

J-PARC/T2K実験

— 建設から運転、そして最初の物理結果までの道のり —
平成18年～23年 (2006～2011)

研究代表者：西川 公一郎 (KEK)

研究分担者：小林 隆 (KEK)、**中家 剛(京都大学)**

連携研究者：横山将志、藤井芳昭、石井孝信

公募研究・研究代表者：市川温子、坂下健、山本和弘、中平武、福田善之、関谷洋之

Letter of Intent:

A Long Baseline Neutrino Oscillation Experiment using the JHF 50 GeV Proton-Synchrotron and the Super-Kamiokande Detector

February 3, 2000

—V1.0—

JHF Neutrino Working Group

Y. Itow¹, Y. Obayashi, Y. Totsuka

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Tanashi, Tokyo 188-8502,

Y. Hayato, H. Ishino, T. Kobayashi², K. Nakamura, M. Saku
Inst. of Particle and Nuclear Studies, High Energy Accelerator Research Org. (KEK)
Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

T. Hara

Department of Physics, Kobe University, Kobe, Hyogo 657-8501, Japan

T. Nakaya³, K. Nishikawa⁴

Department of Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

T. Hasegawa, K. Ishihara, A. Suzuki

Department of Physics, Tohoku University, Sendai, Miyagi, 980-8578, Japan

¹ Super Kamiokande Contact Person: itow@suketto.icrr.u-tokyo.ac.jp

² Neutrino Beam Contact Person: kobayasi@neutrino.kek.jp

³ Near Detector Contact Person: nakaya@scphys.kyoto-u.ac.jp

⁴ Organizer: nishikaw@neutrino.kek.jp

歴史

日本物理学会・新潟大学

2000年9月23日

宇宙線、素粒子論、素粒子実験
合同シンポジウム

JHFニュートリノ実験

中家 剛 (京大理)

1. Overview of the experiment
2. Physics Motivation
3. JHF facility and ν beam
4. Physics Sensitivity
5. Additional Options
6. Summary and Conclusion

◆ The JHF-Kamioka neutrino project.
hep-ex/0106019

◆ Citation: 800

プロジェクトの開始

□ J-PARC

- 2000年に承認（ニュートリノビームラインは含まない）
- 2001年建設開始（当初6年計画。途中でニュートリノを含め8年計画に）

□ T2K

- 2003年末に承認されそう、しかし、、、。
 - 総合科学技術会議「C」評価（最低評価）。200件中、C評価は16件（南極探索船等）。（例：もんじゅ、イーター等はS評価）
- 2004年建設開始（5年計画）
 - 2009年4月ビーム開始予定！

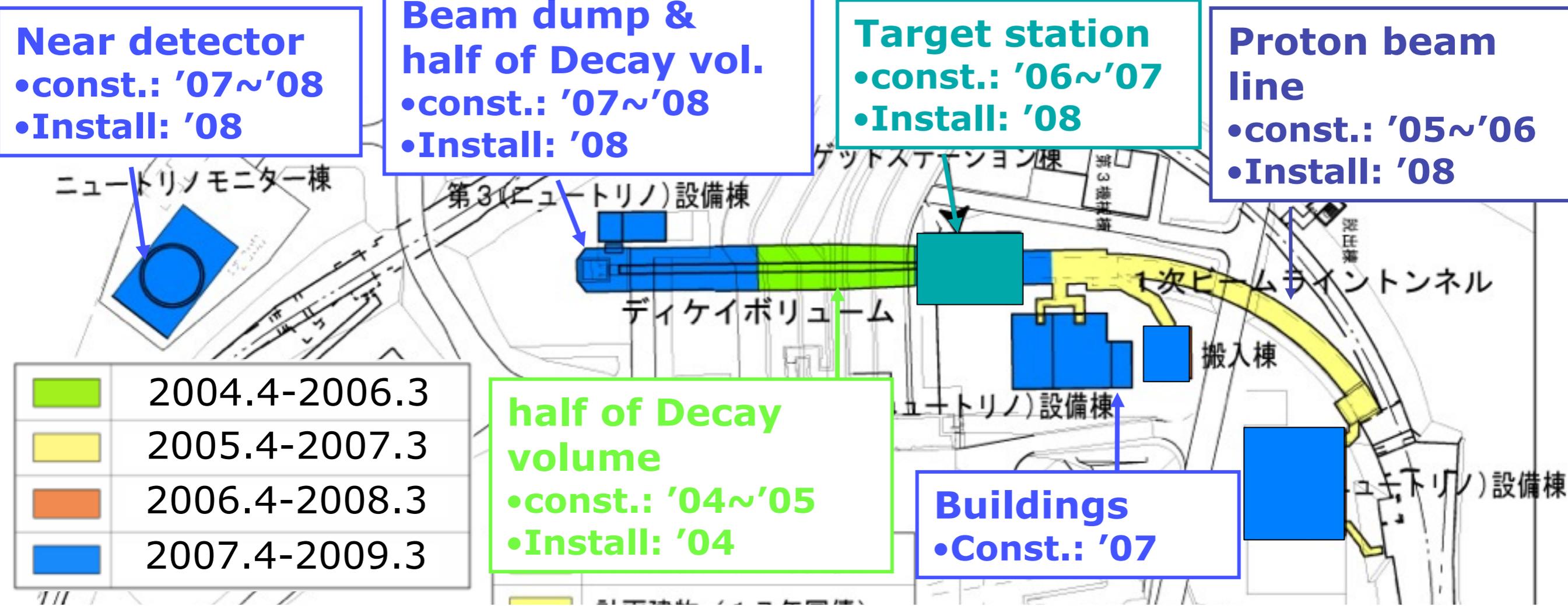
2005年（科研費申請時点）時点の現状

- 本格的な建設開始
- 既に、建設計画はタイトで、予算も足りない。
- 測定器関係は科研費で建設する。

Events in 2005-2006

- T2K Meeting
 - March 10-12, 2005 at KEK
 - January 20-22, 2006 at KEK
 - More than 100 collaborators join.
- T2K Near Detector (280m) Meeting
 - March 7-9, 2005 at KEK
 - June 15-16, 2005 at KEK
 - August 29-31, 2005 at TRIUMF, Canada
- (*) Fix the conceptual design of ND280 for budget request of the foreign countries.
- January 17-18, 2006 at KEK
 - ~100 collaborators join.

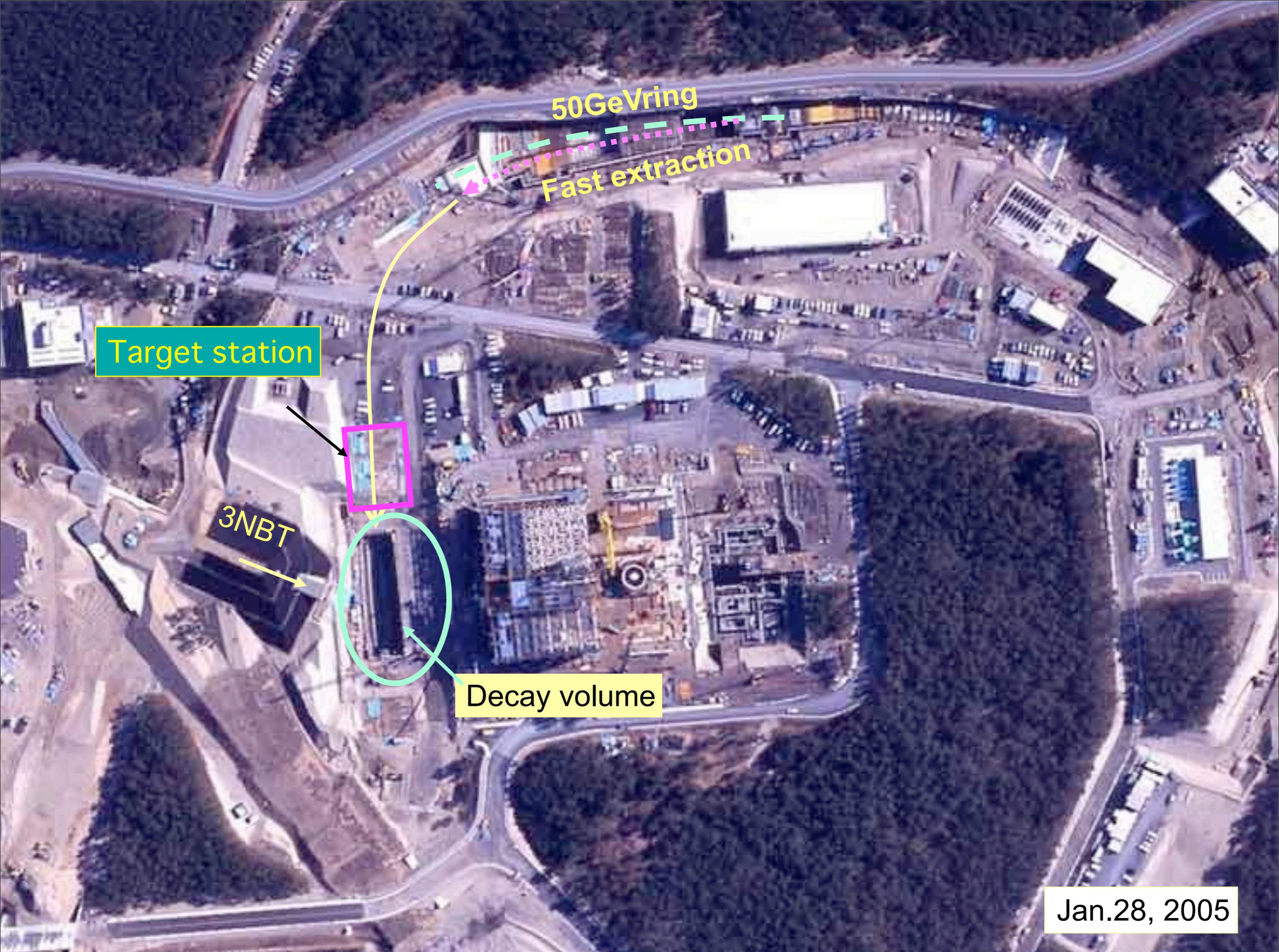
Schedule of ν beam line



	2004.4-2006.3
	2005.4-2007.3
	2006.4-2008.3
	2007.4-2009.3

		2004				2005				2006				2007				2008				2009		
		1st yr				2nd yr				3rd yr				4th yr				Last yr				H21		
		4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	1
Facility Design		█																						
Primary	Primary line tunnel					█				█														
	NC mags (Prep. Sect.)									█														
	SC/NC in FF													█				█						
	Cryogenics													█				█						
Secondary	TS civil/building									█				█										
	Equipments in TS									█				█				█						
	Decay volume	█				█								█				█						
	Beam dump									█				█				█						
	Neutrino monitor													█				█						

T.Kobayashi (KEK)



50GeVring

Fast extraction

Target station

3NBT

Decay volume

Jan.28, 2005



Target station

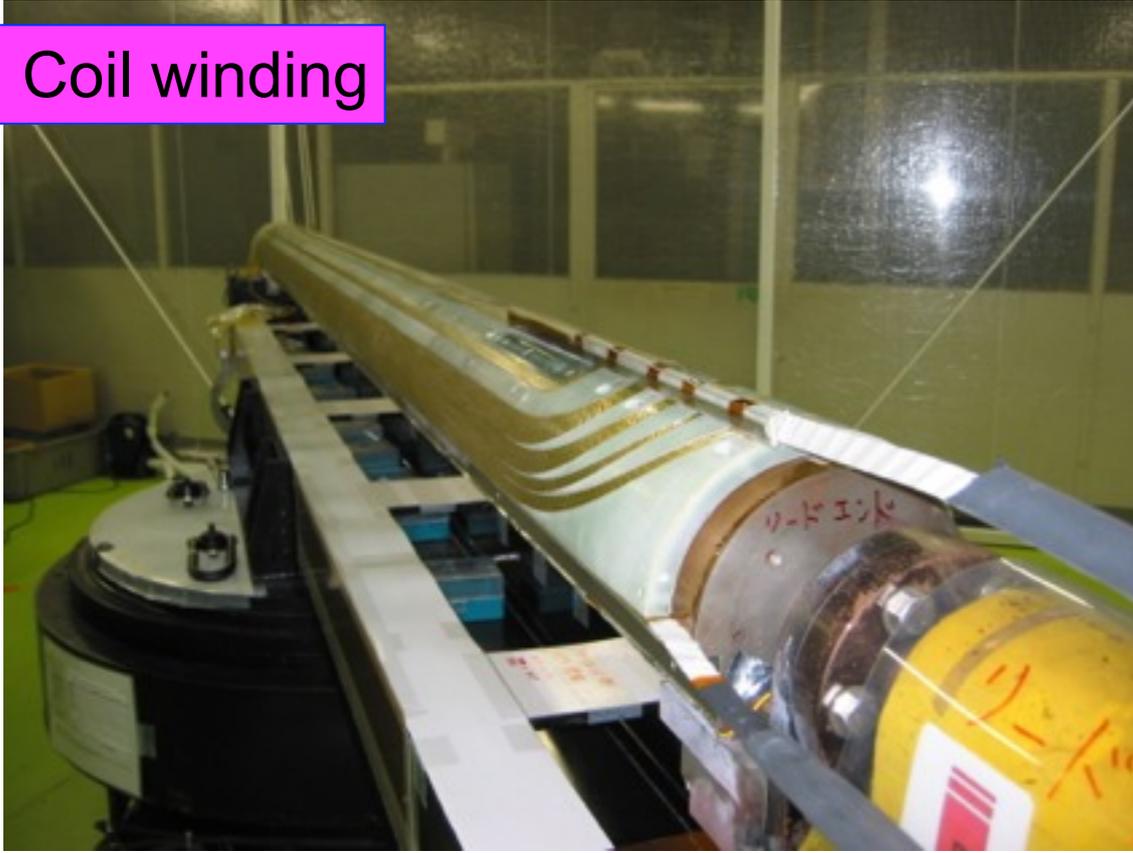
3NBT



Jan.28, 2005

1st Production magnet

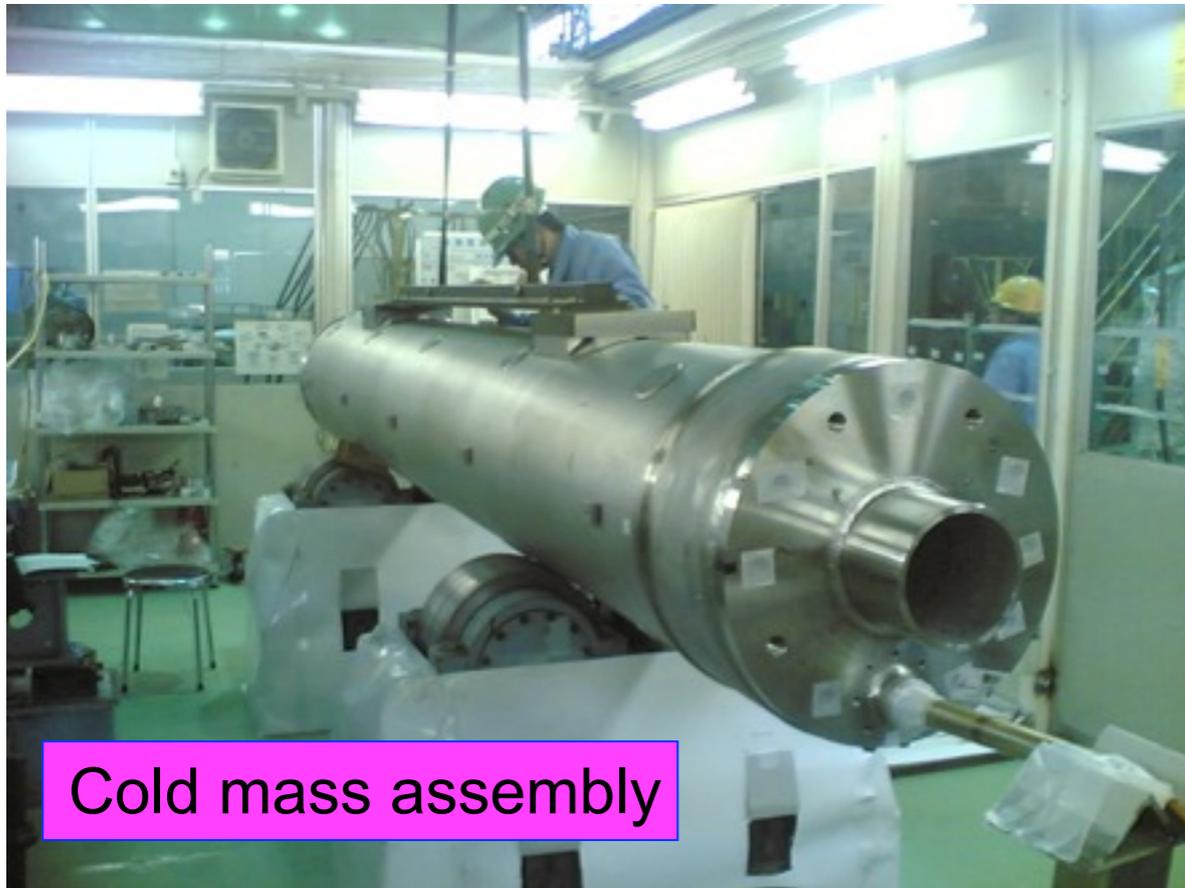
Coil winding



Magnet assembly



Cold mass assembly

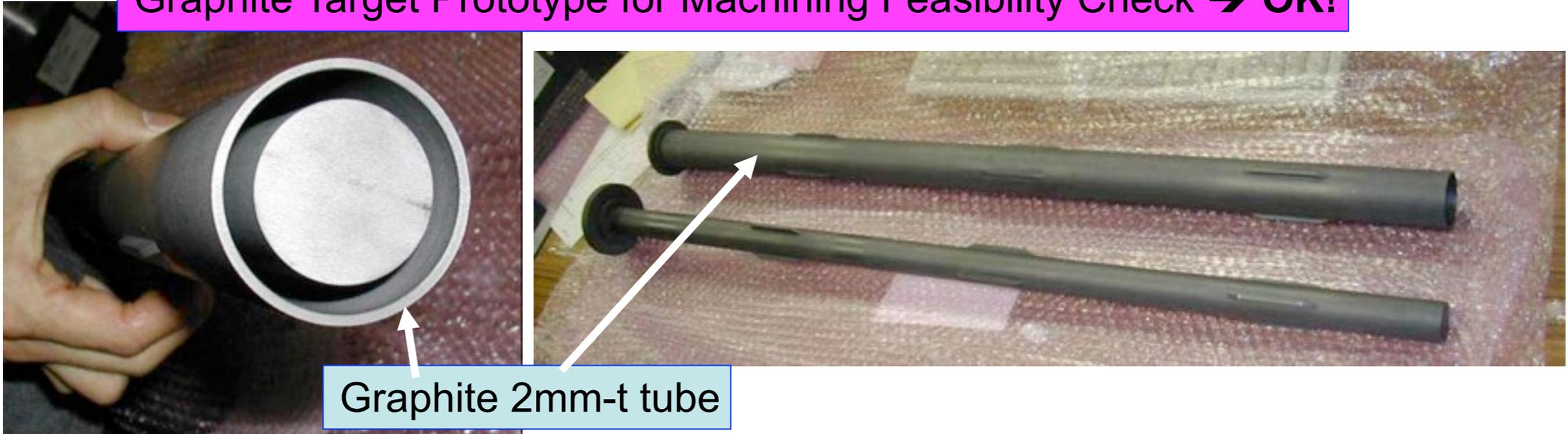


Putting magnet in cryostat



T.Kobayashi (KEK)

Graphite Target Prototype for Machining Feasibility Check → OK!



