

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)

2019 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。

〒319-1184

茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

日本原子力研究開発機構

東海研究開発センター 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
(平成 30 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平成 30 年 4 月に締結した受託業務契約「平成 30 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システムは、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、「Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得」では、線源強度の異なる複数の ^{252}Cf 中性子線源測定を実施し、AFAS の各 Fork 検出器のデッドタイム補正係数を求めた。

「長期管理限界の妥当性確認」では、2018 年 6 月から 2019 年 3 月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}Cf 中性子線源測定を実施し、各検出器がほぼ正常に長期間安定して動作することを確認した。

「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}Cf 中性子線源測定を実施し、装置不具合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した。

「計数装置の性能確認試験」では、燃料集合体測定を実施し、IAEA が開発中の計数装置 Multiplicity Counter Shift Register の性能が、既存の計数装置 AMSR と同等であることを確認した。

AVIS の性能確認試験のうち、「バックグラウンドの影響評価に係る検討」では、大型混合酸化物燃料加工施設における AVIS 測定状況を想定した MOX サンプル測定を実施し、グローブボックス内におけるサンプル位置の変動に起因するバックグラウンドの変動が測定に与える影響は、無視できるほど小さいことを確認した。

「ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価」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、ゲルマニウム検出器を AVIS の試料収納部の下部に配置した場合、現状よりも測定精度が向上するものの、IAEA の要求精度は依然一部満たさないことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、AFAS と同様に、アンプ毎のパルス間隔分布を取得した。

「計数装置の性能確認試験」では、AVIS の検出器から出力される信号のパルス幅が狭いため、現状の Multiplicity Counter Shift register では、AMSR と同等の計数値を取得できないことを確認した。

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、2018 年 10 月から 2019 年 3 月の期間において、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な Pu 線源、中性子線源、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することを確認した。

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}Cf 中性子線源	7
1.7 試験に使用した燃料集合体	8
1.8 試験に使用した MOX サンプル	9
2. AFAS の性能確認試験	10
2.1 Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得	10
2.1.1 目的	10
2.1.2 方法	11
2.1.3 結果	13
2.1.4 考察	17
2.1.5 方法（二線源法）	18
2.1.6 結果（二線源法）	20
2.1.7 考察（二線源法）	24
2.2 長期管理限界の妥当性確認	25
2.2.1 目的	25
2.2.2 方法	25
2.2.3 結果	28
2.2.4 考察	74
2.3 パルス間隔分布の評価	76
2.3.1 目的	76
2.3.2 方法	76
2.3.3 結果	79
2.3.4 考察	99
2.4 計数装置の性能確認試験	100
2.4.1 目的	100
2.4.2 方法	100
2.4.3 結果	103
2.4.4 考察	106
3. AVIS の性能確認試験	107
3.1 バックグラウンドの影響評価に係る検討	107

3.1.1	目的.....	107
3.1.2	方法.....	109
3.1.3	結果.....	111
3.1.4	考察.....	114
3.2.	ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価.....	115
3.2.1	目的.....	115
3.2.2	方法.....	116
3.2.3	結果.....	117
3.2.4	考察.....	120
3.3.	パルス間隔分布の評価.....	121
3.3.1	目的.....	121
3.3.2	方法.....	121
3.3.3	結果.....	123
3.3.4	考察.....	137
3.4.	計数装置の性能確認試験.....	138
3.4.1	目的.....	138
3.4.2	方法.....	138
3.4.3	結果.....	139
3.4.4	考察.....	143
4.	IPCA の性能確認試験.....	144
4.1.	長期管理限界の妥当性確認.....	144
4.1.1	目的.....	144
4.1.2	方法.....	144
4.1.3	結果.....	145
4.1.4	考察.....	145
5.	結論.....	146

図目次

図 1.7-1	封入棒集合体の側面図及び断面図	8
図 2.1.1-1	デッドタイム補正の概念図	10
図 2.1.2-1	²⁵² Cf 中性子線源配置図 (AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork)	12
図 2.1.2-2	²⁵² Cf 中性子線源配置図 (AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork)	12
図 2.1.3-1	AFAS-B Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較	13
図 2.1.3-2	AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較	14
図 2.1.3-3	AFAS-P Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較	15
図 2.1.3-4	AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較	16
図 2.1.5-1	二線源法における ²⁵² Cf 中性子線源配置位置	19
図 2.1.6-1	AFAS-B Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較	21
図 2.1.6-2	AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較	22
図 2.1.6-3	AFAS-P Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較	23
図 2.1.6-4	AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較	24
図 2.2.2-1	AFAS 機器接続図	26
図 2.2.3-1	バックグラウンド計数值 (シングル値)	29
図 2.2.3-2	バックグラウンド計数值 (シングル値)	29
図 2.2.3-3	バックグラウンド計数值 (シングル値)	30
図 2.2.3-4	バックグラウンド計数值 (シングル値)	30
図 2.2.3-5	バックグラウンド計数值 (ダブル値)	30
図 2.2.3-6	バックグラウンド計数值 (ダブル値)	31
図 2.2.3-7	バックグラウンド計数值 (ダブル値)	31
図 2.2.3-8	バックグラウンド計数值 (ダブル値)	31
図 2.2.3-9	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	32
図 2.2.3-10	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	32
図 2.2.3-11	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	32
図 2.2.3-12	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	33
図 2.2.3-13	ダブル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	33
図 2.2.3-14	ダブル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	33
図 2.2.3-15	ダブル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	34
図 2.2.3-16	ダブル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	34
図 2.2.3-17	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	34
図 2.2.3-18	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	35
図 2.2.3-19	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	35
図 2.2.3-20	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	35
図 2.2.3-21	ダブル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	36

図 2.2.3-22	ダブル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	36
図 2.2.3-23	ダブル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	36
図 2.2.3-25	バックグラウンド計数値 (シングル値)	38
図 2.2.3-26	バックグラウンド計数値 (シングル値)	38
図 2.2.3-27	バックグラウンド計数値 (シングル値)	39
図 2.2.3-28	バックグラウンド計数値 (シングル値)	39
図 2.2.3-29	バックグラウンド計数値 (ダブル値)	39
図 2.2.3-30	バックグラウンド計数値 (ダブル値)	40
図 2.2.3-31	バックグラウンド計数値 (ダブル値)	40
図 2.2.3-32	バックグラウンド計数値 (ダブル値)	40
図 2.2.3-33	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	41
図 2.2.3-34	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	41
図 2.2.3-35	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	41
図 2.2.3-36	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	42
図 2.2.3-37	ダブル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	42
図 2.2.3-38	ダブル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	42
図 2.2.3-39	ダブル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	43
図 2.2.3-40	ダブル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	43
図 2.2.3-41	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	43
図 2.2.3-42	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	44
図 2.2.3-43	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	44
図 2.2.3-44	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	44
図 2.2.3-45	ダブル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	45
図 2.2.3-46	ダブル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	45
図 2.2.3-47	ダブル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	45
図 2.2.3-49	バックグラウンド計数値 (シングル値)	47
図 2.2.3-50	バックグラウンド計数値 (シングル値)	47
図 2.2.3-51	バックグラウンド計数値 (シングル値)	48
図 2.2.3-52	バックグラウンド計数値 (シングル値)	48
図 2.2.3-53	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	48
図 2.2.3-54	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	49
図 2.2.3-55	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	49
図 2.2.3-56	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	49
図 2.2.3-57	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	50
図 2.2.3-58	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	50
図 2.2.3-59	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	50
図 2.2.3-60	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	51

図 2.2.3-61	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	52
図 2.2.3-62	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	52
図 2.2.3-63	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	53
図 2.2.3-64	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	53
図 2.2.3-65	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	53
図 2.2.3-66	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	54
図 2.2.3-67	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	54
図 2.2.3-68	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	54
図 2.2.3-69	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	55
図 2.2.3-70	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	55
図 2.2.3-71	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	55
図 2.2.3-72	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	56
図 2.2.3-73	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	57
図 2.2.3-74	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	57
図 2.2.3-75	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	58
図 2.2.3-76	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	58
図 2.2.3-77	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	58
図 2.2.3-78	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	59
図 2.2.3-79	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	59
図 2.2.3-80	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	59
図 2.2.3-81	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	60
図 2.2.3-82	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	60
図 2.2.3-83	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	60
図 2.2.3-84	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	61
図 2.2.3-85	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	62
図 2.2.3-86	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	62
図 2.2.3-87	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	63
図 2.2.3-88	バックグラウンド計数値 (シングル値)	.....	63
図 2.2.3-89	シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	63
図 2.2.3-90	シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	64
図 2.2.3-91	シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	64
図 2.2.3-92	シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	64
図 2.2.3-93	シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)	.....	65
図 2.2.3-94	シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)	.....	65
図 2.2.3-95	シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)	.....	65
図 2.2.3-96	シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)	.....	66
図 2.2.3-97	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-B Top Fork 検出器)	.....	67

図 2.2.3-98	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-B Collar 検出器)	67
図 2.2.3-99	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	68
図 2.2.3-100	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Top Fork 検出器)	68
図 2.2.3-101	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Collar 検出器)	68
図 2.2.3-102	²⁵² Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	69
図 2.2.3-103	計数値と温度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)	69
図 2.2.3-104	計数値と温度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)	69
図 2.2.3-105	計数値と温度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	70
図 2.2.3-106	計数値と温度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)	70
図 2.2.3-107	計数値と温度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)	70
図 2.2.3-108	計数値と温度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	71
図 2.2.3-109	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)	71
図 2.2.3-110	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)	71
図 2.2.3-111	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)	72
図 2.2.3-112	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)	72
図 2.2.3-113	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)	72
図 2.2.3-114	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)	73
図 2.2.4-1	ENMC によるバックグラウンド測定結果 (シングル値)	75
図 2.2.4-2	ENMC によるバックグラウンド測定結果 (ダブル値)	75
図 2.3.2-1	AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図	76
図 2.3.2-2	AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図	77
図 2.3.2-3	AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図	77
図 2.3.2-4	AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図	77
図 2.3.3-1	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	79
図 2.3.3-2	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	79
図 2.3.3-3	AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	80
図 2.3.3-4	AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	80
図 2.3.3-5	AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	81
図 2.3.3-6	AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	81
図 2.3.3-7	AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	82
図 2.3.3-8	AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	82
図 2.3.3-9	AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	83
図 2.3.3-10	AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	83
図 2.3.3-11	AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	84
図 2.3.3-12	AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	84
図 2.3.3-13	AFAS-B Top Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	85
図 2.3.3-14	AFAS-B Top Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	85

図 2.3.3-15	AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.....	86
図 2.3.3-16	AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.....	86
図 2.3.3-17	AFAS-P Collar 検出器	アンプ A のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 87
図 2.3.3-18	AFAS-P Collar 検出器	アンプ A のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 87
図 2.3.3-19	AFAS-P Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 88
図 2.3.3-20	AFAS-P Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 88
図 2.3.3-21	AFAS-P Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 89
図 2.3.3-22	AFAS-P Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 89
図 2.3.3-23	AFAS-P Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 90
図 2.3.3-24	AFAS-P Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 90
図 2.3.3-25	AFAS-P Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 91
図 2.3.3-26	AFAS-P Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 91
図 2.3.3-27	AFAS-P Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 92
図 2.3.3-28	AFAS-P Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 92
図 2.3.3-29	AFAS-P Collar 検出器	アンプ G のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 93
図 2.3.3-30	AFAS-P Collar 検出器	アンプ G のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 93
図 2.3.3-31	AFAS-P Collar 検出器	アンプ H のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.. 94
図 2.3.3-32	AFAS-P Collar 検出器	アンプ H のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.... 94
図 2.3.3-33	AFAS-P Collar 検出器	アンプ I のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	... 95
図 2.3.3-34	AFAS-P Collar 検出器	アンプ I のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	..... 95
図 2.3.3-35	AFAS-P Collar 検出器	アンプ J のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	... 96
図 2.3.3-36	AFAS-P Collar 検出器	アンプ J のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	..... 96
図 2.3.3-37	AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.....	97
図 2.3.3-38	AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.....	97
図 2.3.3-39	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	.....	98
図 2.3.3-40	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	.....	98
図 2.3.4-1	IPCA 正常なパルス間隔分布の例 (0~1000 μ s)	.....	99
図 2.3.4-2	IPCA 異常なパルス間隔分布の例 (0~1000 μ s)	.....	99
図 2.4.2-1	機器接続図	.....	101
図 2.4.2-2	燃料集合体の測定位置	.....	102
図 2.4.3-1	燃料集合体 A シングル値の比較 (Collar 検出器)	.....	103
図 2.4.3-2	燃料集合体 A ダブル値の比較 (Collar 検出器)	.....	103
図 2.4.3-3	燃料集合体 A シングル値の比較 (Fork 検出器)	.....	103
図 2.4.3-4	燃料集合体 B シングル値の比較 (Collar 検出器)	.....	104
図 2.4.3-5	燃料集合体 B ダブル値の比較 (Collar 検出器)	.....	104
図 2.4.3-6	燃料集合体 B シングル値の比較 (Fork 検出器)	.....	104
図 2.4.3-7	燃料集合体 C シングル値の比較 (Collar 検出器)	.....	105

図 2.4.3-8	燃料集合体 C ダブル値の比較 (Collar 検出器)	105
図 2.4.3-9	燃料集合体 C シングル値の比較 (Fork 検出器)	105
図 3.1.1-1	AVIS 測定用グローブボックスにおける AVIS、試料専用容器	107
図 3.1.1-2	AVIS 測定用グローブボックスにおける試料専用容器と	108
図 3.1.2-1	AVIS へのグローブボックス底部を模擬した治具の設置	110
図 3.1.2-2	バックグラウンド測定時の MOX サンプル配置	110
図 3.1.3-1	サンプル C 解析結果 (Known- α 法)	112
図 3.1.3-2	サンプル C 解析結果 (Multiplicity 法)	112
図 3.1.3-3	サンプル D 解析結果 (Known- α)	112
図 3.1.3-4	サンプル D 解析結果 (Multiplicity 法)	113
図 3.1.3-5	サンプル B 解析結果 (Known- α)	113
図 3.1.3-6	サンプル B 解析結果 (Multiplicity 法)	113
図 3.2.2-1	ゲルマニウム検出器の配置位置とサンプルとの距離	115
図 3.2.3-1	AVIS シミュレーションモデル	117
図 3.2.3-2	^{238}Pu (%) の比較	118
図 3.2.3-5	^{241}Pu (%) の比較	118
図 3.2.3-4	^{240}Pu (%) の比較	118
図 3.2.3-6	^{242}Pu (%) の比較	118
図 3.2.3-7	^{241}Am (%) の比較	118
図 3.2.3-8	$^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の比較	118
図 3.2.3-9	$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ の比較	118
図 3.3.2-1	AVIS のアンプ配置図	122
図 3.3.3-1	アンプ A のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	123
図 3.3.3-2	アンプ A のパルス間隔分布 (0~100 μs)	123
図 3.3.3-3	アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	124
図 3.3.3-4	アンプ B のパルス間隔分布 (0~100 μs)	124
図 3.3.3-5	アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	125
図 3.3.3-6	アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μs)	125
図 3.3.3-7	アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	126
図 3.3.3-8	アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μs)	126
図 3.3.3-9	アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	127
図 3.3.3-10	アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μs)	127
図 3.3.3-11	アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	128
図 3.3.3-12	アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μs)	128
図 3.3.3-13	アンプ G のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	129
図 3.3.3-14	アンプ G のパルス間隔分布 (0~100 μs)	129
図 3.3.3-15	アンプ H のパルス間隔分布 (0~1000 μs)	130

図 3.3.3-16	アンプ H のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	130
図 3.3.3-17	アンプ I のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	131
図 3.3.3-18	アンプ I のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	131
図 3.3.3-19	アンプ J のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	132
図 3.3.3-20	アンプ J のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	132
図 3.3.3-21	アンプ K のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	133
図 3.3.3-22	アンプ K のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	133
図 3.3.3-23	アンプ L のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	134
図 3.3.3-24	アンプ L のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	134
図 3.3.3-25	アンプ M のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	135
図 3.3.3-26	アンプ M のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	135
図 3.3.3-27	アンプ N のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)	136
図 3.3.3-28	アンプ N のパルス間隔分布 (0~100 μ s)	136
図 3.4.2-1	AVIS 機器接続図	138
図 3.4.3-1	サンプル A シングル値の比較	139
図 3.4.3-2	サンプル A ダブル値の比較	139
図 3.4.3-3	サンプル A トリプル値の比較	139
図 3.4.3-4	サンプル B シングル値の比較	140
図 3.4.3-5	サンプル B ダブル値の比較	140
図 3.4.3-6	サンプル B トリプル値の比較	140
図 3.4.3-7	サンプル C シングル値の比較	141
図 3.4.3-8	サンプル C ダブル値の比較	141
図 3.4.3-9	サンプル C トリプル値の比較	141
図 3.4.3-10	サンプル D シングル値の比較	142
図 3.4.3-11	サンプル D ダブル値の比較	142
図 3.4.3-12	サンプル D トリプル値の比較	142
図 3.4.4-1	AVIS 検出器の TTL パルス	143
図 3.4.4-2	AFAS-P Collar 検出器の TTL パルス	143

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	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	試験に使用した ^{252}Cf 中性子線源	7
表 1.7-1	封入棒集合体の仕様	8
表 1.7-2	封入棒集合体の同位体組成比 (集合体平均)	8
表 1.8-1	MOX サンプルの性状	9
表 1.8-2	MOX サンプルの同位体組成比	9
表 2.1.2-1	AFAS-B Fork 検出器の中性子検出効率 (ϵ)	11
表 2.1.2-2	AFAS-P Fork 検出器の中性子検出効率 (ϵ)	11
表 2.1.3-1	AFAS-B Top Fork 検出器における S_m 及び S_d	13
表 2.1.3-2	AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d	14
表 2.1.3-3	AFAS-P Top Fork 検出器における S_m 及び S_d	15
表 2.1.3-4	AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d	16
表 2.1.5-1	^{252}Cf 中性子線源と模擬線源の仕様	19
表 2.1.6-1	デッドタイム補正係数	20
表 2.1.6-2	AFAS-B Top Fork 検出器における S_m 及び S_d	21
表 2.1.6-3	AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d	22
表 2.1.6-4	AFAS-P Top Fork 検出器における S_m 及び S_d	23
表 2.1.6-5	AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d	24
表 2.3.2-1	各検出器におけるアンプ数	76
表 3.1.3-1	バックグラウンド測定結果	111
表 3.2.2-1	MOX サンプルの情報	116
表 3.2.3-1	$^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比のシミュレーション結果	119
表 3.2.4-1	$^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の計算に用いられた	120
表 3.3.2-1	AVIS におけるアンプ数	121

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 1.8-1	試験に使用したバイアル及び 2 重ビニールバッグによる梱包状態	9
写真 2.1.5-1	^{252}Cf 中性子線源と模擬線源	19
写真 2.3.2-1	アンプ (AMPTEK A111)	78
写真 2.4.2-1	MCSR の外観	100
写真 3.1.2-1	J-MOX における AVIS 測定用グローブボックス底部を模擬した治具 109	
写真 3.1.2-2	サンプルホルダー (拡大: サンプル収納部)	110

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 Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得	添付-10
(2) 2.2 長期管理限界の妥当性確認	添付-35
(3) 2.4 計数装置の性能確認試験	添付-96

【AVIS 性能確認試験】

(1) 3.1 バックグラウンドの影響評価に係る検討	添付-139
(2) 3.2 ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価	添付-163
(3) 3.4 計数装置の性能確認試験	添付-165

【IPCA 性能確認試験】

(1) 4.1 長期管理限界の妥当性確認	添付-215
----------------------------	--------

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（以下、「NRA」という）と平成 30 年 4 月に締結した受託業務契約「平成 30 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 及び BWR 用の AFAS-B 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。

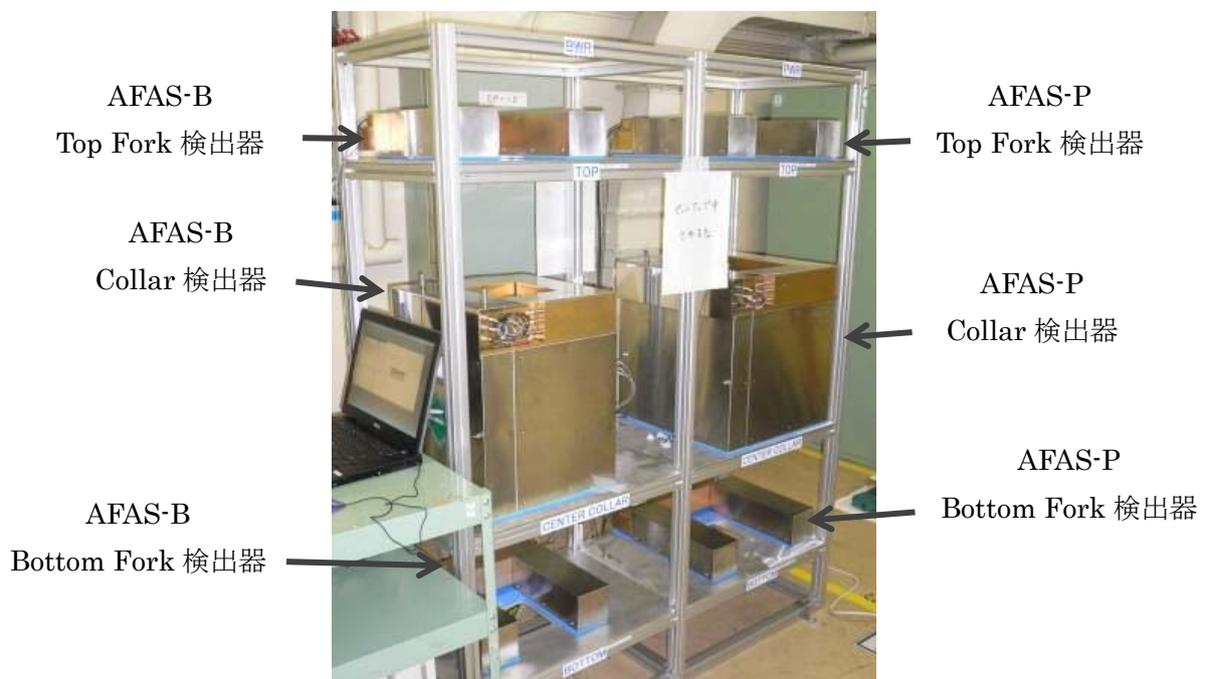


写真 1.1-1 AFAS の外観写真

(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 HPGe (高純度ゲルマニウム) 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。

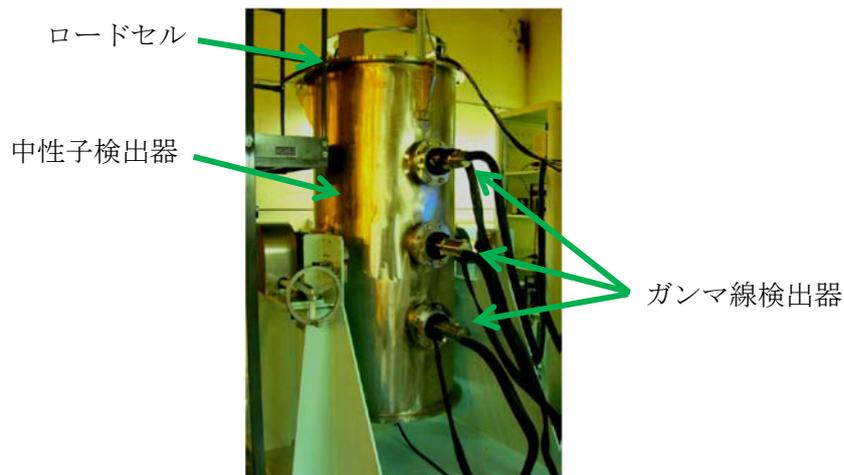


写真 1.1-3 IPCA の外観写真

(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	Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得	2.1
	長期管理限界の妥当性確認	2.2
	パルス間隔分布の評価	2.3
	計数装置の性能確認試験	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	バックグラウンドの影響評価に係る検討	3.1
	ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価	3.2
	パルス間隔分布の評価	3.3
	計数装置の性能確認試験	3.4

(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 に示す。

表 1.3 性能確認試験スケジュール

内容	平成 30 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	▲ 試験計画打合せ (NRA) ▲ JTC ^(*1) 会合 (JNFL ^(*2)) ▲ 受託試験に係る打合せ (米国 LANL ^(*3))											

表中の () は開催場所を示す。

*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 (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	AMSR	AMSR	AMSR
プレディレイ (μs)	1.5	1.5	1.5
ゲート幅 (μs)	64.0	64.0	64.0
印加電圧 (V)	1720	1720	1720
ダイアウエイタイム (μs)	50.0	50.0	50.0
中性子検出効率(²⁵² Cf)	0.197	0.008	0.006
Multiplicity デッドタイム補正係数	160.0000×10 ⁻⁹	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 a	0.6419×10 ⁻⁶	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 b	0.1030×10 ⁻¹²	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	AMSR	AMSR	AMSR
プレディレイ (μs)	1.5	1.5	1.5
ゲート幅 (μs)	64.0	64.0	64.0
印加電圧 (V)	1720	1720	1720
ダイアウエイタイム (μs)	50.0	50.0	50.0
中性子検出効率(²⁵² Cf)	0.162	0.0126	0.0127
Multiplicity デッドタイム補正係数	86.5×10 ⁻⁹	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 a	0.3458×10 ⁻⁶	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 b	0.02989×10 ⁻¹²	0.0000	0.0000

(2) AVIS 用測定パラメータ

本試験に用いた 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	AMSR
プリディレイ(μs)	1.5
ゲート幅(μs)	64.0
印加電圧(V)	1,740
ダイアウエイタイム(μs)	30.0
中性子検出効率	0.675
Multiplicity デッドタイム補正係数	72.60×10^{-9}
デッドタイム補正係数 a	0.2904×10^{-6}
デッドタイム補正係数 b	0.0211×10^{-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>	3.240449×10^2
Alpha weight	1.000
ρ_0	4.707231×10^{-1}
K	2.166

(3) IPCA 用測定パラメータ

本試験に用いた 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}Cf 中性子線源

本試験に使用した ^{252}Cf 中性子線源の線源番号及び中性子放出率を表 1.6 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 JFY18” (添付資料) を参照のこと。

表 1.6 試験に使用した ^{252}Cf 中性子線源

線源番号	中性子放出率(n/s)	評価日
WW-906	2.9×10^3	2018/4/1
H4-694	6.0×10^4	
I7-106	7.8×10^4	
K7-436	1.2×10^5	
Q2-334	3.7×10^5	

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、平成 24～26 年及び 29 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。

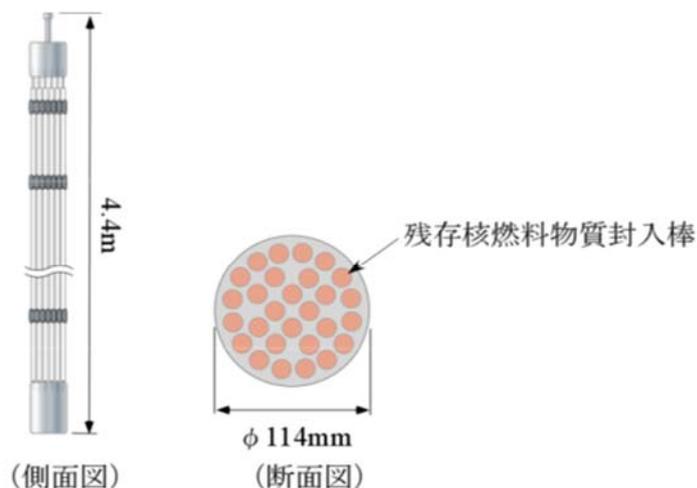


図 1.7-1 封入棒集合体の側面図及び断面図

表 1.7-1 封入棒集合体の仕様

集合体 No.	Pu 量 (g)	Pu 含有率 ^(*4) (%)
A	3533.991	2.10
B	3139.806	1.96
C	1983.007	1.36

*4 : Pu 含有率(%)=Pu 重量/MOX 重量×100

表 1.7-2 封入棒集合体の同位体組成比（集合体平均）

集合体 No.	²³⁸ Pu (%)	²³⁹ Pu (%)	²⁴⁰ Pu (%)	²⁴¹ Pu (%)	²⁴² Pu (%)	²⁴¹ Am ^(*5) (%)	崩壊計算日
A	1.3233	61.4933	27.8411	3.8401	5.5022	6.3855	2013/1/30
B	1.2638	62.3620	27.3883	3.7397	5.2462	6.4546	2013/1/30
C	0.8404	68.9247	24.2715	2.4621	3.5013	6.2192	2013/1/30

*5 : ²⁴¹Am 量/Pu 量

1.8 試験に使用した MOX サンプル

AVIS の性能確認試験に使用した MOX サンプルの性状及び同位体組成比を表 1.8-1 及び表 1.8-2 に示す。サンプル容器には、IAEA が査察において使用しているポリスチレンバイアル（SPEX 社製 12ml Polystyrene Grinding Vial with Slip-On Cap）を用いた。また、本試験では、サンプルをグローブボックス外で取り扱うため、2重のビニールバッグでバイアルを梱包した。（写真 1.8-1）

表 1.8-1 MOX サンプルの性状

サンプル ID	性状	Pu 量 (g)
A	粉末	1
B		9
C	ペレット	1
D		3

表 1.8-2 MOX サンプルの同位体組成比

サンプル ID	^{238}Pu (%)	^{239}Pu (%)	^{240}Pu (%)	^{241}Pu (%)	^{242}Pu (%)	$^{241}\text{Am}^{(*6)}$ (%)	崩壊計算日
A	1.168	63.261	26.643	4.184	4.744	3.100	2012/6/21
B							
C	1.067	64.761	25.194	4.709	4.269	5.201	2007/9/7
D							

*6 : ^{241}Am 量/Pu 量

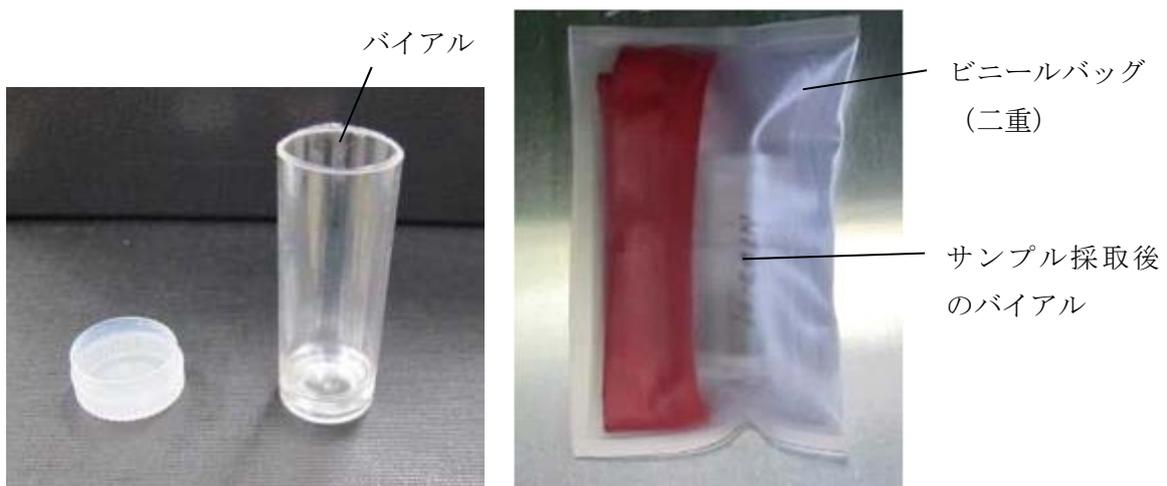


写真 1.8-1 試験に使用したバイアル及び2重ビニールバッグによる梱包状態

2. AFAS の性能確認試験

2.1 Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得

2.1.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Fork 検出器のデッドタイムパラメータ^(*)を求める。

*7: AFAS の Collar 検出器及び Fork 検出器の測定パラメータは、過去、LANL によって評価されたが、Fork 検出器のデッドタイムパラメータについては評価されていない。J-MOX において測定される LWR 用燃料集合体に含まれる最大 Pu 量は、BWR 用では 10.4 kg-Pu、PWR 用では 62.9 kg-Pu であるため、高計数率の測定となることから、Fork 検出器においても、当該検出器により取得される計数値（シングル値）へのデッドタイム補正の有無の影響は大きいと考えられる。デッドタイム補正の概念図を図 2.1.1-1 に示す。また、シングル値のデッドタイム補正式を式 1 に示す。

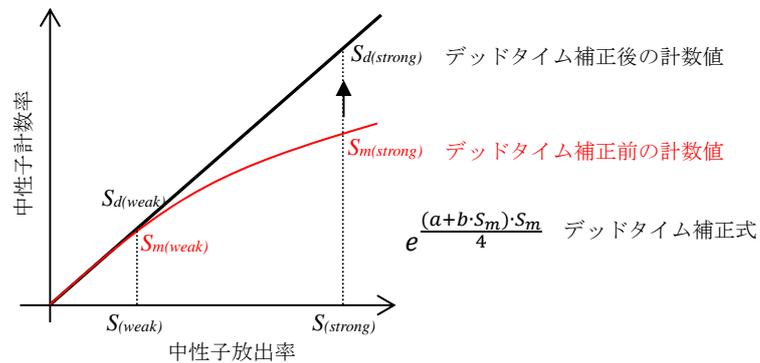


図 2.1.1-1 デッドタイム補正の概念図

$$S_d = S_m \cdot e^{\frac{(a+b \cdot S_m) \cdot S_m}{4}} \dots \dots \dots (式 1)$$

S_d : デッドタイム補正後のシングル値
 S_m : デッドタイム補正前のシングル値
 a, b : デッドタイム補正係数

2.1.2 方法

強度の異なる複数の²⁵²Cf中性子線源をAFAS Fork 検出器にて測定し得られるシングル値 (S_m) と、同線源をENMC (熱外中性子測定装置) にて測定し得られる中性子放出率及びAFAS Fork 検出器の中性子検出効率に基づき計算されたデッドタイム補正後のシングル値の期待値 (S_d) より、デッドタイム補正係数 **a** 及び **b** を求める。デッドタイム補正後のシングル値の期待値 (S_d) の算出式を式 2 に示す。

本評価において用いる AFAS Fork 検出器の中性子検出効率には、JAEA が平成 22 及び 23 年度の性能評価試験 (参考文献 2 及び 3) において、本測定と同じ試験環境下にて求めた値を用いる。AFAS-B 及び AFAS-P の各 Fork 検出器の中性子検出効率を表 2.1.2-1 及び表 2.1.2-2 に示す。

$$S_d = \frac{S_{d_ENMC}}{\epsilon_{ENMC}} \epsilon_{AFAS} \dots \dots \dots (式 2)$$

S_{d_ENMC} : ENMC により取得されたデッドタイム補正後のシングル値

ϵ_{ENMC} : ENMC の中性子検出効率 (0.625)

ϵ_{AFAS} : AFAS Fork 検出器の中性子検出効率

表 2.1.2-1 AFAS-B Fork 検出器の中性子検出効率 (ϵ)

Top Fork	Bottom Fork
0.010	0.010

表 2.1.2-2 AFAS-P Fork 検出器の中性子検出効率 (ϵ)

Top Fork	Bottom Fork
0.009	0.009

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① Fork 検出器を試験用架台に設置する。
- ② バックグラウンド測定 (30 秒×20 回) を実施する。
- ③ INCC (IAEA Neutron Coincidence Counting) ソフトウェアのデッドタイム補正パラメータ (a、b) に 0 を入力する。
- ④ 線源固定治具を用いて、1.6 項の表 1.6 に示す²⁵²Cf 中性子線源 (WW-906、H4-694、K7-436、Q2-334) を Fork 検出器の中心位置 (図 2.1.2-1 及び図 2.1.2-2) にセットし、それぞれ 30 秒×120 回の測定を行い、各²⁵²Cf 線源のデッドタイム補正前のシングル値 (S_m) を取得する。

- ⑤ 線源固定治具を用いて、 ^{252}Cf 中性子線源（WW-906、H4-694、K7-436、Q2-334）を ENMC の中心位置にセットし、それぞれ 30 秒×120 回の測定を行い、シングル値 (S_{d_ENMC}) を取得する。
- ⑥ 式 2 に S_{m_ENMC} を代入し、デッドタイム補正後のシングル値の期待値 (S_d) を求める。
- ⑦ ④及び⑥にて取得した S_m 、 S_d を式 1 に代入し、デッドタイム補正係数 a 及び b を求める。
- ⑧ 全ての Fork 検出器について、①～⑦を実施する。

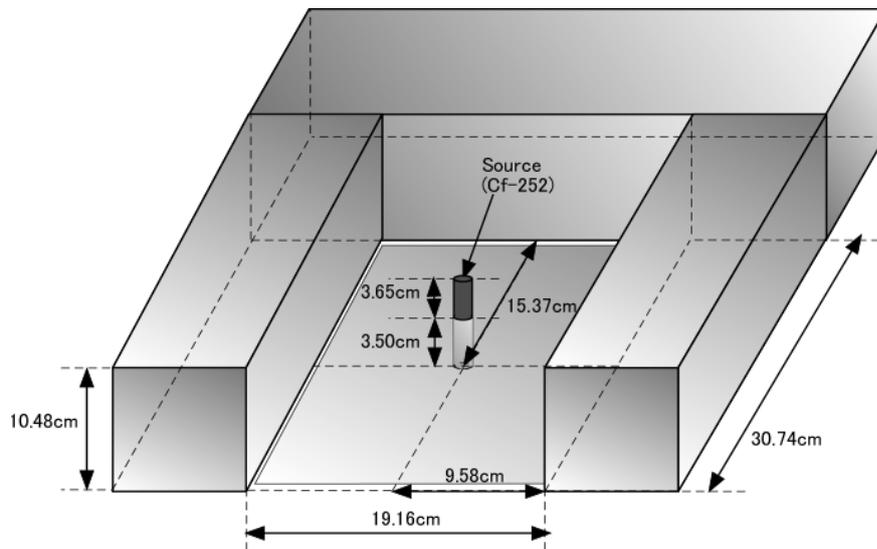


図 2.1.2-1 ^{252}Cf 中性子線源配置図（AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork）

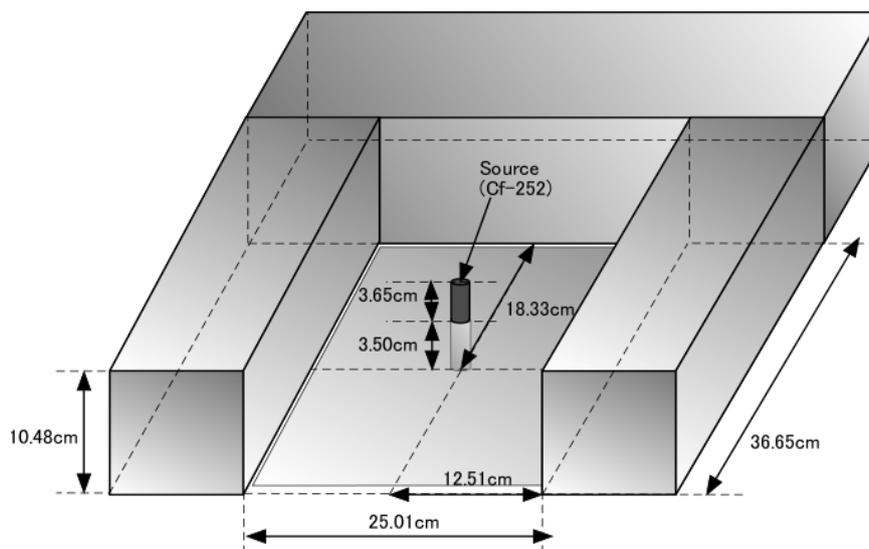


図 2.1.2-2 ^{252}Cf 中性子線源配置図（AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork）

2.1.3 結果

Fork検出器にて各²⁵²Cf中性子線源を測定し取得したシングル値 (S_m) 及び同線源の中性子放出率とFork検出器の検出効率より求めたデッドタイム補正後のシングル値の期待値 (S_d) を表2.1.3-1～2.1.3-4に示す。また、これらをグラフにプロットし比較した結果を図2.1.3-1～2.1.3-4に示す。

いずれの検出器においても、本来 S_m よりも大きい値となるべき S_d が、 S_m よりも計数誤差 (1σ) の範囲を超えて小さい値となる結果となった。

表 2.1.3-1 AFAS-B Top Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)
WW-906	35.119	0.114	33.944	0.023
H4-694	588.617	0.432	572.000	0.089
K7-436	1,256.138	0.598	1,220.236	0.125
Q2-334	3,770.815	1.172	3,669.178	0.223

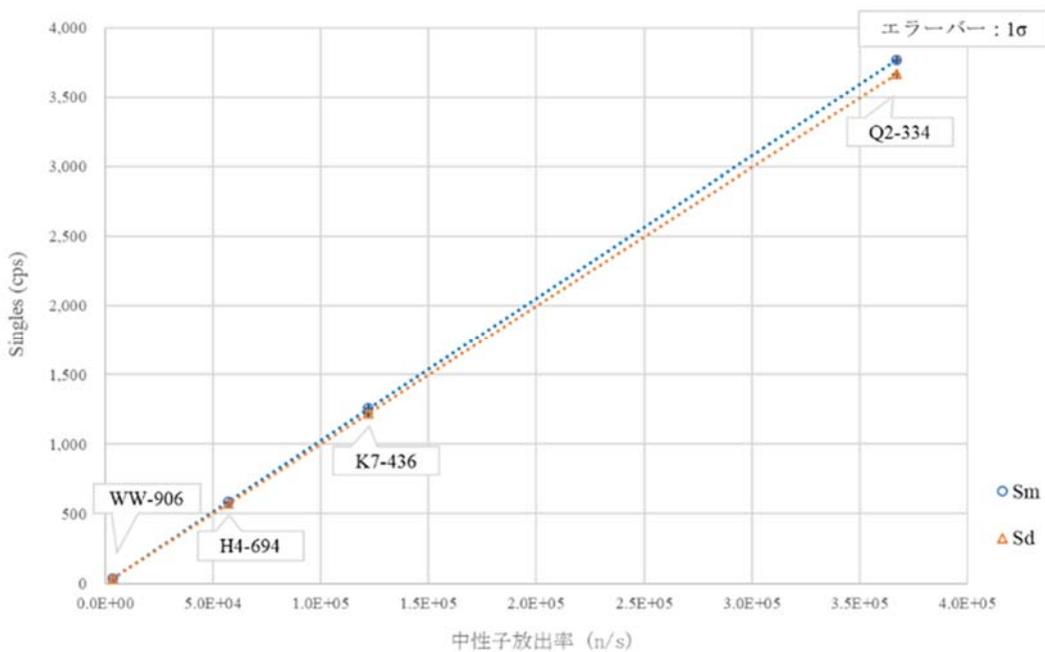


図 2.1.3-1 AFAS-B Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.3-2 AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)
WW-906	35.056	0.118	33.944	0.023
H4-694	589.219	0.441	572.000	0.089
K7-436	1258.495	0.559	1220.236	0.125
Q2-334	3773.899	0.965	3669.178	0.223

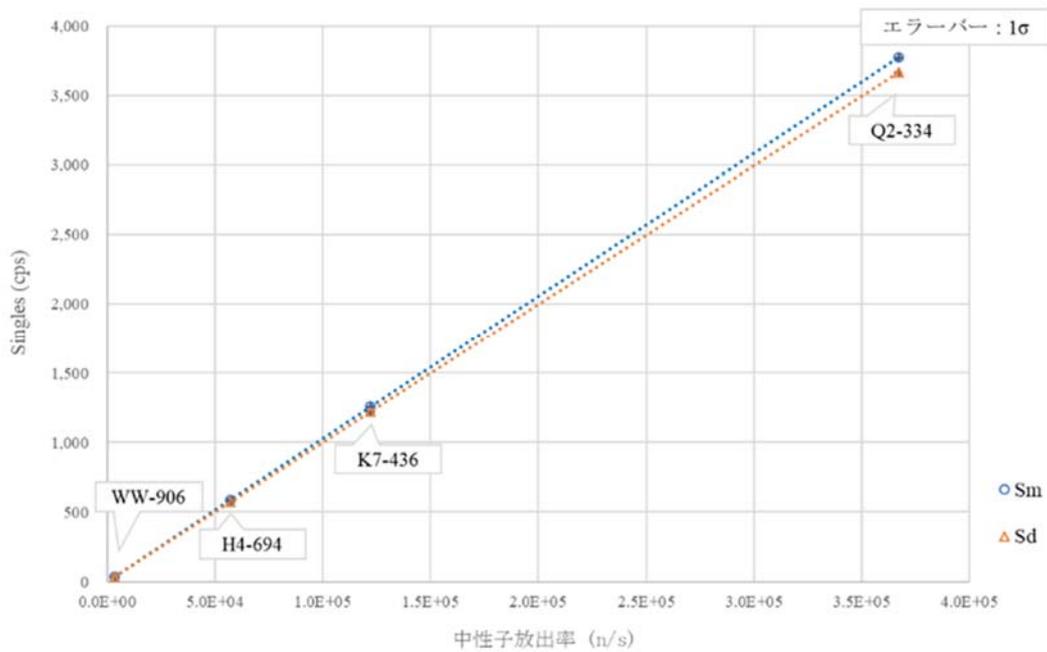


図 2.1.3-2 AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.3-3 AFAS-P Top Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)
WW-906	31.664	0.114	30.549	0.021
H4-694	527.914	0.376	514.800	0.080
K7-436	1129.490	0.569	1098.212	0.112
Q2-334	3381.413	1.044	3302.260	0.201

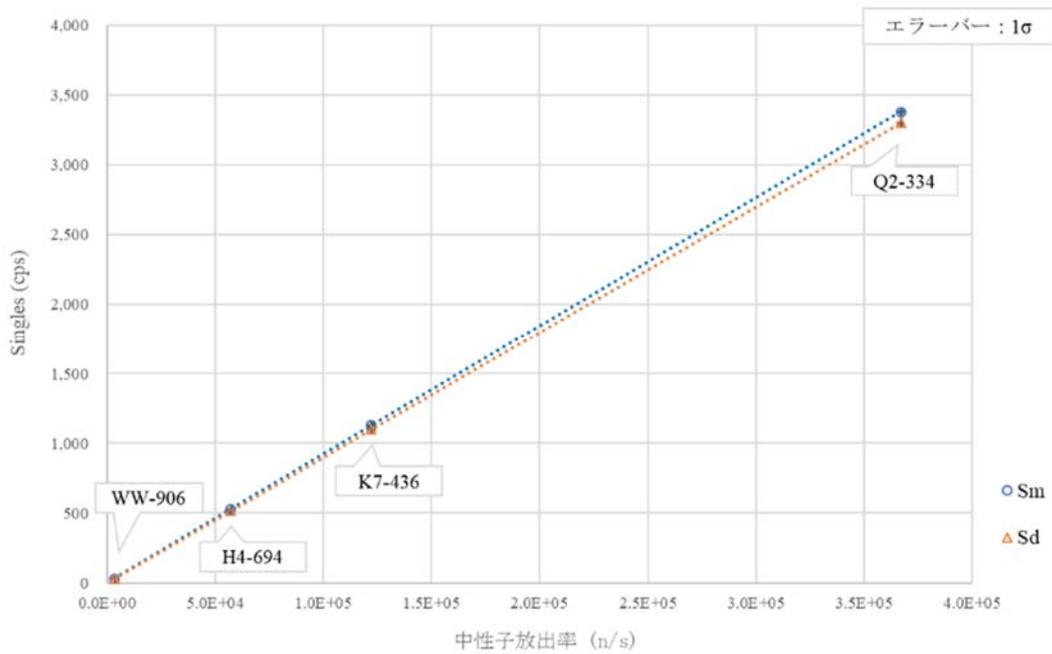


図 2.1.3-3 AFAS-P Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.3-4 AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)
WW-906	31.800	0.112	30.549	0.021
H4-694	533.410	0.356	514.800	0.080
K7-436	1137.638	0.561	1098.212	0.112
Q2-334	3417.080	1.111	3302.260	0.201

