JAERI-M
5485

エチレン放射線重合開発試験装置PICWの中心線源型濡壁反応器内における線量率分布

1973年12月

中島隼人, 八木敏明, 丸山真策, 児玉厚郎,* 東平正道**
星　龍夫, 田中隆一, 武久正昭, 町　末男

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は，日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして，不定期に刊行している研究報告書です．入手，複製などのお問合わせは，日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて，お申しこしください．

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI－M 5485

エチレン放射線重合開発試験装置ＰＩＣＷの中心線源型濡壁反応器内における線量率分布

日本原子力研究所高崎研究所開発試験場

中島　隼人，八木　敏明，丸山　真策

児玉　厚郎*，東平　正道**，星　　龍夫，

田中　隆一，武久　正昭，町　　末男

（１９７３年１１月２７日受理）

高崎研究所のエチレン放射線重合開発試験装置ＰＩＣＷに用いられている内容積５０ℓの中心線源型濡壁反応器内部の吸収線量率とその分布を水または第３ブタノール水溶液の存在下でポリメタクリル酸メチル線量計によって測定した。また，その結果を理論的に計算した線量率分布と比較した。

反応器は内径３００㎜，高さ７００㎜の円筒形で，中心部に直径９６㎜の内筒がもうけられており，棒状線源が挿入されている。線源としては，３８４０，７６８０および１１７６０Ciの３種の大きさの^{60}Coが用いられた。

その結果次のことが明らかになった。

(1) 半径方向の線量率は指数関数的に減少し，外筒側壁面での線量率は内筒側壁面での値の１／３である。

(2) 軸方向の線量率は，中央部が最も高く両端に近づく程低下する。また分布は内筒壁に近いほどフラットである。

(3) ブタノール水溶液存在下での反応器内の平均線量率は，上記の線源の大きさに応じて0.5×10^5，1.1×10^5，1.9×10^5 rad/hrであった。また，掻取羽根を入れた場合は１０％減少する。

(4) エネルギー吸収効率は約３％で，反応器の外側に板状線源を配置した場合の１０倍以上である。

(5) 理論的に計算された線量率は実測値よりも若干大きい。しかし，理論と実測との線量率分布曲線の形はほぼ一致している。

＊　旭ダウ株式会社　＊＊　出光石油株式会社

JAERI-M 5485

Dose Rate Distribution in The Central-Source Type Wet-Wall Reactor of Radiation Ethylene Polymerization Pilot Plant-PICW

Hayato NAKAJIMA, Toshiaki YAGI, Shinsaku MARUYAMA, Atsuro KODAMA, Masamichi TOHEI, Tatsuo HOSHI, Ryuichi TANAKA, Masaaki TAKEHISA and Sueo MACHI

Division of Pilot Scale Research Station, Takasaki, JAERI

(Received November 27, 1973)

The dose rate and its distribution were measured in the 50-liter, central-source type wet-wall reactor of radiation ethylene polymerization pilot plant-PICW in the presence of air, water and aqueous solution of tert-butyl alcohol, and the values were compared with those by calculation.

The polymerization reactor, 300 mm in diameter and 700 mm high, has an inner cylindrical casing of outside diameter 96 mm in which a cylindrical source is inserted. Three different ^{60}Co gamma-sources, 3,840, 7,680 and 11,760 Ci respectively, were used as the sources.

(1) The dose rate decreases exponentially in radial directions; the value at the outer surface is 1/3 that at the inner surface of the reactor. (2) The dose rate along the axis is highest in the middle, and decreases foward the ends. The closer to the source the flater then becomes the distribution. (3) The mean absorbed dose rates in the presence of tert-butyl alcohol aqueous solution are 0.5×10^5, 1.1×10^5 and 1.9×10^5 rad/hr for the three sources mentioned, respectively. With the existence of a scraper, the dose rate is reduced by 10 %. (4) The utilization efficiency of radiation energy is ca. 3 %. (5) The calculated dose rate is a little larger than that measured, but the dose rate distribution calculated is similar to that measured.

目　　次

1. 緒言 …… 1
2. 実験方法 …… 1
　2.1 線量計 …… 1
　2.2 反応器，線源および線量計の位置関係 …… 1
　2.3 測定条件 …… 2
　2.4 測定手順 …… 2
　2.5 吸収線量率の算出 …… 2
　2.6 平均吸収線量率の算出 …… 2
3. 吸収線量率分布の理論計算 …… 3
　3.1 線量計算式 …… 3
　3.2 計算に必要な諸係数 …… 4
　3.3 線量計算と結果 …… 5
4. 結果と考察 …… 5
　4.1 各媒体における吸収線量率分布 …… 5
　4.2 線源量と吸収線量率分布 …… 5
　4.3 平均吸収線量率 …… 5
　4.4 中心線源型反応器の特徴 …… 6
　4.5 ＰＭＭＡによる線量測定上の問題点 …… 6
5. 結論 …… 7

1. 緒　言

放射線化学反応初期過程の速さは，その物質が単位時間に吸収するエネルギー（吸収線量率）に比例する。したがって，2次過程を含めた全反応の速さも線量率に依存する。重合反応においては，開始反応（ラジカルまたはイオンの生成反応）の速度が線量率に依存し，その結果全重合速度および生成ポリマーの分子量も線量率に依存して変化する。したがって同一反応器内で線量率に分布のある場合は，重合速度および生成ポリマーの分子量に分布が生ずる。

反応器が小型でγ線を用いる場合には，線量率分布はほとんどなく分布の考慮を必要としないが，エチレンの放射線重合の開発試験装置PICWで用いられている反応器は，内容積が50ℓとかなり大きいので線量率分布が生ずることが当然予測される。そこで本報告では線源のCi数，反応器内の媒体の異なる種々の条件で反応器内の吸収線量率の分布をPMMA 線量計で測定するとともにそれに基づいて平均吸収線量率を算出した。さらに理論的に予測される線量率分布を計算で求め，実測値と比較した。

本研究は第2開発室と照射施設課の協力によって実施された。線量測定は主として丸山，児玉，東平が，理論計算は星が，線量計の検討は田中が，データの検討および報告のまとめは中島，八木，武久，町がそれぞれ行なった。

2. 実験方法

2.1 線量計

PMMA（ポリアクリル酸メチル）に放射線を照射すると，近紫外部において吸光度に変化が生じ，これが吸収線量と比例関係にあることは，田中らによって詳細に報告されている。[1]

本実験に用いたPMMAは，三菱レイヨン製品アクリライトを45×12×1㎜の寸法にして使用した。吸光度は日立139型分光光度計で測定した。

2.2 反応器，線源および線量計の位置関係

反応器の詳細な構造を図1に示した。この反応器は，その中心部分にコバルト60－γ線源を挿入するための内筒を有し，内筒および外筒の反応器内部壁面へ付着したポリマーを取除くための掻取羽根を備えている。

線源は外径12㎜，長さ300㎜の棒状線源である。図2に線源ケースを示したが，上段と下段にそれぞれ最大6本の線源を組入れることができる。

反応器と線源および線量計の位置関係を図3に示した。

1. 緒　　言

放射線化学反応初期過程の速さは，その物質が単位時間に吸収するエネルギー（吸収線量率）に比例する。したがって，2次過程を含めた全反応の速さも線量率に依存する。重合反応においては，開始反応（ラジカルまたはイオンの生成反応）の速度が線量率に依存し，その結果全重合速度および生成ポリマーの分子量も線量率に依存して変化する。したがって同一反応器内で線量率に分布のある場合は，重合速度および生成ポリマーの分子量に分布が生ずる。

反応器が小型でγ線を用いる場合には，線量率分布はほとんどなく分布の考慮を必要としないが，エチレンの放射線重合の開発試験装置PICWで用いられている反応器は，内容積が50ℓとかなり大きいので線量率分布が生ずることが当然予測される。そこで本報告では線源のCi数，反応器内の媒体の異なる種々の条件で反応器内の吸収線量率の分布をPMMA 線量計で測定するとともにそれに基づいて平均吸収線量率を算出した。さらに理論的に予測される線量率分布を計算で求め，実測値と比較した。

本研究は第2開発室と照射施設課の協力によって実施された。線量測定は主として丸山，児玉，東平が，理論計算は星が，線量計の検討は田中が，データの検討および報告のまとめは中島，八木，武久，町がそれぞれ行なった。

2. 実 験 方 法

2.1 線量計

PMMA（ポリアクリル酸メチル）に放射線を照射すると，近紫外部において吸光度に変化が生じ，これが吸収線量と比例関係にあることは，田中らによって詳細に報告されている。[1]
本実験に用いたPMMAは，三菱レイヨン製品アクリライトを45×12×1㎜の寸法にして使用した。吸光度は日立139型分光光度計で測定した。

2.2 反応器，線源および線量計の位置関係

反応器の詳細な構造を図1に示した。この反応器は，その中心部分にコバルト60－γ線源を挿入するための内筒を有し，内筒および外筒の反応器内部壁面へ付着したポリマーを取除くための掻取羽根を備えている。

線源は外径12㎜，長さ300㎜の棒状線源である。図2に線源ケースを示したが，上段と下段にそれぞれ最大6本の線源を組入れることができる。

反応器と線源および線量計の位置関係を図3に示した。

2.3 測定条件

反応器内の媒体は，比重（電子密度）の異なる水，第3ブタノール水溶液，空気の3種類を選び，実際の重合反応系（第3ブタノール－水－エチレン）における線量率分布の推測ができるようにした。また，線源の量は4本，8本，12本とし，4本と8本は第3ブタノール水溶液についてのみ測定を行った。線源のキュリー数は，測定した時期の違いから，12本での測定条件のときは1本当り約980Ci，4本および8本の場合は約960Ciであると考えられる。

PMMA の照射時間は，線源の少ない場合ほど長くとり，4本のときは4時間，8本では3時間，12本が2時間とした。

掻取羽根の影響は第3ブタノール水溶液中，線源本数8本の条件で調べた。

2.4 測定手順

1) PMMA を蒸留水にて洗浄し，その後アルコールを浸したガーゼで充分に，塵，汚れ等を拭きとる。

2) 290mμの波長における未照射PMMA の吸光度を測定する。

3) PMMA を反応器内部の内筒壁面，外筒壁面および内筒と外筒の間に適当な間隔で固定する。固定位置の概略は図3に示した。なお，媒体が空気以外の条件ではPMMAをポリエチレンの袋に入れ，シールしたものを固定する。

