

KEK放射光

～3GeV蓄積リング型高輝度放射光施設～

KEK放射光（仮称）の暫定スペックの公開について

2014年10月、KEK物質構造科学研究所の最高議決機関である運営会議の下にPF将来計画検討委員会（委員長：佐藤衛PF-UA前会長）が設置され、1年半にわたり、PFの将来計画に関する議論が重ねられてきました。本年1月には、委員会の最終報告書の概要案が運営会議で了承されています。概要案では、KEKにおける放射光利用研究と加速器技術の現状の分析に基づき、「ERL計画を見直し、その理念である放射光利用の多様性と先端性を、短・中期計画と長期計画の中で、蓄積リング型（多様性とERL計画に迫る輝度が可能にする先端性）とライナック型（ERL計画を上回る究極の先端性）の二種類の光源により実現していくべきである」と結論しています。また、「放射光科学の発展を担う中核拠点としてのミッションを遂行するために、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構が、蓄積リング型高輝度放射光施設（KEK放射光：仮称）の実現を目指して、詳細検討を早急に進める」ように提言しています。物構研としての正式決定を受けて、KEKでは、ロードマップに掲げる次期光源をERLから蓄積リング（KEK放射光）に変更するための手続きが始まろうとしています。更に、機構長が主宰するKEK放射光推進ミーティング（仮称）も設置され、月2回のペースで開催されています。

こうした状況の下、放射光科学第一・第二研究系および加速器第七研究系を中心とするPFのスタッフは、KEK放射光の詳細検討を開始しました。具体的な検討を進めるにあたり、広くコミュニティの意見を取り入れるべきであることから、ロードマップ改訂の完了していない段階、したがってKEKの正式な計画と位置付けられていない段階ではあるものの、第33回PFシンポジウム開催にあたり、KEK放射光の検討状況について、暫定スペックを中心に、公表させて頂く次第です。機構長は、「ロードマップのWish ListからProject Implementation Plan (PIP) を策定し、その実現に全力を挙げる」方針であり、PIPの策定に向けた議論が、KEKの研究推進会議等で行われています。KEK放射光が、PIPにおける最重要大型計画との位置付けを得て、予算化に向けた次のステップに着実に進むことができますよう、建設的なご意見とご提案をお願い申し上げます。

KEK放射光の概要

【蓄積リング】 最新のHMBA(Hybrid Multi-Bend Achromat)ラティスを応用し、各セルに長直線部と短直線部を持つ独自の設計。電子エネルギー3GeV、周長570m(20セル)で、水平エミッタンス0.13nmrad。IBS(Intra Beam Scattering)により設計最大電流500mAで0.31nmradとなるが、将来的には、高調波加速空洞によりバンチ長を伸ばすことでIBSを抑制することを目指す。

【ビームライン】 5.6m長直線部の挿入光源18本、1.2m短直線部の挿入光源20本、偏向電磁石光源20本、合計で最大58本のビームラインにおいて多種多様な利用が可能。100eV～数keVのエネルギー領域で、世界最高輝度となる。短直線部の挿入光源でも、10keV領域で、SPring-8の標準型挿入光源と同等の高輝度となる。

【消費電力】 電子エネルギーが2.5GeVで周長が約1/3のPFリングよりも偏向電磁石部における放射損失の小さい省エネ型。消費電力は入射器分を含んで5MW程度。PFとPF-ARでは、合計で11MW程度。年間6000時間の運転を行っても、現在のPFとPF-ARの合計の年間の電気料金と比べて、3億円程度の削減となる見込みである。

