

飛翔体による超高エネルギー宇宙線観測 (POEMMA と準備実験 EUSO-SPB2)

理化学研究所
滝澤慶之

CRCタウンミーティング、2018.10.20

POEMMA と準備実験 EUSO-SPB2

POEMMAミッションは、EUSO-SPB2で採用する Schmidt 望遠鏡をベースにした主鏡直径4.0mの観測衛星2機によるステレオ観測ミッションで、夜の地球大気を監視し、高エネルギー宇宙線・ニュートリノを観測する。

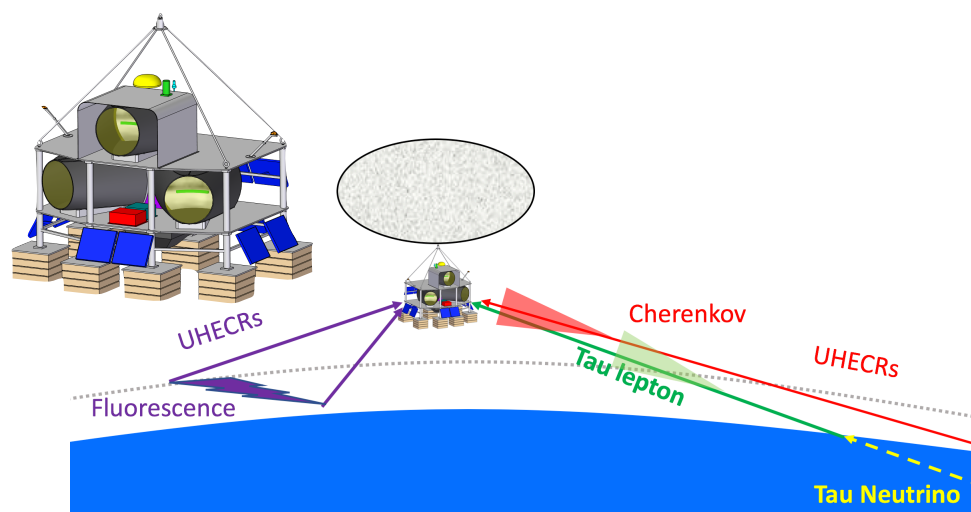
EUSO-SPB2 (EUSO-Super Pressure Balloon 2号機)

PI: Angela V. Olinto 教授 (シカゴ大)

高度30kmから、水平線方向の夜の大気の宇宙線が作る空気シャワーの大気蛍光、ニュートリノからのチェレンコフ光の観測をする。

総予算 50億円

2021年 4月頃 飛揚・観測(最長 3 ヶ月)



POEMMA (Probe Of Extreme Multi-Messenger Astrophysics)

PI: Angela V. Olinto 教授 (シカゴ大)

2017 年 NASA probe studies for 2020 decadal surveyに選定され概念設計を行なっている。(1B\$ カテゴリ)

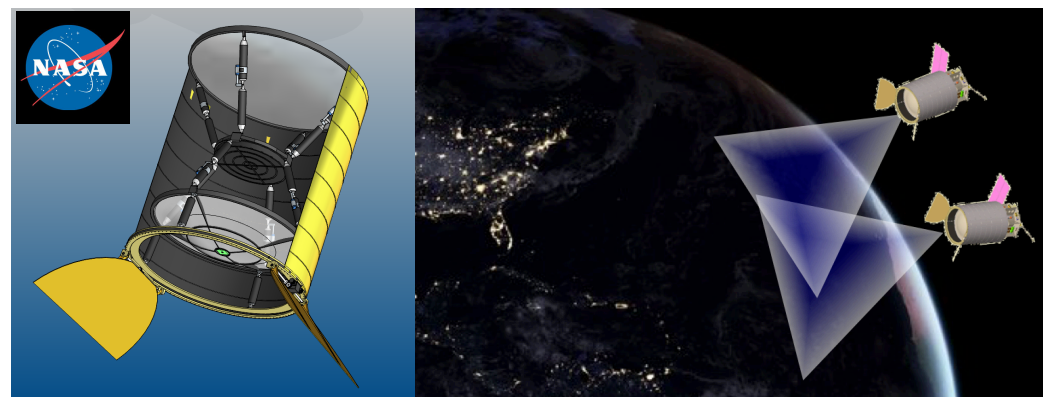
2018年12月に最終レポートをNASAに提出する予定。

2023 年 システム要求審査 (SRR)

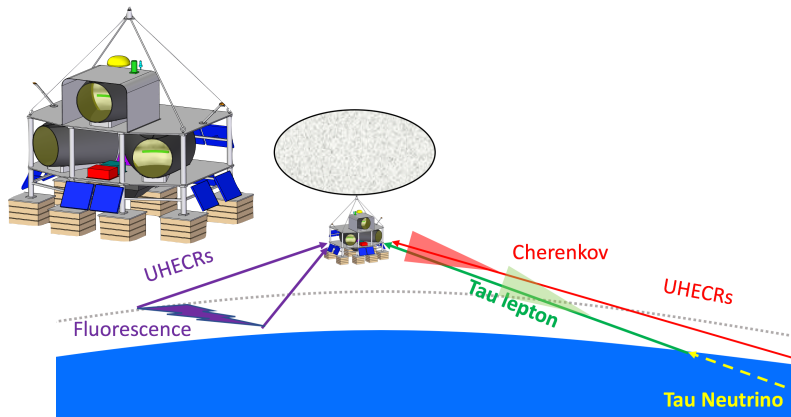
2024 年 基本設計審査 (PDR)

2025 年 基本設計審査(CDR)

2027 年 打ち上げ



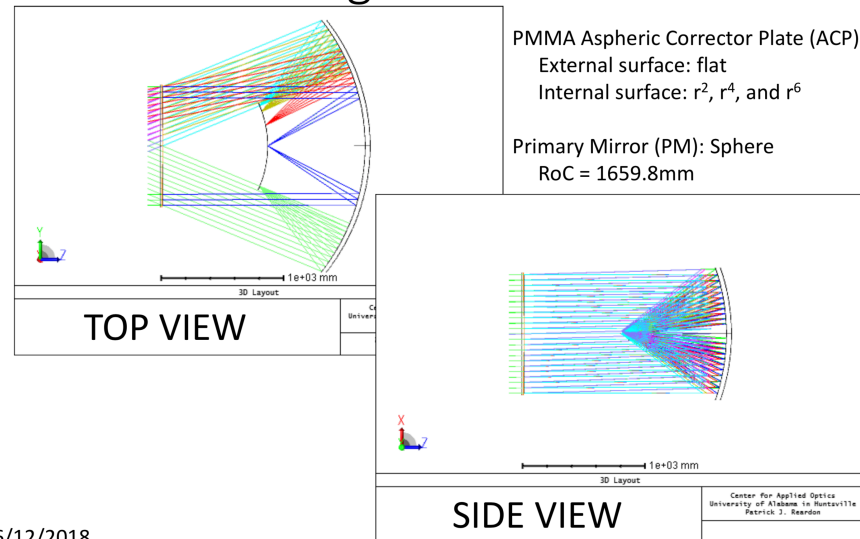
EUSO-SPB2 概要



主鏡: 1.8m x 1.1m 球面鏡 ($R=1659.8\text{mm}$)
 補正レンズ: 直径1m、平面+非球面、アクリル
 F#: 0.86
 スポットサイズ: 3mm
 角度分解能 $0.2^\circ/\text{pixel}$

