

宇宙機搭載用機器に対する 高エネルギー陽子線照射技術の開発 (乗鞍観測所利用)



(公財) 若狭湾エネルギー研究センター
(国研) 日本原子力研究開発機構
東京大学宇宙線研究所
(ド) ハセテック

久米恭 山東新子 水嶋慧
鳥居建男
瀧田正人
長谷川崇

H29東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

内容

- 1、 共同利用研究費の使途報告
- 2、 研究の動機
若狭湾エネルギー研究センター(WERC)における
イオンビーム利用研究開発
- 3、 雷由来放射線計測システムを用いた
イオンビーム線束技術開発
- 4、 まとめ

1、共同利用研究費の使途報告

共同利用課題として採択下さりありがとうございました。
共同利用研究費10万円の使途＝旅費

				運賃	料金	宿泊	目当	特記事項	小計
久米	7月3日	教賀	乗鞍	0	0		0	公用車	
		乗鞍	松本	0	0	0	2300		
		松本	乗鞍	0	0	0	0	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
水嶋	7月3日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
久米	7月12日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
山東	7月12日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
久米	7月18日	教賀	高山	0	0	7800	2300	公用車	
	7月19日	高山	乗鞍	0	0	0	2300		
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	12400
久米	8月1日	教賀	高山	0	0	7800	2300	公用車	
	8月2日	高山	乗鞍	0	0	0	2300		
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	12400
久米	8月18日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300		
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
山東	8月18日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
久米	9月11日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300		
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
山東	9月11日	教賀	乗鞍	0	0	0	2300	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	0	公用車	2300
久米	9月22日	教賀	乗鞍	0	0		0	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	2300	公用車	2300
水嶋	9月22日	教賀	乗鞍	0	0		0	公用車	
		乗鞍	教賀	0	0	0	2300	公用車	2300

