

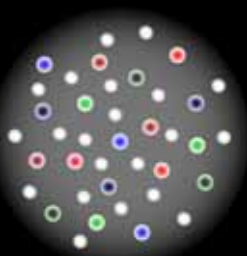
ハドロン実験について

田中 万博

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, による冷却
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(液状)”

元素合成

恒星

中性子星

超伝導状態

クォーク星?

H, He Fe

重力圧縮

ストレンジネス核物理
(J-PARC)

0

高密度核物質の物理
一般化された核力

sクォーク出現

密度

Fe U

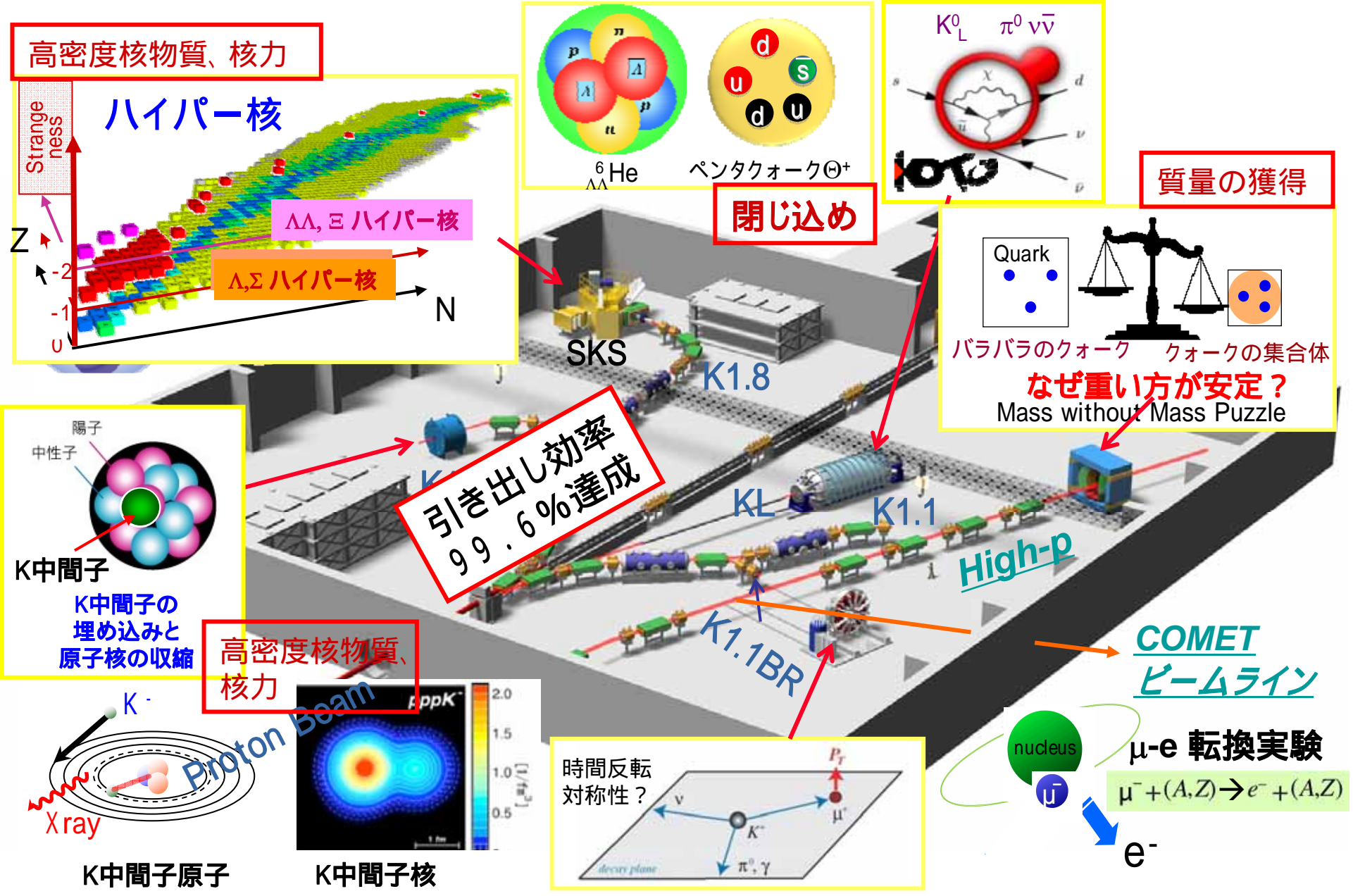
超新星爆発?

通常の原子核

高密度核物質

クォーク物質

ハドロン実験施設における実験計画



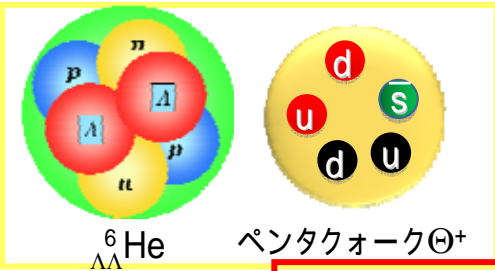
高密度核物質、核力

ハイパー核

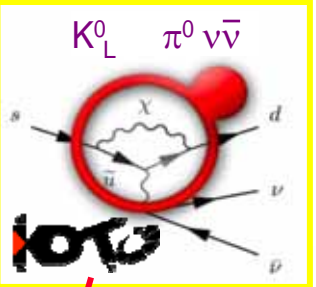
Strange ness

ΛΛ, Ξ ハイパー核

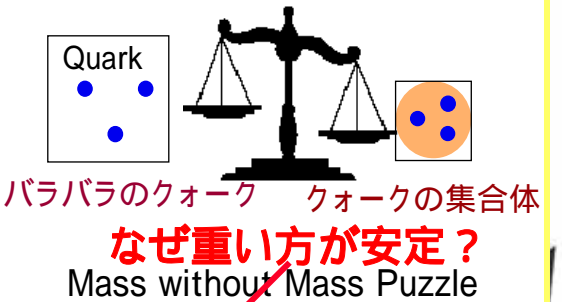
Λ, Σ ハイパー核



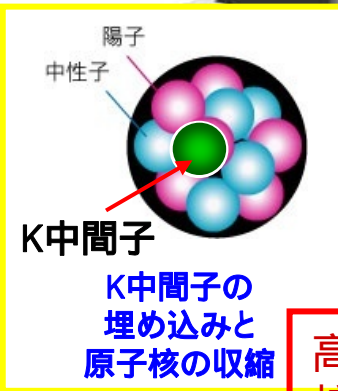
閉じ込め



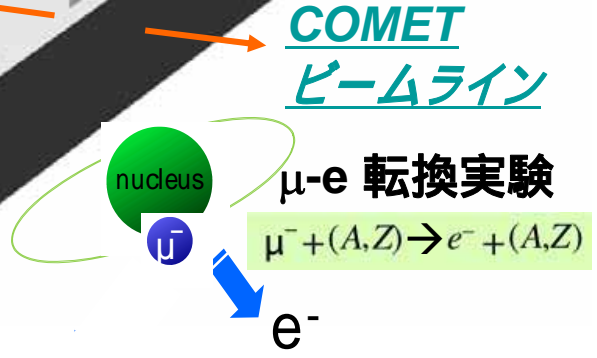
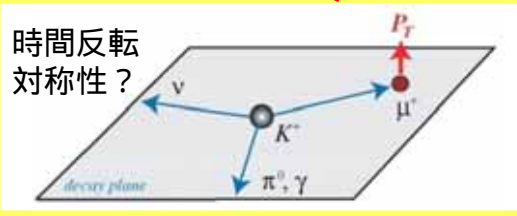
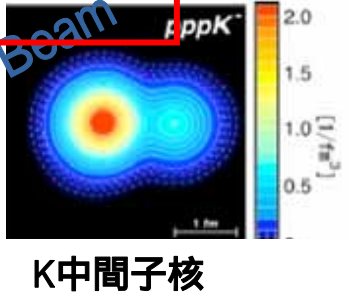
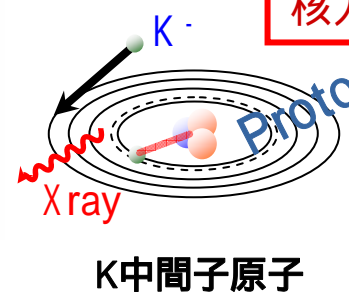
質量の獲得



