

Belle シリコン・バーテックス検出器のための シンクロトロン放射光による放射線吸収線量の計算

阿部 哲郎

Belle-東北大グループ

— 概要 —

- 1) Belle 実験
- 2) 放射光によるバックグラウンド
- 3) SVD1.0 Gain Drop の再現と対策
- 4) 新しい放射線吸収線量計算システムの開発
- 5) まとめ

第 10 回 EGS4 研究会

2002 年 8 月 1 日

Belle 実験

⇒ 主な目的

- ⇒ B 中間子の崩壊における **CP 対称性の破れ**に関する実験的研究

⇒ KEKB 加速器

- ⇒ 非対称エネルギー電子・陽電子衝突
- ⇒ 高輝度を実現し、大量の B 中間子を生成

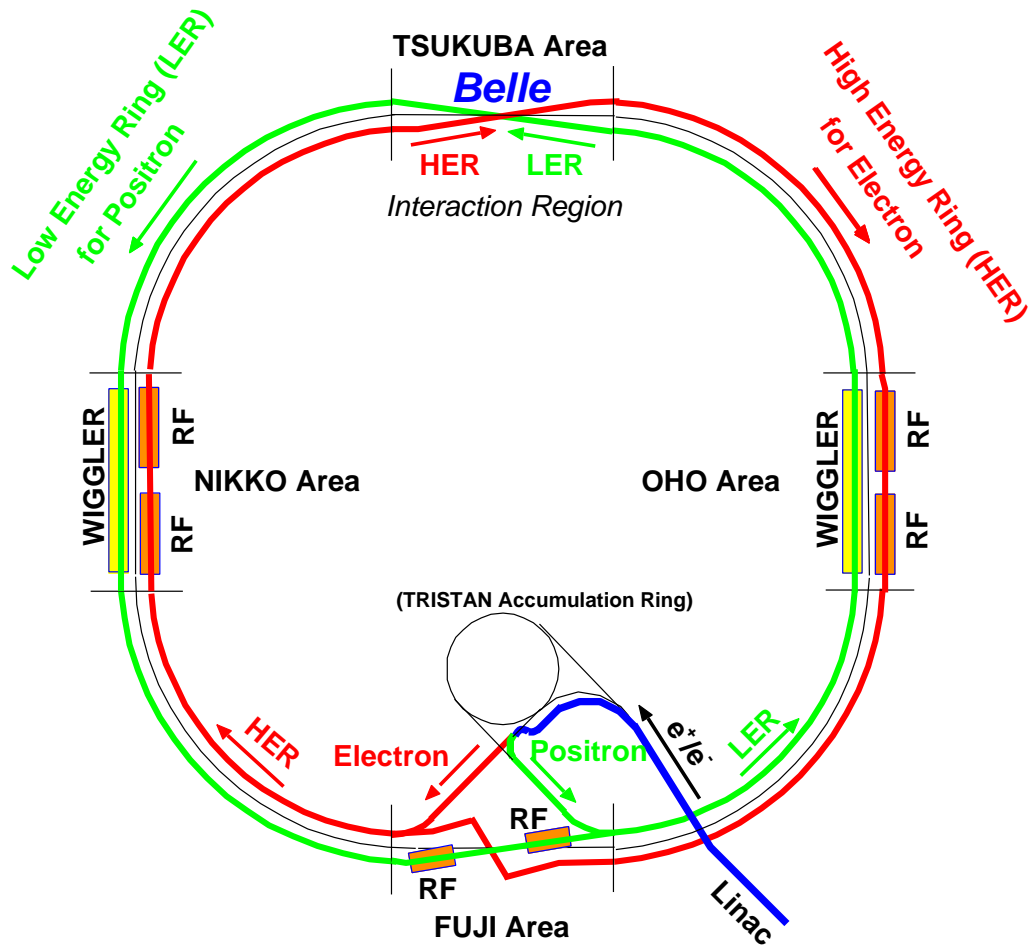
