

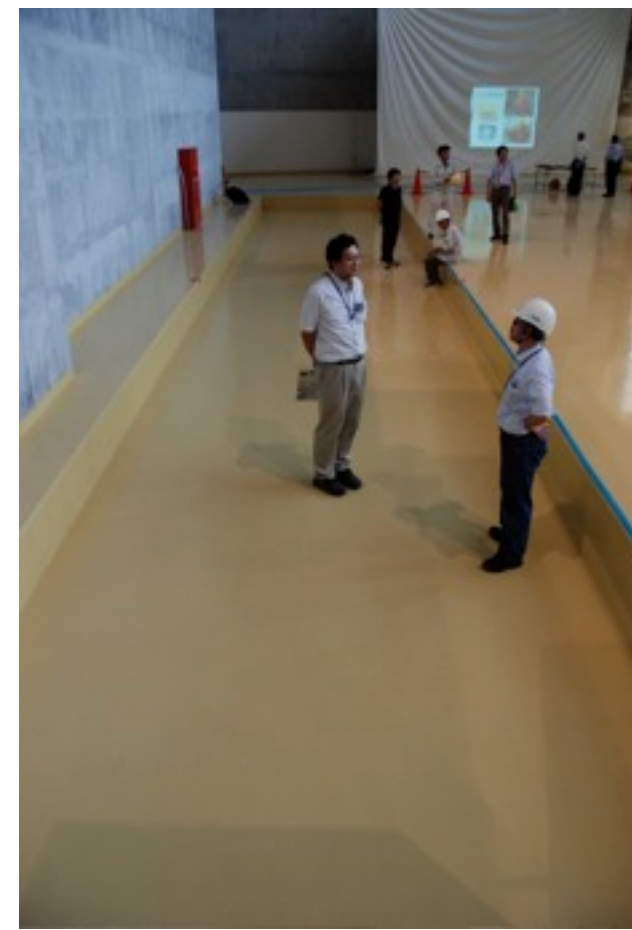
# の将来計画

小松原 健 (KEK素核研)

2011.August.09(Tue) タウンミーティング@J-PARC



2007年7月  
ハドロンホール  
建屋が完成

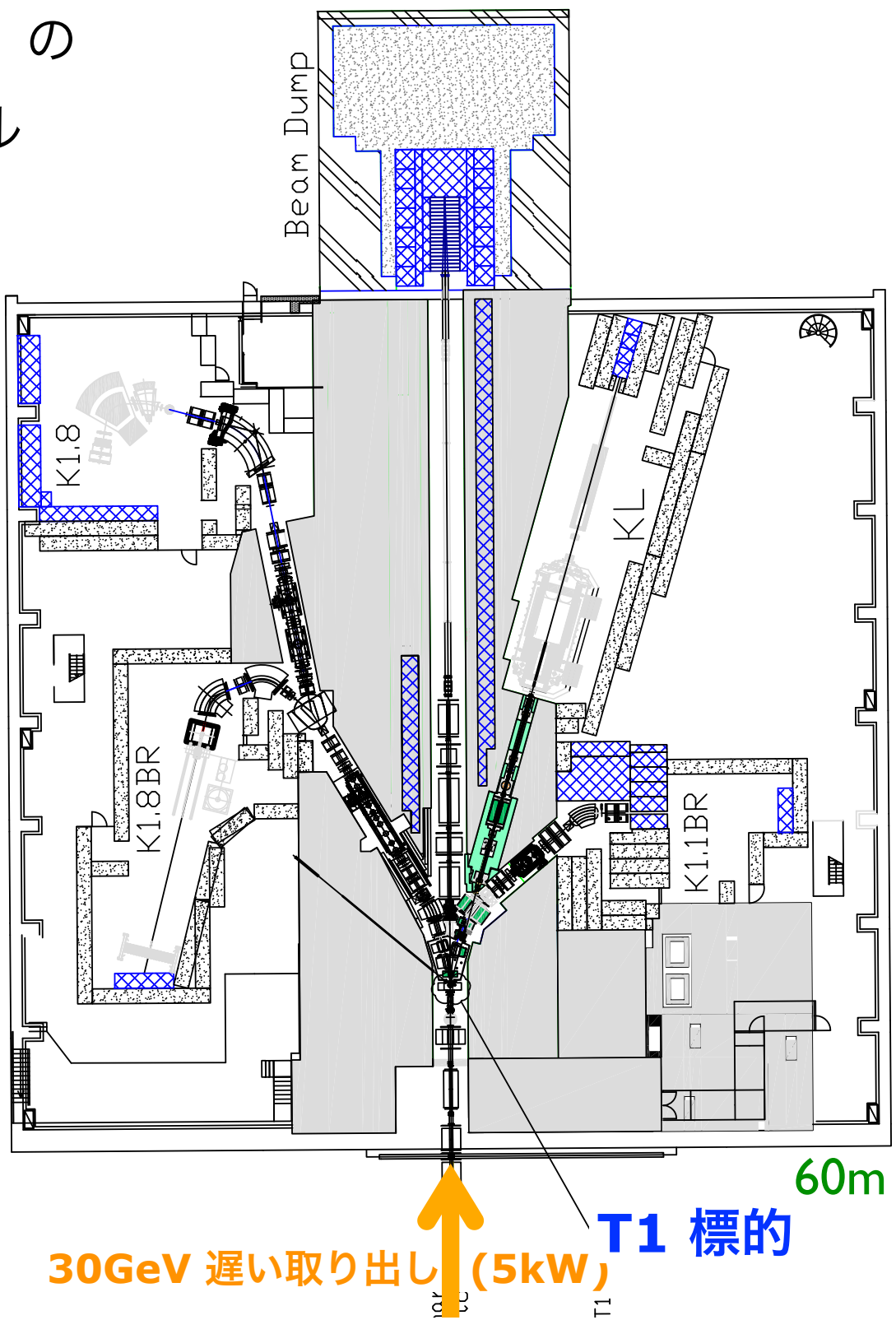


# 現在（震災前）の ハドロンホール

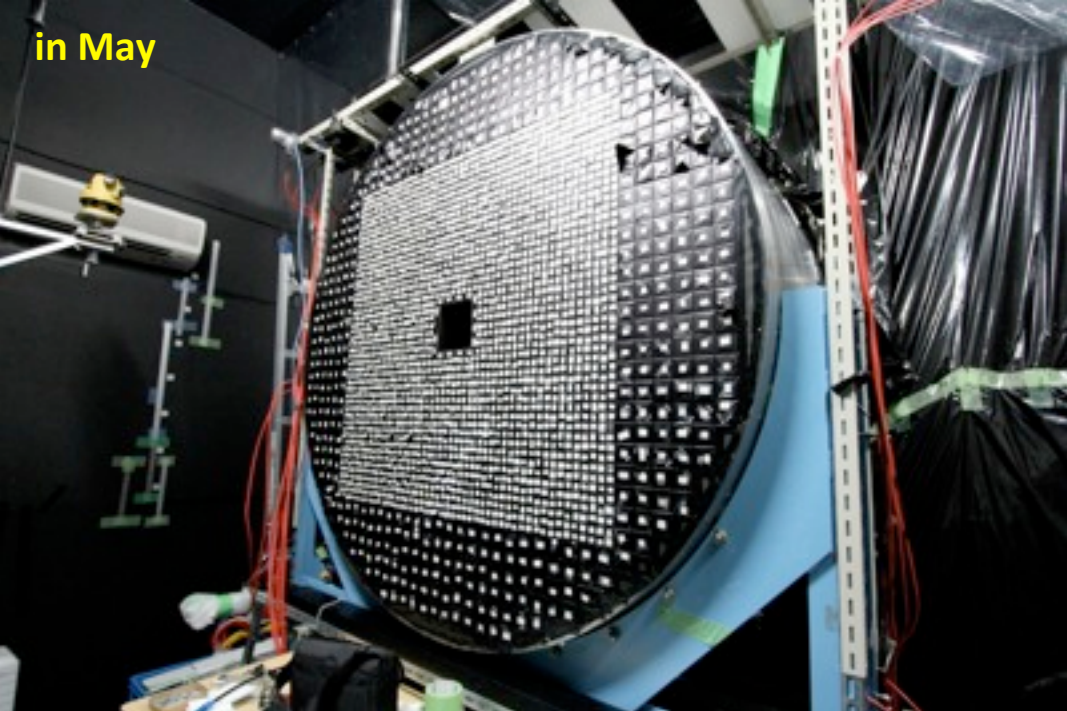
北

56m

南



30GeV 遅い取り出し (5kW) T1 標的



# 内容

- 物理
- 現在の実験：KOTO の復旧とスケジュール
- TREK実験
- 将来計画
- 外国のラボとの競争

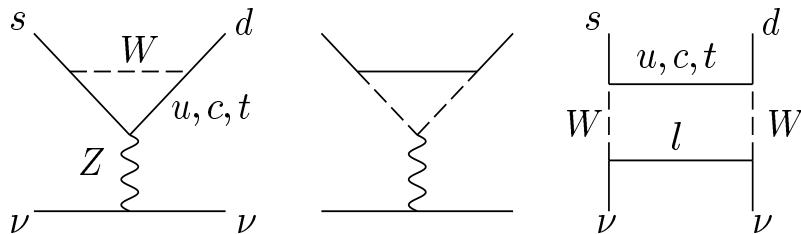
加速器

# 中性K中間子の稀崩壊実験：物理の目的

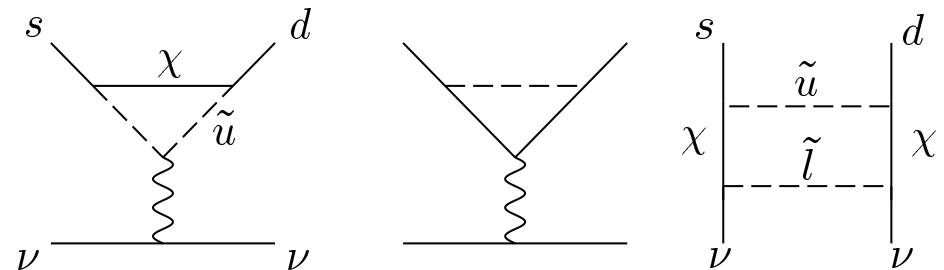
**[標準模型]  $2.57 (37) (4) \times 10^{-11}$**

