

今後の計画

永宮 正治

J-PARC センター

日本原子力研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構

今後5年間の計画

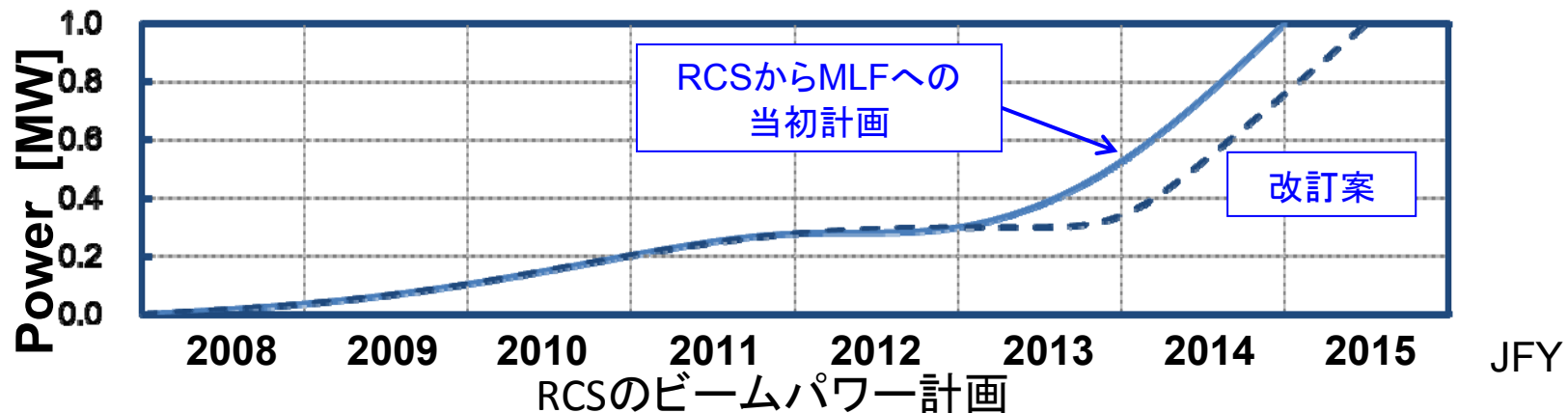
- 加速器 + ニュートリノ
 - RCSの1 MW化
 - MRの750kW化 (MR電源等の改良)
 - 中性子
 - 新設ビームライン (JAEA 3, KEK 1) 、計算環境、試料環境
 - ミュオン
 - 新ビームラインS、新ビームラインH (g-2, 等)
 - ハドロン
 - 高運動量ビームライン + COMET ($\mu \rightarrow e$)
 - ADS
 - 建屋関係
 - 総合研究基盤棟、放射化物使用棟、宿舎
- Red = JAEA
Blue = KEK
- 明確な優先付けが必要

維持費： KEKは現在 6 サイクル、JAEAは 8 サイクル。目標は 9 サイクル。

加速器＋ニュートリノ

リニアック、RCSのパワー増強計画

年度	～2011	2012	2013	2014	2015	2016
		400MeV 入射準備	400MeV 入射開始	大強度 運転	1MW出力への 目途	1MW安定運転 への目途、 1MW以上の可 能性検討
供用ビームパワー (最大パワー)			～300kW	300kW以上	～1MW (1MW)	～1MW (>1MW)
リニアック400MeV化 (リニアック加速空洞等、RCS入射対応)	製作、試験		据付、調整	利用運転、1MW出力化		
リニアック大電流化 (RFQ、イオン源)	R&D、製作、試験					
ビーム安定供給 (ビーム診断、荷電変換フォイル等)	181MeV			400MeV、1MW		
1MW以上の可能性検討 (大電流・高繰り返し・高エネルギー化等)						



リニアックとRCS増強整備は最先端予算でほぼ充当、2013年度に要据付・調整予算

ニュートリノの今後

- **継続的な物理成果の創出**
 - T2K実験
- 今後5年の計画
 - **設計強度の実現** → 強度フロンティア実験の本格的展開
- 長期計画(~10年)
 - ニュートリノにおけるCP非保存探索 → 宇宙の物質起源に迫る。

MRのビームパワー増強：仕様値750 kWへ

状況の分析：

- ・ 実現可能なビームパワーはビームコリメータでのロス(3-50BT, MR)が制限する。
- ・ 最近のシミュレーションの結果によると、空間電荷効果によるビームロスにより現行の機器では450 kW程度が限界か。

大強度化のシナリオ：

(1) 取り出しビームエネルギーを上げる。

もともとのシナリオ：フライホイールを導入して取り出しエネルギーを50GeVに上げる

(2) 繰り返しサイクルを上げる

→ 電磁石の飽和の影響や電力の状況を考慮して再検討した結果、(2)を選択する。

中間評価報告書(平成19年6月)の
指摘事項： **フライホイールの導入**

設定	30GeVと50 GeVの比率 FX(FTなし) SX(FT=3秒)	
	消費電力	ビームパワー
50GeV	3.7 3.3	0.9 1.3
30GeV	1	1

ビームパワーは「出射エネルギー」と「1/サイクルの周期」の積に比例する。
今後の進め方としては、**30 GeV/高繰り返し化**の方向が妥当と思われる。

③入出射システムの高繰り返し化
電源の一部とセプタムの一部で高
繰り返し対応の改修や交換が必要。

高繰り返し化の課題



②加速空洞の高勾配化
高繰り返しで加速勾配が上
がるため、より高い加速電圧
が必要となる。すでに加速効
率の高い(インピーダンス2
倍)磁性材料の製作に成功
しており、今後は磁性材料を
空洞に組み込んだ試験を予
定している。



速い取り出し部/高周波加速部

第3電源棟

新電源棟

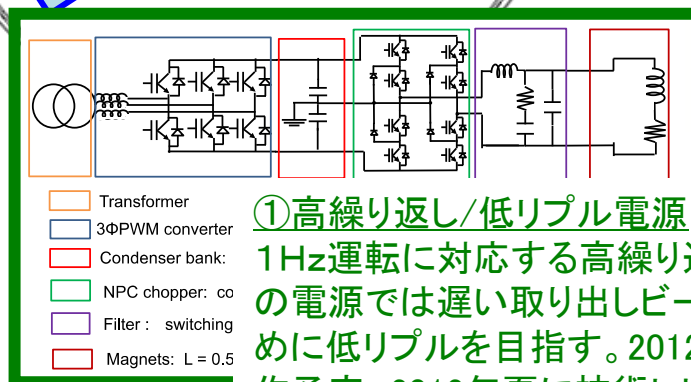
3-50BT部

入射部/コリメータ部

第1電源棟

第2電源棟

遅い取り出し部



①高繰り返し/低リップル電源

1Hz運転に対応する高繰り返し電源のR&Dを実施中。こ
の電源では遅い取り出しビームの時間構造を改善するた
めに低リップルを目指す。2012/2013年度に実機サイズを製
作予定。2012年夏に技術レビューを行う。

④シールドの強度、コリメータユニットの増設
2012年夏以降の容量は450 W→2 kWに。

MRのパワー増強計画（今後5カ年）

速い取り出し: 高繰り返し化により仕様値750 kWの達成を目指す。

遅い取り出し: 残留放射線量の低減策の後、50 kW(世界最高強度)を目指す。その後は、さらにビームスタディを進め、必要に応じて局所遮蔽を施しながら、100 kW達成を目指す。

年度	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
			Linac 増強				
FXのビームパワー [kW] SXのビームパワー:利用(スタディ)[kW]	150 3 (10)	200 10 (50)	300 <50	400 50 (100)			750 100
主電磁石電源:繰り返し 新主電磁石電源の開発、製作	3.04 s	2.56 s	2.4 s				1.3 s
現行高周波加速システム 高加速勾配型システム	7,8号機設置	9号機設置					
リングコリメータ:ビームロス対策	シールド追加	コリメータ追加 (2kW)	コリメータ追加(3.5kW)				
入射システム FXシステム	入射キッカー交換						
遅い取り出しコリメータ/遮蔽	コリメータ設置						
遅い取り出し機器のチタン化		セプタム磁石ダクトのチタン化	静電セプタムチタン化				

The diagram shows the following phases for various components:

- 主電磁石電源:** R&D from 2011 to 2014, Production/Installation/Testing from 2014 to 2017.
- 現行高周波加速システム:** R&D from 2011 to 2014, Production/Installation/Testing from 2014 to 2017.
- 入射システム:** Production/Installation/Testing for kicker source modification and septum II from 2012 to 2015. Production/Installation/Testing for low and high field septum sources from 2012 to 2015.
- 遅い取り出しコリメータ/遮蔽:** Production/Installation/Testing for local shielding from 2014 to 2017.