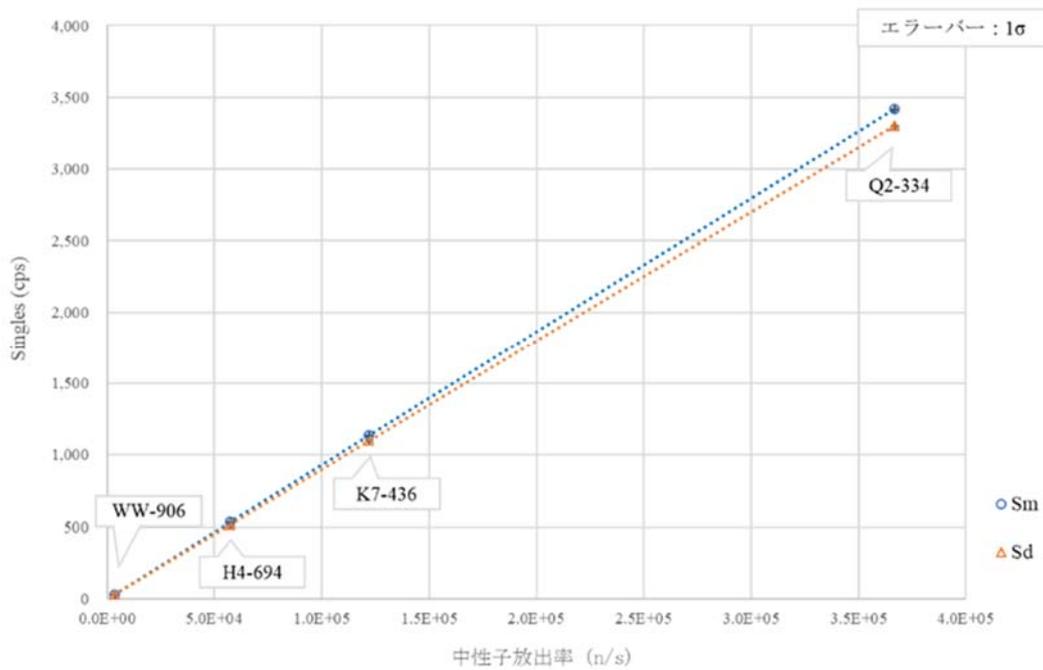


図 2.1.3-4 AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較

2.1.4 考察

2.1.1項の図2.1.1-1に示した通り、通常、デッドタイム補正後のシングル値 (S_d) は、補正前のシングル値 (S_m) よりも小さい値となることはない。

本評価における S_d の算出には、過去の試験で求められた「Fork検出器の中性子検出効率」を用いたが、現在、当該検出器の周辺環境（検出器近傍の物品の配置等）は試験当時から変化しており、この環境変化により各Fork検出器の中性子検出効率に変動した可能性がある。そのため、本評価では、 S_d を適切に求めることができなかったと推測される。

このことから、中性子検出効率を用いないデッドタイム補正係数評価方法である、二線源法（Paired source method^(*8)）により再度評価を行った。二線源法による評価方法、結果及び考察を2.1.5～2.1.7項に示す。

*8： LANL報告書” Advanced Fuel Assembly Assay System (AFAS) Boiling Water Reactor BWR System Manual”^(参考文献4) 参照

2.1.5 方法（二線源法）

強度の異なる2つの²⁵²Cf中性子線源を、①強線源、②弱線源、③強線源+弱線源の3通りの組み合わせにより測定し、得られたシングル値を用いてデッドタイム補正係数 a 及び b を求める。二線源法の関係式を式3及び4に示す。

$$S_{m1}e^{\frac{(a+bS_{m1})S_{m1}}{4}} + S_{m2}e^{\frac{(a+bS_{m2})S_{m2}}{4}} = S_{m1+2}e^{\frac{(a+bS_{m1+2})S_{m1+2}}{4}} \dots (式3)$$

$$b = \frac{a^2}{4} \dots (式4)$$

S_{m1} : デッドタイム補正後のシングル値（線源1）

S_{m2} : デッドタイム補正前のシングル値（線源2）

S_{m1+2} : デッドタイム補正前のシングル値（線源1+2）

a、b : デッドタイム補正係数

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① Fork 検出器を試験用架台に設置する。
- ② バックグラウンド測定（30秒×20回）を行う。
- ③ INCC ソフトウェアのデッドタイム補正パラメータ（a、b）に0を入力する。
- ④ 線源固定治具を用いて、²⁵²Cf中性子線源（Q2-334）を図2.1.5-1のAに、模擬線源^(*)をBに設置し、30秒×120回の測定を行い、シングル値（ S_{m1} ）を取得する。
- ⑤ 線源固定治具を用いて、模擬線源を図2.1.5-1のAに、²⁵²Cf中性子線源（K7-436）をBに設置し、30秒×120回の測定を行い、シングル値（ S_{m2} ）を取得する。
- ⑥ 線源固定治具を用いて、²⁵²Cf中性子線源（Q2-334）を図2.1.5-1のAに、²⁵²Cf中性子線源（K7-436）をBに設置し、30秒×120回の測定を行い、シングル値（ S_{m1+2} ）を取得する。
- ⑦ ④～⑥にて取得した各シングル値（ S_{m1} 、 S_{m2} 、 S_{m1+2} ）を式3及び式4に代入し、デッドタイム補正係数 a 及び b を求める。
- ⑧ 全ての Fork 検出器について、①～⑦を実施する。

*9 : 強線源または弱線源のみを測定する際、測定条件（中性子反射の影響等）を強線源+弱線源測定と同等にするため使用する。(写真2.1.5-1及び表2.1.5-1参照)

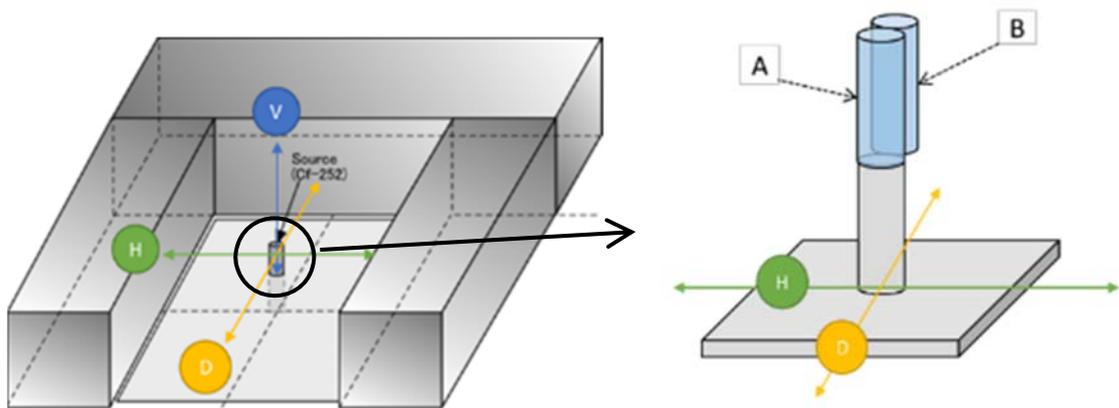


図 2.1.5-1 二線源法における ^{252}Cf 中性子線源配置位置



写真 2.1.5-1 ^{252}Cf 中性子線源と模擬線源

表 2.1.5-1 ^{252}Cf 中性子線源と模擬線源の仕様

線源種類	材質	寸法 (mm)
^{252}Cf 中性子線源	SUS (線源部を除く)	$\phi 9.4 \times 32.5$ (ネジ部を除く)
模擬線源	SUS	$\phi 10.0 \times 33.0$

2.1.6 結果（二線源法）

二線源法により求めたデッドタイム補正係数 a 及び b を表2.1.6-1に示す。Top Fork 検出器とBottom Fork検出器のデッドタイム補正係数は、AFAS-B及びAFAS-Pともに、それぞれ近い値となった。

また、これらの補正係数を用いて算出した各Fork検出器におけるデッドタイム補正後のシングル値 (S_d) 及び補正前のシングル値 (S_m) を表2.1.6-2～2.1.6-5に、これらをグラフにプロットし比較した結果を図2.1.6-1～2.1.6-4に示す。

いずれの検出器の結果においても、 S_d は、 S_m よりも大きい値となった。 S_m の補正率 (S_d/S_m) は、検出器にて取得される中性子計数率が高くなるに従い大きくなり、AFAS-BのFork検出器において約5000cpsのシングル値が取得された場合、約0.7%、AFAS-PのFork検出器において約4000cpsのシングル値が取得された場合、約1.3%であった。

表 2.1.6-1 デッドタイム補正係数

Fork検出器		a	b
AFAS-B	Top	5.820E-06	8.469E-12
	Bottom	6.082E-06	9.248E-12
AFAS-P	Top	1.182E-05	3.490E-11
	Bottom	1.222E-05	3.733E-11

表 2.1.6-2 AFAS-B Top Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)	S_d/S_m
K7-436	1,178.061	0.543	1,180.086	0.545	1.002
Q2-334	3,533.978	0.978	3,552.291	0.988	1.005
K7-436+Q2-334	4,699.904	1.278	4,732.377	1.296	1.007

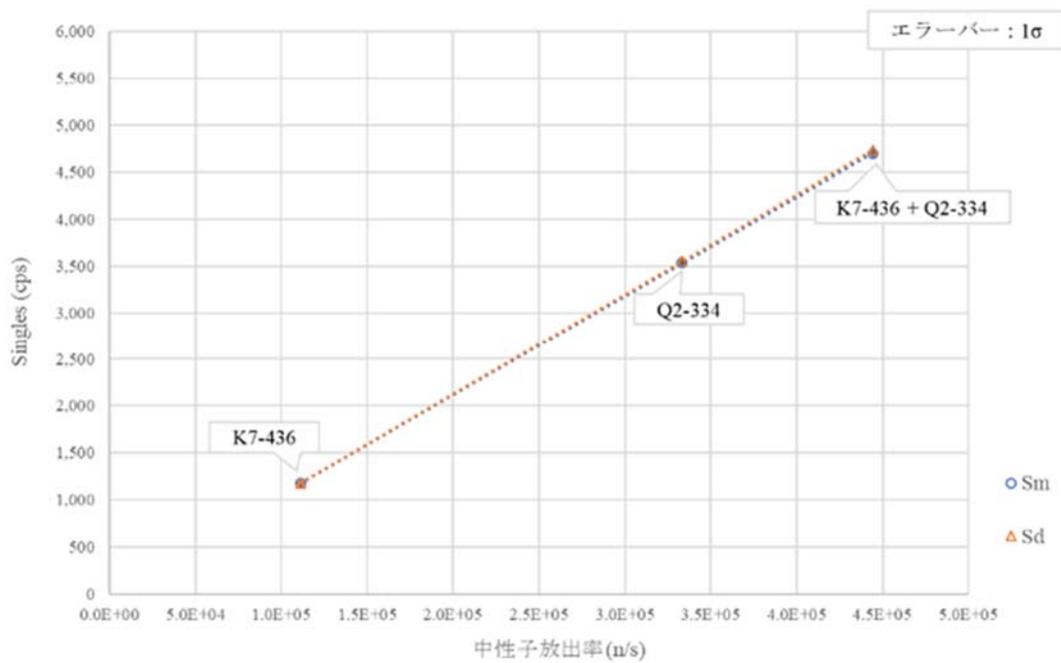


図 2.1.6-1 AFAS-B Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.6-3 AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)	S_d/S_m
K7-436	1,196.846	0.528	1,199.030	0.530	1.002
Q2-334	3,592.100	1.073	3,611.881	1.085	1.006
K7-436+Q2-334	4,775.850	1.219	4,810.911	1.237	1.007

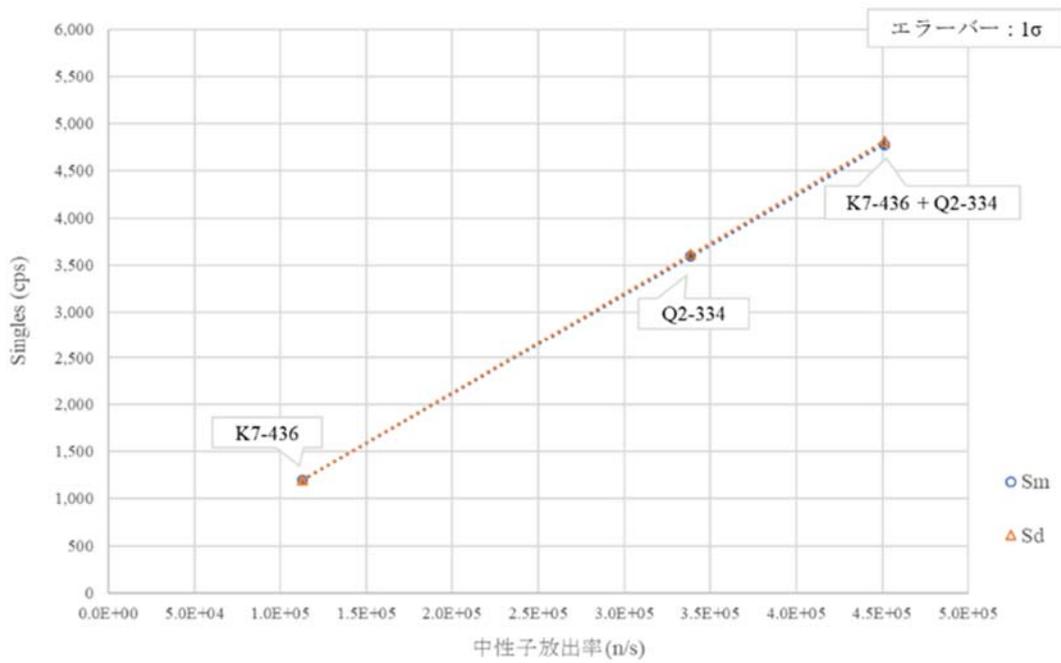


図 2.1.6-2 AFAS-B Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.6-4 AFAS-P Top Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)	S_d/S_m
K7-436	1,067.138	0.513	1,070.518	0.516	1.003
Q2-334	3,219.315	1.172	3,250.370	1.195	1.010
K7-436+Q2-334	4,266.100	1.147	4,320.888	1.177	1.013

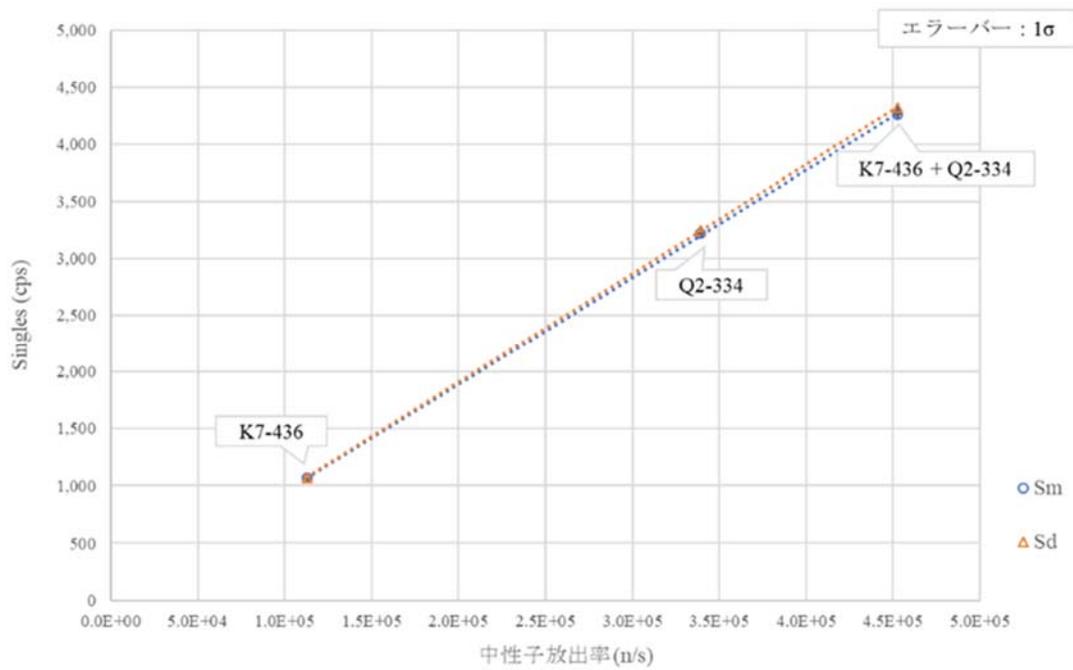


図 2.1.6-3 AFAS-P Top Fork 検出器における S_m と S_d の比較

表 2.1.6-5 AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m 及び S_d

線源番号	S_m (cps)	$\sigma(S_m)$ (cps)	S_d (cps)	$\sigma(S_d)$ (cps)	S_d/S_m
K7-436	1,078.686	0.523	1,082.258	0.526	1.003
Q2-334	3,246.213	0.927	3,278.888	0.946	1.010
K7-436+Q2-334	4,303.443	1.125	4,361.146	1.155	1.013

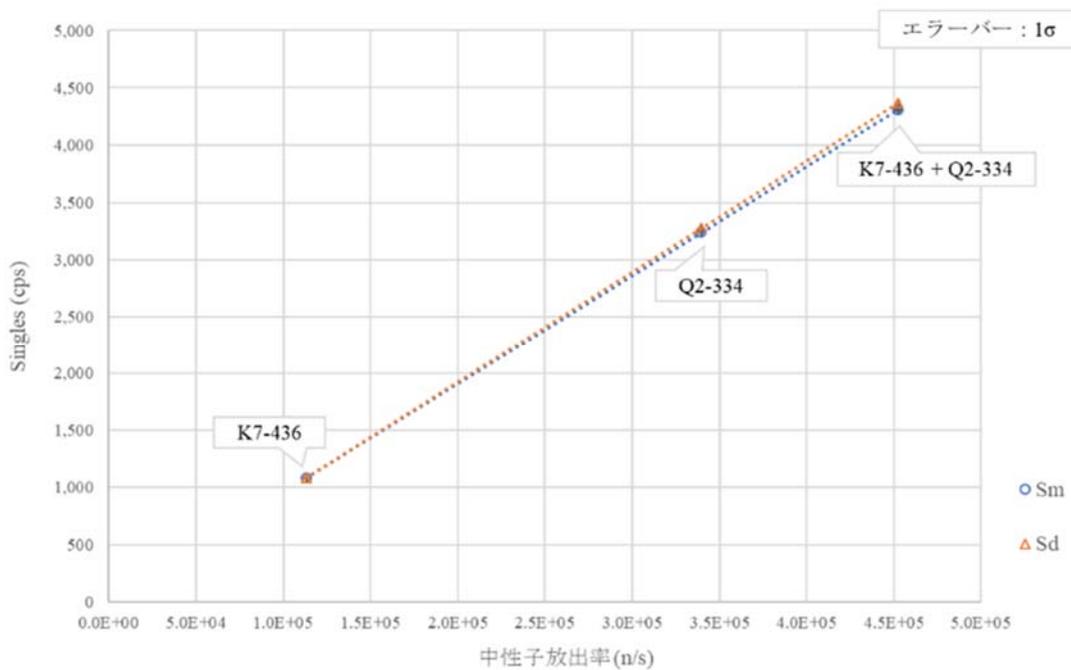


図 2.1.6-4 AFAS-P Bottom Fork 検出器における S_m と S_d の比較

2.1.7 考察（二線源法）

本評価の結果、Fork検出器にて約4000～5000cpsのシングル値が取得される場合、約1%の計数値の数え落としが発生することがわかった。このことから、Fork検出器においても高計数率の測定対象物を測定する場合は、デッドタイム補正が必要であるといえる。

J-MOXでは、今回評価に用いた²⁵²Cf中性子線源よりも高い計数率となるMOX燃料集合体（BWR用では10.4 kg-Pu、PWR用では62.9 kg-Pu）が測定されるため、デッドタイム補正の有無が測定に与える影響は更に増大すると考えられる。

2.2 長期管理限界の妥当性確認

2.2.1 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^(*10)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。

*10：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）。

2.2.2 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}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、AFAS の長期管理限界を評価する。

これらの測定は、MIC (Multi-Instrument Collect) ソフトウェア及び INCC 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。

なお、2018 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 JSR-12 を用いて実施する。各機器の接続図を図 2.2.2-1 に示す。

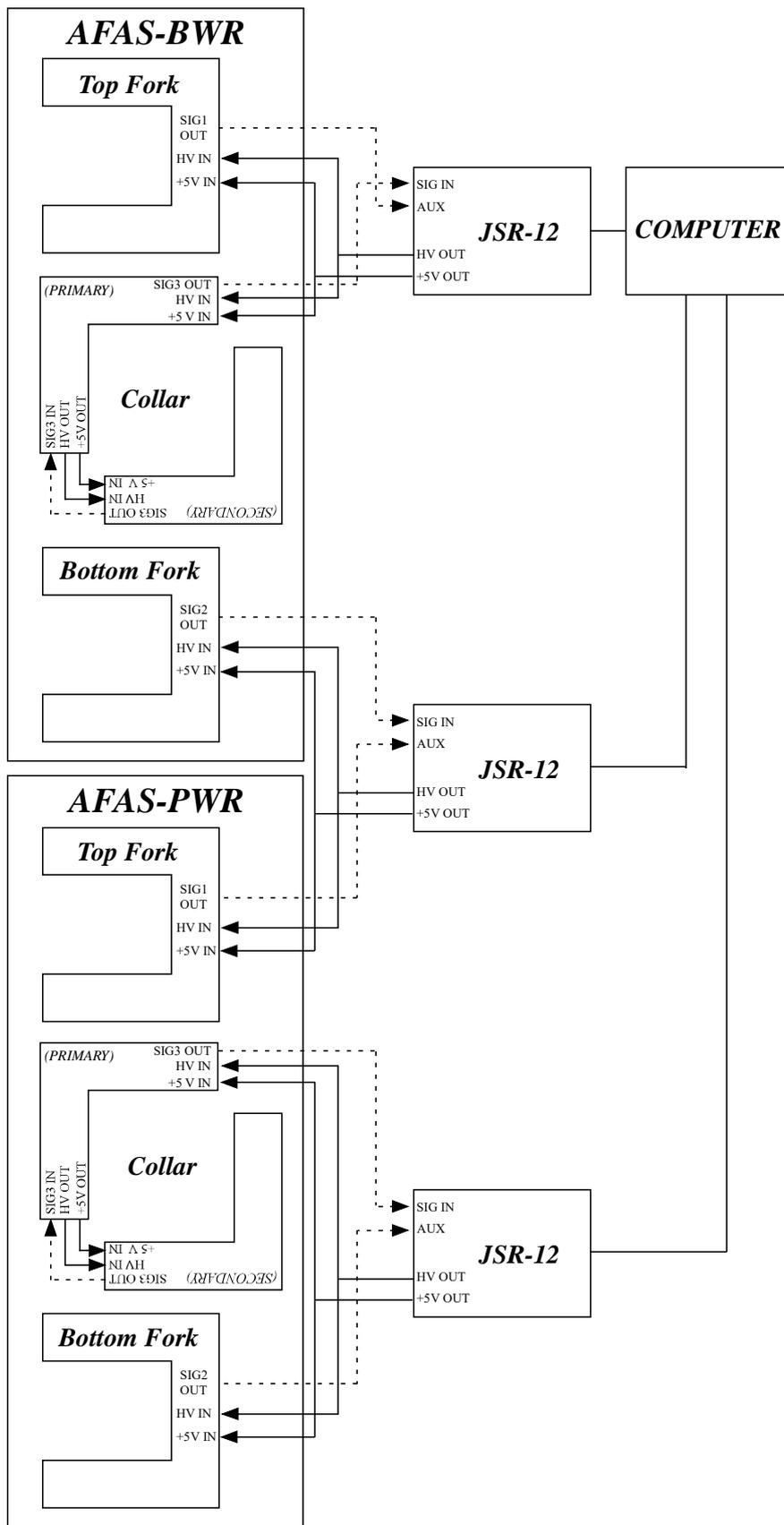


图 2.2.2-1 AFAS 机器接续图

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：平成 30 年 6 月～平成 31 年 3 月 ^(*11)
 - ・取得する計数値：Collar 検出器：シングル値、ダブル値
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。

*11：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

(2) ²⁵²Cf 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、1.6 項の表 1.6 に示す ²⁵²Cf 中性子線源 (H4-694) 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、²⁵²Cf 中性子線源測定を実施し、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
 - ・測定頻度：1 回／月
 - ・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にて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。

2.2.3 結果

(1) バックグラウンド測定

2018年6月から2019年3月までの期間において実施した「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との相関」の評価結果を検出器毎に次頁以降の①～⑥に示す。各結果は、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）に合わせ、4つの期間（2018年6月～9月、10月～11月、11月～12月、12月～2019年3月）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 $\pm 3\sigma$ （ 3σ は標準偏差を3倍した値）を示す。

AFAS-B Collar 検出器においては、各測定期間のバックグラウンドのシングル値の平均値は、約 3.9cps、6.8cps、7.3cps、4.8cps であり、ほぼ全ての計数値は平均値 $\pm 3\sigma$ 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 0.004cps であった。異常な事象としては、シングル値では、図 2.2.3-1 に示すように、一時的な計数値の低下（約 2.5cps）がみられた。ダブル値では、図 2.2.3-5～7 に示すように、1日に数回の頻度で単発的な高い計数値（約 1.0cps～20.0cps）が測定された。

AFAS-P Collar 検出器においては、各測定期間のバックグラウンドのシングル値の平均値は、約 5.2cps、4.7cps、12.8cps、5.3cps であり、ほぼ全ての計数値は平均値 $\pm 3\sigma$ 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 0.004cps であった。異常な事象としては、シングル値では、図 2.2.3-25 及び図 2.2.3-27 に示すように、一時的な計数値の低下及び上昇があった。ダブル値では、図 2.2.3-29～31 に示すように、1日に数回の頻度で単発的な高い計数値（約 1.0cps～35.0cps、最大約 1900cps）が測定された。

Fork 検出器においては、各測定期間のバックグラウンドのシングル値の平均値は、AFAS-B Top Fork 検出器では、約 0.5cps、0.9cps、1.0cps、0.5cps、AFAS-B Bottom 検出器では、約 0.4cps、0.7cps、0.7cps、0.5cps、AFAS-P Top Fork 検出器では、約 0.7cps、1.8cps、1.9cps、0.7cps、AFAS-P Bottom 検出器では、約 0.5cps、1.2cps、1.3cps、0.6cps であり、ほぼ全ての計数値は平均値 $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。異常な事象としては、AFAS-B Bottom 検出器において、図 2.2.3-61 に示すように、数日間に渡り徐々に計数値が約 25%上昇（平均約 0.4cps から 0.5cps まで）し、また下降する事象がみられた。

測定期間中、測定環境の温度は約 19°C～26°C、湿度は約 17%～73%の範囲で変動した。図 2.2.3-9～2.2.3-24、図 2.2.3-33～2.2.3-48、図 2.2.3-53～2.2.3-60、図 2.2.3-65～2.2.3-72 に示すように、これら温度及び湿度と計数値に有意な相関はみられなかった。

① AFAS-B Collar 検出器

- バックグラウンド計数値 (シングル値) : 図 2.2.3-1～図 2.2.3-4
- バックグラウンド計数値 (ダブル値) : 図 2.2.3-5～図 2.2.3-8
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-9～図 2.2.3-12
- ダブル値と温度の相関 : 図 2.2.3-13～図 2.2.3-16
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-17～図 2.2.3-20
- ダブル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-21～図 2.2.3-24

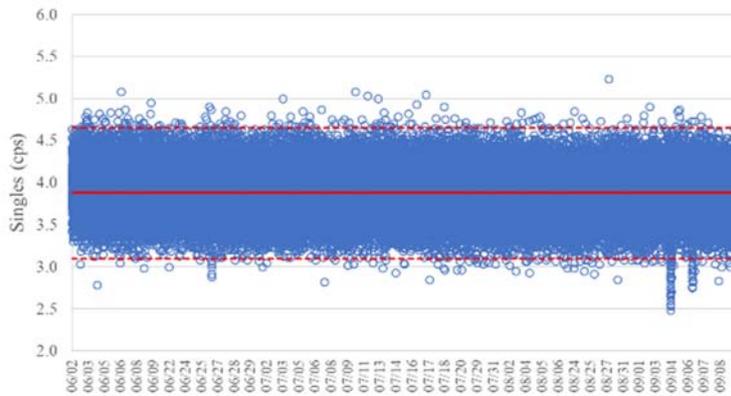


図 2.2.3-1 バックグラウンド計数値 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)

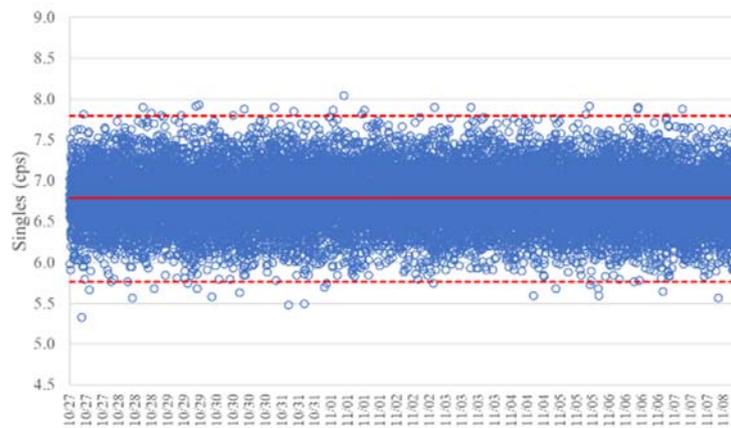


図 2.2.3-2 バックグラウンド計数値 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)

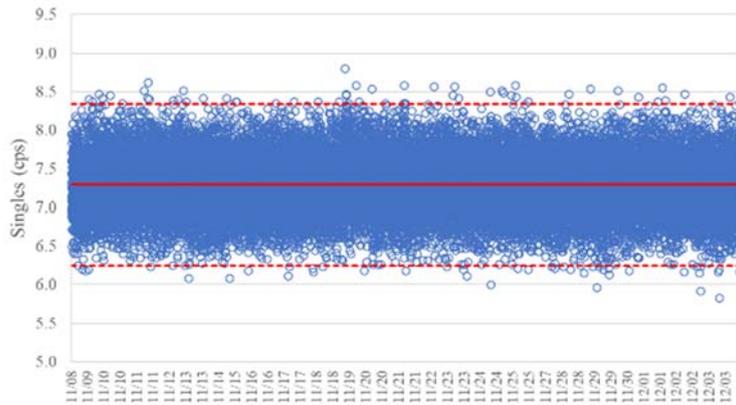


図 2.2.3-3 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日~12月4日)

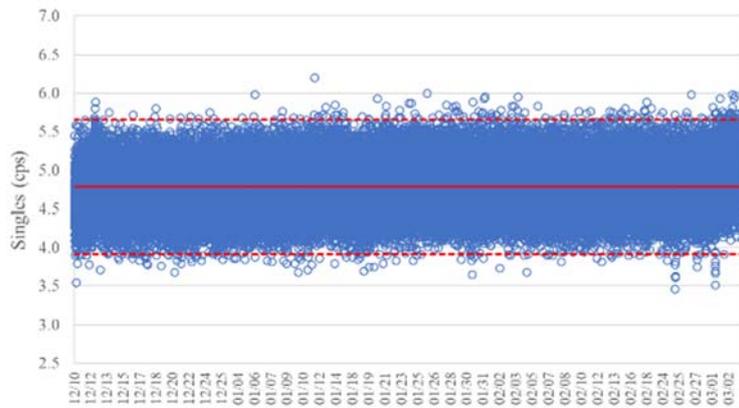


図 2.2.3-4 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日~2019年3月4日)

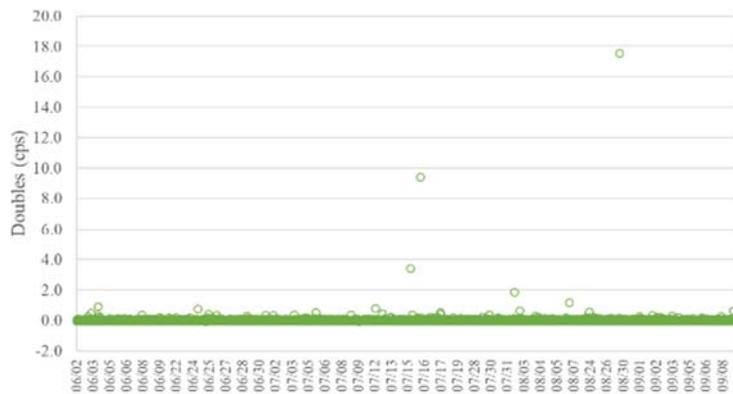


図 2.2.3-5 バックグラウンド計数值 (ダブル値)
(2018年6月2日~9月10日)

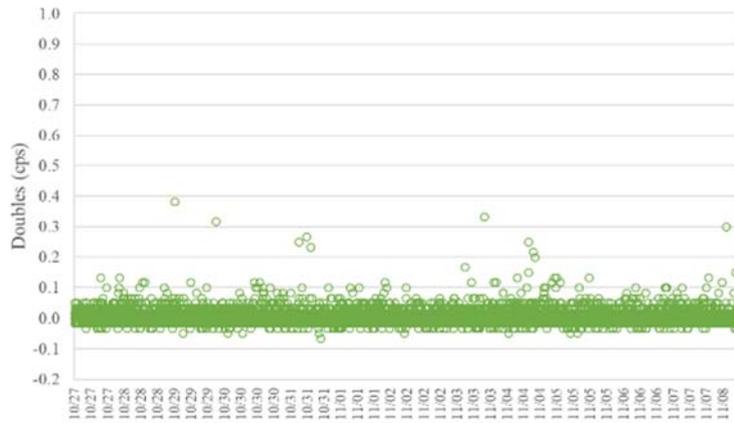


図 2.2.3-6 バックグラウンド計数値 (ダブル値)
(2018 年 10 月 27 日～11 月 8 日)

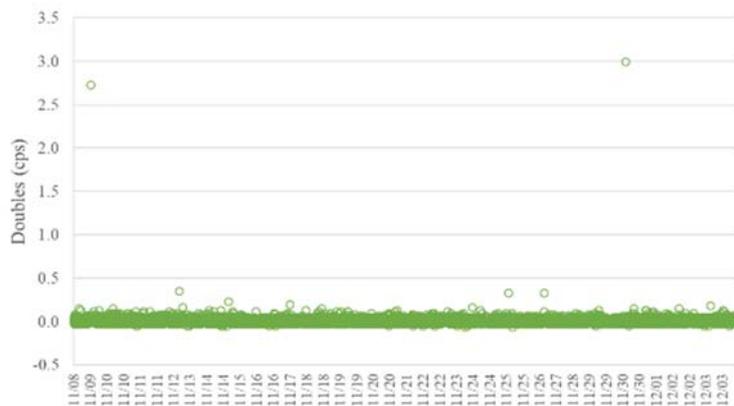


図 2.2.3-7 バックグラウンド計数値 (ダブル値)
(2018 年 11 月 8 日～12 月 4 日)

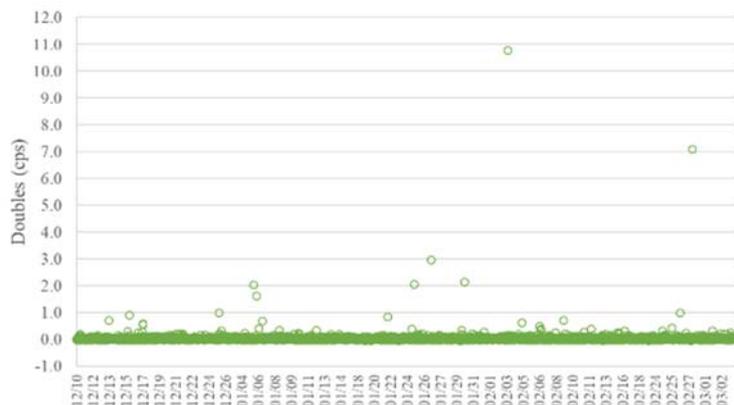


図 2.2.3-8 バックグラウンド計数値 (ダブル値)
(2018 年 12 月 10 日～2019 年 3 月 4 日)

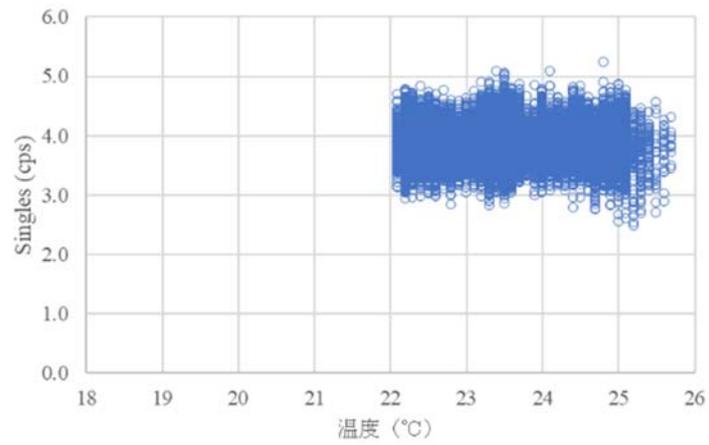


図 2.2.3-9 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

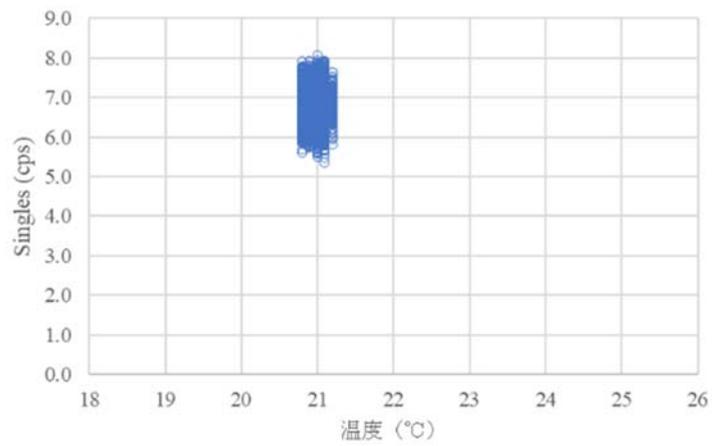


図 2.2.3-10 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

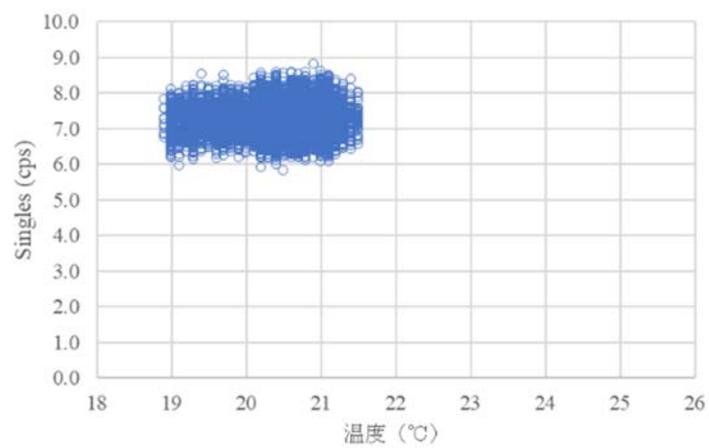


図 2.2.3-11 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

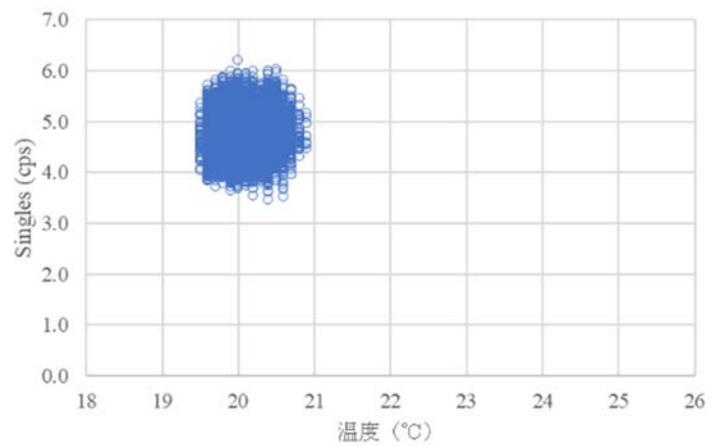


図 2.2.3-12 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

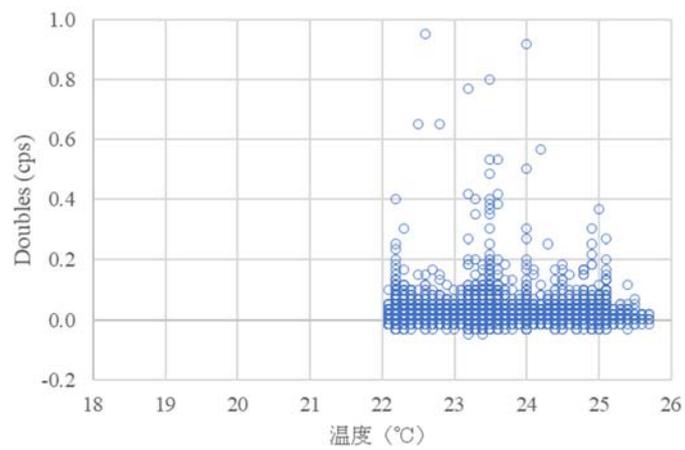


図 2.2.3-13 ダブル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

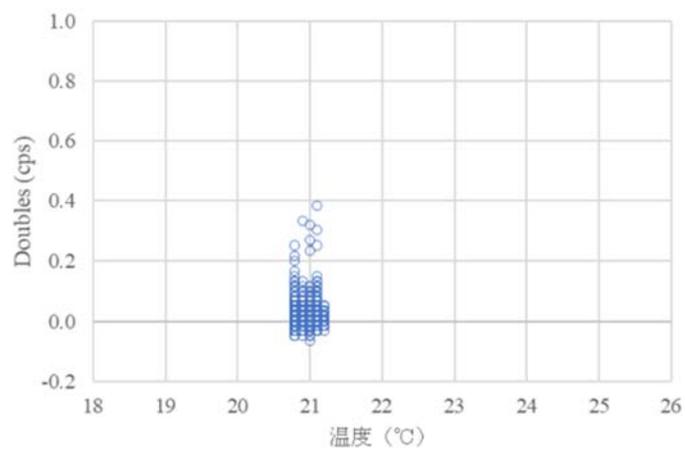


図 2.2.3-14 ダブル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

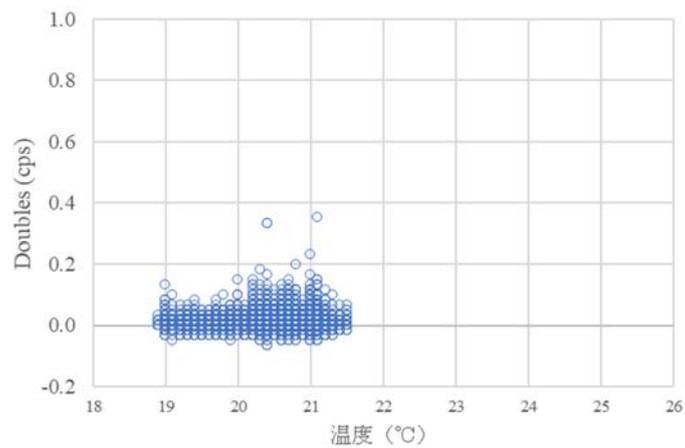


図 2.2.3-15 ダブル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

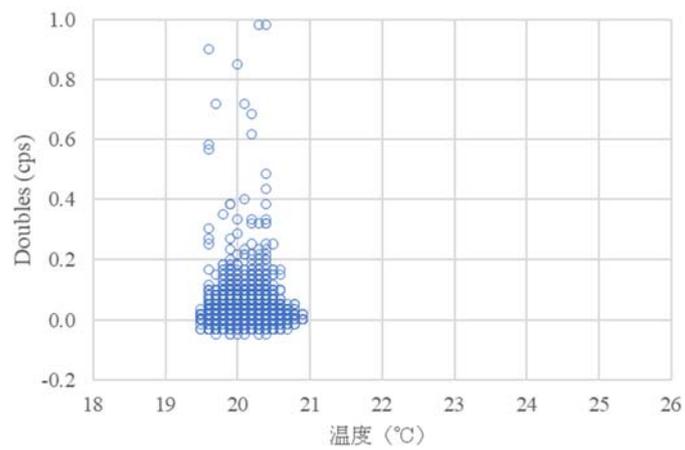


図 2.2.3-16 ダブル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

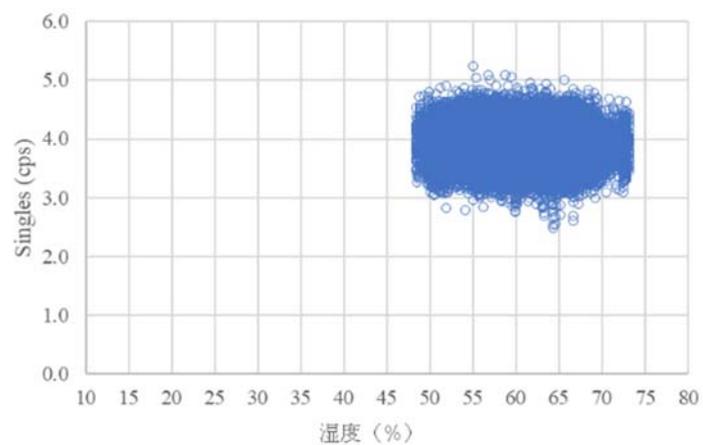


図 2.2.3-17 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

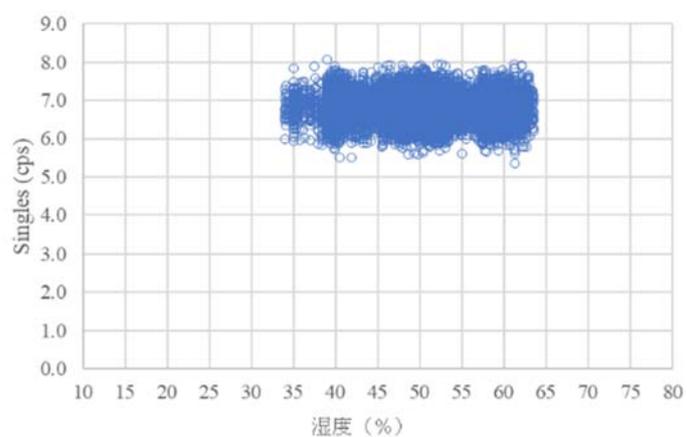


図 2.2.3-18 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

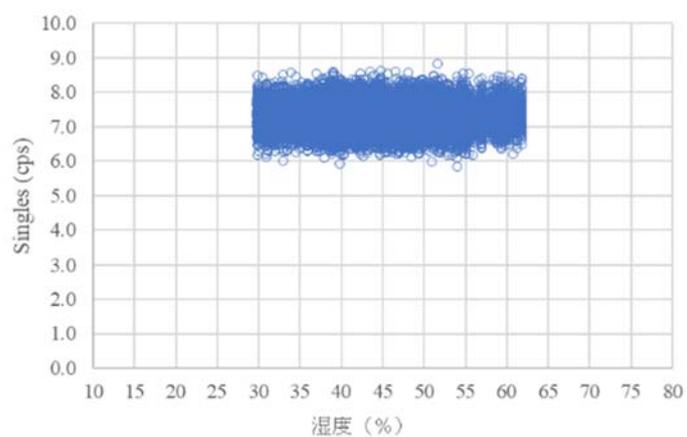


図 2.2.3-19 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

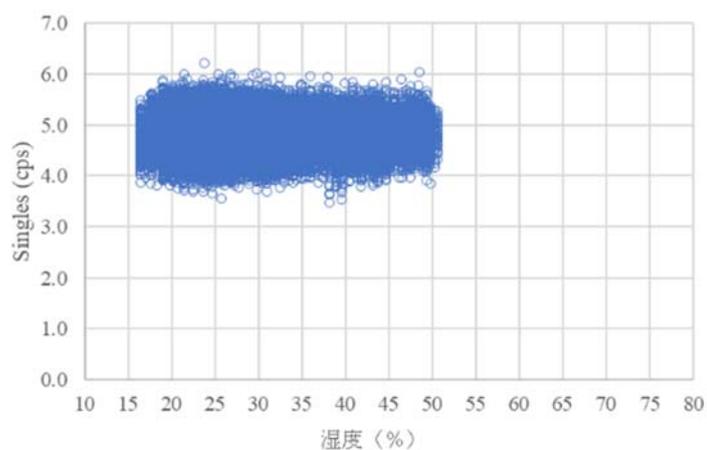


図 2.2.3-20 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

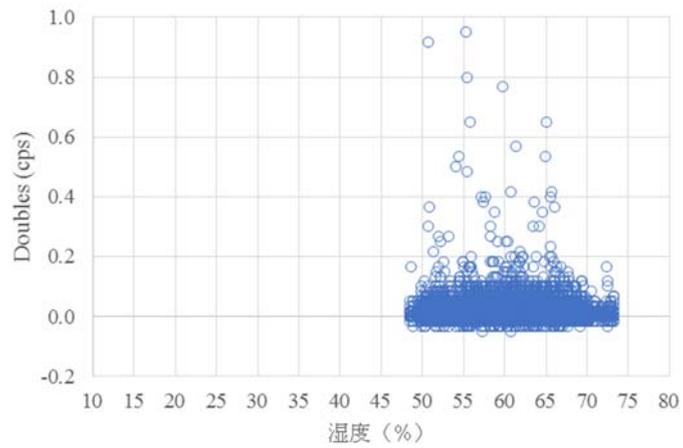


図 2.2.3-21 ダブル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

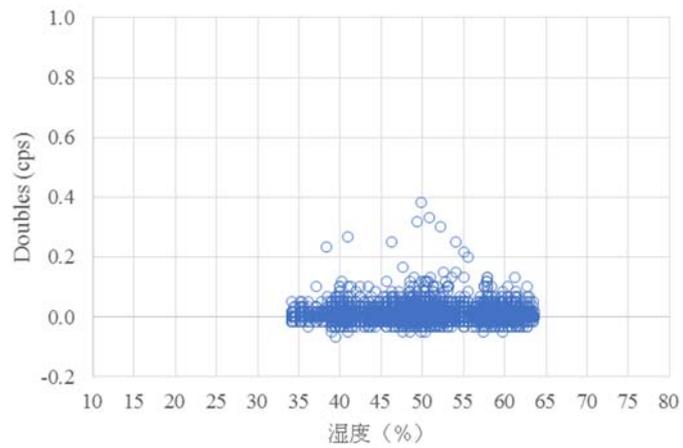


図 2.2.3-22 ダブル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

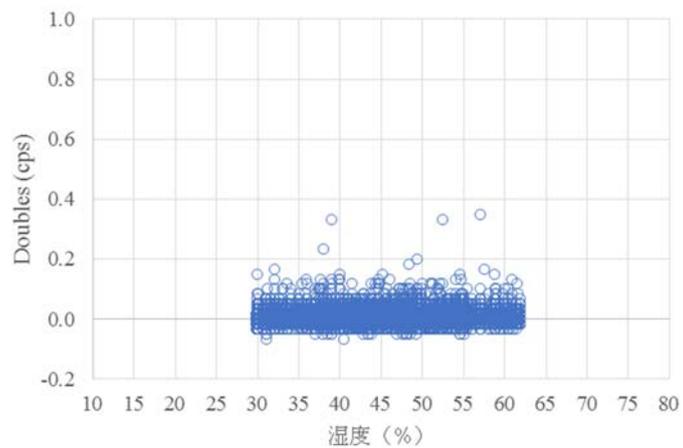


図 2.2.3-23 ダブル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

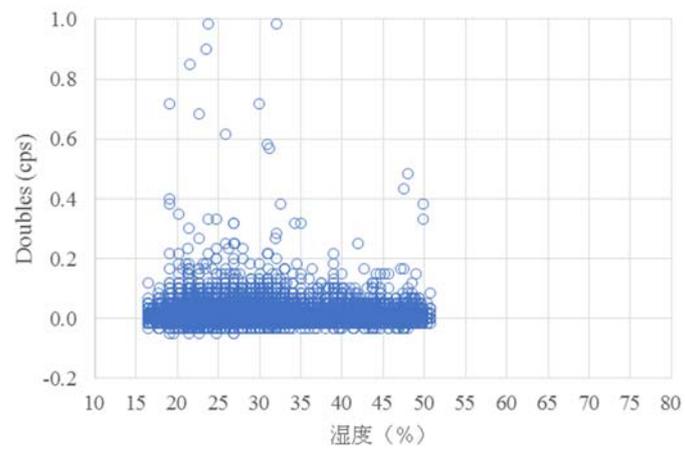


図 2.2.3-24 ダブル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

② AFAS-P Collar 検出器

- バックグラウンド計数值 (シングル値) : 図 2.2.3-25～図 2.2.3-28
- バックグラウンド計数值 (ダブル値) : 図 2.2.3-29～図 2.2.3-32
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-33～図 2.2.3-36
- ダブル値と温度の相関 : 図 2.2.3-37～図 2.2.3-40
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-41～図 2.2.3-44
- ダブル値と温度の相関 : 図 2.2.3-45～図 2.2.3-48

