

INVESTIGATION OF SENSITIVITY PROPERTY OF GAS FILLED PROPORTIONAL COUNTERS FOR J-PARC BEAM LOSS MONITORS

Mikio TANAKA^{1,A)}, Seishu LEE^{C)}, Makoto TESHIGAWARA^{B)}, Hironao SAKAKI^{B)},
Junichi KISHIRO^{B)}, Takeshi TOYAMA^{C)}, Hiroshi YOSHIKAWA^{B)}

A) Accelerator Engineering Center, Mitsubishi Electric System & Service Co., Ltd (MELCO SC)
2-8-8 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-0045 Japan

B) Tokai Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)
2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195 Japan

C) High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801 Japan

Abstract

The sensitivity property of the proportional counter (P-BLM) has been evaluated with Co-60 γ -ray source. The counter will be used to monitor beam loss in J-PARC. It was confirmed that the sensitivity of P-BLM with Argon-Methane gas depends on the accumulated charge of anode wire, and the reduction of about 25% was observed with the charge accumulation of 3mC/mm. The wire surface has been surveyed in detail by scanning electron microscope (SEM), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), etc. It could be considered that the degradation of sensitivity is caused by polymerized material which prevents the charge accumulation and/or electric field around the anode wire.

J-PARC ビームロスモニター(BLM)用比例計数管の感度特性

1. はじめに

ガス封入型比例計数管はJ-PARCにおいてビームロスモニター用の放射線検出器の一つとして導入される。ビームロスの計測は、加速器の運転調整やインターロックシステムのために不可欠である。そのためビームロスモニターシステムに対して速い応答性、安定性、正確性などが要求されており、それらを満たす検出器の開発を行っている。

アルゴン-メタン(Ar+CH₄)を封入した計数管についてKEK-PSなどで試験を行い、応答性や安定性については実用的であることが確認できた^[1]。さらに比例計数管の長期使用における感度特性を調べるために、2種類の封入ガス(Ar+CH₄, Ar)の比例計数管に対し線(Co-60)照射を行った。照射中において収集電荷量に対し、Ar+CH₄封入管の出力は徐々に減少し、またAr封入管の出力はほとんど変化しない結果が得られた。この要因を調べるために検出器を構成するガスと芯線(ワイヤー)の分析を行い、比例計数管の出力特性との関連や性能向上について検討した。

2. 比例計数管

比例計数管は入射放射線によってガス中に作られたイオン対の電荷を増幅するガス増幅の現象を利用し、電離箱式では検出不可能なレベルの線量でも検出できる。またガスの種類による放射線種の感受性の違いから、ガス種の選択により(X)線、中性子

線検出器として利用されている。

一般的な計数ガスとしてAr:90%, CH₄:10%の混合ガスが広く使われている。一般的に光増幅などによる比例性を損なう現象を抑制するためにAr以外のガスを添加する^[2]。

J-PARCではステンレス(SUS316L) 2重管構造の比例計数管が採用される。外管(34mm, 管長約1000mm)はIFC70フランジを備えてガスを封じる機構となっている。内部には陰極となる内管(27mm)を格納する。内管と外管は電氣的に絶縁される。芯線にはタンゲステンワイヤー(純度99.5%, 径60 μ m, 有効長850mm)を使用する。使用時は内管に負電圧を引加する。また芯線には電圧を引加せず、相対的に正極の状態となる。2重管を採用したことにより、信号処理回路とDC結合することができ、加速器停止時に残留放射線の検出が可能である。またガス、ワイヤーを交換可能な構造とし劣化などによる部品交換に対応可能である。

3. 線照射試験

線照射は日本原子力研究所高崎研究所のCo-60第1照射棟第2照射室で行った。線源は水平長さ200cm×高さ45cmの板状をしており、比例計数管のような長尺物でも線源面に対して平行に設置することで均一な線量率で照射することができる。ここでの試験は加速器室のように様々な放射線が存在する環境ではなく、また放射線出力がパルスではなく連続出力であるため、実環境には即していないが長期

