

J-PARC 2012

Kazuhiro TANAKA



Particle and Nuclear Physics Division,
J-PARC Center,



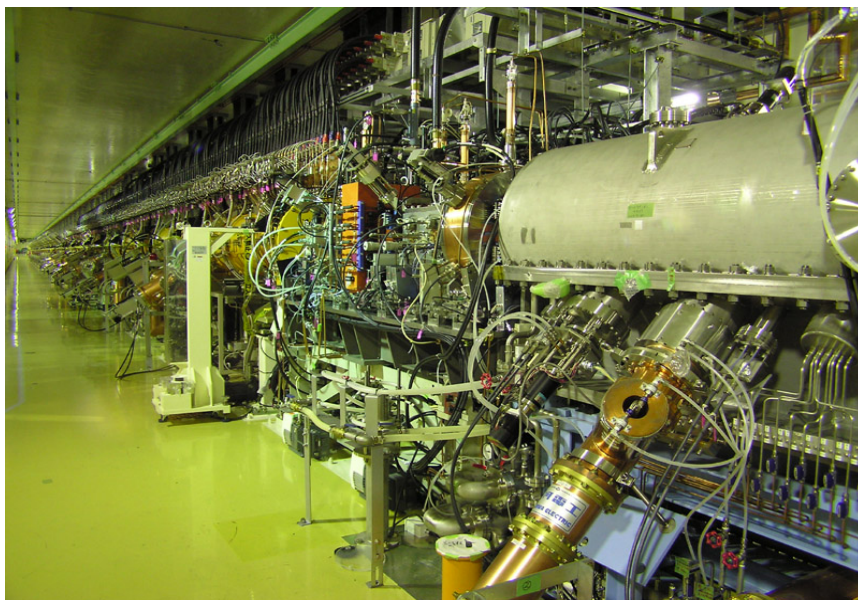
KEK: High Energy Accelerator
Research Organization,

E-mail: kazuhiro.tanaka@kek.jp









Linac (330 m)



3 GeV Synchrotron (350 m)



50 GeV Synchrotron (1600 m)

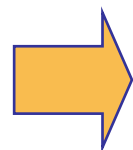
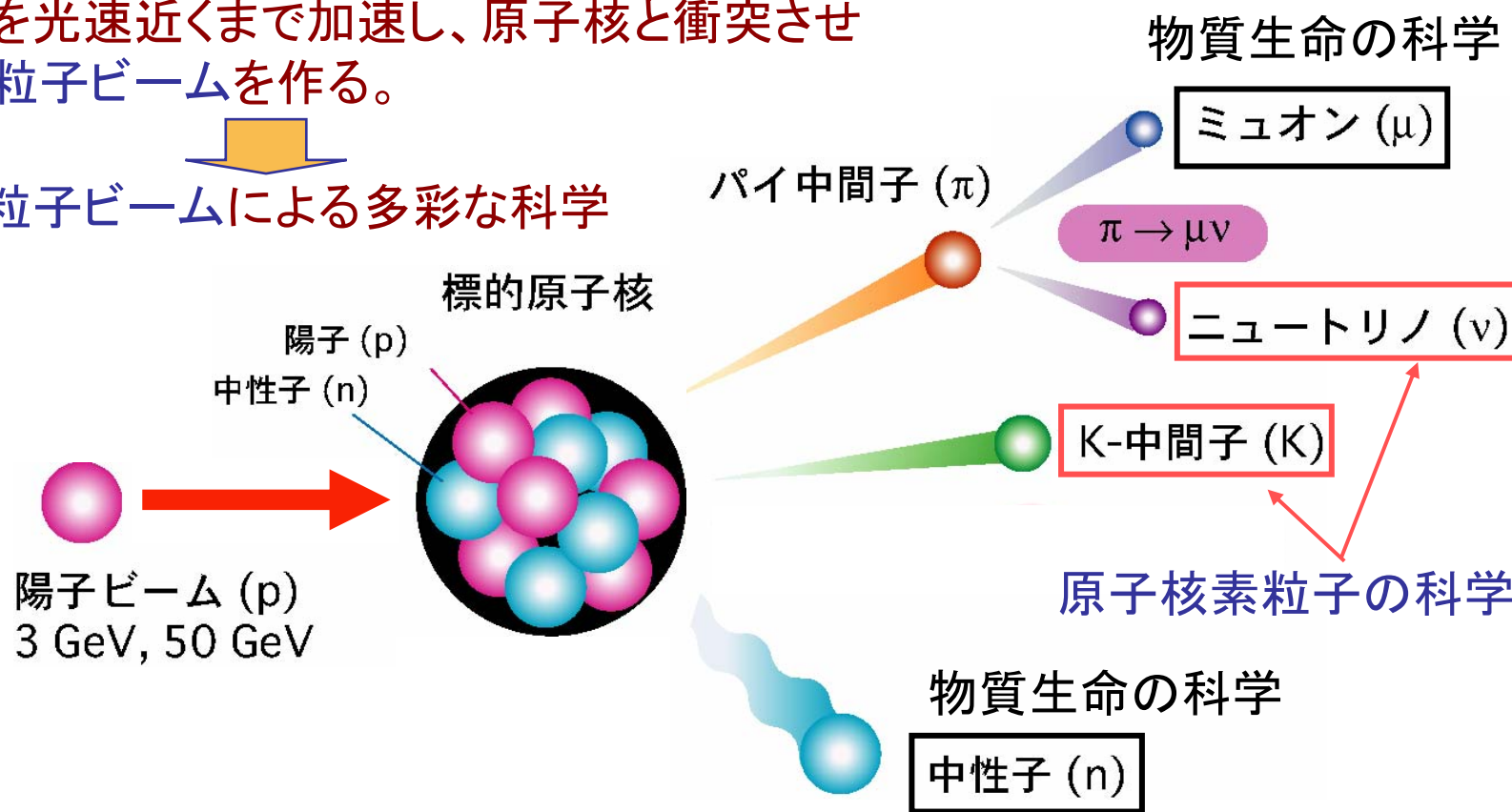


50 GeV Synchrotron. Special lattice structure to avoid transition energy.

J-PARC計画の目指すもの

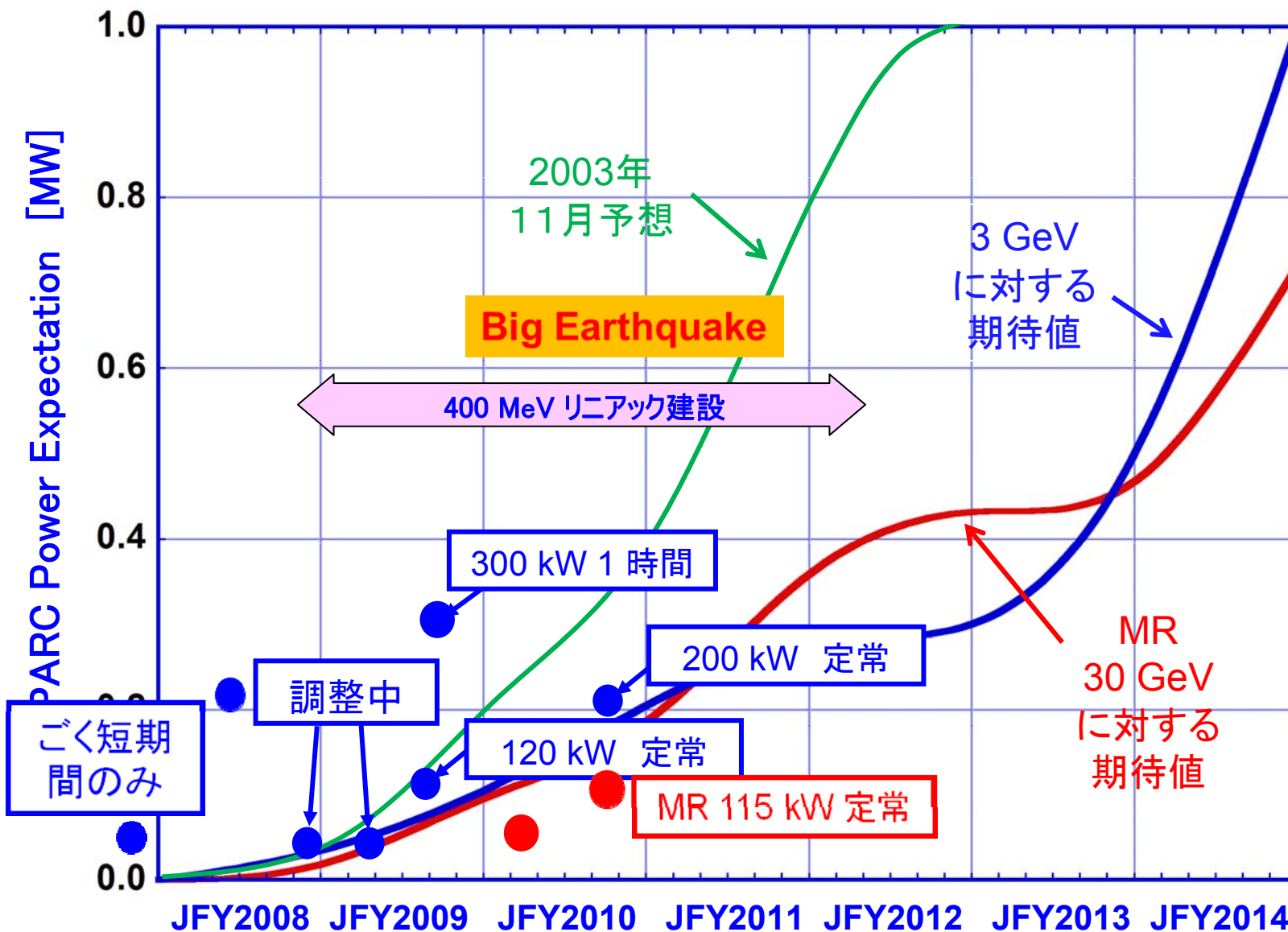
陽子を光速近くまで加速し、原子核と衝突させ
二次粒子ビームを作る。

二次粒子ビームによる多彩な科学



世界最大のビーム強度を目指す

加速器出力の推移



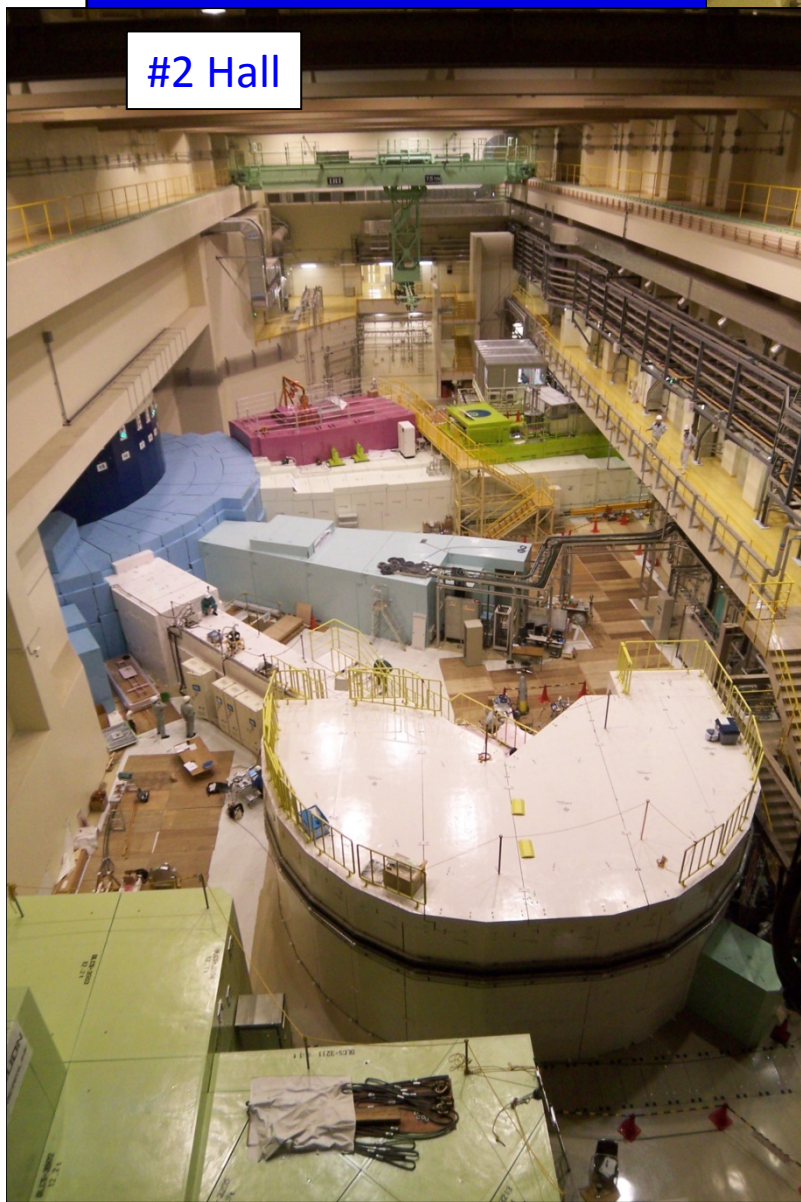


物質や生命の科学

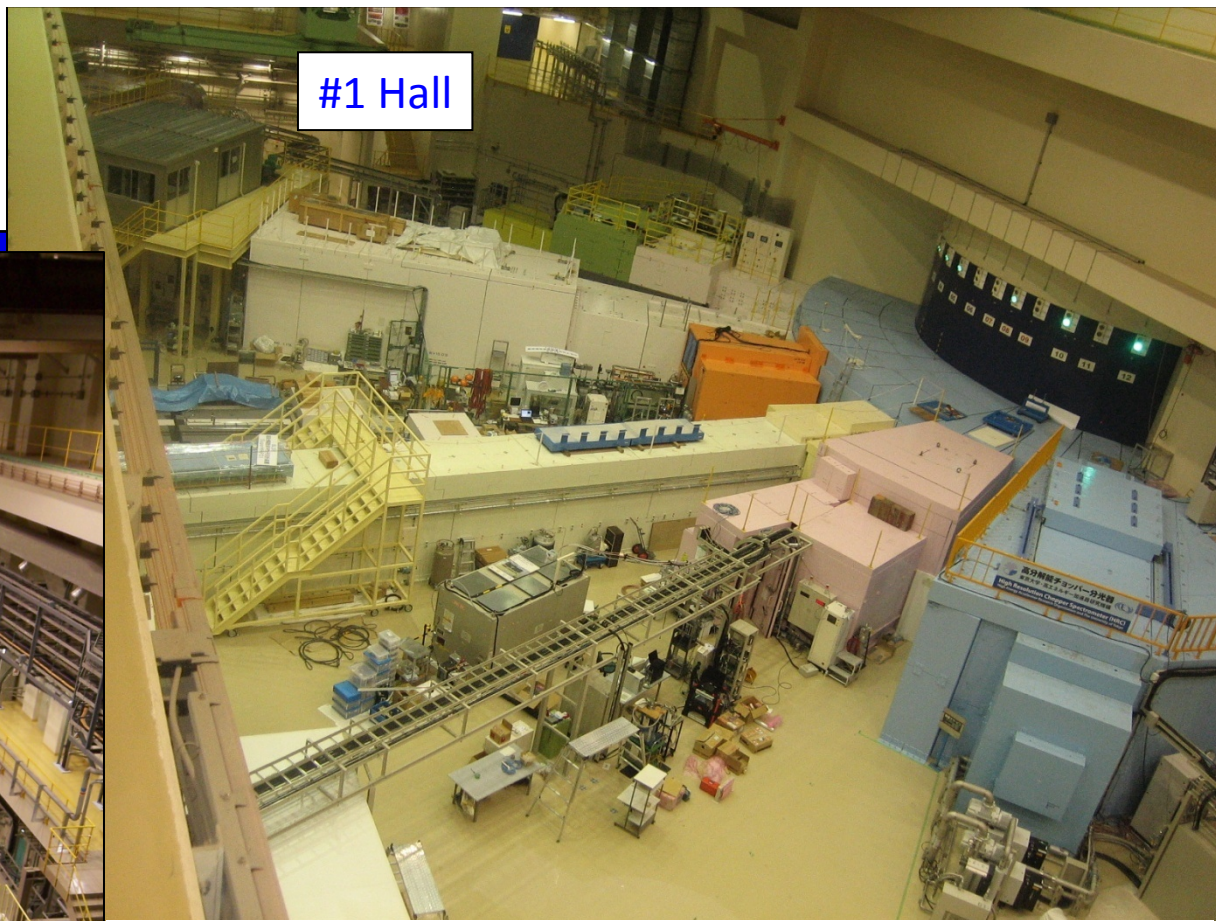


MLF 実験室

#2 Hall

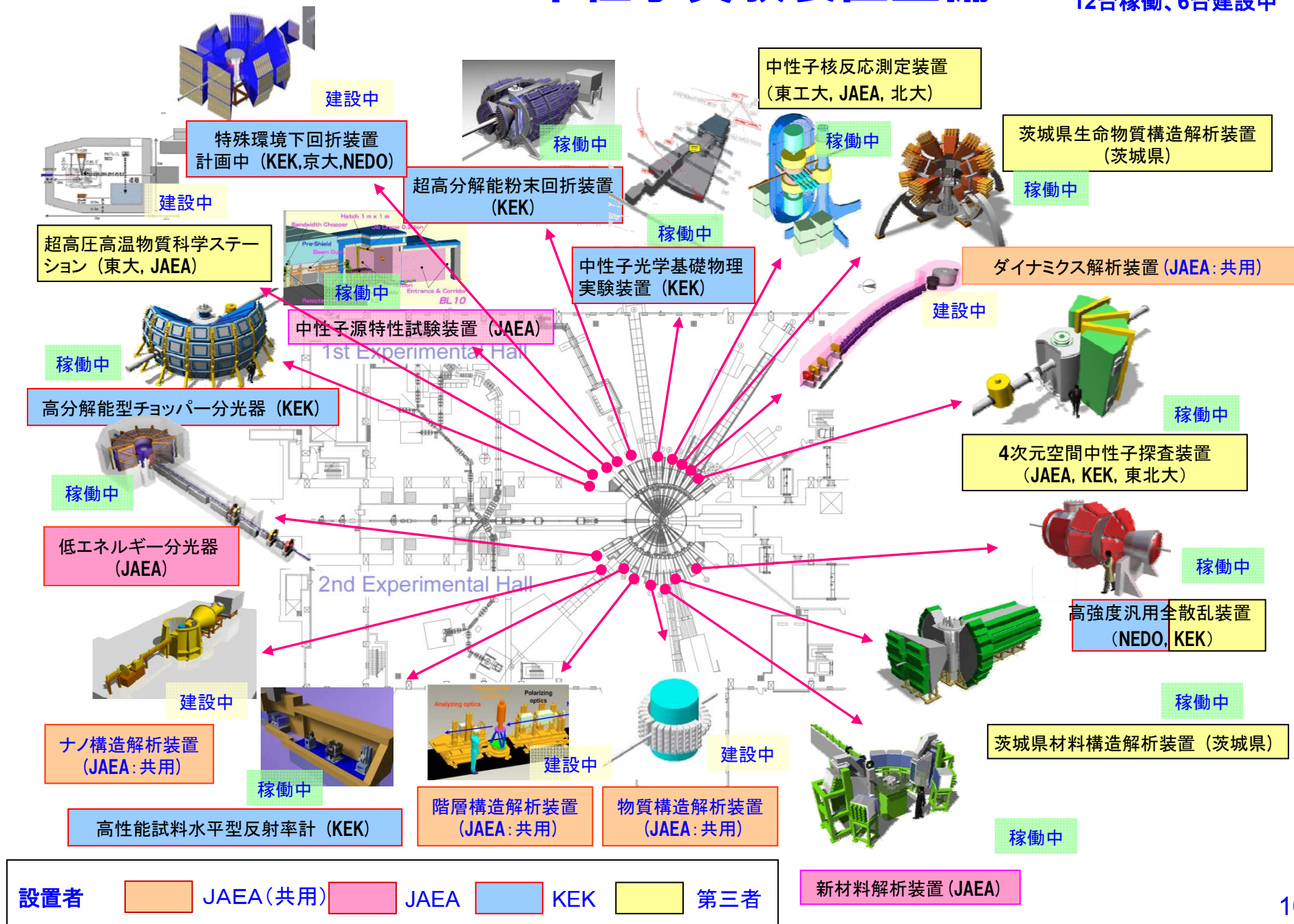


#1 Hall

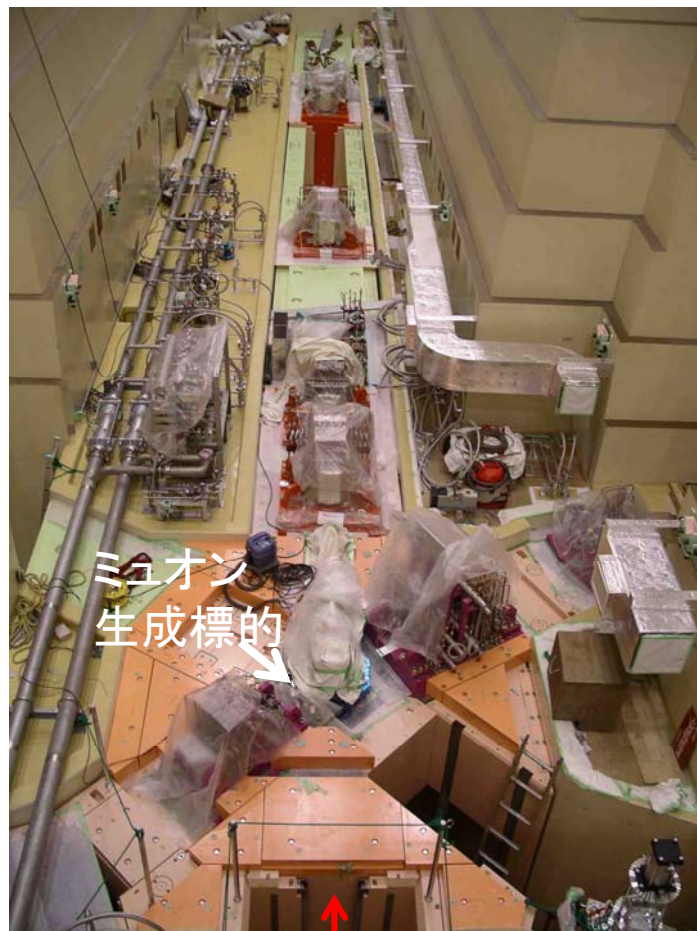


J-PARC中性子実験装置整備

設置可能台数: 23台
12台稼働、6台建設中



ミュオン実験施設



ミュオン
生成標的

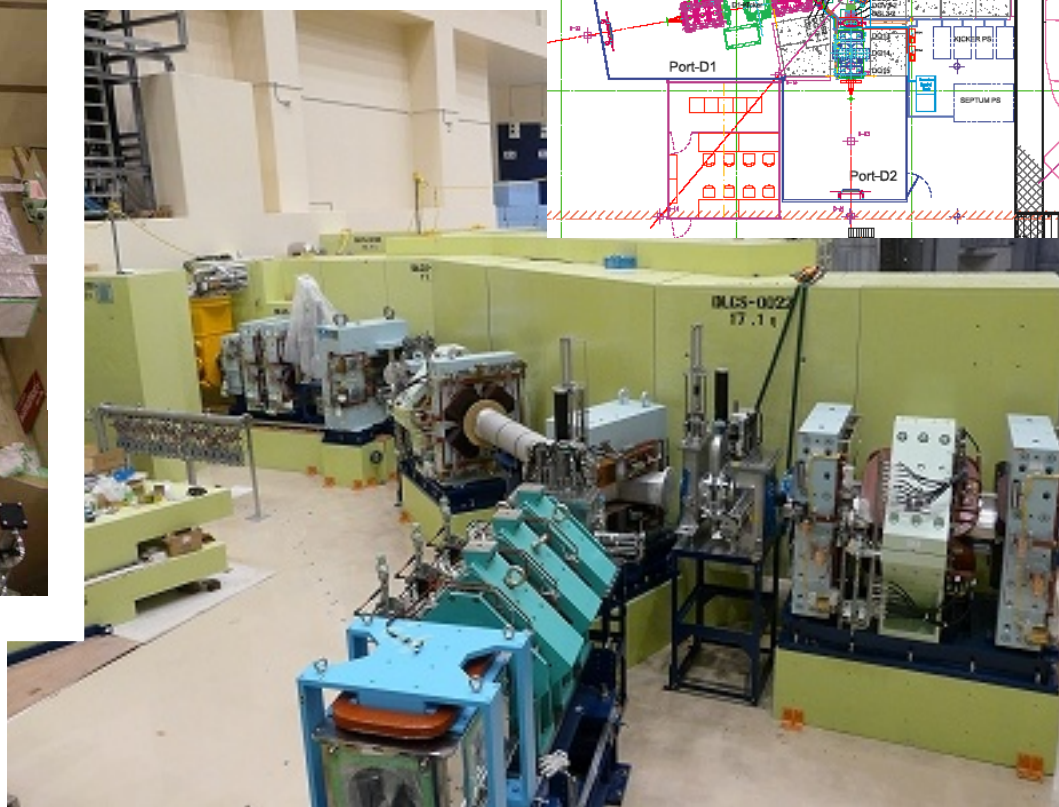
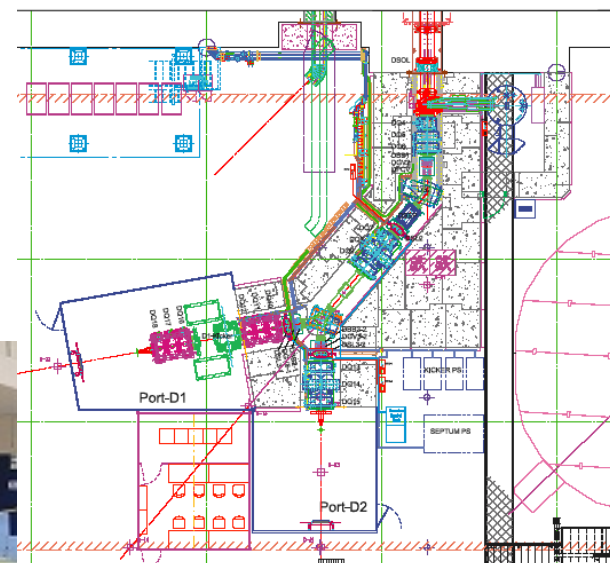
陽子ビーム

Spin 0 Spin 1/2



$\pi \rightarrow \mu + \nu$

ミュオンは
自然に偏極する



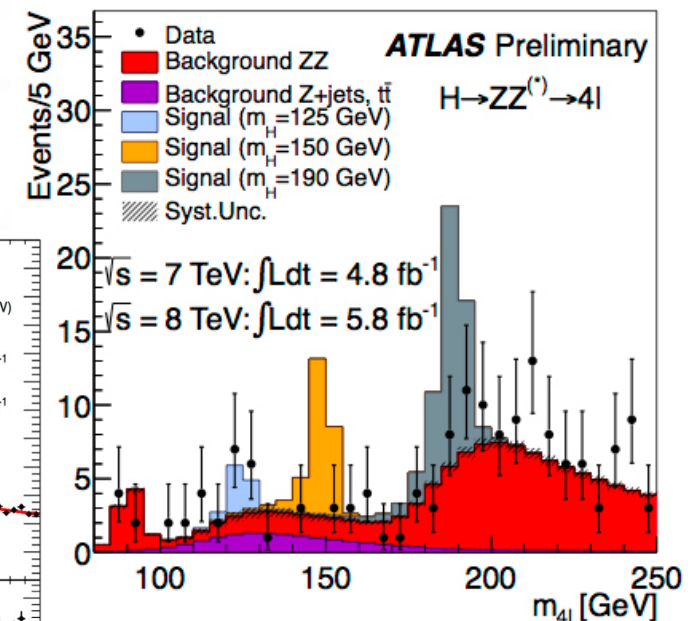
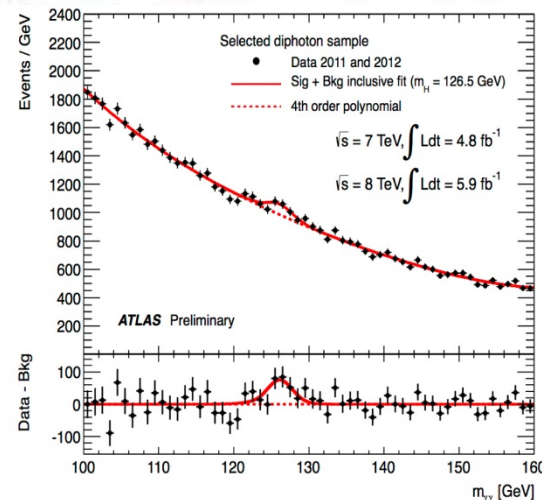


素粒子原子核物理

物質粒子	第一世代		第二世代		第三世代	
クォーク	u アップ	 電荷 2/3	s ストレンジ	 電荷 2/3	t トップ	 電荷 2/3
	d ダウン	 電荷 -1/3	c チャーム	 電荷 -1/3	b ボトム	 電荷 -1/3
レプトン	e 電子	 電荷 -1	μ ミュー	 電荷 -1	τ タウ粒子	 電荷 -1
	ν_e 電子ニュートリノ	 電荷 0	ν_μ ミューニュートリノ	 電荷 0	ν_τ タウニュートリノ	 電荷 0