6/12/2018

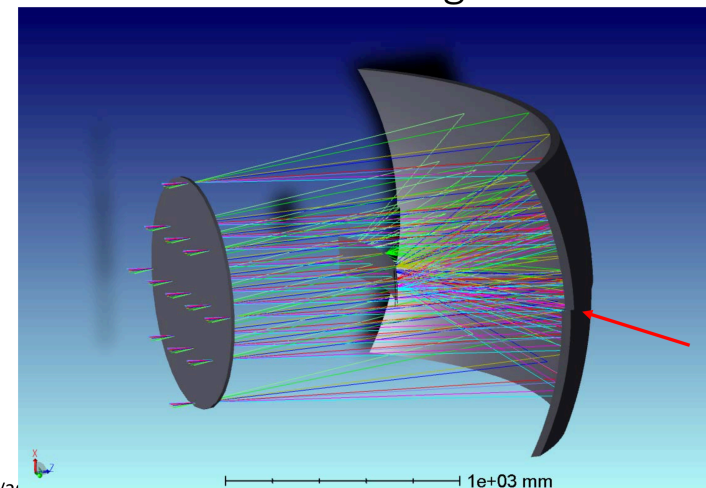
Baseline Design



Pat. Reardon (UAH) from slide of the JEM-EUSO meeting



Bifocal Design



6/12/2018

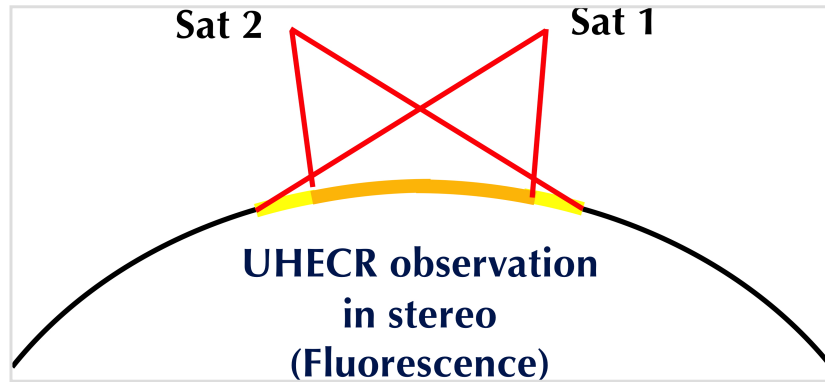
主鏡を上下に2分割して $\pm 0.4^\circ$ 回転させ、二つのイメージを焦点面に結像する。 $\pm 0.4^\circ \rightarrow$ MAPMT 1 個分の幅をずらす角度

チェレンコフ光: 1台、Bifocal
 45° 水平 Full-field of view
 3.2° 垂直 Full-field of view
 期待値: 1000イベント/100日

大気蛍光光: 2台
 28.8° 水平 Full-field of view
 3.2° 垂直 Full-field of view
 期待値: 5イベント/100日

POEMMAの観測性能と目的

超高エネルギー宇宙線

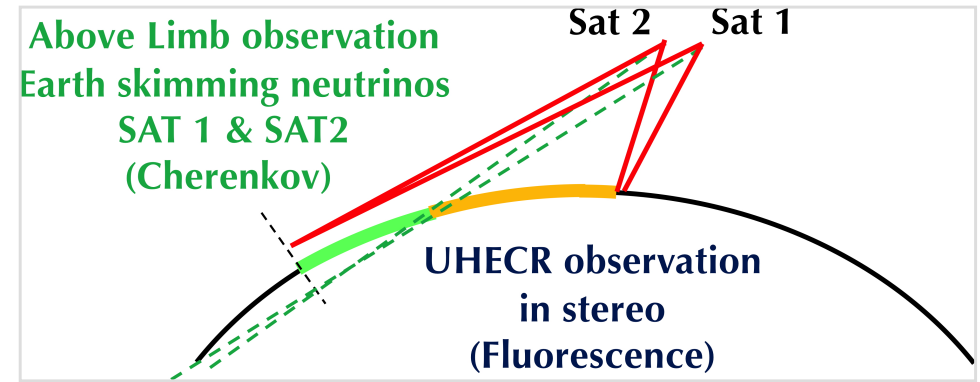


John Krizmanic, UHECR2018

超高エネルギー宇宙線観測

- ・ 全天観測
- ・ 起源の同定とその分布
- ・ 宇宙線の組成
- ・ 宇宙空間の磁場強度分布

ニュートリノ



John Krizmanic, UHECR2018

宇宙からのニュートリノ検出 全天観測

POEMMA ミッション



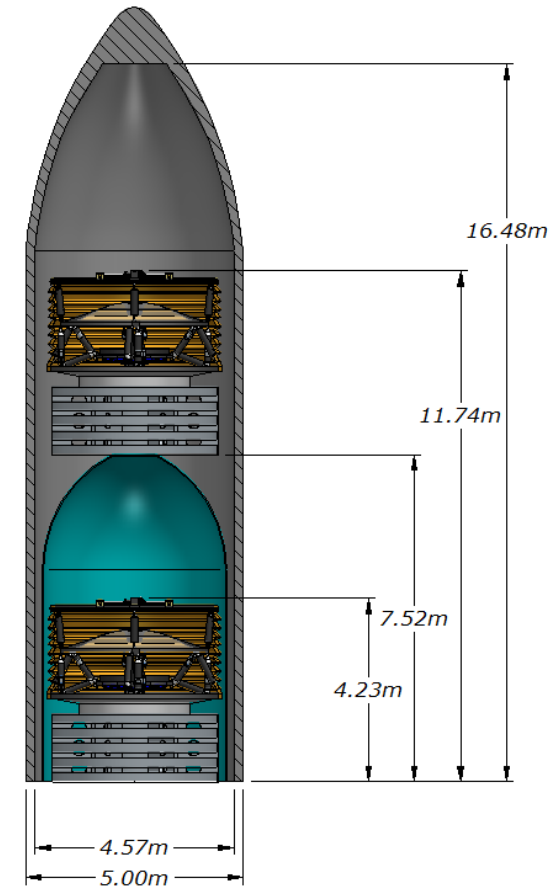
John Krizmanic, UHECR2018

POEMMA ミッション概要

Mission Lifetime:	3 years (5 year goal)
Orbits:	525 km, 28.5° Inc
Orbit Period:	95 min
Satellite Separation:	~25 km – 1000+ km
Satellite Position:	1 m (knowledge)
Pointing Resolution:	0.1°
Pointing Knowledge:	0.01°
Slew Rate:	8 min for 90°
Satellite Wet Mass:	3860 kg
Power:	2030 W
Data:	1 GB/day
Data Storage:	7 days
Communication:	S-band (X-band if needed)
Clock synch (timing):	10 nsec

Operations:

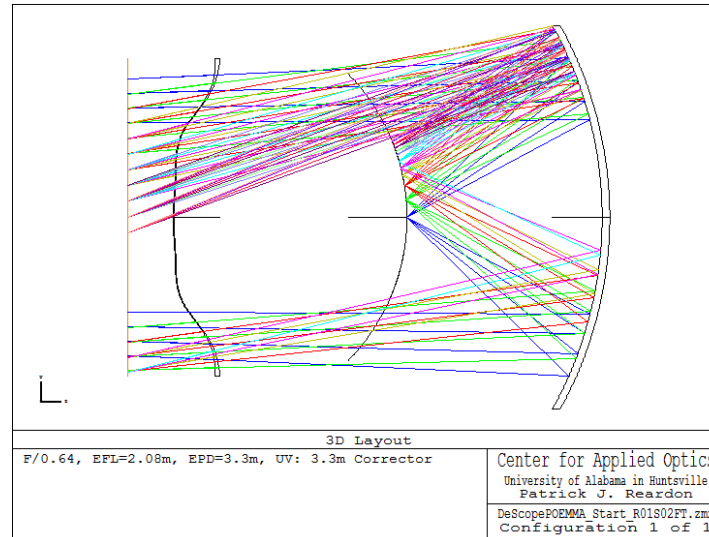
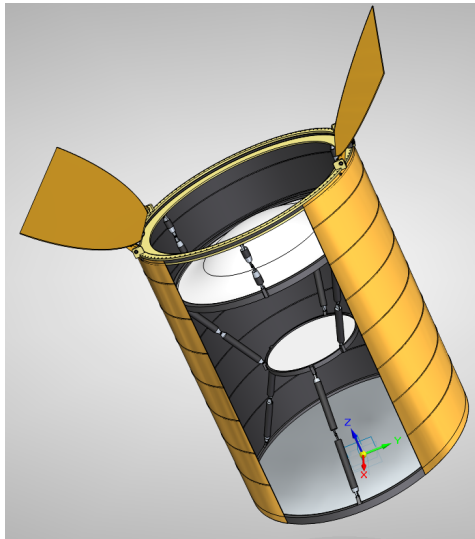
- Each satellite collects data autonomously
- Coincidences analyzed on the ground
- View the Earth at near-moonless nights, charge in day and telemeter data to ground



