



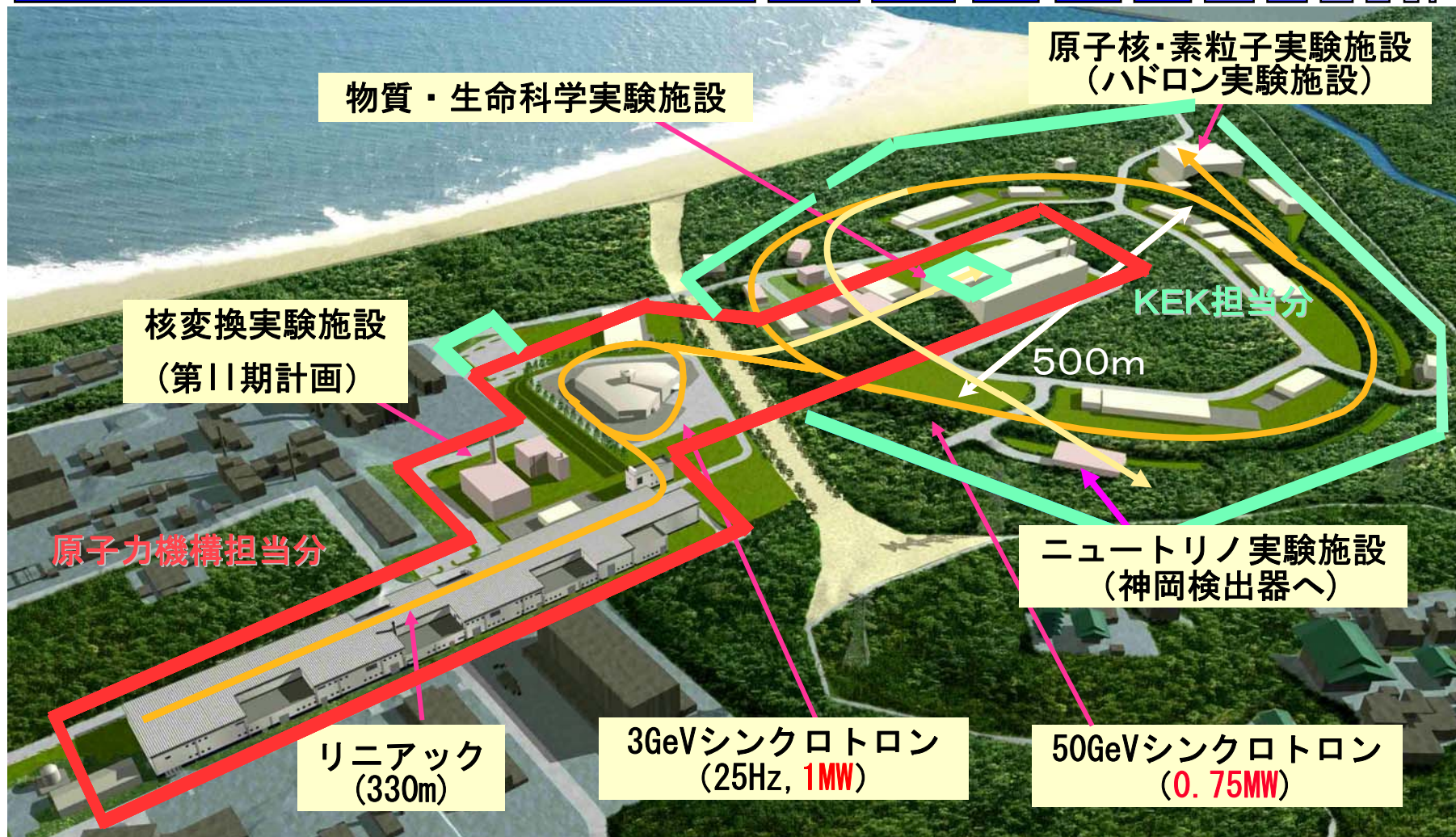
平成19年2月16日
SPring-8加速器ビーム運転十周年記念講演会

J-PARC の概要と近況

日本原子力研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構
J-PARCセンター
吉川 博

J-PARC = Japan Proton Accelerator Research Complex

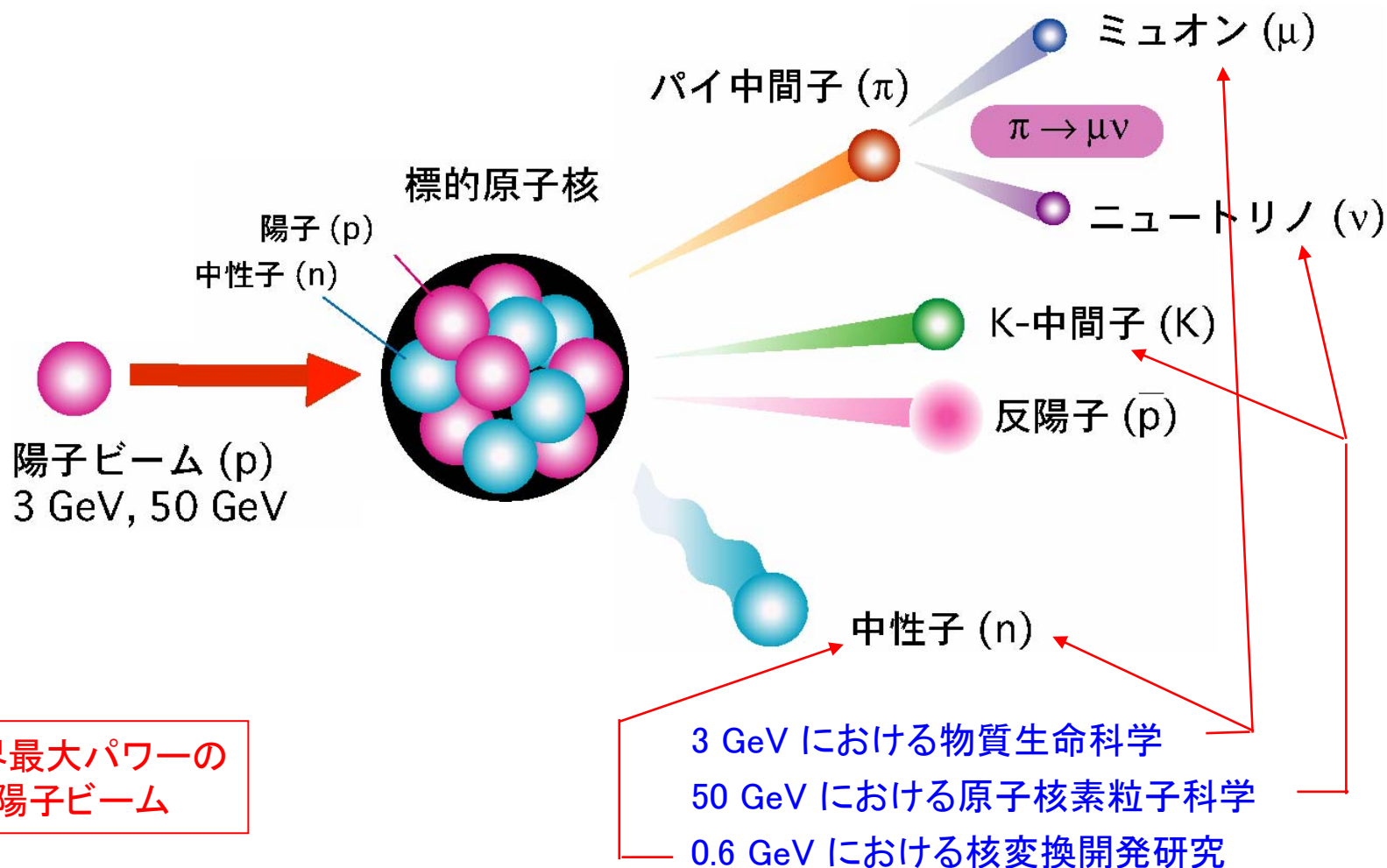
J-PARC 大強度陽子加速器施設



日本原子力研究開発機構 と高エネルギー加速器研究機構の共同事業

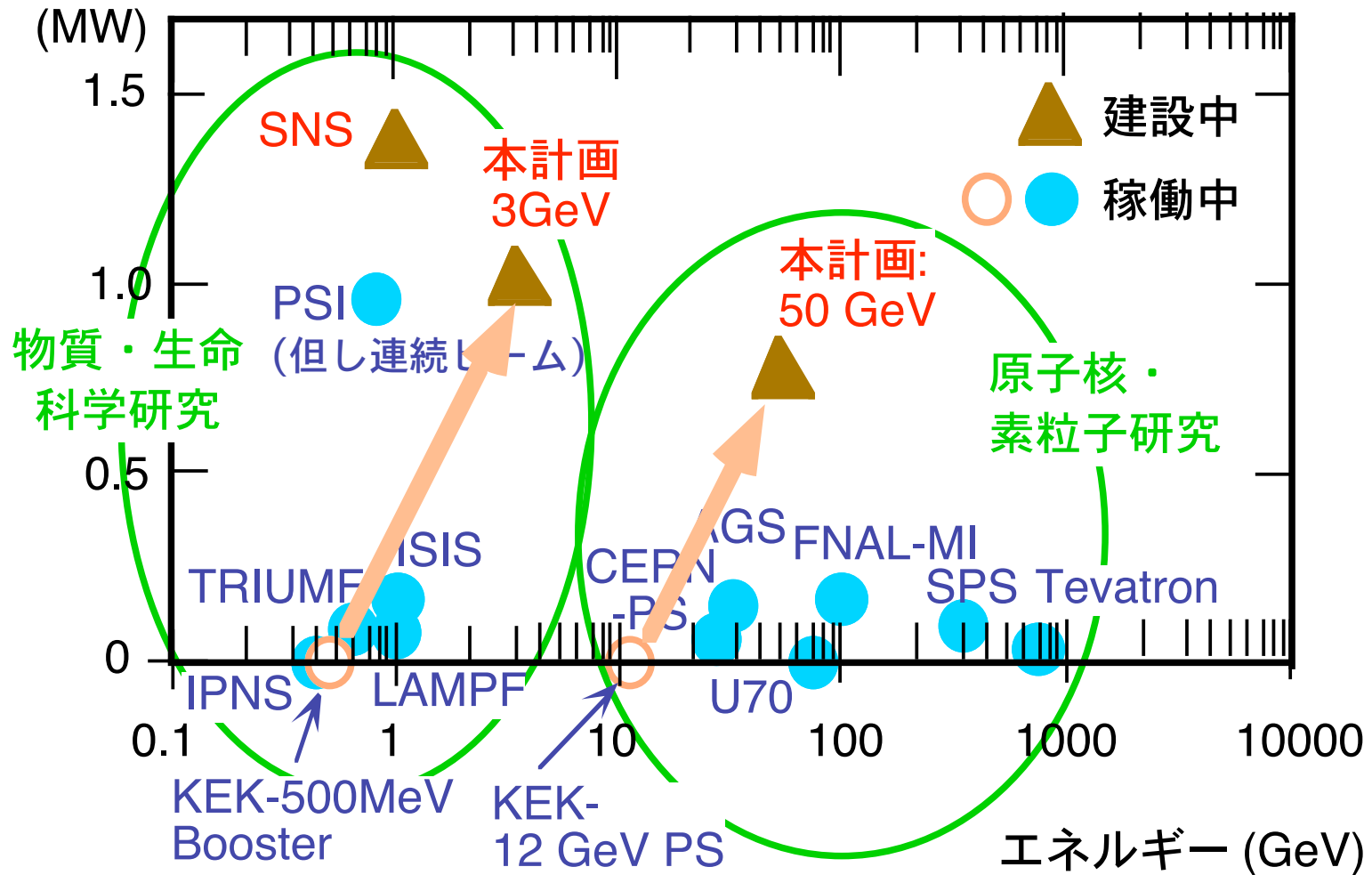
J-PARC 計画の目指すもの

陽子を光速近くまで加速し、原子核と衝突させ、二次粒子ビームを作る。
これら二次粒子ビームによる多彩な科学。



ビーム出力

ビーム出力

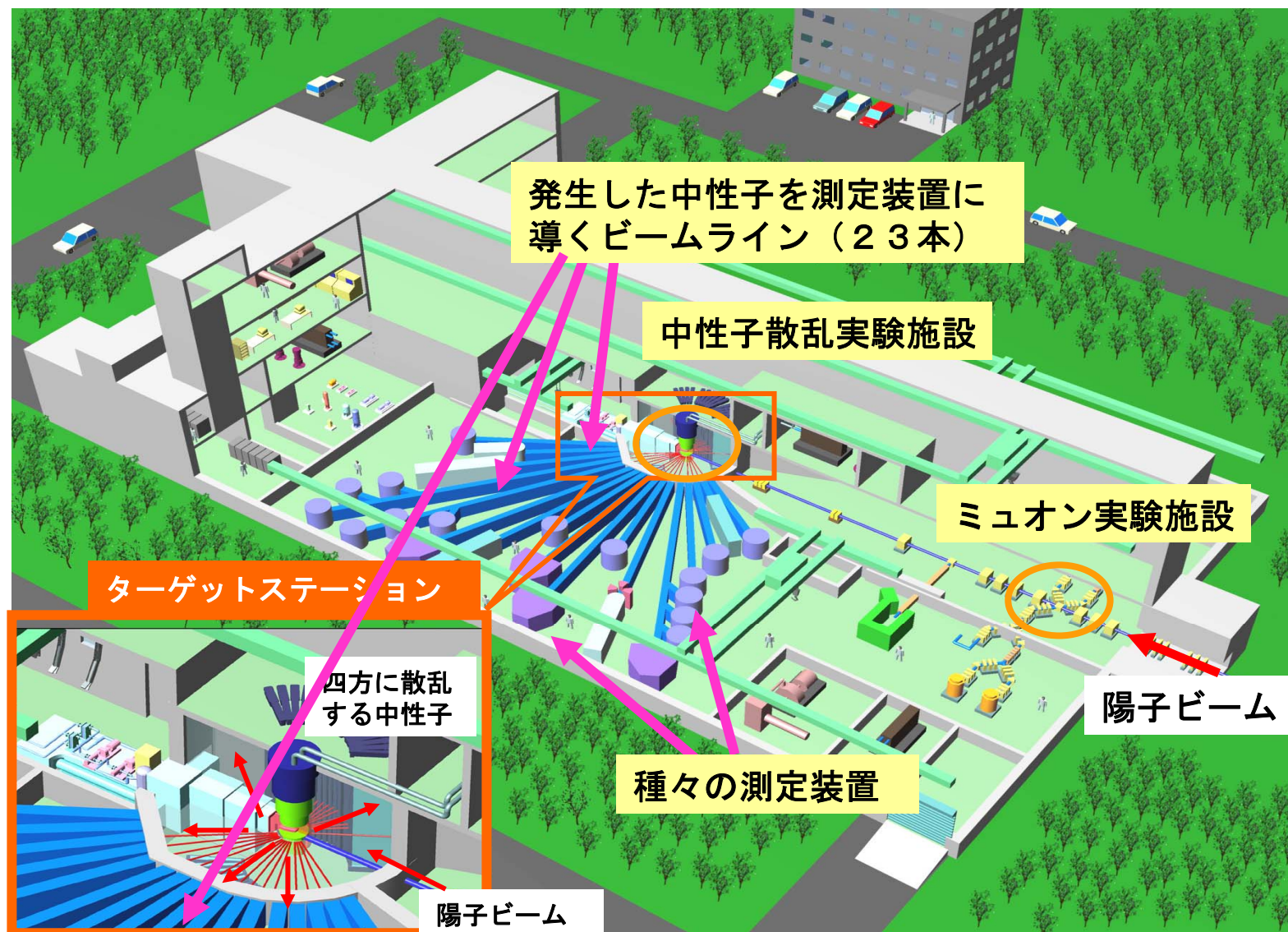




物質・生命科学実験施設



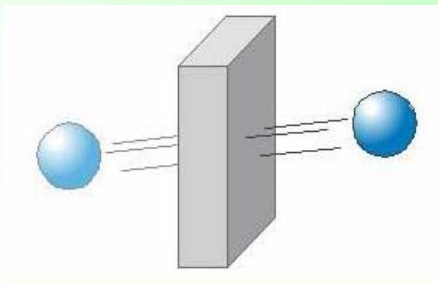
物質・生命科学実験施設



中性子の特徴

高い「透過力」

- 物質の中の様子を見る



原子核と散乱して回折パターンを作る

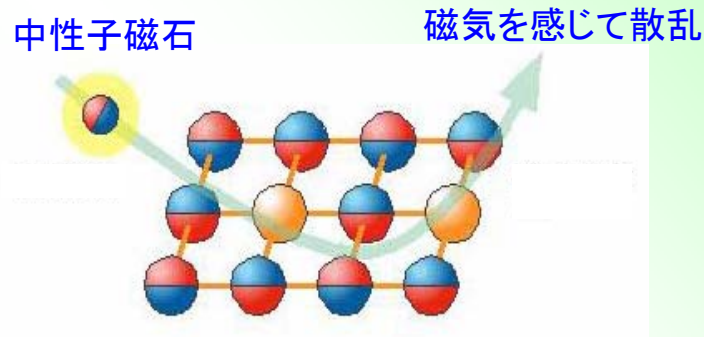
- 原子の配列を見る
- 水素や軽元素に感度が高い

干渉で生じた波紋



電子の磁気モーメントと力を及ぼし合う

- 物質の磁気構造を見る



高感度で標的原子とエネルギーのやりとりをする

- 原子の運動を見る



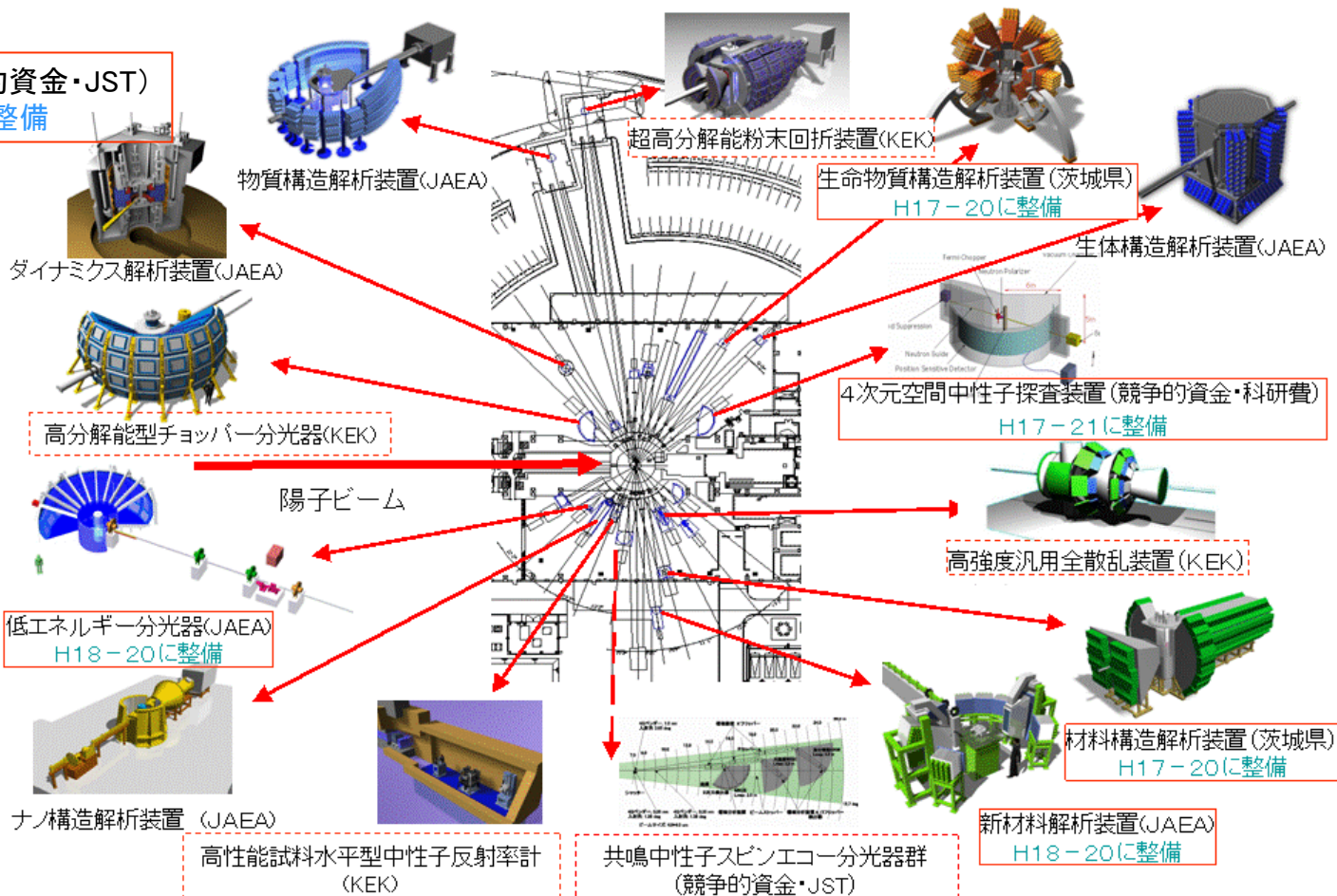
SNSやISISと競りながら世界のリーダー！

中性子実験装置の整備

- 23本のビームラインが設置可能、装置提案を広く募集
- 内8本程度を平成20年度までに整備予定

場所未定

核反応実験装置(競争的資金・JST)
H17-20に整備



予算化



一部予算化

中性子波散乱の例

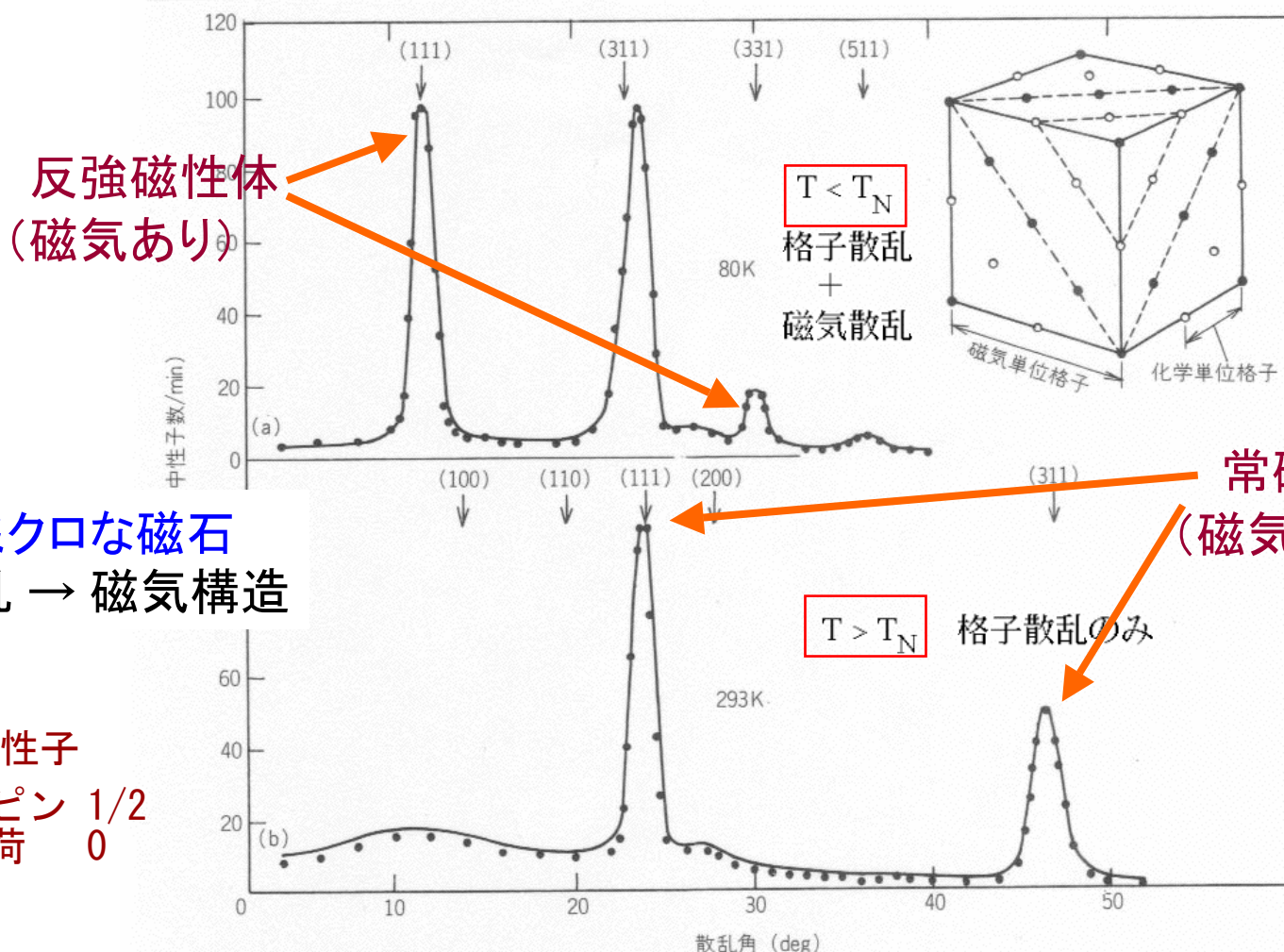
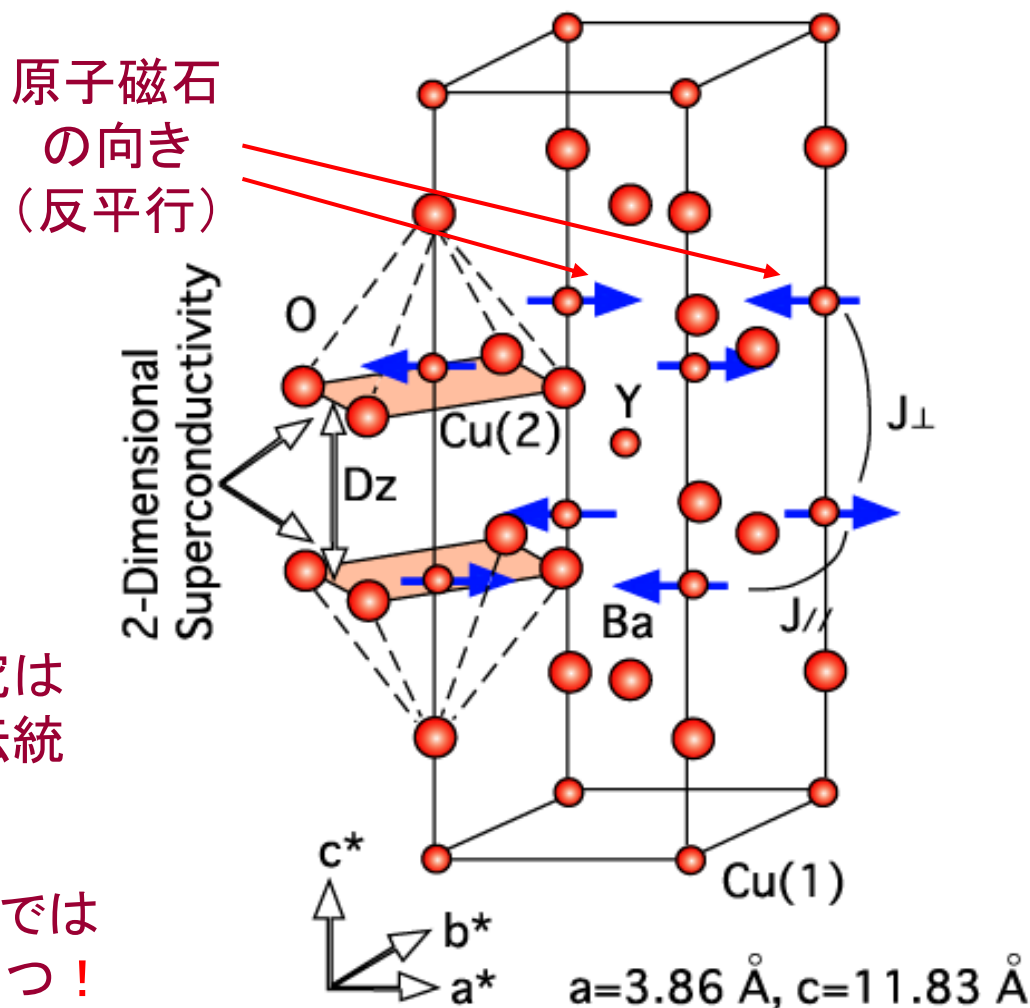