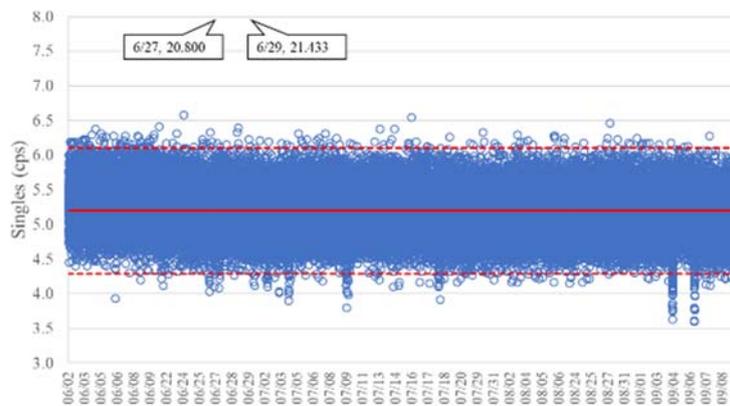


図 2.2.3-25 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)

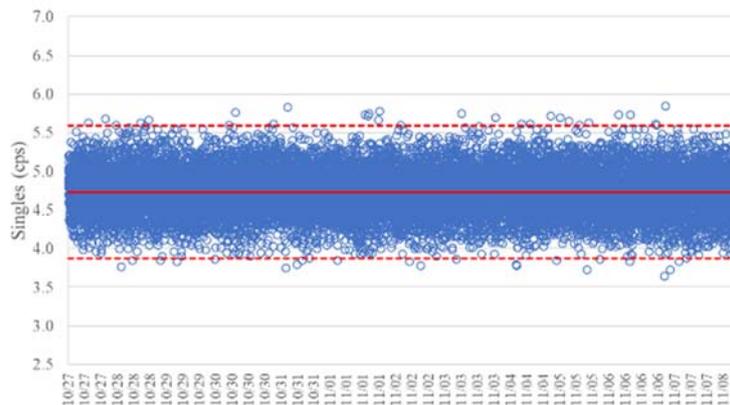


図 2.2.3-26 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)

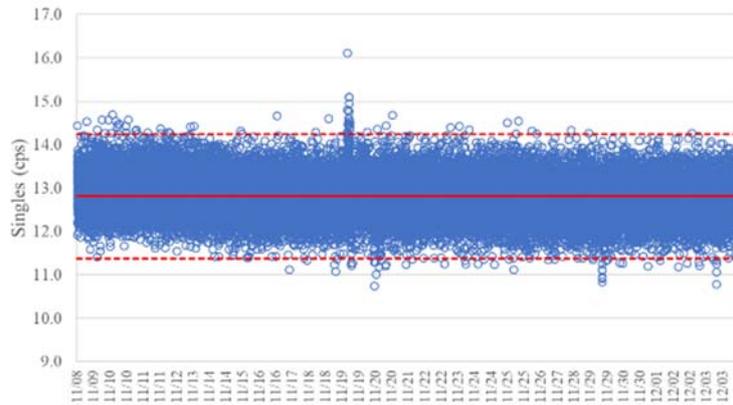


図 2.2.3-27 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日~12月4日)

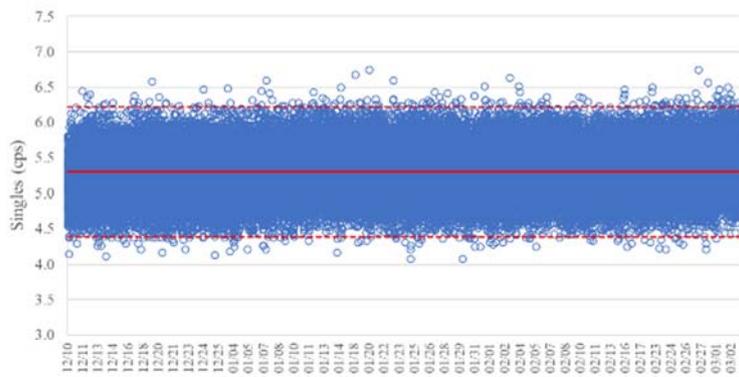


図 2.2.3-28 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日~2019年3月4日)

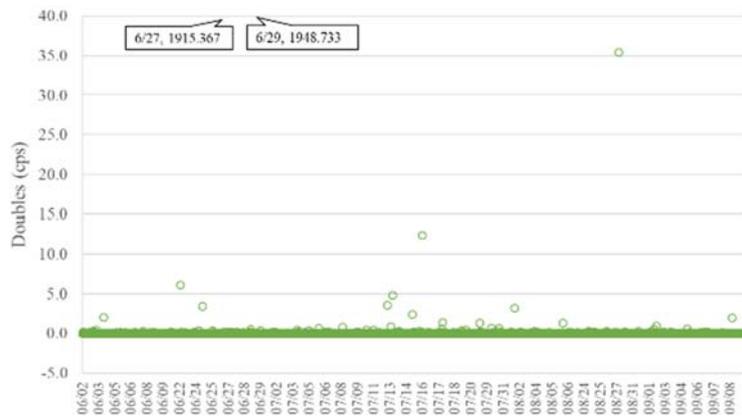


図 2.2.3-29 バックグラウンド計数值 (ダブル値)
(2018年6月2日~9月10日)

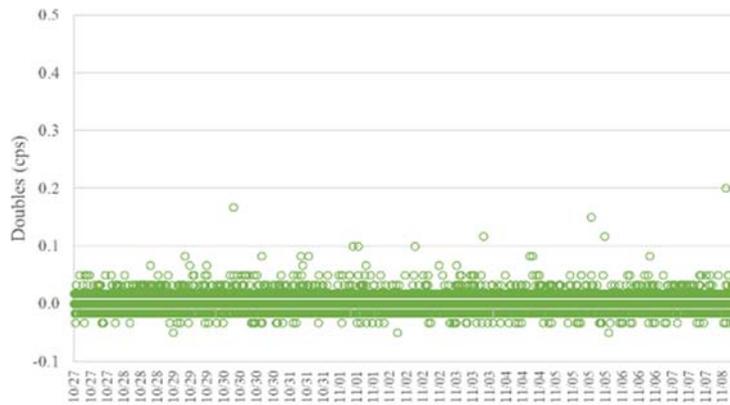


図 2.2.3-30 バックグラウンド計数值 (ダブル値)
(2018年10月27日～11月8日)

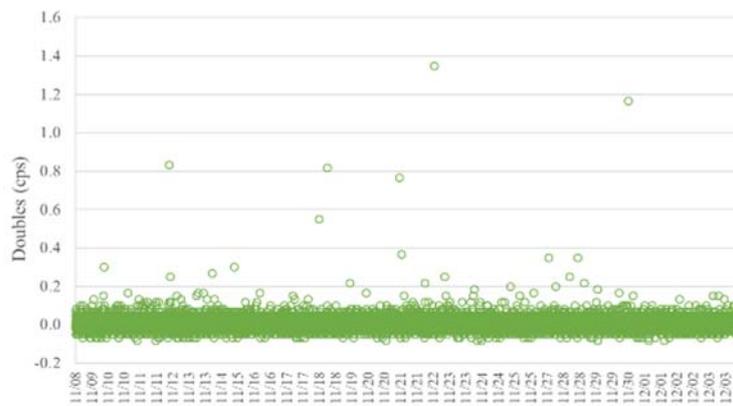


図 2.2.3-31 バックグラウンド計数值 (ダブル値)
(2018年11月8日～12月4日)

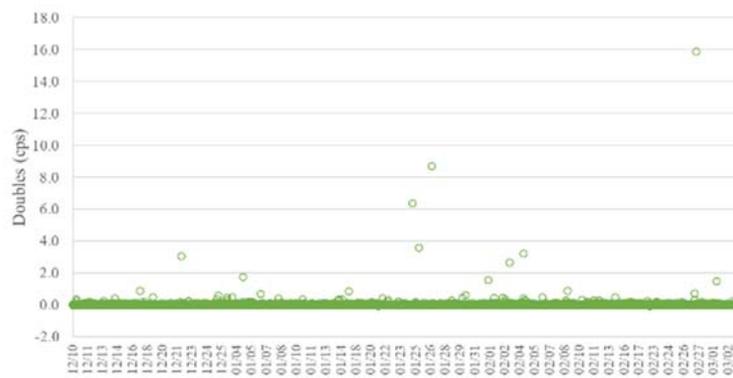


図 2.2.3-32 バックグラウンド計数值 (ダブル値)
(2018年12月10日～2019年3月4日)

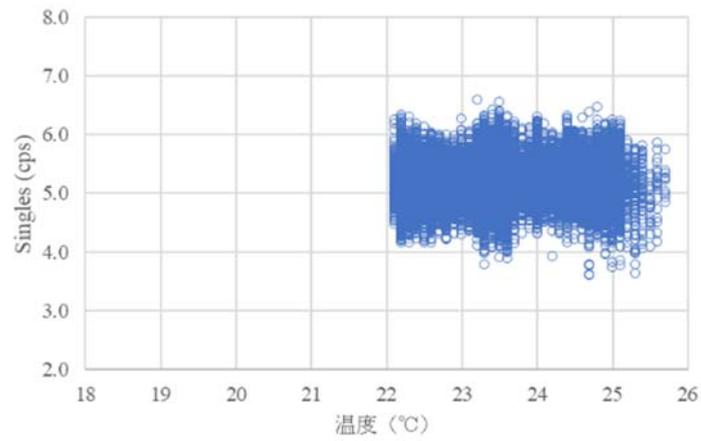


図 2.2.3-33 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

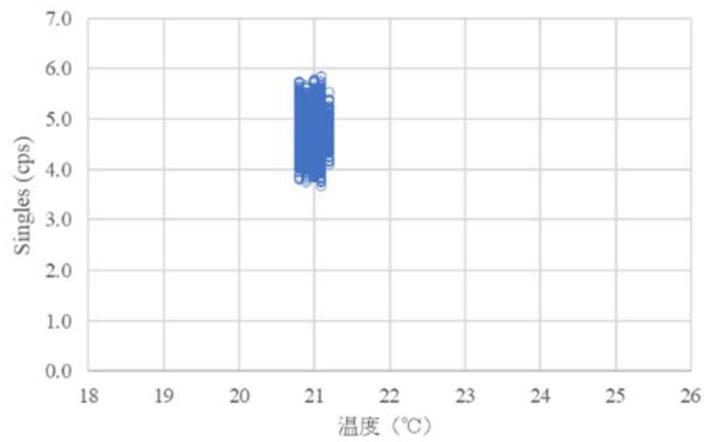


図 2.2.3-34 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

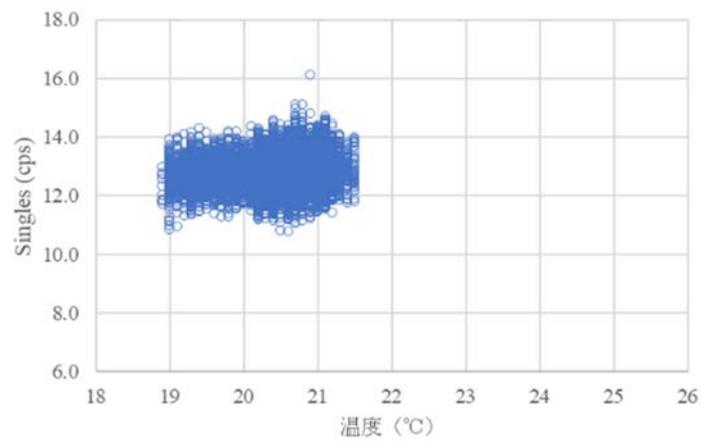


図 2.2.3-35 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

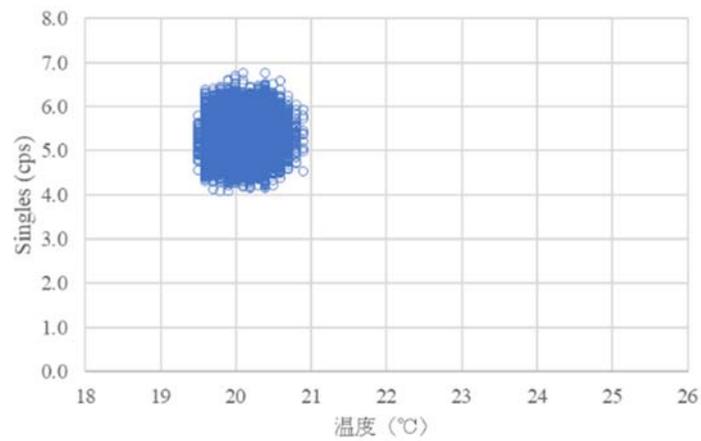


図 2.2.3-36 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

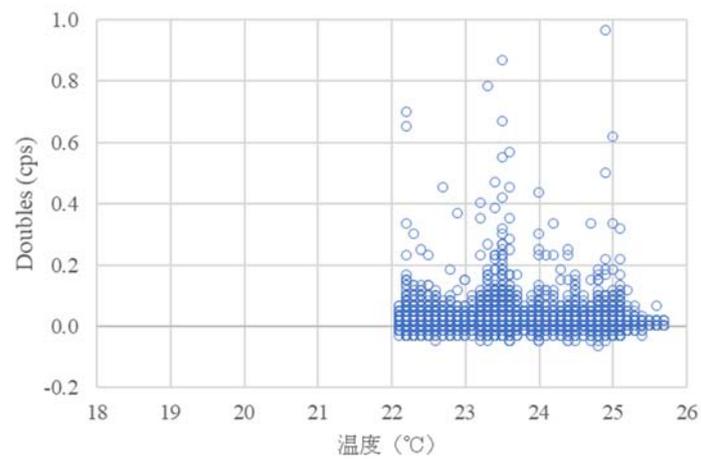


図 2.2.3-37 ダブル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

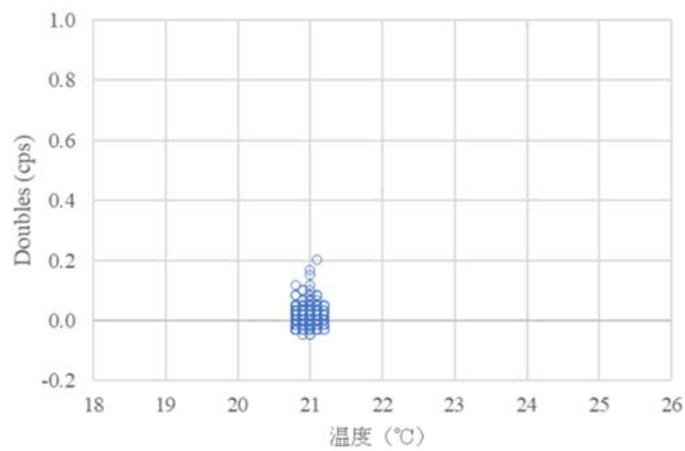


図 2.2.3-38 ダブル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

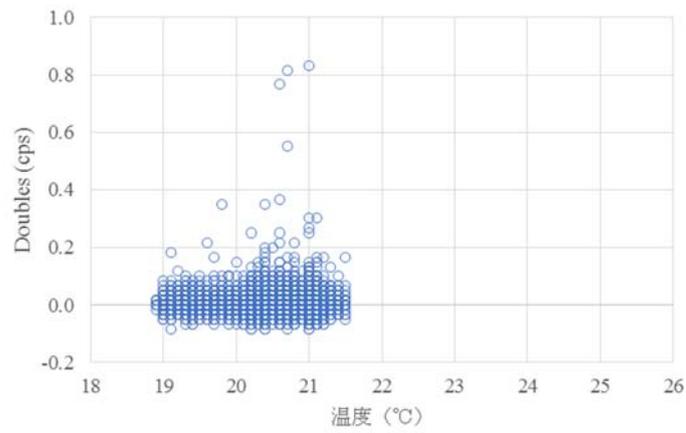


図 2.2.3-39 ダブル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

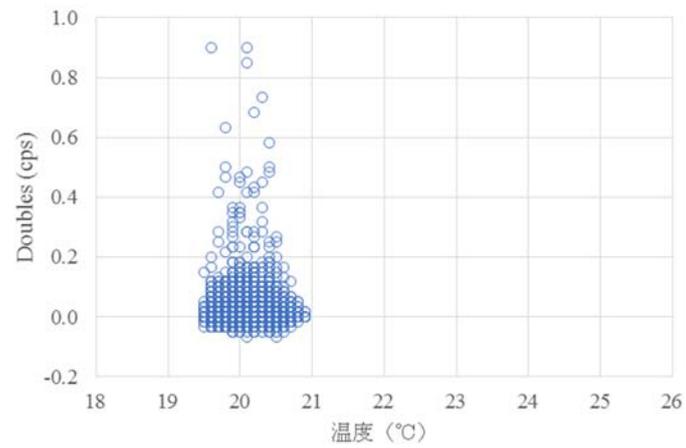


図 2.2.3-40 ダブル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

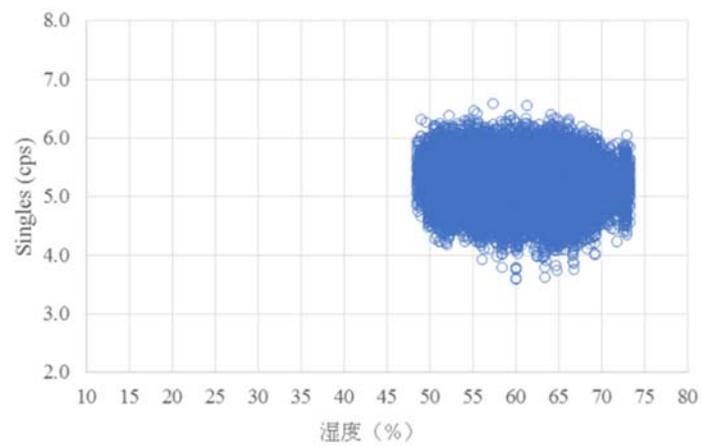


図 2.2.3-41 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

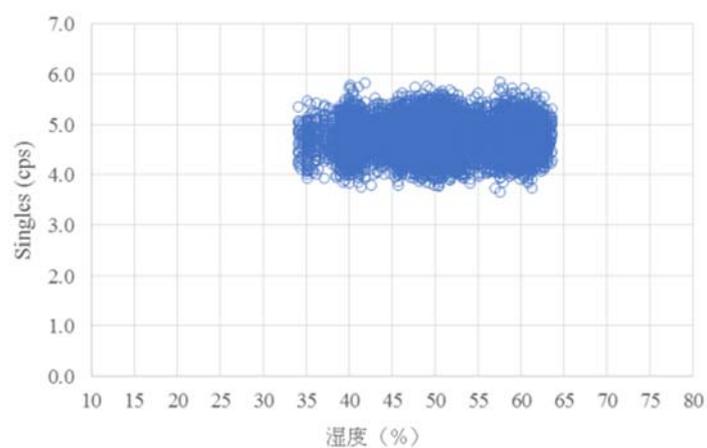


図 2.2.3-42 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

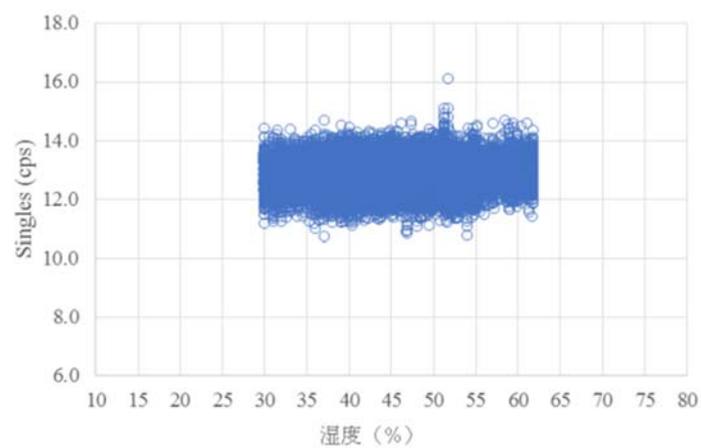


図 2.2.3-43 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

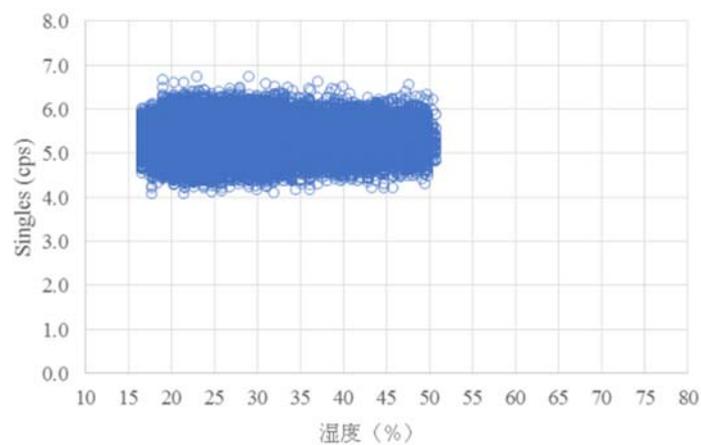


図 2.2.3-44 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

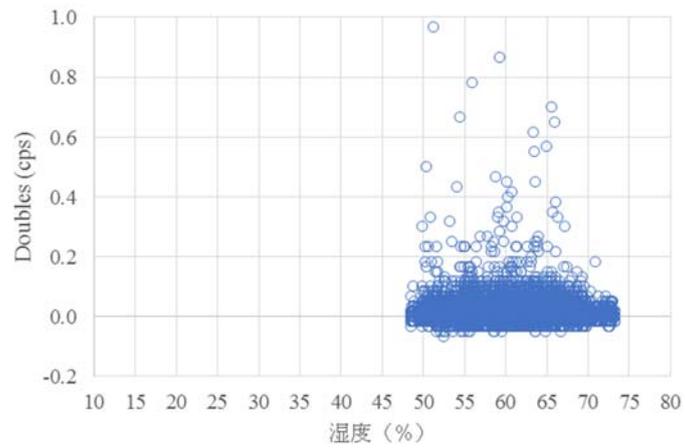


図 2.2.3-45 ダブル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

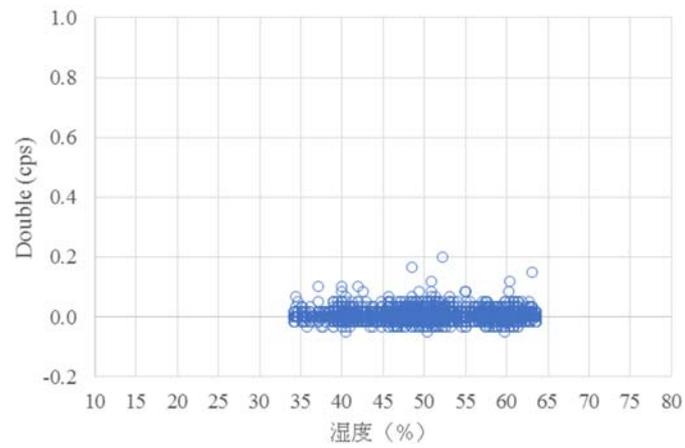


図 2.2.3-46 ダブル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

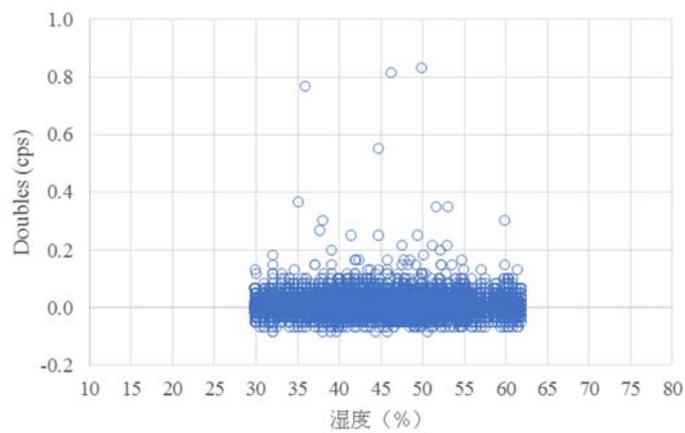


図 2.2.3-47 ダブル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

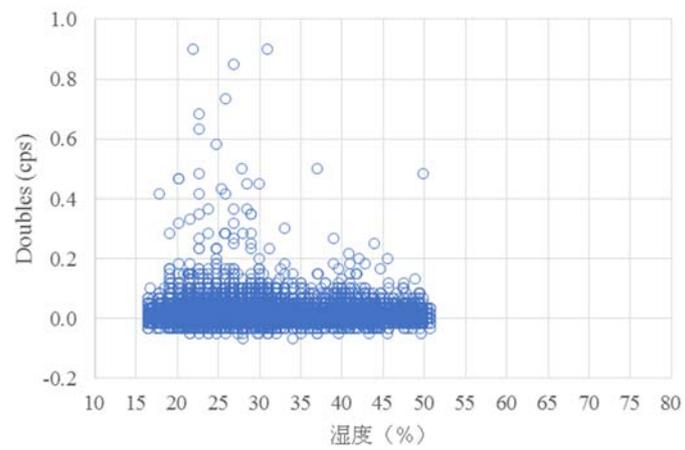


図 2.2.3-48 ダブル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

③ AFAS-B Top Fork 検出器

- バックグラウンド計数值 (シングル値) : 図 2.2.3-49～図 2.2.3-52
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-53～図 2.2.3-56
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-57～図 2.2.3-60

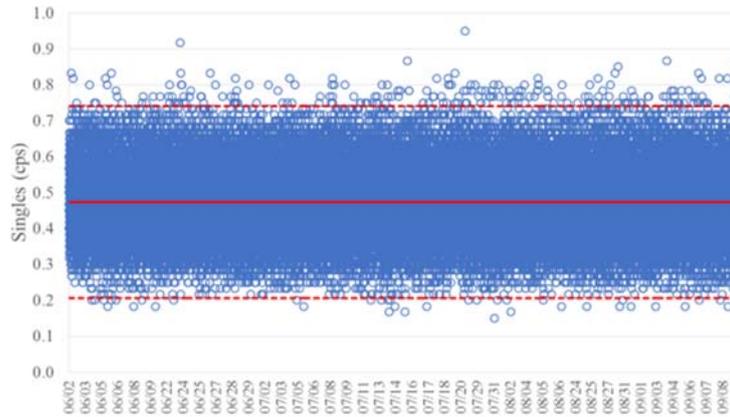


図 2.2.3-49 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)

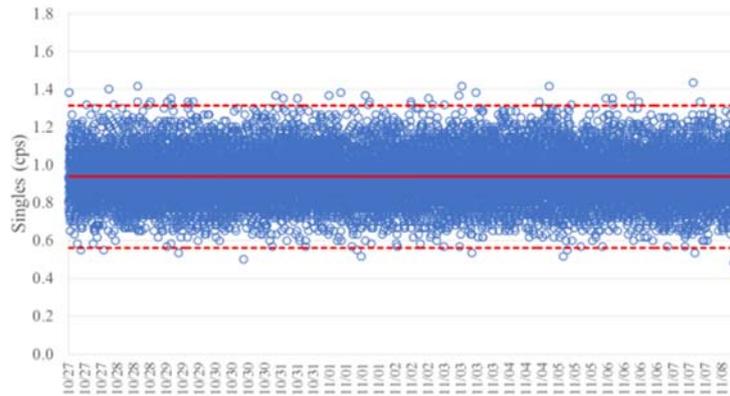


図 2.2.3-50 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)

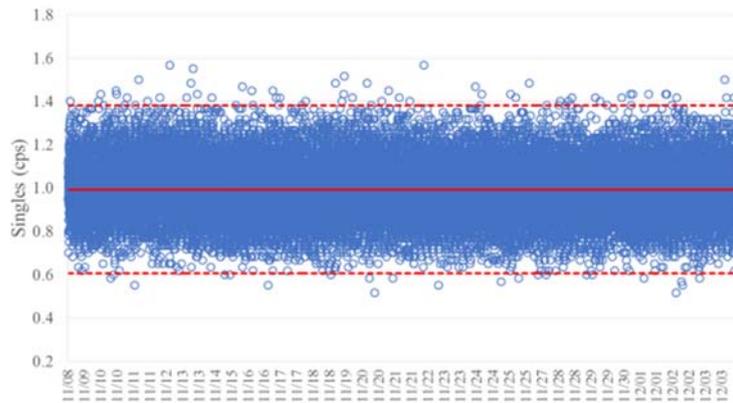


図 2.2.3-51 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日~12月4日)



図 2.2.3-52 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日~2019年3月4日)

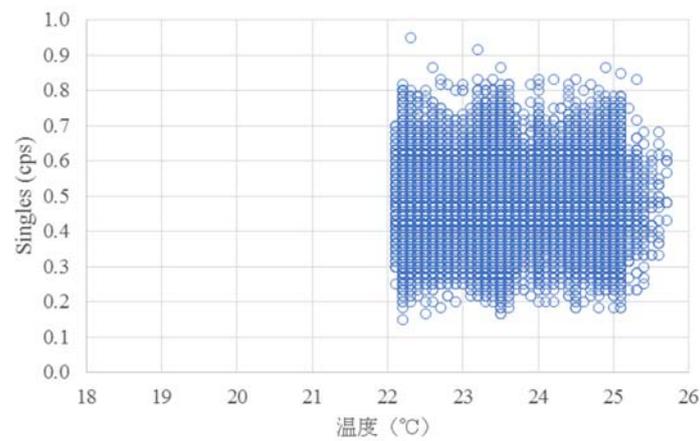


図 2.2.3-53 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日~9月10日)

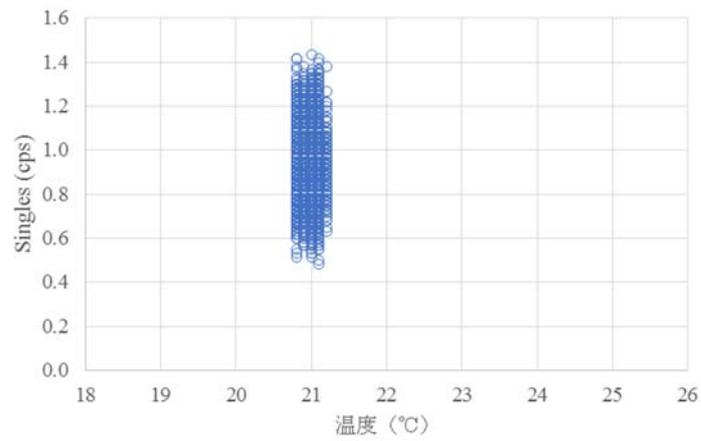


図 2.2.3-54 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

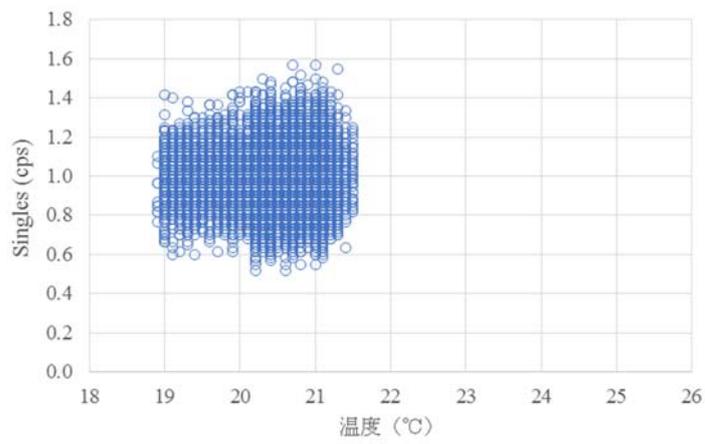


図 2.2.3-55 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

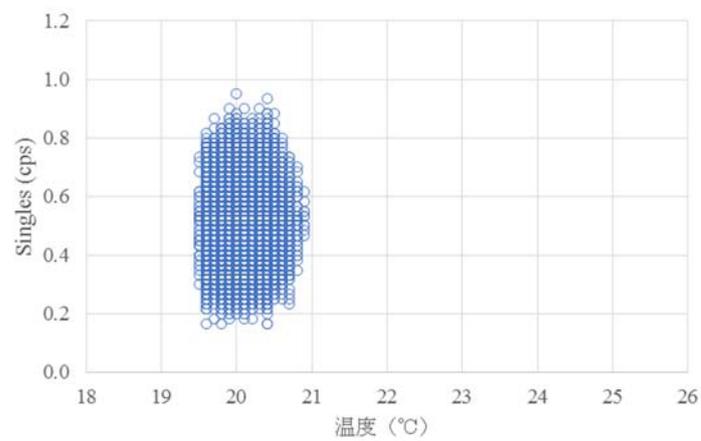


図 2.2.3-56 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

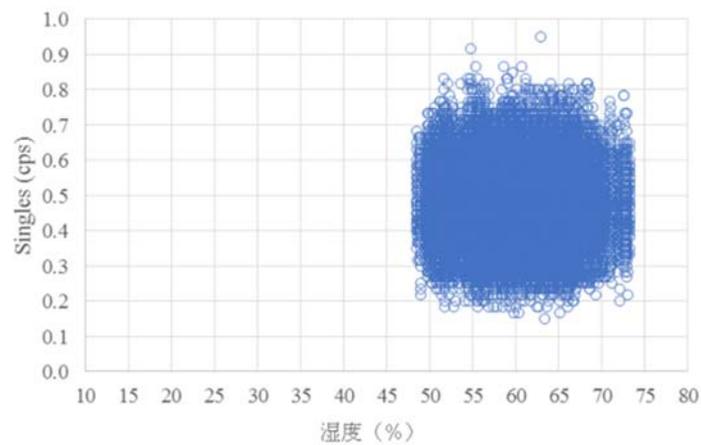


図 2.2.3-57 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

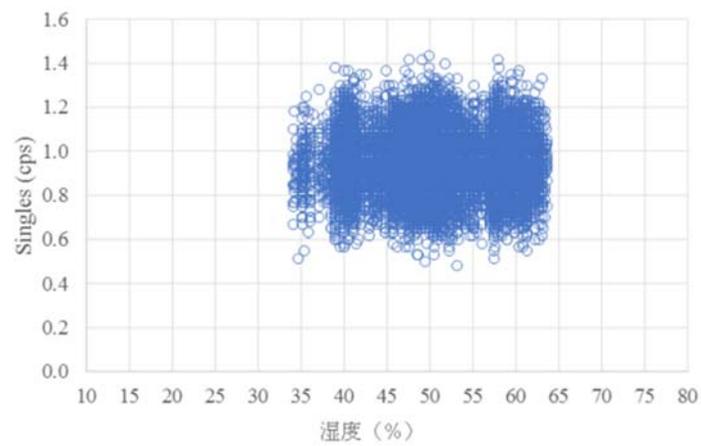


図 2.2.3-58 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

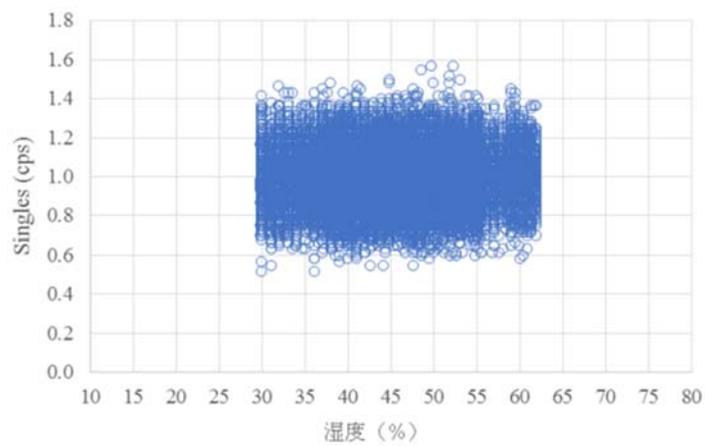


図 2.2.3-59 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

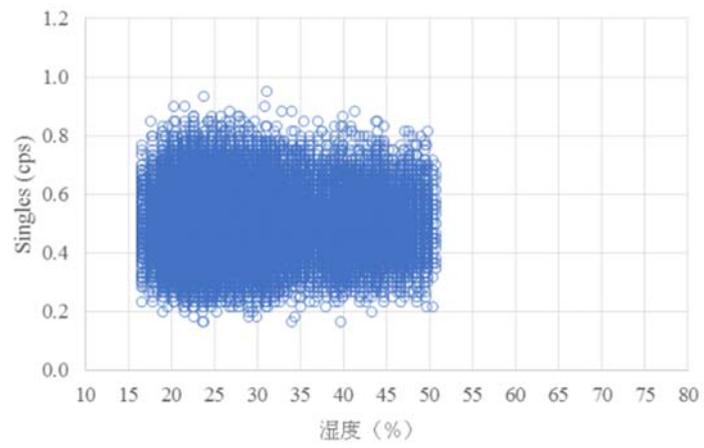


図 2.2.3-60 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

④ AFAS-B Bottom Fork 検出器

- バックグラウンド計数値 (シングル値) : 図 2.2.3-61～図 2.2.3-64
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-65～図 2.2.3-68
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-69～図 2.2.3-72

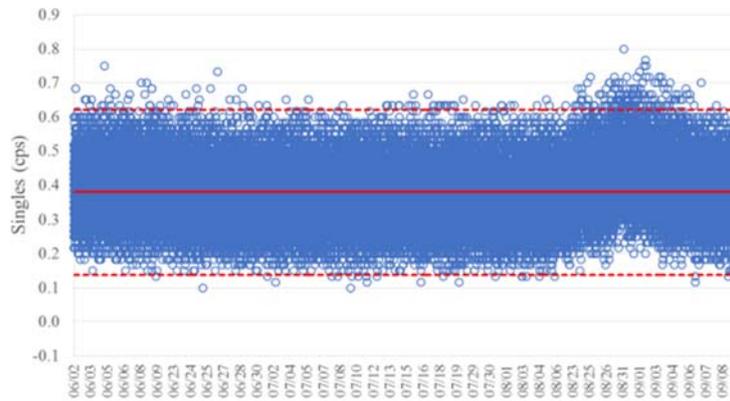


図 2.2.3-61 バックグラウンド計数値 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)



図 2.2.3-62 バックグラウンド計数値 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)

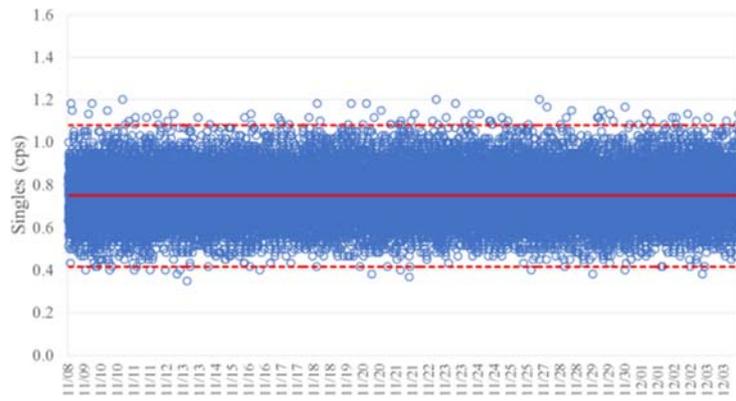


図 2.2.3-63 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日~12月4日)

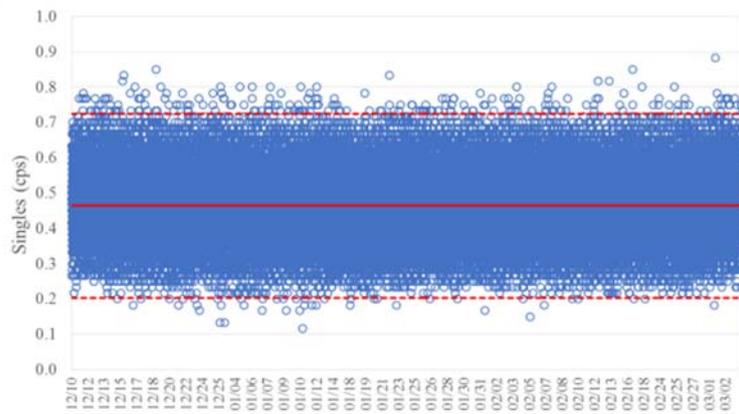


図 2.2.3-64 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日~2019年3月4日)

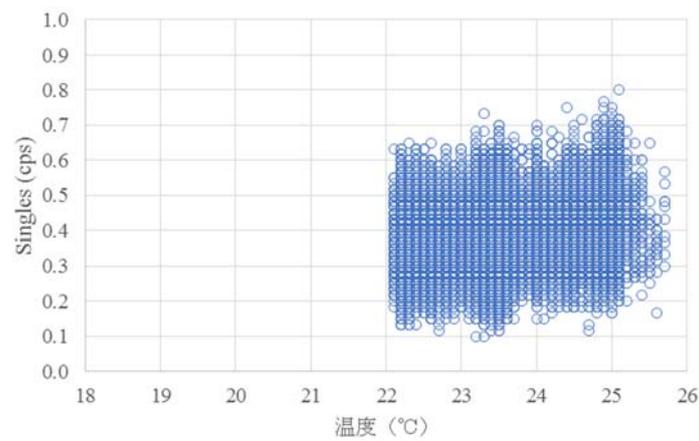


図 2.2.3-65 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日~9月10日)

