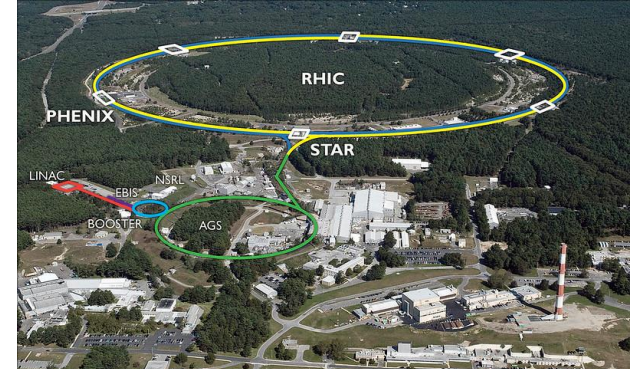


放射線源を用いたsPHENIX実験 INTTの性能評価

奈良女子大学 M1
並本ゆみか

研究背景:sPHENIX実験とは



- アメリカブルックヘブン国立研究所(BNL)

RHIC(Relativistic Heavy Ion Collider)加速器での実験

- 2000年-2016年まで稼働していたPHENIX実験を高度化、2023年より稼働予定

実験目的

- 衝突によって発生するJet現象やUpsilon粒子を測定し、QGPの性質を決定する

衝突核子、エネルギー

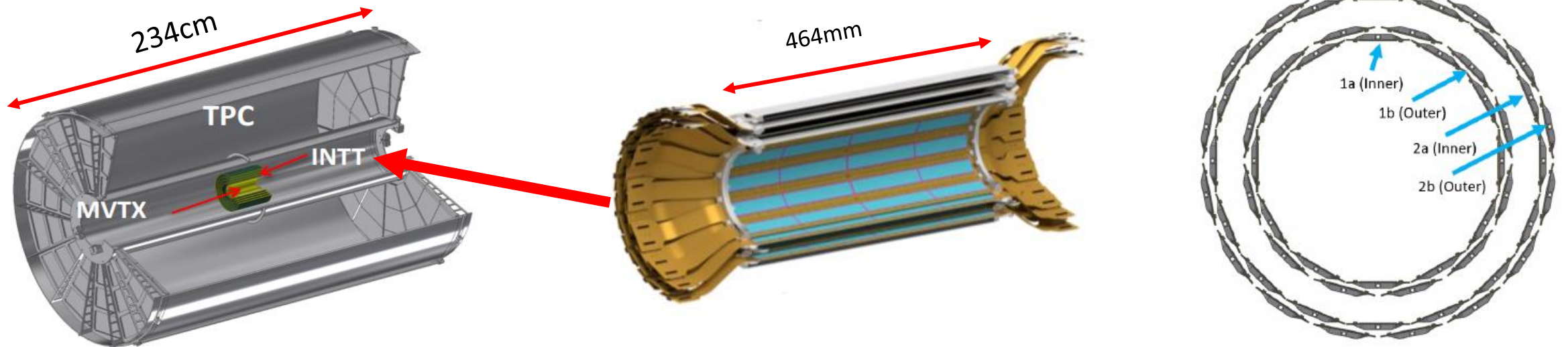
- 金原子核対(200GeV)、陽子対(510GeV)

QGP(Quark-Gluon Plasma)

高温、高密度状態で、ハドロン内に閉じ込められていたクォークやグルーオンが解放されたプラズマ状態の物質
ビッグバンから約 10^{-5} 秒後に実現していたとされる

INTT(INTermediate Tracker)とは

- sPHENIX実験で用いられる、衝突点付近に存在する3つの飛跡検出器のうちの1つ
- シリコンストリップセンサーが樽状に、2層に分かれて衝突点を覆っている
- 計56枚のセンサーが配置される
- 時間分解能が高く、飛跡再構成において重要な役割を担う



