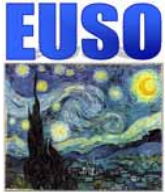


EUSO

Extreme Universe Space Observatory

戎崎俊一(理化学研究所)

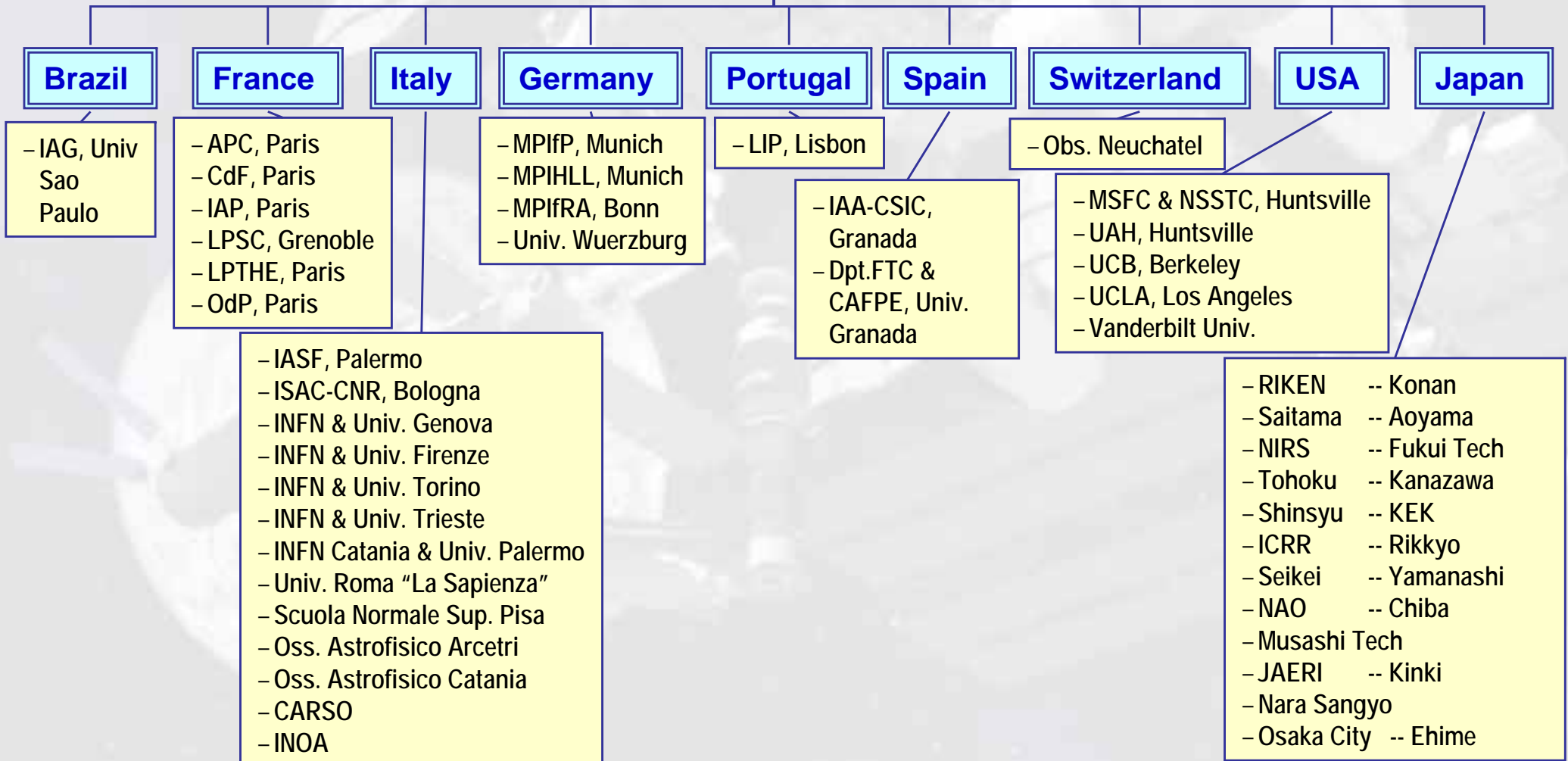
EUSO-Japan Collaboration

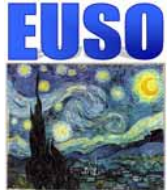


EUSO Consortium - Institutes

The EUSO instrument consortium is truly global in nature with >150 researchers in 50 institutions in 6 countries in Europe, the USA, Japan and Brazil.

Participant Nations and Institutions





EUSO-Japan Member

福井工大工

東北大

金沢大理

信州大工

KEK

東大宇宙線研

埼玉大理

理研

立教大理

成蹊大工

山梨大工

天文台

放医研

千葉大理

武蔵工大工

青山学院大理工

甲南大理工

原研

近大理工

奈良産大情報

愛媛大理

永野元彦, 宮崎芳郎

高橋幸弘

村上敏夫, 米徳大輔

木舟正

石川正, 金子敏明, 栗原良将, 清水韶光, 藤本順平

竹田成宏, 林田直明, 間瀬圭一

井上直也

上野嘉之, 上原嘉宏, 戎崎俊一, 大谷知行, 大森整, 川井和彦,

川崎賀也, 佐藤光輝, 清水裕彦, 鈴木亨, 滝澤慶之, 広田克也,

M.E.Bertaina, 宮坂浩正, 森田晋也, 守安精, 山形豊, 林偉民

北本俊二

近匡

本田建

梶野敏貴, 水本好彦

内堀幸夫

吉田滋

門多顯司

榊直人, 柴田徹, 吉田篤正

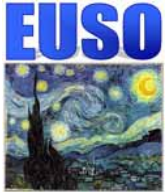
梶野文義, 佐藤文隆, 坂田通徳, 山本嘉昭

田島俊樹

千川道幸

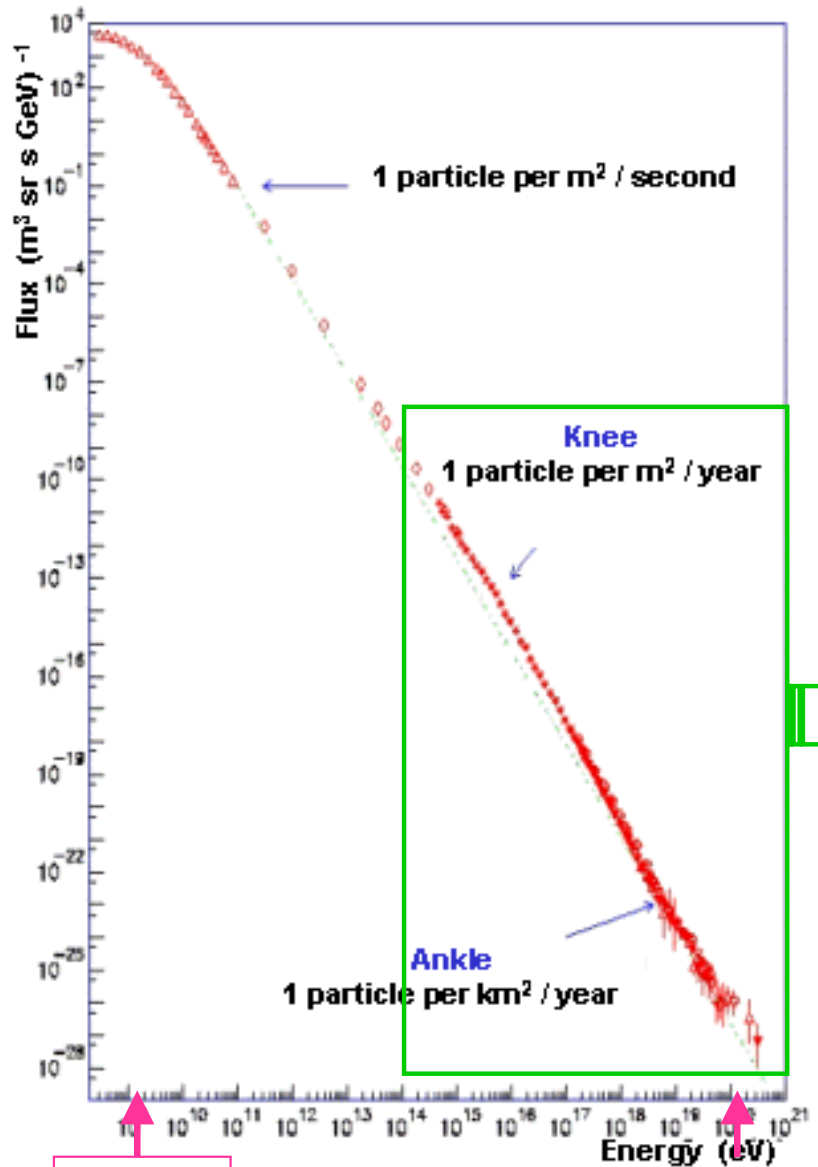
政池明

吉井尚



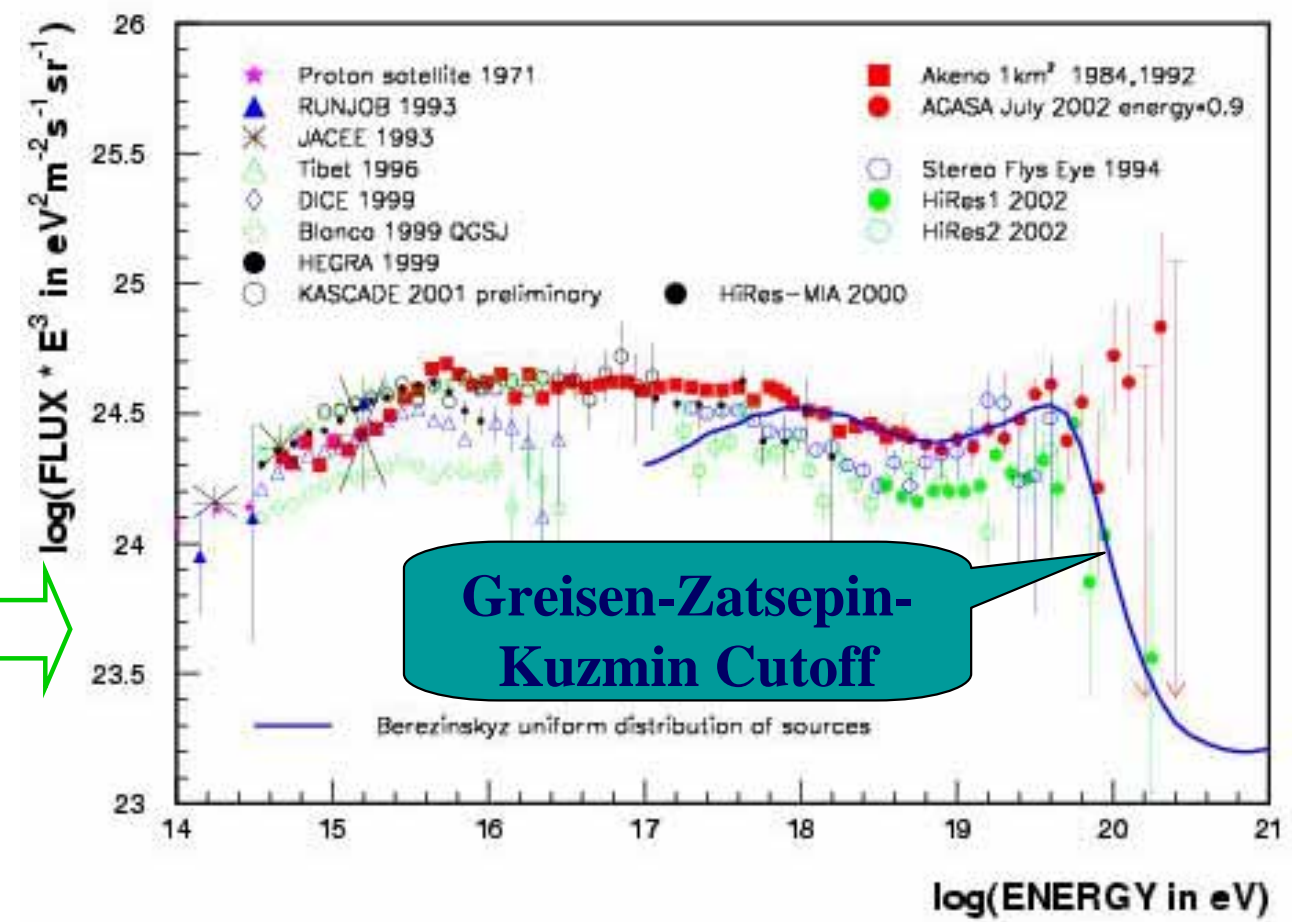
宇宙線のエネルギースペクトル

極限エネルギー宇宙線の存在の解明は現在の物理学の最重要問題の一つと考えられている

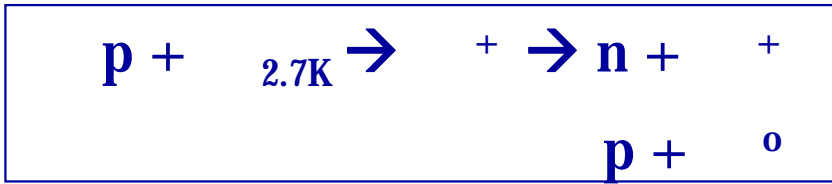


10^9eV

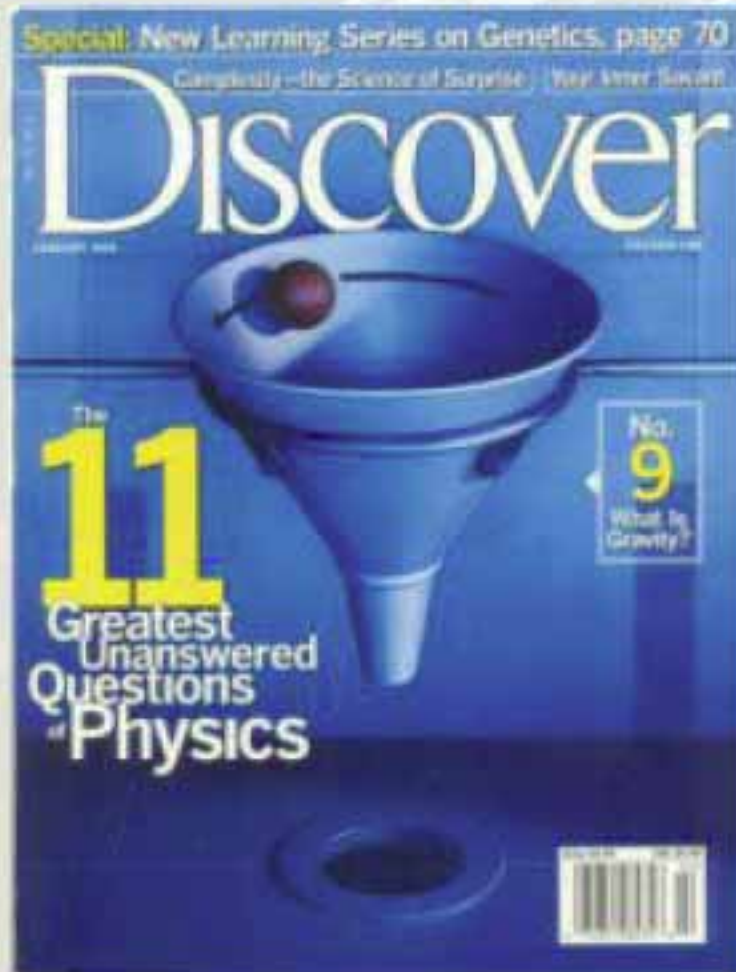
10^{20}eV



Greisen-Zatsepin-Kuzmin Cutoff

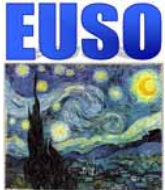


The Discover cover story is based on the 105-page National Research Council Committee on Physics of the Universe report *Connecting Quarks with the Cosmos: 11 Science Questions for the New Century*.



(Discover Magazine's Cover Story For February 2002)

1. What is dark matter?
2. What is dark energy?
3. How were the heavy elements from iron to uranium made?
4. Do neutrinos have mass?
5. **Where do ultra-energy particles come from?**
6. Is a new theory of light and matter needed to explain what happens at very high energies and temperatures?
7. Are there new states of matter at ultrahigh temperatures and densities?
8. Are protons stable?
9. What is gravity?
10. Are there additional dimensions?
11. How did the universe begin?



EUSO の特徴

• 遠方、大広角(60°)

→ 広大な検出エリア

~ $4.5 \times 10^5 \text{ km}^2 \text{ sr}$

- 宇宙線観測器として大きな可能性
- 宇宙線バーストに対しAGASAの3000倍の感度

1500 Giga-ton 大気

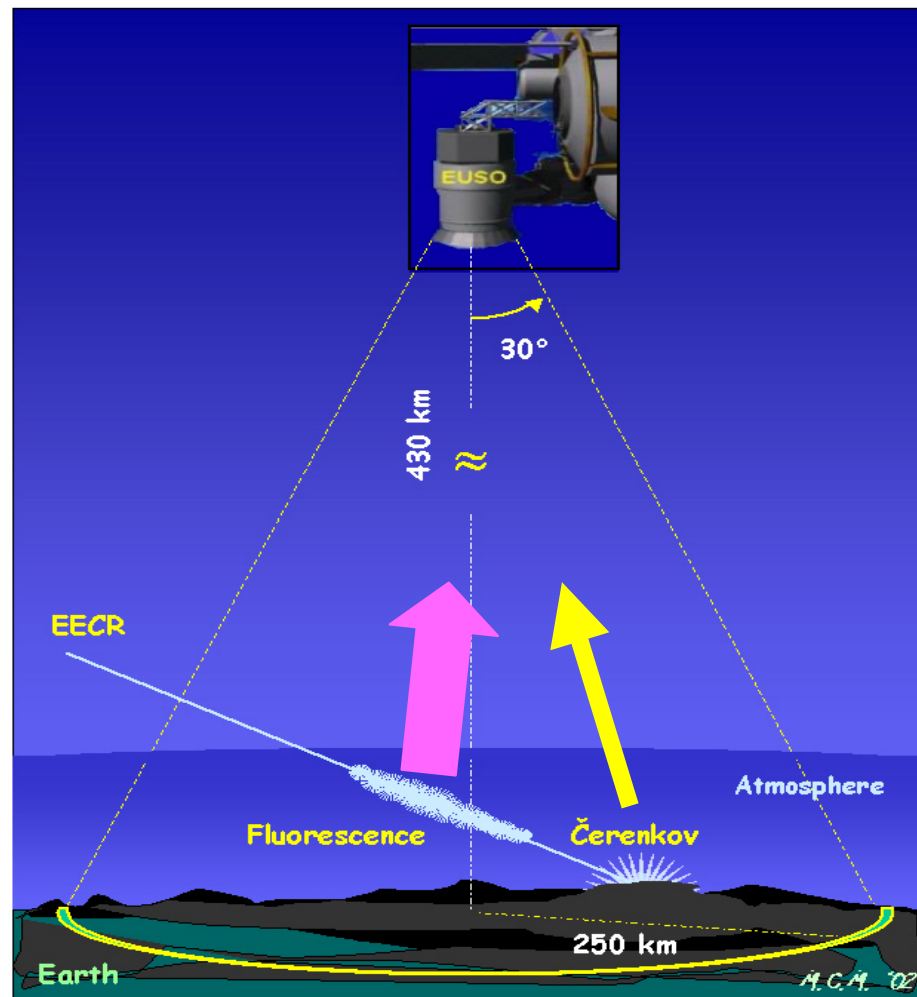
- 超高エネルギーニュートリノ検出器としての可能性 (IceCubeの1500倍)

• 全天観測

– 南北半球にわたる均一な観測が可能

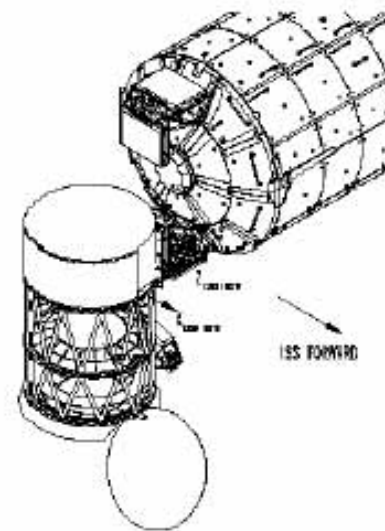
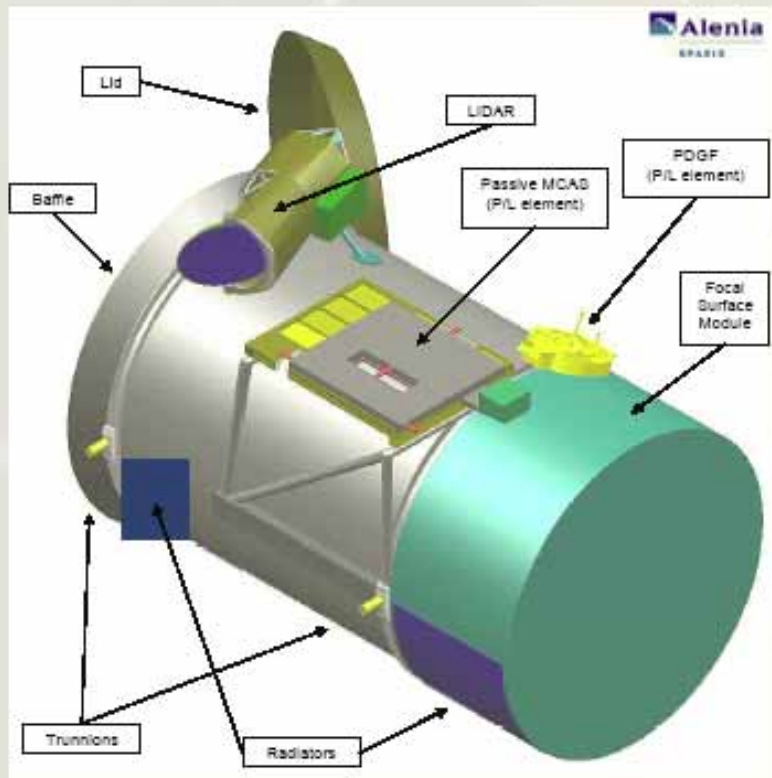
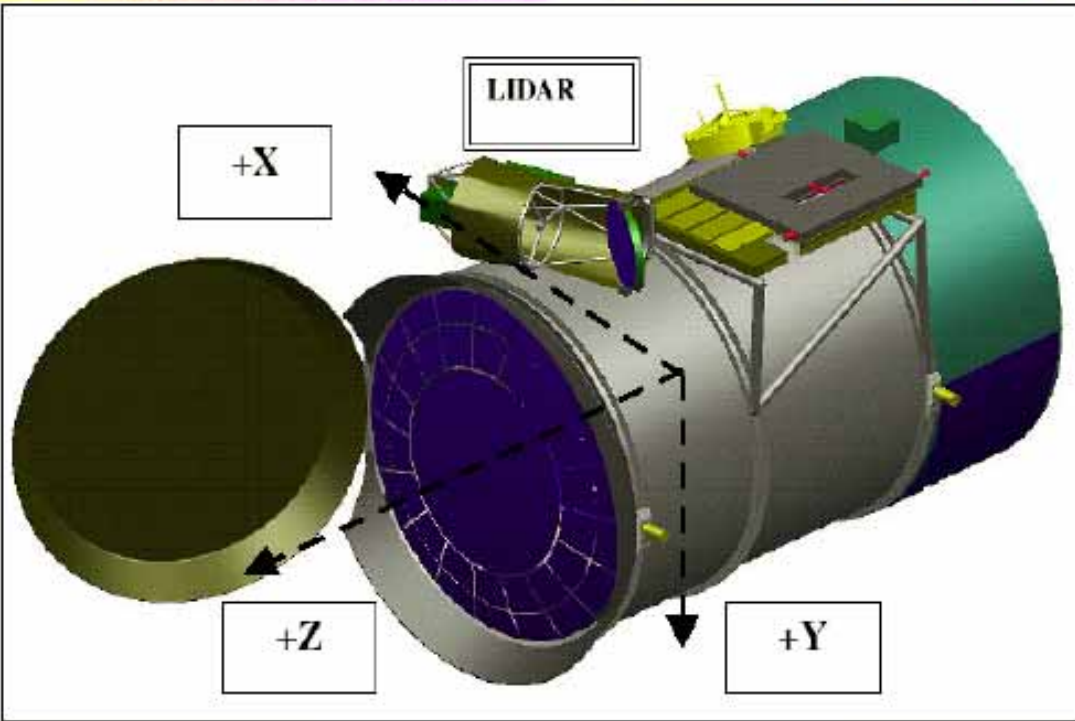
国際宇宙ステーション軌道 ($\pm 52^\circ$) のおかげ!

