

夜次露天採掘場跡地周辺の
水中ラドン濃度測定

2004年3月

核燃料サイクル開発機構
人形峠環境技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒708-0698 岡山県若田郡上齋原村1550番地
核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター
環境保全技術開発部 管理課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Co-ordination Section, Environmental Research and Development Division,
Ningyo-Toge Environmental Engineering Center,
Japan Nuclear Cycle Development Institute,
1550 Kamisaibara-son, Tomada-gun, Okayama-ken, 708-0698,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2004

夜次露天採掘場跡地周辺の水中ラドン濃度測定

長柄収一¹⁾、山本正博²⁾、古賀修¹⁾、竹内章¹⁾、
松村敏博¹⁾、武田伸二¹⁾、佐藤和彦¹⁾、時澤孝之¹⁾

要 旨

2001 年に構築したラドン観測システムを用いて、2002 年から 2003 年までの 2 年間に夜次露天採掘場跡地周辺の水中ラドン濃度を測定した結果をまとめた。また、ラドン観測システムのメンテナンス実績をまとめた。

水中ラドン濃度測定結果から以下のことが明らかになった。

- ・ 水中ラドン濃度の年変動は、冬期から春期に高く、夏期から秋期に低くなる傾向を示す。
- ・ No.23 孔水中ラドン濃度の最大値は他観測地点よりも 1 枠程度高く、年間の変動幅が大きい。
- ・ 水中ラドン濃度は、連続的な降雨に対して、10 日程度遅れてゆっくりと増加する傾向が見られる。また、200mm 程度の集中降雨に対しては、No.23 孔で 10 日程度、No.18 孔で 20 日程度遅れて急速に増加する傾向が見られる。
- ・ 水中ラドン濃度は、モニタリング孔の地下水位の上昇に伴い増加し、地下水位の下降に伴い減少する傾向がわかった。
- ・ 実用性の観点では、ラドン観測システムのメンテナンス実績から得られた落雷等への耐久性向上が必要であることが分かった。

1) 核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター 環境保全技術開発部 環境計画課

2) 人形峠原子力産業株式会社

Measurement of radon concentration in groundwater around Yotsugi open pit site

Shuichi Nagara¹⁾, Masahiro Yamamoto²⁾, Osamu Koga¹⁾, Akira Takeuchi¹⁾,
Toshihiro Matsumura¹⁾, Shinji Takeda¹⁾, Kazuhiko Sato¹⁾, Takayuki Tokizawa¹⁾

Abstract

The radon concentration in groundwater summarized around the Yotsugi open-pit site has been measured from 2002 to 2003 and examined radon observation system built in 2001. Moreover, the maintenance actual result of the radon observation system was summarized.

The following knowledge was obtained from the radon concentration in groundwater measurement result.

Radon concentration in groundwater shows a tendency high from winter to spring and low from summer to autumn.

The maximum radon concentration in groundwater in No.23 is higher than other observation points about one figure, the annual range of fluctuation of the radon concentration there is larger than other its.

Radon concentration in groundwater is in the tendency which increases slowly behind time by about ten days by continuous rain. Moreover, radon concentration of groundwater is in the tendency which increases quickly behind time by about 200mm torrential rain by about 10 days in No.23 and by about 20 days in No.18.

Radon concentration in groundwater is in the tendency which increases with the rise and decreases with the descent of the groundwater level of boreholes.

The frequency of the trouble by the thunderbolt and consumables exchange from the maintenance actual result of the radon observation system is high, and it is thought that the radon observation system needs to raise durability.

-
- 1) Environment planning section, Ningyo-toge Environmental Engineering Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute
 - 2) Ningyo-toge Nuclear Energy Industry Inc.

目 次

要旨

1 はじめに	1
2 ラドン観測システムの構成	2
2.1 システム概要	2
2.2 観測地点	2
2.3 観測項目	5
3 ラドン濃度測定結果	5
3.1 水中ラドン濃度	5
3.1.1 水中ラドン濃度の年変動	5
3.1.2 水中ラドン濃度と降雨について	7
3.1.3 水中ラドン濃度と地下水位について	9
3.2 その他の測定結果	12
3.2.1 空気中ラドン濃度	12
3.2.2 地中ラドン濃度	13
3.2.3 各ラドン濃度の関連性について	15
4 ラドン観測システムのメンテナンスについて	16
4.1 ラドン観測システムの故障原因	16
4.2 ラドン観測システムの機器故障	18
5 まとめ	21
6 今後の課題	22
参考文献	25

付録目次

付録 1 ラドン観測システムの機器概要	26
1.1 水中ラドン計	26
1.1.1 水中投入型水中ラドン計	26
1.1.2 地上設置型水中ラドン計	28
1.2 空気中ラドン計	30
1.2.1 小型空気中ラドン計	31
1.2.2 大型空気中ラドン計	32
1.3 地中ラドン計	33
1.4 水位計	33
1.5 水温計	35
1.6 アンプ電源	35
1.7 データロガー装置	36
1.8 観測用パソコン	37
1.9 データ取得サーバ	38
1.10 Web サーバ	38
1.11 観測ネットワーク	39
付録 2 PIN フォトダイオード (PD) の α 線検出原理	41
付録 3 観測パソコンの設定	42
3.1 パソコン準備	42
3.2 OS インストール	42
3.3 観測用プログラムのインストール	42
3.4 動作確認	45
付録 4 観測用パソコンによるデータ取得方法	47
4.1 観測用パソコンの設定	47
4.2 ネットワーク接続状況の確認	47
4.3 データ取得の開始	48
4.4 観測プログラムの動作確認	49
4.5 取得データの確認	49
4.6 データ取得の中止	51
付録 5 データ取得サーバによるデータ解析方法	52
5.1 ディレクトリ構成	52
5.2 データの自動解析	54

5.3 データの手動解析	57
付録 6 ラドン濃度測定結果	59
6.1 水中ラドン濃度	59
6.2 空気中ラドン濃度	67
6.3 地中ラドン濃度	75

図 目 次

図 2.1-1 ラドン観測システム構成図	2
図 2.2-1 露天跡地及び周辺のモニタリング孔配置図	3
図 3.1.1-1 水中ラドン濃度の測定結果（月平均値）	7
図 3.1.2-1 水中ラドン濃度と日雨量の測定結果	8
図 3.1.3-1 No.18 孔水中ラドン濃度と No.17 孔標高水位の測定結果	9
図 3.1.3-2 No.19 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果	10
図 3.1.3-3 No.23 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果	10
図 3.1.3-4 No.5 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果	11
図 3.2.1-1 空気中ラドン濃度の測定結果（月平均値）	13
図 3.2.2-1 地中ラドン濃度の測定結果（月平均値）	11
図 4.1-1 ラドン観測システムの故障原因	18
図 4.2-1 ラドン観測システムの機器故障	20

表 目 次

表 2.3-1 各観測地点の観測項目及び設置機器	5
表 3.1.1-1 水中ラドン濃度の最大値、最小値	7
表 3.2.1-1 空気中ラドン濃度の最大値、最小値	13
表 3.2.2-1 地中ラドン濃度の最大値、最小値	15
表 3.2.3-1 各ラドン濃度の相関係数	15
表 4-1 ラドン観測システムのメンテナンス実績	16

写真目次

写真 2.2-1 No.18 孔コンテナハウス	3
写真 2.2-2 No.19 孔コンテナハウス	4
写真 2.2-3 No.23 孔コンテナハウス	4
写真 2.2-4 No.5 孔コンテナハウス	4

付録図目次

付図 1.1.1-1 水中投入型水中ラドン計の構造図	28
付図 1.1.2-1 地上設置型水中ラドン計の概略図	29
付図 1.1.2-2 地上設置型水中ラドン計の構造図	30
付図 1.2.1-1 小型空気中ラドン計の構造図	31
付図 1.2.2-1 大型空気中ラドン計の構造図	32
付図 1.3-1 地中ラドン計の設置概要図	33
付図 1.4-1 水位計の概要図	34
付図 1.10-1 人形峠ラドンデータ表示画面	39
付図 1.11-1 各観測地点及び環境計画課のネットワーク接続図	40
付図 4.3-1 観測用パソコンのディレクトリ構成 (No.18 孔)	48
付図 5.1-1 データ取得サーバのディレクトリ構成	52
付図 5.1-2 Web サーバのディレクトリ構成	53
付図 6.1-1 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果 (1999 年)	59
付図 6.1-2 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果 (2000 年)	59
付図 6.1-3 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	60
付図 6.1-4 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	60
付図 6.1-5 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	61
付図 6.1-6 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果 (1999 年)	61
付図 6.1-7 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果 (2000 年)	62
付図 6.1-8 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	62
付図 6.1-9 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	63
付図 6.1-10 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	63
付図 6.1-11 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	64
付図 6.1-12 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	64
付図 6.1-13 No.5 孔水中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	65
付図 6.1-14 No.5 孔水中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	65
付図 6.1-15 No.5 孔水中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	66
付図 6.2-1 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	67
付図 6.2-2 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	67
付図 6.2-3 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	68
付図 6.2-4 No.19 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	68
付図 6.2-5 No.19 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	69
付図 6.2-6 No.19 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	69
付図 6.2-7 No.23 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果 (2001 年)	70
付図 6.2-8 No.23 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果 (2002 年)	70
付図 6.2-9 No.23 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果 (2003 年)	71

付図 6.2-10	No.5 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果（2001 年）	71
付図 6.2-11	No.5 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果（2002 年）	72
付図 6.2-12	No.5 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果（2003 年）	72
付図 6.2-13	No.19 孔コンテナハウス屋外の空気中ラドン濃度測定結果（2001 年）	73
付図 6.2-14	No.19 孔コンテナハウス屋外の空気中ラドン濃度測定結果（2002 年）	73
付図 6.2-15	No.19 孔コンテナハウス屋外の空気中ラドン濃度測定結果（2003 年）	74
付図 6.3-1	No.19 孔コンテナハウス付近の地中ラドン濃度測定結果（2002 年）	75
付図 6.3-2	No.19 孔コンテナハウス付近の地中ラドン濃度測定結果（2003 年）	75

付録表目次

付表 1.1.1-1	水中投入型水中ラドン計の設置状況	26
付表 1.7-1	Z80CPU ボードのコマンド一覧表	37
付表 5.1-1	解析結果に関するディレクトリ及び測定項目	54

付録写真目次

付写真 1.6-1	アンプ電源装置	35
付写真 1.6-2	アンプ電源装置内部	35
付写真 1.7-1	データロガー装置	36

1 はじめに

人形峠環境技術センター（以下センターという）では、センター内およびその周辺地域に捨石たい積場、鉱さいたい積場があり、安全かつ健全に管理を行うとともに、恒久的な跡措置の検討を行っている。捨石たい積場、鉱さいたい積場の跡措置を行うにあたり、捨石や鉱さいを起源とする核種の内、 α 線放出核種として唯一ガス体として拡散するラドンの周辺環境への影響を評価することは重要な課題であり、ラドンに関する安全評価を行うためには、ラドン散逸に係るデータの取得・解析及び遮へい計算に用いるデータを取得することが必要となる。

ラドンのデータ取得・解析については、大気中、土壤・岩石中におけるラドン測定装置、測定手法及び解析評価は行われているものの、地下水中のラドン解析手法が課題となっていた。このことから、1996年より地下水中のラドン挙動を解明する目的で水中ラドン計の研究・開発に着手し、岐阜大学生涯学習教育研究センターの田阪茂樹教授による委託研究を行い、1997年に原位置で測定できる水中ラドン検出器を開発した（田阪、1997）。水中ラドン検出器の開発には、既設のモニタリング孔があり、埋設している捨石の化学的特徴・地下水流动・地下水等についての情報を多く保有しているセンター内の夜次露天採掘場跡地（以下、露天跡地という）及び周辺地域を利用した。また、2000年から2001年には、露天跡地及び周辺地域の観測地点をネットワーク接続したラドン観測システムを構築し（田阪、2001）、水中ラドン濃度の他に、モニタリング孔の水位、水温、空气中ラドン濃度等の連続観測が可能となった。

本報告書では、構築したラドン観測システムを利用して、2002年から2003年にかけて露天跡地及び周辺地域から集積した水中ラドンデータについてまとめるとともに、ラドン観測システムのメンテナンス概要について記す。

2 ラドン観測システムの構成

2.1 システム概要

ラドン観測システムの概要を図 2.1-1 に示す。ラドン観測システムは、計測部（ラドン計、アンプ電源）、データ取得部（データロガー、観測パソコン）及びデータ処理部（データ取得サーバ、Web サーバ）で構成している。必要に応じて地下水位計と地下水温計を組み合わせている。

観測地点で計測した各データは、10 分毎にデータロガーを経由して観測パソコンに自動的に読み込み保存する。各観測パソコンに保存したデータは、環境計画課に設置しているデータ取得サーバにより、ISDN 回線を通じて自動で定期的（4 回/日）に取得する。データ取得サーバのデータは、3 種類のデータ（10 分間・1 時間・1 日データ）に解析し、Web サーバによりデータ表示可能としている。

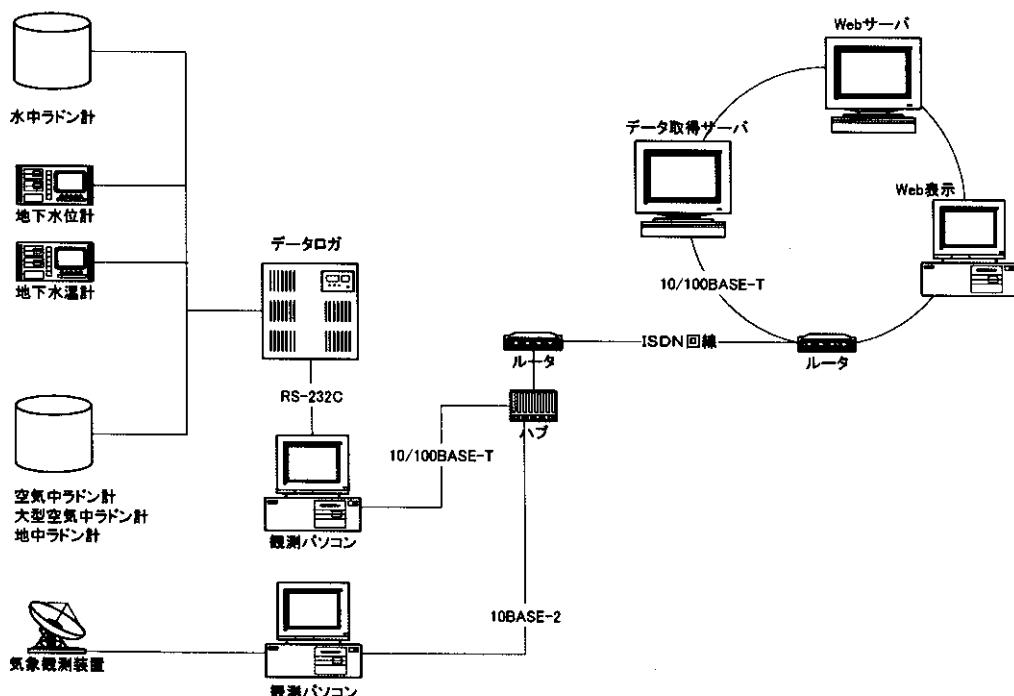


図 2.1-1 ラドン観測システム構成図

2.2 観測地点

ラドン観測システムは、露天跡地及び周辺地域のモニタリング孔 4ヶ所（露天跡地：No.19 孔、周辺地域：No.5 孔、No.18 孔及び No.23 孔）に設置している。図 2.2-1 に露天跡地及び周辺地域のモニタリング孔配置図を示す。

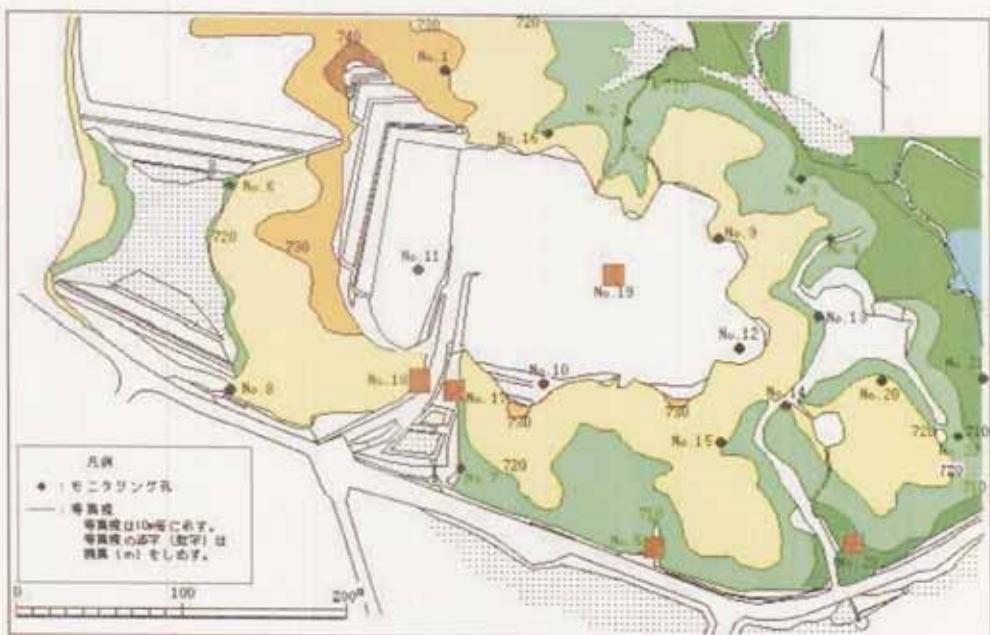


図 2.2-1 露天跡地及び周辺のモニタリング孔配置図（■：観測地点）

No.18 孔及び No.19 孔にはコンテナハウスを設置し（写真 2.2-1、写真 2.2-2）、No.5 孔及び No.23 孔には簡易な観測用モニタリングポストを設置し（写真 2.2-3、写真 2.2-4）、ラドン観測を実施している。

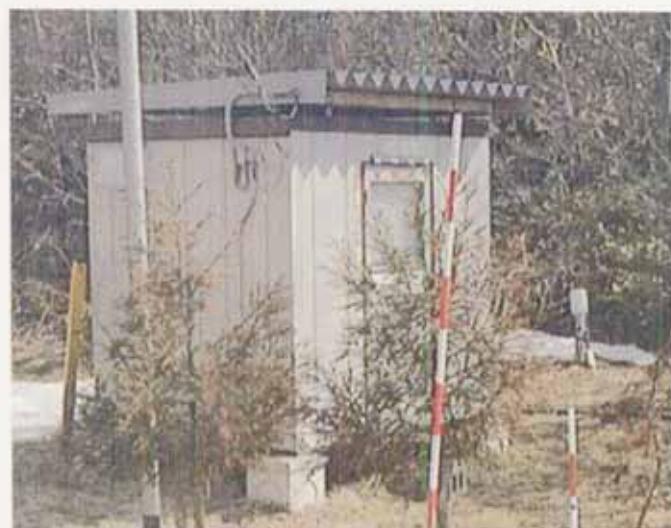


写真 2.2-1 No.18 孔コンテナハウス



写真 2.2-2 No.19 孔コンテナハウス



写真 2.2-3 No.23 孔観測用モニタリングポスト



写真 2.2-4 No.5 孔観測用モニタリングポスト

2.3 観測項目

各観測地点における設置機器と観測項目を表 2.3-1 に示す。なお、各設置機器の概要等については付録 1 に示す。

表 2.3-1 各観測地点の観測項目及び設置機器

観測地点	設置機器	観測項目
No.17 孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水位計 1台 ・ 水温計 1台 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下水位 ・ 地下水温
No.18 孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン計 1台、空気中ラドン計 1台 ・ 観測パソコン 1台、データロガー1台、アンプ電源 1台、HUB1台、ルータ 1台、光通信用変換器 1式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン濃度 ・ 空気中ラドン濃度
No.19 孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン計 1台 ・ 空気中ラドン計 2台 ・ 地中ラドン計 1台 ・ 水位計 1台 ・ 水温計 2台 ・ 流量計 1台 ・ 湿度計 1台 ・ 温度計 1台 ・ 気象観測装置 1式（風向・風速計、温度計、雨量計、日照計、蒸発散計、湿度計） ・ 観測パソコン 1台、データロガー1台、アンプ電源 1台、HUB1台 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン濃度 ・ 空気中ラドン濃度 ・ 地中ラドン濃度 ・ 地下水位 ・ 地下水温、水中ラドン計用ステンレス槽内の水温 ・ ステンレス槽内の流量 ・ 大型ラドン計の流入空気の相対湿度 ・ 室温 ・ 気象（平均風向・平均風速・最高風速・気温・最高気温・最低気温・時間雨量・時間日照・蒸発散量・相対湿度）
No.23 孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン計 1台 ・ 空気中ラドン計 1台 ・ 水位計 1台 ・ 水温計 1台 ・ 観測パソコン 1台、光通信用変換器 1式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン濃度 ・ 空気中ラドン濃度 ・ 地下水位 ・ 地下水温
No.5 孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン計 1台 ・ 空気中ラドン計 1台 ・ 水位計 1台 ・ 水温計 1台 ・ 観測パソコン 1台、光通信用変換器 1式 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中ラドン濃度 ・ 空気中ラドン濃度 ・ 地下水位 ・ 地下水温

3 ラドン濃度測定結果

2001 年に構築したラドン観測システムを用いて、2002 年から 2003 年に観測した露天跡地及び周辺地域における水中ラドン濃度の測定結果を以下に示す。また、水中ラドン濃度の変動に関するデータとの関連性について比較した。

3.1 水中ラドン濃度

2002 年 1 月 1 日から 2003 年 12 月 31 日までの 2 年間の露天跡地及び周辺の水中ラドン濃度の測定結果を下記に示す。なお、地上設置型水中ラドン計を用いて測定した No.19 孔水中ラドン濃度結果は、水中ポンプの故障により、2002 年 2 月から 4 月までの間と 2002 年 8 月以降は欠測となった。

本研究では、ラドン検出器で測定した ^{214}Po (RaC) のカウント数と液体シンチレーション法により測定した水中ラドン濃度（4 回/年）を基に校正係数（付録 2 参照）を算出し、この校正係数を用いて水中ラドン濃度を求めている。今回測定した水中ラドン濃度と液体シンチレーション法により測定した水中ラドン濃度の結果を付録 5 に示すが、両者ともによく一致している。

3.1.1 水中ラドン濃度の年変動

各観測地点におけるモニタリング孔内の地下水の水中ラドン濃度の変動（月前半・後半の平均値）を図 3.1.1-1 に示し、水中ラドン濃度の最小値と最大値を表 3.1.2-1 に示す。

図 3.1.1-1 より、水中ラドン濃度の年変動は、冬期から春期にかけて高い傾向を示し、1 月・2 月に増加し始めて、5 月頃まで高い濃度を保っている。また、8 月から 10 月の夏期から秋期には低くなる傾向を示している。冬期から春期にかけて水中ラドン濃度が高くなる原因として、冬期の積雪が地表面を覆うことにより、大気中へのラドン拡散が抑制されるためと推測される。

表 3.1.1-1 より、測定期間における水中ラドン濃度の最大値は、No.23 孔の 961Bq/l (2003 年 3 月 9 日) となり、他の 3 観測地点の水中ラドン濃度の最大値よりも 1 術程度高い値となった。最小値は、No.23 孔の 0.01 Bq/l (2003 年 1 月 6 日) となった。

また、水中ラドン濃度の最小値と最大値の結果から、No.23 孔の水中ラドン濃度の年変動は大きいことを確認できたが、この変動原因については把握できていない。

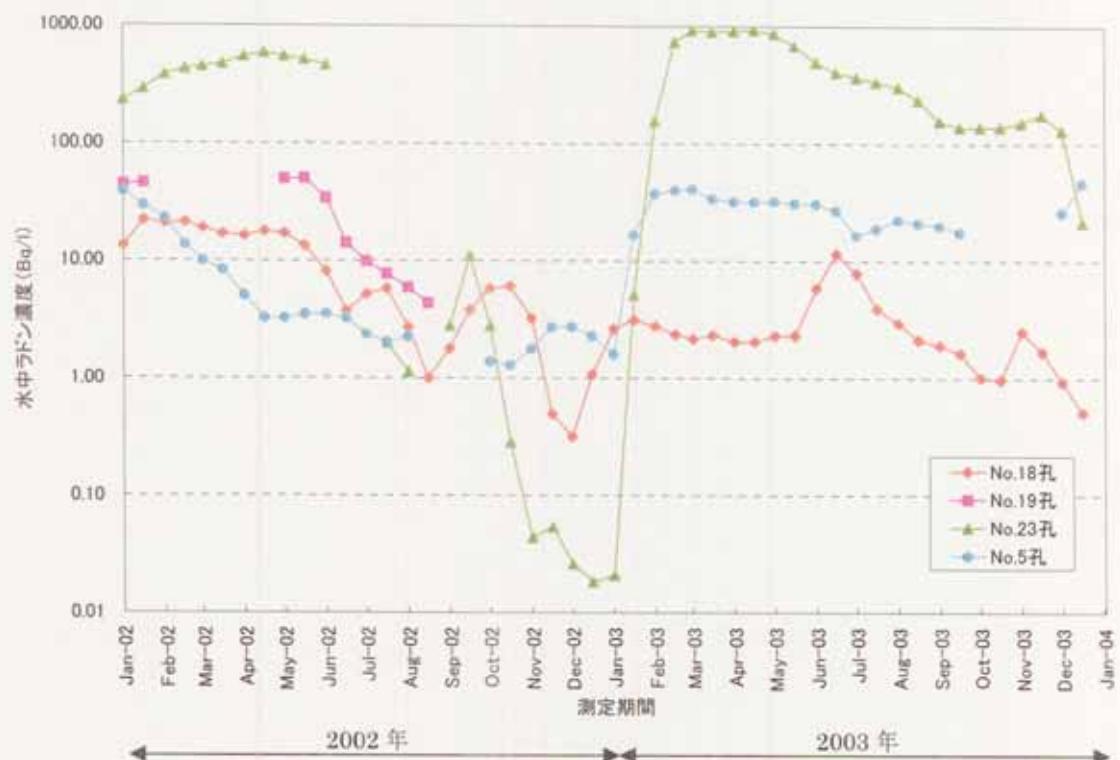


図 3.1.1-1 水中ラドン濃度の変動（月平均値）

表 3.1.1-1 水中ラドン濃度の最小値、最大値

観測地点	水中ラドン濃度			
	最小値 (Bq/l)	観測年月日	最大値 (Bq/l)	観測年月日
No.18 孔	0.2	2002/12/10	25	2002/01/18
No.19 孔	2.4	2002/08/22	75	2002/05/09
No.23 孔	0.01	2003/01/06	961	2003/03/09
No.5 孔	0.7	2003/01/19	54	2003/12/29

