

## 「河野研究室便り」

### パルス波形弁別法による 高感度トリチウムガスモニター

#### 1. はじめに

トリチウムの排気中濃度限度は化学形が明らかでない場合、 $3 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$ である。トリチウムから放出される  $\beta$  線の最大エネルギーは 18 keV であり、非常に弱く、他の  $\beta$  線放出核種に比べると、高感度の測定が難しい。トリチウムは、医学や生化学などに関連する多くの施設で取り扱われているが、概ね液体状である。したがって液体シンチレーション測定装置により、高感度の測定を行うことができる。しかしながら、排気ガスに含まれるトリチウムの濃度を連続的に測定するような場合、十分な感度を有する汎用装置はないのが現状である。そのため本研究では、通気型比例計数管にパルス波形弁別法を適用することにより、濃度限度の10分の1程度が検出可能な、高感度トリチウムガスモニターの開発に取り組んだ。

#### 2. モニターの概要

開発したトリチウムガスモニターは、検出器、信号処理ユニットなどで構成される。検出器は長さ 750 mm、直径 70 mm、そして容積 2000 ml の二重円筒型・比例計数管である。計数ガスにはメタンを使用するが、そこにトリチウムが混入していると、その濃度に応じた数のパルス信号が発生し、信号処理ユニットに送られる。このユニットで、信号波形のライズタイムにもとづく弁別（波形弁別法）処理を行うことにより、トリチウムのベータ線信号のみを取り出すことができる。こうして取り出されたトリチウム信号の計数値が、トリチウム濃度を反映している。

#### 3. 評価試験と結果

装置の性能は、印加電圧や空気／計数ガス混合比などの条件に大きく依存する。そのため、トリチウム密封線源を用いて特性試験を行い、それらのパラメーターを決定した。またトリチウム化メタン ( $\text{CH}_3\text{T}$ ) による測定実験により濃度換算係数を求め、検出器のトリチウム検出下限濃度を評価した。その結果、空気混合率 7 % での検出下限濃度として、5分測定の場合  $4.3 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$ 、また 60分測定で  $2.0 \times 10^{-4} \text{ Bq/cm}^3$  を得ることができた。

令和2年9月1日

---

パルス波形弁別法による  
高感度トリチウムガス  
モニター

---

High-Sensitivity Tritium Gas Monitor Using  
a Pulse-Shaping Analyzer

(株)日本遮蔽技研  
郡山校正センター  
河野孝央

---

**ABSTRACT**

---

*A tritium gas monitor was developed by employing the technique of pulse shape analysis. The optimum analyzer values were determined using an enclosed tritium reference source. Thus optimized parameters were applied, and the factor for converting counting rate to tritium concentration was determined by conducting an experiment using tritiated methane gas. Finally, the detection limit of the monitor was evaluated.*

---

---

**概要**

---

パルス波形弁別法を導入して高感度トリチウムガスモニターを開発し、性能試験を実施した。装置の性能は印加電圧や空気/計数ガス混合比などの条件に大きく依存するため、これらの条件をトリチウム密封線源での実験によって決定した。またトリチウム化メタンによる測定実験を行って、濃度換算係数を求め、トリチウム検出下限濃度を評価した。

