

MONTE CARLO CALCULATION OF ELECTRON BEAM DOSE DISTRIBUTION IN WATER

Sadashi SAWAMURA, Masatoshi KITAICHI, Tomoharu FUJIWARA
Fumiyuki FUJITA, Koichi SATO and Hiroaki TANIDA

Department of Atomic Science and Nuclear Engineering,
Faculty of Engineering, Hokkaido University
Kita-13, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo

ABSTRACT

EGS4 code is used for Monte Carlo calculations of electron beam doses in order to obtain 3-dimensional distributions in water. It has been shown that the fraction of energy carried out by an escaped electron from the medium gives large affection to the distribution. The results were compared with experimental data obtained by using the pulse radiolysis method.

電子線照射された水溶液中における吸収線量分布のモンテカルロ計算

1. はじめに

放射性同位元素から放出される連続的な β 線に比較して、ライナックからの電子線は瞬間強度の高いパルス状の放射線であり、かつ、人体内部まで進入できる程度に高エネルギーである。このようなライナックからの高エネルギー電子線による被曝線量測定・評価を目的として、水溶液中の吸収線量の深度分布を測定する体系を開発している。パルス状の放射線に対する線量分布測定法に望まれる事項としては、1)放射線バースト当たりの吸収線量及びその分布が測定できること、2)測定器や測定法が分布を乱さないこと、3)迅速応答性を有すること、4)人体の被曝線量が推定できること、等が挙げられる。電離箱法やカロリメトリック法等のパルス状放射線に対する一般的な線量測定法はICRUレポートに報告されているが¹⁾、上記の要望に

えるものとして、筆者らは、水溶液を軟組織等価物質として用い、ライナックからの高エネルギー電子線に照射された水溶液中の吸収線量深度分布を、放射線化学の分野における実験手法であるパルスラジオリシス法を用いて測定する事を試みている。ここでは、測定方法・体系と実験結果およびEGS4コードを用いたモンテカルロ計算等について報告する。

2. 測定体系と実験結果

測定方法：水溶液が放射線で照射されると、水溶液中に水和電子(e_{aq})やOHラジカル等の放射線化学的初期生成物が生成され、このような状態を”放射線から水溶液にエネルギーが付与された”状態と考えることが出来る。したがって、物質の付与エネルギーで定義される吸収線量の測定は、放射線化学的には、初期生成物の濃度を測定する事に対応し、吸

収線量の深度分布は初期生成物の濃度の深度分布から求めることが出来る。初期生成物は、一般的には短寿命であるため、その測定にはパルスラジオリシス法が用いられる。パルスラジオリシス法で直接的に測定される物理量は初期生成物の光り吸収に基づく吸光度である。吸光度から濃度、さらには吸収線量を求めるためには着目した初期生成物の分子吸光係数 (ϵ) と放射線化学的収量 (G 値) が、あらかじめ、分かっている必要がある。また、深度分布を測定するためには、通常のパルスラジオリシス体系を空間分解型パルスラジオリシス体系 (分析光が深さ方向に掃引出来る型) に改良する必要がある。

測定体系と実験結果： 試作した測定体系を図 1 に示す。基本的には通常のパルスラジオリシス体系と同一である。分析光 (He-Ne レーザ光を使用) を掃引する代わりにセルをパルスステージで移動し、深度分布掃を測定した。深さ方向の空間分解能は分析光の平行度と幅でほぼ決定され、本装置では約 $200 \mu\text{m}$ である。時間分解能は、主として、光電変

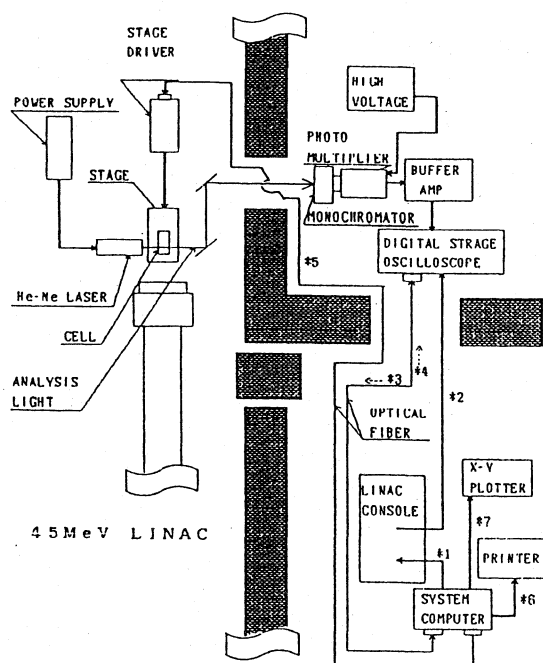


図 1 測定体系図

換素子の応答速度で決定され、現在、約 2 ns である。実験は 4 MeV 、 45 MeV ライナックを用いて行われた。図 2 に 4 MeV ライナックにおける結果の 1 例を示す (図中 ● 印)。セル (内径 $10 \times 20 \times 30 \text{ mm}$) のガラス (厚さ 1 mm) の内面を深さ方向の原点としている。深度分布から飛程を求め、入射エネルギーに換算した値 (2.9 MeV) とビームのエネルギースペクトルから予測される値とはほぼ一致した。