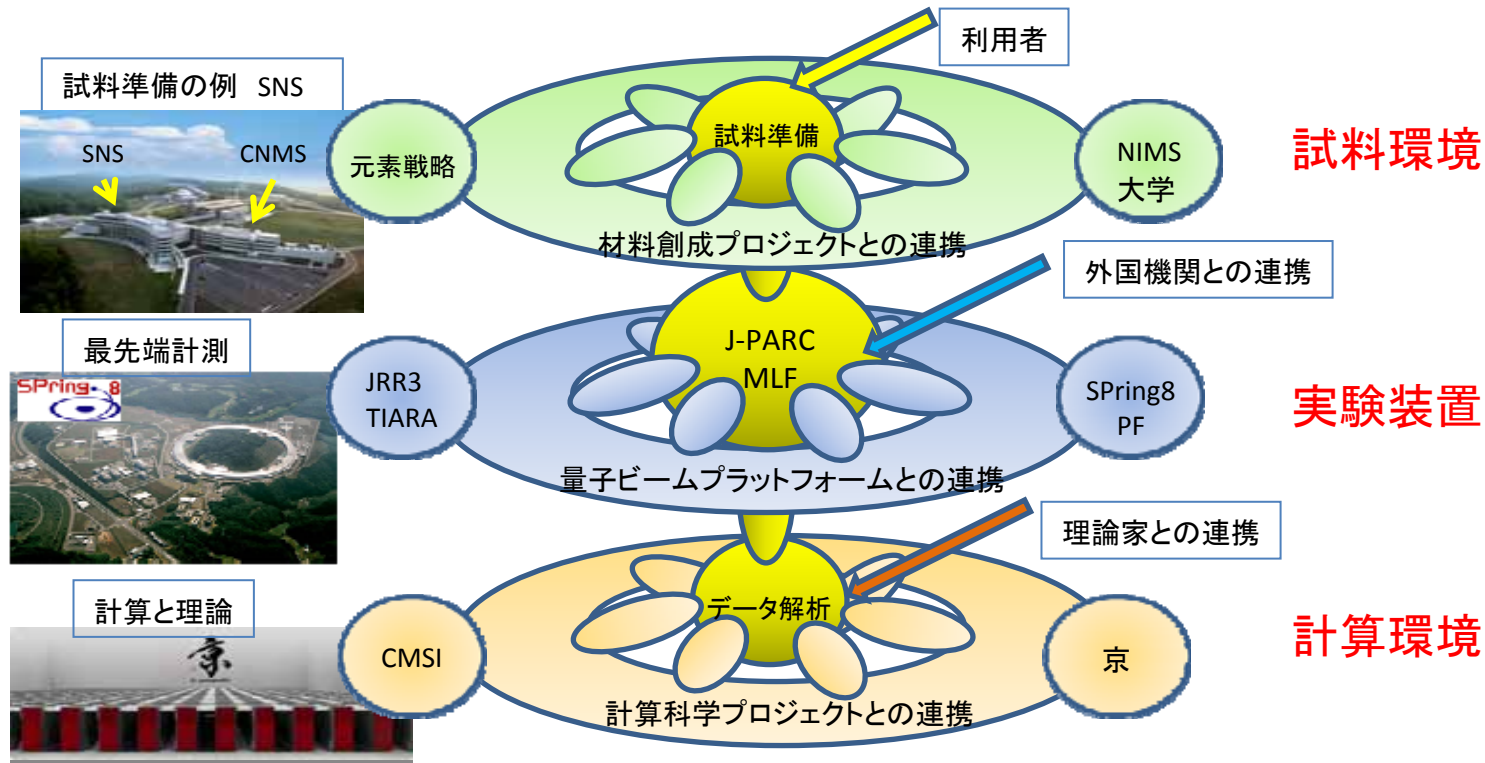
新たに開発・製作する「新主電磁石電源」には、別途、予算措置が必要。概算で60億。

中性子

中性子の今後の計画

入口から出口までの整備の重要性
物質・生命科学においては中性子実験装置/施設だけでは秀でた成果は出ない
試料環境、計算環境、研究者・利用者居室環境の重要性
外部大型プロジェクトとの連携の重要性

- 1) 試料環境、試料準備・育成、の重要性 (材料創成プロジェクトとの連携)
- 2) データ解析、理論予測の環境の重要性 (計算科学プロジェクトとの連携)
- 3) 利用者の研究・居住空間整備の重要性 (総合研究基盤棟の整備)
- 4) より高度な研究展開のための実験装置の整備 (コミュニティーの要望の集約、海外との連携)



建設が期待される中性子実験装置

偏極度解析分光器

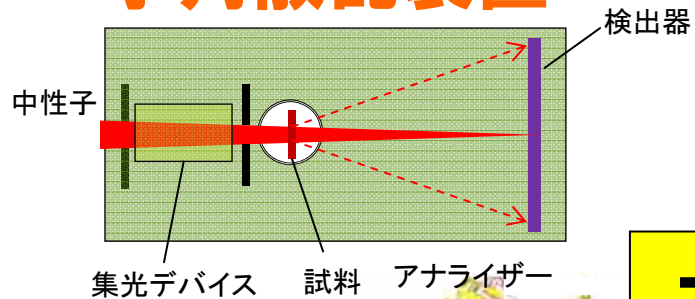


スピン
詳細な構造と
格子振動

新たなサイエンスの創造
東北大とKEKに加え
韓国も参入の用意

13億

小角散乱装置



10億

ナノ構造

タンパク質集合体から
構造材料まで

学術から産業利用
まで大きな需要

1MW大強度ビーム
を活かす装置

生命科学回折計

大強度で初めて実現する
大型タンパク質の構造解析

巨大結晶

既知タンパク質の
95%をカバー

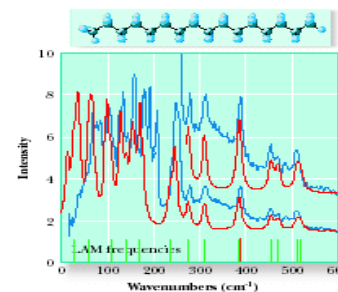
15億

分子分光装置



8億

新たな知見の創出



分子の振動

絶対値を測定できる
理論との直接比較

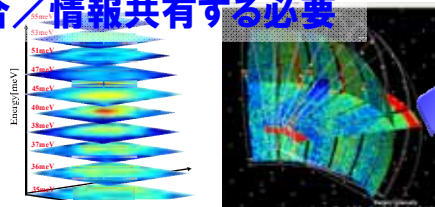
計算環境・試料環境の整備

計算環境整備 整備3億、維持5千万円/年

MLFのポテンシャルを生かし、大容量データの処理の**高効率・先端性**を確保することで、MLFでの成果レベルを高める。

同時に百人以上がアクセスし、**多彩なニーズ**に合わせて、**高速かつインタラクティブ**に処理を行う環境

ビームラインとダイレクトに結合／情報共有する必要



- DVD数千枚分(最大1PB/年)
- 普通のPC百台分(～250コア)+仮想環境
- 海外含め数百人規模の同時アクセス

試料環境ラボの整備 整備4億、維持4千万円/年

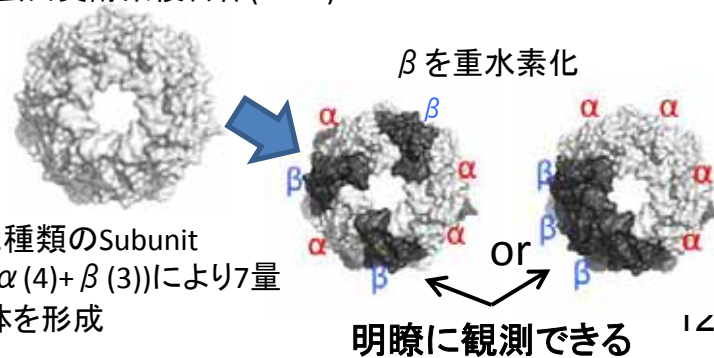
試料環境(温度、圧力、磁場)の変化や、偏極中性子の利用により、物質の本質を観測できる。また、生体分子では、重水素化により、より高精度な観察ができる。



重水素化ラボ

生体分子を重水素化(D置換)することにより、中性子の特徴を用いた高精度コントラスト変調法による標的部位の抽出

蛋白質酵素複合体(PA28)



中性子関連の今後5年間の計画のまとめ

優先度

✓ ビーム強度の増加に対応し、現状の装置性能をフルに活用することによる、多くの先端的成果の創出
 ↓
 試料環境及び計算環境の整備(7億円)

✓ 利用者の増加に対し総合研究基盤棟、ビーム増強に対応して放射化物使用棟の整備が必要

✓ 1MWビーム強度の活用による先端的中性子実験装置の建設
 ↓
 偏極度分光器→生物学回折計→小角散乱装置→分子分光装置の整備
 (総計46億円) ← 5年間では42億円

中性子関連の今後5年間の年度展開

年			2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
年度			H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度
陽子ビーム出力 (kW)			300	800	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
試料環境の整備	必要経費									
計算環境整備	3億円		整備(3)	利用			更新	利用		
試料環境ラボ整備	4億円			(1)	整備(1)	(2)				
中性子実験装置	設置者									
超高压中性子回折装置	共用装置化	維持費	準備	利用						
偏極度解析分光器	KEK	建設13億		(3)	建設(5)	(5)	コミッション			
生命科学回折計	共用法装置	建設15億		(2)	建設(5)	(8)	コミッション	利用		
小角散乱装置	共用法装置	建設10億			(2)	建設(3)	(5)	コミッション	利用	
分子分光装置	共用法装置	建設8億				(1)	建設(3)	(4)	コミッション	利用
合計				8	13	18	10			

ミュオン

Sラインの整備 (1)

Sライン: 大強度ミュオンのインパクトを最大化

- μ SR物性研究の高度化(「ピークを出す」)

特殊装置専用BLによる高度利用の実現

μ SR実験の高度化: 極低温、高時間分解能、パルス状極限
環境(超高磁場、レーザー励起、etc.)

