低出力原子炉を利用した中性子線量校正

西 脇 安* 志 水 秀 文**

A Neutron Dose Calibration by a Low Power Reactor

By Yasushi NISHIWAKI and Hidebumi SHIMIZU

A few methods for neutron dose measurement have been examined. In this paper, a simple method for dose calibration by a low power reactor is introduced. Calibration with the theoretically calculated values of some neutron dosimeters was made. This calibration was based upon the neutron flux values estimated by the activation method using the neutron field of UTR-B operating at 0.1W. On The calibration with the Bendix fast neutron dosimeter and thermal neutron dosimeters, the experimental values were found to be close enough to the theoretical values to be of practical use from the operational health physics stand point.

1. 緒 言

近大原子炉を利用した線量校正の利点は、炉内にたまっている核分裂生成物からの γ 線が比較的よく照射 Space が大きく、場所による中性子束もあまり変りなく、中性子束が方向的に均一なことである。これにたいし普通の原子炉では(a)日常高出力で運転しているため、低出力運転を行って線量校正をしようとする場合たまっている核分裂生成物からの γ 線がつよく、取扱いは容易ではなく校正が正確に行われない。(b)中性子束が方向的に一樣でない。(c)利用できる照射 Space が一般に十分大きくない。(d) Subcritical assembly では測定器自身の poison 効果、遮蔽効果が問題となり、その補正を正確に行うことはかなり問題になるが、目的に適した原子炉があれば、その問題はずっと楽になる。Subcritical assembly ないし、Standard pile を利用した場合、これらも熱中性子束に多少の方向性をもつのが缺点になるが、本方法との優劣は微妙である。速中性子にたいして熱中性子の場合よりその缺点是顕著になる。

今回は例として高速中性子用ポケット線量計及び熱中性子用ポケット線量計について検討した結果を報告する。

2. 計 算 の 基 礎

(1) 高速中性子用ポケット線量計の線量校正法
1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量は第1表の通りである。此の表は、科学技術庁、S. John 氏、Los Alamos Laboratory 報告について計算した。

近大原子炉 (UTR-B 熱出力 0.01W) で実験に使用した中性子源挿入点における中性子の平均エネルギーは約 2MeV で速中性子束は約 $1 \times 10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ である。一方中性子線量計の測定可能範囲は 0~200mrad である。従って $200 \times 8.8 = 1760 \text{ mrem}$ まで測定可能となるので、測定場所 (中性子源挿入場所) における線量校正は熱出力 0.01W 運転で何分間で 200mrad になるかは次式によって計算される。

1) 科学技術庁報告の場合

$$\frac{19,200(\text{n/cm}^2) \times 1760}{1 \times 10^4(\text{n/cm}^2 \cdot \text{sec})} \doteq 3.4 \times 10^3(\text{sec}) \cdots \cdots (1)$$

従って、(1)より UTR-B 熱出力 0.01W 運転で約57分間に積算線量は 200mrad になる。この条件で1分間の積算線量は約 32mrem となる。このようにして求められた値を一般化すると、時間 $t(\text{min})$ と線量 $D(\text{rem})$

* 東京工業大学原子炉工学研究所 (Research Laboratory of Nuclear Reactor, Chemical School, Ground Self Defense Force, Omiya, Japan)

** 陸上自衛隊化学学校研究課 (Tokyo Institute of Technology)

との関係は

$$D=32.0t \cdots (2)$$

となる。これを科学技術庁報告の理論値とする。

2) S. John 氏報告の場合

1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量は 1 週間 40 時間働く人の最大許容線量を 100 mrem, 300 mrem とした場合から算出された値の各々の平均値を採用すると

$$\frac{27,593(n/cm^2) \times 1760}{1 \times 10^4(n/cm^2 \cdot sec)} \approx 4.9 \times 10^3(sec) \cdots (3)$$

従って(3)より UTR-B 熱出力 0.01W 運転で約 80 分間で積算線量は 200 mrad になる。この条件で 1 分間の積算線量は約 22 mrem になる。このようにして求められた値を一般化すると時間 t (min) と線量 D (rem) との関係は

$$D=22t \cdots (4)$$

となる。これを S. John 氏報告の理論値とする。

2. 熱中性子用ポケット線量計の線量校正法

熱中性子領域における 1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量は第 1 表から明らかなように科学技術庁報告と S. John 氏報告とはほとんど相違がないのでこれを統一して $960,000 n/cm^2$ とした。実験に使用した中性子挿入点における熱中性子束は約 $1 \times 10^5 n/cm^2 \cdot sec$ である。一方中性子線量計の測定可能範囲は $0 \sim 120 mrem$ である。従って測定場所(中性子源挿入場所)における線量校正は熱出力 0.01W 運転で何分間で 120 mrem になるかは次式によって計算される。

$$\frac{960,000 \times 120}{1 \times 10^5} \approx 1.1 \times 10^3(sec) \cdots (5)$$