図3 多結晶一酸化マンガ MnO の中性子回折パターン。温度は、(a)122 K の反強磁性秩序転移温度以下、(b)転移温度以上。293 K では核による反射だけが鋭いピークとして観測される。これに対して、80 K では図に示した反強磁性構造によって生ずる反射が加わっている。○で示した原子の磁気モーメントと●で示した原子の磁気モーメントはそれぞれ同種のものでは平行に、異種のものでは互いに反平行に整列しており、向きは(111)面に平行である。

高温超伝導体の磁気構造

Superconductivity in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$



常温でも
超伝導を
示す物質

高温
超伝導体

磁気構造
が超伝導
と関係

磁性研究は
日本の伝統



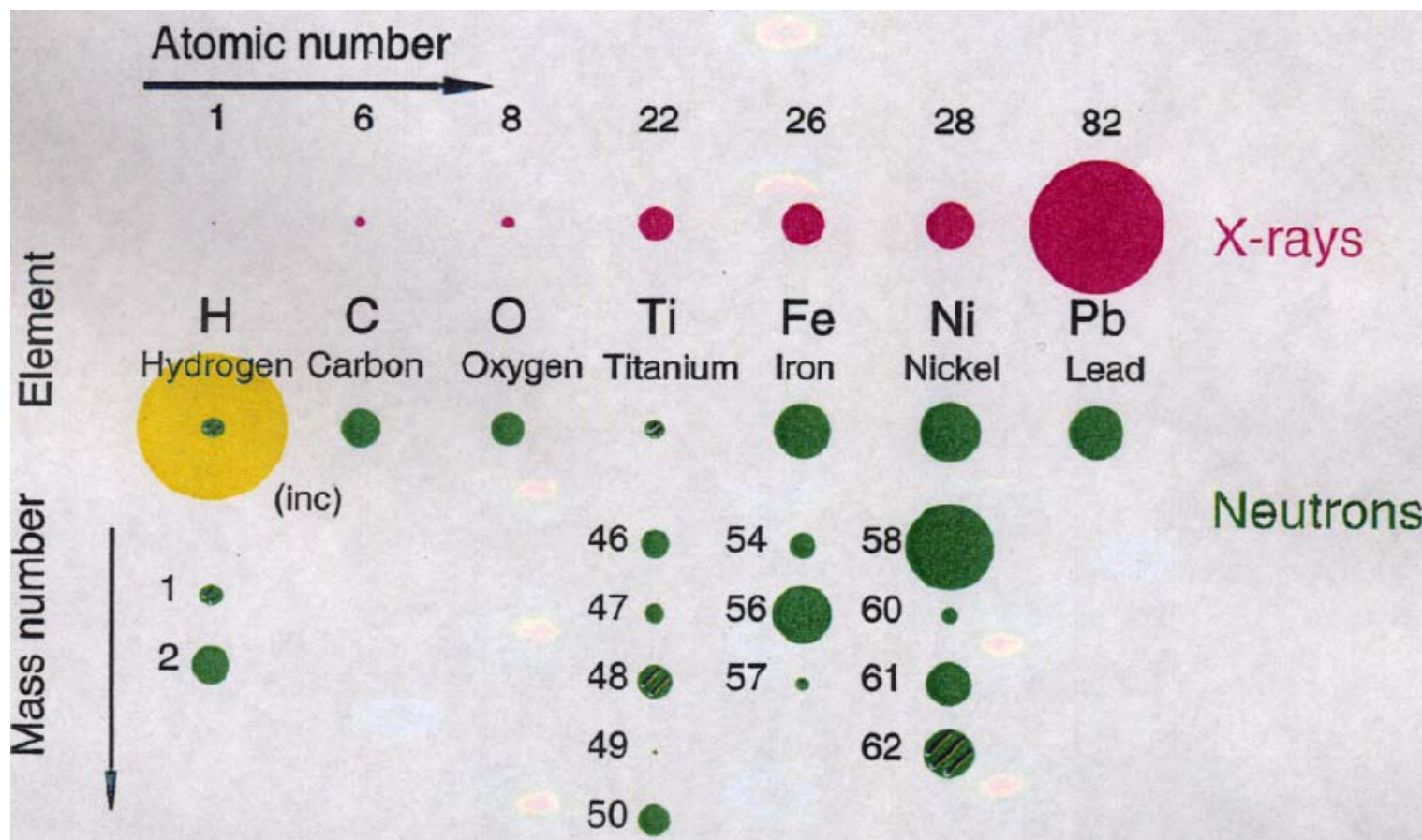
J-PARC では
目玉の一つ！

中性子のもう一つの特徴

・中性子は電荷がなく原子核により散乱される

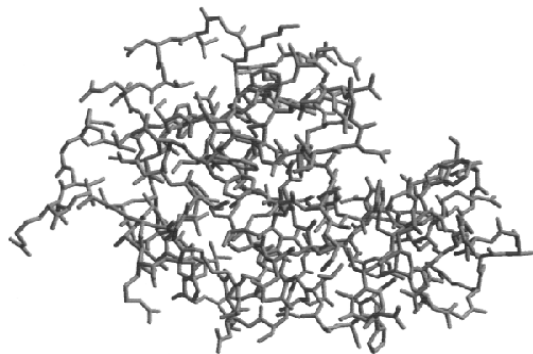
中性子は原子番号の小さい原子核に散乱されやすい。

(X線は電子で散乱され、原子番号の大きい原子に散乱されやすい)

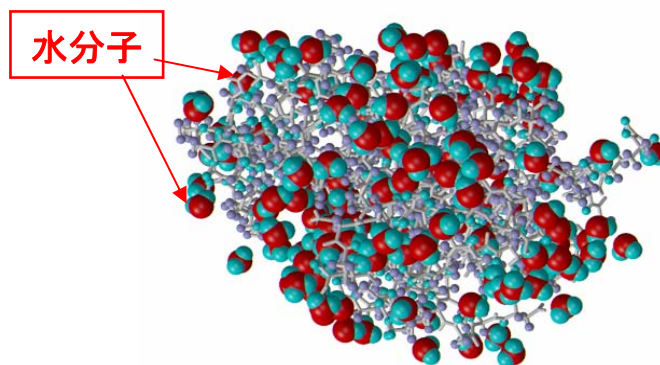


中性子散乱により見えるもの

X線で見た構造



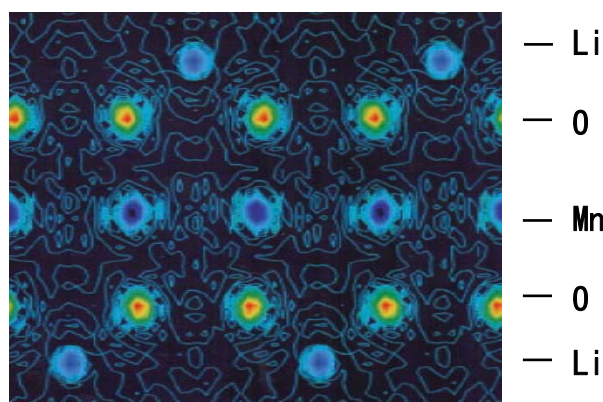
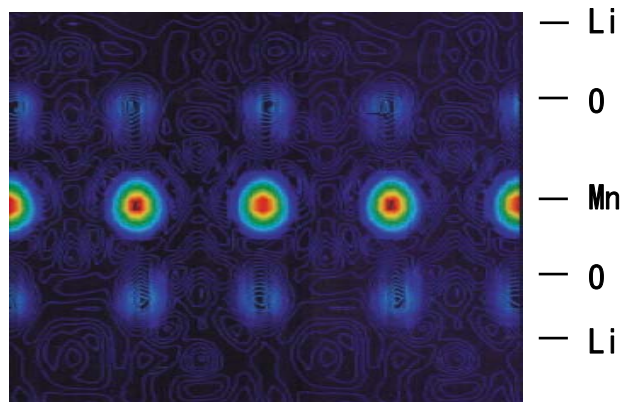
中性子で見た構造



X線では見えない
水分子が見える

N. Niimura, et al.

タンパク質の構造



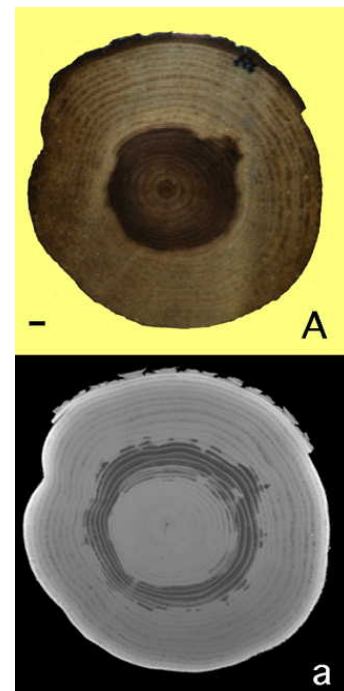
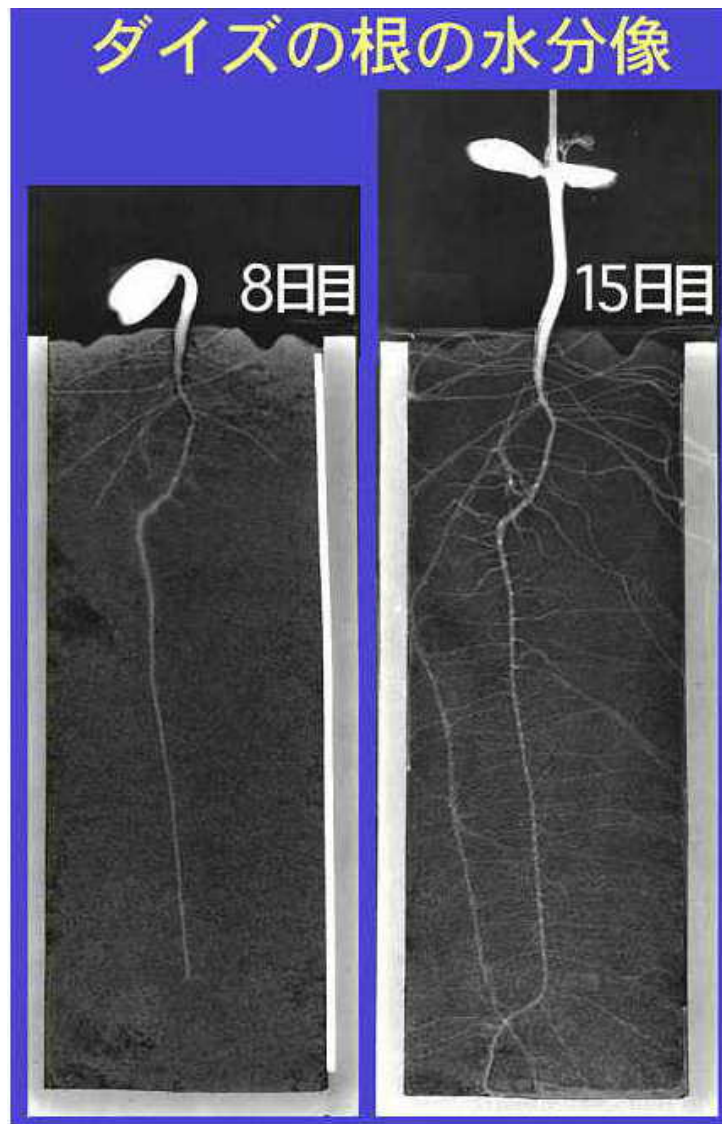
リチウムのような
軽い元素が 見える

リチウムイオン電池材料

T. Kamiyama, et al.

幅広い中性子の応用

ダイズの根の水分像



樹種の違いによる水分量の差(スギ)

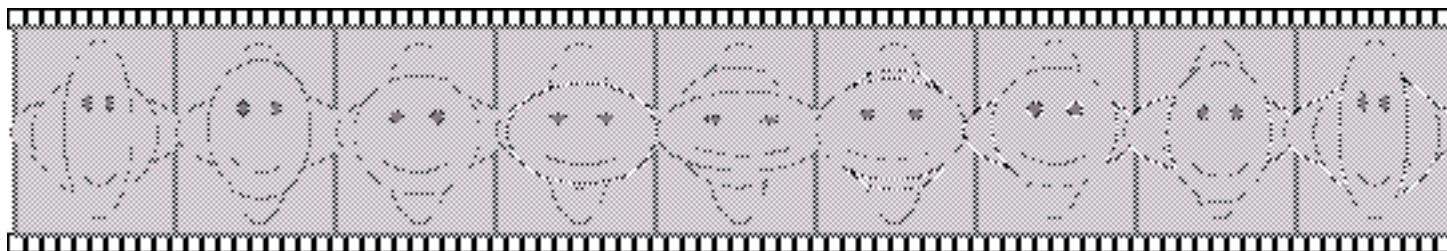
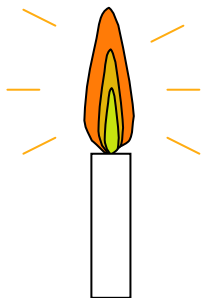
(水分量の多いところほど白く表示される)

