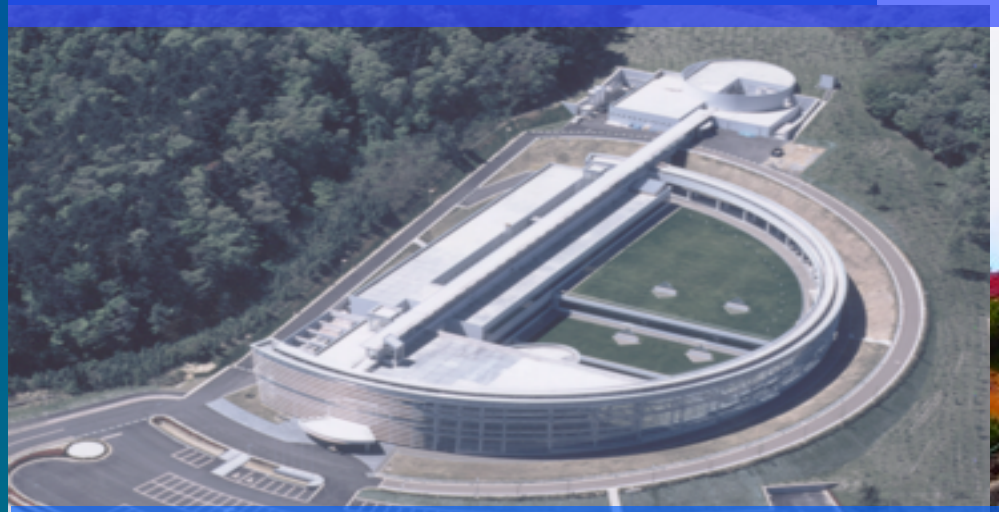
宇宙機搭載用機器に対する高エネルギー陽子線照射技術の開発（乗鞍観測所利用）



（公財）若狭湾エネルギー研究センター　久米恭
（国研）日本原子力研究開発機構　鳥居建男
東京大学宇宙線研究所　瀧田正人
（ド）ハセテック　長谷川崇

H28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。

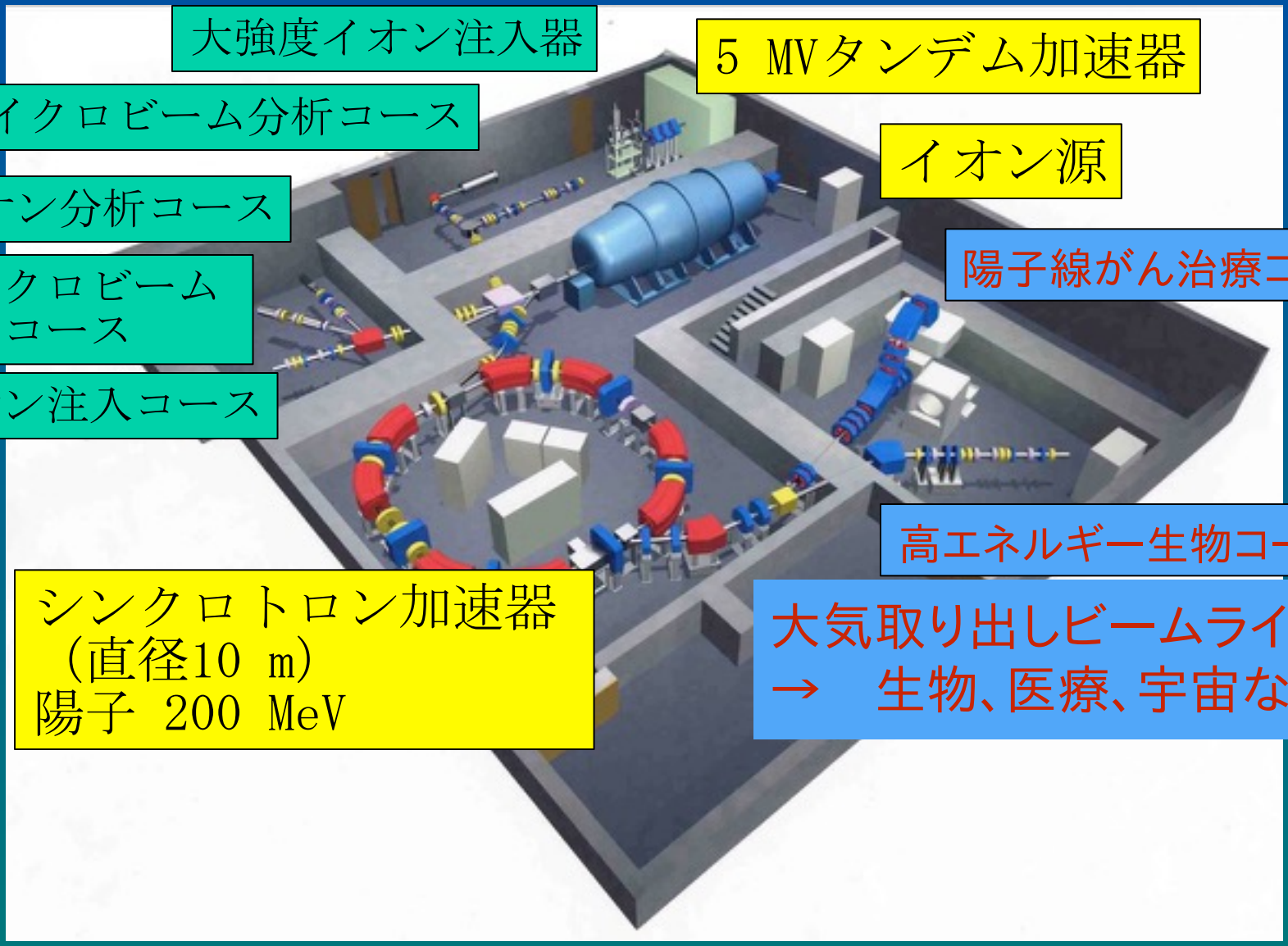
共同利用研究費10万円の使途＝旅費

				運賃	料金	宿泊	日当	特記事項	小計	
久米	7月1日	敦賀	高山	0	0		0	公用車		
		高山	乗鞍	0	0	0	2300			
		乗鞍	松本	0	0	0	0	公用車		
		松本	敦賀	0	0	0	0	公用車	2300	
久米	7月22日	敦賀	高山	0	0	7800	2300	公用車		
	7月23日	高山	乗鞍	0	0	0	2300			
		乗鞍	敦賀	0	0	0	0	公用車	12400	
久米	8月30日	敦賀	高山	0	0	7800	2300	公用車		
	8月31日	高山	乗鞍	0	0	0	2300			
		乗鞍	敦賀	0	0	0	0	公用車	12400	
鳥居	8月30日	新橋	高山	8750	5180	7800	2300			
	8月31日	高山	乗鞍				2300	公用車		
		乗鞍	新島々					公用車		
		新島々	新橋	4891	2380				33601	
久米	9月15日	敦賀	高山	0	0	7800	2300	公用車		
	9月16日	高山	乗鞍	0	0	0	2300			
		乗鞍	敦賀	0	0	0	0	公用車	12400	
久米	9月23日	敦賀	乗鞍	0	0		0	公用車		
		乗鞍	敦賀	0	0	0	2300	公用車	2300	
									合計	75401

敦賀・乗鞍間はWERC公用車を運転して移動

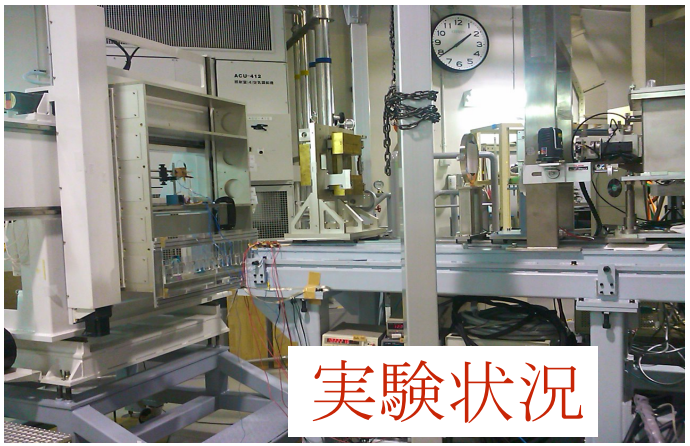
２、研究の動機
若狭湾エネルギー研究センター(WERC)における
イオンビーム利用研究開発