¹ E-mail: mikio@linac.tokai.jaeri.go.jp

使用時の指針になると思われる。

照射試験にはAr+CH₄(90%:10%)およびAr(100%)を封入した計数管を用いた。各計数管を線源から3.5mの距離に設置し照射を行った。このときの照射線量率はアラニン線量計による測定から0.21Gy/hであった。照射は24-26時間行った。照射中は使用時と同様、計数管に電圧を印加し、出力の測定を行った。

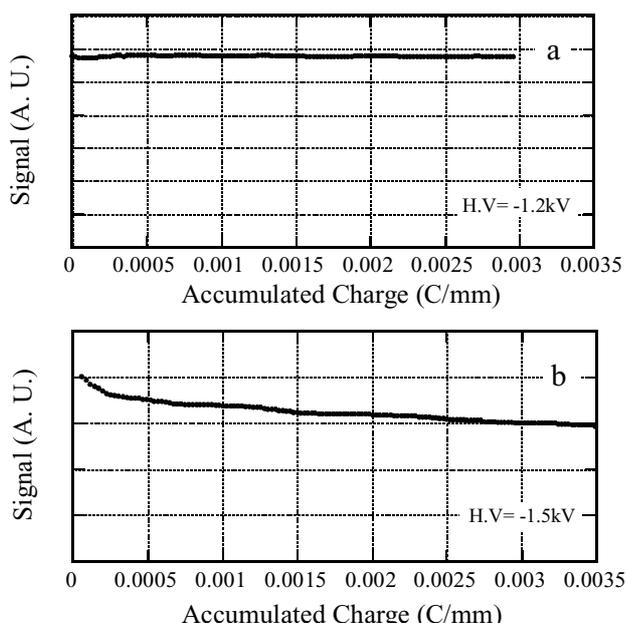


図1 線照射試験中の比例計数管出力特性

- a) Ar封入管
- b) Ar+CH₄封入管

図1(a)にアルゴン封入比例計数管，図1(b)にAr+CH₄封入比例計数管の出力を示す。横軸はワイヤーmmあたりの収集電荷量，縦軸は出力である。出力はAr封入管では終始ほぼ変化しなかったのに対し，Ar+CH₄封入管では照射開始時から徐々に出力が減少し，電荷収集量0.003C/mmの時点で約75%になった。0.003C/mmはJ-PARC運転時DTL付近で想定されるビームロスによる放射線から収集される電荷量の約10年間分に相当する。

4. 比例計数管の感度変化

4.1 芯線（タングステンワイヤー）の分析

図2(a)に新品（未照射）のタングステンワイヤー，図2(b)に線照射後のAr+CH₄封入管のタングステンワイヤーの電子顕微鏡(SEM)写真を示す。新品のワイヤー表面には製造時の引き伸ばしによる細かな筋が多数見られた。線照射後のAr+CH₄封入管では堆積物により表面が覆われ荒く起伏が生じた。またワイヤー全体に一様ではない大きさ数μmの粒状物が多数見られた。Ar封入管のワイヤー表面では所々斑点らしきものが確認されたが，表面を覆うほどではなく，新品の表面形状も保持していた。