赤心→心材部に水分が少ない

黒心→心材部に水分が多い
(加工後、経年で歪みが出る)

原子の動きを見る

(薄暗いのでシャッタースピードが遅い。形がぼけて動きが混ざってしまう。)

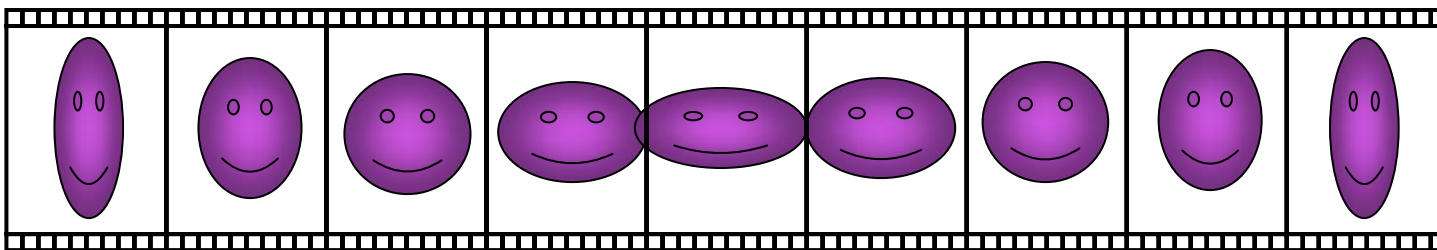


原子・分子の動きがありそうであるが、よく分解できない

今までの中性子源
(KEKの現装置、等)

(非常に明るいのでシャッタースピードが高速；形と動きが明瞭)

25 shots/s



原子・分子の構造（表情）と動き（気持ち）が明瞭にわかる

J-PARCの
大強度中性子源

2桁強い
閃光ストロボ

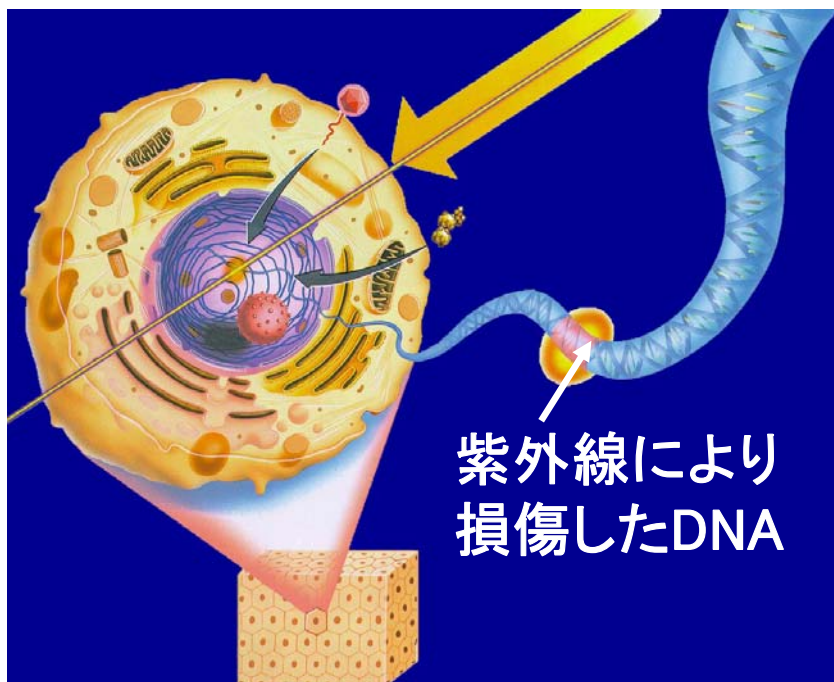
物質機能の解明、新物質創成の指針に直結

生命科学への応用

紫外線による細胞の損傷(しみ、そばかすの原因)修復の仕組みを探る

分子動力学によるDNAの損傷修復過程シミュレーション

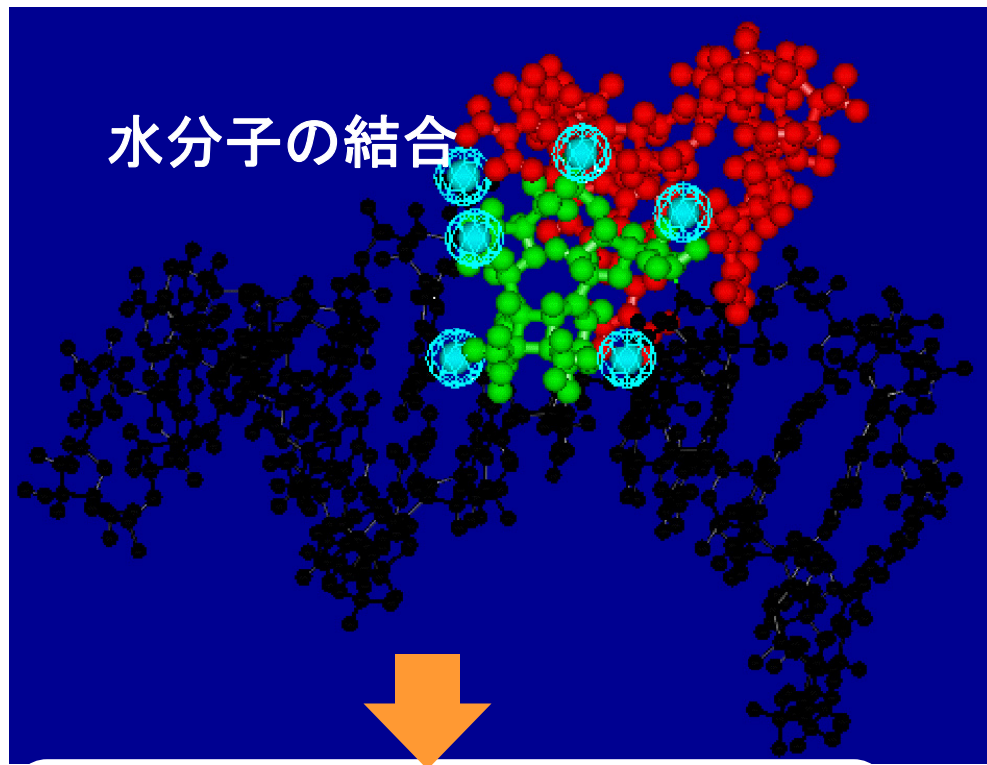
紫外線



細胞

効果の高い化粧品の開発

水分子の結合



中性子を使い、酵素による
DNAの損傷修復過程を確認

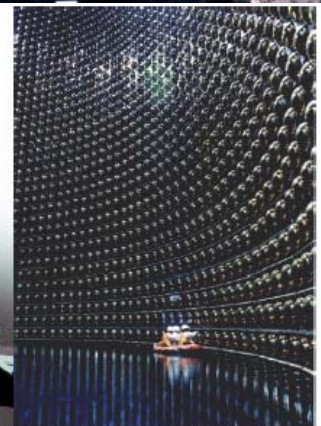
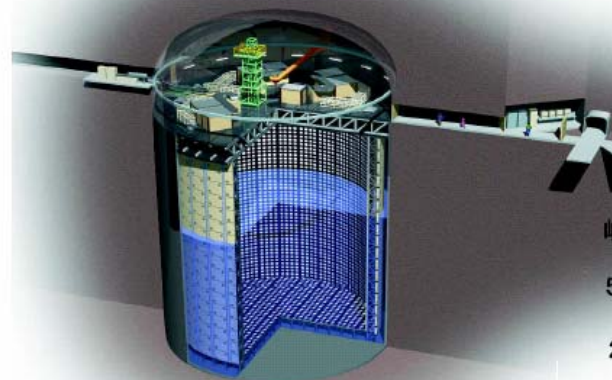


295 km
西

スーパーカミオカンデ

ニュートリノ実験施設

ニュートリノに質量があれば
ニュートリノは種類を変える
(ニュートリノ振動)



岐阜県神岡町地下1000m

50000トン水チェレンコフ

20インチPMT約12000本

1996～

ニュートリノ振動

現実のニュートリノと
量子力学的固有状態と
してのニュートリノ

もしニュートリノに質量があれば

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

Albert Einstein

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

エネルギー 質量 運動量

Louis de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

波長 運動量

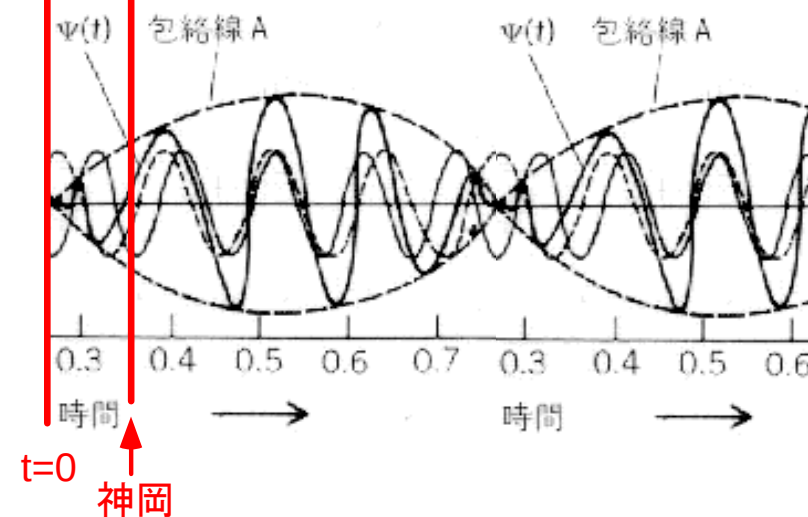
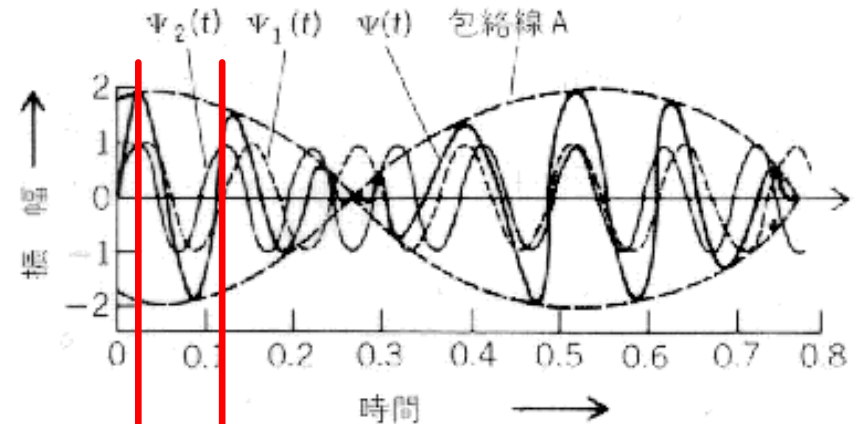
うなり現象

ν_μ

$\nu_1 + \nu_2$

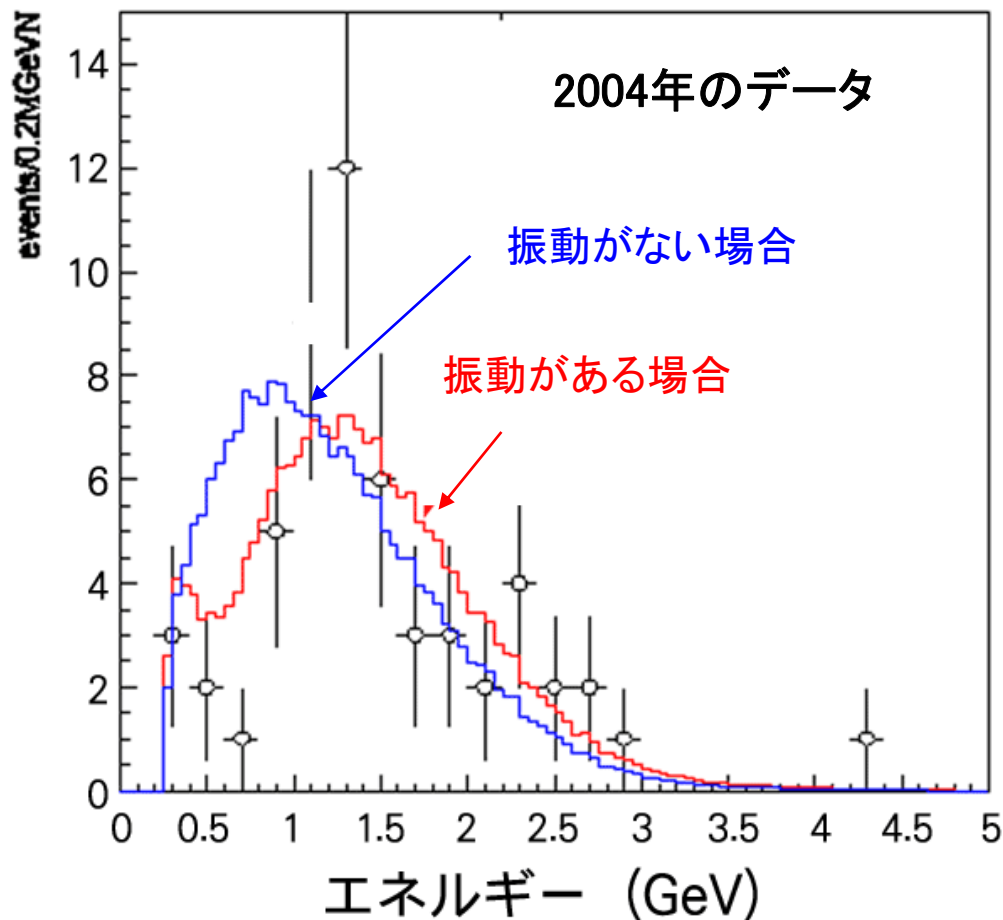
ν_τ

$\nu_1 - \nu_2$



同一エネルギーでも、波長が少し異なる
→ ニュートリノ振動

K2K 実験結果

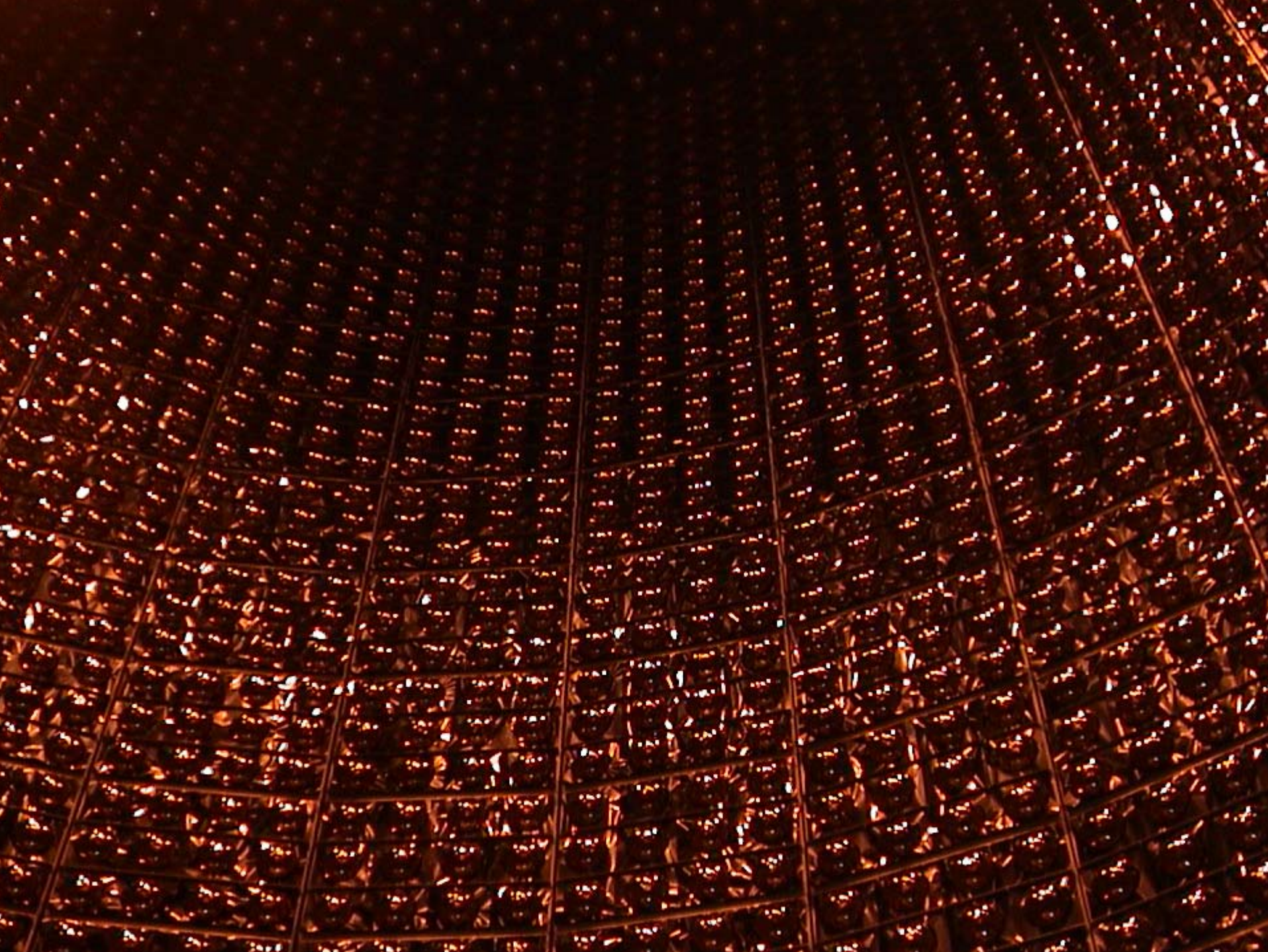


K2K = KEK to Kamioka

1999-2004 年のデータ

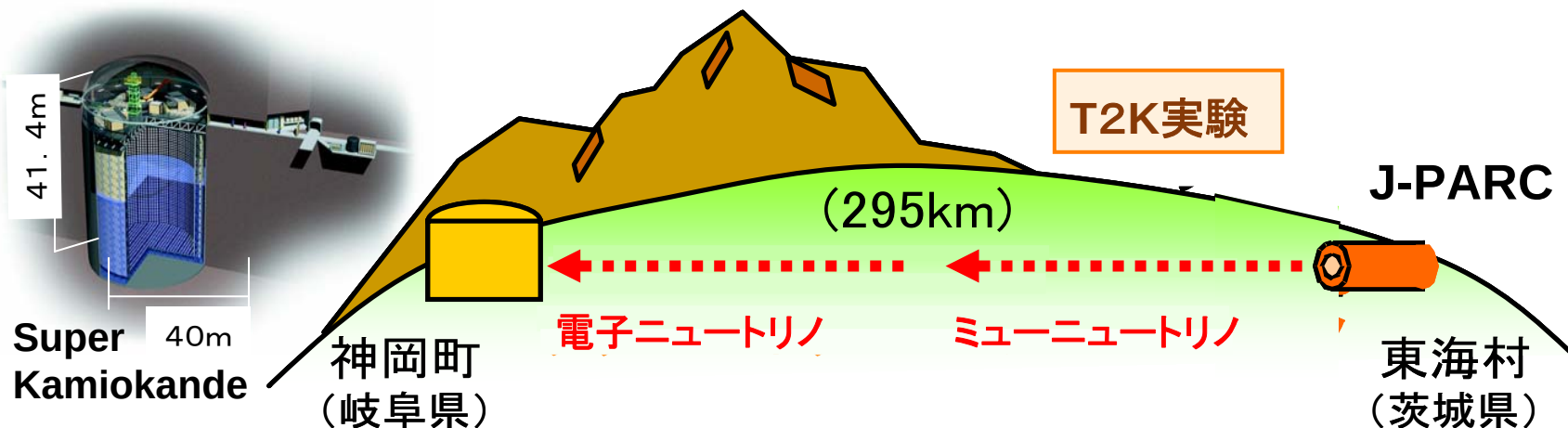
- SKで 108 事象の ν_μ 観測。
- 振動がない場合の期待値は 150.9 事象 ($\rightarrow \nu_\mu$ 減少を観測)。

