

審査の結果の要旨

氏 名 岩 松 和 宏

イオンビームは物質と相互作用し、ガンマ線や電子線に比べて密度高くエネルギーを物質に付与することが特徴であり、これがイオンの特異的な放射線反応、生物効果を引き起こすとされているが、詳細については未だ未解明な点も多い。本研究では Br⁻水溶液を対象に H⁺、He²⁺、C⁵⁺、Ne⁸⁺イオンビームを用い、系統的なパルスラジオリシス実験を実施した。このデータ解析に先立ち Br⁻水溶液の電子線パルスラジオリシスで得られた実験結果をスパー拡散モデルに基づく計算で解析し、放射線誘起される反応の反応セットを整備、確立した。この反応セットをイオン照射で生ずるトラック内反応の解析に適用することで、イオンビームによる水分解で生ずる OH ラジカルの挙動を検討したものである。さらに、これまで世界では 4 箇所イオンビームパルスラジオリシスシステムが構築されてきた。大部分は光源としてレーザーを用いていたために、化学種のスペクトル測定には制約を受けていた。この難点を克服するため、一気にスペクトル測定できる新システムを考案し、実際にシステム構築後、これを用いてスペクトル測定に世界で初めて成功した。

論文は全体で 7 章からなり、第 1 章はイオンビームの特徴、水の放射線分解機構の簡単な説明の後、これまで行われてきたイオンビーム放射線化学研究とシミュレーションのアプローチについて概観した上で、本研究の目的を述べている。

第 2 章は、本研究で用いた東大の汎用の電子線パルスラジオリシス施設とシステムの紹介を簡単にした後、日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所の TIARA 施設のイオンビームパルスラジオリシスシステムを詳細に説明している。その際の線量測定法についても述べている。用いたイオンは H⁺、He²⁺、C⁵⁺、Ne⁸⁺の 4 種で、それぞれ最大エネルギーは、19.2、11.4、15.8、12.8 MeV/u で、必要に応じて Al 箔で減速しエネルギーを変えることで、LET を変化している。

第 3 章は実験結果の解析に用いた拡散モデルシミュレーション法について具体的な計算方法をまとめている。化学計算用コード FACSIMILE を用いて、電子線パルスラジオリシス実験の結果にはスパー反応を、イオンビームパルスラジオリシスの結果に対してはトラック反応のシミュレーションを適用した。

第 4 章では 0.9-900 mM もの 3 桁にわたる広い濃度範囲で Br⁻水溶液の電子線パルスラジオリシス実験を行い、得られた吸収スペクトルの時間依存性の測定から、ラジカル種の収量とその時間挙動を測定した。BrOH[•]と Br₂^{••}ラジカルが観測され、前者はマイクロ秒以下の短い時間領域でのみ観測される。長時間での Br₂^{••}の再結合反応はイオン強度の影響を受ける。両ラジカルのモル吸光係数、反応速度定数を調整し、反応セットを整備した。広い濃度範囲で得られた実験結果を再現するためには、これまで

報告されていない反応、 $\text{BrOH}^{\cdot\cdot} + \text{BrOH}^{\cdot\cdot} \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{OH}^{\cdot}$ の追加が不可欠で、その速度定数を決定した。こうして整備した反応セットをイオンビームパルスラジオリシスで得られた実験結果の解析に使用した。

第5章は、イオンビームパルスラジオリシス実験の結果と解析について述べている。 $\text{Br}_2^{\cdot\cdot}$ ラジカル G 値は H^+ 、 He^{2+} 、 C^{5+} 、 Ne^{8+} とイオンが重くなるに従い減少、同じイオン種でもエネルギーが低くなるほど収量は減少するといった明確な依存性が観測できた。これらの結果に対しスパーク拡散モデルをトラック構造に当てはめ解析した。初期分布は Chatterjee & Magee あるいは Katz の提案の分布であっても大きな差はもたらさない。イオンビームのパルス幅、一定の微細領域を複数のイオンが照射する効果も含めて解析し、種々イオン、濃度条件で得られた実験結果をほぼ再現できることを示した。これらの解析から、従来の初期分布の提案は妥当なものであり、イオン照射で生成するトラック反応の特徴を明らかにしている。

第6章では、これまでに世界の4箇所でイオンビームパルスラジオリシスが組み上げられてきたが、いずれもレーザーを分析光源に用いていたため、一波長のみでの測定データ取得にとどまり、他の波長領域の挙動が得られないという弱点を有し、これを克服する新システムの構築が必要であることを述べている。そこで、マルチチャンネル光検出器を用い 240-860 nm の広い波長範囲で吸収スペクトルを一気に記録するシステムを提案、実際に組み上げて SCN⁻水溶液および Br⁻水溶液のイオンビームパルスラジオリシス実験に適用し、一挙に吸収スペクトルを記録することに世界で初めて成功し、新たなイオンビームパルスラジオリシスシステムを実現した。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の展開についても触れている。

本研究は、原子力分野で重要な課題である放射線効果の研究分野、とくにイオンビーム放射線化学の進展に大きな寄与を果たしたと判断される。

以上のことから、本論文は新規性、有用性、学術的価値および進捗度の観点から審査した結果、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。