

Title	水等価ゴムの試作
Author(s)	緩目, 一郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1976, 36(2), p. 143-147
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20284
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

水等価ゴムの試作

群馬大学医学部放射線医学教室 (主任 永井輝夫教授)

緩 目 一 郎

(昭和50年6月26日受付)

(昭和50年9月4日最終原稿受付)

A New Flexible Water-Equivalent Material

Ichiro Yonome

Department of Radiology, Gunma University School of Medicine

(Director: Prof. Teruo Nagai)

Research Code No.: 299

Key Words: Water equivalent material, Compensating filter

Mix DP has been mainly used as phantom for dosimetry and for compensating filter in radiotherapy. However, because of nonflexibility Mix DP is inconvenient to make a phantom with curved surface from it. Then, a new water-equivalent material (Mix R) with good flexibility and elasticity was proposed.

Mix R consisted of polyisoprene and some rubber agents. The effective atomic number and the density of Mix R could be adjusted by adding carbon powder to basic rubber mixture. Mix R had good characteristics for the water-equivalent phantom material as follows:

electron density	$\sim 3.3 \times 10^{23}$
density	~ 1.0
effective atomic number	Z_{τ} 7.3
	Z_{κ} 5.4
elongation percentage	$644 \pm 22\%$
tensile strength	$286 \pm 12 \text{ kg/cm}^2$
hardness ($48 \pm 2^{\circ}$

An X-ray penetrability for Mix R was nearly equal to that for water at 120 kV X-rays, but was slightly smaller for water at 50 and 80 kV X-rays.

1. はじめに

乳癌の電子治療に伴って発生する肺放射線症の防止は、電子線治療をおこなう場合に考慮すべき問題である。芦沢ら¹⁾は各種の物質について電子線の遮蔽効果を検討し、フィルターとしてはアクリル板、健常部の遮蔽板としては鉛が実用的であり、さらに胸壁厚の均一化のためには Mix D²⁾

などの補正ボラスの併用が望ましいと述べている。松田ら³⁾は胸壁厚の不揃を楔形の Mix D で均等にする補償板を使用すると肺障害が著明に減少し、横断写真の所見に基づいて適切な補償板を作製すべきことを指摘している。従来補償板としてしばしば使用されているアクリル板や Mix DP⁴⁾板は固体であるために胸壁のような曲面に使

用する場合には密着性、加工性の面で難点があった。

放射線治療の現場において補償板又はファントムとして使用され易い材料は組織等価物質で柔軟性があり加工が容易な物質であろう。Staceyら¹¹⁾は天然ゴムを機械的、熱的に低分子化した液体状の材料を用いて加熱により固化してファントムを作製しているが、その物質の入手は困難であり、簡便に使用することができない。そこで水等価(組織等価)で柔軟性があり、加工が容易なゴム板を試作したところ実用的にはほぼ満足すべき物質を得たので報告する。

2. 製造方法

配合を決定する目安として、筋肉⁹⁾又は水の原子組成から計算した光電効果に関する実効原子番号(\bar{Z}_e) 7.46, 7.42, 電子密度(n_0) 3.31, 3.36, 密度 P 1.00の値を用いた。

これらの計算には次式を用いた¹⁰⁾

$$\bar{Z}_e^{2.94} = \sum_i \alpha_i Z_i^{2.94}$$

$$N_0 = N \sum_i P_i Z_i / A_i$$

$$\bar{Z}_e = \sum_i \alpha_i$$

但し $\alpha_i = P_i Z_i N / A_i n_0$, N は Avogadro 数, Z_i , A_i は構成諸元素の原子番号, 原子量, P_i は構成諸元素の重量百分率, \bar{Z}_e は電子対創生に関する実効原子番号である。

基礎配合として工業薬品純度のポリイソプレン(日本ゼオンKK製), 硫黄(軽井沢製錬所製), 酸化亜鉛(三井化学KK製), ステアリン酸(日本油脂KK製), NOCCELER CZ(大内新興化学KK製)を用いた。