$\Rightarrow$ 99.99 % 以上の確度
でニュートリノは質量を
持つ。





ニュートリノ振動 (T2K) 実験



K2K実験の
100倍の感度

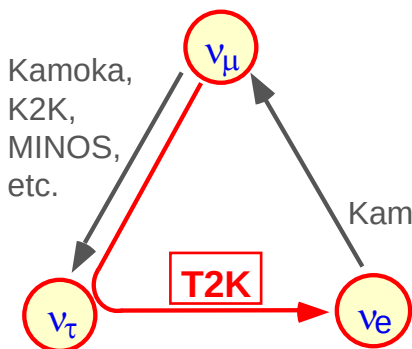
たとえば
100個のニュートリノ ← 150個のニュートリノ
ニュートリノの消失 ↔ ニュートリノに質量

大気ニュートリノ
加速器ニュートリノ

電子ニュートリノ ← ミューニュートリノ
 θ_{13} ↔ 第1世代と第3世代の混合(全く新しい情報)

KamLAND, SNO

太陽ニュートリノ
原子炉ニュートリノ

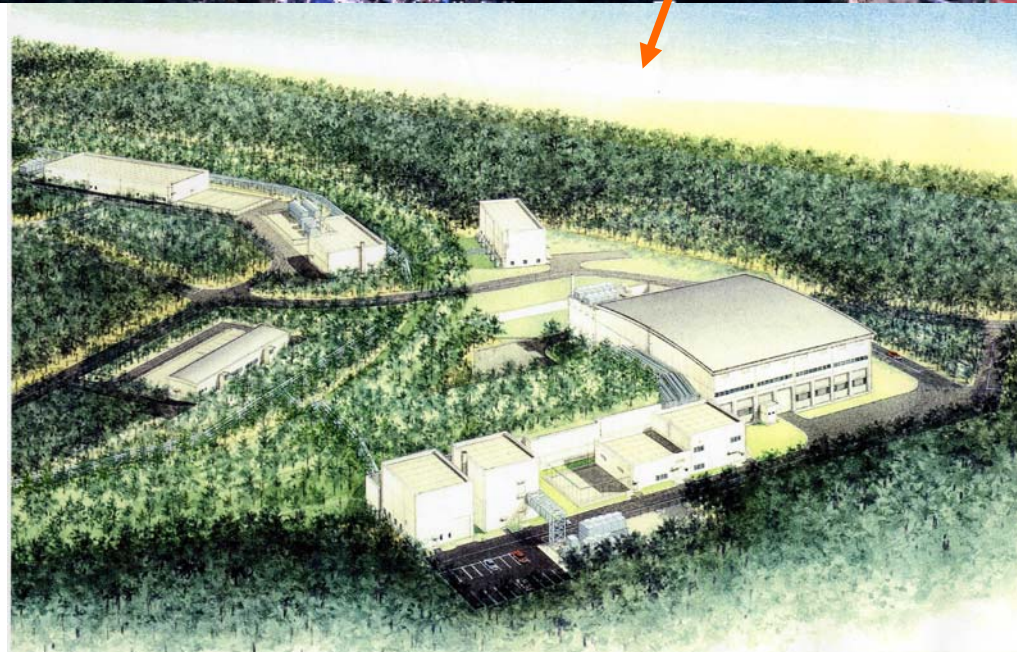


FNALやCERNと競りながら世界のリーダー！

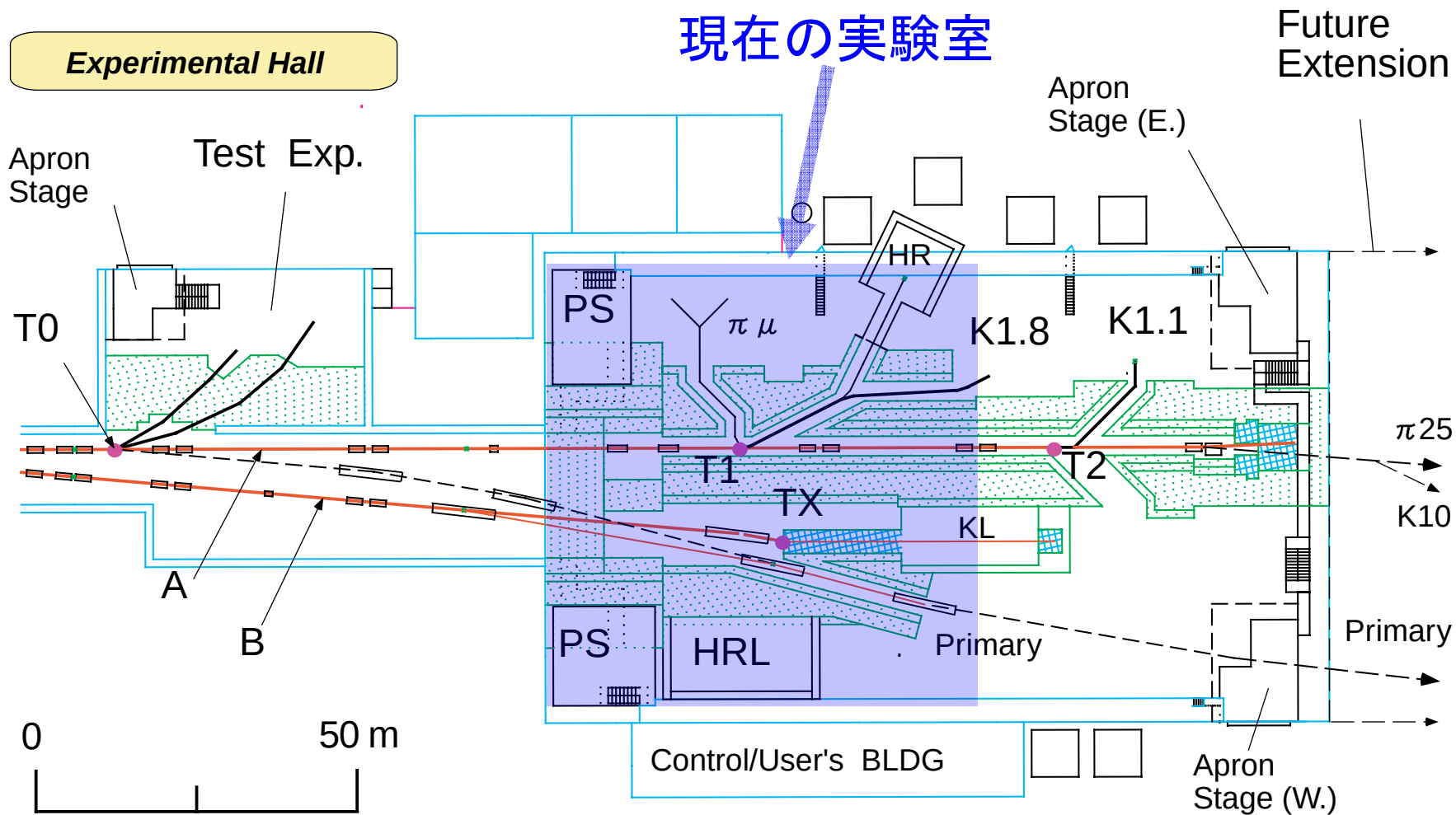


ハドロン実験施設

クォーク複合体の質量は
高温や高密度では消失する
(対称性の回復)

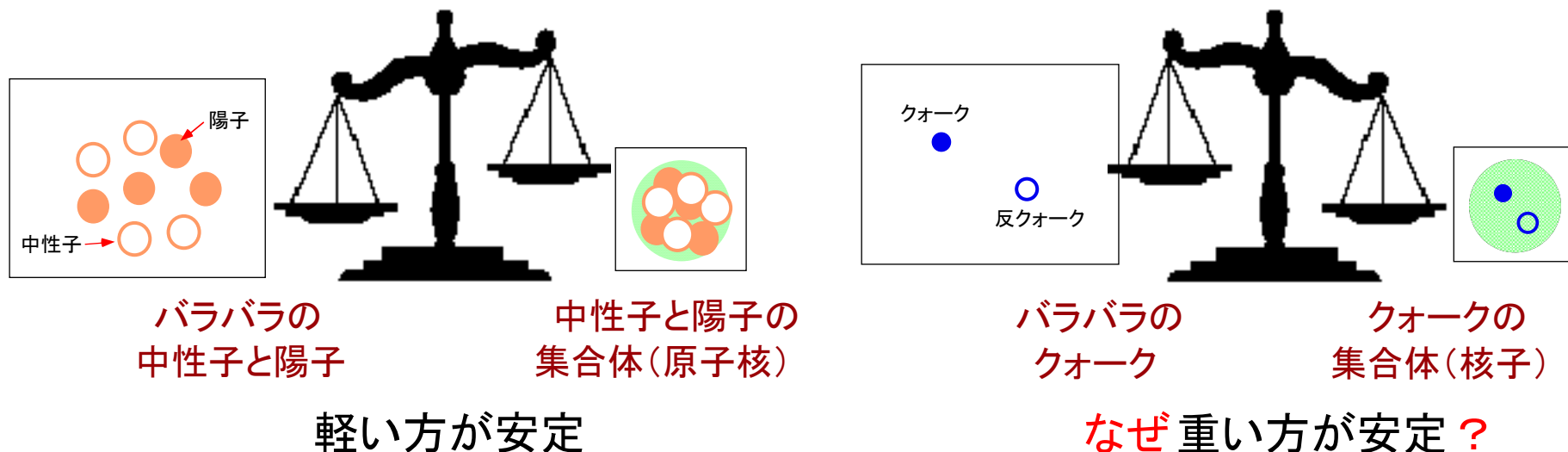


ハドロン実験室拡張計画



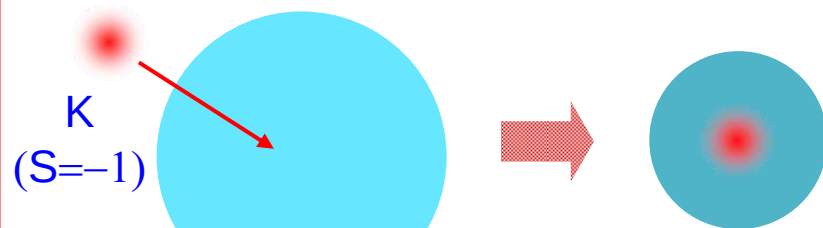
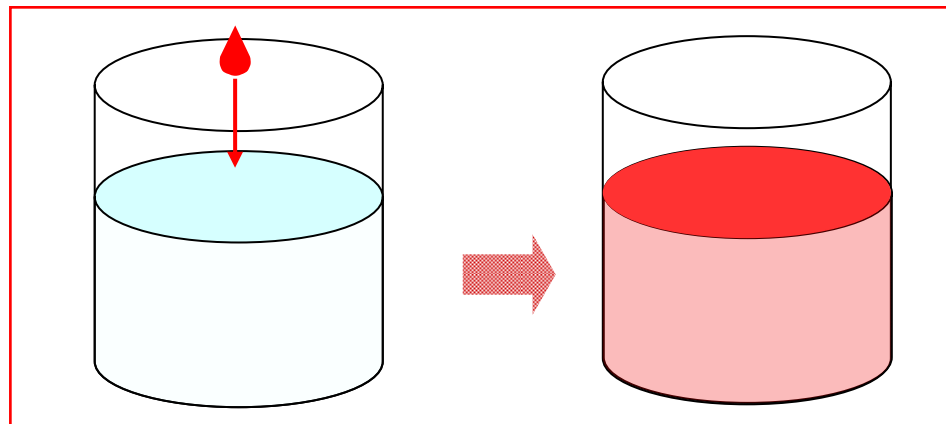
クォークに関する二つの疑問

- クォークの質量と中間子の質量は数10から100倍も違う！
 - クォークの質量: $5\text{-}10 \text{ MeV}/c^2$ π 中間子の質量: $140 \text{ MeV}/c^2$ (u, d クォーク)



- クォークは 10^{-13} cm といった小さな領域になぜ閉じ込められるのか？

ストレンジハドロンへの注入

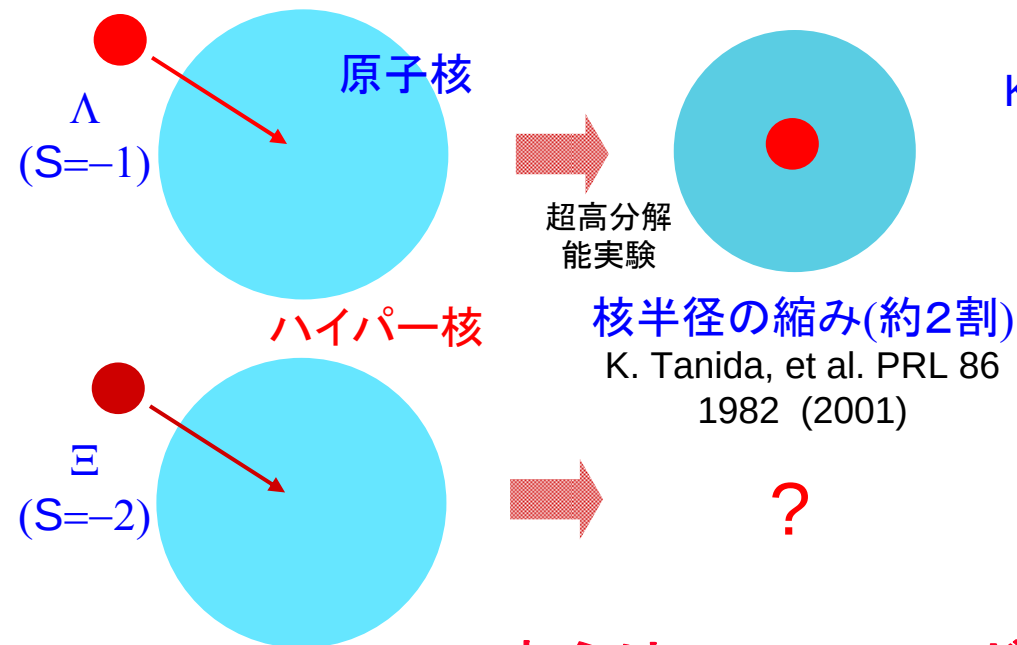


束縛状態の発見

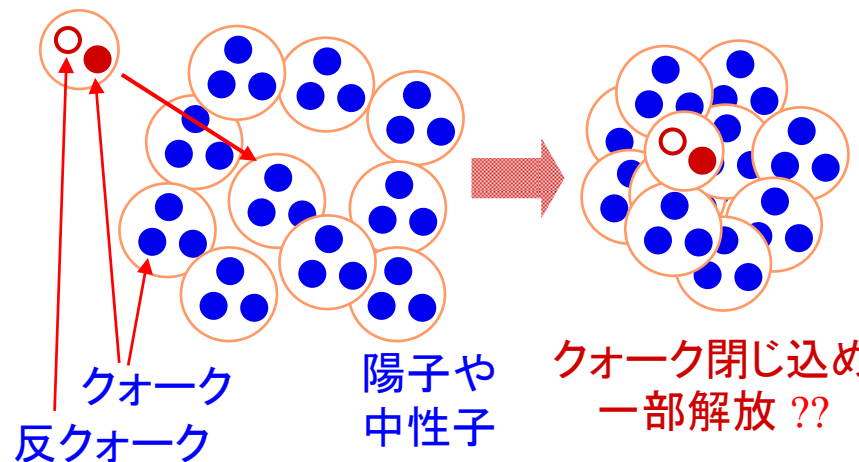
M. Angello, et al. PRL
94, 212303 (2005)

核半径の縮み
(約半分)

Y. Akaishi, et al. PL
B613, 140 (2005)



K中間子

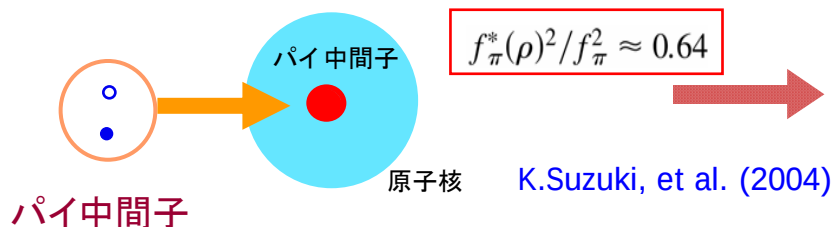


これらは J-PARC ハドロン施設の初期実験 !



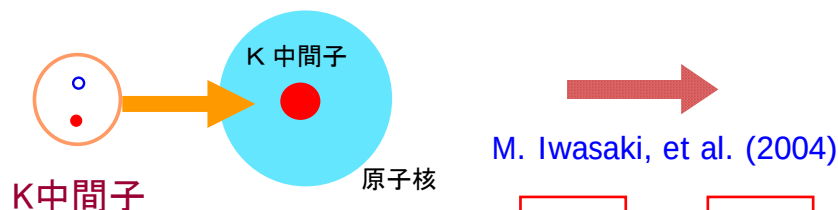
このような研究は始まったばかり！
J-PARC における研究に期待！

最近の実験例



原子核内部ではパイ中間子の結合定数が真空中の 1/3 減少。

質量を生み出す起源となる「対称性の破れ」が原子核中で約 1/3 弱まる！

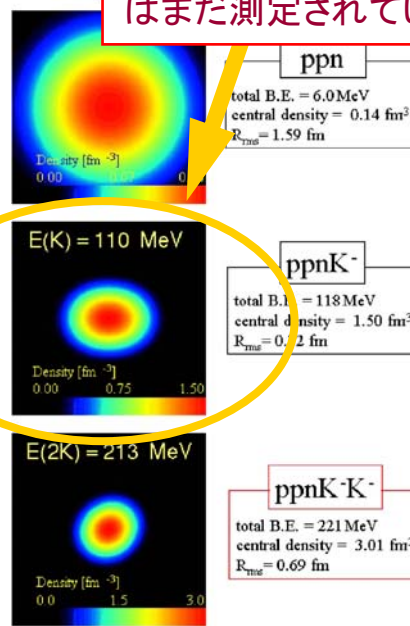
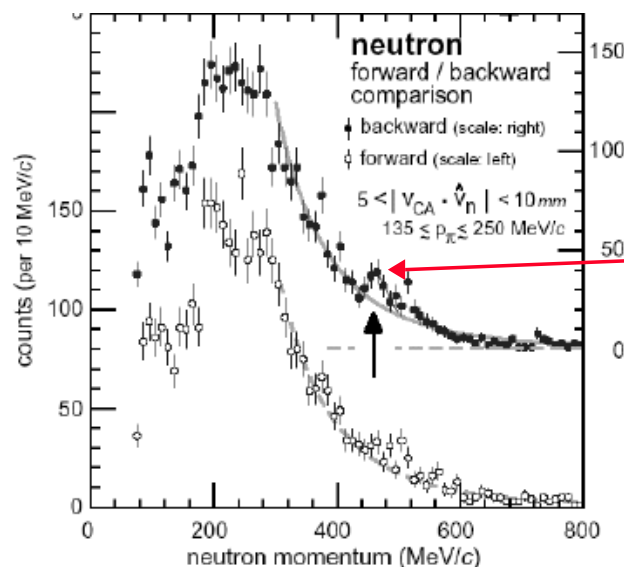


K中間子は原子核全体を収縮させる。

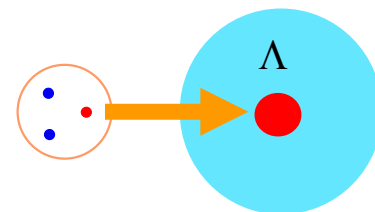
実験

理論

K中間子の結合定数の変化はまだ測定されていない。



ハイパー核



Λ粒子は原子核全体を収縮させる。

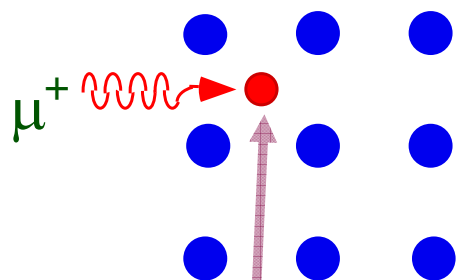
K.Tanida et al. (2001)

ミュオンを用いた物質や生命の研究

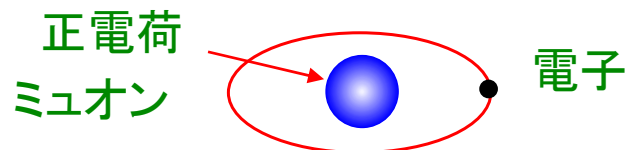
ミュオン

二種類の電荷: $+e$ と $-e$
 質量: $(1/10) \times (\text{陽子質量})$
 $200 \times (\text{電子質量})$