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊の 分岐比 を測定して

標準模型を超える物理の フレーバー構造 を探索する。

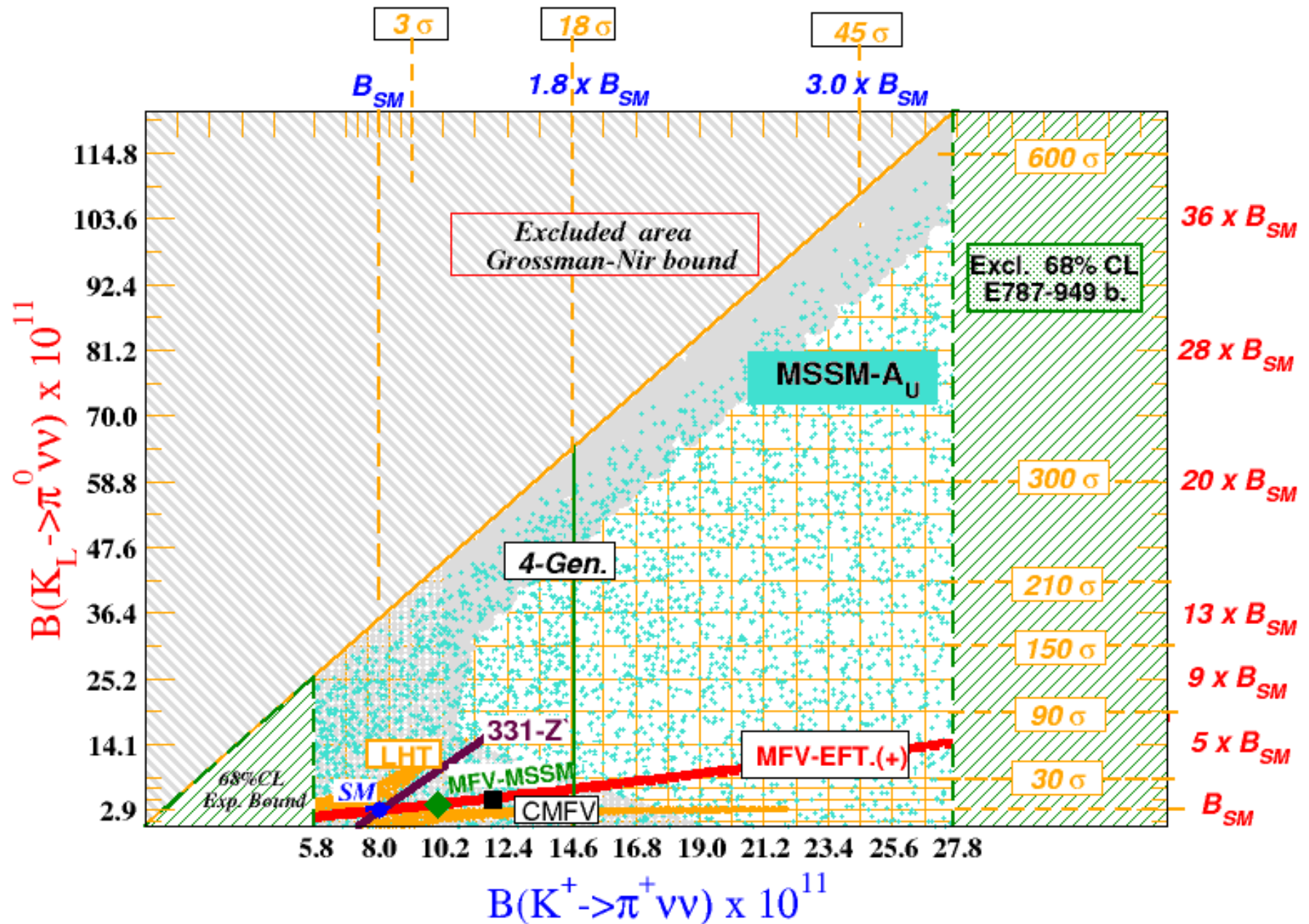


$$Q_\nu = (\bar{s}_L \gamma_\mu d_L)(\bar{\nu}_L \gamma^\mu \nu_L)$$



- **CP 対称性を破る**  $\Rightarrow$  クォークフレーバー混合の 複素位相  
宇宙の「物質・反物質の非対称」の起源

# NP possibility in $K \rightarrow \pi \nu \nu$





New physics is there !!

We know it for sure, at least from neutrino physics & dark matter [→ Masiero]

What we don't know yet are energy scale & flavour structure of NP

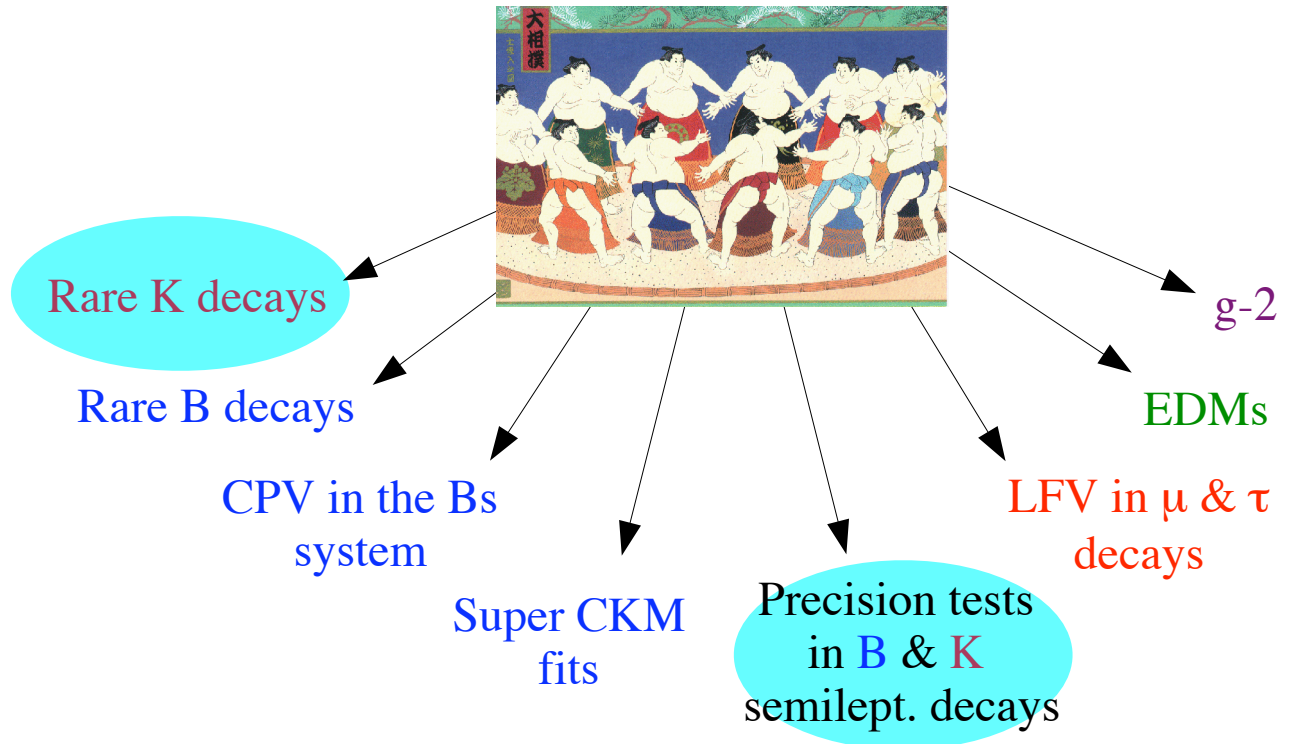
LHC



we should not be pessimistic...

LHC will find NP @ TeV !

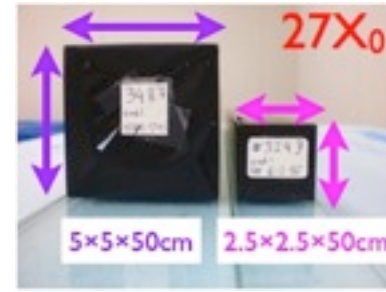
...and the collective effort toward flavour physics will be rewarded !