4) 所定の時間照射したPMMAは，反応器から取り出し，光から遮断して一昼夜保存した後，吸光度を測定する。

2.5 吸収線量率の算出

PMMAの吸収線量と吸光度の変化量とが，比例関係にあることは前に述べた。この関係はあらゆる線量率において成立する。波長290mμにおける吸光度の変化量と吸収線量との関係を図4に示した。[1] 図4から直線の傾きは0.291切片は0.05という値が得られる。ここで注意を必要とするのは，図4は照射後ただちに測定した値を用いて得られたものであり，一昼夜保存した後には約15%の増加が見られることである。

したがって，吸収線量率を求める式は次のように表すことができる。

$$I = \left(\frac{\Delta OD}{0.291 \times 1.15} + 0.05 \right) \times \frac{1}{H} \qquad (1)$$

ここで　I；吸収線量率（Mrad／hr）

ΔOD；吸光度の変化量

H；照射時間（hr）　　である。

2.6 平均吸収線量率の算出

いま，反応器内の任意の微小部分における吸収線量率をIi，その体積をViとし，反応器内容積をVrとすれば，ある条件下での平均吸収線量率Iavは

$$Iav = \frac{\Sigma Ii \times Vi}{Vr} \qquad (2)$$

で定義することができる。実際の計算では，同一円周上に吸収線量率の分布は無いものとみなして，次のような操作を行った。

図5に示したZ軸方向の反応器断面を考え，全体を矩形で細かく区分する。この矩形を円周方向に積分して得られるパイナップル・リング状の素片の体積と，反応器内容積の比Vi／Vrを求める。各素片の中心における吸収線量率は，線量率分布のグラフより読み取り，この値にVi／Vrを乗じて総計する。以上で，(2)式に定義された平均吸収線量率を求めることができる。

3. 吸収線量率分布の理論計算

3.1 線量計算式

軸長300㎜，半径5㎜の棒状線源を2本つないだ軸長600㎜の棒状線源を半径16㎜の竜形に構成した線源束を使用しているが，測定点と線源束の中心との間の距離（約70㎜以上）に比較して線源束半径（15㎜）の値は十分に小さいので近似的に線源束の中心軸上にすべての棒状線源が集ったものとみなすことができる。したがって図6に示すごとく棒状線源の中心から水平距離x，垂直距離yの位置にある媒体中の測定点Pの線量率Rは次式のように表すことができる。

$$R(rad/hr) = 1.698138\times10^{6}\cdot E_0\cdot\mu_e\cdot\sigma_s\int_{-l_s}^{l_s}\frac{\exp\left(-\frac{x}{x}\{t\mu_t\rho_t+(x-R_G)\mu_i\rho_i+R_s\mu_s P_s\}\right)}{r^2}ds \qquad (3)$$

$r^2 = (y-s)^2 + x^2$

R_s ；棒状線源の半径

μ_i ；媒体の質量減衰係数（cm^2/g）

μ_t ；反応器内筒の質量減衰係数（cm^2/g）

μ_s ；線源の質量減衰係数（cm^2/g）

ρ_i ；媒体の密度（g/cm^3）

ρ_t ；反応器内筒の密度（g/cm^3）

ρ_s ；線源の密度（g/cm^3）

t ；反応器内筒の肉厚（cm）

R_G ；反応器内筒の外壁面と線源中心軸間の距離（cm）

$2l_s$ ；棒状線源の軸長（cm）

σ_s ；棒状線源1㎝当りのキュリー数（Ci／cm）

$$Iav = \frac{\Sigma Ii \times Vi}{Vr} \qquad (2)$$

で定義することができる。実際の計算では，同一円周上に吸収線量率の分布は無いものとみなして，次のような操作を行った。

図5に示したZ軸方向の反応器断面を考え，全体を矩形で細かく区分する。この矩形を円周方向に積分して得られるパイナップル・リング状の素片の体積と，反応器内容積の比Vi／Vrを求める。各素片の中心における吸収線量率は，線量率分布のグラフより読み取り，この値にVi／Vrを乗じて総計する。以上で，(2)式に定義された平均吸収線量率を求めることができる。

3. 吸収線量率分布の理論計算

3.1 線量計算式

軸長300㎜，半径5㎜の棒状線源を2本つないだ軸長600㎜の棒状線源を半径16㎜の籠形に構成した線源束を使用しているが，測定点と線源束の中心との間の距離（約70㎜以上）に比較して線源束半径（15㎜）の値は十分に小さいので近似的に線源束の中心軸上にすべての棒状線源が集ったものとみなすことができる。したがって図6に示すごとく棒状線源の中心から水平距離x，垂直距離yの位置にある媒体中の測定点Pの線量率Rは次式のように表すことができる。

$$R(rad/hr) = 1.698138\times10^{5}\cdot E_0\cdot\mu_e\cdot\sigma_s\int_{-l_s}^{l_s}\frac{\exp\left(-\frac{r}{x}\{t\mu_t\rho_t+(x-R_G)\mu_i\rho_i+R_s\mu_s P_s\}\right)}{r^2}ds \qquad (3)$$

$r^2=(y-s)^2+x^2$

R_s：棒状線源の半径

μ_i：媒体の質量減衰係数（cm^2/g）

μ_t：反応器内筒の質量減衰係数（cm^2/g）

μ_s：線源の質量減衰係数（cm^2/g）

ρ_i：媒体の密度（g/cm^3）

ρ_t：反応器内筒の密度（g/cm^3）

ρ_s：線源の密度（g/cm^3）

t：反応器内筒の肉厚（cm）

R_G：反応器内筒の外壁面と線源中心軸間の距離（cm）

$2l_s$：棒状線源の軸長（cm）

σ_s：棒状線源1㎝当りのキュリー数（Ci／cm）

μ_e：媒体のエネルギー吸収係数（cm^2/g）

E_0：線源1崩壊当りに放出するエネルギー（MeV）

B：媒体中の測定点Pにおけるエネルギー吸収ビルドアップ係数

このenergy absorption build up factorは反応器内筒によるγ線の散乱の効果と媒体が有限の大きさであることを考慮に入れたBroderの多重層のbuild up factorに関する式によって次式のように表すことができる。[2)]

$$B=\delta_i B_{i_1}+\delta_t B_t-\delta_i B_{i_2}$$

δ_i：媒体が有限の大きさであることによるKimmelの補正係数

δ_t：線源，反応器内筒が有限の大きさであることによるKimmelの補正係数

$$Y_{i_1}=\{(x-R_G)\mu_i\rho_i+t\mu_t P_t+R_s\mu_s\rho_s\}r/x$$

$$B_{i_2}=A_i e^{\alpha_{i_1}Y_{i_1}}+(1-A_i)e^{\alpha_{i_2}Y_{i_1}}$$

$$Y_{i_2}=(t\mu_t\rho_t+R_s\mu_s\rho_s)r/x$$

$$B_t=A_t e^{\alpha_{t_1}Y_{i_2}}+(1-A_t)e^{\alpha_{t_2}Y_{i_2}}$$

$$B_{i_2}=A_i e^{\alpha_{i_1}Y_{i_2}}+(1-A_t)e^{\alpha_{i_2}Y_{i_2}}$$

A_i，α_{i_1}，α_{i_2}：媒体が無限大の大きさで，この中に等方点状線源がある場合のエネルギー吸収ビルドアップ係数を指数関数の和で近似した場合の係数

A_t，α_{t_1}，α_{t_2}：線源または反応器内筒が無限大の大きさで，この中に等方点状線源がある場合のエネルギー吸収ビルドアップ係数を指数関数の和で近似した場合の係数

3.2 計算に必要な諸係数[2)]

1) 媒体に関する諸係数

媒体；空気，水，第3ブタノール水溶液

a 媒体の密度：$\rho_i \fallingdotseq 0.0\ g/cm^3$（空気）

$\rho_i \fallingdotseq 1.0\ g/cm^3$（水）

$\rho_i \fallingdotseq 0.81\ g/cm^3$（第3ブタノール水溶液）

b 媒体の質量減衰係数：$\mu_i \fallingdotseq 0.0634\ cm^2/g$（第3ブタノールの質量減衰係数は水のそれとほぼ等しい。）

c 媒体のエネルギー吸収係数：$\mu_e = 0.0298\ cm^2/g$（t-BuOHのエネルギー吸収係数は水のそれとほぼ等しい。）

d 媒体のエネルギー吸収ビルドアップ係数に係る諸係数：$A_i \fallingdotseq 10.15$，$\alpha_{i_1} \fallingdotseq 0.086$，$\alpha_{i_2} \fallingdotseq -0.051$，$\delta_i \fallingdotseq 0.866$（第3ブタノールの係数と水のそれとほぼ等しい。）

2) 線源に関する諸係数

a 線源の密度：$\rho_s = 8.7\ g/cm^3$

b 線源の質量減衰係数：$\mu_s = 0.0536\ cm^2/g$

c 線源の軸長：$2l_s = 60.0\ cm$

d 線源・反応器の内筒のエネルギー吸収ビルドアップ係数に係る諸係数

；$A_t \fallingdotseq 8.05$，$\alpha_{t_1} \fallingdotseq 0.0816$，$\alpha_{t_2} \fallingdotseq -0.0313$，$\delta_t \fallingdotseq 0.92$

e　線源1cm当りのキュリー数：σ_c=33.2Ci/cm（昭和45年8月測定）

3）反応器内筒に関する諸係数

a．反応器内筒の材質；ステンレス・スチール

b．反応器内筒の肉厚；t＝2.1cm

c．反応器内筒の密度；7.91g/cm³

d．反応器内筒の質量減衰係数：μ_t=0.0533cm²/g

e．反応器内筒の外径：9.6cm（=2R_G）

3.3　線量計算と結果

これまでの検討結果に基ずいて，表1に示す計算コードを用いて計算した結果を，図7～11に示した。

4. 結果と考察

4.1　各媒体における吸収線量率分布

水，第3ブタノール，空気中で実測した吸収線量率分布を，反応器のZ軸断面で表わし，図12～14にこれを示した。さらに，Z＝400mm（線源中心）における半径方向への減衰曲線は図15に，計算値と比較して示した。一般に実測値は媒体によらず外筒側で，その減衰はゆるやかになる傾向がある。これは外筒による散乱線の影響も多少あるものと考えられる。また，水と第3ブタノール水溶液中の減衰曲線を比べると，著しい差は見られない。したがって水－第3ブタノールの混合媒体系の吸収線量率分布は，水あるいは第3ブタノール水溶液中のどちらの測定値を用いても，実用上はさしつかえないと思われる。