Dual Manifest Atlas V

John Krizmanic, UHECR2018

POEMMA 望遠鏡デザイン



主鏡: 直径4.0m 球面鏡

補正レンズ: 直径3.3m、非球面、アクリル

焦点面: 直径1.6m

FOV: 45°

F# : 0.64

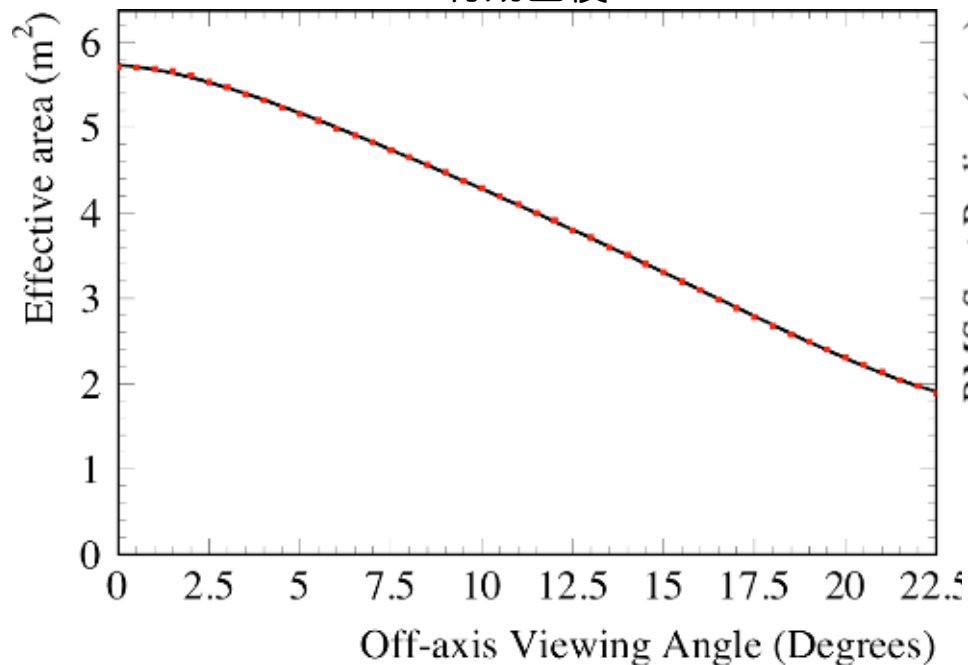
スポットサイズ: ~3mm直径

角度分解能: 1°/pixel

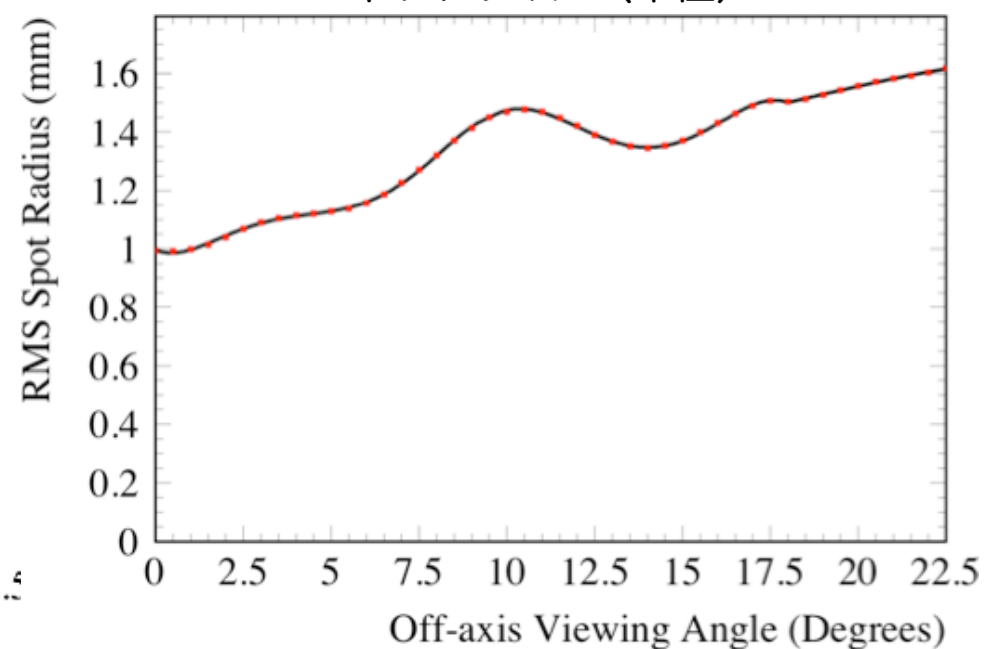
有効面積: 6~2 m² (JEM-EUSO: 2 m²)

軌道: 525 km

有効面積



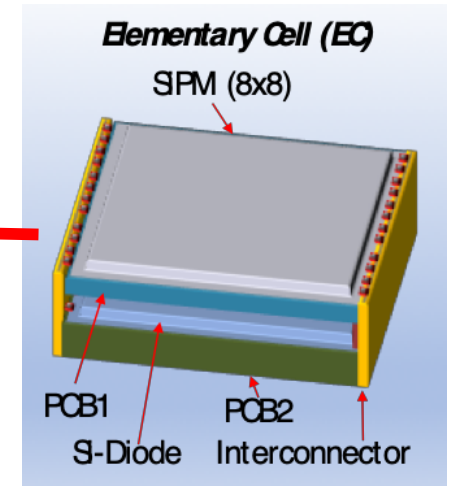
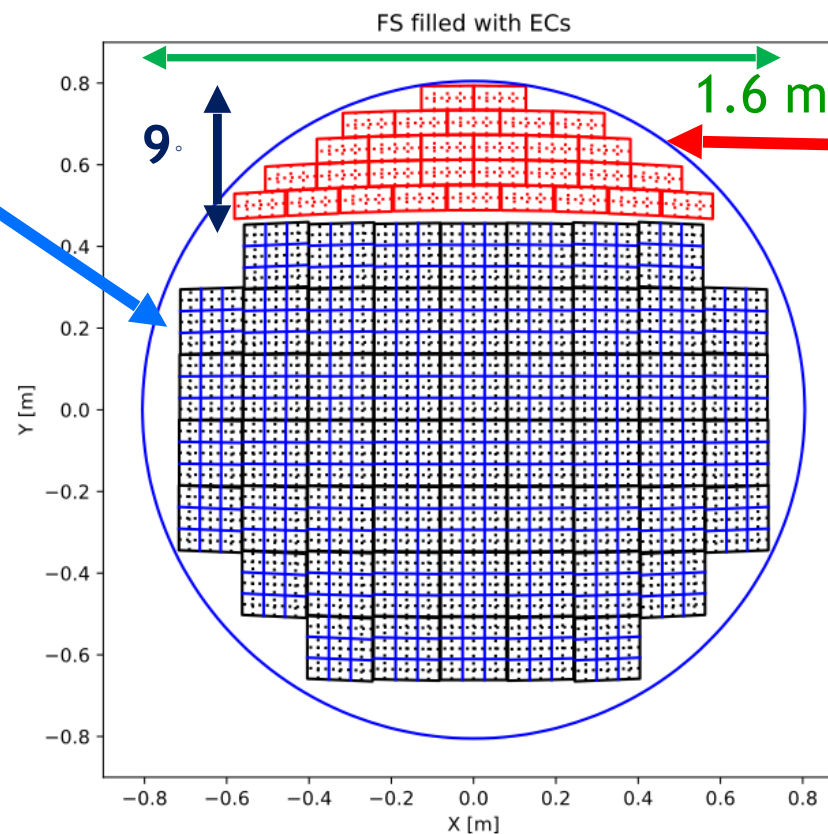
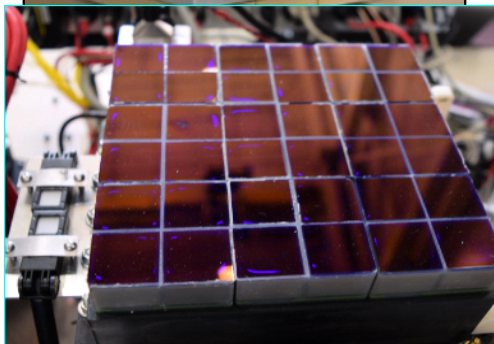
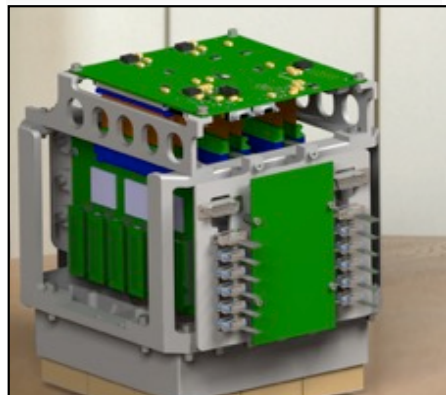
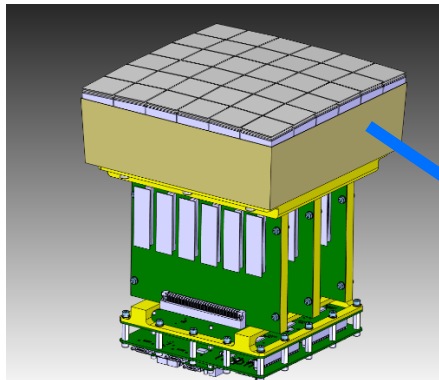
スポットサイズ (半径)