Graphite 2mm-t tube

1st horn inner conductor



1st horn outer conductor



3rd horn inner conductor

Construction of Decay Volume (1)



T.Kobayashi (KEK)

Construction of Decay Volume (2)



Oct. 14, 2005

Attached rids for vacuum test



Oct. 21, 2005

Evacuation started



All cooling channels connected by 1080 U-shape pipes.

Oct. 14, 2005



Super-K

- Back to 40% Photo-Coverage in April 2006.
 - Many non-SK T2K collaborators contribute to rebuilding of SK (89 person·weeks).
- SK-III will be ready for T2K very soon.

January₂11, 2006

Adjusting specifications to fit within budget

- **Decay volume length (130m → 110m)**
 - **Big impact on civil cost**
 - **Reduce equipment cost also**
- **Size of near detector hole (20m → 17m → 17.5m)**
- **Limit acceptable beam power at $T=0$**
 - **Reduce Air cooling capability**
 - **Reduce shielding blocks in TS**
 - **Recover ASAP after commissioning**
- **Impact on physics sensitivity is minimum.**

2006年：特定科研費「フレーバー物理」採択

H18	H19	H20	H21	H22	H23	合計
50,100	127,800	109,400	67,300	16,000	13,100	373,700

(単位：千円)

建設ピーク

コミッショニング

物理Run

First Result:
Observation of $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$

□ 科研費

- ビームライン機器関連： 約1億2千万円
- 前置ニュートリノ測定器： 約1億2千万円
- 研究員、秘書等： 約7千万円
- 海外出張費等々： 他

Tunnel for Primary Beam-line

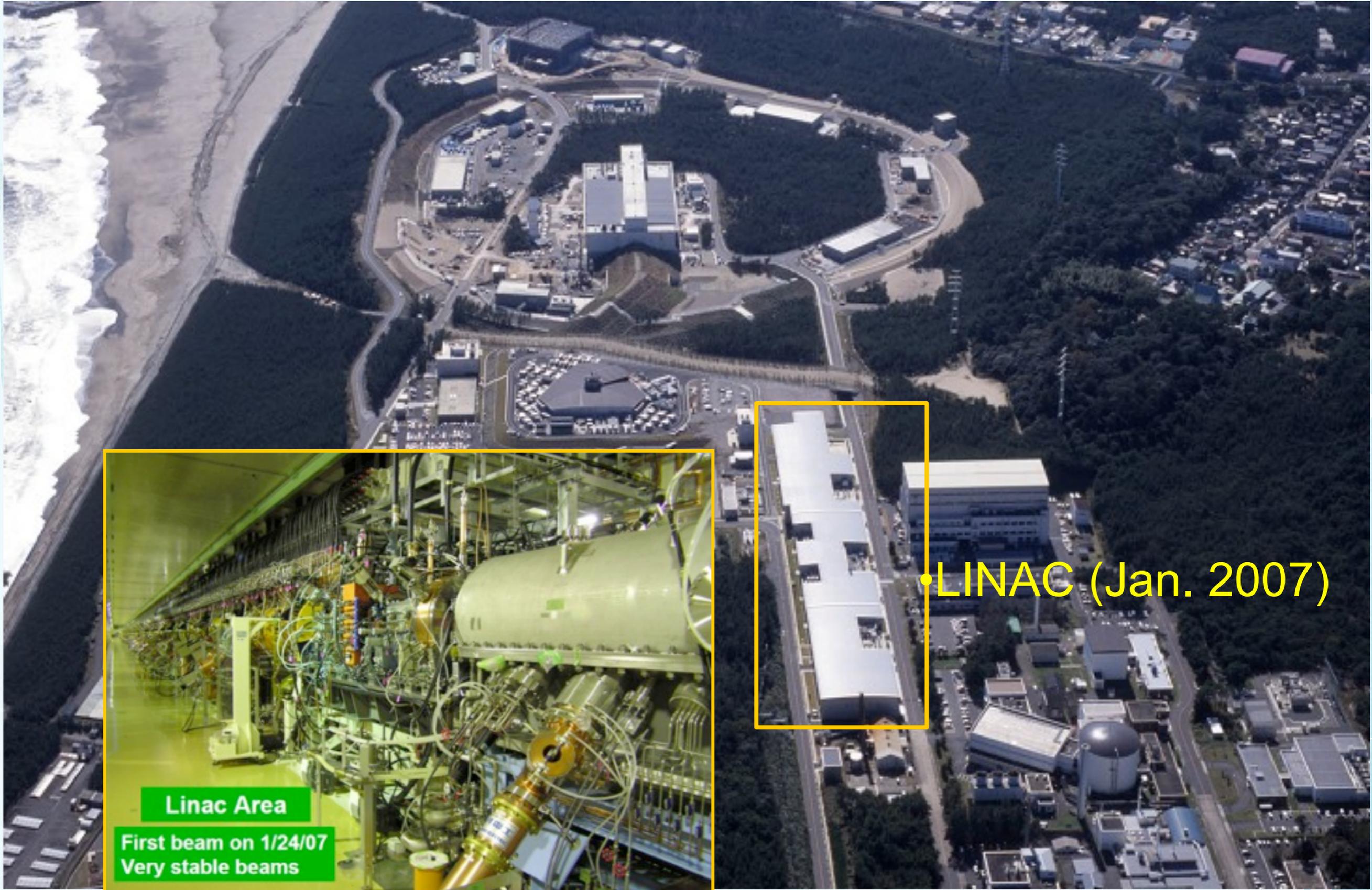


Completed in Dec. 2006

2008年初め頃



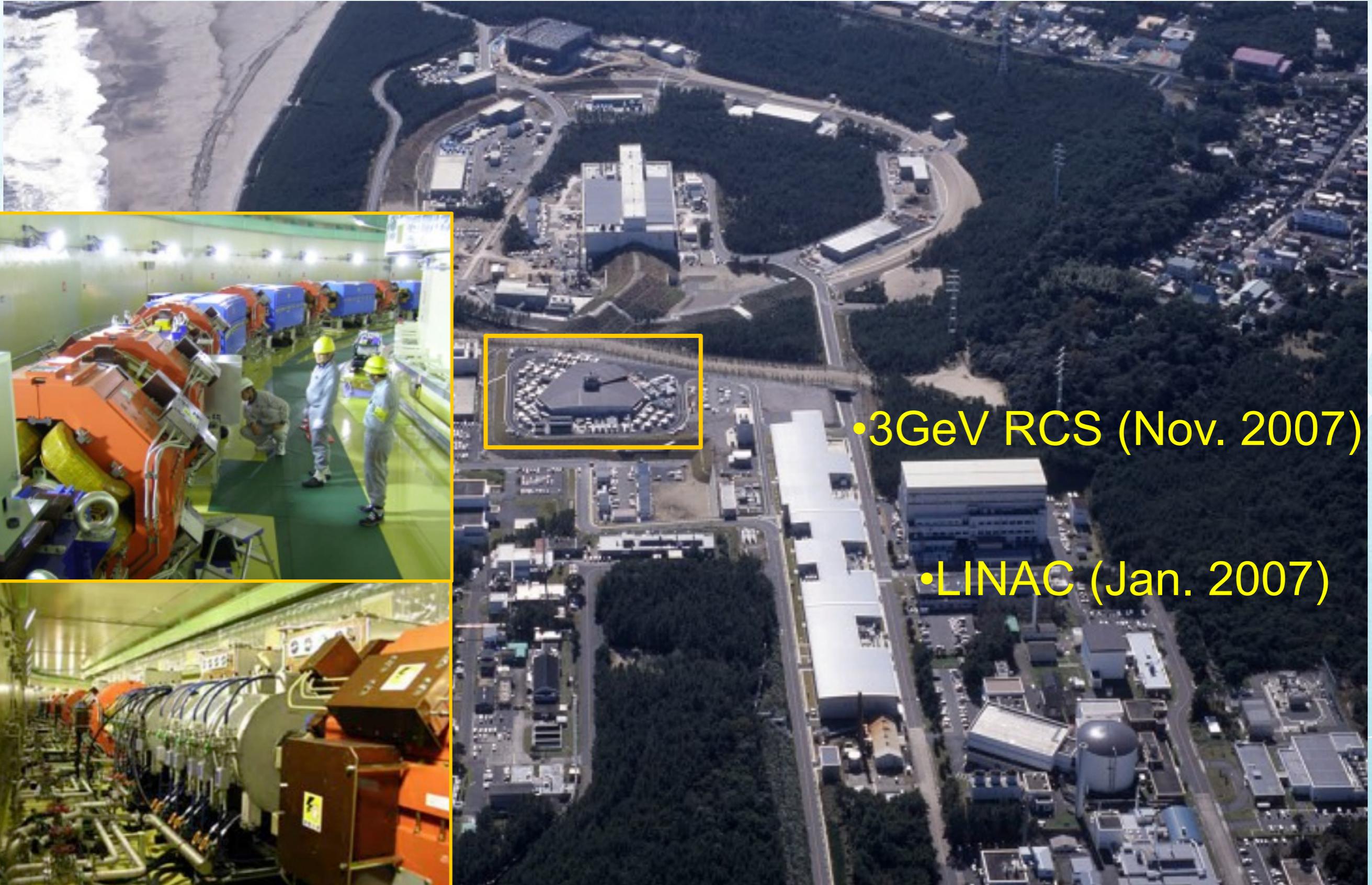
2008年初め頃



Linac Area
First beam on 1/24/07
Very stable beams

• LINAC (Jan. 2007)

3.1 ニュートリノビーム/J-PARC



•3GeV RCS (Nov. 2007)

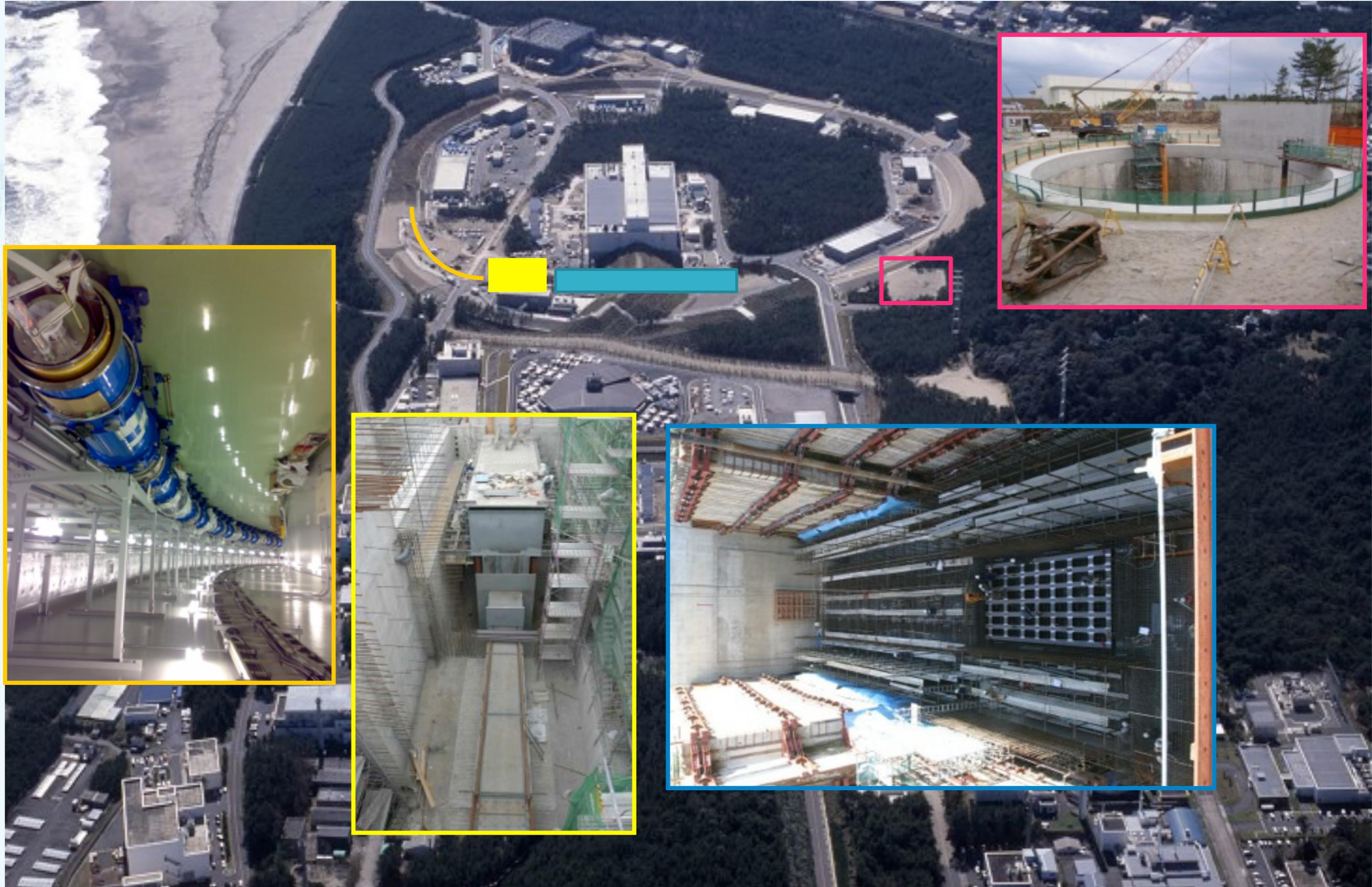
•LINAC (Jan. 2007)

3.1 ニュートリノビーム/J-PARC



- MR (May. 2008)
- 3GeV RCS (Nov. 2007)
- LINAC (Jan. 2007)

