

# 入射器に特徴を持たせた蓄積リング型光源

物質構造科学研究所 小林幸則、山本 樹

## 蓄積リング

蓄積リングは、エネルギー 4 GeV、周長 400 ~ 500m と SPring8 や ESRF 等の X 線第 3 世代光源ほど規模は大きくないが、3 ~ 6 m 程度の短直線部を数多く有し、ミニポールアンジュレータを主体として、1keV ~ 20keV 程度までカバーしようとする光源である。ミニポールアンジュレータを多数使用する場合、寿命およびビーム不安定性等が問題となるが、寿命に関しては最近 Top-Up 入射が可能になりつつあり、そのための専用入射器および高精度入射システムを用意しておくことで解決できるであろう。ビーム不安定性に関しても、初期対策およびフィードバックシステムの導入により抑制可能と期待される。

蓄積リング型光源は、汎用性が高く、非常に安定（光軸、寿命）であるという点で共同利用には大変向いている。一方で、すでに世に存在する型の光源で有り、特徴のない光源という考え方もある。

## 入射器

入射器の使命は蓄積リングへビームを入射することであり、入射が終了すれば後は次回入射を待つのみである。ビーム寿命の長いリングの場合は、一日一回の入射程度であるため入射器にはそれほどコストをかけないというのが従来の考え方であった。今回の我々の提案は、入射器に特徴をもたせるという発想のもと、従来の使命であるリングへの入射を行うとともに、自らが光源となりうる入射器をつくるというものである。その一つの案として、1GeV 程度の CW ライナック（超伝導ライナック）を基本として、マルチパスで 4GeV まで加速し、その後減速してビームを捨てるというクリパノフ教授によって提案された MARS (Multi-pass Accelerator Recuperator Sources) を想定している。この加速器には、加速途中に 4 本の長い直線部が設けられており、そこに長尺のアンジュレータを置くことができるようにしてある。そして、電子銃からは CW で高品質のビーム（極低エミッタンス、極低エネルギー分散、平均電流値 1mA）が発生され、超伝導ライナックで加速される度にさらにビームのエミッタンスおよびエネルギー分散が小さくなっていくという大きな特徴を有している（リングに比較してエミッタンスで 2 桁、エネルギー分散で 1 桁以下）。この高品質ビームによって、回折限界の光を発生させようというのが、この計画の特徴である（計画の概略図：図 1）。

## 放射特性

前記の加速器設計に基づいて光源を実現する場合の概略を以下に述べる。蓄積リング型光源 ( $E=4\text{GeV}$ ,  $I=400\text{mA}$ ,  $\epsilon_0=15\text{nm}$ 、エミッタンスカップリング  $k=0.01$ 、エネルギー拡がり  $\sigma_E/E=1 \times 10^{-3}$ ) では、通常型、真空封止型、極短周期型の 3 通りのアンジュレータを想定している。各々の型の代表的周期長として、8cm (アンジュレータ全長 4.5m)、4cm (4.5m)、および 2cm (2m) を選んだ場合の輝度スペクトルを図 2 に示す。

一方、上記蓄積リングへの入射器として用いるエネルギー回収型リニアック (ERL) を電子ビーム源とするシングルパス型（しかし連続動作）の光源の放射特性を図 3 ~ 6 に示す。今回の概略設計では、1GeV の ERL に対して 4 本のリターンパスを設けることにより 4GeV までの加速・蓄積リングへの入射を可能にしており、各々のリターンパスに長尺アンジュレータを設置することにより非常に輝度の高い放射光を生成することが可能になる。ERL では通常のリニアック型光源の特性（エミッタンス、エネルギー拡がりともに加速エネルギーに逆比例して減少する）に加えて、加速中のエミッタンス・エネルギー拡がりの劣化（増加）を非常に小さく抑えることができるため、電子ビーム源の性能を良いものにすることができれば回折限界に達した放射光を得ることが可能になる。ここでは電子源の性能として、1mA の電流値、規格化エミッタンス  $\epsilon_n=0.1 \times 10^{-6}\text{m}$ 、および 1GeV における  $\sigma_E/E=2 \times 10^{-4}$  を仮定した。図 3 に示した例では周期長 4cm ( $K=1.0$ ) 全長 50m のアンジュレータにより 1GeV ビームを用いて約 158eV において回折限界の放射光が得られる：比較のためエミッタンスがゼロの場合と  $\epsilon_n=1 \times 10^{-6}\text{m}$  の場合も示してある（この例では後者も回折限界に達している）。図 6 には、4GeV ビームと周期長 2cm ( $K=1.0$ ) 全長 40m のアンジュレータを用いて約 5keV において回折限界放射光が得られる場合を示した。

