

PFにおけるストレージリング型光源の検討

— 将来計画検討タスクフォース —

要請by小間所長:

極紫外軟X線高輝度光源計画が東京大学において実現することが困難となった場合にPFとして何ができるかについて検討してほしい

Boundary condition:

- ① 予算の上限は300億円
- ② 平成17年度予算をにらんで10～11月頃から文科省と折衝したい
- ③ 補正予算に対応できる案(50億円程度)の案をみせてほしい
(by 文科省 in June)

タスクフォース:

メンバー: 飯田、伊藤、岩住、伊澤、河田、春日、小林(正)、小林(幸)、
鈴木、野村、間瀬、前澤、松下、柳下、山本、若槻

これまで10回開催

他のPFスタッフはオブザーバー参加可、ホームページによる議事録、配布資料の公開(PF内)

検討の状況

	新リング	2.5GeV ring	PF-AR	ERL
Action				
建設 or 改造コスト				
運転稼働				

- ・総ビームライン数
- ・挿入光源ビームライン数 : X線、VSX
- ・Bending Magnet ビームライン数
- ・予想されるユーザー数
- ・建設に関するマンパワー
- ・運転、共同利用
- ・特記事項

現状

新提案

現状

- 2.5GeVリング 運転経費・実験費 18.4 億
 - PF-AR 6.5GeV 運転経費・実験費 14.9 億
 - スタッフ数 光源 S:18、T:10 ビームライン S:35、T:9
 - ステーション数 total 59 (VSX:21、X:38)
(タンデムのステーションはすべて1として)
 - ID beamline 2.5GeVリング:7 (VSX:3.5、X:3.5)
PF-AR:4 (SX:0.5、X:3.5)
 - 課題数(ユーザー) total 650-700 (2500~2700)
VUV 15~20%、X 85~80%
- スタッフ数に比べビームライン数多すぎる
一部にactiveでないビームライン
- 3リングの運転という状態を実現すべきでない
1リング or 2リング
-
- ビームラインの整理
 - 投資の重点化

PFの果たすべき役割

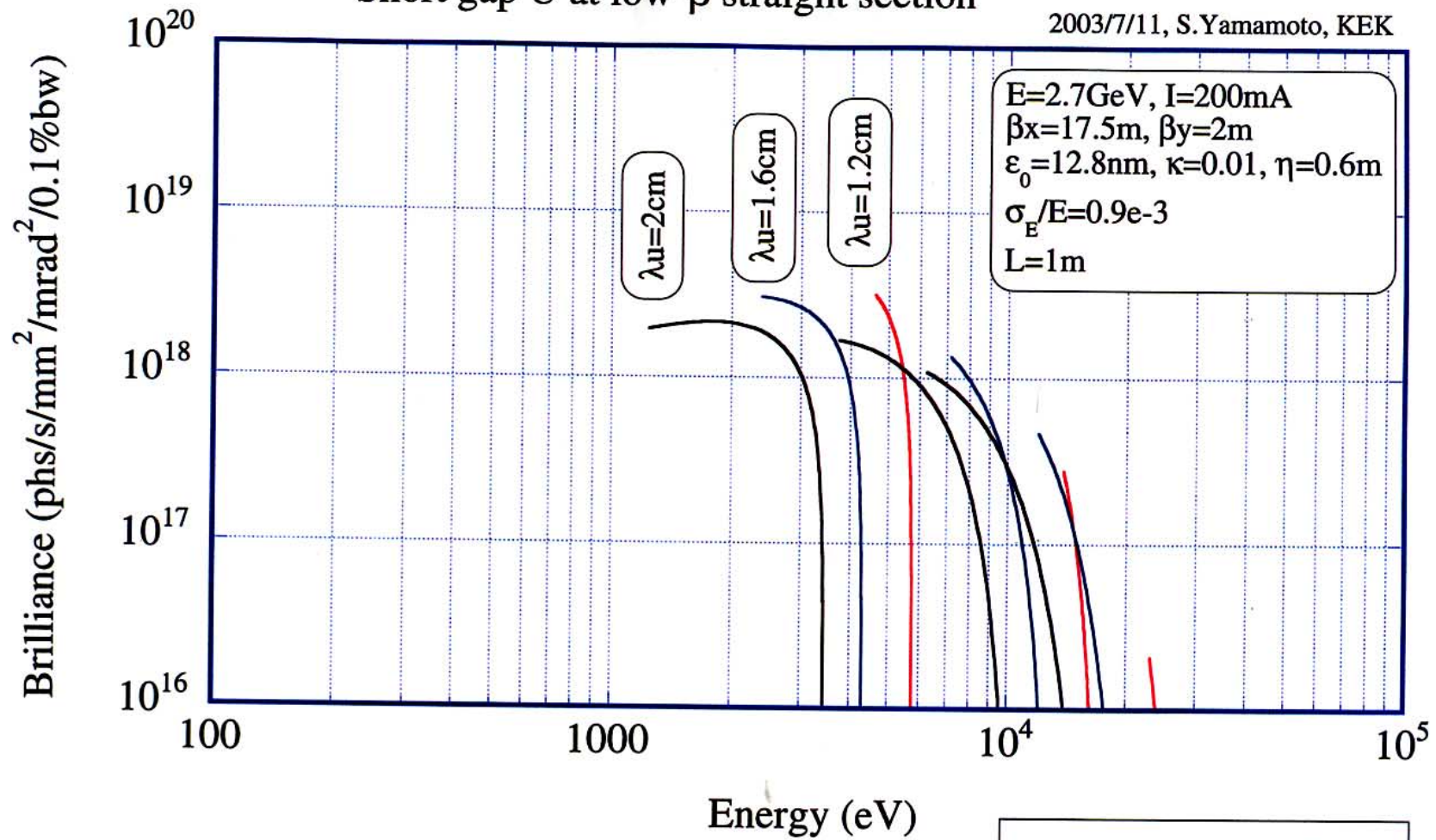
- ハードウェアとして先進的、先端的なものをもつ施設
(新しい可能性の開拓)
- 物質・生命科学に有用で使い易いツールとしての機能

議論された案

- a) 1. 8GeV リングの建設
 〔 PF-AR shutdown
 2. 5GeV リングの 3GeV化 〕
- b) 3. 3GeV リング(3. 0GeVクラスという意味)建設
- c) 2. 5-3. 0GeV リングの建設
 〔 2. 5GeV リングshutdown
 PF-AR single bunch専用リングとしての整備 〕
- d) 2. 5GeV 新リング
 コストダウン(300億以内を目指す)
- e) 2. 0GeV リングをARTンネル内に
 〔 PF-AR(6. 5GeV) shutdown
 2. 5GeV リング3GeV化・X線用 〕
- f) 新リング建設なし
 - 2. 5GeVリング改造直線部 7 → 11(13)
 - PF-AR 西側PF移設 直線部 4 → 5
 - ビームラインの整備
 - ERL実証機の建設