---

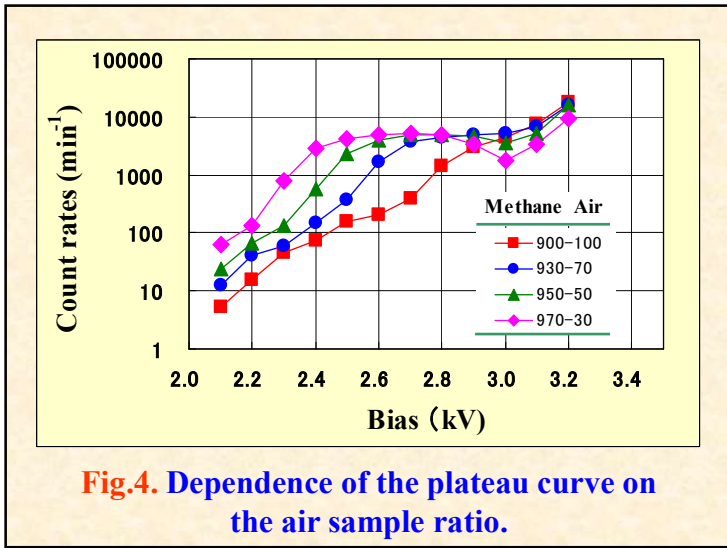
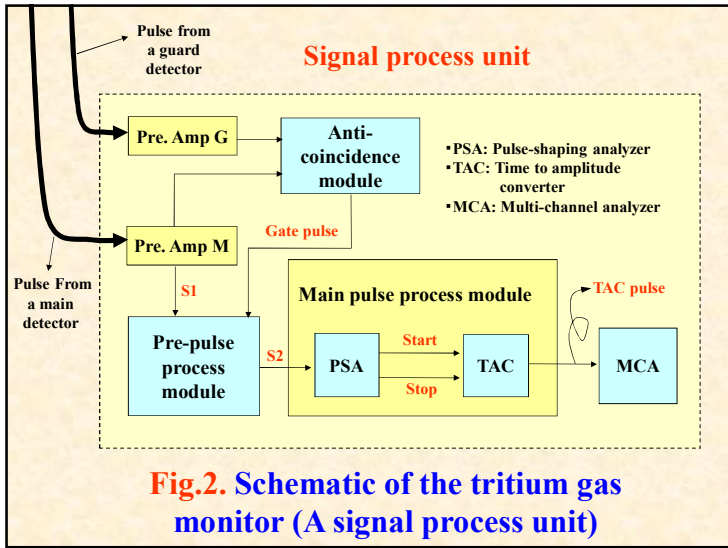
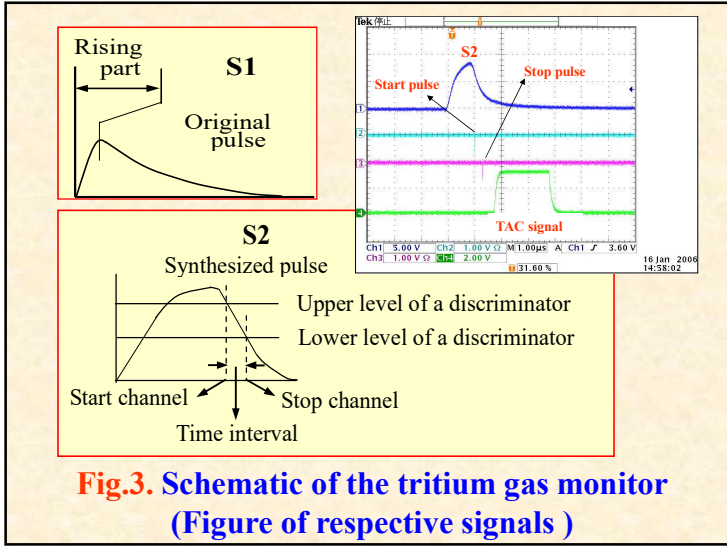
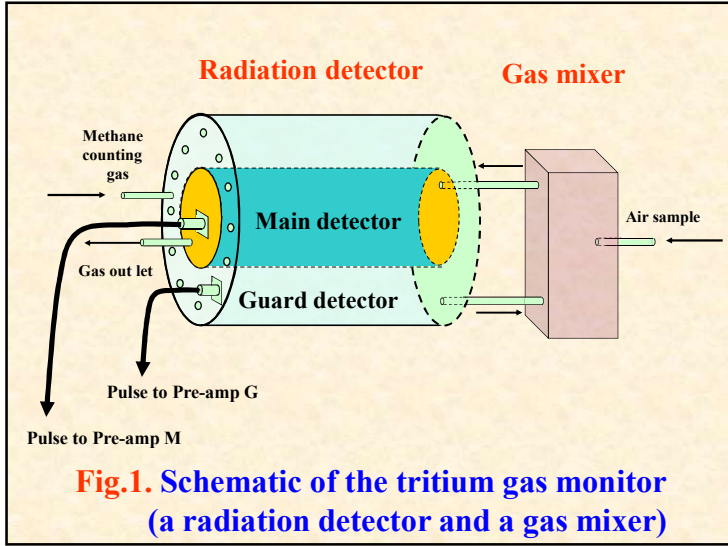
---

