

JAERI-M
87-201

旋光度変化を利用したメガグレイレベルの
グルコース線量計

1987年12月

小嶋 拓治・神沢 康弘*・田中 隆一・吉田 健三

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

旋光度変化を利用したメガグレイレベルのグルコース線量計

日本原子力研究所高崎研究所開発部

小嶋 拓治・神沢 康弘*・田中 隆一・吉田 健三

(1987年11月9日受理)

メガグレイレベルの高線量域の γ 線の線量測定を目的として、D-グルコース溶液の旋光度が放射線によって変化することを利用したグルコース線量計の特性を調べた。

線量計溶液には、グルコース 20 wt % 水溶液を用いた。旋光度は、5 ~ 30°C の範囲では測定液温に依存せず、また室温では放射線照射前後の旋光度は長期間安定である。照射に起因する旋光度変化量も、25 ~ 50°C の範囲で照射中の温度の影響を受けない。本線量計はメガグレイレベルで非常に再現性が良く、0.01 ~ 4.30 MGy の高線量範囲を $\pm 4\%$ 以内の精度で測定可能であることがわかった。

放射線化学的な反応機構について、グルコース溶液の旋光度変化は、D-グルコースの放射線分解反応に基づいており、分解 G 値は、反応初期 G 値 4.1 から線量が高くなるにしたがって減少することがわかった。

The Mega-Gray-Level Glucose Dosimeter
Using Optical Rotation Change

Takuji KOJIMA, Yasuhiro KAMISAWA*
Ryuichi TANAKA and Kenzo YOSHIDA

Department of Development
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received November 9, 1987)

Dosimetric characteristics of glucose dosimeter based on the radiation induced change in optical rotation of D-glucose solution was studied for the high-dose dosimetry at mega-Gray level.

D-glucose solution of 20wt% concentration was used for dosimeter solution. The optical rotation of solution is independent of the temperature of solution during measurement in the range of 5 to 30°C and stable for a long period at room temperature before and after irradiation. Radiation induced optical rotation change also does not depend on the temperature during irradiation in the range of 25 to 50°C. Glucose dosimeter was found to be very reproducible in mega-Gray level and covers high dose range from 0.01 to 4.30 MGy within the accuracy of $\pm 4\%$.

As to the radiation chemical mechanism, the optical rotation change of glucose solution is ascribed to radiation induced decomposition of D-glucose, and the G value for the decomposition, which is 4.1 to initial stage of irradiation, decreases with the increase of dose.

Keywords: D-glucose Solution, Optical Rotation, Mega-Gray Level Dosimetry, Gamma-ray, Long-term Stability, Temperature Effects, Accuracy, Radiation induced Decomposition, G Value

* KIMURA CHEMICAL PLANTS CO., LTD.

目 次

1. 緒 言	1
2. 実験方法	1
2.1 線量計溶液の調製	1
2.2 照射容器と γ 線照射	2
2.3 旋光度測定	2
2.3.1 旋光計の特性	3
2.3.2 旋光度の測定	3
2.4 線量計溶液のグルコース最適濃度の決定	3
3. 線量計特性	3
3.1 未照射線量計溶液の旋光度安定性	4
3.2 照射後の線量計溶液の旋光度安定性	4
3.3 線量校正曲線	4
3.4 線量応答の再現性	5
3.5 線量応答に対する照射中の温度の影響	5
3.6 線量計の精度	5
3.7 線量計の特性に関するまとめ	5
4. 化学反応機構について	6
4.1 化学反応機構とG値	6
4.2 分解生成物の旋光度への寄与	8
5. 簡便化についての検討	9
6. あとがき	9
謝 辞	9
参考文献	10
付 録 1 グルコース線量計の標準的な測定手順	18
付 録 2 線量校正データ	20

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental	1
2.1 Preparation of Dosimeter Solution	1
2.2 Irradiation Vessel and Gamma-Ray Irradiation	2
2.3 Measurement of Optical Rotation	2
2.3.1 Characteristics of Optical Rotation Polarimeter	3
2.3.2 Measurement of Optical Rotation	3
2.4 Determination of Optimum Glucose Concentration in Dosimeter Solution	3
3. Dosimeter Characteristics	3
3.1 Stability of Optical Rotation before Irradiation	4
3.2 Stability of Optical Rotation after Irradiation	4
3.3 Dose Calibration Curve	4
3.4 Reproducibility of Dose Response	5
3.5 Effects of Irradiation Temperature on Dose Response	5
3.6 Uncertainty in Dose Evaluation	5
3.7 Summary of Dosimeter Characteristics	5
4. The Mechanism of Chemical Reaction	6
4.1 The Mechanism of Chemical Reaction and G Value	6
4.2 Contribution of Decomposed Products to Optical Rotation	8
5. Simplification of Dosimetry Method	9
6. Conclusion	9
Acknowledgement	9
References	10
Appendix 1 Recommended Dosimetry Procedure of Glucose Dosimeter	18
Appendix 2 Original Data for Dose Calibration	20

1. 緒 言

最近、原子炉周辺等の放射線場で使用されている高分子材料や、機器部品等の耐放射線性評価の要請が高まり、これにともなって、耐放射線性試験や実使用環境においてメガグレイレベルの超高線量評価法が必要となっている。

Table 1 に示すように、ポリエチレンからの発生ガスの圧力を測定する方法^{1, 2)}、プラスチックフィルム^{3, 4)}、LiF 結晶^{5, 6)}、ガラスの着色を測定する方法^{7, 8)}、及びグルコース溶液の旋光度変化を利用する方法^{9, 10, 11, 12)}が高線量域の線量計に利用可能である。

D-グルコースは水溶液中で放射線により分解し、溶液の旋光度がDからL側に変化する。グルコース線量計は、この時の旋光度減少を旋光計を用いて測定する方法であり、10 kGy から数 MGy の線量範囲が測定可能である。上述の他の線量計と比較して線量率、温度等照射条件の影響を受けにくいこと、耐放射線性試験を実施しようとする高分子材料に実効原子番号が近いこと、希釈等が不要で読み取りが簡便なこと、安価で溶液調製が比較的容易なことなどの利点を持っている。

すでに、Generalova ら¹¹⁾によって、線量依存性やグルコース溶液の最適濃度等についての基本的な研究がなされているが、実用化のためには線量計特性に関する検討が十分でなく、また反応機構等も明らかにはされていない。

このため、本研究では、グルコース線量計について、照射前後の線量計溶液の化学的安定性、線量測定範囲、測定誤差及び線量応答への照射中の温度の影響等を調べ、線量計としての実用性の検討を行った。また、旋光度の変化を引き起こす放射線化学的な反応機構についても若干の考察を行った。

2. 実験方法

2.1 線量計溶液の調製

グルコース ($C_6H_{12}O_6$) には、特級 D-グルコース〔和光純薬工業(株)〕を特に精製せずそのまま用いた。溶液の調製には、純水製造装置〔東洋科学(株)〕、TOYO-AQUARIUS GS-50E〕及びミリポア超純水製造システム〔日本ミリポア(株)〕を用いて精製した水(比抵抗 $1.88 \times 10^6 \Omega \text{cm}$)を用いた。

精秤したグルコース 100 g を 50 °C に加温した精製水 400 g に溶解し、グルコース濃度 20 wt% (21.45 W/V%) の線量計溶液を調製した。線量計溶液は、調製後 48 時間以上冷暗所に保存し、旋光度が安定した後使用した。

1. 緒 言

最近、原子炉周辺等の放射線場で使用されている高分子材料や、機器部品等の耐放射線性評価の要請が高まり、これにともなって、耐放射線性試験や実使用環境においてメガグレイレベルの超高線量評価法が必要となっている。

Table 1 に示すように、ポリエチレンからの発生ガスの圧力を測定する方法^{1, 2)}、プラスチックフィルム^{3, 4)}、LiF 結晶^{5, 6)}、ガラスの着色を測定する方法^{7, 8)}、及びグルコース溶液の旋光度変化を利用する方法^{9, 10, 11, 12)}が高線量域の線量計に利用可能である。

D-グルコースは水溶液中で放射線により分解し、溶液の旋光度がDからL側に変化する。グルコース線量計は、この時の旋光度減少を旋光計を用いて測定する方法であり、10 kGy から数 MGy の線量範囲が測定可能である。上述の他の線量計と比較して線量率、温度等照射条件の影響を受けにくいこと、耐放射線性試験を実施しようとする高分子材料に実効原子番号が近いこと、希釈等が不要で読み取りが簡便なこと、安価で溶液調製が比較的容易なことなどの利点を持っている。

すでに、Generalova ら¹¹⁾によって、線量依存性やグルコース溶液の最適濃度等についての基本的な研究がなされているが、実用化のためには線量計特性に関する検討が十分でなく、また反応機構等も明らかにされていない。

このため、本研究では、グルコース線量計について、照射前後の線量計溶液の化学的安定性、線量測定範囲、測定誤差及び線量応答への照射中の温度の影響等を調べ、線量計としての実用性の検討を行った。また、旋光度の変化を引き起こす放射線化学的な反応機構についても若干の考察を行った。

2. 実験方法

2.1 線量計溶液の調製

グルコース ($C_6H_{12}O_6$) には、特級 D-グルコース〔和光純薬工業(株)〕を特に精製せずそのまま用いた。溶液の調製には、純水製造装置〔東洋科学(株)〕、TOYO-AQUARIUS GS-50E〕及びミリポア超純水製造システム〔日本ミリポア(株)〕を用いて精製した水(比抵抗 $1.88 \times 10^6 \Omega \text{cm}$)を用いた。

精秤したグルコース 100 g を 50 °C に加温した精製水 400 g に溶解し、グルコース濃度 20 wt% (21.45 W/V%) の線量計溶液を調製した。線量計溶液は、調製後 48 時間以上冷暗所に保存し、旋光度が安定した後使用した。

2.2 照射容器と γ 線照射

照射容器には、クロム硫酸混液で十分洗浄した硬質ガラス製試験管（内径 12 mm ϕ ×150mm, ガラス肉厚 1.5 mm）を用いた。

試験管に線量計溶液 12 ml（液深 100 mm）を満し、ステンレス製の試料台に固定し Fig. 1 の配置で ^{60}Co - γ 線を照射した。 γ 線照射には高崎研究所第 6 照射室の ^{60}Co - γ 線源¹³⁾（7.4 PBq, 板状, 大きさ 300^h × 1600^l mm）を用い、線量率 15 kGy/h, 27 (± 3) °C の条件で照射を行った。