Short gap U at low- β straight section

2003/7/11, S.Yamamoto, KEK

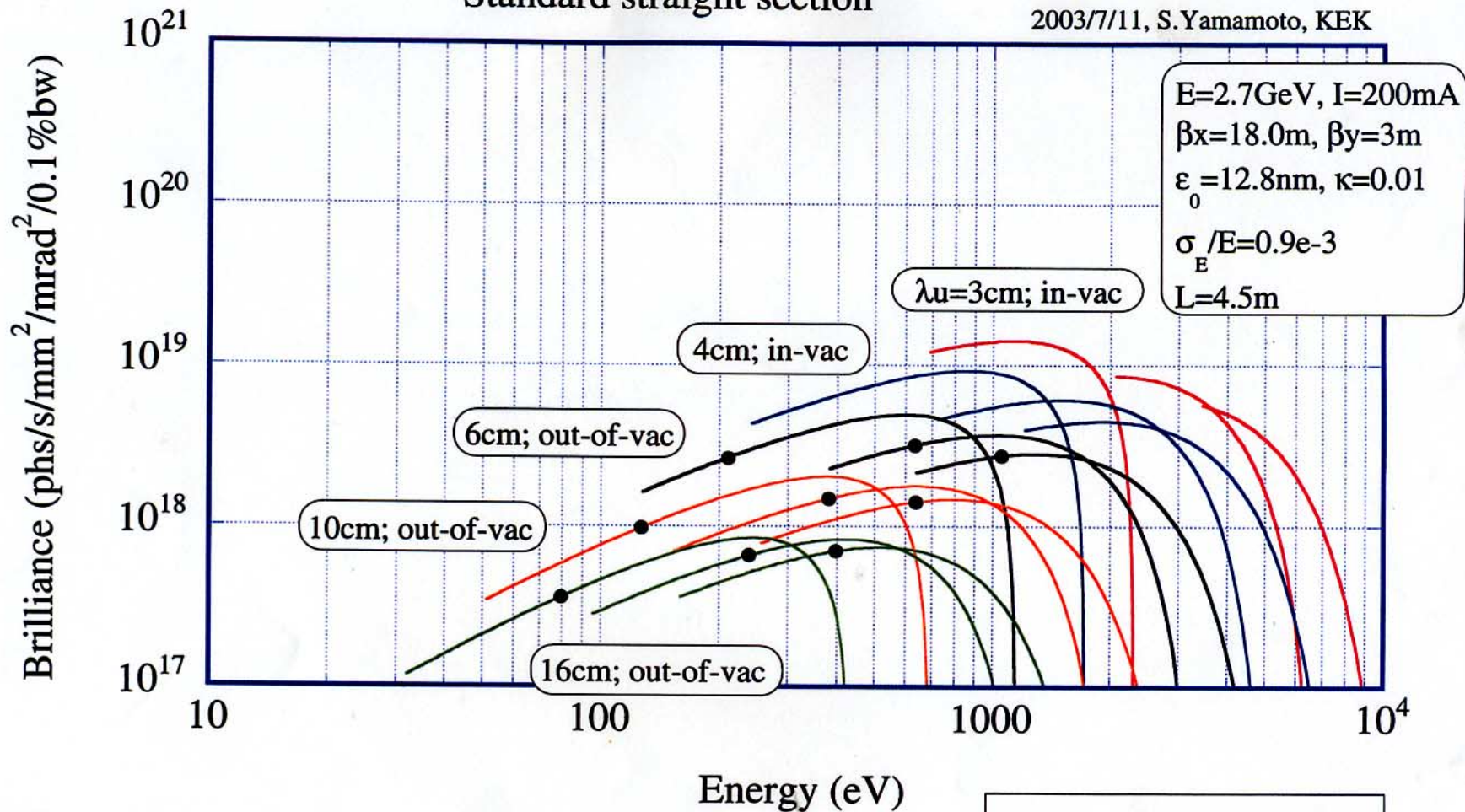


$E = 2.7\text{GeV}$, $I = 200\text{mA}$
 $\beta_x = 17.5\text{m}$, $\beta_y = 2\text{m}$
 $\epsilon_0 = 12.8\text{nm}$, $\kappa = 0.01$, $\eta = 0.6\text{m}$
 $\sigma_E/E = 0.9e-3$
 $L = 1\text{m}$

$\lambda u(\text{cm})$	Gmin(mm)	Kmax
2	4.5	1.88
1.6	4.5	1.27
1.2	4.5	0.707

Standard straight section

2003/7/11, S.Yamamoto, KEK



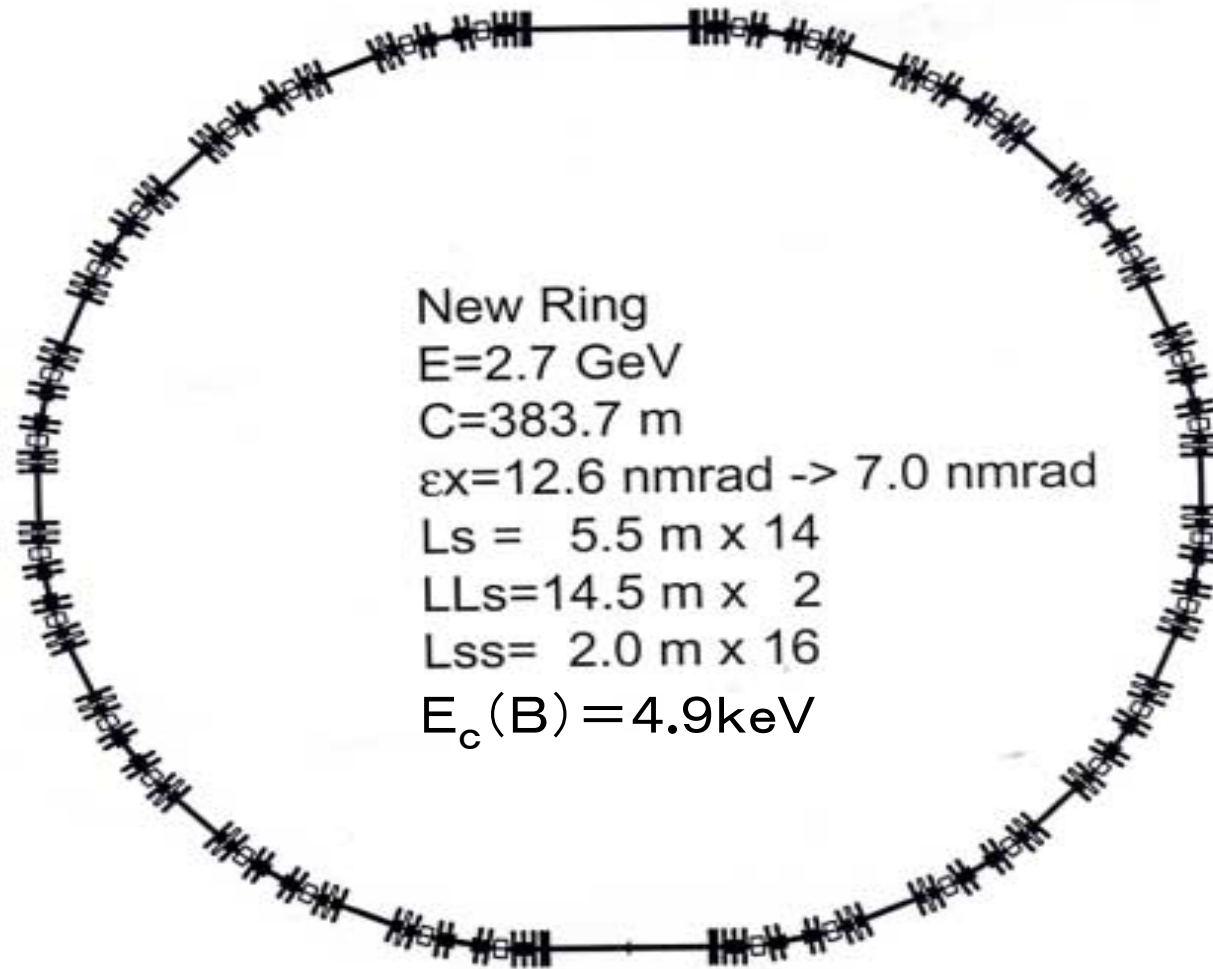
$\lambda u(\text{cm})$	Gmin(mm)	Kmax
3	8	2.16
4	8	3.51
6	20(20, 25)	4(4, 3)
10	20(42, 58)	5(5, 3)
16	20(88, 113)	5(5, 3)