• 地上観測と相補的観測



The Instrument: size

Length = 4.5 m
 Width = 2.7 m

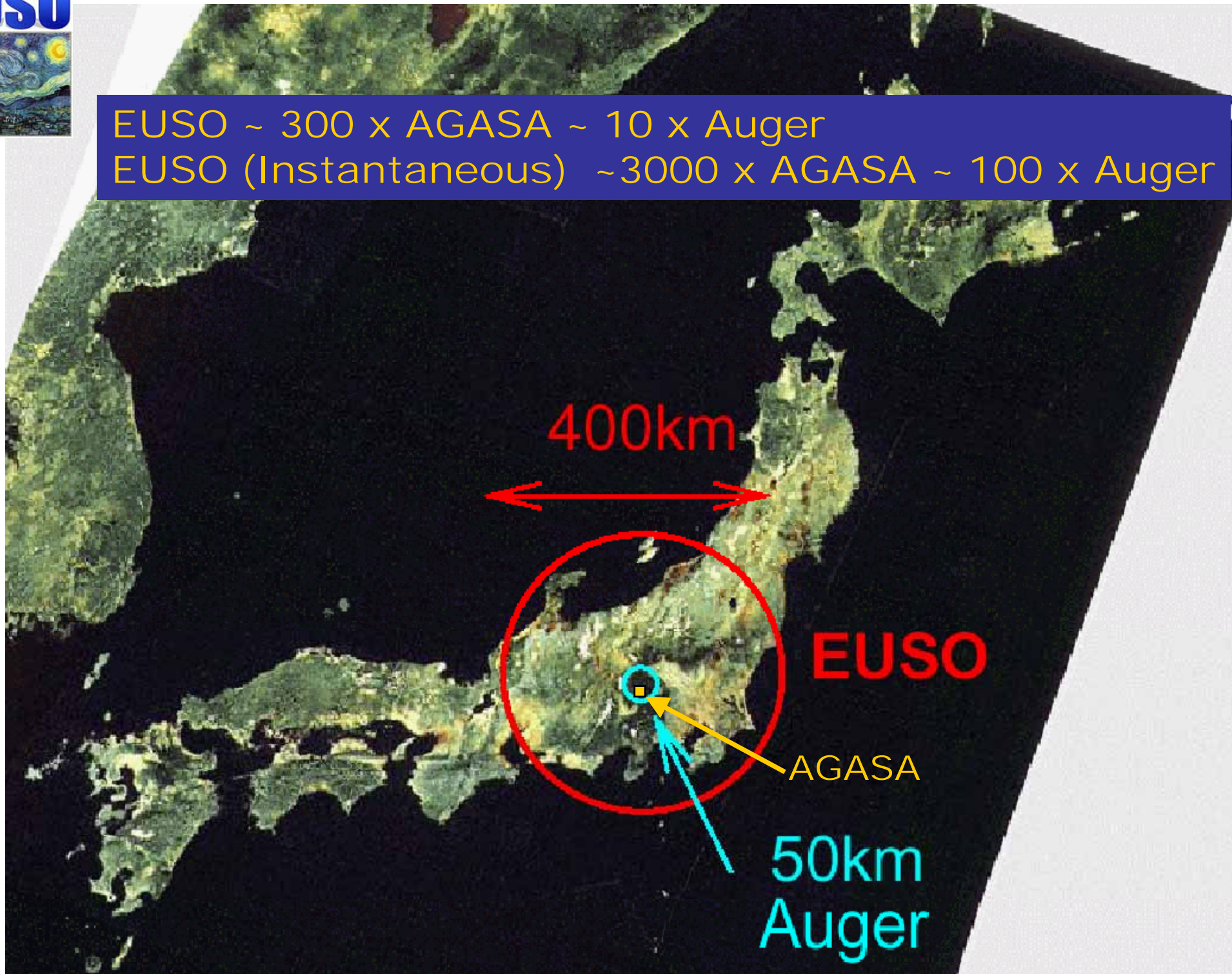


EUSO



EUSO ~ 300 x AGASA ~ 10 x Auger

EUSO (Instantaneous) ~ 3000 x AGASA ~ 100 x Auger



400km

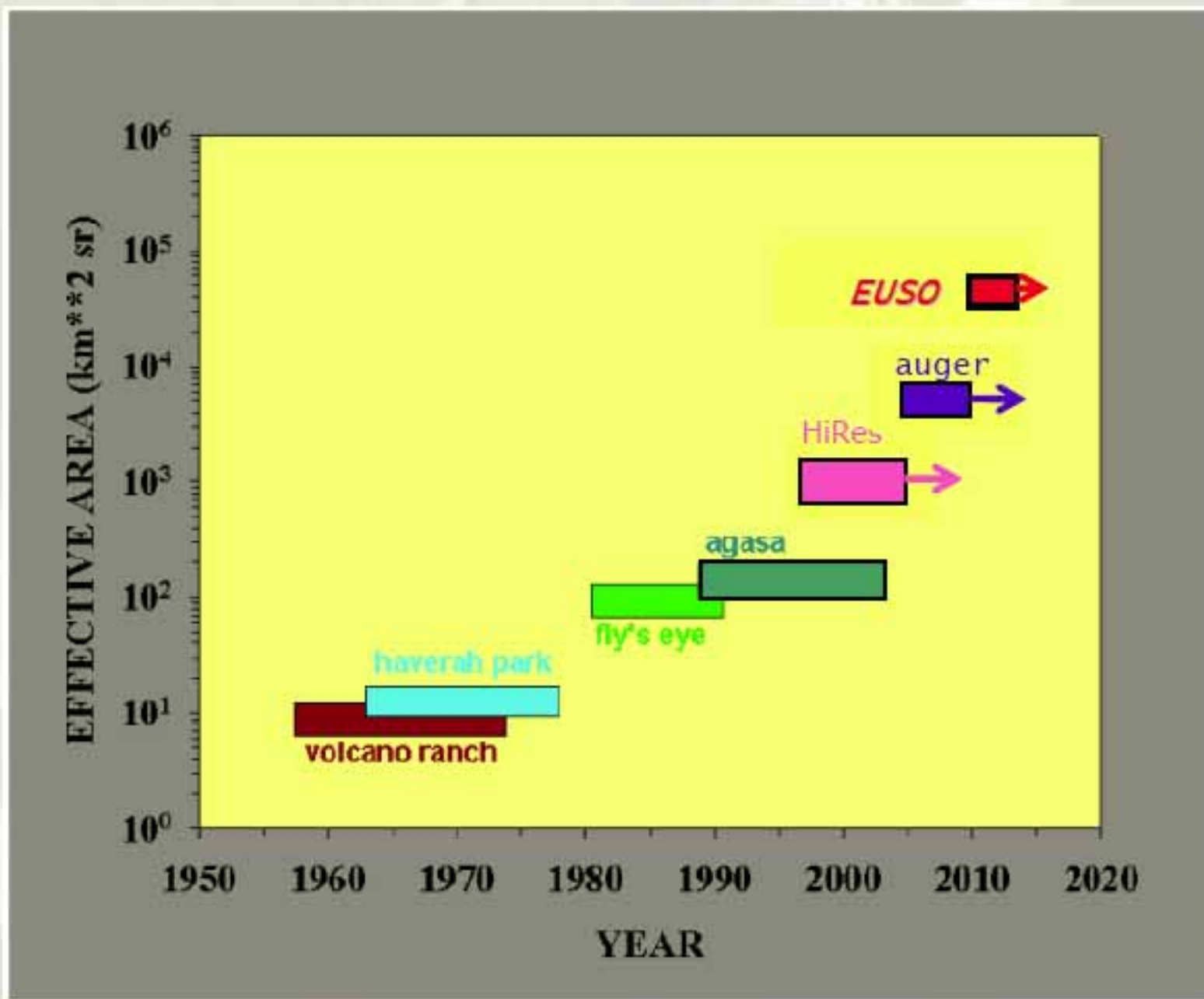
EUSO

AGASA

50km
Auger



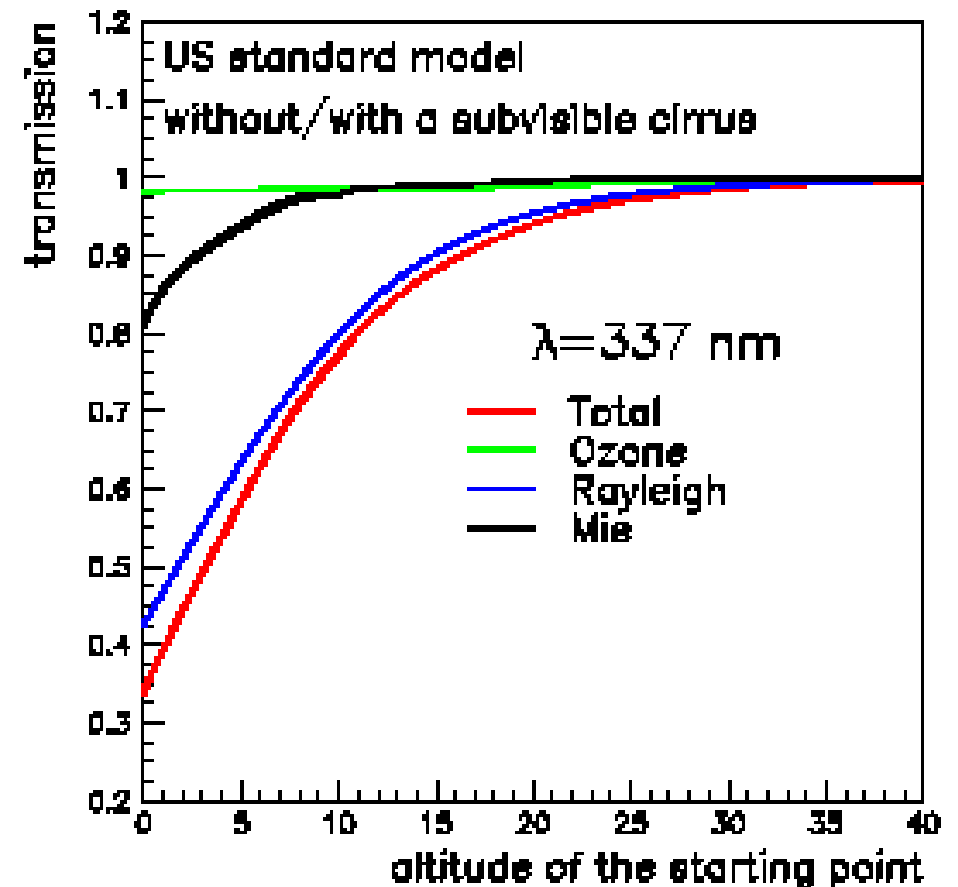
Comparison with ground-based experiments





大気擾乱の影響が少ない

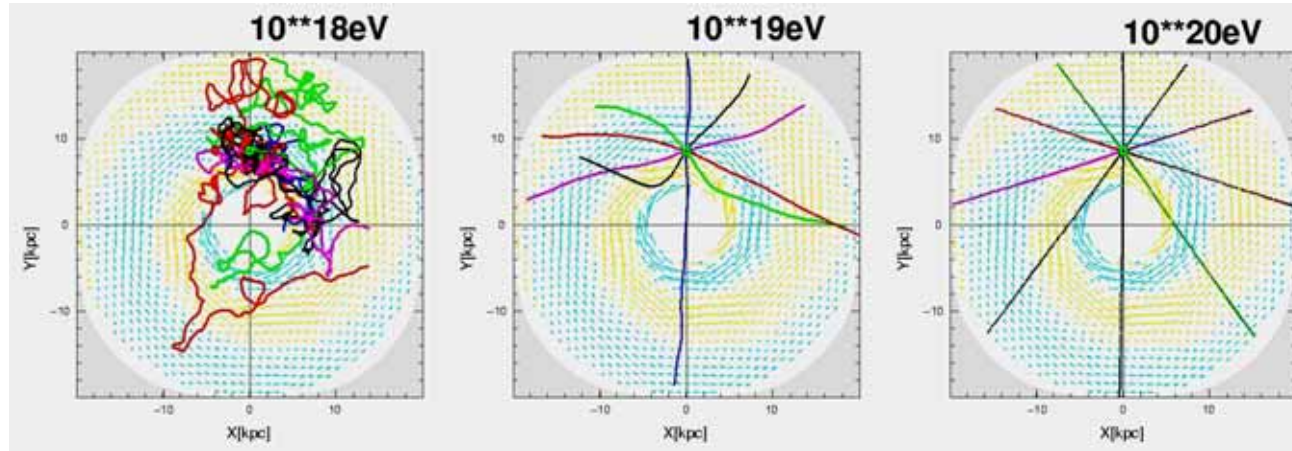
- Mie 散乱の効果小
 - 最悪でも~20%
 - 雲高 2~3km (夜)
- 全透過率
 - ~ 0.3
 - 地上観測: 0.1~0.01



科学的目標

- 極限エネルギー宇宙線の起源と伝播の解明
 - Top-down vs. Bottom-up
 - 到来方向異方性、クラスタ、エネルギースペクトル、圧倒的な統計
 - 偏らない視野
 - LPM効果によるガンマ線弁別
- 高エネルギーニュートリノ天文学創始
 - GZKニュートリノは3年間で数イベント
 - もっとも保守的な見積もり
- 大気内発光現象の網羅的探査

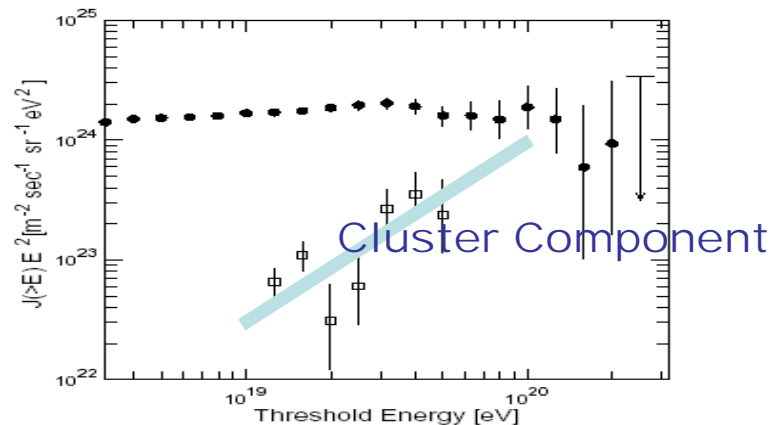
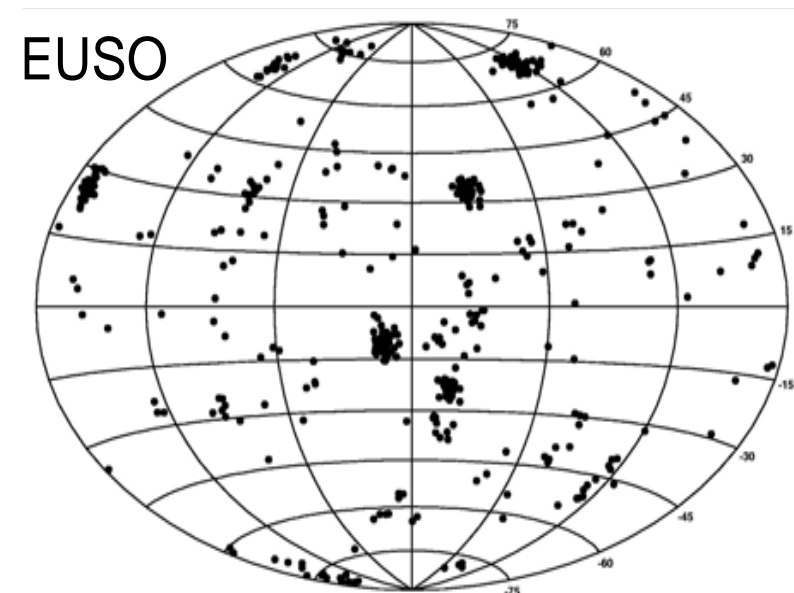
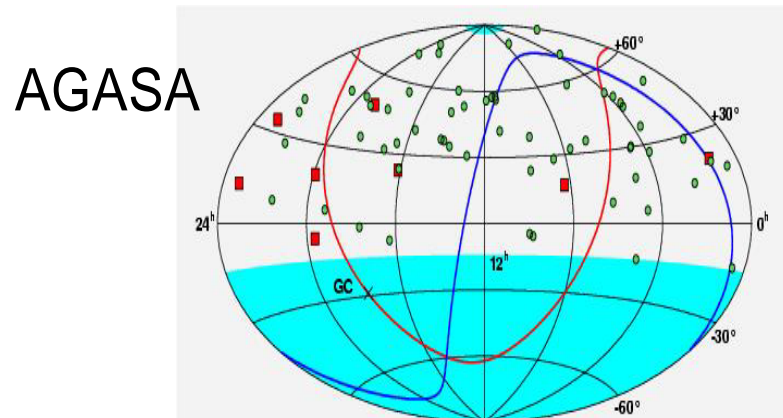
荷電粒子による天文学と伝播空間の物理学