4.2　線源量と吸収線量率分布

コバルト60棒状線源を8本，4本使用したときの吸収線量率分布を図16～17に示した。この場合，照射は第3ブタノール媒体中で行った。線源中心における半径方向の減衰を，図18に計算値と比較して表わした。おおよそではあるが，吸収線量率は線源量に比例している。12本の場合の実測を除けば，いずれも同様な減衰のし方を見せている。なお，実測値と計算値とのずれの原因は明かでない。

4.3　平均吸収線量率

平均吸収線量率の算出は，同一円周上で吸収線量率に分布の無いことが前提条件となる。実際の測定で，最も分布が生じやすいと思われるのは，線源量の少ない場合である。そこで，線源量4本のときの同一円周上の線量率分布を図19に示した。線源に一番近い距離にある内筒壁面（r＝48mm）では多少のバラツキが見られる。しかしながら全体として，この程度の分

e　線源1cm当りのキュリー数；σ_ε=33.2Ci/cm（昭和45年8月測定）

3）反応器内筒に関する諸係数

a．反応器内筒の材質；ステンレス・スチール

b．反応器内筒の肉厚；t＝2.1cm

c．反応器内筒の密度；7.91g/cm³

d．反応器内筒の質量減衰係数；μ_t=0.0533cm²/g

e．反応器内筒の外径：9.6cm（=2R_G）

3.3　線量計算と結果

これまでの検討結果に基ずいて，表1に示す計算コードを用いて計算した結果を，図7～11に示した。

4. 結果と考察

4.1　各媒体における吸収線量率分布

水，第3ブタノール，空気中で実測した吸収線量率分布を，反応器のZ軸断面で表わし，図12～14にこれを示した。さらに，Z＝400mm（線源中心）における半径方向への減衰曲線は図15に，計算値と比較して示した。一般に実測値は媒体によらず外筒側で，その減衰はゆるやかになる傾向がある。これは外筒による散乱線の影響も多少あるものと考えられる。また，水と第3ブタノール水溶液中の減衰曲線を比べると，著しい差は見られない。したがって水－第3ブタノールの混合媒体系の吸収線量率分布は，水あるいは第3ブタノール水溶液中のどちらの測定値を用いても，実用上はさしつかえないと思われる。

4.2　線源量と吸収線量率分布

コバルト60棒状線源を8本，4本使用したときの吸収線量率分布を図16～17に示した。この場合，照射は第3ブタノール媒体中で行った。線源中心における半径方向の減衰を，図18に計算値と比較して表わした。おおよそではあるが，吸収線量率は線源量に比例している。12本の場合の実測を除けば，いずれも同様な減衰のし方を見せている。なお，実測値と計算値とのずれの原因は明かでない。

4.3　平均吸収線量率

平均吸収線量率の算出は，同一円周上で吸収線量率に分布の無いことが前提条件となる。実際の測定で，最も分布が生じやすいと思われるのは，線源量の少ない場合である。そこで，線源量4本のときの同一円周上の線量率分布を図19に示した。線源に一番近い距離にある内筒壁面（r＝48mm）では多少のバラツキが見られる。しかしながら全体として，この程度の分

布は無視してもさしつかえないと考えられる。

反応器内に掻取羽根がある場合の平均吸収線量率は，次のようにして求めることができる。まず，掻取羽根によって影響を受ける部分の体積が，反応器内容積に占める割合をxとする。さらに，その部分の吸収線量率と掻取羽根が無い場合の測定値との比αを求める。このαは，測定位置に関係なく一定であると仮定すれば，(4)式が成り立つ。

$$I_{sb}=I_{av}\{\alpha\cdot x+(1-x)\}$$
$$=I_{av}\{1+(\alpha-1)x\} \quad (4)$$

ここでI_{sb}は掻取羽根がある場合の平均吸収線量率，I_{av}は無いときの平均吸収線量率である。

ところで，掻取羽根を取付けた状態での吸収線量率分布の測定結果は図20に示した。このグラフから，$\alpha=0.7$が得られる。また，xは約0.3であるので(4)式は次のようになる。

$$I_{sb}\fallingdotseq 0.9\,I_{av} \quad (5)$$

以上を基にして，各測定条件における平均吸収線量率を計算し，その結果を表2にまとめた。

4.4 中心線源型反応器の特徴

反応器のZ軸に沿った断面での吸収線量率分布を見ると，反応器内の媒体や線源の量などには関係なく，全ての場合について共通している現象を2つあげることができる。その1つとして，線源の両端の位置で，内筒壁に近い部分での急激な吸収線量率の減衰があり，その2は反応器の外側に線源を配置した場合に比べて，半径方向の分布の巾が大きなことである。いずれにしても吸収線量率に分布があることによって，その反応器で生成したポリマーの物性にも分布が生ずると考えられる。線源を長くすることにより，線源の両端での急激な線量率の減衰は解決できる。しかしながら後者の分布は，中心線源型である以上やむをえないと言える。

中心線源型反応器の最大の長所はエネルギー吸収効率の高いことにあり，外側から照射する型の反応器に比べると，1桁も大きい。表3に，外側に線源がある場合の吸収効率と比較して示した[3]。

4.5 PMMA による線量測定上の問題点

PMMA線量計で吸収線量と吸光度との間に比例関係が成り立つのは，吸収線量が0.5～3 M rad の範囲である。したがって，中心線源型反応器のように線量率分布の巾が大きな場合には，線量率の高い部分と低い個所を分けて照射し，すべての測定点で吸収線量が前述の範囲に入るよう考慮することが必要である。今回の測定では，低線量率の部分におけるPMMAの吸収線量が充分でなく，測定精度を下げる原因となった。また，平均吸収線量率を求める際に重要なことは，線量率の変化の急激な場所では，多くの測定値を得ることである。そのためには，あらかじめ分布を予測しなければならない。本報告においては，測定点の不足をカバーするため，数個所にわたって外挿から求めた値を使用している。

5. 結　　論

中心部に線源を挿入するエチレン重合装置の中心線源型薄壁反応器（５０ℓ）の内部における吸収線量率をＰＭＭＡ線量計で測定した結果，次のことが明らかになった。

1) 反応器内の線量率分布はZ軸方向，半径方向ともにかなりの減衰が見られる。外筒壁面および，反応器上下端では，それぞれ最高線量率の１／３，１／１０の値になる。

2) 反応器内の媒体として，水と第３ブタノール水溶液を比較すると，吸収線量率分布，平均吸収線量率ともほとんど差がない。

3) 掻取羽根の存在は，線量率分布に若干の影響を与える。掻取羽根のある場合の平均吸収線量率は，無い時の平均吸収線量率に0.9を乗じた値となる。

4) 中心線源型の反応器のエネルギー吸収効率は，外側から照射する型の反応器のそれに比べて非常に良い。第３ブタノール水溶液の存在下では，約３％である。

謝　　辞

本実験を進めるにあたり，電子計算機のプログラムを作製していただいた渡辺光崇氏に感謝致します。

参　考　文　献

1) 田中，三友，大島；ＪＡＥＲＩ－memo 4121 （1970）

2) D.L.Broder, Yu.R.A.A.Kaurin ; Atomnaya Energiya 12, 30 （1962）

3) Rockwell.T.; Reactor Shilding Design Manual （1956）

4) 大島，橘；第８回アイソトープ会議

表1 線量計算コード

```
      PAGE  0001            (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

0001  FTN4,L
0002        PROGRAM CTX01
0003  C     RADIATION INTENSITY DISTRIBUTION IN PICW REACTOR
0004  C
0005        DIMENSION RII(3),Z(3),X(11),Y(12),RAD(11)
0006  C
0007        UT=0.0533
0008        US=0.0536
0009        UI=0.0634
0010        RT=7.91
0011        RS=8.7
0012        T=2.1
0013        DI=0.866
0014        DT=0.92
0015        AT=8.05
0016        ALT1=0.0816
0017        ALT2=-0.0313
0018        AI=10.15
0019        ALI1=0.086
0020        ALI2=-0.051
0021        RG=4.8
0022        UE=0.0298
0023        RAD0=1.698138E+05*2.5*UE
0024  C
0025        READ(5,*)(RII(I),I=1,3)
0026        READ(5,*)(Z(I),I=1,3)
0027        READ(5,*)(X(I),I=1,11)
0028        READ(5,*)(Y(I),I=1,12)
0029  C
0030        DO 10 L=1,3
0031        RI=RII(L)
0032        DO 12 K=1,3
0033        DIAS=.5
0034        WRITE(6,100)
0035   100  FORMAT(1H1///10X,"*** RADIATION INTENSITY DISTRIBUTION IN PICW REA
0036       1CTOR ***"/)
0037        IF(L-2)50,52,54
0038    50  WRITE(6,102)
0039   102  FORMAT(15X,"ABSORBED TO AIR  (DENSITY = 0.0012)")
0040        GO TO 56
0041    52  WRITE(6,104)
0042   104  FORMAT(15X,"ABSORBED TO WATER  (DENSITY = 1.00)")
0043        GO TO 56
0044    54  WRITE(6,106)
0045   106  FORMAT(15X,"ABSORBED TO TERT-BUTANOL  (DENSITY = 0.810)")
0046    56  KZ=Z(K)
0047        WRITE(6,108)KZ,KZ
0048   108  FORMAT(30X,"SOURCE   ",12," *",I2/)
0049        WRITE(6,110)(X(I),I=1,11)
0050   110  FORMAT(5X,11F9.1/)
0051        DO 14 J=1,12
0052        DO 16 I=1,11
0053  C     INTEGRATION

      PAGE  0002  CTX01     (FTN4--RELEASE 241778--JULY, 1971)

0054        SFUN=0.0
0055        DLTH=0.6
0056        DO 18 N=1,99
0057  C
0058        S=-30.0+DLTH*FLOAT(N)
0059        R2J=(Y(J)-S)*(Y(J)-S)+X(I)*X(I)
0060        R=R2J**0.5
0061  C     BUILT UP FACTOR
0062        YI1=((X(I)-RG)*UI*RI+T*UT*RT+DIAS*US*RS)*R/X(I)
0063        BI1=AI*EXP(ALI1*YI1)+(1.0-AI)*EXP(ALI2*YI1)
0064        YI2=(T*UT*RT+DIAS*US*RS)*R/X(I)
0065        BT=AT*EXP(ALT1*YI2)+(1.0-AT)*EXP(ALT2*YI2)
0066        BI2=AT*EXP(ALI1*YI2)+(1.0-AT)*EXP(ALI2*YI2)
0067        B=DI*BI1+DT*BT-DI*BI2
0068  C
0069        P1=-(T*UT*RT+(X(I)-RG)*UI*RI+DIAS*US*RS)/X(I)
0070        SFUN=SFUN+B*EXP(R*P1)/R2J
0071    18  CONTINUE
0072        S=-30.0
0073        R2J=(Y(J)-S)*(Y(J)-S)+X(I)*X(I)
0074        R=R2J**0.5
0075        SFUN=SFUN+B*EXP(R*P1)/R2J/2.0
0076        S=30.0
0077        R2J=(Y(J)-S)*(Y(J)-S)+X(I)*X(I)
0078        R=R2J**0.5
0079        SFUN=SFUN+B*EXP(R*P1)/R2J/2.0
0080        RAD(I)=RAD0*SFUN*DLTH/30.0*Z(K)*995.0*1.0E-04
0081    16  CONTINUE
0082        WRITE(6,200)Y(J),(RAD(M),M=1,11)
0083   200  FORMAT(1X,F4.1,11F9.3)
0084    14  CONTINUE
0085    12  CONTINUE
0086    10  CONTINUE
0087  C
0088        WRITE(6,202)
0089   202  FORMAT(1H1,"OWARIMASITA."/"OTSUKARESAN")
0090        STOP
0091        END

**  NO ERRORS*
```