PFとして、より詳細な検討を開始した

① 2.7GeV新リング (300億円 version)

② 既存リングの改造 (60億 version)

2. 7GeV案



研究分野	beamline	光子エネルギー (keV)	主たる研究テーマ	主たる User	備考
構造物性 (single crystal)	U×2 B×2	3.5～20	・強相関物質中におけるスピン電荷、軌道秩序の研究 ・これらの dynamics の研究 ・新しい材料、素子の評価	東大・物工、産総研十倉グループ 東北大、村上グループ	
時分割 X 線回折	U×1	5～20	・光誘起構造相転移	(東工大、腰原、KEK グループ共同) 大橋	S.B.が必須
核共鳴散乱	U×1	8～25	・表面・高圧下での磁気物性	京大・瀬戸、東大・岡野、阪大・那須	S.B.が必須
コンプトン散乱	MPW×1	35～150	・バルク及び表面磁気物性及びフェルミオロジー	群大、KEK	
マイクロビーム (高圧)	U or MPW	30～50	・惑星物理、地球の内部構造	東大 (八木研)、etc.	
粉末 X 線回折	U×1 B×1	5～30	・新素材・新物質の開発と評価	種々の大学、産業界、etc.	
非弾性散乱 (共鳴)	U×1	3～15	・電子励起状態の解明・軌道波の検出	KEK・岩住、東大・生研	
時分割 XAFS	T.U×1	5～20	・反応中間体の解明 (触媒化学)・光励起下の電子状態 (光デバイス)	東大・岩沢グループ、名大、KEK、分子研、横山グループ	S.B.が必須
マイクロビーム (diffraction)	U×1	5～20	・新素子・新素材の開発	産業界、KEK	
Imaging (位相コントラスト、Real time)	U or MPW×1	20～50	・X 線イメージング技術開発とマンモグラフィ医学応用	東大、つくば大、KEK	
X 線小角散乱 ・溶液 ・高分子 ・合金	U×1 B×2	5～15	・溶液中タンパク質の機能解明 etc.	阪大、名大 etc.	
構造生物 (タンパク)	U×4 MPW×1	6～15	・タンパク質機能解明 ・創薬への応用	KEK, 種々の大学、産業界、etc.	
表面散乱・反射 (時分割)	U×1	5～25	・ナノ構造の解明・新素材の開発	産総研	
微量成分 XAFS / Microbeam XAFS, 分析 conventional XAFS	U×1 B×3～4	5～45	・新素材の開発 ・触媒科学への応用	産業界、種々の大学	
医学	MPW×1	35～60	・医学臨床応用	つくば大医学部と KEK との共同	
高圧 (プレス)	B×1 MPW×1	30～150	・構造物性 ・惑星物理	東大、東北大、etc.	
Optics 開発	U×1 B×1	5～20	・ERL に向けた開発研究	東大、KEK	
放射線生物	U×1、B×1	2～20	・放射線生物効果	立教大、KEK	
表面、界面構造解析	U×1	6～15	・表面ナノ構造相転移、吸着系の構造	東大、名大	
検出器開発	B×1	5～80	・種々の検出器の開発研究	東大、京大、KEK,	
軟 X 線 (結晶分光) Scattering Spectroscopy	U×1 B×1	2～5	・光電子顕微鏡による触媒科学 ・軽元素の局所構造解析及び電子状態	北大、分子研、東大、KEK	

U = 20本、MPW = 4本、U or MPW = 2本、Bending = 14本

現状のアクティビティーを考慮して、X 線領域で今後展開すべきビームラインの形態

特に新リング（2. 7GeV）で展開すべきビームライン

研究分野	beamline	光子エネルギー (keV)	主たる研究テーマ	主たる User	備考
構造物性 (single crystal)	U×2 B×2	3.5～20	・強相関物質中におけるスピン電荷、軌道秩序の研究 ・これらの dynamics の研究 ・新しい材料、素子の評価	東大・物工、産総研十倉グループ 東北大、村上グループ	
粉末 X 線回折	U×1 B×1	5～30	・新素材・新物質の開発と評価	種々の大学、産業界、etc.	
非弾性散乱（共鳴）	U×1	3～15	・電子励起状態の解明・軌道波の検出	KEK・岩住、東大・生研	
マイクロビーム（diffraction）	U×1	5～20	・新素子・新素材の開発	産業界、KEK	
Imaging（位相コントラスト、Real time）	MPW×1	20～50	・X 線イメージング技術開発とマンモグラフィー医学応用	東大、つくば大、KEK	
X 線小角散乱 ・溶液 ・高分子 ・合金	U×1 B×2	5～15	・溶液中タンパク質の機能解明 etc.	阪大、名大 etc.	
構造生物（タンパク）	U×4 MPW×1	6～15	・タンパク質機能解明 ・創薬への応用	KEK, 種々の大学、産業界、etc.	
表面散乱・反射（時分割）	U×1	5～25	・ナノ構造の解明・新素材の開発	産総研	
微量成分 XAFS / Microbeam XAFS, 分析 conventional XAFS	U×1 B×3～4	5～45	・新素材の開発 ・触媒科学への応用	産業界、種々の大学	
Optics 開発	U×1 B×1	5～20	・ERL に向けた開発研究	東大、KEK	
放射線生物	U x 1、B x 1	2～20	・放射線生物効果	立教大、KEK	
表面、界面構造解析	U x 1	6～15	・表面ナノ構造相転移、吸着系の構造	東大、名大	
検出器開発	B x 1	5～80	・種々の検出器の開発研究	東大、京大、KEK,	
軟 X 線（結晶分光） Scattering Spectroscopy	U×1 B×1	2～5	・光電子顕微鏡による触媒科学 ・軽元素の局所構造解析及び電子状態	北大、分子研、東大、KEK	

U=16本、MPW=2本、B=12～13本

新リング（2.7 GeV）だけでは展開が困難なアクティビティー

研究分野	beamline	光子エネルギー (keV)	主たる研究テーマ	主たる User	備考
時分割 X 線回折	U×1	5～20	・光誘起構造相転移	(東工大、腰原、KEK グループ共同) 大橋	S.B.が必須
核共鳴散乱	U×1	8～25	・表面・高圧下での磁気物性	京大・瀬戸、東大・岡野、阪大・那須	S.B.が必須
コンプトン散乱	MPW×1	35～150	・バルク及び表面磁気物性及びフェルミオロジー	群大、KEK	
マイクロビーム (高圧)	U or MPW	30～50	・惑星物理、地球の内部構造	東大 (八木研)、etc.	
時分割 XAFS	T.U×1	5～20	・反応中間体の解明 (触媒化学)・光励起下の電子状態 (光デバイス)	東大・岩沢グループ、名大、KEK、分子研、横山グループ	S.B.が必須
高エネルギー XAFS	B×1	10～50	・重元素の XAFS		
医学	MPW×1	35～60	・医学臨床応用	つくば大医学部と KEK との共同	
高圧 (プレス)	B×1 MPW×1	30～150	・構造物性 ・惑星物理	東大、東北大、etc.	