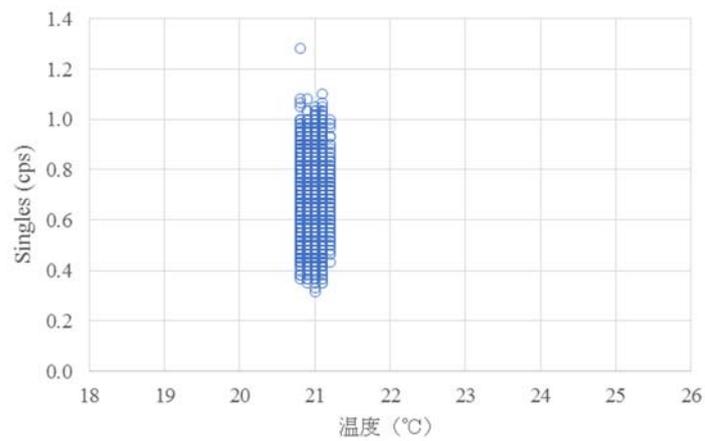


図 2.2.3-66 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

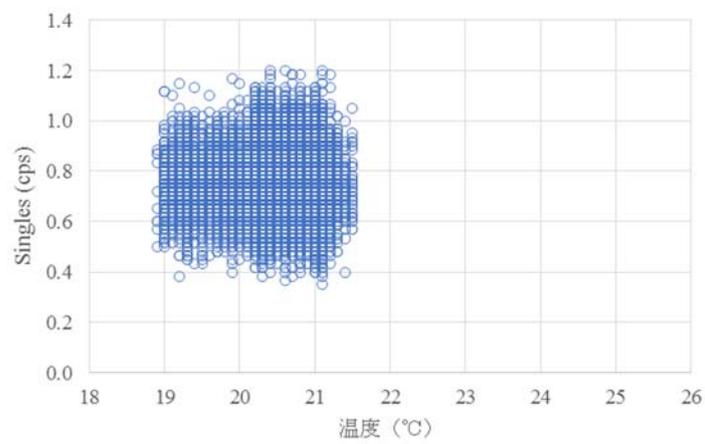


図 2.2.3-67 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

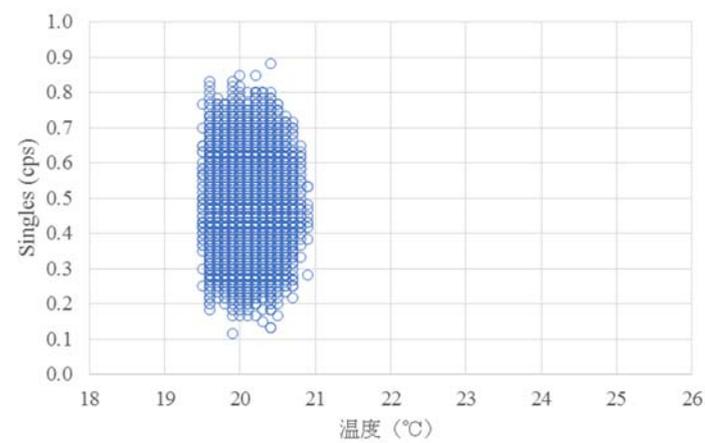


図 2.2.3-68 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

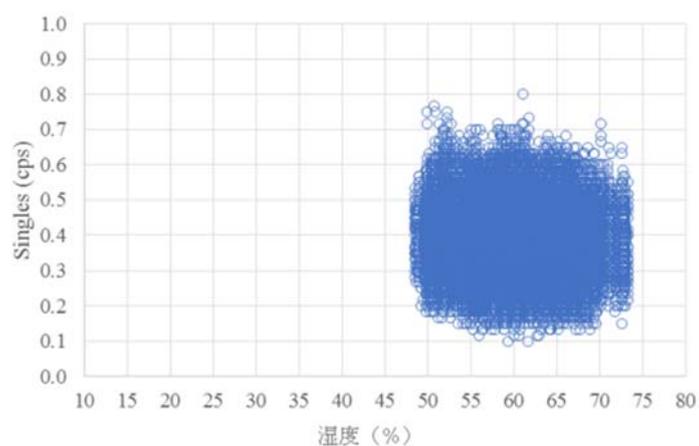


図 2.2.3-69 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

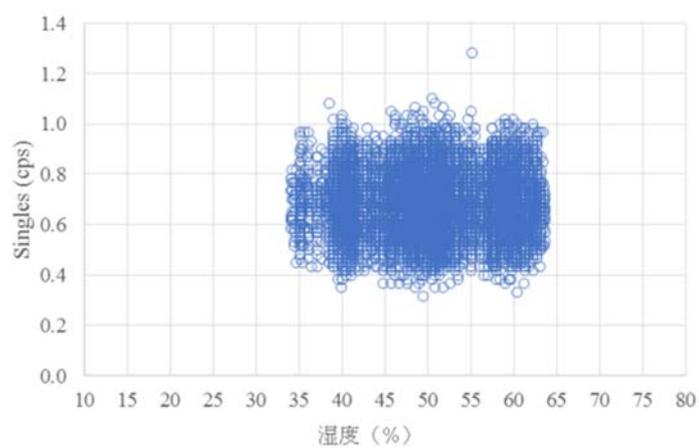


図 2.2.3-70 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

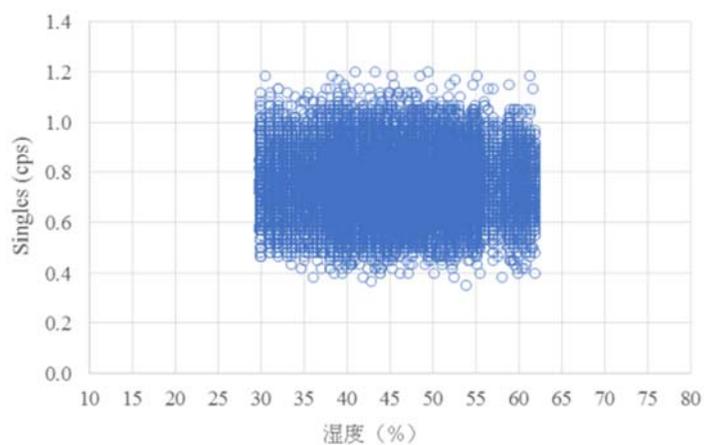


図 2.2.3-71 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

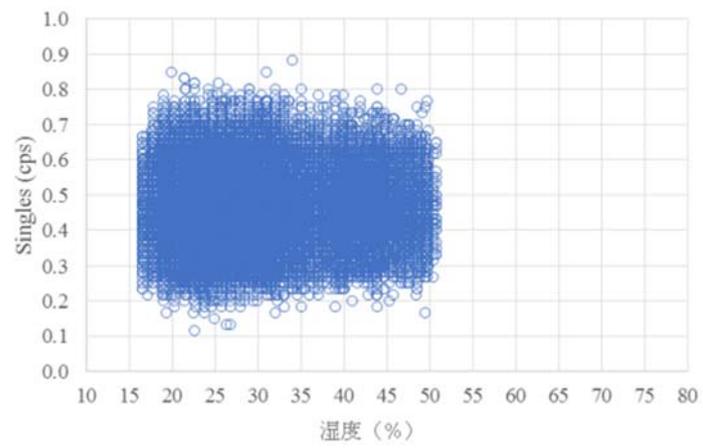


図 2.2.3-72 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

⑤ AFAS-P Top Fork 検出器

- バックグラウンド計数值 (シングル値) : 図 2.2.3-73～図 2.2.3-76
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-77～図 2.2.3-80
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-81～図 2.2.3-84

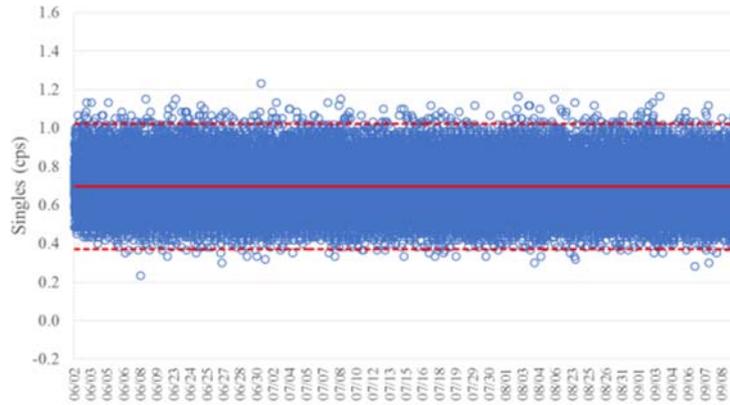


図 2.2.3-73 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)

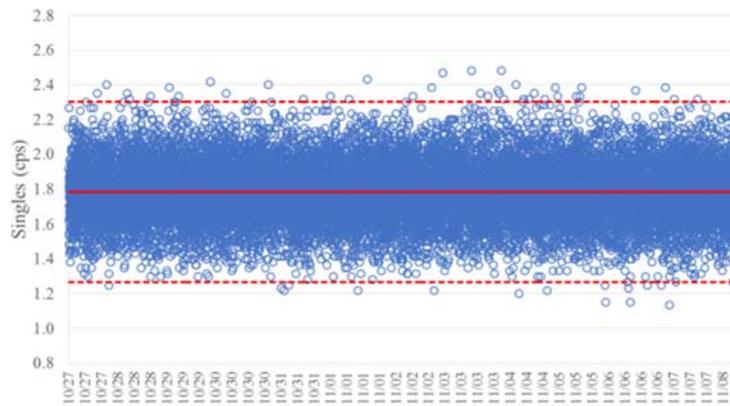


図 2.2.3-74 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)



図 2.2.3-75 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日～12月4日)

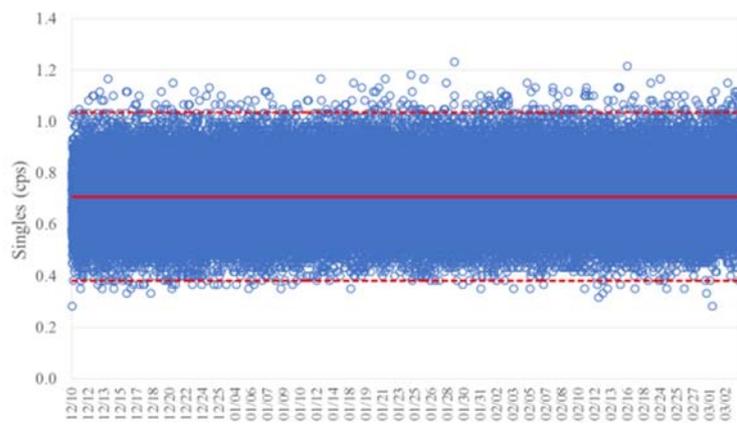


図 2.2.3-76 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日～2019年3月4日)

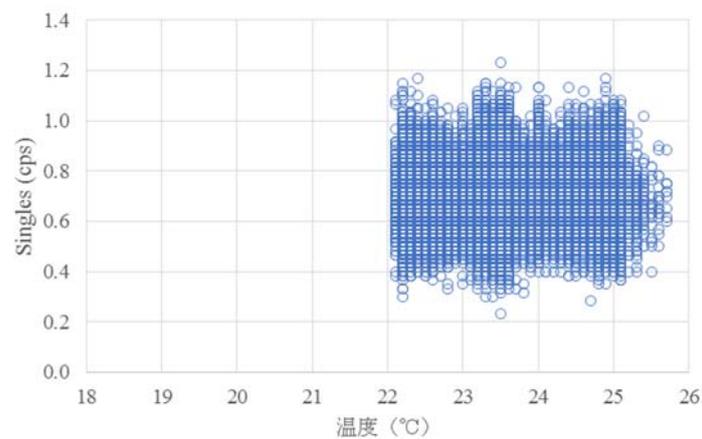


図 2.2.3-77 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

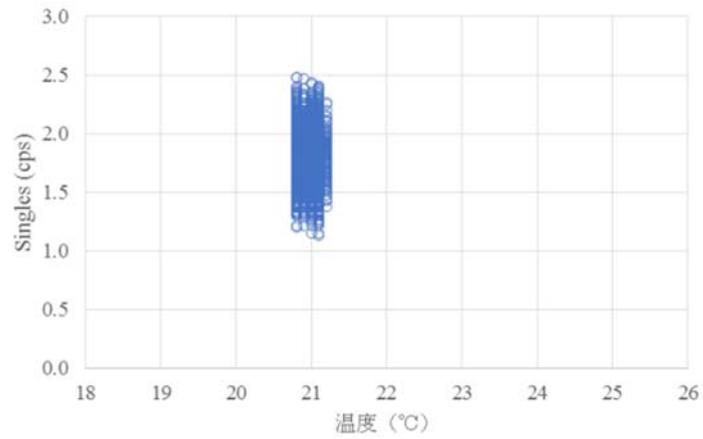


図 2.2.3-78 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

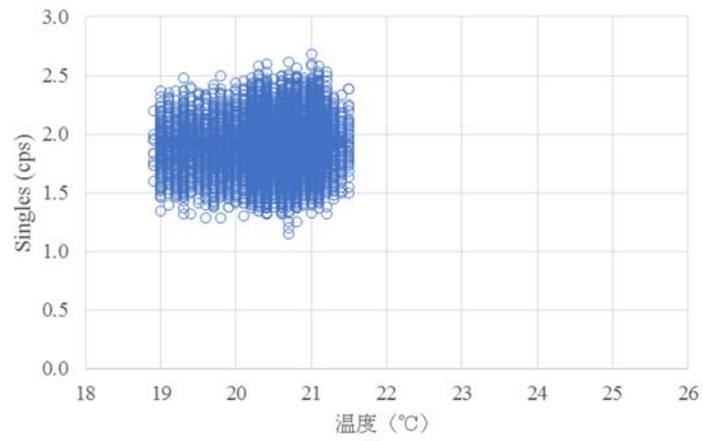


図 2.2.3-79 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

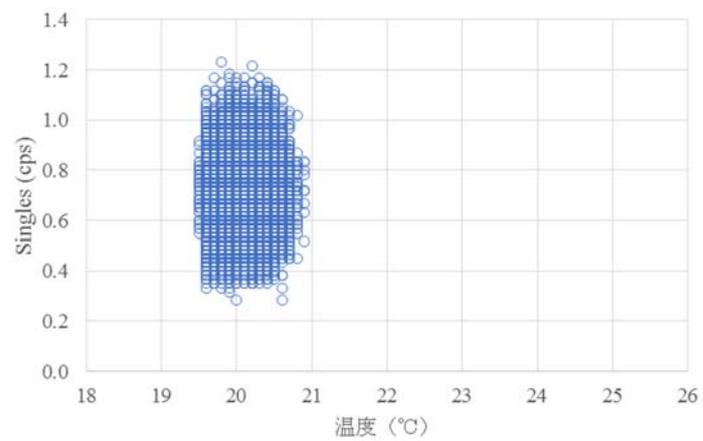


図 2.2.3-80 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

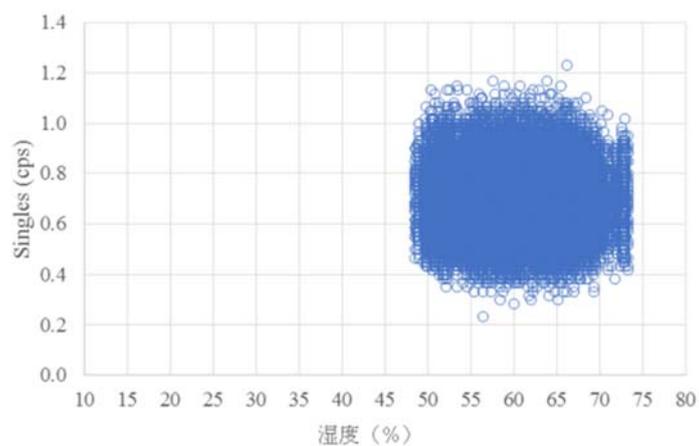


図 2.2.3-81 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

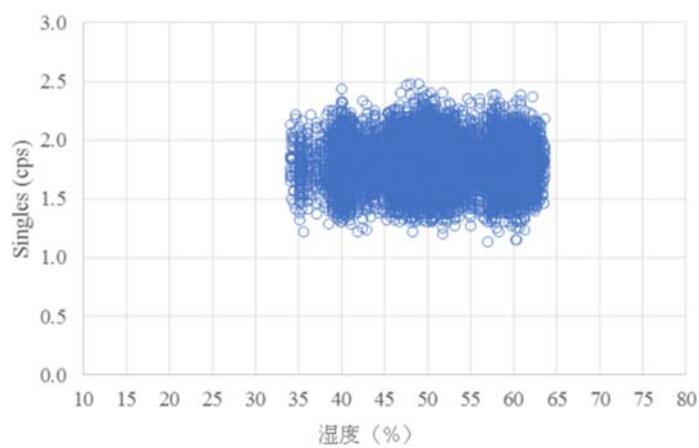


図 2.2.3-82 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

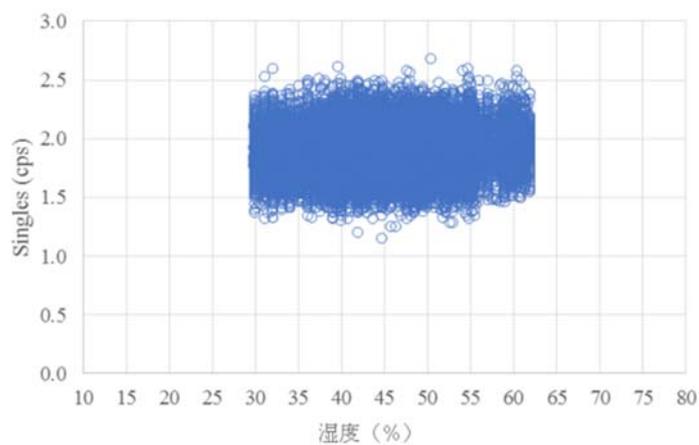


図 2.2.3-83 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

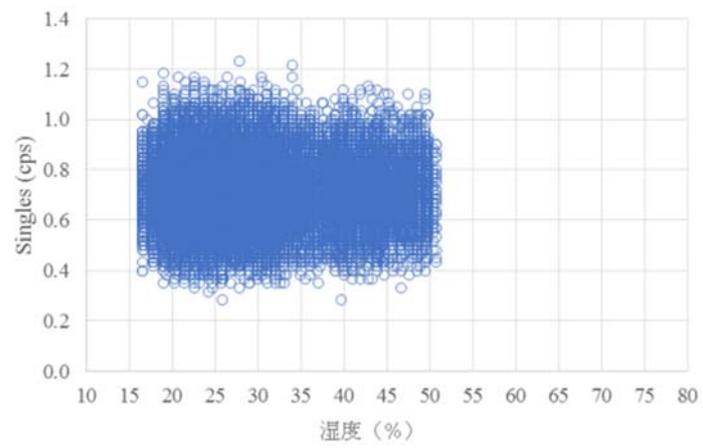


図 2.2.3-84 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

⑥ AFAS-P Bottom Fork 検出器

- バックグラウンド計数值 (シングル値) : 図 2.2.3-85～図 2.2.3-88
- シングル値と温度の相関 : 図 2.2.3-89～図 2.2.3-92
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.2.3-93～図 2.2.3-96

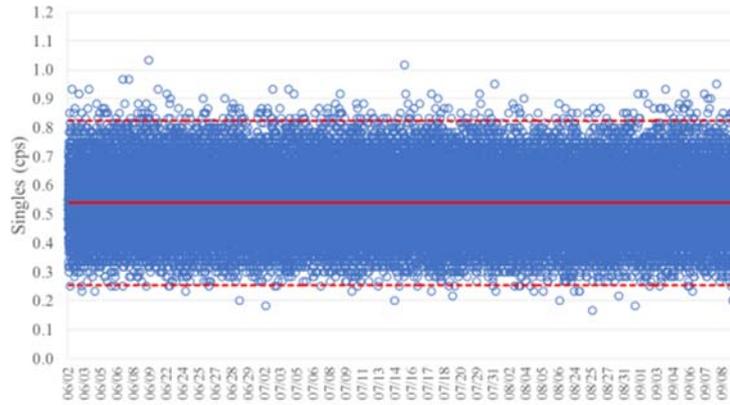


図 2.2.3-85 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年6月2日～9月10日)



図 2.2.3-86 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年10月27日～11月8日)

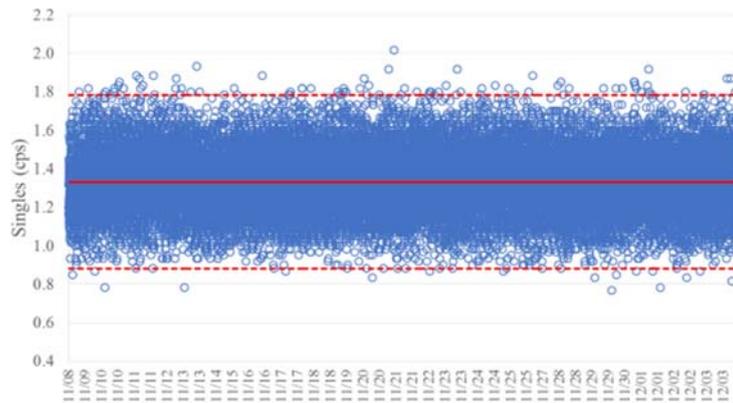


図 2.2.3-87 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年11月8日~12月4日)



図 2.2.3-88 バックグラウンド計数值 (シングル値)
(2018年12月10日~2019年3月4日)

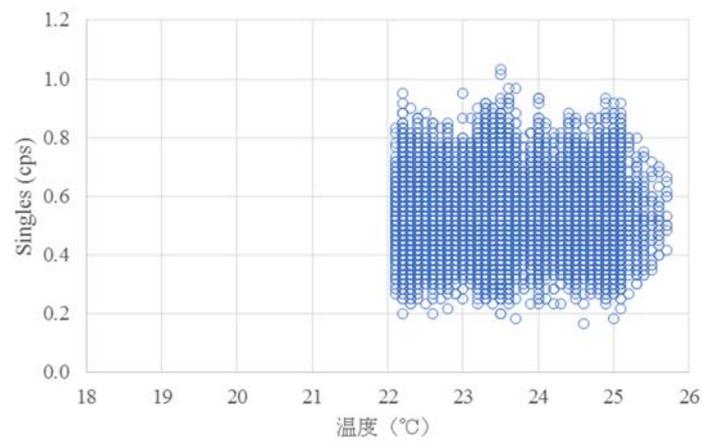


図 2.2.3-89 シングル値と温度の相関 (2018年6月2日~9月10日)

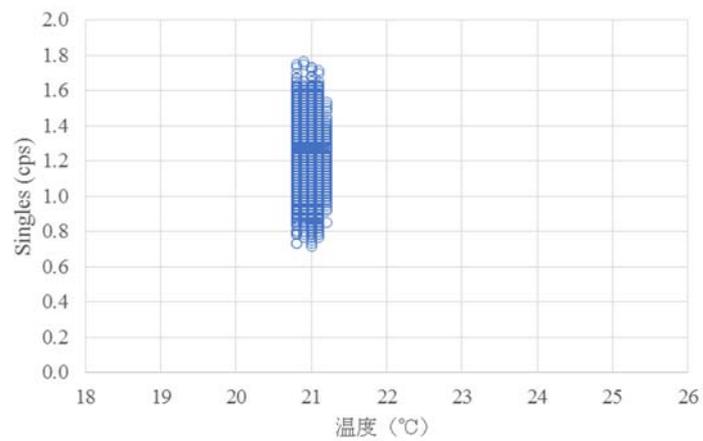


図 2.2.3-90 シングル値と温度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

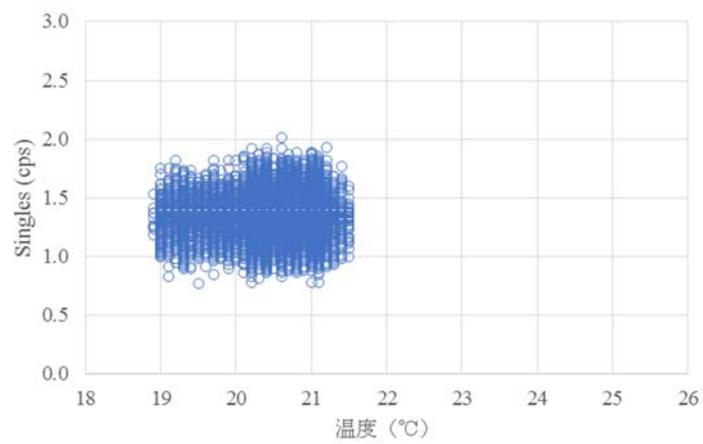


図 2.2.3-91 シングル値と温度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

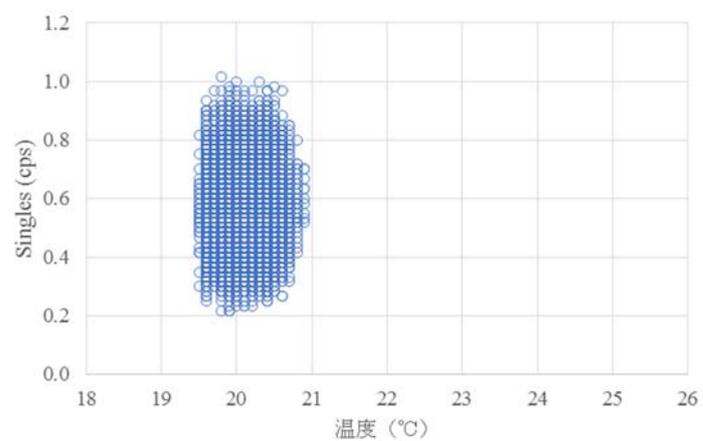


図 2.2.3-92 シングル値と温度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

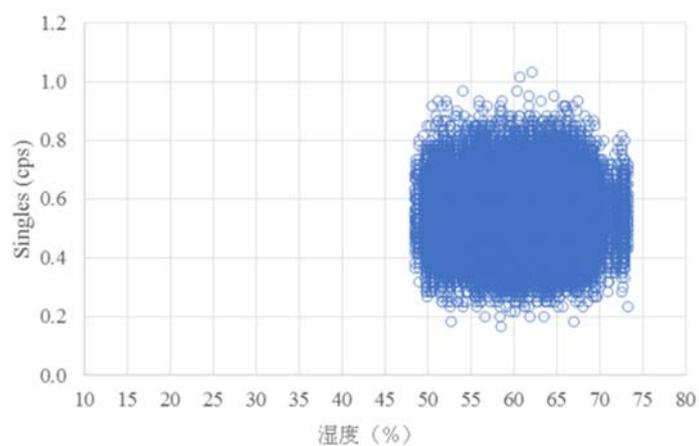


図 2.2.3-93 シングル値と湿度の相関 (2018年6月2日～9月10日)

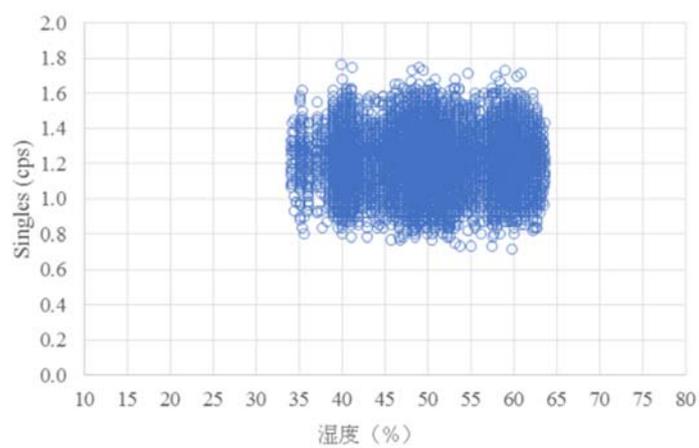


図 2.2.3-94 シングル値と湿度の相関 (2018年10月27日～11月8日)

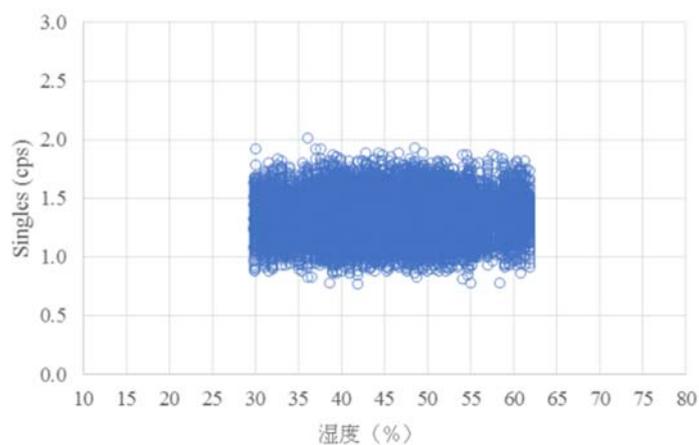


図 2.2.3-95 シングル値と湿度の相関 (2018年11月8日～12月4日)

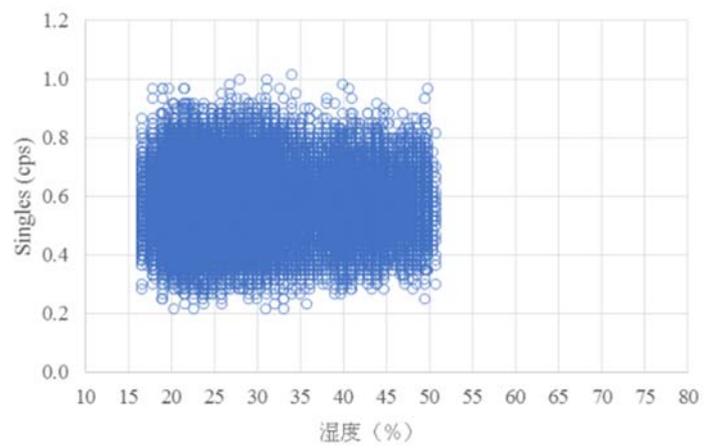


図 2.2.3-96 シングル値と湿度の相関 (2018年12月10日～2019年3月4日)

(2) ^{252}Cf 中性子線源測定

2018年6月から2019年3月までの期間において月1回の頻度で実施した、 ^{252}Cf 中性子線源測定の結果を図 2.2.3-97～図 2.2.3-102 に示す。各グラフ中の赤色の実線は各計数値の平均値を示し、破線は管理限界値（各計数値の誤差の二乗平均平方根を3倍した値を計数値の平均値に加算及び減算し求めた値）を示す。いずれの検出器においても各計数値は、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 2.2.3-103～図 2.2.3-114 に示す。各測定において、温度は約 20°C ～ 26°C 、湿度は約 20%～65%の範囲で変動したが、これらの変動が測定値に与える影響はみられなかった。

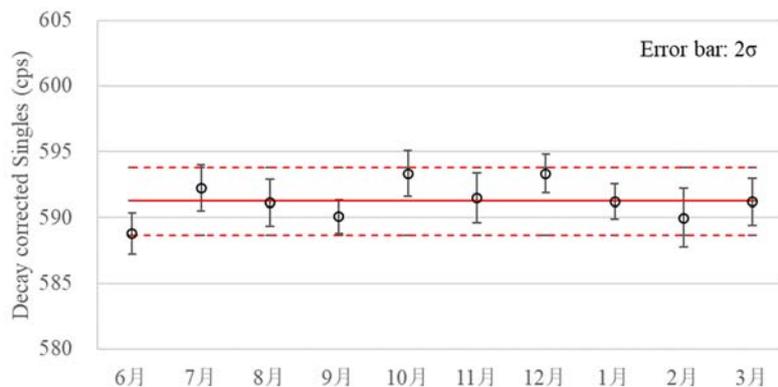


図 2.2.3-97 ^{252}Cf 中性子線源測定結果（AFAS-B Top Fork 検出器）

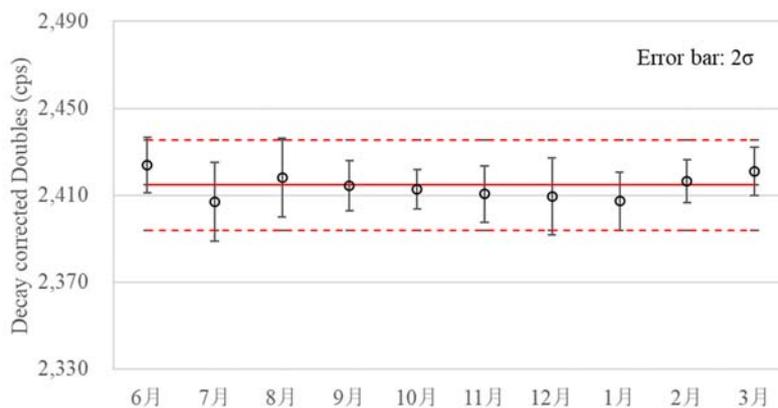


図 2.2.3-98 ^{252}Cf 中性子線源測定結果（AFAS-B Collar 検出器）

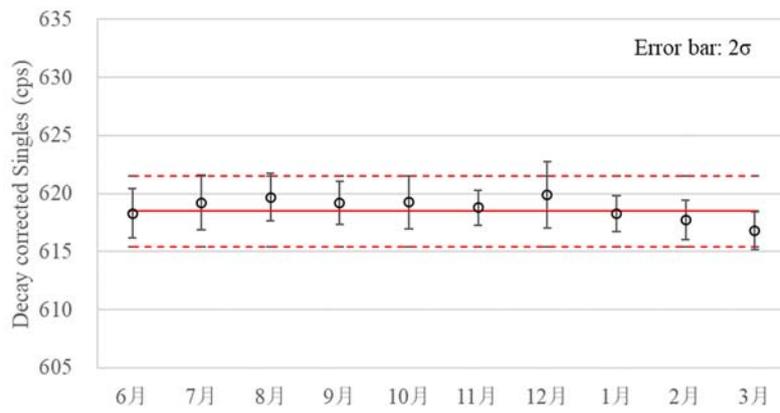


図 2.2.3-99 ^{252}Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

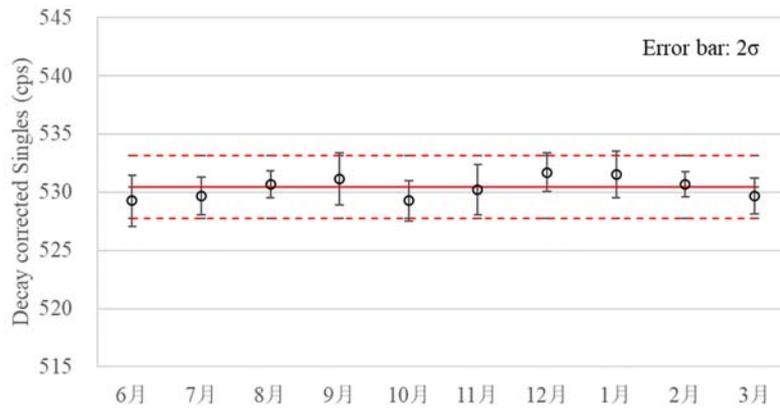


図 2.2.3-100 ^{252}Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Top Fork 検出器)

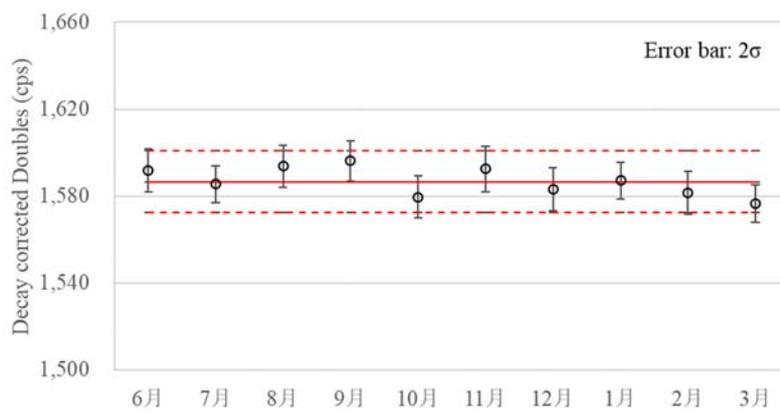


図 2.2.3-101 ^{252}Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Collar 検出器)

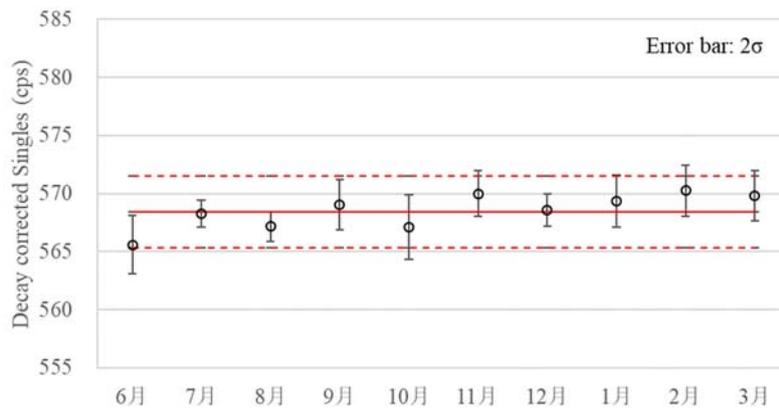


図 2.2.3-102 ^{252}Cf 中性子線源測定結果 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

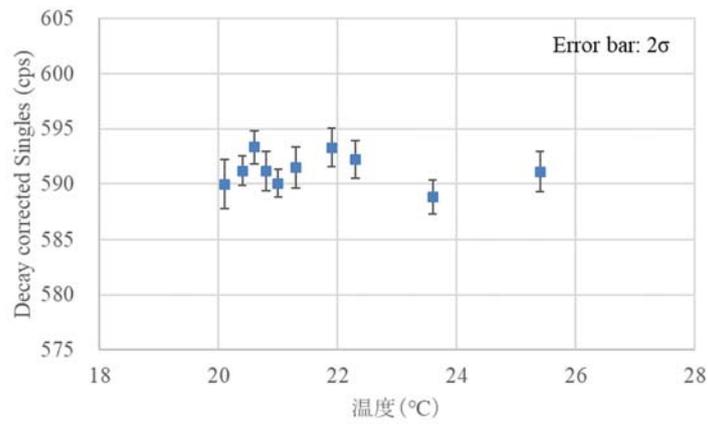


図 2.2.3-103 計数值と温度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)

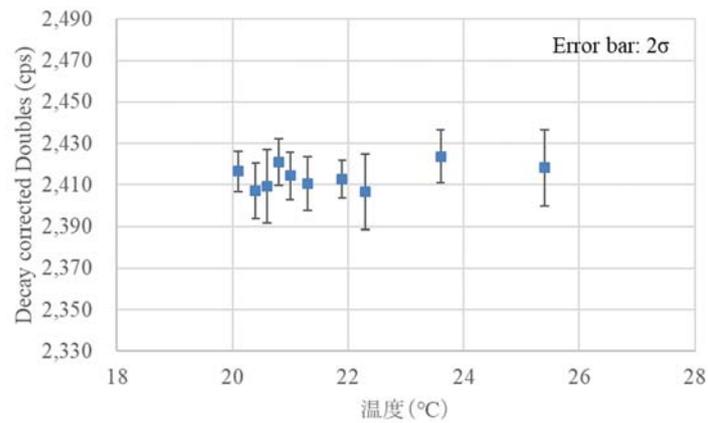


図 2.2.3-104 計数值と温度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)

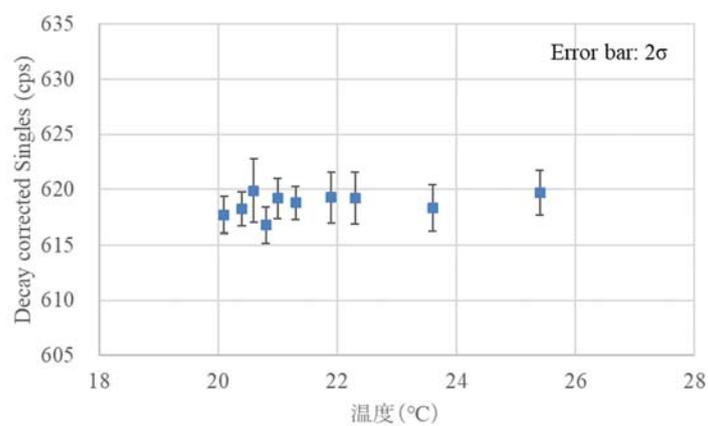


図 2.2.3-105 計数值と温度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

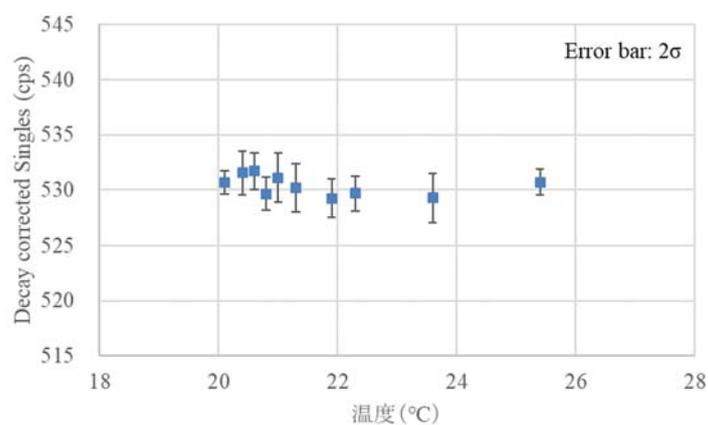


図 2.2.3-106 計数值と温度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)

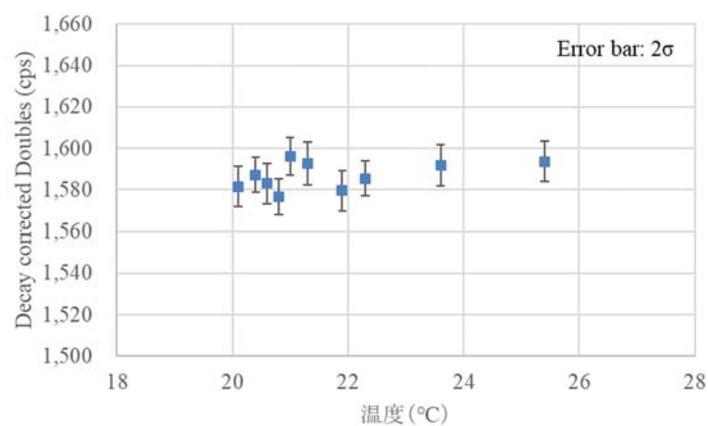


図 2.2.3-107 計数值と温度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)

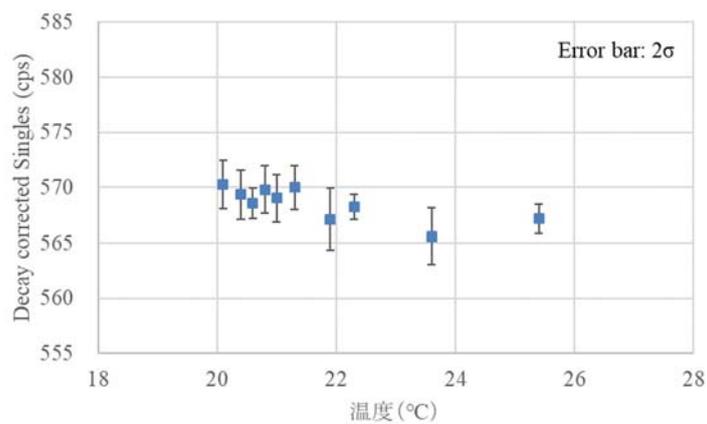


図 2.2.3-108 計数值と温度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

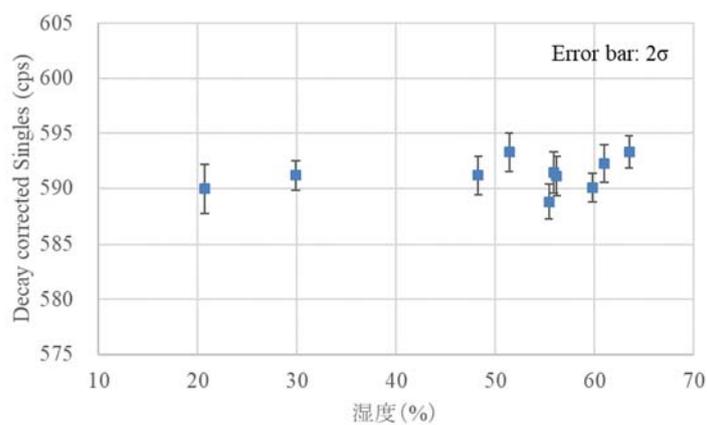


図 2.2.3-109 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)

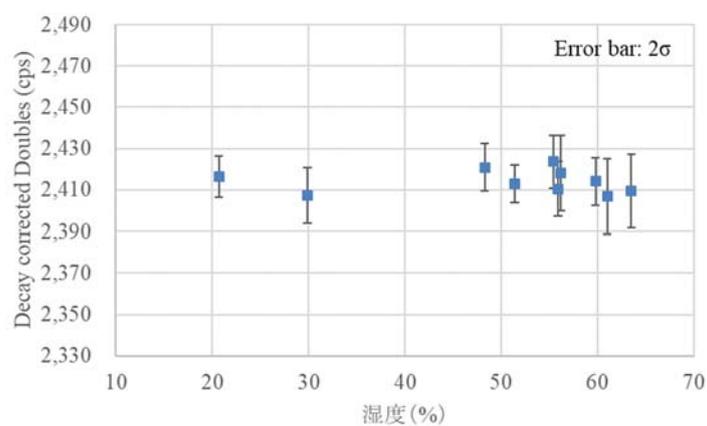


図 2.2.3-110 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)

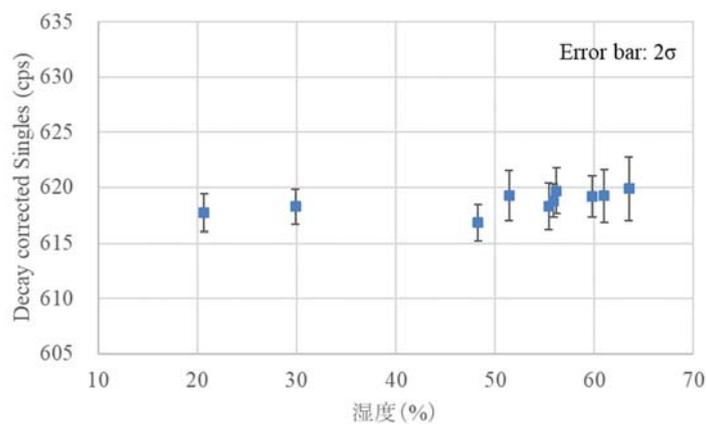


図 2.2.3-111 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

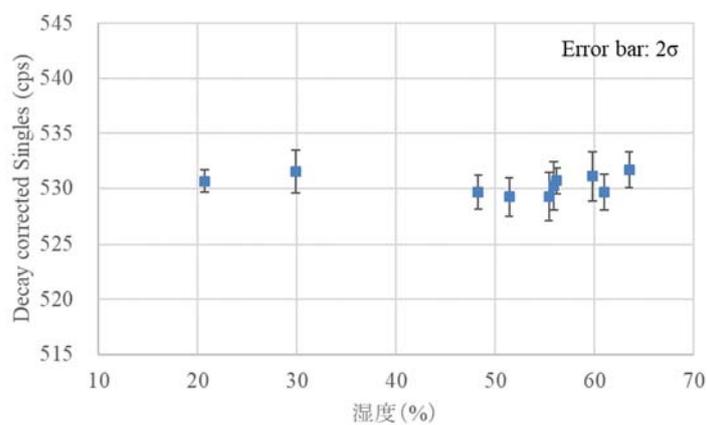


図 2.2.3-112 計数值と湿度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)

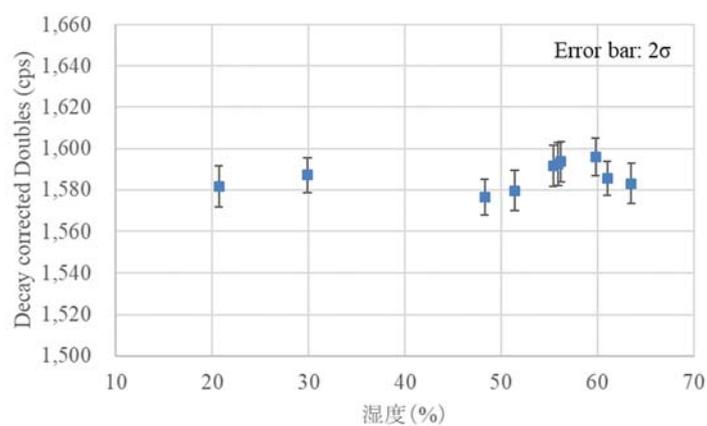


図 2.2.3-113 計数值と湿度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)

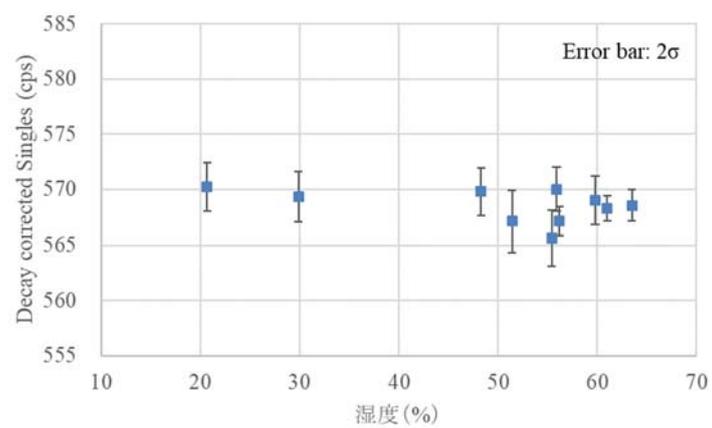


図 2.2.3-114 計数值と湿度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

2.2.4 考察

(1) バックグラウンド測定

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器において、シングル値が一時的に低下または上昇した事象については、各 Collar 検出器においてほぼ同時にみられた事象であることから、検出器の異常ではなく、環境の変化または装置への供給電圧の変動等により起こった事象であると推測される。また、ダブル値においてみられた、単発的な高計数値が測定される事象についても、各 Collar 検出器においてほぼ同時にみられた事象であることから、宇宙線などによる影響であると考えられる。参考として、AFAS と同室に設置されている ENMC により、2018 年 6 月に数日間のバックグラウンド測定（60 秒/サイクル）を実施した結果を図 2.2.4-1 及び図 2.2.4-2 に示す。AFAS の Collar 検出器によるバックグラウンド測定結果と同様に、ダブル値においては、宇宙線の影響とみられる高い計数値が 1 日に数回程度測定された。なお、このような異常値は、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 検出器においてみられた、徐々に計数値が上昇し、また下降する事象については、本検出器のみにみられた事象であり、原因は不明であるが、検出器の不具合の可能性もあるため、今後 LANL に確認する予定である。

以上のように、いくつかの異常値が取得されたが、各検出器により取得されたほぼ全てのシングル値は、ばらつき (3σ) の範囲内に収まっていたことから、測定期間中、各検出器は安定して動作しデータを取得できていたと考えられる。

