

大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器  
性能確認試験報告書  
(令和4年度)

2023年3月

日本原子力研究開発機構  
核燃料サイクル工学研究所  
プルトニウム燃料技術開発センター

本資料は、日本原子力研究開発機構が実施した受託業務の成果を取りまとめたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部又は一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別な許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1194

茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 33

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

核燃料サイクル工学研究所

プルトニウム燃料技術開発センター

技術部 技術管理課

大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験報告書  
(令和4年度)

要旨

本報告は、原子力規制庁殿と国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との間で令和4年4月に締結した受託業務契約「令和4年度軽水炉等改良技術確証試験等委託費（大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験）事業」に基づき実施した保障措置機器に対する性能確認試験の結果をとりまとめたものである。

本業務において性能確認試験の対象とした保障措置機器は、燃料集合体測定機器（AFAS）、バルク工程内 MOX 粉末・ペレット測定機器（AVIS）及び MOX 原料粉末貯蔵容器測定機器（IPCA）である。

AFAS の性能確認試験のうち、「長期管理限界の妥当性確認」では、令和4年4月から令和5年3月までの期間において、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定を実施し、AFAS が正常な状態を維持し、長期間安定して動作していたことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、リストモジュールを用いて  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を測定し、得られたパルス間隔分布が正常であり、各アンプ、また、それぞれが接続されている  $^3\text{He}$  比例計数管及びケーブルが健全に保たれていることを確認した。

「新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（MIC3）の適用性確認」では、MIC3 及び従来のデータ収集ソフトウェア（MIC2）を使用して  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源及び燃料集合体を測定した結果を比較し、それぞれの計数値及び Pu 量に有意な差がなく、MIC3 を AFAS の  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源及び燃料集合体測定に適用可能であることを確認した。

「燃料集合体用保護管の影響評価」では、燃料集合体用保護管がある場合とない場合において燃料集合体を測定した際の各検出器の測定パラメータ、計数値及び Pu 量をモンテカルロシミュレーションコードにより評価した結果を比較し、全ての検出器の計数値及び Pu 量は誤差の範囲で一致せず、燃料集合体用保護管が中性子検出器の測定性能へ影響を及ぼすことを確認した。

AVIS の性能確認試験のうち、「パルス間隔分布の評価」では、AFAS と同様に、得られたパルス間隔分布が正常であり、各アンプ、また、それぞれが接続されている  $^3\text{He}$  比例計数管及びケーブルが健全に保たれていることを確認した。

「プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」では、モンテカルロシミュレーションコードによる評価を実施し、ガンマ線検出器の配置位置の変更が中性子検出器の垂直方向の検出効率プロファイルへ影響を及ぼすことを確認した。

「中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価」では、ノーマリゼーション測定

において  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を中性子検出器のキャビティ内または中性子検出器下部に配置した場合における  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障検知に必要な線源強度を確認した。

IPCA の性能確認試験として実施した、「長期管理限界の妥当性確認」では、令和 4 年 4 月から令和 5 年 3 月までの期間において、連続的なバックグラウンド測定、定期的な線源測定及び分銅測定を実施し、各検出器及びロードセルが正常に長期間安定して動作していたことを確認した。



## 目次

1. 試験概要.....	1
1.1 試験対象機器.....	1
1.2 試験項目.....	3
1.3 試験スケジュール.....	4
1.4 試験実施場所.....	4
1.5 測定パラメータ.....	5
1.6 試験に使用した $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源.....	7
1.7 試験に使用した燃料集合体.....	7
2. AFAS の性能確認試験.....	9
2.1 長期管理限界の妥当性確認.....	9
2.1.1 目的.....	9
2.1.2 方法.....	9
2.1.3 結果.....	12
2.1.4 考察.....	67
2.2 パルス間隔分布の評価.....	68
2.2.1 目的.....	68
2.2.2 方法.....	68
2.2.3 結果.....	71
2.2.4 考察.....	86
2.3 新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア (MIC3) の適用性確認.....	87
2.3.1 目的.....	87
2.3.2 方法.....	87
2.3.3 結果.....	89
2.3.4 考察.....	92
2.4 燃料集合体用保護管の影響評価.....	93
2.4.1 目的.....	93
2.4.2 方法.....	93
2.4.3 結果.....	95
2.4.4 考察.....	99
3. AVIS の性能確認試験.....	100
3.1 パルス間隔分布の評価.....	100
3.1.1 目的.....	100
3.1.2 方法.....	100
3.1.3 結果.....	102
3.1.4 考察.....	111

3.2 プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価.....	112
3.2.1 目的 .....	112
3.2.2 方法 .....	112
3.2.3 結果 .....	115
3.2.4 考察 .....	120
3.3 中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価.....	121
3.3.1 目的 .....	121
3.3.2 方法 .....	121
3.3.3 結果 .....	123
3.3.4 考察 .....	127
4. IPCA の性能確認試験.....	128
4.1 長期管理限界の妥当性確認.....	128
4.1.1 目的 .....	128
4.1.2 方法 .....	128
4.1.3 結果 .....	129
4.1.4 考察 .....	129
5. 結論.....	130
【参考文献】 .....	132

## 図目次

図 1.7-1	封入棒集合体の側面図及び断面図	7
図 2.1.2-1	AFAS 機器接続図	10
図 2.1.3-1	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	14
図 2.1.3-2	バックグラウンドのシングル値 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	14
図 2.1.3-3	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	14
図 2.1.3-4	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28～2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	15
図 2.1.3-5	バックグラウンドのシングル値 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	15
図 2.1.3-6	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	15
図 2.1.3-7	バックグラウンドのダブル値 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	16
図 2.1.3-8	バックグラウンドのダブル値 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	16
図 2.1.3-9	バックグラウンドのダブル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	16
図 2.1.3-10	バックグラウンドのダブル値 (2022/9/28～2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	17
図 2.1.3-11	バックグラウンドのダブル値 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	17
図 2.1.3-12	バックグラウンドのダブル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	17
図 2.1.3-13	シングル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	18
図 2.1.3-14	シングル値と温度の相関 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	18
図 2.1.3-15	シングル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	18
図 2.1.3-16	シングル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	19
図 2.1.3-17	シングル値と温度の相関 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	19
図 2.1.3-18	シングル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	19
図 2.1.3-19	ダブル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	20
図 2.1.3-20	ダブル値と温度の相関 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	20
図 2.1.3-21	ダブル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	20
図 2.1.3-22	ダブル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	21
図 2.1.3-23	ダブル値と温度の相関 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	21
図 2.1.3-24	ダブル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	21
図 2.1.3-25	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	22
図 2.1.3-26	シングル値と湿度の相関 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	22
図 2.1.3-27	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	22
図 2.1.3-28	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28～2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	23
図 2.1.3-29	シングル値と湿度の相関 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	23
図 2.1.3-30	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	23
図 2.1.3-31	ダブル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/6/30) (AFAS-B Collar 検出器)	24
図 2.1.3-32	ダブル値と湿度の相関 (2022/6/30～2022/9/13) (AFAS-B Collar 検出器)	24
図 2.1.3-33	ダブル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Collar 検出器)	24

図 2.1.3-34	ダブル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-B Collar 検出器)	25
図 2.1.3-35	ダブル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-B Collar 検出器)	25
図 2.1.3-36	ダブル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-B Collar 検出器)	25
図 2.1.3-37	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	26
図 2.1.3-38	バックグラウンドのシングル値 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	26
図 2.1.3-39	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	27
図 2.1.3-40	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	27
図 2.1.3-41	バックグラウンドのシングル値 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	27
図 2.1.3-42	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	28
図 2.1.3-43	バックグラウンドのダブル値 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	28
図 2.1.3-44	バックグラウンドのダブル値 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	28
図 2.1.3-45	バックグラウンドのダブル値 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	29
図 2.1.3-46	バックグラウンドのダブル値 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	29
図 2.1.3-47	バックグラウンドのダブル値 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	29
図 2.1.3-48	バックグラウンドのダブル値 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	30
図 2.1.3-49	シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	30
図 2.1.3-50	シングル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	30
図 2.1.3-51	シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	31
図 2.1.3-52	シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	31
図 2.1.3-53	シングル値と温度の相関 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	31
図 2.1.3-54	シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	32
図 2.1.3-55	ダブル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	32
図 2.1.3-56	ダブル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	32
図 2.1.3-57	ダブル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	33
図 2.1.3-58	ダブル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	33
図 2.1.3-59	ダブル値と温度の相関 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	33
図 2.1.3-60	ダブル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	34
図 2.1.3-61	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	34
図 2.1.3-62	シングル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	34
図 2.1.3-63	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	35
図 2.1.3-64	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	35
図 2.1.3-65	シングル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	35
図 2.1.3-66	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	36
図 2.1.3-67	ダブル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30) (AFAS-P Collar 検出器)	36
図 2.1.3-68	ダブル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13) (AFAS-P Collar 検出器)	36
図 2.1.3-69	ダブル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27) (AFAS-P Collar 検出器)	37
図 2.1.3-70	ダブル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17) (AFAS-P Collar 検出器)	37

図 2.1.3-71	ダブル値と湿度の相関 (2022/10/17～2023/2/20) (AFAS-P Collar 検出器)	37
図 2.1.3-72	ダブル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Collar 検出器)	38
図 2.1.3-73	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Top Fork 検出器)	38
図 2.1.3-74	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Top Fork 検出器)	39
図 2.1.3-75	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Top Fork 検出器)	39
図 2.1.3-76	バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Top Fork 検出器)	39
図 2.1.3-77	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Top Fork 検出器)	40
図 2.1.3-78	シングル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Top Fork 検出器)	40
図 2.1.3-79	シングル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Top Fork 検出器)	40
図 2.1.3-80	シングル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Top Fork 検出器)	41
図 2.1.3-81	シングル値と温度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Top Fork 検出器)	41
図 2.1.3-82	シングル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Top Fork 検出器)	41
図 2.1.3-83	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Top Fork 検出器)	42
図 2.1.3-84	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Top Fork 検出器)	42
図 2.1.3-85	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Top Fork 検出器)	42
図 2.1.3-86	シングル値と湿度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Top Fork 検出器)	43
図 2.1.3-87	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Top Fork 検出器)	43
図 2.1.3-88	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Top Fork 検出器)	44
図 2.1.3-89	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Top Fork 検出器)	44
図 2.1.3-90	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Top Fork 検出器)	44
図 2.1.3-91	バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Top Fork 検出器)	45
図 2.1.3-92	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Top Fork 検出器)	45
図 2.1.3-93	シングル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Top Fork 検出器)	45
図 2.1.3-94	シングル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Top Fork 検出器)	46
図 2.1.3-95	シングル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Top Fork 検出器)	46
図 2.1.3-96	シングル値と温度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Top Fork 検出器)	46
図 2.1.3-97	シングル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Top Fork 検出器)	47
図 2.1.3-98	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Top Fork 検出器)	47
図 2.1.3-99	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Top Fork 検出器)	47
図 2.1.3-100	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Top Fork 検出器)	48
図 2.1.3-101	シングル値と湿度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Top Fork 検出器)	48
図 2.1.3-102	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Top Fork 検出器)	48
図 2.1.3-103	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	49
図 2.1.3-104	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	49
図 2.1.3-105	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	50
図 2.1.3-106	バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	50
図 2.1.3-107	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	50

図 2.1.3-108	シングル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	51
図 2.1.3-109	シングル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	51
図 2.1.3-110	シングル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	51
図 2.1.3-111	シングル値と温度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	52
図 2.1.3-112	シングル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	52
図 2.1.3-113	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	52
図 2.1.3-114	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	53
図 2.1.3-115	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	53
図 2.1.3-116	シングル値と湿度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	53
図 2.1.3-117	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	54
図 2.1.3-118	バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	54
図 2.1.3-119	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	55
図 2.1.3-120	バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	55
図 2.1.3-121	バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	55
図 2.1.3-122	バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	56
図 2.1.3-123	シングル値と温度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	56
図 2.1.3-124	シングル値と温度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	56
図 2.1.3-125	シングル値と温度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	57
図 2.1.3-126	シングル値と温度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	57
図 2.1.3-127	シングル値と温度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	57
図 2.1.3-128	シングル値と湿度の相関 (2022/4/15～2022/9/13) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	58
図 2.1.3-129	シングル値と湿度の相関 (2022/9/14～2022/9/27) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	58
図 2.1.3-130	シングル値と湿度の相関 (2022/9/28～2022/11/4) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	58
図 2.1.3-131	シングル値と湿度の相関 (2022/11/8～2023/2/20) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	59
図 2.1.3-132	シングル値と湿度の相関 (2023/2/22～2023/3/7) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	59
図 2.1.3-133	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Top Fork 検出器)	60
図 2.1.3-134	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Collar 検出器)	61
図 2.1.3-135	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	61
図 2.1.3-136	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Top Fork 検出器)	61
図 2.1.3-137	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Collar 検出器)	62
図 2.1.3-138	月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	62
図 2.1.3-139	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Top Fork 検出器)	62
図 2.1.3-140	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Collar 検出器)	63
図 2.1.3-141	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	63
図 2.1.3-142	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Top Fork 検出器)	63
図 2.1.3-143	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Collar 検出器)	64
図 2.1.3-144	計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	64

図 2.1.3-145	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-B Top Fork 検出器)	64
図 2.1.3-146	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-B Collar 検出器)	65
図 2.1.3-147	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	65
図 2.1.3-148	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-P Top Fork 検出器)	65
図 2.1.3-149	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-P Collar 検出器)	66
図 2.1.3-150	計数値と湿度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月) (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	66
図 2.2.2-1	アンプ A のパルス間隔分布の例 (AFAS-B Collar 検出器)	68
図 2.2.2-2	AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図	69
図 2.2.2-3	AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図	69
図 2.2.2-4	AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図	69
図 2.2.2-5	AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図	69
図 2.2.3-1	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	71
図 2.2.3-2	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	71
図 2.2.3-3	AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	72
図 2.2.3-4	AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	72
図 2.2.3-5	AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	72
図 2.2.3-6	AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	73
図 2.2.3-7	AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	73
図 2.2.3-8	AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	73
図 2.2.3-9	AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	74
図 2.2.3-10	AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	74
図 2.2.3-11	AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	74
図 2.2.3-12	AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	75
図 2.2.3-13	AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	75
図 2.2.3-14	AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	76
図 2.2.3-15	AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	76
図 2.2.3-16	AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	77
図 2.2.3-17	AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	77
図 2.2.3-18	AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	78
図 2.2.3-19	AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	78
図 2.2.3-20	AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	78
図 2.2.3-21	AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	79
図 2.2.3-22	AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	79
図 2.2.3-23	AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	79
図 2.2.3-24	AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	80
図 2.2.3-25	AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0～1000 $\mu$ s)	80
図 2.2.3-26	AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0～100 $\mu$ s)	80

図 2.2.3-27	AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	81
図 2.2.3-28	AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	81
図 2.2.3-29	AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	81
図 2.2.3-30	AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	82
図 2.2.3-31	AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	82
図 2.2.3-32	AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	82
図 2.2.3-33	AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	83
図 2.2.3-34	AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	83
図 2.2.3-35	AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	83
図 2.2.3-36	AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	84
図 2.2.3-37	AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	84
図 2.2.3-38	AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	85
図 2.2.3-39	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	85
図 2.2.3-40	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	86
図 2.3.2-1	AFAS 機器接続図	88
図 2.3.3-1	AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較	89
図 2.3.3-2	AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較	89
図 2.3.3-3	AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 の Pu 量の比較	90
図 2.3.3-4	AFAS-B Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較	90
図 2.3.3-5	AFAS-B Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較	91
図 2.3.3-6	AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較	91
図 2.3.3-7	AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較	91
図 2.4.1-1	J-MOX における AFAS の設置環境	93
図 2.4.3-1	AFAS-B Top Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	95
図 2.4.3-2	AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	96
図 2.4.3-3	AFAS-B Bottom Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	96
図 2.4.3-4	AFAS-P Top Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	96
図 2.4.3-5	AFAS-P Collar 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	97
図 2.4.3-6	AFAS-P Bottom Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較	97
図 2.4.3-7	AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合のダブル値の比較	97
図 2.4.3-8	AFAS-P Collar 検出器 保護管なしとありの場合のダブル値の比較	98
図 2.4.3-9	AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合の Pu 量の比較	98
図 2.4.3-10	AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合の Pu 量の比較	98
図 3.1.2-1	AVIS の中性子検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例	100
図 3.1.2-2	AVIS のアンプ配置図	101
図 3.1.3-1	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	102
図 3.1.3-2	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	102



図 3.1.3-3	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	103
図 3.1.3-4	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	103
図 3.1.3-5	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	103
図 3.1.3-6	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	104
図 3.1.3-7	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	104
図 3.1.3-8	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	104
図 3.1.3-9	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	105
図 3.1.3-10	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	105
図 3.1.3-11	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	105
図 3.1.3-12	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	106
図 3.1.3-13	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	106
図 3.1.3-14	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	106
図 3.1.3-15	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	107
図 3.1.3-16	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	107
図 3.1.3-17	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	107
図 3.1.3-18	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	108
図 3.1.3-19	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	108
図 3.1.3-20	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	108
図 3.1.3-21	アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	109
図 3.1.3-22	アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	109
図 3.1.3-23	アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	109
図 3.1.3-24	アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	110
図 3.1.3-25	アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	110
図 3.1.3-26	アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	110
図 3.1.3-27	アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)	111
図 3.1.3-28	アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)	111
図 3.2.2-1	検出効率プロファイル評価における $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源の配置箇所 (垂直方向)	114
図 3.2.2-2	検出効率プロファイル評価における $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源の配置箇所 (円周方向)	114
図 3.2.3-1	実測定による垂直方向の検出効率プロファイル	115
図 3.2.3-2	実測定による円周方向の検出効率プロファイル	115
図 3.2.3-3	Side 配置のシミュレーションモデル (鉛直断面図)	116
図 3.2.3-4	実測定とシミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの比較 (垂直方向)	117
図 3.2.3-5	実測定とシミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの比較 (円周方向)	117
図 3.2.3-6	ガンマ線検出器をキャビティ下部に配置した際のモデル (鉛直断面図)	118
図 3.2.3-7	Side 配置と Bottom 配置の垂直方向の検出効率プロファイルの比較	119
図 3.2.3-8	Side 配置と Bottom 配置の円周方向の検出効率プロファイルの比較	119
図 3.3.2-1	AVIS 中性子検出器の $^3\text{He}$ 比例計数管配置図	121

図 3.3.2-2	$^{252}\text{Cf}$ 中性子線源の測定位置.....	122
図 3.3.3-1	ダブル値の%RSD と線源強度の相関 (キャビティ内) .....	123
図 3.3.3-2	ダブル値の%RSD と線源強度の相関 (中性子検出器下部) .....	123
図 3.3.3-3	ダブル値の差が最も小さい $^3\text{He}$ 比例計数管の位置 (キャビティ内) .....	126
図 3.3.3-4	ダブル値の差が最も小さい $^3\text{He}$ 比例計数管の位置 (中性子検出器下部) .....	126
図 3.3.3-5	ダブル値の%RSD と線源強度の相関 (キャビティ内) .....	127
図 3.3.3-6	ダブル値の%RSD と線源強度の相関 (中性子検出器下部) .....	127

## 表目次

表 1.2-1	AFAS 性能確認試験項目 .....	3
表 1.2-2	AVIS 性能確認試験項目 .....	3
表 1.2-3	IPCA 性能確認試験項目 .....	3
表 1.3-1	性能確認試験スケジュール .....	4
表 1.5-1	AFAS-B 用中性子検出器の測定パラメータ .....	5
表 1.5-2	AFAS-P 用中性子検出器の測定パラメータ .....	5
表 1.5-3	中性子検出器パラメータ .....	6
表 1.6-1	試験に使用した $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源 .....	7
表 1.7-1	燃料集合体の仕様 .....	8
表 1.7-2	燃料集合体の同位体組成比 (集合体平均) .....	8
表 2.1.3-1	Collar 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値 .....	13
表 2.1.3-2	Fork 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値 .....	13
表 2.2.2-1	各検出器におけるアンプ数 .....	68
表 2.4.3-1	AFAS-B 及び AFAS-P の測定パラメータの比較 .....	95
表 2.4.4-1	シミュレーションによる保護管なしとありの場合の増倍 $M_L$ .....	99
表 3.1.2-1	AVIS におけるアンプ数 .....	100
表 3.3.3-1	線源をキャビティ内に配置した際の全ての $^3\text{He}$ 比例計数管が健全な場合と 1 本の $^3\text{He}$ 比例計数管が故障した場合のダブル値の差 .....	124
表 3.3.3-2	線源を中性子検出器下部に配置した際の全ての $^3\text{He}$ 比例計数管が健全な場合と 1 本の $^3\text{He}$ 比例計数管が故障した場合のダブル値の差 .....	125

## 写真目次

写真 1.1-1 AFAS の外観写真 .....	1
写真 1.1-2 AVIS の外観写真 .....	2
写真 1.1-3 IPCA の外観写真 .....	2
写真 2.2.2-1 AFAS のアンプ (AMPTEK A111) .....	70

## 添付資料目次

### 【線源情報】

線源証明書	添付-1
-------	------

### 【AFAS 性能確認試験】

(1) 2.1 長期管理限界の妥当性確認	添付-12
(2) 2.3 新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（MIC3）の 適用性確認	添付-49

### 【AVIS 性能確認試験】

(1) 3.2 プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う 中性子検出器の測定性能への影響評価	添付-54
(2) 3.3 中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価	添付-61

### 【IPCA 性能確認試験】

(1) 4.1 長期管理限界の妥当性確認	添付-67
----------------------	-------

## 1. 試験概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という）は、原子力規制庁殿と令和4年4月に締結した受託業務契約「令和4年度軽水炉等改良技術確証試験等委託費（大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験）事業」に基づき、大型混合酸化物燃料加工施設（以下、「J-MOX」という）に設置される保障措置機器である燃料集合体測定機器（以下、「AFAS」という）、バルク工程内 MOX 粉末・ペレット測定機器（以下、「AVIS」という）及び MOX 原料粉末貯蔵容器測定機器（以下、「IPCA」という）の性能確認試験を実施した。

### 1.1 試験対象機器

#### (1) AFAS

AFAS は、軽水炉用 MOX 燃料集合体用の非破壊測定装置であり、PWR 用の AFAS-P（以下、「AFAS-PWR」または「AFAS-P」という）及び BWR 用の AFAS-B（以下、「AFAS-BWR」または「AFAS-B」という）の2式から構成される。1式の AFAS は、単位長さあたりの Pu 量測定用の中性子検出器 1 台（Collar 検出器）と燃料集合体の有効長（充填されている MOX ペレットのスタック長）測定用の中性子検出器 2 台（Top Fork 検出器及び Bottom Fork 検出器）により構成される。装置の外観写真を写真 1.1-1 に示す。

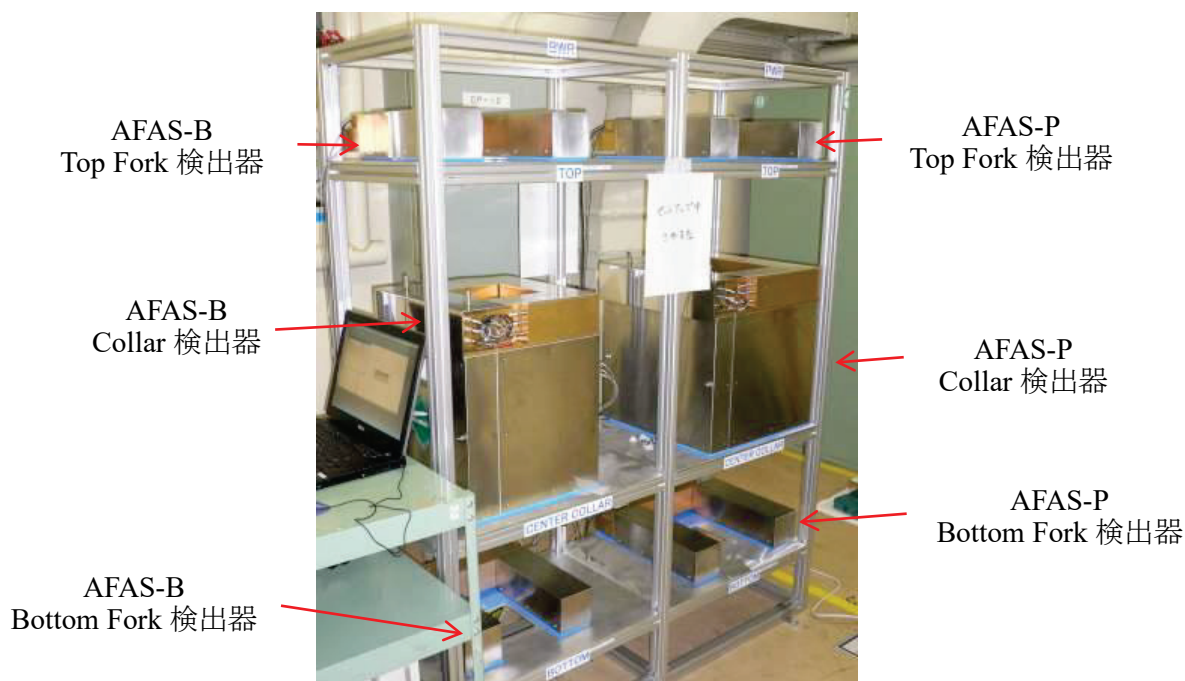


写真 1.1-1 AFAS の外観写真

## (2) AVIS

AVIS は、工程内から収去した粉末及びペレット用の非破壊測定装置であり、Pu 量測定用の中性子検出器及び Pu 同位体組成比測定用の高純度ゲルマニウム (HPGe) 半導体検出器 (ガンマ線検出器) により構成される。装置の外観写真を写真 1.1-2 に示す。



写真 1.1-2 AVIS の外観写真

## (3) IPCA

IPCA は、MOX 原料粉末用の非破壊測定装置であり、Pu 量測定用の中性子検出器、Pu 同位体組成比測定用の電気冷却式高純度ゲルマニウム (HPGe) 半導体検出器 (ガンマ線検出器) 3 台及びロードセル (荷重変換器) により構成される。装置の外観写真を写真 1.1-3 に示す。

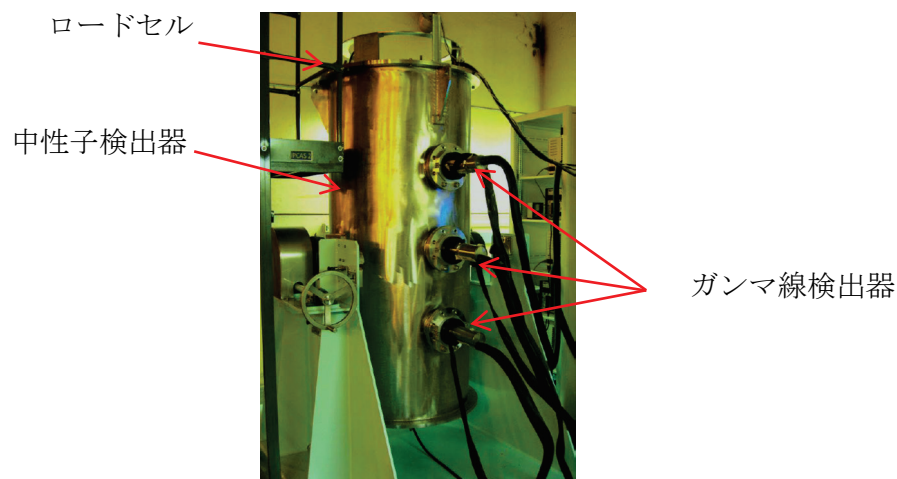


写真 1.1-3 IPCA の外観写真

(公益財団法人 核物質管理センター “H25 年度 大型 MOX 燃料加工施設保障措置試験” 報告書より引用)

## 1.2 試験項目

### (1) AFAS の性能確認試験

AFAS の性能確認試験項目を表 1.2-1 に示す。各試験の詳細については 2.項に示す。

表 1.2-1 AFAS 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
AFAS	長期管理限界の妥当性確認	2.1
	パルス間隔分布の評価	2.2
	新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア (MIC3) の適用性確認	2.3
	燃料集合体用保護管の影響評価	2.4

### (2) AVIS の性能確認試験

AVIS の性能確認試験項目を表 1.2-2 に示す。各試験の詳細な内容については 3.項に示す。

表 1.2-2 AVIS 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
AVIS	パルス間隔分布の評価	3.1
	プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価	3.2
	中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価	3.3

### (3) IPCA の性能確認試験

IPCA の性能確認試験項目を表 1.2-3 に示す。各試験の詳細な内容については 4.項に示す。

表 1.2-3 IPCA 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
IPCA	長期管理限界の妥当性確認	4.1



### 1.3 試験スケジュール

AFAS、AVIS 及び IPCA の性能確認試験スケジュールを表 1.3-1 に示す。

表 1.3-1 性能確認試験スケジュール

内容	令和4年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
性能確認試験												
報告書作成												
試験に係る会合等	<p>JTC<sup>(*1)</sup>会合 (JNFL<sup>(*2)</sup>) ▲</p> <p>JTC 会合 (リモート会議) ▲</p> <p>LANL<sup>(*3)</sup>との技術会合 (LANL) ▲</p>											

\*1: JTC (共同技術会合 (Joint Technical Committee))

\*2: JNFL (日本原燃株式会社 (Japan Nuclear Fuel Limited))

\*3: LANL (米国ロスアラモス国立研究所 (Los Alamos National Laboratory))

### 1.4 試験実施場所

#### (1) AFAS 性能確認試験

- ・プルトニウム燃料第二開発室 試験検査室 (C) (C-137)
- ・プルトニウム燃料第二開発室 集合体貯蔵室 (C-130)

#### (2) AVIS 性能確認試験

- ・プルトニウム燃料第一開発室 燃料要素組立室 (R-120)

#### (3) IPCA 性能確認試験

- ・ロスアラモス国立研究所

## 1.5 測定パラメータ

### (1) AFAS 用測定パラメータ

本年度の試験に用いた AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器の測定パラメータを表 1.5-1 及び表 1.5-2 に示す。

表 1.5-1 AFAS-B 用中性子検出器の測定パラメータ

項目	Collar	Top Fork	Bottom Fork
シフトレジスタの種類	JSR-15	JSR-15	JSR-15
プレディレイ (μs)	1.50	1.50	1.50
ゲート幅 (μs)	64.00	64.00	64.00
印加電圧 (V)	1,720	1,720	1,720
ダイアウエイタイム (μs)	50.0000	50.0000	50.0000
中性子検出効率( <sup>252</sup> Cf)	0.1970	0.0080	0.0060
Multiplicity デッドタイム補正係数	160.0000×10 <sup>-9</sup>	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>a</i>	0.6419×10 <sup>-6</sup>	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	0.1030×10 <sup>-12</sup>	0.0000	0.0000

表 1.5-2 AFAS-P 用中性子検出器の測定パラメータ

項目	Collar	Top Fork	Bottom Fork
シフトレジスタの種類	JSR-15	JSR-15	JSR-15
プレディレイ (μs)	1.50	1.50	1.50
ゲート幅 (μs)	64.00	64.00	64.00
印加電圧 (V)	1,720	1,720	1,720
ダイアウエイタイム (μs)	50.0000	50.0000	50.0000
中性子検出効率( <sup>252</sup> Cf)	0.1620	0.0126	0.0127
Multiplicity デッドタイム補正係数	86.5000×10 <sup>-9</sup>	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>a</i>	0.3458×10 <sup>-6</sup>	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	0.02989×10 <sup>-12</sup>	0.0000	0.0000

(2) AVIS 用測定パラメータ

本年度の試験に用いた AVIS の中性子検出器の測定パラメータを表 1.5-3 に示す。

表 1.5-3 中性子検出器パラメータ

項目	パラメータ
シフトレジスタの種類	JSR-15
プリディレイ(μs)	1.50
ゲート幅(μs)	64.00
印加電圧(V)	1,740
ダイアウエイタイム(μs)	30.00
中性子検出効率	0.6750
Multiplicity デッドタイム補正係数	$72.6000 \times 10^{-9}$
デッドタイム補正係数 <i>a</i>	$0.2904 \times 10^{-6}$
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	$0.0211 \times 10^{-12}$
ダブルゲートフラクション	0.7930
トリプルゲートフラクション	0.6225
スロープ <i>b</i>	$3.240449 \times 10^2$
Alpha weight	1.000
$\rho_0$	$4.707231 \times 10^{-1}$
K	2.166

(3) IPCA 用測定パラメータ

本年度の試験に用いた IPCA の中性子検出器の測定パラメータについては、LANL 報告書 “Technical Specification for the Improved Plutonium Canister Assay System (IPCA 2)” (参考文献 1) を参照のこと。

### 1.6 試験に使用した $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源

本年度の試験に使用した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の線源番号及び中性子放出率を表 1.6-1 に示す。表中の中性子放出率は、各線源の線源証明書に記載されている値を、評価日に合わせて崩壊計算することにより求めた値である。なお、LANL において使用された中性子線源については、LANL 報告書 “Annual IPCA2 Performance Report for JFY22” (添付資料) を参照のこと。

表 1.6-1 試験に使用した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源

線源番号	中性子放出率(n/s)	評価日
H4-694	$2.1 \times 10^4$	2022/4/1
I7-106	$2.8 \times 10^4$	
K7-436	$4.1 \times 10^4$	
Q2-334	$1.3 \times 10^5$	
T1-349	$2.6 \times 10^5$	

### 1.7 試験に使用した燃料集合体

AFAS の性能確認試験に使用した燃料集合体（封入棒集合体）の側面図及び断面図を図 1.7-1 に示す。また、集合体の仕様及び同位体組成比を表 1.7-1 及び表 1.7-2 に示す。本集合体は、プルトニウム燃料第二開発室に残存していた新型転換炉ふげん用製品ペレットを充填した封入棒 28 本から構成されたものであり、前年度（令和 3 年度）に実施した AFAS の性能確認試験においても使用された。

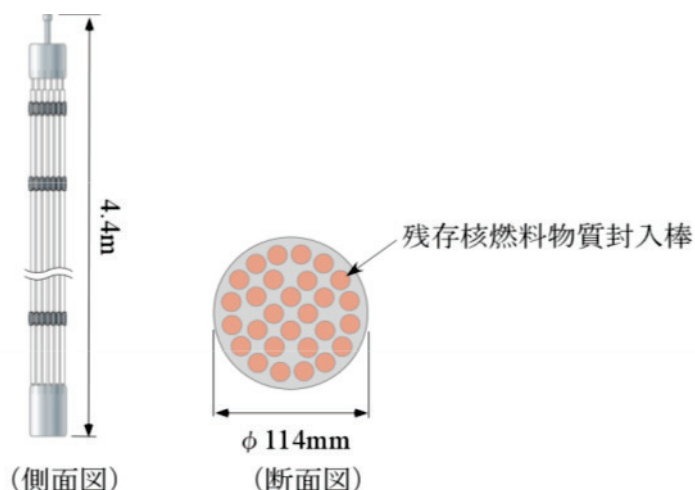


図 1.7-1 封入棒集合体の側面図及び断面図

表 1.7-1 燃料集合体の仕様

集合体 No.	Pu 量 (g)	Pu 含有率(*4) (%)	有効長(*5) (m)	内容
A	3533.991	2.10	3.7	残存核燃料物質 (製品ペレット)

\*4: Pu 含有率(%)=Pu 重量/MOX 重量×100

\*5: 燃料集合体を構成する各燃料棒に充填されているペレットのスタック長の平均

表 1.7-2 燃料集合体の同位体組成比 (集合体平均)

集合体 No.	同位体組成比						崩壊計算日
	<sup>238</sup> Pu (%)	<sup>239</sup> Pu (%)	<sup>240</sup> Pu (%)	<sup>241</sup> Pu (%)	<sup>242</sup> Pu (%)	<sup>241</sup> Am (*6) (%)	
A	1.3233	61.4933	27.8411	3.8401	5.5022	6.3855	2013/1/30

\*6: <sup>241</sup>Am 量/Pu 量×100

## 2. AFAS の性能確認試験

### 2.1 長期管理限界の妥当性確認

#### 2.1.1 目的

J-MOX において査察官非立会測定システムとして使用される AFAS の長期安定性を確認する。また、AFAS の各検出器から得られる計数値の長期管理限界(\*7)の妥当性確認（長期管理限界内に収まっているか否かの確認）を定期的に行う。

\*7: 長期管理限界：長期間の使用を考慮した管理限界（統計的に有効な一定数の測定値をグラフ化した時の、測定値がかなり高い確率で存在する範囲の境界）

#### 2.1.2 方法

連続的なバックグラウンド測定を実施し、AFAS の各検出器の長期安定性を評価すると共に、本測定期間における測定環境の温度及び湿度を測定し、計数値との相関の有無を確認する。

また、定期的な  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定を実施し、長期にわたり取得した各計数値及び誤差より、各検出器の長期管理限界を評価する。また、測定環境の温湿度と計数値の相関の有無を評価する。

これらの測定は、Multi-Instrument Collect（以下、「MIC」という）ソフトウェア及び IAEA Neutron Coincidence Counting（以下、「INCC」という）ソフトウェアを用いて実施する。

本確認は、AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器について行う。

本評価では、1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（H4-694）を使用する。

なお、2022 年 4 月現在、AFAS-B 及び AFAS-P 共に専用の中性子計数装置である AMSR-150（以下、「AMSR」という）が故障しているため、本確認は、代替として JAEA 所掌の Model JSR-12 Neutron Coincidence Analyzer（以下、「JSR-12」という）を用いて実施する。JSR-12 を用いた場合の機器接続図を図 2.1.2-1 に示す。

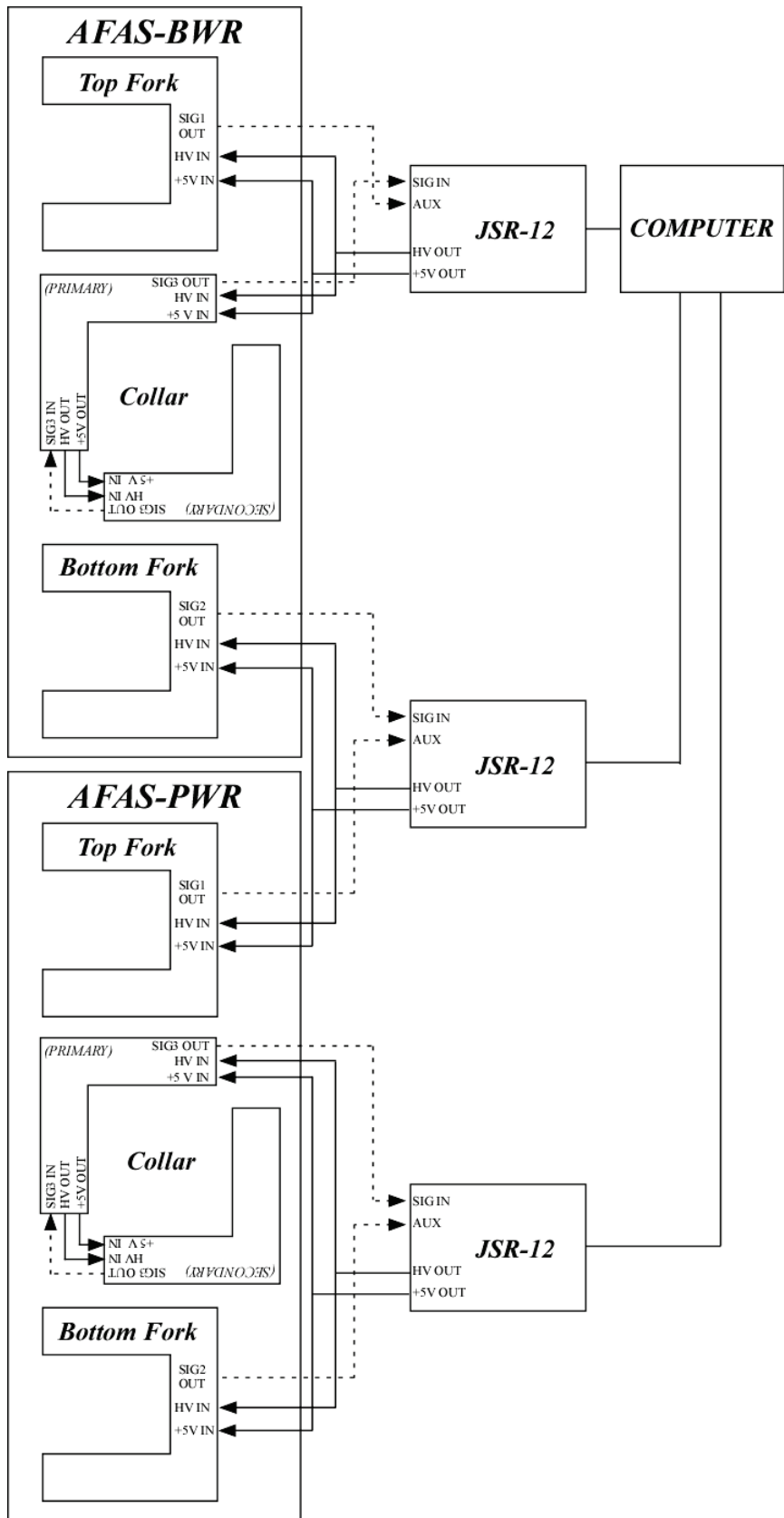


図 2.1.2-1 AFAS 機器接続図

詳細な試験手順を以下に示す。

(1) バックグラウンド測定

- ① AFAS の各検出器及び温湿度計を試験用架台に設置する。
- ② MIC ソフトウェアを用いて、連続的なバックグラウンド測定を実施し、INCC ソフトウェアを用いて各計数値を評価する。測定条件を以下に示す。また、測定期間における温湿度の測定も同時に実施する。
  - ・測定時間：60 秒×∞回
  - ・測定期間：2022 年 4 月～2023 年 3 月(\*8)
  - ・取得する計数値：Collar 検出器：シングル値(\*9)、ダブル値(\*10)  
Fork 検出器：シングル値
- ③ ②にて取得した各計数値における異常値の有無を確認し、各検出器の長期安定性を評価する。また、測定環境の温湿度と計数値の相関の有無を評価する。

\*8: AFAS の他の試験期間及び維持管理時、また核燃料物質を近傍で取り扱う査察期間等及び電源が使用不可となる施設保守期間等を除く。

\*9: 検出器で検出された全ての中性子の単位時間あたりの数 (cps)

\*10: 検出器で検出された核分裂事象に起因する中性子の単位時間あたりの数 (cps)

(2)  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定

- ① AFAS の各検出器及び温湿度計を試験用架台に設置する。
- ② 線源固定治具を用いて、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を任意の検出器にセットする。
- ③ MIC ソフトウェアを用いて、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定を月 1 回の頻度で実施し、INCC ソフトウェアを用いて各計数値を評価する。測定条件を以下に示す。また、測定時における温湿度の測定も同時に実施する。
  - ・測定時間：600 秒
  - ・取得する計数値：Collar 検出器：ダブル値  
Fork 検出器：シングル値
- ④ 全ての検出器について、②～③を実施する。
- ⑤ ②～④により得られた各計数値及び誤差より、各検出器の長期管理限界を評価する。また、測定環境の温湿度と計数値の相関の有無を評価する。



### 2.1.3 結果

#### (1) バックグラウンド測定

連続的なバックグラウンド測定の結果及びバックグラウンド計数値と測定環境の温度及び湿度の相関の評価結果を検出器毎に次頁以降の①～⑥に示す。評価結果については、測定期間中の環境変化（AFAS 検出器近傍の設備の移動、隣接する部屋内の放射線源の増減）により、バックグラウンドの計数値が変動した期間ごとに分けて示した。バックグラウンド測定結果を示すグラフ中の赤色の実線は各計数値の平均値を示し、破線は平均値の $\pm 3\sigma$ （ $3\sigma$ は標準偏差を3倍した値）を示す。また、Collar 検出器及び Fork 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値を表 2.1.3-1 及び表 2.1.3-2 に示す。

AFAS-B の Collar 検出器におけるシングル値は図 2.1.3-1~6 に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。ダブル値の平均値は、全期間において約 0.005cps であった。なお、シングル値において、10 月及び 2 月に計数値が徐々に低下する事象が確認された（図 2.1.3-5 に示す）。

AFAS-P の Collar 検出器におけるシングル値は図 2.1.3-37~42 に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。ダブル値の平均値は、全期間において約 0.037cps であった（異常値を含む）。なお、シングル値において、AFAS-B Collar 検出器と同様に 10 月及び 2 月に計数値が徐々に低下する事象が確認された（図 2.1.3-41 に示す）。また、シングル値及びダブル値において、全期間に単発的な高い計数値（シングル値：約 13cps~24cps、ダブル値：約 40cps~1570cps）がシングル値及びダブル値それぞれに 20 回程度確認された（図 2.1.3-37~48 に示す）。

Fork 検出器における各検出器のシングル値の平均値は表 2.1.3-2 に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。なお、全ての Fork 検出器において、Collar 検出器と同様に 10 月及び 2 月に計数値が徐々に低下する事象が確認された（図 2.1.3-75, 76、図 2.1.3-90, 91、図 2.1.3-105, 106 及び図 2.1.3-120, 121 に示す）。また、AFAS-B の Bottom Fork 検出器において、8 月から 9 月にかけて計数値が徐々に上昇する事象及び 11 月の計数値が徐々に低下する事象を確認した（図 2.1.3-103 及び図 2.1.3-105, 106 に示す）。

測定期間中、測定環境の温度は約 18°C~26°C、湿度は約 25%~75%の範囲で変動した。図 2.1.3-13~36、図 2.1.3-49~72、図 2.1.3-78~87、図 2.1.3-93~102、図 2.1.3-109~117 及び図 2.1.3-123~132 に示す期間では、各検出器の計数値と温度及び湿度に相関関係はみられなかった。しかし、図 2.1.3-108 に示すように、AFAS-B の Bottom Fork 検出器において、4 月から 9 月にかけて計数値と温度に相関係数 0.51 の弱い正の相関がみられた。

表 2.1.3-1 Collar 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値

検出器	バックグラウンドのシングル値の平均値 (cps)					
	2022/4/15	6/30	9/14	9/28	10/17	2023/2/22
	§ 6/30	§ 9/13	§ 9/27	§ 10/17	§ 2023/2/20	§ 3/7
AFAS-B Collar	7.881	8.280	6.552	7.976	6.829	7.143
AFAS-P Collar	10.599	10.976	8.401	10.584	9.109	9.790

表 2.1.3-2 Fork 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値

検出器	バックグラウンドのシングル値の平均値 (cps)				
	2022/4/15	9/14	9/28	11/8	2023/2/22
	§ 9/13	§ 9/27	§ 11/4	§ 2023/2/20	§ 3/7
AFAS-B Top Fork	0.992	0.784	0.934	0.854	0.911
AFAS-P Top Fork	1.568	1.177	1.449	1.297	1.422
AFAS-B Bottom Fork	0.874	0.849	1.009	0.697	0.718
AFAS-P Bottom Fork	1.172	0.897	1.093	0.984	1.093

① AFAS-B Collar 検出器

- ・バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-1～6
- ・バックグラウンドのダブル値：図 2.1.3-7～12
- ・シングル値と温度の相関：図 2.1.3-13～18
- ・ダブル値と温度の相関：図 2.1.3-19～24
- ・シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-25～30
- ・ダブル値と湿度の相関：図 2.1.3-31～36