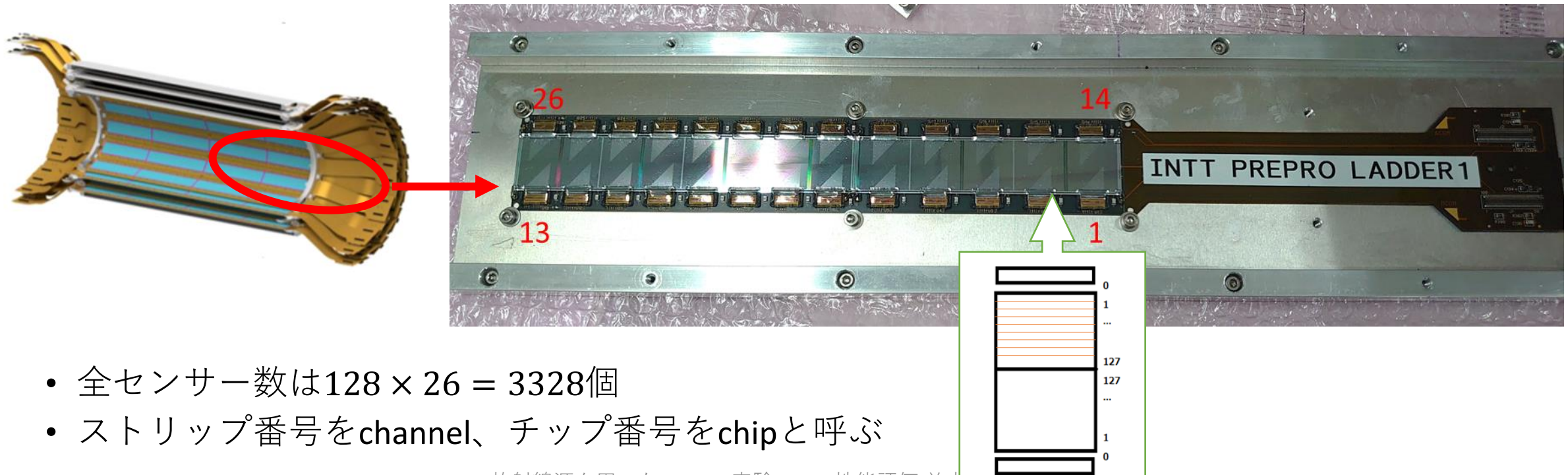
INTT用シリコンセンサー

シリコンストリップセンサー

- 78 μm ピッチ、320 μm 厚のストリップ128個で1つのセンサーが構成されている

シリコンセンサーモジュール

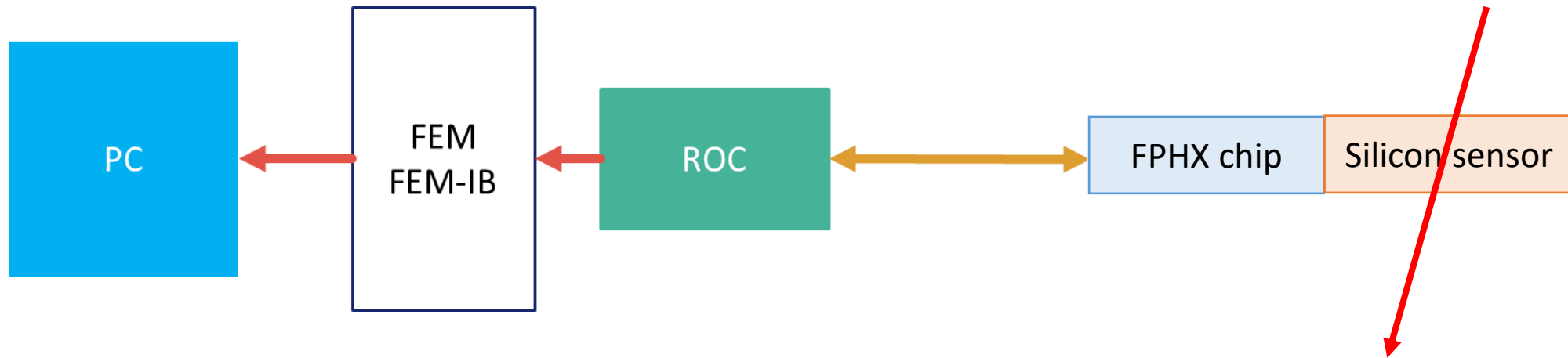
- シリコンストリップセンサー26個で構成される
- 26個の読み出しチップ(FPHXチップ)が存在し、1つのチップが128channel分の信号を担う



- 全センサー数は $128 \times 26 = 3328$ 個
- ストリップ番号をchannel、チップ番号をchipと呼ぶ

データ読み出し回路

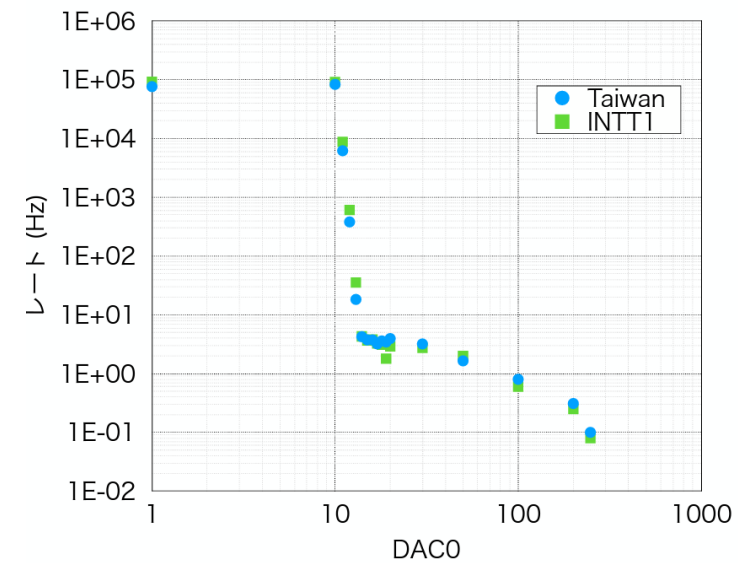
- シリコンセンサーが荷電粒子を検出すると、アナログ信号がFPHXチップに送られる
- FPHXチップは受け取ったアナログ信号をデジタル信号に変換し、コンバージョンケーブルを通してROC(Read Out Card)に送る
- ROCに送られた信号はデータ送信ケーブルを通じてFEMへ、FEMからPCへ送られる



DAC値設定

- シリコンセンサーのしきい値は、8bitのDAC値によって設定できる
- 8段階のしきい値が設定可能
- 以下の式で、しきい値から電圧値に変換できる

$$\text{しきい値} = \text{DAC値} \times 4 + 210(\text{mV})$$



- 本研究では右のようにDAC値を設定した
 - DAC0は低すぎるとノイズを多くとってしまうので、ノイズの少ない15に設定した
 - DAC1以降は等間隔になるよう設定した

	設定値	電圧値(mV)
DAC0	15	270
DAC1	30	330
DAC2	60	450
DAC3	90	570
DAC4	120	690
DAC5	150	810
DAC6	180	930
DAC7	210	1050

INTTの動作確認法

- INTTの動作確認方法は大きく分けて2つある

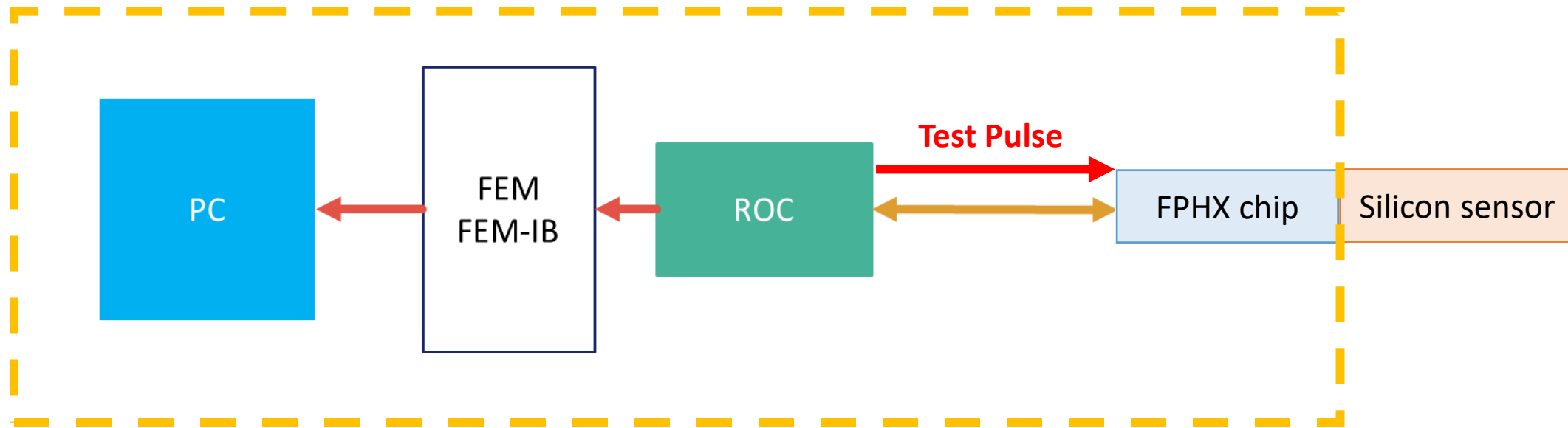
キャリブレーションテスト:INTTのうちセンサー部分を除いた動作確認を行う

線源測定、宇宙線測定:センサーに荷電粒子を入射させてデータを取り、センサー部分も含めたINTT全体の動作確認を行う

INTTの動作確認法①-1

キャリブレーションテスト

- ROCからFPHX chipへテストパルスを送り、信号が返ってくるか確認する
- PC,ROC,FEM,FEM-IB,ROC,FPHX chipの動作確認ができる
- シリコンセンサーの動作確認はできない