10²⁰eV以上ではproton
は銀河磁場でほとんど曲
がらない

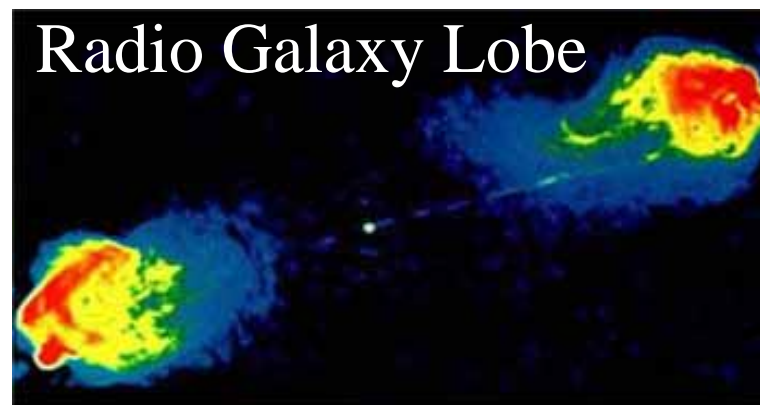
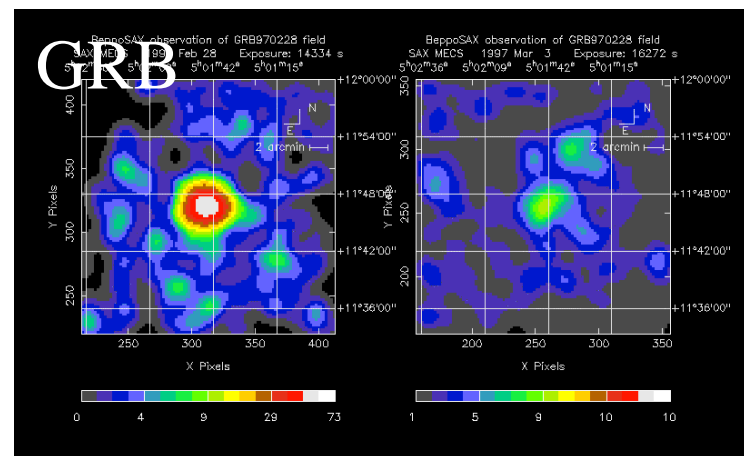
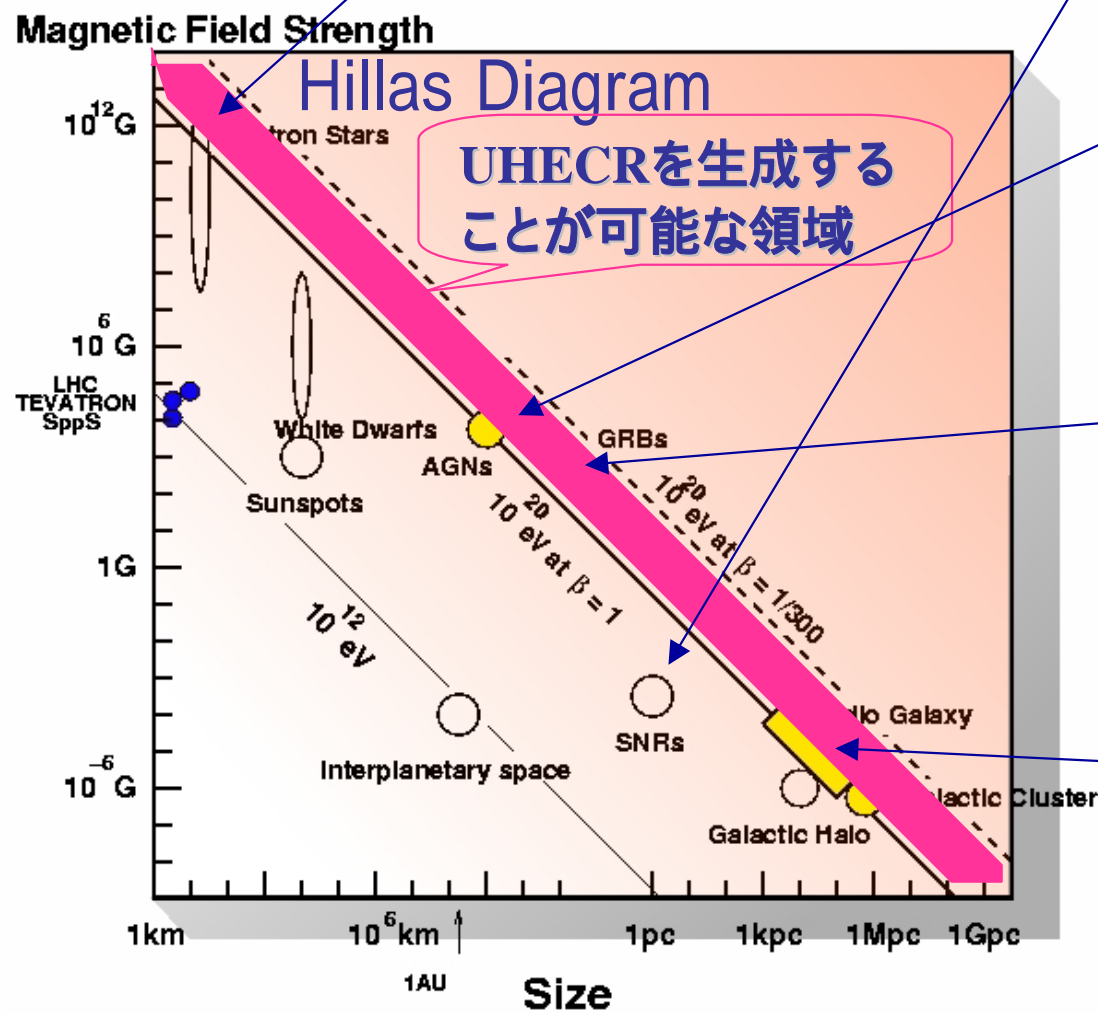
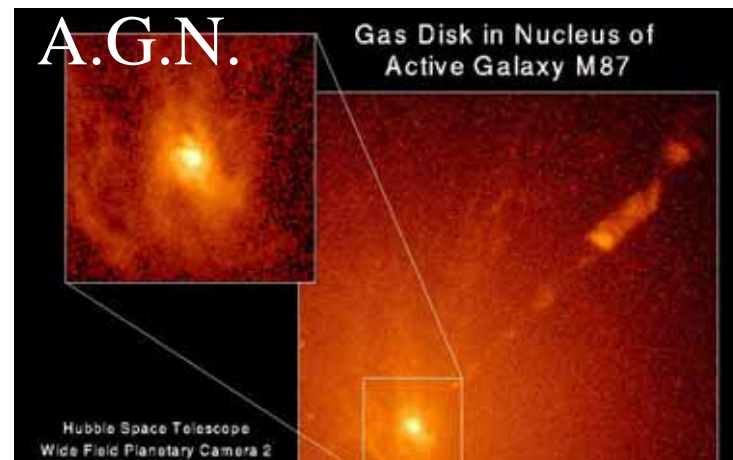
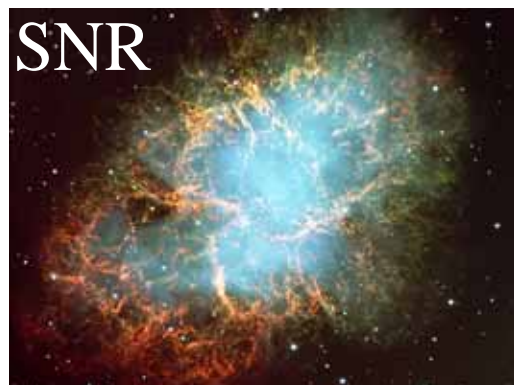
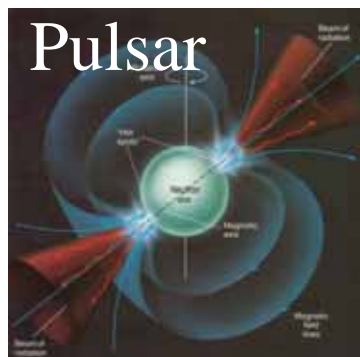


荷電粒子天文学！



- 2,000事象以上 : $E > 4 \times 10^{19} \text{eV}$
- 最大60~70のクラスターの発見が期待される
- 全天を観測することができる

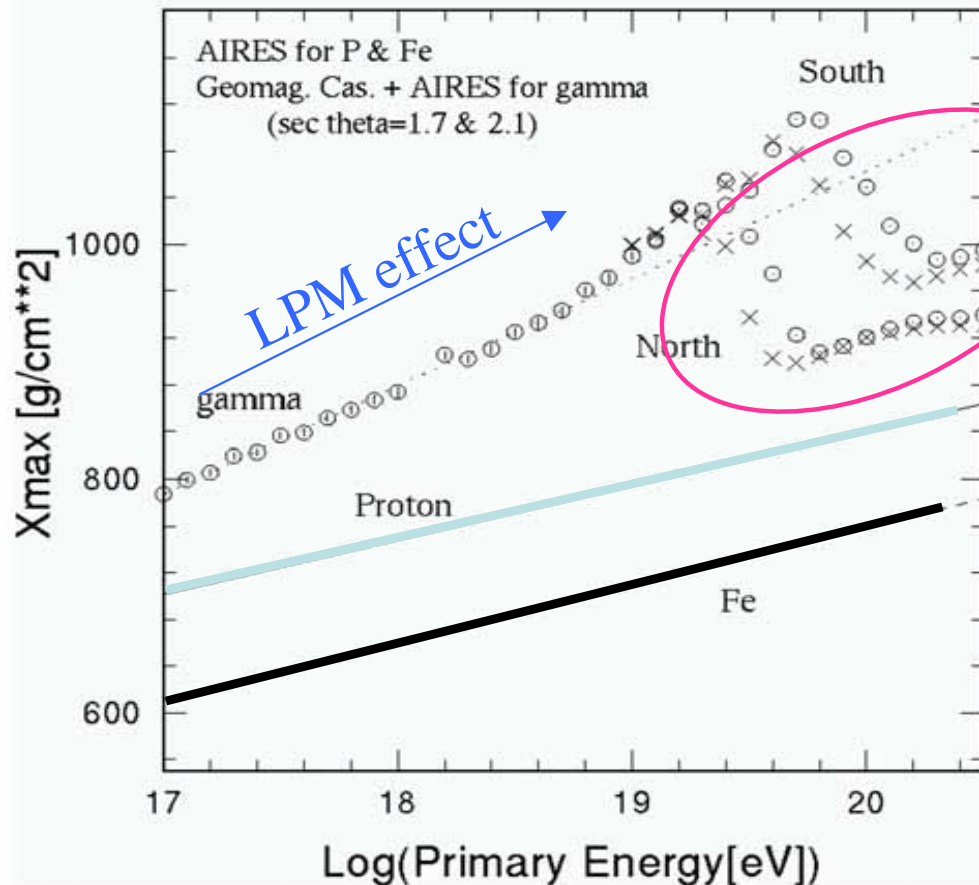
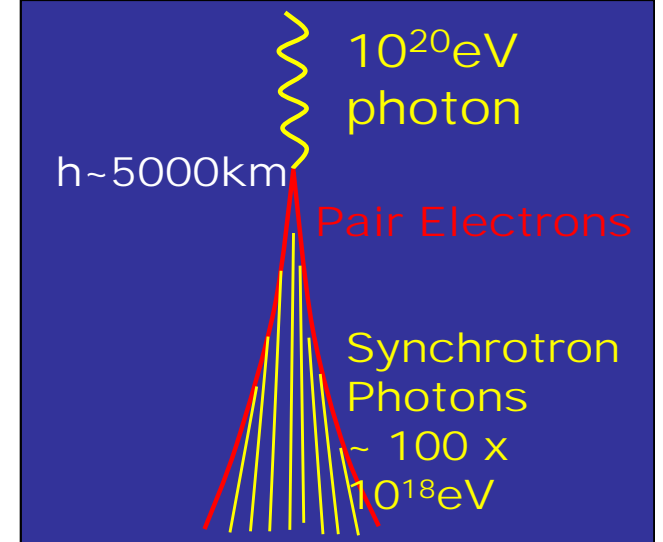
極限エネルギー宇宙線を生成できる候補天体



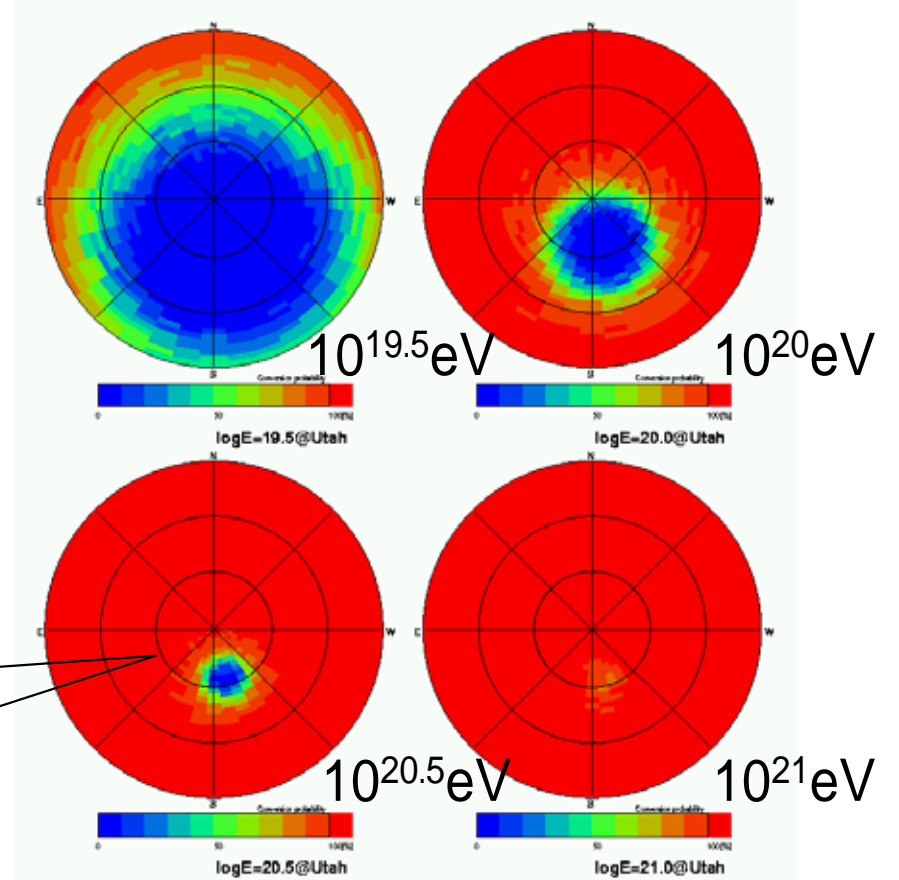
粒子組成の識別による物理学

Xmax(シャワー発達の最大値の深さ)を利用すると粒子識別が可能

トップダウンシナリオ(宇宙創成初期にできた位相欠陥など)の検証が可能になる

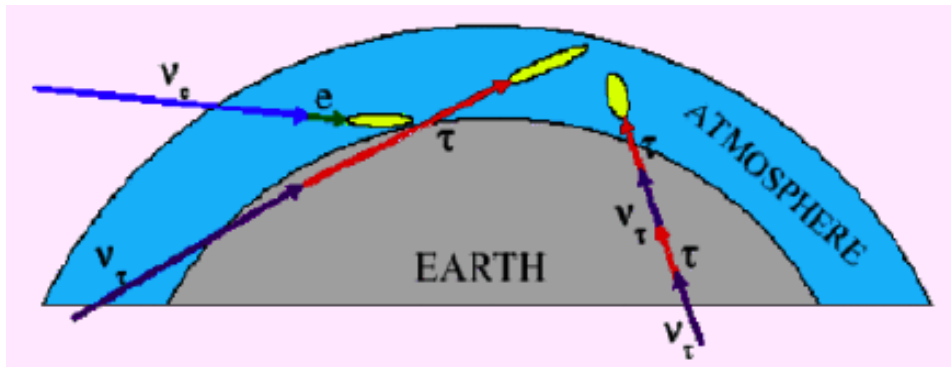


ガンマ線の地球磁場との相互作用によるカスケードシャワーの生成

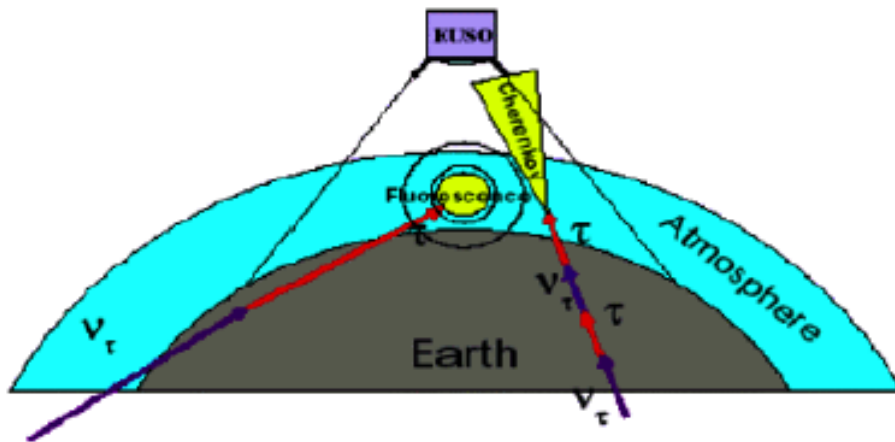


ガンマ線が極方向から入射したときの方が地球磁場による電子対創生をする確率は小さい

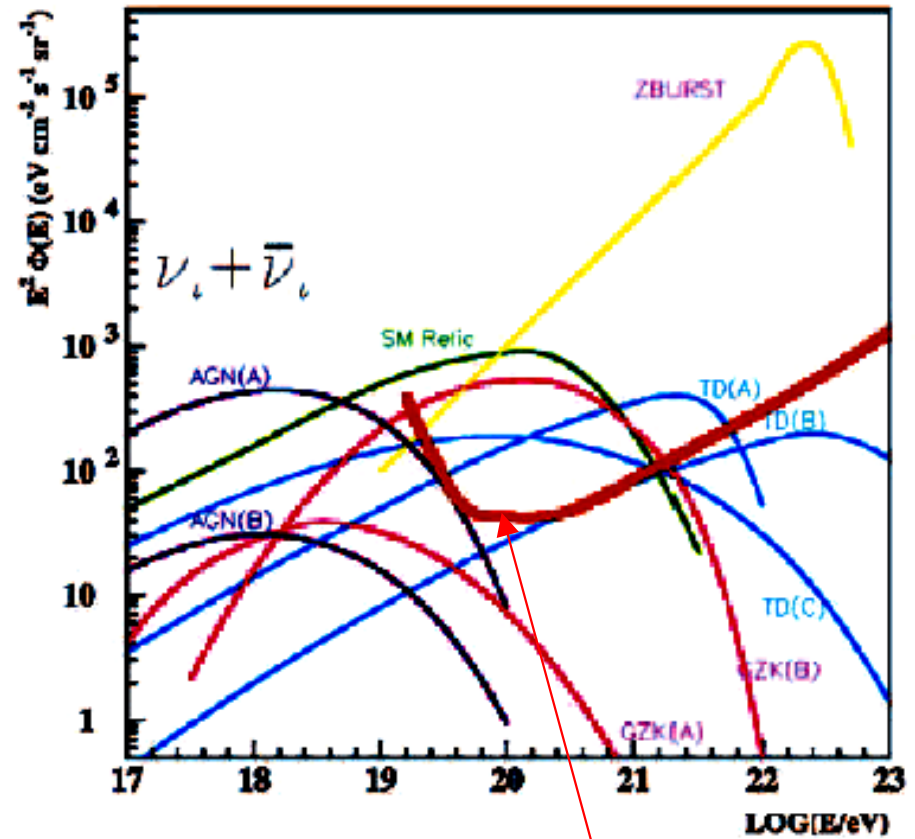
超高エネルギーニュートリノ天文学



ニュートリノの識別方法

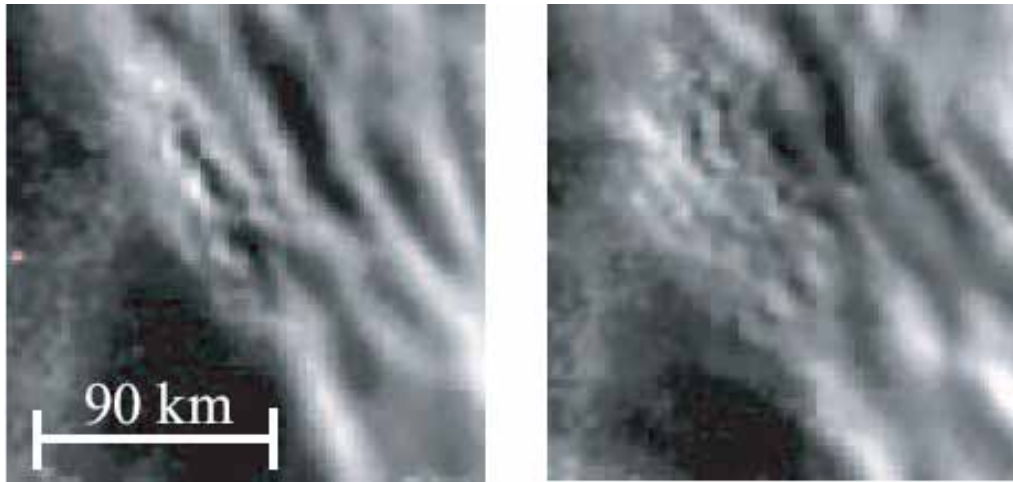


上方向ニュートリノの識別方法



EUSOでエネルギー1桁あたり
1年に1イベント起こったときの
1フレーバーあたりの検出感度

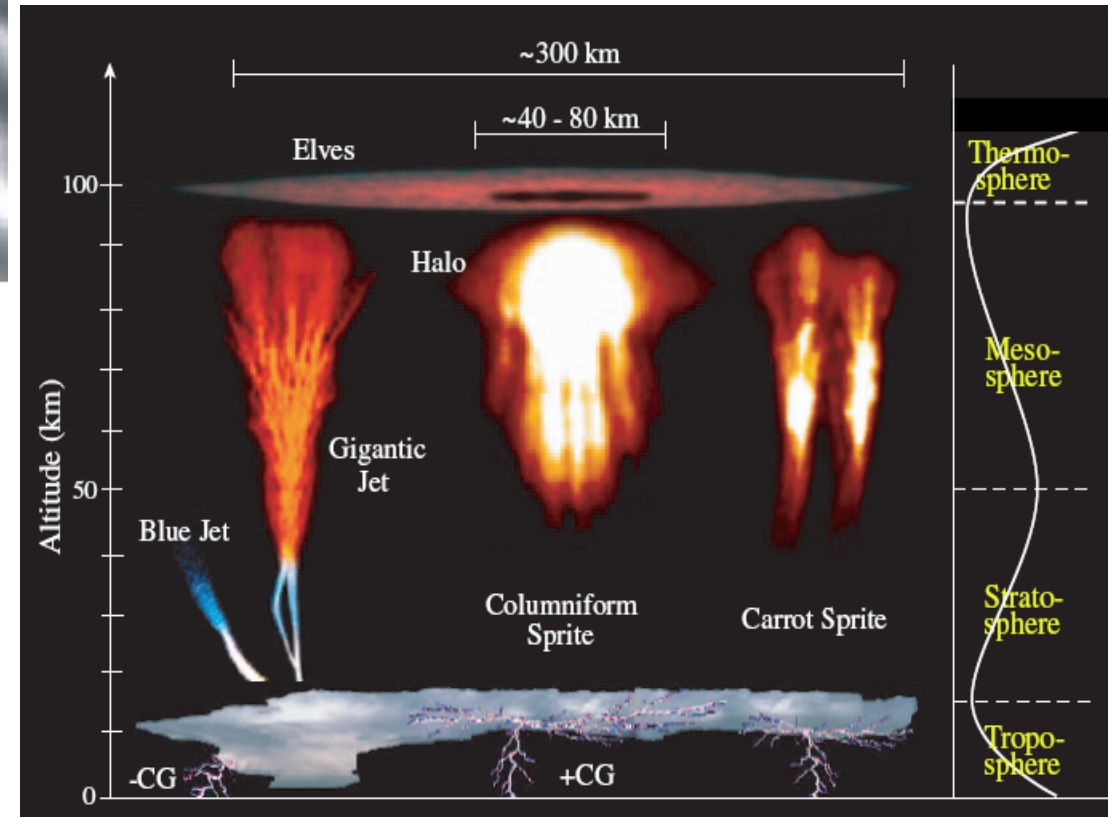
大気発光現象の科学



地上から観測したOH夜光の変化



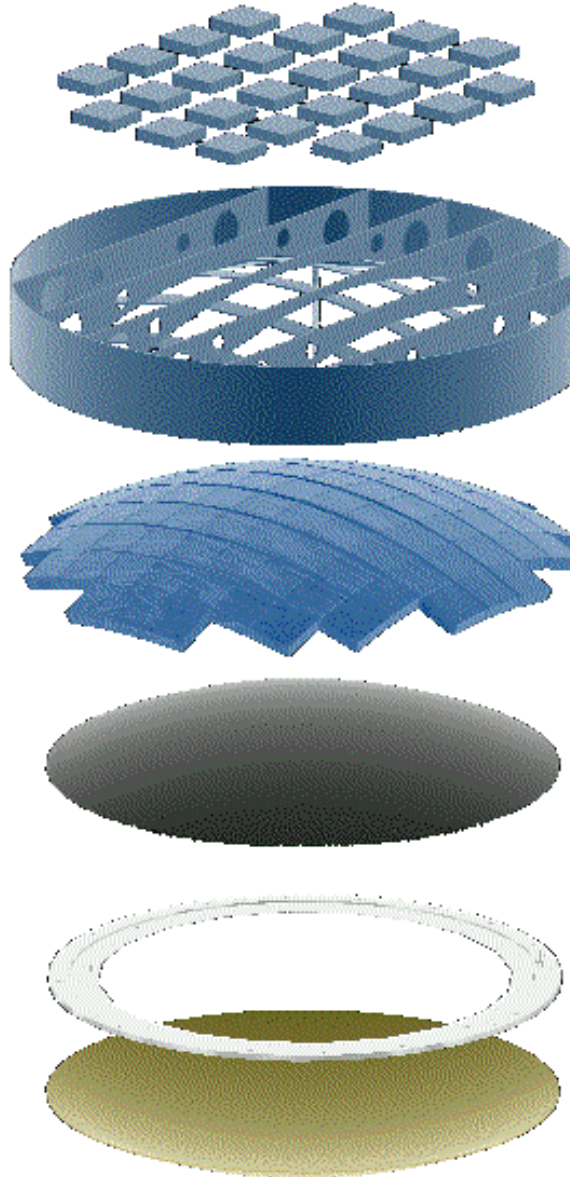
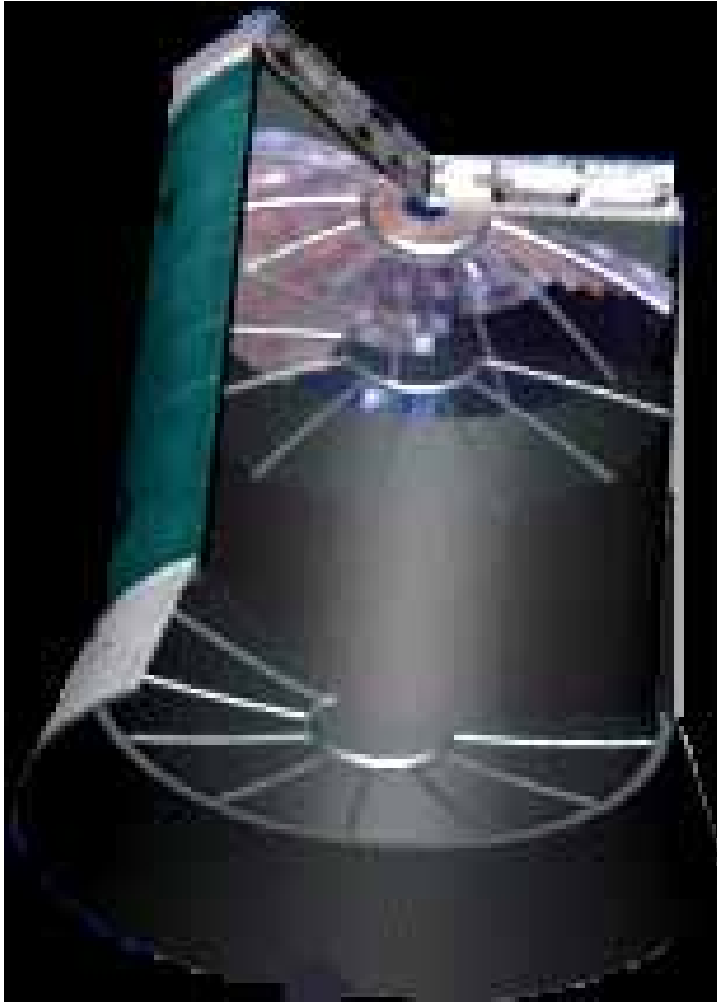
ハイビジョンカメラによる
2001年のしし座流星群