照射線量率の校正には、平行平板型電離箱¹³⁾を用いた。1 回の照射実験には、5 本の試験管を同時に照射した。このときの試験管の長さ方向及び各試験管間の線量率分布はアラニン線量計¹⁴⁾を用いて測定した結果、それぞれ ± 1.9 % 及び ± 2.6 % であった。照射温度の影響を調べる実験では、恒温水槽（150^h × 150^w × 250^l mm）を用い、27 °C, 35 °C 及び 50 °C (± 3 °C) の温度で γ 線照射した。線量率は 12.1 ± 0.3 kGy/h であった。 γ 線が透過する水層は十分薄く、グルコース線量計に対する γ 線のエネルギー変化の影響は無視できる程度とみなされた。

照射線量から吸収線量への換算係数には、0.967 を用いた¹⁵⁾。

2.3 旋光度測定

D-グルコース溶液は、放射線照射により、その線量に比例して旋光性が D から L 側に変化し、旋光度が減少する。旋光度は、物質透過後の偏光面が入射光の偏光面に対して回転した角度 α であり、本研究では、線量応答として、次式により算出される旋光度変化量 $\Delta\alpha$ を用いた。

$$\Delta\alpha^{25} = -1 \ln(\alpha^{25}/\alpha_0) \quad (2.1)$$

ここで、 α^{25} 及び α_0 はそれぞれ照射後及び未照射グルコースの 25 °C における旋光度で、共に測定セルに精製水を満した時の旋光度（バックグラウンド $\alpha_{\text{B.G.}}$, 平均値 7.394）を差し引いた値である。

また、旋光度をグルコース濃度と測定セルの長さで除した値、比旋光度 $[\alpha]^t$ は次式で表わされる。

$$[\alpha]^t = 100 \alpha^t / \ell \cdot C \quad (2.2)$$

ここで、 α^t は旋光度、 ℓ は測定セルの長さ（100 mm）、 C はグルコース濃度〔W/V%〕、 t は測定時の液温をそれぞれ示す。

ここでは、旋光計の安定性、旋光度測定時における液温の影響及びグルコース濃度と旋光度の関係について述べる。

2.3.1 旋光計の特性

旋光度の測定には、デジタル旋光計〔（日本分光工業（株）, DIP-360型, 光源：Naランプ 589 nm）を用いた。測定セルには、セル長 100 mm の石英セルを用いた。Fig. 2 に旋光計の電源を入れて 10 分後からのバックグラウンド $\alpha_{B.G.}$ の経時変化を示す。これから、電源を入れて少なくとも 8 時間は旋光計の測定精度範囲内（ $\pm 0.2\%$ ）で非常に安定した応答を示すことが明らかになった。

また、本実験では旋光計使用開始及び測定終了時にはバックグラウンドを数回測定、旋光度測定中の旋光計装置の安定性を確認した。

2.3.2 旋光度の測定

Fig. 3 に線量計溶液の液温が 5 ~ 40 °C における旋光度を示す。これから旋光度の測定値は、5 ~ 25 °C ではほぼ一定の値であるが、30 °C 以上では若干小さな値を示す。このため、本実験において旋光度測定は、測定時の液温に依存性のない 15 ~ 25 °C の液温で行った。

吸収線量とグルコースの放射線化学反応量を対応させるためにはグルコース濃度と旋光度の関係を求めておく必要がある。このため、20 wt% グルコース溶液を希釈することにより 2, 5, 10 及び 20 wt% のグルコース溶液を各々調製し、各グルコース溶液の旋光度を測定した。Fig. 4 にグルコース濃度と旋光度の関係を示す。

Fig. 4 から、旋光度はグルコース濃度と正比例の関係があり、

$$C = 0.0189 \alpha^{25} \quad (2.3)$$

と表わすことができる。比旋光度 $[\alpha]^{25}$ は (2.2) 式と (2.3) 式から 52.9 となり、この値は文献値 52.3¹⁶⁾ と一致した。

2.4 線量計溶液のグルコース最適濃度の決定

Fig. 5 に 2, 5, 10, 20 及び 40 W/V%〔5, 10, 40 W/V% のデータは Ref.¹¹⁾ より引用〕のグルコース濃度と旋光度変化量 $\Delta\alpha$ の関係を示す。これから、いずれのグルコース濃度の溶液を用いても旋光度変化量は吸収線量に対して正比例し、グルコース初濃度が高いほど傾きが小さい。グルコース線量計は旋光度の減少量を測定しており、より高い吸収線量まで測定するためにはグルコース初濃度を高くする必要がある。しかし、濃度が高くなると溶液の粘度が上がり、ガス発生が多くなるため取扱いが難しくなる。本研究では、このためグルコース濃度 20 wt% の溶液を用いた。

3. 線量計特性

耐放射線性試験では、 γ 線を用いてメガグレイレベルの線量を照射するために長時間の照射が行われる。このため、線量計特性としては、照射前及び照射後の旋光度安定性が良く、旋光

2.3.1 旋光計の特性

旋光度の測定には、デジタル旋光計〔（日本分光工業（株）, DIP-360型, 光源：Na ランプ 589 nm）を用いた。測定セルには、セル長 100 mm の石英セルを用いた。Fig. 2 に旋光計の電源を入れて 10 分後からのバックグラウンド $\alpha_{B.G.}$ の経時変化を示す。これから、電源を入れて少なくとも 8 時間は旋光計の測定精度範囲内（ $\pm 0.2\%$ ）で非常に安定した応答を示すことが明らかになった。

また、本実験では旋光計使用開始及び測定終了時にはバックグラウンドを数回測定、旋光度測定中の旋光計装置の安定性を確認した。

2.3.2 旋光度の測定

Fig. 3 に線量計溶液の液温が 5 ~ 40 °C における旋光度を示す。これから旋光度の測定値は、5 ~ 25 °C ではほぼ一定の値であるが、30 °C 以上では若干小さな値を示す。このため、本実験において旋光度測定は、測定時の液温に依存性のない 15 ~ 25 °C の液温で行った。

吸収線量とグルコースの放射線化学反応量を対応させるためにはグルコース濃度と旋光度の関係を求めておく必要がある。このため、20 wt% グルコース溶液を希釈することにより 2, 5, 10 及び 20 wt% のグルコース溶液を各々調製し、各グルコース溶液の旋光度を測定した。Fig. 4 にグルコース濃度と旋光度の関係を示す。

Fig. 4 から、旋光度はグルコース濃度と正比例の関係があり、

$$C = 0.0189 \alpha^{25} \quad (2.3)$$

と表わすことができる。比旋光度 $[\alpha]^{25}$ は (2.2) 式と (2.3) 式から 52.9 となり、この値は文献値 52.3¹⁶⁾ と一致した。

2.4 線量計溶液のグルコース最適濃度の決定

Fig. 5 に 2, 5, 10, 20 及び 40 W/V%〔5, 10, 40 W/V% のデータは Ref.¹¹⁾ より引用〕のグルコース濃度と旋光度変化量 $\Delta\alpha$ の関係を示す。これから、いずれのグルコース濃度の溶液を用いても旋光度変化量は吸収線量に対して正比例し、グルコース初濃度が高いほど傾きが小さい。グルコース線量計は旋光度の減少量を測定しており、より高い吸収線量まで測定するためにはグルコース初濃度を高くする必要がある。しかし、濃度が高くなると溶液の粘度が上がり、ガス発生が多くなるため取扱いが難しくなる。本研究では、このためグルコース濃度 20 wt% の溶液を用いた。

3. 線量計特性

耐放射線性試験では、 γ 線を用いてメガグレイレベルの線量を照射するために長時間の照射を行われる。このため、線量計特性としては、照射前及び照射後の旋光度安定性が良く、旋光

度変化量が線量率及び照射中の温度に依存性を持たないことが重要である。

線量応答の線量率依存性に関して、 $6.66 \times 10^2 \sim 1.58 \times 10^5$ Gy/hの間では依存性を持たないことが報告されている¹⁰⁾。ここでは、測定可能な線量範囲、線量応答の再現性、照射中の温度依存性及び線量計の精度の評価などについて検討を行った結果について述べる。

3.1 未照射線量計溶液の旋光度安定性

未照射線量計溶液の溶液調製直後からの旋光度安定性を Fig. 6 に示す。これから、旋光度は調製直後より急激に減少した後、徐々に安定し、50 時間後から少なくとも 530 時間以上 10.7 ± 0.046 (比旋光度 53.9 ± 0.23) の安定した値を示すことがわかった。

これは、D-グルコース結晶が α -ピラノース ($C_6H_{12}O_6$, $[\alpha]^{20} = +111.2^\circ$) 及び β -ピラノース ($C_6H_{12}O_6$, $[\alpha]^{20} = +18.7^\circ$) の混合物であり、水に溶解後各々の比旋光度は時間とともに変化し、最終的に同一の比旋光度 52.3° (α : 34%, β : 66%) で安定化する変旋光の現象によると考えられる¹⁶⁾。しかし、調製時の温度やグルコース濃度が旋光度の安定化時間に与える影響等については、今後明らかにする必要がある。

3.2 照射後の線量計溶液の旋光度安定性

0.7 MGy 照射した線量計溶液の照射直後からの旋光度の経時変化を Fig. 7 に示す。これから、照射後の旋光度は、少なくとも 2600 時間 (約 4 ヶ月) は極めて安定であることがわかった。

3.3 線量校正曲線

照射後の線量計溶液の旋光度と線量の関係を Fig. 8 に示す (付録 2 参照)。旋光度 α^{25} は線量に対して指数関数的に減少する。このため、旋光度の対数で表わされた旋光度変化量 $\Delta \alpha^{25}$ [(2.1) 式参照] を求め、これと線量の関係を Fig. 9 に示す。校正曲線は、最小二乗法を用いて求めた。未照射グルコースの旋光度 α^{25} には 11.63 を用い、旋光度変化量には同時に照射した 5 サンプルの平均値 (線量分布の影響を補正) を用いた。また、線量計溶液の調製時期及び照射時期の異なる実験を 3 回ずつ行い、測定値の最大値と最小値をエラーバーで図中に示した (Fig. 11 参照)。旋光度変化量は、0.01 から 4.30 MGy まで線量に比例する。

4.30 MGy 付近では、急激に溶液の固化が起こるためこれ以上の測定は不可能である。これは、グルコースの分解生成物が重合反応を起こすためと推定される¹⁰⁾。著者らは放射線照射により、グルコース溶液の pH が低下することを確認しており、この pH 変化との関連などを今後明らかにしていく必要がある。

