

環境中ラドン濃度の測定及び評価手法の確立に関する研究

平成8年2月22日

動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒708-06 岡山県苫田郡上斎原村1550番地
動力炉・核燃料開発事業団
人形峠事業所
ウラン濃縮工場・技術課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Engineering Section, Uranium Enrichment Plant, Ningyo Toge Works,
Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation,
1550 Kamisaibara-son, Tomada-gun, Okayama-ken, 708-06, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団
(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

<概要>

人形峠事業所では昭和30年代にウラン鉱山活動が開始され、現在はその活動を停止している。しかし、事業所を含め周辺の鉱山跡には捨石堆積場が存在し、昭和63年に捨石堆積場内でやや高いレベルの放射線が検出され、社会問題化している。

事業所では従来よりラドンに関する研究を実施しているが、捨石堆積場問題発生以降は、鳥取県、岡山県の各環境保全協定に基づく環境モニタリングに大気中ラドン濃度の測定を含めるとともに、捨石堆積場における各種のラドン測定を本格的に開始してきた。

ウラン鉱山で問題となるのはウラン系列のラドン222（半減期3.8日）であり、ラジウム226の崩壊によって生成される。ラドンは希ガスであるため、大気中に散逸され、内部被ばくの原因とされている。

そのため、人形峠事業所では捨石堆積場からのラドンが周辺環境へ及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、ラドン測定機器とその校正手法の開発や、ラドンおよび娘核種の測定、捨石堆積場からの影響評価等に関する研究を実施しており、その内容として以下の項目について報告する。

- ① 積分型モニタによる大気中ラドン濃度の測定
- ② 測定機器および校正手法の開発
- ③ 拡散モデルによる評価
- ④ 方面地区調査研究

<結果>

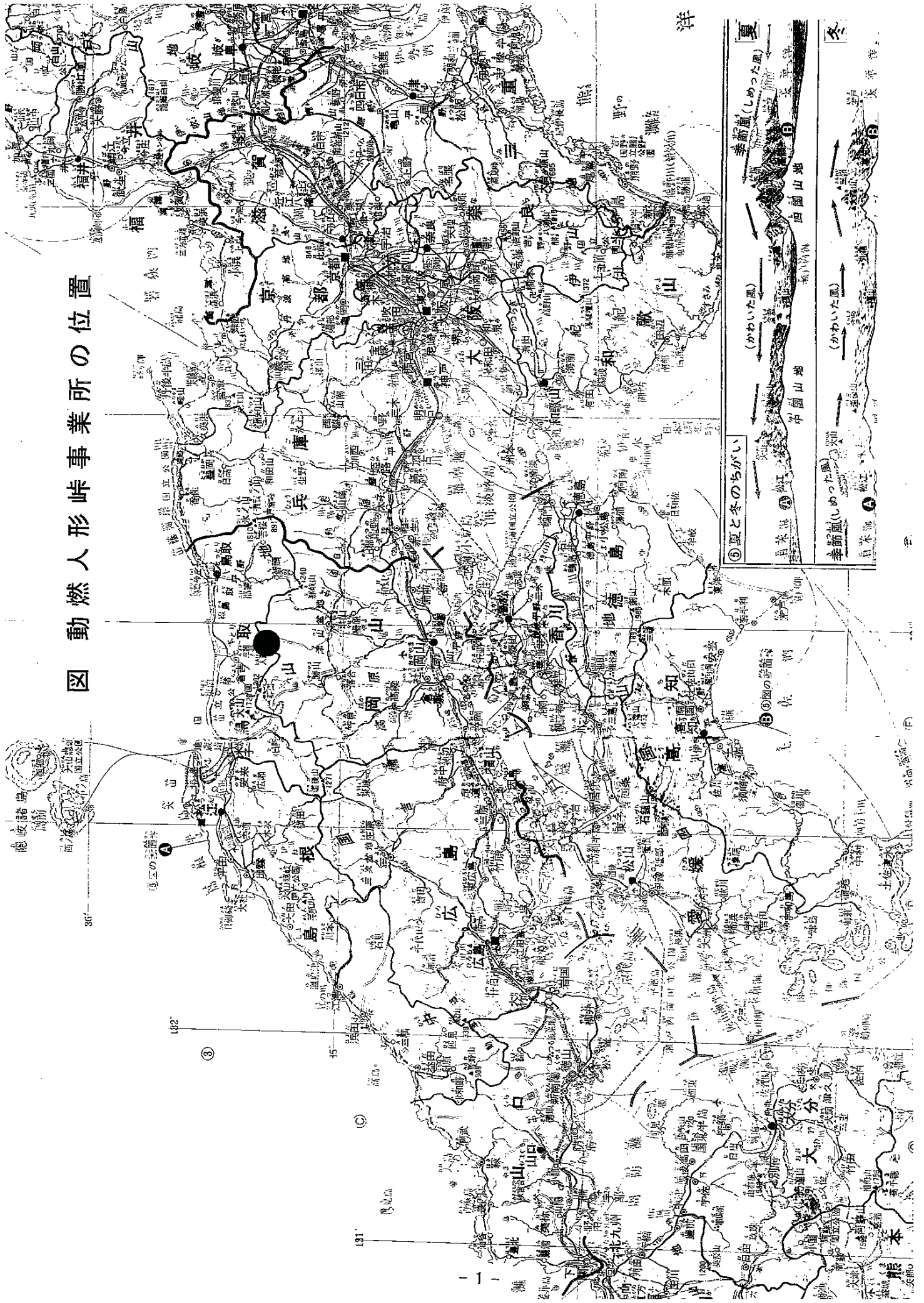
- ・捨石堆積場内にはラドン濃度の比較的高い箇所が存在するが、周辺環境への影響は小さい。

<今後の計画>

- ・ 今後は散逸量や、ラドン濃度などの代表的データの取得
- ・ 拡散影響についてより精密な手法を用いた解析評価
- ・ 積分型ラドン娘核種の測定手法の開発と測定
- ・ ラドン娘核種の粒径分布の測定
- ・ ラドン校正のトレーサビリティの向上と娘核種校正場の開発

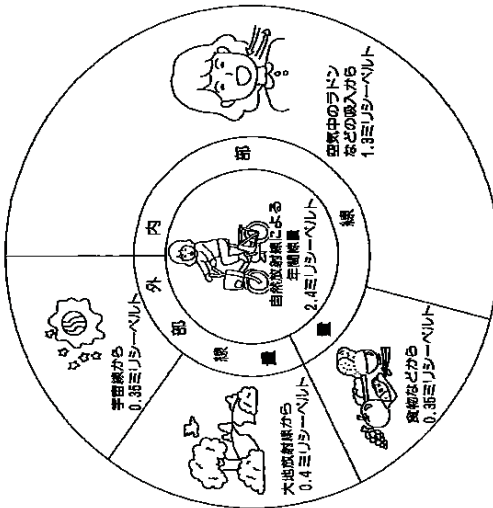
以 上

図 動燃人形峠事業所の位置

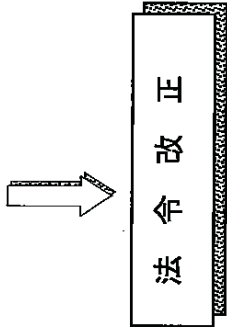


ラドン研究の必要性

自然による被ばく



ICRP Pub. 26
実効線量当量による被ばく評価



人形峠事業所ウラン鉱山

施設による被ばく

核燃料サイクルの固体廃棄物処理と地球規模に拡散した放出物中の放射性核種による公衆への規格被曝線量

放出源	規格集団実効線量当量 [人・Sv(GW年) ⁻¹]
火山と地殻放射性核種	0.7
燃料加工	0.5
原子炉運転	10
再処理	0.25
濃縮	0.2
合計 (概数)	12

核燃料サイクルからの規格職業被曝

運 転	規格集団実効線量当量 [人・Sv(GW年) ⁻¹]
火山と地殻放射性核種	0.7
燃料加工	0.5
原子炉運転	10
再処理	0.25
濃縮	0.2
合計 (概数)	12

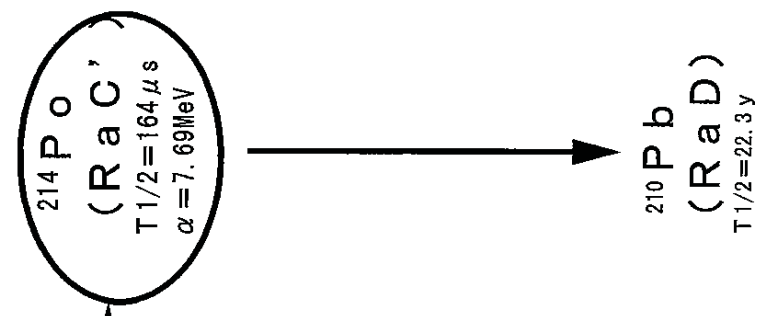
捨石堆積場の後措置
ラドン測定義務
ラドン発生量の低減
周辺環境への影響評価

ラドンの挙動

222Rnの測定

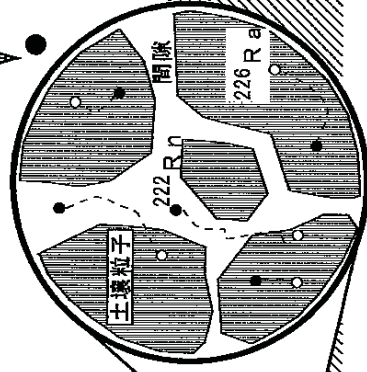
- ・ 気象条件による濃度変化大
- ・ 濃度レベルが概して低い
- ・ 被ばく評価のためには長期間の平均値が必要

218Po ~ 214Po : 短寿命ラドン娘核種
 → 平衡等価ラドン濃度 (法令値)
 = 娘核種が放出するポテンシャルα線エネルギーで重み付けした濃度 (平衡係数=平衡等価ラドン濃度/ラドン濃度)
 → 実効線量当量算出



ラドン娘核種：
 大気中エアロゾルに付着する成分 (大気中滞留時間が長い)
 大気中エアロゾルに付着しない成分 (大気中滞留時間が短い)