雷放電に伴う成層圏・中間圏・下部
熱圏でのトランジェントな発光現象



EUSO望遠鏡の 構造と各国の責任分担



Electronics

single photon counting, fast
10 ns, track time sampling
(Gate time unit) 2.5 msec

Focal Surface Support Structure

Focal Surface

Focal surface, single photon
counting, high pixelization,
 2×10^5 pixels

Fresnel Lens 2

Entrance pupil

Fresnel Lens 1

Double sided,
2.5 m diameter

Europe

Japan

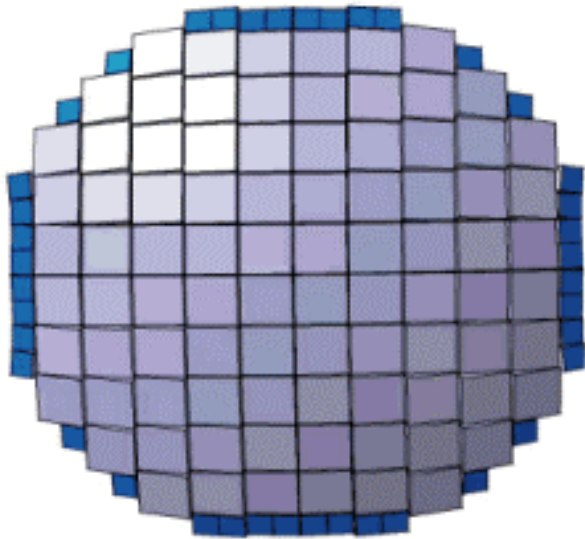
USA



EUSO望遠鏡の焦点面検出器

Focal Surface detector

(128 PDMs = 0.2M pixels)



Elementary Cell

(2x2 PMTs = 144 pixels)

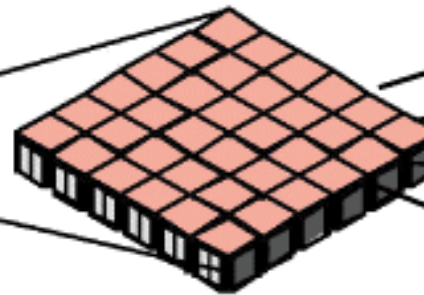
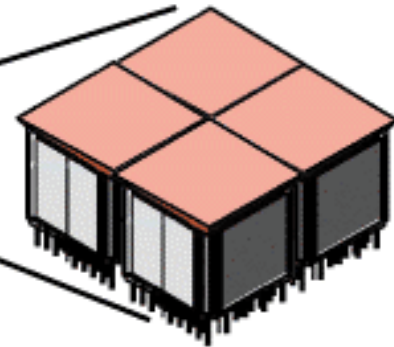
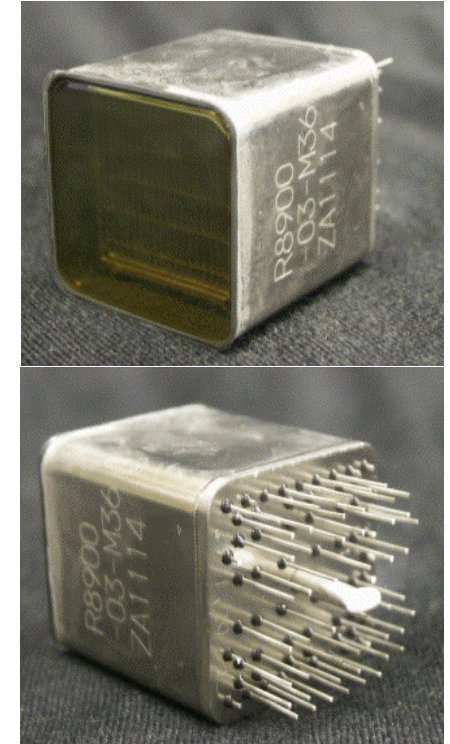
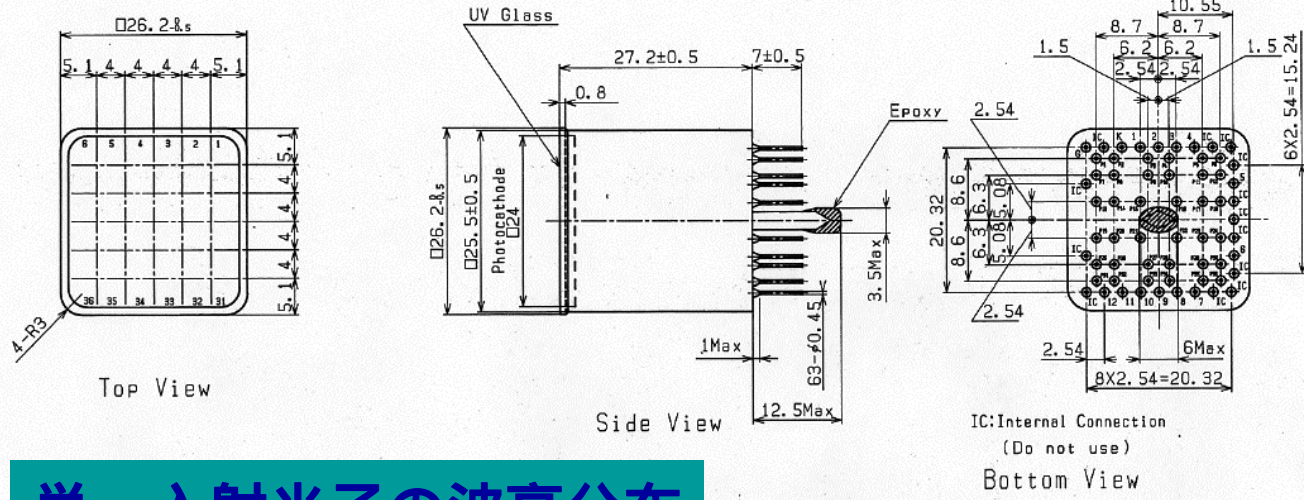


Photo-Detector Module

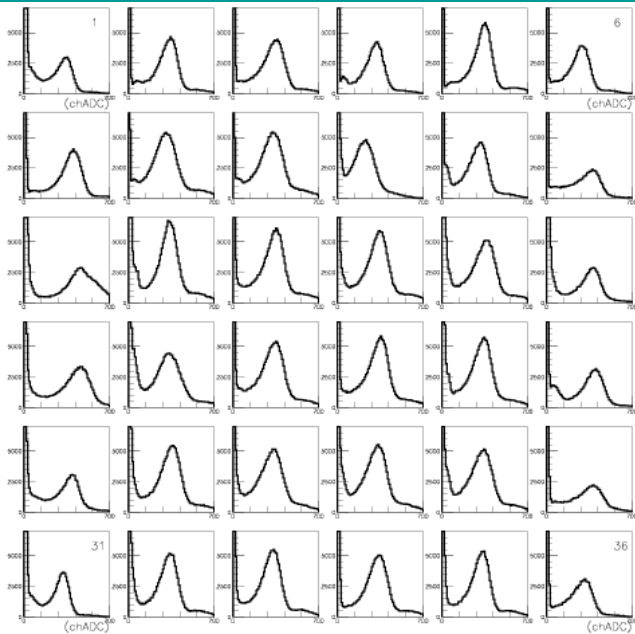
(3x3 ECs = 1296 pixels)

MAPMTの性能・特性の評価試験結果

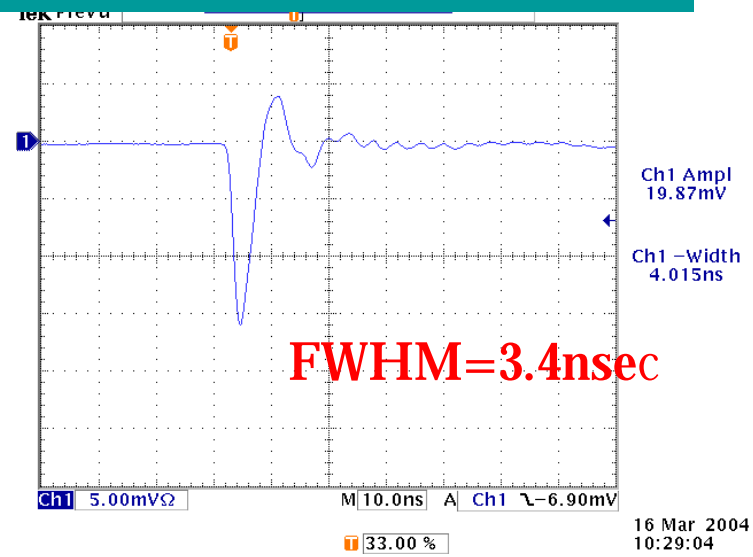
Phase A として R8900-03-M36 を開発



単一入射光子の波高分布 (36chの測定結果)



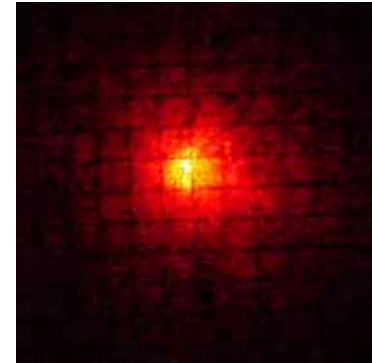
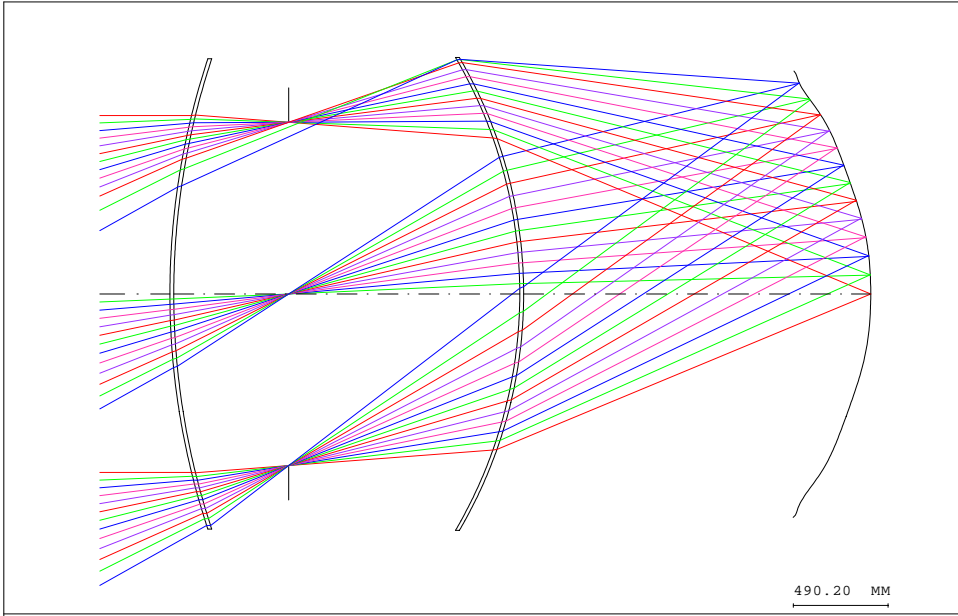
単一入射光子の出力波形



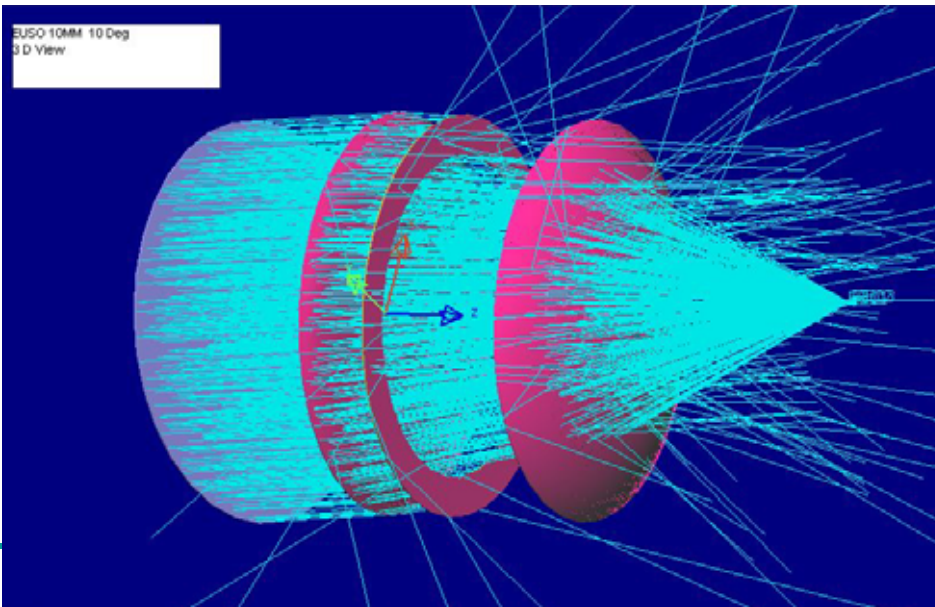
Optics Requirements

- FoV $\pm 30^\circ$
- Pupil entrance pupil ≥ 1.9 m
- F/# ≤ 1.15
- Spot dimension $\sim 0.1^\circ$
- Spectral range 300-400 nm

11:26:05



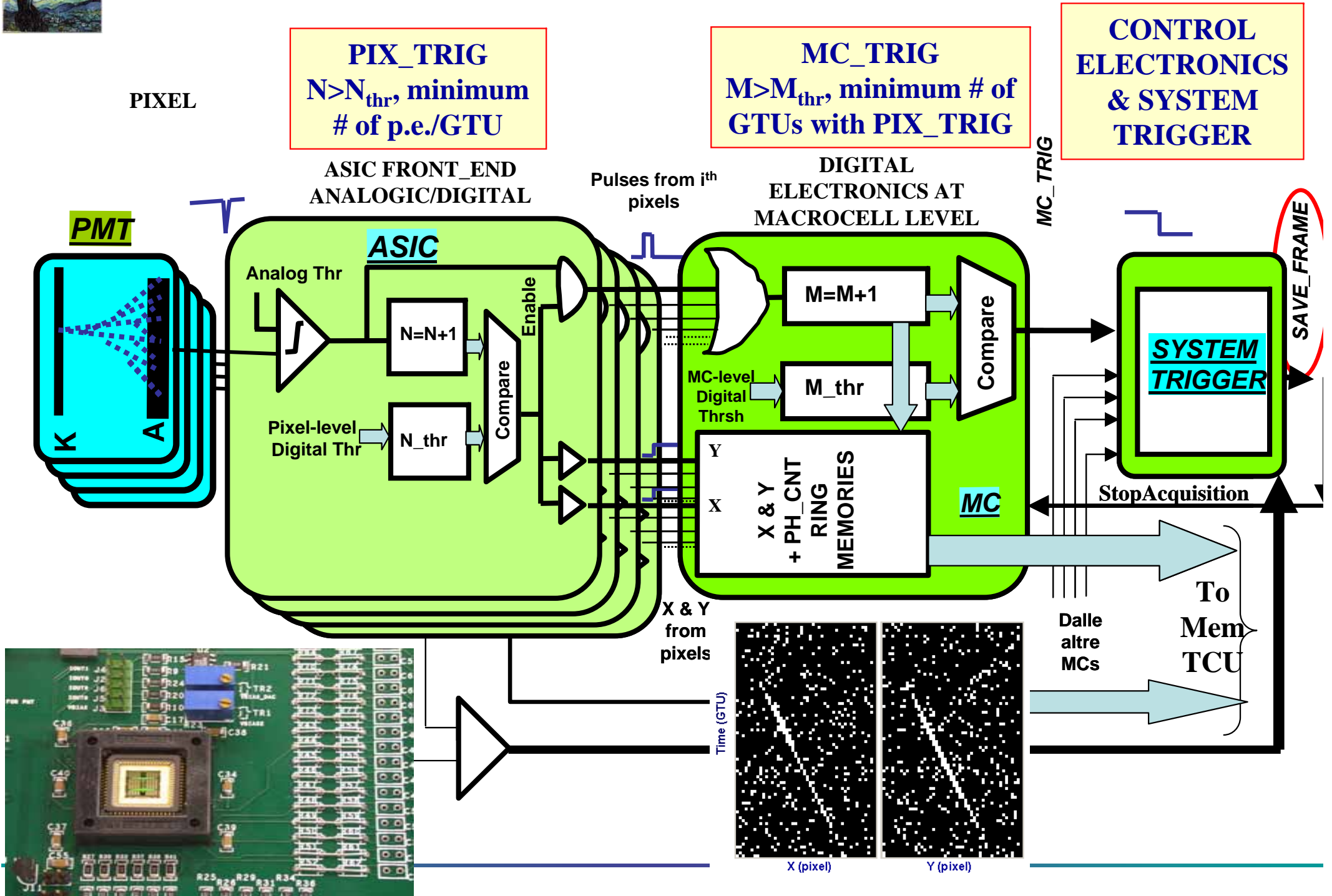
Spot of a prototype (plano-convex) Fresnel of 1 m diameter.

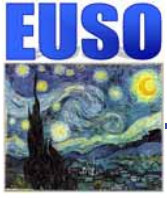


Fresnel lens
1.5 m diameter.

