The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	国内における小動物照射可能の大線量熱中性子照射装置について
Author(s)	安河内, 浩; 渡辺, 哲敏
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1964, 24(9), p. 1055-1066
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16985
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

国内における小動物照射可能の大線量熱中性子照射装置について

東京大学医学部放射線医学教室（主任　宮川正教授）
安河内　浩　渡辺哲敏

（昭和39年10月2日受付）

About the High Flux Thermal Neutron Irradiation Spaces for Small Animals in Japan.

Hiroshi Yasukochi, M.D., and Noritoshi Watanabe, M.D.,
Dep. of Radiololgy, Fac. of Medicine, Univ. of Tokyo.
(Director: Prof. T. Miyakawa)

Recently the problems of neutron exposure are discussed also in the part of biology and medicine mainly for the researches on the treatment of malignant diseases, the activation analyses and some biological reactions. In Japan, chances of neutron researches using accerator and reactor are increasing, but in present time, medical and biological researches are greatly limited comparing with that of technological part because such aparatuses are not designed for former purposes.

In this report some capacity of thermal neutron exposure spaces for researches using small animals such as mice, rats and rabbits is discussed mainly on the points of widness of the spaces and data of thermal neutron, fast neutron and gamma ray from our experiences.

For this purpose cyclotron of Tokyo University (in Tanashi) and reactor of Japan Atomic Energy Research Institute (JRR-1 in Tokai) and of Tokyo Atomic Industrial Company (HTR in Kawasaki) are chosen and some experiences are performed using these apparatuses. The results of the spaces and the dosimetries are shown in Table 8. In the point of conveniency, No. 7 hole of JRR-1 is most superior among these three apparatuses because the exposure cage is easily handled in or out during the reactor is working and this space is only one space designed for exposure of animals, but the space is too small, the flux distribution is too ununiform and the stability of flux is too unstable for such experienes as shown in Tables and Figures. In the cases of HTR reactor and cyclotron, these apparatuses are designed without considering the oppotunity for the experiences of biological or medical parts, the spaces for irradiation are constructed temporally using paraffin and lead. Consequently the spaces are enough wide for the experience but it is impossible to change the cage during apparutuses are working. The dimensional uniformity of thermal nertrons is most excellent in the case of HTR in Fig. 17.

Because these apparatuses are mainly designed for technological purposes, a medical reactor or accelorator is expected to be built in near future.

悪性腫瘍の治療，生物実験や放射化分析など生物医学領域においても中性子による実験の報告は近年多くみられる．国内においてもサイクロトロン等の加速器や原子炉等による中性子照射の機会が増加し，今後この方面の利用が更に増えると思われるが，現状は理学，工学的実験に較べ医学，生物学的実験は種々の制約をうけてきているので報告は非常に少ない．この内放射化分析については有機材料照射にも比較的Controlされた照射孔が国内原子炉にいくらかあり，その方法が既知の試料と照射後の放射能を比較して分析することが多く，絶対測定を必要とすることは少ないので，熱中性子の安定はさほど問題にならない．同時に試料は実験中形体保存の必要がなく動物照射と異なりγ線の共存は問題にならない．この論文ではこれを除くことにする．従つてこゝでは主として小動物照射についての現状と我々の知見を報告して諸氏の御助言を期待する．

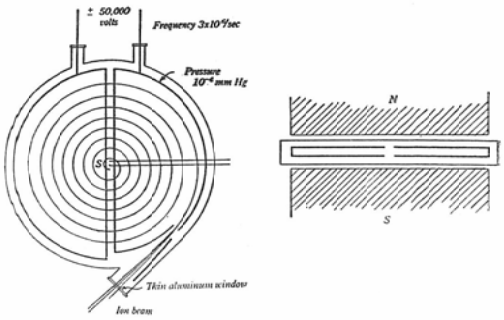
我々は1959年来，熱中性子による硼素のnα反応（$^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$）によつて得られる重粒子，（α線，Li）のエネルギーを利用した，所謂熱中性子捕獲療法に関する研究をし，二，三の発表も行つた[1)2)]．熱中性子捕獲療法の研究の際，その線量分布等についてのデータに一部納得できないものがあつたので，こゝでは国内における大量の熱中性子照射可能な装置のうち，比較的照射空間の広いものについて主として熱中性子の分布，強度等について我々の経験をまとめた．

熱中性子源としては東京大学附属原子核研究所のシンクロサイクロトン[3)]，原子力研究所のJRR-1[4)]．東京原子力産業研究所のHTR[5)]の各々を用いた．他の施設の場合も多くこれに準ずるのでこれらをとつて我々の目的とする熱中性子線源の代表的なもとして述べることができると思う．以下各装置について我々の経験を報告する．

1.　サイクロトロン

原理[6)]

図1に示すごとく交互に高周波電圧がかけられる二つの半円板状のDeeを強力な磁場の中におき，電荷をもつた粒子を渦巻状に加速し標的物質に衝突させる．そこで



horizontal section.　　Vertical section

Fig. 1. Scheme of cyclotron.

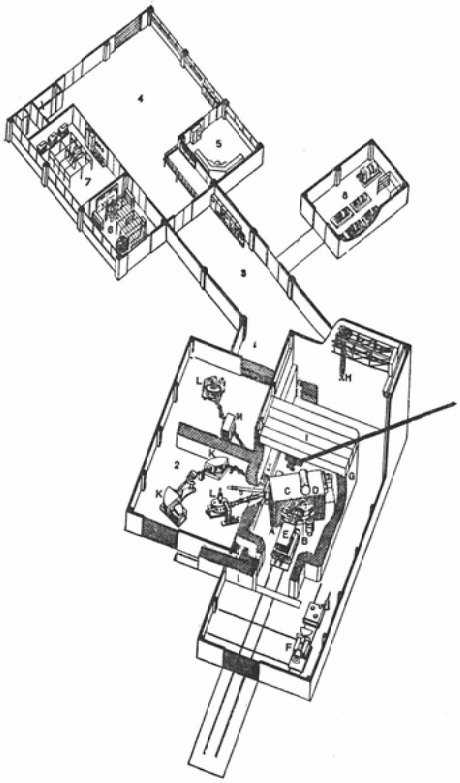
$^{1}_{1}H+^{A}_{Z}(\ \ )\rightarrow^{A}_{Z+1}(\ \ )+^{1}_{0}n$（交換反応）