力を伝える粒子 質量を与える粒子

重力相互作用
(未発見)
重力子



Neutrino

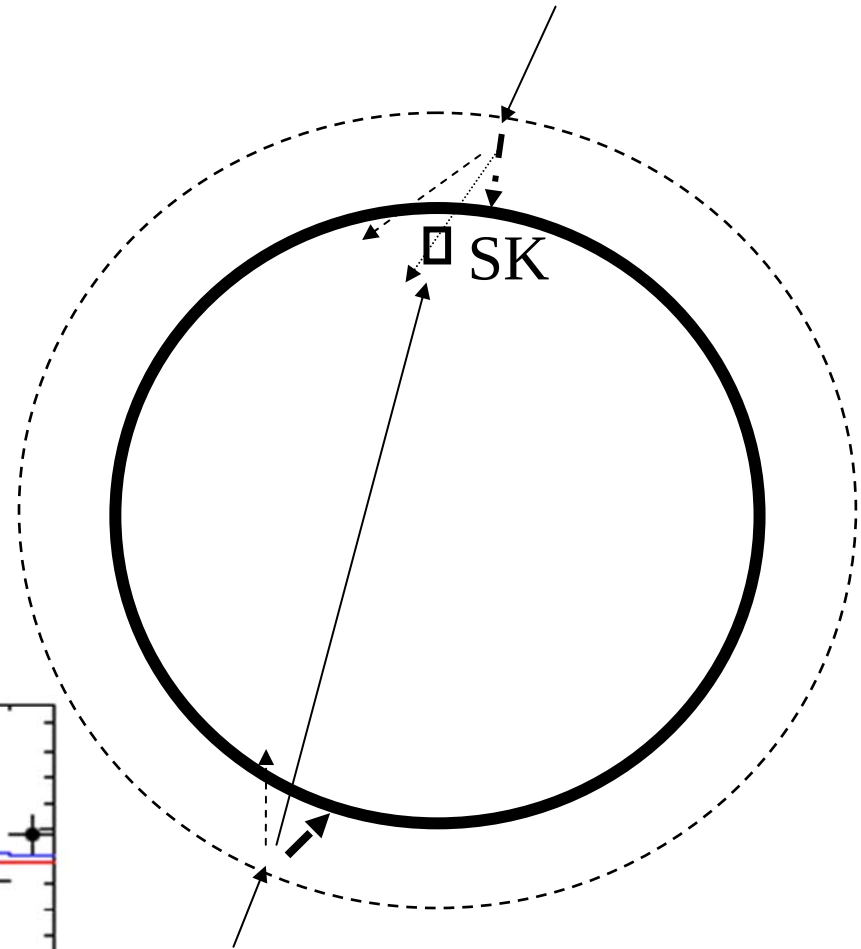
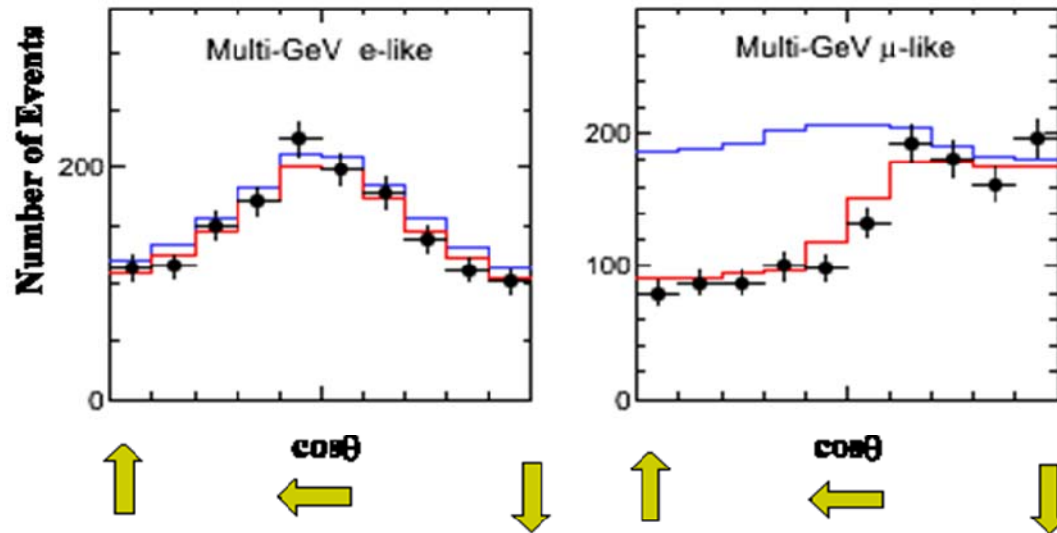
大気 ν 実験

ν 振動無し; 青線

$\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ 振動を仮定; 赤線

電子ニュートリノ

μ ニュートリノ

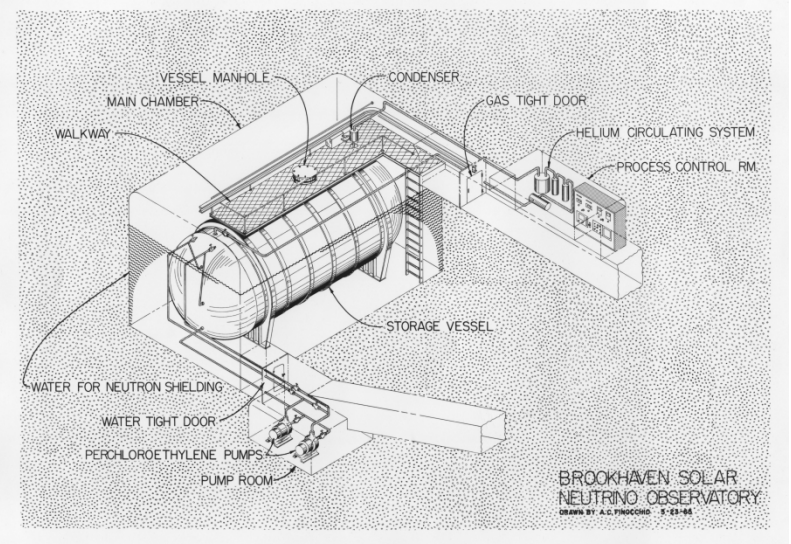


地球の上方から飛んでくるニュートリノの数の方が地球の裏側からのニュートリノより数が多い。この観測からニュートリノ振動が発見された。



戸塚洋二先生

Solar Neutrino Puzzle



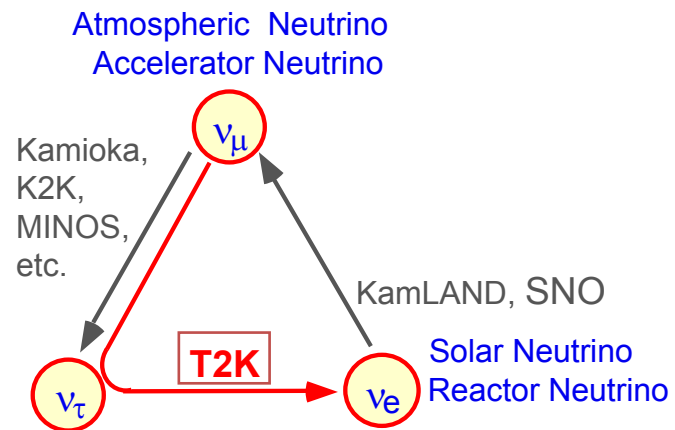
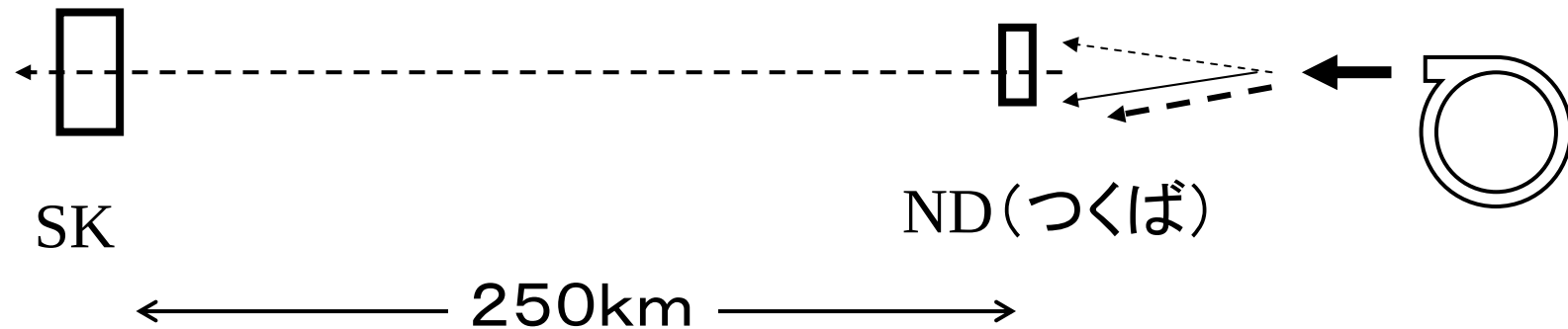
太陽ニュートリノは理論予想値の1/3

Raymond Davis Jr. 教授



地下 1,500 m に 615 トンの 4 塩化エチレンのタンクを設置

最初の人工 ν 実験(K2K)

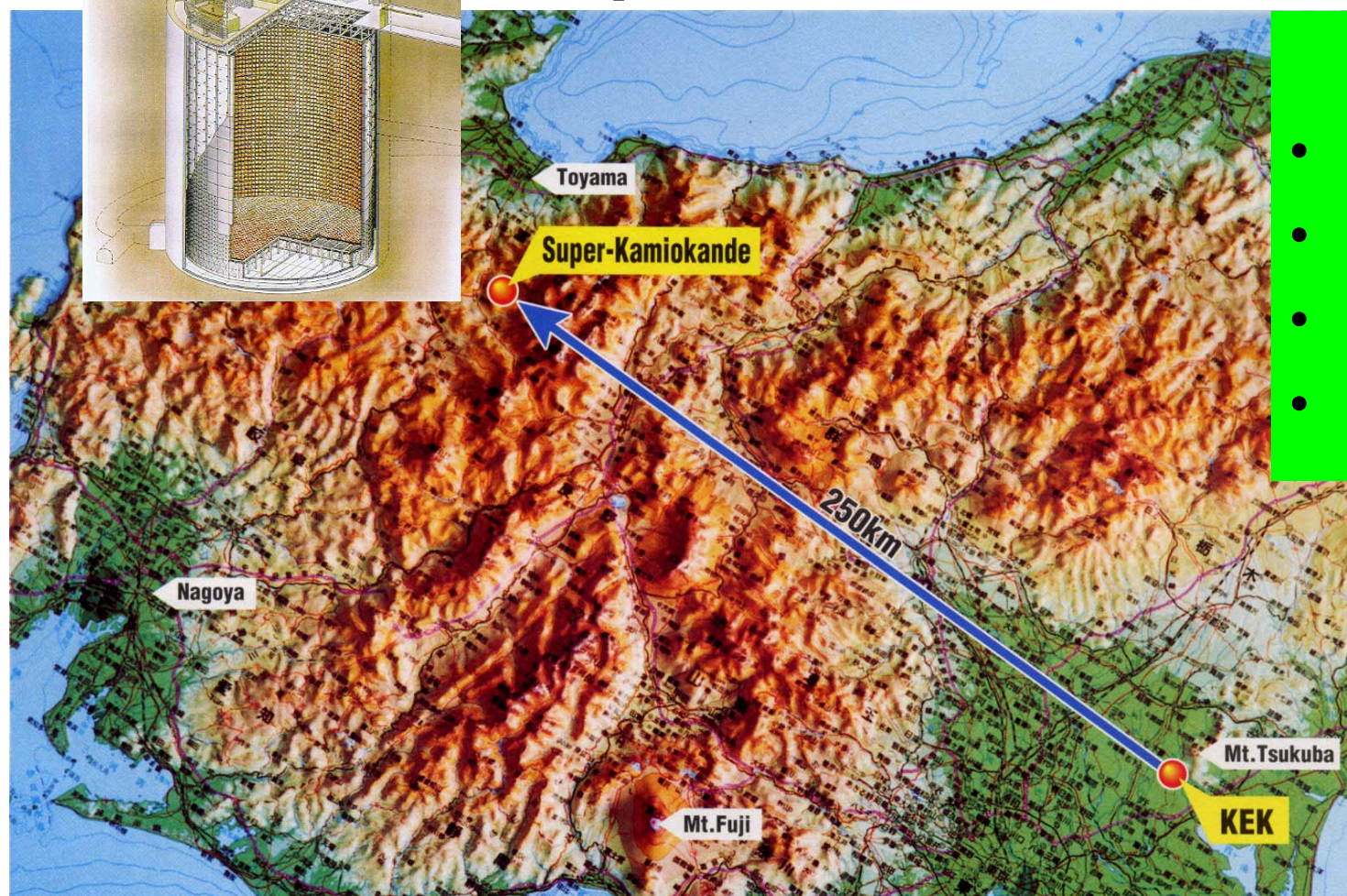
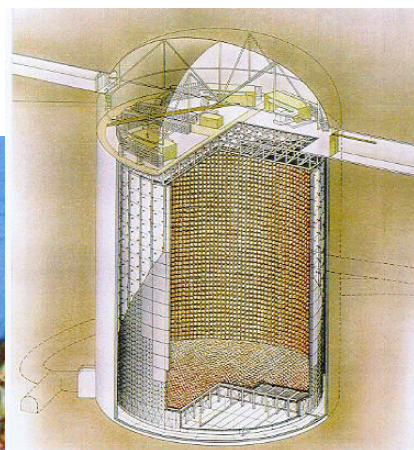


最初の長基線実験: K2K

Long Baseline Neutrino
oscillation Experiment

Far Detector:

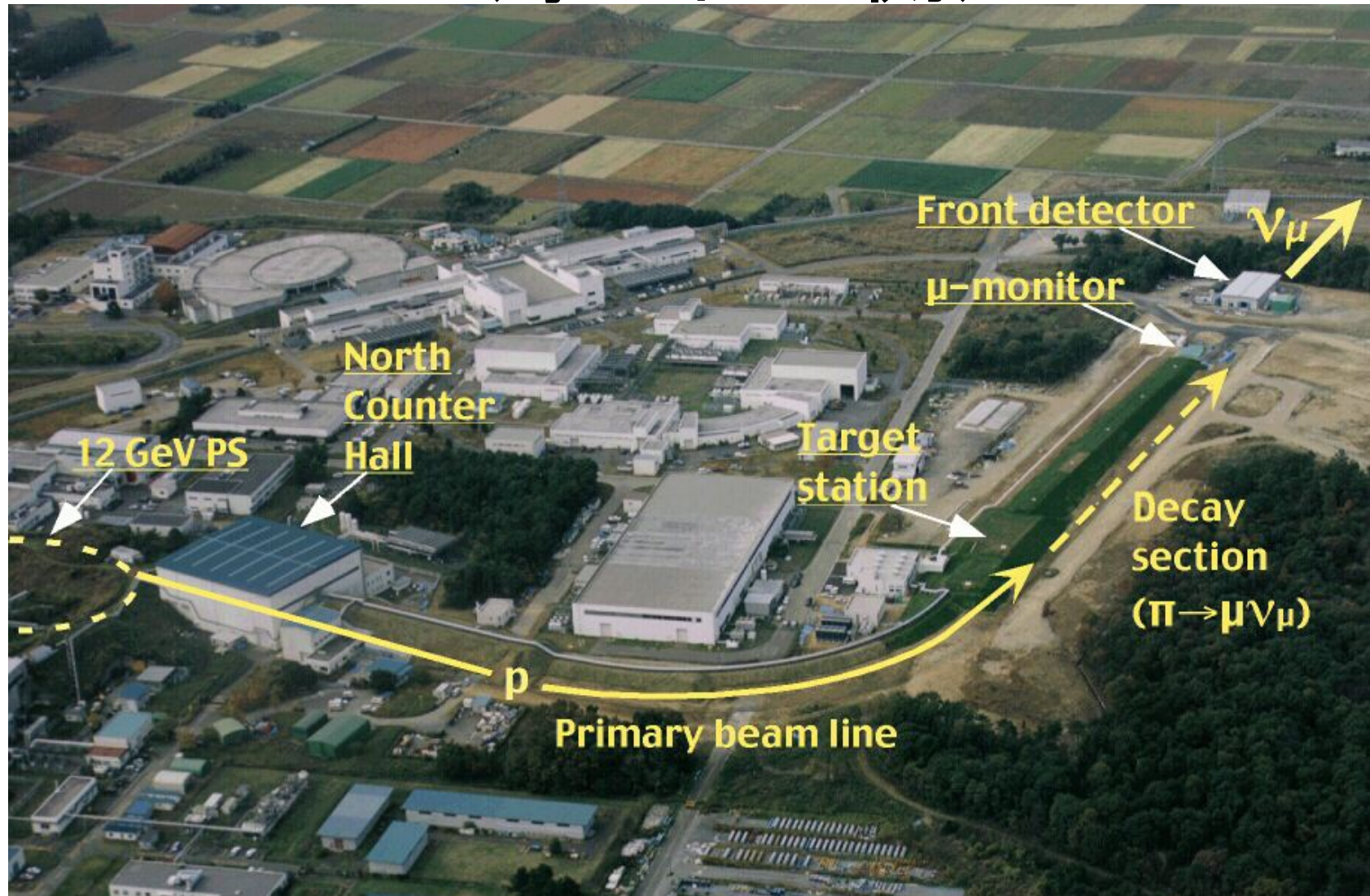
SuperKAMIOKANDE 50kt Water Cerenkov Detector



Shooting Side

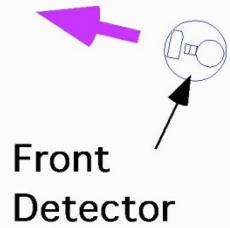
- KEK 12GeV PS
- ν Beam Line
- ν Beam Facility
- Front Detectors

つくばのニュートリノ施設 (撃ち出し側)



*Neutrino Beam Line
and
Experimental Hall*

To SK



Muon Monitor

Beam Dump

Decay Volume

T-Station

Arc Section

Beam Dump

Straight Section
(Extended EP1-A)

N-Hall

E-Hall

2nd Horn
(Reflector)

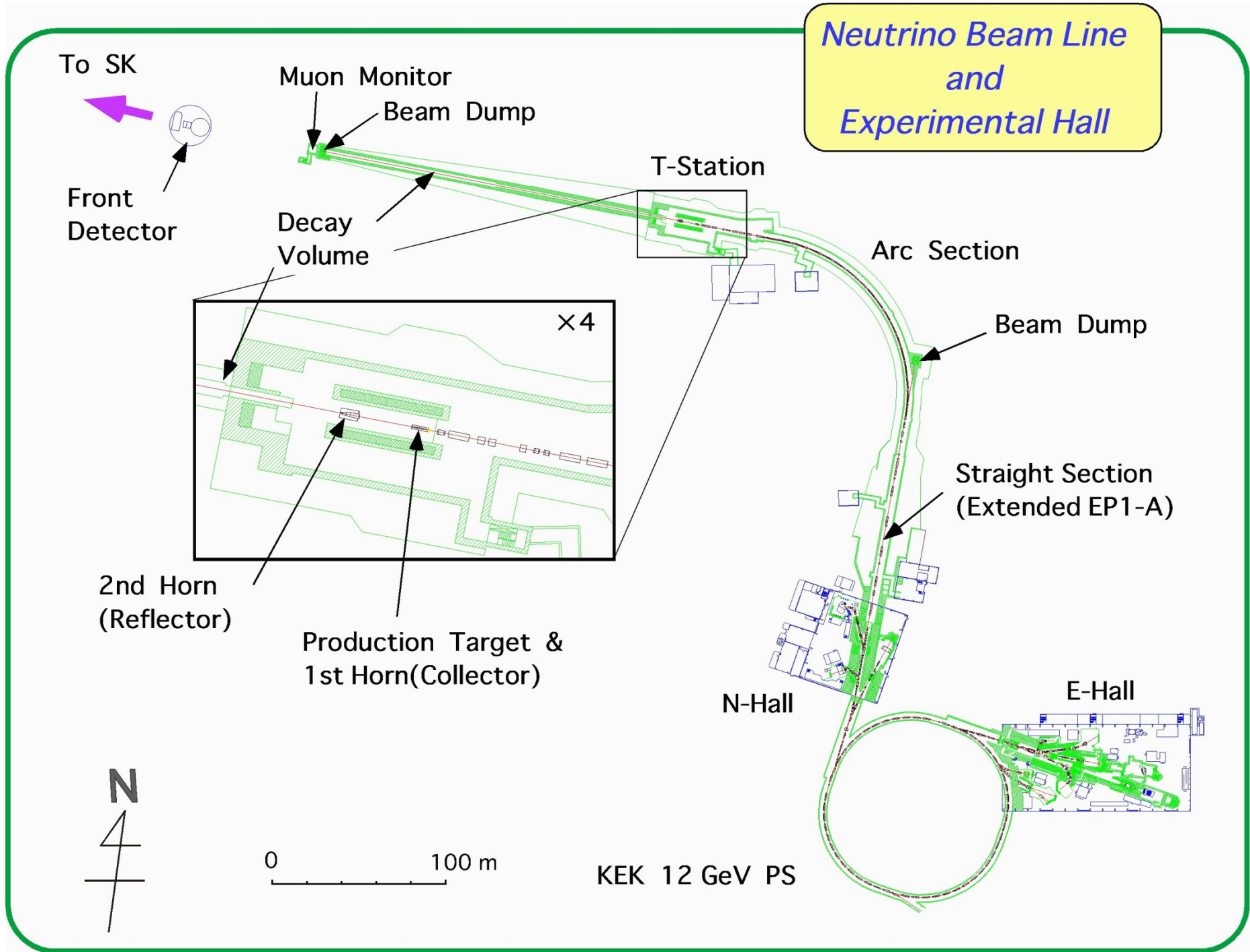
Production Target &
1st Horn(Collector)

×4

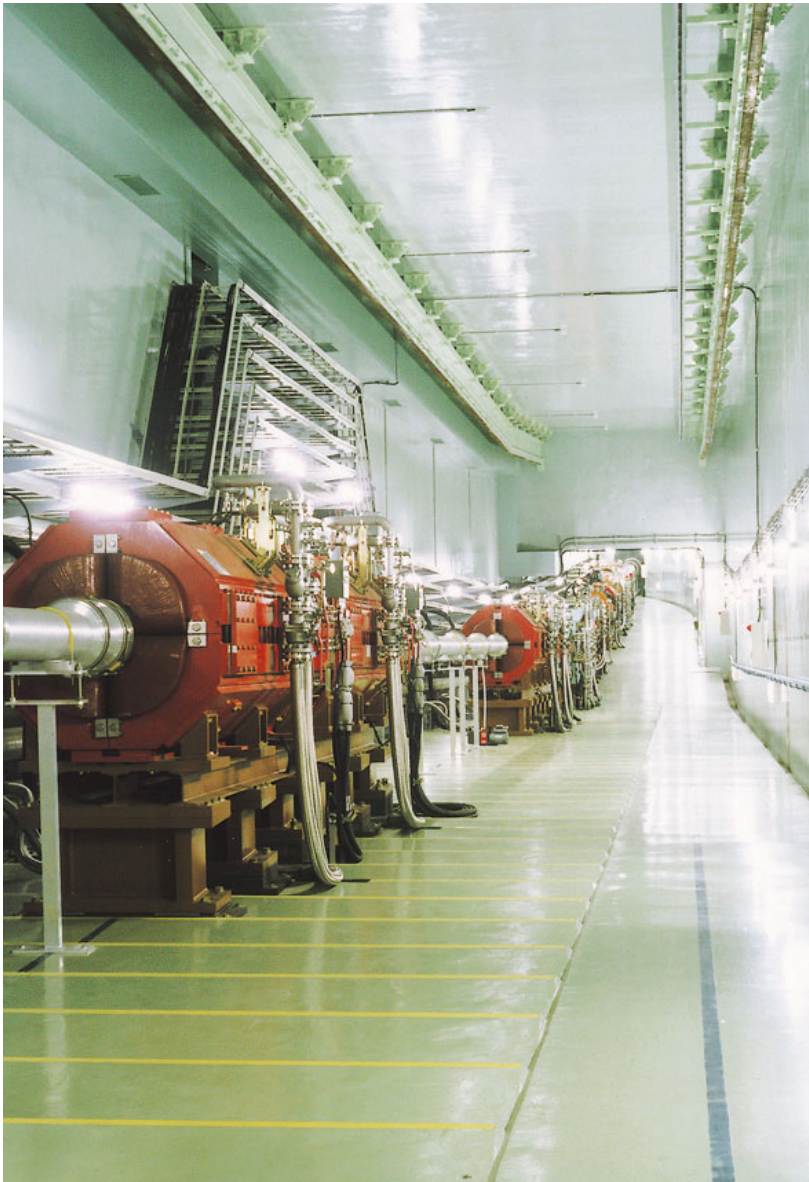


0 100 m

KEK 12 GeV PS



Primary Proton Beam Line (Extended Part)



↑ Arc (Bending) Section,
No Crane is here.

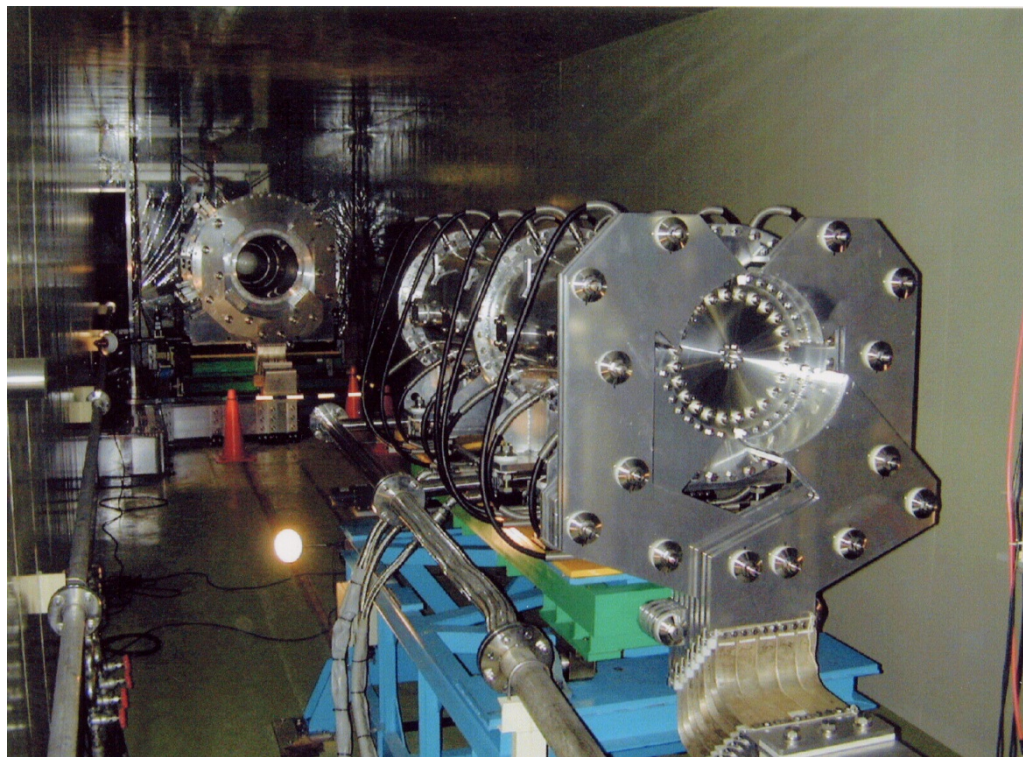
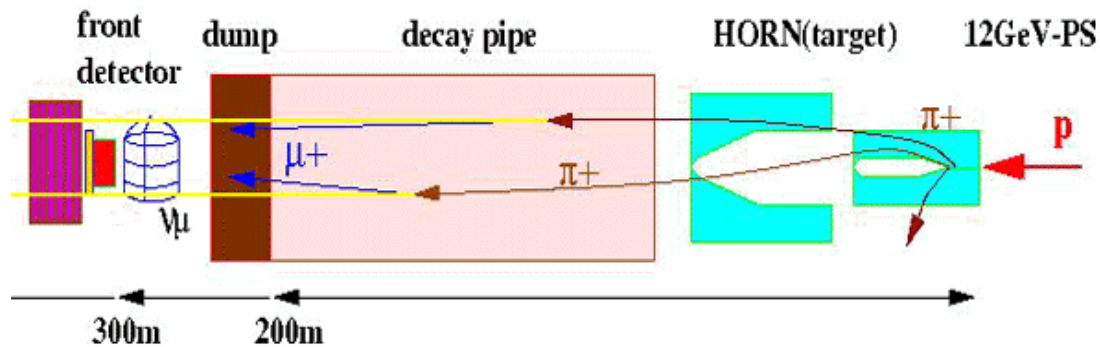
← Slope (Straight) Section,
5m/72m. 20t Crane is here.