引き出し効率
99.6%達成



高密度核物質、核力



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 Ξ -Hypernuclei with the Double Charge-Exchange Reactions	K1.8		pi-	5	1008
E13	H.Tamura	Tohoku U	Gamma-ray spectroscopy of light hypernuclei	K1.8	yes	K-	270	1000
E18	H.Bhang, H.Outa, 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		pi+	5	576
E19	M.Naruki	KEK	High-resolution Search for Θ^+ Pentaquark in $\pi^+p \rightarrow K^+X$ Reactions	K1.8	yes	pi-	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		pi+	5	960
E08	A.Krutenkova	ITEP	Pion double charge exchange on oxygen at J-PARC	K1.8		pi+	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		pi+	5	672
E26	K. Ozawa	KEK	Search for η -meson nuclear bound states in the $^{A-1}Z \rightarrow n^{(A-1)}(Z-1)$ reaction, and for η mass modification in the in-medium $\eta \rightarrow \pi^0$ decay.	K1.8		pi-	10	1600
E40	K.Miwa	Tohoku U	Measurement of the cross sections of η p scatterings	K1.8		pi-&+	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.Outa	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

	(Co-)Spokespersons	Affiliation	Title of the experiment at Hadron Experimental Hall	BeamL.	Day1	Beam	MR Power [kW]	[hours]
E29	H. Ohnishi	RIKEN	Search for η -meson nuclear bound states in the $p\bar{p} + Z \rightarrow \eta + (Z-1)$ reaction	K1.1		p-bar	270	1920

K1.1
BR

E06	J. Imazato	KEK	Measurement of T-violating Transverse Muon Polarization in $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ 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

KL

E14	T. Yamanaka	Osaka U	Proposal for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment at J-PARC	KL		KL0	270	8333
-----	-------------	---------	---	----	--	-----	-----	------

High-p

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
-----	--------------	-------	--	--------	--	---	--	-----

COMET

E21	Y. Kuno	Osaka U	An Experimental Search for Lepton Flavor Violating $\mu \rightarrow e \gamma$ Conversion at Sensitivity of 10^{-16} with a Slow-Extracted Bunched Proton Beam	COMET-BL			8GeV 7 μ A	
-----	---------	---------	---	----------	--	--	----------------	--

K1.1
BR
for
Test
Exps

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				

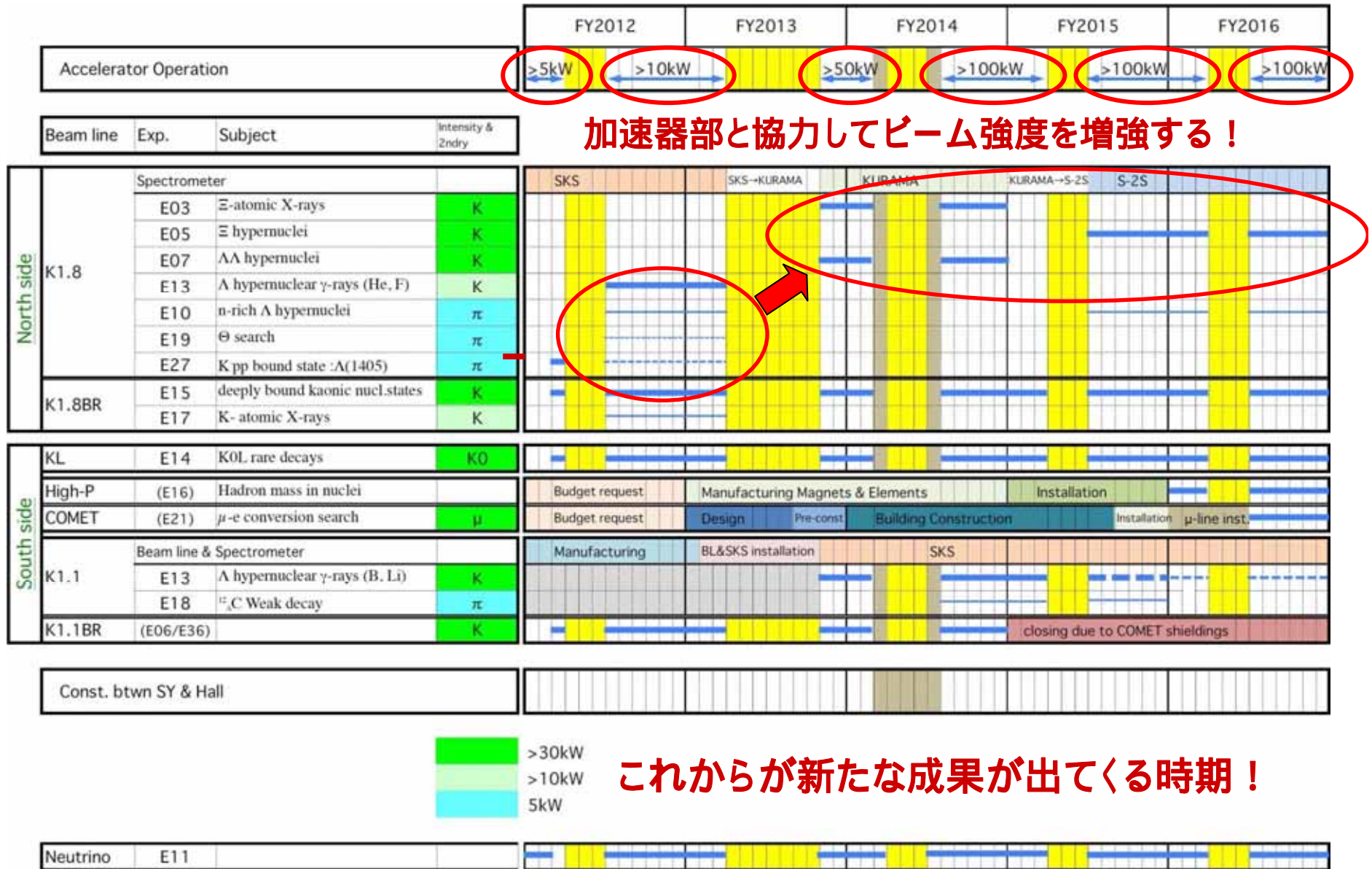
全部実施するのに、年間2000時間としても3~4年必要なほど
たくさんの実験提案がある！