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

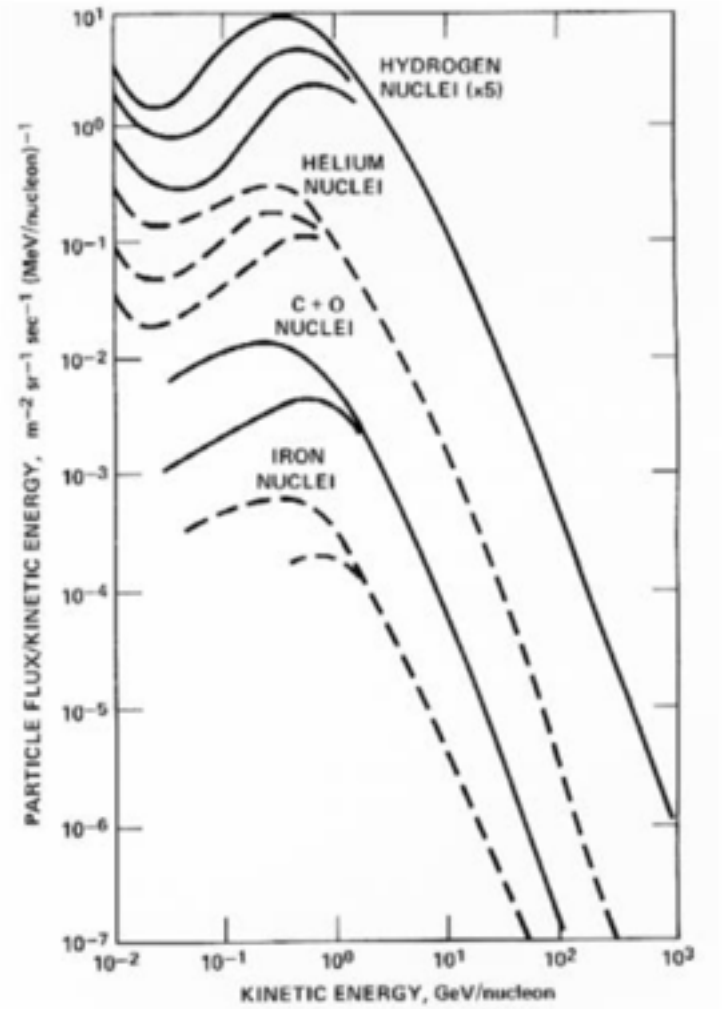


WERC高エネルギー生物コース
宇宙機搭載機器の宇宙線照射模擬実験実施状況

・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。



実験状況



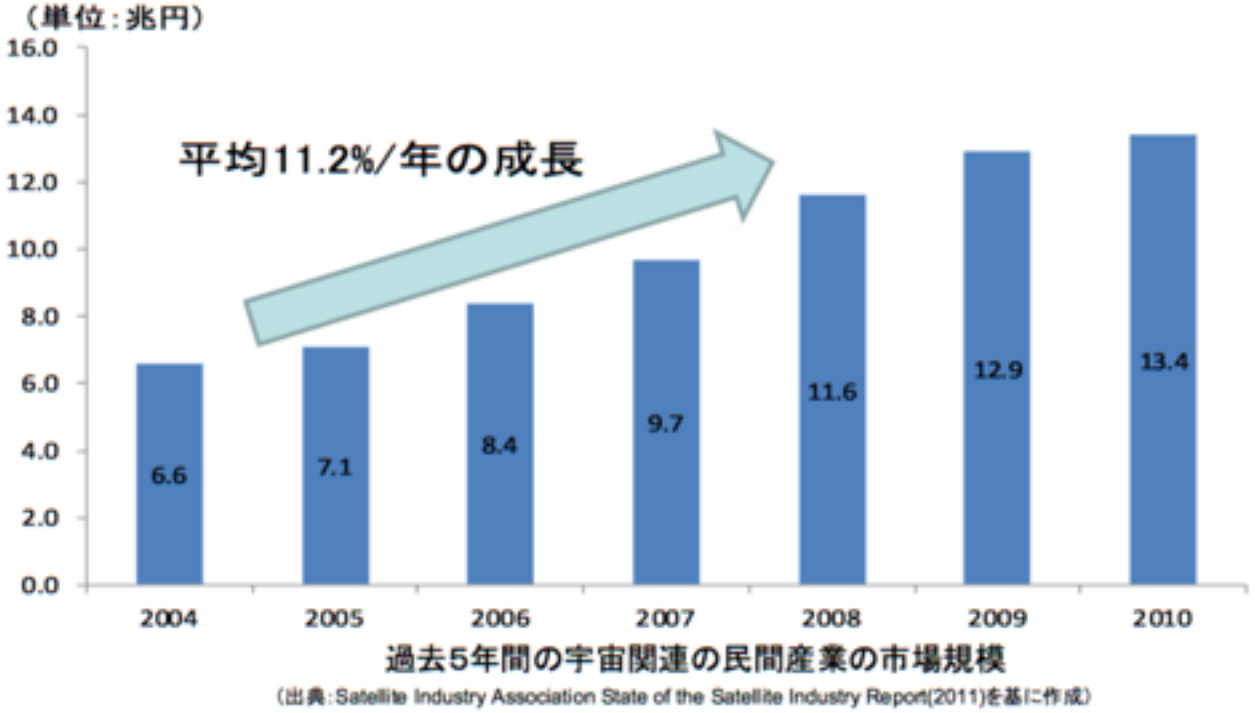
宇宙線のエネルギー分布。

www8.cao.go.jp

