

Title	放射線の作用機構に関する基礎?究(硫酸鐵溶液に及ぼす放射線の影響及び其の線量測定への應用)
Author(s)	松澤, 秀夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1956, 15(10), p. 909-914
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/14849
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

放射線の作用機構に関する基礎研究

(硫酸鐵溶液に及ぼす放射線の影響及び其の線量測定への應用)

群馬大學放射線科(主任 戸部龍夫)

松 澤 秀 夫

(昭和 30 年 8 月 12 日 受付)

1. 結 言

放射線の線量測定に當り、從來主として空氣に對する放射線の電離作用を純電氣的に計測するのみにて其の線量を決定している。然し物質に對する放射線の作用に就ては、電離及び勵起に續いて惹起される諸種の物理化學的變化に重要性が存するのであるから、それ等の反應を標識とする線量測定が望ましい。茲に、液體・固體等の物理化學的變化を利用する線量測定の必要が提唱せられつゝあるは當然である¹⁾²⁾³⁾。元來、條件の簡単な空氣電離法が測定感度鋭敏なるに比し、此の方法は條件がやゝ複雑で而も感度が低いけれども、放射線に依る物理化學的變化を直接測定する點、生物の條件に近い點、及び任意の體積全體としての變化を直接測定し得る點等より見て、放射線生物學の研究分野に有用な手段を與えるものと考えられる。

既に無機・有機物水溶液に對する放射線の酸化・還元作用に就ては幾多の報告が發表せられているが^{4)~10)}、著者は硫酸第一鐵水溶液の酸化反應を検討し、之が放射線照射に依り紫外線吸光度の變化を來す現象を利用して線量測定を試みた。

即ち、最初に硫酸第一鐵水溶液の放射線による化學變化に及ぼすpH、濃度、照射線量等の影響を検討し、次に任意の體積の容器中に容れて放射線照射を行いX線と Co^{60} γ 線の作用を比較した。之は小動物等の全身照射に對應する。更に水フェントーム中に任意の體積を有する溶液槽を挿入して同様な實驗を行つた。之は病巢線量等の直接測定に相應する。又、細管の溶液槽を用いて水フェ

ントーム中に於ける深部率を求めた。何れの場合に於ても、任意の體積内に吸収された放射線のエネルギーに依つて溶液の化學變化が惹起され、紫外線吸光度の變化が生ずるのであるから、逆に吸光度變化の比較により其の體積内の吸収エネルギーの相對値が得られ、更に放射線の有効強度の比較が便利となる。

2. 硫酸第一鐵溶液の基礎實驗

1. 實驗方法

硫酸第一鐵 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) の硫酸酸性水溶液 ($1/100 \sim 1/1000 \text{M}$, $\text{pH} = 1 \sim 5$) を作り、之を試験管に入れて側面よりX線及び γ 線を照射する。次に、分光光電光度計にて其の紫外線吸光度を測定すると、非照射溶液に比し吸光度 (ϵ) が増大する。(第1a圖参照) 即ち、 $300\text{m}\mu$ 附近に小さい吸収極大を示し、夫より短波長側え向つて極度に吸光度が上昇し而も吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) も著明に増大する。第1b圖は Fe^{3+} の吸光度曲線であるが、之と比較して第1a圖の(1)、(2)は Fe^{3+} の吸光度曲線に外ならぬ事が知られる。(註1)(註2)

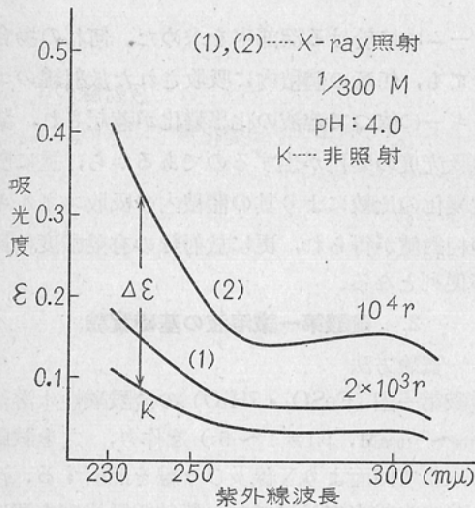
(註1) $1/100 \text{M}$ 以下の稀薄溶液に於ては、第一鐵鹽も第二鐵鹽も90%以上電離する事が化學的に知られているから、 FeCl_3 に就ての第1b圖は Fe^{3+} の吸光度曲線を示し、又我々の實驗は鐵イオンの消長を測定する事となる。