表2　中心線源型反応器内の平均吸収線量率

反応器内媒体	キュリー数	平均吸収線量率
第3ブタノール 79wt%水溶液	3,840Ci	0.45×10^5 rad/hr (0.5×10^5)
第3ブタノール 79wt%水溶液	7,680	1.0×10^5 (1.1×10^5)
第3ブタノール 87wt%水溶液	11,760	1.7×10^5 (1.9×10^5)
水	11,760	1.5×10^5 (1.7×10^5)
空　気	11,760	1.9×10^5 (2.1×10^5)

注）（　）内の値は撹取羽根の無い場合

表3　線源の配置の相異によるエネルギー吸収効率の比較

反応器の種類	反応器内媒体	キュリー数	エネルギー吸収効率
外側に線源のある反応器	エチレン	90,000Ci	0.22%
中心線源型反応器	第3ブタノール	11,760	2.95
	水	11,760	3.25

注）線源は，いずれもCo-60棒状線源

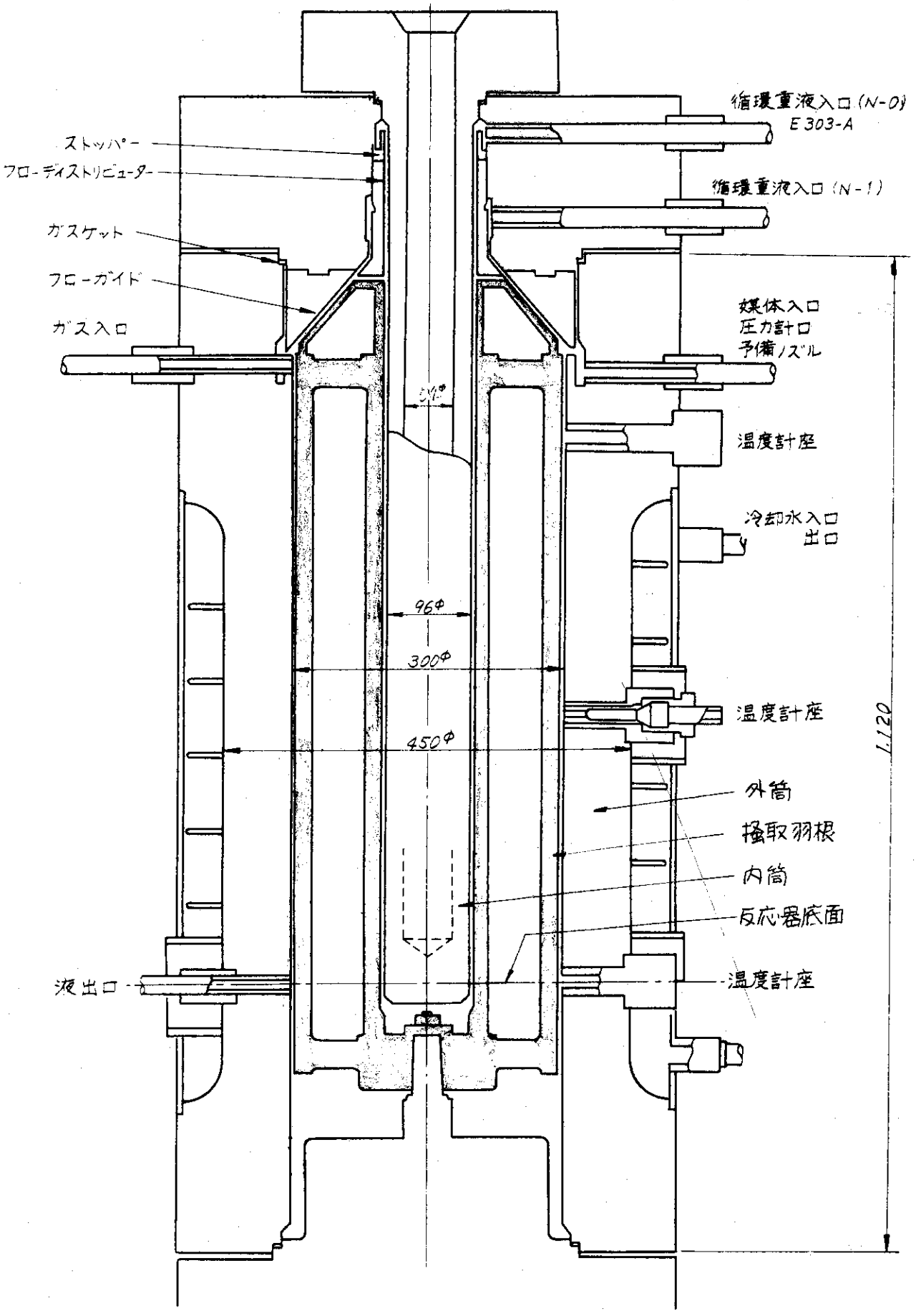

図１　中心線源型濡壁反応器の構造

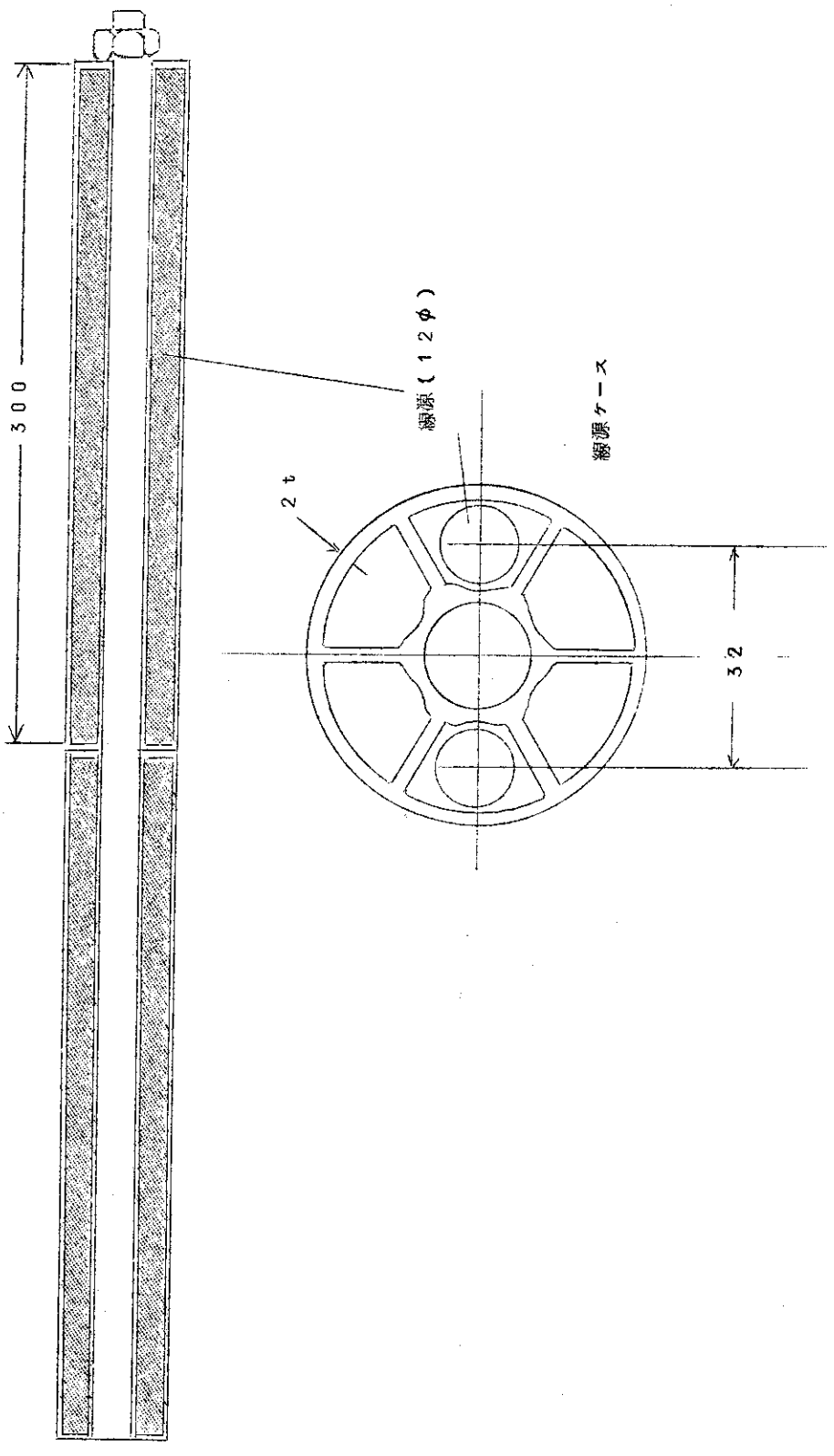

図2　線源と線源ケースの位置関係

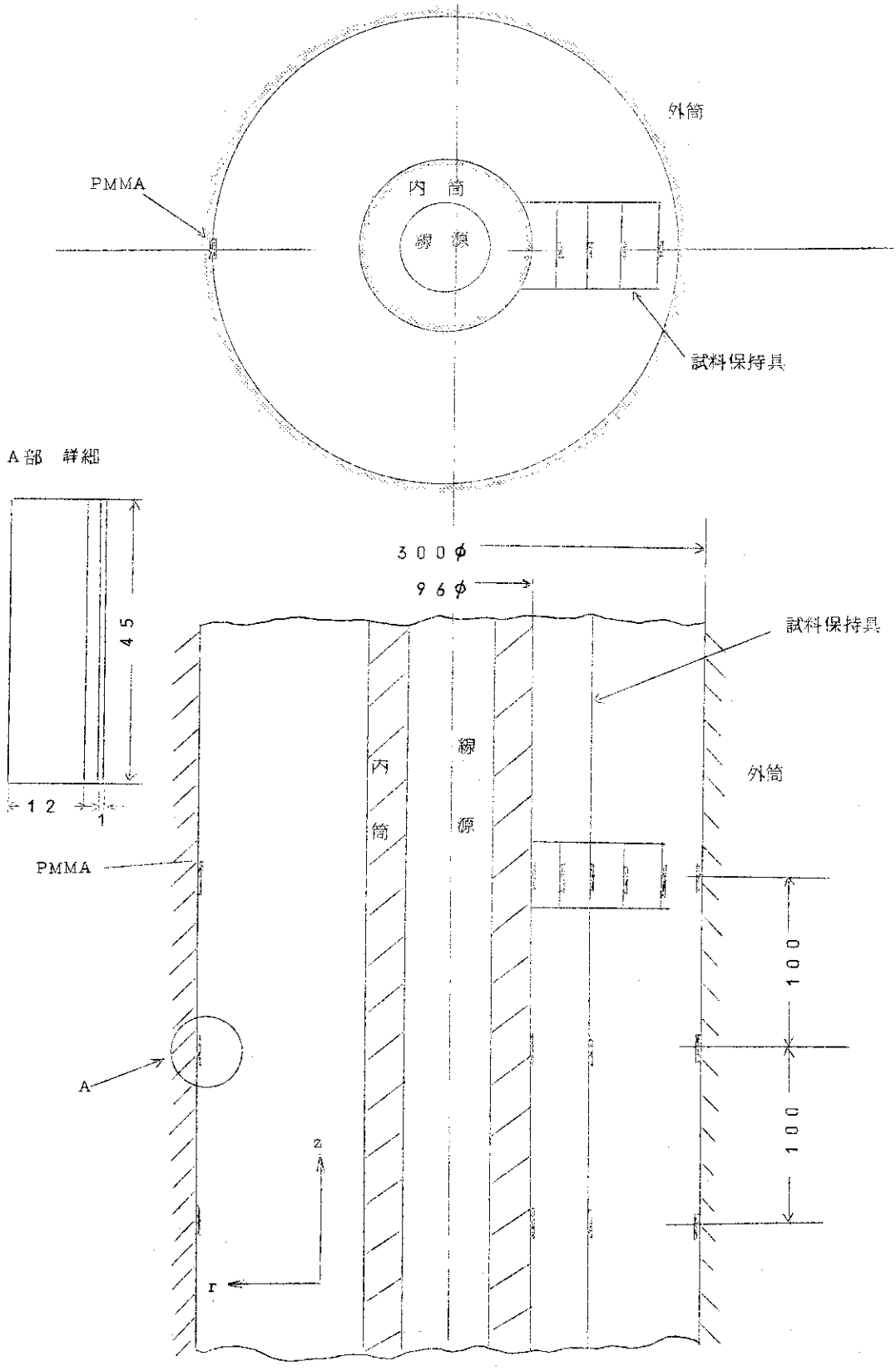

図3 反応器，線源，線量計の位置関係

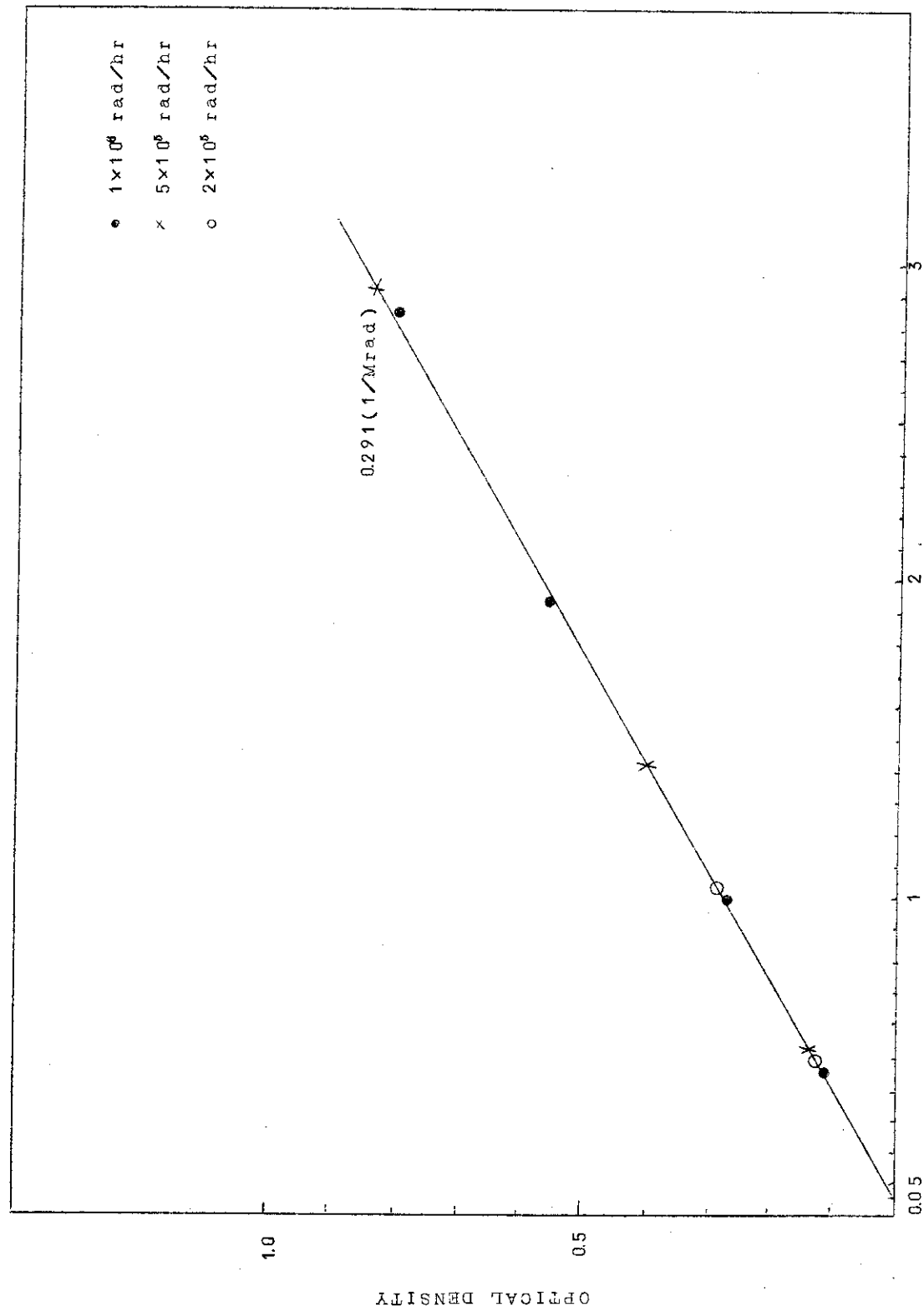

図4 吸収線量と吸光度の関係

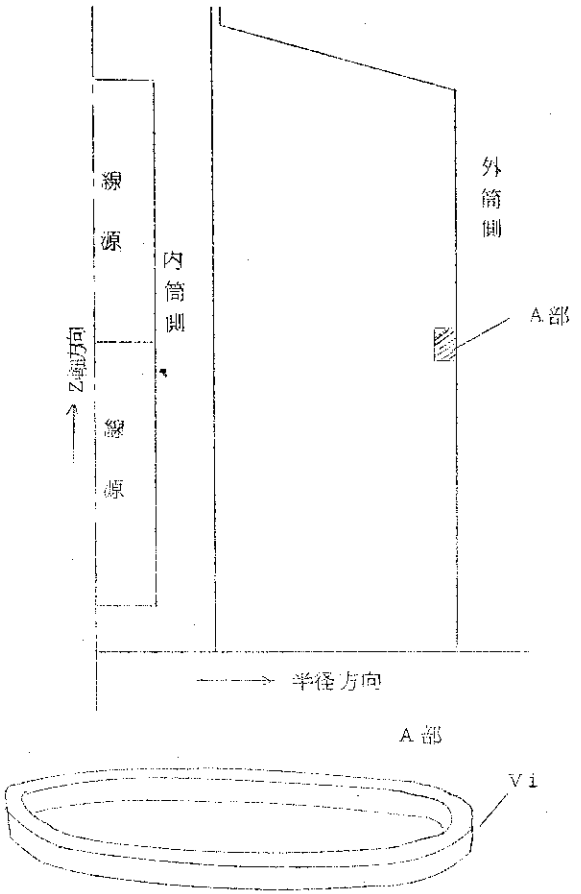

図5　パイナップル・リングの説明

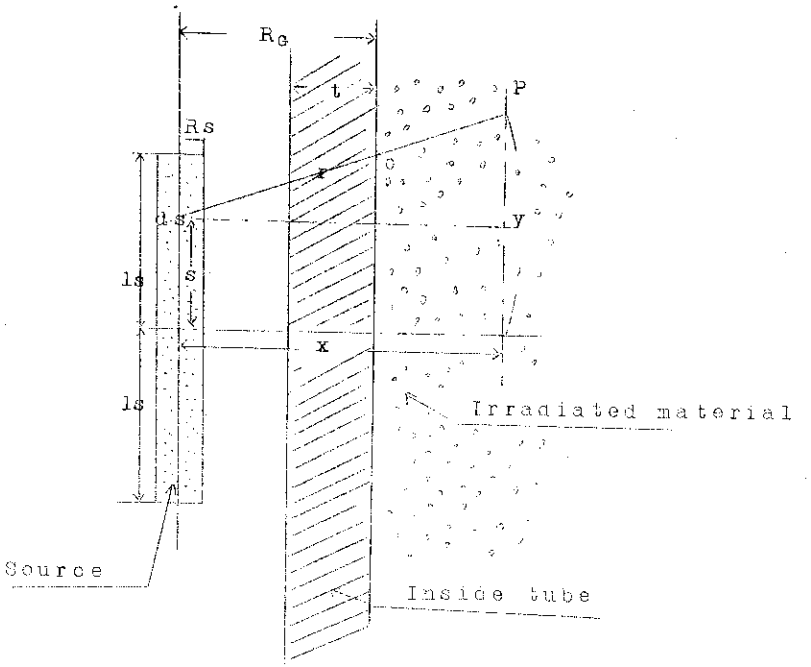

図6　線源と測定点の位置の関係

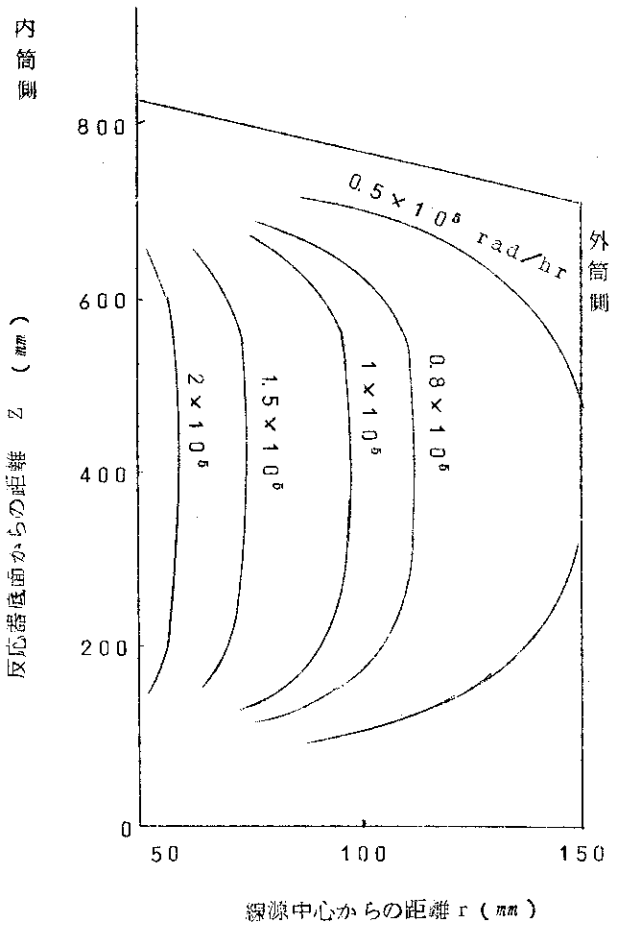

図7　理論的に求めた吸収線量率分布
媒体；第3ブタノール水溶液（$\rho = 0.81$），
