6.J-PARCでの
ハドロン実験II

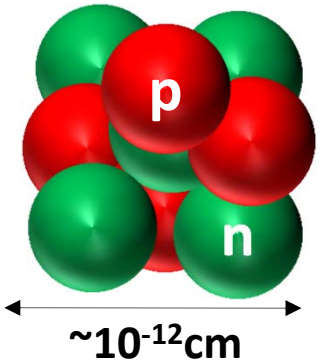
6.J-PARCでのハドロン実験II:内容

- K中間子に関する原子核実験
  - K中間子原子核探索実験 (E15実験)
  - K中間子原子実験 (E17実験)
  - Λ(1405)実験 (E31実験)

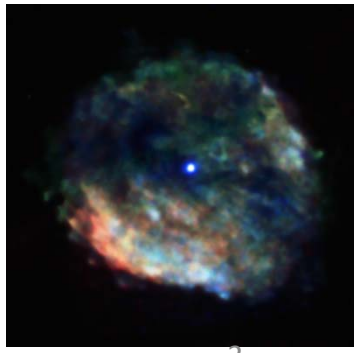
物質の密度

- 我々の身の回りにある物質の密度は~g/cm^3
  - 水 = 1.0g/cm^3、鉄 = 7.9g/cm^3、白金 = 21.5g/cm^3

- 太陽系惑星の密度も~g/cm^3
  - 太陽 = 1.4g/cm^3、地球 = 5.5g/cm^3、土星 = 0.7g/cm^3



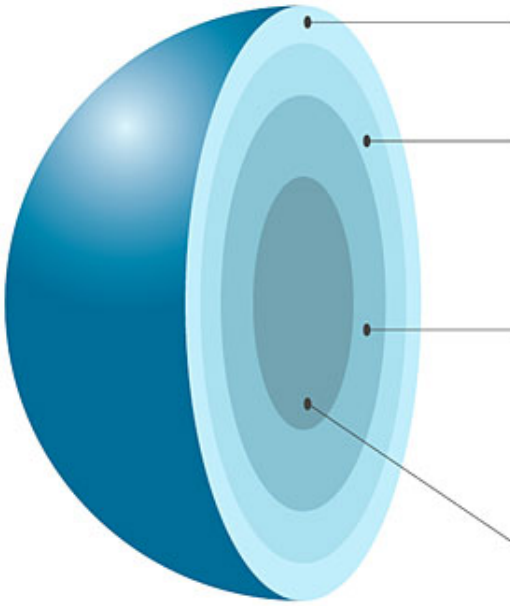
- **我々の知っている最高密度は原子核密度**
  - ρ_0 = 0.17fm^{-3} = 2.8x10^{17}kg/m^3 = 2.8x10^{14}g/cm^3
    ← 角砂糖1つが~1億トン



- 中性子星の密度は原子核密度の10倍にもなる!
  (と考えられている)

半径~10km, ~太陽質量

中性子星

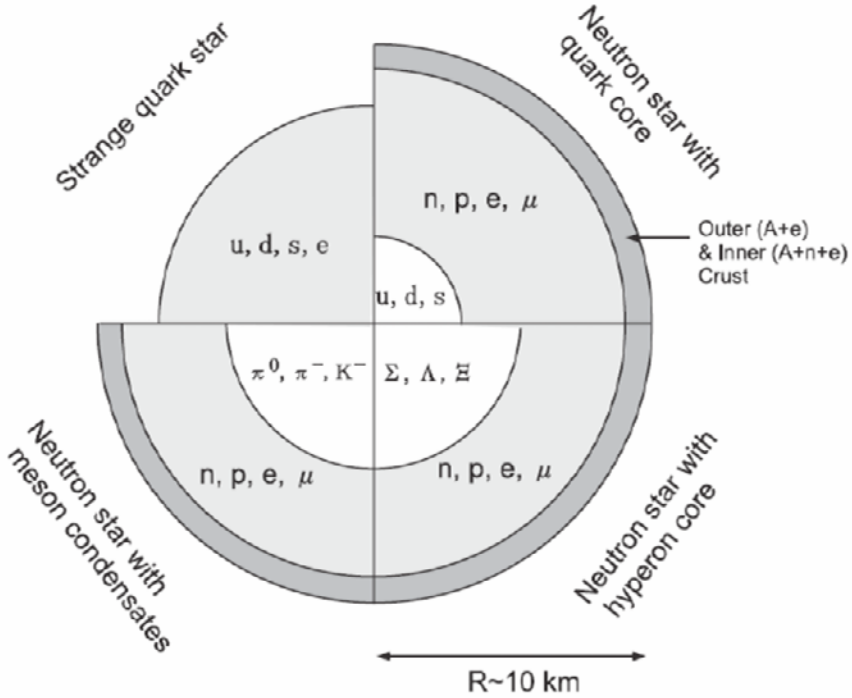


Outer Crust

Inner Crust
→ 0.3-0.5ρ_0

Outer Core
→ 0.5-2ρ_0

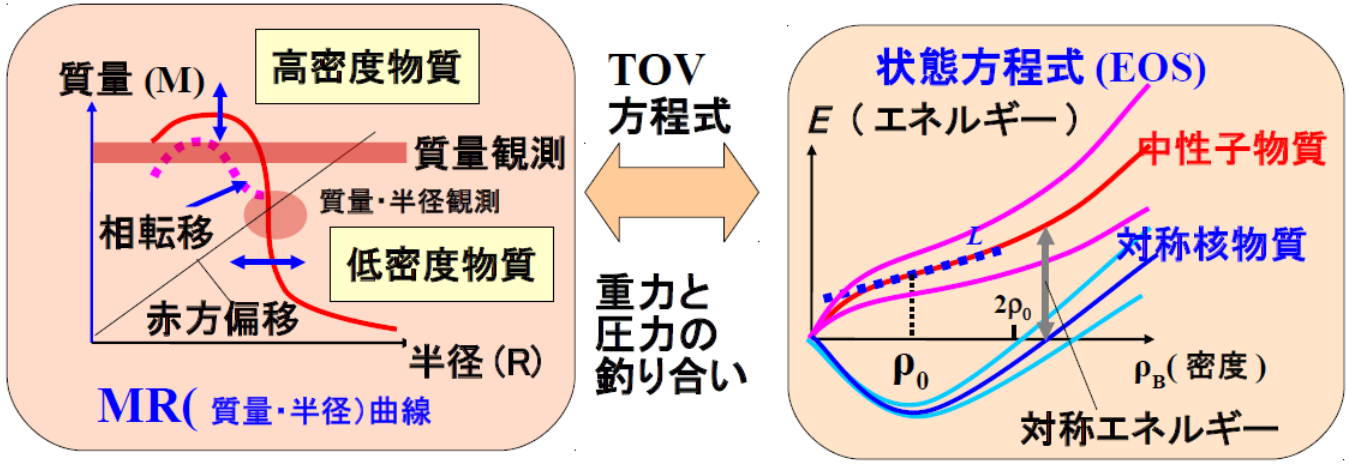
Inner Core
→ 2-15ρ_0



- その詳細は未だ謎
- 特に、中心部分の組成が注目を集める
  - クォーク? ハイペロン? 中間子凝縮?

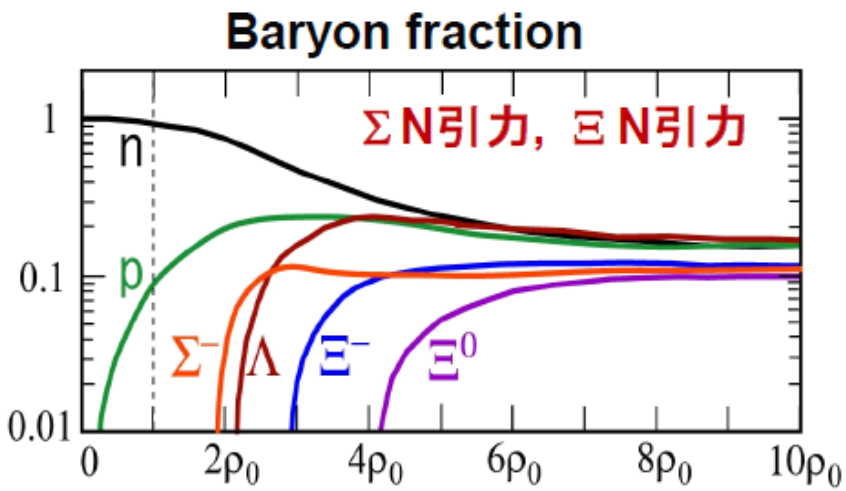
中性子星とストレンジネス

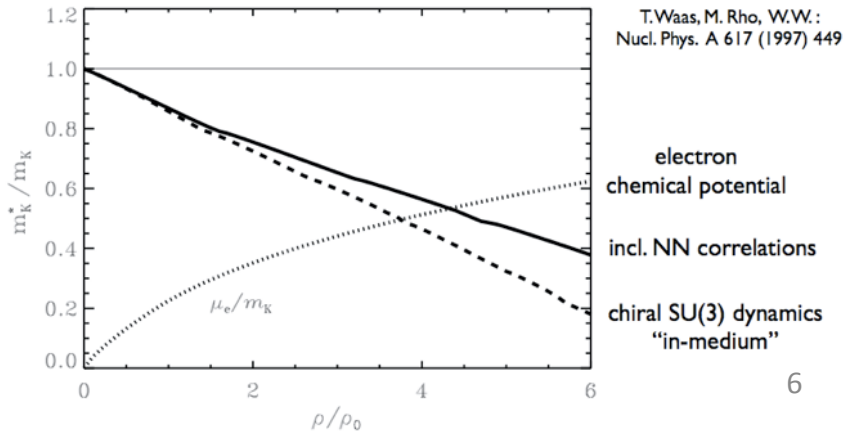
- 低密度領域
  - 電気的に中性となるために核子と電子の混合状態だと考えられている
- 高密度領域
  - 電荷を中性に保ったまま密度を上げるには(u,d,s)からなるストレンジネス・ハドロン物質が必要?
    - ハイペロン混合状態?
    - πまたはK中間子凝縮?
    - クオーク物質(閉じ込めからの解放)?
- **中性子星の状態方程式(EOS)が鍵**



中性子星とストレンジネス

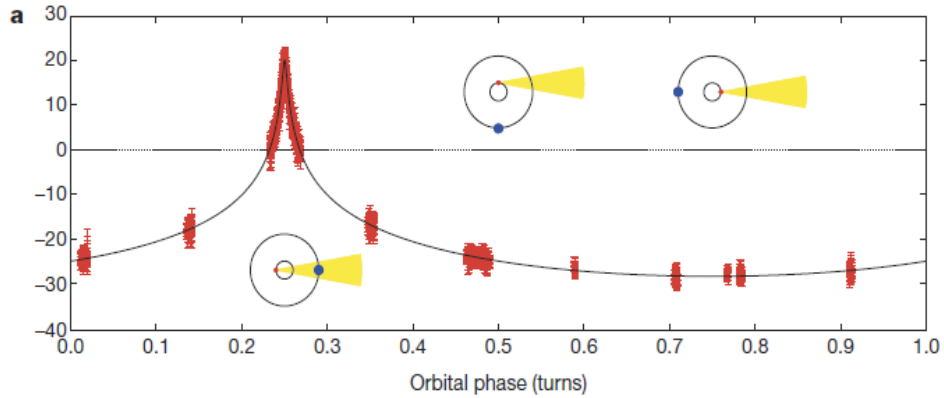
- ハイペロン混合状態
  - **ハイペロン-核子、ハイペロン-ハイペロン相互作用**が非常に重要
  - J-PARCにおけるハイパー核等の実験により解明が期待される
- K中間子凝縮
  - **K中間子-核子相互作用**が非常に重要
  - J-PARCにおけるK中間子原子核/K中間子原子等の実験により解明が期待される

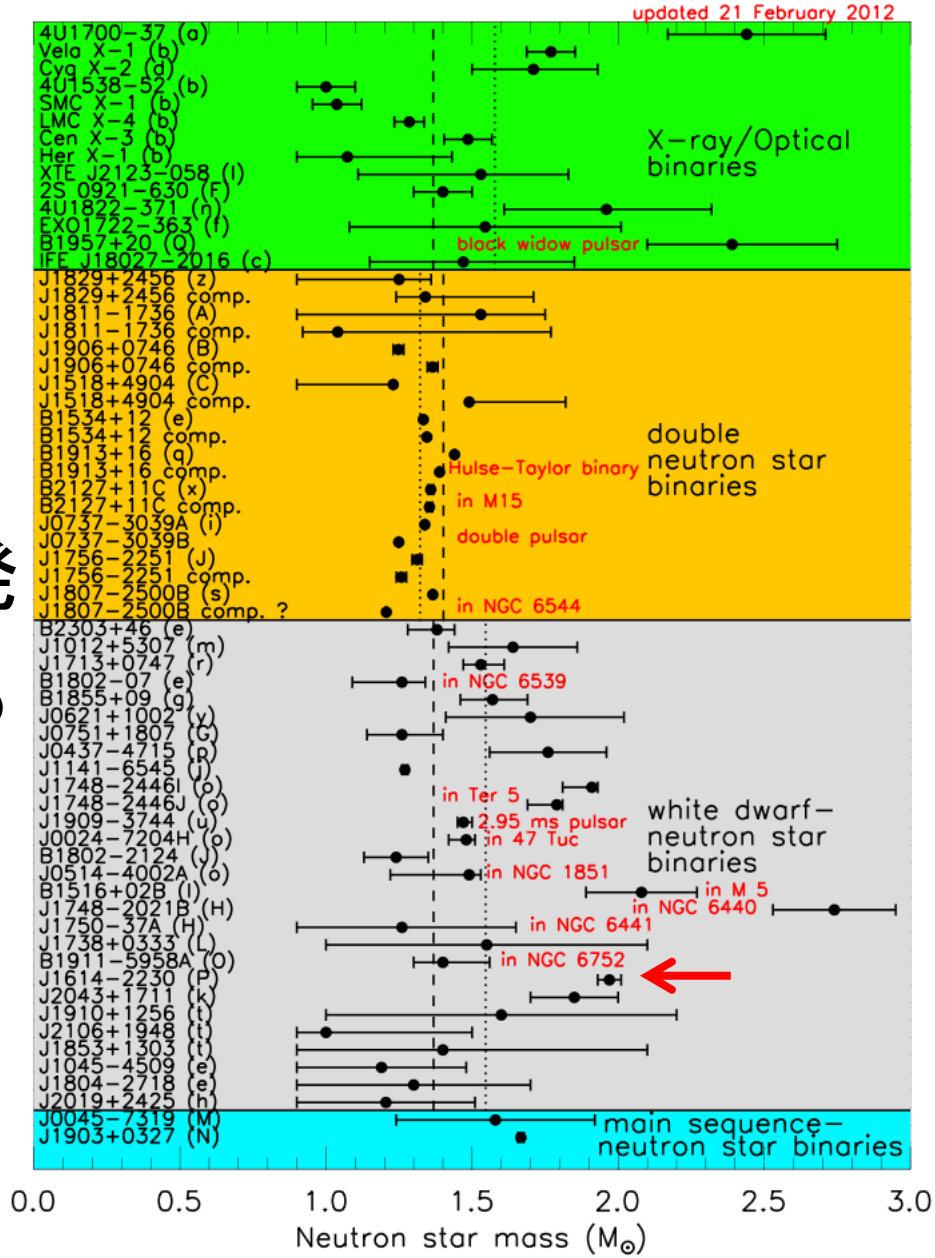




重い中性子星

- 中性子星の質量は ~1.5M$_\odot$と知られていた
- 2010年、重い中性子が発見される=(1.97±0.04)M$_\odot$ [Nature 467(2010)1081]

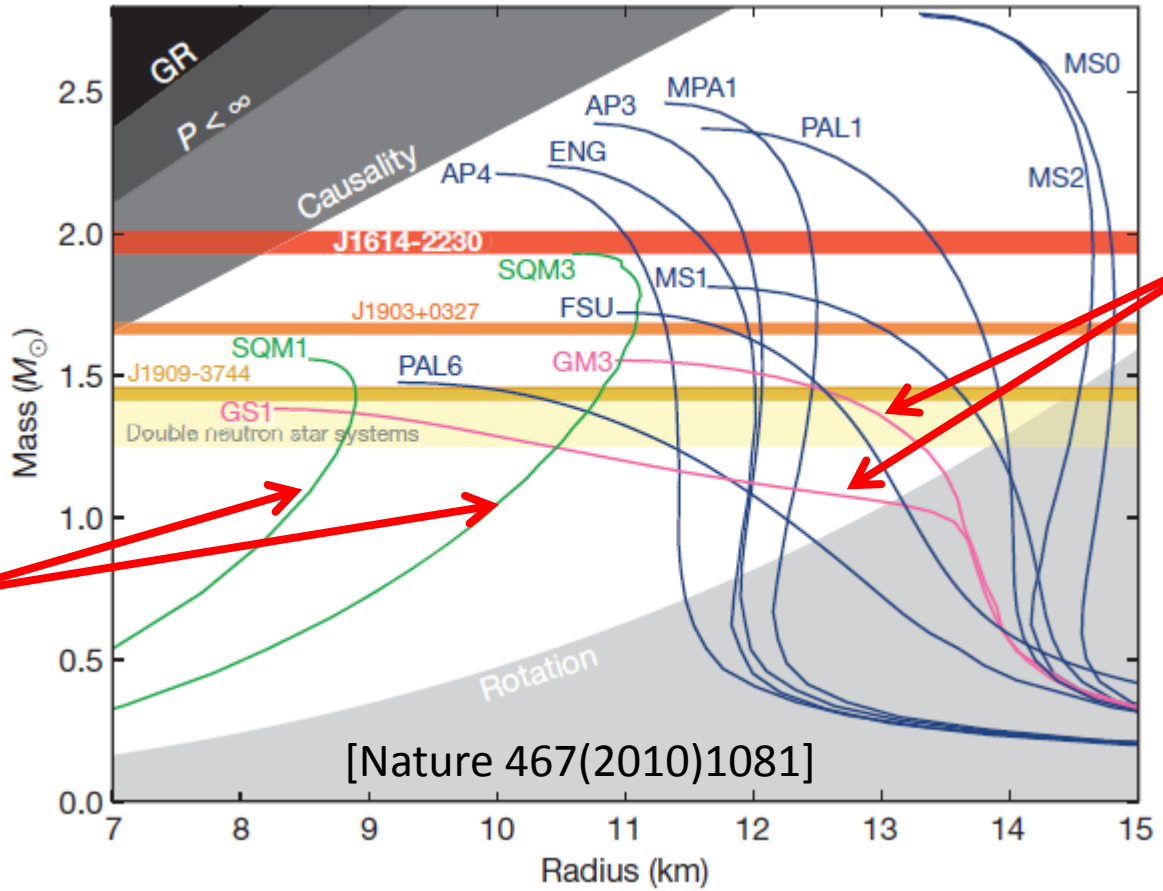




Source: www.stellarcollapse.org

重い中性子星とストレンジネス

- ハイペロンの混合ではこの重い中性子星の説明が出来ない、と話題に
  - 現在、様々な理論がこれを説明しようとがんばっている



[Nature 467(2010)1081]

ハイペロンを含むEOS

クォーク物質のみのEOS

中性子星とストレンジネス

- ハイペロン混合状態
  - **ハイペロン-核子、ハイペロン-ハイペロン相互作用**が非常に重要
  - J-PARCにおけるハイパー核等の実験により解明が期待される

K1.8におけるハイパー核実験(E05,E13,etc.)

- K中間子凝縮
  - **K中間子-核子相互作用**が非常に重要
  - J-PARCにおけるK中間子原子核/K中間子原子等の実験により解明が期待される

K1.8BRにおけるK中間子を用いる実験(E15,E17,etc.)

本講義

K中間子 (K^-)

Citation: J. Beringer *et al.* (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) (URL: http://pdg.lbl.gov)

STRANGE MESONS
($S = \pm 1$, $C = B = 0$)

$K^+ = u\bar{s}$, $K^0 = d\bar{s}$, $\overline{K}^0 = \bar{d}s$, $K^- = \bar{u}s$, similarly for K^*'s

S=-1を持つ

$K^\pm$

$I(J^P) = \frac{1}{2}(0^-)$

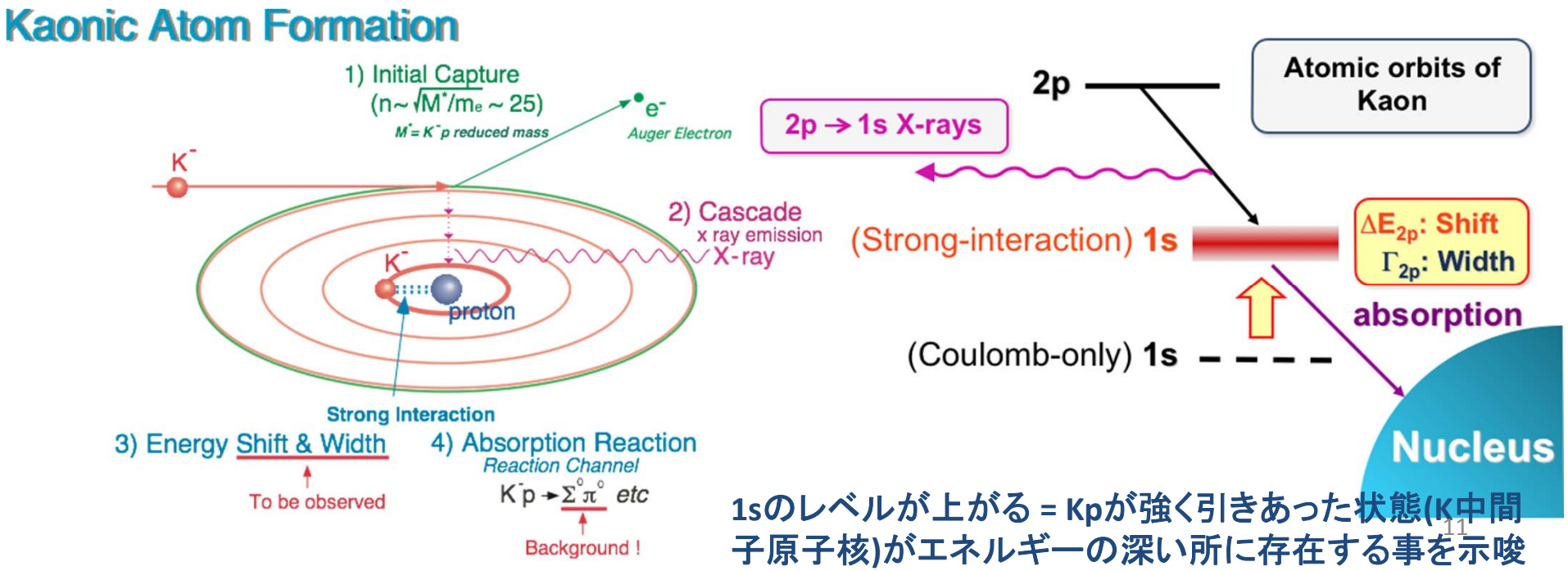
Mass $m = 493.677 \pm 0.016$ MeV [a] (S = 2.8)
Mean life $\tau = (1.2380 \pm 0.0021) \times 10^{-8}$ s (S = 1.9)
$c\tau = 3.712$ m

K^+ DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	Confidence level	(MeV/c)
Leptonic and semileptonic modes			
$e^+\nu_e$	$(1.581 \pm 0.008) \times 10^{-5}$		247
$\mu^+\nu_\mu$	(63.55 ± 0.11) %	S=1.2	236
$\pi^0 e^+\nu_e$	(5.07 ± 0.04) %	S=2.1	228
Called K^+_{e3}.			
$\pi^0\mu^+\nu_\mu$	(3.353 ± 0.034) %	S=1.8	215
Called $K^+_{\mu3}$.			
$\pi^0\pi^0 e^+\nu_e$	$(2.2 \pm 0.4) \times 10^{-5}$		206
$\pi^+\pi^- e^+\nu_e$	$(4.09 \pm 0.10) \times 10^{-5}$		203
$\pi^+\pi^-\mu^+\nu_\mu$	$(1.4 \pm 0.9) \times 10^{-5}$		151
$\pi^0\pi^0\pi^0 e^+\nu_e$	$< 3.5 \times 10^{-6}$	CL=90%	135
Hadronic modes			
$\pi^+\pi^0$	(20.66 ± 0.08) %	S=1.2	205
$\pi^+\pi^0\pi^0$	(1.761 ± 0.022) %	S=1.1	133
$\pi^+\pi^+\pi^-$	(5.59 ± 0.04) %	S=1.3	125

- 1947年にジョージ・ロチェスターとクリフォード・バトラーにより宇宙線の中から発見された中間子の一つ。
- 霧箱の中でV字の飛跡を残す「奇妙な粒子」として発見された。

K中間子-核子相互作用

- $\bar{K}N$**相互作用**は”低エネルギーK-p散乱”と”K中間子水素原子”の実験より**強い引力**である事が分かっている
  - E228@KEK (KpX), DEAR@DAFNE, SIDDHARTA@DAFNE

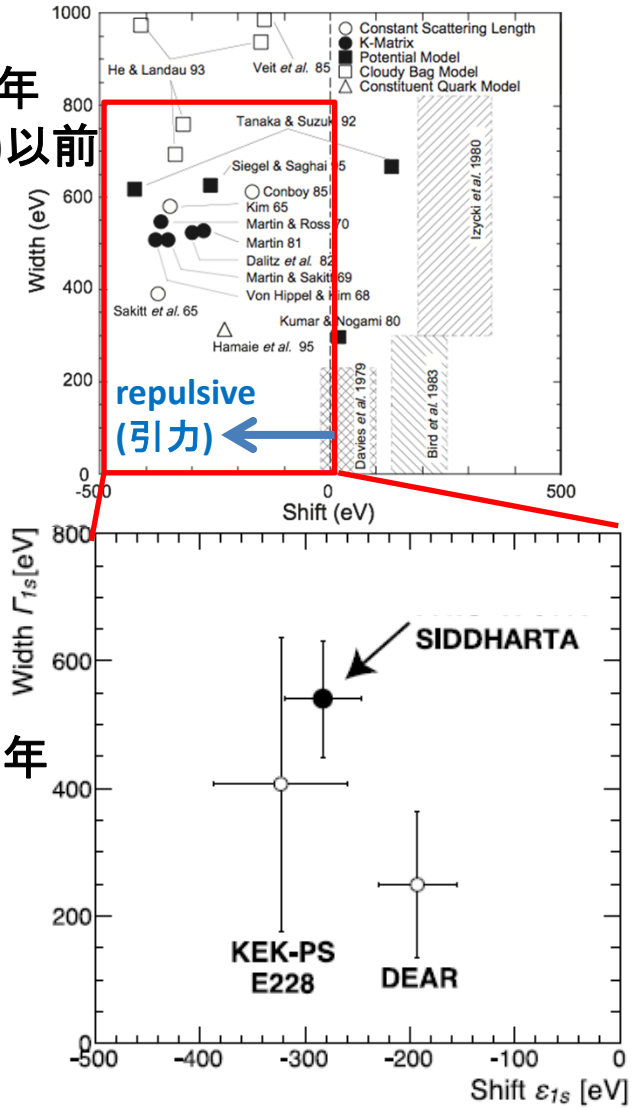


1sのレベルが上がる = Kpが強く引きあった状態(K中間子原子核)がエネルギーの深い所に存在する事を示唆

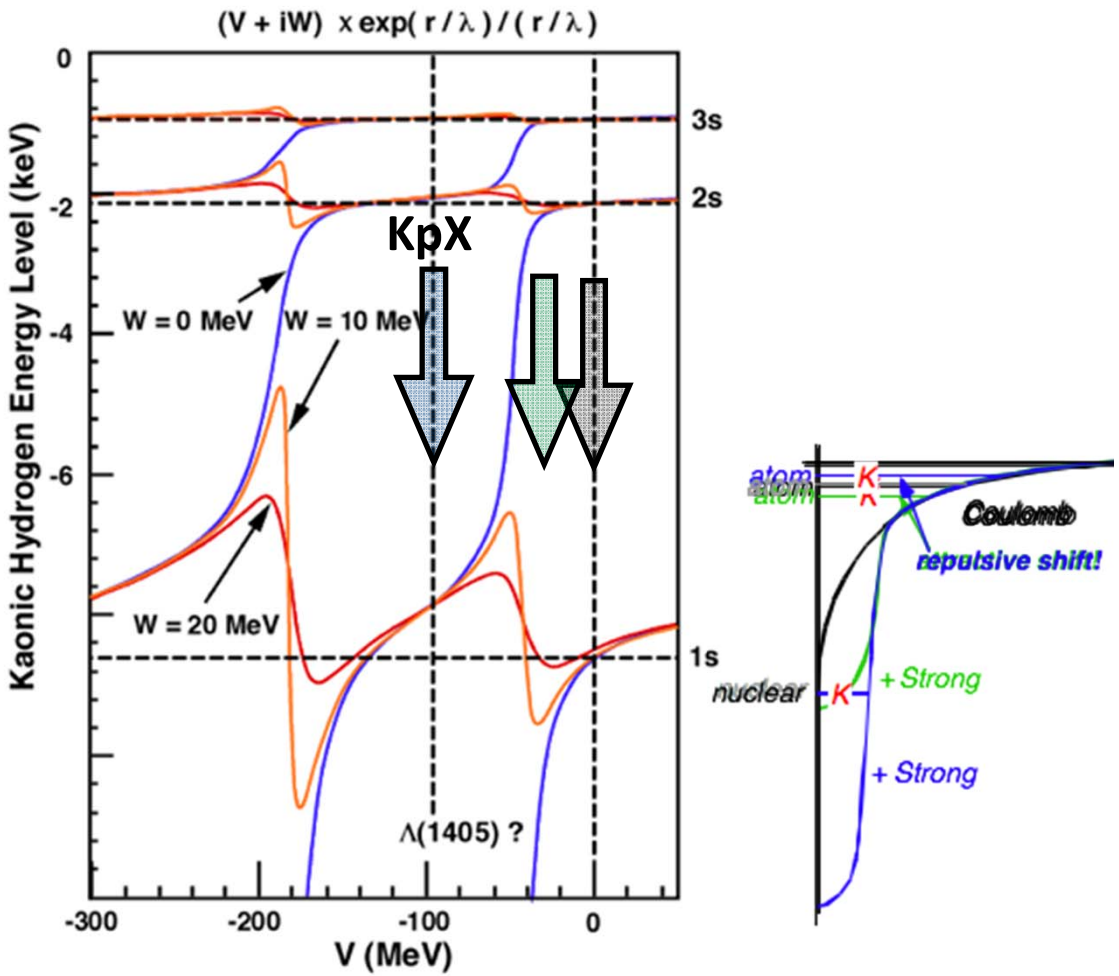
Kaonic Hydrogen Atom 現状

kaonic hydrogen puzzle

1997年
(KpX)以前



2012年



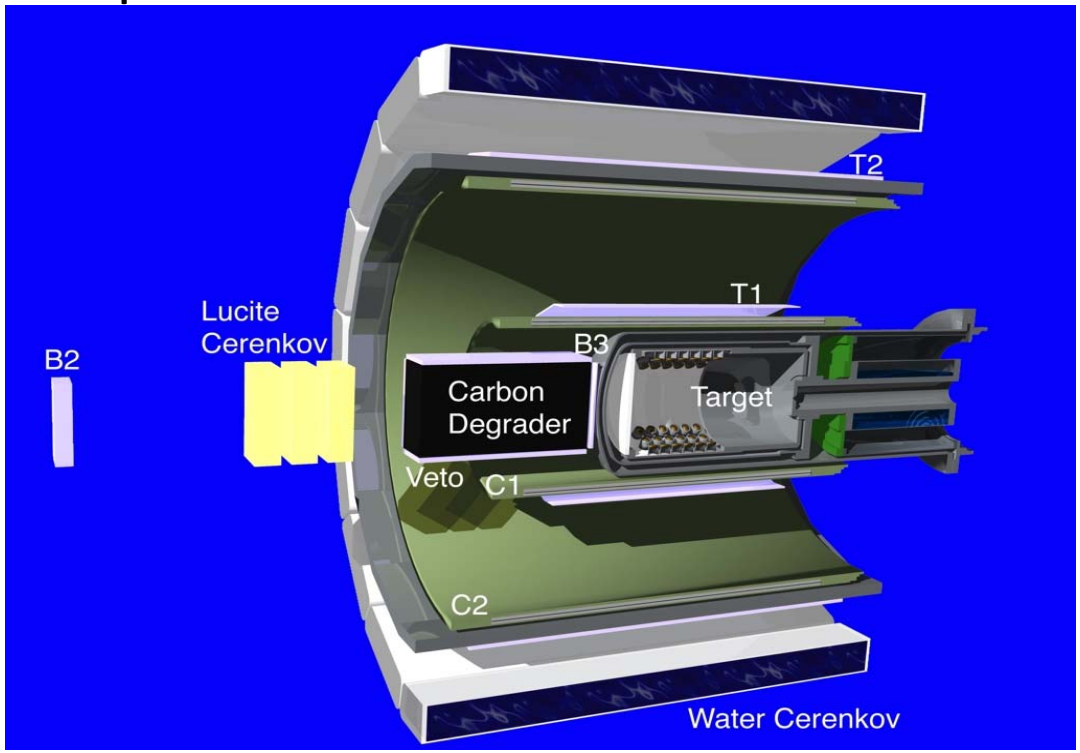
large repulsive shift = strongly attractive

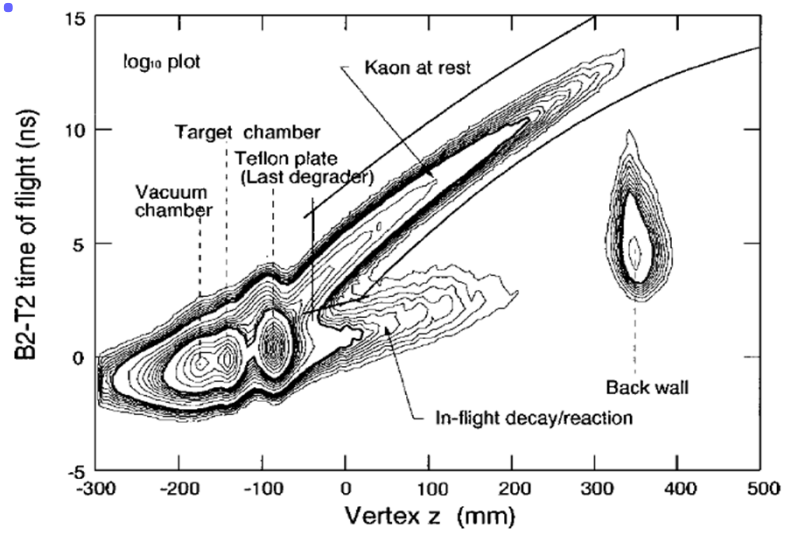
$\bar{K}N$相互作用は強い引力

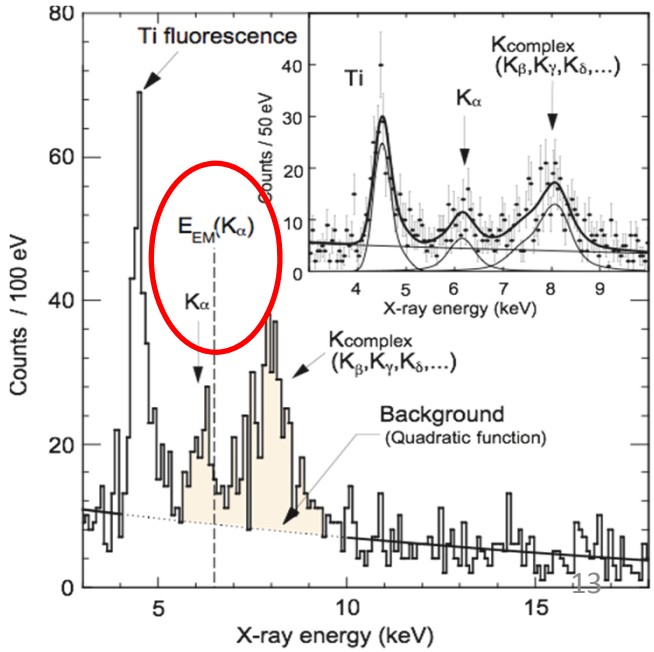
KEK-PS E228実験 (KpX)

How to approach kaonic hydrogen puzzle?