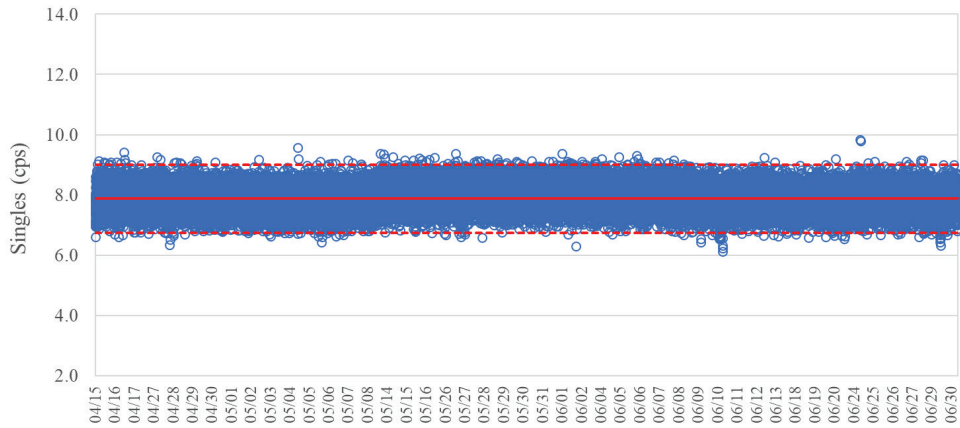


図 2.1.3-1 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

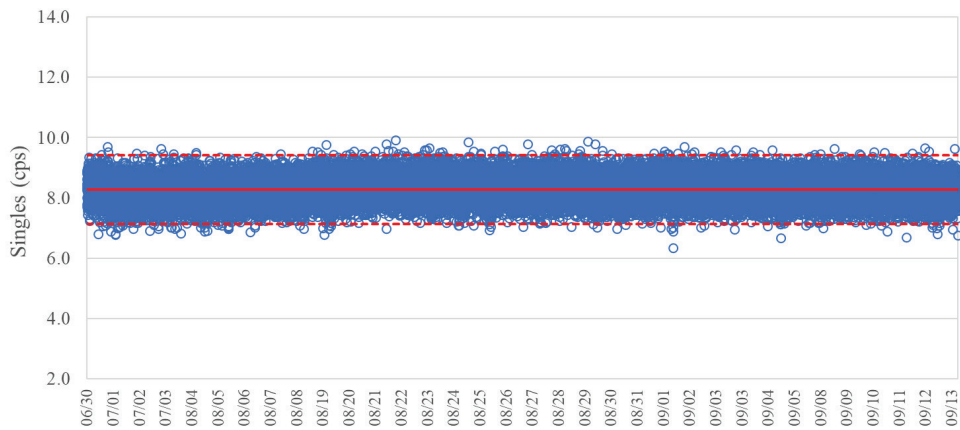


図 2.1.3-2 バックグラウンドのシングル値 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

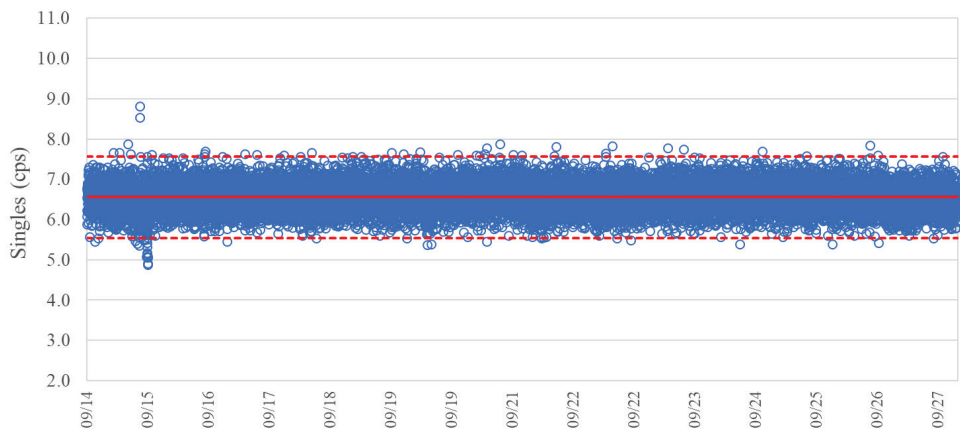


図 2.1.3-3 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

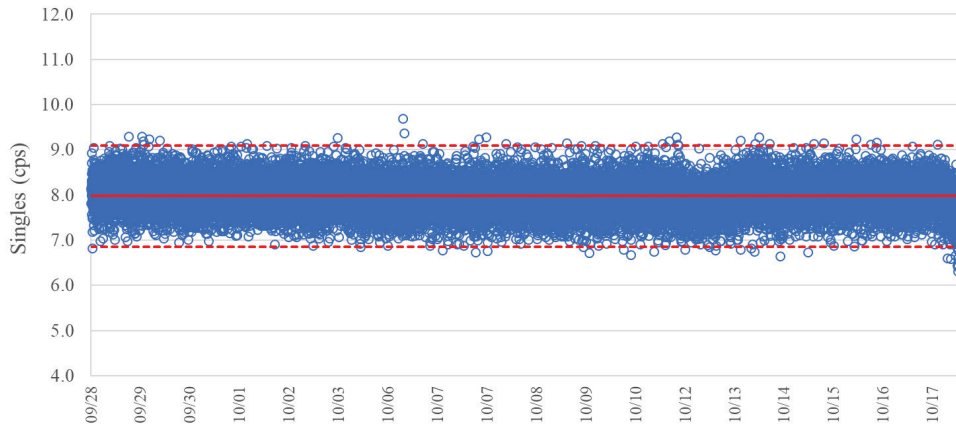


図 2.1.3-4 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)

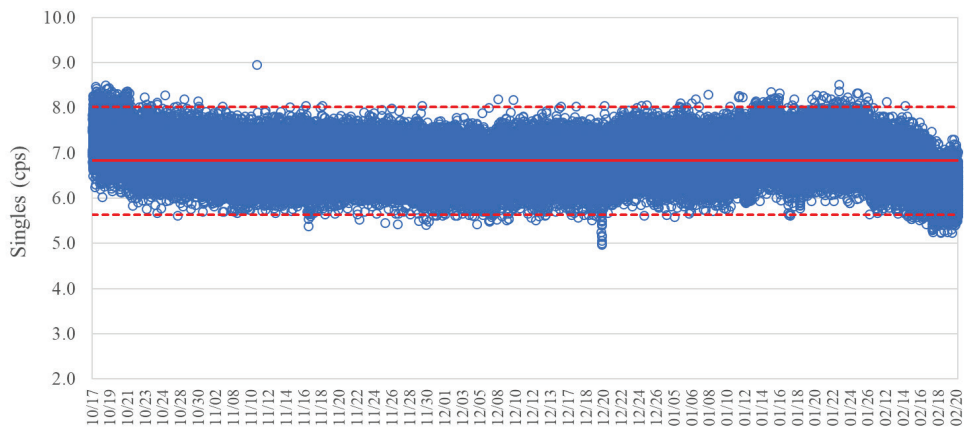


図 2.1.3-5 バックグラウンドのシングル値 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-B Collar 検出器)

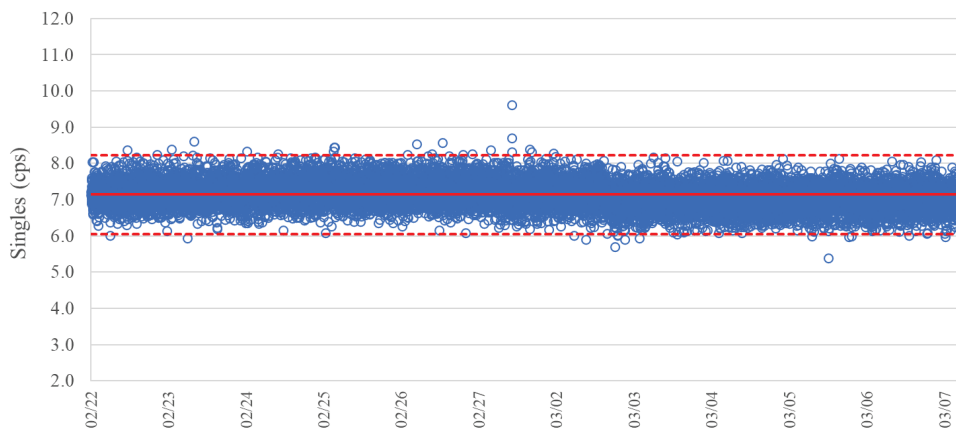


図 2.1.3-6 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Collar 検出器)

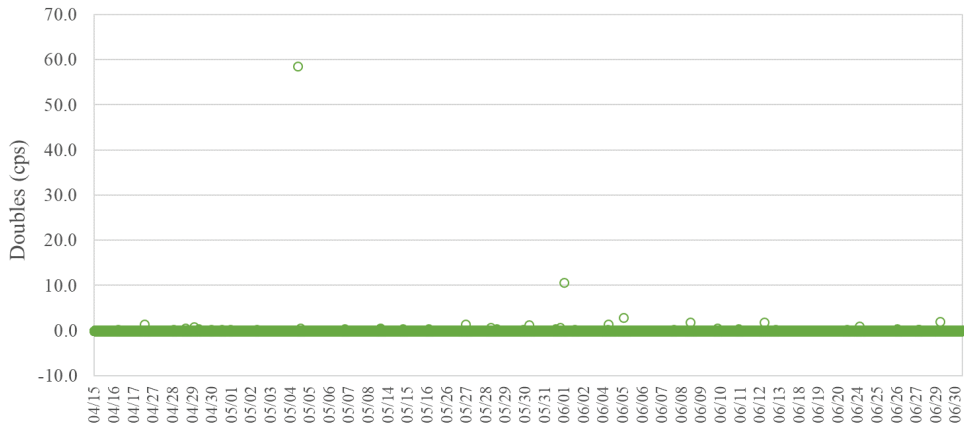


図 2.1.3-7 バックグラウンドのダブル値 (2022/4/15～2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

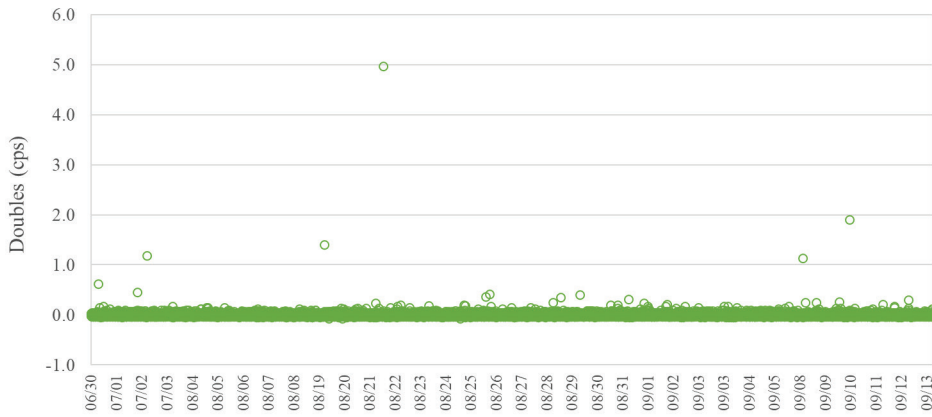


図 2.1.3-8 バックグラウンドのダブル値 (2022/6/30～2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

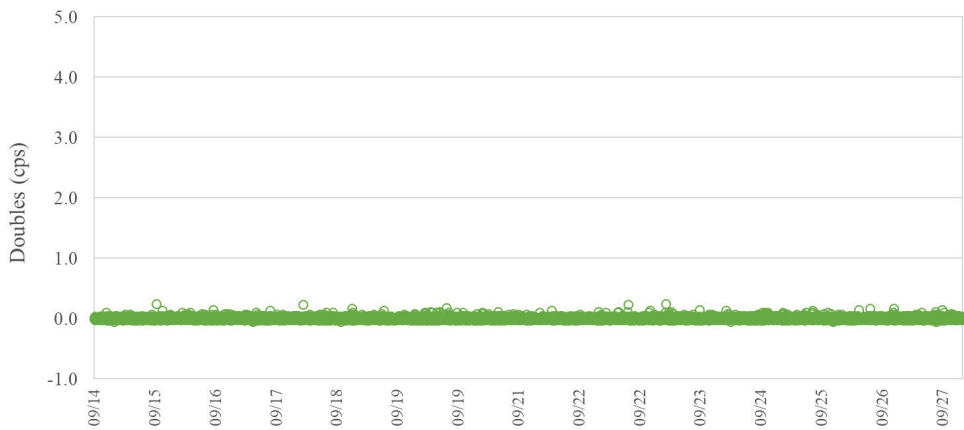


図 2.1.3-9 バックグラウンドのダブル値 (2022/9/14～2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

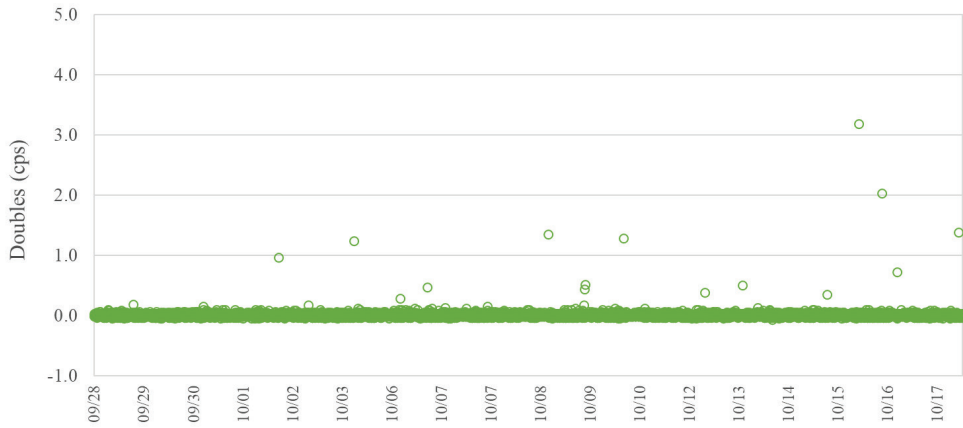


図 2.1.3-10 バックグラウンドのダブル値 (2022/9/28～2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)

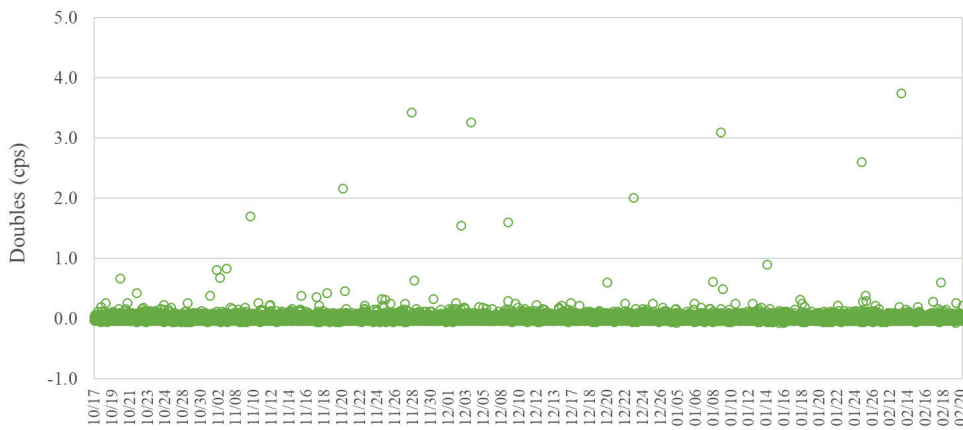


図 2.1.3-11 バックグラウンドのダブル値 (2022/10/17～2023/2/20)  
(AFAS-B Collar 検出器)

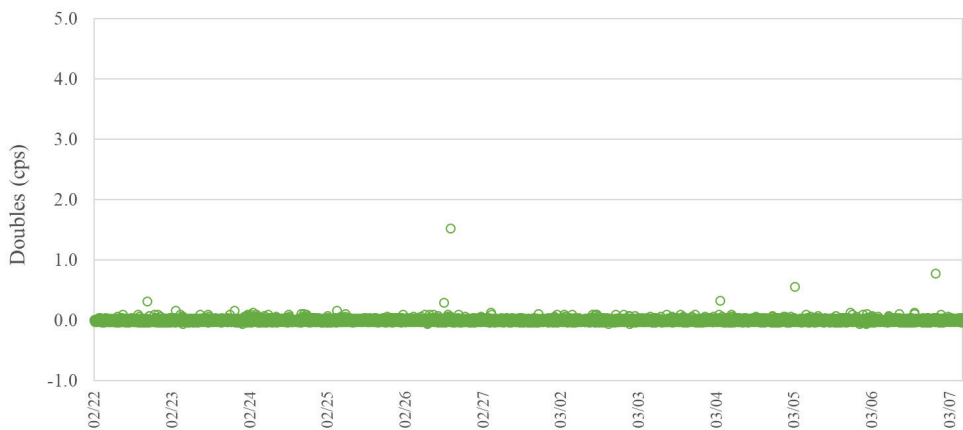


図 2.1.3-12 バックグラウンドのダブル値 (2023/2/22～2023/3/7)  
(AFAS-B Collar 検出器)

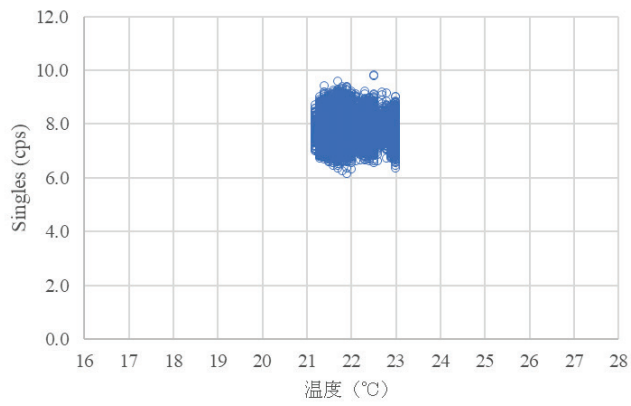


図 2.1.3-13 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

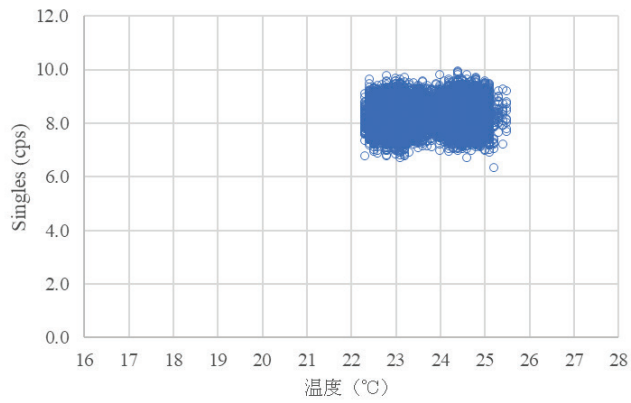


図 2.1.3-14 シングル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

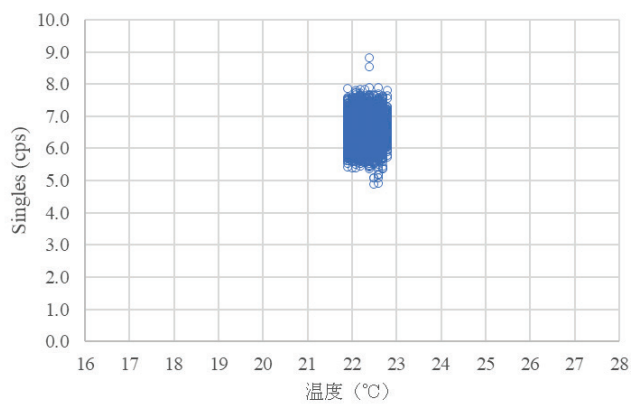


図 2.1.3-15 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

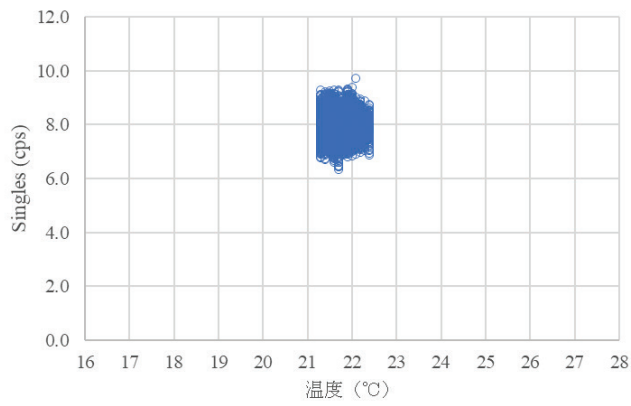


図 2.1.3-16 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)

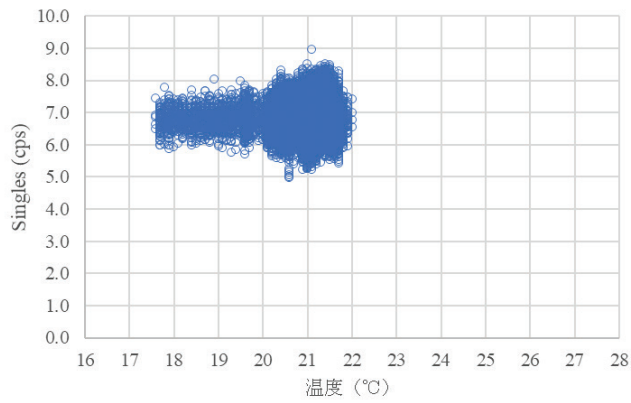


図 2.1.3-17 シングル値と温度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-B Collar 検出器)

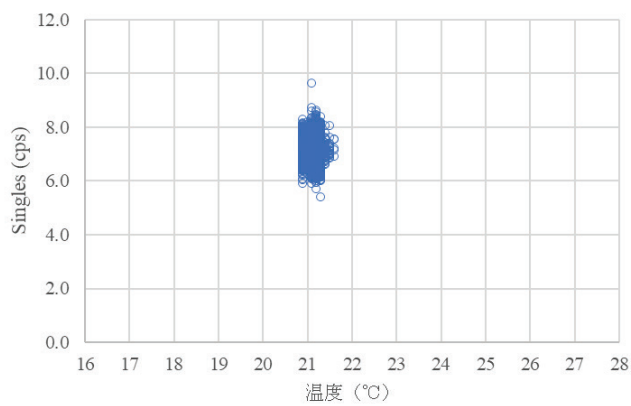


図 2.1.3-18 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Collar 検出器)



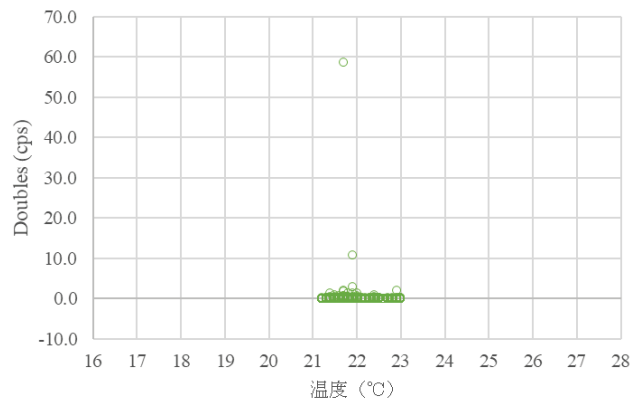


図 2.1.3-19 ダブル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

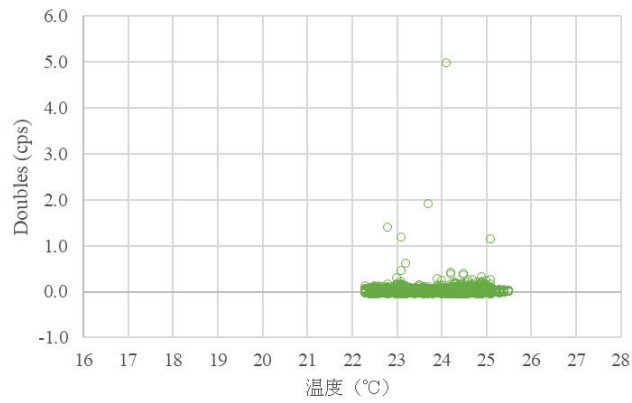


図 2.1.3-20 ダブル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

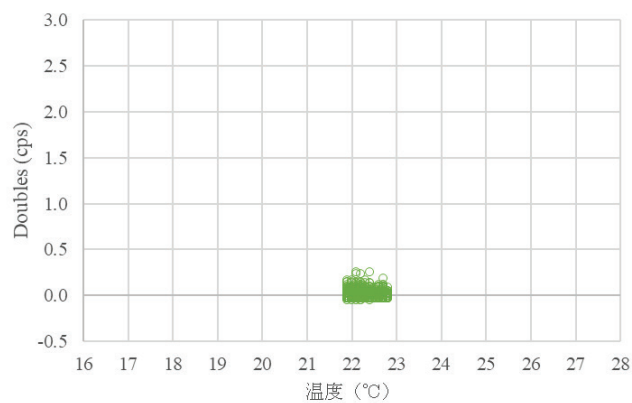


図 2.1.3-21 ダブル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

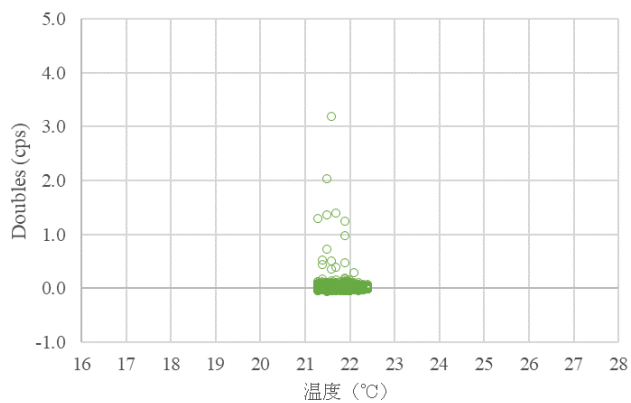
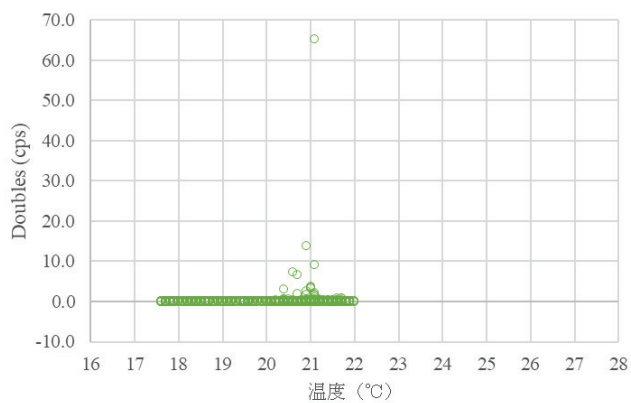


図 2.1.3-22 ダブル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)



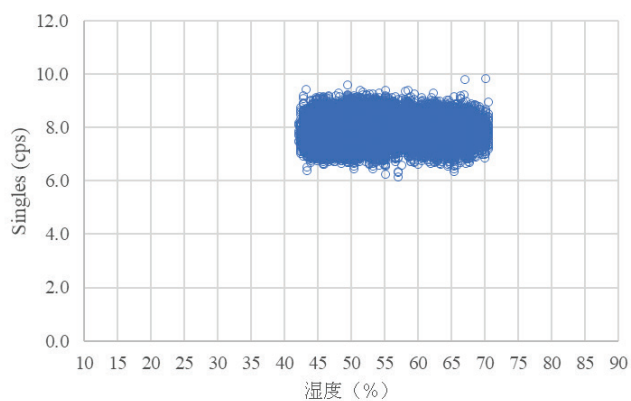


図 2.1.3-25 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

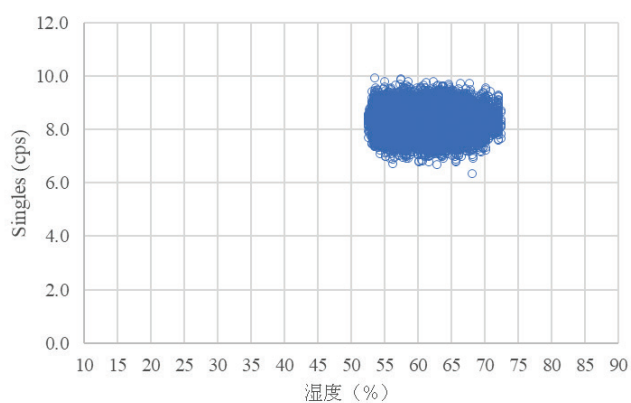


図 2.1.3-26 シングル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

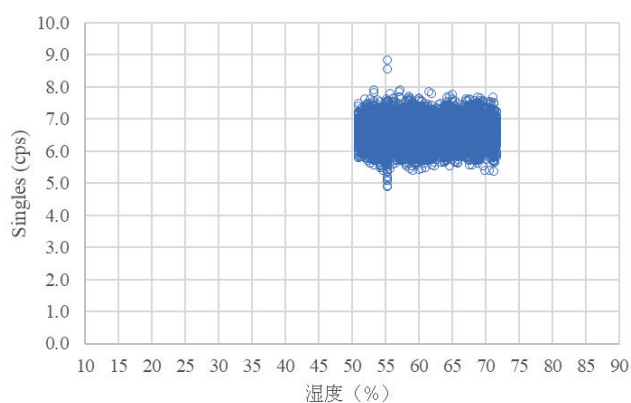


図 2.1.3-27 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

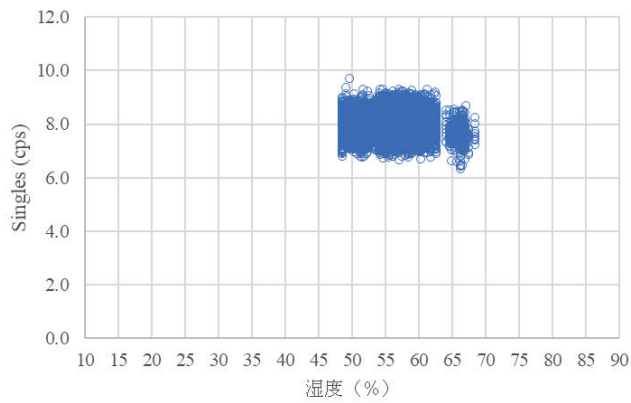


図 2.1.3-28 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)

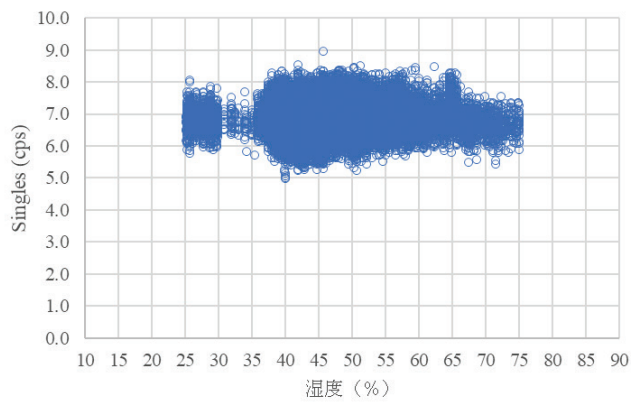


図 2.1.3-29 シングル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-B Collar 検出器)

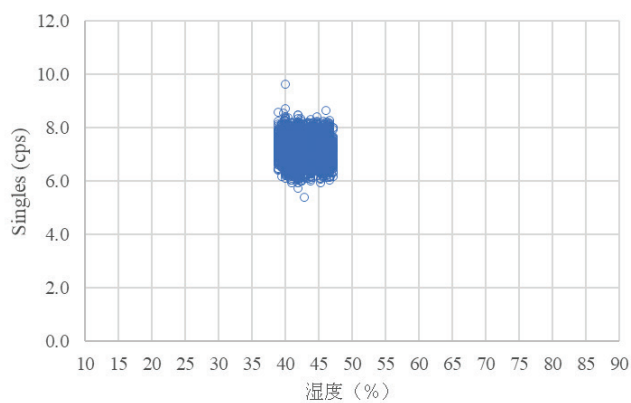


図 2.1.3-30 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Collar 検出器)

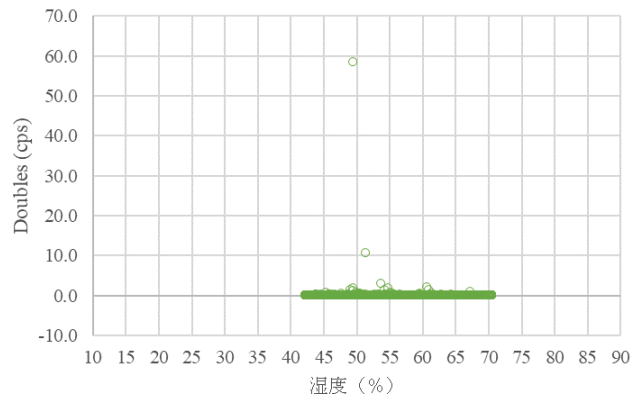


図 2.1.3-31 ダブル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-B Collar 検出器)

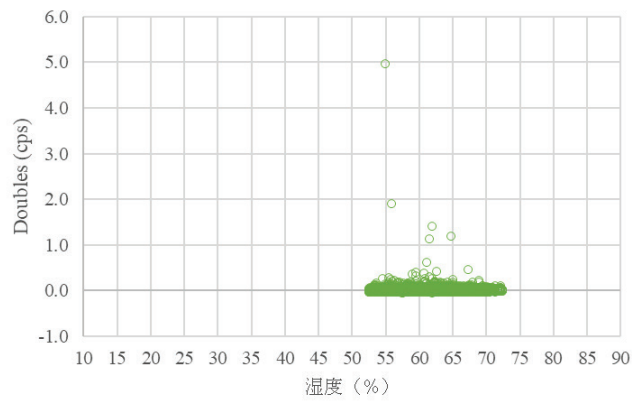


図 2.1.3-32 ダブル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-B Collar 検出器)

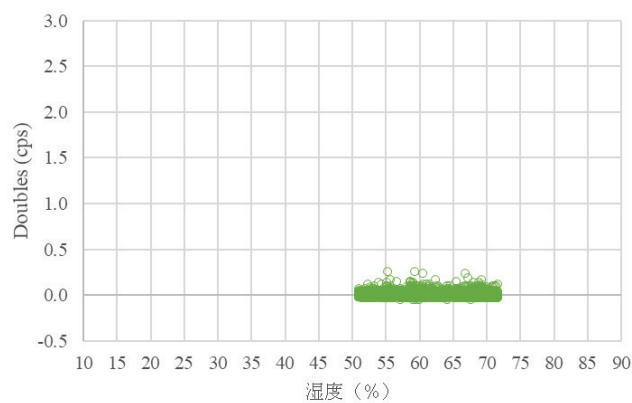


図 2.1.3-33 ダブル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Collar 検出器)

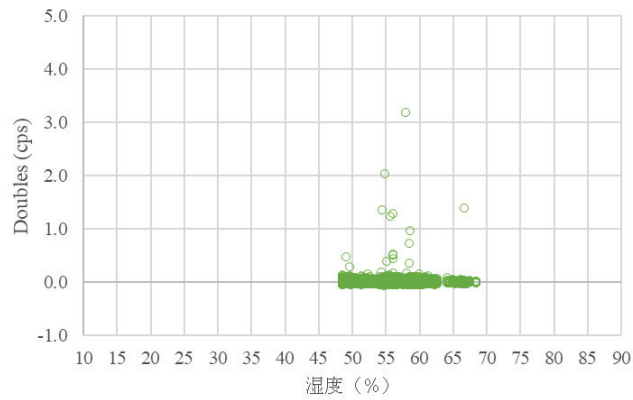


図 2.1.3-34 ダブル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-B Collar 検出器)

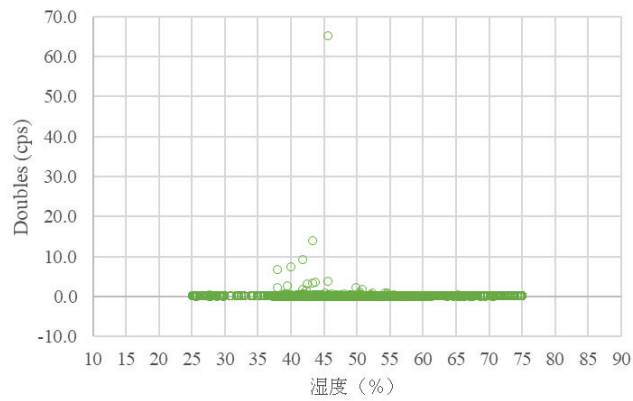


図 2.1.3-35 ダブル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-B Collar 検出器)

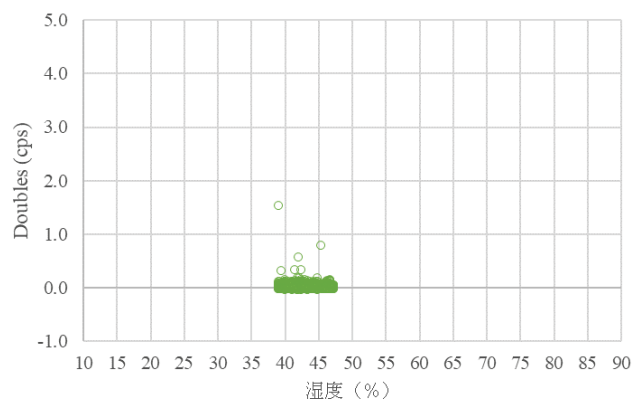


図 2.1.3-36 ダブル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Collar 検出器)

## ② AFAS-P Collar 検出器

- バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-37～42
- バックグラウンドのダブル値：図 2.1.3-43～48
- シングル値と温度の相関：図 2.1.3-49～54
- ダブル値と温度の相関：図 2.1.3-55～60
- シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-60～66
- ダブル値と湿度の相関：図 2.1.3-67～72



図 2.1.3-37 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

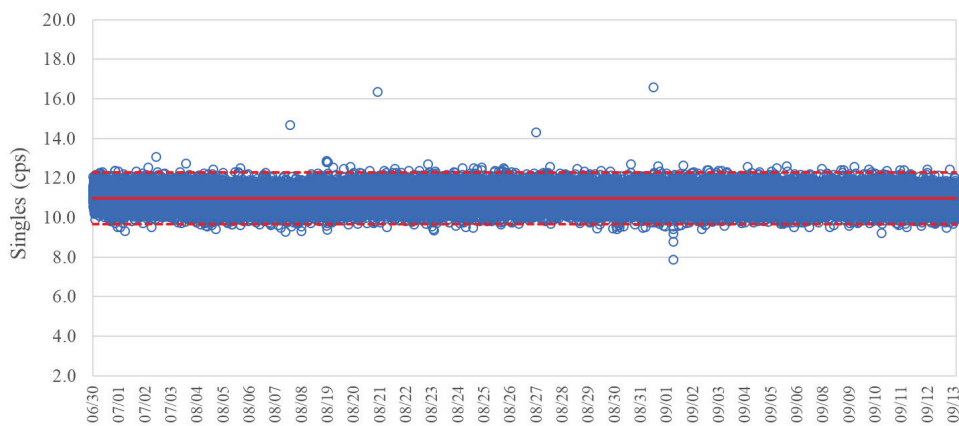


図 2.1.3-38 バックグラウンドのシングル値 (2022/6/30～2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

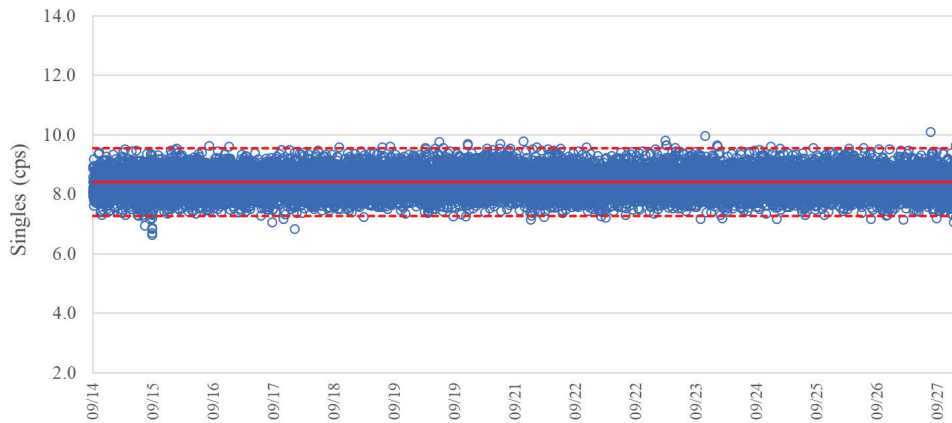


図 2.1.3-39 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

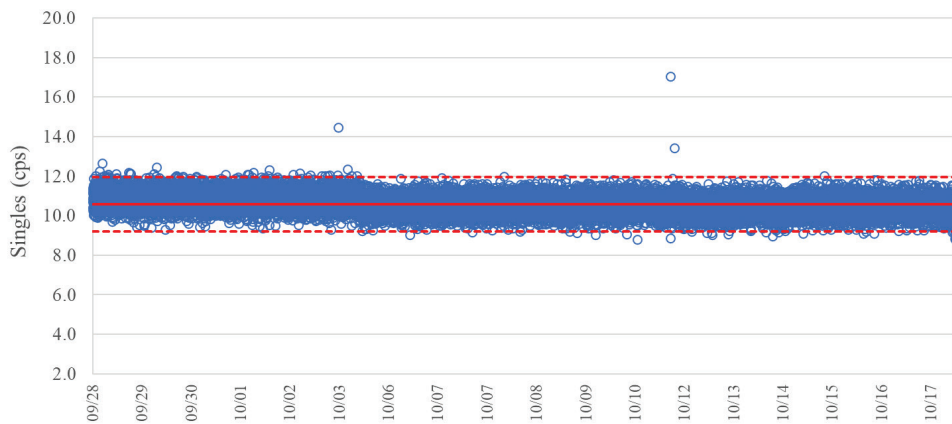


図 2.1.3-40 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

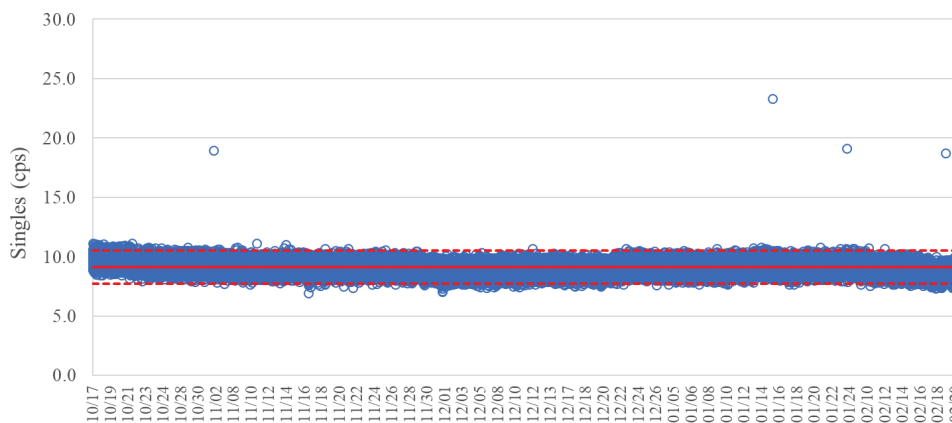


図 2.1.3-41 バックグラウンドのシングル値 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)



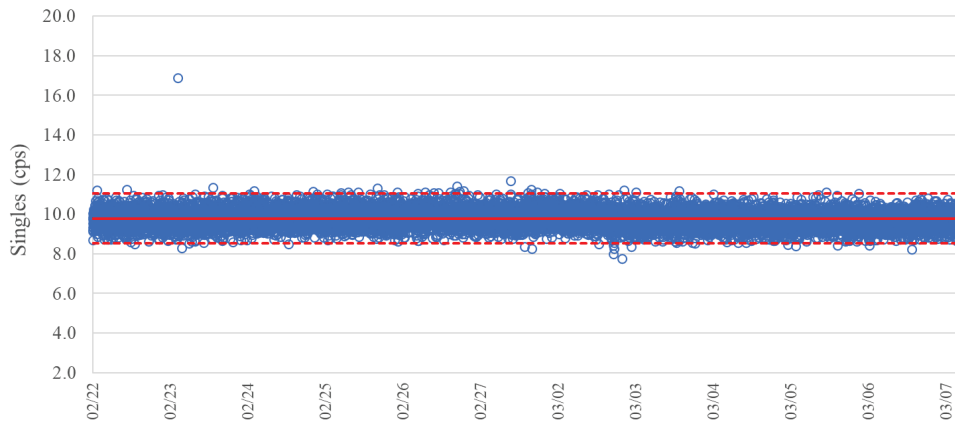


図 2.1.3-42 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

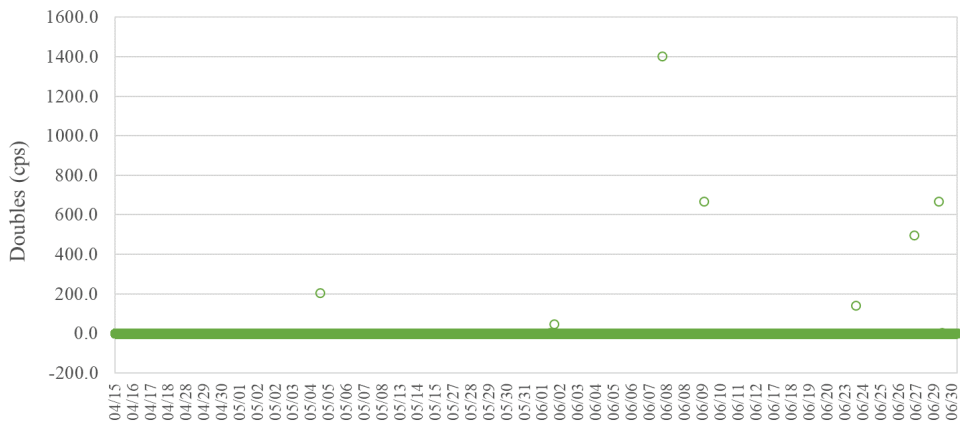


図 2.1.3-43 バックグラウンドのダブル値 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

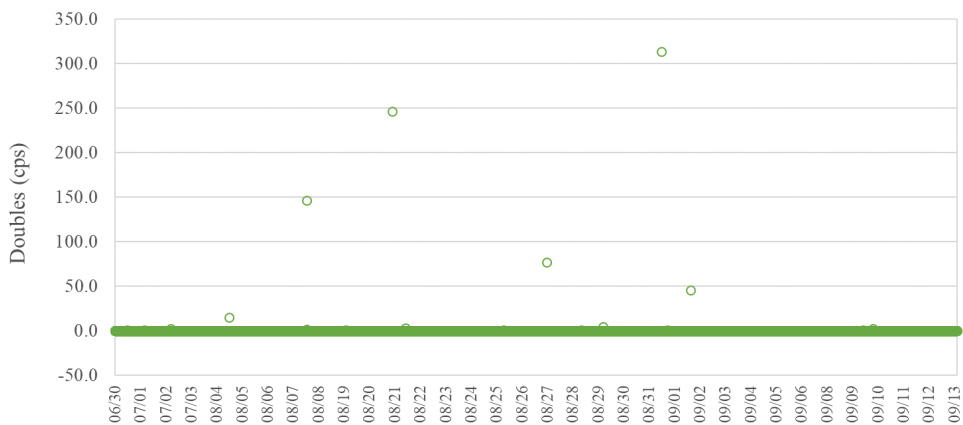


図 2.1.3-44 バックグラウンドのダブル値 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

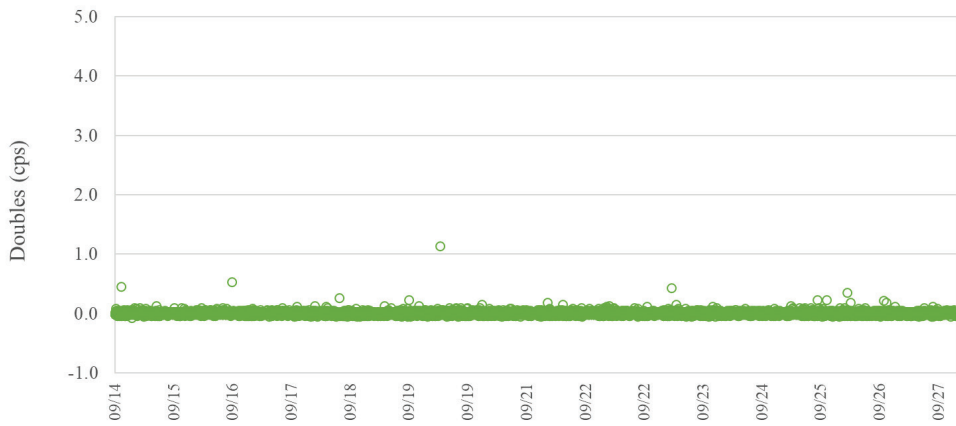


図 2.1.3-45 バックグラウンドのダブル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

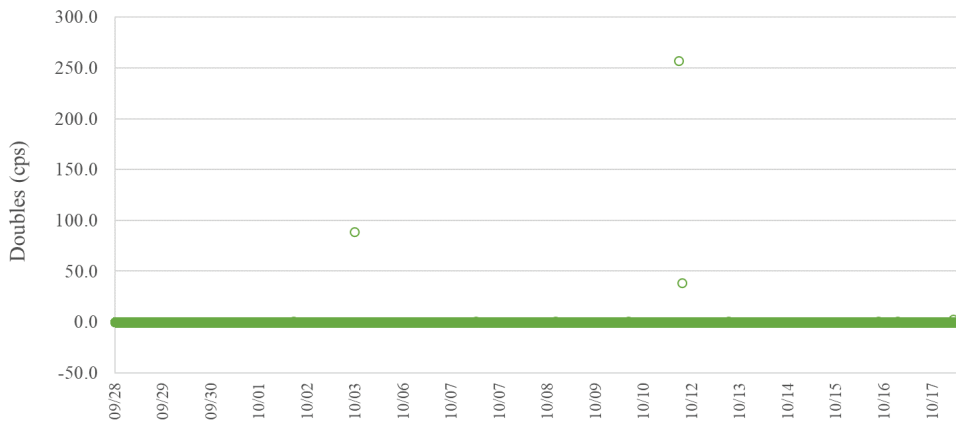


図 2.1.3-46 バックグラウンドのダブル値 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

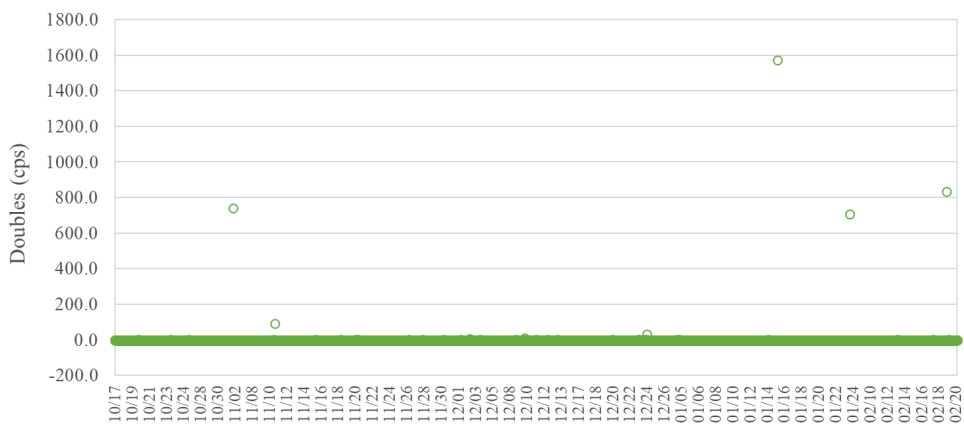


図 2.1.3-47 バックグラウンドのダブル値 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)