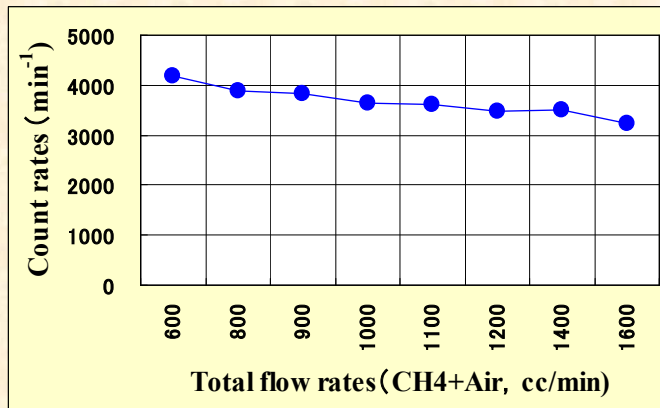
**RESULTS**

---

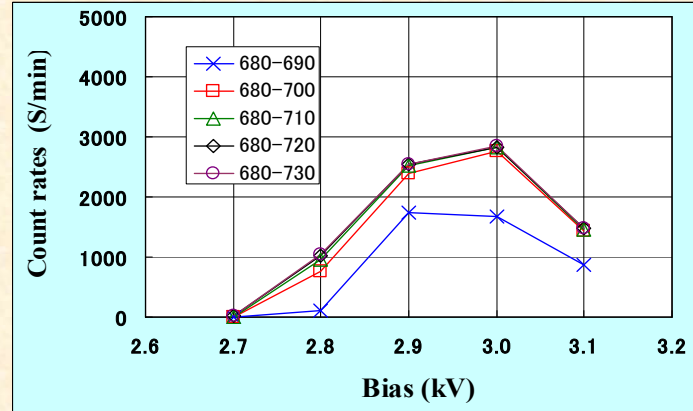
*It was found that the detector can measure as low as  $2.0 \times 10^{-4}$  Bq/ cm<sup>3</sup> and  $4.3 \times 10^{-4}$  Bq/ cm<sup>3</sup> in exhaust gas for 60 min and 5 min measurements. These values represent the measurable concentration limits of tritium for 7 % air samples in methane counting gas. And besides, the anti-coincidence method was not effective for further reduction of noise when pulse-shape analysis was employed.*

