

**theremino**  
•the•real•modular•in-out•

Theremino システム

ラドン  
電離箱

## 電離箱



イオンチャンバーについての詳細を知りたい人のために、検索用の単語は以下のとおりです。"計数貫通ラドンの連続測定のための拡散型イオンチャンバー、**EPA CR** 方法によれば"

本稿では、一般的にイオンチャンバーの特性、及びラドンの活性の測定について説明します。機械的および電子工学、技術仕様とラドンに関する詳細な情報の構造の詳細については、添付書類を参照してください：

ラドンイオンチャンバー（PDF 形式でドキュメント）：

Radon\_IonChamber\_ITA  
Radon\_IonChamber\_ENG  
Radon\_IonChamber\_JPN  
Radon\_IonChamber\_ESP

力学：

Radon\_IonChamberConstruction\_ITA  
Radon\_IonChamberConstruction\_ENG  
Radon\_IonChamberConstruction\_JPN

エレクトロニクス：

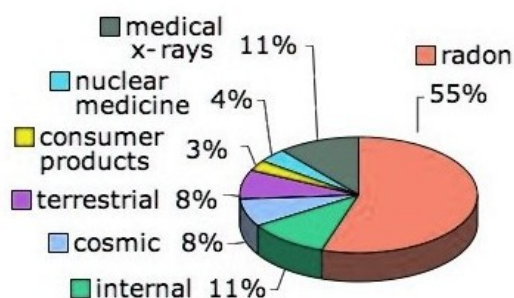
Radon\_IonChamberElectronics\_ITA  
Radon\_IonChamberElectronics\_ENG  
Radon\_IonChamberElectronics\_JPN

ラドンに関する情報：

Radon\_Info\_ITA  
Radon\_Info\_ENG  
Radon\_Info\_JPN

## まず第一に、ラドンを測定する理由は？

近年では、それが発見されている、そのラドンは、以前考えられていたよりはるかに危険であり、それは肺がんの原因として、喫煙と同じ重要性を持っています。



過去に我々はX線（レントゲン）について、大きな懸念を持っていましたが、すべて一緒に、これら放射線の他のすべてのソースがあっても、我々は平均で受け取る半分放射線ではありません、他のすべては、ラドンにリンクされています。

ラドンの危険性は、無色、無臭、化学的に非反応性で、ほとんど気付かれないすべての家庭で存在し、それはしばしば非常に最大数百倍危険であるとみなされる限界まで、濃縮されているという事実によるものである。

住宅の良好な割合（10の1）で、一部の客室で、（特に地上階にある）ラドンの濃度、10000 Bq/m<sup>3</sup>（400 PCI/lの270 PCI/リットル）に達することができる。誰が肺癌を得るための非常に高い可能性がしている住んでいると、それらの部屋ですべての彼の人生を吸う、（ラドンの存在下で喫煙の相乗効果による）。

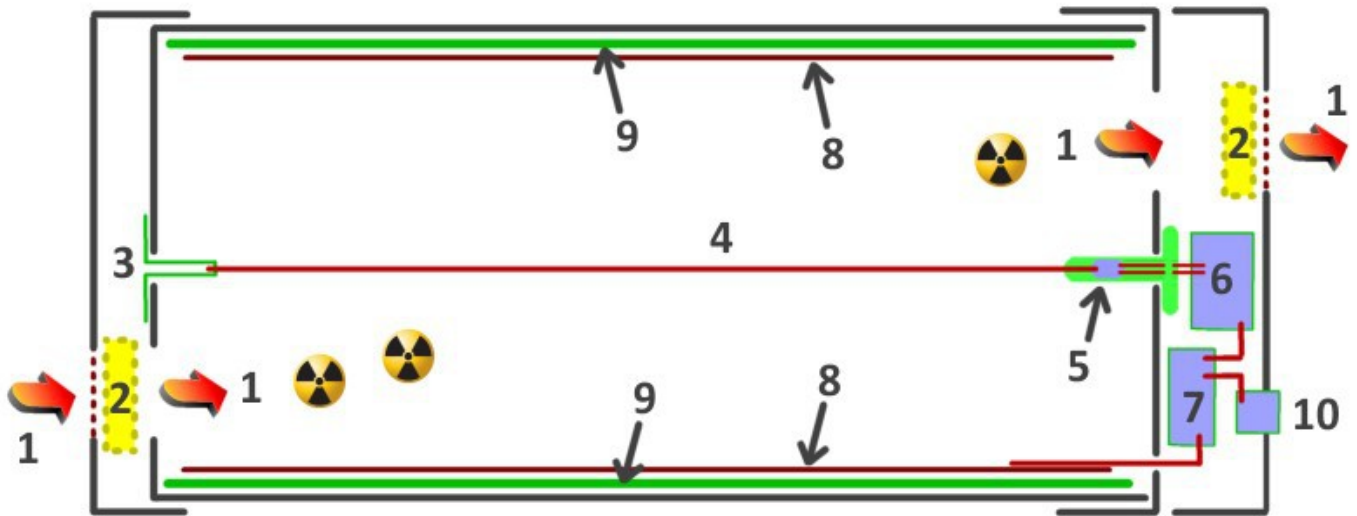
この危険性を知って、解決策は、このような生活空間を変えるとして存在し、空気を循環させたり、それは他の部屋に広がる前に、地下に真空で、ラドンを出す。ただラドンの除去、喫煙を継続しながら、リスクがある半減したが、90%減少していないだけ。

長年以來、このリスクに関する警告ほとんどが無視された研究では、があります。つい最近ラドンの統計では、乗算とその危険性についてこれ以上の疑問があります。

- <http://www.epa.gov/radon/healthrisks.html> # アイオワ研究
- <http://www.bfs.de/en/ion/radon>
- <http://www.hse.gov.uk/radiation/ionising/radon.htm>
- <http://www.wantchinatimes.com/news-subclass-cnt.aspx?id=20111211000031&cid=1105>
- 
- <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/01/24/AR2007012400505.html>
- <http://ukradon.org/ern.php>

これらの文書は、我々はここで行うことができるよりもはるかに優れてラドンの危険性を説明。貢献は、主に、安価な材料で構築することができます "それを自分で行う"メーターで、測定を容易にするであろうハードウェアの店で利用できる。一度構築された、自宅ですべての部屋だけでなく、測定することができるようになり、携帯機器だけでなく、無償でのテストが可能やって数百人を作り、友達に貸しすることができます。残念なことに、"公式"テストではかなりの費用がかかる（50ユーロずつ）や学校などの公共の場所でのみ行われます。ただ、まれ、とだけご要望に応じて、個人の家である。

## 電離箱を示す図



イオンとチャンバは、高さ8センチ、20cmの直径を有する円筒から構成される電気ノイズやほこりから電子部品を保護する1リットル、プラス3カバー、の総量。シリンダーと蓋（ブラックバー）ですブリキで、それらはすべて、電氣的及び機械的に接合し互いに接続されている銅線は半田付けで。

空気や放射性同位体の外室に入る（1 赤い矢印）拡散と対流によって、真鍮のグリルを持つ2つの25ミリメートルの穴を通して、電氣的ノイズから絶縁とダストフィルタとして働いて（2 黄色）

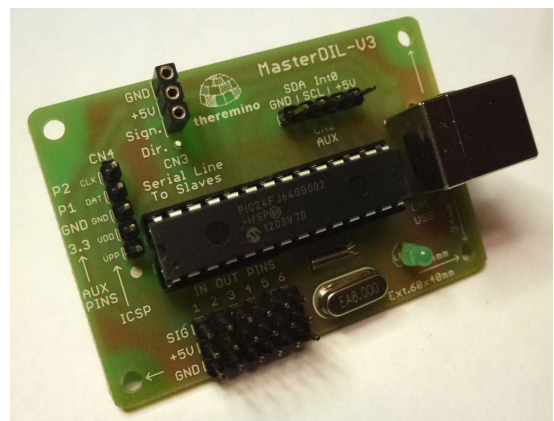
シリンダーの内部は、粘着アルミテープ（または銅）の電極が並んでいます（8 赤）プラスチック絶縁体のシートを用いて外筒から単離さ（9 緑）、高電圧発生器によって作成された、正のボルト400を装填（7 紫）