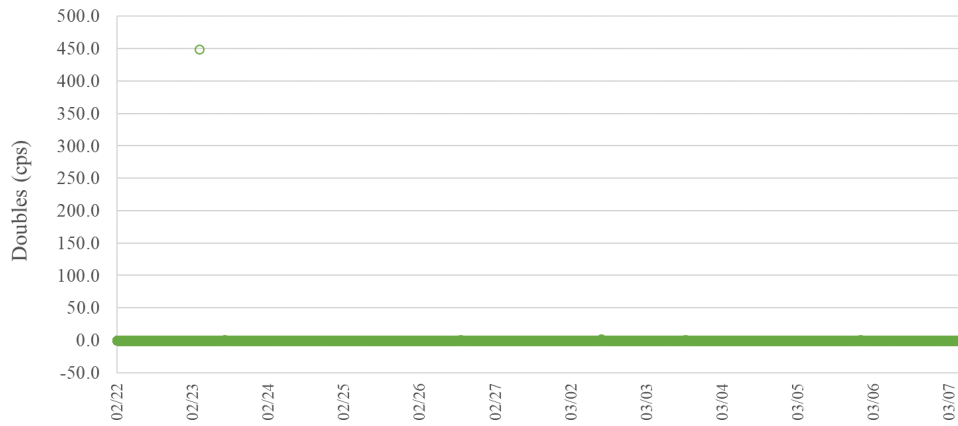


図 2.1.3-48 バックグラウンドのダブル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

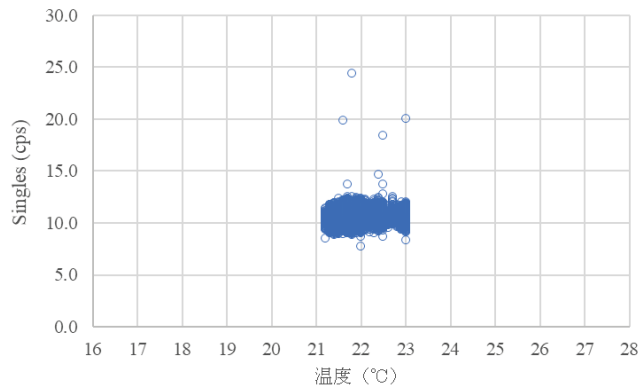


図 2.1.3-49 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

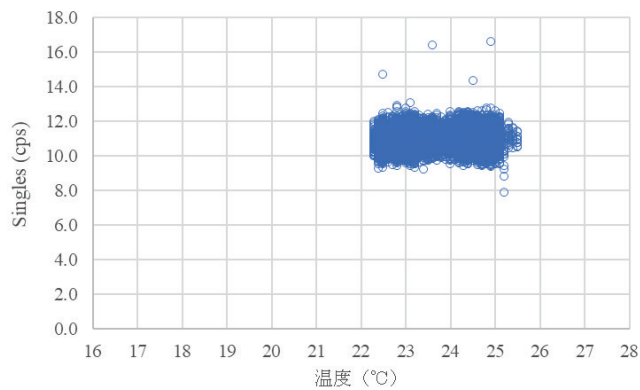


図 2.1.3-50 シングル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

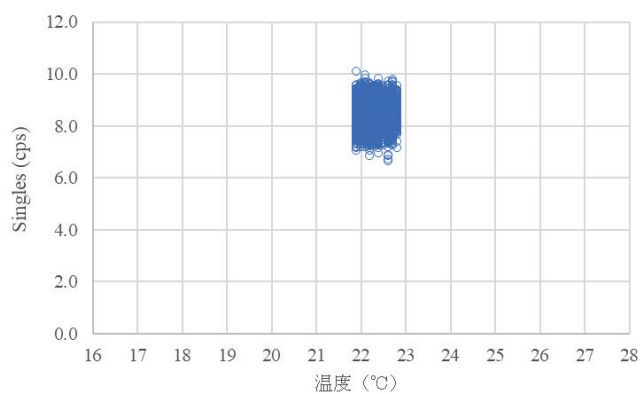


図 2.1.3-51 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

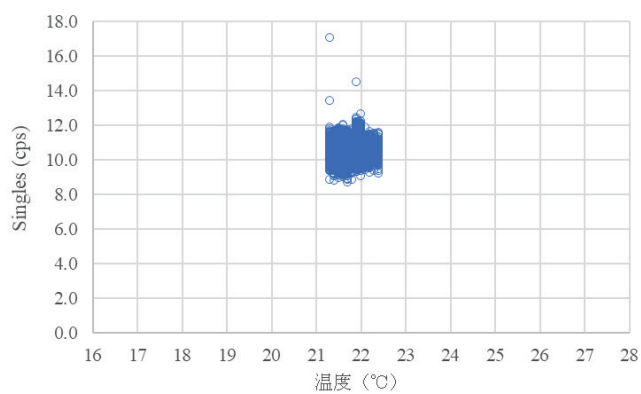


図 2.1.3-52 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

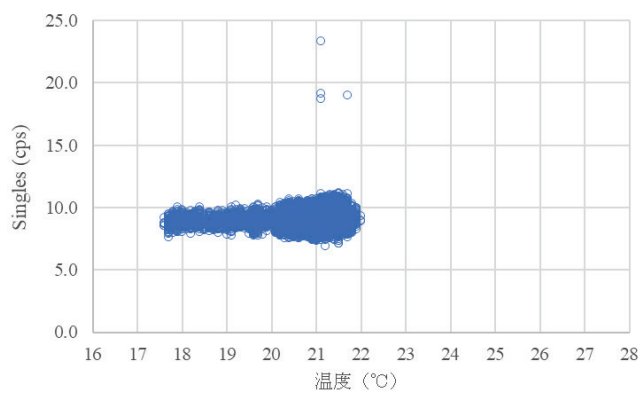


図 2.1.3-53 シングル値と温度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)

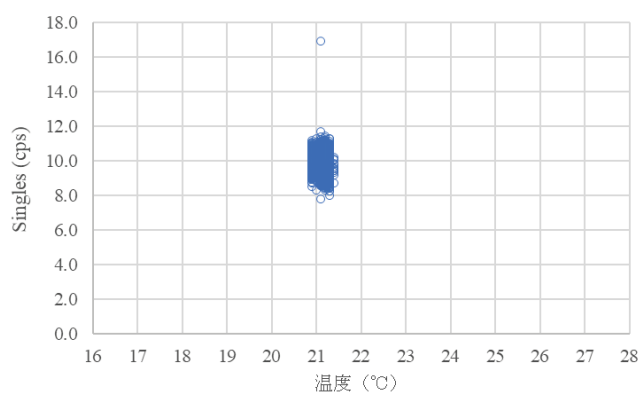


図 2.1.3-54 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

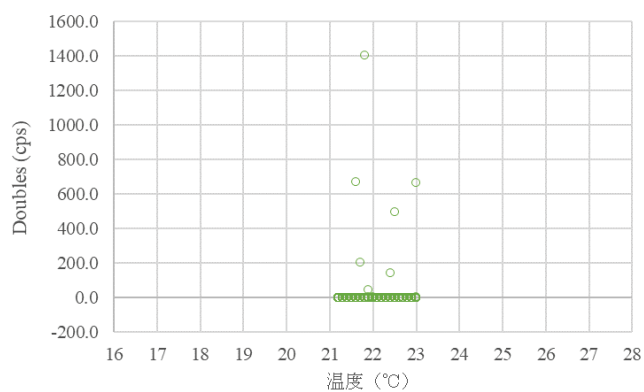


図 2.1.3-55 ダブル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

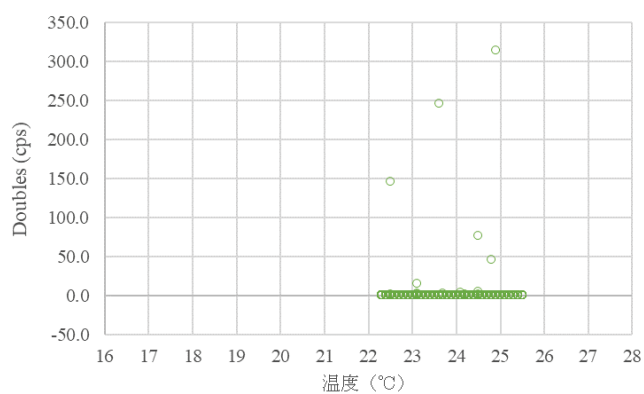


図 2.1.3-56 ダブル値と温度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

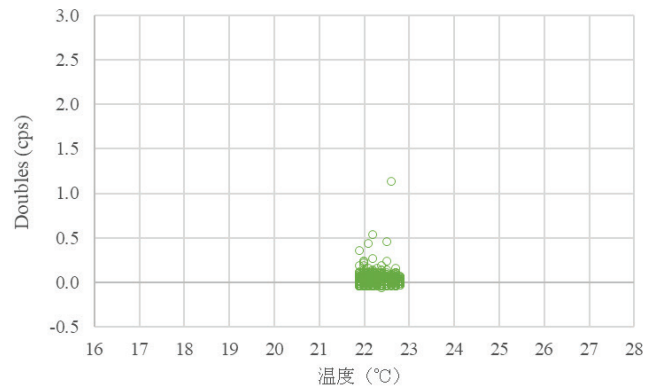


図 2.1.3-57 ダブル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

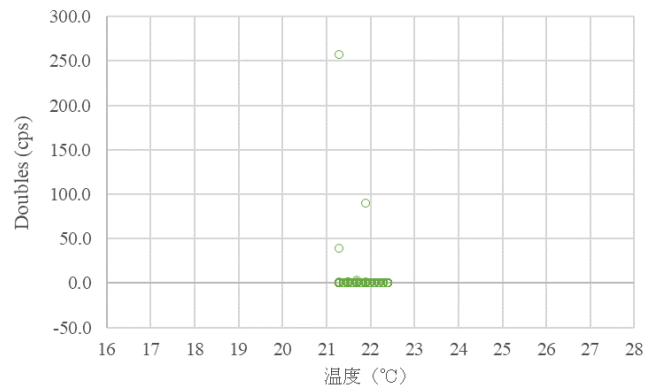


図 2.1.3-58 ダブル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

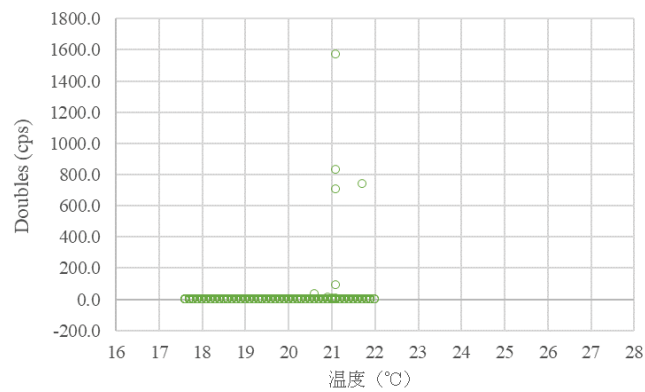


図 2.1.3-59 ダブル値と温度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)

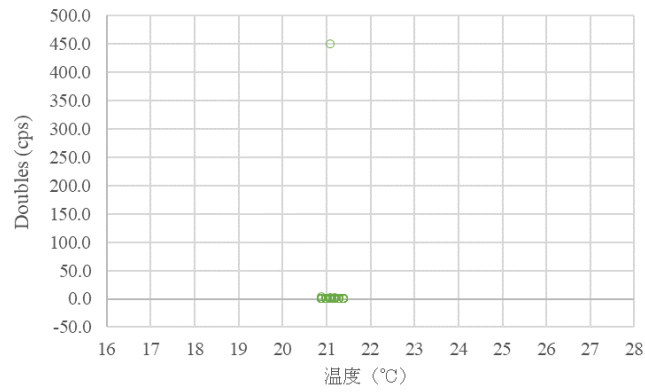


図 2.1.3-60 ダブル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

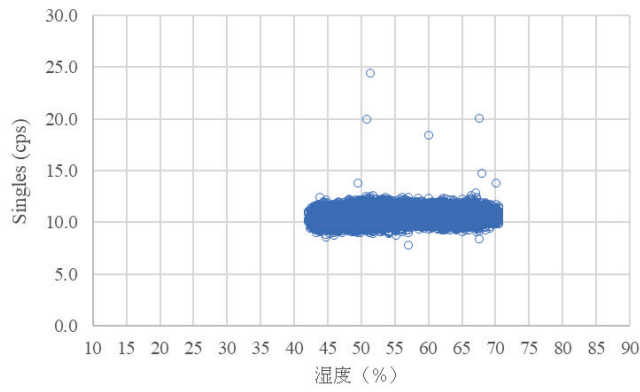


図 2.1.3-61 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

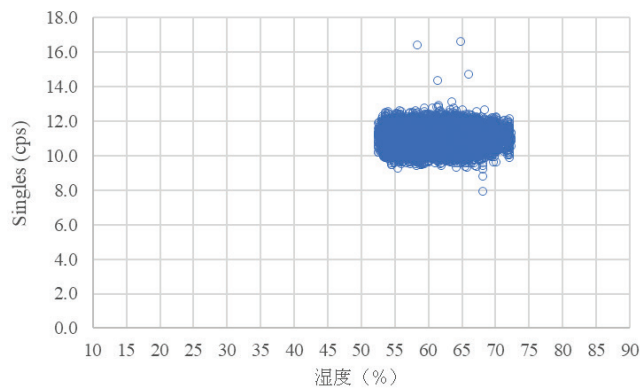


図 2.1.3-62 シングル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

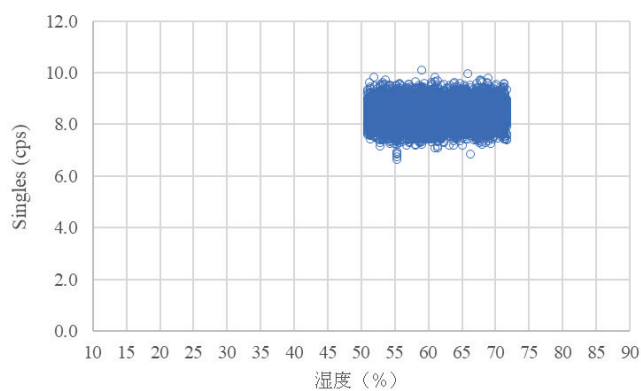


図 2.1.3-63 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

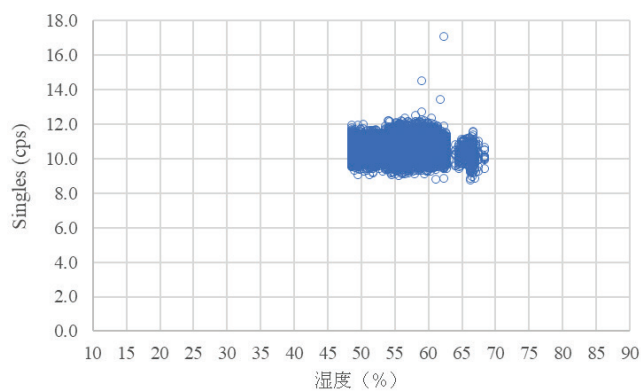


図 2.1.3-64 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

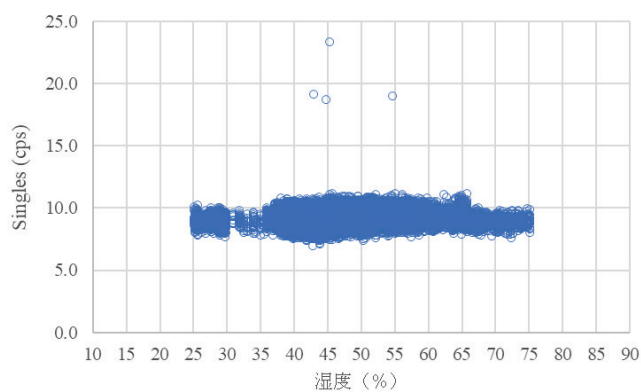


図 2.1.3-65 シングル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)



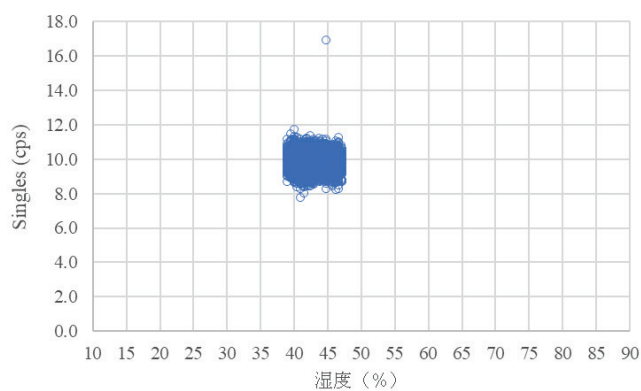


図 2.1.3-66 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

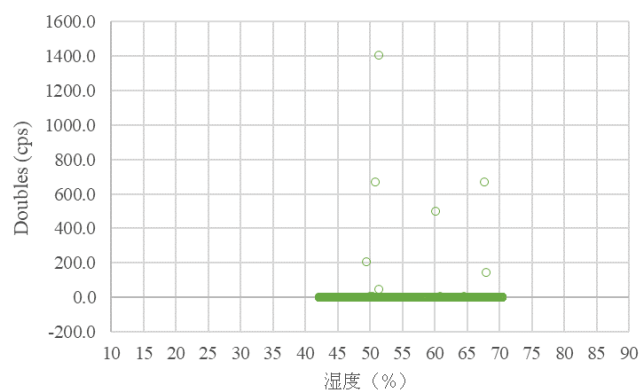


図 2.1.3-67 ダブル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/6/30)  
(AFAS-P Collar 検出器)

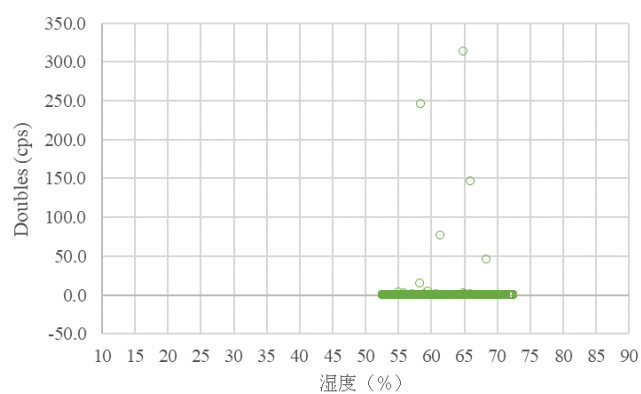


図 2.1.3-68 ダブル値と湿度の相関 (2022/6/30~2022/9/13)  
(AFAS-P Collar 検出器)

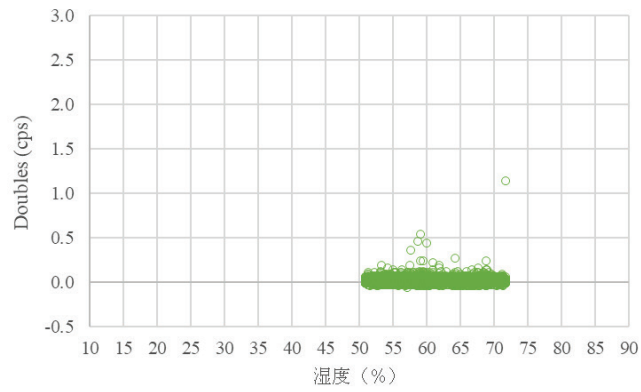


図 2.1.3-69 ダブル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Collar 検出器)

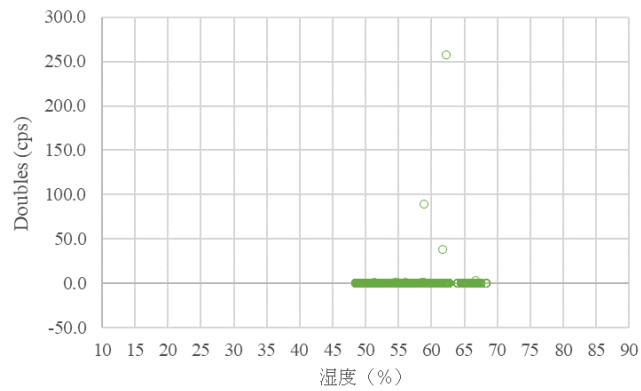


図 2.1.3-70 ダブル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/10/17)  
(AFAS-P Collar 検出器)

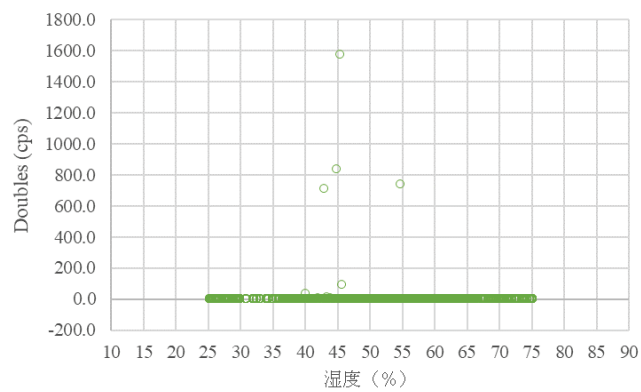


図 2.1.3-71 ダブル値と湿度の相関 (2022/10/17~2023/2/20)  
(AFAS-P Collar 検出器)

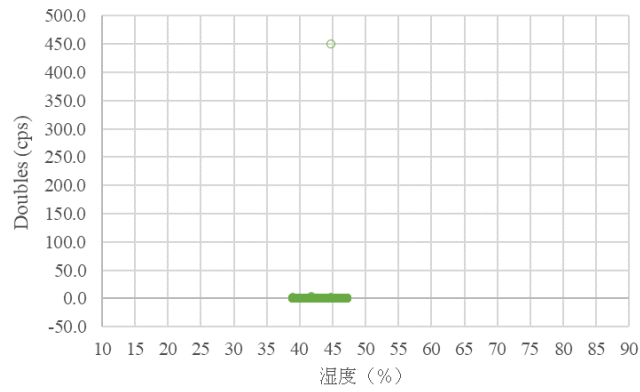


図 2.1.3-72 ダブル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Collar 検出器)

③ AFAS-B Top Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値 : 図 2.1.3-73~77
- シングル値と温度の相関 : 図 2.1.3-78~82
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-83~87

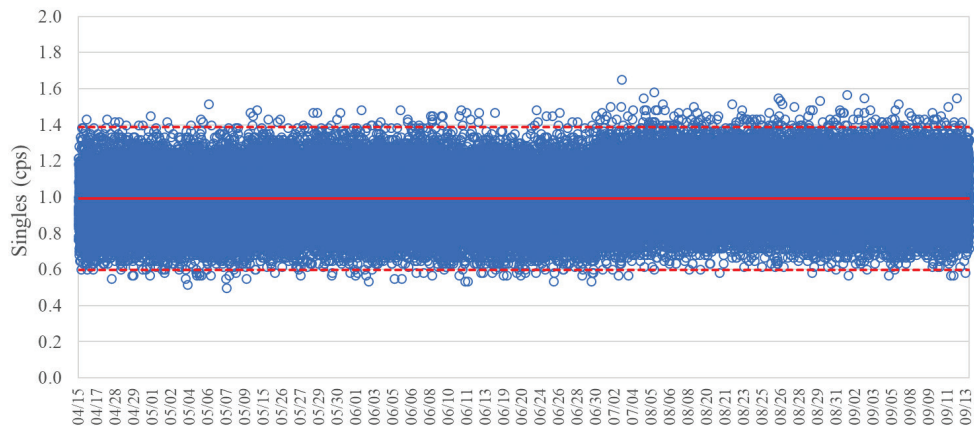


図 2.1.3-73 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

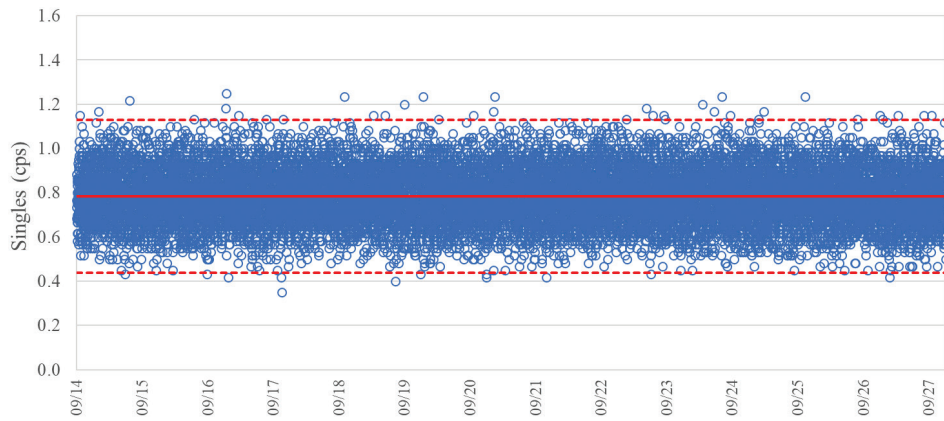


図 2.1.3-74 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

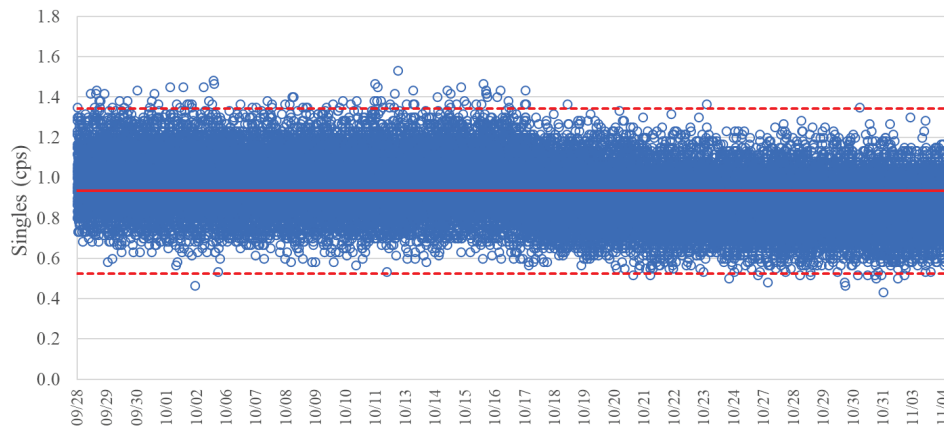


図 2.1.3-75 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

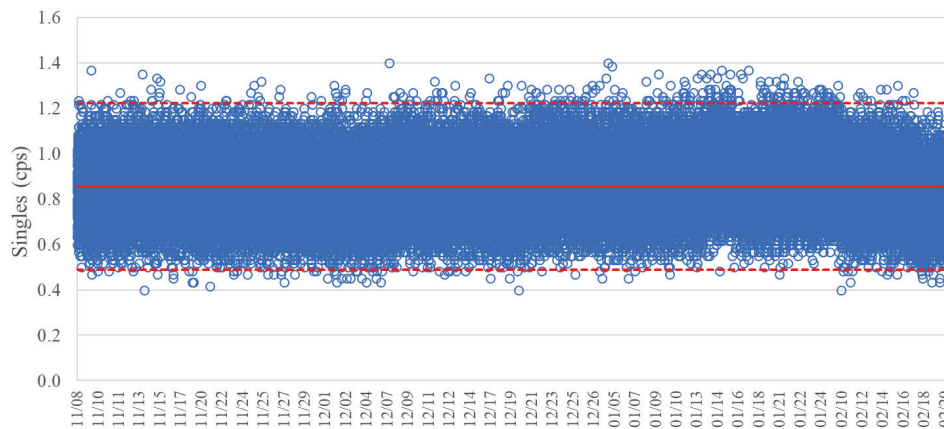


図 2.1.3-76 バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

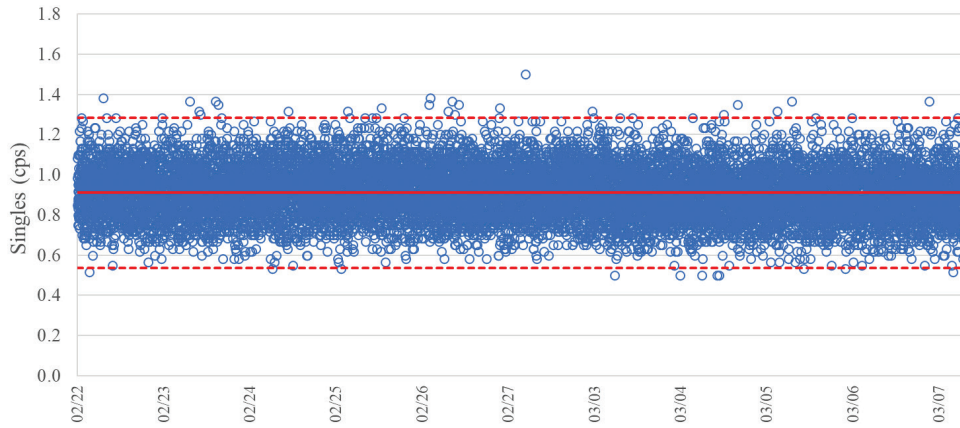


図 2.1.3-77 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

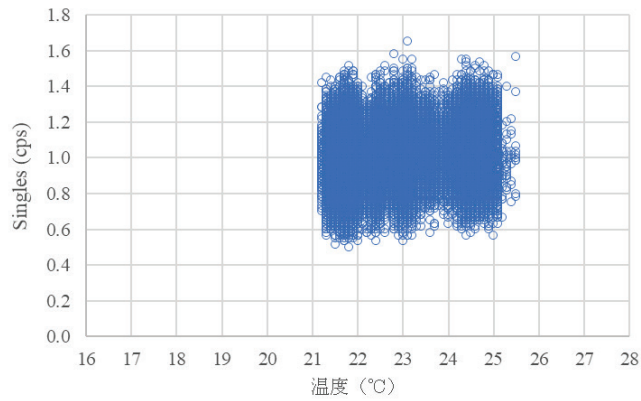


図 2.1.3-78 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

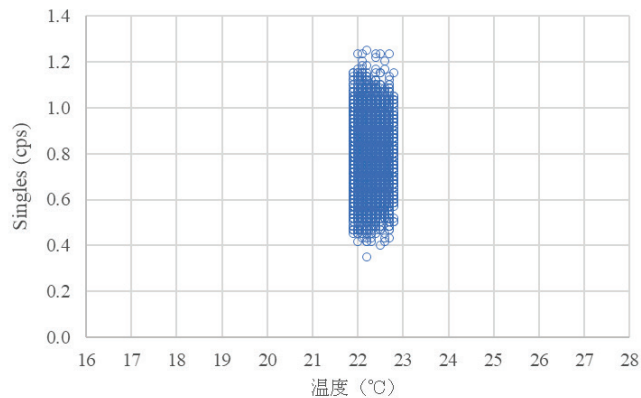


図 2.1.3-79 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

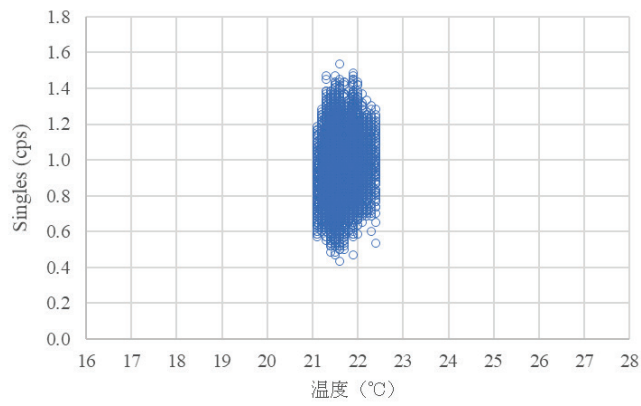


図 2.1.3-80 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

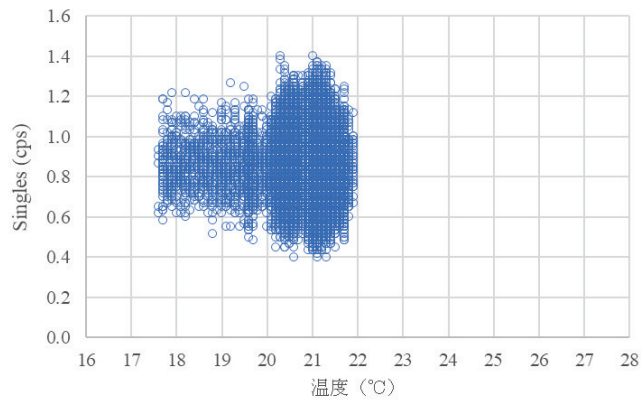


図 2.1.3-81 シングル値と温度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

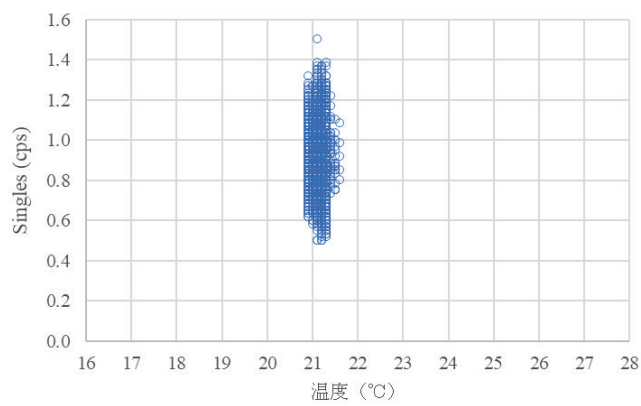


図 2.1.3-82 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

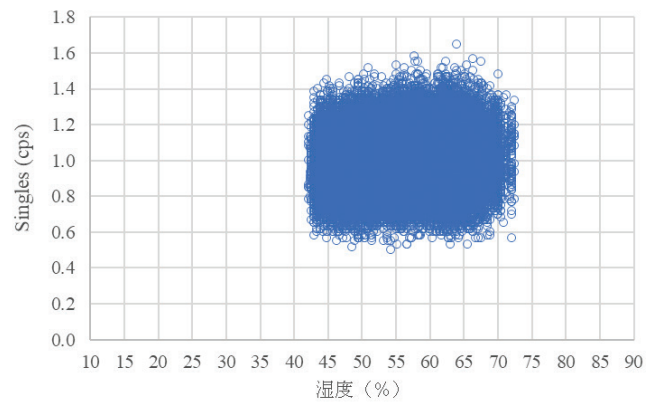


図 2.1.3-83 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

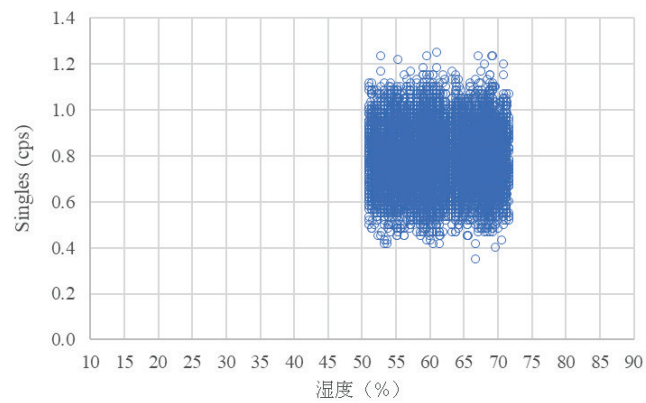


図 2.1.3-84 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

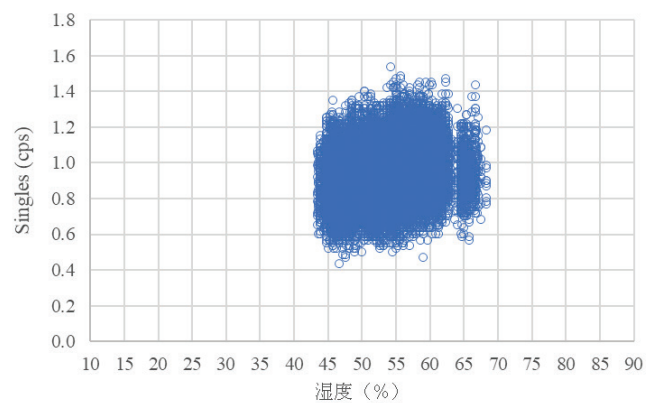


図 2.1.3-85 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

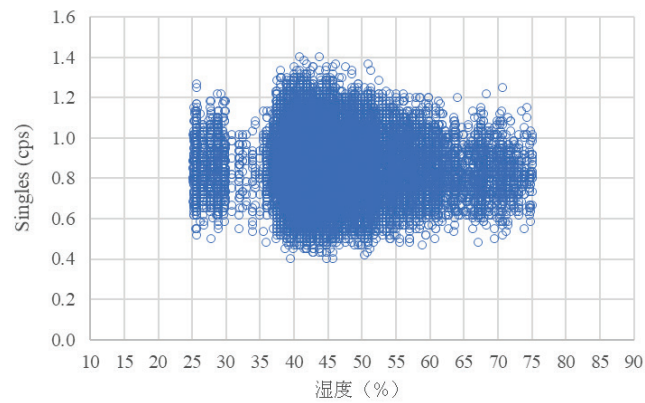


図 2.1.3-86 シングル値と湿度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

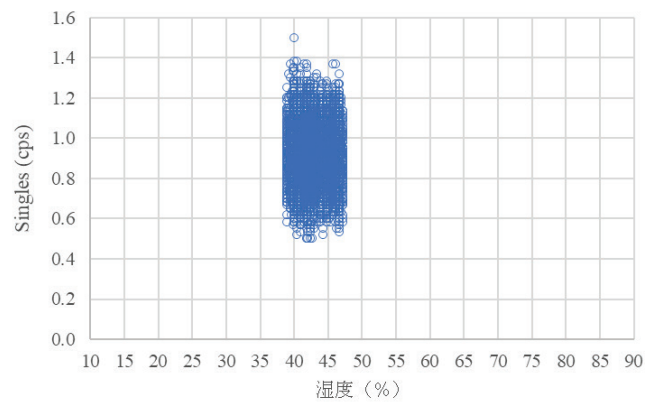


図 2.1.3-87 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

④ AFAS-P Top Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-88~92
- シングル値と温度の相関：図 2.1.3-93~97
- シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-98~102