Stage 1

Stage 2

Test

ビーム強度増強とともにK中間子実験が本格化



加速器部と協力してビーム強度を増強する！

これからが新たな成果が出てくる時期！

ニュートリノとビームタイムを分け合って実験を行う。

ハドロンの 主力実験設備

SKS スペクトロメータ



K1.8 Beam Spectrometer

Q10 Q11

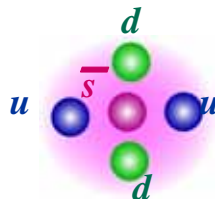
D4

Q13
Q12

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

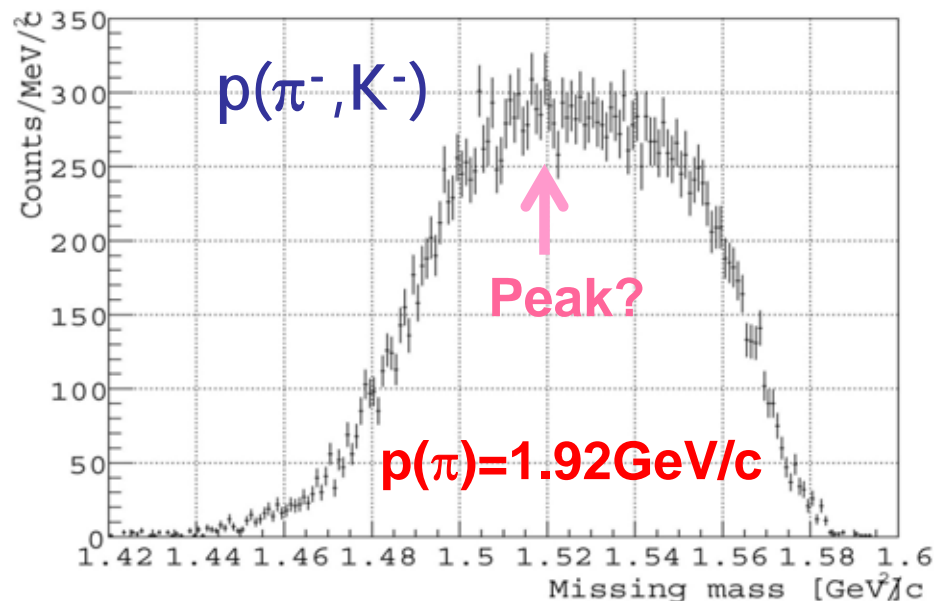
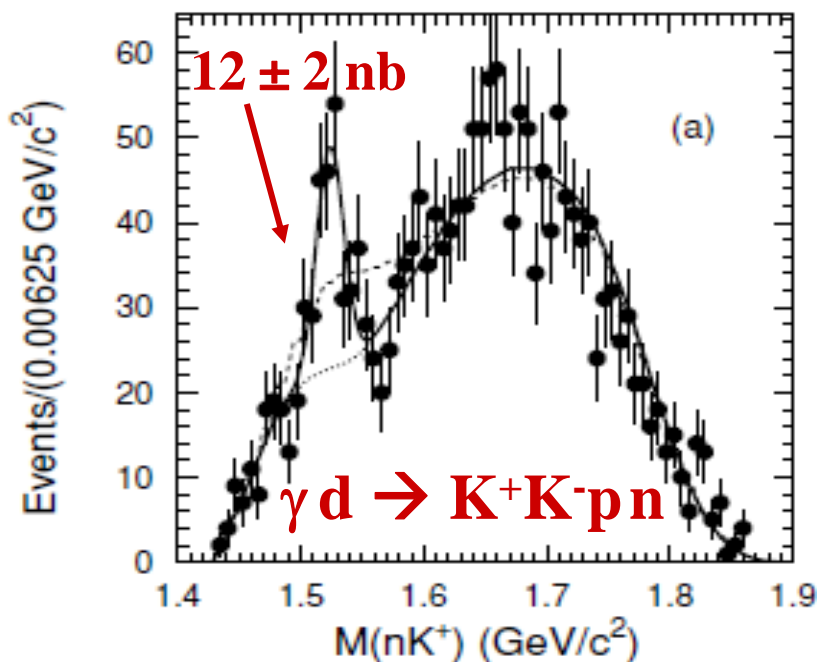


J-PARC E19

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

SKS-K1.8システムの主力実験:
S=-2ハイパー核物理

三次元核図表

ストレンジ核物質理解への第一歩

高密度核物質、一般化された核力、の理解への端緒

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

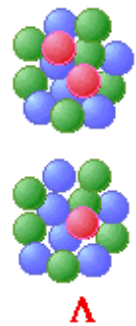
Strange hadronic matter (A)

Nu ~ Nd ~ Ns



“安定”

p, n, Λ , Ξ^0 , Ξ^-



Λ

p

n

より高密度

Strangeness

Z

-2

-1

0

N

$\Lambda\Lambda, \Xi$ ハイパー核

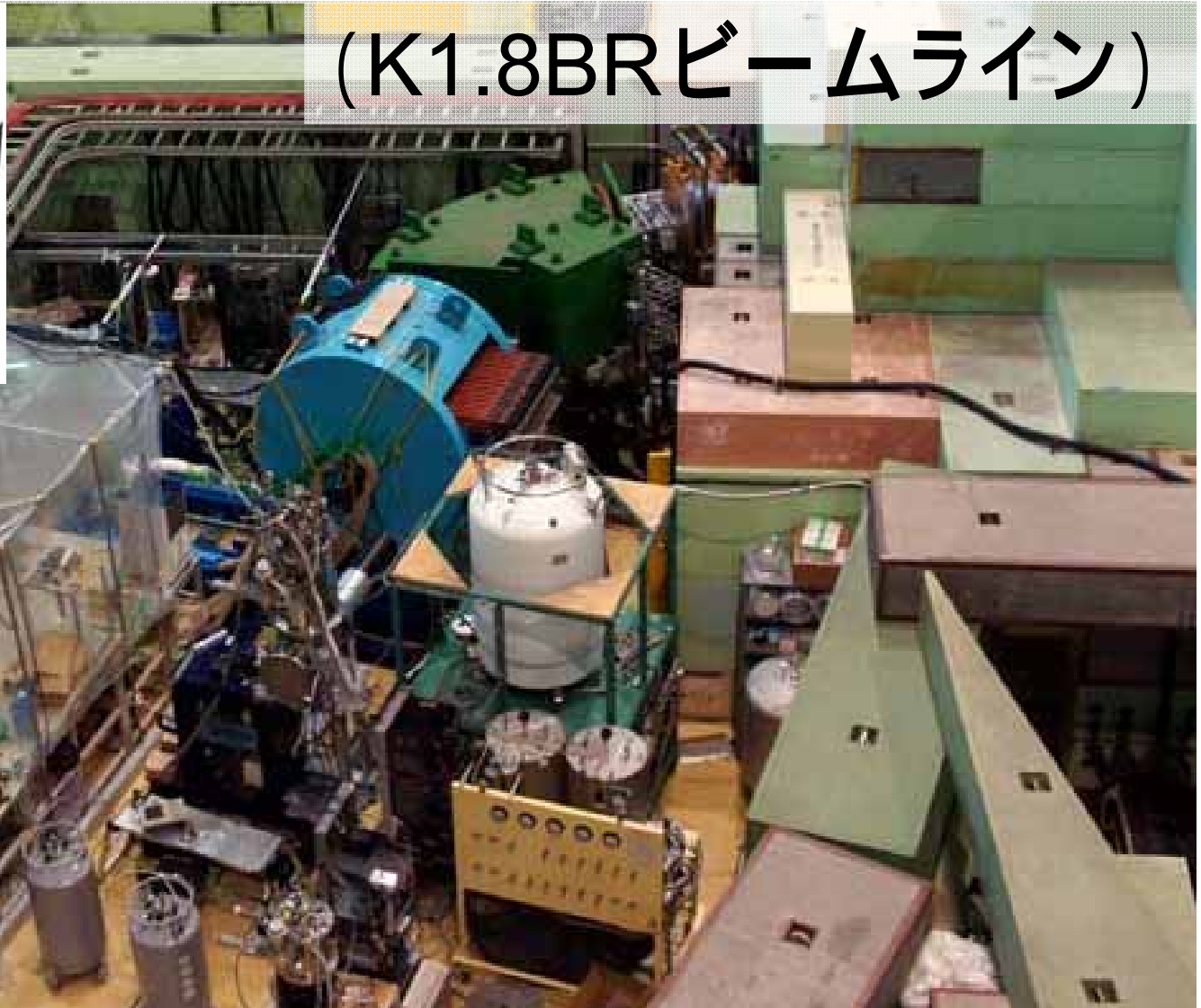
(K⁻, K⁺)反応、E03, E05, E07

Λ, Σ ハイパー核

(π^- , K⁺)反応、E10、(K⁻, π^-)反応、E13

高密度核物質の候補 $K\text{-pp}$ 束縛状態の探索

(K1.8BRビームライン)

