

ニュースバルへの赤外ビームライン設置の検討

INSTALLATION PLAN OF INFRA-RED BEAM LINE AT NEWSUBARU

庄司善彦^{#, A)}, 池本夕佳^{B)}, 森脇太郎^{B)}
Yoshihiko Shoji^{#, A)}, Yuka Ikemoto^{B)}, Taro Moriwaki^{B)}
^{A)} University of Hyogo, NewSUBARU/SPring-8
^{B)} JASRI, SPring-8

Abstract

We have qualitative discussion of buildings infra-red beam line at NewSUBARU. With the most possible plan, using radiation from an inverse bend, the new beam line would supply photons of 60% of that of SPring-8 BL43IR. With the next possible plan, using radiation from a normal bend, the new beam line would supply photons of twice of that of SPring-8 BL43IR in shorter wavelength region than 40 μ m.

1. はじめに

ニュースバルへの赤外ビームライン（以後、IR-BL）設置は、昨年岡崎で開かれたワークショップ「高輝度・高強度赤外光源の現状と展望」における技術的検討結果の一つである。現在日本国内で IR-BL を設置しているのは UV-SOR (BL6B) と SPring-8(BL43IR)である。ところが SPring-8-II の計画が実施となれば遠赤外ビームラインは SPring-8 から消える可能性が高い。大きな開口部を必要とする IR-BL は、電子ビームパイプが細い ultimate ring と相性が悪いからである。SPring-8 の IR-BL の代替施設として 1.0 GeV のニュースバルが候補となるのは技術的には当然である。

ニュースバルから見れば、赤外領域はニュースバルの特徴を生かした産業利用が期待できる。仮にニュースバルの低エミッタンス化が行われるとしても、本稿では現状を前提として設計する。つまり、IR-BL 設置は蓄積リング改造以前の短中期計画という位置付けになる。

ニュースバルに期待されるのは、SPring-8(BL43IR)と同等か、それ以上の光子数である。まずはビームライン垂直方向の acceptance が十分広いと仮定すると、偏向電磁石からの長波長放射光の放射パワーは下式で与えられる[1].

$$\frac{dI}{d\omega} \approx \left(\frac{eI_e}{c}\right) \left(\frac{\omega\rho}{c}\right)^{1/3} \left(\frac{\Delta\theta_H}{2\pi}\right) \quad (1)$$

ここで、 $dI/d\omega$ は角周波数あたりの放射パワー、 I_e は蓄積電流、 r は曲率半径、 $\Delta\theta_H$ は horizontal angle acceptance である。従って、大雑把には BL の光子数は $I_e r^{1/3} \Delta\theta_H$ に比例すると考えて比較すれば良い。同時に vertical angle acceptance $\Delta\theta_V/2$ が critical photon angle θ_c に達する波長 λ_V も参照すれば大まかなことが分かる。Critical photon angle θ_c は下式で与えられ [1].

$$\theta_c = \left(\frac{3c}{\omega\rho}\right)^{1/3} \quad (2)$$

ここから λ_V は下式で計算できる。

$$\lambda_V = \frac{\pi}{12} \rho \Delta\theta_V^3 \quad (3)$$

NewSUBARU の想定ビームラインのパラメータを既存のビームラインと比較したものが Table 1 である。逆偏向電磁石からの赤外領域の光子数では NewSUBARU のラインは UV-SOR のライン BL6B には及ばないが、SPring-8 のライン BL43IR の約 2.5 倍である。更に波長 0.02mm 以上の THz 領域では NewSUBARU はより有利になる。NewSUBARU の偏向電磁石からの放射を使うならば、赤外領域の光

Table 1: Comparison of IR-BLs

	UV-SOR BL6B[2]	SPring-8 BL43IR [3]	New SUBARU 1GeV IB	1.5GeV NB
曲率半径 ρ	2.2 m	39.3 m	3.22 m	3.22 m
蓄積電流 I_e	300 mA	100 mA	300 mA	300~200mA
開口 $\Delta\theta_H$	0.215 rad.	0.036 rad.	0.070 rad.	0.30 rad.
$\Delta\theta_V$	0.08 rad.	0.0125 rad.	0.06-0.12 rad.	0.036 rad.
λ_V for $\Delta\theta_V/2=\theta_c$	0.3 mm	0.02 mm	0.18-1.4 mm	0.04 mm
$I_e \rho^{1/3} \Delta\theta_H$	0.08	0.012	0.031	0.11

