

自己出力形中性子検出器による中性子束の測定

織 田 勉

Neutron Flux Measurement Using a Self Powered Detector

Tutome ODA

In this experiment, following measurements have been done : (1) neutron flux distributions of No. 1 and No. 2 experimental holes of JRR-4, (2) leakage resistance of the detector, (3) linear relation-ship of the detector between its output current and the reactor power, (4) response time of the detector.

It is revealed that minimum measurable neutron flux of detector associated with a vibrating capacitor electrometer is 3×10^8 nv sec⁻¹ and the leakage resistance is 2×10^{10} ohms.

1 緒 言

最近の原子動力炉のごとく炉心が大型化し、燃料の経済性の上からも原子炉内の中性子束分布を正確に測定しなければならない現在、中性子束測定実験を自己出力形中性子検出器を使用して、(1) JRR-4 の垂直実験孔の中性子束分布の測定、(2) 検出器の漏洩抵抗の測定、(3) 検出器出力の直線性の測定、(4) 検出器の応答時間の測定などを行った。

これらの測定から JRR-4 の No. 1 および No. 2 垂直実験孔の中性子束分布の様子や、実用的な中性子束の限界が 3×10^8 nv sec⁻¹ であり、 2×10^{11} の中性子束の場で測定した漏洩抵抗は $2 \times 10^{10} \Omega$ である、などの点が明らかになった。

2 実 験 器 具

この実験に使用した自己出力形中性子検出器は Reuter-Stokes Canada Ltd. の RSN-202 型及び RSN-202-M 1 型を使用し、その仕様を Table 1 に示す。

3 JRR-4 Sパイプの垂直中性子束分布の測定

3.1 測定方法

原子炉を 2500kw で運転、検出器の位置を変えて各位置における Rh-Detector, V-Detector の出力電流を測定した、検出器は Sパイプ駆動機構用の保持具の先端に本検出器専用のアルミニ

Table 1.

Detector Type		RSN-202	RSR-202-MI
Cable	Diameter	1.0mm	1.0mm
	Length	25 feet	25 feet
	Sheath	Inconel 600	Inconel 600
	Insulation	MgO	MgO
	Core	Inconel 600	Inconel 600
Collector	Diameter	1.6mm	1.6mm
	Material	Inconel 600	Inconel 600
Emitter	Material	Vanadium	Rhodium
	Diameter	0.5mm	0.5mm
	Nominal Length	100mm	100mm
	Weight	125 0.1mg	250 0.2mg
	Estimated Sensitivity	$8.25 \pm 10^{-22} \text{ A/nv}$	$1.2 \pm 10^{-20} \text{ A/nv}$
	Insulator	Al_2O_3	Al_2O_3