本資料では、KEK放射光に関する暫定スペックを紹介する。検討状況に応じて、資料の追加・修正を行う。

更新履歴

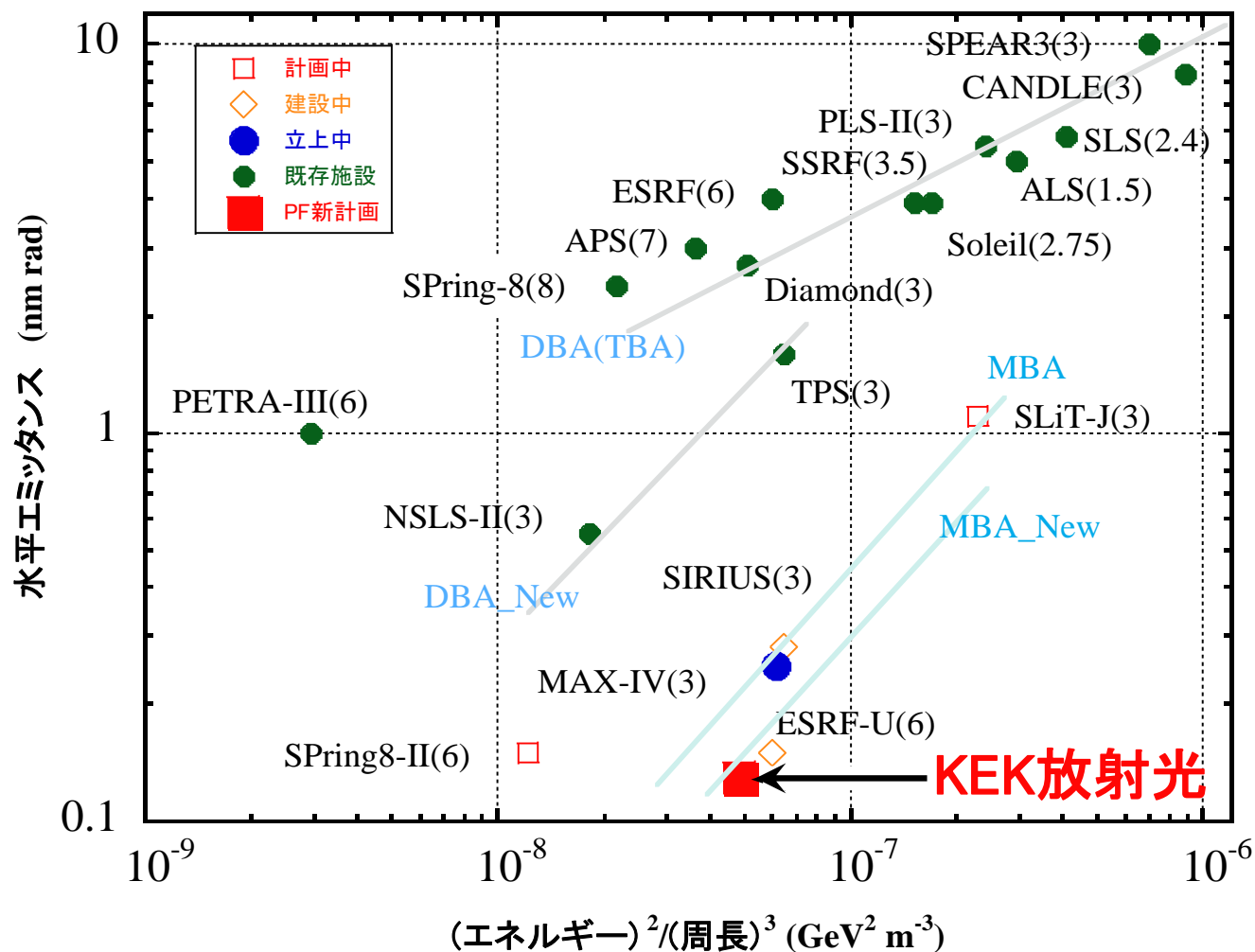
- 2016年3月2日 資料公開
- 2016年3月13日 試料位置での放射光ビームの性能の情報を追加
- 2016年4月27日 輝度の情報を更新(輝度の計算における近似方法を改善)

基本パラメータ

エネルギー	E [GeV]	3GeV	
ラティスの型		HMBA (Hybrid Multi-Bend Achromat)	
周長	C [m]	570.7	
1.2m 短直線部数		20	
5.6m 長直線部数		20 (入射とRFを含む)	
セル数		20	
RF周波数	f_{RF} [MHz]	500.1	
ハーモニック数	h	952	
RF電圧	V_{RF} [MV]	2.0	
バケットハイト	%	4.0	
エネルギー損失	[MeV/rev]	0.30	
モーメントムコンパクション	α	2.2×10^{-4}	
ベータトロン振動数	ν_x, ν_y	48.58, 17.62	
減衰時間 (x, y, z)	[ms]	29.25, 38.28, 22.63	
電流値	[mA]	0 (natural)	500 (with IBS)
水平エミッタンス	[pmrad]	132.5	314.7
カップリング	%	-	2.6
垂直エミッタンス	[pmrad]	-	8.2
タウシェック寿命	[h]	-	1.8
エネルギー広がり	$\times 10^{-4}$	6.4	7.9
バンチ長	[mm]	2.7	3.3
パルス幅	[ps]	9.1	11.1