従って(5)より UTR-B 熱出力 0.01W 運転で約 18 分で 120 mrem になる。この条件で 1 分間の積算線量は、6.6 mrem になる。このようにして求められた値を一般化すると時間 t (min) と線量 D (rem) との関係は

$$D=6.6t \cdots (6)$$

となる。これを科学技術庁及び S. John 氏報告の理論値とする。

3. 実験方法

使用した高速中性子用ポケット線量計は、Bendix 社製 No. 0204 熱中性子用ポケット線量計は No. 60076, No. 60077 である。高速中性子用ポケット線量計は中性子と γ 線量の和が測定されるものなので、同時に γ 線の測定は理研製 No. 7963, No. 12487 を使用した。高速中性子用ポケット線量計による γ 線の線量測定値と理研製 γ 線用ポケット線量計の γ 線の線量測定値は体積が一定でも感度が違うので Cs^{137} (2.5Ci) の線源で線量校正を行った。炉内の γ 線のエネルギー数 KeV ~ 数 MeV まで分布しているので 0.7 MeV でピークをもつ Cs^{137} を代表として利用することが有効である。このとき線量校正に使用したのは Victoreen 社 R メータ(測定範囲 $0 \sim 25 R$) である。また熱中性子用ポケット線量計の γ 線による影響をみるためには、この線量計にカドミウムで被覆して熱中性子束を除くべきであるが、これに代って予備実験として Cs^{137} で相対的な γ 線の影響を調べた。

4. 実験結果

(1) 高速中性子線量計の線量校正について

測定場所における中性子の平均エネルギーが 2 MeV で 1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量は第 1 表に示すように、科学技術庁報告と S. John 氏との比較値において前者が後者より 30% 多くなっている。このそれぞれの値を使った高速中性子の線量校正値は、第 2 表第 1 図に示す。

(2) 熱中性子線量計の線量校正について

測定場所における熱中性子の平均エネルギーが 0.025 eV で 1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量は、第 1 表に示すように科学技術庁報告と S. John 氏及び Los Alamos Scientific Laboratory 報告との比較値がほとんど一致したよい値を示している。それぞれの値を使った熱中性子の線量校正値は第 3 表、第 2 図に示す。

第1表

中性子 エネルギー (MeV)	1) Q F	2) 100mrem n/cm ² sec	3) 300mrem n/cm ² sec	ミリレムに相当 する粒子束密度 の時間積分量	1ミリレムに相 当する粒子束密 度の時間積分量	(科学技術庁)4) 1ミリレムに相 当する粒子束密 度の時間積分量
Thermal	3	670	(2000)* 2000	964,800	955,600	960,000
0.0001	2	500	(1500)* 1500	720,000	720,000	480,000
0.005	2.5	570	(1750)* 1700	835,200	817,200	()
0.02	5	280	850	40,320	40,680	()
0.1	8	80	250	115,200	11,988	96,000
0.5	10	30	90	40,200	47,880	38,400
1.0	10.5	18	55	25,920	26,388	28,800
(2.0) 2.5	(8.8) 8	(19) 20	(58) 60	(27,360) 28,800	(27,828) 28,800	(19,200) 16,800
5.0	7	18	(50)* 55	25,920	26,498	14,400
7.5	7	17	50	24,780	24,012	14,400
10.0	6.5	17	50	24,780	24,012	14,400
10~30		10*	30*	41,400	14,400	14,400

() 推定値

()* D. E. Hankins; A Neutron Monitoring Instrument Having a Response Approximately Proportional to the Dose Rate from Thermal to 7.0 MeV, LA-2717, August 20, 1962

1), 2), 3), S. John; Health Physics Instrumentation, 83 (1959)

4) 放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法令集(1960) 告示(22号) 別表第5

第1図 UTR-B 近大原子炉熱出力 0.01W fast neutron flux 約 $1 \times 10^4 / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ (中性子源挿入口)における速中性子線量

第2表 UTR-B 近大原子炉熱出力 0.01W neutron flux 約 $1 \times 10^4/\text{cm} \cdot \text{sec}$ (中性子源挿入口) における速性中性子線量測定

No. 0240	time(min)	0	3	6	9	12	15	20	25	30	35	40
	線量(mrad) γ + neutron	13	26	34	44	55	64	82	96	111	126	142
	線量(mrad) neutron	0	7	15	23	30	37	50	60	73	84	96

第3表 UTR-B 近大原子炉熱出力 0.01W thermal neutron flux 約 $1 \times 10^5/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ (中性子源挿入口) における熱中性子線量測定

No. 60075	time(min)	0	3	6	9	12	15
	線量(mrem)	18	46	68	89	111	132
No. 60076	time(min)	0	3	6	9	12	15
	線量(mrem)	8	31	53	74	95	118
No. 60077	time(min)	0	3	6	9	12	15
	線量(mrem)	23	45	67	85	107	127