(→ fig

⇒ Belle 測定器

- ⇒ 殆んどすべての粒子を観測

(→ fig

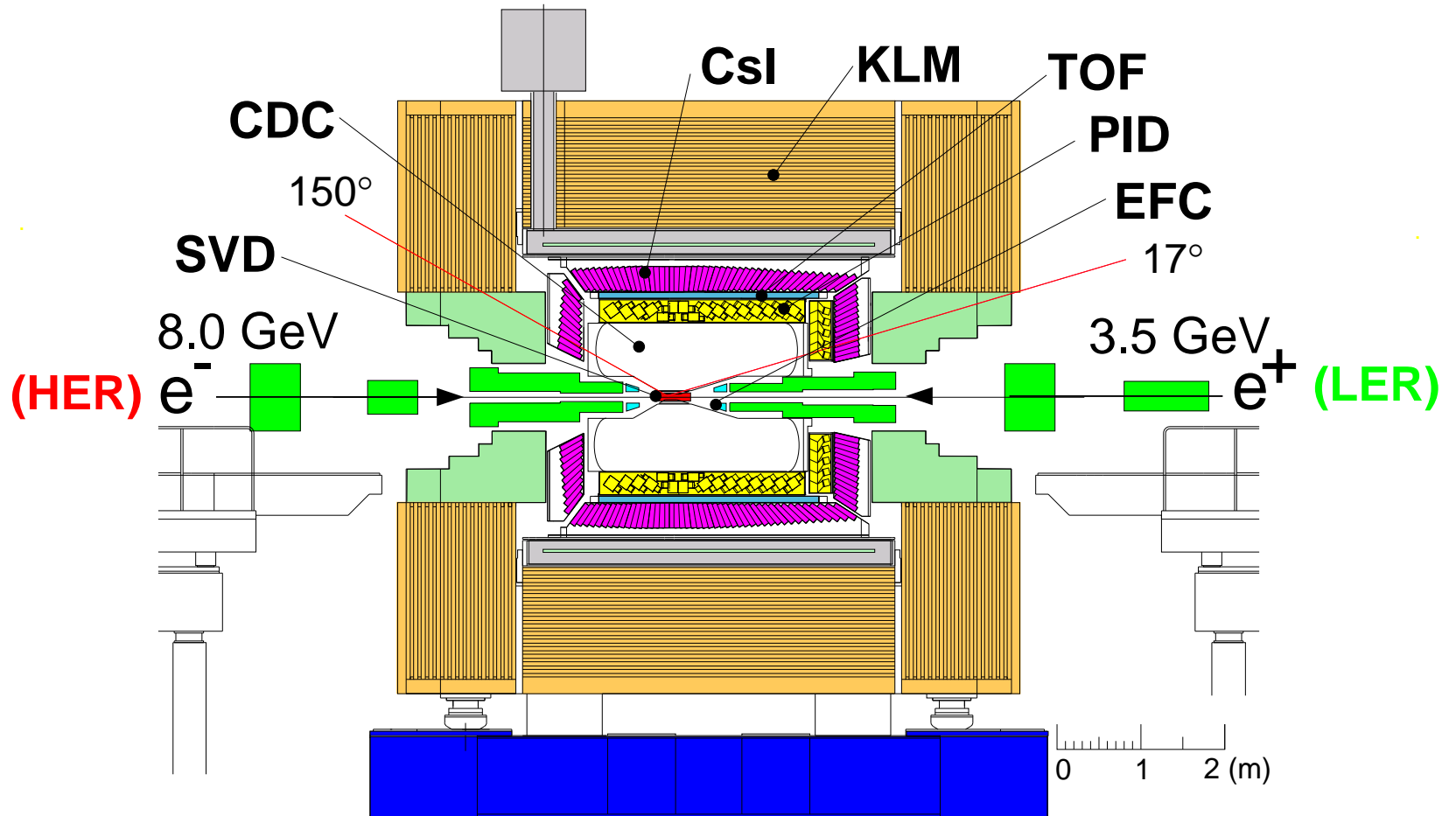
KEKB 加速器



(周長 : 3 km)

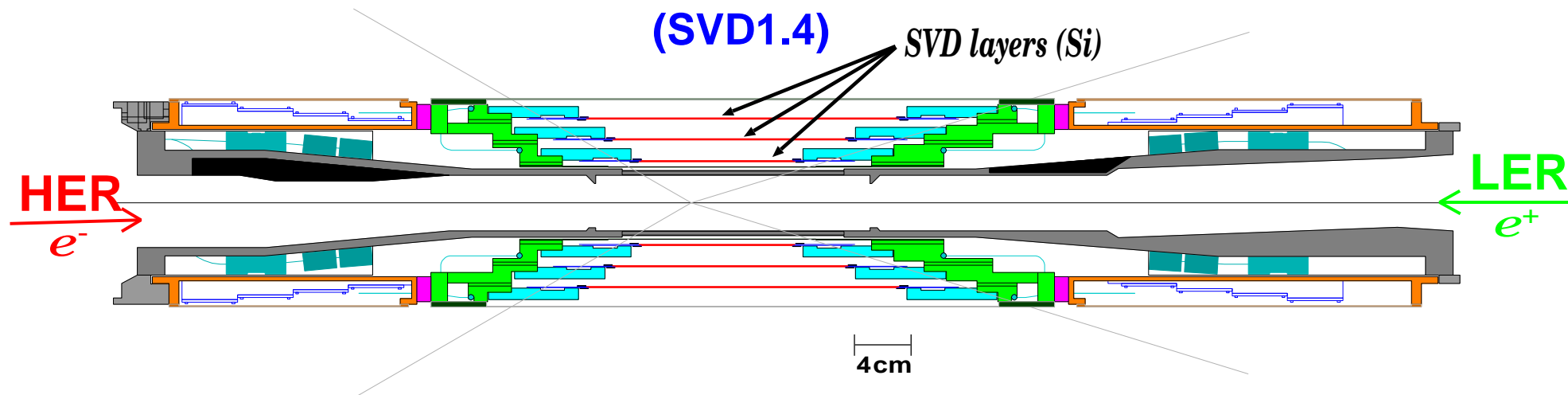
	High Energy Ring	Low Energy Ring
エネルギー	8.0 GeV	3.5 GeV
粒子	電子	陽電子
電流	約 1 A	約 1.4 A
ビーム寿命	約 5 時間	約 1.5 時間
輝度	$7.3 \times 10^{33} / \text{cm}^2 / \text{s}^{ec}$ (ピーク時)	

Belle 測定器



シリコン・バーテックス検出器 (SVD)