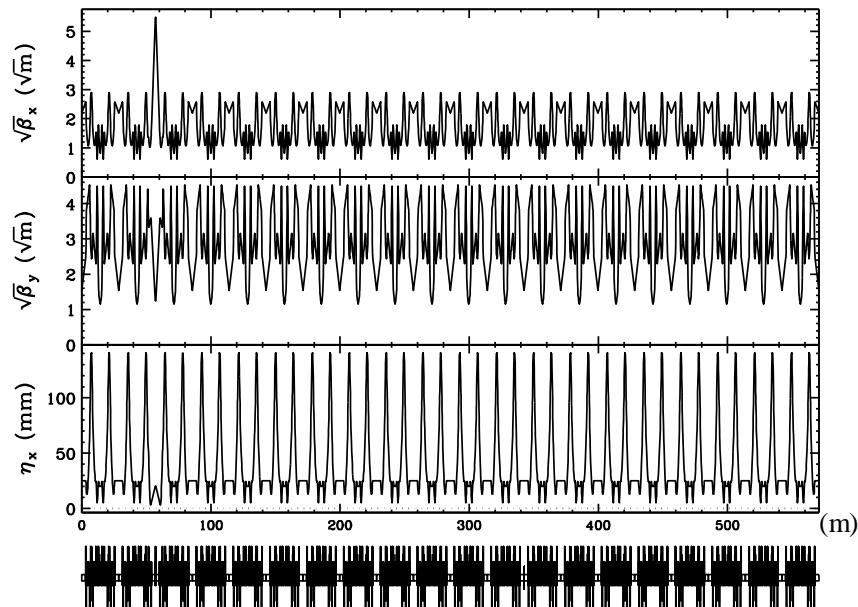
光源性能や入射性能、タウシェック寿命等の向上を目指し、今後も、ダイナミックアパーチャとオプティクス改善のための検討を進める。