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、今や年間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。



過去5年間の宇宙関連の民間産業の市場規模

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

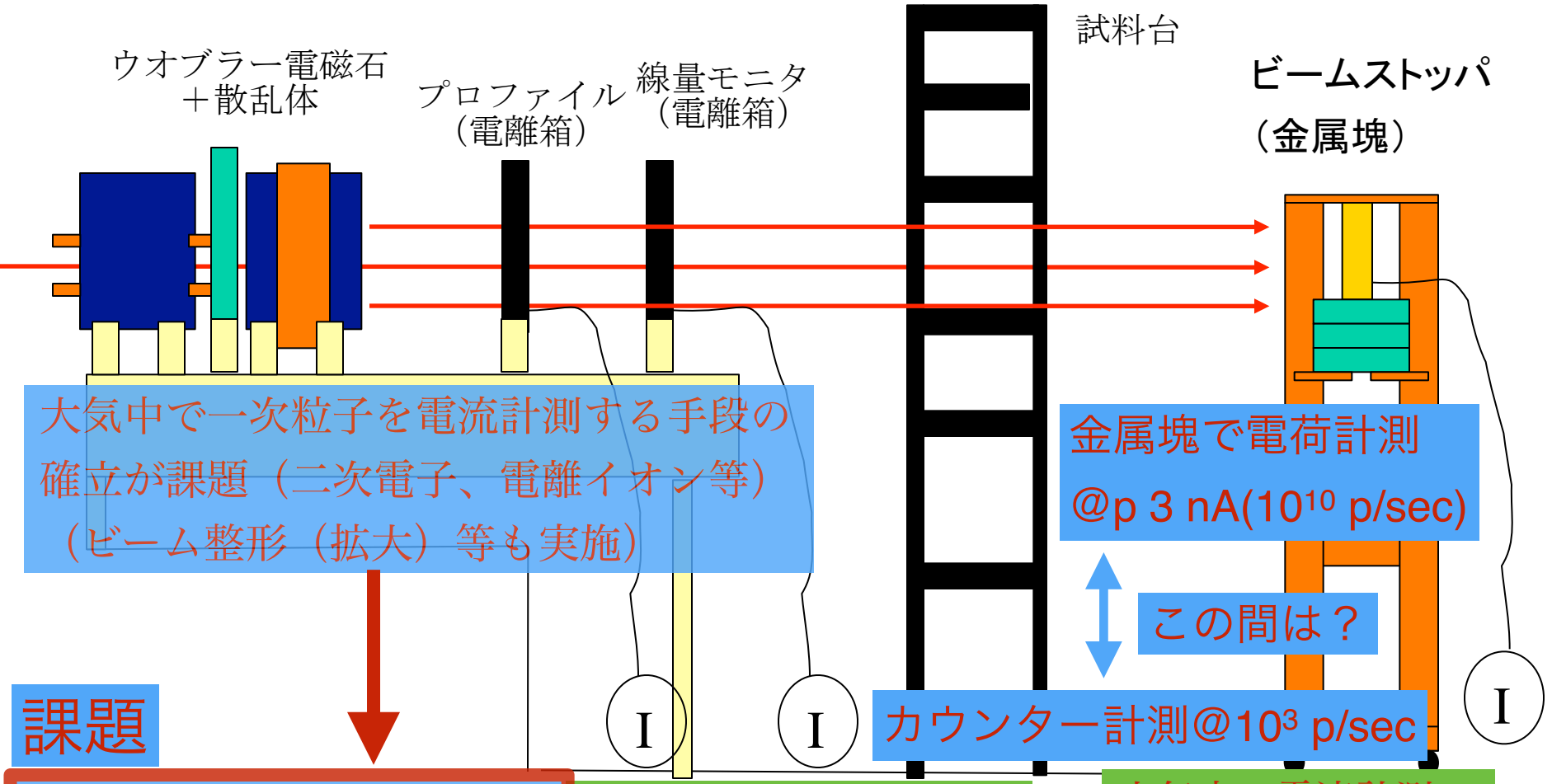
内閣府宇宙戦略室　http://www8.cao.go.jp/space/comittee/dai3/siryou1-1.pdf