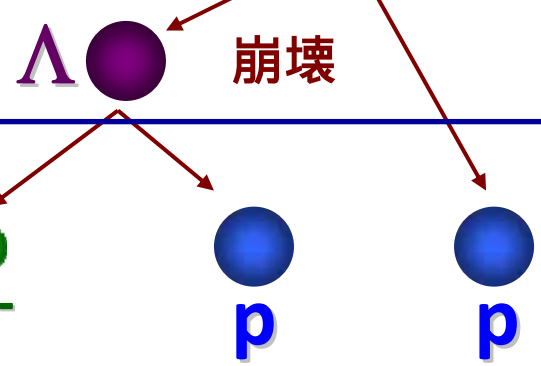


ドラエモン磁石とヘリウム3標的による実験

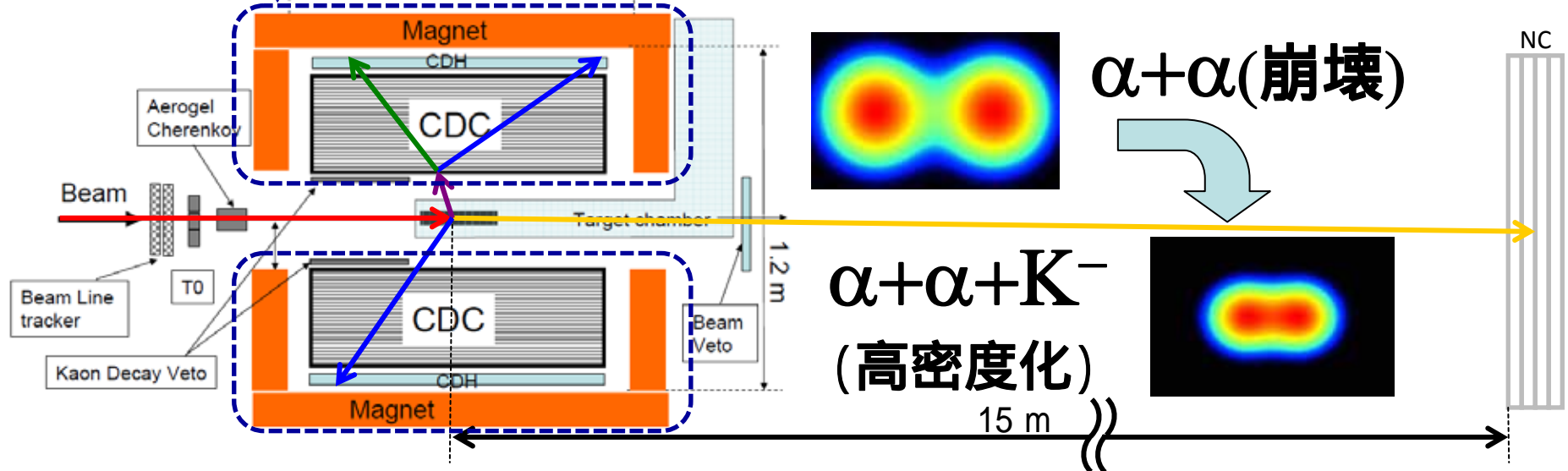
高密度核物質の候補 K^-pp 束縛状態の探索



K中間子が糊の役割を果たして、 K^-pp が束縛するとの理論予測！

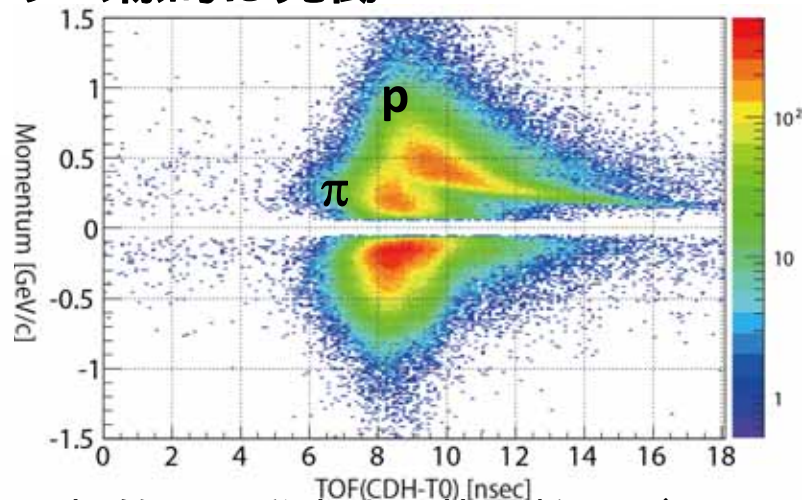
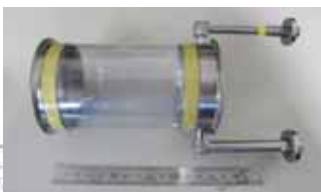
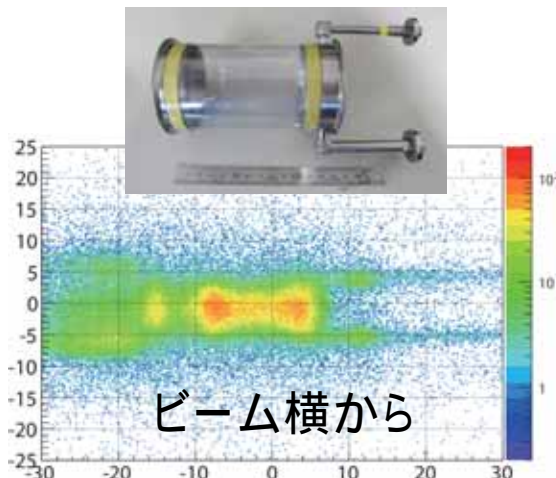
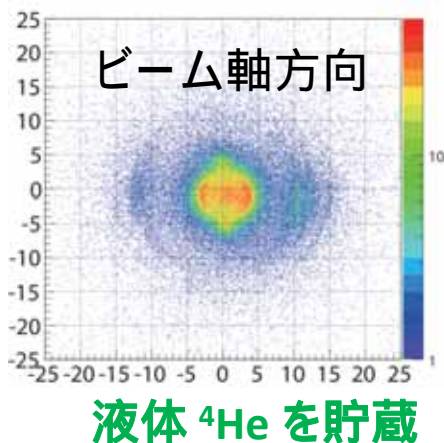