- 高分解能シリコン・ストリップ飛跡検出器
- 最も内側（衝突点近く）に置かれている
- 最も放射線を浴びる

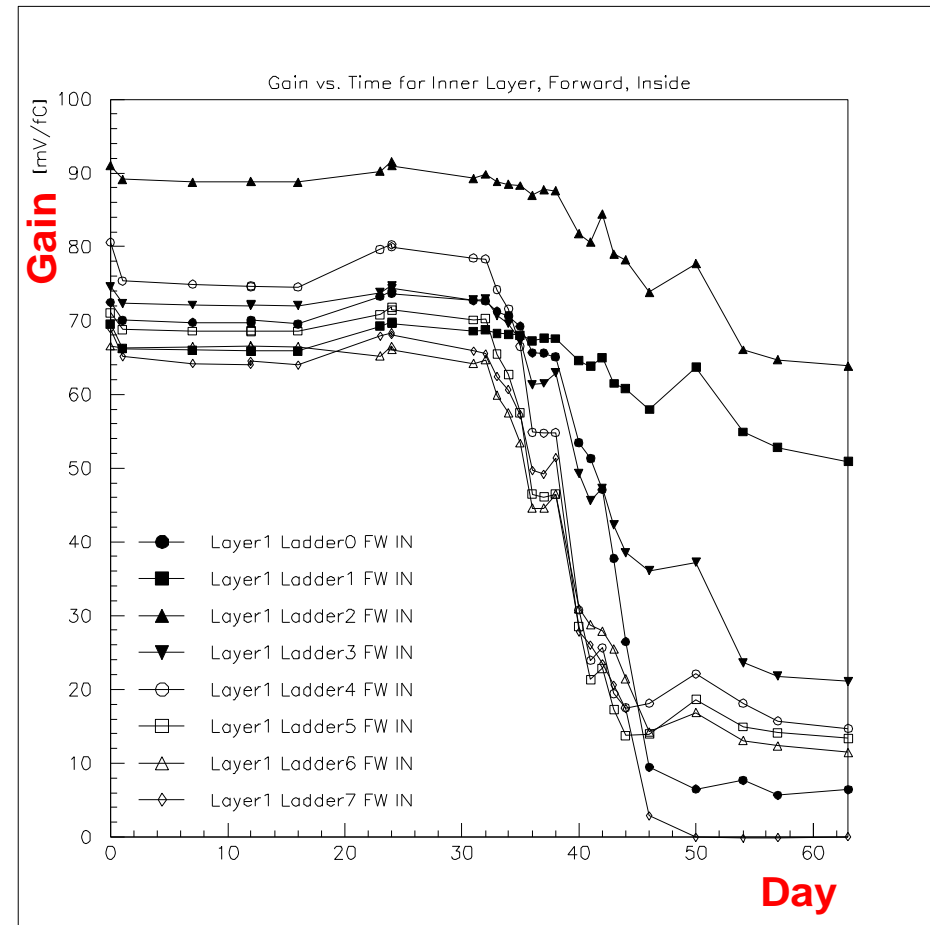


SVD1.0 Gain Drop

1999年6月3日～8月5日

⇒ いきなり 10 日間あまりでゲインがなくなってしまう

⇒ 原因は？



(from SVD2.0 TDR)

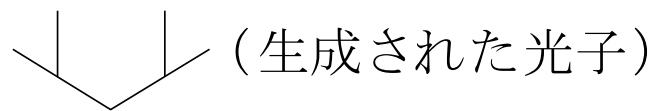
放射光による放射線吸収線量の計算 for SVD1.0

(by S. K. Swain and H. Yamamoto)

≪ 使用したツール ≫

⇒ **SRGEN** (written by S. Henderson)