3.1.2 水中ラドン濃度と降雨について

ラドン濃度の変動は、一般的に気象条件に影響を受けると言われている。水中ラドン濃度については、気象条件のなかで特に降雨によって地表面からの浸透水が水中ラドン濃度に影響すると考えられるため、水中ラドン濃度と降雨の関係について検討した。

図 3.1.2-1 に 2002 年 5 月 1 日から 11 月 30 日までの各観測地点の水中ラドン濃度と日雨量の測定結果を示す。図 3.1.2-1 から、降雨は 2002 年 5 月上旬、6 月中旬から 7 月中旬、10 月下旬から 11 月上旬に多く、特に梅雨時期の 6 月中旬から 7 月中旬には 20mm 前後の連続して降雨を観測している。一方、5 月下旬から 6 月上旬、7 月下旬から 9 月上旬には日雨量が少ない。

No.18 孔及び No.5 孔水中ラドン濃度は、2002 年 6 月中旬から 7 月中旬の連続した降雨のとき、数日程度遅くなった 7 月上旬から増加し、2002 年 7 月下旬からの降雨が少なくなるときに、遅れて減少する傾向が見られる。No.23 孔水中ラドン濃度についても、一部データが欠測しているが、降雨が少なくなると水中ラドン濃度が徐々に減少する傾向が見られる。No.19 孔水中ラドン濃度は、降雨とは関係なく減少し続けているが、測定期間が短いことから傾向をつかむことはできなかった。

また、2002 年 9 月 7 日に 191mm の降雨を観測しており、このときの水中ラドン濃度は、No.23 孔で 10 日程度遅く、No.18 孔で 20 日程度遅く、急に増加していることを確認した。

以上のことから、水中ラドン濃度と降雨との関係について、No.18 孔、No.23 孔及び No.5 孔の水中ラドン濃度は降雨があると十数日程度遅れて増加し、少雨期になると徐々に減少する傾向があることがわかった。また、1 日で 200mm 程度の極端な降雨の場合、20mm 前後の連続的な降雨のときの水中ラドン濃度の増加よりも、水中ラドン濃度の増加が大きい傾向が見られる。また、降雨に対して水中ラドン濃度の増加が遅れるのは、降雨の浸透と観測地点の地形が原因と推測される。

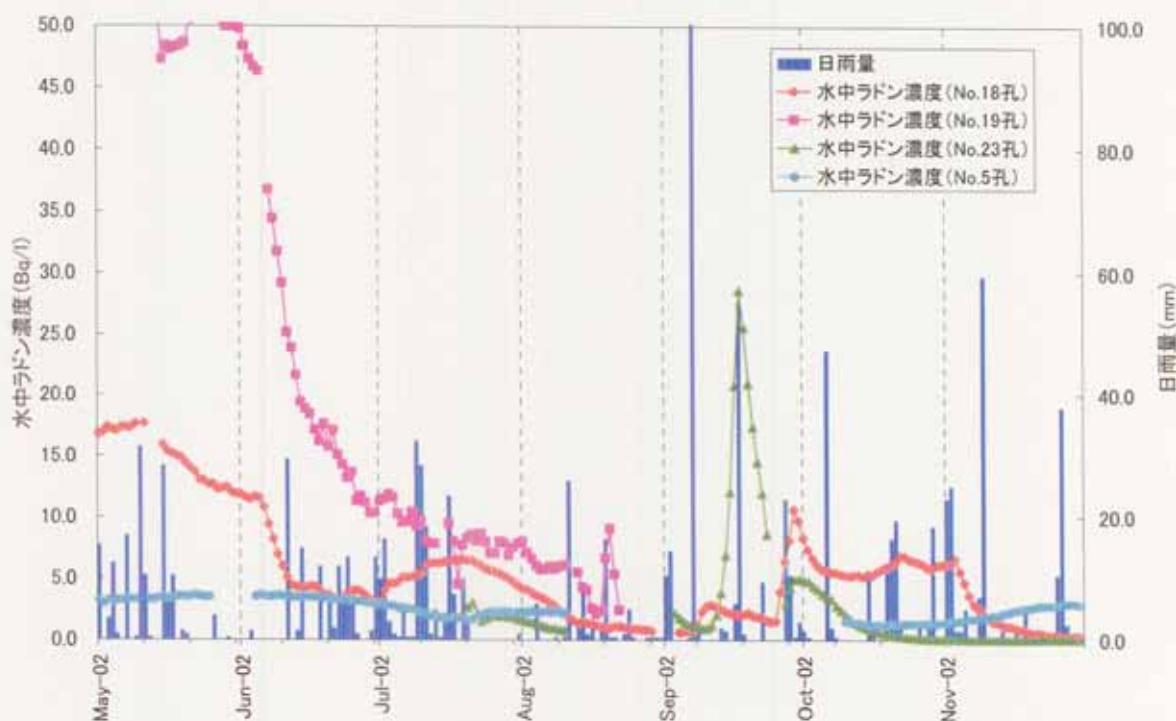


図 3.1.2-2 水中ラドン濃度と日雨量の測定結果

3.1.3 水中ラドン濃度と地下水位について

委託研究による露天跡地の水中ラドン濃度の測定結果、水中ラドン濃度変動は地下水流动と強く関係している（2002、田阪）ことから、水中ラドン濃度と地下水位との関係について比較した。図3.1.3-1に2002年6月1日から8月31日までのNo.18孔水中ラドン濃度とNo.17孔標高水位の測定結果、図3.1.3-2に2002年1月1日から1月31日までのNo.19孔の測定結果、図3.1.3-3に2003年4月1日から6月30日までのNo.23孔の測定結果、図3.1.3-4に2002年10月1日から12月31日までのNo.5孔の測定結果を示す。

図3.1.3-1、図3.1.3-3及び図3.1.3-4の結果から、No.18孔、No.23孔及びNo.5孔では、各モニタリング孔内の標高水位が高くなるときに水中ラドン濃度は増加し、各モニタリング孔内の標高水位が低くなるときに水中ラドン濃度は減少する傾向が見られる。測定期間にモニタリング孔の標高水位が時々高くなるのは降雨による影響のためと推測される。また、図3.1.3-2の結果から、No.19孔では標高水位と水中ラドン濃度の変化には関連が見られない。これは、No.19孔での測定期間が短いためと考えられ、長期間の連続測定を行うことにより傾向がつかめる可能性はあると考える。

以上のことから、露天跡地周辺（No.18孔、No.23孔及びNo.5孔）のモニタリング孔では、地下水位と水中ラドン濃度には関係があることが確認できた。これは露天跡地周辺土壤からラドンを含む地下水が流动することにより、地下水位とラドン濃度に変化が起こると推測される。



図3.1.3-1 No.18孔水中ラドン濃度とNo.17孔標高水位の測定結果

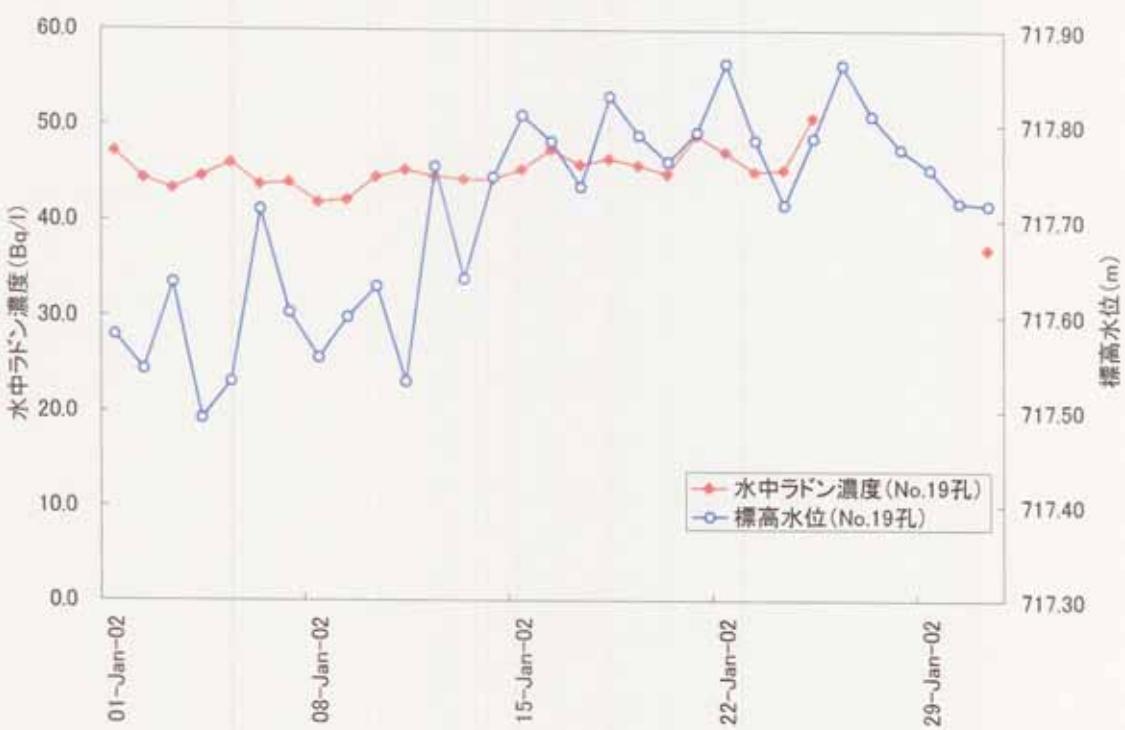


図 3.1.3-2 No.19 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果

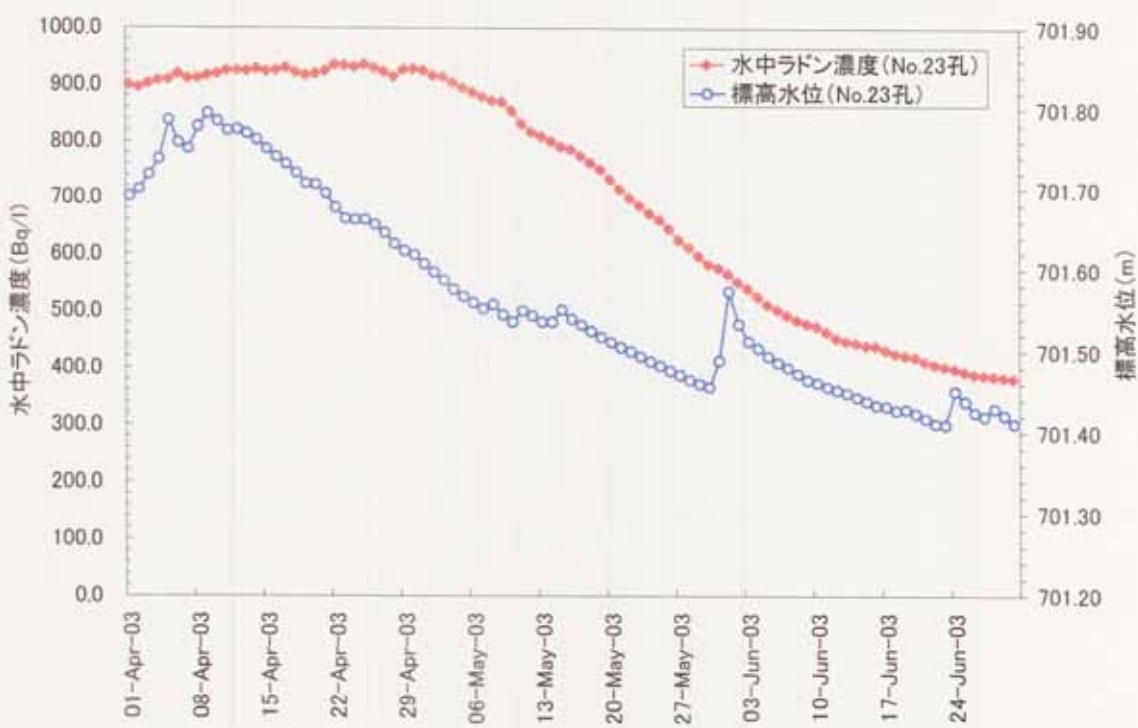


図 3.1.3-3 No.23 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果

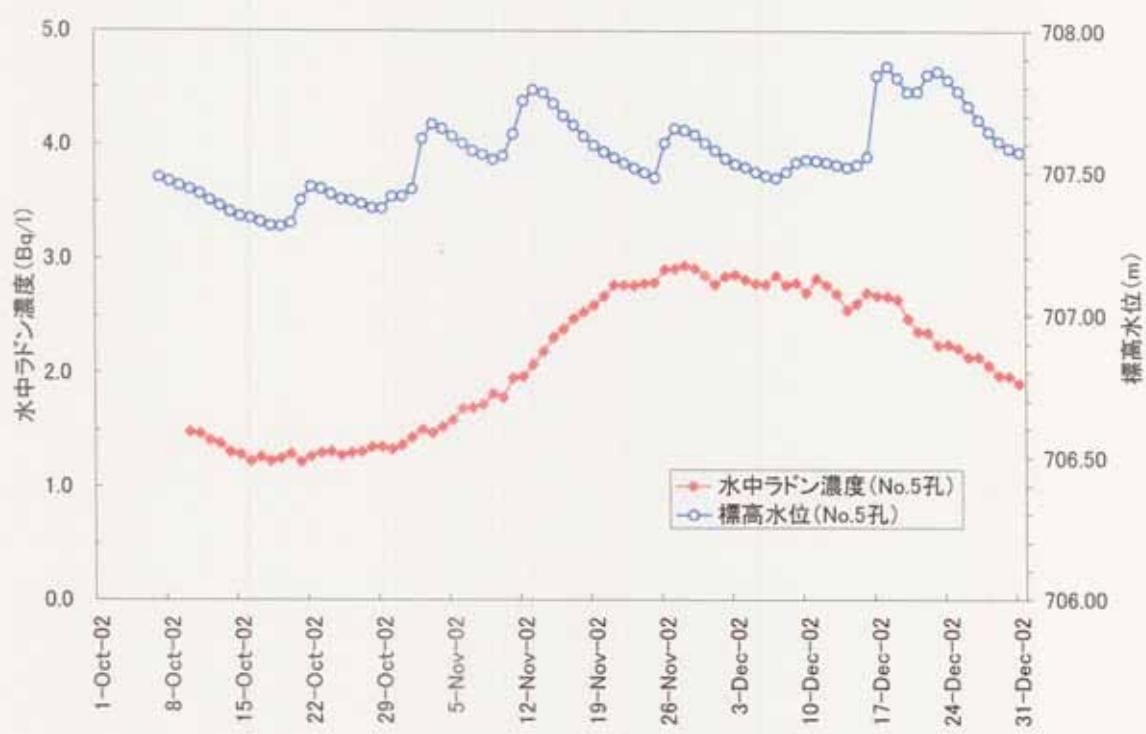


図 3.1.3-4 No.5 孔水中ラドン濃度と標高水位の測定結果

3.2 その他の測定結果

水中ラドン濃度と関連するデータとして、各観測地点の空気中ラドン濃度と No.19 孔周辺の地中ラドン濃度の観測を行っており、これらの観測結果については、水中ラドン濃度の参考データとして以下に示す。

3.2.1 空気中ラドン濃度

2002 年から 2003 年にかけて、小型空気中ラドン計を用いたコンテナハウス及びモニタリングポストの室内空気中ラドン濃度と、大型空気中ラドン計を用いた屋外空気中ラドン濃度の観測を行った。

屋内空気中ラドン濃度に使用した小型空気中ラドン計は、センター内のラドン校正設備を用いて校正実験を行い、小型ラドン計によって観測した ^{214}Po のカウント数と電離箱で測定したラドン濃度からを基に校正係数を算出し、校正係数によりラドン濃度を求めている(田阪, 2002)。屋外空気中ラドン濃度に使用した大型空気中ラドン計についても、同様の校正実験を岐阜大学にて実施しており(田阪他, 1997)、算出した校正係数によりラドン濃度を求めている。

2002 年 1 月 1 日から 2003 年 12 月 31 日までの各観測地点の月前半・後半の平均値を図 3.2.1-1 に示し、空気中ラドン濃度の最小値・最大値を表 3.2.1-1 に示す。

図 3.2.1-1 より、測定期間における空気中ラドン濃度の変化は、No.19 孔屋外空気中ラドン濃度の 12 月から 3 月の冬期を除き、屋内空気中ラドン濃度は同じ傾向を示し、12 月～3 月の冬期、6 月上旬及び 10 月上旬にラドン濃度が増加し、6 月下旬から 7 月上旬にはラドン濃度が減少する傾向があることを確認した。また、2 月から 3 月の No.18 孔屋内空気中ラドン濃度は他観測地点の測定結果よりも約 3 倍から 20 倍の高い値を示す。これは、2001 年度の委託研究成果から、No.18 孔コンテナハウス床面と地面には約 26 から 38cm の隙間があり、積雪量が大きくなると地面から散逸したラドンガスがこの空間に溜まり、コンテナハウス内のラドン濃度を高めているとため考えられる(田阪, 2002)。

表 3.2.1-1 より、測定期間の空気中ラドン濃度の最大値は、No.18 孔の $5,818\text{Bq}/\text{m}^3$ (2002 年 2 月 22 日) となり、他観測地点の最大値よりも 1 桁高い値となっている。空気中ラドン濃度の最小値は、No.18 孔の $1.1\text{ Bq}/\text{m}^3$ (2002 年 7 月 6 日) となり、No.5 孔を除き 2002 年 7 月に最小値を示している。

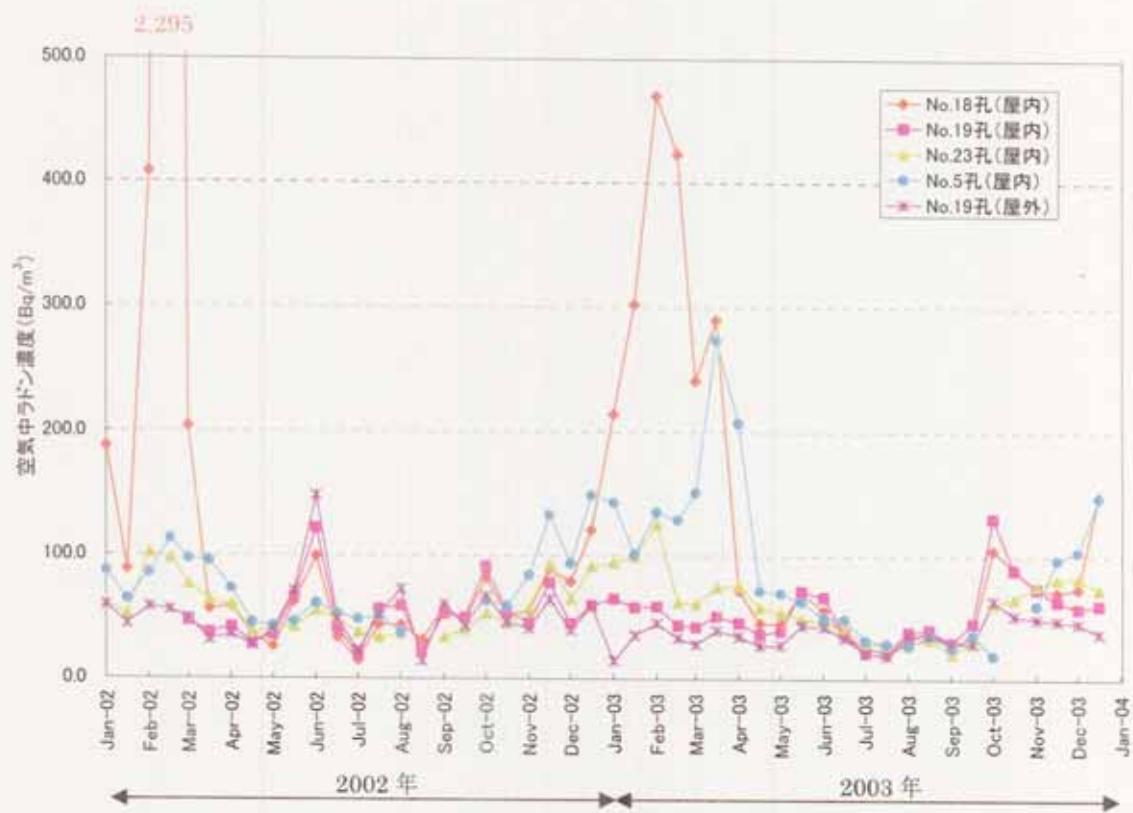


図 3.2.1-1 空気中ラドン濃度の測定結果（月平均値）

表 3.2.1-1 空気中ラドン濃度の最大値、最小値

場所	空気中ラドン濃度			
	最小値 (Bq/m ³)	観測年月日	最大値 (Bq/m ³)	観測年月日
No.18 孔 (屋内)	1.1	2002/07/06	5,818	2002/02/22
No.19 孔 (屋内)	2.7	2002/07/15	336	2002/10/10
No.23 孔 (屋内)	6.6	2002/07/06	491	2002/02/01
No.5 孔 (屋内)	5.5	2002/04/16	596	2003/03/25
No.19 孔 (屋外)	2.1	2002/07/18	287	2002/06/05

3.2.2 地中ラドン濃度

地中ラドン濃度は、水中ラドン濃度の参考データとして、No.19 孔付近に設置して、2002 年 7 月から 2003 年 12 月まで観測を行った。

地中ラドン計は、小型空気中ラドン計と同様の校正実験を行い、ラドン計によって観測した ^{214}Po のカウント数と電離箱で測定したラドン濃度からを基に校正係数を算出し、校正係数によりラドン濃度を求めている（田阪、2002）。

2002 年 7 月 19 日から 2003 年 12 月 31 日までに測定した地中ラドン濃度の月前半・後半の平均値を図 3.2.2-1 に示し、地中ラドン濃度の最小値、最大値を表 3.2.2-1 に示す。なお、2002 年 8 月は地中ラドン計調整のために測定できていない。

図 3.2.2-1 より、地中ラドン濃度の年変動は冬期から春期の 1 月から 4 月にかけて徐々に高くなり、夏期から秋期に徐々に低くなる傾向が見られる。冬期から春期にかけて地中ラドン濃度が高くなるのは、積雪により空気中へのラドン拡散が抑制されるためと推測される。

表 3.2.2-1 より、測定期間の地中ラドン濃度の最大値は約 $64,000\text{Bq}/\text{m}^3$ 、最小値は約 $1,500\text{ Bq}/\text{m}^3$ となり、年間で約 40 倍の濃度差があることを確認した。また、2002 年に実施した試験において、光ファイバータイプの土壤中ラドン検出器を使用して、今回測定地点の付近において土壤中ラドン濃度を測定した結果、深度 15cm で $120,000\text{Bq}/\text{m}^3$ 、深度 45cm で $250,000\text{Bq}/\text{m}^3$ との測定結果が得られている。



図 3.2.2-1 地中ラドン濃度の測定結果（月平均値）

表 3.2.2-1 地中ラドン濃度の最大値、最小値

場所	地中ラドン濃度			
	最小値 (Bq/m ³)	観測年月日	最大値 (Bq/m ³)	観測年月日
No.19 孔付近	1,529	2003/11/26	63,997	2002/09/08

3.2.3 各ラドン濃度の関連性について

各観測地点において測定した水中ラドン濃度の関連性や、参考データとして測定した空気中ラドン濃度及び地中ラドン濃度との関連性について検討するため、各ラドン観測結果との相関係数を調査した。その結果を表 3.2.3-1 に示す。調査の結果から、以下のことがわかった。

(1) 水中ラドン濃度

No.18 孔、No.19 孔及び No.23 孔水中ラドン濃度の測定結果は、それぞれに相関が認められる。しかし、No.5 孔水中ラドン濃度については、No.19 孔及び No.23 孔水中ラドン濃度の測定結果と相関が認められるが、No.18 孔水中ラドン濃度の測定結果とは逆相関となっている。

(2) 水中ラドン濃度と空気中ラドン濃度

No.18 孔、No.19 孔及び No.5 孔水中ラドン濃度の測定結果と空気中ラドン濃度測定結果にはそれぞれ相関が認められるが、No.23 孔水中ラドン濃度の測定結果と空気中ラドン濃度の測定結果は相関がない。

(3) 水中ラドン濃度と地中ラドン濃度

4 観測地点全ての水中ラドン濃度の測定結果と No.19 孔地中ラドン濃度の測定結果には相関が認められる。

表 3.2.3-1 各ラドン濃度の相関係数

	No.18孔 水中ラドン	No.19孔 水中ラドン	No.23孔 水中ラドン	No.5孔 水中ラドン	No.18孔 空気中ラドン	No.19孔 空気中ラドン	No.19孔 空気中ラドン (屋外)	No.19孔 地中ラドン	No.23孔 空気中ラドン	No.5孔 空気中ラドン
No.18孔 水中ラドン	1.00									
No.19孔 水中ラドン	0.80	1.00								
No.23孔 水中ラドン	0.18	0.82	1.00							
No.5孔 水中ラドン	-0.11	0.57	0.48	1.00						
No.18孔 空気中ラドン	0.26	0.37	0.05	0.08	1.00					
No.19孔 空気中ラドン	-0.07	0.34	-0.13	-0.05	0.06	1.00				
No.19孔 空気中ラドン (屋外)	0.09	0.27	-0.11	-0.11	0.06	0.85	1.00			
No.19孔 地中ラドン	0.18	0.45	0.70	0.52	0.01	-0.20	-0.16	1.00		
No.23孔 空気中ラドン	0.00	0.24	-0.04	0.09	0.16	0.60	0.53	-0.12	1.00	
No.5孔 空気中ラドン	-0.12	0.21	0.16	0.25	0.18	0.41	0.35	0.04	0.65	1.00