中央の電極（4 赤）ナイロンタイロッドとの間に、チャンバの両端間にぴんと保持されている（3 緑）FETと低ノイズ（5 紫）。FETは、ノイズを最小限に抑えるために配置され、同一のチャンバ内には、もはや電氣的ノイズの影響を受けにくく強い信号を提供する。

アンプと弁別パルス幅、（6 紫）ラドンとその娘によって生成パルスを分離し、強いとカウントしやすい一定の幅の矩形パルスを出力する。

出力コネクタ、（10 紫）Thereminoシステム標準のピンに直接接続することができます。通常は、ソフトウェアThereminoGeigerに、イオンチャンバー用の電力を供給し、USB経由でカウントを送信し、マスターモジュールを使用します。

シングルマスターはすべてのデータを収集し、メートルのリンクが数百で、6イオンチェンバースまで供給することができます。6チャンバのいくつかもまた、ガイガーアルファ、ベータおよびガンマ線のためのプローブ、または他の環境センサに置き換えてもよい。





## 電離箱と崩壊を数える

電離箱、計数チャンバ及び統合室の2つのタイプがある。通常は文献に遭遇するものは、積分型のものであり、多くの崩壊によって生成平均電流を測定します。統合室は、湿度、温度、気圧などの環境要因に非常に依存している。そう頻繁に、あなたは、不安定かつ不正確で誤解を招くような情報を読み取るイオンチャンバー。これらのレポートは、平均電流（統合）の測定ではなく、個々のイベントのカウントに基づいていない我々の手法、には適用されません。

我々は"電離箱を数える"とその操作され使用される方法の正しい定義は、デジタルカウントで動作する、ガイガー管に似ています。当社の技術の正確な定義については、EPA が分類されたすべてのメソッドをリストする付録1（この文書の末尾に）読む（環境保護庁）。我々の手法は、"CR"として分類される

正確な時間で、与えられた量の崩壊を数える、キャリブレーションは安定しており、簡単に再現可能です。

この技術は、コロムブスの卵のように単純であるが、文献によると、"高価で繊細な電子回路"が必要、ので、ほとんど使用されなかった。これは非常に低い電流ノイズの FET と優れた機能を備えたオペアンプがある今、過去に本当だった。これらの構成要素と、それは個々のイベントを分離し、それらをカウントすることは容易である。

## "カウント"と"メディア電流を測定する"の違い

収集するデータは壊変数であるため、良い方法はそれらを一つずつ数えるよりも、ありません。その数を算出しようとする別の方法は、平均電流を測定し、それぞれの崩壊によって生成される電流であるとみなされるもので割ることによって、不正確かつ容易に、湿度、温度、気圧、煙のような変数にだまされている。

湿った空気は、我々が測定するべきものではなく、大きな電流を生成することができます。その他の環境変数は同様に、ちょうど空気中の煙のわずかな存在をたくさんの影響を与え、大幅に測定された電流を減らすことができます。

崩壊は、壁の近くに行われる場合、または部屋の中央に最後に、イオン化した原子の数（従って生成される電流）が変化します。それは同様に、イオン化を引き起こすベータ粒子のランダムな方向に応じて変更することができます。粒子が壁に近くに表示され、中心に向かって移動する場合は、そのエネルギーを開発し、イオン化した原子の最大数を生成します。代わりに、それを逆方向に移動した場合、直ちに部屋の壁に衝突し、微小電流で、その結果、いくつかのイオン化した原子を生成する。崩壊のさまざまなイベントは、したがって、一つのイベントでも 10 回の別の違いで、別の方法での平均電流に寄与することができます。



それはどのようにチャンバーの統合と正確な測定を行うことが可能であることは謎である。別に冗談は、それはすべてを補うことは本当に難しいです。煙の最終的な存在は、同様にチェックする必要があります（ただし、行われないことがない）

幸いにして、パルスをカウンティオンチャンバーは、長い時間から、"先行技術"です。最古のバージョン（ただし、特許を取得した）1954年にさかのぼり、月と1989年8月から特許カールJ.カーシュナーとエドワードT.バージェスによって4827224と4859854は、特許をチェックするには（2013年であること、それは彼らがすでに、4年前に期限切れのことを意味します）もありますが、我々は優秀なGoogle特許することをお勧めします。どちらイタリア、米国に比べて、特許は20年の期間を持って、一度失効し、技術公共、もはや特許です。したがって、イオンチャンバー（カウントと統合室の両方）は、現在、自由に利用可能です。

計数は、湿度と空気の圧力に依存するが、唯一の順番にのみ、幾何学的寸法に依存して活性領域の実際の体積はありません。これらすべての要因は、一つのユニットから他方に変化しない、個々のキャリブレーションは、その後、必要とされない。

[illegible]

## 電離箱のサイズによる影響


"啓示固体拡散部屋で：チャンバーの大きさに関する効果を示すために、私たちは最新の技術のいずれかを使用するピサ & INFN の大学で開発された素晴らしいツールの Rstone  の。"  安全サイレン Pro3 の。


室の大きさに応じて特性

	サイズ 室	感度 (CPM / PCI / リットル)	感度 (カウント / 時間 100 Bq/m <sup>3</sup> )	カウントス プリアス背 景	注釈
安全Syrenの Pro3の	20 立方セ ンチメー トル	0.03	2.5	(注 1)	二時間では、信頼性のある指標を持つ ている 危険なレベルのために > 400 Bq/m <sup>3</sup>
Rstone (2)	50 立方セ ンチメー トル	0.06	5	1.2 Bq/m <sup>3</sup> 0.03 PCI / L	一時間では、信頼性のある指標を持つ て 危険なレベルのために > 400 Bq/m <sup>3</sup>
Theremino イオンチャン バー (3)	千立方セ ンチメー トル	2	160	0.4 Bq/m <sup>3</sup> 0.01 PCI / L	一時間では、信頼性のある指標を持つ て また、環境への < 10 Bq/m <sup>3</sup>

適度に安定した測定値 (20%未満の誤り) を得るために必要な時間

	安全Syrenの Pro3の	Rstone (2)	Theremino イオンチャン バー (3)	注釈
10 000 Bq/m <sup>3</sup>	12 から 24 分	6 から 12 分	3-6 秒	家庭で測定されたことがないレベル
Bq/m <sup>3</sup>	2 から 4 営業時 間	1 から 2 時間	40 から 80 秒	これらのレベルは非常に稀である
500 Bq/m <sup>3</sup>	4 から 8 営業時 間	2 から 4 時間	1 から 2 分	まれにのみ
100 Bq/m <sup>3</sup>	20 から 40 営業 時間	10 から 20 時間	6 から 12 分	普通に見出されるレベル
10 Bq/m <sup>3</sup>	8 から 16 日	4 から 8 日	1 から 2 時間	