Primary Proton Beam Line (Final Focus Part)



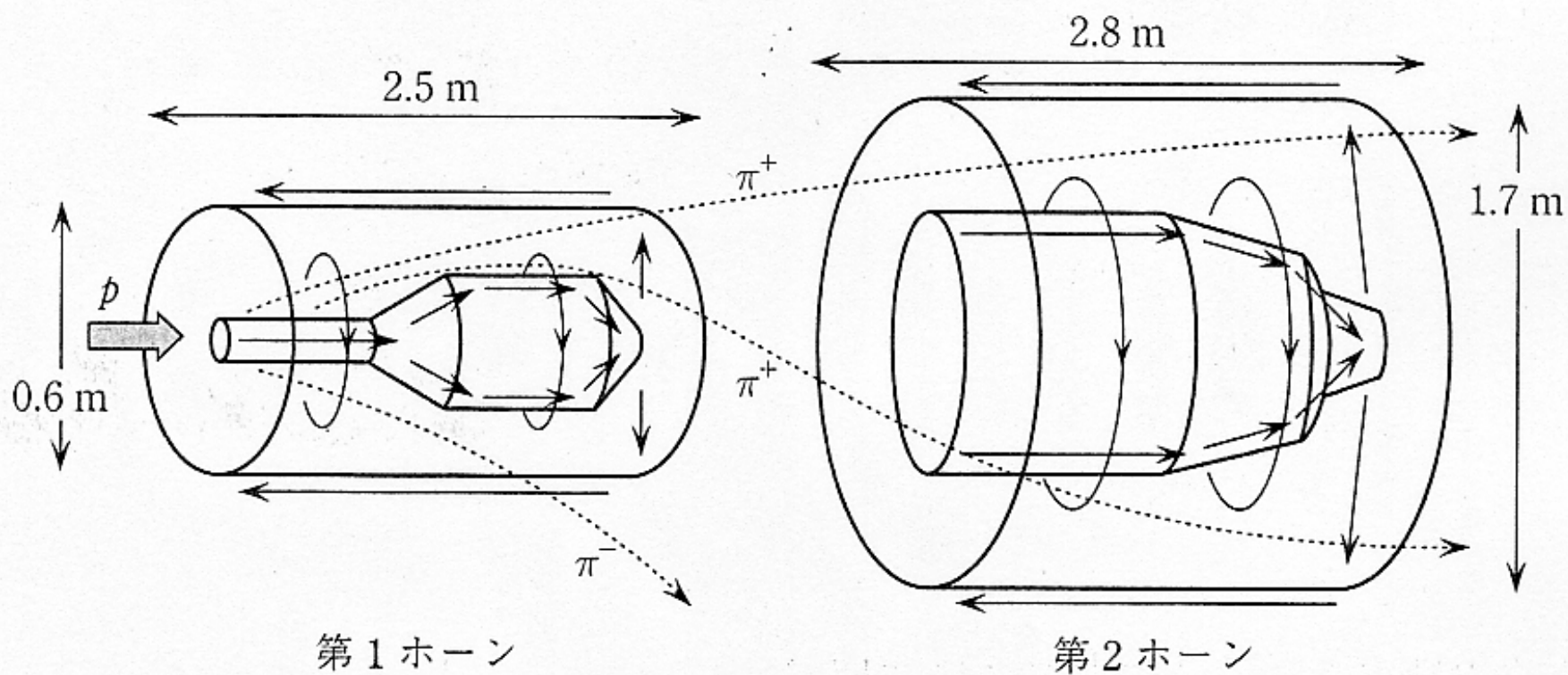
Q-triplet and Correction Magnets → Horns

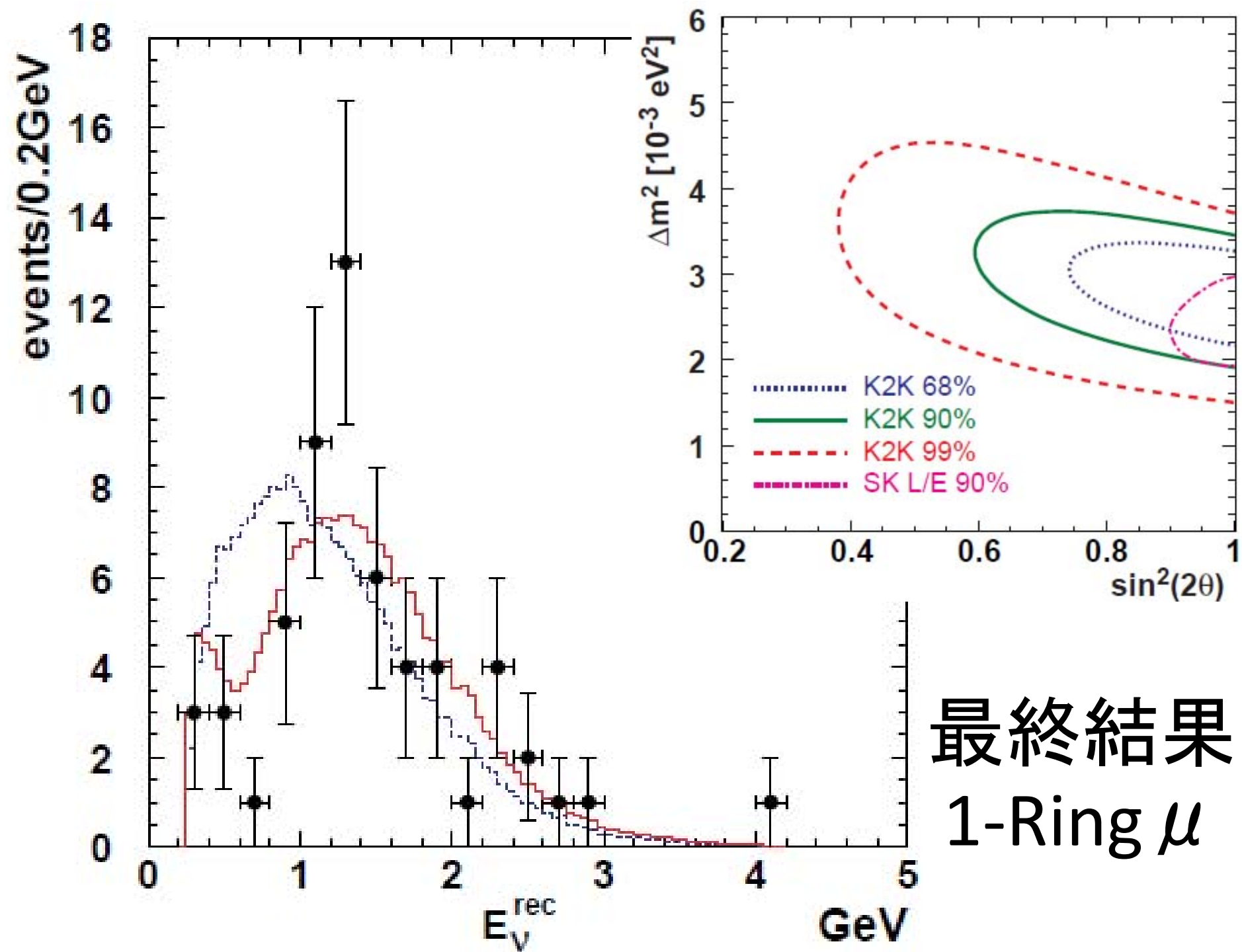
Horns, Target & Decay Volume



- Two Horns (Collector & Reflector).
- Built-in Target in Collector
- 250kA Operation
- 10M Excitation with 30mm ϕ Target
- Transformer near-by
- 200m Decay Volume filled with He.

マグネティックホーン(ダブル)

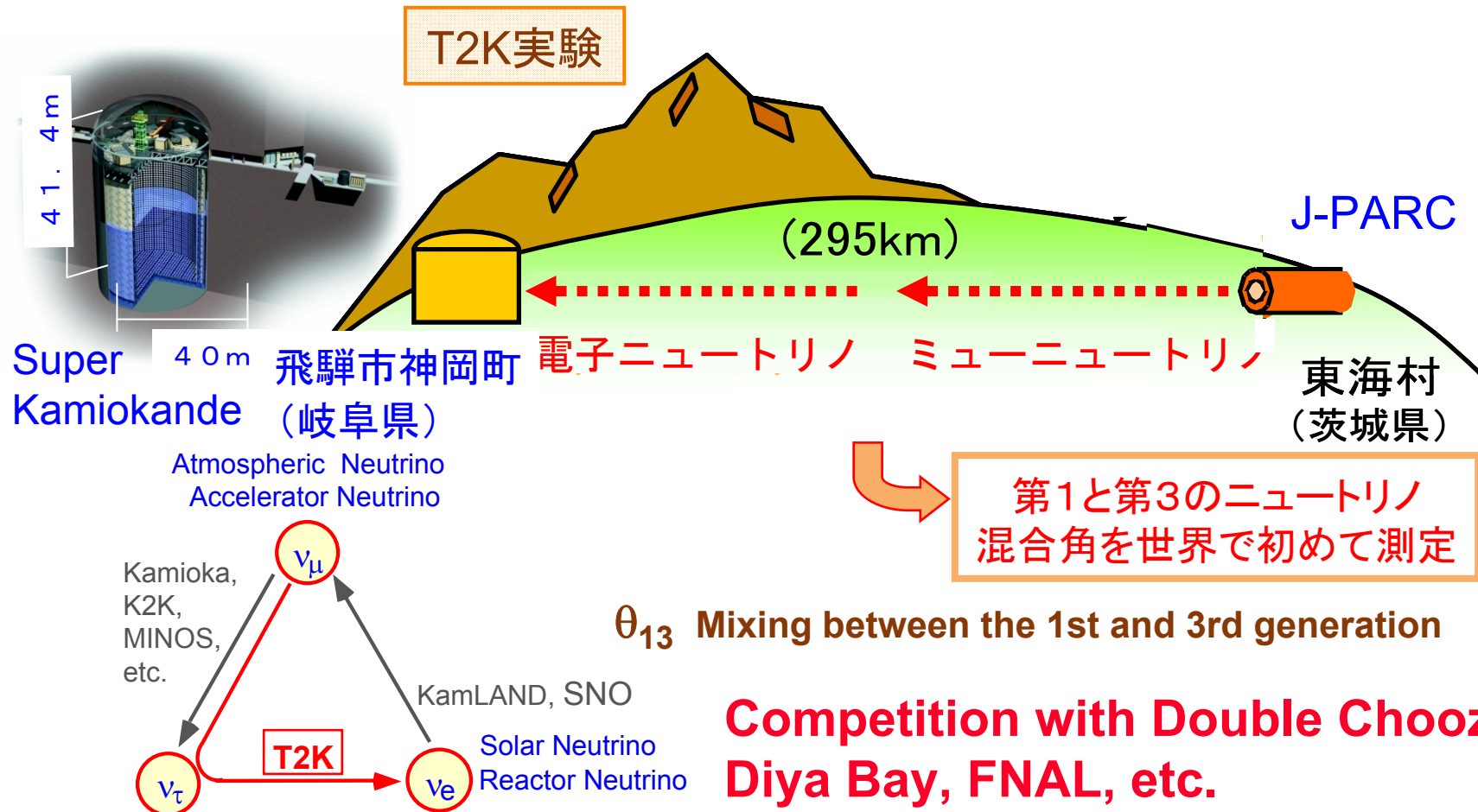




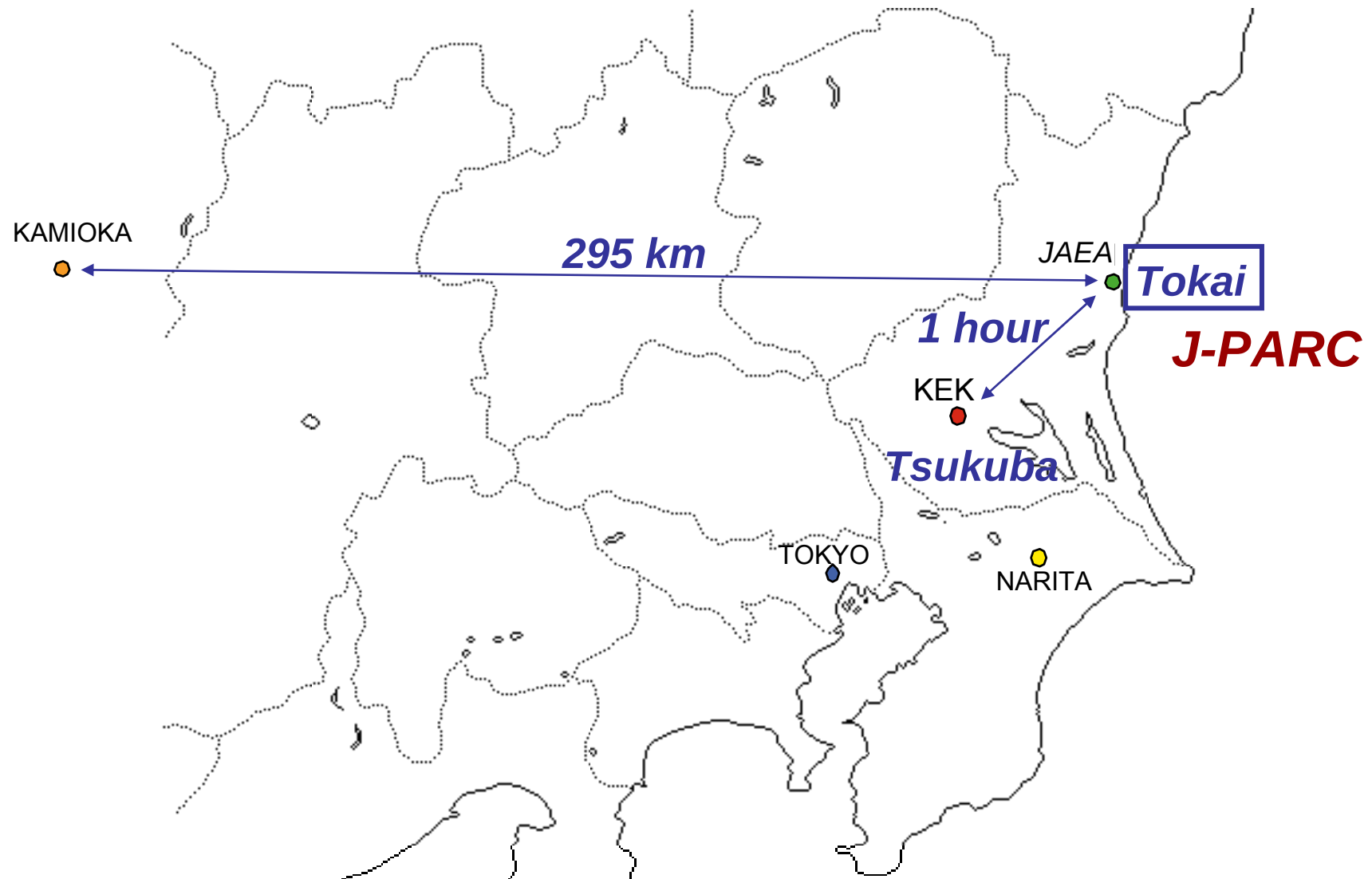
最終結果
1-Ring μ

ニュートリノ質量とニュートリノ振動実験

- 素粒子の標準模型ではニュートリノの質量をゼロと仮定している
ニュートリノに質量! $\leftarrow$ ニュートリノ振動



Location of J-PARC at Tokai



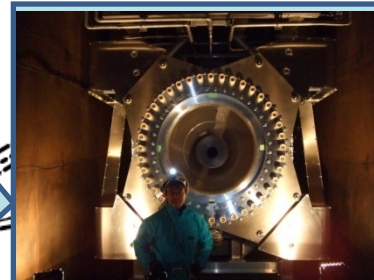
Neutrino beamline

Neutrino monitor build.



Focusing

Electromagnetic horn

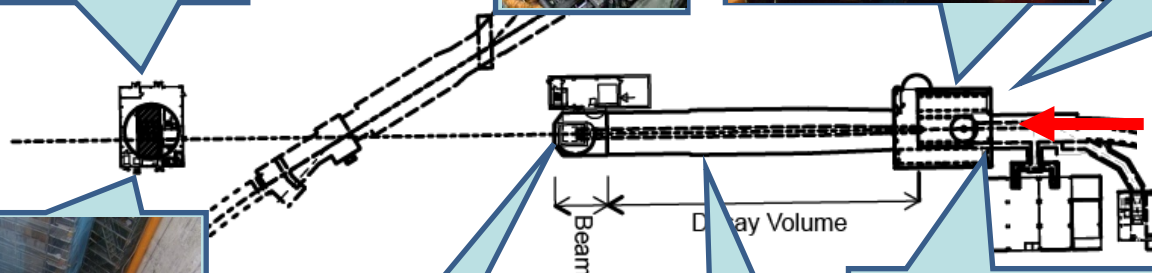


Production of π

Graphite target



Proton Beams



$$\pi \rightarrow \mu + \nu$$



UA1 magnet donated from CERN installed in Apr-Jun, 2008 on schedule

Confirmation of ν production

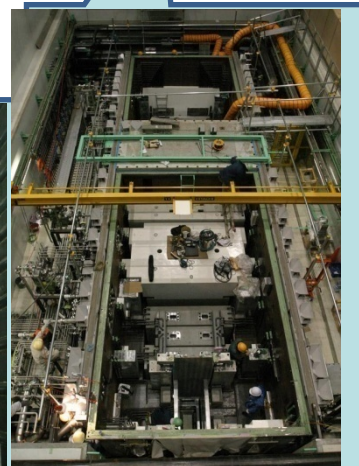
On-site detector



Beam dump completed

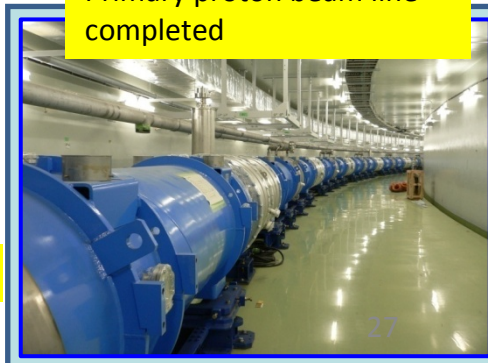


Decay volume completed

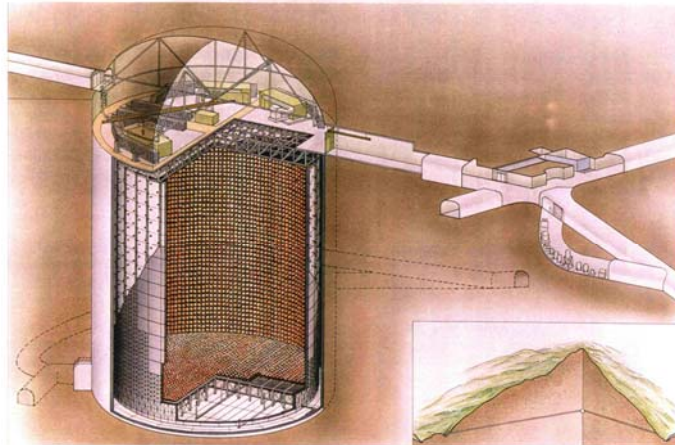


Target station completed

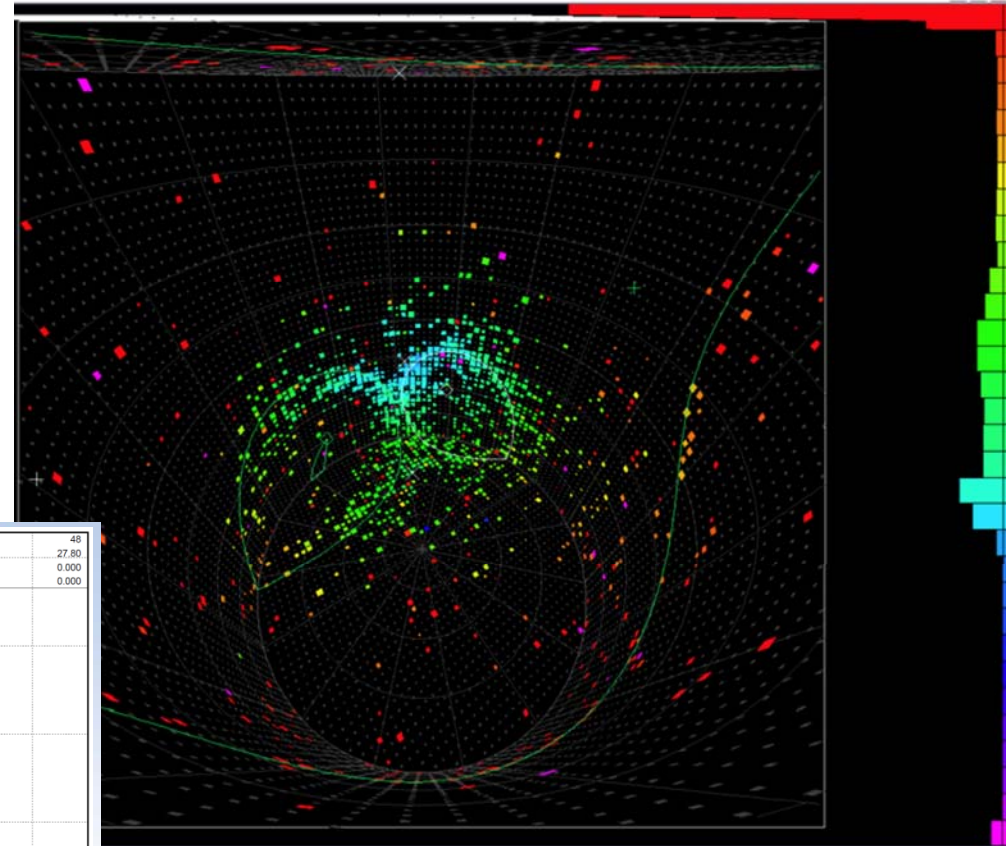
Primary proton beam line completed



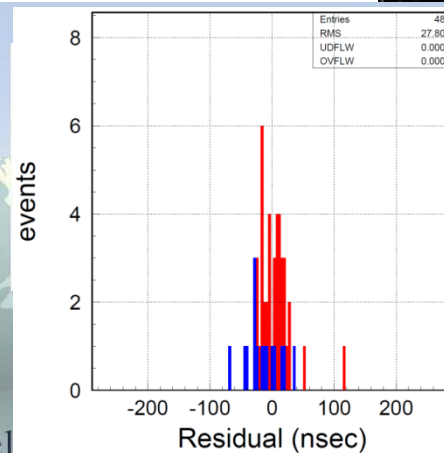
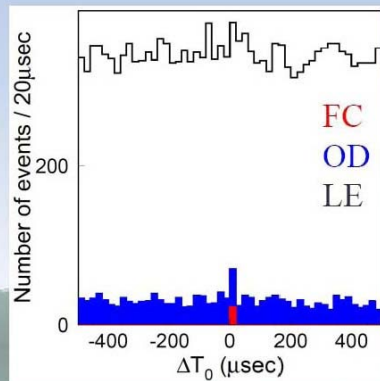
SuperK でのニュートリノ検出



SUPERKAMIOKANDE INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO



2010年2月24日
検出に成功



- ◆ Event time distribution clearly
- ◆ Observed # of Fully contained events: 22 (by Mid. May)
- ◆ Expected non-beam BG: $<10^{-2}$ evts

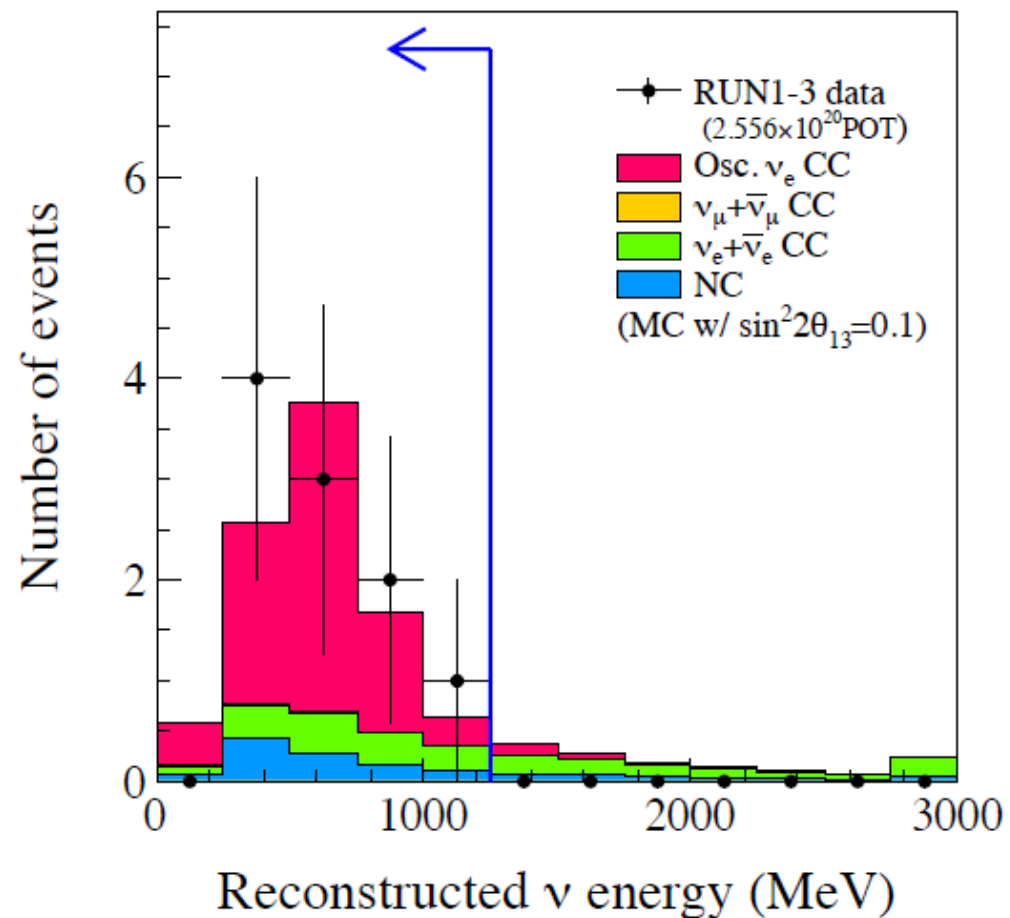
21

同年末までに48事象を観測
(現在1日1個のニュートリノ観測、
最高強度では1日7個)!

28

最新結果(5月15日までのデータ)

- **10 electron neutrino candidates are detected**
- Expected **BG** ($\theta_{13}=0$) is estimated to be **2.73 ± 0.37 evts**
- Probability to observe ≥ 10 evts w/ $\theta_{13}=0$ is **0.08% (3.2σ)**
 - C.f. 0.7% (2.5σ) in 2011



**Evidence of ELECTRON NEUTRINO
APPEARANCE**

ν_e appearance at T2K

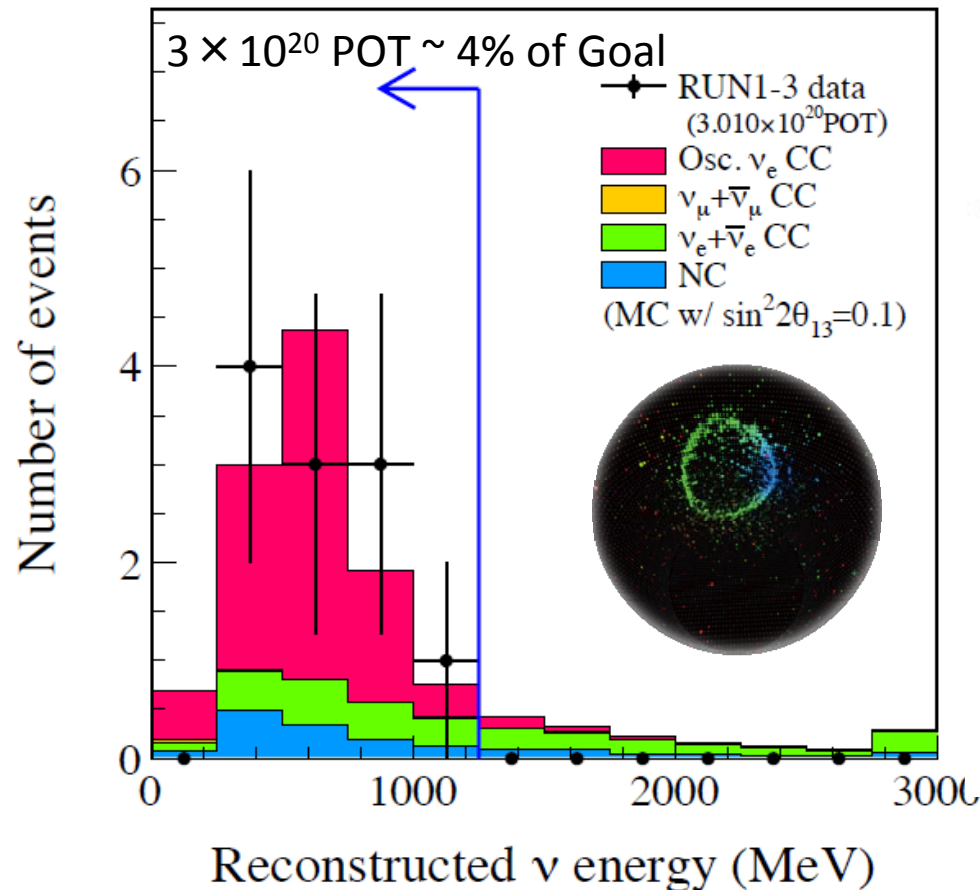
- June 2011:

6 ν_e events $\Rightarrow$ 2.5σ , Indication?