又は $^{2}_{1}H+^{A}_{Z}\rightarrow^{A+1}_{Z+1}(\ \ )+^{1}_{0}n$（重水素のStripping）のごとくして出来た中性子が照射箱を照射するわけである．

然しこれは高エネルギーの中性子が主であるために熱中性子をうるにはこの中性子を軽い元素と衝突させエネルギーのslow downを行わねばならない．そのために照射箱はパラフインブロックをもつてかこみ，同時に共存するγ線を除くために鉛ブロックをもつて更にそのまわりをおゝつてある．このようにして照射箱内の小動物を照射した．

照射法

東京大学原子核研究所のシンクロサイクロトロンをサイクロトロンとして利用した．この平面図は図2に示す通りであり，そのうち矢印の部分の空間を利用して図3にあるように鉛ブロックおよびパラフインブロックでかこんだ照射箱空間をもうけた．照射箱とサイクロトロンの位置関係は大体図4に示すごとくであり，むしろプロトンビームの方向からはなれた所で，直接ビームの速中性子よりエネルギーの低い分布が多いものと考えられる．照射箱の大きさはサイクロトロン室の関係と重量上の構造的制限を考えれば，現状では手づくりの場合20cm×20cm×40cm位が最大限と考えられる．ラツテ3匹が同時に照射可能である．われわれの実験の際はプロトンビームにする交換反応の中性子源であり，その際サイクロトンのドロツプブローベの電流は16μA程度であつた．



1. Cyclotron room.
2. Detector room.
3. Switch board and electricity supply room.
4. Preparation room.
5. Control room.
6. Power supply room.
7. Transformer room.
8. Generator room.
A. Magnet.
B. Accelerator.
C. Electrode.
D. Particles source.
E. Deutron oscillator.
F. Proton oscillator.
G. Protection wall.
H. Ten ton crane.
I. Protection door.
J. Loophole.
K. Electromagnet for analysing ion.
L. Ion-scattering bath.
M. Electromagnet for focusing ion.

Fig. 2. Figure of cyclotron in Nuclear Research Center of Tokyo University (Tanashi, Tokyo)

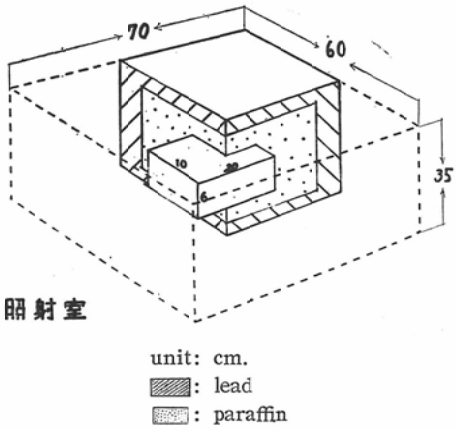


Fig. 3. View of exposure space for animal.

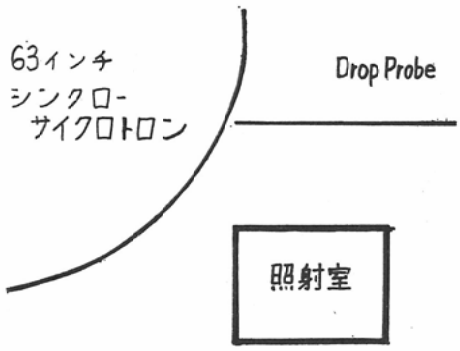


Fig. 4. Position of space for animal exposure.

線量測定

熱中性子のみでなく速中性子及びγ線の共存が考えられるので，この三者について測定を行つた．中性子測定については種々の方法があるが我々は割合に正確であり又簡単な放射化法をもちいた[7]．

熱中性子は金箔を照射箱に貼布し[8)9)]

$$^{197}Au + ^{1}n \rightarrow ^{198}Au \rightarrow ^{198}Hg$$

の放射化によりできた ^{198}Au の放射能を測定した．同時に速中性子については硫黄華をもちい，

$$^{32}S + ^{1}n \rightarrow ^{1}p + ^{32}p \rightarrow ^{33}P$$

の ^{32}P の放射能を測定した．

これより線量を推定する方法は衆知のごとく既知のアイソトープと較正して I_0 を求めた．

γ線については5分間ポケットチエンバー（理

$$A = I_0 N \cdot \sigma \left(1 - e^{-\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} t_1}\right) e^{-\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} t_2}$$

$$I_0 = \frac{A}{N \cdot \sigma \left(1 - e^{-\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} t_1}\right) e^{-\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} t_2}}$$

I_0 : neutron flux ($n/cm^2/sec$)
A : activity of the product (dps)
N : number of the target atom
σ : cross section of the target material (cm^2)
$T_{\frac{1}{2}}$: half life of the product (min)
t_1 : time irradiated (min)
t_2 : time between irradiation & detection (min)

$$A = kC$$

C : counts per second in the detector
k : correction factor of the detector
$$= \frac{3.7 \times 10^3}{\text{cps of the material } 0.1\mu c}$$

Table 1. Estimated dosage of neutrons and gamma rays from cyclotron.

		total neutrons n/cm²/183min.	neutron flux n/cm²/sec.
Inside of exposure space	thermal	1.1×10^{10}	1.0×10^{6}
	fast	1.8×10^{9}	1.6×10^{5}
Outside of lead shield	thermal	1.8×10^{10}	1.6×10^{6}
	fast	5.1×10^{10}	4.8×10^{6}
Gamma rays in exposure space. 15mR/5min.			