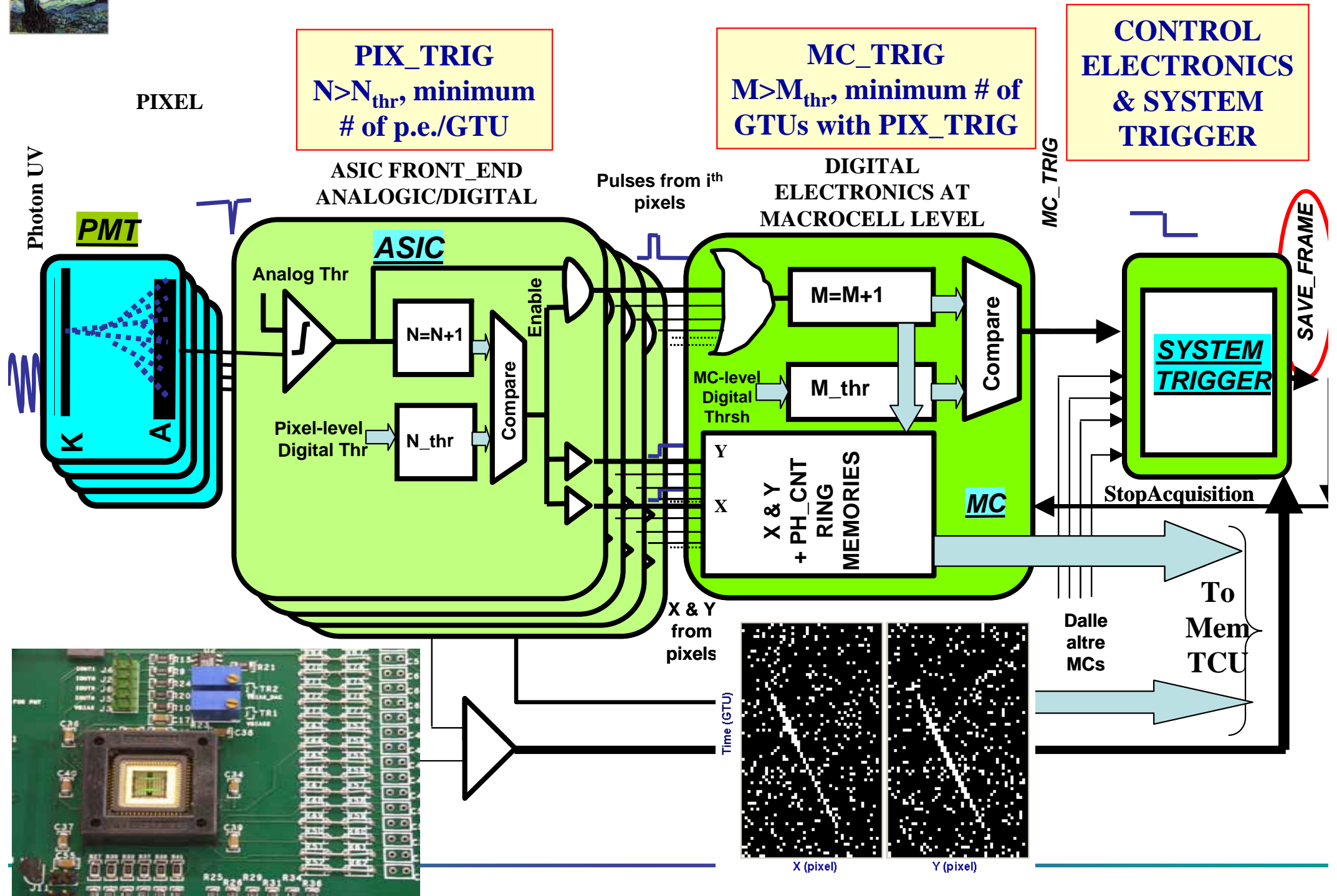


エレクトロニクス (欧州分担)



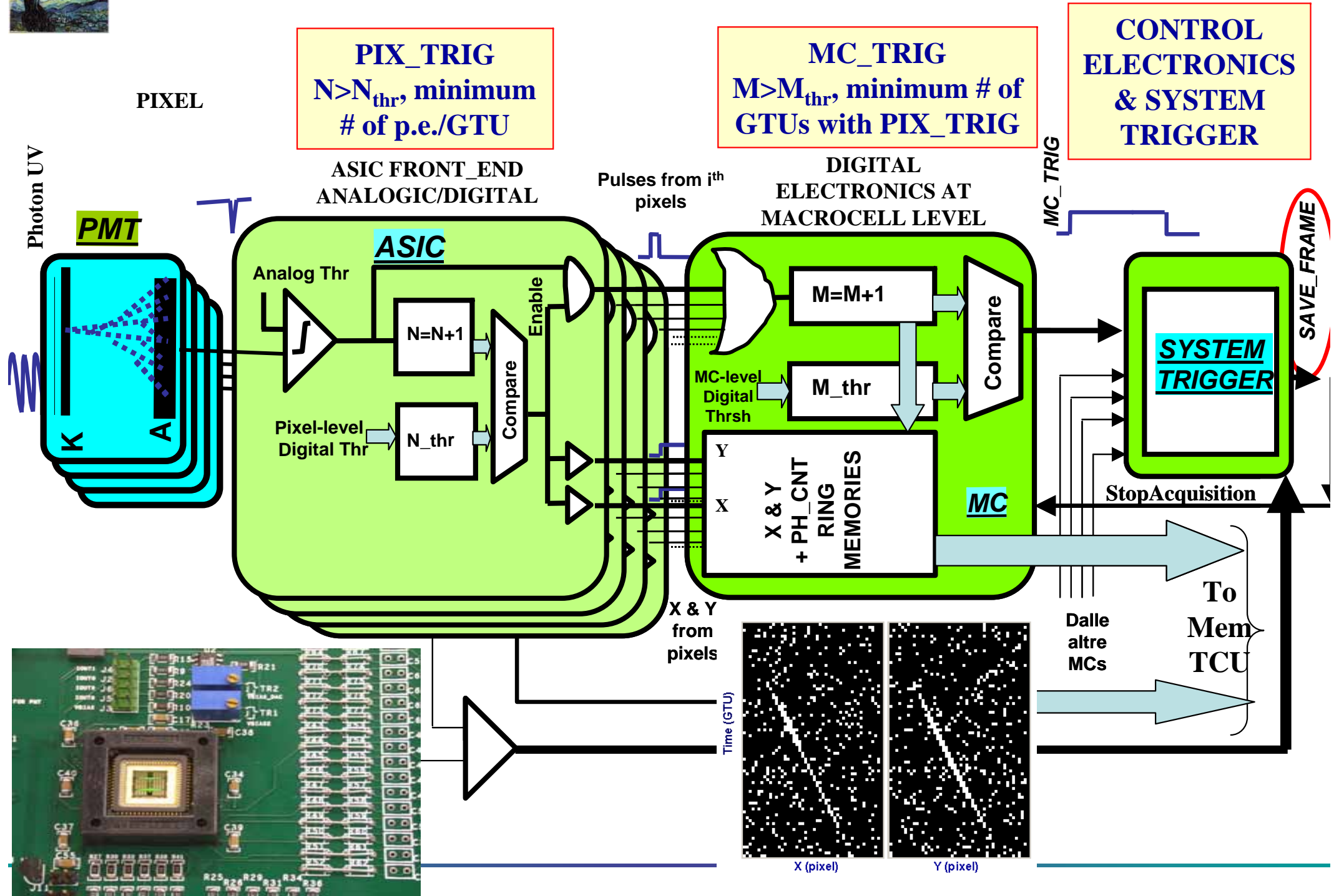


エレクトロニクス (欧州分担)





エレクトロニクス (欧州分担)



PIX_TRIG
 $N > N_{thr}$, minimum # of p.e./GTU

MC_TRIG
 $M > M_{thr}$, minimum # of GTUs with PIX_TRIG

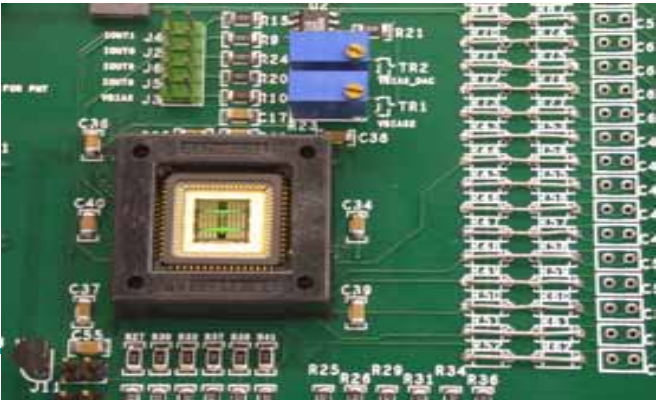
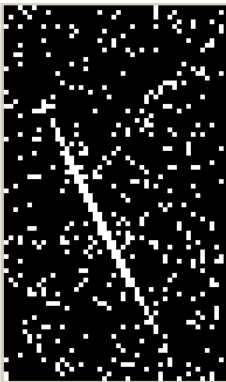
CONTROL ELECTRONICS & SYSTEM TRIGGER

ASIC FRONT-END ANALOGIC/DIGITAL

DIGITAL ELECTRONICS AT MACROCELL LEVEL

SYSTEM TRIGGER

X & Y + PH_CNT RING MEMORIES



ESAにおける計画の進行(過去)

- 2000年2月
 - ESAのAstronomy WGとFundamental Physics WG がEUSOミッション提案を審査し、宇宙ステーションへの装着の可能性を検討するように指示した
- 2001年1月
 - EUSOの宇宙ステーション装着検討終了。
- 2001年3月
 - EUSOのPhase-A研究(概念設計)スタート。ESAの宇宙ステーション部門(D-MSM)と宇宙科学部門(D-SCI)の協力プロジェクト
- 2004年5・6月
 - EUSOのPhase-A研究がESAのScience WGで審査される

ESA Science WG (2004.6)

- 2012年までの優先ミッションとして何も推薦しなかった
 - 科学部門の赤字問題のため
- EUSOに関しては3つの問題点を指摘
 - 打ち上げ機会に問題がある
 - ESA主要国がどこも予算のコミットメントをしていない
 - Augerの結果でその価値が変わるかも知れない

Phase-A Ext. 最終報告 (2004.7)

- **EUSOのPhase-B進行が内定**
- Phase-B (当面の間) はESA - MSM (宇宙ステーション担当部署) が責任を持つ
 - もともとD-MSM部とD-SCI部の共同ベンチャー
- Augerの結果がどうあろうと、EUSOの価値は変わらない
 - 設計変更は基本的にはない
- 打ち上げ機会として日本のHTVの可能性を提案
- イタリア宇宙機関は約40 Meuroの支払いの約束を行う

EUSOによる宇宙線観測

- Augerの結果がどうあってもEUSOは必要である
 - GZKなし
 - Top-Downシナリオの検証にはガンマ線検出が重要
 - LPMホール効果による東西効果を見る
 - GZKあり
 - 必ず異方性が出る
 - GZK吸収構造からの回復 ($E > 3 \times 10^{21}$ eV以上)
 - GZK構造による初めての絶対エネルギー較正
- EUSOの必要性
 - 宇宙ステーションの移動によるによる偏らない視野
 - 圧倒的な統計 ($> 10^{20}$ eV)
 - 2876 (Super GZK)
 - 227 (GZK)

打ち上げ機会

- 宇宙シャトルの利用はほとんど不可能
- 日本の(H2A Transfer Vehicle)を利用
 - 非与圧キャリアで運ぶ
 - もともとはJEM曝露モジュール運搬用
 - 窓のサイズに合わせるため上下に圧縮 / 軌道上で伸展

H2A Transfer Vehicle



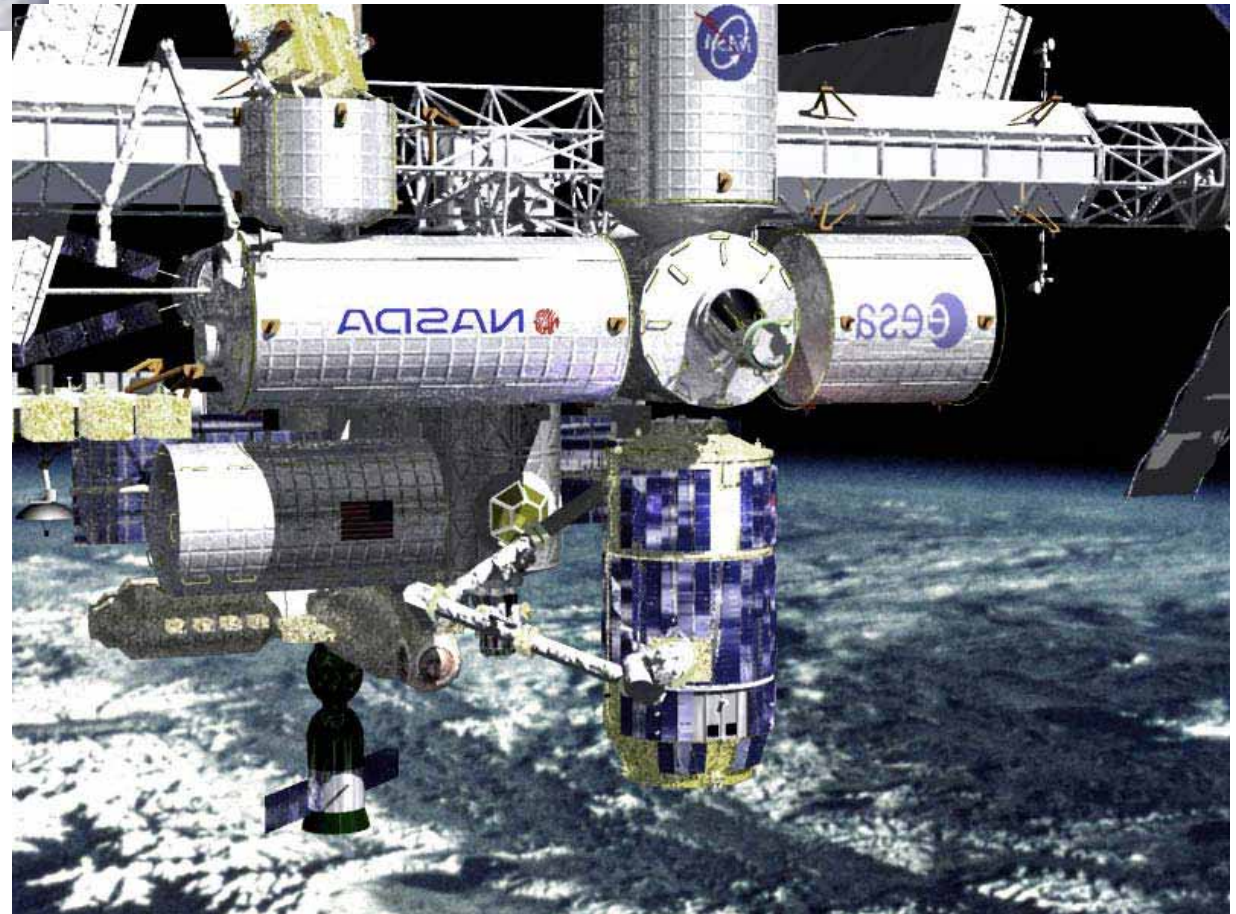
First Launch:2008

Launch Twice a Year

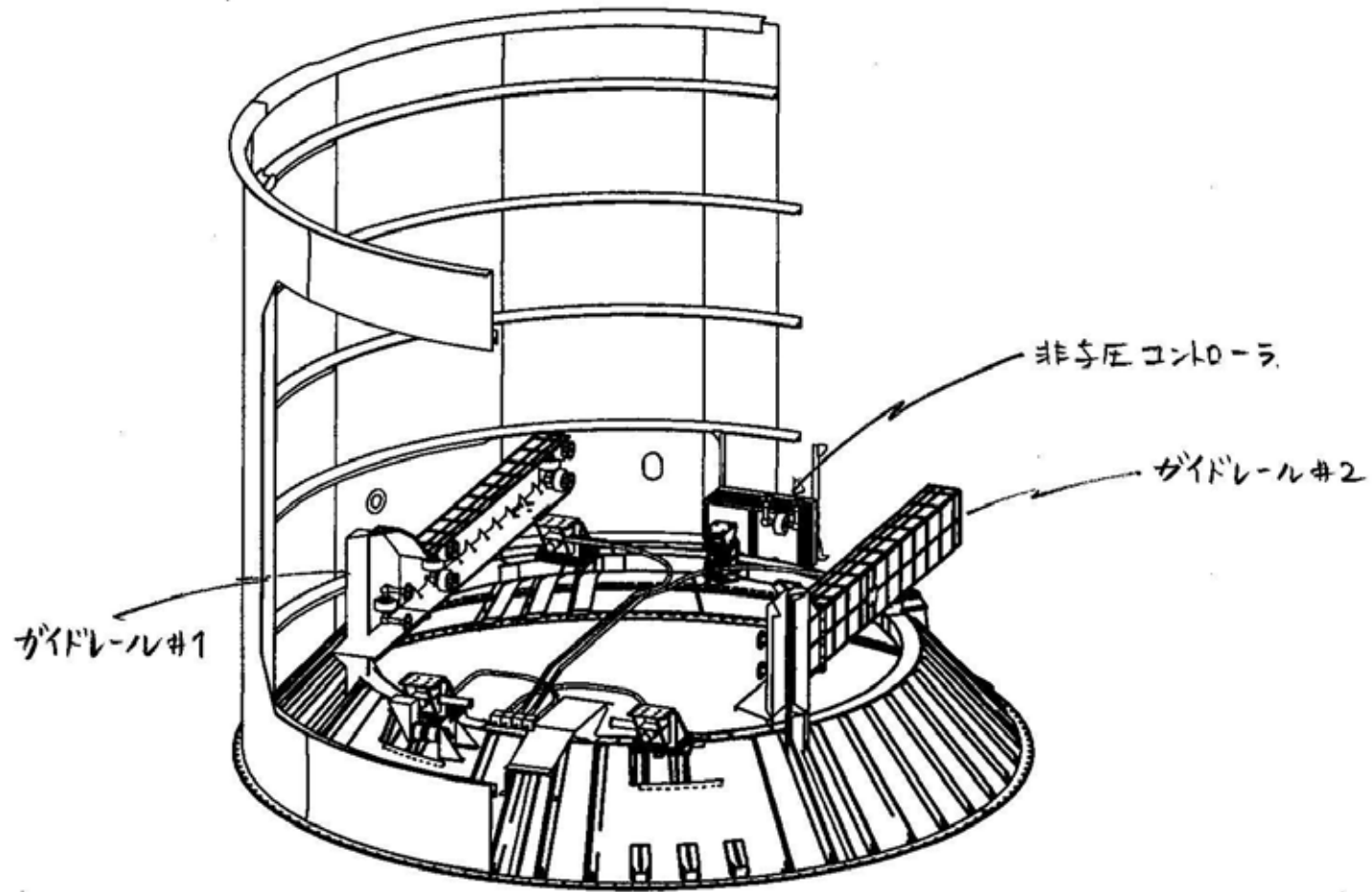




HTV

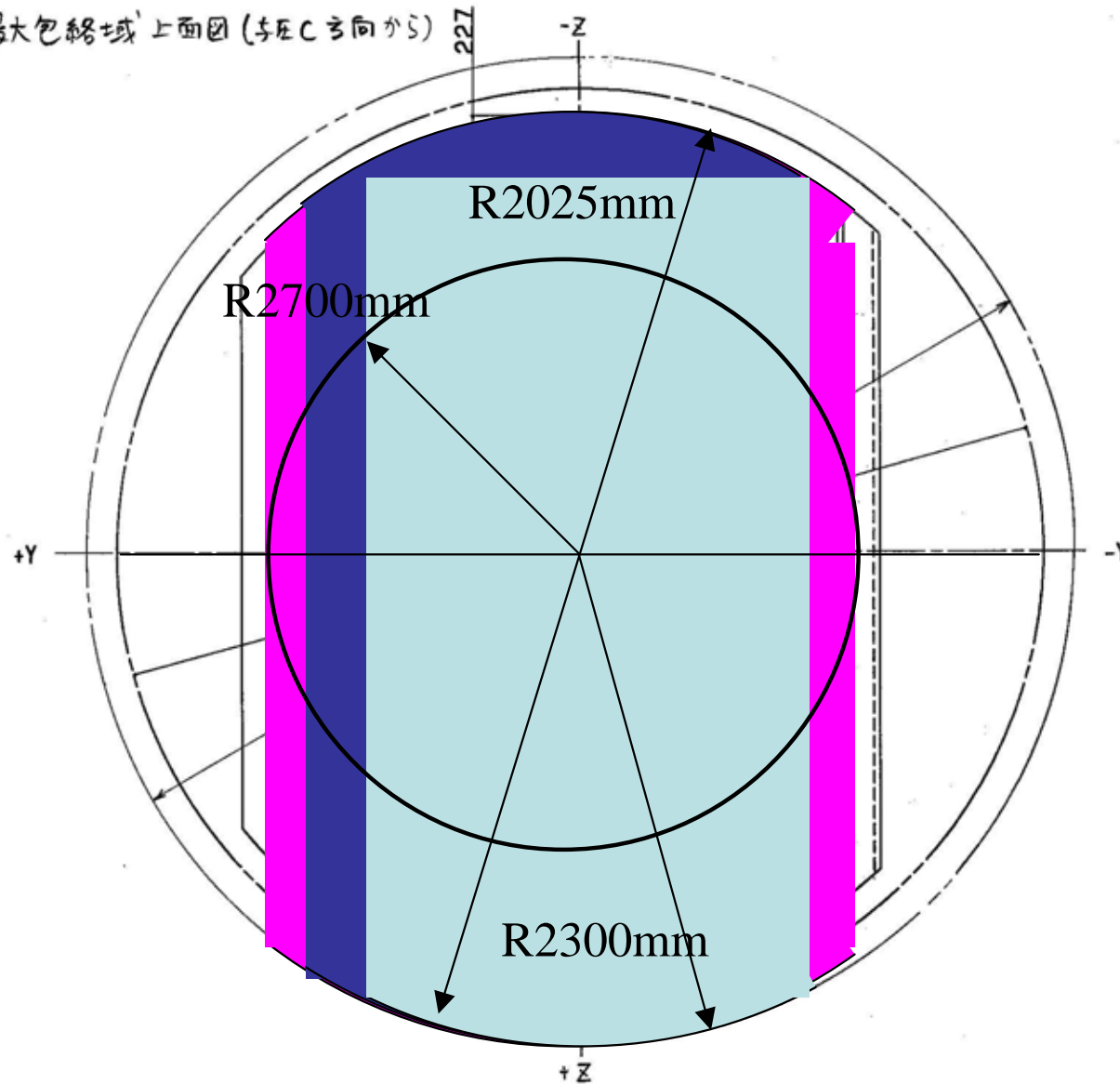


Inside of Unpressurised Module



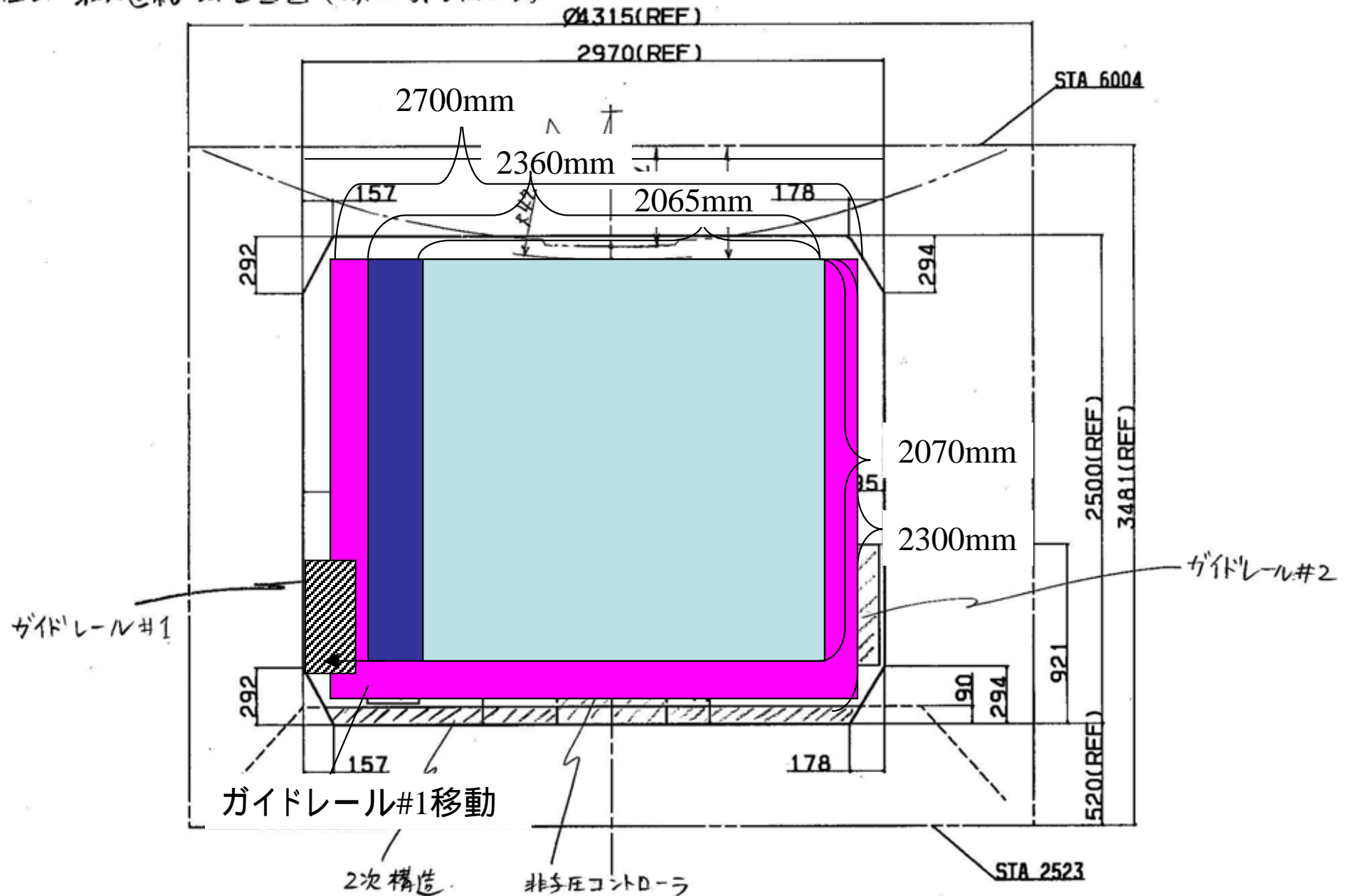
Envelope (upside view)