Hybrid 焦点面検出器

UV Fluorescence Detection using MAPMTs with UV filter: developed by JEM-EUSO: 1 usec sampling

Cherenkov Detection using SiPMs:
20 nsec sampling

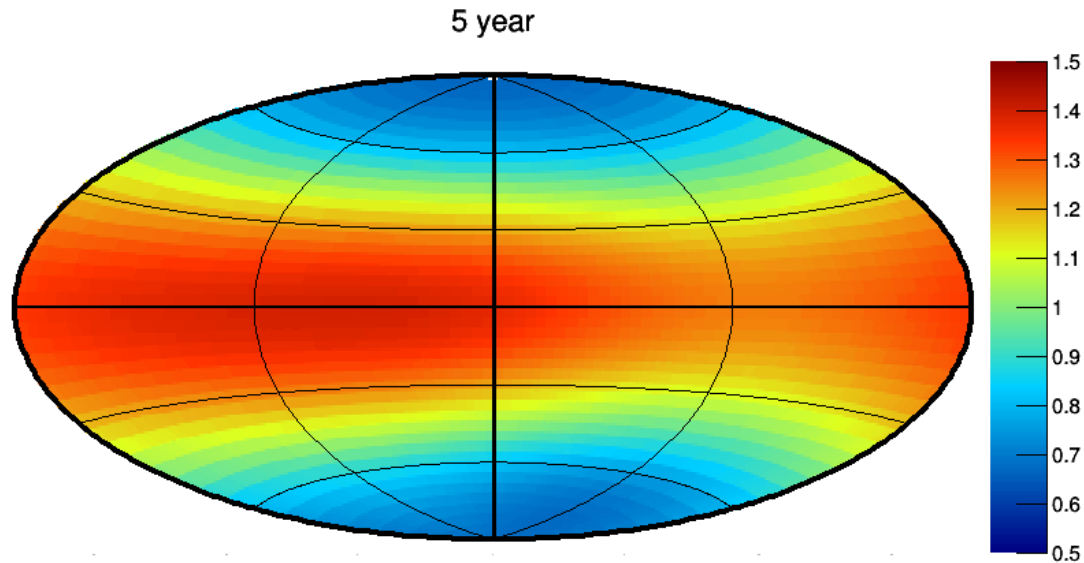


30 SiPM focal surface units
Total 15,360 pixels
512 pixels per FSU (64x4x2)

55 Photo Detector Modules (PDMs) = 126,720 pixels
1 PDM = 36 MAPMTs = 2,304 pixels

Sky Coverage

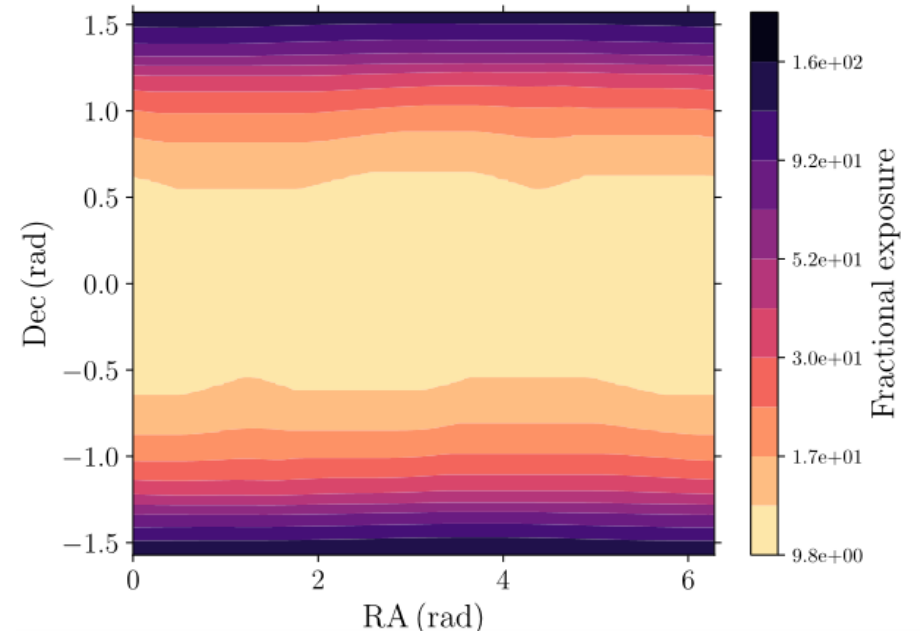
Stereo mode (UHECR 観測)



Calcs & plots by K. Shinozaki

Limb-viewing mode (neutrino 観測)

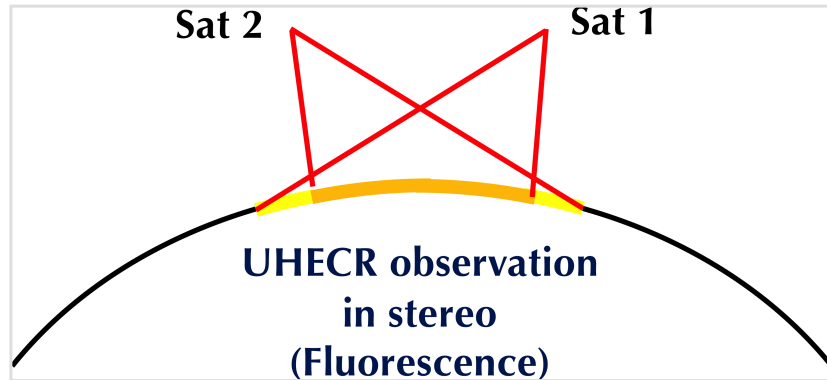
One year with re-orientations



Calcs & plots by C. Guépin & F. Sarazin

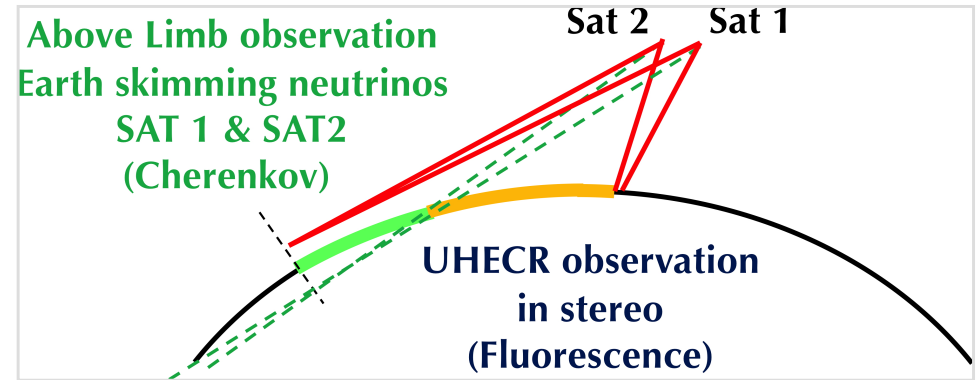
POEMMA 観測性能

Stereo mode (UHECR 観測)