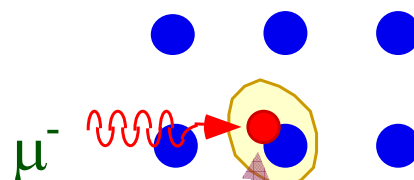
磁気能率をもつ
 自然に偏極している



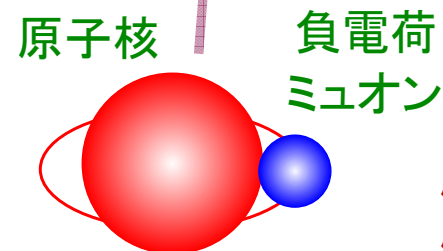
正の電荷を持つミュオンは
 格子間隙に止まる



ミュオニウムの形成



負の電荷を持つミュオンは
 格子点(原子核の位置)に止まる

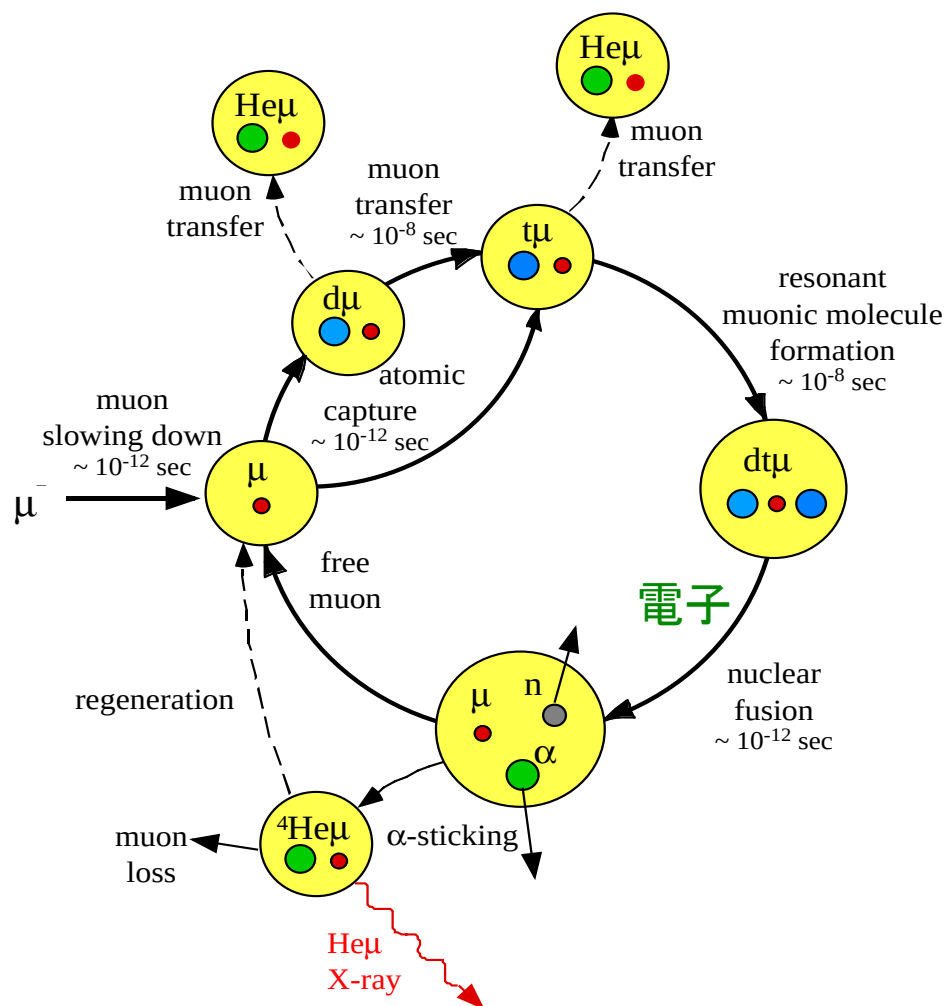


原子半径は通常
 原子の $1/200$

ミュオン原子の形成

ミュオン触媒核融合

Muon catalyzed fusion cycle in D₂-T₂ system



重水素
トリチウム

ミュオン (μ^-) が
d と t の間に入ると
d と t が大幅に
引き寄せられる

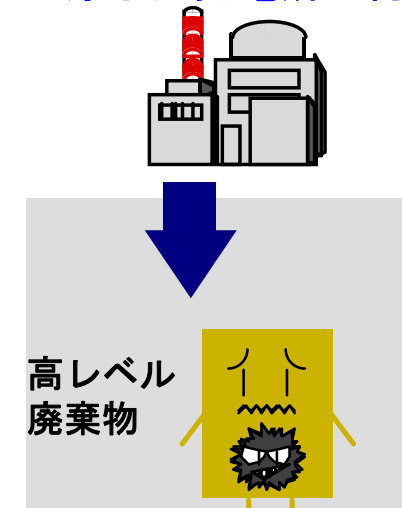
核融合反応

$d + t \rightarrow ^3He + n$
反応率の増大

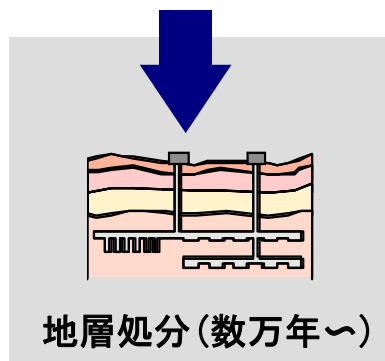
すでに 100倍
以上の増大を観測

核変換技術の研究

原子力発電所・再処理施設



核変換処理をしないと...

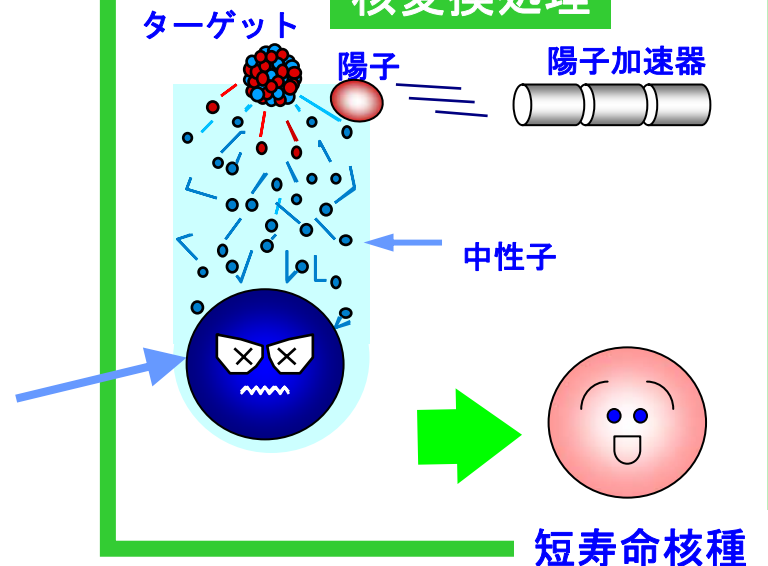


群分離

短寿命核種

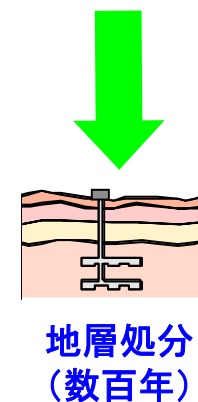
長寿命核種

核変換処理



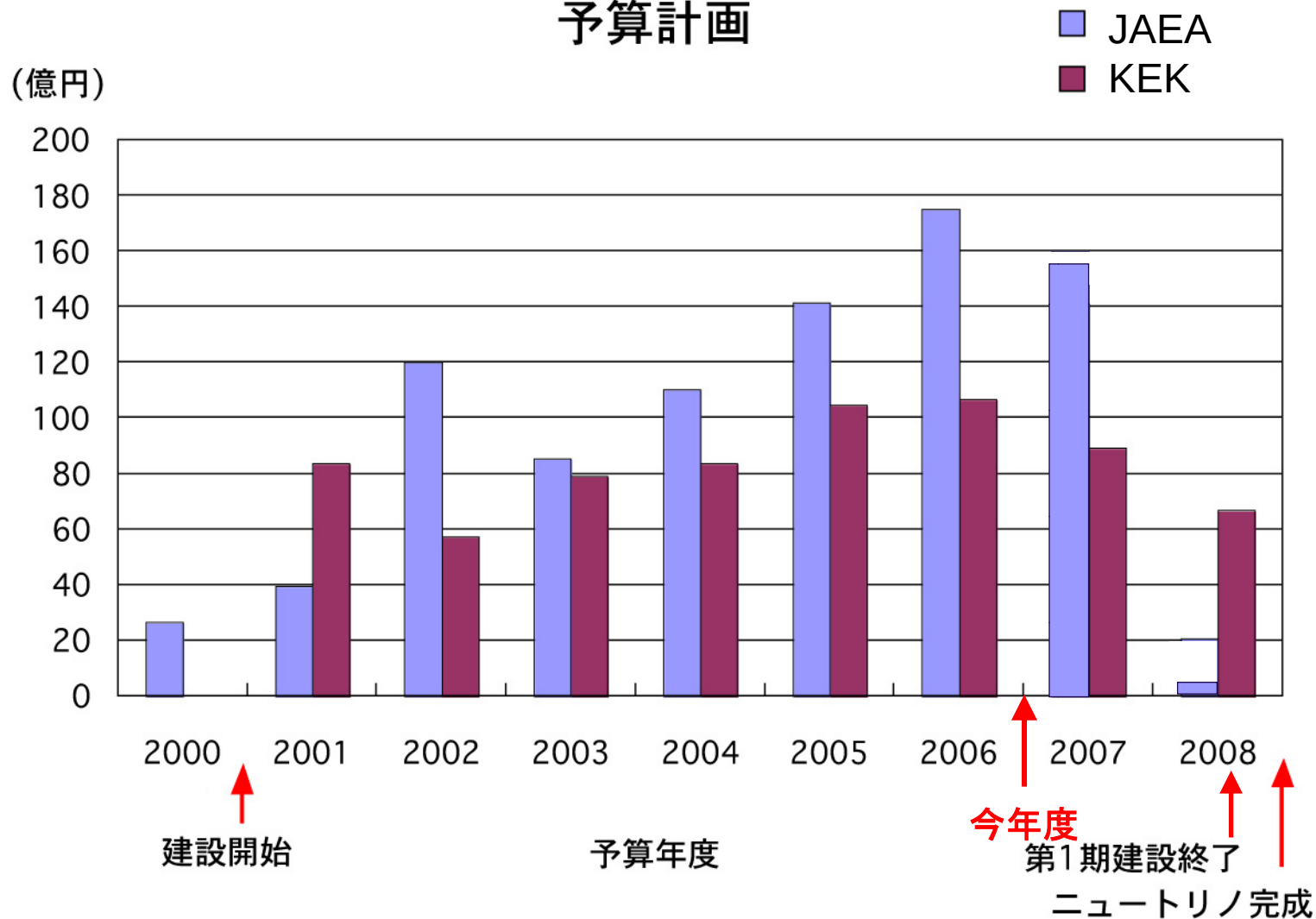
核変換処理をすれば...

放射能 (約 1/200)