負ミュオン μ SR(=超高感度「Z-1」核NMR)の実用化(D-line)

- μ SR「利用研究の拡大」

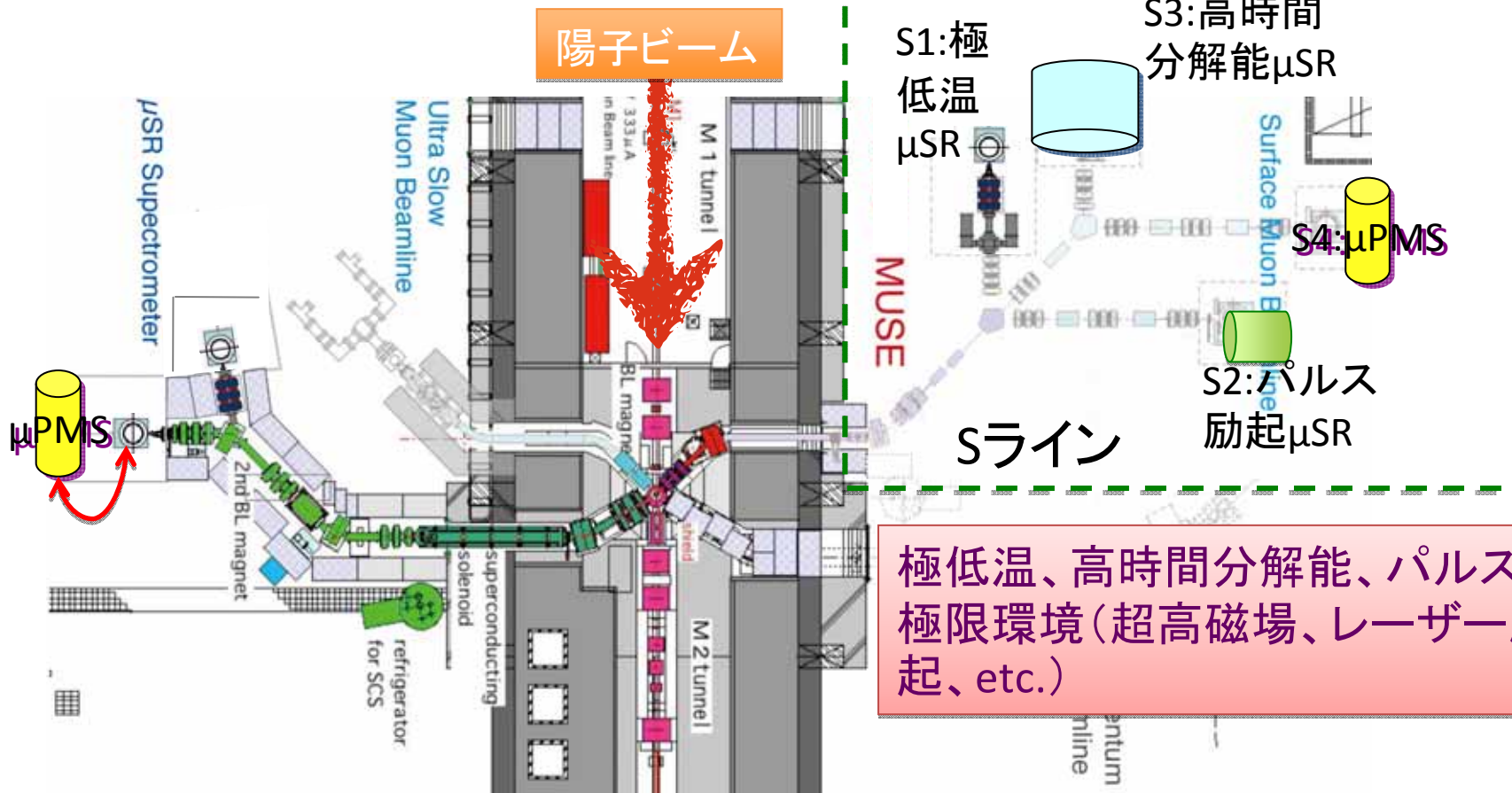
高速汎用装置「 μ PMS」による μ SR適用範囲の拡大(S-line)

1課題/日(～年間200課題) × μ PMSの台数

Sラインの整備 (2)

Sライン: 特殊装置専用BLによる
高度利用の実現+利用拡大

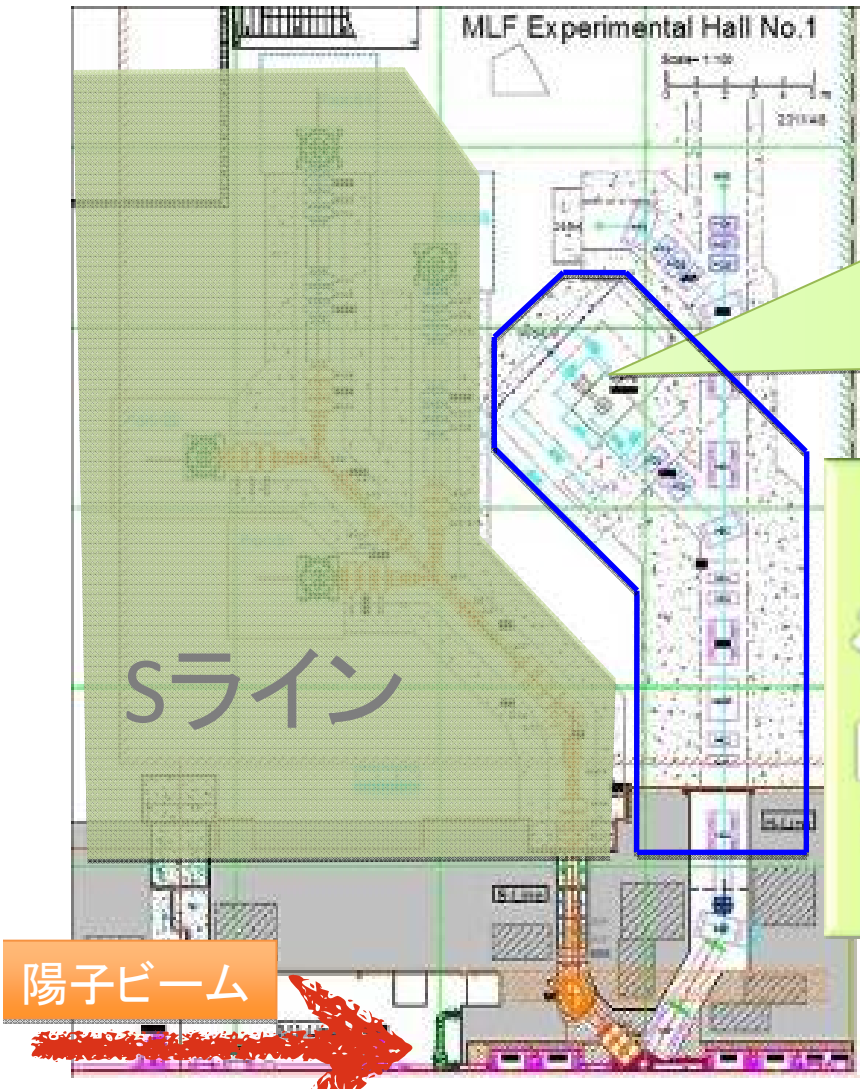
Sライン整備 14億円



極低温、高時間分解能、パルス状
極限環境(超高磁場、レーザー励
起、etc.)