崩壊粒子の測定
 K^-pp 束縛状態の存在を運動学的な完全測定で探索する。



2月のテストランの結果

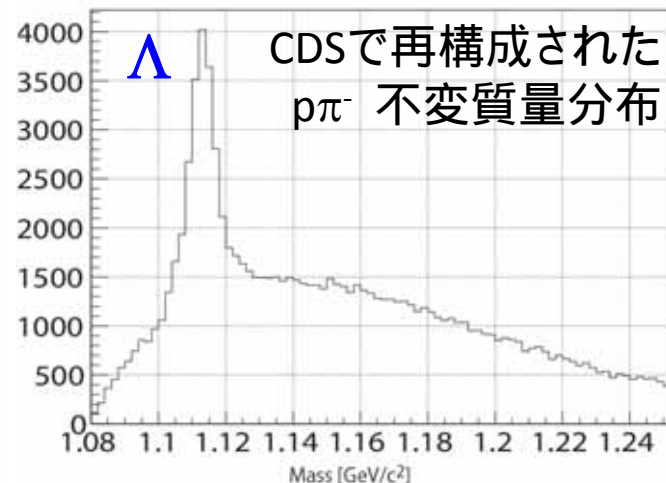
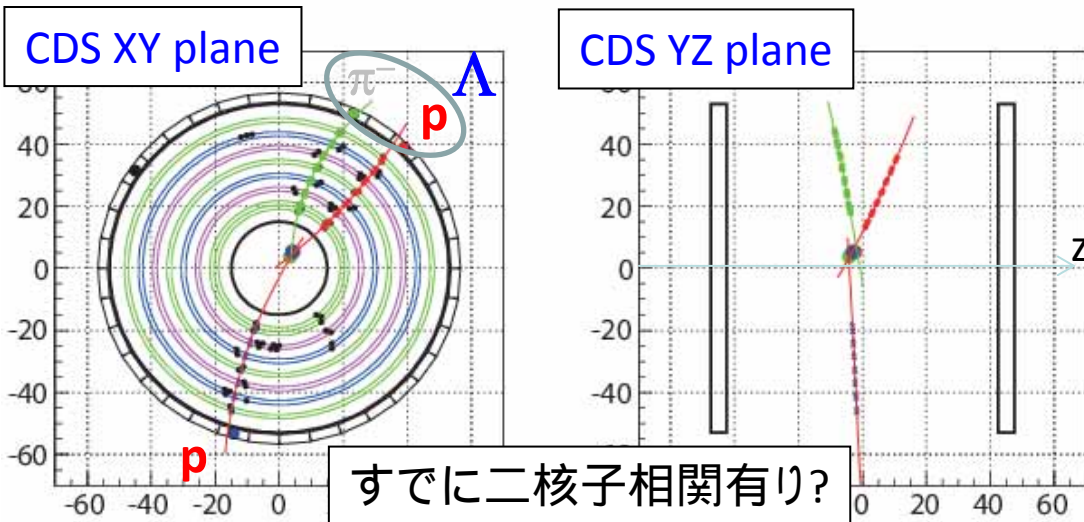
- 円筒形ドリフトチェンバー (CDS)と液体ヘリウム標的は完働



ヘリウム標的の像が周辺材料分布とともに明瞭に見えている

標的から発生する荷電粒子がCDSによって明瞭に粒子分離されている

- **K-pp**探索実験の準備は完了した！ (今秋から本格実験開始)



約1万個の Λ 粒子データを再構成

ハドロンホールでの実験に投入された 外部資金 実験装置の建設

(2007 ~ 2011)+
2012 ~

K1.8
8.1+4.7億円

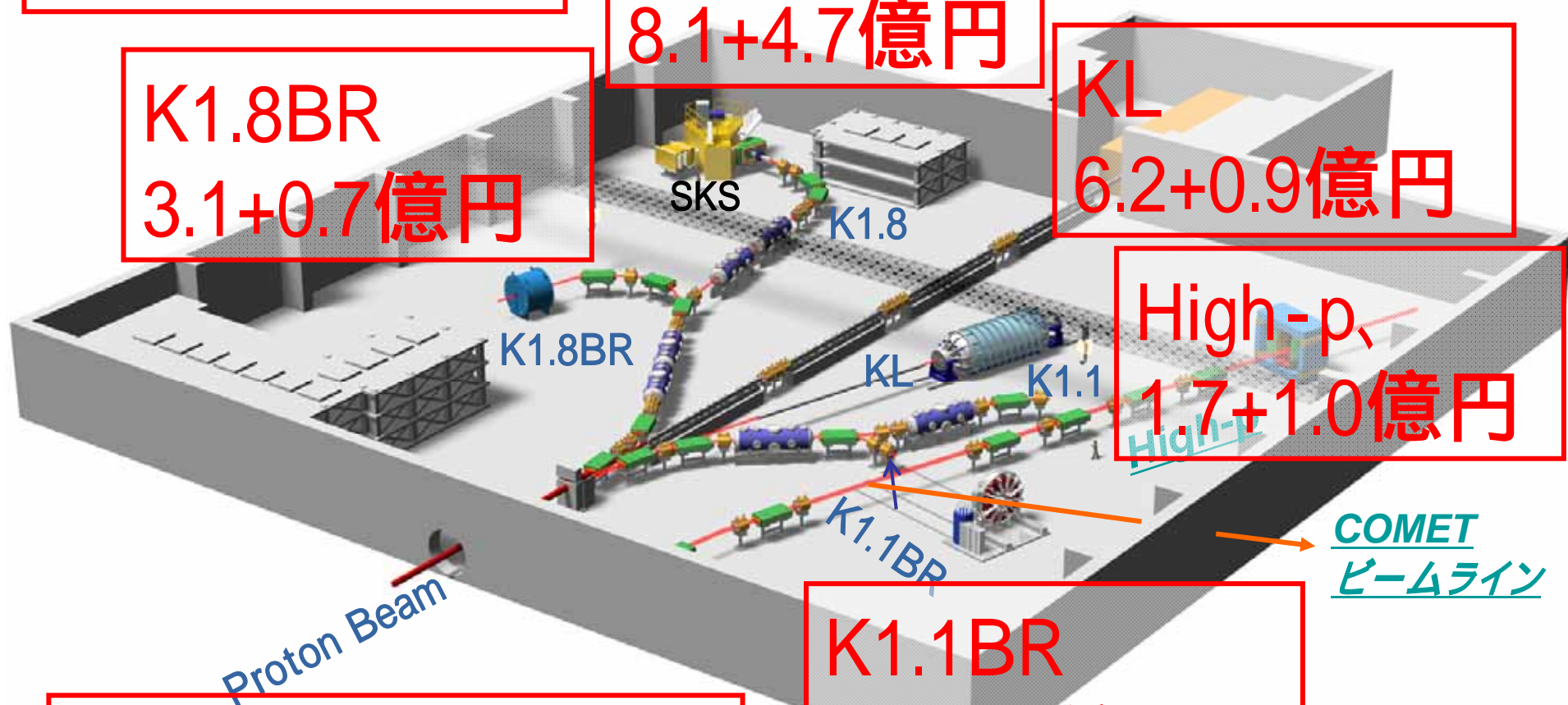
K1.8BR
3.1+0.7億円

KL
6.2+0.9億円

High-p、
1.7+1.0億円

K1.1BR
1.2+0.7億円

Total 20.2+7.4億円



大震災後2011年度の共同利用実験者数

ユーザー数の変遷

	2009	2010	2011	5年後?
リスト	348(167)		466(219)	
UO登録者数	165	208	184(48)	50%増加?
HUA会員数			182(45)	300(100)