---

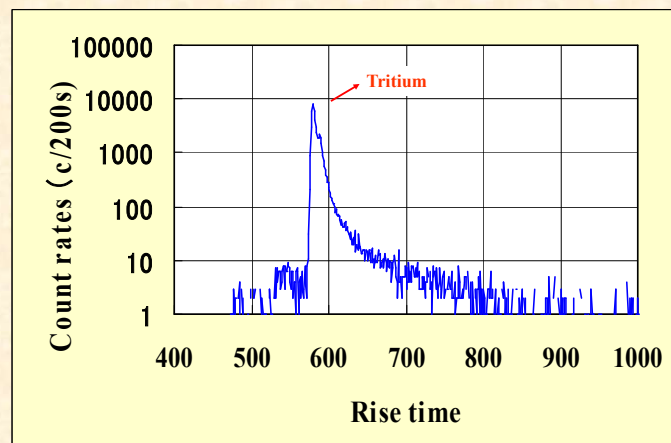




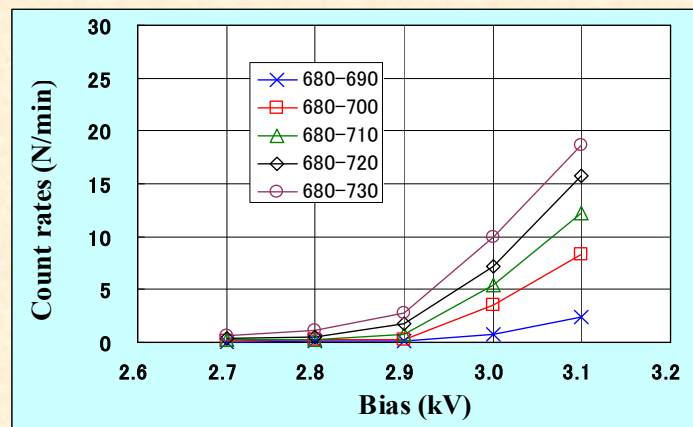
**Fig.5.** Dependence of count rate on the total gas flow rate.



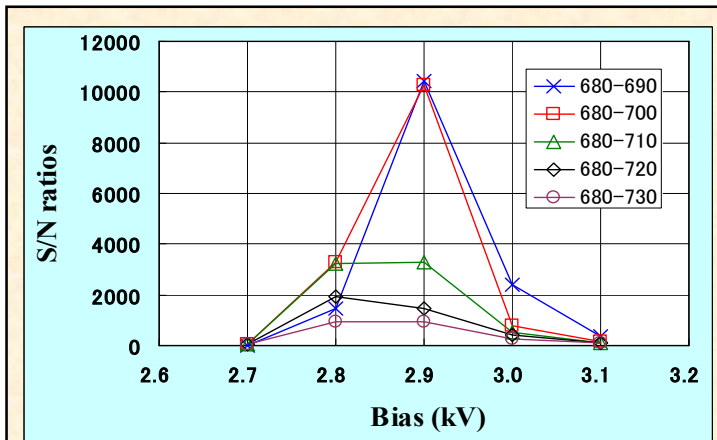
**Fig.7.** Dependence of tritium signal count rate (S) on window and bias.



**Fig.6.** Typical rise-time spectrum of tritium.



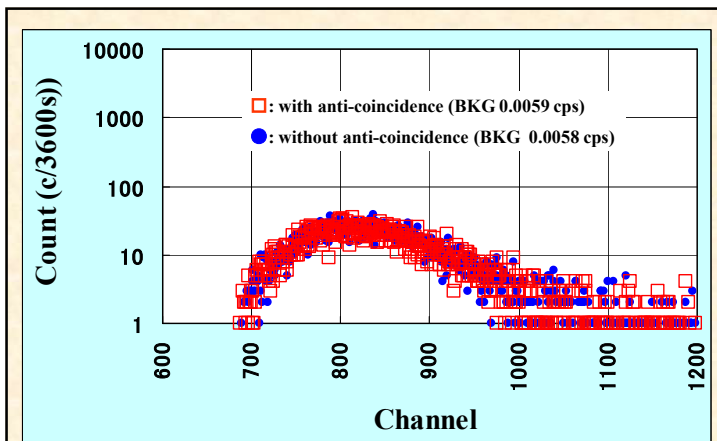
**Fig.8.** Dependence of BKG count rate (N) on window and bias.