4 ラドン観測システムのメンテナンスについて

2001年に構築したラドン観測システムを用いて、2002年から2003年の2年間にわたり観測システムを運転した結果、測定機器の故障・修理・消耗品交換等のメンテナンス作業が発生した。表4-1に2002年1月1日から2003年12月31日までの実績を示し、今後の運転に伴うメンテナンスの指標として、以下に概要を示す。

表4-1 ラドン観測システムのメンテナンス実績

発生年月日	場所	機器	修理・交換内容								原因
			PD交換	不透水膜 交換	アンプ交換	AD変換 ボード交換	遠隔 ボード交換	HUB交換	バッテリー 交換	パソコン 再起動	
2002/2/1	No.19	アンプ電源							○		消耗品交換
2002/2/1	No.19	水中ポンプ								○	水中ポンプの目詰まり
2002/2/9	No.19	パソコン								○	不明
2002/3/28	No.23	パソコン								○	機器交換
2002/3/28	No.18	パソコン								○	落雷
2002/3/28	No.19	パソコン								○	落雷
2002/6/3	No.5	パソコン								○	落雷
2002/6/3	No.23	パソコン								○	落雷
2002/6/6	No.19	パソコン								○	信号異常
2002/6/24	No.18	ネットワーク						○			機器交換
2002/7/15	No.19	パソコン								○	不明
2002/7/17	No.23	データロガー								○	落雷
2002/7/22	No.23	水中ラドン計	○	○							消耗品交換
2002/8/11	No.19	水中ポンプ								○	水中ポンプの目詰まり
2002/8/21	No.19	ネットワーク					○	○			落雷
2002/8/26	No.5	データロガー				○					落雷
2002/8/26	No.19	パソコン								○	不明
2002/9/9	No.19	パソコン								○	信号異常
2002/9/22	No.19	パソコン								○	不明
2002/9/24	No.23	水中ラドン計								○	信号異常
2002/10/7	No.5	パソコン								○	台座のトラッキング
2002/10/8	No.5	水中ラドン計								○	機器交換
2002/10/8	No.5	空気中ラドン計								○	信号異常
2002/11/15	No.23	水中ラドン計								○	信号異常
2003/1/21	No.5	水中ラドン計	○								台座のトラッキング
2003/1/22	No.5	水中ラドン計			○						消耗品交換
2003/6/4	No.18	水中ラドン計	○	○							消耗品交換
2003/7/28	No.5	パソコン								○	消耗品交換
2003/7/31	No.19	地中ラドン計	○	○						○	機器交換
2003/8/7	No.18	パソコン								○	消耗品交換
2003/8/7	No.19	パソコン								○	落雷
2003/8/7	No.5	パソコン								○	落雷
2003/8/8	No.19	精密水槽計								○	機器交換
2003/8/25	No.19	パソコン								○	落雷
2003/8/25	No.19	高圧電源装置								○	落雷
2003/8/25	No.5	パソコン								○	落雷
2003/8/25	No.23	パソコン								○	落雷
2003/11/10	No.18	パソコン								○	機器交換
2003/11/10	No.5	パソコン								○	機器交換
2003/11/25	No.5	水中ラドン計								○	台座のトラッキング

4.1 ラドン観測システムの故障原因

ラドン観測システムの故障内容について、図4.1-1にまとめた。図4.1-1より、2年間の故障は合計で40回発生した。最も多い故障原因是落雷の14回で、機器交換(7回)、消耗品交換(6回)、信号異常(4回)、水中ラドン計フィードスルーのトラッキング(3回)、水中ポンプの目詰まり(2回)、不明(4回)であった。

(1) 落雷

落雷を原因とするシステムの故障・修理の多い場所は、No.19孔-5回、No.5孔-4回となっている。ラドン観測システムが落雷に対して弱いことは、以前より把握しており、2003年2月25日にNo.18孔及びNo.19孔の防雷対策(耐雷トランジスタ、開閉器、サージレースタップ、電話回線用アレスタ、LAN用アレスタ)を実施した。その結果、耐雷器を設置前の2002年の故障日数は5日(2002年3月26日、2002年6月3日、2002年7月17日、2002年8月21日、2002年8月26日)で、設置後の2003年は2日(2003年8月7日、2003年8月25日)と半日以下に減少した。ラドン観測システムを落雷から防護するためには、防雷器の設置は必要と考えられる。

(2) 機器交換

機器交換で最も多かったのは、測定用パソコンで3回の交換を行っている。次いでモニタ2回、HUB1回、精密水温計1回であった。機器交換では落雷が原因による機器交換は含んでいないが、測定用パソコンの交換回数が2年間で3回発生していることは非常に多いと思われる。

観測用パソコンの交換場所はNo.5孔・2回、No.23孔・1回である。No.5孔とNo.23孔はアクリル製の簡易モニタリングポストを設置し、そのなかに観測用パソコンを収納していることから、年間を通じた周辺環境の変化が原因による故障と推測される。

以上のことから、今後、簡易モニタリングポストを利用して観測する場合には、太陽光線の反射用塗料の塗布等の処置を施すことで、故障・交換回数を少なくし、運転コストを抑える必要と考える。

(3) 消耗品交換

消耗品交換は、水中投入型水中ラドン計・4回、地中ラドン計・1回、アンプ電源・1回であった。最も交換が多い水中ラドン計の消耗品は、PDと不透水膜である。また、2年間で空气中ラドン計の消耗品交換は1度も実施していない。

PDはNo.19孔を除き2年間で1回以上の交換していることから、検出器1台に対して最低1個/年の予備品を準備しておく必要があると考える。

(4) 信号異常

信号異常は、No.19孔とNo.5孔で発生し、水中ラドン計、空气中ラドン計、精密水温計、測定用パソコンで発生している。信号異常の原因は不明で、不定期に発生する。

(5) トランкиング

トランкиングは、水中投入型水中ラドン計内部のフィードスルー部（付録2参照）のPDを取り付ける電極間でトランкиング現象が起こり、ラドンが検出できなくなる。トランкиング発生の原因是、フィードスルーの材質に関係しており、セラミック製フィードスルーを使用するとトランкиングが発生するため、樹脂製フィードスルーに変更することで全く発生しなくなる。

(6) 水中ポンプの目詰まり

No.19孔の水中ラドン濃度測定には、地上設置型水中ラドン計（付録2参照）を使用し、モニタリング孔内に水中ポンプを投入している。しかし、No.19孔の孔内水中には鉄成分が多く含まれているために、水中ポンプを長期間孔内水と接触していると、水中ポンプ内部に鉄成分が付着して目詰まりが起こり、揚水できなくなる。

目詰まりした水中ポンプの修理には、多くの時間と労力を必要とすることから、定期的な水中ポンプの点検・清掃を行うことで、故障回数を減少できる。

(7) 不明

原因不明の故障は、全てNo.19孔の観測用パソコン電源が突然切れるもので、2002年～2003年に4回発生している。No.19孔観測用パソコンは5年以上断続的に使用していることから、経年劣化によるパソコン電源部の劣化が原因と推測される。

以上のことから、ラドン観測システムの故障対策としては、防雷対策、モニタリングボスの改良、定期的な消耗品交換を行うことにより、故障の発生を減少して運転コストを抑えるとともに、ラドンの連続測定を継続することが重要である。

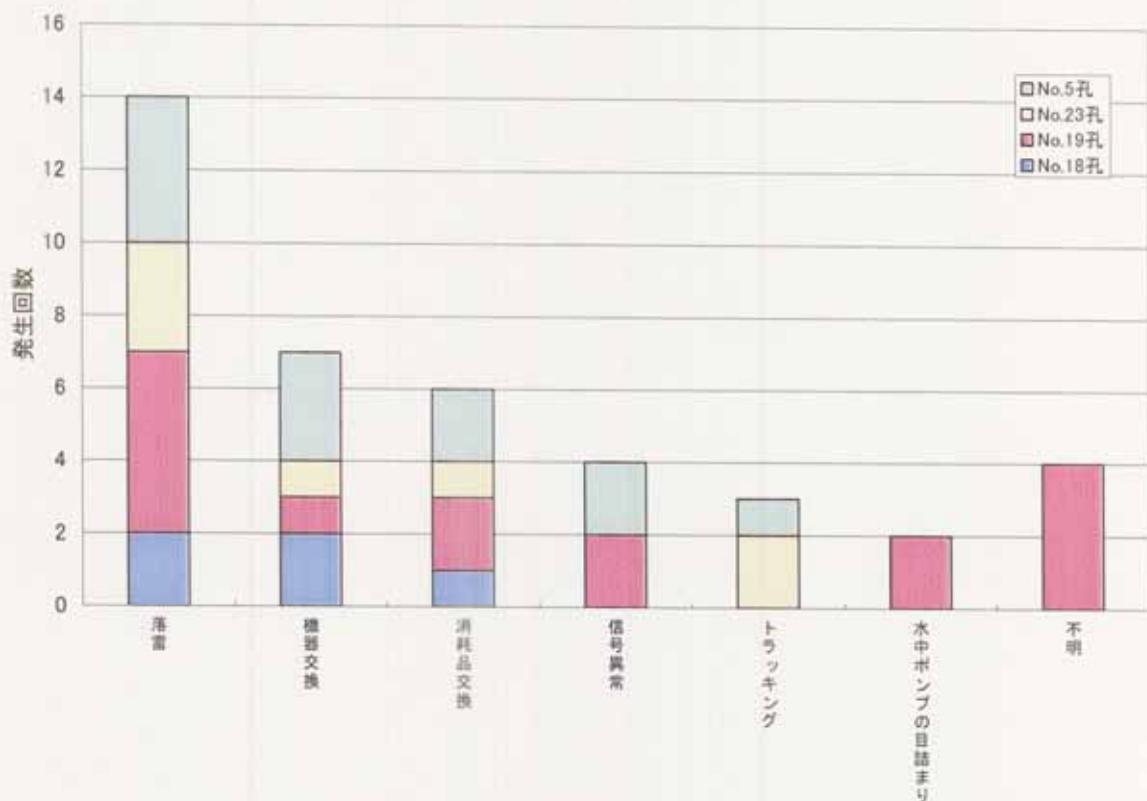


図 4.1-1 ラドン観測システムの故障原因と発生場所

4.2 ラドン観測システムの機器故障

ラドン観測システムを構成する機器の故障について、図 4.2-1 に示す。図 4.2-1 より、最も故障の多い機器はパソコンで 21 回発生し、次いで水中ラドン計・8 回、データロガー・2 回、ネットワーク・2 回、水中ポンプ・2 回であった。

(1) パソコン

ラドン観測システムを構成する機器で最も多く 21 回の故障を発生したが、発生場所は No.19 孔・9 回、No.5 孔・6 回、No.18 孔及び No.5 孔・3 回である。No.19 孔の 9 回の内容は、原因不明・4 回、落雷・3 回、信号異常・2 回である。No.5 孔の 6 回の内容は、落雷・3 回、パソコン交換・3 回であった。

観測用パソコンは現地でのデータ取得・保存、ネットワーク接続等の重要な役割があることから、ラドン濃度の連続測定を行うためには常に正常に作動していかなければならない。また、No.5 孔のようにパソコン本体の交換が必要となる場合があるために、1~2 台程度は予備品として準備することで、断続的なデータ取得が可能となる。

(2) 水中ラドン計

水中投入型水中ラドン計の主な故障内容は、消耗品の交換（PN、不透水膜）が3回、トラッキング2回である。水中投入型水中ラドン計は、定期的に消耗品を交換する必要となる。

(3) データロガー

データロガーの故障内容は、落雷によるAD変換ボードと通信ボードの破損である。これは、防雷器の設置によりある程度の防護は可能だが、落雷による影響を完全に無くすることは不可能である。よって、故障実績のあるAD変換ボードと通信ボードの予備品は準備しておく必要があると考える。

(4) ネットワーク

ネットワークの故障内容は、No.18孔及びNo.19孔のHUBの故障によるものである。2003年2月に電話回線用アレスタ及びLAN用アレスタを設置後は、ネットワークに関する故障は発生していない。また、No.23孔及びNo.5孔のネットワークには光ケーブルを使用して故障が発生していない。このことから、安定したネットワーク利用のためには、アレスタ設置か光ケーブルを導入することが重要であると考える。

(5) 水中ポンプ

水中ポンプの故障内容は、故障原因でも記述したとおり、水中ポンプの目詰まりである。地上設置型水中ラドン計を使用する時には、水中ポンプを2台以上準備し、定期的にローテーションして、目詰まり前に交換・分解・清掃することで、水中ポンプの故障は減少できると考えられる。

以上のことから、ラドン観測システムの機器故障に対しては、ほとんどは予備品を準備することで対応できると考えられる。

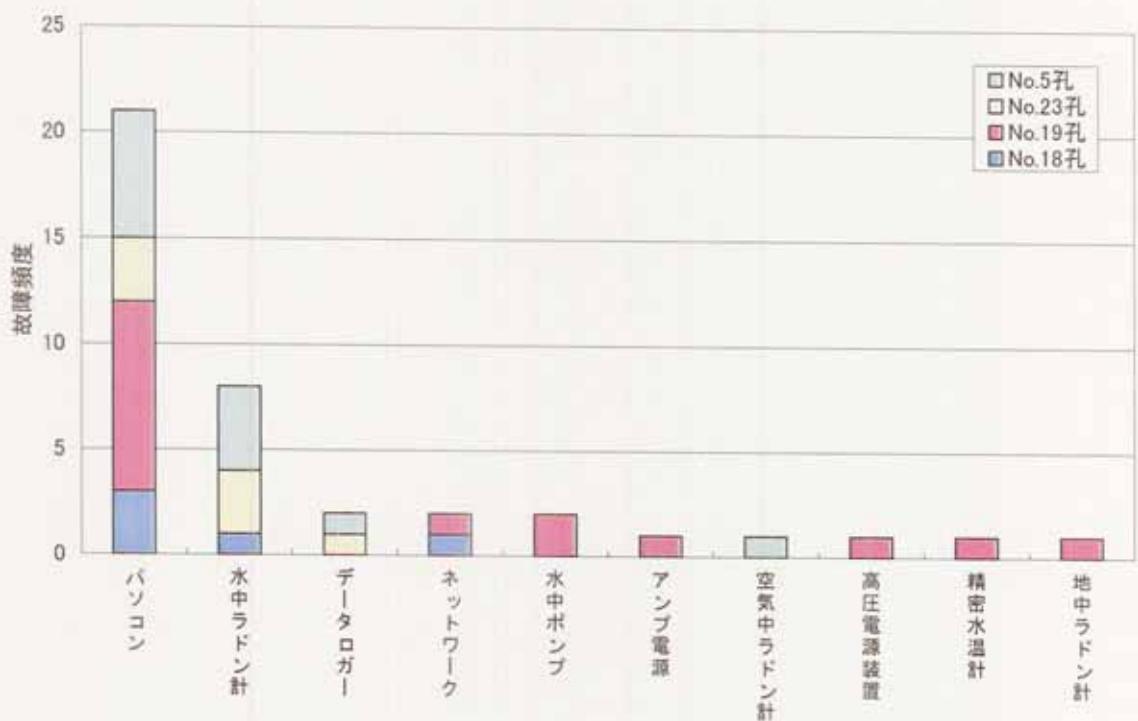


図 4.2・1 ラドン観測システムの機器故障

5 まとめ

2001 年に構築したラドン観測システムを利用して、2002 年から 2003 年の 2 年間について露天跡地及び周辺地域の水中ラドンデータを集積し、測定データのまとめを行った。また、ラドン観測システムの運用により発生したメンテナンス実績についてまとめた。

(1) ラドン濃度

①水中ラドン濃度

- ・ 水中ラドン濃度の年変動は、各観測地点ともに冬期から春期に高く、夏期から秋期に低くなる傾向を示す。
- ・ No.23 孔の水中ラドン濃度は、最大値が他観測地点よりも約 1 衍高く、年間の変動幅は 5 衍程度ある。
- ・ 水中ラドン濃度と降雨を比較した結果、連続的に降雨があるときに水中ラドン濃度は増加し、降雨がないと減少する。また、No.18 孔、No.19 孔の水中ラドン濃度は降雨の翌日に増加し、No.23 孔、No.5 孔の水中ラドン濃度は、10 日程度遅れて増加する。
- ・ 水中ラドン濃度と地下水位の変化は、露天跡地周辺のモニタリング孔（No.18 孔、No.23 孔及び No.5 孔）について、地下水位が高くなるとき水中ラドン濃度は増加し、地下水位が低くなると水中ラドン濃度は減少する傾向がある。

②その他測定結果

- ・ 空気中ラドン濃度の変化は、No.19 孔屋外空気中ラドン濃度の 12 月から 3 月の冬期を除いて、各観測地点ともに 12 月から 3 月の冬期、6 月上旬と 10 月上旬にラドン濃度が増加する傾向がある。また、2 月から 3 月における No.18 孔屋内空気中ラドン濃度は、積雪の影響により他観測地点の測定結果よりも約 3 倍から 20 倍の高い値を示す。
- ・ 地中ラドン濃度の年変動は、冬期から春期の 1 月から 4 月にかけて徐々に高くなり、夏期から秋期に徐々に低くなる傾向が見られる。

(2) ラドン観測システムのメンテナンス

- ・ ラドン観測システムの故障は、2 年間で計 40 件発生し、落雷による故障が最も多かった。2003 年に防雷対策を実施した結果、故障日数が減少したことから、防雷器の設置が必要と考えられる。また、モニタリングポストの改良や定期的な消耗品交換により、故障の発生を減少し、運転コストを抑えることが可能と考える。
- ・ ラドン観測システムの構成機器の故障は、パソコンの故障が多く、特に No.19 孔が多く発生し、No.5 孔では本体の交換を 3 回も実施した。機器故障に対しては、予備品の準備することで、継続的に測定することが重要である。

6 今後の課題

露天跡地及び周辺地域の水中ラドン濃度の測定結果についてとりまとめを行い、年変動を確認したとともに、降雨や地下水位の変化と関連について確認できた。今後は、構築したラドン観測システムの活用方法について検討するとともに、水中ラドン測定結果と地下水流动解析との関係について比較検討を行い、露天跡地における安全評価へ反映していきたい。

また、ラドン観測システムのメンテナンスについては、防雷対策や定期的な消耗品交換等を行うとともに、ラドン検出器の耐久性についても改良することにより、継続的な水中ラドン濃度測定が行えると考える。

[謝辞]

本研究を進めるにあたり、岐阜大学総合情報メディアセンター田坂茂樹教授には、客員研究員として種々の有益なご指導・ご助言を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- ・ 佐々木嘉三、松井芳美、田阪茂樹：“神岡鉱山坑道内の大気中ラドン濃度”、岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）、第 18 卷、第 2 号、pp.123～134 (1994)
- ・ 田阪茂樹、佐々木嘉三：“岐阜県神岡鉱山における地下水中のラドン濃度の観測(1)”、地震 第 2 輯、第 45 卷、pp.1～9 (1992)
- ・ 田阪茂樹：“小型ラドン測定システムの開発”：岐阜大学地域共同センター研究成果報告書、第 6 号、pp.45～52 (1996)
- ・ 田阪茂樹：“小型ラドンデータロガーの開発”、RADIOISOTOPES, Vol.45, No.12, pp.741～752 (1996)
- ・ 田阪茂樹、佐々木嘉三、岡澤裕子、中川雅人：“水中ラドン検出器の開発”、RADIOISOTOPES, Vol.43, No.3, pp.125～133 (1994)
- ・ 下道 國、山田裕司：“水とラドン”、第 27 回放医研環境セミナー「ラドン、その人間への影響まで」、放射線医学総合研究所、平成 11 年 12 月、pp.76～93 (1999)
- ・ G.Igarashi et al.：“Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan”，Science, Vol.269, pp.60～61 (1995)
- ・ 田阪茂樹：“World Wide Web を用いた地下水ラドンデータ表示システムの構築”、岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）、第 24 卷、第 2 号、pp.41～46 (2000)
- ・ 田阪茂樹：“地下水中的原位置ラドン測定装置の開発に関する研究”、JNC TJ6622 97-001 (1997)
- ・ 田阪茂樹：“地下水中的原位置ラドン測定手手法に関する研究（継続）”、JNC TJ2000-007 (2000)
- ・ 田阪茂樹：“地下水中的原位置ラドン測定手手法に関する研究（継続）”、JNC TJ2002-005 (2002)

付録1 ラドン観測システムの機器概要

1.1 水中ラドン計

水中ラドン計は、空气中ラドン検出器のしくみと、水を通さずラドンガスを透過することができる機能性ガス分離膜を組み合わせたもので、この検出器を水中に投入し、水中のラドン濃度を測定することができる。

No.18孔、No.23孔及びNo.5孔は水中に鉄成分が少ないため、直接ラドン計を水中に投入してラドン濃度を測定する水中投入型を利用した。しかし、No.19孔は水中に鉄成分が多く含まれており、鉄成分が機能性ガス分離膜に付着することで、溶存ラドンガスが測定部に進入しにくくなり、溶存ラドンガス測定が困難となるため、孔内水を水中ポンプにより汲み上げた後、地上設置型ラドン計を利用して測定した。

下記に2種類の水中ラドン計について説明する。

1.1.1 水中投入型水中ラドン計

水中投入型水中ラドン計は、従来のラドン検出器に機能性ガス分離膜を取り付け、水中に沈めた状態で水中ラドン濃度を測定することができるよう、口径75mmのモニタリング孔に投入可能な大きさとしている。

水中投入型水中ラドン計は、No.18孔、No.23孔及びNo.5孔の3つのモニタリング孔に設置した。設置状況は、付表1.1.1-1の条件により、水深約2mの位置に投入した。

付表1.1.1-1 水中投入型水中ラドン計の設置状況

観測地点	孔口標高+パイプ長(m)	設置位置(m)	ラドン計の設置標高(m)
No.18孔	720.50	2.68	717.82
No.23孔	704.26	2.07	702.19
No.5孔	709.34	2.31	707.03

水中投入型ラドン計の構造を付図1.1.1-1に示す。検出器はステンレス容器、PD、アンプモジュール、フィードスルー、焼結金属フィルタ、防水コネクタ、機能性ガス分離膜、ケーブルリールより成る。PDは浜松フォトニクス(株)製のパシベーション付ペアーチップタイプの型番「S3590-06」を使用している。検出面積は9mm(w)×9mm(D)×500μm(t)のものを使用した。容器の検出部の容積は116cm³、容器の開口部の面積は2.7cm²、静電捕集電圧は-120Vである。ケーブルリールは深井戸に沈める事を想定して160mの長さとした。

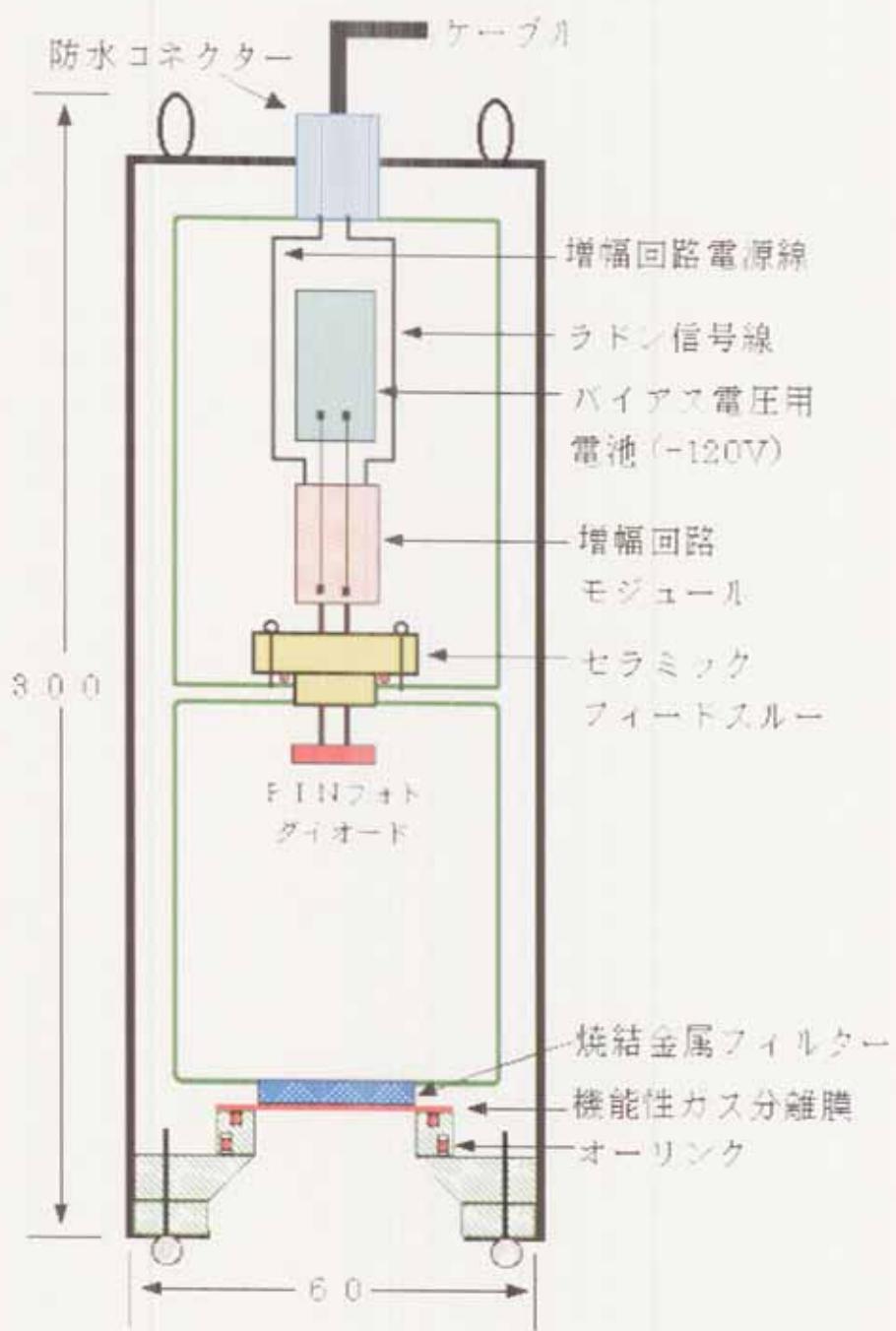
この水中ラドン検出器は、深井戸内の地下水に沈めると相当の水圧を受ける上、さらに長期にわたって水没させるため、機能性分離膜に負担(水圧)を与え続けることになり、機能性分離膜が損傷(破損)する恐れがある。これらによる機能性分離膜の損傷及び水漏れを防ぐために焼結金属フィルタをサポートとして用いて補強した。焼