合計 47800



敦賀・乗鞍間はWERC公用車を運転して移動

2、研究の動機

若狭湾エネルギー研究センター(WERC)における イオンビーム利用研究開発

若狭湾エネルギー研究センター 多目的イオン加速器システム

大強度イオン注入器

5 MVタンデム加速器

マイクロビーム分析コース

イオン源

イオン分析コース

マイクロビーム
生物コース

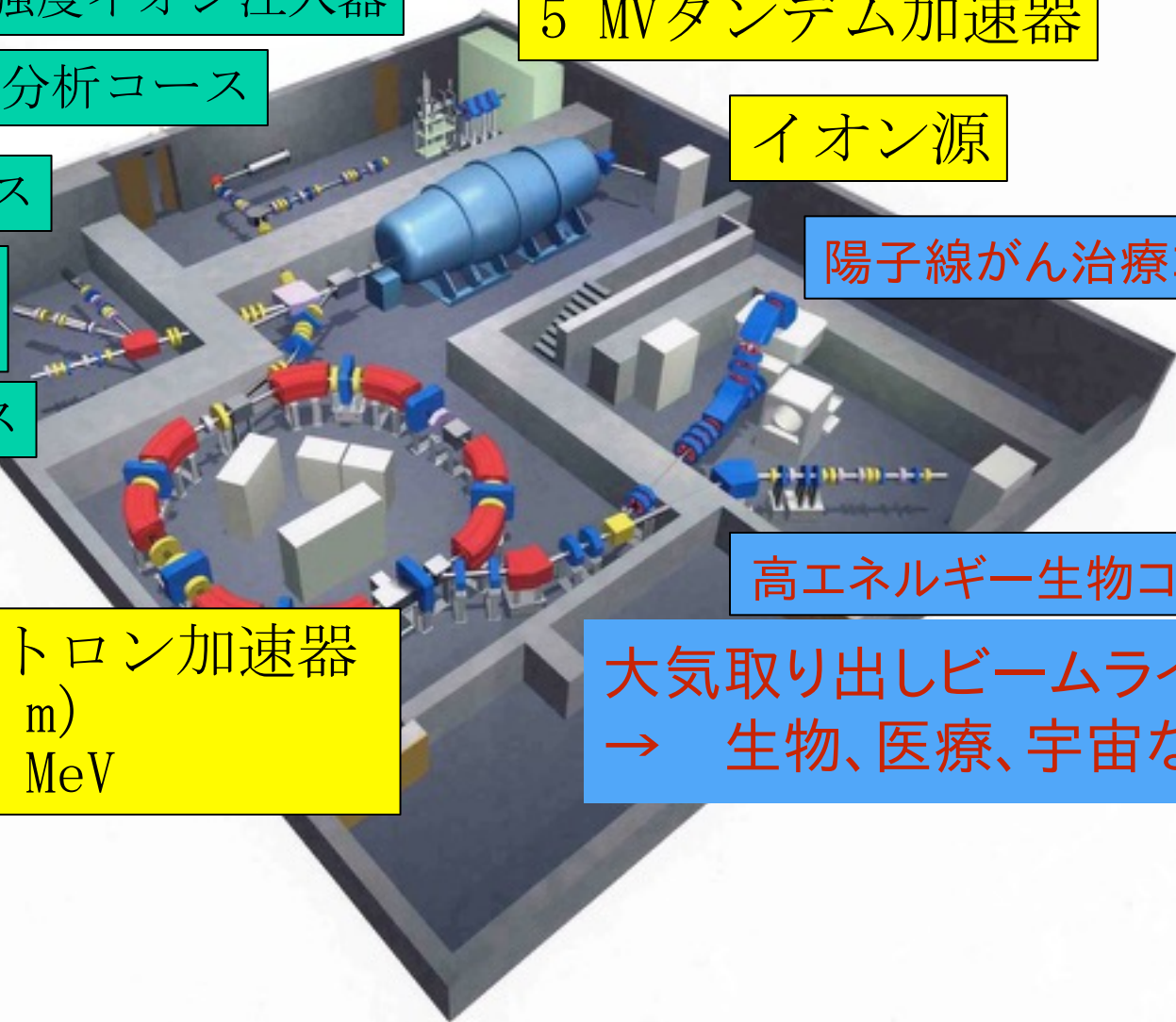
陽子線がん治療コース

イオン注入コース

高エネルギー生物コース

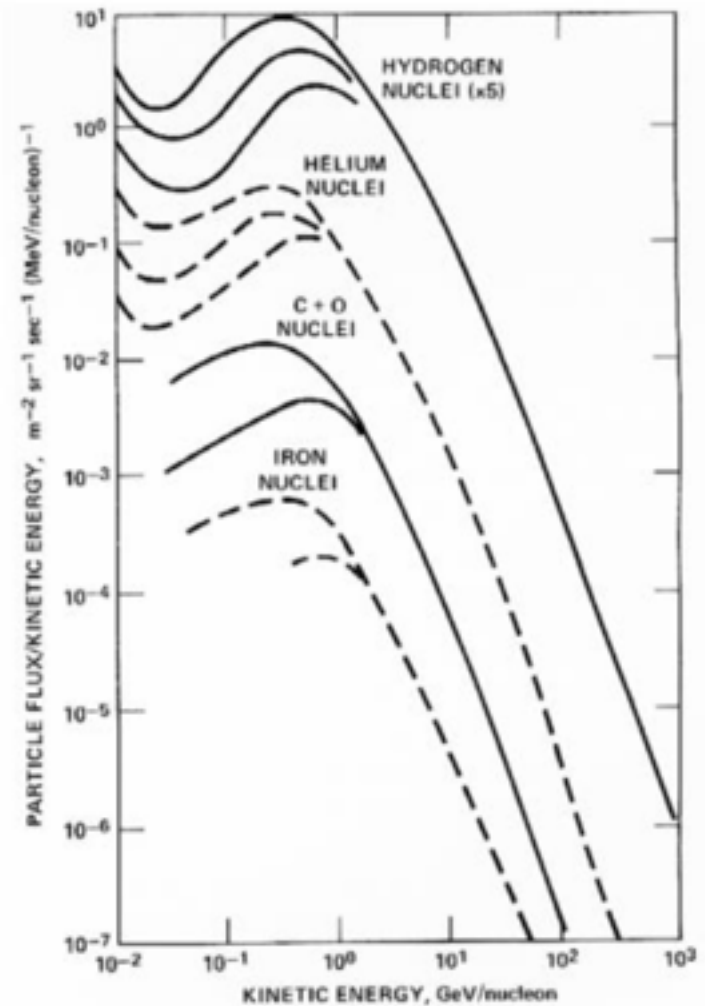
シンクロトロン加速器
(直径10 m)
陽子 200 MeV

大気取り出しビームライン
→ 生物、医療、宇宙など



WERC高エネルギー生物コース 宇宙機搭載機器の宇宙線照射模擬実験実施状況

- ・ 宇宙線の主成分は陽子。
200 MeV近傍にピーク
- ・ WERC加速器は宇宙空間で使用するデバイスの評価に適している。（宇宙線模擬）
- ・ これまでに電子部品の放射線耐性評価、光学部品の陽子線応答評価等の実験を実施。企業ニーズ大。

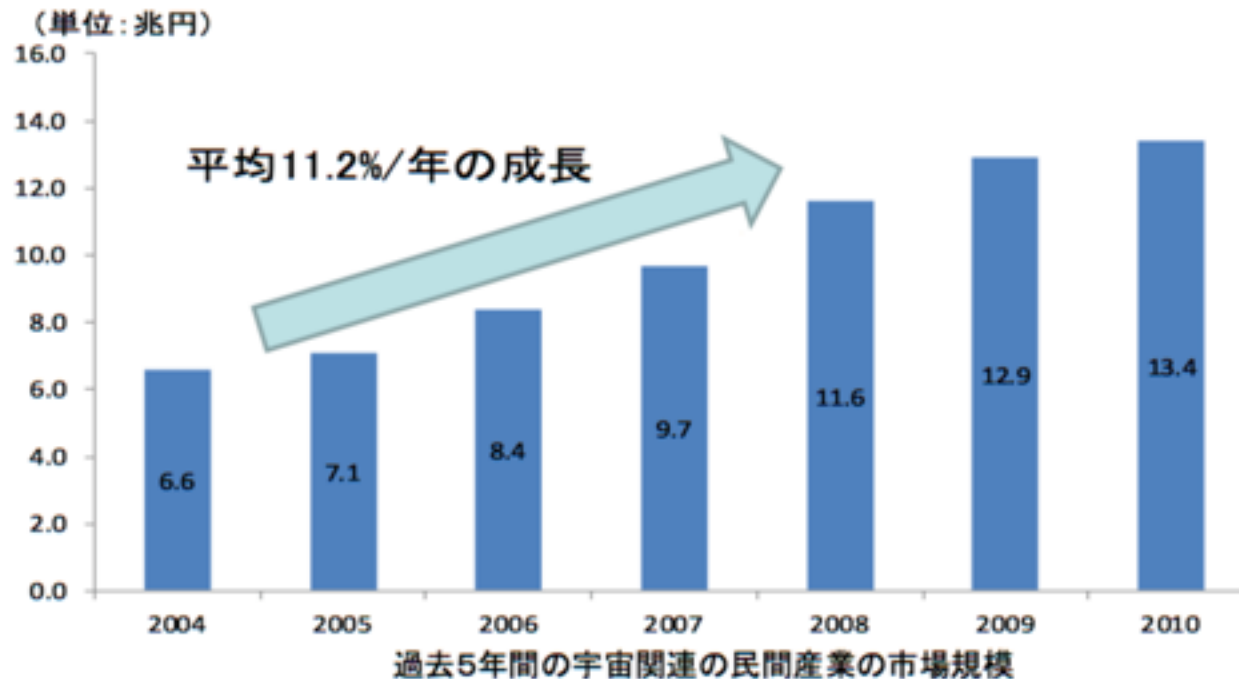


宇宙線のエネルギー分布。

実験状況

3. 世界の宇宙産業の動向

- 世界の宇宙関連の民間産業は、過去5年間で毎年平均10%を超える勢いで成長、今年年間13兆円規模のマーケット。
- マーケットは大きく分けて、①静止衛星(通信放送)②低中軌道衛星(リモートセンシング)③ロケット打上げサービスの3つの市場がある。