ポリイソプレンは鎖状の化学構造を有し、架橋剤として硫黄が加えられ加熱されると網目状の立体構造となり、より弾性的になる。酸化亜鉛, ステアリン酸, NOCCELER CZ は架橋反応を能率よく進行させるための助剤である²⁾。

これらの混合物をゴムロールで良く混練りして鉄製の型に入れ、 120kg/cm^2 の加圧下で 150°C 6分間加熱すると均質なゴムが得られる(通常再生できない)。このゴムは密度が0.93で目安よりも

Table 1. Change in electron density, effective atomic number (\bar{Z}_e , \bar{Z}_e) and density by addition of carbon powder to basic rubber mixture.

carbon (%)	n_0	$\bar{Z}_e(\text{I})$	$\bar{Z}_e(\text{II})$	\bar{Z}_k	ρ
0	3.36×10^{23}	7.47	7.56	5.37	0.93
6.14	3.33	7.40	7.50	5.41	0.96
8.55	3.32	7.37	7.45	5.43	0.97
12.30	3.31	7.33	7.42	5.43	0.99
13.71	3.30	7.31	7.40	5.45	1.00
15.75	3.29	7.29	7.37	5.45	1.01

n_0 is the number of electrons per gram of materials.

$\bar{Z}_e(\text{I})$ is the effective atomic number for photoelectric effect that was calculated by power value 2.94 in the formula $\bar{Z}_e^{2.94} = \sum \alpha_i Z_i^{2.94}$.

$\bar{Z}_e(\text{II})$ is also effective atomic number with power value 3.00.

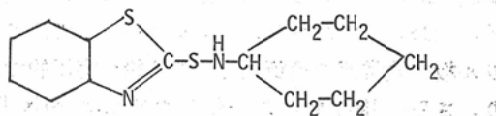
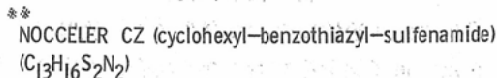
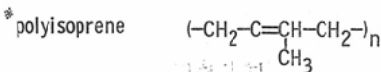
\bar{Z}_e is the effective atomic number of pair production effect. ρ is the density(g/cm^3) of materials.

低いために、加熱前の基礎配合混合物にカーボンブラック(AAケミカル製)を添加することにより密度を調整した。カーボンブラック添加による n_0 , \bar{Z}_e , \bar{Z}_k , ρ の変化をTable 1に示した。近似的に $\bar{Z}_e^{3.00} = \sum \alpha_i Z_i^{3.00}$ 式で計算した結果も併記した。

今回は放射線治療に使用することを主目的とし

Table 2. Composition of Mix R.

polyisoprene*	80.64(w/w, %)
sulfur	2.02
zink oxid	0.81
stearic acid	1.61
NOCCELER CZ**	1.21
carbon black	13.71
100.00	



ため、 $\rho=1.00$ になる組成のものを実験に用いた。以後この組成の物質を Mix R と呼ぶことにする (Table 2)

3. 実験方法

Mix R の諸性質

1) 切断伸び, 引張強さ, かたさ, 密度

加硫ゴムの物理試験法 (J I S K6301) に規定されている方法で切断伸び, 引張強さ, かたさを測定した。密度の測定は Mix R 試験片と試験片を水中に沈めるための錘の重量を蒸留水中で測定し次式により求めた。

$$\rho_R = \{m / [m - (W_2 - W_1)]\} \cdot \rho_w$$

但し ρ_R は Mix R の密度, m は試験片の空気中での重量, W_1 は錘の水中での重量, W_2 は試験片と錘の水中での重量, ρ_w は測定温度における水の密度。

2) X線, γ 線, 電子線に対する性質

i) 撮影領域の X線 (50kV, 80kV, 120kV, 総濾過板 Al 2mm)