Hラインの整備

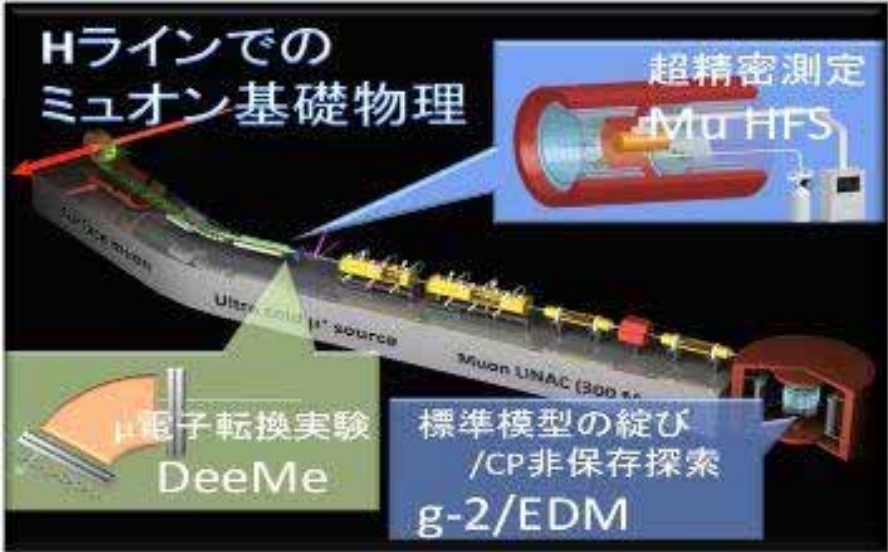
Hライン基幹部整備 11億円



Hラインでの基礎物理の三実験を展開するために、基幹部を整備する。

- * MuHFS ミュオニウム超微細分裂の測定
微細構造定数の精密決定と新物理探索
- * ミュオン電子転換実験 DeeMe
標準模型を超える新物理探索
- * ミュオンg-2/EDM測定実験
新物理の兆候の確定(g-2) と、レプトンセクターCP非保存過程の探索(EDM)

Hライン



外部資金(審査中)と後年度(~30億円)で実現する

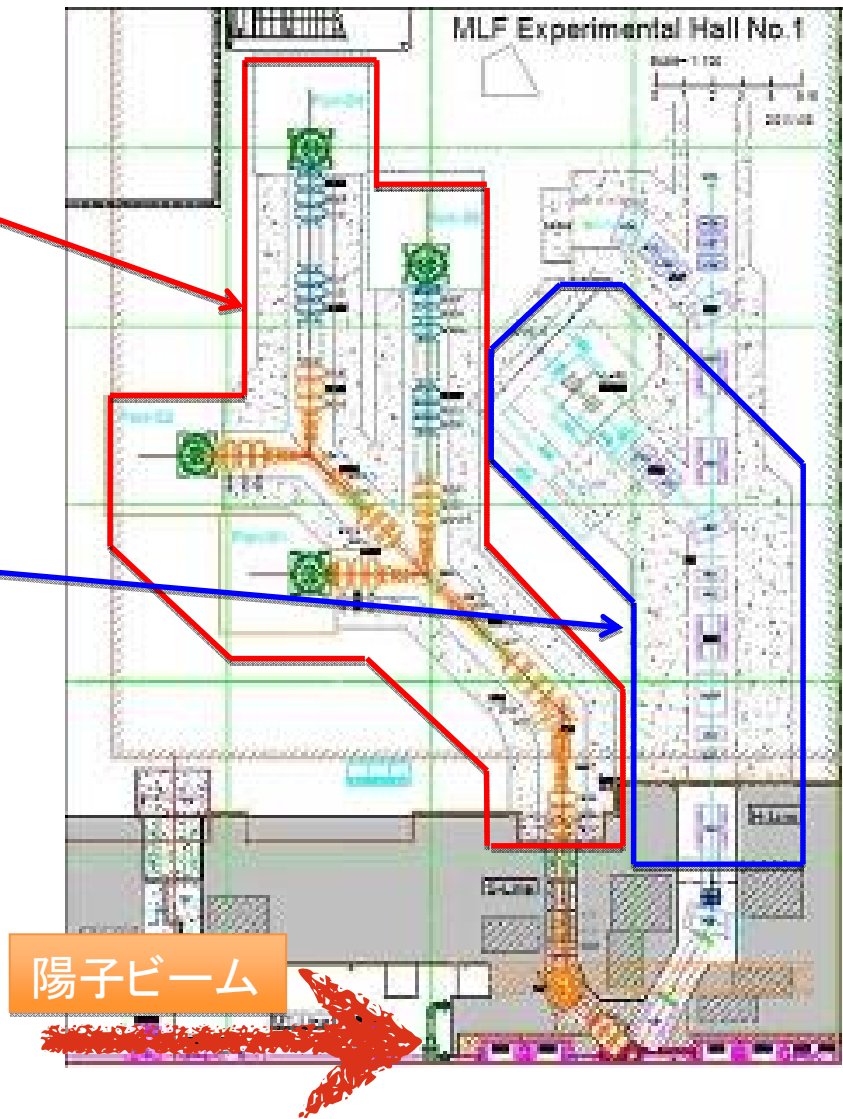
ミュオンの将来計画

ミュオン整備計画(～5年以内)

Sライン基幹設備整備
14億円

Hライン基幹部整備
11億円

総額 25 億円



ハドロン

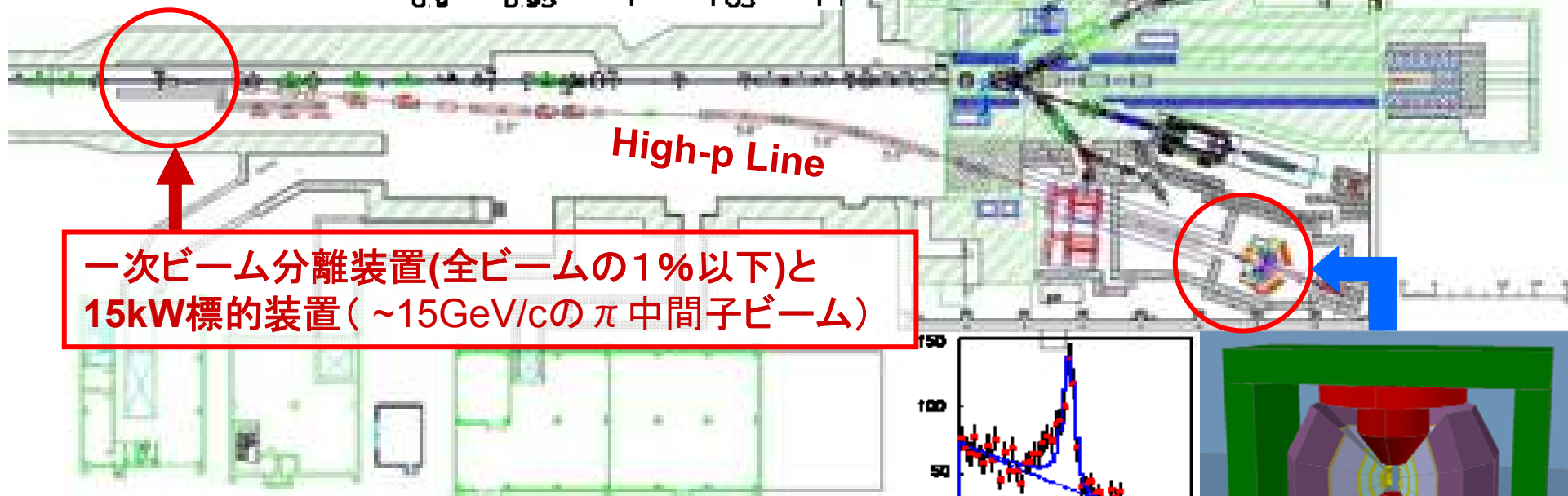
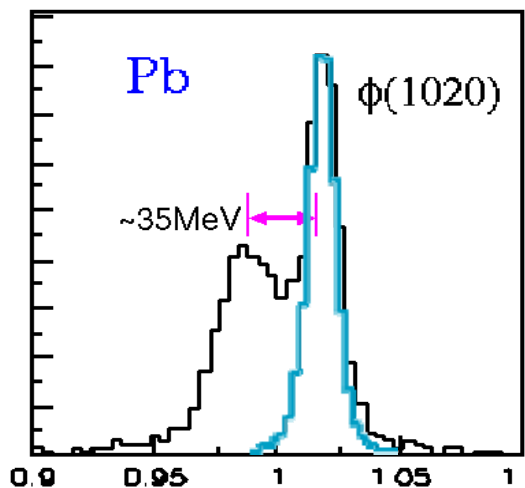
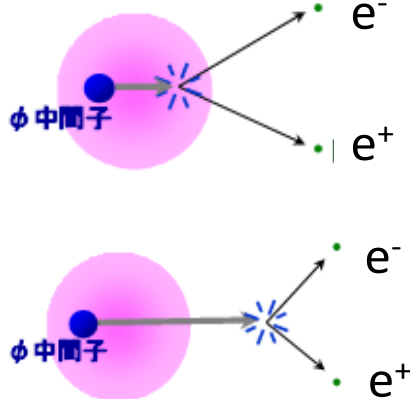
ハドロンの今後の計画