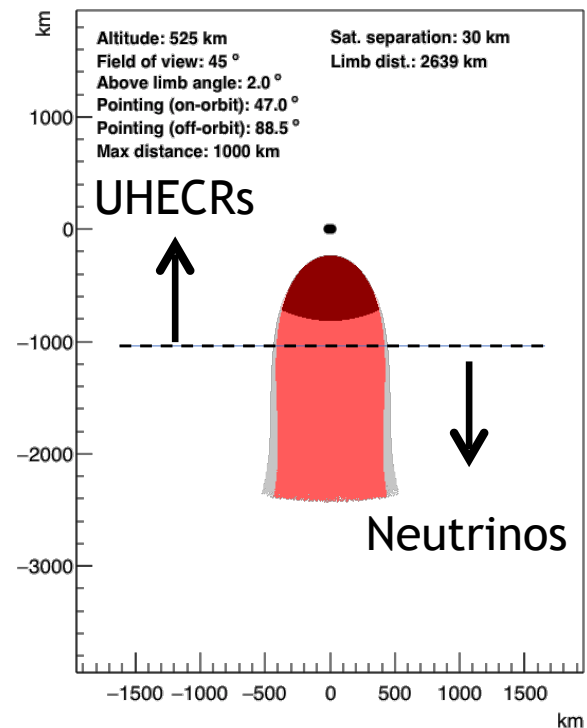
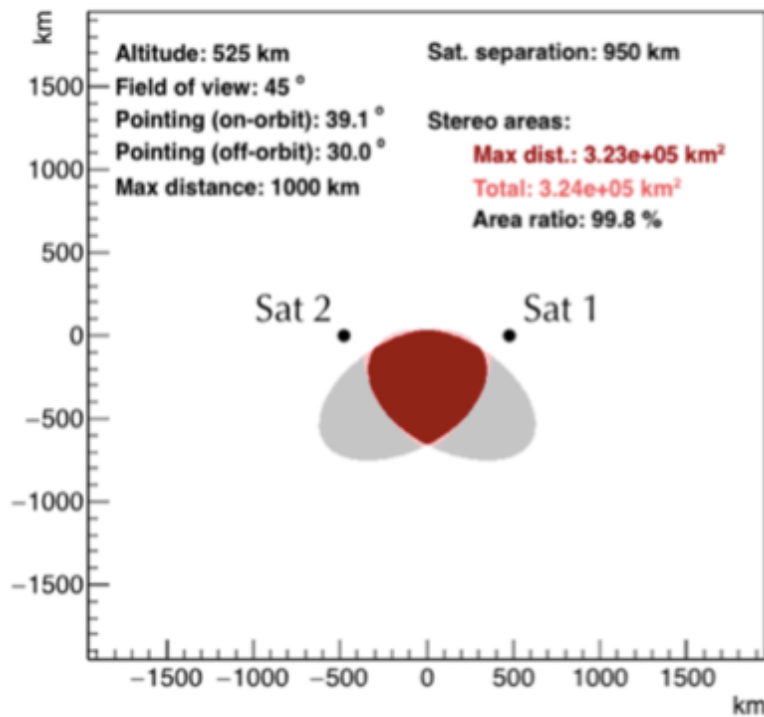


Satellite Separation ~300 km

Limb-viewing mode (UHECR + neutrino 観測)

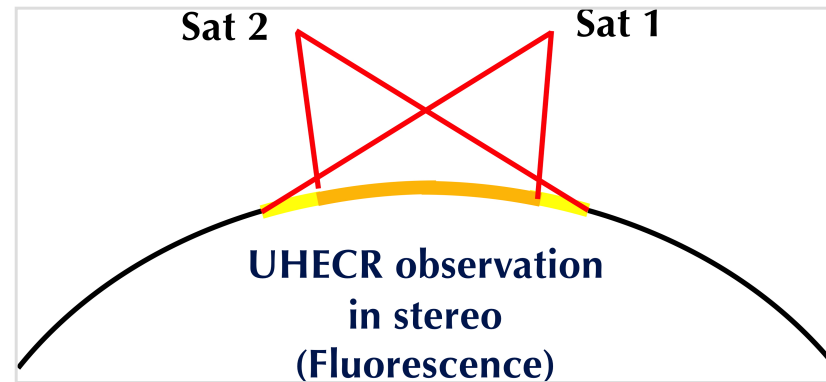


Satellite Separation ~30 km



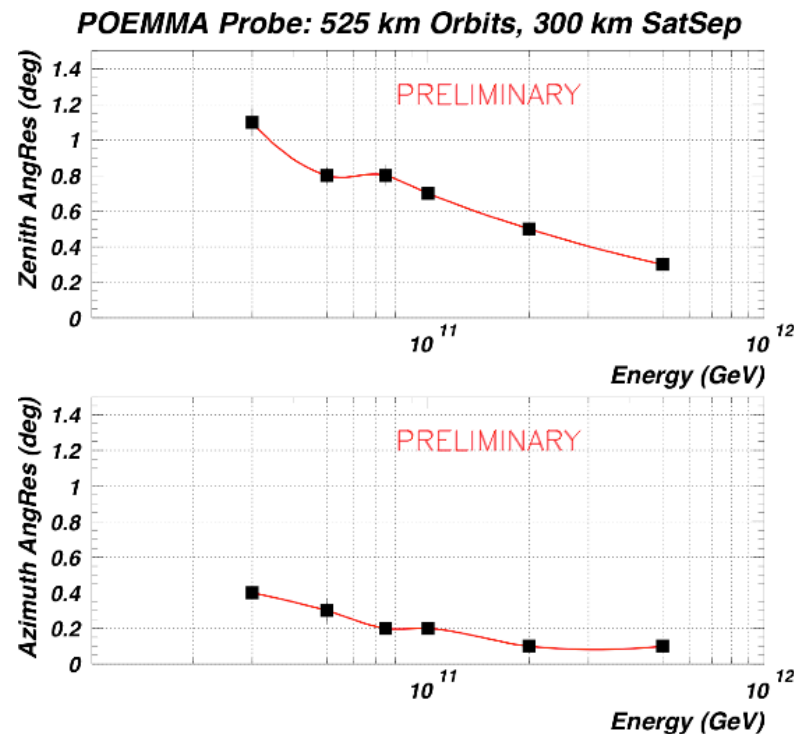
POEMMA 観測性能 (UHECR)

Stereo mode (UHECR 観測)