また、本測定において、測定環境の温度及び湿度の変動が測定に与える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 19°C～26°C、湿度：約 17%～73%）であれば、測定に影響を及ぼすことはないと考えられる。なお、AFAS の各検出器の内部は乾燥剤（デシケーター）により低湿度状態が保たれており、外部の湿度の影響を受けにくい構造となっている。本測定期間においても、毎月実施した維持管理作業の際、必要に応じ乾燥剤を交換するなど適切に管理を行っていたため、外部の湿度の影響を受けにくい状態を維持できたものとする。

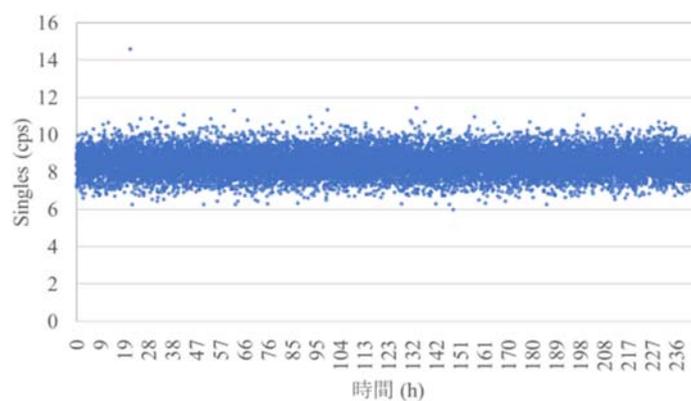


図 2.2.4-1 ENMC によるバックグラウンド測定結果（シングル値）

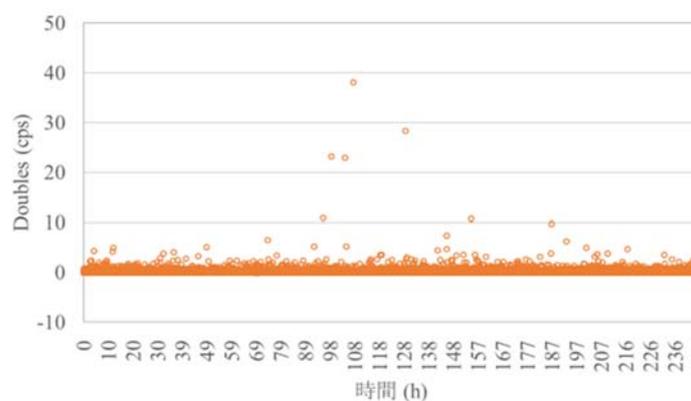


図 2.2.4-2 ENMC によるバックグラウンド測定結果（ダブル値）

(2) ^{252}Cf 中性子線源測定

いずれの検出器においても各計数値は、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。

2.3 パルス間隔分布の評価

2.3.1 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。

2.3.2 方法

JAEA が所有するリストモジュール (PTR-32HV) を用いて ^{252}Cf 中性子線源測定試験を実施し、AFAS 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。

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 2.3.2-1 及び図 2.3.2-1～図 2.3.2-4 に示す。

表 2.3.2-1 各検出器におけるアンプ数

検出器		アンプ 個数
AFAS-B	Fork 検出器	2
	Collar 検出器	6
AFAS-P	Fork 検出器	2
	Collar 検出器	10

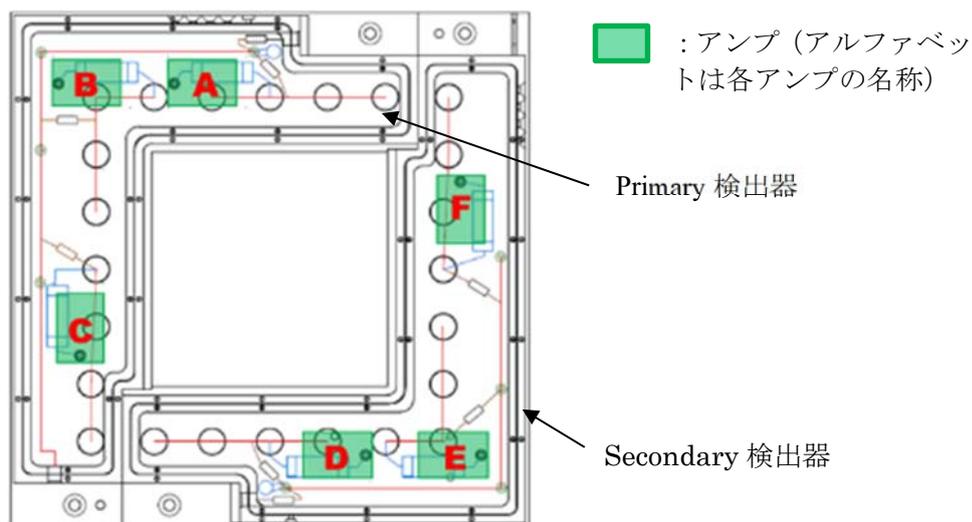


図 2.3.2-1 AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図

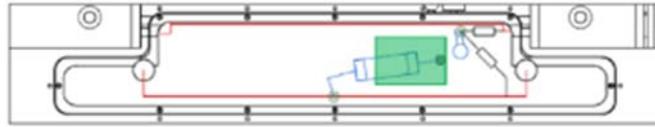


図 2.3.2-2 AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

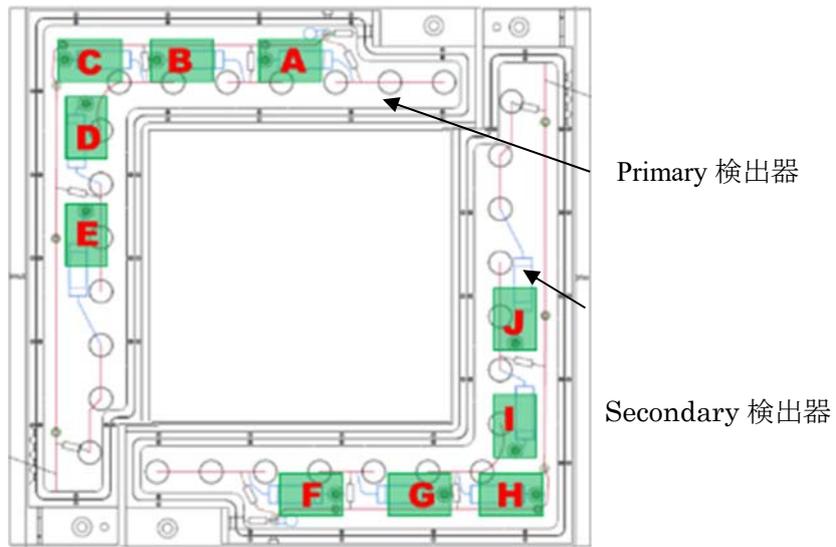


図 2.3.2-3 AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図

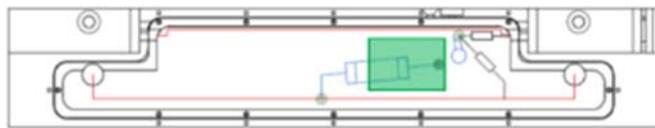


図 2.3.2-4 AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

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、1.6 項の表 1.6 に示す ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) 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 2.3.2-1 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 (測定時間 : Collar 検出器 : 10 分、Fork 検出器 : 100 分) し、パルス間隔分布を評価する。
- 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。

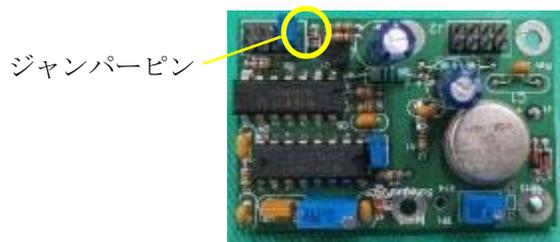


写真 2.3.2-1 アンプ (AMPTEK A111)

2.3.3 結果

AFAS-B Collar 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-1～2.3.3-12 に示す。

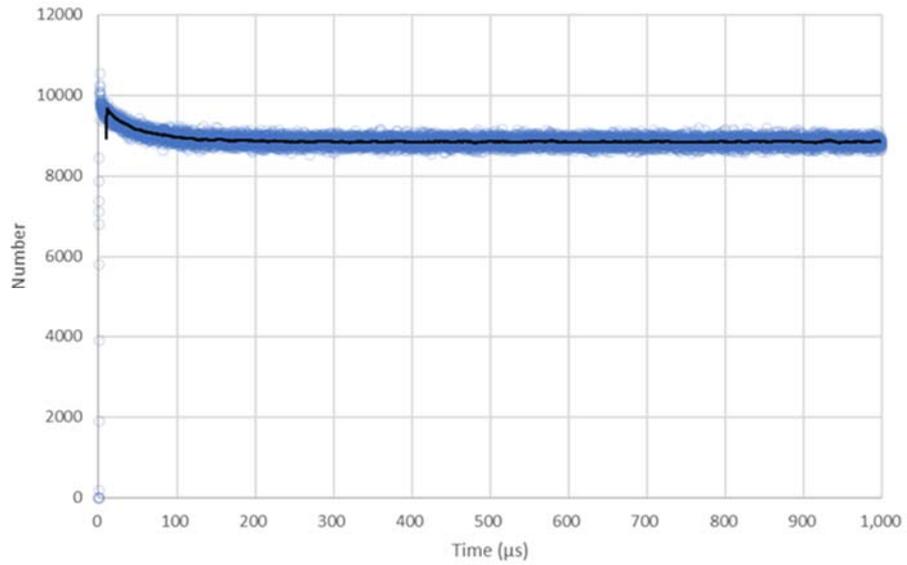


図 2.3.3-1 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

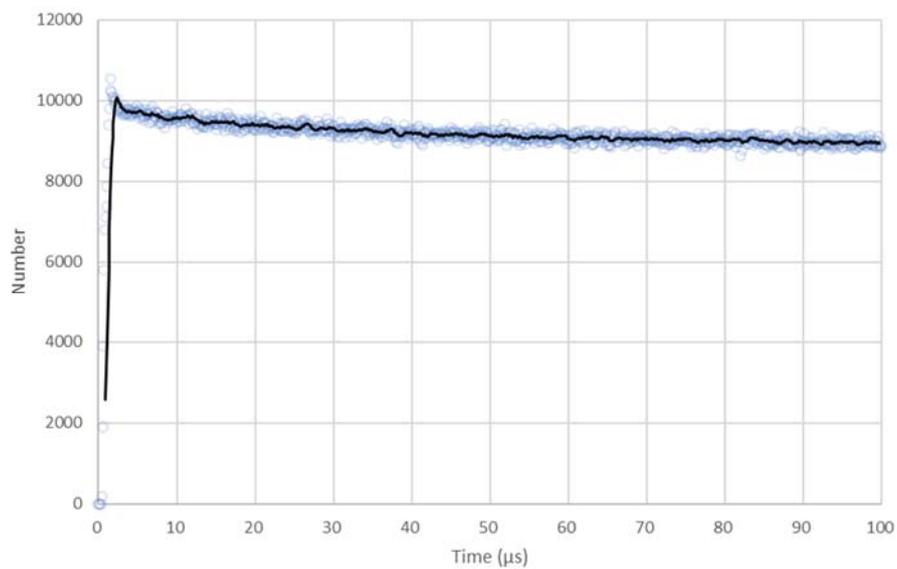


図 2.3.3-2 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布（0～100 μ s）

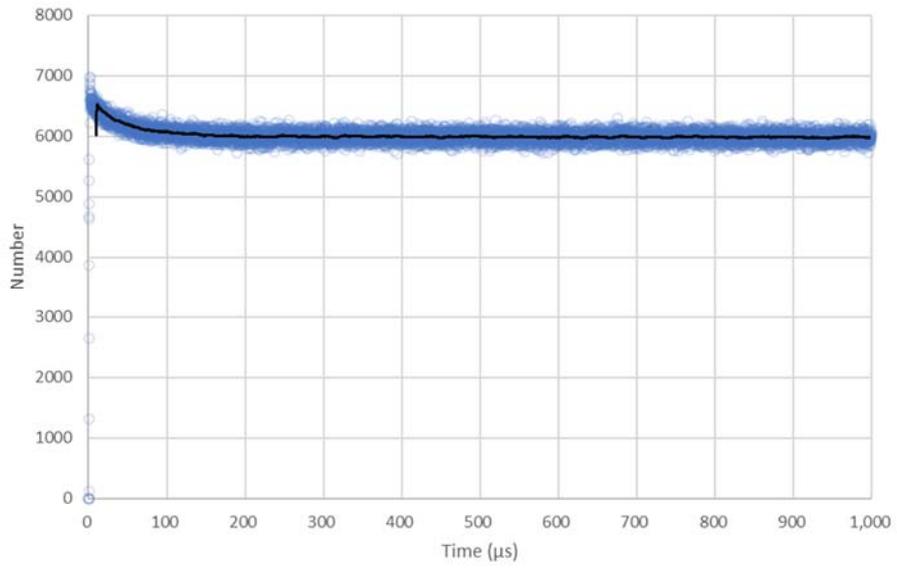


図 2.3.3-3 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

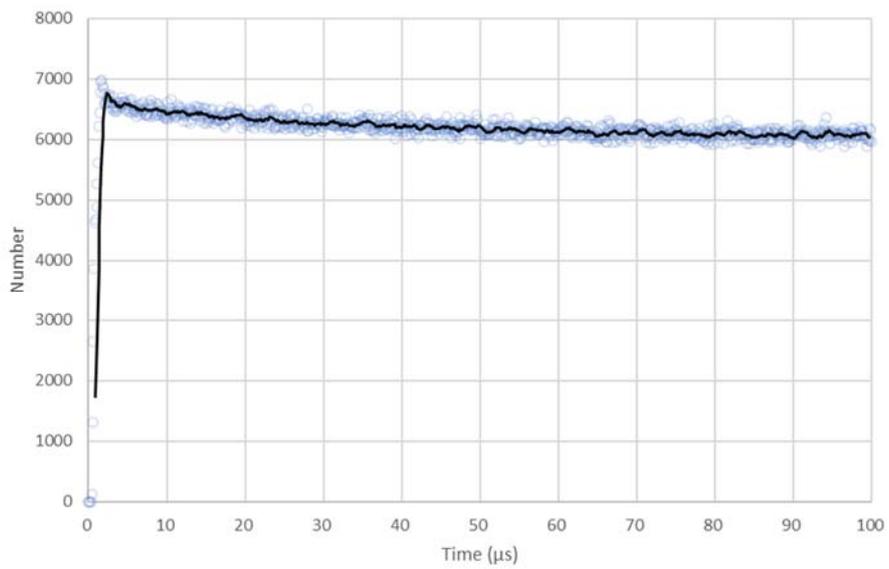


図 2.3.3-4 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

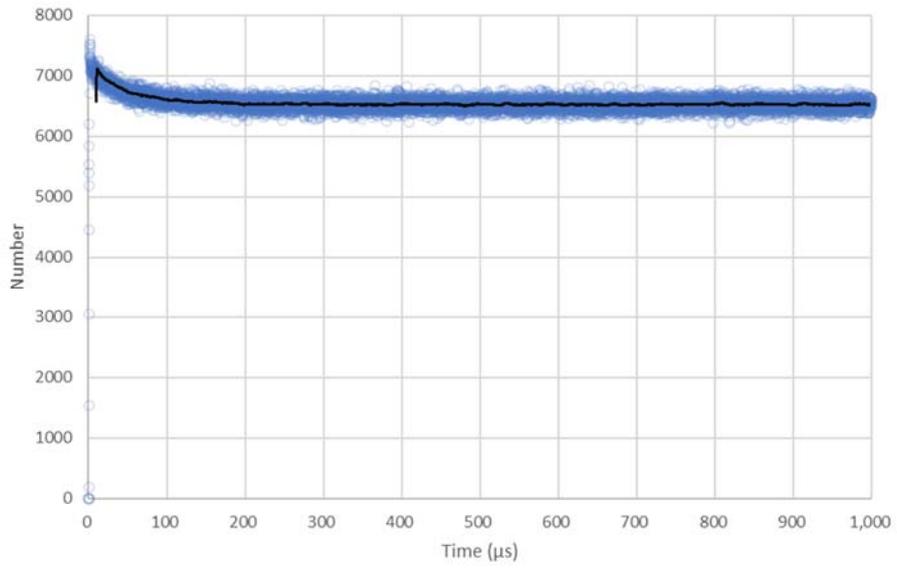


図 2.3.3-5 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

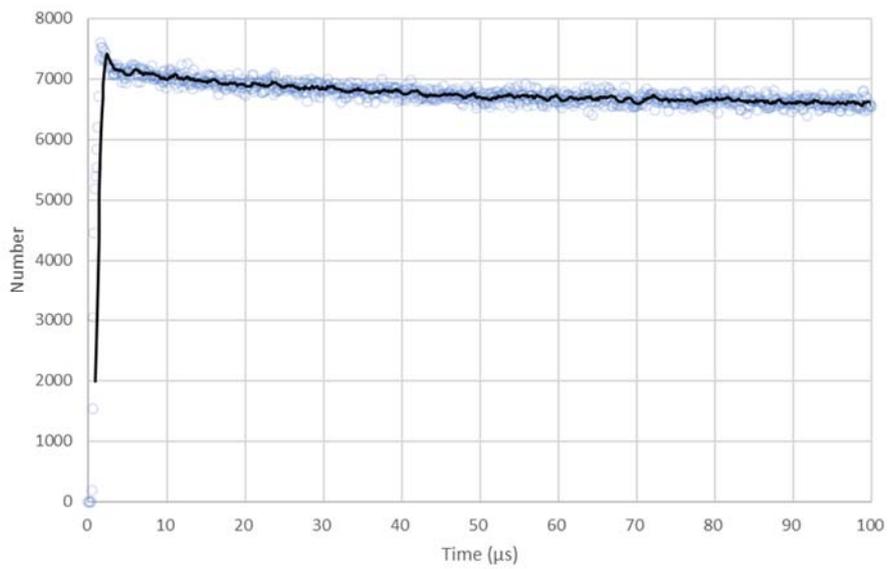


図 2.3.3-6 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

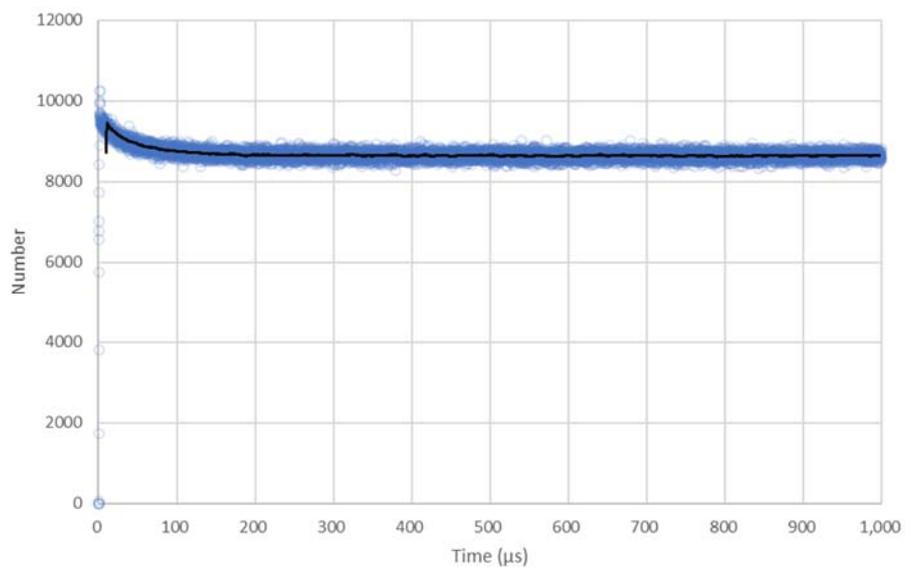


図 2.3.3-7 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

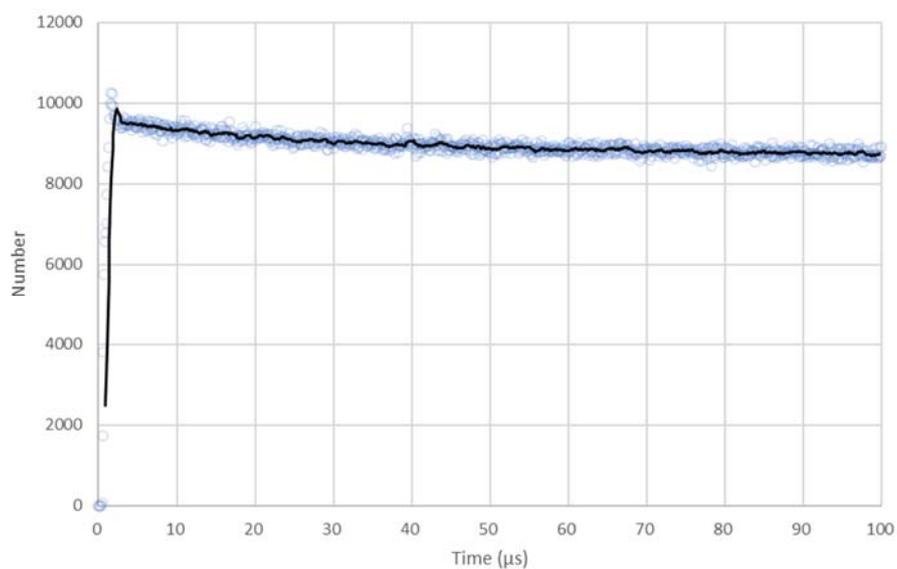


図 2.3.3-8 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

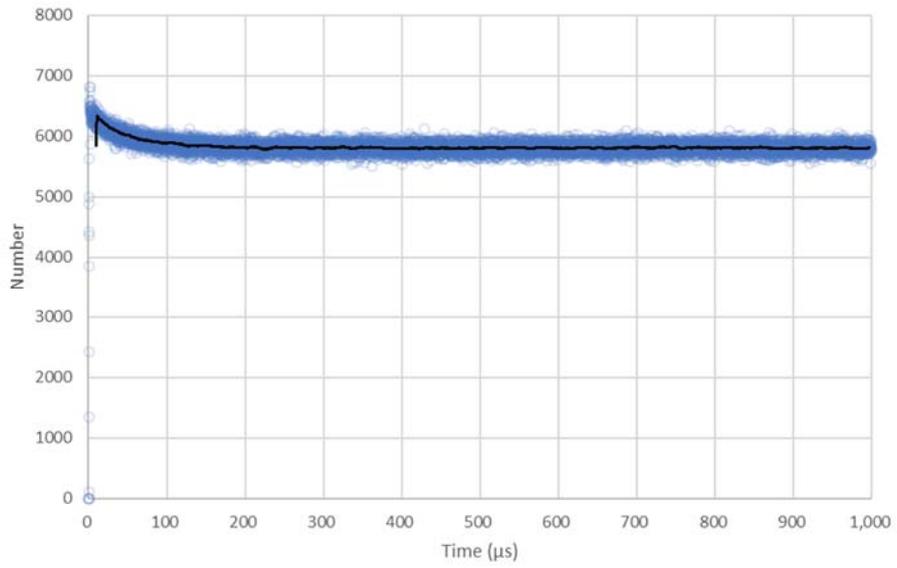


図 2.3.3-9 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

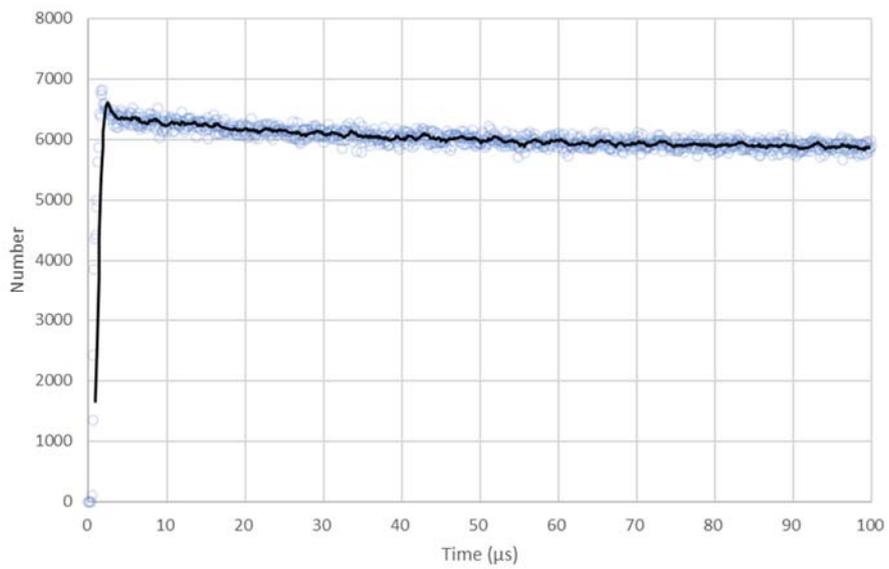


図 2.3.3-10 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

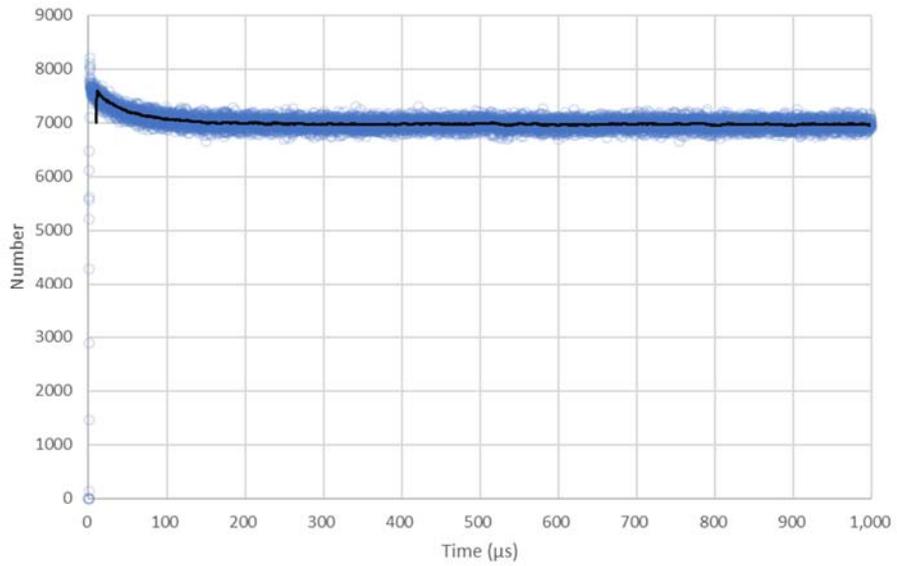


図 2.3.3-11 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

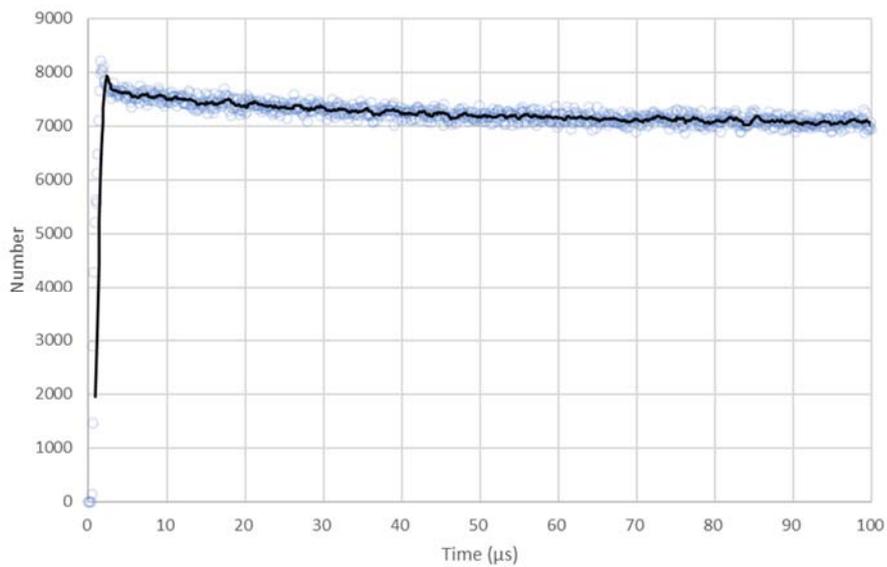


図 2.3.3-12 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

AFAS-B Top Fork 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-13～2.3.3-14 に示す。

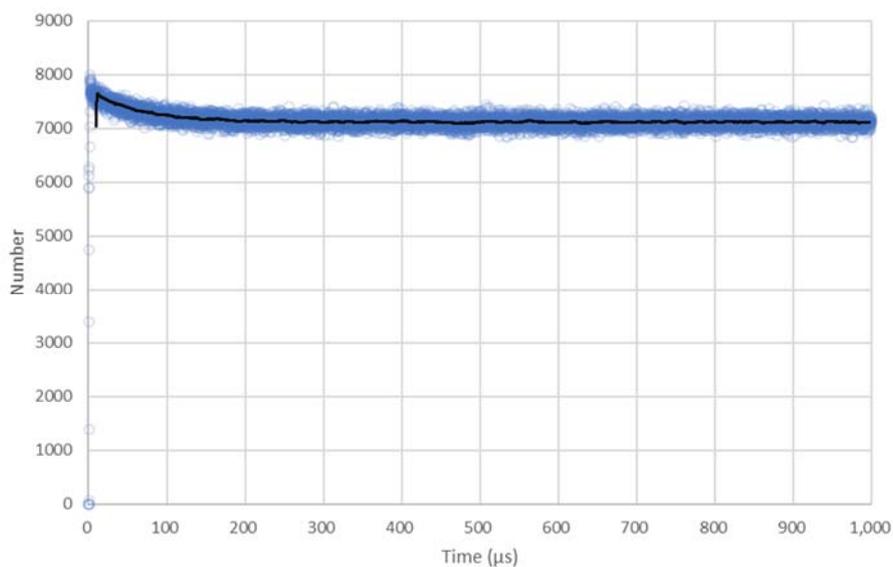


図 2.3.3-13 AFAS-B Top Fork 検出器のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

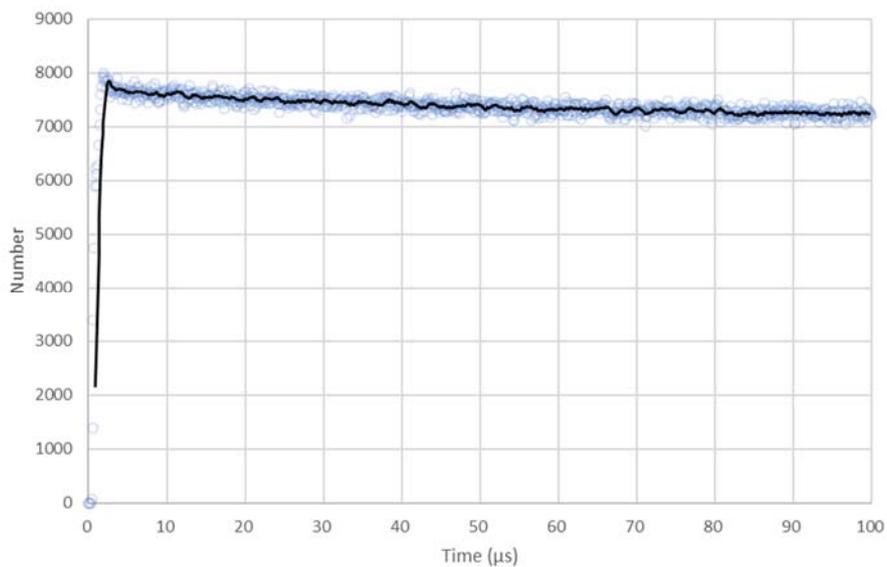


図 2.3.3-14 AFAS-B Top Fork 検出器のパルス間隔分布（0～100 μ s）

AFAS-B Bottom Fork 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-15～2.3.3-16 に示す。

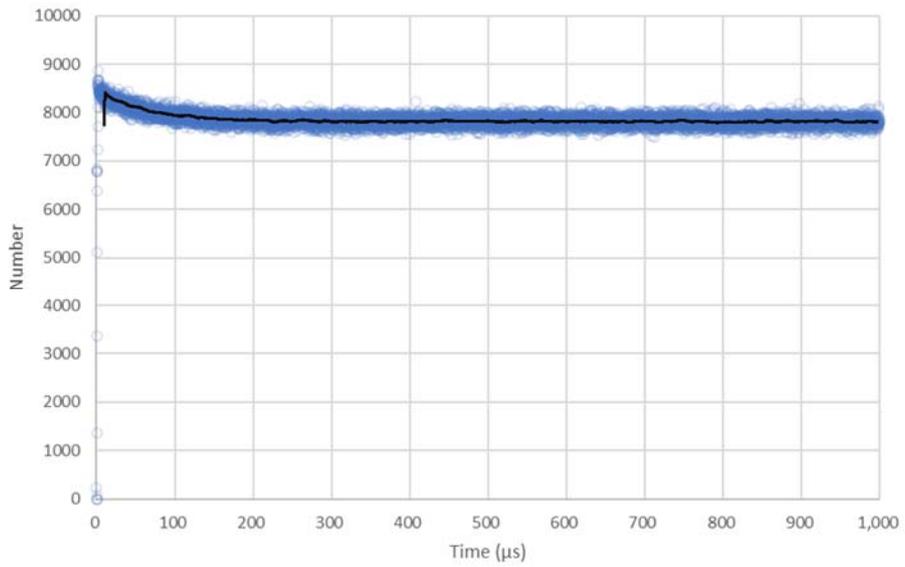


図 2.3.3-15 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

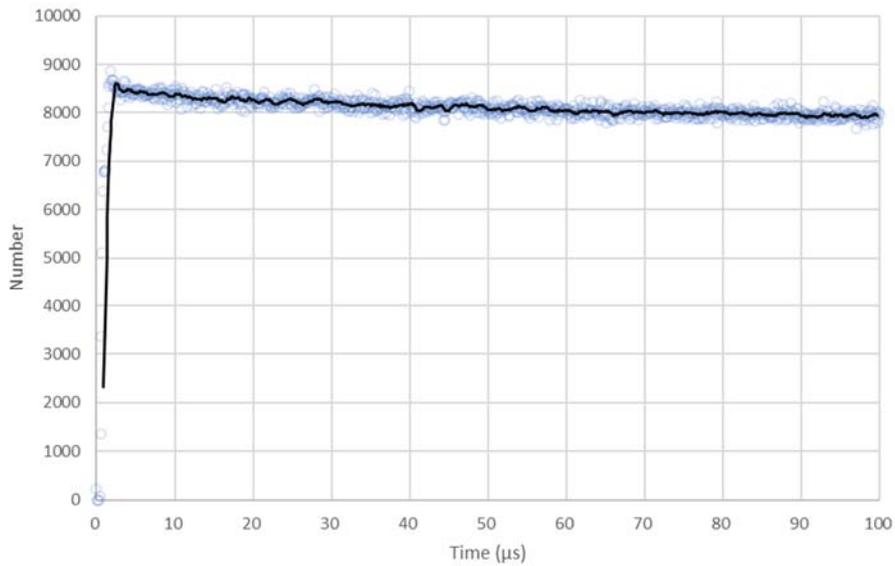


図 2.3.3-16 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布（0～100 μ s）

AFAS-P Collar 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-17～2.3.3-36 に示す。