Fig. 1 に示されるように, 水槽中にパラフィン

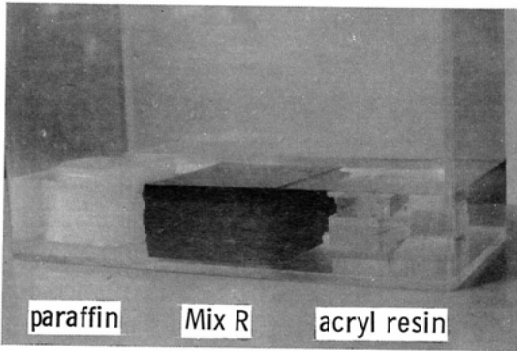


Fig. 1. Paraffin, Mix R and acryl resin in water.

(m.p 56~58°C), Mix R, アクリル樹脂板および水を同じ厚さ (5 cm) に入れて, すべて水中に沈めて X線写真を撮影した。各物質の X線写真濃度を ATAGO 製デンストメーターで測定し, 水の部分の濃度を 100%として各物質の濃度を比較した。

ii) 治療領域の X線 (10MV), ^{60}Co - γ 線, 電子線 (8 MeV, 12MeV)

標準測定法⁶⁾⁷⁾にしたがつて, ラドコン II 型線量計で, Mix R と水の 深部量百分率曲線を求めた。X線, 電子線の発生には東芝 LMR-13 ライナックを用いた。

4. 実験結果

Mix R の諸性質

1) 切断伸び, 引張強さ, かたさ, 密度

切断伸び	644±22%
引張強さ	286±12kg/cm ²
かたさ (J I S 硬度計)	48±2°
密度	1.00±0.01g/cm ³

2) X線, γ 線, 電子線に対する性質

i) 撮影領域の X線 (50kV, 80kV, 120kV, 総

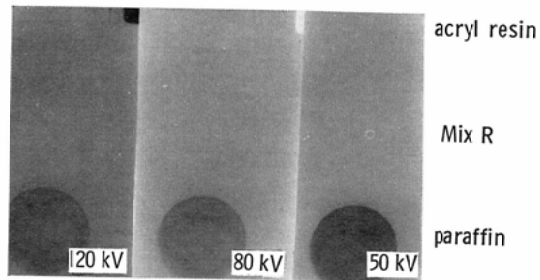


Fig. 2. Radiograph of paraffin, Mix R and acryl resin in water.

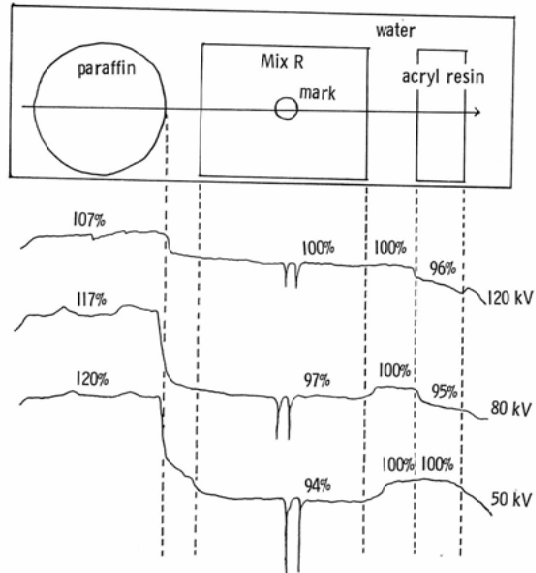


Fig. 3. Density curve of radiograph of paraffin, Mix R and acryl resin in water.