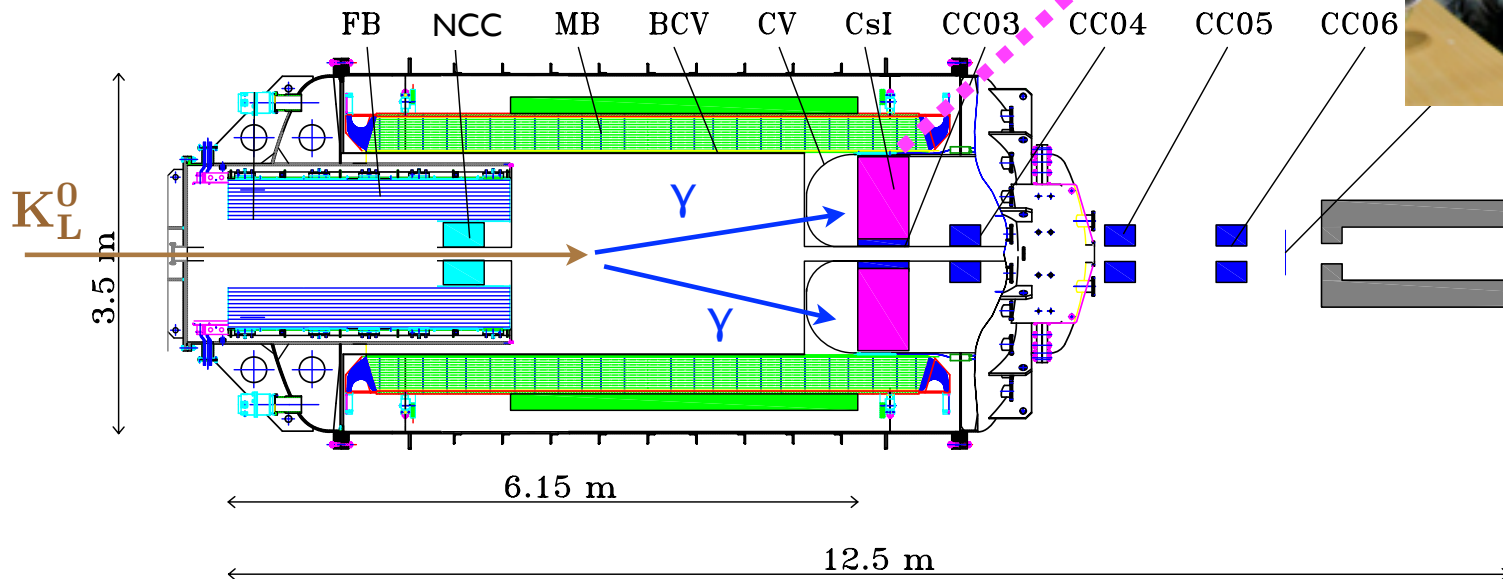
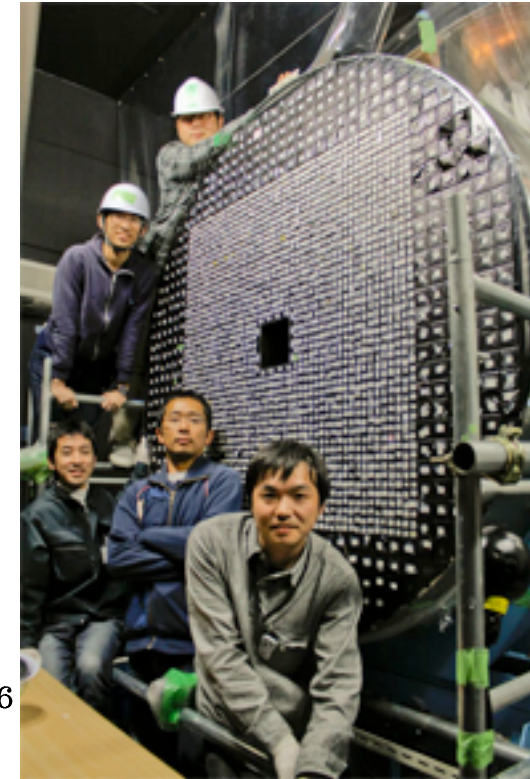


# J-PARC での最初の K崩壊実験

- **KEKPSのE391a測定器** を移設し改造
  - **カロリメータ** (終状態  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  を測る)
  - $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  以外のextra粒子の検出
  - トリガー/DAQを強化：  
各検出器の出力の **波形** を高速読み出し



Fermilabの  
KTeV CsI結晶  
2700本

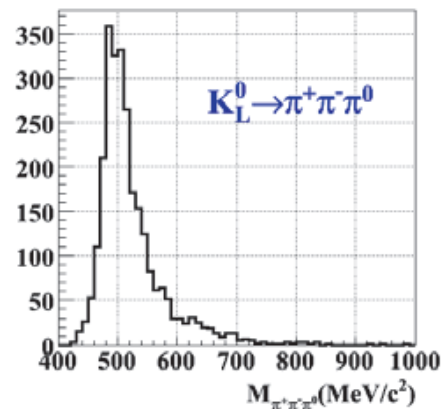
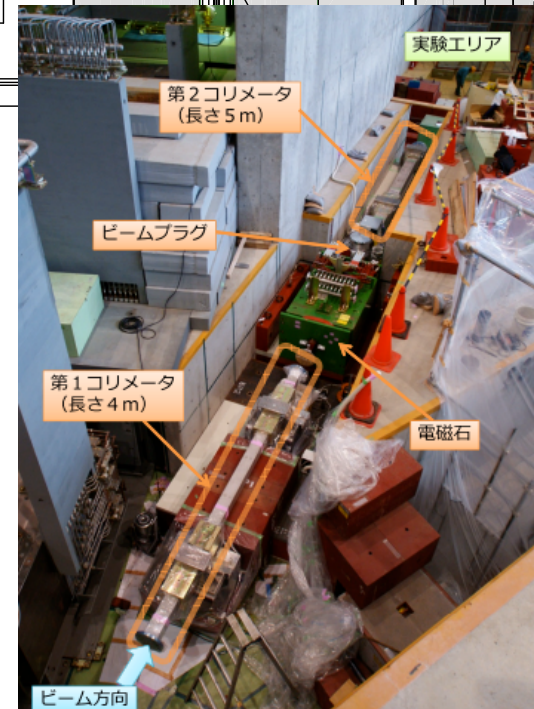
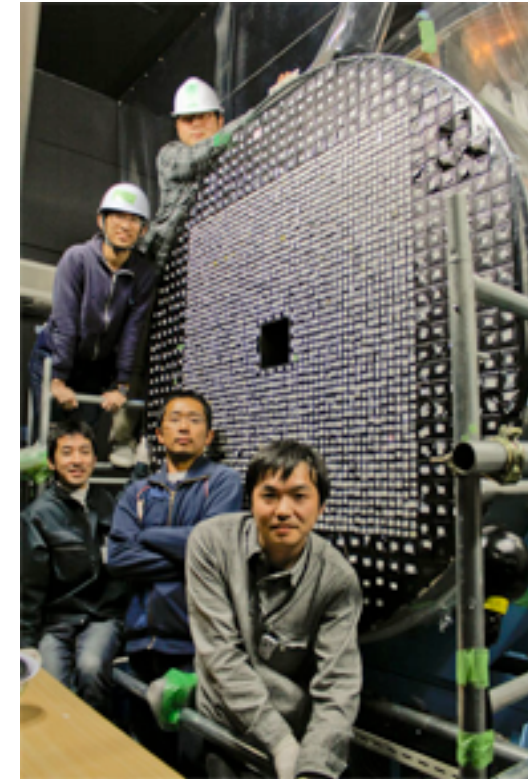
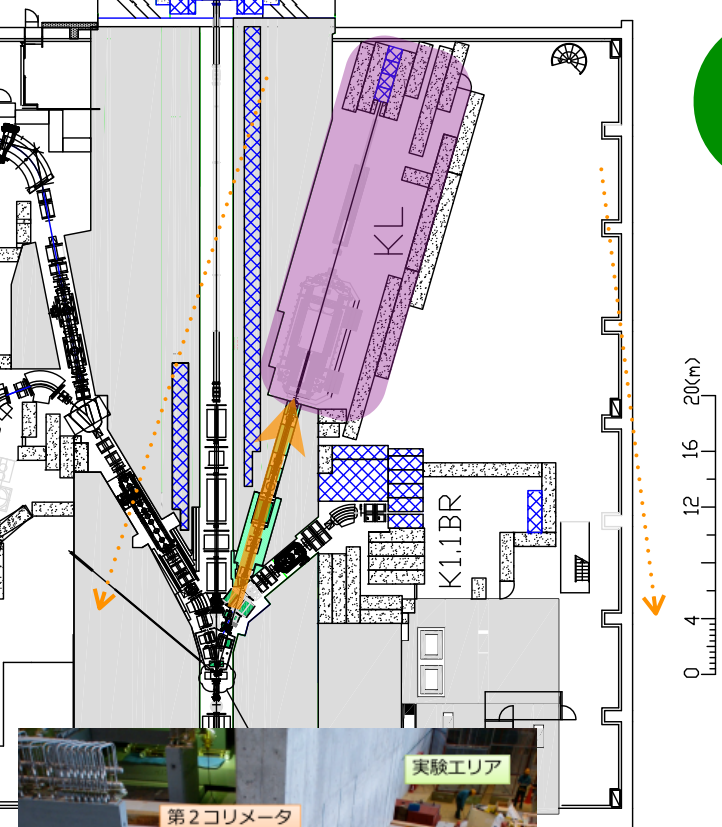




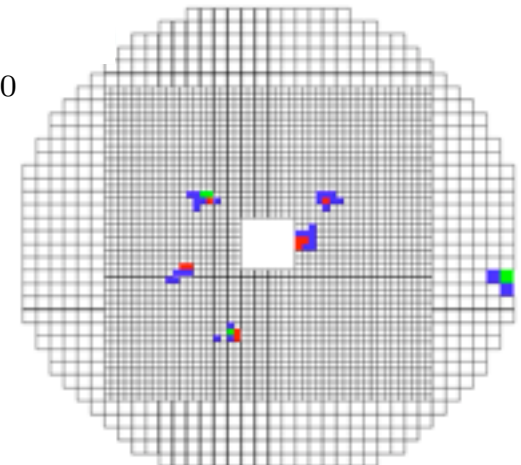
南

2011年2月

実験エリアを構築して  
カロリメータを建設 (2010年度)



$$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$$

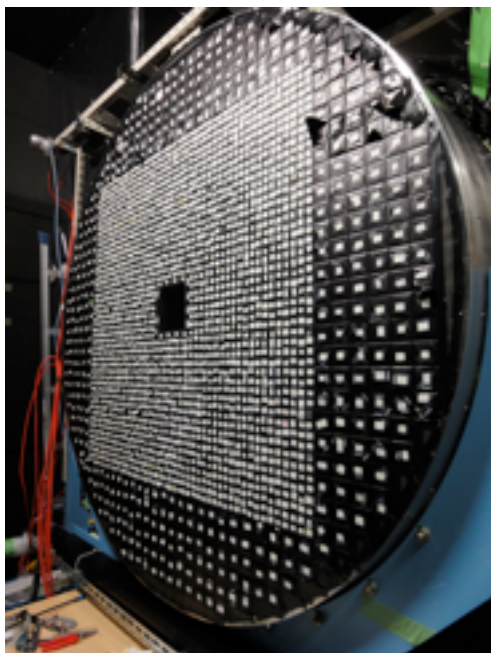


ホール南側に新しいKLビームラインを建設し  
中性K中間子ビームの生成を確認 (2009年度)