[#]shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

子数であれば UV-SOR の BL6B を凌ぎ, SPring-8 の BL43IR の約 10 倍の光子数が可能になる。

2. 逆偏向電磁石内真空チェンバー

2.1 現状のビームダクト

ニュースバル逆偏向電磁石部の真空ダクトはアルミ製で Fig. 1 のようになっている。上からの平面図が Fig. 2 で、真空内部の高さは電子ビームが通過する部分は $\pm 10\text{mm}$ あるが、ビームが通過しない部分は $\pm 5\text{mm}$ の設計である。現状では初段平面ミラーを、 $\pm 5\text{mm}$ 部分に設置し、90 度上方向へ曲げるしかない。放射光を受ける初段ミラーがアブゾーバーまたはミラースリットを設置しない単純平面であるとする場合でも acceptance は水平方向に 0.06 radian, 垂直方向は光源点に依存し、 $\pm 0.012\sim 0.015$ rad でしかない。この acceptance では能力不足である。

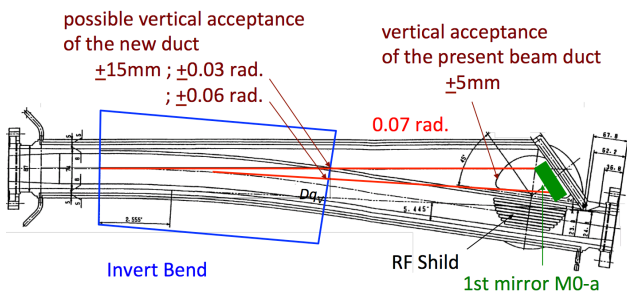


Figure 1: Flat view of the present beam duct.

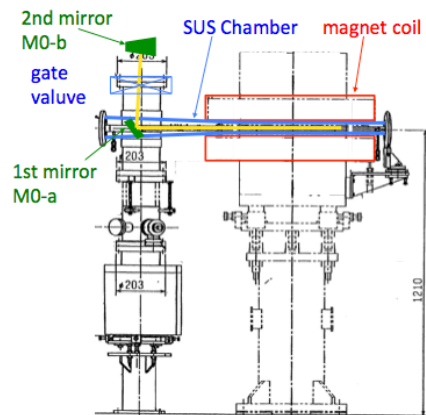


Figure 2: Side view of the present beam duct.

2.2 新規製作のビームダクト

真空チェンバーを作り変える場合は排気口の RF シールドを狭めることで $\Delta\theta_H = 0.07$ rad.に拡大できる。 $\Delta\theta_V$ を決めるのは、上流発光点に対しては bending magnet 出口の vertical acceptance になる。最上流に対して ± 0.03 rad. であり、発光点が下流に移るに従って拡大していく。最上流から 0.07 rad.で ± 0.06 rad.に達する。

Figure 2 が横から見た現在のビームダクトであるが、これを改造する。現在設置されている 6 極磁場

発生用 pole face winding は撤去し、アルミから SUS チェンバーに変更することで既に述べたように vertical angle acceptance を 0.06~0.12 rad.まで拡大する。Vertical inner size は acceptance が偏向電磁石出口で決まるように、コイル出口に向けてテーパ状に拡大するが、電子ビームが通過する中央部はフラットで $\pm 14\text{mm}$ のままとする。

2.3 熱負荷ミラーと光子数

光学ラインは、初段は制作が容易で精度の出やすい水冷フラットミラーで垂直に光をはね上げ、第 2 ミラーで光学取束させる。第一ミラーは熱変形が予想できるが、1GeV 300mA top-up operation で実現する変形に対して第 2 ミラーより下流に非線形ミラーを設置する [4]。

現時点で予想されるフォトン数の概算を Fig. 3 に示しておく。波長にして $\lambda_r = 180$ μm 付近までは下式で与えられる。

$$\frac{d^2N}{(d\omega/\omega)dt} \approx \left(\frac{0.3e}{ch}\right) \left(\frac{\omega\rho}{c}\right)^{1/3} 0.07 \quad (4)$$

より長波長では vertical acceptance の制限から垂直偏光の光子数が式計算より減りだす。

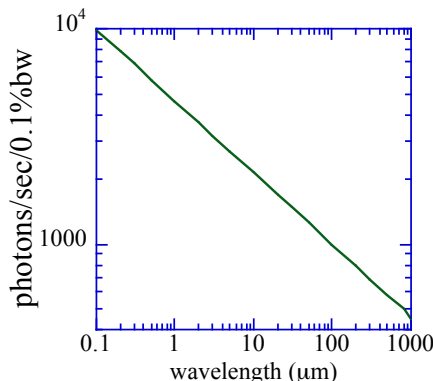


Figure 3: Number of photons expected at NewSUBARU IR-BL.