ラドン：
 希ガスであり被ばくへの寄与は小さく平衡等価濃度の1/100程度



地表面からの散逸

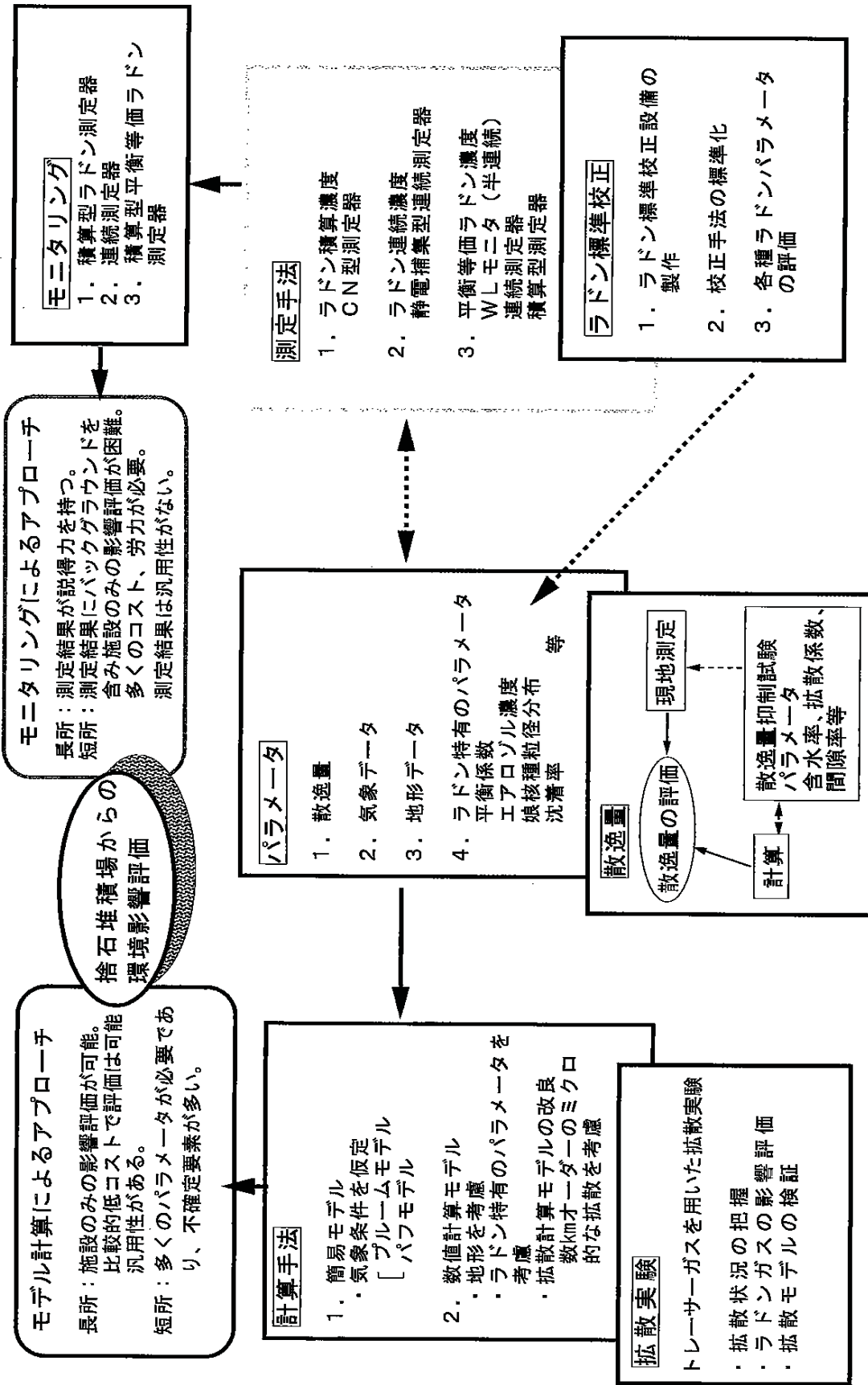


図 ラドンによる環境影響評価研究の構成

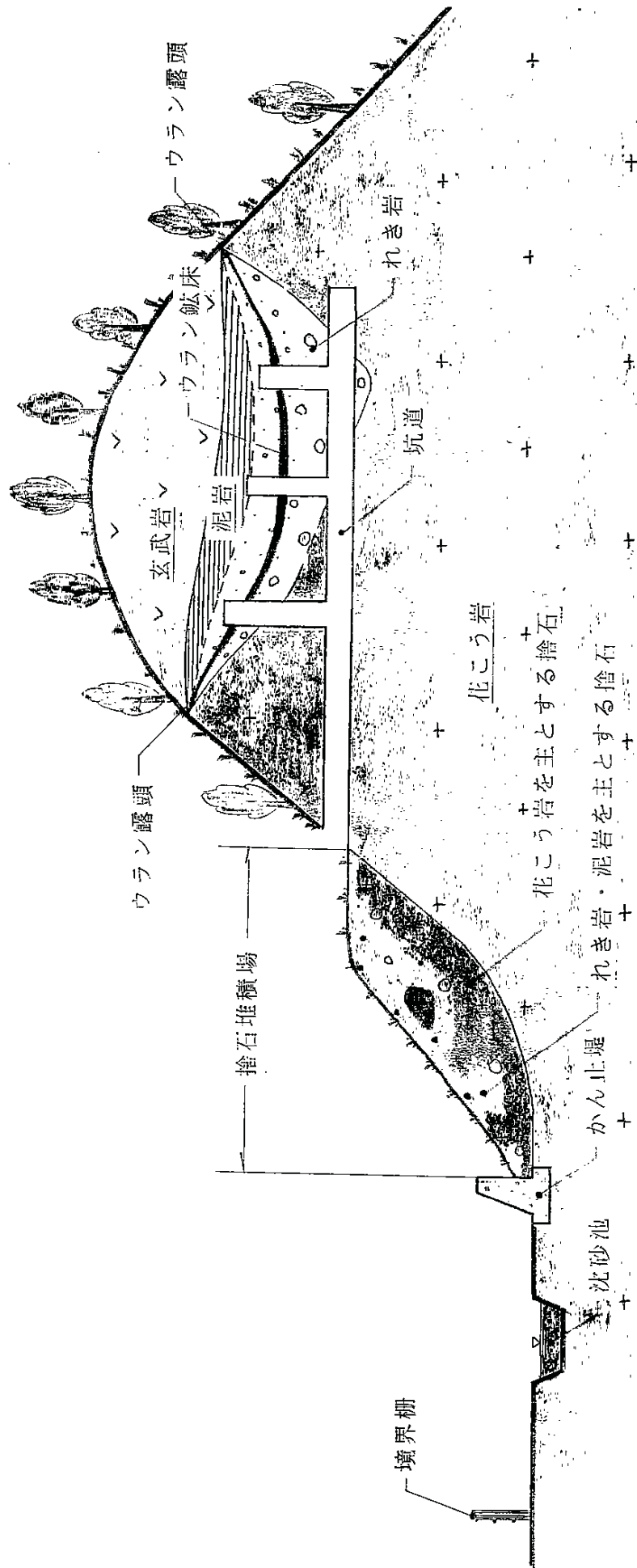


図 捨石堆積場の概念図

① 積分型モニタによる大気中ラドン濃度の測定

<目的>

- ・ 捨石堆積場及び居住地区のラドン濃度の水準調査
- ・ 捨石堆積場からの影響の推定

<結果>

- ・ 大気中ラドン濃度の定常モニタリングに対応できる手法、体制の整備
全国平均よりも比較的高いラドン濃度
- ・ 地質の影響による高ラドン濃度地域の存在
- ・ 居住地区 < 堆積場内
- ・ 夏期に高く冬季に低い季節変化
- ・ 今後、製造元の素子の品質低下、安定供給が課題
→CR39素子適用の検討
→積分型平衡等価ラドン濃度の測定が必要

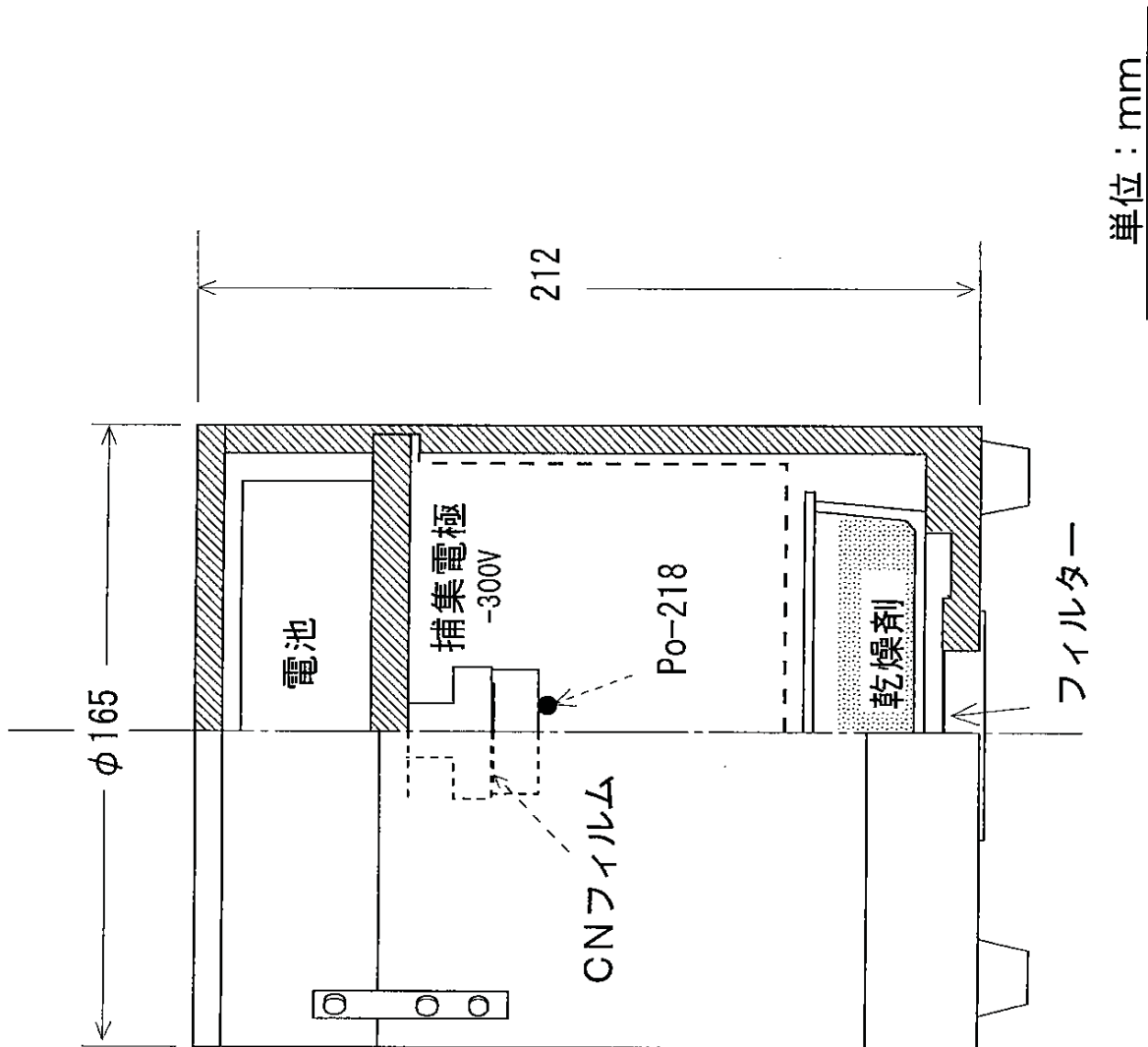
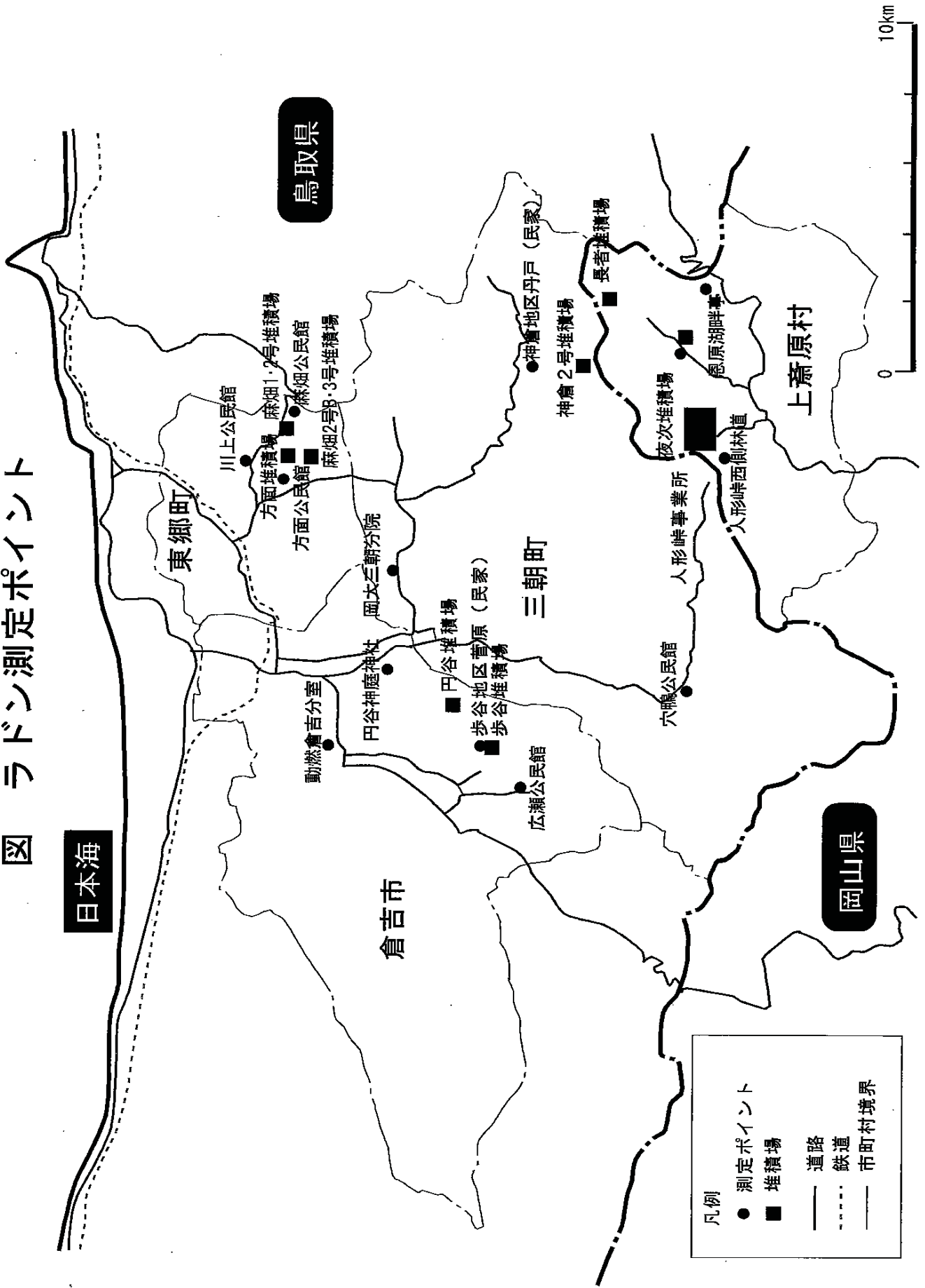


