

名古屋大学工学研究科 総合エネルギー工学専攻
エネルギー・システム工学講座

エネルギー資源循環工学グループ

榎田洋一(教授)、澤田佳代(准教授)、桑原彬(助教)
博士前期課程2名、学部2名(2022年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

原子力エネルギー利用のような大規模集中型から移動体のような小規模分散型までの様々なエネルギー利用形態におけるエネルギー資源の利用に伴って発生する廃棄物の処理, 処分および資源循環, すなわち, エネルギー廃棄物管理についてプロセス・システム工学的観点から研究と教育を行っている.

特に, 原子力エネルギー利用に関しては, 利用に伴って発生する高レベル放射性廃棄物である使用済原子力燃料の処理, 処分および資源循環について, 現行の世界標準技術である PUREX 法再処理, ホウケイ酸ガラス固化および地層処分に係る先進技術の開発, 実証, 安全研究に加えて, 将来の原子力エネルギー・システムに整合する長期的に合理的な処理, 処分, 資源循環システムの開発, 実証, 安全研究にも取り組んでいる. すなわち, 喫緊の取り残された技術課題の解決に取り組むとともに, 将来システムの研究と教育を行うことが我々の研究グループの方針である.

【キーワード】

原子力エネルギー・システム, プロセス・システム工学, エネルギー廃棄物管理, 省エネルギー, 省資源, 資源循環の経済的合理性, エネルギー資源循環, 放射性廃棄物処理, 放射性廃棄物処分, ガラス固化, ホウケイ酸ガラス, PUREX 法, 液液抽出, 残余のリスク, 放射性廃棄物分析へのプラズマとレーザーの応用

【主な研究と内容】

(A) 高レベル放射性廃液のガラス固化

原子力燃料の資源循環に伴って発生する高レベル放射性廃液の安全は, まず, 放射性物質が漏洩しがたい固体として廃棄物がパッケージ化されることにより確保される. 媒体は例外なくガラスが選定されるが, ガラスの安全な製造が現在の成熟した工業技術で十分可能であること, 製造するガラスが多少の組成変動に対してロバストであること, 製造したガラスが長期間安定であり, 特に耐水性も高いこと, がその理由である. しかし, 最近の技術経験によって, 本格的な製造の前にガラス固化体とその製造方法にかかる改善すべき点とも明らかになってきており, エネルギー工学分野における喫緊の取り残された技術課題の一つとしての位置づけから, その本質的解決方法の提示, 解決方法の学術的裏付け, 工業的製造方法への反映についての研究に取り組んでいる.

(B) PUREX 法の残余のリスクに係る研究

原子力燃料のエネルギー資源としての優位性の一つは、技術的に資源循環が可能であることであり、成熟した世界標準技術として、米国で開発された PUREX 法が広く商業規模で用いられている。一方で長い使用実績の間に多数の事故事象も経験しており、その安全対策の蓄積によって、資源循環に伴うリスクの最小化が進展している。一方で、リスクは原理的にゼロにすることはできないため、残余のリスクの検討が重要である。最近の事例では、英国の施設で発生した検知が困難である微少なプロセス量変化による臨界接近事例や露国や米国の施設で発生した発熱性有機分解生成物の蓄積に伴う熱暴走反応のリスクが相対的に大きいと考えられる。これらの事象の解析評価とあるべき発生検知水準の科学的推定についての研究に取り組んでいる。

(C) プラズマとレーザーを利用した放射性廃棄物の分析技術の開発

放射性廃棄物の処理処分にあたっては、環境や一般公衆の安全性を確保するため、廃棄物に含まれる放射性核種の分析が必要である。しかし、従来の市販の質量分析装置を利用した分析法は人手による緻密な作業を要するため、迅速性や遠隔性に問題がある。このため、超音速プラズマジェットやアブレーションプラズマとレーザーを利用したレーザー吸収分光法や共鳴イオン化質量分析法を駆使することで迅速性と遠隔性の両者を兼ね備える独自の分析法の開発に取り組んでいる。

