

高エネルギー加速器の観点から

神谷幸秀

高エネルギー加速器研究機構(KEK)・加速器研究施設

① 自らが関わっている分野についての現状、他の加速器分野に比べた新規性、将来展望、国際競争・分担等について

- KEKにおける加速器の現状 → 参考資料(1~21)
- 新規性 : 我が国における高エネルギー加速器(科学)のメッカ
国際的にも重要拠点の一つ (CERN, DESY, SLAC, FNAL, BNL等々)
かつ、ユニークな研究所 (陽子、電子・陽電子、放射光、中性子、中間子等)
世界最高レベルの加速器性能と研究成果
- 将来計画 : J-PARC(建設中)、J-PARC二期計画、GLC(旧JLC)、SuperKEKB,
ERL(エネルギー回収型リニアック) → 参考資料(22~28)
- 国際競争・分担 : KEKB ⇔ PEP-II(SLAC)、K2K(現時点では独壇場) ⇔ MINOS(FNAL)、
OPERA(CERN)
J-PARC ⇔ SNS(USA)

① <続き>

- 国際競争・分担 : PF, PF-AR(第2世代) ⇔ Spring-8(国内) 及び諸外国の第3世代光源
(世界最高の安定性、年間: 2,000人を超える共同利用者)

R&D

X-バンドRF開発 : SLACとの密接な協力

ATFでの開発 : (世界唯一の施設) 米国、ロシア等
国内の大学(若手研究者の養成)

J-PARC開発 : 米国と競争的な共同研究

SuperKEKB : SLACとの競争的な共同研究

将来計画

GLC : 三極(アジア、米国、ヨーロッパ)で競争(warm or cold)

=> 世界で一つ? -> 国際協力による「国際センター」

② 我が国が当該分野を国際的に主導する能力、メリット

- 能力：我が国における幅広い加速器科学の発展(総合科学である加速器科学には必須)
KEK：最高レベルの加速器施設群
質の高い経験豊かな加速器研究者・技術者集団
(諸外国と比較すると数は少ない)
国際的に高い評価、業績
ただし、国が今後も推進することが必要
- メリット：我が国の基礎科学の発展を支える基盤設備(の一つ)
高エネルギー加速器による研究
 - ・物質の根源、宇宙の謎の究明(KEKB、J-PARC、GLC等)
→ 人類の知的財産への貢献
 - ・物質科学の発展 → すべての科学技術の基礎
→ ハイテク、産業の振興
 - ・ライフサイエンスの発展 → 医療の進展、新薬の創製最先端の科学技術の粋を集めた高エネルギー加速器は、加速器科学・技術の牽引車
→ 科学技術立国の基盤を形成、幅広い産業に有用
言い換えれば、高エネルギー加速器は、先進国のみが保持できる → 先進国のバロメータの一つ

結論：国として推進するメリットは大きい

③ 国立大学の独法化を踏まえ、大学での中・小型加速器を使用した研究、教育をどう進めるべきか（後継者育成）

- 中・小型加速器による研究：幅広い研究分野・開拓的研究分野の開拓
加速器利用の促進（大型加速器利用の促進にも有効）
人材養成（将来、大型加速器に従事する人材養成に不可欠）

加速器開発研究 ⇒ 萌芽的開発に不可欠
分野の高度化・拡大に伴って、人材養成が急務

<現状の問題点>

大学の法人化、評価の強化等 ⇒ 成果を出すのに比較的時間のかかる加速器研究の縮小、
場合によっては加速器施設の廃止？

建設・維持コスト削減の対象

大学では関連分野の研究者が少ない ⇒ 大学での加速器科学への関心が低い、
評価が低い

加速器科学：最先端の科学技術の発展、産業振興を支える基盤

⇒ 大学におけるハードウェアの維持・整備の必要性
（先端的）各種加速器の開発研究、建設が必要

④（大型加速器を用いた研究の）研究資金（例：一般の競争的資金の中で勝ち取る、あるいは加速器の公募型研究等が必要か）

- 一般の競争的資金導入の問題点
 - 長期的な運転経費の確保が困難
 - 大規模な施設、マンパワーの維持が困難

<高エネルギー分野の場合>

実験装置の設計・建設に長時間が必要
加速器のタイプ、性能と密接に関係する

=> 短期的資金には不向き、
審査方式、審査機関？（施設におけるPACとの関係？）

<規模の小さい研究、たとえば放射光利用の場合>

多くの研究テーマ：実験時間が短い、加速器施設そのものとは関係が薄い

=> 競争的公募型研究に向いている

加速器の公募型研究

=> 小型または萌芽的な研究

<広範な加速器科学の推進及び新しい方式の大型加速器の開発に不可欠>

<大型加速器施設には、この種の研究資金が欠如>

⑤ 産業界と大学等の研究者とのインターフェイスを改善し、新製品へと繋ぐためにはどうすべきか(産業界と研究者のペースの違いをどう克服するか)

- 日本加速器学会(仮称)の設立

＜H16.4の設立を目指して、活動中(H15.10.22に発起人総会、会員数(見込み): 数百名)＞
我が国の広範な加速器分野(医療用リニアック、タンデム、サイクロトロン～放射光、重イオン加速器～高エネルギー加速器)を網羅し、この分野の発展を目指す
関連分野の研究者・技術者の研究交流・人事交流
若手研究者・技術者の養成
加速器科学の啓蒙及び社会的認知

- 「子法人」(共同開発センター)の設置

産学連携の促進

高度かつ不可欠な技術開発及び技術の継承

＜産業構造及び社会情勢の変化に対応＞

(例): RF総合ラボ(クライストロン開発)、超伝導開発センター等

- 法人化のメリットを活かして、共同開発、委託研究、コンサルティング等の促進

⑥ 国または国の研究開発機関（原子力新法人、KEKなど）に期待すること

- 国に期待すること： 設備・施設予算、特に恒常的な運転・維持経費の増
＜高価な設備の有効利用、優れた研究成果に必要＞
人件費の増： 優秀な人材の確保、マンパワーの確保
開発研究費の増
大学における加速器の整備
- 国の研究開発機関に期待すること： 加速器に従事する研究者・技術者の確保
＜高い性能をもつツールの開発、建設、維持に不可欠＞

（原子力新法人に期待すること）

- 加速器及び関連機器の開発、維持に従事する研究者・技術者の増
＜卓越した研究成果の創出に不可欠＞
加速器施設のオープン利用（共同利用）の促進
＜施設の有効活用ばかりでなく、優れた成果を上げるためにも必要＞

（KEKに期待すること）

- 法人化後も、機構としての一体的運営を！
＜研究の発展、加速器及びマンパワーの有効利用のために不可欠＞



KEK全景(航空写真)

Relations among Institutes and Laboratories

Institute of Particle and Nuclear Studies

Particle Physics

- Search for the Higgs particle that play an essential role for the origin of mass
- CP violation mechanism
- Pursuit of the Grand Unification Theory of interactions

Nuclear Physics, Muon Nuclear Science

- Stellar nuclear reactions
- Precision Measurement of neutron mass
- Large solid angle, high resolution nuclear spectroscopy
- Muon catalyzed fusion

Institute of Materials Structure Science

Synchrotron Radiation

Condensed matter physics, life science, chemistry, imaging engineering

Neutron Science

Condensed matter physics, material science, life science, fundamental physics

Muon science

Condensed matter physics, surface physics

Interdisciplinary cooperation

Accelerator Laboratory

- Construction, maintenance and improvement of various accelerators
- R&D of advanced accelerators

- Colliding Accelerator
- Electron Accelerator
- Proton Accelerator
- Linear Collider

Applied Research Laboratory

- Radiation Science Center
- Computing Research Center
- Cryogenic Science Center
- Mechanical Engineering Center

- Comprehensive study of the boundary area between particle physics and nuclear physics
- High sensitivity, high precision experiments with high intensity beam
- Experiments at the energy front

Comprehensive study of structure and function of materials with a variety of probes

high resolution experiments (synchrotron radiation)

efficient scattering from light elements (neutron)

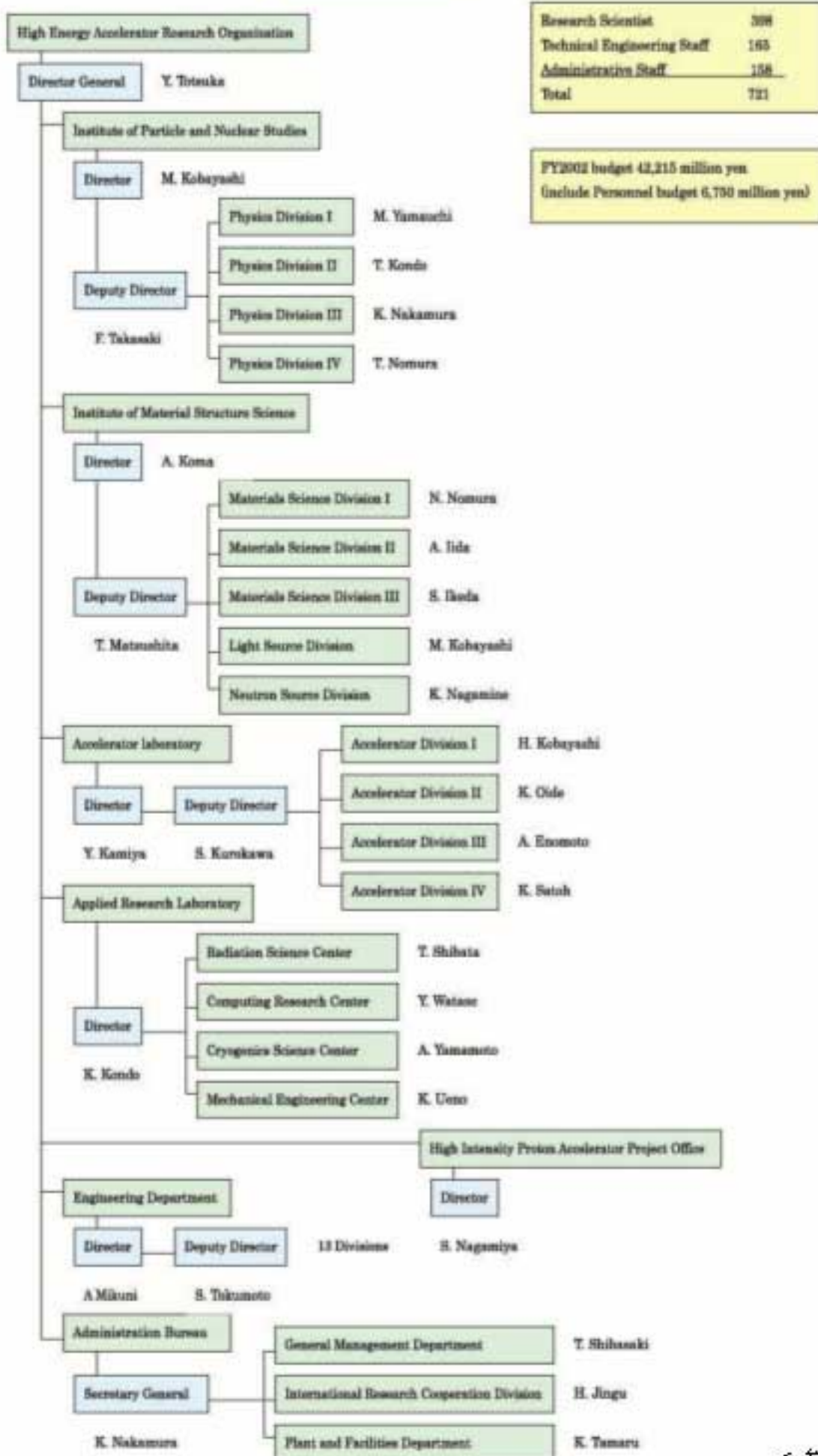
complete determination of crystal structure