3.1 ニュートリノビーム/J-PARC



UA1 magnet

◆UA1実験のダイポールマグネットをCERNより輸送。

- ◆第1陣が日本に到着。
- ◆4～6月に設置。

◆TPCと組み合わせて運動量測定

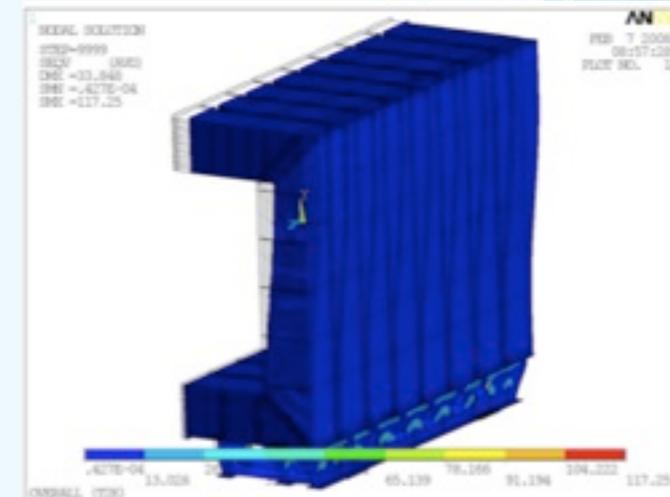
- ◆0.2Tで運転
- ◆高精度＋大立体角で荷電粒子測定。



Jan 2007

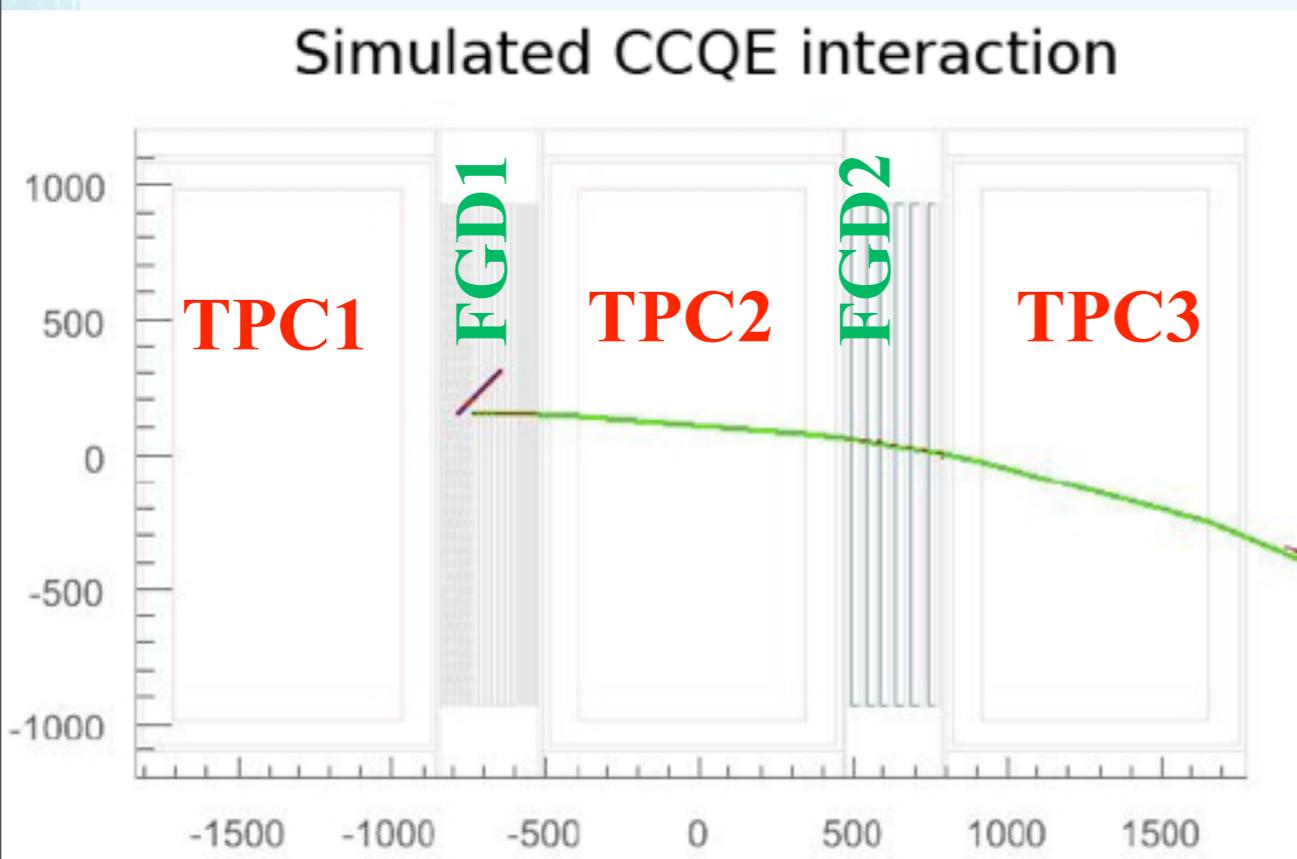


T2Kの物理 Jan 2008



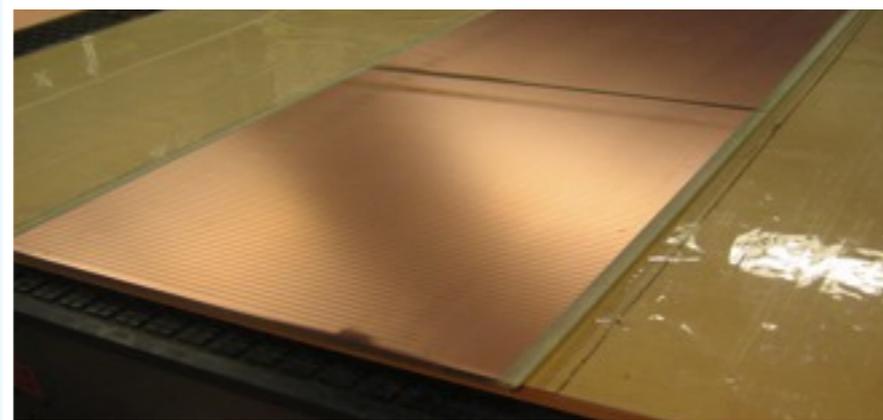
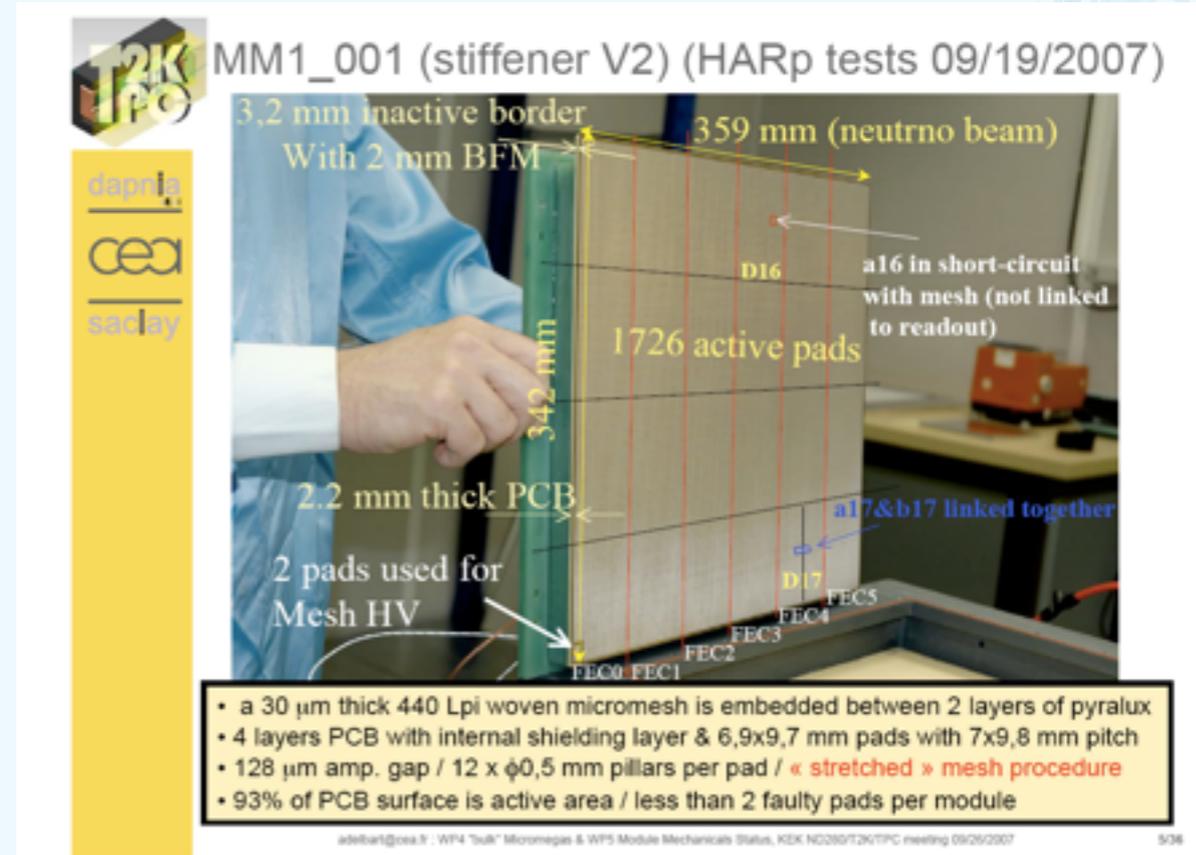
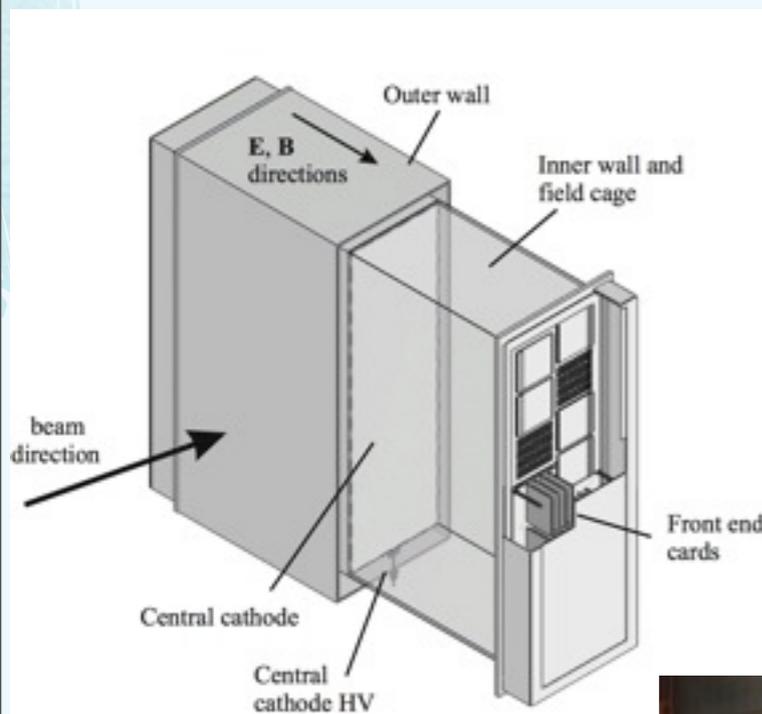
Fine Grain Detectors

- ニュートリノバーテックス測定器
- 1cm × 1cm シンチレータ, 波長変換ファイバー + MPPC
- 2009年夏にインストール



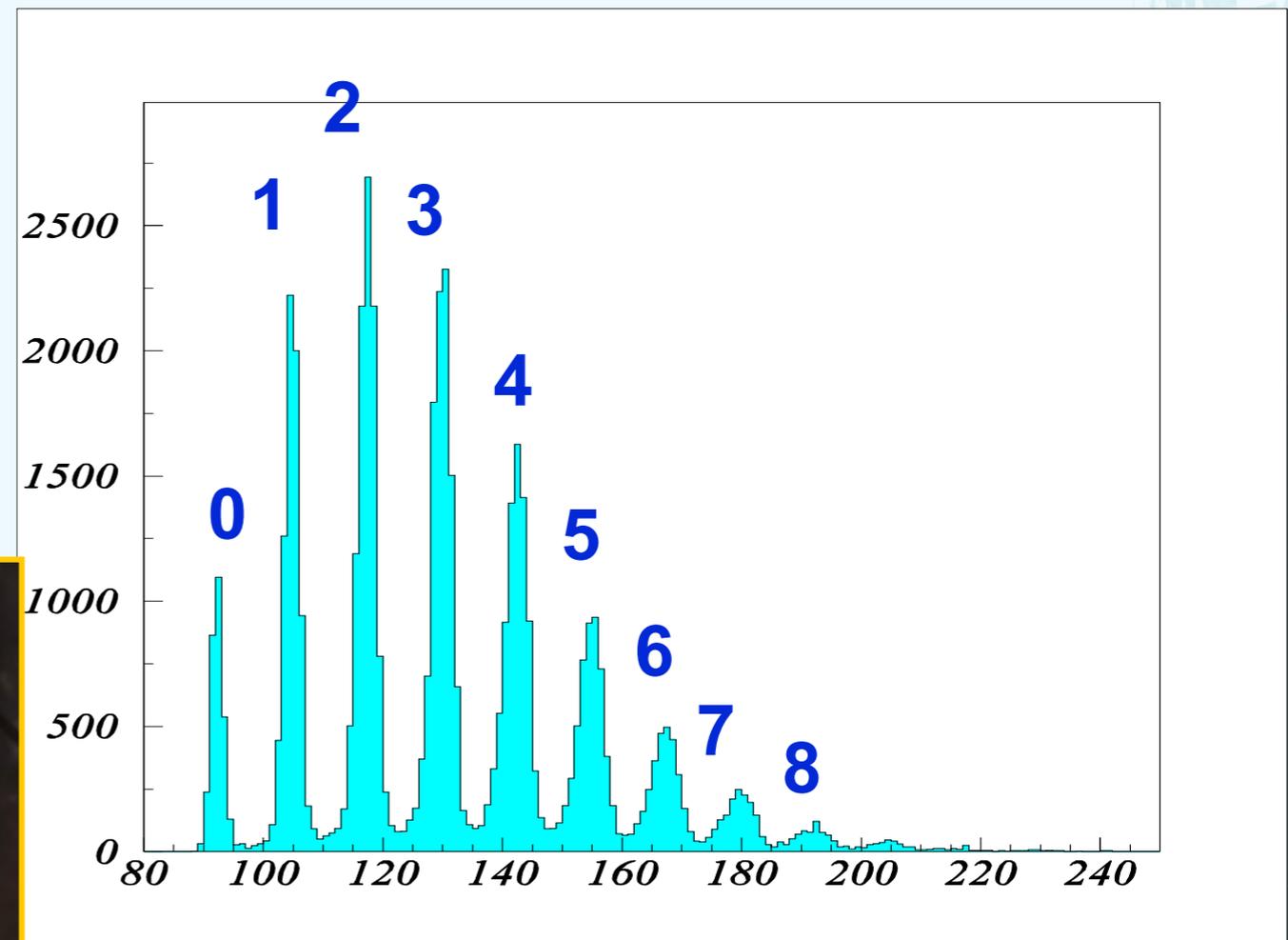
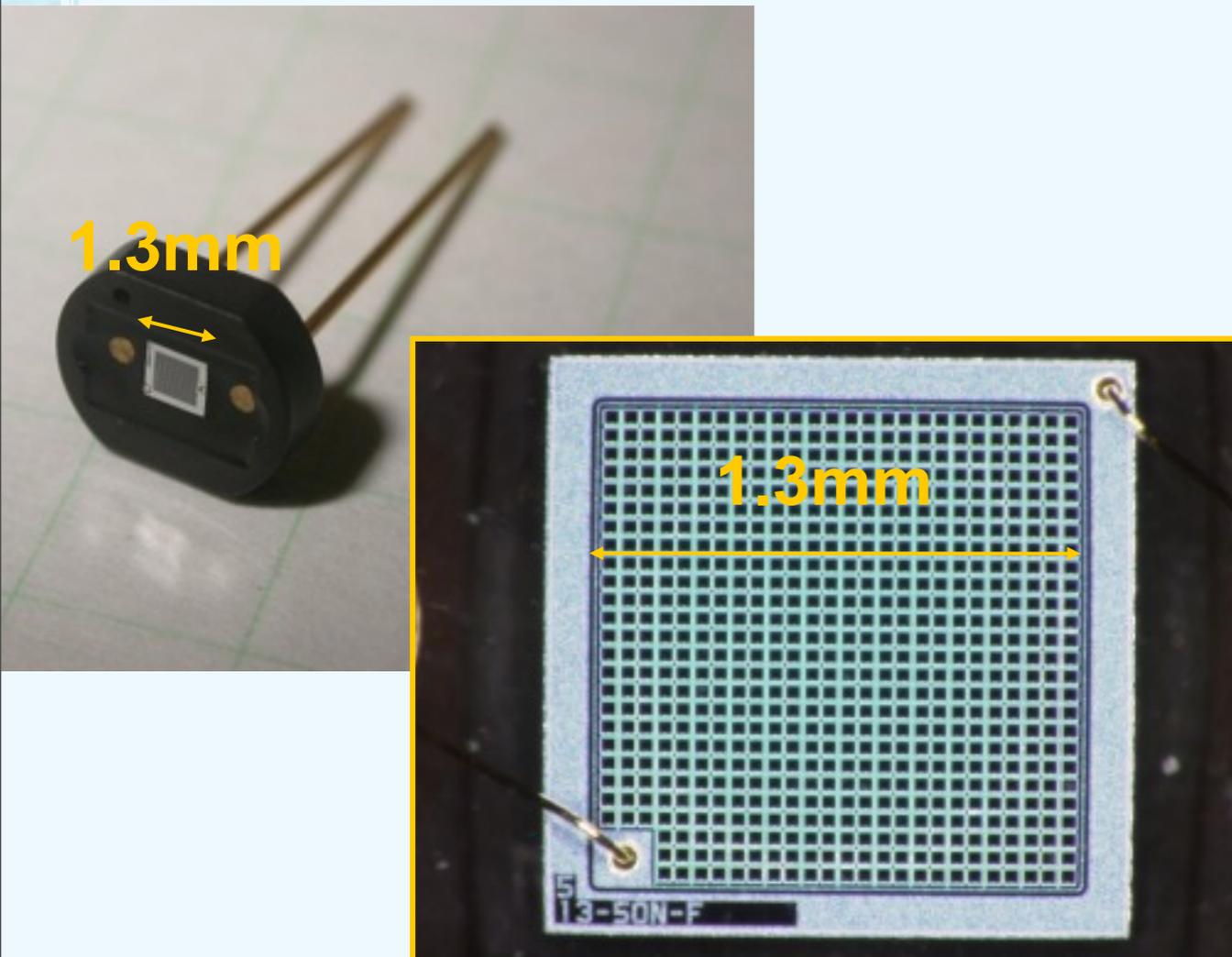
TPC

- ◆ 3TPC, **MicroMegas** 読み出し (8mm × 8mm パッドサイズ)
- ◆ 10% 運動量分解能 ($p < 1 \text{ GeV}/c$), $\sim 10\%$ dE/dx 分解能
- ◆ MicroMegas試作機はCERNでテスト。=> 生産開始へ!
- ◆ 2009年夏に2台のTPCを設置予定。