(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！
 - KOTO 実験: 2012年本格的実験開始
 - $K^- \rightarrow K^+$ Double Strangeness 移行反応
- **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 $\sim 15\text{GeV}/c$ の高運動量 π 中間子ビームの利用。
 - ϕ 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 $1\sim 2\text{GeV}/c$ 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 $8\text{GeV}6\mu\text{A}$ ($\sim 50\text{kW}$)。

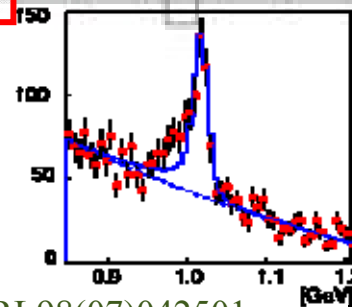
高運動量ビームライン建設計画

質量獲得機構の解明
クォーク閉じ込め機構の解明

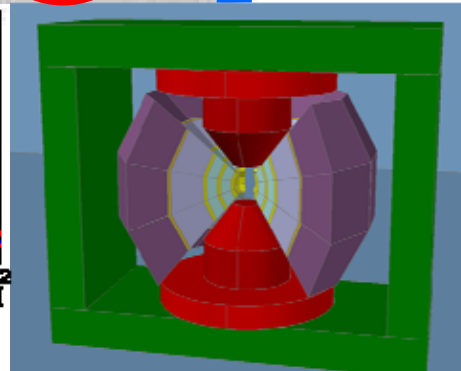


一次ビーム分離装置(全ビームの1%以下)と
15kW標的装置(~ 15 GeV/cの π 中間子ビーム)

GSI次期計画(CBM/FAIR SIS100)などと競争

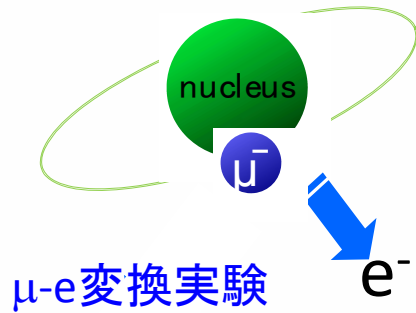


PRL98(07)042501

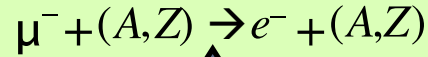


COMET ビームラインの建設計画

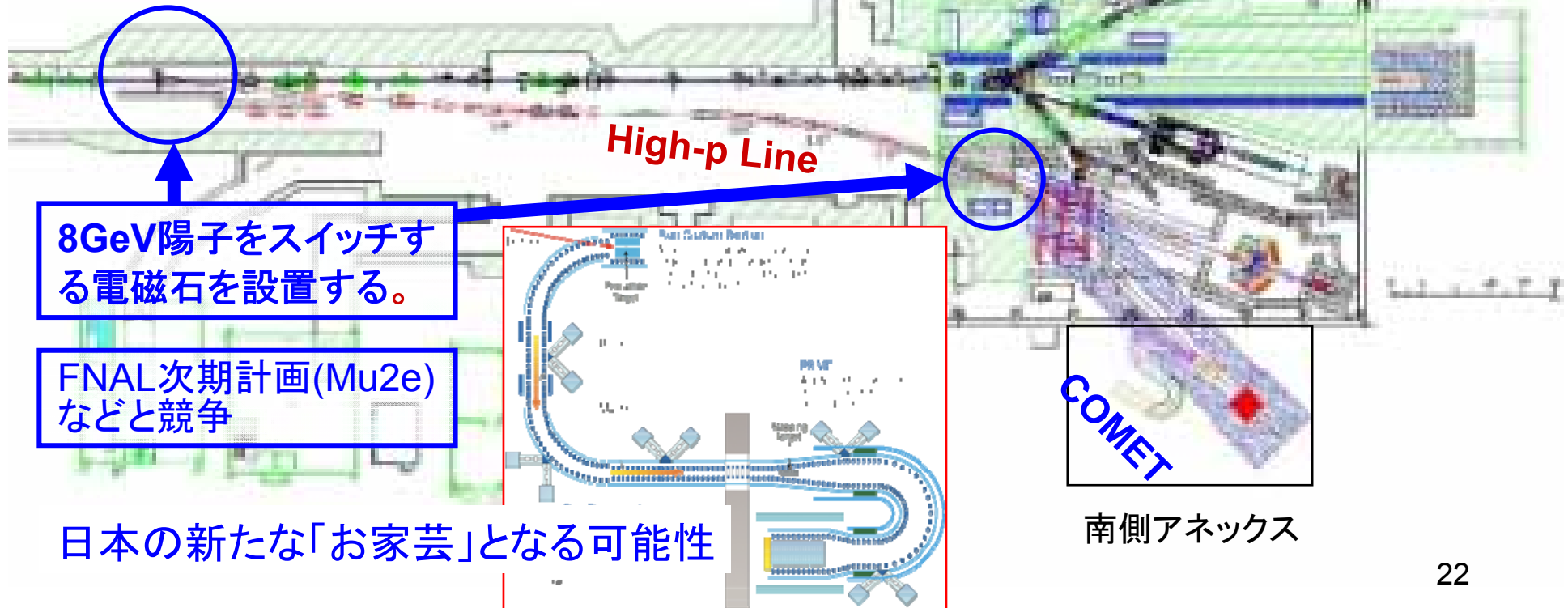
8GeV6 μ A(～50kW)のビーム。最初は数kW。



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



レプトンフレーバーが
変化する



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

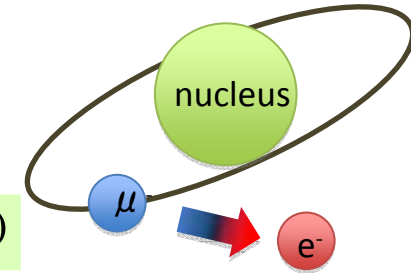
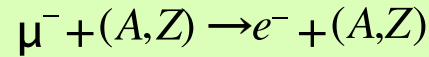
日本の新たな「お家芸」となる可能性

南側アネックス

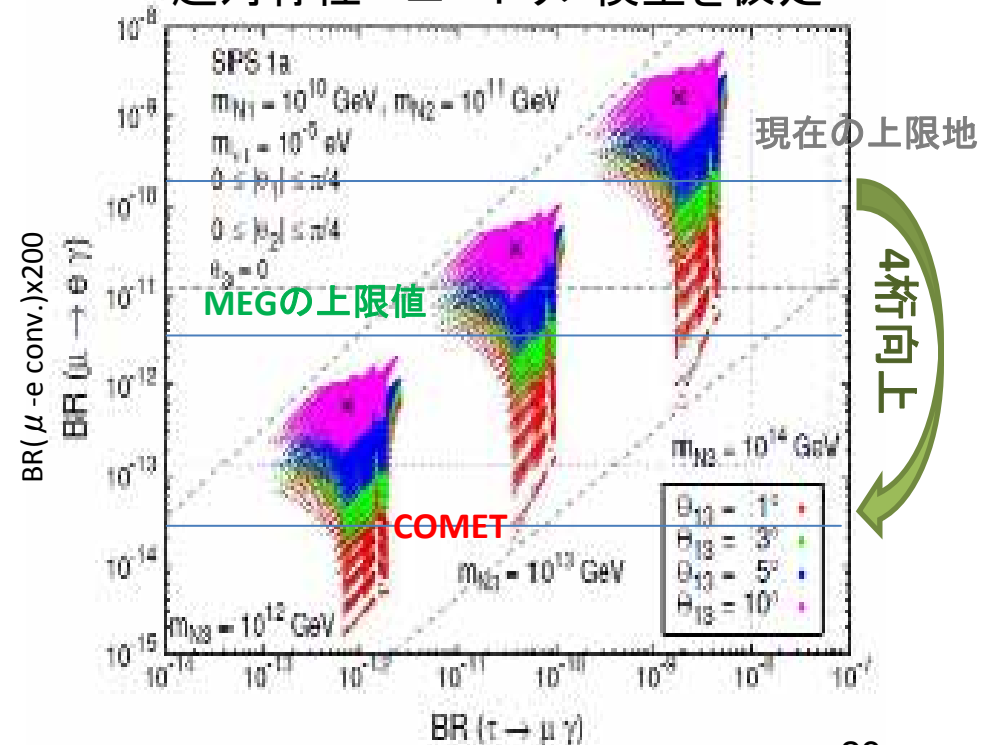
COMET μ -e 転換探索実験

- 標準理論は実験的に検出不可能な確率を予言
- 新しい物理は大きな確率を予想
- μ -e 転換の発見=新物理の発見
 - 確率 10^{-16} まで感度 (現在の上限値を4桁向上)
- 世界のミュオン素粒子物理
 - 日本グループの主導 スイス MEG実験 $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索
 - J-PARCの特徴を活かしCOMETでさらに世界をリード
 - LHC実験と相補的、
 - 米国FNALの mu2e 実験計画 (2018-19 開始) との国際競争
- ビームの要求
 - 56kW(8GeV、3バンチ) x 4年 [通常運転の~560kWに相当]
 - 目標感度到達には大強度実現が不可欠
- 段階的実現を目指す。
 - フェーズ1: 上流部建設→ビーム理解と2桁感度向上
 - フェーズ2: 最終形での探索 →4桁感度向上