濾過板 Al 2 mm)

Fig. 2, Fig. 3 に示されているように、パラフィンでは50kV, 80kV, 120kV のいずれにおいても最も高い濃度を示した。Mix R は 120kV では水とほとんど同じ濃度であつたが、80kV, 50kV ではわずかに低い値を示した (97%, 74%)。アクリル樹脂板は50kV では水とほとんど同じ濃度であつたが80kV, 120kV では水より低い値を示した。

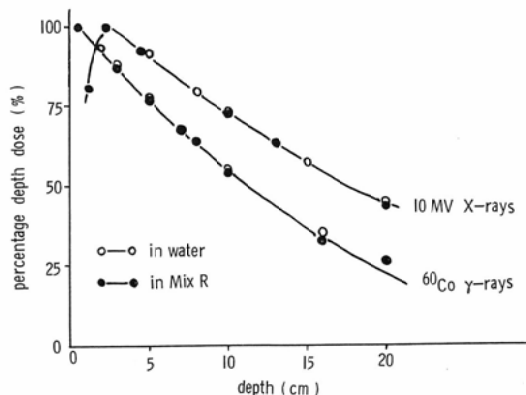


Fig. 4. Percentage depth dose curve for 10MV x-rays and ^{60}Co γ -rays in Mix R and water. ^{60}Co γ -rays: SSD 75 cm, field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$. 10MV x-rays: FSD 100 cm, field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

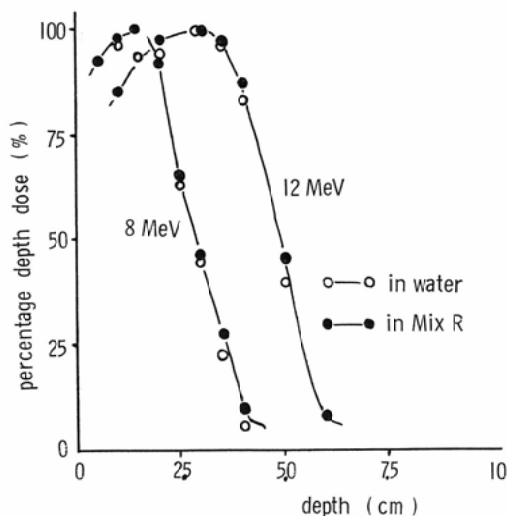


Fig. 5. Percentage depth dose curve for 8MeV and 12MeV electron beam in Mix R and water. 8MeV and 12MeV electron beam: WSD: 90 cm, field size: $12 \times 8 \text{ cm}^2$

ii) 治療領域のX線 (10MV), ^{60}Co - γ 線, 電子線 (8 MeV, 12MeV)

Fig. 4 に10MV X線と ^{60}Co - γ 線に対する Mix R と水についての深部量百分率曲線が示されている。10MV X線, ^{60}Co - γ 線ともに水と Mix R は良い一致を示した。Fig. 5 に8 MeV と12MeV 電子線に対する Mix R と水の深部量百分率曲線が示されている。これも Mix R と水は良い一致を示した。

5. 考 案

東芝 LMR-13 ライナックは出力線量安定性の面から12, 10, 8 MeV のエネルギー設定値になっており、乳がんの術後照射などの場合適当な補償濾過板が必要になる。

Mix R は柔軟性、均質性に富む物質で、胸壁のような曲面に使用する場合には密着性が良く補償板として使用し易い。また鉄型に入れて製造されるために、Mix DP 等では加工が困難である1 mm厚程度の薄板も容易に製造し得る。加熱する前の Mix R 混合物をベンゾールに溶解すると Mix R と同質の糊が得られ、Mix R を接着積層することによつて放射線治療の際の線量分布の補正が容易にできる。

治療領域のX線 (10MV), ^{60}Co - γ 線, 電子線 (8 MeV, 12MeV) に対する深部量百分率曲線において水と Mix R が良い一致を示したことからこの領域では Mix R はファントムとして使用できる。

撮影領域のX線に対する性質は120kV 以上では写真濃度において水と等価と考えても良いと思うが、80kV, 50kV 等の低エネルギー領域では水よりもわずかにX線の吸収が大きい。このことは Mix R に含まれている比較的高原子番号の亜鉛、硫黄の寄与によるものと思われる。