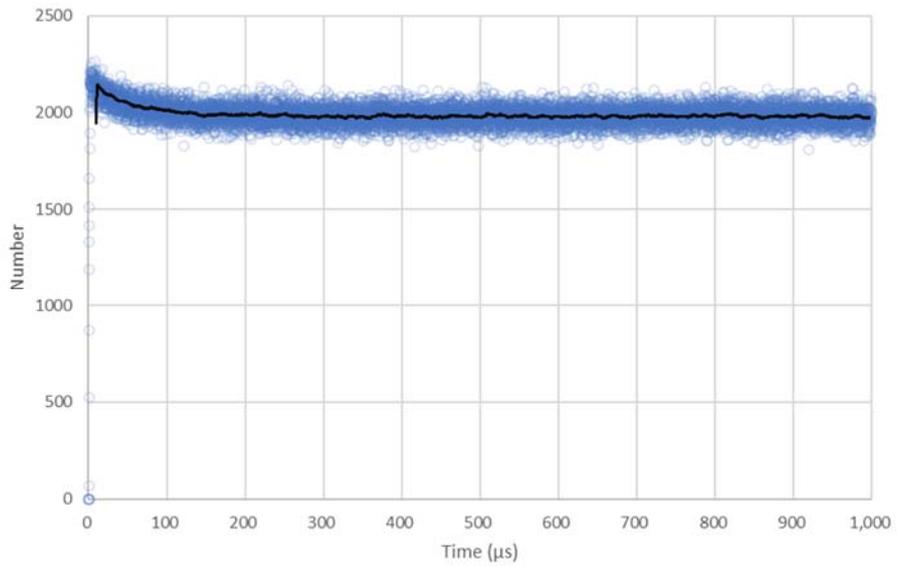


図 2.3.3-17 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

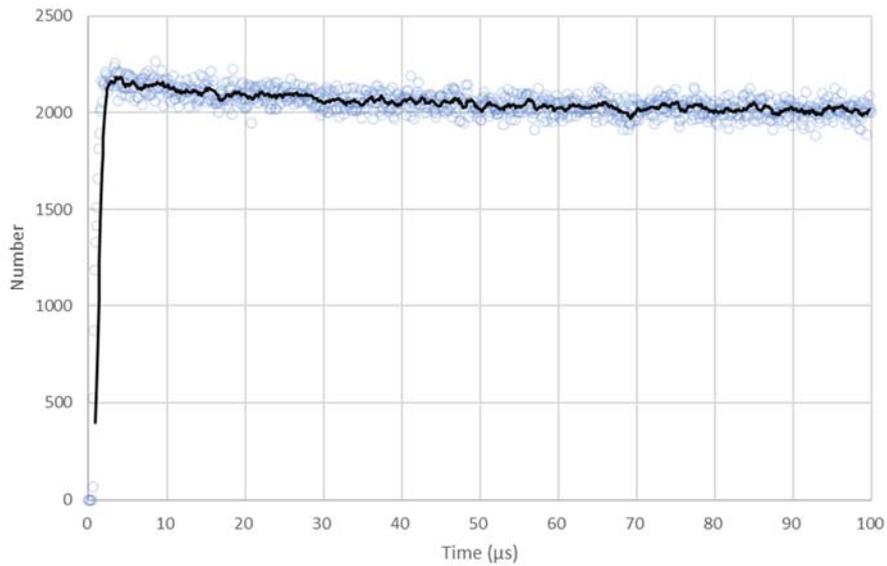


図 2.3.3-18 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布（0～100 μ s）

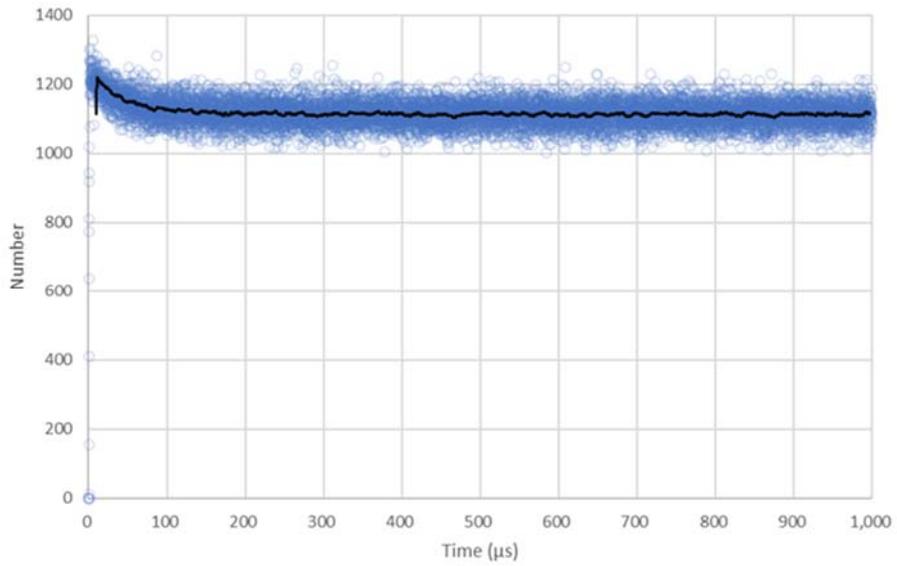


図 2.3.3-19 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

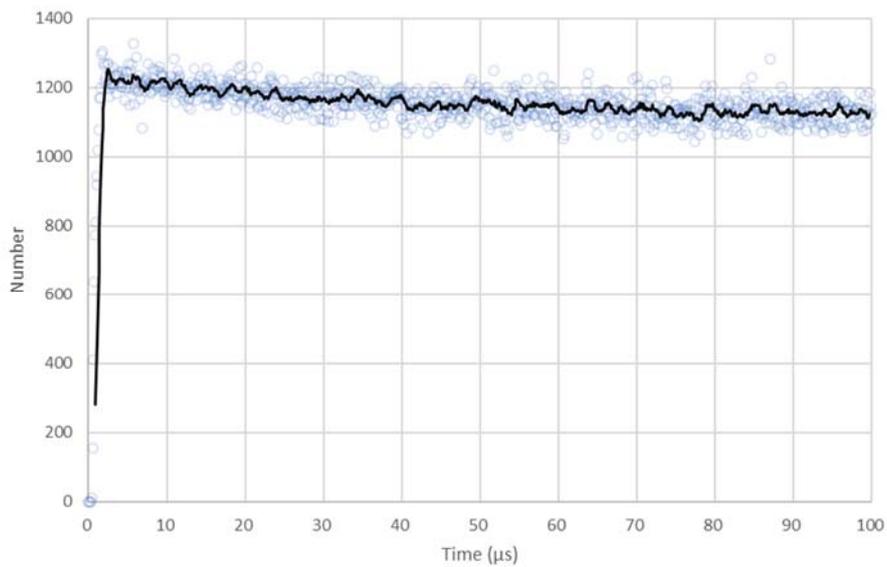


図 2.3.3-20 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

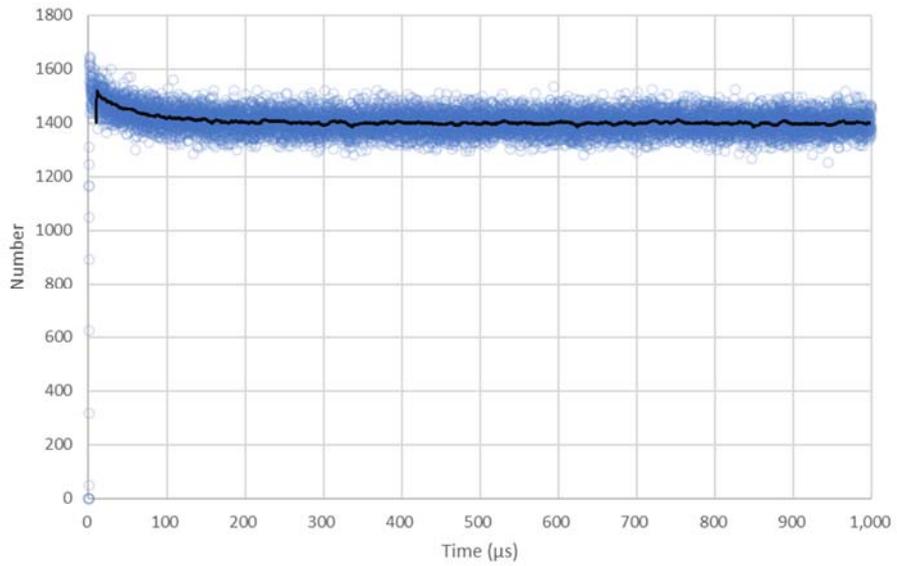


図 2.3.3-21 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

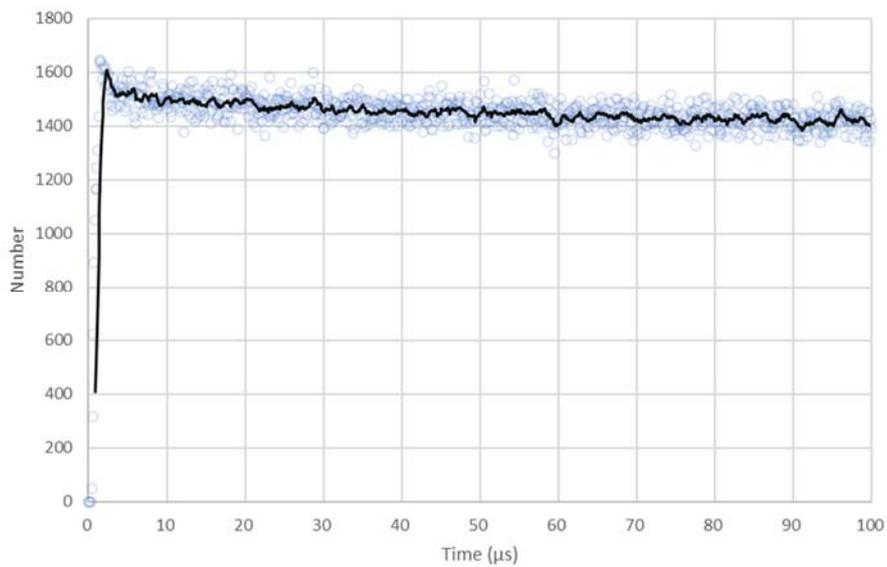


図 2.3.3-22 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

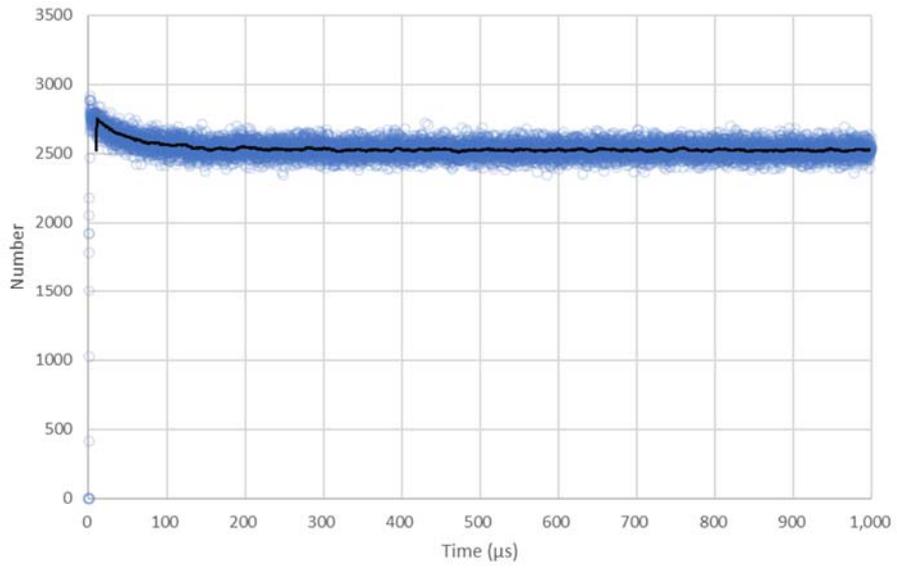


図 2.3.3-23 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

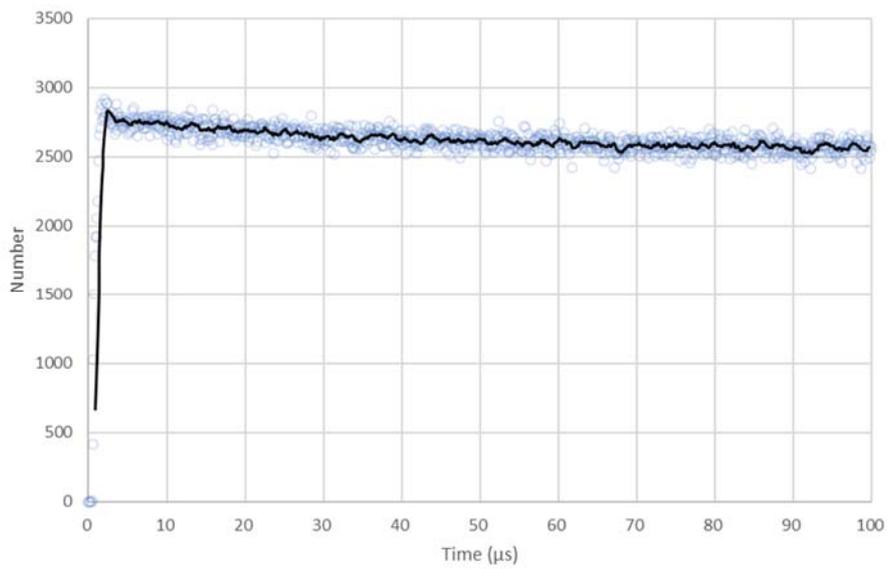


図 2.3.3-24 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

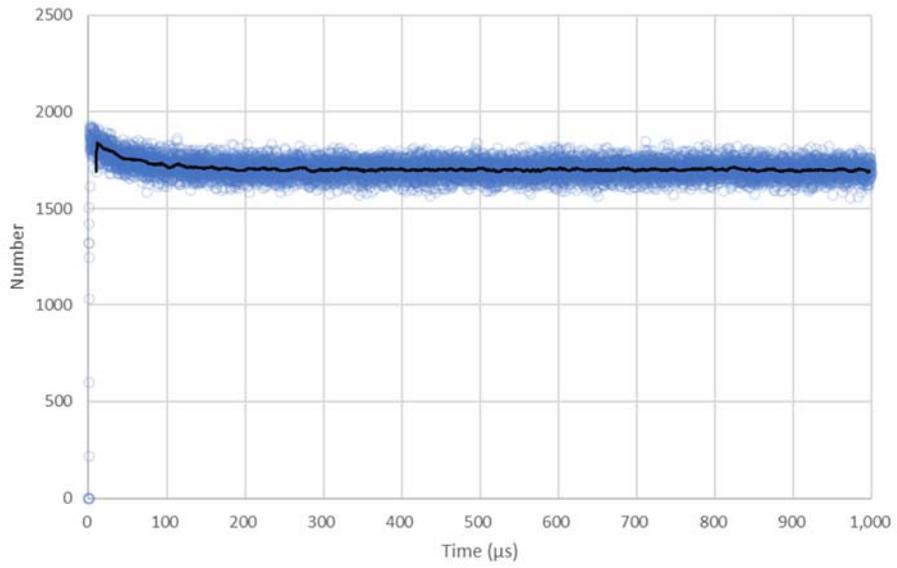


図 2.3.3-25 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

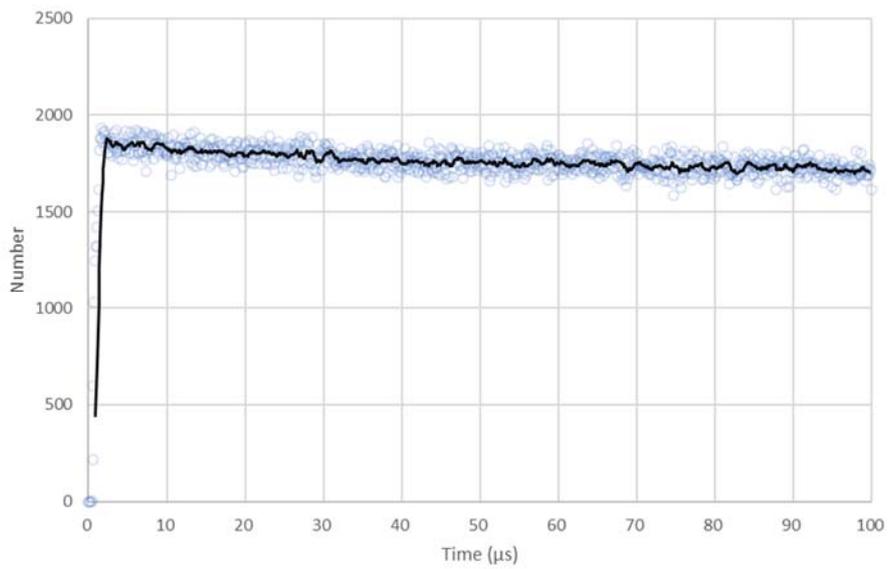


図 2.3.3-26 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

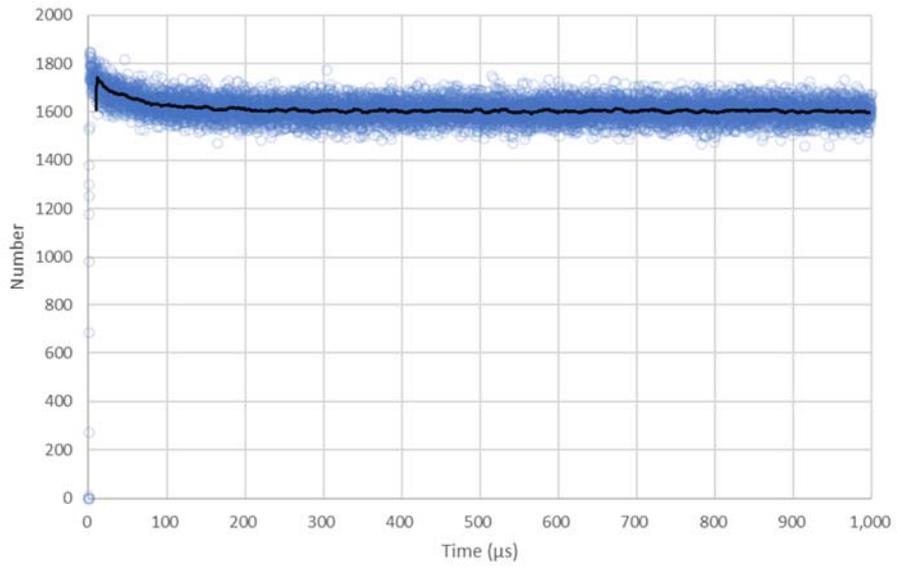


図 2.3.3-27 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

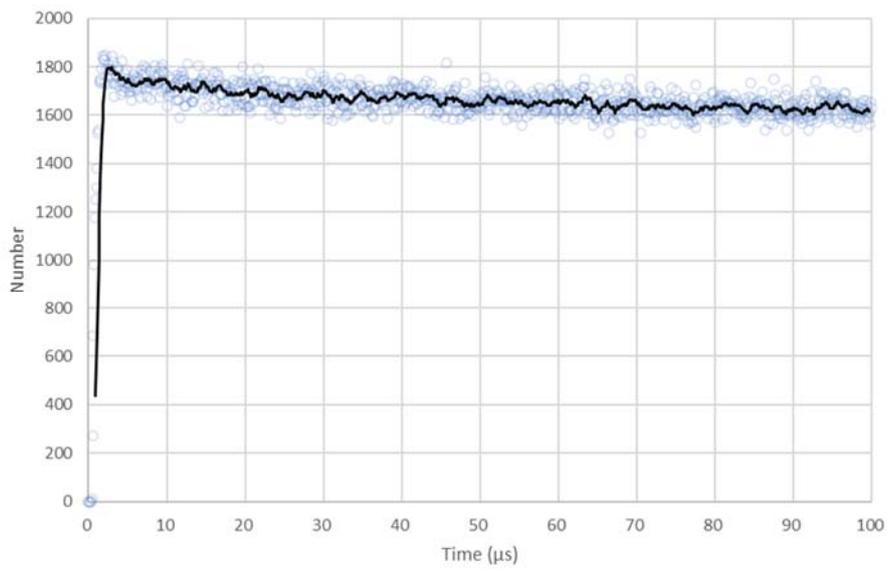


図 2.3.3-28 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

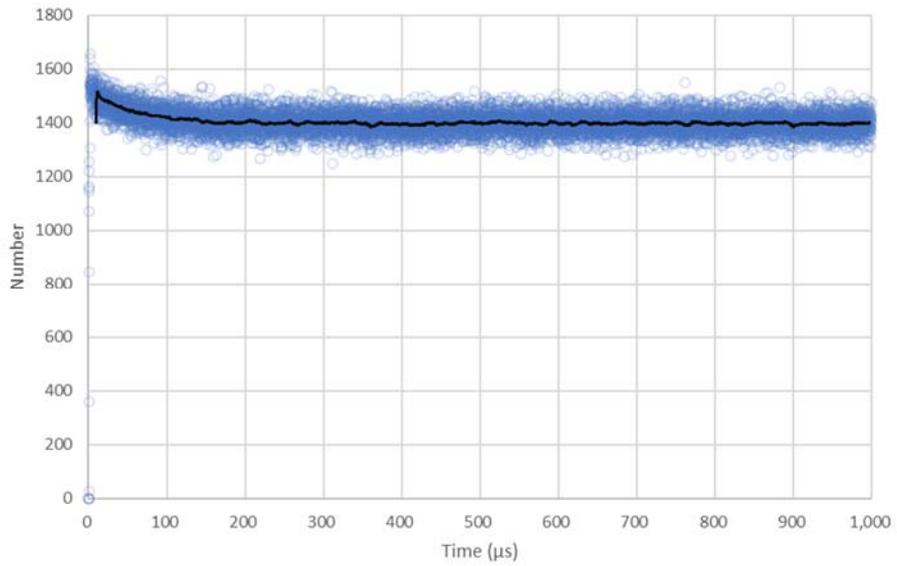


図 2.3.3-29 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

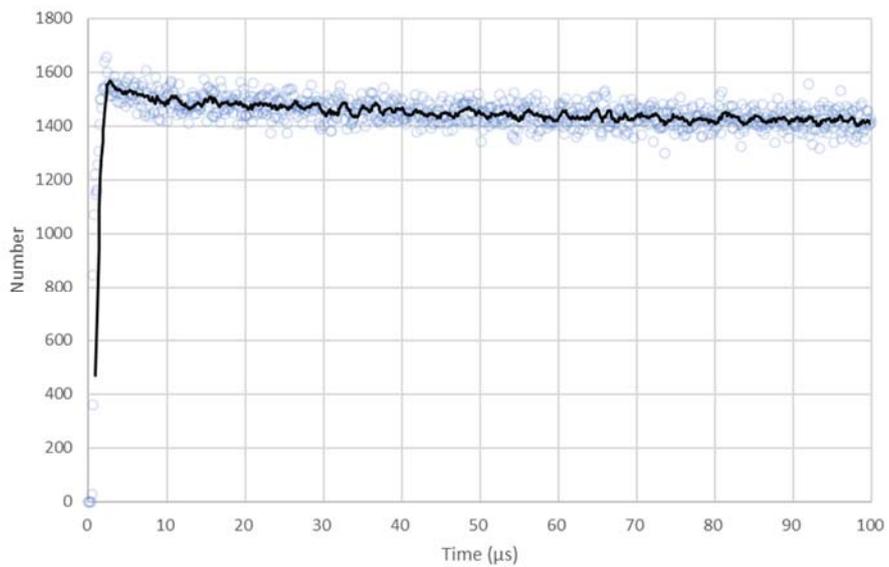


図 2.3.3-30 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

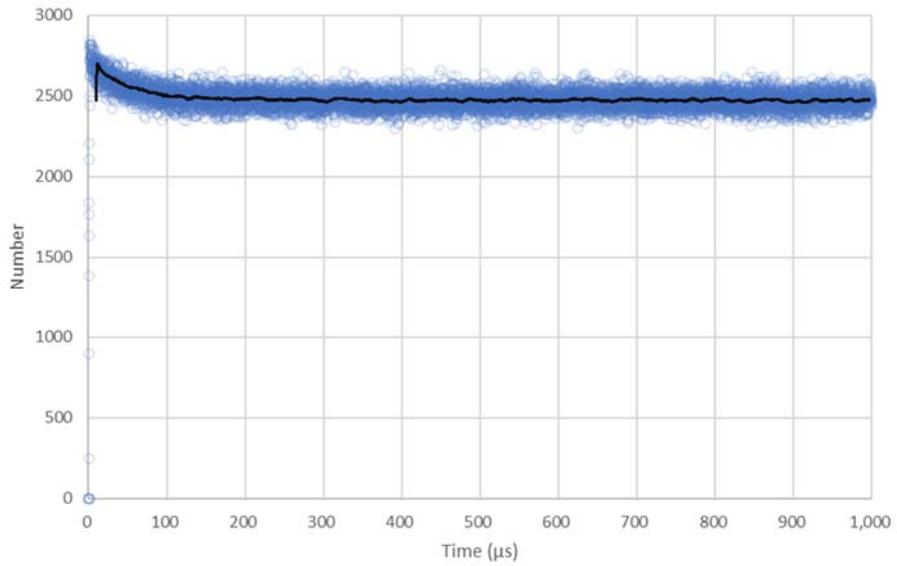


図 2.3.3-31 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

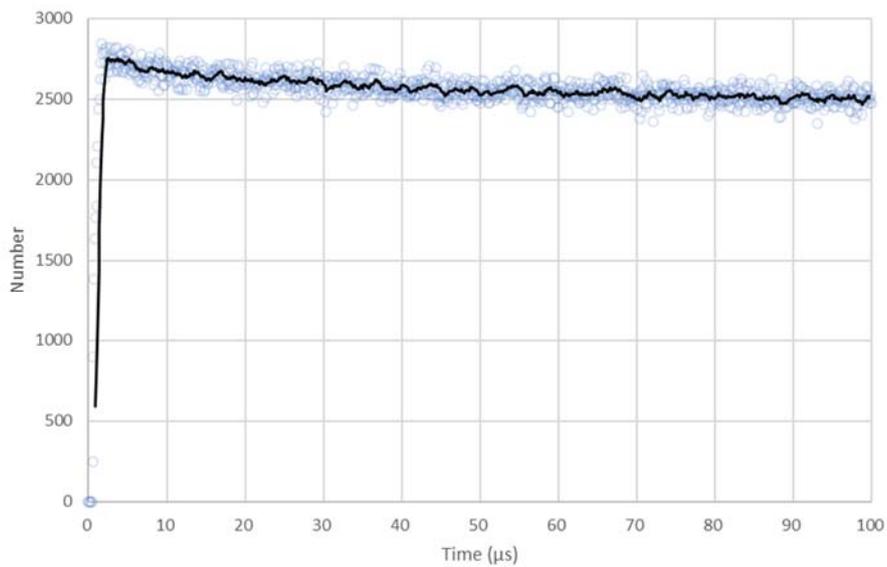


図 2.3.3-32 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

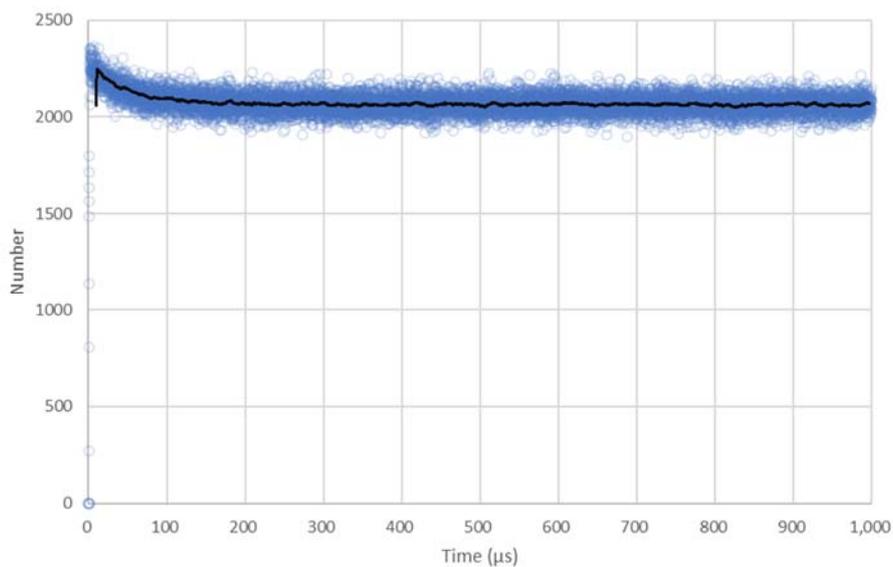


図 2.3.3-33 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

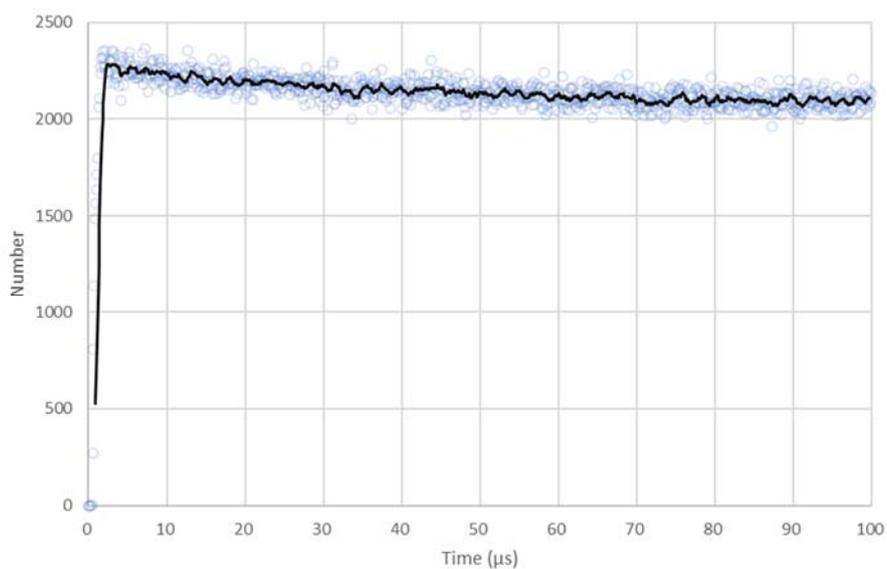


図 2.3.3-34 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

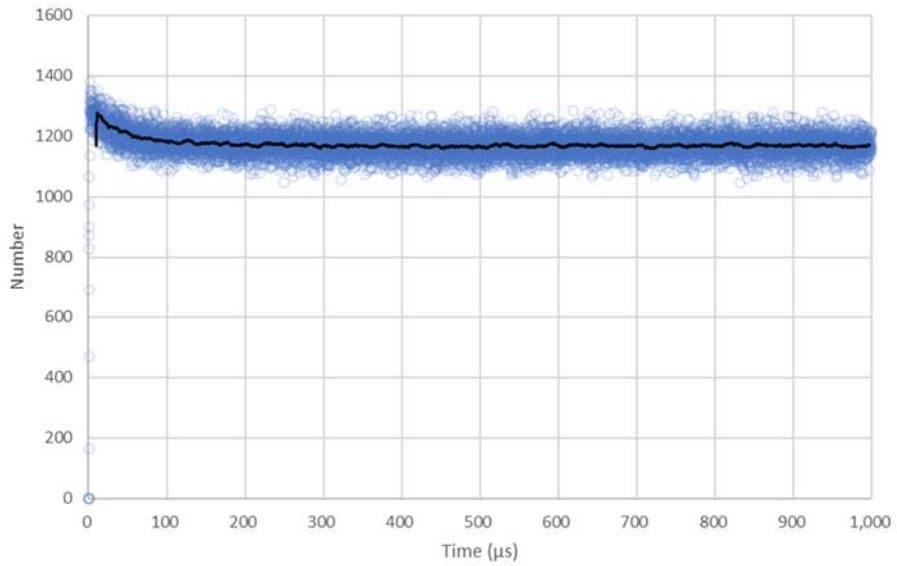


図 2.3.3-35 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

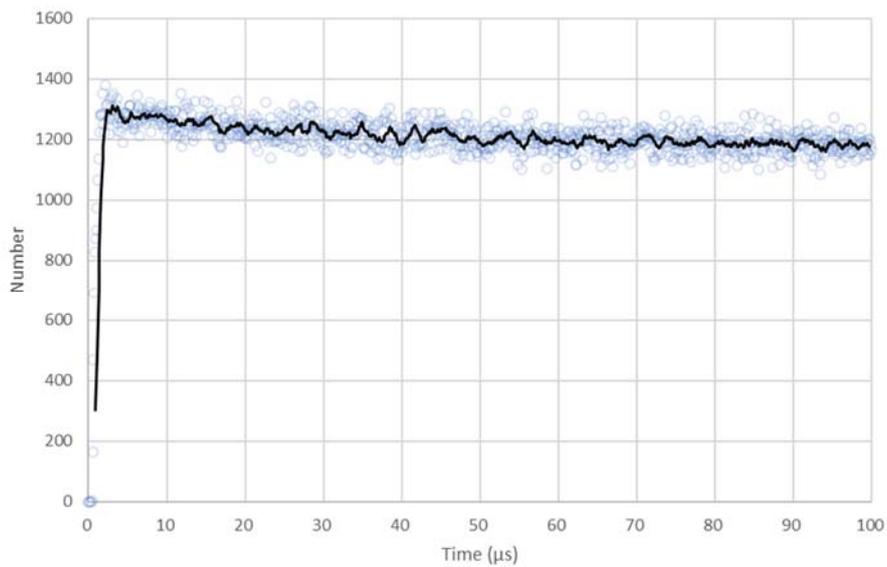


図 2.3.3-36 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

AFAS-P Top Fork 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-37～2.3.3-38 に示す。

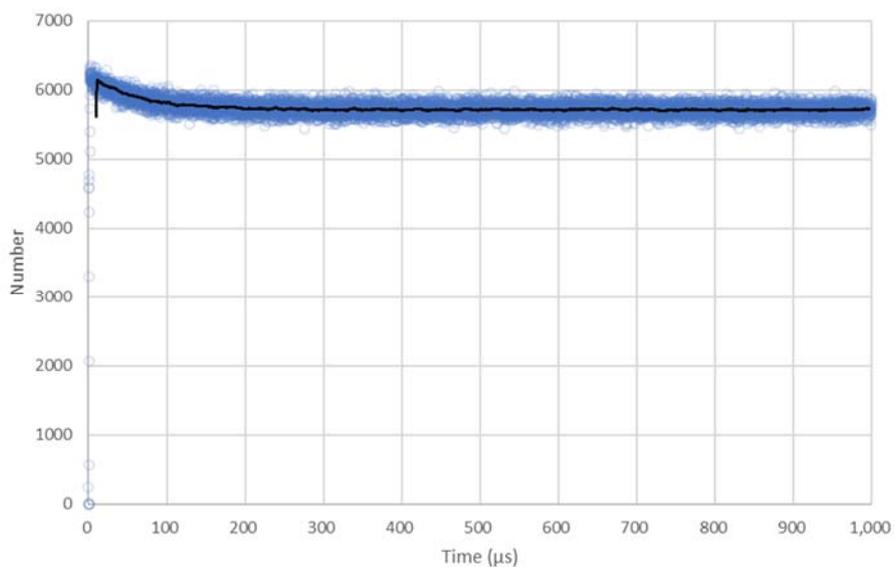


図 2.3.3-37 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

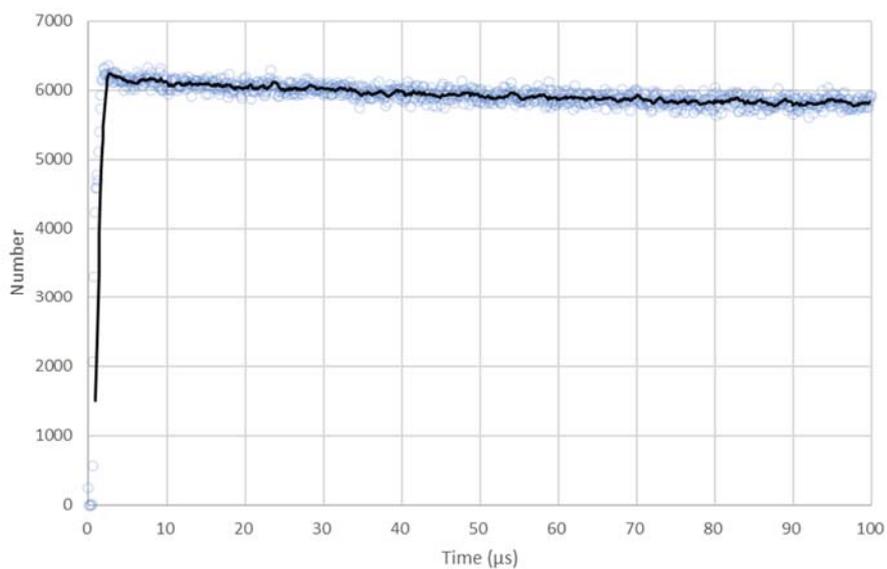


図 2.3.3-38 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布（0～100 μ s）

AFAS-P Bottom Fork 検出器の各アンプのパルス間隔分布評価結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.3.3-39～2.3.3-40 に示す。

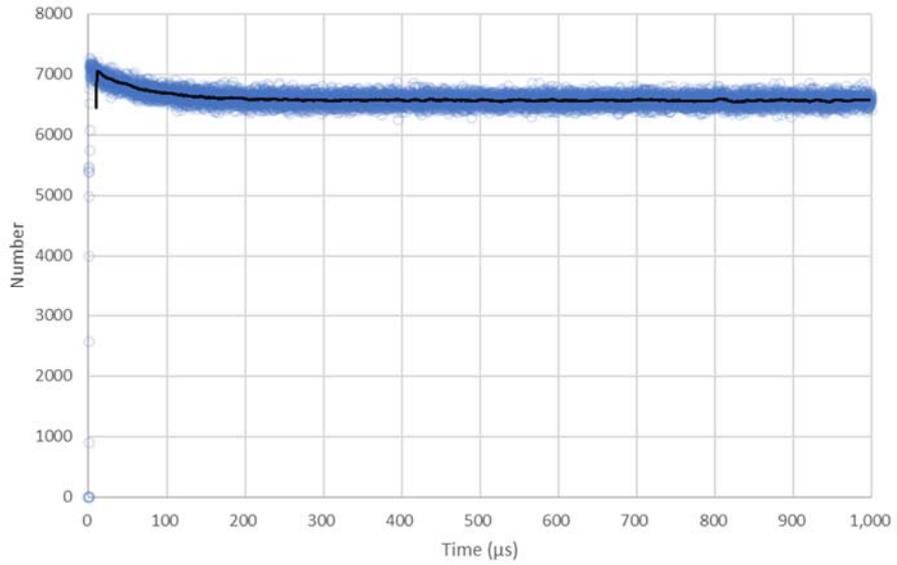


図 2.3.3-39 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布（0～1000 μ s）

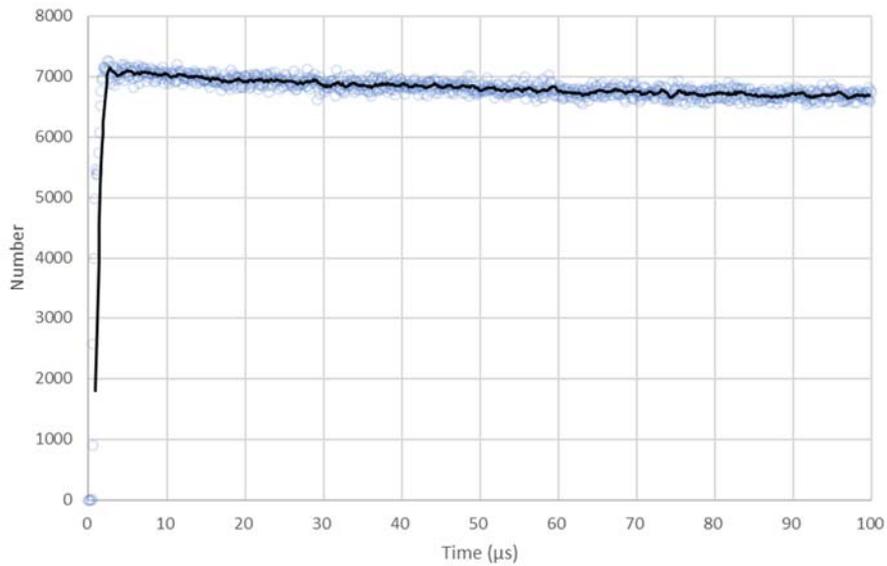


図 2.3.3-40 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布（0～100 μ s）

2.3.4 考察

LANL が 2017 年に実施した IPCA のアンプのパルス間隔分布評価^(*)12) では、15 個のアンプのうち数個に異常なパルス間隔分布が確認されている。IPCA において確認されたパルス間隔分布の例を図 2.3.4-1 及び図 2.3.4-2 に示す。なお、IPCA のパルス間隔分布評価は、AmLi 中性子線源を用いて実施されているため、²⁵²Cf 中性子線源を用いて評価した AFAS のパルス間隔分布とは異なる形状となっている。

AFAS の各アンプのパルス間隔分布は、いずれもほぼ同一の形状となり、IPCA においてみられたような異常なパルス間隔分布は確認されなかった。このことから、本評価時において AFAS に異常はなく、正常なパルス間隔分布が取得できたと考えられる。

今後、パルス間隔分布を定期的に取り得し、今回評価したパルス間隔分布と比較することで、装置の早期故障検知が可能になると考えられる。

*12 : LANL 報告書 Improved Plutonium Canister Assay System 2 Rotation Demonstration and Measurements (LA-CP-18-20017) (参考文献 5) 参照

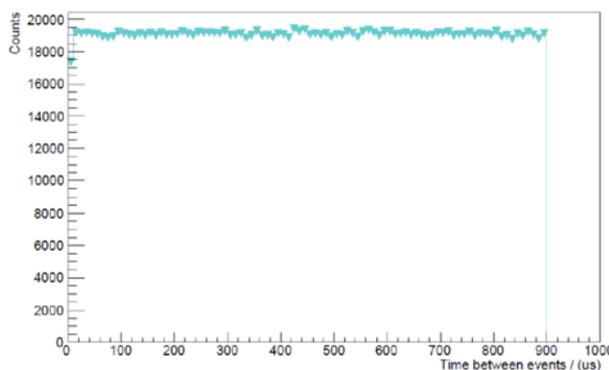


図 2.3.4-1 IPCA 正常なパルス間隔分布の例 (0~1000 μ s) (LA-CP-18-20017 より引用)

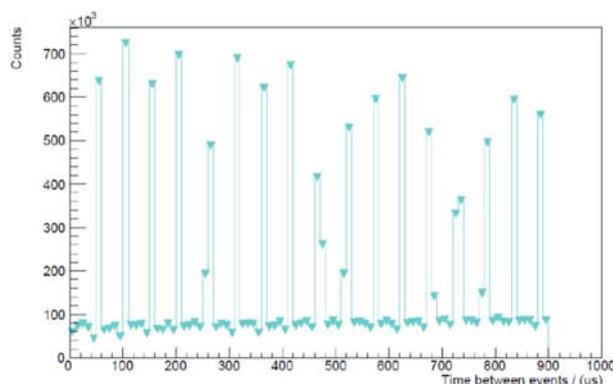


図 2.3.4-2 IPCA 異常なパルス間隔分布の例 (0~1000 μ s) (LA-CP-18-20017 より引用)

2.4 計数装置の性能確認試験

2.4.1 目的

IAEA が開発中の計数装置の性能を評価する。

2.4.2 方法

IAEA が開発中の計数装置 Multiplicity Counter Shift register（以下、「MCSR」という）（写真 2.4.2-1）の性能を評価するため、燃料集合体測定を実施し、AMSR を用いた測定結果との比較を実施する。

本試験は、AFAS-P の Top Fork 検出器及び Collar 検出器を用いて実施する。

測定する燃料集合体の仕様を 1.7 項の表 1.7-1 及び表 1.7-2 に示す。



写真 2.4.2-1 MCSR の外観

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① AFAS-P の Top Fork 検出器と Collar 検出器を試験用架台に設置する。
- ② 試験用架台を燃料集合体測定位置に設置する。
- ③ 各検出器に AMSR 及び MCSR を接続する。接続図を図 2.4.2-1 に示す。
- ④ 燃料集合体 (A、B または C) をクレーンで移動させ、図 2.4.2-2 に示す位置にセットする。
- ⑤ INCC ソフトウェア及び MCSR 測定用ソフトウェアを用いて測定を実施する。
測定条件を以下に示す。
 - ・測定時間^(*13) : 5 分 (30 秒×10 回)、10 分 (30 秒×20 回)、15 分 (30 秒×30 回)
 - ・取得する計数值 : Collar 検出器 : シングル値及びダブル値
Fork 検出器 : シングル値
- ⑥ 全ての燃料集合体について、④～⑥を実施する。
- ⑦ 各計数装置にて取得した各計数值を比較し、有意差の有無を確認する。

*13: AFAS の要求仕様書に記載されている J-MOX における AFAS の測定時間は 10 分

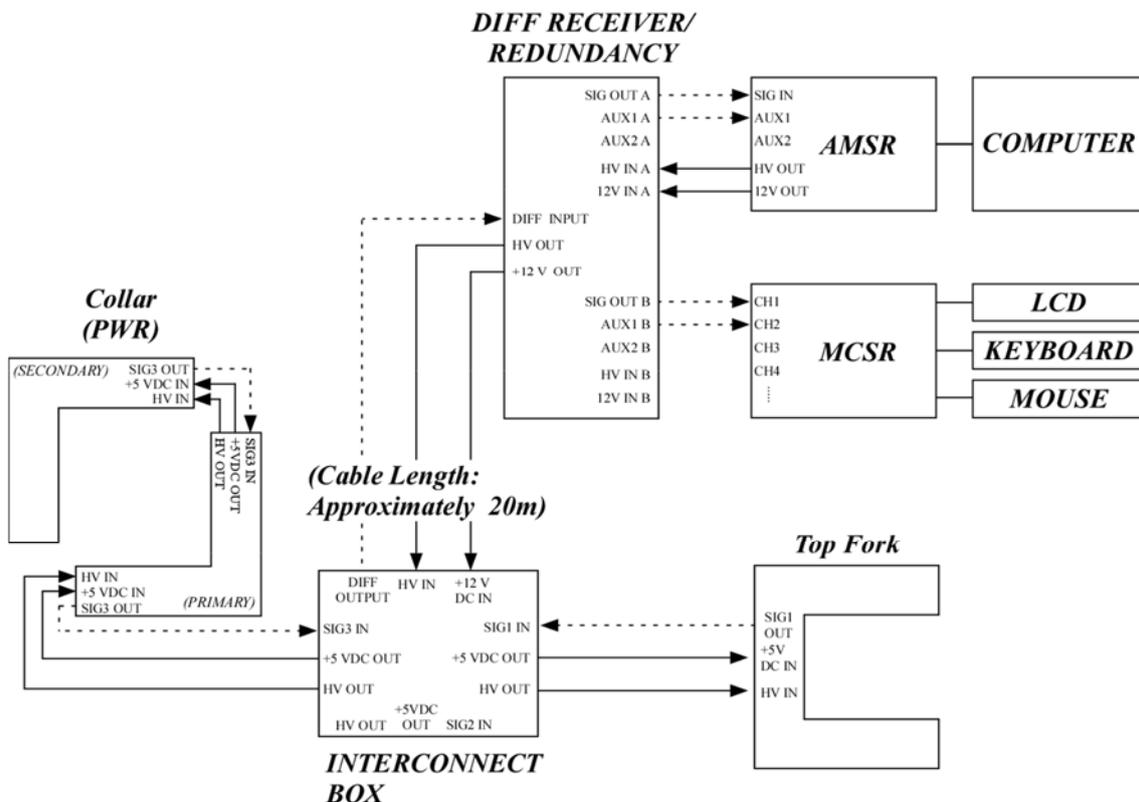


図 2.4.2-1 機器接続図

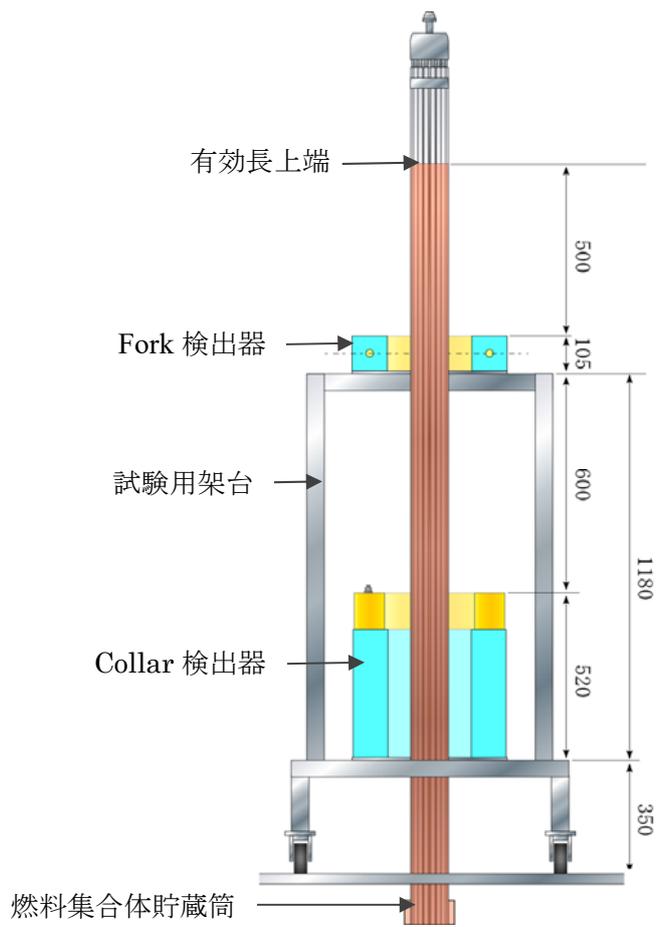


図 2.4.2-2 燃料集合体の測定位置

2.4.3 結果

Collar 検出器及び Fork 検出器にて燃料集合体 A、B 及び C を測定した結果を図 2.4.3-1～図 2.4.3-9 に示す。

AMSR と MCSR にて取得した各計数値（シングル値及びダブル値）は、各検出器ともに誤差（ 2σ ）の範囲で一致した。

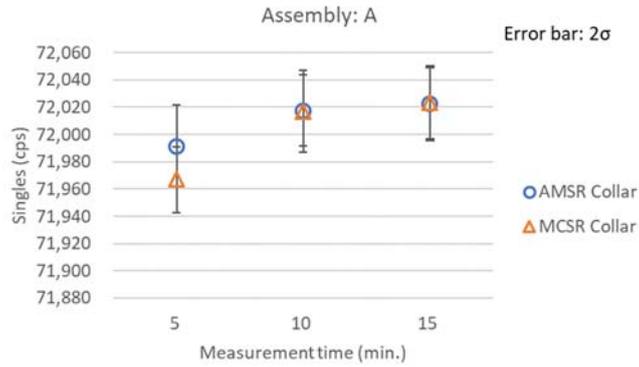


図 2.4.3-1 燃料集合体 A シングル値の比較 (Collar 検出器)

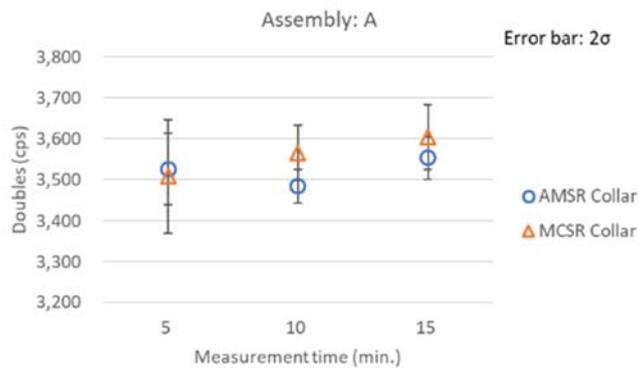


図 2.4.3-2 燃料集合体 A ダブル値の比較 (Collar 検出器)

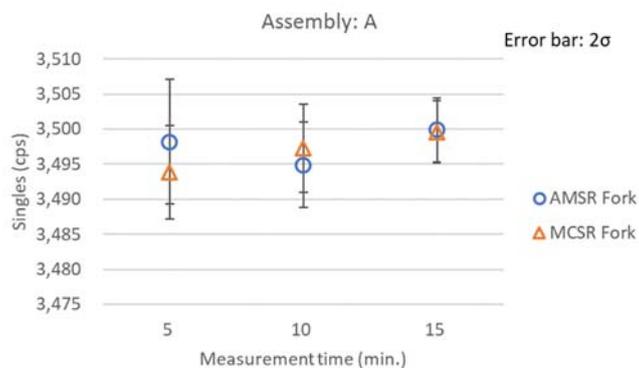


図 2.4.3-3 燃料集合体 A シングル値の比較 (Fork 検出器)

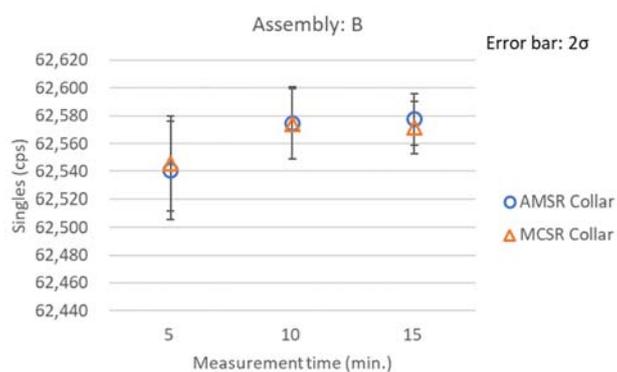


図 2.4.3-4 燃料集合体 B シングル値の比較 (Collar 検出器)

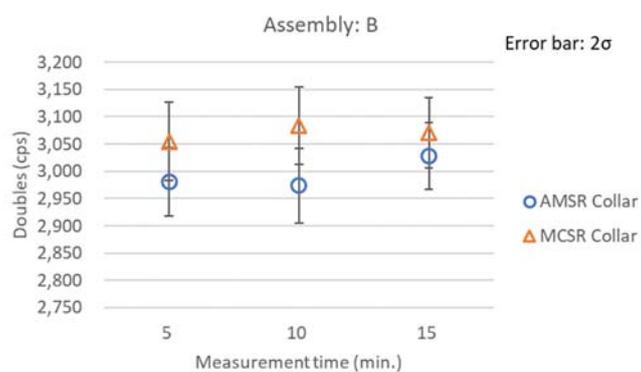


図 2.4.3-5 燃料集合体 B ダブル値の比較 (Collar 検出器)

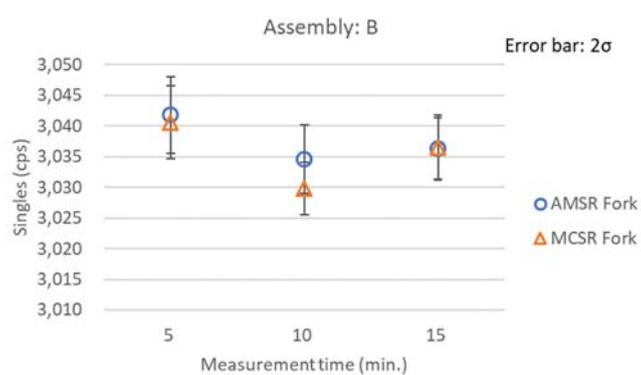


図 2.4.3-6 燃料集合体 B シングル値の比較 (Fork 検出器)

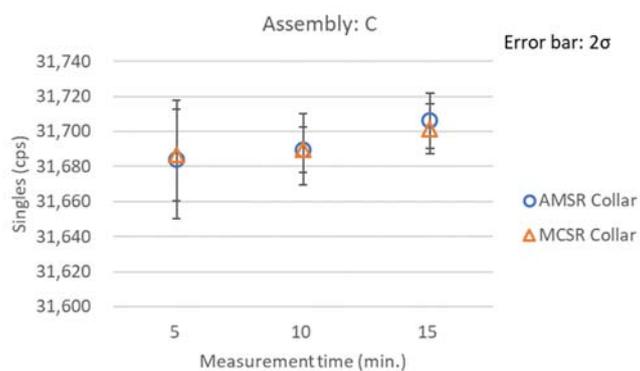


図 2.4.3-7 燃料集合体 C シングル値の比較 (Collar 検出器)

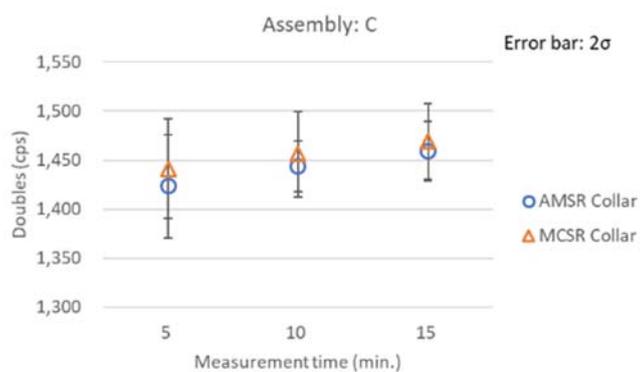


図 2.4.3-8 燃料集合体 C ダブル値の比較 (Collar 検出器)

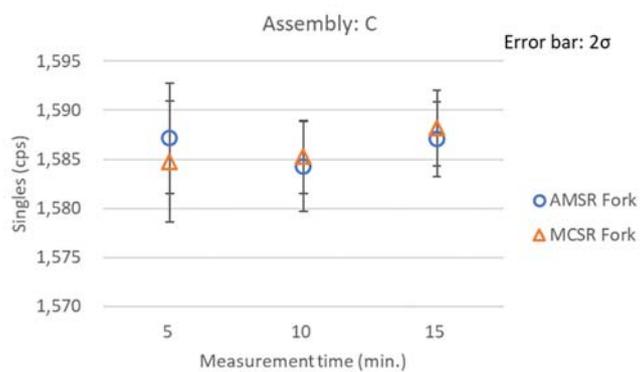


図 2.4.3-9 燃料集合体 C シングル値の比較 (Fork 検出器)

2.4.4 考察

AMSR と MCSR にて取得した各計数値は、各検出器ともに誤差 (2σ) の範囲で一致した。また、測定時間が同じ場合、その誤差もほぼ等しくなった。したがって、MCSR の性能は AMSR と同等であると考えられる。

3. AVIS の性能確認試験

3.1 バックグラウンドの影響評価に係る検討

3.1.1 目的

グローブボックス内におけるサンプル位置の変動に起因するバックグラウンドの変動^(*14)に伴う測定誤差を評価する。

*14: J-MOX における AVIS のバックグラウンド測定は、測定対象サンプルが AVIS 測定用グローブボックスに設置されている「試料専用容器」内に保管された状態で実施される。AVIS 測定用グローブボックスにおける AVIS、試料専用容器及び測定対象サンプルの設置状態を図 3.1.1-1 に、試料専用容器と AVIS キャビティ間の距離を図 3.1.1-2 に示す。バックグラウンド測定終了後、測定対象サンプルは AVIS のキャビティに移動され、測定が実施される。このため、厳密には、測定対象サンプル測定時のバックグラウンドは、取得されたバックグラウンドと異なり、これにより、Pu 量が過小評価される可能性がある。

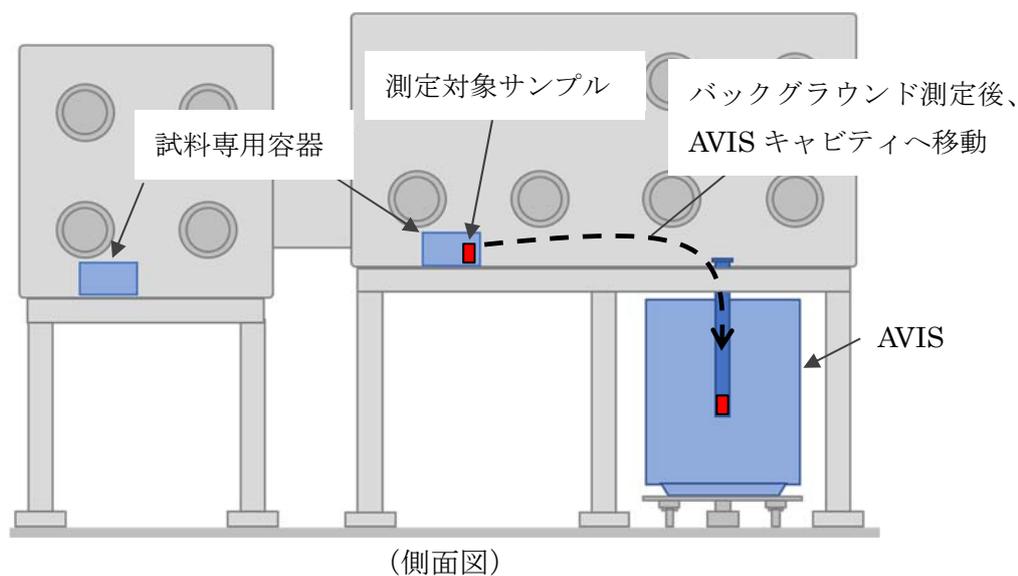
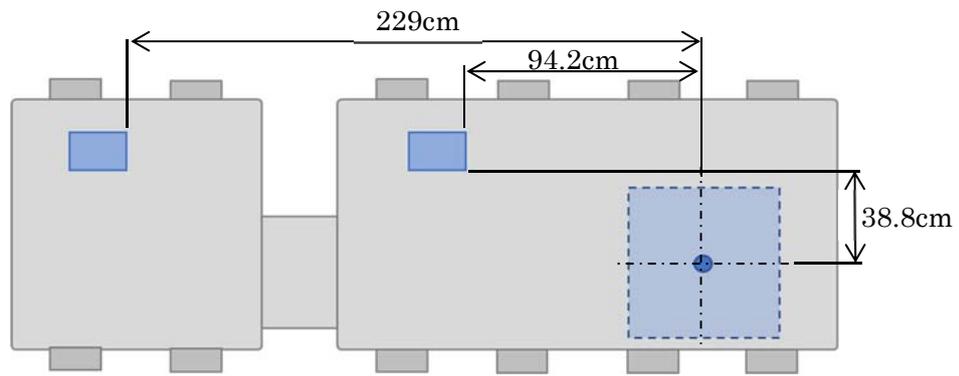