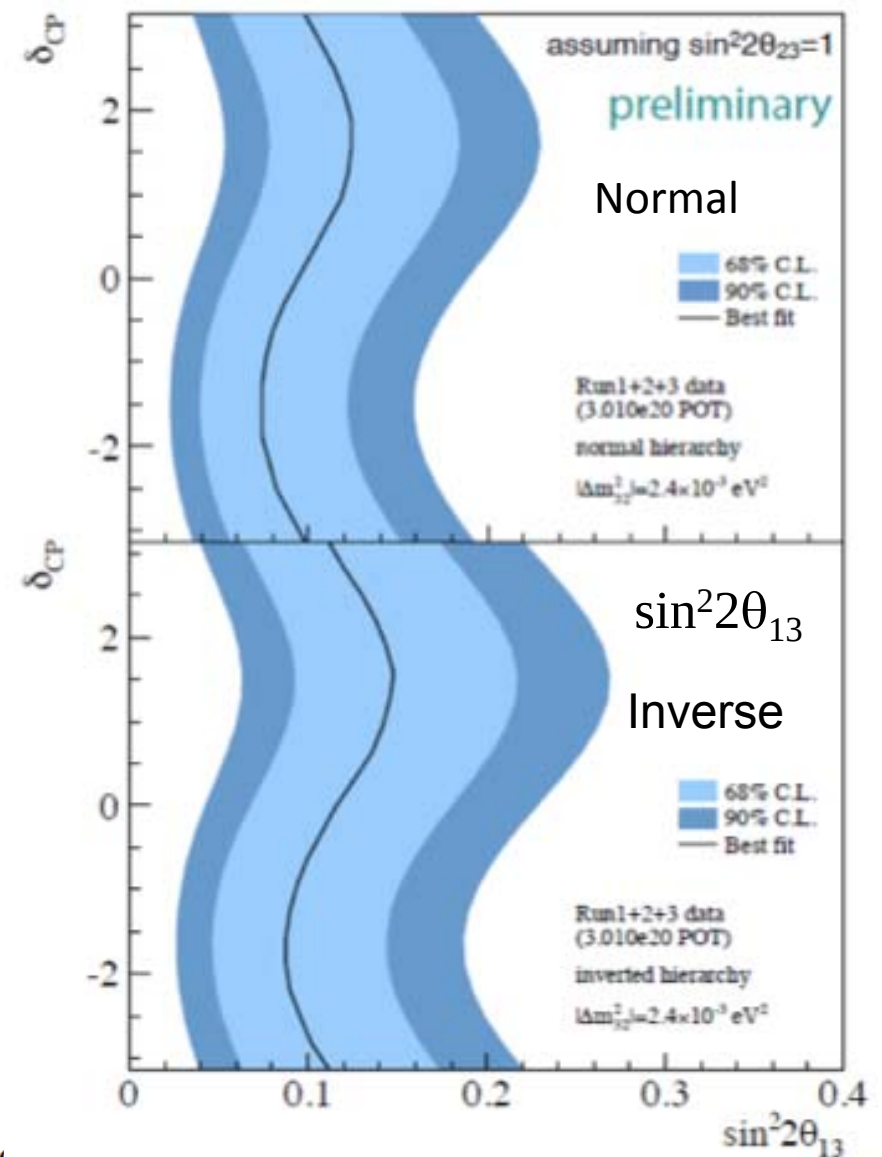
- June 2012:

11 ν_e events $\Rightarrow$ 3.2σ , **Evidence!**

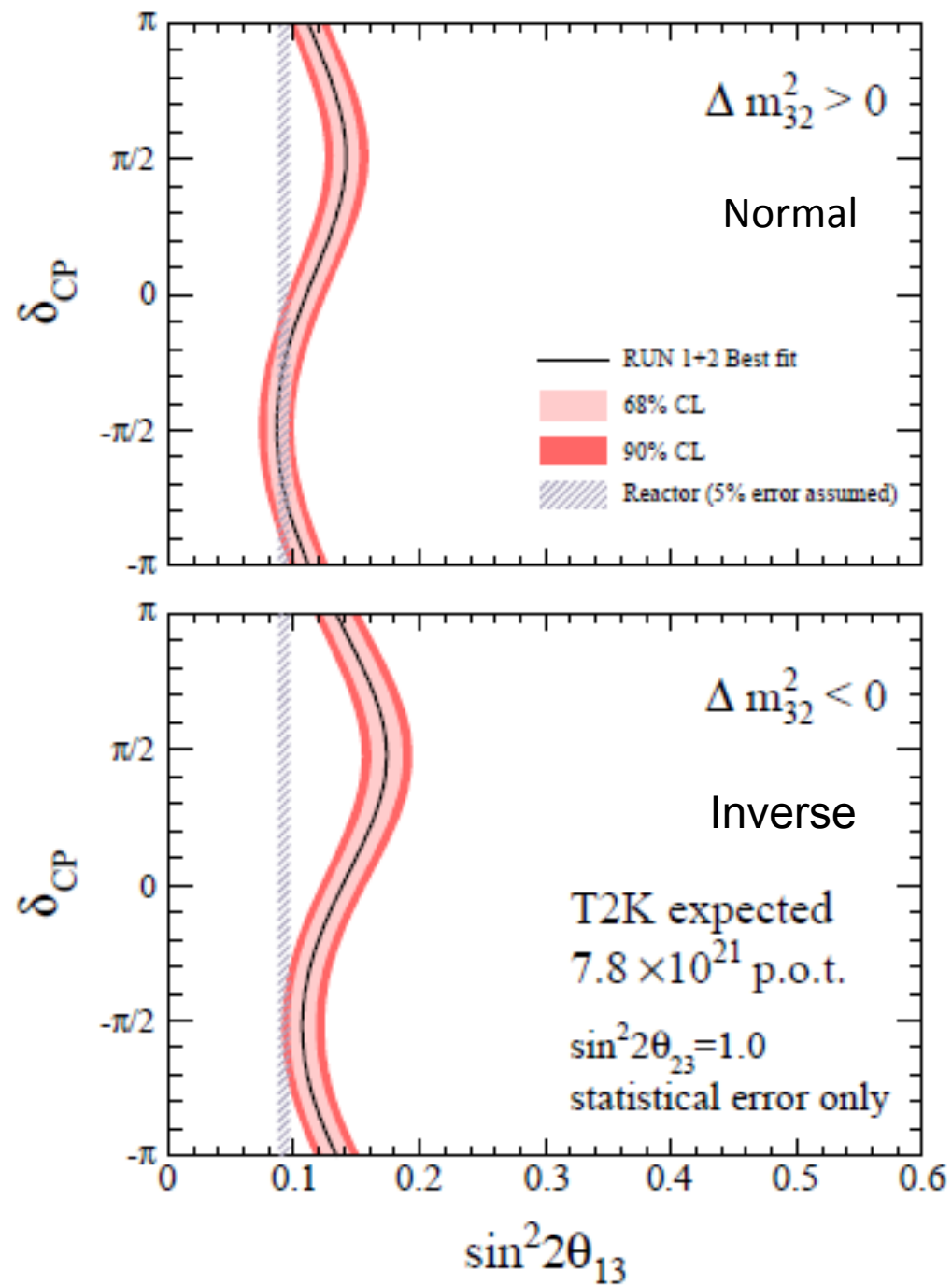
(Expected **BG** ($\theta_{13}=0$) is **2.73 ± 0.37**)



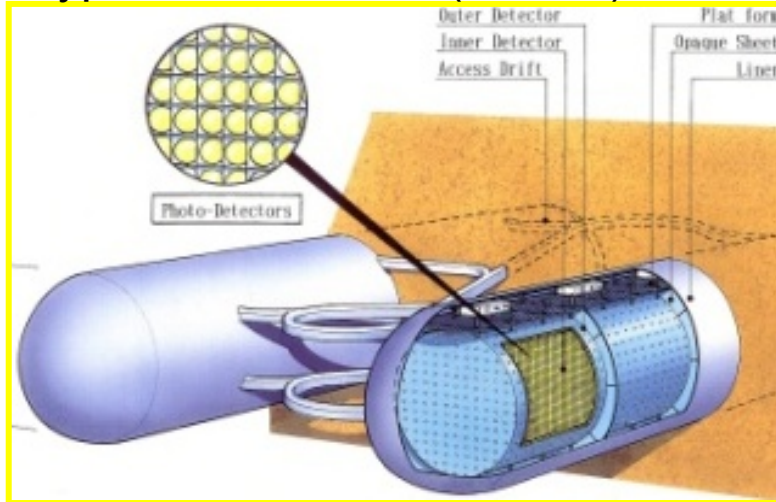
$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.104^{+0.060}_{-0.045} @ \delta_{CP}=0$$



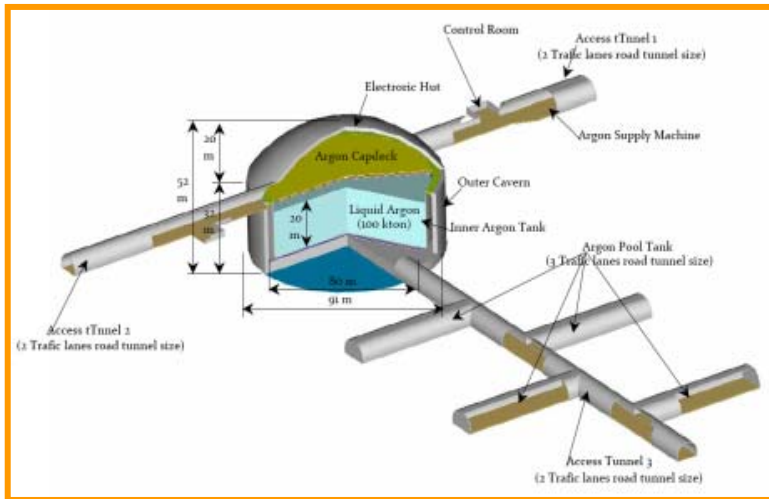
$$\sin^2 2\theta_{13} = 0.128^{+0.070}_{-0.055} @ \delta_{CP}=0$$



Hyper-Kamiokande (Mt WC)

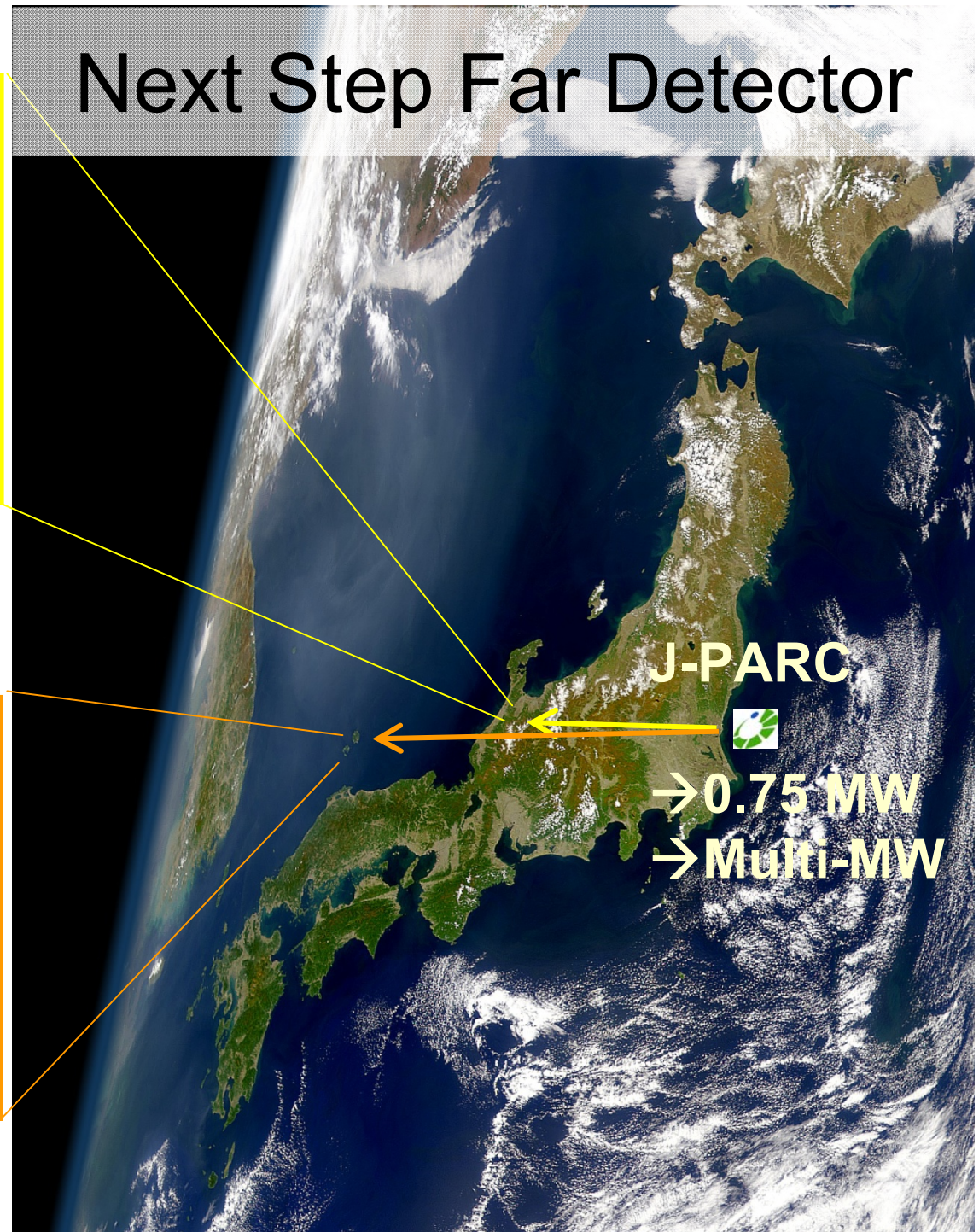


Aiming for Neutrino
CP Violation!



100kt-Liq. Ar TPC

Next Step Far Detector



Hadron

物質粒子	第一世代		第二世代		第三世代	
クォーク	u アップ	 電荷 2/3	s ストレンジ	 電荷 2/3	t トップ	 電荷 2/3
	d ダウン	 電荷 -1/3	c チャーム	 電荷 -1/3	b ボトム	 電荷 -1/3
レプトン	e 電子	 電荷 -1	μ ミュー	 電荷 -1	τ タウ粒子	 電荷 -1
	ν_e 電子ニュートリノ	 電荷 0	ν_μ ミューニュートリノ	 電荷 0	ν_τ タウニュートリノ	 電荷 0

力を伝える粒子 質量を与える粒子

重力相互作用
(未発見)
重力子



クォークのヒッグス質量～数MeV

→3個集まっても高々10MeV

陽子の質量～930MeV→なぜこんなに重い？

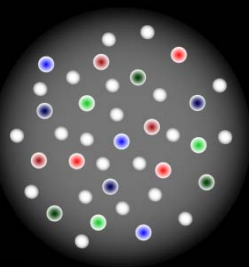
原子核・ハドロン物理の目標

- ・宇宙の質量の99%分の起源？
- ・強い相互作用(一般化された核力)の理解！
- ・高密度核物質、クォークの閉じこめ機構？

宇宙における 物質(クォーク多体系) の起源と進化

温度

ビッグバン
(初期宇宙)



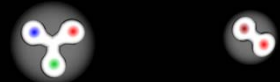
クォーク・グルーオン・
プラズマ (QGP)

相転移

クォークからハドロンへ
質量の獲得,
クォークの閉じ込め

ハドロン

バリオン(重粒子) メソン(中間子)



“気体” -> 流体的

ハドロン物理
(J-PARC)

“液体” (核物質)

元素合成

恒星

$H, He \rightarrow Fe$

中性子星

超伝導状態

クォーク星?

相転移

ストレンジネス核物理
(J-PARC)

高密度核物質の物理
一般化された核力

0

$Fe \rightarrow U$

超新星爆発?

重力圧縮

sクォーク出現

密度

通常の原子核

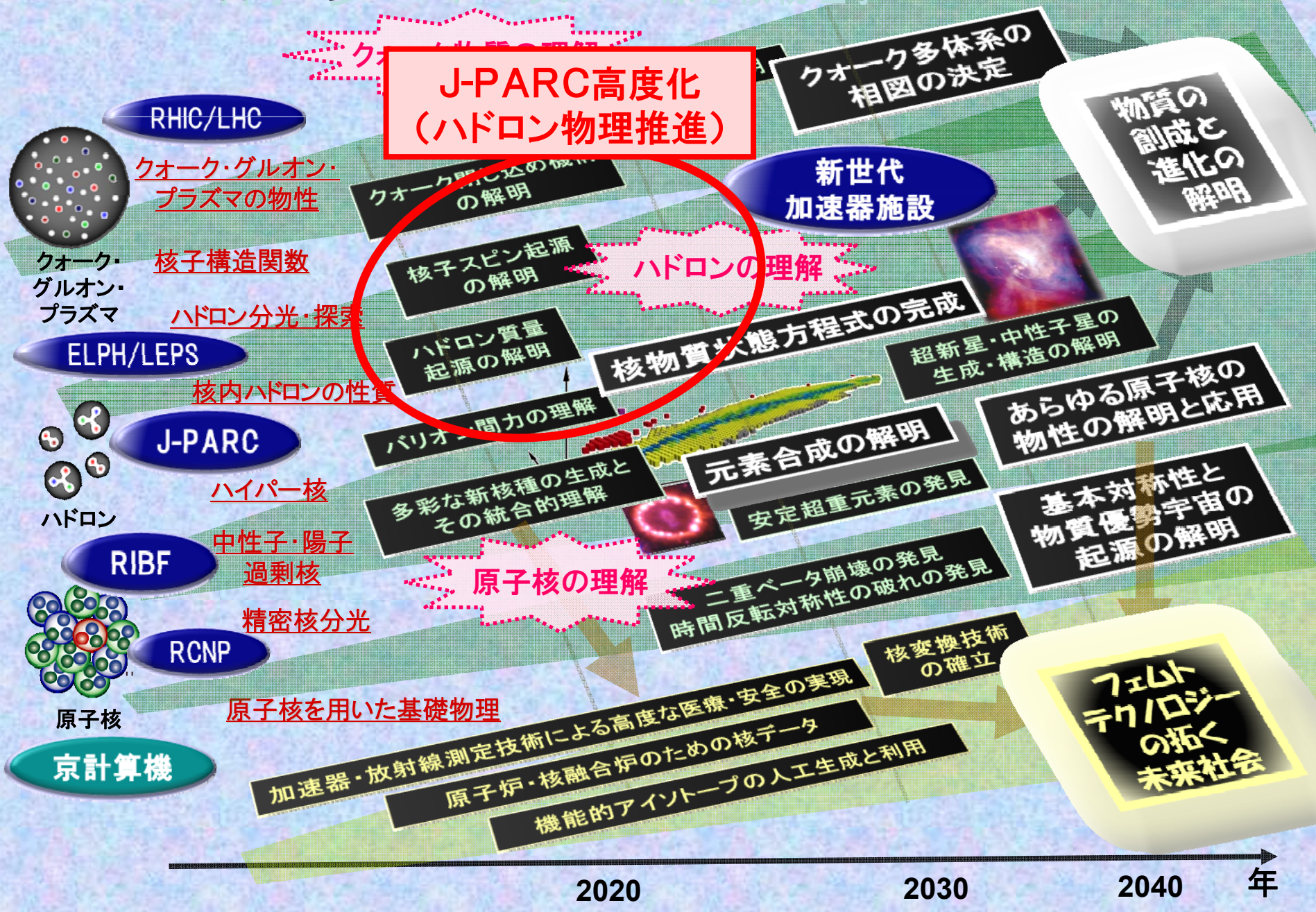
高密度核物質

クォーク物質

科学・夢ロードマップ

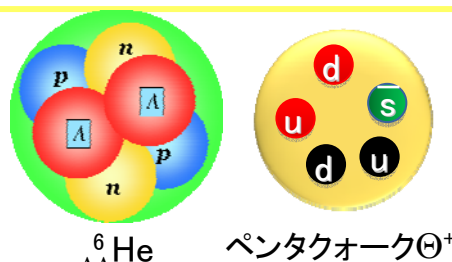
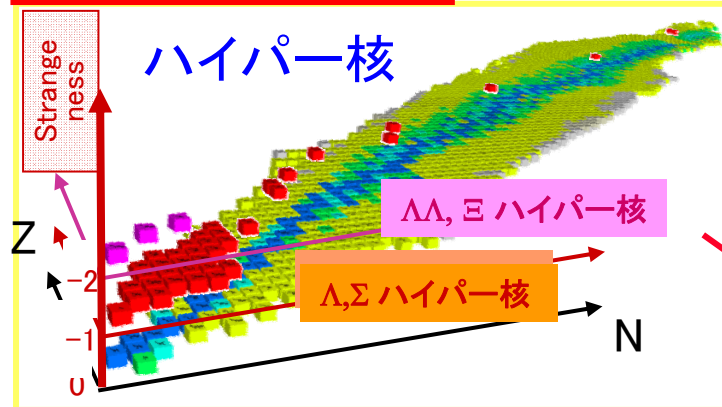
原子核物理学

**J-PARC高度化
(ハドロン物理推進)**

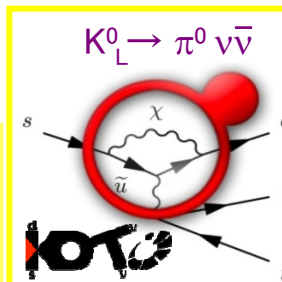


ハドロンの整備計画

高密度核物質、核力

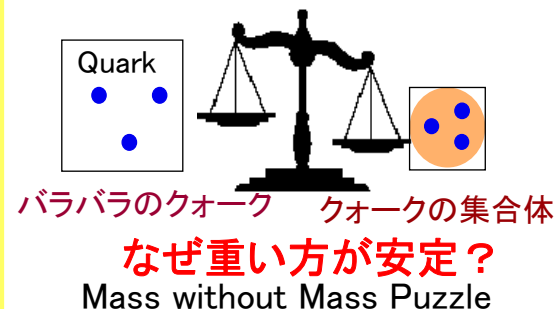


クォークの閉じ込め

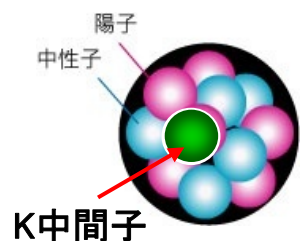


CP対称性の破れ

質量の獲得

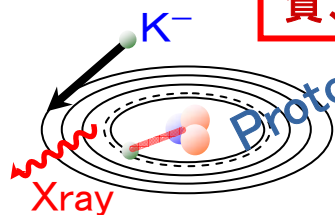


クォークの閉じ込め

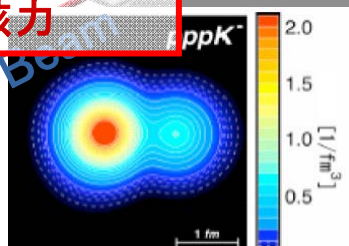


K中間子の埋め込みと原子核の収縮

高密度核物質、核力

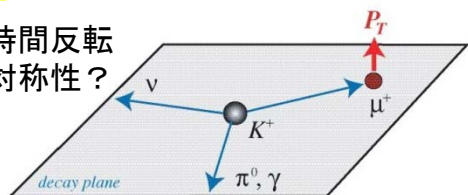


K中間子原子



K中間子核

時間反転対称性?



High-p

COMET
ビームライン

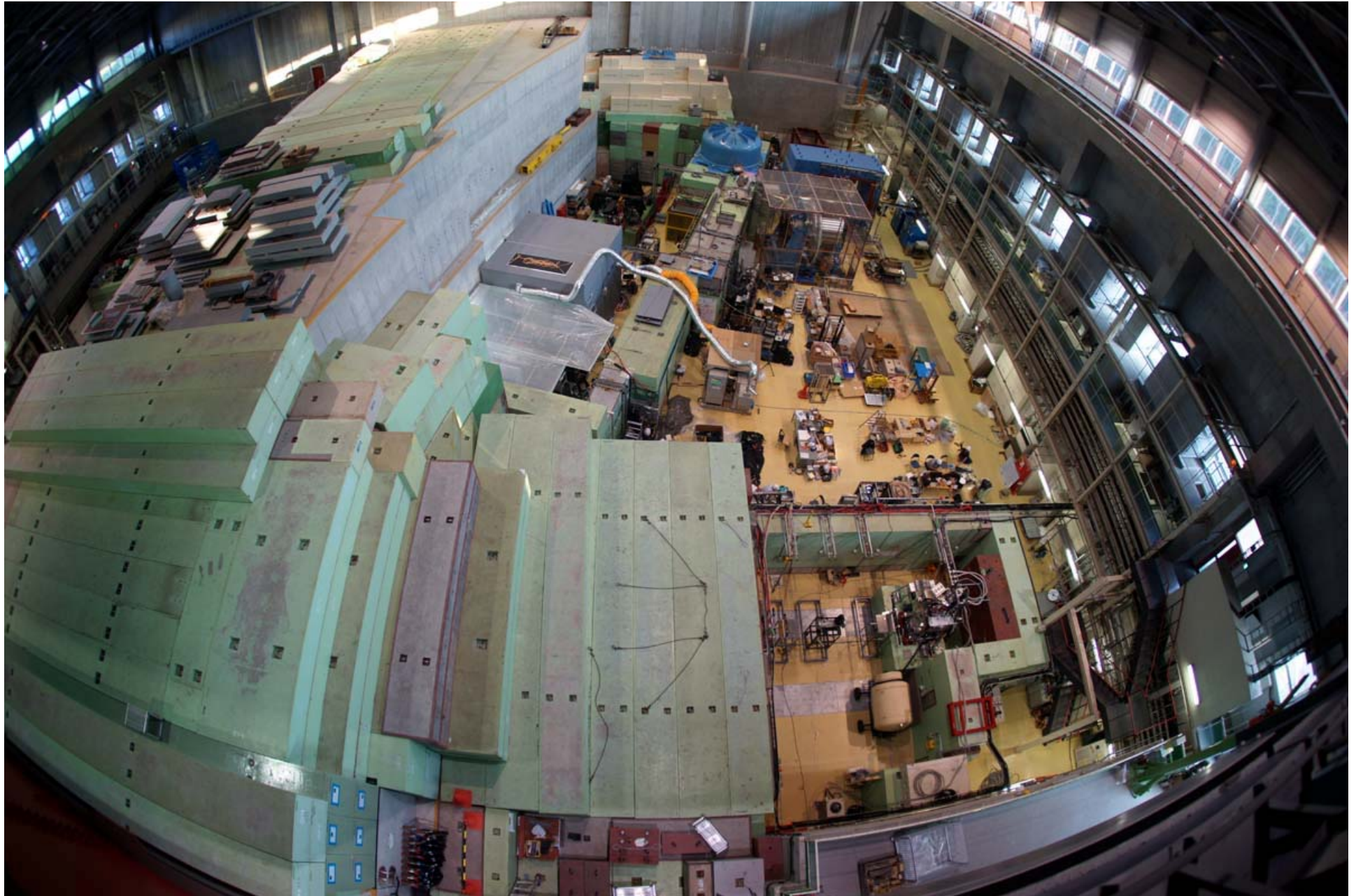
μ -e 転換実験

$$\mu^- + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z)$$

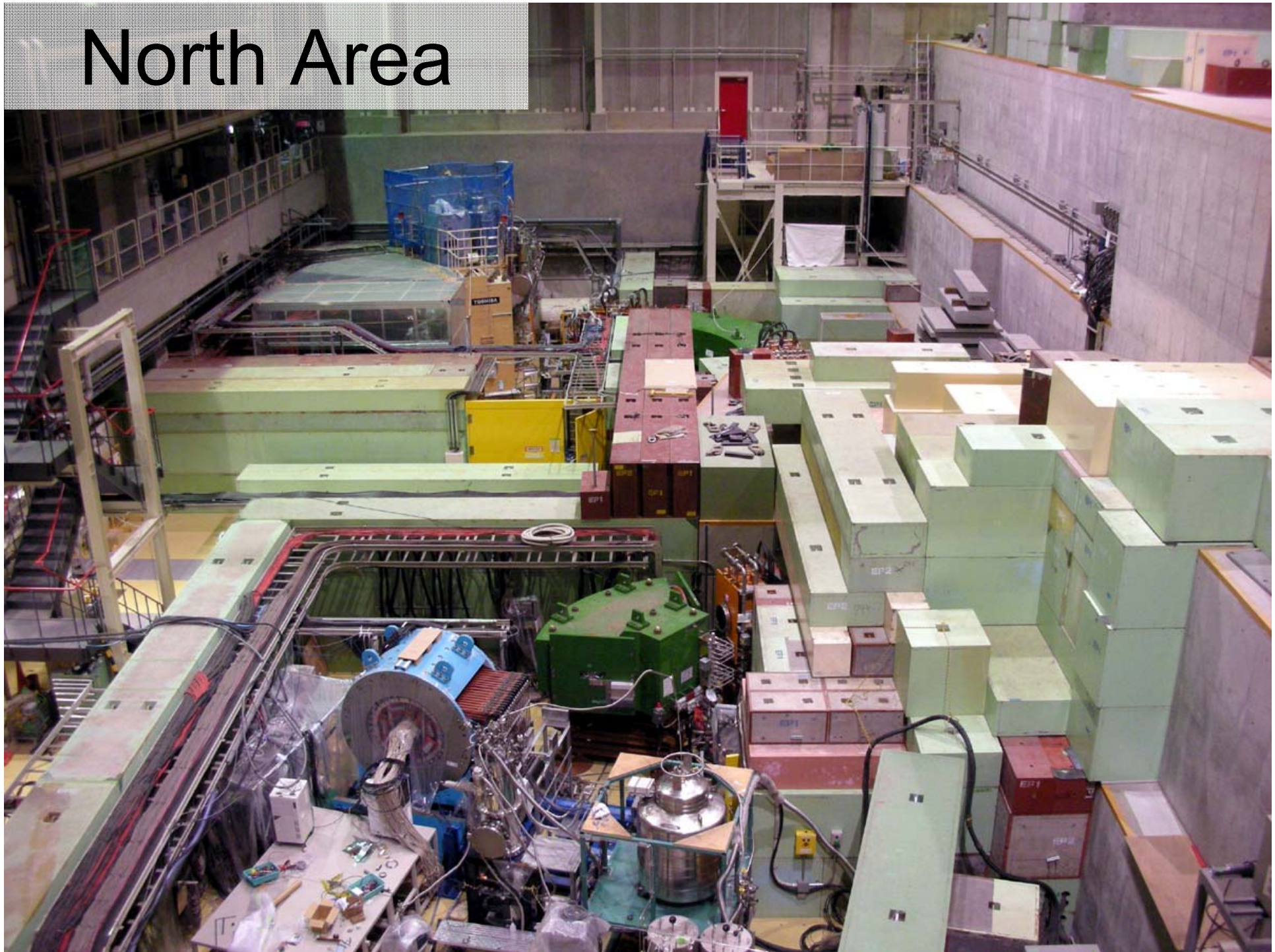
e^-

標準理論を超える新現象

Oct. 15, 2010, South Area



North Area



採択された実験一覧、その1

K1.8

	(Co-)Spokespersons	Affiliation	Title of the experiment at Hadron Experimental Hall	BeamL.	Day1	Beam	MR Power [kW]	[hours]
E03	K. Tanida	SNU	Measurement of X rays from Ξ^- Atom	K1.8		K-	270	800
E05	T. Nagae	Kyoto U	Spectroscopic Study of Ξ -Hypernucleus, $^{12}_{\Xi}\text{Be}$, via the $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ Reaction	K1.8	yes	K-	270	672
E07	K. Imai, K. Nakazawa, H. Tamura	JAEA, Gifu U, Tohoku U	Systematic Study of Double Strangeness System with an Emulsion-counter Hybrid Method	K1.8		K-	>50	600
E10	A. Sakaguchi, T. Fukuda	Osaka U	Production of Neutron-Rich Λ -Hypernuclei with the Double Charge-Exchange Reactions	K1.8		π^-	5	1008
E13	H. Tamura	Tohoku U	Gamma-ray spectroscopy of light hypernuclei	K1.8	yes	K-	270	1000
E18	H. Bhang, H. Oota, H. Park	SNU, RIKEN, KRISS	Coincidence Measurement of the Weak Decay of $^{12}_{\Lambda}\text{C}$ and the three-body weak interaction process	K1.8		π^+	5	576
E19	M. Naruki	KEK	High-resolution Search for Θ^+ Pentaquark in $\pi^-p \rightarrow K^+X$ Reactions	K1.8	yes	π^-	5	160
E27	T. Nagae	Kyoto U	Search for a nuclear $\bar{K}$ bound state $\bar{K}pp$ in the $d(\pi^+, K^+)$ reaction	K1.8		π^+	5	960
E08	A. Krutenkova	ITEP	Pion double charge exchange on oxygen at J-PARC	K1.8		π^+	5	240
E22	S. Ajimura, A. Sakaguchi	Osaka U	Exclusive Study on the Lambda-N Weak Interaction in $A=4$ Lambda-Hypernuclei (Revised from Initial P10)	K1.8		π^+	5	672
E26	K. Ozawa	KEK	Search for ω -meson nuclear bound states in the $\pi^- + ^AZ \rightarrow n + ^{(A-1)}(Z-1) \omega$ reaction, and for ω mass modification in the in-medium $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$ decay.	K1.8		π^-	10	1600
E40	K. Miwa	Tohoku U	Measurement of the cross sections of Σp scatterings	K1.8		π^- & π^+	10	1056

