

氏名(本籍)	ふるかわ しずえ (東京都)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第5192号		
学位授与年月日	平成21年9月30日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	プラズマ高温熱源を利用した廃棄物処理に関する基礎研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	市村 真
副査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅英
副査	筑波大学教授	工学博士	佐々木 正洋
副査	筑波大学准教授	理学博士	片沼 伊佐夫
副査	東京大学教授	工学博士	小川 雄一

### 論文の内容の要旨

本研究は、地球温暖化問題を見据えた時のエネルギー源としてもっとも重要である原子力発電に関連する要素技術として、放射性廃棄物の低減、安定化、除染、再利用を目的とした処理技術にアークプラズマを応用したものである。アークプラズマの特徴の一つである1万度を超える高温度を利用した高融点の放射性廃棄物の熔融処理技術と減圧アークを用いて放射性廃棄物等の表面に付着した放射性核種や有害物質を除く乾式放射性表面除染技術に関する基礎研究である。

熔融処理技術においては、まず、アークプラズマから被加熱物への伝熱において、伝熱機構やプラズマの物性値の影響に関して、実験的検討と数値解析を用いた検討を行った。陽極を固体水冷銅陽極とし、特徴的な物性値を持つアルゴン、窒素、ヘリウムガスを選択し、アークプラズマの物性値が水冷銅陽極への加熱効率へ及ぼす影響を検討した結果、入力電力が比較的大きい10kW以上の領域においてはガス種を窒素とした場合に、最も効率良いことを実験的に明らかにした。ガス種を窒素とした場合に加熱効率が良い要因の一つとして、放射損失が無視できる程小さい事を挙げることができる。さらに、数値解析手法を用いて質量、運動量、エネルギーに関する保存則からプラズマの温度場を明らかとし、この温度場を基に伝熱機構別の被加熱物への伝熱量を明らかとした。アークプラズマから固体水冷銅陽極への伝熱機構に関して検討した結果、熱伝導の寄与が支配的であることが明らかとなり、伝熱に影響を及ぼす支配的な物性値として熱伝導率と定圧比熱が共に高い値であることが効率良い伝熱を実現可能とする要因であることを明らかとし、ガス種を窒素とした場合に観測された高効率な伝熱をうまく説明できることを示した。また、プラズマ中に混入する金属蒸気の影響に関して検討を加え、銅蒸気の混入に起因するアークプラズマの導電率の上昇は、プラズマの温度の低下をもたらす結果、最終的に熱伝導率の低下をもたらす結果、アークプラズマから溶湯陽極への伝熱量が低下することを明らかにした。このことは、イオン化ポテンシャルの低い金属蒸気の混入は、加熱効率の低下を引き起こすことを示している。

減圧アークを用いた乾式表面除染技術においては、 $^{60}\text{Co}$ 付き放射性腐食生成物皮膜付き模擬試験片を用い、特殊な金属酸化皮膜である腐食生成物皮膜およびこれが含有する $^{60}\text{Co}$ の除去が可能であることを明らかにした。減圧アークは、陽極と処理対象である陰極との間に形成され、数ミクロンの直径をもつ幾つかの陰極

点が電子を効率よく放出する酸化被膜を求めて動き回ることが観測されている。また、酸化被膜が除去されたあとに、母材金属を陰極点としてアーク放電を形成し、母材金属内の<sup>60</sup>COをも除去できることを確認した。実廃棄物により近い配管形状模擬試験片に対して、減圧アークによる繰返し処理により、最終的に<sup>60</sup>CO除去率約90%以上を達成できることを実験的に明らかにした。さらに、この除染性能のガス種に対する依存性を検討した。減圧アークの電荷量で比較すると、H<sub>2</sub>を用いた場合が最も効率が高く、より少ない電荷量で高い除去率を得た。この原因として、H<sub>2</sub>のエンタルピーが高いため、効率よく母材金属をスパッタリングできたことを挙げている。上の結果は、アークプラズマの放射性廃棄物処理への応用において、有用な知見になると考えられる。減圧アークは、母材の金属基板を比較的傷めずに、金属基板上から酸化皮膜のみを選択的に取るという特長的な性質を持っている。この性質を利用した乾式表面除染技術は、化学除染液等が不要のため除染工程で発生する放射性二次廃棄物が少ないという特長を持ち、既存の除染技術を補間できる可能性がある。

アークプラズマの特長を活かして、二つの放射性廃棄物処理技術に応用可能であることを実験的、また、数値解析を用いて示した論文である。

## 審査の結果の要旨

本論文は、将来の地球温暖化問題を見据えたエネルギー源として、現状でもっとも重要と考えられている原子力発電に関連する要素技術として、原子力発電の最大の弱点である放射性廃棄物の低減を目的とした処理技術にアークプラズマを応用したものである。前半では、高融点の放射性廃棄物の熔融処理技術として、高温度アークプラズマの物性を明らかとし、効率よく処理をするための基礎的な研究を行い、実際の処理時において有効な知見を示した。また後半では、放射性廃棄物の減容に有効である乾式表面除染技術に関して、減圧アークの適用可能性を示し、有望な技術となりうることを明らかとした。それぞれのアークプラズマの特長を生かして、重要な課題である放射性廃棄物処理に関して、多くの有用な知見と応用の可能性を示したことは、原子力発電分野の将来的な進展に大きく貢献できるものと評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。