3. 偏向電磁石内真空チェンバー

偏向電磁石からの放射光をリング外側に出そうとするなら、Table 1 に示すように、偏向電磁石の垂直方向 acceptance は ± 0.018 rad.と小さくなってしまふ。光源から出た光が偏向電磁石外側の磁極ギャップを出るまで 0.82m, コイルギャップを出るまで 1.17m あるからである。コイルギャップ内に水冷ミラーを設置するのは難しく、結局は UV-SOR BL6B[2]のようなレイアウトにせざるを得ない。具体的には Fig. 4 の形状である。初段ミラーは幅 60cm, 後段 magic mirror は 1m 近い大きさになってしまうだろう。

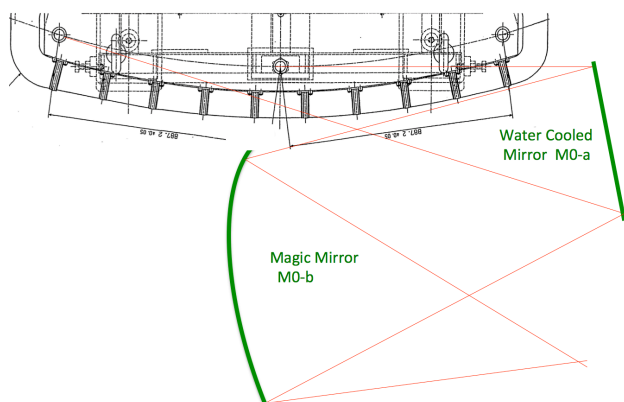


Figure 4: IR extraction mirror for normal bend.

4. 分析ライン

IR ビームラインの概要は赤外顕微分光を主とする Fig. 5 の構成で考えている。高度権の方針である産業利用[5-9]が期待できるだろう。

設置スペースは、現在可視放射光モニターSR5 が設置されているエリアを考えている。垂直方向の光軸移動が小さくて済むため、ほぼ直接の目視で設置できる。

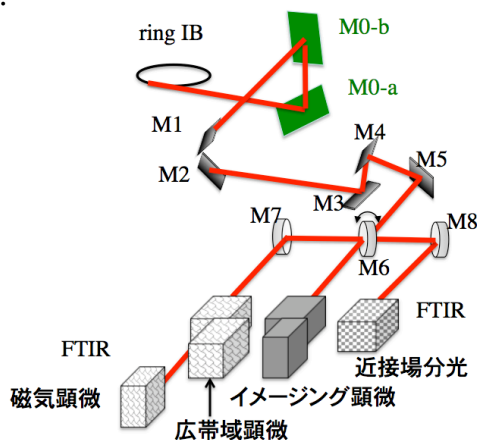


Figure 5: Rough design of IB-BL.

5. おわりに

電子蓄積リングニュースバルへの赤外ビームライン設置について検討した。SPring-8 BL43IR と同程度の光子数を供給する、利用可能な赤外ビームラインを設置できる。

予算規模は蓄積リングからの光取り出しに 0.3 億円、分析装置を含むビームラインに 2.5 億円程度を予想している。

参考文献

- [1] ジャクソン「電磁気学」第14章, 吉岡書店.
- [2] UV-SOR BL6B;
<https://www.uvsor.ims.ac.jp/beamlines/6B/bl6b.html>
- [3] 森脇太郎, 池本夕佳, 木下豊彦, 「BL43IR の現状

- (2014)」, SPring-8/SACRA 利用成果集, Vol3, No.1;
<https://user.spring8.or.jp/resrep/?p=3500>
- [4] 松本卓也, 小林花繪, 庄司善彦, 皆川康幸, 竹村育浩, 「可視光ビームモニターライン初段ミラーの熱変形補償」, 第68回日本物理学会年会, (March 26-29, 広島大学 東広島キャンパス).
- [5] 岩崎望, 長谷川浩, 鈴木淳, 村岡英一, 「SR-IR 分析による宝石サンゴ成長速度の推定」, 第6回 SPring-8 産業利用報告会 JP-01, 2009.
- [6] 山本友之, 西原優子, 田村直久, 「エチレン-ビニルアルコール共重合体(EVOH)のシュリンクに伴う構造および配向変化の評価」, 第6回 SPring-8 産業利用報告会 JP-21, 2009.
- [7] 稲益悟志, 他, 「顕微 IR を使用した毛髪内部浸透成分解析」, 第2回 SPring-8 合同コンファレンス, 2011.
- [8] 鈴木和之, 前田貴章, 渡邊紘介, 伊藤廉, 「顕微 IR を用いた美容処理に伴う毛髪内システイン酸の分布挙動の可視化」, 第11回 SPring-8 産業利用報告会, 2014.
- [9] 稲益悟志, 森脇太郎, 池本夕佳, 「ヒト毛髪内部浸透成分解析、及び、ヘアトリートメント効果評価」, 第13回 SPring-8 産業利用報告会, 2016.