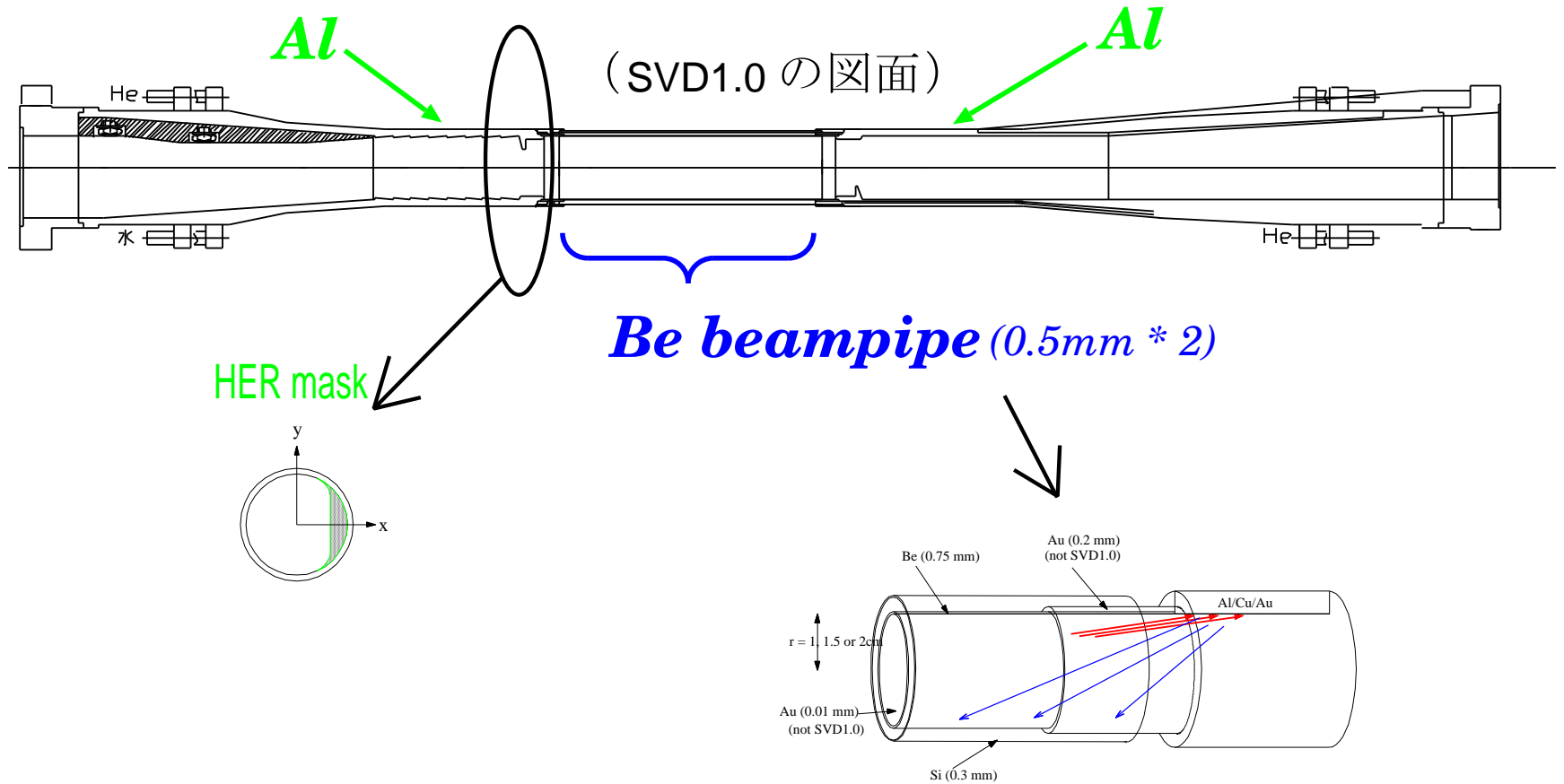
- ⇒ KEKB リングの Optics をインプット
- ⇒ 放射光のパワーと光子のスペクトルを計算
- ⇒ HER のみ考慮



⇒ **EGS4** (KEK-improved version)

- ⇒ 光子のエネルギーは 1 keV までシミュレート
(Critical energies \sim 2 keV)

EGS4 Geometry



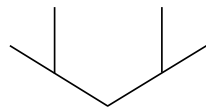
- シミュレーションの分散化
- Geometry の簡略化

SVD1.0 killing scenario

Estimated doses are: (and/or)

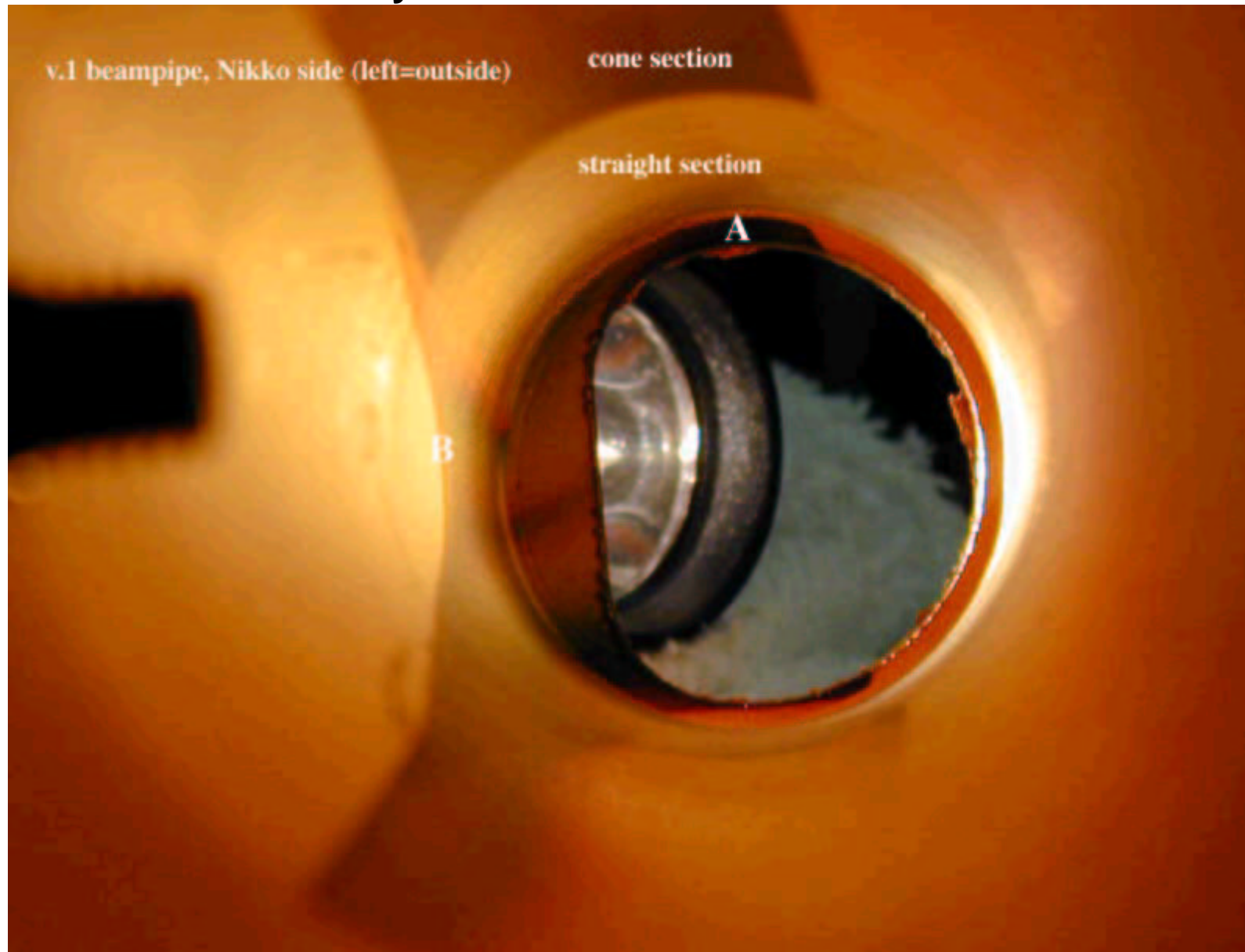
- From BC3 back-scattering from the LER-side mask: 270 kRad
- From QC2 forward-scattering: 23 kRad
- From QC2 back-scattering from the LER-side mask: 62 kRad
- From QC1 back-scattering on the LER-side mask: 480 kRad