2011年度  
(震災の後)



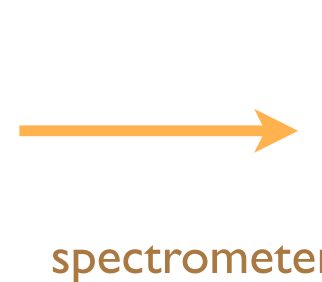
測定器建設を再開  
ビームライン機器の再測量



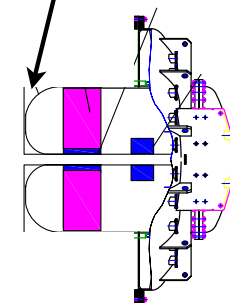
結晶とPMTsに  
損傷がないことを  
確認



2012年1月末

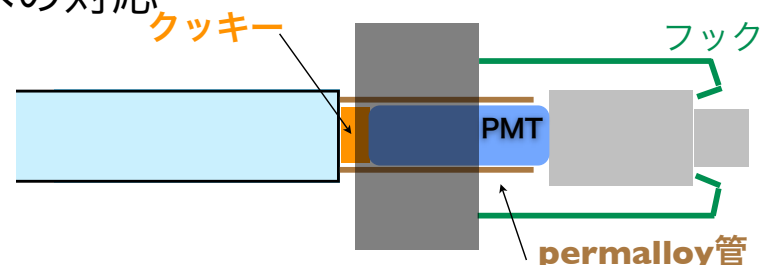
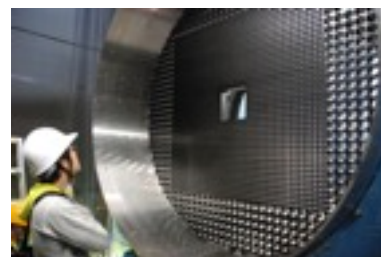
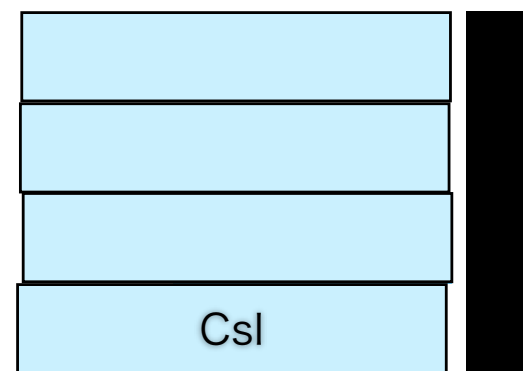


荷電粒子検出器(CV)



加速器運転が再開したら

- ビームを確認
- ↓
- エンジニアリングランを続行

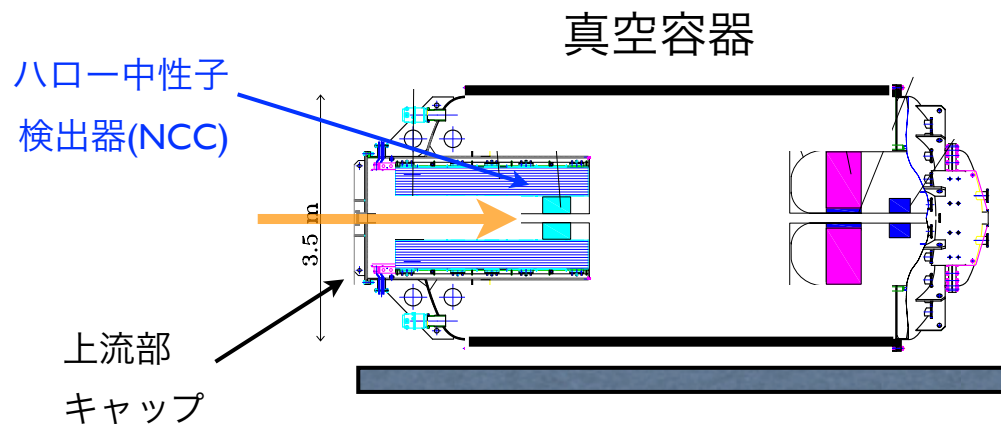


# 2013年夏[Linac増強、長期シャットダウン] までのデータで

## 最初の物理成果を出す ためのプラン

### 2012年度

- 夏までに: 上流部を設置  
ビーム回りのハロー中性子を測定



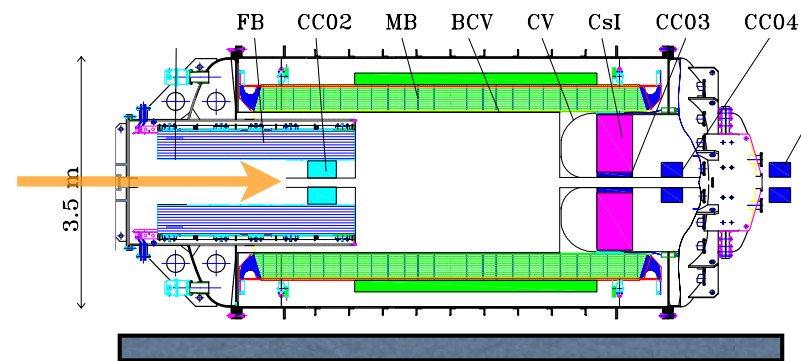
### ----- [ 約半年かけてバレル部の建設と真空の設置 ] -----

冬: 測定器全体のエンジニアリング

----- [ break ] -----

- 春: コミッショニングと物理ランの試行

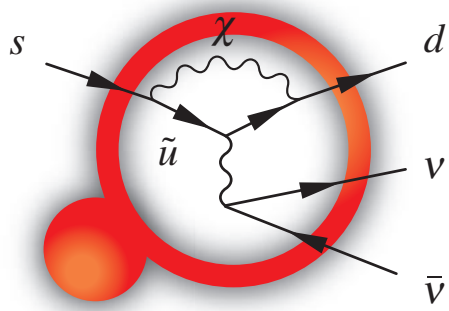
**E39 Ia実験 (今のworld record) を超える**



### 2013年度

- 5月後半~6月 に 一ヶ月+α: calibration と 物理データ収集

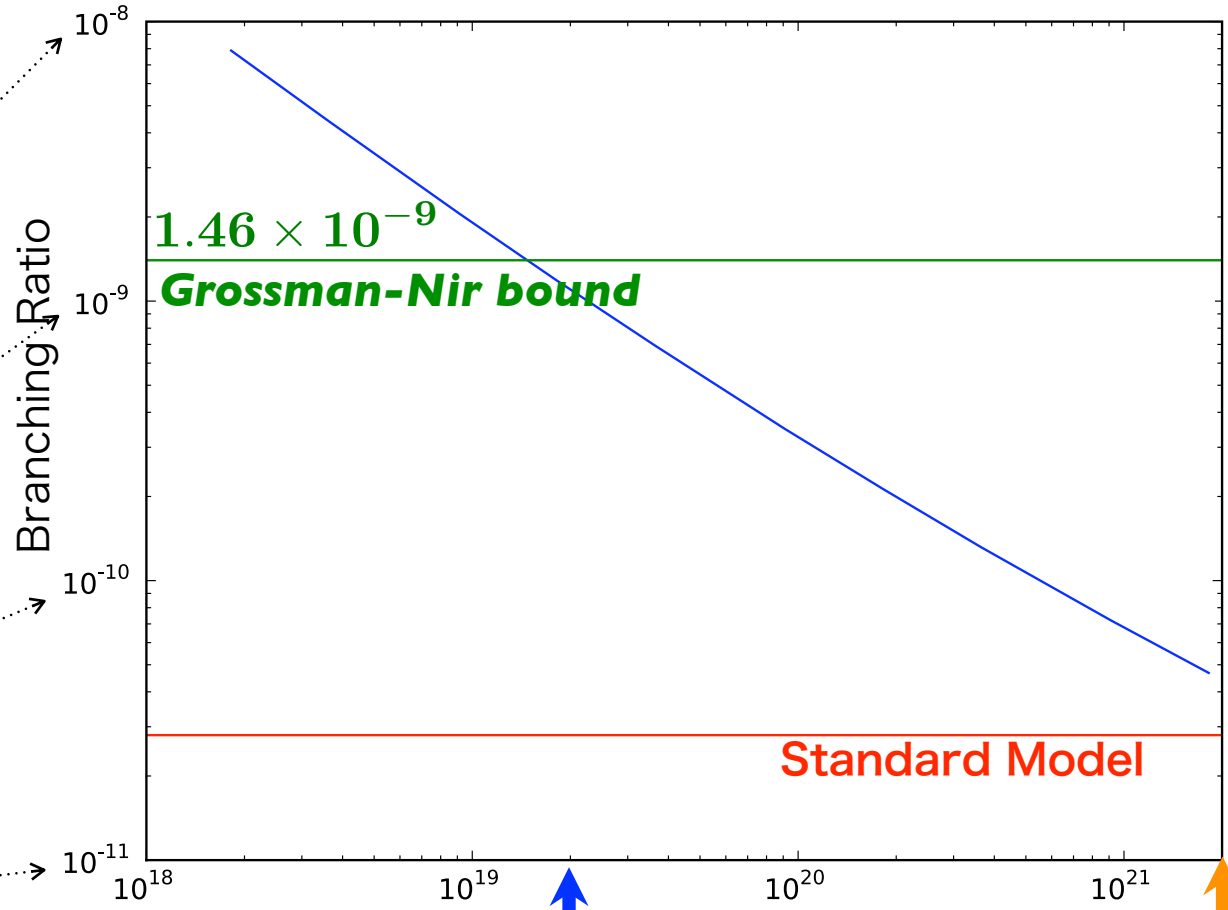
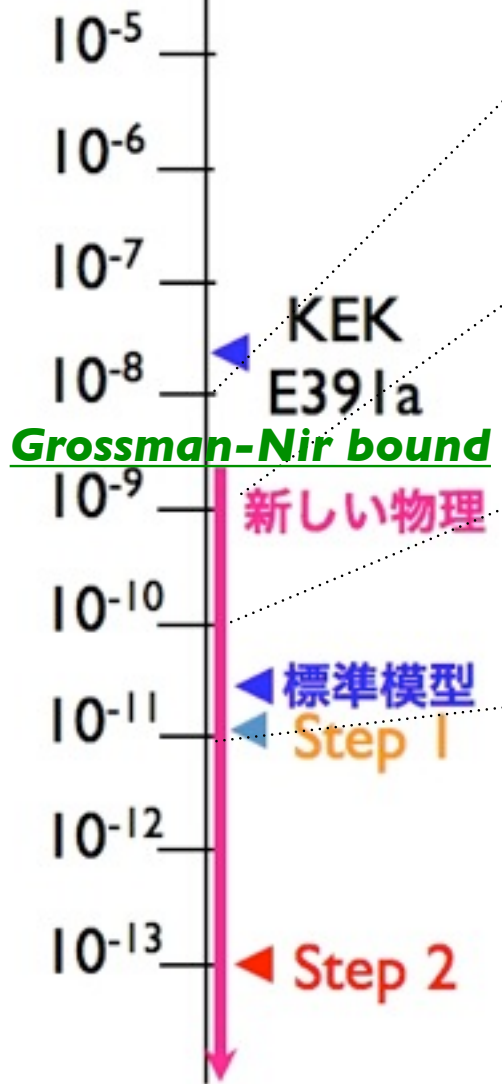
**新しい物理の探索 ( $< 1.46 \times 10^{-9}$ ) を始める**