結金属はステンレスの金属粉末を圧縮成形し、溶融点以下の温度で焼き固めたものである。

開口部には、機能性ガス分離膜としてヘキスト・インターナショナル東京（株）の「セルガード」というポリプロピレン製のフィルムを用いた。この「セルガード」には様々なグレードがあるがここでは No.2400 を使用した。「セルガード」はガスの透過に対しては極めて敏感で非常に小さい圧力下でも透過できることがわかっている。また、開口部の防水については、焼結金属のサポート板と O リングの間に機能膜をはさみ、蓋で押さえこんで固定した。コネクタ部分については水中コネクタを使用し完全に防水している。

水中投入型ラドン計の校正は、No.5 孔及び No.23 孔を利用し、ラドン検出器で観測した ^{214}Po のカウント数と液体シンチレーション法で測定した水中ラドン濃度により校正係数を算出した結果、校正係数は下記のとおりとなった。

水中投入型ラドン計の校正係数 : 0.017 ± 0.005 (Bq/l) / (^{214}Po count/h)



付図 1.1.1-1 水中投入型水中ラドン計の構造図

1.1.2 地上設置型水中ラドン計

No.19 孔では、1.1.1 項の水中投入型水中ラドン計を設置したが、地下水に含まれる鉄成分が機能性ガス分離膜「セルガード」に付着することで、溶存ラドンガスが測定部に進入しにくくなり、溶存ラドンガス測定が困難であった。そこで、水中ポンプをモニタリング孔内に投入し、地下水を汲み上げた後、地上設置型水中ラドン計で水中ラドン濃度の連

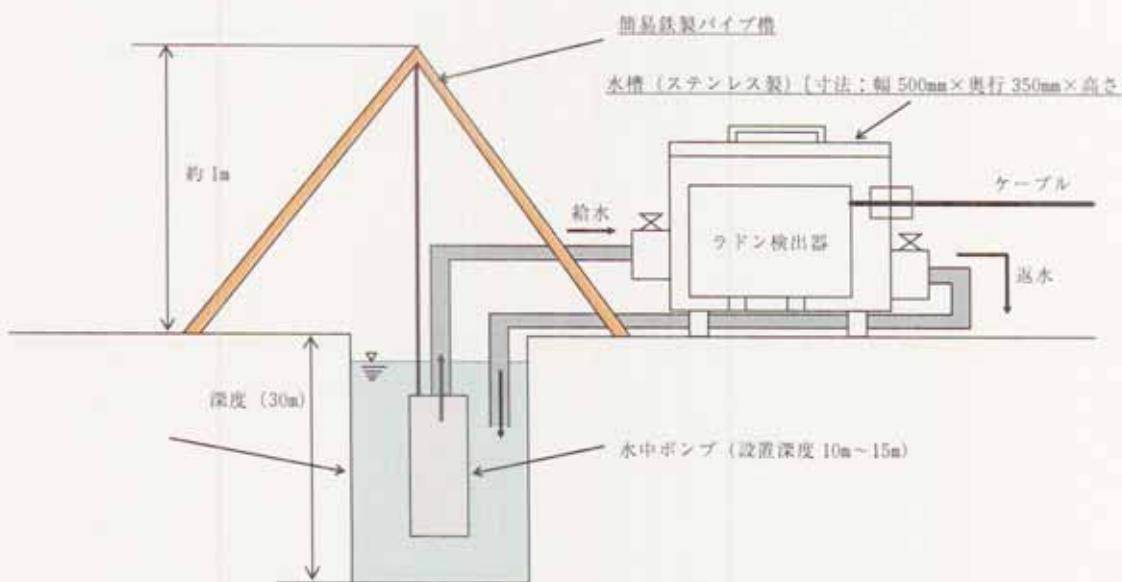
統測定を実施した。付図 1.1.2-1 に No.19 孔で実施した地上設置型水中ラドン計の概略図を示す。モニタリング孔内の地下水は、水深約 2m に設置した水中ポンプを使って、毎分 1~2 リットル汲み上げて、一旦ステンレス水槽内に溜める。ラドン計は、ステンレス水槽内に設置し、ラドン計下部に汲み上げた地下水を流して、ラドン濃度を計測する。計測後の地下水は、再度モニタリング孔内へ返送するしくみとなっている。

付図 1.1.2-2 に地上設置型水中ラドン計の構造を示す。地下水ラドン濃度の連続測定に使用している「地上設置型水中ラドン計」の特徴を下記 1) ~ 5) に示す。

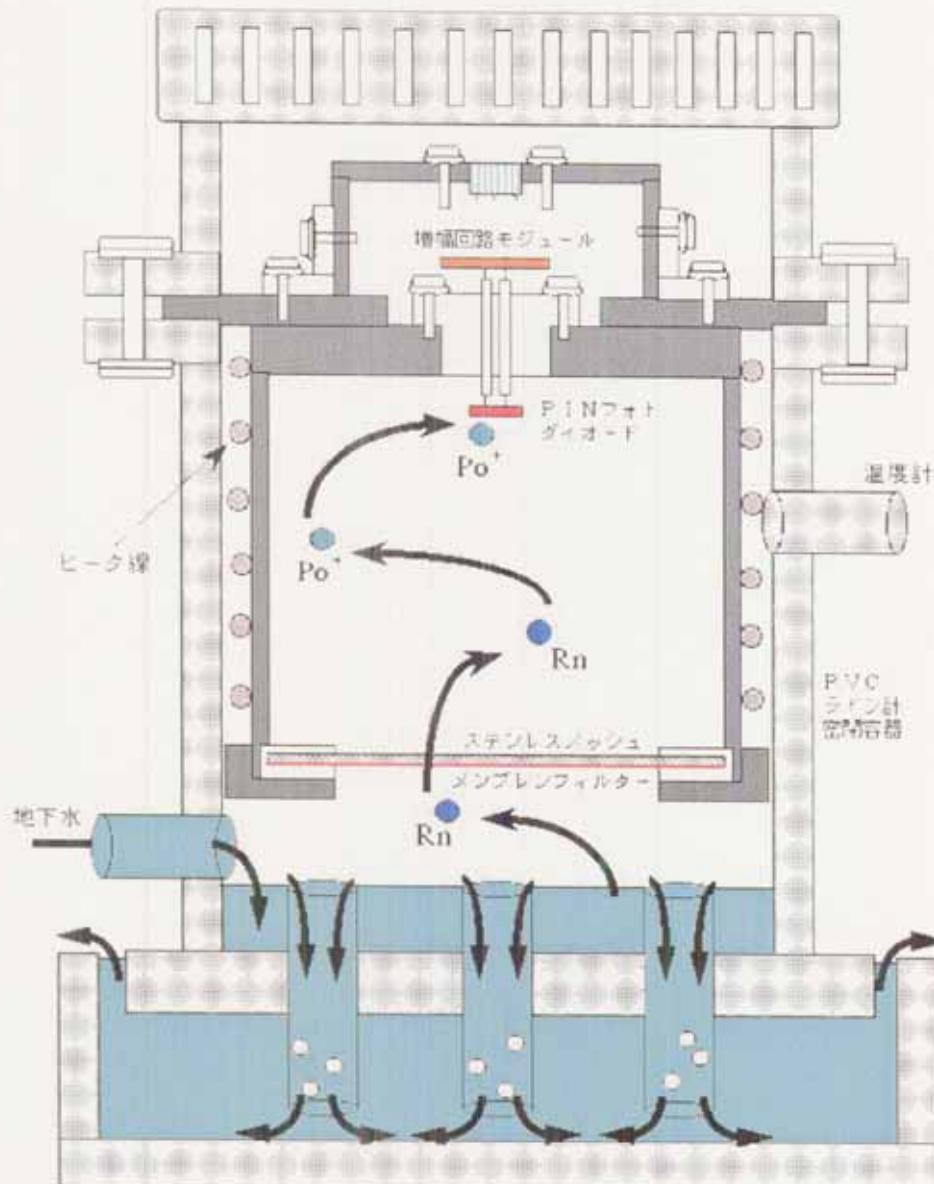
- 1) 掃水した地下水中のラドン濃度を連続測定するときは、直接地下水を検出器に注入することにより、簡単に水中のラドン濃度を連続測定することが可能である。
- 2) 地下水はステンレス水槽側面のバルブ部から注入して、検出器下部を通過した後、モニタリング孔へ返送する。
- 3) ラドン検出器内部の結露を防止するために外側にヒーター線を巻き加熱する。
- 4) 検出器内の気温と水温を測定する。
- 5) 地下水の流量を毎分 1 リットル以上に保ち、測定を安定にする。

地上設置型水中ラドン計の校正は、No.19 孔から水中ポンプで汲み上げた地下水について、水中投入型ラドン計で観測した ^{214}Po のカウント数と液体シンチレーション法で測定した水中ラドン濃度により校正係数を算出した。

水中投入型水中ラドン計の校正係数 : $0.0025 \pm 0.0003 (\text{Bq/l}) / (^{214}\text{Po count/h})$



付図 1.1.2-1 地上設置型水中ラドン計の概略図



付図 1.1.2-2 地上設置型水中ラドン計の構造図

1.2 空気中ラドン計

空気中ラドン計は、1992年に開発されたPINフォトダイオード（以下、PDという）を用いた静電捕集型のラドン検出器である（田阪他、1992）。この検出器は、 ^{222}Rn の子孫核種 ^{210}Po （RaA）、 ^{214}Po （RaC'）が崩壊するときに放出するα線のエネルギーをPDで電圧に変換して測定するものである（付録2参照）。

空気中ラドン計は、静電捕集容器の容量が異なる小型空気中ラドン計（1リットル）と大型空気中ラドン計（70リットル）の2種類が開発されている。小型空気中ラドン計は、No.18孔及びNo.19孔コンテナハウス室内とNo.5孔及びNo.23孔簡易モニタリングボスト室内のラドン観測に使用し、大型ラドン計はNo.19孔コンテナハウス屋外の空気中のラドン観測に使用する。

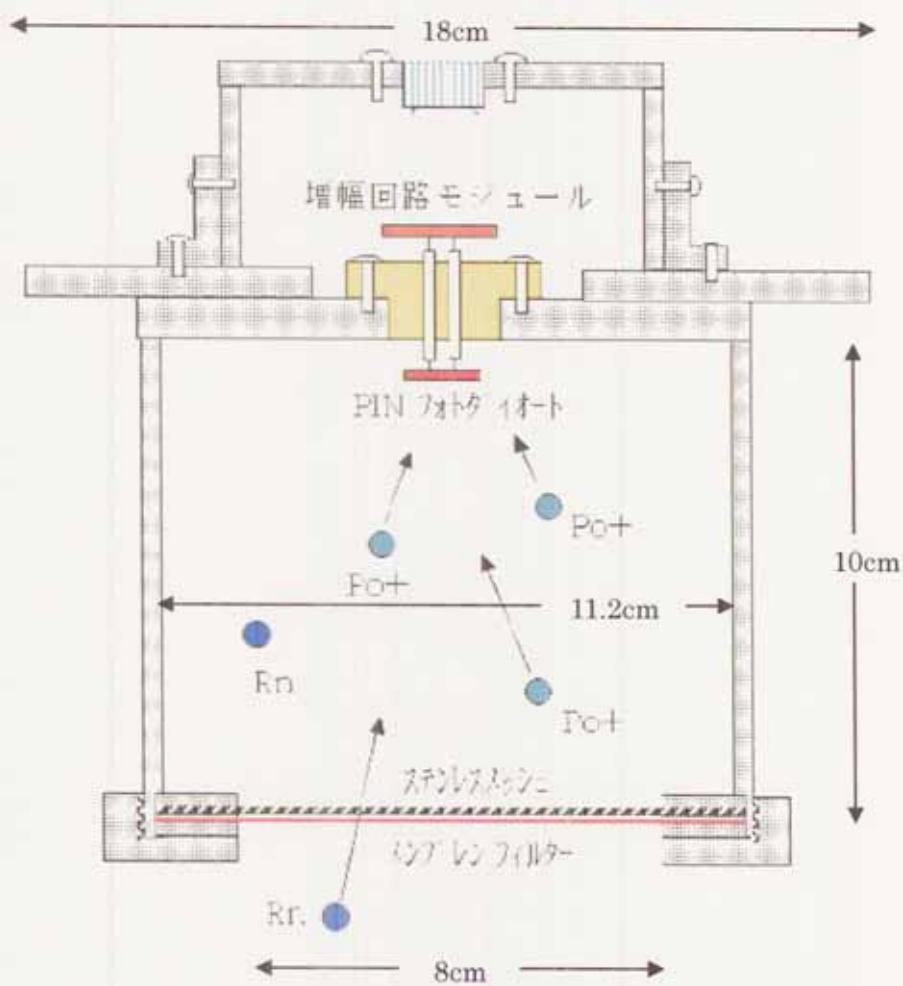
2種類の空気中ラドン計の概要について次に記す。

1.2.1 小型空气中ラドン計

静電捕集容積が1リットルの小型空气中ラドン計の構造を付図1.2.1-1に示す。ラドン計本体はステンレスで、上部にアンプモジュール、PD、ポリエチレン製フィードスルーを装着している。本体下部には遮光用暗幕、メンブレンフィルター、ステンレス製メッシュをフランジによって取り付けている。

小型空气中ラドン計の校正は、センターのラドン校正施設で行った。校正実験では、校正チェンバー内部において8台の小型空气中ラドン計で観測された²¹⁴Poのカウント数の平均値と電離箱で測定したラドン濃度によって校正係数を求めた(田坂、2000)。また、このラドン計の湿度特性については、「小型ラドンデータロガーの開発」(RADIOISOTOPES,1996)に記載されているように、絶対湿度が5.6g/m³以上では検出効率がほぼ一定であることから、校正実験の²¹⁴Poのカウント数より得られた下記の校正係数により空气中ラドン濃度を算出した。

小型空气中ラドン計の校正係数: 3.21 ± 0.03 (Bq/m³) / (²¹⁴Po count/h)



付図 1.2.1-1 小型空气中ラドン計の構造図

1.2.2 大型空气中ラドン計

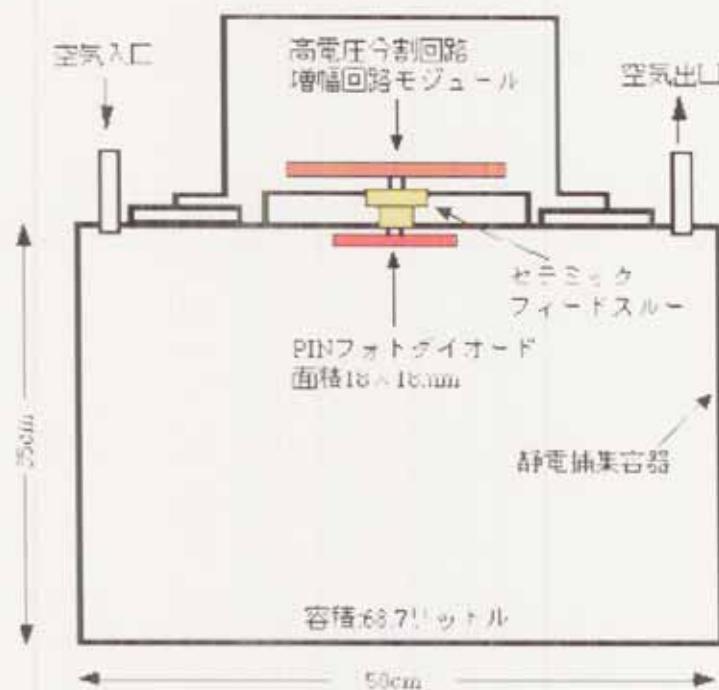
静電捕集容積が 70 リットルの大型空气中ラドン計は、屋外空气中のラドンを測定した。屋外空気は毎分約 4.5 リットルで取り込み、 $0.8\mu\text{m}$ のメンブランフィルターでダストを除去し、除湿装置で相対湿度 15~25% に除湿した後、ラドン計へ送り込んでいる。

70 リットル大型空気用ラドン計の構造を付図 1.2.2-1 に示す。ラドン計本体はステンレス製で、上部に高電圧分割回路モジュール、アンプモジュール、PD、セラミックス製フィードスルーが装着している。PD には高圧電源装置からの -1500V の静電捕集電圧が高電圧分割回路モジュールに入力された上で抵抗分割され、-120V のバイアス電圧が PD の pn 層間にかかっている。また p 層には -1500V の静電捕集電圧をかけている。

この大型空气中ラドン計の校正は、岐阜大学において実施した。校正実験結果は、「静電捕集型超高感度空气中ラドン検出器の開発」(RADIOISOTOPES, 1997)に記載しており、この実験結果から下記校正係数を使い、屋外ラドン濃度を算出した。

大型空气中ラドン計の校正係数 : 0.0328 (Bq/m³) / (²¹⁴Po count/h)

大型空气中ラドン計は、小型空气中ラドン計と比較して約 100 倍の感度を有する。また、本ラドン計は、計測する空気の相対湿度を 15%~25% に保つことで、湿度によるラドン濃度への影響を取り除いている。

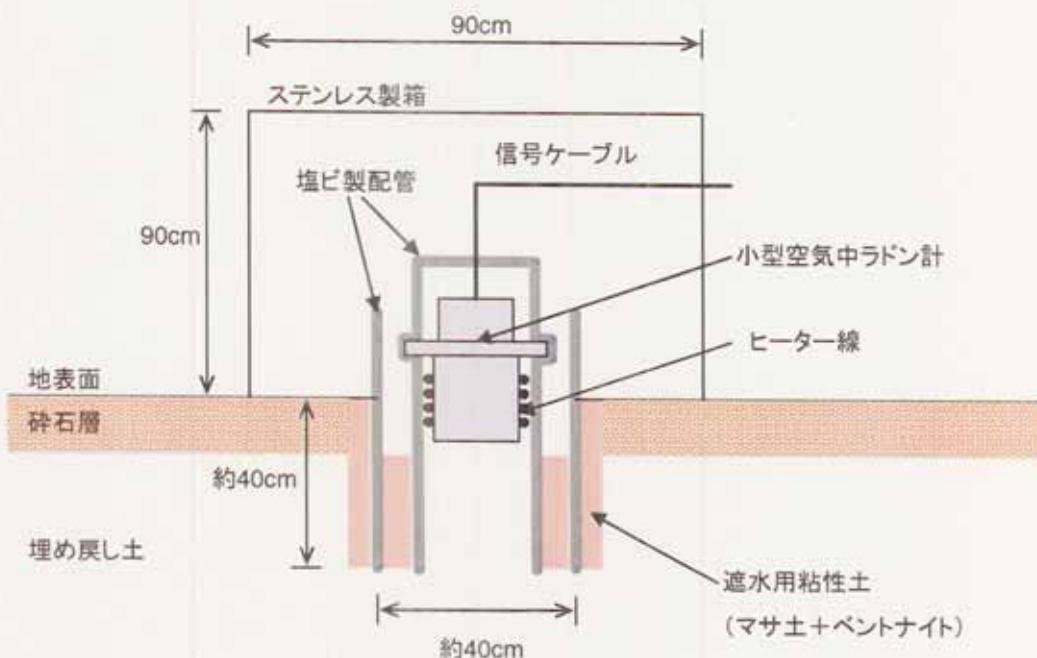


付図 1.2.2-1 大型空气中ラドン計の構造図

1.3 地中ラドン計

地中ラドン計は、小型空气中ラドン計を塩ビ製配管内に取付けた後に、地表面に掘削した穴に埋設した。付図 1.3-1 に地中ラドン計の設置概略図を示す。ラドン計本体は、1.2.1 項の静電捕集容積が 1 リットルの小型空气中ラドン計と同様の構造である。地中ラドン計の特徴を以下に示す。

- 1) ラドン検出器内の結露を防止するため、本体表面にヒーター巻いて加熱している。
- 2) 表層水の浸入を防ぐために、地中ラドン計を設置する穴に塩ビ製配管を埋設し、さらに遮水壁として、その周囲にマサ土+ペントナイト混合土を充填した。
- 3) 降雨によりラドン計及び計測地点が濡れるのを防ぐために、ステンレス製の箱で囲った。



付図 1.3-1 地中ラドン計の設置概要

1.4 水位計

水位計は、井戸やボーリング孔などの地下水位を半導体圧力トランジスタで水圧（電気信号）として検出する水位計で、（株）日さく製の水位トランジスタアナログ型（MODEL-4597）を用いた。水位計の概要を付図 1.4-1 に示し、仕様を以下に示す。

① 半導体圧力トランジスタ（アナログ型）

- ・ ダイヤフラム：SUS316L
- ・ 圧力：20,50,100,200,300,400 kPa（ペントチューブ付）
- ・ 測定精度：±0.5%FS
- ・ 温度特性：0.1%/°C/FS

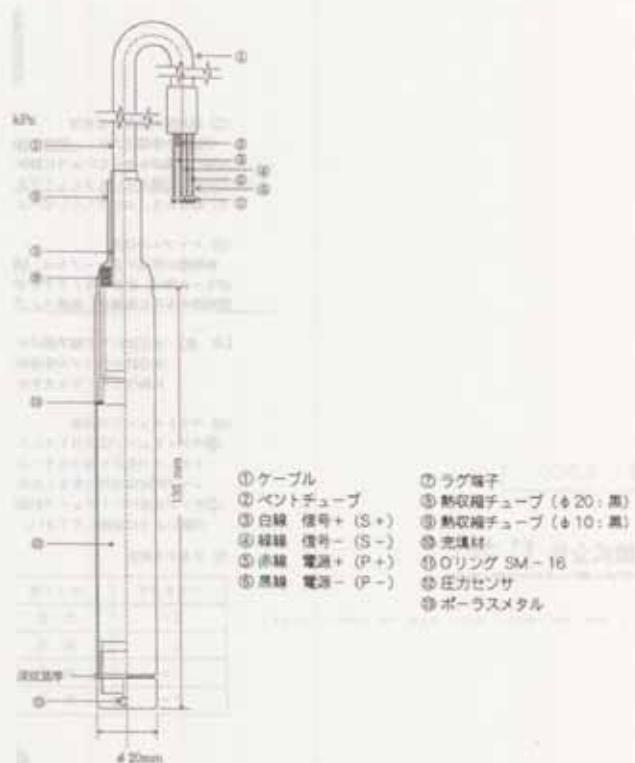
- ・ 動作温度範囲：0~50°C
- ・ 印加電圧（組み込み後）：DC10V~15V
- ・ 出力（組み込み後）：0~4V

② ケーブル

- ・ 外被：タフリード（黒色）
- ・ 芯数：4芯（赤、黒、白、緑色別）
- ・ アース線：アルミポリエステルテープ
- ・ ナイロンチューブ： $\phi 2\text{mm}$ 及び $\phi 1\text{mm}$
- ・ 導体抵抗：40Ω/km
- ・ 外径： $\phi 8\text{mm}$
- ・ 重量：80g/m

③ 水位トランスジューサ

- ・ 消費電流：10mA 以下
- ・ 材料：ステンレス、シリコンゴム
- ・ 外径： $\phi 23\text{mm}$ 以下
- ・ 長さ：約 135mm
- ・ 総重量：約 1.8kg（ケーブル 20m 含）



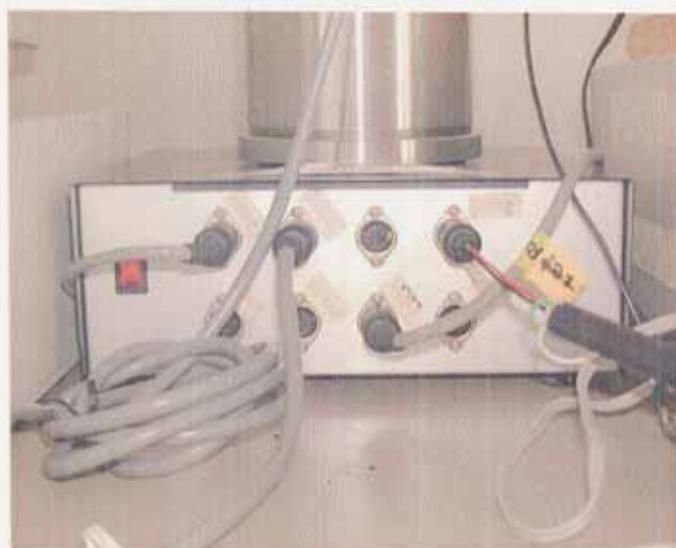
付図 1.4-1 水位計の概要図

1.5 水温計

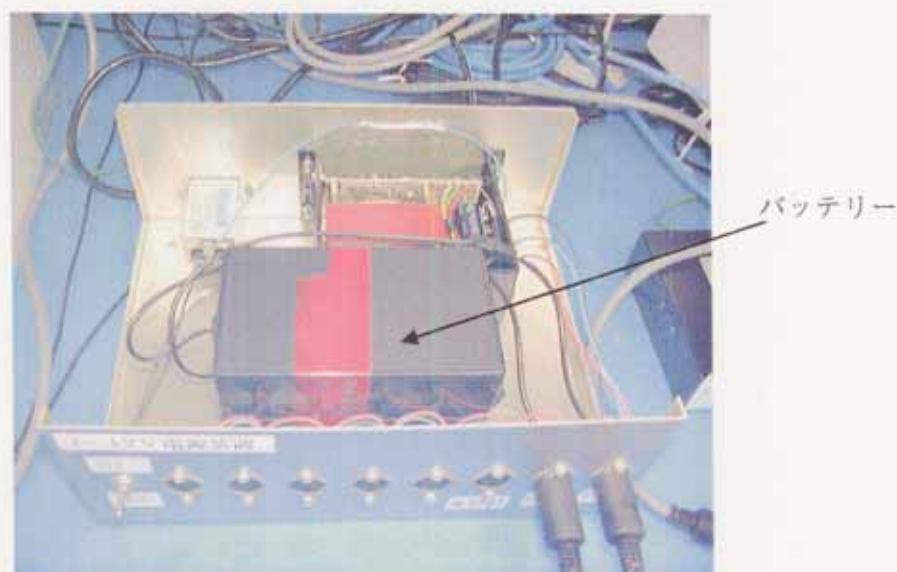
水温計は、地下深部の水温計測の可能な性能を有するシステム技電（有）製の精密水温計「QGTW-98S/ALS 水晶温度計」を用いた。測定方式は水晶発振式及び Pt100Ω 測温抵抗体で、分解能 0.001°C、測定確度 ±0.05°C の性能を有する。

