

大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器
性能確認試験報告書
(令和2年度)

2021年3月

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

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

〒319-1194

茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 33

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

核燃料サイクル工学研究所

プルトニウム燃料技術開発センター

技術部 技術課

大型混合酸化物燃料加工施設保障措置機器性能確認試験報告書
(令和2年度)

要旨

本報告は、原子力規制庁殿と国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との間で令和2年4月に締結した受託業務契約「令和2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、「長期管理限界の妥当性確認」では、2020年4月から2021年3月までの期間において、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な²⁵²Cf 中性子線源測定を実施し、AFAS が正常な状態を維持し、長期間安定して動作していたことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、リストモジュールを用いて²⁵²Cf 中性子線源測定を実施し、得られたパルス間隔分布が平成31年度に得られたパルス間隔分布とほぼ同一の形状であることを確認した。

「AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価」では、AFAS の Collar 検出器のアンプ1個が故障した場合に用いる測定パラメータの再評価及び本パラメータを用いた燃料集合体測定を実施し、AFAS 故障時においても再評価した測定パラメータを用いることによりシステムを停止することなく燃料集合体測定の継続が可能であることを確認した。

「測定パラメータの再評価」では、AFAS の測定パラメータの再評価を実施し、各測定パラメータに経年変化がないことを確認した。

AVIS の性能確認試験のうち、「パルス間隔分布の評価」では、AFAS と同様に、得られたパルス間隔分布が平成31年度に得られたパルス間隔分布とほぼ同一の形状であることを確認した。

「プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」では、モンテカルロシミュレーションコードによる評価を実施し、ゲルマニウム検出器の配置位置変更が中性子検出器の測定性能へ与える影響はほとんどないことを確認した。

「測定パラメータの再評価」では、AVIS の測定パラメータの再評価を実施し、各測定パラメータに経年変化が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、2020年4月から2021年3月までの期間において、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な

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
2. AFAS の性能確認試験.....	9
2.1 長期管理限界の妥当性確認.....	9
2.1.1 目的	9
2.1.2 方法	9
2.1.3 結果	12
2.1.4 考察	62
2.2 パルス間隔分布の評価.....	63
2.2.1 目的	63
2.2.2 方法	63
2.2.3 結果	66
2.2.4 考察	86
2.3 AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価.....	87
2.3.1 目的	87
2.3.2 方法	87
2.3.3 結果	90
2.3.4 考察	91
2.4 測定パラメータの再評価.....	92
2.4.1 デッドタイム補正係数の評価.....	93
2.4.1.1 目的	93
2.4.1.2 方法	93
2.4.1.3 結果	95
2.4.1.4 考察	97
2.4.2 中性子検出効率の評価.....	98
2.4.2.1 目的	98
2.4.2.2 方法	98
2.4.2.3 結果	100
2.4.2.4 考察	100

2.4.3	ダイアウエイタイム、ゲート幅の評価.....	101
2.4.3.1	目的	101
2.4.3.2	方法	101
2.4.3.3	結果	102
2.4.3.4	考察	103
2.4.4	検出効率プロファイルの評価.....	104
2.4.4.1	目的	104
2.4.4.2	方法	104
2.4.4.3	結果	110
2.4.4.4	考察	119
2.4.5	HV プラトー領域の評価.....	120
2.4.5.1	目的	120
2.4.5.2	方法	120
2.4.5.3	結果	120
2.4.5.4	考察	123
3.	AVIS の性能確認試験	124
3.1	パルス間隔分布の評価.....	124
3.1.1	目的	124
3.1.2	方法	124
3.1.3	結果	126
3.1.4	考察	140
3.2	プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価	141
3.2.1	目的	141
3.2.2	方法	141
3.2.3	結果	142
3.2.4	考察	146
3.3	測定パラメータの再評価.....	148
3.3.1	デッドタイム補正係数の評価.....	149
3.3.1.1	目的	149
3.3.1.2	方法	149
3.3.1.3	結果	150
3.3.1.4	考察	152
3.3.2	中性子検出効率の評価.....	153
3.3.2.1	目的	153
3.3.2.2	方法	153
3.3.2.3	結果	153

3.3.2.4 考察	154
3.3.3 ダイアウエイタイムの評価.....	155
3.3.3.1 目的	155
3.3.3.2 方法	155
3.3.3.3 結果	156
3.3.3.4 考察	156
3.3.4 ゲートフラクションの評価.....	157
3.3.4.1 目的	157
3.3.4.2 方法	157
3.3.4.3 結果	157
3.3.4.4 考察	157
3.3.5 検出効率プロファイルの評価.....	158
3.3.5.1 目的	158
3.3.5.2 方法	158
3.3.5.3 結果	159
3.3.5.4 考察	160
3.3.6 HV プラトー領域の評価.....	161
3.3.6.1 目的	161
3.3.6.2 方法	161
3.3.6.3 結果	161
3.3.6.4 考察	161
4. IPCA の性能確認試験	162
4.1 長期管理限界の妥当性確認.....	162
4.1.1 目的	162
4.1.2 方法	162
4.1.3 結果	163
4.1.4 考察	163
5. 結論	164

図目次

図 1.7-1	封入棒集合体の側面図及び断面図.....	8
図 2.1.2-1	AFAS 機器接続図.....	10
図 2.1.3-1	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	13
図 2.1.3-2	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	14
図 2.1.3-3	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	14
図 2.1.3-4	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	14
図 2.1.3-5	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	15
図 2.1.3-6	バックグラウンドのダブル値 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	15
図 2.1.3-7	バックグラウンドのダブル値 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	15
図 2.1.3-8	バックグラウンドのダブル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	16
図 2.1.3-9	バックグラウンドのダブル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	16
図 2.1.3-10	バックグラウンドのダブル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	16
図 2.1.3-11	シングル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	17
図 2.1.3-12	シングル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	17
図 2.1.3-13	シングル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	17
図 2.1.3-14	シングル値と温度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	18
図 2.1.3-15	シングル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	18
図 2.1.3-16	ダブル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	18
図 2.1.3-17	ダブル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	19
図 2.1.3-18	ダブル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	19
図 2.1.3-19	ダブルと温度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	19
図 2.1.3-20	ダブル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	20
図 2.1.3-21	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	20
図 2.1.3-22	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	20
図 2.1.3-23	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	21
図 2.1.3-24	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	21
図 2.1.3-25	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	21
図 2.1.3-26	ダブル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Collar).....	22
図 2.1.3-27	ダブル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Collar).....	22
図 2.1.3-28	ダブル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Collar).....	22
図 2.1.3-29	ダブルと湿度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Collar).....	23
図 2.1.3-30	ダブル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Collar).....	23
図 2.1.3-31	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	24
図 2.1.3-32	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	24
図 2.1.3-33	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	24

図 2.1.3-34	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Collar).....	25
図 2.1.3-35	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	25
図 2.1.3-36	バックグラウンドのダブル値 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	25
図 2.1.3-37	バックグラウンドのダブル値 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	26
図 2.1.3-38	バックグラウンドのダブル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	26
図 2.1.3-39	バックグラウンドのダブル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Collar).....	26
図 2.1.3-40	バックグラウンドのダブル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	27
図 2.1.3-41	シングル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	27
図 2.1.3-42	シングル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	27
図 2.1.3-43	シングル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	28
図 2.1.3-44	シングル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	28
図 2.1.3-45	シングル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	28
図 2.1.3-46	ダブル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	29
図 2.1.3-47	ダブル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	29
図 2.1.3-48	ダブル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	29
図 2.1.3-49	ダブルと温度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Collar).....	30
図 2.1.3-50	ダブル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	30
図 2.1.3-51	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	30
図 2.1.3-52	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	31
図 2.1.3-53	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	31
図 2.1.3-54	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	31
図 2.1.3-55	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	32
図 2.1.3-56	ダブル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Collar).....	32
図 2.1.3-57	ダブル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Collar).....	32
図 2.1.3-58	ダブル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Collar).....	33
図 2.1.3-59	ダブルと湿度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Collar).....	33
図 2.1.3-60	ダブル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Collar).....	33
図 2.1.3-61	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Top Fork).....	34
図 2.1.3-62	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Top Fork).....	34
図 2.1.3-63	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Top Fork).....	35
図 2.1.3-64	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Top Fork).....	35
図 2.1.3-65	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Top Fork).....	35
図 2.1.3-66	シングル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-B Top Fork).....	36
図 2.1.3-67	シングル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-B Top Fork).....	36
図 2.1.3-68	シングル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-B Top Fork).....	36
図 2.1.3-69	シングル値と温度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-B Top Fork).....	37
図 2.1.3-70	シングル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-B Top Fork).....	37

図 2.1.3-71	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-B Top Fork).....	37
図 2.1.3-72	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-B Top Fork).....	38
図 2.1.3-73	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-B Top Fork).....	38
図 2.1.3-74	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-B Top Fork).....	38
図 2.1.3-75	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-B Top Fork).....	39
図 2.1.3-76	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-P Top Fork).....	39
図 2.1.3-77	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-P Top Fork).....	40
図 2.1.3-78	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-P Top Fork).....	40
図 2.1.3-79	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-P Top Fork).....	40
図 2.1.3-80	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-P Top Fork).....	41
図 2.1.3-81	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-P Top Fork).....	41
図 2.1.3-82	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-P Top Fork).....	41
図 2.1.3-83	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-P Top Fork).....	42
図 2.1.3-84	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-P Top Fork).....	42
図 2.1.3-85	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-P Top Fork).....	42
図 2.1.3-86	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-P Top Fork).....	43
図 2.1.3-87	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-P Top Fork).....	43
図 2.1.3-88	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-P Top Fork).....	43
図 2.1.3-89	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-P Top Fork).....	44
図 2.1.3-90	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-P Top Fork).....	44
図 2.1.3-91	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-B Bottom Fork).....	45
図 2.1.3-92	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-B Bottom Fork).....	45
図 2.1.3-93	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-B Bottom Fork).....	45
図 2.1.3-94	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-B Bottom Fork).....	46
図 2.1.3-95	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-B Bottom Fork).....	46
図 2.1.3-96	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-B Bottom Fork).....	46
図 2.1.3-97	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-B Bottom Fork).....	47
図 2.1.3-98	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-B Bottom Fork).....	47
図 2.1.3-99	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-B Bottom Fork).....	47
図 2.1.3-100	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-B Bottom Fork).....	48
図 2.1.3-101	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-B Bottom Fork).....	48
図 2.1.3-102	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-B Bottom Fork).....	48
図 2.1.3-103	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28) (AFAS-B Bottom Fork).....	49
図 2.1.3-104	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10) (AFAS-B Bottom Fork).....	49
図 2.1.3-105	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01) (AFAS-B Bottom Fork).....	49
図 2.1.3-106	バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13) (AFAS-P Bottom Fork).....	50
図 2.1.3-107	バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14) (AFAS-P Bottom Fork).....	50

図 2.1.3-108	バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Bottom Fork).....	51
図 2.1.3-109	バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Bottom Fork).....	51
図 2.1.3-110	バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Bottom Fork).....	51
図 2.1.3-111	シングル値と温度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Bottom Fork).....	52
図 2.1.3-112	シングル値と温度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Bottom Fork)	52
図 2.1.3-113	シングル値と温度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Bottom Fork)	52
図 2.1.3-114	シングル値と温度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Bottom Fork).....	53
図 2.1.3-115	シングル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Bottom Fork).....	53
図 2.1.3-116	シングル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13) (AFAS-P Bottom Fork)	53
図 2.1.3-117	シングル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14) (AFAS-P Bottom Fork)	54
図 2.1.3-118	シングル値と湿度の相関 (2020/09/18～2020/09/28) (AFAS-P Bottom Fork)	54
図 2.1.3-119	シングル値と湿度の相関 (2020/10/27～2020/11/10) (AFAS-P Bottom Fork).....	54
図 2.1.3-120	シングル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01) (AFAS-P Bottom Fork)	55
図 2.1.3-121	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Top Fork).....	56
図 2.1.3-122	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Collar).....	56
図 2.1.3-123	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Bottom Fork)	56
図 2.1.3-124	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Top Fork)	57
図 2.1.3-125	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Collar)	57
図 2.1.3-126	月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Bottom Fork)	57
図 2.1.3-127	計数値と温度の相関 (AFAS-B Top Fork).....	58
図 2.1.3-128	計数値と温度の相関 (AFAS-B Collar).....	58
図 2.1.3-129	計数値と温度の相関 (AFAS-B Bottom Fork)	58
図 2.1.3-130	計数値と温度の相関 (AFAS-P Top Fork)	59
図 2.1.3-131	計数値と温度の相関 (AFAS-P Collar).....	59
図 2.1.3-132	計数値と温度の相関 (AFAS-P Bottom Fork).....	59
図 2.1.3-133	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Top Fork).....	60
図 2.1.3-134	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Collar).....	60
図 2.1.3-135	計数値と湿度の相関 (AFAS-B Bottom Fork)	60
図 2.1.3-136	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Top Fork)	61
図 2.1.3-137	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Collar).....	61
図 2.1.3-138	計数値と湿度の相関 (AFAS-P Bottom Fork).....	61
図 2.2.2-1	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例.....	63
図 2.2.2-2	AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図	64
図 2.2.2-3	AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図.....	64
図 2.2.2-4	AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図.....	64
図 2.2.2-5	AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図.....	65
図 2.2.3-1	AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0～1000 μ s).....	66

図 2.2.3-2	AFAS-B Collar 検出器	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	66
図 2.2.3-3	AFAS-B Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	67
図 2.2.3-4	AFAS-B Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	67
図 2.2.3-5	AFAS-B Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	68
図 2.2.3-6	AFAS-B Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	68
図 2.2.3-7	AFAS-B Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	69
図 2.2.3-8	AFAS-B Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	69
図 2.2.3-9	AFAS-B Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	70
図 2.2.3-10	AFAS-B Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	70
図 2.2.3-11	AFAS-B Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	71
図 2.2.3-12	AFAS-B Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	71
図 2.2.3-13	AFAS-B Top Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	72
図 2.2.3-14	AFAS-B Top Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	72
図 2.2.3-15	AFAS-B Bottom Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	73
図 2.2.3-16	AFAS-B Bottom Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	73
図 2.2.3-17	AFAS-P Collar 検出器	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	74
図 2.2.3-18	AFAS-P Collar 検出器	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	74
図 2.2.3-19	AFAS-P Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	75
図 2.2.3-20	AFAS-P Collar 検出器	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	75
図 2.2.3-21	AFAS-P Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	76
図 2.2.3-22	AFAS-P Collar 検出器	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	76
図 2.2.3-23	AFAS-P Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	77
図 2.2.3-24	AFAS-P Collar 検出器	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	77
図 2.2.3-25	AFAS-P Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	78
図 2.2.3-26	AFAS-P Collar 検出器	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	78
図 2.2.3-27	AFAS-P Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	79
図 2.2.3-28	AFAS-P Collar 検出器	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	79
図 2.2.3-29	AFAS-P Collar 検出器	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	80
図 2.2.3-30	AFAS-P Collar 検出器	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	80
図 2.2.3-31	AFAS-P Collar 検出器	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	81
図 2.2.3-32	AFAS-P Collar 検出器	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	81
図 2.2.3-33	AFAS-P Collar 検出器	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	82
図 2.2.3-34	AFAS-P Collar 検出器	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	82
図 2.2.3-35	AFAS-P Collar 検出器	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	83
図 2.2.3-36	AFAS-P Collar 検出器	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	83
図 2.2.3-37	AFAS-P Top Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	84
図 2.2.3-38	AFAS-P Top Fork 検出器	パルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	84

図 2.2.3-39	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)	85
図 2.2.3-40	AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)	85
図 2.3.3-1	²⁴⁰ Pu 実効質量及び誤差 (2 σ) の比較	91
図 2.4.1-1	デッドタイム補正係数評価における ²⁵² Cf 中性子線源の配置箇所 (AFAS-B Collar)	94
図 2.4.1-2	デッドタイム補正係数評価における ²⁵² Cf 中性子線源の配置箇所 (AFAS-P Collar)	94
図 2.4.1-3	デッドタイム補正係数 <i>a</i> の比較 (AFAS-B Collar)	96
図 2.4.1-4	デッドタイム補正係数 <i>b</i> の比較 (AFAS-B Collar)	96
図 2.4.1-5	デッドタイム補正係数 <i>a</i> の比較 (AFAS-P Collar)	97
図 2.4.1-6	デッドタイム補正係数 <i>b</i> の比較 (AFAS-P Collar)	97
図 2.4.2-1	中性子検出効率評価における ²⁵² Cf 中性子線源の配置箇所 (AFAS-B Fork)	99
図 2.4.2-2	中性子検出効率評価における ²⁵² Cf 中性子線源の配置箇所 (AFAS-P Fork)	99
図 2.4.4-1	プロファイル評価における線源の配置箇所 (全方向) (AFAS-B Collar)	104
図 2.4.4-2	プロファイル評価における線源の配置箇所 (水平及び奥行き方向) (AFAS-B Collar)	105
図 2.4.4-3	プロファイル評価における線源の配置箇所 (垂直方向) (AFAS-B Collar)	105
図 2.4.4-4	プロファイル評価における線源の配置箇所 (全方向) (AFAS-B Fork)	106
図 2.4.4-5	プロファイル評価における線源の配置箇所 (水平及び奥行き方向) (AFAS-B Fork)	106
図 2.4.4-6	プロファイル評価における線源の配置箇所 (垂直方向) (AFAS-B Fork)	107
図 2.4.4-7	プロファイル評価における線源の配置箇所 (全方向) (AFAS-P Collar)	107
図 2.4.4-8	プロファイル評価における線源の配置箇所 (水平及び奥行き方向) (AFAS-P Collar)	108
図 2.4.4-9	プロファイル評価における線源の配置箇所 (垂直方向) (AFAS-P Collar)	108
図 2.4.4-10	プロファイル評価における線源の配置箇所 (全方向) (AFAS-P Fork)	109
図 2.4.4-11	プロファイル評価における線源の配置箇所 (水平及び奥行き方向) (AFAS-P Fork)	109
図 2.4.4-12	プロファイル評価における線源の配置箇所 (垂直方向) (AFAS-P Fork)	110
図 2.4.4-13	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Collar)	110
図 2.4.4-14	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Collar)	111
図 2.4.4-15	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Collar)	111
図 2.4.4-16	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork)	112
図 2.4.4-17	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork)	112
図 2.4.4-18	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork)	113
図 2.4.4-19	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork)	113
図 2.4.4-20	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork)	114
図 2.4.4-21	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork)	114
図 2.4.4-22	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar)	115
図 2.4.4-23	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar)	115
図 2.4.4-24	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar)	116
図 2.4.4-25	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork)	116
図 2.4.4-26	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork)	117

図 2.4.4-27	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork).....	117
図 2.4.4-28	奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork).....	118
図 2.4.4-29	水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork).....	118
図 2.4.4-30	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork).....	119
図 2.4.5-1	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Collar).....	121
図 2.4.5-2	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Top Fork).....	121
図 2.4.5-3	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Bottom Fork).....	122
図 2.4.5-4	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Collar).....	122
図 2.4.5-5	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Top Fork).....	123
図 2.4.5-6	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Bottom Fork).....	123
図 3.1.2-1	AVIS の中性子検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例.....	124
図 3.1.2-2	AVIS のアンプ配置図.....	125
図 3.1.3-1	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	126
図 3.1.3-2	アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	126
図 3.1.3-3	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	127
図 3.1.3-4	アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	127
図 3.1.3-5	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	128
図 3.1.3-6	アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	128
図 3.1.3-7	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	129
図 3.1.3-8	アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	129
図 3.1.3-9	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	130
図 3.1.3-10	アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	130
図 3.1.3-11	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	131
図 3.1.3-12	アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	131
図 3.1.3-13	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	132
図 3.1.3-14	アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	132
図 3.1.3-15	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	133
図 3.1.3-16	アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	133
図 3.1.3-17	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	134
図 3.1.3-18	アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	134
図 3.1.3-19	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	135
図 3.1.3-20	アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	135
図 3.1.3-21	アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	136
図 3.1.3-22	アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	136
図 3.1.3-23	アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	137
図 3.1.3-24	アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	137
図 3.1.3-25	アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	138

図 3.1.3-26	アンブ M のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	138
図 3.1.3-27	アンブ N のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s).....	139
図 3.1.3-28	アンブ N のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s).....	139
図 3.2.2-1	ガンマ線検出器の配置 (概要図)	142
図 3.2.3-1	シミュレーションモデル (Side 配置) の縦断面図.....	142
図 3.2.3-2	シミュレーションモデル (Side 配置) の横断面図.....	143
図 3.2.3-3	シミュレーションモデル (Bottom 配置) の縦断面図	144
図 3.2.3-4	シミュレーションモデル (Bottom 配置) の横断面図	144
図 3.2.4-1	Bottom 配置時のシミュレーションモデル (空洞部なし)	146
図 3.3.1-1	AVIS 中性子検出器のデッドタイム補正係数評価における 線源の配置箇所	150
図 3.3.1-2	デッドタイム補正係数 a の比較 (AVIS 中性子検出器)	151
図 3.3.1-3	デッドタイム補正係数 b の比較 (AVIS 中性子検出器)	151
図 3.3.5-1	プロファイル評価における線源の配置箇所 (垂直方向) (AVIS 中性子検出器).....	158
図 3.3.5-2	プロファイル評価における線源の配置箇所 (円周方向) (AVIS 中性子検出器).....	159
図 3.3.5-3	垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AVIS 中性子検出器)	160
図 3.3.5-4	円周方向の検出効率プロファイルの比較 (AVIS 中性子検出器)	160
図 3.3.6-1	印加電圧とシングル値の相関の比較 (AVIS 中性子検出器)	161

表目次

表 1.2-1	AFAS 性能確認試験項目	3
表 1.2-2	AVIS 性能確認試験項目	3
表 1.2-3	IPCA 性能確認試験項目	3
表 1.3-1	性能確認試験スケジュール	4
表 1.5-1	AFAS-B 用中性子検出器の測定パラメータ	5
表 1.5-2	AFAS-P 用中性子検出器の測定パラメータ	5
表 1.5-3	中性子検出器パラメータ	6
表 1.6-1	試験に使用した ^{252}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 2.1.3-1	各 AFAS 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の比較	13
表 2.2.2-1	各検出器におけるアンプ数	63
表 2.3.2-1	Collar 検出器におけるアンプ数	87
表 2.3.2-2	平成 24 年度性能確認試験における燃料集合体測定結果	89
表 2.3.3-1	計数値の減少率（AFAS-B Collar 検出器）	90
表 2.3.3-2	計数値の減少率及びスロープ b 、 ρ_0 の再評価結果（AFAS-P Collar 検出器）	90
表 2.4-1	評価する測定パラメータ	92
表 2.4.1-1	デッドタイム補正係数 a 、 b の評価結果（AFAS-B Collar 検出器）	95
表 2.4.1-2	デッドタイム補正係数 a 、 b の評価結果（AFAS-P Collar 検出器）	95
表 2.4.1-3	デッドタイム補正係数 a 、 b の誤差（ σ ）推定結果（AFAS-B Collar 検出器）	95
表 2.4.1-4	デッドタイム補正係数 a 、 b の誤差（ σ ）推定結果（AFAS-P Collar 検出器）	96
表 2.4.2-1	AFAS-B の各検出器における中性子検出効率の比較	100
表 2.4.2-2	AFAS-P の各検出器における中性子検出効率の比較	100
表 2.4.3-1	各ゲート幅におけるダブル値の測定結果（AFAS-B Collar 検出器）	102
表 2.4.3-2	各ゲート幅におけるダブル値の測定結果（AFAS-P Collar 検出器）	102
表 2.4.3-3	ダイアウエイタイム及びゲート幅の評価結果（AFAS-B Collar 検出器）	102
表 2.4.3-4	ダイアウエイタイム及びゲート幅の評価結果（AFAS-P Collar 検出器）	102
表 2.4.3-5	ダイアウエイタイム及びゲート幅の比較（AFAS-B Collar 検出器）	103
表 2.4.3-6	ダイアウエイタイム及びゲート幅の比較（AFAS-P Collar 検出器）	103
表 3.1.2-1	AVIS におけるアンプ数	124
表 3.2.2-1	MOX サンプルの情報	142
表 3.2.3-1	中性子検出効率の比較	143
表 3.2.3-2	測定シミュレーションの条件	145
表 3.2.3-3	^{240}Pu 実効質量の %RSD の比較結果	145
表 3.2.3-4	各シミュレーションモデルにおいて適用した測定パラメータ	145

表 3.2.4-1	^{240}Pu 実効質量の評価結果 (Side 及び Bottom (空洞部なし) 配置の比較) ...	147
表 3.3-1	評価する測定パラメータ	148
表 3.3.1-1	デッドタイム補正係数 a, b の評価結果 (AVIS 中性子検出器)	151
表 3.3.1-2	デッドタイム補正係数 a, b の誤差 (σ) の推定結果 (AVIS 中性子検出器) ..	151
表 3.3.2-1	AVIS 中性子検出器における中性子検出効率の比較.....	154
表 3.3.3-1	ゲート幅の変更によるダブル値の測定結果 (AVIS 中性子検出器)	156
表 3.3.3-2	ダイアウエイタイムの評価結果 (AVIS 中性子検出器)	156
表 3.3.3-3	ダイアウエイタイムの比較 (AVIS 中性子検出器)	156
表 3.3.4-1	ゲートフラクションの比較 (AVIS 中性子検出器)	157

写真目次

写真 1.1-1 AFAS の外観写真	1
写真 1.1-2 AVIS の外観写真	2
写真 1.1-3 IPCA の外観写真	2
写真 2.2.2-1 AFAS のアンプ (AMPTEK A111)	65

添付資料目次

【線源情報】

線源証明書	添付-1
-------	------

【AFAS 性能確認試験】

(1) 2.1 長期管理限界の妥当性確認	添付-8
(2) 2.3 AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法及び故障時の測定性能の評価	添付-46
(3) 2.4.1 測定パラメータの再評価（デッドタイム補正係数の評価）	添付-66
(4) 2.4.2 測定パラメータの再評価（中性子検出効率の評価）	添付-73
(5) 2.4.3 測定パラメータの再評価（ダイアウエイタイム、ゲート幅の評価）	添付-84
(6) 2.4.4 測定パラメータの再評価（検出効率プロファイルの評価）	添付-91
(7) 2.4.5 測定パラメータの再評価（HV プラトー領域の評価）	添付-204

【AVIS 性能確認試験】

(1) 3.3.1 測定パラメータの再評価（デッドタイム補正係数の評価）	添付-207
(2) 3.3.2 測定パラメータの再評価（中性子検出効率の評価）	添付-211
(3) 3.3.3 測定パラメータの再評価（ダイアウエイタイムの評価）	添付-215
(4) 3.3.4 測定パラメータの再評価（ゲートフラクションの評価）	添付-221
(5) 3.3.5 測定パラメータの再評価（検出効率プロファイルの評価）	添付-223
(6) 3.3.6 測定パラメータの再評価（HV プラトー領域の評価）	添付-230

【IPCA 性能確認試験】

(1) 4.1 長期管理限界の妥当性確認	添付-232
----------------------	--------

1. 試験概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という）は、原子力規制庁殿と令和2年4月に締結した受託業務契約「令和2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。

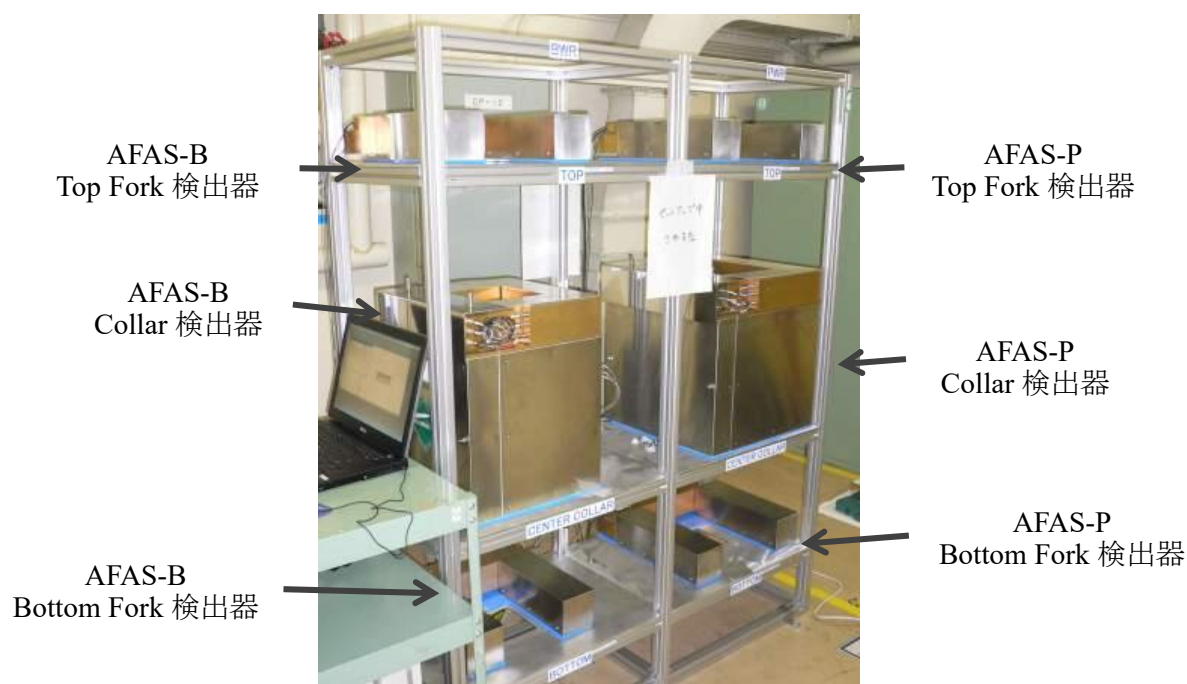


写真 1.1-1 AFAS の外観写真

(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高純度ゲルマニウム (HPGe) 半導体検出器 (ガンマ線検出器) 3 台及びロードセル (荷重変換器) により構成される。装置の外観写真を写真 1.1-3 に示す。

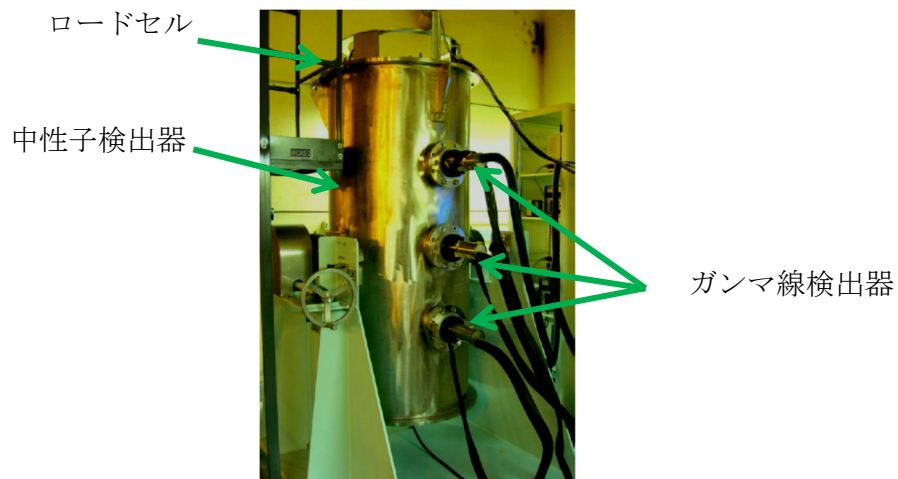


写真 1.1-3 IPCA の外観写真

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

1.2 試験項目

(1) AFAS の性能確認試験

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

表 1.2-1 AFAS 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
AFAS	長期管理限界の妥当性確認	2.1
	パルス間隔分布の評価	2.2
	AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価	2.3
	測定パラメータの再評価	2.4

(2) AVIS の性能確認試験

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

表 1.2-2 AVIS 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
AVIS	パルス間隔分布の評価	3.1
	プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価	3.2
	測定パラメータの再評価 ^(*)	3.3

*1: AVIS のガンマ線検出器は、平成 29 年 4 月に故障が確認されたため、当該検出器を用いた再評価は実施しない。

(3) IPCA の性能確認試験

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



表 1.2-3 IPCA 性能確認試験項目

機器名	試験項目	参照項
IPCA	長期管理限界の妥当性確認	4.1

1.3 試験スケジュール

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

表 1.3-1 性能確認試験スケジュール

内容	令和2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			LANL ^(*2) との技術会合 (リモート会議)				▲					

表中の () は開催場所を示す。

*2: 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 <i>a</i>	0.6419×10 ⁻⁶	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	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 <i>a</i>	0.3458×10 ⁻⁶	0.0000	0.0000
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	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 <i>a</i>	0.2904×10^{-6}
デッドタイム補正係数 <i>b</i>	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 1.6-1 に示す。表中の中性子放出率は、各線源の線源証明書に記載されている値を、評価日に合わせて崩壊計算することにより求めた値である。なお、LANL において使用された中性子線源については、LANL 報告書 “Annual IPCA2 Performance Report for JFY20” (添付資料) を参照のこと。

表 1.6-1 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
H4-694	3.5×10^4	2020/4/1
K7-436	6.9×10^4	
Q2-334	2.2×10^5	

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, 29 及び 30 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。

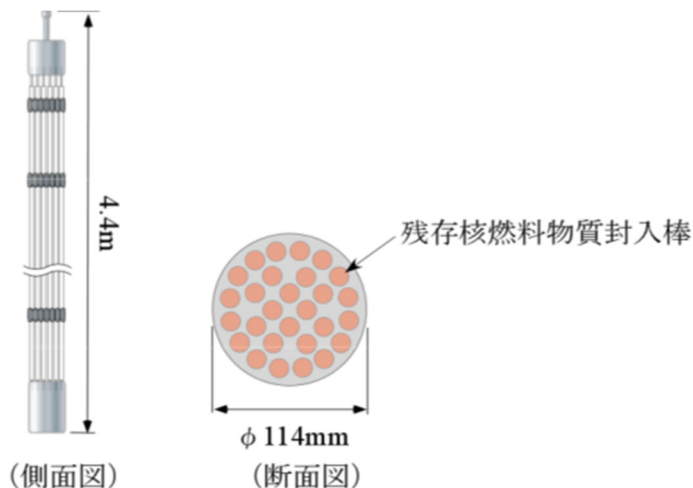


図 1.7-1 封入棒集合体の側面図及び断面図

表 1.7-1 封入棒集合体の仕様

集合体 No.	Pu 量 (g)	Pu 含有率 ^{(*)3} (%)	有効長 ^{(*)4} (m)	内容
P1	3533.991	2.1	3.7	残存核燃料物質（製品ペレット）

*3: Pu 含有率(%)=Pu 重量/MOX 重量×100

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

表 1.7-2 封入棒集合体の同位体組成比（集合体平均）

集合体 No.	同位体組成比						崩壊計算日
	²³⁸ Pu (%)	²³⁹ Pu (%)	²⁴⁰ Pu (%)	²⁴¹ Pu (%)	²⁴² Pu (%)	²⁴¹ Am ^{(*)5} (%)	
P1	1.3233	61.493	27.841	3.8401	5.5022	6.3855	2013/1/30

*5: ²⁴¹Am 量/Pu 量

2. AFAS の性能確認試験

2.1 長期管理限界の妥当性確認

2.1.1 目的

J-MOX において査察官非立会測定システムとして使用される AFAS の長期安定性を確認する。また、AFAS の各検出器から得られる計数値の長期管理限界^(*6)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。

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

2.1.2 方法

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

また、定期的な ^{252}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。また、測定環境の温湿度と計数値の相関の有無を評価する。

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

本確認は、AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器について行う。

なお、2020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。JSR-12 を用いた場合の機器接続図を図 2.1.2-1 に示す。

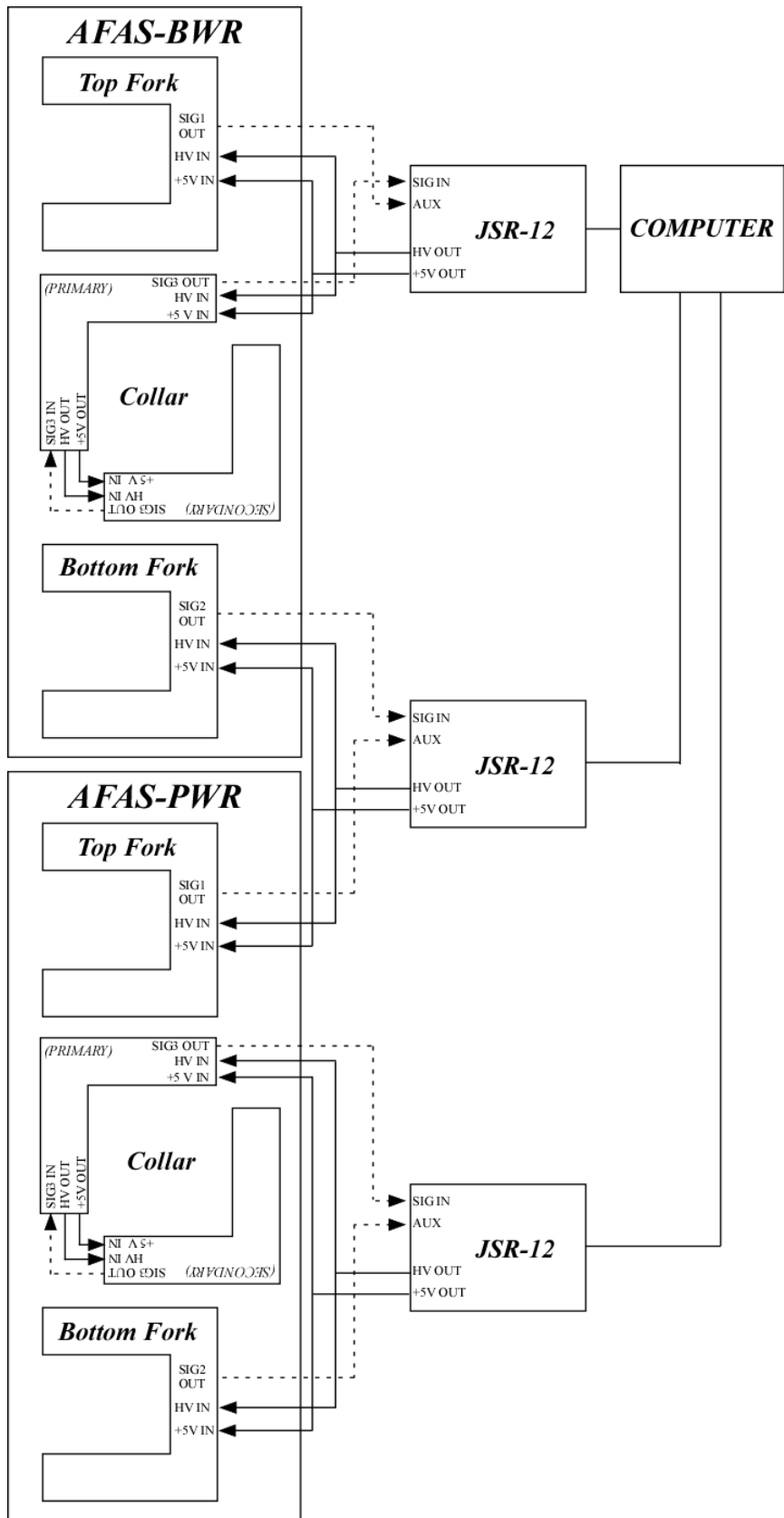


図 2.1.2-1 AFAS 機器接続図

詳細な手順を以下に示す。

(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：2020 年 4 月～2021 年 3 月^(*7)
 - ・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。

*7: 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 1.6-1 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 中性子線源測定を月 1 回の頻度で実施し、INCC ソフトウェアを用いて各計数値を評価する。測定条件を以下に示す。また、測定時における温湿度の測定も同時に実施する。
 - ・測定時間：600 秒
 - ・取得する計数値：Collar 検出器：ダブル値
Fork 検出器：シングル値
- ④ 全ての検出器について、②～③を実施する。
- ⑤ ②～④により得られた各計数値及び誤差より、各検出器の長期管理限界を評価する。また、測定環境の温湿度と計数値の相関の有無を評価する。

2.1.3 結果

(1) バックグラウンド測定

2020年4月から2021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の相関の評価結果を検出器毎に次頁以降の①～⑥に示す。評価結果については、測定期間中の環境変化（AFAS 検出器近傍の設備の移動、隣接する部屋内の放射線源の増減）に合わせ、5つの期間に分けて示した。バックグラウンド測定結果を示すグラフ中の赤色の実線は各計数値の平均値を示し、破線は平均値の $\pm 3\sigma$ （ 3σ は標準偏差を3倍した値）を示す。また、各検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の平均値を表2.1.3-1に示す。

AFAS-B Collar 検出器におけるシングル値は図2.1.3-1~5に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。ダブル値の平均値は、全期間において約0.005cpsであった。異常な事象として、シングル値においては、1/19及び1/27に一時的な計数値の低下（約6.5cps及び約5.5cps）が確認された（図2.1.3-5に示す）。

AFAS-P Collar 検出器におけるシングル値は図2.1.3-31~35に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。ダブル値の平均値は、全期間において約0.006cpsであった。異常な事象として、シングル値においては、AFAS-Bと同様に1/19及び1/27に一時的な計数値の低下（約8.3cps）が確認され（図2.1.3-35に示す）、5月～9月の間に単発的な高い計数値（約13cps～34cps）が40回程度確認された（図2.1.3-31及び図2.1.3-32に示す）。また、ダブル値においても、シングル値と同様に5月～9月の間に単発的な高い計数値（約220cps～3500cps）が40回程度確認された（図2.1.3-36及び図2.1.3-37に示す）。

Fork 検出器における各検出器のシングル値の平均値は表2.1.3-1に示す通りであり、ほぼ全ての計数値は平均値の $\pm 3\sigma$ の範囲内に収まった。

測定期間中、測定環境の温度は約18℃～26℃、湿度は約33%～77%の範囲で変動した。図2.1.3-11～2.1.3-30、図2.1.3-41～2.1.3-60、図2.1.3-66～2.1.3-75、図2.1.3-81～2.1.3-90、図2.1.3-96～2.1.3-105及び図2.1.3-111～2.1.3-120に示すように、各検出器の計数値と温度及び湿度に相関関係はみられなかった。

表 2.1.3-1 各 AFAS 検出器の各期間におけるバックグラウンドのシングル値の比較

検出器	バックグラウンドのシングル値の平均値 (cps)				
	2020/4/9 5 7/13	8/20 5 9/14	9/18 5 9/28	10/27 5 11/10	2020/11/10 5 2021/2/1
B Collar	7.371	7.726	7.439	10.576	9.268
P Collar	9.274	10.179	9.361	16.088	11.959
B Top	0.850	0.880	0.846	1.290	1.073
P Top	1.336	1.393	1.330	2.338	1.686
B Bottom	0.737	0.753	0.730	1.129	0.931
P Bottom	1.014	1.036	1.000	1.741	1.296

① AFAS-B Collar 検出器

- ・バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-1～2.1.3-5
- ・バックグラウンドのダブル値：図 2.1.3-6～2.1.3-10
- ・シングル値と温度の相関：図 2.1.3-11～2.1.3-15
- ・ダブル値と温度の相関：図 2.1.3-16～2.1.3-20
- ・シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-21～2.1.3-25
- ・ダブル値と湿度の相関：図 2.1.3-26～2.1.3-30

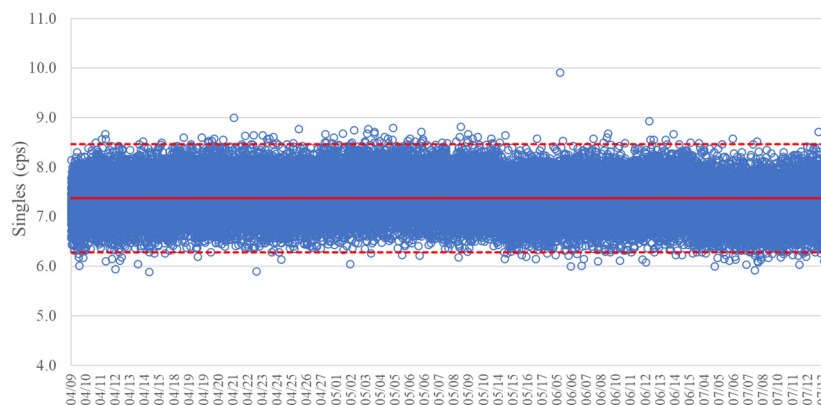


図 2.1.3-1 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

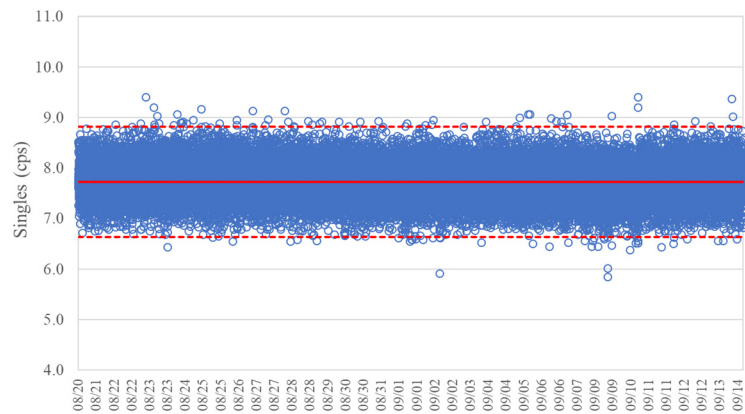


図 2.1.3-2 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

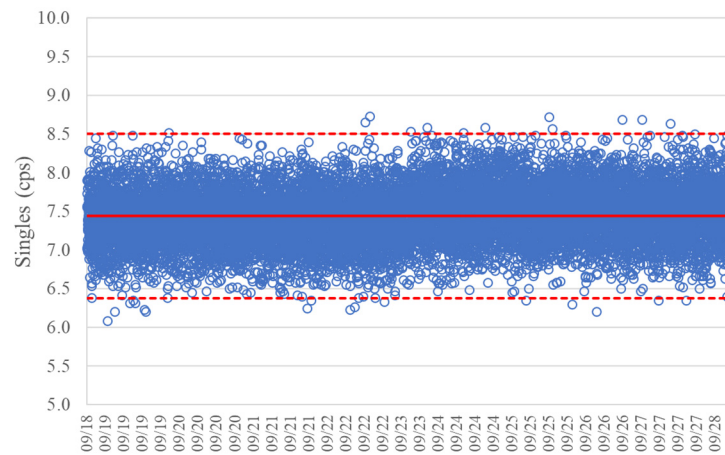


図 2.1.3-3 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

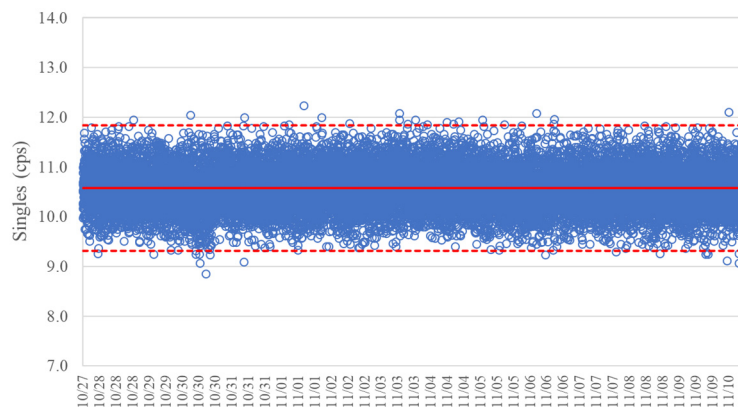


図 2.1.3-4 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

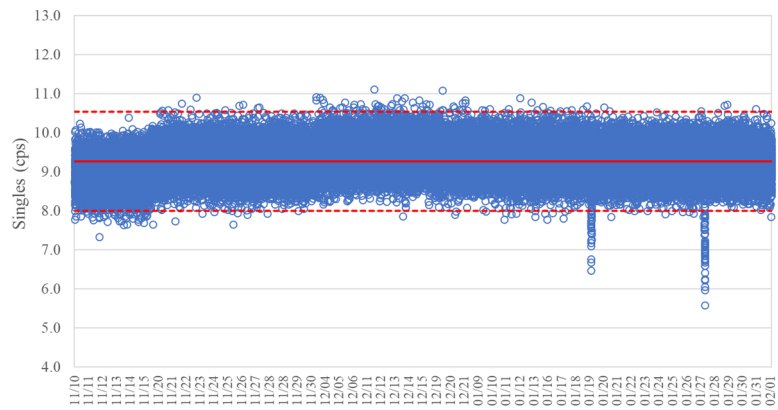


図 2.1.3-5 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

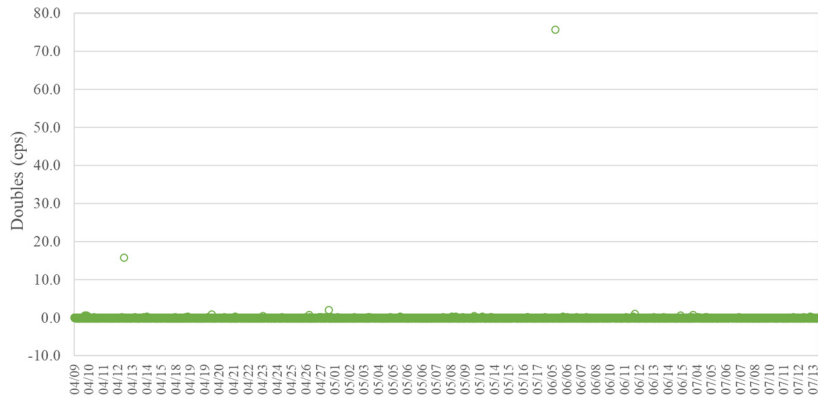


図 2.1.3-6 バックグラウンドのダブル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

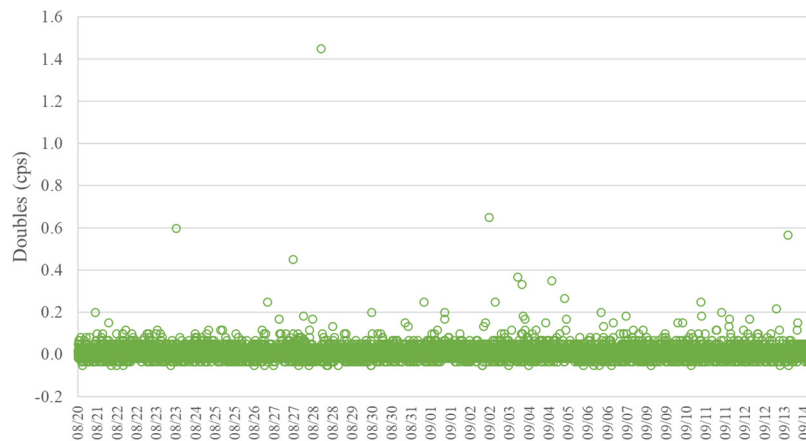


図 2.1.3-7 バックグラウンドのダブル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

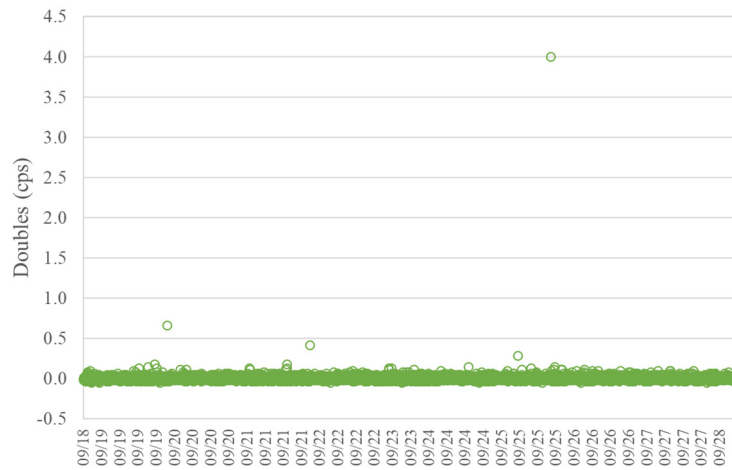


図 2.1.3-8 バックグラウンドのダブル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

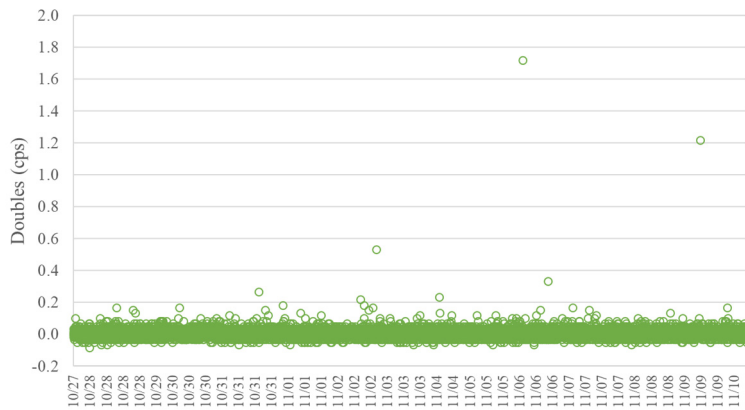


図 2.1.3-9 バックグラウンドのダブル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

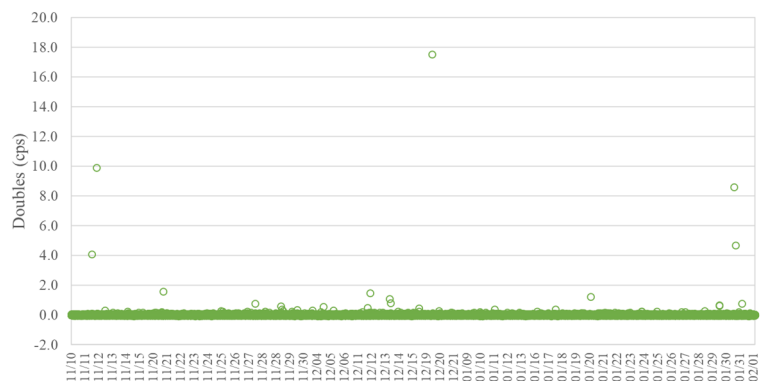


図 2.1.3-10 バックグラウンドのダブル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

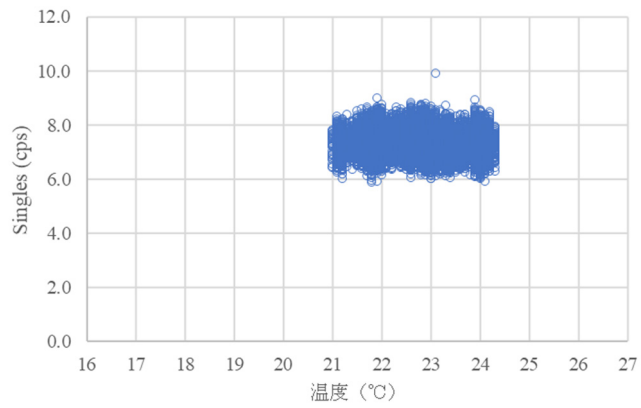


図 2.1.3-11 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

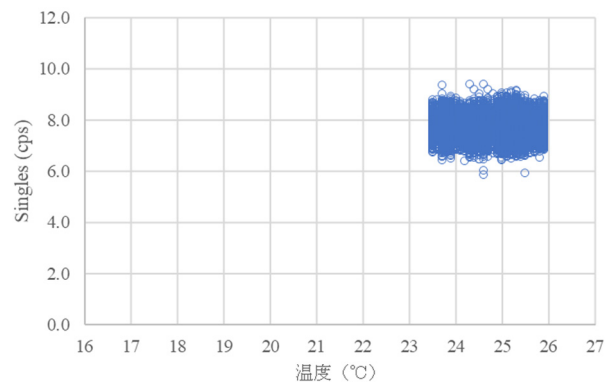


図 2.1.3-12 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

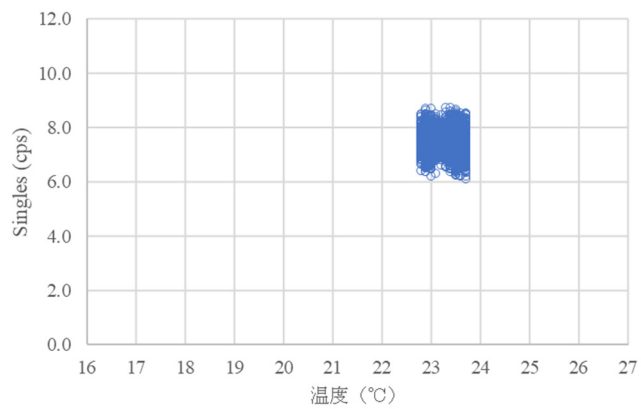


図 2.1.3-13 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

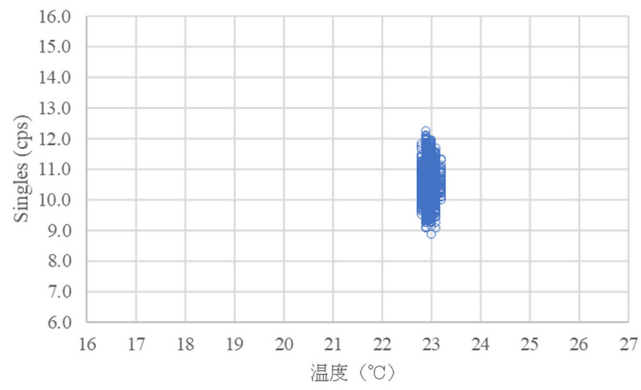


図 2.1.3-14 シングル値と温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

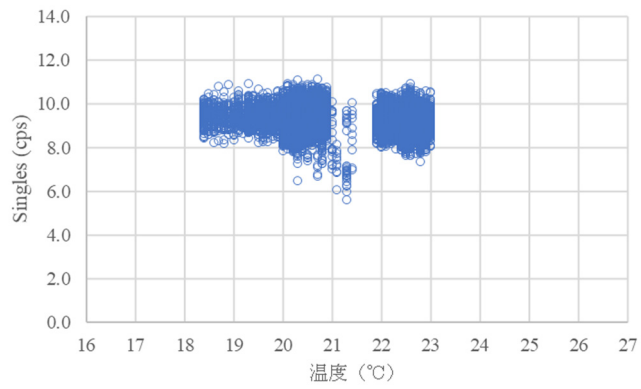


図 2.1.3-15 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

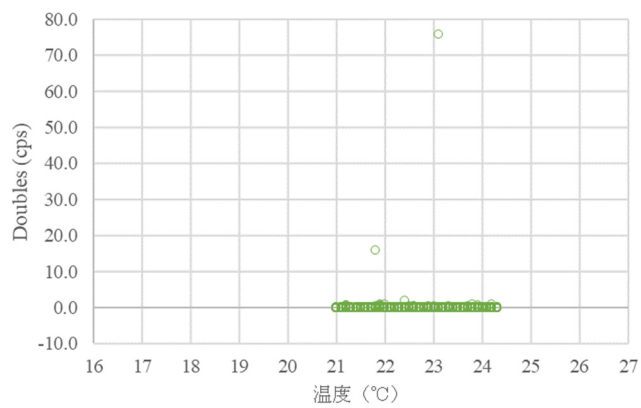


図 2.1.3-16 ダブル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

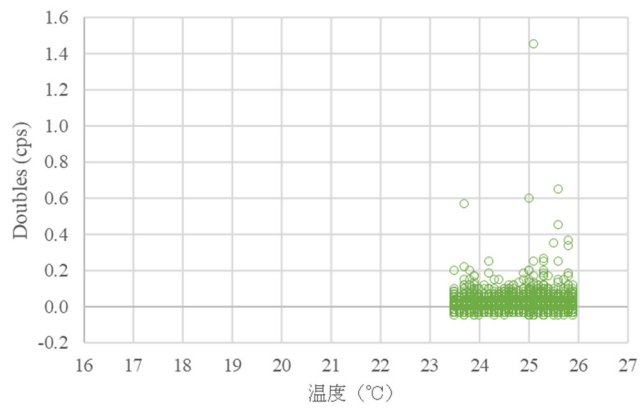


図 2.1.3-17 ダブル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

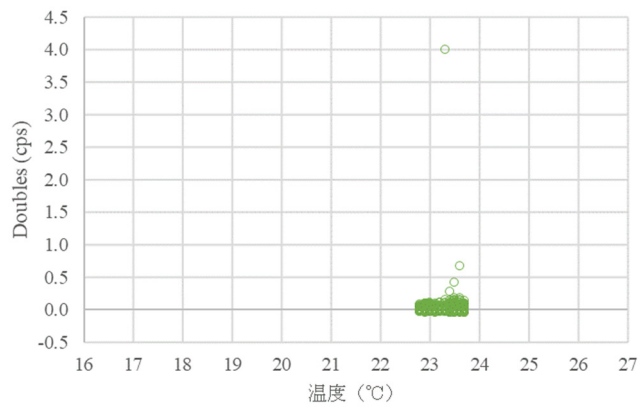


図 2.1.3-18 ダブル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

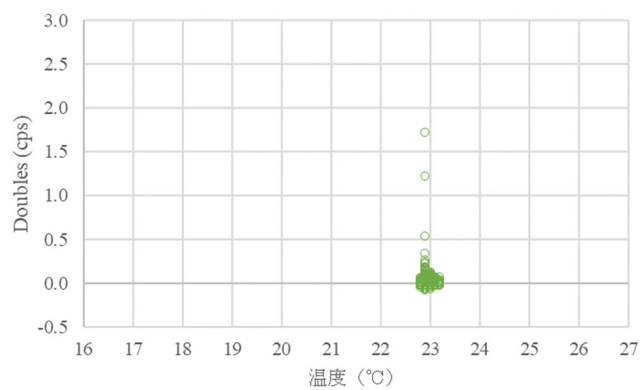


図 2.1.3-19 ダブルと温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

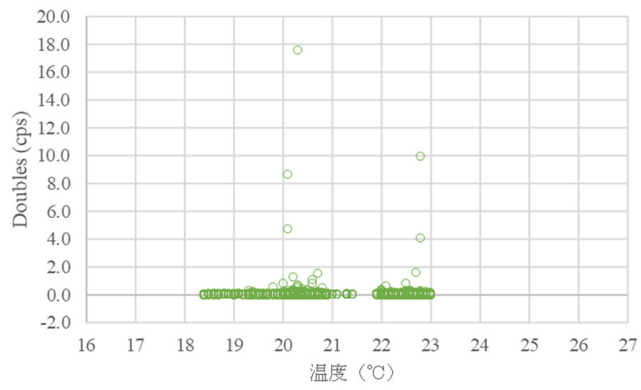


図 2.1.3-20 ダブル値と温度の相関 (2020/11/10～2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