必要性能一覧

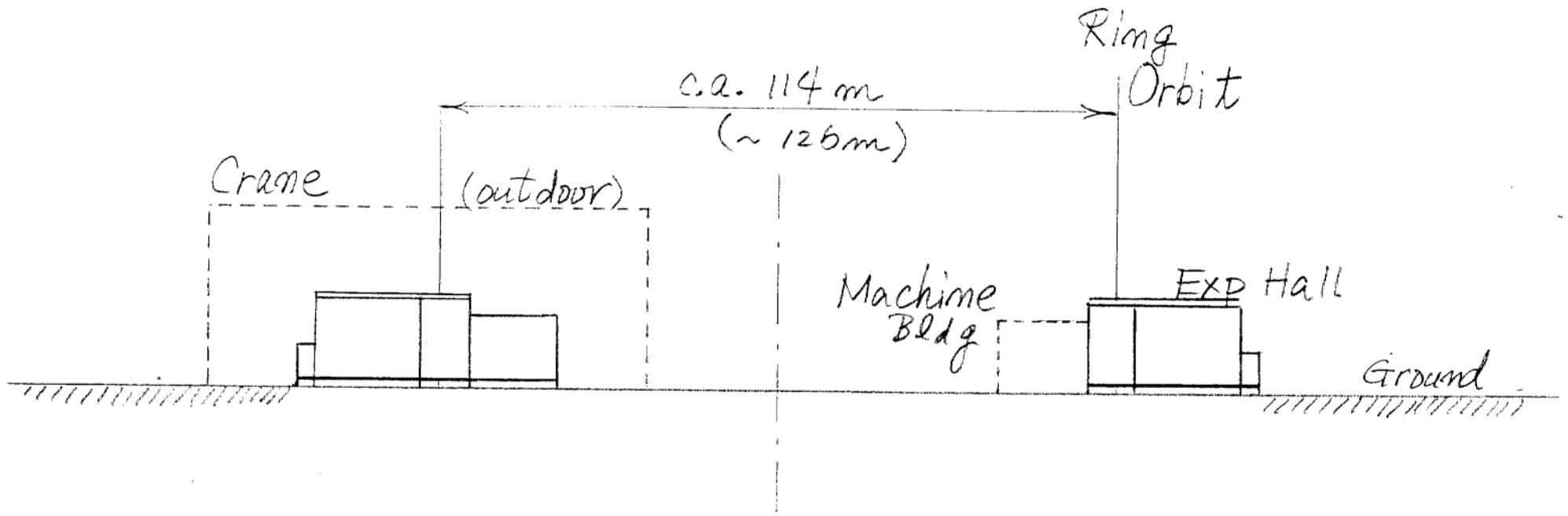
研究分野	番号	研究課題	エネルギー領域	分解能 $\epsilon/\Delta E$	試料位置での光子数 (photons/sec)	試料位置でのスポットサイズ	偏光特性
ナノ・材料科学	1	量子ナノ構造の光電子分光	20~1000eV	100,000	10^{13}	10 μm 以下	可変
	2	ナノ磁性体の光電子顕微分光	20~1000eV	7,000	10^{14}	10 μm	可変
	3	材料プロセスのリアルタイム光電子分光	50~1000 eV	10,000	10^{12}	100 μm 以下	直線
生命科学	4	放射線生物学	10~1000 eV	1,000-5,000	10^{12}	1 μm ~ 1 mm	可変
	5	生体軟X線イメージング	100~2000 eV	10,000	10^{13} - 10^{16}	10 μm	直線
物性科学	6	機能性物質の超高分解能光電子分光	15~40 eV	40,000	10^{12}	20 μm x 300 μm	可変
	7	バルク敏感フェルミオロジー	8~1500 eV	20,000 以上	10^{12} 以上	10 μm 以内	可変
	8	複雑物質発光分光	50~1000 eV	10,000	10^{13} - 10^{14}	1 μm	可変
	9	スピン分解光電子分光	10~400 eV	10,000	10^{12} - 10^{13}	10 μm	可変
	10	ナノ磁性体・生命体分子の軟X線磁気 カイラル二色性分光	50~1600 eV	10,000	10^{13}	10~20 μm	可変*
	11	表面・界面二次元光電子分光	10~1000 eV	10,000	10^{13} - 10^{14}	1 ~ 10 μm	可変
	12	表面化学反応・表面磁性ダイナミクス	100~1000 eV	10,000	10^{13} - 10^{14}	10 μm	可変
	13	有機薄膜・複雑系の高精度電子状態研究	20~1000 eV	10,000	10^{13}	10 μm	可変
	14	レーザー励起時間分解分光 および非線形分光	100~1000 eV	1,000-2,000	10^{16}	1 μm 以下	直線
基礎光科学	15	原子・分子・クラスターのVUV ・軟X線分光	30~1000 eV	100,000 最高) 10,000 標準)	10^{10} 最高分解能) 10^{12} 標準)	10 μm	可変
	16	光励起分子反応動力学	30~300 eV	60,000-20,000	10^{12}	100 μm	可変
	17	放射光・レーザー2光子分光	10~40 eV	70,000-10,000	10^{14}	100 μm	可変

※ 交流スイッチング希望

超高輝度放射光利用

必要性能一覧

番号		関連分野	エネルギー領域	分解能 $\epsilon / \Delta E$	試料位置での光子数 (photons/sec)	試料位置でのスポットサイズ	偏光特性
S1	ハイフラックス・コヒーレンス	01, 02, 03, 05, 09, 11, 12, 14	50~900 eV	100-10,000	10^{12} - 10^{16}	10 μm 以下	直線
S2	高純度偏光スイッチング	02, 09, 10	50~1600 eV	10,000	10^{13}	10 μm 以下	可変



Bldg. Tentative Plan (side view)
1:1000

Cost estimation(概算)