キュリー数；995 ci×4本

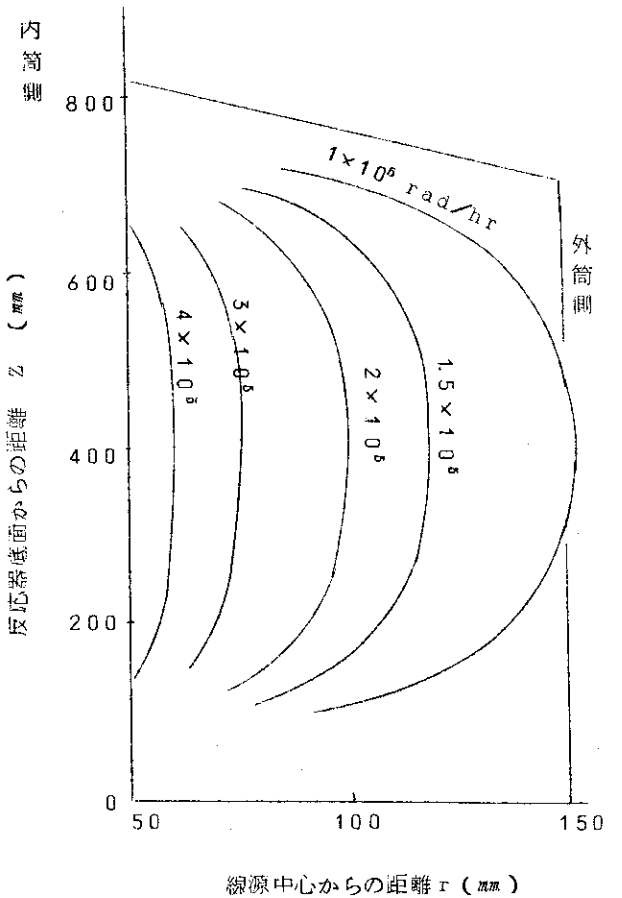

図8　理論的に求めた吸収線量率分布
媒体；第3ブタノール水溶液（$\rho = 0.81$），
キュリー数；995 ci×8本

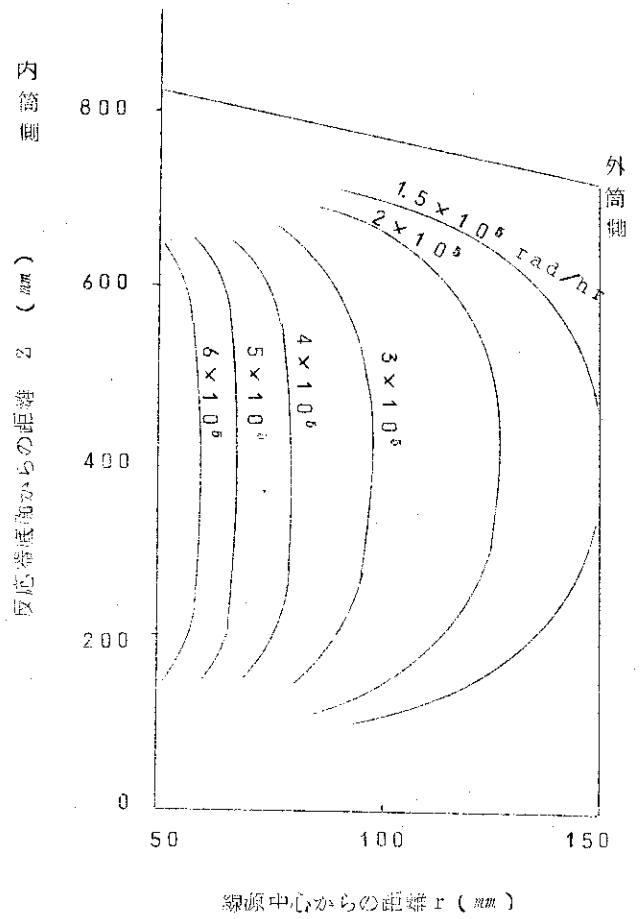

図9　理論的に求めた吸収線量率分布
媒体；第3ブタノール水溶液（$\rho=0.81$），
キュリー数；995ci×12本

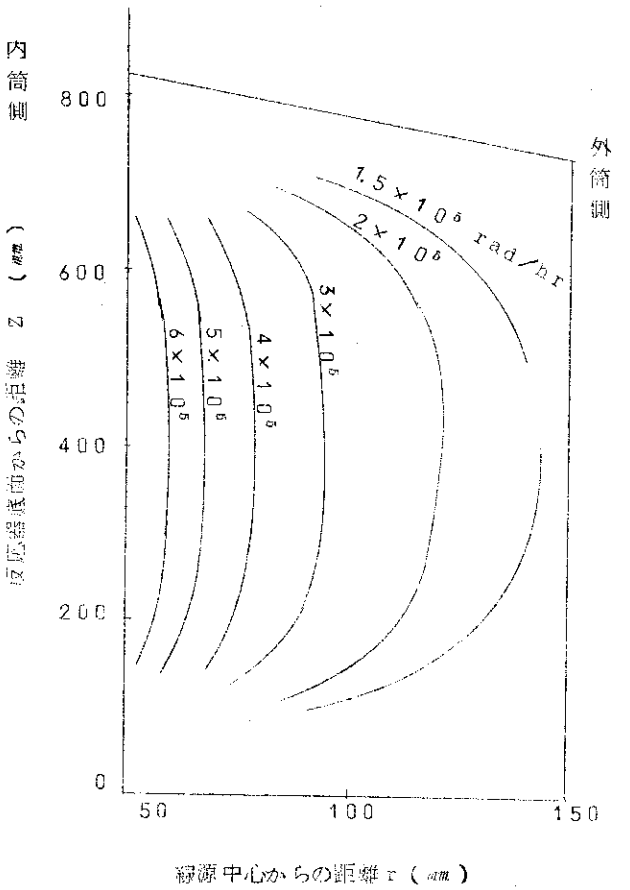

図10　理論的に求めた吸収線量率分布
媒体；水（$\rho=1.0$），キュリー数；995ci×12本

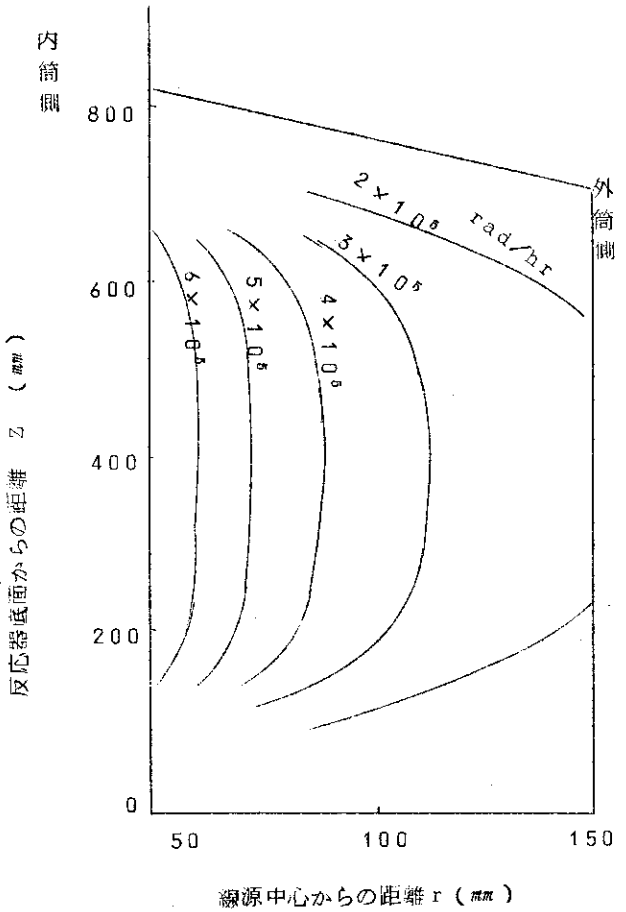

図１１　理論的に求めた吸収線量率分布
媒体；空気（$\rho=0.0$），キュリー数；