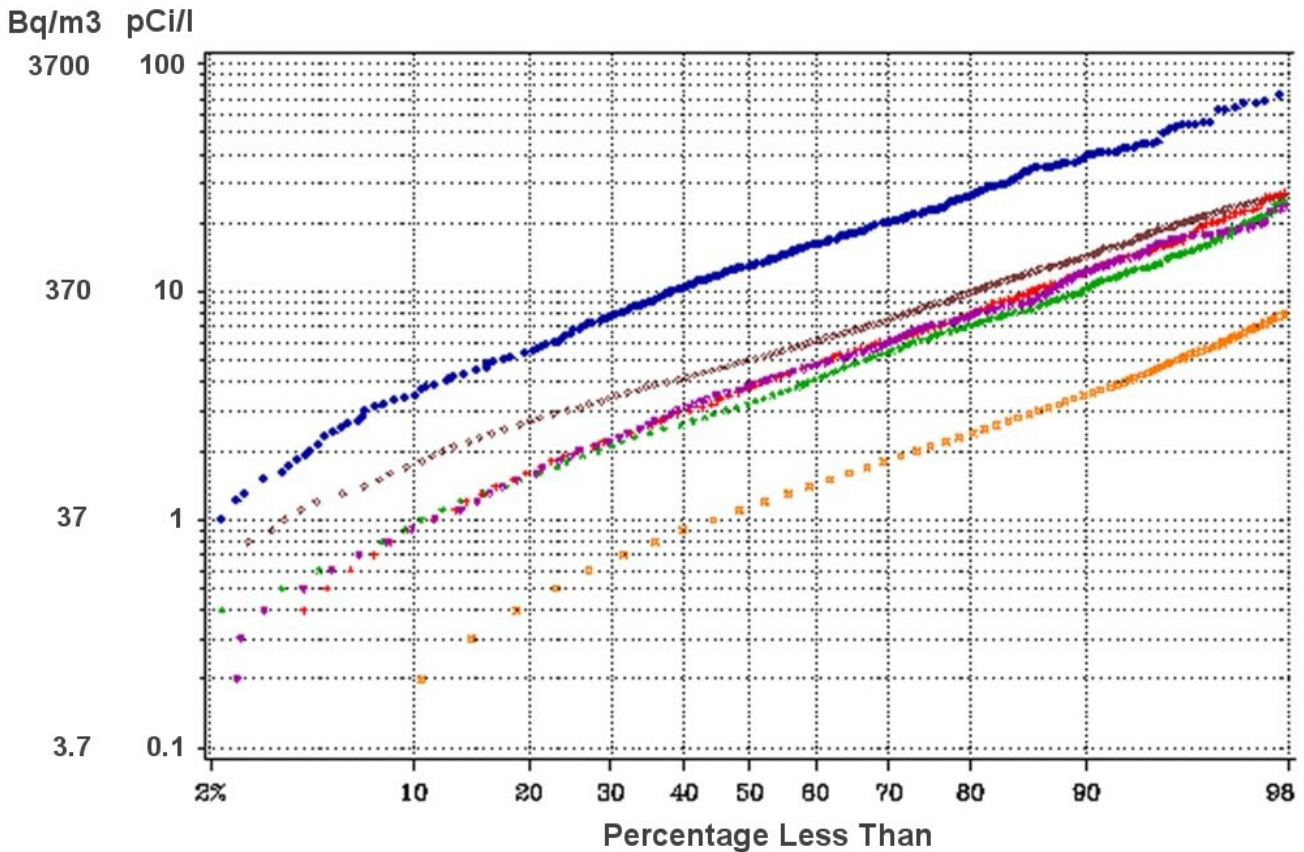
(1) "で公開された仕様によると、安全サイレン Pro3 のユーザーズマニュアル  背景はユーザーマニュアルで、また、インターネットのマニュアルに指定されていません。

(2) " - G. Batignani  INFN ピサ電流測定技術と開発の見通し (パート III) 自然放射能"に掲載さ Rstone データによると、

(3) 倍との間のその後の感度との関係は、つのボリューム間関係から期待できる 20 倍、よりはるかに大きい、小室のように、活性領域のためには、比例して小さくなっている壁の近くに発生する多くのイオン化、。

## 測定される最小値と最大値は何ですか？

この画像は家、ショップや学校の数が多いで、米国で行われて大規模なサンプリングキャンペーンによって収集されたデータを示しています（学校は緑に黄色、幼稚園にあり、店は青、赤と紫褐色の家、）多くの世界中の研究では、これらの同じ結果を与えているが、このグラフは、他よりも優れ、測定する際に遭遇することが最小値と最大レベル。



事例の何千ものサンプルでは、全く測定は屋外で測定され、古典的な 0.2 PCI / リットル (8 Bq/m3) よりも低かったんか、70 PCI / リットル (2600 Bq/m3) を超え

我々は、値の範囲を測定することを、確実に確立することができ、0.1 PCI / L (4 Bq/m3) 100 で PCI / L (3700 Bq/m3)

当社のイオンチャンバー、0.01 PCI / L (0.4 Bq/m3) から 2800 PCI / L (100,000 Bq/m3) への対策は、最大約 30 倍の最大、最小要件の十分の一から。



シンプルな機能テストは、電離箱を屋外に置くことによって、または十分換気された場所で、行われます。これらの条件において、10 Bq/m<sup>3</sup> (0.3 PCI/リットル)と測定されるべきである。これは、キャリブレーションではなく、nは濃度は実際に測定した場合 0の問題は、10.2 または 15.9 または 7 Bq/m<sup>3</sup> T ST T は、干渉によるジャンプせず、代わりに目に見えて曲線が必要であり、対策に影響を与えないように。EPAのガイドラインでは、背景が、40未満 Bq/m<sup>3</sup> (1 PCI/リットル)、入手が非常に簡単値であることを指定します。屋外当社のチャンバーは、通常 10 Bq/m<sup>3</sup> (約 0.3 PCI/リットル)の周りに測定します。





## イオンまたは電子?

順番に計数室、電気パルス製品は、電子やイオンによって、増幅された内容に応じて、2つのサブタイプに分けられる。

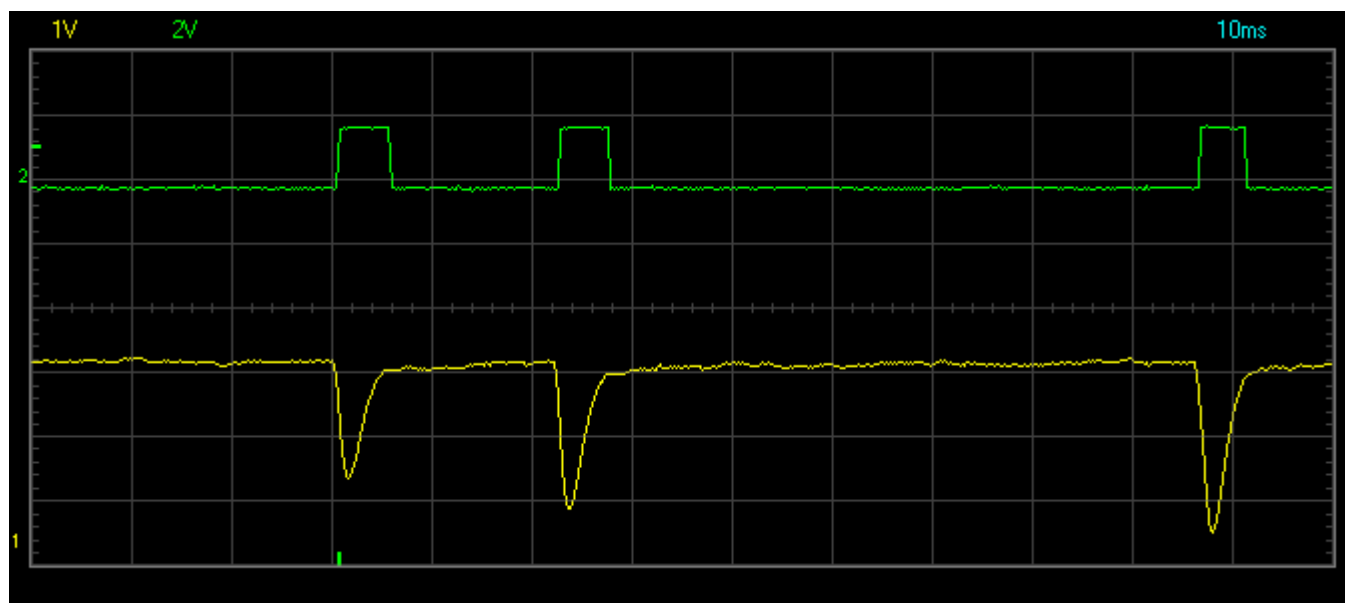
まず、この推論続いて、選択は、イオンと電子の間の極性に依存すると考えられて：外側が負の場合、中心電極は正であり、電子を捕捉する。それが否定的であるならば反対側に、それは、イオンを捕捉するであろう。しかし、我々は "電位差" と電流を測定するように、最初の分析では、イオン電流や電子1の増幅の間に差がないと思うかもしれません。

差が存在している必要があります電子は非常に小さく、大きくて重いイオンよりも速く移動する、したがって、電子によって生成された電気パルスは、（数マイクロ秒）短く、その代わり、それらの相対的なイオンには、より長い千倍（数ミリ秒）である

この理由から、我々は、スイッチングの可能性、高電圧発生器を自分自身を装備迅速、正と負極性の間に、イオン電流、電子1を増幅するこのようにして、長所と短所で確認します。