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



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

目的

課題

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,Xγ)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の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H27-H28

冬季雷測定　　11月から3月まで　JAEAふげん構内

（春マシンタイム（通例 4月から 6月まで）

久米入院につき測定実施せず）

夏季高山測定　　7月から 9月まで　乗鞍観測所での測定

秋マシンタイム　10月から11月まで　シンクロトロン実験での測定

（MCA不調）

冬季雷測定　　11月から3月まで　JAEAふげん構内

・

・

・

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

（鳥居先生は雷測定したい）

WERC 宇宙開発関係マシンタイムH28

ふげん

久米入院

乗鞍

MCA不調

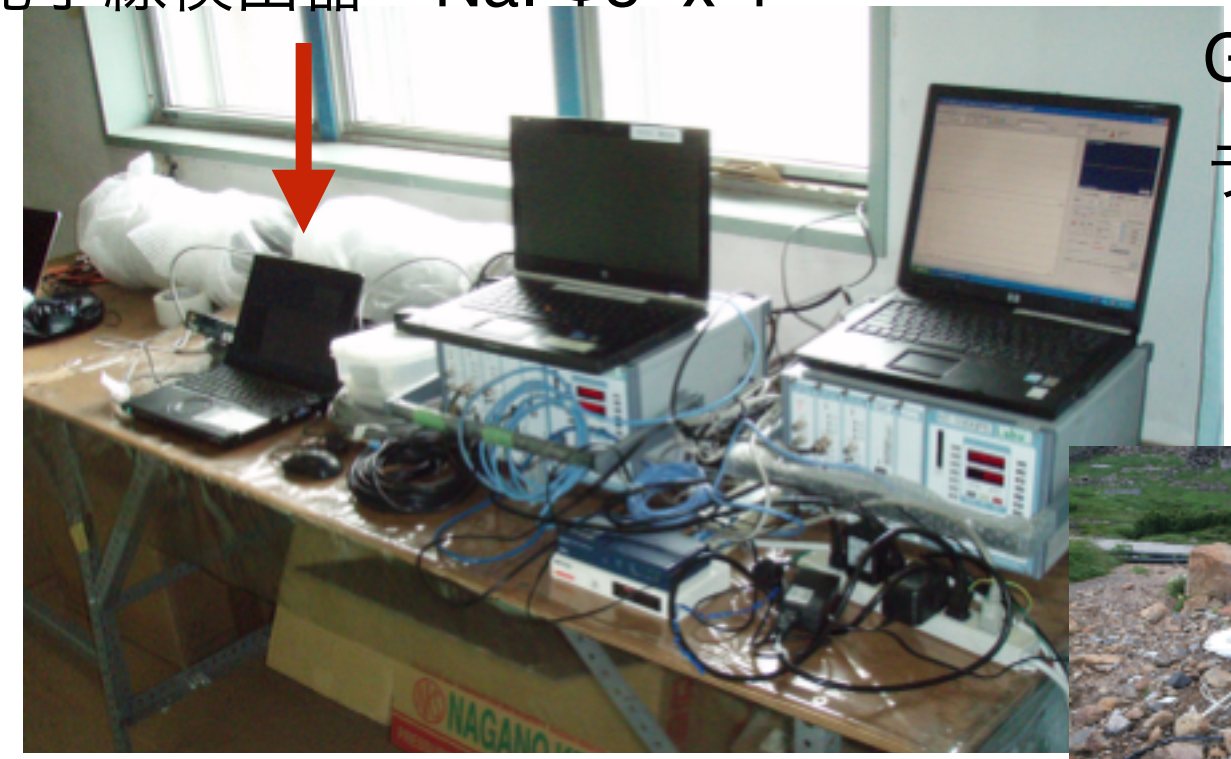
ふげん

		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	50,80	某	某社	照4生物	2017/2/20-24	T+S	O

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

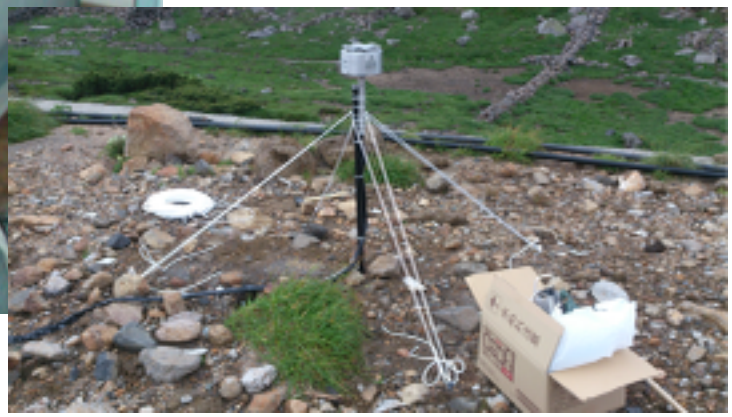
光子線検出器　NaI Φ5” x 4”