- 2次粒子をタグする事により、Background Free
- Gas H Target
- 60 Si(Li) crystal in Hydrogen Gas
- 2p→1s shift







その他のKaonic Atom

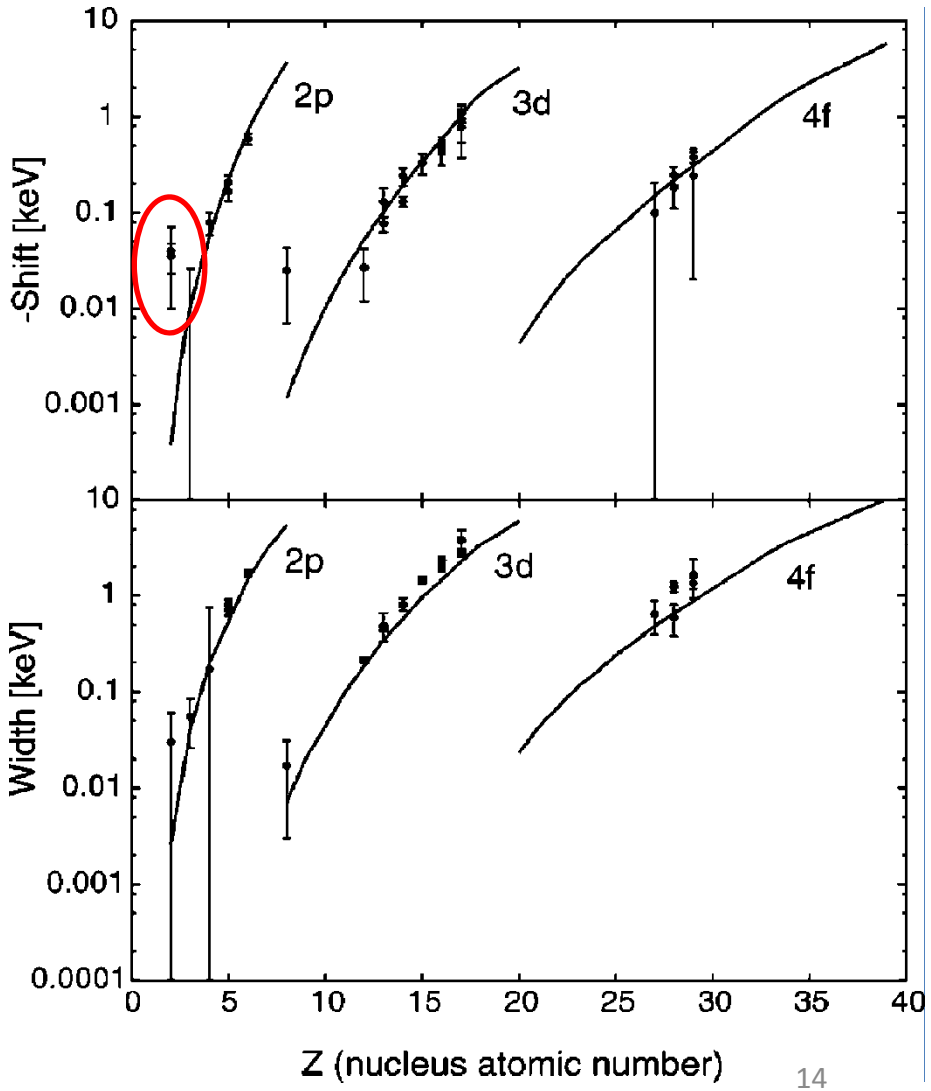
- K-He原子だけが理論予想より大きくずれていた
  → kaonic helium puzzle
- KEK-PS E570実験により解決

Experimental data:
Very large shift (~40 eV)

contradict for long !

Optical Model values:
Very small shift (~0 eV)

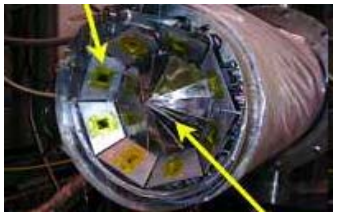
shifts and widths of kaon atomic levels

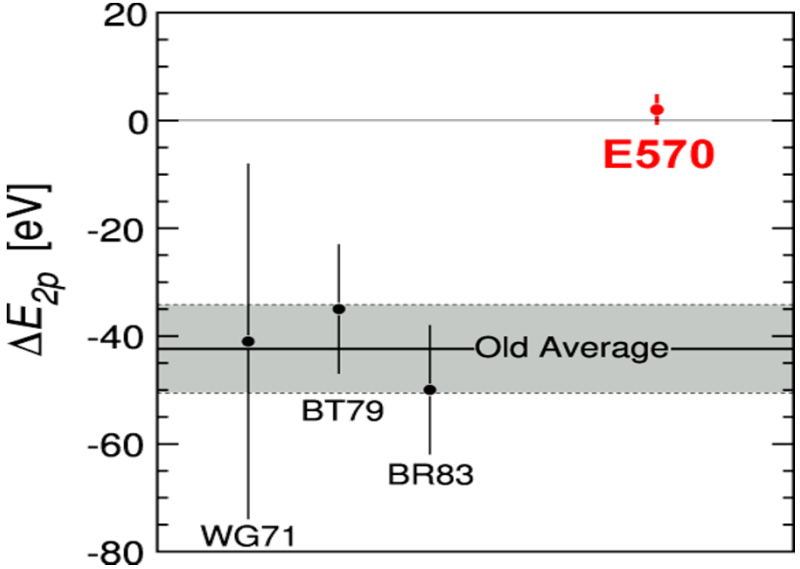


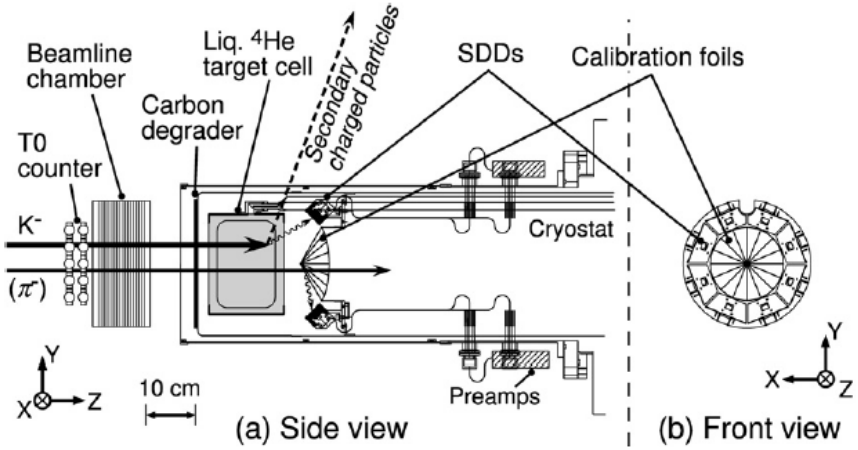
S. Hirenzaki, Y. Okumura, H. Toki, E. Oset and A. Ramos Phys. Rev. C 61 (2000)

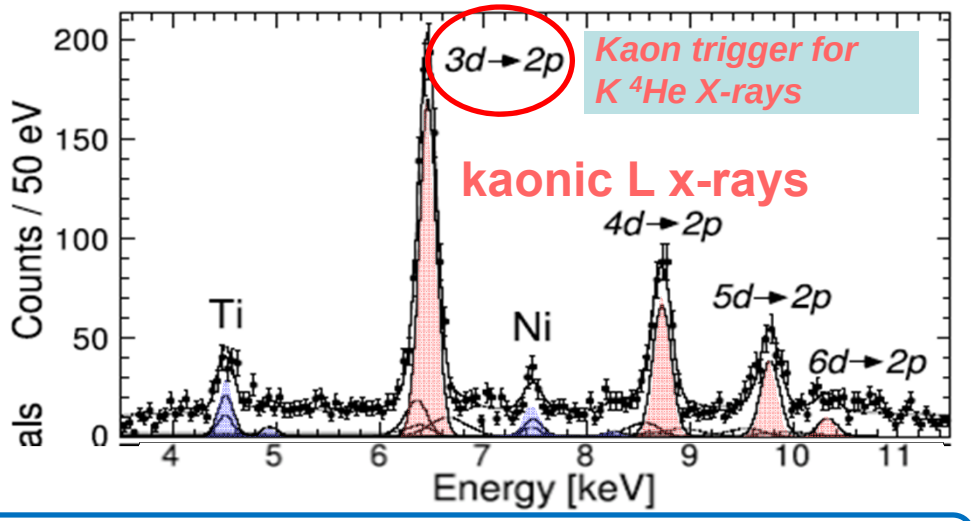
KEK-PS E570実験 (KHeX)

- 2次粒子をタグする事により、Background Free
- Liquid ^{4}He Target
- 8 Silicon Drift Detector (SDD)
- 3d→2p shift



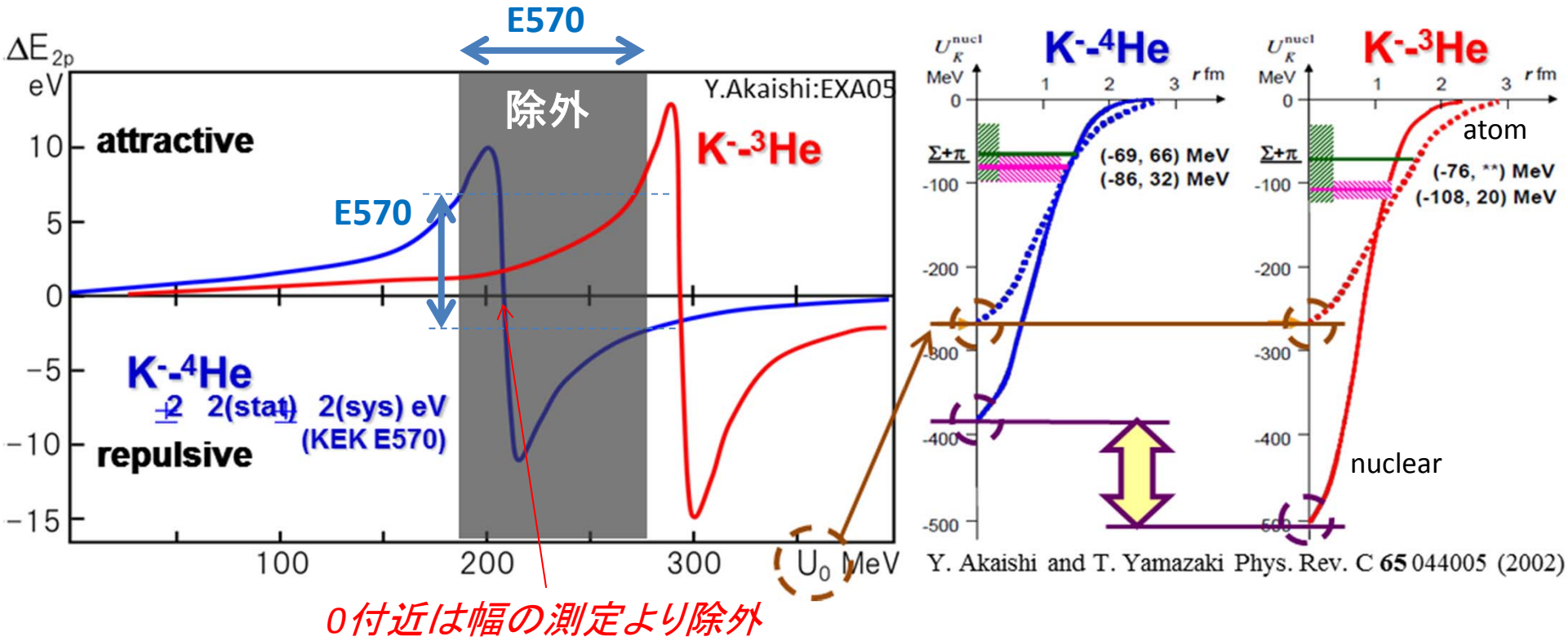






K-^{3}He原子を測定する実験がJ-PARC E17実験として進行中

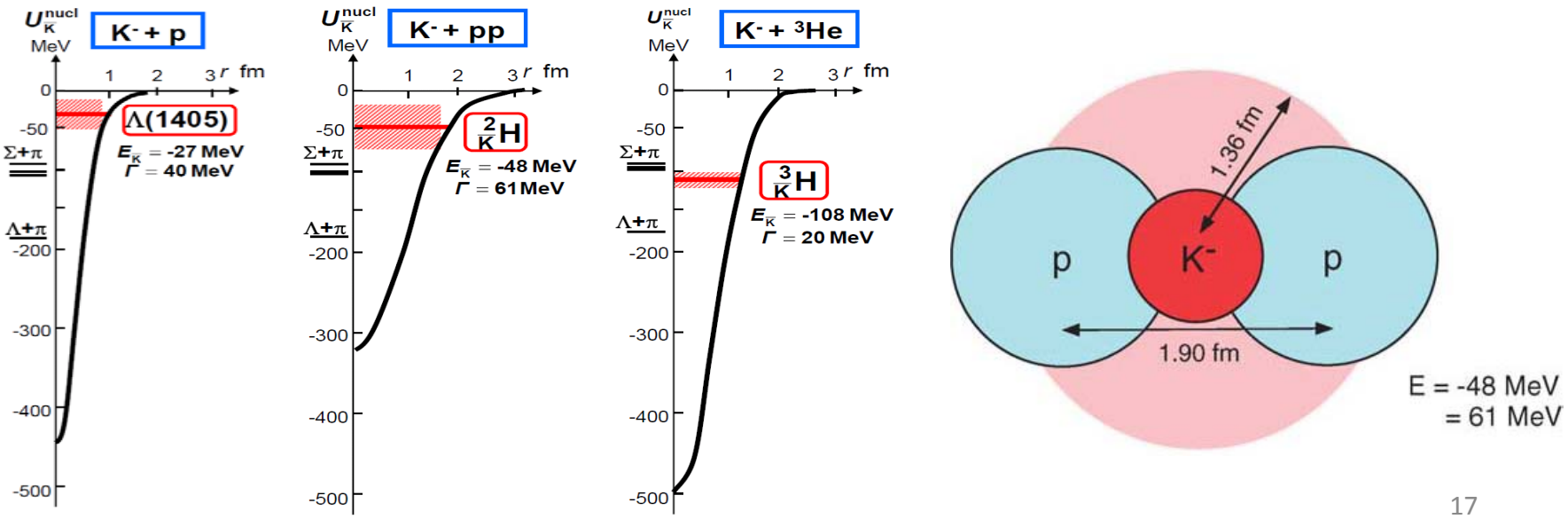
K-^{3}He原子を測定して何が分かる?



- 3d→2pのshiftを^{3}He/^{4}Heで比較することにより、K中間子-原子のアイソスピン依存を測定
- さらには、**K中間子原子核のヒントにも**

原子核にK中間子を埋め込む
→ K中間子原子核

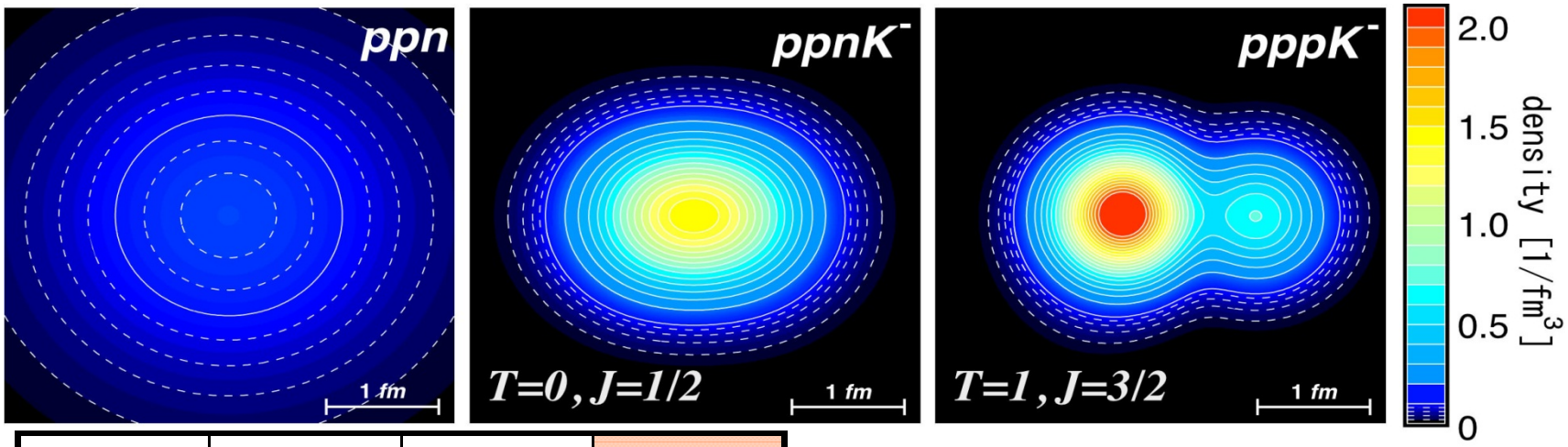
- $\bar{K}N$相互作用が強い引力であることから、**K中間子と原子核が束縛したK中間子原子核**が理論的に予想される
  - K中間子が”のり”のように原子核をくっつける
  - 通常原子核よりもコンパクトで高密度に
  - *(Λ(1405)がK^-p束縛状態であるとの仮定)*



Y.Akaishi & T.Yamazaki, PLB535, 70(2002).

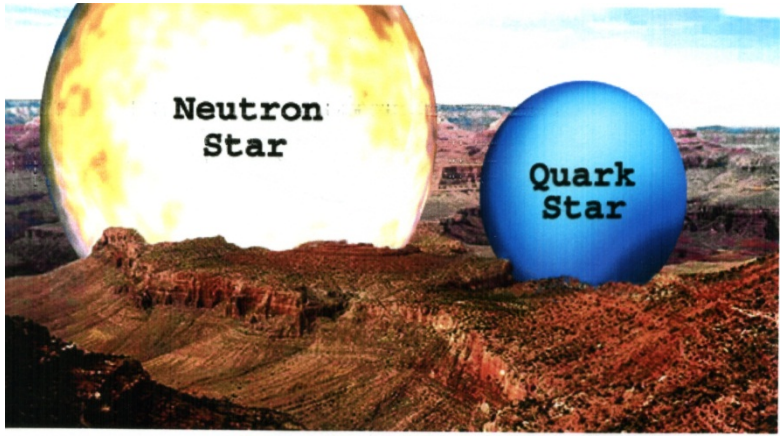
K中間子原子核

A. Dote et al.
Phys. Rev. C 70 (2004) 044313



Kaonic Nuclei	Binding Energy [MeV]	Width [MeV]	Central Density
K^-p	27	40	$3.5\rho_0$
K^-pp	48	61	$3.1\rho_0$
K^-ppp	97	13	$9.2\rho_0$
K^-ppn	118	21	$8.8\rho_0$

- 深い束縛エネルギー → コンパクト?
- コンパクト → 高密度?
- 狭い幅 → 準安定?



$$p + e^- \rightarrow K^- + p + \nu_e \ ?$$

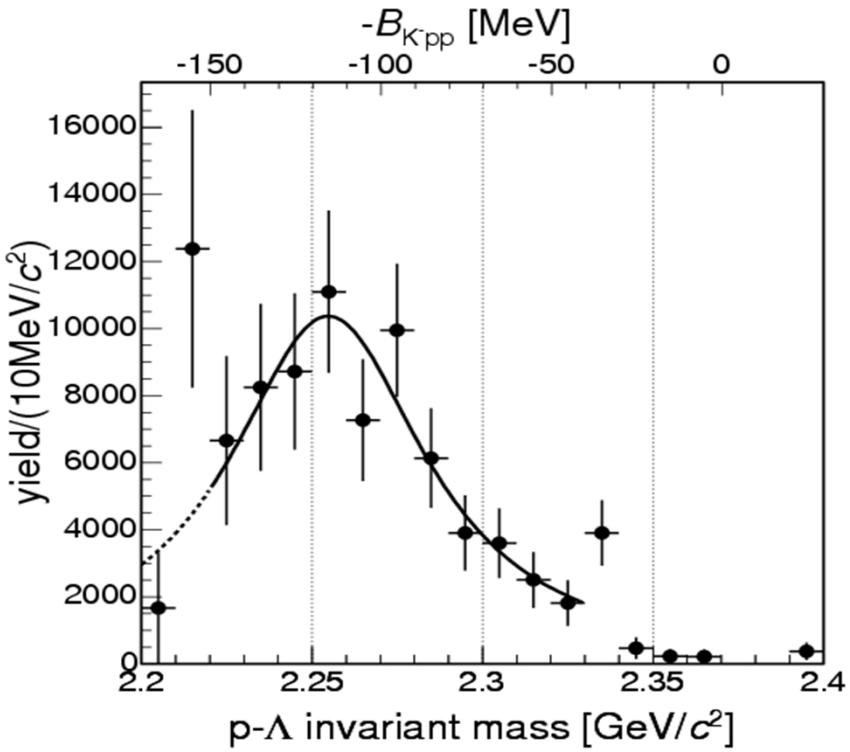
K中間子凝縮へ何かヒント?

K^-ppに対する理論予想

	Method	Binding Energy (MeV)	Width (MeV)
Akaishi, Yamazaki PLB533, 70 (2002).	ATMS	48	61
Shevchenko, Gal, Mares PRL98, 082301 (2007).	Faddeev	55-70	90-110
Ikeda, Sato PRC76, 035203 (2007).	Faddeev	79	74
Dote, Hyodo, Weise NPA804,197 (2008).	chiral SU(3)	19+/-3	40-70 ($\pi\Sigma$N-decay)

- **K^-pp束縛状態 = K中間子の中でも最も簡単な構造**
- どの理論予想も存在は否定しない
- しかし、”束縛エネルギー”と”幅”の予想はバラバラ
  - 束縛エネルギー: 深い/浅い?
  - 幅: 狭い/広い?

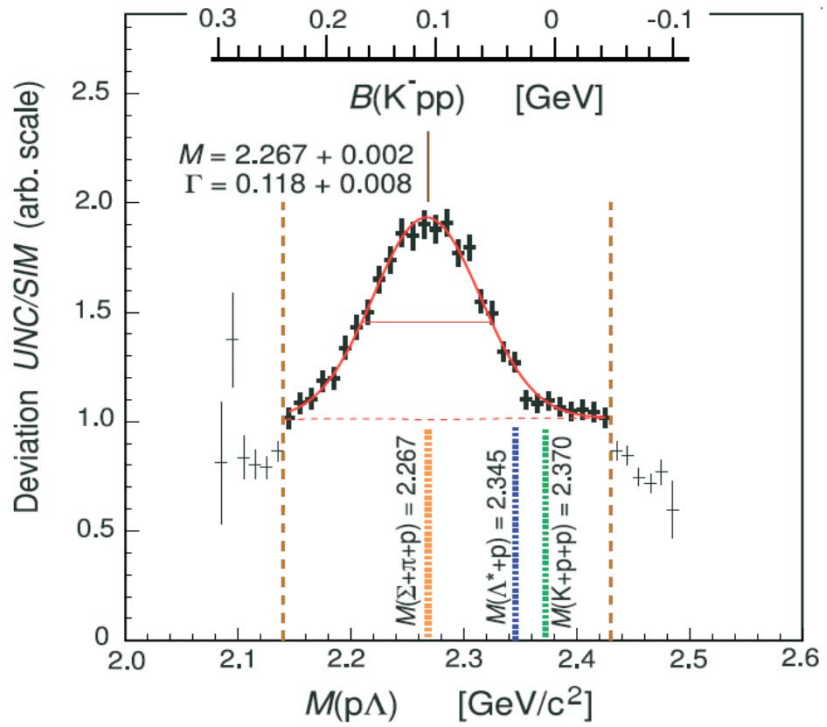
K⁻pp存在の証拠???



FINUDA@DAΦNE

PRL, 94, 212303 (2005)

M(ppK-) = 2.255 GeV/c^2
B(ppK-) = 115 MeV
Γ(ppK-) = 67 MeV/c^2



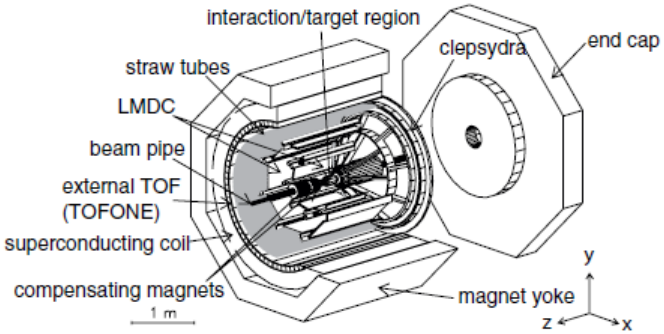
DISTO@SATURNE

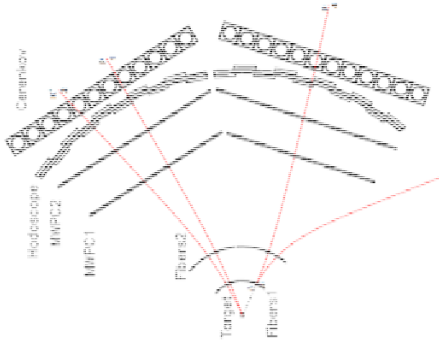
PRL, 104, 132502 (2010)

M(ppK-) = 2.267 GeV/c^2
B(ppK-) = 103 MeV
Γ(ppK-) = 118 MeV/c^2

- どちらも非常に深い束縛エネルギー/広い幅
- πΣの閾値付近にあるために、様々な議論がある

K^-pp存在の証拠???





- stopped-K^- + A → K^-pp? + X
  → Λ + p
- 不変質量のみ測定
- バックグラウンドよく分からず

FINUDA@DAΦNE

PRL, 94, 212303 (2005)

- 2.85 GeV p + p → K^-pp? + K^+
  → Λ + p
- 全粒子を測定
- p+p反応からの複雑なバックグラウンド

DISTO@SATURNE

PRL, 104, 132502 (2010)

- バックグラウンドと反応チャンネルがポイント
- **in-flight K^- ビームを用いたE15実験で決着へ**

K^-pp生成?

	良いところ	悪いところ
静止K^-実験 (FINUDA) stopped-K^- + A → K^-pp + X	・S=-1を入射 ・生成率が多い?	**・多核子吸収からのバックグラウンド寄与が多い?** **K^- + A → Λ + (A-1)** **・2-step processからのΛp生成によるバックグラウンド?**
p+p実験(DISTO) p + p → K^-pp + K^+	・多統計の実験が可能	・$s\bar{s}$を作る必要がある **・複雑なバックグラウンド**
in-flight K^-実験 (E15) K^- + ^{3}He → K^-pp + n	・S=-1を入射 **・多核子吸収からのバックグラウンドが比較的分離しやすい?**	・生成断面積が少ない?

- **Λ(1405)**を通したK-pp生成が主?
  - p + p → p+ Λ(1405) + K^+ → K^-pp + K^+
  - K^- + p + p → Λ(1405) + p → K^-pp

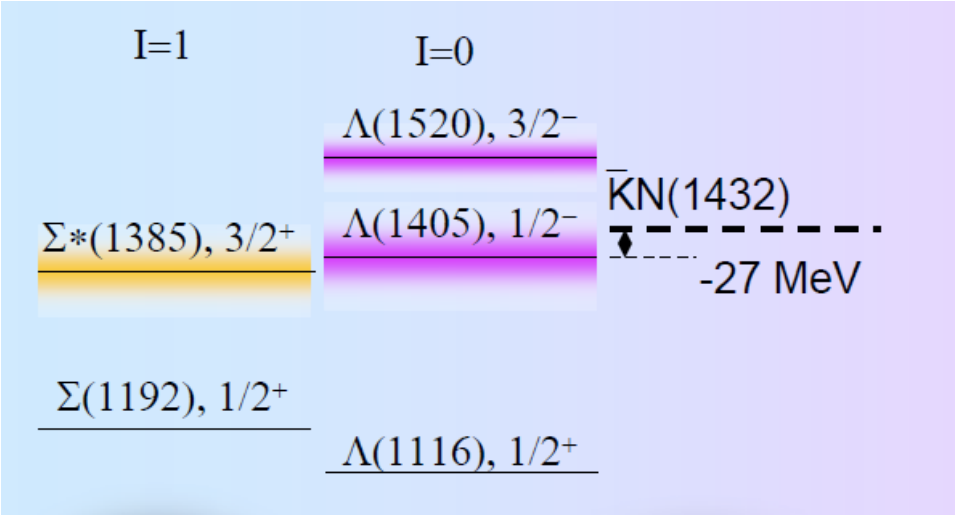
Λ(1405)とは

Λ(1405) 1/2⁻ $I(J^P) = 0(\frac{1}{2}^-)$

Mass $m = 1405.1^{+1.3}_{-1.0}$ MeV
Full width $\Gamma = 50 \pm 2$ MeV
Below $\bar{K}N$ threshold

Λ(1405) DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)	p (MeV/c)
$\Sigma\pi$	100 %	155

バブル・チェンバーを用いた70-80年代の実験結果の解析より決定

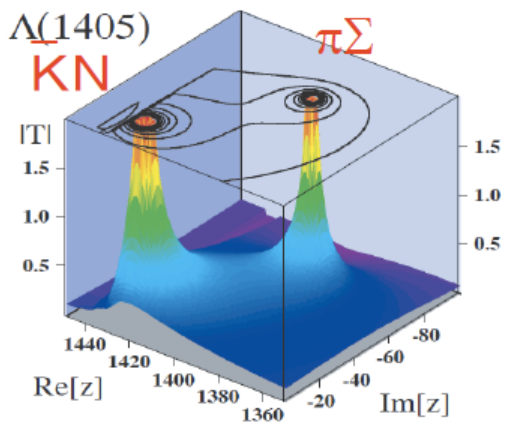


- $\bar{K}N$閾値のすぐ下にある粒子(-27MeV)
- その存在形態が長い間議論されてきた
  - Lの励起状態?
  - **K^-p束縛状態?**
  - ペンタクォーク?
- 近年、その質量が理論的な論争に
  - 1405MeV? ← 現象論的ポテンシャルより
  - 1420MeV? ← カイラル・ユニタリー・モデルより

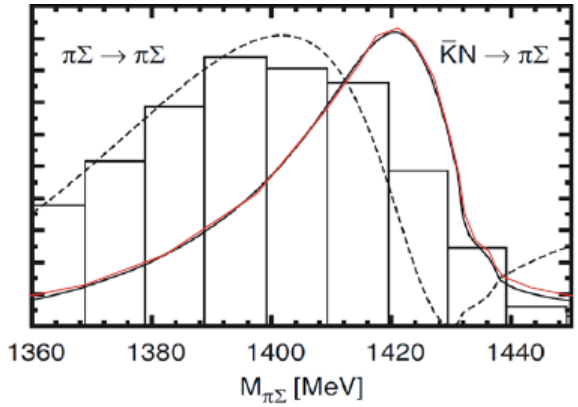
Λ(1405)は1405MeV? 1420MeV?