3. 計算結果

TABATA 等のアルゴリズム²⁾ を用いて、単一エネルギー (セル入射エネルギーから入射面のガラスにおけるエネルギー損失を差し引いた値 $= 2.5 \text{ MeV}$) の平行電子ビームが半無限大の水溶液に入射したときの付与エネルギーに関する一次元計算を先ず行った。その結果を図 2 中の実線に示す。測定値との差は大きく入射電子のエネルギースペクトルを考慮しても 1 次元計算モデルでは実験結果を再現できないことが分かった。測定結果のより妥当な説明には、エネルギースペクトルや角度分布はもちろん、より正確な幾何学的形状を考慮した 3 次元計算が必要である。そのため、EGS 4 を用いた計算を開始した。EGS 4 は SLAC で開発された電子、陽電子、光子の輸送をシミュレートするモンテカルロプログラムである³⁾。他のモンテカルロ計算と同様に、EGS においても各電子や光子は体系から逃れ出るか、あらかじめ定められたカットオフエネルギーに達するまで追跡される。本計算における電子のカットオフエネルギーは 513 keV (静止エネルギーを含む)、光子に対しては 1 keV である。図 3 に計算に用いた幾何学的体系を示す。寸法は実験に用いたセルと一致させてある (内径)。セルは厚さ 1 mm のガラスで出来ており、その外側は空気層で覆われている。セルの内容積は水

で満たされている。電子線源の形状は10mmφの円(図3中の斜線円)であり、セルの入射面よりz軸のマイナス側に1cm離れた位置にある。線源からはz軸と平行に単一エネルギーの電子線を、z軸のプラス側に、放出する。図4に、入射エネルギー3MeVの時のEGS4による計算結果と(棒グラフ)、図2の実験結果を同時に示す。未だ、入射点から

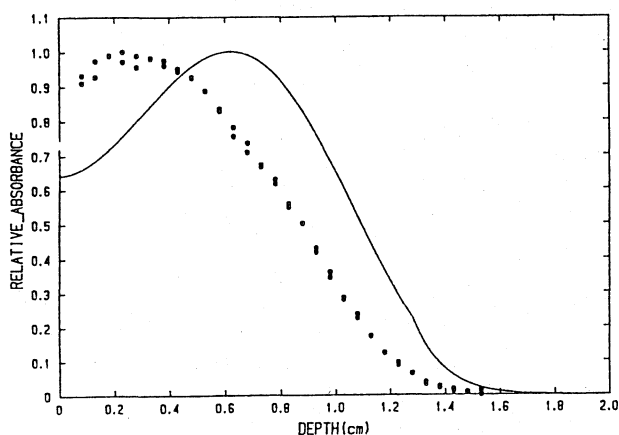


図2. 吸収線量深度分布

● : 測定結果、
 — : 計算結果 (TABATA)

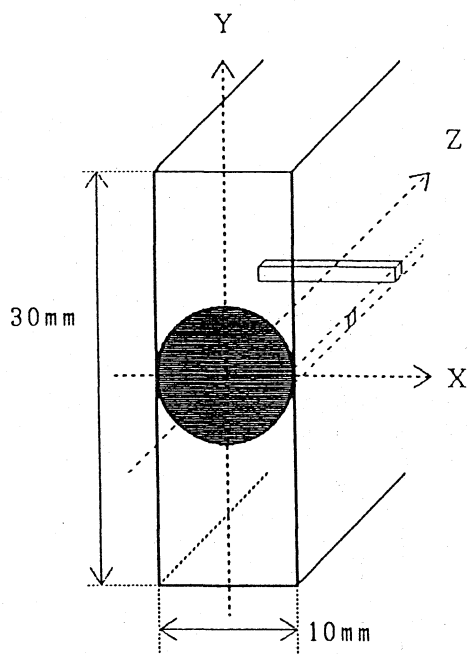


図3 エネルギー付与計算体系図

のビルドアップの仕方に若干の差異がみられるが、半無限の1次元計算に比べて、その位置やビルドアップの大きさ、立ち下がりの勾配等を含めて、実験結果を全体的によく再現するようになった。この結果、セルの側壁等から体系外へ逃れる電子の割合がエネルギー付与分布の形に大きな影響を与えていることが分かった。この割合は入射電子のエネルギーに依存する。これまで実験を行ってきた3MeV入射時には平均30%、17MeV入射時(セル=10x40x100mm)には51%が逃れていることが計算で示された。その結果、17MeV入射時には、ビルドアップの位置や大きさの違いはもちろんのこと、単一エネルギー入射にも関わらず、立ち下り部分が指数関数的になることが示された。3次元計算の結果、3MeV、17MeVいずれにおいても、測定値は体系内の各深さに於ける付与エネルギーを表していることが分かった。

参考文献

- 1)ICRU REPORT 34
- 2)Tabata T, Ito R, Tsukui S 1990 Rad
 iat.Phys.Chem. 35 821-825
- 3)Nelson R, Hirayama H, Rogers D
 1985 SLAC-265

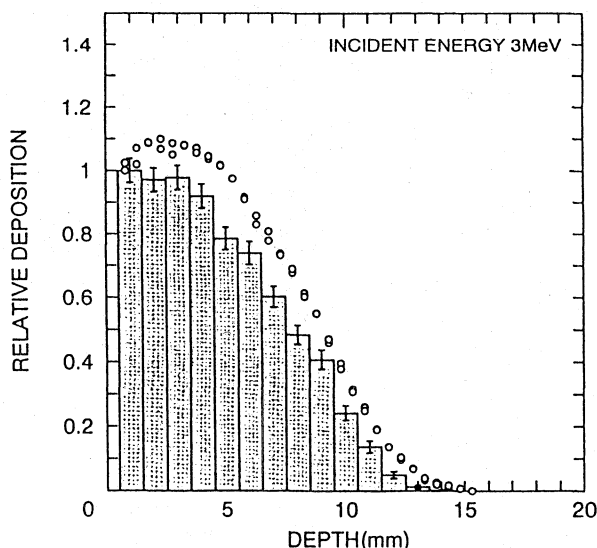


図4. セルを考慮した水中におけるエネルギー付与分布
 ○ : EXPERIMENTAL, BAR : EGS4 CALCULATED
 cell size 10mm x 30mm x 20mm