研直読式 200mR）を入れてはかり，そのまゝ表1に附記してある．

線量率についてはドロップブローベの電流を常時記録してあつたが照射中ほゞ一定であつたので中性子線束，γ 線もほゞ一定と考えられる．

考按

実験的段階のため主ビームの所で行わず，散乱中性子の空間で行つたために中性子のエネルギーは割合に低い所を利用できたと推測されるが，一方大量の中性子を得るためには相当不利な空間であろうことは充分考えられる．

又この空間を使用すれば照射空間は比較的広くとれるが，Flux の低いことは不利であり，我々の実験においても目的の量をうるには8～10時間もかゝり，動物の生活状態維持が面倒であり，問題がある．勿論医学生物学的利用のためのサイクロトロンが建造されゝば相当に多くの知見が得られるのではないかと思う[10]．

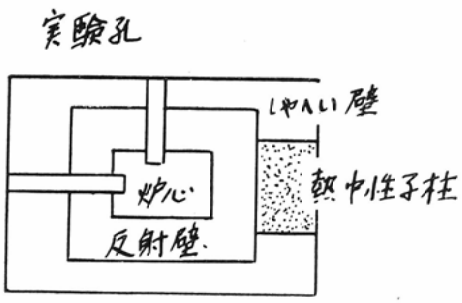
2. 原子炉（動物照射孔）

原理

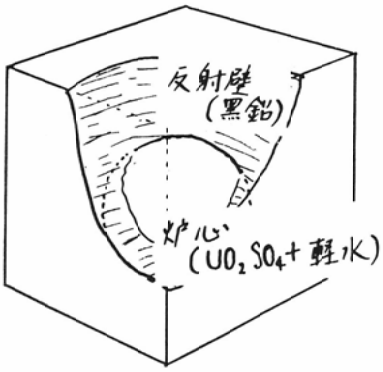
原子炉は一般的には図5（a）に示すごとくであり，Water boiler 型，Swimming pool 型，CP5型，MTR（NTR）型，天然ウラン重水型，天然ウラン黒鉛型などがあり，夫々特長があるが[11]こゝでは省略する．

Table 2. Research reactors in Japan.

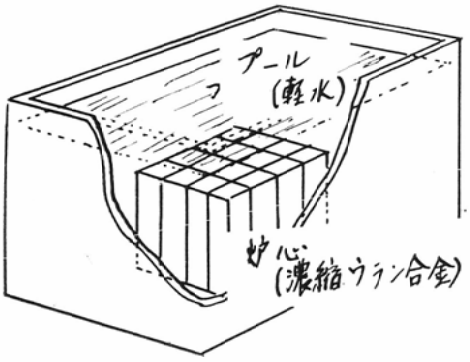
Name of reactor	Address	Type	Maximum energy	Maximum thermal flux (n/cm². sec) neutron	Start of research
JRR-1	JAERI, Tokai, Ibaragi	Enriched uran-water boiler	50KW	1.2×10^{12}	1957 June
JRR-2	〃	Enriched uran-heavy water CP-5	10MW	1.2×10^{14}	1960 Oct.
JRR-3	〃	Natural uran-heavy water	10MW	2.0×10^{13}	1962 Sept.
Kinki University reactor	Kinki Univ., Fuse, Osaka	Enriched uran-water UTR	0.1W	1.0×10^{6}	1961 Nov.
Rikkyo University reactor	Rikkyo Univ., Yokosuka, Kanagawa.	Enriched uran-hydrozirconium TRIGA-II	100KW	4.0×10^{12}	1961 Dec.
Hitachi reactor (HTR)	TAIC, Ozenji, Kawasaki, Kanagawa.	Enriched uran-water	100KW	2.7×10^{12}	1961 Dec.
Toshiba reactor (TTR)	NAIG, Kawasaki, Kanagawa	Enriched uran-water pool	30KW	4.0×10^{11}	1962 Mar.
Musashi Ind. College reactor	MIC, Ozenji, Kawasaki, Kanagawa.	Enriched uran-hydrozirconium TRIGA-II	100KW	4.0×10^{12}	1963 Jan.



a) 一般的な原子炉の図



b) Water-boiler type



c) Swimming pool type

Fig. 5. Mechanism of reactor.

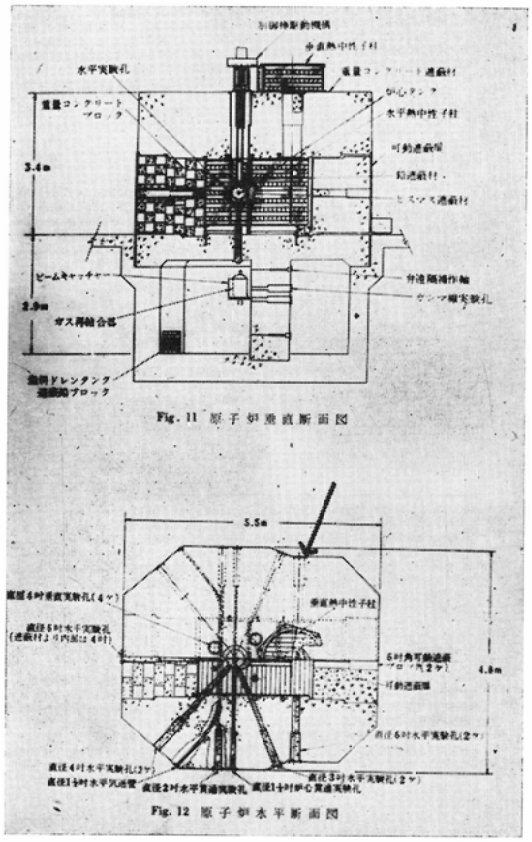


Fig. 6. Figure of JRR-1 reactor.