**Fig.9.** Dependence of S/N ratio on window and bias.

**Table 1** Conditions for evaluating the performance of the tritium gas monitor.

- ① Anti-coincidence module: detached
- ② Bias : 2.9 kV
- ③ Counting gas flow rate : 930 ml/min
- ④ Air sample gas flow rate : 70 ml/min
- ⑤ Window : 680 – 700 channel
- ⑥ Test gas : CH<sub>3</sub>T) mixed into counting gas (CH<sub>4</sub>)



**Fig.10.** Both rise-time spectra with and without application of the anti-coincidence method .

**Table 2** Definitions of conversion factor and detection limit

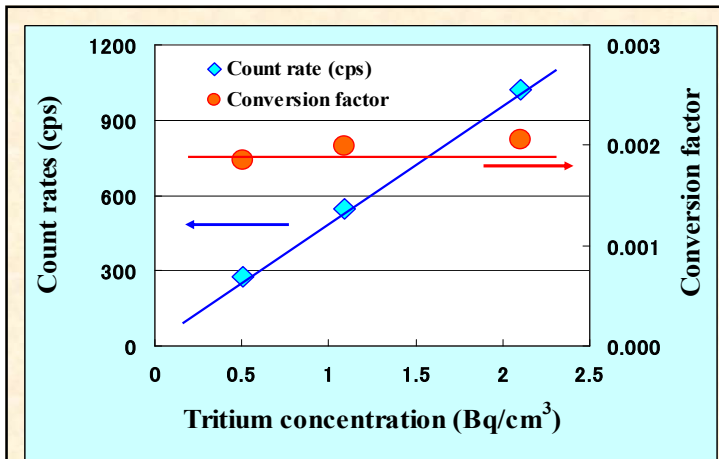
- (1) Conversion factor: **K**  

$$K = R/C \text{ [Bq} \cdot \text{s/cm}^3/\text{c]}$$

R: Tritium concentration [Bq/cm<sup>3</sup>] in gas spread into the chamber of the main detector,  
 C: Measured count rate [c/s].
- (2) Detection limit: **Q**  

$$Q = K \cdot 3Sb \text{ [Bq/cm}^3\text{]}$$

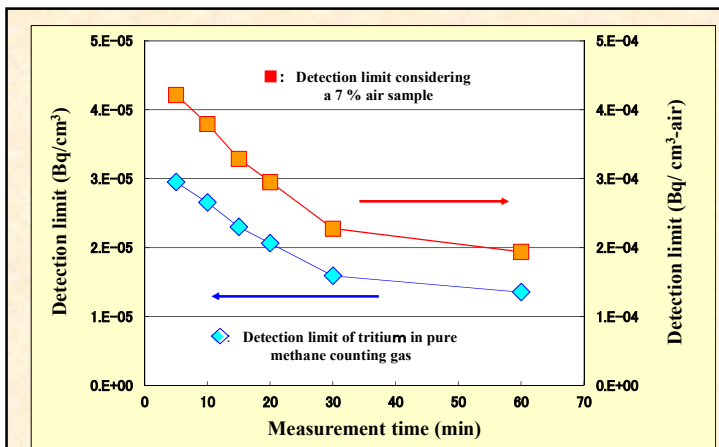
K: Conversion factor [Bq·s/cm<sup>3</sup>/c]  
 Sb: Standard deviation of the BKG measurements  
 (REF. Japanese Industrial Standards, JIS-Z4317)



**Fig.11. Dependence of count rate and conversion factor on measurement time.**

## 謝 辞

以上、紹介させて頂きました高感度トリチウムガスモニターは、私が核融合科学研究所時代に開発したものです。この装置の製作と評価試験において、当時、アロカ株式会社のスタッフの皆様方に、多大なるサポートを頂きました。ここに深く感謝致します。



**Fig.12. Dependence of detection limits on measurement time.**

## 参考文献

**(1) Performance Evaluation of a High-Sensitivity Tritium Gas Monitor Using a Pulse-Shaping Analyzer**

T. Kawano, et al.  
Fusion Science and Technology, 54 189-192 (2008)

**(2) Effect of Air on Energy and Rise-Time Spectra Measured by Proportional Gas Counter**

T. Kawano, et al.  
Fusion Science and Technology Proceedings of TRITIUM 2013 / dx.doi.org/10.13182/FST14-T40 (2014)