第4表

	線源からの距離 50cm 照射時間 5 分	線源からの距離 75cm " 6 分	線源からの距離 100cm " 10 分	線源からの距離 150cm " 6 分	線源からの距離 200cm " 20 分
R. meter	2880mR/hr " "	1250mR/hr " "	720mR/hr	250mR/hr	150mR/hr 150 "
Bendix 社製 Fast Neutron Dosimeter	{2088mrad 2245mr/hr 2076mrad 2242mr/hr	870mrad 936mR/hr	528mrad 570mR/hr	250mrad 270mR/hr	141mrad 152mR/hr
Kelket 社製 Model k113 No. 2346		1230mR/hr "	738mR/hr	370mR/hr	210mR/hr
Kelket 社製 Model k113 No. 2102		1440mR/hr "	828mR/hr	380mR/hr	219mR/hr
Bendix 社製 thermal 用 No. 60075	36mr/hr 24 "				
Bendix 社製 thermal 用 No. 60076	36mrem 45mr/hr 24mrem 3mr/hr	10mrem 1.3mR/hr	12mrem 15mR/hr	10mrem 1.3mR/hr	6mrem 0.7mR/hr 9mrem 11mR/hr
Bendix 社製 thermal 用 No. 60077	60mrem 75mR/hr	10mrem 13mR/hr	12mrem 15mR/hr	10mrem 12mR/hr	3mrem 0.4mR/hr 9mrem 11mR/hr
Bendix 社製 γ 線 用 No. 60077	60mR/hr 24 "	10mR/hr	12mR/hr	10mR/hr	15mR/hr 3mR/hr
理研製 No. 7344		1590 "		480 "

第2図 UTR-B 近大原子炉熱出力 0.01W thermal neutron flux 約 $1 \times 10^5 / \text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ (中性子源挿入口) における熱中性子線量

第3図 中性子線量計に対する γ 線の感度

(3) γ 線の影響について

高速中性子用ポケット線量計と熱中性子用ポケット線量計及び γ 線用ポケット線量計の γ 線に対する感度は違うので、体積一定として、 γ 線に対する感度の相対的違いを $\text{Cs}^{137}(2.5\text{c})$ で調べた。この場合 γ 線の方角の均一性がわるいので問題が残るが、その結果は第4表、第3図に示す。

5. 考 察

(1) この高速中性子用線量計 (neutron + γ 用) は例えば核爆発のように瞬間的に $n \cdot \gamma$ 共に極めて大きな強度で放出されるような場合に対しては、なお難しい問題が多く残っており、その点については今後検討を進めなければならない。

(2) 第1表からわかるように1 mrem に相当する粒子束密度の時間積分量が報告によって違うので、その相対的誤差20%以内で科学技術庁報告、S. John氏報告、また資料は充分でないが Los Alamos Scientific Laboratory 報告と一致することがわかった。熱中性子用中性子線量計の γ 線の影響については Cs^{137} を用いて行なったので、 γ 線が方向的には均一でないが、実験誤差内でその影響のないことがわかった。

対象となる速中性子ないし γ 線は正確にはエネルギー分布を考えて取り扱い、検討解析をしなければならないが、今回はとりあえずそれぞれ代表値をもって表現した。次回この点について報告する予定である。

本研究において御協力頂いた明星大学物理学科主任教授鈴木辰三郎博士 (前陸上自衛隊化学学校長)、理研研究員埼玉大学教授 小林久信博士、上智大学院講師片岡治雄氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 日本原子力学会炉物理専門委員会編原子炉物理実験 (1964)
- 2) 昭和41年度「理工学における同位元素の利用」シンポジウム
- 3) 西脇, 志水; 中性子線量計の線量校正法, 保健物理協議会研究発表 (1965) 要旨集
- 4) G. N. Whyte; Principle of Radiation Dosimetry, Academic Press, (1959)
- 5) D. E. Hankins; LA-2717 (1962)
- 6) H. O. Wyckoff and F. H. Attix; N. B. S. Handbook P. 63 (1959)
- 7) S. John; Health Physics Instrumentation, 83 (1959)

- 8) 科学技術庁：放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法令集 182 (1960) Ionization Chamber, National Bureau of Standards Handbook 64, (1957)
- 9) 日本電気学会：原子力計測器の現状と問題点(1965) 17) 横田, 中島, 上杉: Radioisotopes 10, 387 (1961)
- 10) 森内 和之: 応用物理学会誌 Vol. 35, 84 18) 中村, 志水: 日本原子力学会誌 Vol. 6, No. 3, PP. 129~134 (1964)
- 11) J. A. Dennis; 原子力学会誌 Vol. 8, 36 19) 中村, 志水: 近畿大学原子力研究所年報 Vol. 1, P. 57, 近畿大学原子力研究所
- 12) William J. Price; Nuclear Radiation Detection, (1958) 20) 中村, 志水: 近畿大学原子力研究所年報 Vol. 2, P. 7, 近畿大学原子力研究所
- 13) Lea, D. E; Action of Radiation on Living Cells (1947)
- 14) R. L. Bramblett, R. I. Ewing and T. W. Bonner, Nucl. Instr. Method 9, 1 (1960) 21) 西脇, 本田: 近畿大学原子力研究所年報 Vol. 2, P. 51 近畿大学原子力研究所
- 15) E. B. Wagner and G. S. Hurst, Rev. Sci. Inst. 29, 153 (1958)
- 16) H. O. Wyckoff and F. H. Attix, Design of Free-air

(1966年12月2日受理)