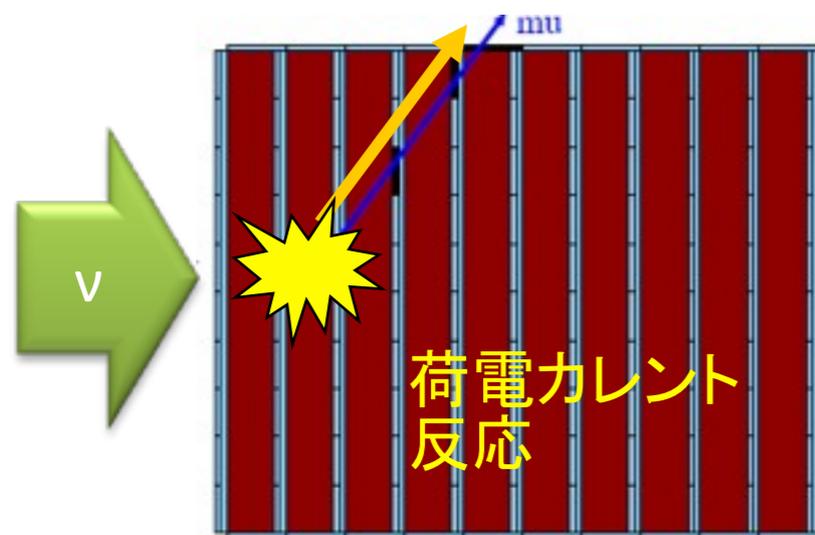
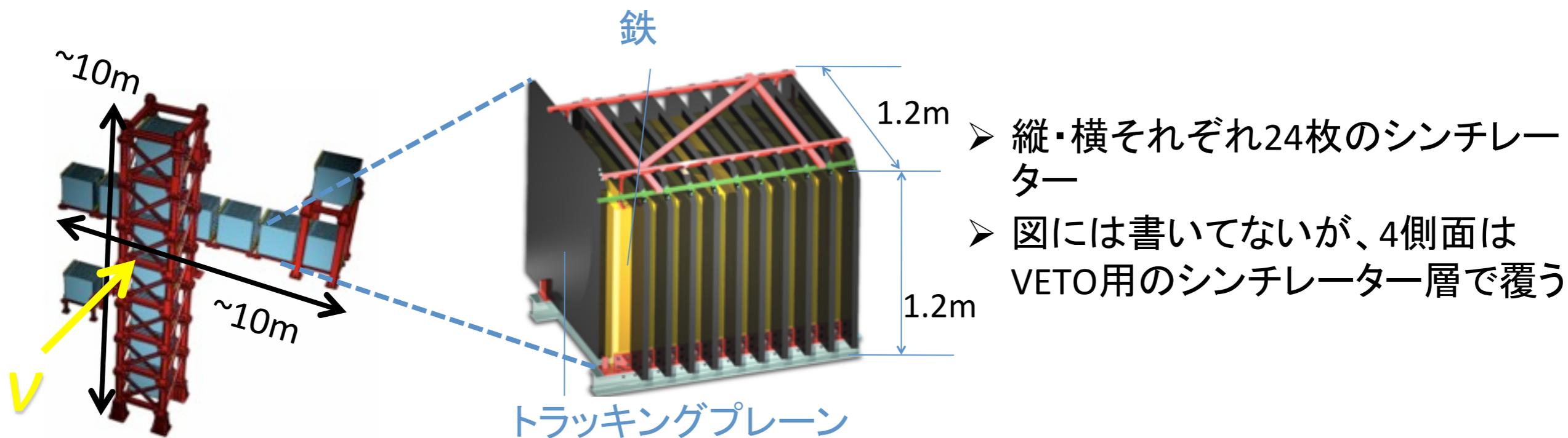
Hamamatsu MPPPC

- ◆ **M**ulti-**P**ixel-**P**hoton-**C**ounter
 - ◆ Multichannel APD をガイガーモードで作動。
 - ◆ 667 pixels.
- ◆ 生産開始。~2万個が京大に納品。
- ◆ 大量測定開始。



INGRID

- ◆モジュールは、鉄9層とトラッキングプレーン(プラスチックシンチレーターの層)11層の、サンドイッチ構造



- ◆ビームvの荷電カレント反応によって生じた μ を、トラッキングプレーンによって観測する。

トラッキングプレーンのコンポーネント

• INGRID 検出原理

- (1) ミューオンがシンチレーターを通過→発光
- (2) 波長変換ファイバー(WLSF)で吸収→再発光
- (3) 光検出器(MPPC)で読み出し

• コンポーネント

– INGRIDシンチレーター

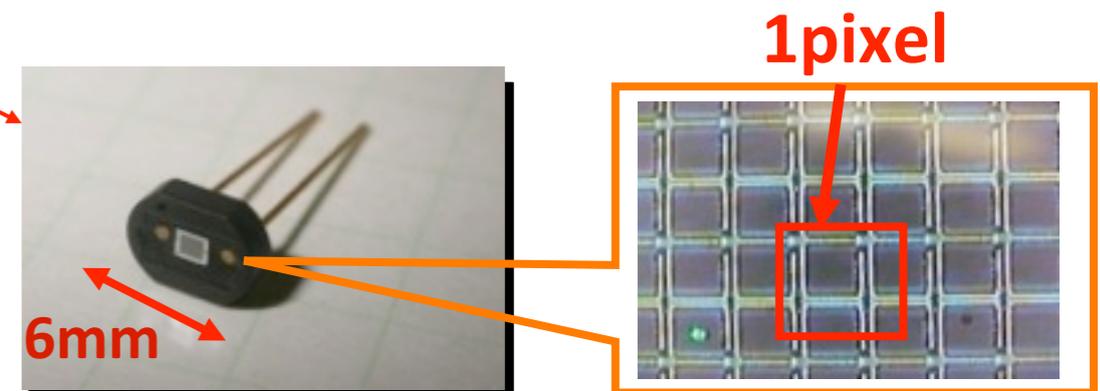
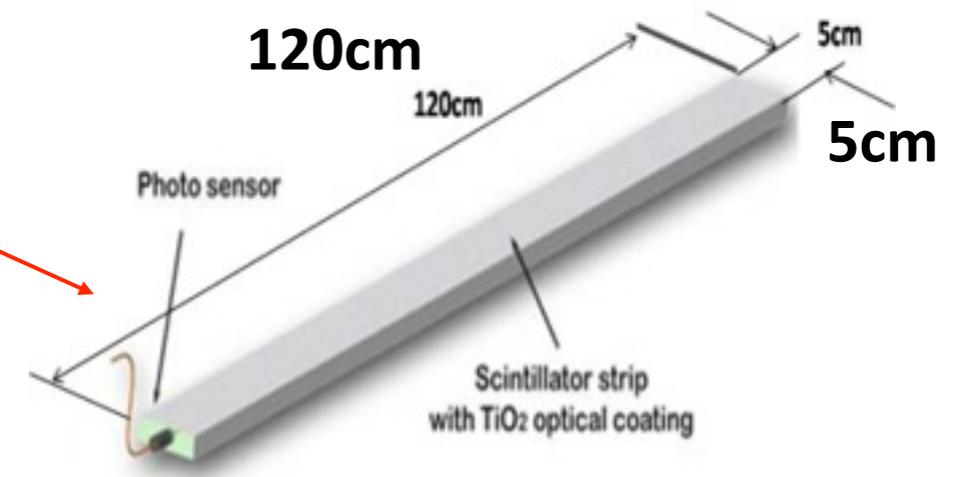
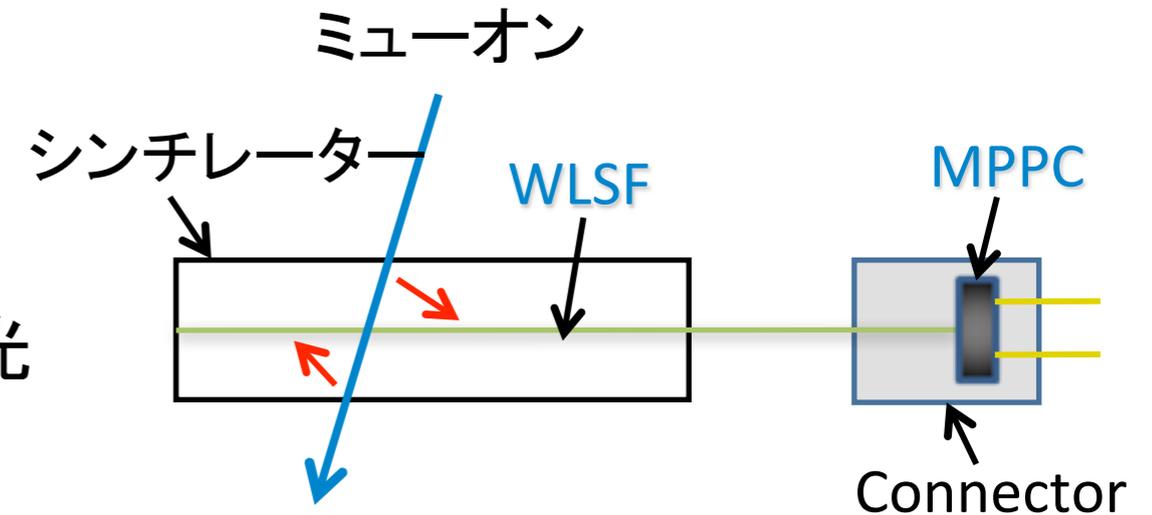
- 120cm×5cm×1cm
- MPPCに近い端面以外の面を反射材でコーティング

– WLSF (Wave Length Shifting Fiber)

- クラレ社製 Y11(200)MS
- これにMPPC用のコネクタをつける
- $\Phi=1\text{mm}$

– MPPC(Multi Pixel Photon Counter)

- 受光面：1.3mm×1.3mm



これまでの準備状況

コンポーネント	量	準備
シンチレーター	9448本 (5.7ton)	✓FNALで 製作 ・J-PARCに 輸送完了 ✓KEK富士実験棟でのビームテストで 十分な性能 を確認
ファイバー	9488本 (11.5km)	✓京都大学でMPPCコネクタ付き ファイバーの 製作完了
MPPC	9488ch	✓約2500個の基礎特性を 測定完了

✓2008年秋は検出器組立の真っ只中。

製作スケジュール

8/2008 9/2008 10/2008 11/2208 12/2008 1/2009 2/2009 3/2009 4/2009

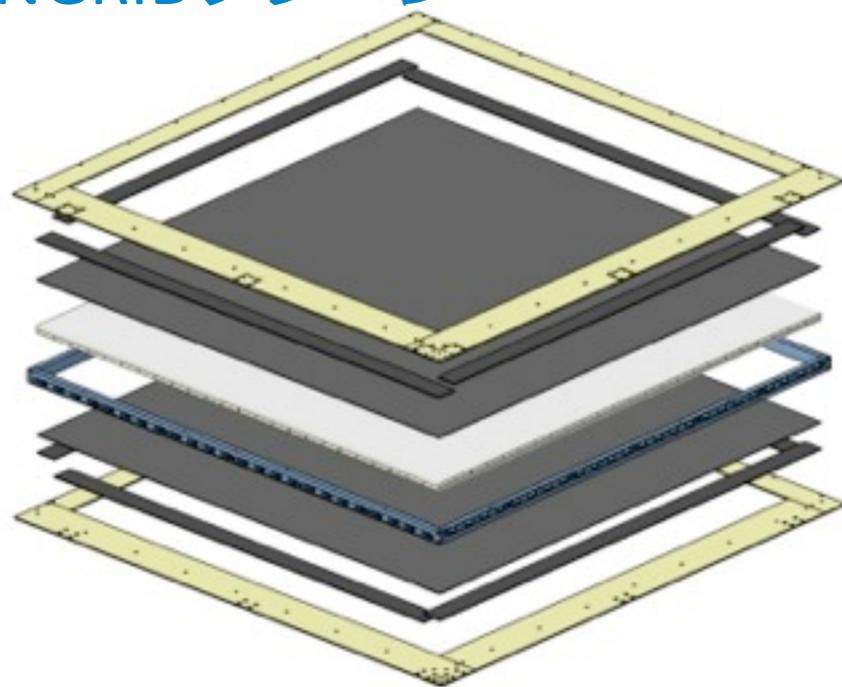
INGRIDプレーン製作

INGRIDモジュール製作

インストール

ビームコミッション

INGRIDプレーン



✓ 228プレーン製作・試験

INGRIDモジュール

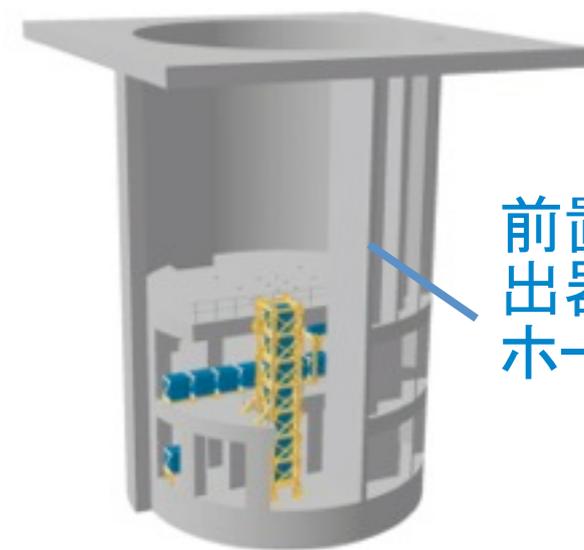


構造体

✓ プレーンを鉄・構造体 (~10ton)へ装着

✓ DAQ試験

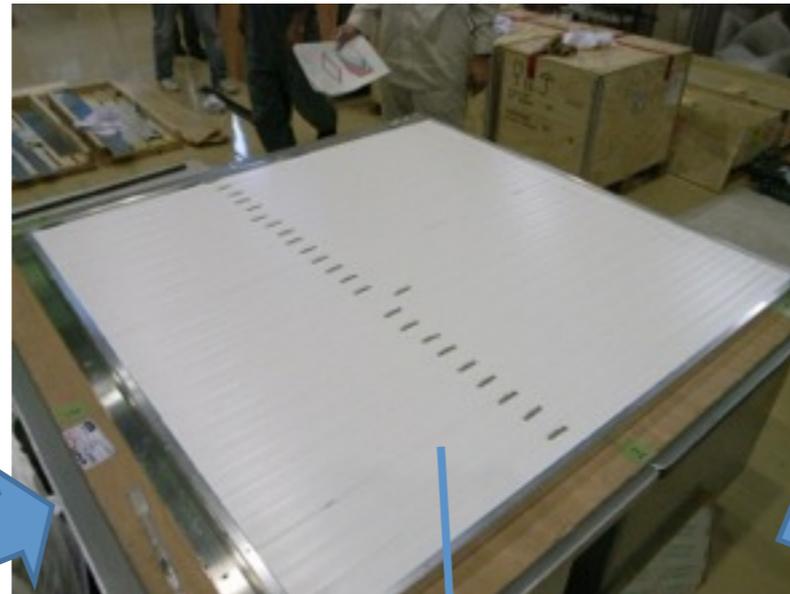
前置検出器ホール



✓ 前置検出器ホールへのインストール

アルミフレーム・遮光板・シンチの組み立て

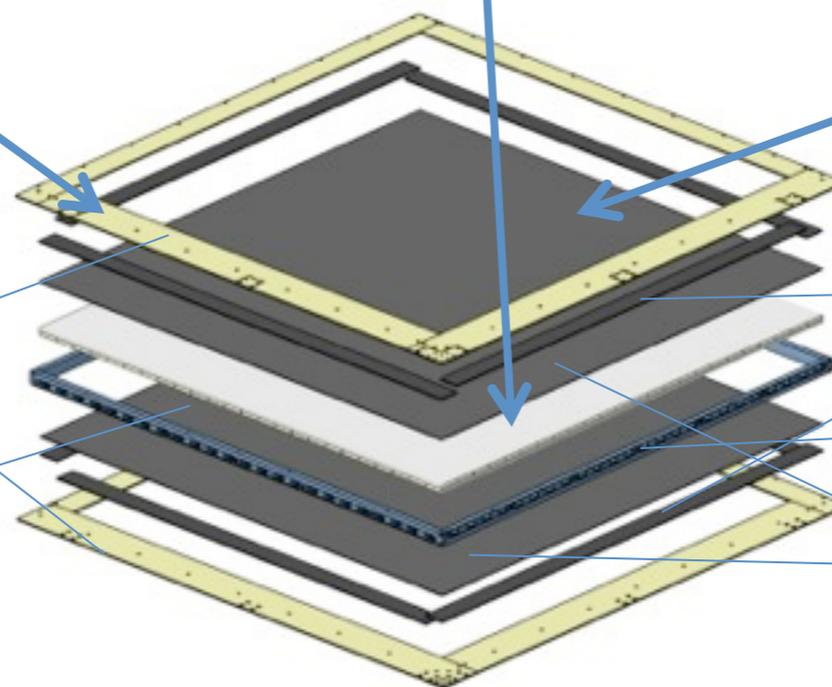
シンチレーター層の接着



上部のサイドパネルを組立→接着待ち



サイドパネルの組立



遮光ゴム

サイドバー

遮光板

サイドパネル

シンチレーター層

プライマリー陽子ビームモニター

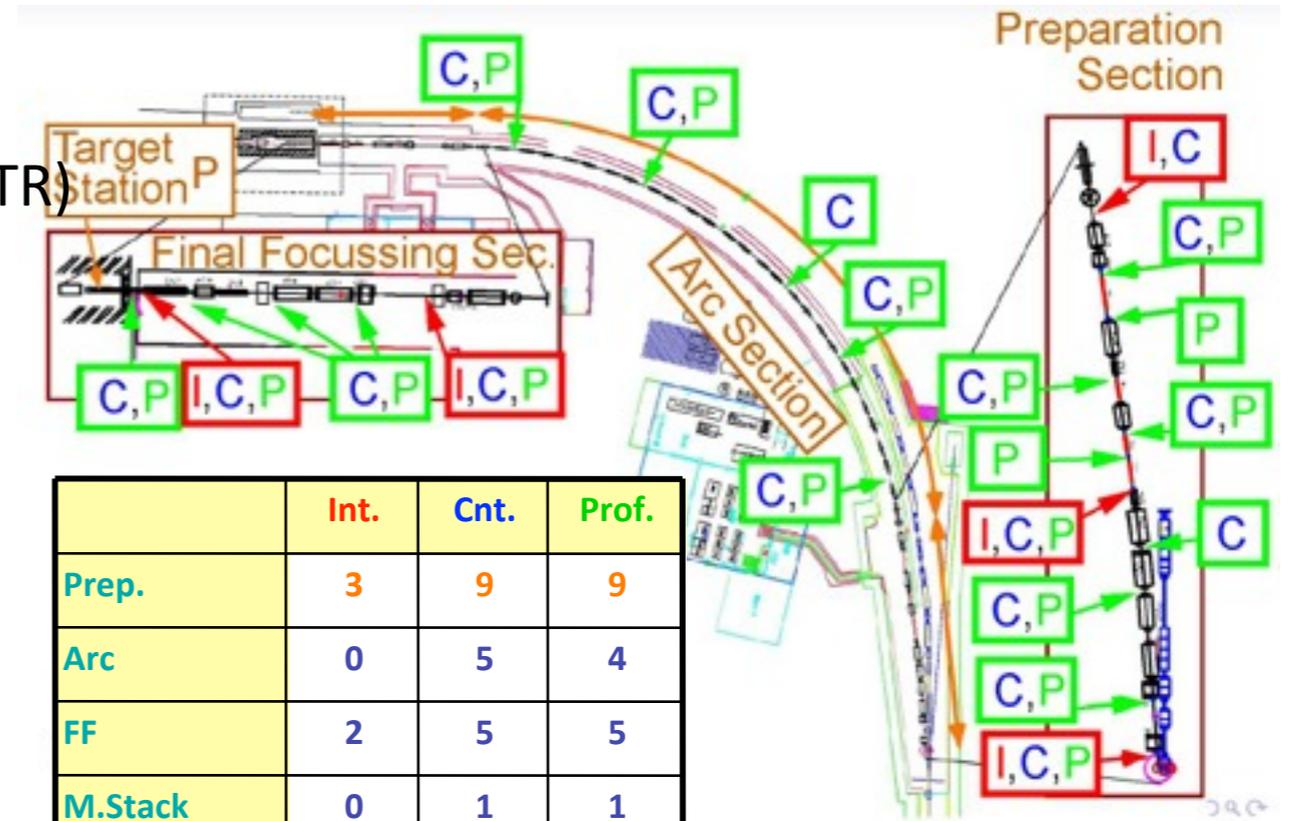
✂ **Position** : Electro-static monitor (ESM)