2022 年度の研究・教育の概要

【高レベル放射性廃液のガラス固化】

2022 年度は長期にわたって研究室全体で取り組んできたイエローフェーズ形成抑制を目的とした繊維状ガラス母材の利用に関する研究を取り纏めた。ガラス溶融炉内で、廃液が仮焼される際にモリブデンがアルカリもしくはアルカリ土類元素と結合し、モリブデン酸塩が形成し、この塩のホウケイ酸ガラスへの溶解に時間を要し、かつ溶解度も限られているため、溶融炉内でガラスとは別相(イエローフェーズ)を形成してしまい、再処理施設で問題となっている。このモリブデン酸塩の形成について化学的安定度の高いモリブデン酸カルシウムの微粒子を優先してガラス中に形成し、ガラスセラミックス化してガラス固化体の耐水性を高める方法について、形成のための熱的な最適条件と得られる粒径分布について実験研究を行って成果を取り纏め、国際学会で発表公表した。

【PUREX 法の残余のリスクに係る研究】

2022 年度の PUREX 法の残余のリスクに係る研究では、2021 年度までに実施してきた PUREX 液液抽出プロセスの解析に係る研究に加えて、海外での事故事象の発生が複数知られていて、再処理施設安全設計の対象となっているレッドオイル爆発について数理モデルを立案し、代表的な物性値を用いてプロセス工学的数値解析を実施した。この結果、レッドオイル爆発事象は、プロセス工学分野で知られるパラメトリック感受性を有する事象であることを明らかにするとともに、従来の制限値以下に冷却する一面的な対策に加えて、パラメトリック感受性を踏まえた多面的な発生対策の有効性を示すことができ、研究成果は所属する学部学生によって日本原子力学会中部支部研究会にて公開した。

【プラズマ分光分析システムの開発】

2022年度は、レーザー共鳴イオン化質量分析の原子源として、レーザーアブレーションと誘電体バリア放電プラズマに関する研究を行った。

レーザーアブレーションについては、ナノ秒パルスレーザーを用いた二酸化ウラン UO_2 のレーザーアブレーション実験を真空下で行い、原子化したウラン原子の吸収スペクトルを取得した。観測されたスペクトルは、2021年度に実施した酸化アルミニウム Al_2O_3 のレーザーアブレーションとは異なり、1) 膨張するプラズマ中で運動速度の違いによりブルームが2層に分離した、2) 水平方向に膨張する原子に起因したスペクトルの分裂が確認されなかった。今後、これらをもたらしたウラン原子の真空中での運動挙動を明らかにするため、圧力履歴の取得や空間分解計測を実施する予定である。

次に、誘電体バリア放電プラズマについては、安価な高圧交流電源 (10 kV・10 kHz) を利用したプラズマ装置を開発し、将来的な原子源としての応用の観点からプラズマジェット生成条件 (放電管の径・ガス流量) とジェット長を明らかにした。放電管の周りに2つの電極を配置した2電極方式の場合、アルゴンプラズマジェットのジェット長は、ガスの質量流量 0.1 g/s の時に最大で 40 mm まで延伸することが確認された。また、下流にグラウンド電極を配置することで、イオンと電子が加速されることでプラズマ柱を形成することが分かった。今後、プラズマ柱での増大した電子密度計測、真空下でのプラズマ生成について、研究を進める予定である。

【2022年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	0	2	0	6
学生	1	0	0	0

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

- ・結晶化ガラスを利用した放射性廃棄物中のモリブデンの固化に関する研究
- ・硝酸と反応するリン酸トリブチル等の熱暴走反応の残余のリスクに関する研究

【修士論文】

- ・なし

その他・特記事項

【共同研究】

- ・電力中央研究所, ガラス母材・形態の廃棄物成分閉じ込め性能への影響

【社会貢献】

- ・榎田洋一, 2022年度 日本原子力学会中部支部原子力エネルギー・システム研究委員会主査
- ・榎田洋一, 2022年度 原子力規制委員会核燃料安全審査会審査委員

- ・澤田佳代, 榎田洋一, 2022 年度 原子力安全研究協会, 核燃料サイクル安全性の自主的取組みに関する調査研究委員会委員
- ・榎田洋一, 2022 年度 廃炉・汚染水・処理水対策事業(固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発)評価委員