INTTの動作確認法①-2

キャリブレーションテスト

- キャリブレーションテストは右図のように評価されている

Barrel 1		Excellent	Class 1	Barrel 1	X=0.150	Good	Barrel 1		X=0.09 psi Good	Range Good						
Lot # -01 Layer 1		Fair	Class 3		0.150×X=0.200	OK			0.09 X=0.20 psi Not Good							
Lot # -02 Layer 2		BAD	Class 5		X=0.200	Bad	No Vacuum		>0.20 Bad							
Lot Number	Serial Number	State	Store	Flatness		Vendor		Flow/Leak		Vendor 10 min in PSI leak after assembly	Delta P of stave at 200ccm (psi)	Vendor Flow #	Serial Number	Comments		
		Type	Class	Operator	Date	Flatness with Vacuum [mm]	Flatness no Vacuum [mm]	Flatness [mm]	Operator						Date	10 min leak in PSI
Count				Name				Name		from -20psi		psi				
1	205-310-0100-01	0001	Prototype		RN	0.3297	0.3510	RP		0.138	0.740					
2	205-310-0100-01	0002	Prototype		RN	0.3054	0.3103	RP		0.098	1.050					
3	205-310-0100-01	0003	Prototype		RN	0.4818	0.5513	RP		0.137	1.070					
4	205-310-0100-01	0004	Prototype		RN	0.3680	0.3902	RP		0.157	0.970					
5	205-310-0100-01	0005	Prototype		RN	0.2144	0.2956	RP		0.216	0.920					
6	205-310-0100-01	0006	Prototype		RN	0.4427	0.4215	RP		0.146	0.980					
7	205-310-0100-01	0007	Prototype		RN	0.1424	0.1219	RP		0.155	0.930					
8	205-310-0100-01	0010	Prototype		RN	0.1944	0.0855	RP		0.121	0.920					
9	205-310-0100-01	0011	Prod. Batch1	5	RN	0.2948	0.0865	SA	01/11/21	1.500	2.150	1.015				
10	205-310-0100-01	0013	Prod. Batch1	3	RN	0.1031	0.0845	SA	1/19/21	0.100	1.530	0.856				
11	205-310-0100-01	0014	Prod. Batch1	5	RN	0.1535	0.1117	SA	1/21/21	0.710	1.980	0.870				
12	205-310-0100-01	0016	Prod. Batch1	1	RN	0.0880	0.0820	SA	1/19/21	0.575	1.610	0.827				
13	205-310-0100-01	0017	Prod. Batch1	5	RN	0.0759	0.0967	SA	1/19/21	0.200	1.840	0.783				
14	205-310-0100-01	0019	Prod. Batch1	5	RN	0.1827	0.0993	SA	1/28/21	0.470	1.730	0.841				
15	205-310-0100-01	0020	Prod. Batch1	1	SA	0.0723	0.1021	SA	1/14/21	0.031	1.920	0.856				
16	205-310-0100-01	0022	Prod. Batch1	5	RN	0.1290	0.0761	SA	1/21/21	0.260	1.630	0.769				
17	205-310-0100-01	0023	Prod. Batch1	5	RN	0.1055	0.1249	SA	01/11/21	0.170	1.600	0.783	0023			
18	205-310-0100-01	0025	Prod. Batch1	5	RN	0.1096	0.1149	SA	1/28/21	0.960	1.950	0.798	0025			
19	205-310-0100-01	0026	Prod. Batch1	1	RN	0.1360	0.1665	RP	11/8/2021	0.043	1.500	0.754	0026			
20	205-310-0100-01	0028	Prod. Batch1	5	RN	0.1358	0.1150	RP		0.157	1.500	0.798	0028			
21	205-310-0100-01	0029	Prod. Batch1	5	RN	0.1278	0.1352	SA	1/22/21	1.045	1.580	0.754	0029			
22	205-310-0100-01	0031	Prod. Batch1	1	RN	0.0859	0.1479	SA	01/11/21	0.067	1.800	1.030	0031			
23	205-310-0100-01	0032	Prod. Batch1	1	RN	0.1106	0.1230	SA/RP		0.054	1.800	0.798	0032			
24	205-310-0100-01	0034	Prod. Batch1	2	SA	0.2038	0.1959	SA	01/14/21	0.055	1.750	0.957	0034			
25	205-310-0100-01	0035	Prod. Batch1	3	RN	0.1655	0.2005	SA	01/28/21	0.060	1.580	0.740	0035			
26	205-310-0100-01	0037	Prod. Batch1	5	RN	0.0724	0.1563	SA	02/04/21	0.635	1.830	0.740	0037			
27	205-310-0100-01	0038	Prod. Batch1	2	RN	0.2485	0.2179	SA	1/22/21	0.045	1.870	0.914	0038	fixed Leak		
28	205-310-0100-01	0040	Prod. Batch1	1	RN	0.1328	0.1620	SA	1/28/21	0.040	1.730	0.798	0040			
29	205-310-0100-01	0041	Prod. Batch1	2	RN	0.1249	0.1713	SA	1/19/21	0.065	1.800	0.899	0041	fixed leak/ loose tube		
30	205-310-0100-01	0043	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.017	0.690	1.010	0043	Twist Broke	
31	205-310-0100-01	0044	Prod. Batch2		RN	04/28/2021	0.1190	0.1020	RP	04/26/2022	0.018	0.009	0.760	0.970	0044	460
32	205-310-0100-01	0046	Prod. Batch2		RN				RP	4/26/2006	0.023	0.007	0.600	0.880	0046	460
33	205-310-0100-01	0047	Prod. Batch2		RN	04/26/2021	0.1149	0.0790	RP	04/26/2022	0.07	0.0059	0.92	0.93	0047	460
34	205-310-0100-01	0049	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.0054	1.3	0.99	0049	Twist Broke	
35	205-310-0100-01	0050	Prod. Batch2		RN	04/26/2021	0.1055	0.0925	RP	04/26/2022	0.025	0.0081	0.73	1.06	0050	Twist Broke
36	205-310-0100-01	0052	Prod. Batch2		RN	04/26/2021	0.1013	0.0905	RP	04/26/2022	0.071	0.0073	1.1	0.93	0052	460
37	205-310-0100-01	0053	Prod. Batch2		RN	04/28/2021	0.0744	0.0983	RP	04/26/2022	0.027	0.0067	0.73	0.93	0053	460
38	205-310-0100-01	0055	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.006	1.52	0.97	0055	Twist Broke	
39	205-310-0100-01	0056	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.0049	0.76	0.9	0056	Twist Broke	
40	205-310-0100-01	0058	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.0071	1.3	0.99	0058	Twist Broke	
41	205-310-0100-01	0059	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.006	1.42	0.87	0059	Twist Broke	
42	205-310-0100-01	0061	Prod. Batch2		RN	04/29/2021	0.1023	0.1016	RP	4/26/2006	0.02	0.006	0.8	0.88	0061	460
43	205-310-0100-01	0062	Prod. Batch2		RN	04/29/2021	0.129	0.1359	RP	4/26/2006	0.02	0.0082	0.78	0.83	0062	460
44	205-310-0100-01	0064	Prod. Batch2		RN	Bad	---	RP	Bad	5.000	0.0071	0.73	0.89	0064	Twist Broke	
45	205-310-0100-01	0065	Prod. Batch2		RN	04/10/2021	0.1608	0.1429	RP	5/10/2021	0.038		1.17		0065	
46	205-310-0100-01	0067	Prod. Batch2		RN	04/10/2021	0.1291	0.1361	RP	5/10/2021	0.070		1.64		0067	