Determination of atomic and molecular structure with synchrotron radiation

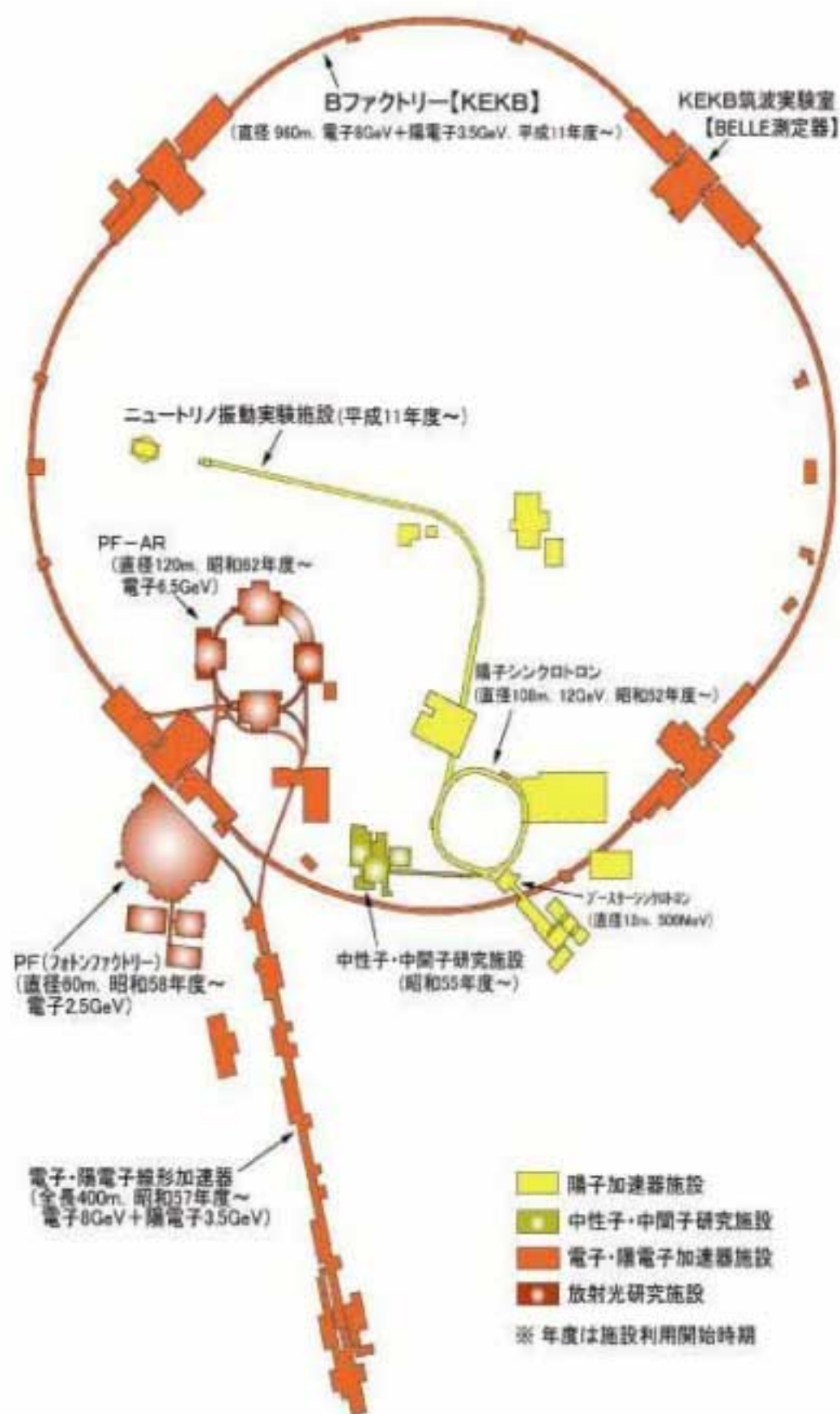
Observation of motion with neutrons or muons

Better understanding is expected about the function of proteins

ORGANIZATION CHART



高エネルギー加速器研究機構：加速器配置図



世界の代表的な高エネルギー加速器研究機関における加速器研究者及び技官の人数

Hi 3.8.22

研究機関名	BNL	FNAL	SLAC (注)	DESY	CERN	BNP	IHEP	Cornell	KEK
国名	米国	米国	米国	ドイツ	スイス・フランス	ロシア	中国	米国	日本
加速器研究者 (Accelerator Scientist/Engineer)	203	222	477	196	内訳なし	435	106	25	131
加速器技官 (Accelerator Technician)	255	246	176	278	内訳なし	238	67	60	59
<計>	458	468	653	474	934	673	173	95	190
	備考1	備考2	備考3	備考4	備考5	備考6	備考7	備考8	備考9

注： 高エネルギー物理の研究員及び技官を含む。

備考1： 放射光施設(XSL), 加速器開発施設(ATF)、加速器物理センター(Center for Accelerator Physics)及び低エネルギーライナック等の要員は含まれていない。ただし、ポストドク、非常勤研究者を含む。

備考2： FNALの加速器関係部門は、加速器の設計・開発、維持・運転を担うBeams Divisionと加速器インフラシステムの開発、保守等を担当するTechnical Divisionからなっている。職員のみを対象である。