図 CNフィルムを用いた積算型ラドン測定器

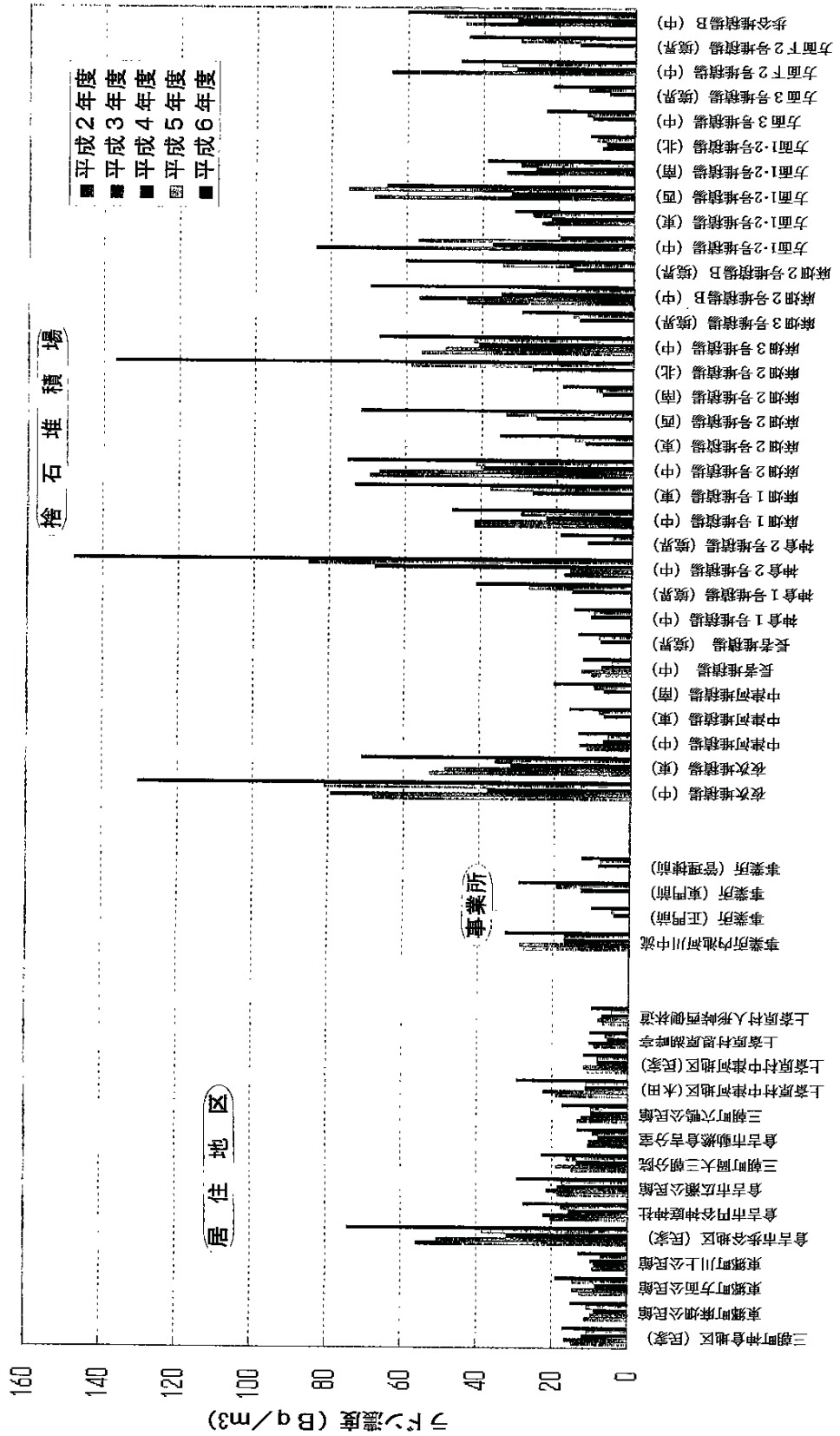
図 ラドン測定ポイント



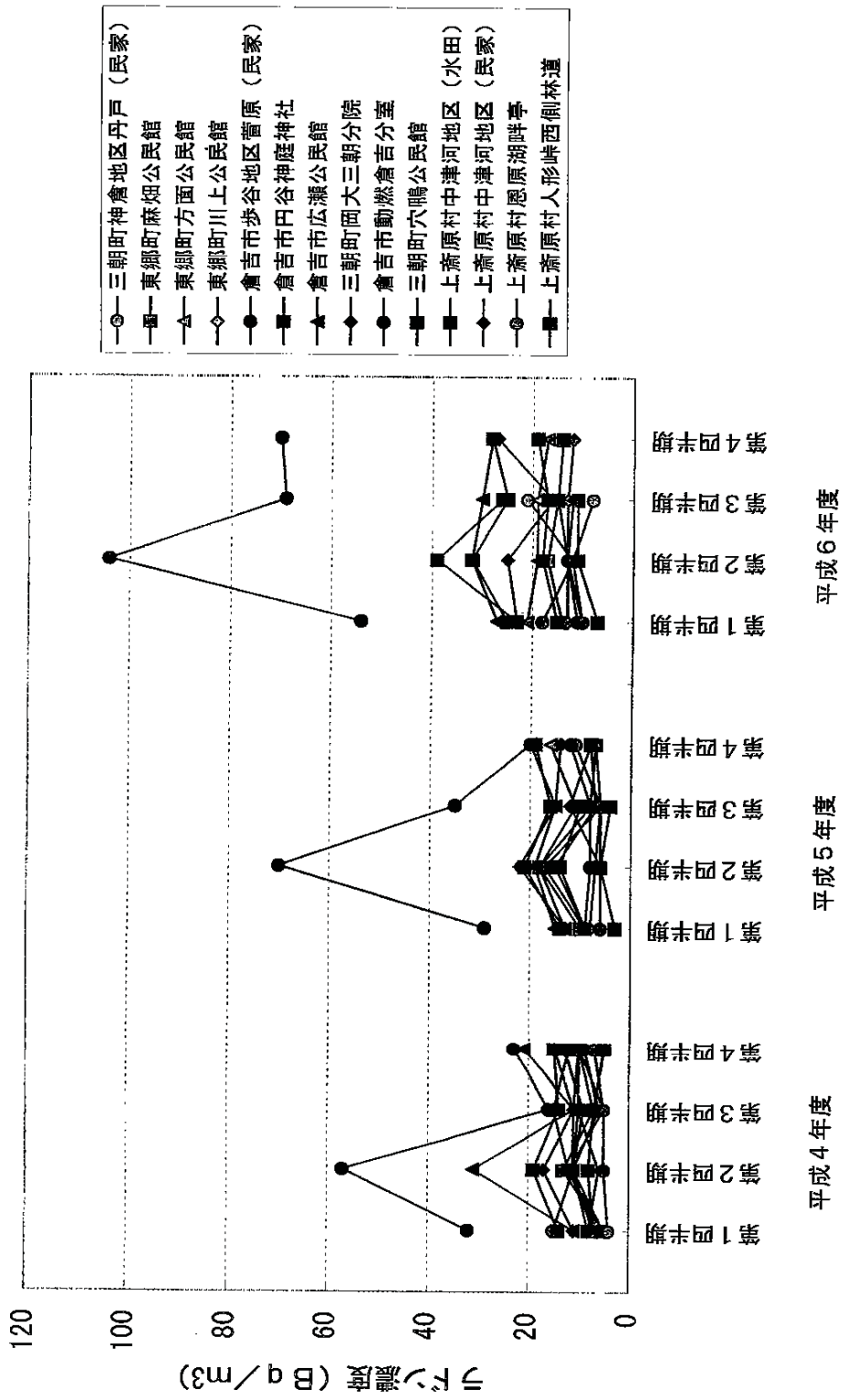
凡例

●	測定ポイント
■	堆積場
—	道路
- - -	鉄道
⋯	市町村境界

積分型ラドンモニタによるラドン濃度 (年平均)



居住地区ラドン濃度変動



② 測定器及び校正手法の開発

＜目的＞

- ・ ラドン娘核種等の測定機器の開発 → (測定の個所で説明)
- ・ 測定器校正設備の製作及び校正手法の確立

＜結果＞

- ・ 日本初の校正場の製作と均一なラドン場の確認
- ・ 今後、国際的なトレスーサビリティの確立、ラドン娘核種の校正設備、校正手法の確立が必要
- ・ 今後、ラドン娘核種の積分型測定器の開発

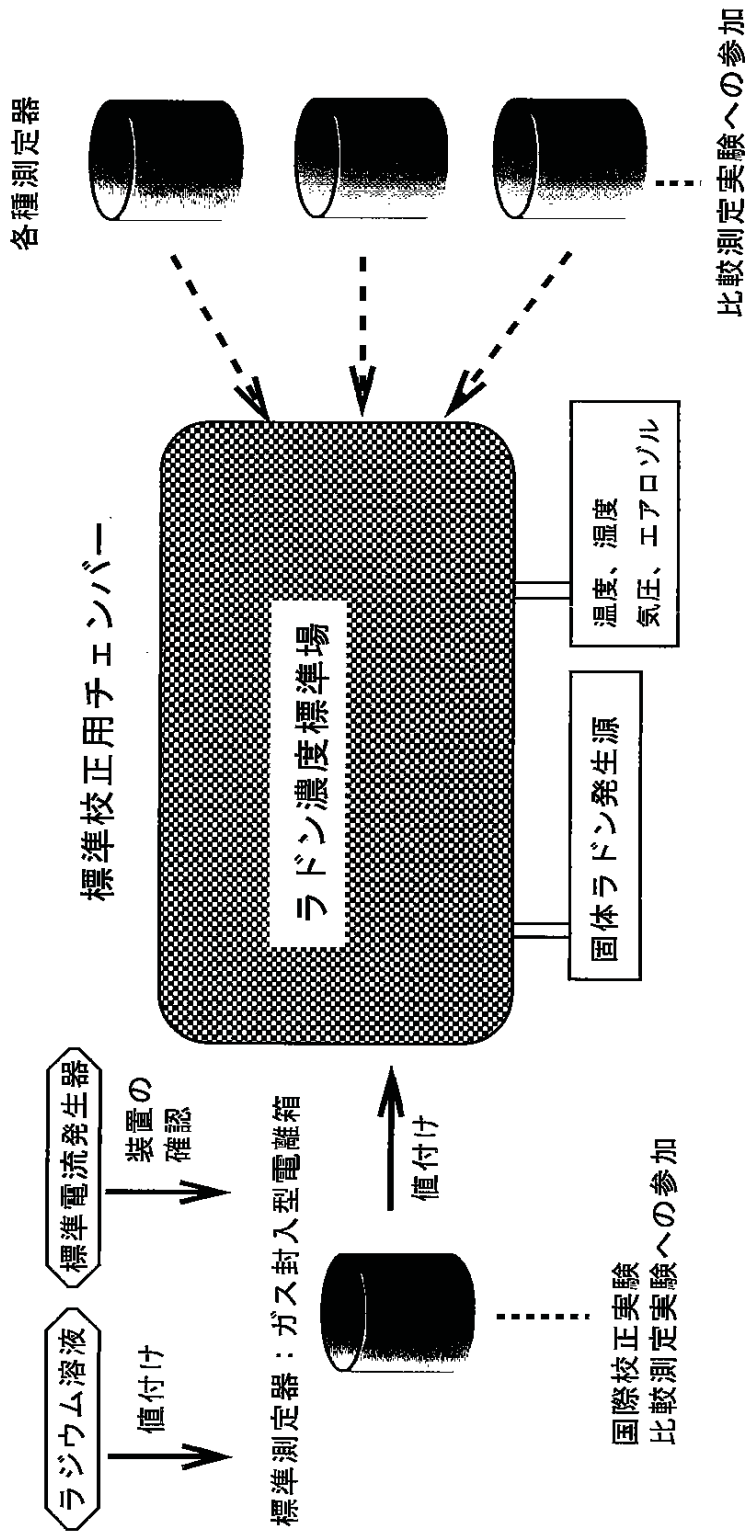
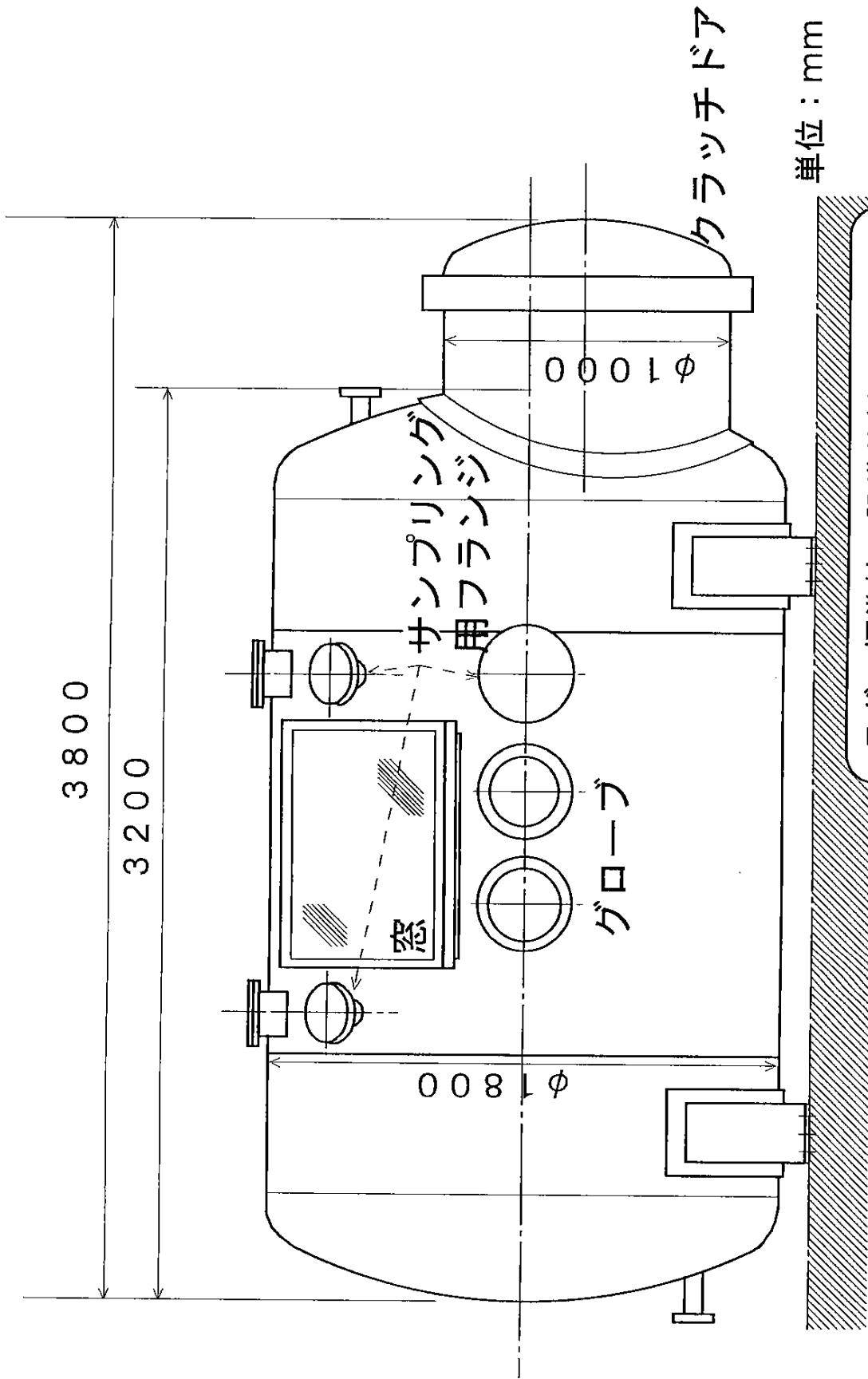
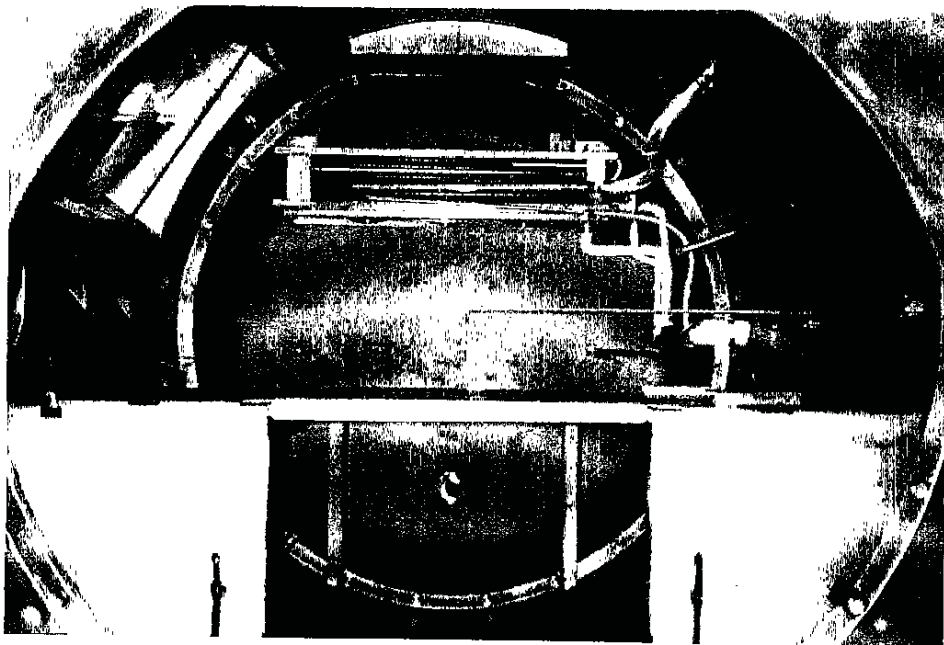
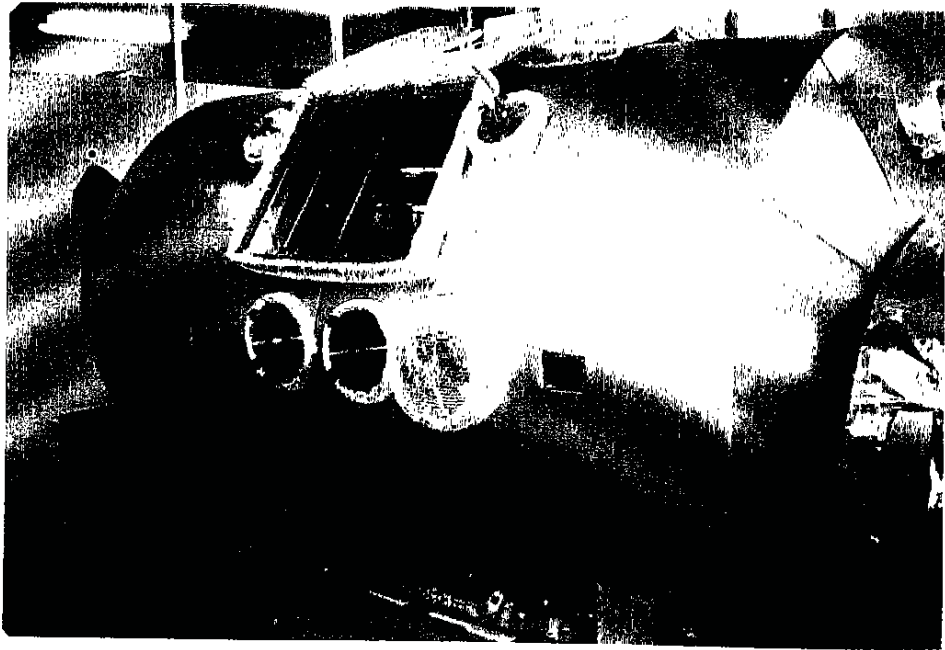