世界の放射光施設との比較

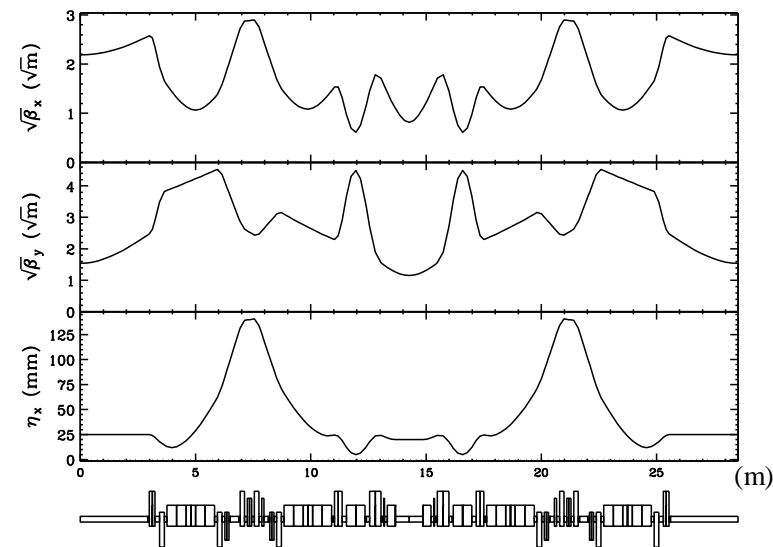


ラティスとオプティクス

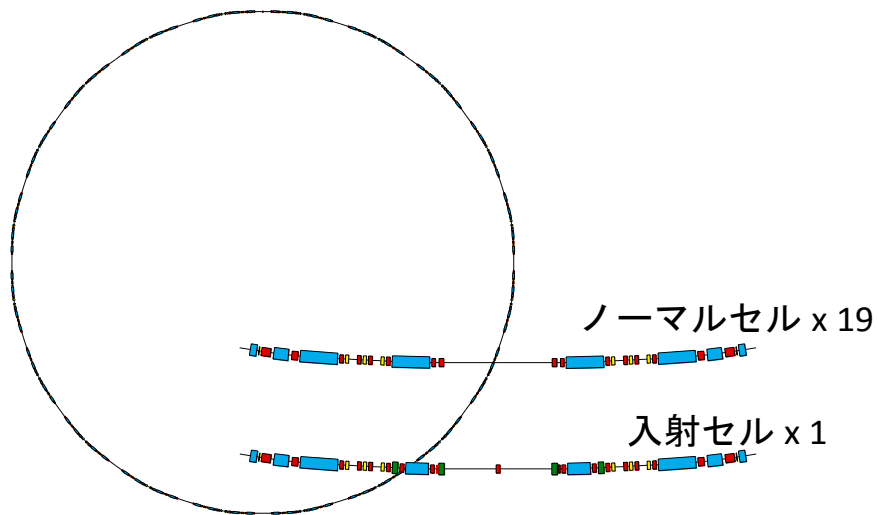