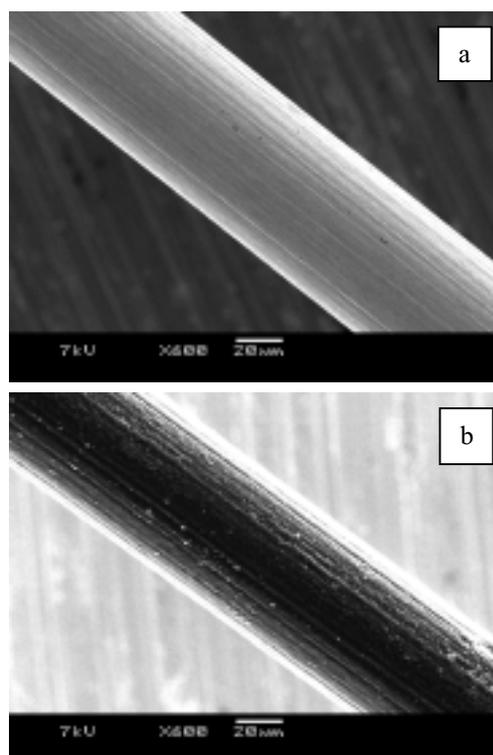


図2 タングステンワイヤーのSEM写真

- a) 未照射（新品）
- b) 照射試験後：Ar+CH₄封入管

エネルギー分散型X線分析装置(EDX)を用いて，ワイヤー表面の元素分析を行った。プローブ電子の加速電圧を9kV，測定範囲を45μm×60μmとした。特性X線スペクトルから新品ワイヤーの表面ではタングステンのピークのみが観測され，線照射後のAr+CH₄封入管のワイヤーではタングステンの他，炭素，酸素のピークが観測された。このことから照射後のAr+CH₄封入管のワイヤー表面には炭化物が付着しているものと考えられる。

さらに顕微反射フーリエ変換赤外分光分析(FT-IR)により付着物について調べた。図3にワイヤーのFT-IRスペクトルを示す。横軸は波数，縦軸は吸光度である。(b)では2850-2950cm⁻¹付近に大きな吸収ピークが複数あることが確認できた。これらは-CH₃，-CH₂-などの炭化水素に含まれるC-H結合の伸縮振動モードに由来している。また1450cm⁻¹，1370cm⁻¹付近のピークは-CH₃，-CH₂-などのC-H結合の変角振動モードに由来している。その他，炭素の二重，三重結合の伸縮振動モードに起因するとみられるピークが観測された。また-OH基のO-H伸縮振動モードが確認された。物質の構造は特定できないが，照射後のAr+CH₄封入管のワイヤー表面には炭化水素化合物が付着していることがわかった。

また質量分析装置を用いたガス分析ではAr+CH₄封入管のAr:CH₄の分圧比が照射前の約9:1から照射後の約10:1に変化し，照射試験後のCH₄の分圧比が小さくなっていた。照射試験中にCH₄が消費されたと考えられる。

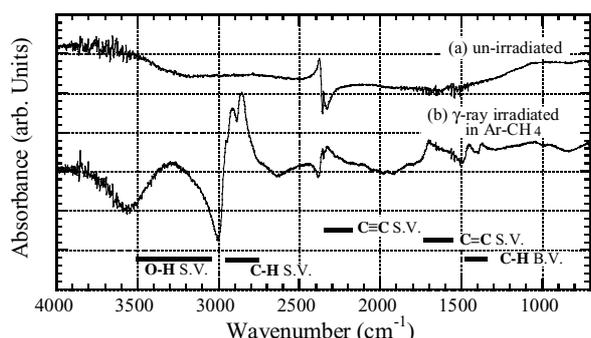


図3 タングステンワイヤーのFT-IRスペクトル
a) 未照射, b) 線照射試験後
S.V. 伸縮振動モード, B.V. 変角振動モード

4.2 感度低下の要因

Ar+CH₄封入管では連続的な線照射実験において、信号出力の減少過程が観測された。その原因として、CH₄の存在が関与していることが考えられる。Ar+CH₄の計数管では、照射後、ワイヤー表面に炭化水素が付着していた。線照射中の信号出力低下は炭化物の付着・堆積が起因していると考えられる。タングステンに比べ電気伝導性の小さな炭化物がワイヤー表面に付着し、その面積や厚さが増すにつれワイヤーの電荷収集性が低下する。また付着物はワイヤー近傍の電界にも影響を与えている可能性もある。炭化水素はCH₄が放射線や高電場下において分解し、芯線近くで再合成、固体化したものと考えられる。

