制動放射を模擬したエックス線照射による水の放射線分解の研究
(2) 分子生成の線質効果の評価

Studies on Water Radiolysis under Irradiation of X-ray Simulating Bremsstrahlung

(2) Evaluation of Effect of Radiation Quality on Molecular Formation

永石 隆二[1]，*桑野 涼[1]，松村 太伊知[1]

[1] 日本原子力研究開発機構

Co-60 γ線のような単一エネルギー（単色）をもつ光子とは異なり，制動放射や X 線といった連続エネルギー（スペクトル）の光子は，水の層の厚さ等によって水中に異なる線質（エネルギー・スペクトル）の光子を与える。異なる線質の光子による水の分解は生成物の異なる収量（G 値）やパターンを与えることから，それら光子を用いた実験ではこの線質（LET）効果の評価が重要となる。　そこで本報告ではシリーズ発表の 2 番目として，X 線照射による水の分解の線質効果（分子生成物の生成挙動）を，1 番目で測定した線量・線質データをもとに明らかにして，水の分解に及ぼす管電圧（入射最大エネルギー）や水層の厚さの影響について議論した。

キーワード：エックス線，水，放射線分解，分子生成物，放射線化学収量（G 値），線質

1. 緒言

β線や二次電子が金属構造材に当たって二次的に生じる制動放射はその入射放射線より低いエネルギーをもち，これに伴い線エネルギー付与（LET）が一般的に高くなるため，水の分解による水素分子（H_2）や過酸化水素（H_2O_2）といった分子生成物のプライマリ収量（G 値）は増加する（線質（LET）効果）[1]。これまで，制動放射を模擬した X 線を用いて管電圧（入射最大エネルギー）の減少に伴う H_2 発生の増加等を観測してきた[2]が，より精度良く観測 G 値を求めてその線質効果を評価するには，水層の厚さ等の違いによって水中に異なる線質（エネルギー・スペクトル）の光子が与えられることを詳細に調べられる，高度な線量測定との組み合わせが課題であった。

そこで本研究では，水の X 線分解の実験を行い，前の報告 (1)で得た線量・線質データをもとに，H_2 及び H_2O_2 の観測 G 値を求めて，水の分解に及ぼす管電圧や水層の厚さの影響を線質パラメータの LET 等の点から議論した。

2. 実験

X 線照射には，CLADS 国際共同研究棟（富岡）に設置の X 線装置（日立パワーソリューションズ，X 線管装置 UI-1520R，W ターゲット）を用いた。管電圧は 35−150 kV の範囲で変更可能で，吸収線量率は最大で 3.0 kGy/h（水換算，管電流 20 mA 以下）である。LX 線 (8−10 keV)，KX 線 (57−70 keV)といった特性 X 線の除去には，Al または Al+Cu の薄板フィルターを用いた。照射には，X 線や電子線を含む放射線の透過性に優れたカプトンフィルムを照射（透過）面とした試料容器（照射面以外 Ti または石英製）を作製して，これに水溶液試料を入れて用いた。線量計には，化学線量計（フリッケ，セリウム）並びにフィルム線量計（ラジオクロミック FWT-60）を用いた。

3. 結果・考察

H_2 発生では海水塩分濃度相当のハロゲン化物イオンを溶解した水溶液，H_2O_2 生成では電子捕捉剤の硝酸イオンを添加した水溶液と，それぞれ液深や溶存酸素の影響を受けずに，観測した G 値がプライマリ G 値を与える水溶液の条件[2,3]を選んだ。図 1 に H_2 発生の照射時間 (a)並びに吸収線量 (b)に対する依存性（試料高さ 2.5 cm）を示す。管電圧の増加に伴い X 線の放射率が上昇するため，横軸を照射時間 (a)にすると H_2 発生量 P の傾きは管電圧が高いほど大きくなっているが，横軸を吸収線量 (b)にするとその傾きはその水溶液でのプライマリ G 値を与えるため，互いに似通ったものとなる。ここで，管電圧 150 kV での G 値は Co-60 γ線の値（4.8×10^{-8} mol/J [3]）とほぼ同じで，管電圧 35 kV での G 値はそれより 30 %程度増加している（本装置）。

本報告では，H_2O_2 生成とともに，分子生成物の線質効果について述べて，さらに線質効果に及ぼす水層の厚さやフィルターの影響について議論する。

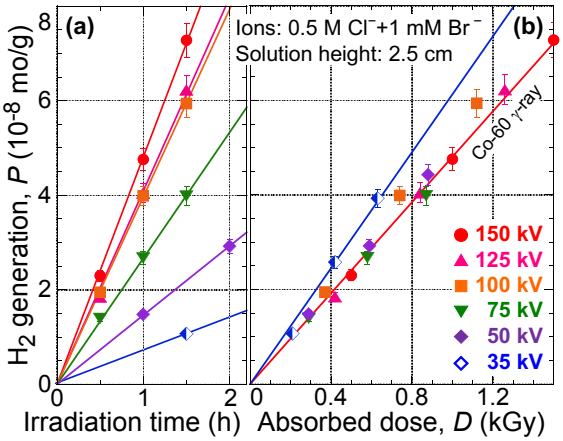

図 1　X 線分解による水素発生の照射時間・線量依存性（管電流 20 mA，フィルターなし）

参考文献

[1] 永石隆二，松村太伊知ら，「燃料デブリ周囲へのエネルギー付与に関する評価」，原子力学会 2017 年秋の大会, 1F06-07 (2017) 他.

[2] 永石隆二，桑野涼ら，「低透過性放射線による水の分解での水素発生等の測定」，原子力学会 2019 年春の年会, 1D06 (2019).

[3] R. Nagaishi, “Evolution of water radiolysis studies for measures against post-severe accidents”, RADIOISOTOPES, 66(11), 601-610 (2017) 他.

Ryuji Nagaishi [1], * Ryo Kuwano [1], Taichi Matsumura [1]

[1] Japan Atomic Energy Agency (JAEA)