以上から、測定可能な線量範囲は 0.01 から 4.30 MGy とみなされる。Fig. 9 から、旋光度変化量 $\Delta \alpha^{25}$ と線量の関係は、最小二乗法により、

$$\Delta \alpha^{25} = 0.386 \times D \text{ (MGy)} \quad (D = 2.59 \times \Delta \alpha^{25}) \quad (3.1)$$

と表わされる。

3.4 線量応答の再現性

同一調製バッチからとった線量計 5 試料間の線量応答のばらつきを Table 2 に示す。0.01 ~ 4.30 MGy における旋光度の変動係数（平均値に対する標準偏差の割合）は、いずれも 2.1% 以内である。

溶液の調製バッチ及び照射時間を変え、同一の照射を 5 回行うことにより 0.67 MGy 照射した時の線量応答の再現性（繰返し性）を調べた結果を Table 3 に示す。これから、線量応答は 8.792 ± 0.104 （変動係数 1.7%）の範囲にあり、良い再現性を示した。

したがって、測定可能線量範囲は 0.01 ~ 4.30 MGy とみなされる。

3.5 線量応答に対する照射中の温度の影響

照射中の温度と 8.37×10^2 kGy 照射した時の旋光度変化量 $\Delta\alpha$ の関係を Table 4 に示す。照射中の温度が 25 °C から 50 °C と高くなるにしたがって、線量応答である旋光度変化量は、0.35 から 0.36 と徐々に増加する傾向を示す。しかし、25 °C の線量応答を基準として求めた温度係数は 0.2 %/°C 以下であり照射中の温度の影響は少ない。この温度係数に関しては、硫酸セリウム線量計¹⁷⁾ 及び重クロム酸線量計¹⁸⁾ などの液体化学線量計の温度係数がいずれも約 0.2 %/°C であることが報告されている。水溶液の放射線化学反応において初期活性種の生成 G 値が温度依存性を持つことが知られているが¹⁹⁾、これから液体化学線量計の温度依存性を説明することは困難であり、放射線化学的な基礎研究が必要である。

3.6 線量計の精度

線量計の不確かさとして、線量計溶液のグルコース濃度の調製に係わる不確かさは $\pm 0.2\%$ 、旋光計の測定精度は $\pm 0.2\%$ 、旋光度変化量読取りの不確かさは $\pm 0.2\%$ 、線量校正の不確かさは $\pm 3.0\%$ とそれぞれ見積られる。

0.01 ~ 4.30 MGy の範囲では旋光度 α のばらつきは $\pm 2\%$ であるので、総合的な不確かさを各不確かさの 2 乗和の平方根とみなすと、0.01 ~ 4.30 MGy の範囲における旋光度 α の不確かさ（精度）は $\pm 4\%$ と算定された。

3.7 線量計の特性に関するまとめ

20 wt% グルコース線量計の特性として、以下のことが明らかとなった。

- (1) 未照射線量計溶液は、調製後 2 日間旋光度が減少するがその後は長期間安定である。
- (2) 照射後の線量計溶液の旋光度は、照射直後から長期間安定である。
- (3) グルコース線量計の吸収線量 D (MGy) は、旋光度変化量 $\Delta\alpha$ (自然対数表示) により次式で与えられる。

$$D = 2.59 \times \Delta\alpha^{25} \quad (3.1)$$

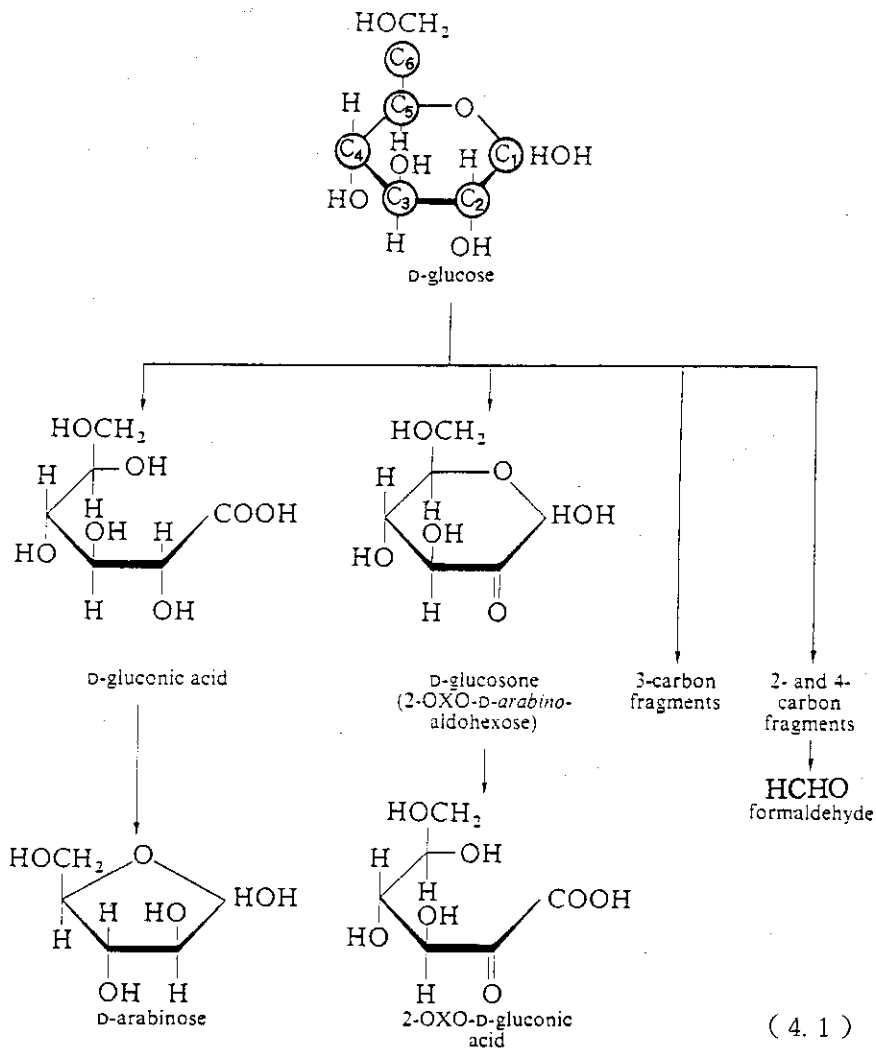
線量測定範囲は、0.01 ~ 4.30 MGy である。

- (4) 同一バッチ内の線量計溶液における線量応答のばらつき及び溶液調製が異なるバッチの線量計溶液を用いた場合の 0.67 MGy の吸収線量における旋光度測定の実現性はともに ± 2 % 以内である。
- (5) 照射中の温度の線量応答に与える影響は 25 °C から 50 °C の範囲ではほとんどなく、25 °C を線量応答を基準とした温度係数は 0.2 % / °C 以下である。
- (6) 線量計の総合的な精度は ± 4 % と見積られる。

4. 化学反応機構について

4.1 化学反応機構と G 値

D-グルコースは、水溶液中で放射線によって無酸素下では、次のように分解すると考えられる²⁰⁾。



[The scheme is reprinted from "An Introduction to Radiation Chemistry " 2nd Edition, Spinks, J.W.T. and Woods, R. J. (1976)]

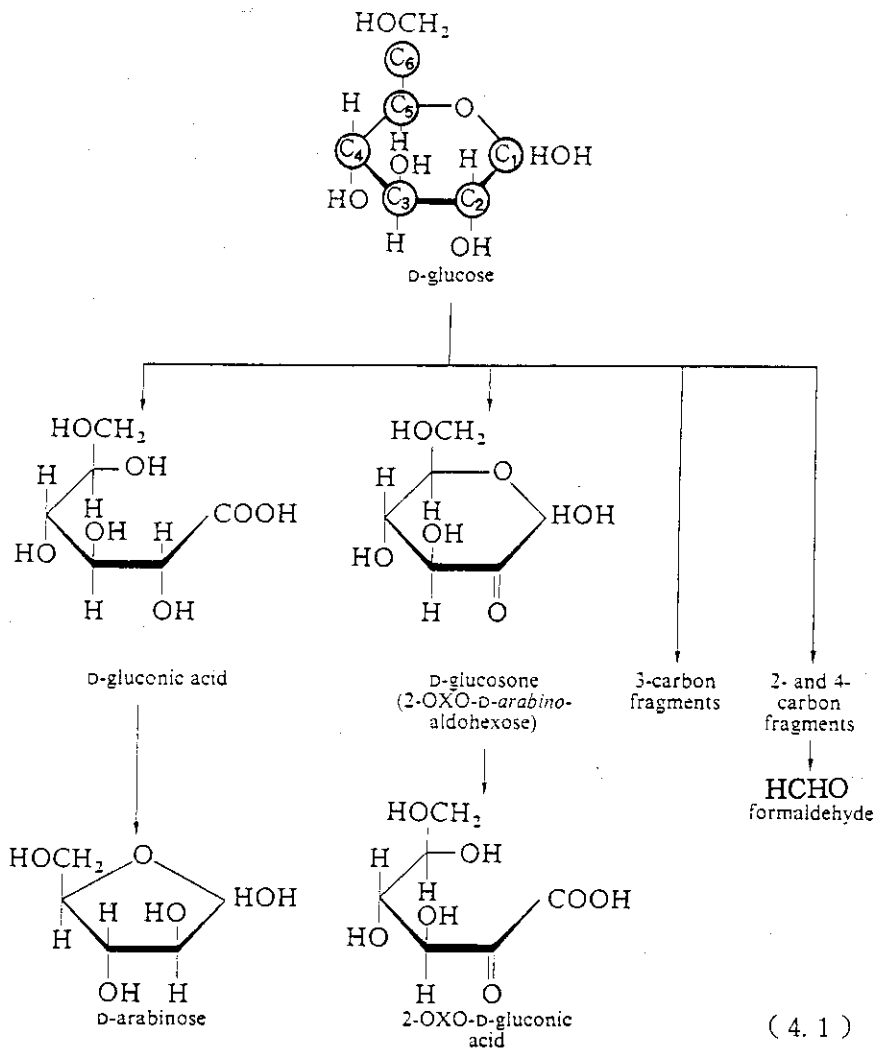
線量測定範囲は、0.01 ~ 4.30 MGy である。

- (4) 同一バッチ内の線量計溶液における線量応答のばらつき及び溶液調製が異なるバッチの線量計溶液を用いた場合の 0.67 MGy の吸収線量における旋光度測定の実現性はともに ± 2 % 以内である。
- (5) 照射中の温度の線量応答に与える影響は 25 °C から 50 °C の範囲ではほとんどなく、25 °C を線量応答を基準とした温度係数は 0.2 % / °C 以下である。
- (6) 線量計の総合的な精度は ± 4 % と見積られる。