(註2) Fe^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- は此の範圍の紫外線吸収を示さない。但し第一鐵鹽は貯藏中、空氣による自然酸化を僅かに受けるから、第一鐵鹽溶

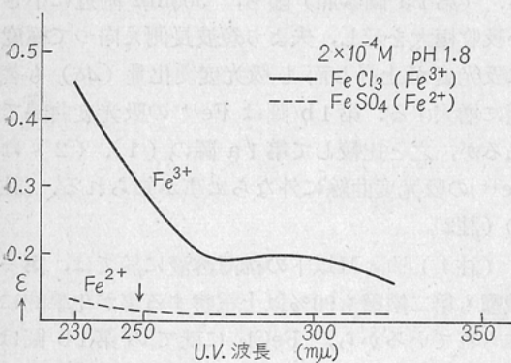
液は僅少の紫外線吸収を呈す。

従つて、放射線照射を受けて Fe^{2+} の酸化が起り、 Fe^{3+} の生成に依る吸光度變化として反應が測定されるのである。尚 $230\text{m}\mu$ の吸光度變化量は他の部分より著明であるから、以下の測定の際は總て $230\text{m}\mu$ に於ける照射と非照射の吸光度差 ($\Delta\epsilon$) を標識として實驗を進める。(我々の分光光度計の最短波長は $230\text{m}\mu$ であるから、止むなく $230\text{m}\mu$ を使用する。)

第1圖a 照射による吸光度變化



第1圖b Fe^{2+} 及び Fe^{3+} の U.V. 吸収

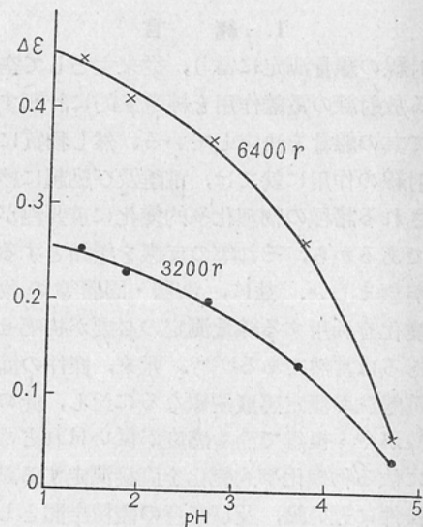


2. 吸光度變化に及ぼすpHの影響

濃度 $1/300\text{M}$, pH = 1 ~ 5 の硫酸第一鐵水溶液を作り、之に 150 KVP · 6 mA · 半價層 1.2mm Cu · 35r/min の X 線を照射した。同一照射線量に

對し、pH 値と吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) の關係を求めると第2圖を得る。即ち、pH の低下と共に吸光度變化は顯著に増大する。元來、中性及びアルカリ性溶液の状態では、 Fe^{2+} は空氣酸化を受け易く且つ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の生成により混濁するが、pH を下げると溶液は安定となる。而も放射線に歸因する酸化は起り易くなる。従つて、自然放置では安定で且つ放射線照射に對しては鋭敏なる反應體とする爲に、pH を 2 以下とする事が望ましい。

第2圖 吸光度變化と pH



3. 吸光度變化に及ぼす濃度の影響

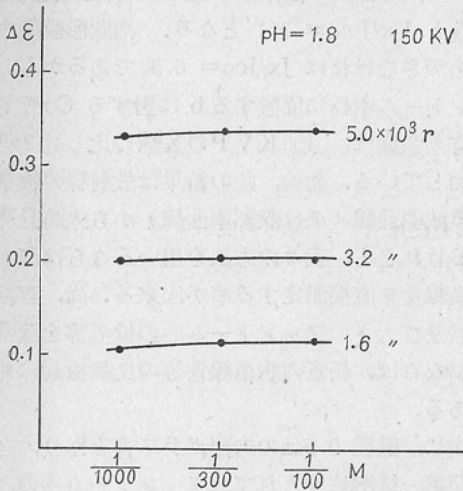
分光光度計による測定に當り、 $1/100 \sim 1/1000\text{M}$ の濃度ならば、稀釋等の餘計な操作せず直接測定出来るので都合が好い。故に pH = 1.8, 濃度 $1/100 \sim 1/1000\text{M}$ の硫酸第一鐵水溶液を作り、前項と同じ條件で X 線照射を行つた。結果を第3圖に示す。即ち此の範圍では、濃度の差異に依る吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) に有意の變化を認めない。