INTTの動作確認法②-1

宇宙線測定

- 宇宙線の信号を測定することで動作確認を行う
- 高エネルギーの粒子を用いるため、センサーの周囲に複数のシンチレーターを配置することができる
- イベント数が少ない
- 入射位置がランダム

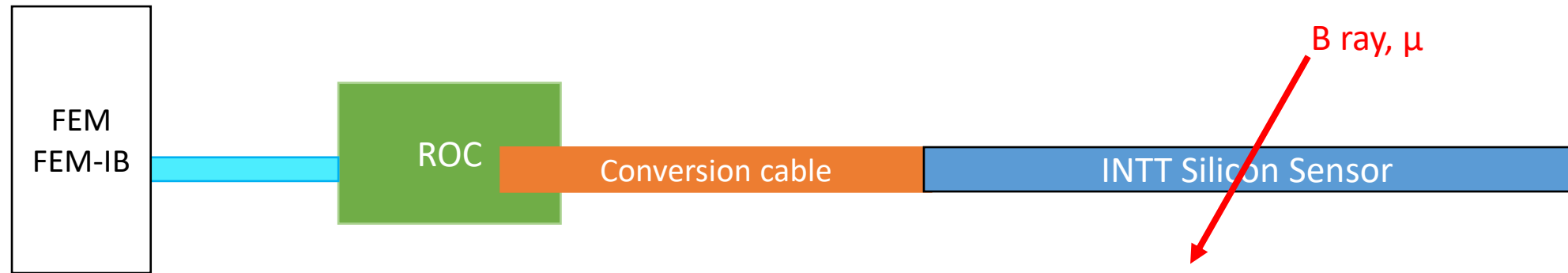
線源測定

- ベータ線を測定することで動作確認を行う
- エネルギーが低く、セットアップに注意が必要
- イベント数が多い
- 任意の位置に粒子を入射させることができる

INTTの動作確認法②-2

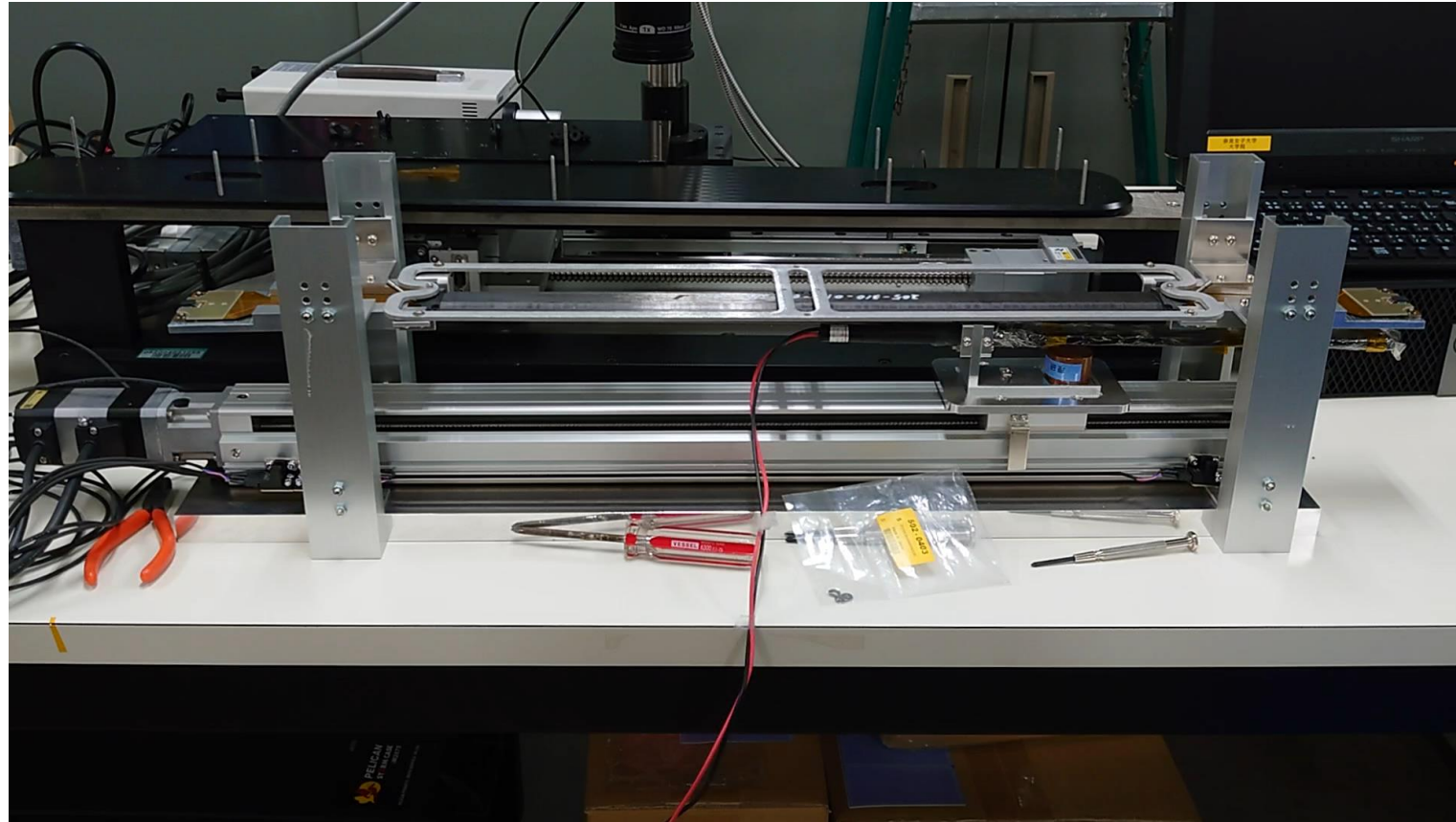