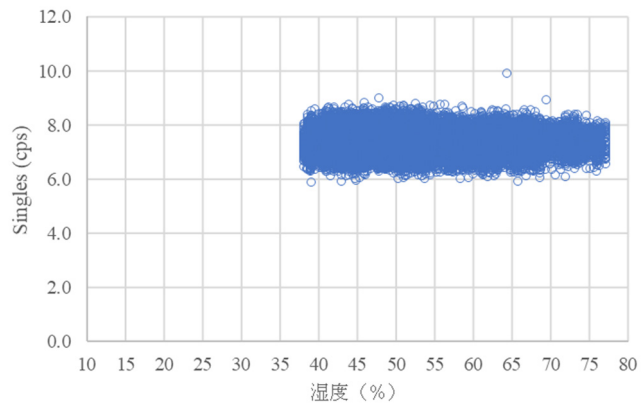


図 2.1.3-21 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09～2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

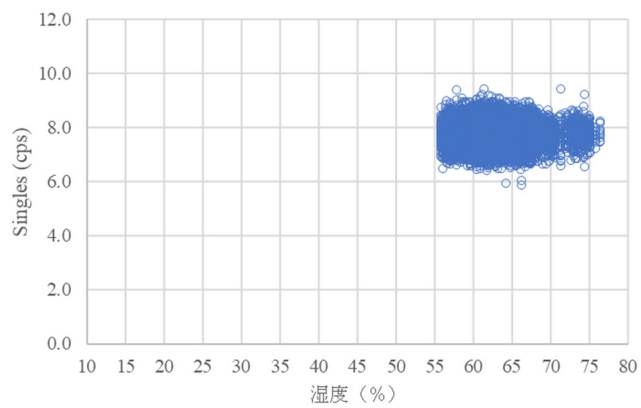


図 2.1.3-22 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20～2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

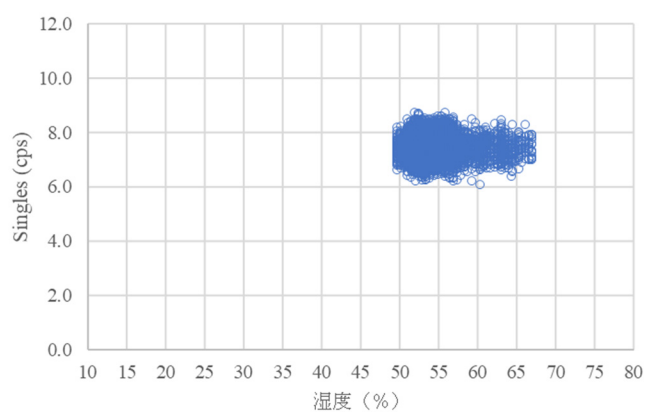


図 2.1.3-23 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

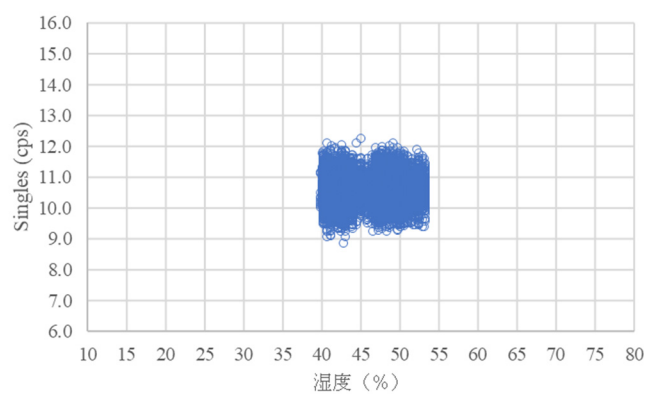


図 2.1.3-24 シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

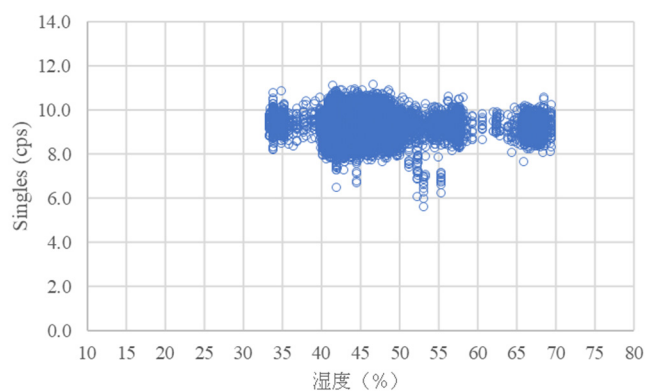


図 2.1.3-25 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

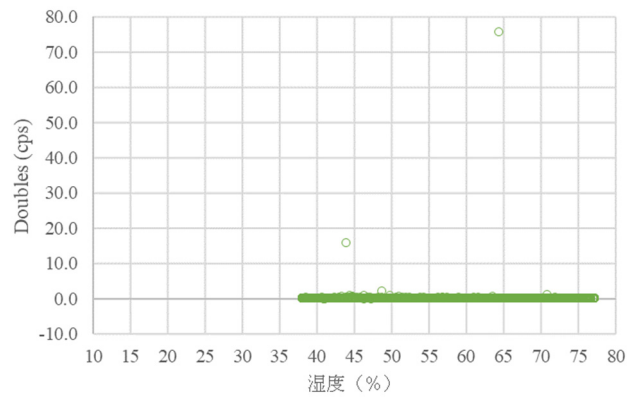


図 2.1.3-26 ダブル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Collar 検出器)

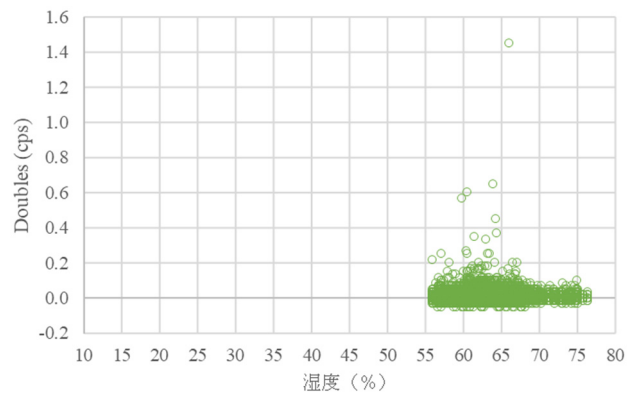


図 2.1.3-27 ダブル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Collar 検出器)

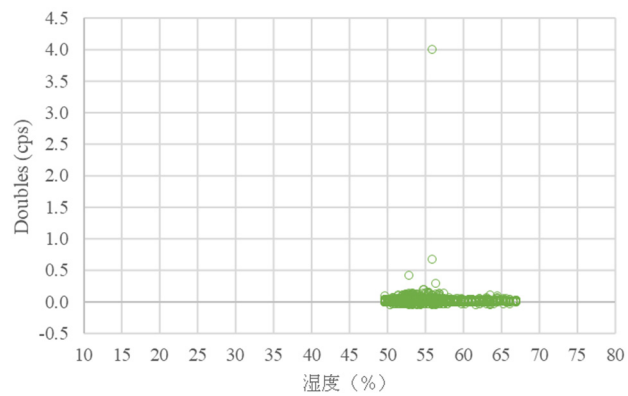


図 2.1.3-28 ダブル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Collar 検出器)

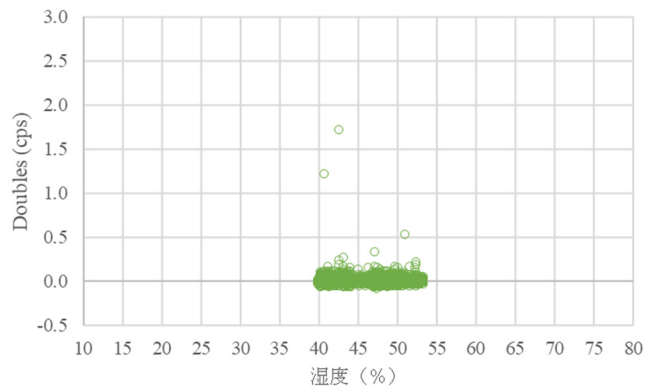


図 2.1.3-29 ダブルと湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Collar 検出器)

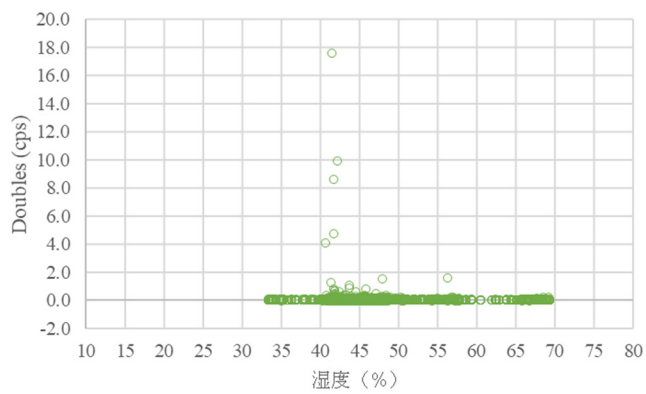


図 2.1.3-30 ダブル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Collar 検出器)

② AFAS-P Collar 検出器

- バックグラウンドのシングル値 : 図 2.1.3-31 ~ 2.1.3-35
- バックグラウンドのダブル値 : 図 2.1.3-36 ~ 2.1.3-40
- シングル値と温度の相関 : 図 2.1.3-41 ~ 2.1.3-45
- ダブル値と温度の相関 : 図 2.1.3-46 ~ 2.1.3-50
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-51 ~ 2.1.3-55
- ダブル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-56 ~ 2.1.3-60

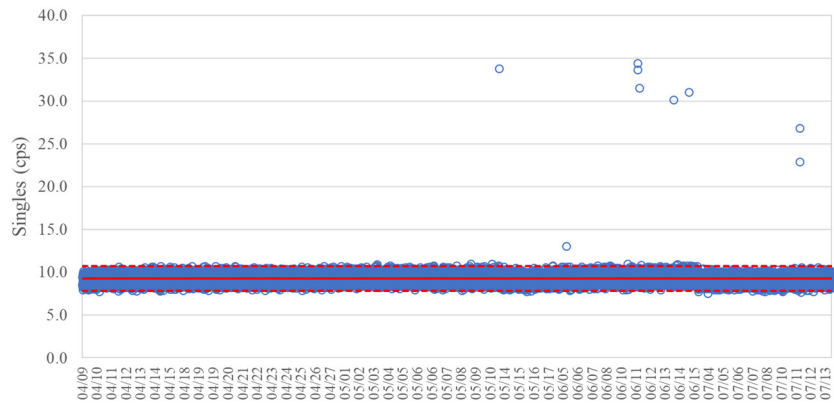


図 2.1.3-31 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Collar 検出器)

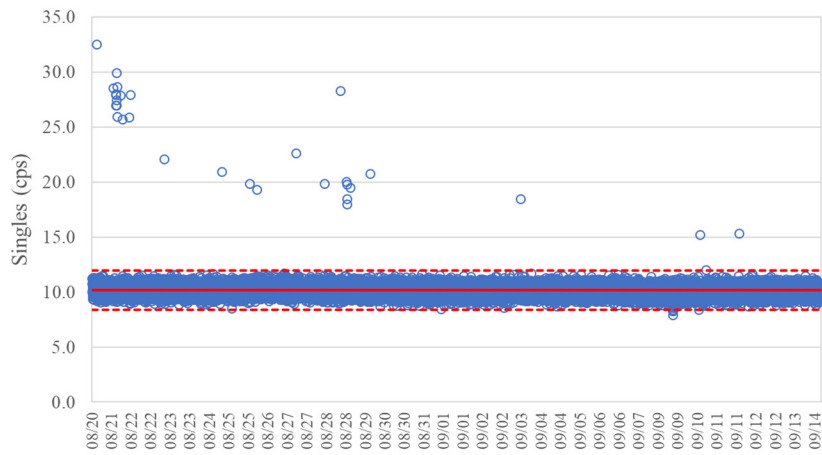


図 2.1.3-32 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Collar 検出器)

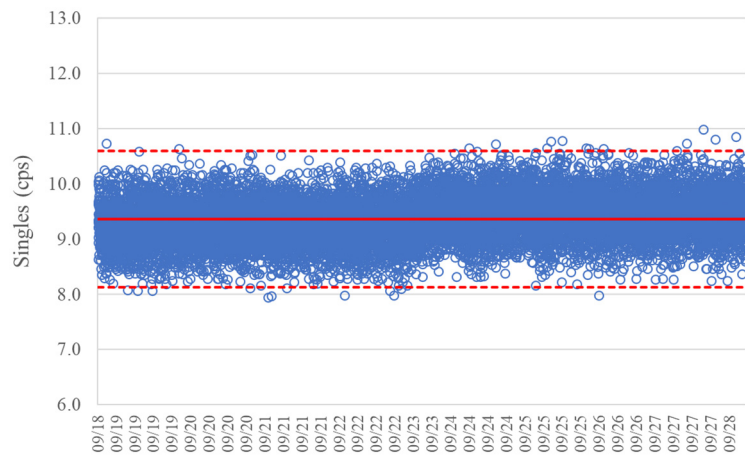


図 2.1.3-33 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

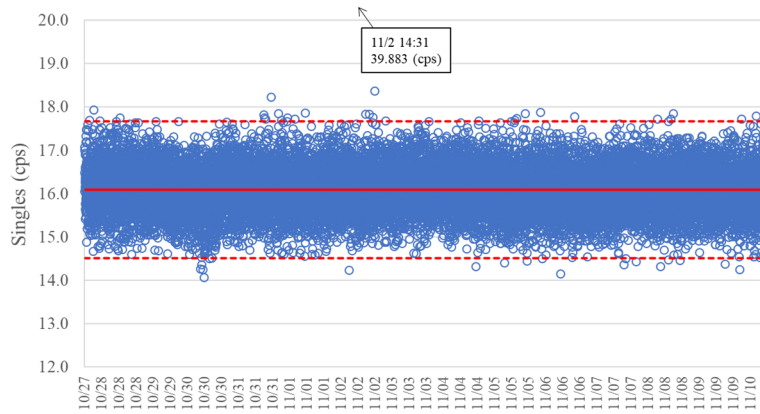


図 2.1.3-34 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Collar 検出器)

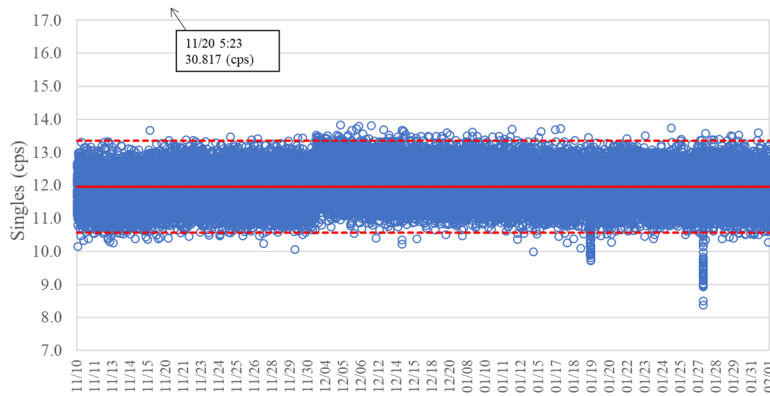


図 2.1.3-35 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

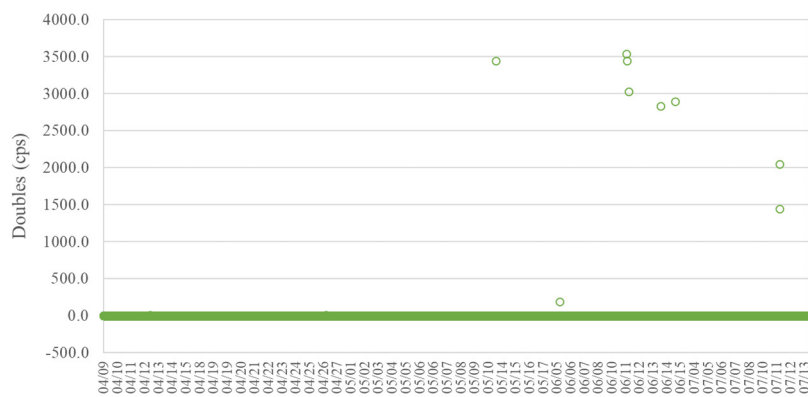


図 2.1.3-36 バックグラウンドのダブル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Collar 検出器)

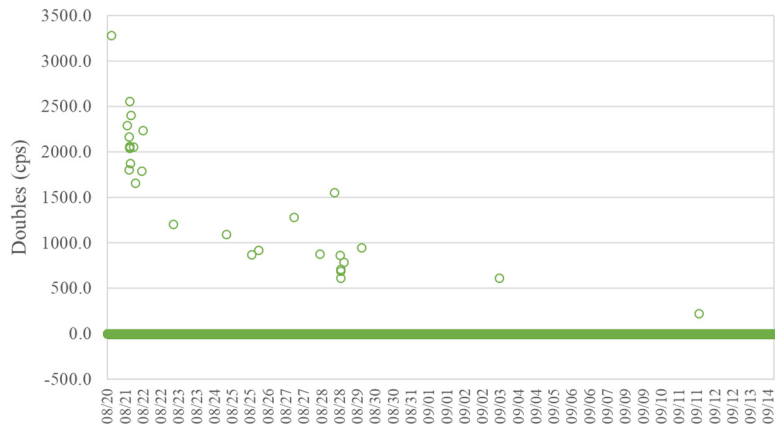


図 2.1.3-37 バックグラウンドのダブル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Collar 検出器)

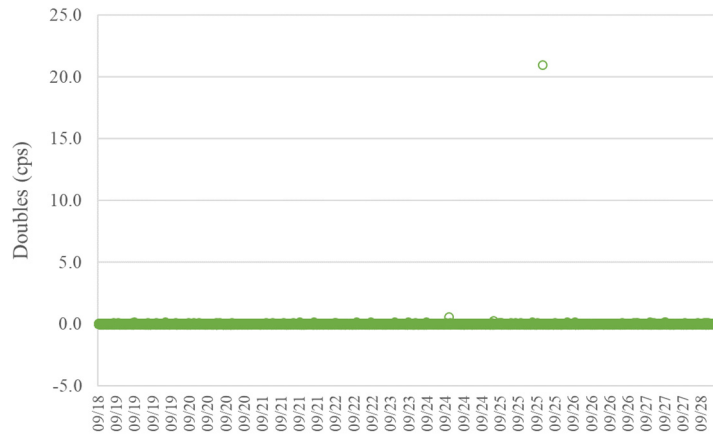


図 2.1.3-38 バックグラウンドのダブル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

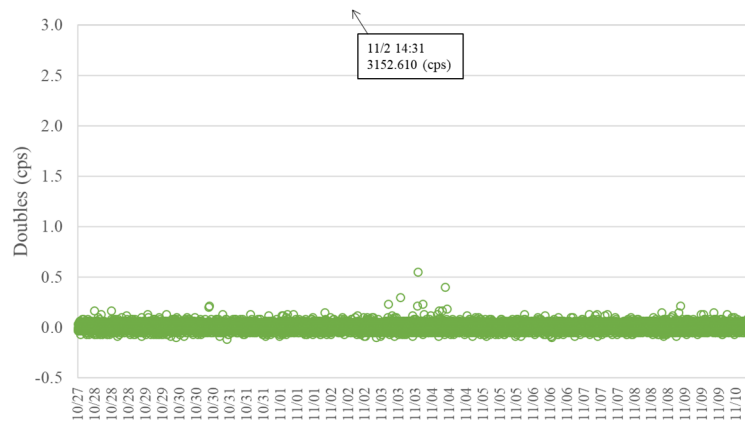


図 2.1.3-39 バックグラウンドのダブル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Collar 検出器)

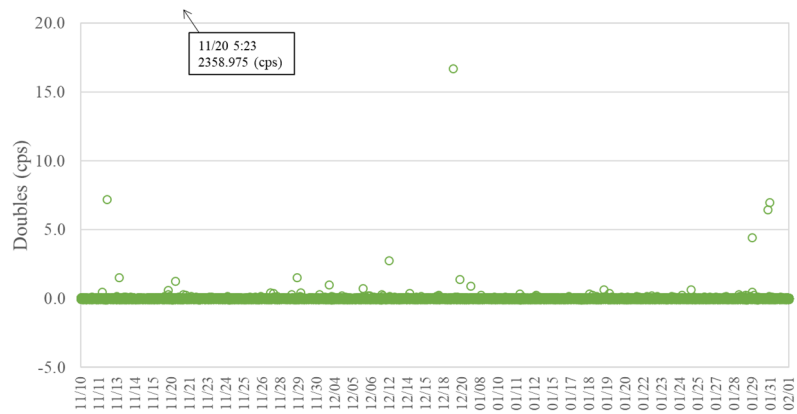


図 2.1.3-40 バックグラウンドのダブル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

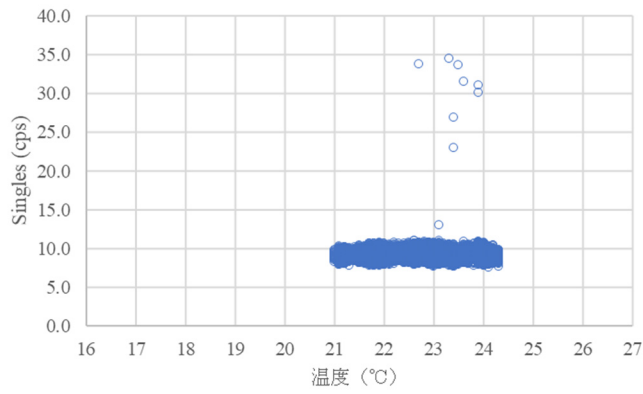


図 2.1.3-41 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Collar 検出器)

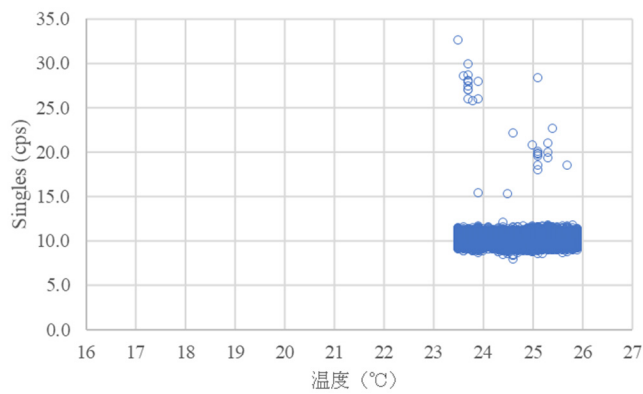


図 2.1.3-42 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Collar 検出器)

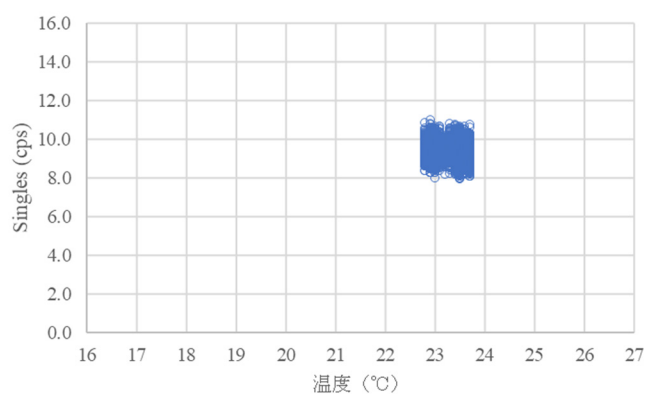


図 2.1.3-43 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

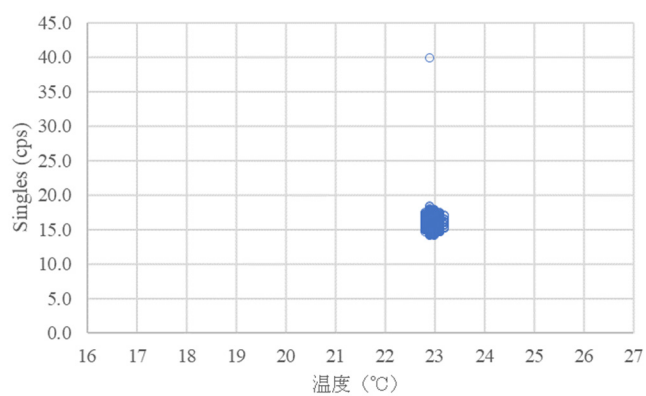


図 2.1.3-44 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

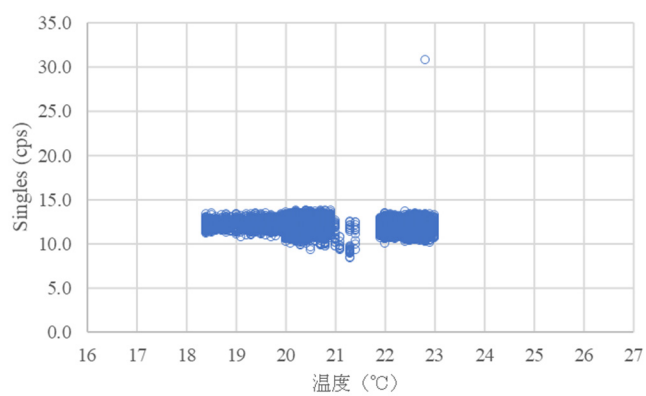


図 2.1.3-45 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

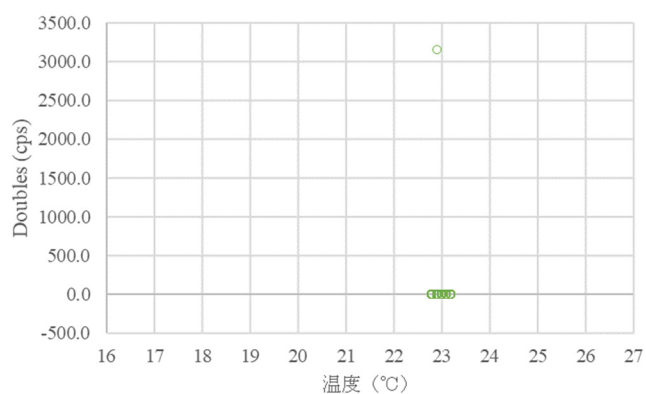


図 2.1.3-49 ダブルと温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Collar 検出器)

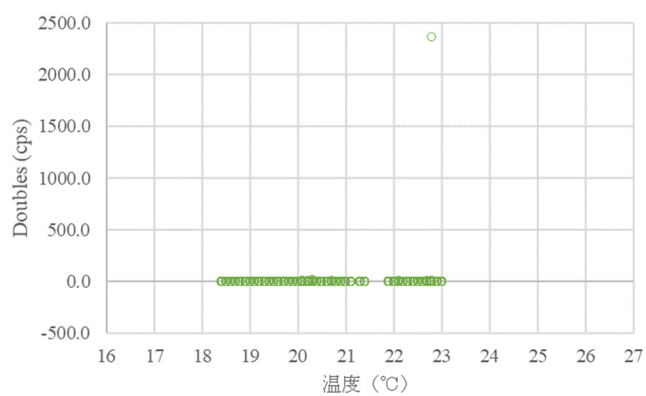


図 2.1.3-50 ダブル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

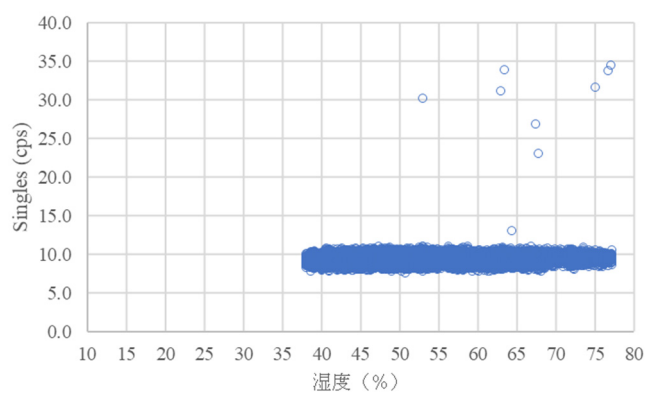


図 2.1.3-51 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Collar 検出器)

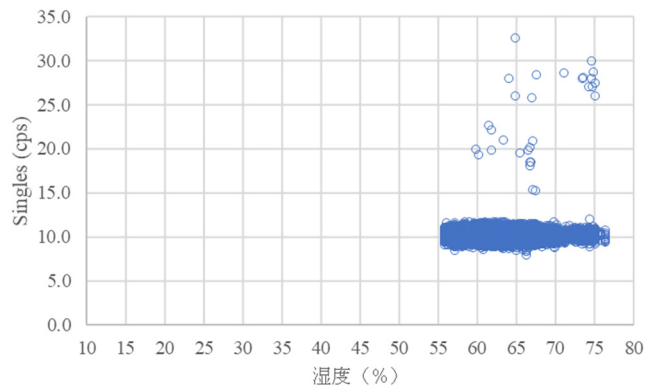


図 2.1.3-52 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Collar 検出器)

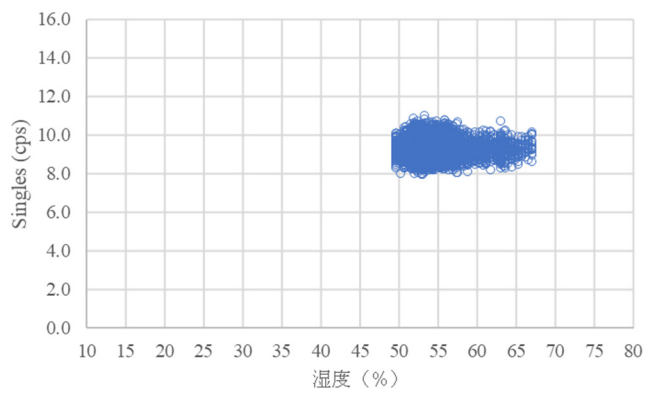


図 2.1.3-53 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

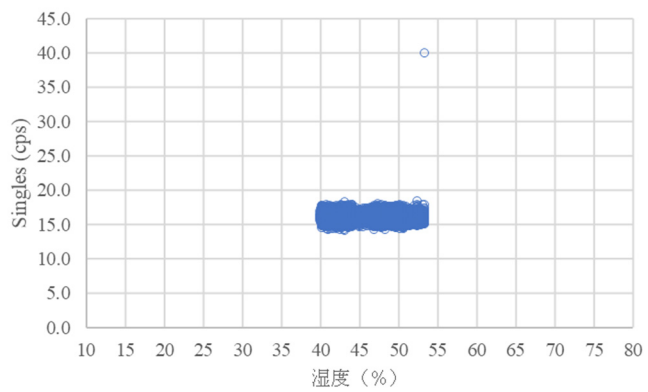


図 2.1.3-54 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

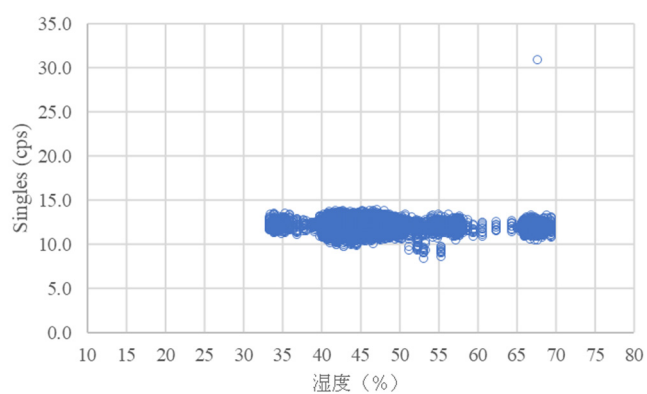


図 2.1.3-55 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

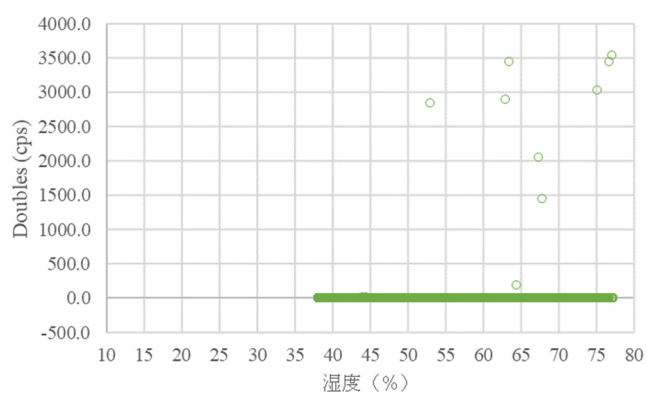


図 2.1.3-56 ダブル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Collar 検出器)

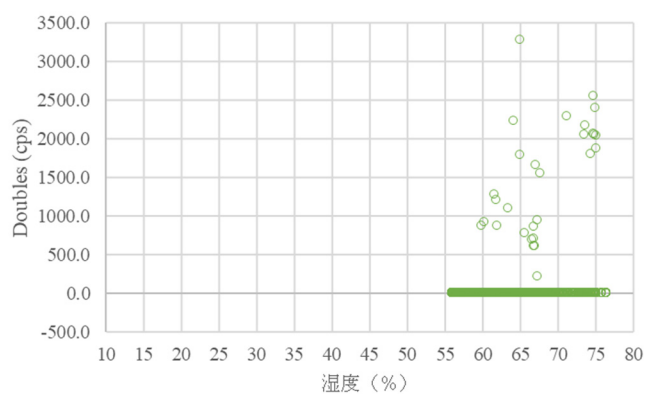


図 2.1.3-57 ダブル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Collar 検出器)

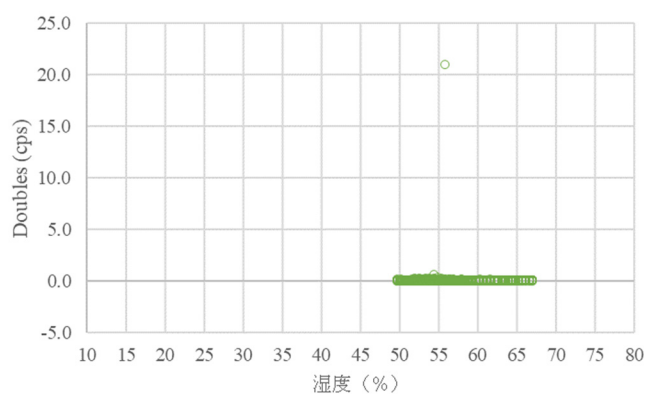


図 2.1.3-58 ダブル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Collar 検出器)

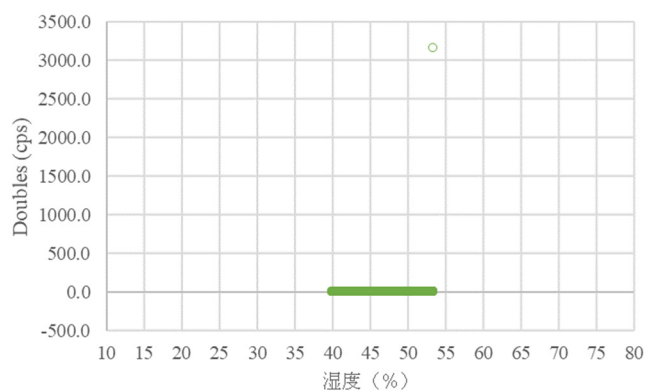


図 2.1.3-59 ダブルと湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Collar 検出器)

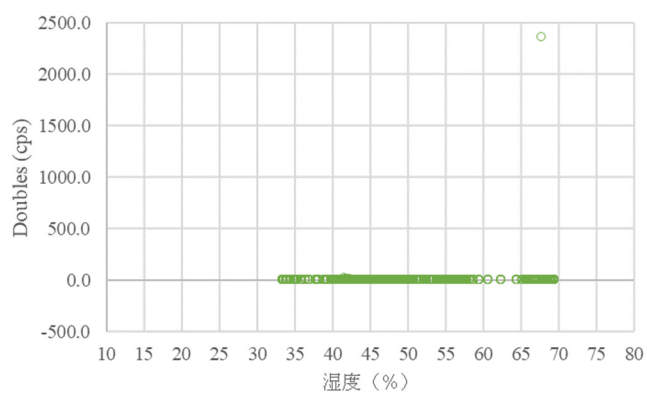


図 2.1.3-60 ダブル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Collar 検出器)

③ AFAS-B Top Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-61～2.1.3-65
- シングル値と温度の相関：図 2.1.3-66～2.1.3-70
- シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-71～2.1.3-75

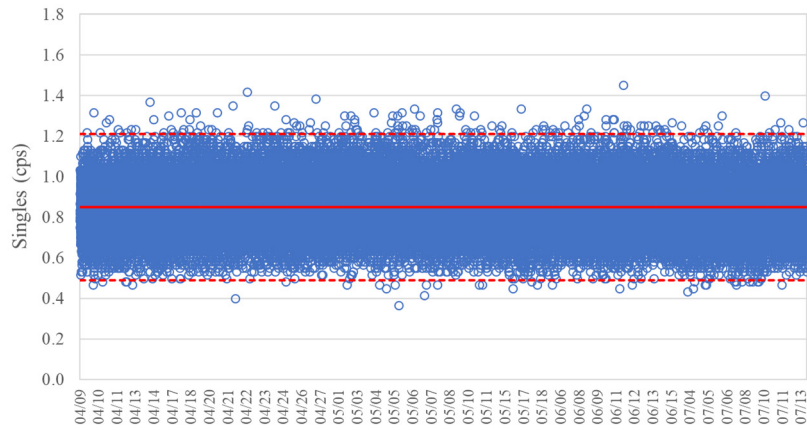


図 2.1.3-61 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

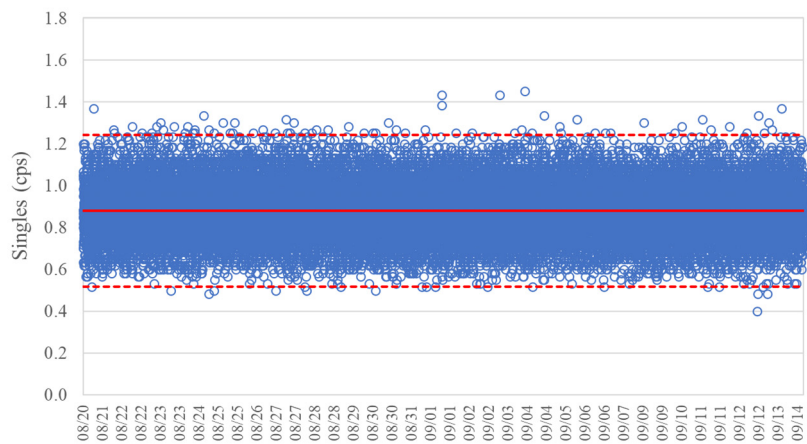


図 2.1.3-62 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20～2020/09/14)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

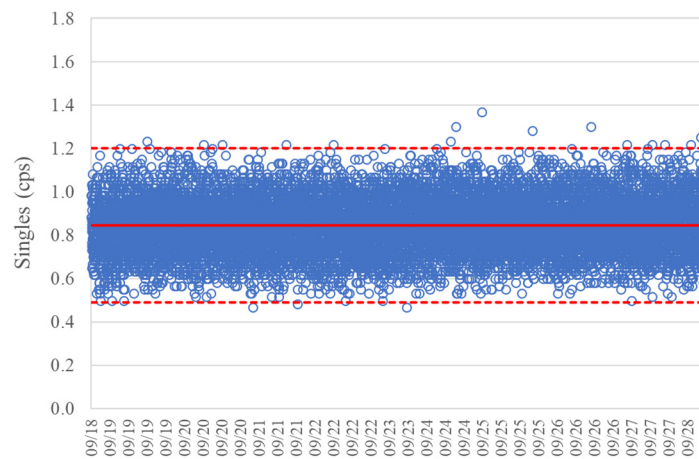


図 2.1.3-63 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

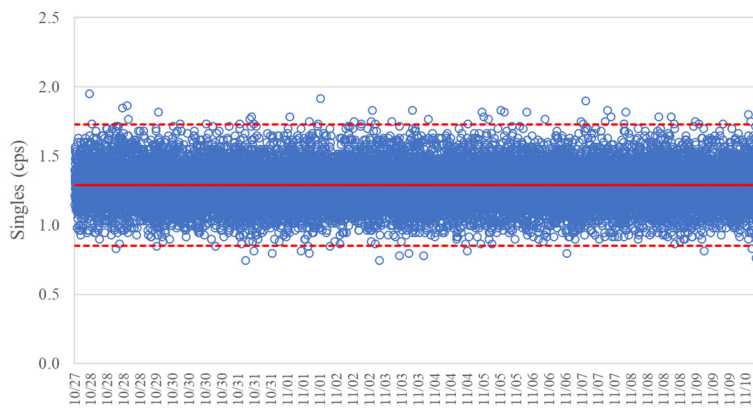


図 2.1.3-64 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

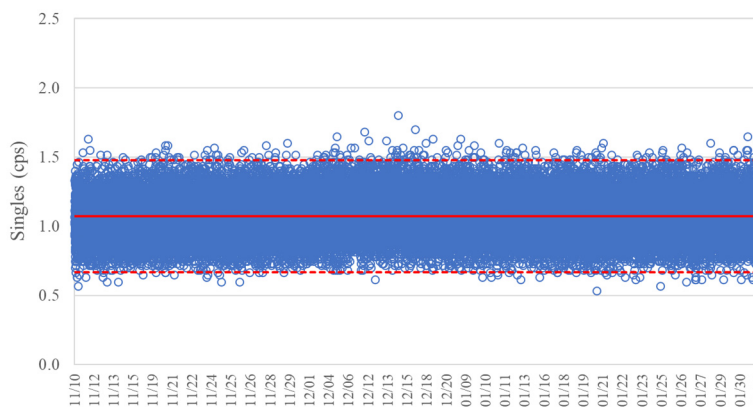


図 2.1.3-65 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

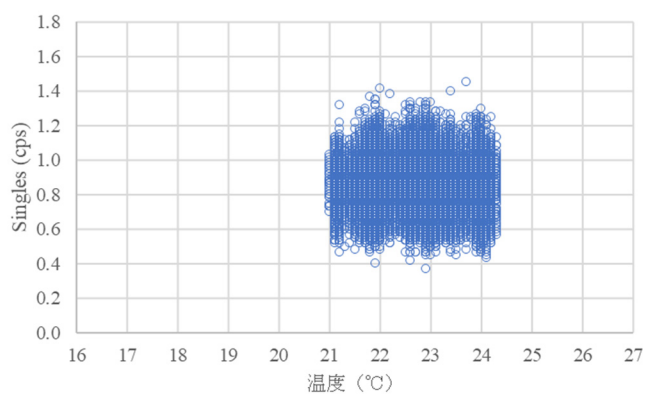


図 2.1.3-66 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

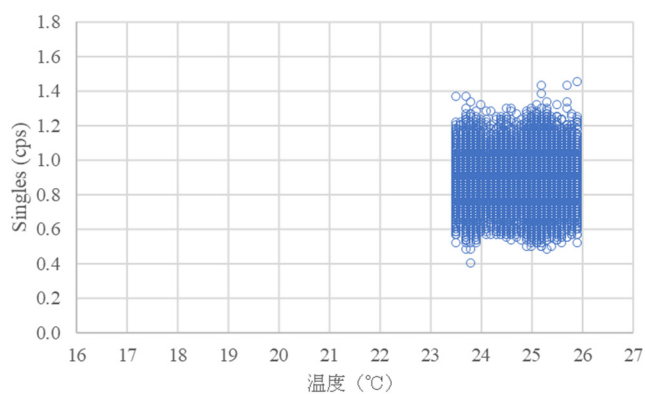


図 2.1.3-67 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

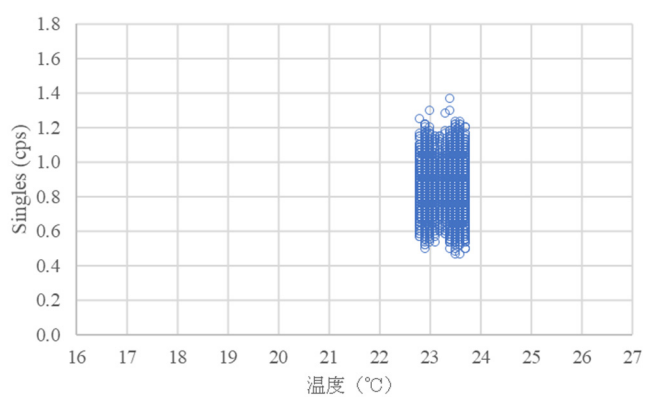


図 2.1.3-68 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

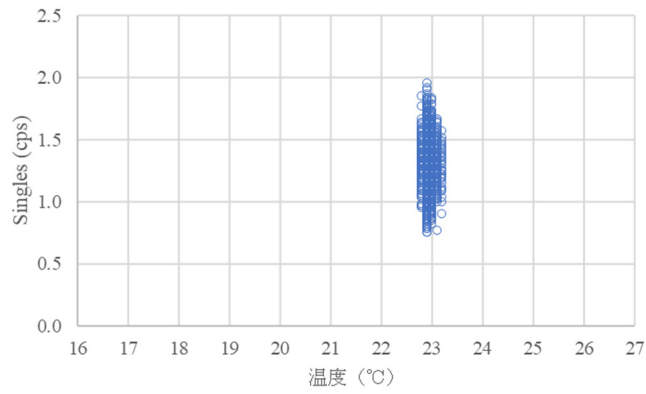


図 2.1.3-69 シングル値と温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

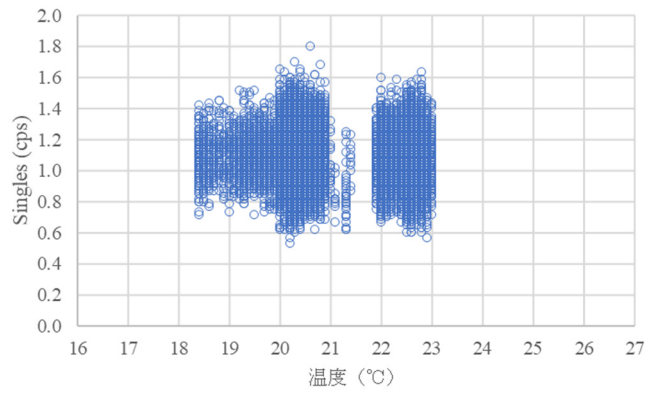


図 2.1.3-70 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

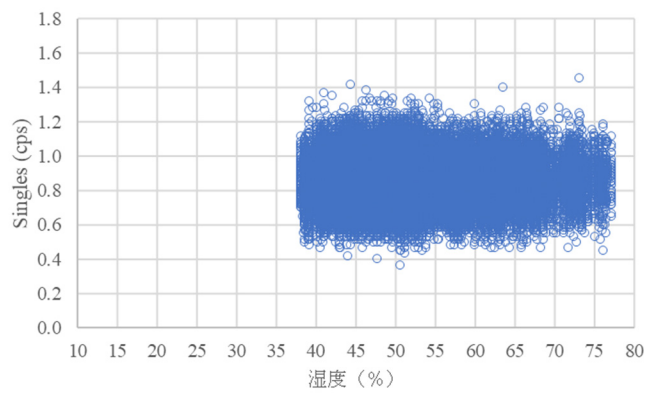


図 2.1.3-71 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

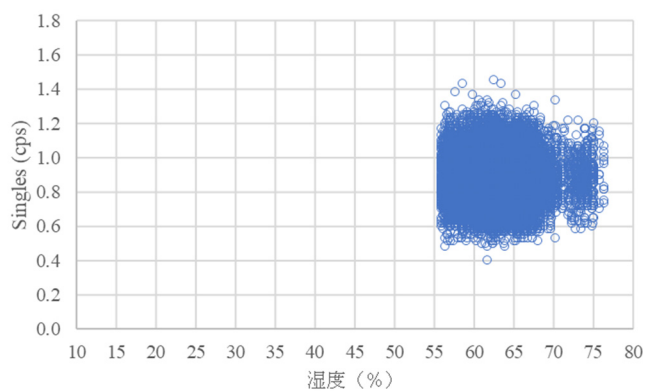


図 2.1.3-72 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

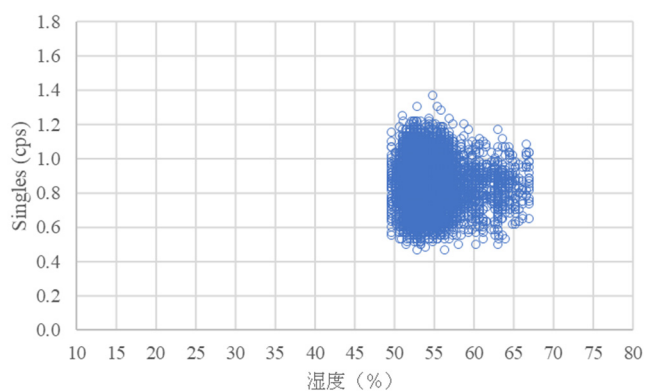


図 2.1.3-73 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

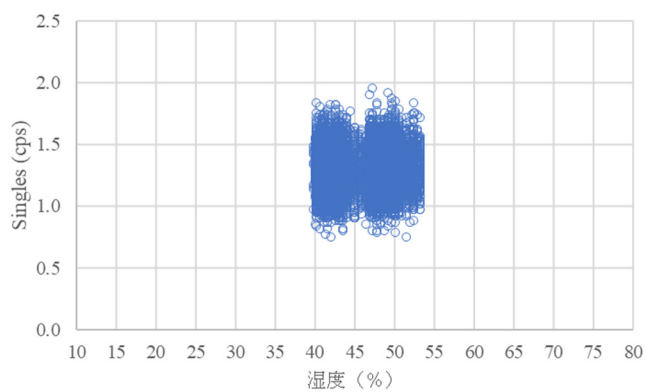


図 2.1.3-74 シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

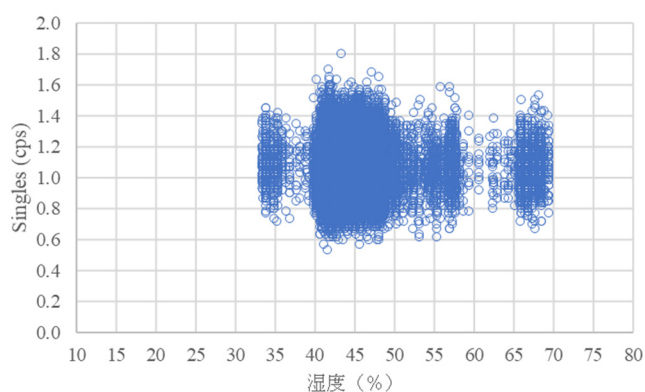


図 2.1.3-75 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10～2021/02/01)
(AFAS-B Top Fork 検出器)