4. 化学反応機構について

4.1 化学反応機構と G 値

D-グルコースは、水溶液中で放射線によって無酸素下では、次のように分解すると考えられる²⁰⁾。

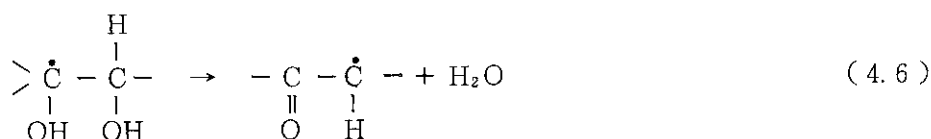
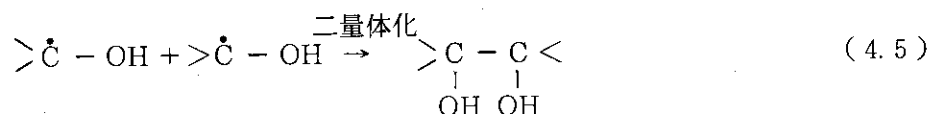
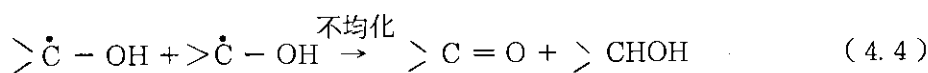
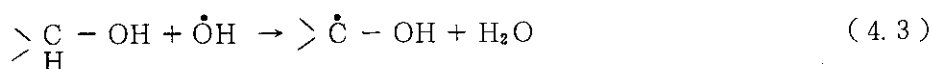


[The scheme is reprinted from "An Introduction to Radiation Chemistry " 2nd Edition, Spinks, J.W.T. and Woods, R. J. (1976)]

水の放射線分解生成物の初期活性種であるHラジカルは、無酸素では次の反応によりOHラジカルを生成する。



上述の放射線分解生成物は、主にOHラジカルがC-H結合からHを引き抜くことに起因する酸化分解反応により生成する¹⁵⁾。



α -ヒドロキシアルキルラジカルの反応(4.4)と(4.5)は競争反応となる。(4.6)で生成したデオキシカルボニルラジカルは、さらに、不均化、二量体化反応を起こしてポリマーを生成する。一方、C-O結合やC-C結合は、 β -脱離により切断される場合もある。

この結果、多かれ少なかれC₅以外のすべてにOHラジカルが攻撃し、D-グルコン酸、D-グルコソソン及びグルクロン酸はそれぞれC₁、C₂及びC₆が攻撃された生成物と考えられる。また、2, 3, 4個の炭素原子からなるカルボニル化合物及びこれらの2次分解生成物として、ホルムアルデヒド(HCHO)、グリオキサール(OHC-CHO)、グリコリックアルデヒド(OHC-CH₂OH)、ジヒドロキシアセトン(HOCH₂-CO-CH₂OH)及びD-グリセルアルデヒド(OHC-CHOH-CH₂OH)が同定されている。これらは、1次分解反応においてC₃またはC₄を攻撃された結果と考えられる。

以上のように反応機構は複雑であり、さらにペーパークロマトグラフィーやRIトレーサー分析等により、分解生成物種を明らかにしていくことが必要である。

20 wt%グルコースの初期分解G値は、次式によって算出される。

$$G = \frac{6.02 \times 10^{23} \times \Delta C \times 100}{6.24 \times 10^{15} \times \rho \times D \times 10^6 \times 10^3} \quad (4.7)$$

ここで、D：吸収線量 (MGy)， ΔC ：グルコース濃度変化量 (mol/l)， ρ ：20wt%グルコース溶液の比重 (1.072 g/cm³) である。G 値は吸収線量の増加に対して減少するが、これは反応が進むにしたがってグルコース分解生成物による阻害反応が起こり分解反応が遅くなるためと考えられる。

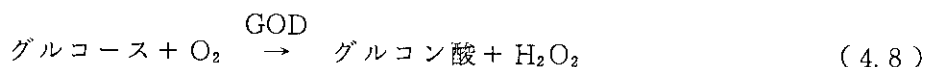
(4.7) 式から 0.024 MGy における G 値を反応初期 G 値として算出した。グルコース濃度変化量は、0.024 ± 0.024 MGy における旋光度変化量から (2.3) 式を用いて求めた。この結果 G 値は 4.1 と求められた。

また、グルコース分解 G 値は、(4.1) 式に示した反応式から、各分解生成物の生成 G 値の和に等しいと考えられる。0.025 MGy の線量における無酸素下の主な各分解生成物の G 値は、グルコン酸、2-デオキシグルコン酸、グルコソン及びデオキシ化合物等 (2, 3 個の炭素原子からなるカルボニル化合物を含む) について、それぞれ 0.2 ~ 0.3, 0.6, 0.4 及び 1.65 である²⁰⁾。これらの和から、グルコース分解 G 値は 2.9 と算出される。この値は、Hills ら²¹⁾、Phillips²⁰⁾ の G 値 3.5 及び本実験で得られたグルコース分解 G 値 4.1 より若干小さい値となった。これは、グルコースの分解生成物の種類が非常に多く、上記以外の生成物の寄与があるためと考えられる。しかし、これらの生成物 G 値は十分明らかにされておらず、特に 2 次分解生成物等の同定及びその生成 G 値の研究が必要と考えられる。

4.2 分解生成物の旋光度への寄与

線量計溶液の旋光度にはこれらの分解生成物の旋光性が寄与していることが考えられる。これを確かめるために以下の実験を行った。

グルコース単独の濃度測定にはグルコアナライザー (島津製作所、クリニカルグルコース計 CGA-101 型) を用いた。グルコースは、グルコースオキシダーゼ (GOD) の介在下において、次式のように酸素と結合することによりグルコン酸に変化する。



グルコアナライザーはこの反応の際に消費される酸素の消費速度を測定することにより、グルコース濃度を定量する装置である。

グルコース溶液は精製水で 50 倍に希釈し、pH = 5 ~ 8 以内に調製しグルコアナライザーで測定した。0 ~ 4.40 MGy の線量範囲について吸収線量と残存グルコース濃度の関係を Fig.10 に示す。グルコース濃度の減少は、Fig. 8 の旋光度減少とよく似た傾向を示すが、Fig. 10 では 4.0 MGy 以上で残存グルコース濃度がほとんどなくなるのに対し、Fig. 8 における旋光度は約 2.0 で飽和する。この差異は、測定される旋光度が残存グルコース単独の旋光度だけでなく、

グルコース分解生成物の旋光度の寄与も含んでいることを示唆している。

5. 簡便化についての検討

ここでは、より簡便なグルコース線量計の開発のため、市販のグルコース溶液の応用、旋光度測定装置の改良、吸光度測定によるグルコース濃度の定量法に関してその可能性の検討結果を述べる。

- (1) 現在、臨床用としてアンプル化された 20 W/V%グルコース溶液が市販されている。これを用いたときの線量校正曲線を Fig. 11 に示す。Fig. 11 は Fig. 9 に示す線量校正曲線とばらつきの範囲内で一致しており、これから市販の溶液も線量計として利用できる可能性を持つことがわかった。しかし、封管されているため 1 MGy 以上の高線量では、発生ガスによる爆発の危険性があると考えられキャピラリーによる通気孔を設けるなどの注意が必要である。
- (2) 本実験では旋光度の測定はバッチ式の測定セルを用いたが、溶液を自動で吸入排出するフローシステムを用いた連続測定により、測定の再現性の向上と測定時間の短縮が可能と考えられる。また、糖度と旋光度変化量の関係を求めておくことにより、糖度計を利用することも可能である。
- (3) 分光光度計を用い、265 nm 付近におけるグルコースの吸光度測定を濃度定量に利用することも可能であるが、非常に高い倍率の希釈を必要とする欠点を持っており、グルコース定量に利用することは実用的でないと考えられる。

6. あとがき

グルコース線量計は照射前及び照射後の線量応答が長時間安定であり、メガグレイ領域の実用線量計として耐放射線性試験への応用等が可能であることが明らかとなった。線量計に用いる試薬等が安価なため線量計溶液を大量に必要とする大型反応器内の平均吸収線量を求める場合などに利用できる。さらに、液体であることを利用して水処理等の流通式の放射線プロセスの線量測定にも用いることが可能であろう。グルコースの放射線分解生成物の同定及びその定量、特に超高線量域における反応機構等の基礎的研究を今後さらに進めていく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、グルコアナライザーによるグルコース定量に関して御助力を頂いた日本原子力研究所高崎研究所、第三開発室玉田正男研究員に厚く御礼申し上げます。

グルコース分解生成物の旋光度の寄与も含んでいることを示唆している。

5. 簡便化についての検討

ここでは、より簡便なグルコース線量計の開発のため、市販のグルコース溶液の応用、旋光度測定装置の改良、吸光度測定によるグルコース濃度の定量法に関してその可能性の検討結果を述べる。

- (1) 現在、臨床用としてアンプル化された 20 W/V%グルコース溶液が市販されている。これを用いたときの線量校正曲線を Fig. 11 に示す。Fig. 11 は Fig. 9 に示す線量校正曲線とばらつきの範囲内で一致しており、これから市販の溶液も線量計として利用できる可能性を持つことがわかった。しかし、封管されているため 1 MGy 以上の高線量では、発生ガスによる爆発の危険性があると考えられキャピラリーによる通気孔を設けるなどの注意が必要である。
- (2) 本実験では旋光度の測定はバッチ式の測定セルを用いたが、溶液を自動で吸入排出するフローシステムを用いた連続測定により、測定の再現性の向上と測定時間の短縮が可能と考えられる。また、糖度と旋光度変化量の関係を求めておくことにより、糖度計を利用することも可能である。
- (3) 分光光度計を用い、265 nm 付近におけるグルコースの吸光度測定を濃度定量に利用することも可能であるが、非常に高い倍率の希釈を必要とする欠点を持っており、グルコース定量に利用することは実用的でないと考えられる。

6. あとがき

グルコース線量計は照射前及び照射後の線量応答が長時間安定であり、メガグレイ領域の実用線量計として耐放射線性試験への応用等が可能であることが明らかとなった。線量計に用いる試薬等が安価なため線量計溶液を大量に必要とする大型反応器内の平均吸収線量を求める場合などに利用できる。さらに、液体であることを利用して水処理等の流通式の放射線プロセスの線量測定にも用いることが可能であろう。グルコースの放射線分解生成物の同定及びその定量、特に超高線量域における反応機構等の基礎的研究を今後さらに進めていく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、グルコアナライザーによるグルコース定量に関して御助力を頂いた日本原子力研究所高崎研究所、第三開発室玉田正男研究員に厚く御礼申し上げます。