９９５ci×１２本

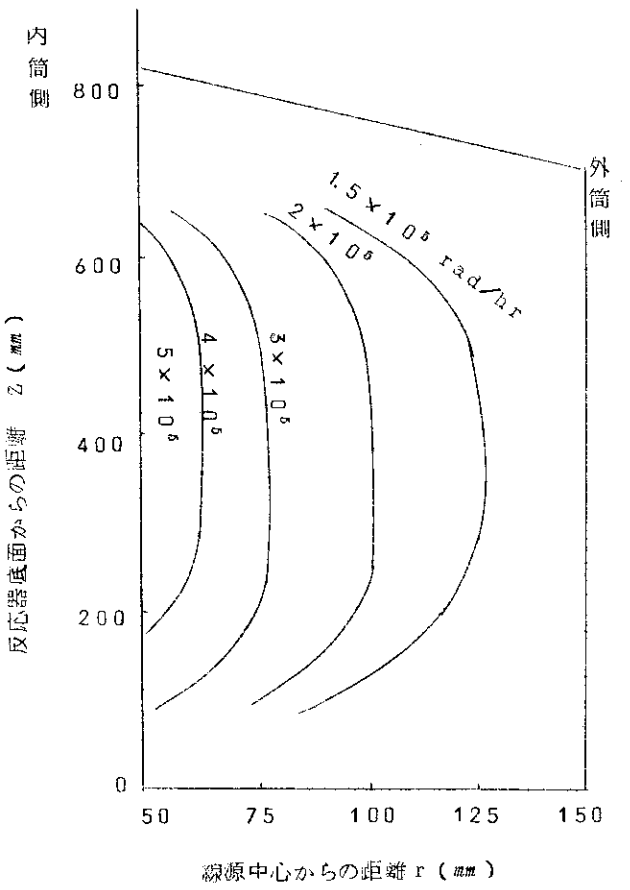

図１２　反応器内部を水で満たした場合の吸収線量率分布
キュリー数；９８０ci×１２本

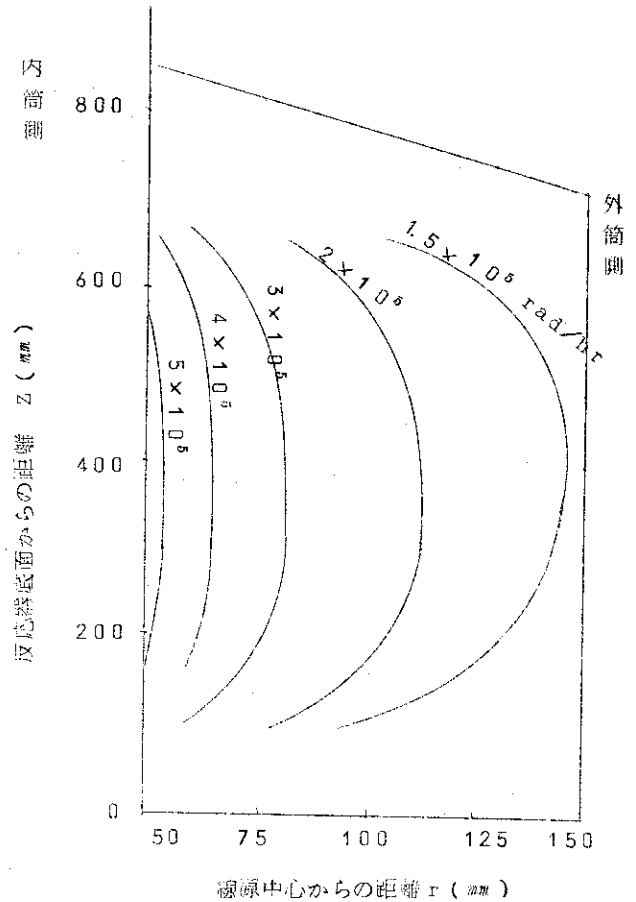

図１３　反応器内部を第３ブタノール８７ｗｔ%水溶液 (ρ=0.81)で満たした場合の吸収線量率分布

キュリー数；９８０ ci×１２本

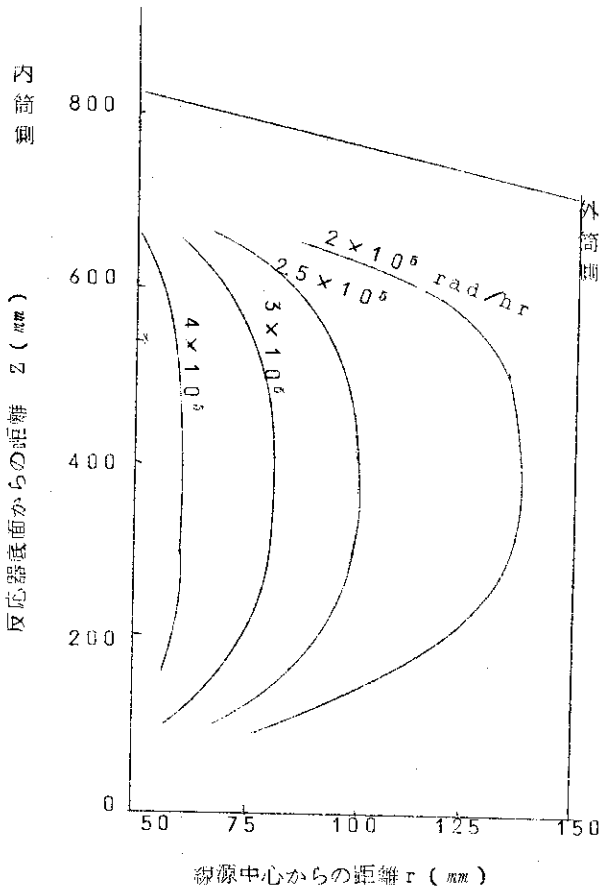

図１４　反応器内部が空気の場合の吸収線量率分布

キュリー数；９８０ ci×１２本

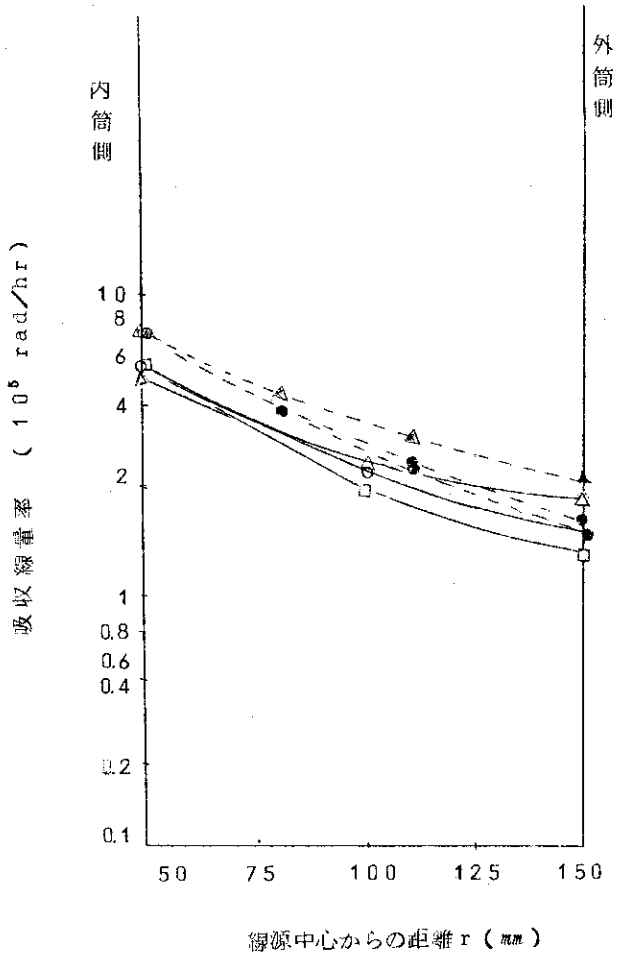

図１５　各媒体中における吸収線量率分布の比較
反応器底面からの高さ４００ mm, 第3ブタノール87ｗｔ%
水溶液；⊙（実測）◎（計算）水；⊡（実測）▣（計算），
空気：△（実測）▲（計算）