K1.8
BR

E15	M. Iwasaki, T. Nagae	RIKEN, Kyoto U	A Search for deeply-bound kaonic nuclear states by in-flight $^3\text{He}(K^-, n)$ reaction	K1.8BR	yes	K-	270	924
E17	R. Hayano, H. Oota	U Tokyo, RIKEN	Precision spectroscopy of Kaonic ^3He $3d \rightarrow 2p$ X-rays	K1.8BR	yes	K-	5	840
P28	H. Fujioka	Kyoto U	Study of isospin dependence of kaon-nucleus interaction by in-flight $^3\text{He}(K^-, n/p)$ reactions	K1.8BR				
E31	H. Noumi	RCNP, Osaka U	Spectroscopic study of hyperon resonances below KN threshold via the (K^-, n) reaction on Deuteron	K1.8BR		K-	27	960

Stage 1

Stage 2

Running

採択された実験一覧、その2

K1.1

K1.1
BR

KL

High-p

COMET

K1.1
BR
for
Test
Exps

	(Co-)Spokespersons	Affiliation	Title of the experiment at Hadron Experimental Hall	BeamL.	Day1	Beam	MR Power [kW]	[hours]
E29	H. Ohnishi	RIKEN	Search for ϕ -meson nuclear bound states in the $p\bar{p} + Z \rightarrow \phi + \phi (Z=1)$ reaction	K1.1		p-bar	270	1920
E06	J. Imazato	KEK	Measurement of T-violating Transverse Muon Polarization in $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu$ Decays	K1.1BR		K+	270	3611
P36	S. Shimizu	Osaka U	Measurement of $\Gamma(K^+ \rightarrow e^+ \nu)/\Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu)$ and Search for heavy sterile neutrinos using the TREK detector system	K1.1BR		K+	30	720
E14	T. Yamanaka	Osaka U	Proposal for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment at J-PARC	KL		KL0	270	8333
E16	S. Yokkaichi	RIKEN	Electron pair spectrometer at the J-PARC 50-GeV PS to explore the chiral symmetry in QCD	high p		p		800
E21	Y. Kuno	Osaka U	An Experimental Search for Lepton Flavor Violating $\mu^- e^-$ Conversion at Sensitivity of 10^{-16} with a Slow-Extracted Bunched Proton Beam	COMET-BL			8GeV 7μA	
T25	S. Mihara	KEK	Extinction Measurement of J-PARC Proton Beam at K1.8BR	K1.1BR				
T32	A. Rubba	ETH, Zurich	Towards a Long Baseline Neutrino and Nucleon Decay Experiment with a next-generation 100 kton Liquid Argon TPC detector at Okinoshima and an intensity upgraded J-PARC Neutrino beam	K1.1BR				
T37	K. Inami	Nagoya U	Test of TOP counter for B-factory upgrade	K1.1BR				
T38	H. Nanjo	Kyoto U	Proposal for Measuring Hadron Response at K1.1BR for KOTO Experiment	K1.1BR				
T43	K. Aoki	RIKEN	Test of Hadron Blind Detector and GEM Tracker for the J-PARC E16 Experiment	K1.1BR				

全部実施するのに、年間2000時間としても3～4年必要なほど
たくさんの実験提案がある！

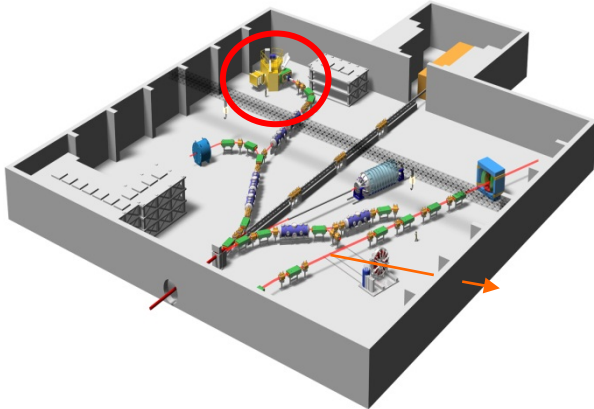
Stage 1

Stage 2

Test

ハドロンの 主力実験設備

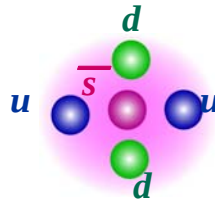
SKS スペクトロメータ



$\pi^- p \rightarrow K^- X$ 反応によるペンタクォーク Θ^+ 生成

クォーク閉じ込めの理解

Physics Motivation



J-PARC E19

初の5クォーク粒子！新しい閉じ込め機構？

- 日本の実験(LEPS)で発見。
- 世界的にはいまだにその在否が未確定。
- 高エネルギービーム実験では否定的？

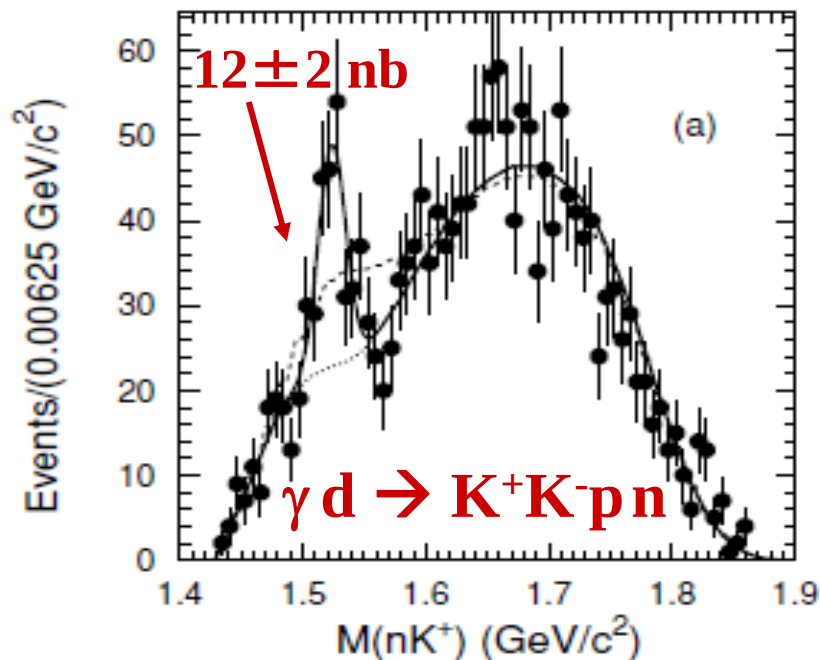
➤ ハドロンによる直接生成を目指す！

$$\pi^- + p \rightarrow K^- + X$$

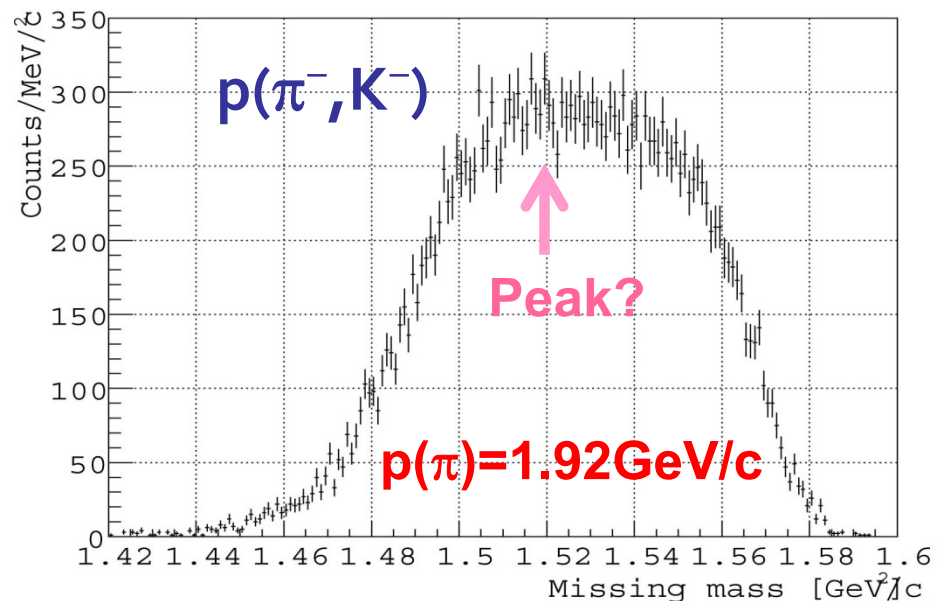
➤ J-PARCでのみ可能な高感度測定。

➤ 残念ながら否定的な結果。

(PRL投稿済み、arXiv:1203.3604)



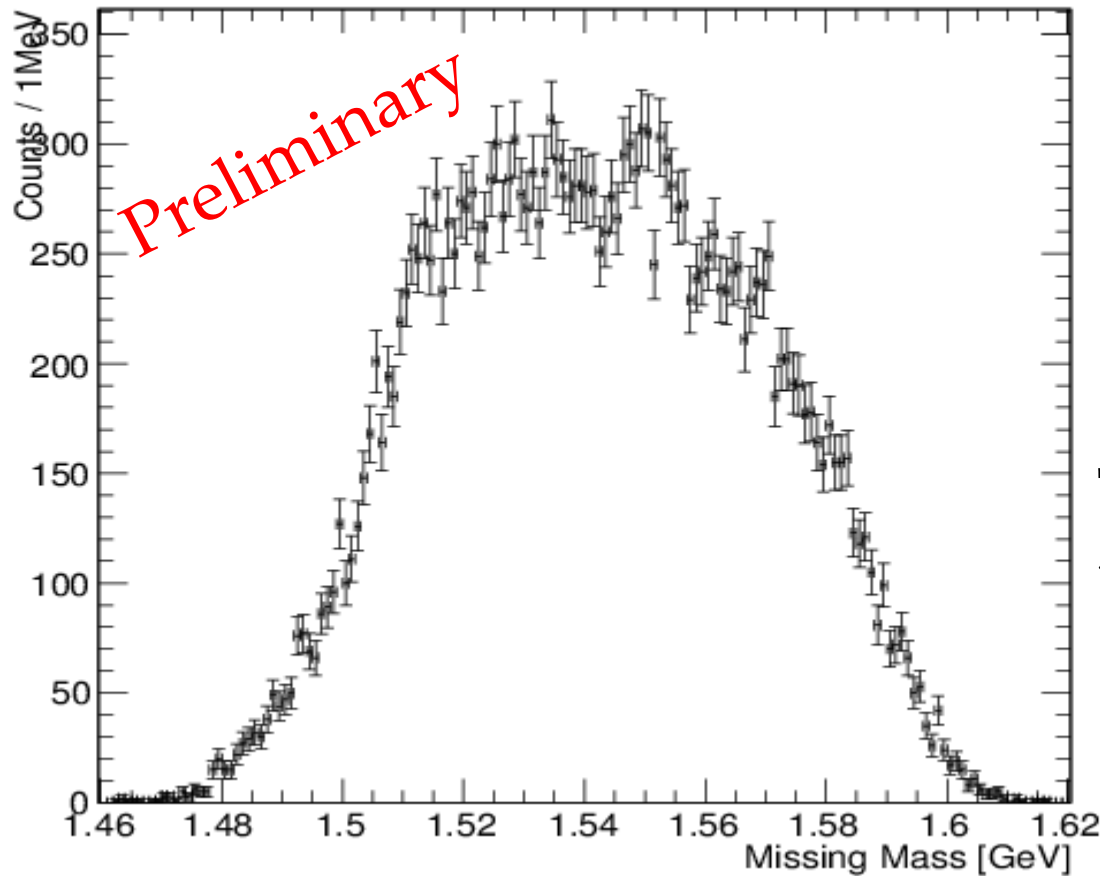
T. Nakano et al., PRC79 (2009) 025210



ハドロンで最初の物理実験の成果
2.00 GeV/cの π^- ビームでも実験

Missing Mass of 2nd data

$p(\pi^-, K^-)$ at $p_\pi = 2 \text{ GeV}/c$



count rate is consistent
with the estimation.

The expected sensitivity
 $\sim 0.3 \mu\text{b/sr}$

M. Moritsu,
29th. Aug. @SNP12

SKS-K1.8システムの主力実験:

S=-2ハイパー核物理

→ストレンジ核物質理解への第一歩

Nu ~ Nd ~ Ns

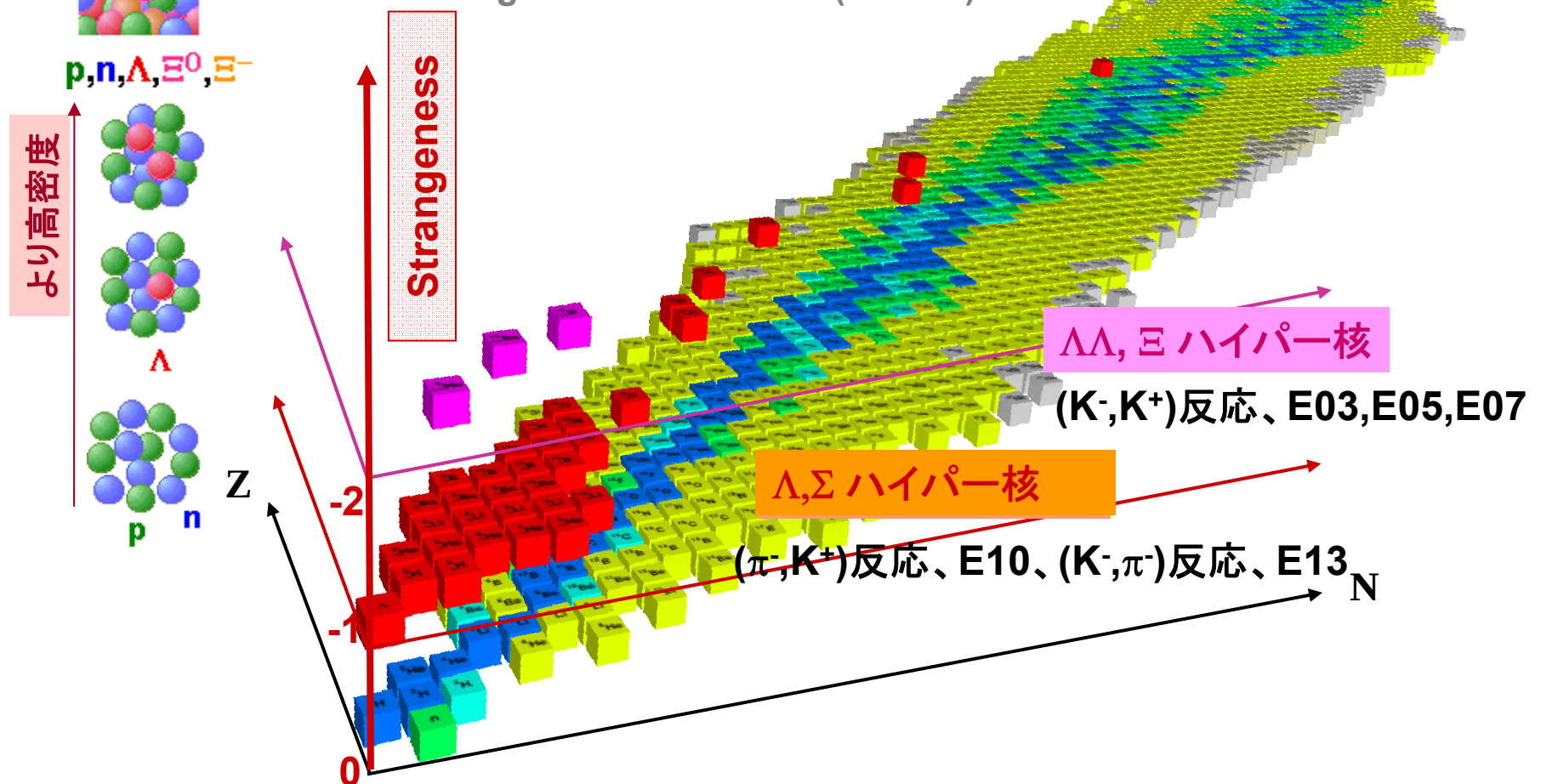
→高密度核物質、一般化された核力、の理解への端緒



“安定”

Strangeness in neutron stars ($\rho > 3 - 4 \rho_0$)

Strange hadronic matter ($A \rightarrow \infty$)



陽子・中性子(=核子)の仲間

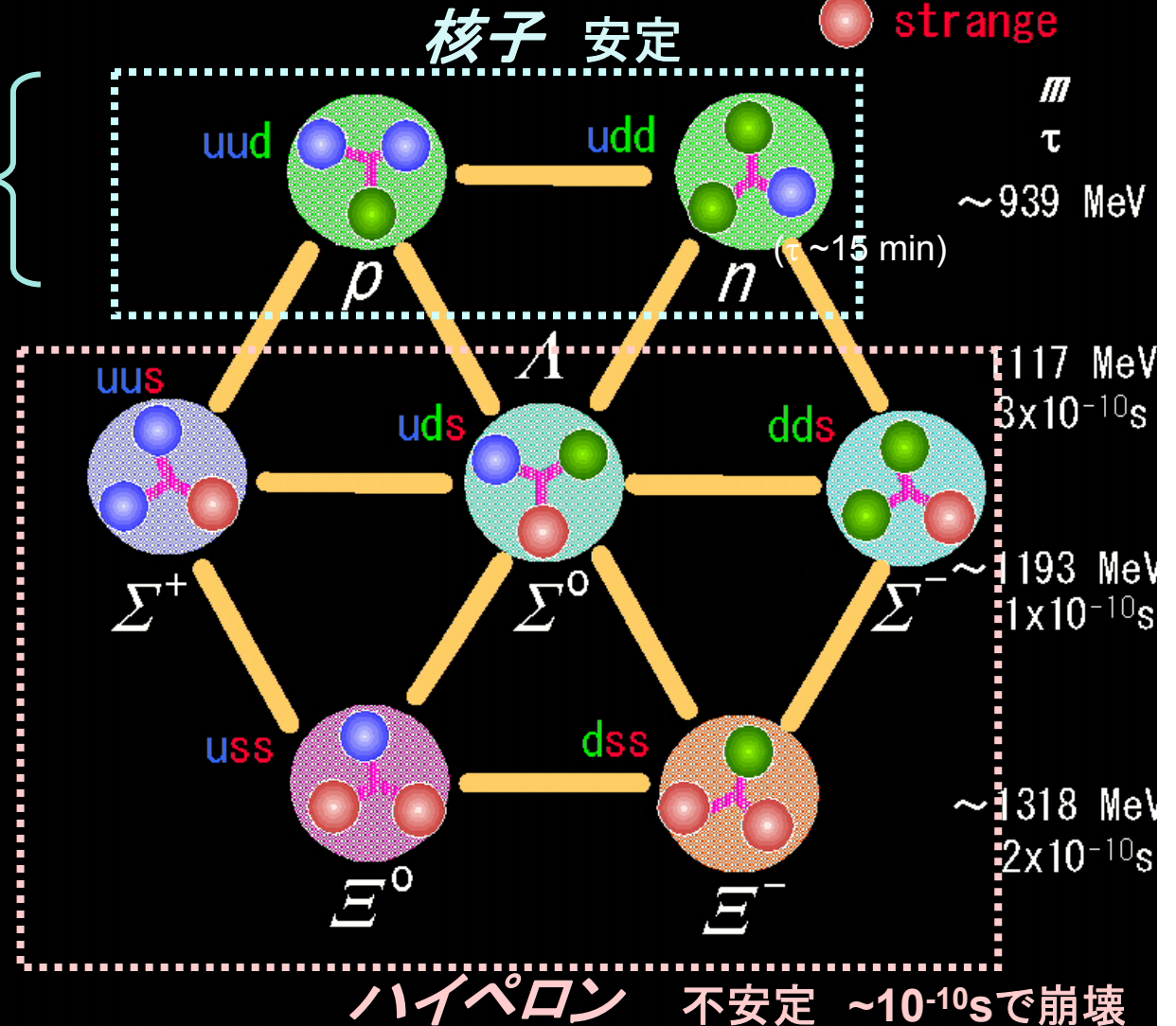
u, d, s クォークからなるバリオン(重粒子)

クォーク



■ 通常の原子核
u, d クォークからなる
(核子のみ)

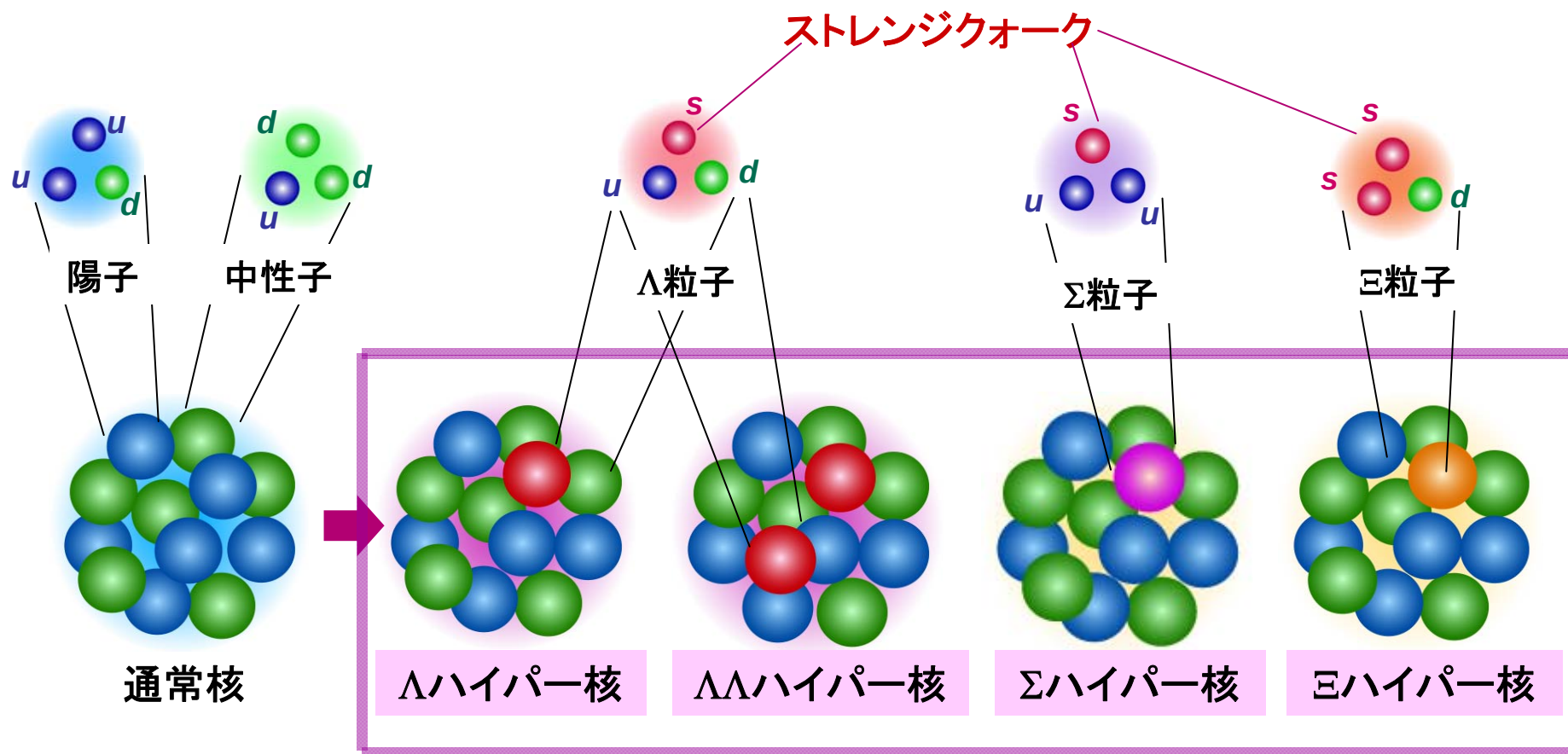
■ ハイパー原子核
u, d, s クォークからなる
(ハイペロンを含む)



ハイパー核

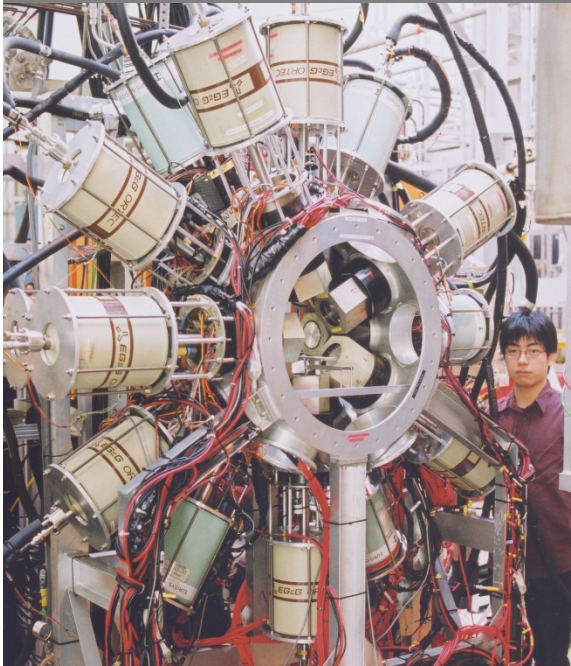
ストレンジ・クォークを含む新しいタイプの“原子核”

原子核の描像を
核子多体系→バリオン多体系(→クォーク多体系) に拡張



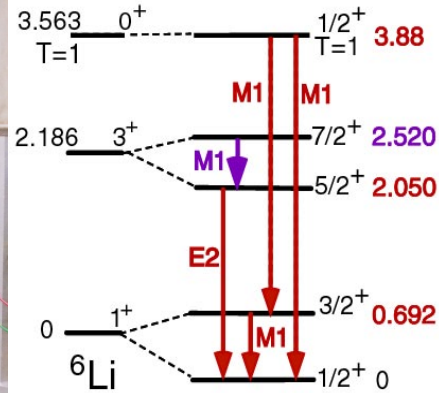
これらはすべて陽子加速器で作れる。中性子星内部に存在(?)