新しいCP対称性の破れ

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  “3 $\sigma$ ” discovery

分岐比



2013年度までの目標  
(ハドロン実験施設初期)

プロポーザル  
設計パワー (290 kW)  
3 Snowmass years

2009年に実測した KL のflux はプロポーザルの 2.3 倍  
 $1.83 \times 10^7 / 200T_p$

# 加速器チームが目指す

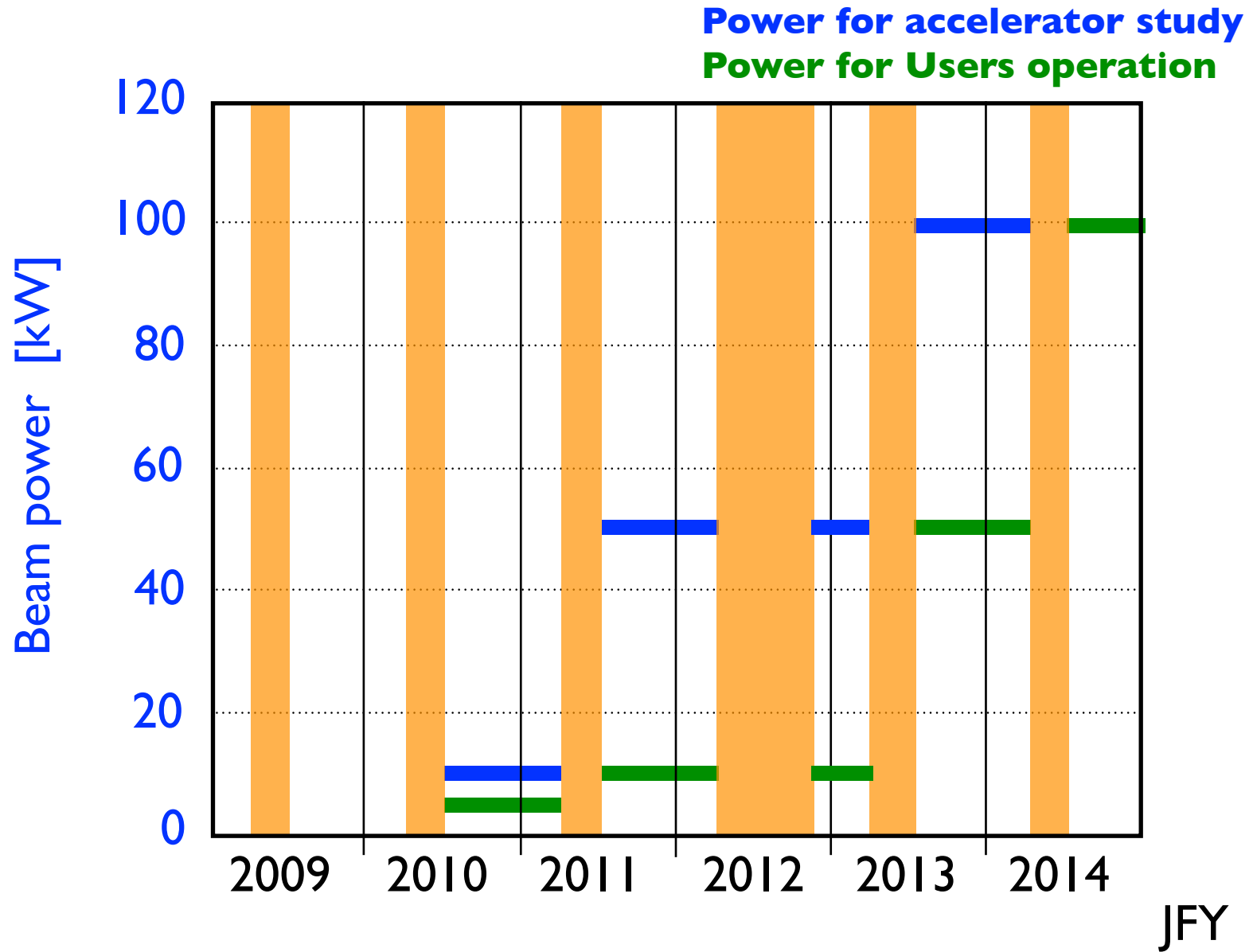
## SXのビームパワー

### SX power upgrade plan (mid-term)

Plan made before the earthquake			Plan made after the earthquake		
	User operation	Accelerator study		User operation	Accelerator study
2010.10-2011.6	5 kW	10 kW			
2011.7-9 (shutdown)	SX collimators		2011.6-11(shutdown)	SX collimators	
2011.10-2012.6	10 kW	50 kW	2011.12-2012.6	3 kW	5 kW
2012.7-2013.1 (shutdown)	Li 400 MeV/Ti chambers (ESS,SMS)		2012.7-2012.9 (shutdown)	Ti chambers (SMS)	
2013.2-2013.6	10 kW	50 kW	2012.10-2013.6	10 kW	50 kW
2013.7-9 (shutdown)	Li 50 mA		2013.7-2014.1 (shutdown)	Li 400MeV/50 mA, Ti chambers (ESS)	
2013.10-2014.6	50 kW	100 kW	2014.2-2014.6	50 kW	100 kW
2014.7-9 (shutdown)			2014.7-9 (shutdown)		
2014.10-	100 kW		2014.10-	100 kW	

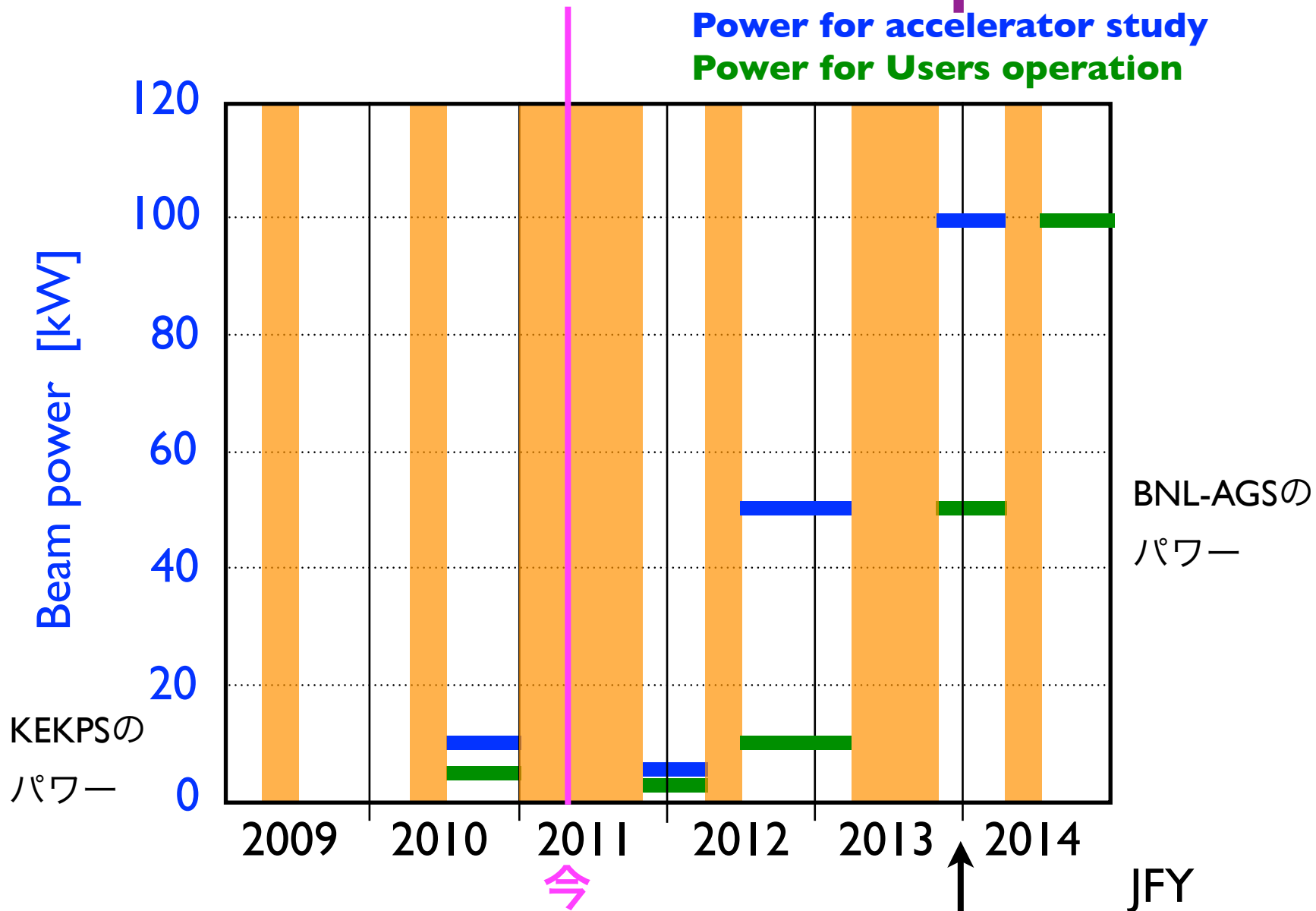
- 2011.12-2012.6: Recovery of the operation in the autumn 2010.
- 2012 summer: Installation of Ti chambers in the SMS section.
- 2013 summer: Installation of ESS with Ti chambers.