- **1405MeV**
  - 過去の実験結果より決めた<u>**現象論的ポテンシャル**</u>
  - Λ(1405) は$\bar{K}N$束縛状態
- **1420MeV**
  - <u>**カイラル・ユニタリー・モデル**</u>
  - Λ(1405) は$\bar{K}N$と$\pi\Sigma$にカップルする二つのポールを持つ
    - PRC77(2008)035204: pole($\bar{K}N$) = 1427MeV, pole($\pi\Sigma$) = 1388MeV
  - その結果$\bar{K}N \rightarrow \pi\Sigma$チャンネルでは1420MeV付近にピーク

L(1405)の詳細測定が
J-PARC E31実験として進行中



ChU model, T. Hyodo

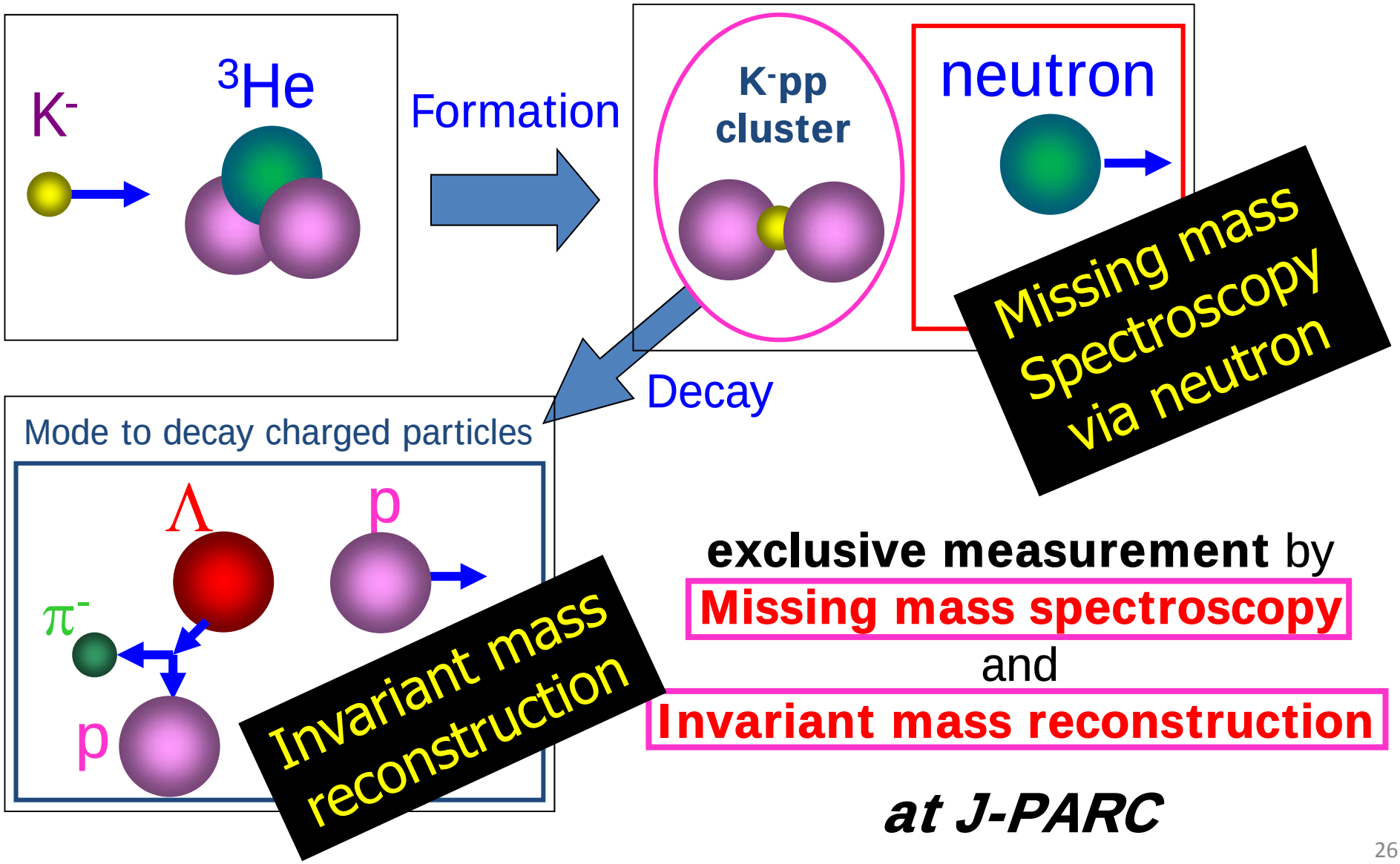


Chiral Unitary Model:
D. Jido et al., NPA725(03)181

E15実験
--- K中間子原子核探索実験 ---

Experimental Principle

search for K-pp bound state using $^3He(K^-,n)$ reaction



exclusive measurement by

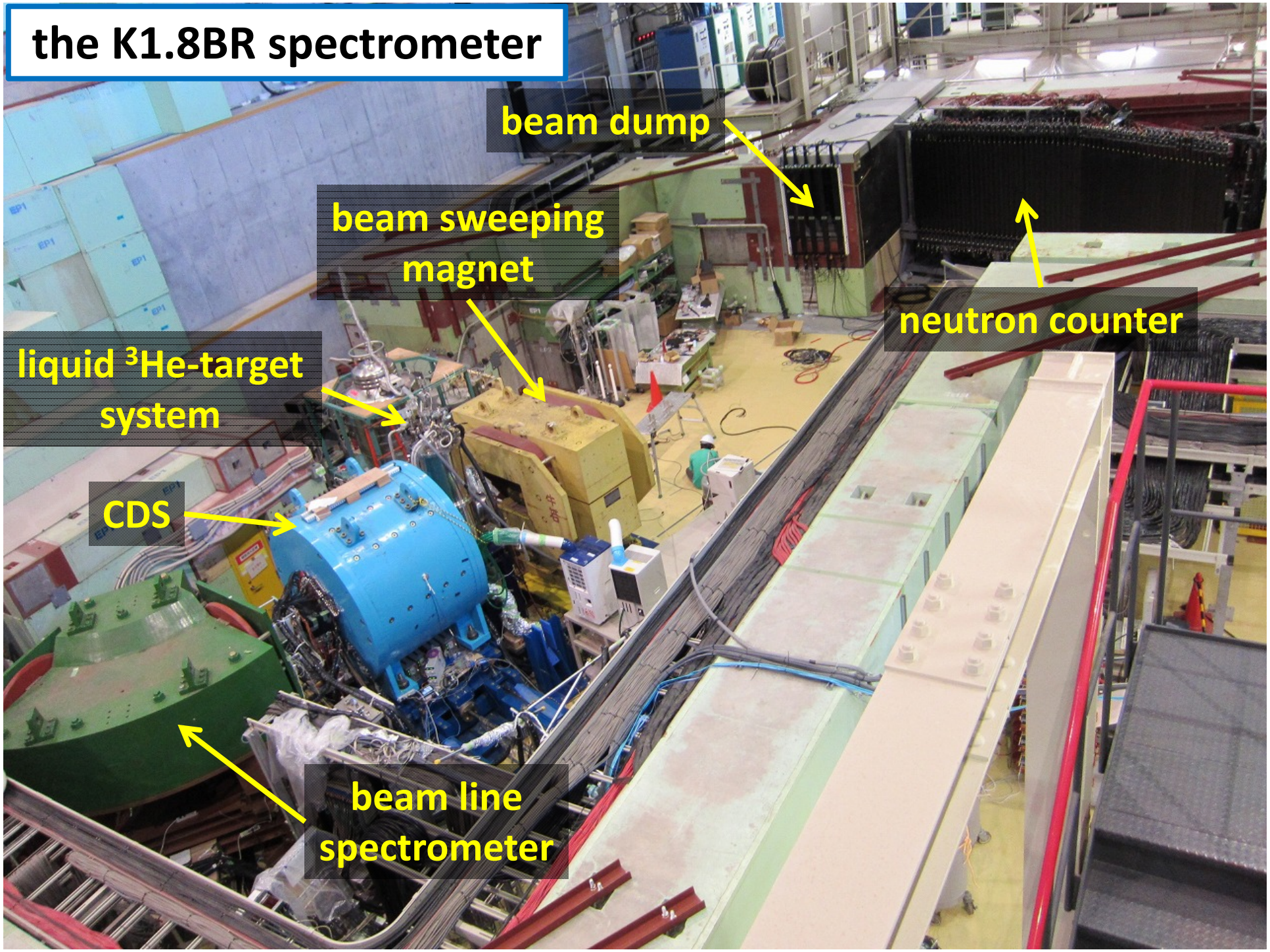
Missing mass spectroscopy

and

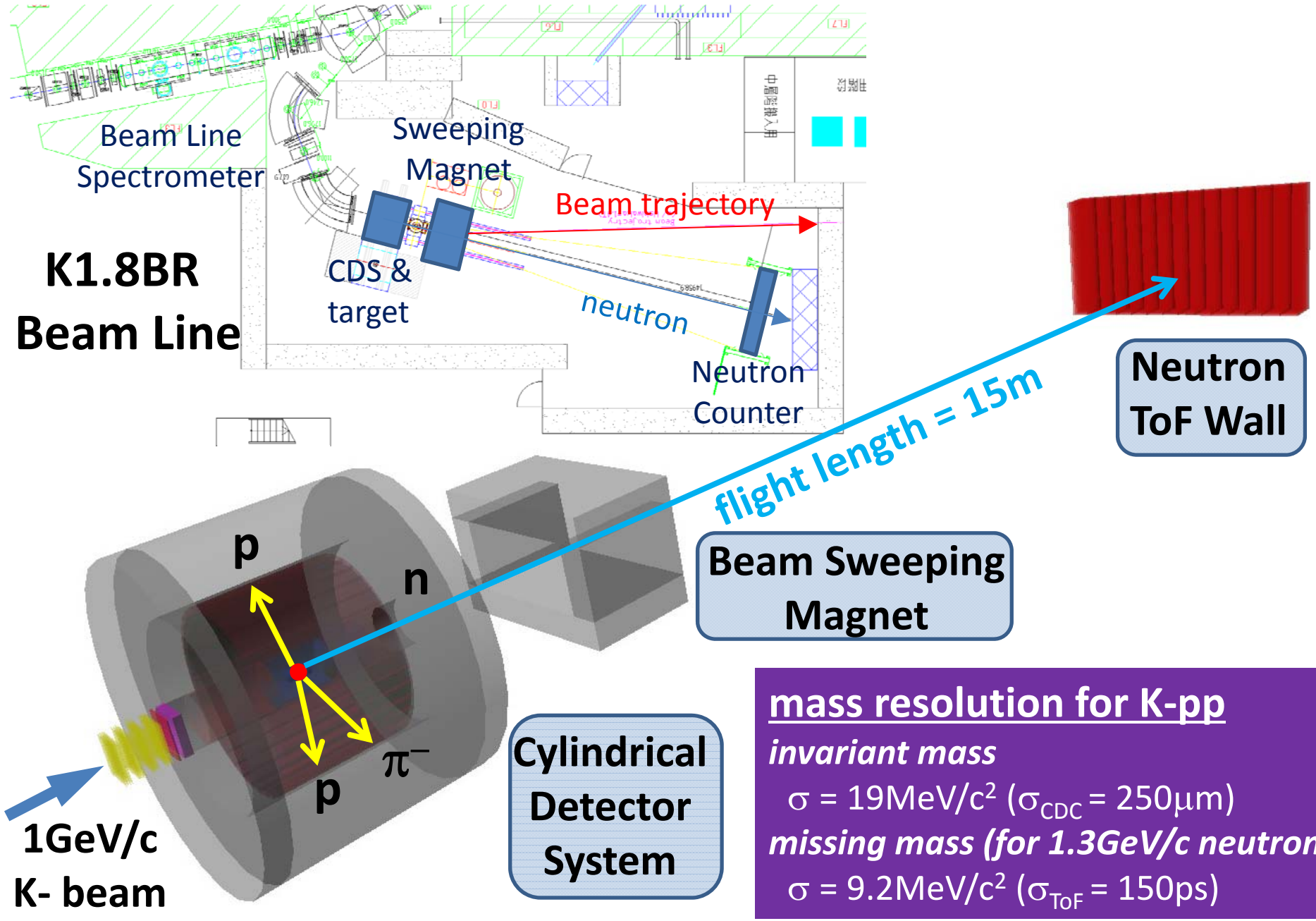
Invariant mass reconstruction

at J-PARC

K1.8BRエリア


the K1.8BR spectrometer
beam dump
beam sweeping magnet
neutron counter
liquid ^{3}He-target system
CDS
beam line spectrometer

J-PARC E15 Setup



mass resolution for K-pp

invariant mass

σ = 19MeV/c^2 (σ_{CDC} = 250μm)

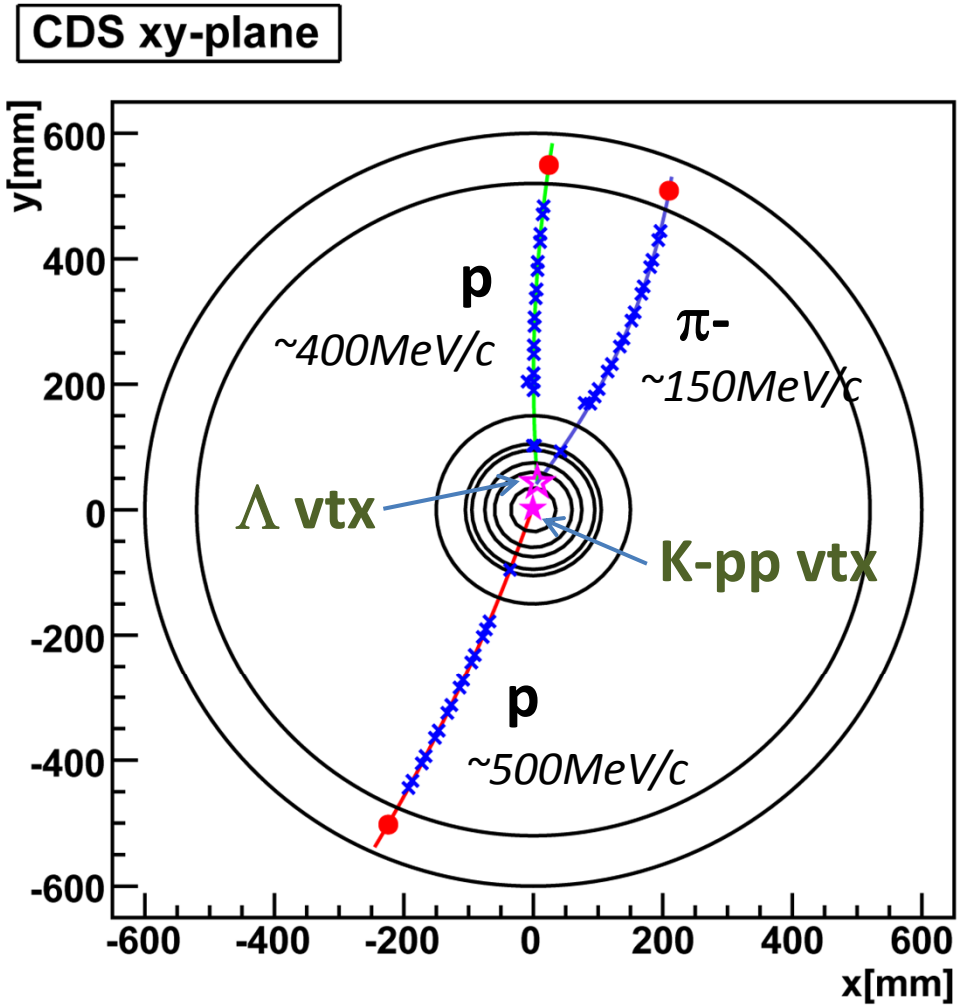
missing mass (for 1.3GeV/c neutron)

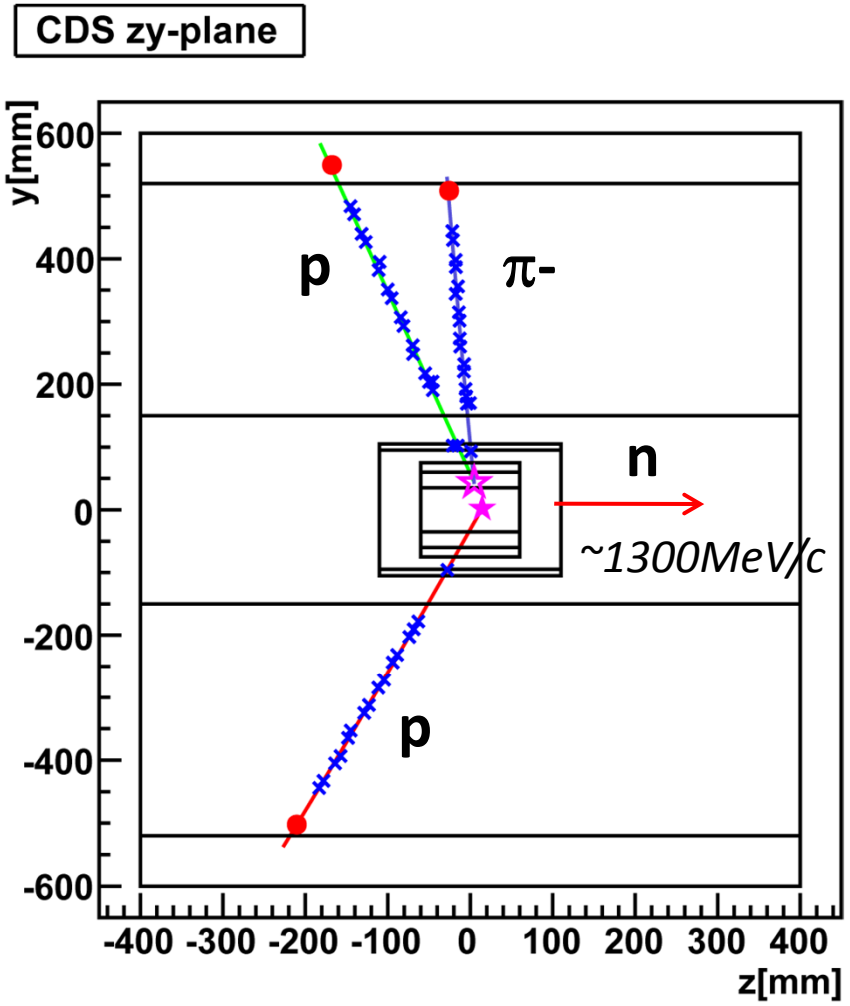
σ = 9.2MeV/c^2 (σ_{ToF} = 150ps)

Expected Kinematics for K-pp Decay

- binding energy = 100MeV/c^2
- Isotropic decay of K-pp
- with forward neutron

Calculated using Geant4





E15/K.8BRの歴史

Jun.2006	**1st PAC**	**proposed and approved as the stage-1 and the day-1 experiment at K1.8BR**
Jan. 2007	2nd PAC	approved as the stage-2 experiment
Feb. 2009	**Run#22**	**first beam transportation to K1.8BR**
Oct. 2009	Run#26	beam line commissioning (~6.5h)
Nov. 2009	Run#27	beam line commissioning (~15h)
Dec. 2009	Run#28	beam line commissioning (~20h)
Jan. 2010	Run#29	beam line commissioning (~50h)
Feb. 2010	Run#30	beam line commissioning (~55h)
Oct. 2010	Run#35	beam line and CDS commissioning (~90h)
Mar. 11 2011		**the earthquake**
Feb. 2012	Run#40	beam line and CDS commissioning for 1.0 GeV/c (~150h)
May. 2012		**completion of spectrometer construction**
Jun. 2012	**Run#43**	**1st engineering run with full-setup (w/ liq. ^{3}He target)** (~100h)
Dec. 2012	Run#45	engineering run (~27h)
Jan. 2013	Run#46	engineering run (~24h)
Mar. 2013	**Run#47**	**1st physics run (~300h)**

The J-PARC E15 Collaboration

http://ag.riken.jp/J-PARC/collaboration/

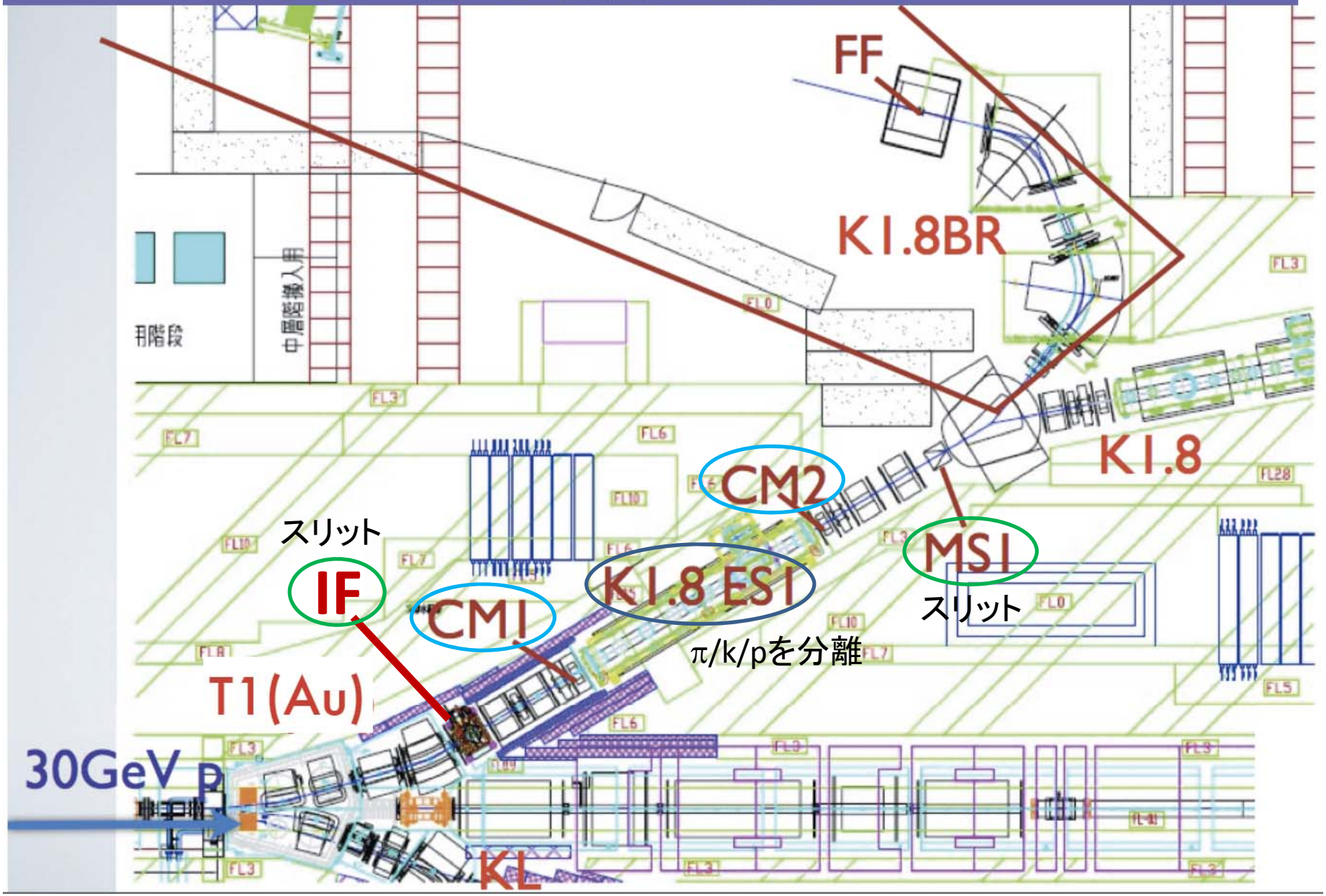
S. Ajimura[a], G. Beer[b], H. Bhang[c], M. Bragadireanu[e], P. Buehler[f], L. Busso[g,h], M. Cargnelli[f], S. Choi[c], C. Curceanu[d], S. Enomoto[i], D. Faso[g,h], H. Fujioka[j], Y. Fujiwara[k], T. Fukuda[l], C. Guaraldo[d], T. Hashimoto[k], R. S. Hayano[k], T. Hiraiwa[j], M. Iio[o], M. Iliescu[d], K. Inoue[i], Y. Ishiguro[j], T. Ishikawa[k], S. Ishimoto[o], T. Ishiwatari[f], K. Itahashi[n], M. Iwai[o], M. Iwasaki[m,n*], S. Kawasaki[i], P. Kienle[p], H. Kou[m], Y. Ma[n], J. Marton[f], Y. Matsuda[q], Y. Mizoi[l], O. Morra[g], T. Nagae[j$], H. Noumi[a], H. Ohnishi[n], S. Okada[n], H. Outa[n], K. Piscicchia[d], M. Poli Lener[d], A. Romero Vidal[d], Y. Sada[j], A. Sakaguchi[i], F. Sakuma[n], M. Sato[k], A. Scordo[d], M. Sekimoto[o], H. Shi[k], D. Sirghi[d,e], F. Sirghi[d,e], K. Suzuki[f], S. Suzuki[o], T. Suzuki[k], H. Tatsuno[d], M. Tokuda[m], D. Tomono[n], A. Toyoda[o], K. Tsukada[r], O. Vazquez Doce[d,s], E. Widmann[f], T. Yamazaki[k,n], H. Yim[t], and J. Zmeskal[f]

(a) Research Center for Nuclear Physics (RCNP), Osaka University, Osaka, 567-0047, Japan
(b) Department of Physics and Astronomy, University of Victoria, Victoria BC V8W 3P6, Canada
(c) Department of Physics, Seoul National University, Seoul, 151-742, South Korea
(d) Laboratori Nazionali di Frascati dell' INFN, I-00044 Frascati, Italy
(e) National Institute of Physics and Nuclear Engineering - IFIN HH, Romania
(f) Stefan-Meyer-Institut für subatomare Physik, A-1090 Vienna, Austria
(g) INFN Sezione di Torino, Torino, Italy
(h) Dipartimento di Fisica Generale, Universita' di Torino, Torino, Italy
(i) Department of Physics, Osaka University, Osaka, 560-0043, Japan
(j) Department of Physics, Kyoto University, Kyoto, 606-8502, Japan
(k) Department of Physics, The University of Tokyo, Tokyo, 113-0033, Japan
(l) Laboratory of Physics, Osaka Electro-Communication University, Osaka, 572-8530, Japan
(m) Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 152-8551, Japan
(n) RIKEN Nishina Center, RIKEN, Wako, 351-0198, Japan
(o) High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, 305-0801, Japan
(p) Technische Universität München, D-85748, Garching, Germany
(q) Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, 153-8902, Japan
(r) Department of Physics, Tohoku University, Sendai, 980-8578, Japan
(s) Excellence Cluster Universe, Technische Universität München, D-85748, Garching, Germany
(t) Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (KIRAMS), Seoul, 139-706, South Korea

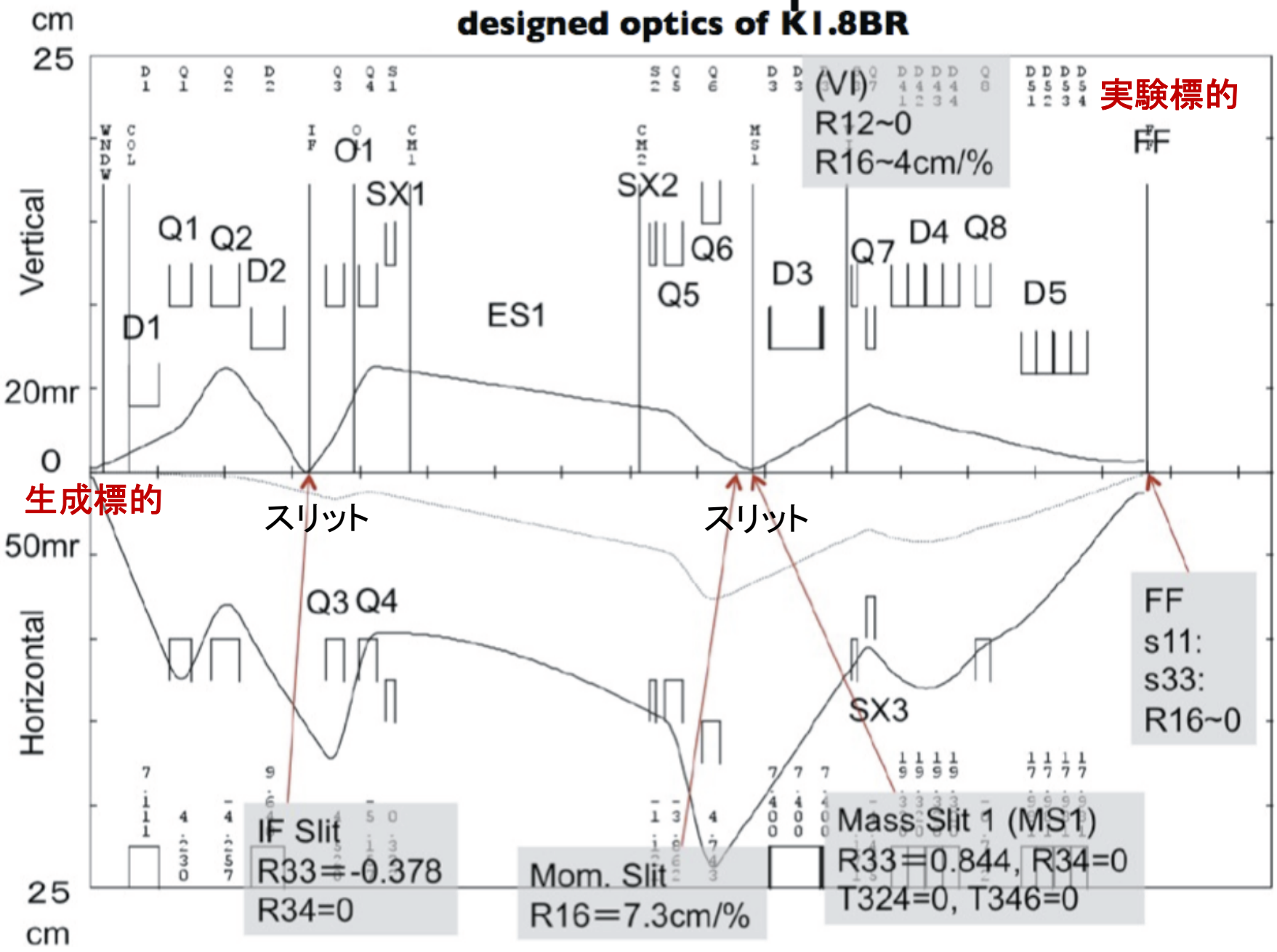
(*) Spokesperson
($) Co-Spokesperson

実働人数 = 10人:
D3*3人
D2*2人
D1*1人
M1*1人
スタッフ*3人

Beam line


FF
K1.8BR
K1.8
CM2
MS1
スリット
スリット
IF
CM1
K1.8 ES1
π/k/pを分離
T1(Au)
30GeV p
KL
中間搬入用
階段