Hyperball



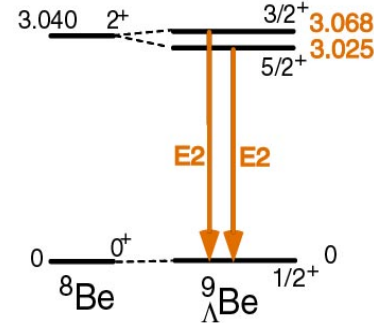
Hypernuclear γ -ray data

${}^7\text{Li} (\pi^+, K^+\gamma)$ KEK E419



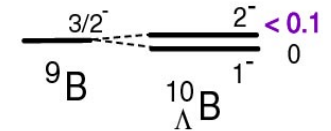
${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ PRL 84 (2000) 5963
PRL 86 (2001) 1982
PLB 579 (2004) 258
PRC 73 (2006) 012501

${}^9\text{Be} (K^-, \pi^-\gamma)$ BNL E930('98)



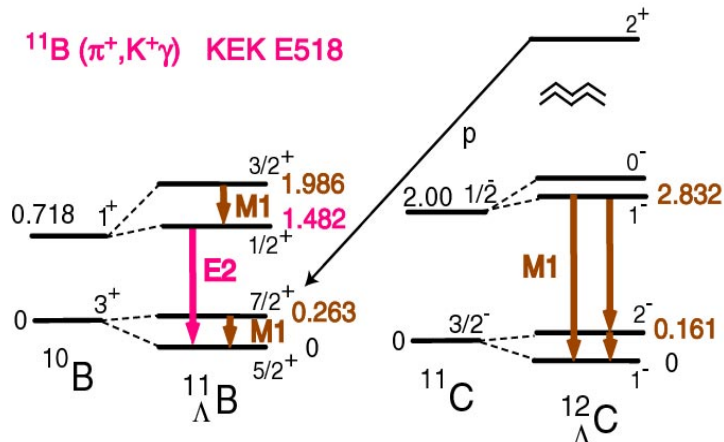
PRL 88 (2002) 082501
NPA 754 (2005) 58c

${}^{10}\text{B} (K^-, \pi^-\gamma)$ BNL E930('01)



NPA 754 (2005) 58c

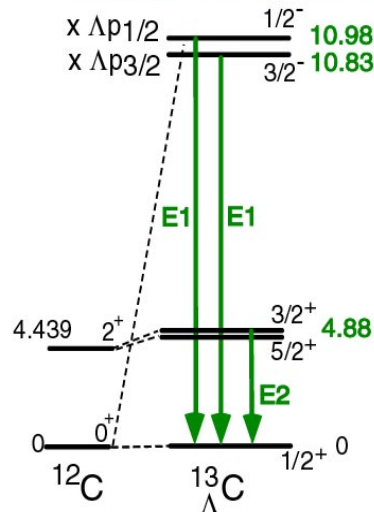
${}^{12}\text{C} (\pi^+, K^+\gamma)$ KEK E566



NPA 754 (2005) 58c

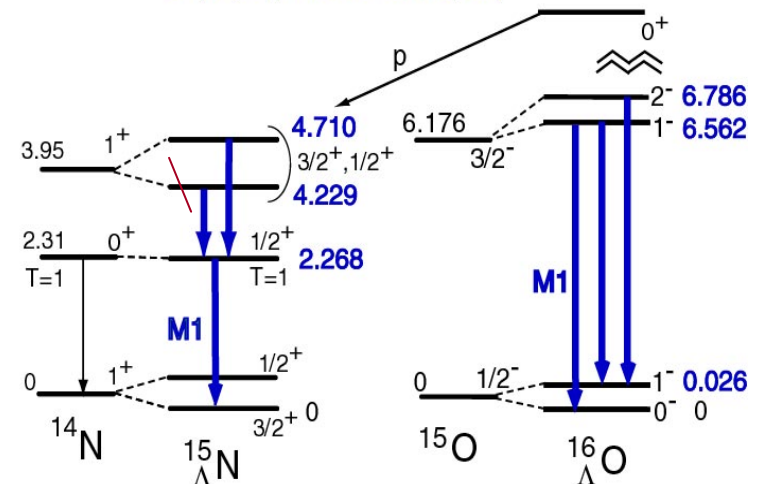
EPJ A33 (2007) 243

${}^{13}\text{C} (K^-, \pi^-\gamma)$ BNL E929 (Nal)



PRL 86 (2001) 4255
PRC 65 (2002) 034607

${}^{16}\text{O} (K^-, \pi^-\gamma)$ BNL E930('01)

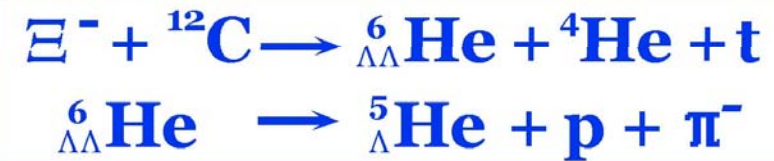


PRC 77 (2008) 054315

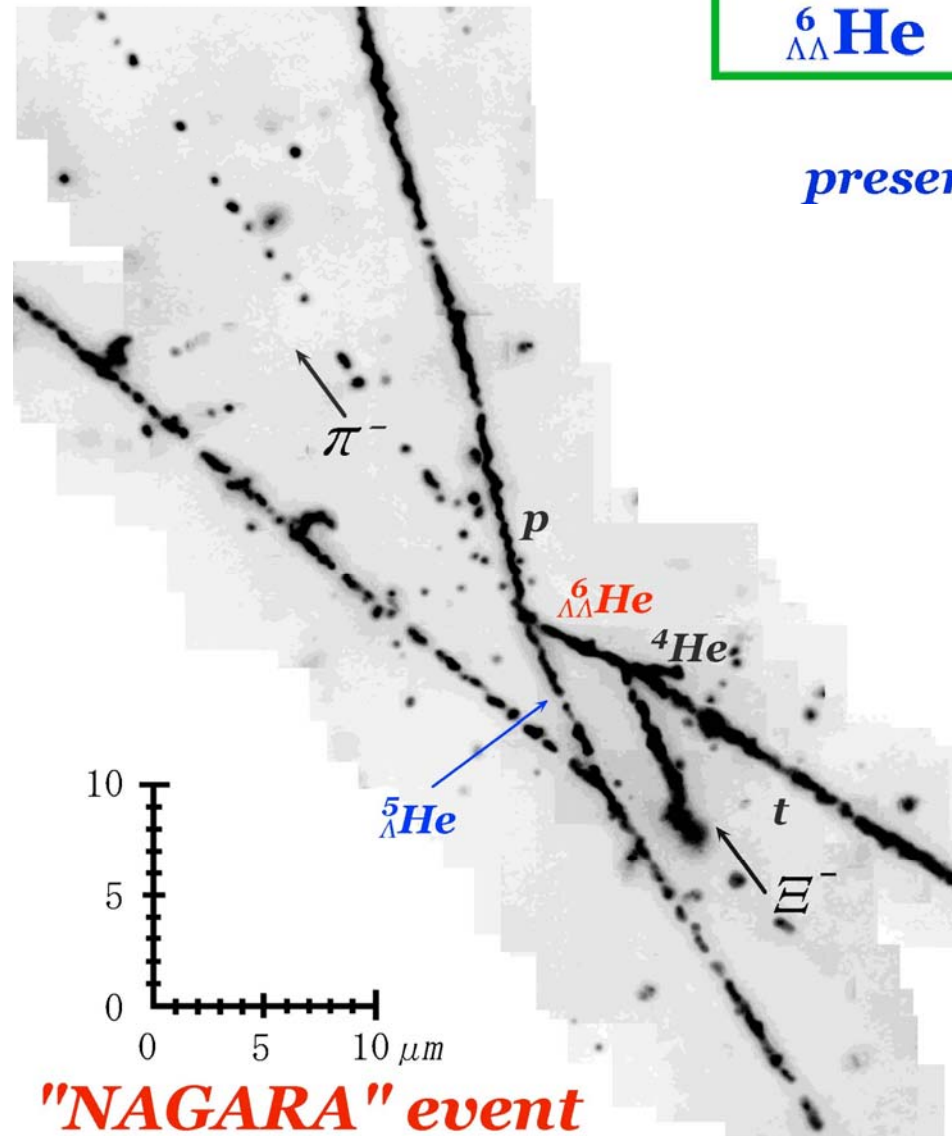
PRL 93 (2004) 232501
EPJ A33 (2007) 247

Oct. 20. 2001

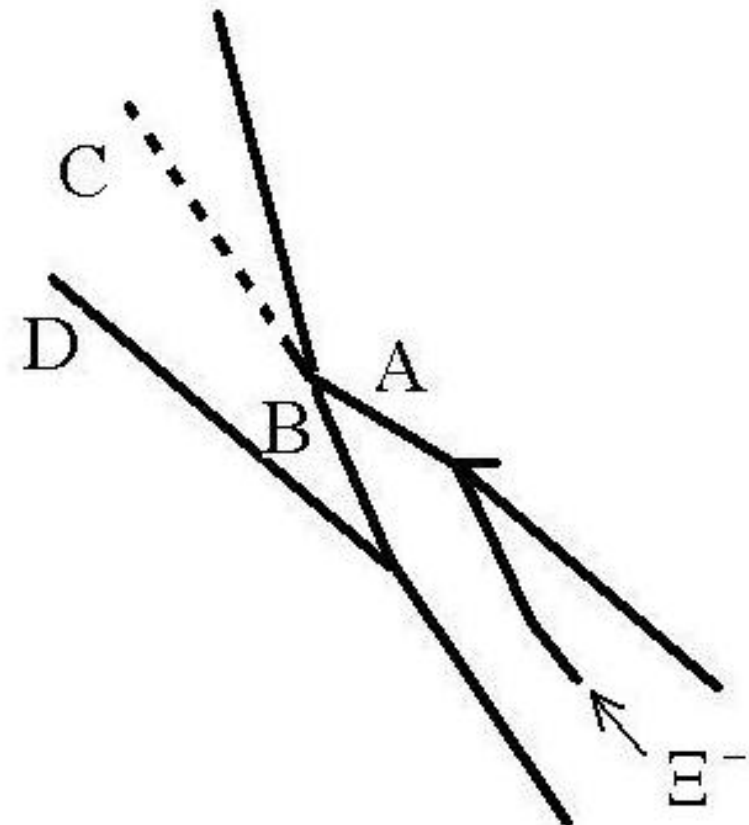
${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$ double-hypernucleus *Unique interpretation!!*



presented by E373(KEK-PS) on Jan.2001



"NAGARA" event

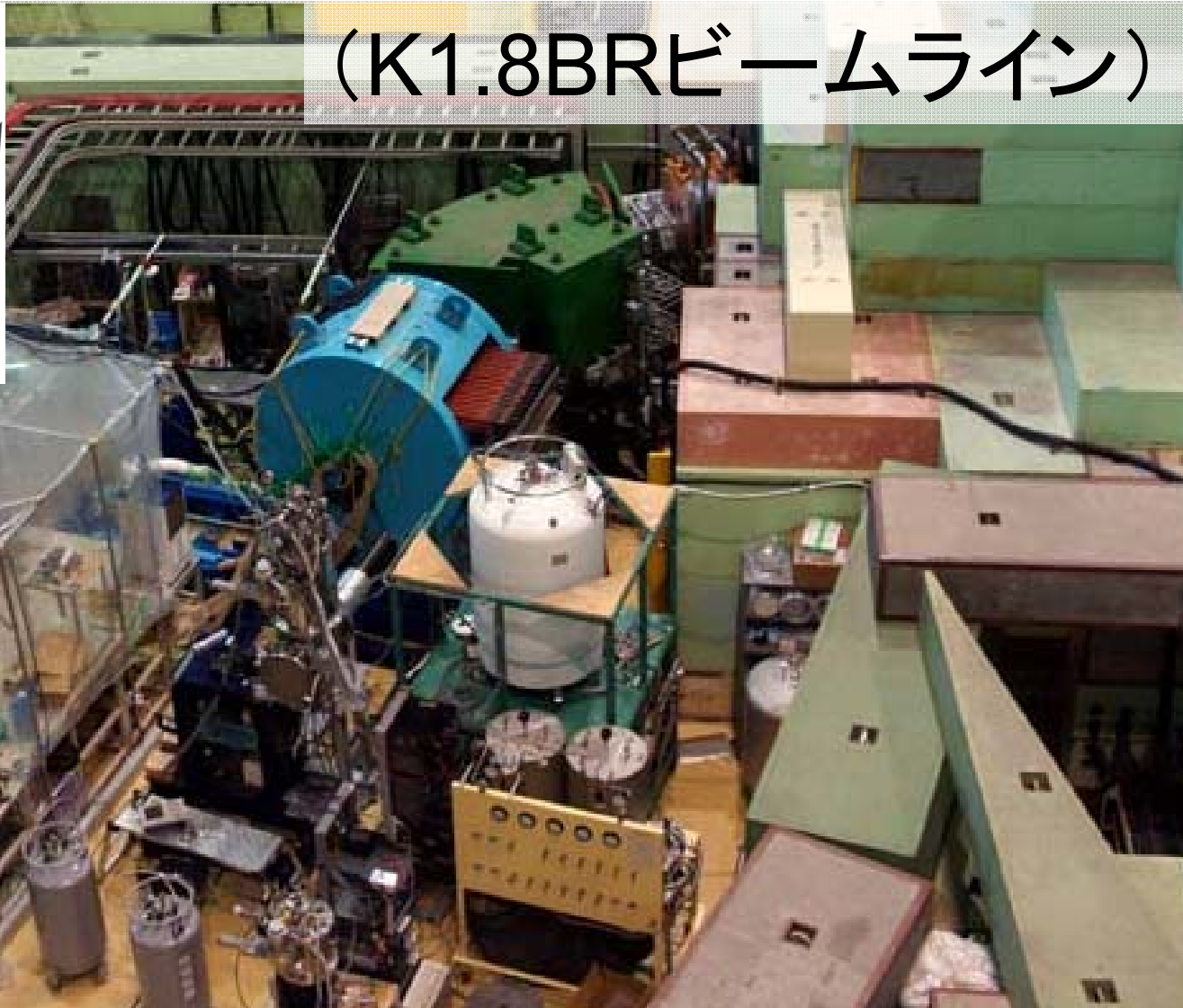
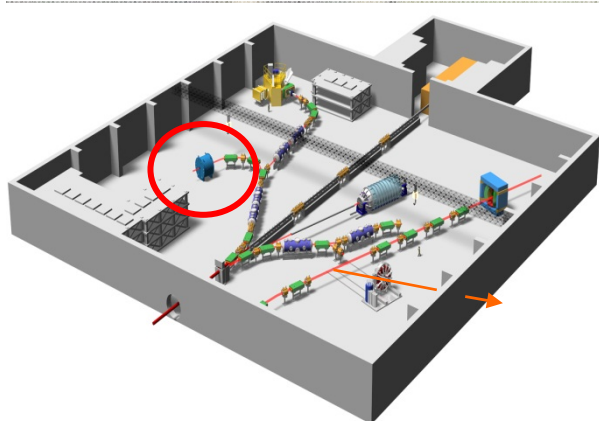


強い相互作用(一般化された核力)の研究

- 原子核構造の統一模型
 - 一体ポテンシャル中のシェル構造と集団運動
 - 1950年代に確立
 - 1963年ノーベル物理学賞、メイヤー、イェンゼン、ウィグナー)
 - マリア・ゲッパート・メイヤー (Maria Goeppert-Mayer、ドイツ→アメリカ)
 - ヨハネス・ハンス・イェンゼン (J. Hans D. Jensen、ドイツ)
 - 原子核の殻構造に関する研究(殻模型の提唱)
 - ユージン・ウィグナー (Eugene Paul Wigner、ハンガリー)
 - 原子核および素粒子に関する理論への貢献、特に対称性の基本原理の発見とその応用
 - 陽子、中性子からなるシンプルな多体系
- 統一模型の彼方での、原子核の隠された性質の解明
 - 中性子星は何故存在出来るのか？
 - 特殊な条件下での核力と核構造の研究

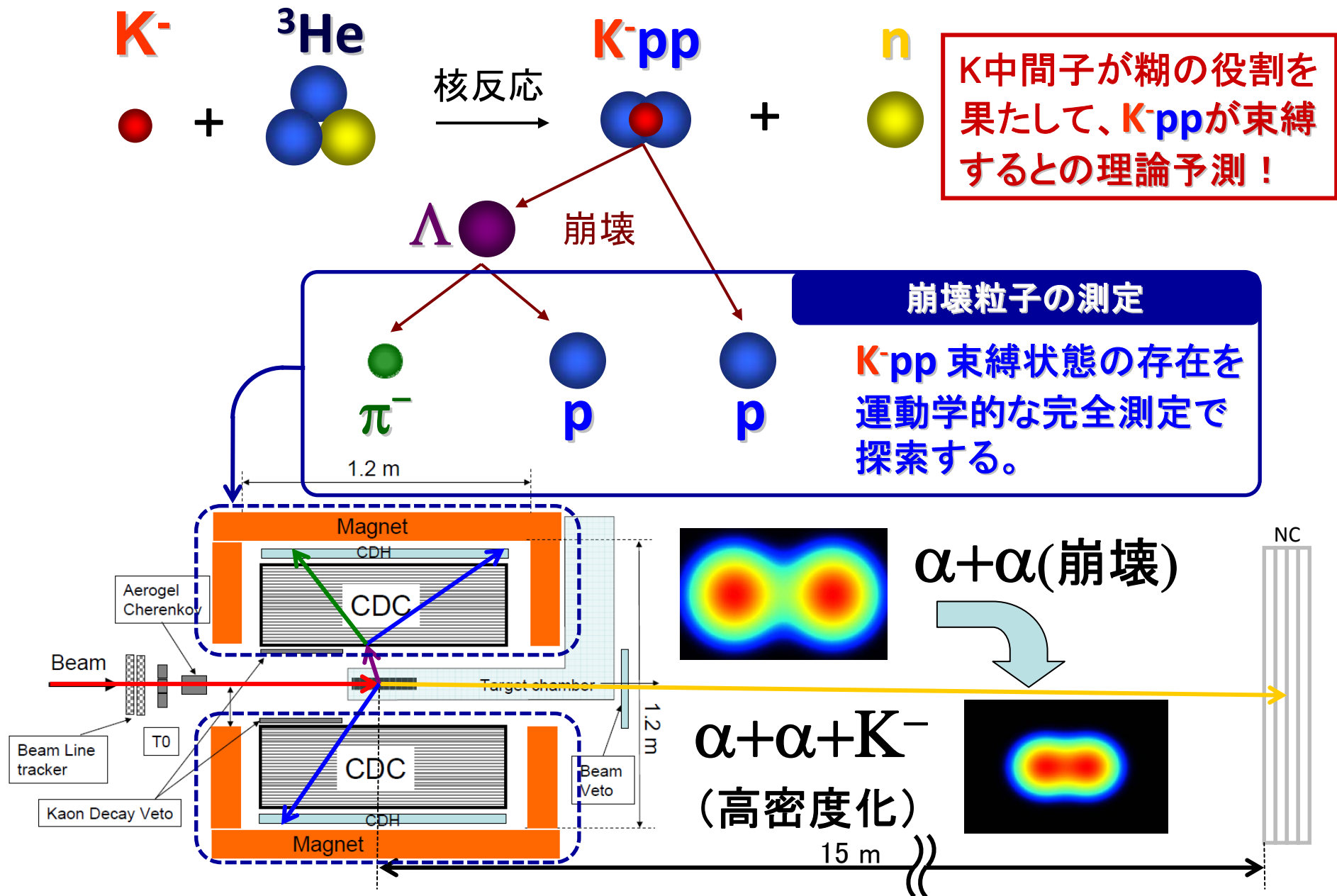
高密度核物質の候補 K -pp束縛状態の探索

(K1.8BRビームライン)



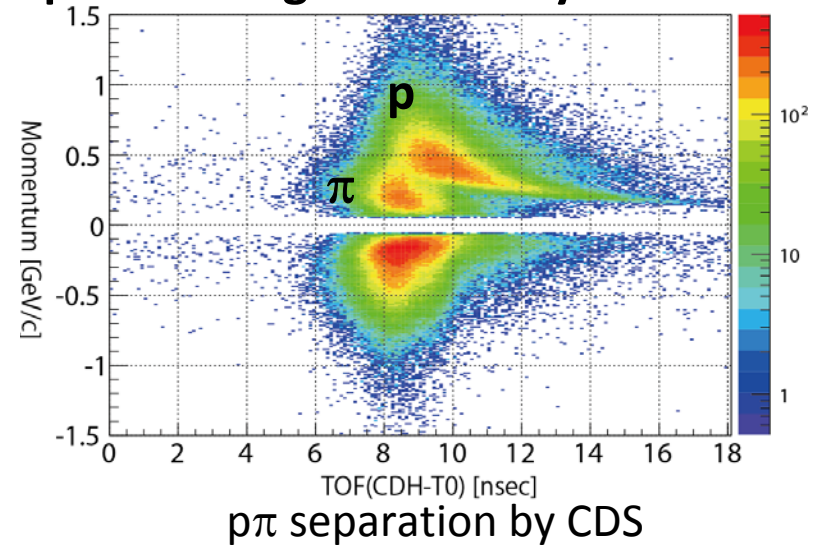
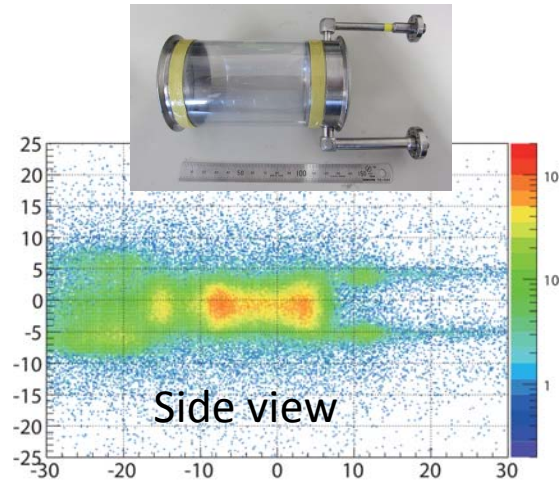
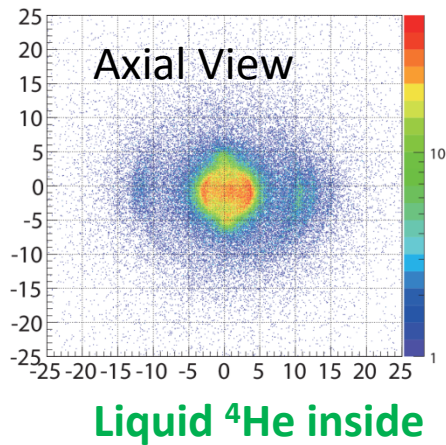
ドラエモン磁石とヘリウム3標的による実験

高密度核物質の候補 K^-pp 束縛状態の探索



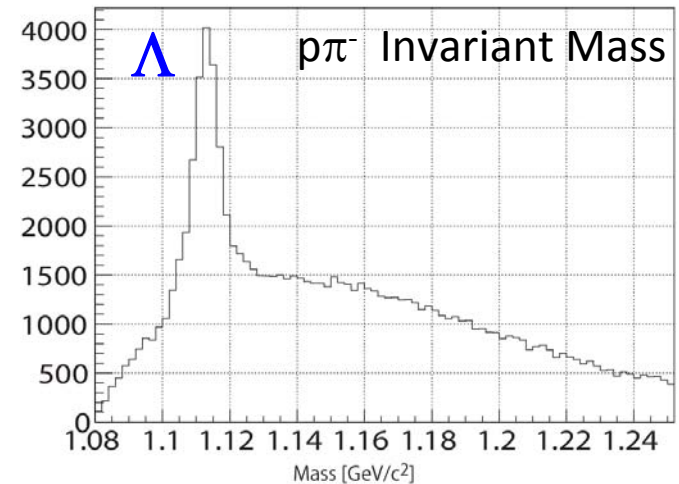
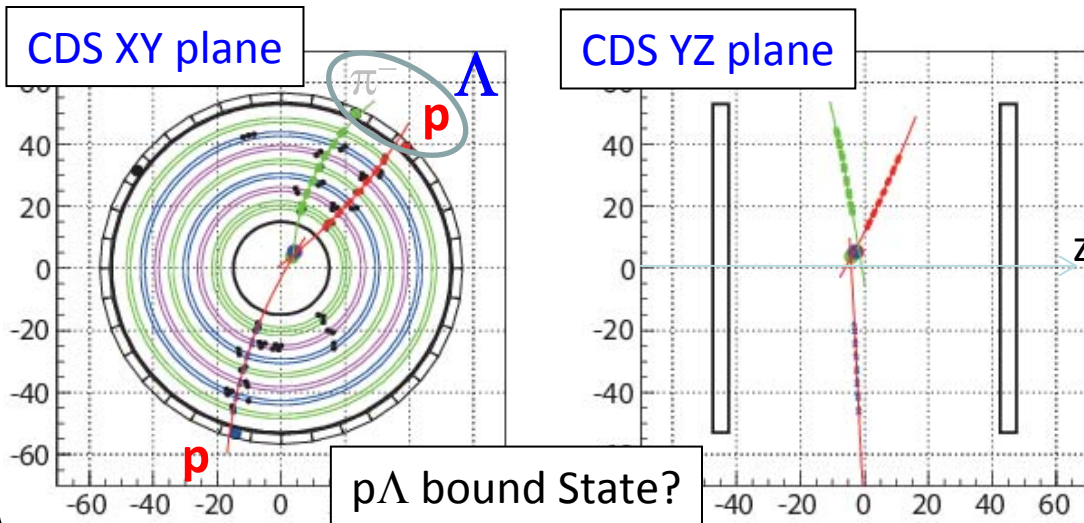
Results in February test run!

- Cylindrical Drift Chamber (CDS) and Liquid He Target are ready!



Helium target and peripheral apparatus are clearly seen!

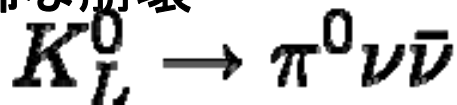
- **K-pp** experiment is ready ! (start in coming June/August run)



約1万個の Λ 粒子データを再構成

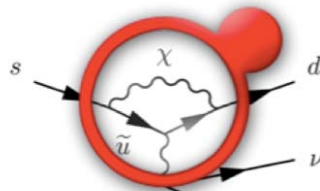


稀な崩壊



分岐比

10⁻⁵
10⁻⁶
10⁻⁷
10⁻⁸



KEK
E391a

Grossman-Nir bound

新しい物理

標準模型
Step 1

Step 2

KOTO

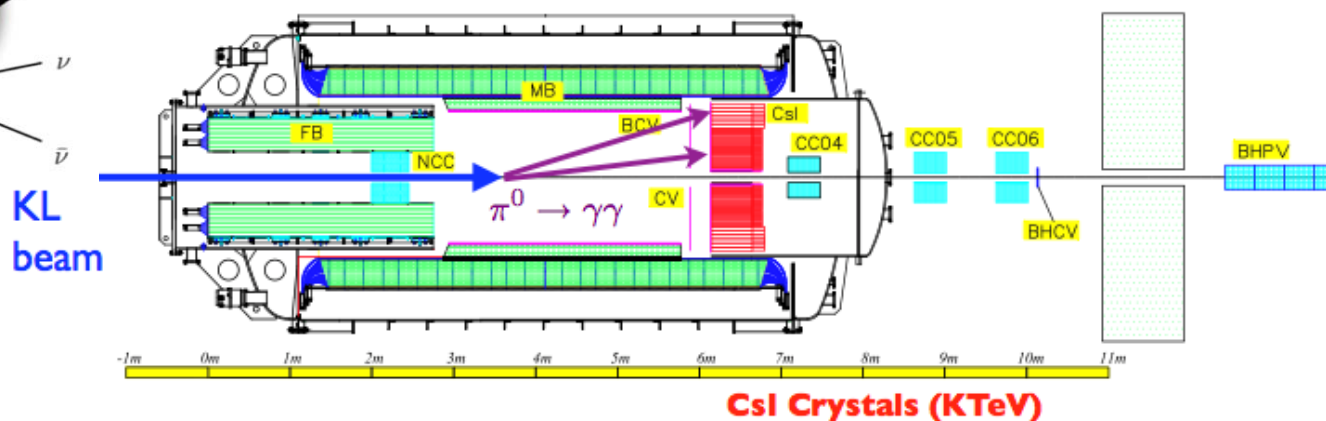
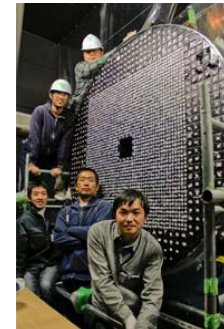
-Step2

分岐比測定
(>100 events)

MmainBarrel

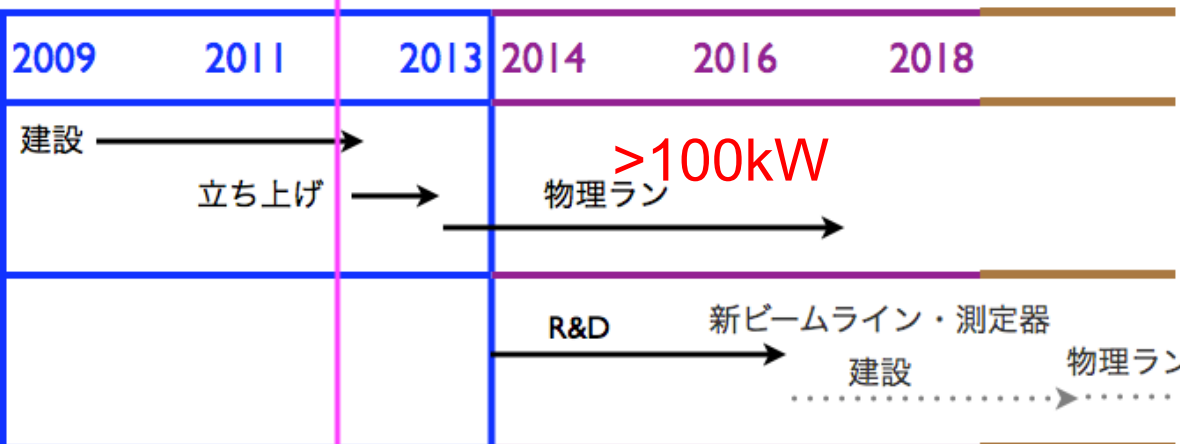
Charged Veto

CsI

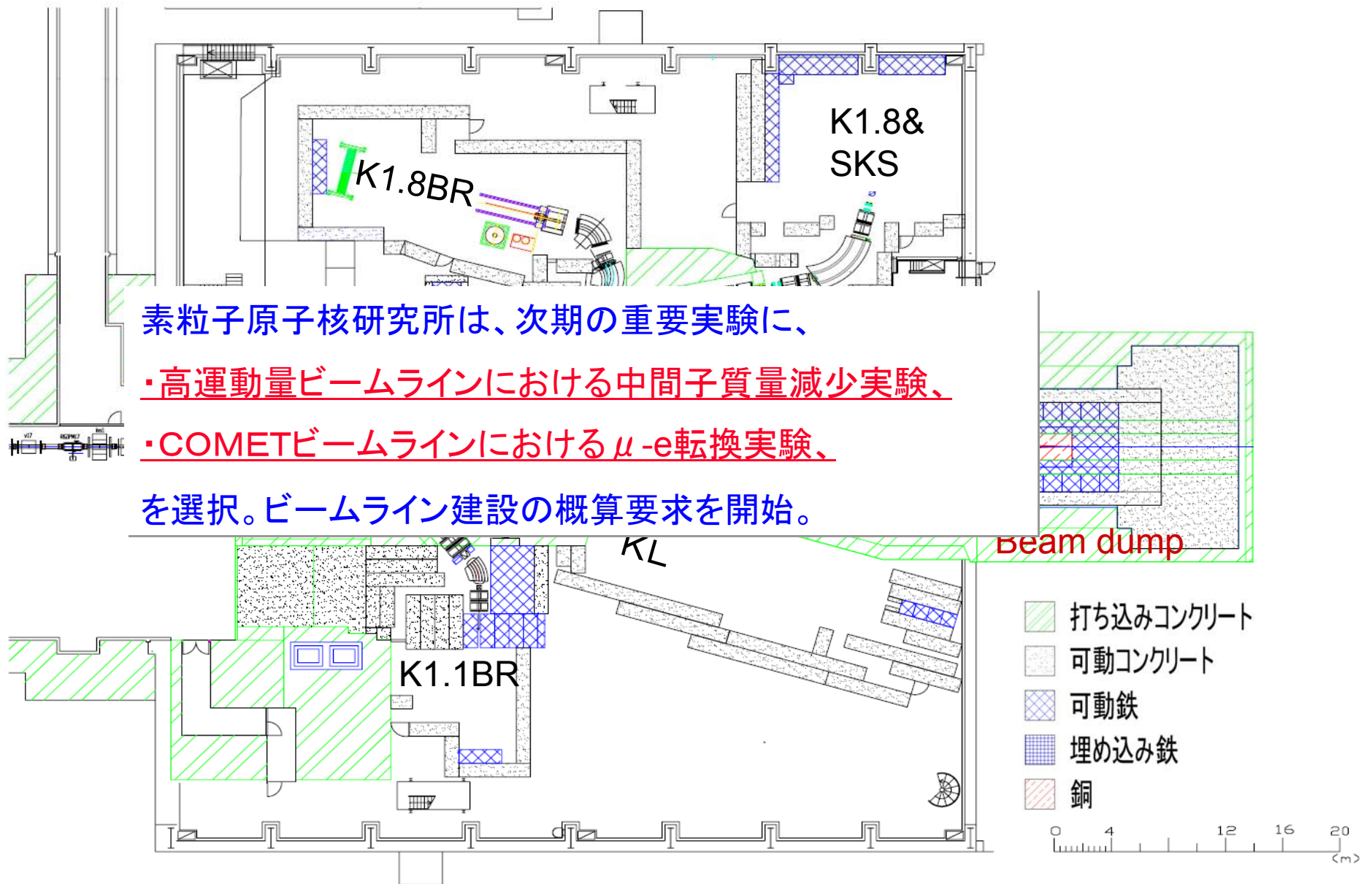


CsI Crystals (KTeV)