備考3： 管理部門(放射線ソフトウェアに関する研究者を含む)や事務を除く。また大学側生は含まない。

備考4： 人数は概算で約10%の誤差がある。職員のみを対象である。

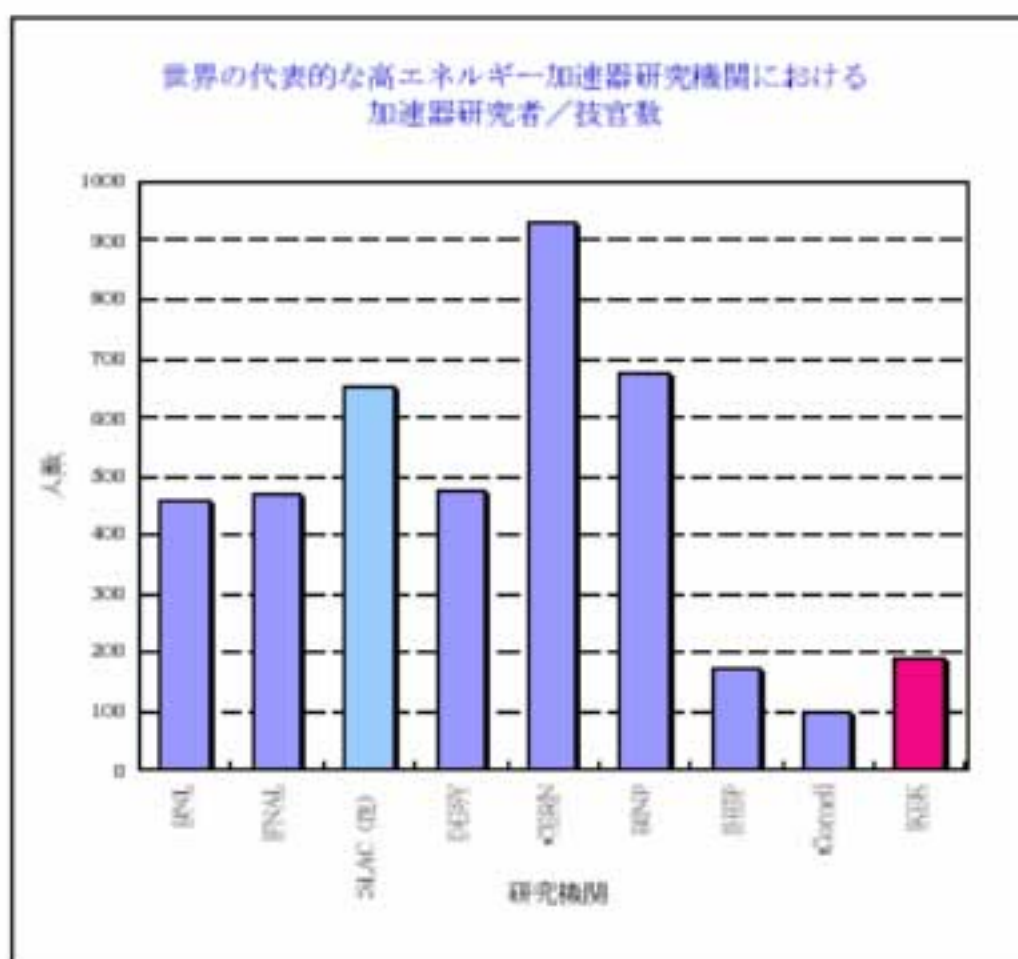
備考5： 職員のみを対象である。

備考6： 職員のみを対象である。

備考7： 人数は概算である。職員のみを対象である。

備考8： 職員のみを対象である。

備考9： 加速器研究施設の教員及び技官の人数である。便宜上、教員を加速器研究者、技官を加速器技官に分類してある。

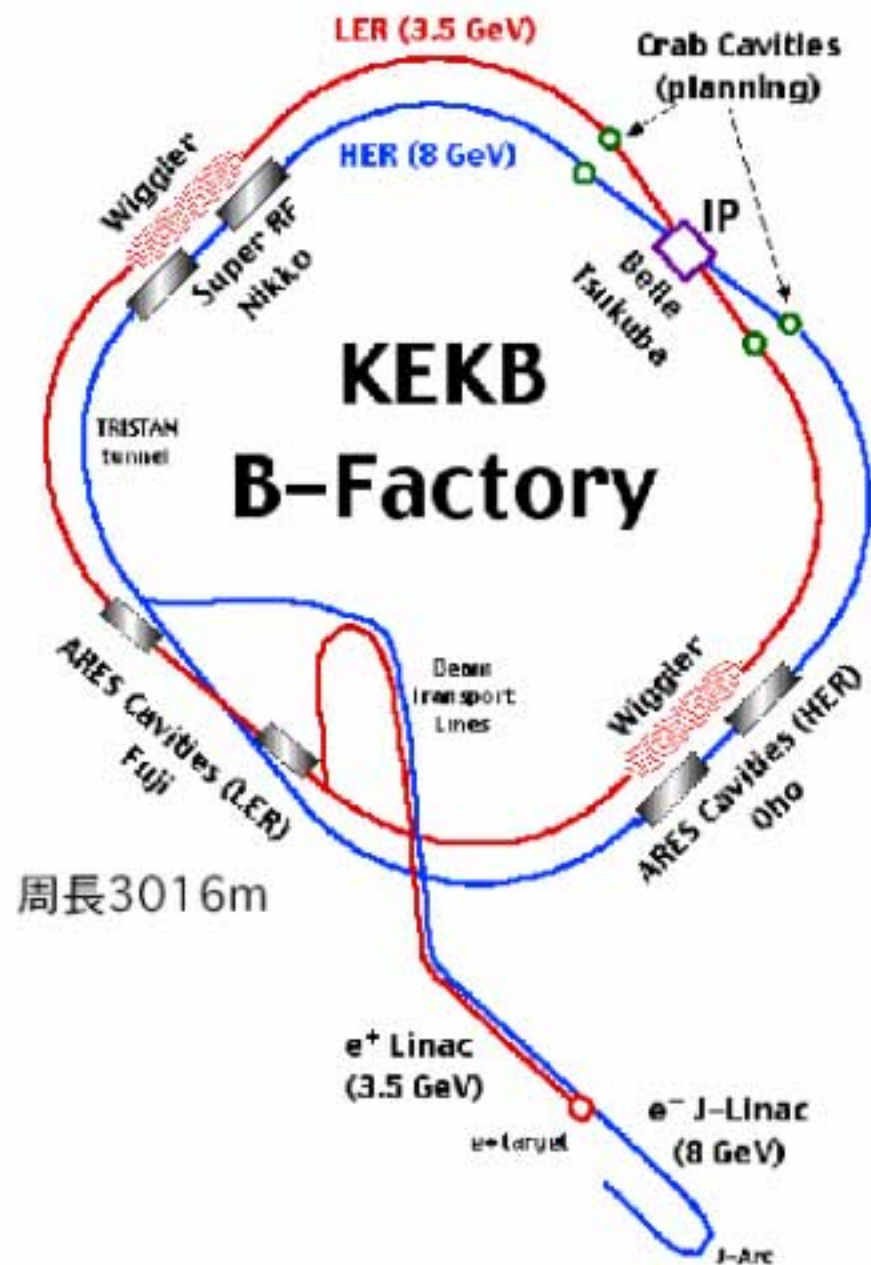


KEK加速器施設の規模は、CERNより小さく、BNL、FNAL、SLAC、DESYとおおよそ同程度であり、BNP、IHEP、Cornellより大きい。

陽電子 3.5 GeV 電子 8 GeV 非対称ダブル・リング・コライダー

Machine Parameters of the KEKB (May 27/2002)

	LER	HER	
Horizontal Emittance	18	24	nm
Beam current	1365	918	mA
Number of bunches	1223		
Bunch current	1.12	0.750	mA
Bunch spacing	2.4		m
Bunch trains	1		
Total RF voltage V_c	6.6	12.0	MV
Synchrotron tune ν_s	-0.0225	-0.0199	
Betatron tune ν_x / ν_y	45.512/43.566	44.512/41.586	
beta's at IP β_x^* / β_y^*	59/0.62	63/0.7	cm
beam-beam parameters ξ_x / ξ_y	0.082/0.050	0.073/0.041	
Beam lifetime	106@1365	299@918	min.@mA
Luminosity (Belle CsI)	7.35		$10^{33}/\text{cm}^2/\text{sec}$
Luminosity records per day/7 days/month	387/2524/8580		/pb



電子リング用超伝導加速空洞

超伝導空洞としては世界最高電流を安定に加速



衝突点

有限交差角で正面衝突に匹敵する性能を実証

$3\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ リングコライダー最少のビームサイズ
ユニークな超伝導最終収束磁石、常伝導特種電磁石群

Belle 測定器

あらゆる素粒子反応を最大限検出



陽電子リングソレノイドコイル

光電子雪の発生を有効に抑制

KEKBの特長



高性能かつ柔軟なビーム光学系・電磁石
高精度各種ビーム計測、補正システム
大電流に耐えられる超高真空システム
測定器にやさしい可動マスク系
国際標準+独自開発の制御システム
安定な運転を保障する電力、冷却施設、
安全監視システム



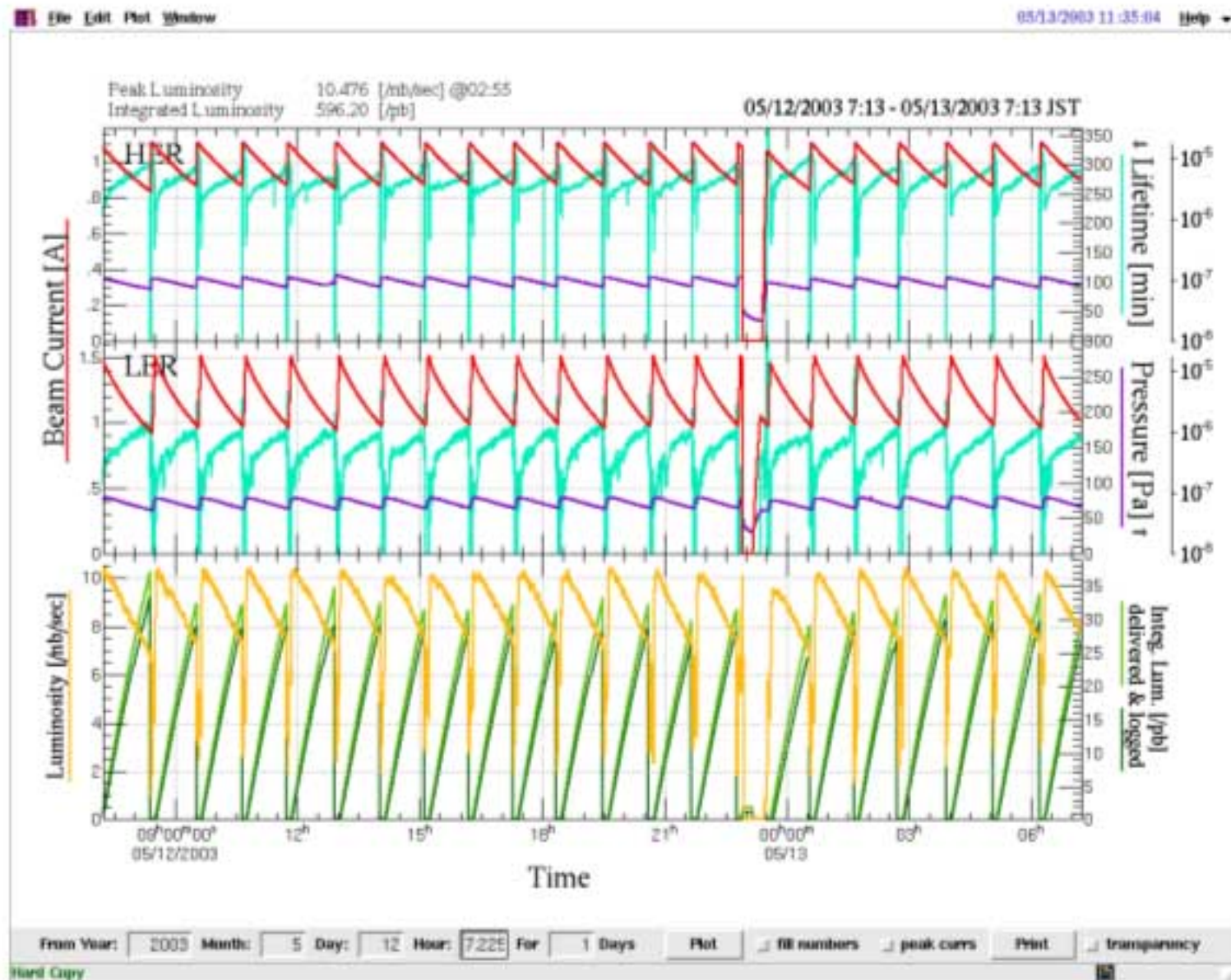
電子陽電子入射ライナック

世界最大級のバンチ電流を誇る1次ビーム
信頼性の高い安定な入射器・ビーム輸送系

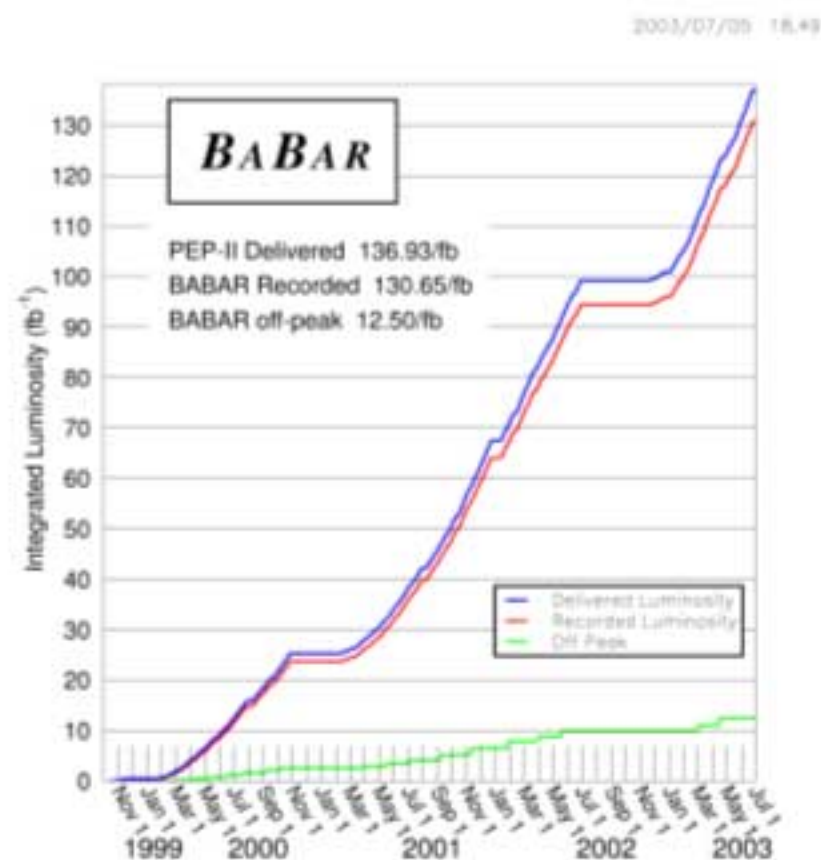
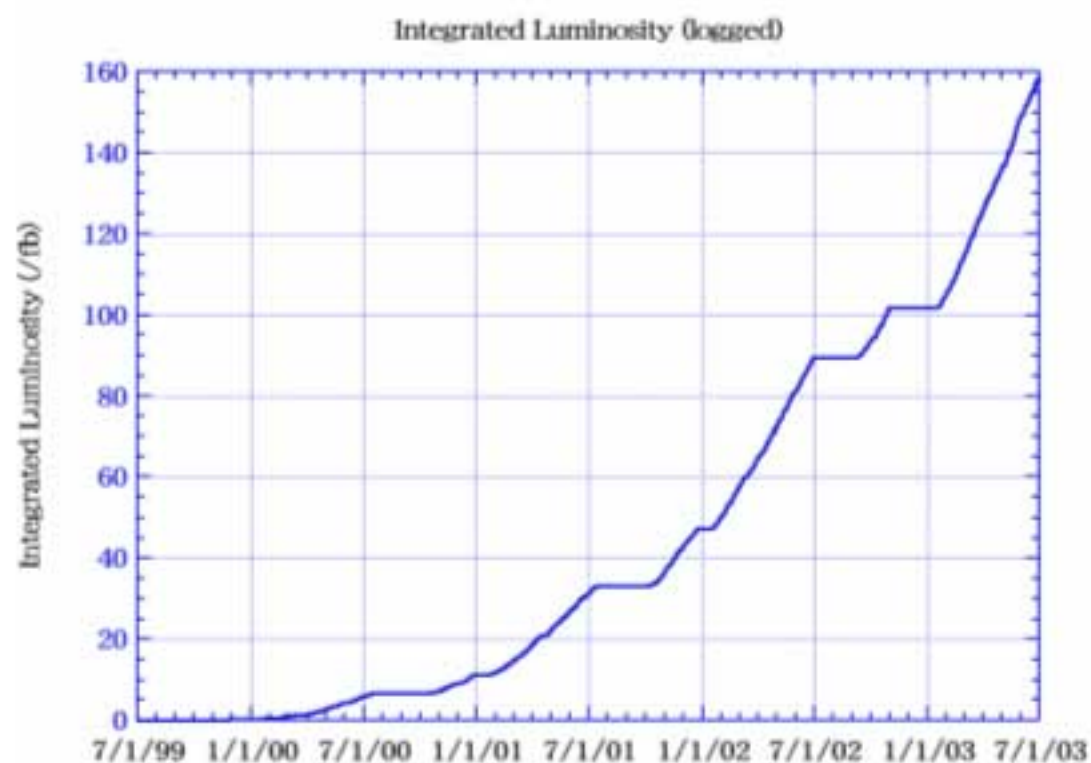