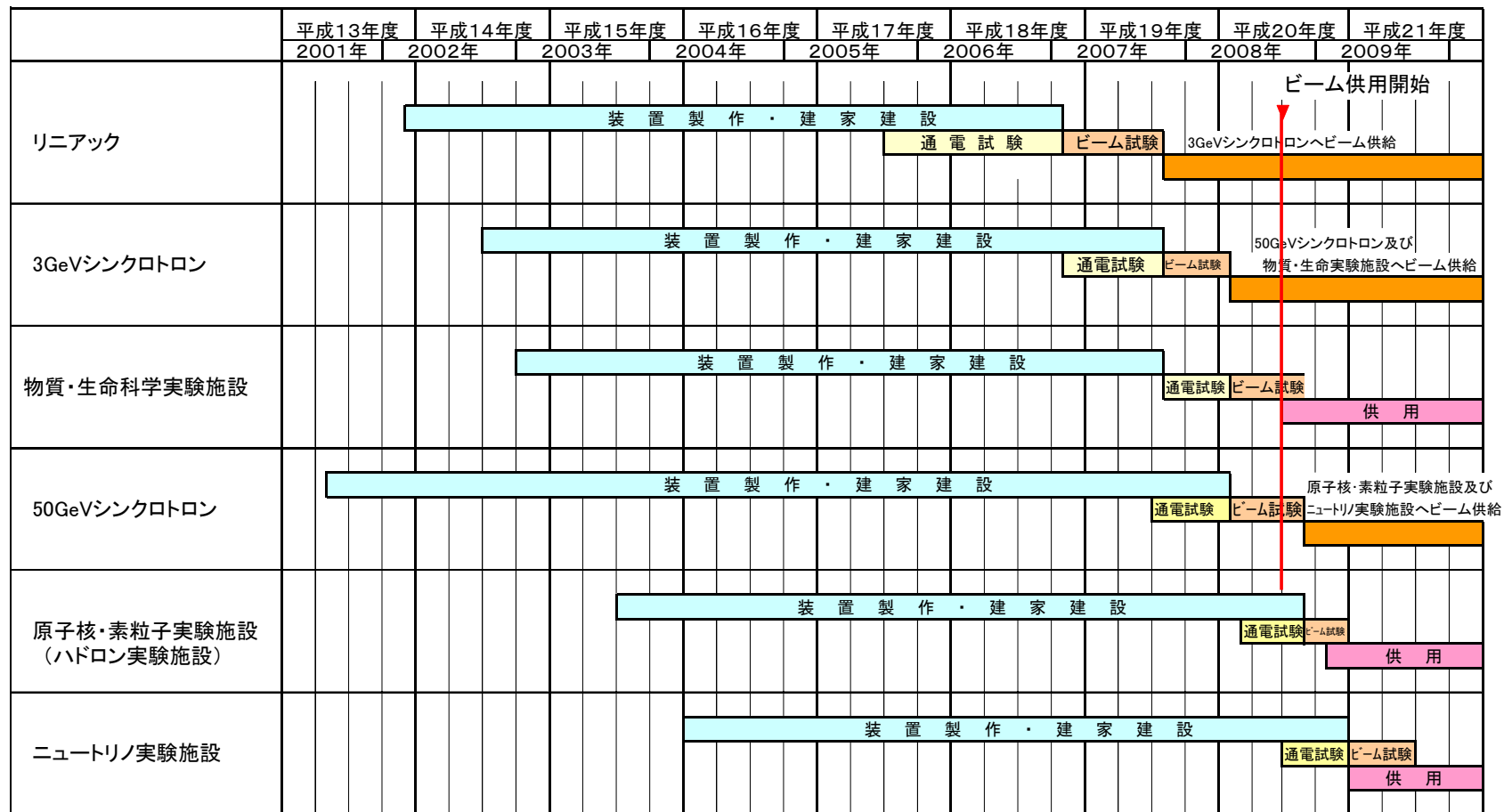


建設予算計画

予算計画



年次計画と今後の予定



KEK PS 運転

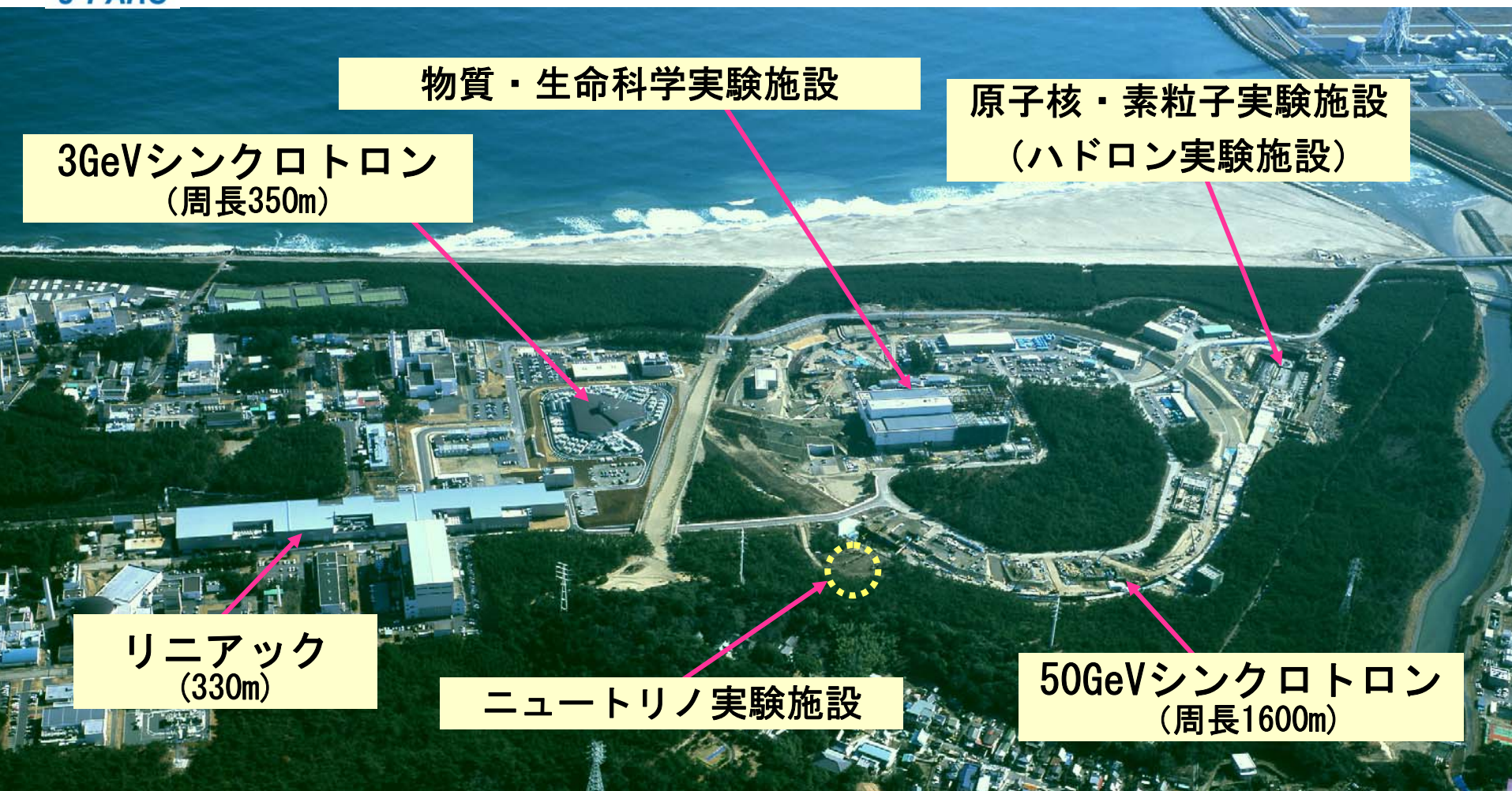
米国SNS施設稼働開始

現時点

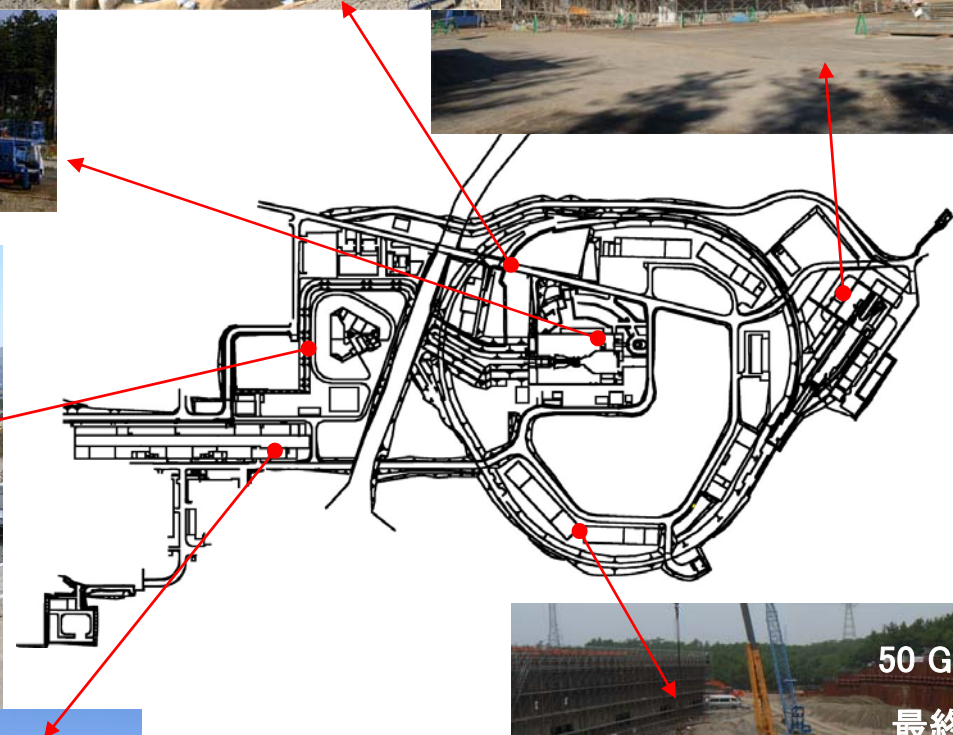
英国ISIS(第2ステーション)
施設稼働開始



J - P A R C 建 設 状 況



平成18年2月航空写真





3 GeV シンクロトロン
(平成19年秋頃ビーム試験予定)



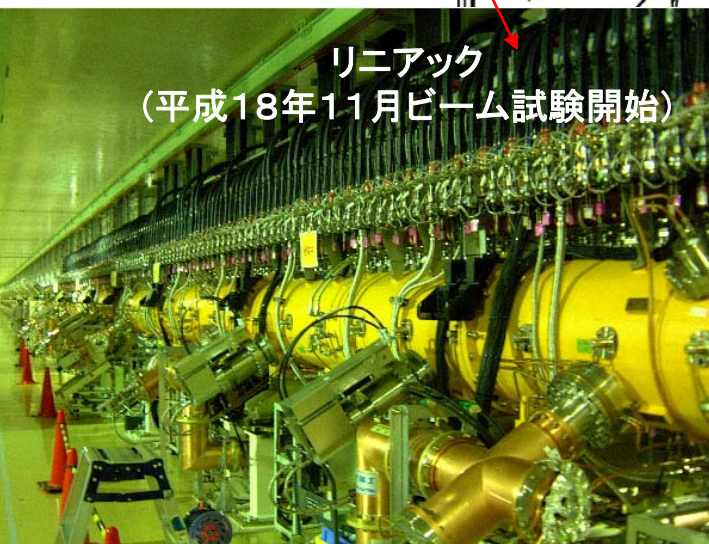
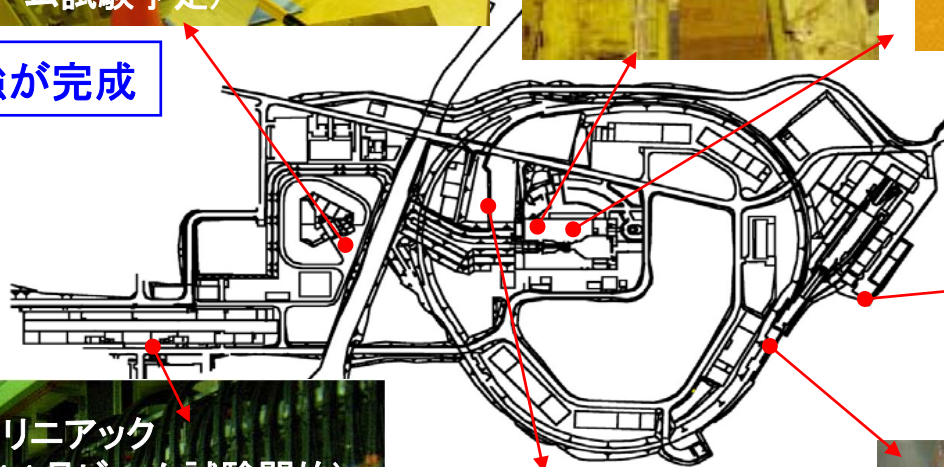
ミュオン源
(平成20年春頃
ビーム試験予定)



中性子源
(平成20年春頃
ビーム試験予定)

全体で約7割強が完成

11月20日、
リニアック初
段部ビーム
加速を開始



リニアック
(平成18年11月ビーム試験開始)



ニュートリノ
崩壊エリア
(平成21年春頃
ビーム試験予定)

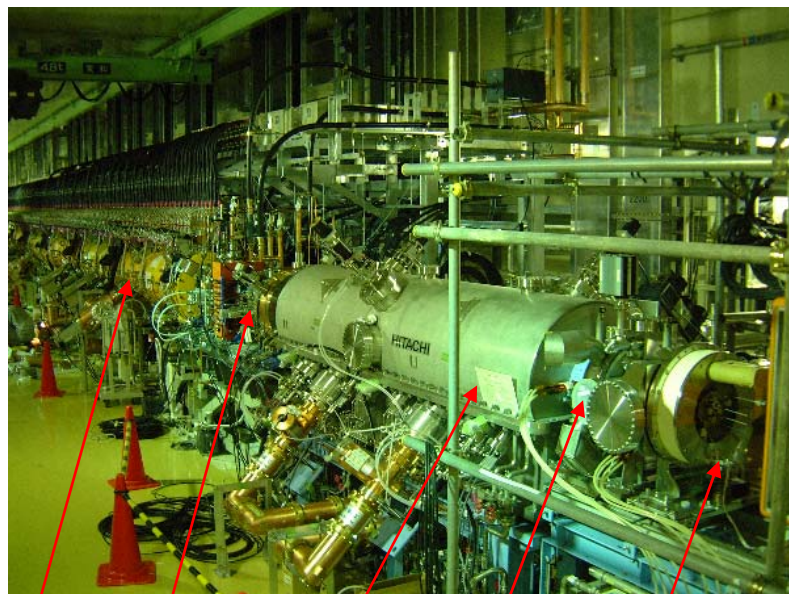


ハドロン実験施設
(平成20年冬頃
ビーム試験予定)

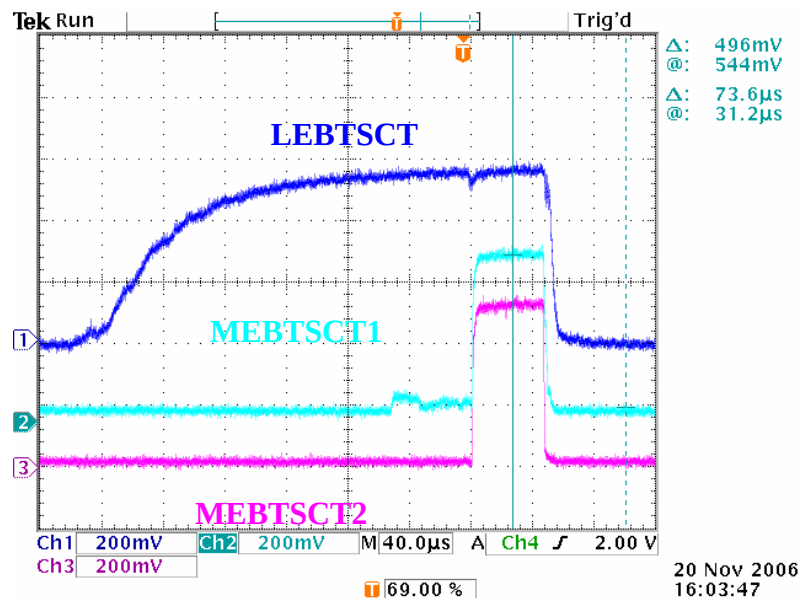


50 GeV シンクロトロン
(平成20年春頃ビーム試験予定)

2006年11-12月のビームテスト



DTL MEBT RFQ LEBT Ion Source



Beam Current vs. Time

On Nov. 20th: RFQ, 3 MeV, 5 mA, 50 μs, 5 Hz

On Dec. 19th: the 1st tank of DTL, 20 MeV, 5 mA, 20 μs, 2.5 Hz

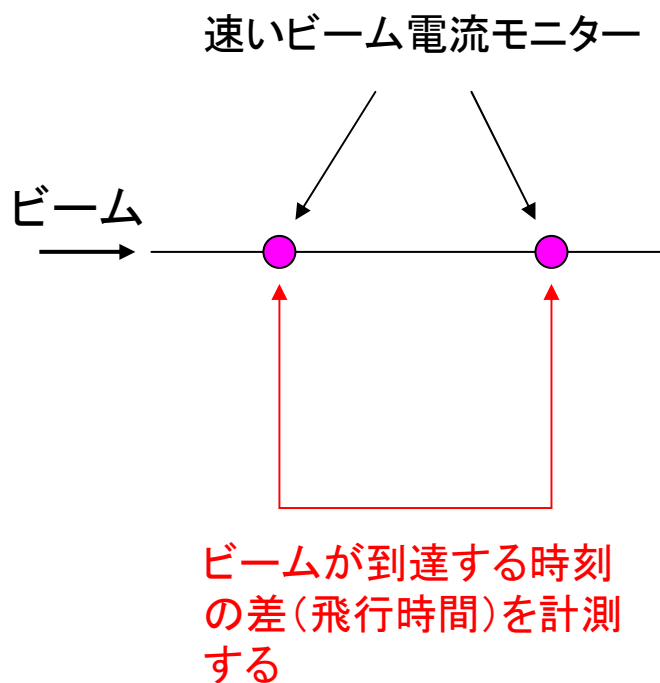
On Dec. 20th: the 2nd and 3rd tank of DTL, 50 MeV, 5 mA, 20 μs, 2.5 Hz

The beam is guided down to the beam dump about 300 m down stream during the DTL tuning.
No steering need to be used, showing the good alignment throughout all the quadrupole magnets.

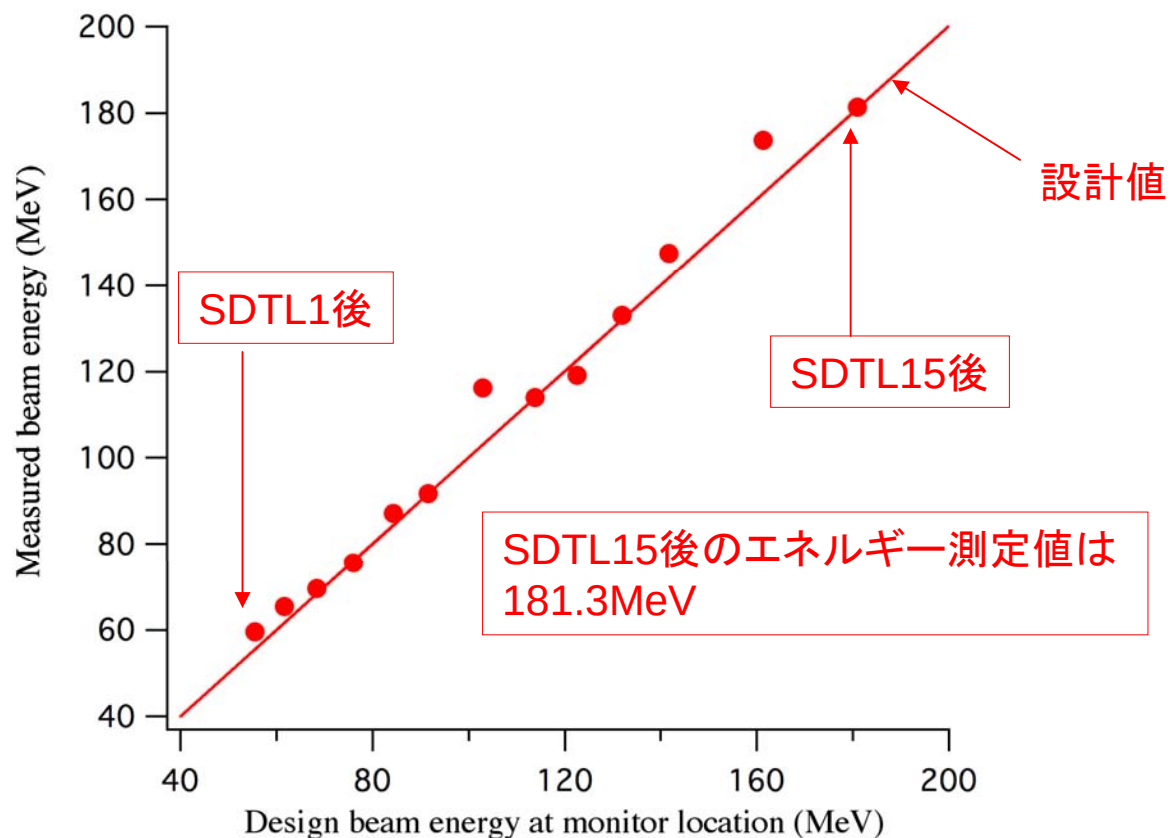
2007年1月のビームテスト



飛行時間測定によるビームエネルギー測定

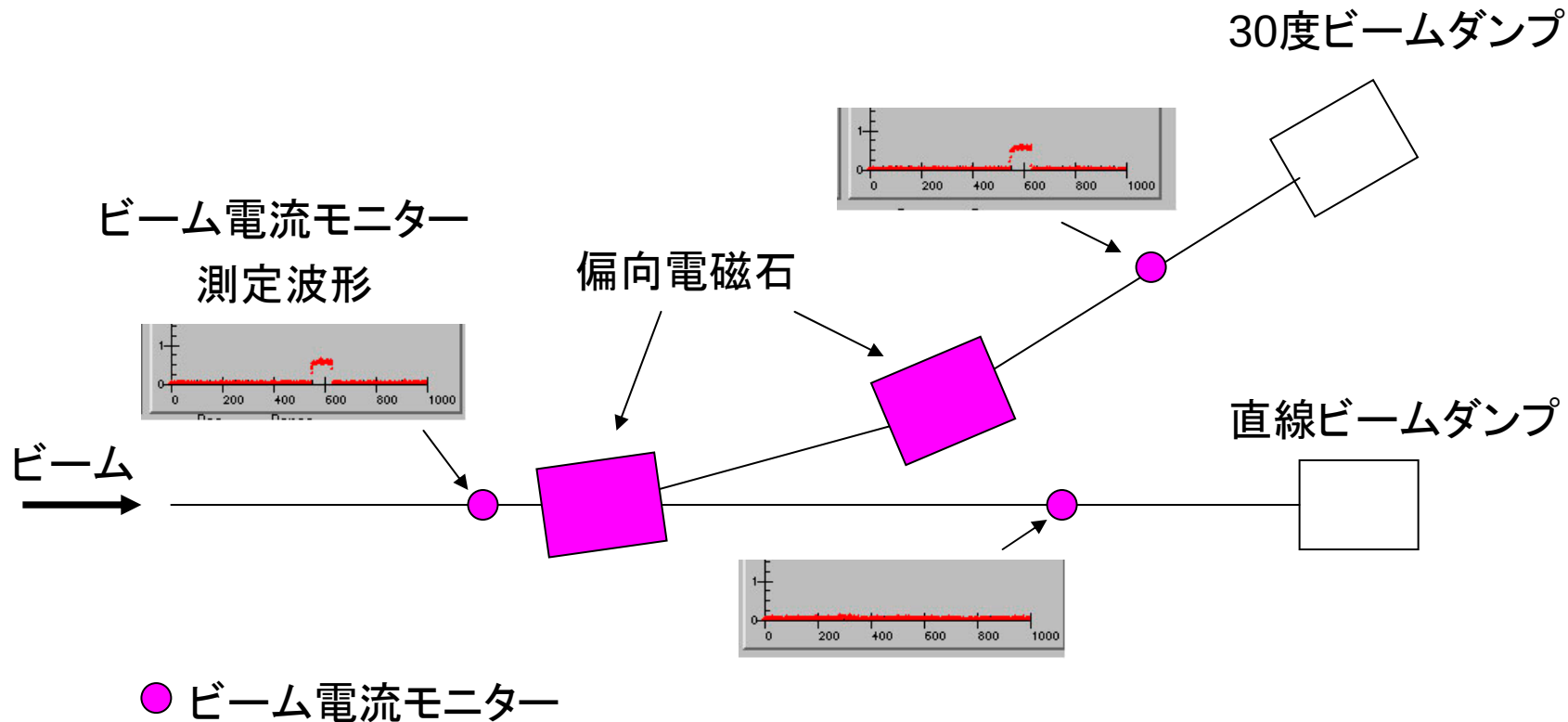


181MeV達成時のエネルギー測定結果



2つのビームモニターの間の飛行時間と距離からビームの速度を算出することにより、ビームエネルギーを求めることができる。

偏向角によるビームエネルギーの確認



エネルギーの高いビームを曲げるには、より高い磁場が必要となる。
偏向電磁石の磁場を181MeVのビームを30度曲げる強さに設定し、リニアックの出力ビームが30度ビームダンプに正しく導かれることを確認した。

Error
Mask
Normal

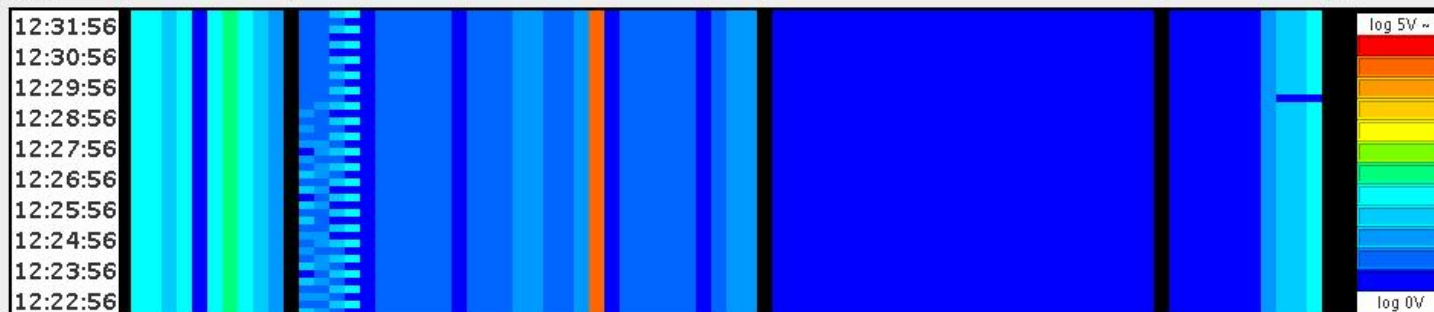
RESET

High

Low

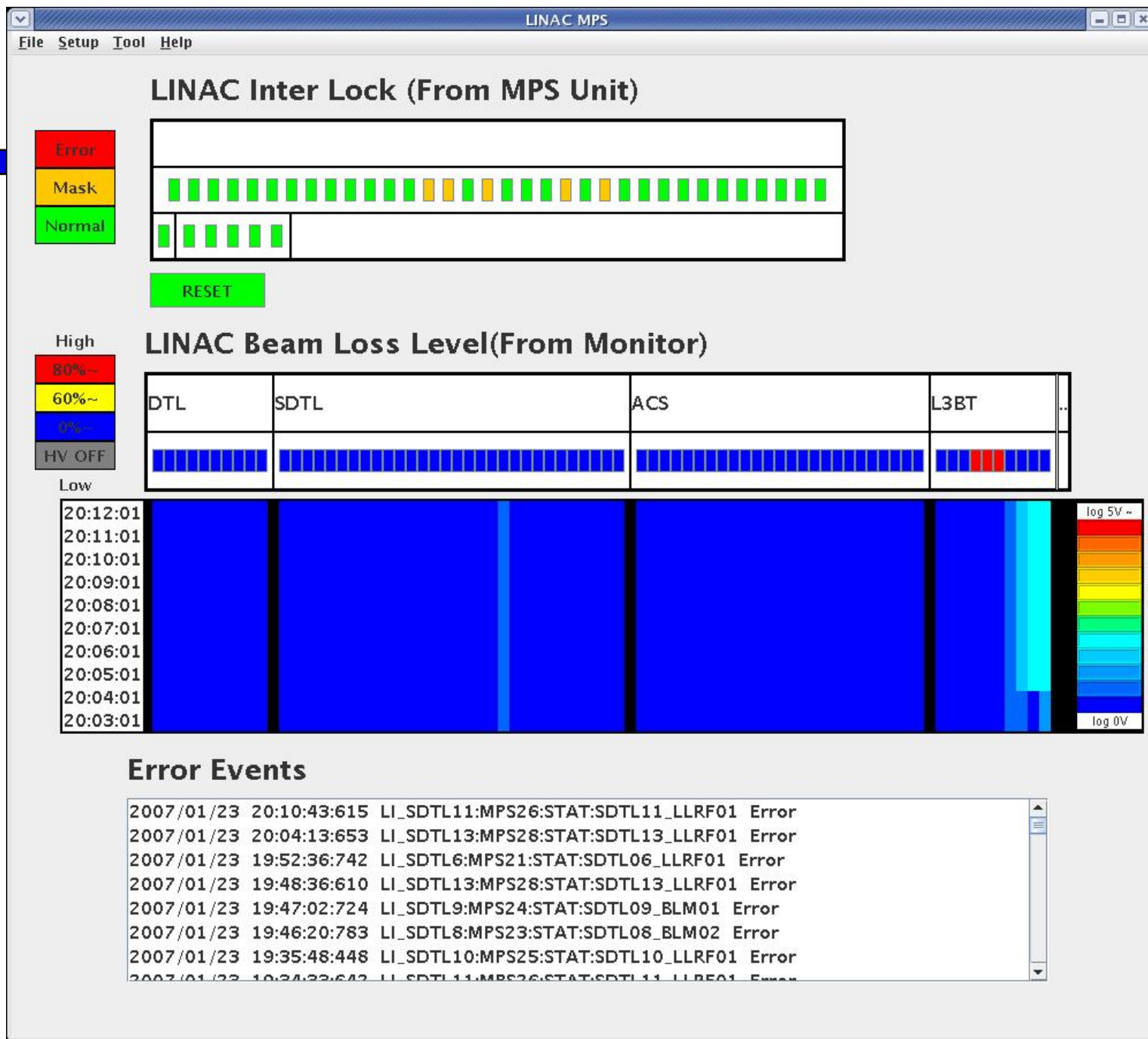
LINAC Beam Loss Level(From Monitor)