表2に現在運転中の原子炉について示してあるが，動物照射のごとく比較的広い空間を必要とし，γ線等の汚染，温度，送気など，動物の生存に必要な条件をみたしかつ共存γ線を出来るだけ少なくするためには濃縮ウラン軽水型の研究用原子炉が適しているので，その代表的な日本原子力研究所の JRR-1（茨城県東海村）と東京原子力研究所のＨＴＲ（川崎市玉禅寺）を利用した．

JRR-1 は Water boiler 型といわれるものであり，図5（b）に示すごとく濃縮ウランの塩類を水に溶解されたものが炉心となり，実際の構造は図6に示す．その中を貫通した空間で照射するわけであり，No. 7孔（動物照射孔）は平面図矢印で示す位置にあつて炉心よりはなれ減速した中性子を主として得るようになつている．又炉心部にγ線遮蔽のための蒼鉛板がおいてある．この型のものは安定性がなく経済的な面で優れているが冷却の点で得られる中性子線束が比較的低い点が欠点である．

照射法

JRR-1 のNo. 7孔が動物照射のために設計されているのでその内容を少し記すと，動物を送り込む入口は図7に示すごとくなつており，図8に示

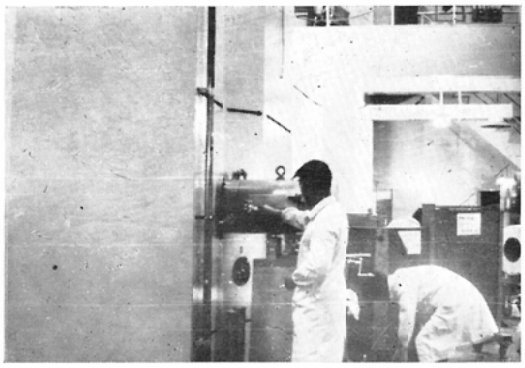


Fig. 7. Entrance of No. 7 hole in JRR-1

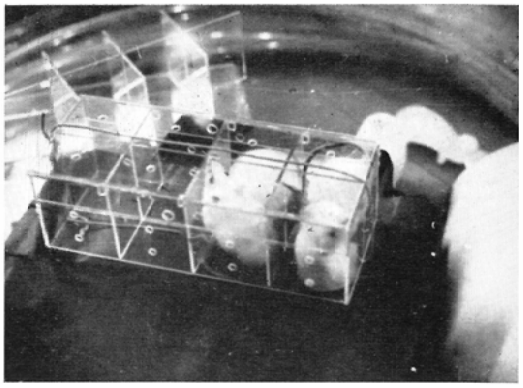


Fig. 8. Mouse exposure box.

すCageに入れてハンドルをまわして入口より中心部へ送り込む，又その時外部からポンプで空気を送り込むことにより，マウス16匹までが同時照射約4時間程度可能であるようにつくられている．そのために炉の運転中随時出し入れが可能で

Table 3. Thermal neutron flux of No. 7 hole in JRR-1. as calculated from 1961 to 1963 (at top of cage-exposure box)

Date.	Exposure time(min.)	Neutron flux (n/cm²· sec)	Date	Exposure time(min.)	Neutron flux (n/cm²·sec)	Date	Exposure time(min.)	Neutron flux (n/cm²· sec)
16-Oct. '61	3	5.0×10^{7}	29-Jan. '63	15	3.0×10^{7}	23-Apr. '63	15	6.9×10^{7}
30-Nov. '	3	1.6×10^{8}	〃	〃	2.9×〃	〃	〃	6.8×〃
27-Jan. '62	10	5.2×10^{7}	〃	〃	3.0×〃	〃	〃	5.7×10^{6}
〃	〃	1.8×〃	〃	〃	3.0×〃	14-May '63	15	5.4×10^{6}
〃	〃	3.0×10^{5}	〃	〃	4.8×10^{6}	〃	〃	7.2×〃
〃	〃	8.0×10^{7}	〃	〃	5.7×〃	〃	〃	6.0×10^{5}
〃	〃	3.0×〃	〃	〃	6.0×〃	〃	〃	1.1×10^{6}
22-May '62	15	7.2×10^{6}	〃	〃	6.3×〃	〃	〃	4.5×〃
〃	〃	8.4×〃	〃	〃	1.8×10^{8}	〃	〃	9.0×10^{5}
〃	〃	7.2×	〃	〃	1.6×	〃	〃	1.0×10^{6}
〃	〃	3.0×〃	〃	〃	1.7×〃	〃	〃	1.5×〃
〃	〃	7.2×〃	〃	〃	2.1×〃	〃	2	2.0×〃
〃	〃	7.5×〃	〃	〃	1.5×〃	5-June '63	90	3.5×10^{7}
〃	〃	6.6×〃	〃	〃	2.0×〃	〃	〃	3.5×〃
〃	〃	2.7×〃	〃	2	1.1×〃	27-June '63	3	6.3×10^{7}
13-June '62	15	9.5×10^{7}	〃	15	1.5×〃	〃	5	8.1×〃
〃	〃	8.0×〃	〃	〃	1.8×〃	〃	60	7.5×〃
〃	〃	9.1×〃	〃	〃	1.7×〃	〃	90	7.6×〃
〃	〃	8.1×〃	〃	〃	1.9×〃	28-Jan. '64	120	7.5×10^{7}
〃	〃	8.8×〃	〃	〃	2.0×〃	〃	〃	3.7×〃
〃	〃	7.9×〃	〃	〃	1.5×〃	〃	15	2.5×〃
〃	〃	7.7×〃	〃	〃	2.3×〃	〃	60	3.6×〃
〃	〃	6.7×〃	13-Mar.'63	60	1.3×10^{8}			
〃	10	7.6×〃	〃	〃	8.6×10^{7}			
〃	〃	6.9×〃	〃	〃	5.6×〃			
〃	15	6.4×〃	〃	2	7.5×〃			
〃	60	6.0×〃						

あり，実験のたびに炉の運転を中止しなくてよく，いろいろの実験孔を同時に使用できるので多目的使用のためには非常に便利であるが，動物送り込みの Indicator が不完全であるため，実際に動物が奥まで行つたどうかは Cage に距離目盛をつけたひもを送り込み位置を確認しなければならないなどの容易に改良できそうな構造上の欠点はある．

線量測定

サイクロトロンの場合と同様速中性子測定は硫黄華の放射化法で，又熱中性子は金箔の放射化で測定した．

硫黄華は1グラムを2時間照射した後誘導放射能を測定したが，ほとんど測定不能であるほど少なく速中性子の寄与は無視できた．

金箔は10～20mg/cm² のものをもちいて測定し，前述の式で計算した結果を表3に示す．測定器は Well 型シンチレーションカウンターを利用した．

表3に我々が行つた実験時の熱中性子のデータのすべてが示してあり，熱中性子線束はすべて炉心に一番近い点の測定値又は推定値を示してある．又それを図にしたものが図9である．