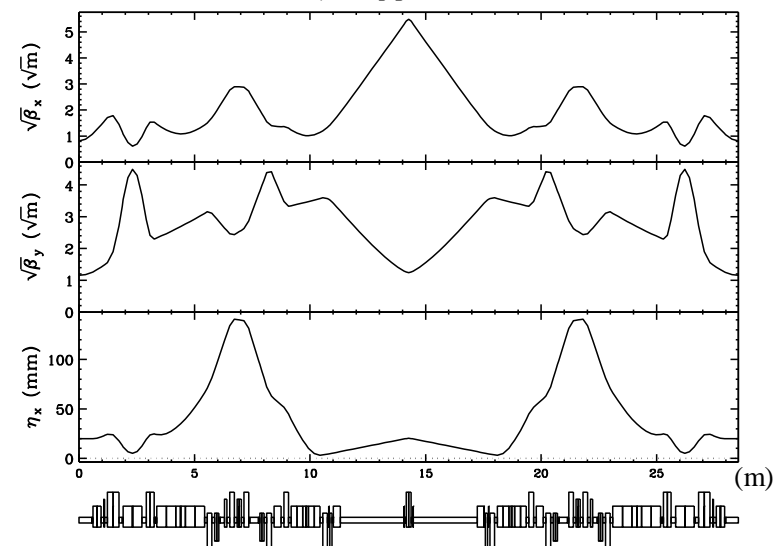
リング1周 (20セル)



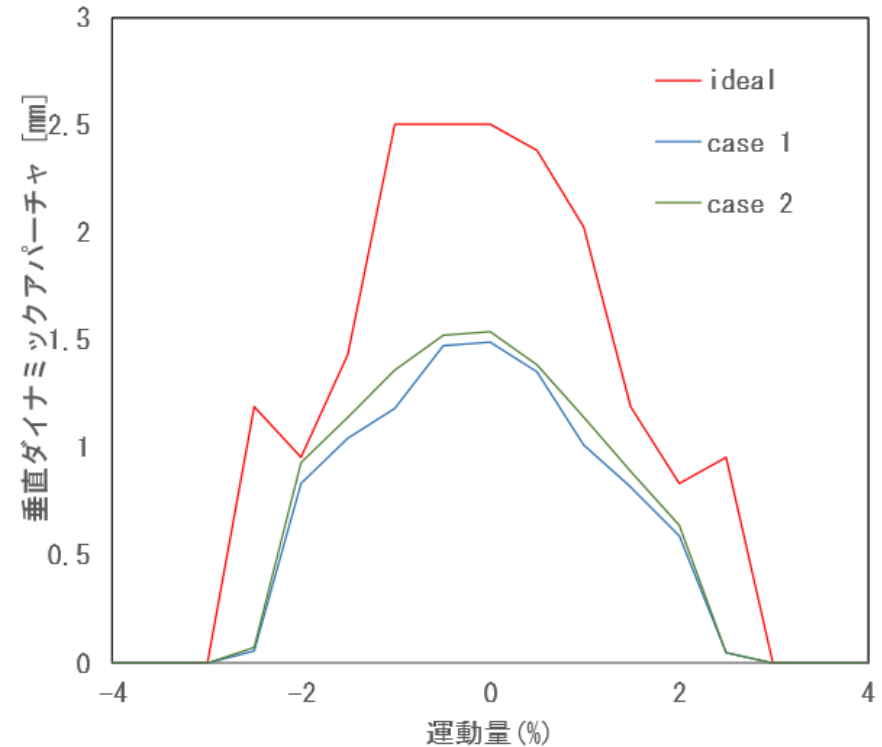
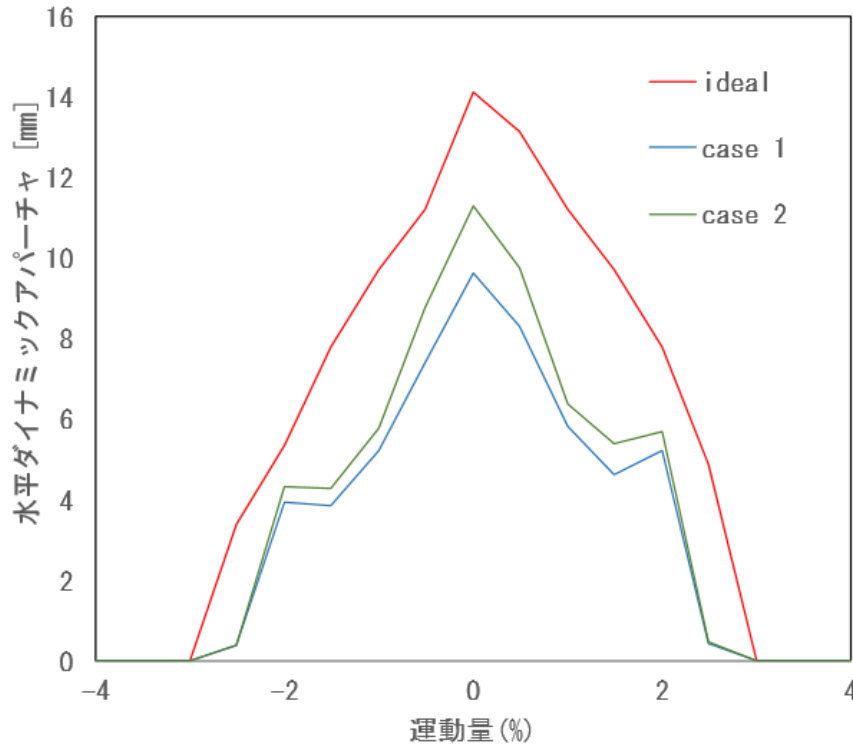
ノーマルセル