④ AFAS-P Top Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値 : 図 2.1.3-76～2.1.3-80
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-81～2.1.3-85
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-86～2.1.3-90

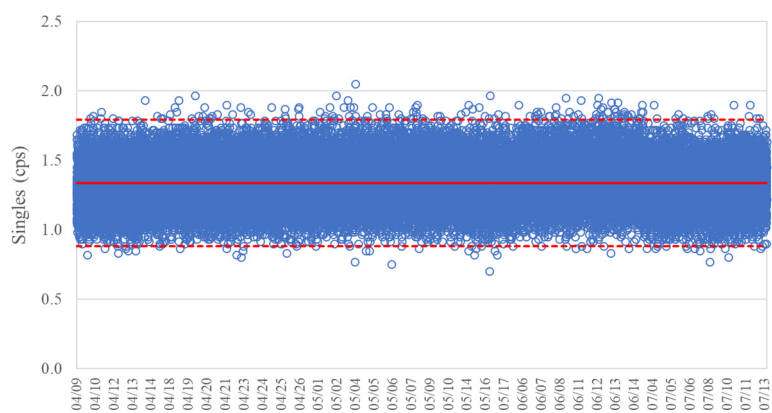


図 2.1.3-76 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

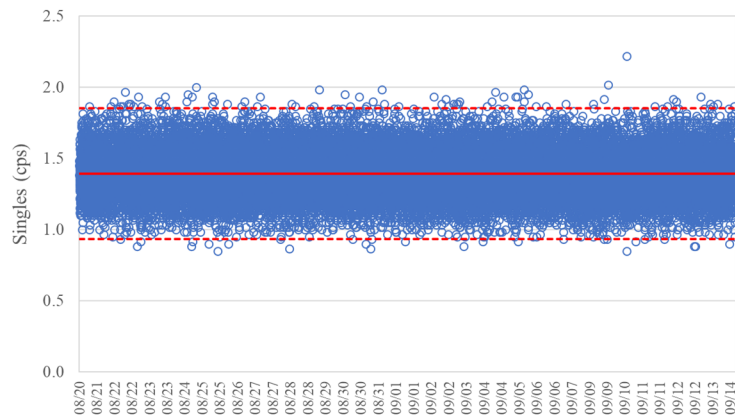


図 2.1.3-77 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

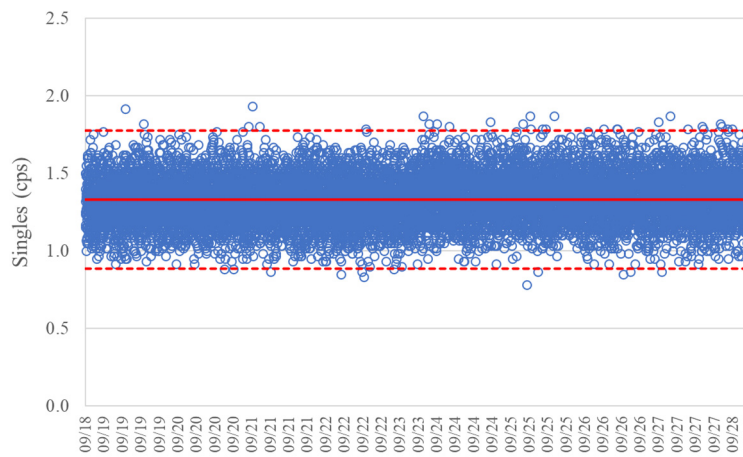


図 2.1.3-78 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

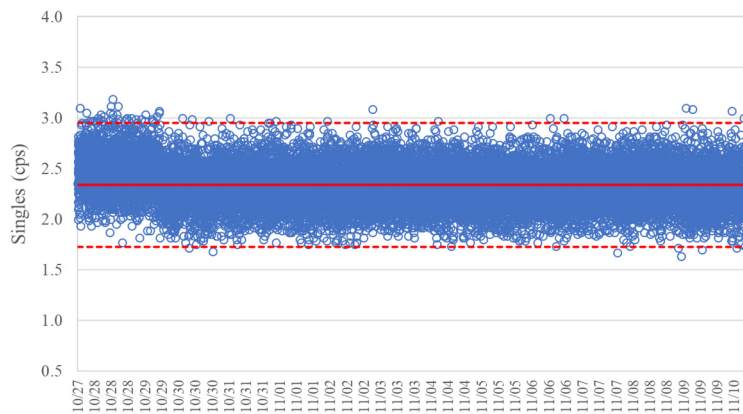


図 2.1.3-79 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

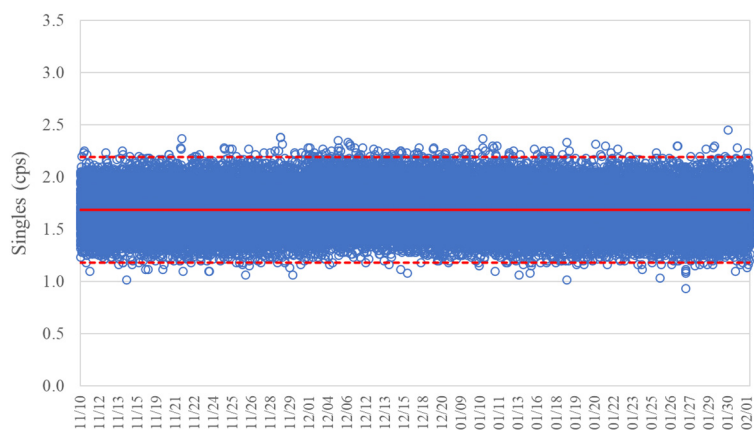


図 2.1.3-80 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

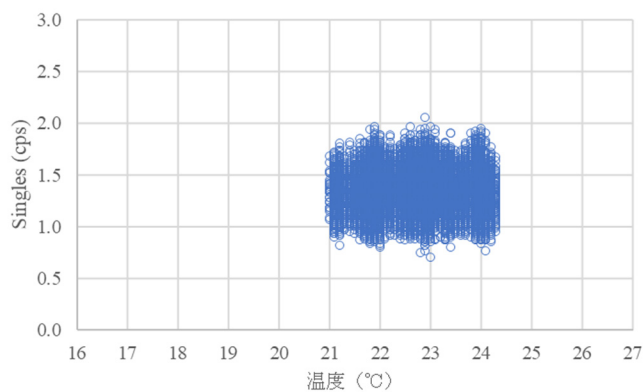


図 2.1.3-81 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

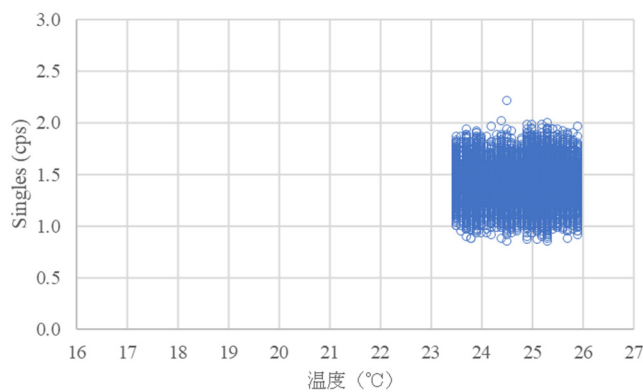


図 2.1.3-82 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

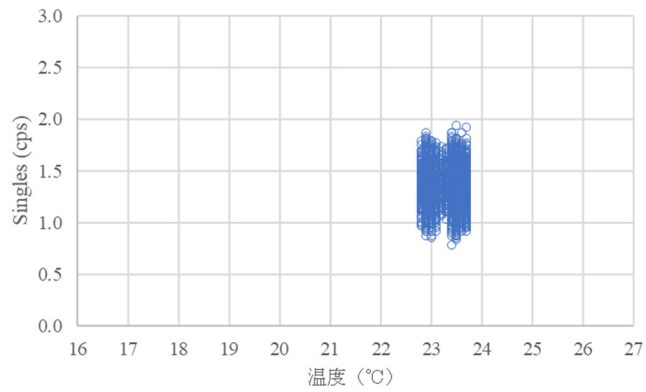


図 2.1.3-83 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

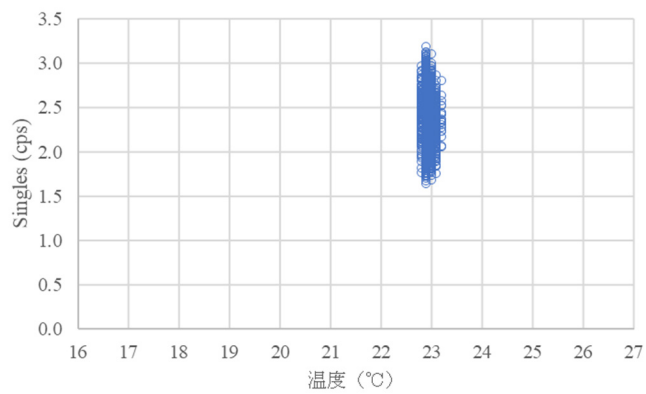


図 2.1.3-84 シングル値と温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

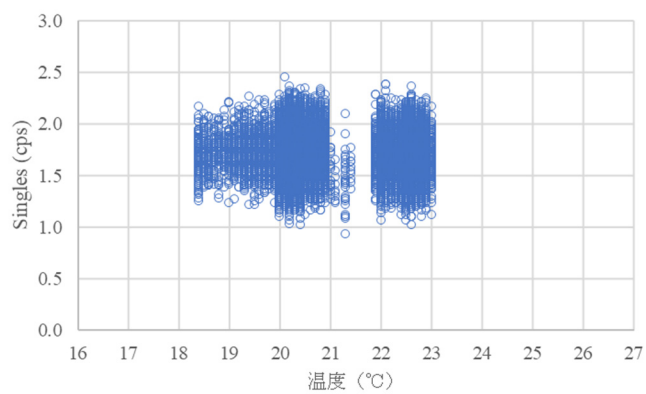


図 2.1.3-85 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

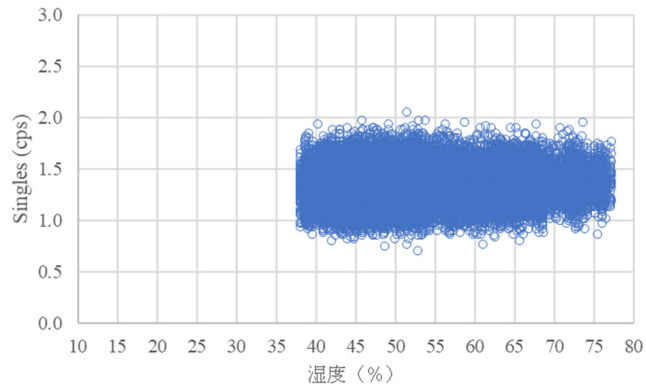


図 2.1.3-86 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

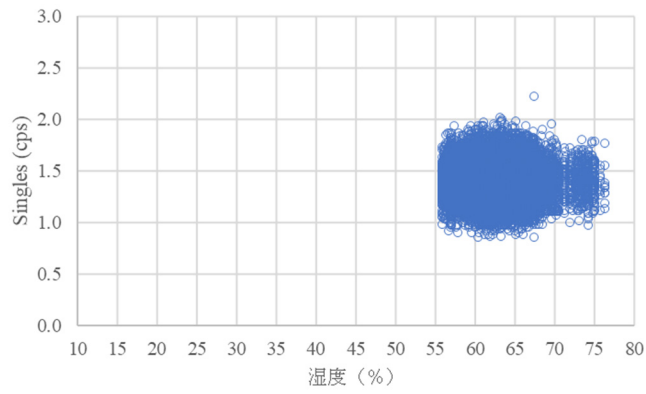


図 2.1.3-87 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

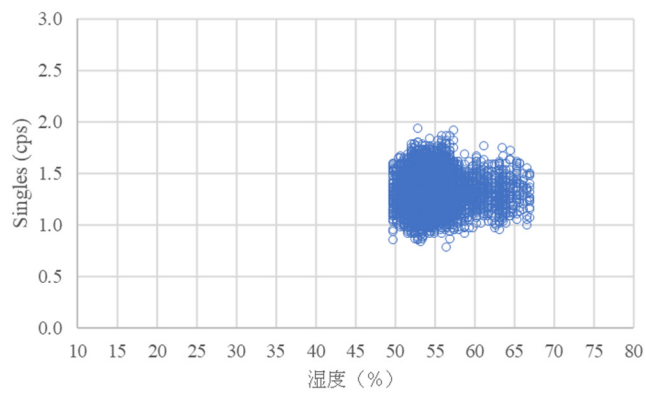


図 2.1.3-88 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

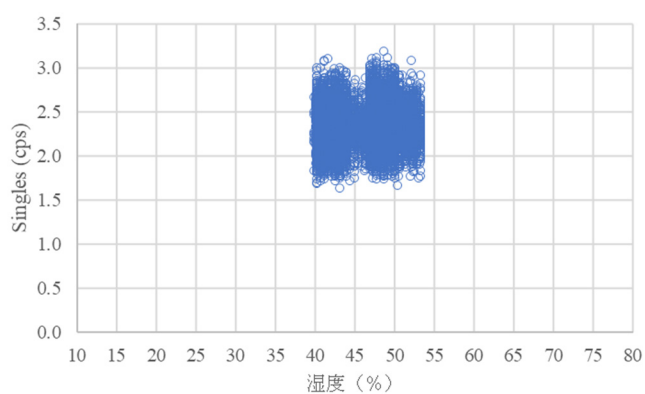


図 2.1.3-89 シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

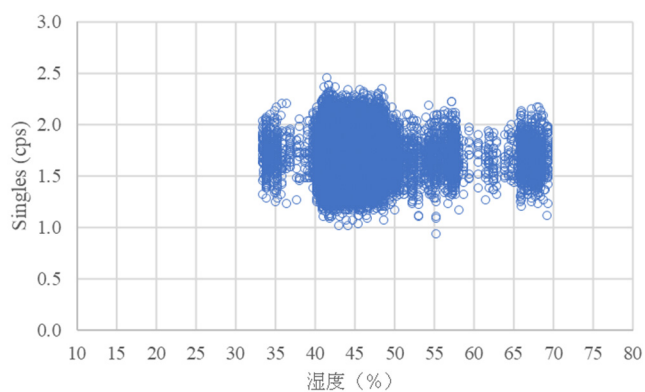


図 2.1.3-90 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Top Fork 検出器)

⑤ AFAS-B Bottom Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値 : 図 2.1.3-91 ~ 2.1.3-95
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-96 ~ 2.1.3-100
- シングル値と湿度の相関 : 図 2.1.3-101 ~ 2.1.3-105

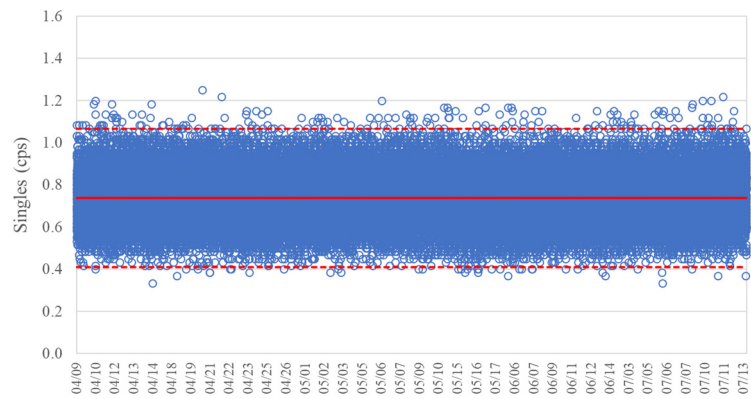


図 2.1.3-91 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

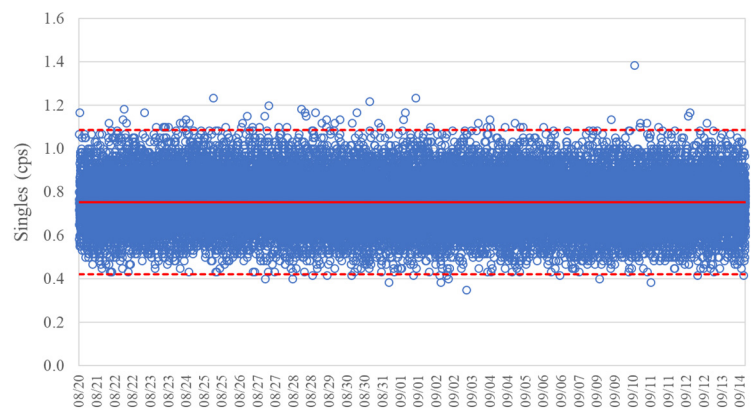


図 2.1.3-92 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

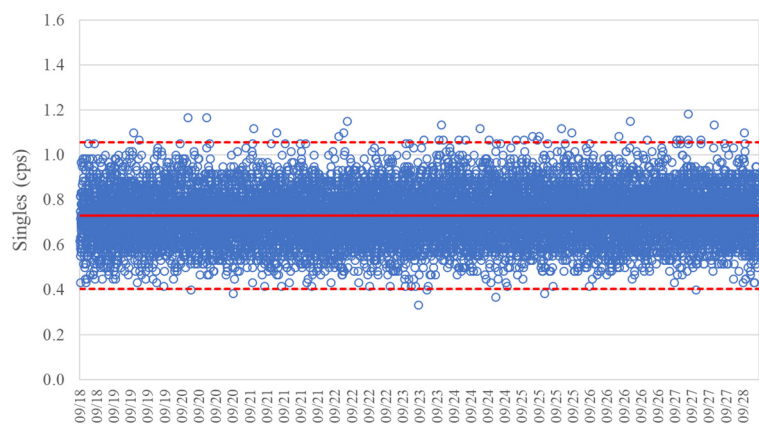


図 2.1.3-93 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

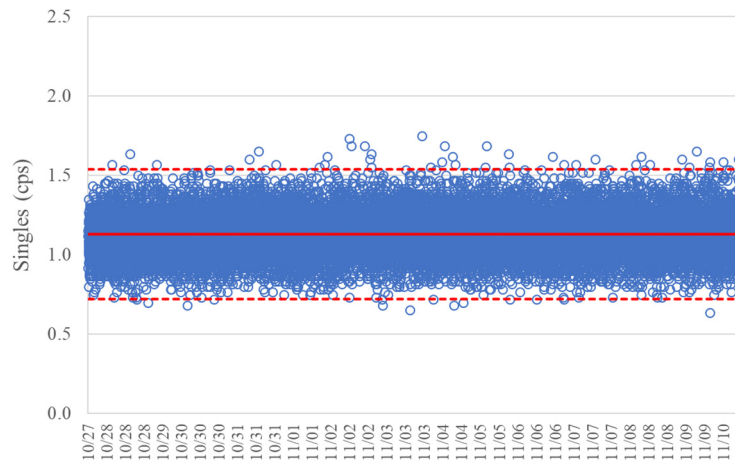


図 2.1.3-94 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

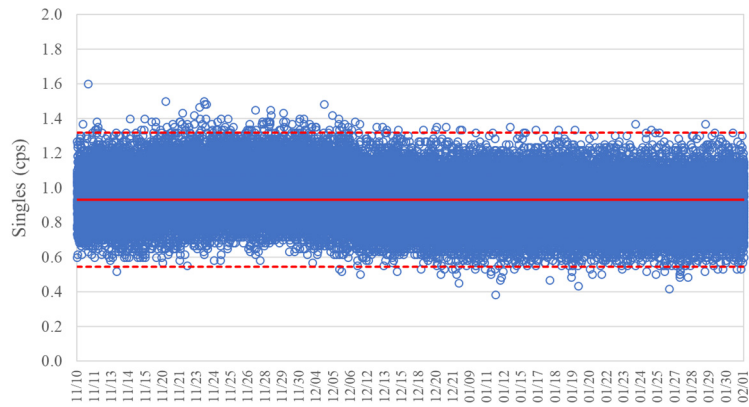


図 2.1.3-95 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

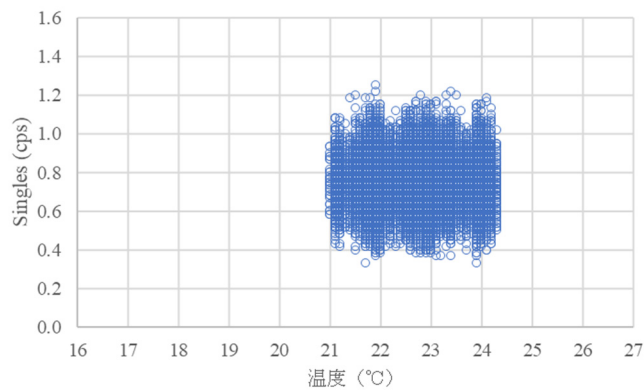


図 2.1.3-96 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

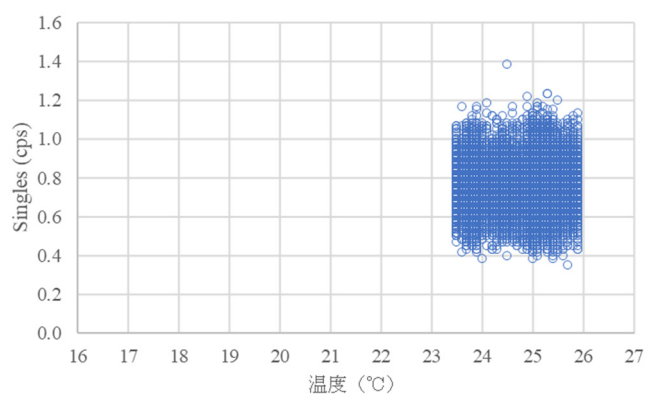


図 2.1.3-97 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

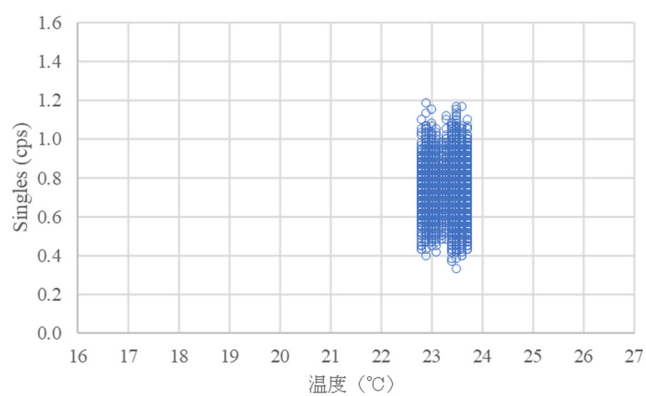


図 2.1.3-98 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

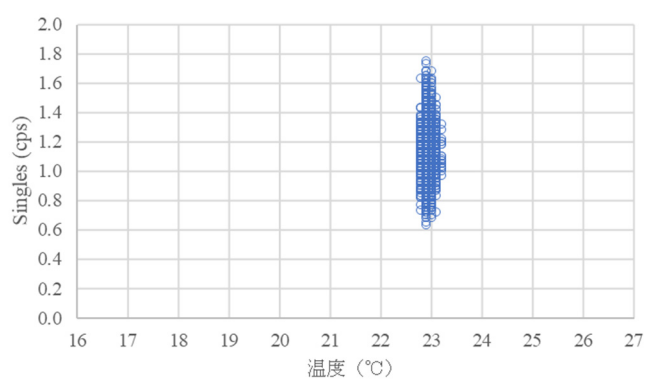


図 2.1.3-99 シングル値と温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

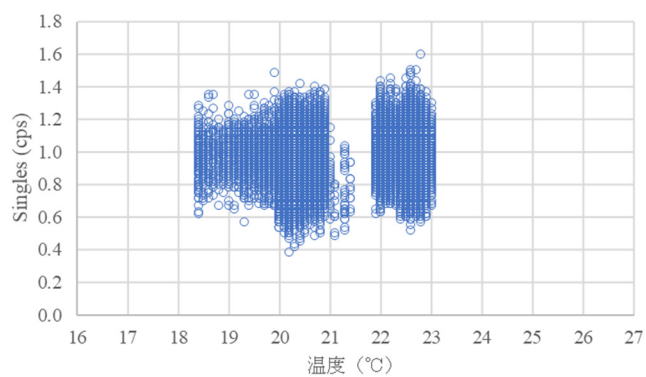


図 2.1.3-100 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

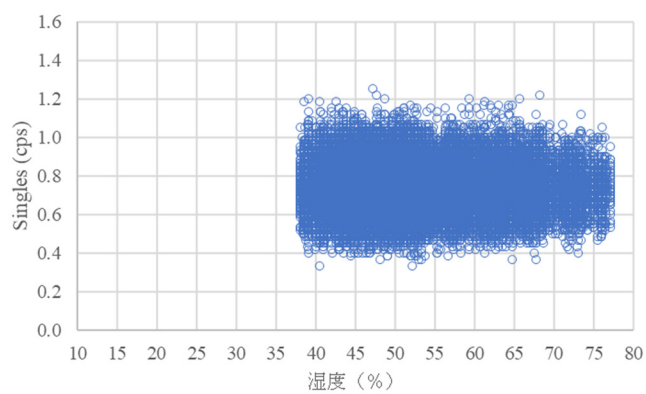


図 2.1.3-101 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

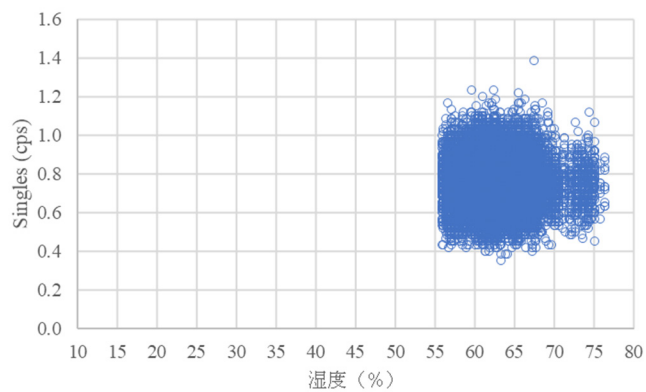


図 2.1.3-102 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

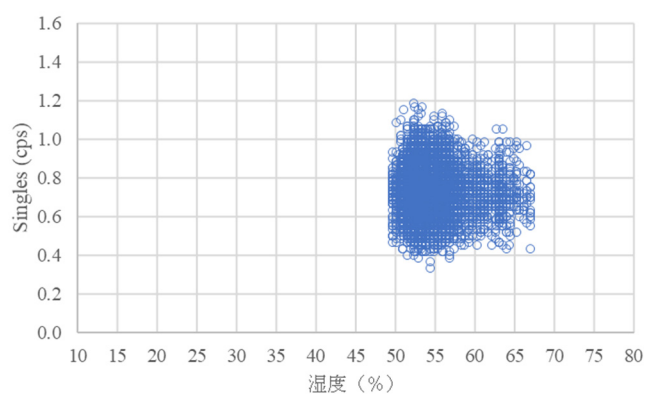


図 2.1.3-103 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

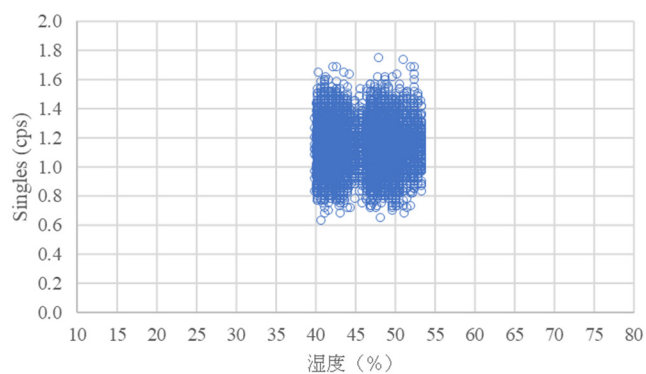


図 2.1.3-104 シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

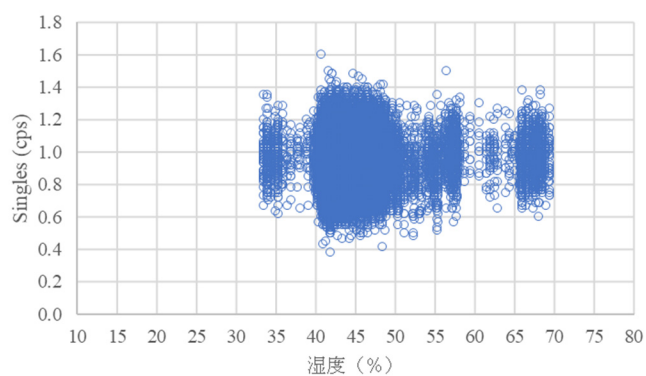


図 2.1.3-105 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-B Bottom Fork 検出器)

⑥ AFAS-P Bottom Fork 検出器

- バックグラウンドのシングル値：図 2.1.3-106～2.1.3-110
- シングル値と温度の相関：図 2.1.3-111～2.1.3-115
- シングル値と湿度の相関：図 2.1.3-116～2.1.3-120

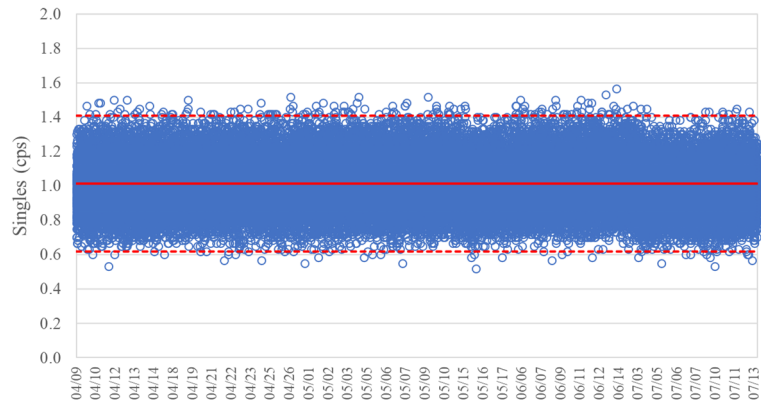


図 2.1.3-106 バックグラウンドのシングル値 (2020/04/09～2020/07/13)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

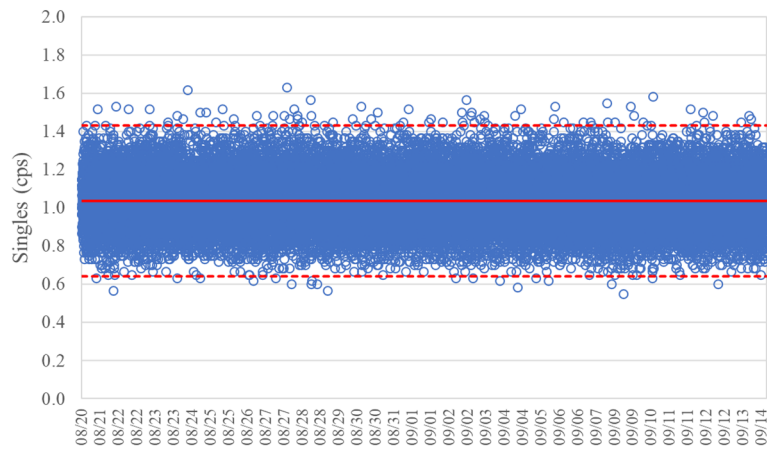


図 2.1.3-107 バックグラウンドのシングル値 (2020/08/20～2020/09/14)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

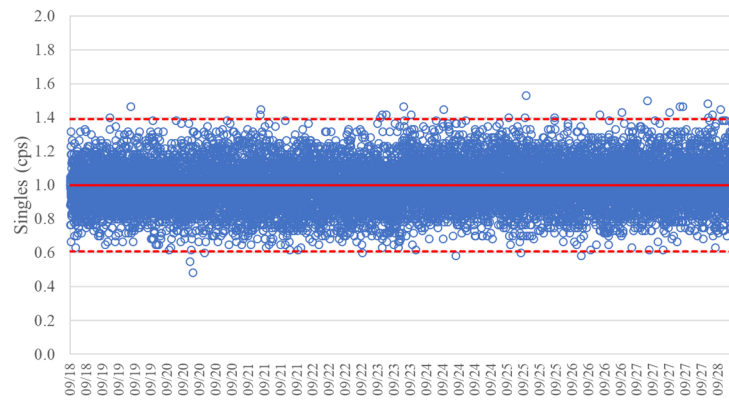


図 2.1.3-108 バックグラウンドのシングル値 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

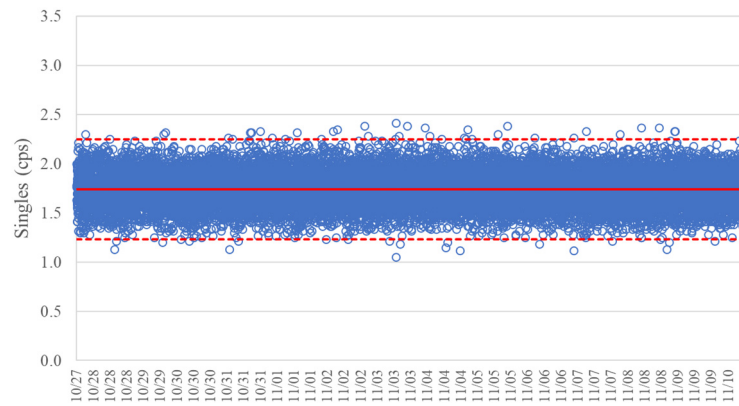


図 2.1.3-109 バックグラウンドのシングル値 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

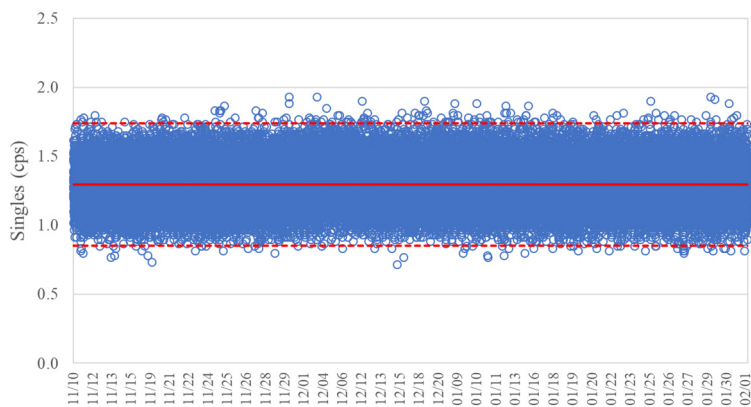


図 2.1.3-110 バックグラウンドのシングル値 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

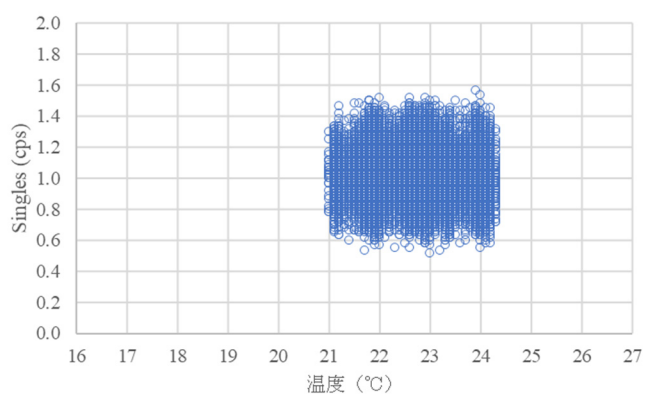


図 2.1.3-111 シングル値と温度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

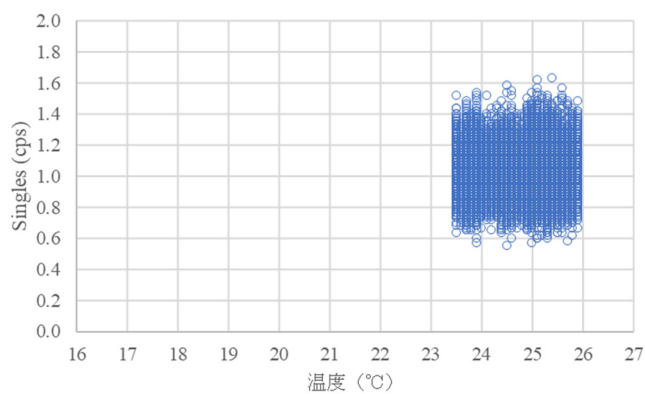


図 2.1.3-112 シングル値と温度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

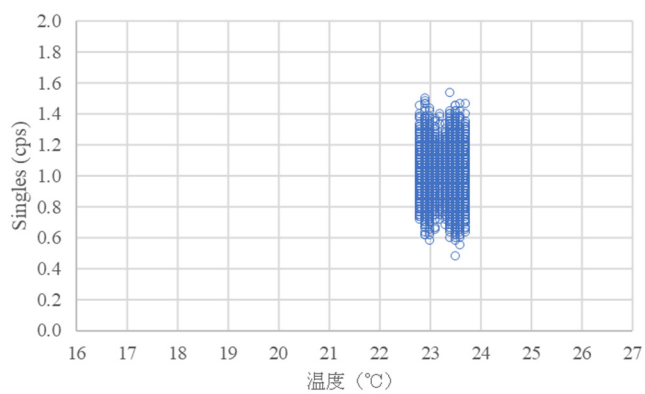


図 2.1.3-113 シングル値と温度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

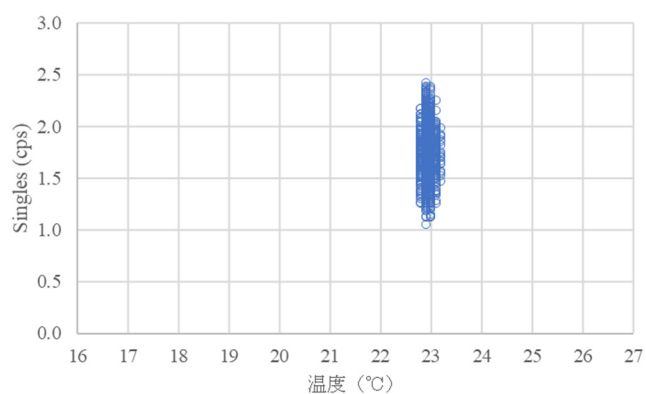


図 2.1.3-114 シングル値と温度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

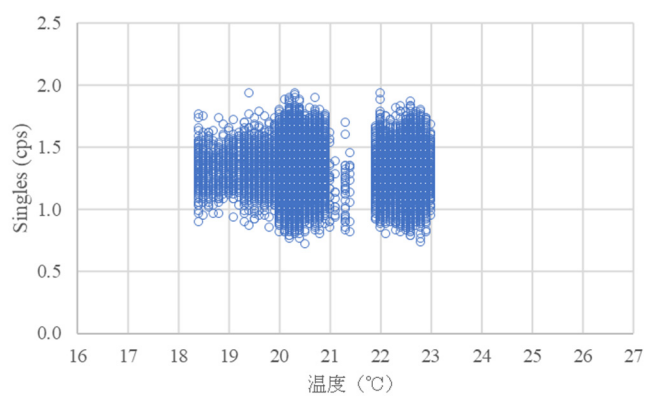


図 2.1.3-115 シングル値と温度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

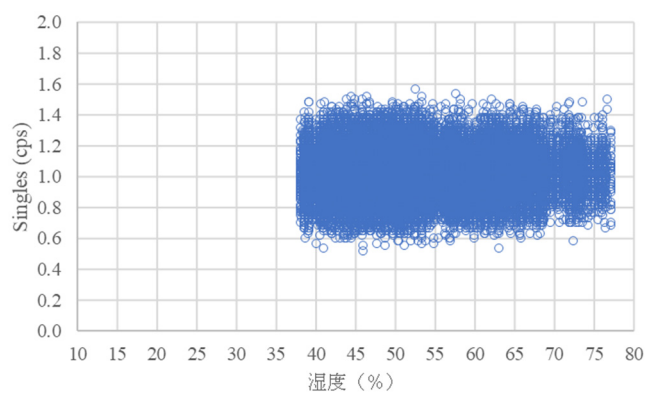


図 2.1.3-116 シングル値と湿度の相関 (2020/04/09 ~ 2020/07/13)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

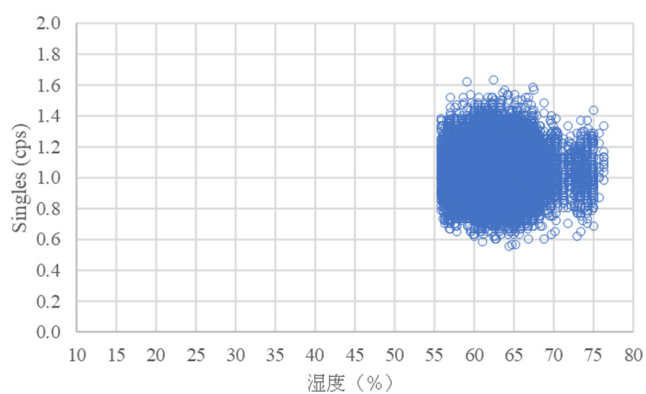


図 2.1.3-117 シングル値と湿度の相関 (2020/08/20 ~ 2020/09/14)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

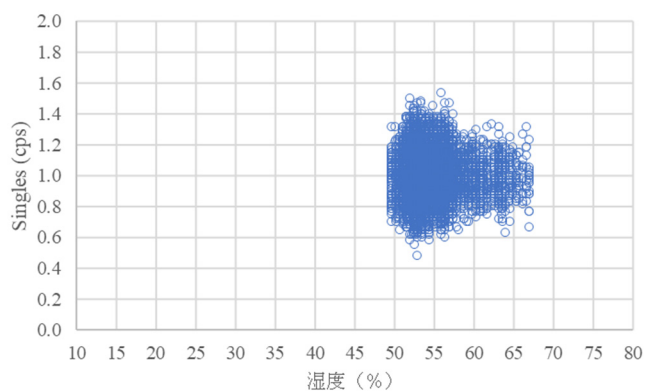


図 2.1.3-118 シングル値と湿度の相関 (2020/09/18 ~ 2020/09/28)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

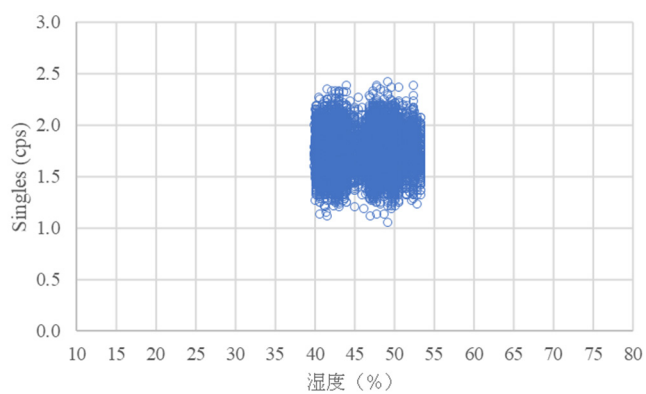


図 2.1.3-119 シングル値と湿度の相関 (2020/10/27 ~ 2020/11/10)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

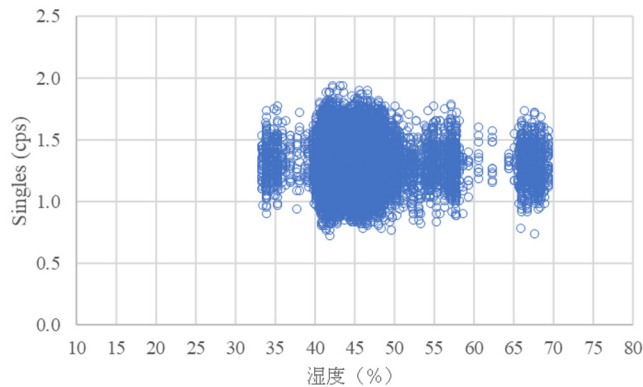


図 2.1.3-120 シングル値と湿度の相関 (2020/11/10 ~ 2021/02/01)
(AFAS-P Bottom Fork 検出器)

(2) ^{252}Cf 中性子線源測定

AFAS-B 及び AFAS-P において、2020 年 4 月から 2021 年 3 月までの間に月 1 回の頻度で測定を行い、各月ごとに計数值と期待値の相対差%Difference (図 2.1.3-121~2.1.3-126 に示す) を求めた。各グラフ中の赤色の実線は各相対差の平均値を示し、破線は管理限界値 (各相対差の誤差の二乗平均平方根を 3 倍した値を相対差の平均値に加算及び減算し求めた値) を示す。管理限界値の上限値 UL 及び下限値 LL を求める式を (2.1) 及び (2.2) に示す。いずれの検出器においても各相対差は、各管理限界値の範囲内となった。

また、計数值と温度及び湿度との相関の有無の確認結果を図 2.1.3-151~2.1.3-162 に示す。各測定において、温度は約 20°C ~ 24°C 、湿度は約 26%~73%の範囲で変動したが、これらの変動が計数值に与える影響はみられなかった。

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

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

ただし、 n は 2020 年 4 月から 2021 年 3 月までの間に月 1 回の頻度で測定した回数であり、 $\sigma\%Difference$ は計数值と期待値の相対差の誤差である。($n = 1$ は 2020 年 4 月のデータとする)

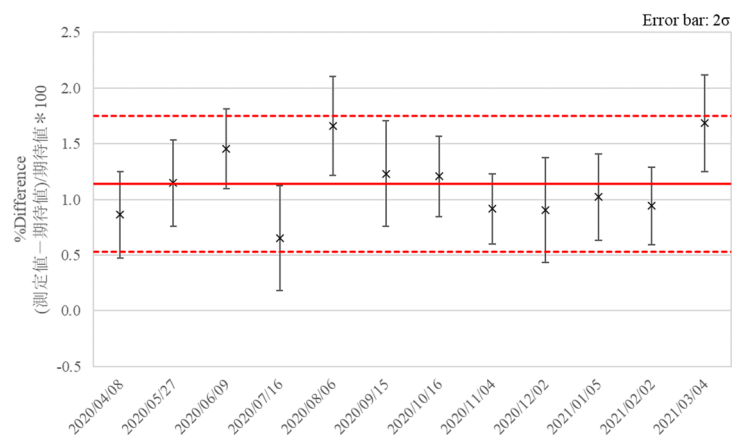


図 2.1.3-121 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Top Fork 検出器)

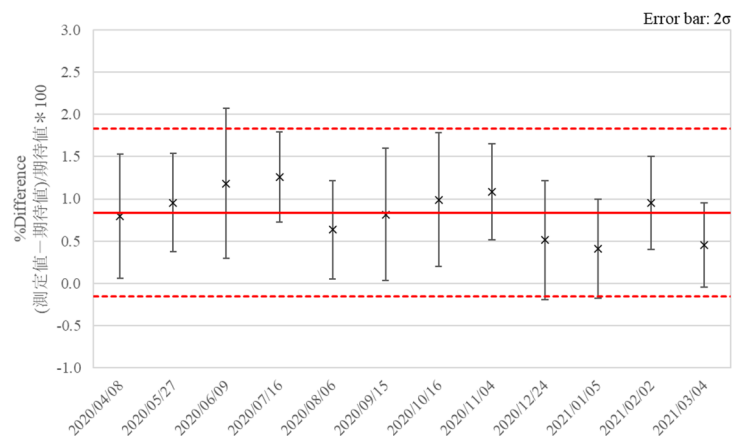


図 2.1.3-122 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Collar 検出器)

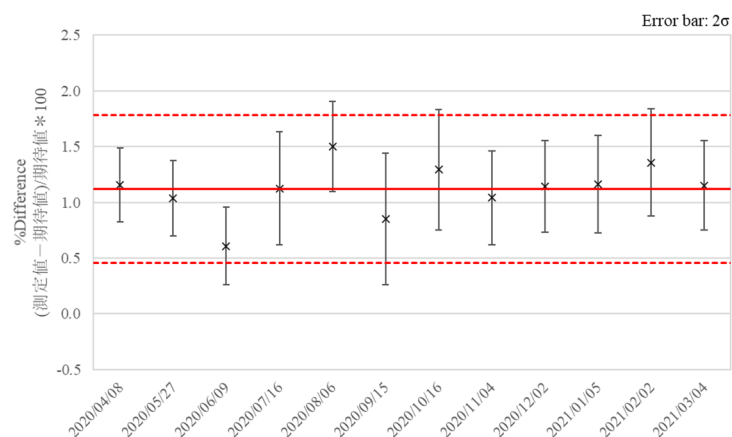


図 2.1.3-123 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

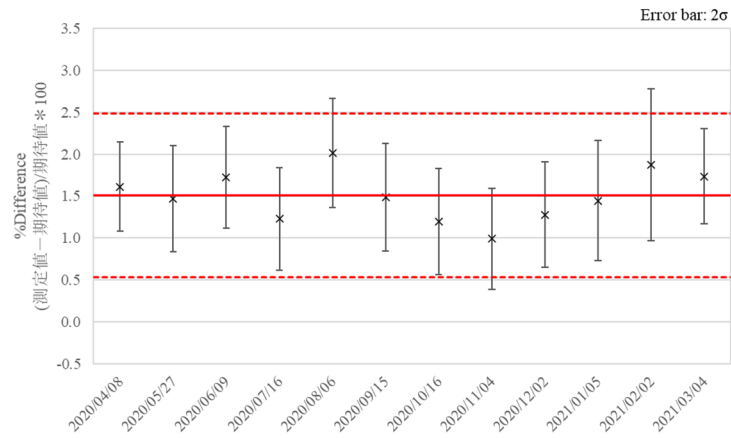


図 2.1.3-124 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Top Fork 検出器)

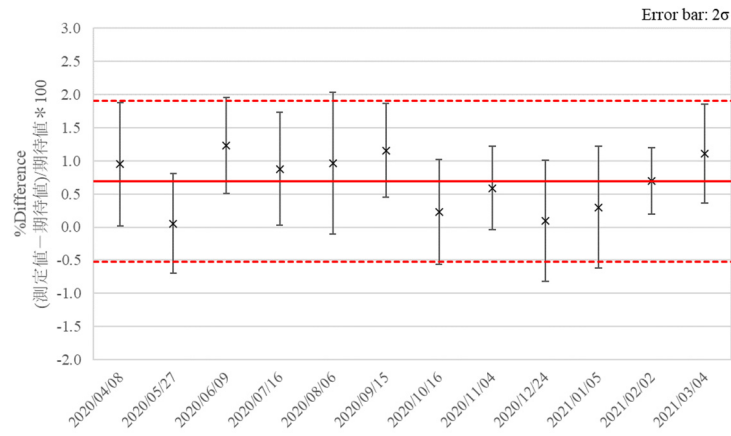


図 2.1.3-125 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Collar 検出器)

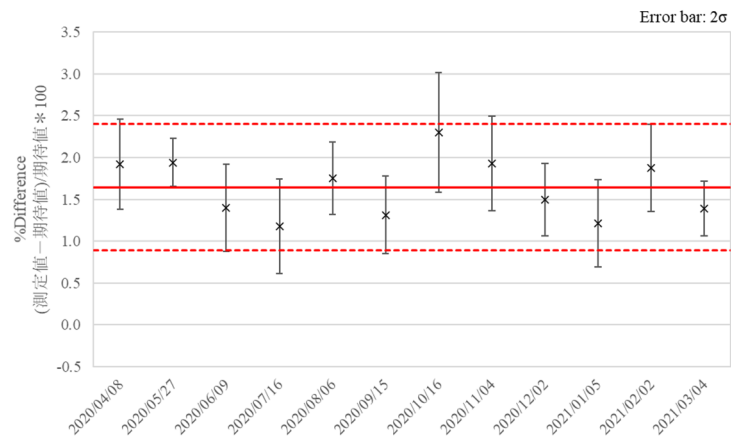


図 2.1.3-126 月ごとの各相対差の評価結果 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

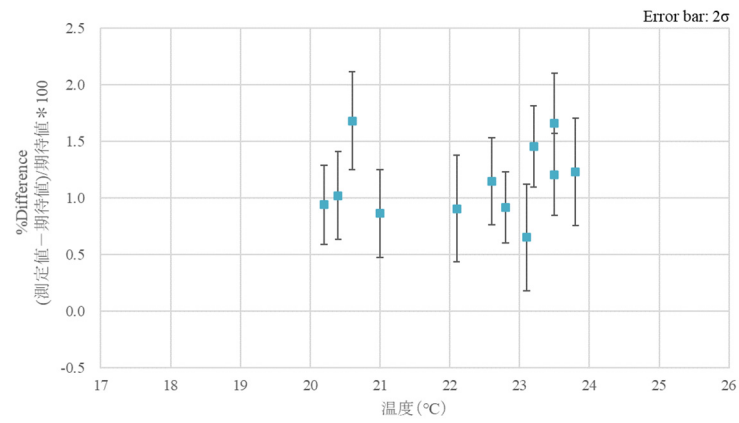


図 2.1.3-127 計数値と温度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)

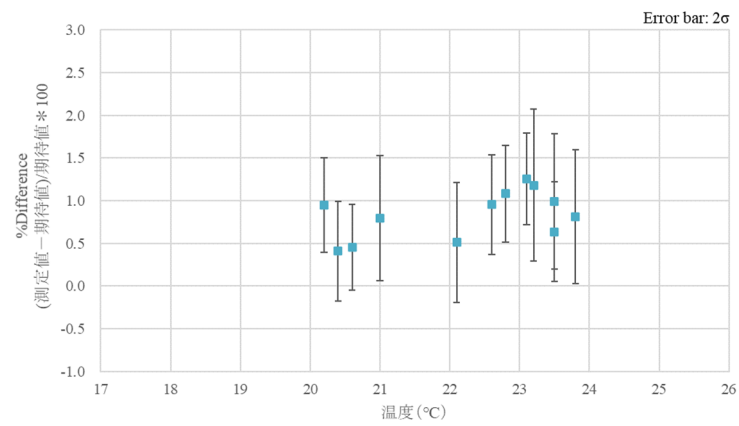


図 2.1.3-128 計数値と温度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)