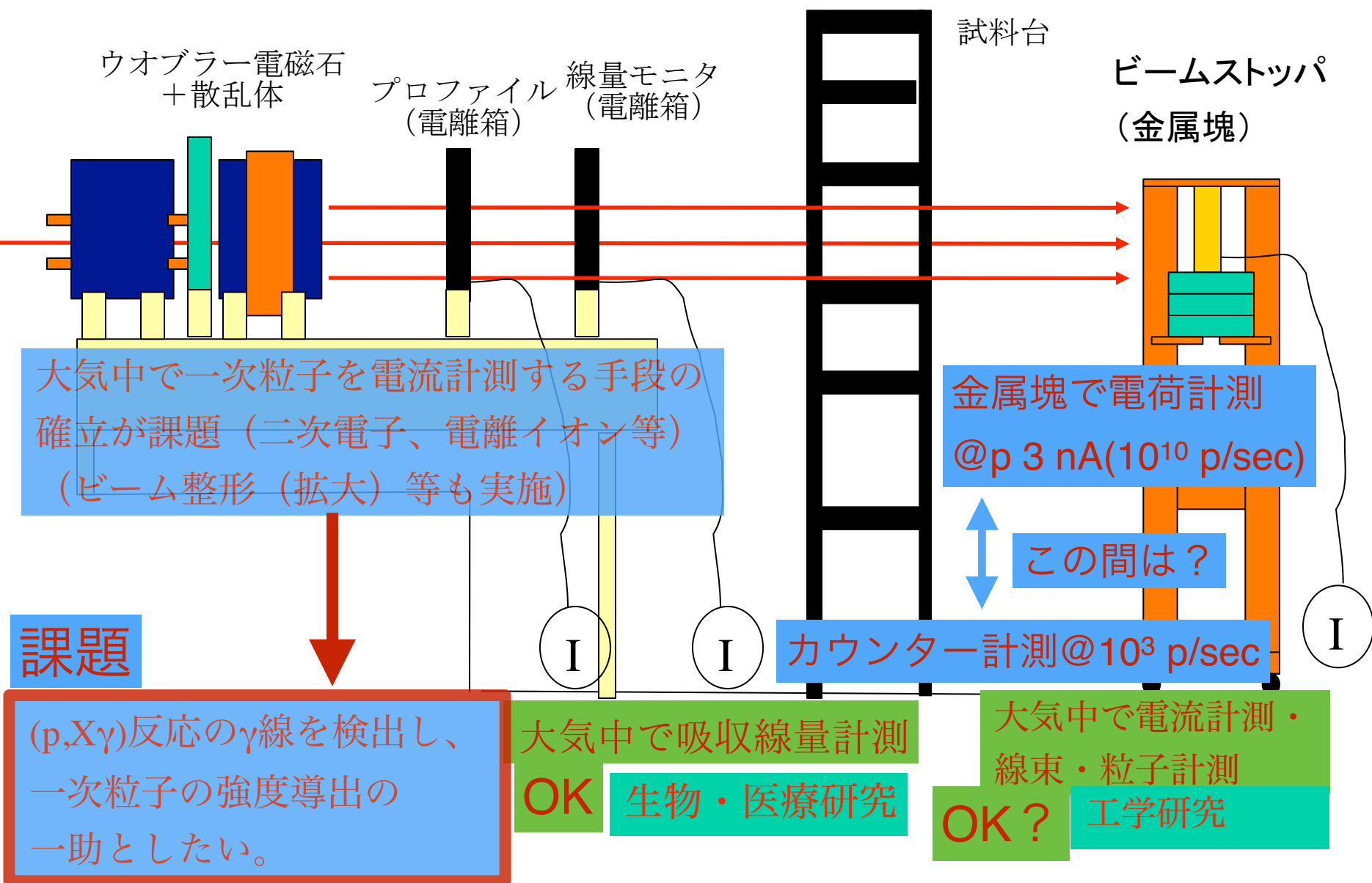
(出典: Satellite Industry Association State of the Satellite Industry Report(2011)を基に作成)

WERC 宇宙開発関係マシンタイムH28

		宇宙関係マシンタイム2016					
イオン	MeV	実験課題名	所属	ビーム ライン	年月日	加速器	課金
p	2	宇宙線照射を模擬した鉱物へのイオン照射	京大	照2注入	2016/3/3	T	
He	220	宇宙空間で用いる検出器の放射化シミュレーション	東工大	照4生物	2016/7/11	T+S	
p	200	He線を用いた IC 素子の放射線耐性試験	金沢大	照4生物	2016/7/12-13	T+S	
p	70,100	加速器高度化技術研究	WERC	照4生物	2016/7/15	T+S	
p	100	陽子線及び重粒子線を用いた衛星搭載デバイスの放射線耐性の検証	東工大	照4生物	2016/7/19	T+S	
p	70	高出力GaN HEMTへのプロトン照射効果の調査	某社	照4生物	2016/7/21	T+S	
p	80,50	超小型衛星搭載用電子機器の放射線耐性調査	東大	照4生物	2016/9/6, 10/28	T+S	
p	100	加速器高度化技術研究	WERC	照4生物	2016/11/1	T+S	
p	200	陽子線を用いた IC 素子の放射線耐性試験	金沢大	照4生物	2016/11/3-4	T+S	
p	100	陽子線及び重粒子線を用いた衛星搭載デバイスの放射線耐性の検証	東工大	照4生物	2016/11/22-23	T+S	
p	160	超小型線量計開発	某社	照4生物	2016/12/27	T+S	O
C	660	超小型線量計開発	某社	照4生物	2016/12/28	T+S	O
p	50,80	某	某社	照4生物	2017/2/20-24	T+S	O