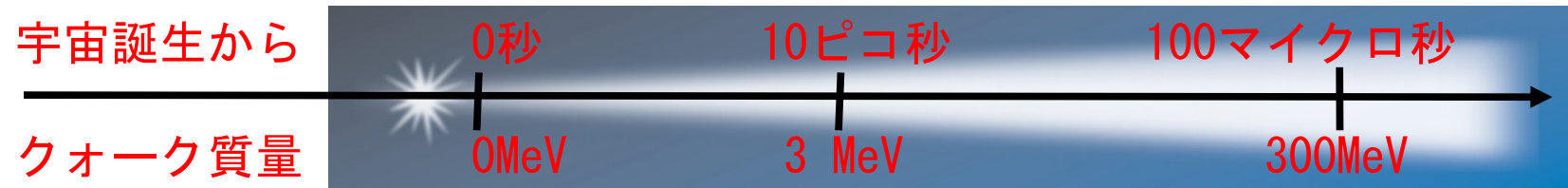
年度



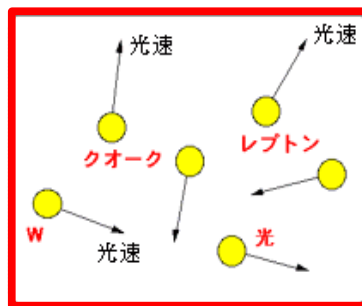
Hadron Hall 2012



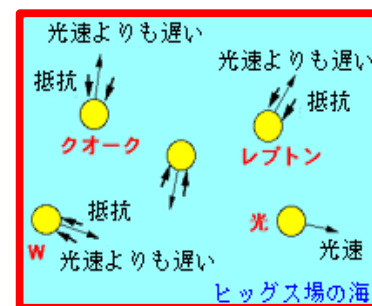
物質の質量はどのように生じたか？



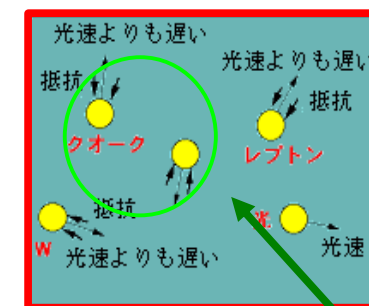
真空の 模式図



真空中の「抵抗」 なし



ヒッグス凝縮



クォーク凝縮

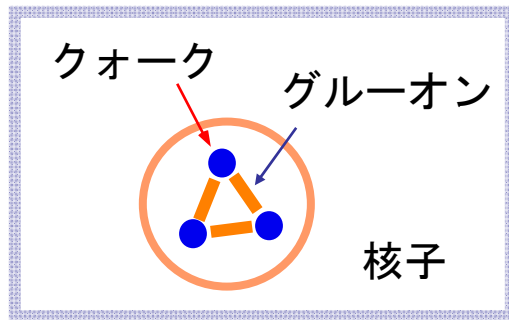
強い相互作用による「クォーク閉じ込め」
＝ ハドロンの生成

現在の真空と、物質の質量の99%をつくりだしているのは量子色力学(強い相互作用)である。

「素粒子」の質量は「真空」(環境)の状態により変化する

クォークからつくられるハドロン(陽子・中性子や中間子)の質量も同様

ハドロンの質量の起源



クォーク同士が結合する時には「**飴**」のような**グルーオン**が介在し、このグルーオンが質量発生の原因となる。

クォークを結びつける飴が、カイラル対称性と呼ばれる対称性を破り、そのために質量が生じることを提唱



南部陽一郎氏
(シカゴ大教授)

- 最近は大規模計算機を駆使して質量を計算

(朝日新聞、H19.4.25. 朝刊)

「物質に重さがある理由」検証

高エネルギー加速器研究機構（茨城県つくば市）と京都大のチームは24日、「物質にはなぜ質量（重さ）があるのか」という問題に迫る理論の検証に成功した、と発表した。高エネ研のスーパーコンピュータを使った成果だ。質量はふつう天びんで測るが「動きにくさ」でも決めることができる。動きにくいものほど質量が大きく（重）、

高エネ研・京大チーム 成功

素粒子にブレーキ仕組み示す

動きやすいものほど質量は小さい（軽い）というわけだ。物質を構成する素粒子であるクォークは、現在は質量を持つているが、宇宙が誕生した137億年前のビッグバン直後は質量を持たず、光の速度で自由に飛び回っていたとされている。ところが、動きにブレーキをかける水あめのようだった。高エネ研の橋本省一

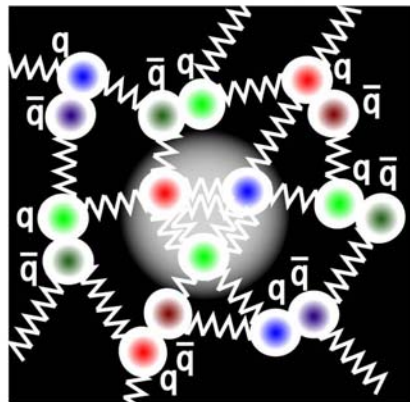
・准教授らは、スーパーコンピュータで約半年間かけ、クォークの振る舞いを計算。その結果、南部氏提案の水あめのような仕組みの存在を示し、質量の獲得を裏付けた。質量の起源は完全には解明されておらず、現代物理学の大きなテーマの一つだ。水あめのもとに相当する「ビッグス粒子」と呼ばれる存在も理論的に予想されるが、発見されていないと見れば、ノーベ

物質(ハドロン)の質量の謎

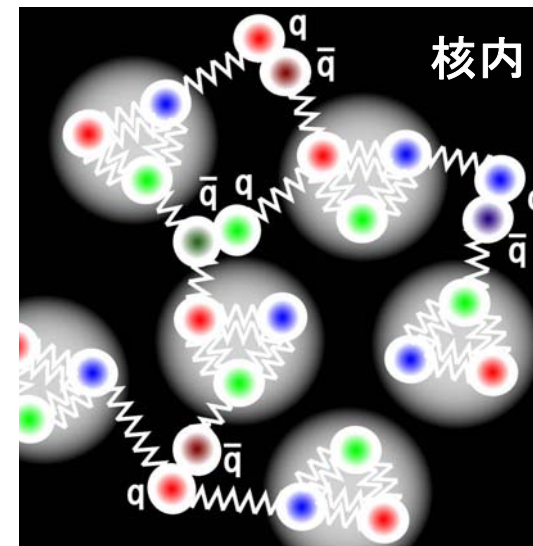
なぜ u, d クォーク質量(数MeV)が 300 MeVに見えるのか？

QCD: qq 対が空間に凝縮して真空のエネルギーを下げ、
クォークが大きな質量を獲得 “カイラル対称性の破れ”

物質世界の質量の大部分の起源



真空中



$\langle q\bar{q} \rangle$ が減少、抵抗が減る

→ 原子核内では、クォークの質量が
少し戻る(軽くなる)はず

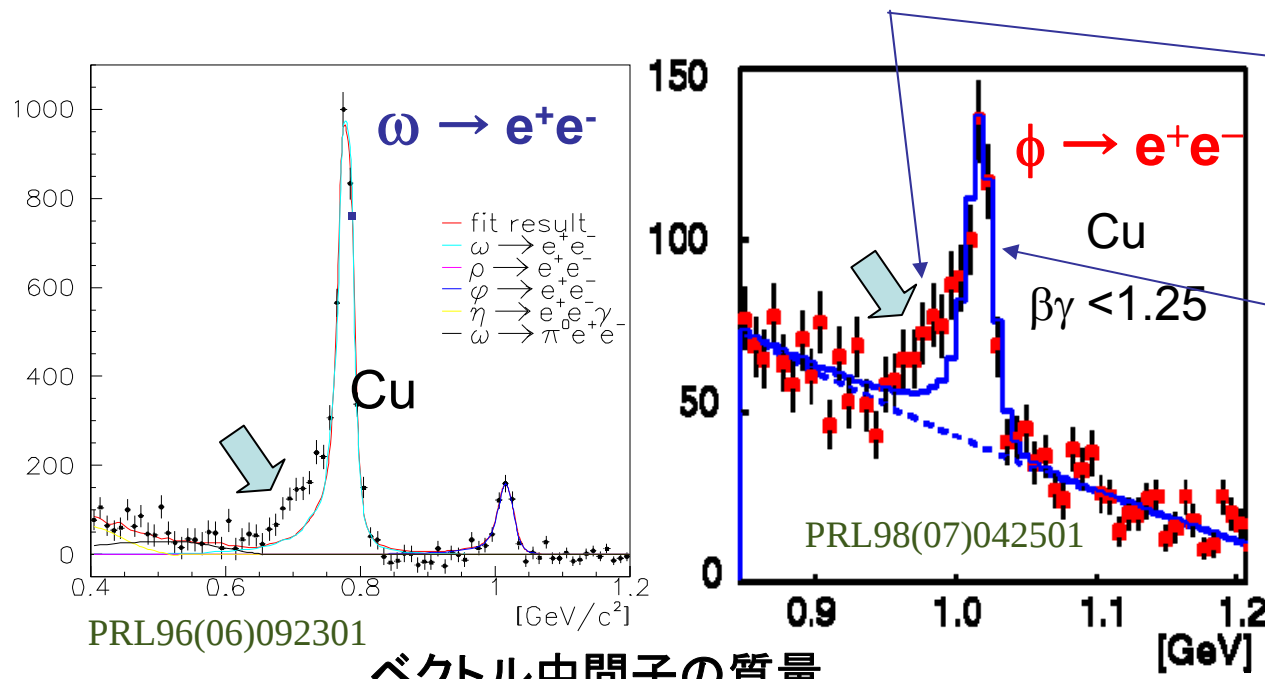
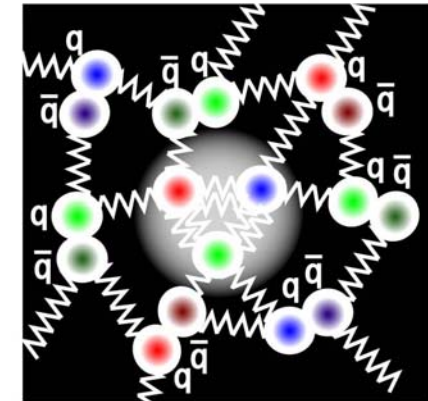
物質(ハドロン)の質量の謎

u, d クォークは低温低密度では質量が ~100倍大きくなる

“カイラル対称性の自発的破れ”(南部)

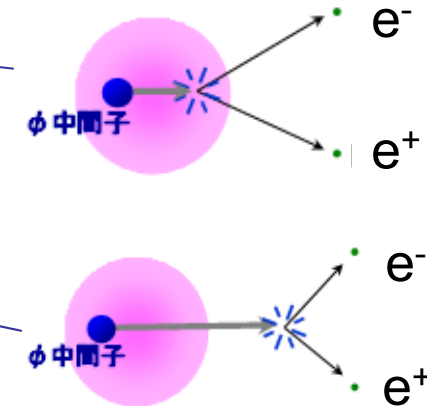
...物質世界の質量の大部分の起源

QCD: $q\bar{q}$ 対が空間に凝縮して真空のエネルギーを下げ、クォークが有効質量獲得
その証拠は? → 核内では, クォーク質量が少し戻る(軽くなる)はず



ベクトル中間子の質量

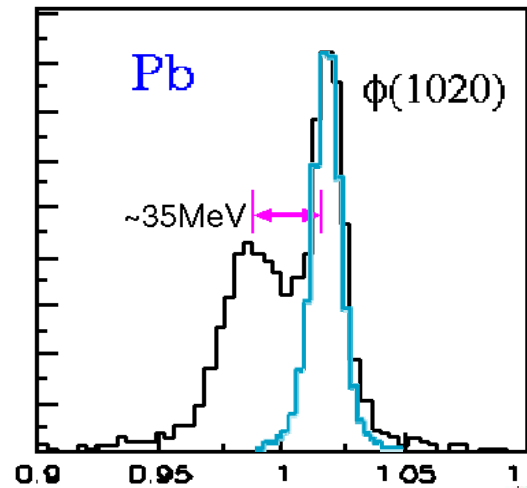
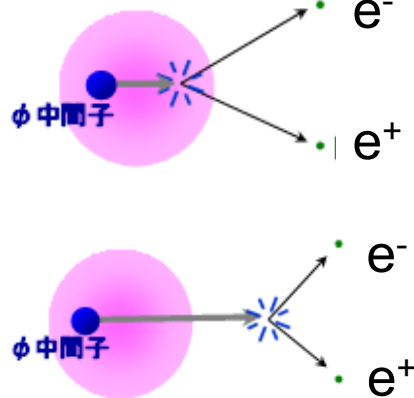
KEK-PSの実験で見えた!



=> J-PARCで詳細に研究
E16 (理研グループ)
高運動量ラインが必要
実験室スペースも不足

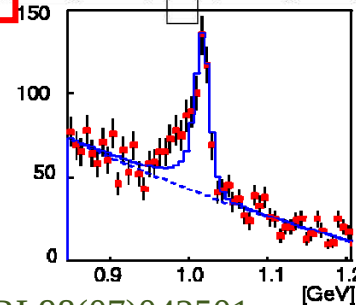
高運動量ビームライン建設計画

質量獲得機構の解明
クォーク閉じ込め機構の解明

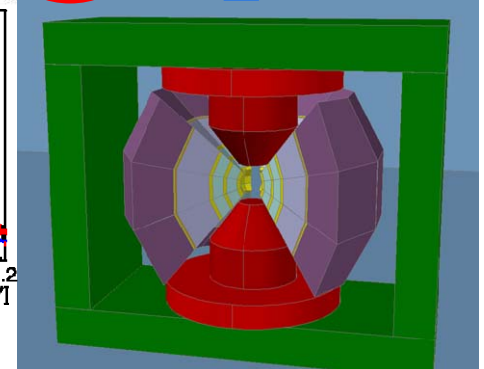


一次ビーム分離装置(全ビームの1%以下)と
15kW標的装置 (~ 15 GeV/cの π 中間子ビーム)

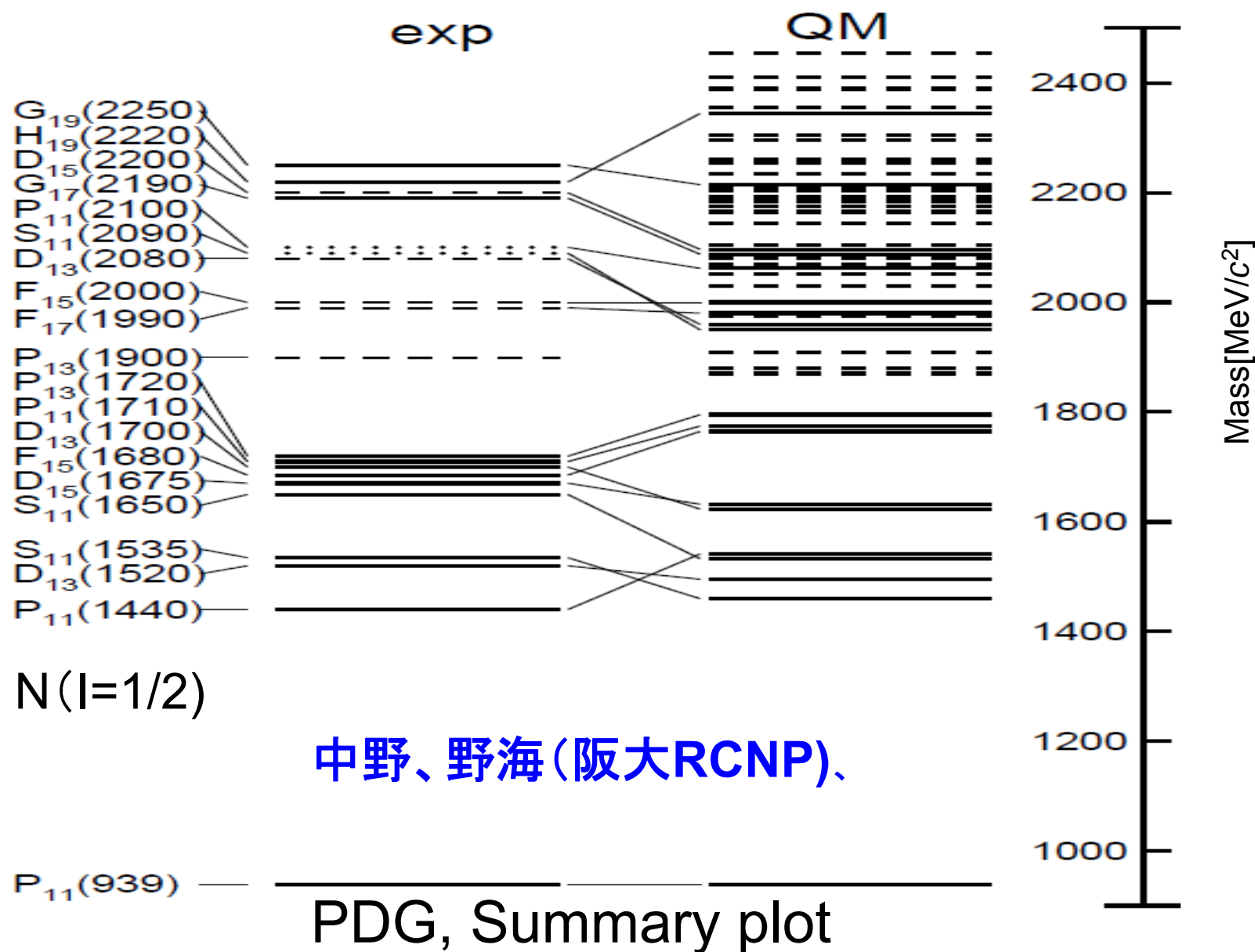
GSJ次期計画 (CBM/FAIR SIS100) などと競争



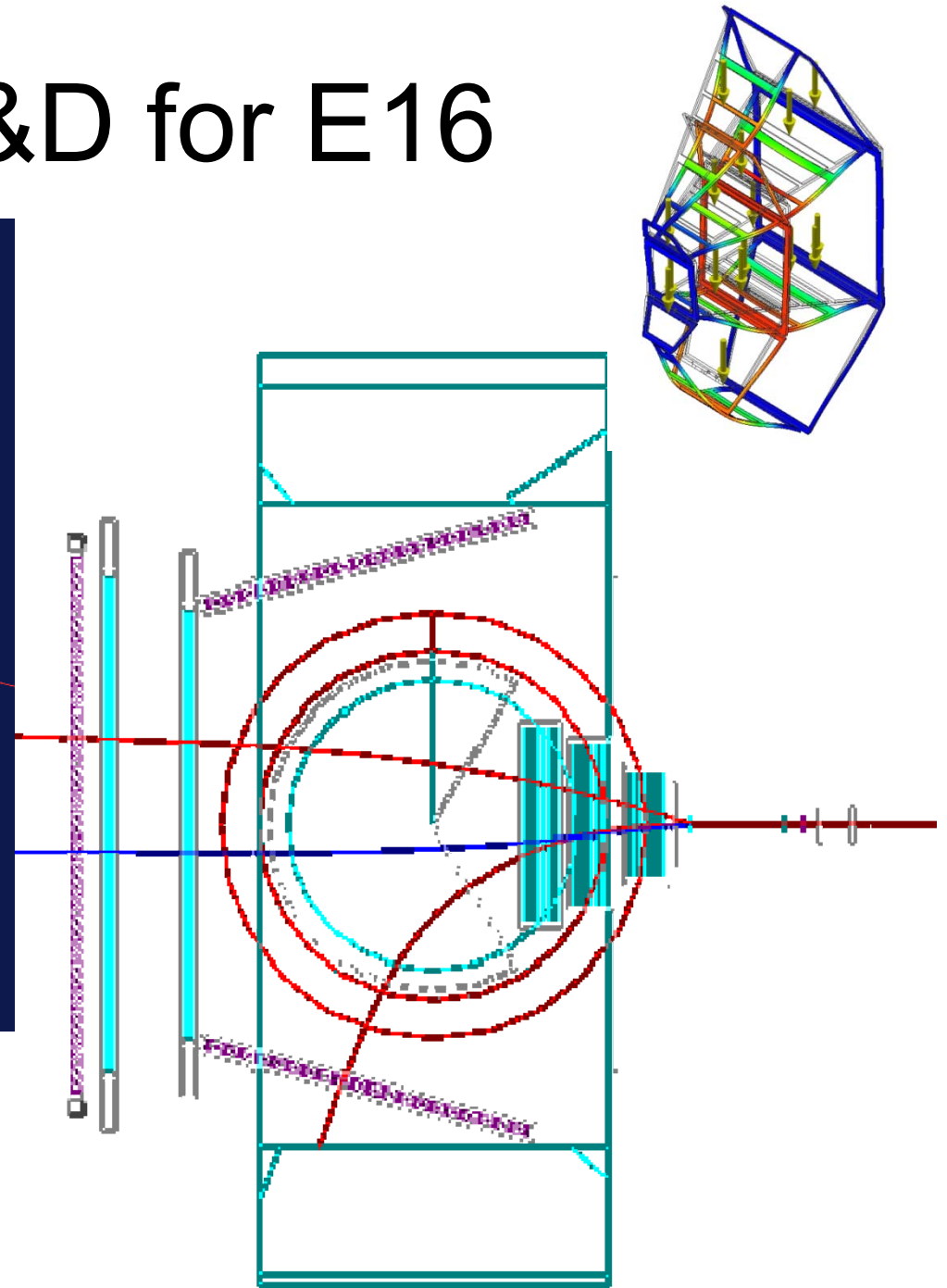
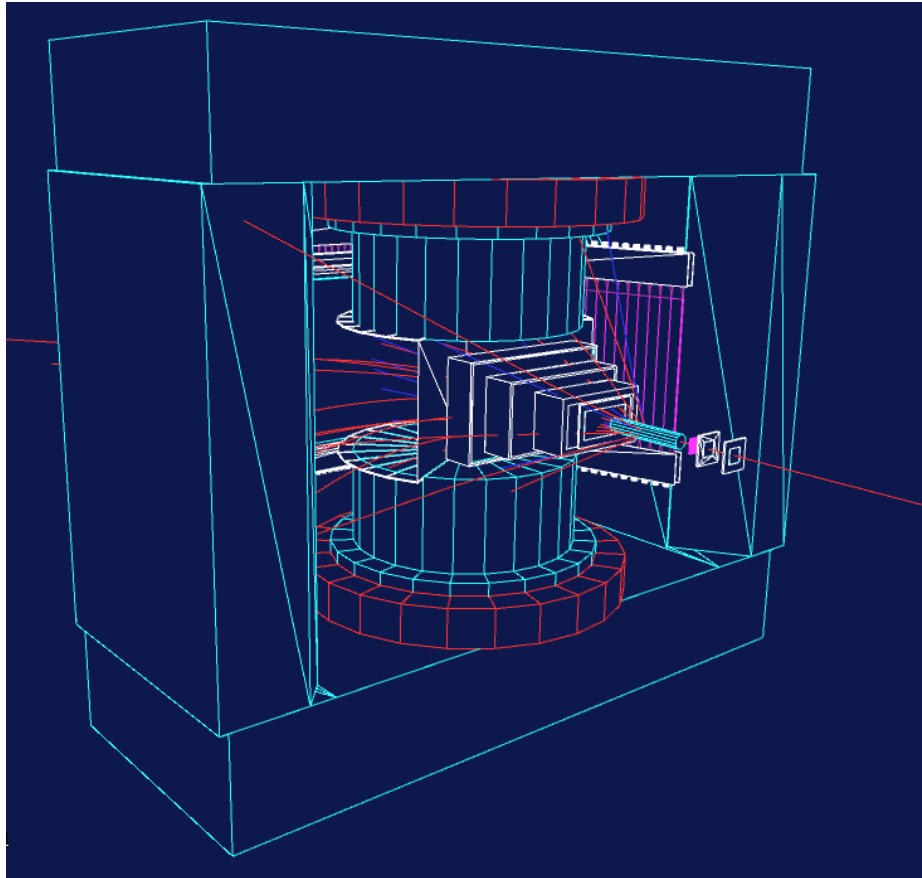
PRL98(07)042501



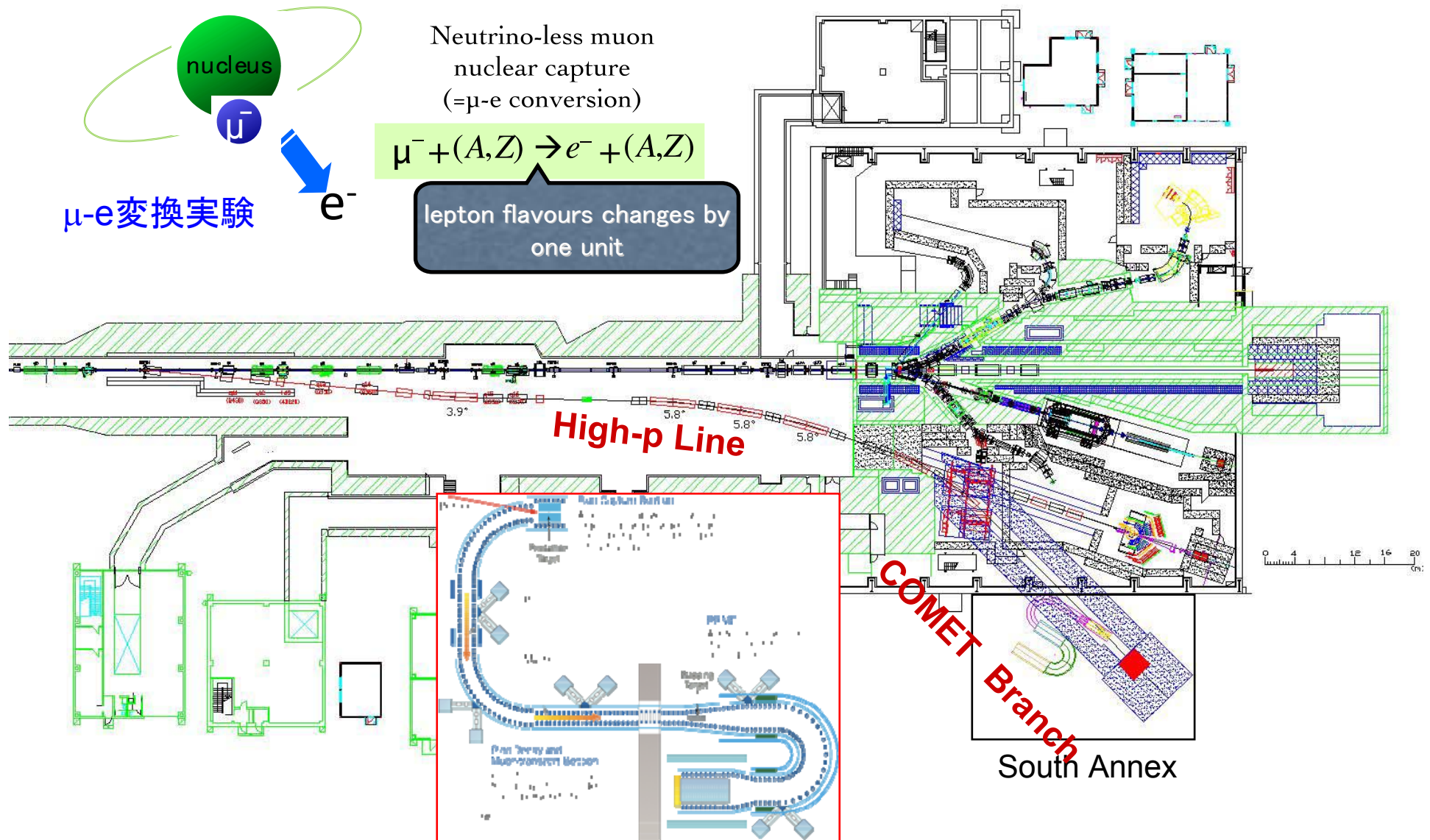
Bryon Spectroscopy usinh High-p pion beam



Detector R&D for E16

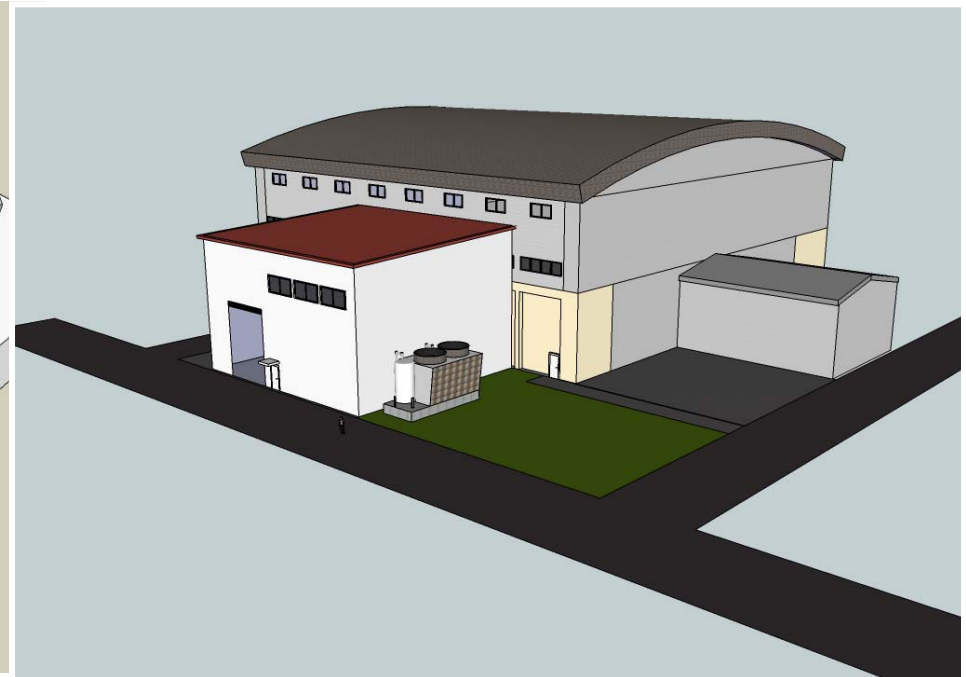
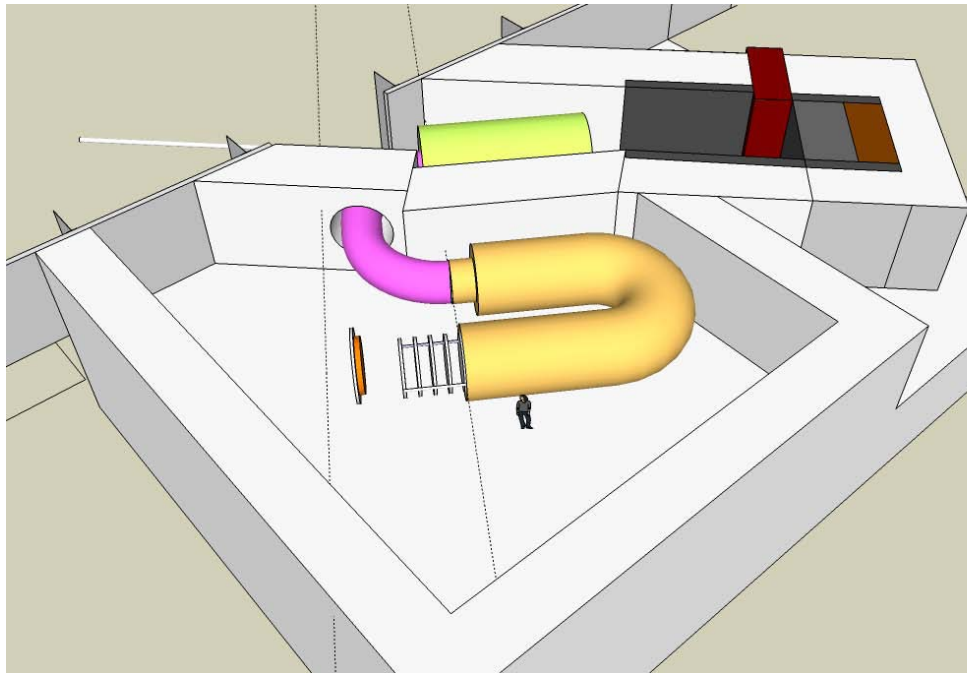


COMET Beam Line for cLFV Exp.