> (The dose required to kill SVD1.0) = 200 kRad



HER リングからの放射光が原因

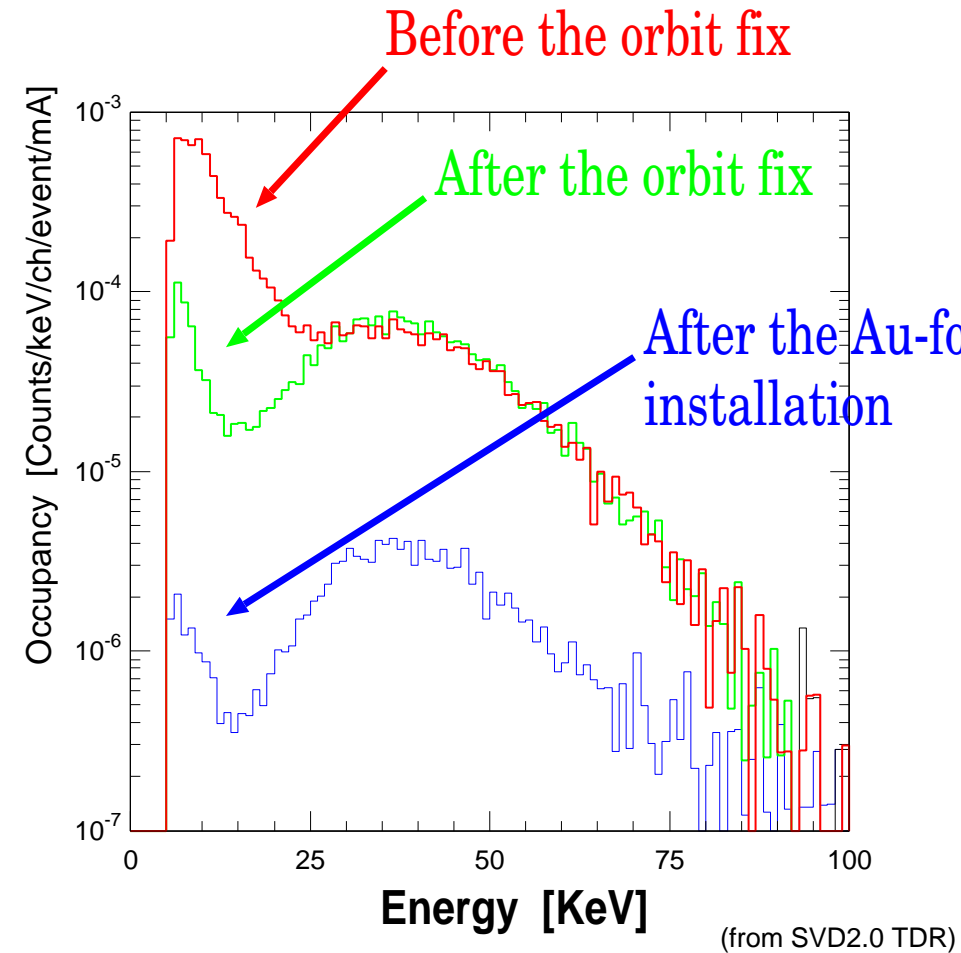
Synchrotron Radiation Burns



(from Belle Note #361 by T. Browder, S. Olsen, S. K. Swain and H. Yamamoto)