アンジュレータから得られる放射のバンド幅は周期数に逆比例して減少するため、ここに示したような多周期（長尺）アンジュレータのスペクトルは非常に鋭いものになるが、この効果は電子ビームの  $\sigma_E/E$  によって鈍化する。ここでは有限の  $\sigma_E/E$  に対して、周期数を増やすことによってバンド幅を減少させることのできる臨界値を  $N^*$  として各図の中に示してある。

これらの例は、現在想定できる加速器性能の境界条件の下で試算したものであり、利用者との議論を経たものではない。この報告をたたき台として今後議論を深め、挿入光源および加速器の性能へのフィードバックを行いたいと考える。

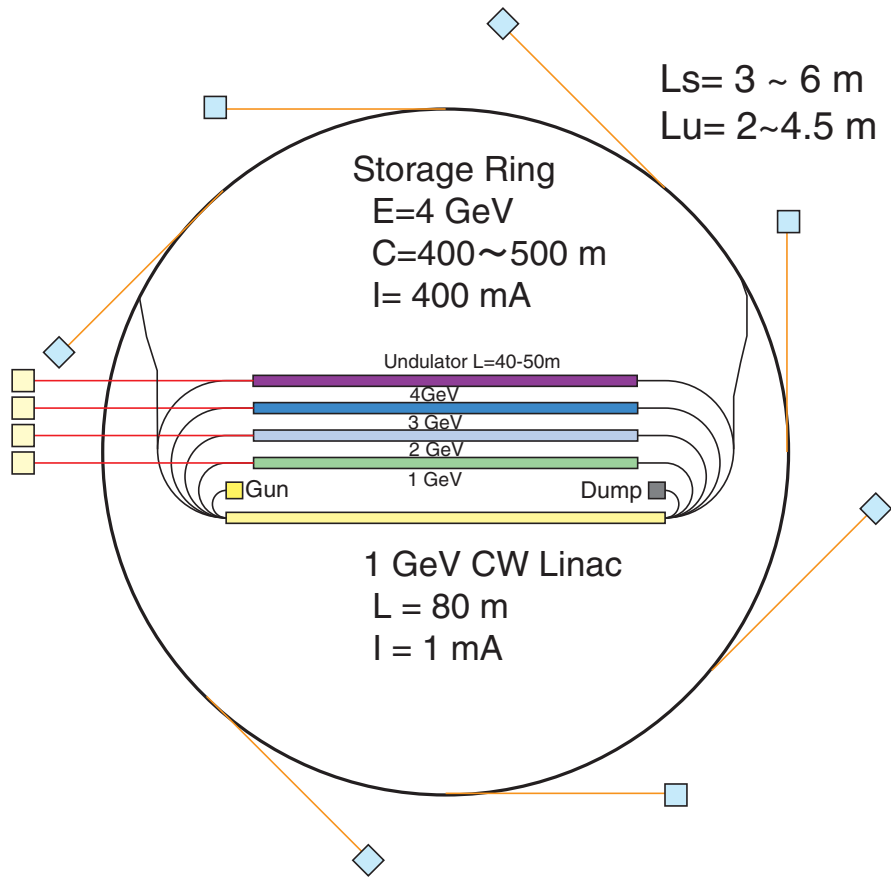


図1 計画の概略図（外側の円：蓄積リング、円の内側：入射器 MARS）

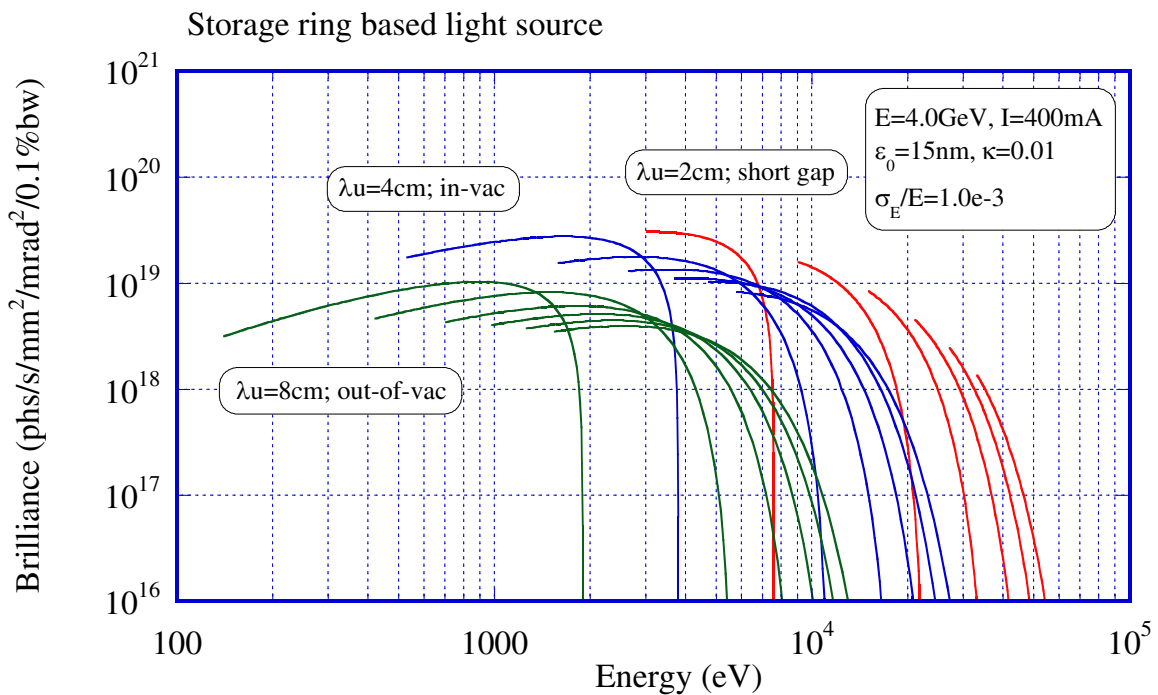


図2 蓄積リング型光源における  
アンジュレータの輝度スペクトル

$\lambda u(\text{cm})$	N	Gmin(mm)	Kmax	$\beta x(\text{m})$	$\beta y(\text{m})$
2	100	5	1.74	10	1
4	112	8	3.51	10	2
8	56	28	5.00	10	2