図 ラドン測定器校正における体系図



ラドン標準校正設備仕様
 内容量：約7.5m³
 材質：ステンレス
 形状：円筒形横型
 設定濃度：～300Bq/m³(平衡等価)

図 チェンバー本体外観図



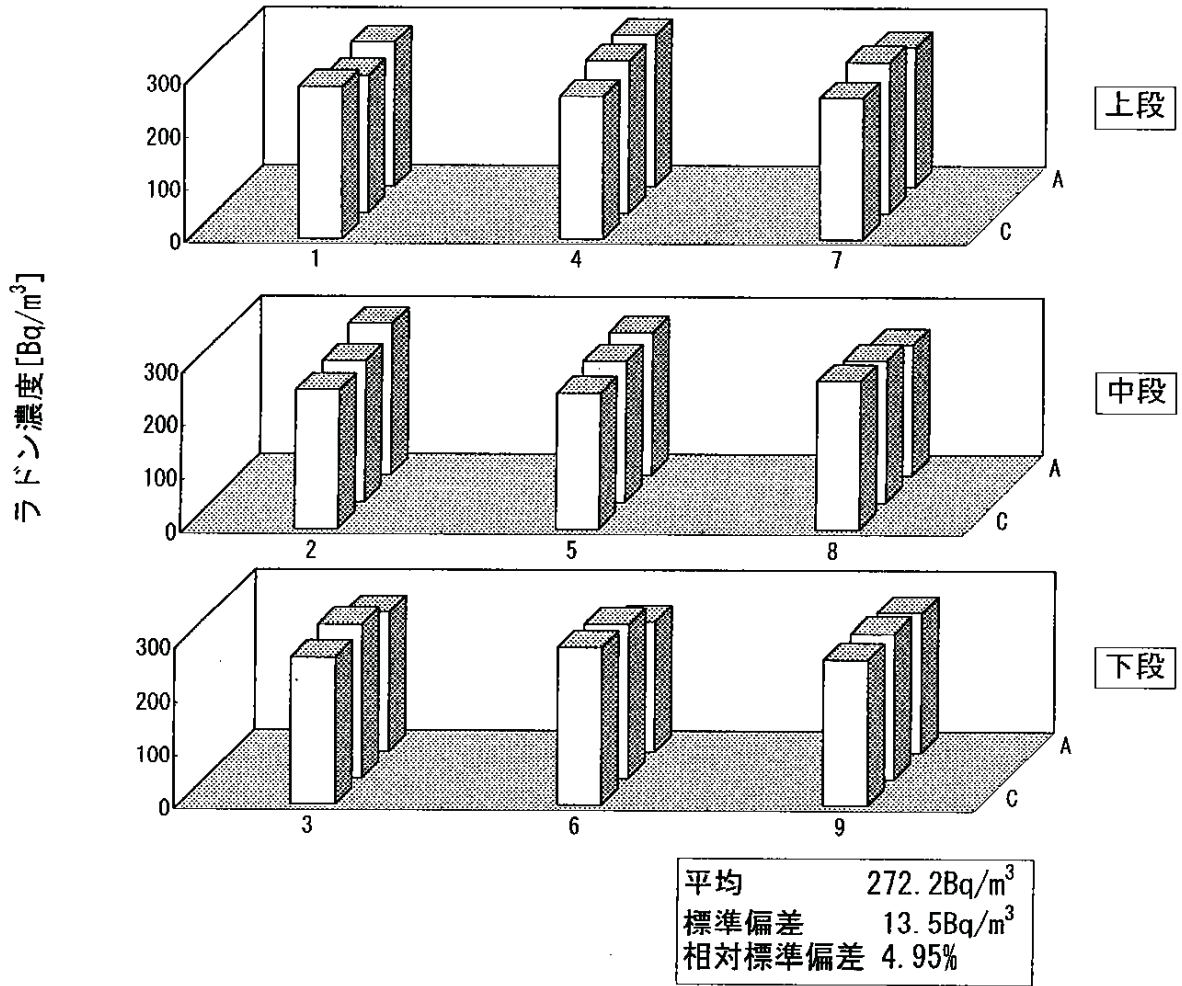


図 ラドンチェンバー内濃度分布

③ 拡散モデルによる評価

<背景・目的>

- ・法令改正による行政対応上、堆積場寄与として1 mSv/年以下の確認
- ・測定ではBQラドンの影響を評価不可能
- ・モデル化した捨石堆積場から散逸するラドンの拡散評価と線量当量評

価

<結果>

- ・捨石堆積場敷地境界における線量当量は1 mSv/年以下

評価条件

ブルームモデル：風速1.0m/s（灌木なし）

パフモデル ：風速0.7m/s（灌木あり）

大気安定度D、年間1方向定常風

- ・今後、散逸量の代表性の確認及び地形を考慮した拡散計算

<ブルームモデル>

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

$C(x, y, z)$: 計算地点 x, y, z 座標 (m) におけるラドン濃度 (Bq/m³)

Q : ラドン散逸量 (Bq/s)

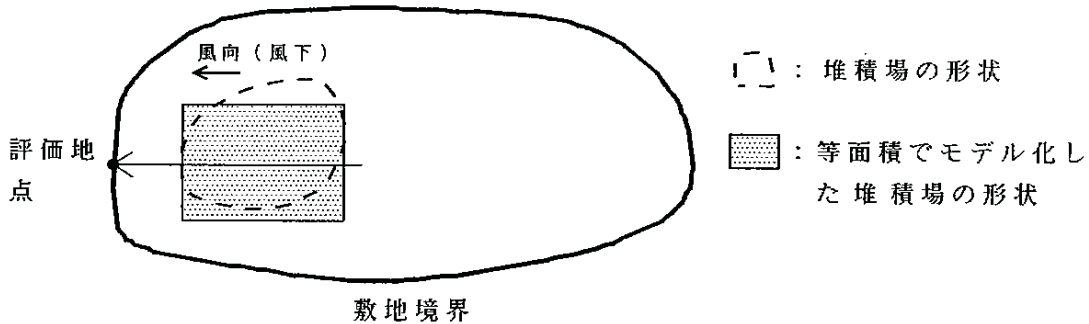
H_e : 放出高 (m)

u : 風速 (m/s)

<パフモデル>

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \exp\left\{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \left[\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

<捨石堆積場のモデル化>



<娘核種の生成>

$$\frac{dN_R}{dt} = -\lambda_R N_R$$

$$\frac{dN_A}{dt} = \lambda_R N_R - \lambda_A N_A$$

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$$

$$\frac{dN_C}{dt} = \lambda_B N_B - \lambda_C N_C$$

N_i : 核種 i (R : R_n , A : R_{aA} , B : R_{aB} , C : R_{aC}) の原子数

λ_i : 核種 i (R : R_n , A : R_{aA} , B : R_{aB} , C : R_{aC}) の崩壊定数 (1/s)

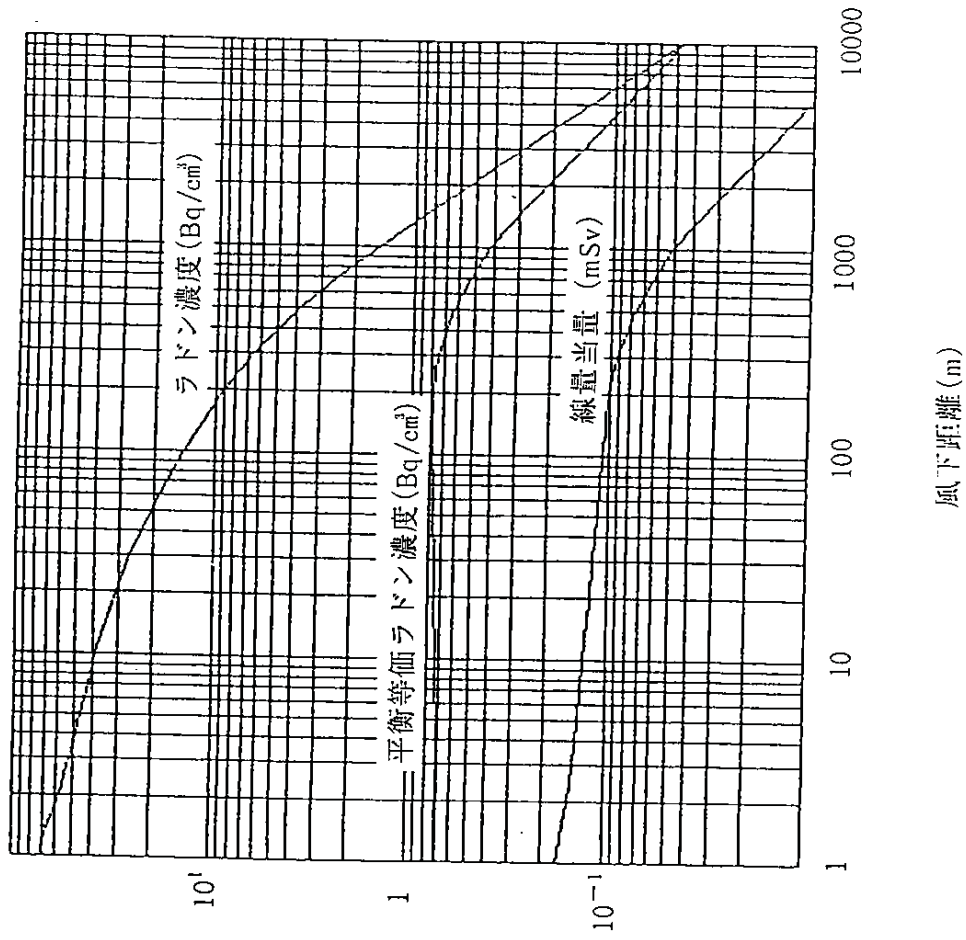


図 拡散計算結果の例 (100m × 120m : 1 × 10⁻⁴ Bq/cm²/s)

たい積場ラドン被ばく評価結果

たい積場	たい積場の形状 (m)	風下 距離(m)	散逸量/地点数 Bq/cm ² /s	実効線量当量 mSv/y	評価 モデル
中津河大切坑捨石たい積場	100×120	2	$3.0 \times 10^{-5} / 48$	0.045	ブルーム
長者捨石たい積場	26×12	14	$3.1 \times 10^{-4} / 3 \cdot 1$	0.032	パフ
神倉1号坑捨石たい積場	39×130	2	$1.9 \times 10^{-5} / 3 \cdot 2$	0.030	ブルーム
神倉2号坑捨石たい積場	72×89	2	$2.5 \times 10^{-5} / 2 \cdot 2$	0.031	ブルーム
麻畑1号坑捨石たい積場-1	34×43	2	$6.6 \times 10^{-5} / 4$	0.028	パフ
麻畑1号坑捨石たい積場-2	34×28	4	$8.5 \times 10^{-5} / 4$	0.026	パフ
麻畑2号坑捨石たい積場	77×22	5	$7.2 \times 10^{-5} / 26$	0.027	パフ
麻畑3号捨石たい積場	45×28	4	$1.0 \times 10^{-4} / 7$	0.035	パフ
麻畑2号坑捨石たい積場(B)	21×12	4	$3.0 \times 10^{-5} / 4$	0.0058	パフ
方面1号捨石たい積場-1	93×25	5	$5.3 \times 10^{-5} / 8$	0.022	パフ
方面1号捨石たい積場-2	26×7	10	$1.5 \times 10^{-6} / 2$	0.00013	パフ
方面2号坑捨石たい積場	67×33	2	$2.4 \times 10^{-5} / 8$	0.012	パフ
方面貯鉱場跡	14×14	27	$1.0 \times 10^{-4} / 2$	0.0042	パフ
方面下2号捨石たい積場	60×10	4	$3.9 \times 10^{-5} / 2$	0.0097	パフ
方面3号捨石たい積場	18×19	4	$3.5 \times 10^{-6} / 2$	0.00073	パフ

*1：長者捨石たい積場の散逸量は対策工事前のものである。

*2：神倉1号坑、2号坑捨石たい積場については、降雨による効果としてそれぞれの散逸量 $3.5 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^2/\text{s}$ 、 $4.8 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^2/\text{s}$ の53%の値を用いた。