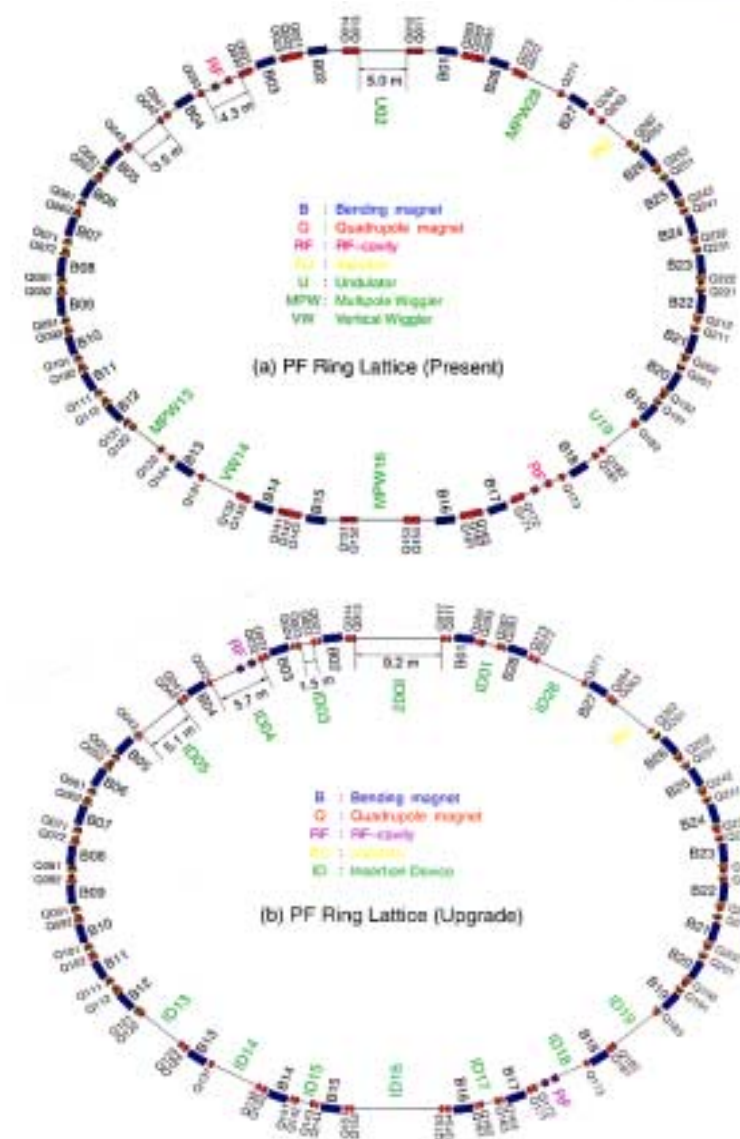
1. 2. 7GeVリング(リング+ID+チャネル):131.18億
 - (1) リング 52.13億
 - (a) 電磁石18.0 (b) 真空システム 13.75
 - (c) 入射パルス電磁石 1.62 (d) 制御 3.5 (e)モニター 6.72
 - (2) 入射(ライナック+ブースターリング) 24.96億
 - (3) 基幹チャネル 24(ID)+16(B) : 23.85億
 - (4) ID 30.0億
 2. ビームライン
挿入光源とチャネルを除いて3億/ビームライン
 3. 建物130億程度(まだ大変粗い見積もり)
光源系、柳下、河田にて検討開始
-

課題

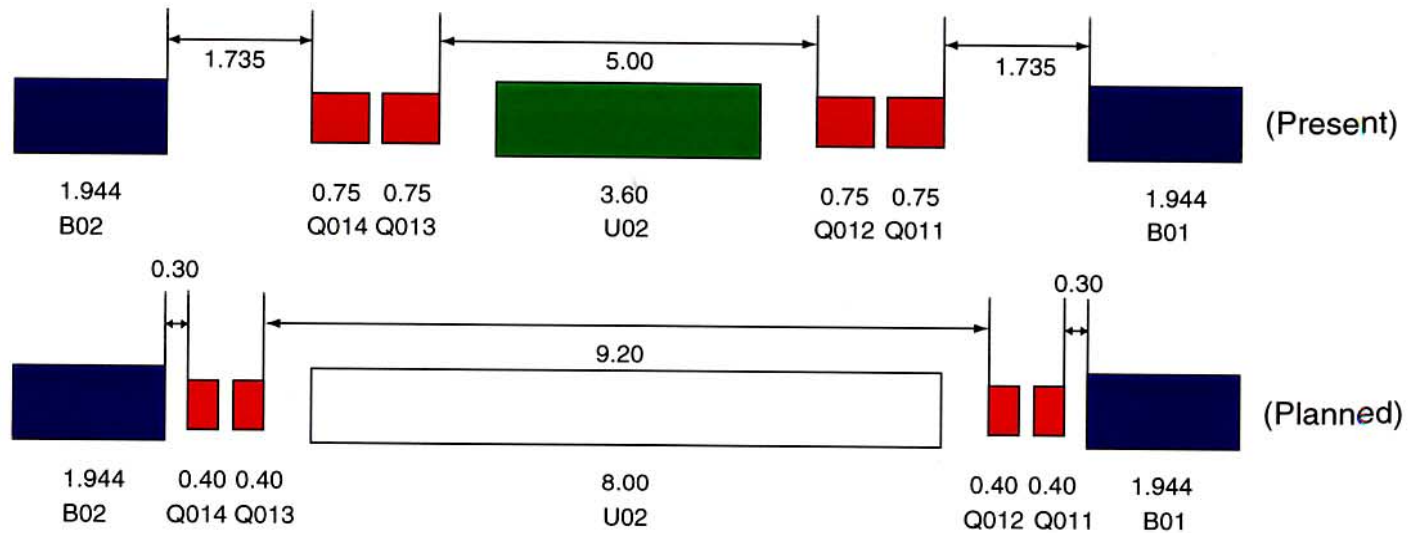
- ・建物のコストを下げられるか
- ・加速器ビームラインのコストを下げられるか
- ・既設(2.5GeVリング)のビームラインの移設の可能性の検討
- ・限られた予算枠内で、リング立ち上がり時に稼働すべきビームラインの種類・数の検討

4. 2.5 GeVリング直線部増強

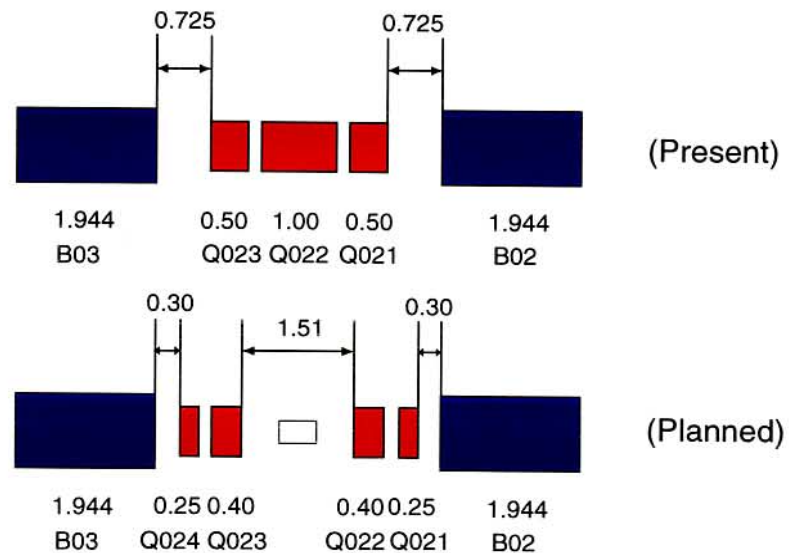
- 4極一、6極一、電磁石の厚さを薄くして、Bending Magnet側に寄せて再配置
- 直線部7 → 11(14)
- 少額(比較的)の予算で、大きな効果
- 第3世代リングに迫る性能
 $\varepsilon \sim 36(27) \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 、 $I = 450 \text{ mA}$ 、
 $ID : 11$
- 予算獲得の努力中
- 部分的に準備作業
- 4極、6極電磁石の試作、テスト、製作
- ビームチャンネル部分の耐熱性向上のための入れ換え
- 2005年度に、改造を実施したい