1.6 アンプ電源装置

アンプ電源装置は ±12V 電源分配器により構成し、付写真 1.6・1 に示すとおり、5 ピン DIN コネクタ付のアンプケーブルにより各ラドン検出器に接続している。ラドン検出器の電荷増幅装置回路用として使用するために、付写真 1.6・2 に示すバッテリーをアンプ電源装置内部に接続して、-120V のバイアス電圧をかけている。



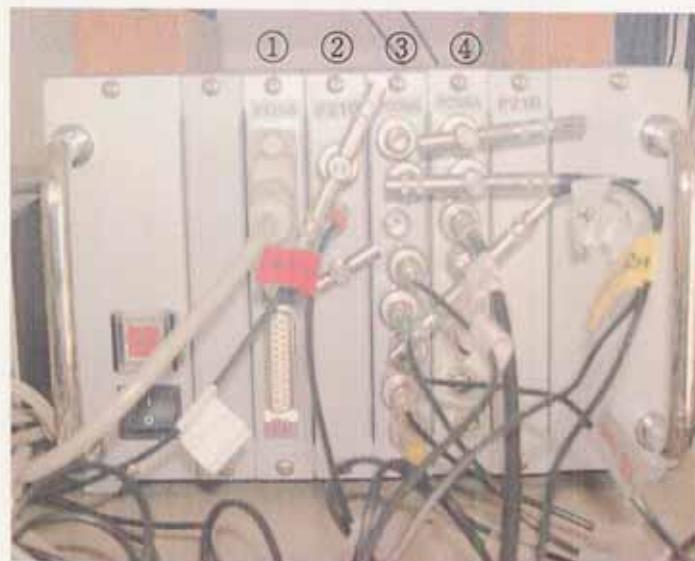
付写真 1.6-1 アンプ電源装置



付写真 1.6-2 アンプ電源装置内部

1.7 データロガー装置

データロガー装置は、ラドン観測用高速 AD 変換ボード（専用 8 チャンネルコネクタ付）、環境要素観測用 AD 変換ボード（専用 8 チャンネルコネクタ付）、RS-232C 通信ボード（専用 2 チャンネルコネクタ付）、Z80CPU ボード（+5V 電源出力端子付パネル）により構成する。付写真 1.7-1 にデータロガー装置の前面パネルを示し、各ボードの機能について下記に示す。



付写真 1.7-1 データロガー装置

- ① (P014) : RS-232C 通信ボード
- ② (P210) : Z80CPU ボード (5V 電源電圧、ROM)
- ③ (P008A) : 環境要素観測用 AD 変換ボード
- ④ (P008A) : ラドン観測用高速 AD 変換ボード

(1) ラドン観測用高速 AD 変換ボード (LEMO コネクタ)

ラドン検出器内に入ってきたラドンの崩壊によって生成されたラドン子孫核種 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 及び ^{214}Bi を PD の表面に静電捕集する。PD は ^{218}Po 、 ^{214}Po 及び ^{210}Po が放出する α 線をカウントとして捉えて電気信号に換える。電気信号は、ラドン検出器内の前置電荷増幅回路と波形生計增幅回路により処理された後、本ロガー装置のラドン観測用 8 ビット高速 ADC ボードに入力される。ラドン信号のピーク電圧は、ADC ボードを通じて RAM に記録される。

(2) 環境要素観測用 AD 変換ボード (BNC コネクタ)

水位計、水温計等のセンサーからの DC 電圧を、この 8 ビット AD 変換ボードに入力して、パソコンからのコマンドにより環境要素データを ROM に記録する。

(3) RS-232C 通信ボード

RS-232C 通信ボードからのパネルには、32 ピン D-Sub コネクタが 2 個付いており、データロガー装置と観測パソコンとの接続に使用する。

(4) Z80CPU ボード

① センサー用+5V電源

データロガー装置左端パネルに 3 つの LEMO コネクタが付いている。このコネクタは、Z80CPU ボードから+5V 電圧が出力されており、水位及び水温センサー用の 5V 電源電圧を提供する。

② Z80CPU ボード上 ROM

Z80CPU ボード上の ROM には、Z80 アゼンブラー言語のラドン観測用プログラムが書き込まれている。プログラムは、ラドン ADC 部、環境 ADC 部、RS-232C 部の動作に分類しており、各動作は付表 1.7-1 に示す RS-232C 通信ラインからの受信コマンドによって定義されている。定義されたコマンドが観測パソコンから受信すると、このコマンドに応じたサブルーチンが呼び出されて、計測データがパソコンに転送するしくみとなっている。

付表 1.7-1 Z80CPU ボードのコマンド一覧表

コマンド	動作
A ~ H	8 台のラドン検出器からのカウント数を、それぞれ 2 バイトデータとして出力する
I ~ P	8 台のラドン検出器からのラドン信号電圧値分布を、それぞれ 2×256 バイトのデータとして出力する
R ~ Y	8 個の環境センサーからの出力電圧値をそれぞれ 2 バイトのデータとして出力する
Z	RAM 上の測定データ値を全てクリアする

1.8 観測用パソコン

観測用パソコンは、データロガーと RS-232C 通信ケーブルで接続し、10Base-T/100Base-TX ケーブルでネットワーク接続している。

観測用パソコンは、データロガー装置にコマンドを送信して、そのコマンドに応じたラドン濃度データ及び環境データを受信する。受信したデータは、日付名のファイルに記録し、10 分間隔で更新する。

観測用パソコンの OS は FreeBSD (Ver4.8) で、以下の性能が必要である。

CPU : Intel Pentium Processor 200MHz 以上

RAM : 48MB 以上

HDD : 2GB 以上

LAN : 10Base-T/100Base-TX Ethernet

CD-ROM 付

観測用パソコンの設定方法等は、付録 3 に示す。

1.9 データ取得サーバ

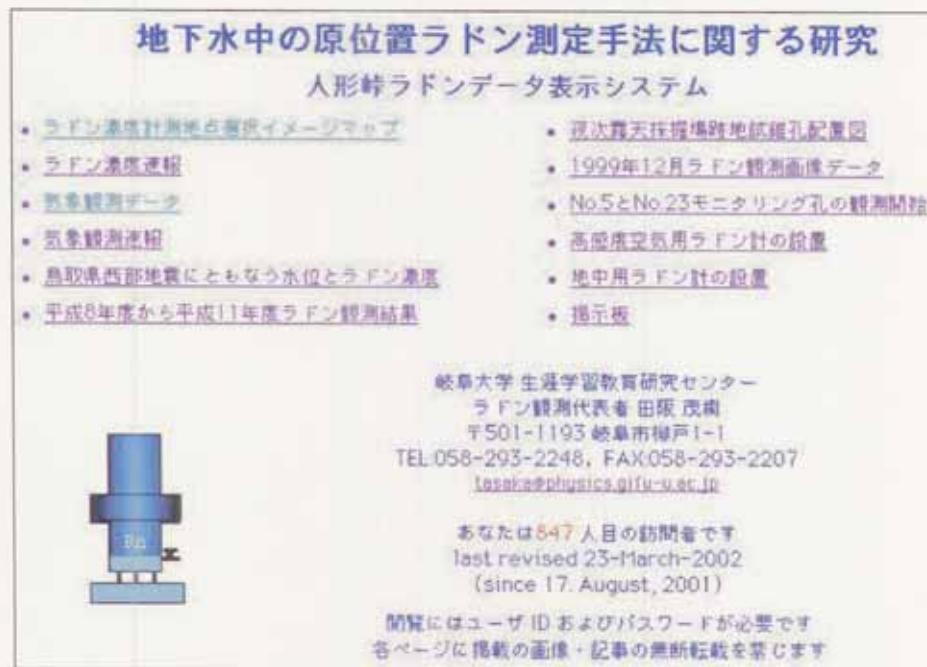
データ取得サーバは、観測パソコンに記録したラドン濃度データ及び環境データの測定ファイルを ISDN 電話回線で定期的に取得し、同時に解析プログラムによってデータ解析を行う。

測定ファイルの取込みは、4 回/日で自動的に FTP を起動させて行う。測定ファイル取込後は、サーバ内の解析プログラムを起動して、測定ファイルをラドンデータと環境データ毎にディレクトリに分割して記録する。このとき、10 分間隔で測定したデータは、時間平均、日平均処理して記録する。解析が終了すると、測定ファイルは圧縮され、測定日のファイル名でサーバ内に記録する。

データ取得サーバは、観測パソコンと同様の性能を有する。詳細なデータ解析や記録ファイル内容等は付録 5 に示す。

1.10 Web サーバ

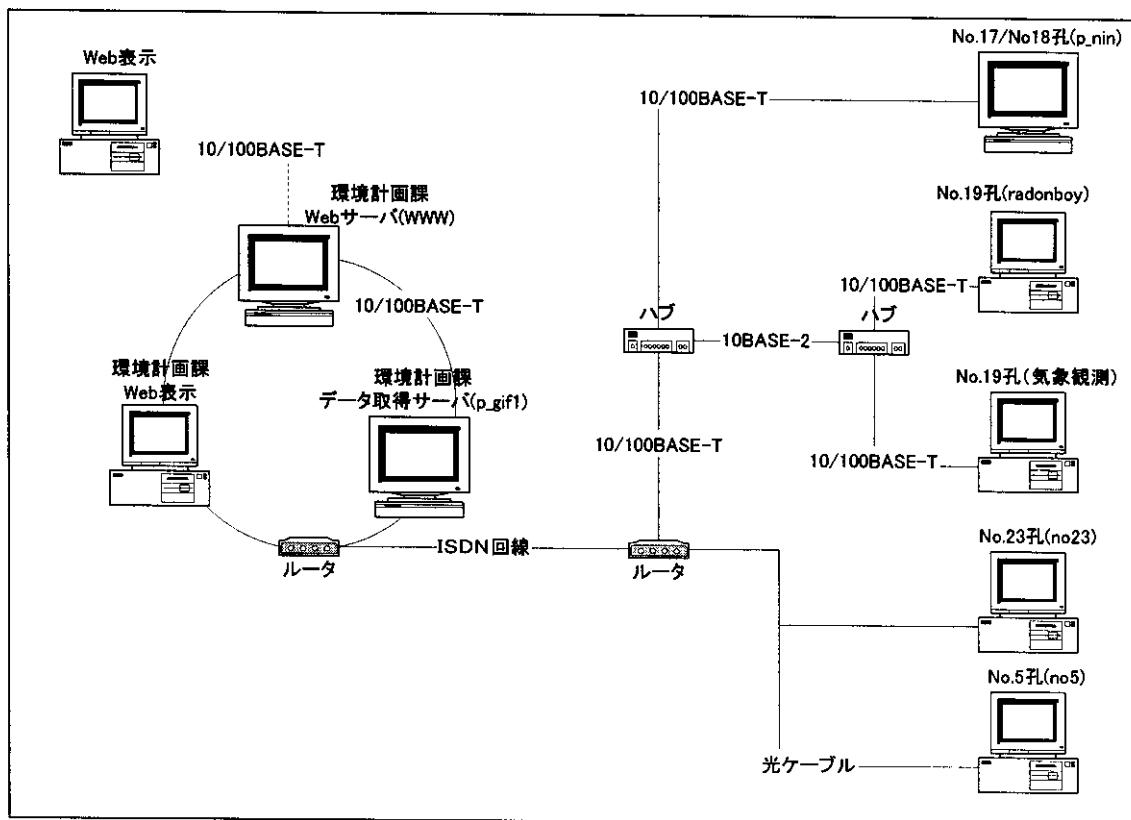
Web サーバは、「ラドン観測データ表示システム用プログラム」によって、ラドン濃度及び環境データ結果を Web Page に表示する役割をもつ。付図 1.10-1 に「人形峠ラドンデータ表示システム」の Web Page 画面を示す。この Web Page は、パスワードによる認証を行い、データ閲覧するためには Web サーバへの利用者登録を必要とする。Web Page の「ラドン濃度計測地点選択イメージマップ」を選択すると、「人形峠ラドン観測地点の選択」に移り、ラドン濃度、水位、雨量、風速などの観測データを閲覧することが可能である。



付図 1.10-1 人形峠ラドンデータ表示画面

1.11 観測ネットワーク

露天採掘場跡地の各観測地点におけるラドン濃度及び環境データの変動状況の遠隔モニタリングすることを目的として、2001年に露天採掘場跡地の観測地点4ヶ所間をネットワーク接続するとともに、観測現場（No.17孔/No.18孔）と環境計画課居室間をISDN電話回線で接続した。各観測地点の接続方法は付図1.11-1のとおりである。



付図1.11-1 各観測地点及び環境計画課のネットワーク接続図

各観測地点と環境計画課とのネットワーク接続できたことにより、露天採掘場跡地の各観測地点に出向いてデータ取得しなくとも、環境計画課居室からの各観測地点のデータ取得が可能となった。また、取得データのWeb表示により、各観測地点におけるラドン濃度や環境データの変動状況をリアルタイムで確認することができ、ラドン検出器や計測機器の故障や異常にも迅速に対応することができる。

ラドン観測ネットワークでは、以下の5つのソフトウェアに関する技術開発を行い、その成果を利用している。

- 1) Z80マイコンで動作する「ラドンデータロガー用プログラム」
- 2) 観測パソコンで動作する「ラドン計測用プログラム」
- 3) データ取得サーバで動作する「ラドン計測ネットワーク用プログラム」
- 4) データ取得サーバで動作する「ラドンデータ解析用プログラム」
- 5) Webサーバで動作する「Web Page ラドン観測データ表示システム用プログラム」

このラドン観測ネットワークは現在 Global Network のインターネットには接続していないが、Web サーバのパソコンにネットワークカードを 1 枚増設し、所内ネットワークに接続することで、露天採掘場跡地におけるラドン観測状況を公開することも可能である。ラドン濃度データを公開する場合、登録者にパスワードを発行し、認証を行うことによって制限することも可能である。

付録2 PIN フォトダイオード (PD) の α 線検出原理

自然放射性元素の ^{222}Rn は、3.8 日の半減期で放射線を出しながら、子孫核種へ壊変する。開発したラドン検出器は、PD 検出器の表面とラドン検出容器の間に-120 V の電位差をかけて、正に帯電しているラドン子孫核種を PD の表面に捕集する静電捕集法を利用している。そこで放出される α 線をエネルギー分解能 40 keV の高精度で測定する。

PD では、PN 接合型半導体の p 層と n 層に i (intrinsic) 層が存在し、i 層で電子・正孔対が生成される。一方、PN 接合型半導体では、p 層と n 層の接合部に電子・正孔対が生成され、キャリアー（電子または正孔）の欠乏した空乏層と呼ばれる層ができる。

PD と PN 接合型半導体との違いは、電子・正孔対の発生領域が低不純物としている点である。i 層にはキャリアーが存在しないことから、i 層が存在することにより、空乏層の領域は広がる。この PD に外部から p 層に負、n 層に正の逆バイアス電圧をかけることにより、キャリアーはさらに移動し空乏層はさらに大きくなる。この空乏層はキャリアーが存在しないため、高い抵抗の領域となり、電圧はほぼこの部分にかかる。

PD の表面に捕集したラドン子孫核種が放出した α 粒子は、この空乏層に入射した場合、飛跡の近くでは α 粒子の持つエネルギーによって空乏層中の原子間の結合電子は電離され、電子の跡に正孔が生じる。つまり、キャリアーが生成され、 α 粒子の持つエネルギーは半導体の種類によって決定している（本ラドン検出器で使用するシリコン半導体は 3.6 keV）。これは、 α 粒子のエネルギーに比例した個数の電子・正孔が得られる。そして、逆バイアス電圧の電界により、電子と正孔がそれぞれ逆方向に引き寄せられる。電子は前置増幅回路に入力して、その個数に比例した電圧値の信号パルスに変換する。

付録3 観測用パソコンの設定

観測地点に設置する観測用パソコンを新規に用意する場合、以下の手順に従って設定を行う。

- 1.パソコンの準備
- 2.OSのインストール
- 3.観測用プログラムのインストール
- 4.動作確認

3.1 パソコン準備

観測パソコンは、以下に示す仕様のものを準備する。このときOSはWindowsが作動していたパソコンを準備する(Machintoshは除く)。

CPU : Intel Pentium Processor 200MHz 以上
RAM : 48MB 以上
HDD : 2GB 以上
LAN : 10Base-T/100Base-TX Ethernet
CD-ROM 付

3.2 OSのインストール

OSはFreeBSD 4.8-RELEASEを下記アドレスから入手し、CD-Rを作成した後、準備したパソコンへインストールする。インストール途中に、LANボード及びCD-ROMを認識しない場合は、認識しない機種を別の機種に入れ替えて再度インストールを行う。

入手先アドレス <ftp://ftp.jp.freebsd.org/pub/FreeBSD/releases/i386/ISO-IMAGES/4.8>

3.3 観測用プログラムのインストール

計測用プログラムのインストールは下記の手順で行う。

(1)ディレクトリ作成

計測用プログラムと観測データを収納するディレクトリを下記の手順で作成する。

Login: radon

Password: radon222 → 「radon222」は表示されない

% mkdir bin data ftpget net → bin、data、ftpget、netの4つを作成

% cd data

% mkdir node3 → 下線は観測地点番号を入れる

No.18 孔 node=0

No.19 孔 node=1

No.23 孔 node=2

No.5 孔 node=3

% cd node3

```
% mkdir dat      →node3 の下層に dat を作成  
% cd ~  
% cd net  
% mkdir src      →net の下層に src を作成  
% exit
```

(2) スーパーユーザー(su)の設定

通常のユーザー (radon) で login している途中で、スーパーユーザー (su) で login することができるよう設定を行う。

```
Login: root      →su で login  
Password: rootpass0  
# cd /etc  
# ls      →ls コマンドで "group" が収納していることを確認  
# vi group    →vi エディタで gorup を編集  
                           vi エディタのコマンド  
                           「I :挿入、A :追加、X :削除、Esc :リセット」  
wheel:*:0:root の部分に wheel:*:0:root,radon を書き加える  
Shift+ZZ      →変更を保存し、vi エディタを終了  
#exit  
%exit
```

(3) 計測プログラムのコピー

フロッピディスク (FD) に保存している計測用プログラム (実行ファイル) を特定フォルダにコピーする。

① FD をマウントする。

```
Login: root  
Password: rootpass0  
#mount_msdos /dev/rfd0 /mnt  
#cd net/src  
#cp /mnt/*.  
#ls      →checknet1, dayarg.c, online_nin, y2k0.c の確認  
#umount /mnt      →アンマウント  
#exit      →FDを取り出した後に exit する。
```

② C コンパイルする。

```
#cc -o dayarg dayarg.c      →コンパイル  
#cc -o y2k0 y2k0.c      →コンパイル  
#ls -al      →dayarg.c と y2ko.c の持ち主が root であることを確認
```

```
#chown radon *      →持ち主を root から radon へ変更  
#ls -al      →リスト表示して持ち主が radon に変更していることを確認  
#exit
```

(3)計測プログラムのコピー

```
%cd net/src  
%cp checknet1 ~/net      →checknet1 を net ディレクトリにコピー  
%cp dayarg ~/bin        →dayarg を bin ディレクトリにコピー  
%cp online_nin ~/ftpget/online_nin3  
                      →online_nin を ftpget ディレクトリにコピーして、online_nin_ に  
                      名前を変更  
                      No.18 孔 : online_nin0  
                      No.19 孔 : online_nin1  
                      No.23 孔 : online_nin2  
                      No.5 孔 : online_nin3  
%cp y2k0 ~/net/y2k      →y2k0 を net ディレクトリにコピーして、y2k に名前を変  
                      更
```

(4)シリアルライン (ttyd0) の設定変更

```
%su      →su で login する  
password:rootpass0  
#cd /dev  
#ls -al ttyd0  
#chmod 666 ttyd0      →ttyd0 のファイルモードを crw.....(600) から crw·rw·rw-  
                      (666) に変更して読み書きできるようにする。  
#ls -al ttyd0      →ttyd0 のファイルモードの確認  
#exit
```

(5)観測地点番号の設定

①checknet1 の設定

```
%cd ..      →home/radon/nin/net/ のディレクトリ移動  
%vi checknet1      →vi エディタを起動して checknet1 を編集  
set env COMMAND"$ command ·b4 ·n0 11000000"  
→ ·b4 ·n3 11000000 に書き直す  
                      No.18 孔 : ·b4 ·n0  
                      No.19 孔 : ·b4 ·n1  
                      No.23 孔 : ·b4 ·n2  
                      No.5 孔 : ·b4 ·n3
```

「11000000」はデータロガーのラドン観測用 AD 変換ボードのコネクタ位置により変更する（接続有「1」、接続無「0」を入力）。

Shift+ZZ →変更を保存し、vi エディタを終了

②online_nin3 の変更

```
%cd ~/ftpget/  
%vi online_nin3      →vi エディタを起動し online_nin3 を編集  
##### ---YOUROU---- →##### ---NINGYOU---に書き直す  
node=0 # NINGYOU_TOGE  
→node=_ に書き直す  
    No.18 孔：node=0  
    No.19 孔：node=1  
    No.23 孔：node=2  
    No.5 孔：node=3
```

Shift +ZZ →変更を保存し、vi エディタを終了

```
%su: root  
password: rootpass0  
#/sbin/shutdown -h now →メッセージ表示後に、パソコン主電源を切る。
```

(6)データ取得の設定

①online_nin の自動設定

設定した時刻に online_nin を自動で起動し、データファイル (.dat) を作成する設定を行う。

```
%crontab -e      →crontab を vi エディタで編集  
3 0 * * */usr/home/radon/ftpget/online_nin3      を入力する。  
→ 分 時 日 月 曜を設定する。  
    No.18 孔：0 0 * * * (online_nin0 は 0 時 0 分)  
    No.19 孔：1 0 * * * (online_nin1 は 0 時 1 分)  
    No.23 孔：2 0 * * * (online_nin2 は 0 時 2 分)  
    No.5 孔：3 0 * * * (online_nin3 は 0 時 3 分)
```

Shift ZZ →変更を保存し、vi エディタを終了

3.4 動作確認

3.3. 項でインストールした計測プログラムの動作確認を行う。

(1)パソコンの再起動

```
% su  
password:rootpass0
```

no5# reboot →reboot コマンドで再起動
再起動後、「radon」で login する。

(2)通信の確認

現在設定変更を行っている観測用パソコンとは別の観測用パソコンを準備して、2台を LAN ケーブルで接続する。接続後に ping コマンドで通信テストを行う。

% ping ***.***.*.* →***.***.*.*に接続先のパソコンの IP アドレスを入力する

(64 bytes from ***.***.*.*: icmp_seq=0 ttl=254 time=0.259ms)

→上記の応答があれば接続ができている。

Ctrl+C →ping プロセスを中止

(3)計測プログラムの実行及び確認

% ./checknet1 & →インストールした checknet1 の実行

以下のメッセージが表示されたら、計測が開始している。このとき、「y2k:start normal data taking」のメッセージが表示すれば、正常に作動している。

[1]8794

%[1]8796

<<< status of radon DAQ processes at Fri Aug 22 12:43:11 JST 2003 >>>

/y2k running pid=8796

y2k : start normal data taking at Fri Aug 22 12:43:11 2003

% /sbin/shutdown -h now →計測プログラムが正常に作動していることを確認できたら、パソコンをシャットダウンして作業を終了する。

付録4 観測用パソコンによるデータ取得

付録3で設定した観測用パソコンにより、観測地点のデータを取得する方法を以下に示す。

4.1 観測用パソコンの設定

観測用パソコンに、モニタ、キーボード、LANケーブル、RS-232Cケーブルを接続した後、電源スイッチを入れてパソコンを起動する。

(1) 時刻設定

```
login: radon      → ユーザー radon で login  
password: radon222  
%su      → スーパーユーザーで login  
password: rootpass0
```

① 時刻のみ変更する場合

```
#date 1432      → (例) 現在の時刻：14時32分
```

② 年月日・時刻を変更する場合

```
#date 0306131627    → (例) 現在の年月日・時刻：2003年6月13日16時27分  
(Sets the date to "June 13,2003,4:27 PM")
```

(2) IPアドレスの確認・変更

viエディタで「/etc/rc.conf」ファイルのIPアドレスを確認し、必要があれば変更する。

```
#vi /etc/rc.conf  
[ defaultrouter="192.168.160.1"  
  ifconfig_fxp0="inet 192.168.160.3 netmask 255.255.255.0" ]
```

→ 「defaultrouter」：露天跡地で観測する場合は"192.168.160.1"に設定。

「ifconfig_fxp0」：inetは観測地点により番号を変更する。

No.18孔：192.168.160.2

No.19孔：192.168.160.3

No.23孔：192.168.160.4

No.5孔：192.168.160.5

netmaskは全て255.255.255.0に設定。

Shift ZZ → 変更を保存し、viエディタを終了

#reboot → IPアドレスを変更した場合、rebootコマンドで再起動

再起動後は「radon」でloginする。

4.2 ネットワーク接続状況の確認

再起動後に、pingコマンドで通信テストを行う。

```
%ping ***.***.***.* → ***.***.***.*に接続先のパソコンのIPアドレスを入力
```

```
(64 bytes from ***.***.***.*: icmp_seq=0 ttl=254 time=0.259ms )
```

→ 上記の応答があれば接続ができている。

Ctrl+C →ping プロセスを中止

4.3 データ取得開始

ラドンデータ観測に関するプログラムは、付図 4.3-1 観測用パソコンのディレクトリ構成に示す「~/net」ディレクトリに収納している。

```
%cd net
```

```
%ls -al
```