Beam envelop



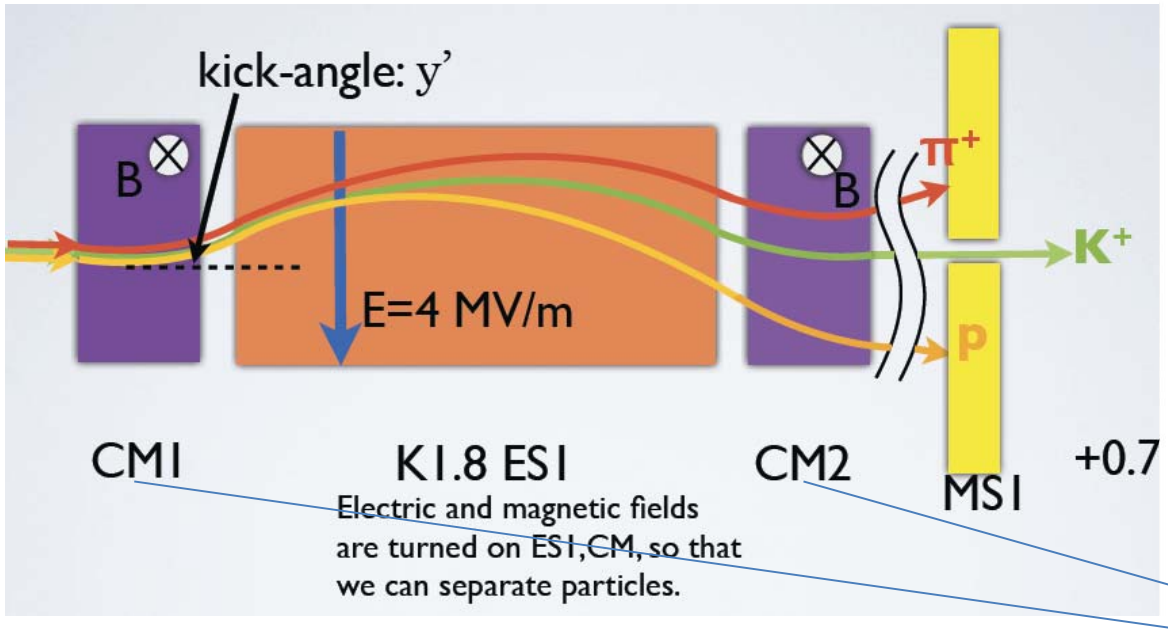
K⁻ビームの作り方

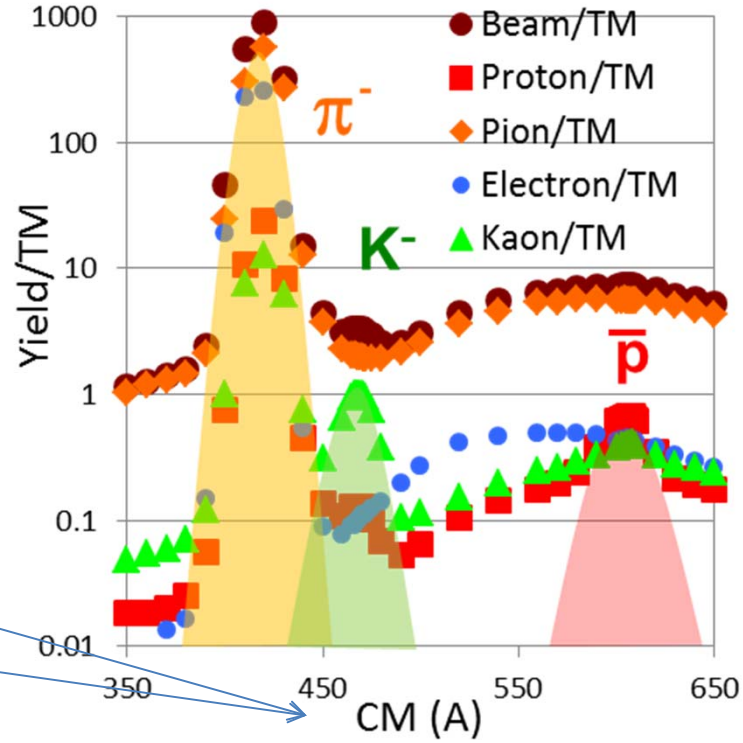
① 30GeV pを2次粒子生成標的に当てて、π/K/p等を生成させる

② 静電セパレーターを用いてπ/K/pの軌道を分離

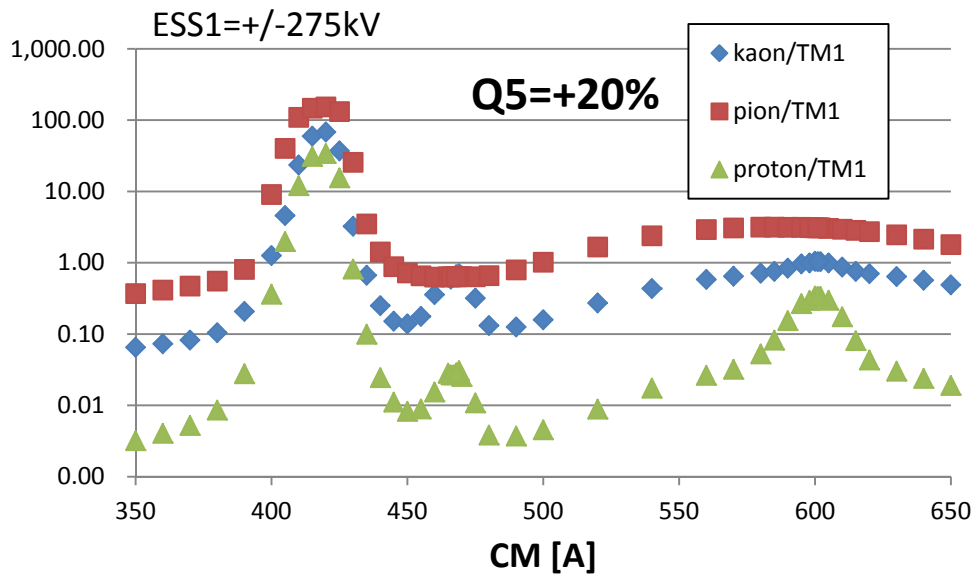
- e/μ/πは分離できない

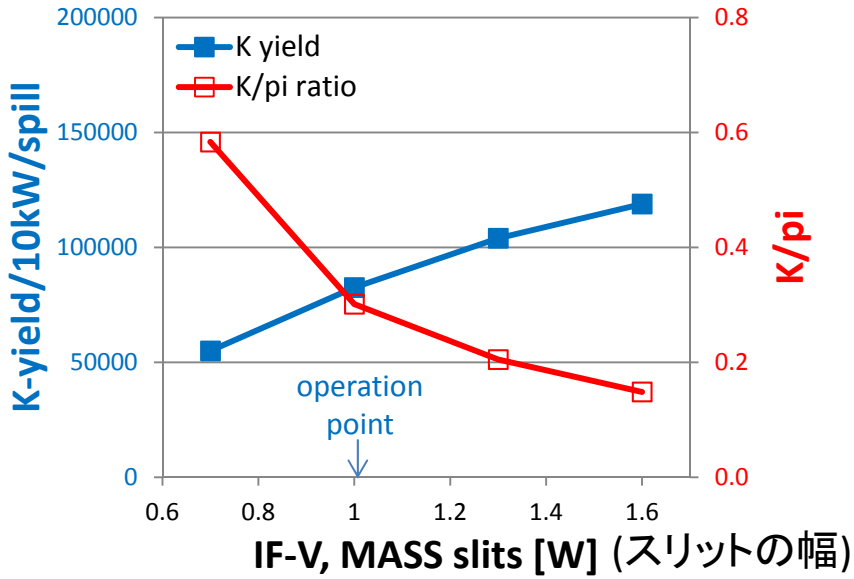
③ CM(Collection Magnet)とスリットを用いて、π/K/pを分離





K1.8BRでのK⁻ビーム



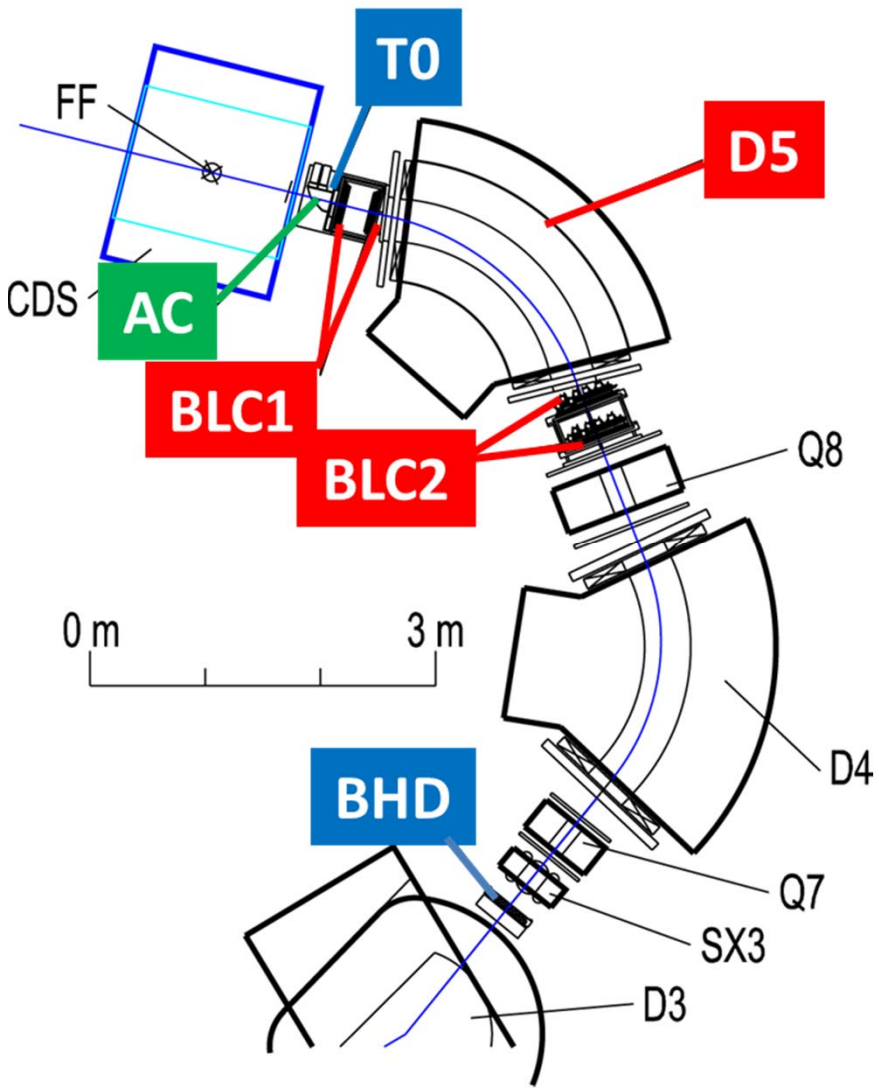


- **K/π ratio: 0.3**
- **K-yield: 80k/spill/10kW**

Au/Ni=1.8 is assumed

[/spill]	10kW(Au)	20kW(Au)	50kW(Au)	270kW(Ni)
beam intensity	350k	700k	1.8M	5.3M
K⁻ yield	80k	160k	400k	1.2M
K & CDS[1hit] trig. rate	3k	6k	15k	45k
K & CDS[1hit] & n trig. Rate	**0.1k**	**0.2k**	**0.5k**	**1.5k**

Beam Line Spectrometer



beam trigger: BHD & T0

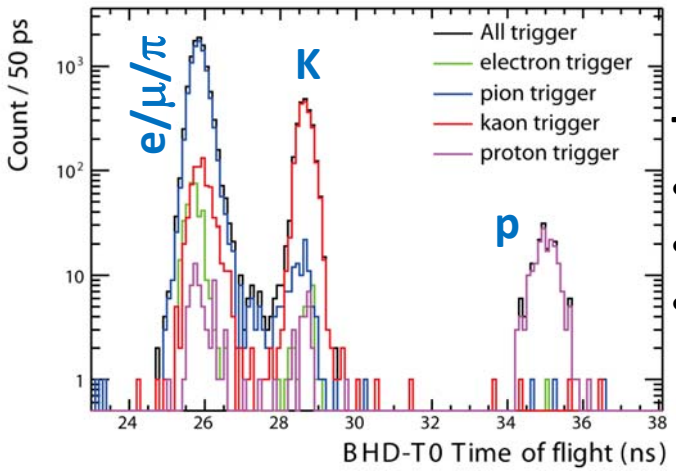
- ✓ plastic scintillator arrays
- ✓ TOF length (BHD-TO) = 7.7m
- ✓ $\sigma(TOF_{BHD\text{-}T0})$ = 160ps

kaon identification at trigger level: AC

- ✓ mirror reflection type aerogel Cherenkov counter (index = 1.05)
- ✓ π detection eff. = 96% (th=5p.e.)

beam momentum: D5 & BLC1/2

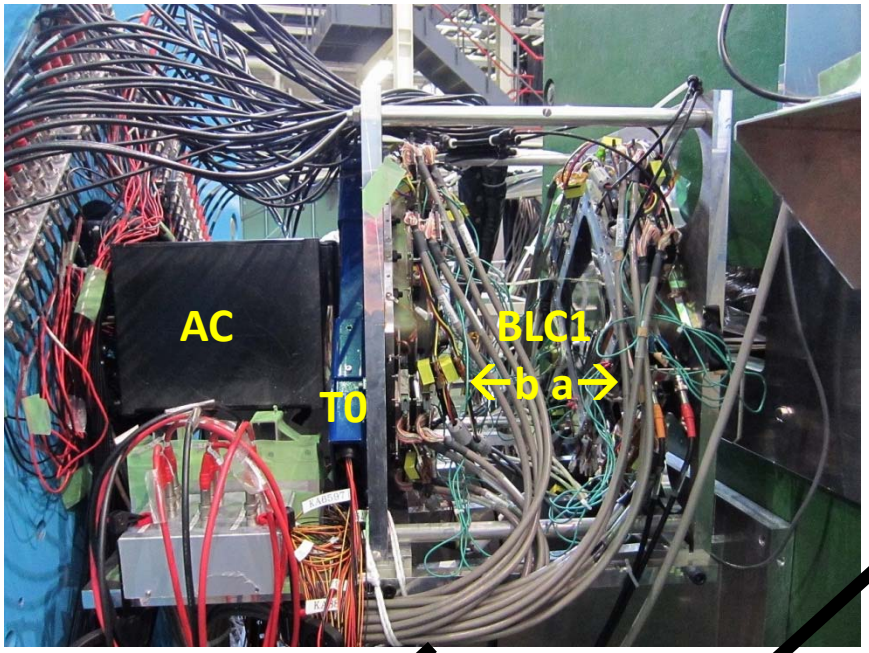
- ✓ dipole and wire drift chambers
- ✓ momentum resolution = 0.2%

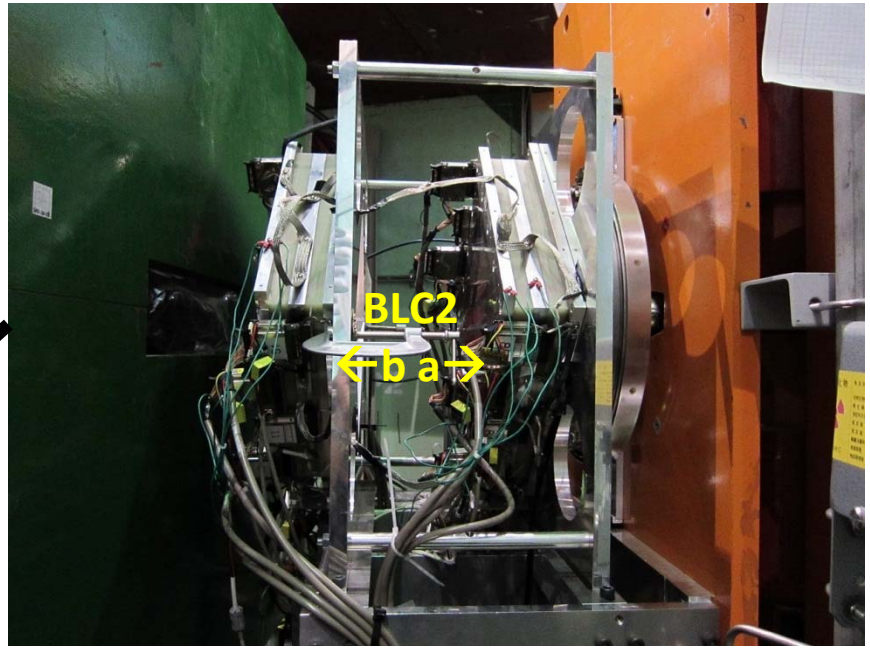


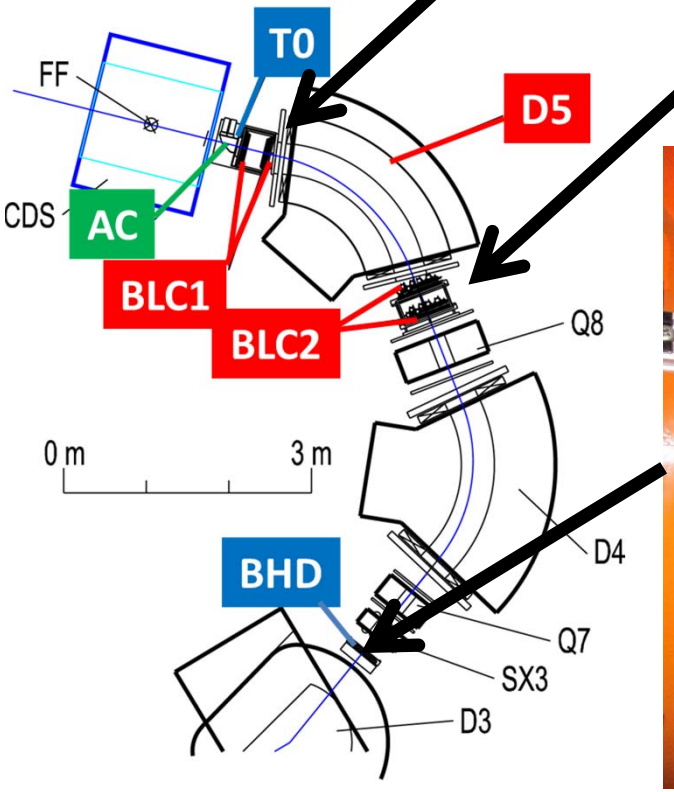
TOF(BHD-T0)

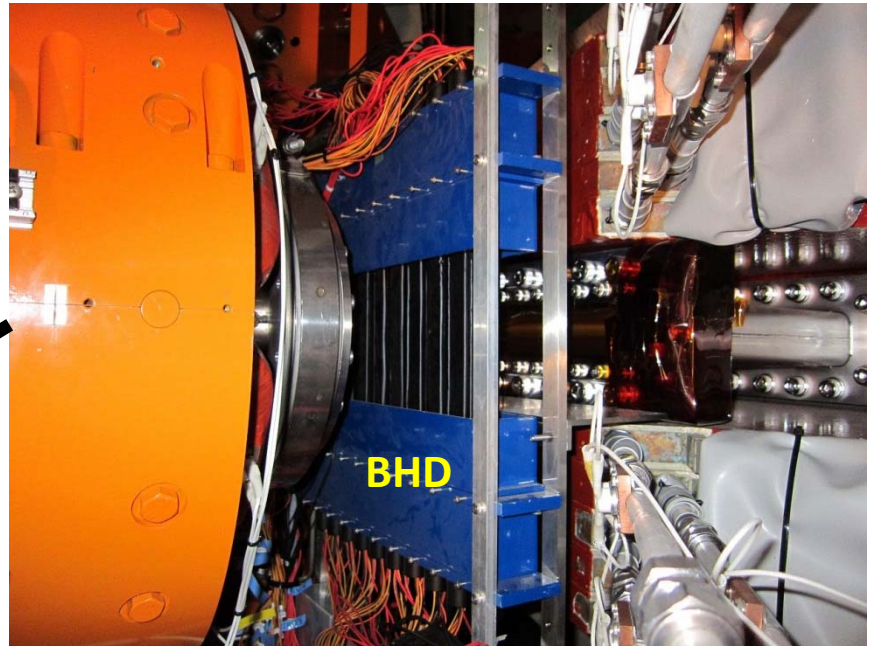
- **Run#40**
- **+1.0 GeV/*c***
- **ESS1 = +/-250kV**

Beam Line Spectrometer

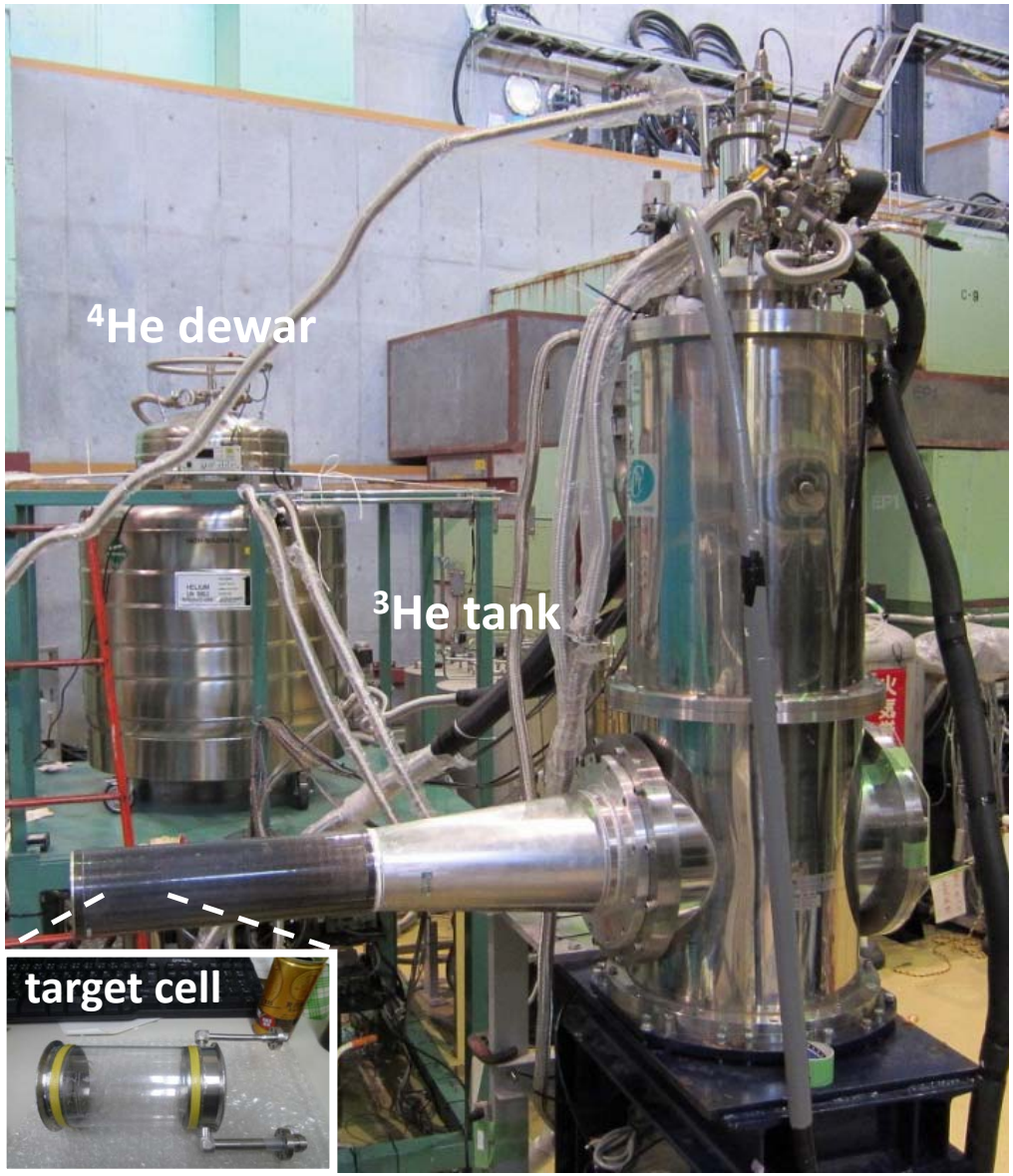


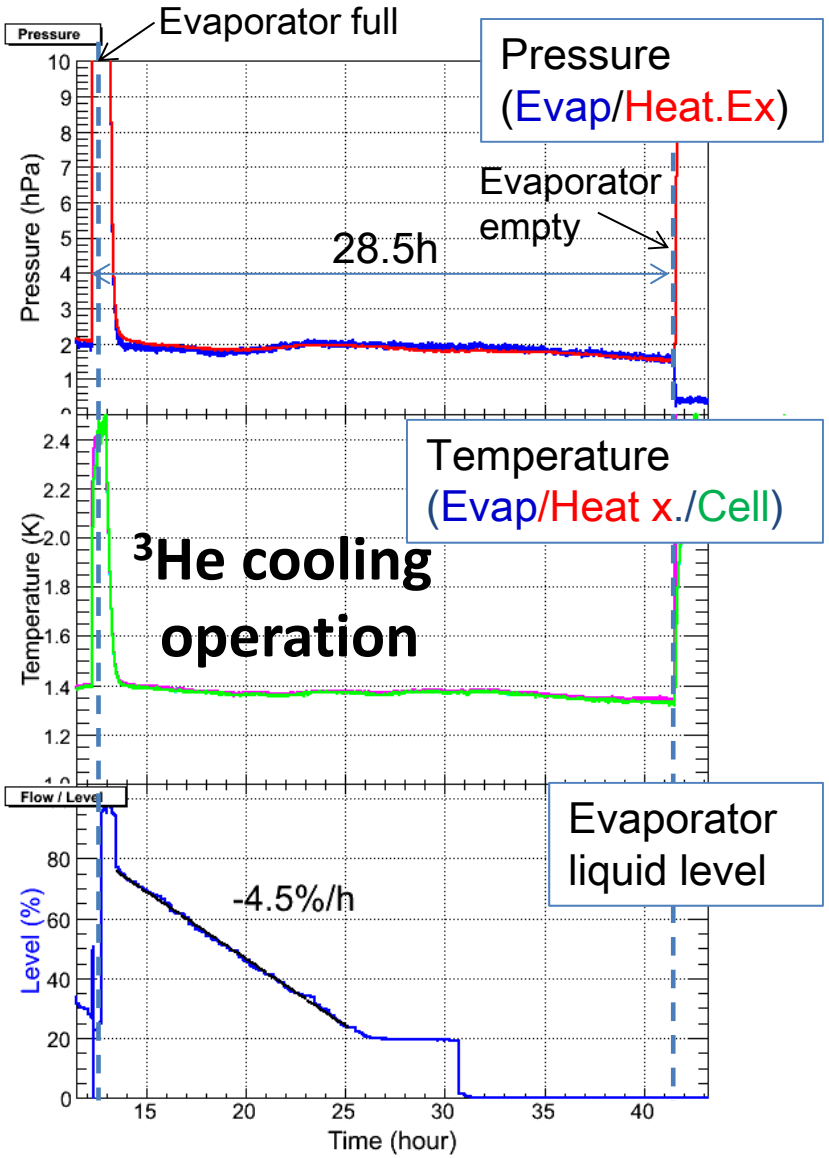






Liquid ^{3}He Target System



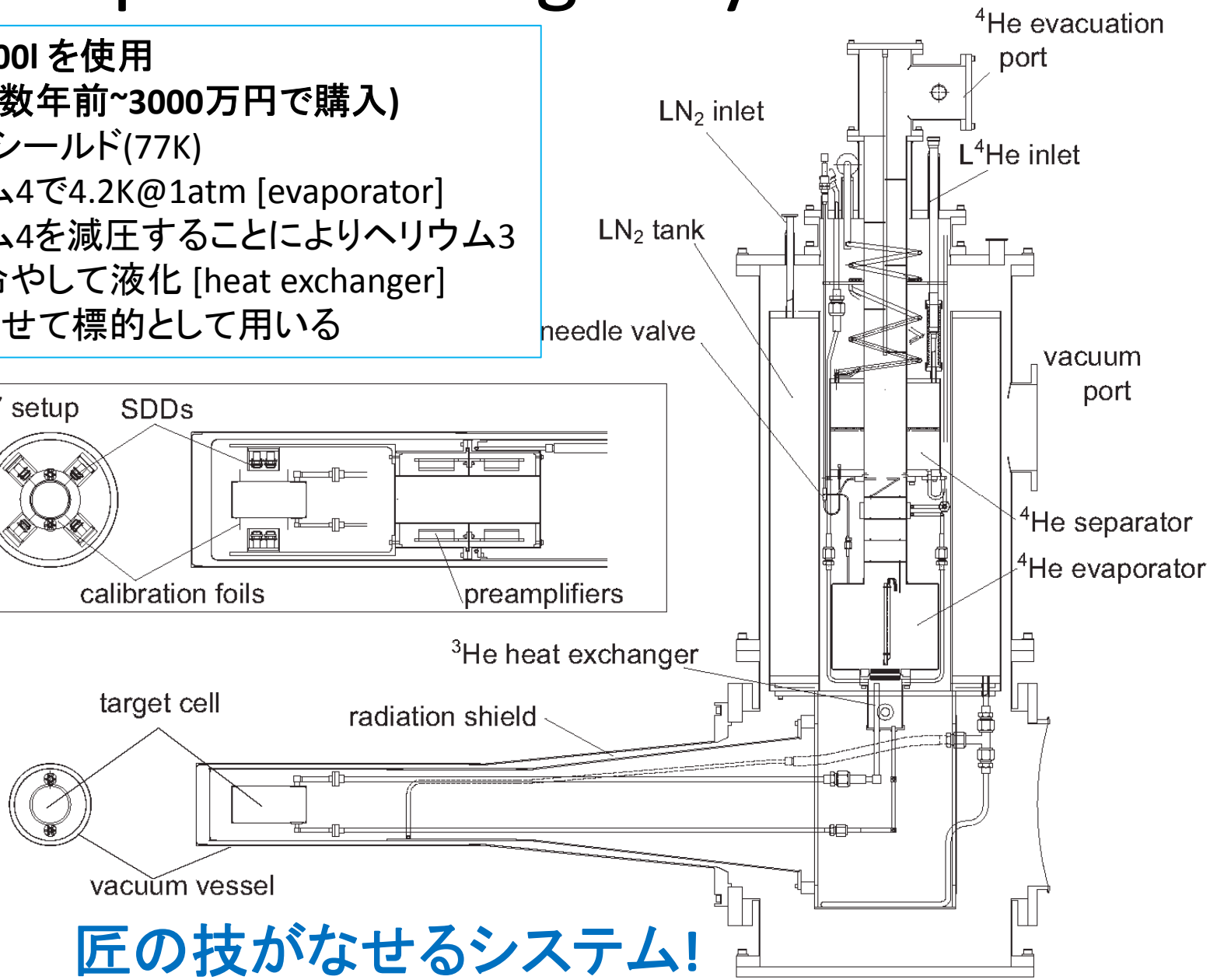


the system has been successfully operated

Liquid ^{3}He Target System

ヘリウム3ガス400l を使用
= ~2億円! (数年前~3000万円で購入)

① 液体窒素でシールド(77K)
② 液体ヘリウム4で4.2K@1atm [evaporator]
③ 液体ヘリウム4を減圧することによりヘリウム3を1.3Kまで冷やして液化 [heat exchanger]
④ Cellに移動させて標的として用いる



匠の技がなせるシステム!