グルコース分解生成物の旋光度の寄与も含んでいることを示唆している。

5. 簡便化についての検討

ここでは、より簡便なグルコース線量計の開発のため、市販のグルコース溶液の応用、旋光度測定装置の改良、吸光度測定によるグルコース濃度の定量法に関してその可能性の検討結果を述べる。

- (1) 現在、臨床用としてアンプル化された 20 W/V%グルコース溶液が市販されている。これを用いたときの線量校正曲線を Fig. 11 に示す。Fig. 11 は Fig. 9 に示す線量校正曲線とばらつきの範囲内で一致しており、これから市販の溶液も線量計として利用できる可能性を持つことがわかった。しかし、封管されているため 1 MGy 以上の高線量では、発生ガスによる爆発の危険性があると考えられキャピラリーによる通気孔を設けるなどの注意が必要である。
- (2) 本実験では旋光度の測定はバッチ式の測定セルを用いたが、溶液を自動で吸入排出するフローシステムを用いた連続測定により、測定の再現性の向上と測定時間の短縮が可能と考えられる。また、糖度と旋光度変化量の関係を求めておくことにより、糖度計を利用することも可能である。
- (3) 分光光度計を用い、265 nm 付近におけるグルコースの吸光度測定を濃度定量に利用することも可能であるが、非常に高い倍率の希釈を必要とする欠点を持っており、グルコース定量に利用することは実用的でないと考えられる。

6. あとがき

グルコース線量計は照射前及び照射後の線量応答が長時間安定であり、メガグレイ領域の実用線量計として耐放射線性試験への応用等が可能であることが明らかとなった。線量計に用いる試薬等が安価なため線量計溶液を大量に必要とする大型反応器内の平均吸収線量を求める場合などに利用できる。さらに、液体であることを利用して水処理等の流通式の放射線プロセスの線量測定にも用いることが可能であろう。グルコースの放射線分解生成物の同定及びその定量、特に超高線量域における反応機構等の基礎的研究を今後さらに進めていく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、グルコアナライザーによるグルコース定量に関して御助力を頂いた日本原子力研究所高崎研究所、第三開発室玉田正男研究員に厚く御礼申し上げます。

グルコース分解生成物の旋光度の寄与も含んでいることを示唆している。

5. 簡便化についての検討

ここでは、より簡便なグルコース線量計の開発のため、市販のグルコース溶液の応用、旋光度測定装置の改良、吸光度測定によるグルコース濃度の定量法に関してその可能性の検討結果を述べる。

- (1) 現在、臨床用としてアンプル化された 20 W/V%グルコース溶液が市販されている。これを用いたときの線量校正曲線を Fig. 11 に示す。Fig. 11 は Fig. 9 に示す線量校正曲線とばらつきの範囲内で一致しており、これから市販の溶液も線量計として利用できる可能性を持つことがわかった。しかし、封管されているため 1 MGy 以上の高線量では、発生ガスによる爆発の危険性があると考えられキャピラリーによる通気孔を設けるなどの注意が必要である。
- (2) 本実験では旋光度の測定はバッチ式の測定セルを用いたが、溶液を自動で吸入排出するフローシステムを用いた連続測定により、測定の再現性の向上と測定時間の短縮が可能と考えられる。また、糖度と旋光度変化量の関係を求めておくことにより、糖度計を利用することも可能である。
- (3) 分光光度計を用い、265 nm 付近におけるグルコースの吸光度測定を濃度定量に利用することも可能であるが、非常に高い倍率の希釈を必要とする欠点を持っており、グルコース定量に利用することは実用的でないと考えられる。

6. あ と が き

グルコース線量計は照射前及び照射後の線量応答が長時間安定であり、メガグレイ領域の実用線量計として耐放射線性試験への応用等が可能であることが明らかとなった。線量計に用いる試薬等が安価なため線量計溶液を大量に必要とする大型反応器内の平均吸収線量を求める場合などに利用できる。さらに、液体であることを利用して水処理等の流通式の放射線プロセスの線量測定にも用いることが可能であろう。グルコースの放射線分解生成物の同定及びその定量、特に超高線量域における反応機構等の基礎的研究を今後さらに進めていく必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、グルコアナライザーによるグルコース定量に関して御助力を頂いた日本原子力研究所高崎研究所、第三開発室玉田正男研究員に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) R. Sheldon: Manual on Radiation Dosimetry (N.W. Holm and R.J. Berry, Eds.) Marcel Dekker NY, USA, 411 (1970)
- 2) C. Yamaguchi: Nucl. Inst. Meth. 154, 465 (1978)
- 3) W.L. McLaughlin, R.M. Uribe and A. Miller: Radiat. Phys. Chem. 22, No.3-5, 333 (1983)
- 4) R. Tanaka, Y.S. Yoo and N. Tamura: JAERI M-7000 (1977)
- 5) W.L. McLaughlin, A.C. Lucas, B.M. Kapsar and A. Miller: Radiat. Phys. Chem. 14, 467 (1979)
- 6) W.L. McLaughlin, A. Miller, S.C. Ellis, A.C. Lucas and B.M. Kapsar: Nucl. Instr. Methods 175, 17 (1980)
- 7) A.M. Bishay: Phy. Chem. Glass 2, No.2, 33 (1971)
- 8) A.M. Bishay and S. Arafa : Bull. Amer. Ceram. Soc. 46, 1102 (1967)
- 9) O. Suschny, H. Frittum and H. Eisenlohr : Proc. Sympos. on Solid State and Chemical Radiation Dosimetry in Medicine and Biology, IAEA-SM-78/54, 317 (1967)
- 10) A.K. Pikaev : Radiat. Phys. Chem. 22, No.1/2, 241 (1983)
- 11) V.V. Generalova, M.B. Kishinevskaya and B.A. Vainshtok: Atomnaya Énergiya 26, No.1, 31 (1969)
- 12) R.D. Russell: Int. J. Appl. Radiat. Isot. 21, 143 (1970)
- 13) R. Tanaka, H. Kaneko, N. Tamura and A. Kato: IAEA-SM-272/17, Proc. Sympos. of High-Dose Dosimetry, 203 (1984)
- 14) 小嶋拓治, 田中隆一, 森田洋右, 瀬口忠男, 吉田健三: JAERI-M 86-137 (1986)
- 15) J.H. Hubbell : Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33, 1269 (1982)
- 16) A.P. Dubrunfaut (1846) see in 化学大事典 8, 共立出版(株) 141 (1982)
- 17) R.W. Matthews : Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33, 1159 (1982)
- 18) P.H.G. Sharpe, J.H. Barrett and A.M. Berkley : NPL-Report RS(EXT)60 (1982)
- 19) C.J. Hochanadel and J.A. Ghormley : Radiat. Res. 16, 653 (1962)
- 20) G.O. Phillips : Radiat. Res. 18, 446 (1963)
- 21) P.R. Hills and R.A. Johnson: AERE-R-3750
(Wantage Research Laboratory, Wantage, England) (1961)

Table 1 High-dose dosimetry systems for mega-Gray level

Dosimeter	Radiation effect and analysis	Approx. useful dose range (Gy)	References
Hydrogen pressure system	Increase of hydrogen pressure inside ampoule	$10^5 - 10^7$	1) Sheldon (1970) 2) Yamaguchi (1978)
Plastic film	Degradation and bleaching of dyes measured by spectrophotometry	$10^4 - 10^6$	3) McLaughlin et al. (1983) 4) R. Tanaka et al. (1977)
Alkali halide crystals	Color-center formation measured by spectrophotometry	$10^3 - 10^8$	5) McLaughlin et al. (1979) 6) McLaughlin et al. (1980)
Bi-Pb-Borate glass Mn-As-B glass	Color-center formation measured by spectrophotometry	$10^3 - 10^6$	7) Bishay et al. (1971) 8) Bishay et al. (1967)
Sugar solution	Decrease in optical rotation measured by polarimetry	$10^4 - 10^6$	9) Suschny et al. (1967)

Table 2 Coefficients of variations^{*)}

Dose [kGy]	$\sigma/\bar{x} \times 100$ (%)	Dose [MGy]	$\sigma/\bar{x} \times 100$ (%)
7.4	1.00	1.35	1.10
29.4	1.10	2.02	1.01
73.5	1.11	2.69	1.93
140.7	1.12	4.07	2.12
673.0	1.20	4.28	1.61

*) Variation for 5 samples taken from the same batch of dosimeter solution.

\bar{x} : Average

σ : Standard deviation

Table 3 Variation of Dose response^{*)}

Batch No. Sample No.	1	2	3	4	5
1	8.662	8.776	8.641	8.944	9.038
2	8.749	8.769	8.709	8.614	8.655
3	8.951	8.951	8.857	8.392	8.426
4	8.917	8.924	8.823	8.702	8.742
5	8.836	8.857	8.783	8.715	8.776
\bar{x} ^{**)}	8.768				
σ ^{***)}	0.15				
$\sigma/\bar{x} \times 100$ (%)	1.73				

*) Normalized to the optical rotation readings at 6.23×10^2 kGy

**) Average value of optical rotation.

***) Standard deviation.

Table 4 Effect of Irradiation Temperature
on Optical Rotation α and Optical Rotation
Change $\Delta\alpha^{25}$

Sample No.	35 °C		50 °C	
	α^{25}	$\Delta\alpha^{25}$	α^{25}	$\Delta\alpha^{25}$
1	8.005	0.3735	8.154	0.3551
2	8.150	0.3556	8.055	0.3673
3	8.150	0.3556	8.071	0.3653
4	8.178	0.3521	8.085	0.3636
5	8.261	0.3420	8.193	0.3503
Average Value	8.140	0.3558	8.112	0.3603

α , $\Delta\alpha$ (irradiation at 25 °C) is 8.150, 0.350 respectively.

