



Title	中性子線用組織等価物質の試作
Author(s)	平岡, 武; 川島, 勝弘; 星野, 一雄 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1976, 36(5), p. 420-424
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16957
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

中性子線用組織等価物質の試作

放射線医学総合研究所物理研究部

平岡 武川 島勝 弘
星野 一雄 松沢 秀夫

(昭和50年11月13日受付)

(昭和50年12月12日最終原稿受付)

Trial Manufacture of the Tissue Equivalent Material for Neutrons

By

Takeshi Hiraoka, Katsuhiro Kawashima, Kazuo Hoshino
and Hideo Matsuzawa

Division of Physics, National Institute of Radiological Sciences, Chiba, Japan

Research Code No.: 203

Key Words: Tissue equivalent material, Phantom, Neutron

It is quite necessary to use a tissue equivalent material for the radiation measurements and the clinical therapy. Many kinds of the tissue equivalent materials as a phantom, for example, M-3, Mix-D, Mix-DP, some plastics, and some rubber materials have been used for X-rays, Gamma-rays, and electrons.

Fast neutron therapy has been reconsidered for malignant tumors and the use of the tissue equivalent material for the neutrons has been desired. In case of neutrons, atomic composition of the material is very important to estimate of equivalency for soft tissue. ROSSI and FAILLA and SHONKA et al proposed the tissue equivalent material which they made for neutrons. But, the latter is not clear up the manufacturing process and the former dose not include Oxygen atom.

In this paper we described the properties of the tissue equivalent material and cleared up its manufacturing process. The composition of the material by weight is

Nylon X-1874	33.0%
Carbon XC-72	17.0%
Polyethylene UF-4	46.0%
CaF ₂	3.5%
Polyethylene AC # 629	0.5%

Density and resistivity of the material are 1.10 g/cm³ and 77 Ωcm.

1. 緒言

放射線の線量測定や線量分布の測定の際、ファントムは必要欠くべからざるもので、現在まで固

体、液体の多くの組織等価物質が開発されファントム材料として用いられている。X線、ガンマ線、電子線と物質との相互作用においては、実効

原子番号と電子密度がこれらの放射線に対する組織等価性を決める重要な因子となる。水は最も組織等価と考えられているが、液体であるための利点もあるが欠点も大きく、M-3, Mix-D, Mix-DP その他各種プラスチック、ゴム等が組織等価物質として開発されてきた。

ところが、中性子線と物質との相互作用は原子核との反応であるため、ファントムの元素組成が特に重要となる。固体の中性子線用組織等価物質は Rossi 等⁹⁾, Shonka 等¹⁰⁾ によるものが公表されており、ファントムの材料、電離箱や比例計数管等の壁材料として用いられてきた。しかし前者は酸素元素を含まず、又現在製造中止され、後者は製造過程が明瞭にされていない。しかも一般にはなかなか入手できない。

速中性子線の医学利用が再認識され組織等価物質が要求されている現在、どこでも容易に製作されることが望まれる。以下我々の開発した組織等価物質の製造方法を述べる。

2. 方 法

(1) 組織の元素組成

一口に組織と言つても分類学的に見れば数多くに分類され、一般には軟部組織又はその中の一つである筋(肉)を組織と言っている。この組織のはつきりした元素成分はわからず、Table 1 の様に代表的元素だけでも様々であり、近似できる素材として報告されているものも比較のために掲げ

Table 1. Atomic composition of four major elements of soft tissue advocated by many authors.

Soft Tissue	Element (wt%)			
	C	H	O	N
Muscle striated ICRU-10b ⁹⁾	12.3	10.2	72.9	3.5
Wet Tissue Lea (1946) ⁶⁾	12	10	73	4
C ₅ H ₁₀ O ₁₈ N Rossi, Failla ⁹⁾	14.9	10.0	71.6	3.5
Standard Man ICRU ⁹⁾	18	10	65	3
Soft Tissue ICRU-19 ⁴⁾	11.1	10.1	76.2	2.6
Wet Tissue ICRU-13 ⁵⁾	12	10	73	4

た。20MeV 以下の速中性子線と組織との反応に於ては、H(n,n)H 反応による反跳陽子のエネルギー吸収が全体の70%以上をしめ、エネルギーが低下するにつれこの割合が大きくなる。おそい中性子線では H(n,γ)H, N(n,p)C 反応が重要な反応となり、そのため水素と窒素の含有量はできるだけ組織に近い値とする必要がある。我々は ICRU-10b の Muscle と Rossi, Failla の Tissue Approximation を代表的な値とし、水素と窒素の含有量をそれぞれ10.1%, 3.5% (重量%) として用いることにした。

(2) 材料の選択

ポリアミドは窒素と酸素を比較的多く含んだプラスチックである。これと水素含有量の多いポリオレフィンとを基材とすることにした。ポリアミドの代表はナイロンで、現在ナイロン6, -66, -610, -11, -12およびこれらの共重合物が作られている。ポリオレフィンの代表はポリエチレンで製造方法によつて異なるが、一般に密度と分子量によつて性質が大きく異なってくる。そこで性質の異なる8種類のナイロンと密度、分子量の異なる6種のポリエチレン(メルト・インデックスが0.25~22), ACポリエチレン # 629とポリプロピレン1種類の混合を試みた。