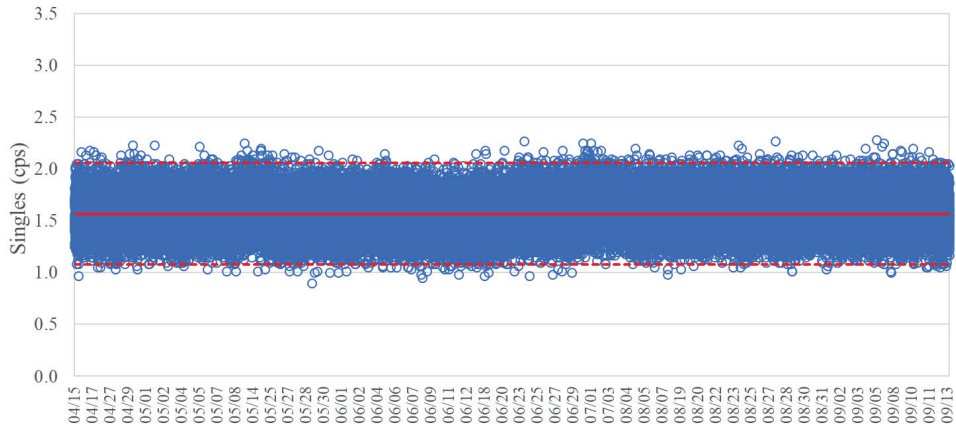


図 2.1.3-88 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

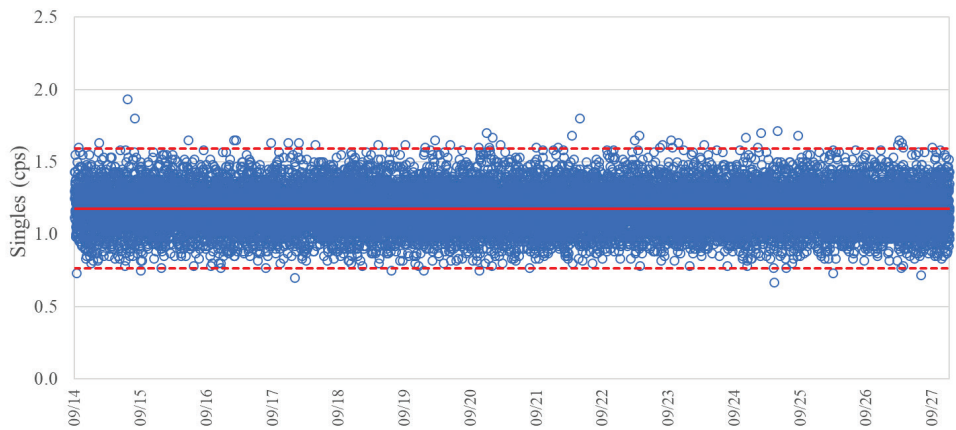


図 2.1.3-89 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

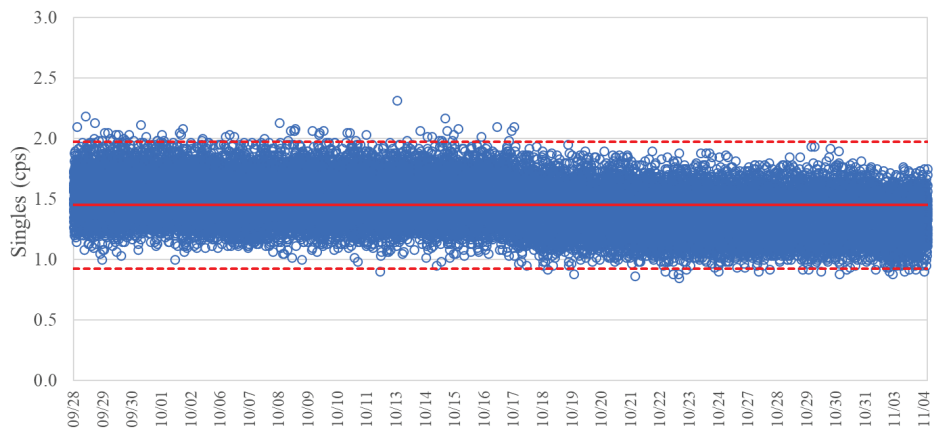


図 2.1.3-90 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

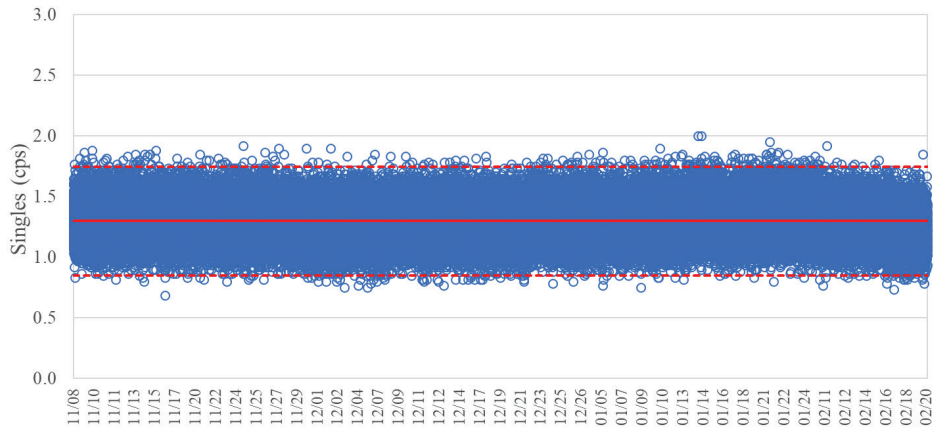


図 2.1.3-91 バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

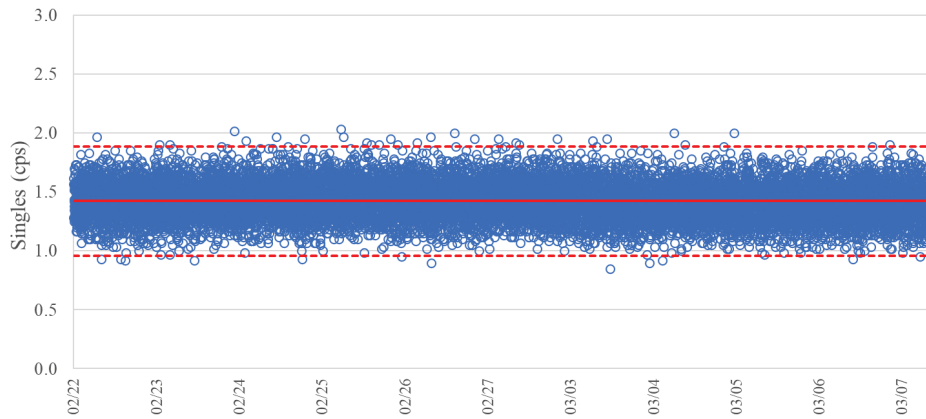


図 2.1.3-92 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

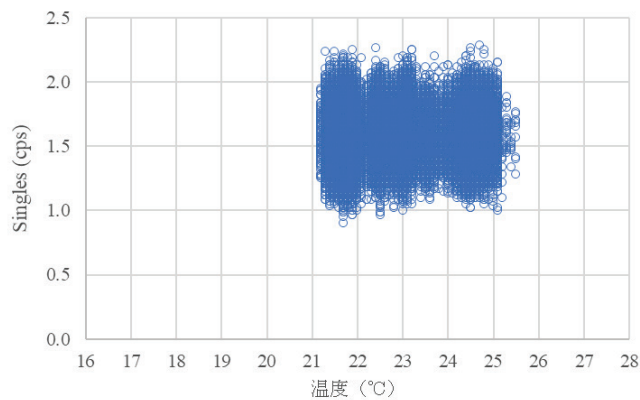


図 2.1.3-93 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

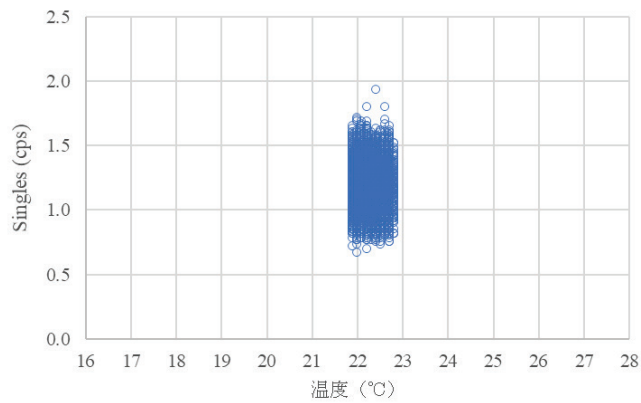


図 2.1.3-94 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

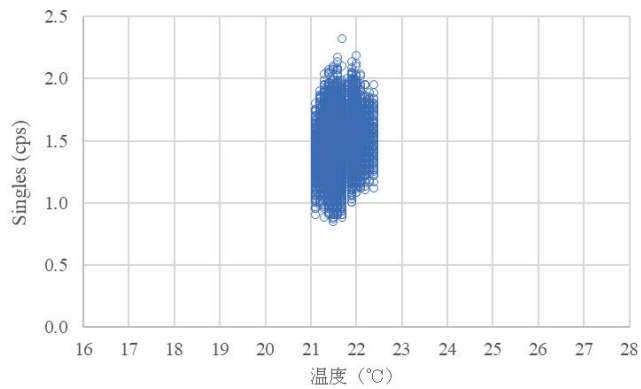


図 2.1.3-95 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

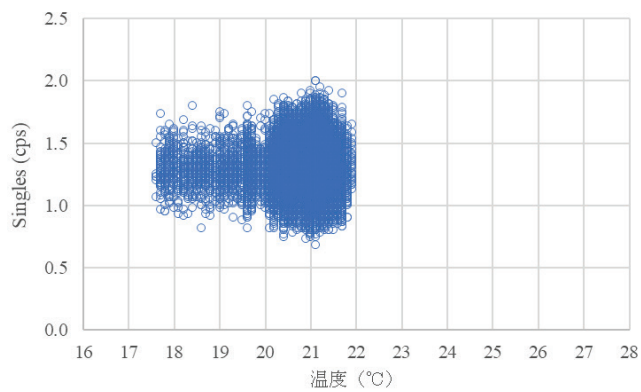


図 2.1.3-96 シングル値と温度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

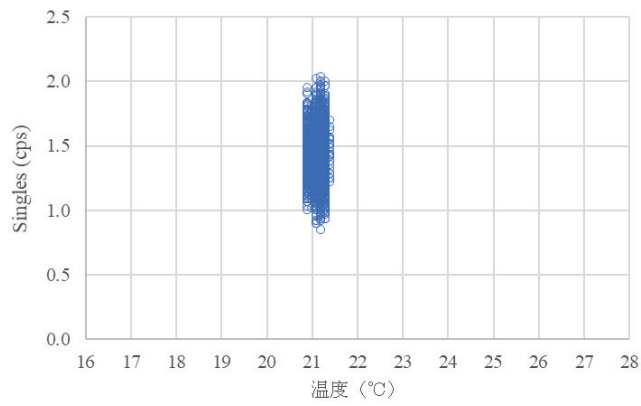


図 2.1.3-97 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

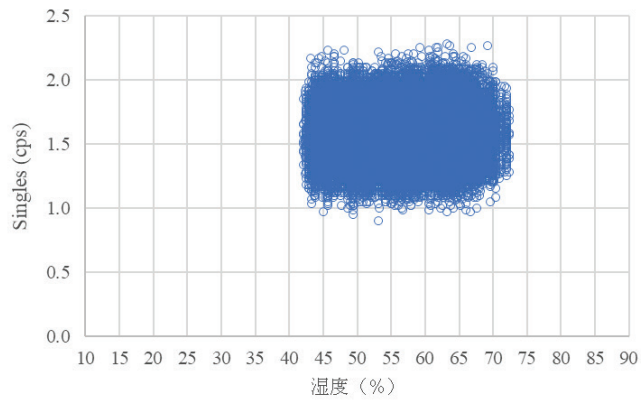


図 2.1.3-98 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

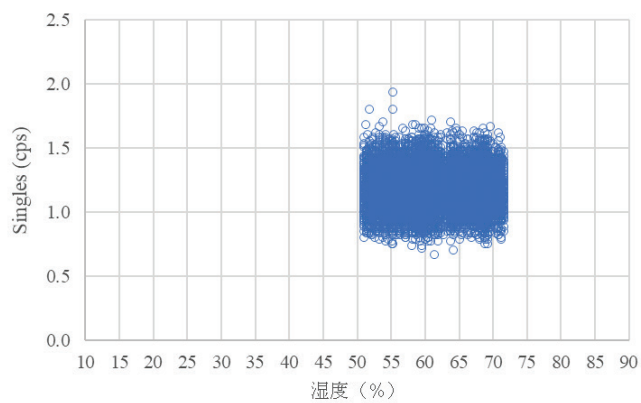


図 2.1.3-99 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

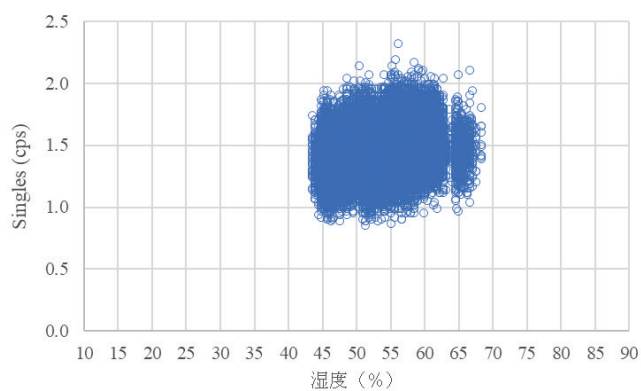


図 2.1.3-100 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

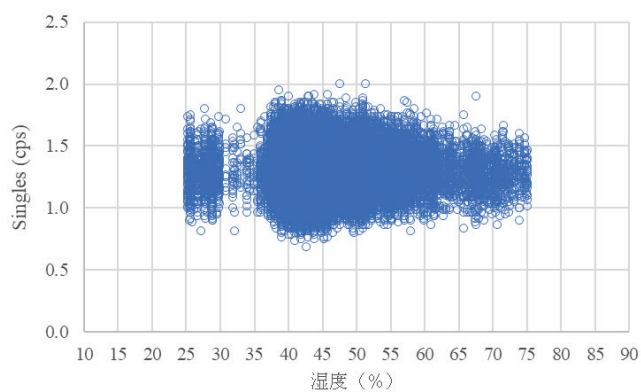


図 2.1.3-101 シングル値と湿度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

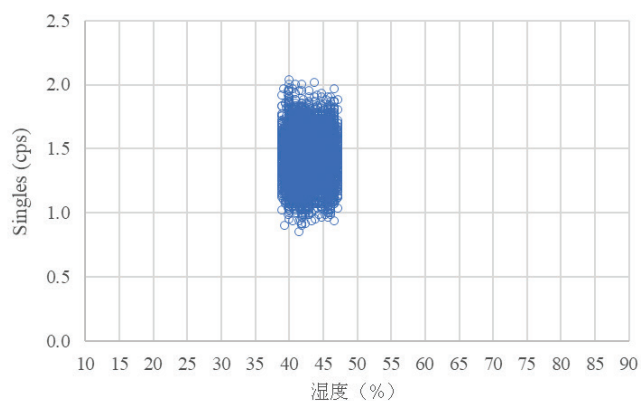


図 2.1.3-102 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

⑤ AFAS-B Bottom Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-103～107
- シングル値と温度の相関：図 2.1.3-108～112
- シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-113～117

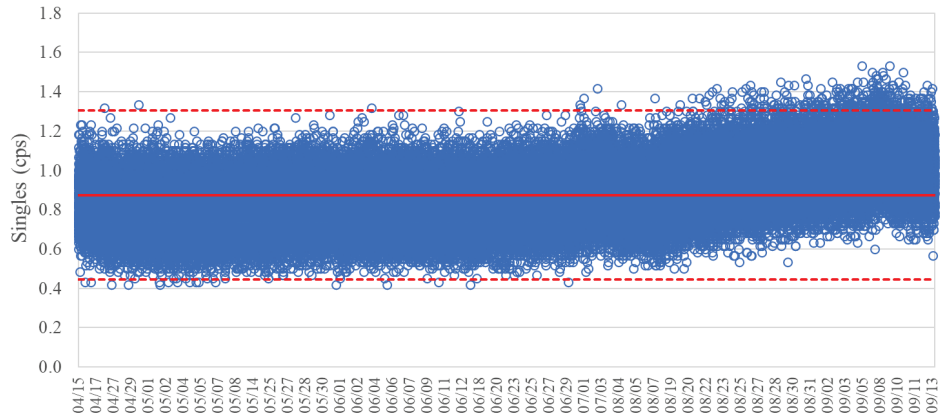


図 2.1.3-103 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15～2022/9/13)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

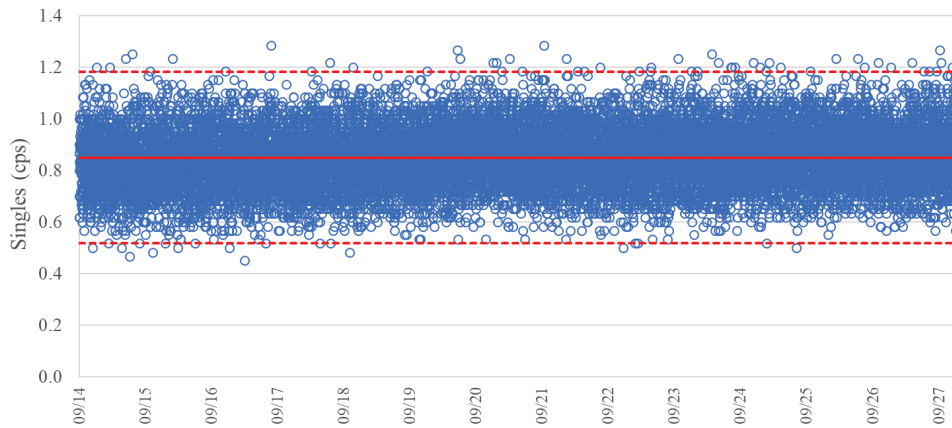


図 2.1.3-104 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14～2022/9/27)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

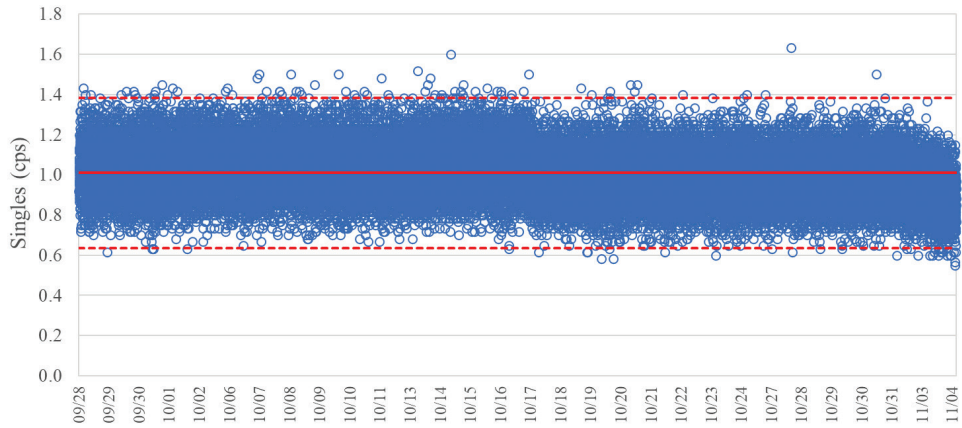


図 2.1.3-105 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

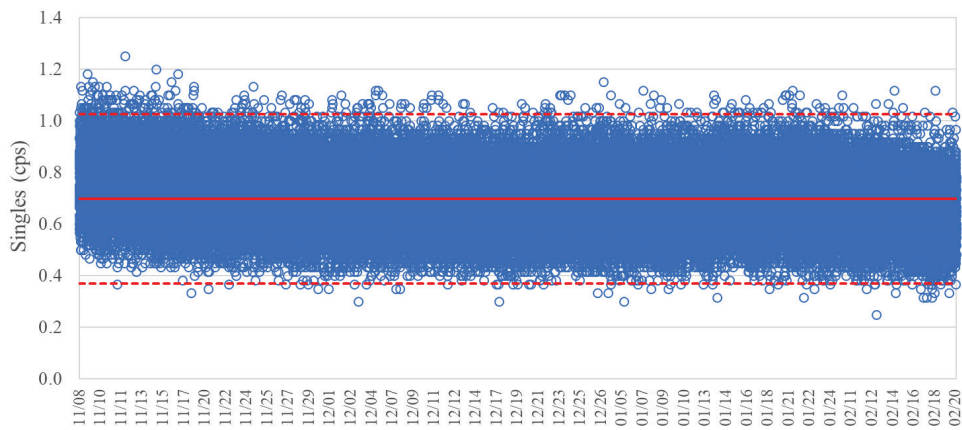


図 2.1.3-106 バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

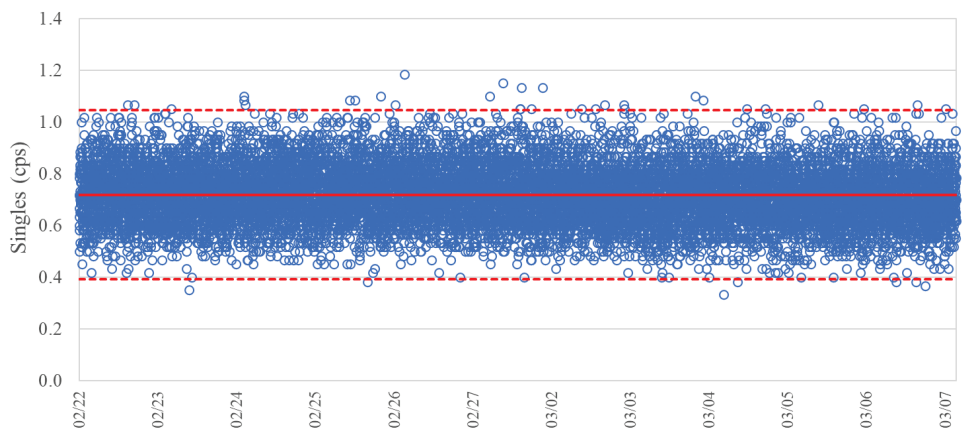


図 2.1.3-107 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

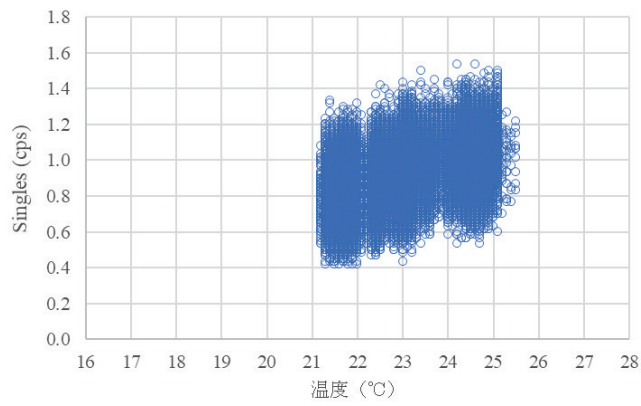


図 2.1.3-108 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

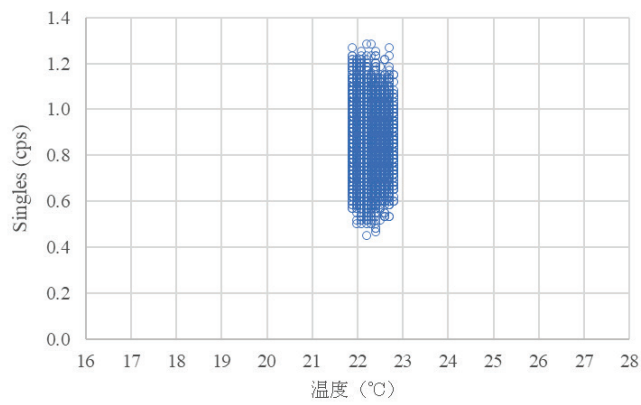


図 2.1.3-109 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

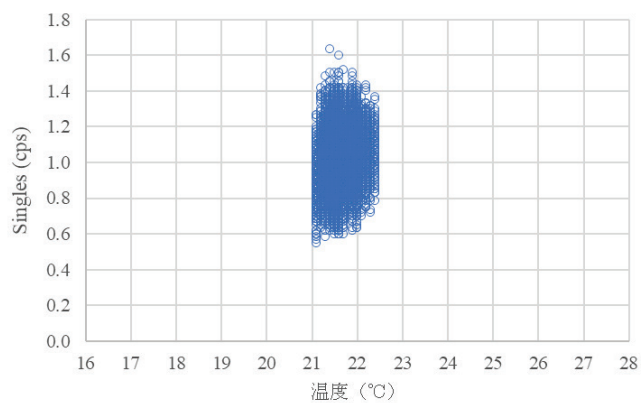


図 2.1.3-110 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)



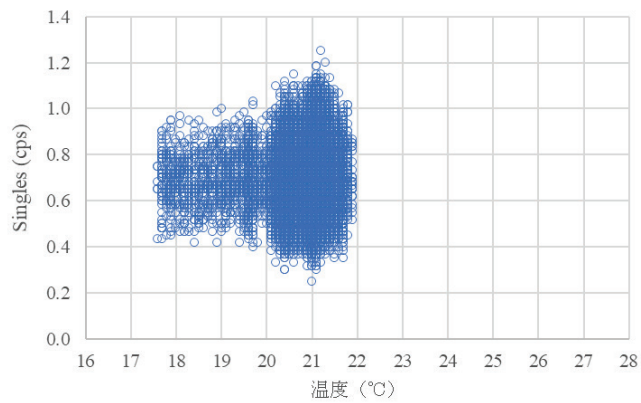


図 2.1.3-111 シングル値と温度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

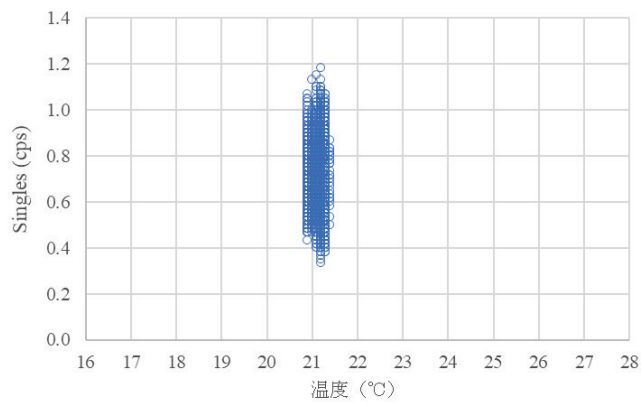


図 2.1.3-112 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

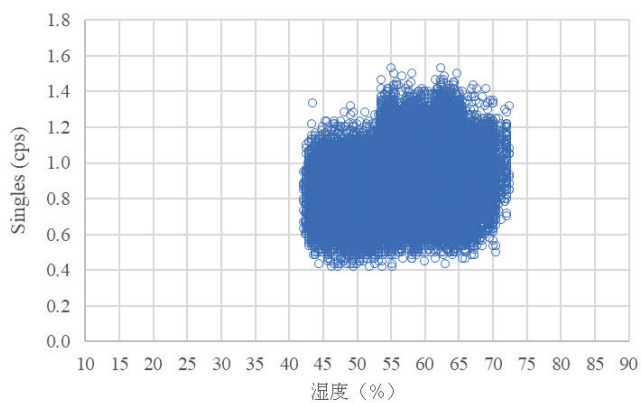


図 2.1.3-113 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

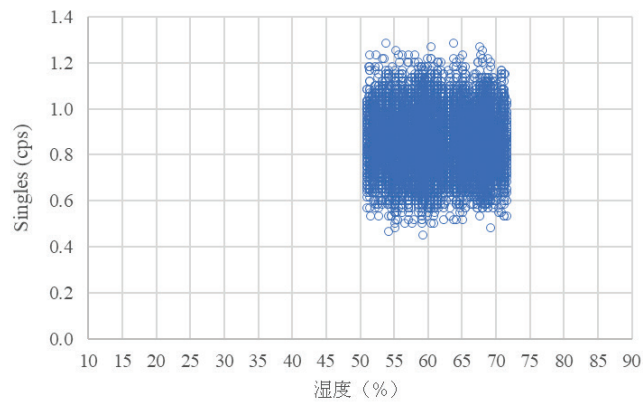


図 2.1.3-114 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

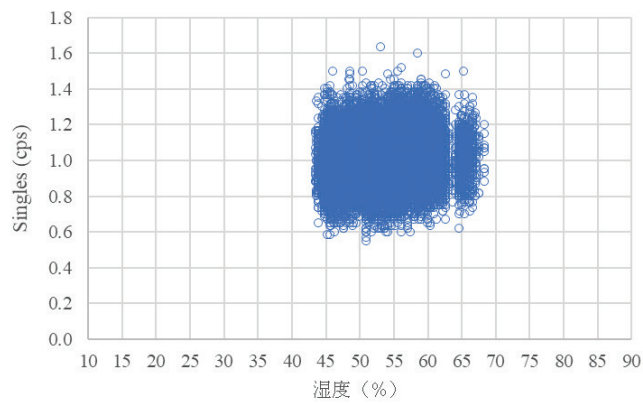


図 2.1.3-115 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

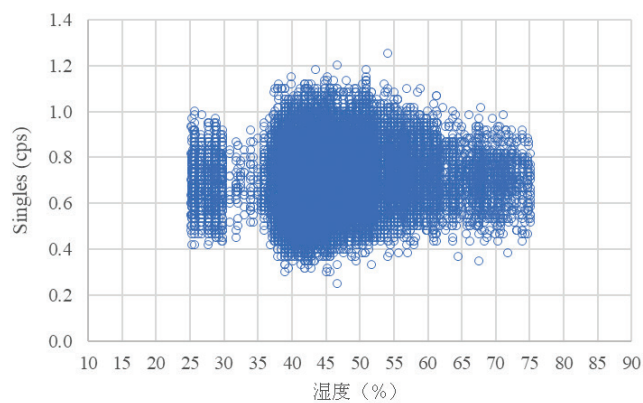


図 2.1.3-116 シングル値と湿度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

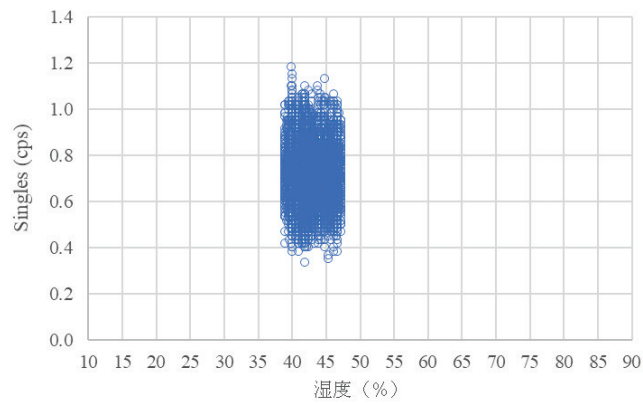


図 2.1.3-117 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

⑥ AFAS-P Bottom Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値 : 図 2.1.3-118~122
- シングル値と温度の相関 : 図 2.1.3-123~127
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-128~132

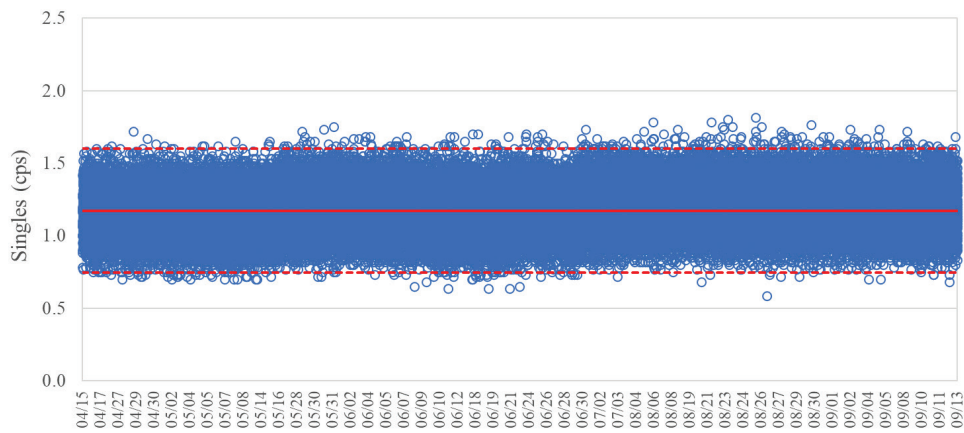


図 2.1.3-118 バックグラウンドのシングル値 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

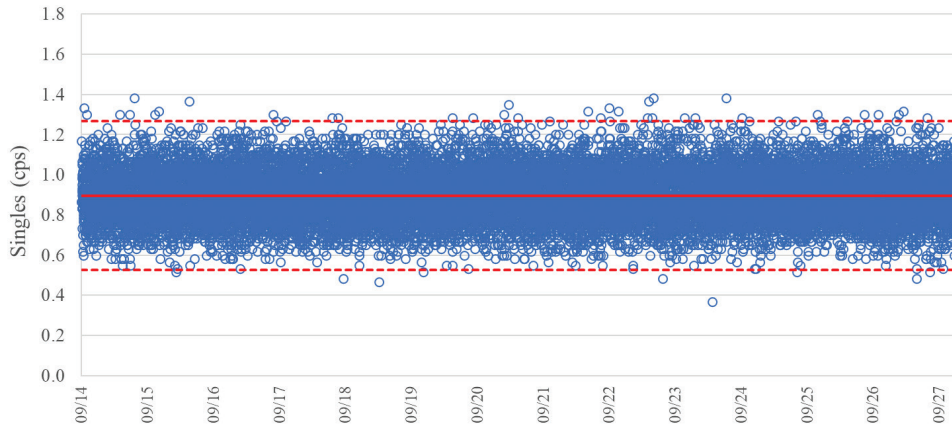


図 2.1.3-119 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

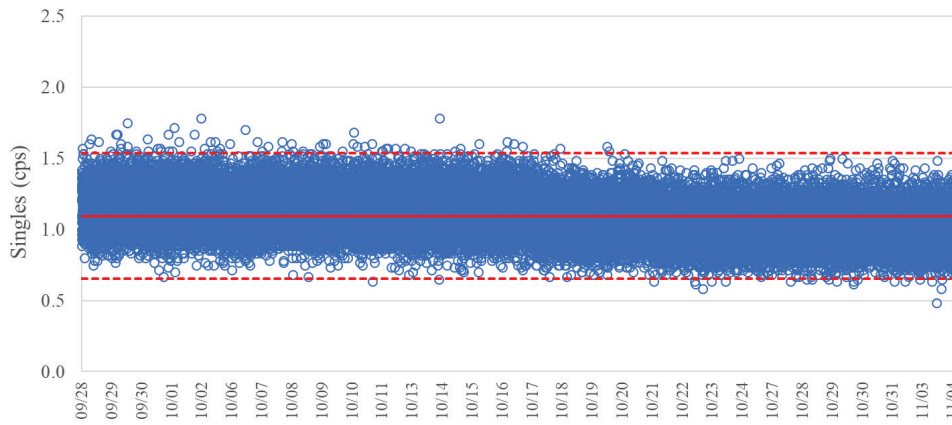


図 2.1.3-120 バックグラウンドのシングル値 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

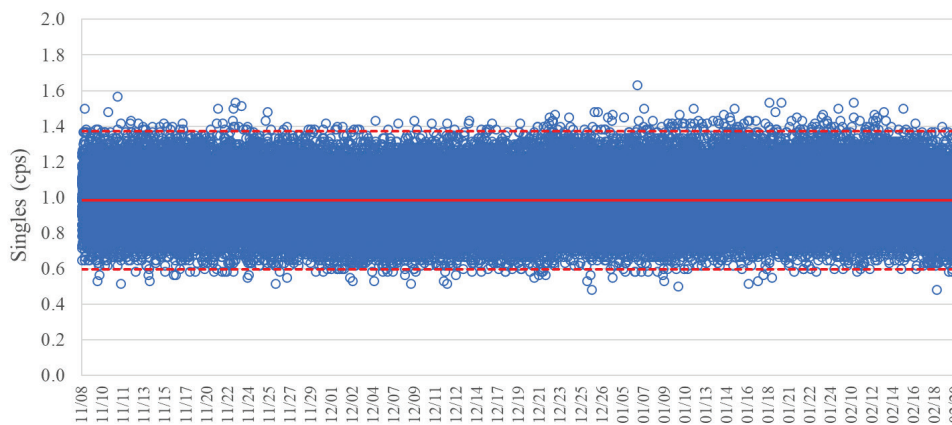


図 2.1.3-121 バックグラウンドのシングル値 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

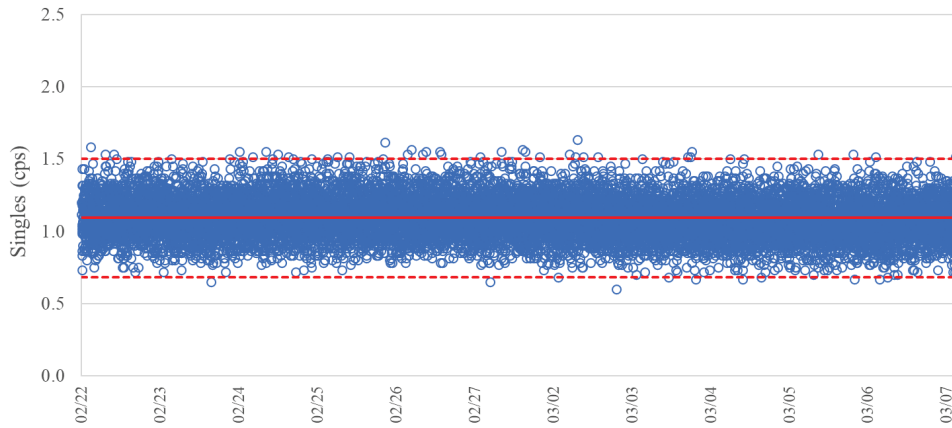


図 2.1.3-122 バックグラウンドのシングル値 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

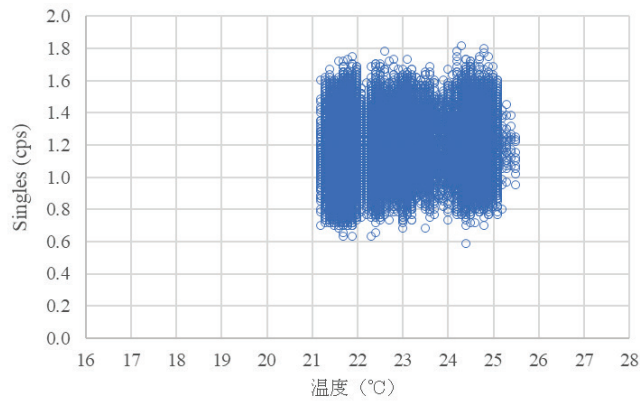


図 2.1.3-123 シングル値と温度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

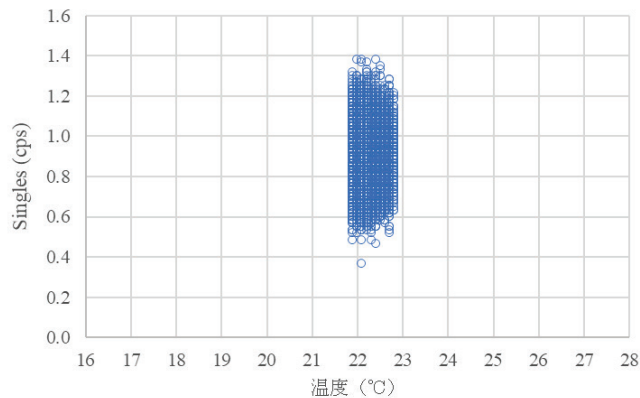


図 2.1.3-124 シングル値と温度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

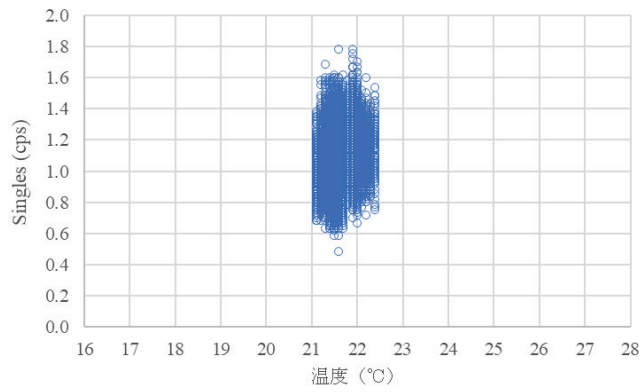


図 2.1.3-125 シングル値と温度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

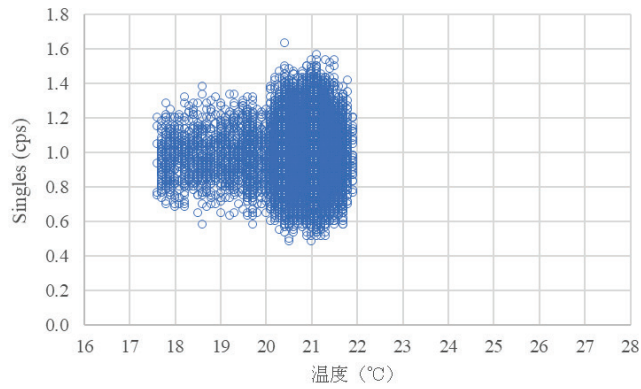


図 2.1.3-126 シングル値と温度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

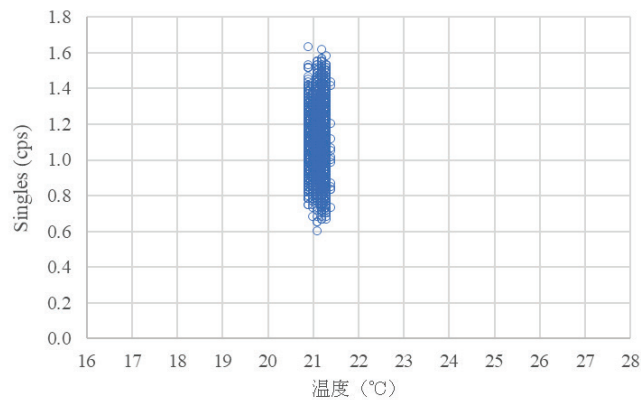


図 2.1.3-127 シングル値と温度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

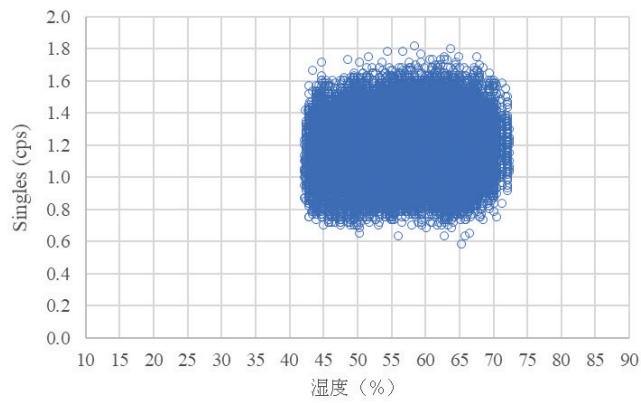


図 2.1.3-128 シングル値と湿度の相関 (2022/4/15~2022/9/13)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

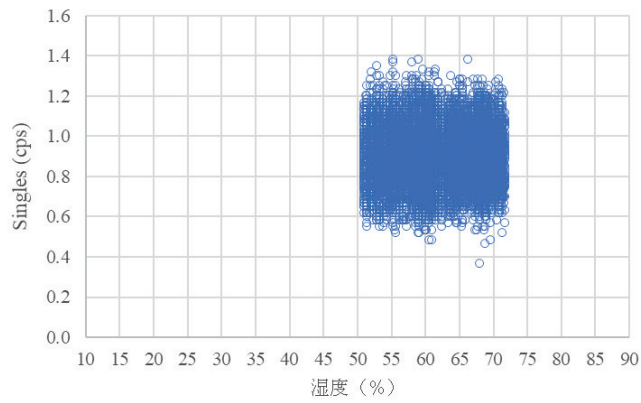


図 2.1.3-129 シングル値と湿度の相関 (2022/9/14~2022/9/27)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

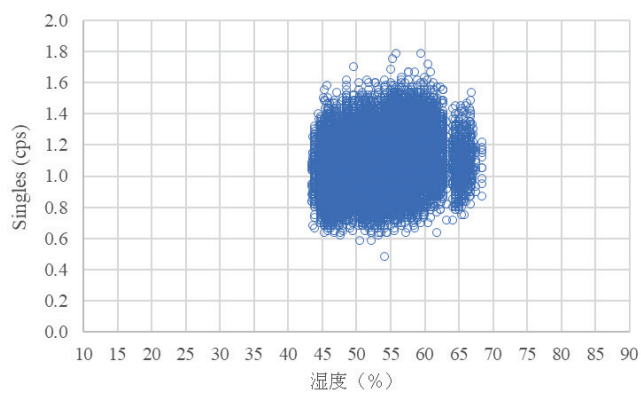


図 2.1.3-130 シングル値と湿度の相関 (2022/9/28~2022/11/4)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

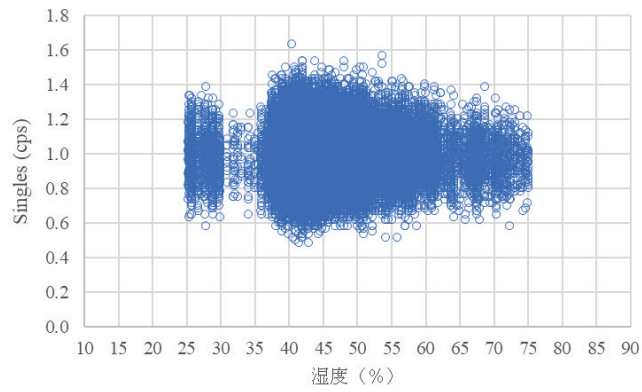


図 2.1.3-131 シングル値と湿度の相関 (2022/11/8~2023/2/20)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

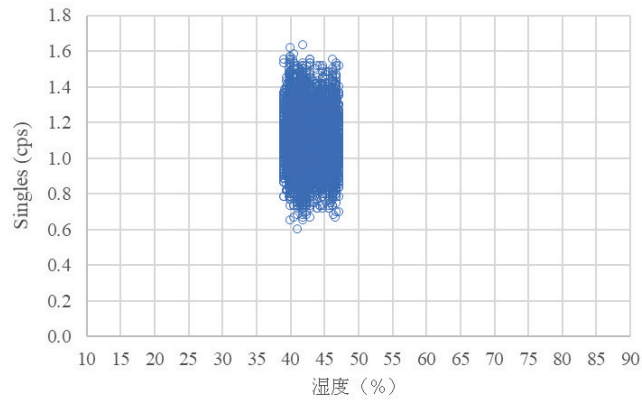


図 2.1.3-132 シングル値と湿度の相関 (2023/2/22~2023/3/7)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)



(2)  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定

AFAS-B 及び AFAS-P において、2022 年 4 月から 2023 年 3 月までの間に月 1 回の頻度で  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の測定を行い、各月ごとに Fork 検出器においてはシングル値とその期待値、Colar 検出器においてはダブル値とその期待値の相対差(以下、「%Difference」という) (図 2.1.3-133～138 に示す) を求めた。各グラフ中の赤色の実線は各%Difference の平均値を示し、破線は管理限界値 (各%Difference の誤差の二乗平均平方根を 3 倍した値を%Difference の平均値に加算及び減算し求めた値) を示す。管理限界値の上限值  $UL$  及び下限値  $LL$  を求める式を (2.1) 及び (2.2) に示す。いずれの検出器においても各%Difference は、各管理限界値の範囲内となった。

また、計数値と温度及び湿度との相関の有無の確認結果を図 2.1.3-139～150 に示す。各測定において、温度は約  $21^{\circ}\text{C}$ ～ $23^{\circ}\text{C}$ 、湿度は約  $42\%$ ～ $68\%$  の範囲で変動したが、これらの変動は計数値に影響を及ぼさなかった。

$$UL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \%Difference_i + 3 \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma \%Difference_i)^2} \quad \dots (2.1)$$

$$LL = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \%Difference_i - 3 \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma \%Difference_i)^2} \quad \dots (2.2)$$

ただし、 $n$  は 2022 年 4 月から 2023 年 3 月までの間に月 1 回の頻度で測定した回数であり、

$\sigma\%$ Difference は計数値と期待値の%Difference の誤差である。(  $n = 1$  は 2022 年 4 月のデータとする)

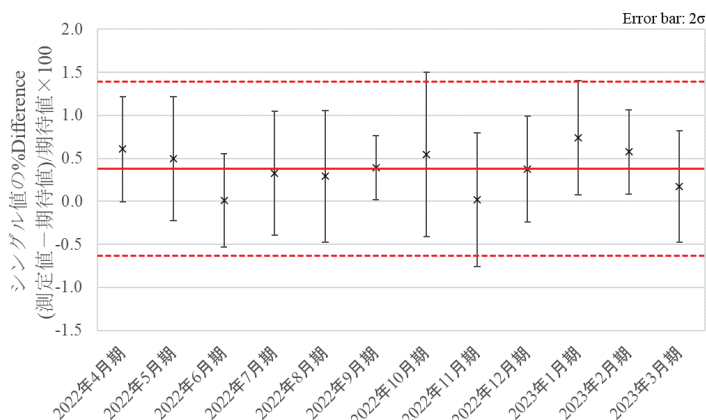


図 2.1.3-133 月ごとの%Difference の評価結果 (2022 年 4 月～2023 年 3 月)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

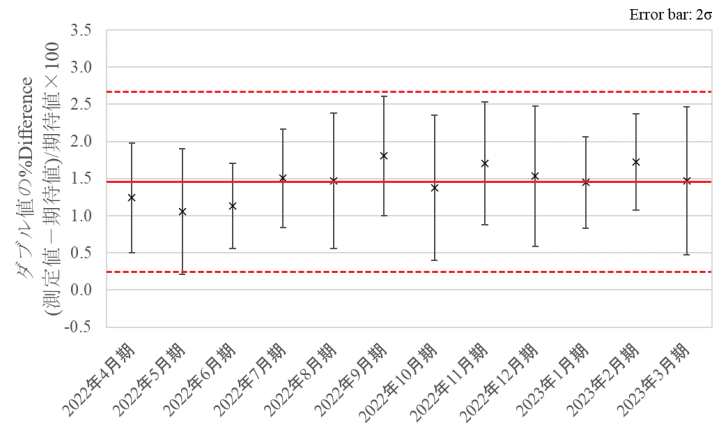


図 2.1.3-134 月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Collar 検出器)

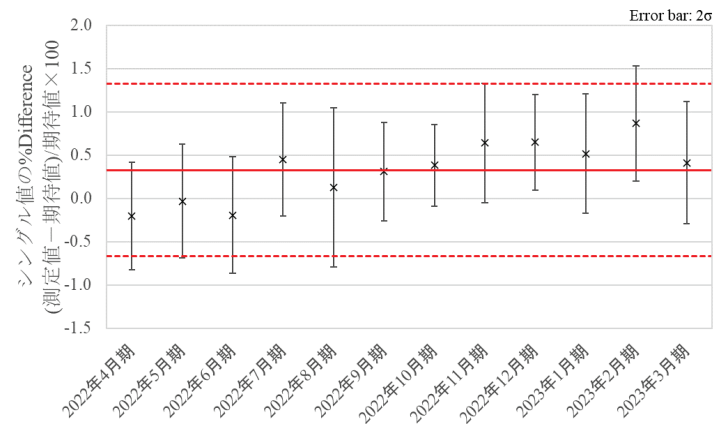


図 2.1.3-135 月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

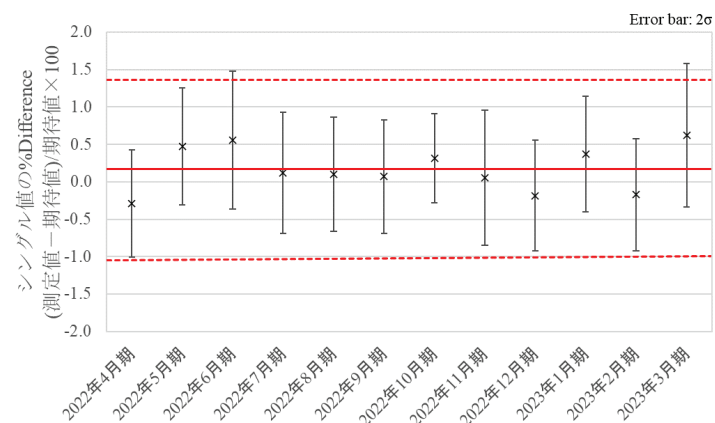


図 2.1.3-136 月ごとの%Difference の評価結果 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

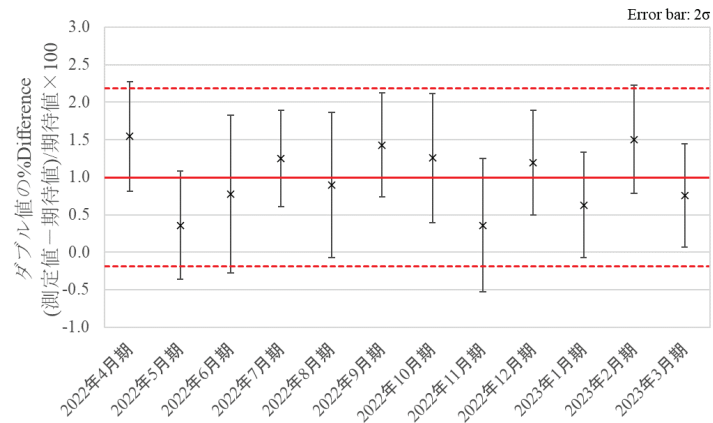


図 2.1.3-137 月ごとの%Difference の評価結果 (2022 年 4 月～2023 年 3 月)  
(AFAS-P Collar 検出器)