入射セル



ダイナミックアパーチャ



ダイナミックアパーチャ@入射点

- ✓ idealは、誤差なしの場合。case1は、ガウス分布の乱数誤差で分散 1σ が据付誤差 $50\mu\text{m}$ 、磁場強さの誤差 0.05% 、電磁石傾き誤差 0.1mrad の場合の100通りの平均値である。case2は、誤差を小さくし、それぞれ $40\mu\text{m}$ 、 0.04% 、 0.1mrad とした場合である。
- ✓ 入射点のオプティクスは、 $\beta_x=28\text{m}$ 、 $\beta_y=1.7\text{m}$ 、水平ビームサイズは $94\mu\text{m}$ 、垂直ビームサイズは $3.7\mu\text{m}$ である。case1の場合、入射点のアパーチャ 9.6mm 、case2では 10.8mm となる。蓄積ビーム 10σ で約 1mm 、セプタム厚 2mm 、現在のPF入射ビームサイズ 10σ で 5mm を仮定すると、ダイナミックアパーチャに問題はない。

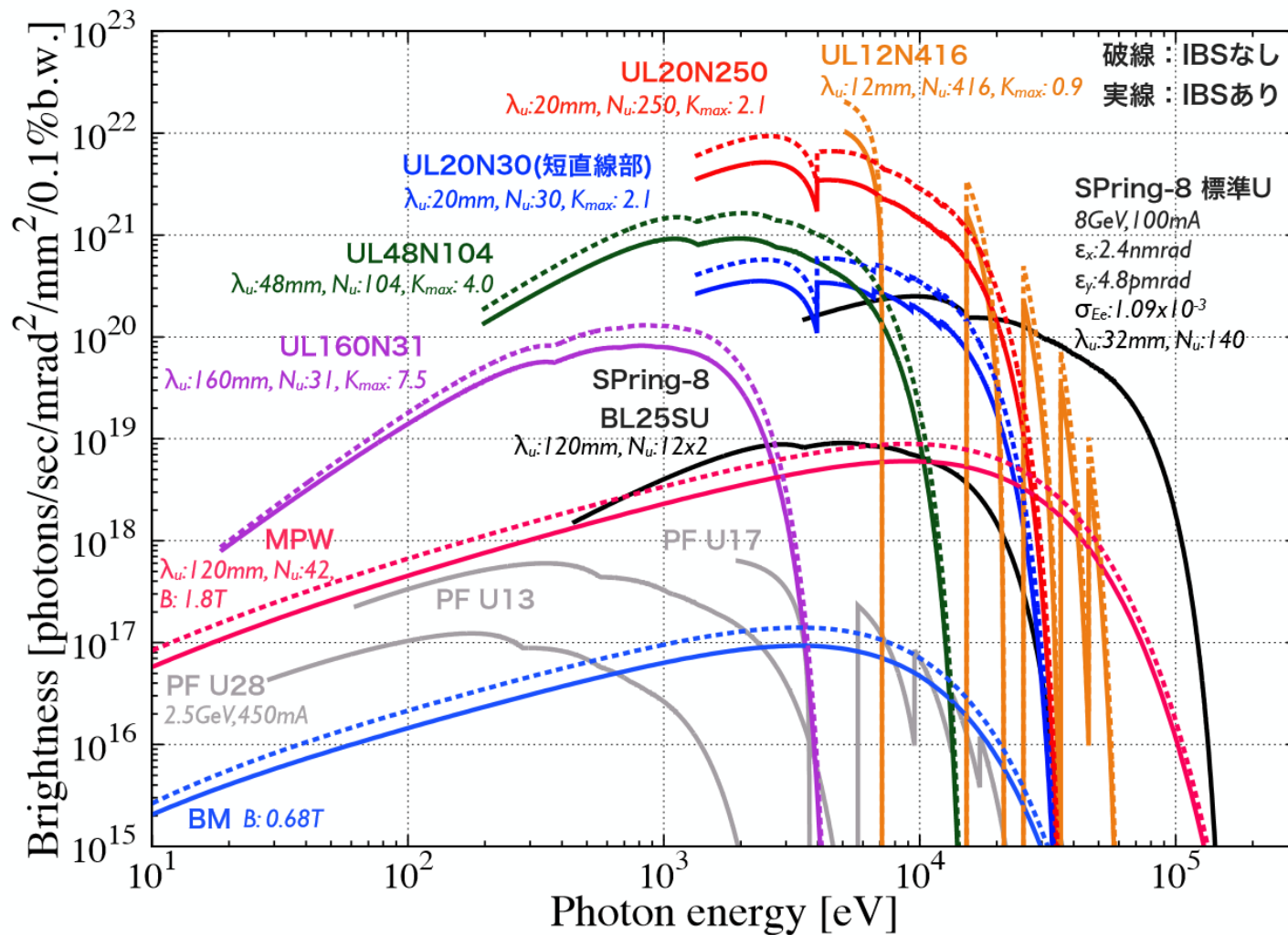
光源パラメータ

	BM	MPW	UL12N416	UL20N30	UL20N250	UL48N104	UL160N31
周期長 λ_u [mm]		120	12	20	20	48	160
周期数 N_u		42	416	30	250	104	31
磁石列長 L [m]		5.0	5.0	0.6	5.0	5.0	5.0
最小Gap Gap_{min} [mm]		12	4	4	4	12	12
(最大)磁場 $B_{(max)}$ [T]	0.68	1.80	0.8	1.13	1.13	0.9	0.5
最大K値 K_{max}		20.2	0.9	2.1	2.1	4.0	7.5
臨界エネルギー E_{pc} [keV]	4.1	10.8					
1次エネルギー $E_{p1}(K_{max})$ [keV]			5.1	1.3	1.3	0.2	0.02
最大合計出力 P_T [kW]	0.039 [kW/mrad]	46.5	9.1	2.2	18.2	11.5	3.5