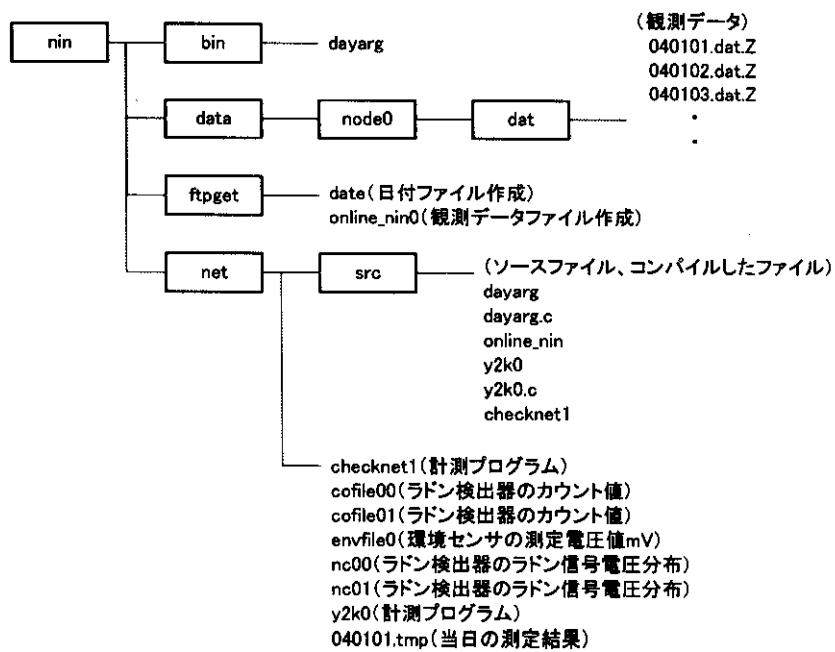
以下のファイルが観測に関わるファイル

```
[ -rwxr--xr-x 1 radon radon 1032 Aug 9 03:09 checknet1  
[ -rwxr--xr-x 1 radon radon 14143 Jun 5 19:03 y2k ]
```

```
%./checknet1 & →観測の開始
```

以下のメッセージが表示すれば、観測を開始している。このとき、「y2k:start normal data taking」のメッセージが表示すれば、正常に作動している。

```
[1]8794  
%[1]8796  
<<< status of radon DAQ processes at Fri Aug 22 12:43:11 JST 2003 >>>  
.y2k running pid=8796  
y2k : start normal data taking at Fri Aug 22 12:43:11 2003
```



付図 4.3-1 観測用パソコンのディレクトリ構成 (No.18 孔)

4.4 観測用プログラムの動作確認

観測開始後、10分間隔で以下の running message が自動的に画面に表示する。表示がある場合、正常にデータを取得していることを示す。

```
<<< status of radon DAQ processes at Fri Aug 22 12:53:11 JST 2003 >>>
./y2k           running  pid=8796
```

観測用プログラムの動作確認を行う。

%ps → ps コマンドで、現在作動しているプロセスを表示

PID	TT	STAT	TIME	COMMAND
8794	v0	I	0:00.0	/bin/csh -f ./checknet1
8796	v0	I	0:00.0	./y2k -b4 -n3 11000000
8802	v0	I	0:00.0	sleep600

→ 3つのプロセス 「/bin/csh -f ./checknet1」、「./y2k -b4 -n3 11000000」、「sleep600」を確認する。

「./y2k -b4 -n3 11000000」には以下の意味がある。

-b4：人形峠のデータはグループ4に属する。

-n3：人形峠のデータは node=3 (No.5 孔) に属する。

11000000：2台のラドン検出器がラドン用変換ボードの ch0、ch1 に接続していることを示す。

4.5 取得データの確認

測定は 10 分間隔で、パソコンがデータロガー装置にコマンドを送信して、そのコマンドに応じた観測結果を受信する仕組みである。

(1) 観測データの日付確認

観測データは、毎時 10 分間隔で更新する。

ファイル名「030822.tmp3」、「cofile30」、「cofile31」、「displog」、「envfile3」、「nc30」、「nc31」の日付属性が現在時刻になっていることを確認する。

```
%ls -al
-rw-r--r-- 1 radon  radon  373464 Aug 22 12:30 030822.tmp3
-rwxr-xr-x  1 radon  radon     1032 Aug  9 03:09 checknet1
-rw-r--r--  1 radon  radon      3 Aug 22 12:30 cofile30
-rw-r--r--  1 radon  radon      3 Aug 22 12:30 cofile31
-rw-r--r--  1 radon  radon      8 Aug 22 12:30 displog
-rw-r--r--  1 radon  radon     15 Aug 22 12:30 envfile3
-rw-r--r--  1 radon  radon     513 Aug 22 12:30 nc30
-rw-r--r--  1 radon  radon     513 Aug 22 12:30 nc31
-rwxr-xr-x  1 radon  radon   14143 Jul  5 19:03 y2k
```

(2) 当日の観測データ確認

ファイル名「030822.tmp3」は、当日の観測データが追加されて記録するので、ファイル容量は大きくなっていく。

%more 030822.tmp3

2003/08/22 0000 9000 @@ 02297 → 水温計の測定電圧値
2003/08/22 0000 9001 @@ 00431 → 水位計の測定電圧値
2003/08/22 0000 9010 @@ 00023 → 水中ラドン計のカウント数
2003/08/22 0000 9011 @@ 00030 → 空気中ラドン計のカウント数
2003/08/22 0000 9011 00 0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000 → ラドン信号
2003/08/22 0000 9010 01 0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000,0000 → ラドン信号

*観測地点によりファイル名が異なるので注意すること。

場所	ファイル名
No.18 孔	030822.tmp0
No.19 孔	030822.tmp1
No.23 孔	030822.tmp2
No.5 孔	030822.tmp3

(3) ラドン信号確認

ファイル名「cofile30」及び「cofile31」は、それぞれ水中ラドン計と空气中ラドン計の10分間のカウント数を示す。

```
%cat colile30
```

(16) →水中ラドン計のカウント値

```
%cat colile31
```

(18) → 空気中ラドン計のカウント値

ファイル名「envfile3」は、環境センサーの測定した電圧値 (mV) である。

```
%cat envfile3
```

2297 → 水温計の測定電圧値 (mV)
431 → 水位計の測定電圧値 (mV)

ファイル名「nc30」、「nc31」は、それぞれ水中ラドン計と空气中ラドン計の10分間のラドン信号パルス電圧分布を示し、ラドン信号のピーク電圧0~1Vを0~255channelにAD変換している。

```
%cat nc30
```

00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000

→水中ラドン計の0~255channelのラドン信号電圧分布。2つのデータピークが確認できる。これは ^{218}Po と ^{214}Po の α 線の信号である。

```
%cat nc31
```

→空気中ラドン計の0~255channelのラドン信号電圧分布。2つのデータピークが確認できる。これは ^{218}Po と ^{214}Po からの α 線の信号である。

ファイル名「`displog`」は確認の必要はない。

*観測地点によりファイル名が異なるので注意すること。

場所	水中ラドン		空気中ラドン		屋外空気中ラドン		地中ラドン		環境データ
	カウント	信号	カウント	信号	カウント	信号	カウント	信号	
No.18 孔	cofile00	nc00	cofile01	nc01	—	—	—	—	envfile0
No.19 孔	cofile10	nc10	cofile11	nc11	cofile12	nc12	cofile13	nc13	envfile1
No.23 孔	cofile20	nc20	cofile21	nc21	—	—	—	—	envfile2
No.5 孔	cofile30	nc30	cofile31	nc31	—	—	—	—	envfile3

4.5 データ取得の中止

計測プログラムを停止する場合、以下の操作を行う。

%ps → ps コマンドで、現在作動しているプロセスを表示し、PID 番号を確認

PID	TT	STAT	TIME	COMMAND
8794	v0	I	0:00.0	/bin/csh -f ./checknet1
8796	v0	I	0:00.0	./y2k -b4 -n3 11000000
8802	v0	I	0:00.0	sleep600

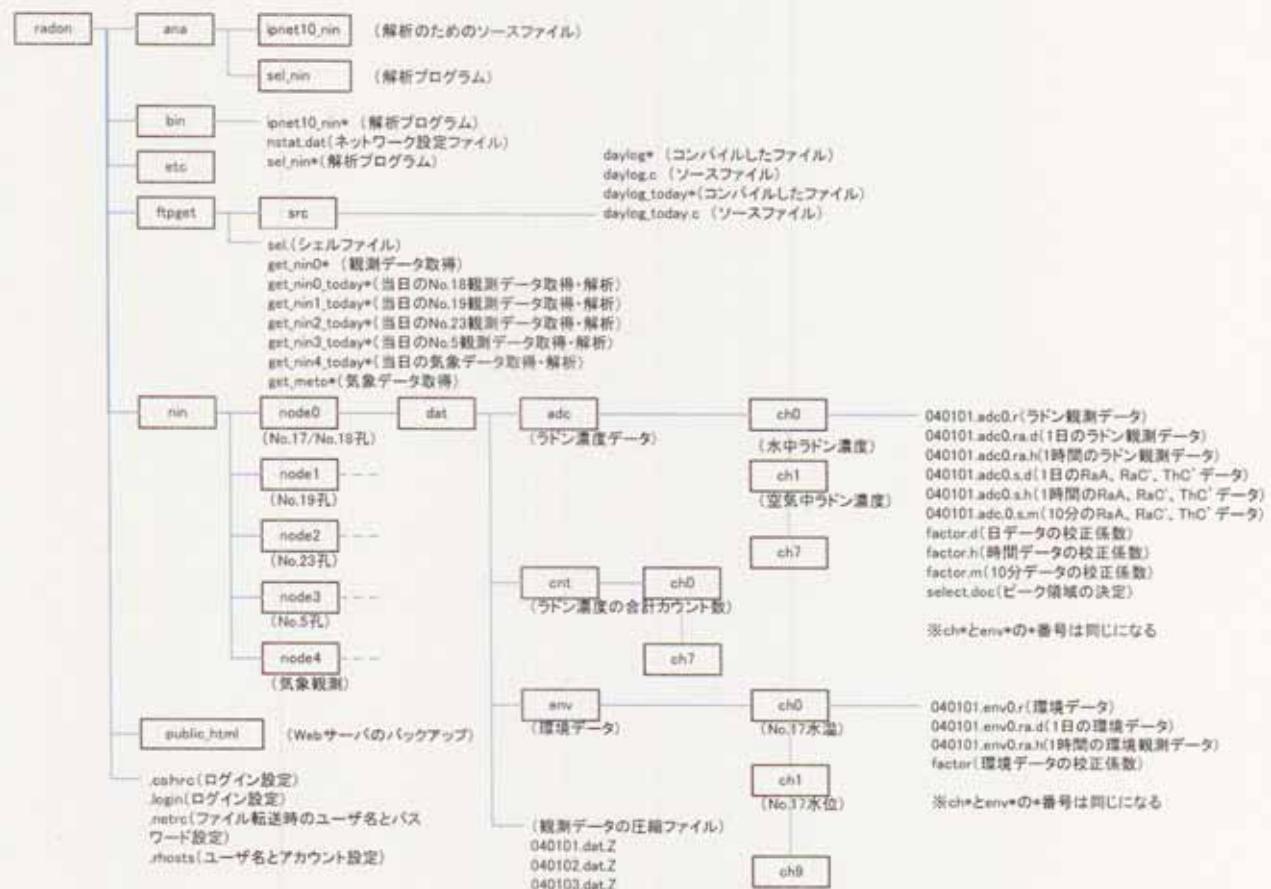
`%kill -KILL 8794 8796 8802` →下線部に cheknet1、y2k、sleep の PID 番号を入れる

付録5 データ取得サーバの設定

データ取得サーバの設定について以下に示す。

5.1 ディレクトリ構成

データ取得サーバは、観測パソコンから受信したデータの解析用プログラムや解析結果ファイルなどを記録している。付図 5.1-1 にデータ取得サーバのディレクトリ構成、付図 5.1-2 に Web サーバのディレクトリ構成を示す。また、表 5.1-1 に解析結果ファイルに関するディレクトリ及び測定項目を示す。



付図 5.1-1 データ取得サーバのディレクトリ構成



付表 5.1-1 解析結果に関するディレクトリ及び測定項目

場所	収納場所	ラドンデータ			環境データ					
No.17/ No.18 孔	node0	adc	ch0	水中ラドン濃度	env	ch0	水温 (No.17 孔)			
			ch1	空气中ラドン濃度		ch1	水位 (No.17 孔)			
No.19	node1	adc	ch0	水中ラドン濃度	env	ch0	気温 (地上設置型ラドン計)			
			ch1	空气中ラドン濃度		ch1	水温 (地上設置型ラドン計)			
			ch2	屋外空气中ラドン濃度		ch2	流量 (地上設置型ラドン計)			
			ch3	地中ラドン濃度		ch3	相対湿度 (大型ラドン計)			
						ch4	水温 1			
						ch5	水温 2			
						ch6	水位			
						ch7	コンテナハウス内室温			
No.23 孔	node2	adc	ch0	水中ラドン濃度	env	ch1	水位			
			ch1	空气中ラドン濃度		ch2	水温 1			
						ch3	水温 2			
No.5 孔	node3	adc	ch0	水中ラドン濃度	env	ch1	水位			
			ch1	空气中ラドン濃度		ch2	水温 1			
						ch3	水温 2			
No.19 孔 付近	node4					env	ch0	平均風向		
							ch1	平均風速		
							ch2	最大風速		
							ch3	気温		
							ch4	最高気温		
							ch5	最低気温		
							ch6	相対湿度		
							ch7	時間日照		
							ch8	時間雨量		
							ch9	時間蒸発		

5.2 データの自動解析

(1)自動解析の設定確認

データ解析は、crontab コマンドにより自動的に行っている。自動解析の内容は、以下の手順で確認する。

```
% crontab -l
#Ningyou-Touge(node40:no.18)
41 5 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin0
```

```

1 8,11,16 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin0_today
#Ningyou-Touge(node41:no.19)
42 5 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin1
2 8,11,16 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin1_today
#Ningyou-Touge(node42:no.23)
43 5 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin2
3 8,11,16 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin2_today
#Ningyou-Touge(node40:no.5)
44 5 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin3
4 8,11,16 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin3_today
#Ningyou-Touge(node40:meto)
45 5 * * * /usr/home/radon/ftpget/get_nin4_today
#nstat
5 0 * * * /usr/home/radon/bin/nstat.pl
5 8,11,16 * * * /usr/home/radon/radon/bin/nstat.pl

```

解析用プログラム「get_nin*」、「get_nin*_today」は、「~/ftpget」ディレクトリ内に収納している。

「get_nin*」は、5時41分～44分に動作し、「get_nin*_today」は、毎日8時・11時・16時の1分～5分に作動し、データを取得するように設定している。また、観測用パソコンで計測したデータ「~/net/020101.tmp0」は「~nin/node0/dat/020101.dat」にコピーする。

自動によるデータ取得・解析を中止したい場合は、文頭に#を入力する。

「020101.dat」ファイルは、昨日の測定時間・環境データ・ラドン濃度データの順に記録している。「020101.dat」ファイルは、解析の終了後に圧縮して、「020101.dat.Z」(1日1個)で保存する。

(2) 解析データの確認

① データの確認

解析した後のデータは、観測地点のnode番号のdatに収納する。

% cd ~nin/node0/dat → (例) No.18孔(node0)の解析データ

% ls

020101.dat.Z	020104.dat.Z	020107.dat.Z	020110.dat.Z	adc	no18
020102.dat.Z	020105.dat.Z	020108.dat.Z	020111.dat.Z	cnt	
020103.dat.Z	020106.dat.Z	020109.dat.Z	020112.dat.Z	env	

→ 解析後のデータは、圧縮(.dat.Z)して保存している。

・「adc」フォルダ内にはラドン濃度の解析結果を収納している。

・「env」 フォルダ内には環境データの解析結果を収納している。

②ラドン濃度の解析結果の確認

% cd ~nin/node0/dat/adc/ch0 →No.18 孔 (node0) の水中ラドン濃度 (ch0) の表示

020101.adc0.qh	020101.adc0.ra.h	020101.adc0.s.m	select.doc
020101.adc0.r	020101.adc0.s.d	factor.d	
020101.adc0.ra.d	020101.adc0.s.h	factor.h	

→ラドン濃度データの解析結果は、1日に7個のファイルを作成して記録する。

- 020101.adc0.qh (1時間の平均ラドン信号カウント数)
- 020101.adc0.r (ラドン信号電圧分布データ)
- 020101.adc0.ra.d (1日のラドン信号電圧分布)
- 020101.adc0.ra.h (1時間のラドン信号電圧分布)
- 020101.adc0.s.d (1日のラドン子孫 RaA (^{218}Po) ,RaC'(^{214}Po)、トロン子孫核種 ThC' (^{212}Po) の個数)
* ピーク領域は「select.doc」ファイルに保存
- 040101.adc0.s.h (1時間のラドン子孫核種及びトロン子孫核種の個数)
- 040101.adc0.s.m (10分間のラドン子孫核種及びトロン子孫核種の個数)

③1日の平均ラドン濃度データの確認

% cat 020101.adc0.s.d

2002/01/01	00:00	9010	010:RaF	000349	80:RaA	005259	125:RaC
004240	161:ThC	000000					

④ラドン濃度の校正係数の確認

% cat factor.d →「factor.d」は1日の平均ラドン濃度

0	
0.000711074	→1日の平均ラドン濃度の校正係数
Radon-concentration(Bq/l)	→1日の平均ラドン濃度の校正係数の単位

⑤ラドン濃度のピーク領域設定の確認

% cat select.doc

(10 79 80 124 125 160 161 240)

→このピーク領域の設定は、ラドン検出器からの信号分布を基に4分割している。ラドン検出器からの信号分布は、Web表示により確認できる。

10～79：RaFの積算データ

80～124：RaAの積算データ

125～160：RaC'の積算データ

161～240：ThC'の積算データ

ピーク領域を変更する場合は、vi エディタを起動して、select.doc を編集する。

⑥環境データの解析結果の確認

% cd ~nin/node0/dat/env/ch0 →No.18 孔 (node0) の水温データの表示

$$\left[\begin{array}{l} 020101.env0.r \quad \text{factor} \\ 020101.env0.ra.d \\ 020101.env0.ra.h \end{array} \right]$$

→環境データの解析結果は、1日に3個のファイルを作成して記録する。

- 020101.env0.r (10分の観測データ)
- 020101.env0.ra.d (1日の観測データ)
- 020101.env0.ra.h (1時間の観測データ)

⑦環境データの校正係数の確認

% cat factor

$$\left[\begin{array}{l} 0.0 \\ 0.1 \end{array} \right]$$
 →環境データの校正係数

temperature (deg.C) →校正係数の単位 (例: 温度)

5.3 データの手動解析

各観測地点のラドン濃度データ及び環境データは、データ取得サーバにより自動的に取得・解析するように設定しているが、以下の場合には自動的にデータ取得・解析が行われない。

- 観測用パソコンやデータ取得サーバが停止している
- ネットワークが停止している

自動的なデータ取得・解析に失敗した場合、ホームディレクトリ (/usr/home/radon/) に「*.core」ファイルが作成される。ホームディレクトリに「*.core」ファイルが作成された場合、以下の手順により手動でデータ取得・解析を行う。

(1) 「*.core」ファイルの削除

「*.core」は使用しないので削除する。

%cd ~ →ホームディレクトリ (/usr/home/radon/) に移動

%ls →*.core ファイルを確認

%rm *.core →rm コマンドにより*.core ファイルを削除。削除の確認画面が表示されたら、「y」を入力

%ls →*.core ファイルを削除したことの確認

(2) 欠測データの確認

自動でデータ取得・解析ができていないデータを確認する。

%cd nin* → 「cd nin*」と入力すると、/nin/node*/dat へディレクトリが移る
%ls → ls コマンドでリストを表示し、保存できていない日付ファイルを探す。
このとき、当日の.tmp ファイル以外のものを探す。

(3) 観測データの取得

欠測データを観測用パソコンから手動で取得する。

%ftp ***.***.*.* → ftp コマンドで観測用パソコンに接続。***.***.*.*には
観測用パソコンの IP アドレスを入力
Password : radon → ユーザー (radon) で login
ftp> cd data/node*/dat → 観測データが保存しているディレクトリに移動。*は
各観測地点番号を入力。
ftp> binary → binary 形式を指定
ftp> mget 040101.dat.Z → 取得したい日付を入力 (例: 2004/01/01 ファイル)
ftp> quit

(4) 観測データの解析

取得したデータを手動で解析する。

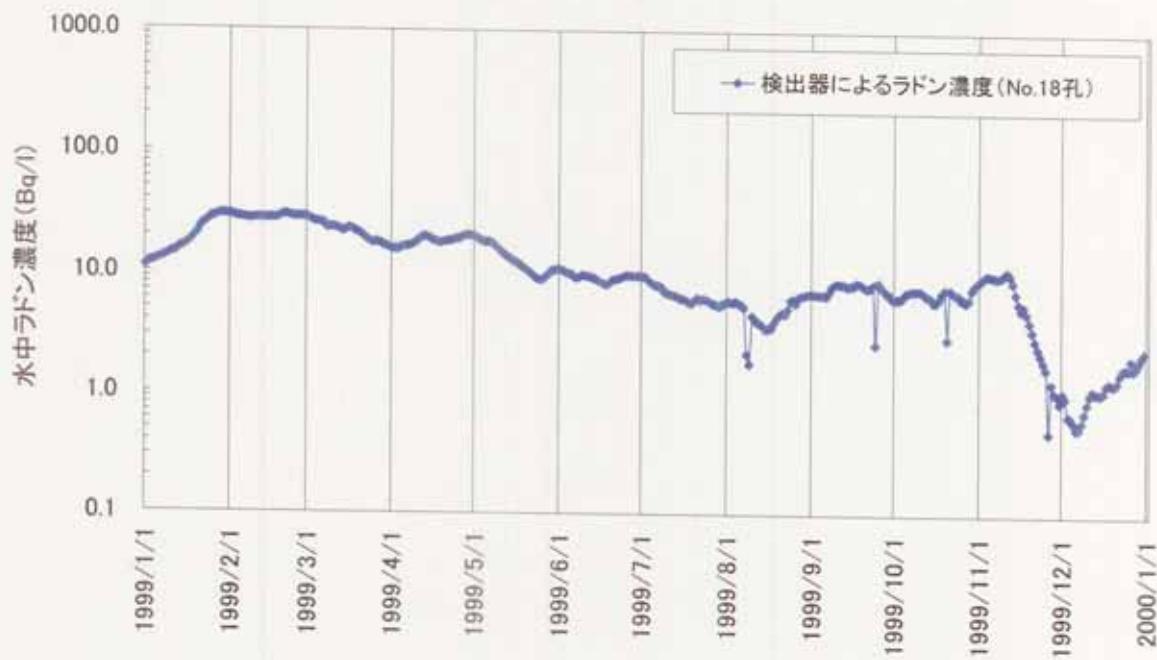
%ls → □で取得したファイルの確認
%uncompress 040101.dat.Z → 圧縮ファイルの解凍
%ipnet10_nin_-n0 -d -c 040101 ; sel_nin -n0 -d -c 040101
→ 1 日平均データを解析・積分
%ipnet10_nin_-n0 -h -c 040101 ; sel_nin -n0 -h -c 040101
→ 時間平均データを解析・積分
%ipnet10_nin_-n0 -m -r 040101 ; sel_nin -n0 -m -r 040101
→ 10 分毎データを解析・積分
%compress 040101.dat → 解凍したファイルを圧縮