Cylindrical Detector System (CDS)

solenoid magnet

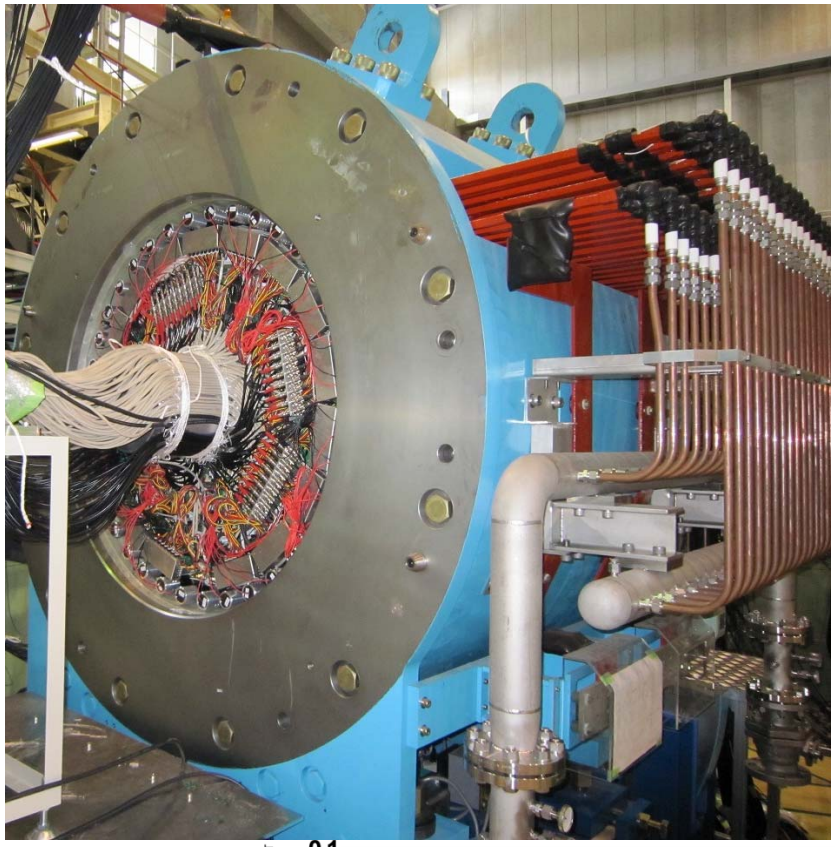
- ✓bore ϕ1.18m, length 1.17m
- ✓0.7T operation

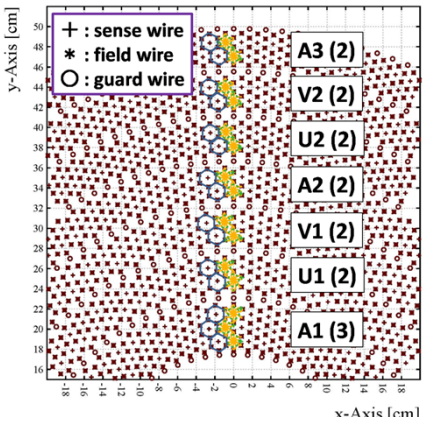
CDH (Cylindrical Detector Hodoscope)

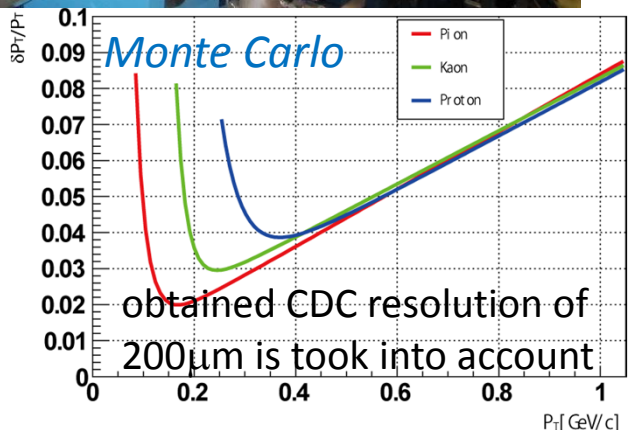
- ✓36 plastic scintillators
- ✓FM-PMTs
- ✓$\sigma(TOF_{T0\text{-}CDH})$ = 160ps

CDC (Cylindrical Drift Chamber)

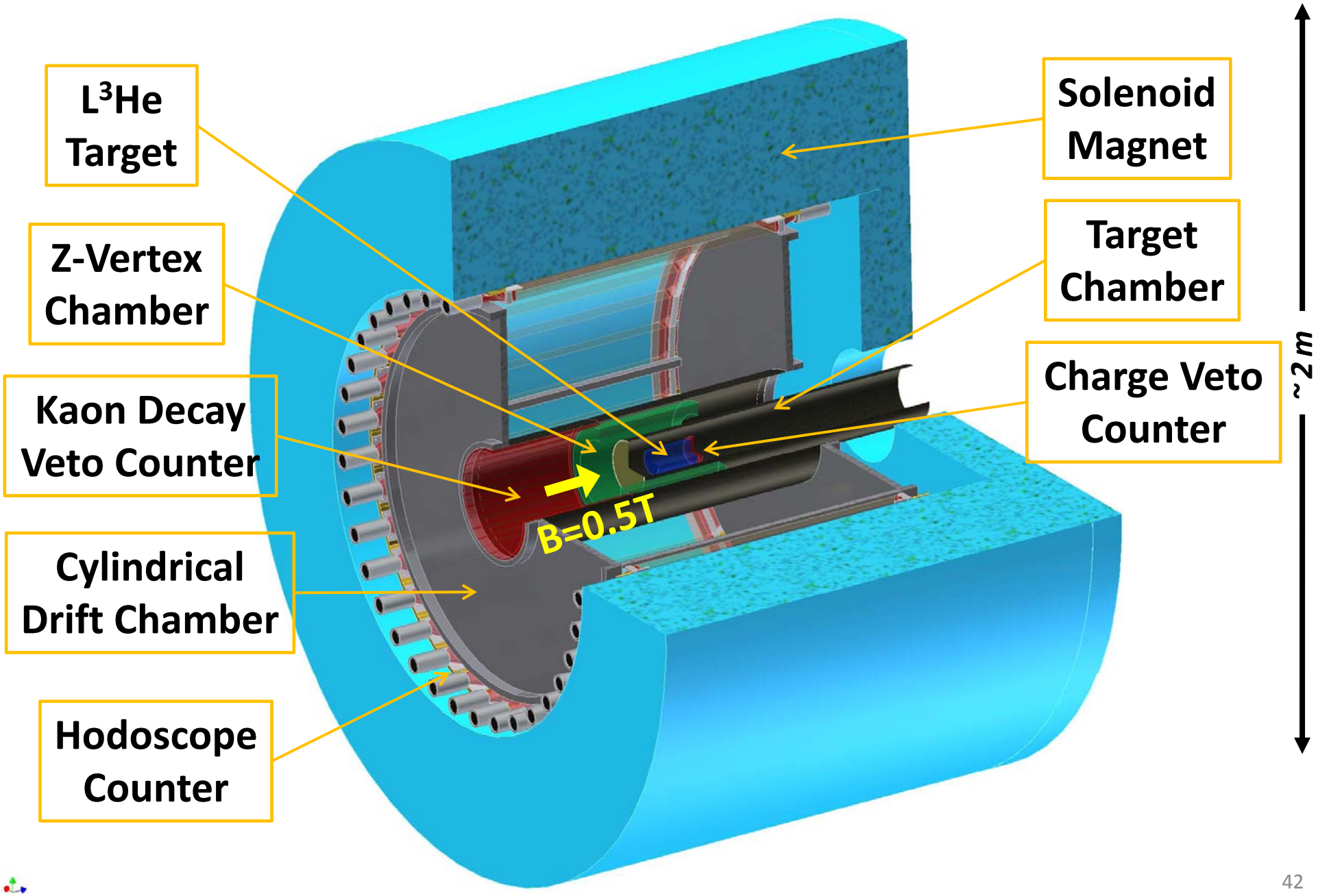
- ✓wire drift chamber
- ✓15 layers, 1816ch
- ✓solid angle = 2.6π
- ✓gas = $Ar:C_2H_6/50:50$







Cylindrical Detector System (CDS)

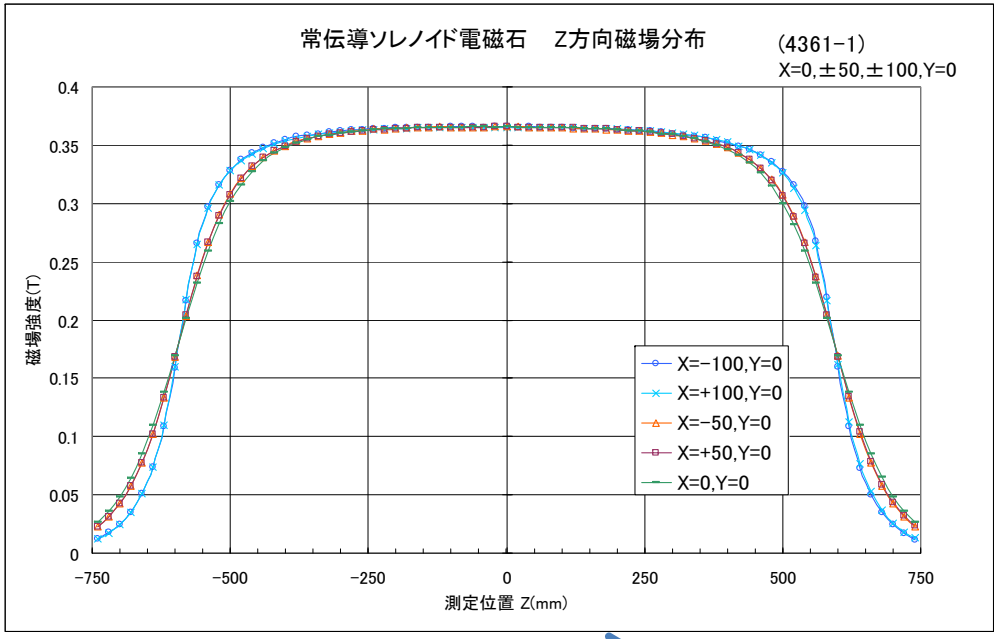


Solenoid Magnet

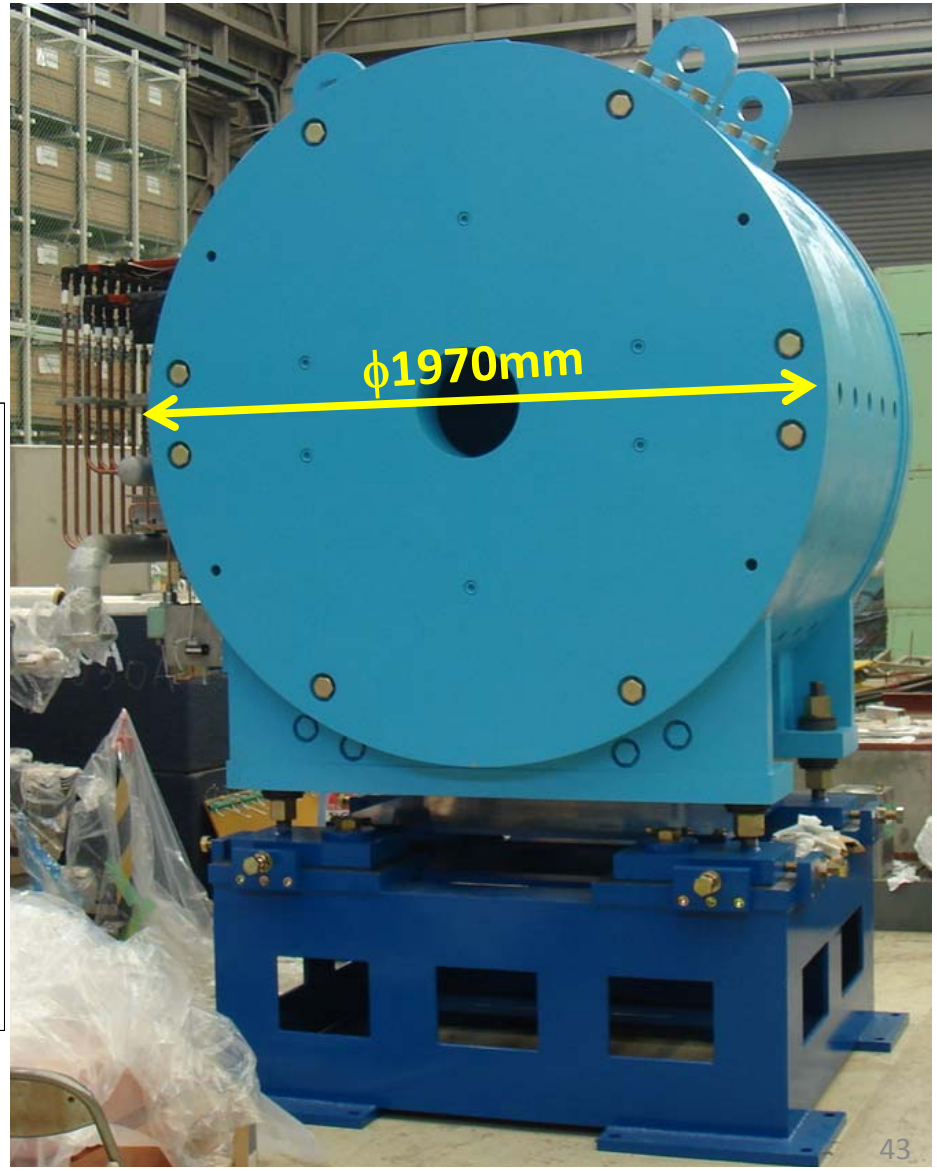
Solenoid magnet for E15 experiment has been constructed.

- Field strength: upto 0.7T
- Space inside : Φ=1.2m, L=1.2m
- weight : 23 t

magnetic field map



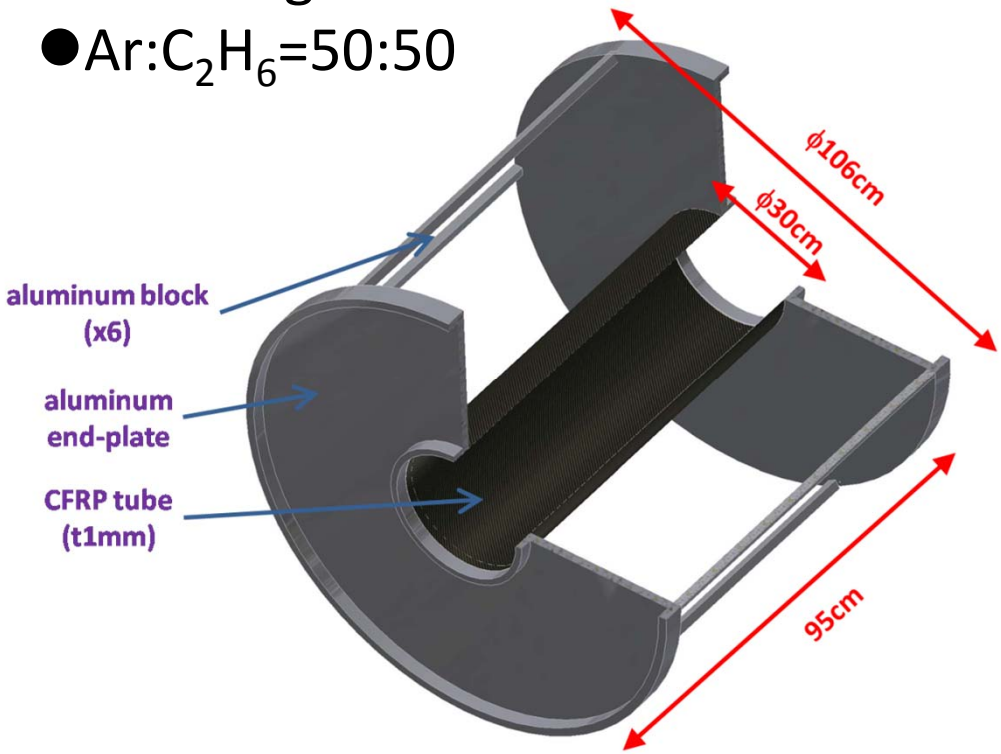
beam direction

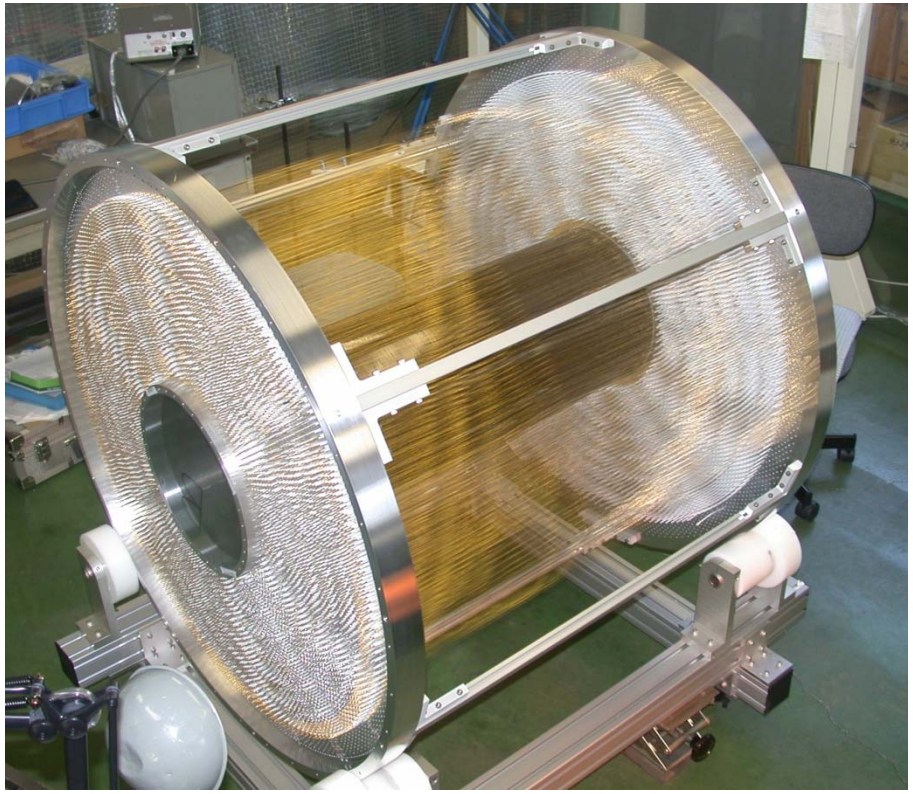


Cylindrical Drift Chamber (CDC)

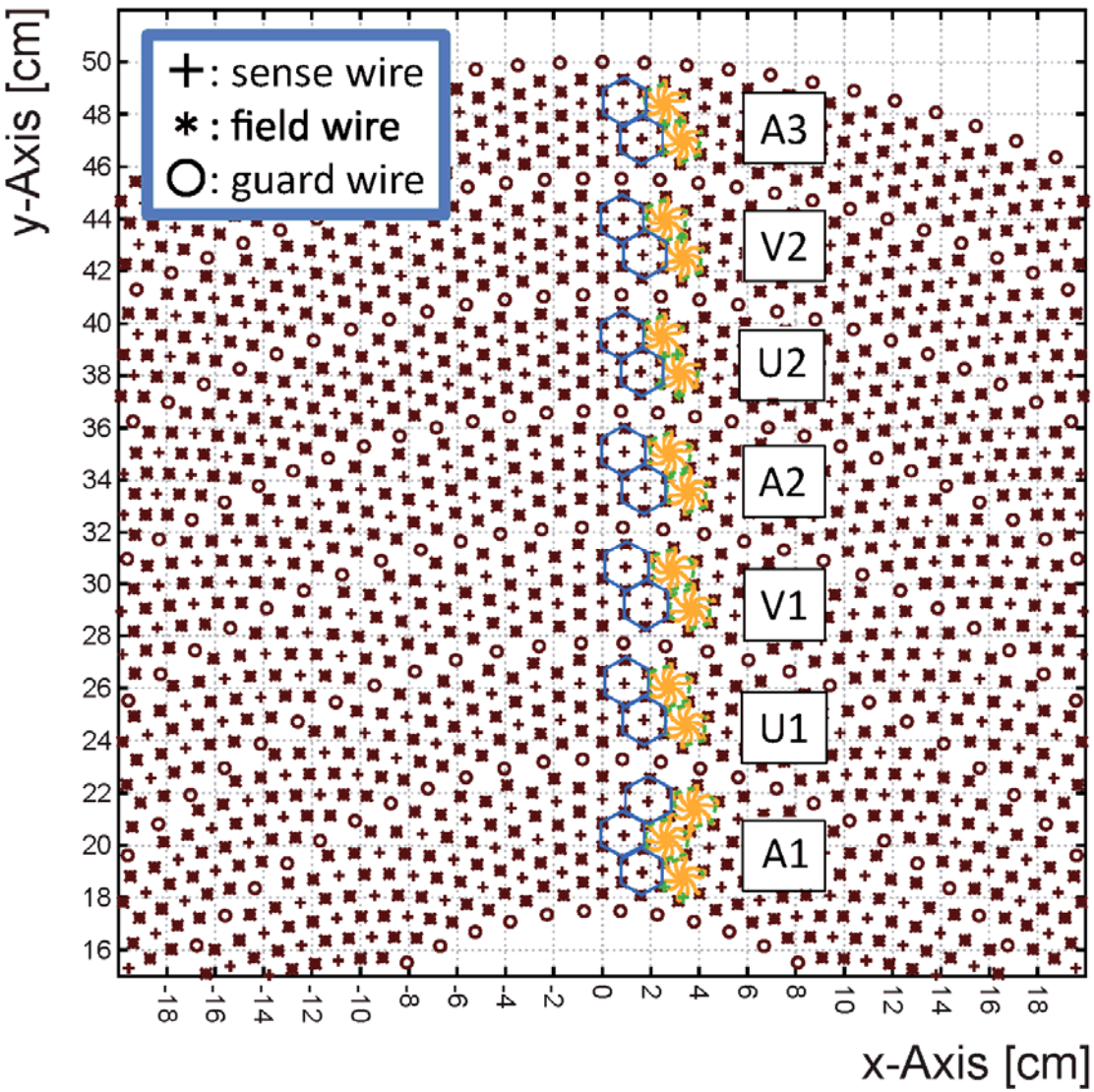
- 材質 : アルミニウム、CFRP
- 重量 : ~ 100kg
- ワイヤー数 : 8136
  (読み出し : 1816ch)
- 総ワイヤー張力 : ~ 600kg
- wire length = 82cm
- solid angle = 2.6π
- Ar:C_2H_6=50:50

- 六角形セル
  (drift length~9mm)
- 7 super layers
  (AUVAUVA)
- 15 layers
  (r = 19.05~48.45cm)

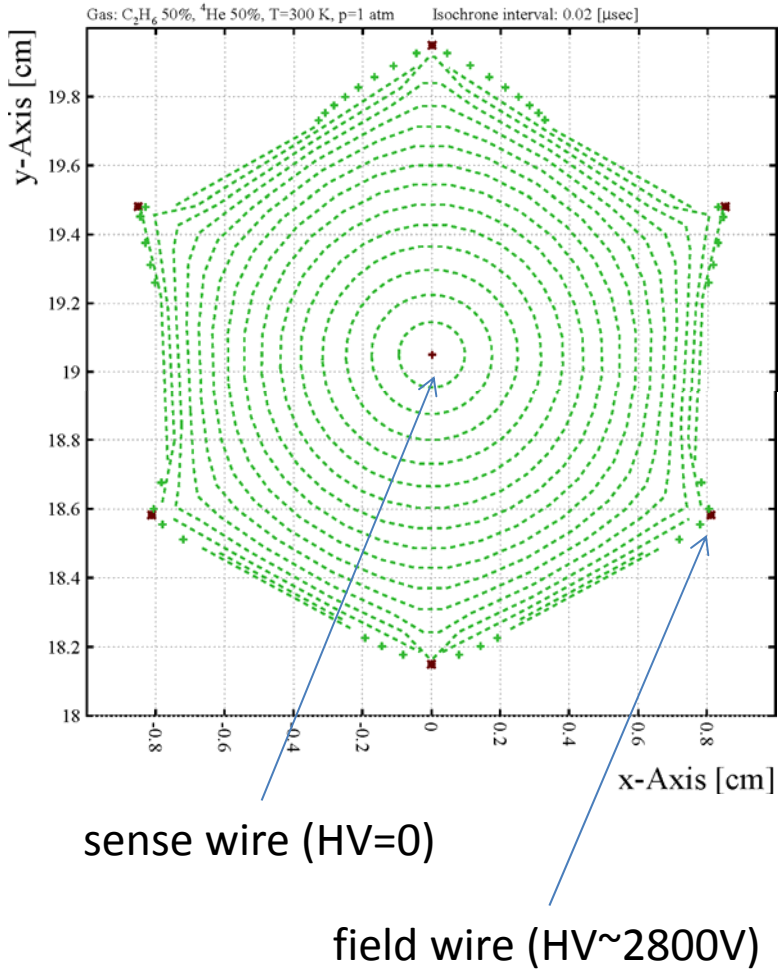




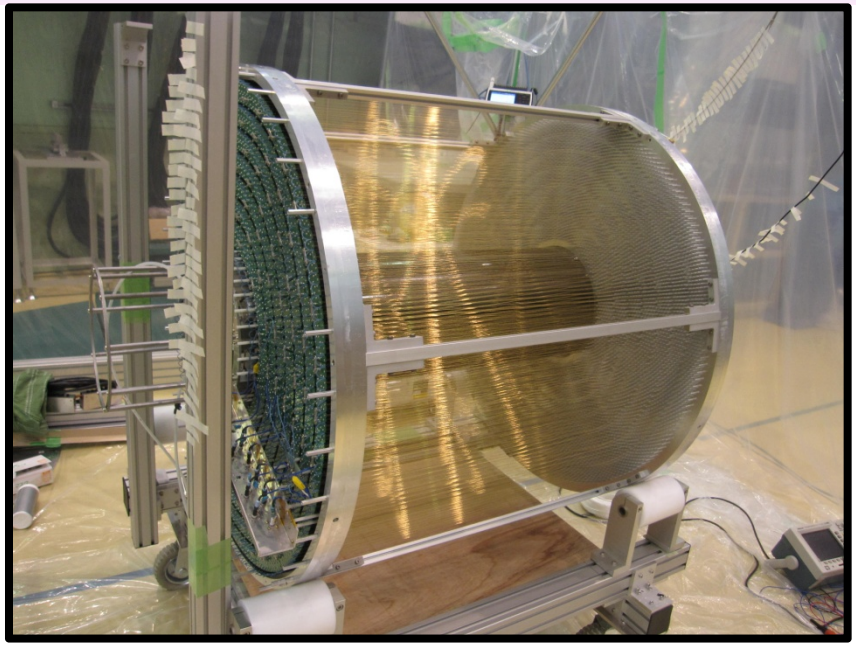
Cell Configuration



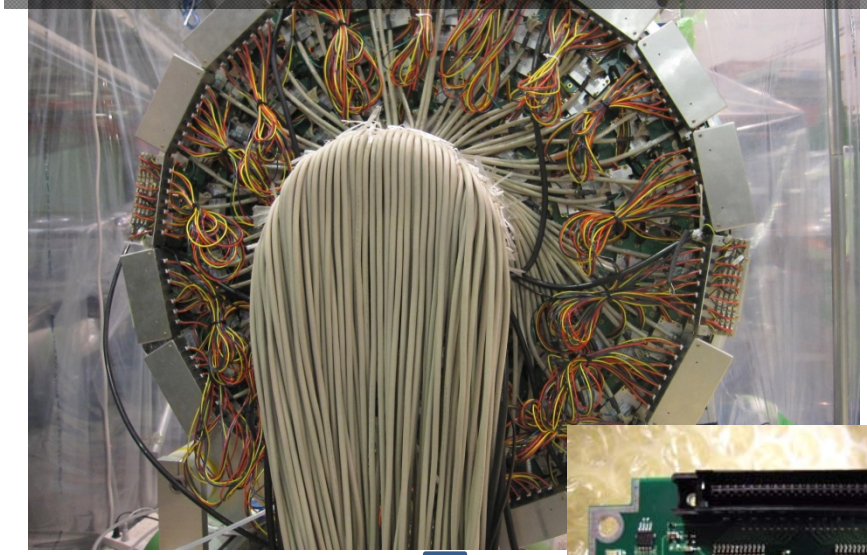
電場の様子 (by Garfield)



CDC (Cont'd)

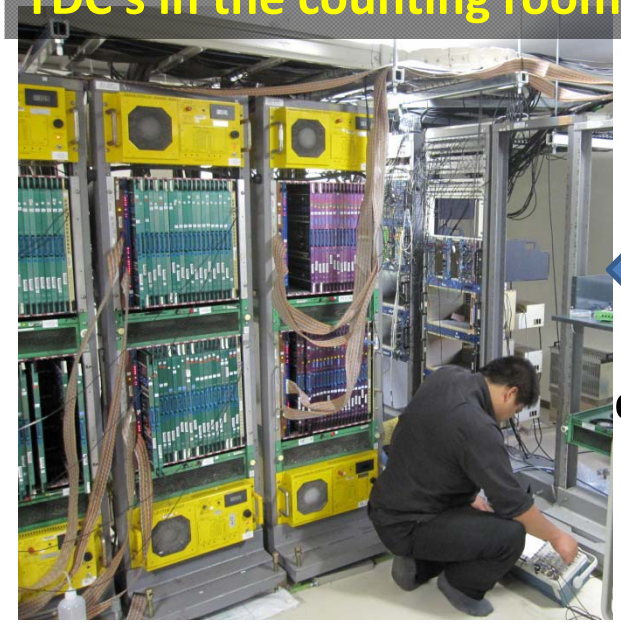


preamp cards and cables are attached



- Chip : CXA3183Q (SONY, low noize ASD IC, τ=16nsec)
- Output : LVDS differential
- Gain : 0.8V/pC at preamp

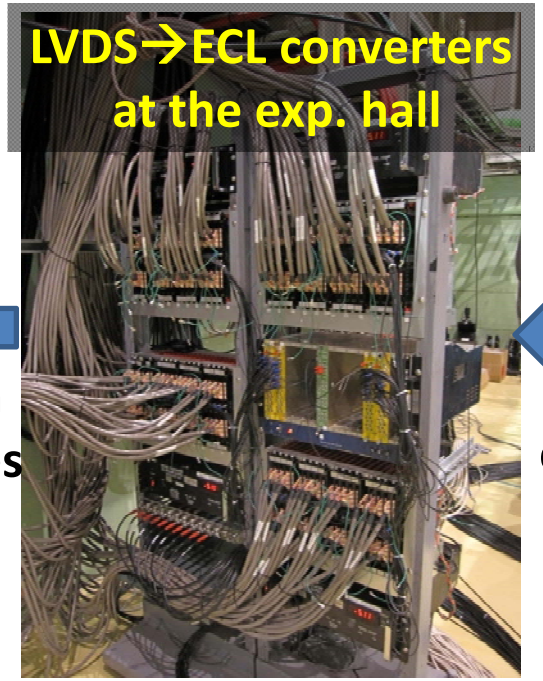
TDC's in the counting room



ECL

60m cables

LVDS→ECL converters at the exp. hall

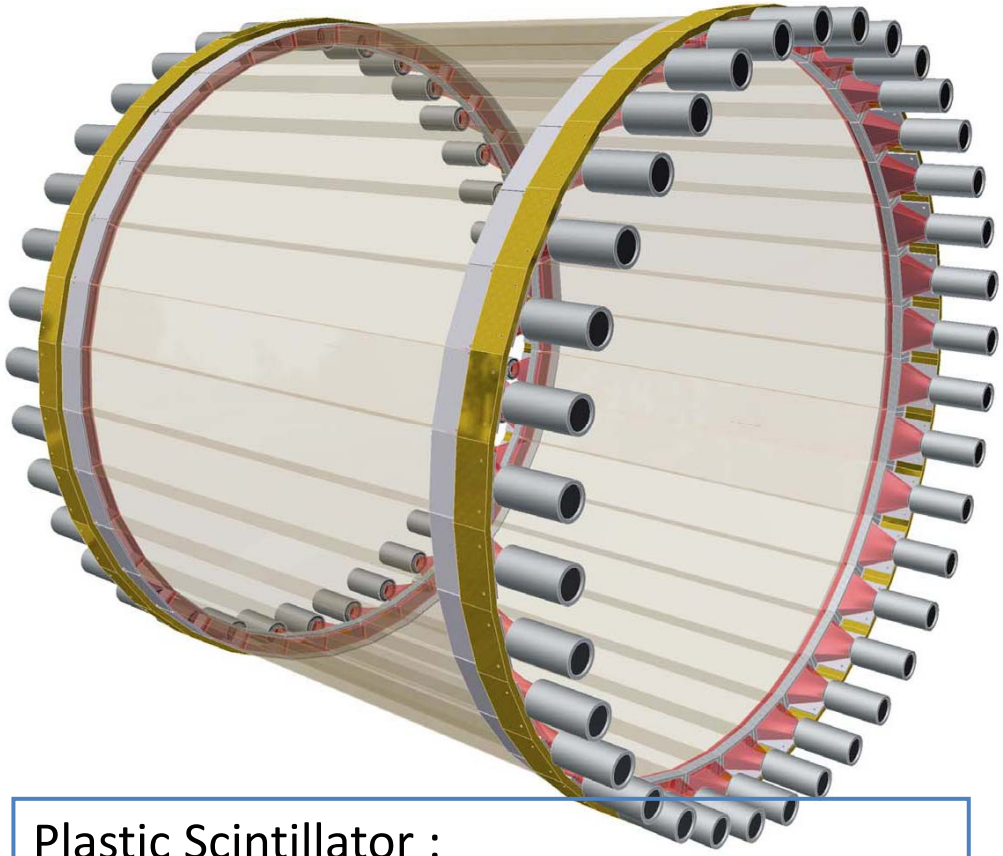


LVDS

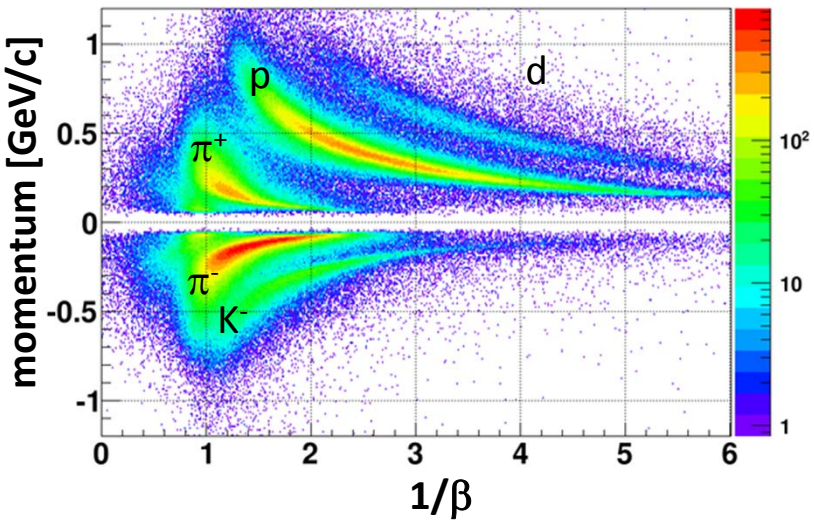
8m cables

Hodoscope Counter (CDH)

CDH is used for the charged trigger and particle identification.