✂ **Profile** : Segmented Secondary Emission Monitor (SSEM)

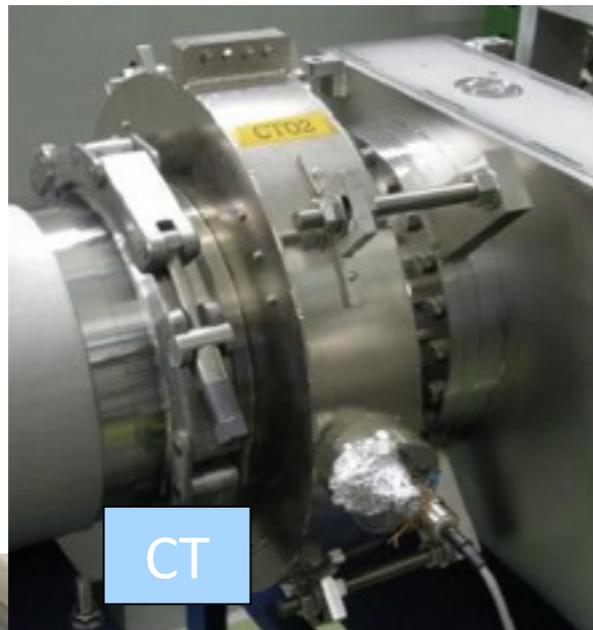
: Optical transition Radiation monitor (OTR) in front of the target

✂ **Intensity** : CT (Current Transformer)

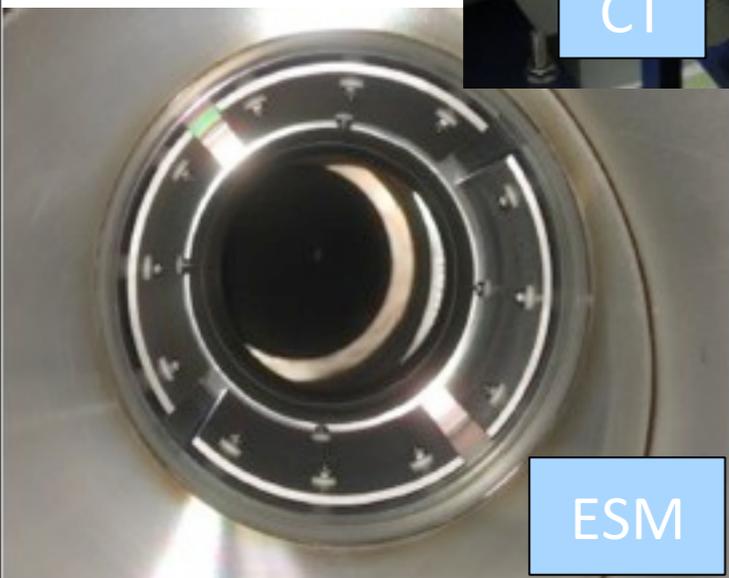
✂ **Loss monitors** (BLM): Ionization Chamber



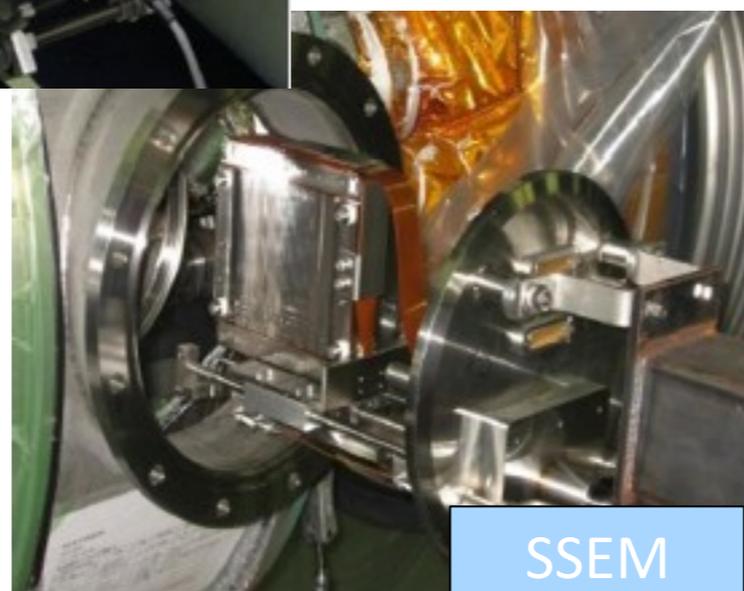
	Int.	Cnt.	Prof.
Prep.	3	9	9
Arc	0	5	4
FF	2	5	5
M.Stack	0	1	1
Total	5	20	19



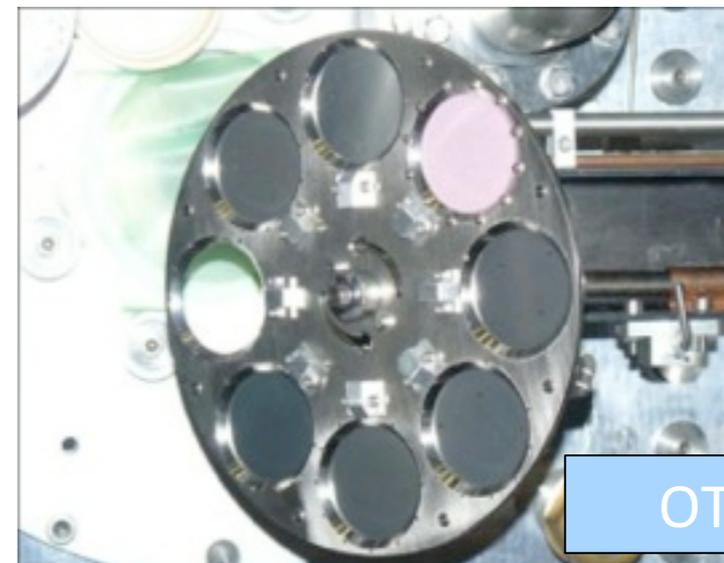
CT



ESM



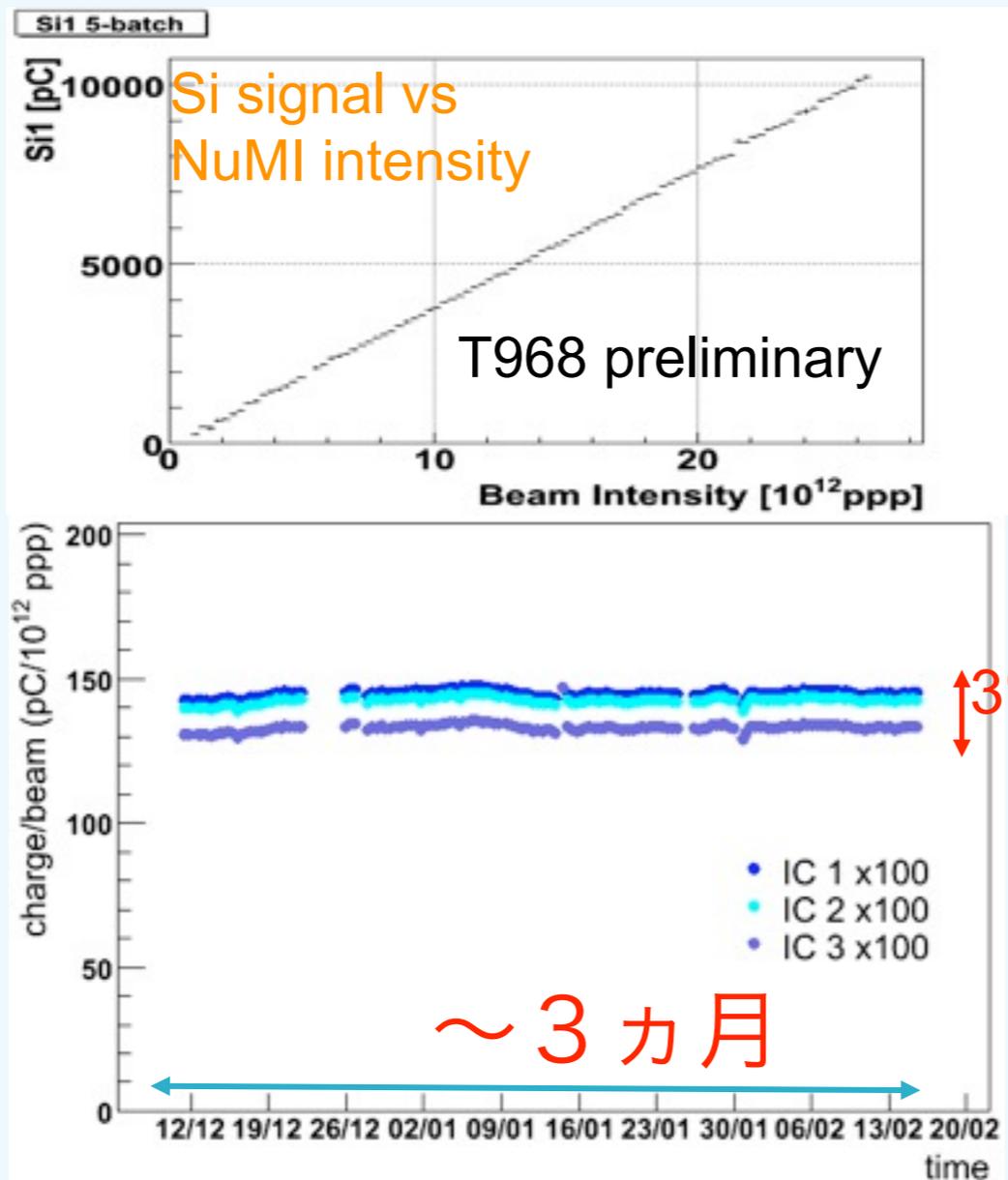
SSEM



OTR

ミュオンモニター

- パルス毎にニュートリノビームをモニター
 - 強度、方向、プロファイル
- 2007-2008年はフェルミ研T968として、NuMIビームラインでプロトタイプの長期試験中
- 2008年冬に設置予定。