Dose : 8.37×10^2 kGy

Glucose concentration : 20 wt %

measurement at 25 °C

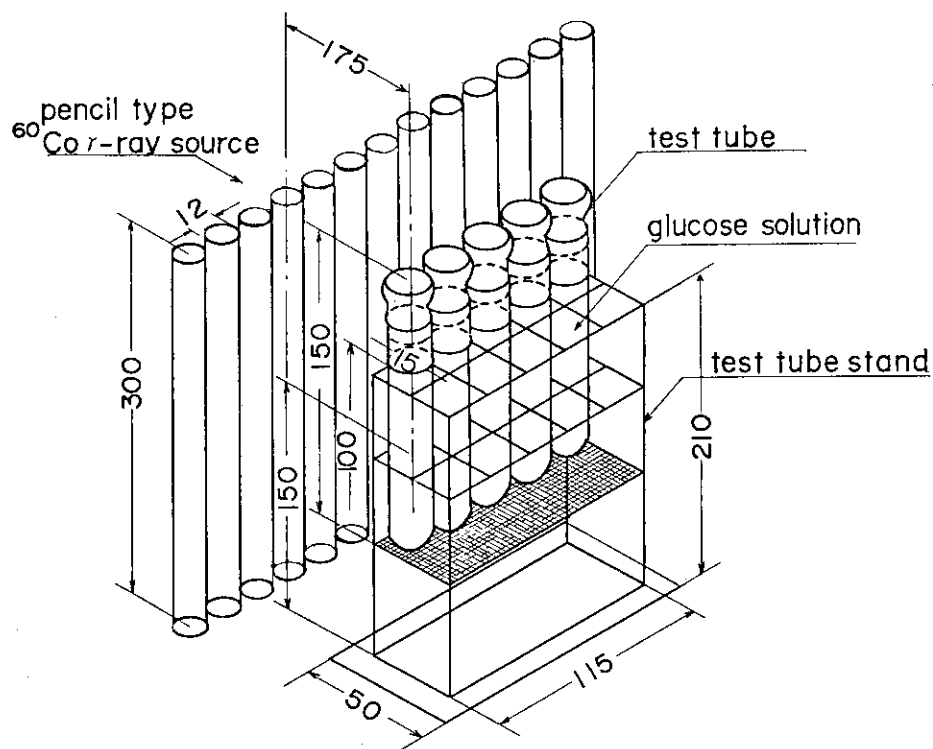


Fig. 1 Irradiation Geometry of Glucose Dosimeter

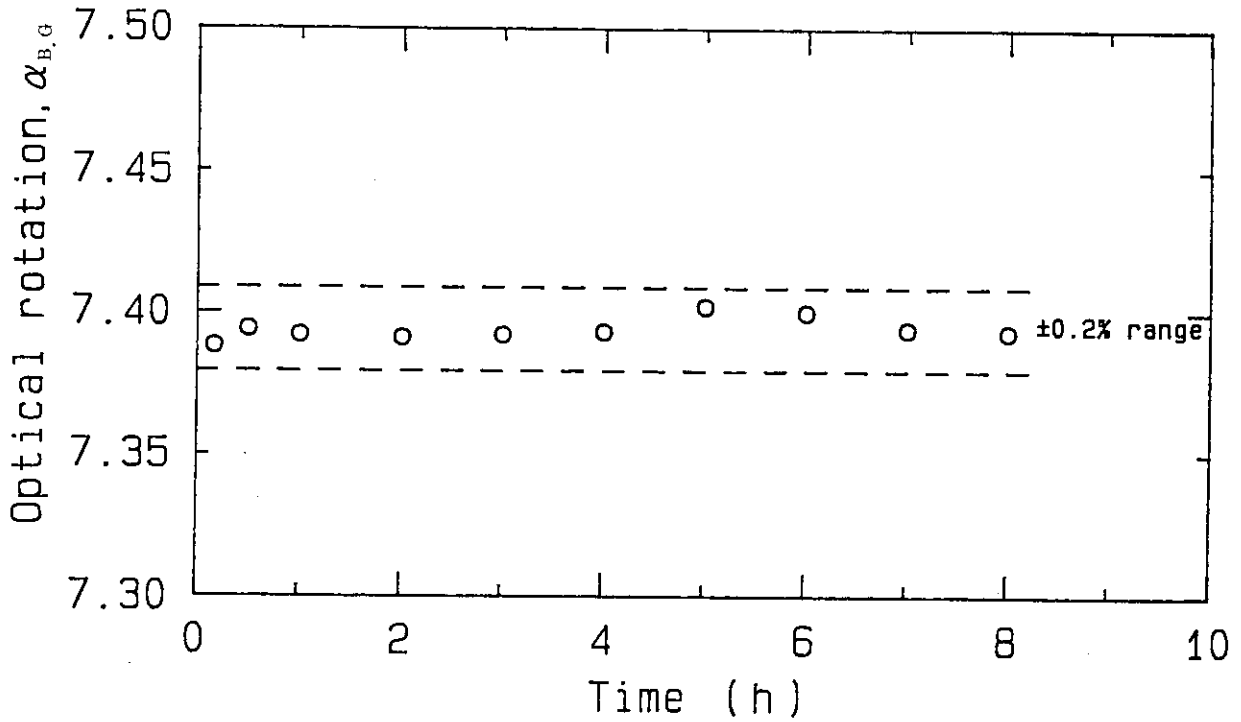


Fig. 2 Stability of spectrometer reading at 25 °C
 $\alpha_{B,G}$: optical rotation of purified water

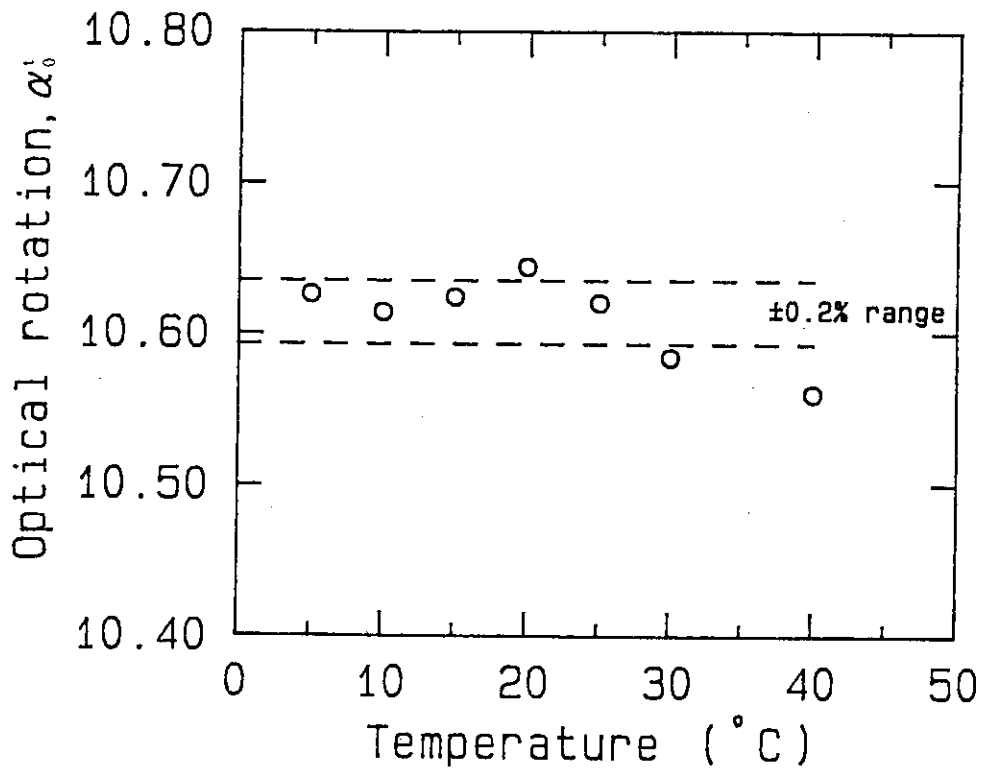


Fig. 3 Effects of measuring temperature on optical rotation of
 dosimeter solution glucose: 20 w/V %