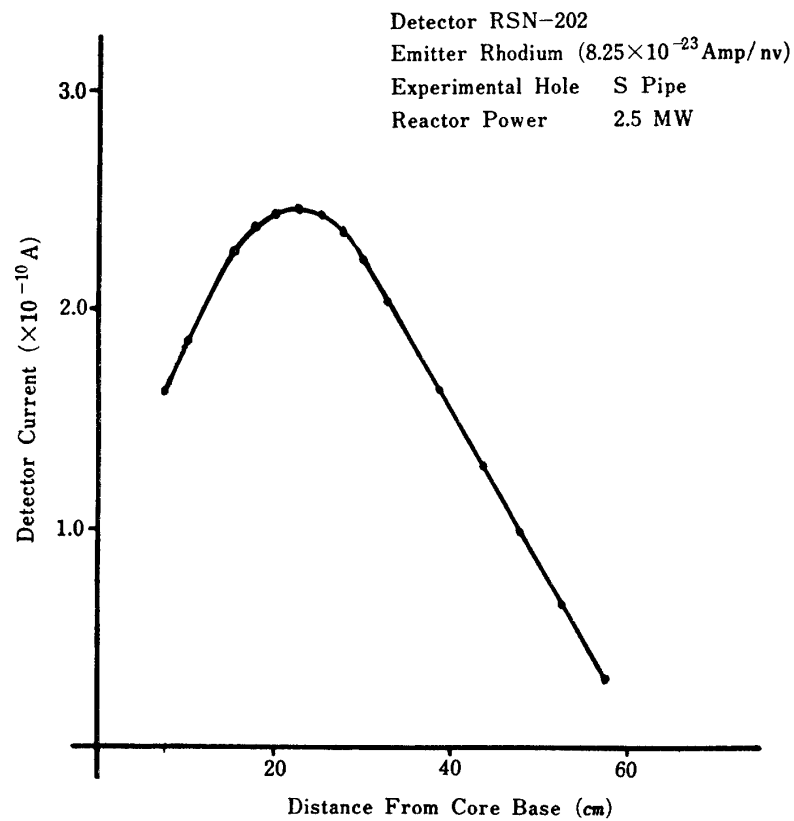


Fig. 1

ウム製保持具を連結し、この所定の位置に検出器を装着して用いた。

3.2 測定結果

V-Detector における電流換算はデジタル電圧計の読みからの換算である。**Fig 1, 2**, に中性子束のグラフを示す。**S**パイプの炉心内の位置は制御棒板に比較的近く、制御棒位置の変化に伴い中性子分布が変化数パーセント異った測定結果が示されることがある。