Mix R をこの領域のファントムとして製造する場合にはゴムとしての性質を維持しながら亜鉛、硫黄の量を調整することが問題とならう。Mix R の配合を決定する際の目安として n_0 , $\bar{Z}\rho$, ρ の値を用いるが、 n_0 は高い原子番号の原子を含まなければほぼ一定で 3.3×10^{23} electron/g で

ある⁴⁾。 \bar{Z}_T は $\bar{Z}_T^{3.00} = \sum_i \alpha_i Z_i^{3.00}$ の近似計算式で7.4程度の値を用いれば良いと思う。 ρ は実験的に調整しなければならないが、添加する物質に高原子番号のものが含まれていると、わずかな添加量でも \bar{Z}_T 値に影響をあたえる。この点カーボンブラックのように構成元素が炭素だけで人体組織中にも多量に含まれている物質を用いると調整し易い。

Mix R を製造する場合、混練りに使用するゴムロール、加圧、加熱に使用するホットプレス等通常の医学研究施設には無い設備が必要であることが難点である。

6. 結 語

1) Mix R は柔軟性、均質性のある物質で切断伸び、 $644 \pm 22\%$ 、引張強さ $286 \pm 12 \text{ kg/cm}^2$ 、かたさ (J I S 硬度計) $48 \pm 2^\circ$ 、密度 $1.00 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ であつた。

2) 撮影領域のX線 (50kV, 80kV, 120kV) に対する写真濃度は

50kV: パラフィン > 水 \approx アクリル樹脂 > Mix R

80kV: パラフィン > 水 > Mix R > アクリル樹脂

120kV: パラフィン > 水 \approx Mix R > アクリル樹脂
であつた。

3) 治療領域のX線 (10MV), ^{60}Co - γ 線, 電子線 (8 MeV, 12 MeV) についての深部量百分率曲線では Mix R と水は良く一致した。

4) Mix R の加工性は良くハサミ等で容易に切断できる。又同質の糊を用いて接着積層が可能

である。

6) Mix R は放射線治療の際の補償濾過板、ファントム材料として有用である。

(線量測定などの実験に御協力いただいた群馬大学中央放射線部小山一郎技官並びに各位、製作に御協力いただいた大成ポリマーKKに深謝する。本研究の要旨は第262回日本医学放射線学会関東地方会に発表した。)

文 献

- 1) 芦沢 昭, 前田宏文, 木村昭二郎, 高尾隆三郎, 木下博史, 福島藤平: 術後乳癌胸壁電子線照射で起こる肺炎の防止, とくに補償フィルター, 遮蔽板ないし照射筒の改良, 臨放, 19, 31~42 (1974).
- 2) 古谷正之, 国沢新太郎: ゴム技術ガイドブック, p 154, 日刊工業新聞社 (1973).
- 3) Jones, D.E.A. and Raine, H.C.: A letter to the editor. Brit. J. Radiol. 22. 549 (1949).
- 4) 加藤義雄: 吸収線量測定用ファントムについて, 放射線科学, 16, 199~203 (1973).
- 5) 松田忠義, 三浦剛夫: 乳癌の電子線照射に伴う肺放射線症, 日医放誌31, 1137~1145 (1971).
- 6) 日本医学放射線学会物理部会: 放射線治療における ^{60}Co ガンマ線および高エネルギーX線の吸収線量の標準測定法, 日医放誌, 31, 723~772 (1971).
- 7) 日本医学放射線学会物理部会: 放射線治療における高エネルギー電子線の標準測定法, 日医放誌, 31, 179~185 (1974).
- 8) NBS Hand book 85 "Physical Aspect of Irradiation" p. 4.
- 9) 尾内能夫, 楠本五郎: 水と等価な固型phantomの試作, 日医放誌, 19, 1012~1015 (1959).
- 10) Spiers, F.W.: "Radiation dosimetry" p. 15. Academic Press Inc. New York (1956).
- 11) Stacey, A.J., Bevan, A.R. and Dickens, C.W.: A new phantom material employing depolymerised natural rubber. Brit. J. Radiol. 34, 510~515 (1961).