検討中の光源パラメータの典型例。今後、ビームラインの用途に応じた設計も検討する。

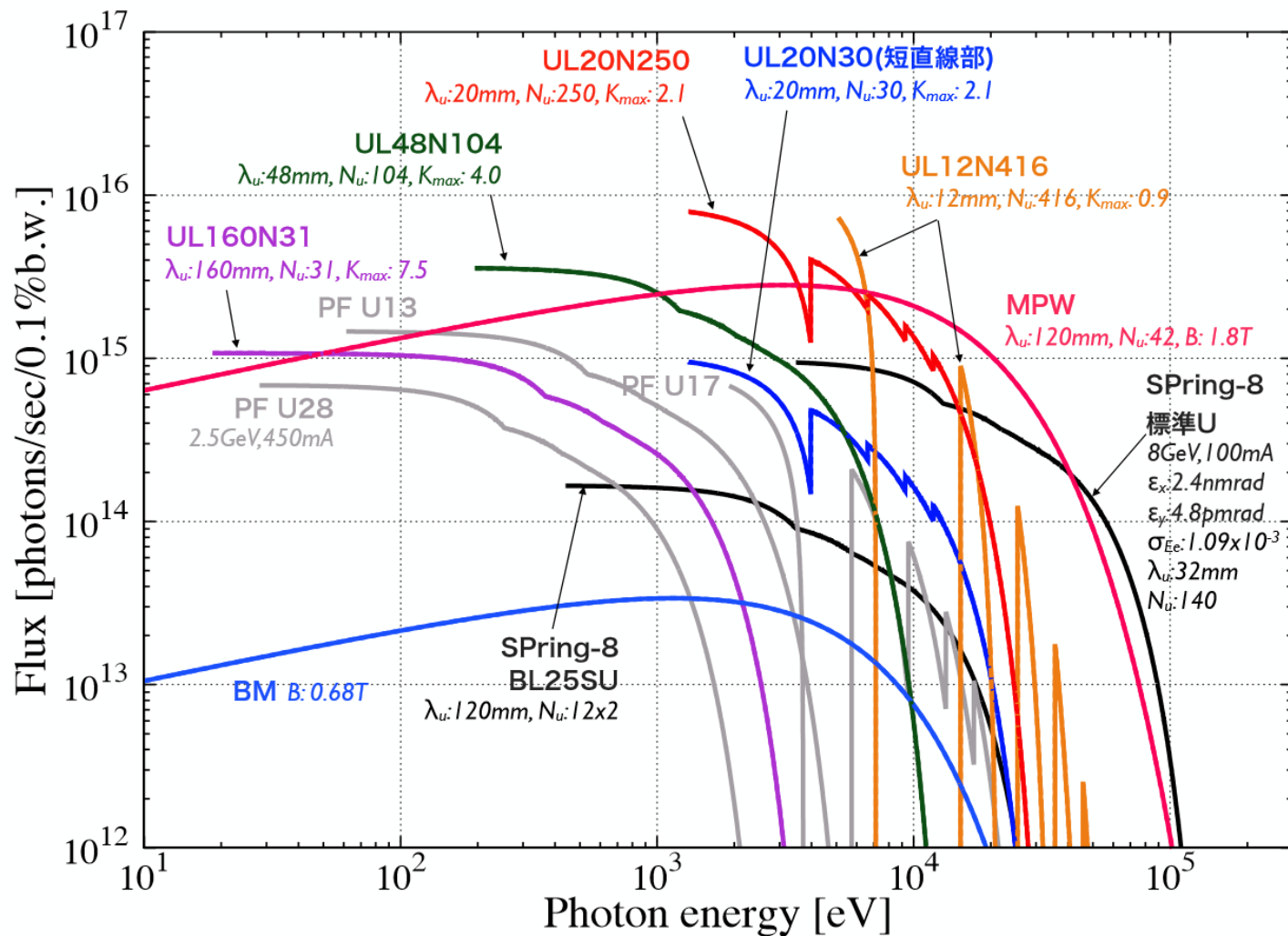
輝度

IBS : 概要参照



ビームライン本数: 長直線部ID × 18本、短直線部ID × 20本、BM × 20本

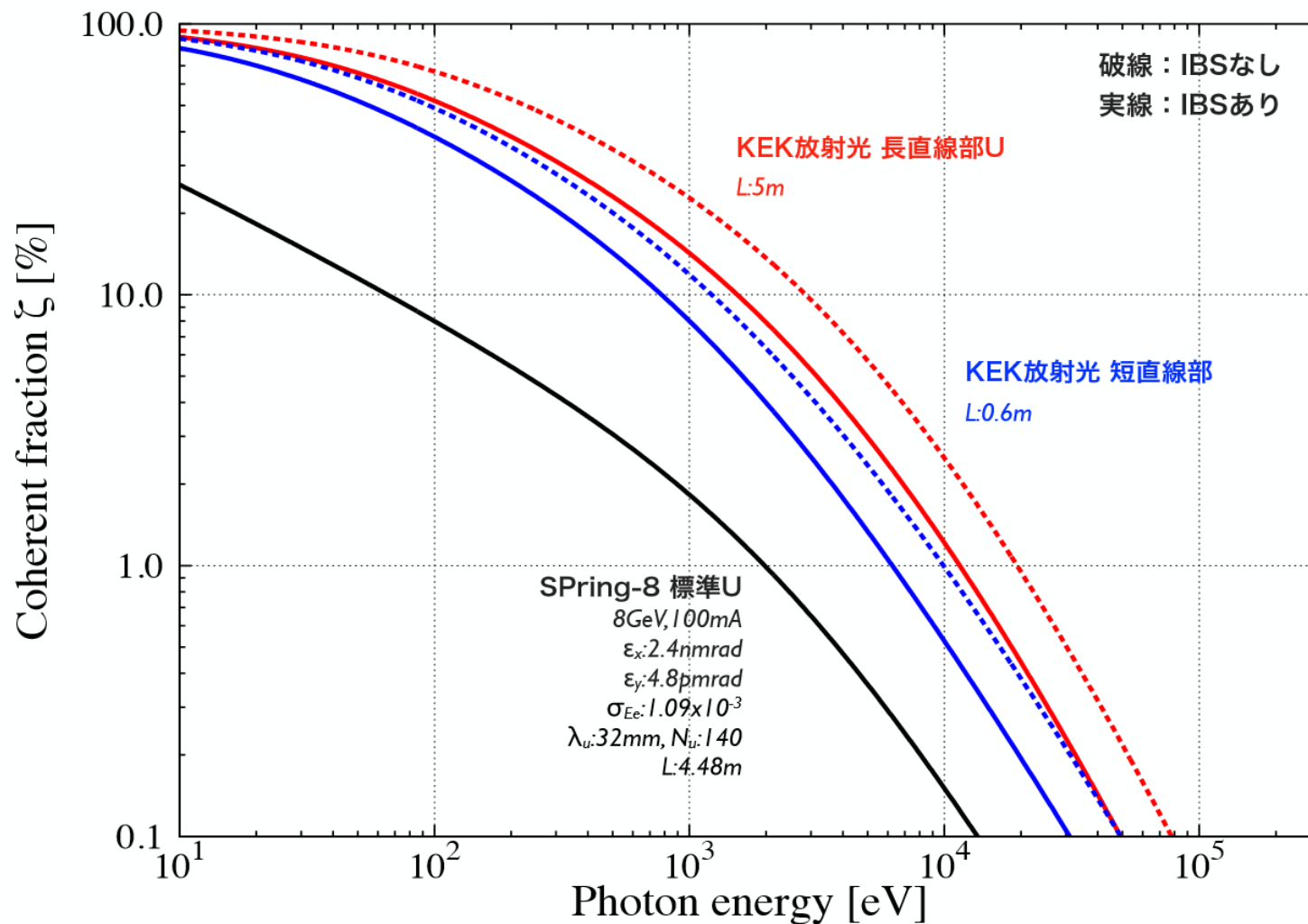
光束



ビームライン本数：長直線部ID × 18本、短直線部ID × 20本、BM × 20本

コヒーレント比

IBS : 概要参照



試料位置での放射光ビームの性能(評価方法)

➤ レイトレース計算によるビーム性能評価を1keVと10keVで実施

1 keV: SRXRAY [Y. Muramatsu, Y. Ohishi, and H. Maezawa, A new ray-tracing program capable of simulating insertion device synchrotron radiation sources, Jpn. J. Appl. Phys., 27, L1539-L1542 (1988)] を改良して使用

10 keV: SHADOW/XOPを使用

➤ 長直線部ID (UL48N104、UL20N250) の光源性能を仮定

➤ リング壁@29m、集光点@58mとして

リング壁の外側にビームラインコンポーネントを配置

➤ フラックス、コヒーレントフラックスの計算では反射率や効率を考慮

➤ ミラーのスロープエラーは考慮されていない(回折格子では $0.25\mu\text{rad}$ とした)
実際の性能は計算結果とファクターで異なる可能性あり

➤ 今後、波動光学による検討も必要(特に回折限界に近いところ)