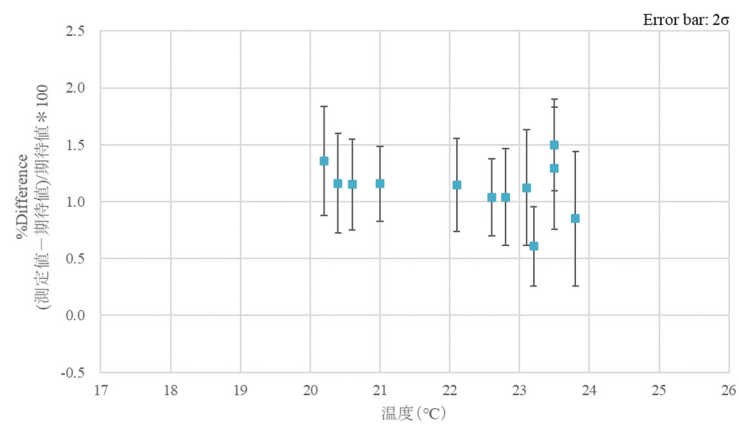


図 2.1.3-129 計数値と温度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

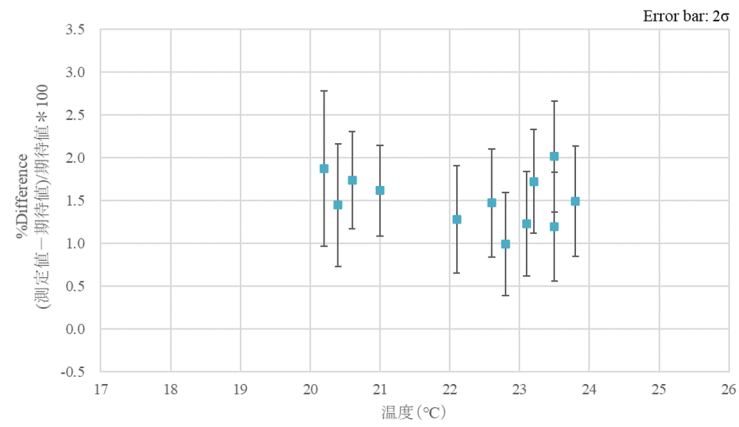


図 2.1.3-130 計数値と温度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)

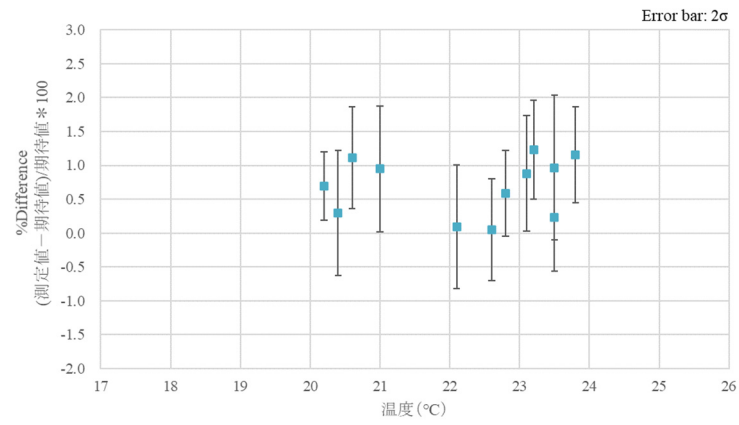


図 2.1.3-131 計数値と温度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)

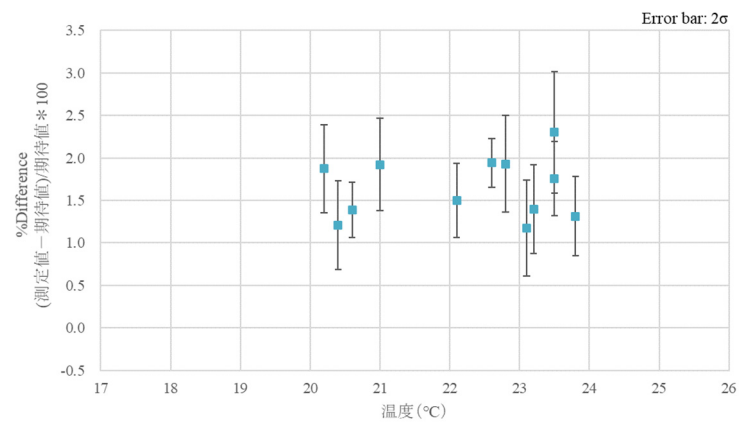


図 2.1.3-132 計数値と温度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

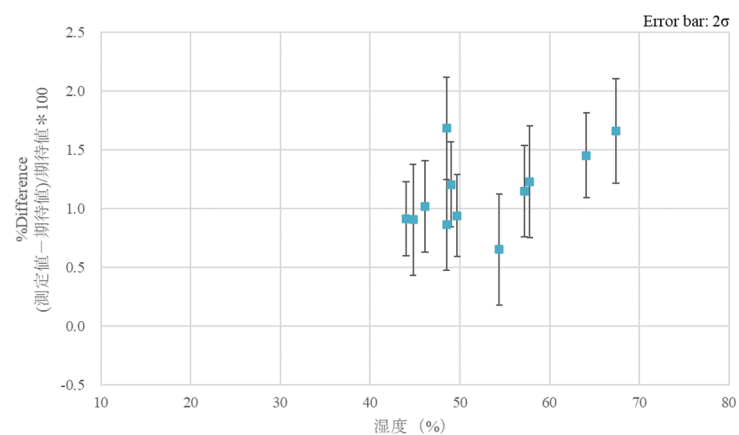


図 2.1.3-133 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Top Fork 検出器)

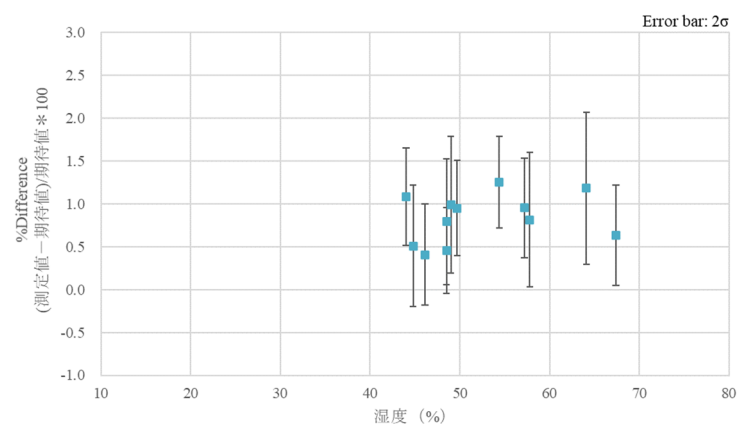


図 2.1.3-134 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Collar 検出器)

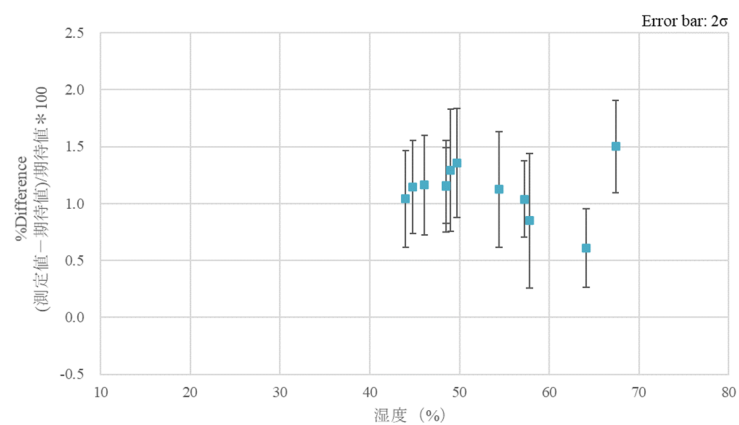


図 2.1.3-135 計数值と湿度の相関 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

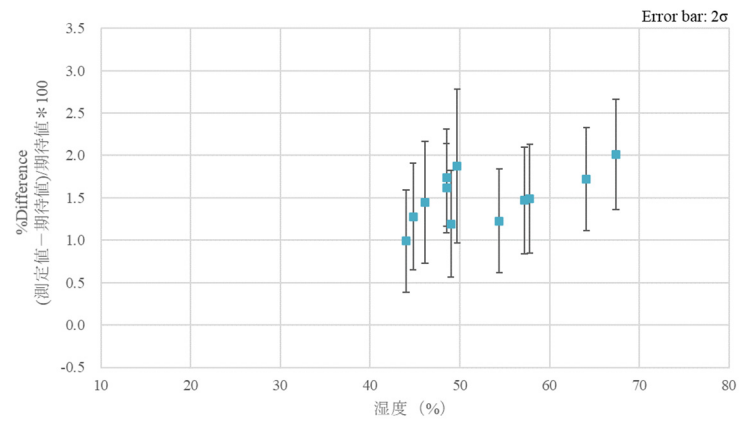


図 2.1.3-136 計数値と湿度の相関 (AFAS-P Top Fork 検出器)

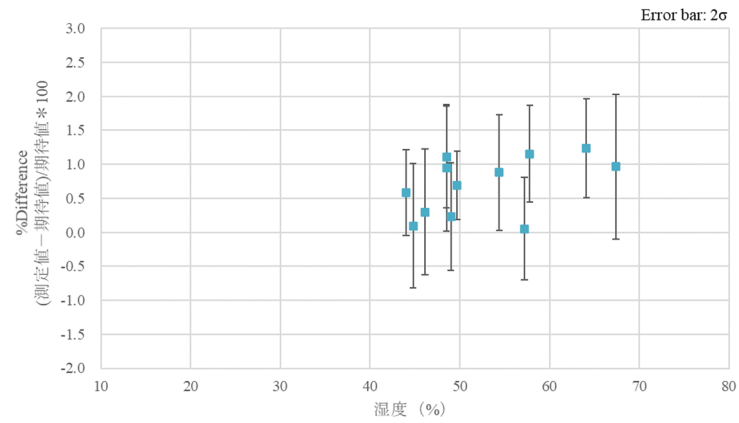


図 2.1.3-137 計数値と湿度の相関 (AFAS-P Collar 検出器)

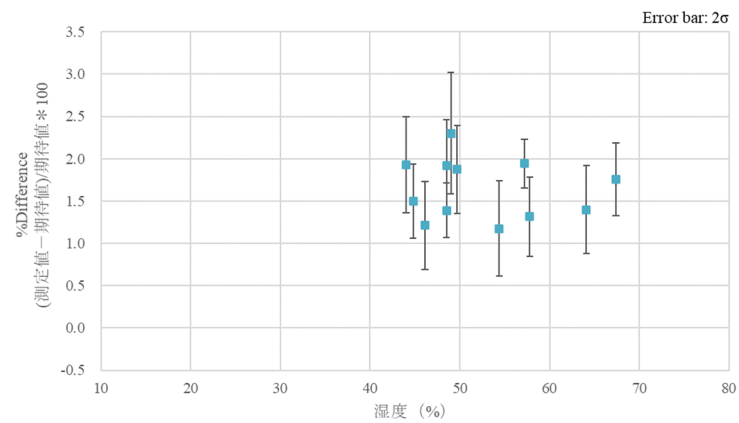


図 2.1.3-138 計数値と湿度の相関 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

2.1.4 考察

(1) バックグラウンド測定

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器において、シングル値が一時的に低下した事象については、各 Collar 検出器においてほぼ同時に確認された事象であることから、検出器の異常ではなく、環境の変化（AFAS 検出器近傍の設備の移動、隣接する部屋内の放射線源の増減）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、AFAS-P の Collar 検出器においてみられた、単発的な高計数値が 5 月～9 月に複数回測定される事象については、シングル値及びダブル値において同時に確認された事象であり、また他の検出器では確認されなかったため、宇宙線や環境の変化による影響ではないと考えられる。したがって、検出器の不具合による事象である可能性もあるため、今後 LANL に確認する予定である。

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。

以上のように、いくつかの異常値が取得されたが、各検出器により得られたほぼ全てのシングル値は、誤差 (3σ) の範囲内に収まっていた。このことから、測定期間中、各検出器は安定して動作し、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 16°C ～ 26°C 、湿度：約 33%～77%）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、外部の湿度の影響は受けにくい状態を維持できたものと考えられる。

(2) ^{252}Cf 中性子線源測定

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

2.2 パルス間隔分布の評価

2.2.1 目的

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

2.2.2 方法

JAEA が所有するリストモジュール (PTR-32HV) を用いて ^{252}Cf 中性子線源測定を実施し、AFAS の各検出器のアンプ毎のパルス間隔分布を評価する。また、本評価結果と平成 31 年度に実施した性能確認試験(参考文献 2)における評価結果を比較する。平成 30 年度及び 31 年度の評価結果の例を図 2.2.2-1 に示す。

本評価は、AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器について行う。各検出器のアンプ数及び配置図を表 2.2.2-1 及び図 2.2.2-2~2.2.2-5 に示す

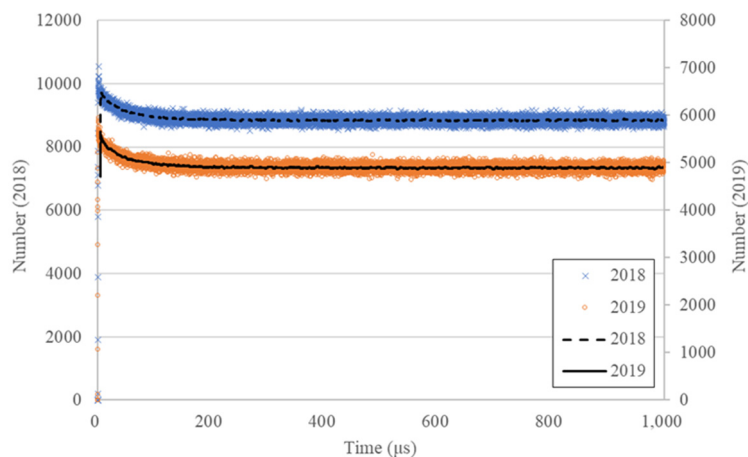


図 2.2.2-1 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例

表 2.2.2-1 各検出器におけるアンプ数

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

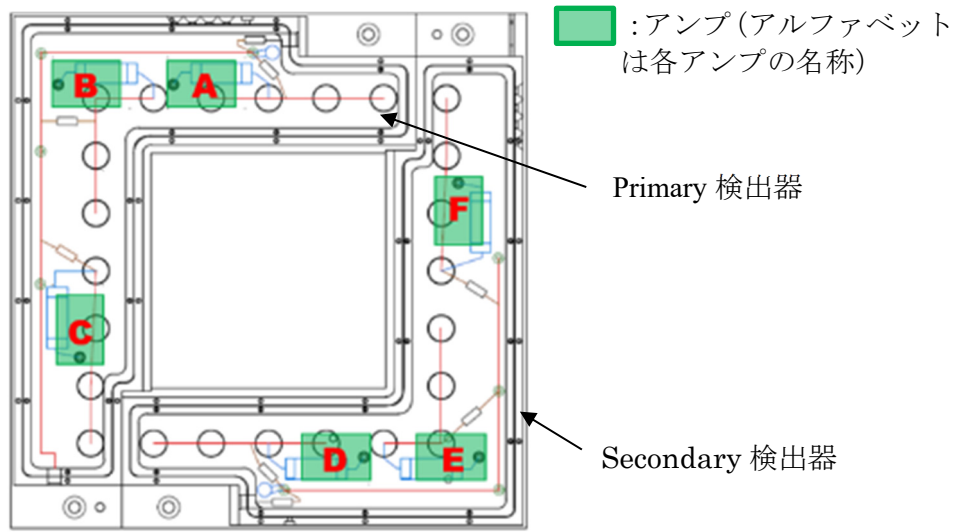


図 2.2.2-2 AFAS-B Collar 検出器のアンプ配置図

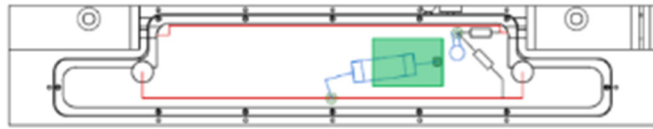


図 2.2.2-3 AFAS-B Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

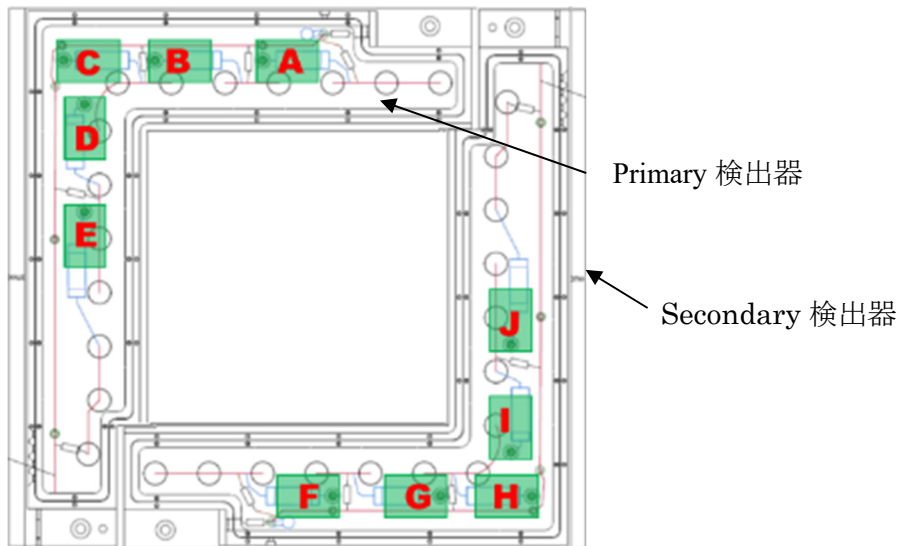


図 2.2.2-4 AFAS-P Collar 検出器のアンプ配置図

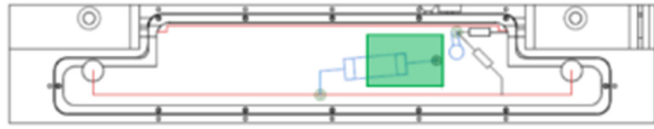


図 2.2.2-5 AFAS-P Top Fork 及び Bottom Fork 検出器のアンプ配置図

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① AFAS の各検出器を試験用架台に設置する。
- ② 線源固定治具を用いて、1.6 項の表 1.6-1 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 2.2.2-1 参照) を取り外し、計数機能を停止させる。
- ⑥ リストモジュール用ソフトウェアを用いてパルスを測定し、パルス間隔分布を評価する。
 - ・ AFAS-B 測定時間 : Collar 検出器 : 10 分、Fork 検出器 : 200 分
 - ・ AFAS-P 測定時間 : Collar 検出器 : 20 分、Fork 検出器 : 200 分
- ⑦ 全てのアンプについて、⑤～⑥を実施する。
- ⑧ 全ての検出器について、②～⑦を実施する。

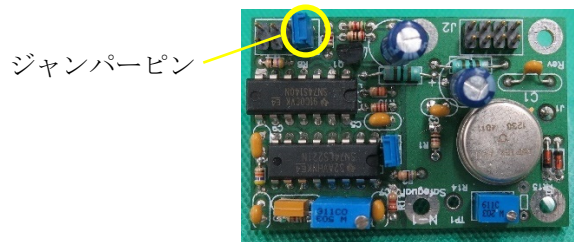


写真 2.2.2-1 AFAS のアンプ (AMPTEK A111)

2.2.3 結果

AFAS-B Collar 検出器における各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献 2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-1～2.2.3-12 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

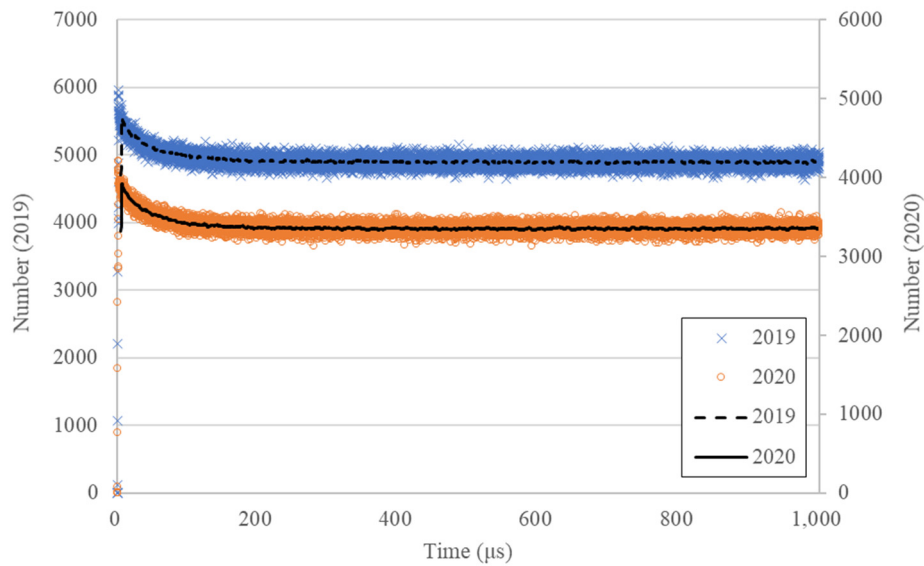


図 2.2.3-1 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

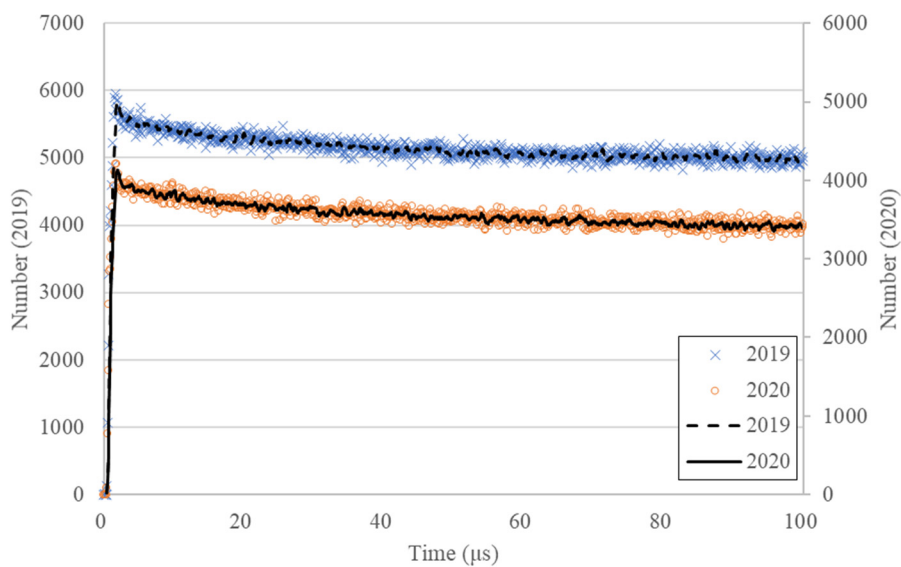


図 2.2.3-2 AFAS-B Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

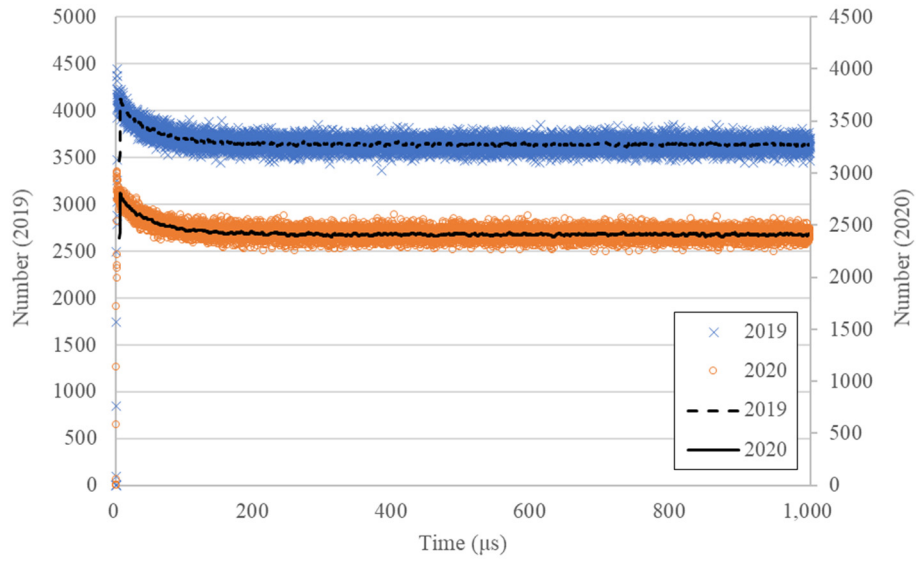


図 2.2.3-3 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

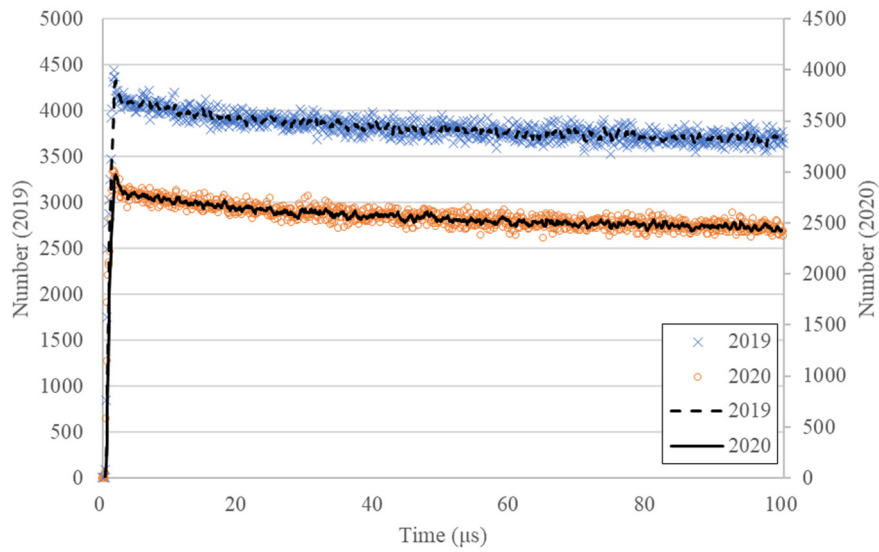


図 2.2.3-4 AFAS-B Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

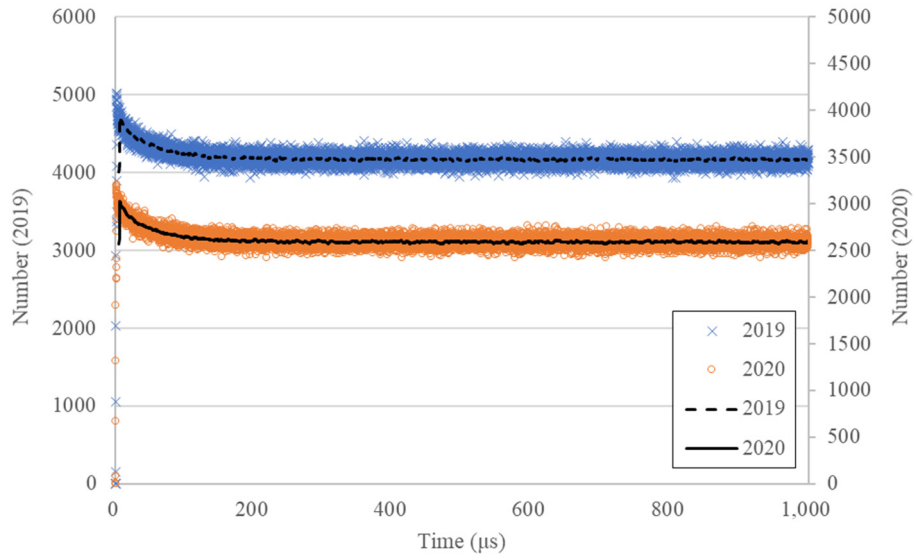


図 2.2.3-5 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

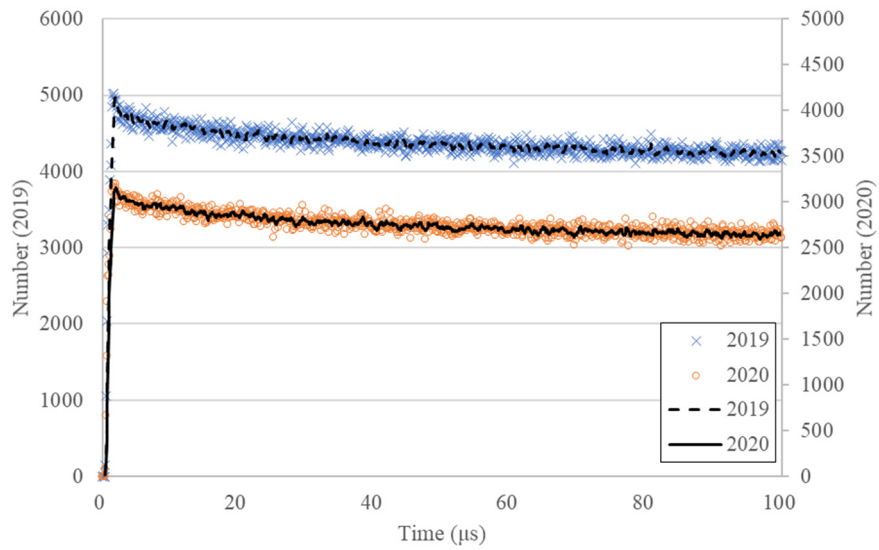


図 2.2.3-6 AFAS-B Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

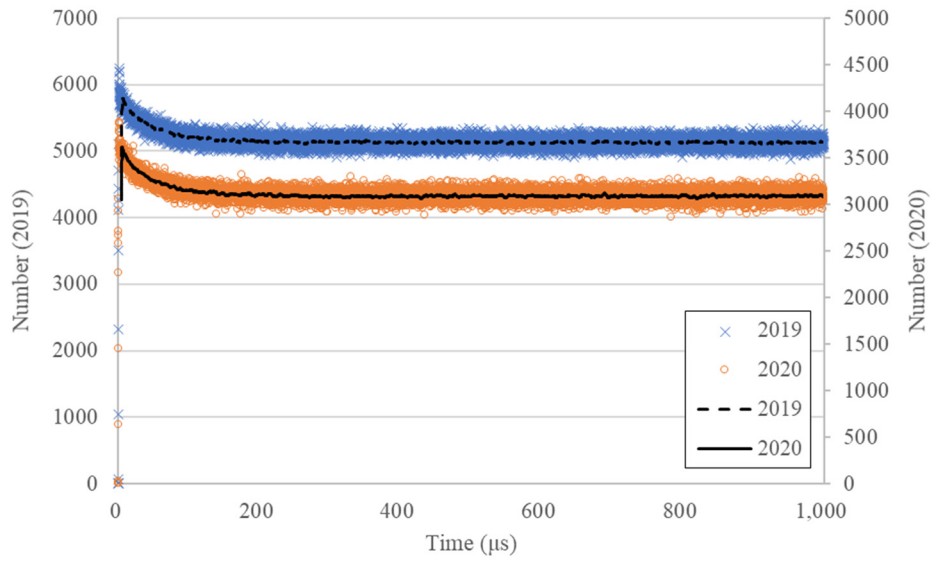


図 2.2.3-7 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

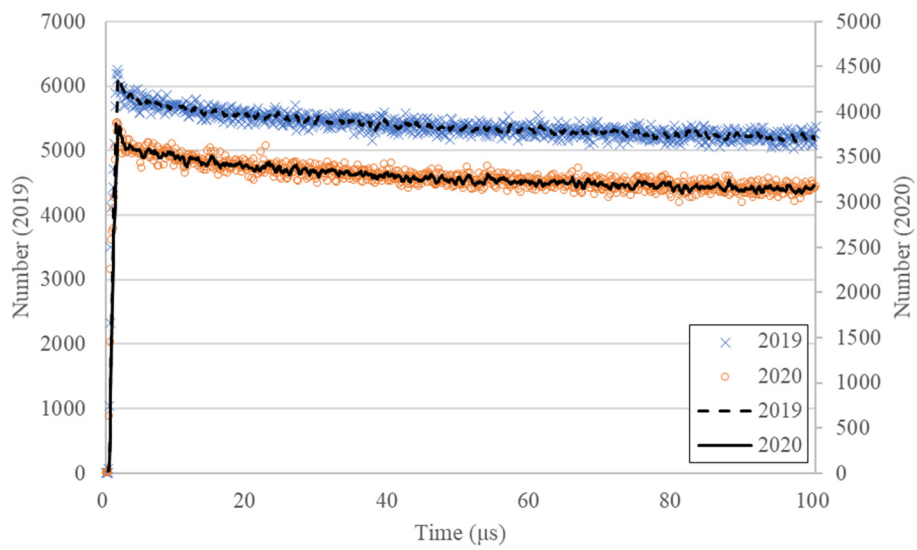


図 2.2.3-8 AFAS-B Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

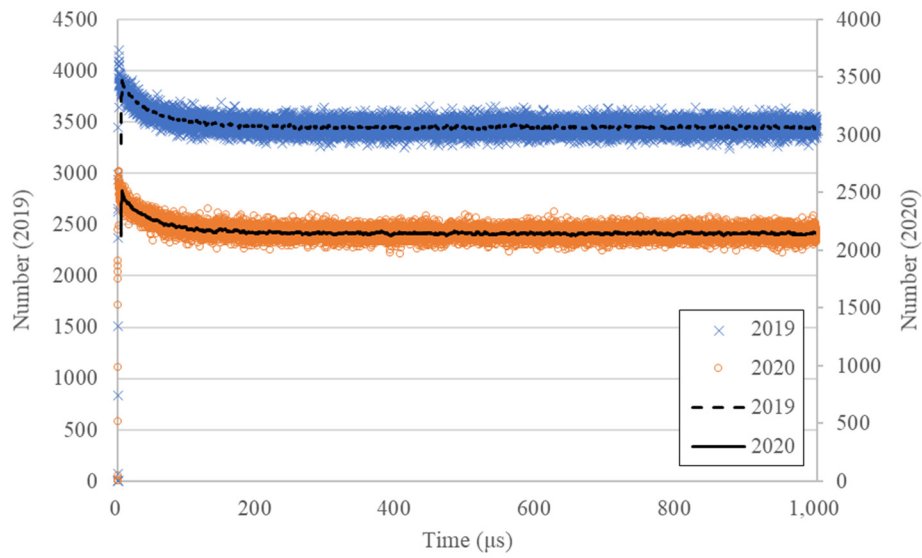


図 2.2.3-9 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

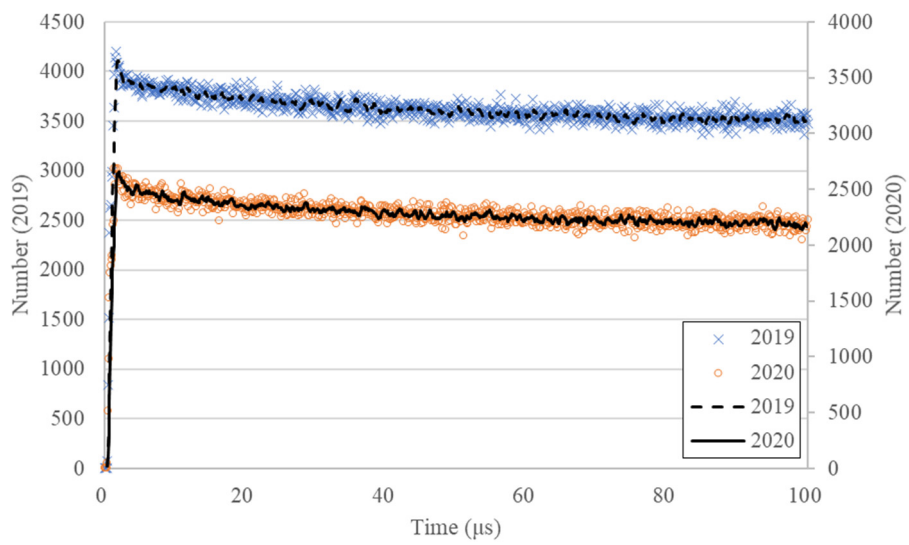


図 2.2.3-10 AFAS-B Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

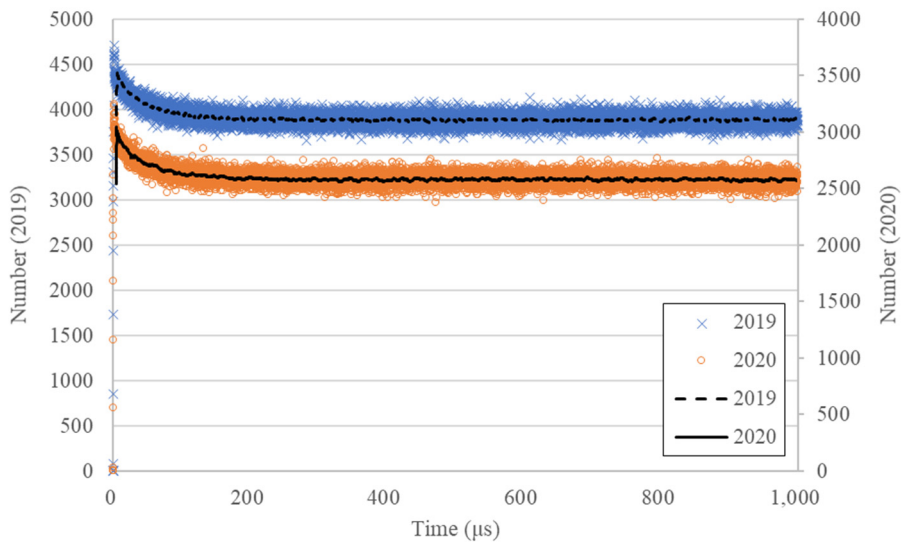


図 2.2.3-11 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

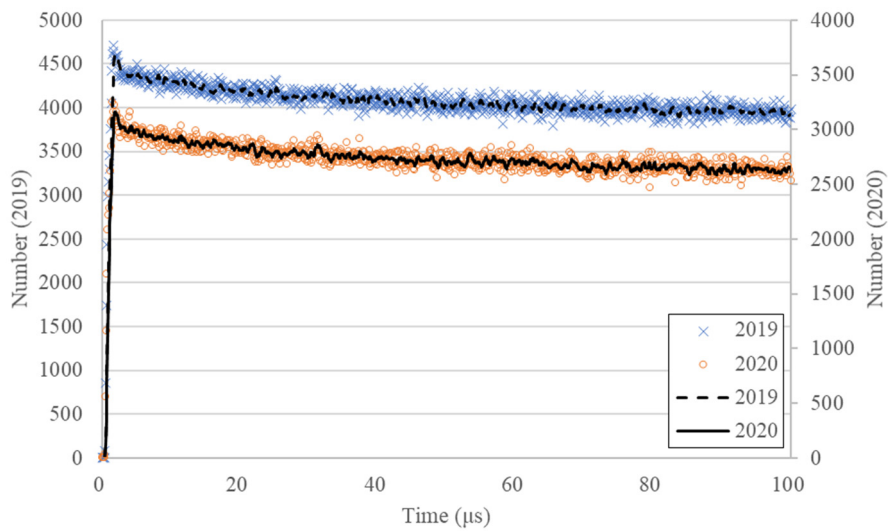


図 2.2.3-12 AFAS-B Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

AFAS-B Top Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献 2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-13 及び図 2.2.3-14 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

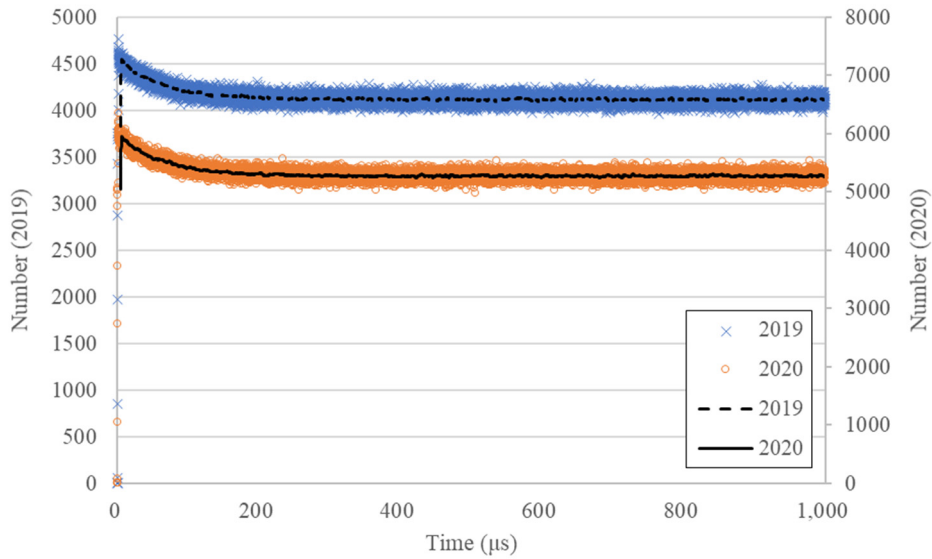


図 2.2.3-13 AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

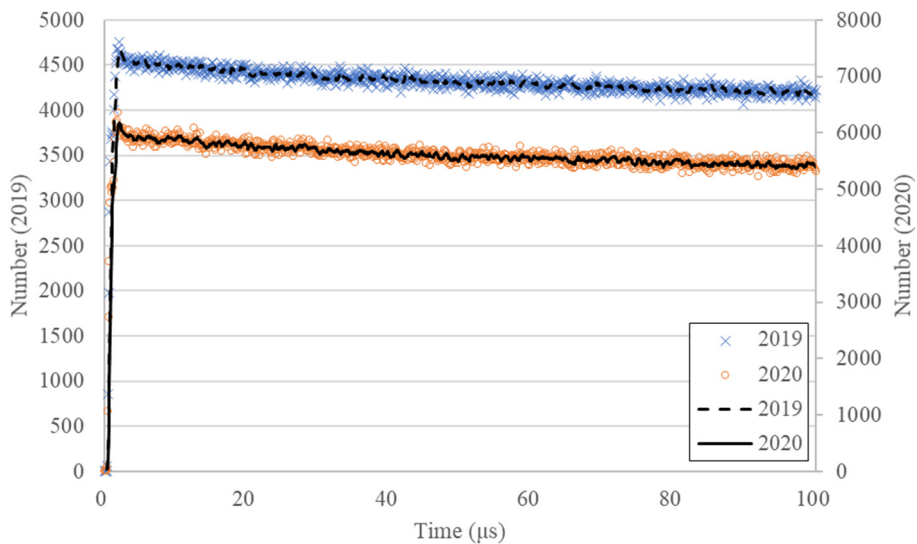


図 2.2.3-14 AFAS-B Top Fork 検出器 パルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

AFAS-B Bottom Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献 2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-15 及び図 2.2.3-16 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

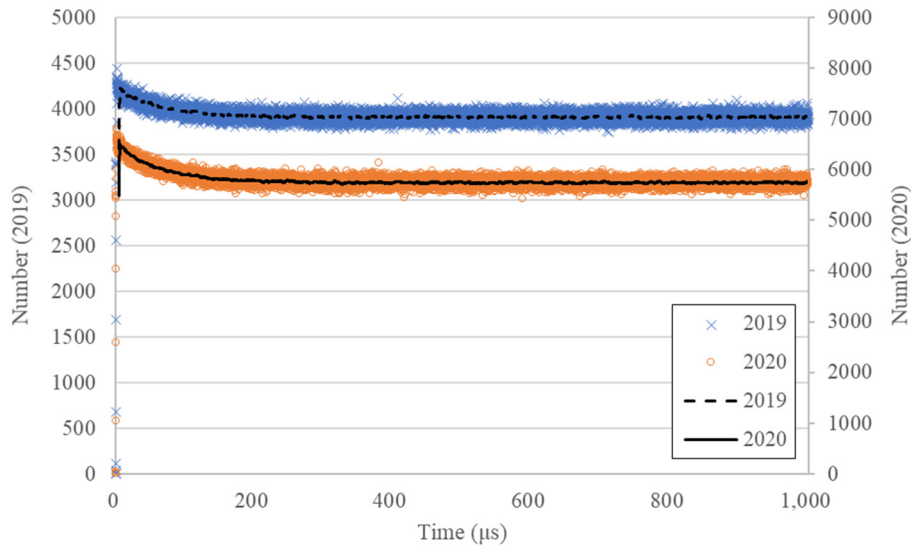


図 2.2.3-15 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

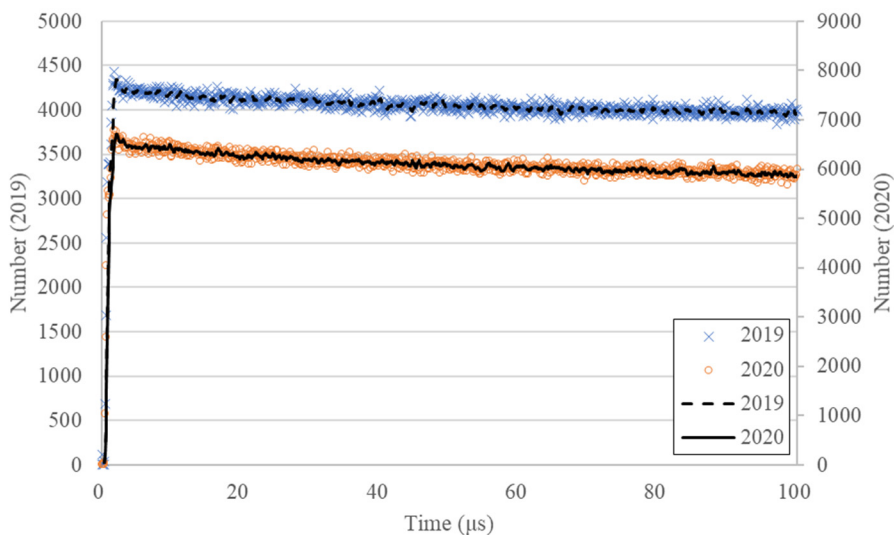


図 2.2.3-16 AFAS-B Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

AFAS-P Collar 検出器における各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-17～2.2.3-36 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

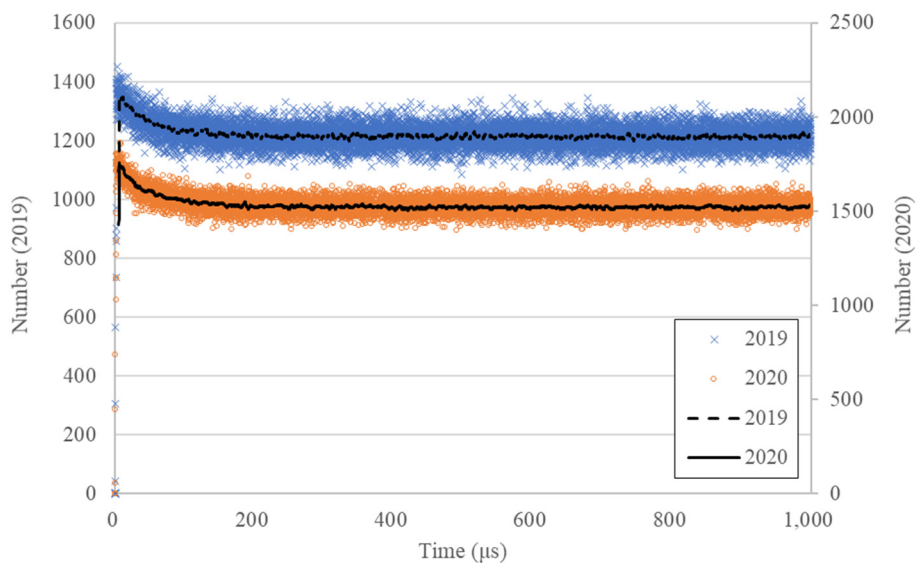


図 2.2.3-17 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

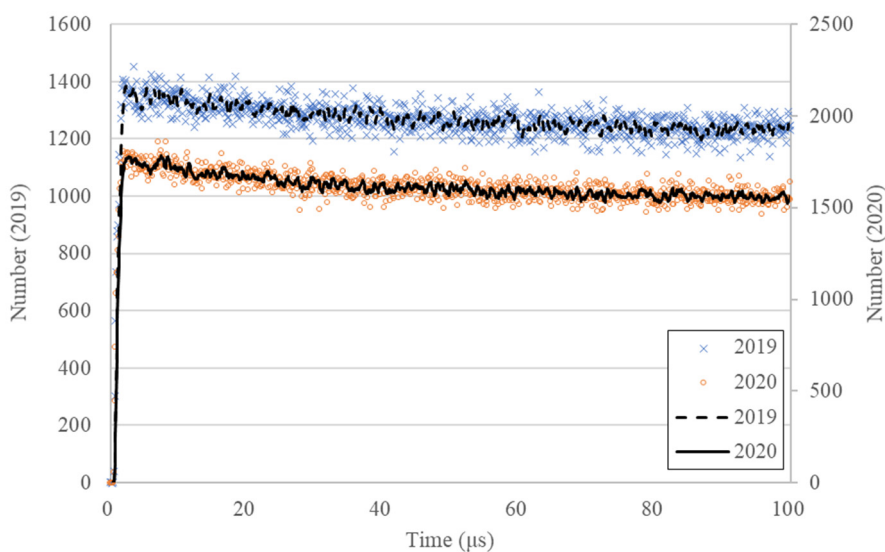


図 2.2.3-18 AFAS-P Collar 検出器 アンプ A のパルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

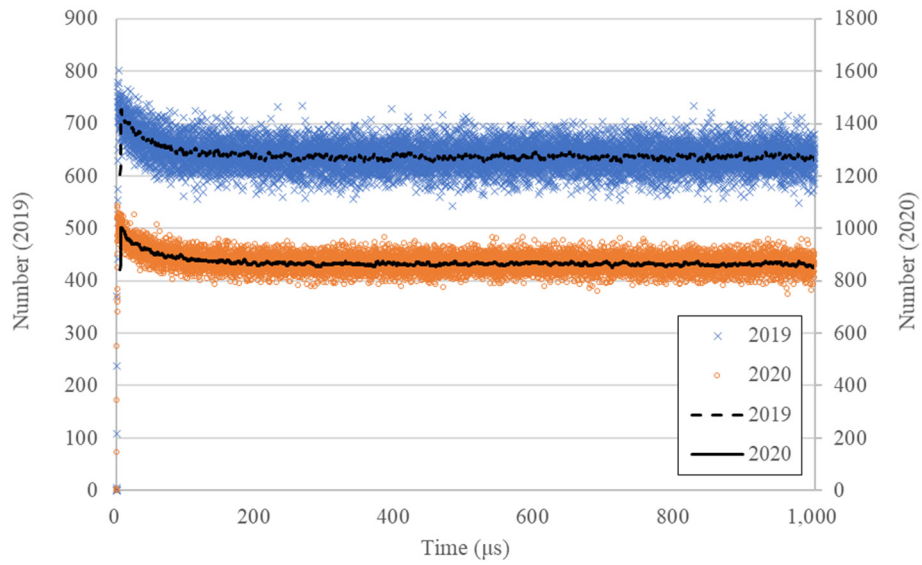


図 2.2.3-19 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

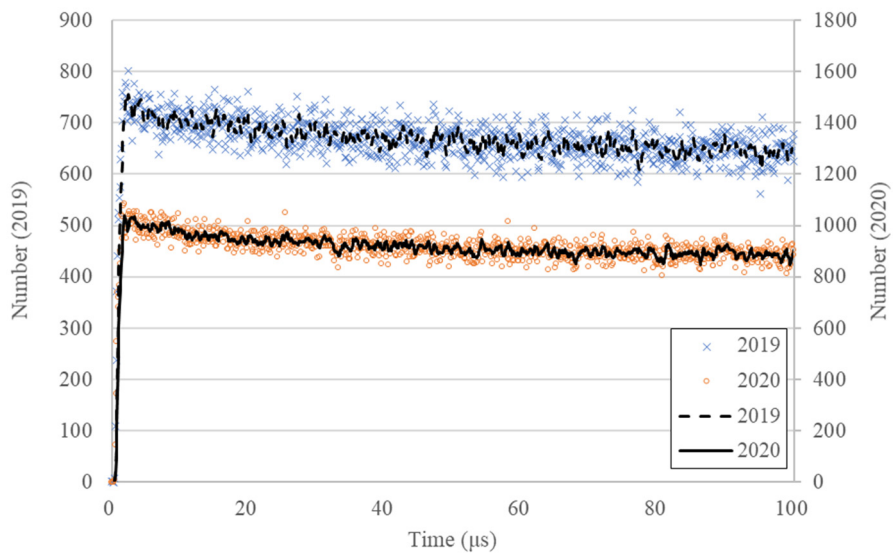


図 2.2.3-20 AFAS-P Collar 検出器 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

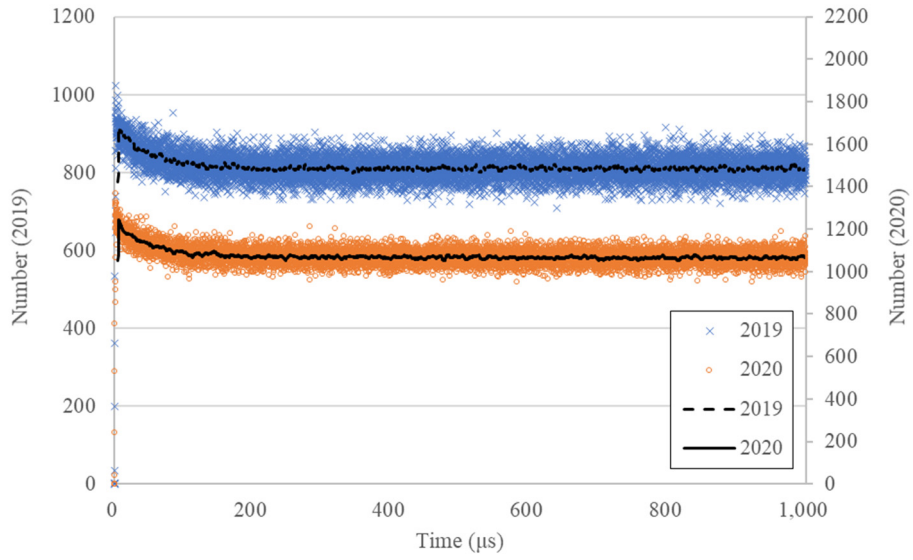


図 2.2.3-21 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

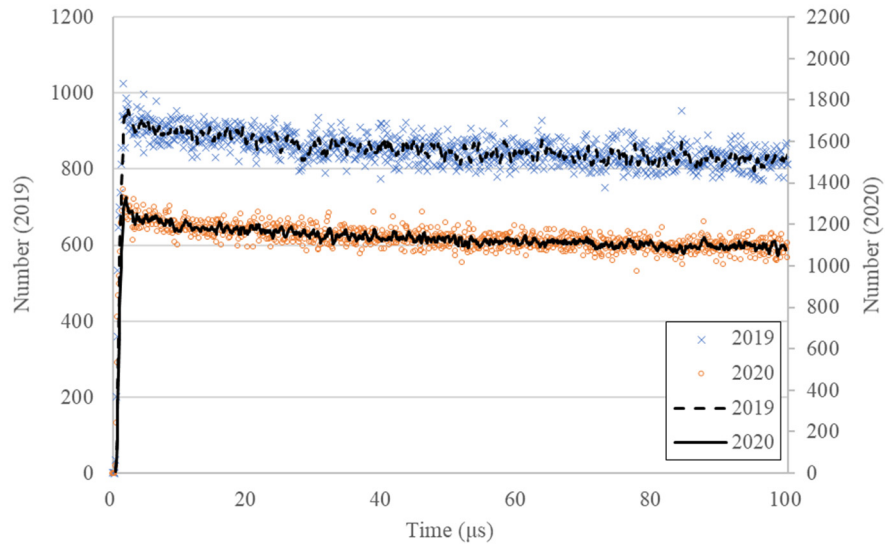


図 2.2.3-22 AFAS-P Collar 検出器 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