before the earthquake



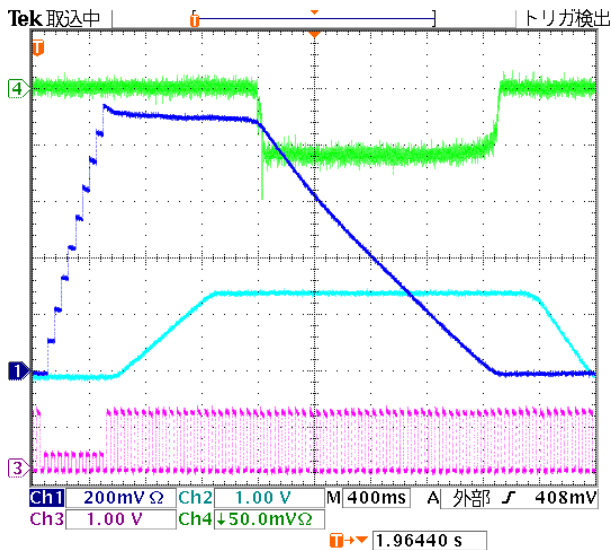
after the earthquake

必要な測定器増強を行いながら  
長期ランでデータをためる



ハドロン実験施設 最初の五年間  
(現行のKEKロードマップの五年間でもある)

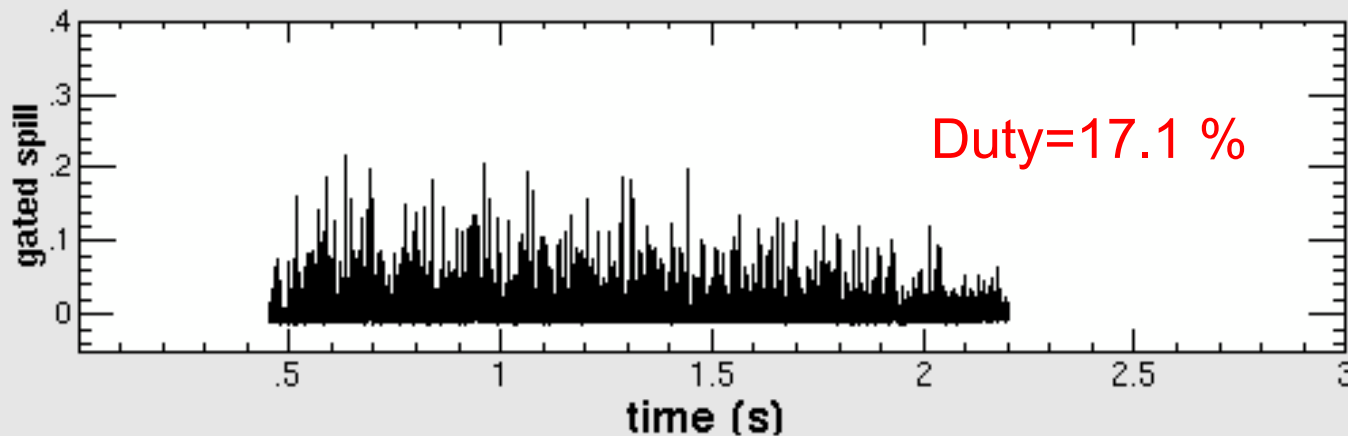
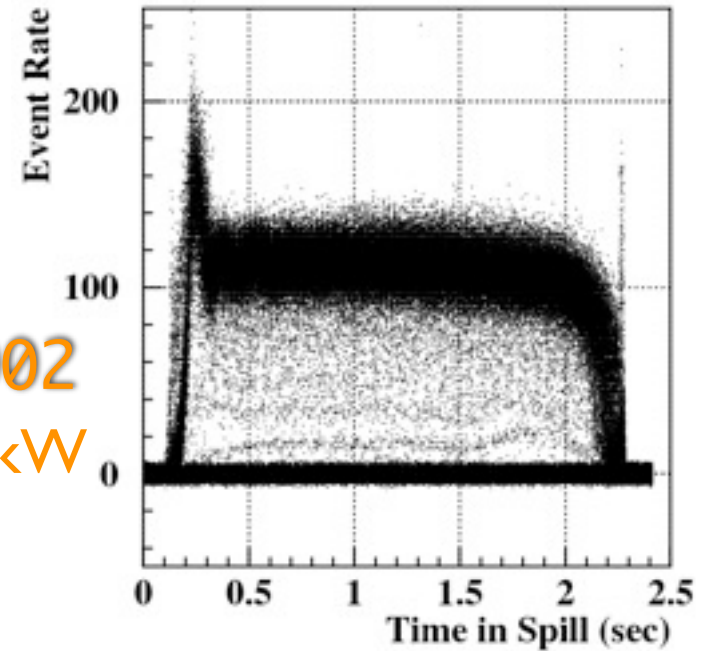
# 遅い取り出しビームの時間構造



KEKPS in 2005  
12GeV, 1kW

これまでの陽子加速器

AGS in 2002  
22GeV, 40kW



## 不規則なスパイク

は深刻な問題

(“未知との遭遇”)

- **MR電磁石電源の更新→安定化による抜本的な解決**  
**電源のripple を  $2 \times 10^{-6}$  or less に押さえ込む**