線源測定、宇宙線測定

- シリコンセンサーに荷電粒子が入射した際にデータを取る



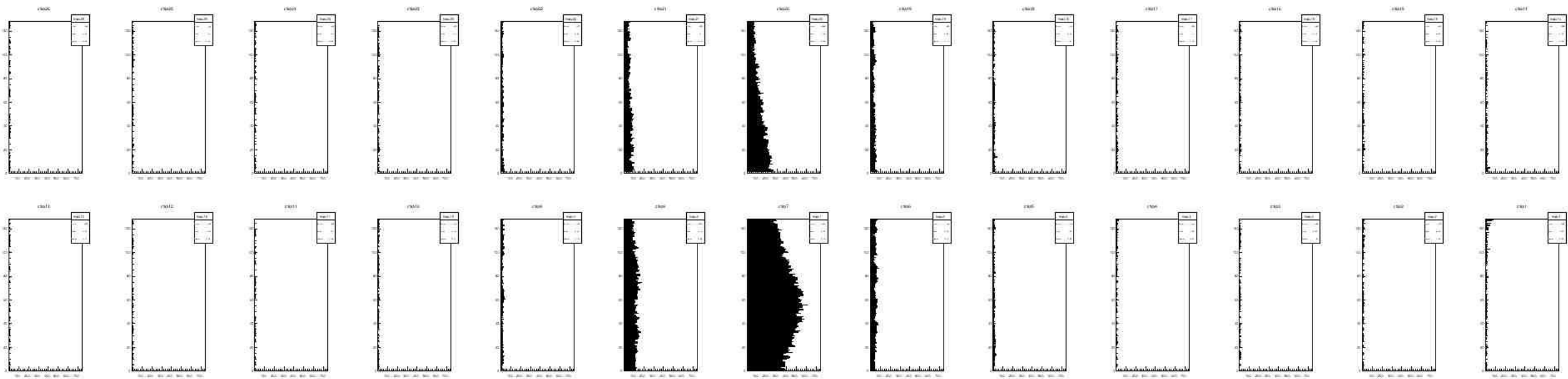
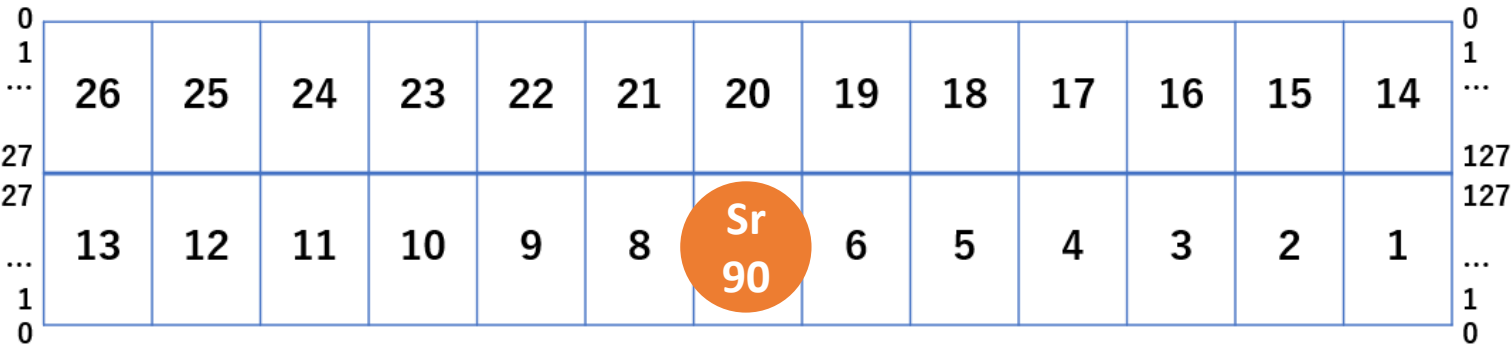
線源測定用治具

- シリコンセンサーの動作確認に線源測定は有用である
- より効率的に測定を行うため、自動で線源を動かすことができる治具が製造された



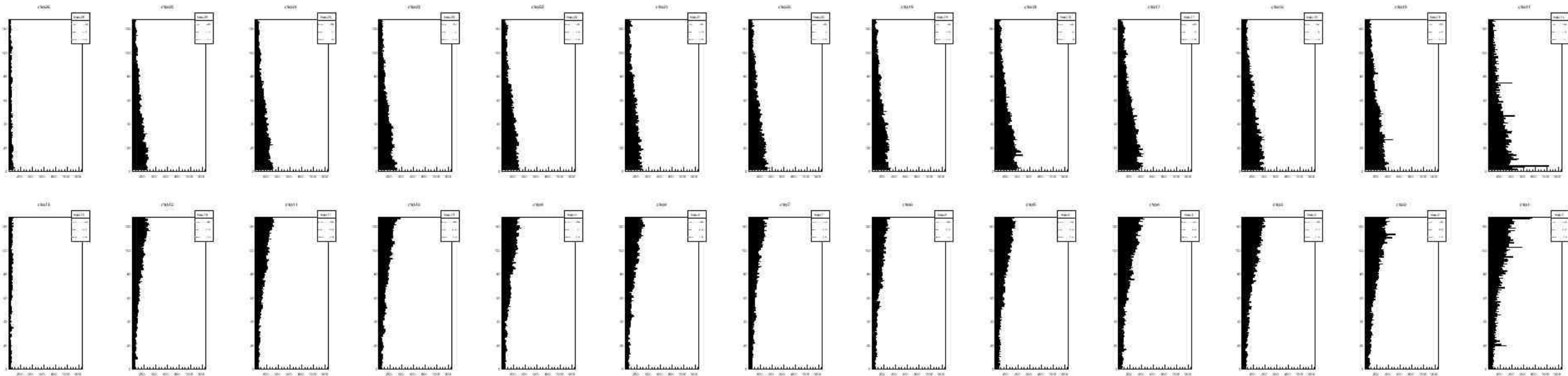
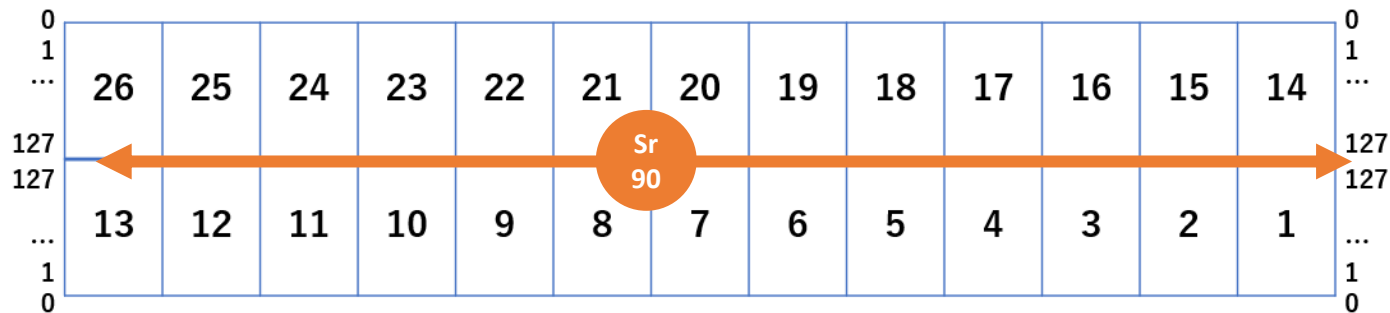
ベータ線の測定結果