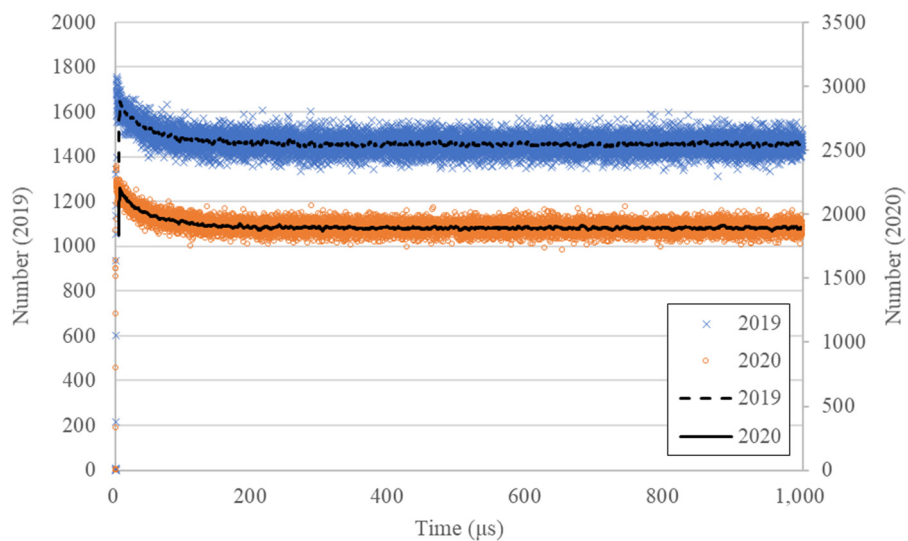


図 2.2.3-23 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

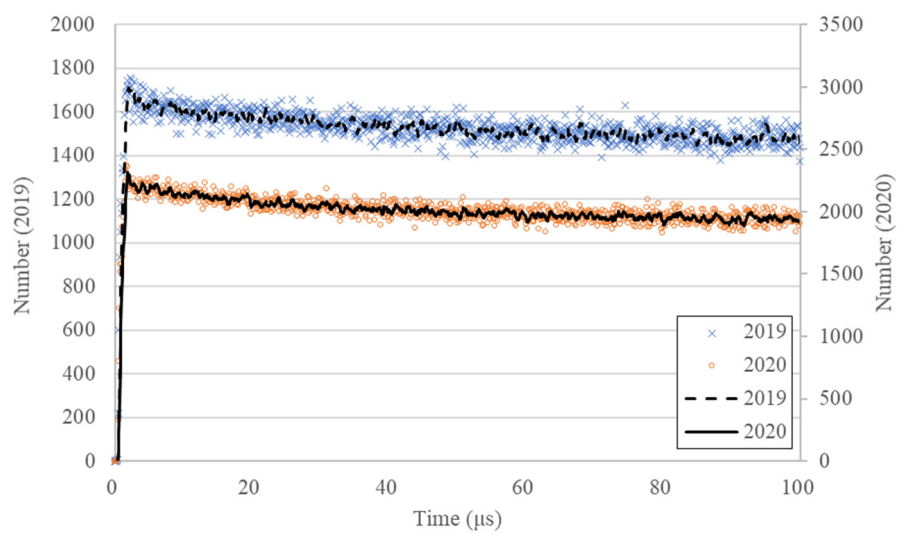


図 2.2.3-24 AFAS-P Collar 検出器 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

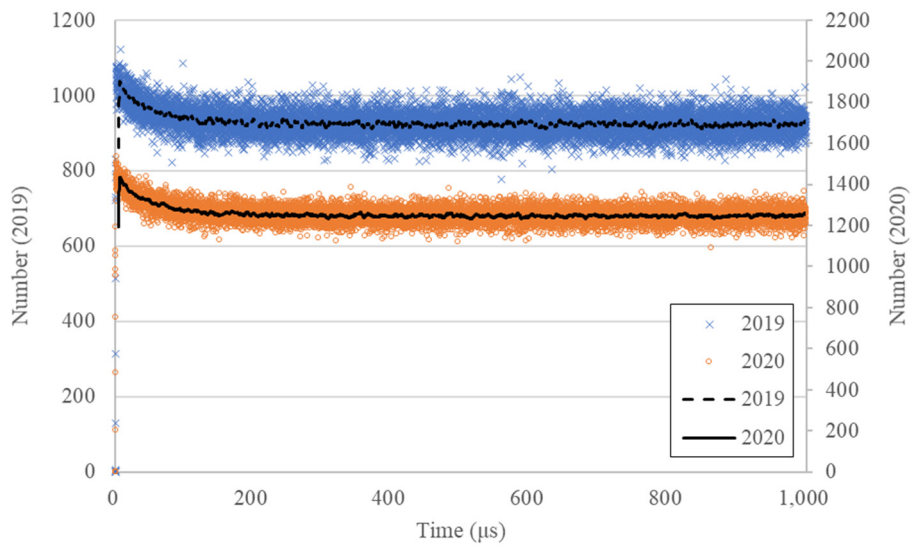


図 2.2.3-25 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

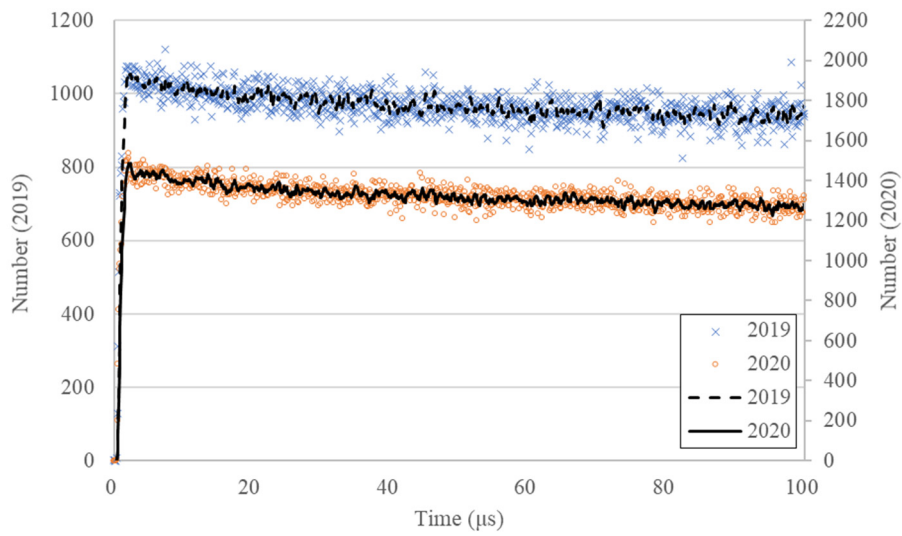


図 2.2.3-26 AFAS-P Collar 検出器 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

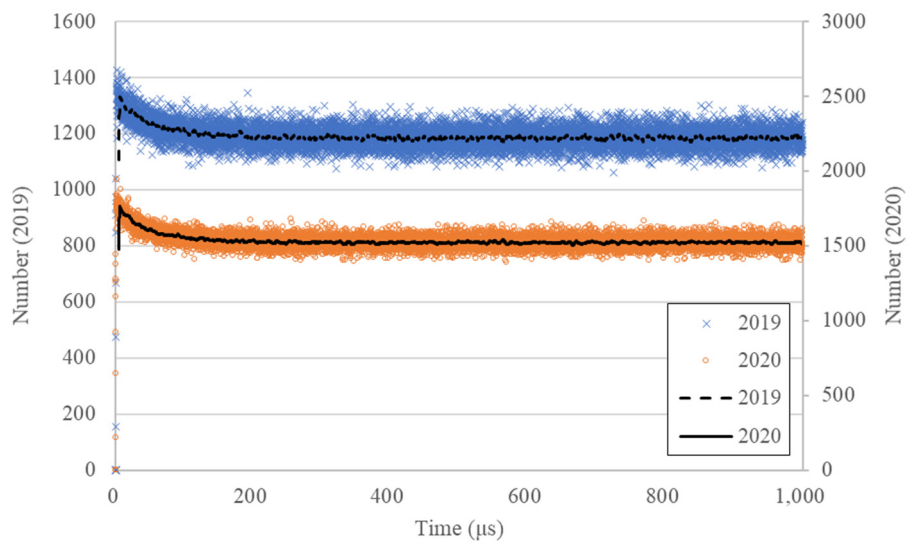


図 2.2.3-27 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

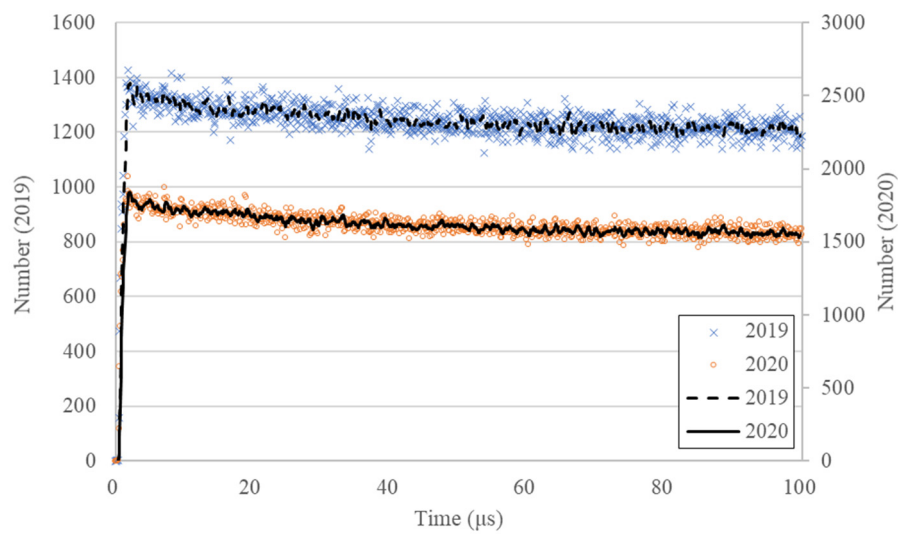


図 2.2.3-28 AFAS-P Collar 検出器 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

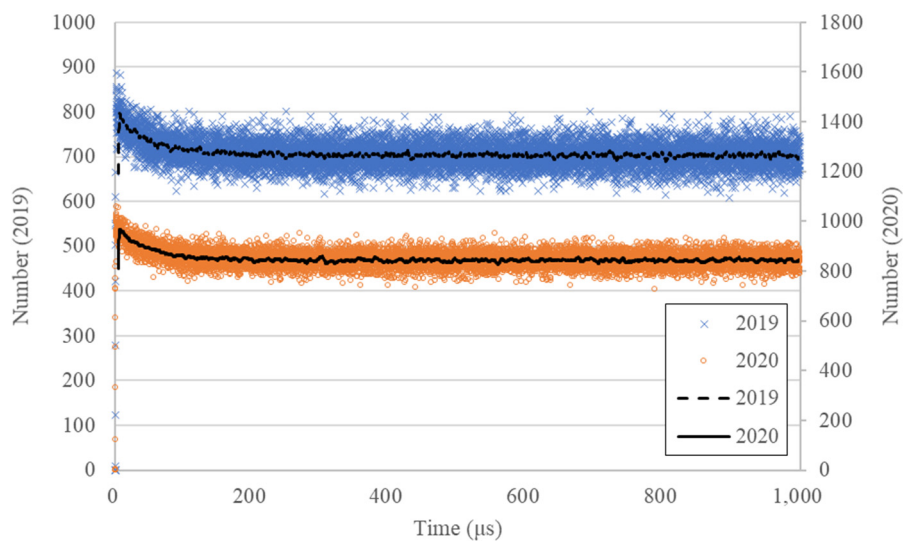


図 2.2.3-29 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

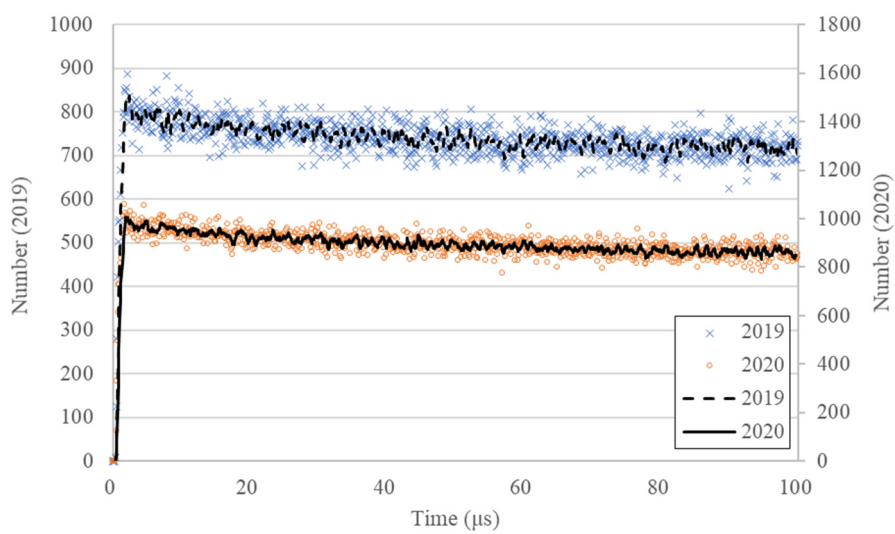


図 2.2.3-30 AFAS-P Collar 検出器 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

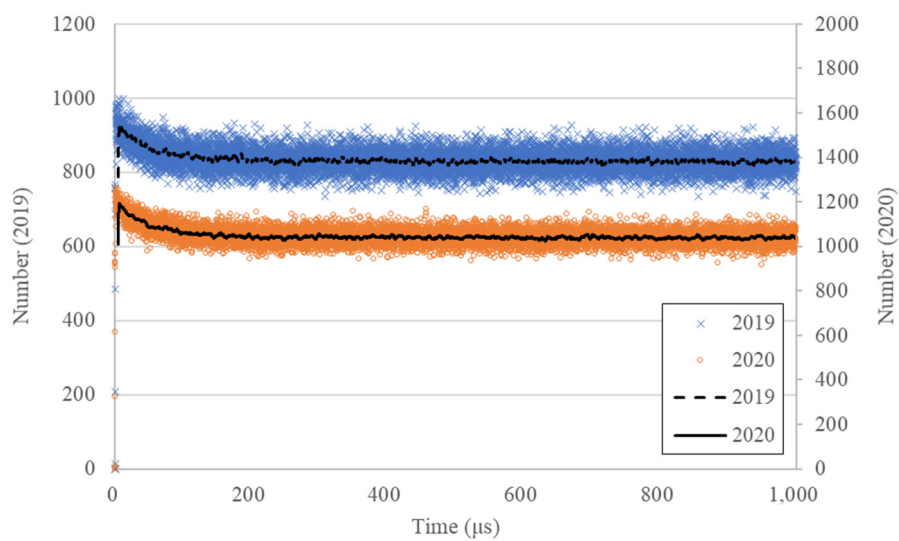


図 2.2.3-31 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

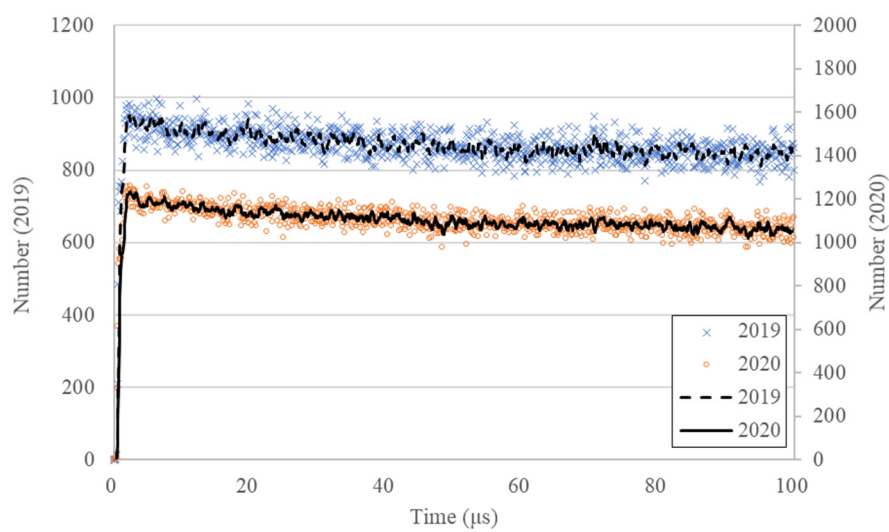


図 2.2.3-32 AFAS-P Collar 検出器 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

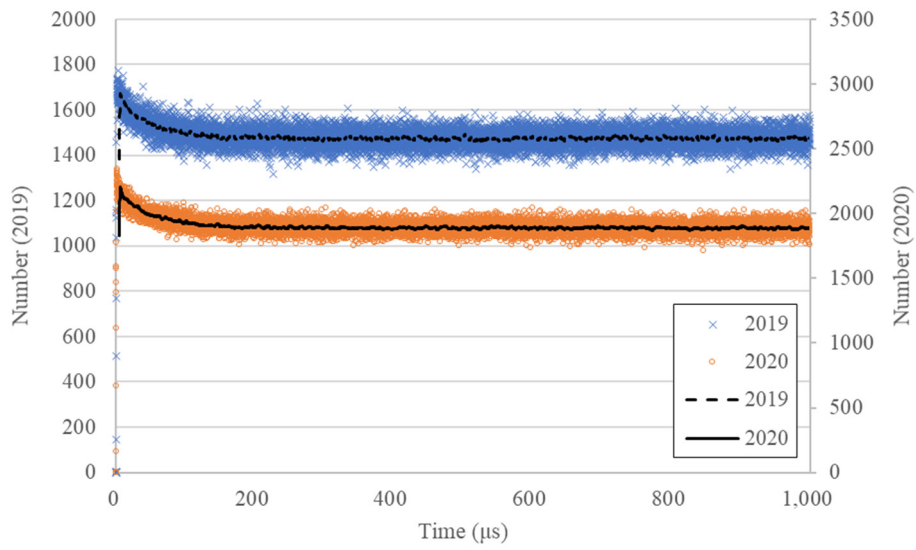


図 2.2.3-33 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

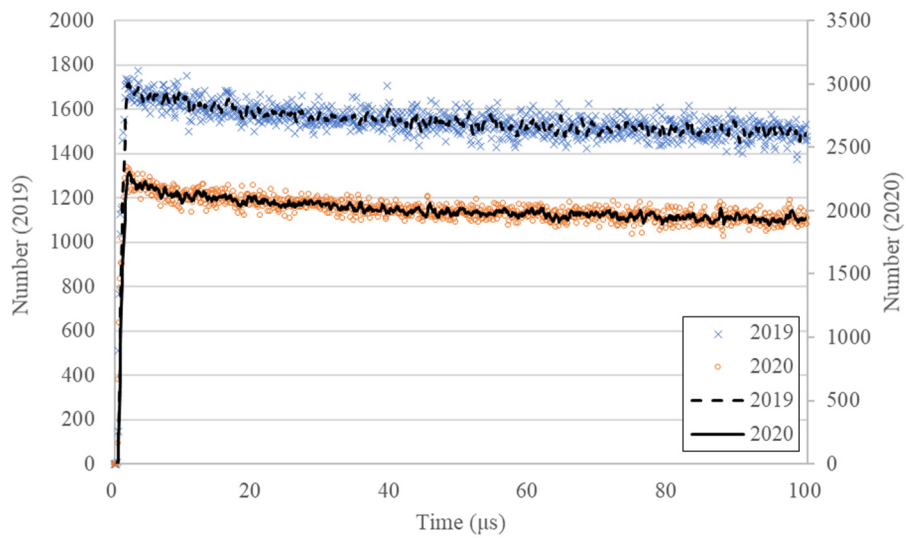


図 2.2.3-34 AFAS-P Collar 検出器 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

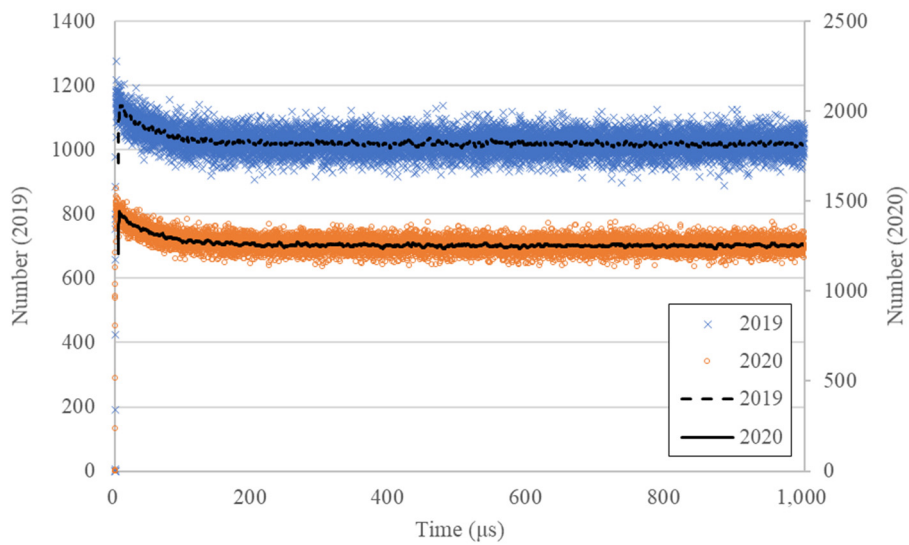


図 2.2.3-35 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

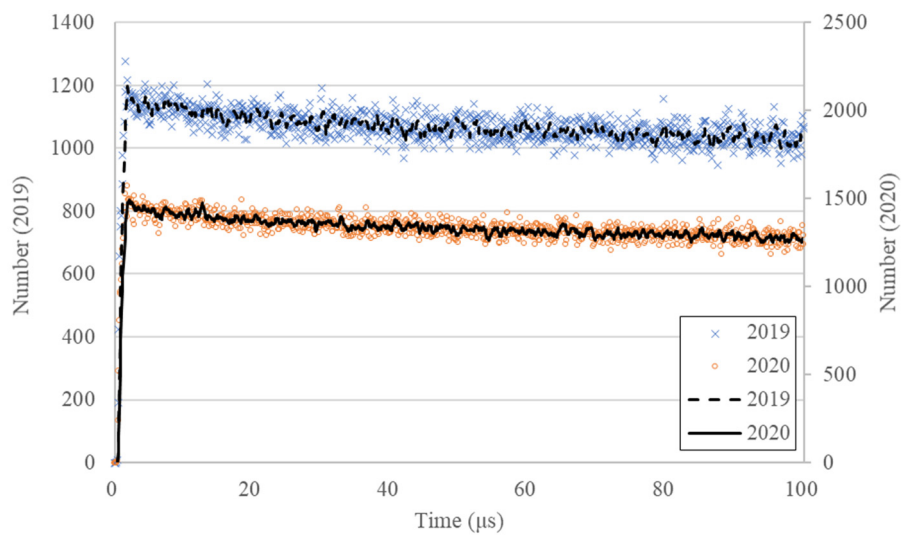


図 2.2.3-36 AFAS-P Collar 検出器 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

AFAS-P Top Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献 2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-37 及び図 2.2.3-38 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

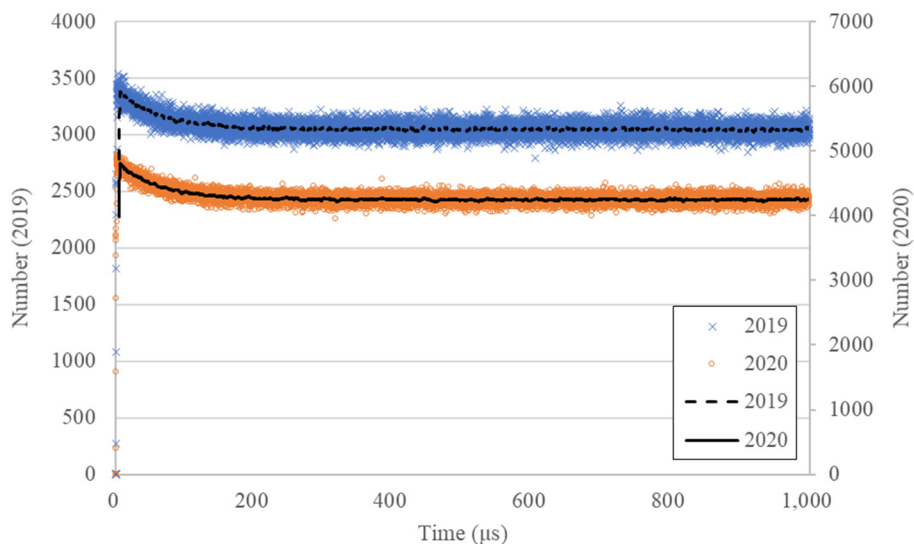


図 2.2.3-37 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

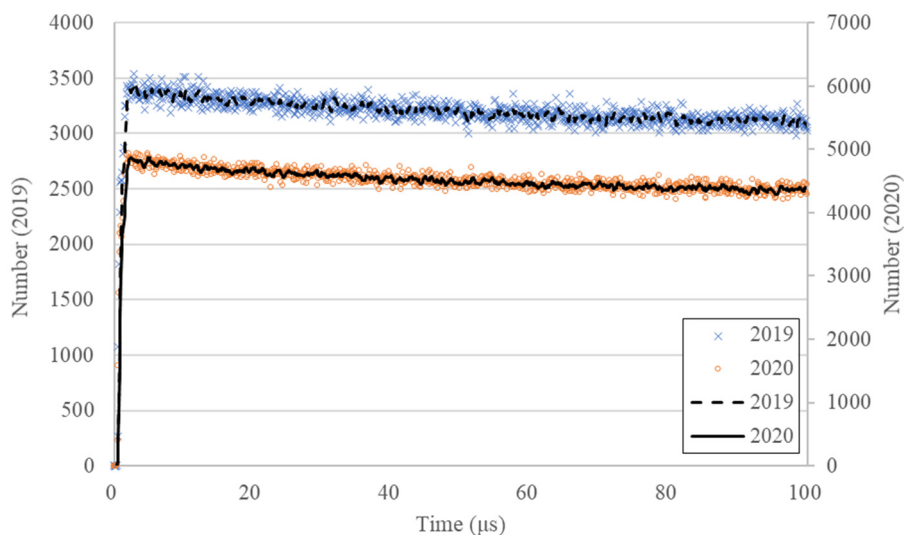


図 2.2.3-38 AFAS-P Top Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

AFAS-P Bottom Fork 検出器におけるアンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成 31 年度（2019 年度）に実施した性能確認試験^(参考文献 2)における評価結果を比較した結果（0～1000 μ s 及び 0～100 μ s の分布）を図 2.2.3-39 及び図 2.2.3-40 に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成 31 年度（2019 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和 2 年度（2020 年度）に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

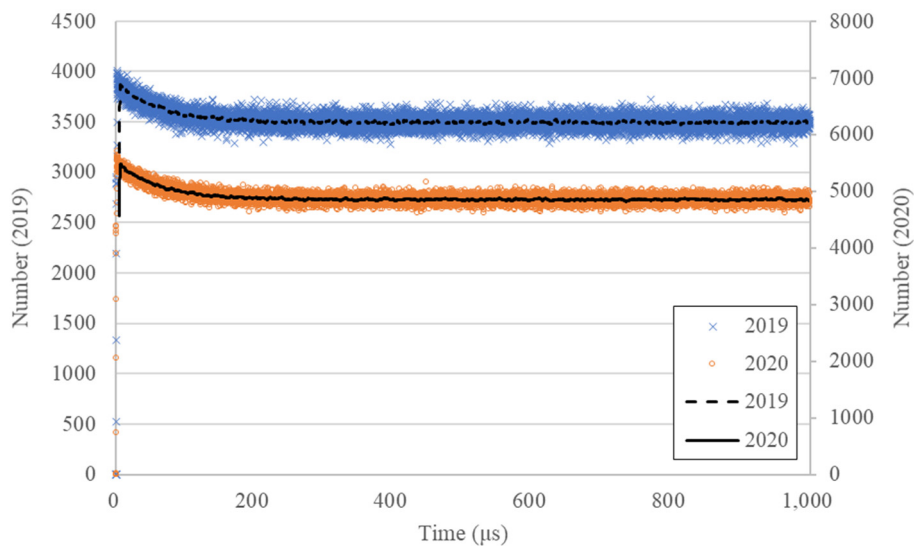


図 2.2.3-39 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～1000 μ s）

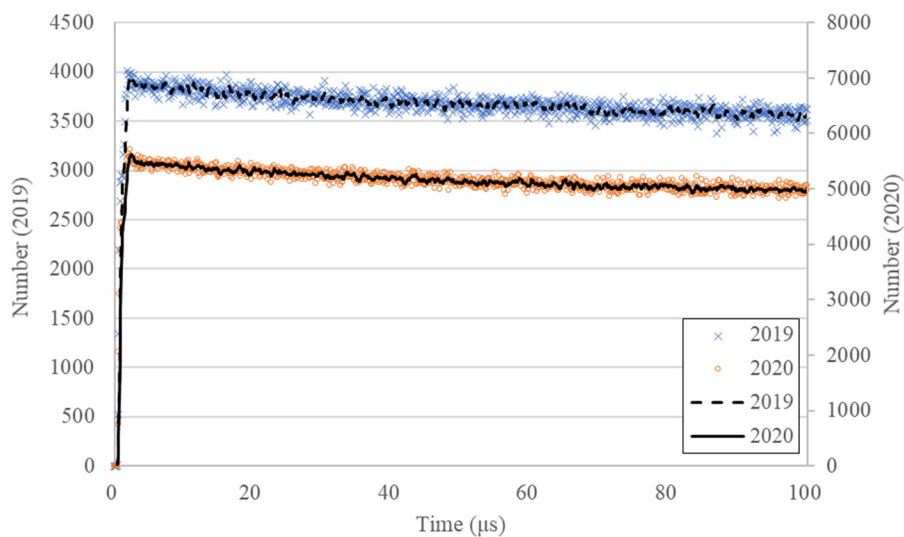


図 2.2.3-40 AFAS-P Bottom Fork 検出器のパルス間隔分布の比較（0～100 μ s）

2.2.4 考察

本試験では、平成 31 年度の評価に用いた ^{252}Cf 中性子線源と同じ線源を用いたため、線源の減衰により得られた計数値は減少したが、評価したパルス間隔分布は平成 31 年度に評価したパルス間隔分布とほぼ同一の形状となった。したがって、本試験において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている ^3He 比例計数管及びケーブルは健全に保たれていると考えられる。

2.3 AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価

2.3.1 目的

J-MOX において AFAS が故障した場合にシステムを停止することなく、測定パラメータを再評価することで燃料集合体測定の継続を可能とする方法を検討する^(*8)。また、本方法を適用した場合の AFAS の測定性能を評価する。なお、本検討で想定する AFAS の故障箇所は、Collar 検出器のアンプとする。

*8: 査察官非立会測定システムとして使用される AFAS が故障し、復旧までの一定期間燃料集合体の検認が不可能となった場合、施設の操業に影響を及ぼす可能性がある。

2.3.2 方法

Collar 検出器のアンプが全て健全（正常）な状態及びアンプ 1 個の機能を停止させた状態において ^{252}Cf 中性子線源測定を実施し、アンプ 1 個が機能停止した場合の計数値の減少率を求める。本減少率を過去に燃料集合体を用いて実施した「Known α 法のためのスロープ b 評価試験^(*9)」において取得した計数値に反映し、アンプ 1 個が機能停止した際に用いる測定パラメータ「スロープ b」及び「 ρ_0 」を再評価する。また、再評価したスロープ b 及び ρ_0 を用いて実際に燃料集合体測定を実施し、本評価の妥当性を確認する。スロープ b とは、Known α 法における増倍補正されたダブル値(D_c)と単位長さあたりの ^{240}Pu 実効質量(g/cm) (m_{240c})を関連付ける一次方程式の傾きのことであり、 ρ_0 とは、増倍補正係数のことである。

本評価のうち、Collar 検出器のアンプ 1 個が機能停止した場合の計数値の減少率評価は、AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の各アンプについて行う。スロープ b 及び ρ_0 の再評価及び燃料集合体測定による妥当性確認は、AFAS-P の Collar 検出器の各アンプについて行う。AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器におけるアンプ数を表 2.3.2-1 に示す。

本評価で使用する線源 (Q2-334) を 1.6 項の表 1.6-1 に、燃料集合体の仕様及び同位体組成比を 1.7 項の表 1.7-1 及び表 1.7-2 に示す。

*9: 平成 24 年度性能確認試験^(参考文献 3)にて実施（本試験は燃料集合体を把持する吊具の寸法上 AFAS-B を用いた測定は実施不可であったため、AFAS-P でのみ実施した）。

表 2.3.2-1 Collar 検出器におけるアンプ数

検出器	アンプ 個数
AFAS-B	6
AFAS-P	10

詳細な手順を以下に示す。

- (1) ^{252}Cf 中性子線源測定（低バックグラウンド環境で実施する）
 - ① AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器を試験用架台に設置する。
 - ② INCC の Background 測定モードにより 10 分間のバックグラウンド測定を行う。
 - ③ 線源固定治具を用いて ^{252}Cf 中性子線源(Q2-334)を AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の中心に配置し、INCC の Rate only 測定モードにより 10 分間の測定を行う。
 - ④ 検出器のジャンクションボックスの蓋を外す。
 - ⑤ 任意のアンプのジャンパーピンを取り外し、計数機能を停止させる。
 - ⑥ 検出器のジャンクションボックスの蓋を取り付ける。
 - ⑦ INCC の Background 測定モードにより 10 分間のバックグラウンド測定を行う。
 - ⑧ 線源固定治具を用いて ^{252}Cf 中性子線源(Q2-334)を AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の中心に配置し、INCC の Rate only 測定モードにより 10 分間の測定を行う。
 - ⑨ ③及び⑧にて測定された計数値（シングル値及びダブル値）を比較し、計数値の減少率を求める。
 - ⑩ ⑨にて評価した計数値の減少率を平成 24 年度に実施した「Known α 法のためのスロープ b 評価試験」において取得した計数値に反映させ、アンプ 1 個が機能停止した状態における測定に用いるスロープ b 及び ρ_0 を再評価する。スロープ b 及び ρ_0 を求めるための評価式を式 (2.1) ～ (2.4) に示す。また、平成 24 年度試験における燃料集合体の測定結果を表 2.3.2-2 に示す。
 - ⑪ 全てのアンプについて、④～⑩を実施する。

$$S_c = \frac{S}{M} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (2.1)$$

$$D_c = \frac{D}{CF} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (2.2)$$

$$b = \frac{D_c - a}{m_{240e}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (2.3)$$

$$\rho_0 = \frac{D_c}{S_c} (1 + \alpha) = \frac{D_c M}{S} (1 + \alpha) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2.4)$$

ただし、 S : 増倍補正前のシングル値
 S_c : 増倍補正されたシングル値
 D : 増倍補正前のダブル値
 D_c : 増倍補正されたダブル値
 CF : 増倍補正係数 $CF = M^2(2.166(1 + \alpha)M + (1 - 2.166(1 + \alpha)))$
 M : 増倍率
 α : α 値
 m_{240e} : 単位長さあたりの ^{240}Pu 実効質量(g/cm)
 a : 切片 (0)
 b : 傾き (スロープ b)
 ρ_0 : 増倍補正係数

表 2.3.2-2 平成 24 年度性能確認試験における燃料集合体測定結果

集合体 No.	測定時間 (分)	S (cps)	σS (cps)	D (cps)	σD (cps)	α	M	D_c (cps)	σD_c (cps)	$^{240}\text{Pu}_{\text{eff}}$ (g/cm)
P1	155	71904.641	3.445	3442.940	7.303	0.997	1.006	3322.227	1.357	3.86116
P2	140.5	62472.461	3.154	2938.848	6.408	1.008	1.003	2878.011	1.196	3.34078

(2) 燃料集合体測定

- ① AFAS-P の Collar 検出器を燃料集合体測定用架台に設置する。
- ② INCC の Background 測定モードにより 30 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ③ クレーンを用いて燃料集合体を AFAS-P の Collar 検出器の中心に配置し、INCC の Verification 測定モードにより 10 分間の測定を行う。
- ④ 検出器のジャンクションボックスの蓋を外す。
- ⑤ 任意のアンプのジャンパーピンを取り外し、計数機能を停止させる。
- ⑥ 検出器のジャンクションボックスの蓋を取り付ける。
- ⑦ INCC の Background 測定モードにより 30 分間のバックグラウンド測定を行う。
- ⑧ クレーンを用いて燃料集合体を AFAS-P の Collar 検出器の中心に配置し、(1) の ⑩にて評価したスロープ b 及び ρ_0 を用いて INCC の Verification 測定モードにより 10 分間の測定を行う。
- ⑨ ③及び⑧にて測定された ^{240}Pu 実効質量及び誤差 (σ) を比較し、再評価したスロープ b 及び ρ_0 の妥当性を評価する。また、各 ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) ($\sigma/^{240}\text{Pu}$ 実効質量 $\times 100$) を求め、測定精度を確認する。
- ⑩ 全てのアンプについて、④～⑨を実施する。

2.3.3 結果

(1) ^{252}Cf 中性子線源測定

AFAS-B の Collar 検出器の各アンプ 1 個が機能停止した状態における計数值（シングル値及びダブル値）の減少率の評価結果を表 2.3.3-1 に示す。また、AFAS-P の Collar 検出器の各アンプ 1 個が機能停止した状態における各計数值の減少率とスロープ b 及び ρ_0 の再評価結果を表 2.3.3-2 に示す。

表 2.3.3-1 計数值の減少率（AFAS-B Collar 検出器）

アンプ 停止箇所	Singles (cps)	σ Singles	減少率 (%)	Doubles (cps)	σ Doubles	減少率 (%)
なし	36434.549	9.497	0.000	7835.708	17.850	0.000
amp1	29806.883	8.437	18.191	5221.320	12.953	33.365
amp2	30779.022	8.174	15.522	5608.735	15.193	28.421
amp3	30496.110	6.440	16.299	5498.299	12.542	29.830
amp4	29876.384	8.158	18.000	5246.837	13.426	33.039
amp5	30857.884	8.021	15.306	5624.053	16.513	28.225
amp6	30538.787	8.205	16.182	5517.169	12.893	29.589

表 2.3.3-2 計数值の減少率及びスロープ b 、 ρ_0 の再評価結果
（AFAS-P Collar 検出器）

アンプ 停止箇所	Singles (cps)	σ Singles	減少率 (%)	Doubles (cps)	σ Doubles	減少率 (%)	Slope b	σ Slope b	$\rho_0^{(*10)}$
なし	34383.515	6.778	0.000	5926.307	12.599	0.000	860.941	0.528	0.09280
amp1	30739.462	9.325	10.598	4764.980	12.406	19.596	692.263	1.761	0.08347
amp2	31634.884	13.570	7.994	4998.199	19.082	15.661	726.150	1.847	0.08507
amp3	31318.942	10.535	8.913	4929.708	8.514	16.817	716.192	1.822	0.08475
amp4	30244.094	5.925	12.039	4570.924	11.544	22.871	664.070	1.689	0.08138
amp5	30953.068	5.412	9.977	4820.329	12.108	18.662	700.304	1.781	0.08385
amp6	30514.266	6.990	11.253	4656.747	13.378	21.422	676.540	1.721	0.08217
amp7	31498.451	7.206	8.391	4972.145	10.189	16.100	722.358	1.837	0.08500
amp8	31230.421	12.836	9.170	4917.403	13.091	17.024	714.407	1.817	0.08478
amp9	30231.405	6.806	12.076	4560.285	15.998	23.050	662.528	1.685	0.08122
amp10	31036.235	10.041	9.735	4834.679	11.976	18.420	702.389	1.787	0.08388

*10: 平成 24 年度試験における燃料集合体 P1 及び P2 の測定結果から得られた各 ρ_0 の平均値

(2) 燃料集合体測定

AFAS-P の Collar 検出器が正常な状態において燃料集合体を測定した結果と、アンプ 1 個を機能停止させた状態において再評価したスロープ b 及び ρ_0 を用いて燃料集合体を測定した結果を図 2.3.3-1 に示す。

検出器が正常な状態及びアンプ 1 個を機能停止させた状態における ^{240}Pu 実効質量の測定結果は、誤差 (2σ) の範囲で一致した。また、検出器が正常な状態における ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) は約 0.19%であったのに対し、各アンプ停止状態における ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) は約 0.24%~0.32%であった。

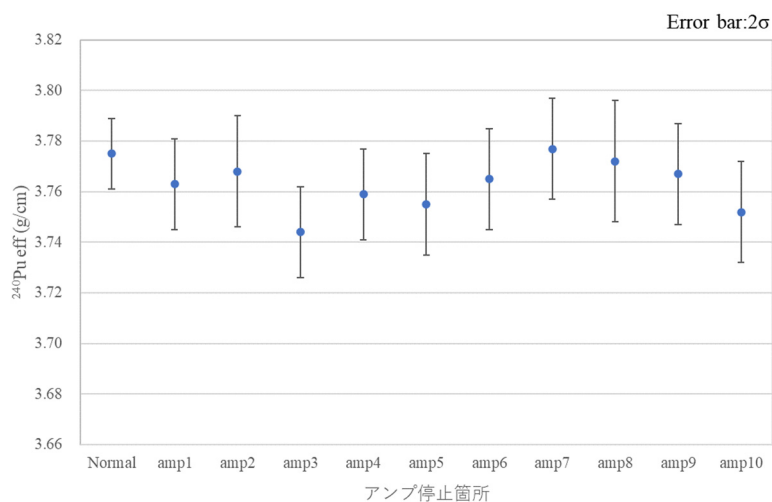


図 2.3.3-1 ^{240}Pu 実効質量及び誤差 (2σ) の比較

2.3.4 考察

検出器が正常な状態及びアンプ 1 個を機能停止させた状態における ^{240}Pu 実効質量の測定結果が誤差 (2σ) の範囲で一致したことから、再評価した測定パラメータ (スロープ b 及び ρ_0) は妥当であると考えられる。また、アンプ 1 個停止状態における ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) は最大で約 0.32%であり、これは、IAEA が AFAS 要求仕様書(参考文献 4)で示している要求精度 (測定時間 10 分において相対誤差 2.0%以下) を満たすものである。これらのことから、J-MOX において AFAS に同様の故障が発生した場合においても、システムを停止することなく測定パラメータを再評価し燃料集合体測定を継続することは可能であると考えられる。

しかしながら、J-MOX において AFAS は、燃料集合体の保護管の周囲に設置されるため、AFAS に同様の故障が発生した場合において、本評価で行ったような ^{252}Cf 中性子線源を検出器中央に配置して測定パラメータを再評価することは困難である。したがって、J-MOX においては、実際の燃料集合体を用いて計数値の減少率を評価する必要があると考えられる。

2.4 測定パラメータの再評価

測定パラメータの経年変化の有無を確認するため、測定パラメータを再評価し、初期のパラメータ(*11)と比較する。本評価は、AFAS-B及びAFAS-Pの各検出器について行う。

本評価で使用する線源（H4-694、K7-436、Q2-334）を1.6項の表1.6-1に、評価する測定パラメータを表2.4-1に示す。

*11: JAEA が平成 22 年度及び 23 年度に実施した性能確認試験(参考文献 5 及び参考文献 6)において評価した測定パラメータ

表 2.4-1 評価する測定パラメータ

評価項目	AFAS-B			AFAS-P		
	Collar	Fork		Collar	Fork	
		Top	Bottom		Top	Bottom
デッドタイム補正係数	○	-	-	○	-	-
中性子検出効率	○	○	○	○	○	○
ダイアウエイタイム、ゲート幅	○	-	-	○	-	-
検出効率プロファイル	○	○	○	○	○	○
HV プラトー領域	○	○	○	○	○	○

2.4.1 デッドタイム補正係数の評価

2.4.1.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器のデッドタイム補正係数を評価し、初期のパラメータと比較する。

2.4.1.2 方法

デッドタイム補正係数の評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② INCC のデッドタイム補正に関するパラメータ (Multiplicity dead time、dead time coefficient a, b, c) に 0 を入力する。
- ③ 線源固定治具を用いて、²⁵²Cf 中性子線源 (K7-436、Q2-334、K7-436 & Q2-334) を、AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の中心 (図 2.4.1-1 及び図 2.4.1-2) に配置し、Rate Only モードにより 30 秒×100 回の測定を行い、それぞれの線源のデッドタイム補正前の計数値 (シングル値 (S_m)、ダブル値 (D_m)) を取得する。
- ④ 上記にて取得した各線源の計数値 (S_m, D_m) を式 (2.1) に代入する。

$$\frac{D_{c_i}}{S_{c_i}} = \frac{D_{m_i}}{S_{m_i}} \cdot e^{(a+a^2/4 \cdot S_{m_i}) \cdot S_{m_i} \cdot 3/4} \quad \dots (2.1)$$

ただし、i: 線源番号

- ⑤ 最小二乗法を用いて、式 (2.2) に示す残差の二乗和 S が最小となるようなデッドタイム補正係数 a を評価する。

$$S = \sum_{i=1}^3 \left(\text{Average} \left(\frac{D_c}{S_c} \right) - \frac{D_{c_i}}{S_{c_i}} \right)^2 \quad \dots (2.2)$$

ただし、

$$\text{Average} \left(\frac{D_c}{S_c} \right) = \frac{1}{3} \cdot \sum_{j=1}^3 \frac{D_{c_j}}{S_{c_j}}$$

j: 線源番号

- ⑥ 上記にて評価したデッドタイム補正係数 a を関係式 $b=a^2/4$ に代入することによりデッドタイム補正係数 b を評価する。

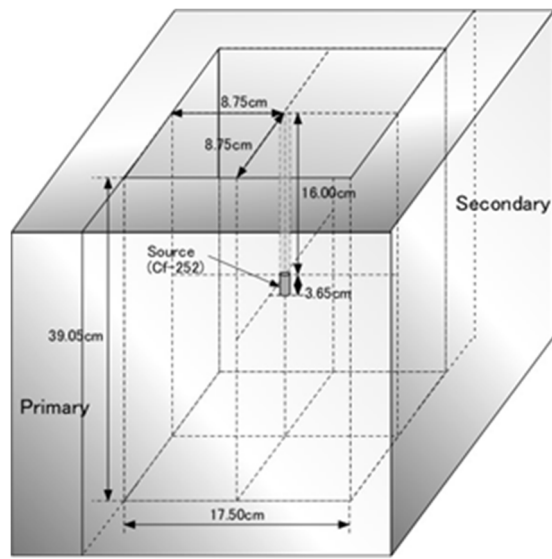


図 2.4.1-1 デッドタイム補正係数評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(AFAS-B Collar 検出器)

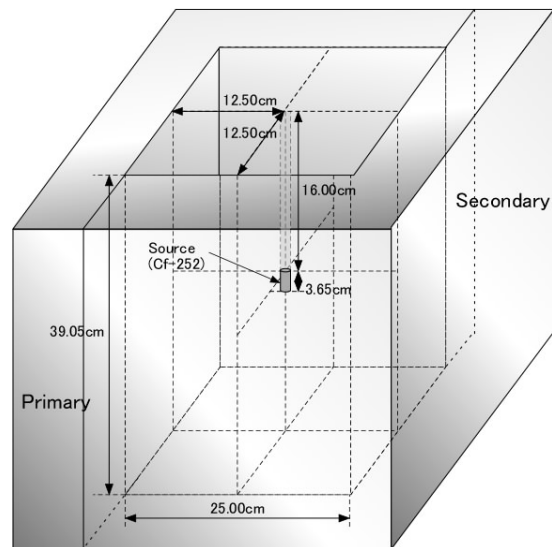


図 2.4.1-2 デッドタイム補正係数評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(AFAS-P Collar 検出器)

2.4.1.3 結果

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器におけるデッドタイム補正係数 a, b の評価結果を表 2.4.1-1 及び表 2.4.1-2 に示す。

また、これらのデッドタイム補正係数と過去に評価したデッドタイム補正係数を比較するため、ブートストラップ法^(*)12)を用いてデッドタイム補正係数の誤差 (σ) の評価を行った。本評価結果及び各デッドタイム補正係数の比較結果を表 2.4.1-3～表 2.4.1-4 及び図 2.4.1-3～2.4.1-6 に示す。その結果、本年度評価した各検出器のデッドタイム補正係数は、過去に評価したデッドタイム補正係数と誤差 (2σ) の範囲で一致した。

*12: ブートストラップ法とは、ある標本集団から母集団の性質を推定するための方法である。本評価では、実測定による各線源の計数値（シングル値及びダブル値）をそれぞれ 10000 回再抽出し、10000 個のデッドタイム補正係数 a, b を再評価した。なお、誤差を推定したデッドタイム補正係数は、ブートストラップ法により評価したデッドタイム補正係数の平均値であり、表 2.4.1-1 及び表 2.4.1-2 に示したデッドタイム補正係数の評価値とは若干異なる。

表 2.4.1-1 デッドタイム補正係数 a, b の評価結果 (AFAS-B Collar 検出器)

a	b
4.713E-07	5.554E-14

表 2.4.1-2 デッドタイム補正係数 a, b の評価結果 (AFAS-P Collar 検出器)

a	b
2.907E-07	2.113E-14

表 2.4.1-3 デッドタイム補正係数 a, b の誤差 (σ) 推定結果
(AFAS-B Collar 検出器)

	平成 22 年度		令和 2 年度	
	a	b	a	b
平均値	5.041E-07	6.385E-14	4.714E-07	5.592E-14
σ	3.614E-08	9.124E-15	3.821E-08	9.008E-15
2σ	7.229E-08	1.825E-14	7.643E-08	1.802E-14

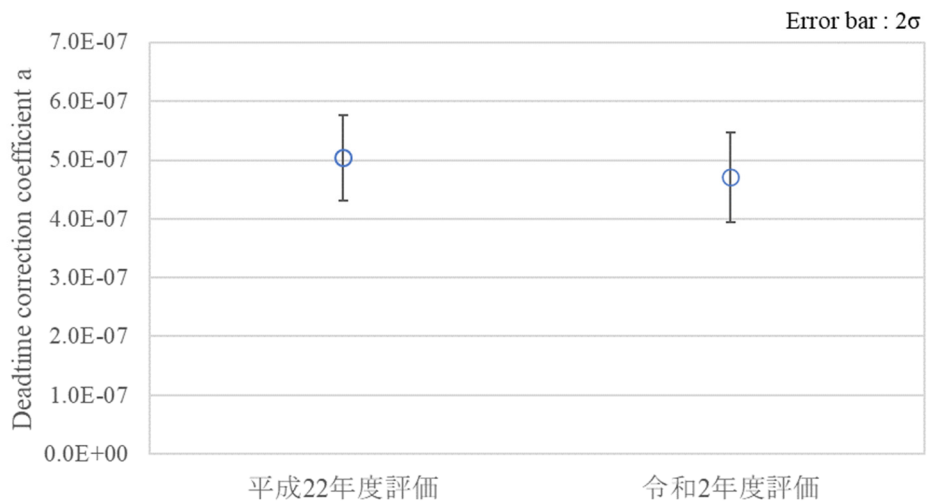


図 2.4.1-3 デッドタイム補正係数 a の比較 (AFAS-B Collar 検出器)

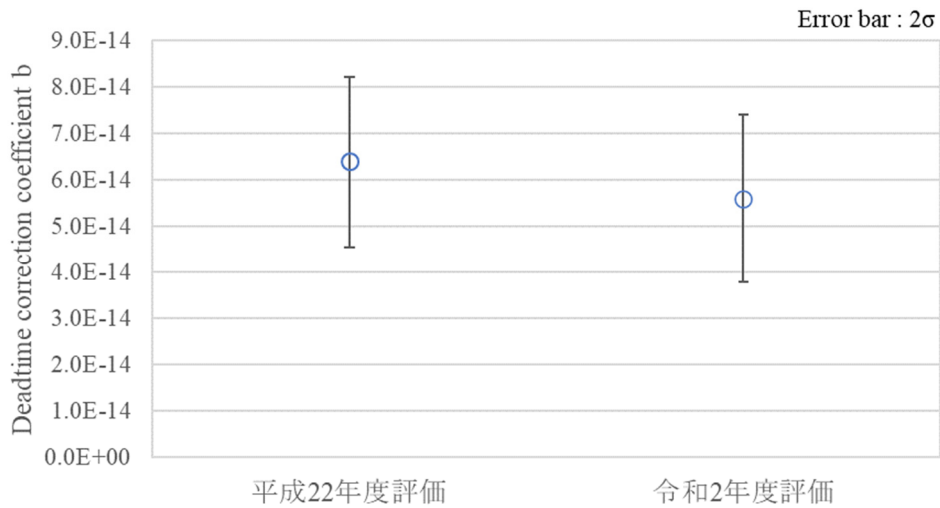


図 2.4.1-4 デッドタイム補正係数 b の比較 (AFAS-B Collar 検出器)

表 2.4.1-4 デッドタイム補正係数 a, b の誤差 (σ) 推定結果 (AFAS-P Collar 検出器)

	平成 23 年度		令和 2 年度	
	a	b	a	b
平均値	1.831E-07	8.684E-15	2.793E-07	2.045E-14
σ	3.471E-08	3.228E-15	6.179E-08	8.714E-15
2σ	6.942E-08	6.455E-15	1.236E-07	1.743E-14

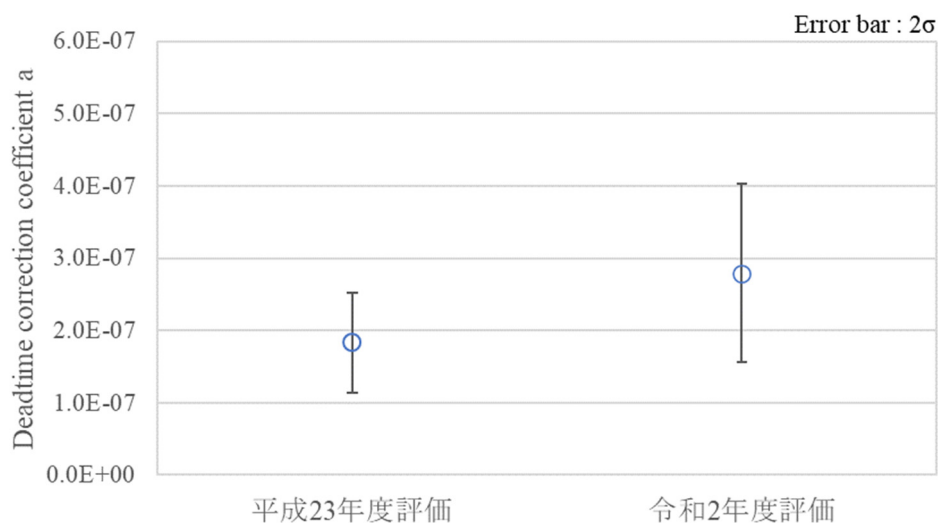


図 2.4.1-5 デッドタイム補正係数 a の比較 (AFAS-P Collar 検出器)