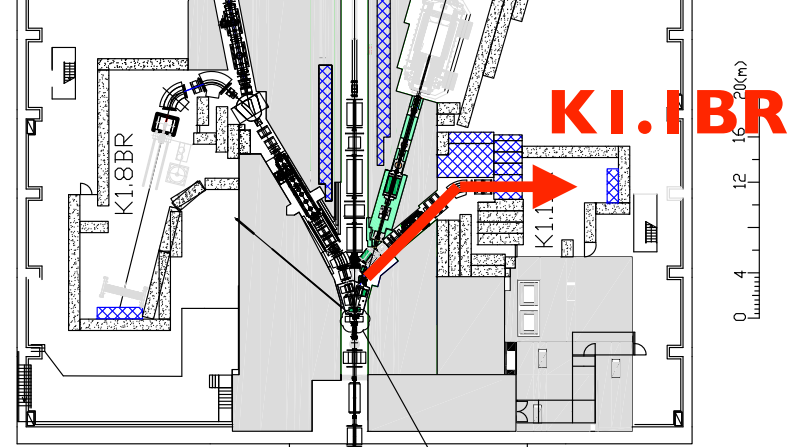


# TREK実験

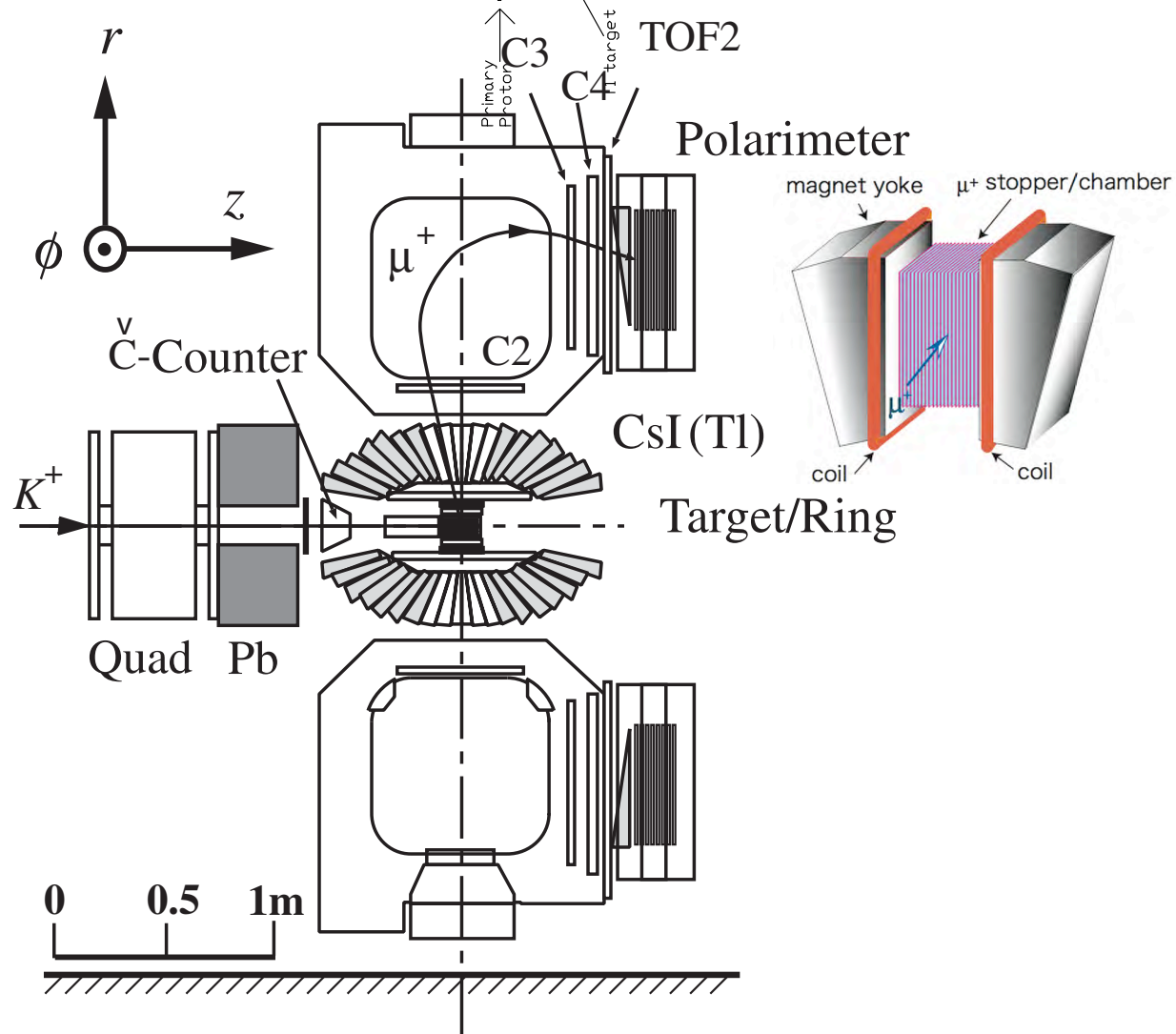
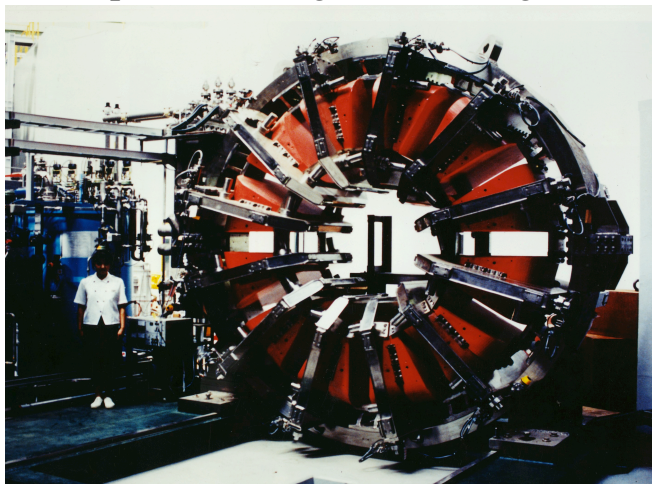


- **KI.IBR**ビームライン(2010年度)

0.8GeV/c → **静止 K<sup>+</sup> 崩壊**



- トロイダルスペクトロメータ (KEKPSのE246測定器)を移設



- 測定器の改造：

- トラッキング：GEM
- ミュオンの偏極測定：

activeなPolarimeter

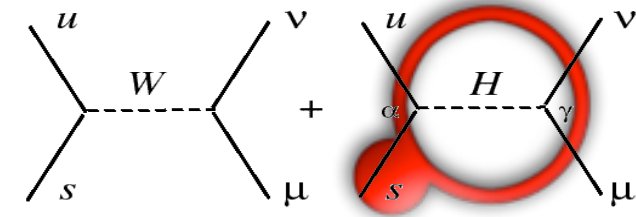
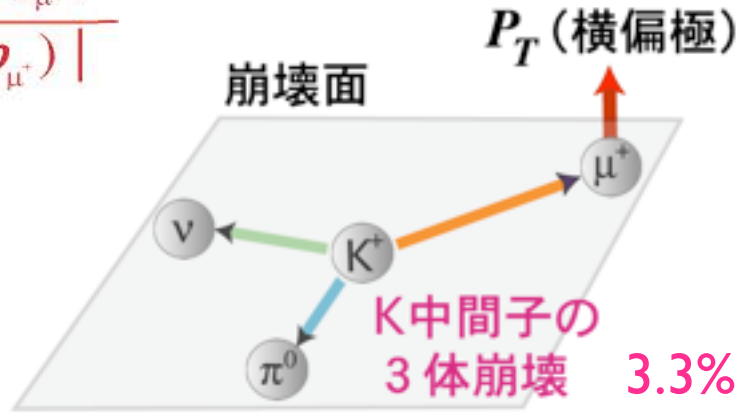
# TREK実験

- E06 プロポーザル : 290kW, 1 Snowmass year

## Transverse $\mu^+$ polarization in $K_{\mu 3}$

$$P_T = \frac{\sigma_\mu \cdot (\mathbf{p}_{\pi^0, \gamma} \times \mathbf{p}_{\mu^+})}{|(\mathbf{p}_{\pi^0, \gamma} \times \mathbf{p}_{\mu^+})|}$$

T-odd



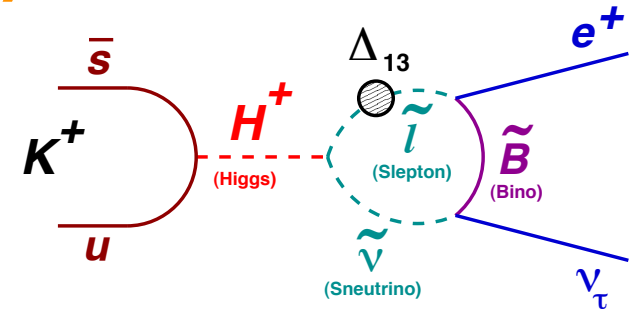
- P36 プロポーザル : 30kW, 3/4 Snowmass year

$$\Gamma(K^+ \rightarrow e^+ \nu) / \Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu)$$

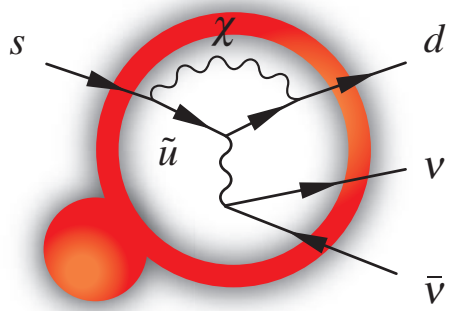
$$SM: (2.477 \pm 0.001) \cdot 10^{-5}$$

$$R_K = \frac{\sum_i \Gamma(K \rightarrow e \nu_i)}{\sum_i \Gamma(K \rightarrow \mu \nu_i)} \simeq \frac{\Gamma_{SM}(K \rightarrow e \nu_e) + \Gamma(K \rightarrow e \nu_\tau)}{\Gamma_{SM}(K \rightarrow \mu \nu_\mu)}$$

$K^+ \rightarrow \underline{\mu^+} N$  重い sterile ニュートリノ  
monochromatic



SUSY LFV ループ



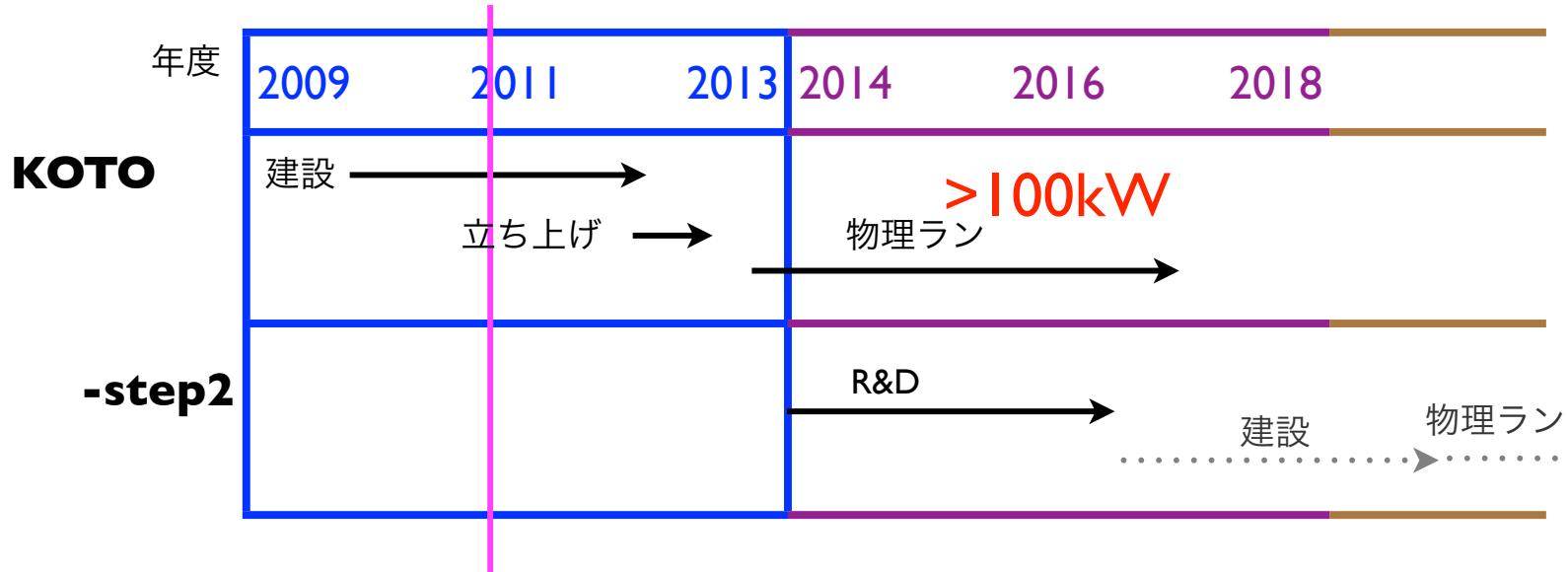
新しいCP対称性の破れ

# 将来計画：KOTO-step2

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  分岐比測定 (>100 events, S/N=5)