その他 宇宙開発関連の実験実施引き合いが後をたたない

WERC高エネルギー生物コース 装置配置



ところが 大事件発生



心臓部である
タンデム加速器の
加速管が故障

交換のため年度内
運転停止

3、雷由来放射線計測システムを用いた イオンビーム線束技術開発

課題

目的

100 MeV程度の陽子線を加速器から出射して大気中を輸送する際の二次粒子（ $(p, X\gamma)$ 反応等の γ 線）を検出し、一次粒子（陽子線）強度を非破壊的に決定する手段を開発する。

γ の発生場所はターゲット位置に限定せず、ビームライン全体を対象とする。

（自然界の雷由来放射線を測定し雷発生メカニズムを解明する）

手段

ビーム搬送時の光子線スペクトルを活用する。

雷由来放射線計測システムを使用する

加速器では二次粒子検出 & 雷計測システムの動作検証

自然界では雷検出 & バックグラウンド測定

年間日程H29

春マシンタイム 4月 運転モード違ったので測定せず

夏季高山測定 7月から 9月まで 乗鞍観測所での測定

夏以降マシンタイム 加速器故障のため測定できず

冬季雷測定 業務多忙につき取りやめ

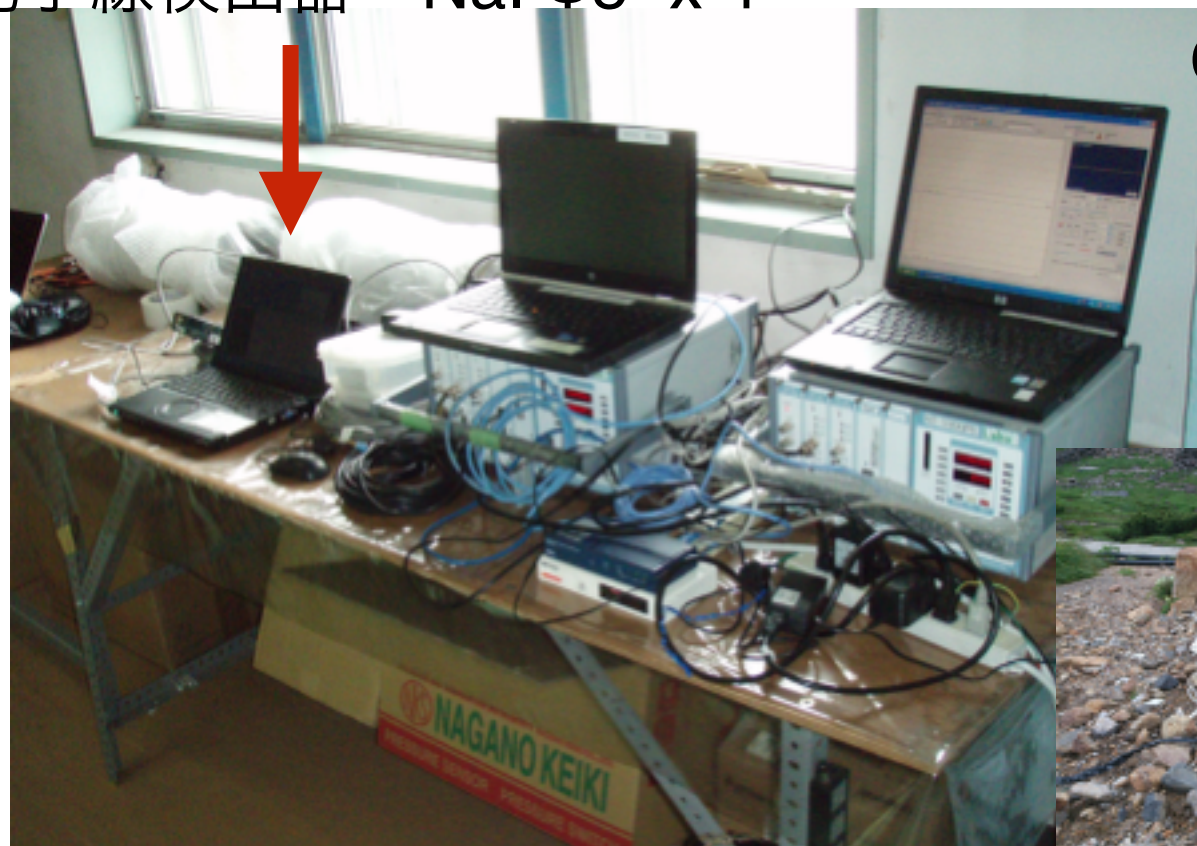
- ・
- ・
- ・

乗鞍（高地）での目的