ハドロンホール建屋の一部拡張

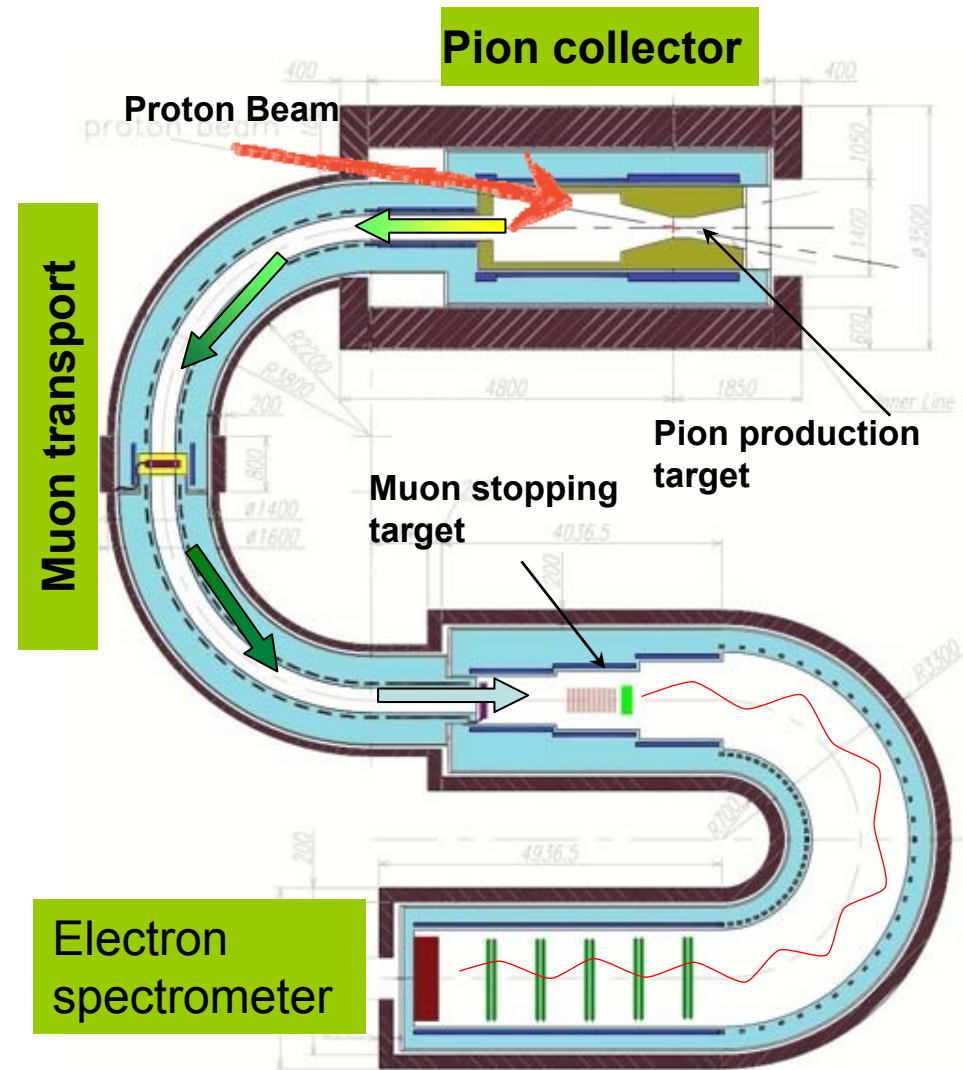
- COMETビームの標的部とビームダンプ部はホール南側に新たに「アネックス」を建設する。
- COMET実験のためのスペースを確保し、かつ大強度ビームハンドリング(50kW)のために必要。



COMET experiment for cLFV

- ◆ Search for LFV process, μ -e conversion with a sensitivity of 10^{-16}
- ◆ Utilize J-PARC Hi- Intensity proton beam
- ◆ 8GeV, 7 μ A
- ◆ Innovative apparatus
- ◆ Pion collection
- ◆ Muon Transport
- ◆ Electron Spectrometer

Staging Approach
phase-I : $\sim 10^{-14}$
phase-II : $\sim 10^{-16}$



2016年～

新1次陽子ビームラインの完成



陽子ビーム強度 $\geq 100\text{kW}$ へ
KEK-PS以上の陽子ビーム
品質へ

Slide by Hadron group

High-p、COMETビーム完成後、速やかに着手したい

ハドロンホールの拡張

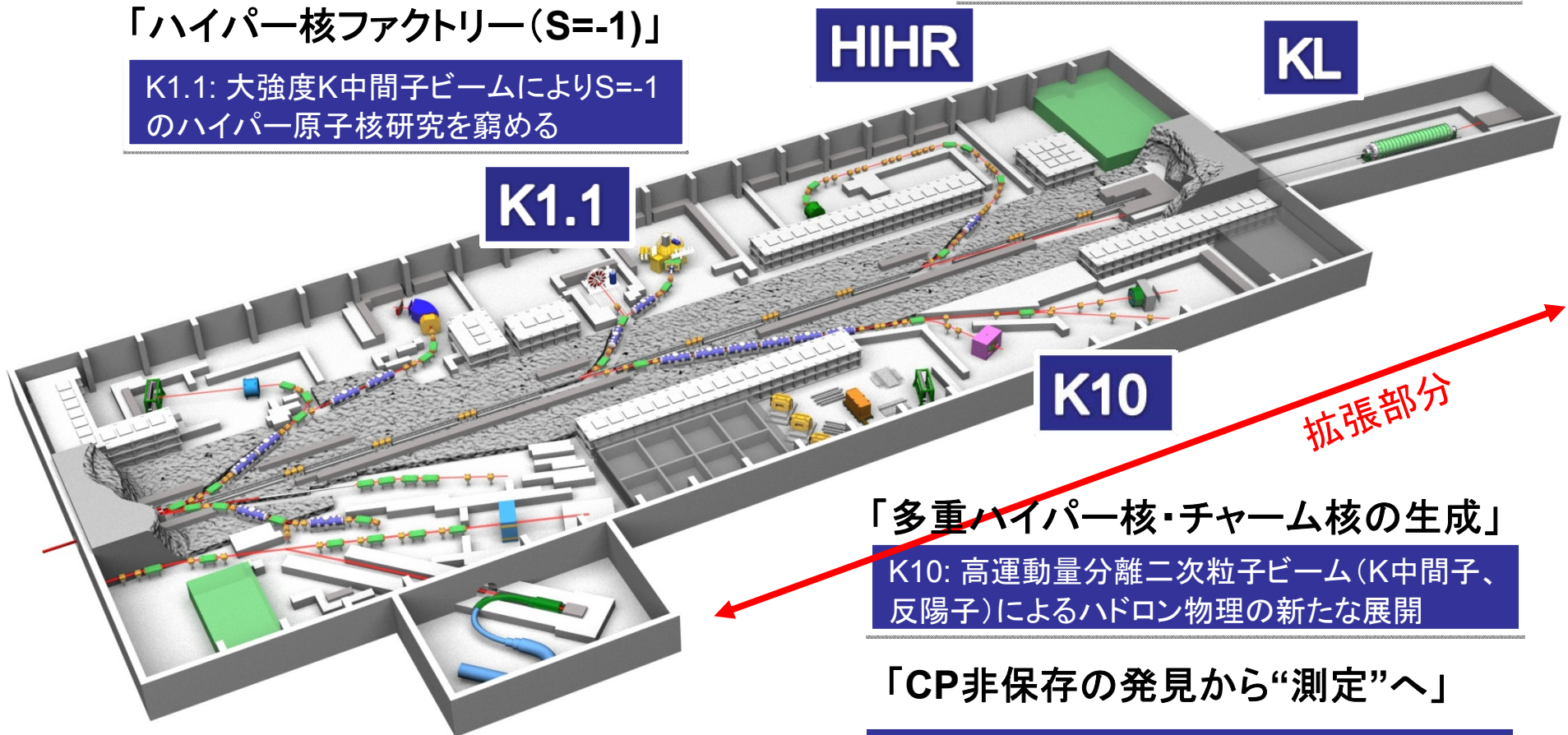
狭矮な1期ハドロンホールを拡張し、ユーザーの希望にこたえる。
内容についてコミュニティをベースに検討中。ハドロンホールユーザー会(HUA)の承認の下、設計グループを結成。核物理委員会では、本拡張計画を「新1次陽子ビームライン建設」の次に実現すべき、100億円超規模では最優先の課題と決議。

「ハイパー核ファクトリー(S=-1)」

K1.1: 大強度K中間子ビームによりS=-1のハイパー原子核研究を窮める

「ハイパー核顕微鏡」

HIHR: 高分解能大強度二次粒子ビームによりハイパー原子核の精密測定へ



「多重ハイパー核・チャーム核の生成」

K10: 高運動量分離二次粒子ビーム(K中間子、反陽子)によるハドロン物理の新たな展開

「CP非保存の発見から“測定”へ」

KL: 100個のCP非保存事象を捉え、標準理論を超えて物質優勢宇宙の謎に迫る

ハドロンホール拡張による物理

ハイパー核ファクトリー(S=-1, -2)

- K1.1ライン 0.5~1.1 GeV/c K^- , SKS 設置

S=-1のハドロン多体系

Λ 核の γ 線精密分光、弱崩壊、

- K1.8/K1.8BR Σ 原子核系 (現有) 散乱~2 GeV/c K^-

S=-2のハドロン多体系

Ξ 核, Ξ 原子, $\Lambda\Lambda$ 核, Hダイバリオン, Ξ -核

→ 散乱中間相互作用、高密度核物質
核内バリオン性質変化

多重ハイパー核・チャーム核の生成

- K10ライン: 3~10 GeV/c K , p^{bar}
S=-2,-3 バリオン(Ξ , Ω)励起状態、
グルーボール等のエキゾチック粒子、
charm粒子の分光・核内相互作用、
複数のKを含む高密度核

→ クォーク閉じ込め、ハドロン構造

ハイパー核顕微鏡

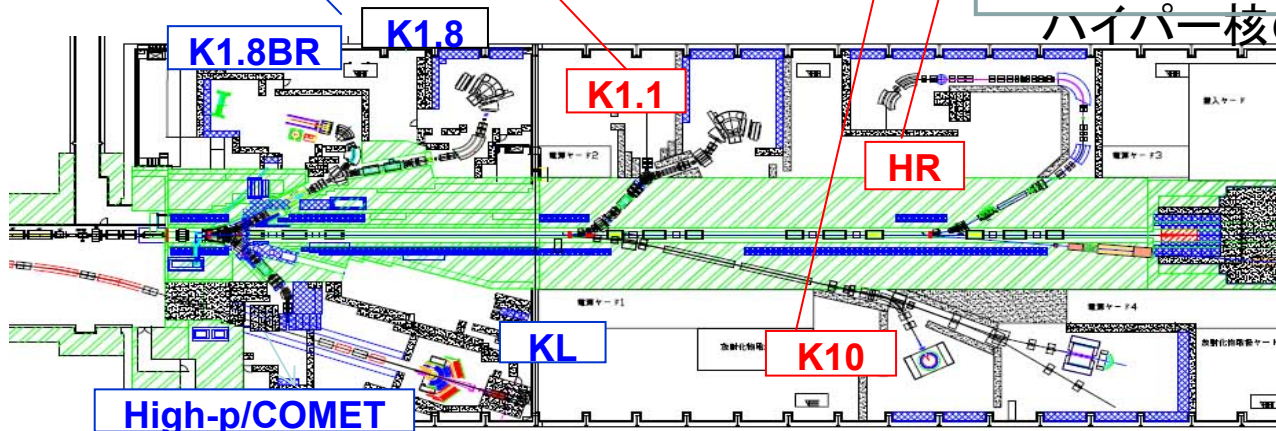
- HR: 運動量分散整合型 1~2 GeV/c π

広範囲の Λ 核・中性子過剰 Λ 核・
 Σ 原子-原子核混合状態等の

高分解能(~200 keV FWHM)分光、

ハイパー核の磁気モーメント

→ 核内でのバリオンと
核力の性質変化



CP非保存の発見から

KL

“測定”へ



STEP-2

稀な崩壊

$$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$$

分岐比

10^{-5}

10^{-6}

10^{-7}

10^{-8}

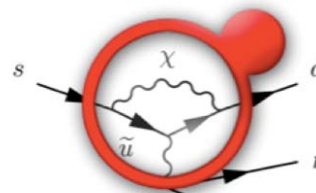
10^{-9}

10^{-10}

10^{-11}

10^{-12}

10^{-13}



KEK
E391a

Grossman-Nir bound

新しい物理

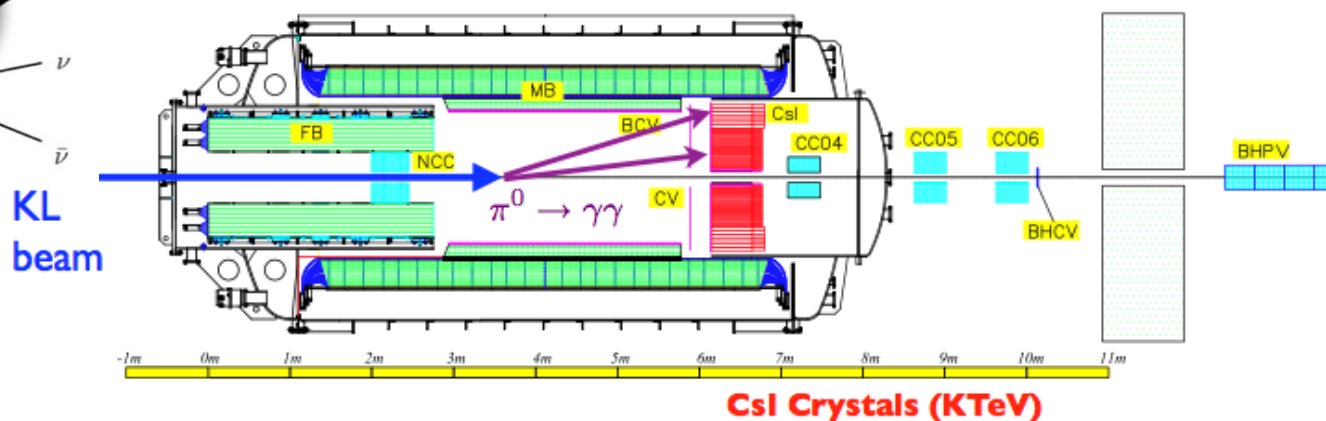
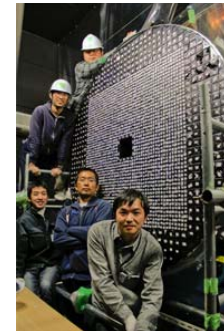
標準模型
Step 1

Step 2

MB

CV

CsI



CsI Crystals (KTeV)

年度

2009

2011

2013

2014

2016

2018

KOTO

建設

立ち上げ

物理ラン

>100kW

-Step2

R&D

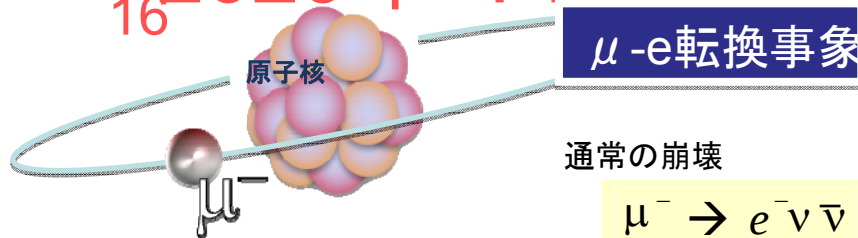
新ビームライン・測定器

建設

物理ラン

分岐比測定
(>100 events)

- 荷電レプトンのフレーバー破れを 10^{-16} の感度で探索
- 発見は新物理法則の存在を意味する！
- J-PARC大強度ビームを利用した高性能パルスミュオンビーム
- 2016年 Phase I, 10^{-14}
- ~2020年 Phase II. 10^{-16}



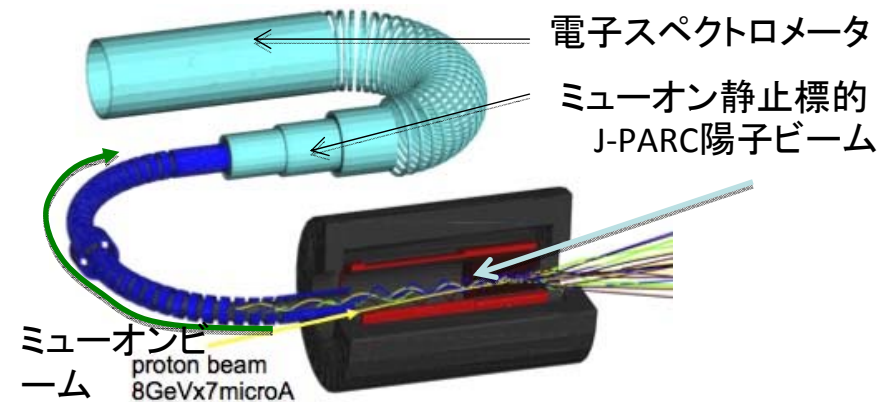
通常崩壊

$$\mu^- \rightarrow e^- \nu \bar{\nu}$$

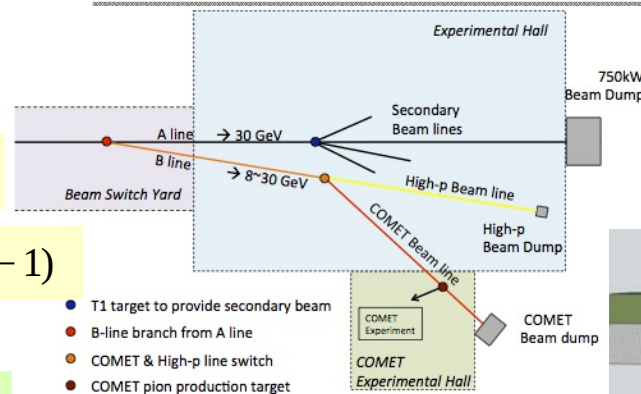
$$\mu^- + (A, Z) \rightarrow \nu_\mu + (A, Z-1)$$

$$\mu^- + (A, Z) \rightarrow e^- + (A, Z)$$

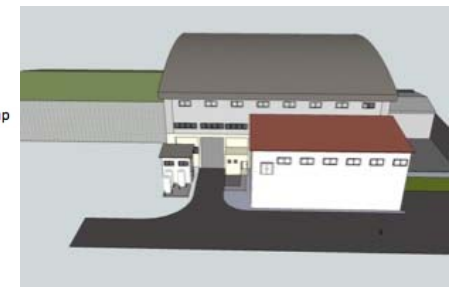
超電導技術を駆使した独創的実験装置



新規ビームライン & 実験室建設 段階的な施設建設で確実に物理成果を得る



COMET実験棟をハドロンホール南側に新設



Muon g-2/EDM Exp @J-PARC MLF H- line

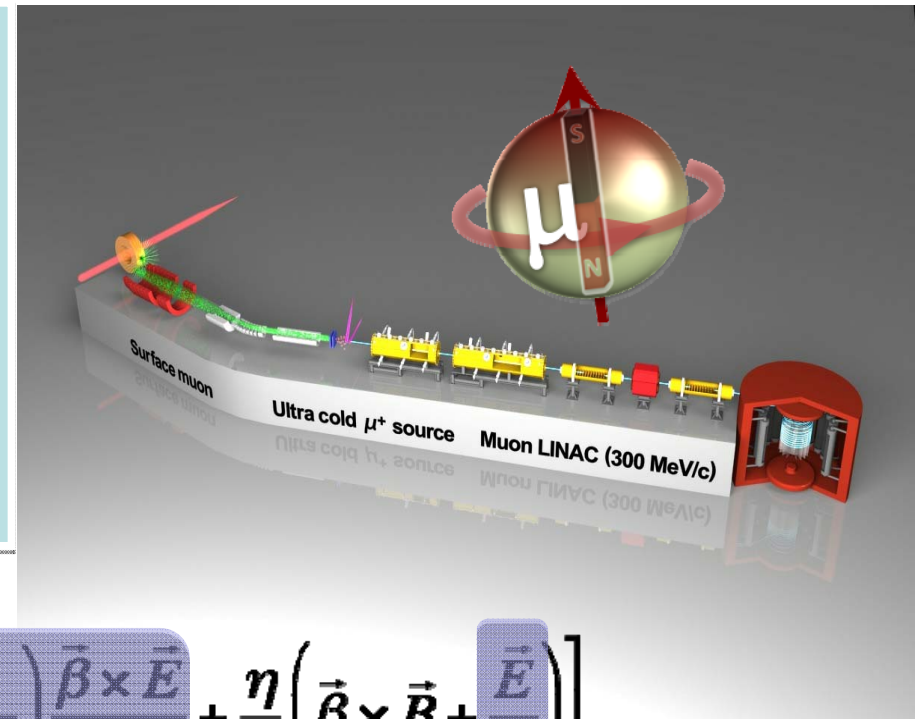
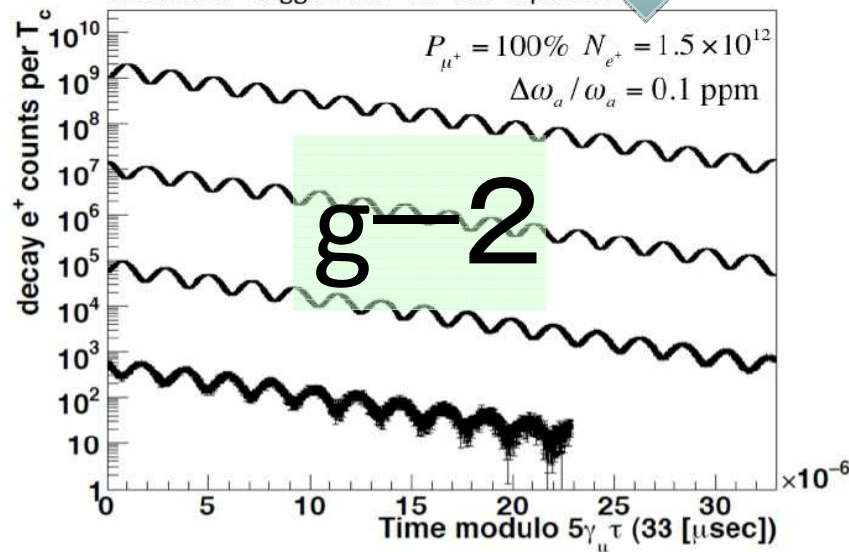
- ✓ 超低温ミューオンビームと超精密磁場
- ✓ 収束電場無しで蓄積可能
- ✓ g-2 とEDM を同時測定

- g-2 : 0.1 ppm (x 5 improvement)
- EDM: 1e-21 e cm (x 100 improve)

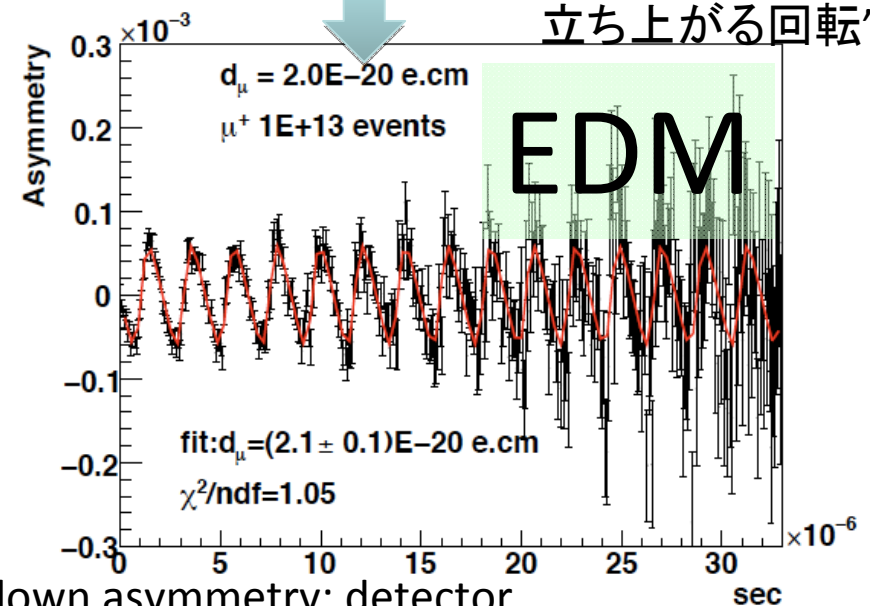
$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m} \left[a_{\mu} \vec{B} - \left(a_{\mu} - \frac{1}{\gamma^2 - 1} \right) \frac{\vec{\beta} \times \vec{E}}{c} + \frac{\eta}{2} \left(\vec{\beta} \times \vec{B} + \frac{\vec{E}}{c} \right) \right]$$

“蓄積軌道平面内の回転”

Simulated “Wiggle Plot” for This Experiment



“軌道平面から
立ち上がる回転”



J-PARC-KEK: 大強度フロンティア 年次計画(平成25-34年度)

年次計画	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29 (2017)	H30 (2018)	H31 (2019)	H32 (2020)	H33 (2021)	H34 (2022)
加速器の高度化 (MRの増強)		750kWの達成					ビーム強度のさらなる増強(RM)				
ニュートリノ振動実験							次世代ニュートリノ実験(RM)				
ハドロン実験		高運動量ビームライン					ハドロンホール拡張(RM)				
ミューオン素粒子実験		μ 電子転換実験-I					μ 電子転換実験-II $g_{\mu}-2/\mu$ EDM実験(RM)(※)				
	COMET g-2	(※)米国との競争関係から 平成29年度から開始予定									

ホール拡張にCOMET-II、
G-2/ μ EDMを組み合わせた
新計画を立案

米国 g-2

(~2016)

GSI-FAIR (ハドロン実験施設)

(~2018)

Mu2e実験

(2021)

・現在の概算要求がうまくいくと仮定したうえでの計画