(5) 解析データの確認

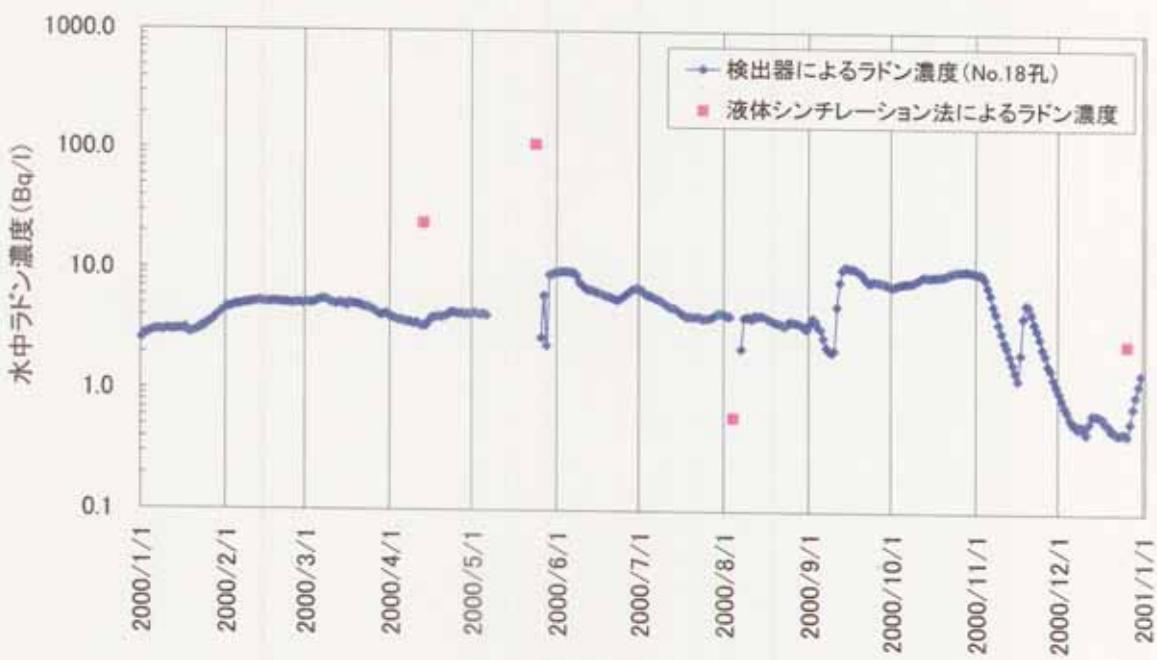
手動で解析した観測データは、Web page で確認する。

付録6 ラドン濃度測定結果

6.1 水中ラドン濃度



付図 6.1-1 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果（1999年）



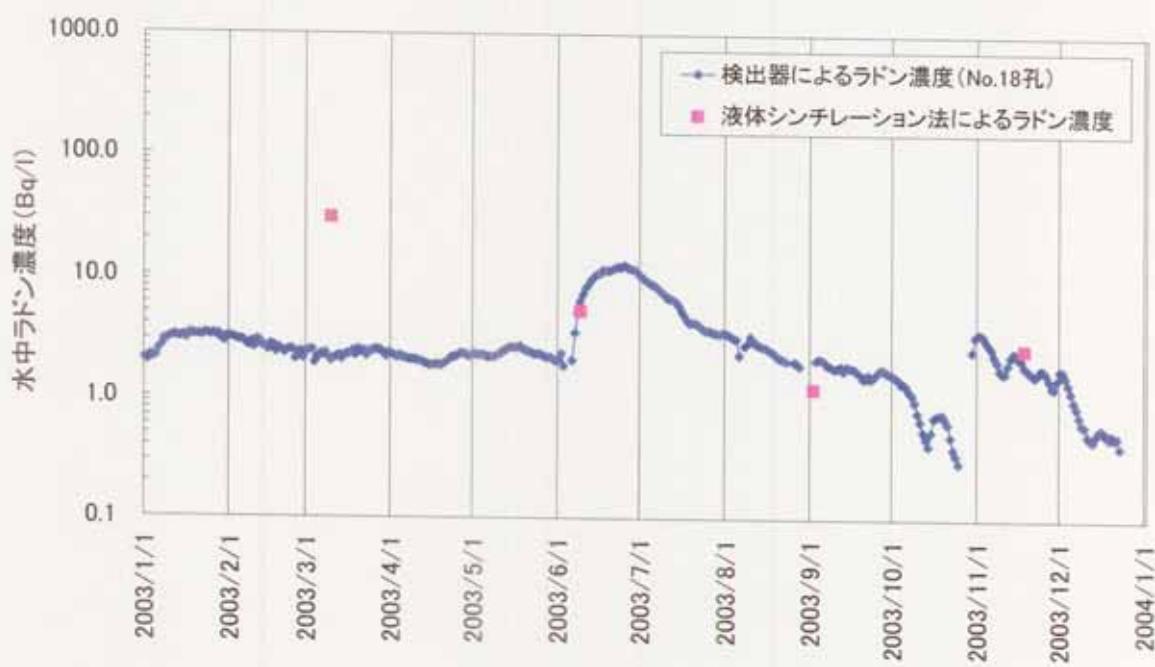
付図 6.1-2 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果（2000年）



付図 6.1-3 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果（2001 年）



付図 6.1-4 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果（2002 年）



付図 6.1-5 No.18 孔水中ラドン濃度測定結果（2003 年）

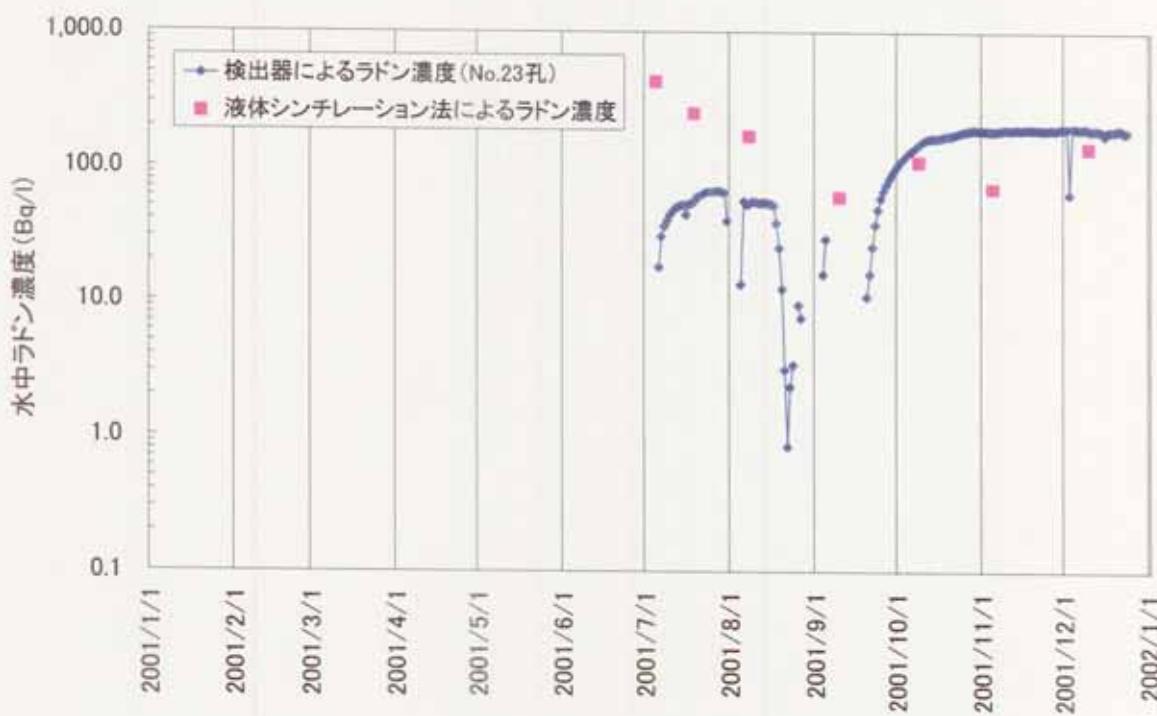


付図 6.1-6 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果（1999 年）

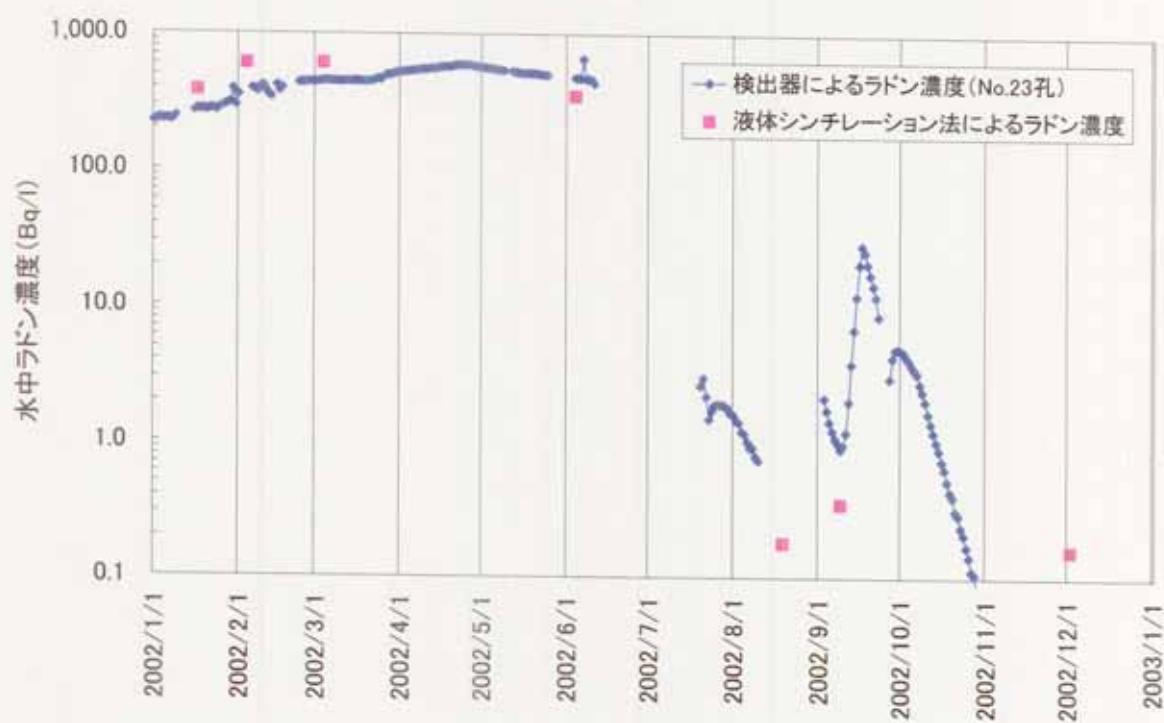




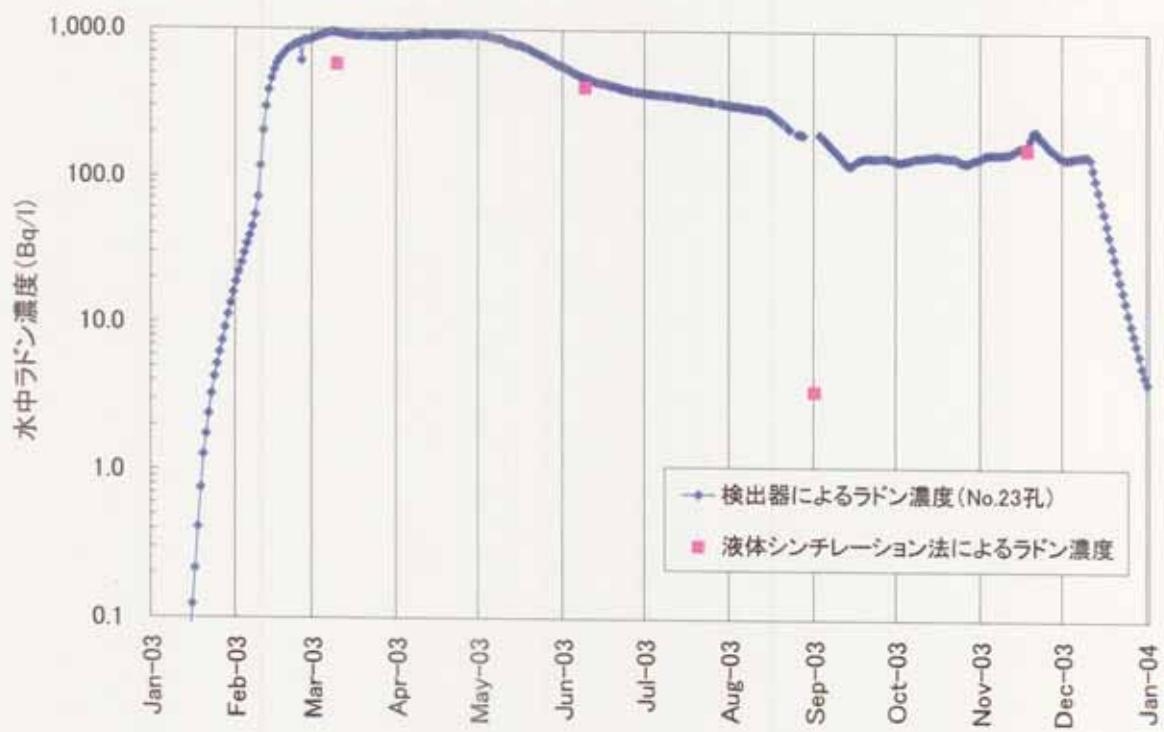
付図 6.1-9 No.19 孔水中ラドン濃度測定結果（2002 年）



付図 6.1-10 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果（2001 年）



付図 6.1-11 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果（2002 年）



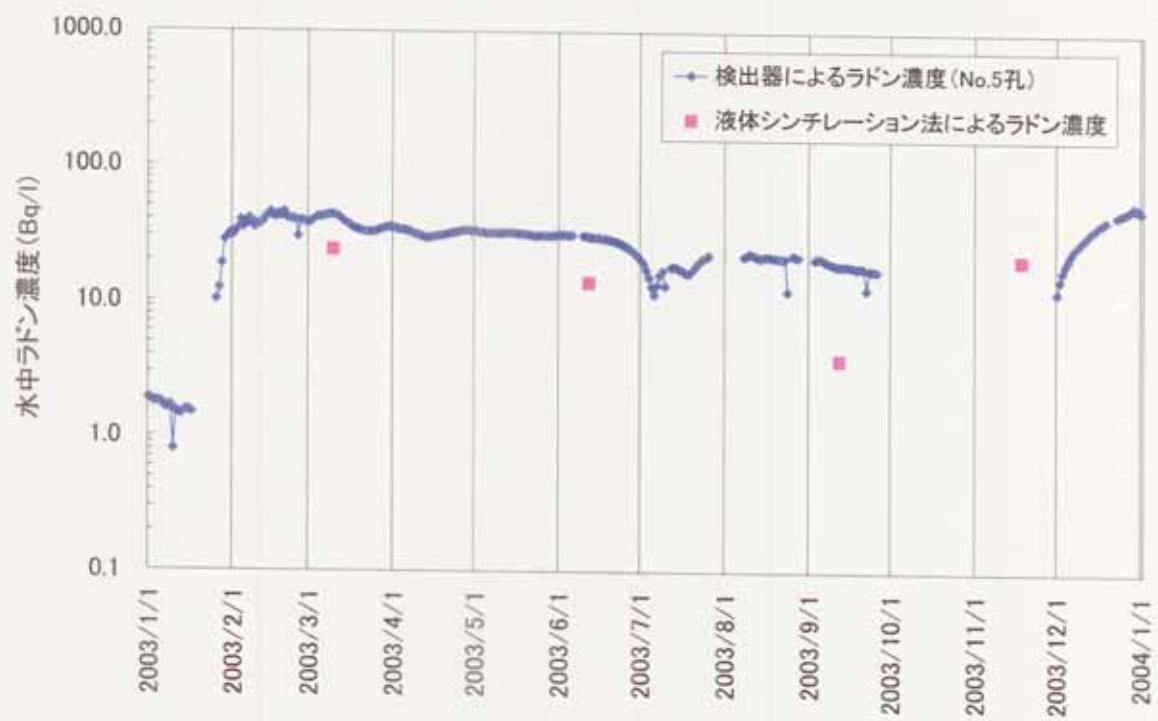
付図 6.1-12 No.23 孔水中ラドン濃度測定結果（2003 年）



付図 6.1-13 No.5 孔水中ラドン濃度測定結果（2001 年）

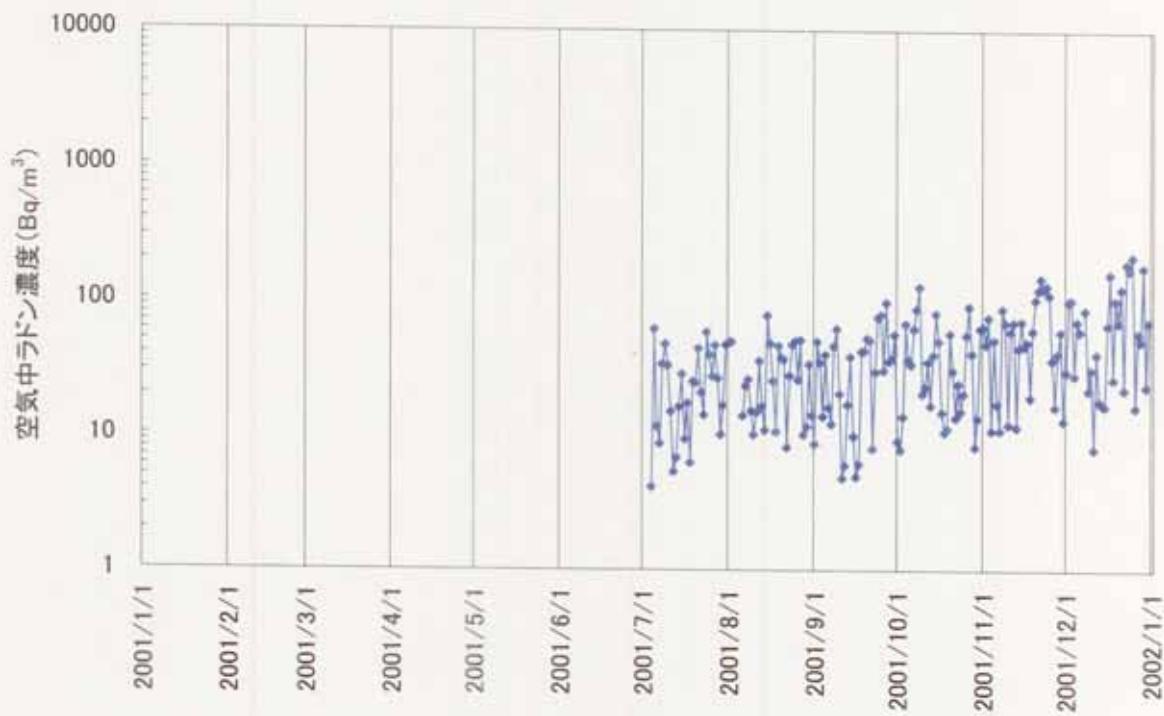


付図 6.1-14 No.5 孔水中ラドン濃度の測定結果（2002 年）

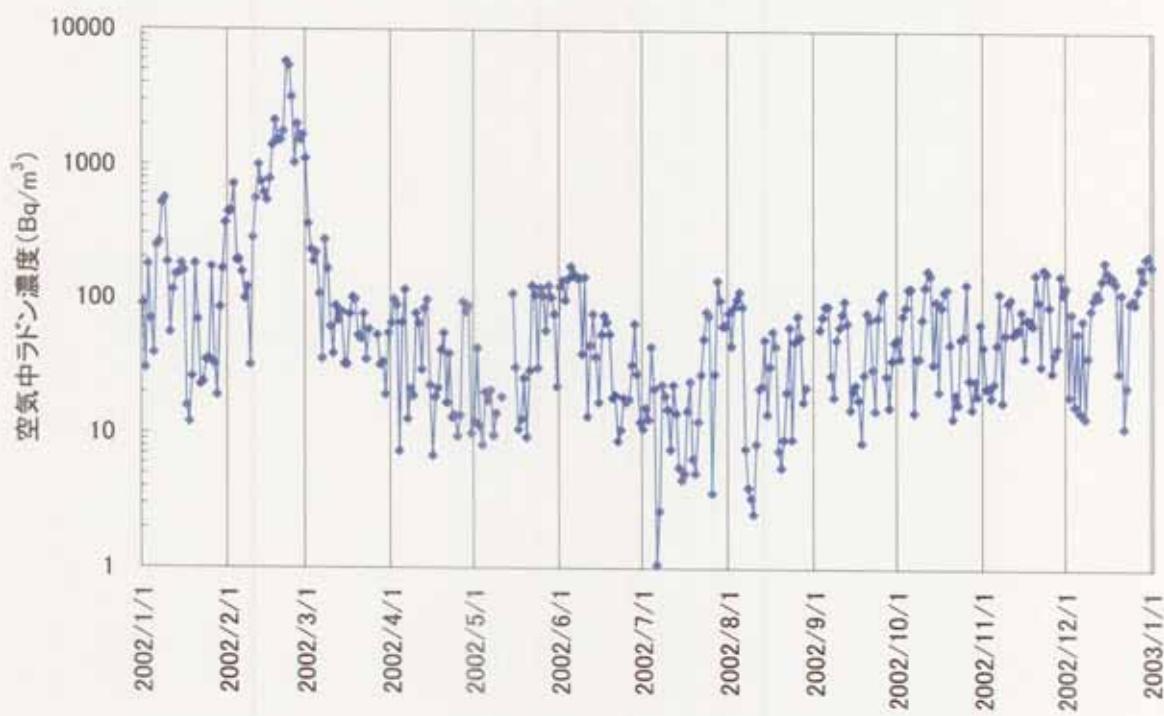


付図 6.1-15 No.5 孔水中ラドン濃度の測定結果（2003 年）

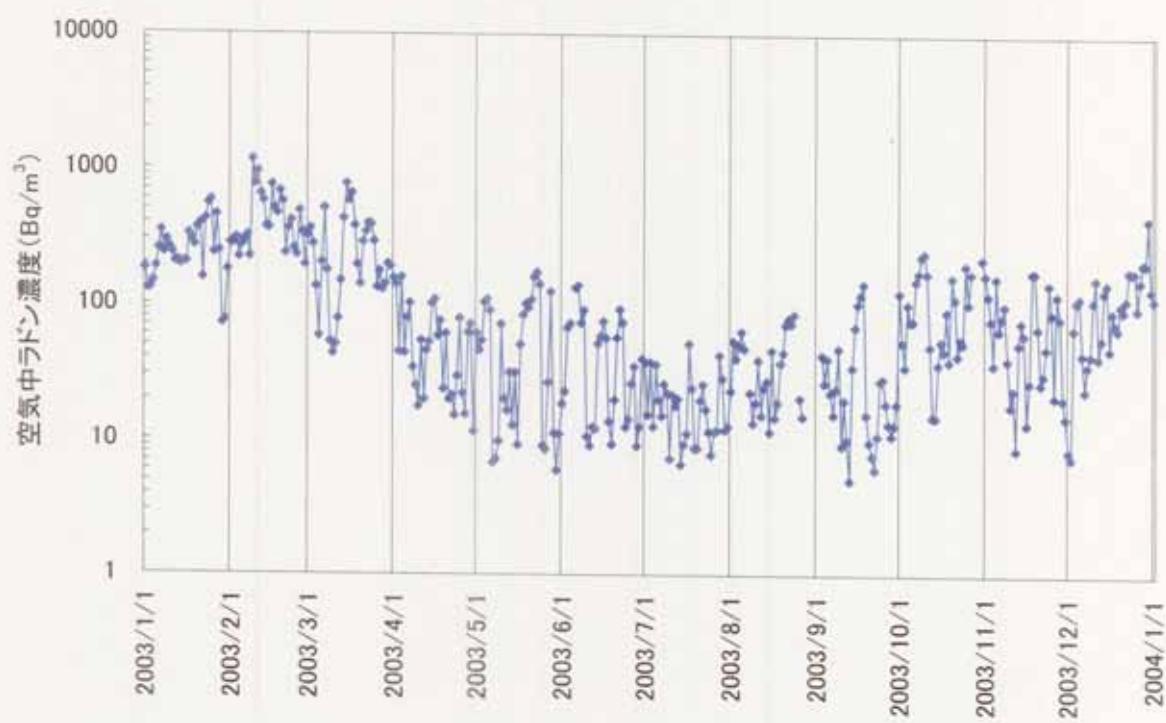
6.2 空気中ラドン濃度



付図 6.2-1 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果（2001 年）



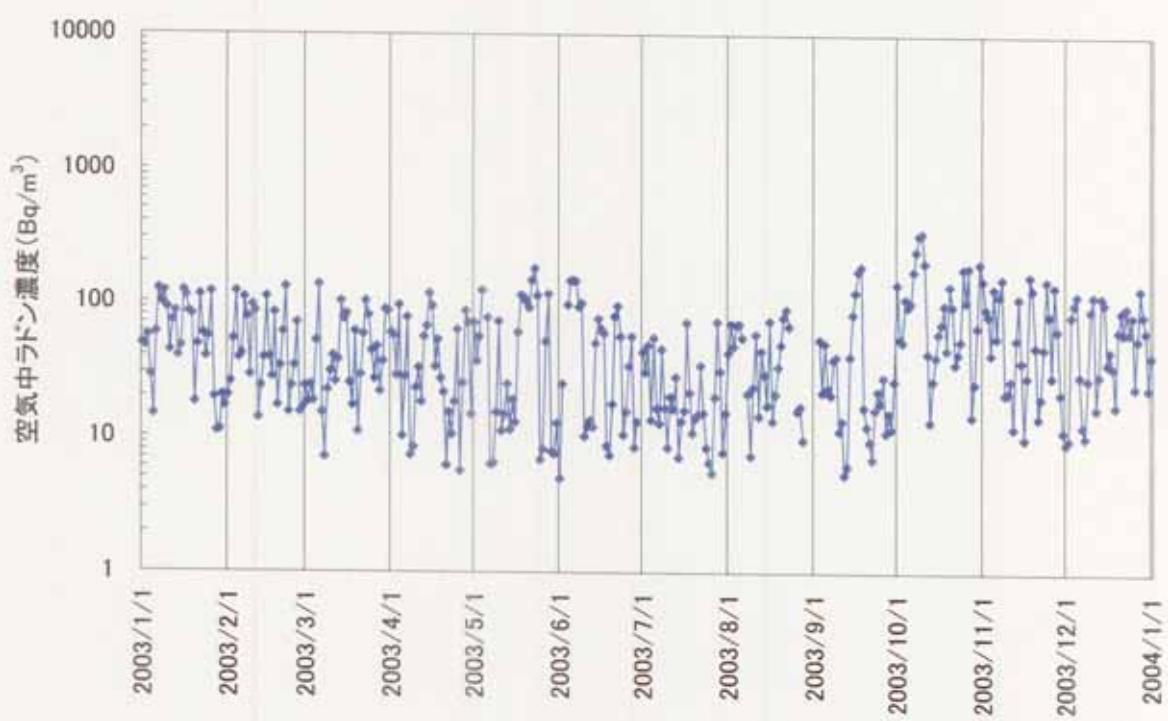
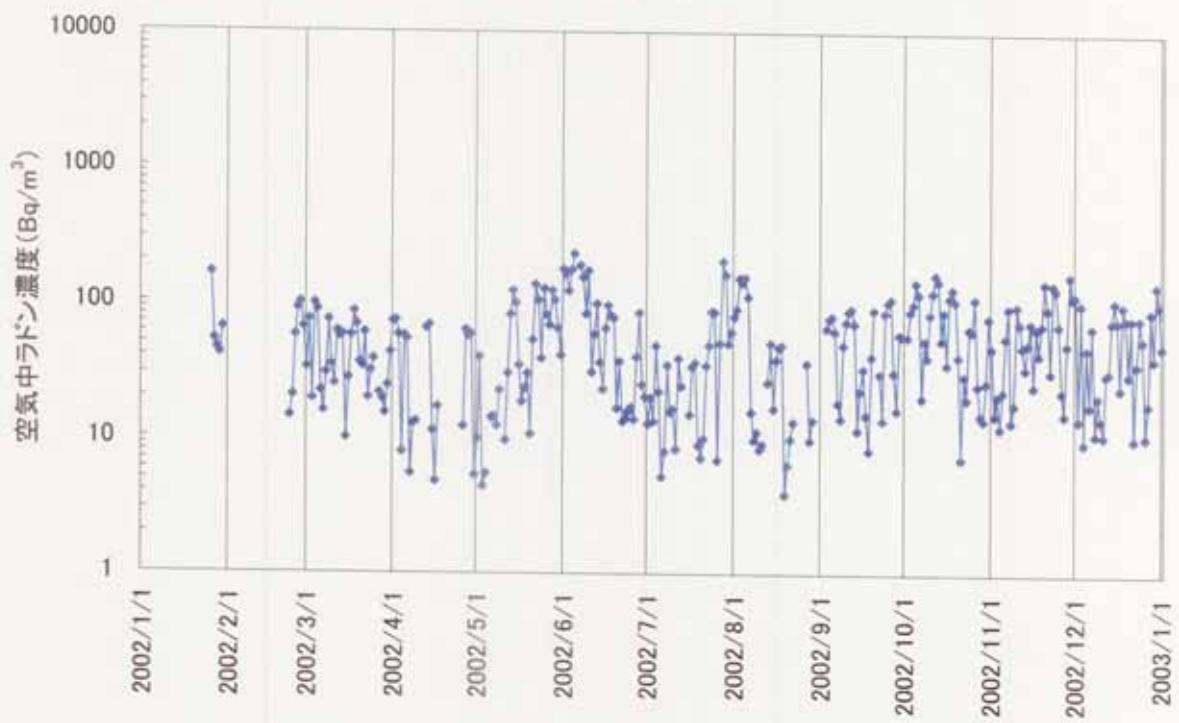
付図 6.2-2 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果（2002 年）