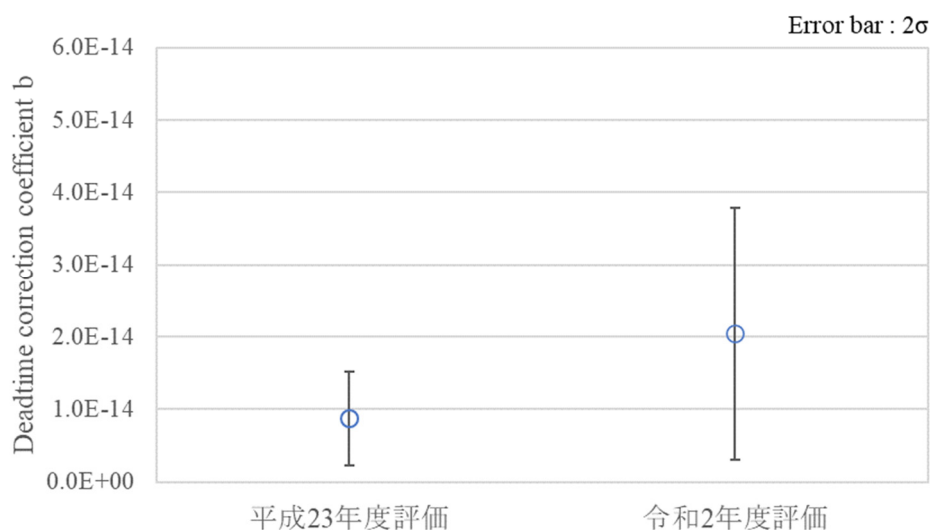


図 2.4.1-6 デッドタイム補正係数 b の比較 (AFAS-P Collar 検出器)

2.4.1.4 考察

本年度評価したデッドタイム補正係数と過去に評価したデッドタイム補正係数は、誤差 (2σ) の範囲で一致したことから、AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器のデッドタイム補正係数に経年変化はなかったと考えられる。なお、本年度評価した AFAS-P のデッドタイム補正係数の誤差が平成 23 年度の評価結果よりも大きかった理由は、用いた ^{252}Cf 中性子線源の強度が低く、得られた計数率が過去の評価時よりも低かったためであると考えられる。

2.4.2 中性子検出効率の評価

2.4.2.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器、Top Fork 検出器、Bottom Fork 検出器のそれぞれの中性子検出効率を評価し、初期のパラメータと比較する。

2.4.2.2 方法

中性子検出効率は、 ^{252}Cf 中性子線源を評価対象の中性子検出器により測定した中性子の計数率と、同日に ENMC (熱外中性子測定装置) により測定して求めた同線源の中性子放出率の比を計算することにより評価する。また、中性子の放出率が低い線源 (H4-694) と高い線源 (Q2-334) を使用し、各線源から評価した中性子検出効率に差異がないこともあわせて評価する。評価方法を以下に示す。

- ① ^{252}Cf 中性子線源 (H4-694 及び Q2-334) を ENMC にて測定し、得られたシングル値を ENMC の ^{252}Cf に対する中性子検出効率 (0.625) で除することにより、評価当日における線源の中性子放出率の期待値 (Y) を求める。
- ② INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ③ ^{252}Cf 中性子線源 (H4-694 及び Q2-334) を AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の中心 (図 2.4.1-1 及び図 2.4.1-2) に配置し、Rate Only 測定モードにより 30 秒×20 回の測定を行い、それぞれの線源のシングル値 (S) を取得する。また、各 Fork (Top 及び Bottom) 検出器に対しても、同線源を検出器の中心 (図 2.4.2-1 及び図 2.4.2-2) に配置し、同様の測定を実施する。
- ④ 式 (2.6) に示す通り、③にて取得した各シングル値 (S) を、それぞれの線源の中性子放出率 (Y) により除することで、各検出器の中性子検出効率 (ε) を評価する。

$$\varepsilon = S/Y \quad \dots (2.6)$$

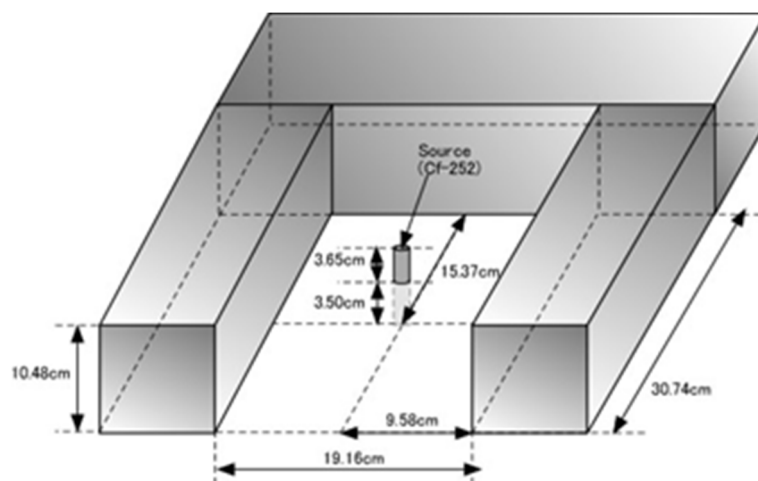


図 2.4.2-1 中性子検出効率評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(AFAS-B Fork 検出器)

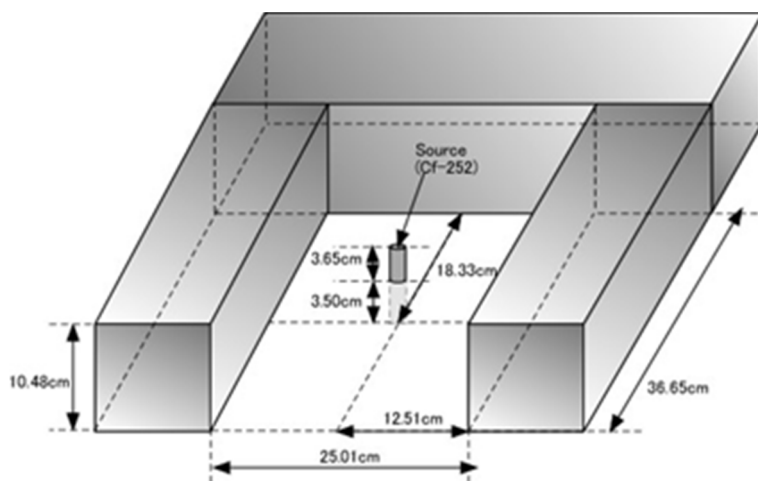


図 2.4.2-2 中性子検出効率評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(AFAS-P Fork 検出器)

2.4.2.3 結果

AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器における中性子検出効率の評価結果及び過去の評価結果との比較結果を表 2.4.2-1 及び表 2.4.2-2 に示す。

中性子放出率が低い線源（H4-694）と高い線源（Q2-334）を用いて評価したそれぞれの中性子検出効率は、各検出器共にほぼ同等の値となった。また、これらは、過去に評価した中性子検出効率ともほぼ同等の値であった。

表 2.4.2-1 AFAS-B の各検出器における中性子検出効率の比較

		平成 22 年度評価		令和 2 年度評価	
		WW-906	H4-694	H4-694	Q2-334
²⁵² Cf 中性子線源					
中性子検出効率 (%)	Collar	19.7	19.8	19.8	19.8
	Top Fork	1.1	1.0	1.0	1.0
	Bottom Fork	1.0	1.0	1.0	1.0

表 2.4.2-2 AFAS-P の各検出器における中性子検出効率の比較

		平成 23 年度評価 (Collar は平成 27 年度評価 ^(*13))		令和 2 年度評価	
		WW-906	H4-694	H4-694	Q2-334
²⁵² Cf 中性子線源					
中性子検出効率 (%)	Collar	16.3	16.1	16.2	16.2
	Top Fork	0.9	0.9	0.9	0.9
	Bottom Fork	0.9	0.9	0.9	0.9

*13: AFAS-P の Collar 検出器の中性子検出効率は、平成 23 年度の試験以降、同検出器に不具合が発見されたため、平成 27 年度に再評価が行われた。

2.4.2.4 考察

本年度評価した中性子検出効率と過去に評価した中性子検出効率は、ほぼ同等の値となったことから、AFAS-B 及び AFAS-P の各検出器の中性子検出効率に経年変化はなかったと考えられる。

2.4.3 ダイアウエイタイム、ゲート幅の評価

2.4.3.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器のダイアウエイタイムを評価し、初期のパラメータと比較する。

2.4.3.2 方法

ダイアウエイタイム及びゲート幅は、計数装置のゲート幅を変えながら ^{252}Cf 中性子線源を測定し、得られた各ダブル値から評価する。評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、AFAS-P 及び AFAS-B Collar 検出器の中心 (図 2.4.1-1 及び図 2.4.1-2) に配置し、任意の値 (20、40、80、160 μs) にゲート幅を設定し、Rate Only 測定モードにて 30 秒×100 回の測定を行い、それぞれのゲート幅におけるダブル値 ($D_{(\text{ゲート幅})}$) を取得する。
- ③ $D_{(20)}$ 、 $D_{(40)}$ 、 $D_{(80)}$ 、 $D_{(160)}$ を式 (2.7) ~ (2.9) に代入し、 τ_{20} 、 τ_{40} 、 τ_{80} を評価し、それらの平均値 (τ) を計算することで、ダイアウエイタイムを評価する。
- ④ ③で評価した τ に 1.2 を乗じてゲート幅を評価する。

$$\tau_{20} = \frac{-20\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(40)}}{D_{(20)}} - 1\right)} \quad \dots (2.7)$$

$$\tau_{40} = \frac{-40\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(80)}}{D_{(40)}} - 1\right)} \quad \dots (2.8)$$

$$\tau_{80} = \frac{-80\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(160)}}{D_{(80)}} - 1\right)} \quad \dots (2.9)$$

2.4.3.3 結果

$D_{(20)} \sim D_{(160)}$ の測定結果、ダイアウェイタイム (τ) 及びゲート幅の評価結果を表 2.4.3-1～表 2.4.3-4 に示す。また、過去に評価したダイアウェイタイム及びゲート幅との比較結果を表 2.4.3-5 及び表 2.4.3-6 に示す。

表 2.4.3-1 各ゲート幅におけるダブル値の測定結果 (AFAS-B Collar 検出器)

ゲート幅 (μs)	20	40	80	160
Doubles (cps)	4519.089	7253.618	10290.926	12436.755
σ Doubles	4.463	7.036	10.721	15.889
%RSD ($\sigma D/D$) $\times 100$	0.099	0.097	0.104	0.128

表 2.4.3-2 各ゲート幅におけるダブル値の測定結果 (AFAS-P Collar 検出器)

ゲート幅 (μs)	20	40	80	160
Doubles (cps)	2895.481	4700.650	6744.291	8255.331
σ Doubles	3.908	5.347	7.749	12.526
%RSD ($\sigma D/D$) $\times 100$	0.135	0.114	0.115	0.152

表 2.4.3-3 ダイアウェイタイム及びゲート幅の評価結果 (AFAS-B Collar 検出器)

	評価値(μs)
τ_{20}	39.8
τ_{40}	45.9
τ_{80}	51.0
τ (τ_{20} 、 τ_{40} 、 τ_{80} の平均値)	45.6
ゲート幅($\tau \times 1.2$)	54.7

表 2.4.3-4 ダイアウェイタイム及びゲート幅の評価結果 (AFAS-P Collar 検出器)

	評価値(μs)
τ_{20}	42.3
τ_{40}	48.0
τ_{80}	53.5
τ (τ_{20} 、 τ_{40} 、 τ_{80} の平均値)	47.9
ゲート幅($\tau \times 1.2$)	57.5

表 2.4.3-5 ダイアウエイタイム及びゲート幅の比較 (AFAS-B Collar 検出器)

	平成 22 年度 評価値	令和 2 年度 評価値
ダイアウエイタイム (μs)	46	46
ゲート幅 (μs)	55	55

表 2.4.3-6 ダイアウエイタイム及びゲート幅の比較 (AFAS-P Collar 検出器)

	平成 23 年度 評価値	令和 2 年度 評価値
ダイアウエイタイム (μs)	46	48
ゲート幅 (μs)	55	58

2.4.3.4 考察

本年度評価したダイアウエイタイム及びゲート幅の値と過去に評価したこれらの値は、概ね一致したことから、AFAS の各 Collar 検出器のダイアウエイタイム及びゲート幅に経年変化はなかったと考えられる。

2.4.4 検出効率プロファイルの評価

2.4.4.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器、Top Fork 検出器、Bottom Fork 検出器のそれぞれの検出効率プロファイルを評価し、初期の評価結果と比較する。

2.4.4.2 方法

検出効率プロファイルの評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、図 2.4.4-1～図 2.4.4-6 に示す通り AFAS-B の Collar 検出器及び Fork 検出器の垂直方向 (V)、水平方向 (H) 及び奥行き方向 (D) の任意の位置 (2～3cm 間隔) に配置し、INCC の Rate Only モードにより 30 秒×10 回の測定を行い、それぞれの位置におけるシングル値を取得する。また、図 2.4.4-7～図 2.4.4-12 に示す通り AFAS-P の Collar 検出器及び Fork 検出器に対しても、同様の測定を実施する。

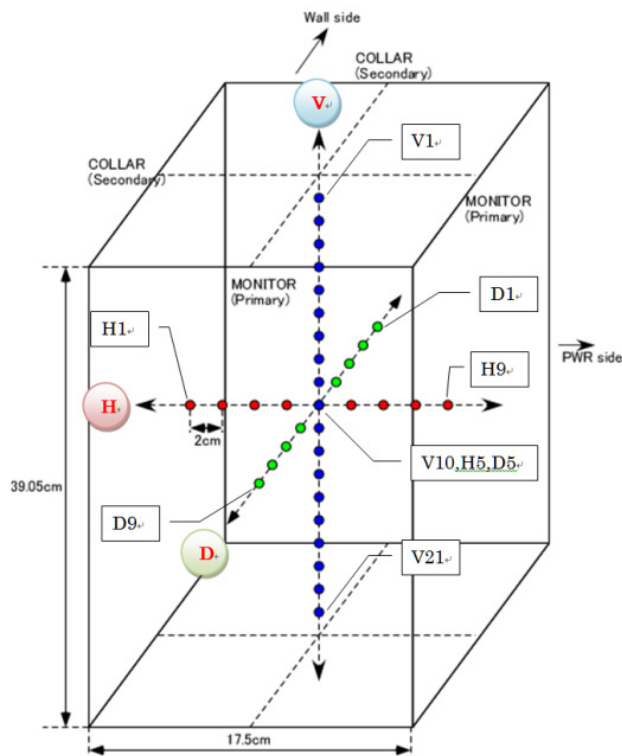


図 2.4.4-1 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所 (全方向)
(AFAS-B Collar 検出器)

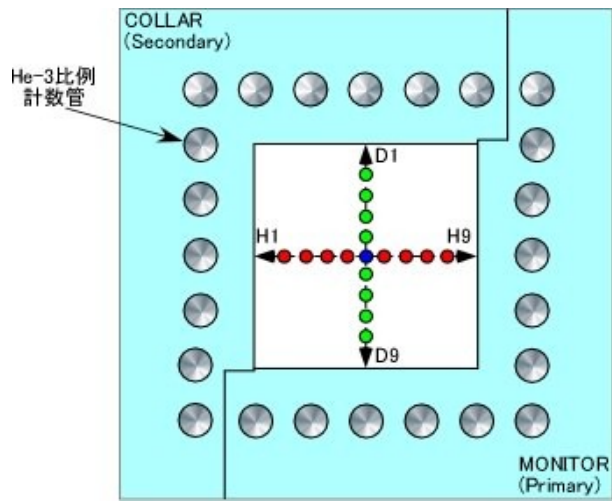


図 2.4.4-2 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(水平及び奥行き方向) (AFAS-B Collar 検出器)

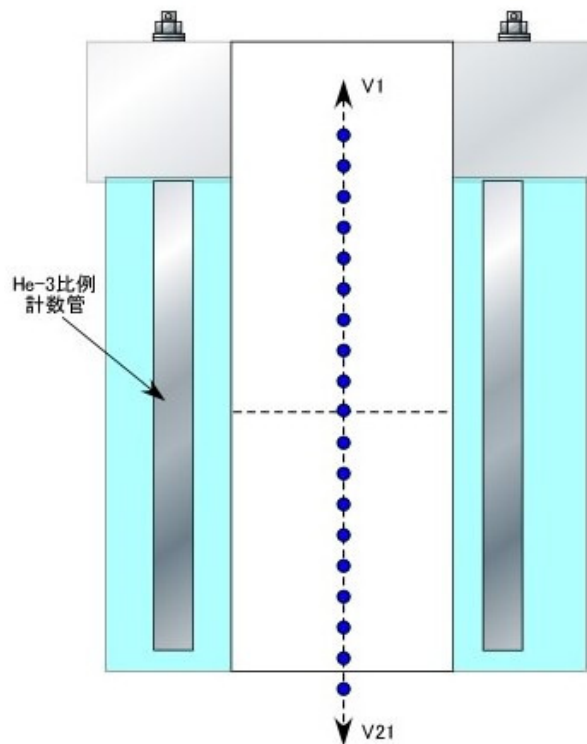


図 2.4.4-3 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所 (垂直方向)
(AFAS-B Collar 検出器)

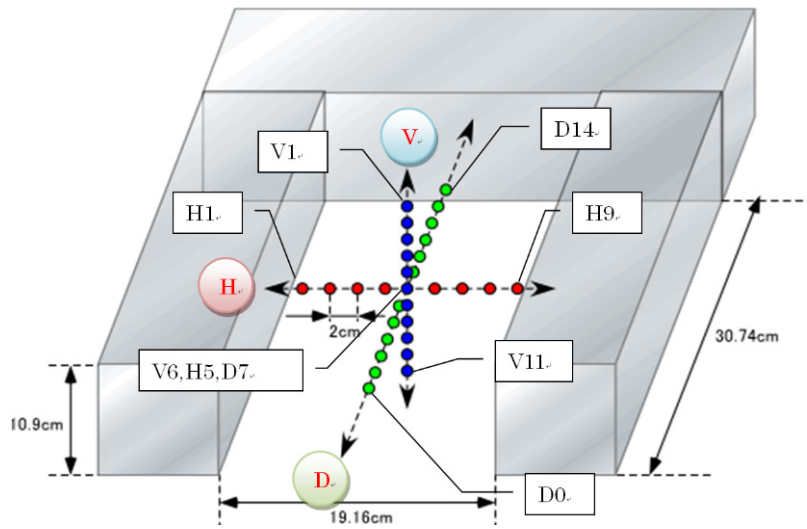


図 2.4.4-4 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（全方向）
（AFAS-B Fork 検出器）

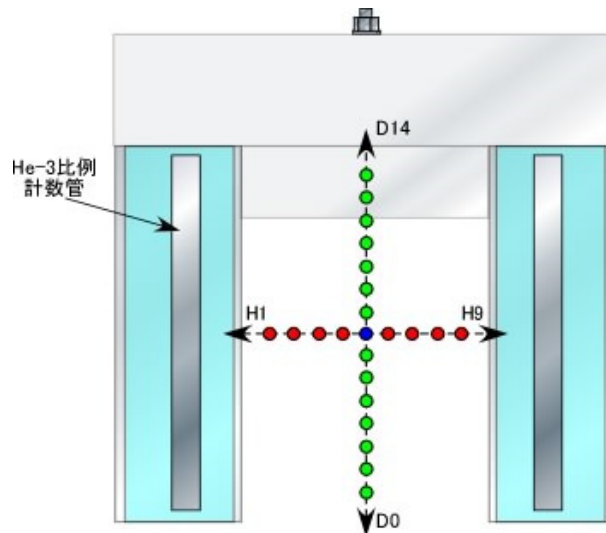


図 2.4.4-5 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
（水平及び奥行き方向）（AFAS-B Fork 検出器）

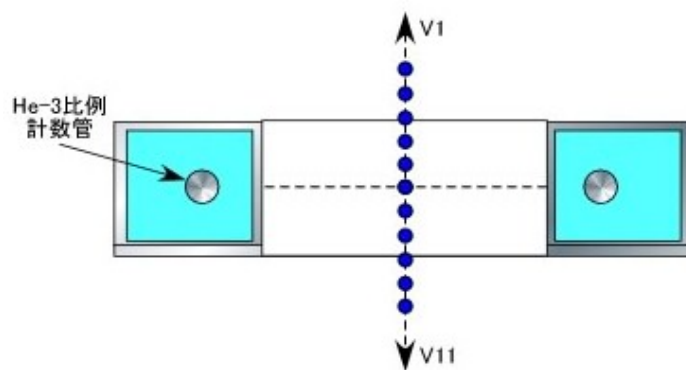


図 2.4.4-6 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（垂直方向）
（AFAS-B Fork 検出器）

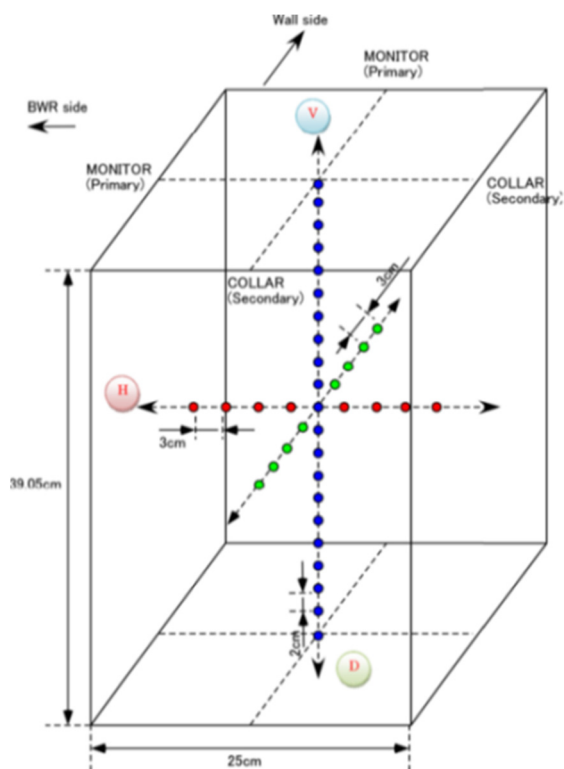


図 2.4.4-7 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（全方向）
（AFAS-P Collar 検出器）

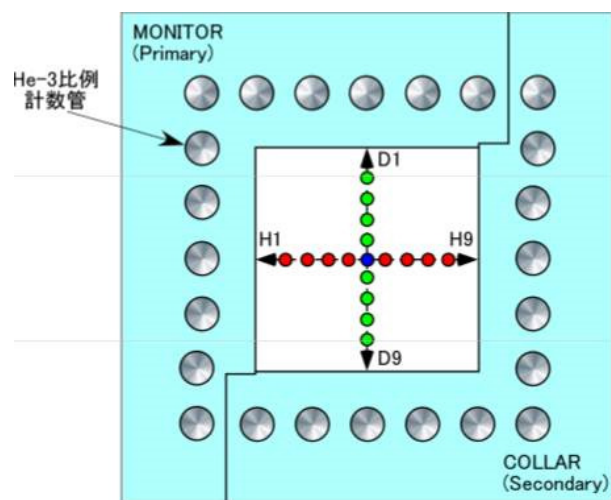


図 2.4.4-8 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
(水平及び奥行き方向) (AFAS-P Collar 検出器)

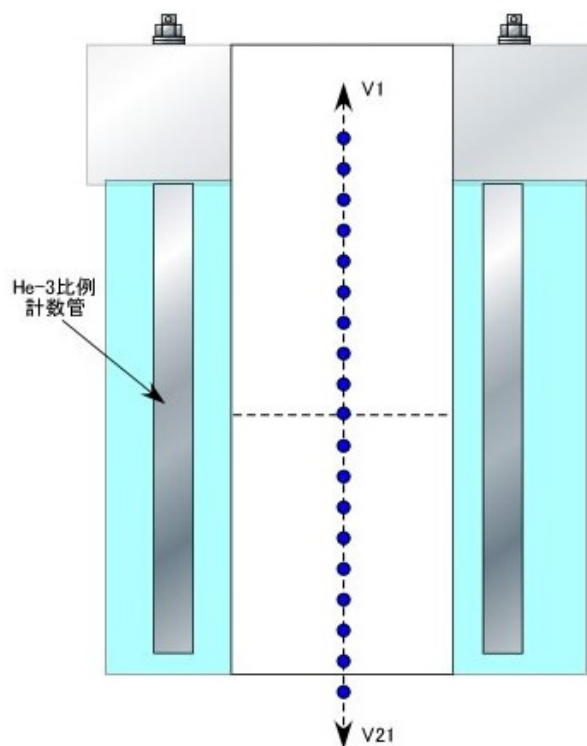


図 2.4.4-9 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所 (垂直方向)
(AFAS-P Collar 検出器)

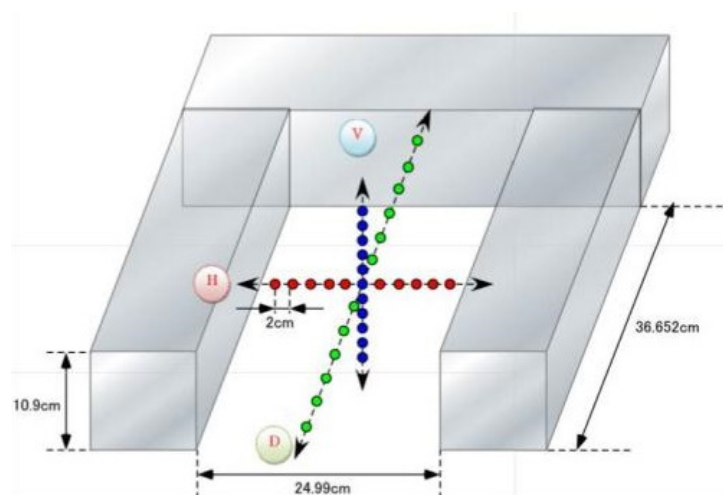


図 2.4.4-10 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（全方向）
（AFAS-P Fork 検出器）

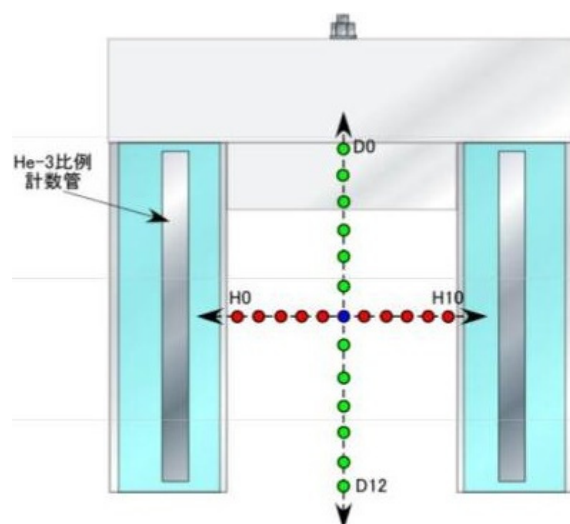


図 2.4.4-11 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所
（水平及び奥行き方向）（AFAS-P Fork 検出器）

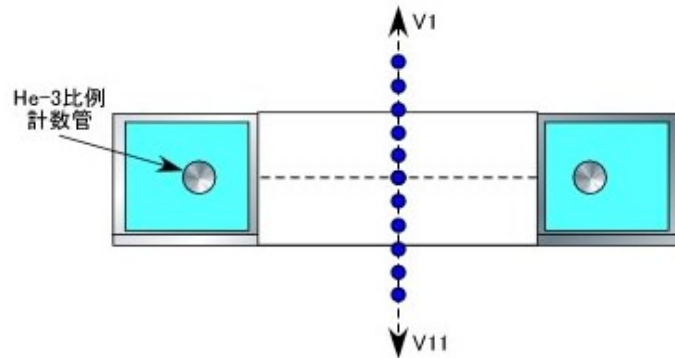


図 2.4.4-12 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（垂直方向）
（AFAS-P Fork 検出器）

2.4.4.3 結果

本年度評価した AFAS の各検出器における奥行き方向、水平方向及び垂直方向の検出効率プロファイルと、過去に評価した検出効率プロファイルとの比較結果を図 2.4.4-13～図 2.4.4-30 に示す。なお、各グラフの縦軸は、各測定位置に線源を配置して得られたシングル値を、検出器の中心に線源を配置して得られたシングル値で除した値（Normalized Singles）である。その結果、本年度及び過去に評価した AFAS の各検出器の検出効率プロファイルは概ね一致した。

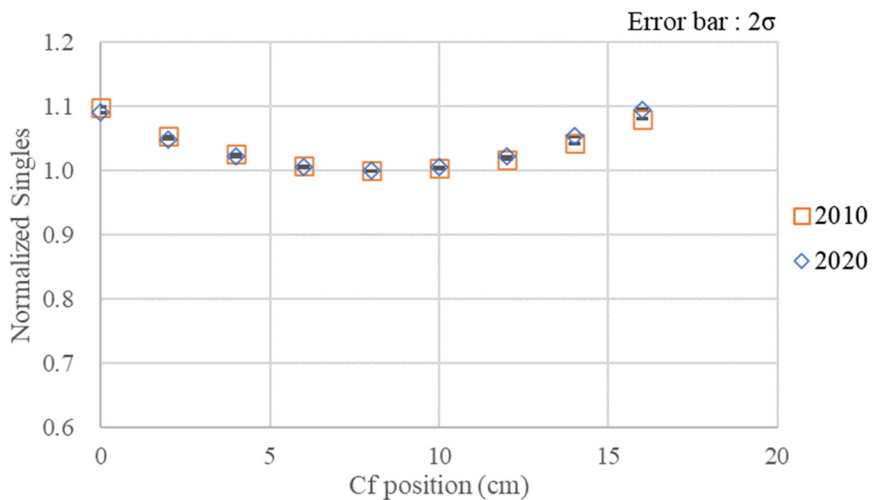


図 2.4.4-13 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較（AFAS-B Collar 検出器）

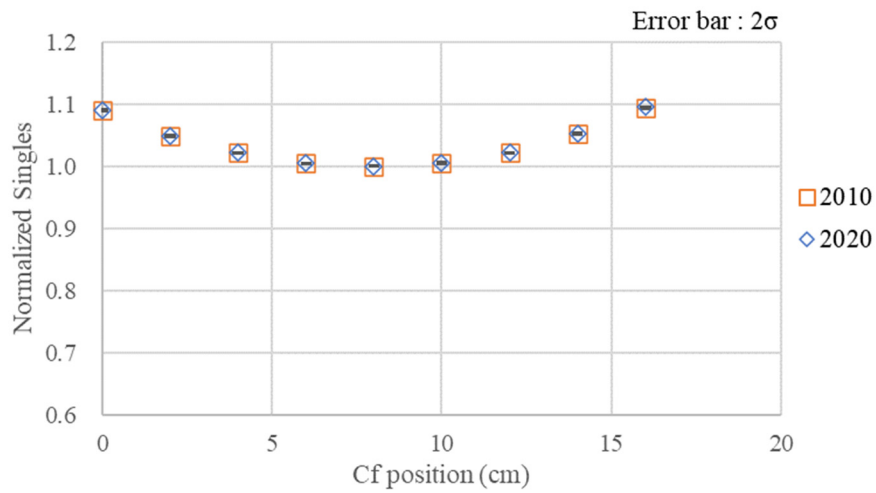


図 2.4.4-14 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Collar 検出器)

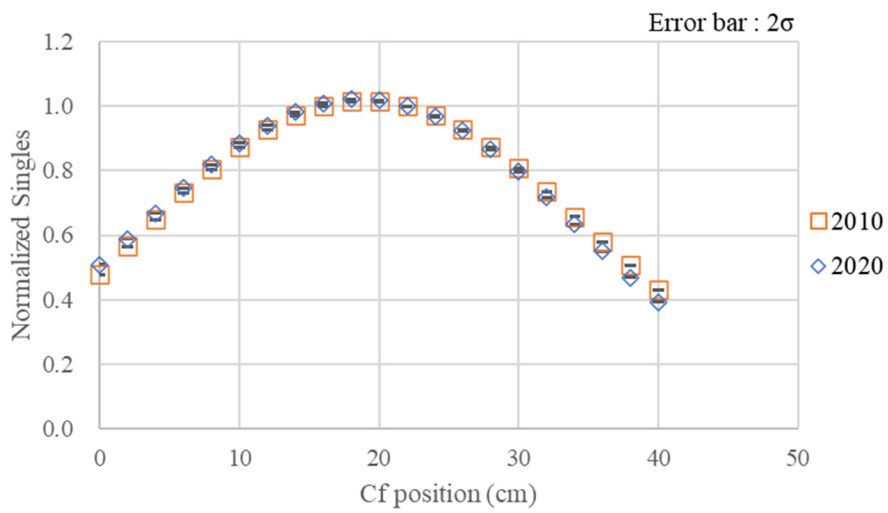


図 2.4.4-15 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Collar 検出器)

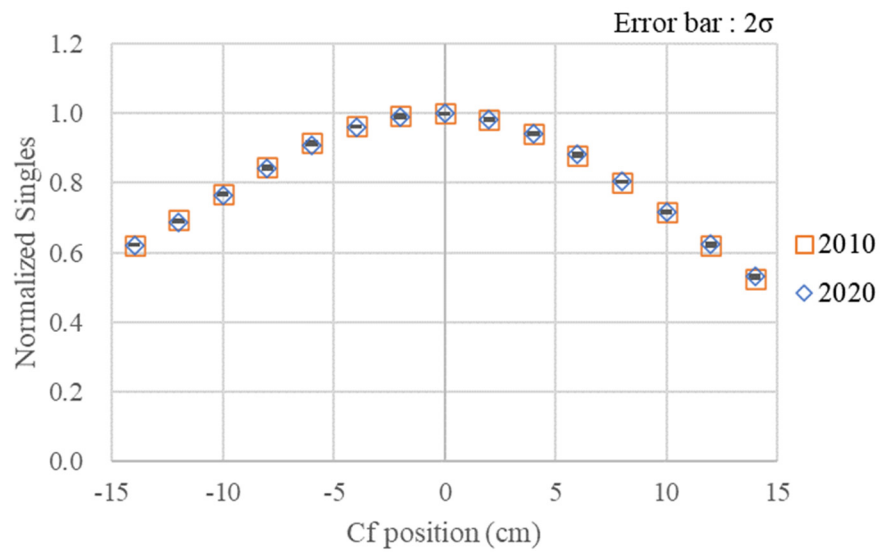


図 2.4.4-16 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork 検出器)



図 2.4.4-17 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork 検出器)

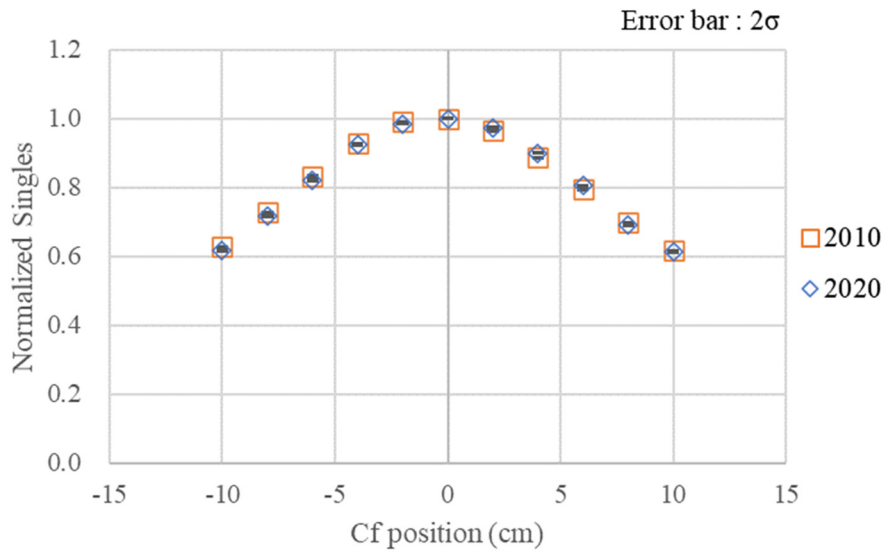


図 2.4.4-18 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Top Fork 検出器)

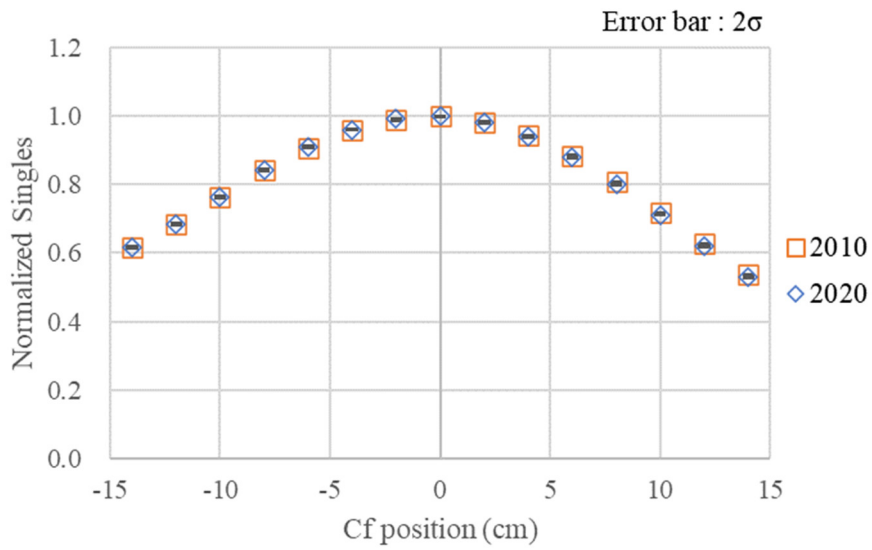


図 2.4.4-19 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

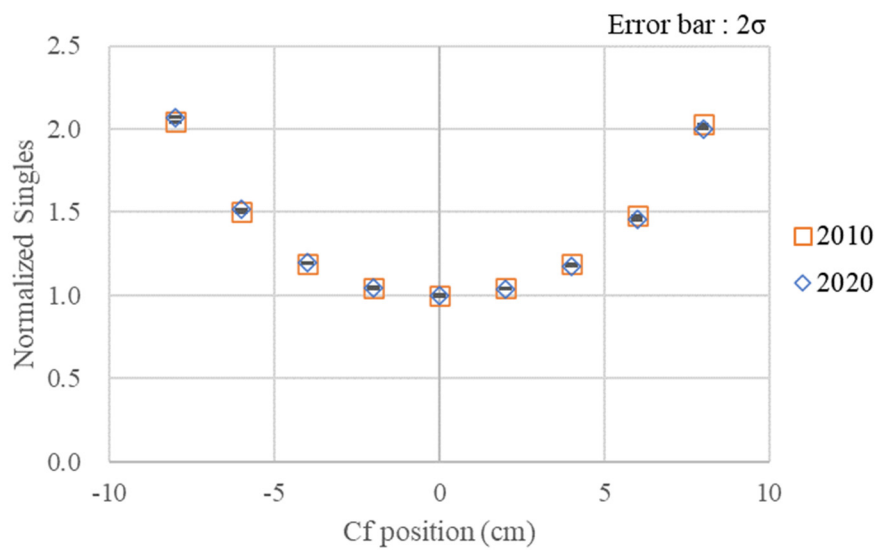


図 2.4.4-20 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)



図 2.4.4-21 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

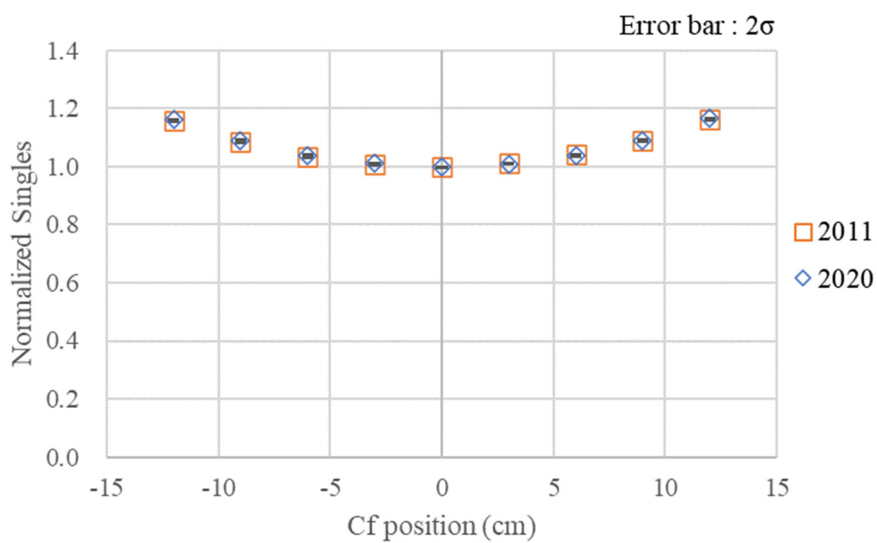


図 2.4.4-22 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar 検出器)

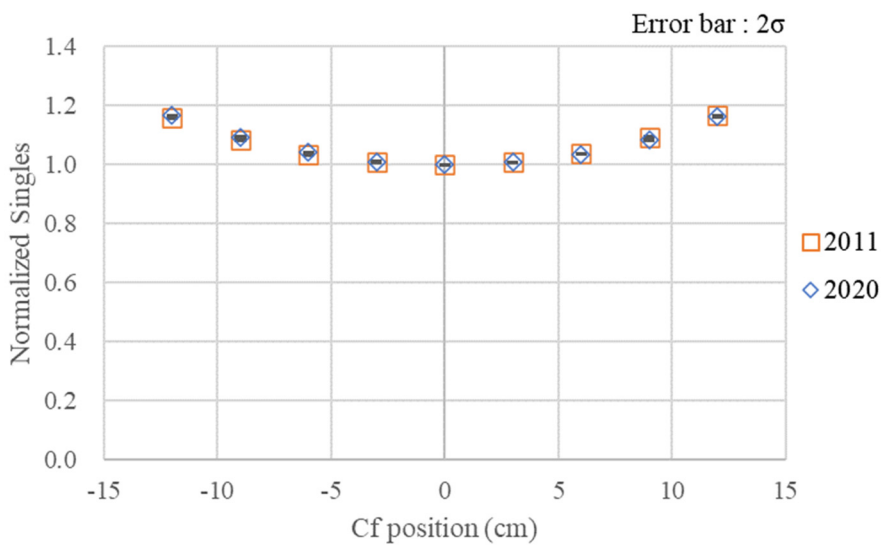


図 2.4.4-23 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar 検出器)

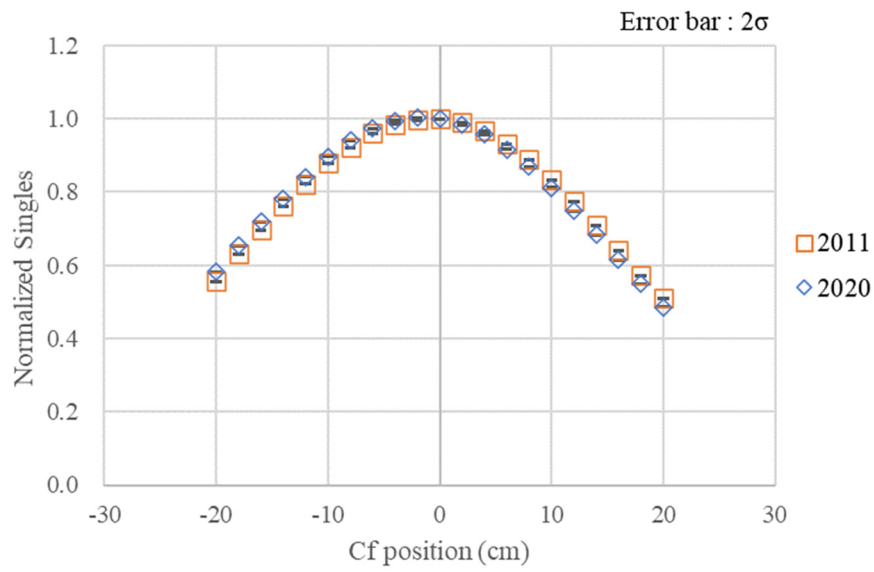


図 2.4.4-24 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Collar 検出器)

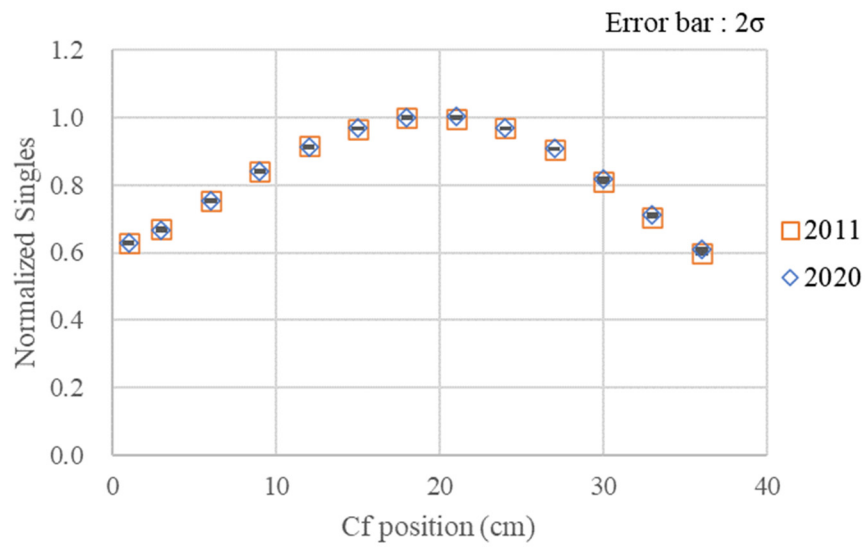


図 2.4.4-25 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork 検出器)

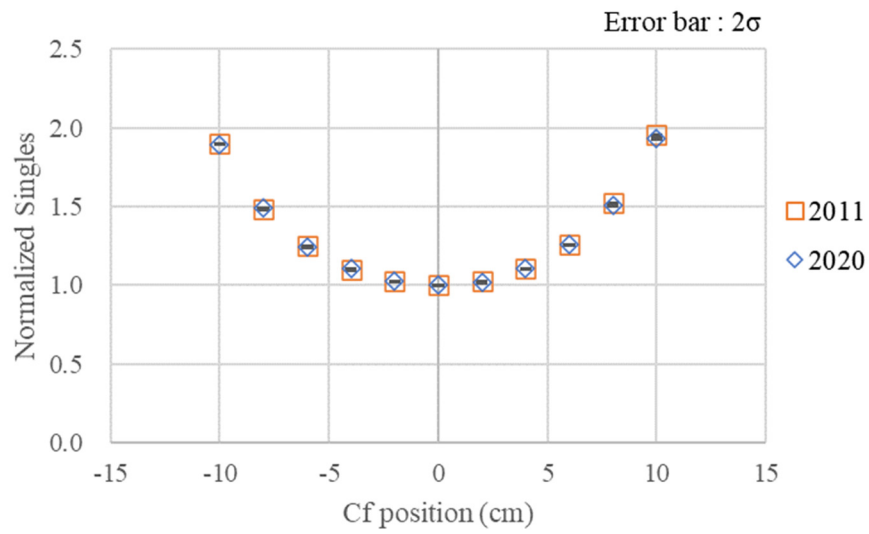


図 2.4.4-26 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork 検出器)



図 2.4.4-27 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Top Fork 検出器)

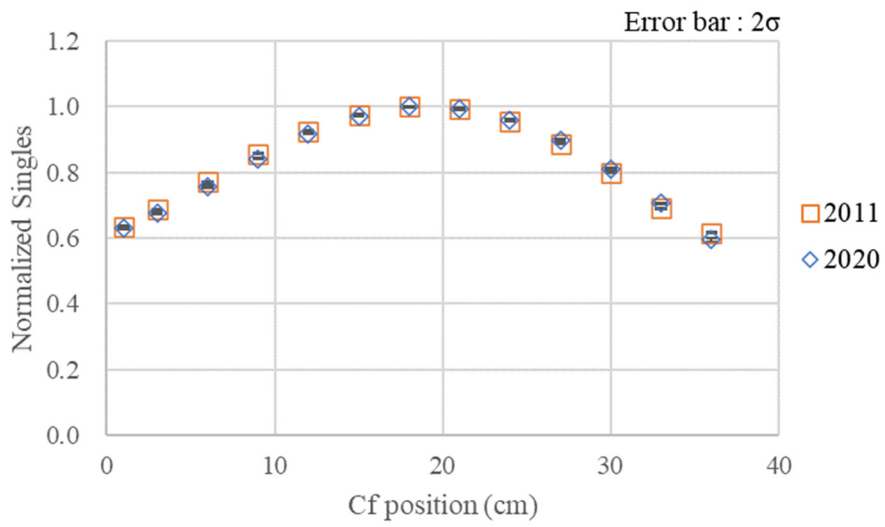


図 2.4.4-28 奥行き方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

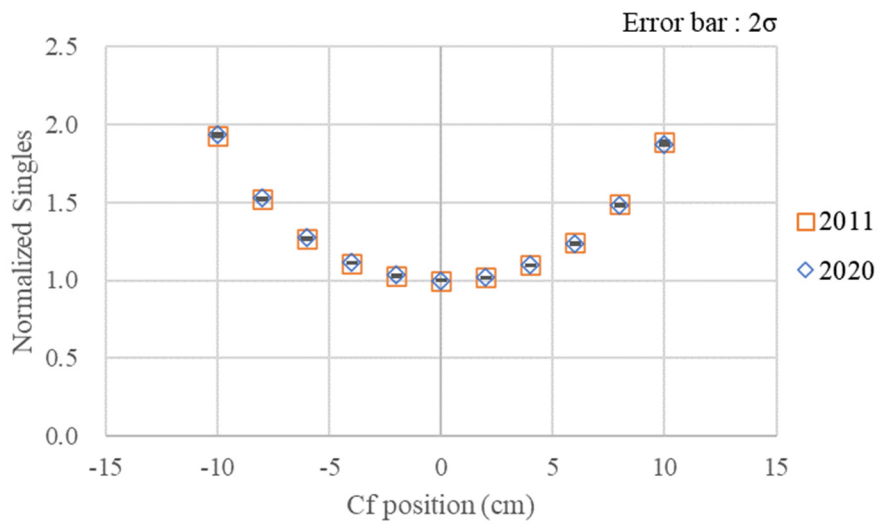


図 2.4.4-29 水平方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)



図 2.4.4-30 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

2.4.4.4 考察

本年度評価した各検出効率プロファイルと過去に評価した各検出効率プロファイルは、概ね一致したことから、AFAS の各検出器の検出効率プロファイルに経年変化はなかったと考えられる。なお、比較結果のわずかな差については、人手による線源の配置誤差、または測定環境（検出器の周囲の物品配置など）の違いにより発生したものと考えられる。

2.4.5 HV プラトー領域の評価

2.4.5.1 目的

AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器、Top Fork 検出器、Bottom Fork 検出器のそれぞれの HV プラトー領域を評価し、初期の評価結果と比較する。

2.4.5.2 方法

HV プラトー領域の評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、AFAS-B 及び AFAS-P の Collar 検出器の中心 (図 2.4.1-1 及び図 2.4.1-2) に配置し、検出器に印加する高電圧を 1,400V から 20V ずつ上昇させ、1,900V までの範囲のシングル値を取得する。測定時間は、1 点当たり 30 秒とする。また、AFAS-B 及び AFAS-P の Fork 検出器に対しても、図 2.4.2-1 及び 2.4.2-2 に示す通り線源を配置し、同様の測定を実施する。ただし、1 点当たりの測定時間は 100 秒とする。
- ③ ②により得られたシングル値と印加電圧の相関をグラフにプロットし、HV プラトー領域を評価する。

2.4.5.3 結果

AFAS-B の各検出器の HV プラトー領域の比較結果を図 2.4.5-1～図 2.4.5-3 に、AFAS-P の各検出器の HV プラトー領域の比較結果を図 2.4.5-4～図 2.4.5-6 に示す。本年度の評価において用いた ^{252}Cf 中性子線源は、過去に用いた線源と異なるものであったため、本年度測定した各印加電圧のシングル値も過去と異なる値となったが、各 HV プラトーのグラフ形状及び HV プラトー領域は、いずれの検出器においても概ね一致した。

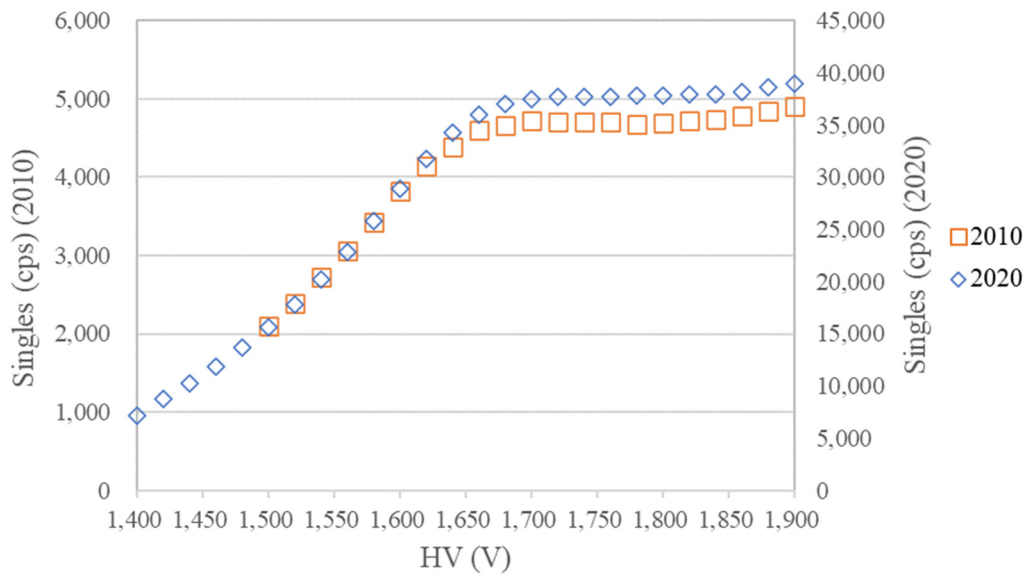


図 2.4.5-1 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Collar 検出器)

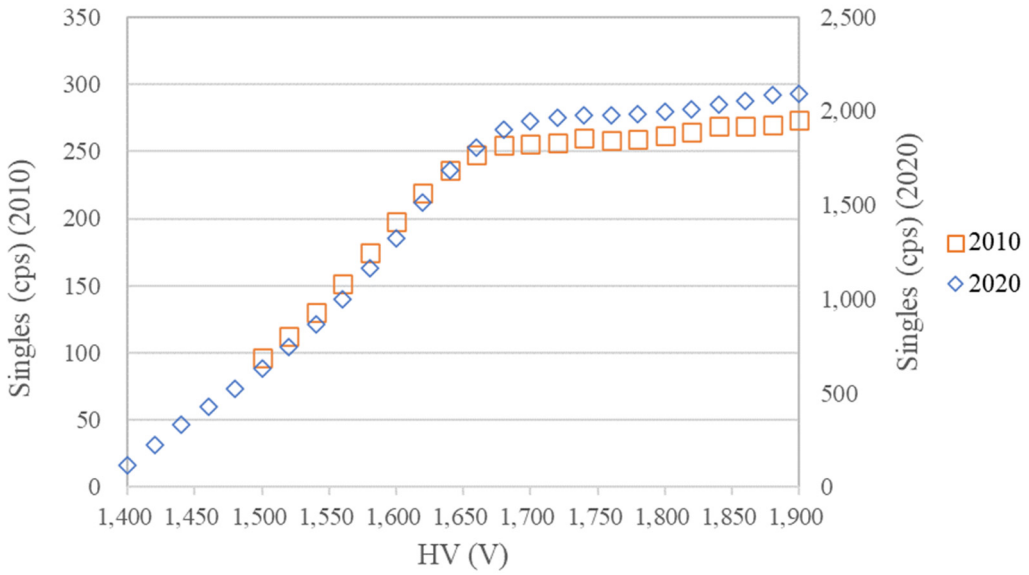


図 2.4.5-2 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Top Fork 検出器)