DTL	SDTL	ACS	L3BT
			

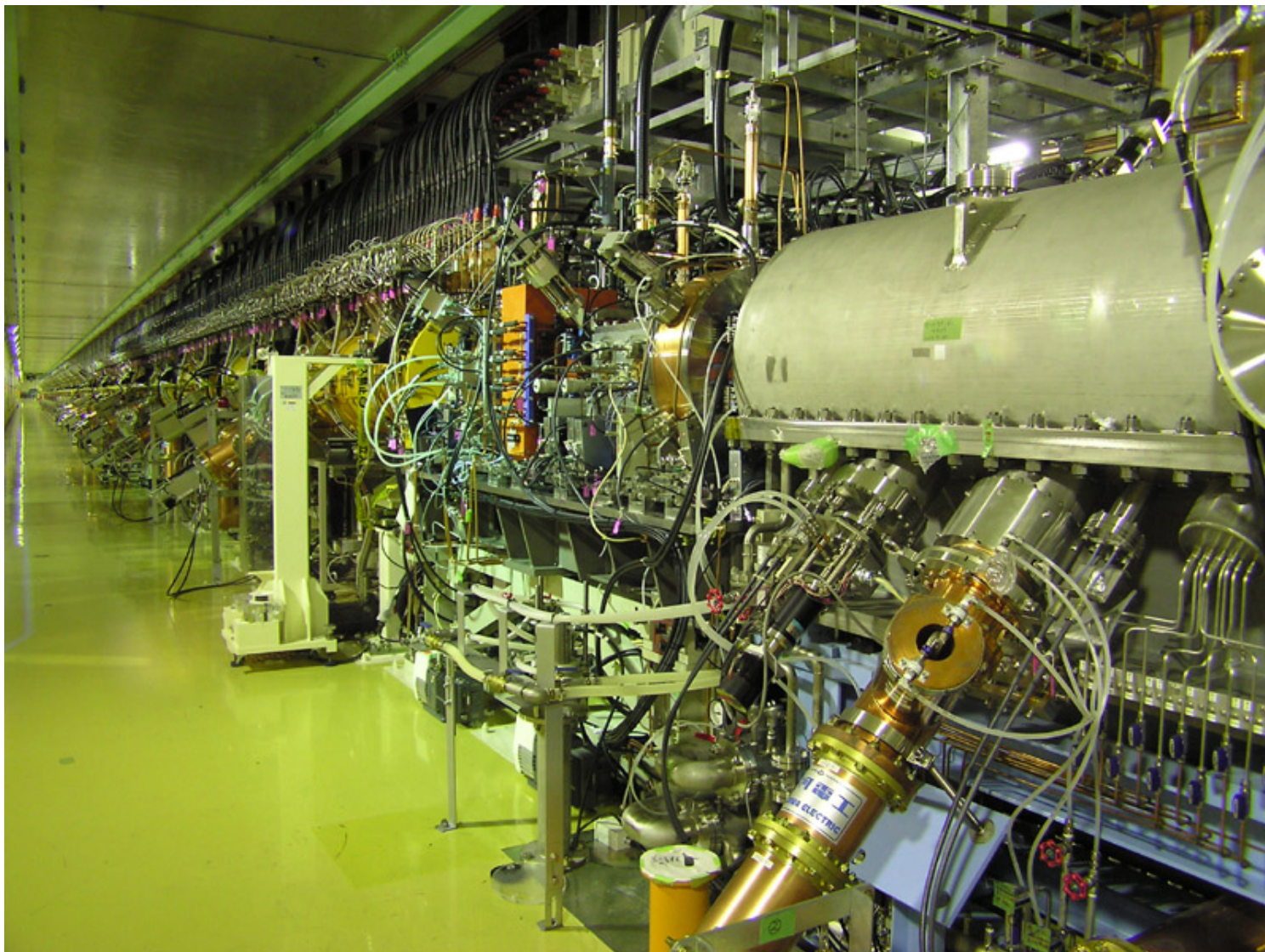


Error Events

2007/01/23	12:29:18:542	LI_SDTL3:MPS18:STAT:SDTL03_LLRF01	Error
2007/01/23	12:27:18:367	LI_SDTL4:MPS19:STAT:SDTL04_LLRF01	Error
2007/01/23	12:24:08:325	LI_SDTL5:MPS20:STAT:SDTL05_LLRF01	Error
2007/01/23	12:21:29:035	LI_SDTL15:MPS30:STAT:SDTL15_LLRF01	Error
2007/01/23	12:19:32:262	LI_SDTL8:MPS23:STAT:SDTL08_LLRF01	Error
2007/01/23	12:15:15:792	LI_SDTL10:MPS25:STAT:SDTL10_LLRF01	Error
2007/01/23	12:12:50:123	LI_SDTL7:MPS22:STAT:SDTL07_LLRF01	Error
2007/01/23	12:12:33:135	LI_SDTL7:MPS22:STAT:SDTL07_LLRF01	Error



リニアックトンネル



リニアック階上 (クライストロン)



3 GeV シンクロトロンネル



3 GeV 加速空洞部



J-PARCにおける新加速器技術

New wires strong for rapid cycle current change

Ceramic vacuum pipe



■ Magnetic alloy (Finemet)



High Field gradient

50 GeV シンクロトロン



アウターライナー据え付け



中性子実験室



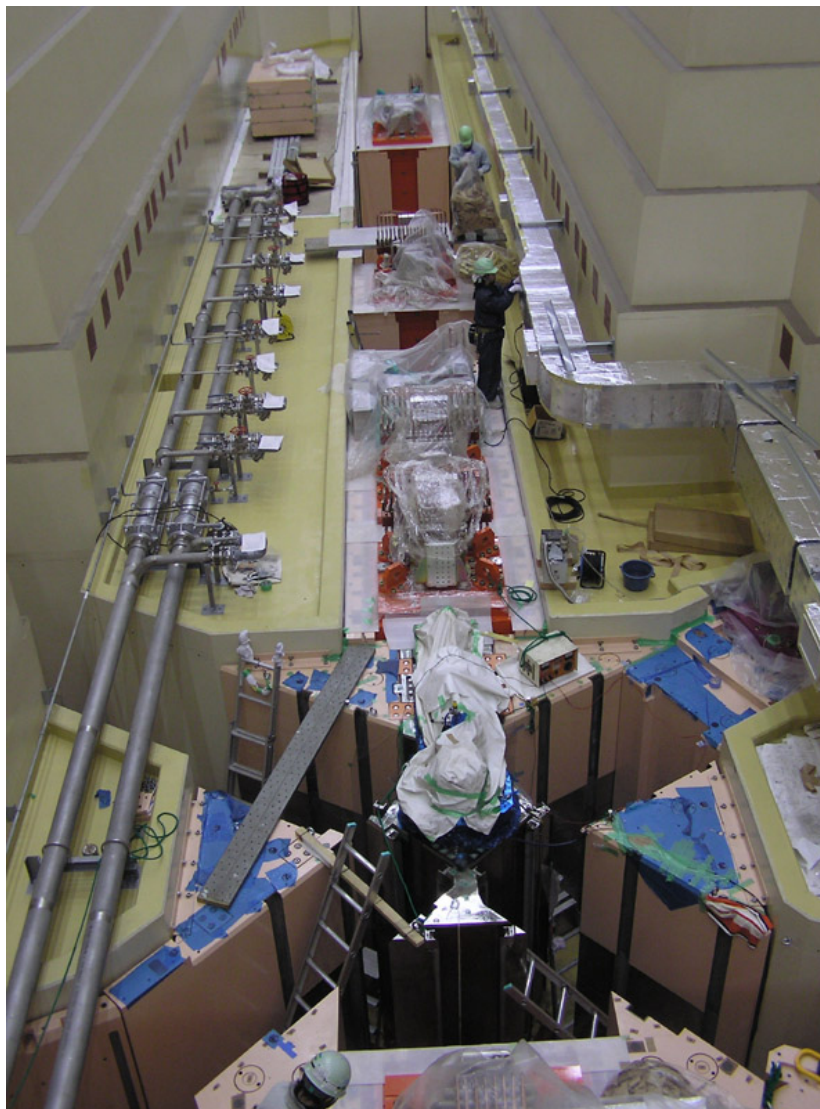
中性子源(組み立て途中)



中性子源(現在)



ミュオン生成標的付近



ニュートリノ施設

ニュートリノ生成標的付近
(現在)



ニュートリノ生成のための
崩壊領域
(現在は地中に埋まっている)

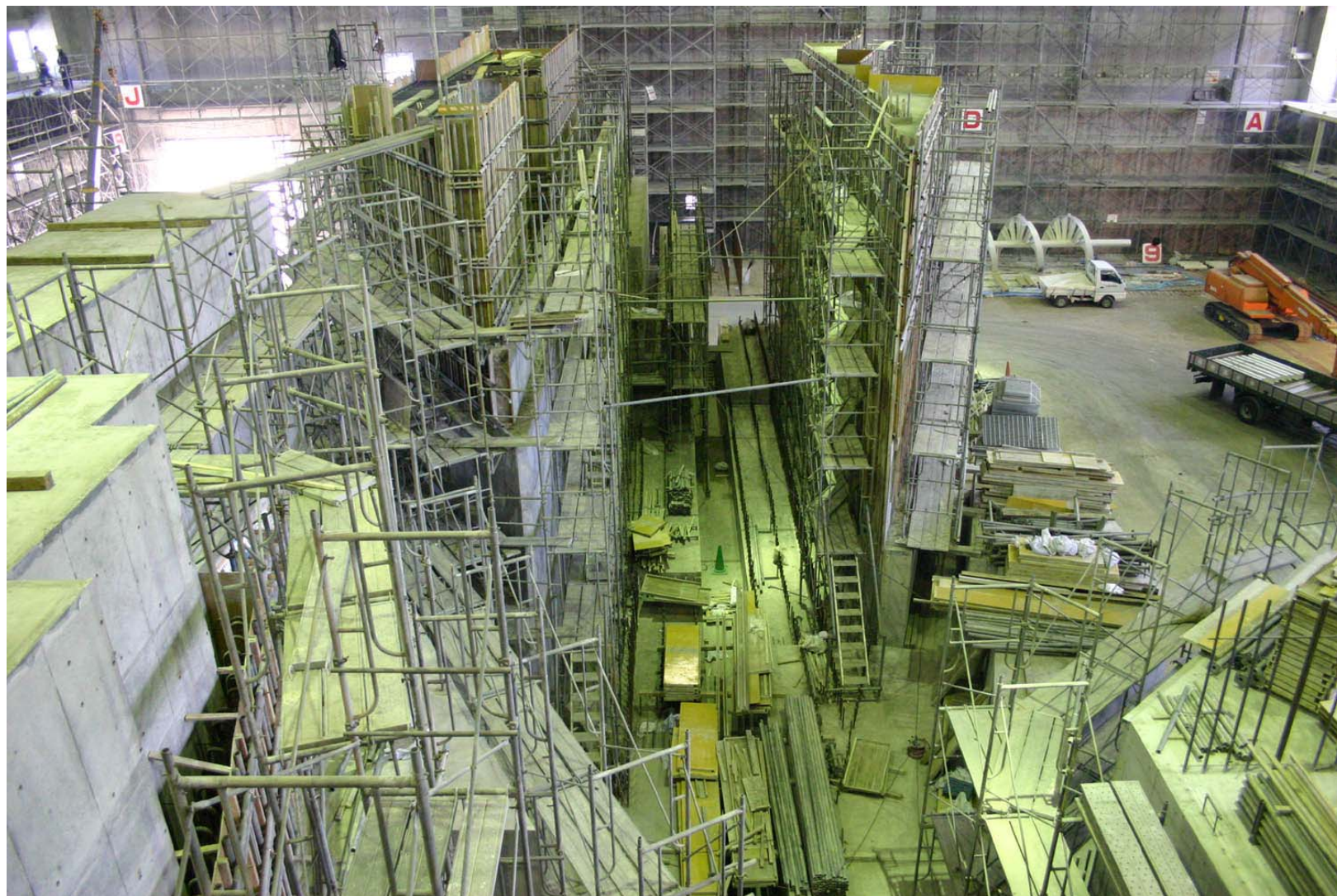
ニュートリノ用超伝導磁石



ハドロン実験室(外観)



ハドロン実験室(内部)





原子核・素粒子実験施設
(ハドロン実験施設)

物質生命・科学
実験施設

50 GeVシンクロトロン

ニュートリノ実験施設

3 GeVシンクロトロン

核変換実験施設
(第Ⅱ期計画)

リニアック

2006年11月撮影

塩田遺跡



濃い塩水をためておくための
大型鹹水（かんすい）槽

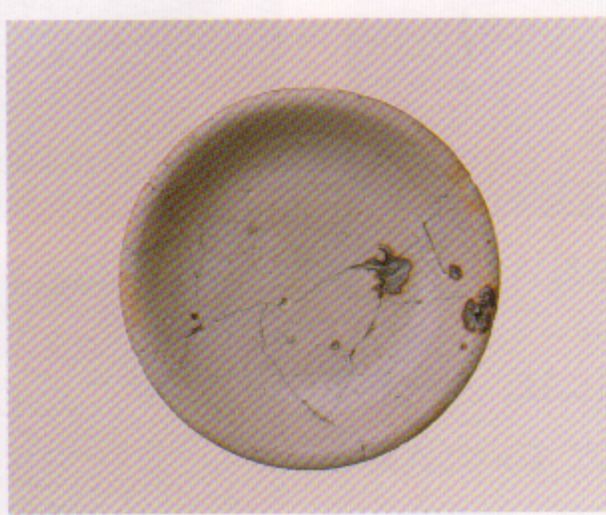


鹹水を釜に入れ塩焚する
釜屋跡



東海村小中学生の
体験学習

15世紀頃の塩田



考古学調査は
2004年夏に終了！

完成後の運転経費

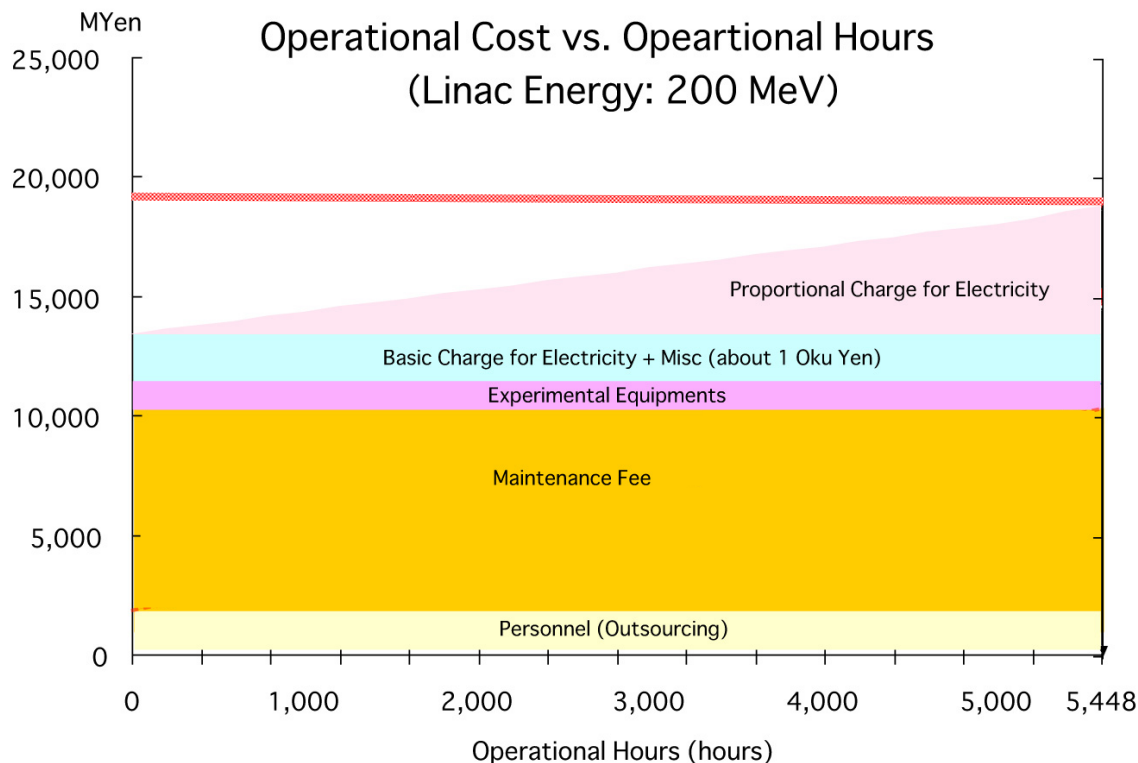
運転経費の検討

- 1)稼動当初の予測額を平成17年夏の「維持費に関する国際レビュー委員会」で審議。おおむね妥当との見解を得た。
- 2)その結果を、平成18年3月の国際諮問委員会で議論。再度、おおむね妥当と判断。
- 3)さらに、節減のための努力を内部的に継続中。

単位: 億円

加速器維持費(光熱費以外)	49
実験施設維持費(光熱費以外)	31
建屋	14
光熱費	70
共通管理(安全、情報、等)	15
実験経費	11
総合計	190

いかに運転経費を創出
するかは大きな課題！



建設組織から運営組織へ

建設組織

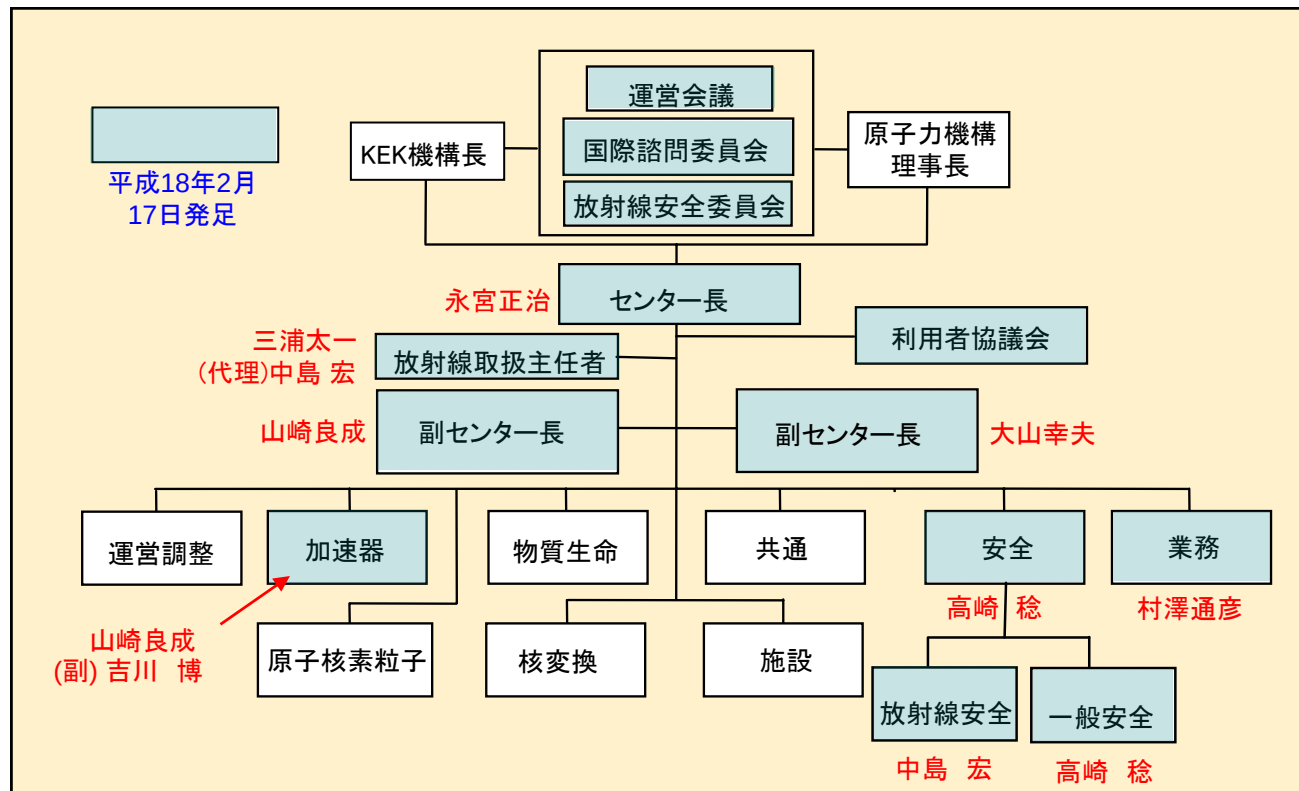
両機関がそれぞれ建設
担当施設毎に責任を持
った共同建設チーム

(建設の進展に沿って移行)

