

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	坂部 俊郎
論文題目	Study on nuclear fusion reactions on the cathode surface of the glow discharge type of fusion neutron source (グロー放電型核融合中性子源の陰極表面における核融合反応に関する研究)		
(論文内容の要約) 本論文は、グロー放電型核融合中性子源の陰極表面で発生する重水素同士の核融合反応を論じた内容をまとめたもので、全 5 章からなっている。 第 1 章は序論で、核融合反応に関する科学史の概要、放電型核融合中性子源の歴史・原理・用途について整理し、これらを基に設定した研究目的について記述している。グロー放電型核融合中性子源は、低圧力 (0.1~10Pa 程度) の重水素雰囲気にてグロー放電を起こし、中性子発生を伴う核融合反応を起こす装置である。放電型核融合中性子源に関し、近年、主に電極表面で核融合反応が発生していることが明らかになっている。しかしながら、電極表面における重水素分布と中性子発生率の関係は明らかになっていない。本研究では、特に中性子発生への寄与が大きい陰極に着目し、陰極表面における重水素分布と中性子発生率の関係を明らかにすることを研究目的とした。 第 2 章は、水素化物の形成が期待される材料の被覆をグリッド状の陰極 (基材: ステンレス鋼 304 (SS304)) に施し、中性子発生試験を実施した内容を報告している。水素化物を形成することが期待される、チタン (Ti) とパラジウム (Pd) を被覆した陰極と被覆を実施しない陰極を用いて中性子発生試験を実施した。本章では、中性子発生率 (NPR) は、Ti 被覆陰極、SS304 陰極、Pd 被覆陰極の順で高くなった。Ti 被覆陰極の SS304 陰極に対する NPR の増加率は、試験全体を通じて 1.3~1.5 倍程度であり、バルクの Ti とステンレス鋼を比較した既往研究における増加率と同等の値であった。表面被覆により、バルク材料と同等の性能を引き出すことができることを示唆する結果を得た。 第 3 章は、陰極表面での核融合反応に焦点を当てるために開口部の無い球殻陰極 (基材:SS304) を採用し、中性子発生試験を実施した内容を報告している。第 3 章では、ダイヤモンドライクカーボン (DLC) を被覆した陰極、Ti 被覆陰極、被覆を行わない陰極 (SS304 陰極) を準備し、中性子発生試験を実施した。また、陰極表面からの深さ方向における元素分析にはグロー放電発光分析法 (GD-OES) を用いた。中性子発生試験においては、DLC 被覆陰極、Ti 被覆陰極、SS304 陰極の順で NPR が高くなった。試験全体を通じて、DLC 被覆陰極は、SS304 陰極に対して、4.7~10 倍程度の NPR の向上が確認された。また、中性子発生試験後の GD-OES 分析では、荷電粒子の打ち込み深さの範囲で、DLC 被覆陰極は、SS304 陰極よりも 17 倍程度高い重水素濃度を示した。すなわち、表面の重水素濃度を増加することにより、NPR を向上させることができることを実験的に明らかにした。 第 4 章は、陰極を連続的に冷却することができる水冷システムを新たに構築し、陰極への			

(続紙 2)

冷却が放電型核融合中性子源の運転に与える影響について報告している。本中性子源では、運転に係る電圧・電流が増加するにしたがって、陰極が高温になり、陰極上の重水素の脱離することになる。重水素の脱離は、高電流領域（本研究では 30mA を超える領域）における NPR の電流に対する増加率の低下を招く。上記の水冷システムは、高電流領域における重水素脱離を抑制するために構築された。第 3 章と同様の球殻形状を持つ、DLC 被覆陰極と SS304 陰極に水冷システムを適用し、中性子発生試験を実施した。両陰極において、初期試験において陰極冷却による NPR の向上が確認された。しかしながら、SS304 陰極に関しては、実験日ごとに NPR が低下する結果となった。SS304 陰極使用中の中性子発生率の低下には更なる調査が必要と考えられる。一方で、DLC 被覆陰極を用いた試験では、試験期間を通じて NPR の向上は維持された。DLC 陰極において、50kV・60mA の条件において、水冷により 2.2 倍程度の中性子発生率の向上が確認された。水冷システムによる NPR の増加は、陰極表面の重水素の脱離の抑制によってもたらされたと考えられる。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章にかけて得られた知見をまとめるとともに、これらの成果と既往研究の内容を統合することによって達成することが期待される中性子発生率に関する考察を示している。また、中性子発生率の増加による、中性子発生源のアプリケーションの拡大の可能性について論じている。