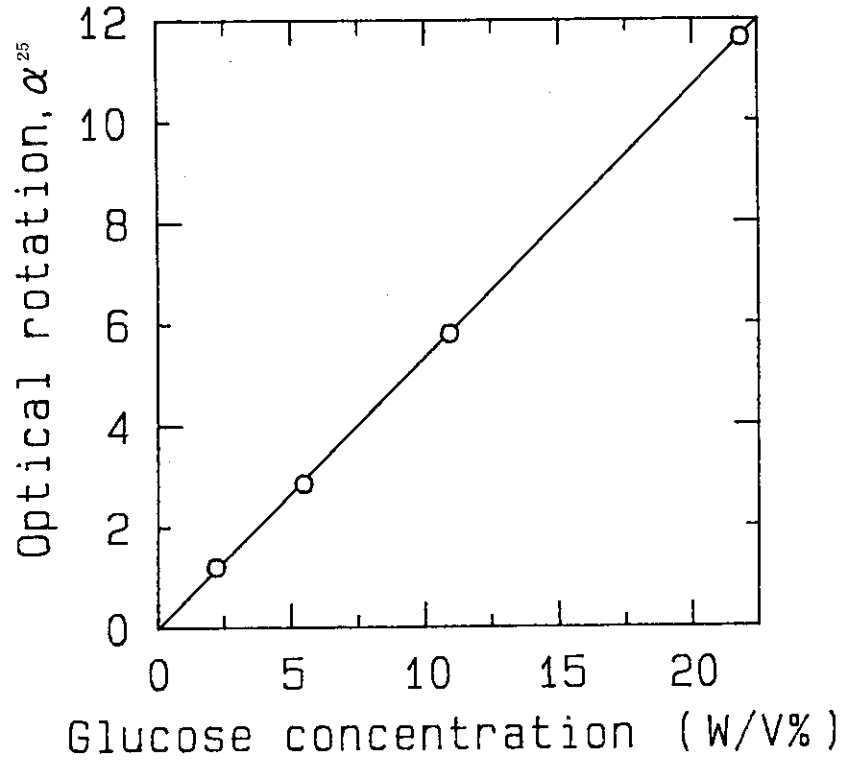


Fig. 4 The relation between optical rotation and glucose concentration

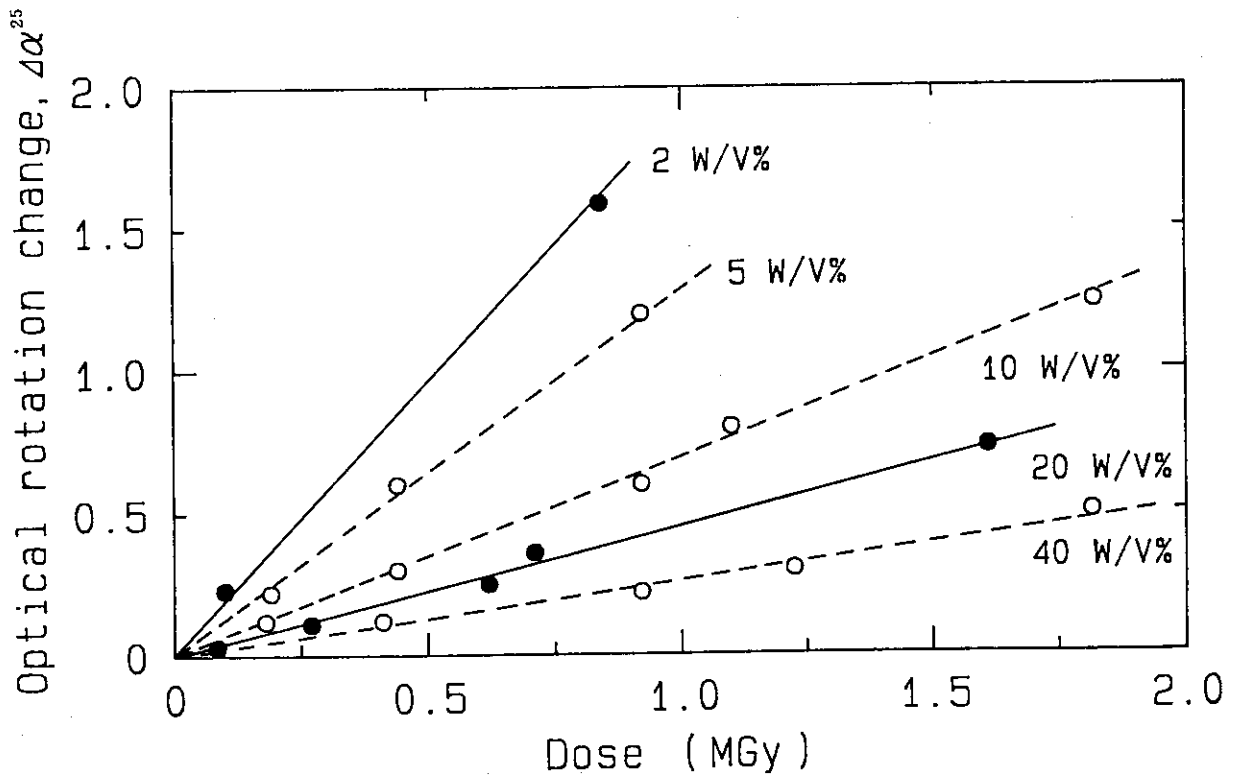


Fig. 5 Dose response curves of dosimeters for different glucose concentrations (—•— this work, - - - ° - - - data from Ref. 11)

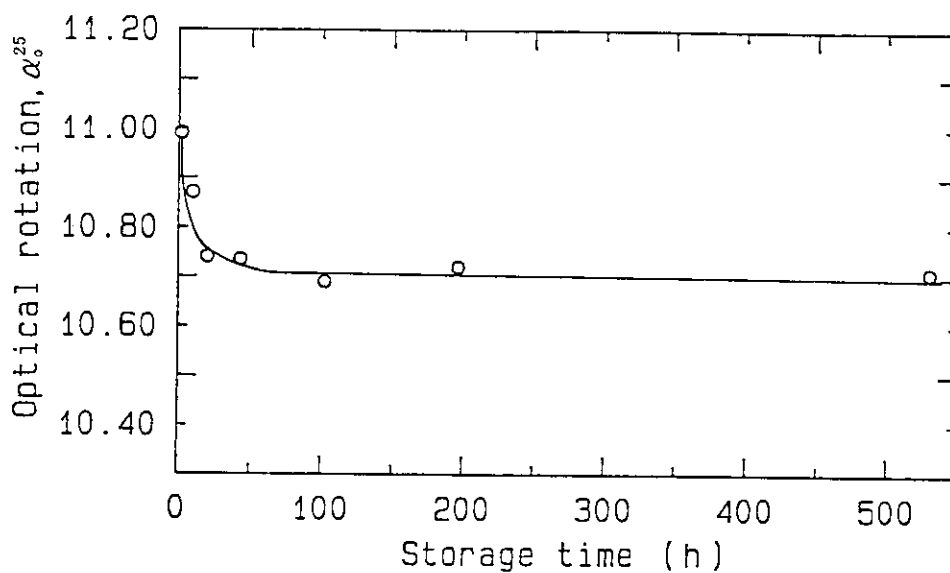


Fig. 6 Stability of optical rotation of fresh dosimeter solution for long time storage. glucose : 20 w/V%

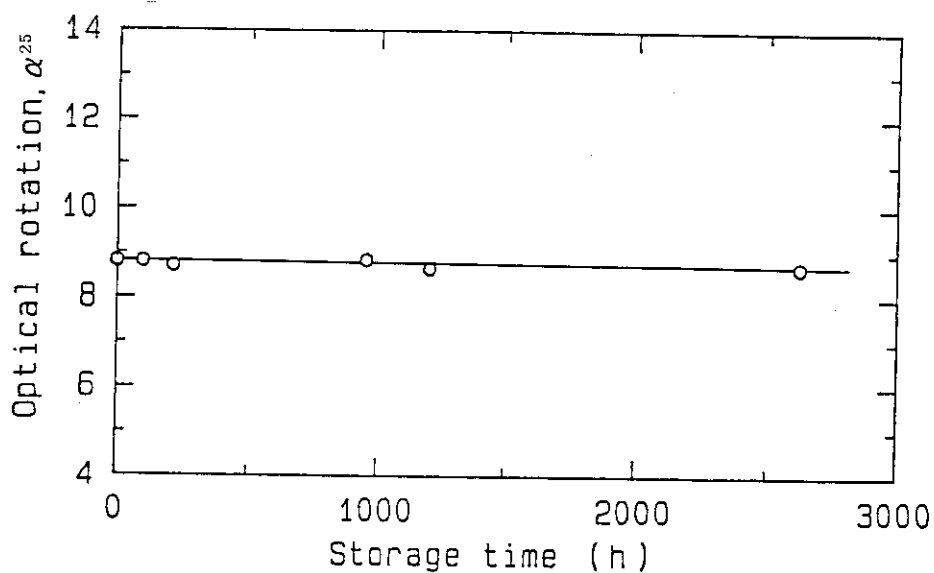


Fig. 7 Long-term stability of optical rotation of irradiated dosimeter solution. Dose : 0.7 kGy glucose : 20 wt %

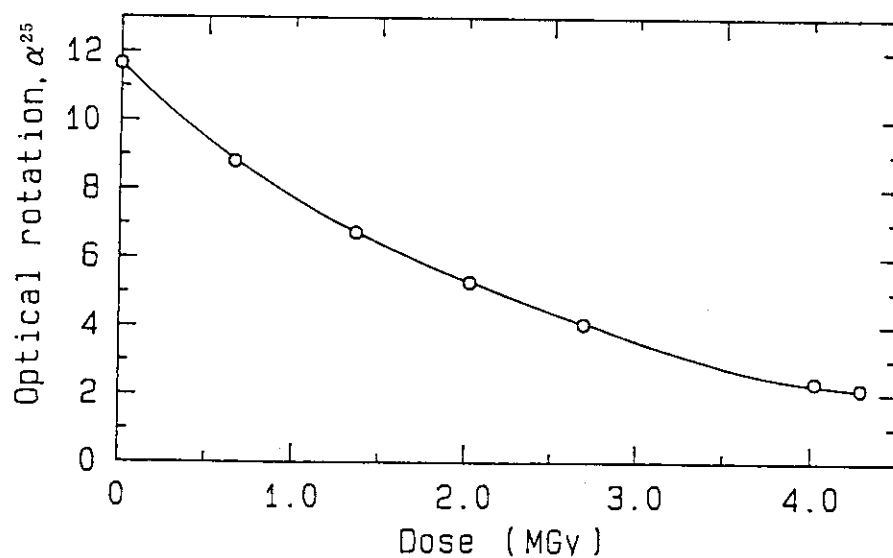


Fig. 8 The relation of optical rotation vs. absorbed dose. irradiation temperature : 25 °C glucose : 20 wt %

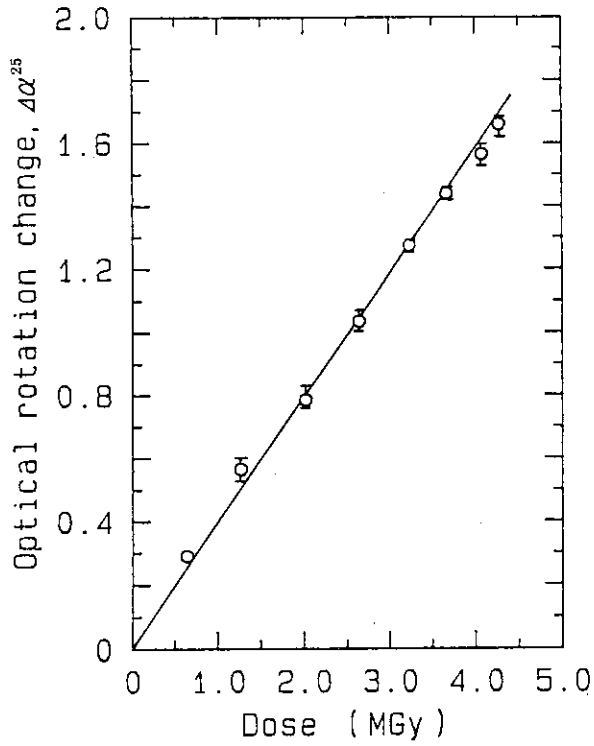


Fig. 9 Dose calibration curve
irradiation temperature : 25 °C
glucose : 20 wt %

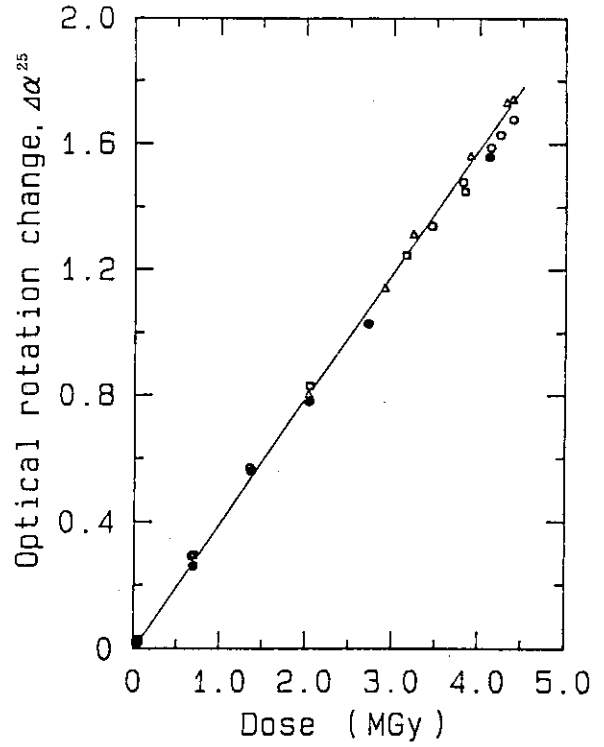


Fig. 11 Reproducibility in dose response curve for different batch of dosimeter solution
irradiation temperature : 25 °C
glucose : 20 wt %
(● batch 1, □ batch 2, ○ batch 3, △ commercial ampoule)