の帯域幅（既にかなり困難な作業）を増幅しなければなりません。さらに悪いことに、電子部品のノイズ、帯域幅の増加とともに増加するが、区別することはほとんど不可能に 入力回路の背景雑音（ここでは低雑音FET）からの電子によって生成されたパルスは、

我々は、数百 Hz に、帯域幅が制限され、イオンが生成されたパルスに対して、信号とノイズとの間の最大比を得るためには、増幅回路に最適化。我々は、したがって、約 40 デシベルの信号対雑音比（100 回）を取得して、これは絶対的な信頼性の高い方法で、ノイズからの壊変によって生成パルスを分離することができます。帯域幅は、電子の 10 MHz であるべきしかし比率がノイズから、パルスを分離することは非常に難しく、数 dB 単位にドロップします。



バックグラウンドノイズ（ミリボルト数十）に関連してきれいな黄色のパルス、（数ボルト）に注意してください。緑色のパルスは避けるために、シュミットトリガで、出力パルス、乗と5ミリ秒に正規化されカウント倍増。

## イオンをカウントすると、最大カウント周波数を低下させる？

これは本当です。理論的には、電子と、我々は達し、いくつかの MHz に到着する可能性が **2200 万** ピコキュリー リットルあたり、反対で、イオンを数え、我々は到達することができます のみ **100 Hz** の T□□□□□ **2800** ピコキュリー リットルあたり（約である 立方メートル当たり **103600** ベクレル）

ラドン測定用としては十分な二〇から八回の余裕を持って、100 PCI/I のカウントアップている。

最大カウント周波数に近づいて、パルス数が徐々に増大し、失われた。この効果は、統計的計算を行い、ほぼ完璧に復元し計数ソフトウェア（Theremino\_Geiger）、スケールの上部の直線のパラメータ "BKG" を調整することによって補償することができる。

## 電圧の極性

一度イオンが現在増幅することを決定した、理論は、それが正イオンを引き付けるために、中央の電極上室と負の外側に、中心電極に正の高電圧をイオンを収集するために優れていることを言います。

ちょっとうるさいなので、私たちは、これがもう一つの興味深い発見にもたらし、自分自身を確認したかった。

我々は数ミリ秒のパルスのために最適化帯域幅を持つイオン電流を増幅する場合、**2** つの極性の違いは（または非常に小さいので、無関係であるため）が存在しない

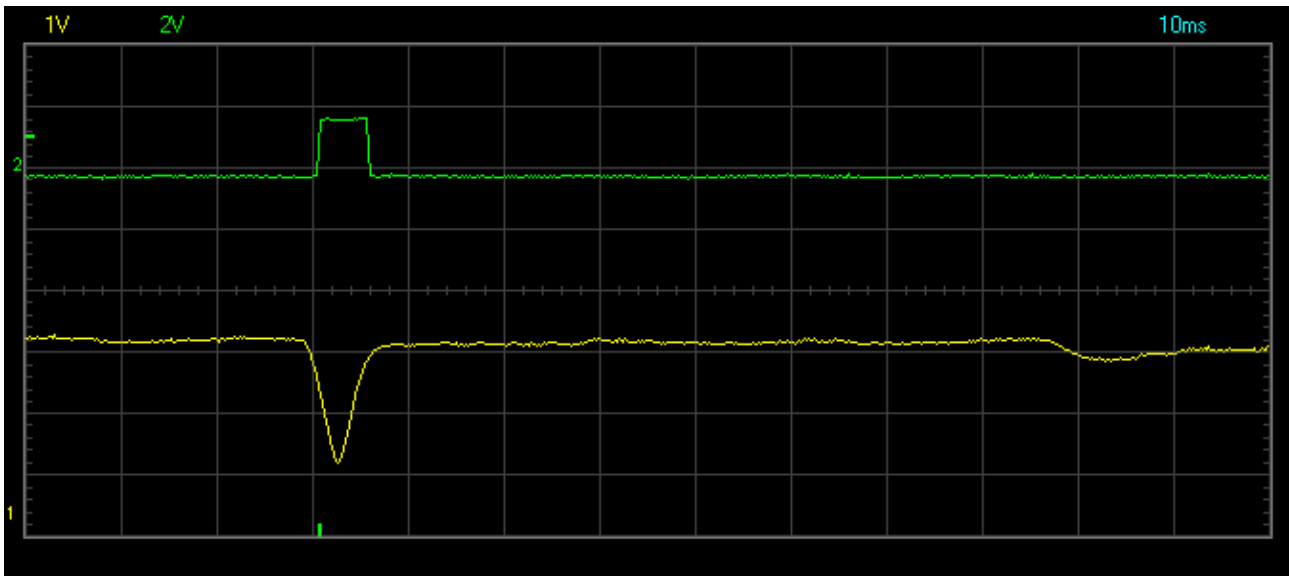
おそらく私たちが測定すると、現在ではありませんが、電流によって生じる "電位差" のように違いは、ありません。誰かが良い説明を見つけた場合、私たちに知らせてください。

結論：それは理論的な考察に好まると高い正電圧電源を作ることにも簡単であるように、私たちはすることを決めた 正の電圧で外側コーティングを分極 Q

正の電圧を使用することのさらなる利点は、FET の電子回路に電圧を与えた後、はるかに短い時間（数秒）で安定化されることである。ポジティブで、接合ボルト未満にゲート電圧を制限するためである。負の高電圧で、反対側、特に制限されないが、ゲートは、現在の損失の前にほとんどの分を取って、30 以上ネガティブボルトに低下し、ゼロ電圧に戻ります。

## エネルギー弁別

我々の実装では、増幅回路は、ノイズによるダブルカウントを防ぐことに加えて、パルスがカウントされませんこれを下回る最低電圧しきい値を設定し、時限シュミット・トリガが含まれています。



上側のトレースは、方形パルス弁別トリガによって生成された出力です。

下のトレースは、トリガ前の信号を示しています。左のラドンによって生成パルス、右、その振幅が、未満 **500 mV** であること、カウントされない一つないし二つの近接した、にしながら。

しきい値は約 **500 mV** で設定されています。

ラドンとその娘のアルファ崩壊、(**5.8 MeV** のは) **13** ボルトの **1** の振幅とパルスを生成。

ベータおよびガンマ崩壊は、振幅、**0.1** ボルト未満の非常に小さなパルスを生成する

ベータとガンマ崩壊は、離れて **1** 未満 **MeV** の最大のエネルギーを持っていることから、アルファ壊変より **100** 倍マイナー電子-イオン対の数を作成します。

空気中に存在するイオンは、彼らは常に生産最小限の電圧になり、それらの少数の個々のイオンやクラスター、あるので、カウントが発生することはありません。ラドンのアルファ崩壊は少なくとも千倍の信号を生成する、千約百電子-イオン対を生成します。

でも、オゾン発生器を配置、右測定室の隣に、カウントがイオンと自由電子のように、上昇しない、グラウンドに接続されている真鍮製のメッシュの密なグリッドを通過し、チャンバを入力することはできません。



## その娘によってラドンの差別

ラドン自体の娘を区別するために、二つのダストフィルタに加えて、薄い透明なポリエチレン（プラスチック袋）の層を追加する必要があります。ポリエチレンはパスラドンではなく、その人の娘を聞かせて。これらのフィルタを使用すると、ラドンは、ポリエチレンをゆっくり拡散しているため、チャンバーの安定時間、通常の半分の時間よりもはるかに長くなる。

直感に反するようだが、あなたはラドンの娘を出すフィルタを入れた場合、校正係数を変更する必要はありませんでした。入ったラドンは、すぐに娘とその崩壊の生産の間、平衡の条件を開発しているためです。

いくつかの研究は、特定の条件下では、ラドン及びその娘の濃度は、それらの異なる原子量に起因する異なる拡散速度に起因する異常であってもよいことを示している。これは、場合にのみ発生します 空気が完全に残っている。実際の居住住宅では、対流輸送は最小限、よく下にラドンと娘の間の平衡の不足のために、拡散および測定誤差を超えている優勢 +/- 30%、私たちの目標。

我々は、速度を犠牲にして精度に興味を持っていません。日の単一の検索には限界、一日必要と測定を行う。この単一の尺度でも 10% で正確かもしれないが、それは、ドアを開けたり、別の部屋に入って、完全に別の値を測定するのに十分だが、最大 300%、多かれ少なかれ。これを念頭において、我々の意見では、それがさまざまな条件、オープンとクローズの窓、別の部屋などに多くの測定を行うことの可能性と、正確さの 30% にとどまることをお勧めします...