図 3.1.1-1 AVIS 測定用グローブボックスにおける AVIS、試料専用容器及び測定対象サンプルの設置状態



(平面図)

図 3.1.1-2 AVIS 測定用グローブボックスにおける試料専用容器と AVIS キャビティ間の距離

3.1.2 方法

3.1.1 に示した J-MOX における AVIS 測定状況を想定した測定を実際の MOX サンプルを用いて実施し、サンプル位置の変動に起因するバックグラウンドの変動が測定に与える影響を確認する。

本試験に使用する MOX サンプル (B、C 及び D) (*15) の仕様を 1.8 項の表 1.8-1 及び表 1.8-2 に示す。

*15 : IAEA User Requirements AVIS によると、J-MOX における AVIS 測定サンプルの Pu 量は、1~20g と想定されている。

詳細な手順を以下に示す。

- ① 写真 3.1.2-1 及び写真 3.1.2-2 に示す J-MOX における AVIS 測定用グローブボックスの底部を模擬した治具及びサンプルホルダーを図 3.1.2-1 に示すように AVIS 検出器上部に設置する。
- ② 10 分間のバックグラウンド測定を実施し、シングル値 S_{BG} 、ダブル値 D_{BG} 、トリプル値 T_{BG} を取得する。
- ③ 図 3.1.2-2 に示す位置に MOX サンプルを配置し、10 分間のバックグラウンド測定を行い、シングル値 S_{BGS} 、ダブル値 D_{BGS} 、トリプル値 T_{BGS} を取得する。
- ④ MOX サンプルを AVIS にセットし、15 分間*16 の測定を行い、シングル値 S 、ダブル値 D 、トリプル値 T を取得する。
- ⑤ ④にて取得した計数値 S 、 D 、 T より、②及び③にて取得したバックグラウンド計数値 S_{BG} 、 D_{BG} 、 T_{BG} 及び S_{BGS} 、 D_{BGS} 、 T_{BGS} を差し引き、それぞれの場合の Pu 量及び誤差を解析し比較する。
- ⑥ 全ての MOX サンプルについて、③~⑤を実施する。

*16 : IAEA User Requirements AVIS に記載されている J-MOX における AVIS の測定時間は 15 分



写真 3.1.2-1 J-MOX における AVIS 測定用グローブボックス底部を模擬した治具



写真 3.1.2-2 サンプルホルダー（拡大：サンプル収納部）

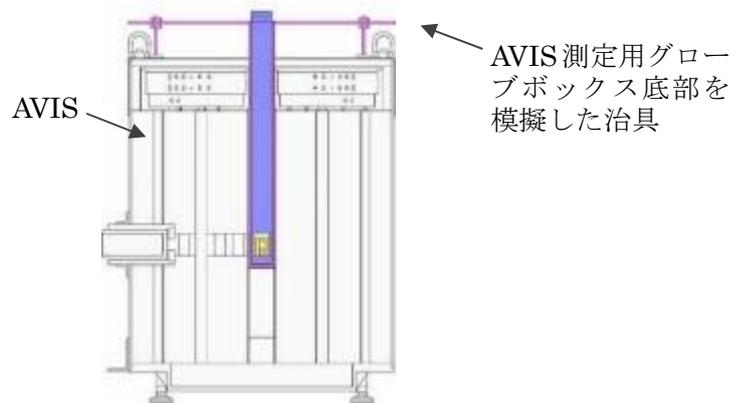


図 3.1.2-1 AVIS へのグローブボックス底部を模擬した治具の設置

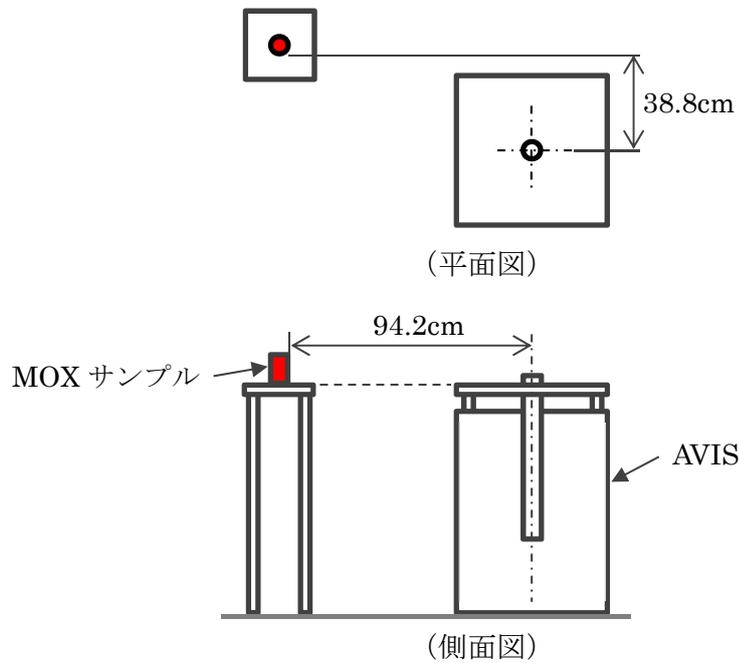


図 3.1.2-2 バックグラウンド測定時の MOX サンプル配置

3.1.3 結果

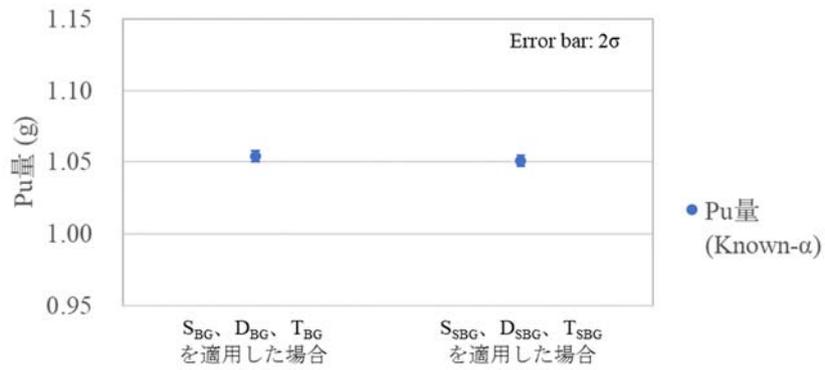
図 3.1.2-2 に示す AVIS 近傍のサンプル配置位置に各測定対象サンプル (B、C 及び D) を配置しなかった場合のバックグラウンド計数値 (S_{BG} 、 D_{BG} 、 T_{BG})、及び配置した場合のバックグラウンド計数値 (S_{BGS} 、 D_{BGS} 、 T_{BGS}) の測定結果を表 3.1.3-1 に示す。サンプルを配置した場合、バックグラウンドのシングル値は、いずれのサンプルの場合でも増加した。ダブル値及びトリプル値については、計数値が小さく且つ誤差が大きいため、明確な増加は確認できなかった。

次に、MOX サンプルを AVIS にセットし 15 分間の測定を行い、前述の各バックグラウンド計数値 (S_{BG} 、 D_{BG} 、 T_{BG}) 及び (S_{BGS} 、 D_{BGS} 、 T_{BGS}) をそれぞれ適用し、Pu 量及び誤差を解析した。解析には、「Known- α 法」及び「Multiplicity 法」の 2 種類の方法を用いた。適用したバックグラウンド計数値の違いによる Pu 量を各サンプル及び解析方法毎に比較した結果を図 3.1.3-1～図 3.1.3-6 に示す。

いずれのサンプル及び解析方法においても、各バックグラウンド計数値を用いて解析した各 Pu 量は、誤差 (2σ) の範囲で一致したが、Known- α 法により解析されたサンプル C 及び D の Pu 量は、バックグラウンド計数値 (S_{BGS} 、 D_{BGS} 、 T_{BGS}) を適用した場合の方が (S_{BG} 、 D_{BG} 、 T_{BG}) を適用した場合よりも約 0.3%低い値となった。サンプル B の Pu 量は、いずれのバックグラウンド計数値を適用した場合でもほぼ等しい値となった。また、Multiplicity 法により解析された Pu 量は、いずれもほぼ等しい値となった。

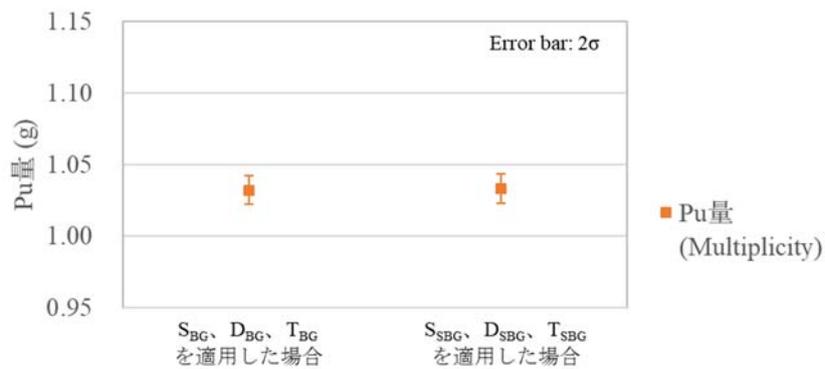
表 3.1.3-1 バックグラウンド測定結果

サンプル ID	Pu量 (g)	測定時間 (分)	AVIS近傍にサンプルを配置しなかった場合の計数値 (cps)						AVIS近傍にサンプルを配置した場合の計数値 (cps)					
			S_{BG}	σ (S_{BG})	D_{BG}	σ (D_{BG})	T_{BG}	σ (T_{BG})	S_{BGS}	σ (S_{BGS})	D_{BGS}	σ (D_{BGS})	T_{BGS}	σ (T_{BGS})
C	1	10	8.942	0.131	0.090	0.017	0.017	0.005	10.258	0.116	0.037	0.008	0.000	0.000
D	3	10	8.993	0.118	0.030	0.005	0.000	0.000	13.148	0.140	0.078	0.021	0.015	0.009
B	9	10	9.455	0.135	0.092	0.026	0.047	0.025	21.060	0.206	0.028	0.011	0.000	0.000



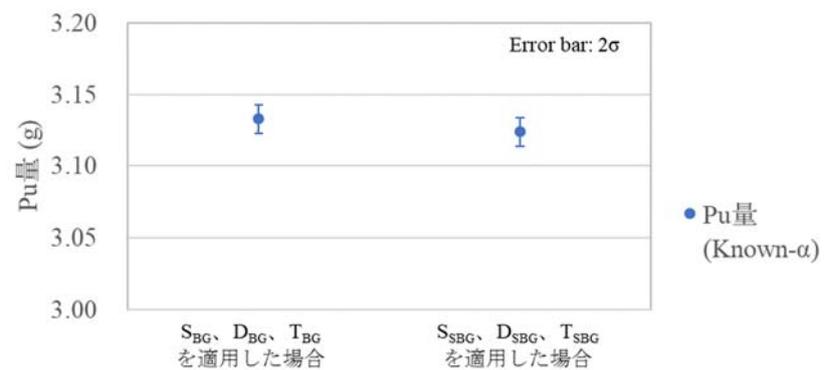
Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-1 サンプル C 解析結果 (Known- α 法)



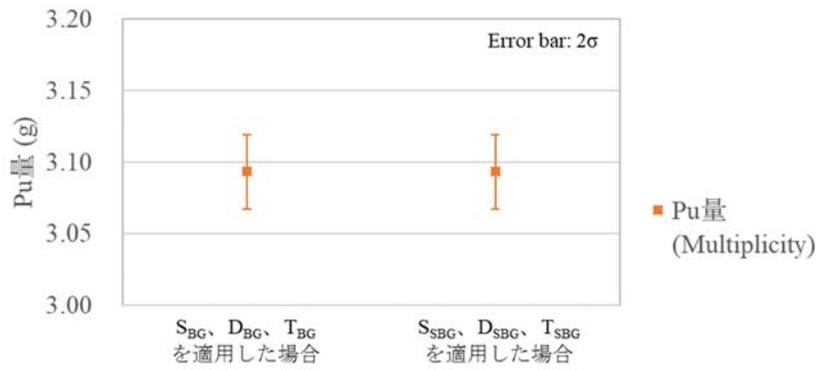
Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-2 サンプル C 解析結果 (Multiplicity 法)



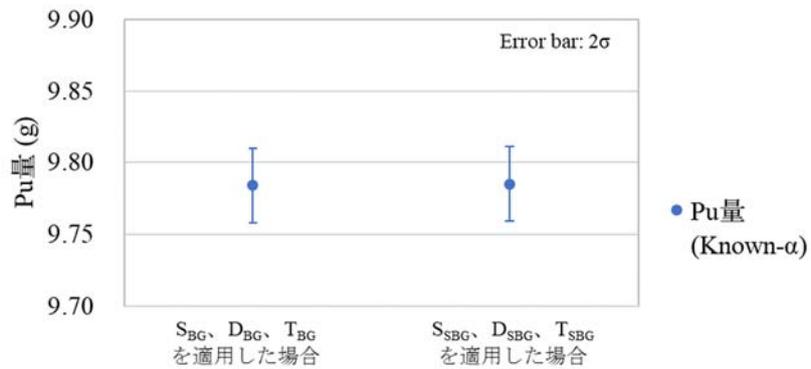
Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-3 サンプル D 解析結果 (Known- α)



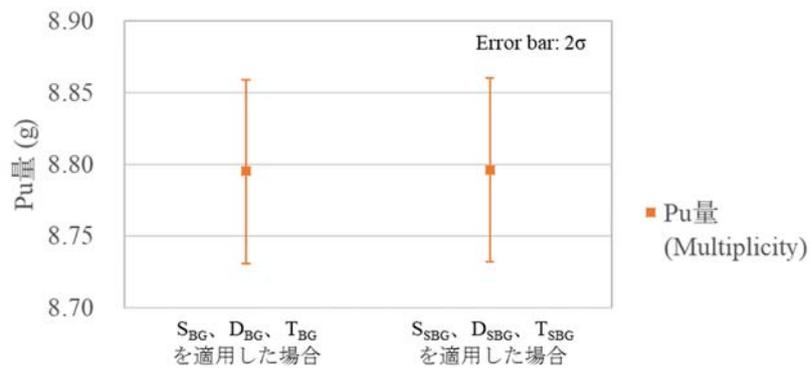
Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-4 サンプル D 解析結果 (Multiplicity 法)



Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-5 サンプル B 解析結果 (Known-α)



Pu量解析に適用したバックグラウンド計数値

図 3.1.3-6 サンプル B 解析結果 (Multiplicity 法)

3.1.4 考察

Known- α 法及びMultiplicity法いずれの解析方法においても各Pu量は誤差 (2σ) の範囲で一致しており、有意な差は確認されなかった。したがって、本測定条件においては、サンプル位置の変動に起因するバックグラウンドの変動が測定に与える影響は無視できる程度であると考えられる。なお、J-MOXにおける実際の測定環境では、バックグラウンド測定時、AVIS測定対象サンプルは厚さ16mmのSUS製容器内に保管されるため、測定に与える影響は更に減少すると推測される。

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精度評価

3.2.1 目的

ゲルマニウム検出器を AVIS の試料収納部の下部に配置した際の測定精度^(*17)を評価する。

*17：平成 24 年度に JAEA が実施した性能確認試験^(*18)の結果、AVIS のゲルマニウム検出器の測定精度は、IAEA の要求仕様（測定時間 15 分における $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度：2%以下）を満たしていないことがわかっている。

本原因のひとつに、現状のゲルマニウム検出器は、図 3.2.2-1 の左図に示すように AVIS の側面に配置されていることから、サンプルと検出器間の距離が約 22cm と長いために、所定の測定時間では要求精度を満たすための十分な統計量が得られないことが挙げられる。（本距離は、ゲルマニウム検出器と AVIS の ^3He 比例計数管が干渉するため、これ以上短縮できない）そのため、本問題を解決するための一案として、図 3.2.2-1 の右図に示すようにゲルマニウム検出器をキャビティの下部に配置し、サンプルとゲルマニウム検出器の距離を短縮することが考えられる。

*18：平成 24 年度性能確認試験報告書（参考文献 6）参照

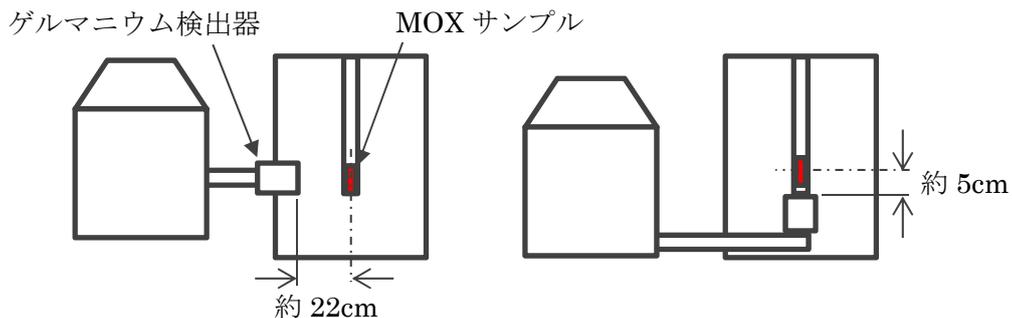


図 3.2.2-1 ゲルマニウム検出器の配置位置とサンプルとの距離

3.2.2 方法

ゲルマニウム検出器を検出器キャビティの下部に配置した際の測定精度をモンテカルロシミュレーションコード (MCNPX) を用いて評価する。

詳細な手順を以下に示す。

- ① AVIS の中性子検出器、ゲルマニウム検出器及び MOX サンプルのシミュレーションモデルを作成する。作成したシミュレーションモデルの妥当性を確認するため、実測定とシミュレーションの結果を比較する。比較対象は、AVIS を用いた測定において得られるプルトニウム同位体組成比、アメリシウム含有率、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比とする。なお、実測定については新たに実施せず、過去に実施した表 3.2.2-1 に示す MOX サンプルを使用した精度の高い測定試験結果にて代替する。
- ② ①にて作成したシミュレーションモデルを用いたシミュレーションを実施し、図 3.2.2.-1 に示すようにゲルマニウム検出器を中性子検出器の側面に配置した場合とキャビティ下部に設置した場合の $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の誤差を評価する。

表 3.2.2-1 MOX サンプルの情報

性状	Pu 量 (g)	^{238}Pu (%)	^{239}Pu (%)	^{240}Pu (%)	^{241}Pu (%)	^{242}Pu (%)	^{241}Am (%)	崩壊計算日
ペレット	3.34	1.324	62.278	26.988	4.117	5.293	6.193	2012/10/3

3.2.3 結果

① シミュレーションモデルの妥当性確認

AVIS の実測定を模擬したシミュレーションモデルを作成した。本モデルについては、LANL が AVIS の設計及び性能確認を行う際に使用したシミュレーションモデルを修正することにより作成した。作成したシミュレーションモデルを図 3.2.3-1 に示す。

本モデルの妥当性を確認するため、実測定とシミュレーションにより得られたプルトニウム同位体組成比、アメリシウム含有率、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比をそれぞれ比較した。比較結果を図 3.2.3-2～3.2.3-9 に示す。実測定とシミュレーションの結果は誤差 (2σ) の範囲で一致した。なお、図中に示した実測定については 50 分間の測定を 9 回繰り返した結果をそれぞれの誤差で加重平均した値であり、シミュレーションについては 50 分間の測定を模擬したときの値である。

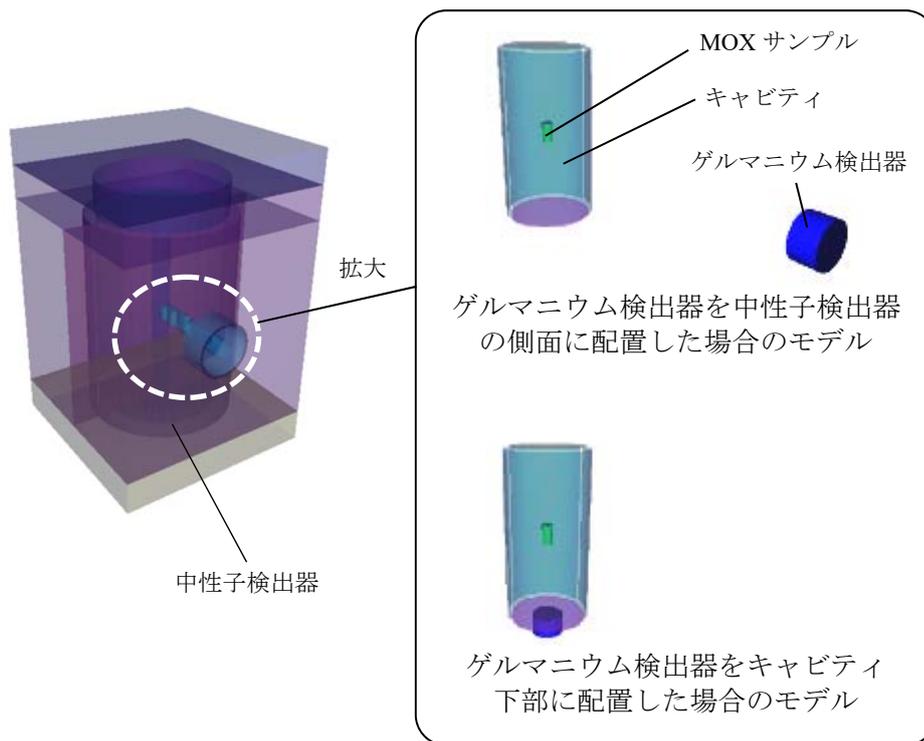


図 3.2.3-1 AVIS シミュレーションモデル

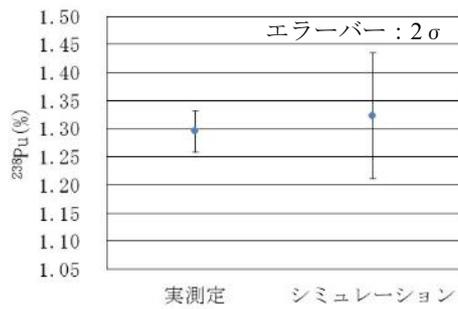


図 3.2.3-2 ^{238}Pu (%)の比較

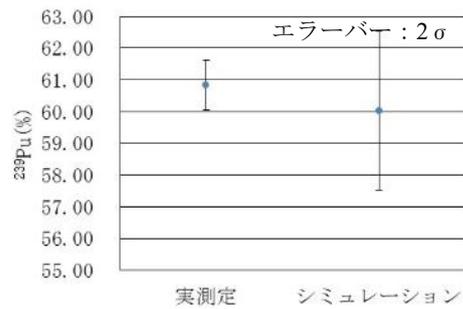


図 3.2.3-3 ^{239}Pu (%)の比較

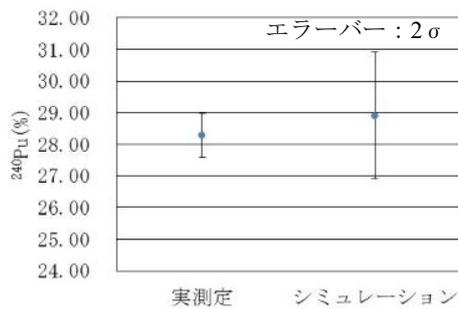


図 3.2.3-4 ^{240}Pu (%)の比較

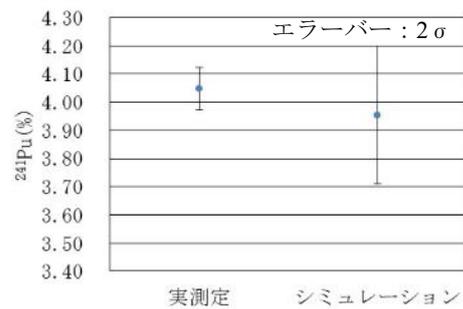


図 3.2.3-5 ^{241}Pu (%)の比較

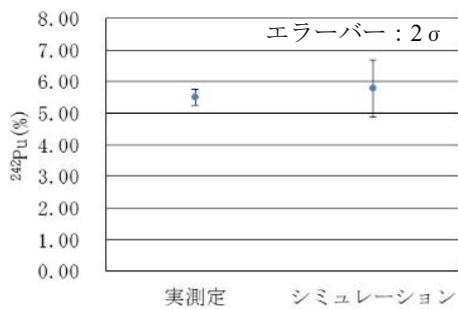


図 3.2.3-6 ^{242}Pu (%)の比較

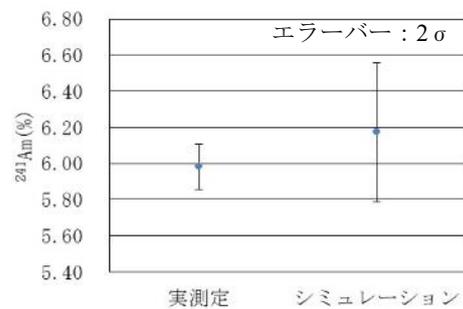


図 3.2.3-7 ^{241}Am (%)の比較

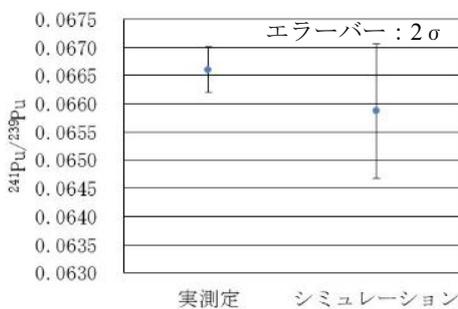


図 3.2.3-8 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の比較

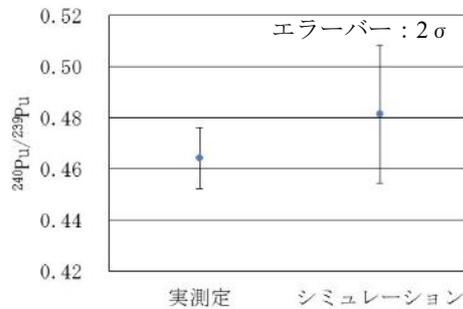


図 3.2.3-9 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ の比較

② シミュレーションによる $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度の確認

①で作成したシミュレーションモデルを用いて、AVIS の要求仕様書記載の測定時間 15 分における $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度を求めた。結果を表 3.2.3-1 に示す。ゲルマニウム検出器をキャビティ下部に配置した場合は、中性子検出器の側面に配置した場合と比較して $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比ともに測定精度が向上した。また、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比については要求精度 2%未満を満たしたものの、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比については満たさなかった。

表 3.2.3-1 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比のシミュレーション結果

ゲルマニウム 検出器の配置位置	$^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$			$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$		
	同位体比	σ	%RSD	同位体比	σ	%RSD
中性子検出器側面	0.066	0.001	1.658	0.482	0.025	5.118
キャビティ下部	0.066	0.000	0.573	0.451	0.010	2.315

3.2.4 考察

① シミュレーションモデルの妥当性確認

実測定とシミュレーションにより得られたプルトニウム同位体組成比、アメリカシウム含有率、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比は、それぞれ誤差 (2σ) の範囲で一致したため、シミュレーションモデルは妥当であると考えられる。

③ シミュレーションによる $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度の確認

ゲルマニウム検出器をキャビティ下部に配置した場合においても、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度については要求精度 2%未満を満たさなかった。これは、表 3.2.4-1 に示す通り、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の計算に用いられた ^{240}Pu の同位体組成比の測定精度が低かったためである。この原因は、 ^{240}Pu の同位体組成比の解析に使用されるガンマ線のエネルギーの数が一つと少なく、かつ、ピーク面積が小さいためであると考えられる。参考として、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 及び ^{241}Pu の同位体組成比の解析に使用されたガンマ線のエネルギーとピーク面積の一覧を添付資料に示す。

なお、本試験は、AVIS を用いて 3.34g-Pu を含有する MOX サンプルを測定した場合の結果であるが、J-MOX においては、最小で 1g-Pu の MOX サンプルを測定することが想定されており、この場合、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度は、表 3.2.3-1 に示したものよりも低くなり、IAEA の要求仕様を満たすことがより一層困難になると考えられる。

表 3.2.4-1 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の計算に用いられた
プルトニウム同位体組成比のシミュレーション結果

同位体	組成比 (%)	σ	%RSD
^{239}Pu	61.511	0.350	0.569
^{240}Pu	27.744	0.320	1.153
^{241}Pu	4.054	0.034	0.839

3.3. パルス間隔分布の評価

3.3.1 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。

3.3.2 方法

検出器の故障検知に資するため、リストモジュール (PTR-32HV) を用いて ^{252}Cf 中性子線源測定試験を実施し、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。

AVIS の中性子検出器のアンプ数及び配置図を表 3.3.2-1 及び図 3.3.2-1 に示す。

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① 線源固定治具を用いて、1.6 項の表 1.6 に示す ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) 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。

表 3.3.2-1 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

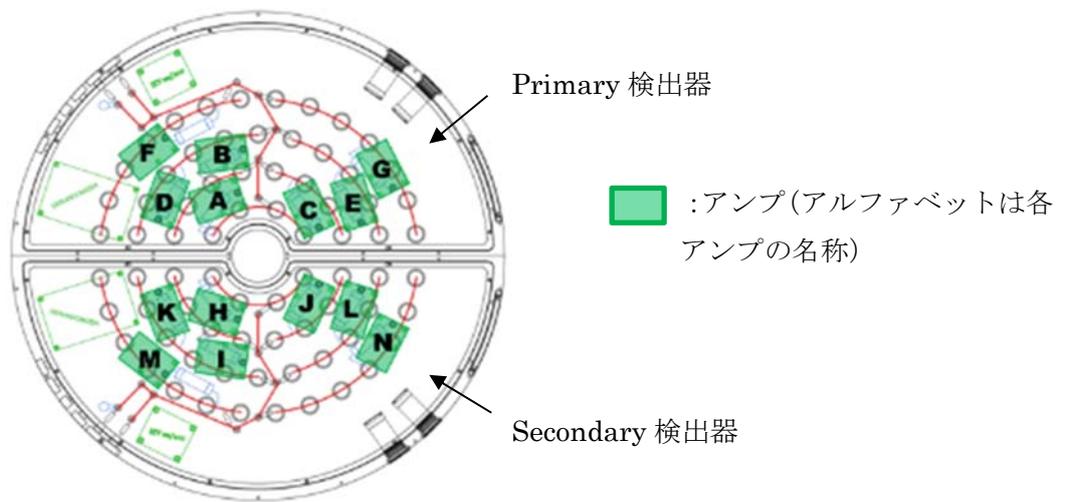


図 3.3.2-1 AVIS のアンプ配置図

3.3.3 結果

AVIS の各アンプのパルス間隔分布評価結果 (0~1000 μ s 及び 0~100 μ s の分布) を図 3.3.3-1~3.3.3-28 に示す。

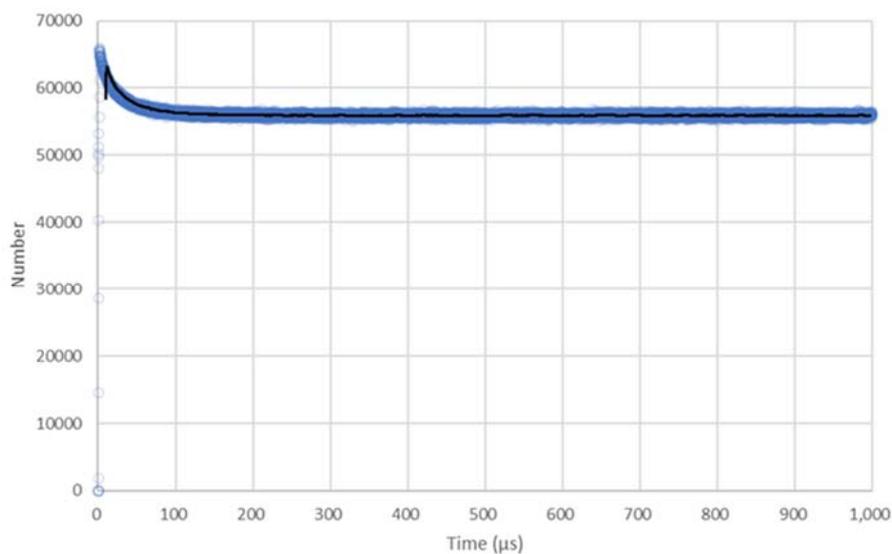


図 3.3.3-1 アンプ A のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

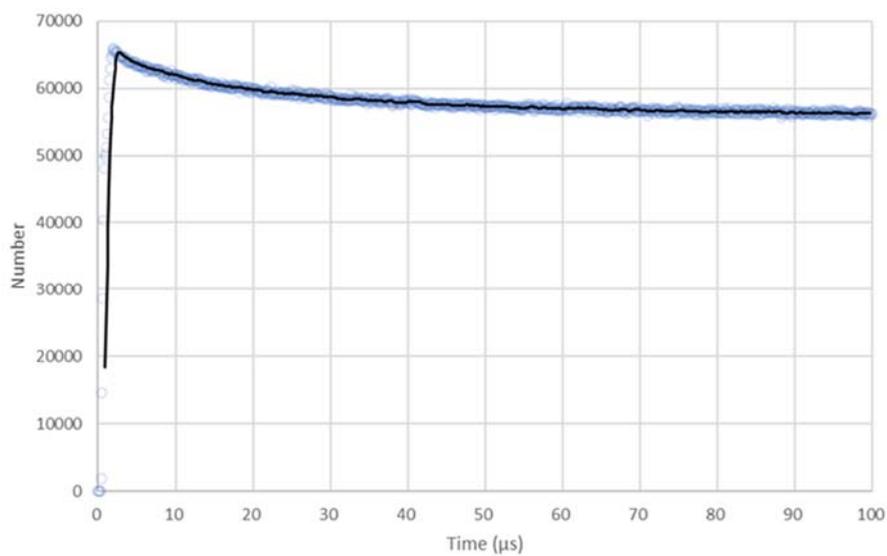


図 3.3.3-2 アンプ A のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

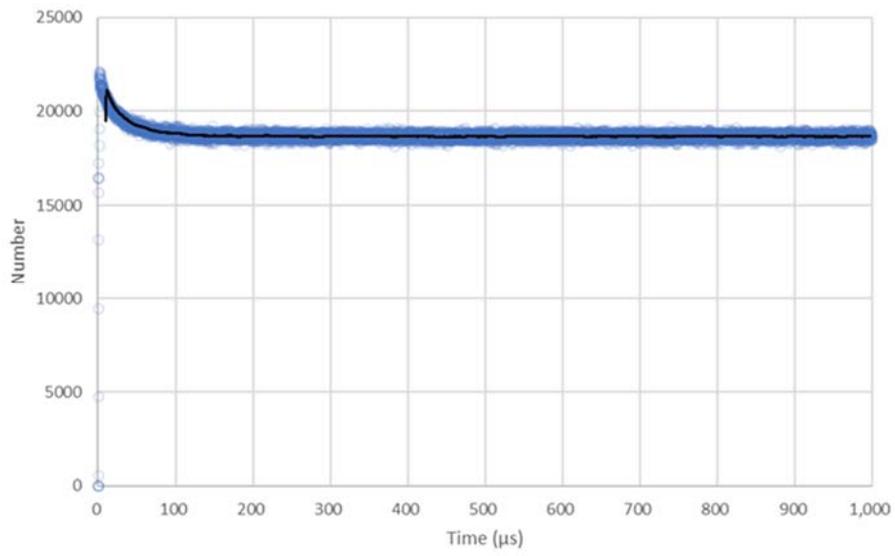


図 3.3.3-3 アンプ B のパルス間隔分布 (0~1000μs)

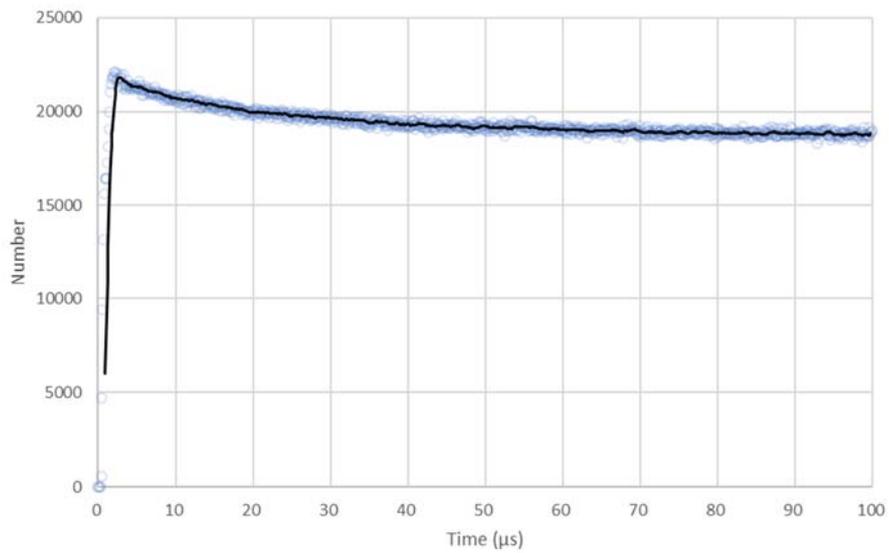


図 3.3.3-4 アンプ B のパルス間隔分布 (0~100μs)