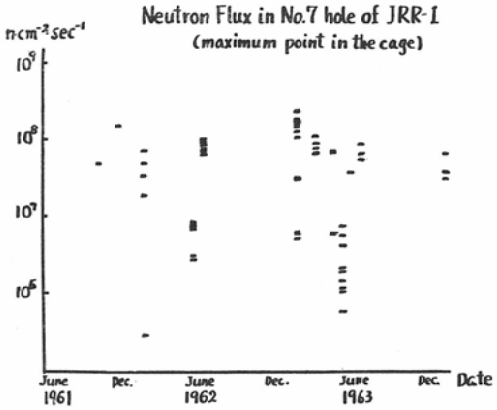


Fig. 9. Thermal neutron flux of No. 7 hole in JRR-1 as calculated from 1961 to 1963 (at top of cage-exposure box)

各回の実験において照射箱の高さの中点の面について夫々3～10点の測定をしたが，この場合の平面分布の数例を図10に示す．

又立体的な分布の一例を図11に示してある．

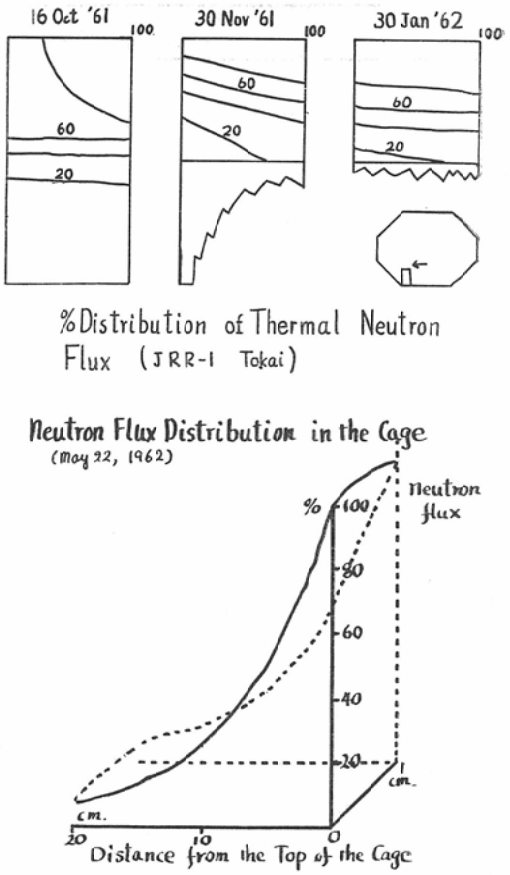


Fig. 10. Two dimension distribution of thermal neutron.

これらはいづれもマウスを入れた場合であるが，マウスを入れない場合でも図12に示すごとくほとんど熱中性子分布には差がないと考えられる．Cd.-Ratio[12]については表4に示す．

最後に平面分布の一つの indicator として，Cage の先端と中心（先端より10cmの点）で熱中性子束の比を求めてみた．このように平面分布で差が非常に大きいので，実験の場合には各動物について線量を測定しなければ問題である．

又これらの中の或る場合は照射 Cage を入れるレールの指標の故障に気附かずに，孔の最尖端まで入つていなかつた場合も考えられるが，定長のひもをつけて実験をした後半の実験においても多くの経時又は経日変動があることは事実である．

従つて熱中性子の積分値は測定可能であるが，

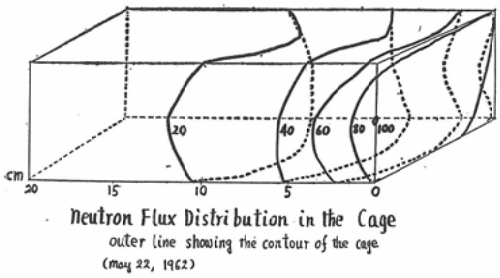
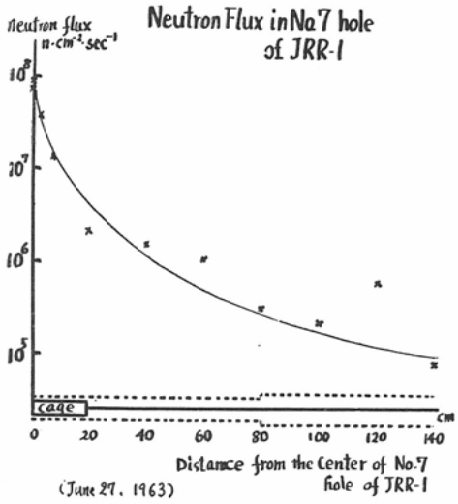
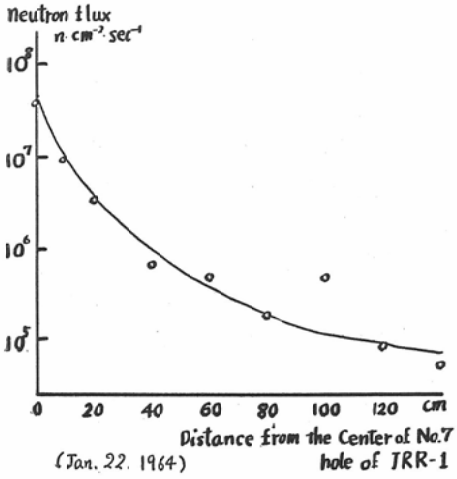


Fig. 11. Three dimension distribution of thermal neutron.



a. with 4mice



b. without mice

Fig. 12. Disturbance by mice on thermal neutron flux.

