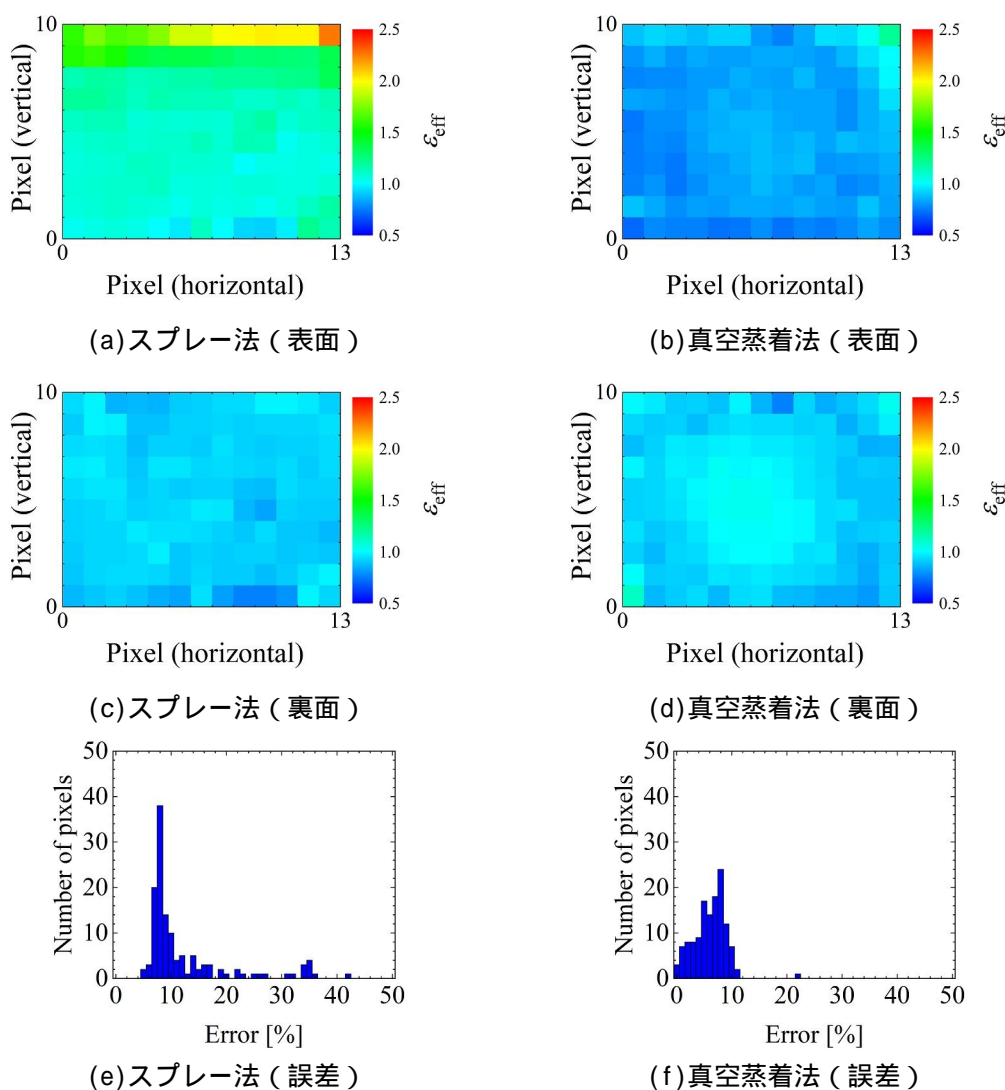


図 3 実効放射率分布の較正用レーザー照射面依存性。真空蒸着法を用いた炭素コートにより、従来のスプレー法に比べて、評価誤差を大幅に低減することに成功した。

(5) 開発した検出器を、LHD 重水素プラズマ実験の中性子環境下での IRVB 計測に適用し、プラズマ放射計測を行った。実験期間中の総中性子発生量 3.6×10^{18} 個の環境において、検出器の熱特性が大きく変化することなくプラズマ計測に適用できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

K. Mukai, T. Nishitani, K. Ogawa, B. J. Peterson, Neutron Shielding Design of Infrared Imaging Video Bolometer for LHD Deuterium Experiment, IEEE Transactions on Plasma Science, 査読有、47、2019、18-21

DOI: 10.1109/TPS.2018.2879604

K. Mukai, R. Abe, B. J. Peterson, S. Takayama, Improvement of infrared imaging video bolometer for application to deuterium experiment on the large helical device, Review of Scientific Instruments, 査読有、89、2018、10E114

DOI: 10.1063/1.5038947

〔学会発表〕(計4件)

向井清史、B. J. Peterson、田村直樹、LHDにおける輻射分布の多次元計測、第35回プラズマ・核融合学会年会、2018年

K. Mukai, B. J. Peterson, N. Tamura, Multi-Dimensional Measurement of Plasma Radiation on LHD, The 27th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research & The 13th Asia Pacific Plasma Theory Conference, 2018年

K. Mukai, R. Abe, B. J. Peterson, S. Takayama, Improvement of Infrared Imaging Video Bolometer for Application to LHD Deuterium Experiment, 22nd Topical Conference on High-Temperature Plasma Diagnostics, 2018年

向井清史、阿部亮太、B. J. Peterson、高山定次、LHD重水素実験におけるイメージングボロメータ計測、Plasma Conference 2017、2017年

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。