

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

応用同位体科学研究グループ

杉山貴彦（准教授）

博士前期課程1名，学部1名（2020年度の実績）

研究分野と研究方針

【概要】

研究室名が表わすように，同位体にかかわる科学と工学に広く興味をもって研究を展開してゆくことを目標としている。「応用」と冠している理由は，純粋な学問にとどまるのではなく，実用的な研究を志向しているためである。研究テーマは，社会の需要，動向を観察して幅広く抽出・選定する方針である。

核エネルギーの利用は，昨今の環境問題やエネルギー需給の観点から，人類の持続的発展に欠かせないものと考えている。核エネルギーの利用においては，同位体にかかわる科学と工学は切り離せないものであり，したがって，エネルギー理工学科で研究を行う必然性があると考え。具体的には，原子力の安全利用・後処理や未来エネルギーに位置づけられる核融合に関する研究を行う。

エネルギー応用以外にも，例えば，高度医療や分析科学，宇宙物理など様々な分野で，同位体の新奇応用が始まっている。しかしながら，利用されている同位体種の種類や量は，必ずしも多いとは言えず，未開発の領域が広く残されている。異分野連携を強く意識して，同位体応用の研究を行う。同位体調整材料は，現在，非常に高価で少量であるから，これをより安価に多量に生産することができれば，多くの分野に与える影響は大きく，同位体応用の分野の創出・拡大に資することができると思う。

【キーワード】

同位体，同位体科学，化学工学，移動現象論，同位体分離，原子力工学，核融合炉工学，蒸留法，化学交換法，吸着法，トリチウム，リチウム，窒素，ホウ素

【主な研究と内容】

(A) 水素同位体に関わる研究

重水素とトリチウムは，最も軽い同位体で，原子力利用や核融合炉開発に関わりが深い．特に，多量の水素同位体を燃料として利用する核融合炉では，水素同位体の分離・純化，組成調整，水素同位体からの不純物の除去，放射性同位体であるトリチウムの安全取り扱いと環境漏洩防止など多くの技術が必要である．新規技術の研究開発と既存技術の高度化により，課題の解決に取り組む．特に，水蒸留法，水-水素化学交換法による同位体分離，水素-水間での同位体交換反応について長年にわたって取り組んでおり，これらを基盤として，気体および液体の水素同位体の取り扱い技術の研究開発を行う．

(B) 福島第一原子力発電所の汚染水処理に関する研究

事故後しばらくは，汚染水からのトリチウムの除去について，水素同位体分離研究の経験をもとに技術的可能性を検討した．トリチウム水タスクフォースによる検討の結果，2016年6月の報告書にまとめられているように，トリチウムは汚染水から除去するのではなく，環境放出することが望ましいとされた．その後，汚染水の海洋放出が令和3年4月に閣議決定され，放出に当たってはトリチウム濃度を国の基準の40分の1とすることとなった．

一方，汚染水の処理は長期化を余儀なくされており，トリチウム以外の放射性核種について，二次廃棄物低減の観点からも吸着除去の高性能化，処理運転の効率化が課題となっている．汚染水には，放射性核種の他にも，放射性核種の吸着に影響する様々な元素が含まれており，吸着塔の性能予測を困難にしている．そこで，使用される吸着剤の性能評価を行うとともに，多成分系平衡吸着モデルの構築，吸着塔内物質移動シミュレーションコードの開発を行い，処理液の組成や液性に応じて吸着塔の性能予測を精度良く可能とするための研究を行っている．

(C) 吸着法による同位体調整材料の製造に関する研究

吸着法の一つである置換クロマトグラフィー法は，分離目的の元素を液体の化学形で取り扱うため密度が高く，同位体分離においても，大量製造に適用できる可能性が高い．置換クロマトグラフィー法を同位体分離に適用する際の問題点は，単位分離の性能が小さく，必要な吸着塔が長大になることであり，これを解決すべく，新規吸着剤の開発，分離性能評価手法の開発，新規運

転方法の開発を行っている。Li-6, 7, N-15, Si-29などを分離対象として研究を行っているが、同位体調整材料の需要に対して汎用的に対応できる技術の開発を目標としている。

(D) 重水素の国産化に資する研究

重水素は、輸出規制物質であり自主生産の敷居は高く、我が国ではほぼ全量を米国からの輸入に頼っている。D-T核融合発電では、重水素を燃料としてワンスルーで消費するため、膨大な需要が生じるので、資源小国の我が国では、これを他国に頼るのではなく自主生産することが考えられる。また、重水素は、半導体や光ファイバーの製造工程、プロトン NMR 等の分析において使用されており、さらには、製薬の分野でも活用が進んでいる。したがって、現在は5億円程度の市場規模であるが、将来的な需要は高まってきている。国内では、ガス関連メーカーが商業生産に向け研究を進めているが、原料は水素ガスで、他プロセスの余剰や化石燃料からこれを得ることから、コスト削減や大量生産が未だ難しい状況である。したがって、原料を水とすることは大きな魅力があり、その研究開発に取り組んでいる。