電子・陽電子リング用ARES加速空洞

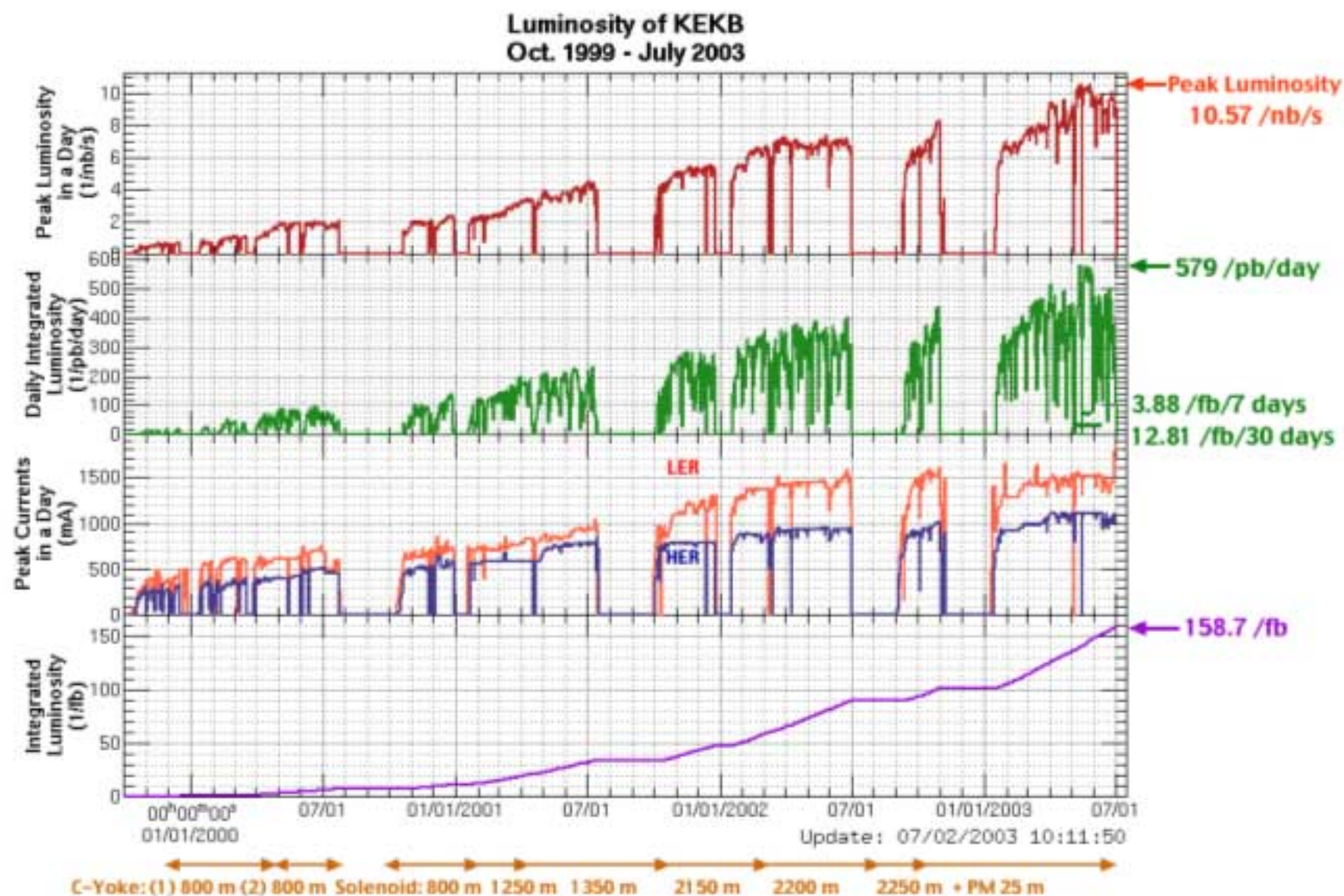
大電流を安定に加速するKEKB独自の設計



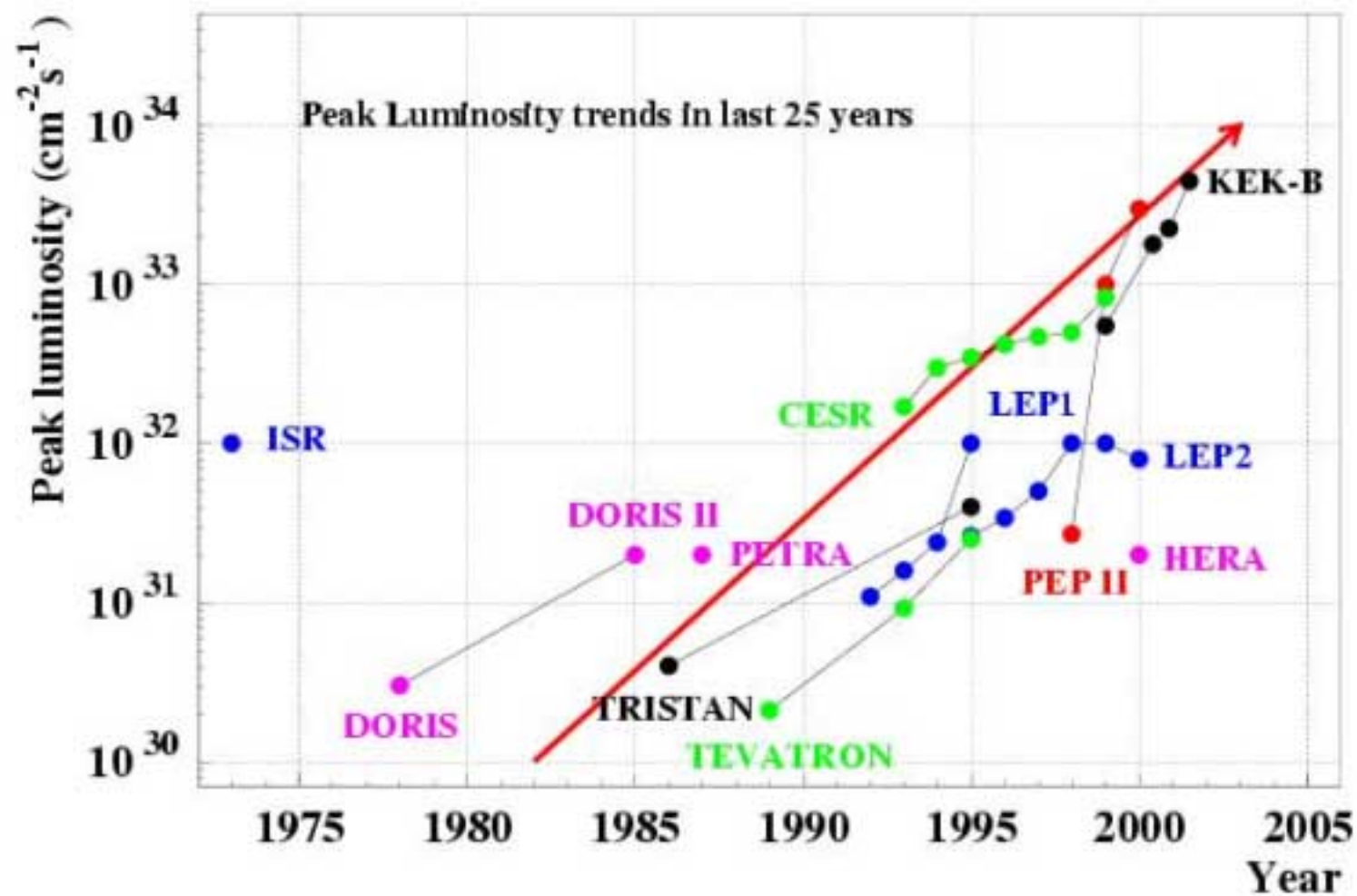
KEKBの運転状況(24時)