高エネルギー光子線の期待できる高山（乗鞍）で
ガンマ線検出器のバックグラウンド測定を実施する
（雷測定も兼ねる）

夏季高山測定（乗鞍観測所）

鳥居先生が使用中の可搬式雷測定システムを有効利用
光子線検出器 NaI $\Phi 5'' \times 4''$



GPS付ADC

ラボNT100-GPS

電場計

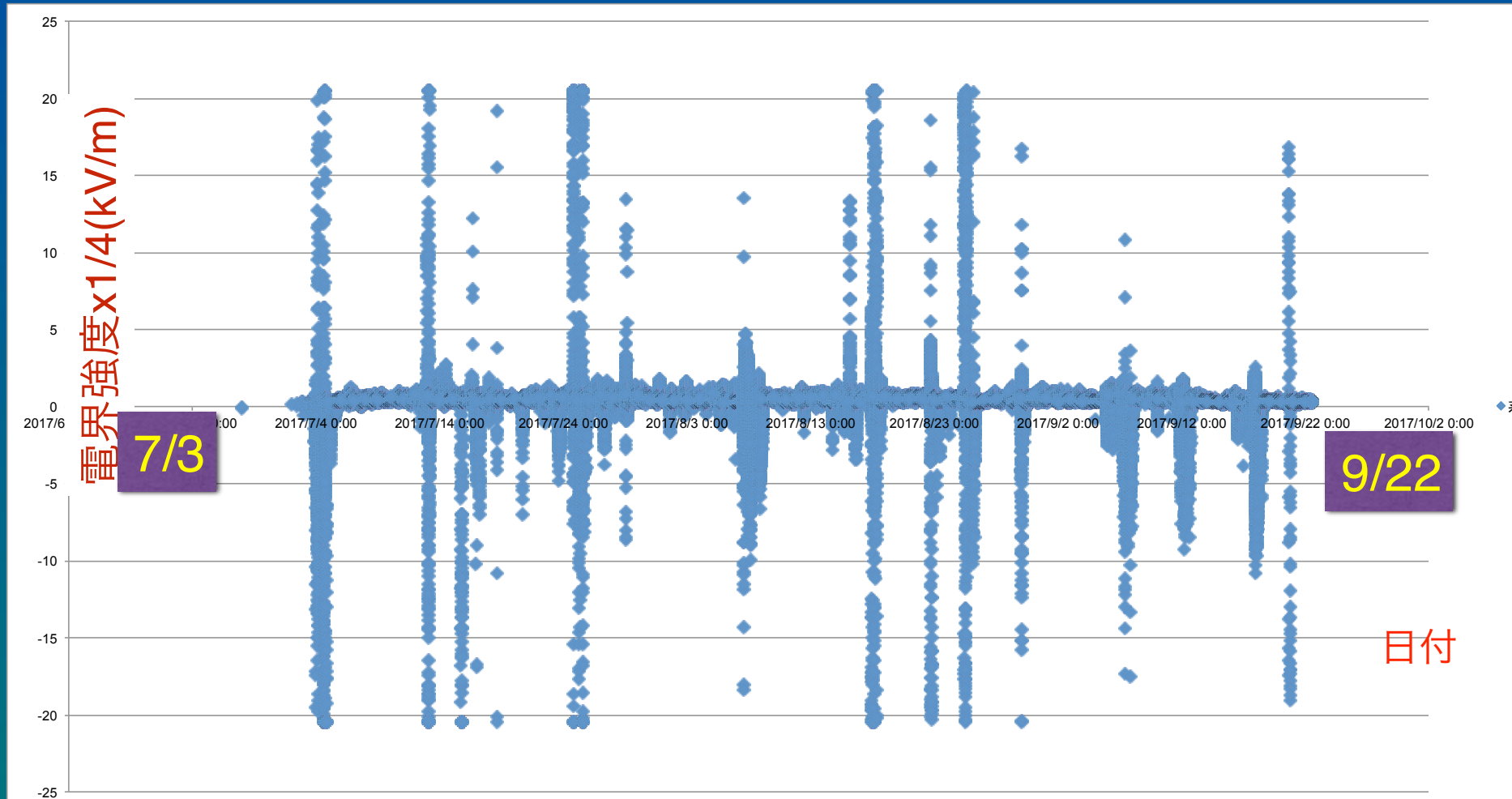


計測システム動作確認のために乗鞍観測所使用

H29/7-9

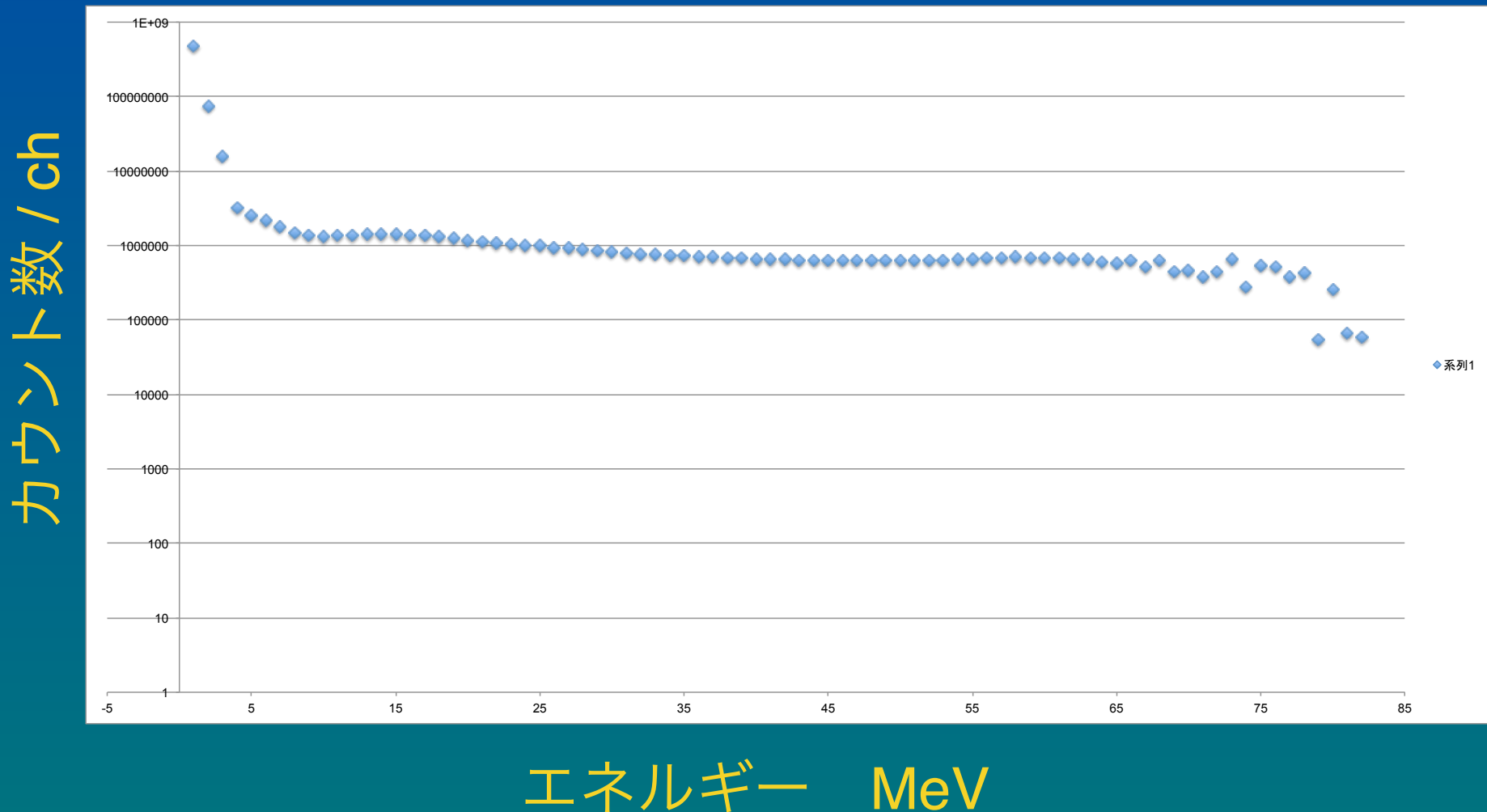
H29夏季測定（乗鞍）の結果（電場計）

7/3-9/22の電場データ時間構造



現在解析中

H29夏季測定（乗鞍）の暫定結果（NaI）



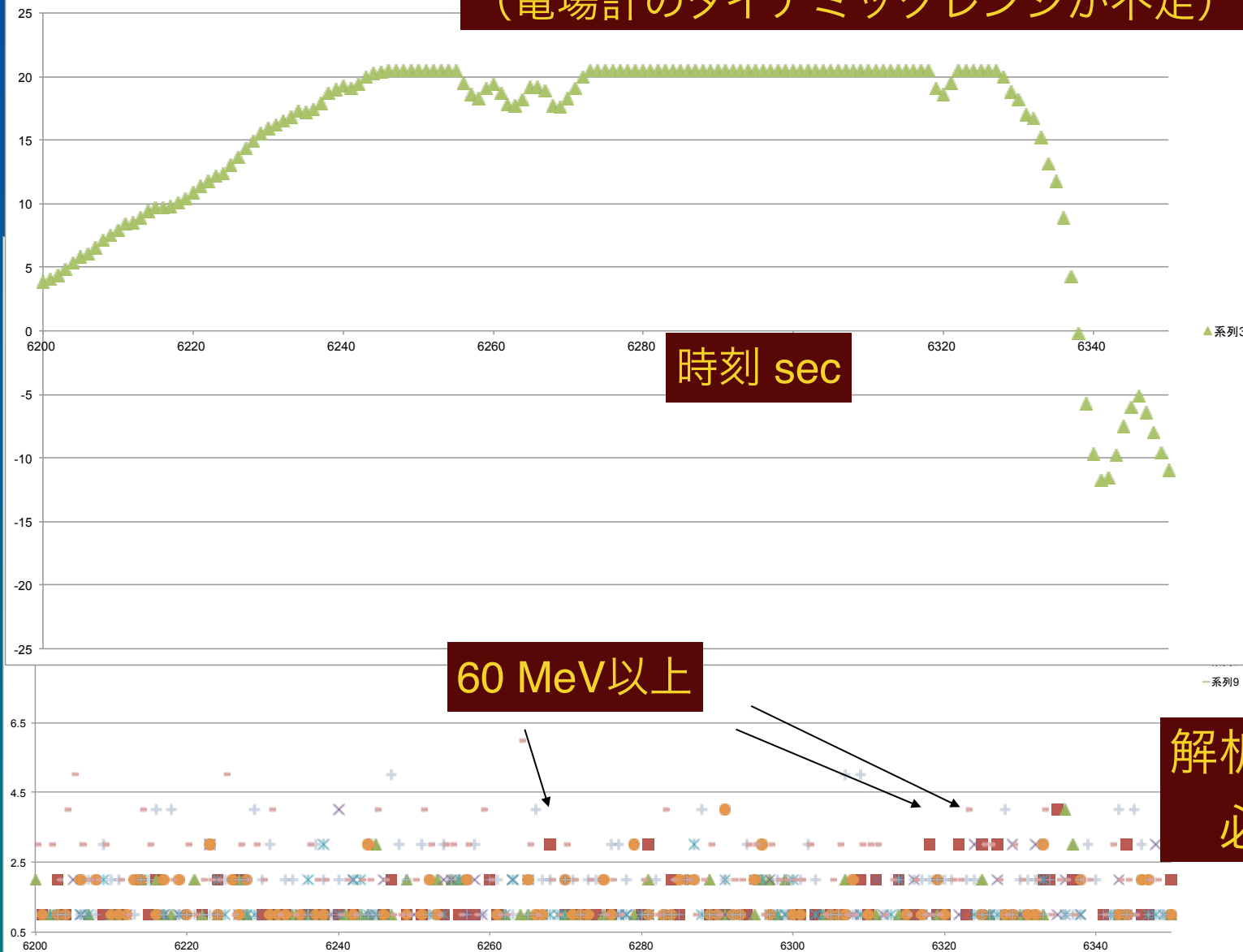
7/3-9/22のNaI波高分布 積算値（一時 計測器不調）

電場計とNaIの時間構造データ比較7/4 1:30過ぎ

(電場計のダイナミックレンジが不足)

電場 kV/m

光子イベント数/sec



時刻 sec

60 MeV以上

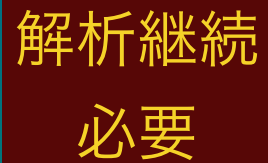
解析継続
必要

色ごとにエネルギー領域を示す