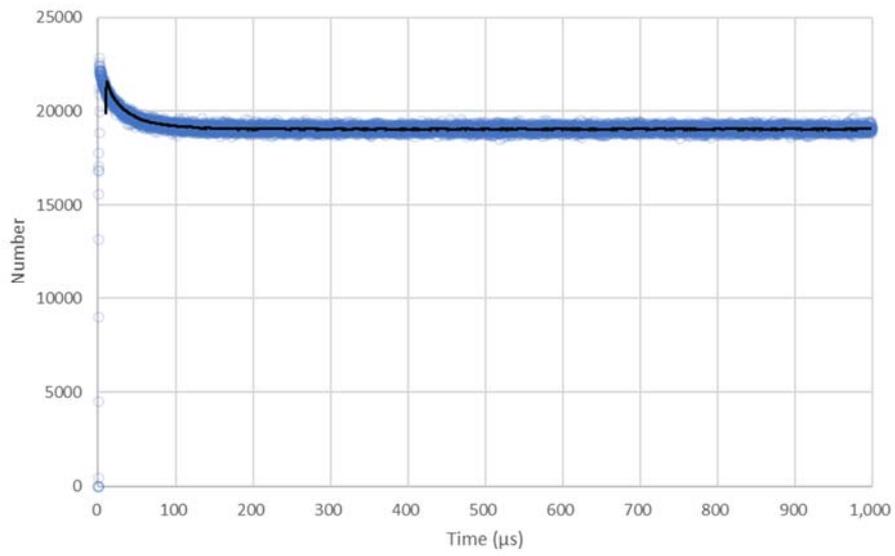


図 3.3.3-5 アンプ C のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

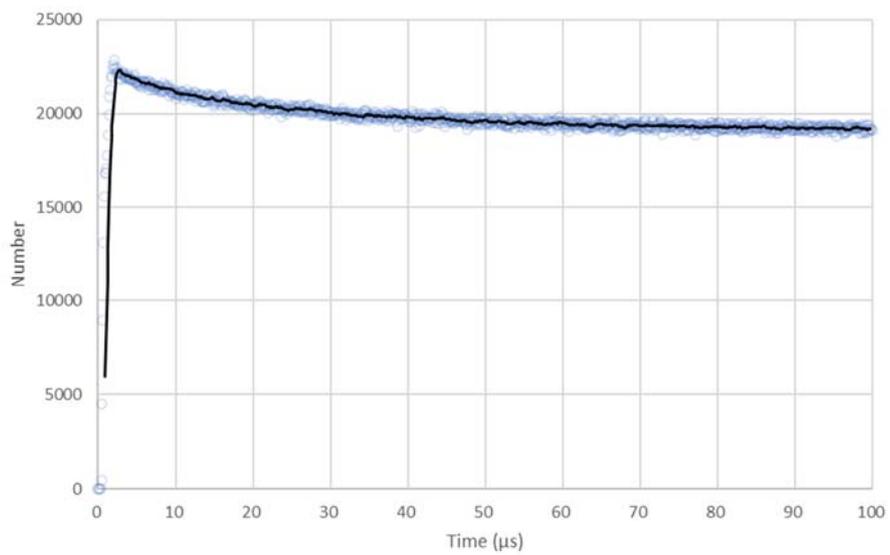


図 3.3.3-6 アンプ C のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

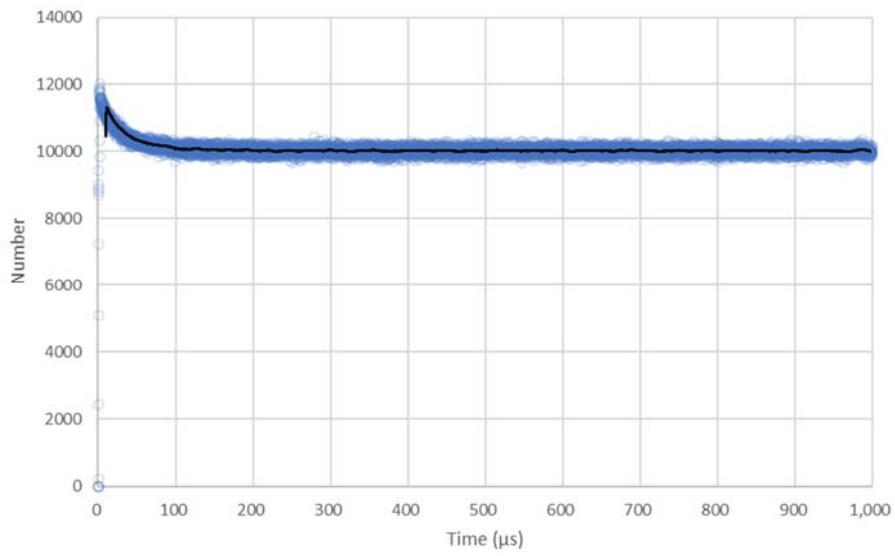


図 3.3.3-7 アンプ D のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

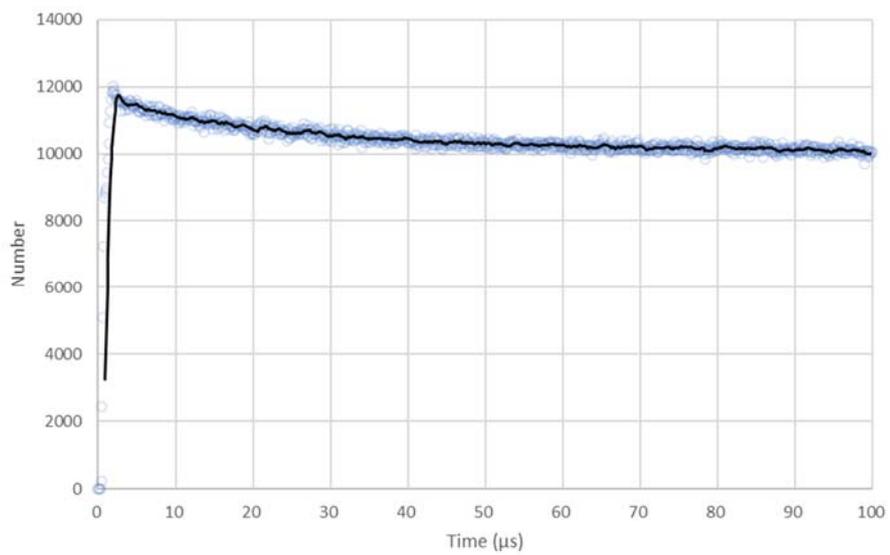


図 3.3.3-8 アンプ D のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

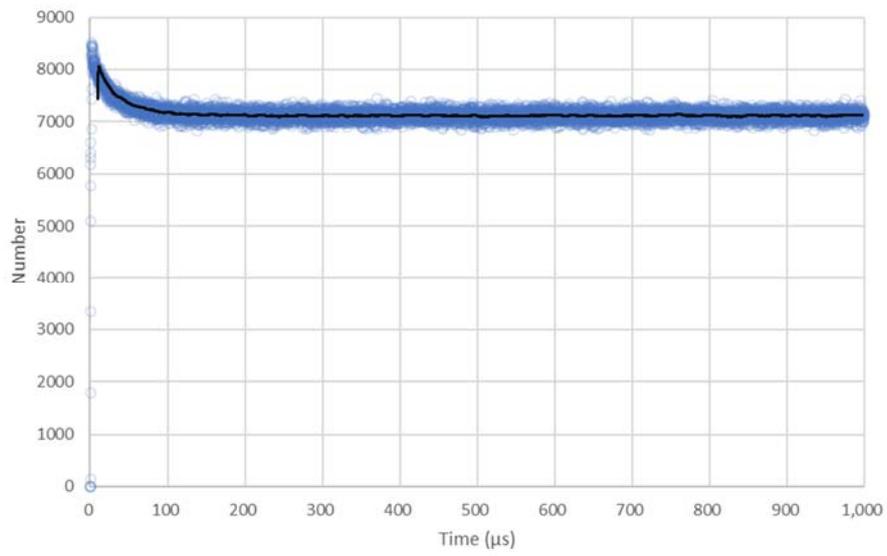


図 3.3.3-9 アンプ E のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

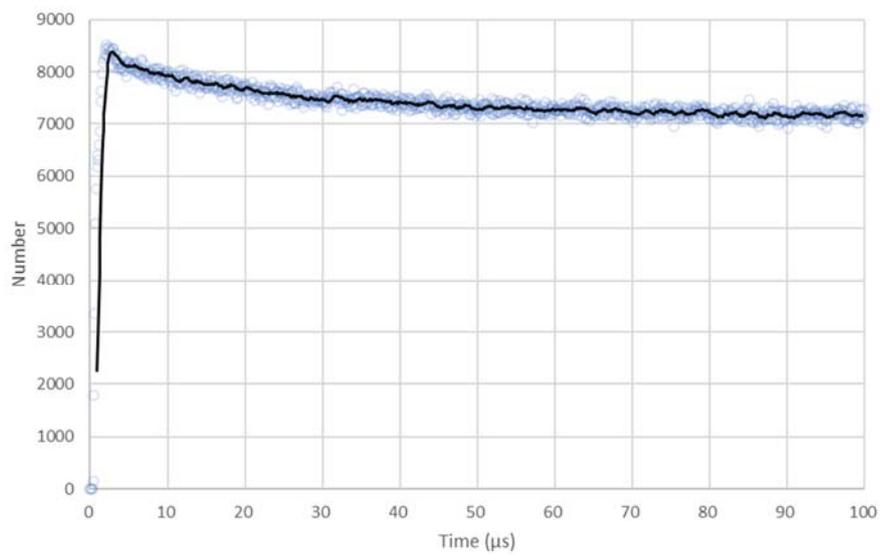


図 3.3.3-10 アンプ E のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

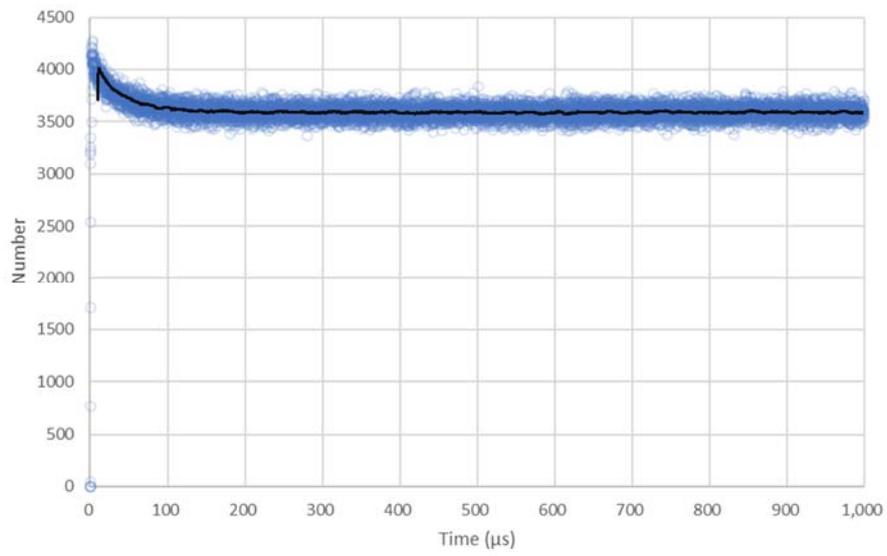


図 3.3.3-11 アンプ F のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

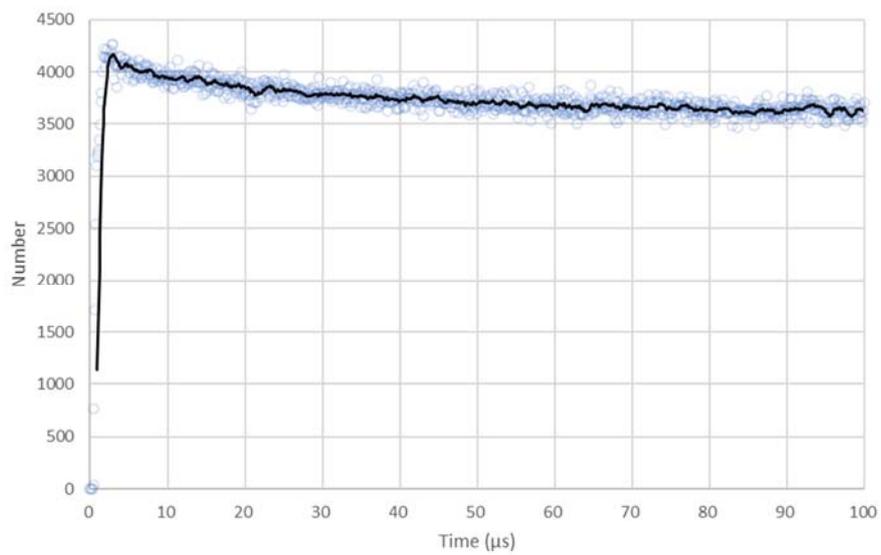


図 3.3.3-12 アンプ F のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

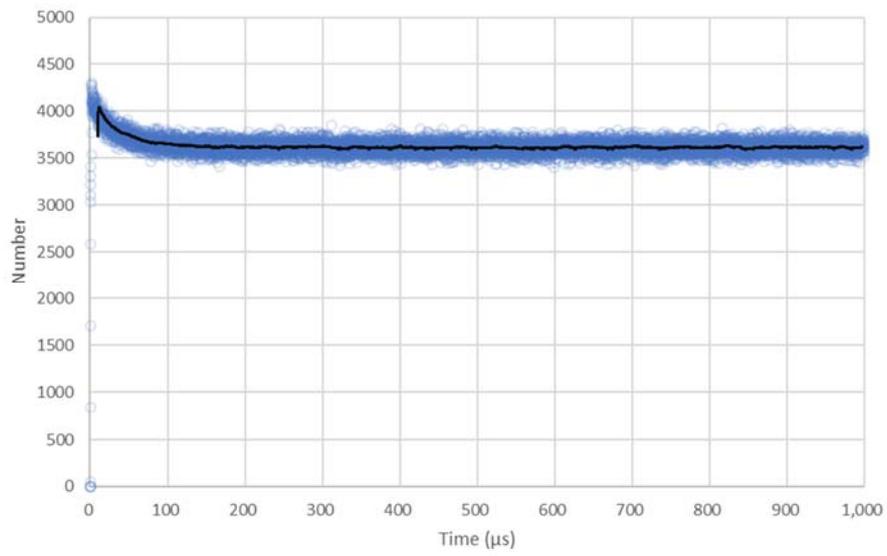


図 3.3.3-13 アンプ G のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

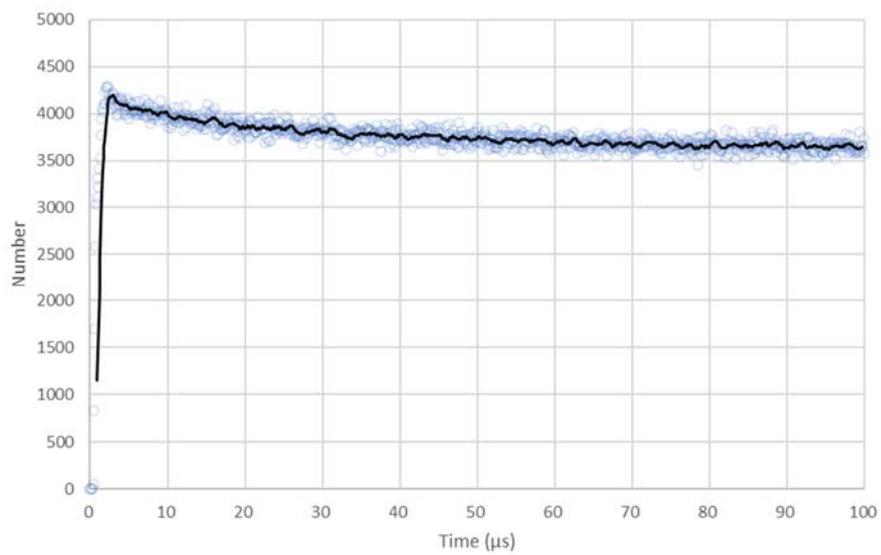


図 3.3.3-14 アンプ G のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

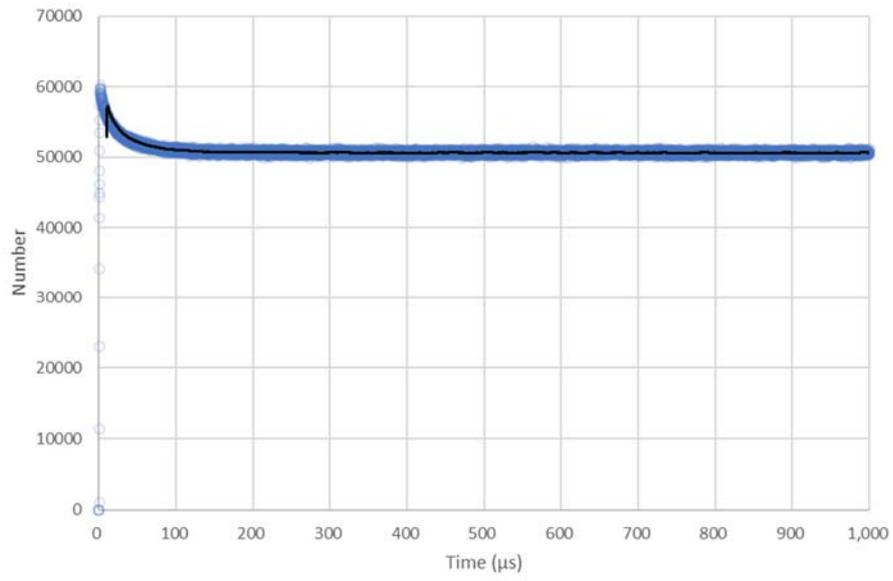


図 3.3.3-15 アンプ H のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

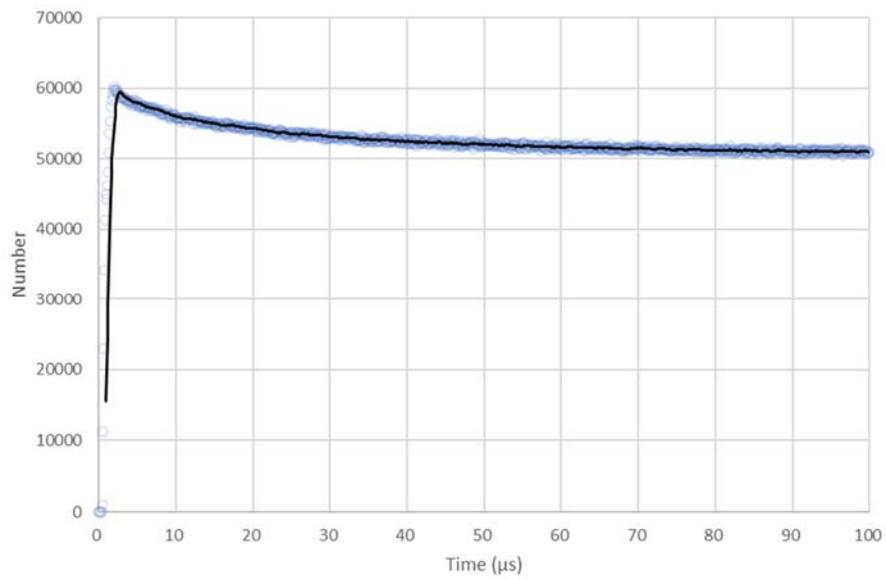


図 3.3.3-16 アンプ H のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

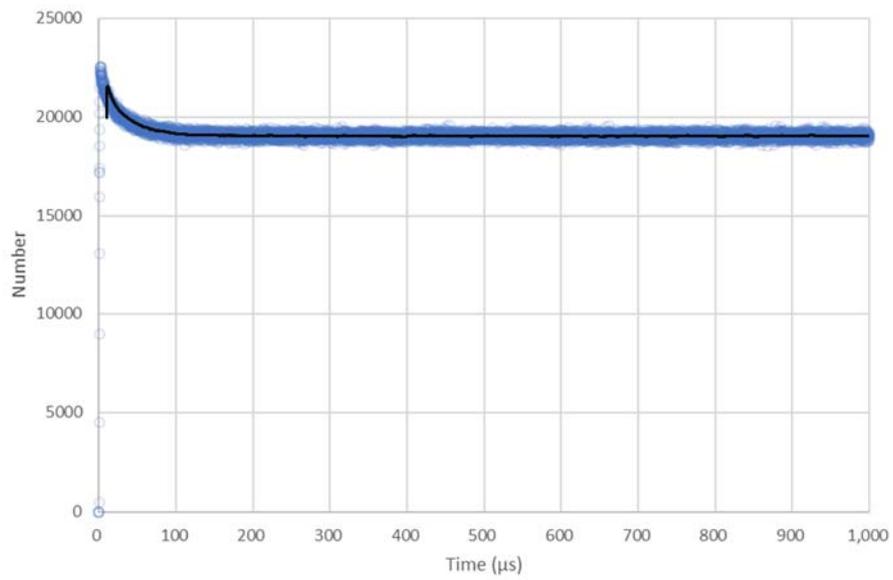


図 3.3.3-17 アンプ I のパルス間隔分布 (0~1000μs)

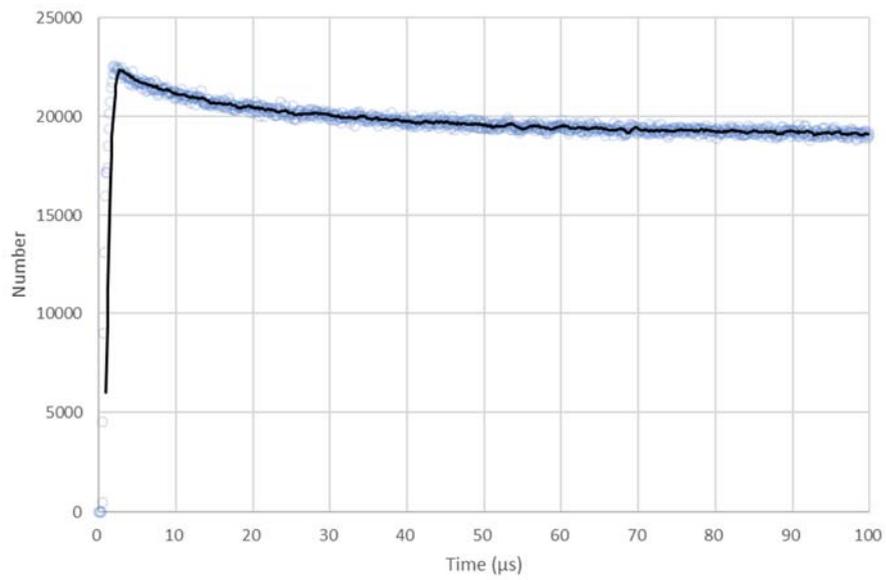


図 3.3.3-18 アンプ I のパルス間隔分布 (0~100μs)

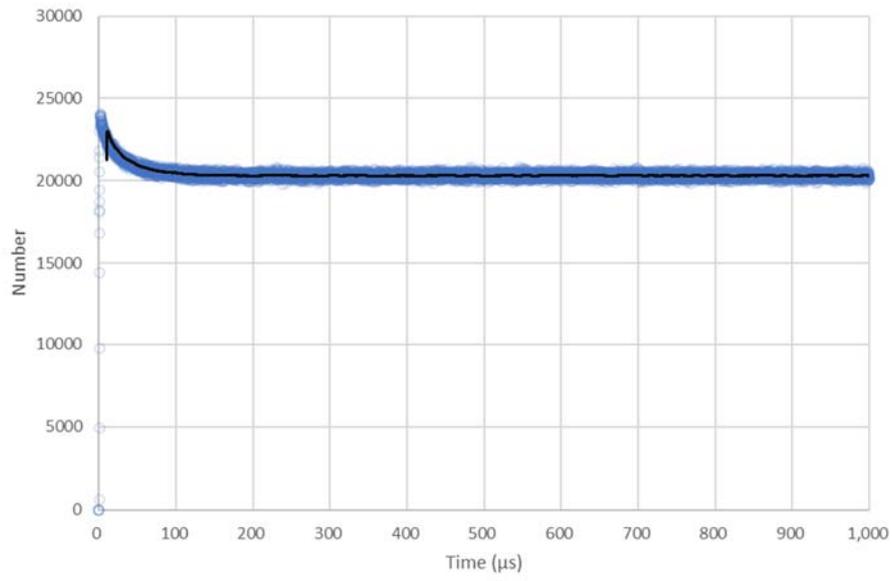


図 3.3.3-19 アンプ J のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

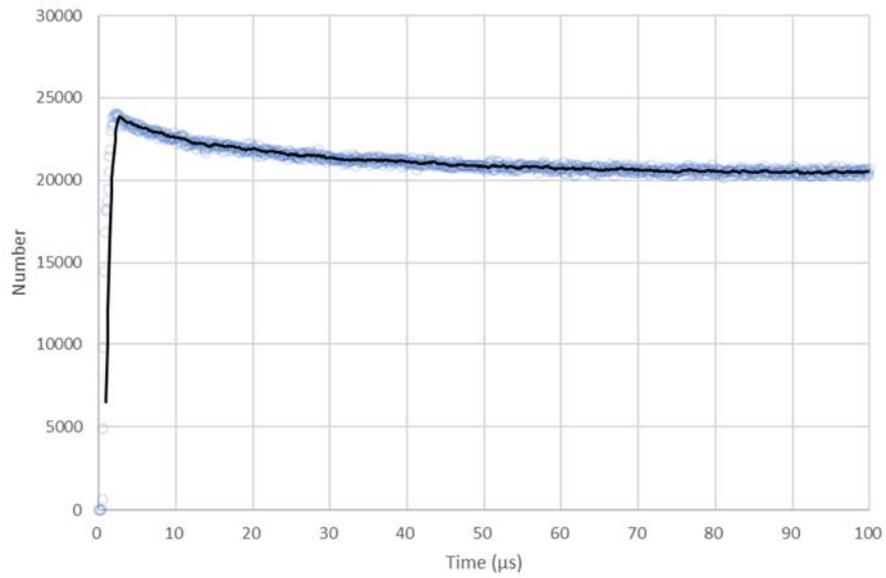


図 3.3.3-20 アンプ J のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

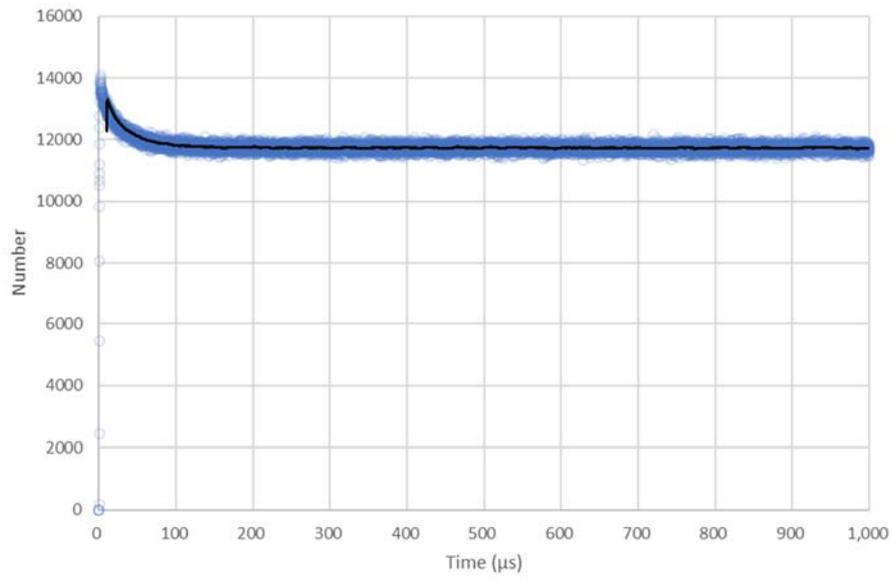


図 3.3.3-21 アンプ K のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

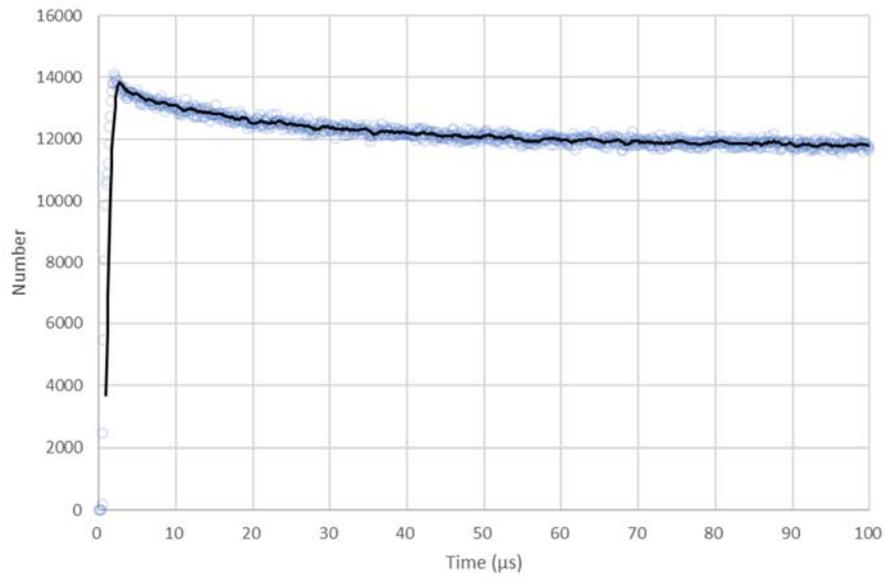


図 3.3.3-22 アンプ K のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

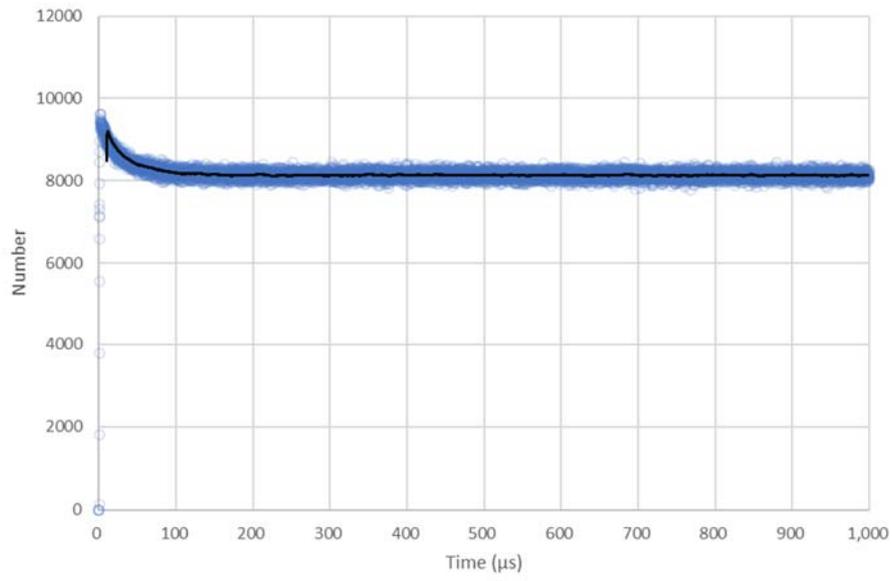


図 3.3.3-23 アンプ L のパルス間隔分布 (0~1000μs)

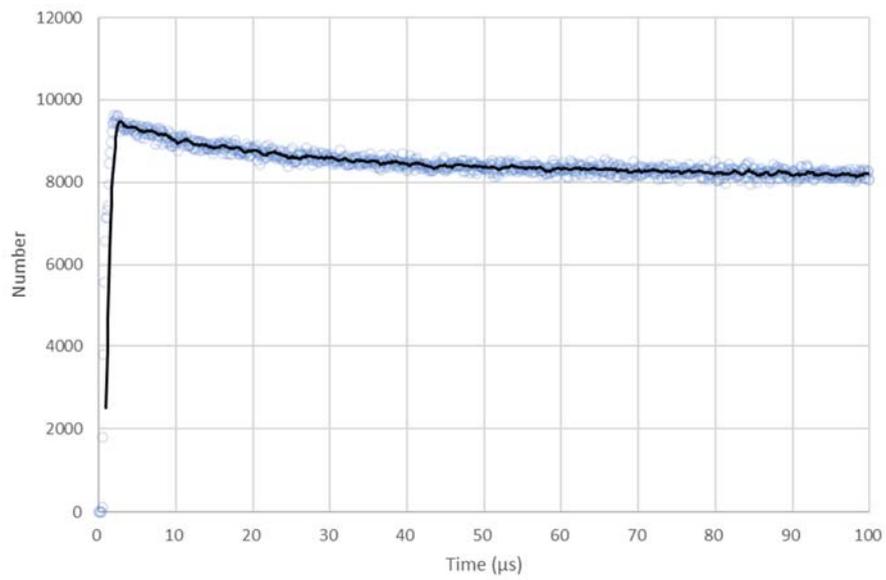


図 3.3.3-24 アンプ L のパルス間隔分布 (0~100μs)

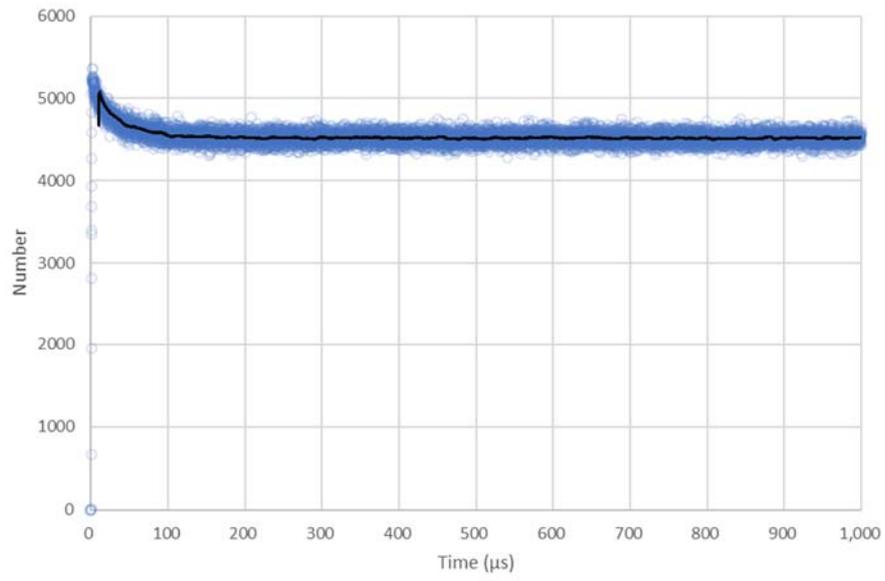


図 3.3.3-25 アンプ M のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

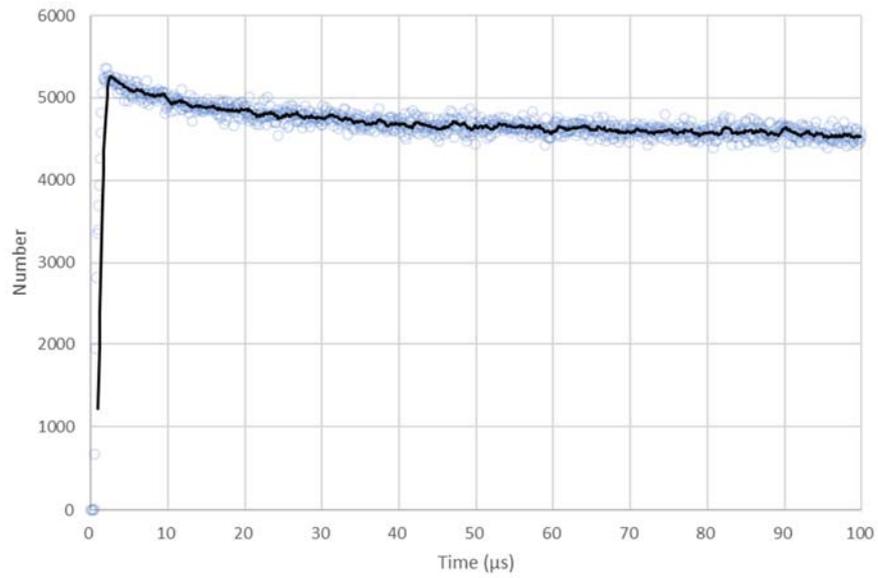


図 3.3.3-26 アンプ M のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

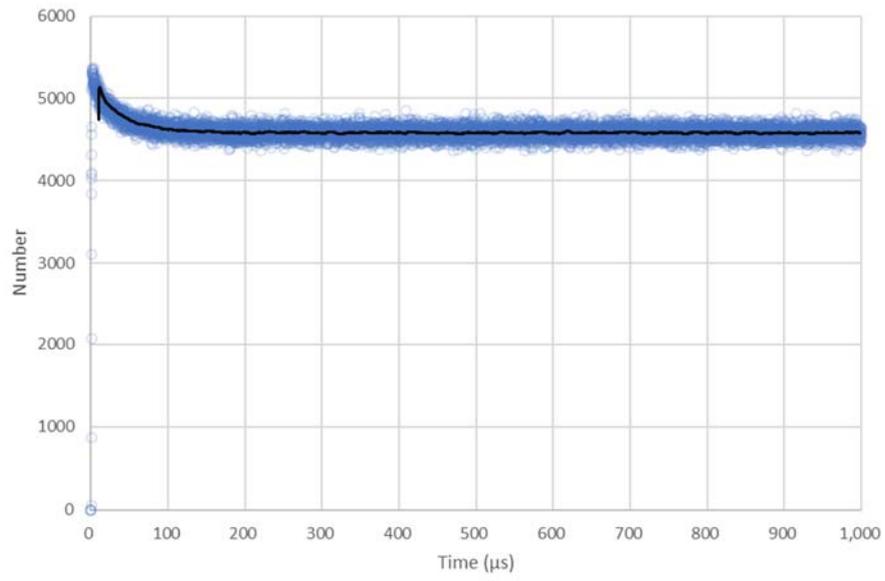


図 3.3.3-27 アンプ N のパルス間隔分布 (0~1000 μ s)

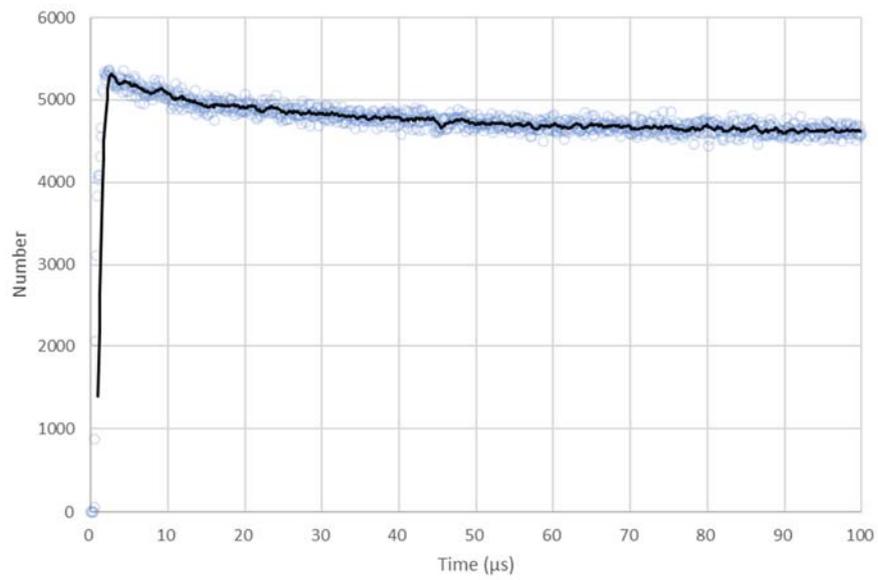


図 3.3.3-28 アンプ N のパルス間隔分布 (0~100 μ s)

3.3.4 考察

2.3 項に示した AFAS における評価と同様に、AVIS の各アンプのパルス間隔分布は、いずれもほぼ同一の形状となり、異常なパルス間隔分布は確認されなかった。このことから、本評価時において AVIS に異常はなく、正常なパルス間隔分布が取得できたと考えられる。

今後、パルス間隔分布を定期的を取得し、今回評価したパルス間隔分布と比較することで、早期の装置の故障検知が可能になると考えられる。

3.4. 計数装置の性能確認試験

3.4.1 目的

IAEA が開発中の計数装置の性能を評価する。

3.4.2 方法

IAEA が開発中の計数装置 MCSR の性能を評価するため、MOX サンプル測定を実施し、AMSR を用いた測定結果との比較を実施する。

使用する MOX サンプル（A、B、C 及び D）の仕様を 1.8 項の表 1.8-1 及び表 1.8-2 に示す。

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① AVIS に信号分岐装置を接続する。
- ② 信号分岐装置に AMSR 及び MCSR を接続する。各機器の接続図を図 3.4.2-1 に示す。
- ③ キャビティに MOX サンプルをセットする。
- ④ INCC ソフトウェア及び MCSR 測定用ソフトウェアを用いて測定を実施する。測定条件を以下に示す。
 - ・測定時間^(*19)：5分(30秒×10回)、10分(30秒×20回)、15分(30秒×30回)
 - ・取得する計数值：シングル値、ダブル値及びトリプル値
- ⑤ 各計数装置にて取得した計数值を比較し、有意差の有無を確認する。
- ⑥ 全ての MOX サンプルについて、③～⑤を実施する。

*19：AVIS の要求仕様書に記載されている J-MOX における AVIS の測定時間は 15 分

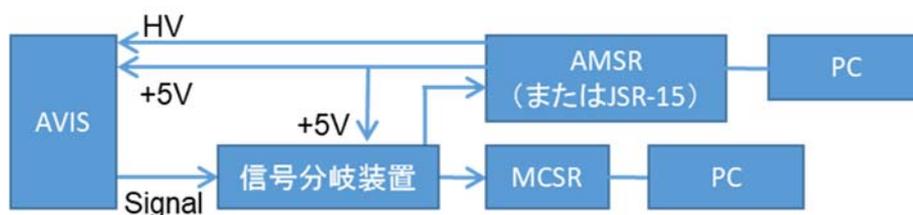


図 3.4.2-1 AVIS 機器接続図

3.4.3 結果

MOX サンプル A、B、C 及び D を AMSR 及び MCSR にて測定し、計数値（シングル値、ダブル値及びトリプル値）毎に比較した結果を図 3.4.3-1～図 3.4.3-12 に示す。

AMSR と MCSR にて取得した各計数値は、いずれも誤差（ 2σ ）の範囲で一致しなかった。

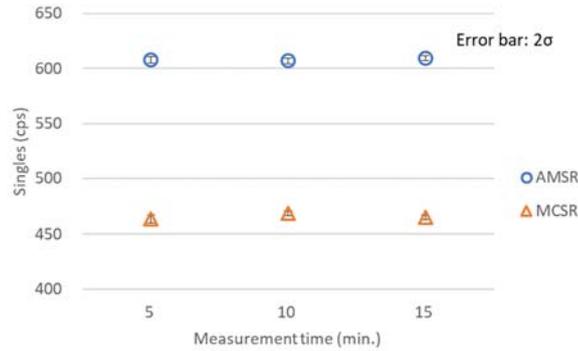


図 3.4.3-1 サンプル A シングル値の比較

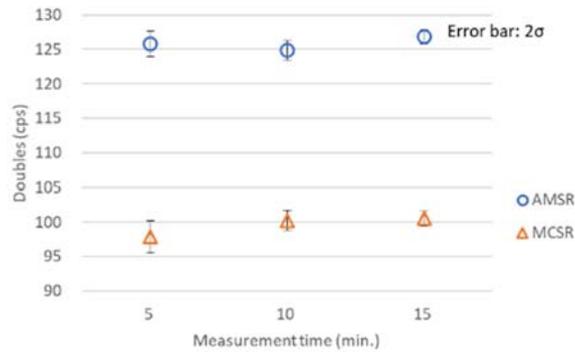


図 3.4.3-2 サンプル A ダブル値の比較

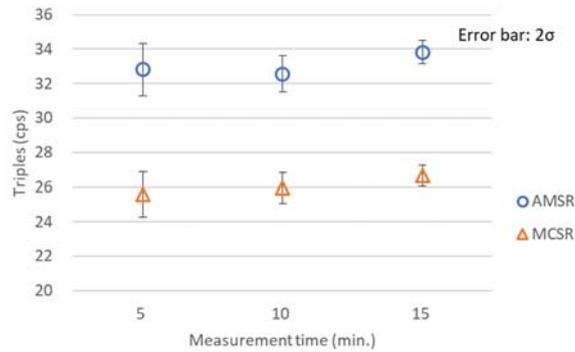


図 3.4.3-3 サンプル A トリプル値の比較

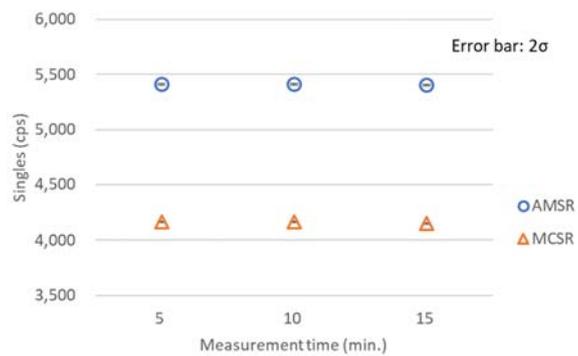


図 3.4.3-4 サンプル B シングル値の比較

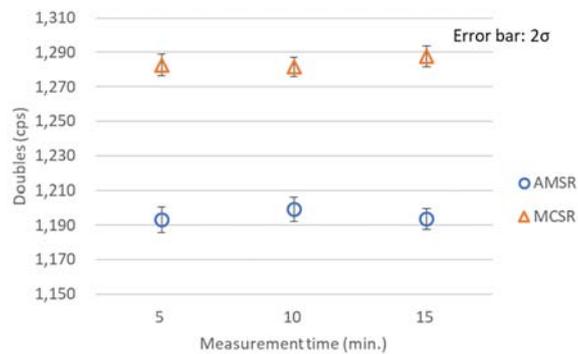


図 3.4.3-5 サンプル B ダブル値の比較

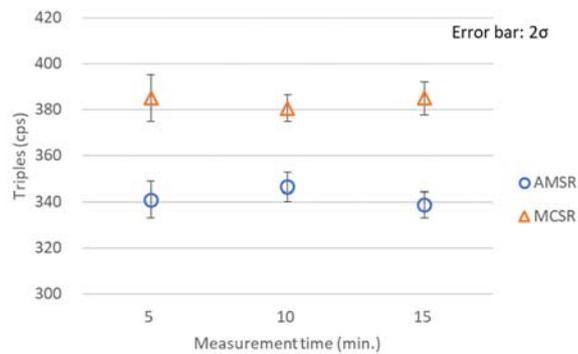


図 3.4.3-6 サンプル B トリプル値の比較

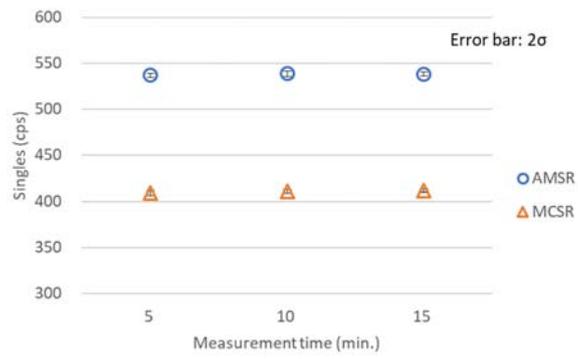


図 3.4.3-7 サンプル C シングル値の比較

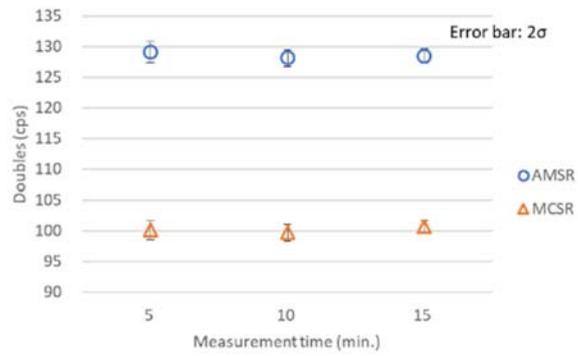


図 3.4.3-8 サンプル C ダブル値の比較

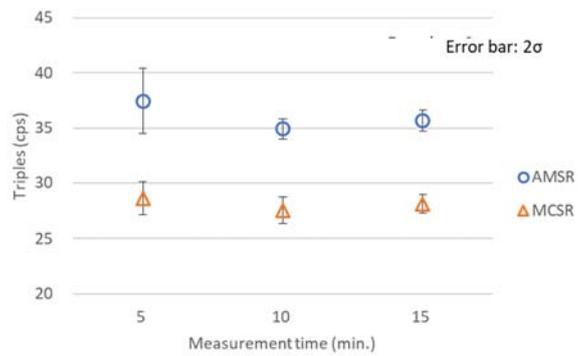


図 3.4.3-9 サンプル C トリプル値の比較

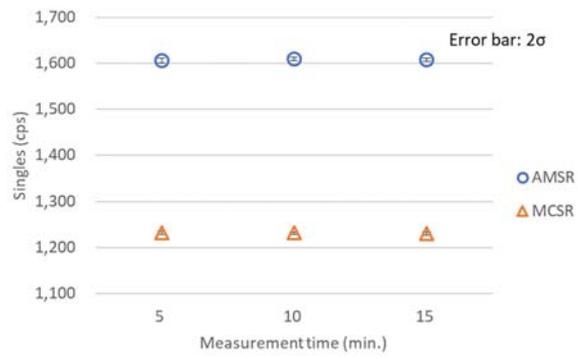


図 3.4.3-10 サンプル D シングル値の比較

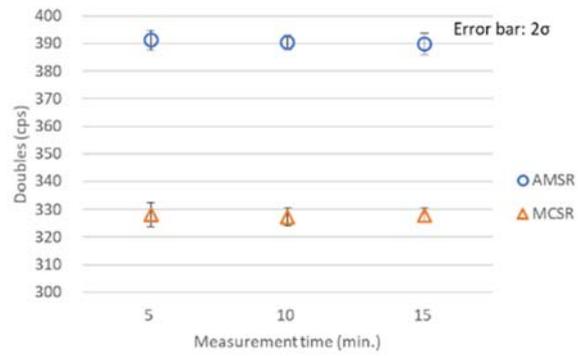


図 3.4.3-11 サンプル D ダブル値の比較

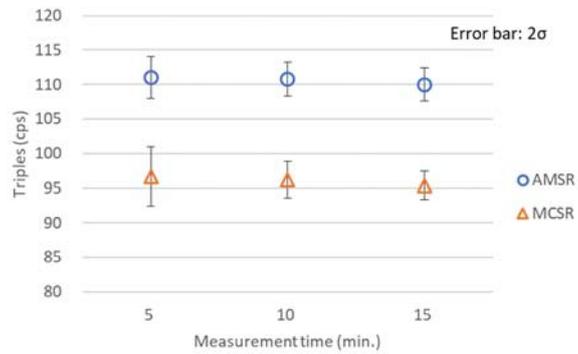


図 3.4.3-12 サンプル D トリプル値の比較

3.4.4 考察

2.4 項に示した AFAS における MCSR と AMSR の比較測定結果では、MCSR と AMSR にて取得した各計数値（シングル値及びダブル値）は、誤差（ 2σ ）の範囲で一致したが、AVIS においてはいずれの計数値でも一致せず、有意な差が生じた。

この原因のひとつとして、AVIS と AFAS の検出器から出力される TTL パルスの幅が異なることが考えられる。図 3.4.4-1 及び図 3.4.4-2 に示すとおり、AFAS 検出器のパルス幅は約 34ns であるのに対し、AVIS 検出器のパルス幅は約 19ns と狭いため、AMSR で検知可能な AVIS のパルスを MCSR では検知できなかった可能性がある。

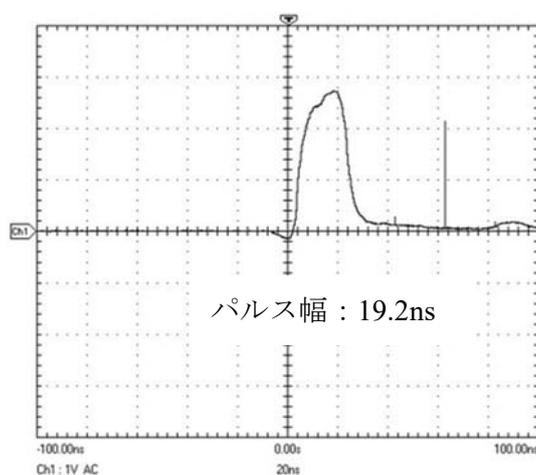


図 3.4.4-1 AVIS 検出器の TTL パルス

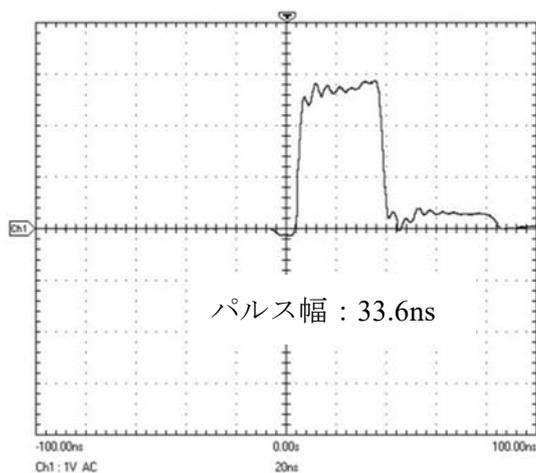


図 3.4.4-2 AFAS-P Collar 検出器の TTL パルス

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を実施し、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、測定値との相関の有無を確認する。また、定期的な Pu 線源、Am-Li 線源、Cm-244 線源の測定を実施し、得られた計数値及び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。

HPGe ガンマ線検出器については、定期的な Pu 線源測定を実施し、得られた Pu 同位体組成比が長期管理限界内に収まっていることを確認する。

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 連続的なバックグラウンド測定及び測定環境の温湿度測定を実施する。
- ② 上記測定により取得した計数値のばらつきを求め、検出器の長期安定性を評価する。また、温湿度と計数値の相関の有無を評価する。
- ③ ①～②を 1 回/月の頻度で実施する。

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

- ① 線源（Pu 線源、または Am-Li 線源、または Cm-244 線源）を検出器にセットする。
- ② 線源測定を実施する。
- 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 Am-Li 線源及び 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。
- ④ ①～③を 1 回/月の頻度で実施する。

(3) HPGe ガンマ線検出器における Pu 線源測定

- ① Pu 線源を検出器にセットする。
- ② Pu 線源測定を実施する。
- ③ Pu 線源測定により取得したガンマ線スペクトルから Pu 同位体組成比を求める。
- ④ $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比が長期管理限界内に収まっていることを確認する。
- ⑤ ①～④を 1 回/月の頻度で実施する。

(4) 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。本測定は 1 回/月の頻度で実施する。
- ③ ①～②を 1 回/月の頻度で実施する。

4.1.3 結果

2018 年 10 月から 2019 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を添付資料に示す。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。

4.1.4 考察

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いたと考えられる。

5. 結論

AFAS の性能確認試験では、「Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得」、「長期管理限界の妥当性確認」、「パルス間隔分布の評価」及び「計数装置の性能確認」を実施した。

「Fork 検出器のデッドタイムパラメータの取得」では、線源強度の異なる複数の ^{252}Cf 中性子線源測定を実施し、高計数率となる測定が行われる場合、Fork 検出器においても Collar 検出器と同様に計数値の数え落としが発生することを確認し、これまで未評価であった AFAS の各 Fork 検出器のデッドタイム補正係数を求めた。

「長期管理限界の妥当性確認」では、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 の長期安定性及び ^{252}Cf 中性子線源測定により得られた計数値が長期管理限界内に収まることを確認するため、2018 年 6 月から 2019 年 3 月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}Cf 中性子線源測定を実施した。その結果、バックグラウンド測定においては、ほぼ全ての計数値はばらつき (3σ) の範囲内に収まり、また ^{252}Cf 中性子線源測定においては、取得された各計数値が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、各検出器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。なお、AFAS-B Bottom Fork 検出器においてみられた計数値が徐々に増減する事象については、今後 LANL に確認する予定である。

「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}Cf 中性子線源測定を実施し、検出器が故障した場合の原因特定の判断材料のひとつとなるアンプ毎のパルス間隔分布を取得した。

「計数装置の性能確認試験」では、IAEA が開発中の計数装置 MCSR の性能を確認するため、MCSR 及び既存の計数装置 AMSR にて燃料集合体測定を行い、各計数値の比較を実施した。その結果、両計数装置にて取得された計数値は、誤差の範囲で一致したことから、MCSR の性能は AMSR と同等であることを確認した。

AVIS の性能確認試験では、「バックグラウンドの影響評価に係る検討」、「ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価」、「パルス間隔分布の評価」及び「計数装置の性能確認試験」を実施した。

「バックグラウンドの影響評価に係る検討」では、グローブボックス内におけるサンプル位置の変動に起因するバックグラウンドの変動が測定に与える影響を評価するため、J-MOX における AVIS 測定状況を想定した測定を実際の MOX サンプルを用いて実施した。その結果、バックグラウンドの変動が測定に与える影響は、無視できるほど小さいことを確認した。

「ゲルマニウム検出器の改良に伴う精度評価」では、ゲルマニウム検出器を AVIS 試料収納部の下部に配置した場合、IAEA の要求精度 ($^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比の測定精度: 2%以下) を満たすことが可能であることを確認するため、モンテカルロシミュレーションコードにより測定精度の評価を実施した。その結果、検出器を下部に設置し

た場合、測定精度は向上したが、 $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比については要求精度を満たすものの、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比については満たさないことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、AFAS における試験と同様に、アンプ毎のパルス間隔分布を取得した。

「計数装置の性能確認試験」では、MCSR の性能を確認するため、MCSR 及び AMSR にて MOX サンプル測定を行い、各計数値の比較を実施した。その結果、MCSR により取得された計数値は、AMSR により取得された計数値と一致しないことを確認した。本原因は、AVIS の検出器が出力する信号のパルス幅が約 19ns と狭いことから、MCSR が正確にパルス信号を計数できなかつたためであると考えられる。

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、2018 年 10 月から 2019 年 3 月の期間において、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、ガンマ線検出器については、定期的な Pu 線源測定、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、各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。

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 MOX 燃料加工施設保障措置システムの性能確認試験（平成 22 年度）
- 参考文献 3 : 大型 MOX 燃料加工施設保障措置システムの性能確認試験（平成 23 年度）
- 参考文献 4 : J. B. Marlow, M. T. Swinhoe, H.O. Menlove, C. D. Rael and M. R. Newell, “Advanced Fuel Assembly Assay System (AFAS) Boiling Water Reactor BWR System Manual” (2012)
- 参考文献 5 : Madison Theresa, Archuleta, Jeffrey Christopher, Rael, Carlos D., Henzlova, Daniela Constance, Favalli, Andrea, Swinhoe, Martyn Thomas, Marlow, Johnna Boulds, “Improved Plutonium Canister Assay System 2 Rotation Demonstration and Measurements” (2018) (LA-CP-18-20017)
- 参考文献 6 : 大型 MOX 燃料加工施設保障措置システムの性能確認試験（平成 24 年度）