運営組織

両機関がJ-PARC
の業務に係わる
運営権限を、セン
ターに委譲

発足時の人員数:
62 正規職員

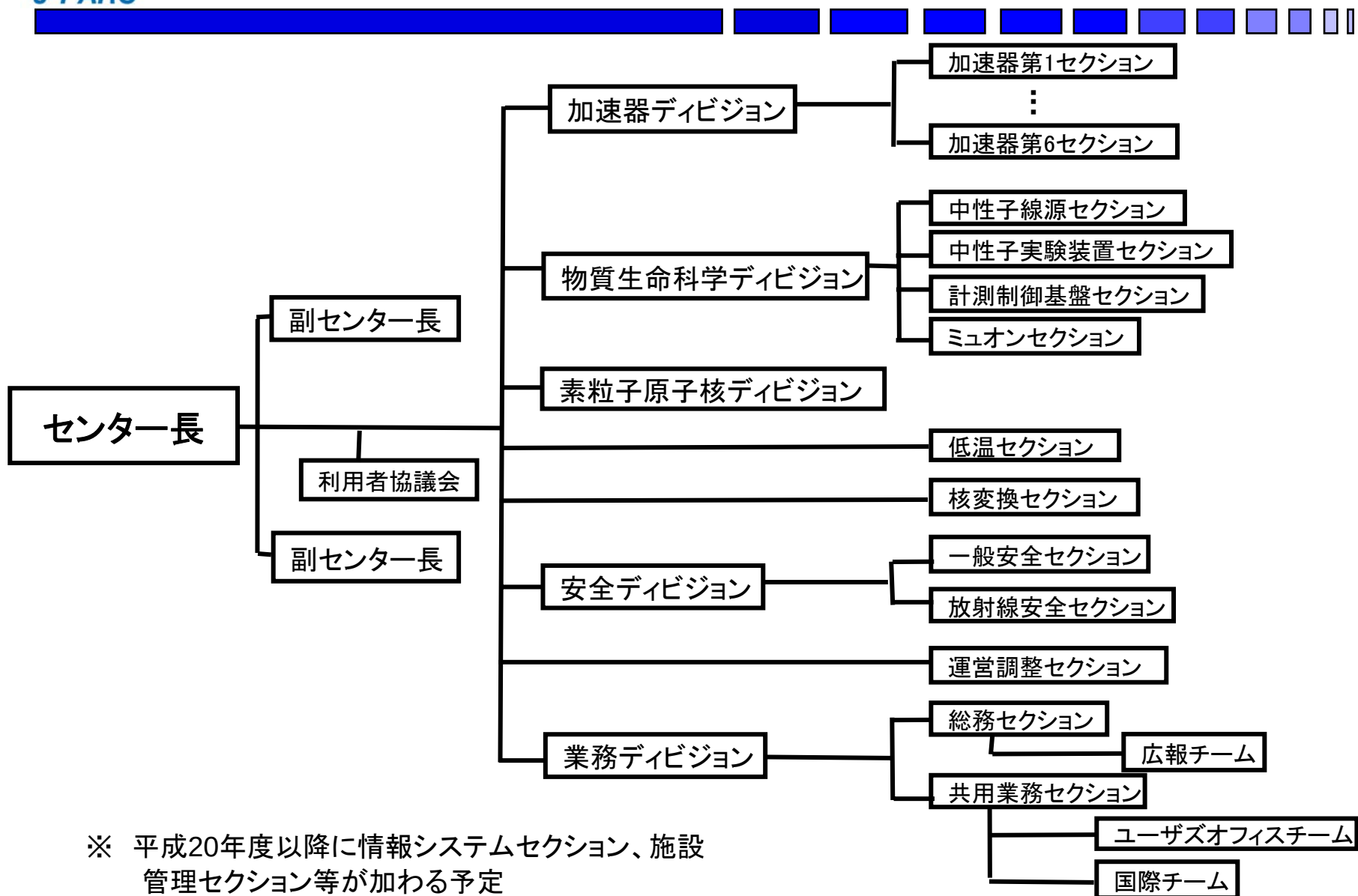


J-PARCセンターの発足: 平成18年2月

いかにJ-PARCセンターを
育てていくかは重要課題!

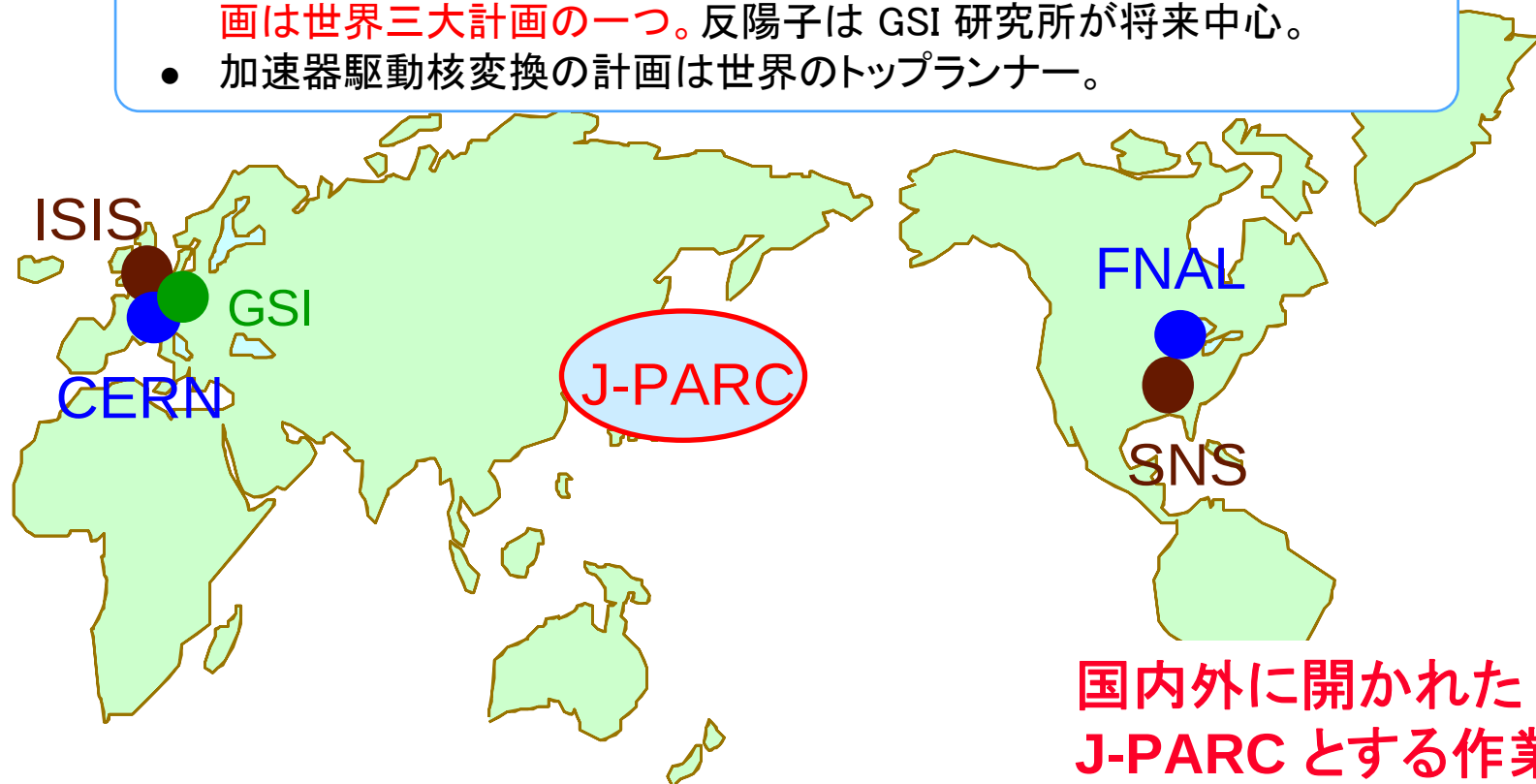


平成19年度の J-PARC センター



国内外の研究・教育センターとしての J-PARC

- 物質・生命科学では、中性子等を用いる世界三大計画の一つ。
- 原子核素粒子物理では、K中間子計画で世界の中心。ニュートリノ計画は世界三大計画の一つ。反陽子は GSI 研究所が将来中心。
- 加速器駆動核変換の計画は世界のトップランナー。



国内外に開かれた
J-PARC とする作業が
今後数年の重点作業！

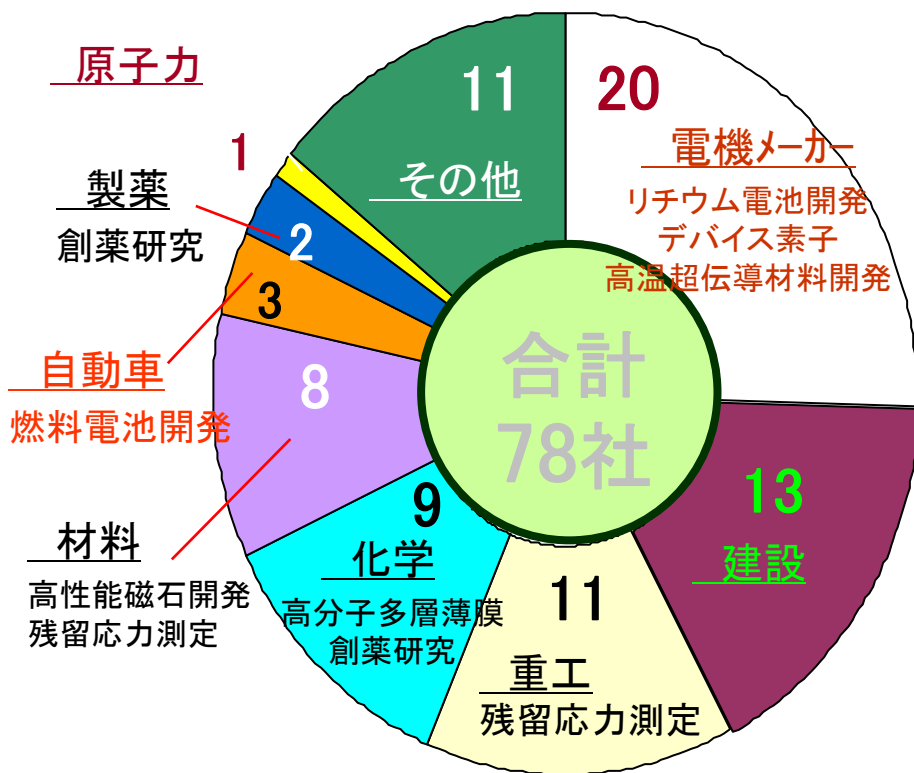
● ニュートリノのセンター

● 中性子のセンター

● 反陽子

産業界による中性子利用研究

利用を希望する企業の業種別割合



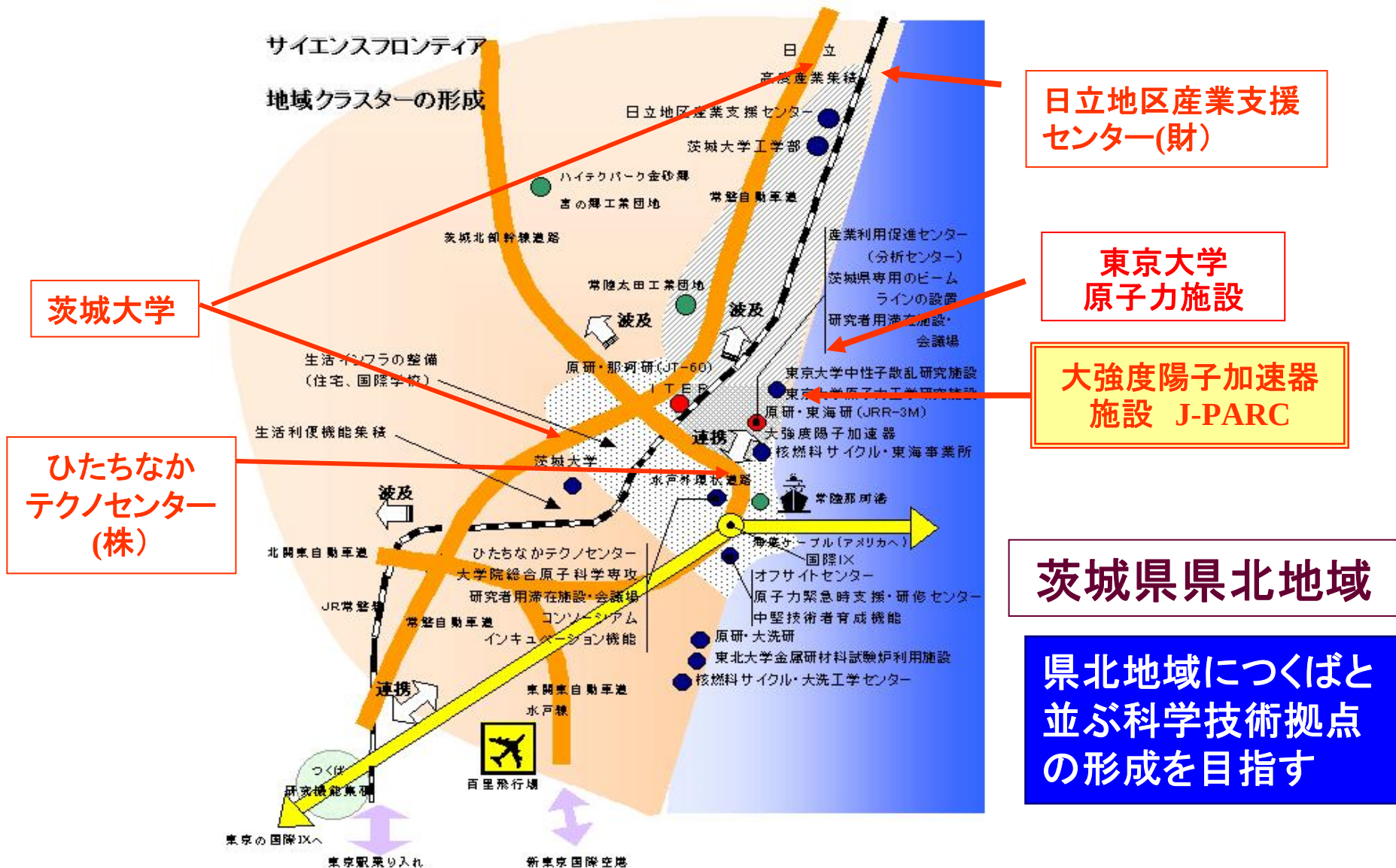
全国規模の活動

- ・中性子の産業応用フォーラム
平成12年10月 設立
会員117名(仮受付)

地域での活動

- ・サイエンスフロンティア21構想
ひたちなか周辺地区の産業活性化計画
- ・大強度陽子加速器技術フォーラム
130人(50社)

サイエンスフロンティア21





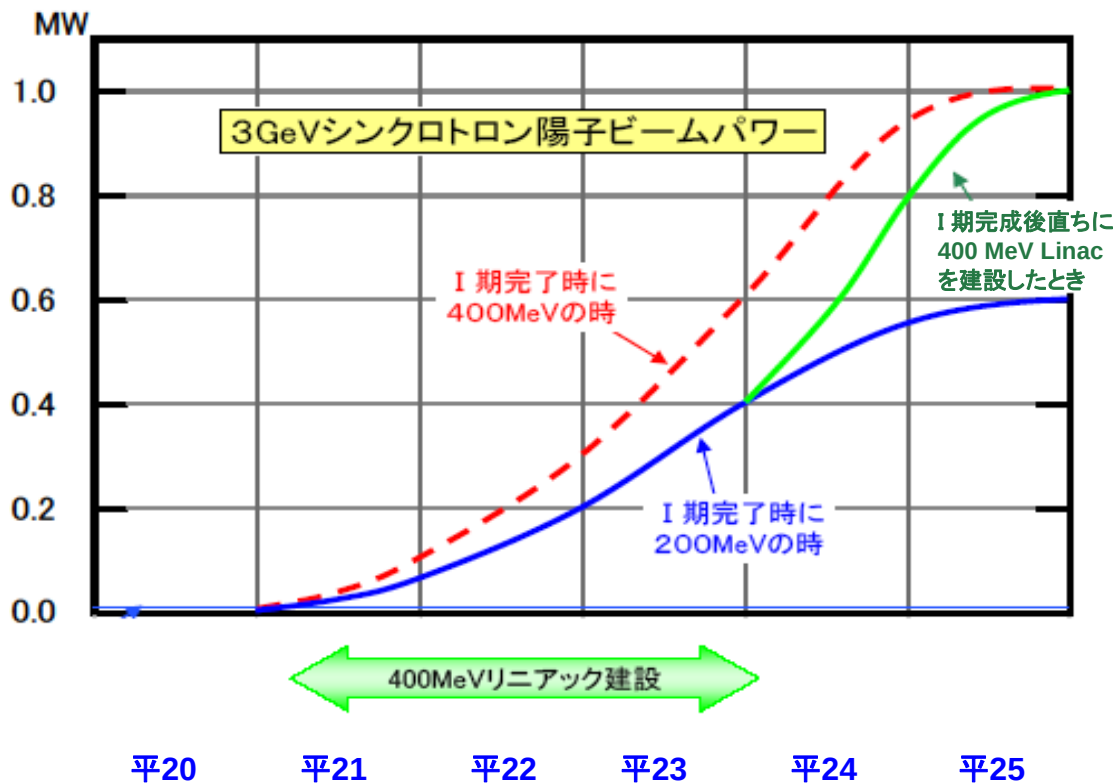
リニアックエネルギー増強と II 期計画

- リニアックエネルギー増強 (JAEA)
 - I 期の目標達成のために 400 MeV にする。
- 核変換施設の建設 (JAEA)
 - 核変換は重要。国 (原子力委員会等) の評価を受けた上で着工。
- 物質・生命実験施設関連 (KEK)
 - ミュオンビームラインの整備。
 - 中性子実験装置の整備。
- 原子核・素粒子関連 (KEK)
 - ニュートリノ第2検出器@2km
 - 第1期のハドロン実験室を約倍増 (そのために、ビームダンプはレールの上に乗せて可動型としている)。
 - 50 GeV シンクロトロンエネルギーをフルエネルギーに。
 - 50 GeV よりの第3の出射ビームライン。

・
・
・
・

II 期計画のプライオリティや
緊急度については検討中

リニアックエネルギー増強



リニアック
エネルギー
増強：
完成後の
施設整備
の最重要
課題！

リニアックのエネルギー増強：
第1期完成後直ちに400 MeV
エネルギー回復に着手すべき。

CSTPも毎年この
必要性を強調

■ ユニークな加速器プロジェクト

- 世界最大強度の大型陽子加速器 → 多種類の二次・三次粒子 → 多目的施設。
- 広範囲の科学 (物質・生命科学、原子核素粒子科学、原子力工学) → 学際複合施設。
- 1千に近い小さな研究グループに利用可能な大きな施設。

■ 目指す科学

- 3 GeVからの中性子ビームやミュオンビームを用いた物質や生命の研究。
- 50 GeV からのニュートリノビームやK中間子ビームを用いた素粒子や原子核の研究。
- 将来的には、放射性廃棄物の中に含まれる長寿命原子核の短寿命化。

■ 建設の進展

- 2008年度内の供用開始に向けて全力で邁進。

■ 今後の課題

- 完成後の運営体制の確立。特に、いかなる業務をJ-PARCセンターが行うかの明確化、組織の確立、人員のアサイン、等々。
- 供用指針(供用の対象者、料金、等々)の確認、課題審査方法の確立。有料の場合の料金体系。共用促進法の適用。
- 運転経費の創出。
- リニアックのエネルギー増強。
- 2期計画の実現の方策(優先度、等)。
- 国内外に開かれた国際的施設にするための準備、利用者の声の反映、等々。