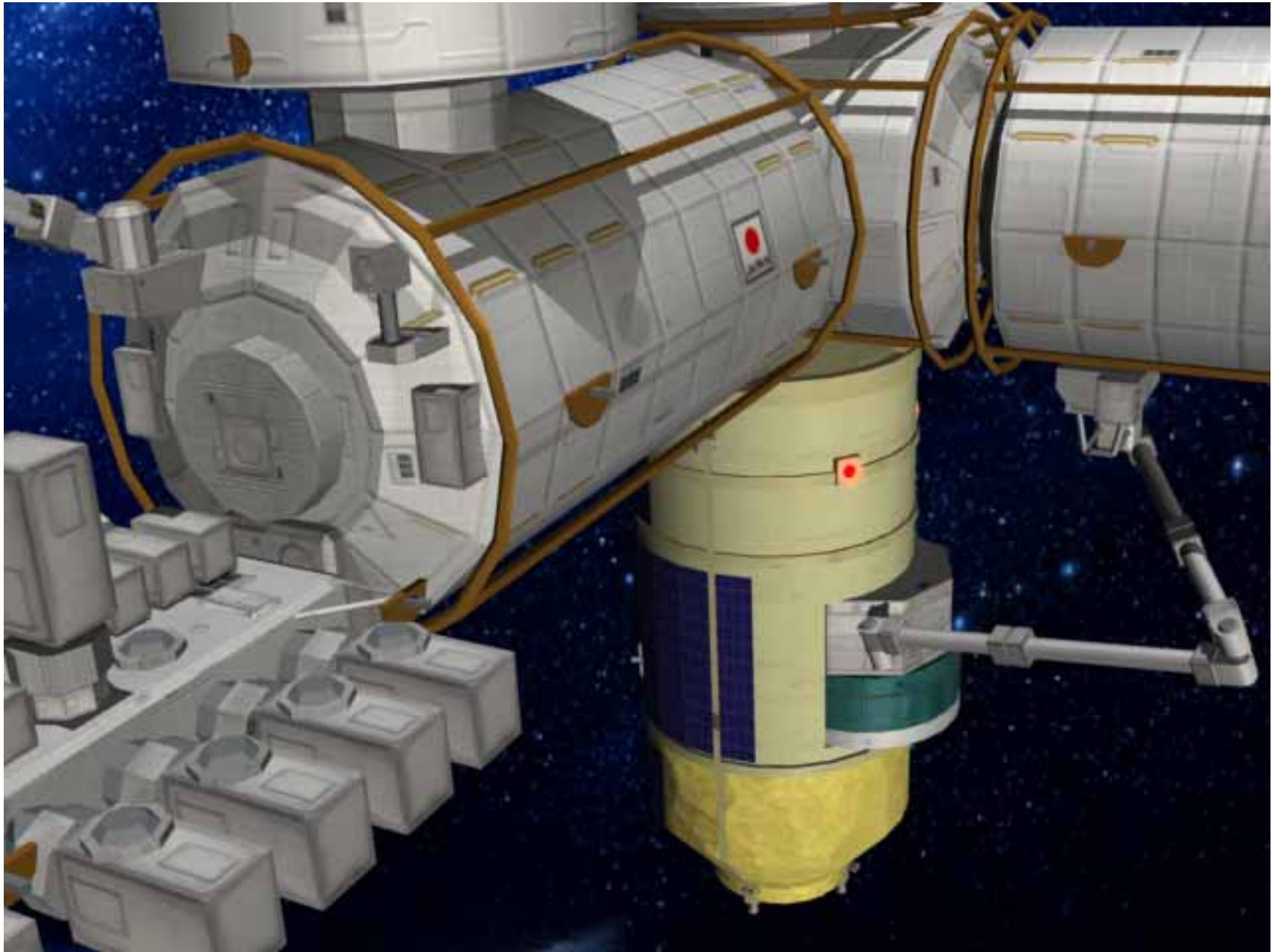
図4. 最大包絡域'上面図 (Z正C方向から)

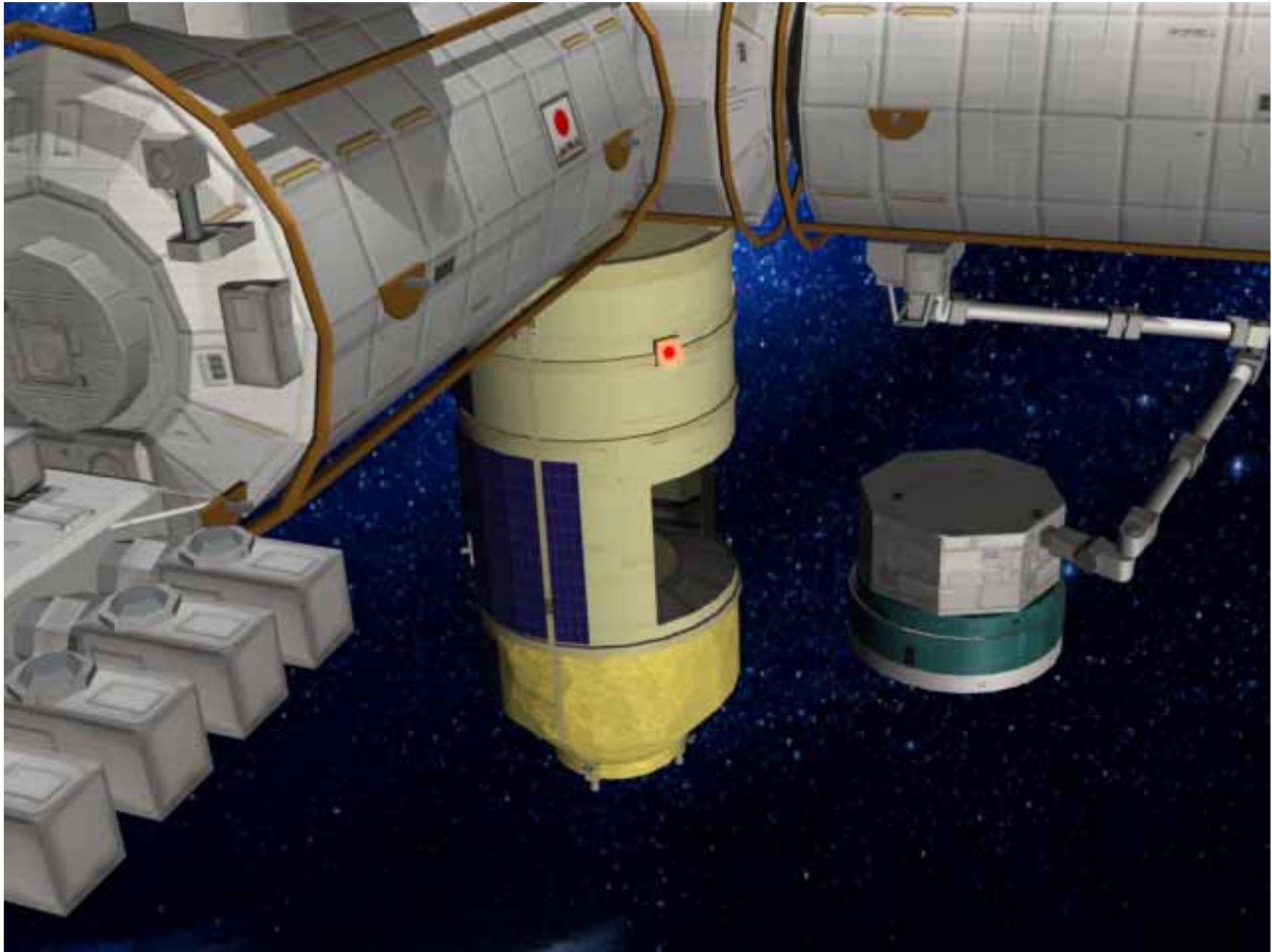


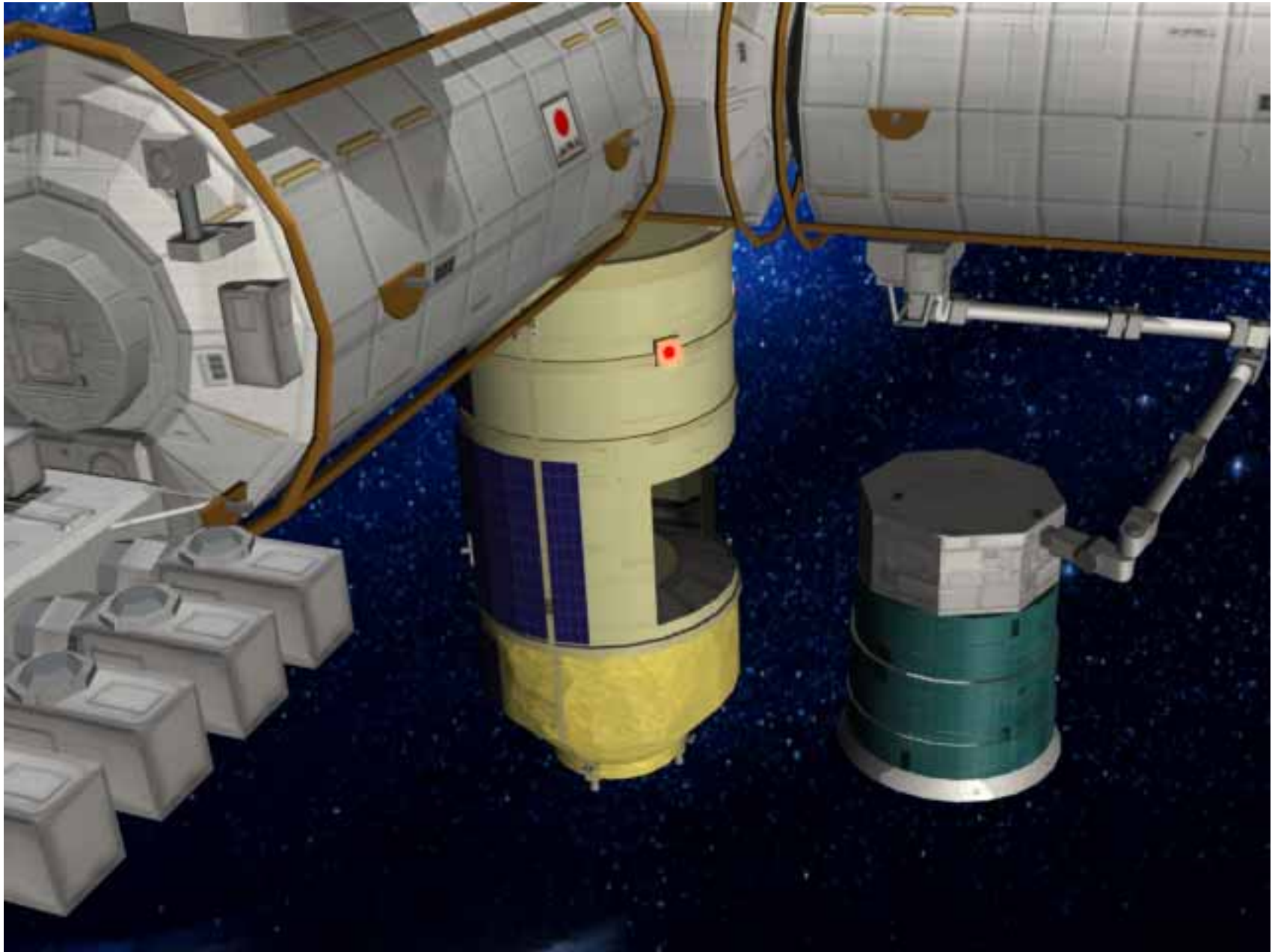
Envelope (front side view)

図3. 最大包絡域正面図 (開口部方向から)









日本におけるPhase-B研究

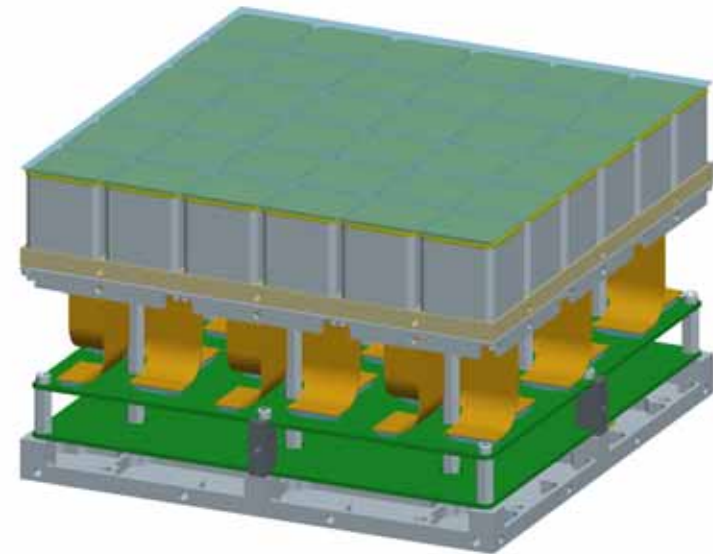
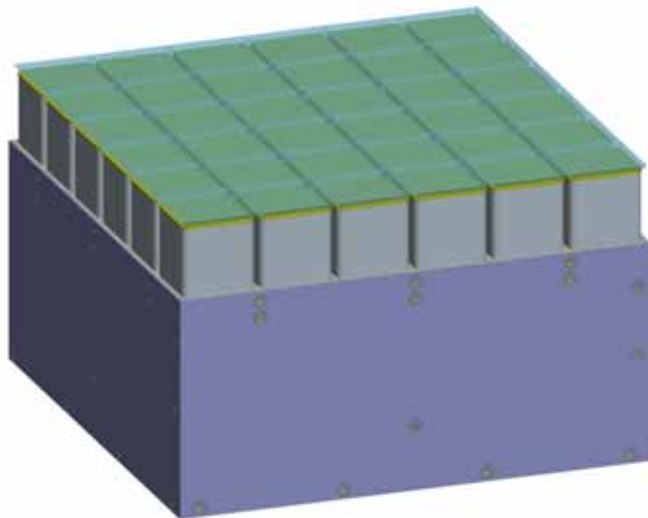
～ 理研内部予算にて行動開始 ～

- PMTの開発
 - PMT特性評価 常に継続中
 - PMT開発 重量、量子効率等のさらなる改善を継続中
 - 耐環境特性評価 耐振動性(12.7Grmsまでの動作保証を確認)
放射線耐性(@放医研)
- Elementally cell (EC)、Photo Detector Module (PDM)の開発
- HV供給システム
- シミュレーション
- 雷の影響

Photo Detector Module (P D M) の製作

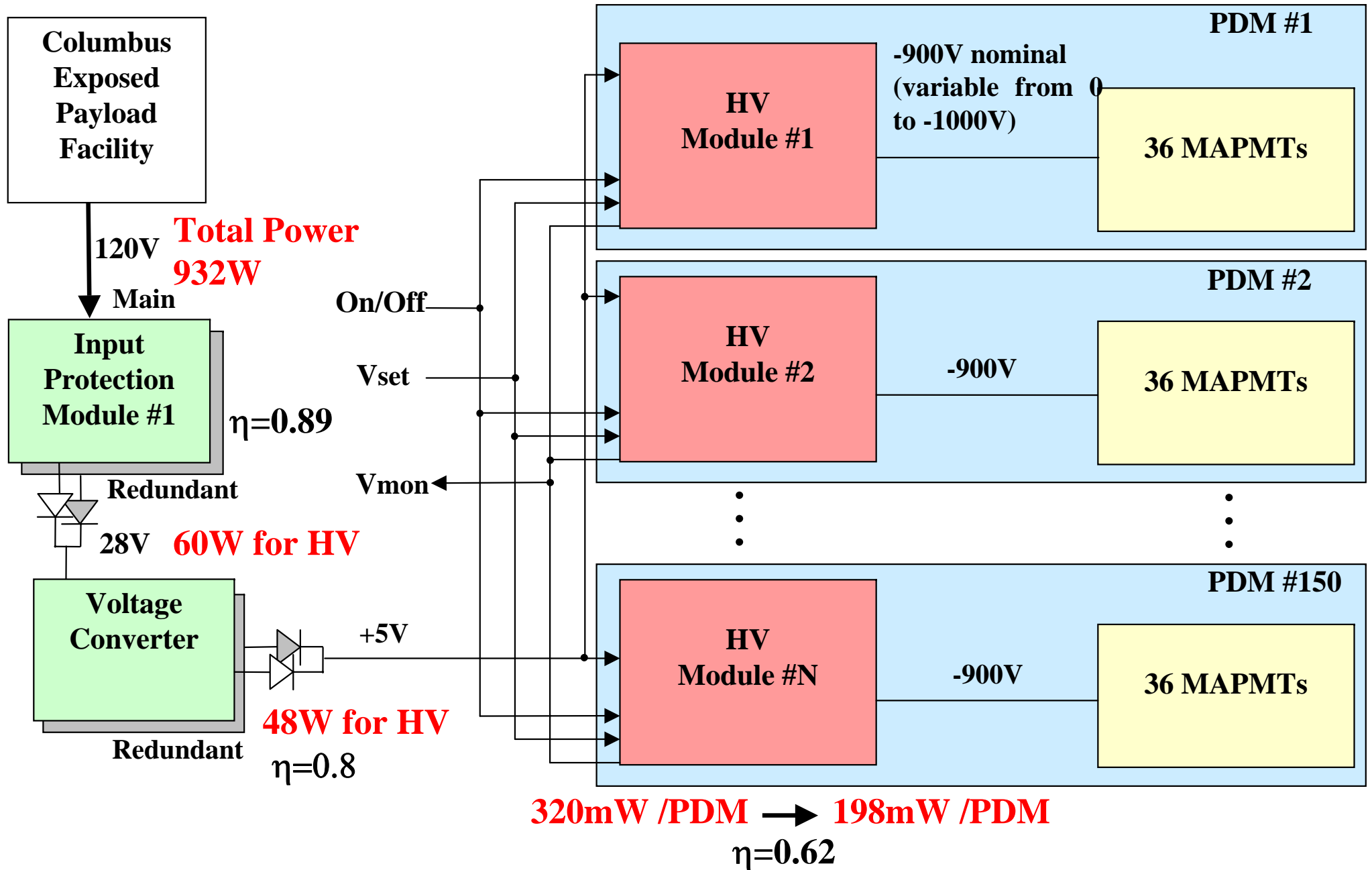
日本側Phase B として実行中

- 9つのElementary Cell (EC) を装着
- 1つのHV電源(甲南大)。9つのデバイダを装備
- 宇宙仕様を念頭に設計
- 構造解析、振動試験等を行い、ECの評価を行う。



分散型高電圧供給システム (日本分担)