GPS付MCA

ラボNT100-GPS

電場計

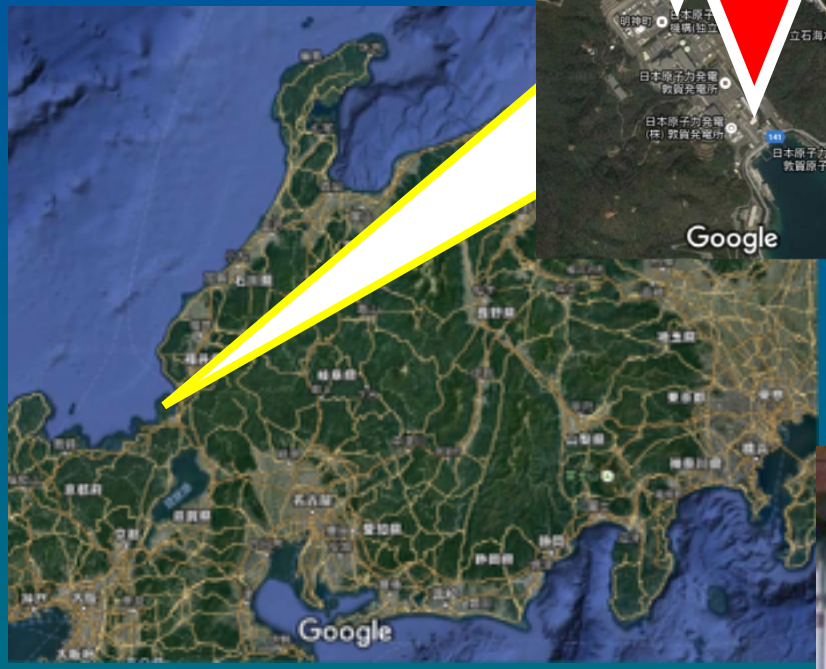


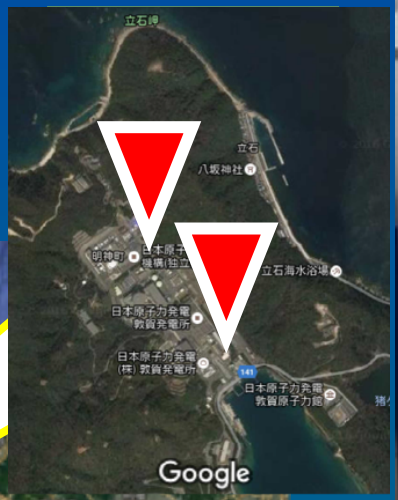
WERC加速器運転休止中

計測システム動作確認のために乗鞍観測所使用

H27/7-9, H28/7-9

冬季雷測定（JAEAふげん）





光子線検出器　NaI Φ5” x 4”

GPS付MCA　ラボNT100GPS

JAEA鳥居先生

電場計（ボルテック）

H27/11-H28/3 イベントなし

H28/12-

WERCマシンタイム時の測定

高エネルギー
生物コース

ビーム　p

エネルギー 50-200 MeV

最大3 nA (10^{10} p/sec)