ラドンによって生成崩壊は、彼の娘の娘は、父親のラドン減衰として、同じ生物学的損傷について行うこと (5.5  $\overline{\text{S}}$  6.8 MeV の) 意味のものと非常に類似したエネルギーを持っている。これは、私たちは、それが環境に存在しているように、フィルタを用いて成分の割合を変更することなく、空気、ラドンと娘の混合物を測定するために右であることを考えるように導く。しかし、法律は直接、値は、減衰の不明瞭なコレクションである単位体積に比べて活性の点で表現されることを必要とするか、または ラドンに間接的に起因する。

## ラドンと娘の間の平衡

との間の関係 ラドンとその娘の濃度は、通常のように表される。

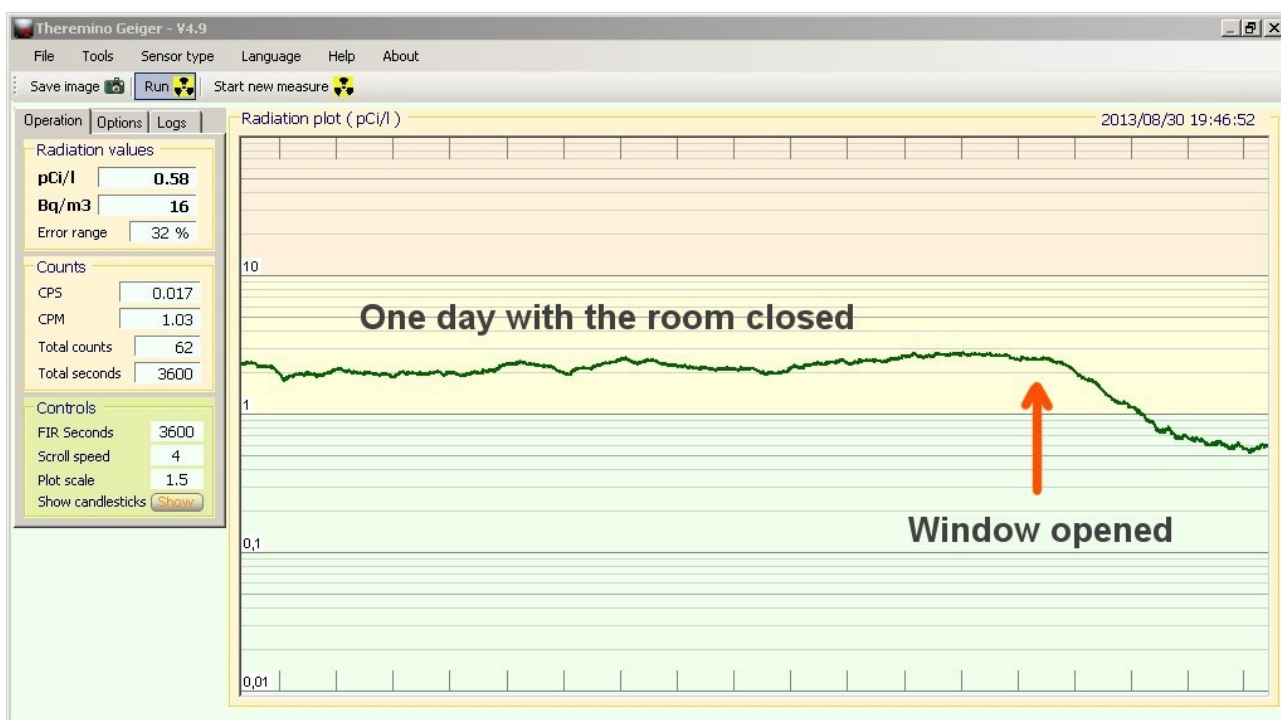
空気中のラドンの平衡/有効濃度のラドンの F = 濃度

F (屋内環境) が  $0.4 \overline{\text{S}} 0.5 \overline{\text{T}}$  □ □ □

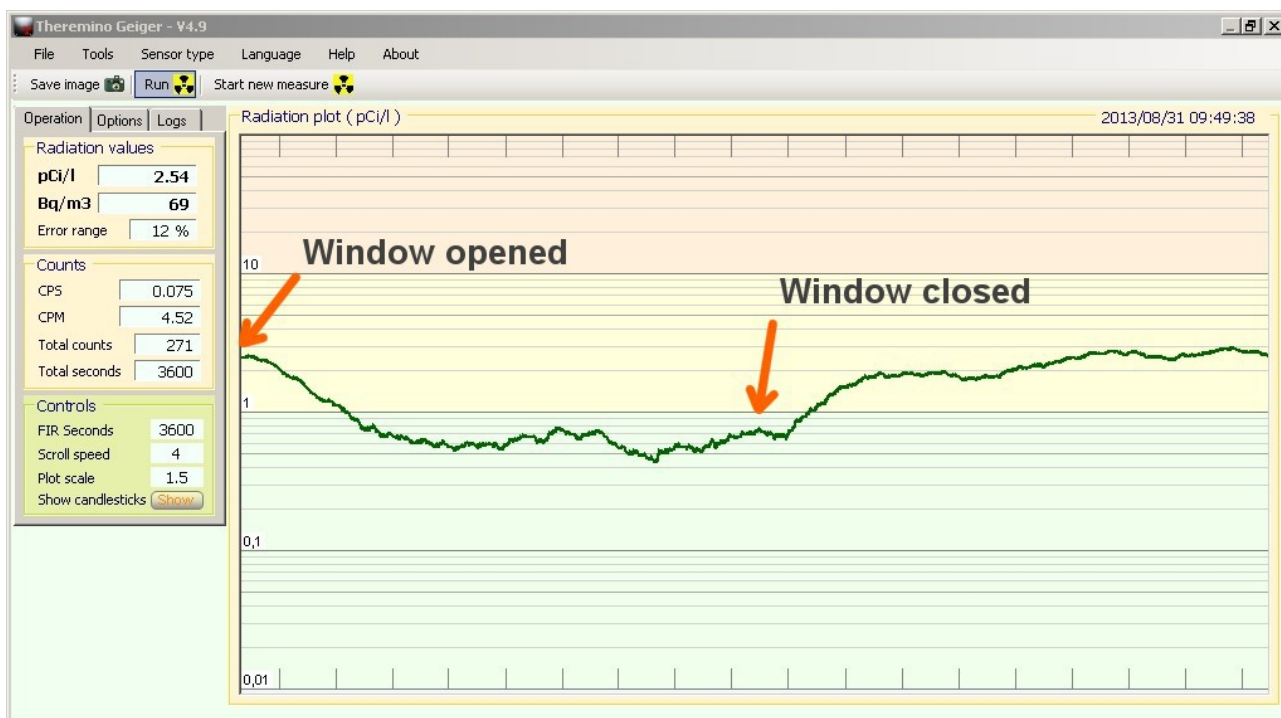
ごく特定のケースでは、（例えば、鉱山）この値は基準と有意に異なる値をとる。

ラドンの娘たちのためにフィルターなしでイオンチャンバーは、F 値の影響を受けて、私たちの興味のある環境では、この影響が最小限に抑えられている。

## グラフィックテスト



このグラフでは、その日のために閉鎖され、それが約 **3 PCI / L (100 Bq/m3)** で安定してかなり普通の部屋を見ることができます。右部分に、とすぐウィンドウが開かれているように、濃度が減少し始め、数時間で、それが約 **0.5** にもたらされる通常より少し多くである **PCI / L (約 20 Bq/m3)** 外気の濃度。



