

機関番号：63902

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21760697

研究課題名 (和文) 加速微粒子の固体表面との相互作用および侵入挙動の定量化

研究課題名 (英文) Interactions between accelerated dust particles and an aerogel target

研究代表者

芦川 直子 (ASHIKAWA NAOKO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：00353441

研究成果の概要 (和文)：

核融合プラズマ装置内で発生した加速微粒子 (ダスト) の捕獲手段を想定し, SiO<sub>2</sub> エアロジェルを用いた捕獲実験を行った. 事後解析から, ダストがエアロジェル・ターゲット内部に捕獲されていることを表面分析法により明らかにした. よって Si 基板を用いたダスト捕集の問題点であった, 高真空環境下からのターゲット取り出し時の圧力変化によるダスト移動を軽減できることを明らかにした. 本結果から, エアロジェルを用いたダスト捕集により, ダスト侵入時の情報を保持した状態で事後解析が可能であることを実験的に明らかにした.

研究成果の概要 (英文)：

Silica (SiO<sub>2</sub>) aerogel has been used as a dust collector in this experiment. Impacting or deposited dust particles are trapped in the aerogel where they remain after the vacuum vent. Then, information of dust transport such as the trapping angle and velocity as well as the particle properties such as size, shape and morphology will be evaluated by surface analysis. Since the amount of dust trapped in the aerogel is two times larger than the dust deposited on an Si target, this dust collection method is useful for estimation of the deposition process without the influence of changing pressure from a high vacuum level to atmosphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：プラズマ壁相互作用

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：ダスト, エアロジェル, 再堆積, プラズマ壁相互作用, 核融合, 微粒子

## 1. 研究開始当初の背景

本課題研究では, 磁場閉じ込めプラズマ装置で発生したダストが対向材へ再堆積する直前のエネルギー, 入射角度, ダスト組成・形状をダスト堆積時の情報を保持したまま

解析を行い, そのメカニズムを明らかにすることを目的とした. そこで捕捉手段として密度が低くポーラス構造を持つエアロジェルを利用することとした. それは宇宙プラズマにおいて微粒子捕獲ターゲットとしての実

績があり、真空中での使用が可能であり、かつ耐熱負荷が高いことでも知られているためである。しかし、微粒子捕捉で利用できるタイプのエアロジェルは日本では市販されておらず、入手方法の調査が必要であった。その後、KEK, JAXA からターゲットとなるエアロジェルが提供可能であることが確認出来、本課題を申請するに至った。

核融合プラズマにおけるダスト捕集を目的としエアロジェルを利用した例として、イタリア、中国、ドイツで実績がある。いずれもダスト捕集に成功しているが、エアロジェルを利用する利点について定量的な議論はなされていない。本研究ではダスト捕獲後に行われる分析により捕獲時の情報が明らかになるという観点からエアロジェルの優位性を定量的に明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の目的

核融合分野でのダスト研究は、ITER 等におけるトリチウム蓄積の評価およびそれらの除去手段の確立のため、多くの大型核融合装置で積極的に行われている。その結果として、異なるプラズマ対向材やプラズマ実験履歴の条件下で実験後に採取されたダストの粒子径分布、位置分布およびそれらの組成、形状に関する解析結果が報告されている。

一般的にはプラズマ放電時のダスト捕集法としてSi基板などの試料を真空容器内に設置し、その試料表面に付着・堆積したダストを分析することが多いが、試料を真空から大気中へ取り出し時の圧力変化により、ダストが動くことが実験的に新らかとなっており、付着・堆積時の履歴が保持できないことが問題となっていた。そこで本実験ではダスト粒子を捕捉するターゲットとして新たにシリカ (SiO<sub>2</sub>)・エアロジェルを使用し、ダスト捕集測定としての信頼性について分析・評価を行うこととした。加速した微粒子ダストがエアロジェルへ衝突した場合には、Si基板に対する付着とは異なりダスト粒子はエアロジェル中へ捕捉されるため、プラズマ真空容器から大気圧中へ取り出す際の圧力変化による影響が格段に軽減されると考えている。また、スペースプラズマ分野での研究では、km/sオーダーの速度を持つ高速ダストがエアロジェルへ突入した場合には入射時の軌跡も残るため、その情報からダストの速度、進入角度が分かり、かつ捕捉されたダストを取り出し分析を行うことで組成、大きさ、形状などの情報も得られる。つまり、本実験は事後解析であるがエアロジェルへの捕捉時の情報が保持されるという大きな利点を持つ。