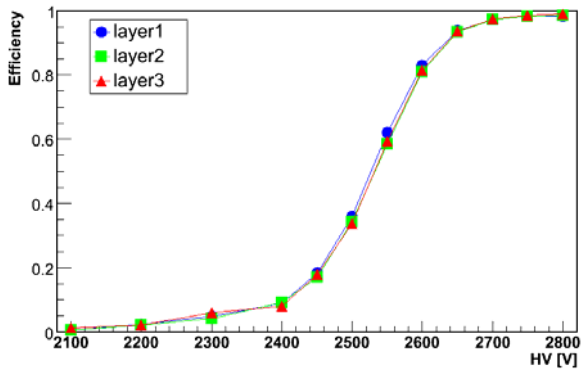
pID using ToF measurements

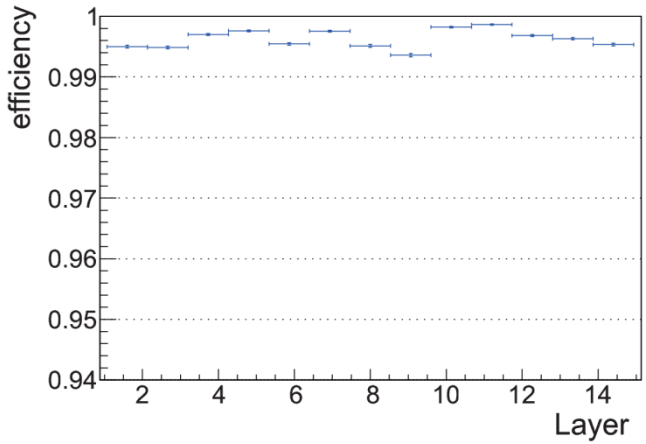


Plastic Scintillator :
99x30x700 mm^3 (WXTXL)
Configuration : 36 modules
PMT: Hamamatsu H8409 (fine mesh) x 72
σ_{int} = 71psec

CDC Performance

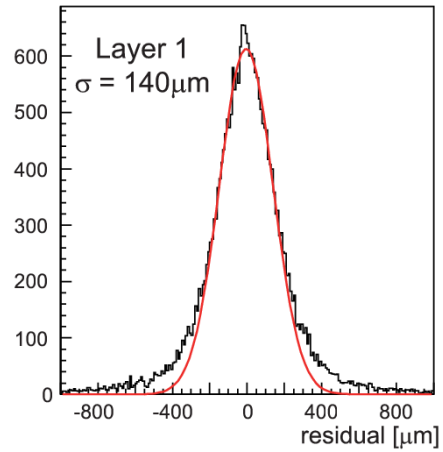
efficiency



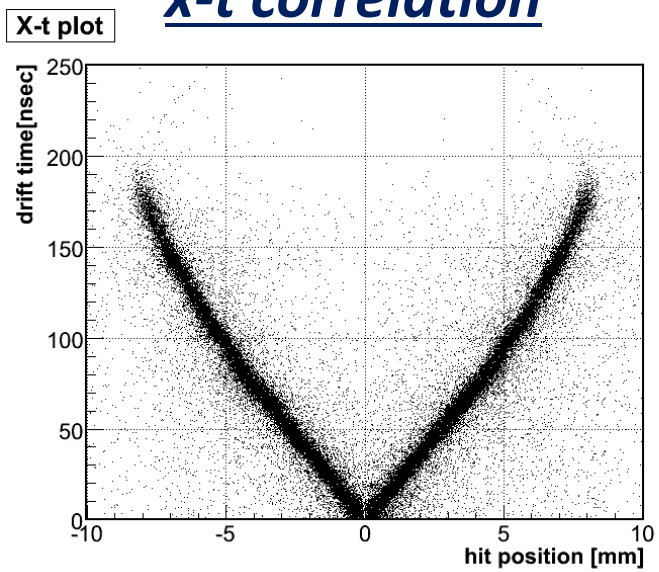


residual

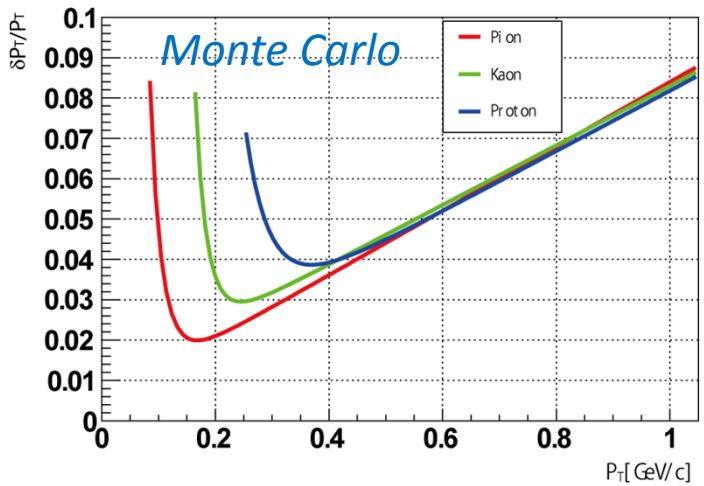
resolution ~200μm



x-t correlation

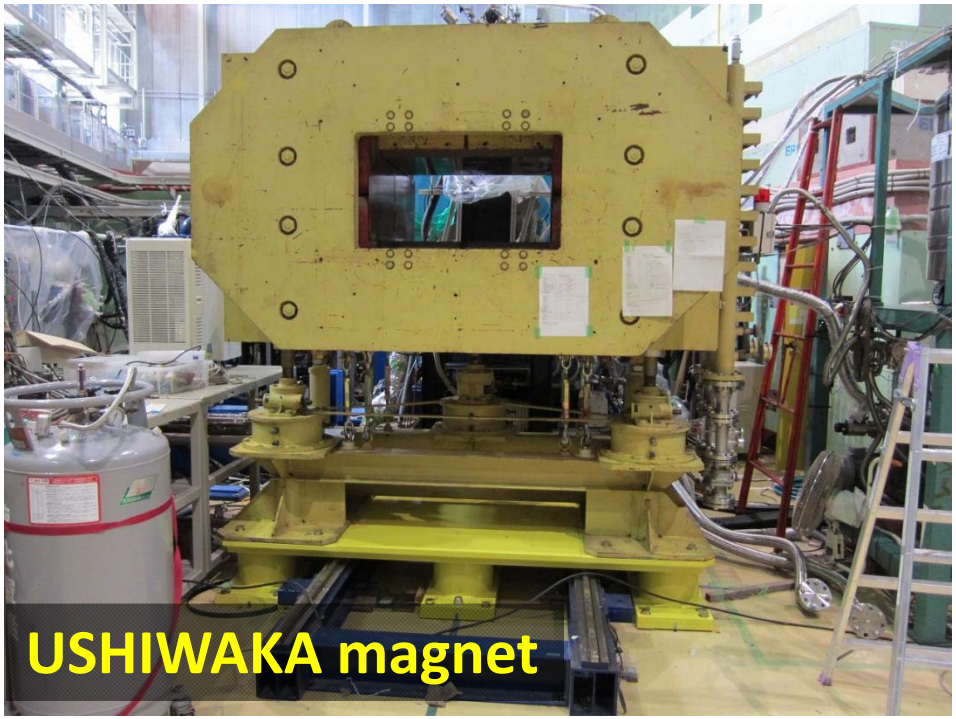


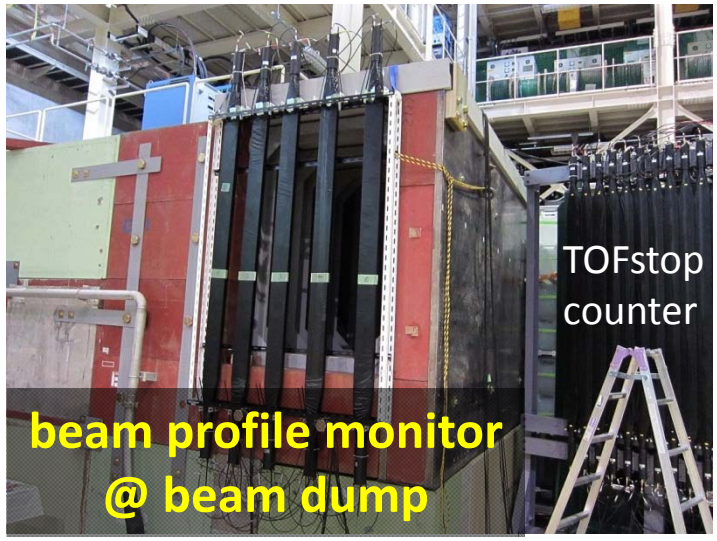
momentum resolution



CDC works good with expected performances

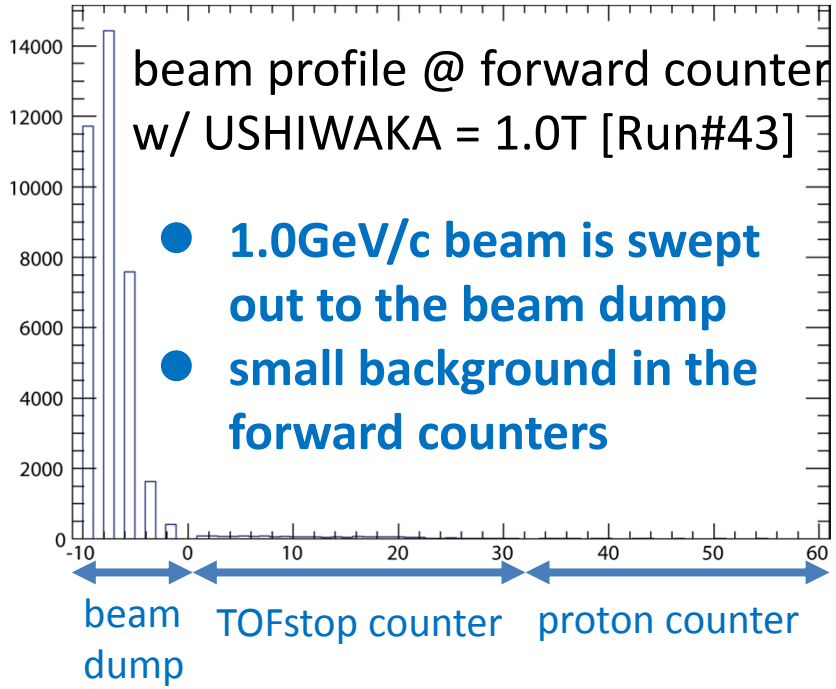
Beam Sweeping Magnet





USHIWAKA magnet

- ✓used in KEK π2 beam line
- ✓**installed in May 2012**
- ✓aperture: 82cm(H)*40cm(V)
- ✓pole length: 70cm
- ✓1.0T operation



Neutron Counter

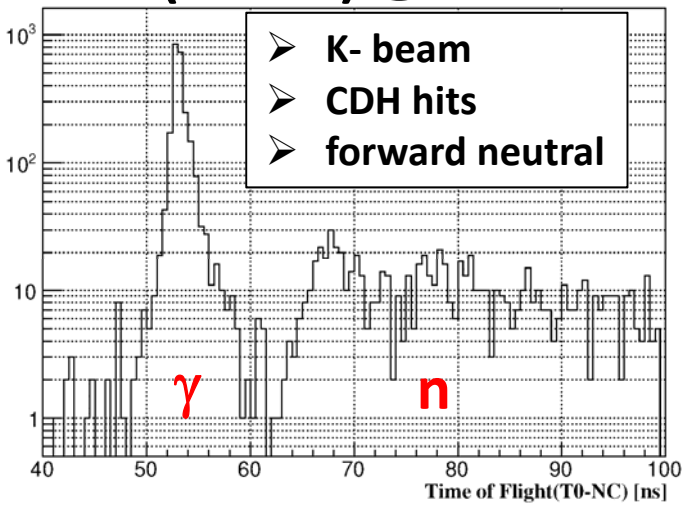
neutron counter

- ✓plastic scintillator array
- ✓16 segments * 7 layers
  [320(w)*150(h)*35(d)cm]

charge veto / proton counter

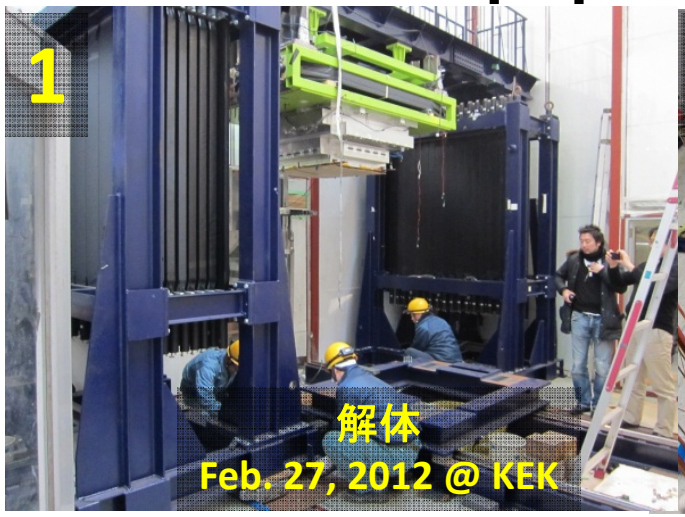
- ✓plastic scintillators
- ✓32+27 segments

TOF(NC-T0) @ Run#43



neutral particles (γ & n) have been successfully detected and identified by the NC

中性子検出器の準備



KEKでの実験(E471/E549)で用いた中性子検出器を3ヶ月かけてJ-PARCへ移設した様子

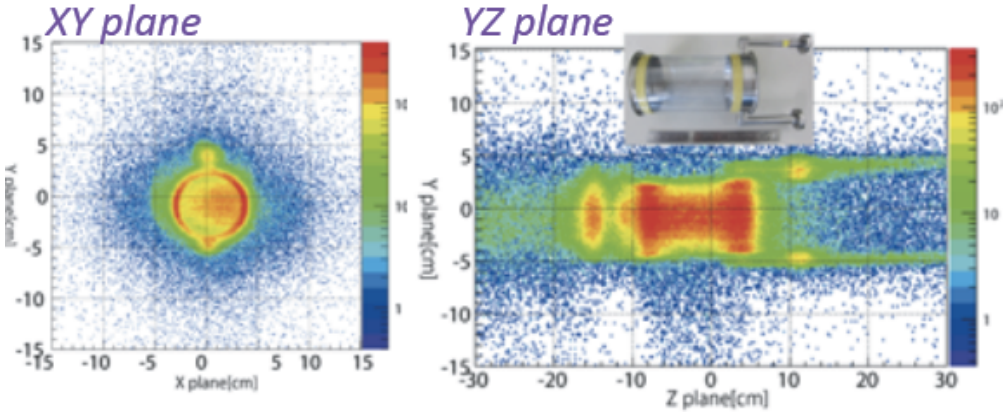
コンテナハウスの様子

- データ取得はエリア横のコンテナハウスで行う。
  - Linux-PC、VME、ADC/TDC等 (TRISTANの古い回路を使用)
  - シフト制でビームタイムをこなす(1シフト=8~12時間)

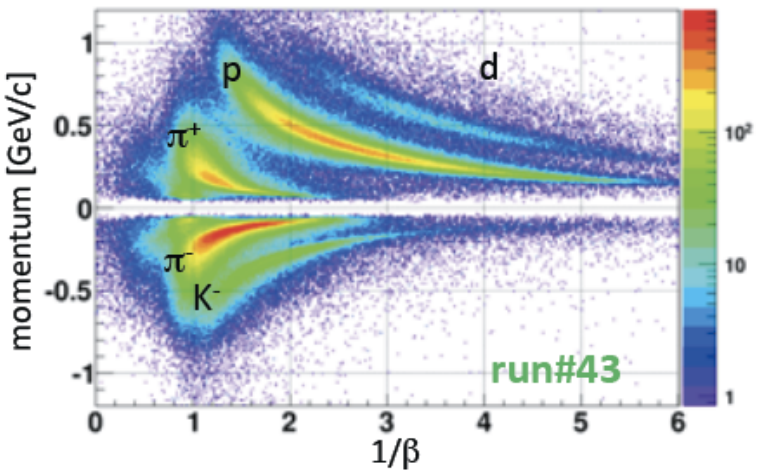
最新の結果
CDS Performances

event vertex

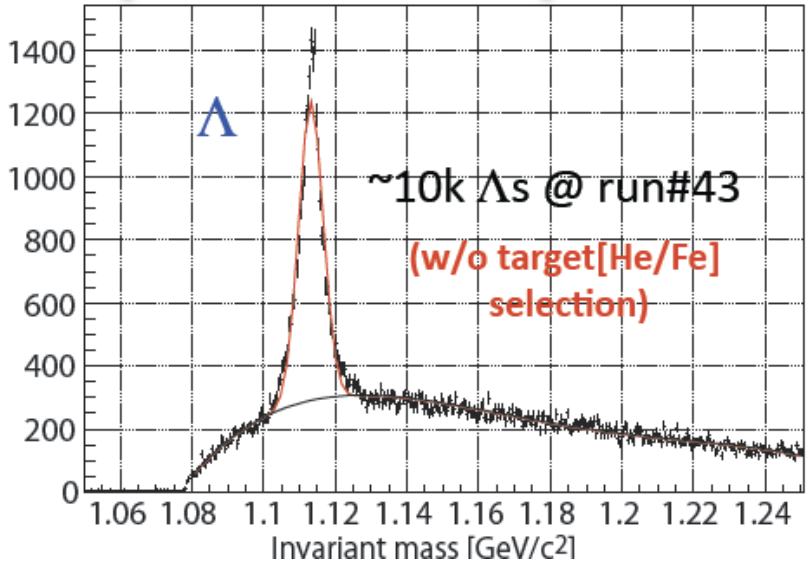
Liquid ^{4}He(run#40)/ ^{3}He(run#43) inside



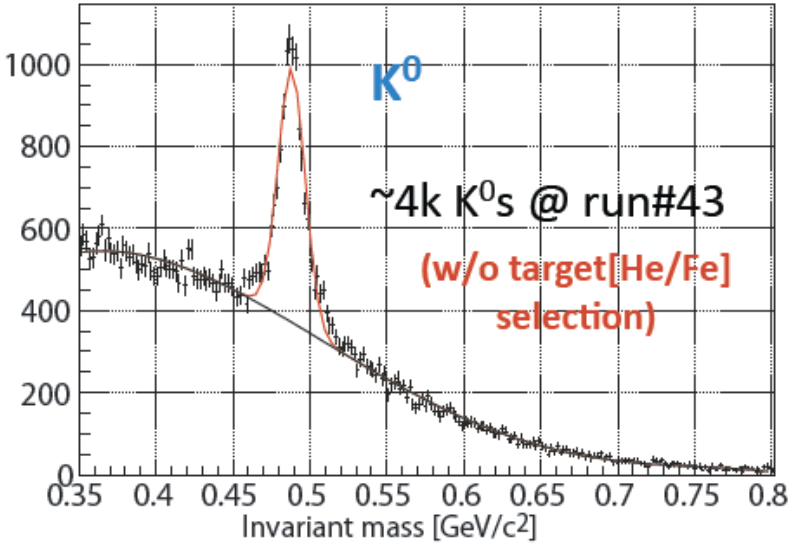
pID



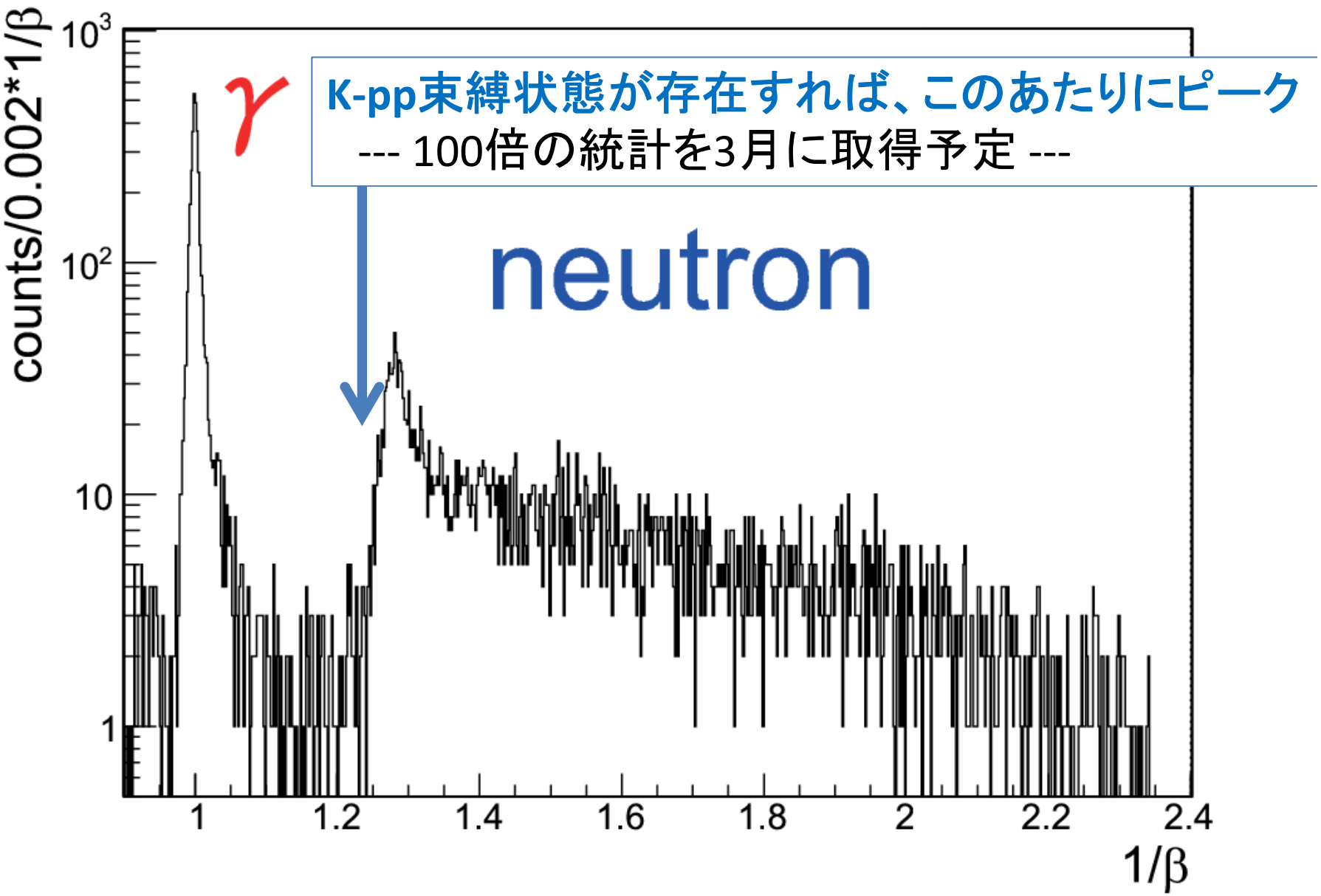
pπ⁻ invariant-mass spectra



$\pi^+\pi^-$ invariant-mass spectra

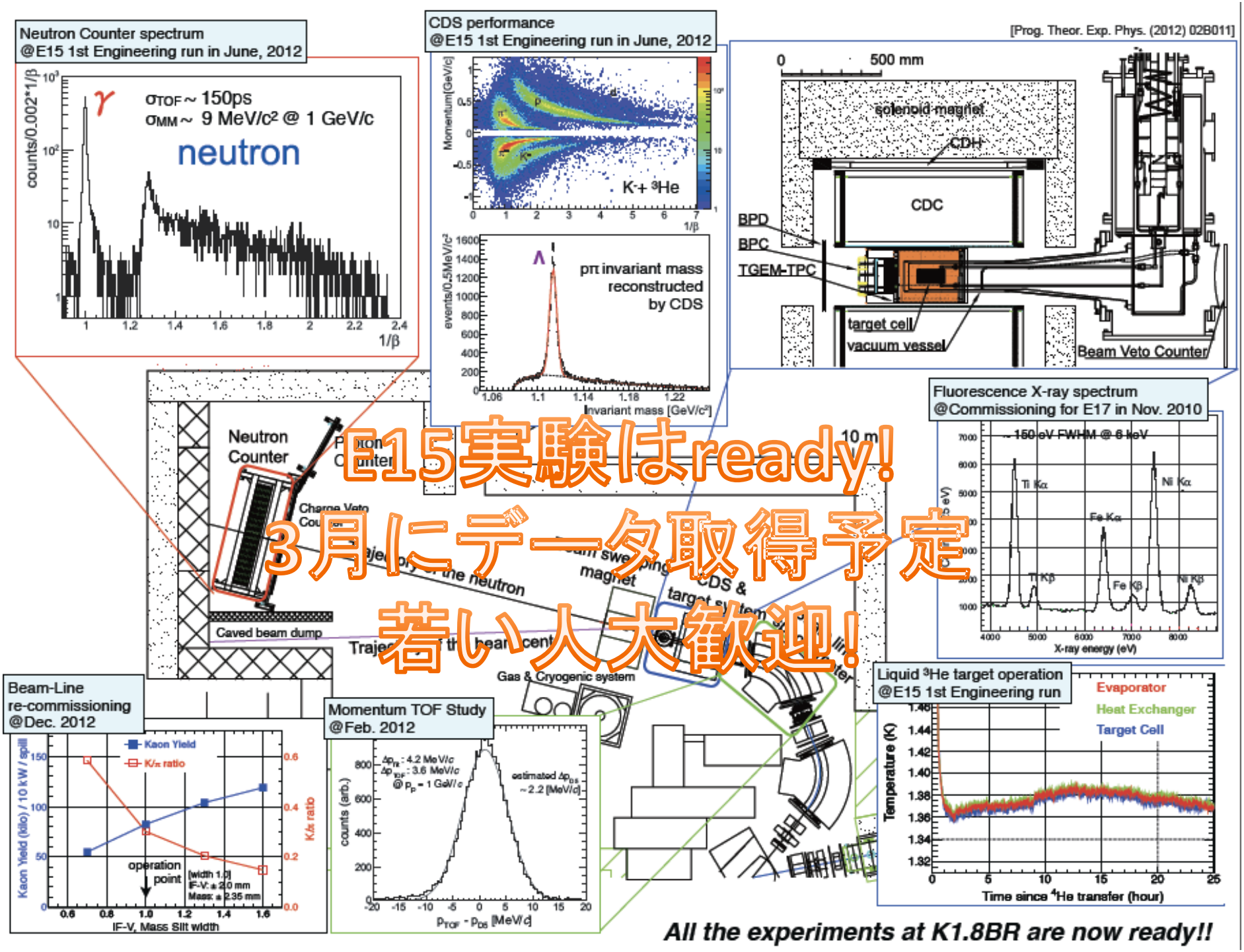


最新の結果



K-pp束縛状態が存在すれば、このあたりにピーク

--- 100倍の統計を3月に取得予定 ---

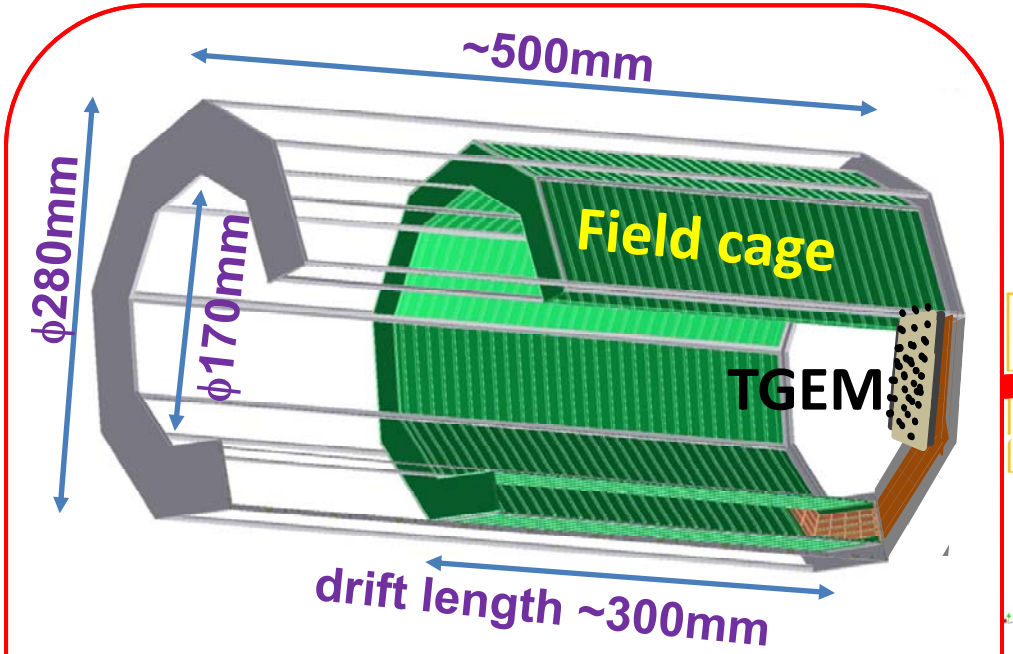


E15実験はready!
3月にデータ取得予定
若い人大歓迎!

K1.8BRスペクトロメーター
アップグレード
--- TGEM TPC ---

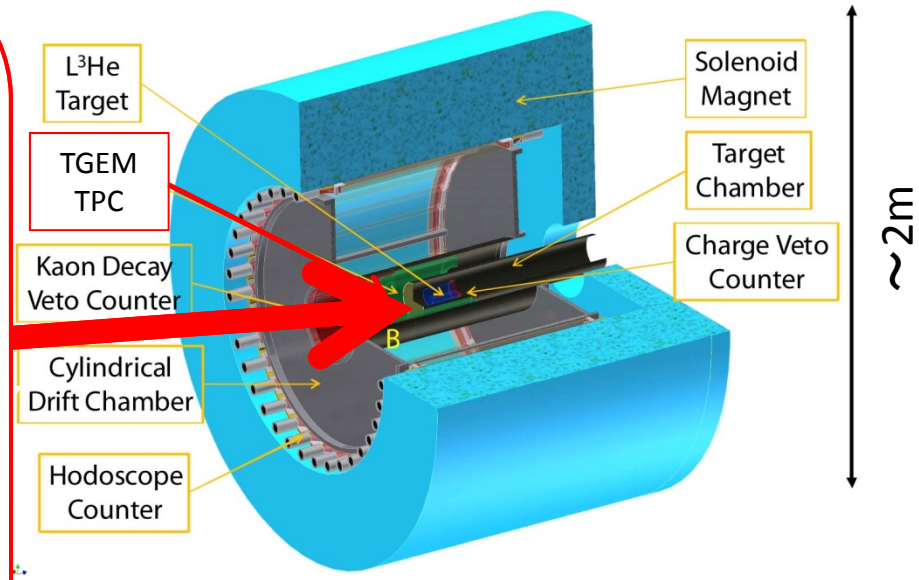
TGEM-TPC for the J-PARC E15 exp.

- K-pp→πΣp崩壊を測定するため、vertex trackerの導入計画
  - ✓ TGEMを読み出しに用いるTPC
  - ✓ CDSの中心にインストール
  - ✓ ビーム軸方向1mmの分解能でCDSの分解能が7mm→2mmへ



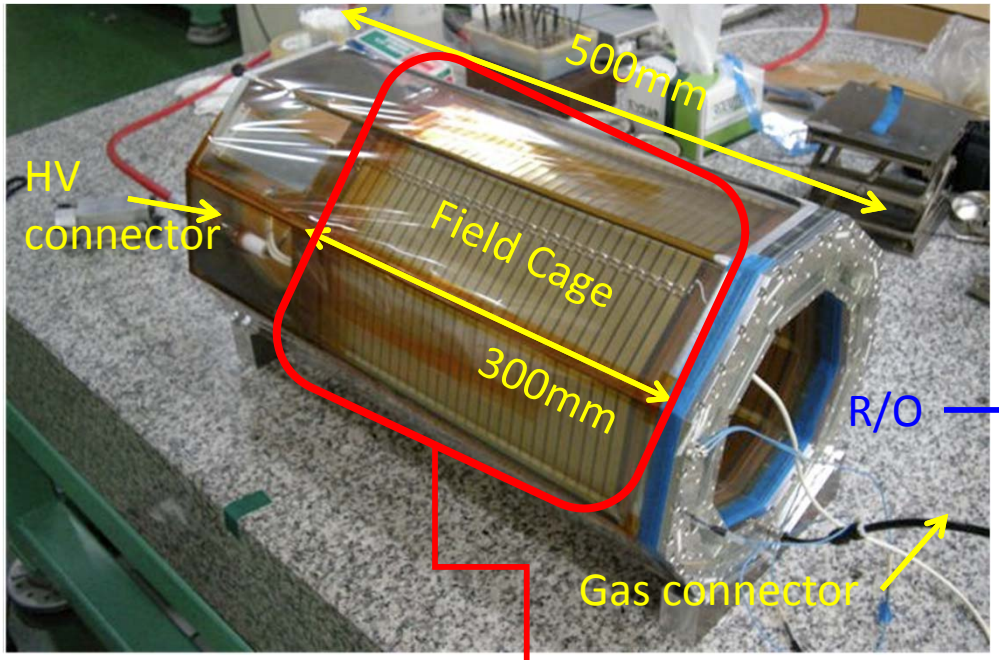
TGEM-TPC

filled with P10 gas at atmospheric pressure



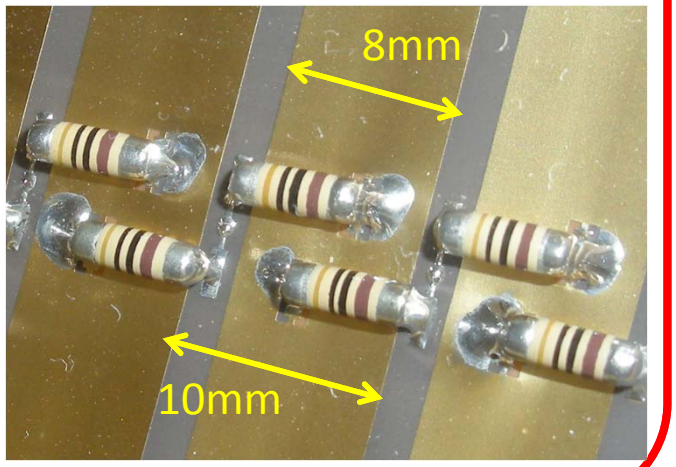
Cylindrical Detector System

completed TGEM-TPC



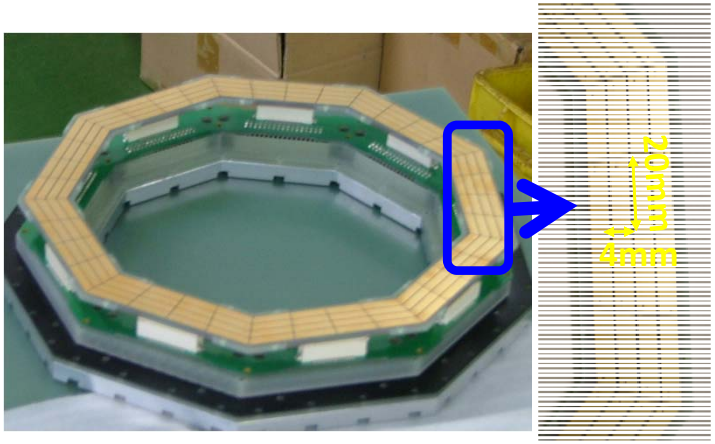
field strip

- double sided
- FPC
- 8mm strip
- 10mm pitch



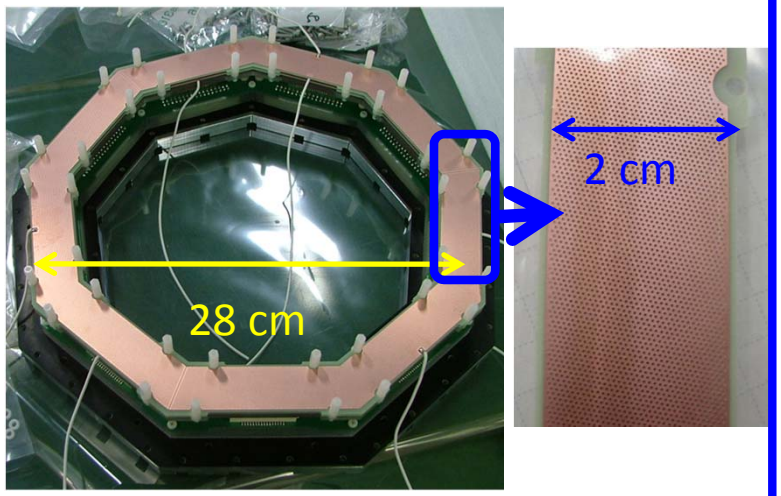
R/O

pad size 4mm×20mm



# of pad = 4×4×9 = 144

TGEM

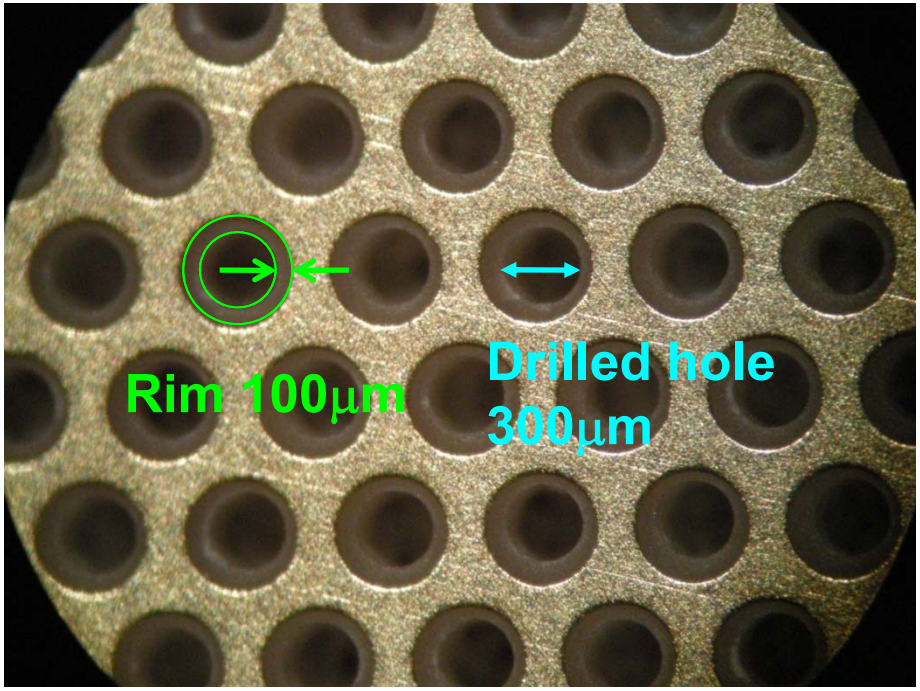


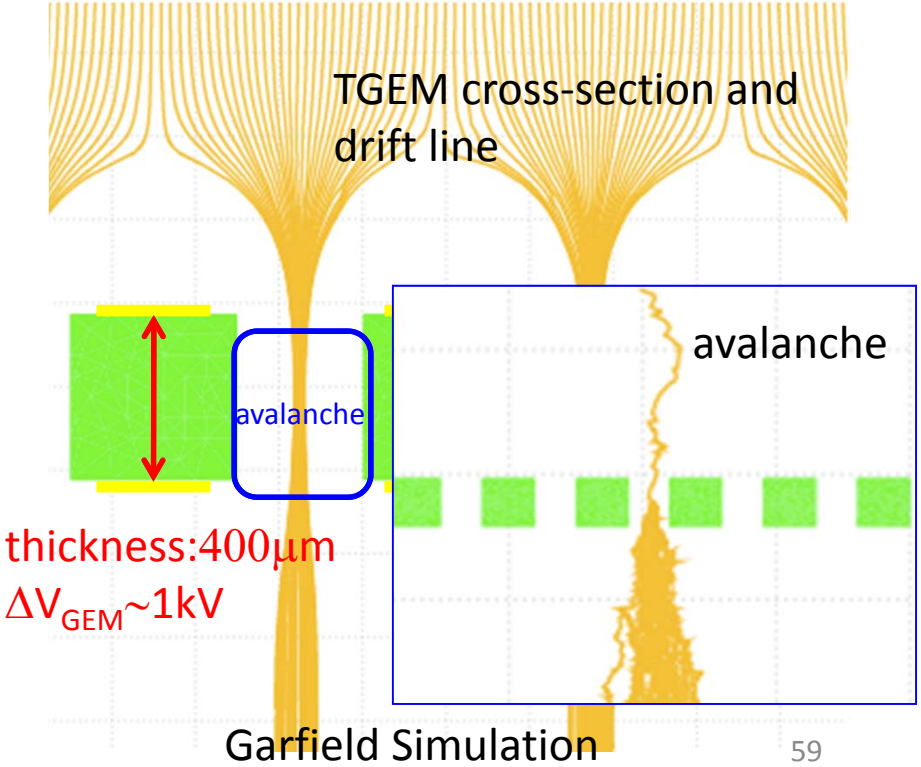
non-necessity of support-structure!