両方の最大値の電流は下記の測定結果が出た。

Rh-Detector $0.47 \times 10^{-10} \text{ A}$

V-Detector $2.44 \times 10^{-10} \text{ A}$

以上より良い一致ではない。

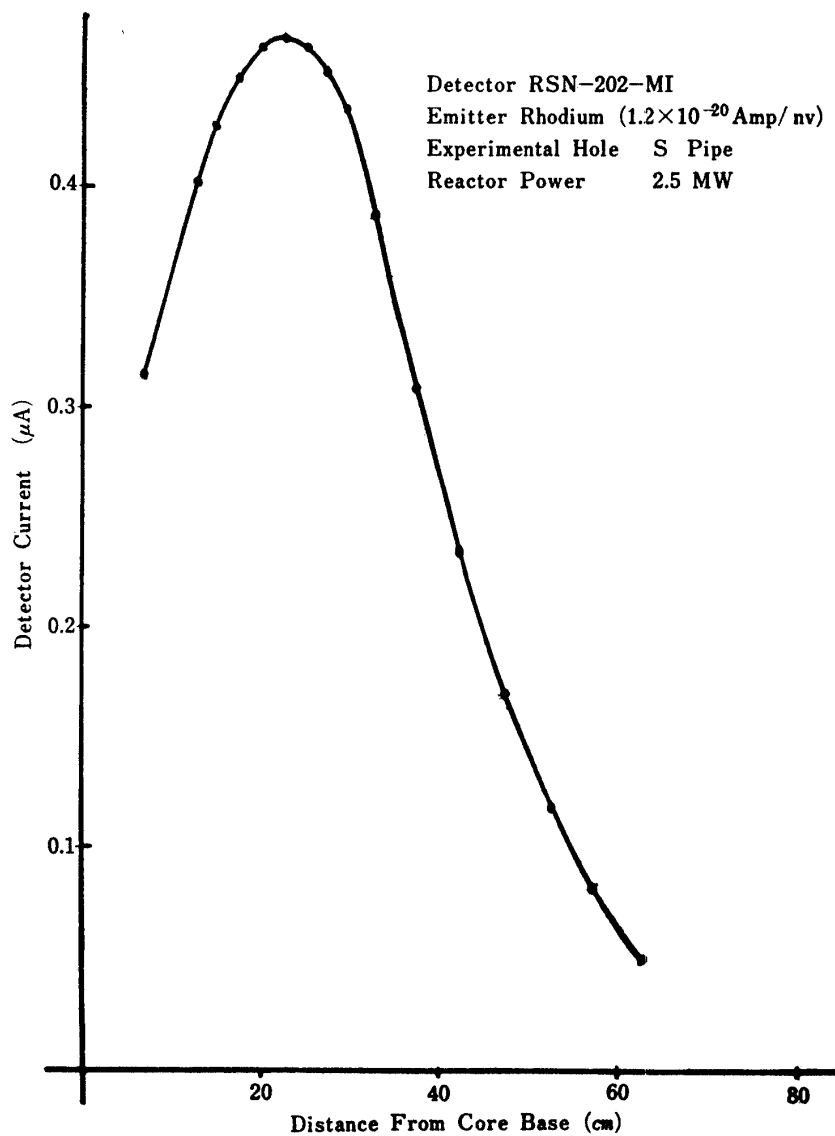


Fig. 2

4 検出器の漏洩抵抗の測定

4.1 測定方法

JRR-4 の炉心のほぼ中央部に検出器を設置し振動容量形電位計の抵抗 R_M を変え電流，電圧を測定する。

Fig. 3. より R_L は検出器の漏洩抵抗であり， R_M は電位計の入力抵抗である。

この等価回路から明らかなごとく， R_M が増加すると R_M を通って流れる電流が減少することになる。したがって，正しい測定のためには R_M は R_L に比べて十分小さいことが必要である。このためには R_L の値を測定することが必要であり R_L は次のような式と， R_M を変えたときに得られる測定結果を用いて求めることができる。すなわち検出器のエミッターが飽和放射能に達したときに得られる電圧を V_0 とし，エミッターから電子が放出された結果流れる正味の電流 I_0 とすれば， I_0 は，

$$I_0 = \frac{V_0}{R_L} + \frac{V_0}{R_M} = \frac{V_0}{R_L} + I_M$$

となる。

測定系の入力部の等価回路

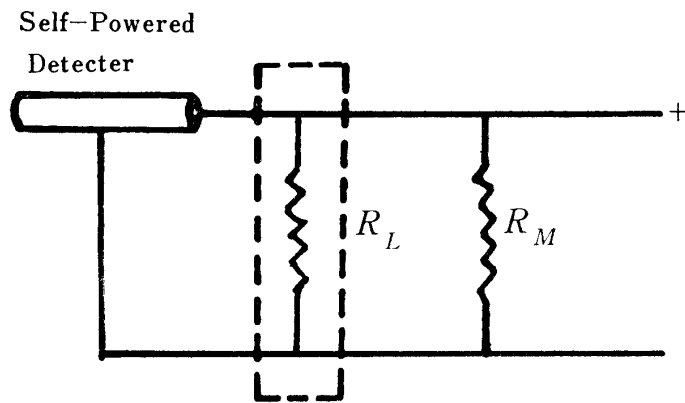


Fig. 3

I_M は入力抵抗 R_M を用いたときに測定された電流である。

R_M を ΔR_M だけ増加すると，電圧は ΔV_0 だけ増加し， I_M は ΔI_M だけ減少することになる。

一方， I_0 は一定の値であるので，

$$\frac{\Delta V_0}{R_L} + \Delta I_M = 0$$

となる。したがって R_L は

$$R_L = \frac{\Delta V_0}{\Delta I_M}$$

となるので ΔR_M が既知の測定結果から容易に R_L を求めることが出来る。

4.2 測定結果

V-Detector

$$R_M = 10^6 \Omega$$

30mV Range

5 回測定における平均78.5%

23.55 mV

$$I = 2.355 \times 10^{-8} \text{ A}$$

$$R_M = 10^8 \Omega$$

3 VRange

5 回測定における平均76.7%

2.10V

$$I = 2.101 \times 10^{-8} \text{ A}$$

$$-\Delta I_M = 0.254 \times 10^{-8} \text{ A}$$

$$\Delta V_0 = 2.077 \text{ V}$$

$$R_L = \frac{\Delta V_0}{-\Delta I_M} = 8.2 \times 10^8 \Omega$$

Rh-Detector

$$R_M = 10^6 \Omega$$

84.0 mV

$$84.0 \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$R_M = 10^8 \Omega$$