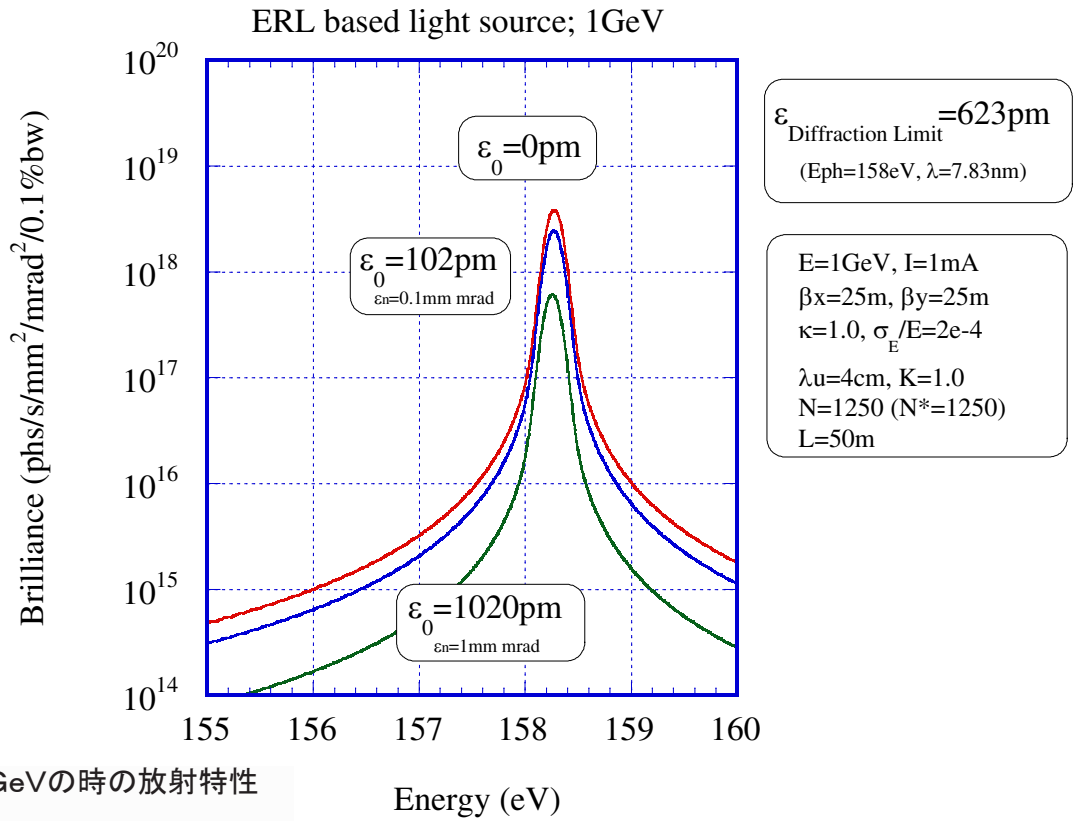


図3 1GeVの時の放射特性