□：同一敷地内

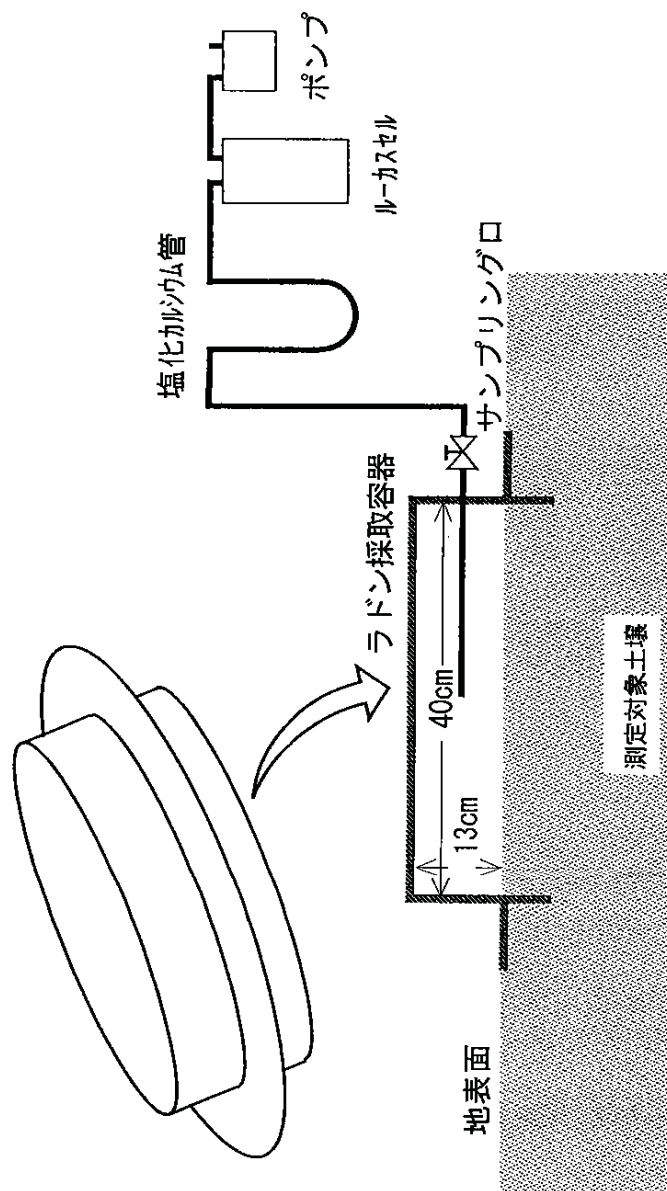


図 ラドン散逸量現地測定概念図

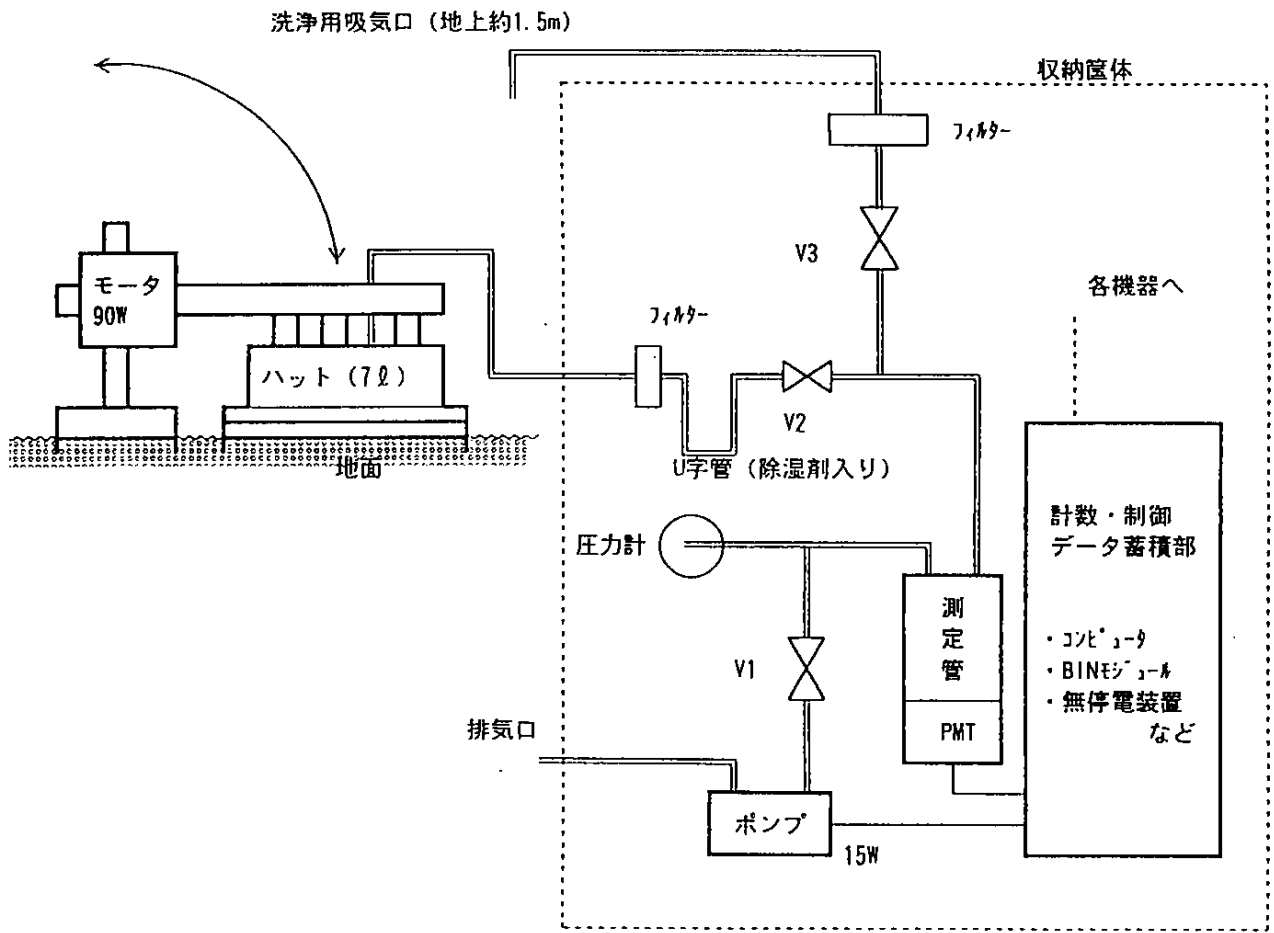
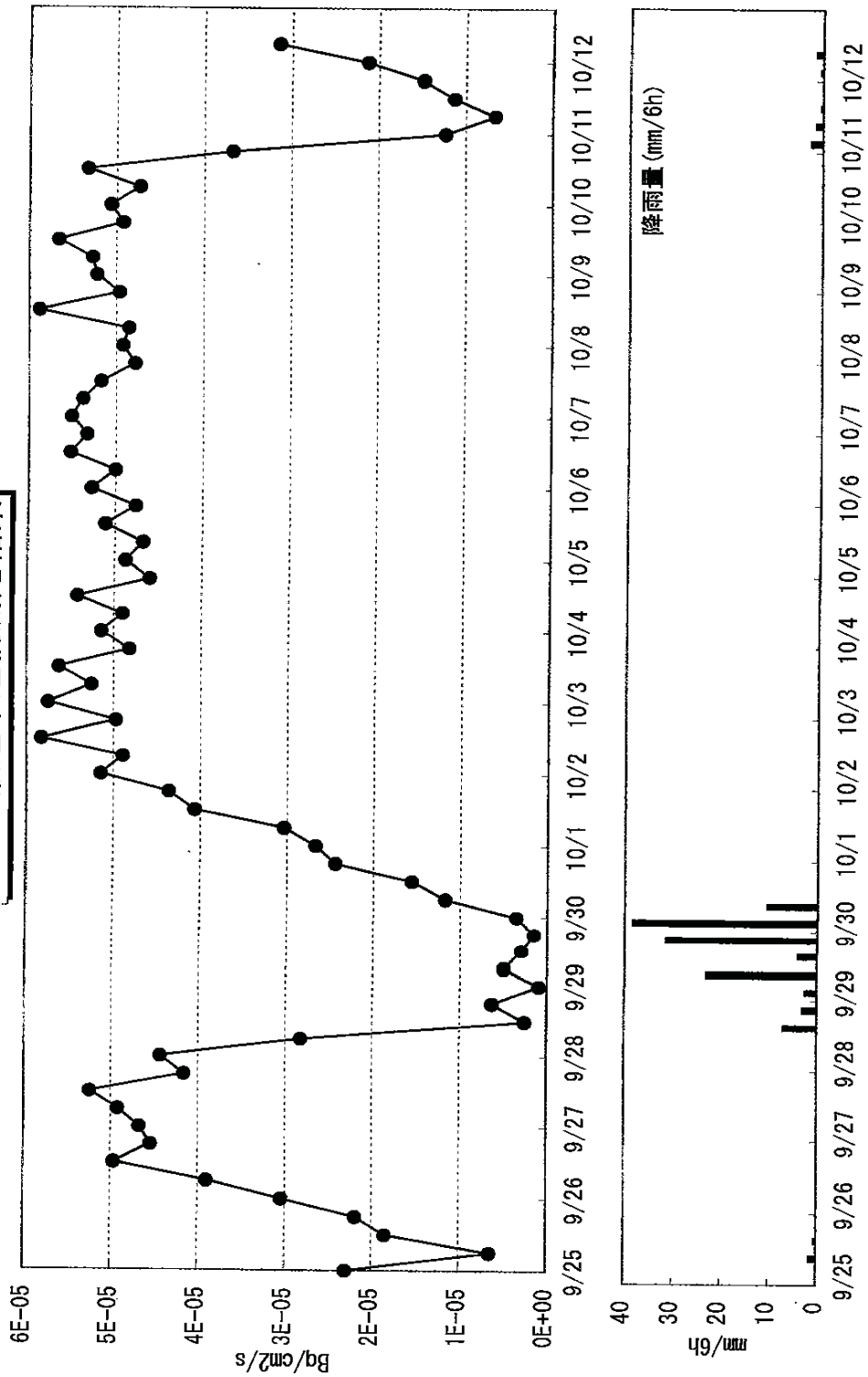


図
ラドン散逸量自動測定装置ブロック図

ラドン散逸率連続測定結果



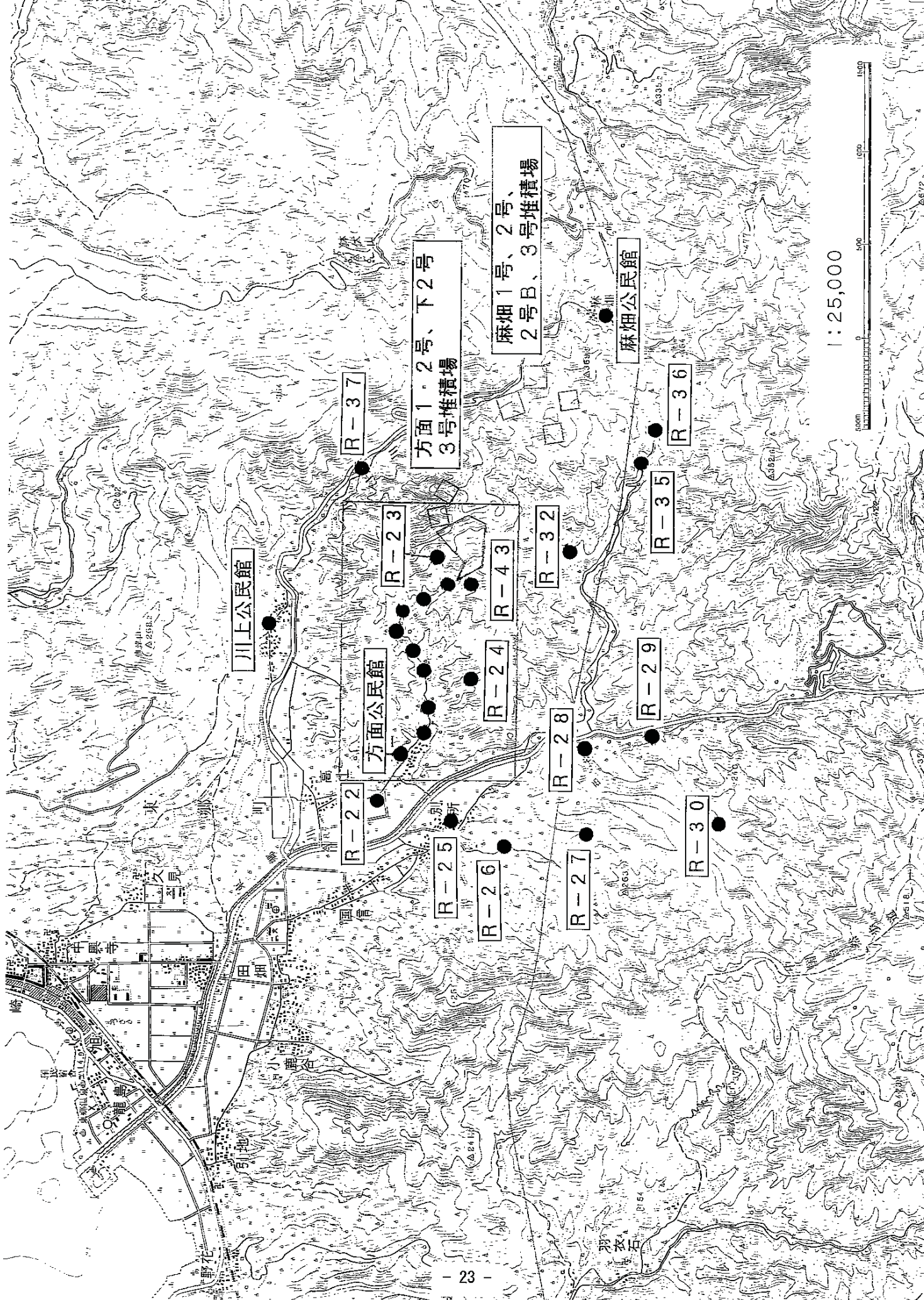
④ 方面地区調査研究

＜背景・目的＞

- ・ 方面地区の社会情勢に対応するためのバックデータ
- ・ 方面1・2号捨石堆積場から居住地区での影響詳細調査
積分型モニタによるラドン濃度測定強化（方面地区、対照地区）
- ラドン、ラドン娘核種の連続測定
- トレーサーガスによる拡散実験