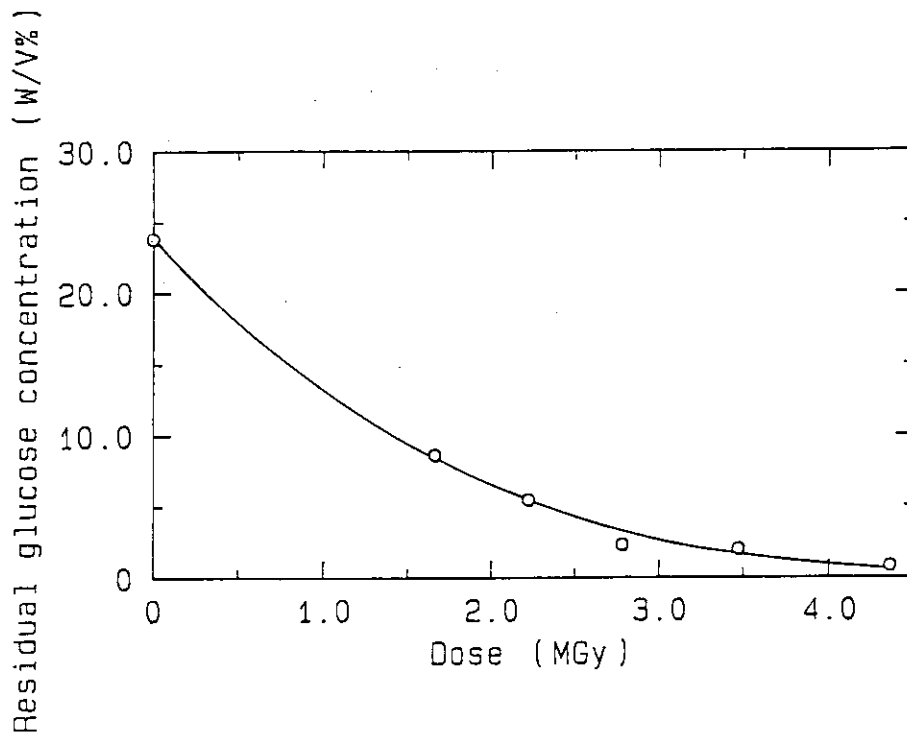


Fig. 10 Residual glucose concentration vs. absorbed dose
measuring instrument : Glucoanalyzer
initial glucose concentration : 20 wt %

付録1 グルコース線量計の標準的な測定手順

グルコース線量計に関する本研究の知見に基づき、以下に標準的な測定手順を示す。

(1) 容器及び器具の洗浄

旋光度測定に用いる器具は中性洗剤で洗浄し、クロム硫酸混液に1昼夜浸漬した後精製水で十分にすすいで乾燥する。線量計の貯蔵容器及び照射容器は、前述の洗浄後線量計溶液に用いるグルコース溶液を満たして10 kGy以上の γ 線照射を行ない、精製水ですすぎ乾燥する。

(2) 水の精製

線量計溶液の調製等に用いる水には、ミリポア超純水製造システムの精製水または以下の手順で精製した3回精製水を用いる。

(a) イオン交換樹脂により原水（水道水）を脱イオン化する。

(b) 脱イオン水に過マンガン酸カリウムと硫酸をそれぞれ1 g/lの割合で加えて蒸留する。

(c) 過マンガン酸カリウムと水酸化カリウムをそれぞれ1 g/lの割合で加え蒸留する。

(3) 線量計溶液の調製

500 mlのメスフラスコに約400 mlの精製水（空気飽和）を入れ、試薬特級のD-グルコース100 gを加え、50℃以下で加温しながら溶解する。精製水を加え20 wt%グルコース溶液とする。これを48時間以上保存し溶液の旋光度が安定した後線量計に使用する。

(4) グルコース溶液の保存

グルコース溶液は濃度が変化しないように密栓をして冷暗所に保存する。使用する際は、攪拌して濃度を均一にし線量計に用いる。溶液は調製後少なくとも3ヶ月は使用可能である。

(5) 照射容器

線量計の照射容器の材質は、グルコース溶液に対して化学的影響を与えずグルコース溶液もしくは水等他の物質が望ましいが、通常はピレックスガラス製を用いる。照射容器の内容積は放射線場を乱さないように十分小さいことと旋光度の測定セルの大きさで決定される。通常の長さ100 mmの測定セルを用いる場合のセル洗浄に要する液量を考えると、少なくとも10 mlのグルコース溶液が必要であり、内径12 mm長さ150 mm厚さ1.5 mmのピレックスガラス製の試験管が適当である。

(6) γ 線照射

グルコース溶液10 mlを照射容器に入れ、軽く栓をする。このような線量計を同時に数本ずつ用意する。照射用のほかに照射しないコントロール用も用意する。コントロール用は照射中を除いて照射前及び照射後とも照射用と同じ所に保存する。 γ 線照射は0.01~4.30 MGyの範囲で行なう。4.30 MGy以上ではグルコース溶液が固化するため注意を要する。

(7) 旋光度測定

旋光度測定は以下の手順にしたがって行なう。液温は5~30℃とする。

(a) 旋光度測定の開始及び終了時には、測定セルに精製水を満たしバックグラウンド $\alpha_{B,G}$ を測定する。この操作を数回繰り返し、測定値の平均値 $\bar{\alpha}_{B,G}$ を記録すると共にこの値をリセ

ットする。このバックグラウンド値を各測定ごとに記録しておき、これから長期間にわたる旋光計の応答安定性をチェックする。安定した値が得られない場合は測定セルのセッティングの適否及び測定セル中の気泡の有無をチェックする。

(b) 未照射及び照射後のグルコース溶液を測定セルに気泡の入らぬように満たし旋光度を測定する。溶液の交換にあたっては測定する溶液を少量用いて測定セルを洗浄する。

(c) 旋光度測定は3回以上行ない平均値を求める。

(8) 吸収線量の評価

未照射及び照射後のグルコース溶液のそれぞれの旋光度測定値 α_0 及び α^{25} から、グルコース溶液の吸収線量 D (MGy)は、次式によって算出される。

$$D = 2.59 \times \Delta \alpha^{25}$$

ここで、 $\Delta \alpha^{25} = -\ln(\alpha^{25}/\alpha_0)$ である。

この算出方法によって得られる線量の精度は $\pm 4\%$ である。

グルコース溶液の吸収線量 D_g から他物質の吸収線量 D_m への換算は次式によって行なう。

$$D_m = \frac{(\mu_{en}/\rho)_{\text{material}}}{(\mu_{en}/\rho)_{\text{glucose}}} \times D_g$$

(μ_{en}/ρ) は、 ^{60}Co γ 線についてのそれぞれの物質の質量エネルギー吸収係数〔Ref.15)参照〕である。

$$(\mu_{en}/\rho)_{\text{glucose}} = 0.02948 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (} ^{60}\text{Co} - \gamma \text{線)}$$

$$(\mu_{en}/\rho)_{\text{water}} = 0.02960 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (} ^{60}\text{Co} - \gamma \text{線)}$$

$$(\mu_{en}/\rho)_{\text{air}} = 0.02661 \text{ cm}^2/\text{g} \text{ (} ^{60}\text{Co} - \gamma \text{線)}$$

付録2 線量校正データ

(1/2)

Sample No.	Dose [kGy]	α^{25} *1)	α_n^{25} *2)	Average value *3)	$\Delta\alpha^{25}$ *4)
1	7.4	11.485	11.409	11.504 (7.3 kGy)	0.011
2	7.4	11.366	11.366		
3	7.2	11.430	11.668		
4	7.3	11.439	11.597		
5	7.4	11.478	11.478		
1	29.6	11.379	11.302	11.478 (29.2 kGy)	0.013
2	29.4	11.420	11.420		
3	29.8	11.422	11.660		
4	29.0	11.417	11.575		
5	29.4	11.431	11.431		
1	74.0	11.192	11.116	11.287 (73.1 kGy)	0.031
2	73.5	11.224	11.223		
3	72.0	11.235	11.469		
4	72.5	11.228	11.384		
5	73.5	11.244	11.244		
1	148.0	10.866	10.793	10.950 (146.0 kGy)	0.060
2	147.0	10.886	10.886		
3	144.0	10.903	11.131		
4	145.0	10.896	11.046		
5	147.0	10.912	10.912		
1	0.68	8.761	8.656	8.818 (0.67 MGy)	0.277
2	0.68	8.794	8.749		
3	0.66	8.816	8.944		
4	0.66	8.842	8.911		
5	0.68	8.880	8.830		
1	1.36	6.750	6.671	6.770 (1.34 MGy)	0.541
2	1.35	6.722	6.687		
3	1.33	6.728	6.825		
4	1.33	6.780	6.835		
5	1.35	6.869	6.833		
1	2.04	5.364	5.301	5.302 (2.02 MGy)	0.786
2	2.03	5.231	5.204		
3	1.99	5.252	5.332		
4	2.00	5.272	5.313		
5	2.03	5.389	5.362		

(2/2)

Sample No.	Dose (MGy)	α^{25} *1)	α_n^{25} *2)	Average *3) value	$\Delta\alpha^{25}$ *4)
1	2.72	4.235	4.186	4.116 (2.68 MGy)	1.039
2	2.71	4.035	4.013		
3	2.65	4.073	4.132		
4	2.61	4.086	4.213		
5	2.71	4.195	4.035		
1	4.11	2.402	2.374	2.432 (4.07 MGy)	1.565
2	4.09	2.387	2.374		
3	4.01	2.423	2.455		
4	4.03	2.428	2.447		
5	4.09	2.522	2.508		
1	4.34	2.180	2.115	2.203 (4.28 MGy)	1.664
2	4.31	2.181	2.168		
3	4.22	2.184	2.215		
4	4.25	2.214	2.232		
5	4.31	2.257	2.245		

*1) Optical rotation are measured at 25°C.

*2) α_n^{25} was optical rotation normalized to the value at average dose of 5 samples.

*3) Average value of α_n^{25} at average dose written in parentheses.

*4) Optical rotation change calculated using α_0^{25} , 11.630.