現在の対策

- ⇒ ステアリング磁石の蹴り角に上限
- ⇒ 衝突点ビームパイプ外（内）側に金箔（金蒸着）（厚み： $10\ \mu\text{m}$ ）

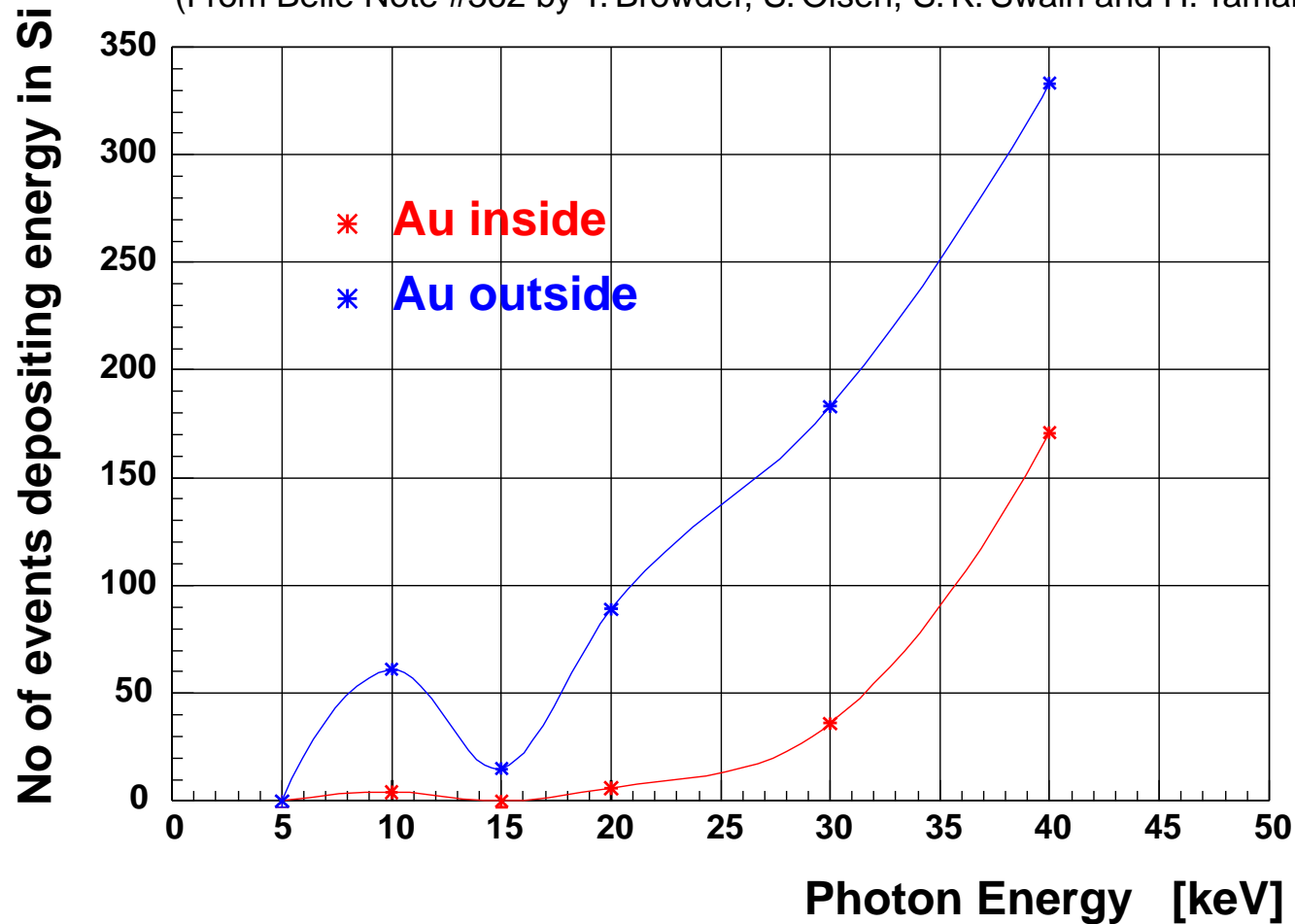


Effect of Gold-coating on the Be Beampipe

(estimated using EGS4)

Input: monochromatic 10000 photons at each energy point (*)

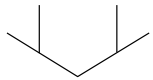
(From Belle Note #362 by T. Browder, S. Olsen, S. K. Swain and H. Yamamoto)



新しい放射線吸収線量計算システムの開発

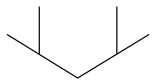
《 動機 》

- ⇒ 放射光による SVD1.0 の急激な Gain Drop
- ⇒ 将来における（スーパー）KEKB の大電流蓄積
 - ⇒ より多くの放射光
- ⇒ より細い衝突点ビームパイプの使用 ($r = 2.0\text{cm} \rightarrow 1.5\text{cm} \rightarrow 1.0\text{cm}?$)
 - ⇒ より多くのバックグラウンド



《 方針 》

- ⇒ より厳密なシミュレーション
- ⇒ 放射線吸収線量のオンライン・モニタリング
 - ⇒ アポート・シグナル to KEBK



放射光バックグラウンドのコントロール

《 方法 》

⇒ ビーム軌道

- ⇒ ビーム位置モニターの測定に基づいた計算（自作）
- ⇒ オフセット補正

⇒ 放射光シミュレーション

- ⇒ 解析的公式 (J. Schwinger, Phys. Rev. **75** (1949) 1912) に基づく
- ⇒ BASES/SPRING (S. Kawabata, Comput. Phys. Commun. **88** (1995) 309) の使用
(MC 積分) (光子生成)