Table 4. Cd-ratio

Date	position	Cd-ratio	neutron flux n/cm²·sec	exposure time min.
1962 June 13 (12)	Top of cage	0.3	6.0×10^7	60
	〃	0.1	〃	〃
	10cm from top.	1.6	1.3×10^7	〃
	〃	0.7	〃	〃
1963 Mar. 13 (3)	Top of cage	2.5	5.6×10^7	〃
1963 Apr. 23 (1)	〃	1.1	6.9×10^7	15
	〃	1.2	〃	〃
	5 cm from top	2.0	2.8×10^7	〃

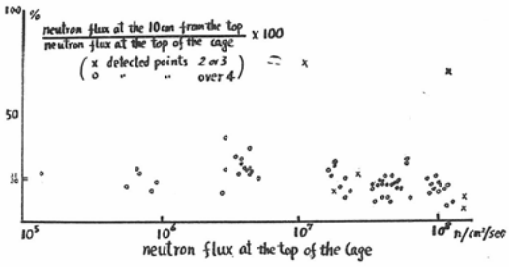


Fig. 13. Indicator for thermal neutron distribution

中性子線束の経時変動（中性子 flux）を監視することは現状では不可能であつた.

γ 線測定については種々の方法があるが，動物照射には一番問題の点でありながら確定した測定法はない．又既出の報告値にも少なからぬ疑問がある．こゝではフイルムバツヂ[13]，ガラス線量計[14]およびチエンバーで測定したが，動物の致死率等より考えるといさゝか疑問がある．γ 線測定の詳細は別の機会にゆずり，こゝでは表5に各々の場合の種々な条件での実測値を羅列し，簡単な推定

Table 5. Gamma ray dose in No. 7 hole.

Method of calculation.	gamma ray dose (R/h)	
Ionization chamber (Radcon 606)		
Non-covered	730— 750	300— 400
1 mm Cd covered	1100—1200	
5 cm Paraffin covered	570— 590	
Glass plate		
1 mm Sn covered	1500—1600	180— 250
1 mm Cd covered	660— 750	
Film badge		500—1000
Lethal effect on mice		under 300

値をまとめてある.

γ 線の線量について従来報告されている10^3R/hという値は単にチエンバーを挿入した時の見てくれの値のようであり，我々の実験時のマウスの全身照射による死亡率が，予想よりはるかに少ないことより，実際は2×10^{2}R/h より大分少ないのではないかと想像される．従つてこれらの評価について我々は考按をさしひかえ単に事実のみを表にしてある.

考按

JRR-1, No. 7孔は現在国内にある原子炉の内，小動物照射を考慮した唯一の照射孔であり，運転を中止することなく隨時照射できるという点では相当工夫のあとがみられる．然し既に述べた如く中性子線束の空間分布が非常に不均一であり，又時間的な変動も非常に大きいために実験時予定線量をきめておくことはまず不可能であると同時に再現することは困難となる．更に炉の管理体制から当然のこととして生物利用にはあまり注目されていない.

以上の理由から JRR-1, No. 7孔を使用する場合は被照射体1ケについて1回の照射量毎に適当な手段をもつて熱中性子の量等を測定することが必要不可欠であり，使用者はこの点厳重に吟味する必要がある.

従つて JRR-1 の No. 7孔については少なくとも既出のデータを参考にして照射時間のみで熱中性子量を算出した報告は価値のないものと見なければならない.

熱中性子線束強度がこのように不安定であるのは勿論医師である我々の推測の遠く及ばない所であるが，原子炉のほゞ99%以上が理工学的目的の研究に使われているためと，炉の設計が国内で始めてゞあり特に生物系の意見が入る余地がなかつたゝめか，No. 7孔についてはその使用にあまり注意がはらわれていない[15)16)17)]．又使用者も最近までほとんどないためにこのような疑問が公表されていないこともあつてか，これらの点について確固たる説明をうけていない.

同じように送り込みレールの指示の不正も我々の指摘により始めて気附かれたが，未だ修理又は改善されていないので多くの利用者は非常に線束密度の少ない途中の部分で実験を行つているのではないかと考えられるなど，今後の問題として大きいであろう.

3. 原子炉（熱中性子柱）.

原理

既に述べたごとく JRR-1 は運転時間を一日5～6時間ときめ，スケージュールを1週単位で組んでいるために，多くの実験を行うのには（特に気送管など）便利であるが，熱中性子柱の閉開は数日単位となる．従つて動物実験は行えない.

熱中性子柱は動物照射孔と異り，相当広い空間があり，又中性子線束がほゞ一定しているので動物実験には非常に便利である．このために東京原子力産業研究所のＨＴＲ炉を使用した.

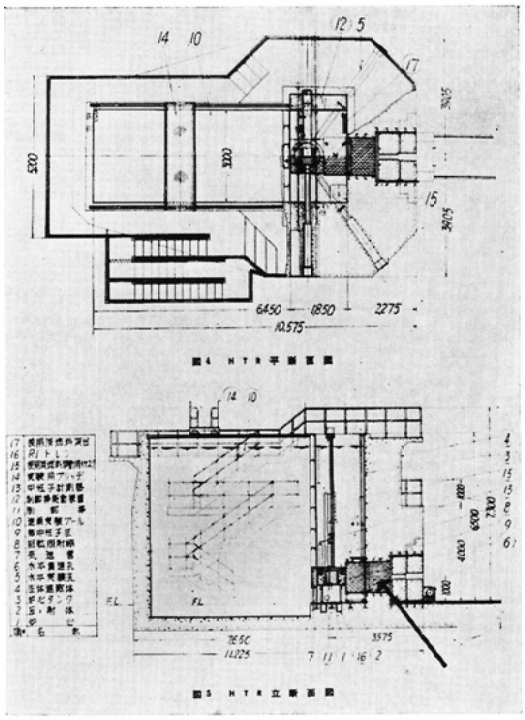


Fig. 14. Figure of HTR reactor

本記はスイミングプール型で濃縮ウランの板を軽水中につりさげた非均質炉である．出力は 100 KWであり，時間単位の運転計画が組めるので熱中性子柱の広い空間での動物照射が可能である.