「30GeVの16度取り出し」はKLのyieldが最適でない。

⇒ ハドロン実験施設に新たに中性ビームラインをつくる

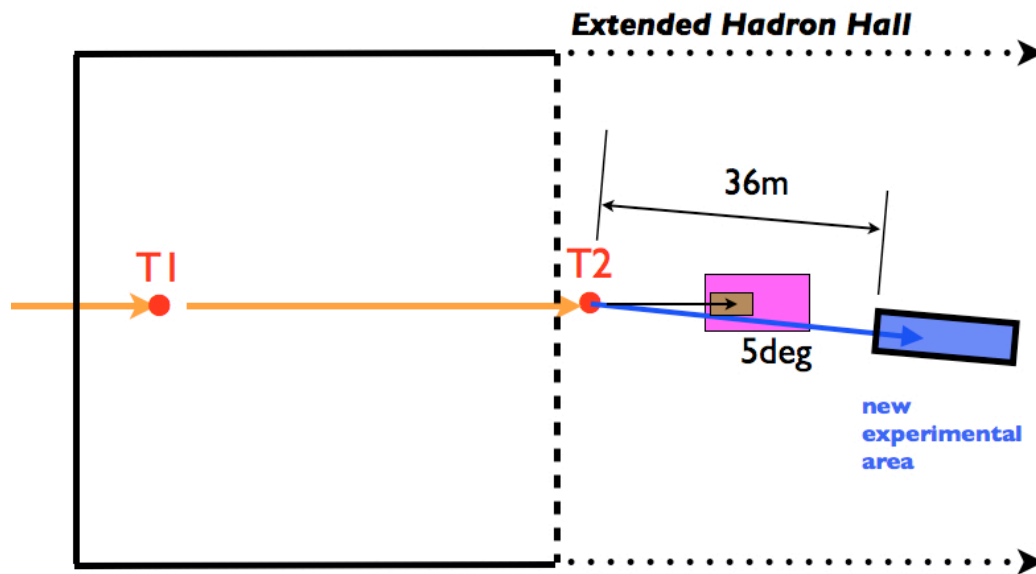


# 将来計画：KOTO-step2

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  分岐比測定 (>100 events, S/N=5)

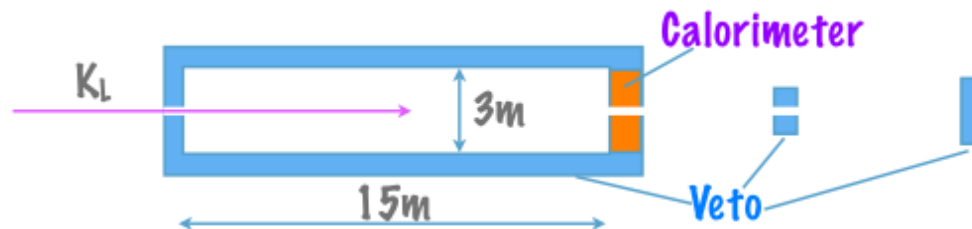
「30GeVの16度取り出し」はKLのyieldが最適でない。

⇒ ハドロン実験施設に新たに中性ビームラインをつくる



- 取り出し角 5度  
4.4E7 (x5.4) / 3E14 ppp  
<PK>=5.2GeV/c
- 長い (30m以上) ビームライン  
 $\Lambda \rightarrow n\pi^0$  バックグラウンド

拡張されたホールでビームダンプ後方に実験エリアを設置する案.



- 崩壊領域 11m (x1.7)
- カロリメータ 3mΦ
- ...

## 加速器 の増強

# 将来計画：KOTO-step2

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  分岐比測定 (>100 events, S/N=5)

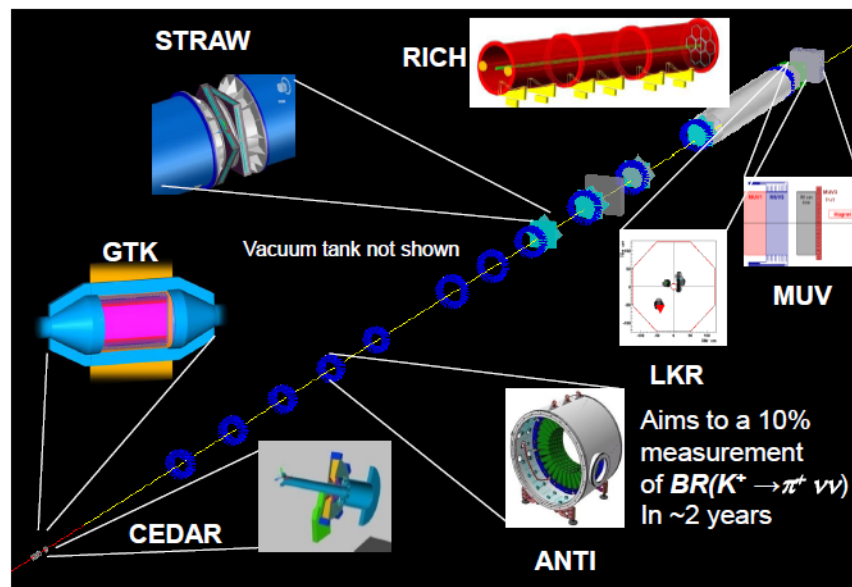


- 30GeV
- SXのビームパワー  
3E14 ppp (第一期の設計パワーのx1.5) :  
450kW に相当する
- SXビームの時間構造
- 実効ビームタイムを増やす  
(SX運転も“Snowmass year”で)



- CERN NA62
  - 100 SM events with S/N = 10 in 2 years run
  - Decay in flight  $\leftrightarrow$  stopped in BNL exp't

## $K^+$ Decays in flight: NA62



- Under construction
- 2012夏: 1<sup>st</sup> technical run
- Physics run driven by CERN acc. schedule

GGI March 24, 2010

Augusto Ceccucci

25

21

- **Frascati KLOE2:** medium decays, Ks decays (TREK-P36とは競争)

# 外国のラボとの競争 (米国)

Fermilab Physics Advisory Committee Meeting  
June 21-26, 2011 – Snowmass, CO

## Comments and Recommendations

### Project X

The Project X accelerator complex is the heart of the future Fermilab flagship projects at the Intensity Frontier. It consists of a 3-GeV continuous-beam superconducting linac with 1 mA, followed by an 8-GeV pulsed linac and the existing 120-GeV Main Injector. The 3-GeV linac will supply a total beam power of 3 MW. The beam will have a variable time structure and will be delivered simultaneously to kaon, muon, and nuclear physics experimental areas. At the same time, the Main Injector ring, with a beam power of 2 MW, will produce a high-intensity neutrino beam to LBNE.

Project X will provide extraordinary experimental opportunities, including extending the reach of long-baseline neutrino oscillation experiments as well as a potential short-baseline neutrino program, the study of charged lepton flavor violation with muons, the study of rare charged and neutral kaon decays, and will have nuclear physics and energy applications. Options for the initial suite of experiments were identified in a series of Project X physics workshops organized by Fermilab, the most recent in 2010.

The Committee was impressed with the success of the workshop series and was pleased to learn that the MOUs for the accelerator R&D program have been established. The collaboration being formed comprises several international partners, including a sizable Indian component that plans to provide valuable in-kind contributions. The Illinois Accelerator Research Center will host the accelerator teams.

Given the budget profile, the Committee is concerned that the cost and timeline of the LBNE project may seriously delay the start of Project X. The Committee encourages the Project X leadership to explore the possibility of expanding the international partnership to reduce the impact of this project on the US HEP budget, and therefore facilitate its coexistence with the LBNE project. The Committee recommends that the Fermilab management make all possible efforts to keep Project X on schedule in view of the potential international competition. A substantial delay in the start of the project would be especially detrimental to the kaon physics program in the US, which, unlike the neutrino and muon efforts, is presently absent. Fermilab should make every effort to ensure the healthy growth of US kaon program which has great physics reach. Finally, the Committee would like to better understand how the current Project X frontend can be upgraded to become the proton driver for a future neutrino factory or muon collider.

chaired by  
Douglas Bryman  
(UBC)

# まとめ

- K崩壊：  
J-PARCでしかできない  
フレーバー物理の重要テーマ
- KOTO実験は2013年に立ち上がって  
最初の物理成果を出す。
- 将来計画 (KOTO-Step2) :  
また新たに  
中性ビームラインをつくって  
 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  の分岐比測定を行う。

「宇宙の根源にはK中間子で」

12月に50GeV加速器でつくり始めるK中間子を使う「原子核・素粒子実験施設」は、宇宙の根源に迫る。

K中間子は、ふつうの世界に存在しないストレンジクォークを含む粒子。陽子を原子核にぶつけると生まれ、すぐに崩壊して別の粒子になる。「宇宙になぜ反物質がないのか」というのが物理学の大きなナゾ。宇宙誕生直後は、物質(粒子)と、質量が同じで電荷などが反対の反物質(反粒子)が同数生まれた。しかし物質の方がわずかに崩壊しにくかったため、物質が生き残ったらしい。

K E K・大強度陽子加速器計画推進部の齊藤直人教授は「K中間子の崩壊をよく調べれば、物質と反物質とに差のある理由が見つかる」と、多くの専門家が確信している」と話す。

J-PARCの陽子ビームは従来の100倍も強いので、できるK中間子の数も飛躍的に増え、研究が一気に進む可能性がある。

来月4月にも50GeV加速器で作り始めるニュートリノビームを使う「ニュートリノ実験施設」も、ニュートリノ質量の研究から「物質宇宙」誕生の理由を解明する。

「アスパラクラブ」(<http://aspara.asahi.com>) の新聞購読者向け「

歩く百科事典に  
の項目を全て暗  
究気にした  
活用する方法を  
が、当時のアレ  
ば、それでよか  
アレイ君は誰