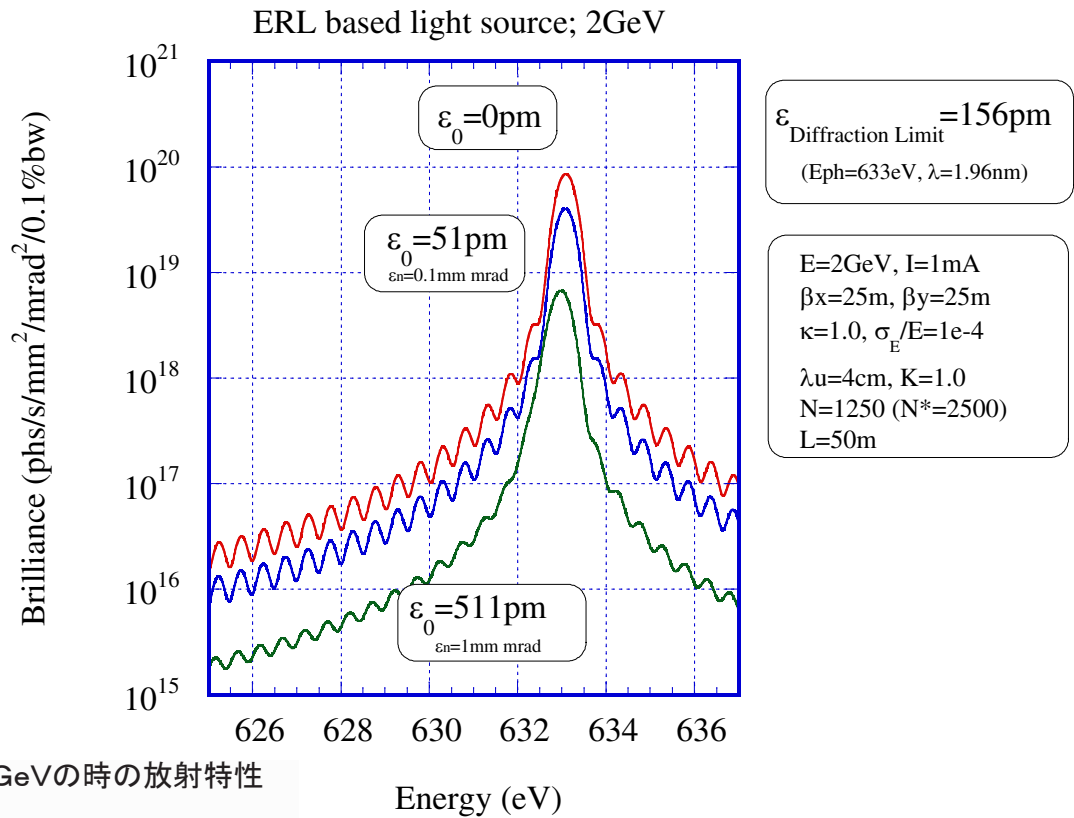


図4 2GeVの時の放射特性

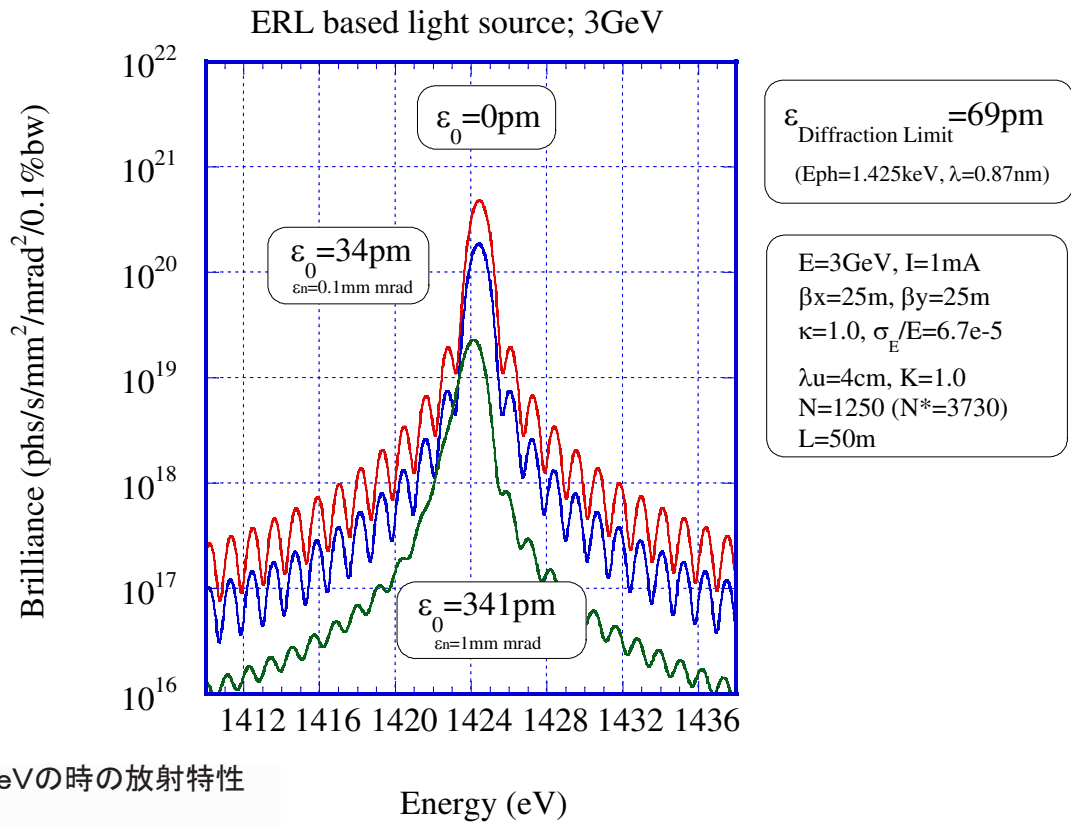