- Chip7付近に線源を固定して60分間測定した結果を以下に示した



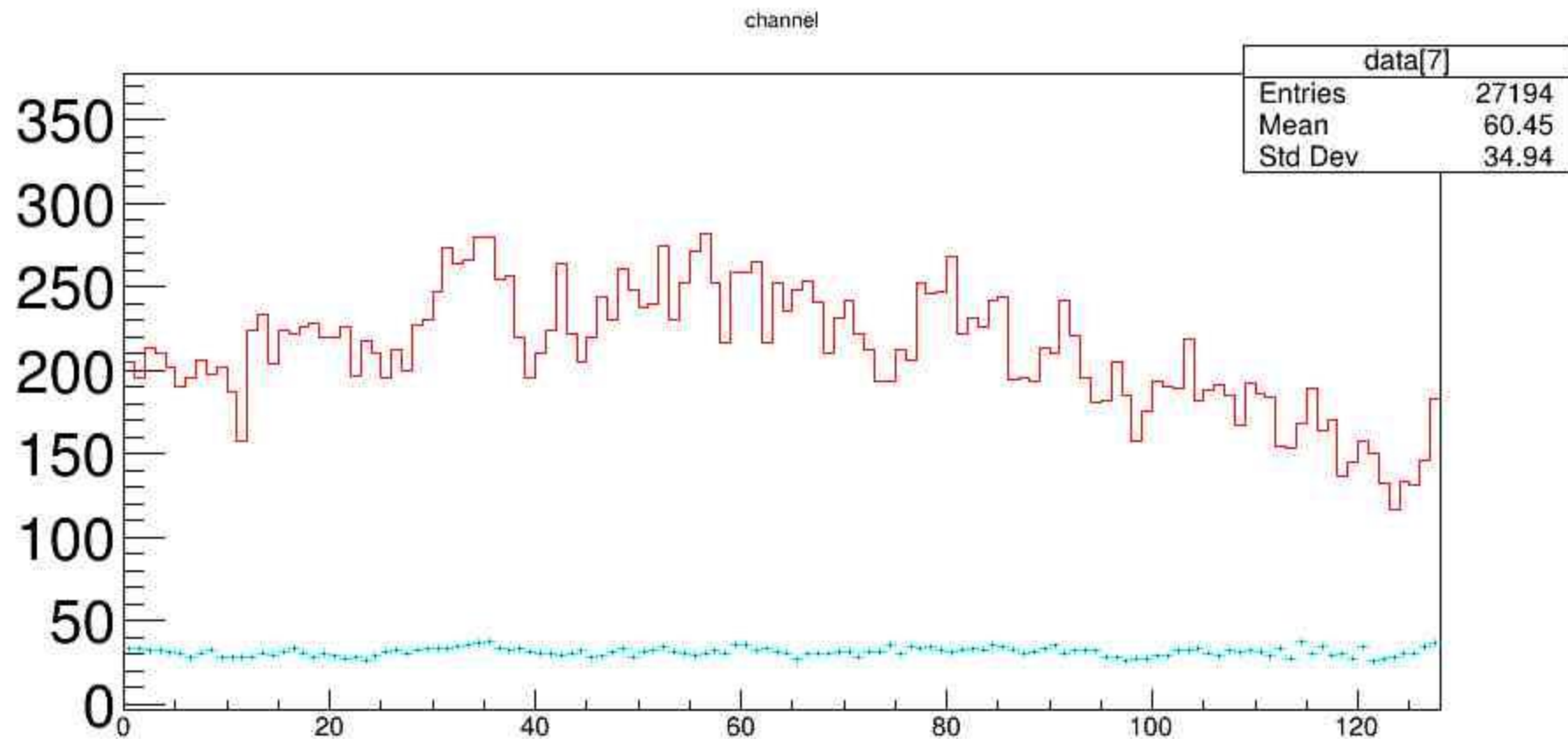
治具を用いたときの測定結果

- 線源を動かして測定を行ったところ、以下のような結果が得られた



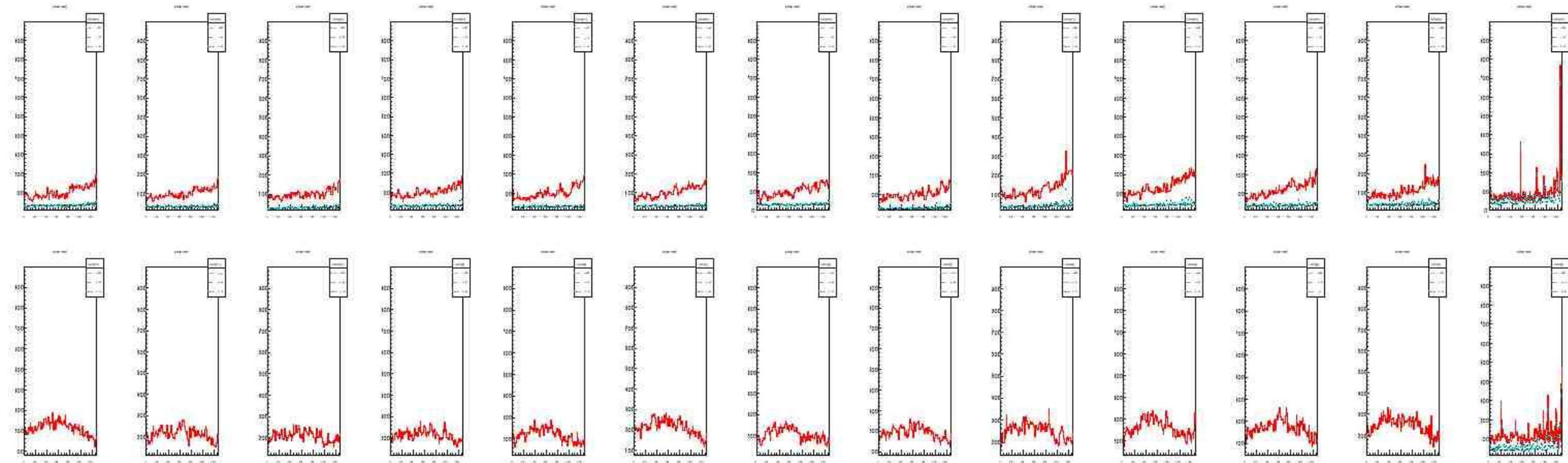
測定結果とノイズの比較①

- 線源を置いて測定したときと、そうでないときの結果について**1chip**に着目して比較した
- 赤色が線源あり、水色が線源なし



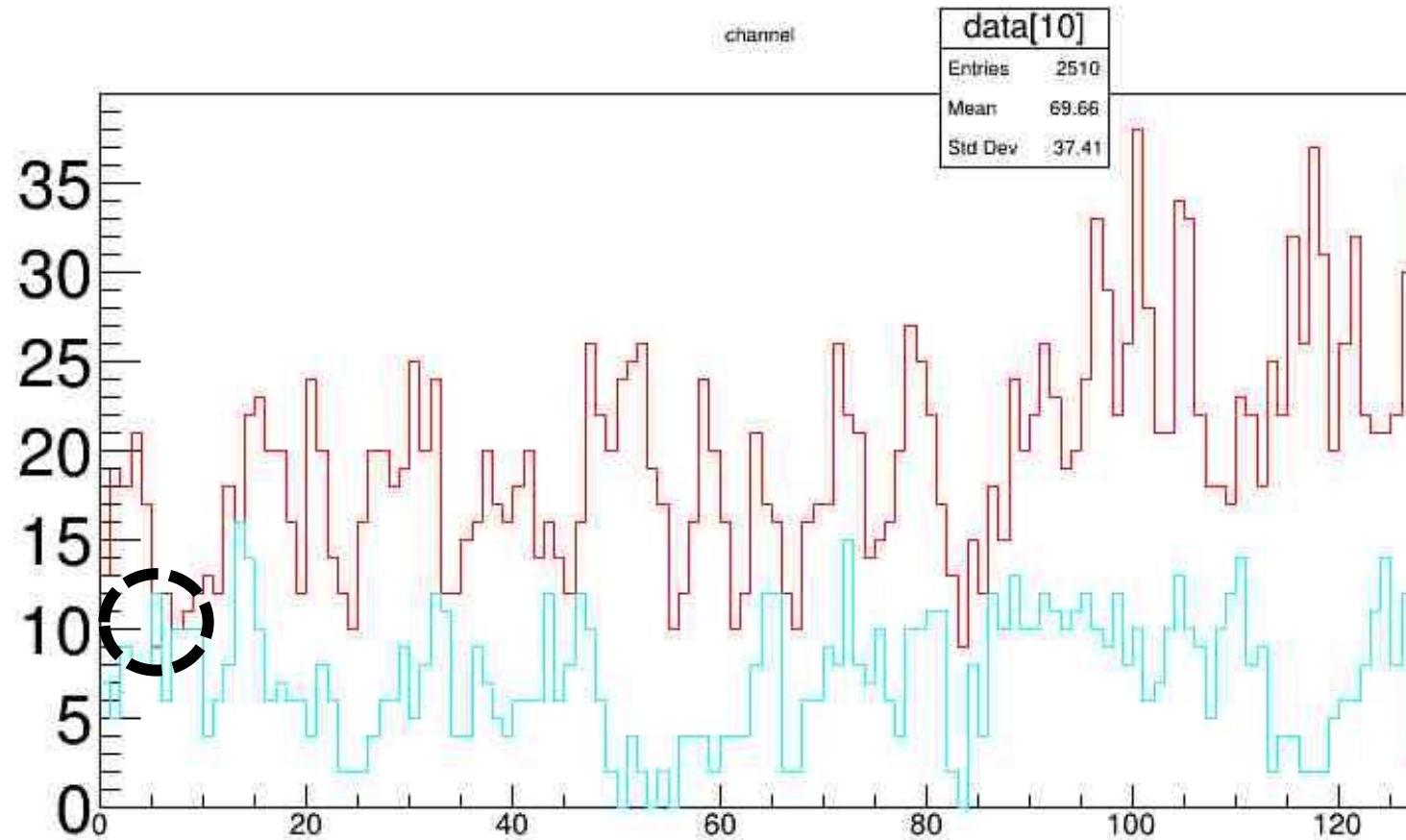
測定結果とノイズの比較②

- 線源を置いて測定したときと、そうでないときの結果:全chip