(3) 混合及びその順序

ポリアミド35%, ポリオレフィン45%を試験管に入れ、ガスバーナで直接加熱して溶融物をガラス板上に多し、冷却後溶融物の剝離、混合状態などから相溶性をみた。結果をTable 2に示す。その結果ナイロン12とメルト・インデックスの高いポリエチレンとの混合状態が比較的良く、その他の組合せでは相溶性が悪く、溶融混合物は冷却後に層分離を起した(Table 2の(a))。Table 2では○印が良好、×印が不良、△はその中間の成績を示す。次に加熱ロール(ロール温度160~170°C)での混練による相溶性試験を行なつた。この結果もTable 2の(b)に示してある。試験管による相溶性試験の結果と同様にナイロン12以外はポリオレフィンに対して相溶性を示さない。

これらの試験の結果、使用物質と配合量を次の

Table 2. Mixing tests between the polyamide and the polyolefin.
(a) and (b) indicate the results examined with test tube and
the heated roll, respectively.

Polyamide	CM-7001 Co-pol.		CM-4001 Co-pol.		CM-4000 Co-pol.		CM-3001 66		CM-2001 610		1013-B 6		L-1610 12		X-1874 12	
	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
5100E	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	○
M-420	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	○
L-320	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	○
L-300	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	○
F-100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○
#-629	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	△	×
M-131	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
UF-4	×	×	×	×	×	×	△	×	△	×	×	×	△	○	△	○

如く決定した。ナイロンはダイセル社のダイアミド X-1874 で 33.0%，これはナイロン12で密度 1.02g/cm³，融点は 135°Cと我々の検討したナイロンの内では一番温度の低いものである。ポリエチレンは製鉄化学社のフローセン UF-4 で 46.0%，密度 0.93g/cm³，融点は 115°Cの微粉末である。又ロールばなれを良くするため AC ポリエチレン # 629 (カルボン酸を約 15% 含む) を 0.5% 加えた。カーボンは導電性に優れたカボット社のバルカン XC-72 を 17.0% 使用し、ガンマ線に対する特性を良くするため 3.5% の弗化カルシウムを添加した。

ポリマーをロール混練する場合、ロール温度の他にポリマーの添加順序が作業性に大きく影響する。そこでこれらの物質を順番を変えて混練作業手順を検討した結果次の結論を得た。AC ポリエチレン→ナイロン→ポリエチレン→(カーボン+弗化カルシウム) という順序で、約 140°C のロールで混練し素材を作り、プレス加工してブロックとした。

3. 結 果

試作物質の元素成分の重量%の計算値と分析結果を Table 3 に示す。試作物質は 4 バッチから作つたため、各バッチから 0.6mg の 6 サンプル (内大粒試料 3, 小粒試料 3) を任意抽出し、元素分析については F & M 185 型炭素、水素、窒素分

Table 3. Atomic composition of the tissue equivalent material estimated by calculation and analysis. It is shown the calculated values of Spokas's A-150 in the rightest column.

Element	Calculation	Analysis	Shonka (A-150)
C	78.9(wt%)	77.70±1.27	77.6
H	10.1	10.01±0.13	10.1
N	3.5	3.42±0.21	3.5
O	4.8	—	5.2
Ca	1.8	1.63±0.01	1.8
F	1.7	—	1.7

析計を用いた。又原子吸光分析は日立パーキンエルマー 303 型原子吸光分析計を使用しカルシウムの定量をした。これらの分析はダイセル中央研究所に依頼して行なわれた。計算値は分析値と良く一致しており、特に重要視した水素と窒素量は予想通りであることが確かめられた。比較のため Shonka の A-150 組織等価物質の計算値を右欄に示してある。

ガンマ線に対するエネルギー特性を Fig. 1 に示す。図はフォトン・エネルギーに対する質量エネルギー転移係数を計算したもので、実線が軟部組織の値で点線が試作物質の値である。0.2MeV 以下のエネルギーで多少の開きがみられるが、それ以上ではほとんど一致している。丸印は Mix-D の値である。

Fig. 2 には中性子線に対するカーマ値を示す。

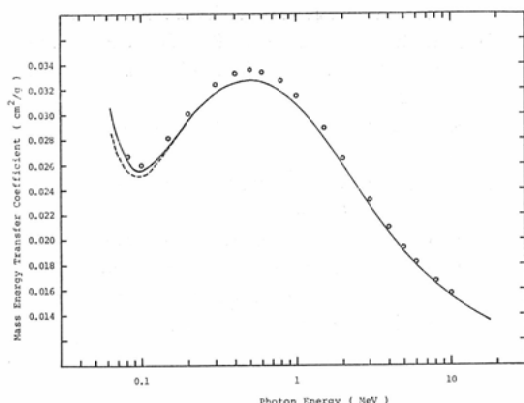


Figure 1. Mass energy transfer coefficients in the tissue equivalent material (dotted line), Mix-D (circle), and tissue of Rossi and Failla's "Tissue Approximation" composition.