NaI

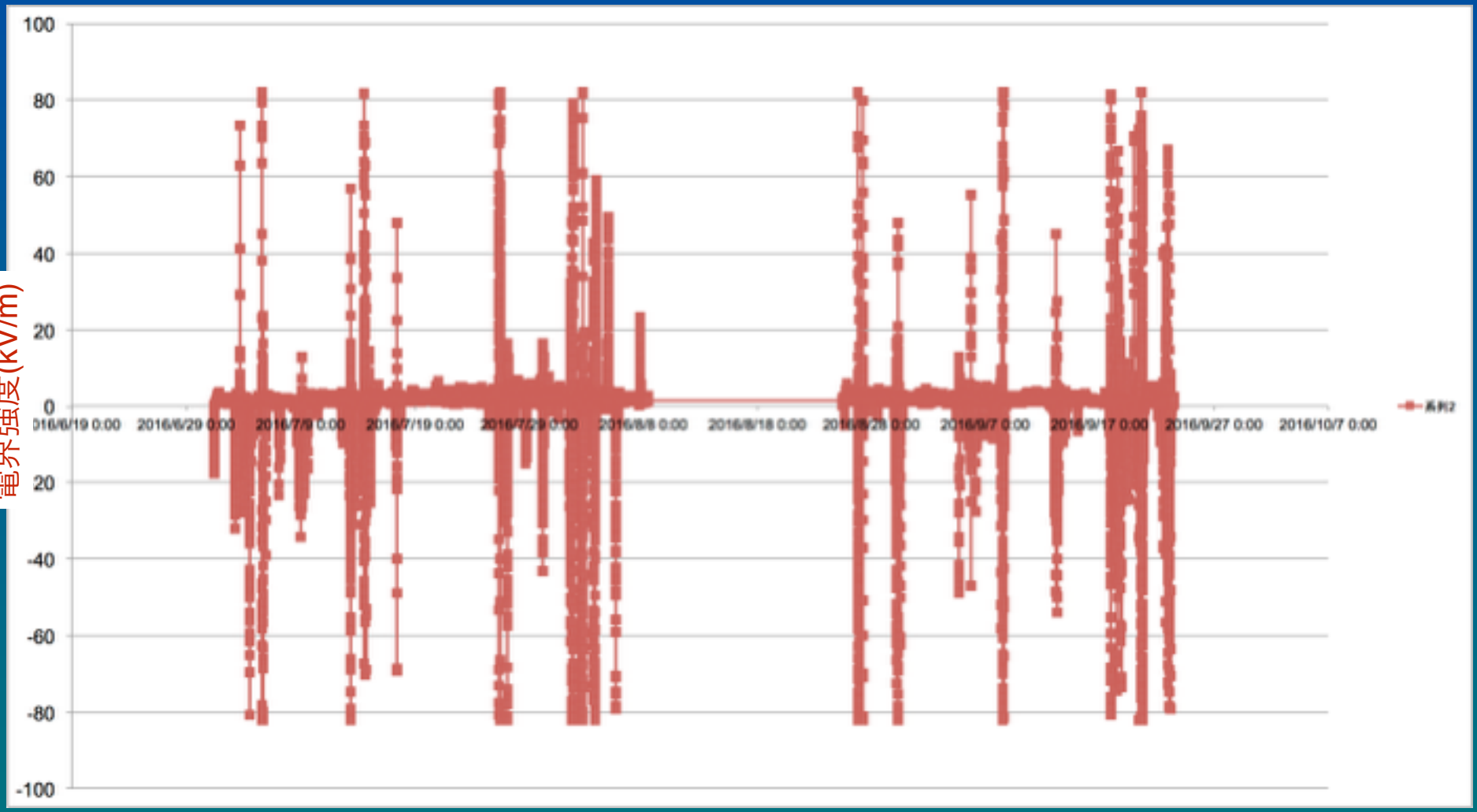
場所は移動

クロック付MCA

ラボNT100-GPS

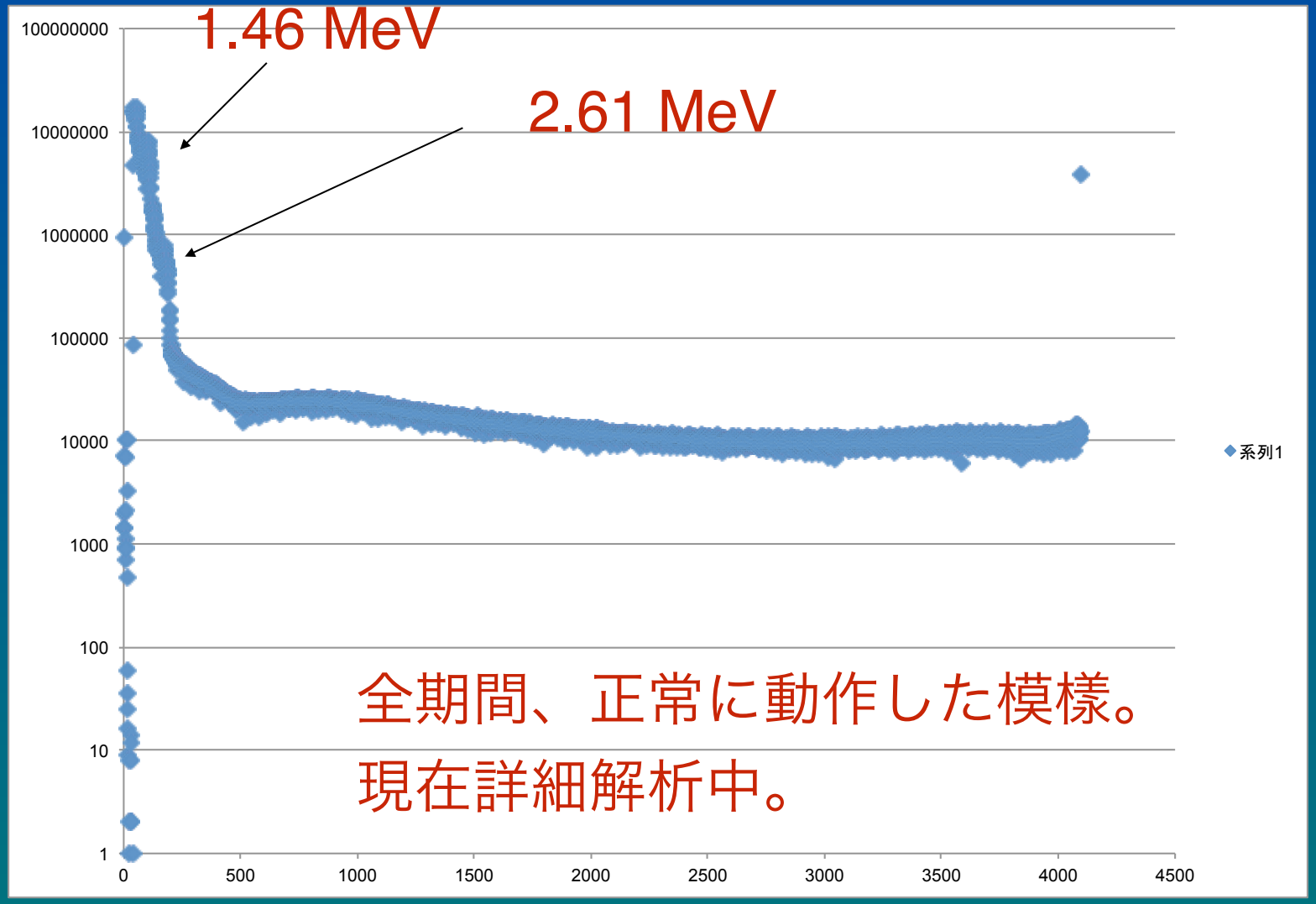
１スピル2秒　遅い取り出し

H28夏季測定（乗鞍）の結果（電場計）



雷のイベントを明確には識別不可。追加解析中。

H28夏季測定（乗鞍）の結果（NaI）



7/1-9/22のNaI波高分布（全期間）　（休止期間以外）

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。システムは正常動作を確認した。ただし雷由来の放射線は現在確認できていない。

・WERC加速器実験の結果で加速器運転状況のモニターは可能であること、ビーム強度とγ線強度の間には関連があること、がわかる。定量性については課題がある。

測定現状
JAEAふげん
雷測定
NaI + NT100GPS + 電場計
（乗鞍組）
敦賀駅
2箇所で計測実施中。
WERC加速器
(p,Xγ)測定
NaI + NT24DUAL

４，まとめ

・宇宙線模擬照射ニーズの増加が著しい。
　WERCでは模擬照射環境を提供している。

・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て、高エネルギー光子線を期待できる自然環境＝乗鞍で動作検証の後、WERC加速器で光子線情報の取得試験を実施した。自然放射線よりも大きいエネルギー領域により、加速器運転状況については明白な情報を得た。今後、強度の定量に向け取り組んでいく。