⇒ 以上の詳しい情報：

<http://www-acc.kek.jp/WWW-ACC-exp/KEKB/KCGSeminar/KCGSeminar.html>

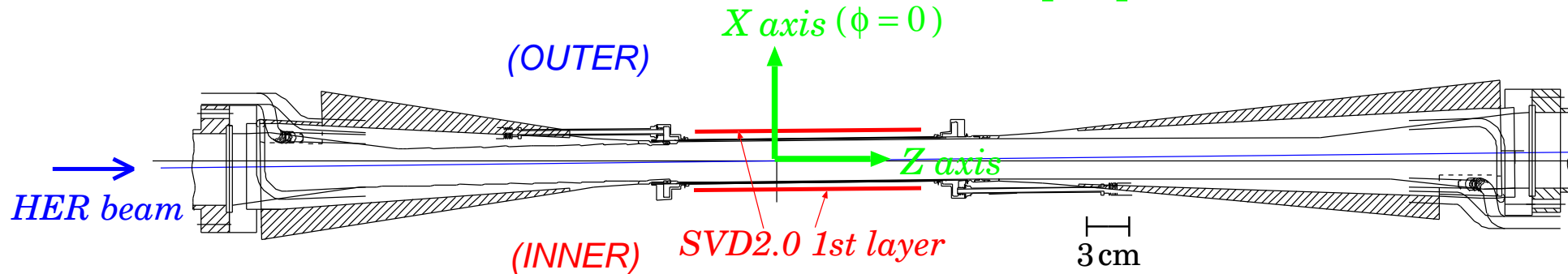
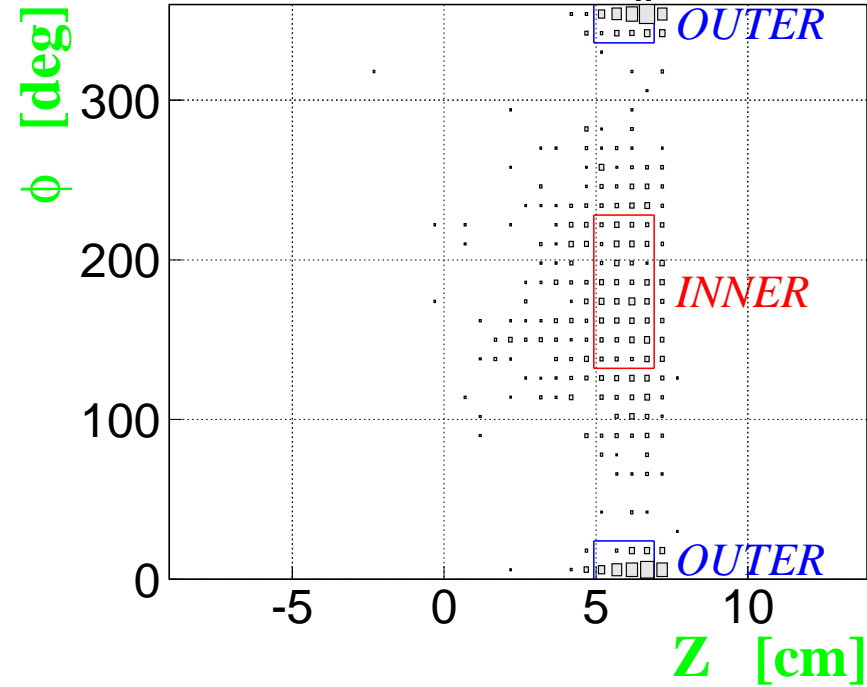
⇒ 放射線吸収線量の計算

- ⇒ EGS4 を使用（基本的なパラメーターは以前と同様）
- ⇒ 厳密な geometry（基本的図形：平面、円筒、円錐、'斜'円錐のモジュール化）
- ⇒ 応答関数テーブルの別途用意（→モンテカルロ統計誤差、計算時間における向上）