図5 3GeVの時の放射特性

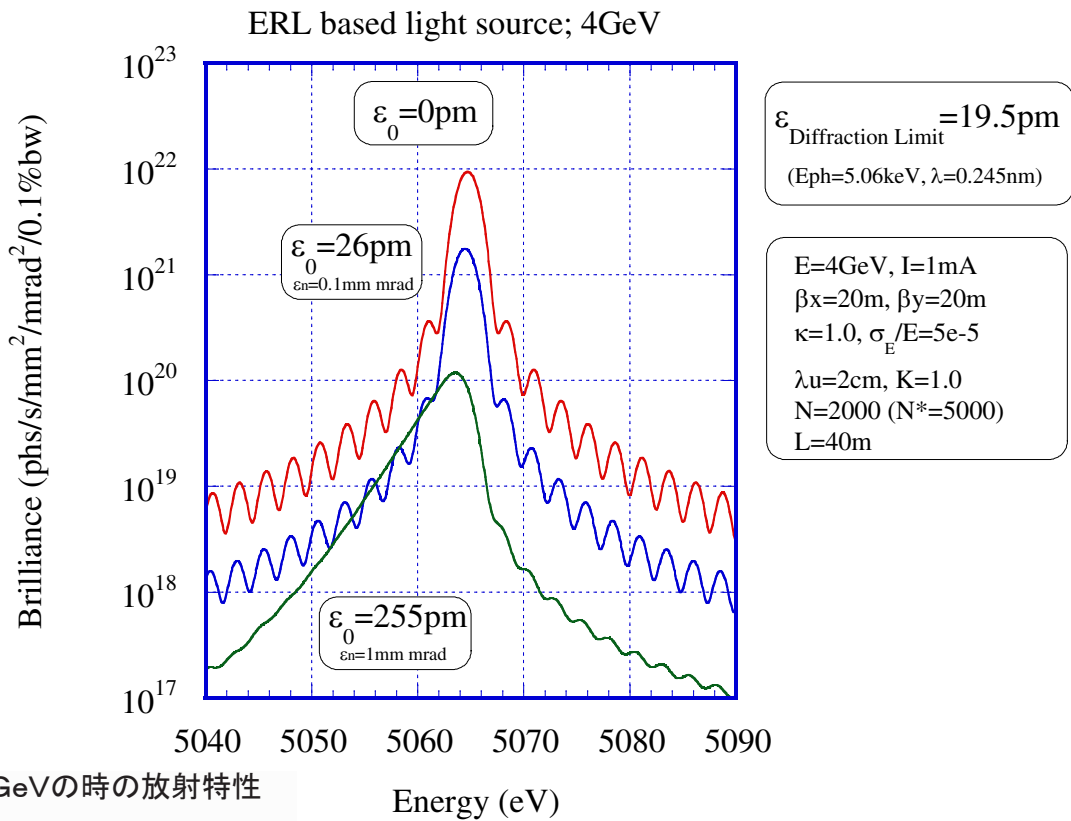


図6 4GeVの時の放射特性