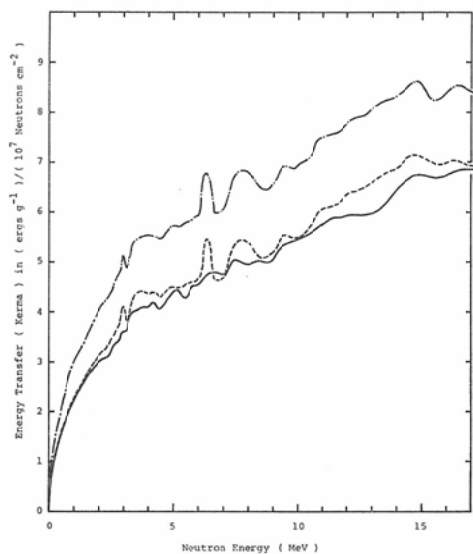


Figure 2. Kerma per unit fluence of fast neutrons in the tissue equivalent material (dotted line), Mix-D (broken line), and tissue of Rossi and Failla's "Tissue Approximation" composition.

点線が試作物質の値で軟部組織の実線の値と比較的良く一致している。エネルギー全域にわたり多少高い値を示しているが、これは組織にくらべて酸素量が少ないことに原因している。比較のため Mix-D の値を一点鎖線で示してある。

その他物理的性質として密度は 1.10g/cm^3 であ

り、比電気抵抗は $\sim 77\Omega\text{cm}$ という値が得られた。

この物質は大部分プラスチック系統の混合物であるが、これらの単体に近い強度があり、施盤加工も容易である。但しブロック加工や型での成型は 130°C 、 100kg/cm^2 程度の加熱加圧加工を必要とする。

4. 考 察

速中性子線、ガンマ線に対するエネルギー特性や種々の物理的性質について一応満足できる組織等価物質を試作することが出来たが、軟部組織にくらべて酸素の大部分を炭素でおきかえてあるため 20MeV 以上の高エネルギーに於て、組織との等価性が悪くなるが、各元素と中性子線との断面積が詳しく求められていないため、この含有量の違いがどの程度の誤差の要因となるかは今の所正確にはつかみ得ない。そこで近似計算によりこの値を求めてみた。各元素のカーマを 40MeV まで外挿し、 35MeV 重陽子の $\text{Be}(d,n)\text{B}$ 反応より発生する速中性子線スペクトル⁷⁾ に対して組織等価物質の平均カーマを求め軟部組織のそれと比較した所約4%高い値が得られ、速中性子線のエネルギーがこの程度以下であれば、実用的にはほとんど問題とならない。酸素含有量の多い物質の添加によりこの点を改良することを現在計画中である。

Shonka 等はナイロン6を使用した⁸⁾がこれは融点が非常に高い温度であるため、我々の混合に於ては層間剝離を起し良好な混合はできなかつた。

ここで使用したナイロンは接着、コーティング用であるためか成型加工した場合の型離れが悪く、一般のシリコン離形材では型ぬきが非常に困難であるが、ポリプラスチック595の使用によりこれらの困難性が取り除かれた。

密度が 1.10g/cm^3 と軟部組織よりも10%も大きい⁹⁾が、組織等価溶液¹⁾を見ても 1.07g/cm^3 であり、STD法で線量測定を行えばこの密度差はさほど問題とならない。

稿を終るに当り元チバフクKKの岡本春雄氏と大日本樹脂研究所の吉村彦二氏に、研究推進のために多大の援助をいただき心より感謝致します。又資料の分析

を心よく引き受けたダイセル中央研究所の諸氏に感謝致します。なお本研究は厚生省がん研究助成金(田崎 旺)の援助を受けた。

References

- 1) Goodman, L.J.: NYO-2740-6 (1969), 207—208.
- 2) ICRU Report 10b, 1962.
- 3) ICRU Report 10e, 1962.
- 4) ICRU Report 19, 1971.
- 5) ICRU Report 13, 1969.
- 6) Lea, D.E.A.: Actions of radiation on living cells, Cambridge University Press, 1946.
- 7) Meulders, J.P., Leleux, P., Macq, P.C. and Pirart, C.: *Phys. Med. Biol.*, 20 (1975), 235—243.
- 8) Rossi, H.H. and Failla, G.: *Nucleonics*, 14 (1956), 32—37.
- 9) Rossi, H.H. and Failla, G.: *Medical Physics*, Vol. II (1950), p. 607.
- 10) Shonka, F.R., Rose, J.E. and Failla, G.: *Proceeding of the Second International Conference on the Peaceful Use of Atomic Energy*, Vol. 21, p. 184, Geneva, 1958.