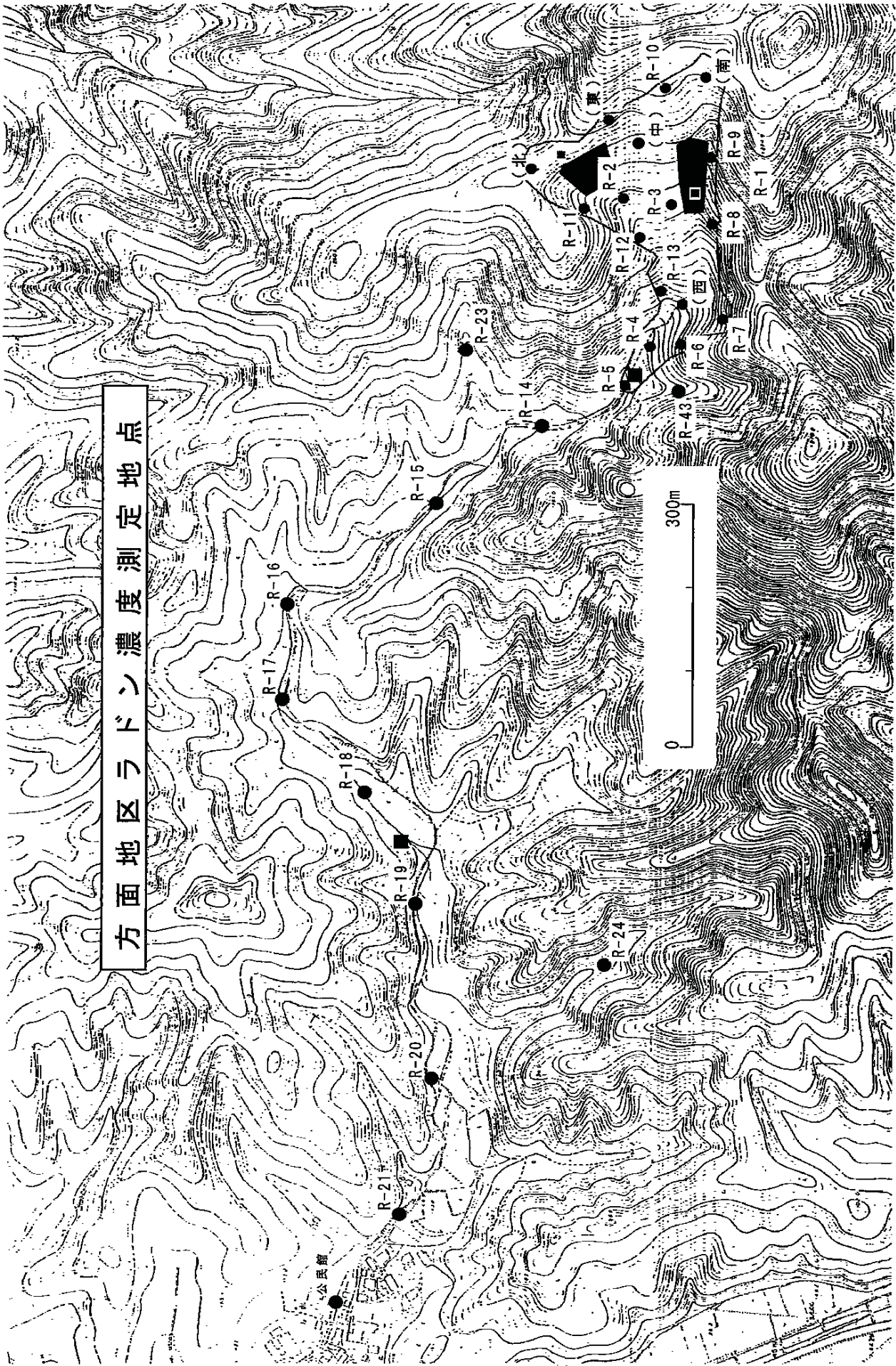
＜結果＞

- ・ 堆積場内、近傍でのラドン濃度は梨畑付近と比較して高い傾向
- ・ ラドン娘核種濃度はラドン濃度ほど高くない。
- ・ 堆積場の影響は梨畑付近では極めて少なくバックグラウンドレベル
- ・ 堆積場入口付近では梨畑付近との平衡等価濃度の差は平均で3.4Bq/m³
- ・ 今後、散逸量などの測定結果の代表性の検討

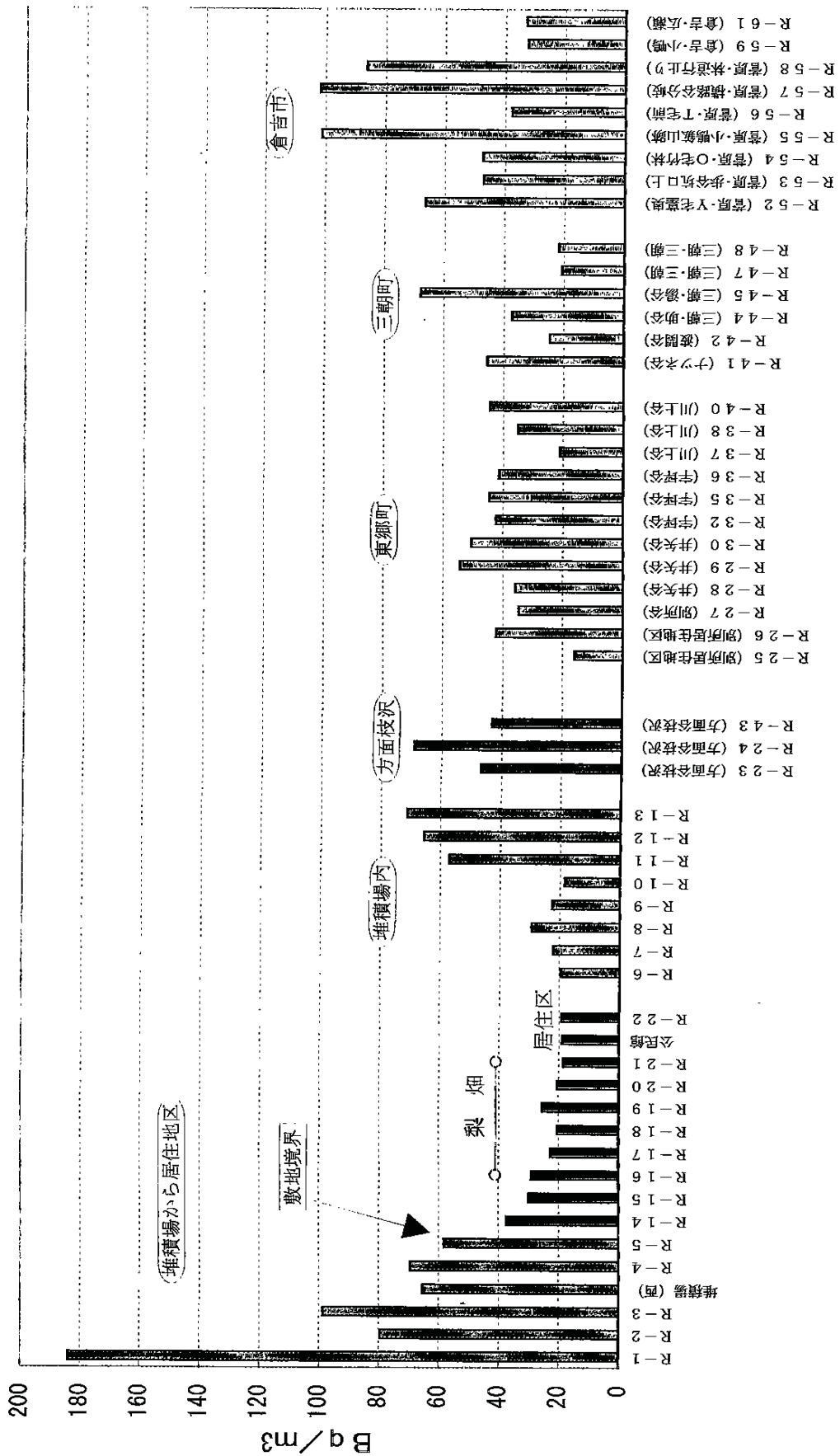


1 : 25,000

方面地区ラドン濃度測定地点



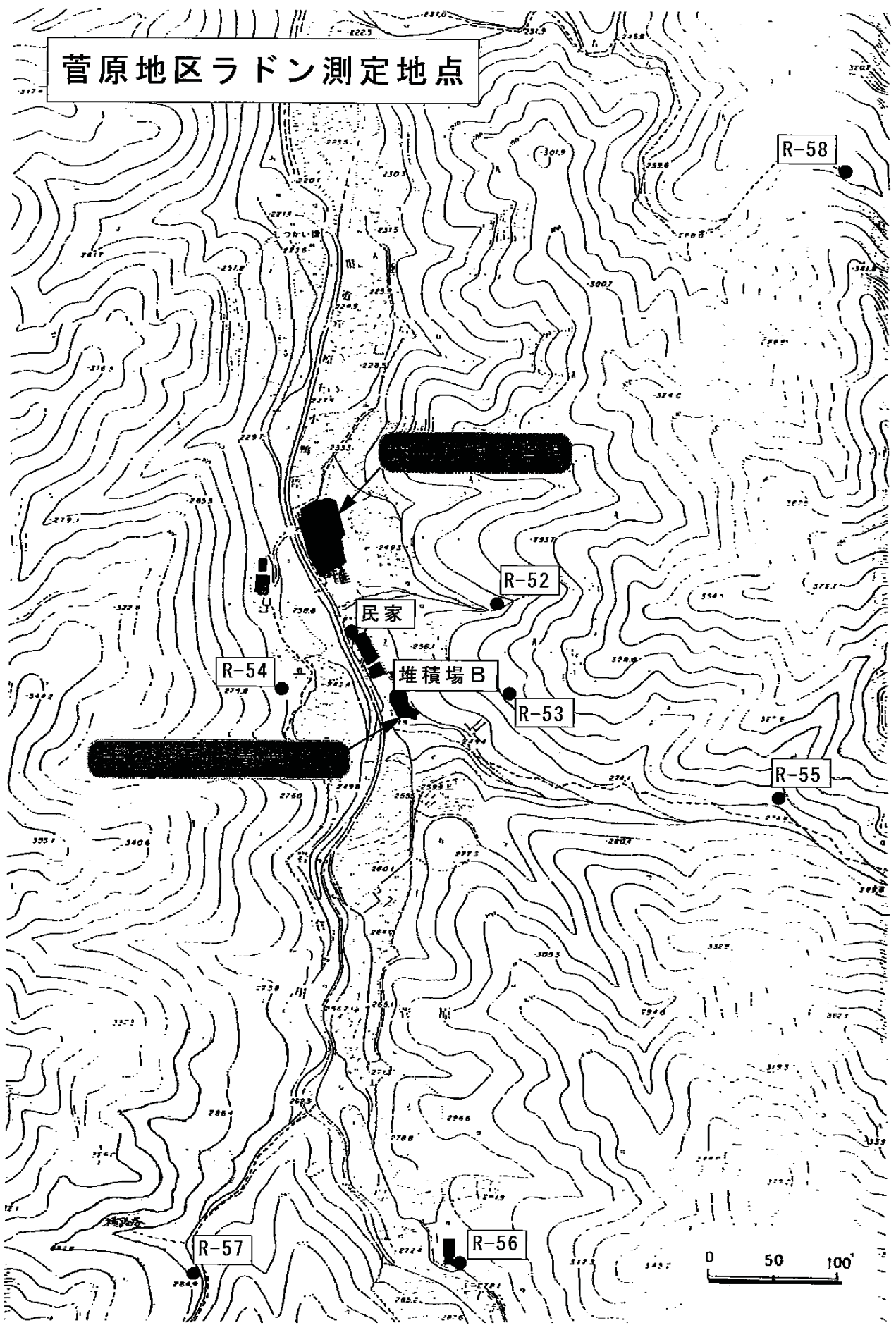
方面地区ラドン濃度調査 (平成6年度)