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



超対称性ニュートリノ模型を仮定



核变换

計画の概要：核変換実験施設

MA装荷体系の炉物理特性及び未臨界炉心の炉物理的性質を探る

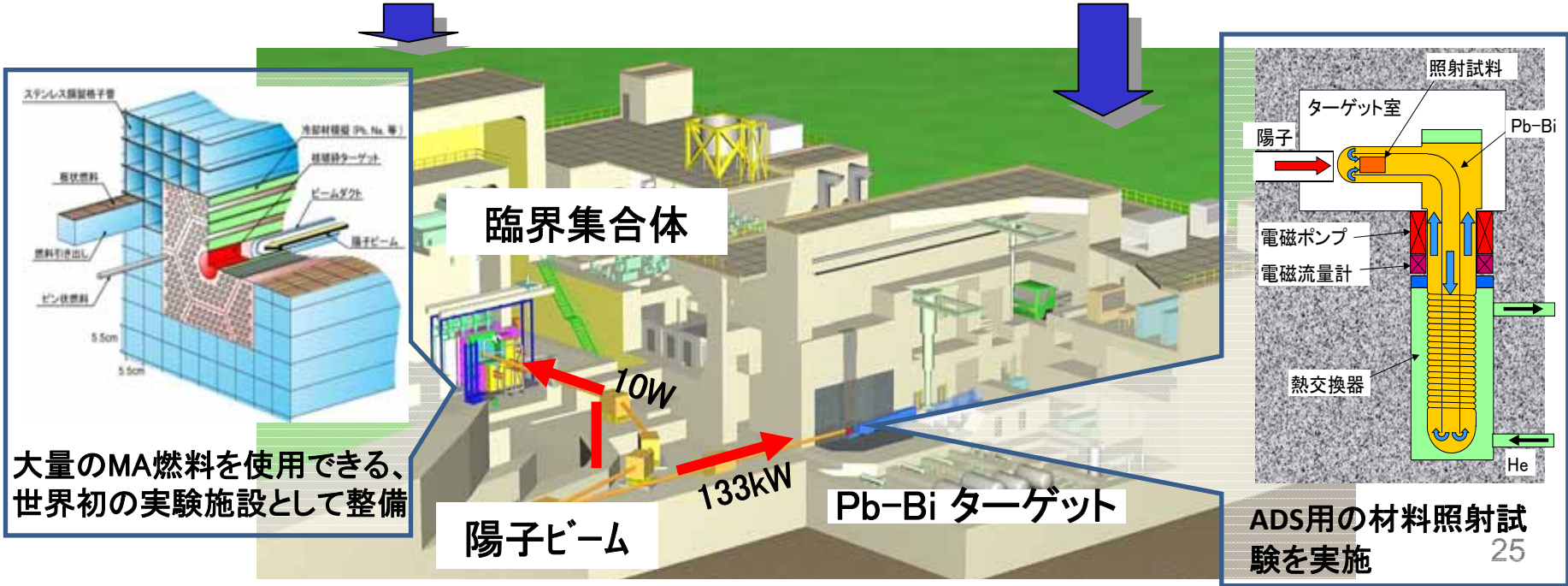
核変換物理実験施設
TEF-P

施設区分：原子炉(臨界実験施設)
陽子ビーム：400MeV(600MeV)、10W
熱出力：500W以下

ADSビーム窓用材料の研究開発と核破砕ターゲットの技術開発

ADSターゲット試験施設
TEF-T

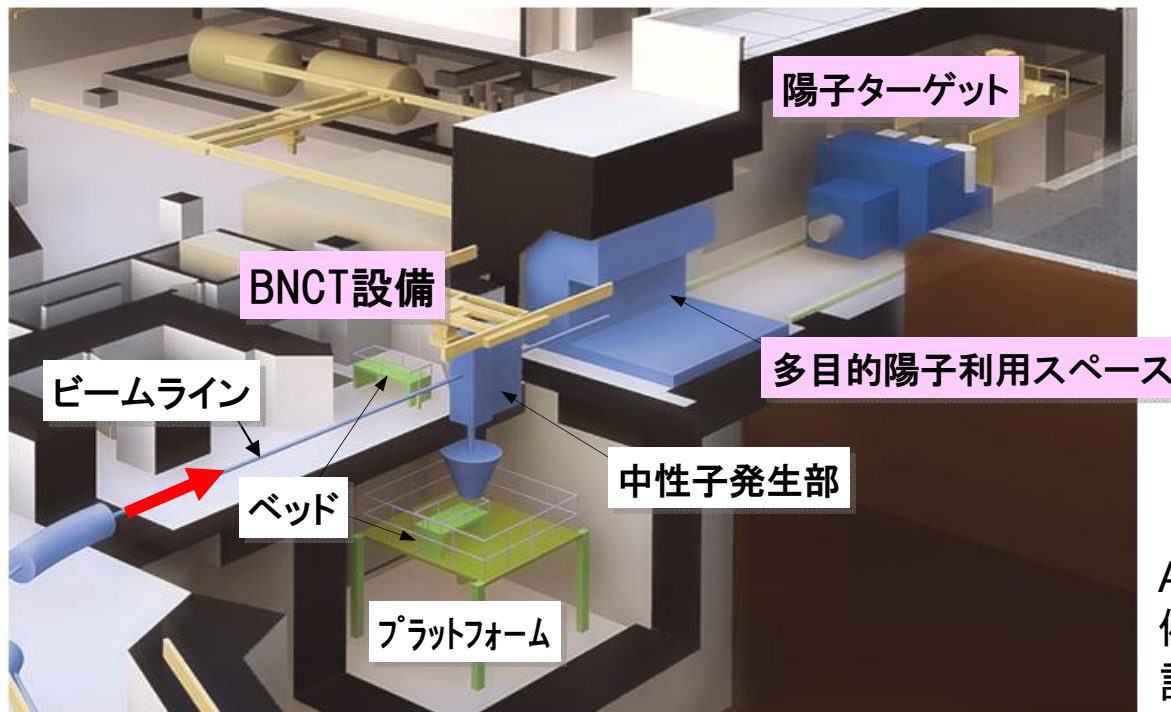
施設区分：放射線発生装置
陽子ビーム：400MeV、133kW
ターゲット材料：鉛・ビスマス



ADSターゲット試験施設 (TEF-T) の多目的利用

- ◆ 現状では、J-PARCには陽子照射できる施設が無い。
- ◆ 材料照射試験の他に、放射性同位元素 (RI) の製造、物理学実験など、J-PARCの陽子ビームを多様な目的に利用するニーズは高い。

- ◎ 材料照射 → ADS窓材料の照射試験
- ◎ RI製造 → 我が国におけるRIの安定供給に貢献
- ◎ 物理学実験 → 超冷中性子、短寿命核ビームの発生など、最先端物理学に貢献



□ 陽子・中性子利用の新たな可能性が広がり、産業の活性化や新たな知の創造につながる。

ADSターゲット試験施設の多目的利用例 (BNCT研究施設を付設した場合の検討例)