試料位置での放射光ビームの性能(評価結果)

VUV-SX ビームライン@1keVの計算例(とPFの高性能BLの計算結果との比較)

	簡易集光	ナノ集光	FZP集光	PF BL-16A
ビームサイズ (H) x (V) [nm]	8,500 x 6,100	47 x 49	28 x 28	140,000 x 12,000
ビーム発散角 (H) x (V) [mrad]	0.33 x 0.31	13 x 12	49 x 49	1.1 x 0.33
フラックス [phs/s]	3.0×10^{12}	1.4×10^{11}	2.0×10^{10}	1.0×10^{12}
コヒーレントフラックス [phs/s]	2.0×10^{11}	1.1×10^{11}	-	4.9×10^8
エネルギー幅 [meV]	50	45	50	150

X ビームライン@10keVの計算例(とPFの高性能BLの計算結果との比較)

	高コヒーレンス	ナノ集光	強集光	PF BL-15A1
ビームサイズ (H) x (V) [nm]	500 x 570	48 x 50	27 x 26	17,000 x 9,000
ビーム発散角 (H) x (V) [mrad]	0.12 x 0.10	2.0 x 1.1	2.1 x 3.4	1.6 x 0.26
フラックス [phs/s]	1.2×10^{12}	1.5×10^{12}	1.1×10^{12}	2.4×10^{11}
コヒーレントフラックス [phs/s]	1.0×10^{12}	8.6×10^{11}	6.8×10^{11}	1.1×10^7
エネルギー幅 [eV]	1.3	1.3	1.3	3.5

ビームラインの用途に応じて、より小さいビームサイズやより高いエネルギー分解能を実現することも可能である。