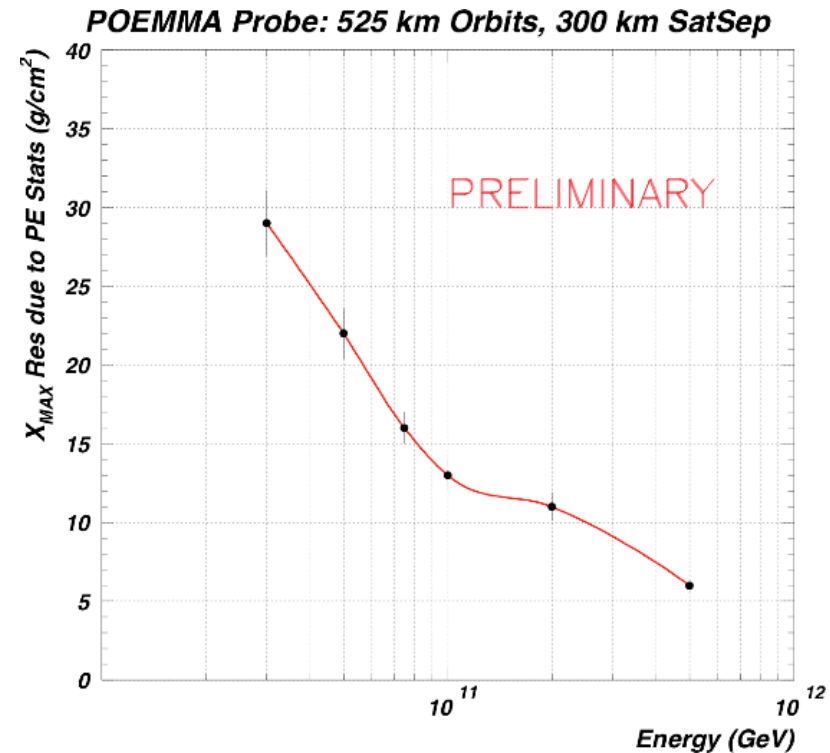
Satellite Separation ~ 300 km

到来方向決定精度



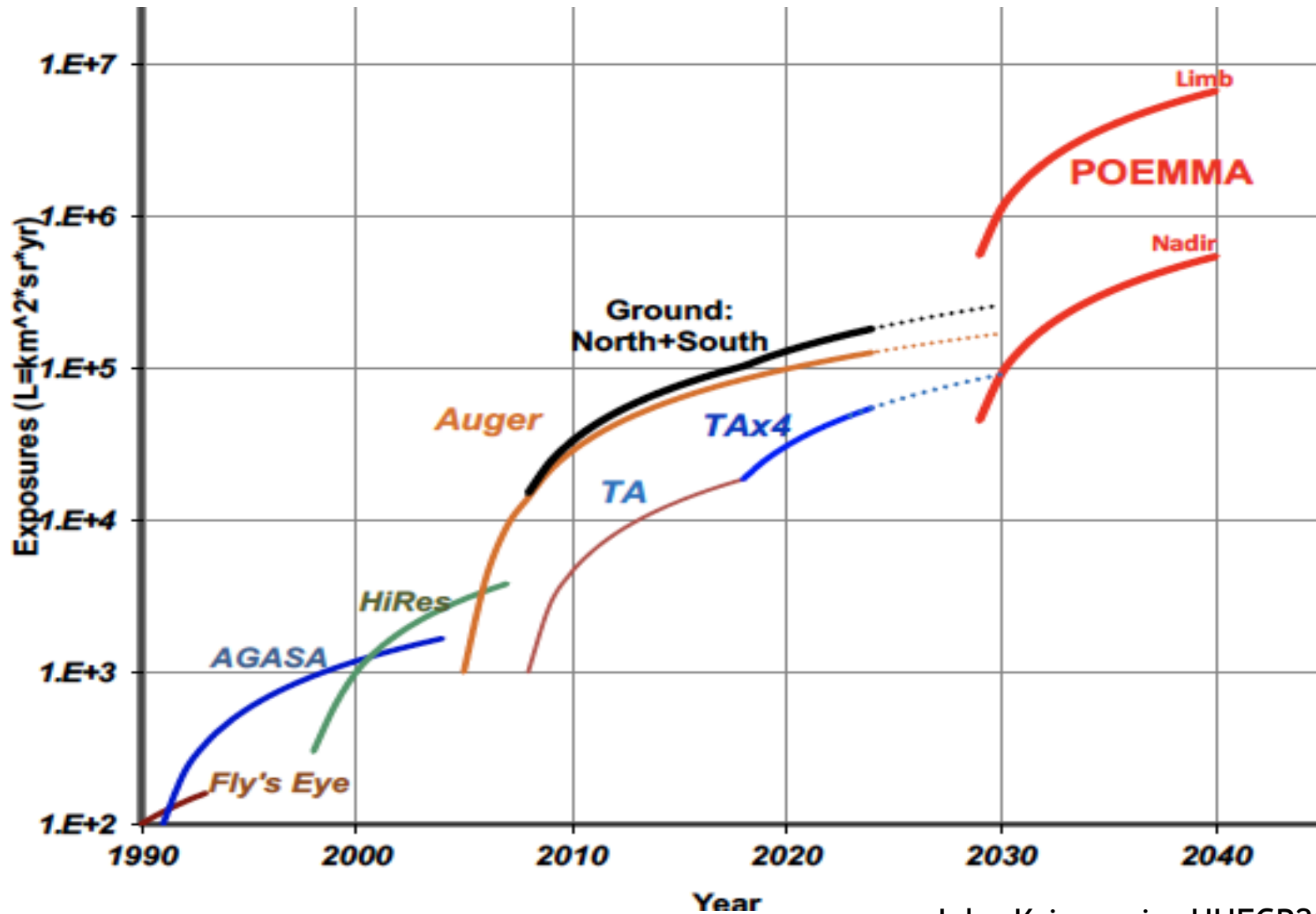
JEM-EUSO 要求値 : $< 2.5^\circ$

Xmax 分解能



JEM-EUSO 要求値 : < 120 g/cm²

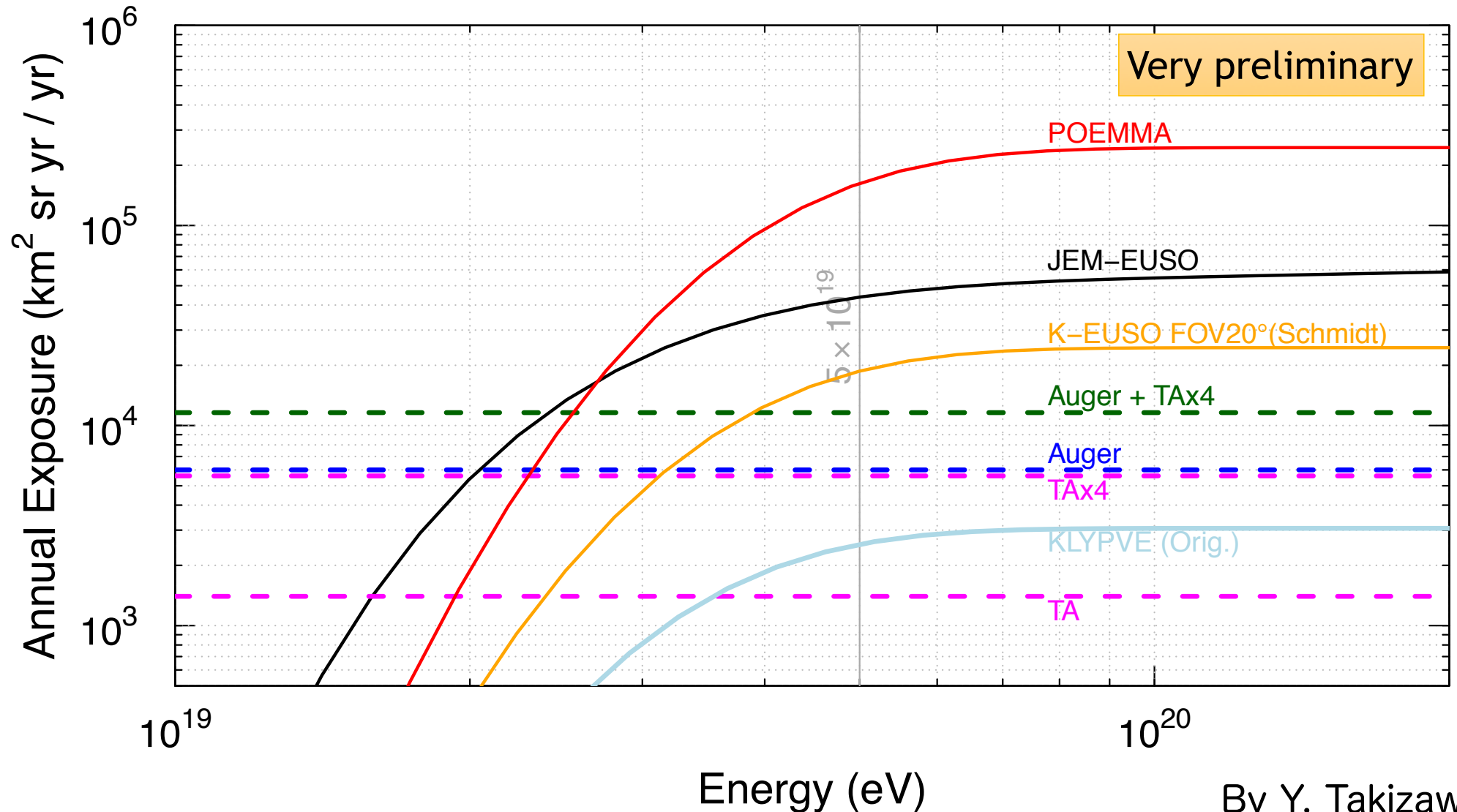
積分露出量



年間露出量比較

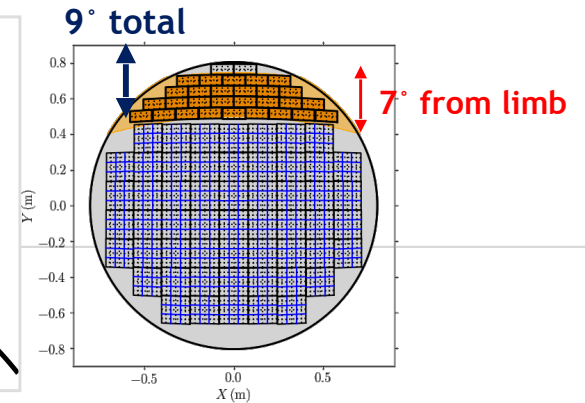
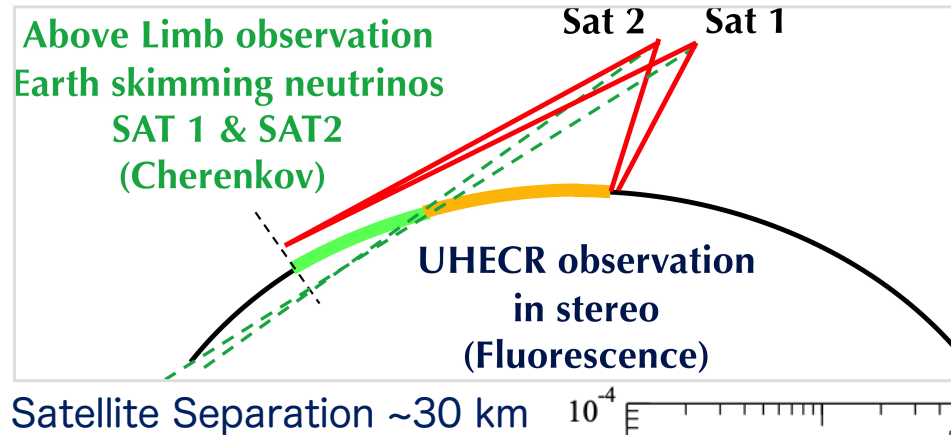
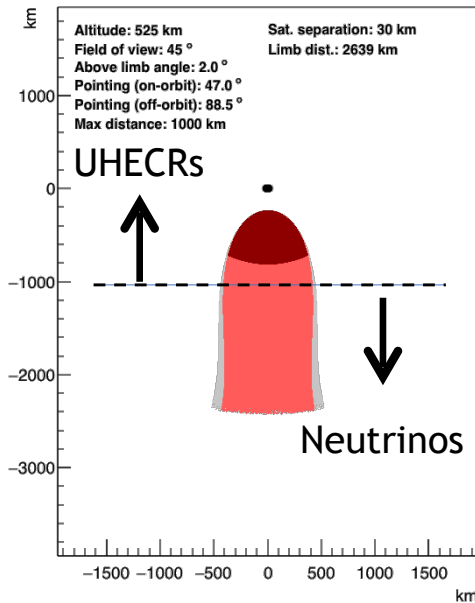
仮定：Limb mode とNadir modeの平均

Exposure comparison

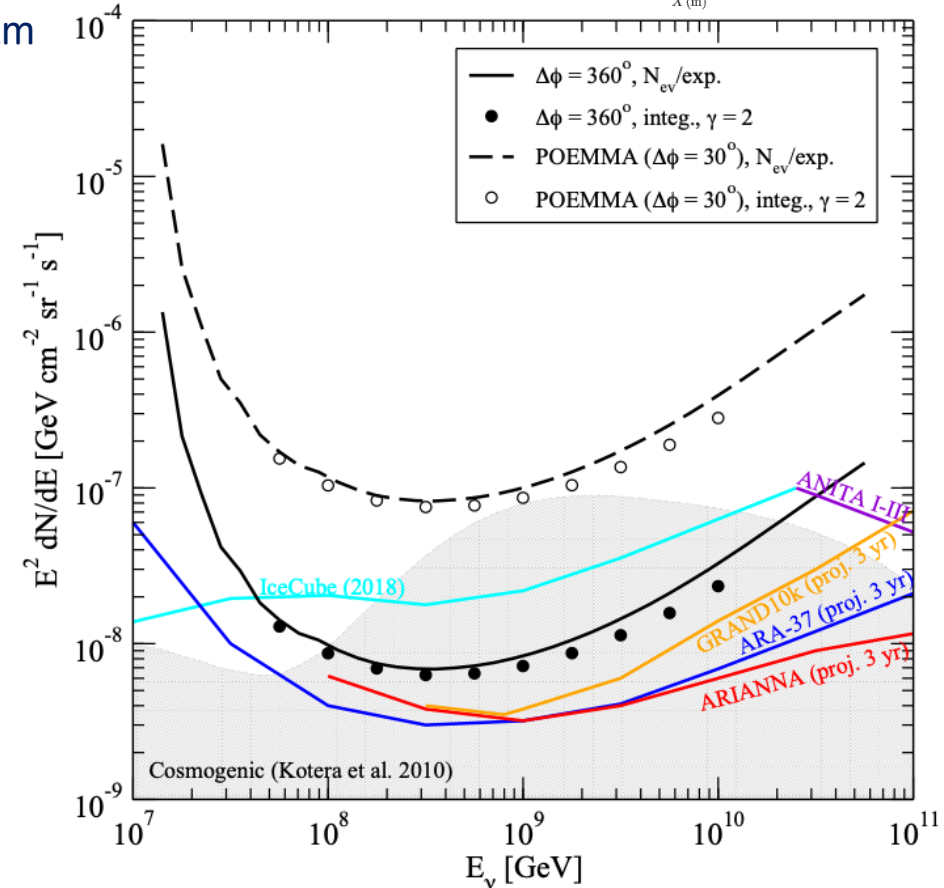


POEMMA 観測性能 (ニュートリノ)

Limb-viewing mode (UHECR + neutrino 観測)



- 5 year
- 20% duty cycle
- 10 PE threshold with time coincidence to reduce air glow background 'false positives'
- Viewing to 7° away from Limb



日本の参加内容

- EUSO-SPB2

- Schmidt 望遠鏡の直径 1.0m 補正レンズ
 - フライト 3枚

- POEMMA

- Schmidt 望遠鏡の直径 3.3m 補正レンズ
 - フライト 2枚、バックアップ2枚
 - レンズフレーム
- マルチアノード光電子増倍管

計画状況 (実施中・提案中)

EUSO-SPB2 (実施中、観測 2021年4月頃)

- 米国 EUSOチームが推進し、2017年に NASA が採択した。
- 詳細設計が進行中である。
 - 理研は、レンズ製作の観点から、光学設計チームに参加し製造性を考量した光学デザイン構築に貢献している。

POEMMA (提案中、準備研究を実施中)