2020年度の研究・教育の概要

【原子力水素製造に係る水素同位体分離に関する研究】

水素は、化学反応の中では大きなエネルギーを発生して燃焼し、その後は無害な水となるのであって、一次エネルギーではないものの多くの利点があることから、環境調和型エネルギー社会に向けて注目されている。二酸化炭素排出量がほとんど無い原子力によって、水から水素を製造することは一つの魅力ある選択肢であって、高温ガス炉と熱化学反応を組み合わせた原子力水素製造の研究開発が進められているところである。一方で、広く普及した軽水炉において、通常運転によっても少なくない量の水素が発生しており、その利用を検討することは価値がある。

軽水炉において発生する水素には、放射性同位体であるトリチウムが含まれている。このトリチウム濃度は、もちろん条件にもよるが、約 1.6×10^{-2} Bq/cm³と見積もられており、法令の排出基準濃度の70 Bq/cm³に比べれば十分に薄く、天然大気中の水素の放射能濃度 1.0×10^{-8} Bq/cm³に比べれば濃い。そのため、水素の用途によっては、除染を検討する必要がある。また、水素の安定同位体である重水素は、天然水素中の組成は150 ppmと少ないが、これを抽出して濃度を高めると利用価値がある。具体的には、重水炉の冷却剤、核融合燃料の他、化学や生物学における同位体効果の研究、核磁気共鳴分光分析(NMR)の重溶媒、生物学における代謝研究の

トレーサー、製薬における重水素置換薬剤の開発が挙げられる。近年では、半導体産業において、高集積化のためのゲート酸化膜の薄膜化に際し、重水素を導入することで欠陥を抑制できることが知られ、利用、開発研究が活発に行われている。現在、世界の重水は、重水炉で著名なカナダおよび米国の供給でまかなわれている。国内では、純度により異なるが、1リットルあたり5~20万円程度で販売されている。今後、世界的な需要の増加が見込まれることから、価格の上昇、供給不安も予想される。岩谷産業は2018年に重水素ガスの商業生産を国内で初めて開始したと発表している。重水の国産化は将来的に価値がある。以上の背景から、軽水炉施設から発生する水素の有効利用に関連して、特に同位体分離・濃縮に着目して、具体的には、①トリチウムの除去と②重水素の濃縮について、現状把握と課題の抽出を行った。

【多成分吸着現象に関する研究】

福島第一原子力発電所の汚染水処理に関連して、多核種除去設備に用いられる吸着塔の性能予測に資する研究を行った。本研究の一部は、日立製作所との共同研究として2017年度より継続して実施している。多成分吸着現象のシミュレーションに必要な基礎式の整理と計算コードの作成を行った。特に、イオン価数の異なる成分を含む汎用的な吸着平衡計算を可能とし、吸着カラムの物質移動シミュレーションコードに組み込むことを目標とした。吸着平衡モデルに関しては、実現象に合致し、かつ理論的に多成分系に拡張可能なイオン交換型の平衡式とした。バッチ吸着実験の結果を、作成した計算コードにより評価したところ、ストロンチウムやセシウムなどの主要注目核種の吸着に対して、これまで考慮されていなかった元素が影響を与えることが示唆され、吸着カラム内で生じている未説明現象の解明に手がかりを得た。

【重水冷却ブランケットに関する研究】

核融合原型炉以降では、炉システムを循環するトリチウムは多量となり、環境との境界となる水処理システムの性能向上と設計が重要な課題となっている。水処理システムには、水-水素化学交換法の適用が想定されているが、反応塔の塔頂から放出される水素ガスに含まれるトリチウムの低減、水処理システムから同位体分離システムに混入する軽水素の低減が問題である。これらの問題を回避するため、通常は軽水を用いるブランケットの冷却に、重水を用いることを発案し、概念検討を行った。

冷却剤に重水を用い、水処理システムに減圧水蒸留法を適用することで、水処理システムからのトリチウム漏洩と同位体分離システムへの軽水混入を原理的にゼロとすることができること、重水冷却剤中に生じるトリチウムが、トリチウム増殖率に若干ではあるが寄与できることを示し

た。原型炉規模の水処理システムに必要な減圧水蒸留塔の高さは約 160 m と見積もられ、さらに VPCE システムを併用することにより、電気分解槽を撤廃することと、外部からの重水の供給を不要とする等、合理性を高めた設計を可能とした。研究成果を、日本原子力学会 2021 年春の年会において報告した。

【ブランケット用高濃縮リチウム 6 生産のための分取クロマトグラフィーシステムの開発】

2019 年度より科研費を受け、題記の研究を行っている。核融合ブランケット材である高濃縮リチウム 6 の生産に適した高性能吸着材を新規に開発する。この吸着材を充填したカラムは、必要なカラムの長さが従来に比べて 3~4 桁と大幅に小さくなることが予想され、物質移動の律速段階が粒内拡散から軸方向分散に変わる。これにより、運転条件の最適化と合わせて、これまでになく高い生産性を実現し得る。単なる高性能吸着材の作製にとどまらず、同位体材料の大量製造方法としてスケールアップ可能な、分取クロマトグラフィーシステムを開発する。本年度は、樹脂合成と吸着材の調製をより安全かつ効率的に行うことを目標に、不活性ガス雰囲気グローブボックスシステムの構築を行った。

【本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	1	0	0	0
学生	0	0	0	0

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【修士論文】

- ・福島第一原子力発電所の汚染水処理における微量元素を含む多成分吸着現象の解析

その他・特記事項

.