8.24V

$$82.4 \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$-\Delta I_M = 1.6 \times 10^{-7} \text{ A}$$

$$\Delta V_0 = 8.136 \text{ V}$$

$$R_L = \frac{\Delta V_0}{-\Delta I_M} = \frac{16}{8.136} \times 10^{10} = 1.92 \times 10^{10} \Omega$$

5 自己出力形中性子検出器検直線性についての測定

5.1 測定方法

両方の検出器を炉底から 225 mm の所に設置し、出力は炉心の出力計を基準に 1kw, 10kw, 200kw, 2500kw についてその出力電流を測定した。

出力電流の測定は Rh-Detector は直続電流計, V-Detector は振動容量型電位計を使用した。

5.2 測定結果

測定結果を Fig. 4, 5, に示した, これより検出器の出力電流と中性子束の間には直線的な関係が Rh-Detector 及び V-Detector の両方とも十分比例関係が保たれていると考えられる。

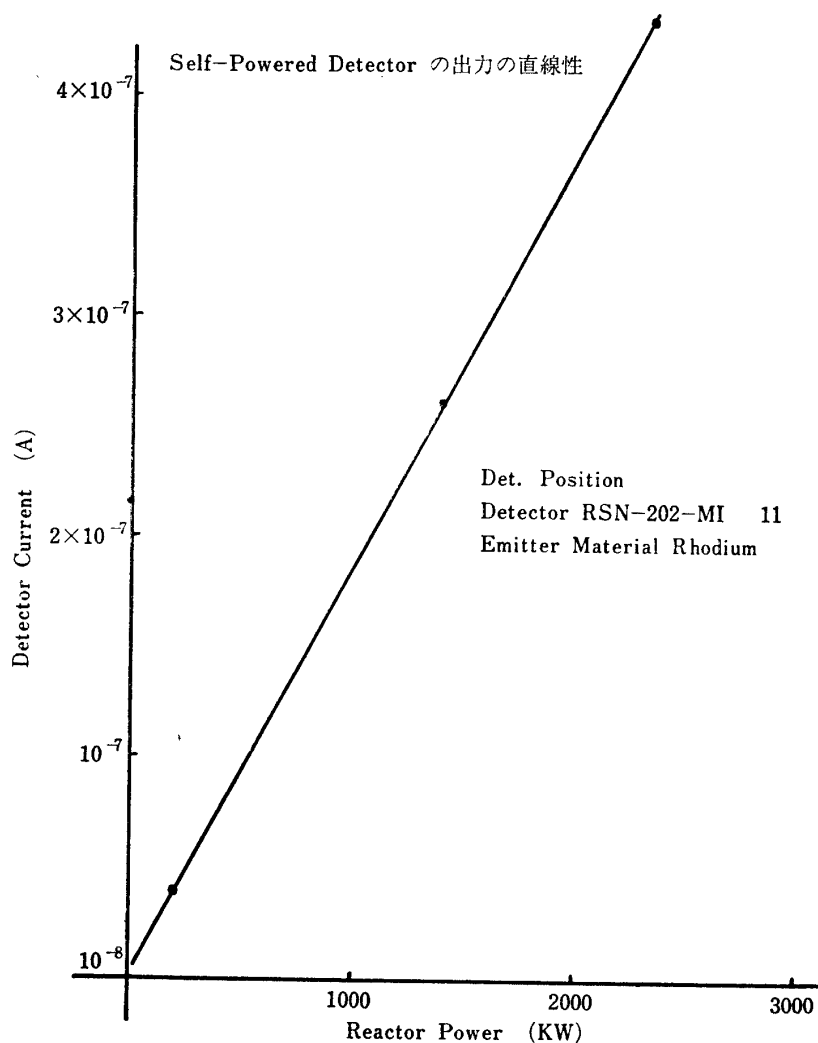


Fig. 4

6 検出器の応答時間の測定

6.1 測定方法

^{51}V や ^{103}Rh をエミッターとして用いた検出器はエミッターが中性子によって放射化され、その結果エミッターが β 線を放出することに起因する電流を測定することによって中性子束を測定するものであるため、一定の強さの中性子束の場に検出器を置いた場合の電流は時とともに変化し、エミッターが飽和放射能に達したときにはじめて検出器からの電流が一定になる。