K1.8
76人

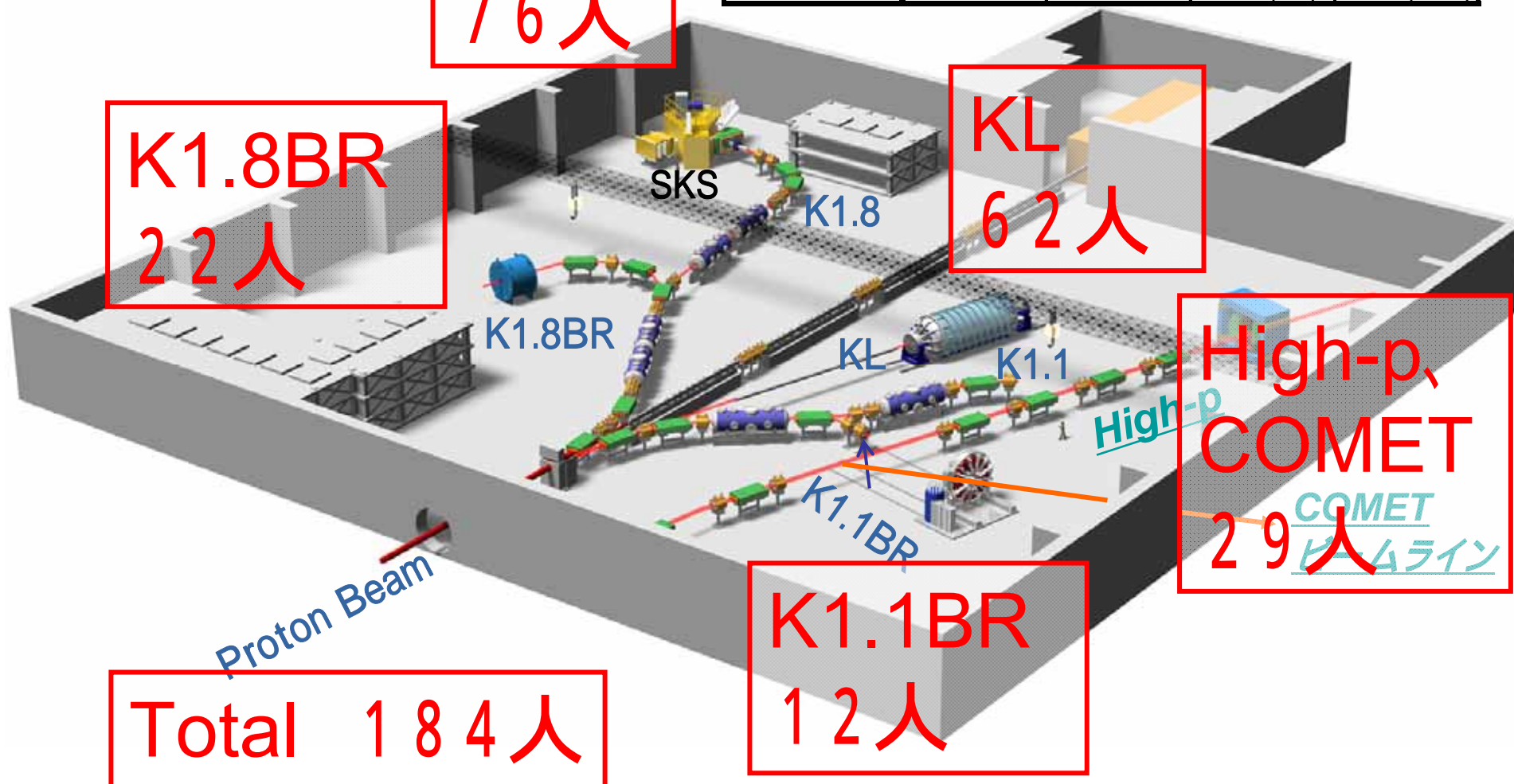
K1.8BR
22人

KL
62人

High-p,
COMET
29人
COMET
ビームライン

K1.1BR
12人

Total 184人



ハドロン実験ホールに集まった人々

大学院生、研究員、技術者、教授、准教授・・・、世界中から集結！

2009.1.27 ホールへの最初のビーム

2009.10.22 K1.8 に最初のビーム

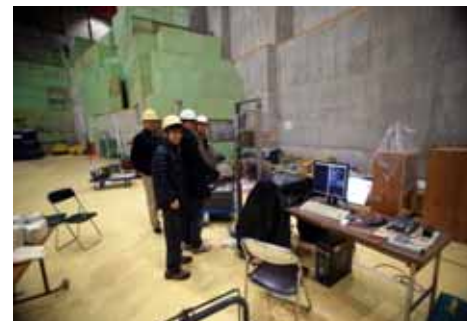
KOTO (E14) 実験チーム
(中性K中間子の稀崩壊の探索)



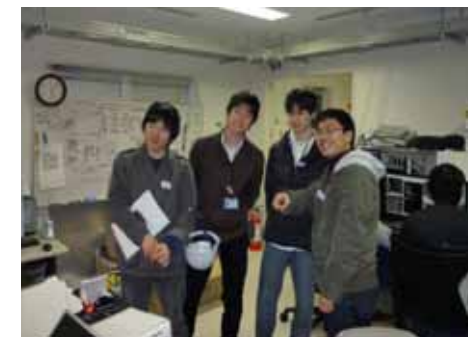
K1.8測定室を準備中



K1.8実験エリアの測量



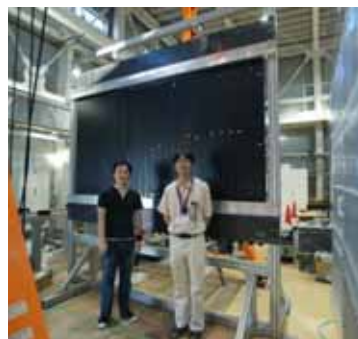
KL実験場所での
バックグラウンド測定



新入りメンバーと上級生



K1.8BR の現場回路調整中



TOF カウンター壁準備完了



私が準備した TOF カウンター達



真夜中！のKL測定室

2011年度開催国際会議等

- 「J-PARCで展開されるハドロン原子核物理」
2011/6/10-11
- 「Korea-Japan workshop on nuclear and hadron physics at J-PARC」 2011/9/22-23
- 「HUA Workshop on the Future of the Hadron Hall」 2011/10/23
- 「Workshop on “Future Prospects of Hadron Physics at J-PARC and Large Scale Computational Physics”」 2012/2/9-11
- 「International School for Strangeness Nuclear Physics」 2012/2/12-18

学位取得、受賞、など

- 博士号取得 E14(KOTO)-3名、E19(Penta) - 1名、
- 受賞 第6回日本物理学会若手奨励賞(三輪浩司、ハ
ドロンビームを用いたペンタクォーク探索)
- Search for the Θ^+ pentaquark via the $\pi^-p \rightarrow K^-X$ reaction at
1.92 GeV/c, K. Shirotori, et al., submitted to Phys. Rev.
Lett. (arXiv:1203.3604).