Configuration of magnets between B01-B02



Configuration of magnets between B02-B03



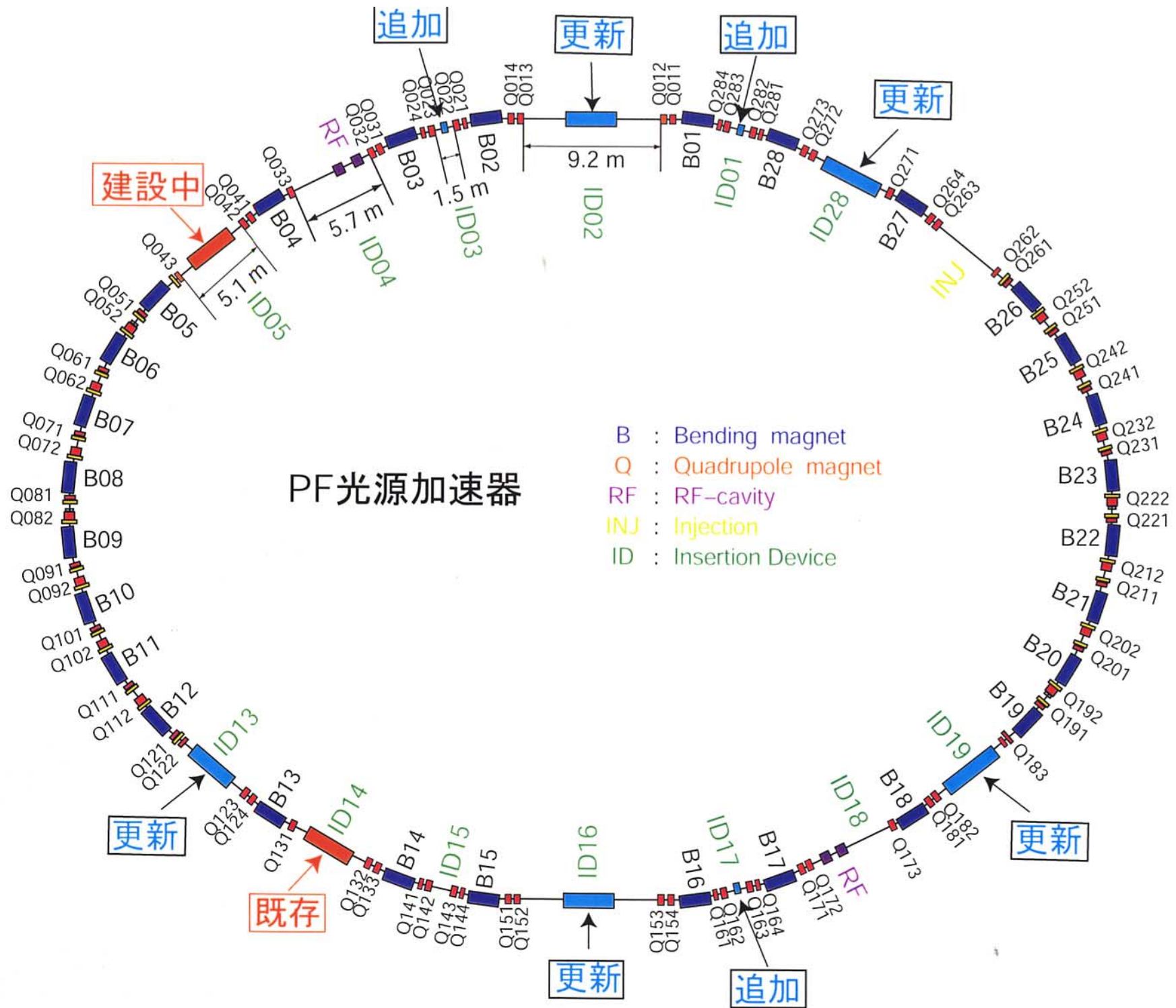
Predicted Beam Parameters

Name of Straight Sections	Length(m) Pre.→Plan.	σ_x (mm)	σ_x' (mrad)	σ_y (mm)	σ_y' (mrad)
B01-02 (U02:BL02) B15-16 (M16:BL16)	5.0 → 9.2	0.332	0.083	0.033	0.008
B02-03 (:BL03) B14-15 (:BL15) B16-17 (:BL17) B28-01 (:BL01)	0.0 → 1.5	0.510	0.082	0.018	0.016
B03-04 (RF :BL04) B13-14 (V14 :BL14) B17-18 (RF :BL18) B27-28 (M28: BL28)	3.5 → 5.7	0.588	0.080	0.031	0.010
B04-05 B12-13 (M13:BL13) B18-19 (U19:BL19) B26-27 (INJ:BL27)	3.5 → 5.1	0.721	0.068	0.030	0.011

$$\epsilon_x = 27.5 \text{ nmrad}$$

$$\kappa = 0.01$$

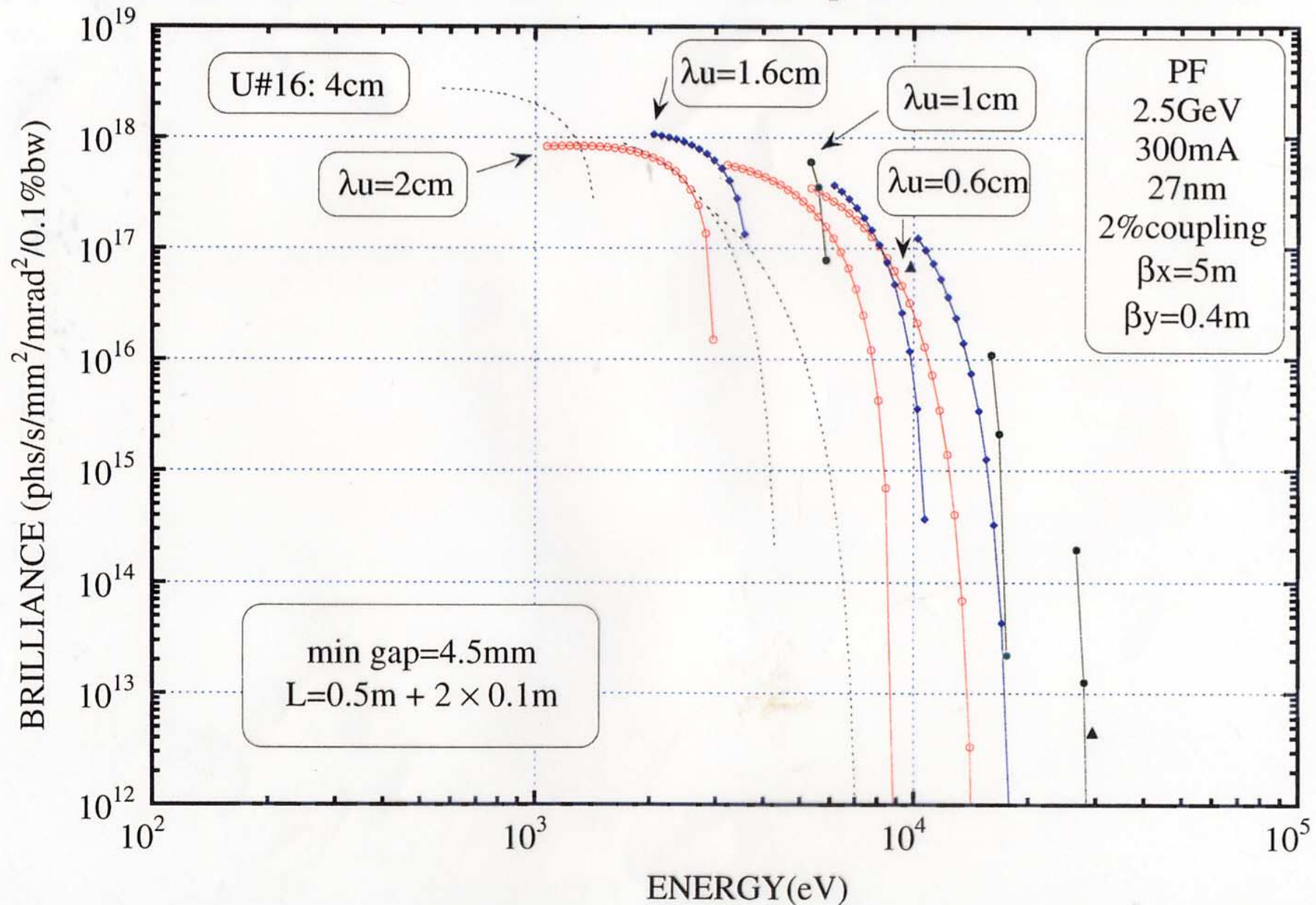
$$\sigma_\epsilon = 7.28 \times 10^{-4}$$