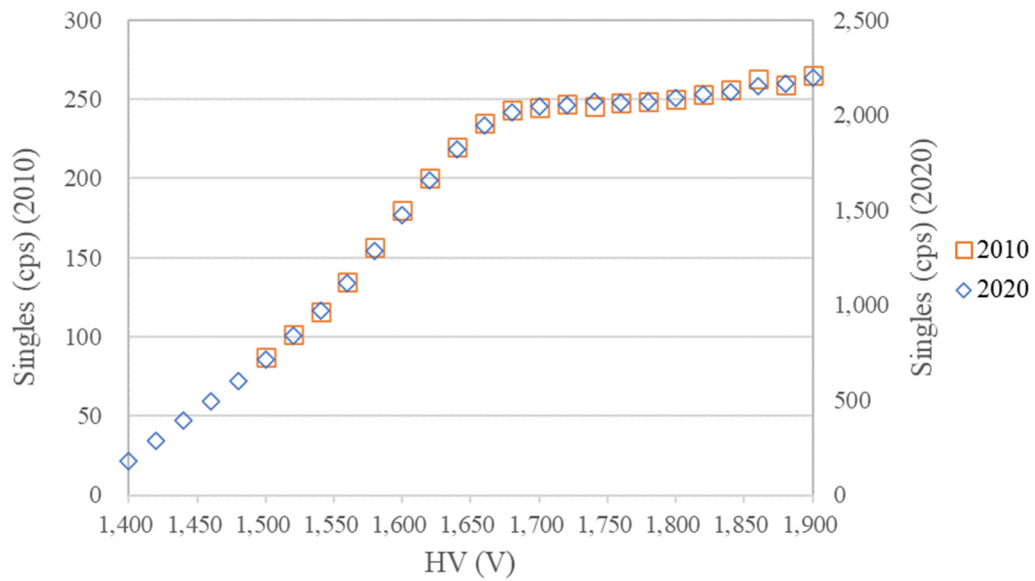


図 2.4.5-3 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-B Bottom Fork 検出器)

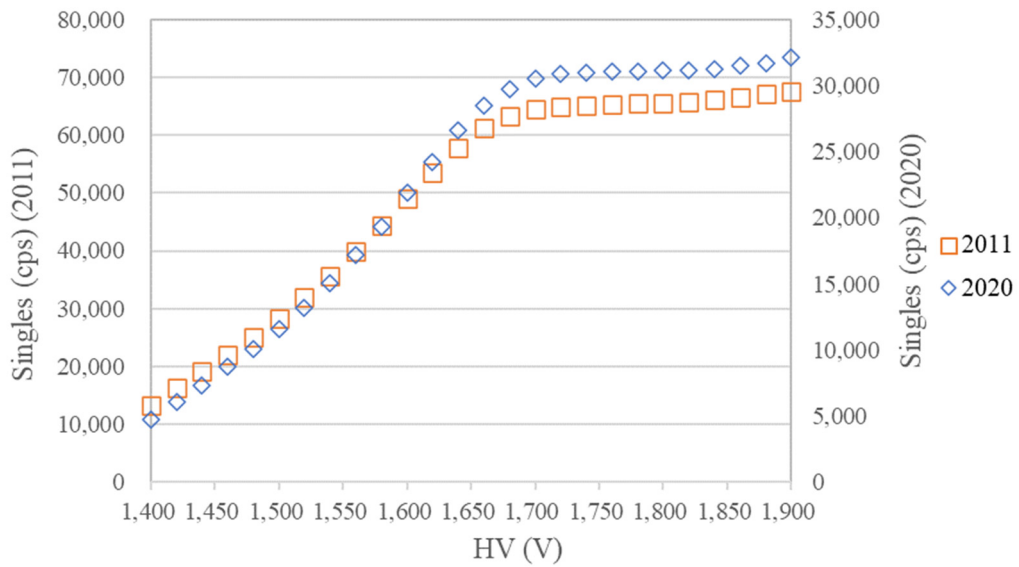


図 2.4.5-4 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Collar 検出器)

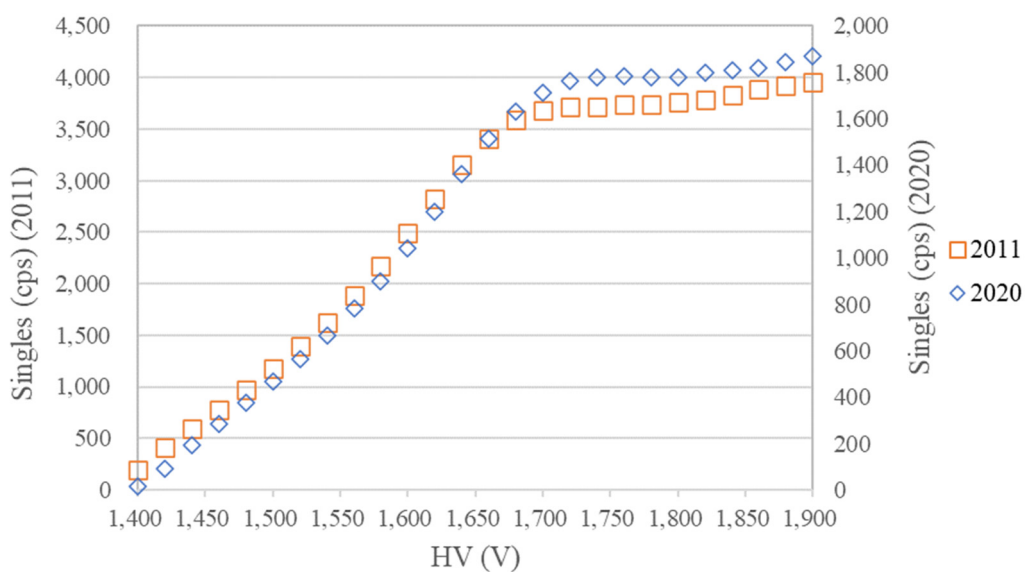


図 2.4.5-5 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Top Fork 検出器)

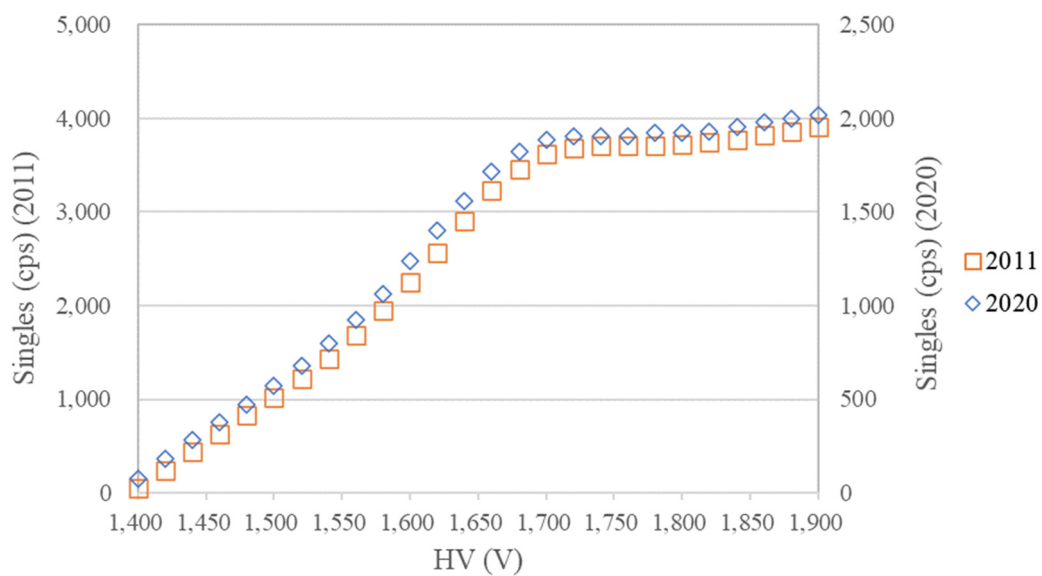


図 2.4.5-6 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AFAS-P Bottom Fork 検出器)

2.4.5.4 考察

本年度評価した各 HV プラットー領域と過去に評価した各 HV プラットー領域は、概ね一致したことから、AFAS の各検出器の HV プラットー領域に経年変化はなかったと考えられる。

3. AVIS の性能確認試験

3.1 パルス間隔分布の評価

3.1.1 目的

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

3.1.2 方法

JAEA が所有するリストモジュール (PTR-32HV) を用いて ^{252}Cf 中性子線源測定を実施し、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。また、本評価結果と平成 31 年度に実施した性能確認試験(参考文献 2)における評価結果を比較する。平成 30 年度及び 31 年度の評価結果の例を図 3.1.2-1 に示す。

AVIS の中性子検出器のアンプ数及び配置図を表 3.1.2-1 及び図 3.1.2-2 に示す。

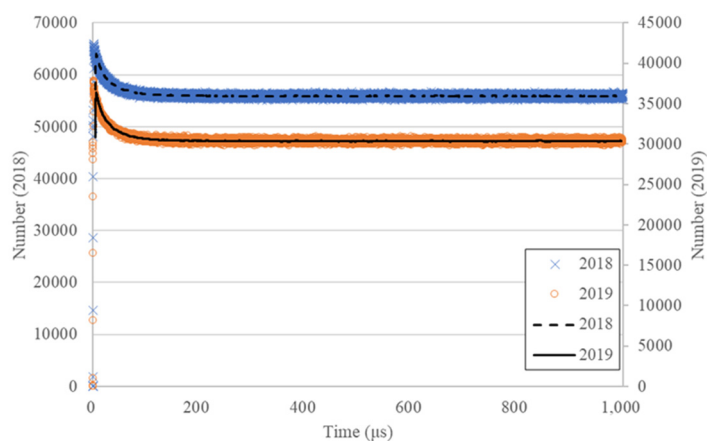


図 3.1.2-1 AVIS の中性子検出器 アンプ A のパルス間隔分布の例

表 3.1.2-1 AVIS におけるアンプ数

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

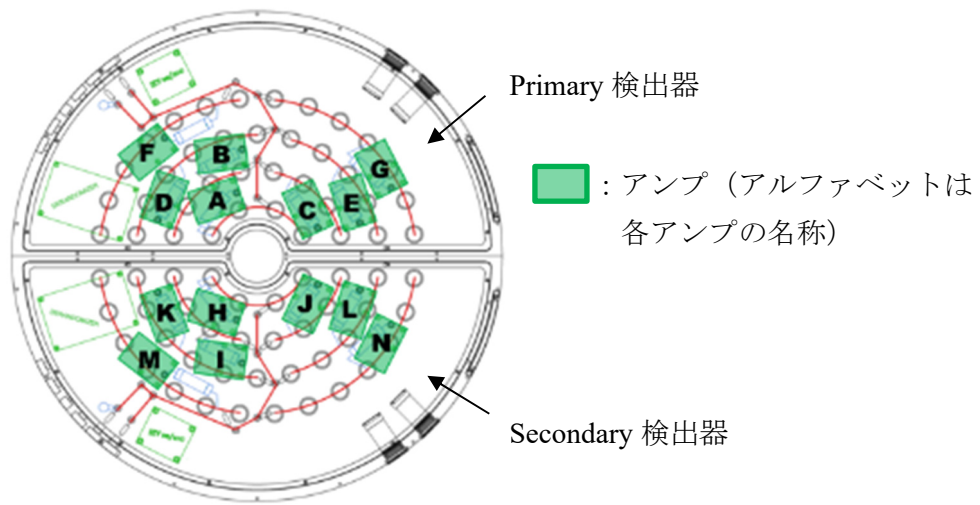


図 3.1.2-2 AVIS のアンプ配置図

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① 線源固定治具を用いて、1.6 項の表 1.6-1 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。

3.1.3 結果

AVISにおける各アンプのパルス間隔分布を評価した。本評価結果と平成30年度(2018年度)に実施した性能確認試験(参考文献2)における評価結果を比較した結果(0~1000 μ s及び0~100 μ sの分布)を図3.1.3-1~3.1.3-28に示す。各グラフ中の×印及び破線は平成31年度(2019年度)に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示し、○印及び実線は令和2年度(2020年度)年に評価したパルス間隔分布及びその近似曲線を示す。

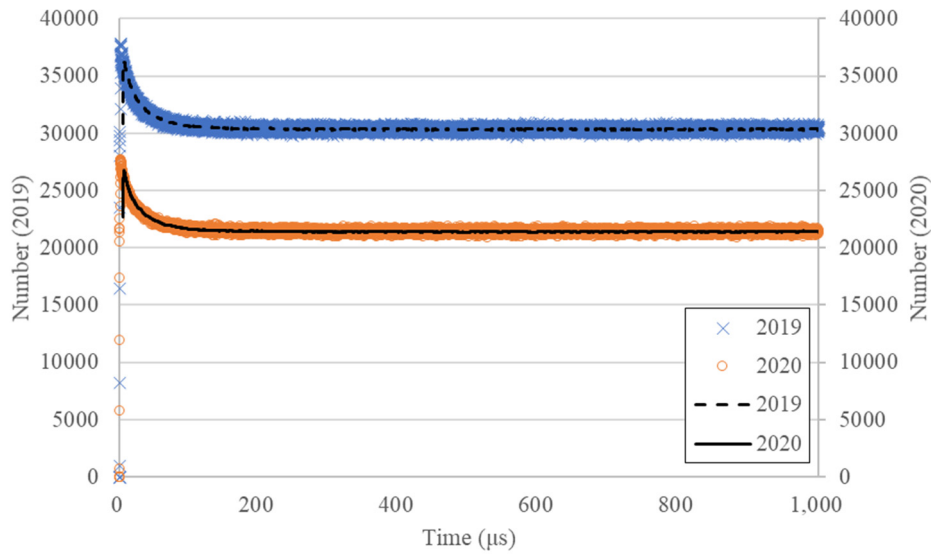


図 3.1.3-1 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

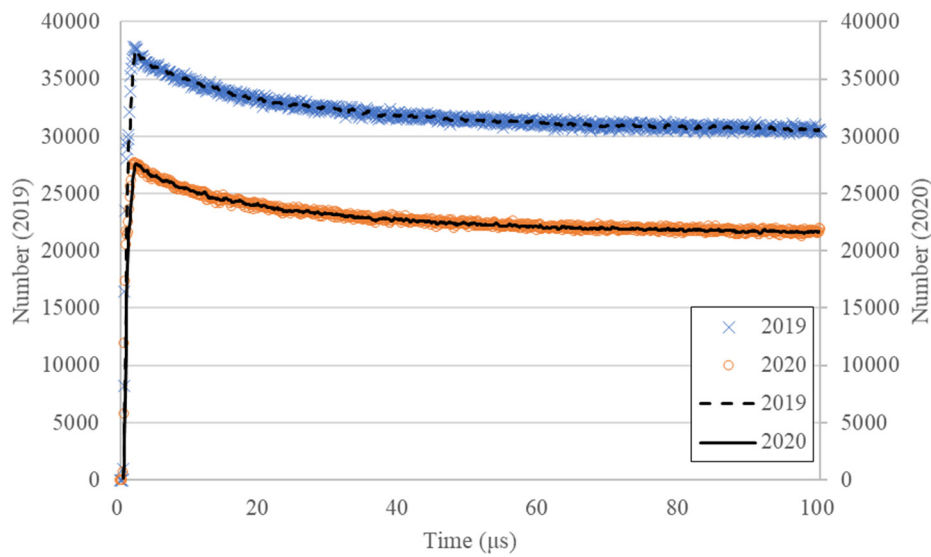


図 3.1.3-2 アンプ A のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

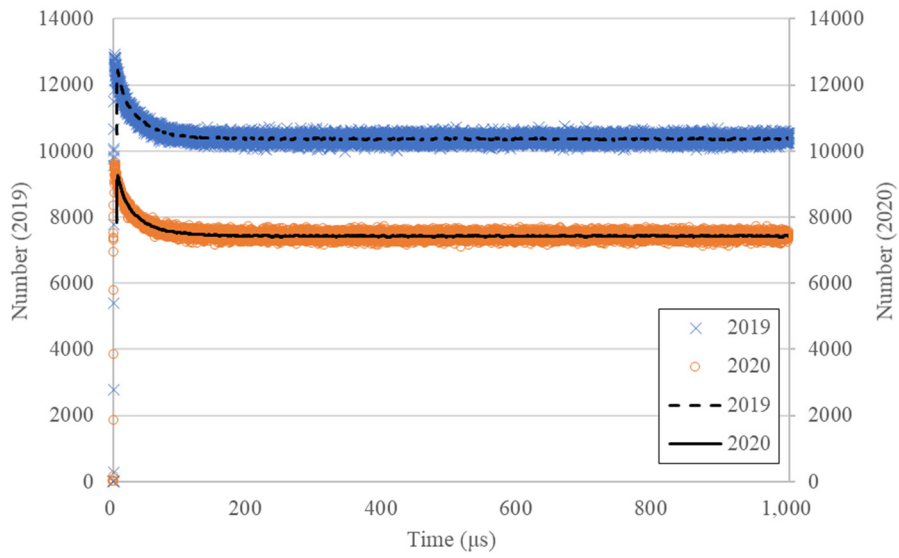


図 3.1.3-3 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

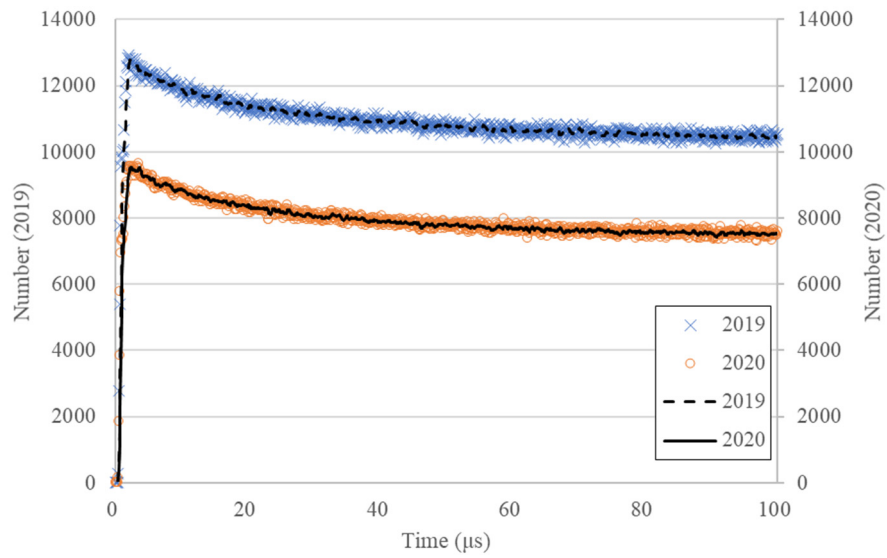


図 3.1.3-4 アンプ B のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

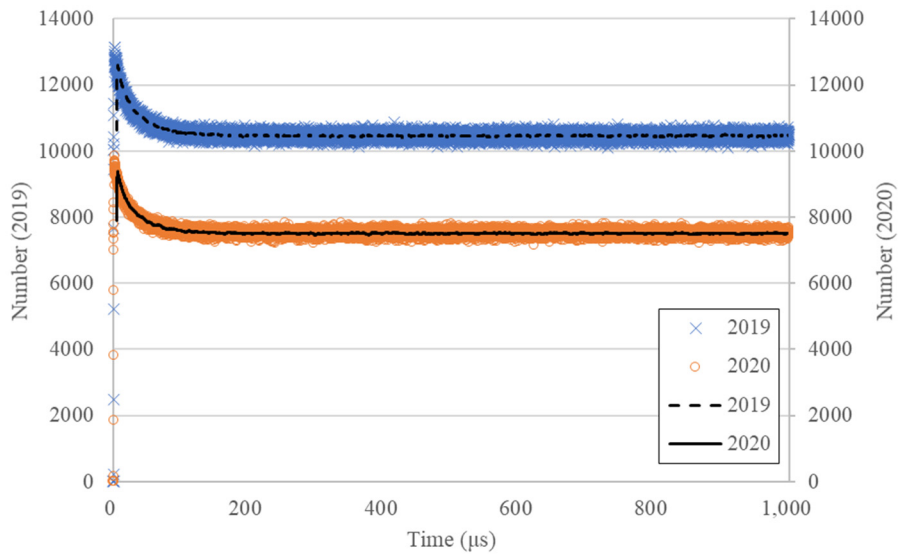


図 3.1.3-5 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

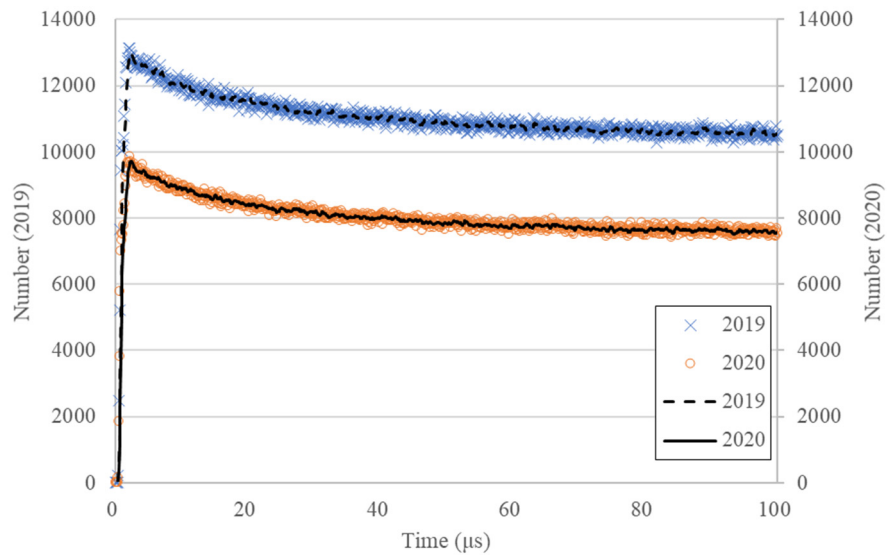


図 3.1.3-6 アンプ C のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

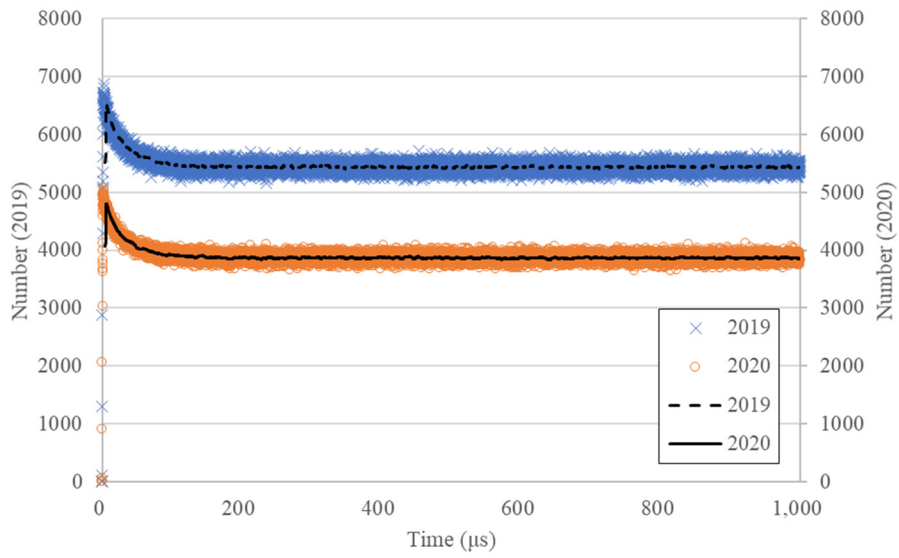


図 3.1.3-7 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

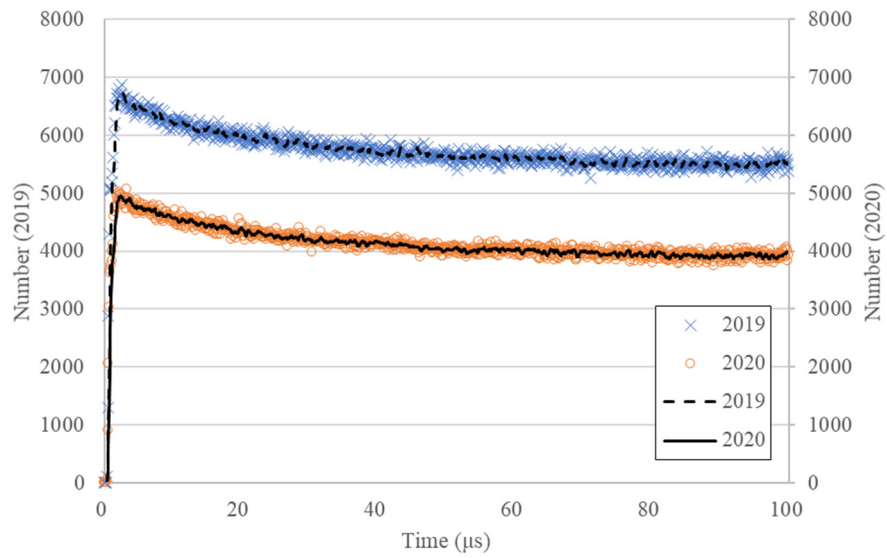


図 3.1.3-8 アンプ D のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

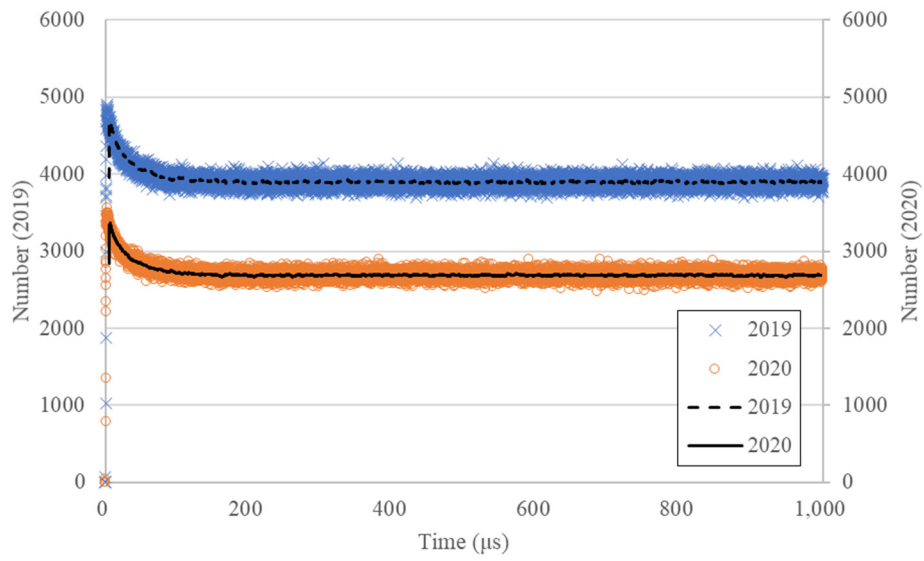


図 3.1.3-9 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

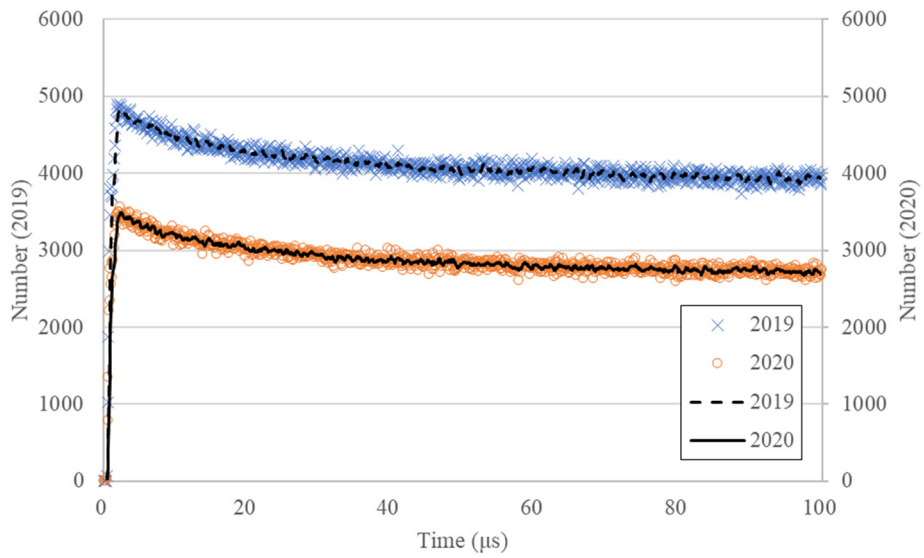


図 3.1.3-10 アンプ E のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

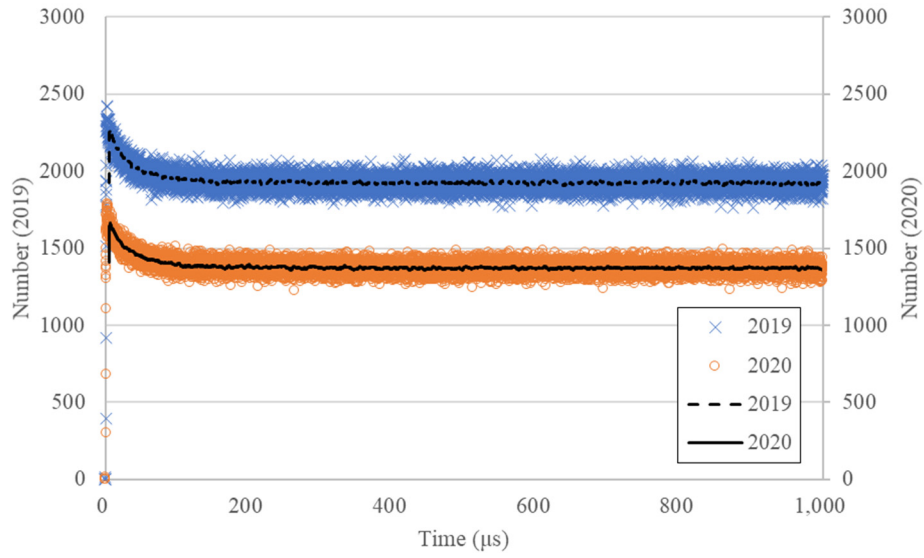


図 3.1.3-11 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

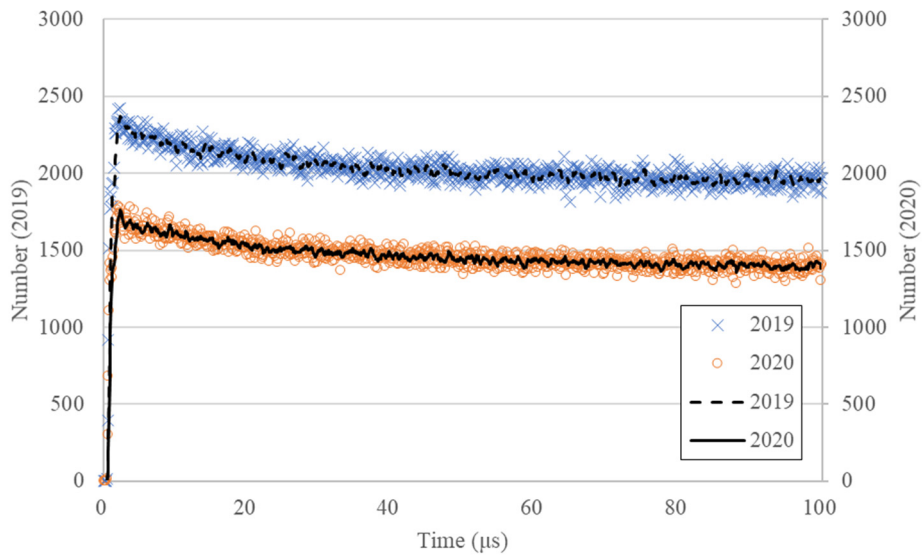


図 3.1.3-12 アンプ F のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

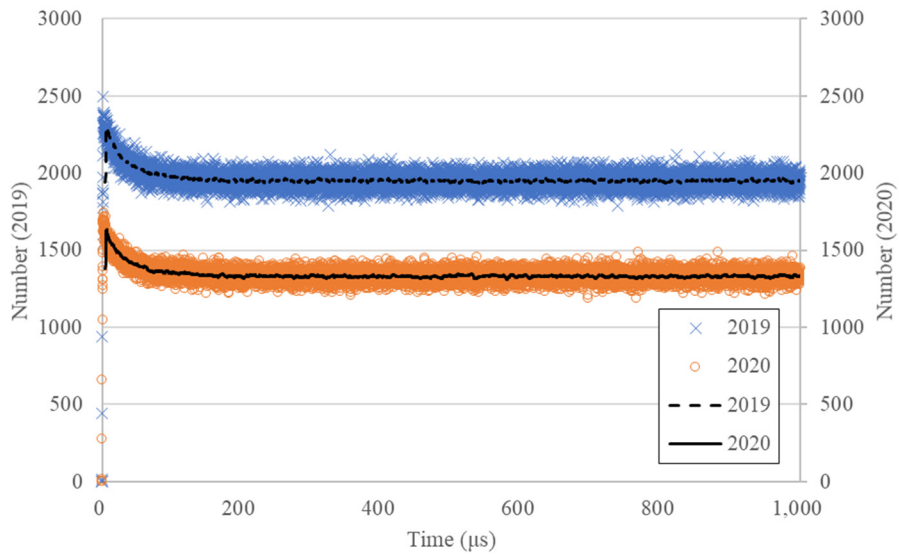


図 3.1.3-13 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

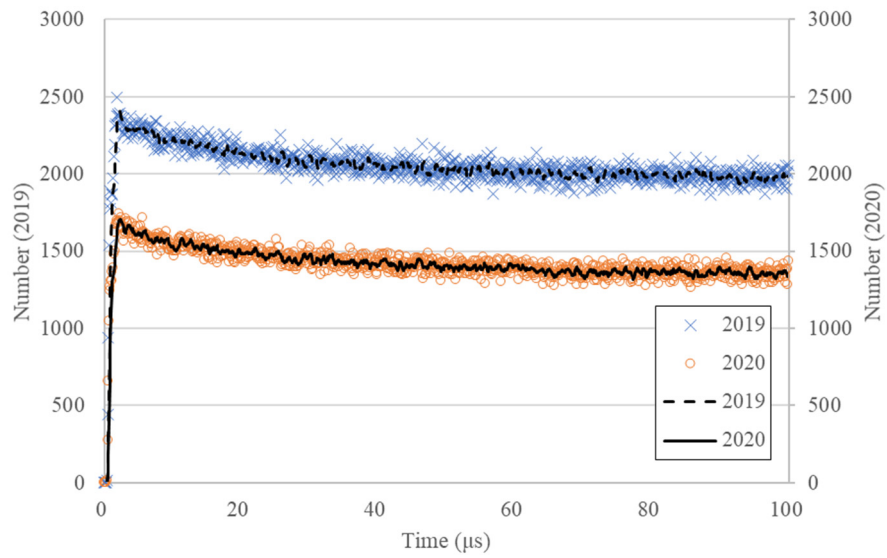


図 3.1.3-14 アンプ G のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

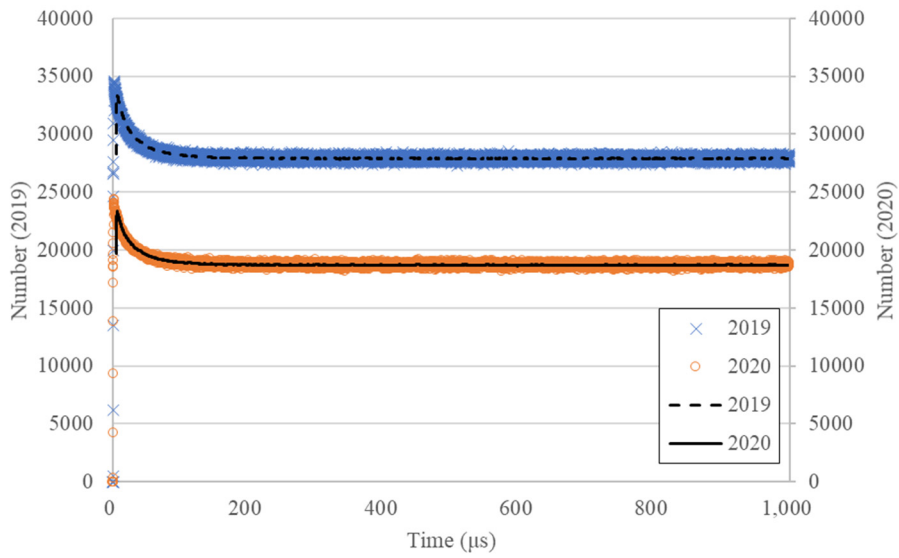


図 3.1.3-15 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

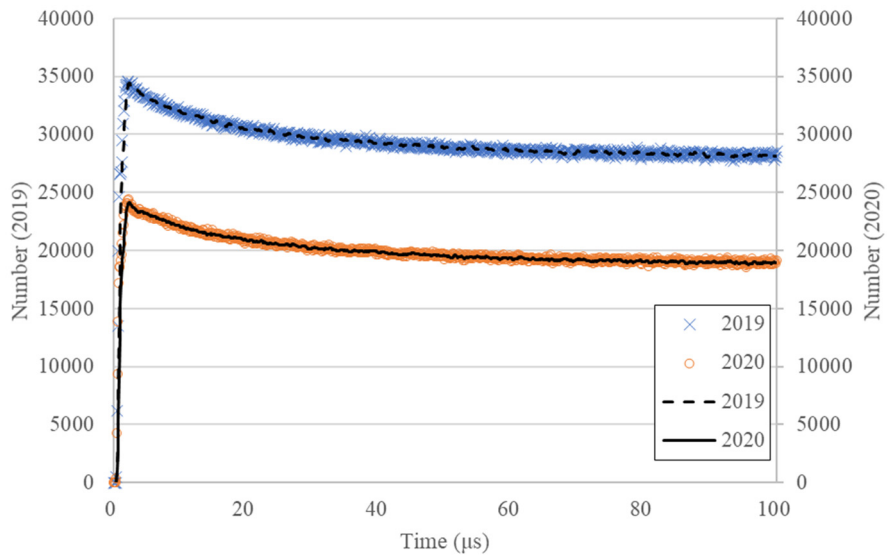


図 3.1.3-16 アンプ H のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

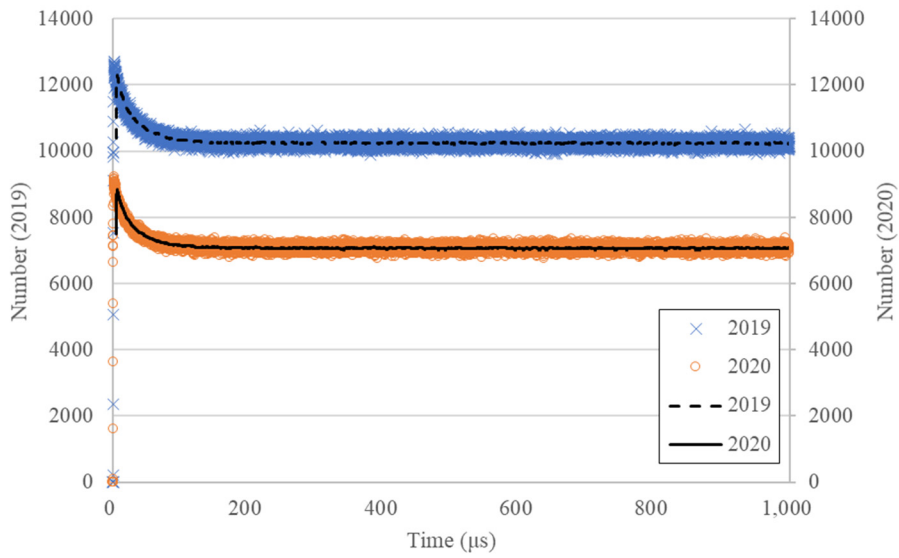


図 3.1.3-17 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

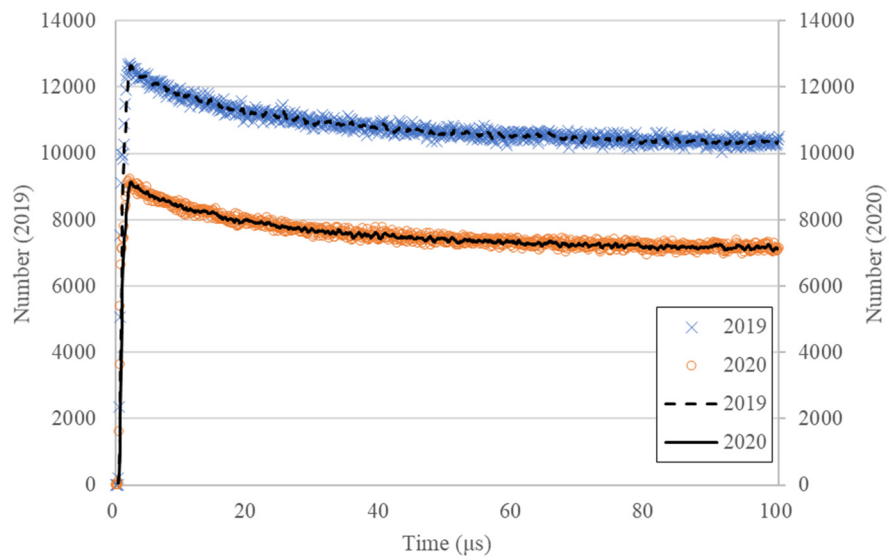


図 3.1.3-18 アンプ I のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

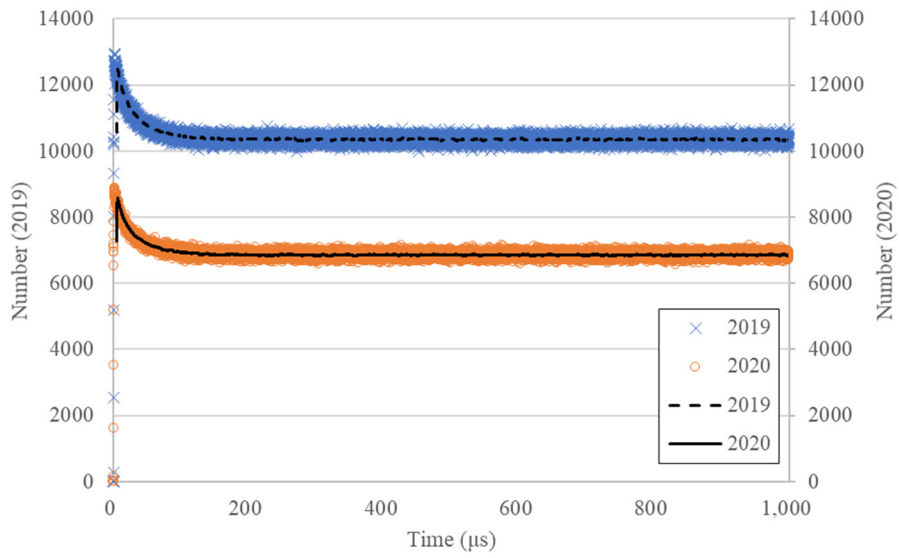


図 3.1.3-19 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

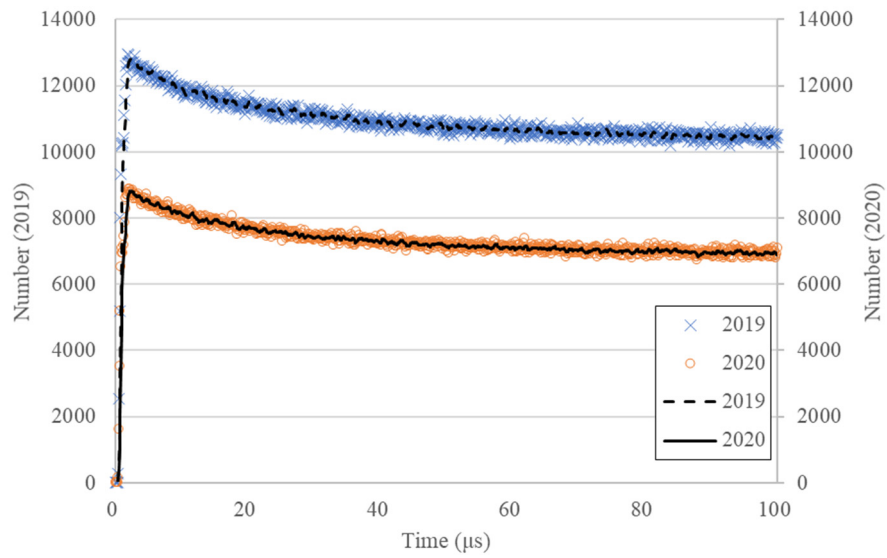


図 3.1.3-20 アンプ J のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

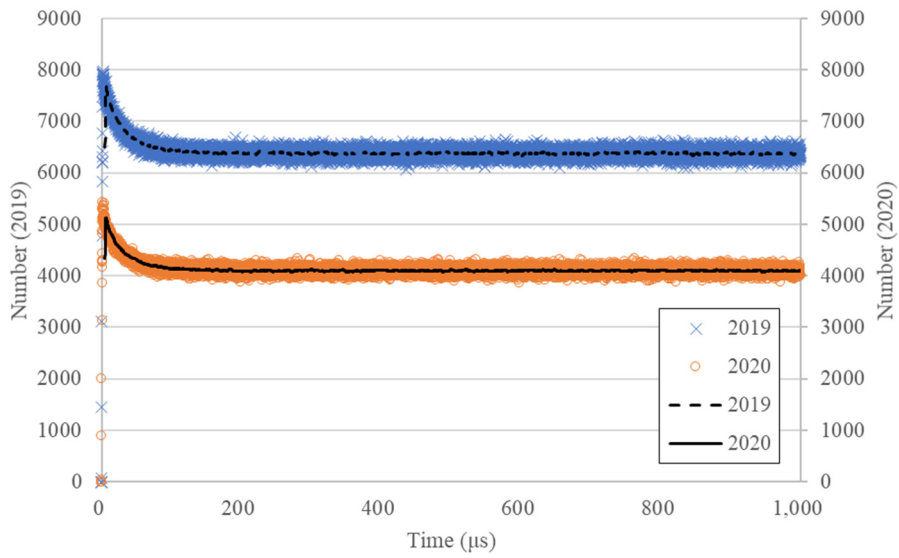


図 3.1.3-21 アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

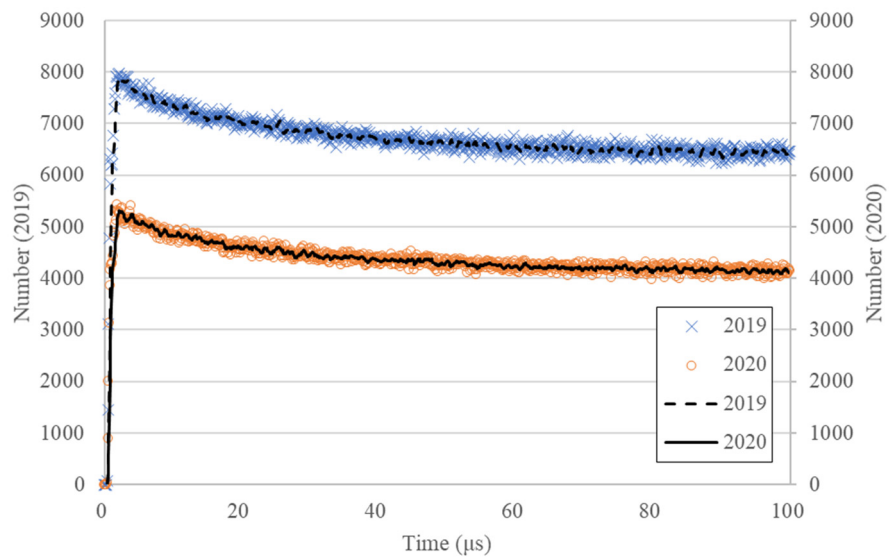


図 3.1.3-22 アンプ K のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

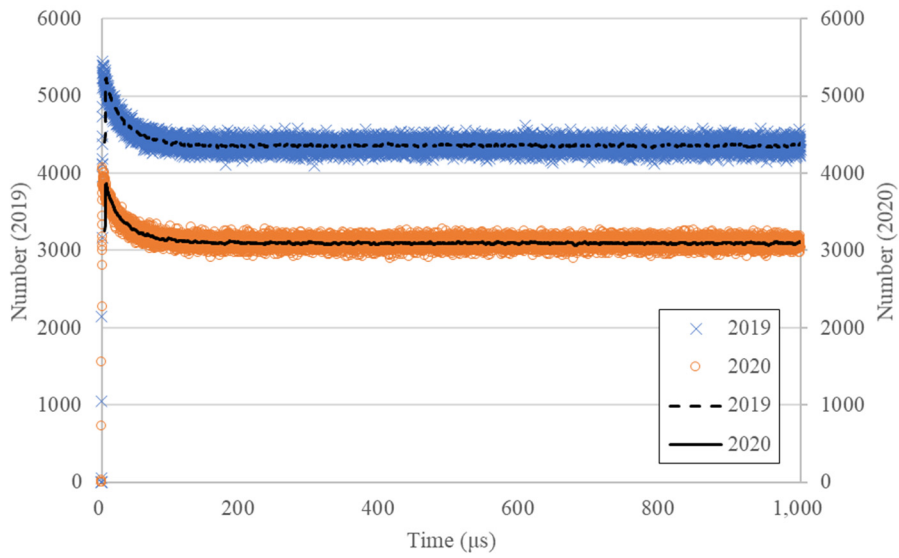


図 3.1.3-23 アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

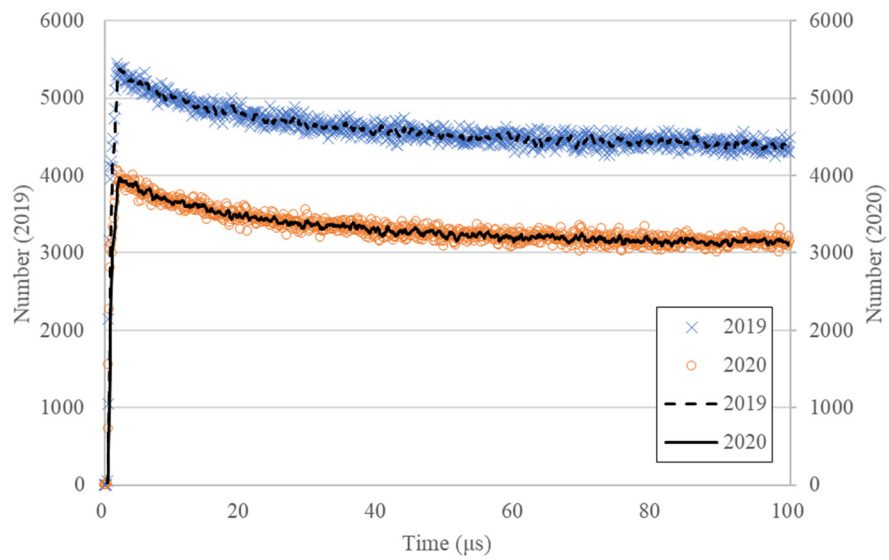


図 3.1.3-24 アンプ L のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

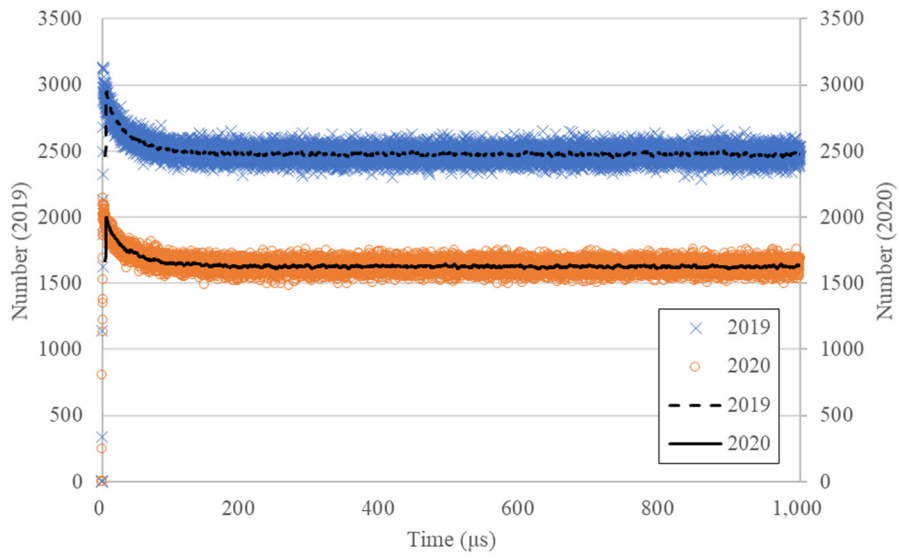


図 3.1.3-25 アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

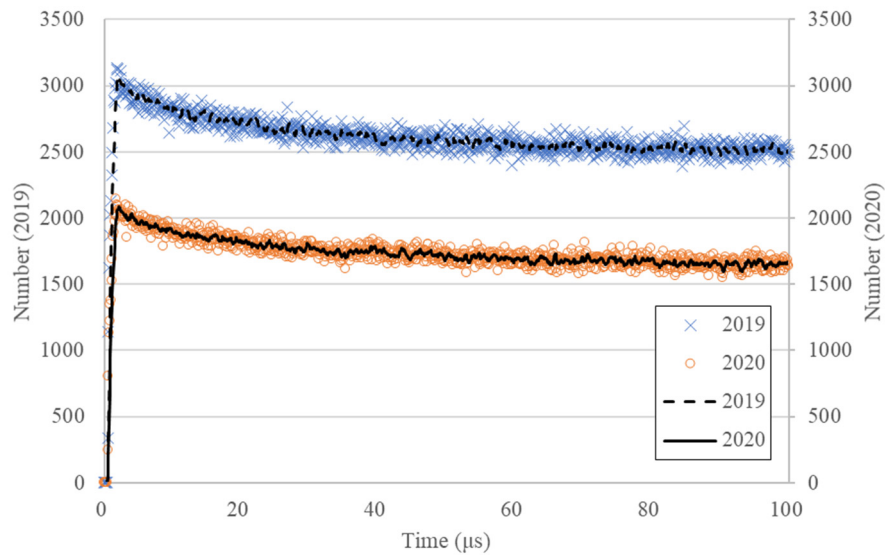


図 3.1.3-26 アンプ M のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

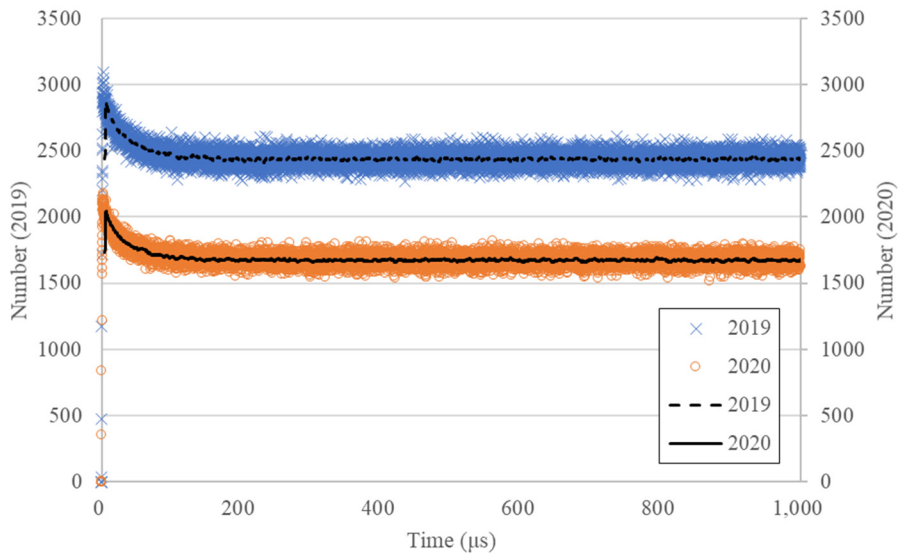


図 3.1.3-27 アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~1000 μ s)