2.2. 及び 2.3. の結果、溶液の $230\text{m}\mu$ 紫外線吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) は照射線量に比例する。(註3)

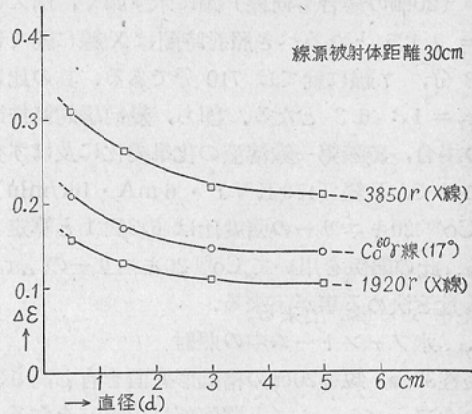
従つて、以下の實驗に於ては、 $1/300\text{M}$, pH = 1.8 の硫酸第一鐵溶液の $230\text{m}\mu$ に於ける吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) を測定する事とする。

(註3) 本研究に於て、照射線量とは、總て被

第3圖 吸光度と Mol. 濃度



第5圖 容器直径と吸光度變化量の関係



照射體表面の位置に於ける空中線量を意味する。

3. 模型容器による實驗

1. 圓筒形容器中の照射

直径5 cm, 3 cm, 1.4 cm, 0.5 cmの肉薄ガラス圓筒に前記溶液を10 cmの高さ迄満し, 150 KV P・6 mA・半價層 1.2 mm Cu・16 r/min のX線及び Co⁶⁰ 20 キュリーのγ線を夫々側面より照射し, 吸光度變化量 (Δε) と照射時間 (照射線量) の関係を測定した. 結果を第4圖に示す. 此の圖に於て, 横軸は照射時間を示し, (×10 Co⁶⁰) とあるは Co⁶⁰ の照射時間が圖の數値の10倍である事を意味する. 此の範囲内では, 同一容積に就き明に

照射量と吸光度變化 (Δε) とは比例する. 更に同一線量照射に就いて, 容器直径 (d cm) 對吸光度變化の関係を圖示すると第5圖となる. 之を兩對數目盛の用紙上に plot すると直線を示すから次の實驗式を得る.

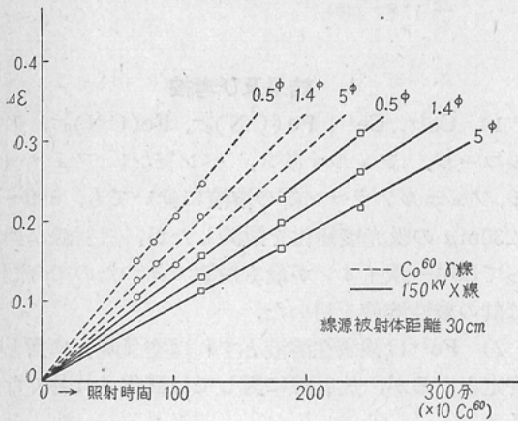
$$\Delta\epsilon = (0.07 R) d^{-0.18} \quad (1)$$

但し (1) 式中の R はキロレントゲン單位で表した照射線量の値を示す. 即ち吸光度の變化 (Δε) は照射線量 (R) と容器直径 (d) の函數である.

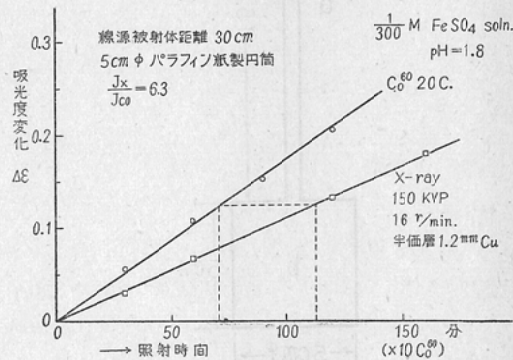
従つて空中線量としては同量照射しても溶液の變化が擴散等により均一化されるから, 容積の大小に伴い其の變化量 (Δε) の差異を生ずる.