時刻 sec

電場
kV/m

光子イベント数/sec



考察

- ・ 乗鞍においては宇宙線起源の光子線等のエネルギースペクトル計測によって、計測システムの検証を行った。システム正常動作を確認した。雷由来の放射線は現在確認中。
- ・ 光子線特徴は電場計イベント毎にまちまち。
- ・ WERC加速器が故障修理中につき、加速器由来のデータは収集断念。

乗鞍

~~JAEAふげん
雷測定
NaI + NM100GPS + 電場計
(乗鞍組)~~

測定 一時中断中

~~WERC加速器
(p,X_γ)測定
NaI + NT2 DUAL~~

4, まとめ

- ・宇宙線模擬照射ニーズ増加に対応したビーム試験環境の提供機会が増えている。宇宙線模擬のためのイオンビーム実験では、一次粒子強度を大気中で計測する必要がある。二次粒子である γ 線の情報を利用して一次粒子強度を決定する技術をさらに開発する必要がある。
- ・雷由来高エネルギー光子線計測システムを利用したビーム環境放射線モニターの構築に向け、高エネルギー光子線を期待できる自然環境＝乗鞍で動作検証を実施した。
- ・雷由来放射線についても解析を継続中である。
- ・外部発表1件（日本医学物理学会で英語プレゼンテーション賞受賞）。
- ・来年度の共同利用研究申請継続については検討中。