比較対照地区

方面地区

菅原地区ラドン測定地点



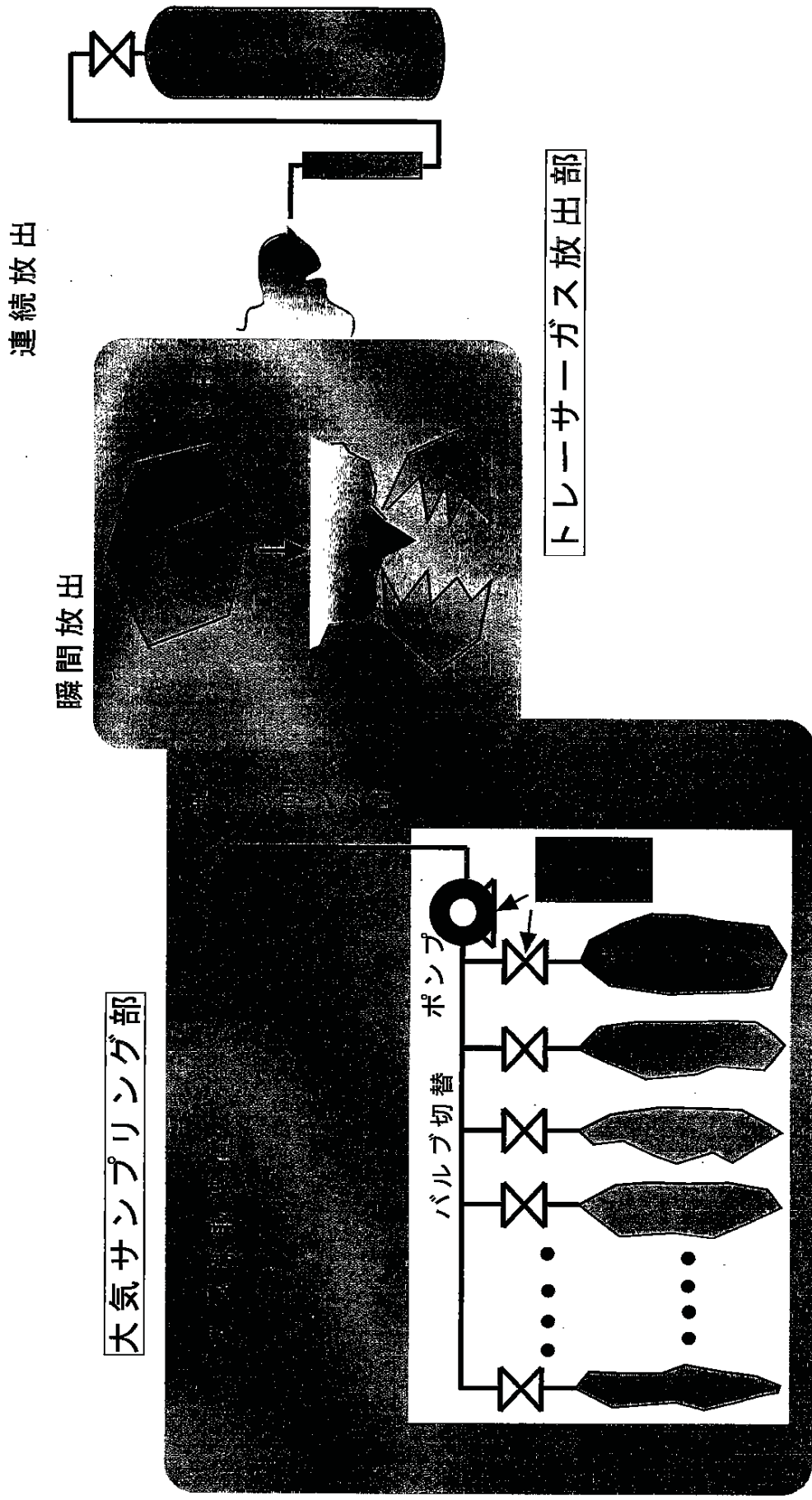


図 拡散実験の概要

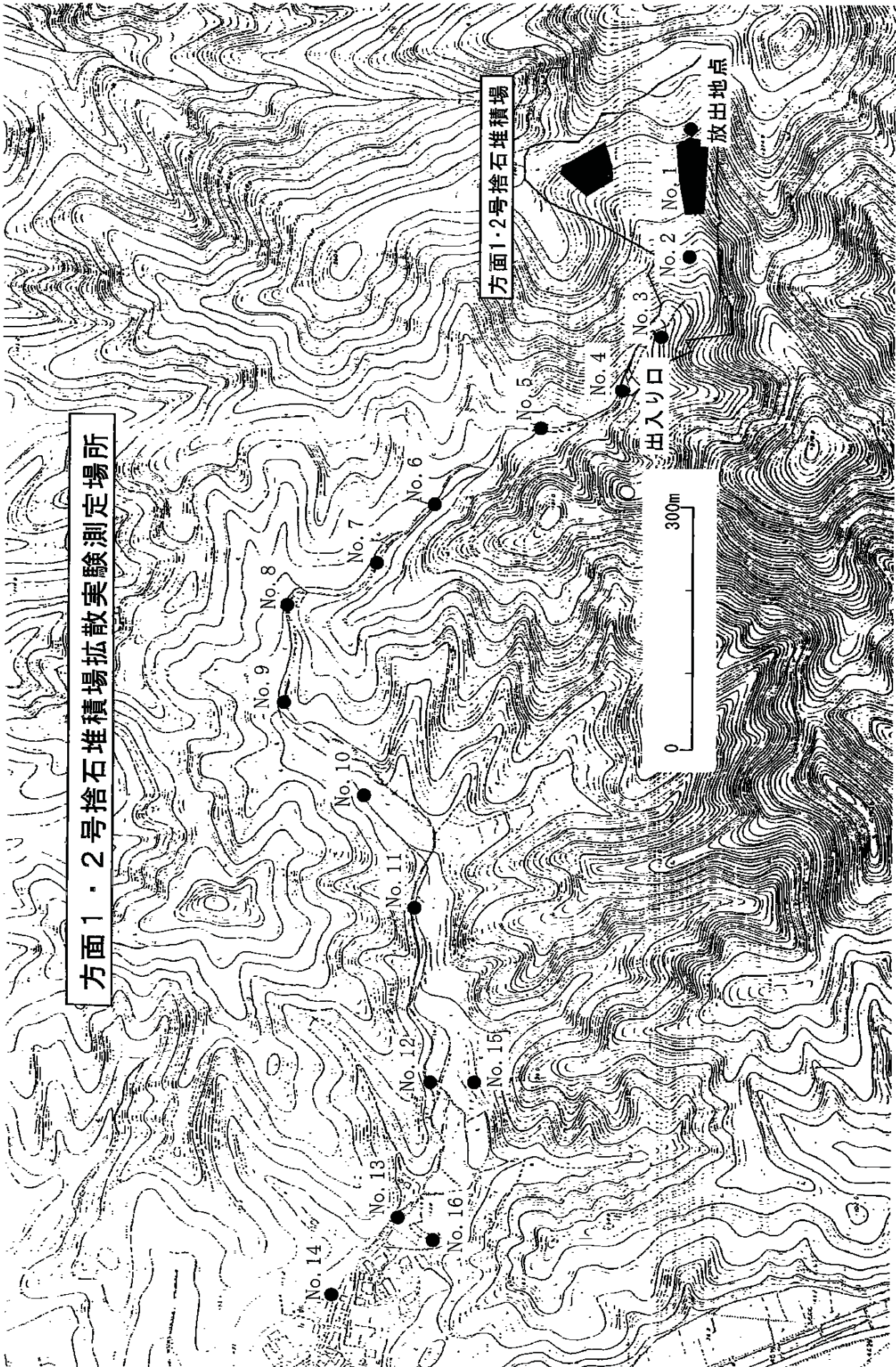
方面1・2号捨石堆積場拡散実験測定場所

方面1・2号捨石堆積場

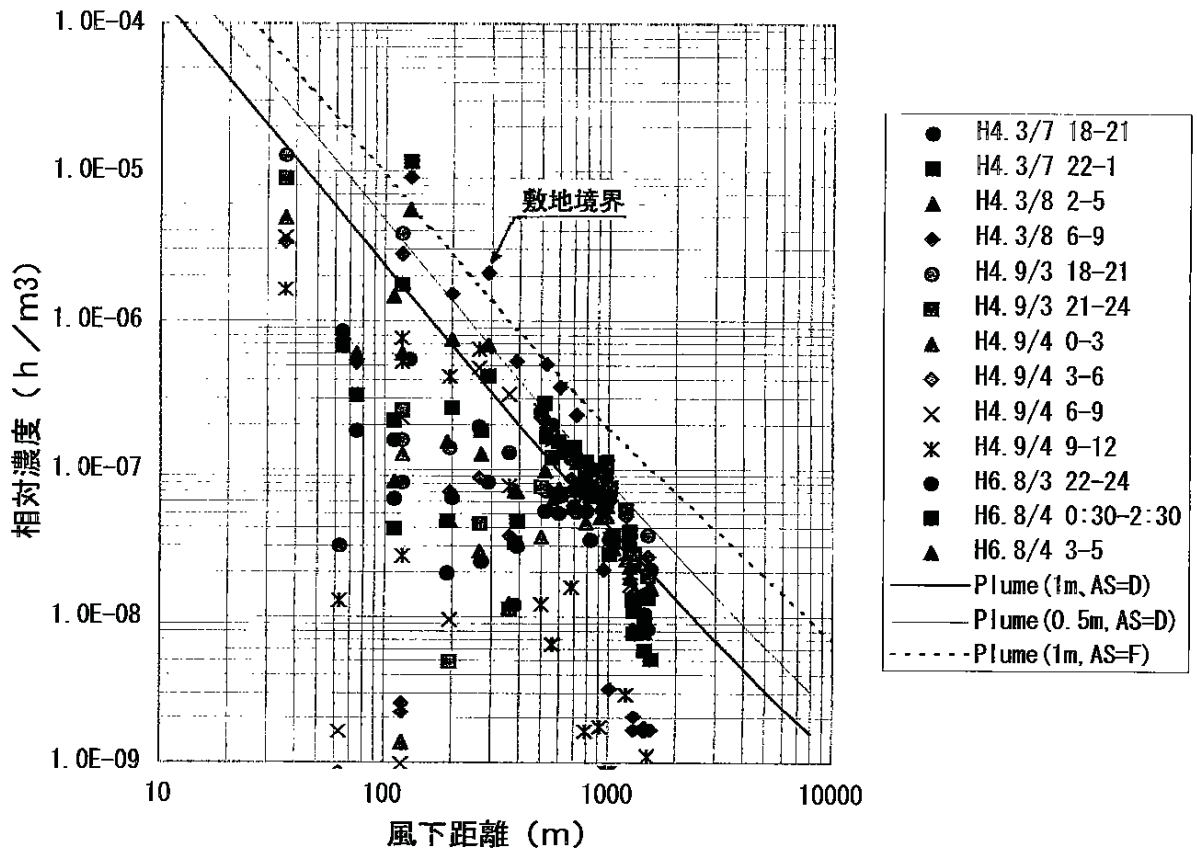
放出地点

出入口

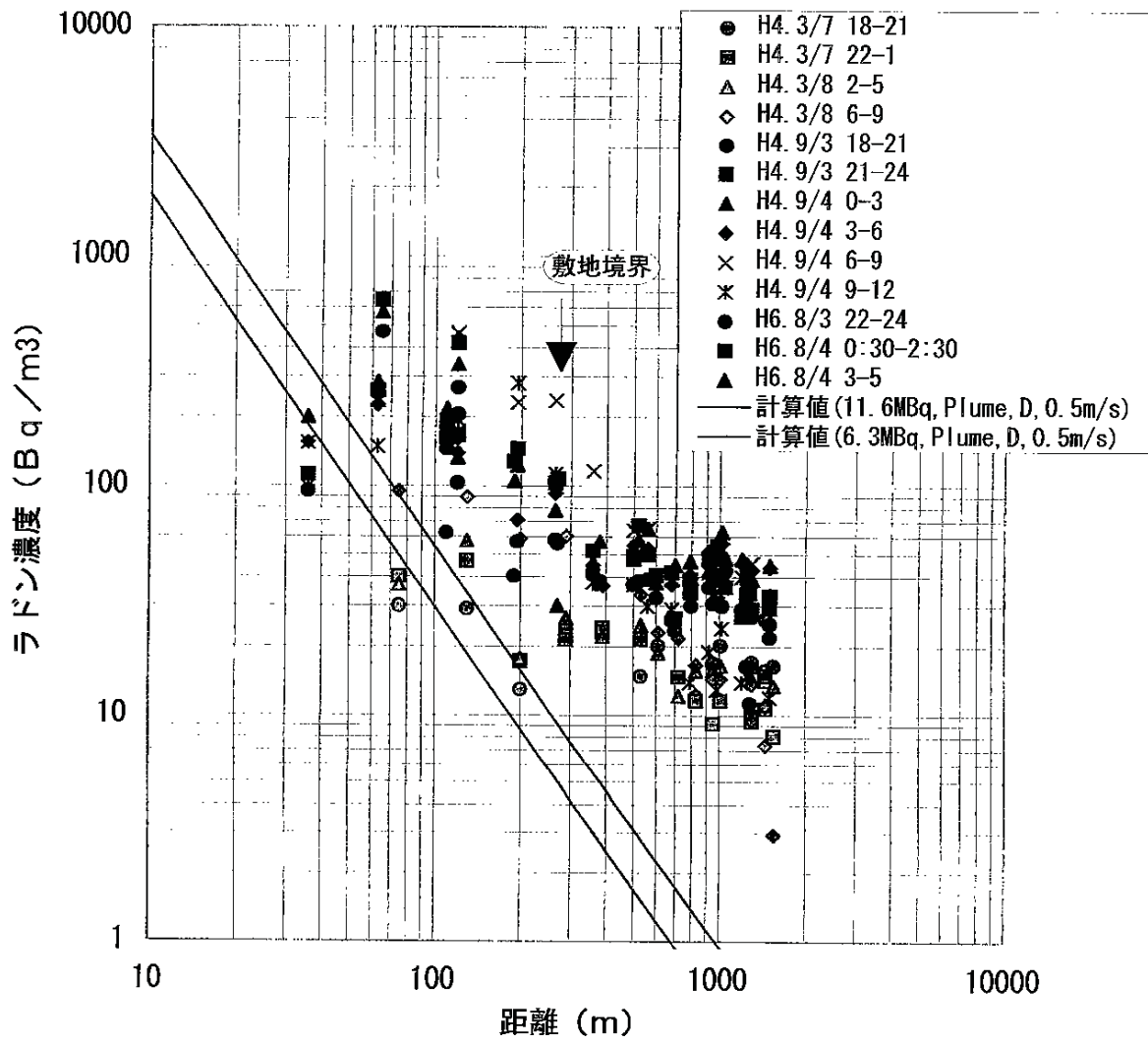
300m



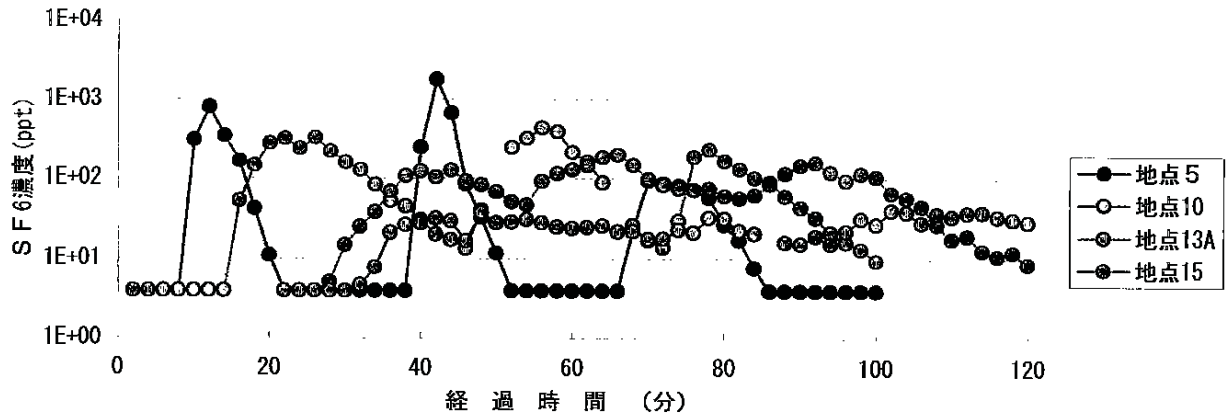
拡散実験結果



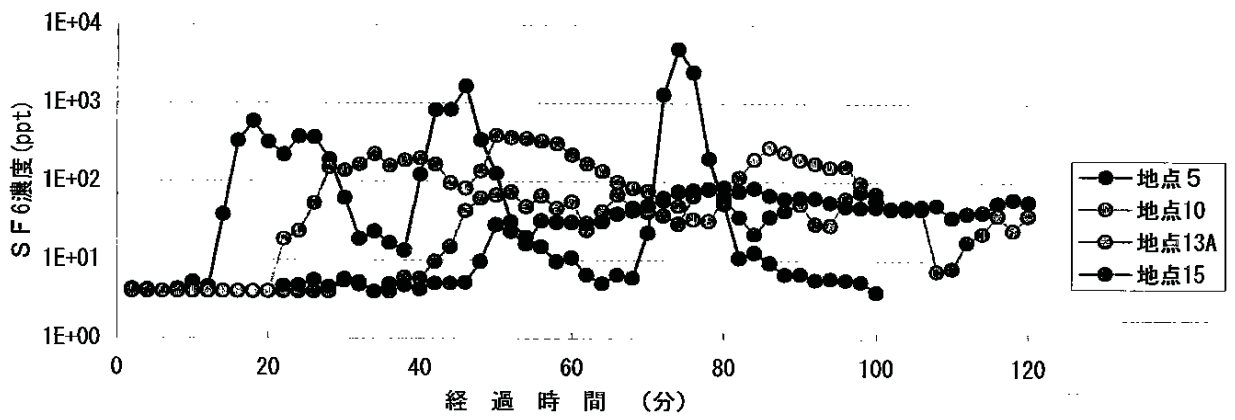
拡散実験時ラドン濃度



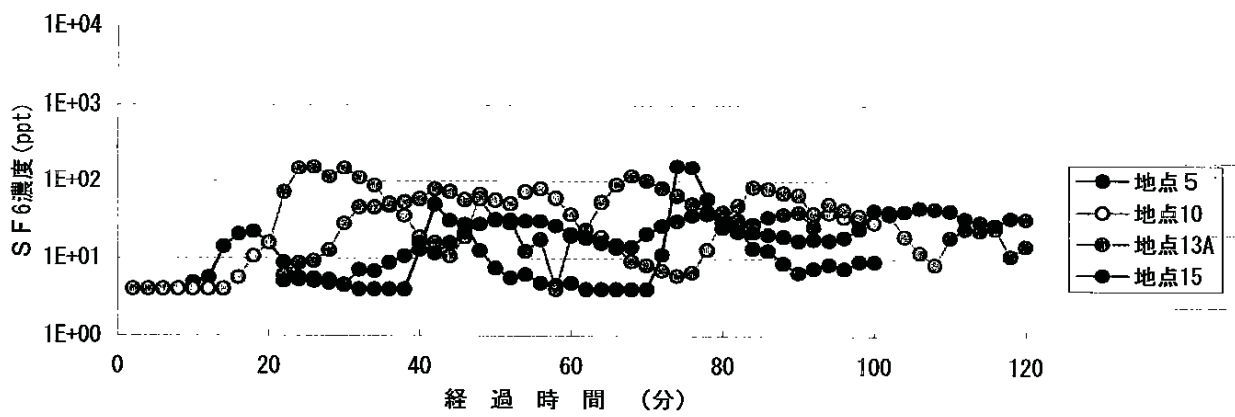
間欠放出SF6濃度（1日目）



間欠放出SF6濃度（2日目）



間欠放出SF6濃度（3日目）



SF6移流速度の評価結果

移流時間	測定値点5	測定値点10	測定値点13A	測定値点15
移流時間	10~14分後	16~26分後	30~38分後	40~50分後
移流速度	0.4~0.3m/s	0.8~0.5m/s	0.7~0.55m/s	0.6~0.5m/s
				平均0.55m/s