NuMI/MINOSに設置されたT2K-ミュオンモニター試作機

ミューオンモニター

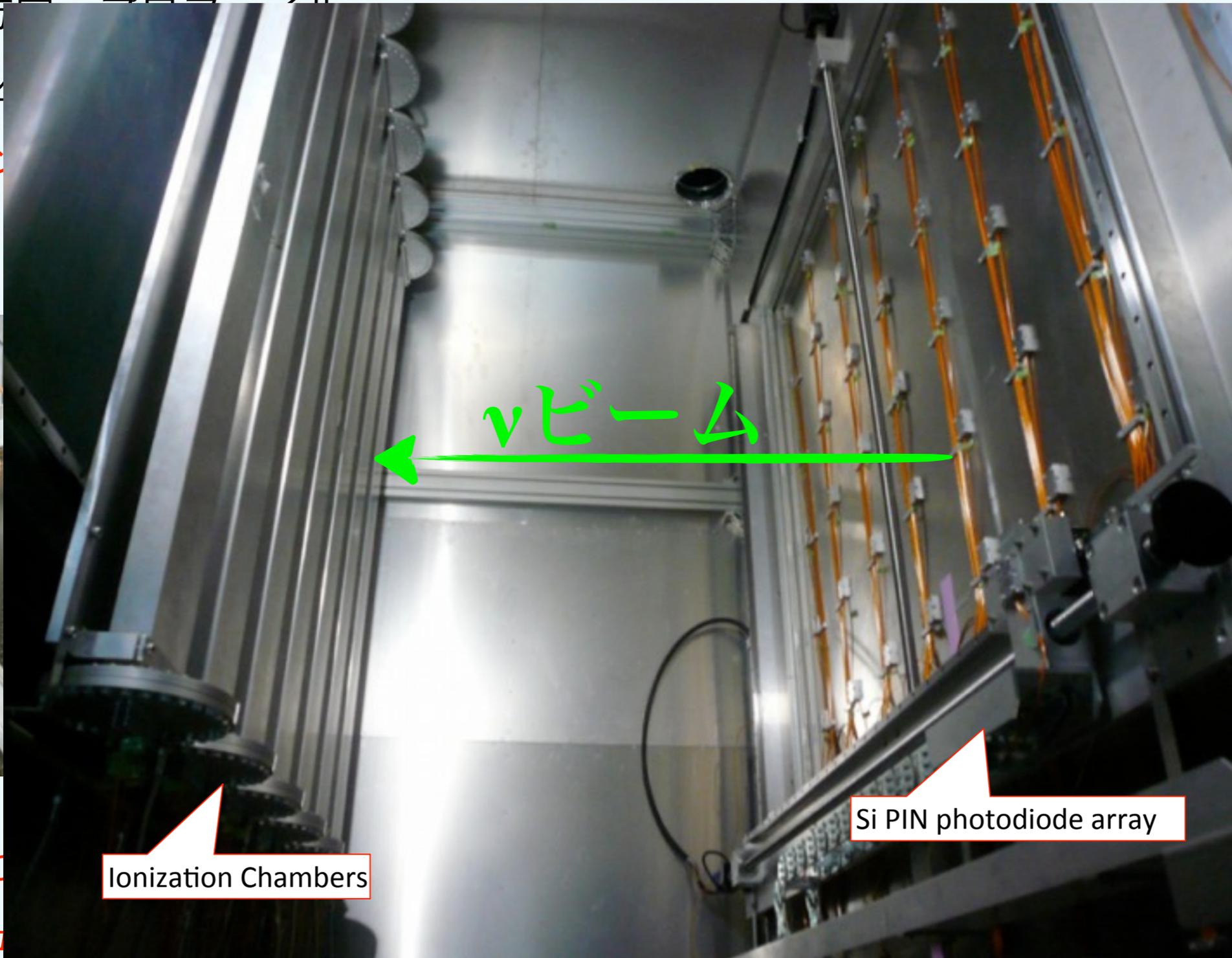
- パルス毎にニュートリノビームをモニター

- 強度、方向、エネルギー

- 2007-2008年

ビームライン

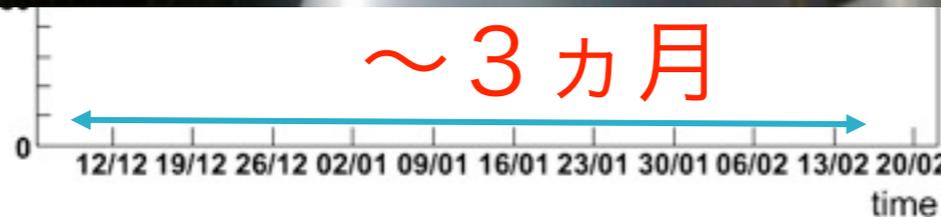
- 2008年冬に



Ionization Chambers

Si PIN photodiode array

NuMI/MINOSに
されたT2K-ミ
ンモニター試作機

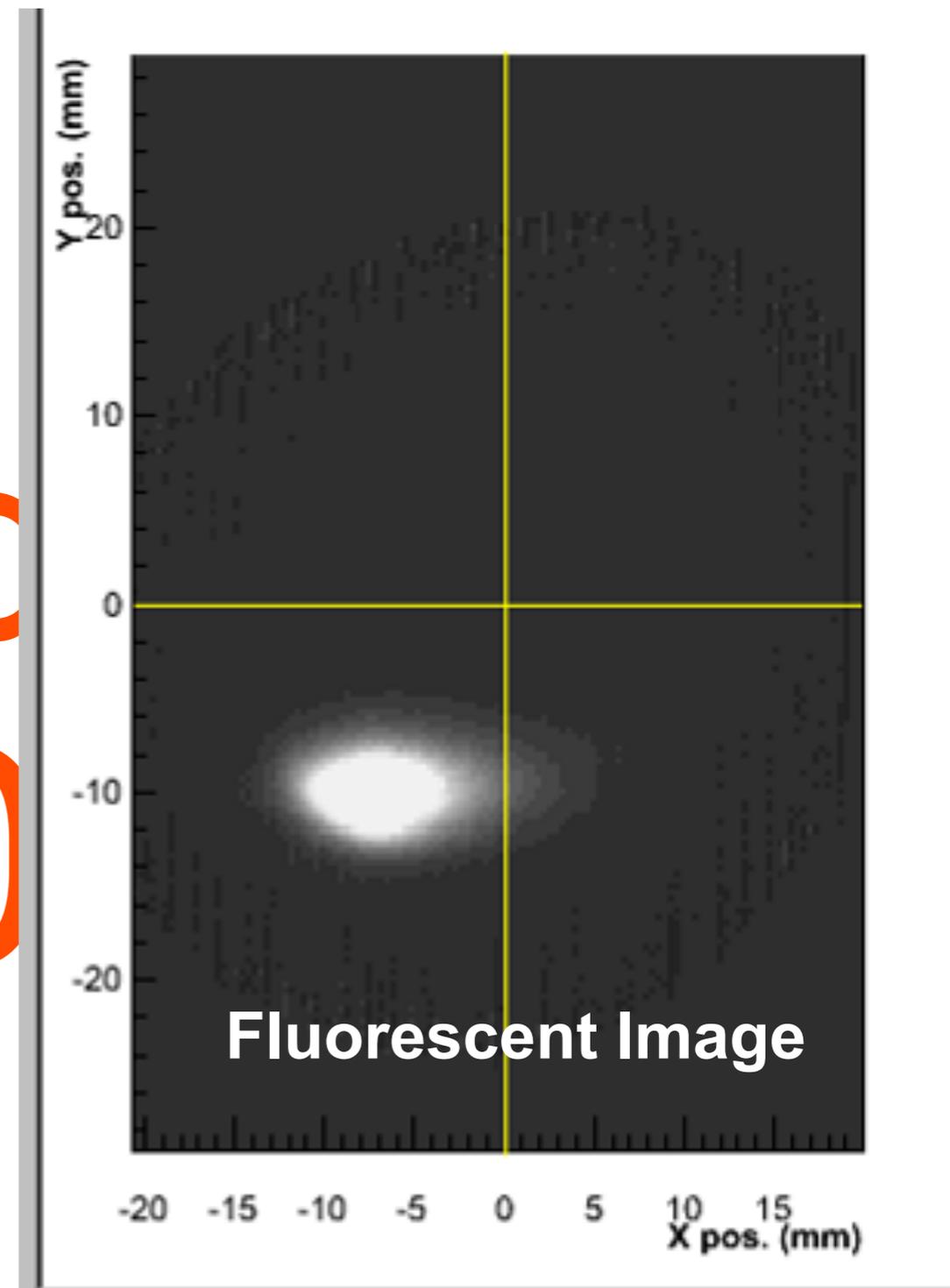
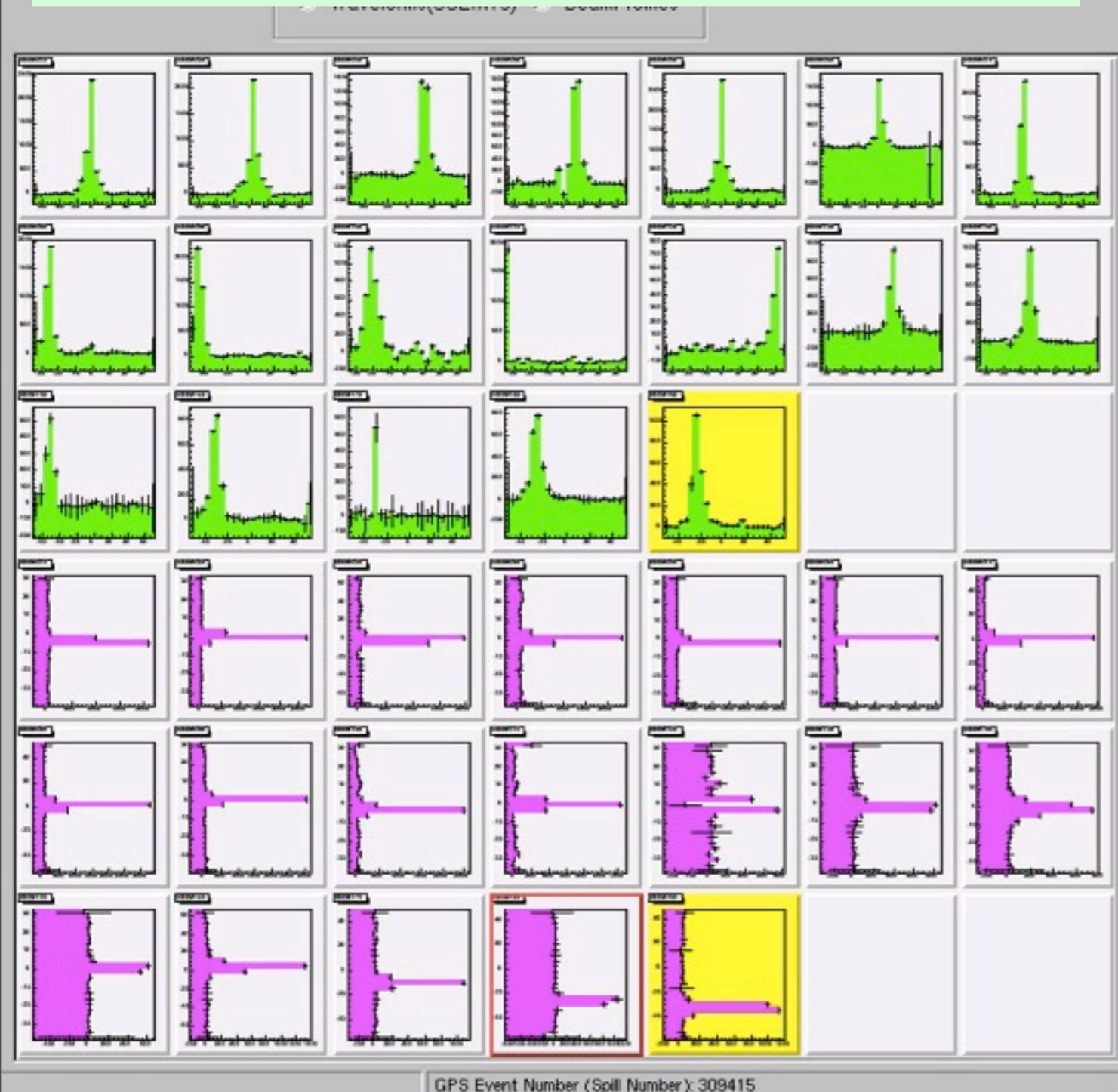


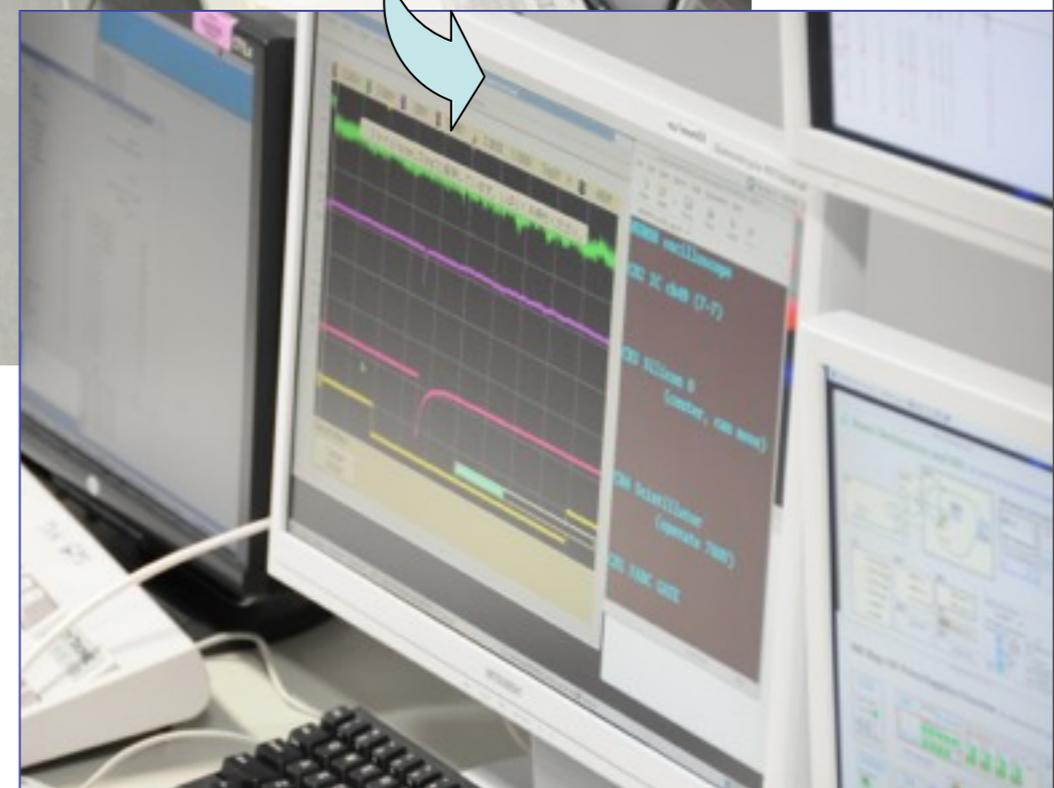
On 23rd April
2009

First shot of the proton beam

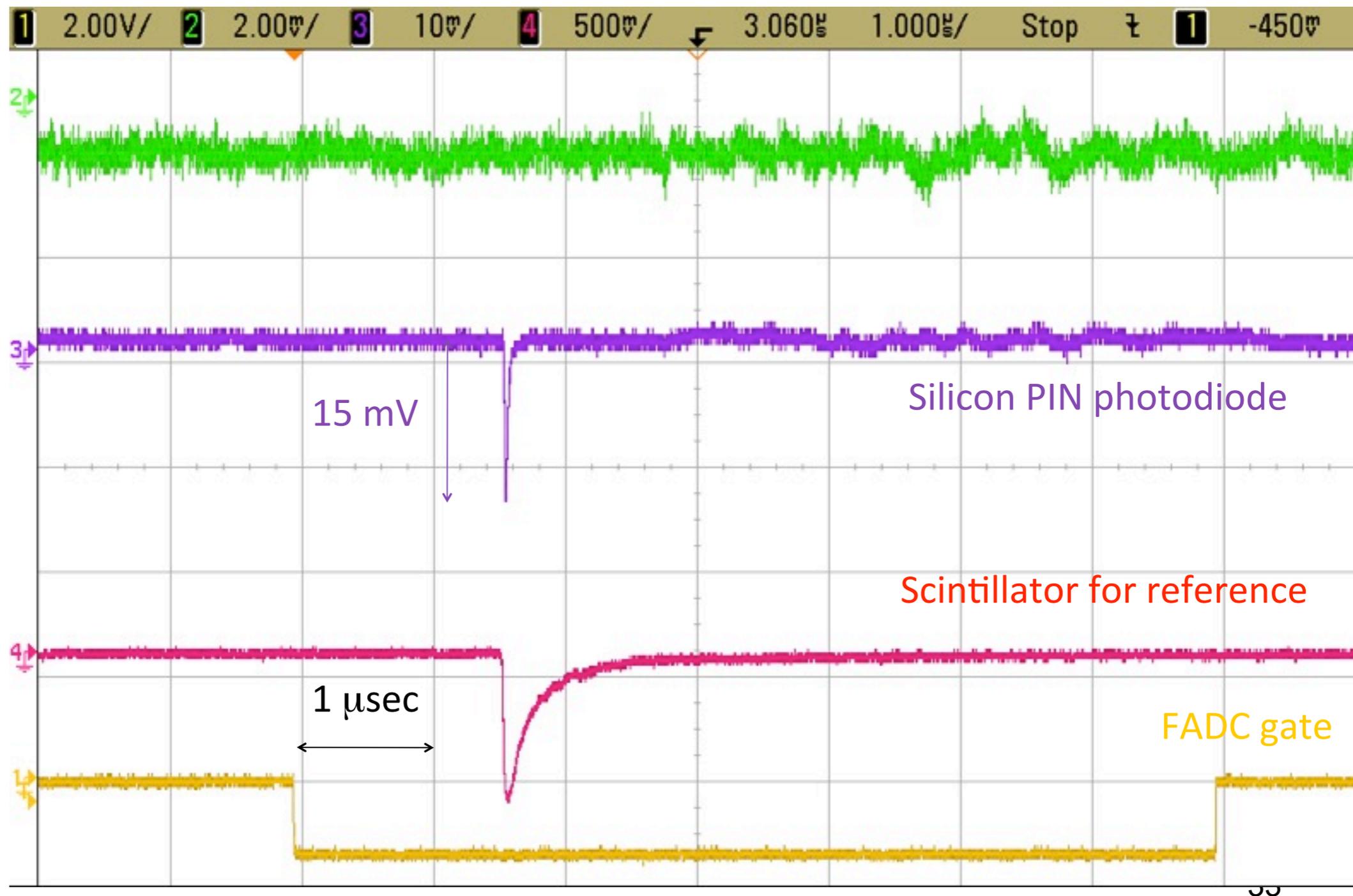
SSEM

(Segmented Secondary Emission Monitor)





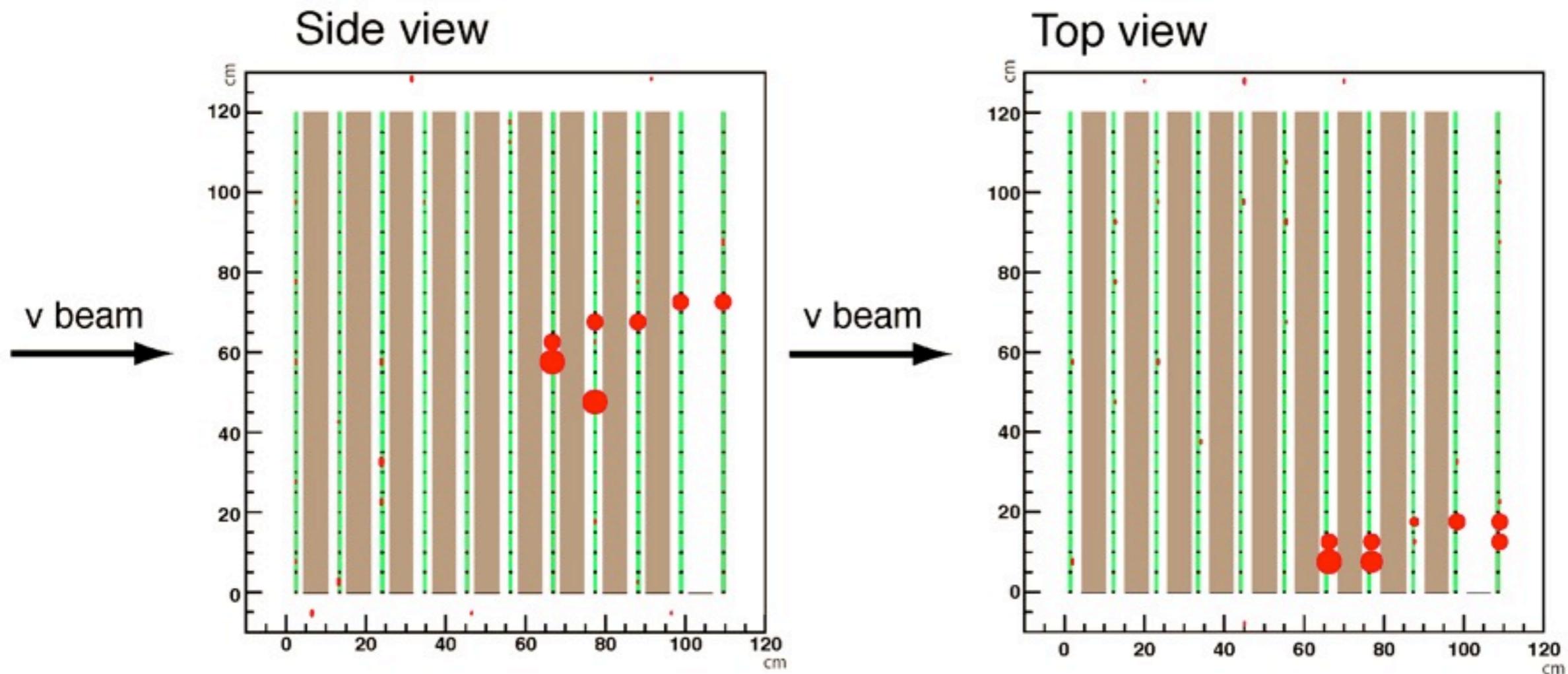
First beam event in Muon monitor and



2009年11月9日コミッション再開

500W → 20kW

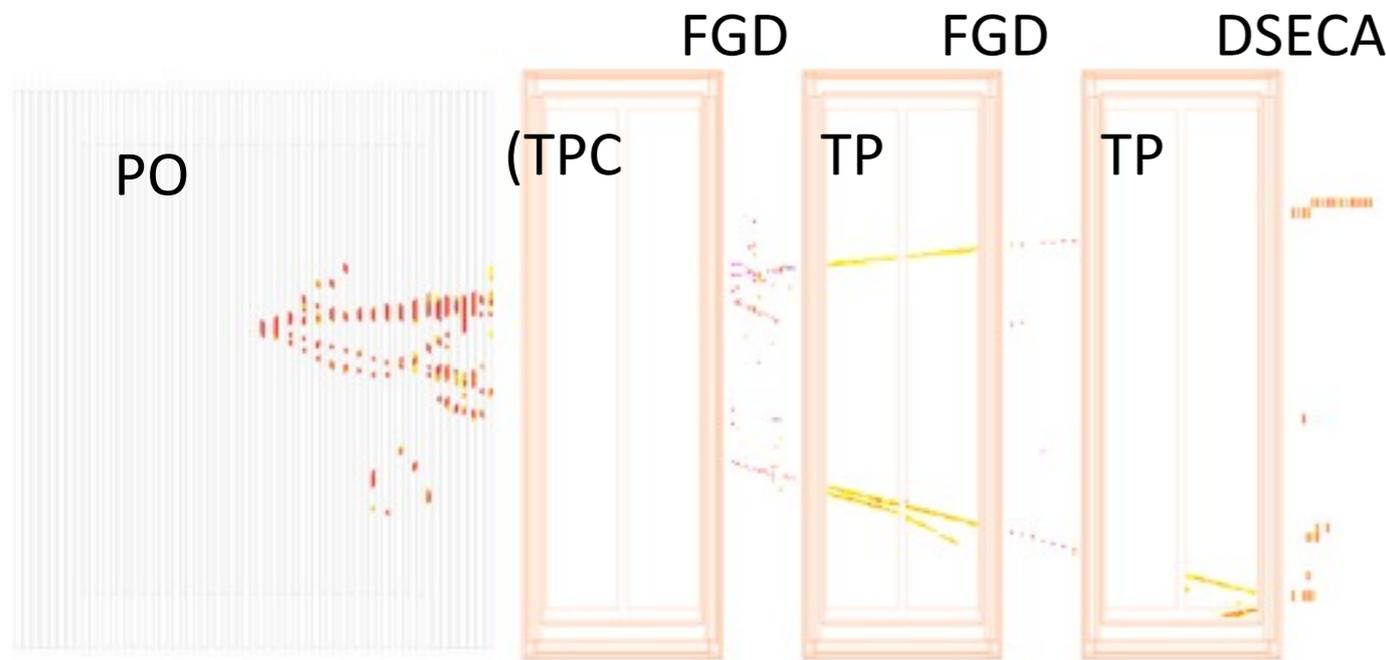
11月22日 First Neutrino detected at J-PARC