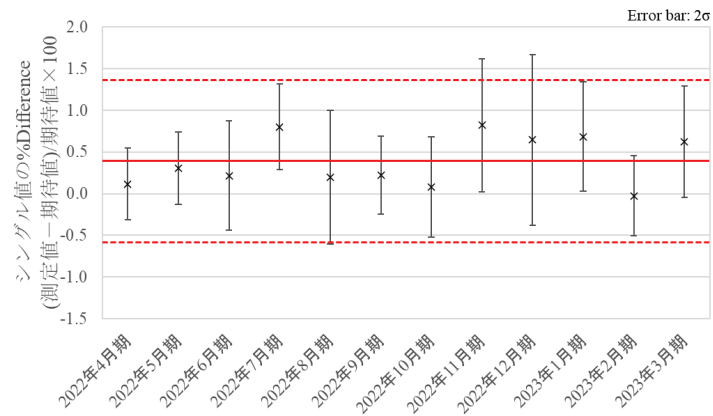


図 2.1.3-138 月ごとの%Difference の評価結果 (2022 年 4 月～2023 年 3 月)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

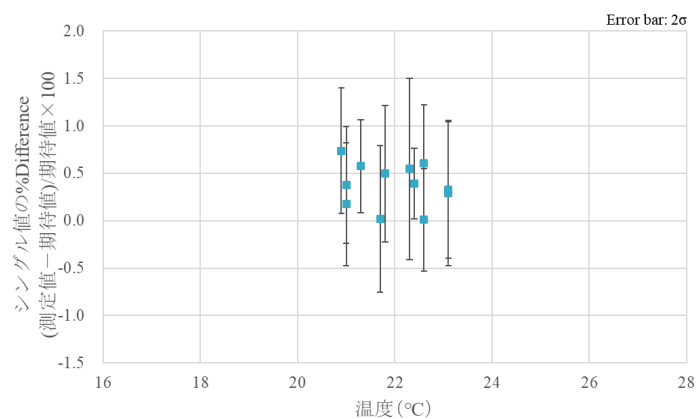


図 2.1.3-139 計数值と温度の相関 (2022 年 4 月～2023 年 3 月)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

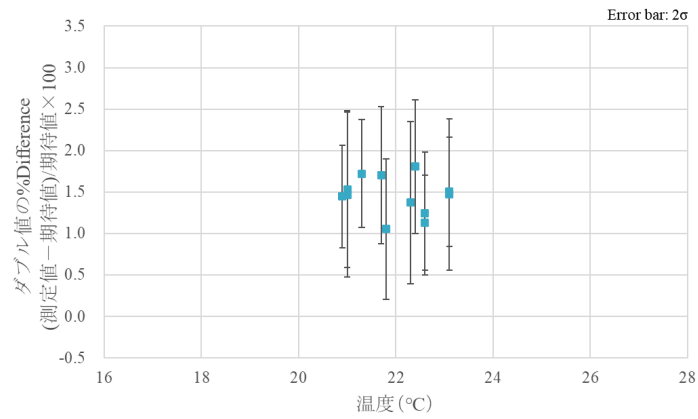


図 2.1.3-140 計数值と温度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Collar 検出器)

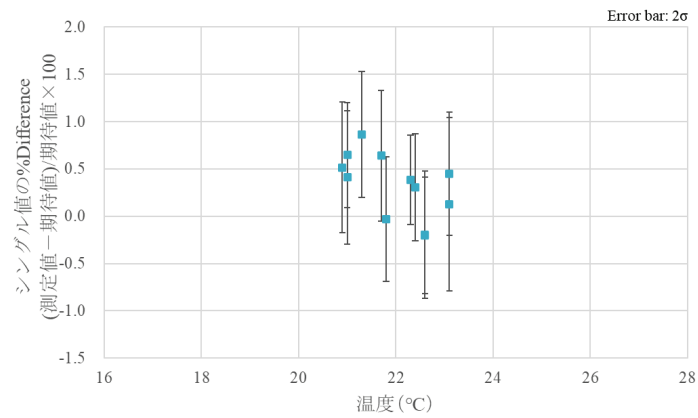


図 2.1.3-141 計数值と温度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

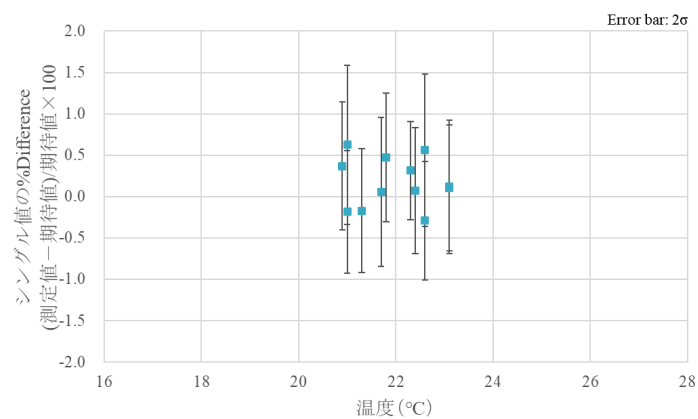


図 2.1.3-142 計数值と温度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

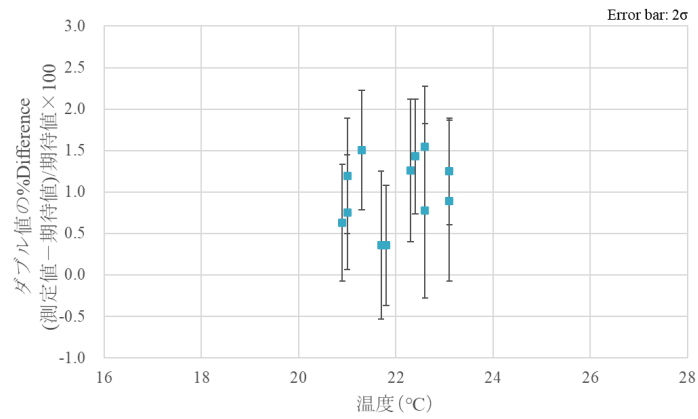


図 2.1.3-143 計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Collar 検出器)

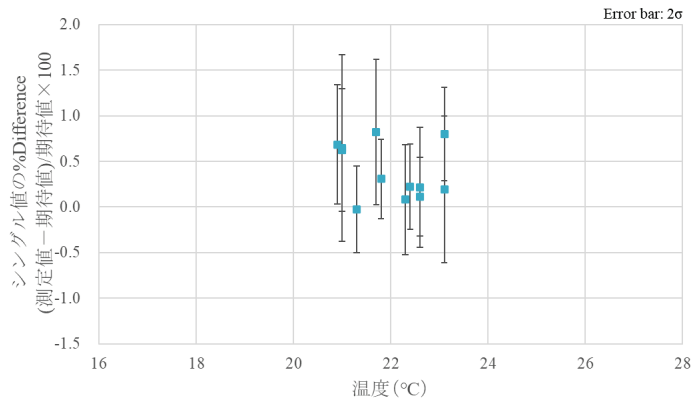


図 2.1.3-144 計数値と温度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

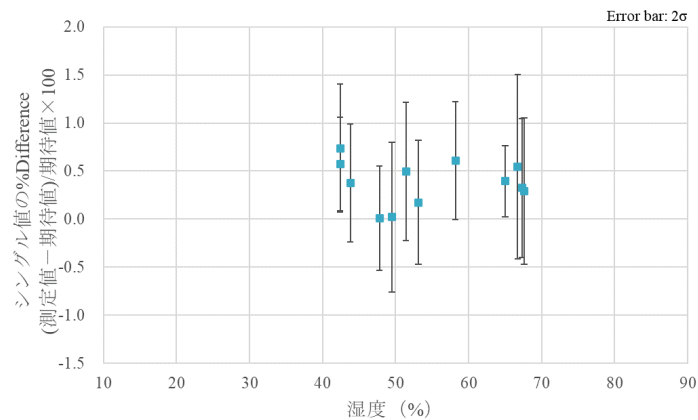


図 2.1.3-145 計数値と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Top Fork 検出器)

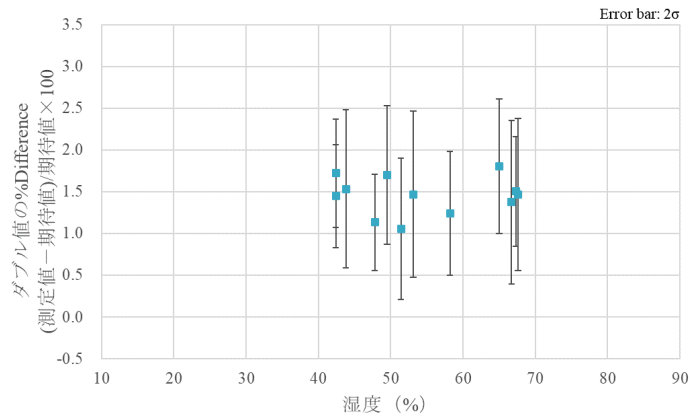


図 2.1.3-146 計数值と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Collar 検出器)

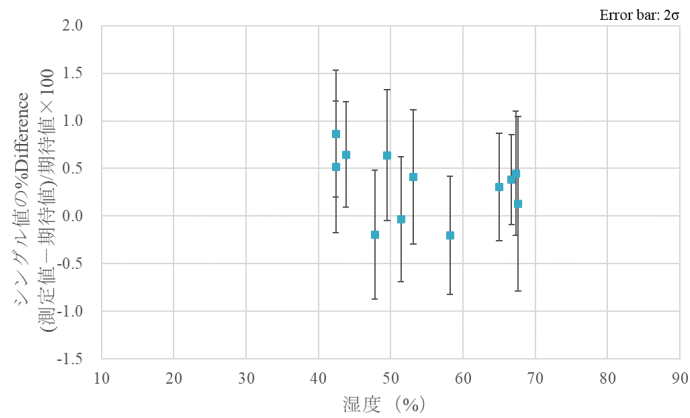


図 2.1.3-147 計数值と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

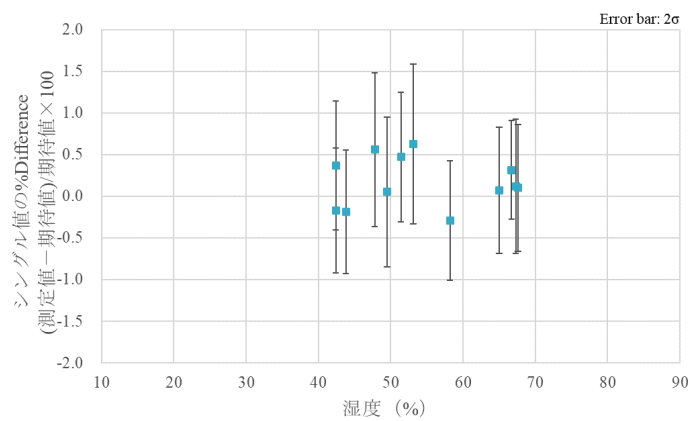


図 2.1.3-148 計数值と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Top Fork 検出器)

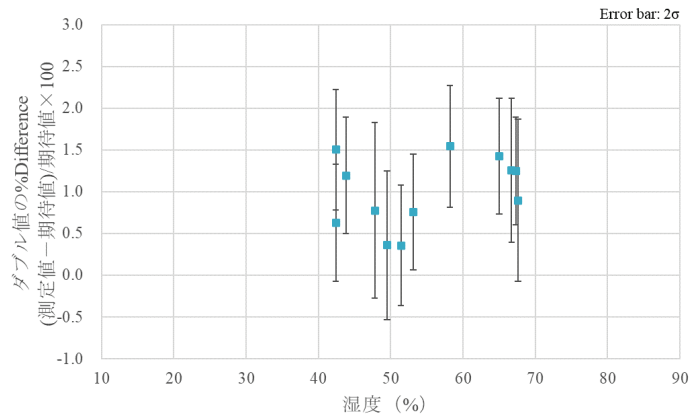


図 2.1.3-149 計数值と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Collar 検出器)

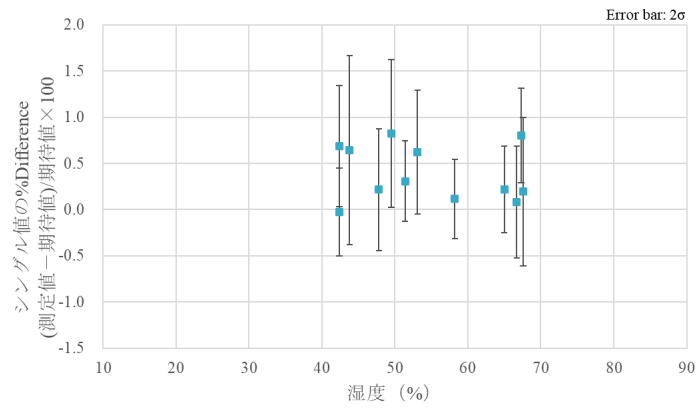


図 2.1.3-150 計数值と湿度の相関 (2022年4月～2023年3月)  
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

#### 2.1.4 考察

##### (1) バックグラウンド測定

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器及び Fork 検出器において、10 月及び 2 月にシングル値が徐々に低下する事象については、各検出器においてほぼ同時に確認された事象であることから、検出器の異常ではなく、環境の変化（AFAS 検出器近傍の設備の移動、隣接する部屋内の放射線源の増減）等により発生した事象であると推測される。また、AFAS-P の Collar 検出器においてみられた、単発的な高計数値が全期間に複数回測定される事象については、シングル値及びダブル値において同時に確認されており、他の検出器では確認されなかったため、宇宙線や環境の変化による影響ではないと考えられる。本事象については、前年度（令和 3 年度）以前の性能確認試験<sup>(参考文献 2)</sup>においても同様の事象が確認されており、検出器の不具合により発生している事象である可能性があるため、LANL に報告済みである。なお、本事象については、通常、INCC ソフトウェアの QC Test 機能により排除されるため、測定に影響を及ぼすことはない。

AFAS-B の Bottom Fork 検出器において、8 月から 9 月にかけてシングル値が徐々に上昇する事象については、平成 30 年度の性能確認試験<sup>(参考文献 3)</sup>において確認された、施設測定環境の温湿度の上昇により発生した計数値の上昇と同様の事象の可能性がある。また、11 月のシングル値が徐々に低下する事象については、他の検出器では確認されなかったため、環境の変化等により発生した事象である可能性は低いと考えられる。当該検出器については、上記期間以外は安定して動作し、データを取得できていたことから、継続して経過を観察することとする。

以上のように、いくつかの異常値が取得されたが、各検出器により得られたほぼ全てのシングル値は、誤差（ $3\sigma$ ）の範囲内に収まっていた。このことから、測定期間中、各検出器は安定して動作していたと考えられる。

また、AFAS-B の Bottom Fork 検出器以外の検出器においては、測定環境の温度及び湿度の変動が測定に及ぼす影響はみられなかったことから、J-MOX においても AFAS 測定環境の温度及び湿度の変動範囲が本測定と同等（温度：約  $18^{\circ}\text{C}$ ～ $26^{\circ}\text{C}$ 、湿度：約 25%～75%）であれば、測定に影響を及ぼすことはないと考えられる。AFAS-B の Bottom Fork 検出器においては、シングル値の上昇がみられた期間と同様の温度及び湿度の変動が測定に影響を及ぼす可能性があることを留意する必要がある。

##### (2) $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源測定

いずれの検出器においても、各月の計数値と期待値の %Difference は、管理限界値の範囲内となったことから、本期間において AFAS の性能は正常に維持されていたと考えられる。



## 2.2 パルス間隔分布の評価

### 2.2.1 目的

装置に不具合が発生した場合、その原因特定の判断材料となる、アンプ毎のパルス間隔分布を評価する。

### 2.2.2 方法

JAEA が所有するリストモジュール(PTR-32HV)を用いて  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を測定し、AFAS の各検出器のアンプ毎のパルス間隔分布を評価する。また、本評価結果と前年度（令和 3 年度）に実施した性能確認試験<sup>(参考文献 2)</sup>における評価結果を比較する。令和 3 年度及び令和 4 年度の評価結果の例を図 2.2.2-1 に示す。

本評価は、AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器について行う。

各検出器のアンプ数及び配置図を表 2.2.2-1 及び図 2.2.2-2～2.2.2-5 に示す。

本評価では、1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（T1-349）を使用する。

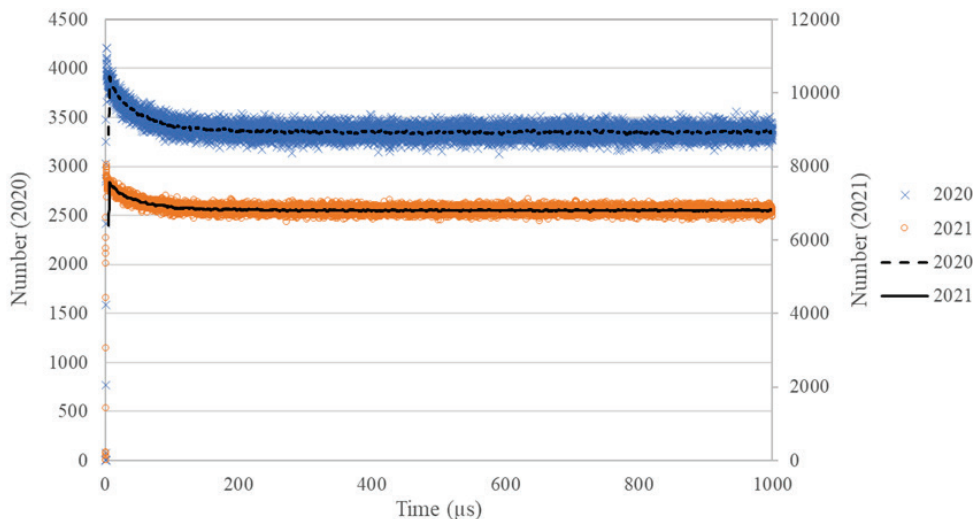


図 2.2.2-1 アンプ A のパルス間隔分布の例（AFAS-B Collar 検出器）

表 2.2.2-1 各検出器におけるアンプ数

検出器		アンプ個数
AFAS-B	Top Fork	1
	Collar	6
	Bottom Fork	1
AFAS-P	Top Fork	1
	Collar	10
	Bottom Fork	1

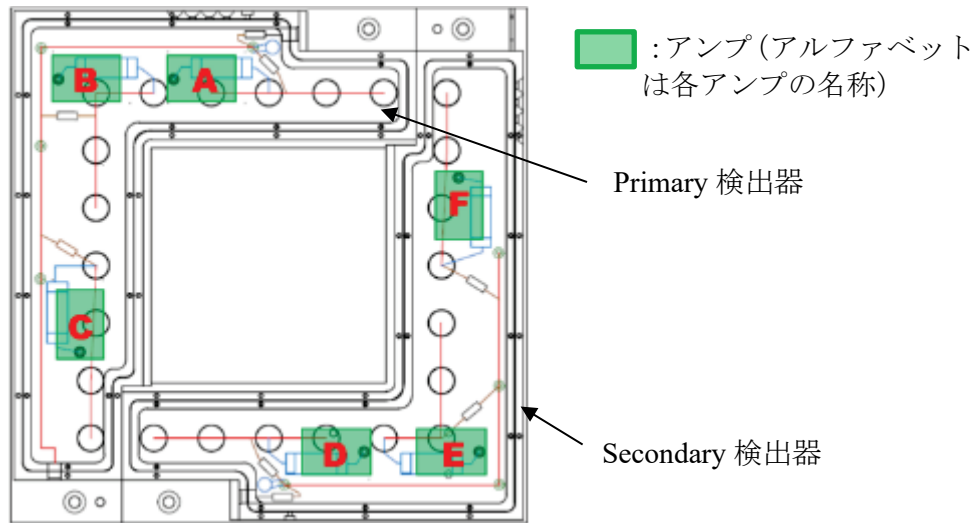


図 2.2.2-2 AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図

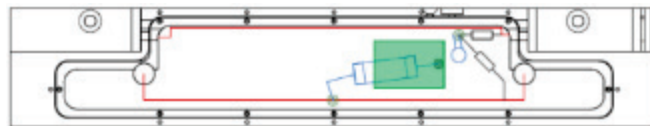


図 2.2.2-3 AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

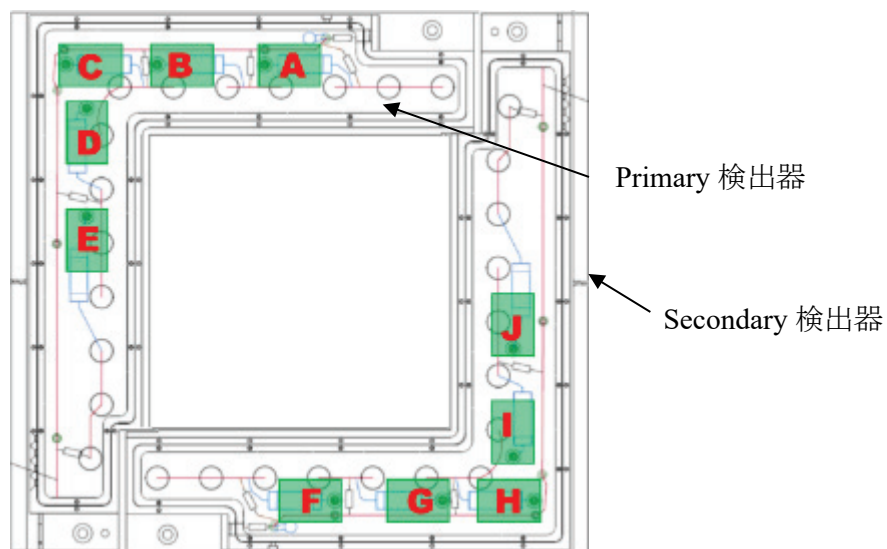


図 2.2.2-4 AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図

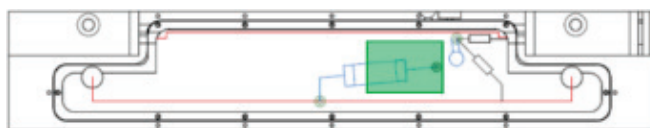


図 2.2.2-5 AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① AFAS の各検出器を試験用架台に設置する。
- ② 線源固定治具を用いて、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を任意の検出器にセットする。
- ③ 検出器にリストモジュールを接続する。
- ④ 検出器のジャンクションボックスの蓋を外す。
- ⑤ 任意のアンプ以外のアンプのジャンパーピン（写真 2.2.2-1 参照）を取り外し、計数機能を停止させる。
- ⑥ リストモジュール用ソフトウェアを用いてパルスを測定し、パルス間隔分布を評価する。
  - ・ AFAS-B 測定時間：Collar 検出器：10 分、Fork 検出器：100 分
  - ・ AFAS-P 測定時間：Collar 検出器：10 分、Fork 検出器：100 分
- ⑦ 全てのアンプについて、⑤～⑥を実施する。
- ⑧ 全ての検出器について、②～⑦を実施する。

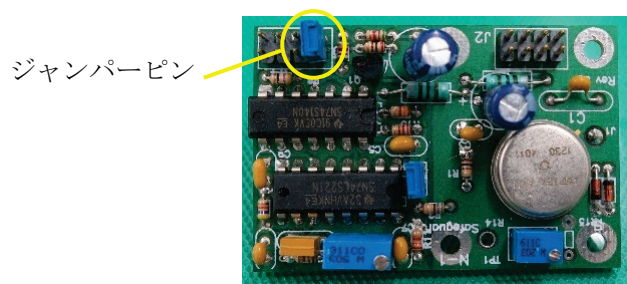


写真 2.2.2-1 AFAS のアンプ (AMPTEK A111)

### 2.2.3 結果

AFAS-B Collar 検出器における各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和3年度（2021年度）に実施した性能確認試験<sup>(参考文献2)</sup>における評価結果を比較した結果（0～1000 $\mu$ s 及び 0～100 $\mu$ s の分布）を図 2.2.3-1～2.2.3-12 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和3年度（2021年度）に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和4年度（2022年度）に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

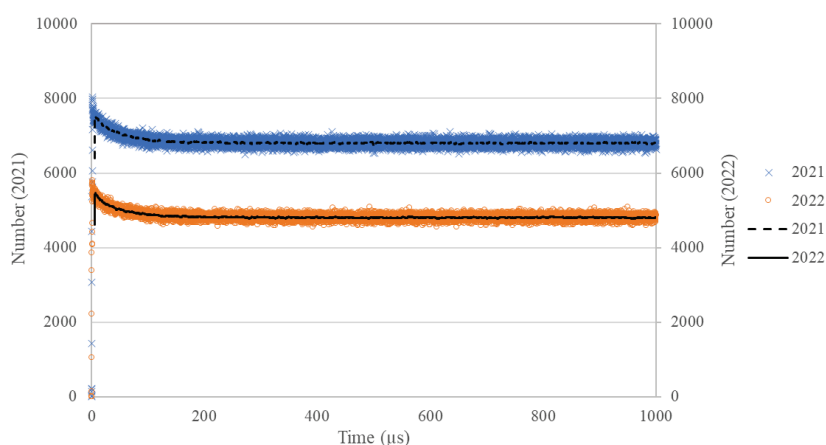


図 2.2.3-1 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～1000 $\mu$ s）

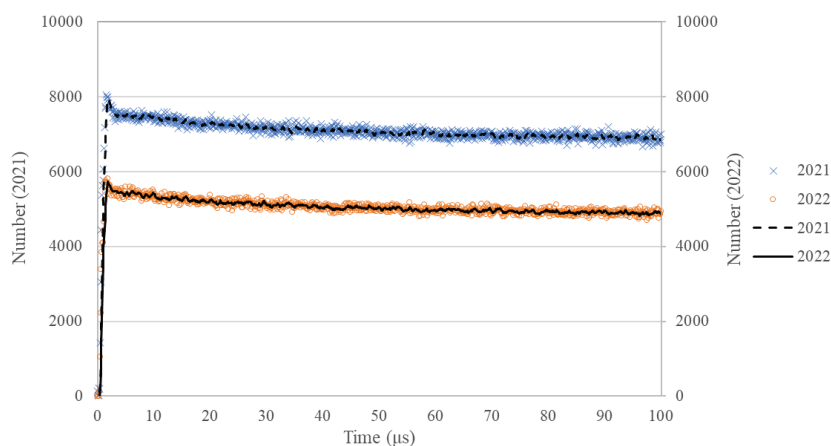


図 2.2.3-2 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～100 $\mu$ s）

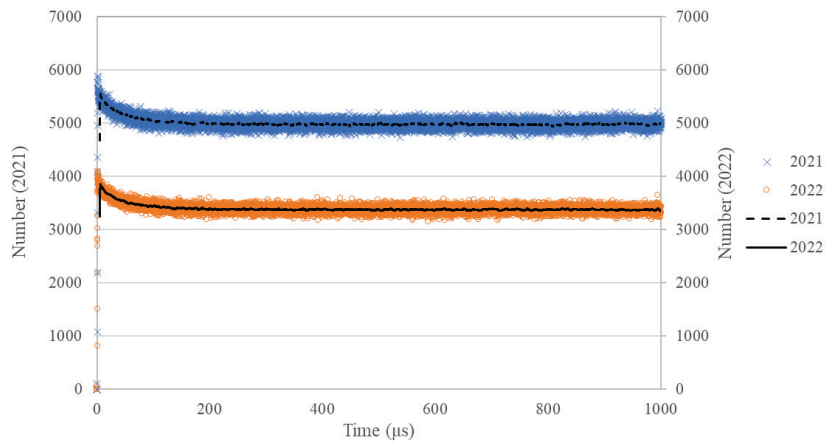


図 2.2.3-3 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

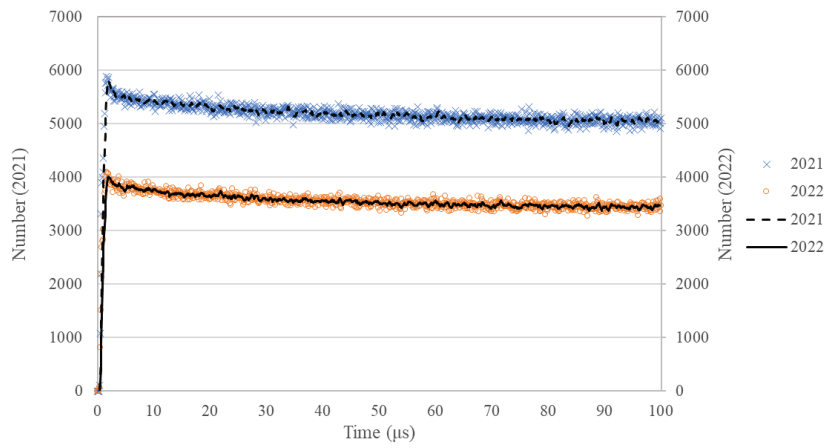


図 2.2.3-4 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

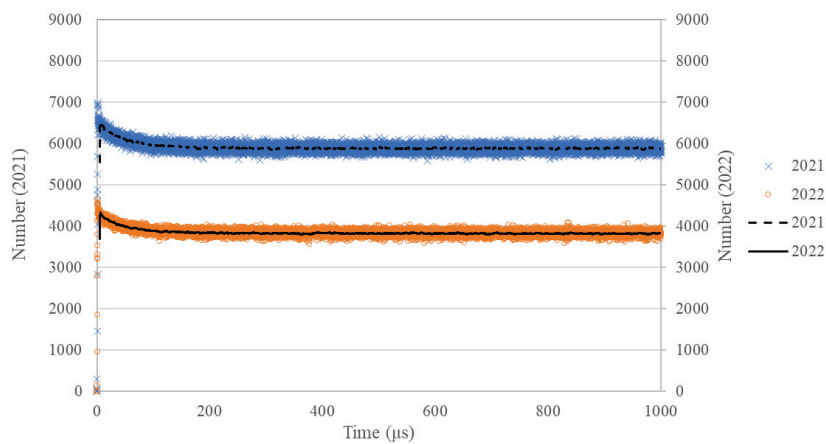


図 2.2.3-5 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

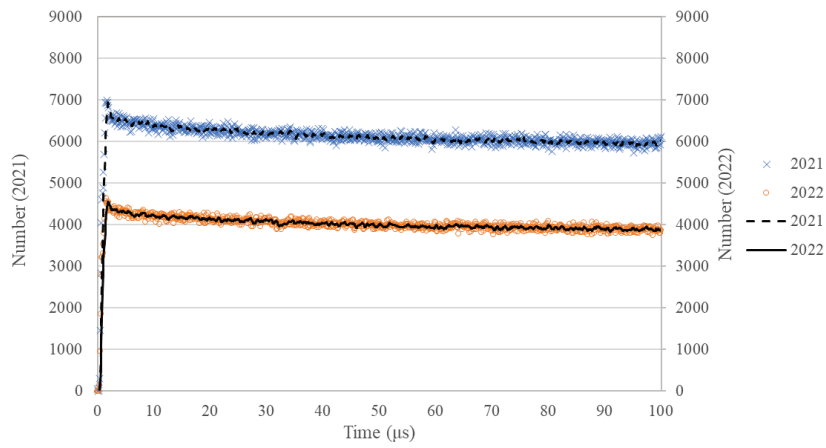


図 2.2.3-6 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

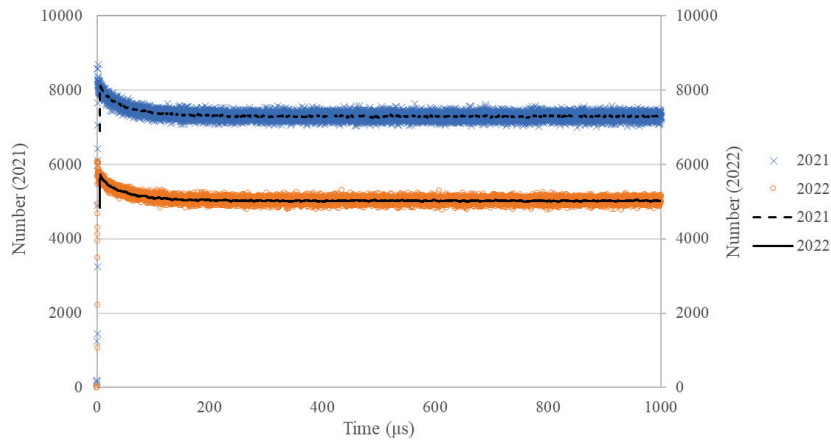


図 2.2.3-7 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

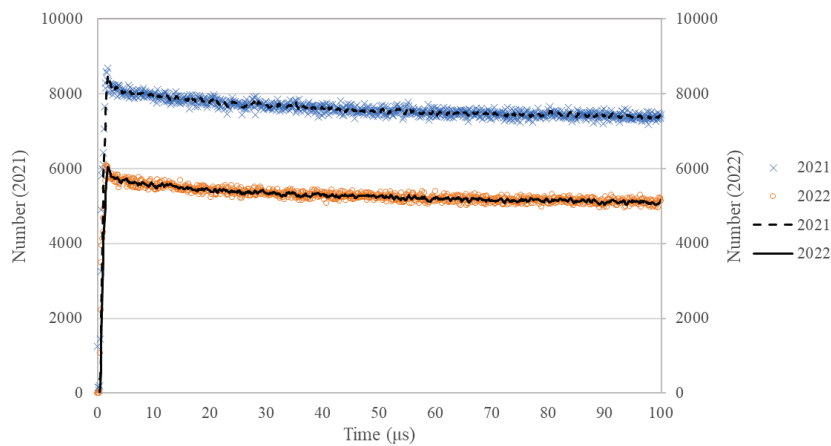


図 2.2.3-8 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

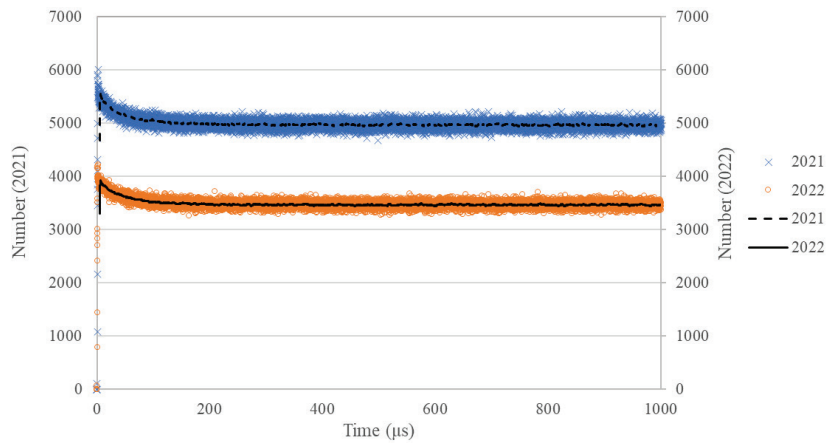


図 2.2.3-9 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

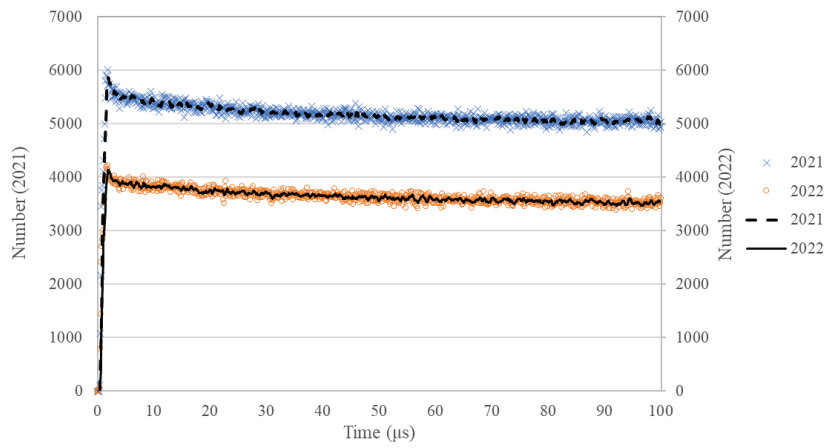


図 2.2.3-10 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

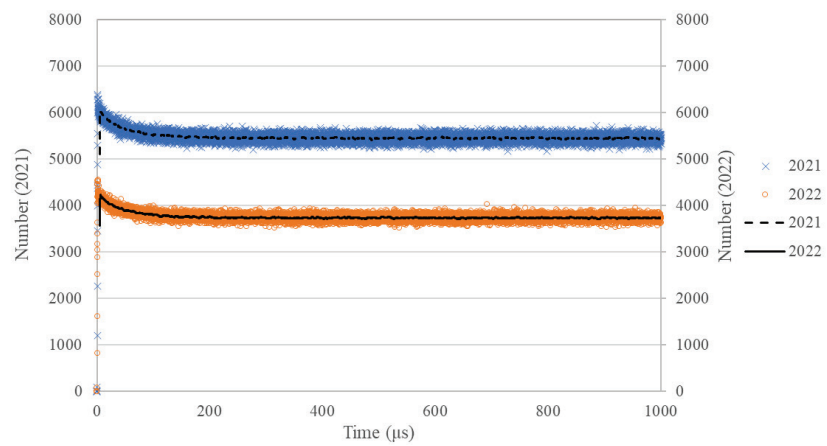


図 2.2.3-11 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

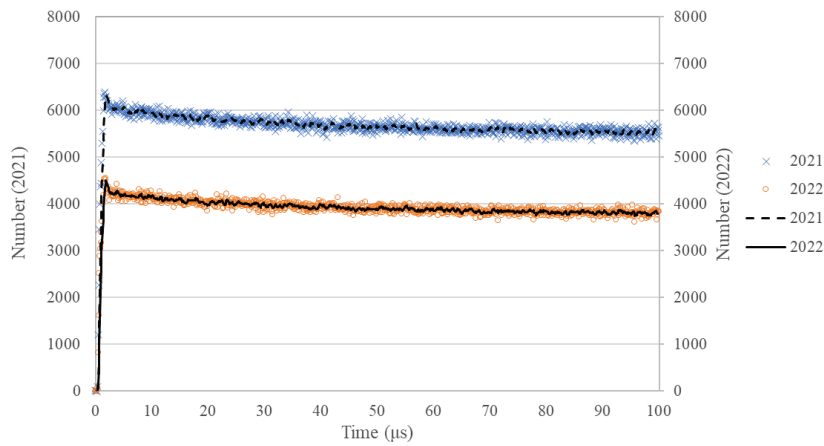


図 2.2.3-12 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

AFAS-B Top Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和 3 年度 (2021 年度) に実施した性能確認試験(参考文献 2)における評価結果を比較した結果 (0~1000 $\mu$ s 及び 0~100 $\mu$ s の分布) を図 2.2.3-13 及び図 2.2.3-14 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和 3 年度 (2021 年度) に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和 4 年度 (2022 年度) に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

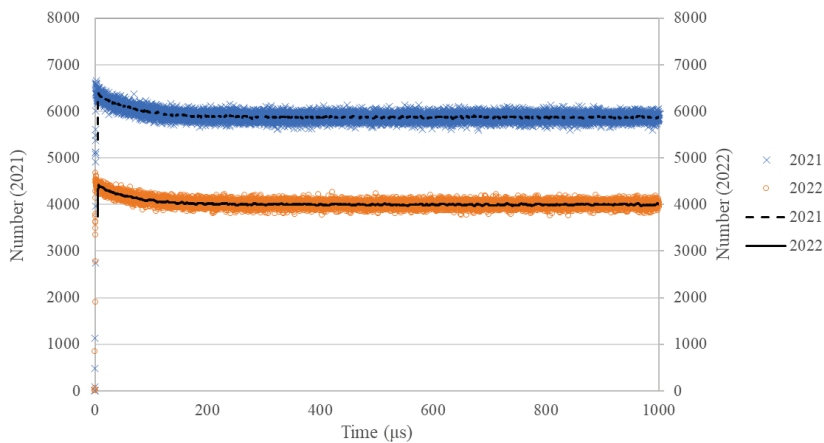


図 2.2.3-13 AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)



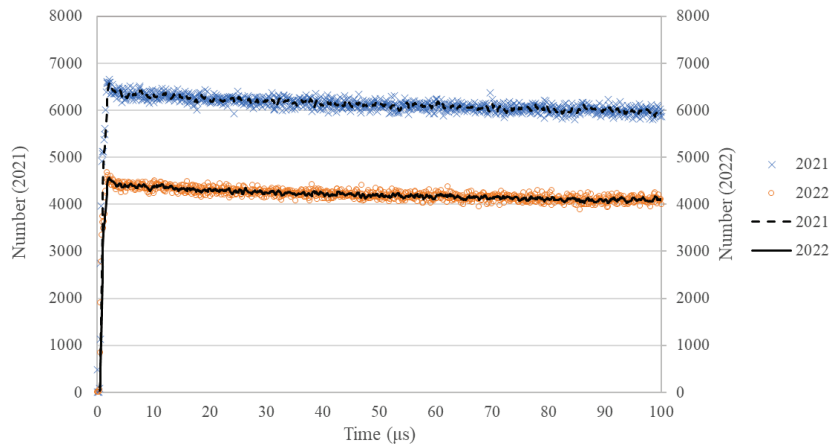


図 2.2.3-14 AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

AFAS-B Bottom Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和3年度(2021年度)に実施した性能確認試験(参考文献2)における評価結果を比較した結果(0~1000 $\mu$ s 及び 0~100 $\mu$ s の分布)を図 2.2.3-15 及び図 2.2.3-16 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和3年度(2021年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和4年度(2022年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

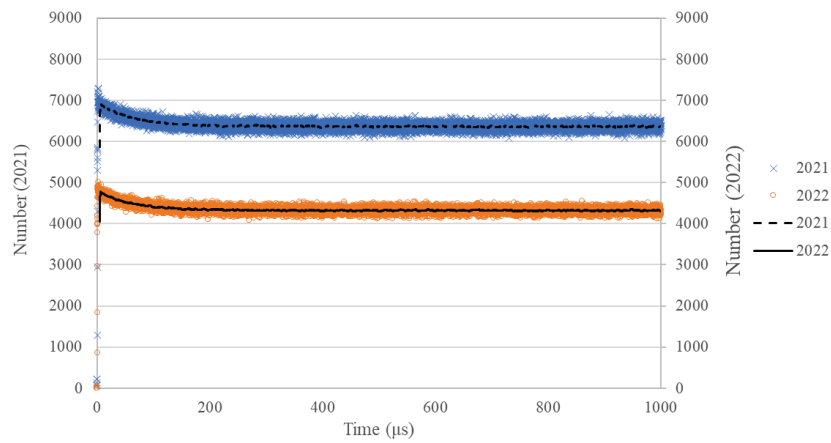


図 2.2.3-15 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

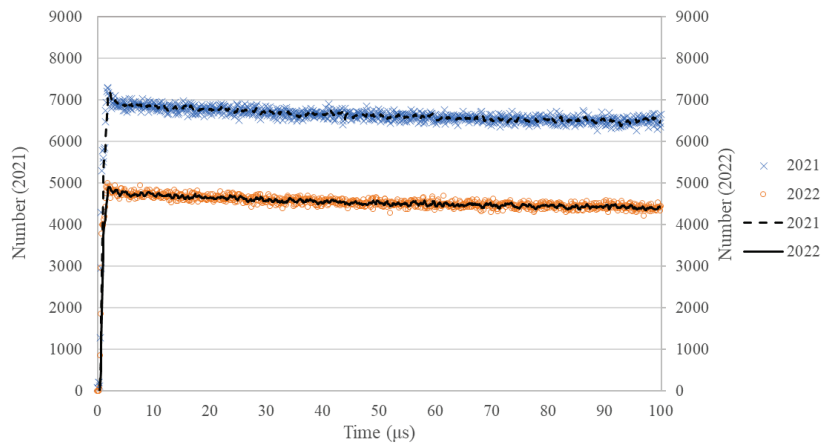


図 2.2.3-16 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

AFAS-P Collar 検出器における各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和3年度(2021年度)に実施した性能確認試験(参考文献2)における評価結果を比較した結果(0~1000 $\mu$ s 及び 0~100 $\mu$ s の分布)を図 2.2.3-17~2.2.3-36 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和3年度(2021年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和4年度(2022年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