すなわち、安定な元素を放射化し、崩壊定数が λ の放射性同位元素が生成される割合は、

$$\frac{dN}{dT} = \Sigma c \phi V - \lambda N$$

で与えられる。

ただし N : 中性子束 ϕ でエミッターを照射しはじめてから T 時間経過したときの放射性同位

自己出力形中性子検出器による中性子束の測定

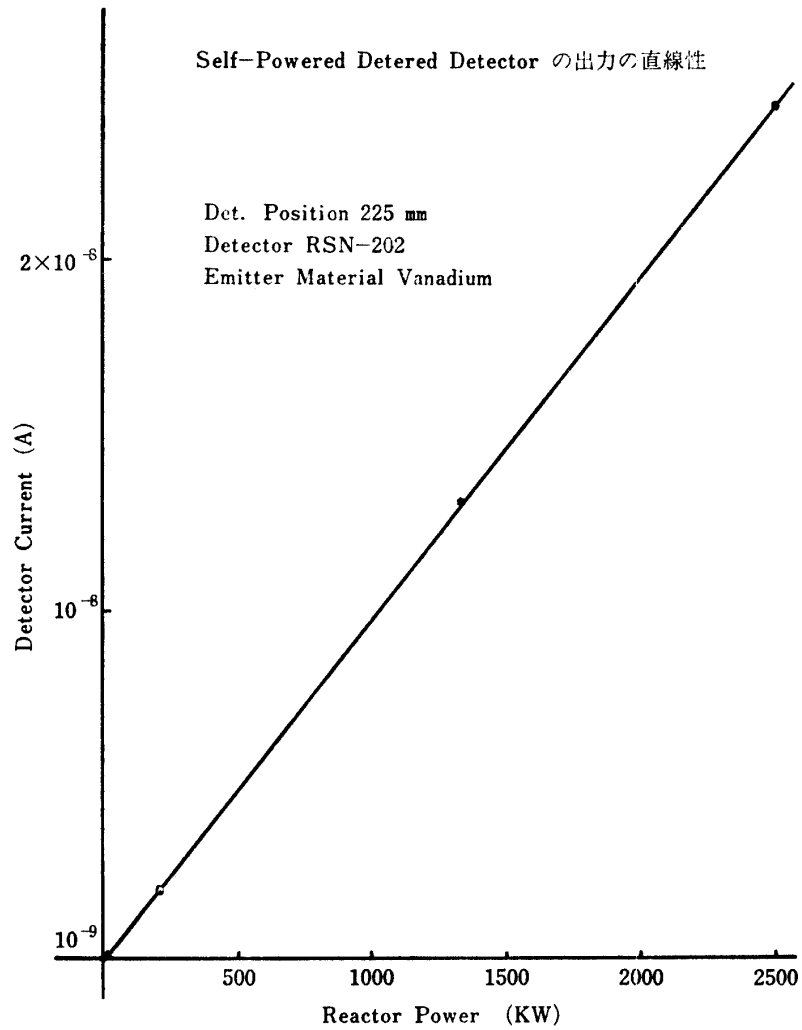


Fig. 5

元素の個数

Σ_{ac} : エミッターの巨視的放射化面積

V : エミッターの体積

$T = 0$ のとき, $N = 0$ であるので

$$N = \frac{\Sigma_{ac}\phi V}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T})$$