BELLE (KEKB) とBABAR (PEP-II) とのルミノシティの比較



KEKBの性能向上



ルミノシティの歴史

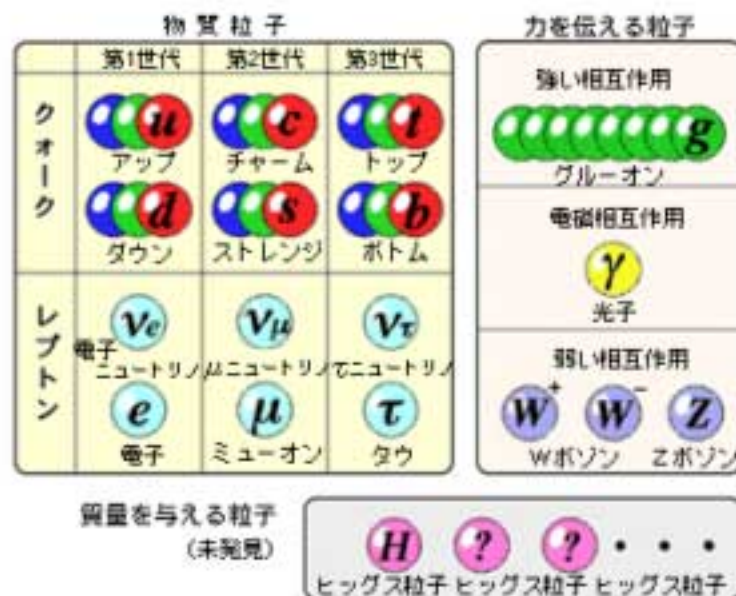
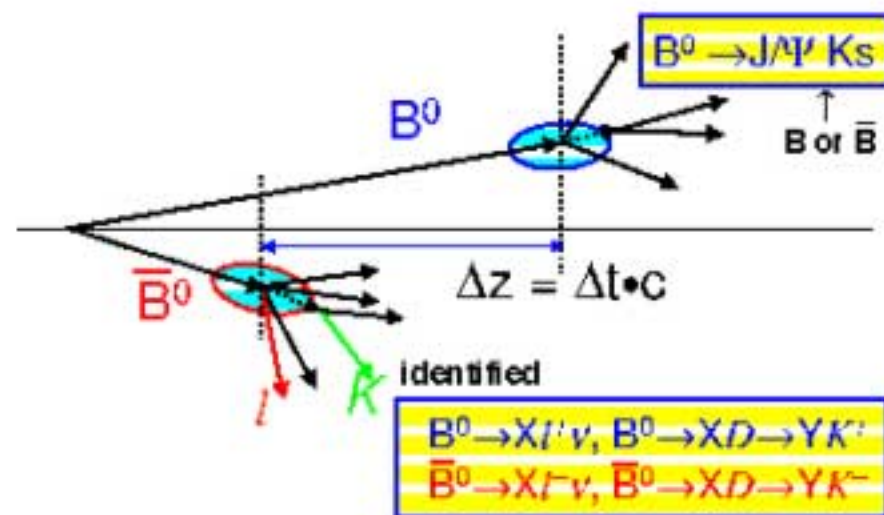
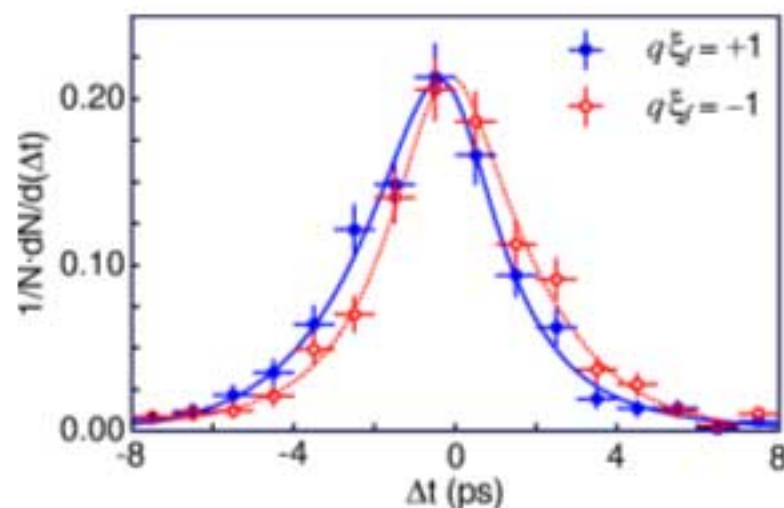


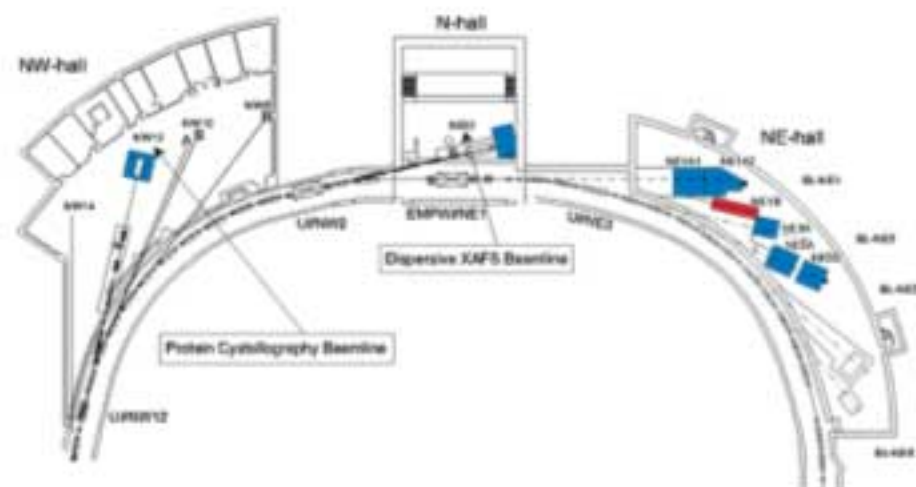
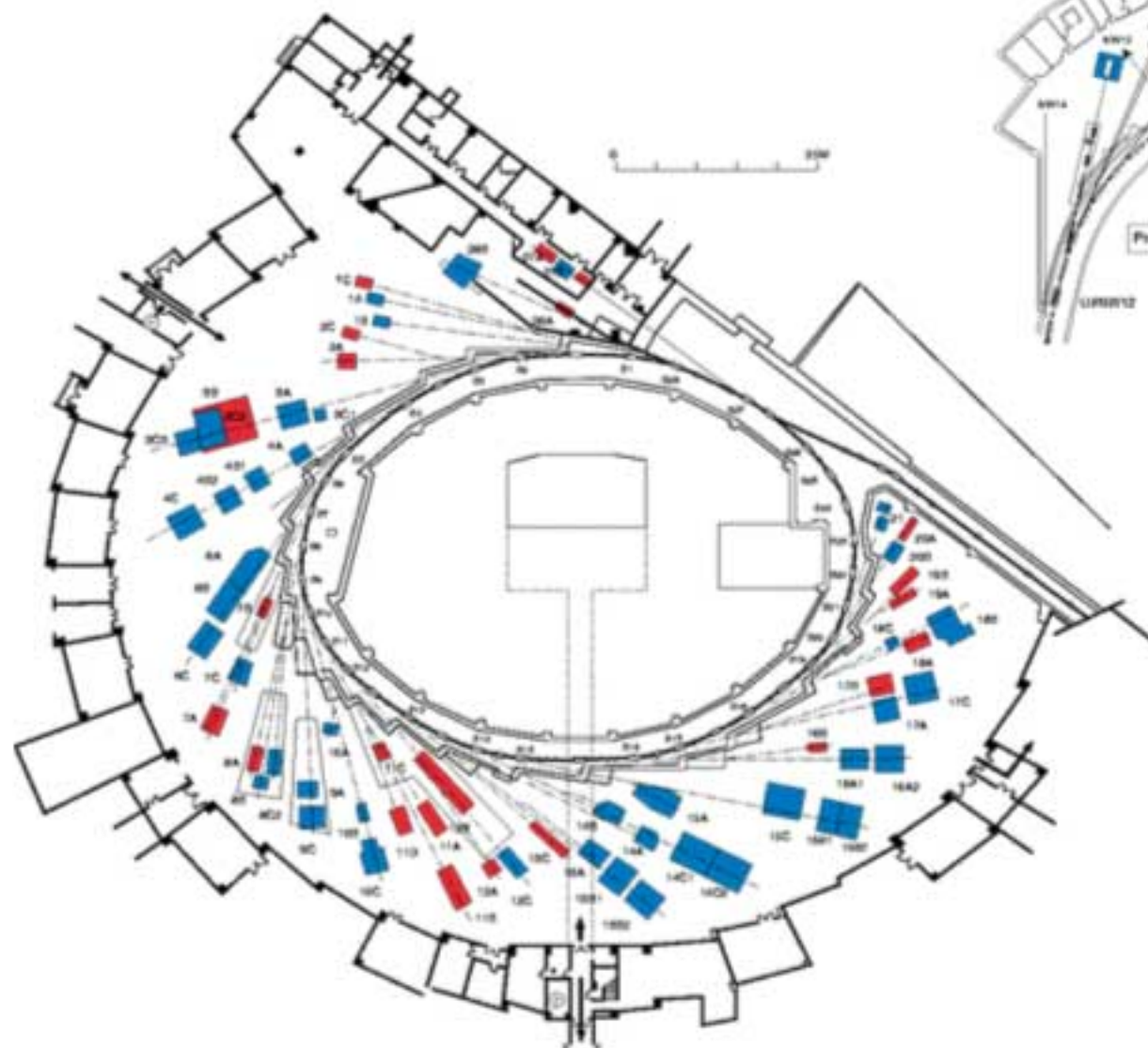
図1 現在の素粒子像「標準模型」の世界



Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0



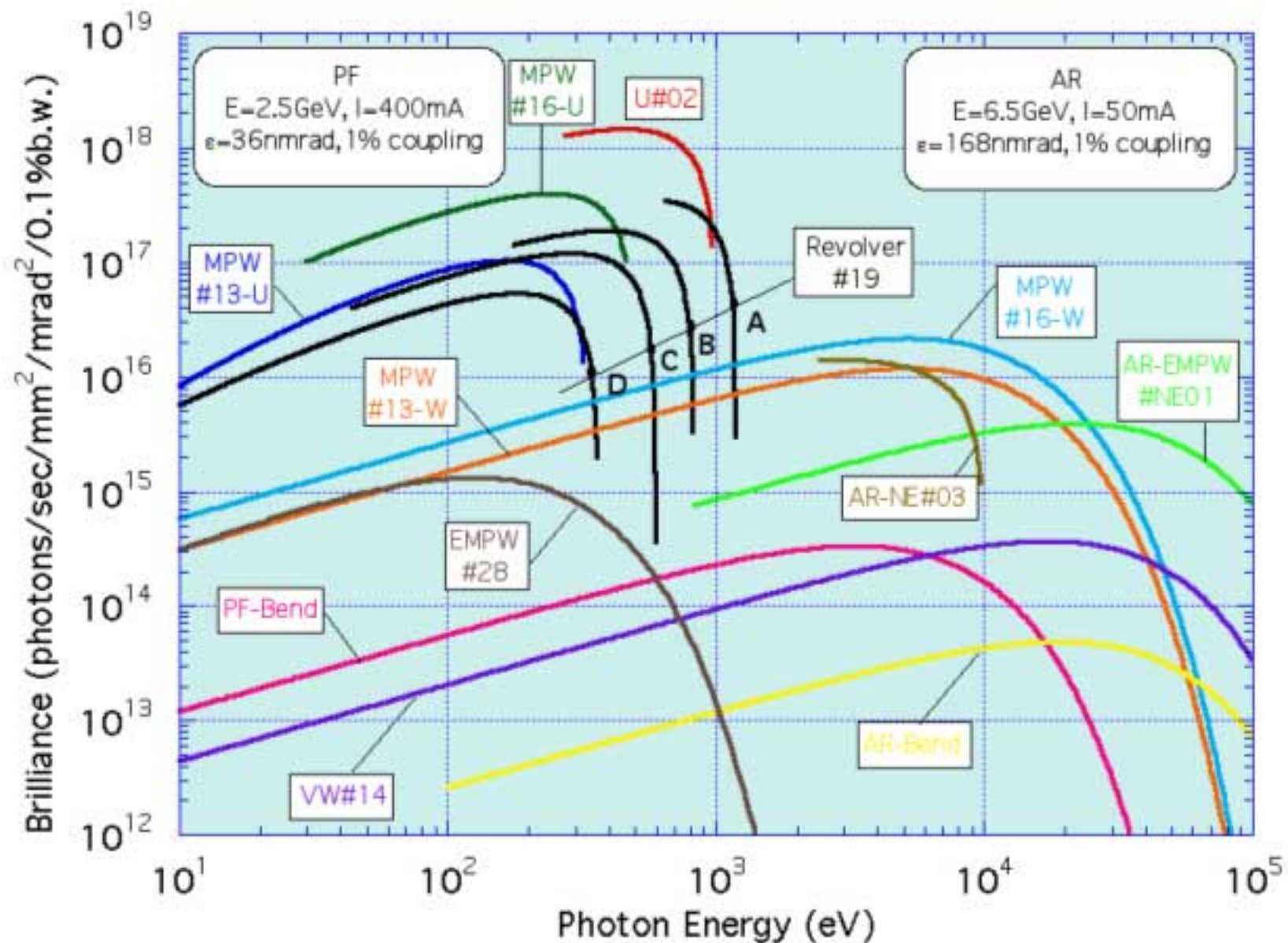
2.5GeV PF



6.5GeV PF-AR

放射光施設

放射光の輝度





静電型シンクロトン

Present and Future High Energy Physics

Major accelerator facilities for high-energy physics at present.