What is TGEM ?

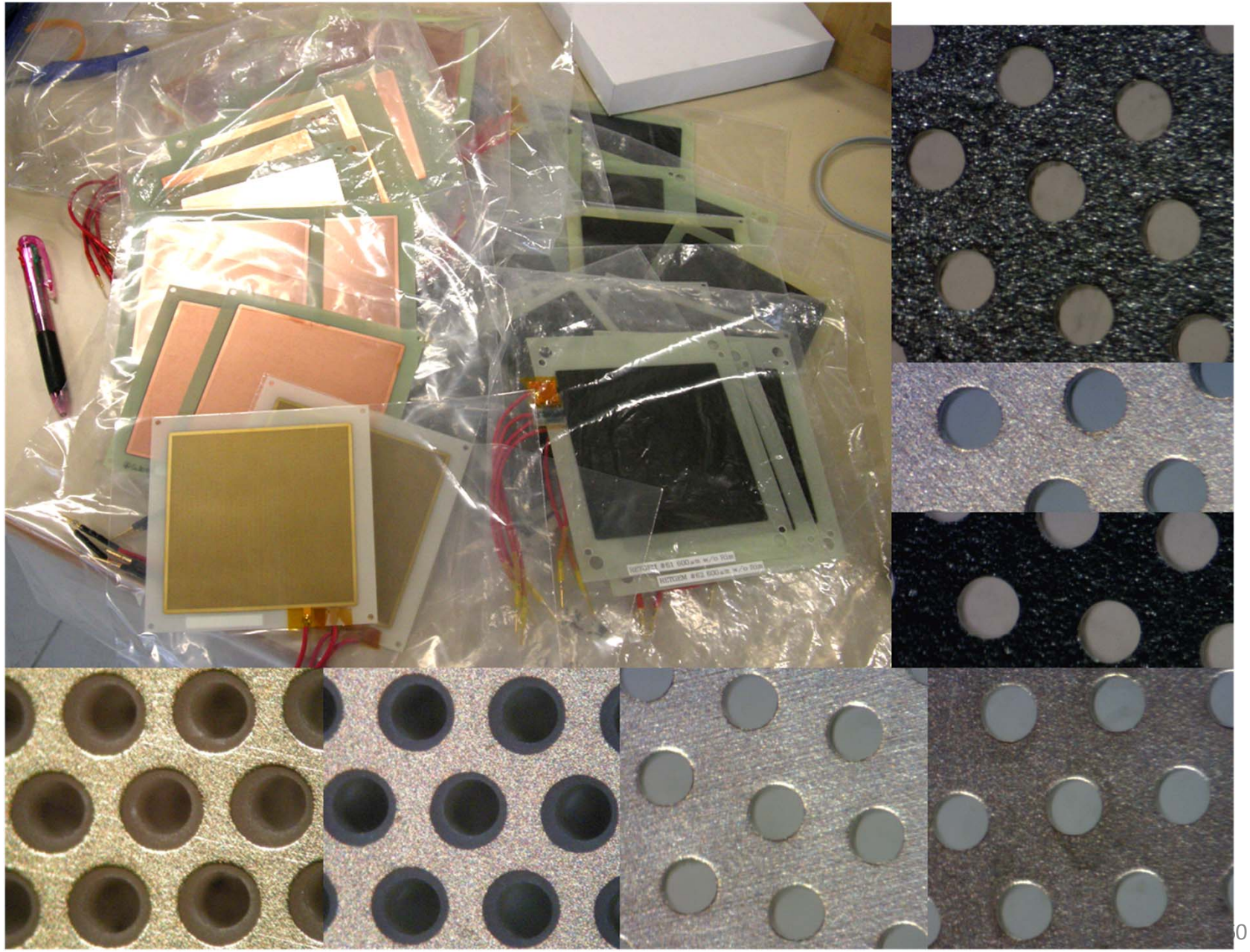
Thick-GEM is …

- a robust, simple to manufacture, high-gain gaseous electron multiplier
- **cost-effectively fabricated from double-clad G10 plates, using standard printed circuit board (PCB) techniques**
- holes are mechanically drilled (and, if necessary, the hole's rim is chemically etched to prevent discharges)
- easy to operate and feasible to cover large areas, compared to the standard foil GEM

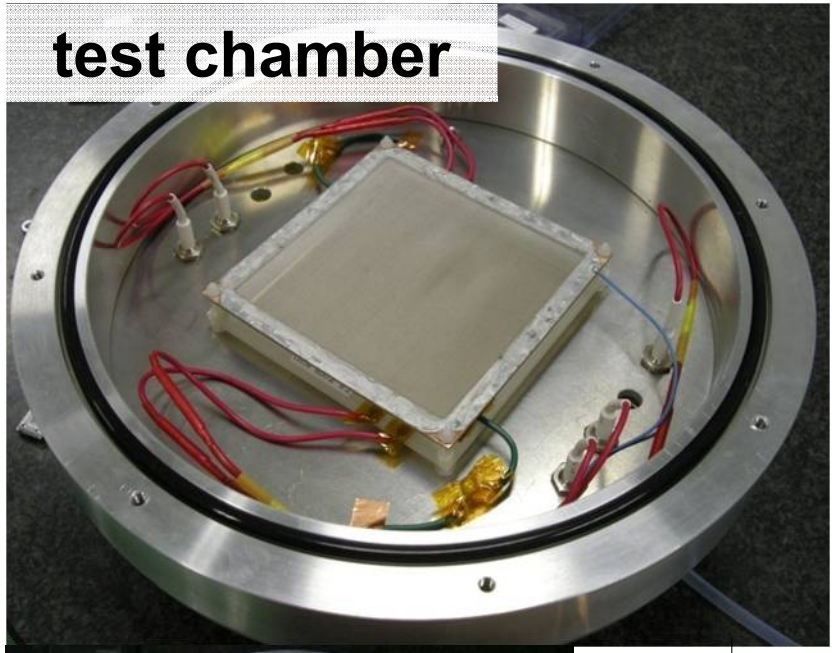


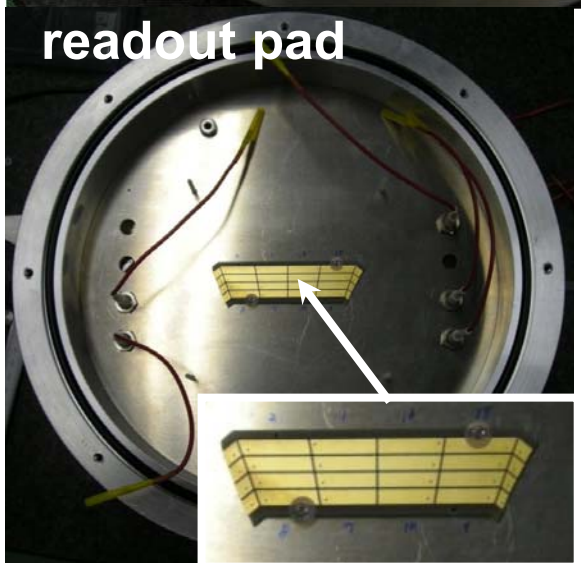


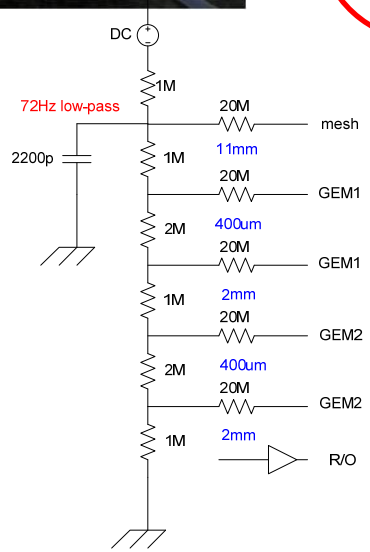
many TGEM prototypes

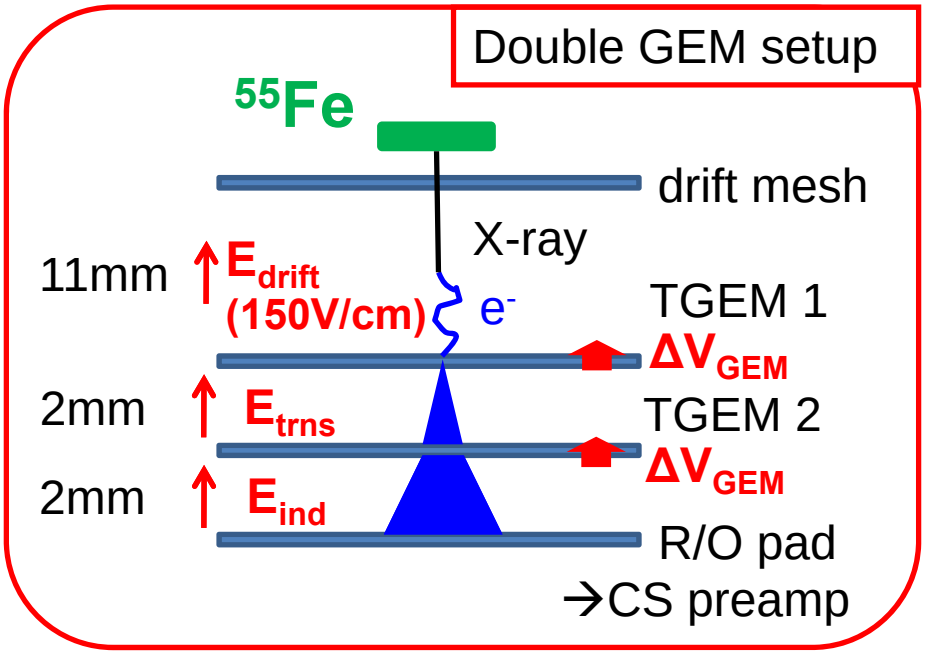


Test bench setup





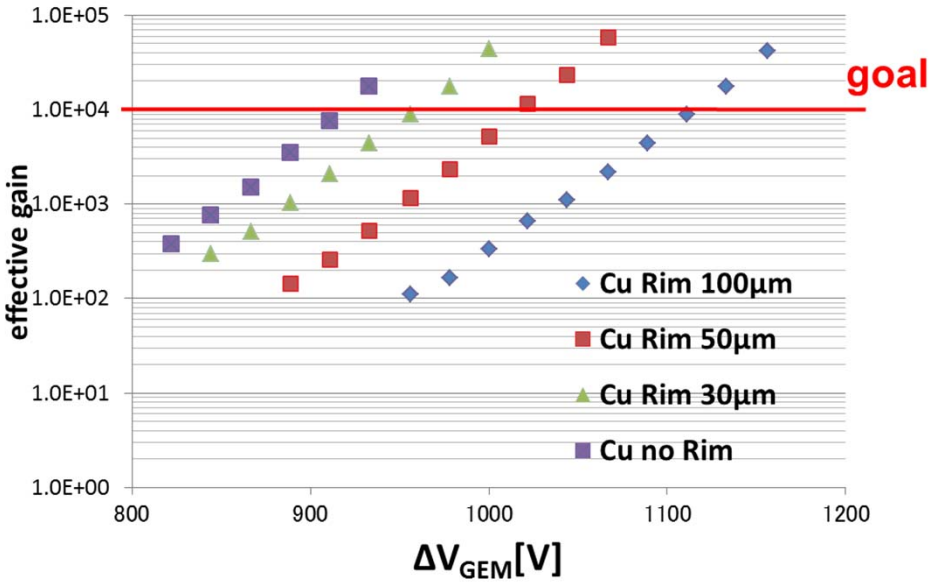


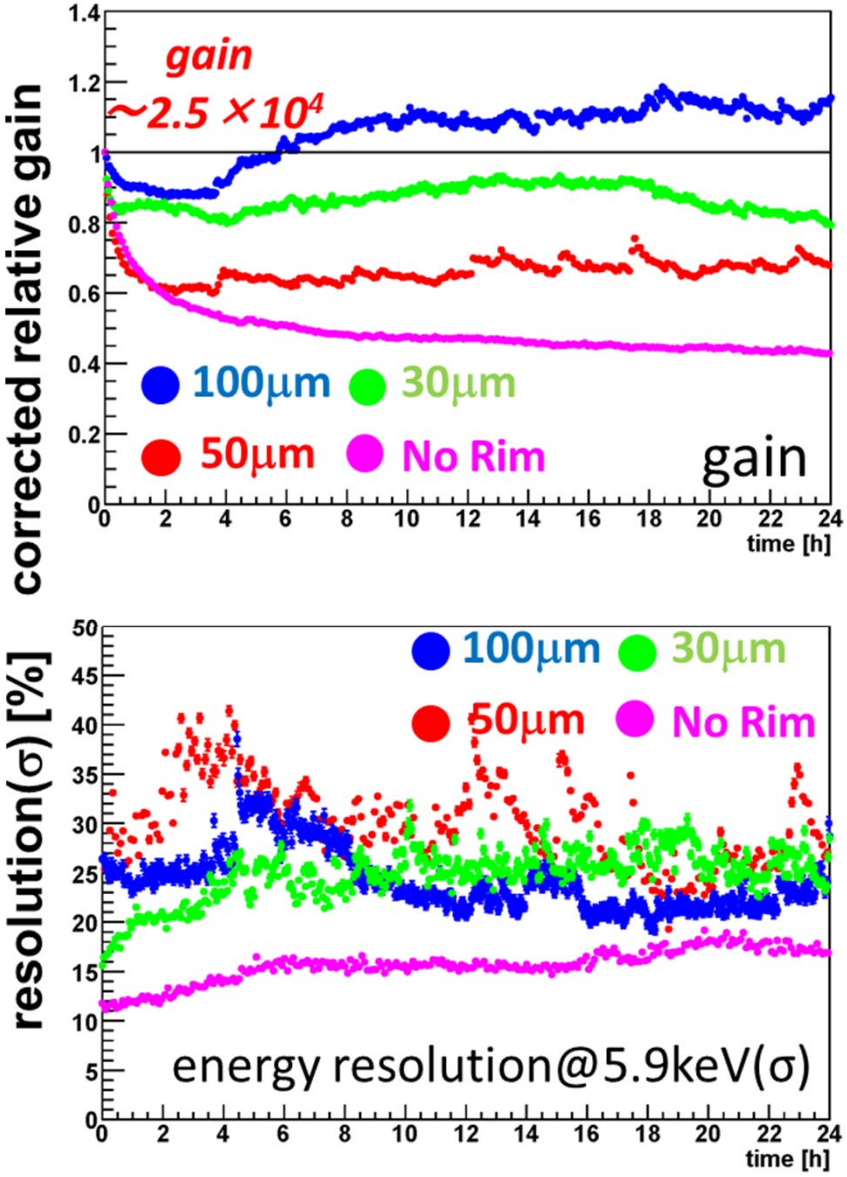


- double TGEMs
- Gas : P10 at 1atm, normal temperature
- HV divider with resistive chain

→ Ratio of $\Delta V_{GEM}/E_{trns}/E_{ind}$ is const.

10cm角のTGEMはばっちり動いたが…





- 10cm角のTGEMは実用レベルにまで達した。
- しかし、TPCに組み込む9角形TGEMは動かず断念。

読み出しをMWPCにしてTPCの再チャレンジ予定

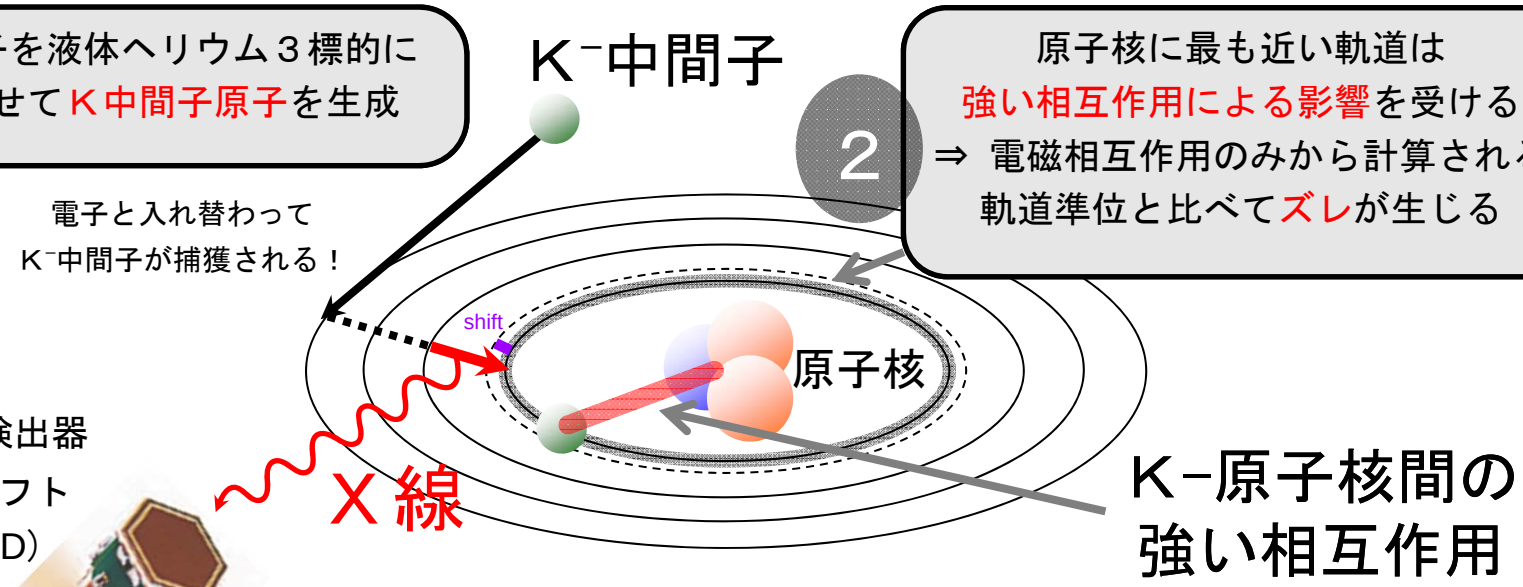
E17実験
--- K中間子”原子”精密測定 ---

J-PARC E17実験

Ｋ中間子ヘリウム３原子 *3d→2p* Ｘ線の精密分光

1 Ｋ中間子を液体ヘリウム３標的に静止させてＫ中間子原子を生成

2 原子核に最も近い軌道は強い相互作用による影響を受ける
⇒ 電磁相互作用のみから計算される軌道準位と比べてズレが生じる



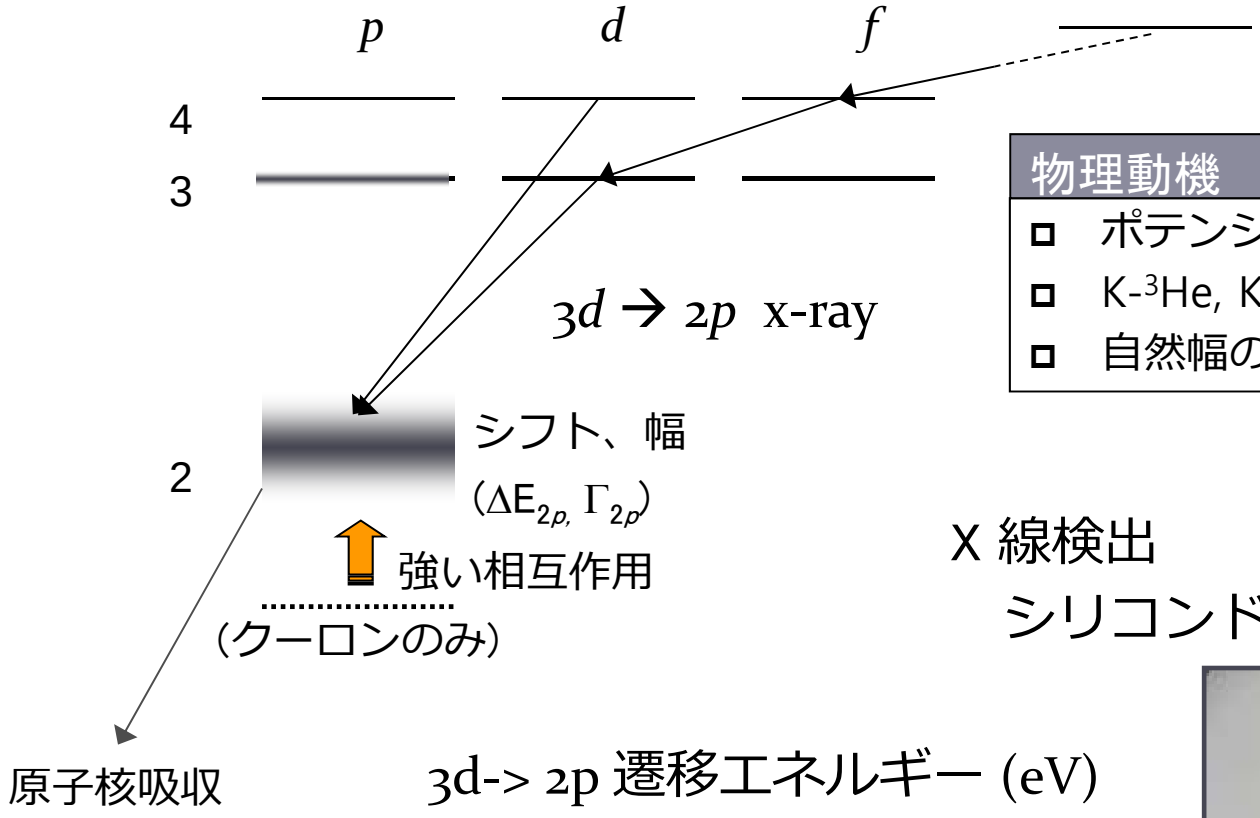
3 脱励起過程に放出されるＸ線を精密測定することで、強い相互作用による軌道準位のズレを観測

- 世界最高精度のＫ中間子原子Ｘ線測定（~２eV）
- Ｋ中間子ヘリウム３原子からのＸ線測定は世界初
- Ｋ中間子−ヘリウム原子間のオプティカルポテンシャルの深さ、及び、Ｋ中間子原子核の存在に関する重要な知見

（KEK 飯尾さん
スライド）

K中間子He原子X線分光

J-PARC E17@ K1.8BRビームライン



物理動機

- ポテンシャルに対する情報
- K-^{3}He, K-^{4}Heアイソトープシフト
- 自然幅の測定

X 線検出

シリコンドリフト検出器(SDD)

3d-> 2p 遷移エネルギー (eV)

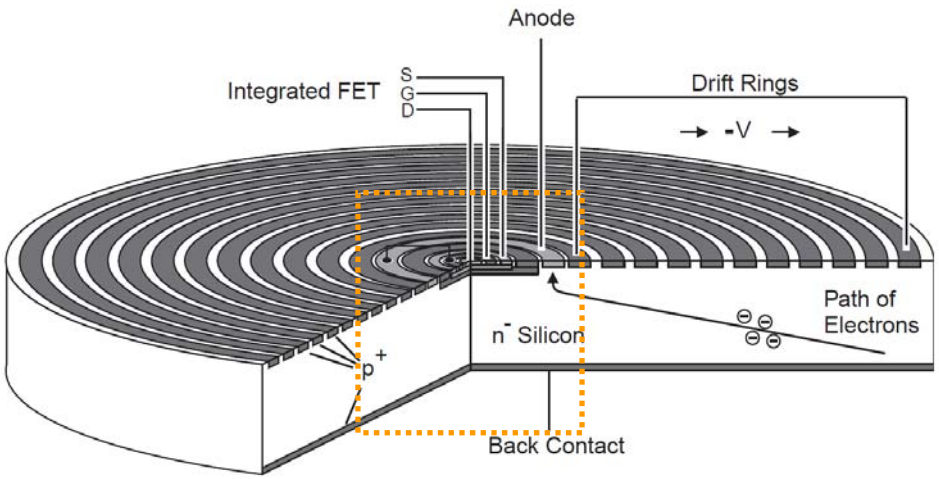
(電磁相互作用のみ)

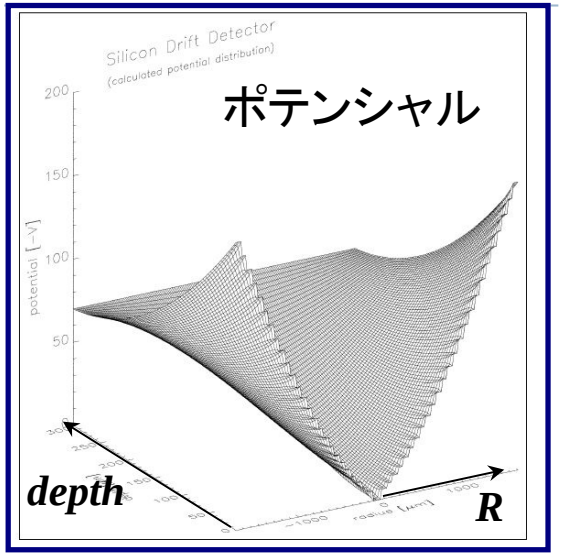
K- ^{3}He	K- ^{4}He
6220.2	6463.5

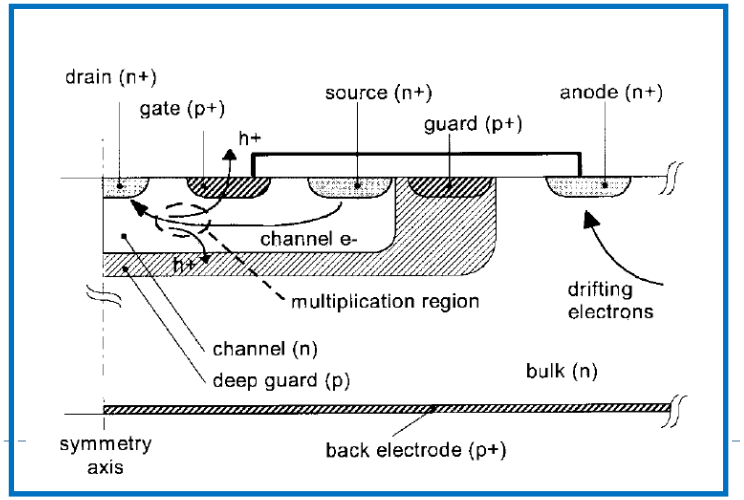
(東大 佐藤さん JPS2012春)

シリコンドリフト検出器（SDD）

- KETEK GmbH　　NIMA 225(1984)608







（東大 佐藤さん JPS2012春）

特徴

- small anode side

  $Q = CV = (\varepsilon_0 S / d)\, V$

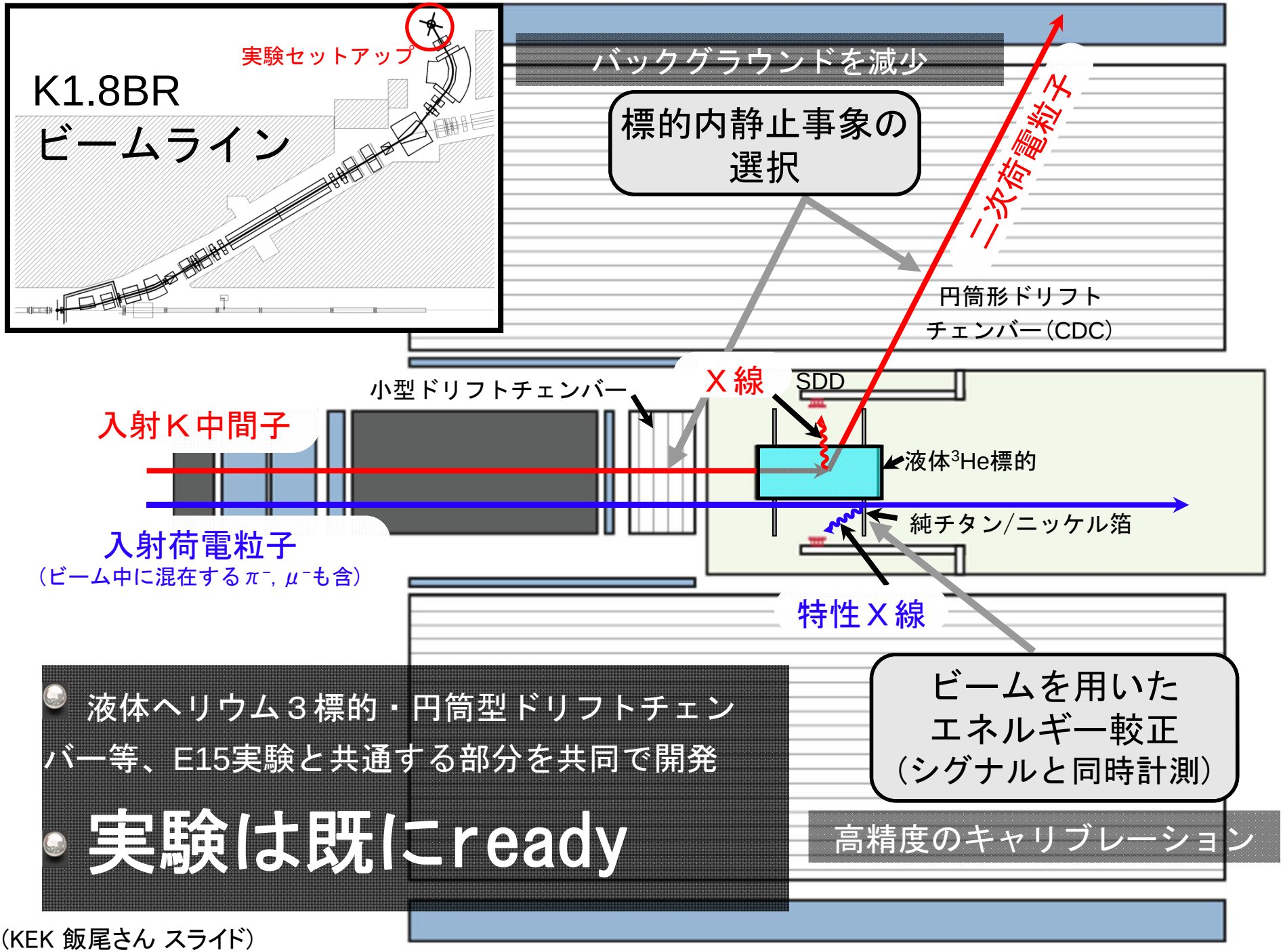
  small capacitance

- Large effective area

  ~100 mm²

- Thin active layer

  reduce Compton background



- 液体ヘリウム３標的・円筒型ドリフトチェンバー等、E15実験と共通する部分を共同で開発
- **実験は既にready**

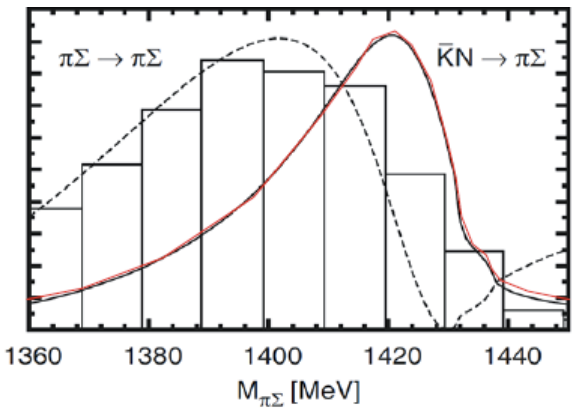
(KEK 飯尾さん スライド)