約150個の高電圧モジュールとPMT高電圧デバイダーを製作する



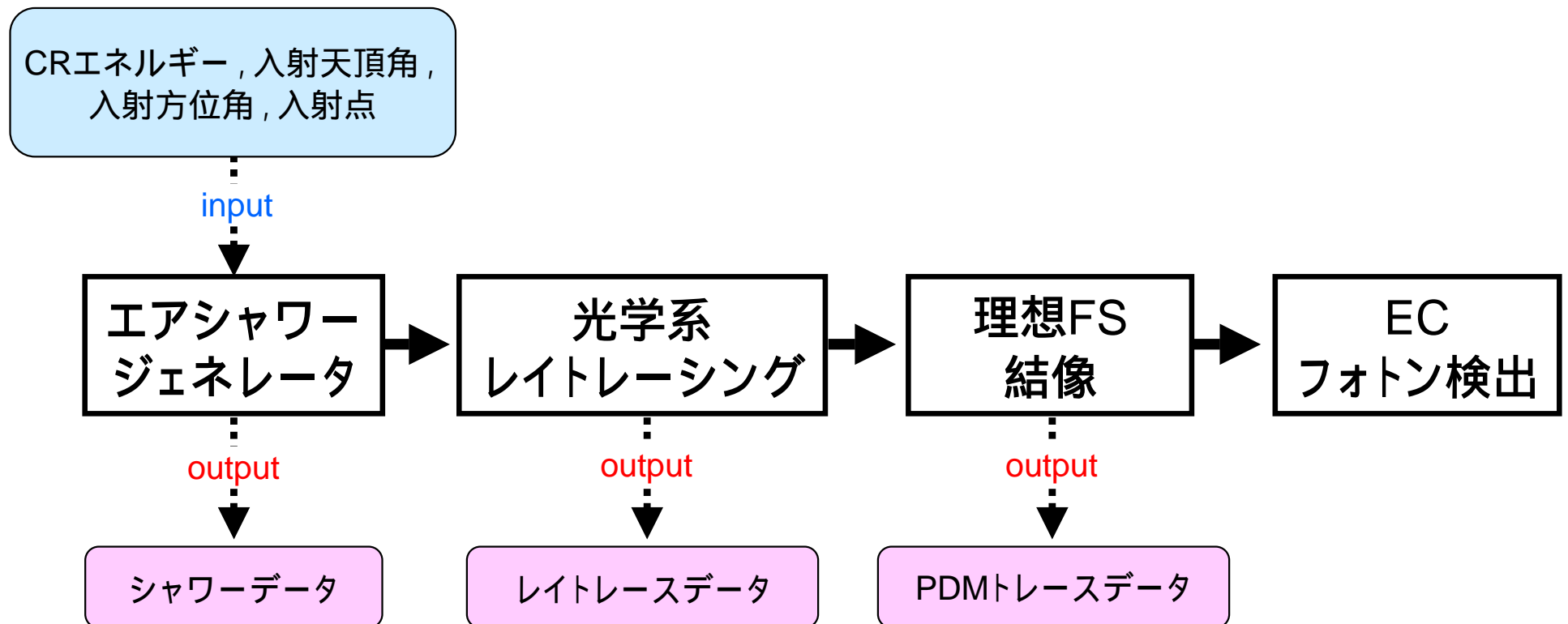
Simple End-to-End Simulatorの開発

… EUSO望遠鏡の光学系・焦点面検出器を再現するシミュレータ

< 目的 >

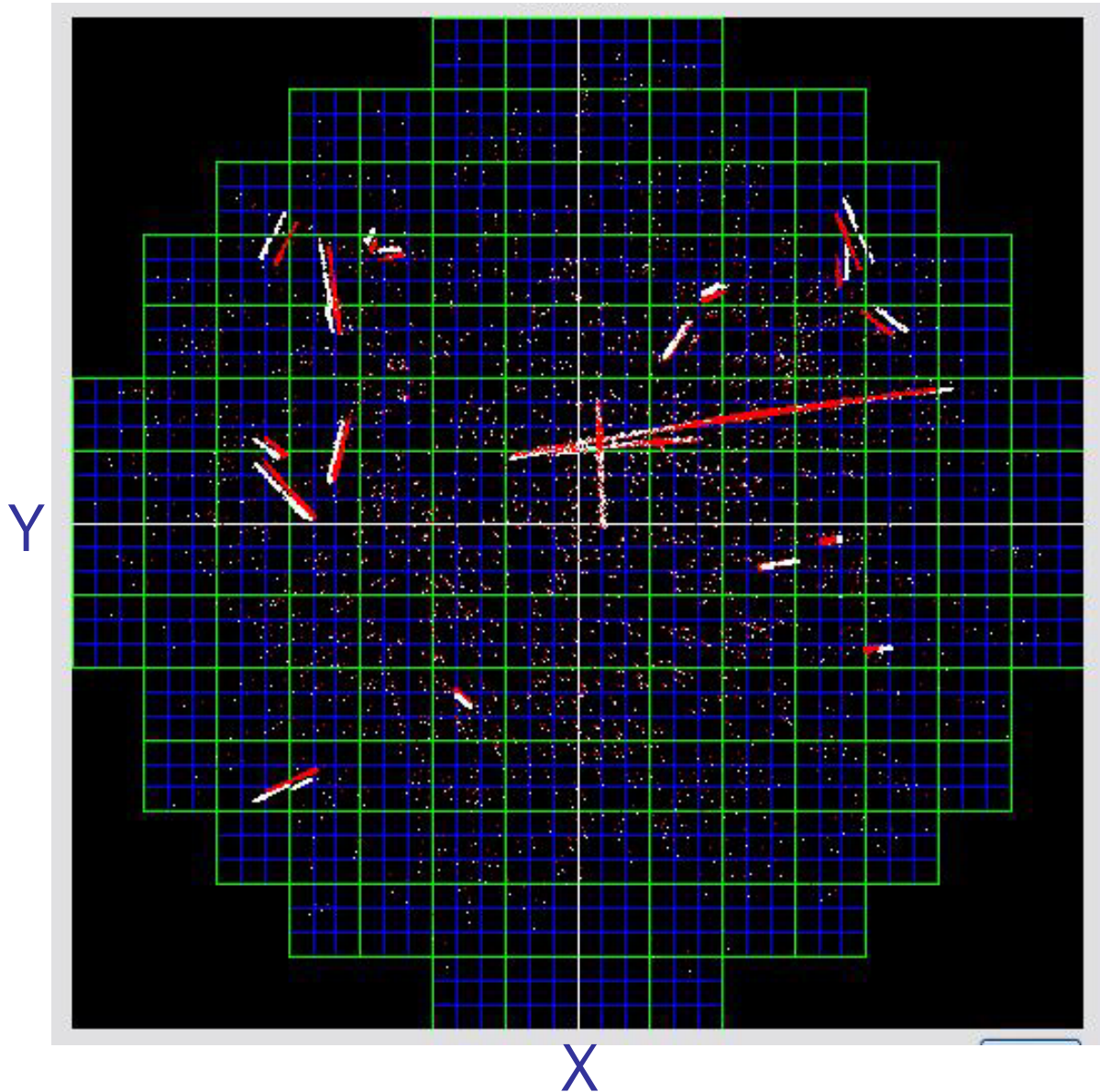
- ・ 最適なイベントトリガー方法の検証
- ・ 検出器であるPMTの最適なピクセルサイズの検証
- ・ 最適なPDM, EC配置の検証

< 構成 >



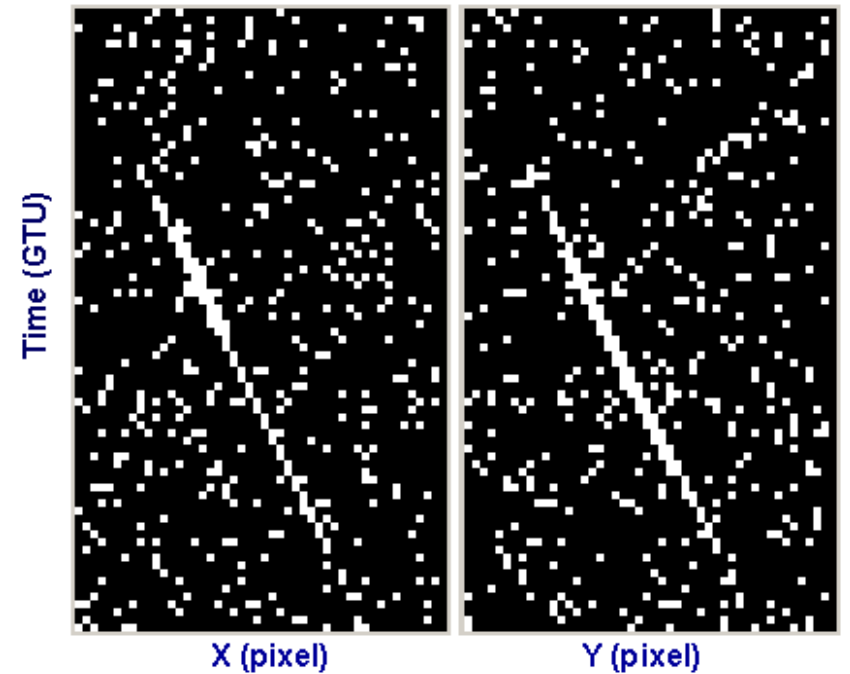
シミュレーションによるイベント像

焦点面でのシャワーイメージ



10²⁰eV protonによるシャワー
20イベントの重ね書き

192k pixels

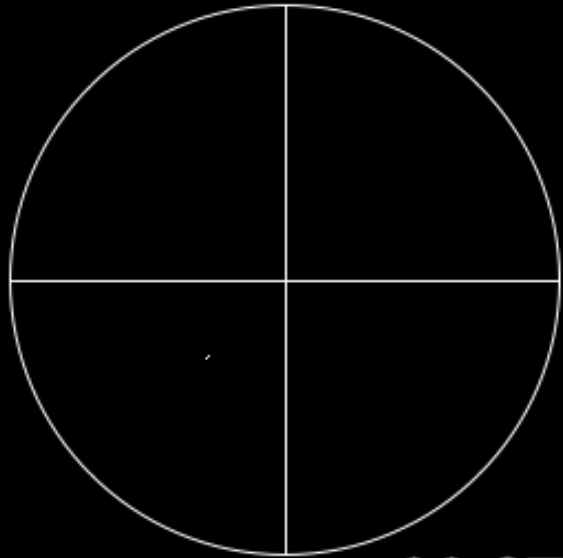


エレクトロニクスによって構成された2.5 μ sごとの時間構造

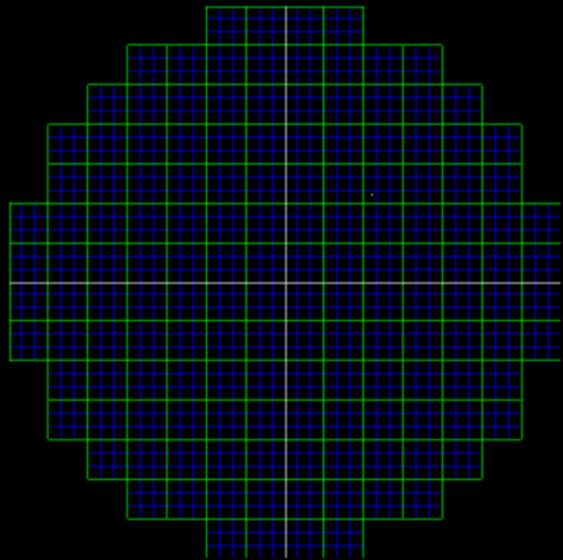
空気シャワーイベントの例

10^{20} eV陽子 入射天頂角60度

Air Shower

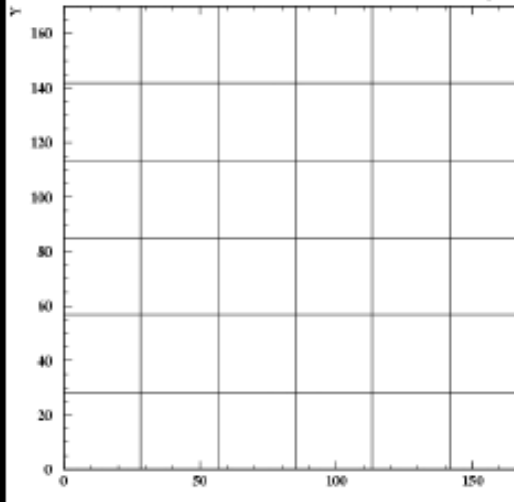


00 GTU

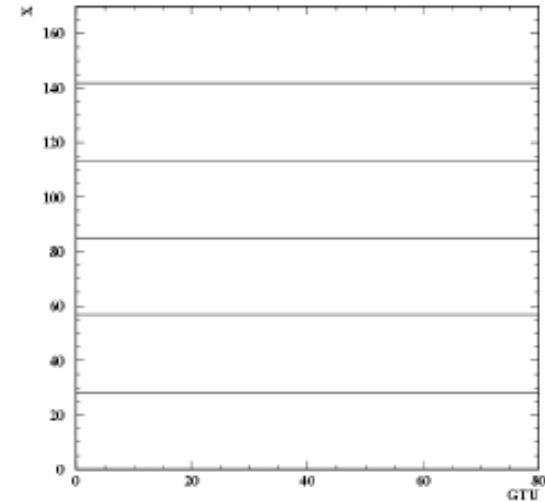


EUSO Focal Surface

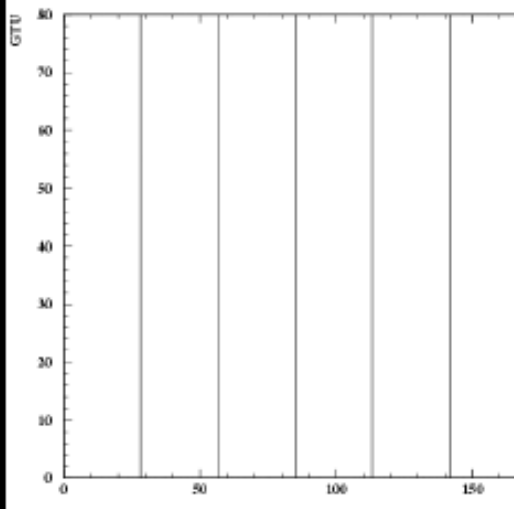
Photo Detector Module (3,3)



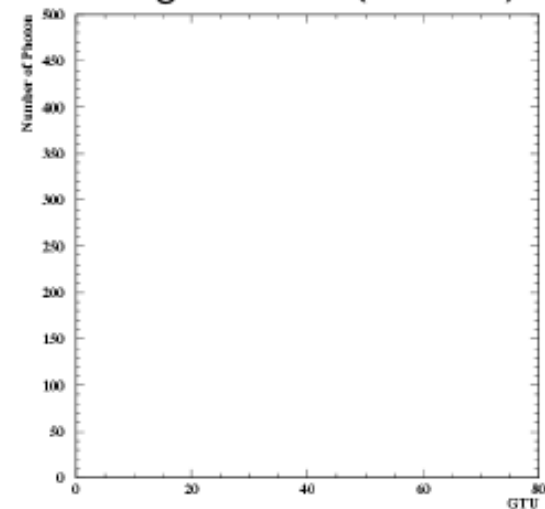
X-Time



Y-Time



Light Curve (Photon)

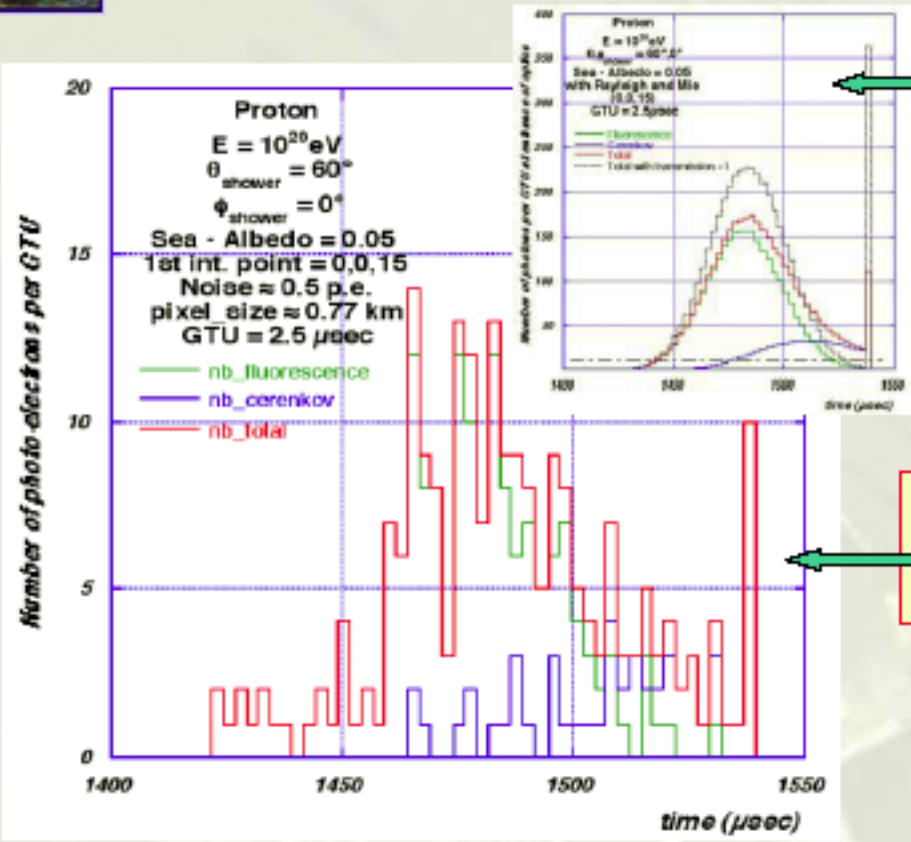


GTU=2.5 μ sec.

まとめ

- EUSOはPhase-Bに進みます
 - 2005年の1QにESAにおいて正式決定
 - ASIの正式コミットメント
 - 日本のHTVによる打ち上げ
- 日本におけるPhase-Bは先行して進行中
- スケジュール
 - PHaseB: 2005-1Q ~ 2006-2Q
 - Phase-CD: 2007-1Q ~ 2009-4Q
 - Launch: 2010-4Q
 - **平成18年度にまとまった予算が必要**

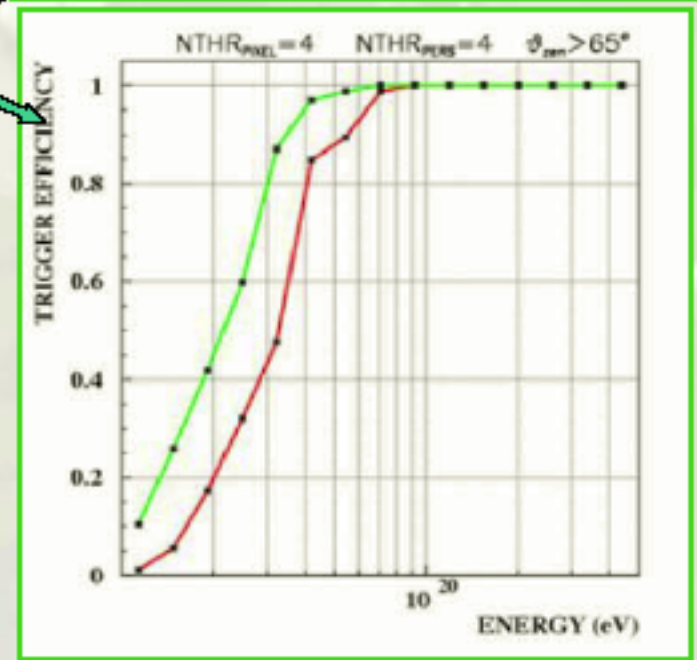
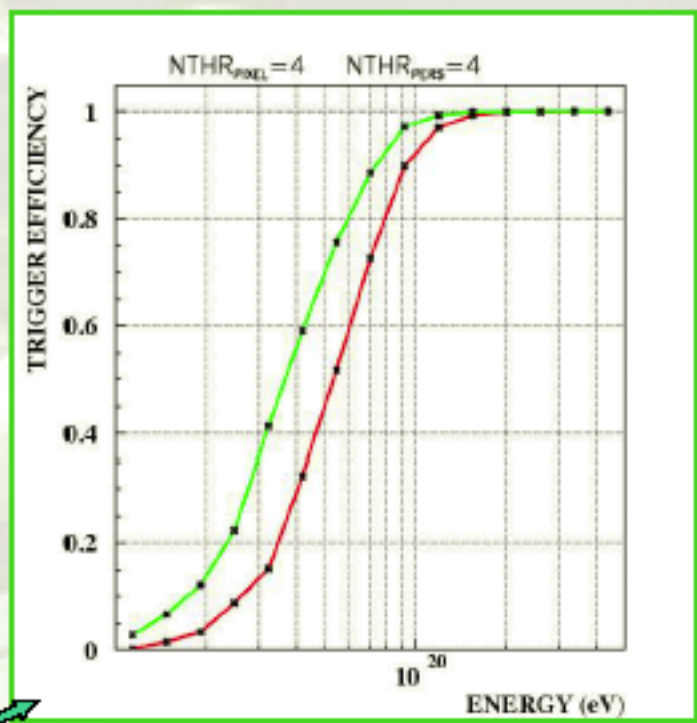
The Detector Performances



The incoming light

The detected signal

The trigger efficiency



According to very recent data (May '04):
 PD efficiency improved $.16/.12=1,33$
 OM efficiency loss $0.73/0.83=0,88$
 EUSO Light collection eff. $1,33 \times 0,88=1,17$
 with respect to quoted values

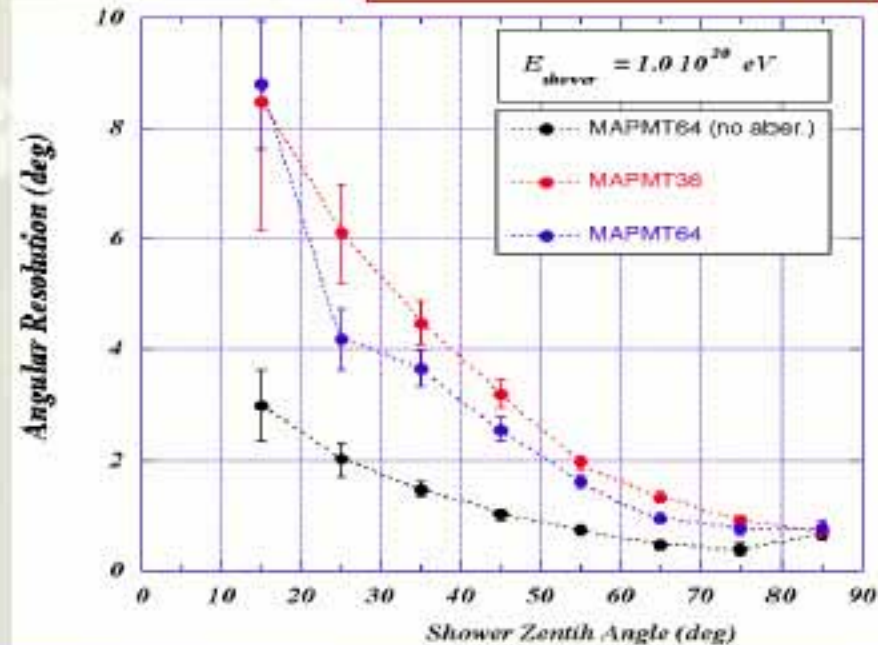
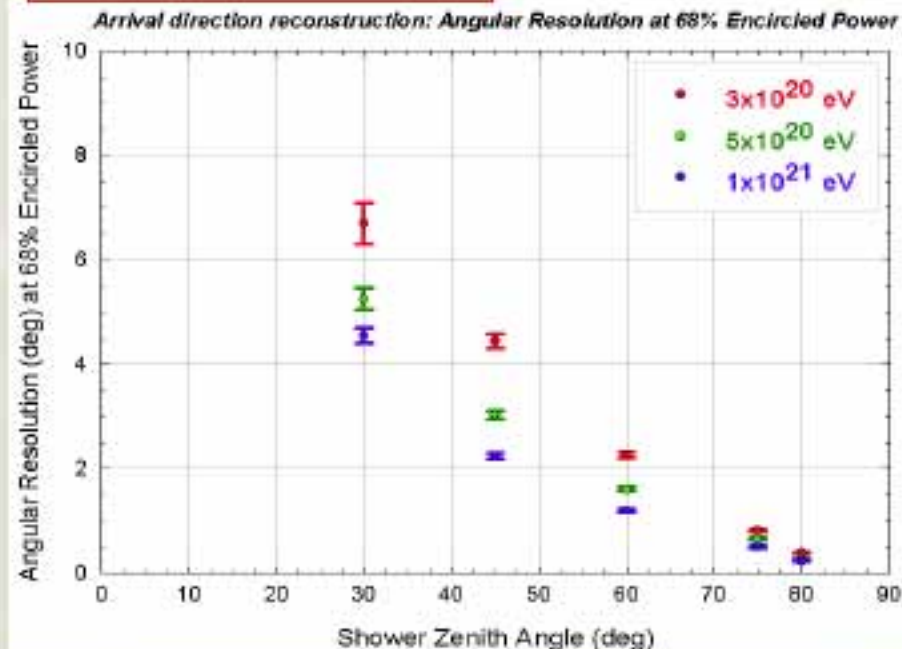
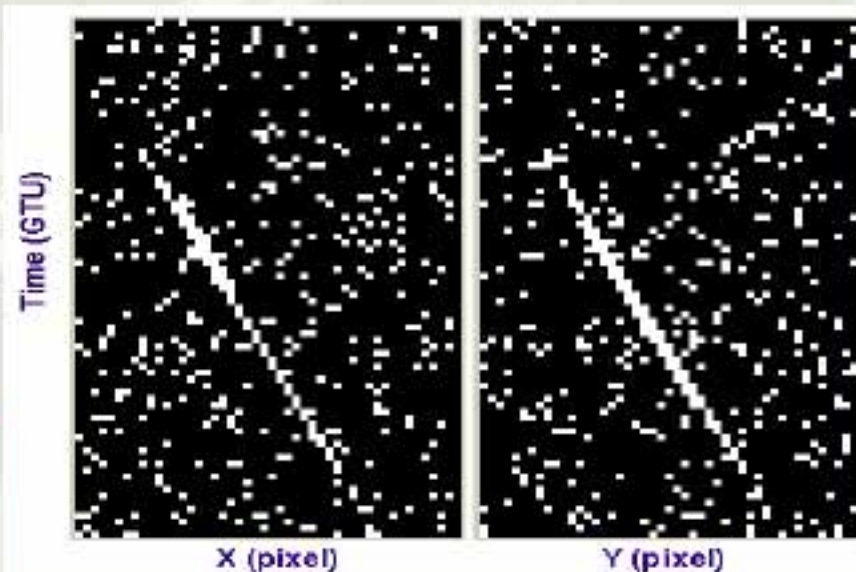
EUSO angular resolution