- 2017 年、米国にてNext decadal surveyの「深宇宙観測ミッションの概念設計研究」の一つとして、採択され進行中である。
- 2018年12月最終報告書をNASAへ提出予定

総経費および予算

EUSO-SPB2

総経費 50 億円

(詳細設計: 5 億円、製造: 40 億円、解析: 5 億円)

POEMMA

総経費 750 億円以上 1000 億円以下
を想定(打上費用込み)。

目的、学術的意義

- ・ 最高のエネルギーをもった宇宙線粒子の源を探索する。
- ・ 全天の観測。
- ・ POEMMAの積算露出量（5年間）は、Augerの10倍以上と見積もっている。
- ・ 最高エネルギー粒子の点源を、全天で10個程度の検出が期待されている。
- ・ 宇宙からニュートリノの検出を行う。

実施機関・体制

POEMMA 及び EUSO-SPB2 は、次に示す機関で実施する。

米国チーム

シカゴ大学、コロラドスクールオブマインズ州立大学、アラバマ大学ハンツビル校、NASA、他

日本及び国際チーム

理化学研究所、JEM-EUSOコラボレーションの東大宇宙線研究所、甲南大学、大阪市立大学、欧州各国の大学・研究機関、各国宇宙機関などで実施する。

現在までの準備・実施状況

EUSO-SPB (2017、12 日間飛行) 及び EUSO-Balloon (2014、8 時間飛行)の気球実験を 2 回行なっている。

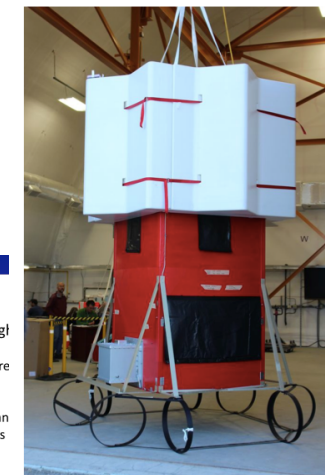
どちらの検出器も、予定通りに作動し良好な観測データを取得した。

これらの観測実験により、望遠鏡製造技術、リモートセンシング技術が確立した。

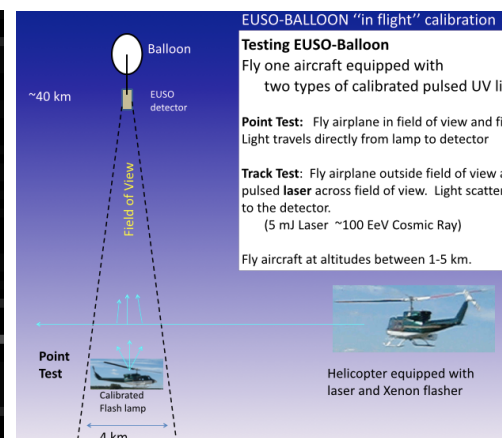
EUSO-SPB1



EUSO-Balloon



EUSO-Balloon: Laser flasher event



EUSO-SPB1

Extreme Universe Space Observatory on a Super Pressure Balloon

Launch, April 24, 2017 23:51 UTC



12 days, 4 hours and 34 minutes aloft.