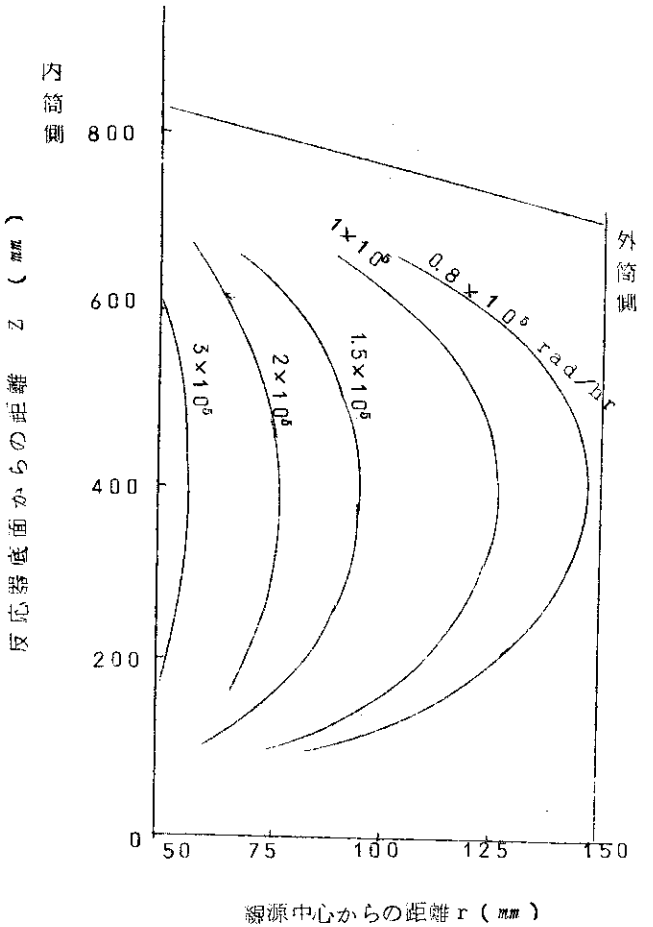

図１６　反応器内部を第３ブタノール７９ｗｔ%
水溶液（ρ=0.83）で満たした場合の
吸収線量率分布
キュリー数；９６０ci×8本

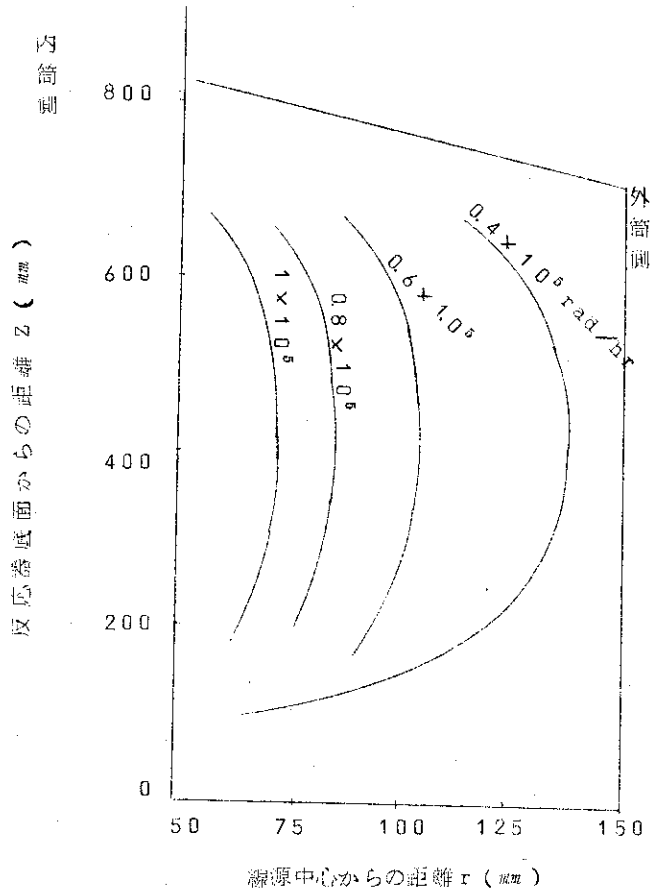

図１７　反応器内部を第３ブタノール７９ｗｔ%水溶液（ρ=0.83）で満たした場合の吸収線量率分布
キュリー数；９６０ cix ４本

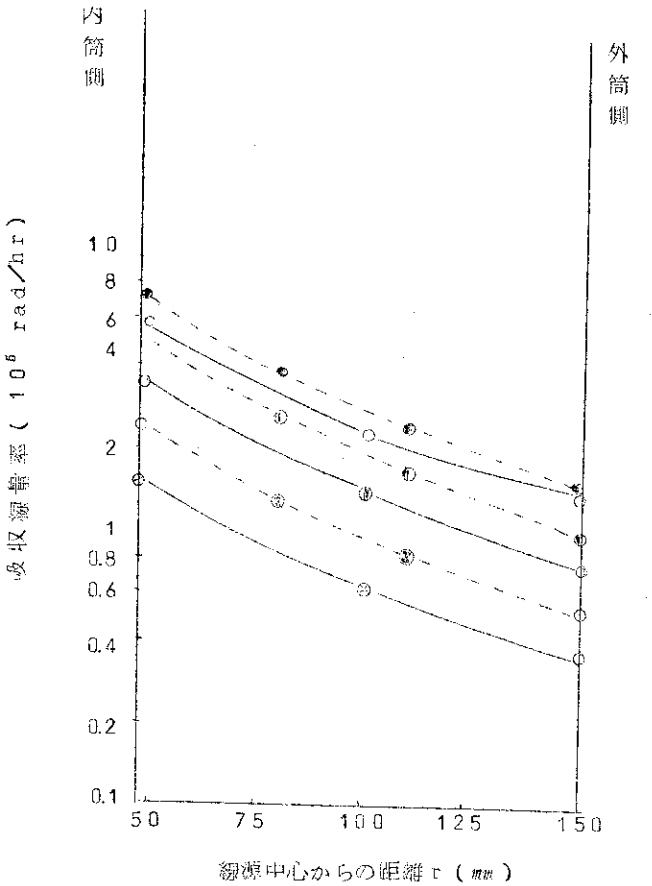

図１８　キュリー数を変えたときの吸収線量率分布の比較
第３ブタノール水溶液（７９～８７ｗｔ%），反応器底面からの高さ４００mm
キュリー数９８０ cix １２本；⊙（実測）◎（計算），９６０cix８本；◑（実測）◐（計算），９６０ cix ４本；⊗（実測）⊛（計算）

JAERI-M 5485

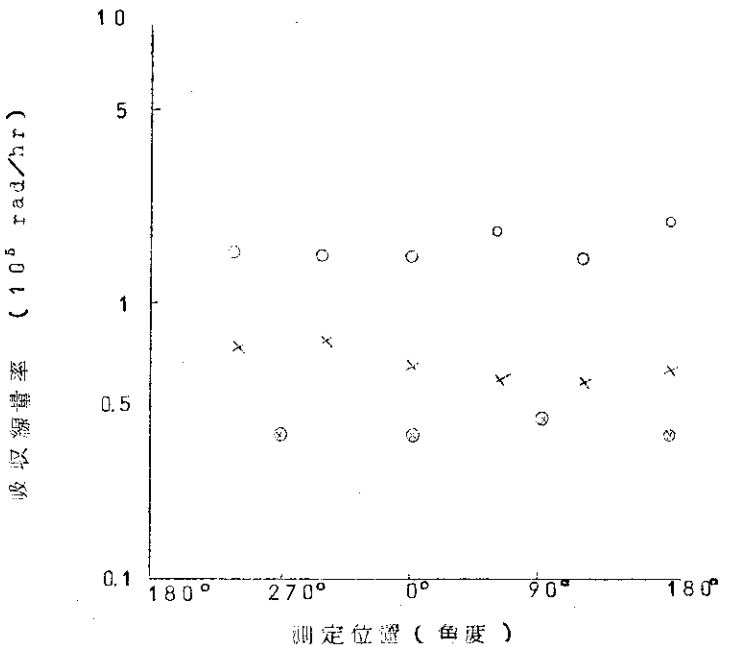

図１９　同一円周上における吸収線量率分布

第３ブタノール７９ｗｔ％水溶液（ρ＝0.83），キュリー数960ci×４本

反応器底面からの高さ４４０mm，r＝４８mm；⊙，r＝１０５mm；×

r＝１５０mm；⊗

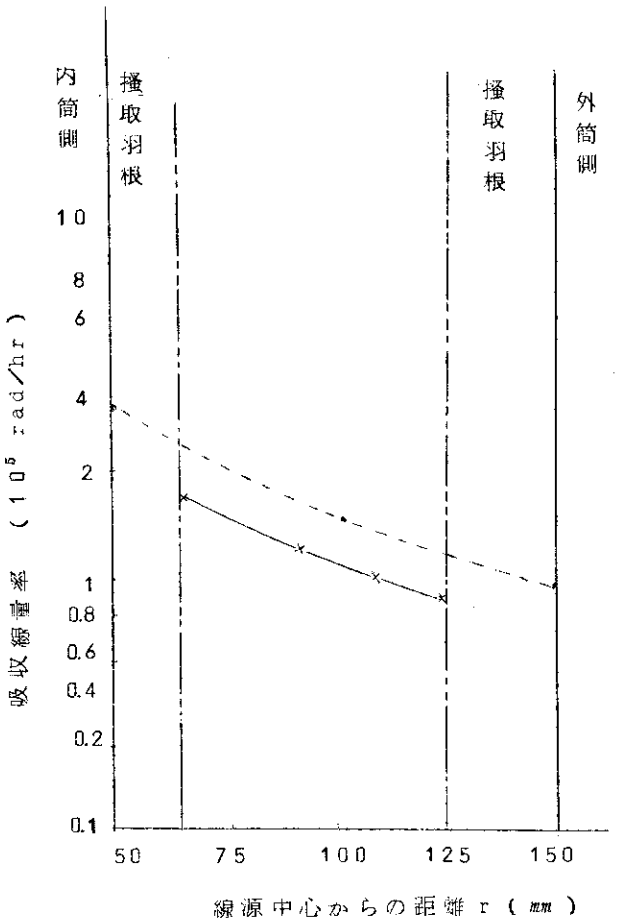

図２０　掻取羽根がある場合の吸収線量率分布

第３ブタノール７９ｗｔ％水溶液（ρ＝0.83），キュリー数９６０ci×８本

反応器底面からの高さ４６０mm，掻取羽根有；×，無；・