M.C. MacCarone,
2003

J. Dolbeau,
2003

At high energy,
without Cerenkov
footprint information

At 10^{20} eV, using the
Cerenkov footprint
position

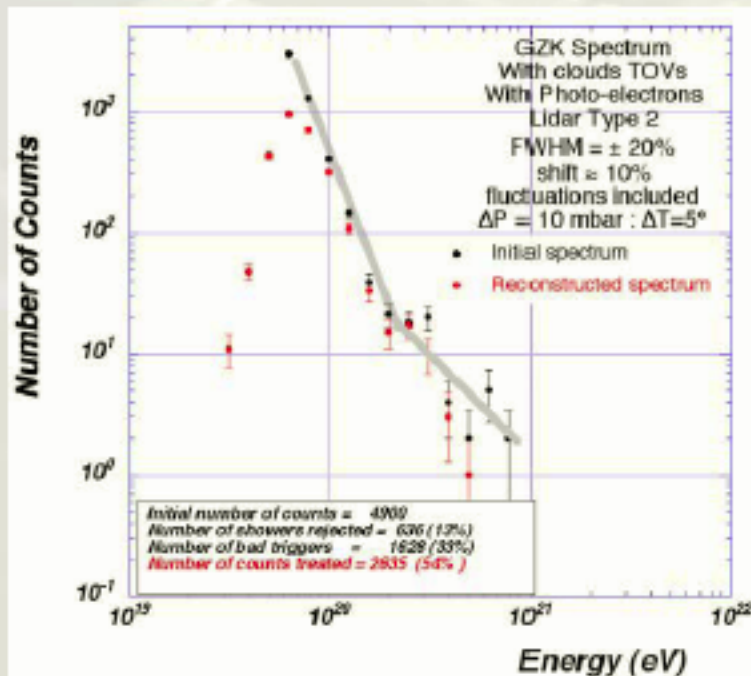
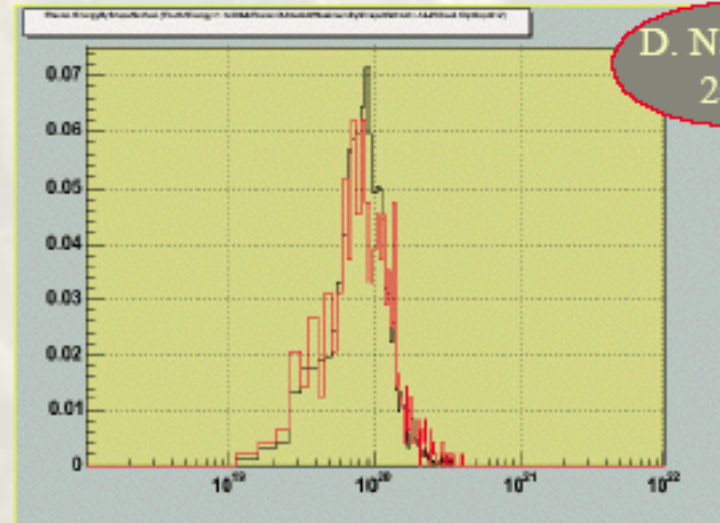
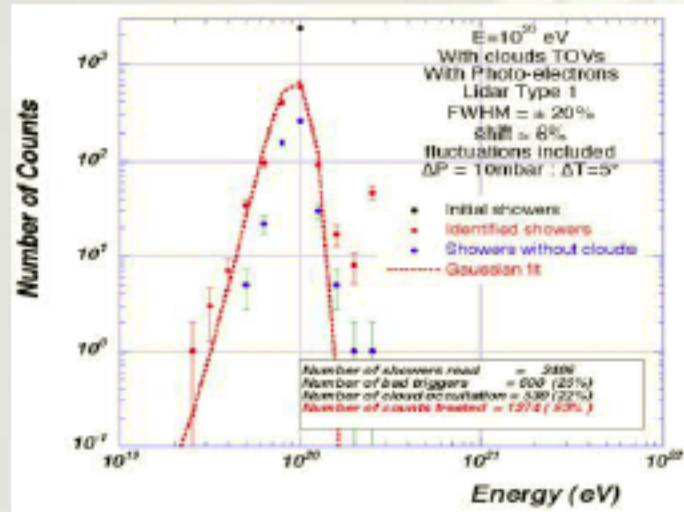


Energy resolution (clouds included)

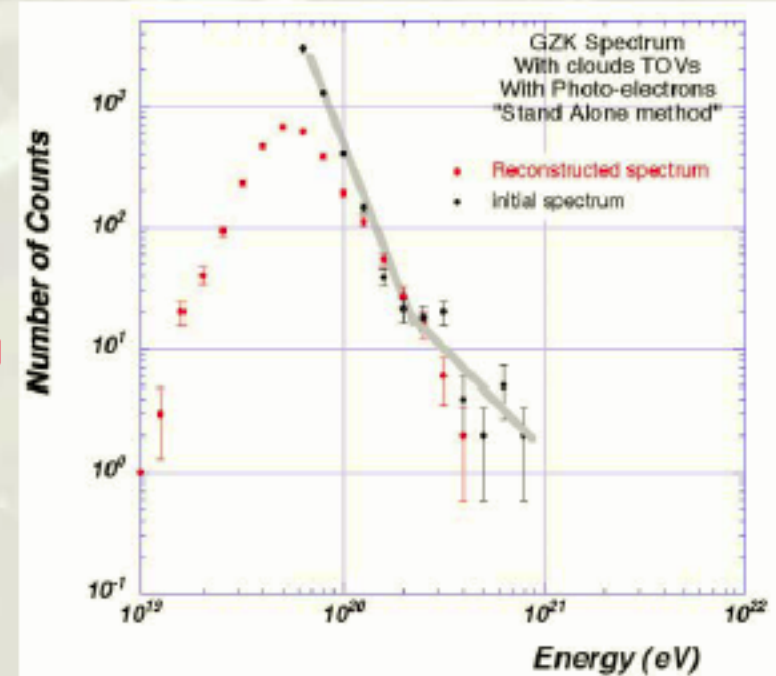
The energy of 10^{20} eV events, in a random cloudy atmosphere, can be retrieved,...

Using the ASD info, with 17% (RMS) resolution

In self-diagnosis way, with 27% (RMS) resolution

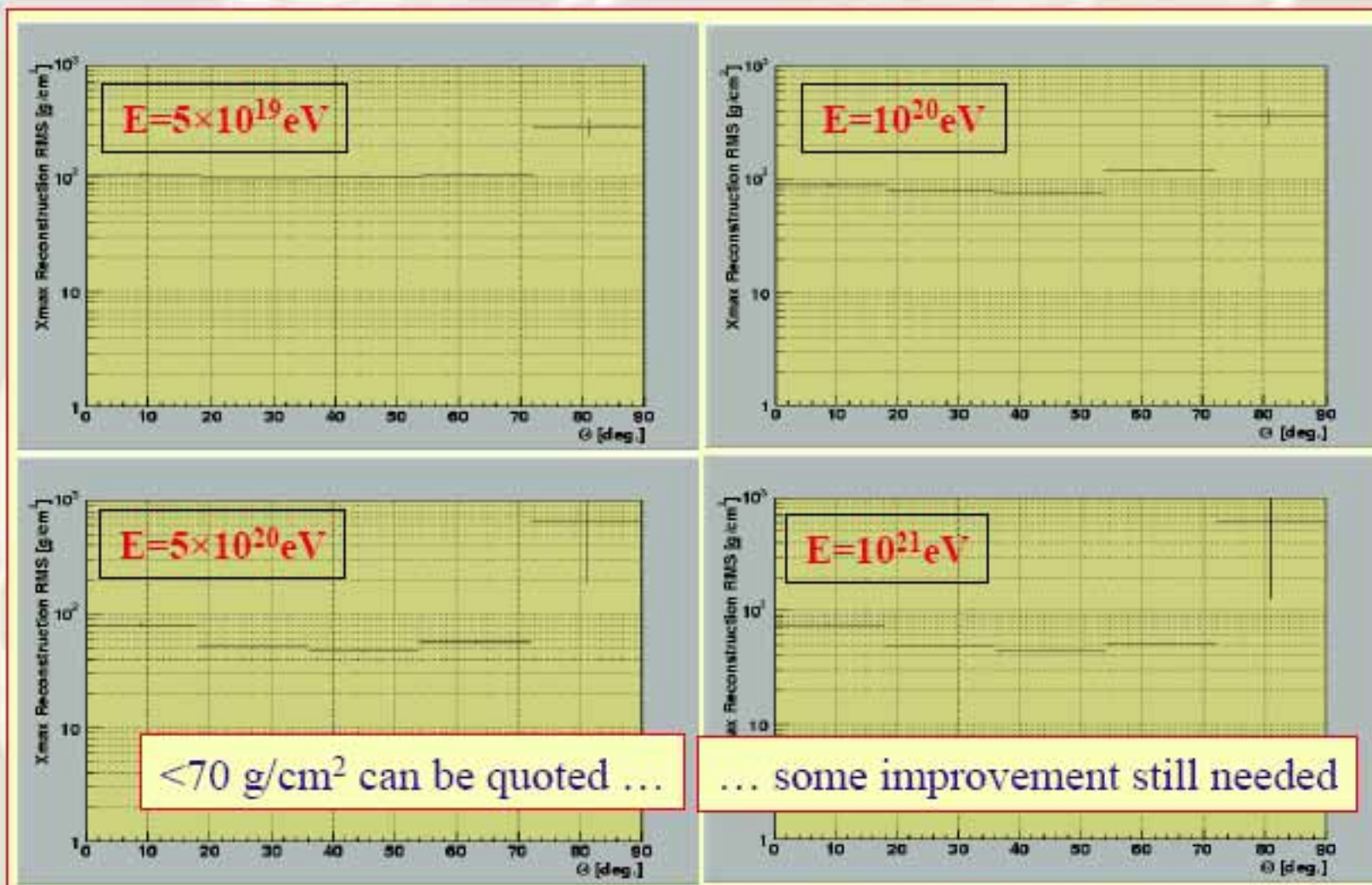


E. Plagnol, 2004



X_{\max} resolution

Scientific requirement is 35 g/cm² to perform primary separation (heavy vs. light)
 Actual result when cloud altitude is assumed or no cloud is present



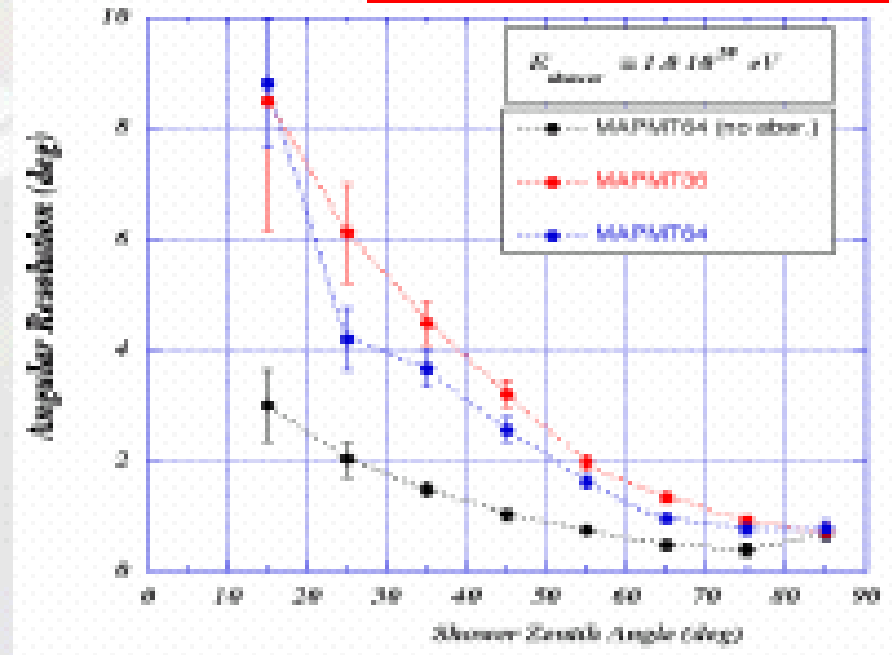
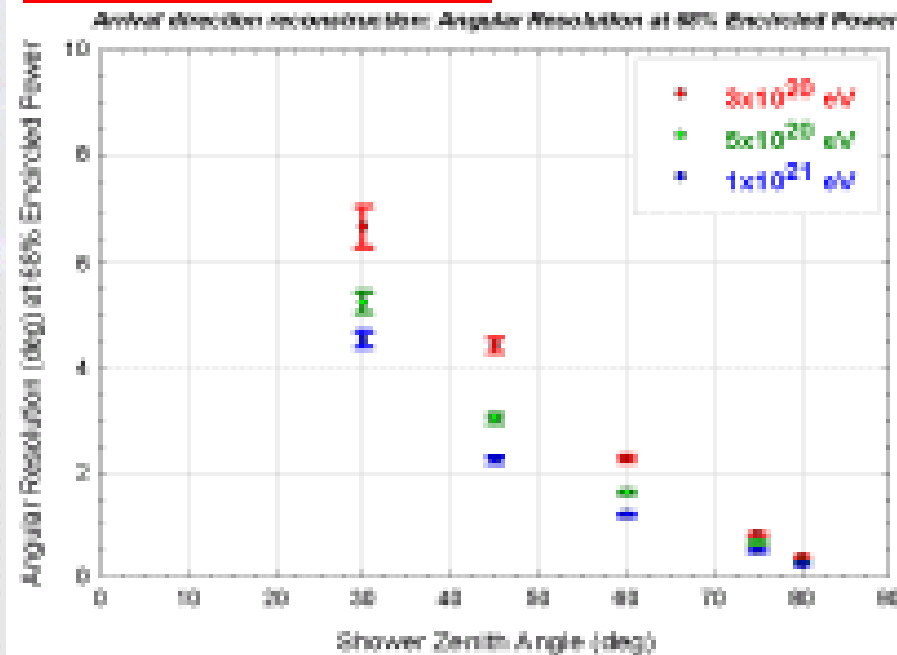
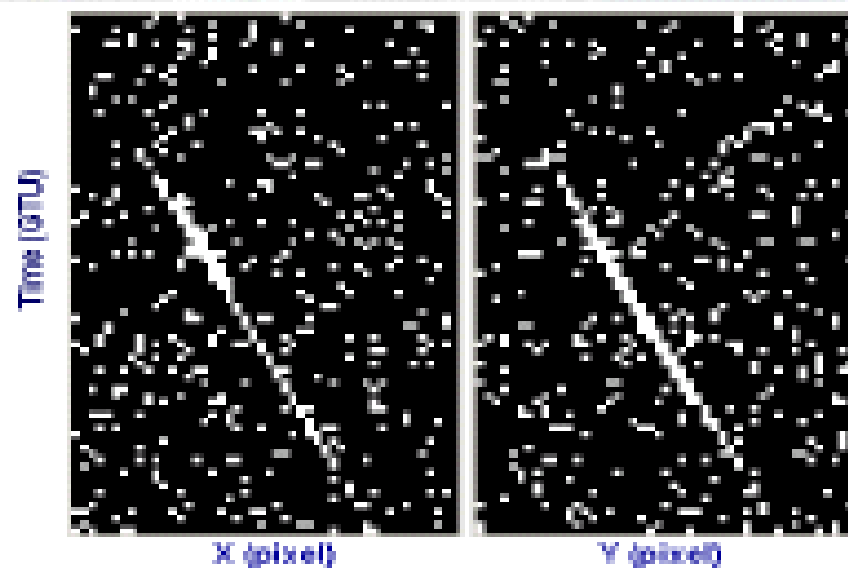
EUSO angular resolution

M.C. Maccarone,
2003

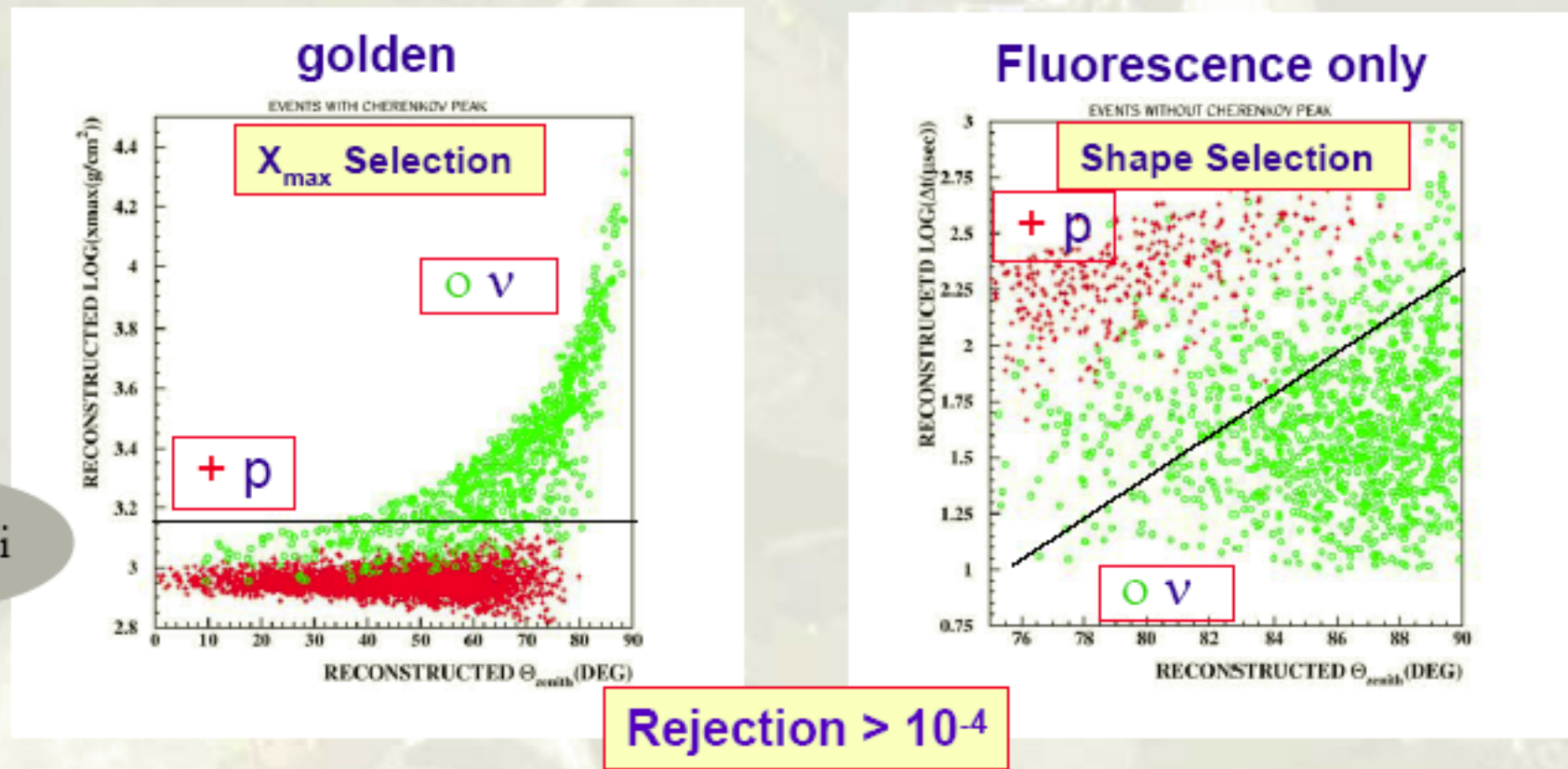
J. Dolbeau,
2003

At high energy,
without Cerenkov
footprint information

At 10^{20} eV, using the
Cerenkov footprint
position



Downward neutrino acceptance for EUSO



S. Bottai

- ✓ $2 * 10^{18}$ g is the total target mass under the FOV
- ✓ reduction due to trigger efficiency is calculated by full simulation. Clouds distribution is considered
- ✓ reduction due to selection efficiency needed for 10^{-4} proton rejection has been calculated from full simulation
- ✓ results show a sensitivity around 10 times AUGER for neutrino in the 10^{20} eV energy region