4.3 改良の可能性

比例計数管はLinac部だけで100台近く設置される。感度が連続的に変化するという事は、真のロス量を求めるために補正值の変更が必要となる。また劣化によるワイヤーやガスの交換はその都度、エージングや更正を必要とするため、取扱が複雑になり手間も掛かることが考えられる。

今回の試験結果から計数ガス中のCH₄が付着物の原料となり、信号低下の現象を促進させている。Ar封入管は出力が減少せず、長期的な感度特性は良好である。しかし、Ar以外のガスの添加により高バイアス印加（高増幅）時の安定性や応答性などが向上し^[2,3]、高性能化が望める。そこで添加ガスの機能を

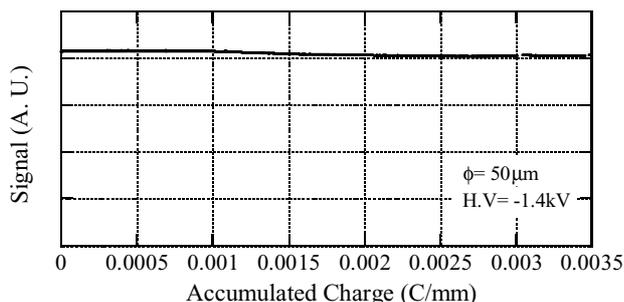


図4 線照射試験中のAr+CO₂封入比例計数管出力特性

有し、付着物の生成の少ない、または生成のないガスを選択することで、CH₄添加時の性能の維持と劣化の抑制を試みた。原子力発電施設などで導入されているアルゴン-二酸化炭素ガス（Ar+CO₂ 99%：1%）は我々の行った加速器施設での試験よりAr+CH₄封入管と比べ、同じロス量に対し、同等の応答性と約2倍の感度を持つことがわかっている^[4]。

図4にAr+CO₂封入管の線照射試験の結果を示す。照射条件は照射線量率が0.27Gy/hであったこと以外はほぼ以前と同じであった。0.003C/mm収集時で約3%の感度低下が見られた。この低下の原因は未分析のため不明であるが、管内の残留水素と二酸化炭素の分解・再合成により、炭化水素化合物が生成しワイヤーに付着した可能性も考えられる。ロス量を求めるために電荷収集量に応じた補正の必要性は残るが、Ar+CH₄封入管と比べ補正幅を小さくできるので誤差も少なくなる。Ar+CO₂ガスはロスモニター用の計数ガスとして有望である。

耐久性が向上することにより、芯線、ガス等の交換が不要になれば取扱易くなる。また計数管の構造の簡略化を計ることができ、ガス漏れ等の不具合を起こす要因を排除できるため信頼性の向上にもつながる。今後、加速器施設において、線照射後の応答、感度特性の検証を行う。

5. まとめ

Ar+CH₄封入比例計数管では長期の使用により感度が著しく低下することがわかった。原因はCH₄を原料とした炭化水素化合物が芯線に付着し、電荷収集性が低下するためと考えられる。添加ガスをCH₄からCO₂に替えることで、検出器として耐久性を含め性能向上が見込まれる。

6. 謝辞

線照射試験において、多大なるご助力、ご助言をいただきました日本原子力研究所東海研究所の草野謙一氏、竹田修氏、増川史洋氏、同高崎研究所の森下憲雄氏、春山保幸氏、横尾典子氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] S. Lee et al., Development of beam loss monitor system in J-PARC Linac, 3GeV RCS and 50GeV MR, Proceedings of the 14th symposium on accelerator science and technology, p.485, 2003
- [2] P.C. Agrawal et al., Use of propane as a quench gas in argon-filled proportional counters and comparison with other quench gases, Nucl. Instr. and Meth. A273 (1988) 311
- [3] Glenn F. Knoll, Radiation detection and measurement, third edition, 2001.
- [4] M. Tanaka et al., Development of beam loss monitor and data acquisition system for J-PARC Linac, Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting, 2004 (Japanese)