が得られる。エミッターのおびる放射能は $N\lambda$ に等しいので, エミッターの放射能 A は,

$$A = \Sigma_{ac}\phi V (1 - e^{-\lambda T})$$

で与えられる, 照射時間 T を $e^{-\lambda T}$ が無視しうる程度にまで十分長くすれば, エミッターの放射能は飽和し, 飽和放射能 A_{∞} が得られる。

$$A_{\infty} = \Sigma_{ac}\phi V$$

エミッターが飽和放射能に達した検出器を中性子束の存在する場から取り出すと, 次式で表わさ

れるように時間 t とともに減衰する。

$$A(t) = \sum_{ac} \phi V_e^{-\lambda t} = A_{\infty} e^{-\lambda t}$$

以上より測定は一定の強さの中性子束の場に検出器を置いて検出器の電流が飽和に達したときに原子炉を急に停止し、その後の検出器電流の時間変化の測定、および検出器を急に一定の中性子束の場に押入したときの検出器電流の時間的変化を測定した。

6.2 測定結果

Rh-Detector 及び *V-Detector* の測定結果を Fig. 6. に示した。

原子炉を停止し、検出器出力の減衰の時間的変化を測定した。この測定結果よりエミッターの放射能は一種類の放射性核種によるものとみなされ、その半減期は $T_{1/2}$ は 215sec(3.58min) であることが明らかになった。

7 結 言

この実験において振動容量形電位計で十分目的に達することができる。しかし動力炉のごとく高温、高中性子束および経時変化など、著しく検出器の漏洩抵抗を

折下せしめる要因が考えられる。この実験においての自己出力形検出器の高信頼性とその有用性の一端が理解出来た。

これより大型原子動力炉の経済性についての燃料及び制御棒パターンなど調節に最大限に利用出来ると思います。

謝 辞

今回の実験につきましては、日本原子力研究所、東海研究、JRR-4 管理課の諸氏に対し深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 神原ほか JAERI 1003E
- 2) "Self-Powered Neutron Detectors for Reactor Flux Monitoring", *Nucleonics*, 22 (2), 69 (1964)
- 3) JAERI-6018 日本原子力研究所報告。 (著者 機械工学科 昭和47年3月20日受理)

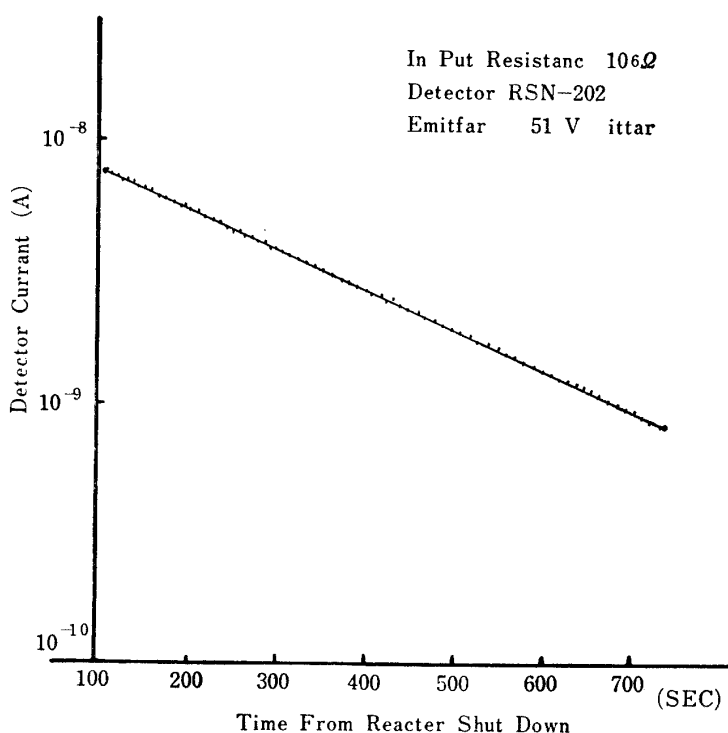


Fig. 6