Research Tools Now

Electron-Positron

- KEKB (KEK) + PEP-II (SLAC): Low-energy, high-intensity e^+e^- colliders "**B-Factories**"

Electron-Nucleon

- HERA (DESY): electron-proton collider

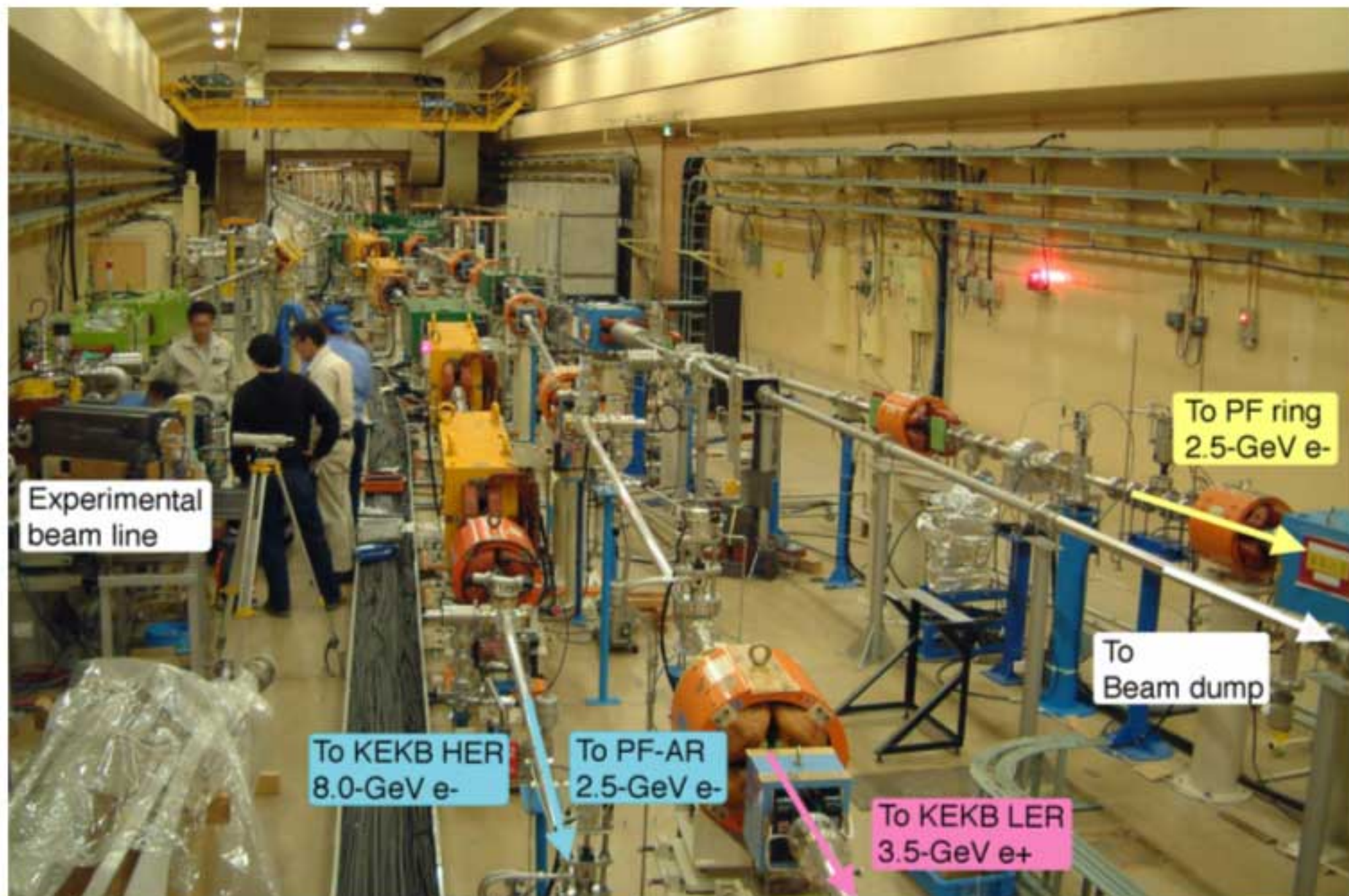
Nucleon-Nucleon

- TEVATRON (FNAL): TeV-scale proton collider
- LHC (CERN): multi-TeV-scale proton collider

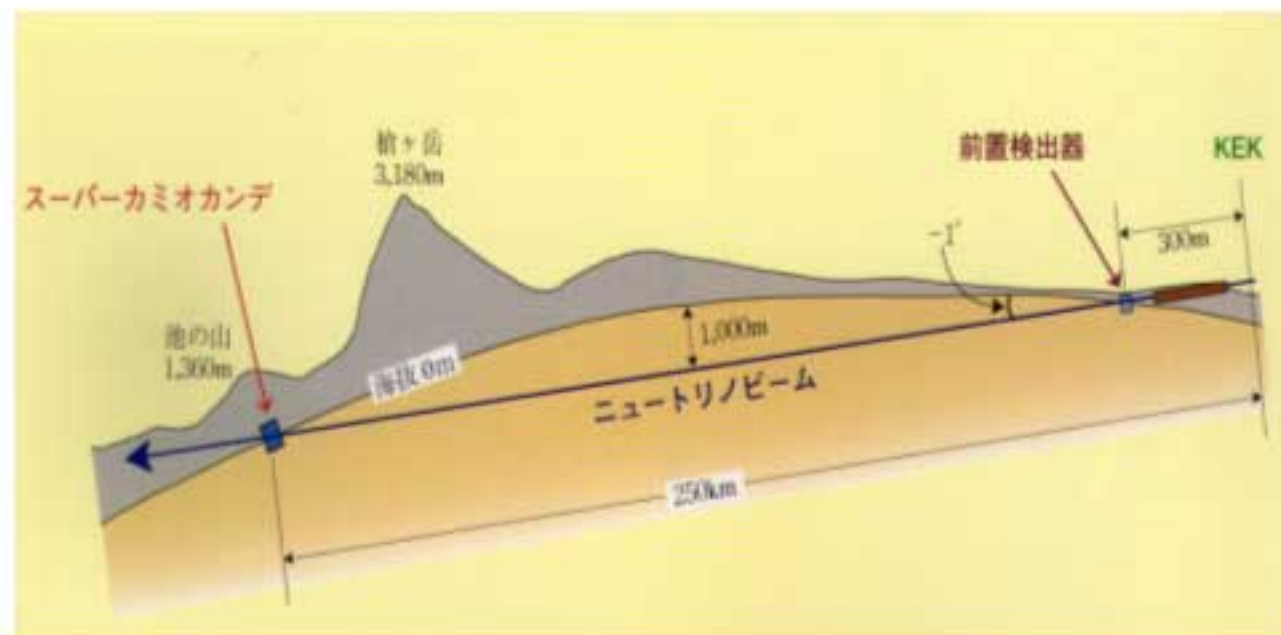
Tomorrow

Higher intensity
super-KEKB
Higher energy
JLC...

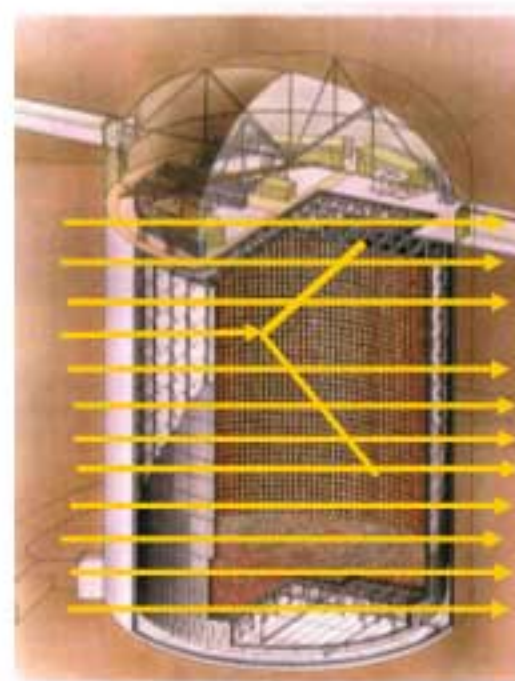
Secondary beams
neutrino, muons
Higher energy
V-LHC...