- 赤色が線源あり、水色が線源なし

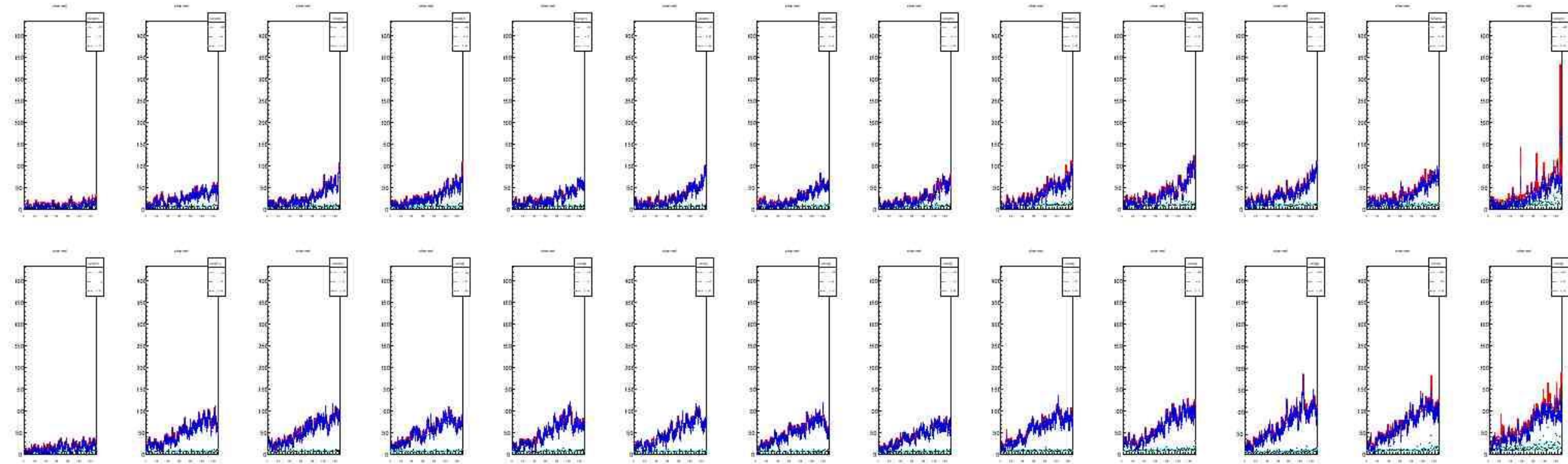


センサーの生存率①

- 線源測定の結果からノイズ測定の結果を統計的に差し引くことで、センサーのchipごとの生存率を求めた
- 赤色が線源あり、水色が線源なし

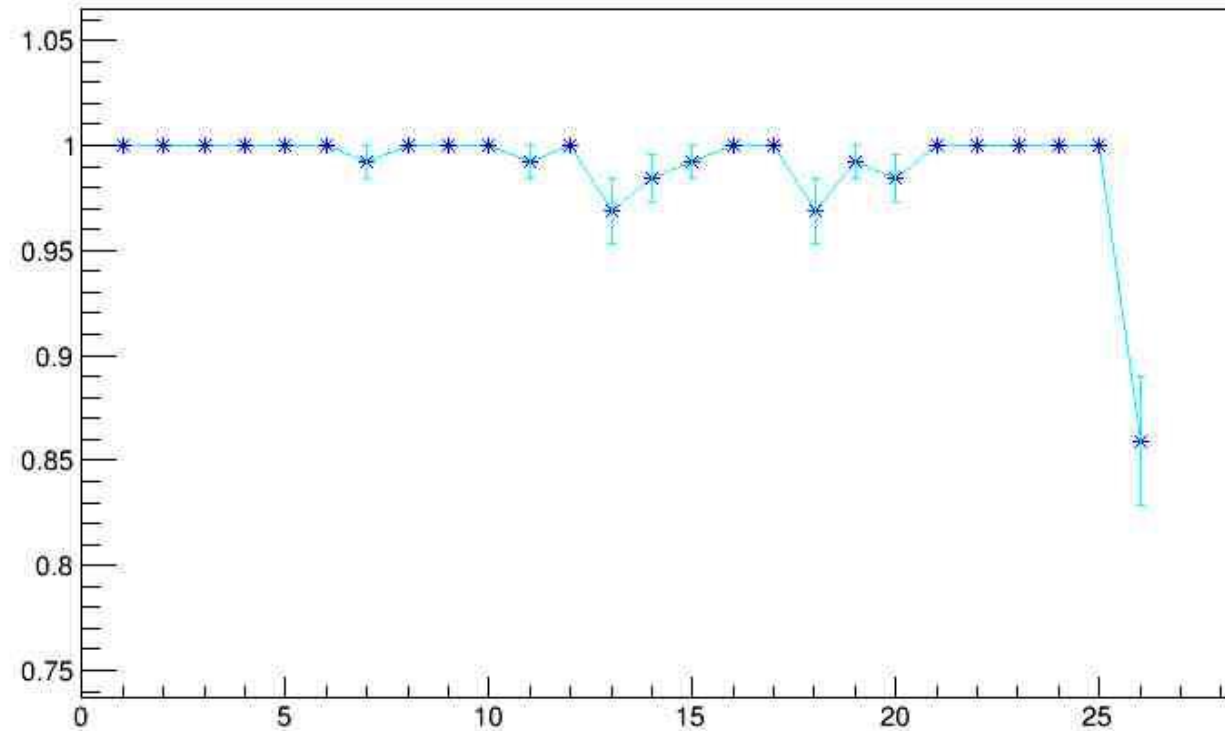


センサーの生存率②



- 上図から26chipごとに、128channelのなかでどれだけの割合のchannelが生存していたかを次のグラフに表した

センサーの生存率③



- この測定時には線源がchip13,26に届いていなかったため、線源データが少なくなりノイズデータ量が上回る=deadのchannel数が増え、生存率が低くなっている