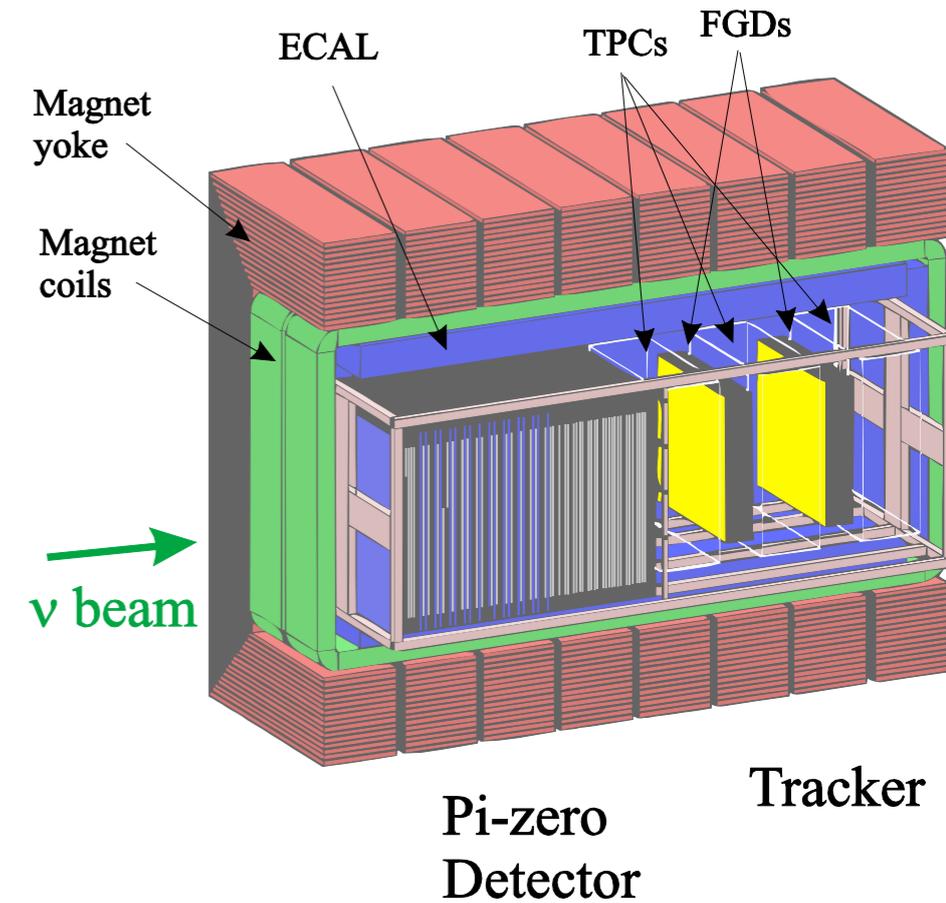
2009年12月9日 : First Neutrino events @ ND280

2010年 1月 : 物理データ収集開始

2010年 2月3日 : ND280 Magnet on

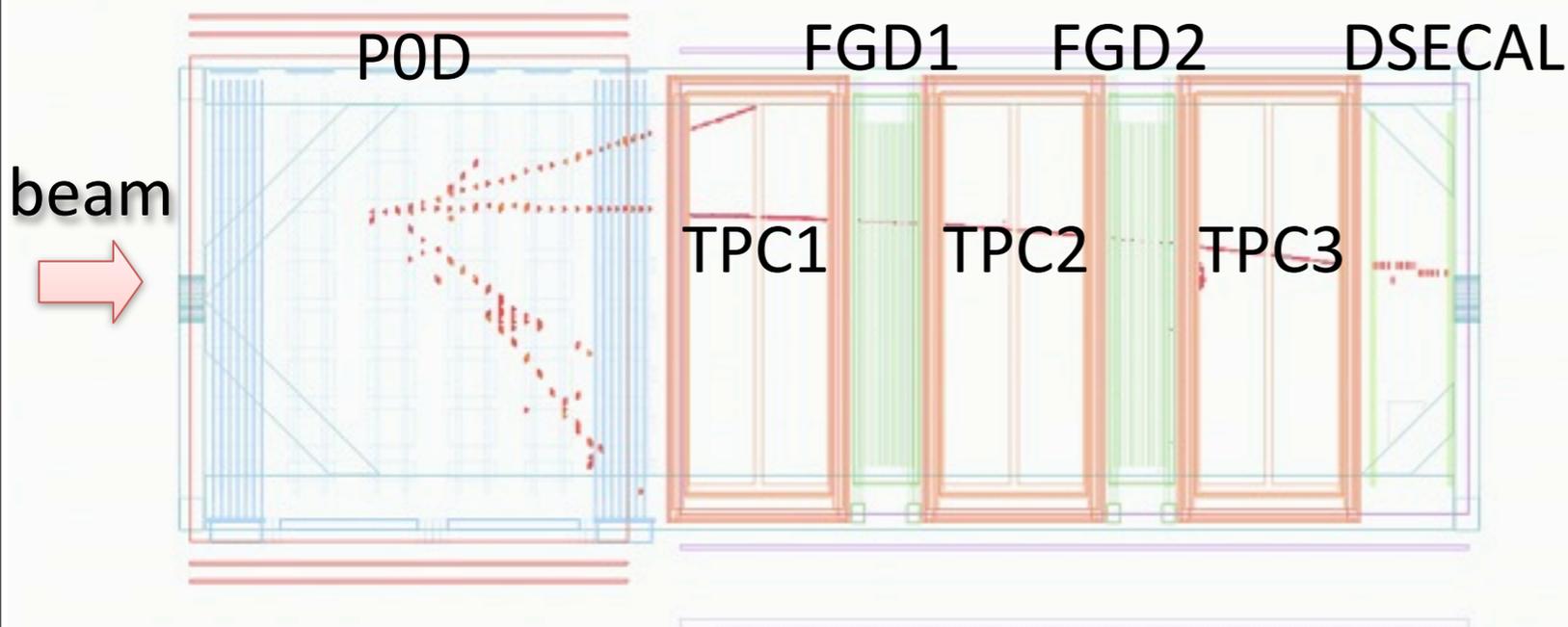


Note: First TPC is not taking



Magnet on (**0.188 T**)

01:57 JST, Feb. 5, 2010

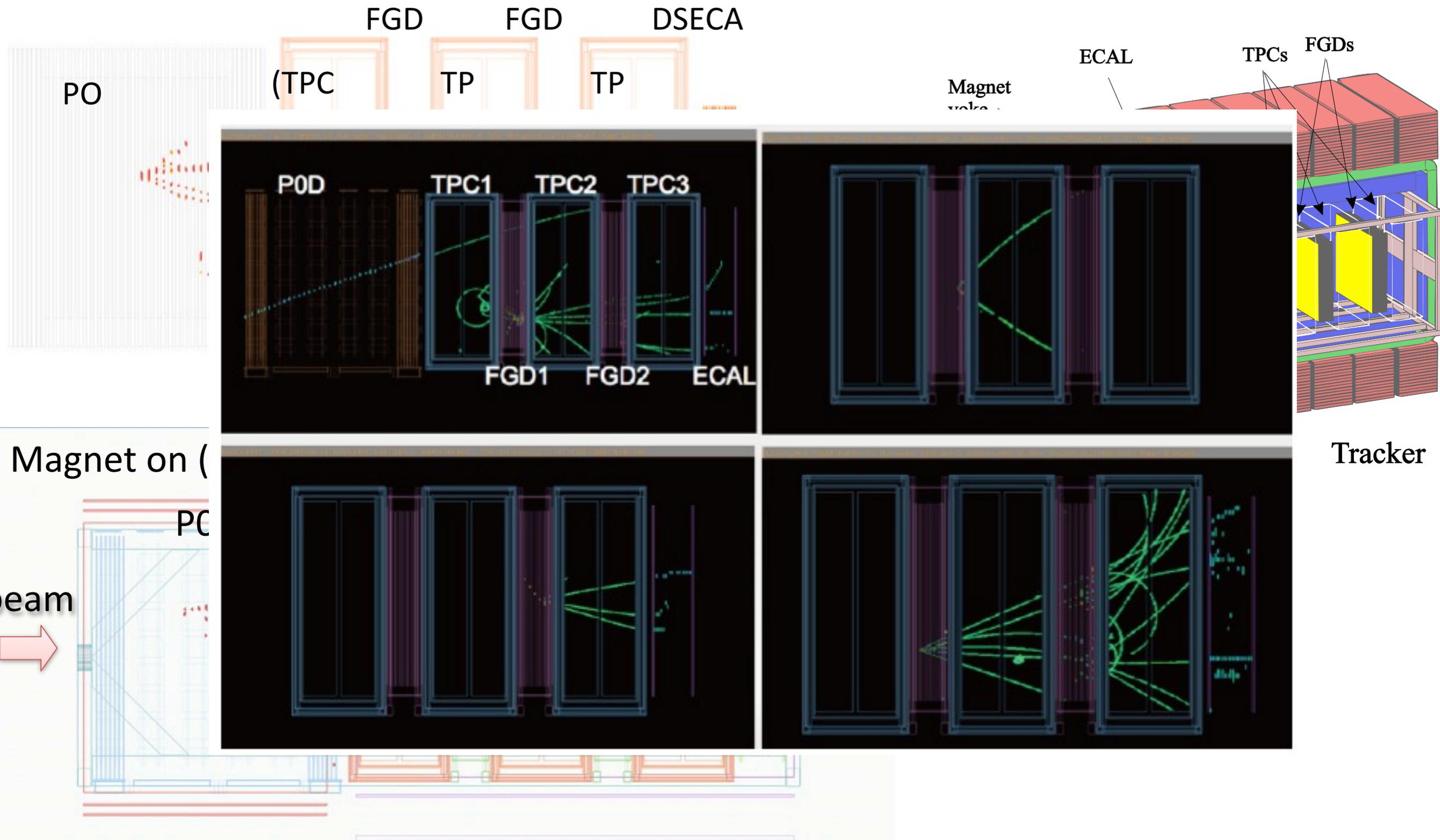


Detected the neutrino event w/ the full setup.

2009年12月9日 : First Neutrino events @ ND280

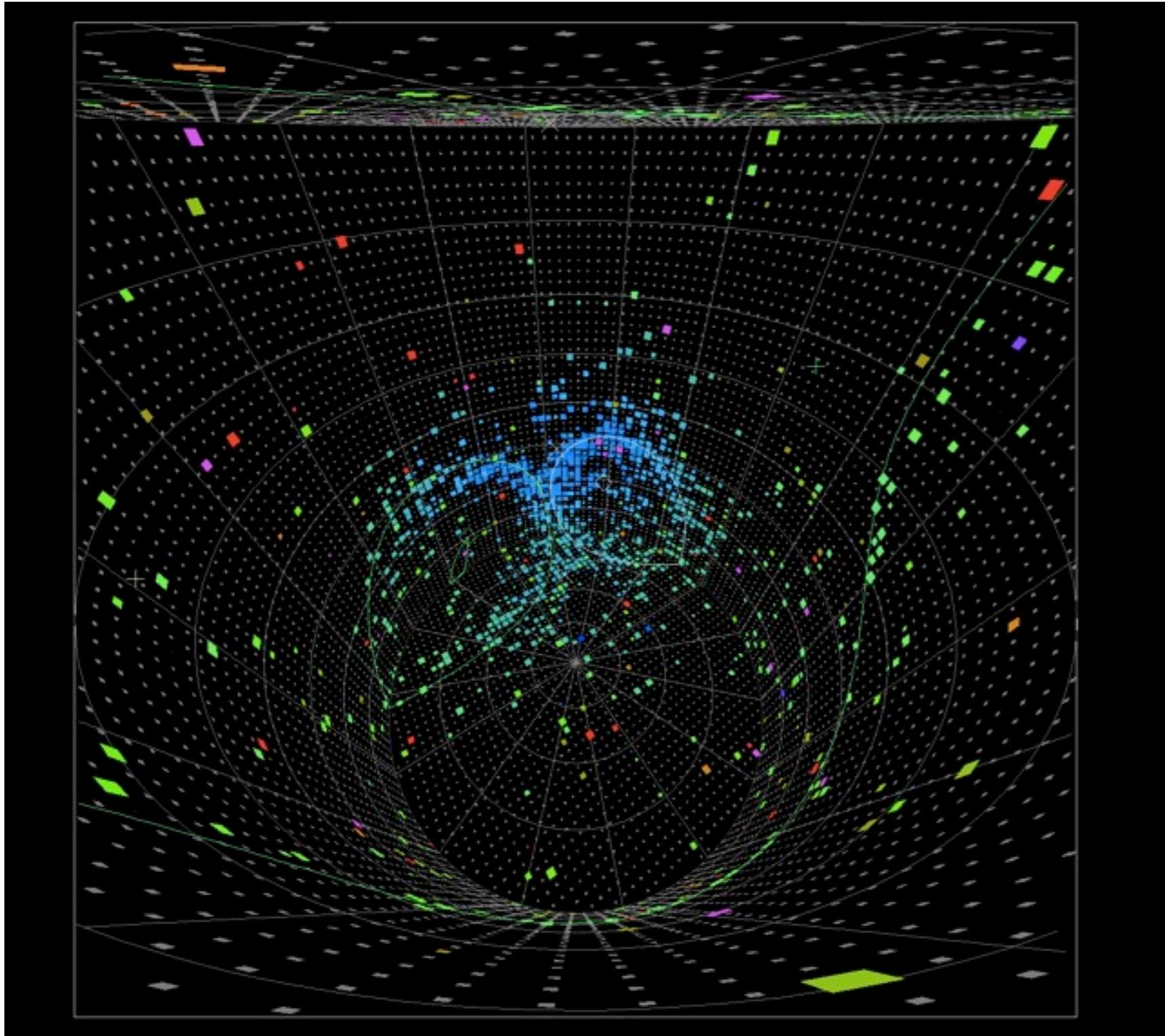
2010年 1月 : 物理データ収集開始

2010年 2月3日 : ND280 Magnet on



Detected the neutrino event w/ the full setup.

2月24日 SK first event @~30kW



3 rings event

1st ring(showering)

2nd ring(showering)

3rd ring (non-showering)

1st + 2nd

invariant mass : 133 MeV/c²

momentum : 148 MeV/c

数々の(繰り返す)問題

□ 放射線・放射化問題

- 最近の問題：MR関係の建家の排出ガスからの放射線検出：
運転を160kW相当に落とした。同様の問題は、ニュートリノターゲットステーションでも、何度か起こっている。

□ (大電力) 電源

- J-PARC/MR電源 (リップル問題→要交換?)
- ニュートリノホーン電源
 - 例：2011年12月に新型電源故障。急遽、旧電源を設置。最初は200kAで運転 (4月から250kA)
- 他にも、多数の問題が現場で起こり、厳しいスケジュールのもと、その度毎に克服してきた。

BIG earthquake in March 11, 2011 and the T2K/J-PARC recovery



09:30 Key was on.

On Dec.9, 2011, J-PARC LINAC operation restarted!!!
On Dec.24, 2011, Neutrino events were observed at T2K-ND280!!

2011年6月

T2Kが $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ appearanceの証拠を捕らえた

1.5 ± 0.3 バックグラウンド事象に対して
6個の電子ニュートリノ事象を観測

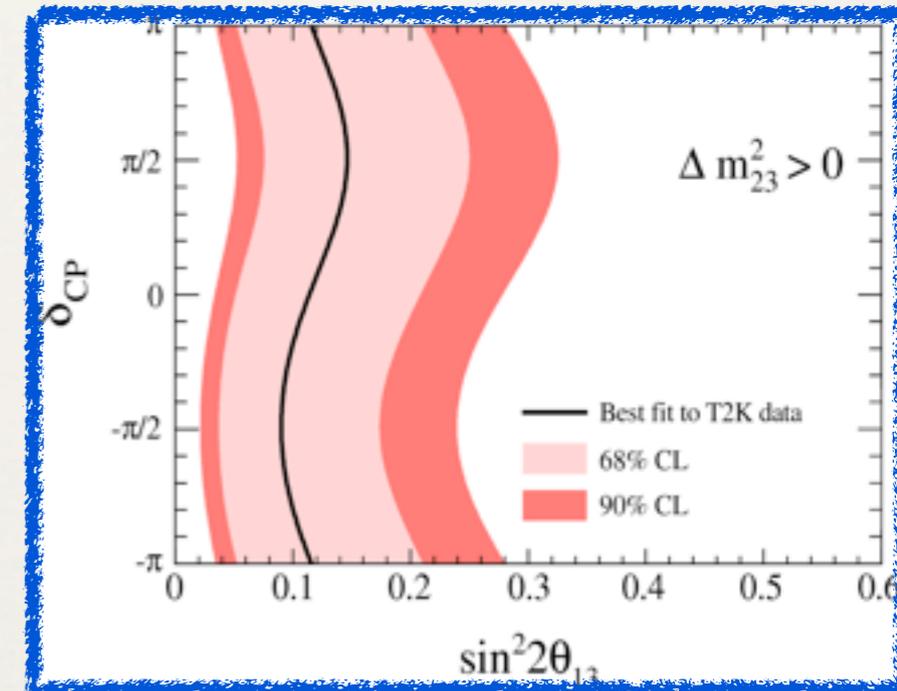
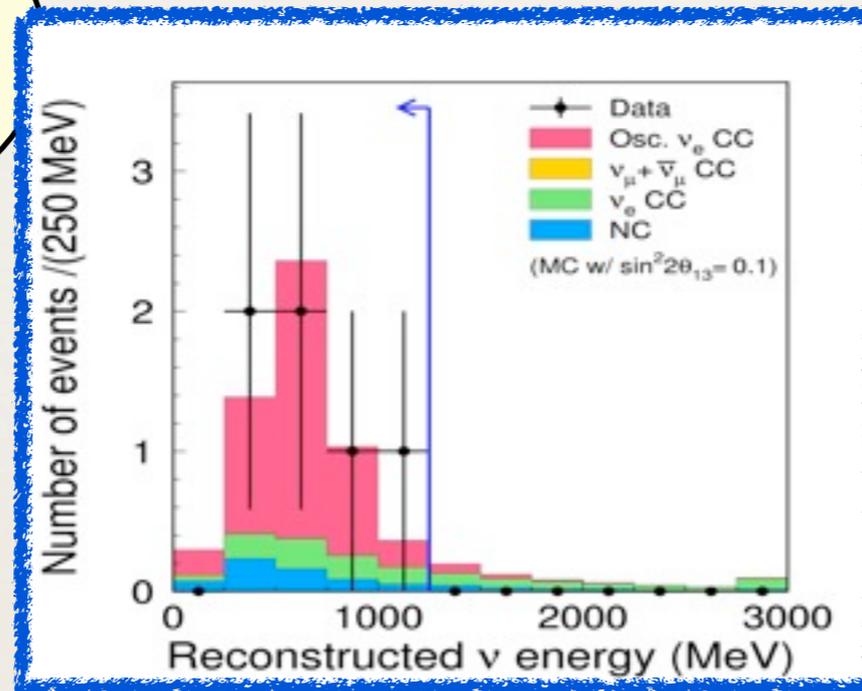
p-value=0.007

Appearance Signal

$\theta_{13} \neq 0$

Before T2K

- $\sin^2 2\theta_{13} < 0.15$ (CHOOZ)
- $\theta_{13} > 0$ @ $\sim 1.?$ σ (solar ν + KamLAND)



- In 2012, further solid confirmation of $\theta_{13} \neq 0$ from reactor experiments.
- For *CPV* and *Mass hierarchy*, $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ appearance is essential.