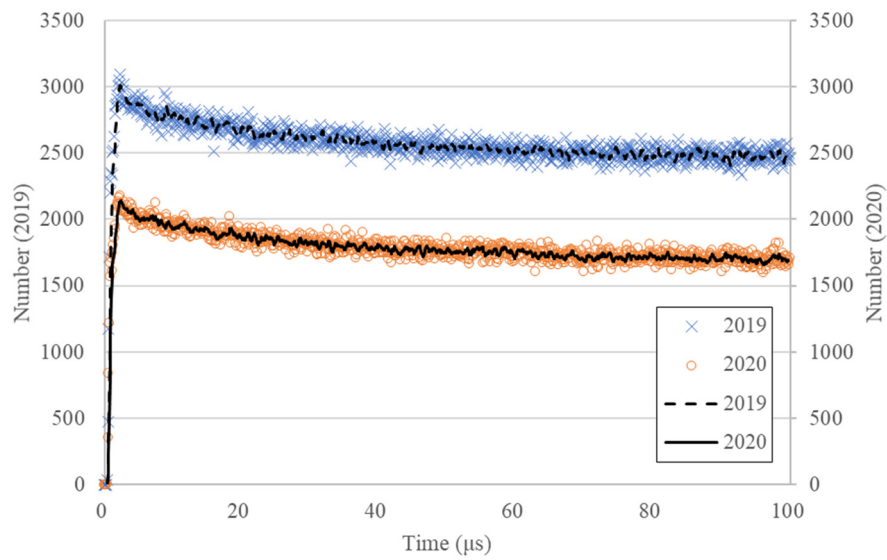


図 3.1.3-28 アンプ N のパルス間隔分布の比較 (0~100 μ s)

3.1.4 考察

2.2 項の AFAS における評価と同様に、本試験では平成 31 年度における評価に用いた ^{252}Cf 中性子線源と同じ線源を用いたため、線源の減衰により得られた計数値が約 30% 減少したが、評価したパルス間隔分布は、平成 31 年度に評価したパルス間隔分布とほぼ同一の形状となった。したがって、本試験において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている ^3He 比例計数管及びケーブルは健全に保たれていると考えられる。

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

3.2.1 目的

AVIS のプルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器（以下、「ガンマ線検出器」という）を中性子検出器の試料収納部（以下、「キャビティ」という）の下部へ設置した際の中性子検出器の測定性能への影響を評価する。

3.2.2 方法

モンテカルロシミュレーションコード（MCNPX）を用いて AVIS のガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部へ配置した際の中性子検出器の測定精度を評価する。

なお、本評価において、ガンマ線検出器を中性子検出器の側面へ配置した場合には「Side 配置」、キャビティ下部へ配置した場合には「Bottom 配置」と表記する。

詳細な試験手順を以下に示す。

- ① 図3.2.2-1の左図に示すSide配置におけるシミュレーションモデル^(*14)を作成する。
- ② ①にて作成した中性子検出器のシミュレーションモデルの妥当性を確認するため、²⁵²Cf 中性子線源測定により評価した実際の中性子検出器の中性子検出効率^(*15)とシミュレーションモデルの中性子検出効率を比較する。
- ③ ①にて作成したシミュレーションモデルを基に、図3.2.2-1の右図に示す、Bottom配置におけるシミュレーションモデルを作成する。
- ④ ①及び③にて作成した各シミュレーションモデルのキャビティに同一のMOXサンプル^(*16)を配置し測定シミュレーションを行い、得られたそれぞれの²⁴⁰Pu実効質量の相対誤差(%RSD)を比較する。

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

*15: 実測定の中性子検出効率については、令和2年度の性能確認試験における「測定パラメータの再評価」にて求めた値を比較対象とする。

*16: 過去の試験にて測定実績のある粉末のMOXサンプルを模擬する。MOXサンプルの情報を表3.2.2-1に示す。

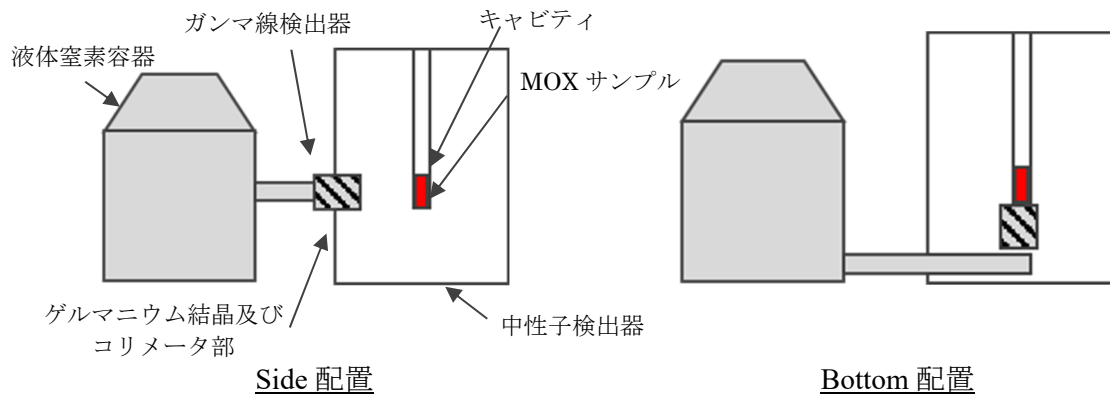


図 3.2.2-1 ガンマ線検出器の配置（概要図）

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
粉末	9.01	1.168	63.261	26.643	4.184	4.744	3.100	2012/6/21

3.2.3 結果

① Side 配置のシミュレーションモデルの作成

作成した Side 配置時のシミュレーションモデルを図 3.2.3-1 及び図 3.2.3-2 に示す。なお、本図は、ゲルマニウム結晶部を中心としてシミュレーションモデルを縦方向及び横方向に切断した断面図である。

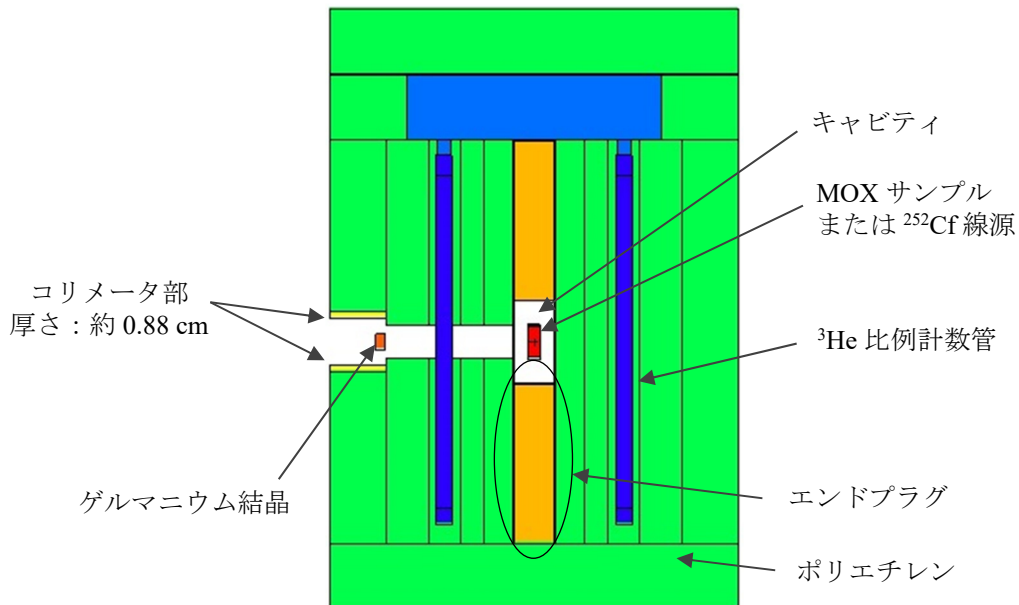


図 3.2.3-1 シミュレーションモデル (Side 配置) の縦断面図

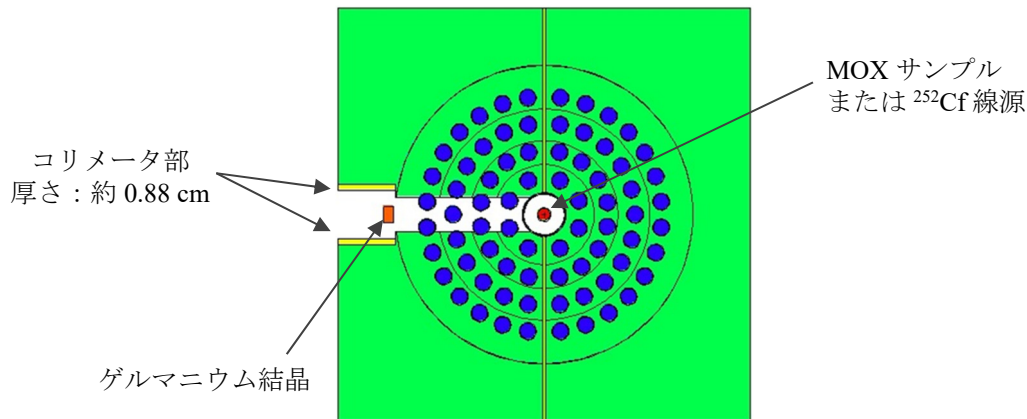


図 3.2.3-2 シミュレーションモデル (Side 配置) の横断面図

② Side 配置のシミュレーションモデルの妥当性確認

^{252}Cf 中性子線源測定により評価した実際の中性子検出器の中性子検出効率とシミュレーションモデルの中性子検出効率の比較結果を表 3.2.3-1 に示す。各中性子検出率は概ね一致した。シミュレーションモデルにおいては実際の検出器の細部（上部及び下部のポリエチレンの形状、ジャンクションボックス内装置等）をある程度簡略化していることを考慮すると、本 Side 配置のモデルは妥当であると考えられる。

表 3.2.3-1 中性子検出効率の比較

	中性子検出効率
実測定	0.664
シミュレーション	0.659

③ Bottom 配置のシミュレーションモデルの作成

Side 配置時のシミュレーションモデルを基に作成した Bottom 配置時のシミュレーションモデルを図 3.2.3-3 及び図 3.2.3-4 に示す。なお、本図は、Side 配置同様、ゲルマニウム結晶部を中心としてシミュレーションモデルを縦方向及び横方向に切断した断面図である。

本モデルでは、ガンマ線検出器を中性子検出器の底部からキャビティまで垂直に挿入することを想定し、キャビティ下部のエンドプラグ部（グラファイト及び Al, Cd プレート）及びポリエチレン部の一部を削除し空洞を設けた。空洞部分の直径は、ガンマ線検出器（先端の直径：7.0cm）が挿入でき且つ ^3He 比例計数管に干渉しない最大の径である 8.48cm とした。コリメータは、ガンマ線検出器の周囲に設置することを想定し、厚さ 0.74cm とした。

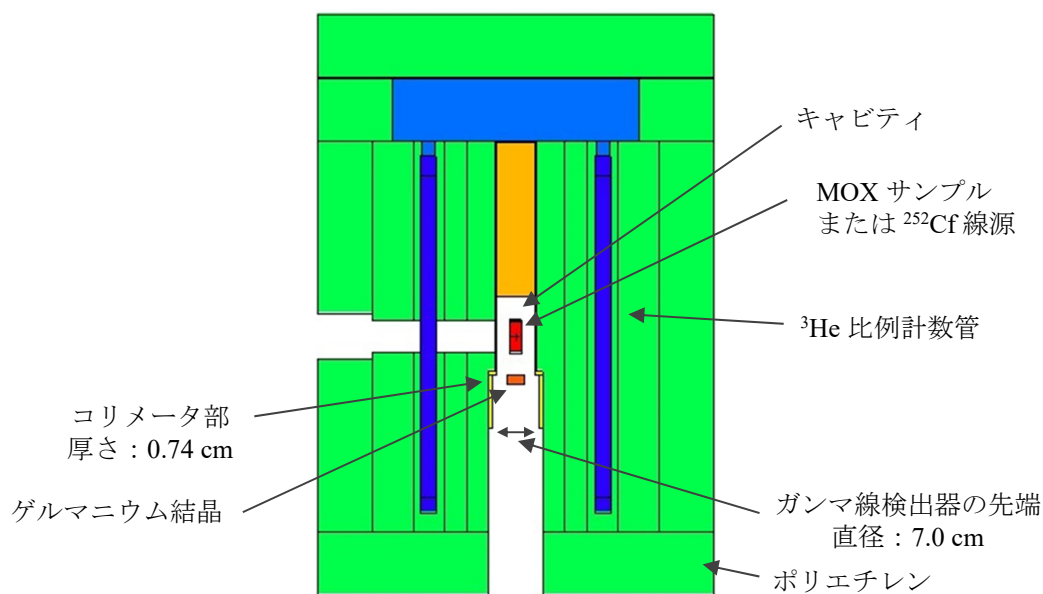


図 3.2.3-3 シミュレーションモデル (Bottom 配置) の縦断面図

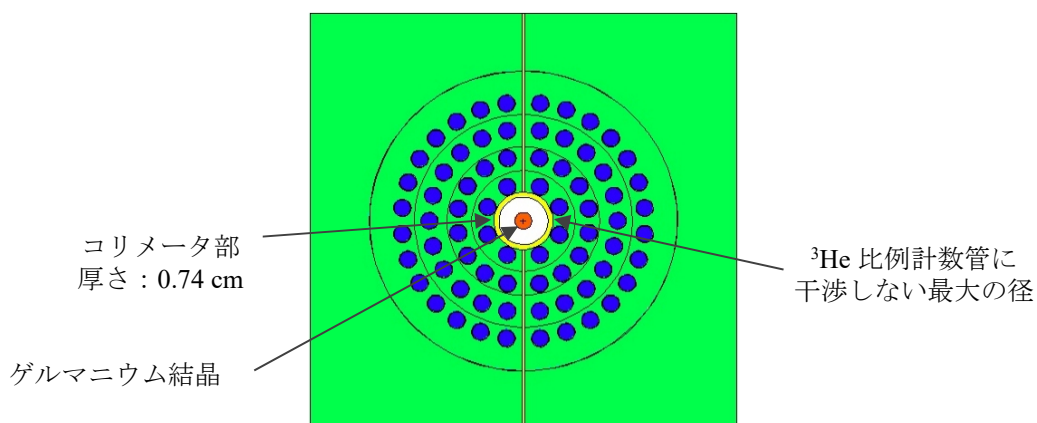


図 3.2.3-4 シミュレーションモデル (Bottom 配置) の横断面図

④ ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) の比較

表 3.2.3-2 に示す条件で測定シミュレーションを行い、各モデルにおける ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) の比較を行った。比較結果を表 3.2.3-3 に示す。

^{240}Pu 実効質量の %RSD は、Multiplicity 法による解析結果では、ガンマ線検出器を Side 配置から Bottom 配置とすると若干増加 (0.490% から 0.503%) し、Known α 法による解析結果では、逆に若干減少 (0.279% から 0.268%) したが、大きな差はみられなかった。

表 3.2.3-2 測定シミュレーションの条件

測定対象	粉末の MOX サンプル (表 3.2.2-1 に示す)
測定時間	15 分間 ^(*17)
解析手法 ^(*18)	Multiplicity 法、Known α 法
測定パラメータ	表 3.2.3-4 参照 ^(*19)

*17: AVIS の要求仕様書^(参考文献 7)に記載されている J-MOX における AVIS の測定時間

*18: 平成 25 年度の性能確認試験^(参考文献 8)にて実施した「解析手法の適用性評価試験」において、粉末に対しては「Multiplicity 法」が解析手法として適当であると評価されている。本評価においては「Multiplicity 法」と合わせて、参考として「Known α 法」での解析も行った。

*19: シミュレーションモデルは実際の検出器とは形状が異なるため、MOX サンプルの測定を模擬し ²⁴⁰Pu 実効質量を評価するにあたり、実測定用の測定パラメータを適用することができない。そのため、本評価では各モデルに適した測定パラメータについて、²⁵²Cf 中性子線源測定を模擬することで再評価し使用した。

表 3.2.3-3 ²⁴⁰Pu 実効質量の %RSD の比較結果

ガンマ線検出器の配置	Multiplicity 法による解析結果			Known α 法による解析結果		
	²⁴⁰ Pu 実効質量 (g)	σ	%RSD	²⁴⁰ Pu 実効質量 (g)	σ	%RSD
Side	3.484	0.017	0.490	3.378	0.009	0.279
Bottom	3.494	0.018	0.503	3.381	0.009	0.268

表 3.2.3-4 各シミュレーションモデルにおいて適用した測定パラメータ

	Side 配置	Bottom 配置
中性子検出効率	0.659	0.639
ダブルゲートフラクション	0.8201	0.8220
トリプルゲートフラクション	0.6732	0.6758
増倍補正係数 (ρ_0)	4.751120×10^{-1}	4.618738×10^{-1}

3.2.4 考察

ガンマ線検出器を Side 配置から Bottom 配置にすることにより ^{240}Pu 実効質量の %RSD は若干変動したが、その差は Multiplicity 法及び Known α 法による解析結果ともに約 0.01% と小さく、同等のサンプルを実測定した場合の ^{240}Pu 実効質量の %RSD^(*20) である約 0.5% (Multiplicity 法による解析) 及び約 0.2% (Known α 法による解析) と比較し、十分小さいものであった。したがって、ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部へ配置したとしても、中性子検出器の測定性能へ与える影響はほとんどないと考えられる。

また、実際に Bottom 配置を適用する場合は、Side 配置時におけるガンマ線検出器を挿入するための空洞部分 (以下、「空洞部」という) をポリエチレンで塞ぐ可能性があると考えられる。そのため、参考としてこの場合の ^{240}Pu 実効質量の %RSD についても評価を行った。作成したシミュレーションモデル及び Side 配置時との ^{240}Pu 実効質量の %RSD の比較結果を図 3.2.4-1 及び表 3.2.4-1 に示す。なお、前述の評価と同様に測定パラメータについては本モデルに適した値を再評価し使用した。その結果、Multiplicity 法による解析結果では、空洞部をポリエチレンで塞いだことにより %RSD は若干増加 (0.490% から 0.495%) し、Known α 法による解析結果では、逆に若干減少 (0.279% から 0.273%) したが、その差は 0.01% 以下と僅かなものであった。したがって、測定精度の観点からは空洞部分をポリエチレンで塞ぐ効果はほとんどないと考えられる。

*20: 平成 24 年度の性能確認試験^(参考文献³⁾)にて実施した「Pu 量と測定精度の相関評価試験」における評価結果 (10g-Pu が含まれる MOX 粉末を 10 分間測定)

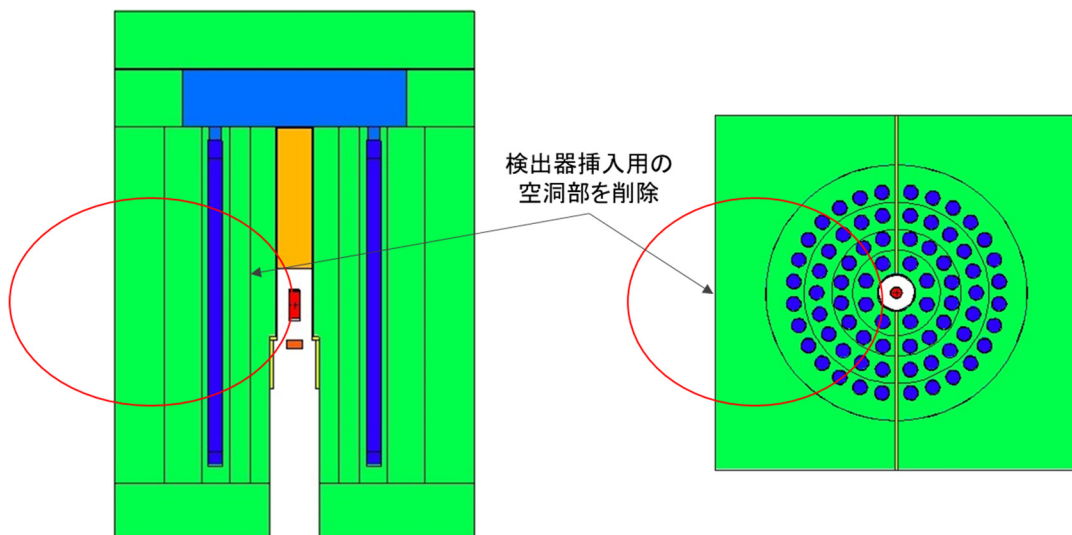


図 3.2.4-1 Bottom 配置時のシミュレーションモデル (空洞部なし)

表 3.2.4-1 ^{240}Pu 実効質量の評価結果 (Side 及び Bottom (空洞部なし) 配置の比較)

ガンマ線検出器の 配置	Multiplicity 法による解析結果			Known α 法による解析結果		
	^{240}Pu 実効質量(g)	σ	%RSD	^{240}Pu 実効質量(g)	σ	%RSD
Side	3.484	0.017	0.490	3.378	0.009	0.279
Bottom (空洞部なし)	3.487	0.017	0.495	3.383	0.009	0.273

3.3 測定パラメータの再評価

測定パラメータの経年変化の有無を確認するため、測定パラメータを再評価し、初期のパラメータ(*21)と比較する。

本評価で使用する線源（H4-694、K7-436、Q2-334）を 1.6 項の表 1.6-1 に、評価する測定パラメータを表 3.3-1 に示す。

*21: JAEA が平成 23 年度に実施した性能確認試験(参考文献 6)において評価した測定パラメータ

表 3.3-1 評価する測定パラメータ

評価項目	中性子検出器	ガンマ線検出器
デッドタイム補正係数	○	-
中性子検出効率	○	-
ダイアウェイタイム	○	-
ゲートフラクション	○	-
検出効率プロファイル	○	-
HV プラトー領域	○	-
エネルギー分解能	-	_* (*22)

*22: AVIS のガンマ線検出器は、平成 29 年 4 月に故障が確認されたため、本評価項目は実施しない。

3.3.1 デッドタイム補正係数の評価

3.3.1.1 目的

AVIS の中性子検出器のデッドタイム補正係数を評価し、初期のパラメータと比較する。

3.3.1.2 方法

デッドタイム補正係数の評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② INCC のデッドタイム補正に関するパラメータ (Multiplicity dead time、dead time coefficient a, b, c) に 0 を入力する。
- ③ ²⁵²Cf 中性子線源 (K7-436、Q2-334、K7-436 & Q2-334) を、AVIS の中性子検出器の中心 (図 3.3.1-1) に配置し、Rate Only モードにより 30 秒×120 回の測定を行い、それぞれの ²⁵²Cf 中性子線源のデッドタイム補正前の計数値 (シングル値 (S_m)、ダブル値 (D_m)) を取得する。
- ④ 上記にて取得した各線源の計数値 (S_m, D_m) を式 (3.1) に代入する。

$$\frac{D_{c_i}}{S_{c_i}} = \frac{D_{m_i}}{S_{m_i}} \cdot e^{(a+a^2/4 \cdot S_{m_i}) \cdot S_{m_i} \cdot 3/4} \quad \dots (3.1)$$

ただし、 i : 線源番号

- ⑤ 最小二乗法を用いて、式 (3.2) に示す残差の二乗和 S が最小となるようなデッドタイム補正係数 a を評価する。

$$S = \sum_{i=1}^3 \left(\text{Average} \left(\frac{D_c}{S_c} \right) - \frac{D_{c_i}}{S_{c_i}} \right)^2 \quad \dots (3.2)$$

ただし、

$$\text{Average} \left(\frac{D_c}{S_c} \right) = \frac{1}{3} \cdot \sum_{j=1}^3 \frac{D_{c_j}}{S_{c_j}}$$

j : 線源番号

- ⑥ 上記にて評価したデッドタイム補正係数 a を関係式 $b=a^2/4$ に代入することによりデッドタイム補正係数 b を評価する。

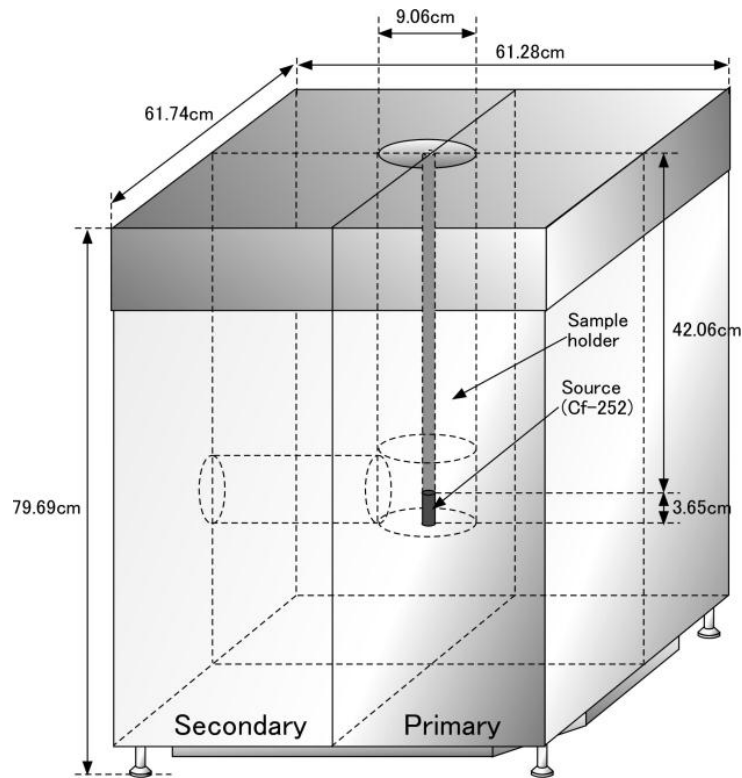


図 3.3.1-1 AVIS 中性子検出器のデッドタイム補正係数評価における²⁵²Cf 中性子線源の配置箇所

3.3.1.3 結果

AVIS 中性子検出器におけるデッドタイム補正係数 a , b の評価結果を表 3.3.1-1 に示す。

また、これらのデッドタイム補正係数と過去に評価したデッドタイム補正係数を比較するため、ブートストラップ法^(*)を用いてデッドタイム補正係数の誤差 (σ) の評価を行った。本評価結果及び各デッドタイム補正係数の比較結果を表 3.3.1-2 及び図 3.3.1-2 及び図 3.3.1-3 に示す。その結果、本年度評価したデッドタイム補正係数は、過去に評価したデッドタイム補正係数と誤差 (2σ) の範囲で一致した。

*23: ブートストラップ法とは、ある標本集団から母集団の性質を推定するための方法である。本評価では、実測定による各線源の計数值（シングル値及びダブル値）をそれぞれ 10000 回再抽出し、10000 個のデッドタイム補正係数 a , b を再評価した。なお、誤差を推定したデッドタイム補正係数は、ブートストラップ法により評価したデッドタイム補正係数の平均値であり、表 3.3.1-1 に示したデッドタイム補正係数の評価値とは若干異なる。

表 3.3.1-1 デッドタイム補正係数 a, b の評価結果 (AVIS 中性子検出器)

a	b
2.852E-07	2.034E-14

表 3.3.1-2 デッドタイム補正係数 a, b の誤差 (σ) の推定結果 (AVIS 中性子検出器)

	平成 23 年度		令和 2 年度	
	a	b	a	b
平均値	2.749E-07	1.890E-14	2.848E-07	2.029E-14
σ	3.810E-09	5.236E-16	6.085E-09	8.662E-16
2σ	7.619E-09	1.047E-15	1.217E-08	1.732E-15

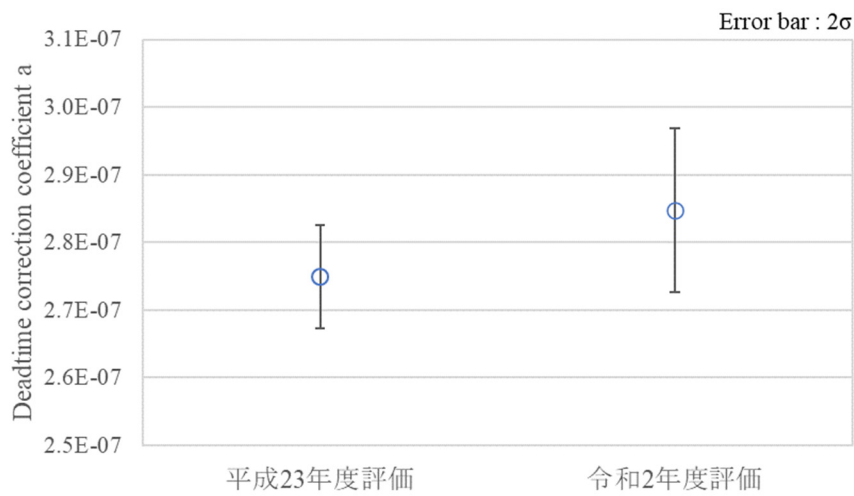


図 3.3.1-2 デッドタイム補正係数 a の比較 (AVIS 中性子検出器)

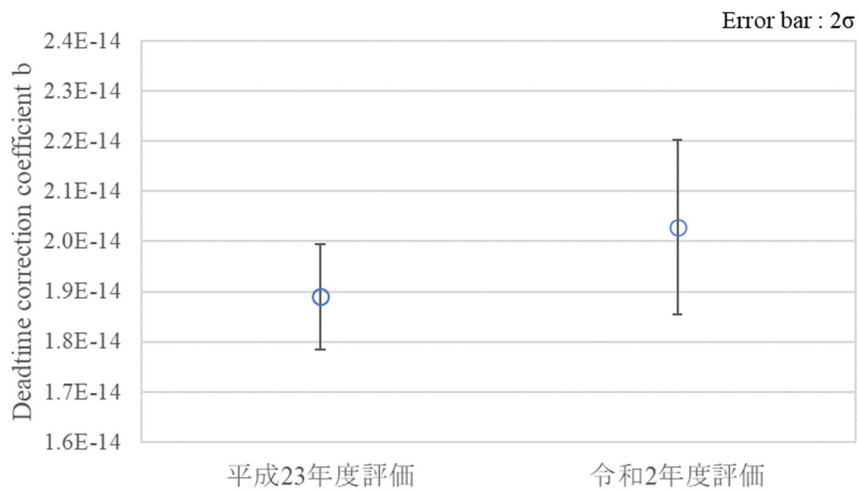


図 3.3.1-3 デッドタイム補正係数 b の比較 (AVIS 中性子検出器)

3.3.1.4 考察

本年度評価したデッドタイム補正係数と過去に評価したデッドタイム補正係数は、誤差 (2σ) の範囲で一致したことから、AVIS の中性子検出器のデッドタイム補正係数に経年変化はなかったと考えられる。なお、本年度評価した AVIS のデッドタイム補正係数の誤差が平成 23 年度の評価結果よりも大きかった理由は、用いた ^{252}Cf 中性子線源の強度が低く、得られた計数率が過去の評価時よりも低かったためであると考えられる。

3.3.2 中性子検出効率の評価

3.3.2.1 目的

AVIS の中性子検出器の中性子検出効率を評価し、初期のパラメータと比較する。

3.3.2.2 方法

中性子検出効率は、 ^{252}Cf 中性子線源を評価対象の中性子検出器により測定した中性子の計数率と、同日に ENMC により測定して求めた同線源の中性子放出率の比を計算することにより評価する。また、中性子の放出率が低い線源 (H4-694) と高い線源 (Q2-334) を使用し、各線源から評価した中性子検出効率に差異がないこともあわせて評価する。評価手順を以下に示す。

- ① ^{252}Cf 中性子線源 (H4-694 及び Q2-334) を ENMC にて測定し、得られたシングル値を ENMC の ^{252}Cf に対する中性子検出効率 (0.625) で除することにより、評価当日における線源の中性子放出率の期待値 (Y) を求める。
- ② INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ③ ^{252}Cf 中性子線源 (H4-694 及び Q2-334) を AVIS の中性子検出器の中心 (図 3.3.1-1) に配置し、Rate Only 測定モードにより 30 秒×20 回の測定を行い、それぞれの線源のシングル値 (S) を取得する。
- ④ 式 (3.6) に示す通り、③にて取得した各シングル値 (S) を、それぞれの線源の中性子放出率 (Y) により除することで、中性子検出効率 (ε) を評価する。

$$\varepsilon = S/Y \quad \dots (3.6)$$

3.3.2.3 結果

AVIS の中性子検出器における中性子検出効率の評価結果及び過去の評価結果との比較結果を表 3.3.2-1 に示す。

中性子放出率が低い線源 (H4-694) と高い線源 (Q2-334) を用いて評価したそれぞれの中性子検出効率は、ほぼ同等の値となった。また、これらは、過去に評価した中性子検出効率ともほぼ同等の値であった。

表 3.3.2-1 AVIS 中性子検出器における中性子検出効率の比較

	平成 23 年度評価		令和 2 年度評価	
	²⁵² Cf 中性子線源	WW-906	H4-694	H4-694
中性子検出効率(%)	66.3	66.5	66.5	66.4

3.3.2.4 考察

本年度評価した中性子検出効率と過去の評価した中性子検出効率は、ほぼ同等となったことから、AVIS の中性子検出器の中性子検出効率に経年変化はなかったと考えられる。

3.3.3 ダイアウエイタイムの評価

3.3.3.1 目的

AVIS の中性子検出器のダイアウエイタイムを評価し、初期のパラメータと比較する。

3.3.3.2 方法

AVIS の中性子検出器のダイアウエイタイムの評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、AVIS の中性子検出器の中心 (図 3.3.1-1) に配置し、任意の値 (8、16、32、64、128、256 μs) にゲート幅を設定し、Rate Only 測定モードにて 30 秒×100 回の測定を行い、それぞれのゲート幅におけるダブル値 ($D_{(\text{ゲート幅})}$) を取得する。
- ③ $D_{(8)}$ 、 $D_{(16)}$ 、 $D_{(32)}$ 、 $D_{(64)}$ 、 $D_{(128)}$ 、 $D_{(256)}$ を式 (3.7) ~ (3.11) に代入し、 τ_8 、 τ_{16} 、 τ_{32} 、 τ_{64} 、 τ_{128} を評価し、それらの平均値 (τ) を計算することで、ダイアウエイタイムを評価する。

$$\tau_8 = \frac{-8\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(16)}}{D_{(8)}} - 1\right)} \quad \dots (3.7)$$

$$\tau_{16} = \frac{-16\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(32)}}{D_{(16)}} - 1\right)} \quad \dots (3.8)$$

$$\tau_{32} = \frac{-32\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(64)}}{D_{(32)}} - 1\right)} \quad \dots (3.9)$$

$$\tau_{64} = \frac{-64\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(128)}}{D_{(64)}} - 1\right)} \quad \dots (3.10)$$

$$\tau_{128} = \frac{-128\mu\text{s}}{\ln\left(\frac{D_{(256)}}{D_{(128)}} - 1\right)} \quad \dots (3.11)$$

3.3.3.3 結果

$D_{(8)} \sim D_{(256)}$ の測定結果及びダイアウェイタイム(τ)の評価結果を表 3.3.3-1 及び表 3.3.3-2 に示す。また、過去に評価したダイアウェイタイムとの比較結果を表 3.3.3-3 に示す。

表 3.3.3-1 ゲート幅の変更によるダブル値の測定結果 (AVIS 中性子検出器)

ゲート幅 (μs)	8	16	32	64	128	256
Doubles (cps)	32,266.661	54,384.711	83,131.180	111,203.469	127,368.414	131,063.132
σ Doubles	11.853	17.53	33.956	58.442	79.12	110.114
%RSD ($\sigma D/D$) $\times 100$	0.037	0.032	0.041	0.053	0.062	0.084

表 3.3.3-2 ダイアウェイタイムの評価結果 (AVIS 中性子検出器)

	評価値(μs)
τ_8	21.18
τ_{16}	25.10
τ_{32}	29.48
τ_{64}	33.19
τ_{128}	36.16
τ (τ_8 、 τ_{16} 、 τ_{32} 、 τ_{64} 、 τ_{128} の平均値)	29.02

表 3.3.3-3 ダイアウェイタイムの比較 (AVIS 中性子検出器)

	平成 23 年度評価	令和 2 年度評価
ダイアウェイタイム (μs)	29.38	29.02

3.3.3.4 考察

本年度評価したダイアウェイタイムの値と過去に評価した値は、概ね一致したことから、AVIS の中性子検出器ダイアウェイタイムに経年変化はなかったと考えられる。

3.3.4 ゲートフラクションの評価

3.3.4.1 目的

AVIS の中性子検出器のゲートフラクションを評価し、初期のパラメータと比較する。

3.3.4.2 方法

AVIS の中性子検出器のゲートフラクションの評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ²⁵²Cf 中性子線源 (Q2-334) を、AVIS の中性子検出器の中心 (図 3.3.1-1) に配置し、Rate Only 測定モードにて 30 秒×100 回の測定を行い、シングル値 (*S*)、ダブル値 (*D*) 及びトリプル値 (*T*) を取得する。
- ③ シングル値 (*S*)、ダブル値 (*D*) 及びトリプル値 (*T*) を式 (3.12) 及び (3.13) に代入し、ダブルゲートフラクション (*f_d*) 及びトリプルゲートフラクション (*f_t*) を評価する。

$$f_d = \frac{2v_{s1}D}{\varepsilon v_{s2}S} \quad \dots (3.12)$$

$$f_t = \frac{3f_d v_{s2}T}{\varepsilon v_{s3}D} \quad \dots (3.13)$$

ただし、 ε : 中性子検出効率 (67.0)

v_{s1} 、 v_{s2} 、 v_{s3} : ²⁵²Cf 自発核分裂中性子分布の一次、二次、三次モーメント ($v_{s1}=3.757$ 、 $v_{s2}=11.962$ 、 $v_{s3}=31.812$)

3.3.4.3 結果

ゲートフラクションの評価結果及び過去に評価した値との比較結果を表 3.3.4-1 に示す。

表 3.3.4-1 ゲートフラクションの比較 (AVIS 中性子検出器)

	平成 23 年度評価	令和 2 年度評価
ダブルゲートフラクション (<i>f_d</i>)	0.7876	0.7903
トリプルゲートフラクション (<i>f_t</i>)	0.6133	0.6207

3.3.4.4 考察

本年度評価したゲートフラクションは、過去に評価した値とほぼ同等だったため、AVIS の中性子検出器のゲートフラクションに経年変化はなかったと考えられる。

3.3.5 検出効率プロファイルの評価

3.3.5.1 目的

AVIS の中性子検出器の検出効率プロファイルを評価し、初期の評価結果と比較する。

3.3.5.2 方法

検出効率プロファイルの評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、図 3.3.5-1 及び図 3.3.5-2 に示す通り AVIS の中性子検出器の垂直方向 (V)、円周方向 (C) の任意の位置 (垂直方向については 2cm 間隔、円周方向については 90°間隔) に配置し、INCC の Rate Only モードにより 30 秒×10 回の測定を行い、それぞれの位置におけるシングル値を取得する。

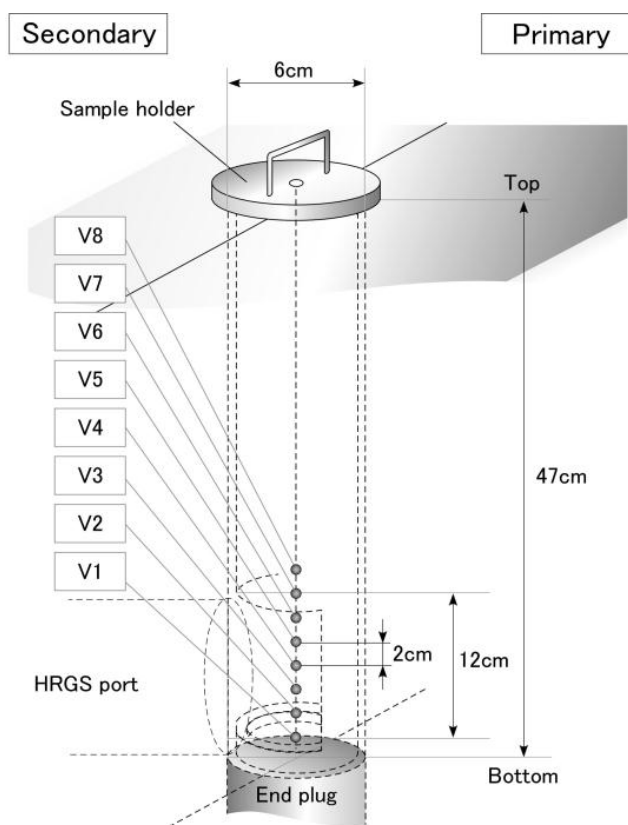


図 3.3.5-1 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所 (垂直方向)
(AVIS 中性子検出器)

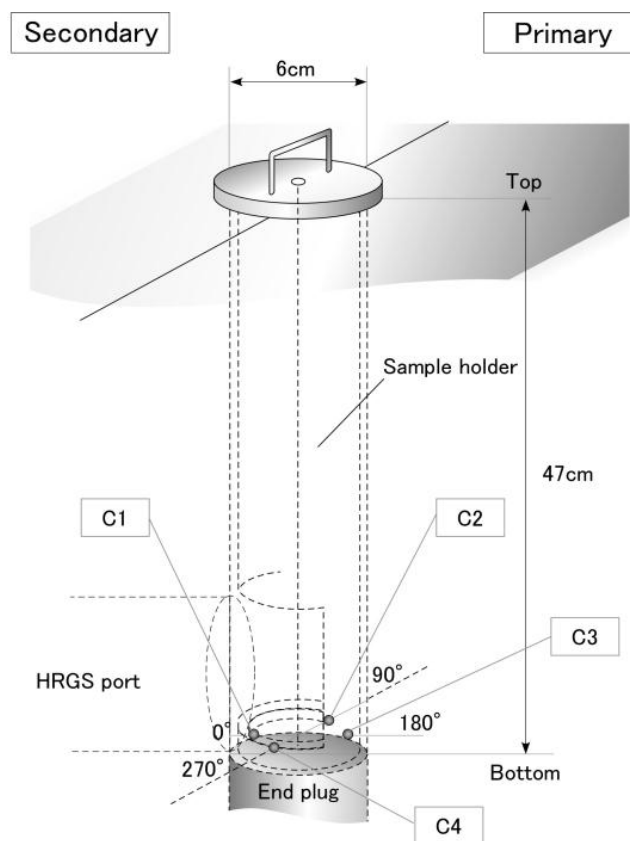


図 3.3.5-2 プロファイル評価における ^{252}Cf 中性子線源の配置箇所（円周方向）
（AVIS 中性子検出器）

3.3.5.3 結果

本年度評価した AVIS の中性子検出器の垂直方向及び円周方向の検出効率プロファイルと、過去に評価した検出効率プロファイルとの比較結果を図 3.3.5-3 及び図 3.3.5-4 に示す。なお、各グラフの縦軸は、各測定位置に線源を配置して得られたシングル値を、基準となる箇所に線源を配置して得られたシングル値で除した値（Normalized Singles）である。その結果、本年度及び過去に評価した AVIS の中性子検出器の検出効率プロファイルは概ね一致した。

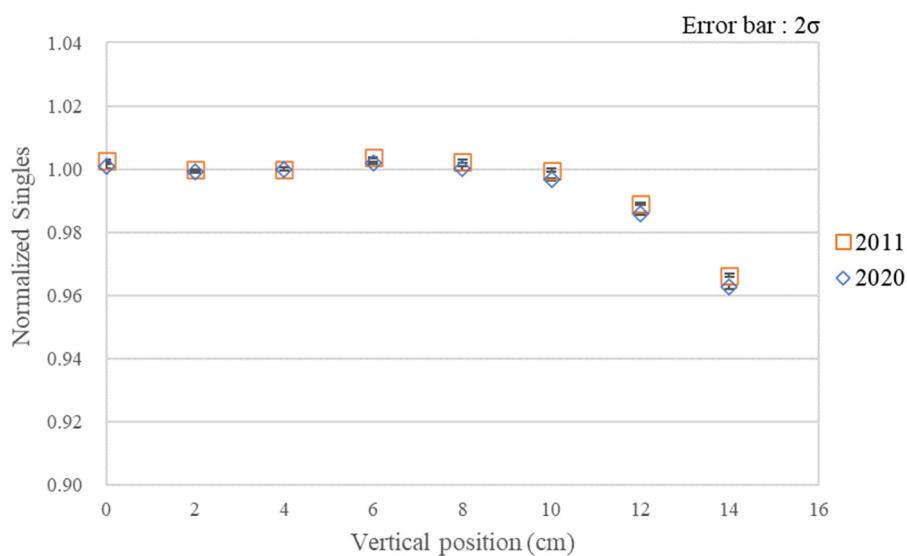


図 3.3.5-3 垂直方向の検出効率プロファイルの比較 (AVIS 中性子検出器)

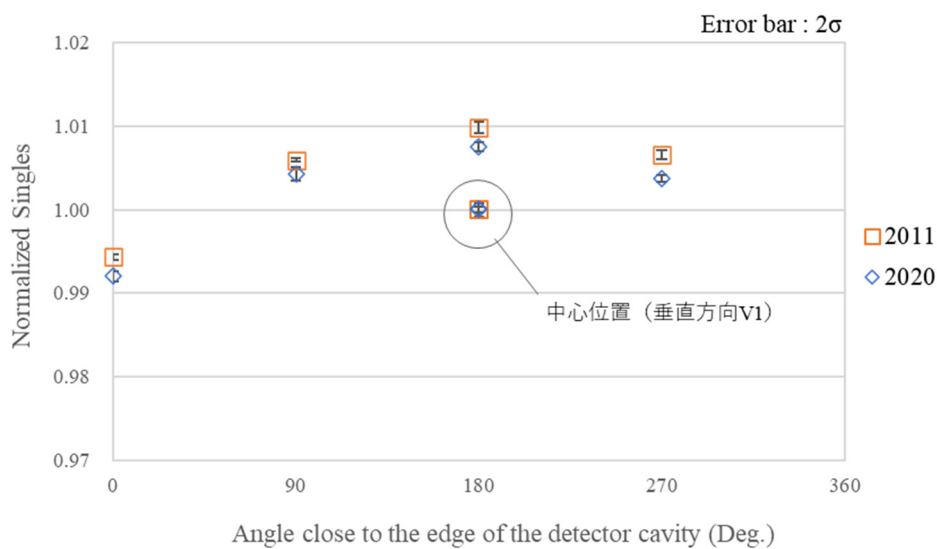


図 3.3.5-4 円周方向の検出効率プロファイルの比較 (AVIS 中性子検出器)

3.3.5.4 考察

本年度評価した検出効率プロファイルは、過去に評価したプロファイルと概ね一致したため、AVIS の中性子検出器の検出効率プロファイルに経年変化はなかったと考えられる。なお、比較結果のわずかな差については、人手による線源の配置誤差、または測定環境（検出器の周囲の物品配置など）の違いにより発生したと考えられる。

3.3.6 HV プラトー領域の評価

3.3.6.1 目的

AVIS の中性子検出器の HV プラトー領域を評価し、初期の評価結果と比較する。

3.3.6.2 方法

HV プラトー領域の評価方法を以下に示す。

- ① INCC の Background 測定モードにより、30 秒×20 回のバックグラウンド測定を行う。
- ② ^{252}Cf 中性子線源 (Q2-334) を、AVIS の中性子検出器の中心 (図 3.3.1-1) に配置し、検出器に印加する高電圧を 1,400V から 20V ずつ上昇させ、1,900V までの範囲のシングル値を取得する。測定時間は、1 点当たり 30 秒とする。
- ③ 検出器に対する印加電圧と測定により得られたシングル値の相関からプラトー領域を評価する。

3.3.6.3 結果

AVIS の中性子検出器の比較結果を図 3.3.6-1 に示す。本年度の評価において用いた ^{252}Cf 中性子線源は、過去に用いた線源と異なるものであったため、本年度測定した印加電圧のシングル値も過去と異なる値となったが、本年度評価により得られた HV プラトーのグラフの形状及び HV プラトー領域は、過去に評価したグラフと概ね一致した。

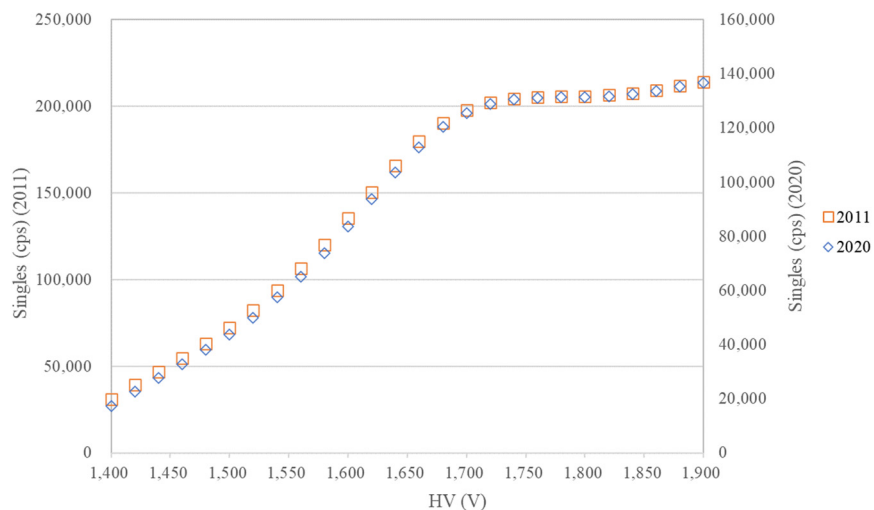


図 3.3.6-1 印加電圧とシングル値の相関の比較 (AVIS 中性子検出器)

3.3.6.4 考察

本年度評価した HV プラトー領域と過去に評価した HV プラトー領域は、概ね一致したことから、AVIS の中性子検出器の HV プラトー領域に経年変化はなかったと考えられる。

4. IPCA の性能確認試験

4.1 長期管理限界の妥当性確認

4.1.1 目的

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

4.1.2 方法

中性子検出器については、連続的なバックグラウンド測定を実施し、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、Cm244 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を月 1 回の頻度で実施する。

(2) 中性子検出器における Pu 線源及び 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を月 1 回の頻度で実施する。

(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を月 1 回の頻度で実施する。

(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。本測定は月 1 回の頻度で実施する。
- ③ ①～②を月 1 回の頻度で実施する。

4.1.3 結果

2020 年 4 月から 2021 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、「長期管理限界の妥当性確認」、「パルス間隔分布の評価」、「AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価」及び「測定パラメータの再評価」を実施した。

「長期管理限界の妥当性確認」では、AFAS の長期安定性及び ^{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、2020 年 4 月から 2021 年 3 月までの期間において連続的なバックグラウンド測定及び定期的な ^{252}Cf 中性子線源測定を実施した。その結果、各検出器において得られたほぼ全てのバックグラウンドの測定値は誤差 (3σ) の範囲内に収まり、 ^{252}Cf 中性子線源測定の計数値は長期管理限界の範囲内に収まったことから、本測定期間中、AFAS は正常な状態を維持し、長期間安定して動作していたことを確認した。

「パルス間隔分布の評価」では、装置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するため、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た。その結果、得られたパルス間隔分布は、平成 31 年度に得られたパルス間隔分布とほぼ同一の形状となったことから、本評価において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている ^3He 比例計数管及びケーブルは健全に保たれていることを確認した。

「AFAS の故障時の測定パラメータの再評価方法の検討及び故障時の測定性能の評価」では、J-MOX において AFAS が故障した場合にシステムを停止することなく、燃料集合体測定の継続を可能とする方法を検討するため、Collar 検出器のアンプ 1 個の機能を停止させた状態における測定パラメータ (スロープ b 及び ρ_0) の再評価及び本測定パラメータを用いた実際の燃料集合体の測定を行い、AFAS が正常な状態における測定結果との比較を実施した。その結果、それぞれの測定において得られた ^{240}Pu 実効質量は誤差 (2σ) の範囲で一致したことから、AFAS 故障時には測定パラメータを再評価することによりシステムを停止することなく燃料集合体測定の継続が可能であることを確認した。

「測定パラメータの再評価」では、AFAS の測定パラメータの経年変化の有無を確認するため、測定パラメータの再評価を行い、平成 22 年度及び 23 年度の評価結果との比較を実施した。その結果、それぞれの評価結果は概ね一致したことから、AFAS の測定パラメータに経年変化がないことを確認した。

AVIS の性能確認試験では、「パルス間隔分布の評価」、「プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」及び「測定パラメータの再評価」を実施した。

「パルス間隔分布の評価」では、AFAS における評価と同様に、リストモジュールを用いて ^{252}Cf 中性子線源測定を実施した。その結果、得られたパルス間隔分布は、平成 31 年度に得られたパルス間隔分布とほぼ同一の形状となったことから、本評価において得られたパルス間隔分布は正常であり、各アンプ、また、それぞれに接続されている

^3He 比例計数管及びケーブルは健全に保たれていることを確認した。

「プルトニウム同位体組成比検認用ゲルマニウム検出器の改良に伴う中性子検出器の測定性能への影響評価」では、ガンマ線検出器を中性子検出器のキャビティ下部へ設置した際の中性子検出器の測定性能への影響を評価するため、モンテカルロシミュレーション (MCNPX) による評価を実施した。その結果、中性子検出器にて測定される ^{240}Pu 実効質量の相対誤差 (%RSD) は、ガンマ線検出器の配置位置変更前後において若干変動したが、十分小さいものであったことから、ガンマ線検出器の配置位置変更が中性子検出器の測定性能へ与える影響はほとんどないことを確認した。

「測定パラメータの再評価」では、AFAS における評価と同様に、AVIS の測定パラメータの経年変化の有無を確認するため、測定パラメータの再評価を行い、平成 23 年度の評価結果との比較を実施した。その結果、それぞれの評価結果は概ね一致したことから、AVIS の測定パラメータに経年変化がないことを確認した。

IPCA の性能確認試験「長期管理限界の妥当性確認」では、IPCA の長期安定性及び IPCA の各検出器及びロードセルにおいて得られた計測値が長期管理限界内に収まることを確認するため、2020 年 4 月から 2021 年 3 月までの期間において、中性子検出器については、連続的なバックグラウンド測定及び定期的な中性子線源測定を、ガンマ線検出器については、定期的な Pu 線源測定を、ロードセルについては、定期的な分銅測定を実施した。その結果、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 31 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 24 年度)
- 参考文献 4 : User Requirements AFAS Version No.1, IAEA (2007) (SG-TE-GNRL-ZZ-1010)
- 参考文献 5 : 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 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 23 年度)
- 参考文献 7 : User Requirements AVIS Version No.1, IAEA (2007) (SG-TE-GNRL-ZZ-1020)
- 参考文献 8 : 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 25 年度)