・雷測定についても今後研究活動を進展させていく。

ご清聴ありがとうございました。

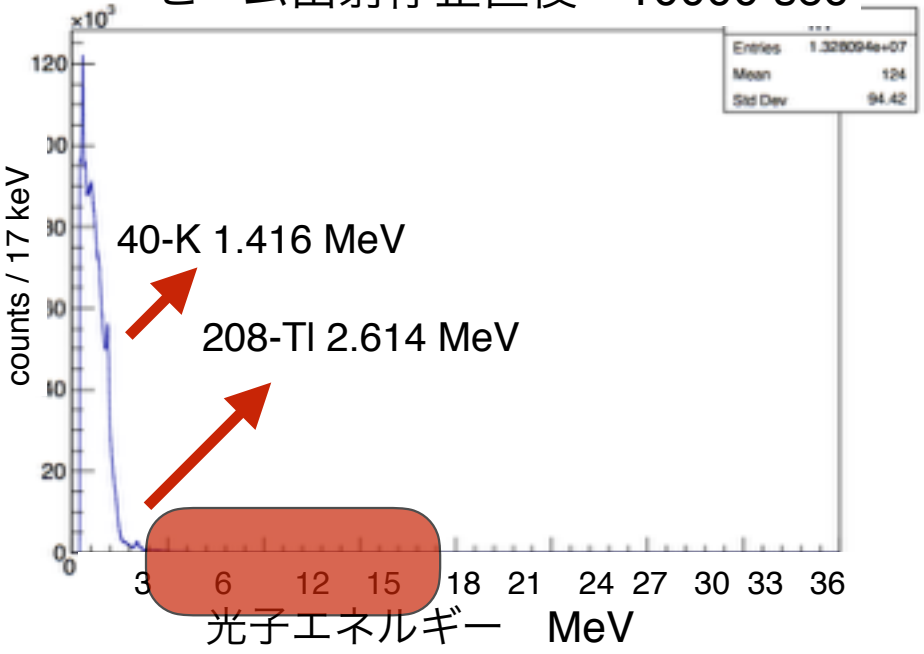
理学と工学の目指すものの違い

- 理学　真理の探求（ニュートリノほか）
- 工学　苦役からの解放

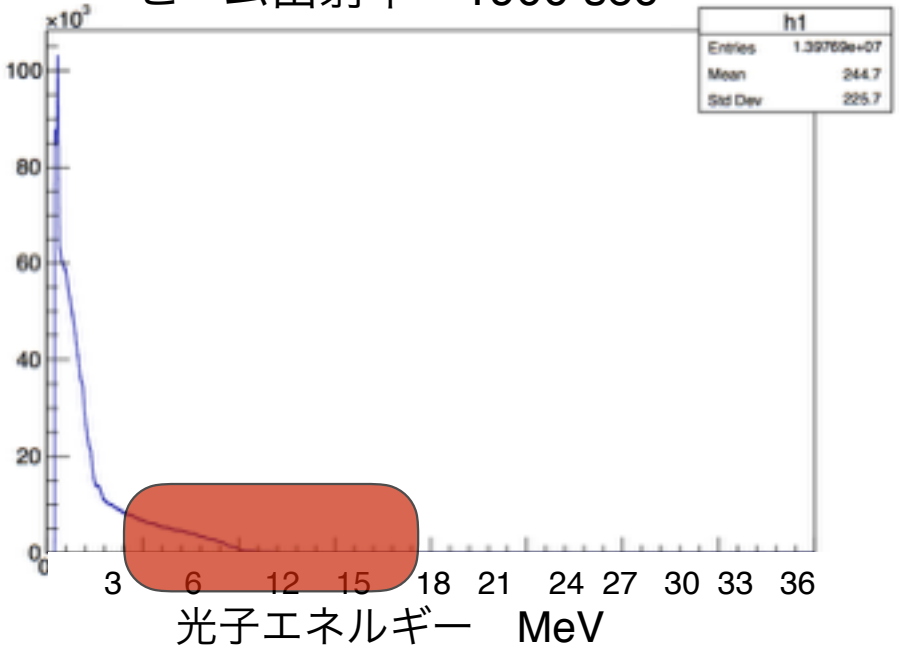
結果　光子線エネルギースペクトル@WERC H27/11/24

E_p = 80 MeV

ビーム出射停止直後　10000 sec



ビーム出射中　1900 sec

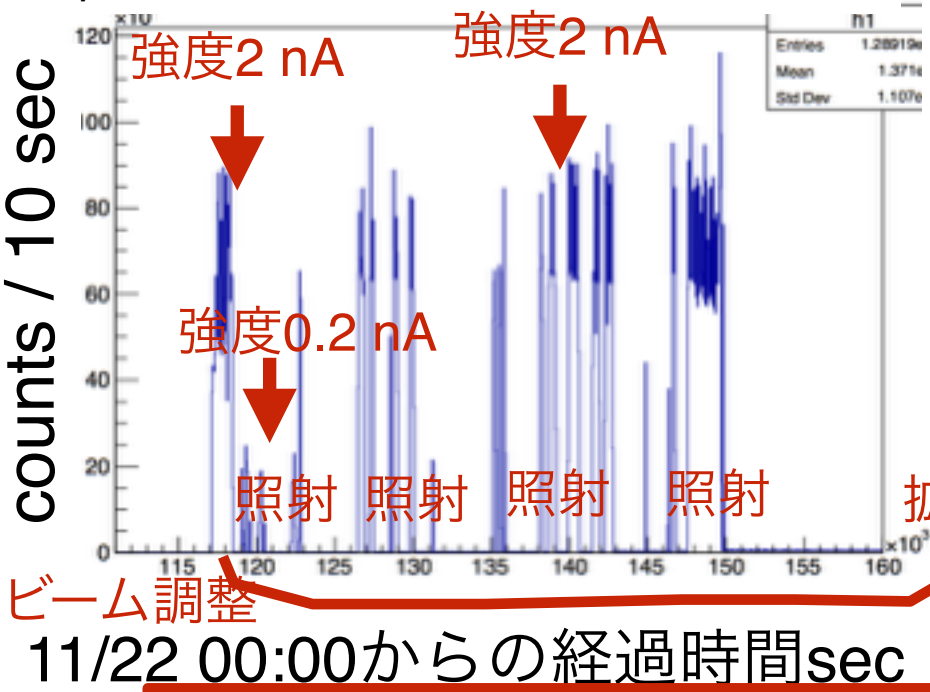


- 出射中と運転停止後の光子エネルギースペクトルには
  3 MeV以上の領域に大きな違いがある。
- 出射中の光子エネルギースペクトルは連続的。

結果　時間分布@WERC H27/11/24

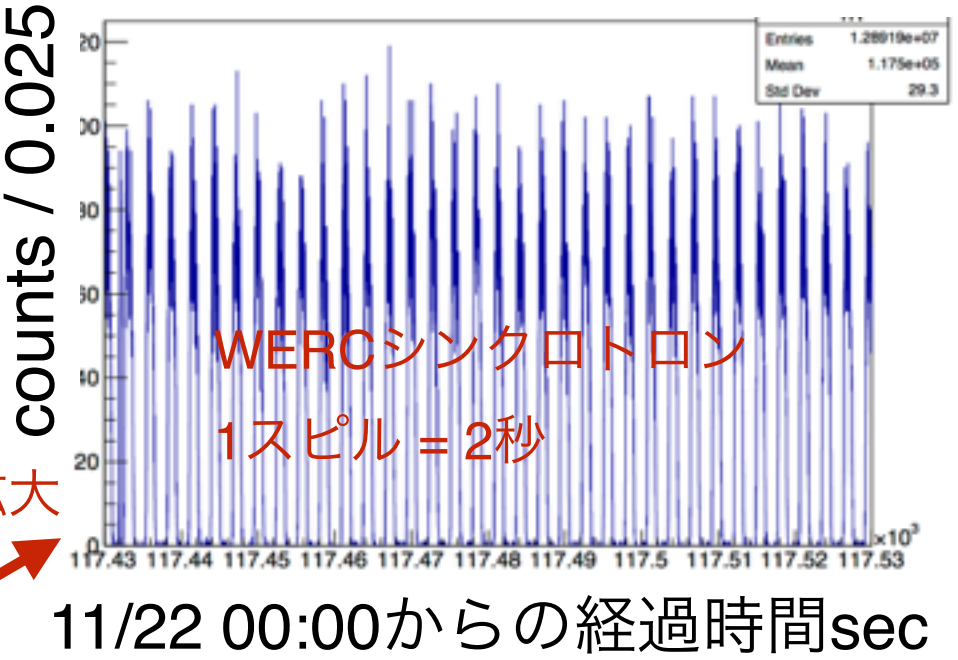