## 3. 研究の方法

捕獲ターゲットとして用いたエアロジェルは組成がSiO<sub>2</sub>、密度 61g/ccのものを使用した。今回の実験では高真空中(10<sup>-5</sup>Pa以下)での実験を計画したため、真空中での脱ガス試験を行った。質量分析計にてエアロジェルに起因するガス放出が無いこと、および真空中

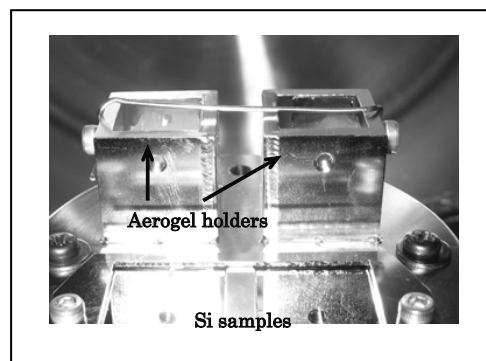


図1. 試料ホルダ

から大気圧へ圧力上昇した際に初期形状に変化が無いことを実験的に確認した。

その後、図1に示すようなホルダを用いてダスト捕捉実験の一環として、水素プラズマ放電中に第一壁の表面位置にエアロジェルを設置し、グロー放電への暴露約 20 時間、および水素プラズマへの暴露約 300 秒間の実験を実施した。エアロジェルは1辺約 15mm の立方体に切断し、図1のようにステンレス製のホルダ内に設置した。また、比較試料として同ホルダにシリコン基板も設置した。

## 4. 研究成果

実験終了後にデジタルマイクロスコープ (キーエンス社, VHX-1000) でエアロジェル表面を分析した結果を図2 (倍率: 2000) に示す。表面から金属光沢と思われる様相をした大きさ 10x20 ミクロン程度のダストが、周辺のエアロジェル中に侵入している様子



図2. 水素プラズマに暴露し、捕捉されたダスト

が観測された。エアロジェルの表面とダスト

表面の焦点深度がほぼ等しいことから、本視野角からはダストとエアロジェルの表面位置はほぼ等しいと考えられ、ダストはエアロジェルにめり込むような形で捕捉されていることがこの図2から確認される。エアロジェルを水素放電に曝露した際に同じ試料ホルダ上に設置した Si 試料に対して行った分析結果と比較すると、エアロジェル上で検出されたダスト個数密度は少なくとも Si 上の2倍以上であった。エアロジェルは真空中から試料を取り出す際の圧力変化による影響が少ないと考えられるが、本実験もそれを支持する結果であった。

エアロジェルの表面状態について、未使用材と LHD のグロー放電曝露後の比較を図3に示す。未使用材では表面状態はほぼ様であり図からは表面凹凸が確認できないが、グロー放電曝露では細かな凹凸構造が生じていることがわかる。またグロー放電に直接曝露する面（表面）とホルダに面する側面で違いがあることが分かる。



図3. 未使用材およびグロー放電曝露後の表面状態

表面凹凸の影響については、1) 真空中で使用したことによる圧力変化の影響、2) プラズマから荷電交換粒子による影響、3) 熱上昇による影響が考えられる。グロー放電に曝露したエアロジェルを再度詳細に分析したところ、図3に示すように表面で顕著な変化があり、表面の白濁、およびしわが検出された。それに対し側面では表面の変化は検出されず、わずかに微粒子ダストが検出されるのみである。エアロジェルをサイズダウンする際の加工上、表面はフラットではないため、ホルダ表面との隙間が不均一となる。そのため、その隙間に入り込んだダストが側面にも付着したと考えられる。しかし、プラズマから飛来する大多数の荷電交換粒子は直線的に飛来するため、その影響はプラズマに面する上部表面に集中する。その結果、このような面による違いがあることがありと考