次に小動物の全身照射に對應すべく, 底面の直径5 cm・高さ12 cmのパラフィン紙製圓筒に前記硫酸第一鐵溶液を高さ10 cm迄容れ, 150 KV PのX線及び Co⁶⁰ 20 キュリーのγ線を夫々照射した. 第6圖は線源一被射體距離 30 cm の場合の例であ

第4圖 照射時間と吸光度變化量の関係



第6圖 吸光度變化と線量

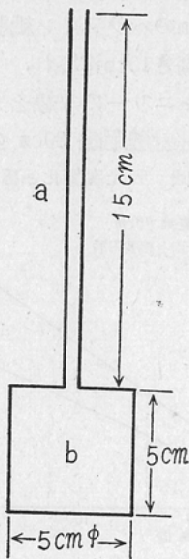


る。(20cmの場合も同様)圖に示す如く、例えば $\Delta\varepsilon = 0.125$ となるべき照射時間は X 線に就ては 113 分、 γ 線に就ては 710 分である。其の比は $t_x : t_\gamma = 1 : 6.3$ となる。即ち、幾何學的條件同一の場合、硫酸第一鐵溶液の化學變化に及ぼす効果に就て、X 線 (150 KVP · 6 mA · 16r/min) 對 Co^{60} 20 キュリーの強度比は 6.3 對 1 と算定される。此の關係を用いて Co^{60} 20 キュリーの “r” 相當量を定める事が出来る。

2. 水ファントーム中の照射

長徑 30cm, 短徑 20cm の橢圓形底面を有し高さ 30cm の水ファントーム (人體腹部に相當) を作る。別に、第 7 圖の如き容器を用意する。b は肉薄ガラス製の圓筒で此の部分に鐵溶液を満す。a は之を支える支持棒であると同時に、溶液の出し入れ口である。b 部に前記條件の硫酸第一鐵溶液を満してファントーム中に挿入し、放射線照射による溶液の吸光度變化 ($\Delta\varepsilon$) を觀測すれば、病巢線量が直接測定される。例えば、b をファントーム中心部に置き線源—ファントーム間距離 30cm · 照射野 $10 \times 10 \text{cm}^2$ として、X 線 (150 KVP · 6 mA · 半價層 1.2mmCu · 16r/min) 及び γ 線 (Co^{60} 20 キュリー) を照射した。此の場合、3.1. の方法に

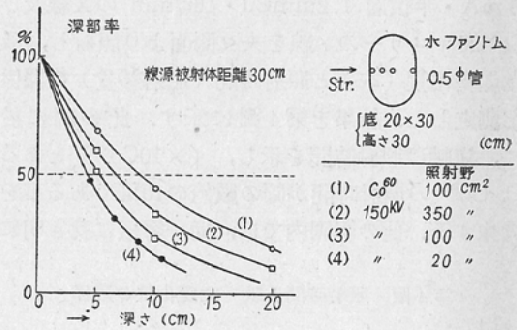
第 7 圖



倣つて、容器内の鐵溶液に及ぼす有効強度比を求めると $J'_x/J'_{\text{Co}} = 3.1$ となる。橢圓形模型内に水を満さなければ $J_x/J_{\text{Co}} = 6.3$ であるから、ファントーム中心に位置する b に對する Co^{60} γ 線の有効強度は、150 KVP の X 線に比し約 2 倍に増加している。勿論、此の結果は放射線の物質に依る減弱曲線 (又は深部率曲線) から大略計算されるけれども、我々の方法を用いるならば深部の病巢線量を直接測定する事が出来る。尚、容器の形狀及び大きさ、ファントーム内の位置等を適當に選ぶならば、任意の病巢線量等の比較検討に便利である。

次に、直徑 0.5cm の肉薄ガラス管を作り、之に前記第一鐵溶液を入れて水ファントーム内の各位置に挿入し、X 線及び Co^{60} γ 線を照射した。最前面に挿入せるもの、吸光度變化量に對する各深さの夫を百分比で求めると、所謂深部率に相當する結果を得る。第 8 圖は線源—ファントーム間距離 30cm にて、照射野を變えて測定した例である¹⁾。