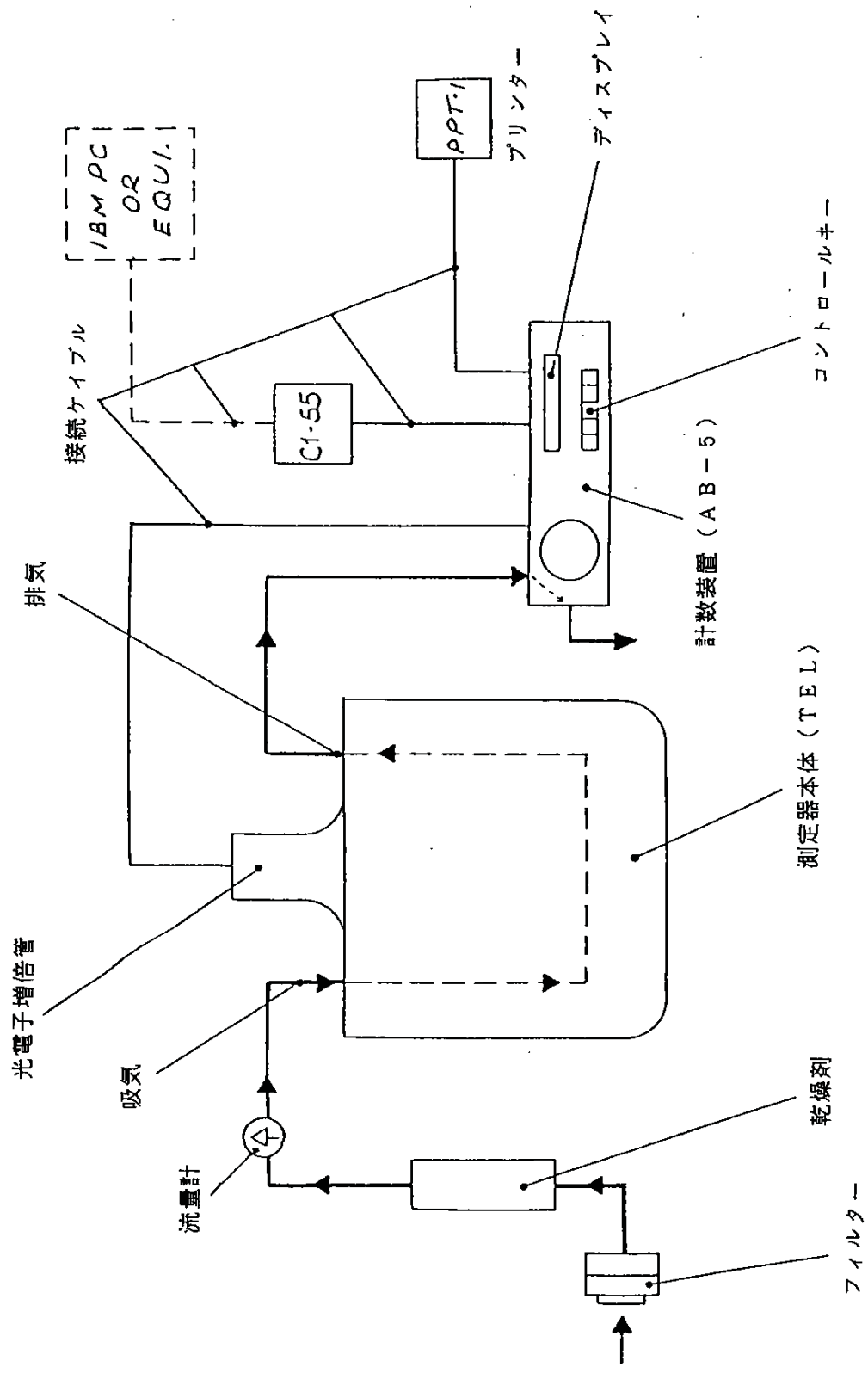


図 ラドン測定器ブロック図

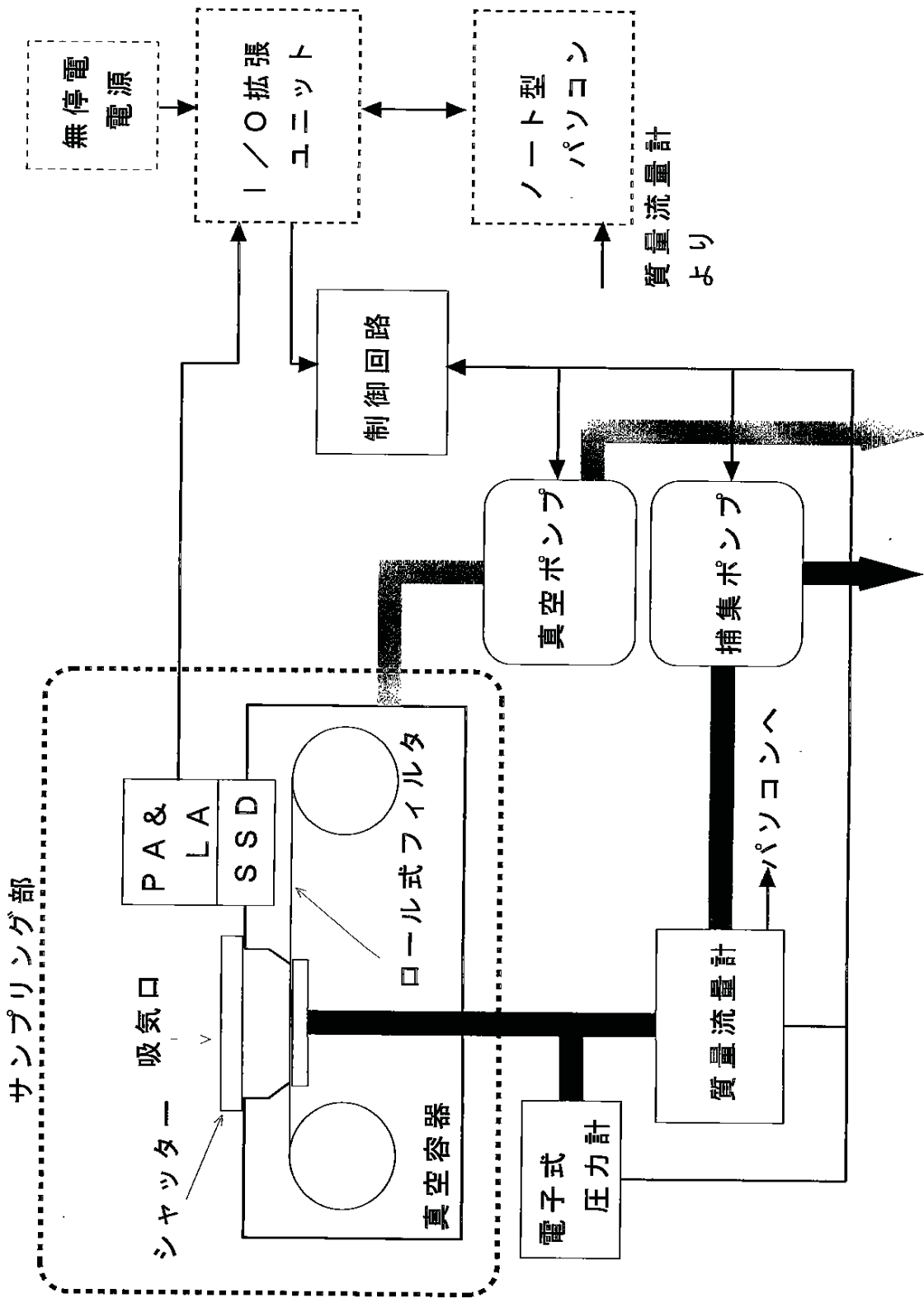
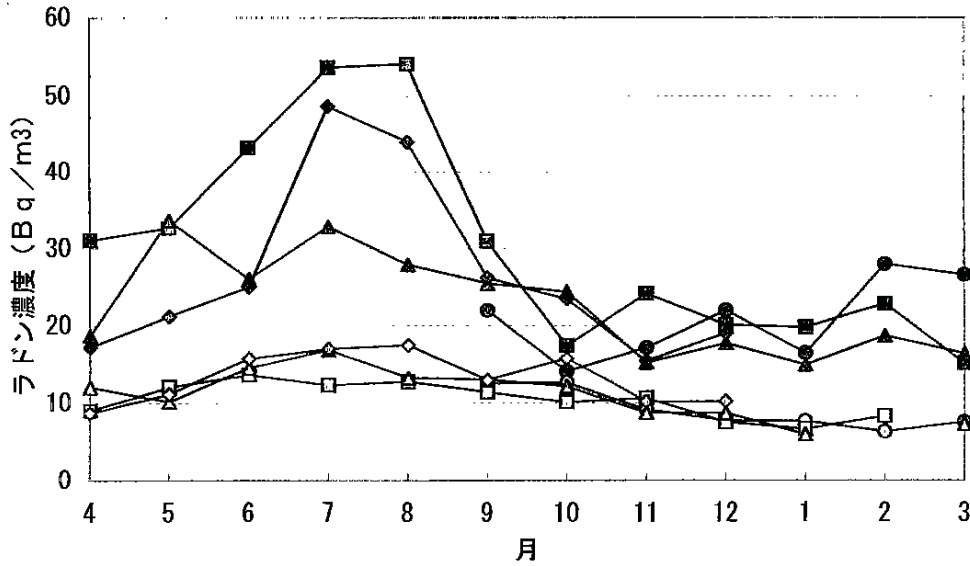


図 ラドン娘核種測定装置ブロック図

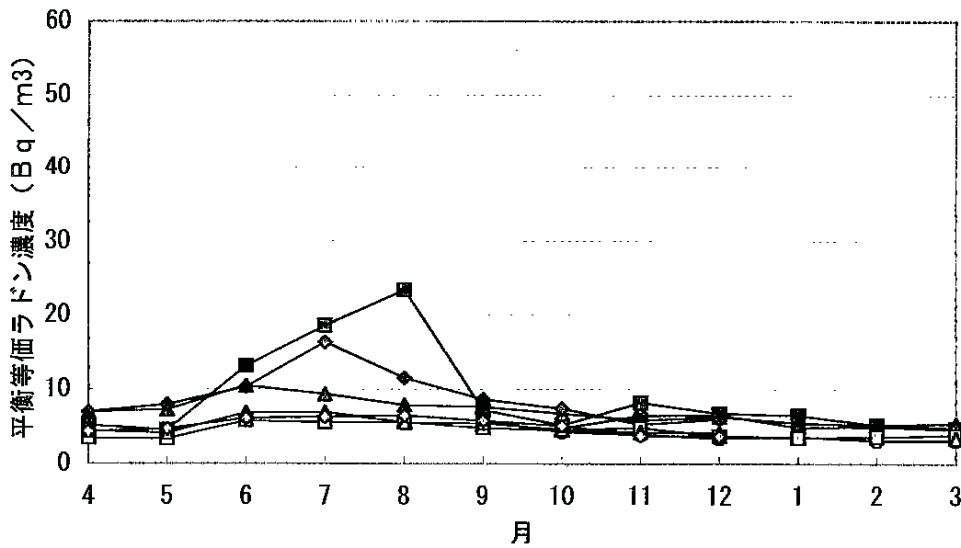
ラドン濃度連続測定結果



出入口平均値 = 25.6 Bq/m³
 梨畑平均値 = 11.0 Bq/m³
 濃度差 = 15.0 Bq/m³

- 平成4年度
- 平成5年度
- ▲ 平成6年度
- ◇ 平成7年度
- 平成4年度
- 平成5年度
- △ 平成6年度
- ◇ 平成7年度
- : 出入口
- : 梨畑

平衡等価ラドン濃度連続測定



出入口平均値 = 7.8 Bq/m³
 梨畑平均値 = 4.6 Bq/m³
 濃度差 = 3.4 Bq/m³

- 平成4年度
- 平成5年度
- ▲ 平成6年度
- ◇ 平成7年度
- 平成4年度
- 平成5年度
- △ 平成6年度
- ◇ 平成7年度
- : 出入口
- : 梨畑

<まとめ>

- ・ 捨石堆積場から周辺環境への影響は小さいことが確認できた。(方面地区)

<今後の課題>

- ・ 定常モニタリングとして平衡等価ラドン濃度の測定
- ・ 娘核種粒径分布の測定(ICRPによる新しい肺モデルが粒径依存)
- ・ 地形を考慮した局所的な拡散コードの開発