ここで我々は再び、ウィンドウを閉じ、濃度が再び上昇し始めていることがわかりますが、もっとゆっくりと部屋全体が徐々にラドンで満たされなければならないように。

## 商業家電チャート

これらのグラフは、値が期待されているかのアイデアを与え、ラドンの濃度の経時通常のバリエーションは、何ですか。

### RS300 Radon Test

Serial #01394

Calib. #31022

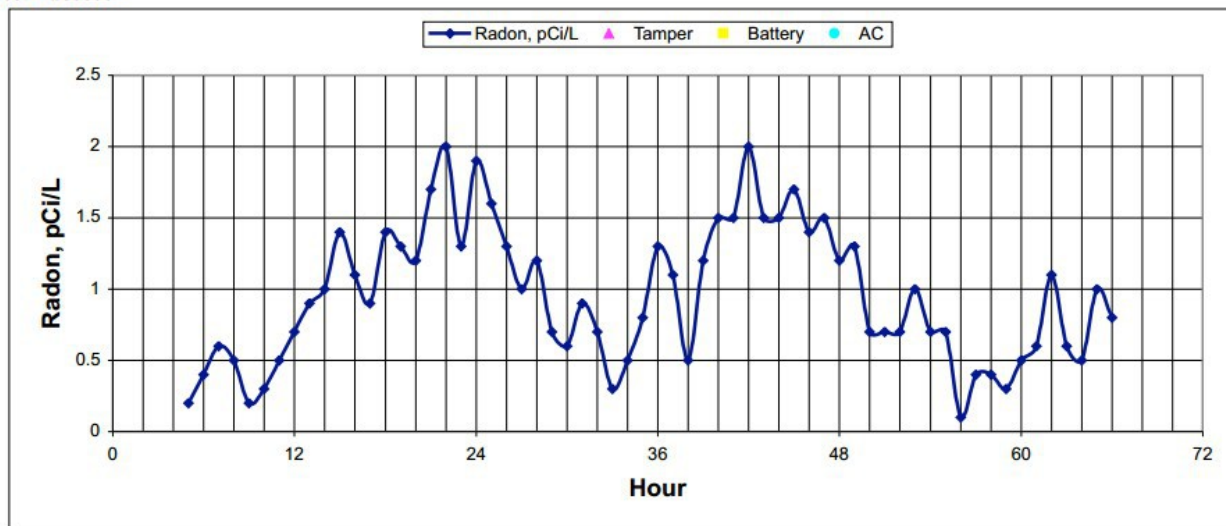
TestID #30008

Address

Location Living Room

Technician DeWitt Kimball

Average Radon Level, pCi/L: 0.9



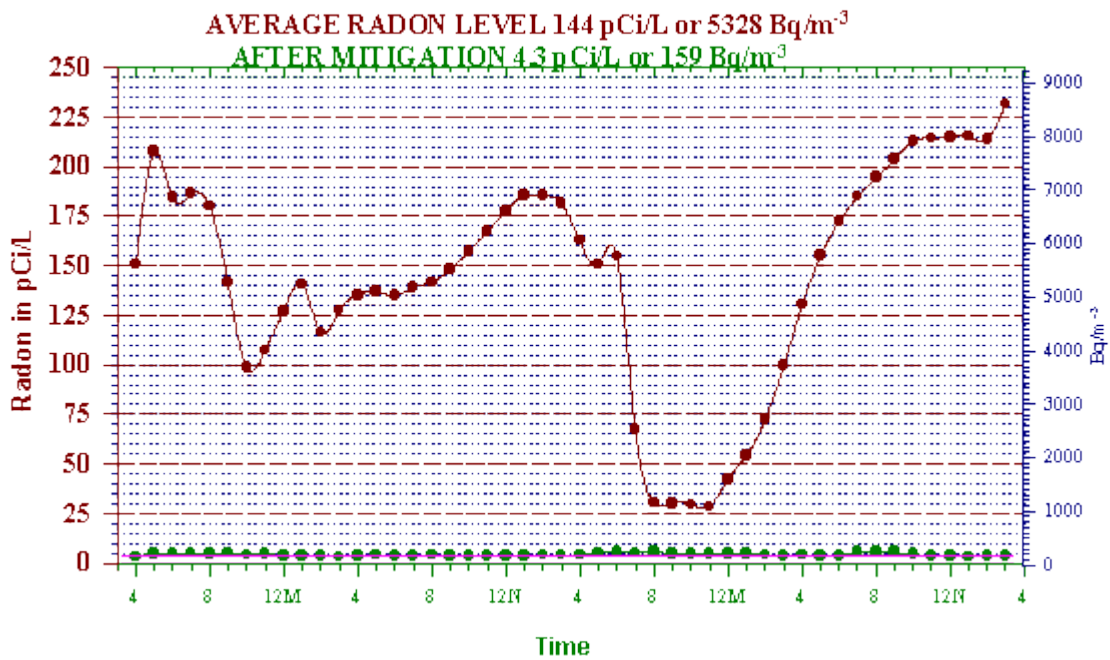
このグラフからわかるように、日中であっても、非常に大きな変化を見ることは非常に正常です。数時間では、それは  $20 \pm 1$  pCi/L (3.7 Bq/m<sup>3</sup>) の最小値に、2 pCi/L (74 Bq/m<sup>3</sup>) の最大値から変更することができます。使用されたものは、かなり高価（約200ドル）および商用装置であるため、十分に高速である。商用アプライアンスは通常、データの各時間を送信する、私たちのグラフィックスではなく、1秒あたり1です。

これらのバリエーションは、順番に、家の様々な部分の間の圧力の変化を引き起こす温度変化に起因している。でも、風と動き回る人々は、空気の上層と混合するため、下部に停滞する傾向があるラドンを助ける。見落とされないようにドアや窓の開閉です。このようなチャートは、さらに適応することなく、人や他の迷惑要因の動きがあったことを想像して簡単にしましょう。

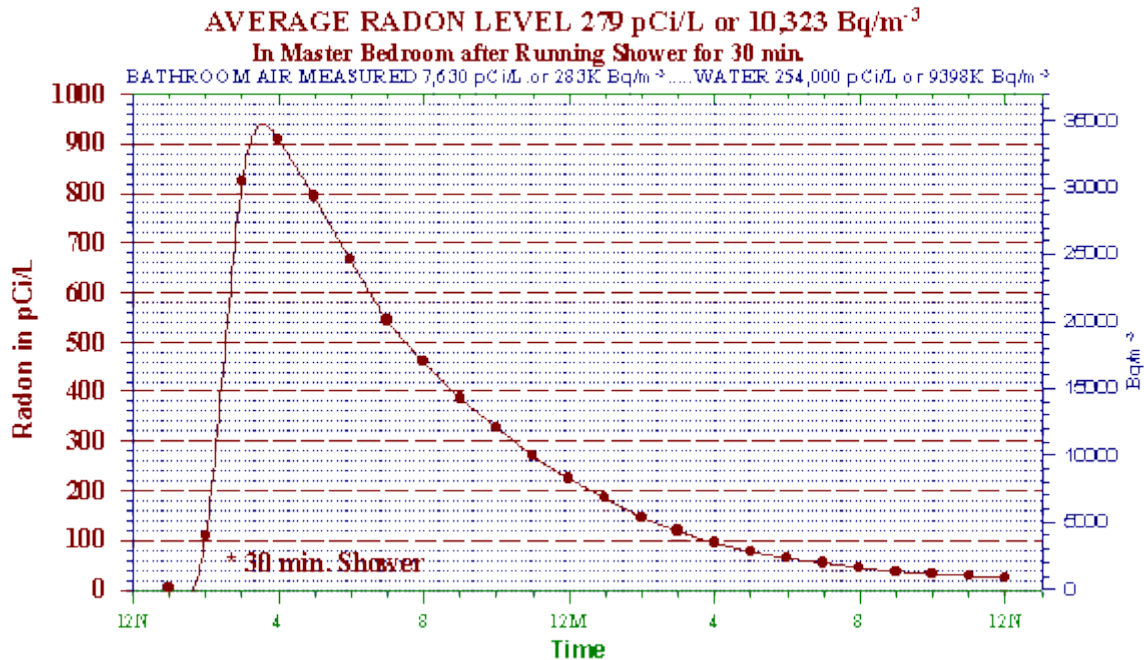
比較のために、ここではほとんどの日に閉じたまま、部屋のグラフです。

時間をかけて測定の実定性に注意してください。残留起伏は、ランダム性の崩壊から、その後、ラドン濃度の変化から原因もつとある。





この画像は本当の危険の場合には、期待できるものの良い例です。グラフは、リクエストに応じて操作を実行すると "緩和" の介入が必要な家を意味しアメリカの会社によって作られた。介入前の水準にはEPAが古い家のために、最大値として考慮することを20倍400 Bq/m<sup>3</sup>でした。プロセスの後、ラドンは、約200 Bq/m<sup>3</sup> (約5 pCi/L) に完全に安全なレベルに低下した。