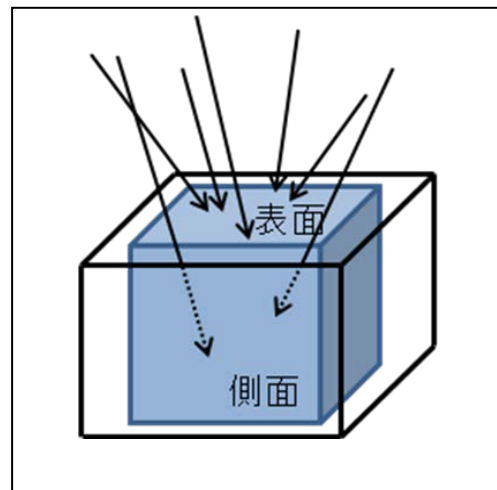


図4. エアロジェルに飛来する粒子の模式図

いる(図4)。そのため、1)の可能性は排除し、2) 3)が可能性として考えられる。エアロジェルの特徴の一つとして低熱伝導性が挙げられ、白濁の要因はわずかな熱上昇の蓄積により影響をもたらしたと現在は考えている。

ダスト入射時の解析としては、飛来時の軌跡を解析する必要があり、一般的には断面測定によりそれらを判断する。しかし本実験では、長時間曝露により表面変質が生じたため、断面測定は容易ではないことが明らかとなった。また、過去に実績のあるスペースプラズマでは数 km/s の速度が見積もられており、このときの侵入深さは 1mm 未満である。それに対し、核融合プラズマ装置で発生もしくは入射されたダストの速度は 10-100m/s のオーダーであると報告されている。そのため表面変質の影響と、侵入深さの点からも既存のエアロジェルでは深さ同定が難しいと考えられる。しかしながら、表面変質は熱による影響であることから曝露時間を短くすることも改善が可能であることが分かった。また低密度のエアロジェル 0.02-0.03g/cc の使用、および製作時の技術改善により、評価可能となるように改良が可能であることが分かった。

本課題研究により、次のことが明らかとなった。

- 1) 核融合プラズマ装置で発生したダスト捕獲を目的とし、グロー放電およびプラズマ放電へターゲットとしてシリカ・エアロジェルを利用し、ダスト捕獲に成功した。
- 2) 捕獲量は従来の Si 基板を用いた方法と比較すると2倍以上であった。その理由としてターゲット取り出し時の圧力変化に伴うダストの再移動を軽減できたためと考えている。
- 3) 捕獲されたダストはエアロジェル中

にとどまるため、捕獲時の組成、大きさ、速度などの情報を保持している。エアロジェルに捕獲されている様子および大きさはデジタルオシロスコープにより明らかにした。速度評価については、現在までには成功していないが、問題解決に至る改善点を明らかにした。

- 4) 速度評価を困難にしている理由の一つとして、暴露後の表面白濁があった。しかし比較検討からその理由が熱であることを明らかにし、暴露時間を短く調整すれば回避可能であることについて言及した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

西野信博, 大館暁, 磯部光孝, 小川国大, 東井和夫, 花田和明, 芦川直子, 竹内正樹, 「高速カメラを利用した磁場閉じ込めプラズマ計測 (3)2次元センサーとしての高速カメラ」プラズマ核融合学会誌 (2010)P. 543、査読無

[学会発表] (計2件)

芦川直子, 「核融合装置でのダスト捕集」, 次世代核融合装置におけるダスト問題・研究会, 2011年3月18日, 核融合科学研究所

芦川直子, 田端誠, 足立一郎, 朝倉伸幸 「加速微粒子に対する表面分析法による評価手法の検討」, 日本原子力学会 2011年春の年会, 2011年3月29日, 福井大学文京キャンパス

[その他]

N. Asakura and N. Ashikawa, “R&D test of in-situ dust collection using Silica aerogel”, Annual Report of NIFS, Vol. April 2009–March 2010, p. 109

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

芦川直子 (ASHIKAWA NAOKO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教  
研究者番号: 00353441