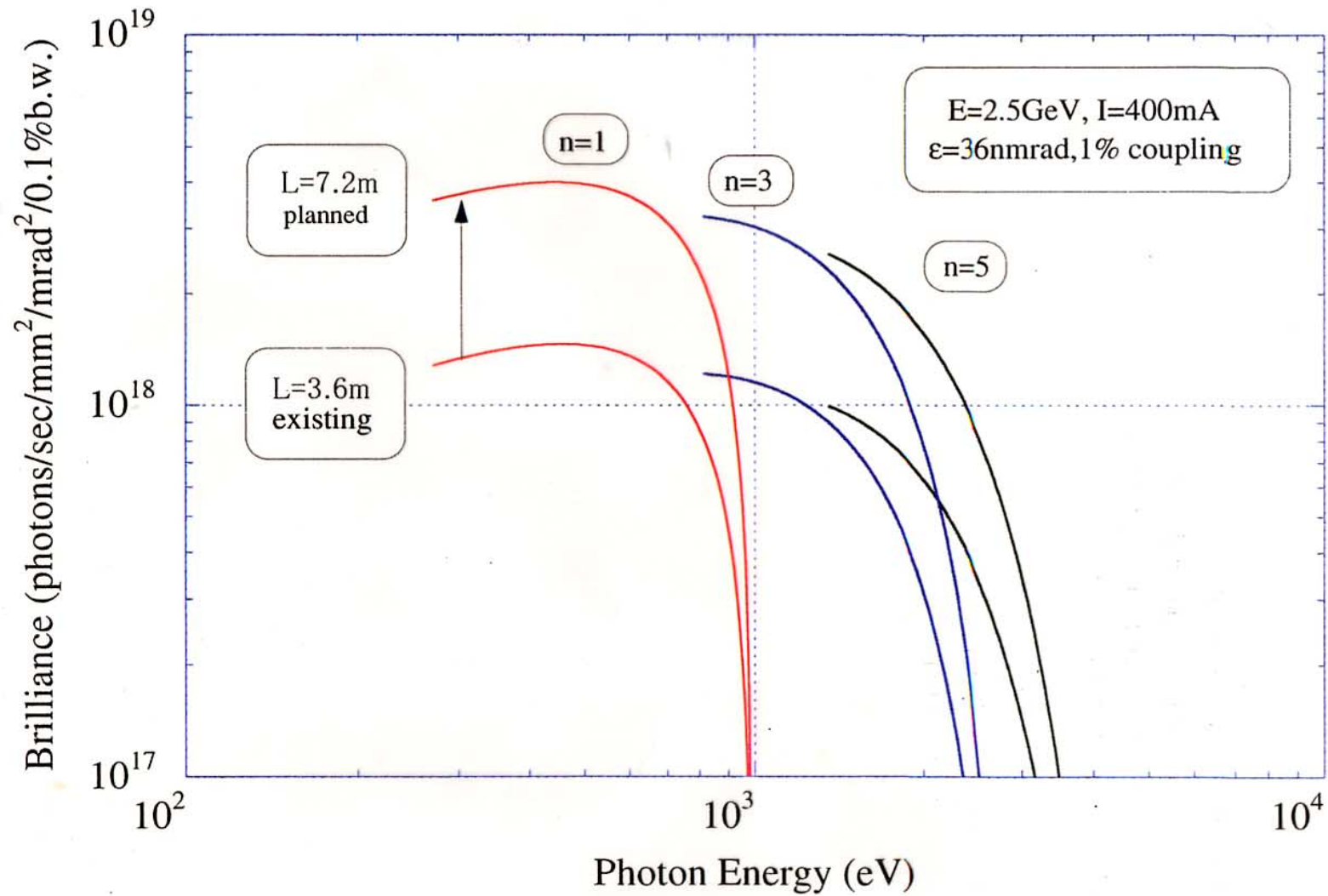
PF光源加速器

- B : Bending magnet
- Q : Quadrupole magnet
- RF : RF-cavity
- INJ : Injection
- ID : Insertion Device

Brilliance expected for short period undulator



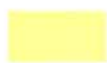
Increase of Brilliance expected for a long undulator



BL PF	現状		改造案	
	光源	用途	光源	用途
BL-2	U	A SX-DXM C GIM	planer U 100~1200eV	A 表面化学反応、材料プロセスのリアルタイム光電子分光 B 軟X線原子分子分光、複雑物質発光分光
BL-5	MPW	構造生物	MPW	構造生物
BL-13	MPW MPW U	A 高圧 B XAFS C GIM	planer U 30~1000eV	A 光電子分光 B 角度分解光電子分光
BL-14	VW	A 四軸 B X線光学 C 位相コントラスト、MAX-III	VW	A 四軸 B X線光学 C 位相コントラスト、MAX-III
BL-16	MPW U	A 構造物性、汎用 B	helical U 200~1500eV	A ナノ磁性体のPEEM B 表面磁性ダイナミクス、生命分子のCD
BL-19	U(Revolver)	A GIM B GIM	helical U 30~1000eV	A スピン分解光電子 B 時間分解分光
BL-28	EU EMPW	A GIM B SX-DXM	helical U 30~1000eV	A 表面・界面二次元光電子 B 軟X線原子分子分光
BL-1A	B		mPU	構造生物
BL-3A	B		mPU	構造生物
BL-4A	B		mPU	
BL-15A	B		mPU	
BL-17A	B		mPU	構造物性をBL-16Aから移設
BL-18A	B		mPU	
PF-AR				
NE1	EMPW EU	A コンプトン、医学利用 B GIM	EMPW	A コンプトン、医学利用 B レーザー加熱高温高圧回折実験を移設
NE3	U	メスパウアー、X線光学	U	メスパウアー
NW2	U	時分割XAFS/時分割X線回折	U	時分割XAFS
NW12	U	構造生物	U	構造生物
NW14			U	時分割X線回折をNW2から移設



VUV・SX域のアンジュレータ光源ビームライン
既存ビームライン7本を5挿入光源、ビームライン10本に出来る



VUV・SX域のアンジュレータ光源ビームラインを整備するために移設する必要のあるX線関係ビームライン
新たに2台の挿入光源、1ブランチラインを整備する必要が生じる



構造生物学用ビームライン

ビームライン再配置作業一覧(案)