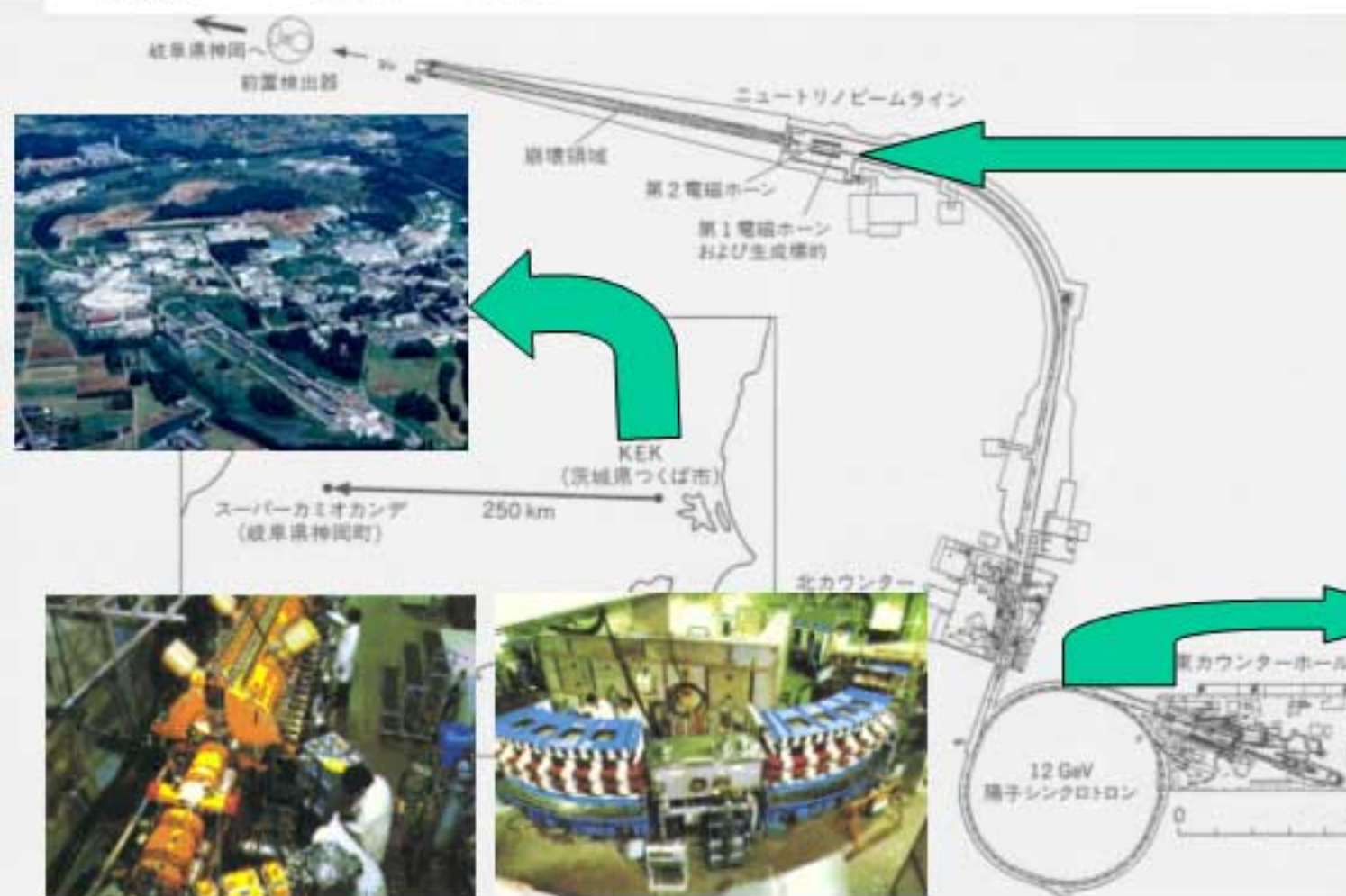
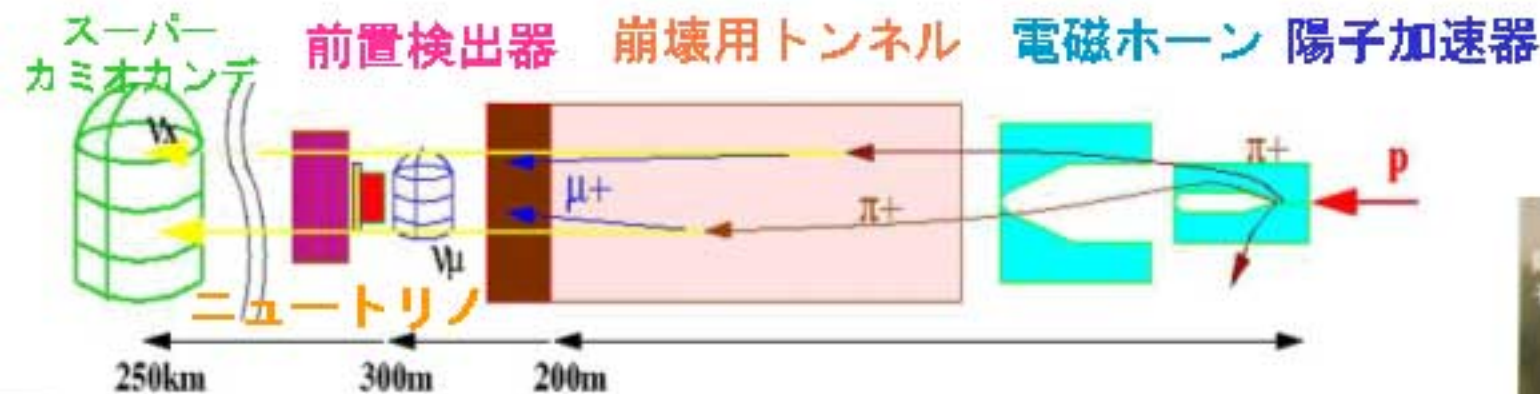
電子・陽電子リニアックの終端部



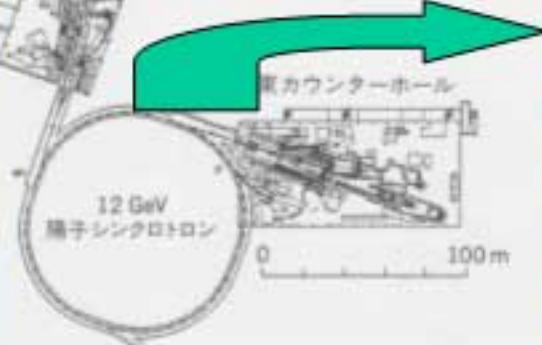
■ つくばから発射されたニュートリノは、地中250kmを進む間に、200万个のうちのたった1個が途中で失われるだけです。



- つくばから発射されたニュートリノは、ほとんど何の痕跡も残さず5万トンのスーパーカミオカンデを通過してしまいます。わずかに1兆個のうちの25個がスーパーカミオカンデの中で水と反応して検出されます。
- 従って、ニュートリノを検出するためには、大きな検出装置が必要となります。



ターゲットステーションに設置された2台の電磁ホーン



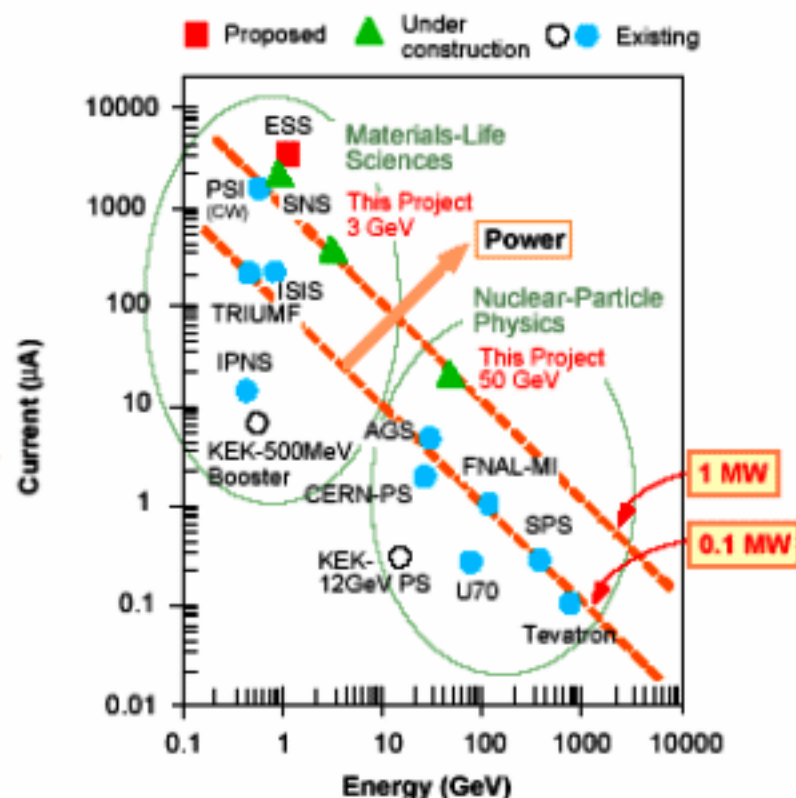
線形加速器 → ブースターシンクロトロン → 主リングシンクロトロン



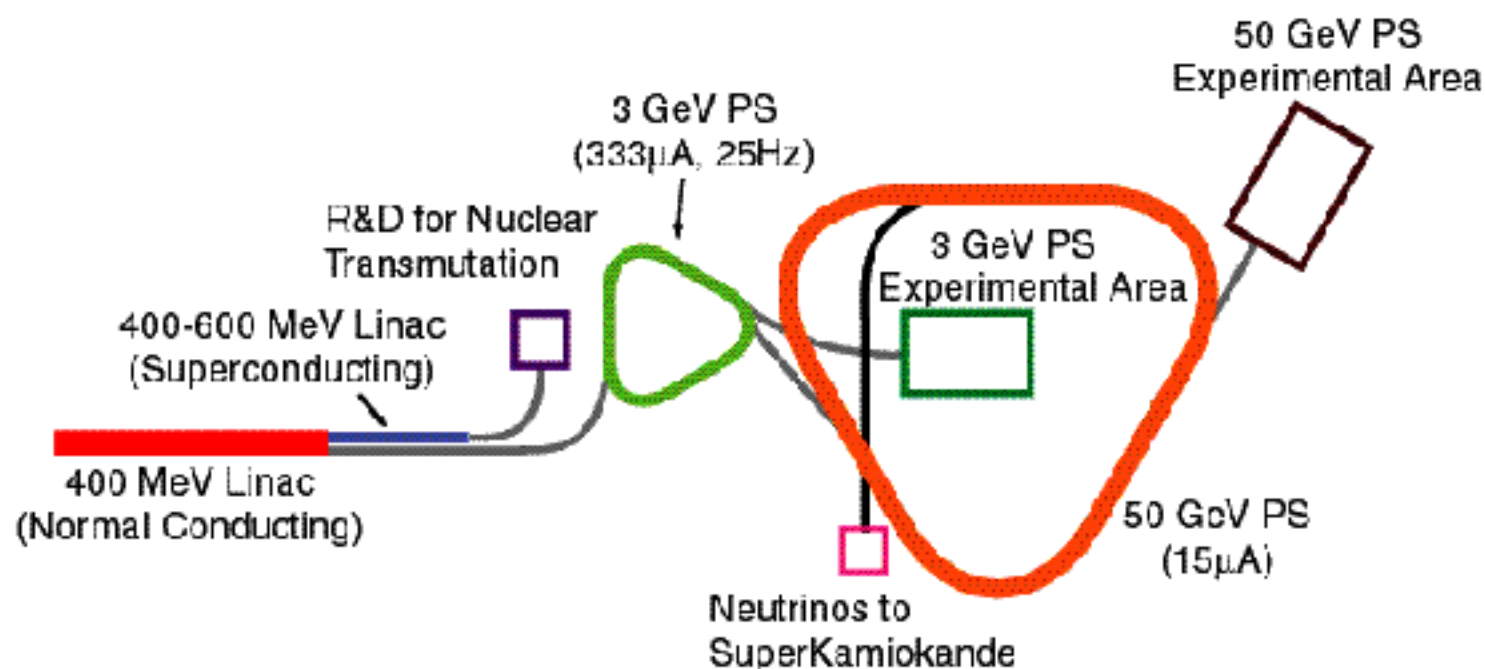
ニュートリノビームライン全景

(平成10年11月19日撮影)