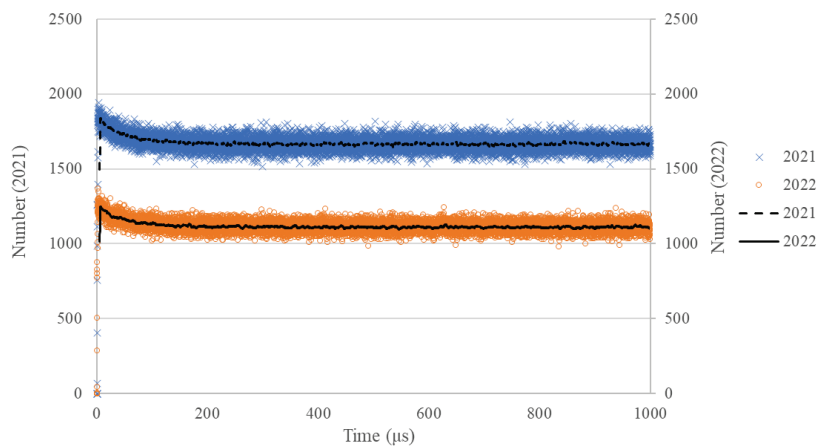


図 2.2.3-17 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

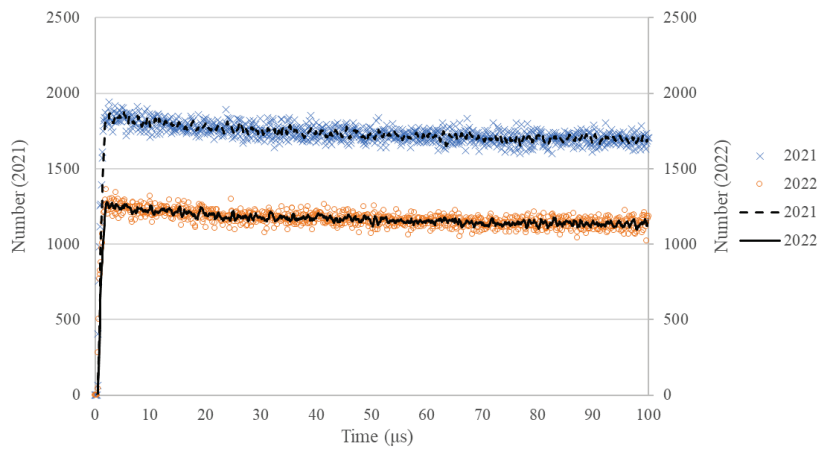


図 2.2.3-18 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

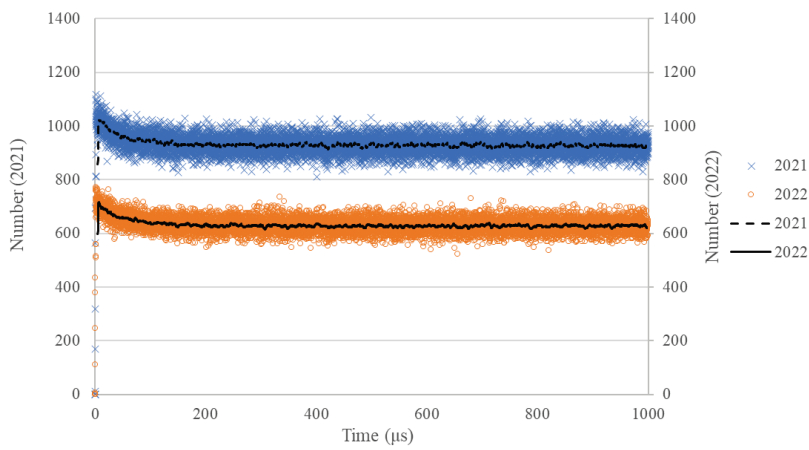


図 2.2.3-19 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

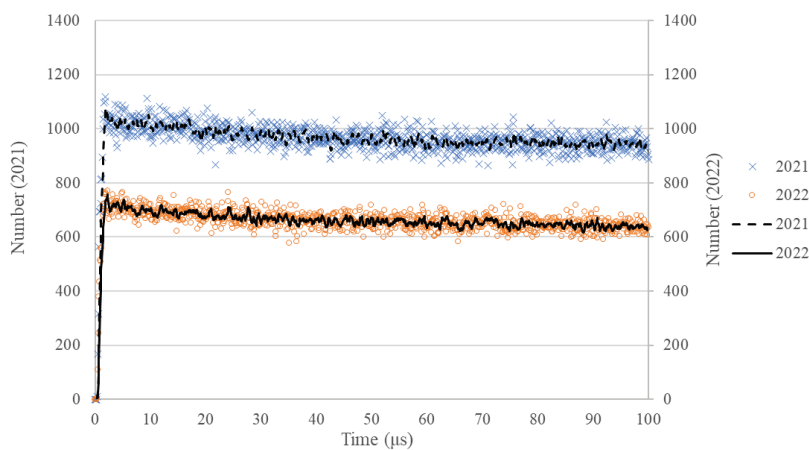


図 2.2.3-20 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

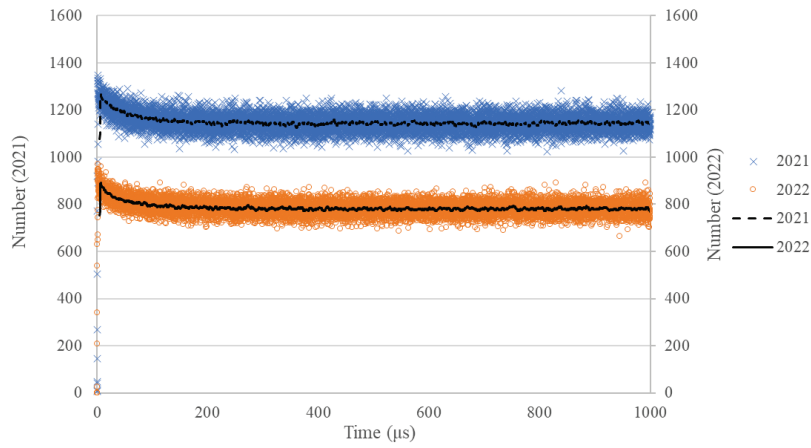


図 2.2.3-21 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

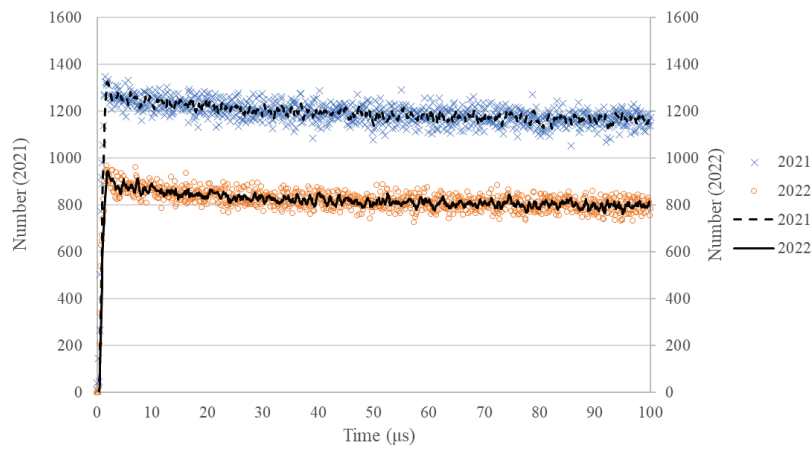


図 2.2.3-22 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

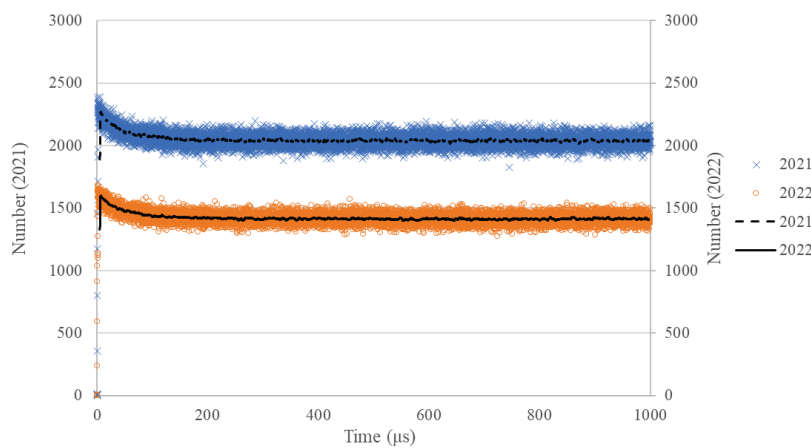


図 2.2.3-23 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

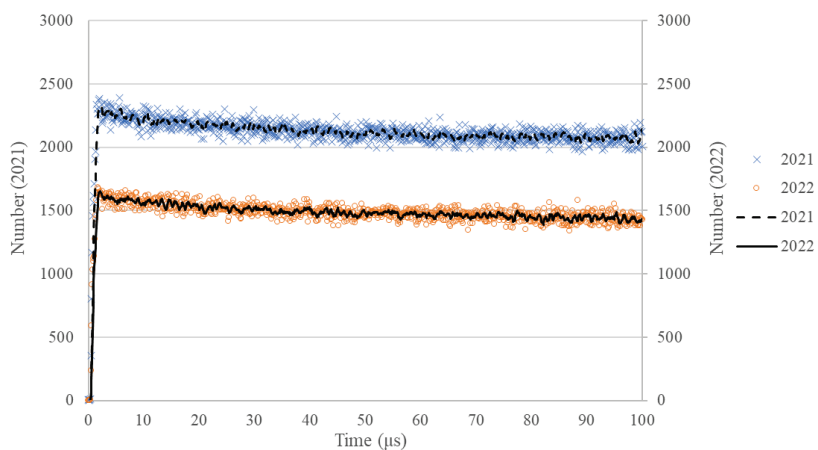


図 2.2.3-24 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

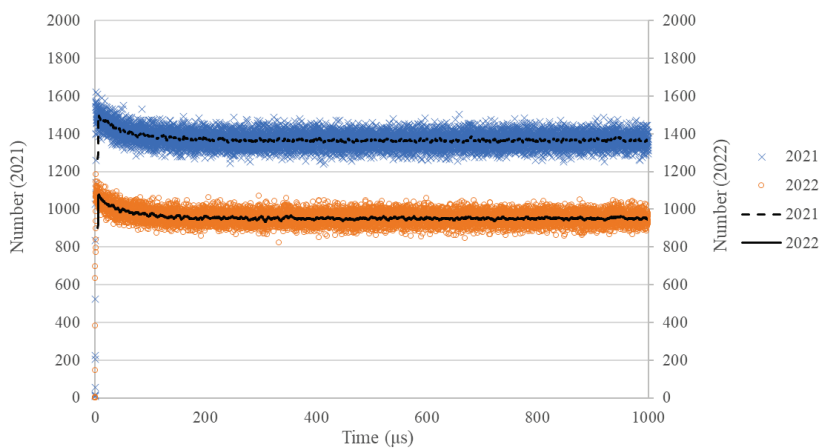


図 2.2.3-25 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

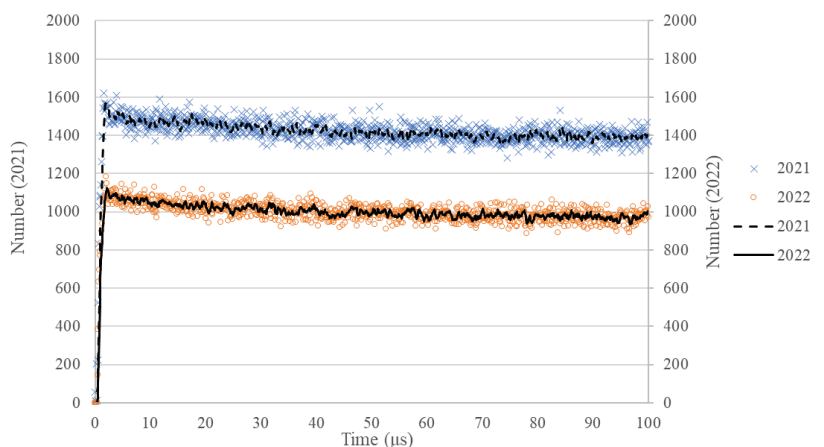


図 2.2.3-26 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

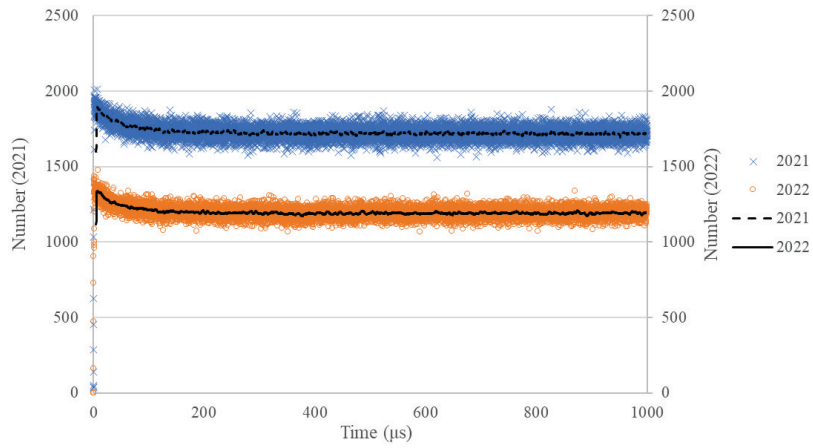


図 2.2.3-27 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

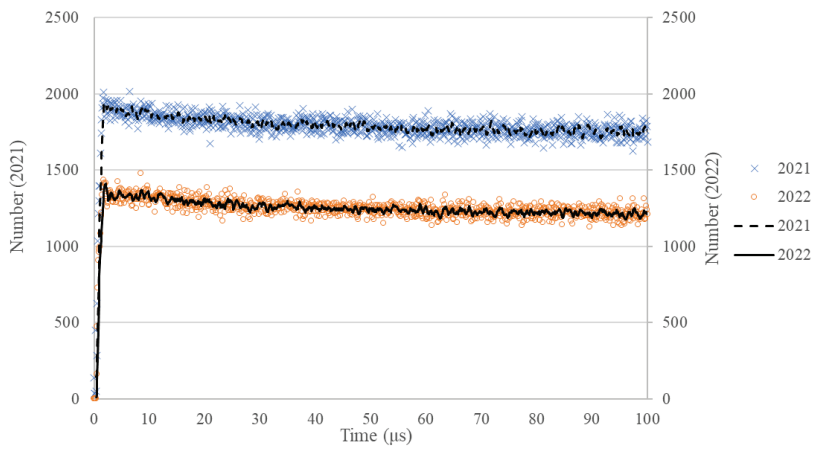


図 2.2.3-28 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

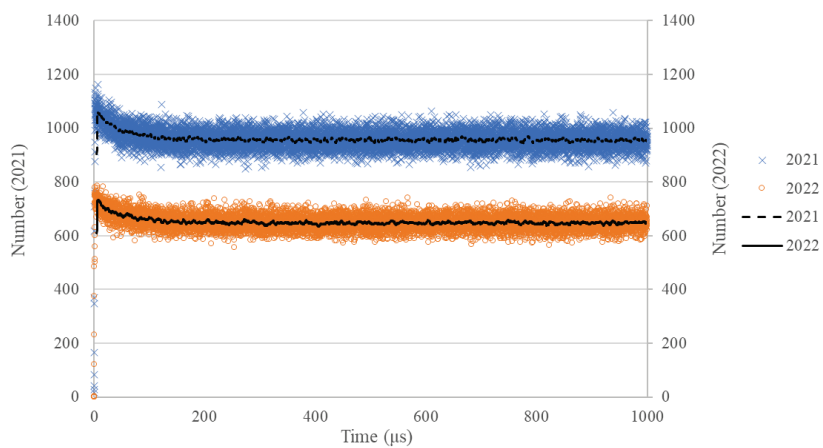


図 2.2.3-29 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

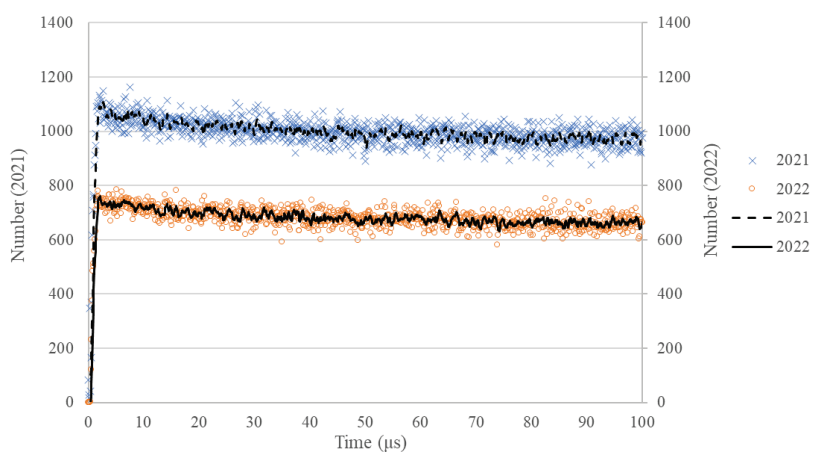


図 2.2.3-30 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

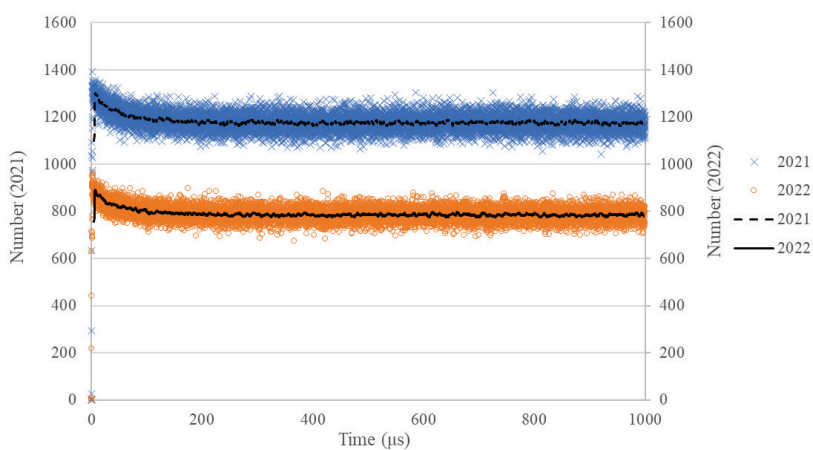


図 2.2.3-31 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

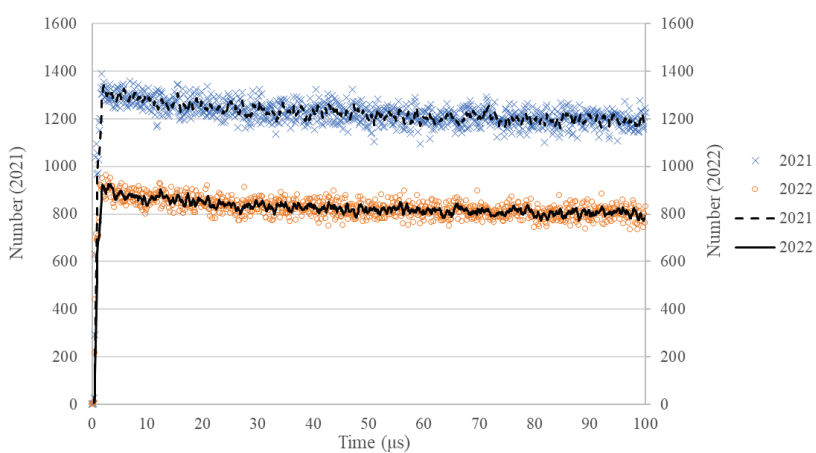


図 2.2.3-32 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

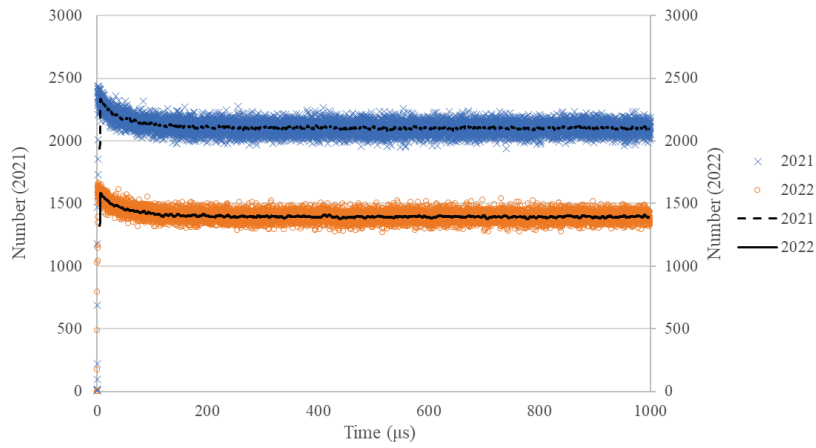


図 2.2.3-33 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

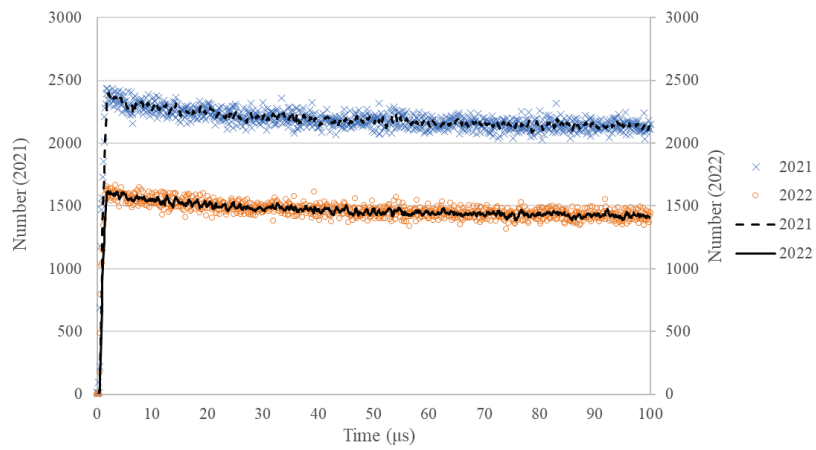


図 2.2.3-34 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

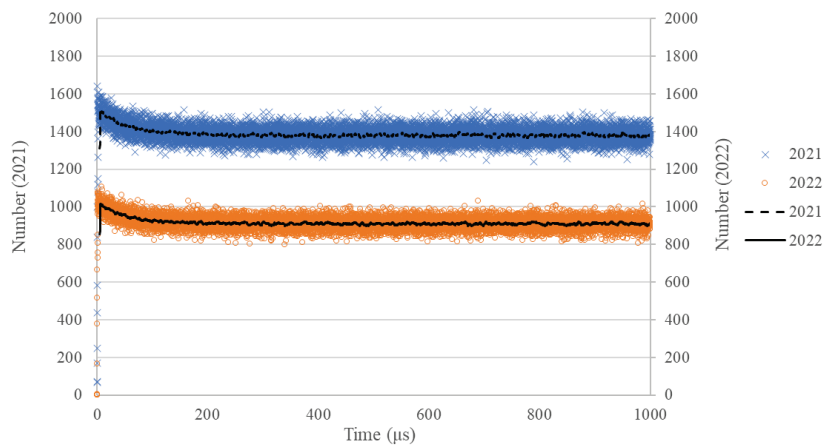


図 2.2.3-35 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)



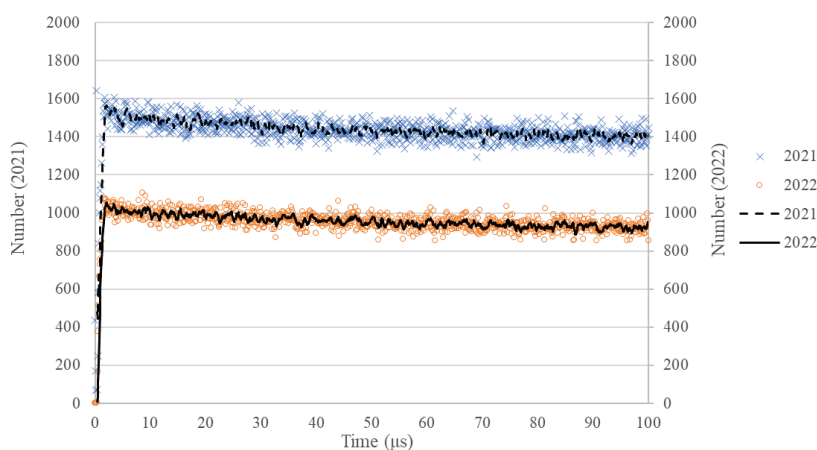


図 2.2.3-36 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

AFAS-P Top Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和3年度(2021年度)に実施した性能確認試験(参考文献2)における評価結果を比較した結果(0~1000 $\mu$ s 及び 0~100 $\mu$ s の分布)を図 2.2.3-37 及び図 2.2.3-38 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和3年度(2021年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和4年度(2022年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

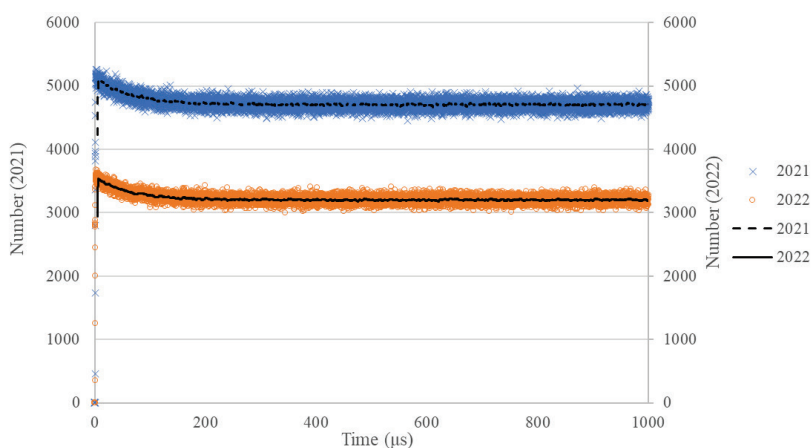


図 2.2.3-37 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

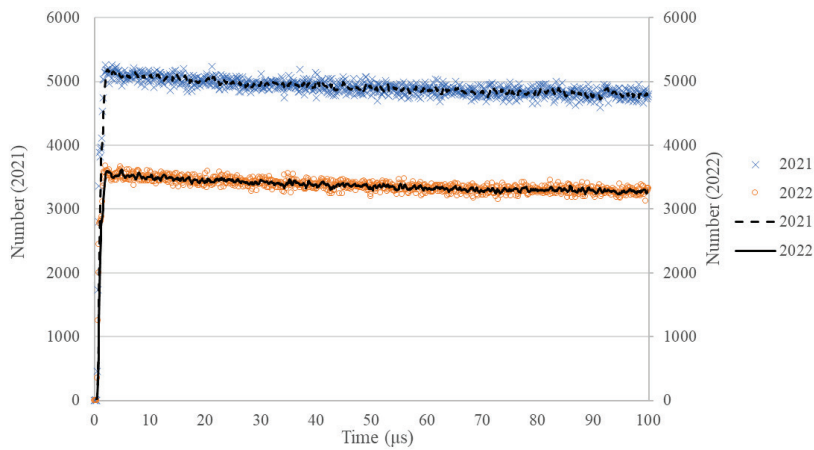


図 2.2.3-38 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

AFAS-P Bottom Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和 3 年度 (2021 年度) に実施した性能確認試験(参考文献 2)における評価結果を比較した結果 (0~1000 $\mu$ s 及び 0~100 $\mu$ s の分布) を図 2.2.3-39 及び図 2.2.3-40 に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和 3 年度 (2021 年度) に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和 4 年度 (2022 年度) に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

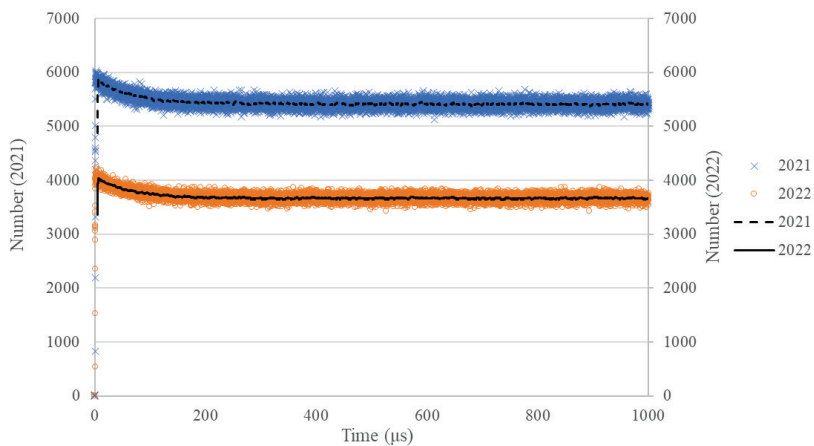


図 2.2.3-39 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

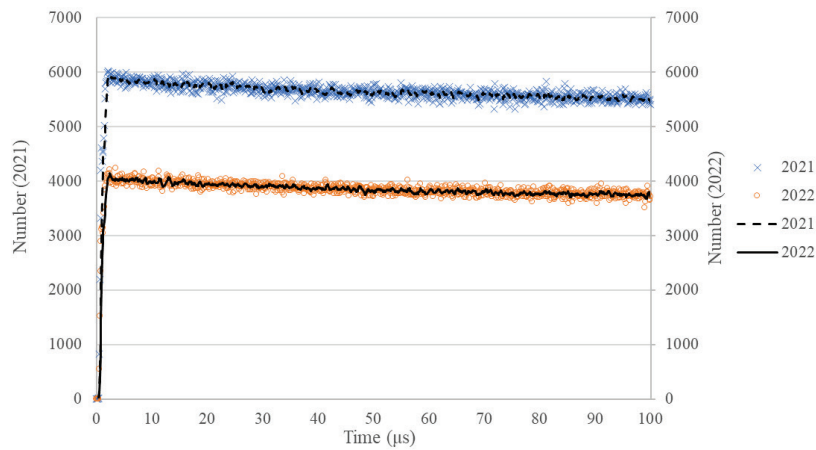


図 2.2.3-40 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

#### 2.2.4 考察

本年度の試験では、前年度（令和3年度）の評価に用いた  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源と同じ線源を用いたため、線源の減衰により得られた計数値は減少したが、本年度評価したパルス間隔分布は前年度とほぼ同一の形状となり、異常な分布は確認されなかった。したがって、本年度の試験において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている  $^3\text{He}$  比例計数管及びケーブルは健全に保たれていると考えられる。

## 2.3 新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（MIC3）の適用性確認

### 2.3.1 目的

J-MOX において、査察官非立会測定システムとして使用される AFAS には、連続的にデータを収集するためのソフトウェアが用いられる。

本年度の試験では、LANL により提供された新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（バージョン 3.0.1.0）（以下、「MIC3」という）について、AFAS における連続データ収集への適用性を確認する。

### 2.3.2 方法

AFAS における連続データ収集への MIC3 の適用性を確認するため、従来のデータ収集ソフトウェア（バージョン 2.0.0.5）（以下、「MIC2」という）及び MIC3 を用いて燃料集合体及び  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の測定を行い、得られた結果を比較する。本評価の機器接続図を図 2.3.2-1 に示す。

MIC2 によるデータ収集には JSR-12 を、MIC3 によるデータ収集には JSR-15 Handheld Multiplicity Register（以下、「JSR-15」という）を使用する<sup>(\*11)</sup>。また、燃料集合体の測定には AFAS-P の Collar 検出器を、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の測定には AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器を用いることとする。

本評価では、1.5 項の表 1.5-1 及び表 1.5-2 に示した燃料集合体及び 1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（T1-349）を使用する。

\*11: 当初は、MIC3 と JSR-12 及び JSR-15 を組み合わせてデータ収集を行う予定であったが、MIC3 と JSR-12 の組合せは正常に動作しなかったため、当該組み合わせによるデータ収集は実施しなかった。

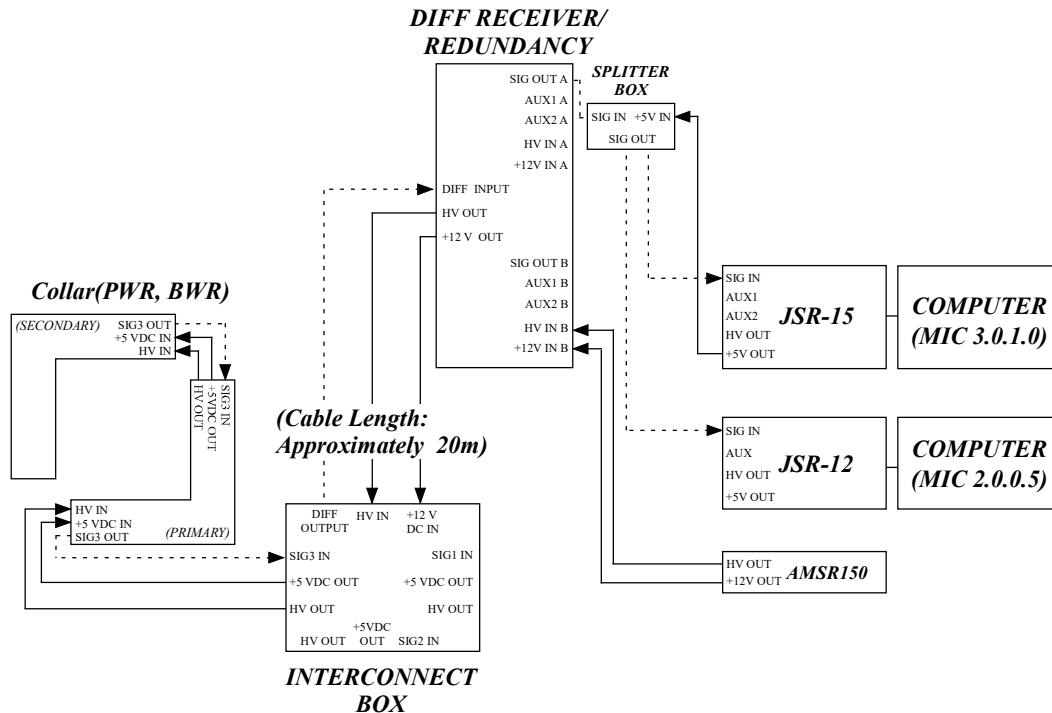


図 2.3.2-1 AFAS 機器接続図

詳細な試験手順を以下に示す。

(1) 燃料集合体測定

- ① AFAS-P Collar 検出器を燃料集合体測定用架台に設置する。
- ② 図 2.3.2-1 に示すとおり AFAS-P Collar 検出器と JSR-12 及び JSR-15 を接続する。
- ③ MIC2 及び MIC3 を用いて 30 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ④ クレーンを用いて燃料集合体を AFAS-P Collar 検出器の中心に配置し、MIC2 及び MIC3 を用いて 10 分間の測定を行い、INCC ソフトウェアを用いてシングル値、ダブル値及び Pu 量を評価する。
- ⑤ ④にて得た MIC2 及び MIC3 の各計数値及び Pu 量を比較する。

(2)  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定

- ① AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器を試験用架台に設置する。
- ② 図 2.3.2-1 に示すとおり任意の Collar 検出器と JSR-12 及び JSR-15 を接続する。
- ③ MIC2 及び MIC3 を用いて 10 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ④ 線源固定治具を用いて、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を任意の Collar 検出器にセットし、MIC2 及び MIC3 を用いて 10 分間の測定を行い、INCC ソフトウェアを用いてシングル値及びダブル値を評価する。
- ⑤ ④にて得た MIC2 及び MIC3 の各計数値を比較する。
- ⑥ ②～⑤を AFAS-B Collar 検出器及び AFAS-P Collar 検出器を対象に実施する。

### 2.3.3 結果

#### (1) 燃料集合体測定

AFAS-P の Collar 検出器について、MIC2 と MIC3 により取得した計数値の比較結果を図 2.3.3-1～図 2.3.2-3 に示す。MIC2 及び MIC3 での測定結果は全て誤差 ( $2\sigma$ ) の範囲で一致した。

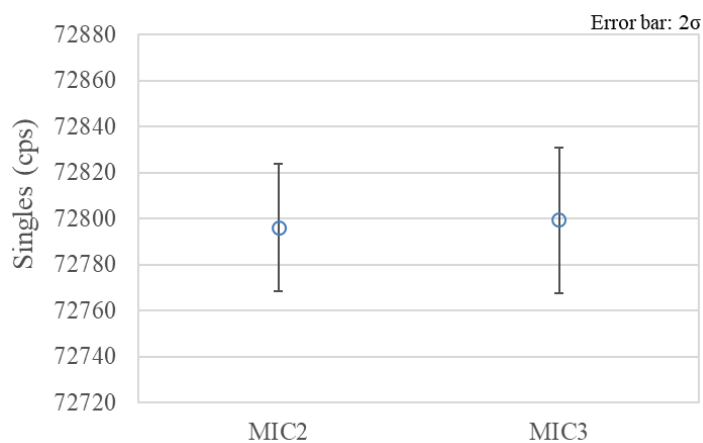


図 2.3.3-1 AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較

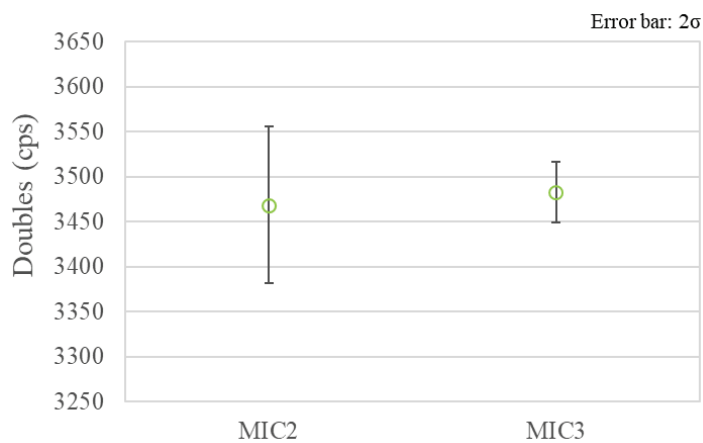


図 2.3.3-2 AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較

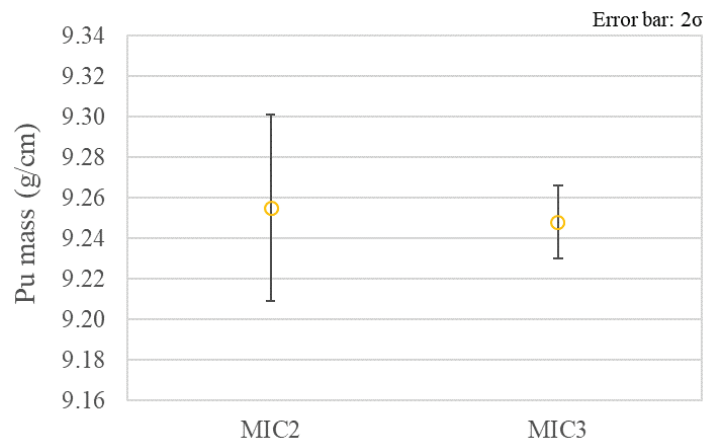


図 2.3.3-3 AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 の Pu 量の比較

(2)  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源測定

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器について、MIC2 と MIC3 により取得した計数値の比較結果を図 2.3.3-4～図 2.3.3-7 に示す。MIC2 及び MIC3 での測定結果は全て誤差 ( $2\sigma$ ) の範囲で一致した。

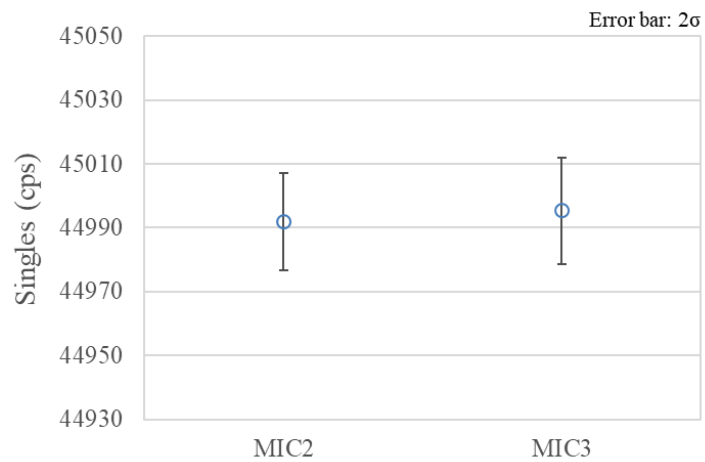


図 2.3.3-4 AFAS-B Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較

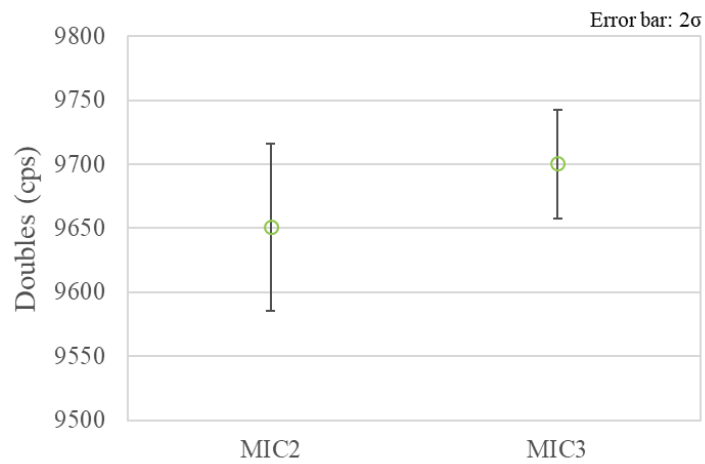


図 2.3.3-5 AFAS-B Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較

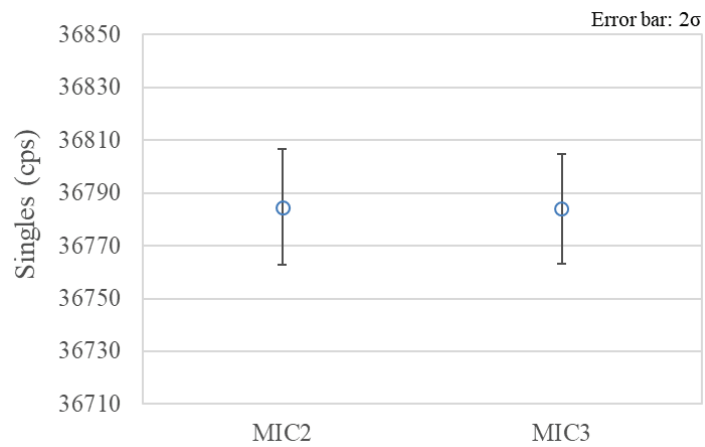


図 2.3.3-6 AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のシングル値の比較

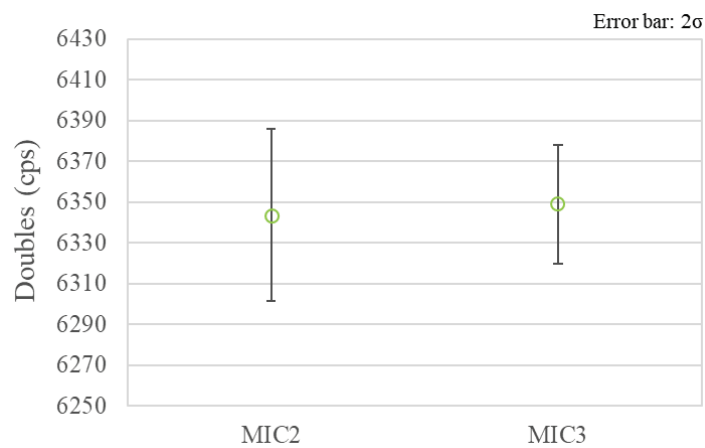


図 2.3.3-7 AFAS-P Collar 検出器 MIC2 と MIC3 のダブル値の比較



#### 2.3.4 考察

各測定にて得られたシングル値、ダブル値及び Pu 量は誤差 ( $2\sigma$ ) の範囲で一致し、有意な差がないことを確認した。したがって、MIC3 は AFAS の線源測定及び燃料集合体測定に適用可能であると考えられる。

なお、各測定において、MIC3 により取得したダブル値は、MIC2 と比較して若干大きい傾向となった。これは、MIC3 の測定に使用した JSR-15 は、MIC2 の測定に使用した JSR-12 と比較してクロック周波数が高いためである。(JSR-12 のクロック周波数: 4MHz、JSR-15 のクロック周波数: 50MHz)

また、各測定において、MIC3 により取得したダブル値及び Pu 量の誤差は、MIC2 と比較して小さかった。これは、MIC3 の測定に使用した JSR-15 は、MIC2 の測定に使用した JSR-12 と比較してダブル値の測定精度が高いためである。ダブル値は、Rossi- $\alpha$  分布の特徴を利用して (R+A) ゲートの計数率から A ゲートの計数率 (以下、「アクシデンタル計数率」という) を差し引くことで評価されるため、ダブル値の誤差はアクシデンタル計数率の誤差に依存する。アクシデンタル計数率は、シグナルトリガー法<sup>(\*12)</sup>または Fast Accidental サンプリング法<sup>(\*13)</sup>により評価されるが、後者はサンプリング頻度が高いためアクシデンタル計数率の誤差が小さい。JSR-12 にはシグナルトリガー法が、JSR-15 には Fast Accidental サンプリング法が採用されている。

\*12: トリガーとなるパルス信号が検出される毎にサンプリングを行う方法

\*13: 計数装置固有のクロック周波数の間隔で常時サンプリングを行う方法

## 2.4 燃料集合体用保護管の影響評価

### 2.4.1 目的

J-MOX における AFAS の設置環境<sup>(\*14)</sup>を踏まえ、燃料集合体用保護管（以下、「保護管」という）が中性子測定に与える影響について、シミュレーションにより評価する。

\*14: J-MOX においては、図 2.4.1-1 に示すように保護管が AFAS の各検出器内側に配置される。

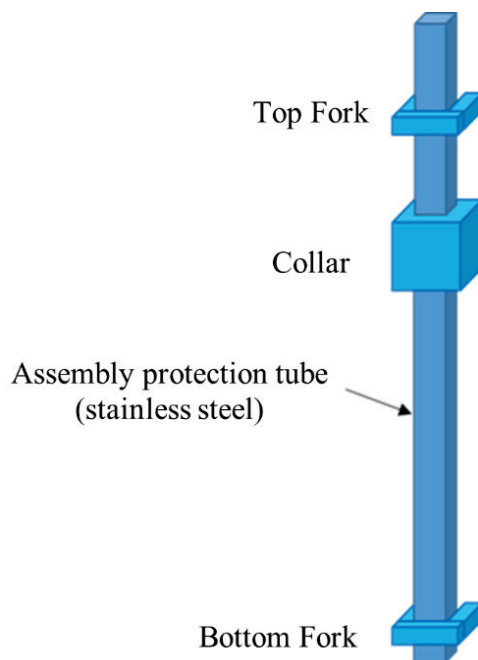


図 2.4.1-1 J-MOX における AFAS の設置環境

### 2.4.2 方法

保護管が AFAS による中性子測定に与える影響を確認するため、保護管がある場合とない場合について、各検出器の測定パラメータ及び燃料集合体を 10 分間測定 (AFAS の要求仕様書<sup>(参考文献 4)</sup>に記載されている J-MOX における燃料集合体の測定時間) した際の計数値及び Pu 量を評価し比較する。測定パラメータ及び計数値については、モンテカルロシミュレーションコード (以下、「MCNPX」という) を用いて評価する。Pu 量については、シミュレーションにより得られた計数値を使用し、J-MOX において適用が想定される解析手法である Known  $\alpha$  法に従い計算する。本評価は、AFAS-B 及び AFAS-P を対象に実施する。

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① MCNPX を用いて、J-MOX の AFAS 測定環境において燃料集合体が AFAS にて測定された場合の各検出器の測定パラメータを評価する。
- ② MCNPX を用いて、①と同条件における Fork 検出器 (Top Fork 及び Bottom Fork) のシングル値の検出効率ならびに Collar 検出器のシングル値及びダブル値の検出効率を取得する。
- ③ シミュレーションに用いた燃料集合体の同位体組成比、Pu 量<sup>(\*15)</sup>及び自発核分裂による中性子収率から、中性子放出率を計算する。
- ④ ②及び③にて得た検出効率及び中性子放出率から、燃料集合体が AFAS にて測定された場合の Fork 検出器のシングル値ならびに Collar 検出器のシングル値及びダブル値を推定する。また、論理式を用いて各計数値の誤差を推定する。
- ⑤ ④にて得た各検出器のシングル値から有効長を求める。<sup>(\*16)</sup>
- ⑥ ①にて得た測定パラメータ及び④にて得た Collar 検出器のシングル値及びダブル値ならびに燃料集合体の同位体組成比を用い、Known  $\alpha$  法に従い単位長さあたりの Pu 量 (g/cm) を計算する。
- ⑦ ⑥にて得た単位長さあたりの Pu 量 (g/cm) に⑤にて得た有効長を乗じることに  
より、燃料集合体あたりの Pu 量 (g) を計算する。
- ⑧ ①～⑦を保護管ありの場合及びなしの場合それぞれを対象に実施する。
- ⑨ 保護管ありの場合及びなしの場合における①にて得た測定パラメータならびに  
⑧にて得た計数値及び Pu 量を比較する。
- ⑩ ①～⑨を AFAS-B 及び AFAS-P を対象に実施する。

\*15: 同位体組成比及び Pu 量は、過去に LANL が同様のシミュレーションを実施した際に使用していたパラメータを参考に決定する(参考文献 5 及び参考文献 6)。

\*16:  $\text{ratio}[(\text{Top}+\text{Bottom})/\text{Collar}]$  を求め、有効長の相関(校正曲線)から有効長を求める。

### 2.4.3 結果

シミュレーションにより評価した保護管なしの場合とありの場合の測定パラメータ ( $\rho_0$  及びスロープ  $b$ ) を表 2.4.3-1 に示す。

AFAS-B について、保護管なしとありの場合のシングル値、ダブル値及び Pu 量を比較した結果を、それぞれ、図 2.4.3-1～図 2.4.3-3、図 2.4.3-7 及び図 2.4.3-9 に示す。

AFAS-P について、保護管なしとありの場合のシングル値、ダブル値及び Pu 量を比較した結果を、それぞれ、図 2.4.3-4～図 2.4.3-6、図 2.4.3-8 及び図 2.4.3-10 に示す。

表 2.4.3-1 AFAS-B 及び AFAS-P の測定パラメータの比較

検出器		$\rho_0$	スロープ $b$
AFAS-B	保護管なし	0.05478	433.5142
	保護管あり	0.05735	464.7880
AFAS-P	保護管なし	0.03763	262.5761
	保護管あり	0.03881	277.4310