まとめ

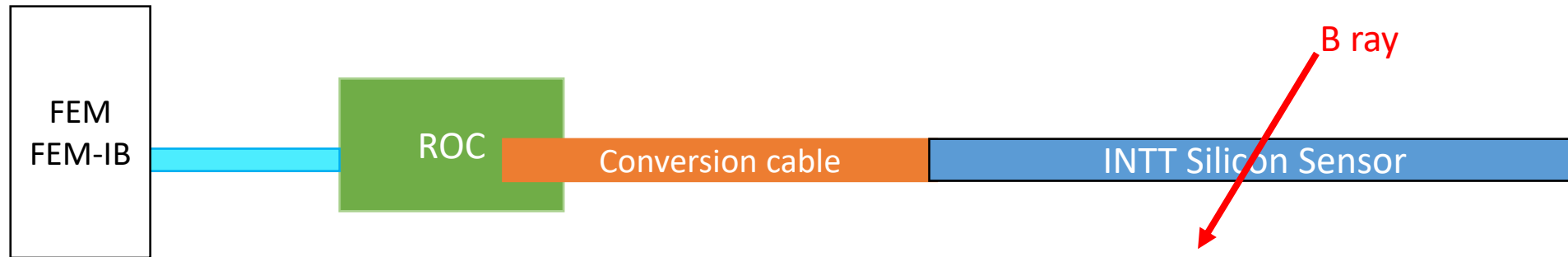
- ベータ線源を用いたシリコンセンサーの性能評価の方法を確立した
- センサーのchannel生存率の計算方法を決定した

BACK UP

線源測定方法

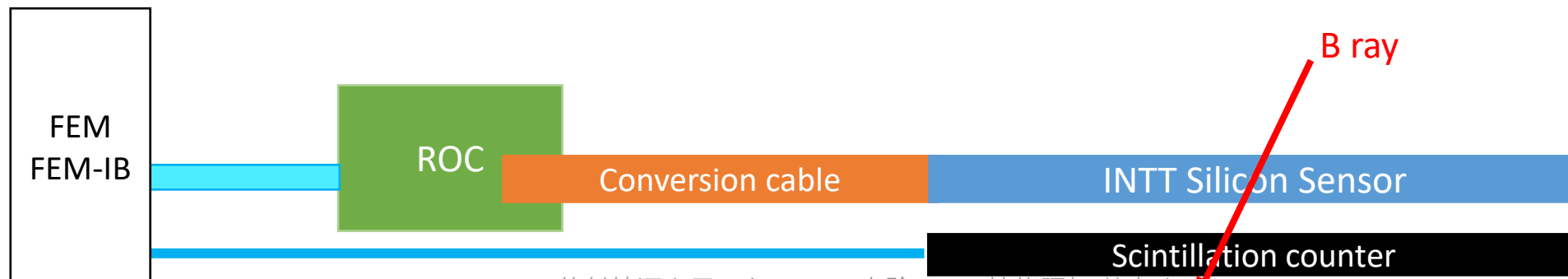
セルフトリガー方式の模式図

- シリコンセンサー自身がベータ線を検出した際にデータを取る方式



外部トリガー方式の模式図

シリコンセンサーとシンチレーションカウンターの双方が荷電粒子を検出した際にデータを取る方式



メモ

- キャリブ結果にラシッド:どう評価したか
- 1200min noise 宇宙線がどれだけ入ってるか