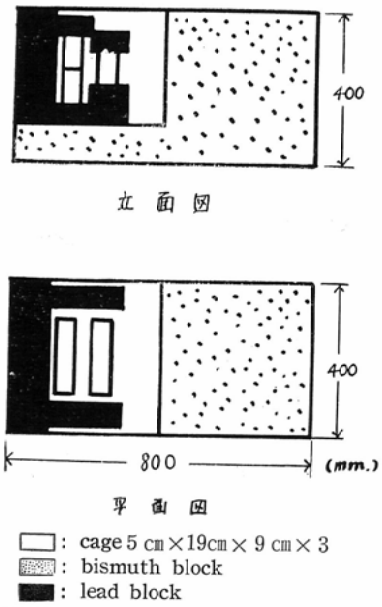


Fig. 15. Exposure space in thermal column of HTR reactor

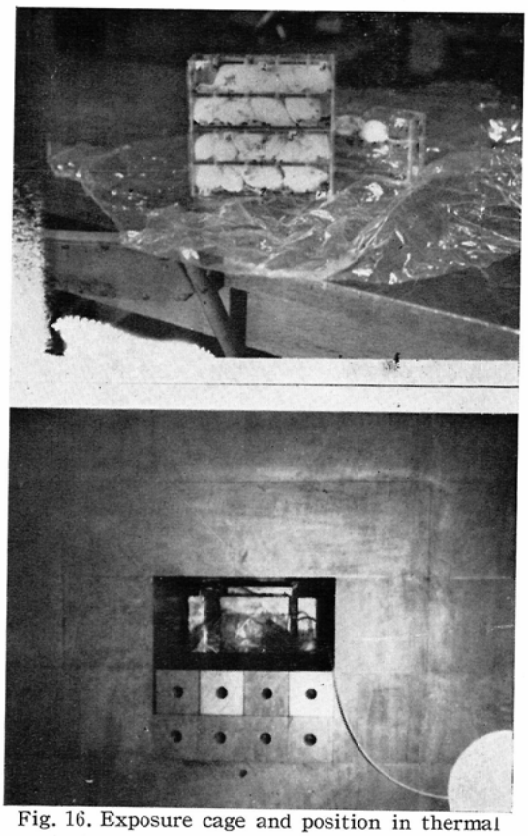


Fig. 16. Exposure cage and position in thermal column of HTR

概略は図5（c）および図14に示す通りであり，黒鉛柱の一部をとり除き，その部分に鉛ブロックをもちいてγ線の遮蔽をして図15に示すように照射箱をおいた．照射箱はアクリル系の板で5×9×19cmの図16に示すごときもので同図に示す如く三ケ設置し各照射箱は8×2匹づつのマウスを入れて外より照射箱周囲の空間にパイプで空気を送りながら最高4時間まで照射した．照射終了後にマウスは外見上何らの変化も見られなかつた．(JRR-1, No. 7孔の場合1時間照射でやゝ発汗が見られる).

線量測定

他と同じく熱中性子を金箔で測定した．測定点は図17に示す各面であり，それらは表6に示してある．各面での熱中性子分布は比較的均等であり，動物照射に適しているが，経時変化，経年変化については未だ経験が短かいのでわからない．

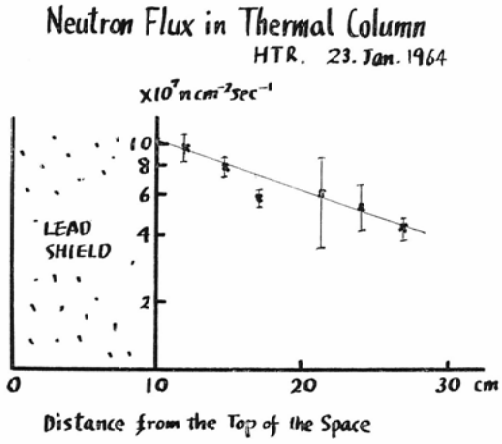


Fig. 17. Neutron flux in thermal column of HTR reactor

Table 6. Neutron flux in exposure cage in HTR reactor

position	Number of gold foils	Neutron flux 10^7 n/cm^2·sec
In front of internal cage	8	9.56±1.47
In middle of 〃	6	7.90±0.87
At back of 〃	9	5.72±0.54
In front of external cage	2	6.12±2.64
In middle of 〃	3	5.36±1.23
At back of 〃	4	4.32±0.52

Table 7. Gamma dose in thermal column.

Method		gamma rays (R/h) lead shield (−)	lead shield (+)
Ionization chamber Radcon 601	Non-covered	852	558
	0.5 mmCd covered	4860	2460
	5cm Paraffin covered	264	126
		150	

γ 線については JRR-1 と同様測定法に疑問の点はあるが表7に結果を示してある.

考按

熱中性子照射棚（熱中性子柱）はJRR-1, No. 7孔と異り特に動物照射用に出来ていないので，照射空間を使うのには鉛ブロックの設定などで面倒ではあるが，相当広い空間について比較的均等な(JRR-1, No. 7孔に較べればはるかに均等な)分布を得ることは非常に有利な点である．又鉛ブロックの積み上げによつてγ線の共存を相当少なくできることは JRR-1, No. 7孔の比ではないと考える．一方運転中に出し入れができないので，オートラジオグラフによつてα線等の Track を見るが如く，短時間で出し入れする場合は向かない．然し動物の照射実験の場合，実験の手間などを考慮に入れなければ，少なくも熱中性子柱で行わねばならないのではなかろうか．

以上の他に中性子発生装置による場合があり，これは速中性子の実験には使用でき，国内でも二，三の報告があるが，[18]減速処理をして熱中性子源として用いる場合，空間的線量分布的にも問題があり，又線量率の点で問題にならないほど少ない．従つて将来熱中性子照射の動物実験にはこゝに述べたいづれかの型の装置を使わなければならないと考えられる．