E_p = 80 MeV

E_γ>3 MeVイベントの時刻分布



E_γ>3 MeVイベントの時刻分布

（出射中の100秒について）



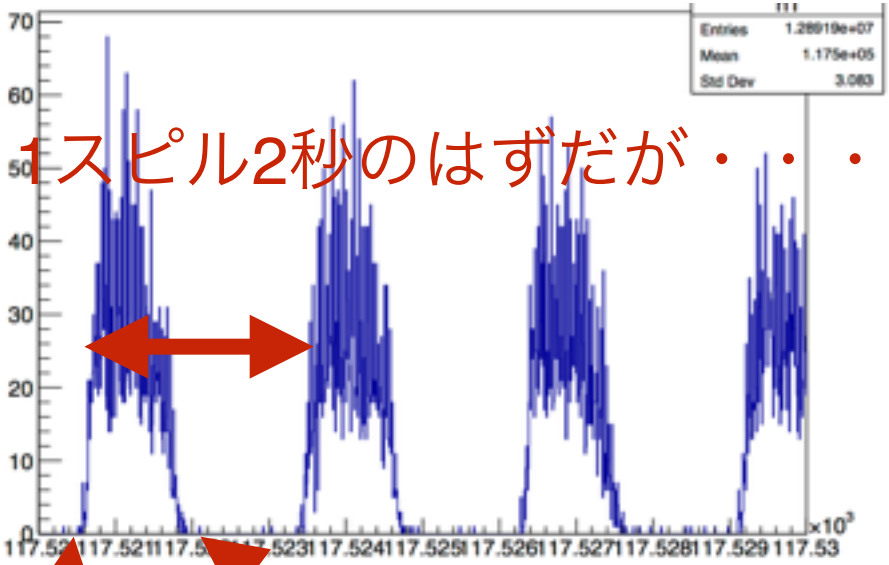
・3 MeV以上のイベント有無がビーム出射時間帯を示している。
（ビームストッパー開閉時刻を示している）

・ビーム強度に応じて3 MeV以上のγ線強度が違う。

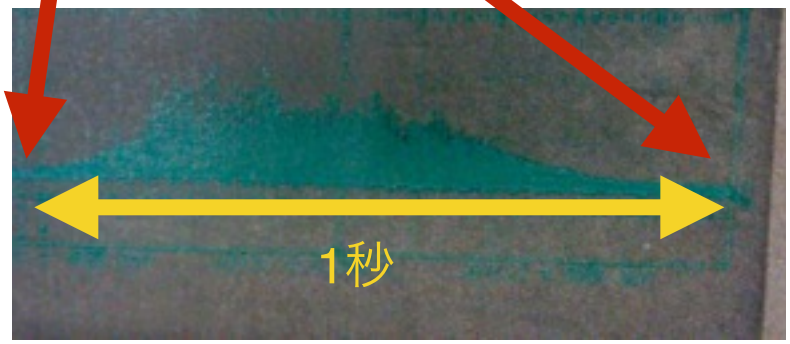
・シンクロトロンのスピル構造が見える。

Eγ>3 MeVイベントの時刻分布をさらに拡大

*E*p = 80 MeV



・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。



・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