図 2.4.3-1 AFAS-B Top Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

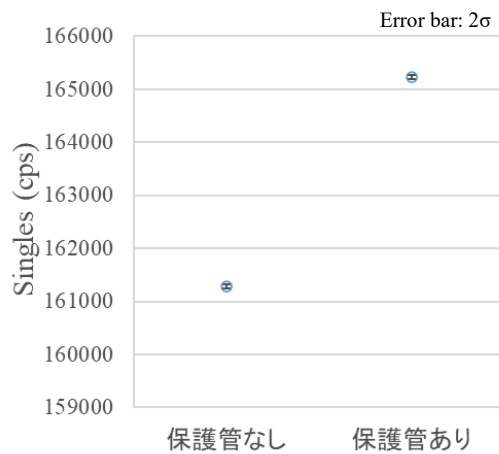


図 2.4.3-2 AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

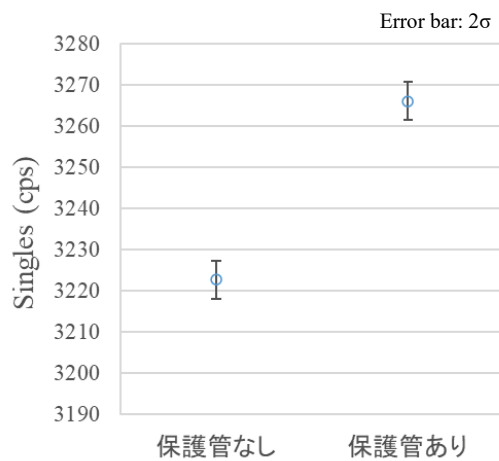


図 2.4.3-3 AFAS-B Bottom Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

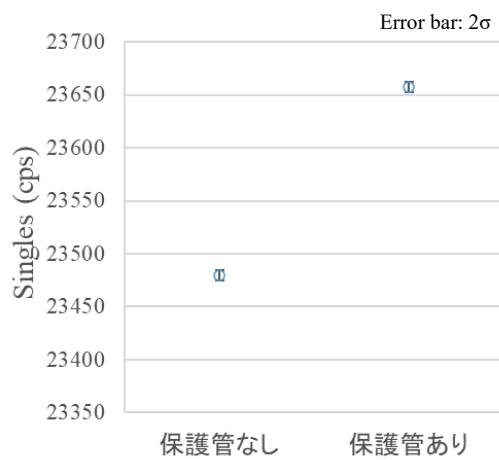


図 2.4.3-4 AFAS-P Top Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

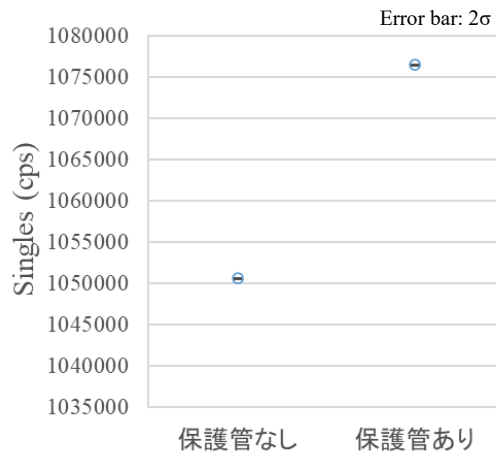


図 2.4.3-5 AFAS-P Collar 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

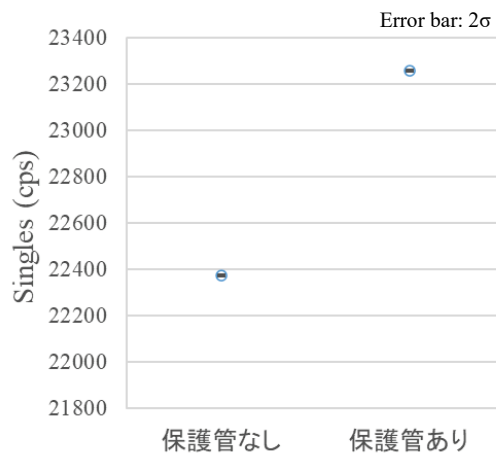


図 2.4.3-6 AFAS-P Bottom Fork 検出器 保護管なしとありの場合のシングル値の比較

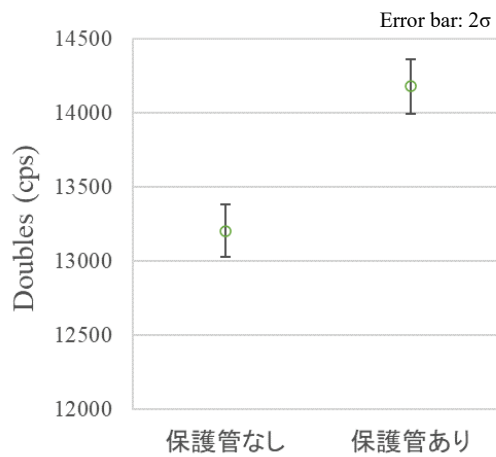


図 2.4.3-7 AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合のダブル値の比較

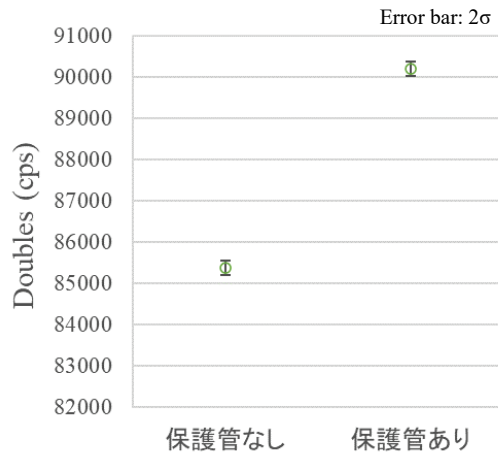


図 2.4.3-8 AFAS-P Collar 検出器 保護管なしとありの場合のダブル値の比較

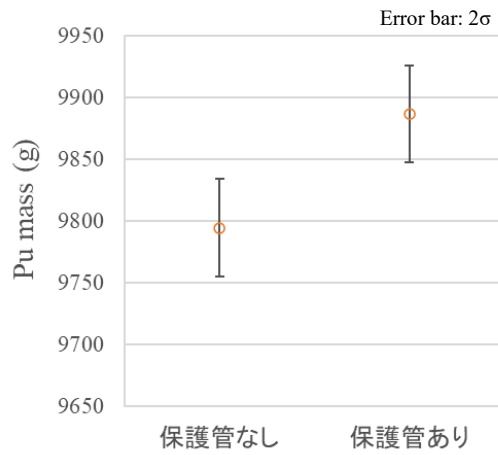


図 2.4.3-9 AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合の Pu 量の比較

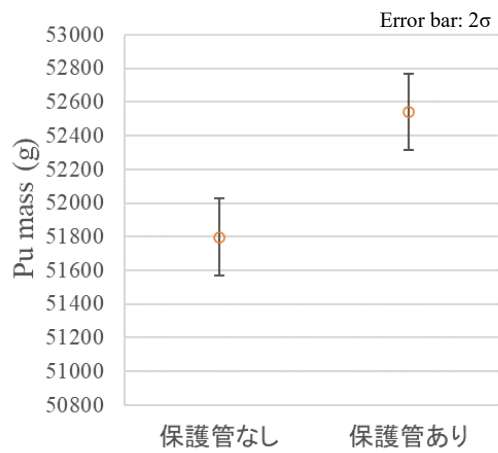


図 2.4.3-10 AFAS-B Collar 検出器 保護管なしとありの場合の Pu 量の比較

#### 2.4.4 考察

保護管なしとありの場合の計数値及びPu量は全て誤差(2σ)の範囲で一致しなかった。これは、保護管ありの場合には、燃料集合体から放出された中性子の一部が保護管により反射され、誘発核分裂を引き起こしたことにより、保護管なしの場合と比較して増倍 $M_L$ が増加したためである。なお、増倍 $M_L$ は、式(2.3)に示すように、自発核分裂による中性子数と試料から漏れ出る中性子数の比により表されるため、誘発核分裂による中性子数が多いほど増加する。シミュレーションにより得られた保護管なしとありの場合の増倍 $M_L$ を表2.4.4-1に示す。

これらの結果から、保護管の有無等のように周辺環境が異なる場合には、同一の測定パラメータを適用できない可能性がある。したがって、AFAS-B及びAFAS-PをJ-MOXに設置した際には、 $^{240}\text{Pu}$ 実効質量(g/cm)の算出に用いる測定パラメータ(ρ0及びスロープb)を評価し、INCCソフトウェアに設定する必要がある。

$$M_L = \frac{1 - p}{1 - pv} \dots (2.3)$$

ただし、

p: 中性子が誘発核分裂を引き起こす確率

v: 誘発核分裂によって生成される中性子の平均数

表 2.4.4-1 シミュレーションによる保護管なしとありの場合の増倍  $M_L$

検出器		増倍 $M_L$
AFAS-B	保護管なし	1.0517
	保護管あり	1.0551
AFAS-P	保護管なし	1.1063
	保護管あり	1.1127



### 3. AVIS の性能確認試

#### 3.1 パルス間隔分布の評価

##### 3.1.1 目的

装置に不具合が発生した場合、その原因特定の判断材料となる、アンプ毎のパルス間隔分布を評価する。

##### 3.1.2 方法

JAEA が所有するリストモジュール(PTR-32HV)を用いて  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を測定し、AVIS の中性子検出器のアンプ毎のパルス間隔分布を評価する。また、本評価結果と前年度（令和 3 年度）に実施した性能確認試験<sup>(参考文献 2)</sup>における評価結果を比較する。令和 3 年度及び令和 4 年度の評価結果の例を図 3.1.2-1 に示す。

AVIS の中性子検出器のアンプ数及び配置図を表 3.1.2-1 及び図 3.1.2-2 に示す。本評価では、1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（T1-349）を使用する。

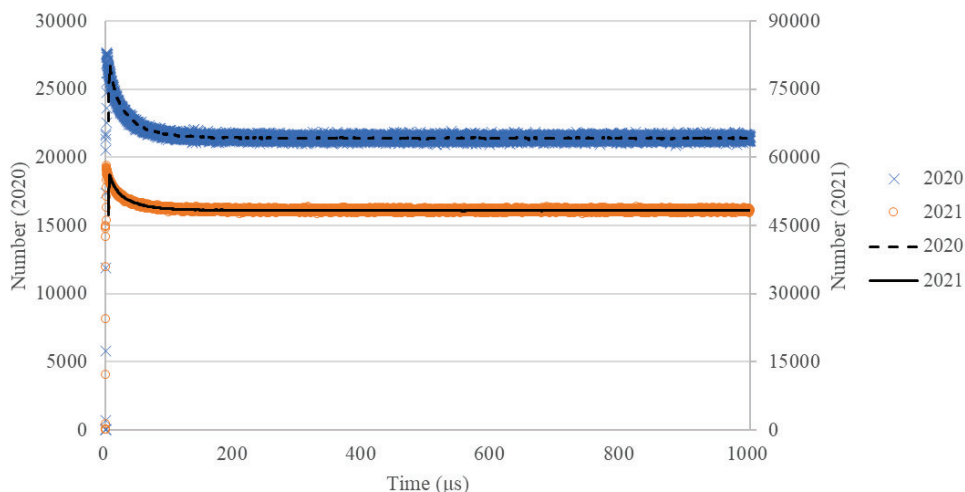


図 3.1.2-1 AVIS の中性子検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例

表 3.1.2-1 AVIS におけるアンプ数

検出器		アンプ 個数
AVIS	Primary 検出器	7
	Secondary 検出器	7

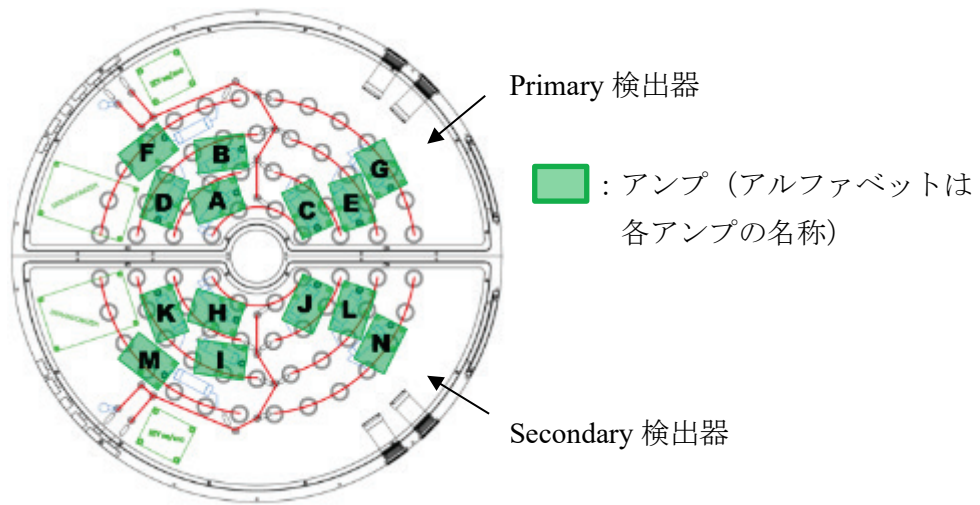


図 3.1.2-2 AVIS のアンプ配置図

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① 線源固定治具を用いて、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を検出器にセットする。
- ② 検出器にリストモジュールを接続する。
- ③ 検出器のジャンクションボックスの蓋を外す。
- ④ 任意のアンプ以外のアンプのジャンパーピンを取り外し、計数機能を停止させる。
- ⑤ リストモジュール用ソフトウェアを用いてパルスを 10 分間測定し、パルス間隔分布を評価する。
- ⑥ 全てのアンプについて、④～⑤を実施する。

### 3.1.3 結果

AVISにおける各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と令和3年度(2021年度)に実施した性能確認試験(参考文献2)における評価結果を比較した結果(0~1000 $\mu$ s及び0~100 $\mu$ sの分布)を図3.1.3-1~3.1.3-28に示す。各グラフ中の×印及び破線は令和3年度(2021年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示し、○印及び実線は令和4年度(2022年度)に評価したパルス間隔分布及びその移動平均線を示す。

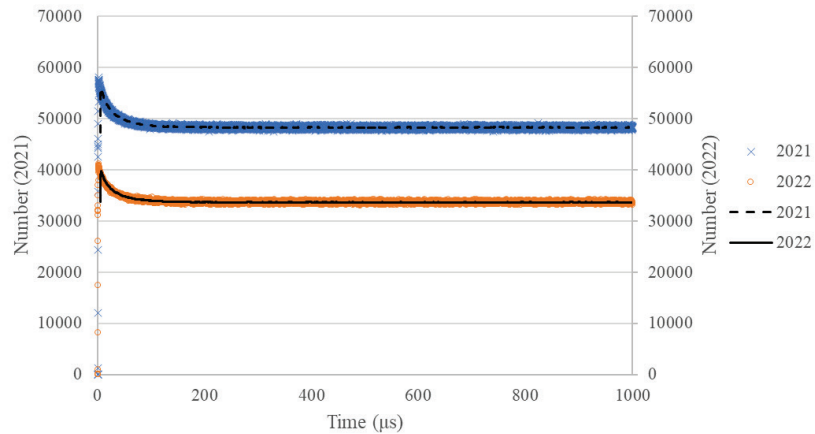


図 3.1.3-1 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

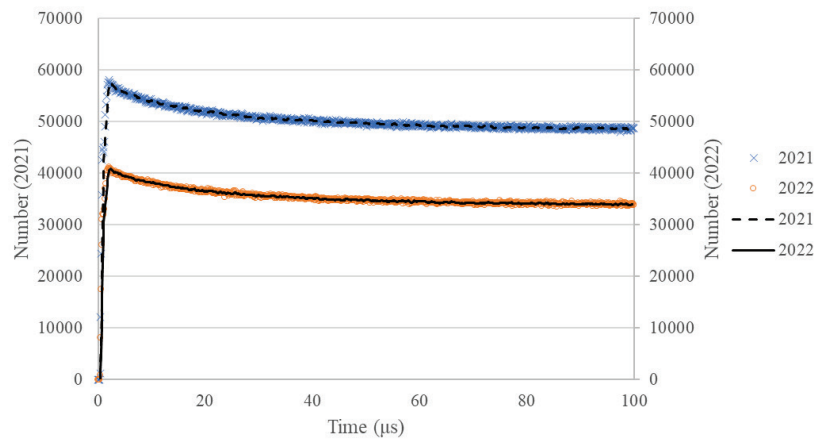


図 3.1.3-2 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

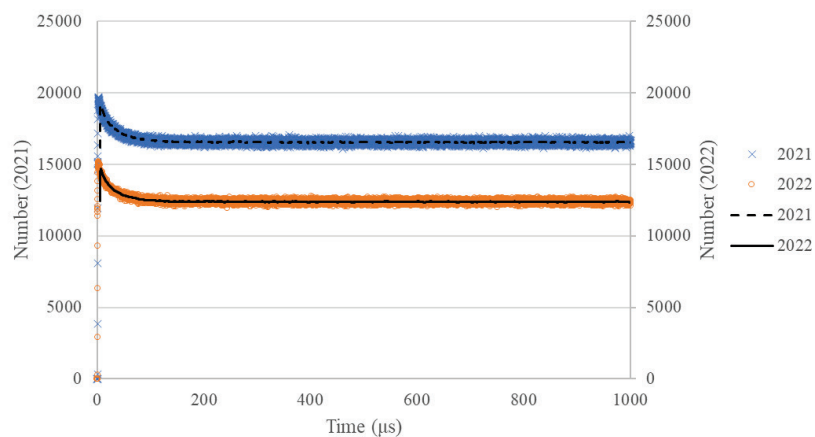


図 3.1.3-3 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

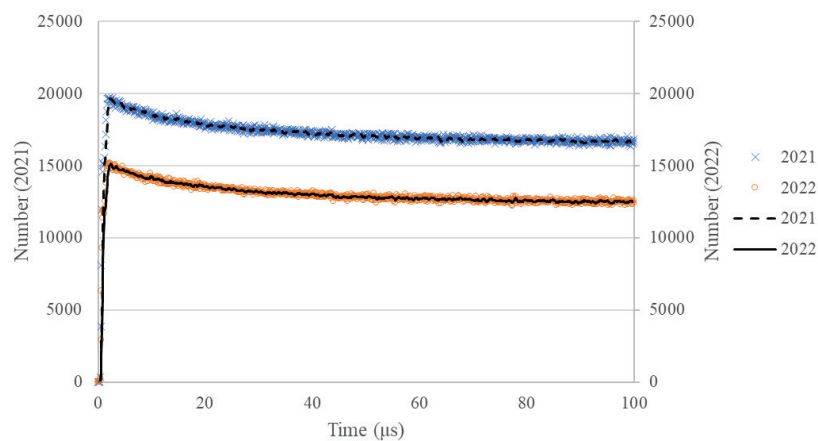


図 3.1.3-4 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

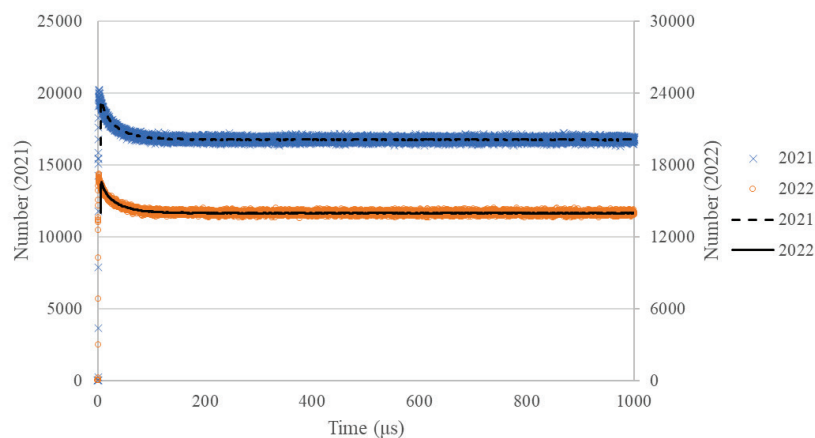


図 3.1.3-5 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

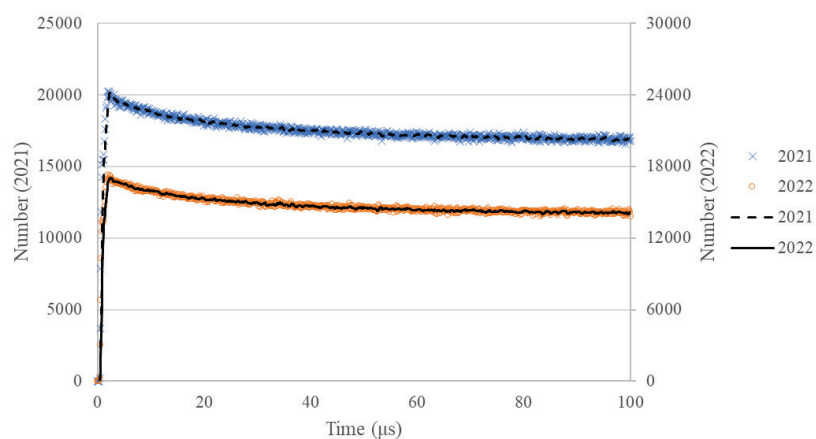


図 3.1.3-6 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

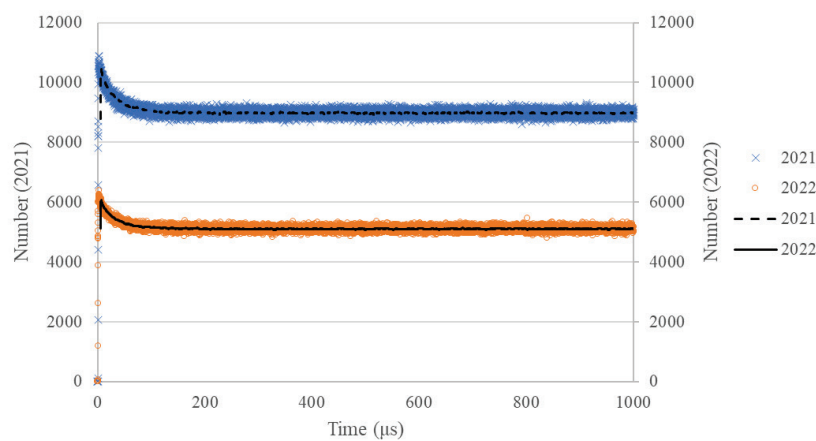


図 3.1.3-7 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

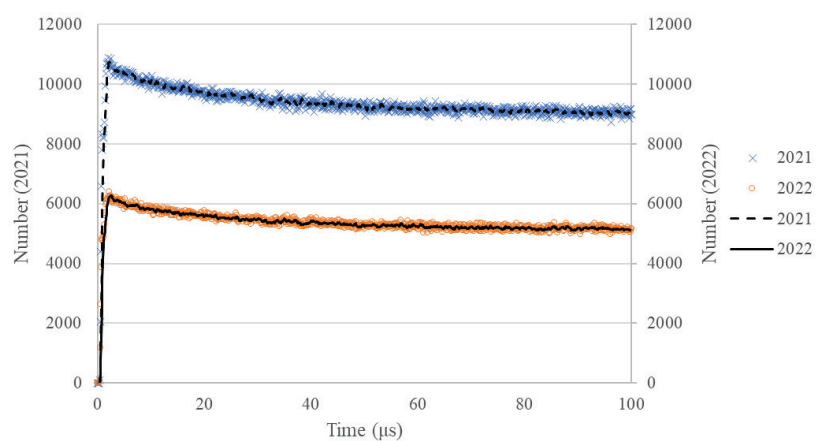


図 3.1.3-8 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

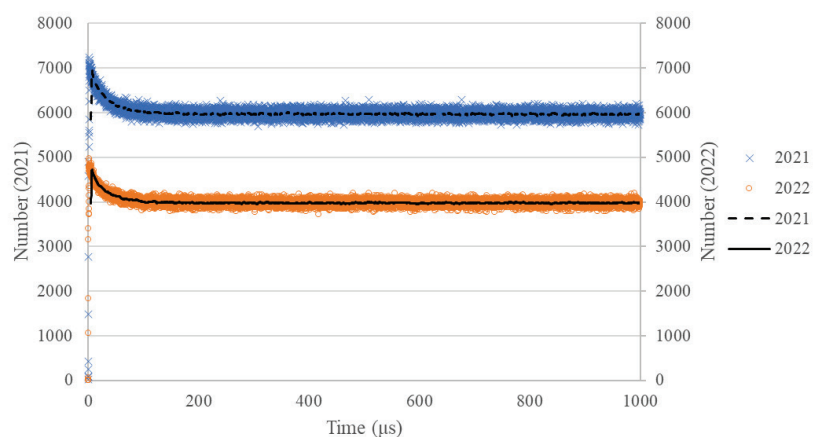


図 3.1.3-9 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

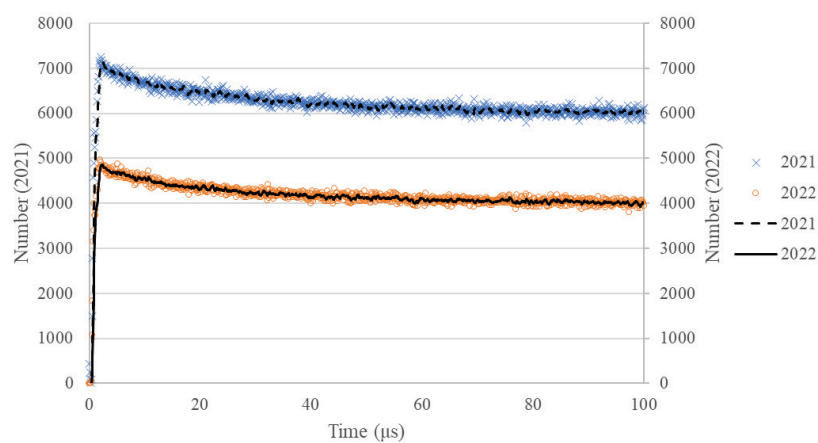


図 3.1.3-10 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

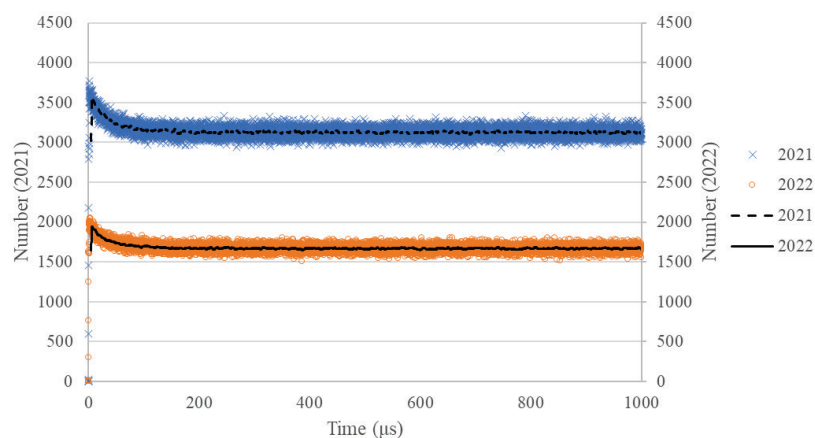


図 3.1.3-11 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

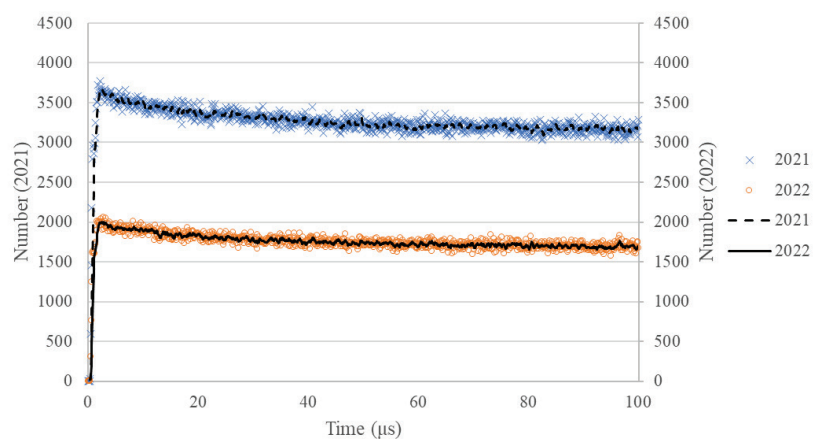


図 3.1.3-12 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

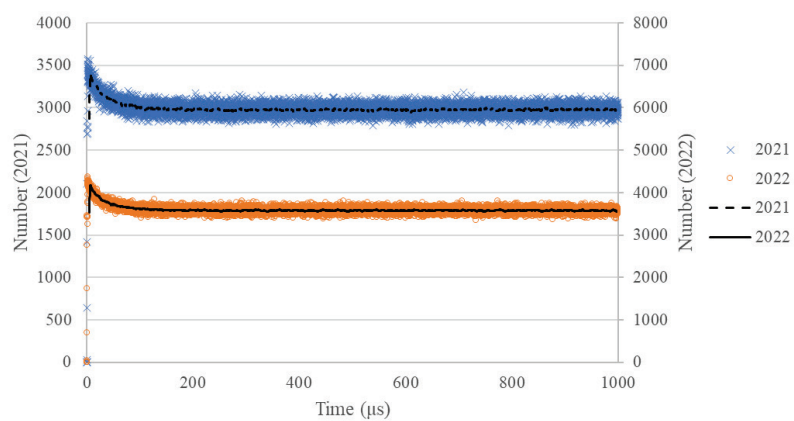


図 3.1.3-13 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

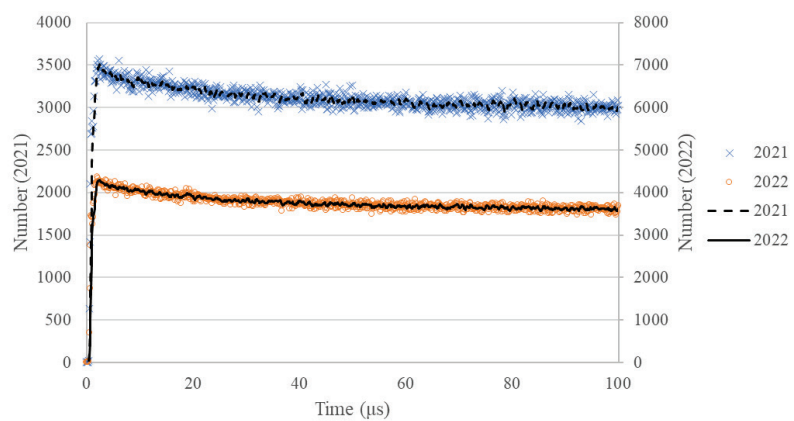


図 3.1.3-14 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

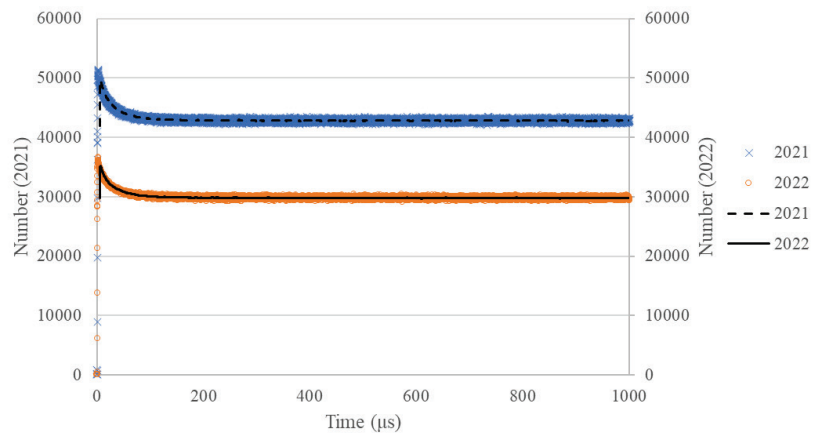


図 3.1.3-15 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

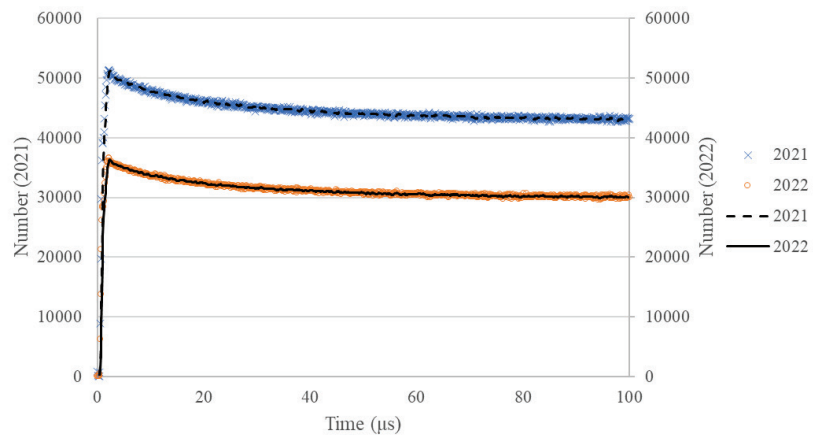


図 3.1.3-16 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

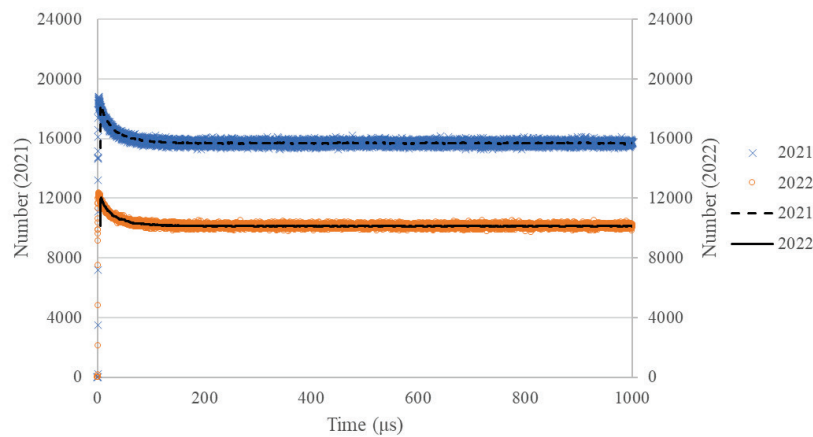


図 3.1.3-17 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)



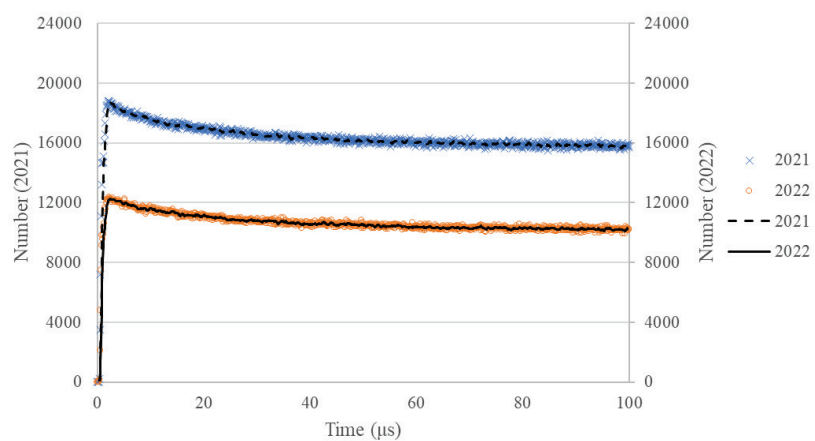


図 3.1.3-18 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

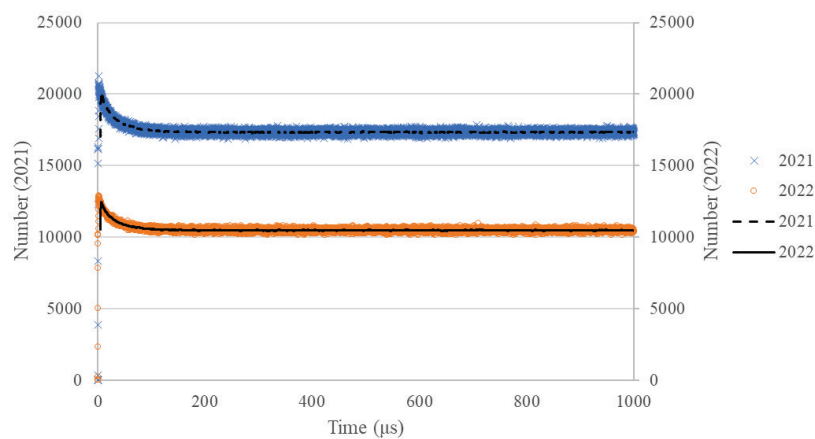


図 3.1.3-19 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

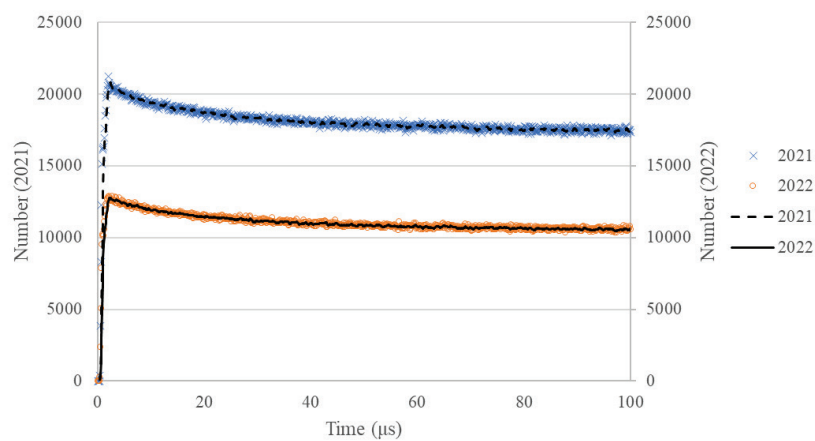


図 3.1.3-20 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

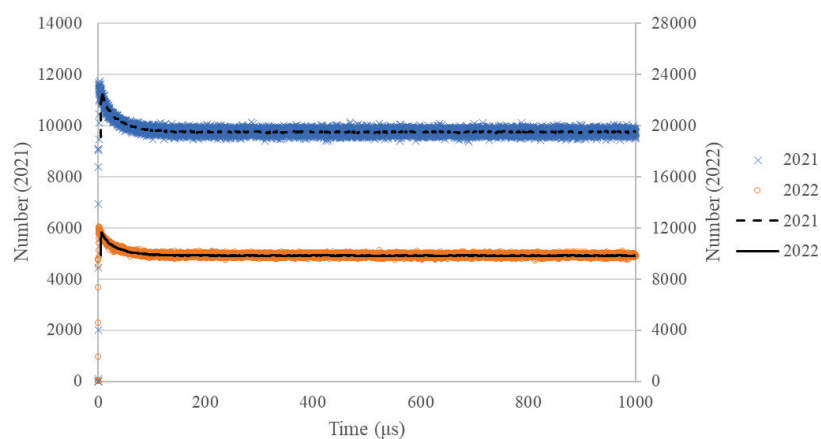


図 3.1.3-21 アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

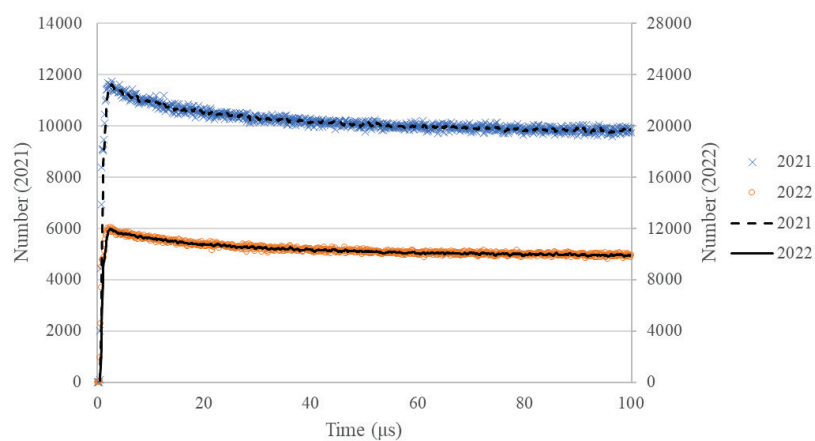


図 3.1.3-22 アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

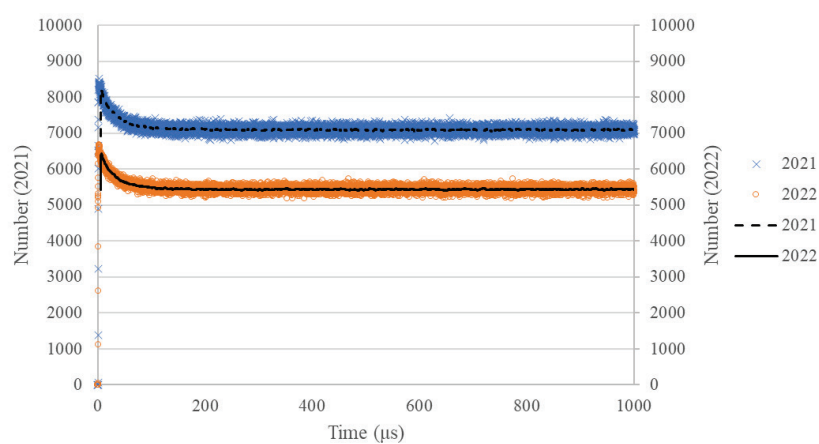


図 3.1.3-23 アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

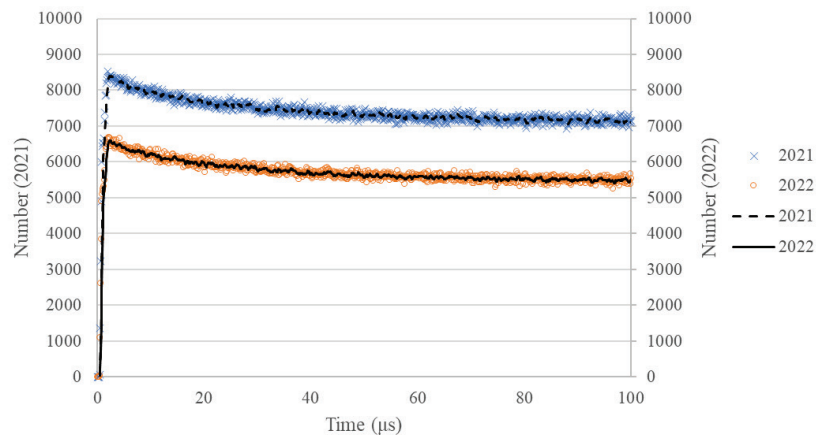


図 3.1.3-24 アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

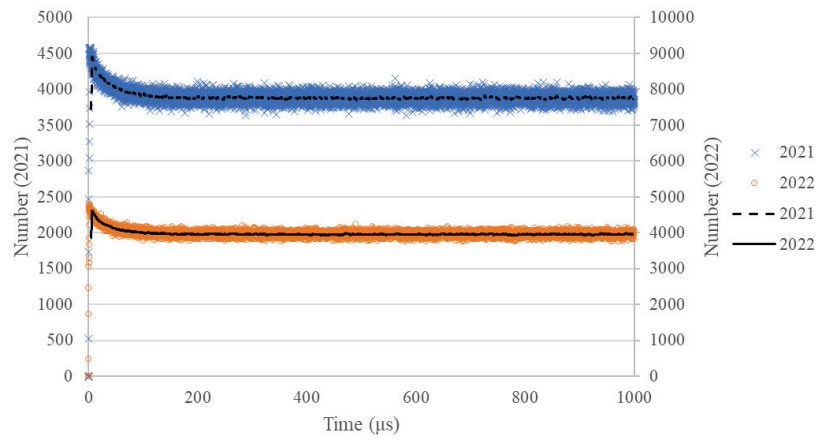


図 3.1.3-25 アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

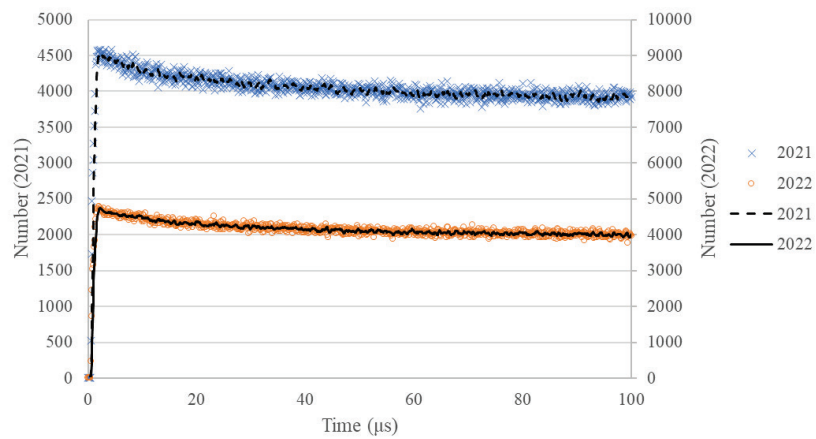


図 3.1.3-26 アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

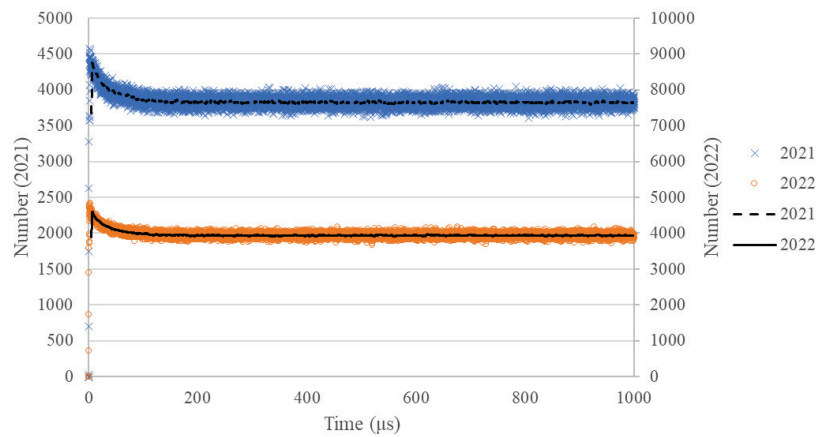


図 3.1.3-27 アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~1000 $\mu$ s)

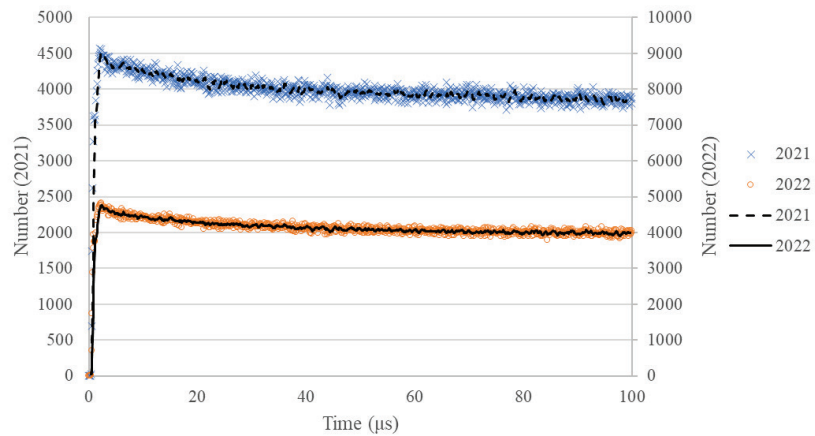


図 3.1.3-28 アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~100 $\mu$ s)

#### 3.1.4 考察

2.2 項の AFAS における評価と同様に、本年度の試験では、前年度（令和 3 年度）の評価に用いた  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源と同じ線源を用いたため、線源の減衰により得られた計数値は減少したが、本年度評価したパルス間隔分布は前年度とほぼ同一の形状となり、異常な分布は確認されなかった。したがって、本年度の試験において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている  $^3\text{He}$  比例計数管及びケーブルは健全に保たれていると考えられる。

## 3.2 プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価

### 3.2.1 目的

AVIS のプルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器（以下、「ガンマ線検出器」という）を中性子検出器の試料収納部（以下、「キャビティ」という）の下部へ配置した際に、キャビティ側面に配置した際と同等の中性子測定が可能か評価する。

### 3.2.2 方法

AVIS のガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面または下部に配置（以下、キャビティ側面の配置を「**Side 配置**」、キャビティ下部の配置を「**Bottom 配置**」という）した際の  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源に対する中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルの評価を比較する。**Side 配置**の検出効率プロファイルは、実際に AVIS を用いて評価した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の測定結果をもとに MCNPX により評価する。**Bottom 配置**の検出効率プロファイルは、MCNPX により評価する。

本評価では、1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（T1-349）を使用する。

詳細な試験手順を以下に示す。

#### (1) 実測定による **Side 配置**の検出効率プロファイルの評価

- ① INCC ソフトウェアの **Background** 測定モードにより 10 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ② 線源固定治具を用いて、図 3.2.2-1 及び図 3.2.2-2 に示すとおり、AVIS の中性子検出器の垂直方向（V）、円周方向（C）の任意の位置（垂直方向については 2cm 間隔、円周方向については 90°間隔）に  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を配置し、INCC ソフトウェアの **Rates Only** モードにより 5 分間の測定を行い、それぞれの位置におけるシングル値を取得する。
- ③ 中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルを評価する。