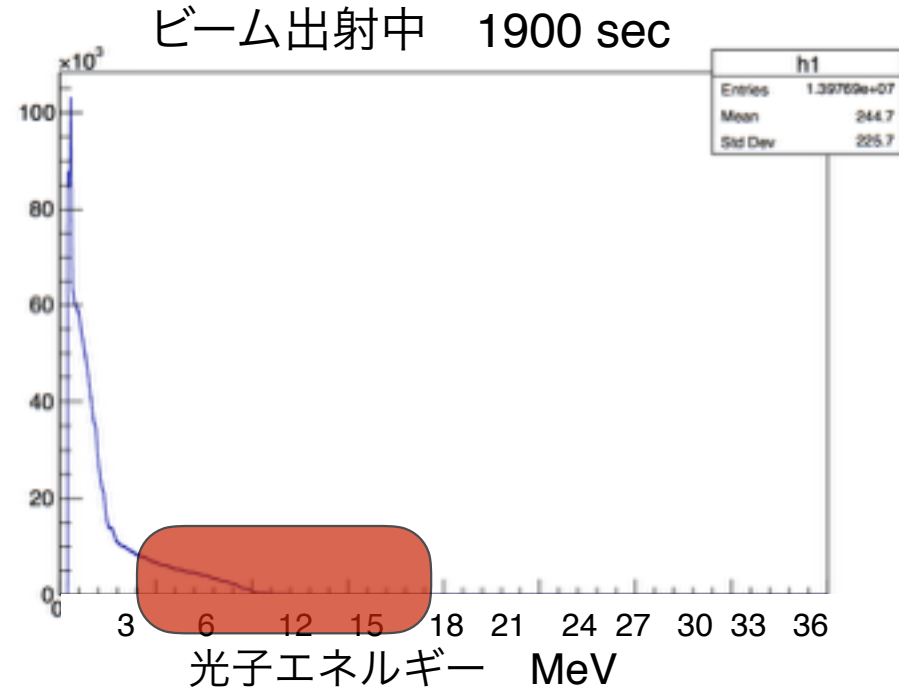
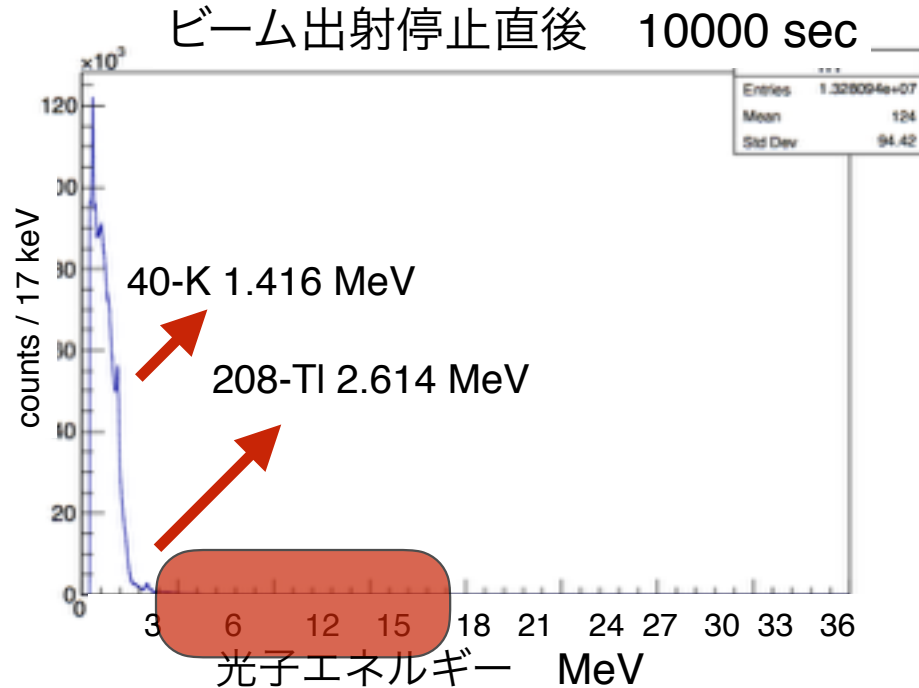
ご清聴ありがとうございました。

理学と工学の目指すものの違い

- 理学 真理の探求（ニュートリノほか）
- 工学 苦役からの解放

結果 光子線エネルギースペクトル@WERC H27/11/24

$$E_p = 80 \text{ MeV}$$



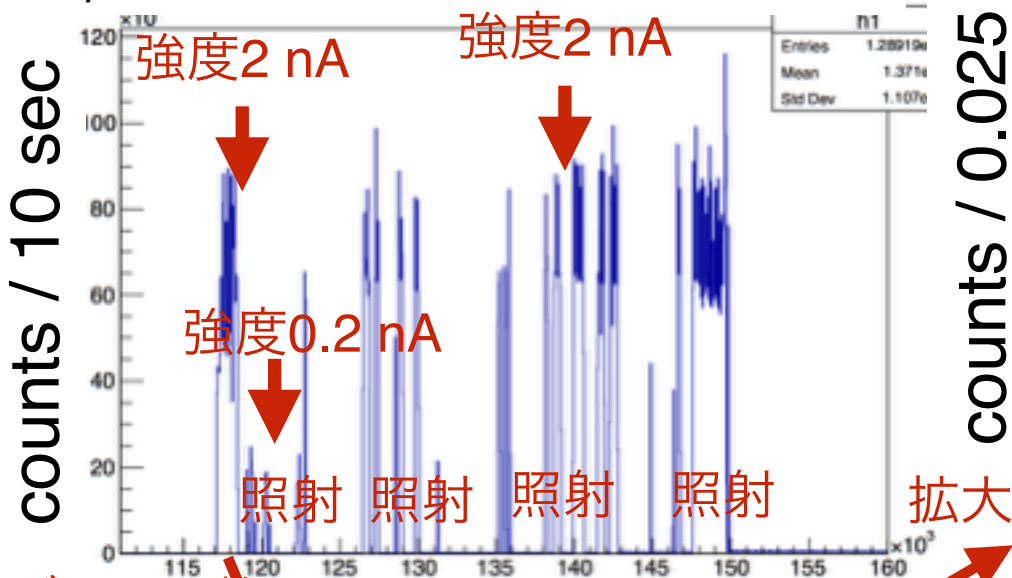
- ・ 出射中と運転停止後の光子エネルギースペクトルには 3 MeV以上の領域に大きな違いがある。
- ・ 出射中の光子エネルギースペクトルは連続的。