Search for the Θ^+ pentaquark via the $\pi^-p \rightarrow K^-X$ reaction at 1.92 GeV/c

K. Shirotori,¹ T. N. Takahashi,² S. Adachi,³ M. Agnello,⁴ S. Ajimura,⁵ K. Aoki,⁶ H. C. Bang,⁷ B. Bassalleck,⁸
E. Botta,⁹ S. Bufalino,⁹ N. Chiga,¹ P. Evtoukhovitch,¹⁰ A. Feliciello,¹¹ H. Fujioka,³ F. Hiruma,¹
R. Honda,¹ K. Hosomi,¹ Y. Ichikawa,³ M. Ieiri,⁶ Y. Igarashi,⁶ K. Imai,¹² N. Ishibashi,¹³ S. Ishimoto,⁶
K. Itahashi,¹⁴ R. Iwasaki,⁶ C. W. Joo,⁷ M. J. Kim,⁷ S. J. Kim,⁷ R. Kiuchi,⁷ T. Koike,¹ Y. Komatsu,²
V. V. Kulikov,¹⁵ S. Marcello,⁹ S. Masumoto,² K. Matsuoka,¹³ K. Miwa,¹ M. Moritsu,³ T. Nagae,³
M. Naruki,⁶ M. Niiyama,³ H. Noumi,¹⁶ K. Ozawa,⁶ N. Saito,⁶ A. Sakaguchi,¹³ H. Sako,¹² V. Samoilov,¹⁰
M. Sato,¹ S. Sato,¹² Y. Sato,⁶ S. Sawada,⁶ M. Sekimoto,⁶ H. Sugimura,³ S. Suzuki,⁶ H. Takahashi,⁶
T. Takahashi,⁶ H. Tamura,¹ T. Tanaka,¹³ K. Tanida,^{7,12} A. O. Tokiyasu,³ N. Tomida,³ Z. Tsamalaidze,¹⁰
M. Ukai,¹ K. Yagi,¹ T. O. Yamamoto,¹ S. B. Yang,⁷ Y. Yonemoto,¹ C. J. Yoon,⁷ and K. Yoshida¹³

¹Department of Physics, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan*

²Department of Physics, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Tokyo 113-0033, Japan

³Department of Physics, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

⁴Dipartimento di Fisica, Politecnico di Torino, I-10129 Torino, Italy

⁵Research Center for Nuclear Physics (RCNP), 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

⁶Institute of Particle and Nuclear Studies (IPNS),

High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, 305-0801, Japan

2008~2012の出版(ビームライン関係)

- “**Radiation Resistant Magnet System of J-PARC Hadron Experimental Hall**”, [K.H. Tanaka, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Accepted for Publication in 2012.
- “**Indirectly Cooled Radiation-Resistant Magnet with Slanting Saddle Shape Coils for New Secondary Beam Extraction at J-PARC Hadron Facility**”, [H. Takahashi, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Accepted for Publication in 2012.
- “**Radiation-Resistant Magnets for Neutrino Beam Line at J-PARC**”, [E. Hirose, et al.](#), IEEE Transactions on applied Superconductivity, Accepted for Publication in 2012.
- “**Radiation-Resistant Magnets for Hadron Experimental Hall of J-PARC**”, [K.H. Tanaka, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 20, No. 3, pp. 340 - 343, 2010.
- “**Indirectly Cooled Radiation-Resistant Magnets for Hadron Target, Station at J-PARC**”, [H. Takahashi, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 20, No. 3, pp. 344 - 347, 2010.
- “**Manufacturing and Operation of the Magnetic Septa for the Slow Beam Extraction from the J-PARC 50 GeV Proton Synchrotron**”, [R. Muto, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 20, No. 3, pp. 336 - 339, 2010.
- “**Construction and Status of the Hadron Experimental Hall**”, [K.H. Tanaka](#), Nuclear Physics A 835 (2010) pp. 81 - 87.
- “**Hadron Experimental Hall**”, [K.H. Tanaka](#), Nuclear Physics News, volume19, issue 4 (2009) pp. 15 - 17.
- “**Electrostatic separator for K1.8 beam line at J-PARC**”, [M. Ieiri, et al.](#), Nuclear Instruments and Methods in Physics research B266(2008) pp. 4205 - 4208.
- “**Radiation-Resistant Magnets for J-PARC**”, [K.H. Tanaka, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.18 No.2, pp. 244 - 247, 2008,
- “**Development of Indirect-Cooling Radiation-Resistant Magnets**”, [H. Takahashi, et al.](#), IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.18 No.2, pp. 322 - 325, 2008.
- “**Shield Penetrating Water Cooled Bus Ducts for Radiation Resistant Magnets at J-PARC**”, [E. Hirose, et al.](#), IEEE Transactions on applied Superconductivity, vol.18, No.2, pp. 1439 - 1442, 2008.

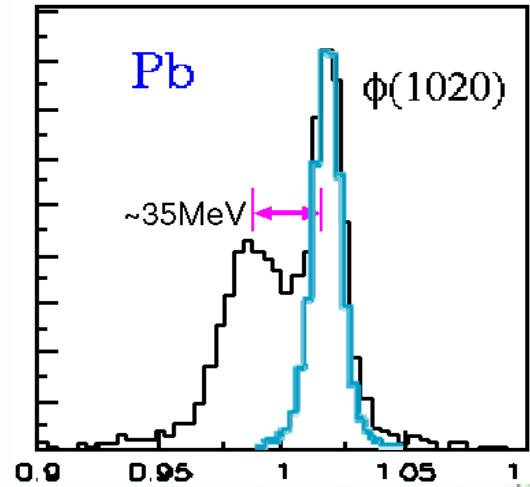
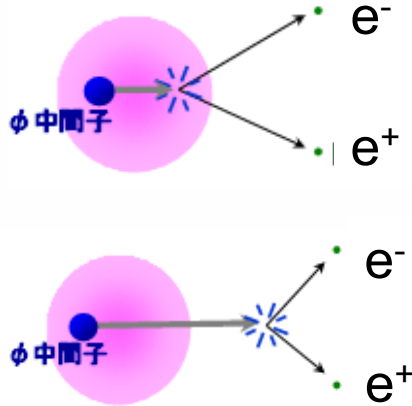
ハドロンの今後の計画

(出力増強と一次陽子ビームの新たな利用)

- 出力増強(現在計画)
 - 1日も早く、100kW超の遅い取り出しビーム利用を実現する。
 - 大強度K中間子ビームでストレンジネス核物理の新しい局面を開く。
 - 高密度核物質、一般化された核力、の理解の推進!
- 一次陽子ビームの新たな利用
 - 高運動量(High-p)ビームライン
 - 出力増強だけでは得られない新しい物理のパラダイムを拓く。
 - 30GeV一次陽子と~15GeV/cの高運動量 中間子ビームの利用。
 - 中間子の質量変化の研究 質量獲得機構の解明、
 - 重いチャームバリオンの分光 クォーク閉じ込め機構の解明、(既存ビームラインでは1~2GeV/cの低運動量K中間子ビームを利用)
 - 最初はほとんど強度を必要としない。大強度K中間子実験と両立が可能
 - μ -e変換実験(COMET)ビームライン
 - 素粒子標準理論を超える新発見を目指す。
 - 世界をリードする新たな日本の新たな「お家芸」となる可能性がある。
 - 最初は数kWで実験開始できる。最終的には8GeV6 μ A(~ 50kW)。

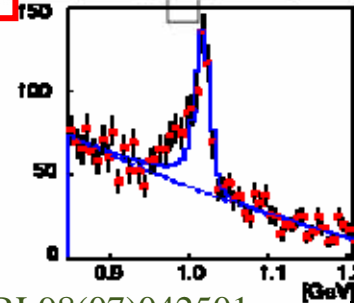
高運動量ビームライン建設計画

質量獲得機構の解明
クォーク閉じ込め機構の解明

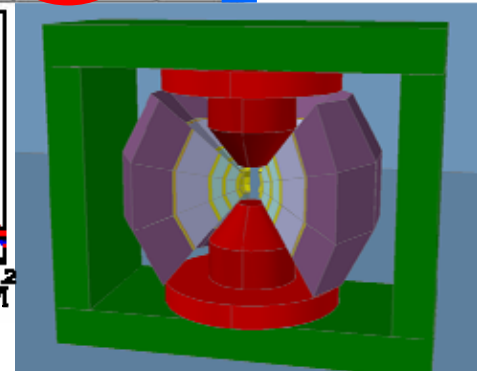


一次ビーム分離装置(全ビームの1%以下)と
15kW標的装置($\sim 15\text{GeV}/c$ の中間子ビーム)