- ・ 正常に動作。
- ・ 引き続き、データ解析中。
- ・ 今のところ宇宙線によるエアシャワー検出には至っていません。
- ・ シミュレーションなどによる12日間の露出での期待値は1.6イベント。
 - ・ 統計的には、検出なしで矛盾はない。

短いフライトになった原因について

NASAの調査委員会での報告では、

放球時の火薬でのボルト切断の破片が、気球を傷つけ、スローリークの原因になった、とされています。

マスタープラン2017への採否状況

K-EUSOを申請し不採択となりましたが、この場で議論をして頂き、広くK-EUSOを認知して頂きました。

宇宙研・宇宙理学委員会のサポートを頂くことができました。

宇宙研より2年間の戦略的開発費（理学）（2015年:1,453万円、2016年:1,389万円）により、K-EUSOに日本担当部分の課題（レンズ製作等）の技術確認を行うことができました。これにより、レンズ製作は、科研費枠レベルで実施できる状態となりました。

K-EUSOは、ロシアのミッションに日本がパートナーとして参加するミッションで、これに国際JEM-EUSOコラボレーションが協力して実施する国際宇宙ステーションからの超高エネルギー宇宙線観測計画である。

代表交代に関して

代表交代に関して

戎崎さん：

POEMMAのスケジュール（2020年代後半～2030年代前半）を考えた時、後進に任せるべきと決心した。

滝澤：

- ・ JEM-EUSO研究を通して、光学系を主導してきた。
- ・ サイエンスと光学系設計・製作の両方を理解している。
- ・ POEMMAでは、主要パーツの補正レンズの貢献・担当したい。

今年4月

戎崎計算宇宙物理研究室から

光量子工学研究センター・先端光学素子開発チームに移籍。

戎崎計算宇宙物理研究室は、兼務。

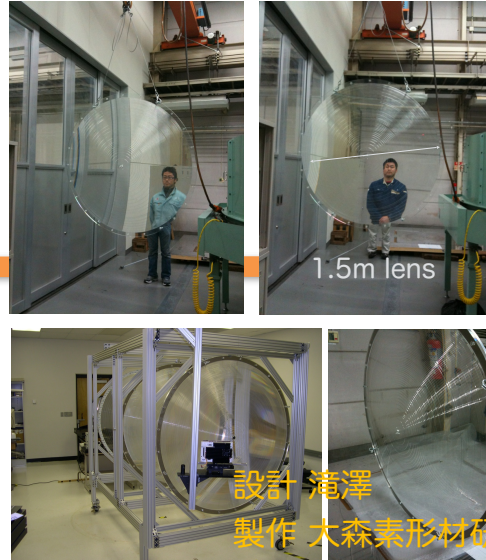
→ これまでのレンズ製造に、新たな知見・技術を加え、
POEMMA補正レンズの開発する環境を整えるため。

理研でのEUSO系レンズ製作

cEUSO
40 cm lens



JEM-EUSO BBM
1.5 m lens
Central area of 2.5 m lens



EUSO-TA
1 m lens



EUSO-balloon
1 m lens



設計 滝澤
製作 大森素形材研

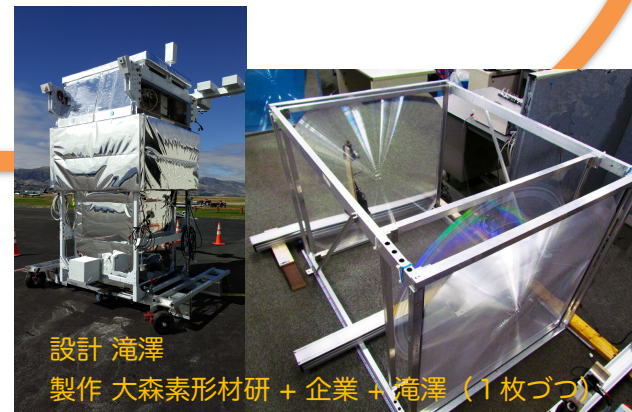
K-EUSO
2.5m 非球面レンズ
設計 滝澤、その後、露、伊、日
製作予定 滝澤

EUSO-SPB2
1m 非球面レンズ
設計 米国（滝澤参加）
製作予定 滝澤

Mini-EUSO
25 cm lens



EUSO-SPB
1 m lens



POEMMA
3.3m 非球面レンズ
設計 米国
製作予定 滝澤、日本POEMMAチーム

理研でのEUSO系レンズ製作

cEUSO
40 cm lens



JEM-EUSO BBM
1.5 m lens
Central area of 2.5 m lens



EUSO-TA
1 m lens



POEMMAの補正レンズという重要パーツ
に貢献したい。

設計 滝澤

製作 大森素形材研

設計 滝澤

製作 大森素形材研

製作 大森素形材研

日本チームは、それを遂行できる
知見と技術を有する。

K-EUSO

2.5m 非球面レンズ

設計 滝澤、その後、鶴、伊、白

製作予定 滝澤

Mini-EUSO

25 cm lens

EUSO-SPB

1 m lens

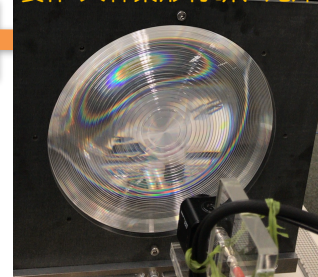
EUSO-balloon
1 m lens

1m 非球面レンズ

設計 米国（滝澤参加）

製作予定 滝澤

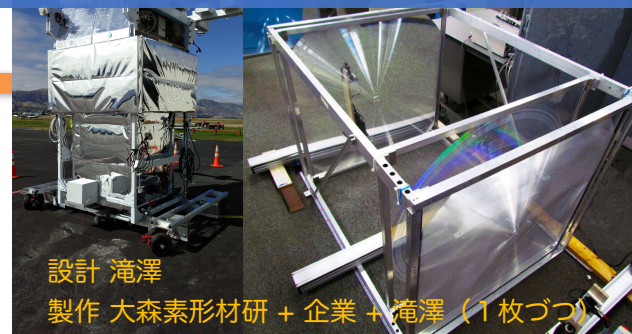
製作 大森素形材研、滝澤



POEMMA
3.3m 非球面レンズ

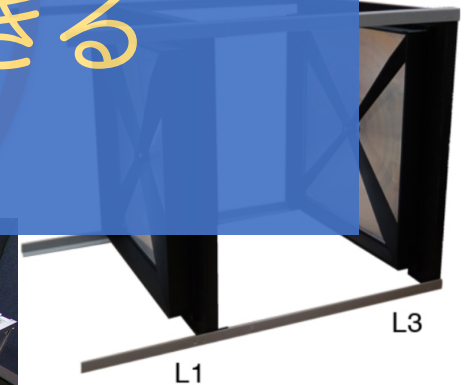
設計 米国

製作予定 滝澤、日本POEMMAチーム



設計 滝澤

製作 大森素形材研 + 企業 + 滝澤（1枚づつ）



設計 滝澤

製作 大森素形材研

まとめ

POEMMAは、マルチメッセンジャー宇宙望遠鏡です。
衛星軌道から超高エネルギーの宇宙線天文学を始めます。
(荷電粒子、ニュートリノ)

- EUSO-SPB2 (総予算50億円)
 - Schmidt 望遠鏡の直径 1.0m 補正レンズ
 - フライト 3枚
- POEMMA (総予算750億円以上1000億円未満)
 - Schmidt 望遠鏡の直径 3.3m 補正レンズ
 - フライト 2枚、バックアップ2枚
 - レンズフレーム