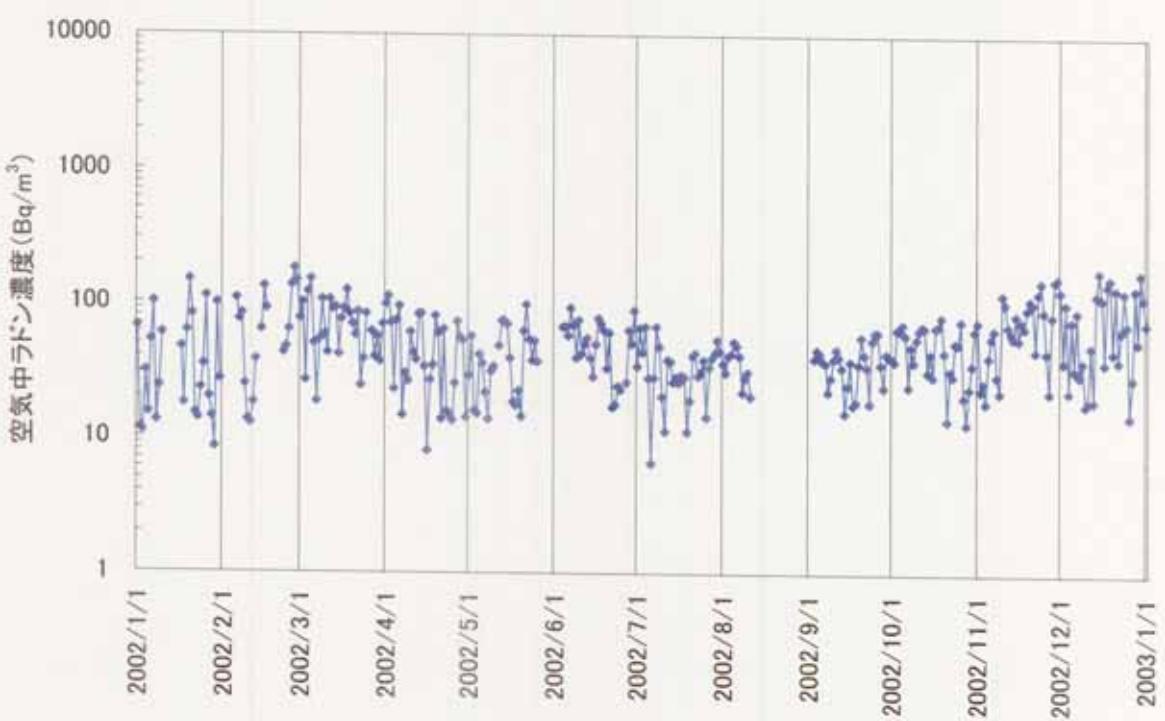
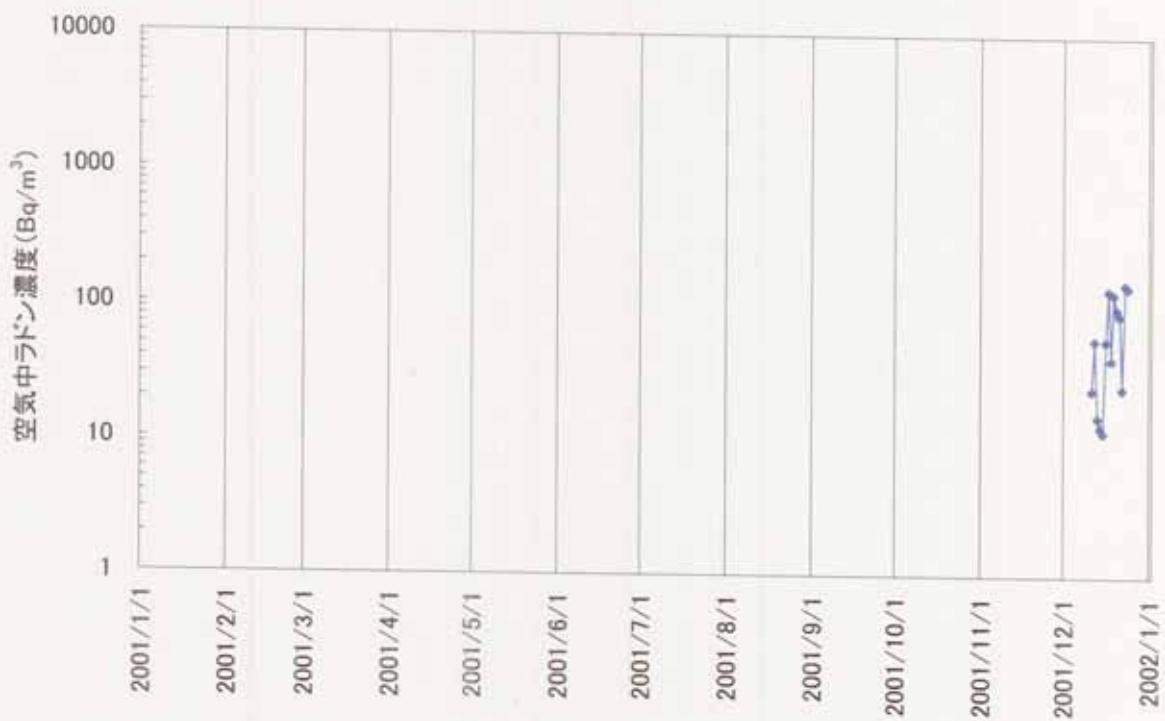


付図 6.2・3 No.18 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果（2003 年）

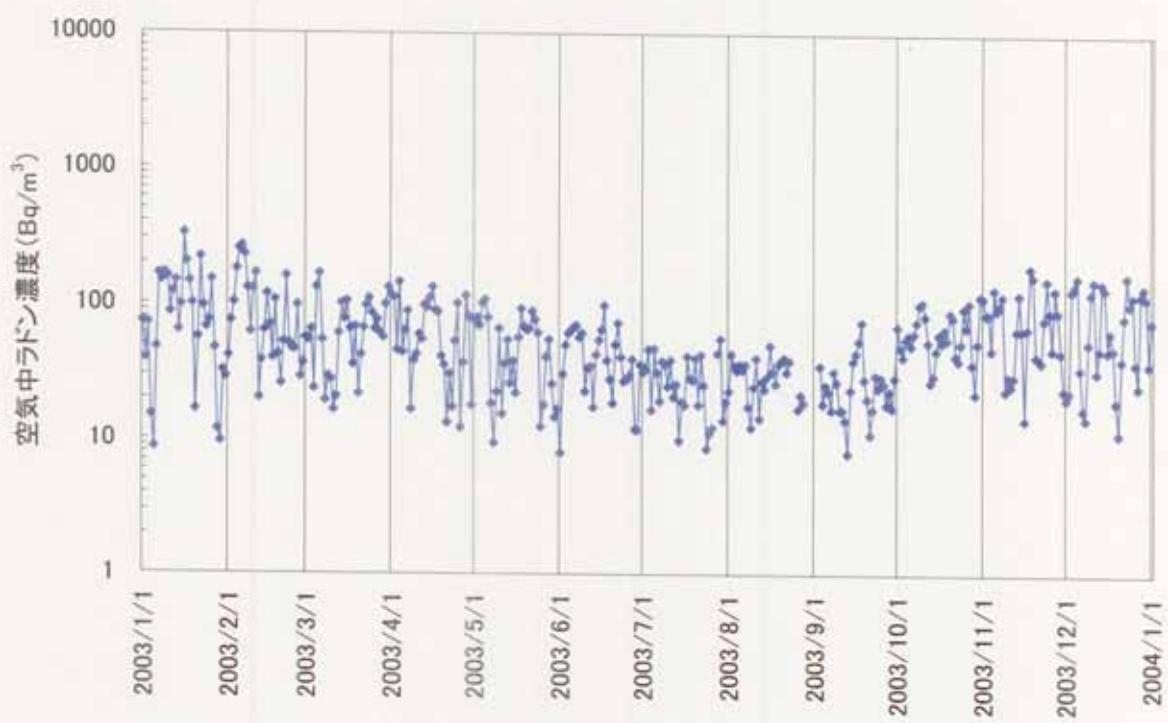


付図 6.2・4 No.19 孔コンテナハウス内の空気中ラドン濃度測定結果（2001 年）

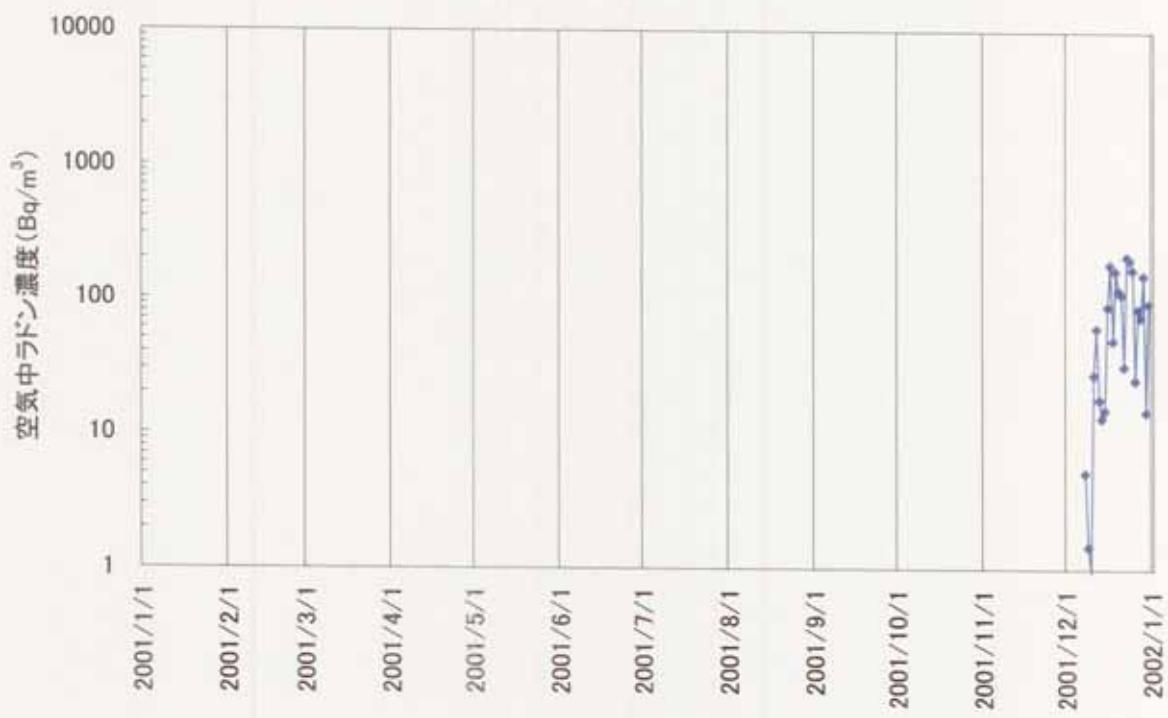




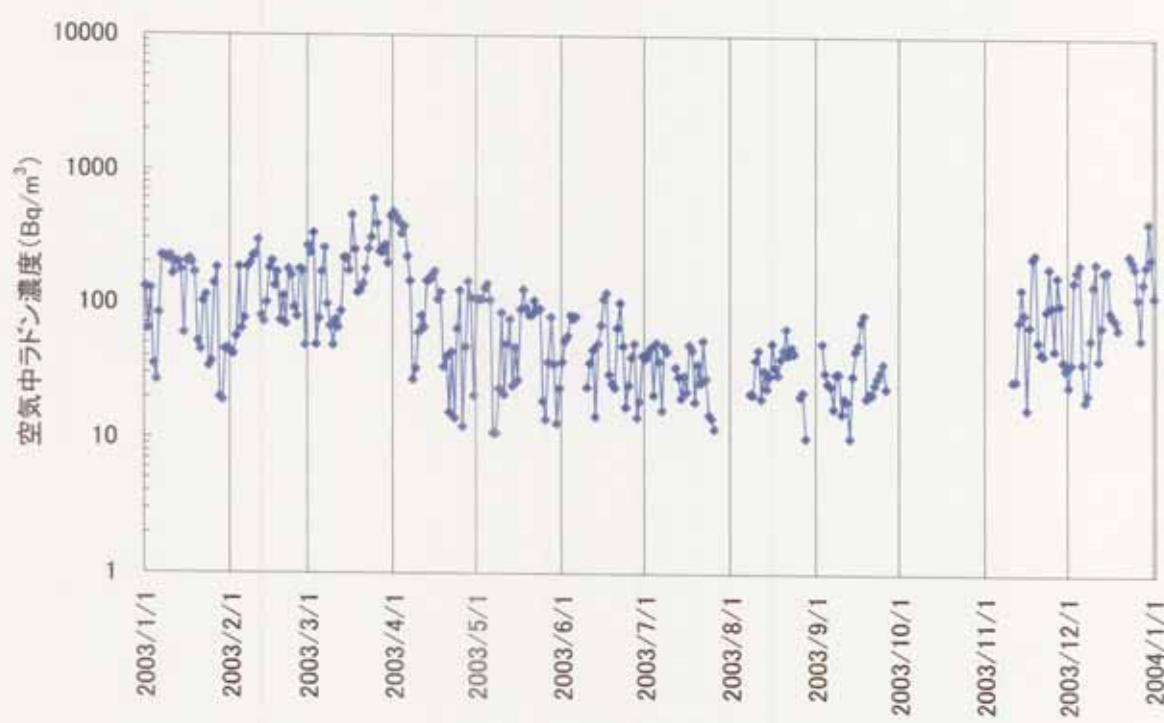
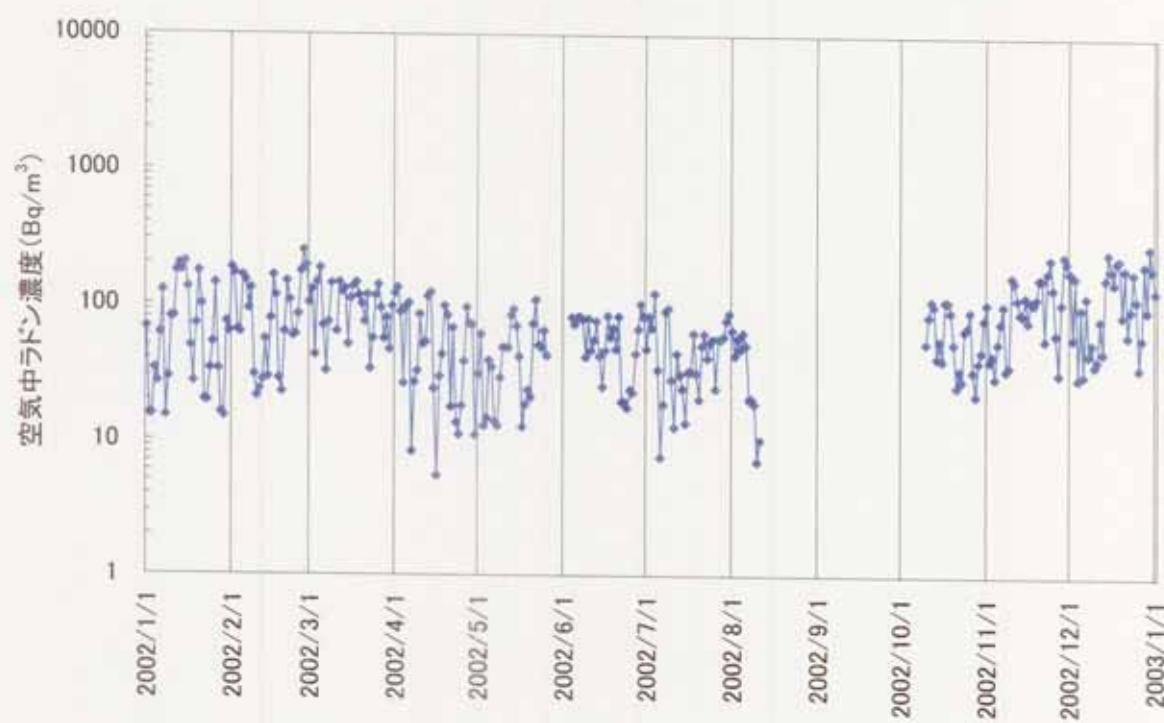
付図 6.2-8 No.23 孔モニタリングボスト内の空气中ラドン濃度測定結果（2002年）

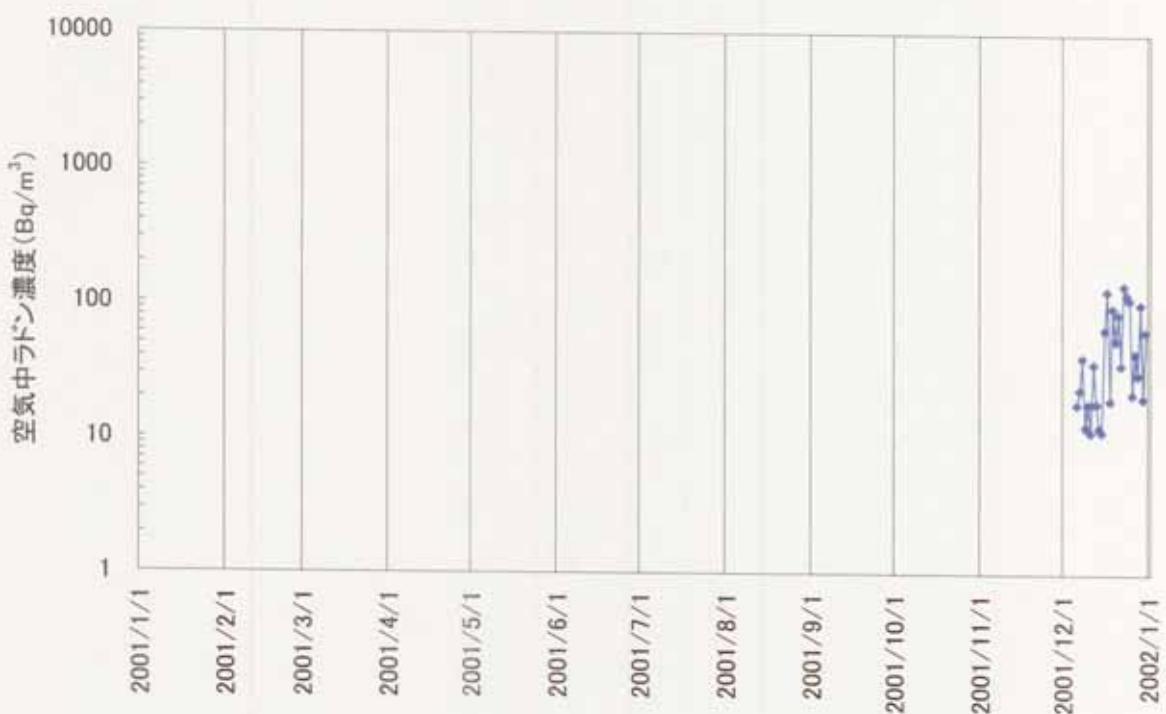


付図 6.2-9 No.23 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果（2003 年）

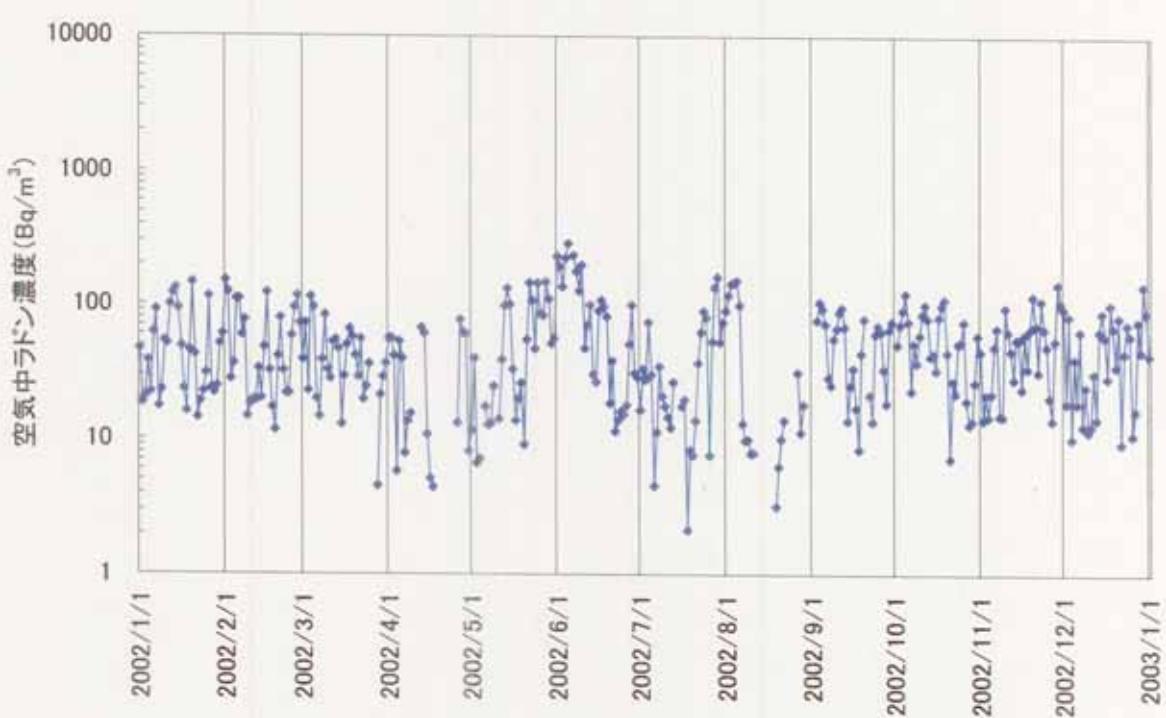


付図 6.2-10 No.5 孔モニタリングポスト内の空気中ラドン濃度測定結果（2001 年）

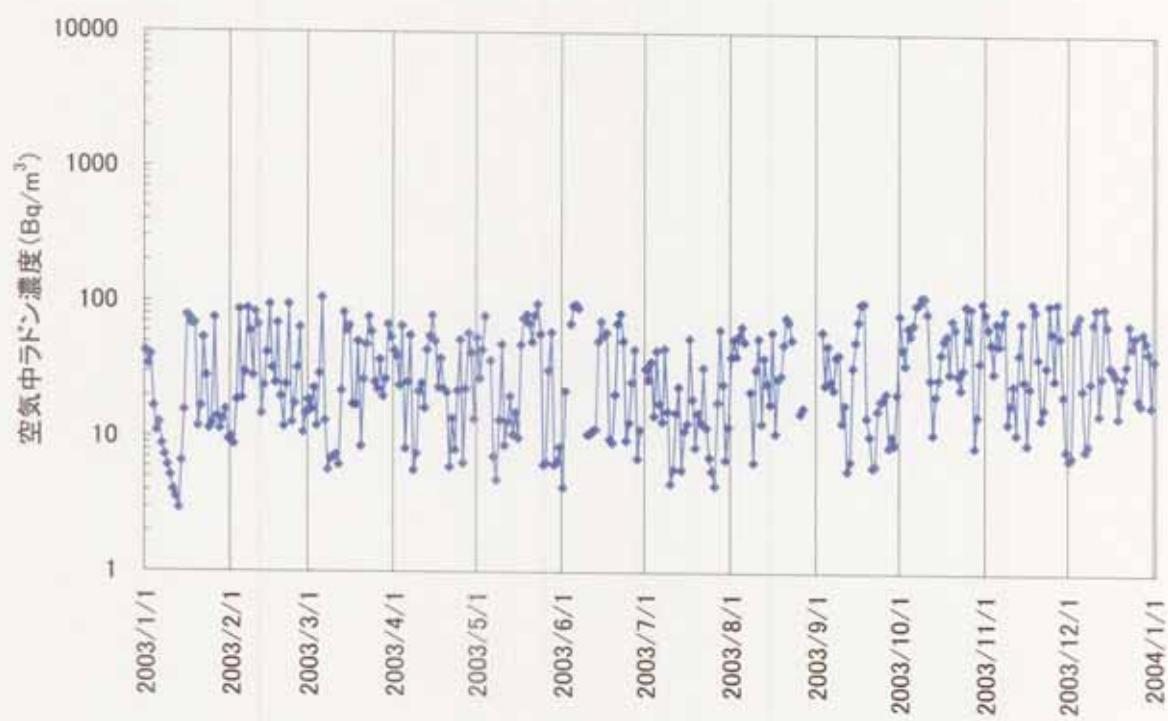




付図 6.2-13 No.19 孔コンテナハウス屋外の空气中ラドン濃度測定結果（2001年）



付図 6.2-14 No.19 コンテナハウス屋外の空气中ラドン濃度測定結果（2002年）



付図 6.2-15 No.19 コンテナハウス屋外の空气中ラドン濃度測定結果（2003年）

6.3 地中ラドン濃度