各々の装置についてはこゝに述べた如く多くの欠点があるが，強いては特長をあげればサイクロトロンの場合は相当広い照射空間を作ることが出来，その作業中の被曝の不安は少ないが，照射時の線量率が非常に少ない．速中性子としての報告はあるが[10]熱中性子によるものとしては速中性子の共存，照射中長時間に亘る動物の生活保持等の構造的な計画が必要である．JRR-1, No. 7に代表されるものは動物照射のために作られたものであつて運転中も出し入れ出来るなど非常に便利であるが線量の不均一と照射空間がせまいという非常に不利な点がある．その点熱中性子柱は線量が相当均一であり照射空間もこの実験の程度以上に相当広く，例えば将来人間レベルでも使用の可能性があるが，目的がちがうために照射空間を作るのが非常に面倒である．

こゝにこれまで既述した三つの装置について線量率と空間の広さを表にまとめた．第一段目は熱中性子線束であり，次に速中性子線束をかいた．これは炉の場合1～2時間では放射化法では少なくて測定不能であるためにこのように示してある．3段目はγ線の線量率であり，その時に 500 Rまでγ線がかゝる時に照射しうる熱中性子の量が示してある最下段は現状における空間の最大広さを示した．

こゝに示した様な理由で，将来医学利用炉

Table. 8. Neutron exposure spaces in Japan.

	Cyclotron Tokyo Univ. (63〃)	Reactor JAEI JRR-1 (40kw) No. 7 hole	Reactor TAIC HTR (100kw) Thermal column
Thermal Neutron Flux (n/cm²・sec.)	$0.5-1.0\times10^{6}$	$0.5-1.0\times10^{8}$	$1.0-5.0\times10^{8}$
Fast Neutron Flux (n/cm²・sec.)	$1-2\times10^{5}$	under 10^{6}	under 10^{6}
gamma ray (R/h)	0.2— 0.3	100— 200	120— 180
Maximum Neutrons for 500R (n/cm²)	7×10^{12}	7×10^{11}	5×10^{12}
Possible Space (cm³)	20×20×40	5×10× 5	30×30×30

(Medical Reactor)[19][20][21]が将来できるとすれば生物，医学研究の領域において大いに貢献するであろうと思われるし，そのような要求は今後増大すると思う．その技術的な設計には生物系，医学系の目的を100%とり入れ切れることを強調する．そして理工系の協力が必要であることは勿論であるが，炉の設計に重点がおかれて，その目的を見失ない．将来実際に使用する人達の意見が反映しないという愚をなしてはならないと思う．

Table. 9. Desired conditions about animal exposure space in medical research reactor.

1. Space : over 50cm×50cm× 200cm
2. Neutron gamma ratio : over 10^{13} n/cm^2 10^2R.
3. Neutron flux : 10^6—10^8 n/cm^2· sec.
4. Remote controlable for circumstances (air etc.)
5. Remote controlable for maintaining animals, and monitoring.
6. Easy to decontamination.

素人なりの考えをまとめたものが上の表9である．勿論機構的な点は全然考慮に入れていないが，こゝに示したデータよりこの程度のことはそれほど問題なく出来ると考えられる．これは総て運転中に制禦板からの指示で人間位のものまで自由に出し入れできるような広い空間と，炉心部には放射化分析を考慮にした気送管の他高γ線照射野を含んだ一つの生物実験センター炉というべきものであり，使用者が主として生物系となるので，管理，サーヴィス部門，苦情処理部門を完備して使用者に迷惑のかゝらないような体制がなければならない．このような炉が完成することを大いに希望する次第である．

最後に宮川教授の御校閲に感謝すると共に，助言・協力を惜しまれなかつた東京大学原子核研究所，日本原子力研究所，東京原子力産業研究所の各位に感謝する．

（本論文の要旨は第137回—昭和37年3月，及び第157回—昭和39年3月の日本医学放射線学会関東部会で報告した．）

文　献

1) 宮川正，渡辺哲敏：中性子捕獲療法の1変法について（第1，2報）（硼素コロイド使用），日医放，19，44—53，昭35．
2) T. Miyakawa, N. Watanabe, H. Yasukochi: Applicability of neutron capture therapy using colloidal boron, 10th international congress of radiology, Book of abstract p. 158, Aug. 1962.
3) 東京大学原子核研究所，パンフレット，1957．
4) JRR-1 共同利用説明書，日本原子力研究所東海研究所，昭35．
5) 東京原子力産業研究所施設の概要．
6) H.O. Steans: Elementary medical physics. p. 254—255, Macmillan company, New York, 1947.
7) W.S. Price: Nuclear Radiation Detection, P 258—317, McGraw Hill, New York, 1958.
8) E.E. Stickley, L.E. Farr: Neutron capture therapy: depth distribution measurements in tissue, Am. J. Roent. 75, 609—618, 1956.
9) JRR-1 における中性子束の絶対測定，JAER 1004，1962．
10) Pre-therapeutic experiments with the fast neutron beam from the medical research council cyclotron. Brit. J. Rad. 36, 72—121, 1963.
11) J.E. Radford: Nuclear energy simplified: p. 73—84, Macdonald, London, 1961.
12) D.H. Martin: Correction factors for Cd-covered-foil measurements, Nucleonics, 52—53, March 1955.
13) I. Miyanaga, M. Yamamoto, K. Bingo: The thermal neutron responses of Film and Silveractivated phosphate glass and their measurement of combined thermal neutron and gamma radiation，日本原子力学会誌，4—7, 431—435, 1962.
14) R. Yokota: E. Sakai, S. Nakajima: Glass rod dosimetry, health physics, 5, 219—222, 1961.
15) JRR-1 の特性試験，JAERI 1003E，1962．
16) JRR-1 の概要と完全対策，JAERI. 6001, 1961.
17) 柳原幸二：原子炉における照射の実際，日本臨床，19，1275—1283，昭36．
18) 沢田昭三，吉永春馬：マウスの急性死に対するX線，Co^{60} ガンマ線，14MeV 速中性子線の生物学的効果比：日医放23，1080—1084，昭38．
19) E.E. Stickley, L.E. Farr: Design and performance of field defining apertures for neutron capture therapy, Am. J. Roent. 75, 602—607, 1960.
20) J.B. Godel: Mechanical componenents: Medical research reactor(MRR), BNL600, 1960.
21) L.E. Farr: The brookhaven medical reactor, Science, 180, 1067—1071, 1959.