第 8 圖



4. 結果及び考按

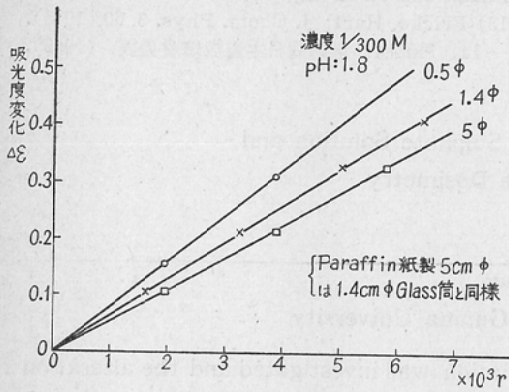
1) Ce^{3+} , Ce^{4+} , $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, アルコール, フォルマリン, ベンゼン, フェノール, フェニルアラニン等の溶液に就いても、800~230m μ の吸光度變化を觀測したが、放射線に對しては第一鐵イオンが最も鋭敏であつたので今回は其の酸性溶液を用いた。

2) Fe^{2+} は強酸性溶液とすれば空氣酸化に對し安定となるが、放射線に對しては酸化され易くなる。

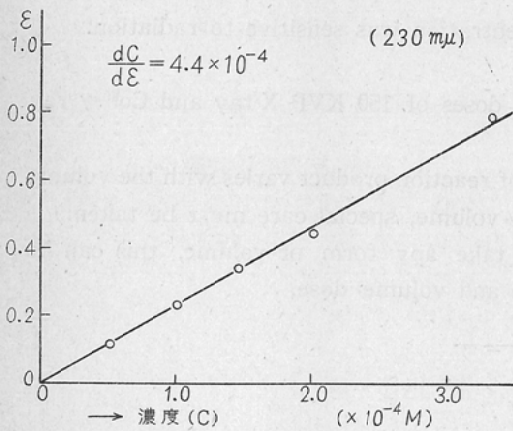
3) 第一鐵溶液の濃度 $1/100 \sim 1/1000 M$ では、吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) は濃度に無関係である。即ち、 Fe^{3+} の收量はpHと線量にのみ依存する。之は水の分解に依る間接作用の一例證である。

4) 吸光度曲線の吸収極大は其の物質特有なものであるから、 Fe^{3+} の場合 $300 m\mu$ 附近を使用するのが正則である。然し、 $260 m\mu$ 以下急激に吸光度が増加するから、此の部分も $230 m\mu$ 以下に極大を有する Fe^{3+} の一特性であると考えられる。而も第4, 6, 9 圖に示す如く、 $230 m\mu$ の $\Delta\epsilon$ と照射線量とは比例する。以上の理由に依り、我々の器械の使用し得る最短波長 $230 m\mu$ を實驗に供した。

第9圖 吸光度變化と r の關係



第10圖 $FeCl_3$ の濃度と吸光度



5) 第10圖は $FeCl_3$ の濃度 (C) と吸光度 (ϵ) の關係を示す。之より

$$\frac{\Delta C}{\Delta \epsilon} = 4.4 \times 10^{-4} (M)$$

$$\therefore (\Delta C)_{\Delta \epsilon=0.1} = 4.4 \times 10^{-5} (M) \quad (2)$$

(註1)により此の範圍の濃度では90%以上電離しているから、(2)式より計算すると Fe^{3+} の濃度は $\Delta\epsilon = 0.1$ に就き $40 \sim 44 \mu M$ ($1 \mu M = 10^{-6} M$) となる。又、第4圖を線量 („r”) と吸光度變化量 ($\Delta\epsilon$) の關係に變換すると第9圖を得る。(但しX線照射のものに就て) 之より、直径5 cmの圓筒の場合には1850 „r” 照射に就き $\Delta\epsilon = 0.1$ となる。故に Fe^{3+} 收量は、1000 „r” に就き $22 \sim 24 \mu M$ である。然るに收量 $1 \mu M / 1000$ „r” は 0.34 ions/ion-pair と計算されるから²⁾、結局 Fe^{3+} 收量として $7.5 \sim 8.2$ ions/ion-pair を得る。之は Fricke, Gray 等の結果と略と一致する¹²⁾¹³⁾。