GSJ次期計画(CBM/FAIR SIS100)などと競争

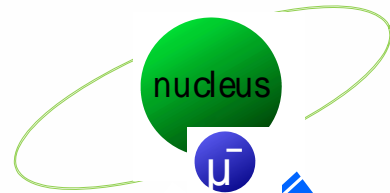


PRL98(07)042501



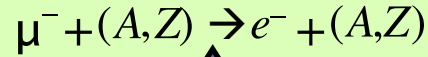
COMETビームラインの建設計画

8GeV6 μ A(~ 50kW)のビーム。最初は数kW。

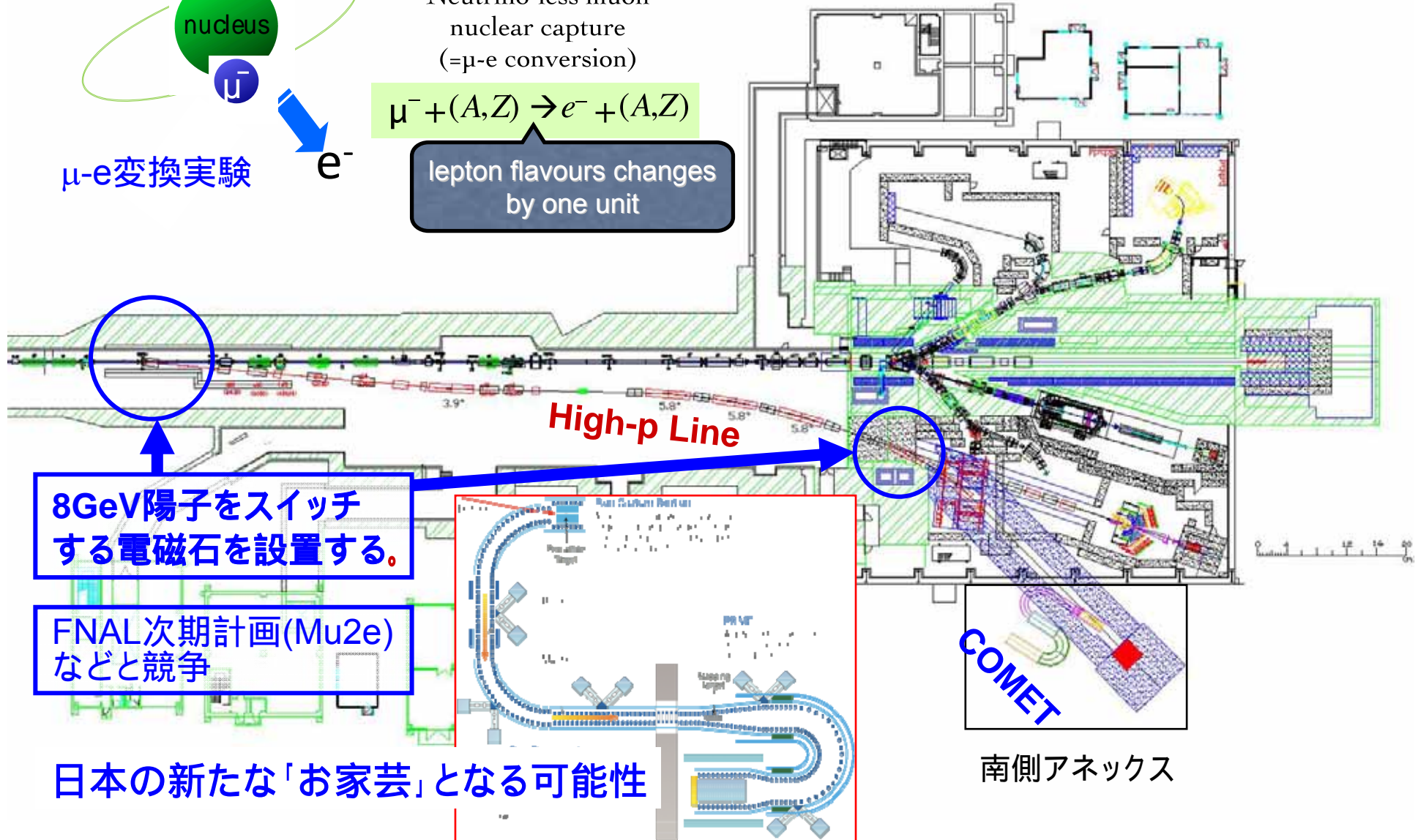


μ -e変換実験

Neutrino-less muon
nuclear capture
(= μ -e conversion)



lepton flavours changes
by one unit



8GeV陽子をスイッチ
する電磁石を設置する。

FNAL次期計画(Mu2e)
などと競争

日本の新たな「お家芸」となる可能性

COMET

南側アネックス

平成19年6月の評価部会での指摘事項

二期計画(物質生命科学実験施設及び原子核素粒子実験施設)

- ・中性子・ミュオンのビームラインの高度化、**ハドロン実験施設の拡張など**については、関連する研究者コミュニティで、当該分野における優先順位付けを行い、その時点での財政状況等を踏まえつつ、判断していくことが必要。

1. 前回の評価部会の後、コミュニティの議論を経て、学会議の大型計画「J-PARC加速器の高度化による物質の起源の解明」としてまとめた。この計画は、以下のものを含んでおり、その後の文科省の作業部会での評価で(a, a)を得ている。
 - 1) 主リング加速器ビーム強度を現在の設計強度である0.75メガワットから1.7メガワット以上に増強する。
 - 2) ニュートリノビームラインを大強度ビームに対応可能なように高度化する。
 - 3) 原子核素粒子実験施設の拡張とビームラインの整備・高度化を行う。
2. 今回の提案は、**この計画(3)の一部**を具体化するものである。上記提案をさらにコミュニティで検討した結果、まず最初のステップとして、**ほぼ現有のホールで実施可能なHigh-p・COMETビームラインの建設を最優先**で行うという結論になった。なお、これは、平成21年5月に利用者協議会が発行した「J-PARCにおける研究の展望」にも触れられている。
3. **ハドロンホールの面積的な拡張については、その次のステップ**として優先的に実施したい。この拡張に関しては、原子核、高エネルギーの各コミュニティ、ハドロンホールユーザー会などで、検討が進んでいる。特に原子核コミュニティではHigh-p・COMET建設に継ぐ優先順位となっている。今後High-p・COMETビームライン建設の実現状況をみつつ、まとめてゆきたい。

まとめ

- 基盤設備である一次陽子ビームライン、T1標的、ビームダンプは完成した。
- 低運動量荷電K中間子ビームライン、中性K中間子ビームラインも完成し、研究成果が出始めた。
- 遅い取り出しの一次陽子ビーム強度は、現状ではまだまだ不十分。たくさんの実験が待機中！
- ビーム強度の改善とともに、本格的なK中間子実験が開始される。実験準備は整った！
- 計画当初からの懸案である高運動量ビームライン(原子核コミュニティーは最優先課題に設定)を建設し、核物理研究の新たなパラダイムを拓く！
- あわせてCOMET実験用ビームライン(高エネルギーコミュニティーが高い優先順位)を建設する！