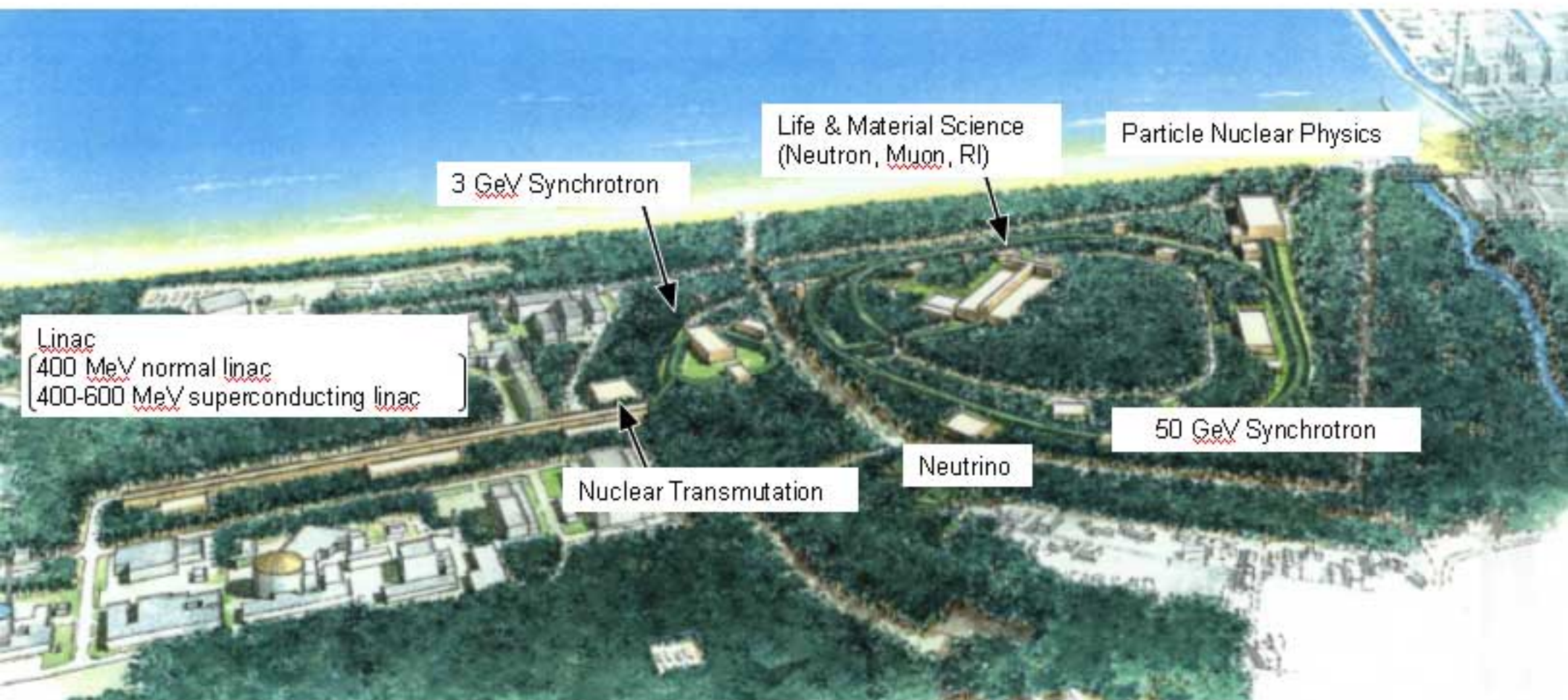
World's Proton Accelerator



Configuration of the Accelerator Complex



Site View of the Project

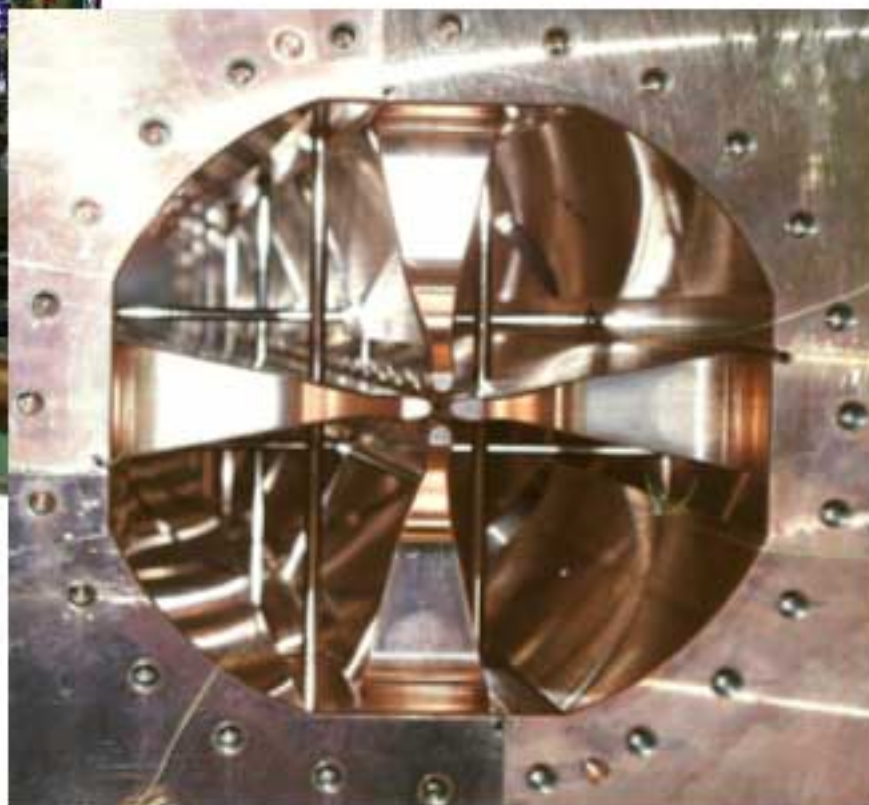


30mA RFQ

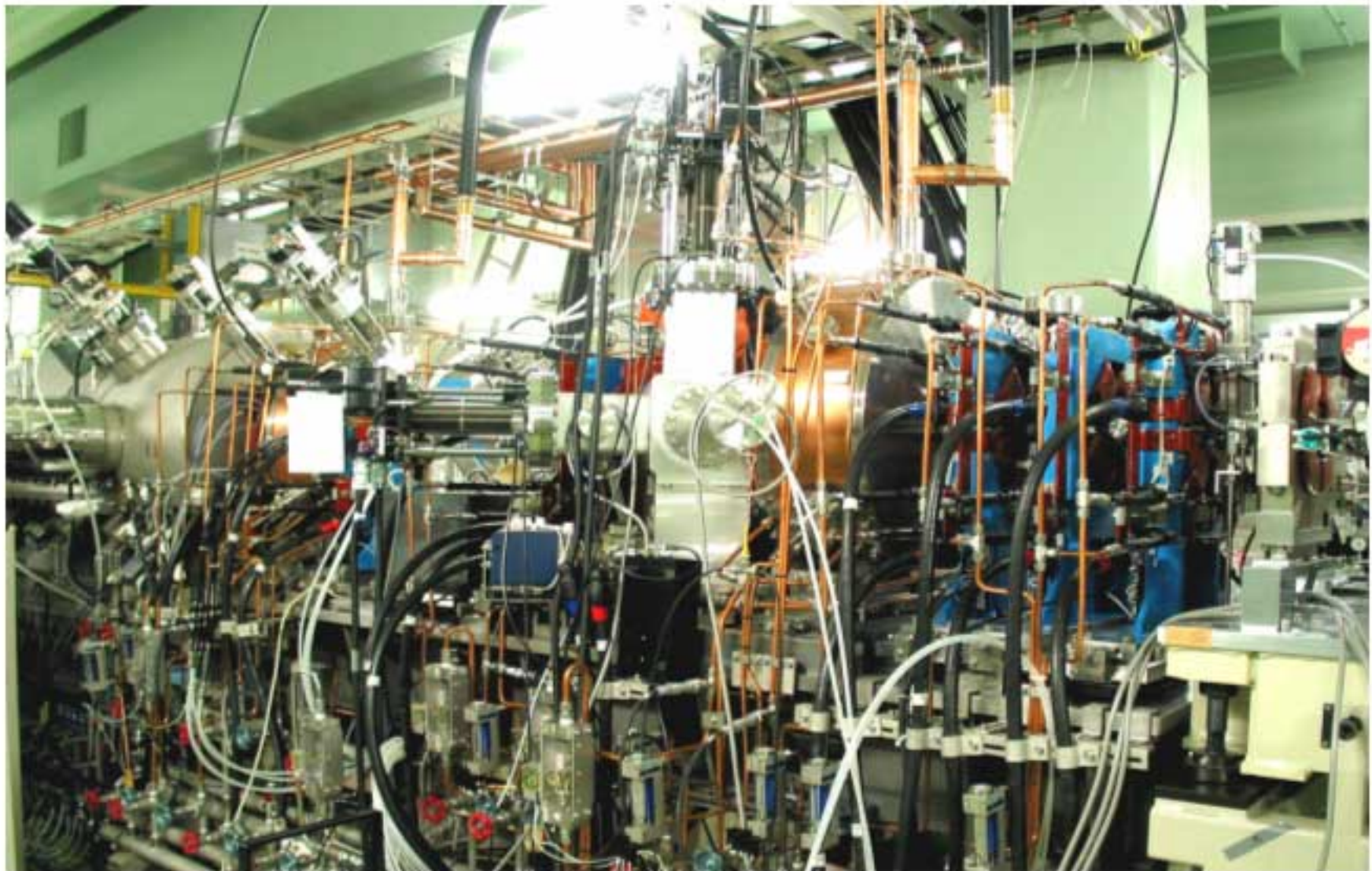


The 30mA RFQ
installed in the test area

Inside view of the RFQ
stabilized with PISLs



MEBT Photograph



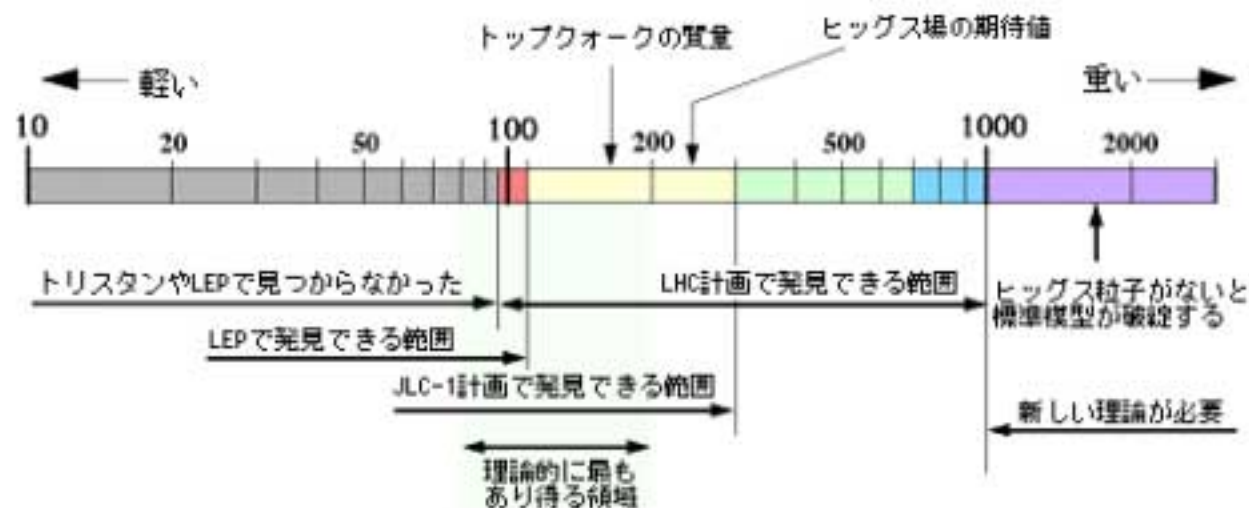
大強度陽子加速器を用いる次世代 の 長基線ニュートリノ振動実験計画



他の長基線ニュートリノ振動実験計画との比較

実験名			距離(km)	平均ニュートリノ エネルギー(GeV)	実験開始年
日本	K2K	KEK(筑波)→神岡	250	1.4	1999
米国	MINOS	フェルミ研→スーダン鉱山	730	~15	2005
欧州	OPERA	CERN→グランサッソ(イタリア)	730	27	2005

注: $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動に対し、日本の実験は disappearance(消失) 実験だが、米国と欧州の実験は appearance(出現) 実験



ヒッグス粒子の質量 (単位:GeV)