(2) シミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの評価

- ① AVIS のガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面へ配置した際のシミュレーションモデル(\*17)を作成する。
- ② 図 3.2.2-1 及び図 3.2.2-2 に示すとおり、<sup>252</sup>Cf 中性子線源を AVIS の中性子検出器の垂直方向 (V)、円周方向 (C) の任意の位置 (垂直方向については 2cm 間隔、円周方向については 90°間隔) に配置した場合における中性子検出効率をシミュレーションにより評価する。
- ③ 中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルを評価する。
- ④ ③及び (1) にて評価した検出効率プロファイルを比較することでシミュレーションモデルの妥当性を確認する。

(3) Bottom 配置の検出効率プロファイルの評価

- ① AVIS のガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部へ配置した際のシミュレーションモデル(\*17)を作成する。
- ② 図 3.2.2-1 及び図 3.2.2-2 に示すとおり、<sup>252</sup>Cf 中性子線源を AVIS の中性子検出器の垂直方向 (V)、円周方向 (C) の任意の位置 (垂直方向については 2cm 間隔、円周方向については 90°間隔) に配置した場合における中性子検出効率をシミュレーションにより評価する。
- ③ 中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルを評価する。

\*17: 本評価では、ガンマ線検出器についてはゲルマニウム結晶及びコリメータ部のみモデル化する。液体窒素容器 (デュワ瓶) については、ガンマ線検出器配置の変更前後において配置が変化しないと想定し、モデル化しない。

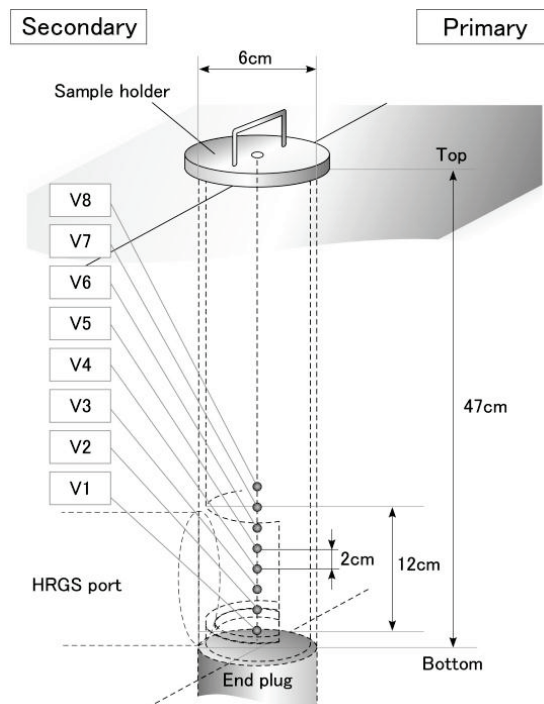


図 3.2.2-1 検出効率プロファイル評価における  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の配置箇所 (垂直方向)

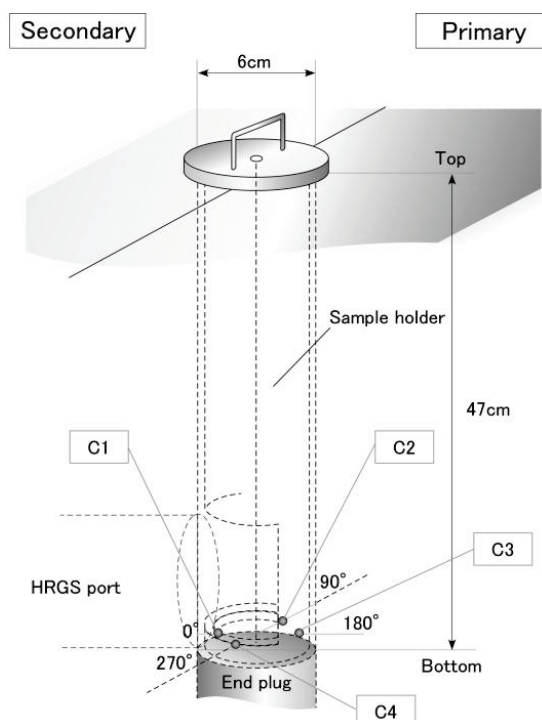


図 3.2.2-2 検出効率プロファイル評価における  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の配置箇所 (円周方向)

### 3.2.3 結果

#### (1) 実測定による Side 配置の検出効率プロファイルの評価

実測定によるガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面に配置した場合における検出効率プロファイルの評価結果を図 3.2.3-1 及び図 3.2.3-2 に示す。なお、図中の垂直方向の検出効率プロファイルの縦軸はサンプルを配置可能な領域の中心部（図 3.2.2-1 中の垂直方向 4cm(V3)）を基準として標準化したシングル値であり、円周方向の検出効率プロファイルの縦軸は中心位置（図 3.2.2-1 中の垂直方向 0cm(V1)）を基準として標準化したシングル値である。

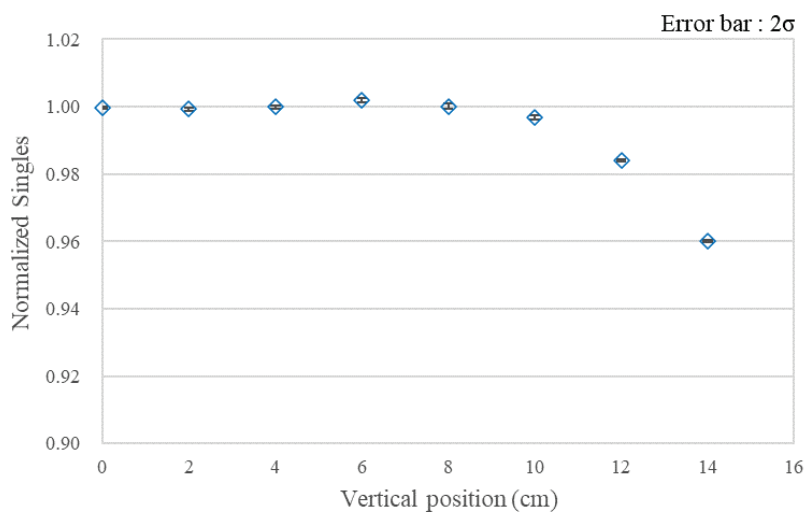


図 3.2.3-1 実測定による垂直方向の検出効率プロファイル

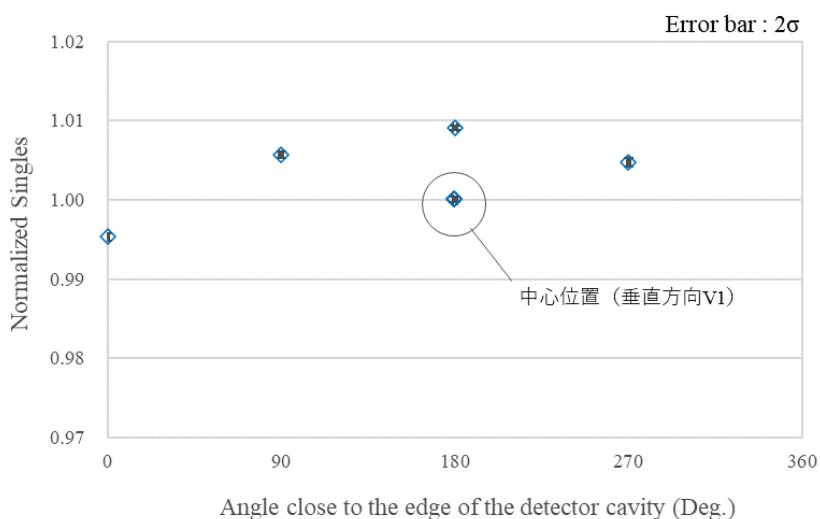


図 3.2.3-2 実測定による円周方向の検出効率プロファイル



(2) シミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの評価

MCNPX を用いて作成したガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面に配置した際のシミュレーションモデルの鉛直断面図を図 3.2.3-3 に示す。

検出効率プロファイルがシミュレーションにより適切に評価できることを確認するため、(1) において評価した Side 配置の実測定の検出効率プロファイルとシミュレーションにより求めた検出効率プロファイルを比較した。検出効率プロファイルの比較結果を図 3.2.3-4 及び図 3.2.3-5 に示す。なお、図中の垂直方向の検出効率プロファイルの縦軸はサンプルを配置可能な領域の中心部 (図 3.2.2-1 中の垂直方向 4cm(V3)) を基準として標準化したシングル値及び検出効率であり、円周方向の検出効率プロファイルの縦軸は中心位置 (図 3.2.2-1 中の垂直方向 0cm(V1)) を基準として標準化したシングル値及び検出効率である。

検出効率プロファイルの差は、サンプルを配置可能な領域 (0cm~8cm) において、垂直方向に最大約 0.3%、円周方向に最大約 0.2% であり、シミュレーションにより検出効率プロファイルを適切に評価できることを確認した。

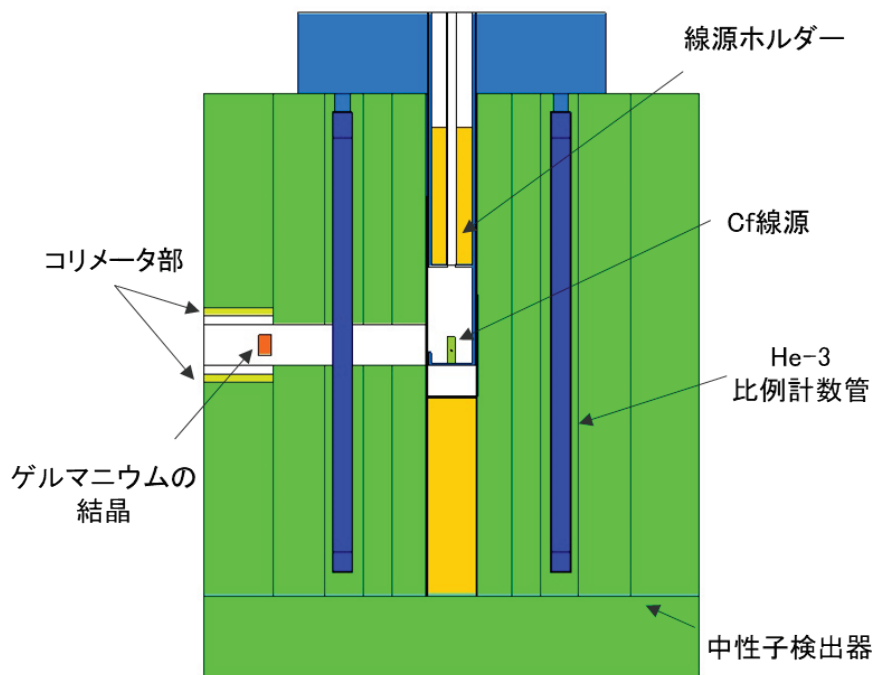


図 3.2.3-3 Side 配置のシミュレーションモデル (鉛直断面図)

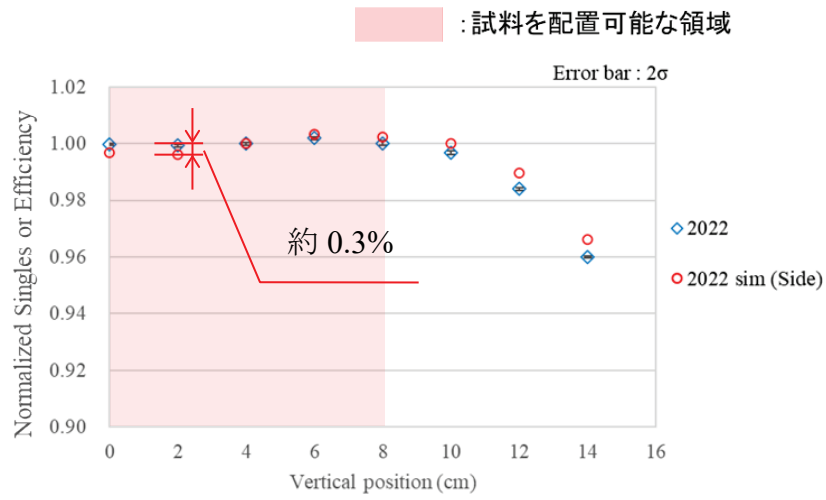


図 3.2.3-4 実測定とシミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの比較 (垂直方向)

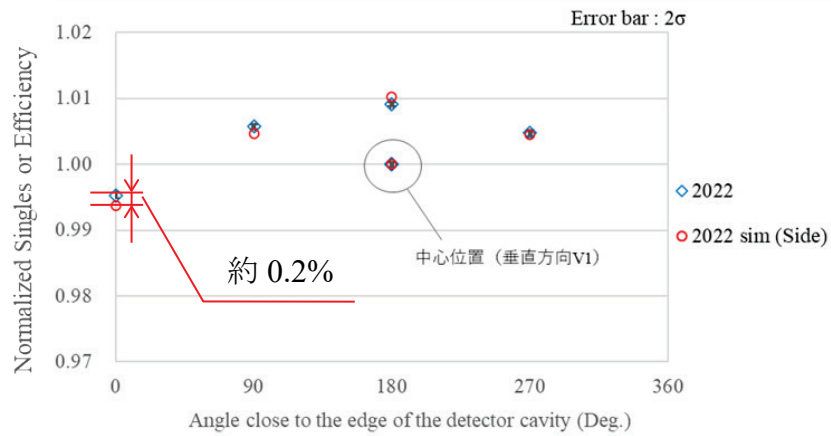


図 3.2.3-5 実測定とシミュレーションによる Side 配置の検出効率プロファイルの比較 (円周方向)

### (3) Bottom 配置の検出効率プロファイルの評価

MCNPX を用いて作成したガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部に配置した際のシミュレーションモデルの鉛直断面図を図 3.2.3-6 に示す。

Bottom 配置の中性子検出器の測定性能に及ぼす影響を評価するため、シミュレーションにより検出効率プロファイルの評価し、(2) で評価した Side 配置の検出効率プロファイルの最大差を比較した。検出効率プロファイルの比較結果を図 3.2.3-7 及び図 3.2.3-8 に示す。なお、図中の垂直方向の検出効率プロファイルの縦軸はサンプルを配置可能な領域の中心部 (図 3.2.2-1 中の垂直方向 4cm(V3)) を基準として標準化した検出効率であり、円周方向の検出効率プロファイルの縦軸は中心位置 (図 3.2.2-1 中の垂直方向 0cm(V1)) を基準として標準化した検出効率である。

垂直方向の検出効率プロファイルの最大差は、サンプルを配置可能な領域 (0cm~8cm) において、Side 配置では約 0.7% であり、Bottom 配置では約 2.3% だった。また、円周方向の検出効率プロファイルの最大差は Side 配置では約 1.6% であり、Bottom 配置では約 1.5% であった。

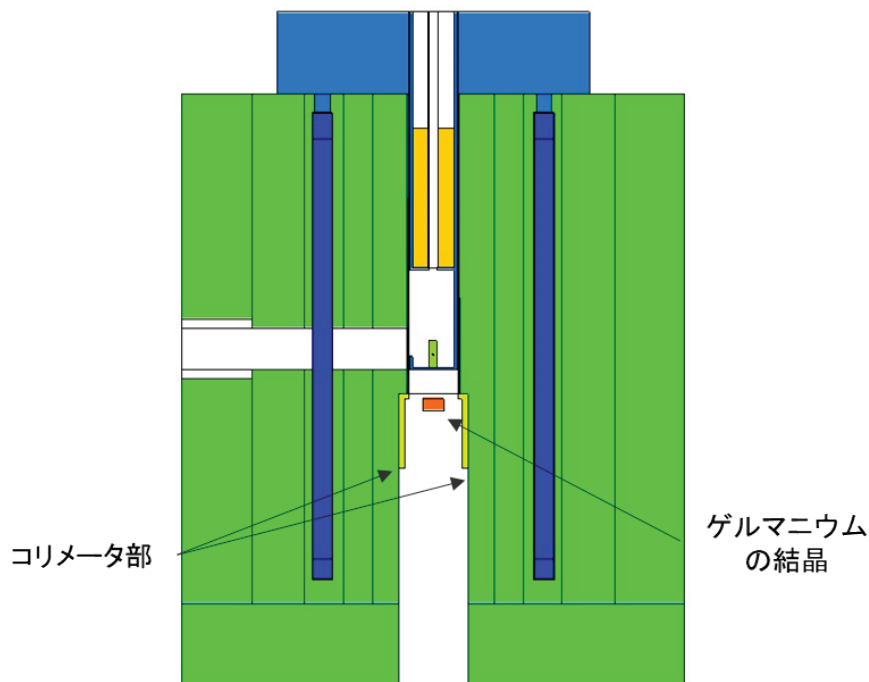


図 3.2.3-6 ガンマ線検出器をキャビティ下部に配置した際のモデル (鉛直断面図)

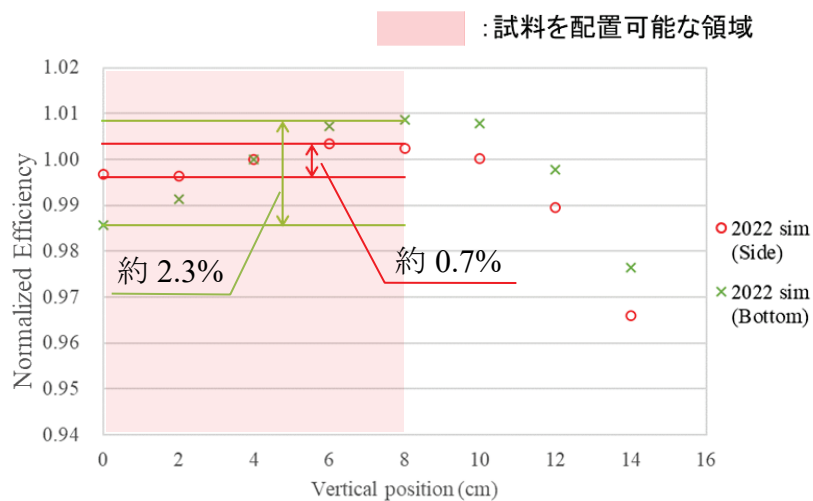


図 3.2.3-7 Side 配置と Bottom 配置の垂直方向の検出効率プロファイルの比較

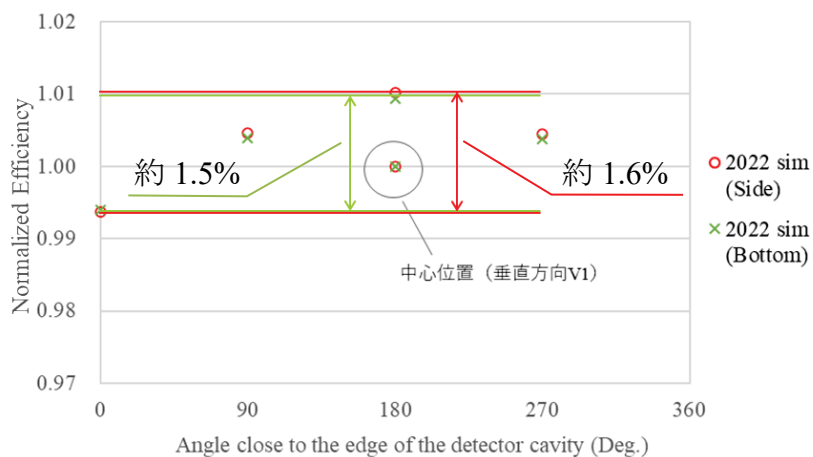


図 3.2.3-8 Side 配置と Bottom 配置の円周方向の検出効率プロファイルの比較

### 3.2.4 考察

ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面または下部に配置した際の検出効率プロファイルの最大差は、円周方向については概ね一致したが、垂直方向については差がみられた。したがって、垂直方向での中性子測定においては、ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部に配置した場合とキャビティ側面に配置した場合では同等の測定はできないと考えられる。

垂直方向に差がみられた原因は、AVIS の中性子検出器のキャビティ下部のエンドプラグ（材質：グラファイト）の有無の違いにより中性子の散乱条件が異なったためと推測される。ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面に配置した場合には、キャビティの上下方向に逃げようとする中性子がグラファイトにより散乱されて<sup>3</sup>He 比例計数管に捕獲されるが、キャビティ下部に配置した場合には、キャビティの下方向に逃げようとする中性子はグラファイトがないためそのまま検出器外へ漏れ出ることになる。そして、その量は<sup>252</sup>Cf 中性子線源が下方へ行くほどガンマ線検出器取付口の<sup>252</sup>Cf 中性子線源に対する立体角が大きくなるため増加する。したがって、キャビティ下部に配置した場合の検出効率プロファイルの最大差は、キャビティ側面に配置した場合と比較して大きい。

本項で評価したガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ側面または下部に配置した際の検出効率プロファイルの最大差は、線源位置の違いによる検出効率の最大変動量を示しており、値が小さいほど測定における線源の位置依存誤差が小さくなるため望ましい。MOX 試料のような体積線源の検出効率は、体積領域における検出効率の加重平均値で表されるため、上記の最大差は、点線源である<sup>252</sup>Cf 中性子線源を用いて評価したものより小さくなると考えられる。

今後は、AVIS が測定の対象とする体積線源である MOX 試料を対象に、ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部に配置した際の中性子検出器の測定性能に及ぼす影響を評価する必要がある。

### 3.3 中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価

#### 3.3.1 目的

AVIS の中性子検出器を構成する  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障を検知可能な線源の強度を評価する。

#### 3.3.2 方法

AVIS の中性子検出器には、図 3.3.2-1 に示すとおり、74 本の  $^3\text{He}$  比例計数管がキャビティを中心として 4 層の同心円状に配置されている。これらの  $^3\text{He}$  比例計数管は配置の違いによって、中性子計数率が異なる。本評価では、最も中性子計数率が低い  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障を、ノーマリゼーション測定（測定時間 10 分）で検知可能な線源の強度を評価する。線源強度については、ノーマリゼーション測定において取得及び評価の対象であるダブル値を用いて評価する。

本評価では、1.6 項の表 1.6-1 に示した  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源（H4-694、I7-106、K7-436、Q2-334、T1-349）を使用する。

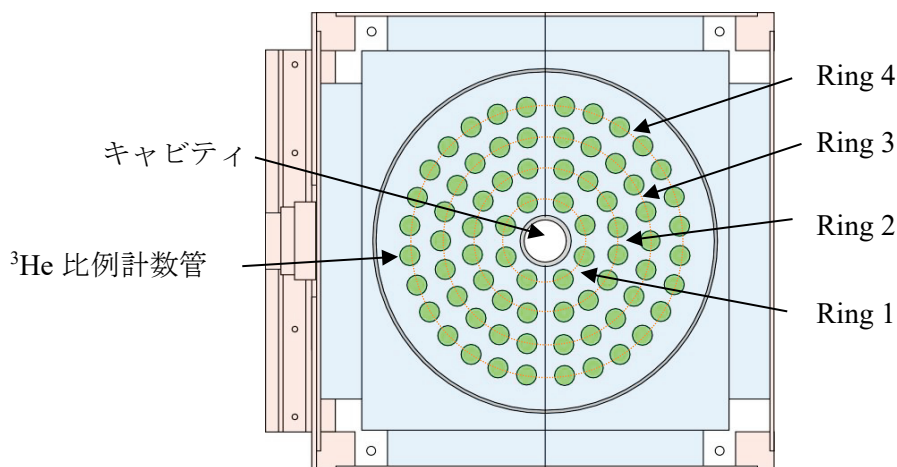


図 3.3.2-1 AVIS 中性子検出器の  $^3\text{He}$  比例計数管配置図

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① INCC ソフトウェアの **Background** 測定モードにより 10 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ② 線源固定治具を用いて  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源 (H4-694、I7-106、K7-436、Q2-334、T1-349) を図 3.3.2-2 のとおり AVIS の中性子検出器のキャビティ内に配置し、INCC ソフトウェアの **Rates only** モードにより 10 分間の測定を行う。
- ③ ②にて得た結果から、ダブル値の相対標準偏差 ( $3\sigma$ ) と線源強度の相関を評価する。
- ④ MCNPX により、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源をキャビティ内に配置した場合における全ての  $^3\text{He}$  比例計数管が健全な場合のダブル値と、 $^3\text{He}$  比例計数管 1 本が故障した場合のダブル値の差を評価する。
- ⑤ ③及び④の評価結果から、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源をキャビティ内に配置した場合に、最も中性子計数率が低い  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障を検知可能な線源の強度を評価する。
- ⑥  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を図 3.3.2-2 のとおり AVIS の中性子検出器下部に配置した場合における  $^3\text{He}$  比例計数管の故障検知が可能な線源強度を①～⑤と同様の手順で評価する。

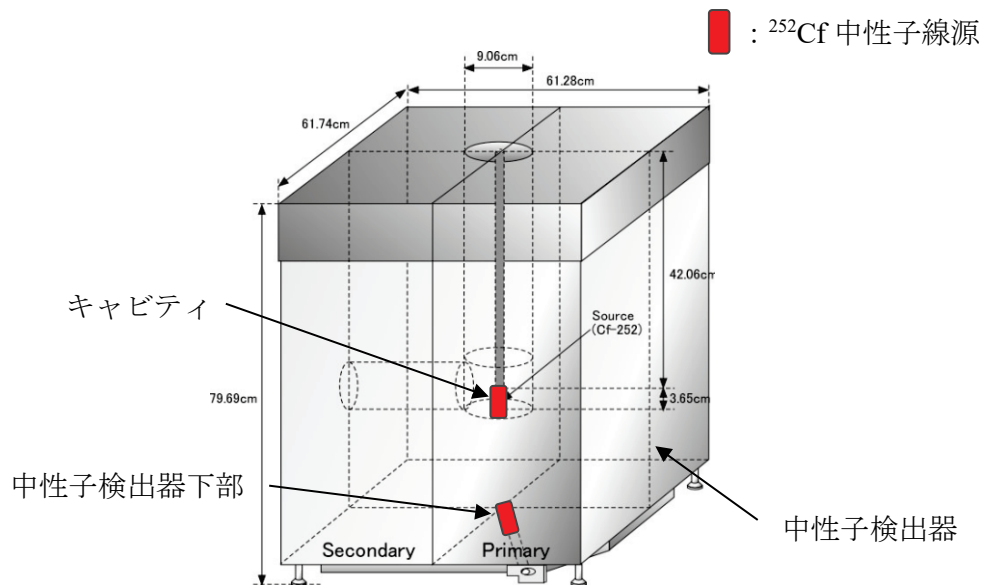


図 3.3.2-2  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源の測定位置

### 3.3.3 結果

$^{252}\text{Cf}$  中性子線源を AVIS の中性子検出器のキャビティ内または中性子検出器下部に配置した際の測定時間 10 分におけるダブル値の相対標準偏差%RSD ( $3\sigma$ ) (式 (3.1)) と線源強度の相関の評価結果を図 3.3.3-1 及び図 3.3.3-2 に示す。

$$\%RSD \text{ of Doubles} = \frac{3\sigma(\text{Doubles})}{\text{Doubles}} \times 100 \quad \dots (3.1)$$

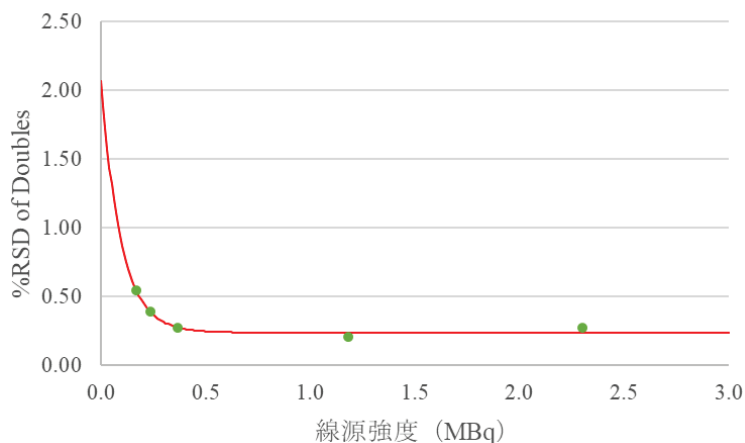


図 3.3.3-1 ダブル値の%RSDと線源強度の相関 (キャビティ内)

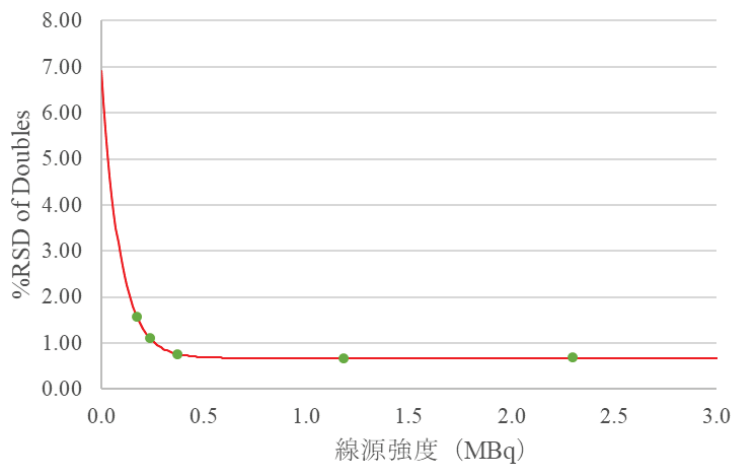


図 3.3.3-2 ダブル値の%RSDと線源強度の相関 (中性子検出器下部)

全ての  $^3\text{He}$  比例計数管が健全な場合と 1 本の  $^3\text{He}$  比例計数管が故障した場合のダブル値の差の評価結果を表 3.3.3-1 及び表 3.3.3-2 に示す。評価の結果、線源をキャビティ内または中性子検出器下部に配置した場合には、それぞれ、図 3.3.3-3 の 60 番及び図 3.3.3-4 に示す 61 番の  $^3\text{He}$  比例計数管が故障したときに、ダブル値の差が最も小さかった。



表 3.3.3-1 線源をキャビティ内に配置した際の全ての<sup>3</sup>He 比例計数管が健全な場合と  
1本の<sup>3</sup>He 比例計数管が故障した場合のダブル値の差

<sup>3</sup> He 比例計数管 番号	ダブル値の差 (%)	<sup>3</sup> He 比例計数管 番号	ダブル値の差 (%)
1	6.78	38	2.19
2	6.97	39	2.28
3	6.98	40	2.33
4	6.77	41	2.25
5	6.68	42	2.34
6	6.11	43	2.28
7	6.12	44	2.20
8	6.68	45	2.16
9	4.20	46	2.09
10	4.20	47	1.01
11	4.18	48	1.04
12	4.18	49	1.04
13	4.18	50	1.03
14	4.19	51	1.03
15	4.19	52	1.04
16	4.19	53	1.03
17	4.23	54	1.03
18	4.23	55	1.05
19	4.24	56	1.05
20	3.85	57	1.04
21	3.86	58	1.04
22	4.22	59	1.04
23	4.23	<b>60</b>	<b>1.01</b>
24	4.22	61	1.03
25	2.07	62	1.06
26	2.11	63	1.08
27	2.10	64	1.13
28	2.09	65	1.21
29	2.09	66	1.37
30	2.10	67	1.40
31	2.09	68	1.39
32	2.09	69	1.38
33	2.11	70	1.22
34	2.10	71	1.12
35	2.07	72	1.08
36	2.08	73	1.06
37	2.14	74	1.02

表 3.3.3-2 線源を中性子検出器下部に配置した際の全ての<sup>3</sup>He 比例計数管が健全な場合と1本の<sup>3</sup>He 比例計数管が故障した場合のダブル値の差

<sup>3</sup> He 比例計数管 番号	ダブル値の差 (%)	<sup>3</sup> He 比例計数管 番号	ダブル値の差 (%)
1	8.00	38	1.92
2	8.22	39	1.89
3	8.19	40	1.91
4	8.08	41	1.93
5	8.02	42	1.91
6	8.17	43	1.88
7	8.27	44	1.91
8	8.02	45	1.90
9	4.07	46	1.89
10	4.02	47	0.94
11	4.02	48	0.94
12	3.99	49	0.95
13	4.05	50	0.95
14	4.02	51	0.96
15	4.00	52	0.95
16	4.01	53	0.96
17	4.05	54	0.93
18	4.05	55	0.96
19	4.01	56	0.97
20	3.95	57	0.93
21	4.03	58	0.97
22	4.00	59	0.93
23	3.97	60	0.94
24	4.04	<b>61</b>	<b>0.91</b>
25	1.89	62	0.95
26	1.90	63	0.95
27	1.86	64	0.96
28	1.91	65	0.96
29	1.91	66	0.96
30	1.93	67	0.97
31	1.90	68	0.95
32	1.90	69	0.96
33	1.90	70	0.96
34	1.90	71	0.95
35	1.90	72	0.95
36	1.85	73	0.94
37	1.93	74	0.94

○ : 健全な場合と比較して故障した場合のダブル値の差が最も小さい<sup>3</sup>He 比例計数管

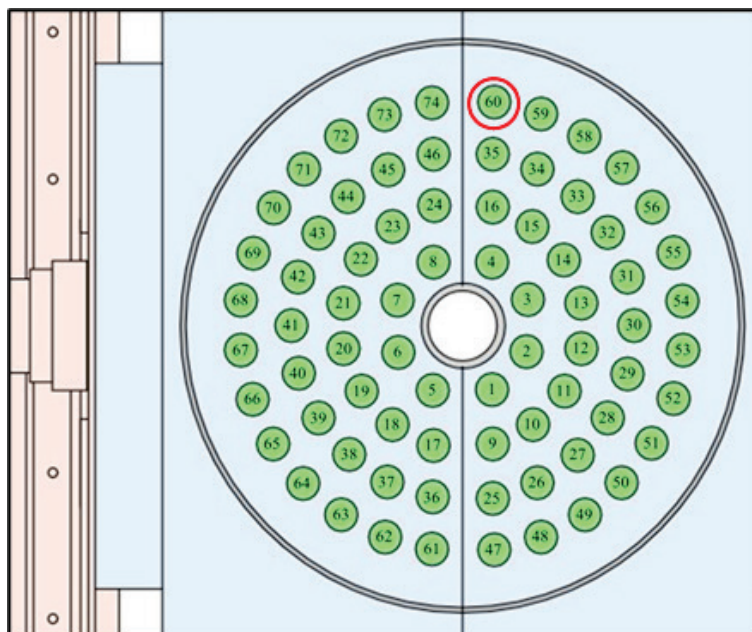


図 3.3.3-3 ダブル値の差が最も小さい<sup>3</sup>He 比例計数管の位置（キャビティ内）

○ : 健全な場合と比較して故障した場合のダブル値の差が最も小さい<sup>3</sup>He 比例計数管

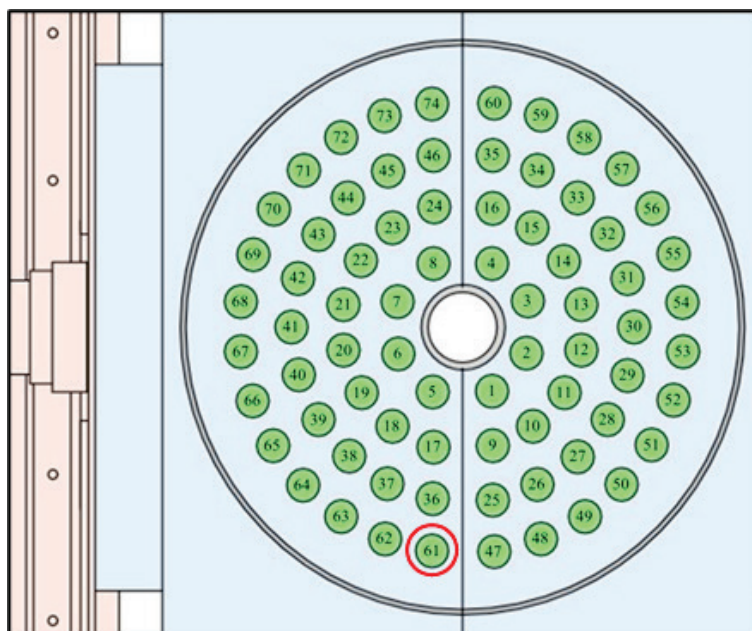


図 3.3.3-4 ダブル値の差が最も小さい<sup>3</sup>He 比例計数管の位置（中性子検出器下部）

前述の結果から、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源をキャビティ内に配置した場合は 60 番、中性子検出器下部に配置した場合は 61 番の  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障が検知可能な線源強度の評価結果を図 3.3.3-5 及び図 3.3.3-6 に示す。

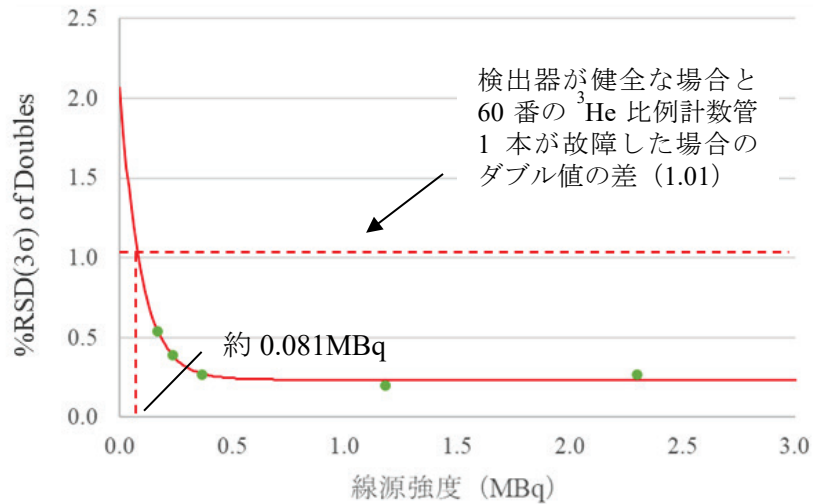


図 3.3.3-5 ダブル値の%RSDと線源強度の相関（キャビティ内）

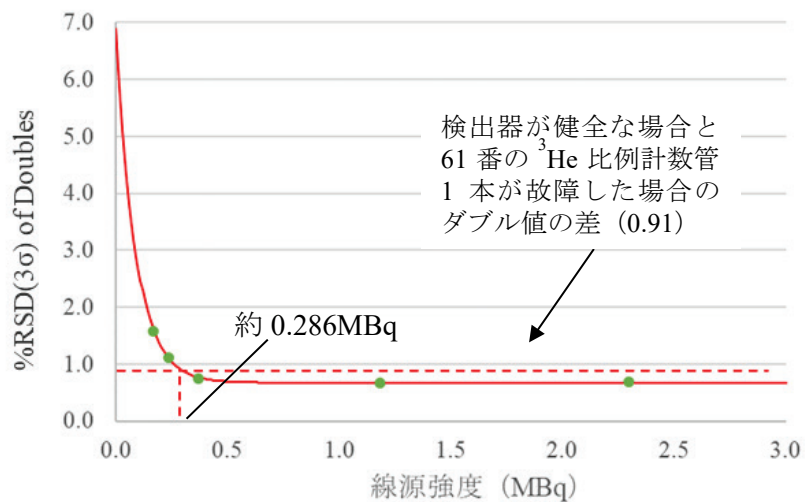


図 3.3.3-6 ダブル値の%RSDと線源強度の相関（中性子検出器下部）

### 3.3.4 考察

評価の結果、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源をキャビティ内または中性子検出器下部に配置したノーマリゼーション測定において  $^3\text{He}$  比例計数管 1 本の故障検知に必要な線源強度は、それぞれ、約 0.081MBq 以上及び約 0.286MBq 以上という結果が得られた。

なお、J-MOX における AVIS のノーマリゼーション測定は、 $^{252}\text{Cf}$  中性子線源を中性子検出器下部に配置して実施されるため、故障検知には約 0.286MBq 以上の線源強度が必要であると考えられる。

## 4. IPCA の性能確認試験

### 4.1 長期管理限界の妥当性確認

#### 4.1.1 目的

IPCA を構成する中性子検出器、HPGe（高純度ゲルマニウム）ガンマ線検出器及びロードセル（荷重変換器）から得られる計測値の長期管理限界の妥当性確認（長期管理限界内に収まっているか否かの確認）を定期的に行う。

#### 4.1.2 方法

中性子検出器については、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な Pu 線源及び Cm-244 線源の測定を実施し、検出器の長期安定性の評価及び得られた計数値とこれらから評価された検出器の中性子検出効率が長期管理限界内に収まっていることを確認する。また、本測定期間における測定環境の温度及び湿度を測定し、計数値または中性子検出効率との相関の有無を確認する。さらに、IAEA の要望に従い、適宜 IAEA から支給された UDL-1 による性能確認試験を行う。

HPGe ガンマ線検出器については、令和 2 年度から発生している全てのガンマ線検出器において性能が低下する事象の確認を実施したため、測定は行われなかった。

ロードセルについては、定期的な分銅測定を実施し、得られた重量が長期管理限界内に収まっていることを確認する。

詳細な試験手順を以下に示す。

#### (1) 中性子検出器におけるバックグラウンド測定

- ① JSR-15 及び UDL-1 を用いて連続的なバックグラウンド測定を実施する。
- ② ①により取得した計数値における異常値の有無を確認し、検出器の長期安定性を評価する。
- ③ ①～②を月 1 回の頻度で実施する。

#### (2) 中性子検出器における Pu 線源及び Cm-244 線源測定

- ① 線源（Pu 線源または Cm-244 線源）を検出器にセットする。
- ② JSR-15 及び UDL-1 を用いて線源測定を実施する。また、測定環境の温湿度測定を実施する。
- ③ Pu 線源測定により取得したシングル値から求めた中性子検出効率及び Cm-244 線源測定により取得したシングル値が長期管理限界内に収まっていることを確認する。また、測定結果と温湿度の相関の有無を評価する。
- ④ ①～③を月 1 回の頻度で実施する。

(3) ロードセルにおける分銅測定

- ① 分銅をロードセルにセットする。
- ② 分銅測定を実施する。
- ③ ①～②を月1回の頻度で実施する。

4.1.3 結果

令和4年4月から令和5年3月の期間において、LANLが実施したIPCAの長期管理限界の妥当性確認結果及びUDL-1による性能確認試験結果を添付資料に示す。

中性子検出器によるバックグラウンド測定及び線源（Pu線源及びCm-244線源）測定の結果、いずれの項目においても測定結果は管理値以内であった。また、温湿度の影響も確認されなかった。UDL-1については、各測定においてJSR-15と同様の測定性能であった。

4.1.4 考察

実施した試験の各測定結果は、いずれも管理値以内であったことから、本期間においてIPCAの性能は正常に維持されており、長期間安定して動作していたと考えられる。

## 5. 結論

AFASの性能確認試験では、「長期管理限界の妥当性確認」、「パルス間隔分布の評価」、「新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（MIC3）の適用性確認」及び「燃料集合体用保護管の影響評価」を実施した。

「長期管理限界の妥当性確認」では、AFASの長期安定性を確認するため、令和4年4月から令和5年3月までの期間において連続的なバックグラウンド測定及び定期的な<sup>252</sup>Cf中性子線源測定を実施した。その結果、各検出器において得られたほぼ全てのバックグラウンドの測定値及び<sup>252</sup>Cf中性子線源測定の計数値は長期管理限界の範囲内に収まったことから、本測定期間中、AFASは正常な状態を維持し、長期間安定して動作していたことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、装置の不具合の原因を特定する際の判断材料となるアンプ毎のパルス間隔分布を取得するため、リストモジュールを用いて<sup>252</sup>Cf中性子線源を測定した。その結果、得られたパルス間隔分布には、異常は確認されず、また、令和3年度に得られたパルス間隔分布と同様の傾向を示したことから、本評価において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている<sup>3</sup>He比例計数管及びケーブルは健全に保たれていることを確認した。

「新しい査察官非立会測定データ収集ソフトウェア（MIC3）の適用性確認」では、査察官非立会測定システムとして使用されるAFASにおける連続データ収集へのMIC3の適用性を確認するため、MIC3及び従来のデータ収集ソフトウェア（MIC2）を使用して燃料集合体及び<sup>252</sup>Cf中性子線源を測定し、計数値及びPu量を比較した。その結果、各測定における計数値及びPu量は誤差の範囲で一致し、有意な差がないことを確認したため、MIC3はAFASの線源測定及び燃料集合体測定に適用可能である見通しを得た。

「燃料集合体用保護管の影響評価」では、J-MOXにおけるAFASの設置環境を踏まえ、燃料集合体用保護管が中性子測定に与える影響を評価するため、燃料集合体用保護管がある場合とない場合について、燃料集合体を測定した際の各検出器の測定パラメータ（ $\rho_0$ 及びスロープ**b**）、計数値及びPu量をモンテカルロシミュレーション（MCNPX）により評価した結果を比較した。その結果、燃料集合体用保護管なしとありの場合において、全ての検出器の計数値及びPu量は誤差（ $2\sigma$ ）の範囲で一致せず、燃料集合体用保護管が中性子検出器の測定性能へ影響を及ぼすことを確認した。

AVISの性能確認試験では、「パルス間隔分布の評価」、「プルトニウム同位体組成比検認ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」及び「中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価」を実施した。

「パルス間隔分布の評価」では、AFASにおける評価と同様に、リストモジュールを用いて<sup>252</sup>Cf中性子線源を測定した。その結果、得られたパルス間隔分布には、異常は確認されず、令和3年度に得られたパルス間隔分布と同様の傾向を示したことから、本評価において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている<sup>3</sup>He比例計数管及びケーブルは健全に保たれていることを確認した。

「プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」では、ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部へ設置した際の中性子検出器の測定性能への影響を評価するため、モンテカルロシミュレーション(MCNPX)により中性子検出器のキャビティ側面または下部に配置した際の<sup>252</sup>Cf中性子線源に対する中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルを評価した結果を比較した。その結果、ガンマ線検出器の配置位置に関わらず、円周方向の検出効率プロファイルは概ね一致したが、垂直方向の検出効率プロファイルには配置位置の違いにより差がみられたことから、ガンマ線検出器の配置位置の変更が中性子検出器の測定性能へ影響を及ぼすことを確認した。

「中性子検出器の故障検知に必要な線源強度の評価」では、AVIS の中性子検出器のノーマリゼーション測定において<sup>3</sup>He 比例計数管 1 本の故障を検知可能な<sup>252</sup>Cf 中性子線源の強度を評価した。その結果、<sup>252</sup>Cf 中性子線源をキャビティ内または中性子検出器下部に配置した場合における<sup>3</sup>He 比例計数管 1 本の故障検知には、それぞれ、約 0.081MBq 以上及び約 0.286MBq 以上の線源強度が必要であることを確認した。

IPCA の性能確認試験「長期管理限界の妥当性確認」では、IPCA の長期安定性及び IPCA の各検出器及びロードセルにおいて得られた計測値が長期管理限界内に収まることを確認するため、令和 4 年 4 月から令和 5 年 3 月までの期間において、中性子検出器については、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な中性子線源測定を、ロードセルについては、定期的な分銅測定を実施した。その結果、中性子検出器及びロードセルにおいて取得された計数値及び重量測定値は長期管理限界の範囲内に収まったことから、本測定期間中、IPCA は正常な状態を維持し、長期間安定して動作したことを確認した。また、UDL-1 については、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な中性子線源測定において JSR-15 と同様の測定性能であることを確認した。

以上



## 【参考文献】

- 参考文献 1 : M. T. Swinhoe, J. B. Marlow, and H.O. Menlove, “Technical Specification for the Improved Plutonium Canister Assay System (IPCA 2)” (2009)
- 参考文献 2 : 大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験報告書 (令和 3 年度)
- 参考文献 3 : 大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験報告書 (平成 30 年度)
- 参考文献 4 : User Requirements AFAS Version No.1, IAEA (2007) (SG-TE-GNRL-ZZ-1010)
- 参考文献 5 : M. T. Swinhoe, “Simulation of BWR MOX Fuel in AFAS” (2015) (LA-CP-15-20176)
- 参考文献 6 : M. T. Swinhoe, H.O. Menlove, C.D. Rael and J. B. Marlow, “Factory Acceptance Test Report for the Advanced Fuel Assembly Assay System (AFAS) PWR” (2008) (LA-CP-08-0730)