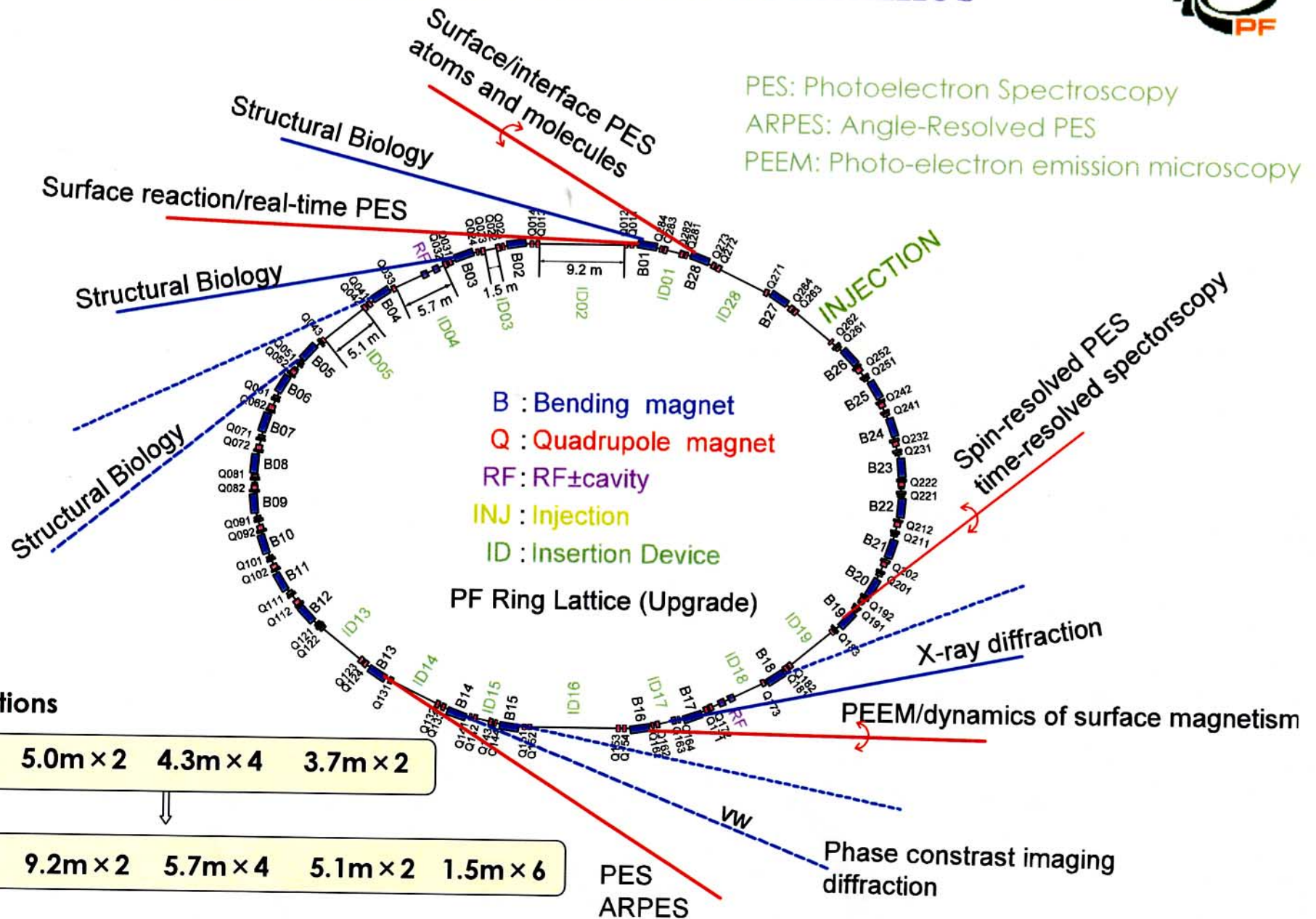
予算内訳

PFリング直線部増強 真空ダクト製造 ビームライン基幹部改造 電磁石電源製造、電磁石設置・配線	リング本体の真空ダクト 四極(Q)電磁石の配置変更に伴い必要 四極(Q)電磁石の変更に伴い必要
PFリング性能向上 長尺磁場測定装置整備 RF電源増強、更新 入射部更新 制御系、モニター系強化	以下は安定に共同利用を行うための設備増強 長尺挿入光源調整用に必要 電子加速に用いる高周波電源の経年劣化対策 セプトム電磁石電源の更新 軌道安定化のための設備充実
BL-16建設 BL-16用挿入光源 ビームライン(2本) 実験装置	偏光スイッチング実験用 9m級直線部対応helical undulator
BL-17建設 BL-17用挿入光源 BL-17用ビームライン、ハッチ 既存BL-17AのBL-18Bへの移転、 17B撤去、17C移動	既存のBL-16A(X線回折実験)のアクティビティ移転用 挿入光源整備、ビームライン整備
BL-3建設 BL-3用挿入光源 ビームライン 実験装置 既存BL-3AのBL-8への移設	構造生物増強 small gap (mini-pole) undulator 既存のBL-3Aのアクティビティを移設、改良
BL-28建設 BL-28用挿入光源 ビームライン(2本) 実験装置	円偏光利用実験用 5m級直線部対応helical undulator
BL-19建設 BL-19用挿入光源 ビームライン(2本) 実験装置	円偏光利用実験用 5m級直線部対応helical undulator
BL-13建設 BL-13用挿入光源 ビームライン(2本) 実験装置	直線偏光利用実験用 5m級直線部対応planer undulator
NE1増強 ビームライン	既存BL-13Aのアクティビティ(高温高圧下のX線回折実験)移転用
NW14建設 RF空洞移設 NW14用挿入光源 ビームライン 時分割X線回折実験装置	既存BL-13Bのアクティビティを吸収するためにNW14を整備 PF-AR西側直線部に挿入光源を設置するためにRF空洞を移設 X線用in vacuum undulator タイミング系整備等
BL-2建設 BL-2用挿入光源 ビームライン(2本) 実験装置	直線偏光利用実験用 9m級直線部対応planer undulator 既存部品流用で減額
BL-1建設 基幹チャンネル改造 BL-1用挿入光源 ビームライン 実験装置 既存BL-1AのBL-8への移設 既存BL-1Bの移設(水平移動) 既存BL-1CのBL-12Aへの移設	構造生物増強 small gap (mini-pole) undulator 既存BL-1Aのアクティビティの移設 既存BL-1Bのアクティビティの移設 既存BL-1Cのアクティビティの移設

合計

ビームラインの建設・改造に関しては横線間が1ユニットとなる。

New Insertion Device beamlines



ID sections

Now 5.0m × 2 4.3m × 4 3.7m × 2

9.2m × 2 5.7m × 4 5.1m × 2 1.5m × 6

運営上の問題

1. 新しいリング建設の場合

(a) 3リングの問題

- 3リング運転(定常状態)をすべきでない
どのリングをいつ shutdown
基本的な考え方の整理

(b) ERL開発との関係

- ERL原理実証機実現の推進
- 時系列での見直し
ERL 10年後に目指すのか 20年後なのか
新リングとERLの役割分担は

(c) totalのビームライン数(ステーション数)

- 現在 : 2.5GeV + PF-ARで ~70 station
→ 40~50程度に減らせるか
- ユーザーによるビームラインの運営

運営上の問題

2. 既存リング改造の場合

(a) 挿入光源数の限界

PF Max : 11 (13)

PF-AR Max : 5

(b) 改造のためのshutdown

例えば 2005年4月から 6ヶ月

(c) 改造のみでは10年程度の延命

10年後以降に備えた整備計画の立案

ERLの推進

その他の可能性