核変換実験施設の段階的整備案

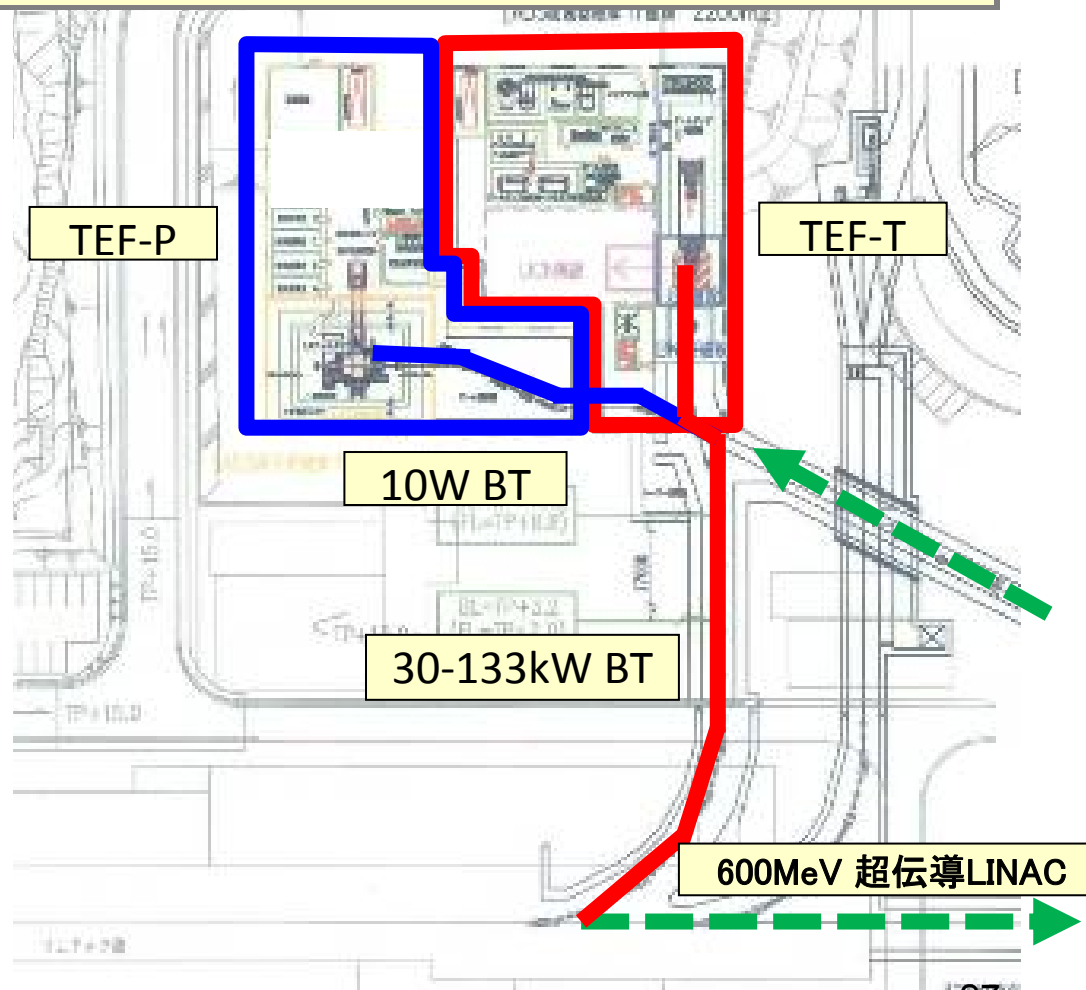
- 前期: ビーム輸送系(400MeV, 30~133kWビーム)、ADSターゲット試験施設(TEF-T)
- 後期: レーザー荷電変換装置、核変換物理実験施設(TEF-P)

■ ADSターゲット試験施設(TEF-T)を先行して建設

- ターゲットは可変(固体・液体鉛ビスマス)。ADSビーム窓材料照射試験を実施。
- 多目的陽子・中性子利用施設として、RI製造、物理学実験等も可能。

■ TEF-T建設後に、核変換物理実験施設(TEF-P)を建設

- MA燃料装荷可能な施設として、核変換システムの核特性の研究を実施。
- レーザー荷電変換でTEF-Pで使う10Wビームを取り出し。



核変換実験施設整備の年次展開案

計画開始からの年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ビームライン & ADSターゲット試験施設 (TEF-T)	基本設計														
	実施設計・詳細設計														
	建家建設・装置製作														
	実験														
	材料照射試験														
核変換物理実験施設(TEF-P)	基本設計														
	実施設計・詳細設計														
	安全審査														
	建家建設・装置製作														
	実験														

施設整備

早急に整備が必要なユーザのためのインフラ

震災により、サイト(JAEA原科研)の既存建物が破損し、J-PARC用への転用が不可能な状況。利用者の安全確保と健全な利用者環境確保のため、施設近傍に以下を整備することが急務。

実験準備室、工作室、会議室、待機場所、データ解析室、仮眠室、試料等保管室、

総合研究基盤施設



宿舎整備はKEKの内部予算にて充当

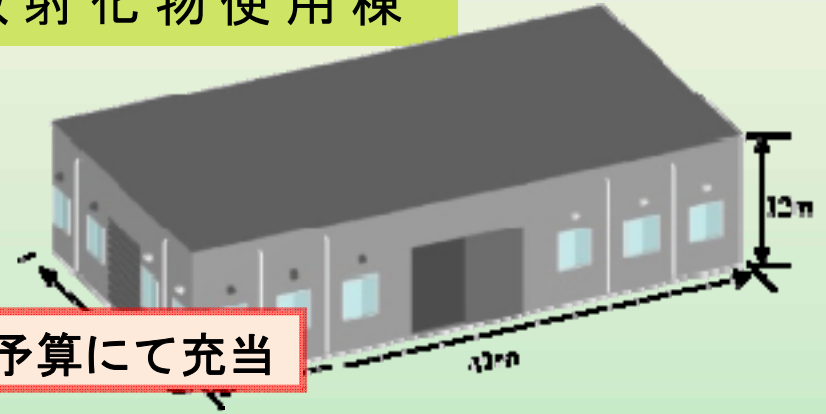
要求額 21億円

設計及び建設スケジュール

年度	平成25年度												平成26年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
設計	[Blue bar]																							
建設													[Red bar]											
	650百万円												1,450百万円											

放射化加速空洞、放射化電磁石、放射化したモニタや真空ポンプ、交換済ターゲット、

放射化物使用棟



要求額 6億円

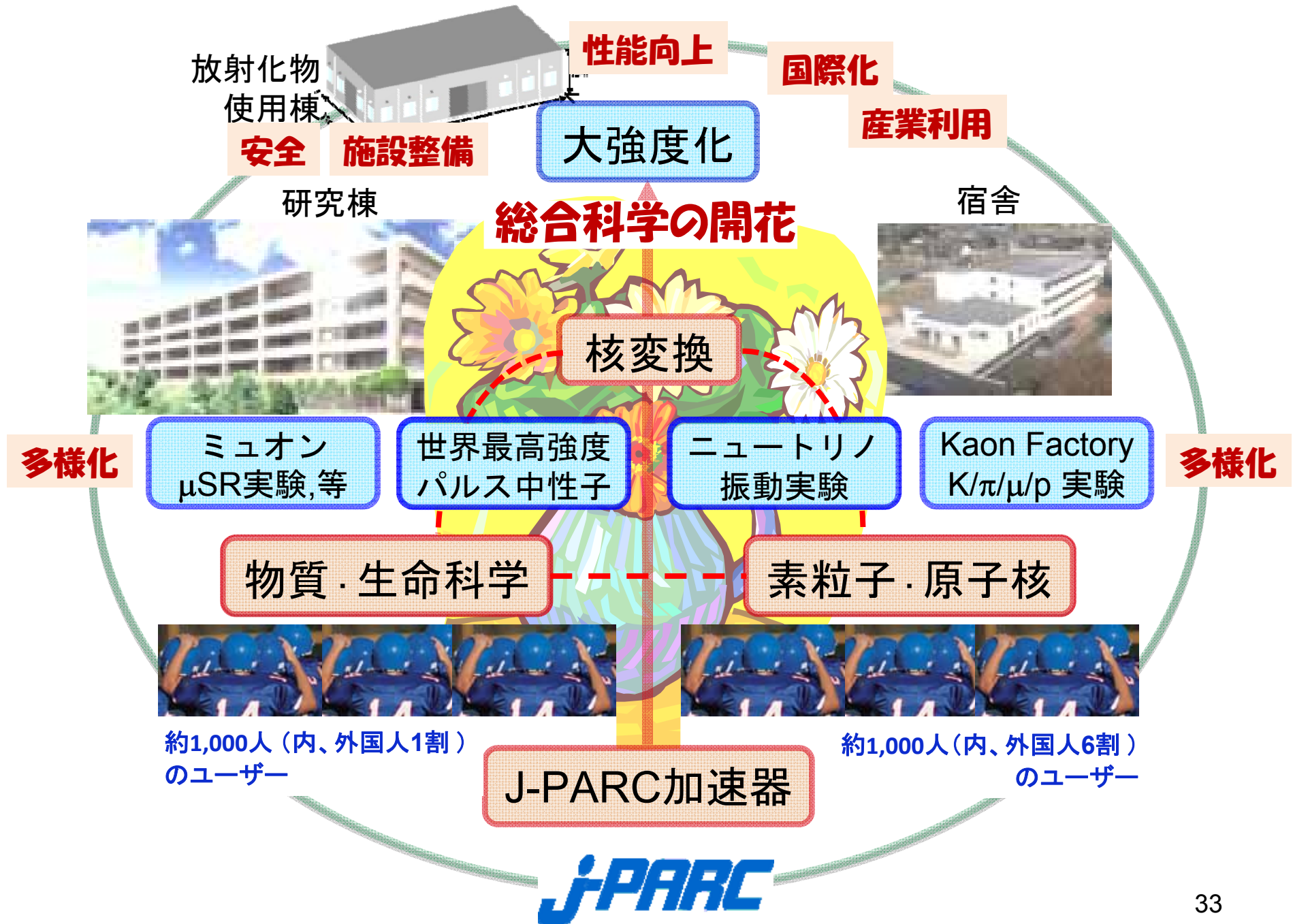
設計及び建設スケジュール

年度	平成26年度												平成27年度												平成28年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
設計	[Blue bar]																																			
許可申請													[Green bar]																							
建設													[Red bar]												[Red bar]											
	200百万円												200百万円												200百万円											