ここでは、ラドンが予想しないような方法で、多くの場合、どのように動作するかを示しています。本当に好奇グラフを、持っている。バスルームでは（小さくて完全に閉鎖）、ただ、30分間シャワーを開いて信じられないレベルまで濃度を上げた。あなたは井戸から水を使う場合にのみ起こり、給水からの水で、通常は発生しません。



## 特長

### Theremino IonChamber特長

検出器 パルス状の電離箱  
サンプリング 受動拡散  
測定0.5から74000 Bq/m<sup>3</sup>の範囲 (0.01から2000 PCI / L)  
感度 0.05 cpm/Bq/m<sup>3</sup> (2.0のcpm / PCI / リットル)  
精度 + / -50% (校正不要)  
室容積 1000ccの  
メモリ 無制限と調節可能な間隔  
コスト 約30ユーロ (DIYプロジェクト)



### プロのデバイスの特長 - モニターCRM 510

検出器 パルス状の電離箱  
サンプリング 受動拡散  
measurの範囲。36から7400 Bq/m<sup>3</sup> (1000 PCI / リットル) に  
感度 0.008 cpm/Bq/m<sup>3</sup> (0.3 CPM / PCI / リットル)  
精度 + / -10% (頻繁な校正付き)  
室容積 約150cc  
メモリ 100時間間隔 (4日間)  
コスト 約4000ドル (アクセサリ付き)



### プロのデバイスの特長 - 安全SyrenのPro3の

検出器 パルス状の電離箱  
サンプリング 受動拡散  
measurの範囲。5から37000 Bq/m<sup>3</sup> (0.1から999.9 PCI / L) へ  
感度 0.0008 cpm/Bq/m<sup>3</sup> (0.03のcpm / PCI / リットル)  
精度 + / -20% (工場出荷時のキャリブレーション)  
室容積 約20のcc  
メモリ 5年  
コスト 約130ドル



### 最も人気のあるメートル (感度順)

Instrument	Principle of Detection	Sensitivity (cpm/pCi/l)	Cost (approx)
Safety Syren Pro3	Pulse Ioniz.	0.03	\$ 130
Rsens-Rstone	Solid-State	0.06	\$ 1500
Passive-Sun Nuclear	Solid-State	0.17	\$ 925
Passive RS500	Solid state	0.30	\$ 2145
Passive Femto CRM-510	Pulse Ioniz.	0.30	\$ 3000
Passive-Radon Scout	Solid-State	0.31	\$ 1000
Passive-E-Smart	Current Ioniz.	1.2	\$ 2000
Active Radonics	Scintill. Cell	2.0	\$ 8000
Theremino IonChamber	Pulse Ioniz.	2.0	\$ (*)
Passive Alpha Guard	Pulse ioniz.	2.8	\$ 6000
Active DurrIDGE	Solid-State	2.8	\$ 4500
Active Pylon AB-5	Scintill. Cell	5.7	\$ 3500
Active DOE	Scintill. Cell	8.4	\$ 3000
Active Eberline	Scintill. Cell	24.0	\$ 6000

シンチレーション細胞型は、連続測定を提供しない。使用する前に、マスト、ほこりでフィルタを読み込み、それを測定、フィルタ毎に措置を変更し、校正された空気の流れと時定数でポンプを使用しています。

他はケースやアクセサリを備えたデバイスを終えている間Thereminoは、"それを自分で行う"プロジェクトであるため、(\*) 価格は比較することはできません。

# 付録1 - EPAによってリストのメソッド

EPA（環境保護庁）は、ラドンの測定のために、15の方法を考慮し、2文字の略語でそれらを短縮。

最初の**13**は不連続メソッドです 収集と測定 of 2つの別々のフェーズで構成されています。これらのメソッドは、フォローすることは困難経験豊富な人材や手続きを必要とする、高価で信頼性が低い。彼らは、なぜなら過去に、まだ非常に人気があります 測定の単位はに簡単だったので、大きくて高価なものでした 実験室でそれらを保つとサンプルのみを運ぶ。



**AC** - 活性炭吸収

**LS** - 炭液体シンチレーション

**AT** - アルファトラック検出（フィルタ）

**UT** - フィルタリングされていないトラックの検出

**EL** - エレクトレットイオン所（長期）

**ES** - エレクトレット電離箱（短期）

**GC** - ラドン/活性炭をつかむ

**GB** - ラドン/ポンプ折りたたみバッグをつかむ

**GS** - ラドン/シンチレーションセルをつかむ

**SC** - 三日間の統合は、シンチレーションセルを真空

**PB** - ポンプ折りたたみバッグ（1日）

**GW** - ワーキングレベルグラブ

**RP** - ラドン娘核種の統合サンプリングユニット

最後の二つの方法（**CW**と**CR**）、ラドンの連続測定を可能にする。

**CW** - 連続動作レベルの監視（24時間）

この方法は、それが最大で24または48時間であるにも関わらず、フィルタに塵埃が蓄積し、"連続的"に分類されるポンプに基づいている。それぞれの測定、（通常24時間）フィルターを交換しなければならない前に、キャリブレーション サンプルソースを有する応答が、行われ、ポンプの流量を測定しなければならない。 - アルファ粒子のテストソース - 気流測定器交換用フィルタ：タスクを完了するには、次のものがが必要です。ユーロ、フィルタのコストだけでなく、この種のコストの何千ものデバイスは無視できない。



**CR** - 連続ラドンモニタリング

CR法は、イオンチャンバーと空気ポンプおよび/またはシンチレーションセルのいくつかのより複雑なバリエーションを含む。次のページでは、各メソッドの簡単な説明を読むことができます。、方法CRのシンプルさを注意してください すべての他のものに比べて。



# ラドン測定のための不連続方法

## AC - 活性炭吸収

この方法では、活性炭との密閉容器をサンプリングすると、空気中のラドンが炭顆粒に吸着されている領域で開かれます。サンプリング期間の終了時に、容器を密閉し、分析のために研究所に送ることができる。木炭から吸着されたラドンからの $\gamma$ 崩壊は、キャリブレーション情報に基づいて、シンチレーション検出器と計算にカウントされるサンプル部位でラドン濃度を調べるために使用される。設計によっては木炭吸着検出器は、2週間、長いから、サイト上で展開されます。木炭は、できるのでラドンの継続的吸脱着、方法露光時間にわたって真の統合された測定値を与えるものではありません。炭火で拡散障壁の使用は、気流や高湿度の影響を低減。

## LS - チャコール液体シンチレーション

この方法は、小瓶を用いるラドンをサンプリングするために、活性炭を含有する。2週間（デザインに応じて）の露光期間の後、バイアルを密閉し、分析のために実験室に戻される。木炭上へのラドンの吸着が、AC方式の場合と同じであるが、分析は、その後、シンチレーションカウンターを用いて流体を分析し、シンチレーション液を活性炭で処理することにより達成される。サンプルサイト上のラドン濃度は、毎分パルスをカウントすることにより決定される変換はテーブルをチェックして行われる。

## AT - アルファトラック検出（フィルタ）

検出器は、小さな容器の内側に、特殊なプラスチックやフィルムの小片です。空気が容器に穴をカバーするフィルターを通して、拡散をテストされている。ラドンとその崩壊生成物からのアルファ粒子は、検出器に衝突するとき、彼らはトラックの形状に損傷を与える。試験の最後に、容器を密閉し、読み取りのために実験室に戻される。プラスチックフィルム又は検出器がダメージトラックを高めるために処理され、これらは、次いで、顕微鏡または光学読取装置を用いて、所定の領域に、カウントされる。単位面積当たりのトラック数計数は、試験サイトのラドン濃度を計算するために使用される。アルファトラック検出器の露出は通常3-12ヶ月です。これらの検出器は、真の積分装置であり、測定するために、時間の長さが短いために露出されてもよい高いラドン濃度。