6) 第6圖は第4圖の 1.4ϕ に略と一致する。即ち容器壁に薄く塗られた固形パラフィン、 Fe^{2+} の酸化をやゝ増進させる。

7) 第4, 5, 9 圖に示す如く、照射線量同一でも被照射體の大きさに従つて溶液全體の平均としての化學變化量は異なる。故に流體照射の場合には、條件として被照射體の形狀・體積を必ず考慮しなければならぬ。(特に、容器の小さい場合は一層注意を要す。但し、放射線の線質をも併せ考えるならば、3.1に得られた(1)式の適用範圍を $d = 0.5$ cm以下零まで擴張するのは不當である。)猶、X線と Co^{60} γ 線の線質の差異により第5圖の曲線の傾斜に相違があるうと考えられるが、本實驗の範圍内にては其の差異を認めない。

8) 溶液は生物に equivalent とは云えないが、空氣電離法より生物の條件に近いと思われる。而も、容器に従つて形狀・大きさを自由に變え得るし、又其の體積が眞に吸収する放射線エネルギーに對應して溶液の化學變化が生ずる。以上の諸點より、病巢線量・容積線量等の直接測定に當り有用な手段と考えられる。

9) 第6圖に示す如く、同一形狀及び體積の溶液に對するX線と Co^{60} γ 線の効果を比較して、 Co^{60} 20 キュリー遠隔照射の照射條件を決定したが、其の生物學的檢討は第14回日醫放總會にて發

表した¹⁴⁾。

10) 以上の方法に依つて正確に測定出来る限界が $10^3 \sim 10^4$ „r” の範囲である事は場合により不便である。

11) 130KV P・100KV PのX線に就ても、第5, 9圖と同様であり、線質に依る差異は無い。

5. 結 論

放射線による電離及び勵起に續いて生起する物理化學的變化を標識とする線量測定を行うべく、先ず硫酸鐵溶液の基礎的變化を確認し、次いで任意の體積の容器に入れた場合を實驗した。即ち、病巣線量の直接測定、 Co^{60} γ 線とX線の有効強度の比較、深部率の測定等を実施した。今後更に 10^3 „r” 以下及び 10^4 „r” 以上の線量測定にも適用し得る試料と方法に就き研究を進める豫定である。尚一般の電離法と併用して此の方法を利用

する事を推奨したい。

(本文の要旨は第63回日本醫學放射線學會關東部會及び第14回日本醫學放射線學會總會に於て發表した。)

文 獻

- 1) Weiss: Nucleonics 10, No. 7, 30 (1952). —2) Hochanadel, Ghormley: J. Chem. Phys. 21, 880 (1953). —3) Glocker: Strahlenther. 93, Nr. 1, 1 (1954). —4) Butler, Randall: Progress in Biophysics 2, p 288-300 (1951). —5) Stein, Weiß: J. Chem. Soci. Lond. 3245 (1949). —6) Krenz, Dewhurst: J. Chem. Phys. 17, 314 (1949). —7) Amphlett: Nature 165, 977 (1950). —8) Weiß: Nature 153, 748 (1944). —9) Tworski: Radiation Research 2, No. 1, 26 (1955). —10) Dale, Davies, Gilbert: Biochem. J. 45, 93; 45, 543 (1949). —11) 宮川, 森榮: 日醫放會誌, 14卷, 8號, 516 (1954). —12) D.E. Lea: Actions of Radiations on Living Cells. 2nd. ed. (1955). —13) Fricke, Hart: J. Chem. Phys. 3, 60, (1935). —14) 戸部他: 第14回日本醫放總會發表, (1955).

Effects of Radiation on Ferrous Sulphate Solution and their Application to the Dosimetry

By

H. Matsuzawa

Department of Radiology, Gunma University

Oxidation of ferrous sulphate solution by radiation was investigated and the alteration in absorption rate of ultraviolet light in it was applied to the radiation dosimetry.

Results :

1. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ at pH 1.8, and in $1/300\text{M}$ concentration was sensitive to radiation.
2. Yield of Fe^{3+} ion was 7.5~8.2.
3. By this method, the ratio of the effective doses of 150 KVP X-ray and Co^{60} - γ ray on the same amount of the solution was 6.3: 1.
4. When the dose is the same, the amount of reaction product varies with the volume of the irradiated object. (In the case of a small volume, special care must be taken.)
5. Since the ferrous sulphate solution can take any form or volume, this can be applied to the direct determination of depth dose and volume dose.