2012年6月3-9日

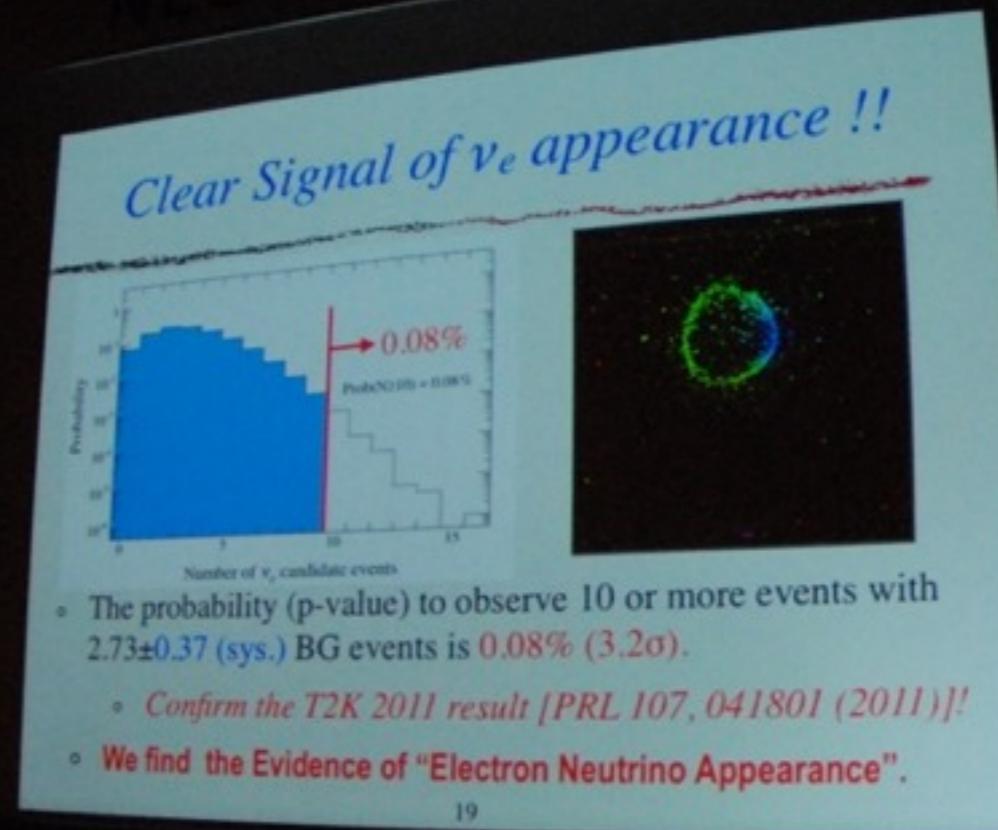
第25回ニュートリノ国際会議を日本で開催

参加者数：>600名



2012年6月5日

T2K実験再新結果発表



□ ICHEP2012で更に結果をアップデート

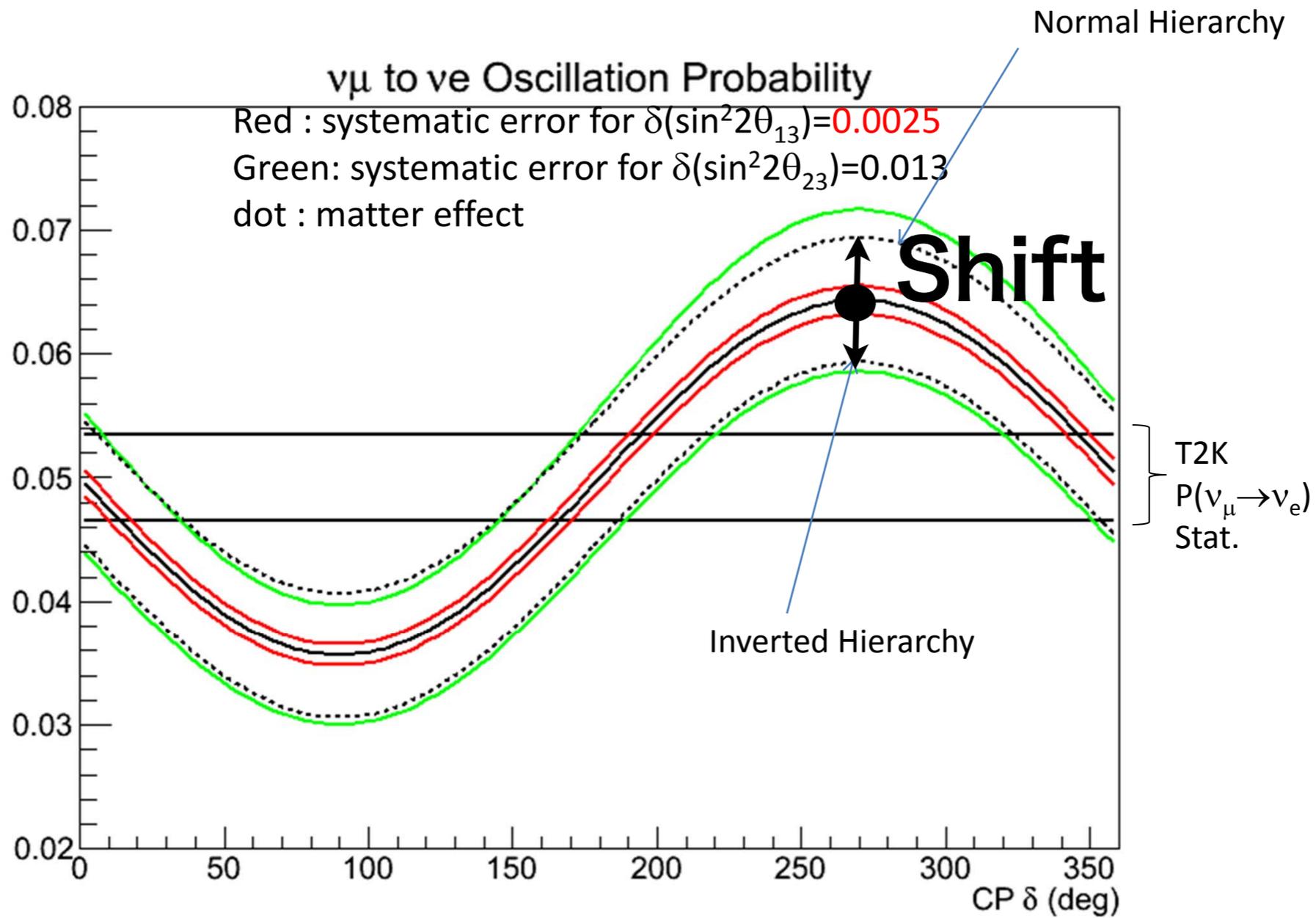
現状と目標

□ 現状 (2012年7月)

- 3.01E20 POTのデータを取った。11V_e事象観測。
- 最大ビームパワーは200kW

□ 目標 (プロポーザル値)

- ~77E20 POT (現在は4%を達成したところ)
- ビームパワー750kW達成を目指す (現在は25%を達成したところ)。

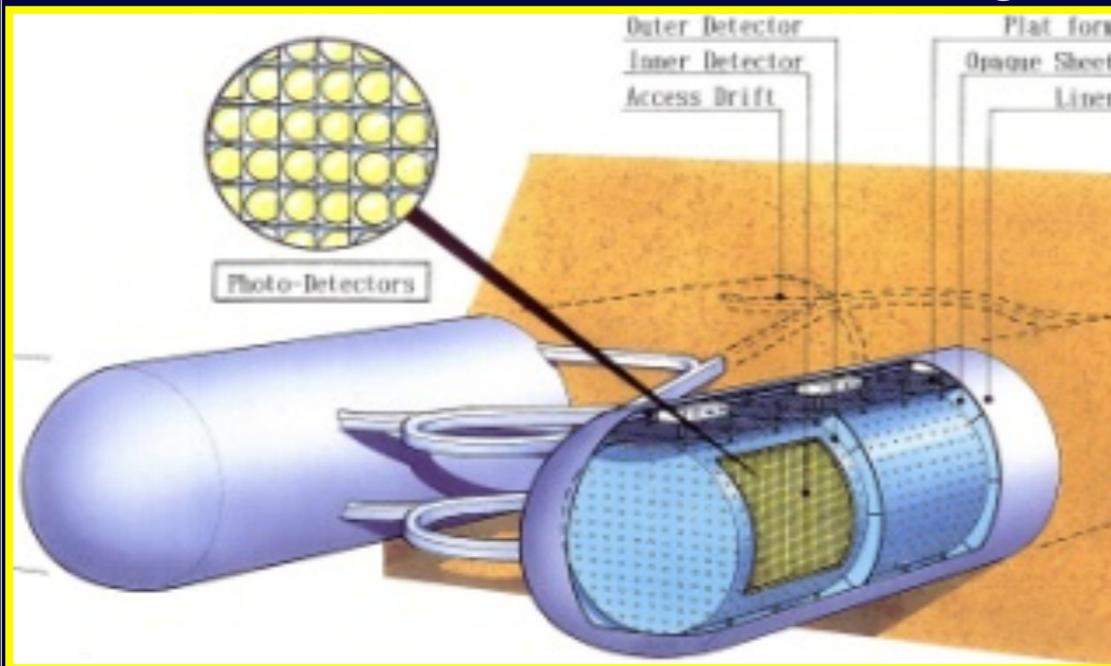


w/ matter effect

studied by Ichikawa-san

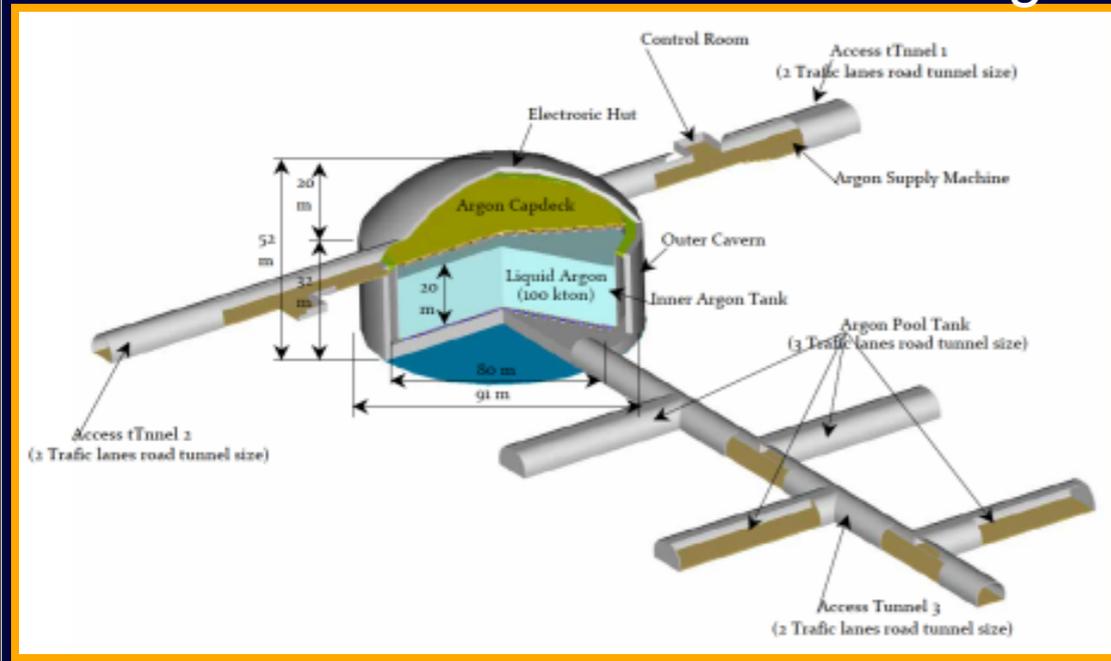
Toward the discovery of CP violation in neutrinos

J-PARC+HK @ Kamioka
 $L=295\text{km}$ $OA=2.5\text{deg}$



LoI: The Hyper-Kamiokande Experiment
 arXiv:1109.3262v1

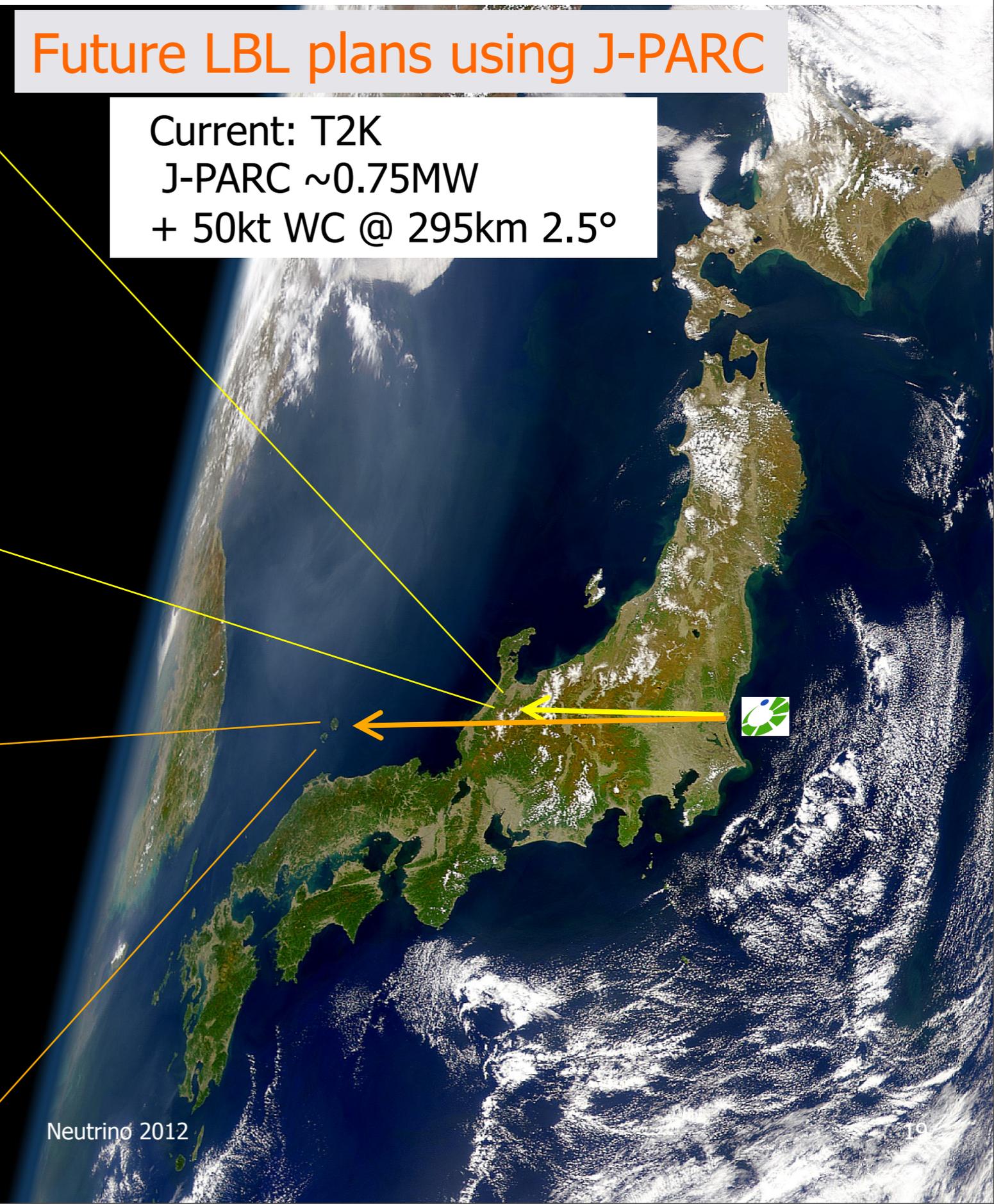
J-PARC+LAr @ Okinoshima
 $L=658\text{km}$ $OA=0.78\text{deg}$



J-PARC P32 (LAr TPC R&D) arXiv:0804.2111
 12年7月8日日曜日

Future LBL plans using J-PARC

Current: T2K
 J-PARC $\sim 0.75\text{MW}$
 + 50kt WC @ 295km 2.5°



Neutrino 2012