## UT - フィルタなしトラック検出

全くフィルター現在は存在しないことを除いてフィルタリングされていないアルファ飛跡検出器は、ラドン崩壊生成物や他のアルファ粒子エミッタを削除するには、アルファ飛跡検出器と同じ原理で動作します。フィルタなし、濃度ラドン崩壊生成物のうち、検出器から測定し、面積は単にラドンの濃度によって、テストされているで、ラドン崩壊生成物の平衡比に依存する。フィルタリングされていない検出器は、硝酸セルロースフィルムを用いた展示エネルギー依存性。これは減少しますが、完全に平衡比から、校正係数の依存性を補償しない。EPAは、これらのデバイスを使用しないことを推奨理由平衡分率は、あるときには、周辺0.35未満又は0.60より大きい、校正係数を調整する前。EPAは現在、より正確に判断するために、さらに、このデバイスを評価して、パフォーマンス上の平衡分率やその他の要因の影響。これらのテストは、さらにリストからメソッドを現在のプロトコルを開発し、または削除するかどうかの、判断につながる。

## EL - エレクトレットイオン室（長期）

この方法では、静電気帯電ディスク検出器（エレクトレット）は、小容器（リチウムチャンバ）内に位置している。測定期間の間に、ラドン拡散イオンはラドンとその娘の崩壊に起因するチャンバー内のフィルターで覆われた開口部を通じて、エレクトレットの電圧を低減します。校正係数は、ラドン濃度の測定された電圧降下に関する。エレクトレットデザインの変化は、検出器が、長期または短期の測定を行うに適しているかどうかを判断する。この種の検出器は、1-12ヶ月のために配備されてもよい。

## ES - エレクトレットイオン室（短期）

手順は従来の方法とまったく同じであるが、エレクトレットイオンチャンバーが検出器積分真であるので、ラドンレベルが十分に高い場合、それらは、短い間隔に露出させることができる。

### GC - グラブラドン/活性炭

この方法は、活性炭を充填したカートリッジを通して空気を吸引ポンプを使用して、ラドンをサンプリングするように、熟練した技術者を必要とします。カートリッジの設計とエアフローに応じて、サンプリングは15分□1時間かかります。サンプリングの後、カートリッジは、密封された容器内に配置され、解析がほぼ同様である実験室に運ば ACまたはLS方法。

### GB - グラブラドン/ポンプ - 折りたたみバッグ

この方法では、ラドンにアクセスできない材料で作られたサンプルの袋を使用しています。サンプルサイトでは、携帯用のポンプを使用して熟練した技術者は、分析のための実験室に輸送した後、空気で袋を埋めます。通常、空気が下GS法で説明したように分析を行う、バッグからシンチレーションセルに転送される。

### GS - ラドン/シンチレーションセルグラフ

この方法では、熟練したオペレータは、上のバルブを開くことによってのいずれか、シンチレーションセルに、ラドン崩壊生成物を除去するために、フィルタを通して空気を引き込む 以前に予めそれは、平衡状態にある空気がサンプリングされると、それがシールされるまでは、セルを介して空気を吸引したり、真空ポンプを用いて、真空引きされたシンチレータ。分析するために大気試料、細胞のウィンドウ端は、シンチレーション（光パルス）はラドン崩壊から時にアルファ粒子を生成しカウントするため、光電子増倍管に配置され、細胞の内側に硫化亜鉛コーティングを打つ。計算はラドン濃度に、カウントを変換するために行われる。

### SC - 三日の統合には、シンチレーションセルを真空

この方法では、シンチレーションセルは限定的な弁および負の圧力計が取り付けられている。配備の前に、シンチレーションセルが真空引きされる。サンプルサイトでは、熟練した技術者は、負圧をチェックして、バルブを開く。弁を通る流量は非常に遅いので、3日以上サンプリング周期は、細胞を埋めるために必要とされる。サンプリング期間の終了時に、技術者は、バルブを閉じて負圧力計カウンタをチェックし、実験室のセルに戻る。分析手順は、約上述のGS法と同様である。この方法の変形例は、分析のためのシンチレーションセルに転送されるサンプル空気を必要とする上記バルブが、剛性容器での使用を伴う。

### PB - ポンプ - 折りたたみバッグ（1日）

この方法では、ラドンが通過できない材料のサンプルバッグは、24時間にわたって充填されている。これは、通常、サンプリング期間中に、所定の間隔で少量の空気を圧送するポンプセットすることによって達成される。サンプリングした後、分析手順は、GB法の場合と同様である。

### GW - グラブワーキングレベル

この方法では、既知の体積の空気をフィルター上にラドン崩壊生成物を集め、フィルターを通して引っ張られる。サンプリング時間は通常5分です。崩壊生成物は、 $\alpha$ 検出器を用いて計数する。フィルタのサンプルが取られた後にカウントは、正確なタイミングで行わなければなりません。最も一般的に使用される2つのカウント手順はKusnitzとTsivoglouメソッドです。

### RP - ラドン子孫統合サンプリングユニット

この方法では、低流量の空気ポンプは、フィルターを通して継続的に空気を引っ張る。、使用される検出器に応じて、 フィルター上に捕捉崩壊生成物から放出される放射線は、2熱ルミネッセンス線量計（TLDの）、アルファ飛跡検出器、またはエレクトレットに登録されています。現在利用可能なデバイスは、家庭用電気供給へのアクセスを必要としますが、熟練したオペレータを必要としません。展開は、単に最後にサンプリング周期とオフの開始時にデバイスを回す必要があります。サンプリング周期は、であるべきである 少なくとも72時間。サンプリングした後、検出器アセンブリはに出荷されます 実験室、アルファトラックとエレクトレットタイプの分析は、他の場所でこの付録で、これらのデバイス（ATTEL<sup>®</sup>ES）で説明した手順を使用して実行されます。 TLD検出器は、TLD検出器を加熱し、放出された光を測定する測定器によって分析される。計算では、ラドン濃度に光測定に変換します。



# ラドンを測定するための連続法

EPA（環境保護庁）機関、ラドン、CWとCRの連続測定のための唯一の2つのメソッドを一覧表示

## CW - 連続ワーキングレベルの監視（24時間）

この方法は、これらのデバイス、リアルタイムでそのレコードのラドン崩壊生成物の測定を含む。ラドン崩壊生成物は、フィルターを通して、空気の連続的な励起によってサンプリングされる。接合検出器または表面障壁型検出器、それらが崩壊しつつ、このフィルタでは、ラドンの崩壊生成物によって生成されたアルファ粒子をカウントします。モニターは一般後でリコール、所定の時間間隔でカウント数を保存するマイクロプロセッサが含まれています。プログラムの測定試験の測定時間は約24時間である。

欠陥:

- 計測機器および付属品のコストが高い。
  - ポンプは一定の流れを提供する必要があります。
  - 測定はまた空気の湿度に依存します。
  - エアダストのポンプの連続は、迅速ので、定期的に清掃する必要がある蓄積する。
  - フィルタは（少なくとも24時間または48時間）は、各測定前に変更する必要があります。
  - 流量が徐々に時間をかけてカウントを変更する、埃の蓄積と、減少する。
  - 対策はで撮影されていません キャリブレーションは、テスト・ソースが、任意の測定に行わなければならないことを意味する定義されたボリューム。
- エアフィルター、ソース・キャリブレーションと 流量計は、さらに高価これらのデバイスを作成します。
- "連続"とアピールにもかかわらず、現実には尺度は、定期的に停止する必要があります フィルタを変更します。



最後に、再びEPAノートから翻訳し、ここで私たちはイオン室と2つの類似のバリエーションを含むCRメソッドを持っている。

## CR - 連続ラドンモニタリング

これらのデバイスは、ラドン濃度の連続変動を測定。空気が汲み上げられる またはスプレッド 通常は細胞シンチレーションあるカウントチャンバー内 または電離箱 電子回路 ラドン濃度に係数を算出する。

我々は、太字で当社のイオンチャンバーに関連する部分を強調している したがってとして分類: "EPA CR法に従って拡散タイプ、カウントを通じてラドンの連続測定のためのイオンチャンバー、"