まとめ

計画開始からの年表

項目	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	合計 (億円)	
ニュートリノ+加速器 Main Ring 電源改造 (KEK)		■				60.0	
中性子 (KEK + JAEA)	KEK JAEA	■				13.0 36.0	
ミュオン (KEK)	■					25.0	S,H 同時
ハドロン (KEK)	■					40.0	素核同時
核変換 (JAEA)	■					88.6	TEF-T先行
施設整備 (JAEA)	■		研究棟			27.0	
		■		放射化物			
計	KEK JAEA					138.0 151.6	

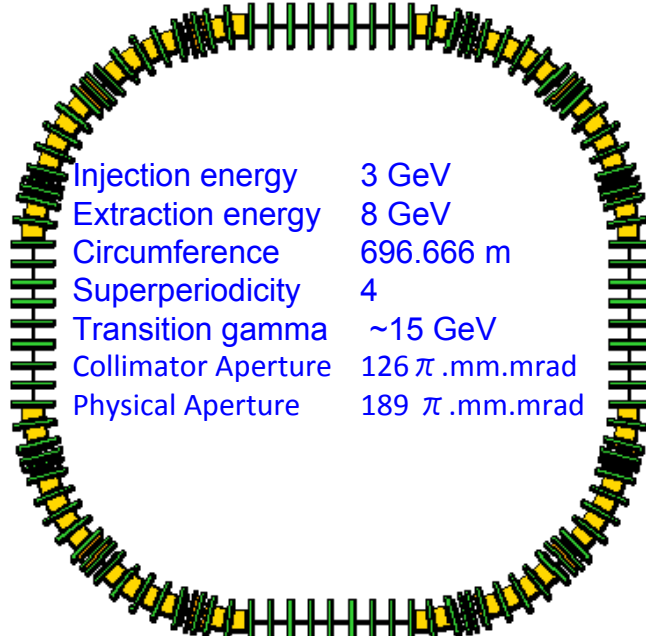


参考資料

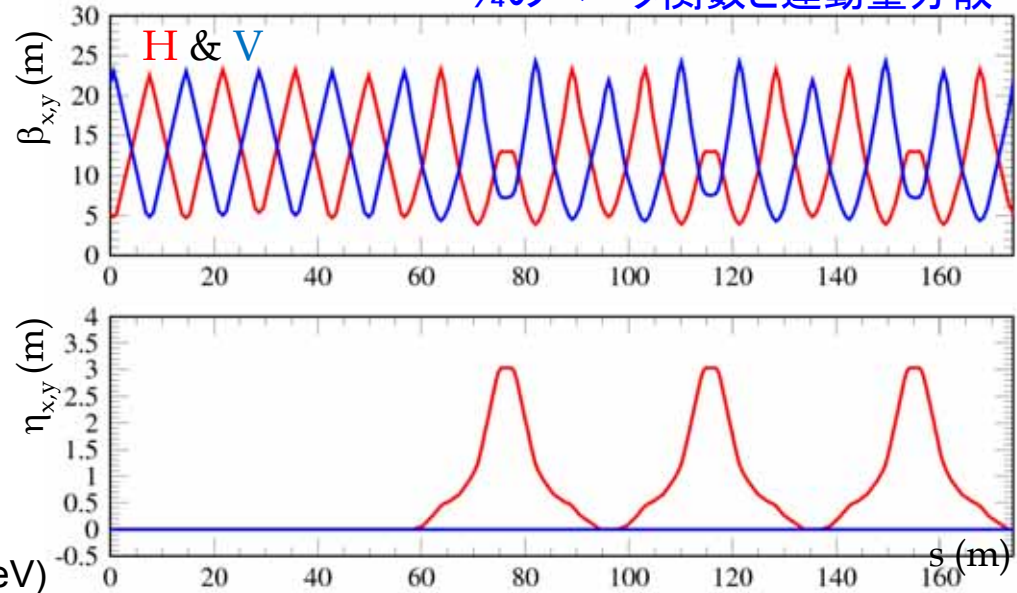
- 1) 加速器の4年後以降の計画案
- 2) 国際化における課題のまとめ

MR-FXにおける強度倍増: 8GeVブースターリング (2018年以降の計画の一案)

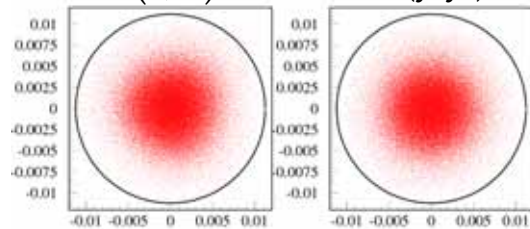
2018年以降に本格的に進める次期計画の議論を始めている。複数のプランを検討しているが、ここではその一例を示す。MRのビーム強度は入射時間でのビーム損失で決まる。ビーム損失を軽減するには、エミッタンスの小さいビームを入射すれば良い。そこで、RCSとMRの間にエミッタンスダンピングリング(ブースター)を入れる。



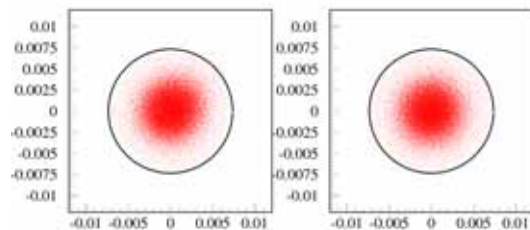
1/4のベータ関数と運動量分散



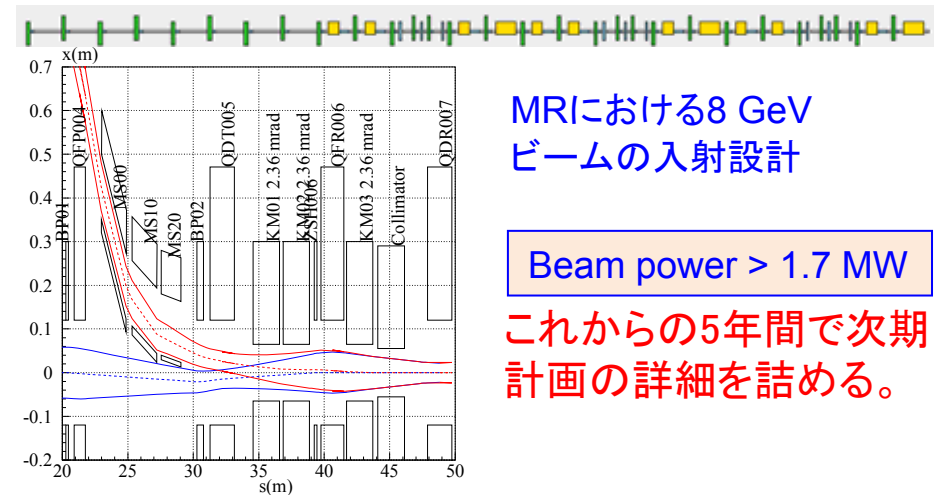
ビーム位相空間分布@ 入射(3GeV) & 取り出し(8GeV)
(x, x') (y, y')



@ 3GeV
 $\epsilon > 125.5\pi$
 $\sim 0.04\%$



@ 8GeV
 $\epsilon > 54\pi$
 $\sim 0.06\%$



MRにおける8 GeV
ビームの入射設計

Beam power > 1.7 MW

これからの5年間で次期
計画の詳細を詰める。

国際研究拠点化について —今後5年間の目標—

国際的なアカデミックな雰囲気醸成

- J-PARC英語セミナーやコロキウムの定期開催
- 若手外国人研究者(ポスドク)、サバティカル制度の活用による中堅研究者の積極的受け入れ
- 国際会議／ワークショップ／サマースクールの開催
- 国際広報の充実

研究環境の整備

- 研究者交流が可能な総合研究基盤棟の建設
- 海外研究予算使用のためのアカウント整備(韓国との協定に基づく実施例有)
- 研究施設／部門での2元語化の徹底(装置説明／案内表示)

住宅環境や交通環境の整備

- JAEA、KEK、東海村など地元自治体と連携／協力強化で実現