E31実験
--- Λ(1405)精密測定 ---

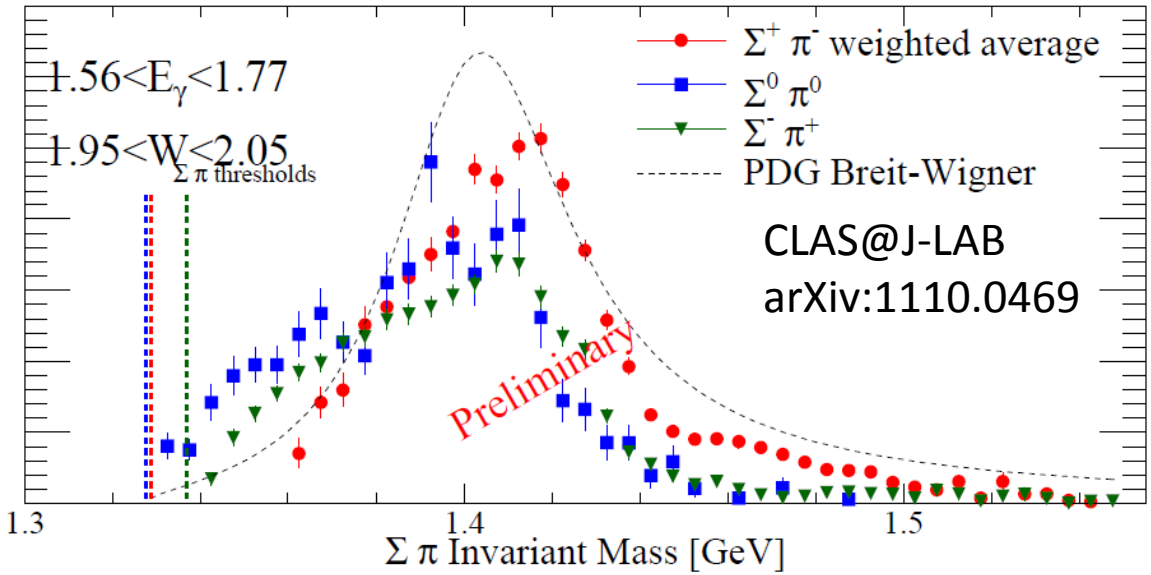
Λ(1405)実験に求められていること

- **質量中心値の決定**　　**K^-入射チャンネルで見る事が重要**
  - 1405MeV
    - 過去の実験結果より決めた<u>**現象論的ポテンシャル**</u>
  - 1420MeV
    - <u>**カイラル・ユニタリー・モデル**</u>
    - Λ(1405) は$\bar{K}N$と$\pi\Sigma$にカップルする二つのポールを持つ
- **崩壊モードごとのスペクトラム詳細測定**

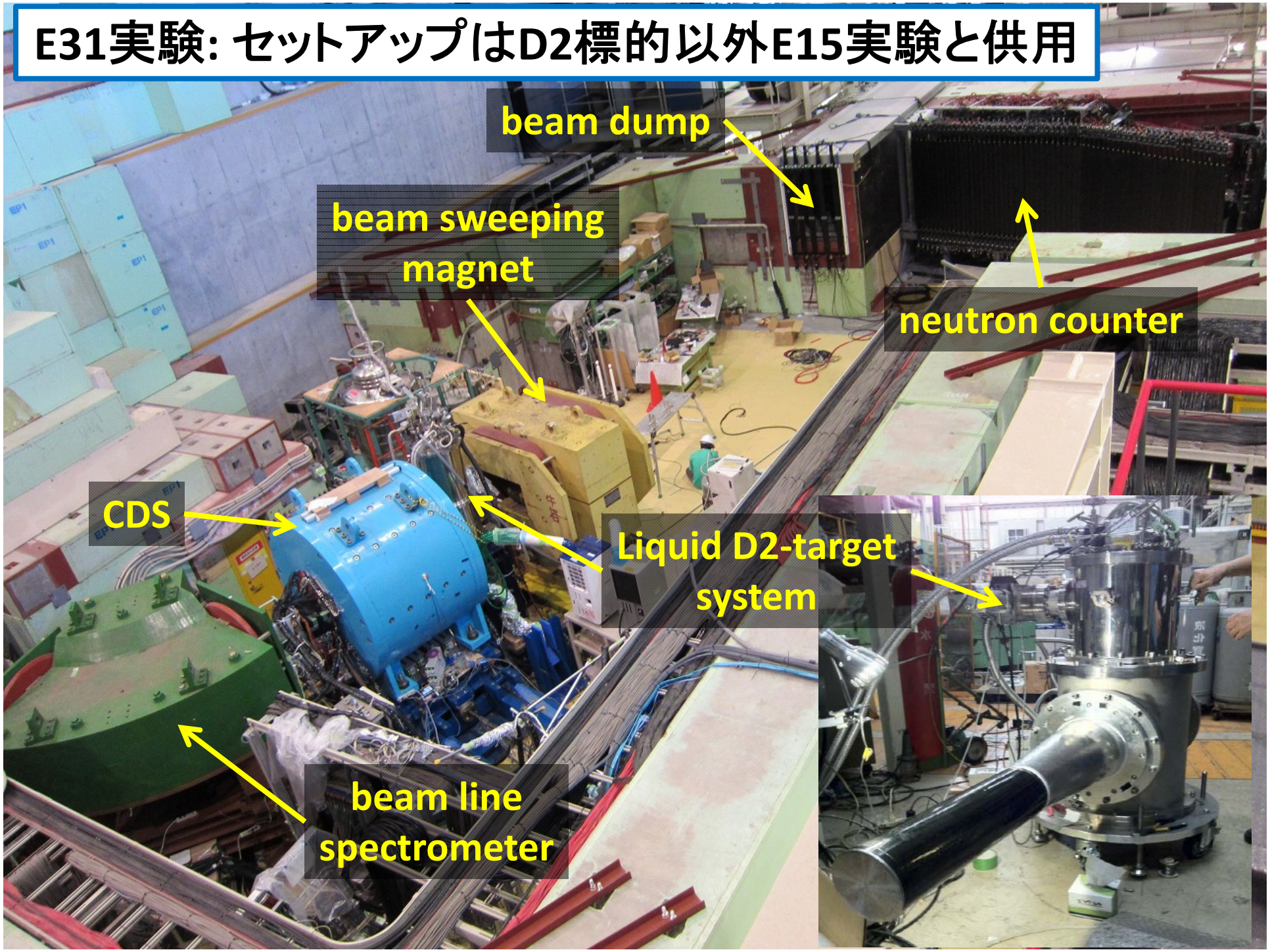
  $(\pi\Sigma)^0$崩壊モード3つをタグする事が重要
  - $\pi^0\Sigma^0/\pi^+\Sigma^-/\pi^-\Sigma^+$それぞれの崩壊モードでスペクトラムが違う?



Chiral Unitary Model:
D. Jido et al., NPA725(03)181



E31実験: セットアップはD2標的以外E15実験と供用

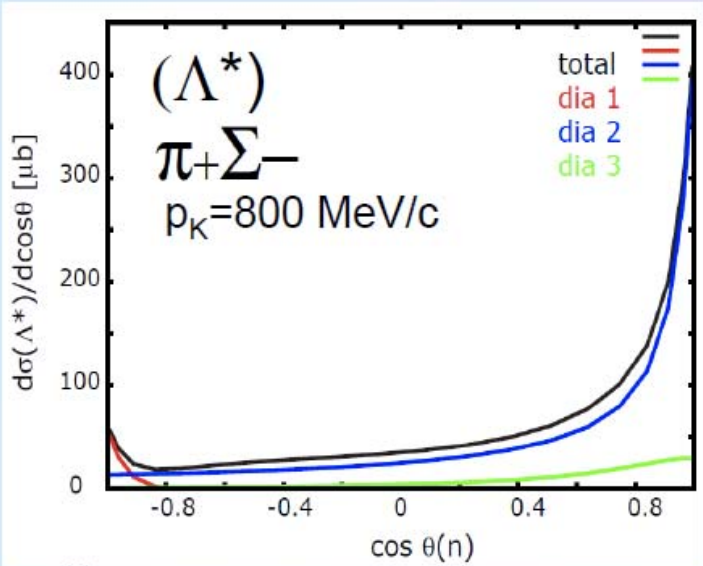


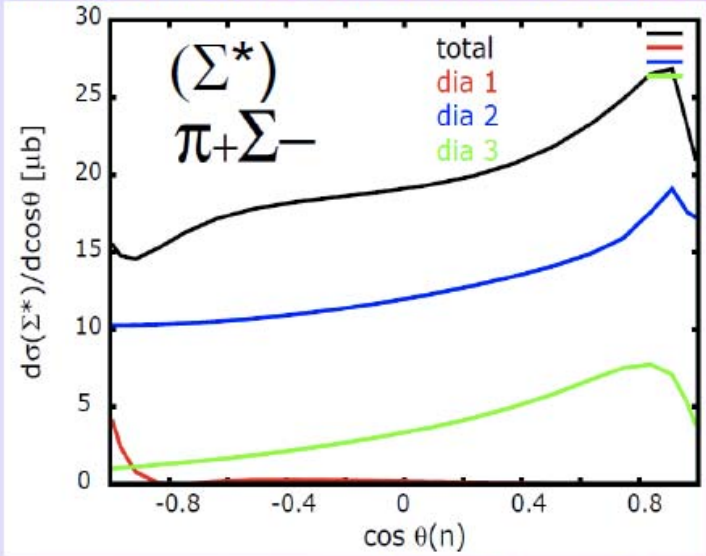
E31実験: d(K⁻,n)反応で前方nを見る

Λ(1405): S-wave $K^{bar}N \rightarrow \pi\Sigma$ scattering below $K^{bar}N$ threshold

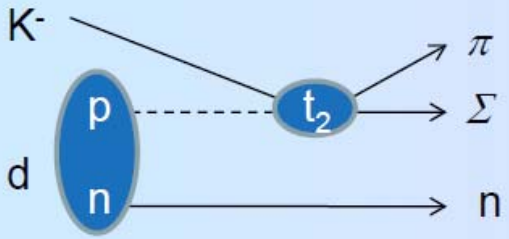
d(K⁻,n) may enhance the S-wave scattering at θ_n = 0 degree.

J. Yamagata-Sekihara,T. Sekihara, and D. Jido

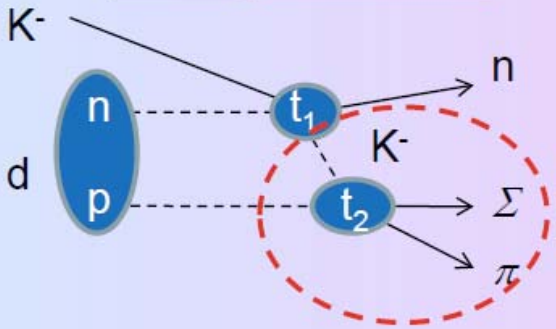




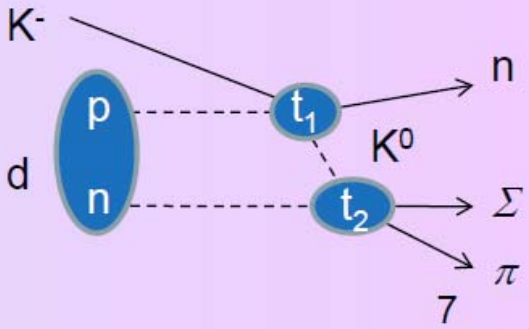
dia.1:small



dia.2:dominant

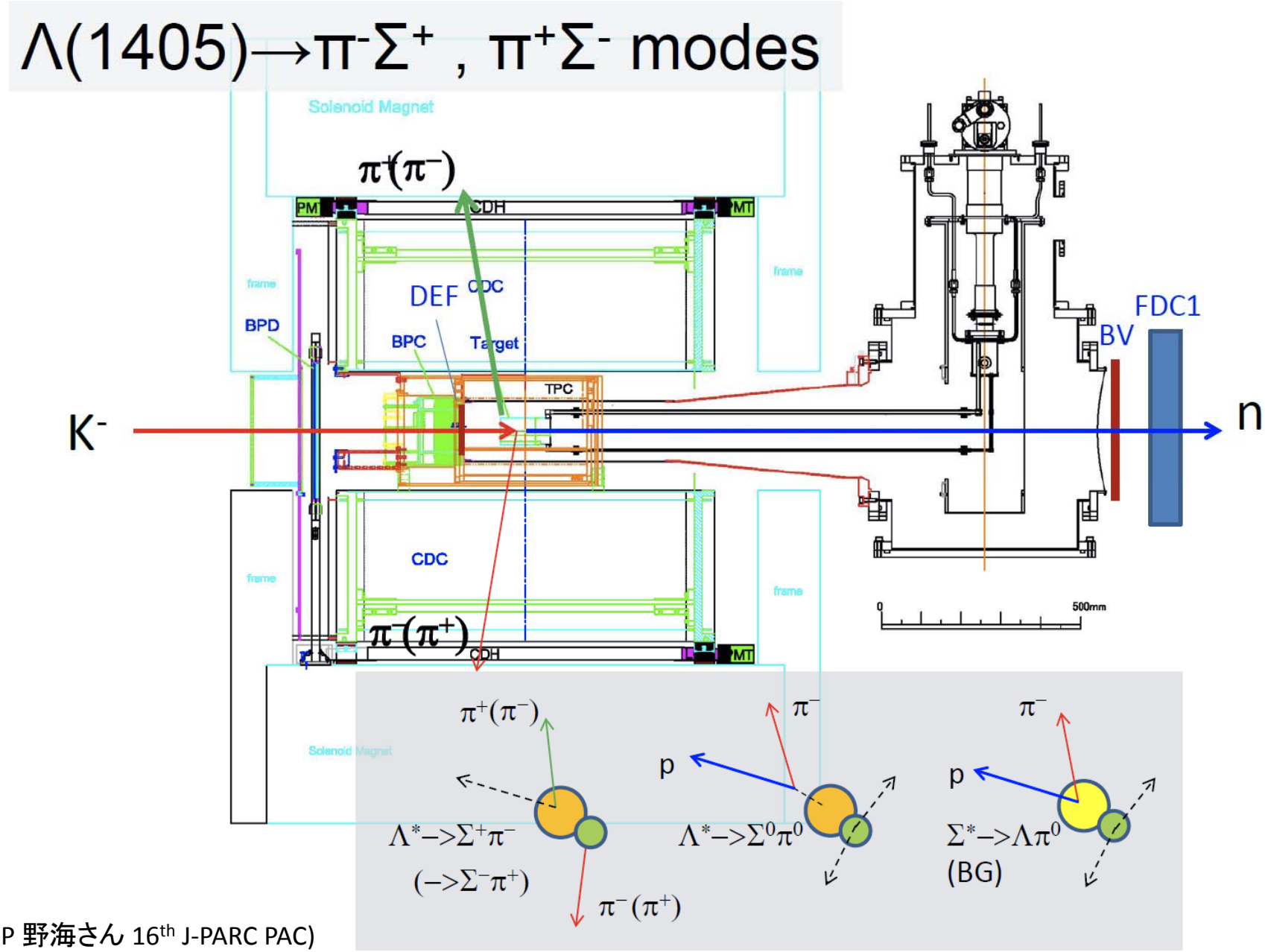


dia.3:Interference



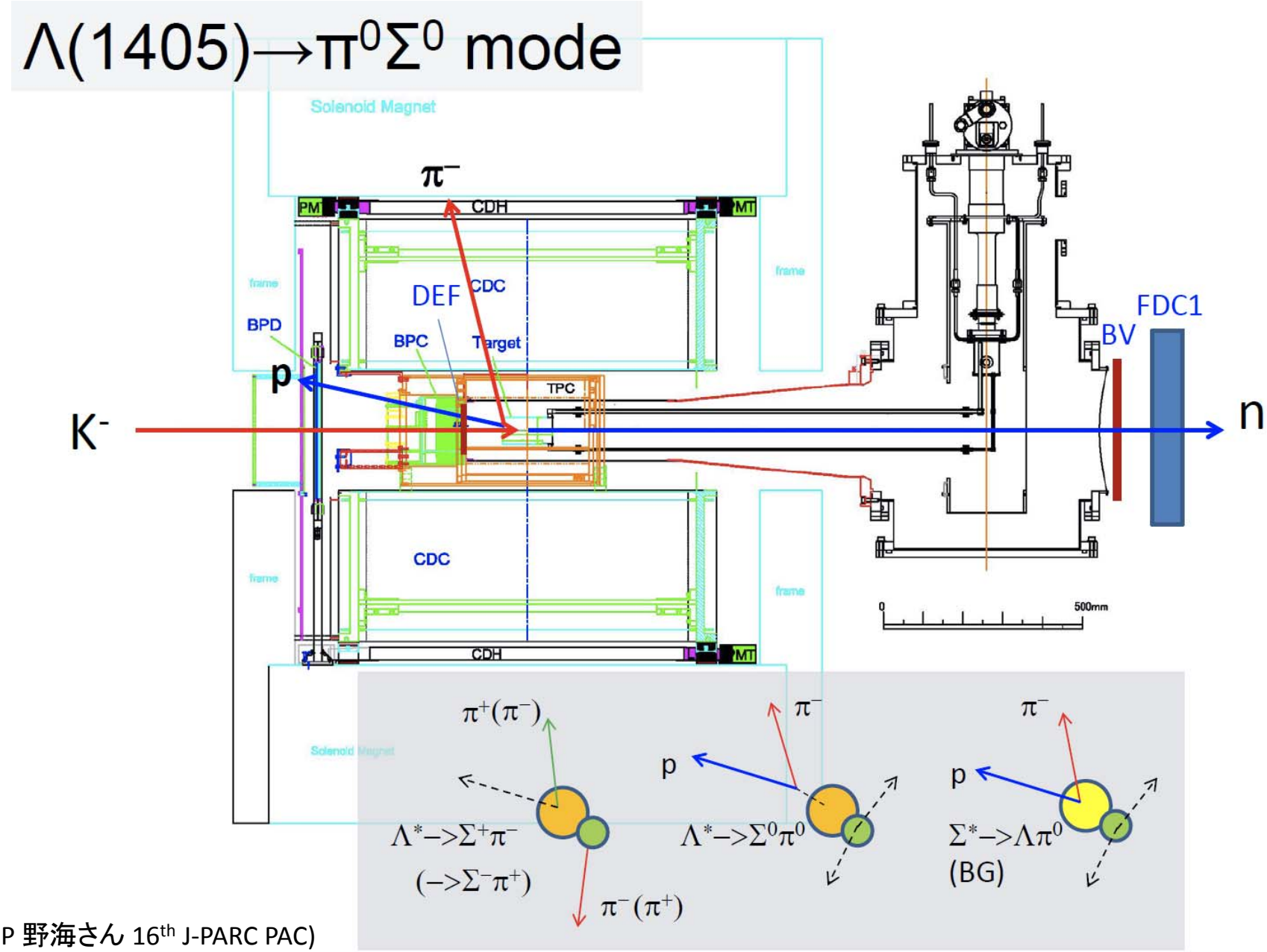
(RCNP 野海さん 16th J-PARC PAC)

E31実験: Λ(1405)→(πΣ)^{0}全て観測



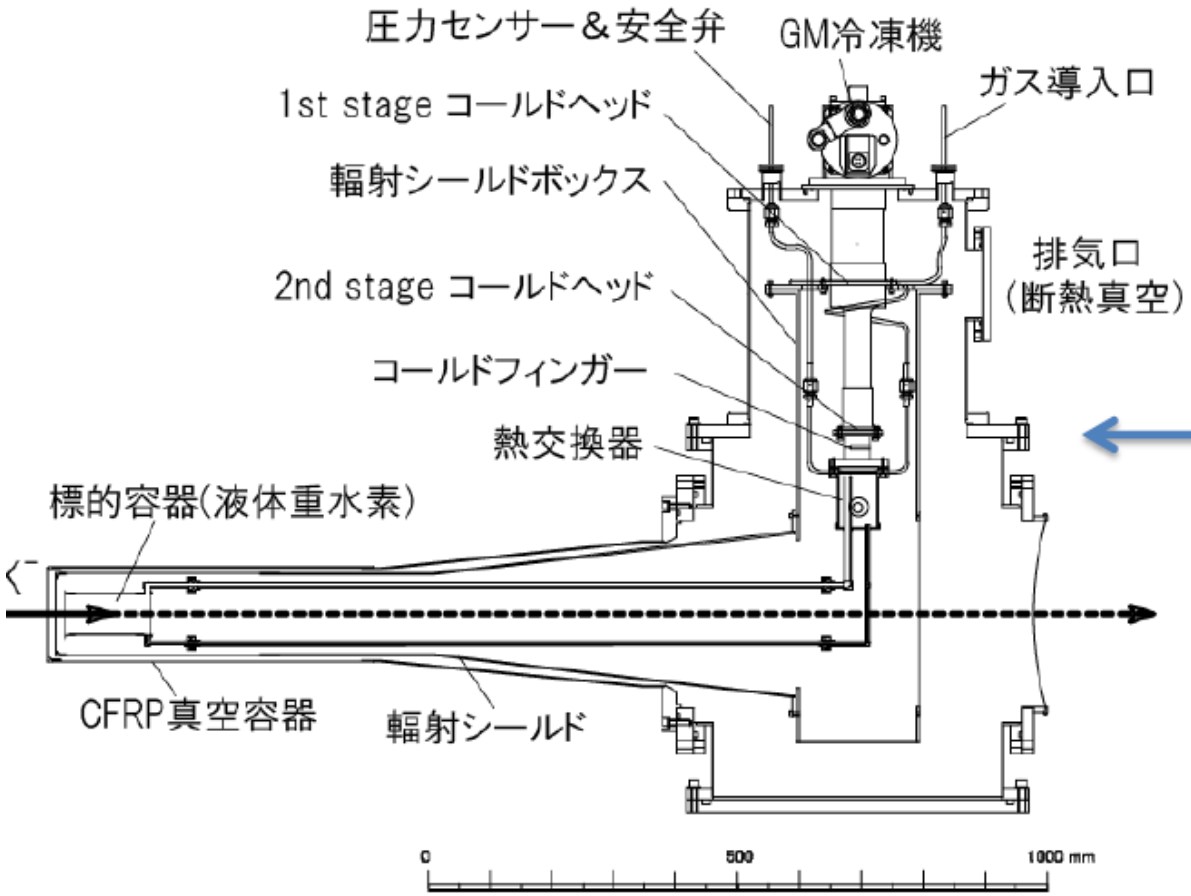
(RCNP 野海さん 16th J-PARC PAC)

E31実験: Λ(1405)→(πΣ)^{0}全て観測



(RCNP 野海さん 16th J-PARC PAC)

E31用液体重水素標的



液体重水素標的の構成

(GM冷凍機仕様)
1st Stage　50 K @35 W
2nd Stage　4.2 K @1.5 W

重水素
沸点　23.8 K
融点　18.7 K

E31実験からの要請
・標的周りの物質量の抑制
・反応断面積測定値の一定保持のため液体重水素温度の安定保持

標的の周りに高い立体角で測定器がくるようにし、かつ装置そのものが検出の邪魔にならないような設計

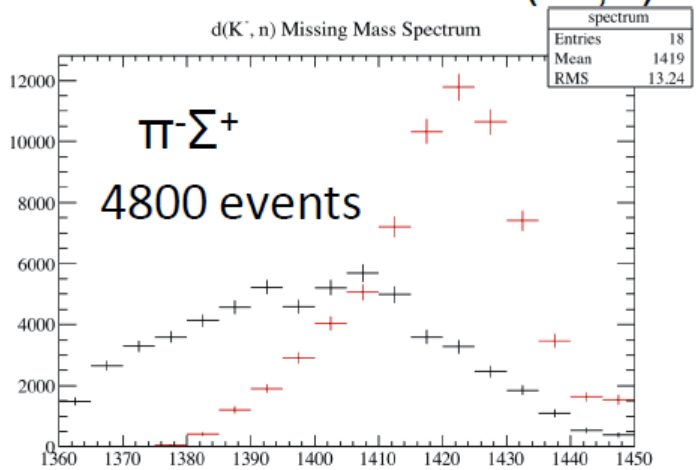
標的の特徴

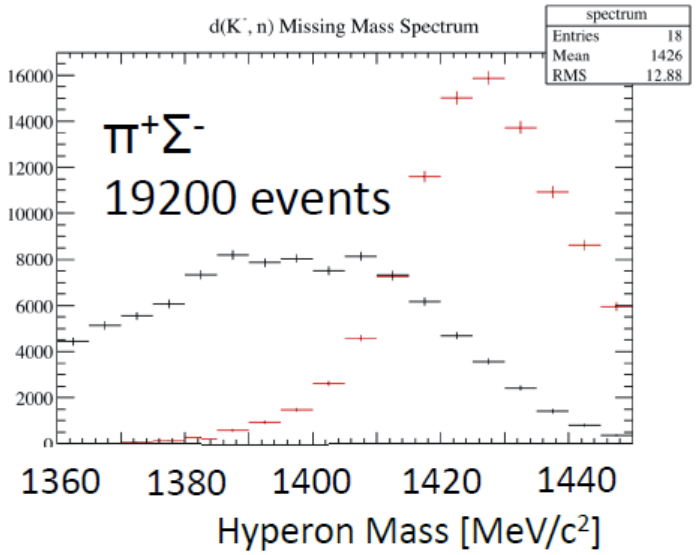
・GM冷凍機による高熱伝導蒸留器冷却、輻射シールド冷却
・ヒーターでの温度調整
・蒸留器→標的容器(液体)
標的容器→蒸留器(ガス)、重水素循環システム
・冷却器真空断熱

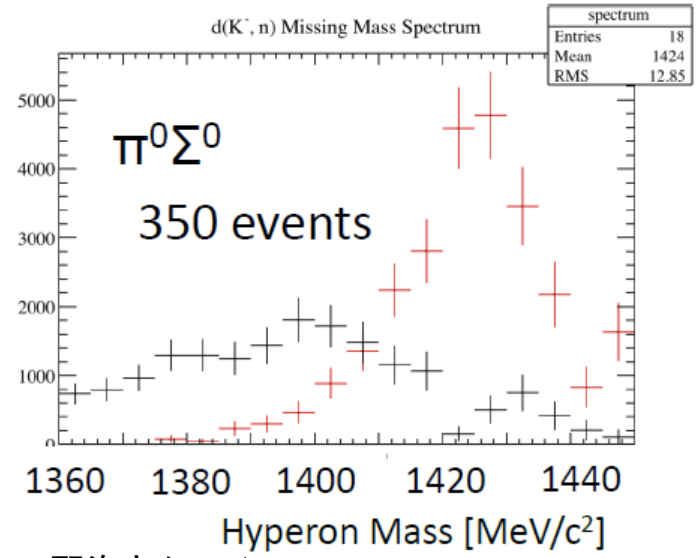
(RCNP 川﨑さん JPS2012春)

予想収量とスペクトラム

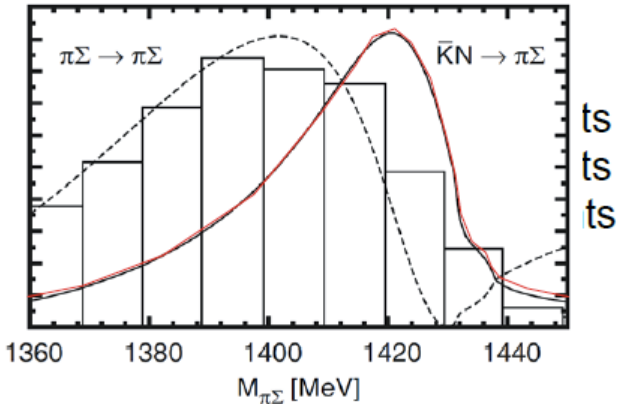
Simulation: $MM_{d(K-,n)X}$ Spectra (Acceptance Corrected)







Red : Chiral Unitary Model
Black : Hemingway's data



ts
ts
ts

(RCNP 野海さん 16th J-PARC PAC)

2013年初夏1st physics-run予定

最後に

- K1.8BRでの実験はこれからが本番
  (加速器強度も順調に向上中)

- @K1.8BR
  (2013.3)E15-1st → (2013.6-7)E31-1st →
  [2013.7-2014.1加速器アップグレードで休み]
  →(2014.2?)E17 → ?

- おもしろい結果がこれから続々出てくる予定

- コラボレーター(若い方)大募集です

お疲れ様でした

おまけ: 理化学研究所の宣伝

理化学研究所とは?

- 物理学、化学、工学、生物学、医科学など基礎研究から応用研究まで行なう日本で唯一の自然科学の総合研究所
  - 1917年(大正6年):財団法人「理化学研究所」
  - 1948年(昭和23年):株式会社「科学研究所」
  - 1958年(昭和33年):特殊法人「理化学研究所」
  - 2003年(平成15年):独立行政法人「理化学研究所」
    - 本拠地: 埼玉県和光市
    - RIBF、SPring-8、etc.
    - 約3000人

和光キャンパス (東京ドーム5.9個)

池袋から東武東上線で約15分

理研・大学院生リサーチ・アソシエイト(JRA)制度

- 内容: 大学院博士（後期）課程在籍者を非常勤として受け入れ、独立行政法人理化学研究所の研究者の指導のもとで研究を行います。
- 人数: ? (最近はほとんど受かる)
- 応募期間: M2の10月~11月下旬
- 期間: 1年契約、3年まで
- **待遇等(H23):**
  - **給 与 : 月額164,000円（税込み）**
  - **通勤手当 : 当研究所規定に基づいて支給（支給限度額 : 月45,000円）**
- 注意事項: 理研内の受入研究室の所在地に住まなければならない(例外有り)

理研・基礎科学特別研究員(基礎特研)制度

- 内容: 科学技術のさらなる発展のために…。創造性、独創性に富む優秀な若手研究者が自由な発想で主体的に研究できる場を、当研究所において提供する制度です。
- 基本的に、学位取得(見込)が条件
- 人数: 35名程度 (なかなか受かりにくい)
- 応募期間: 毎年5月
- 期間: 1年契約、3年まで
- **待遇等(H23):**
  - **給 与:487,000円/月(社会保険料、税込み)**
  - **通勤手当(実費、上限45,000円/月)**
  - **住宅手当(家賃の一部)**
  - **研究費は、1,000,000円/年**
- 外部研究費(科学研究費補助金等)の申請資格有

受け入れ研究室 (素粒子・原子核)

- 理論研究部門:
  - 初田量子ハドロン物理学研究室(初田哲男)
  - 中務原子核理論研究室(中務孝)
  - 肥山ストレンジネス核物理研究室(肥山詠美子)
  - 橋本数理物理学研究室(橋本幸士)
- RIBF研究部門:
  - 櫻井RI物理研究室(櫻井博儀)
  - 上坂スピン・アイソスピン研究室(上坂友洋)
  - 森田超重元素研究室(森田浩介)
  - 玉川高エネルギー宇宙物理研究室(玉川徹)
  - 実験装置開発室(若杉昌徳)
  - 加速器基盤研究部(上垣外修一)
  - 実験装置運転・維持管理室(久保敏幸)
  - 応用研究開発室(阿部知子)、その他
- 素粒子物性研究部門:
  - 延與放射線研究室(延與秀人)
  - 岩崎先端中間子研究室・RAL支所(岩崎雅彦)
  - 理研BNL研究センター理論および実験研究グループ(L. McLerran, 秋葉康之)

J-PARCで実験したい人はこちら