結果

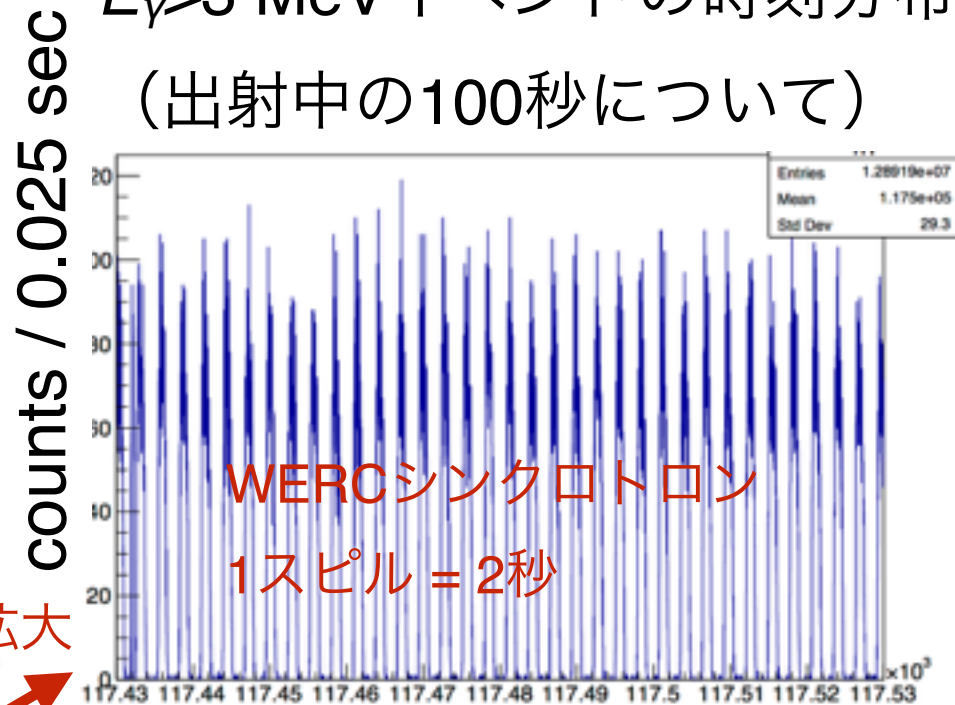
時間分布@WERC H27/11/24

$E_p = 80 \text{ MeV}$

$E_\gamma > 3 \text{ MeV}$ イベントの時刻分布



$E_\gamma > 3 \text{ MeV}$ イベントの時刻分布
(出射中の100秒について)



11/22 00:00からの経過時間sec

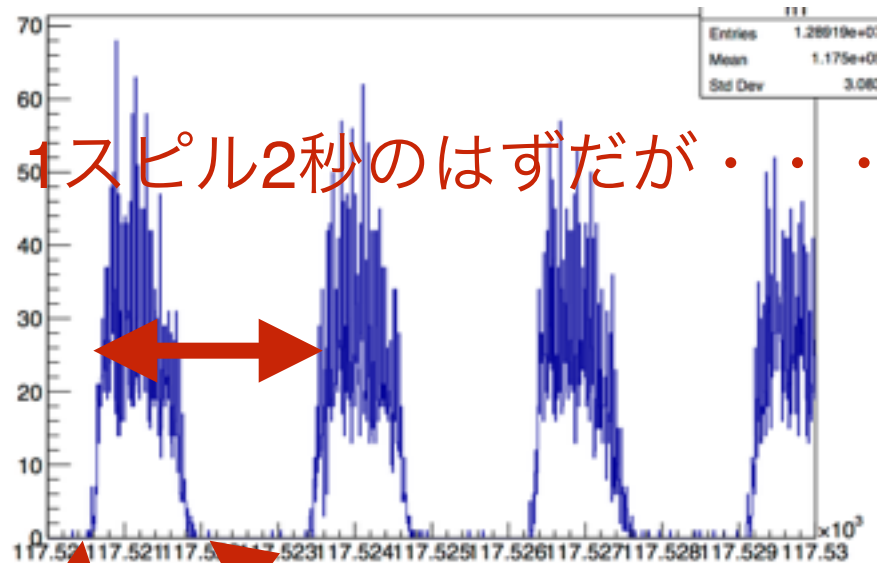
11/22 00:00からの経過時間sec

- ・ 3 MeV以上のイベント有無がビーム出射時間帯を示している。
(ビームストッパー開閉時刻を示している)
- ・ ビーム強度に応じて3 MeV以上の γ 線強度が違う。
- ・ シンクロトロンのスピル構造が見える。

$E_\gamma > 3$ MeV イベントの時刻分布をさらに拡大

$E_p = 80$ MeV

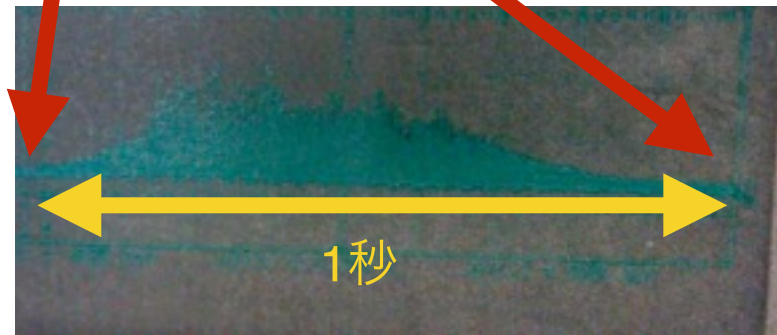
counts / 0.02 sec



1スピル2秒のはずだが . . .

・ 1スピル2秒で運転しているが1スピルが2.5秒程度に見える。ビーム出射中には計測システムのクロック動作が正常ではなさそう。デッドタイムと関係があると思われる。

11/23 00:00からの経過時間sec



・ 大気中電離箱の出力との相関はあるように見えるが、定量性は今後追求する。

ビームライン上の大気中電離箱から取得した電離信号分布画像