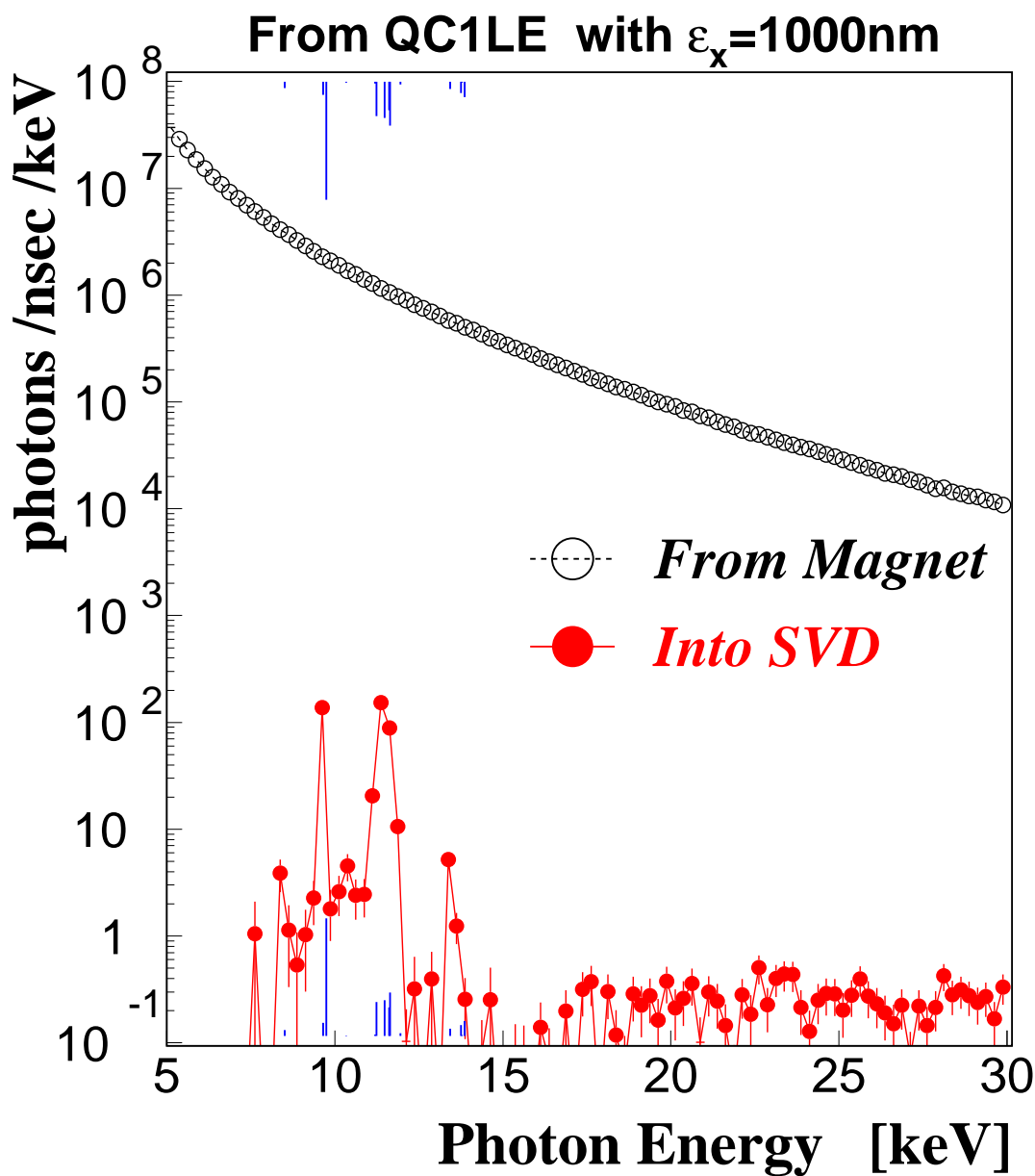
放射線吸収線量の分布

in the SVD2.0 1st Layer

From QC1LE with $\epsilon_x=1000\text{nm}$



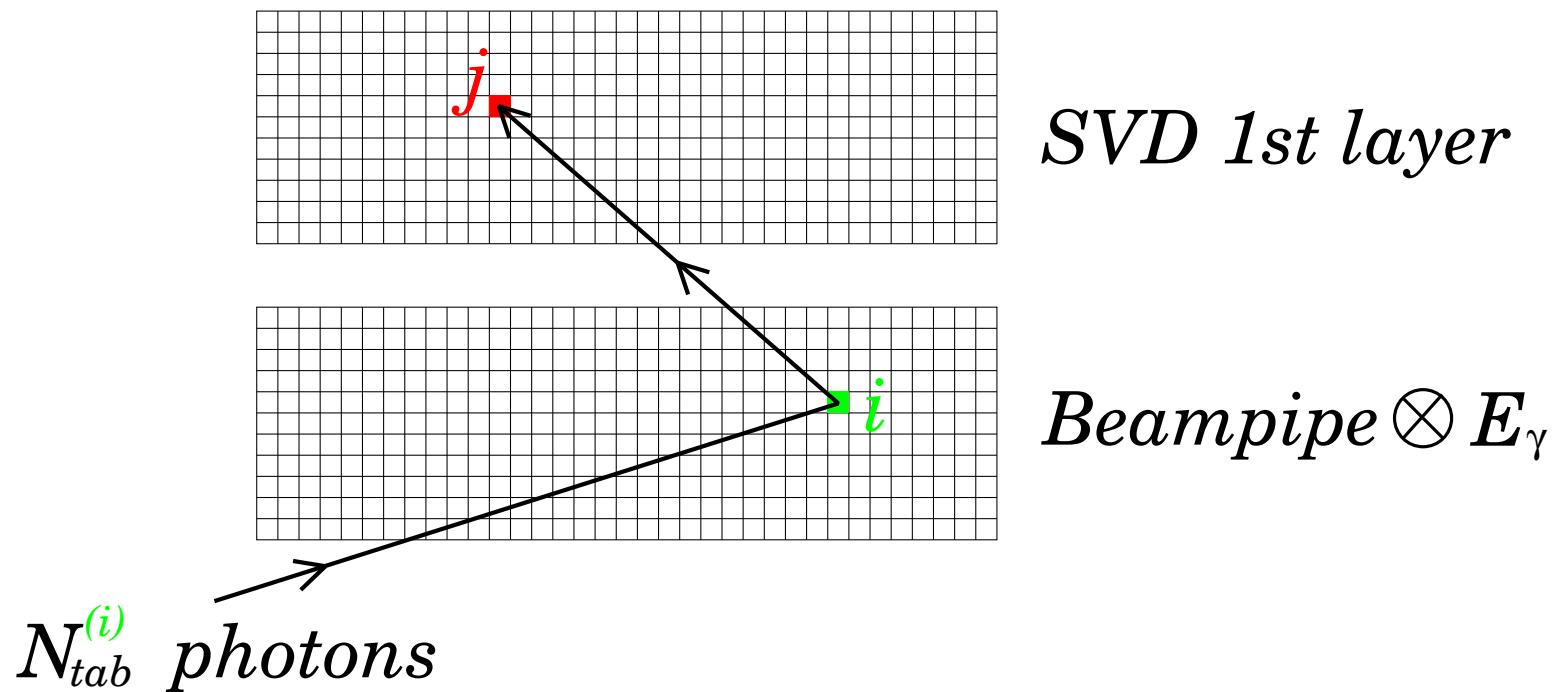
光子のエネルギー・スペクトル



- ⇒ SVD まで到達する光子は稀
- ⇒ 金の L-edges は重要

応答関数テーブルの定義

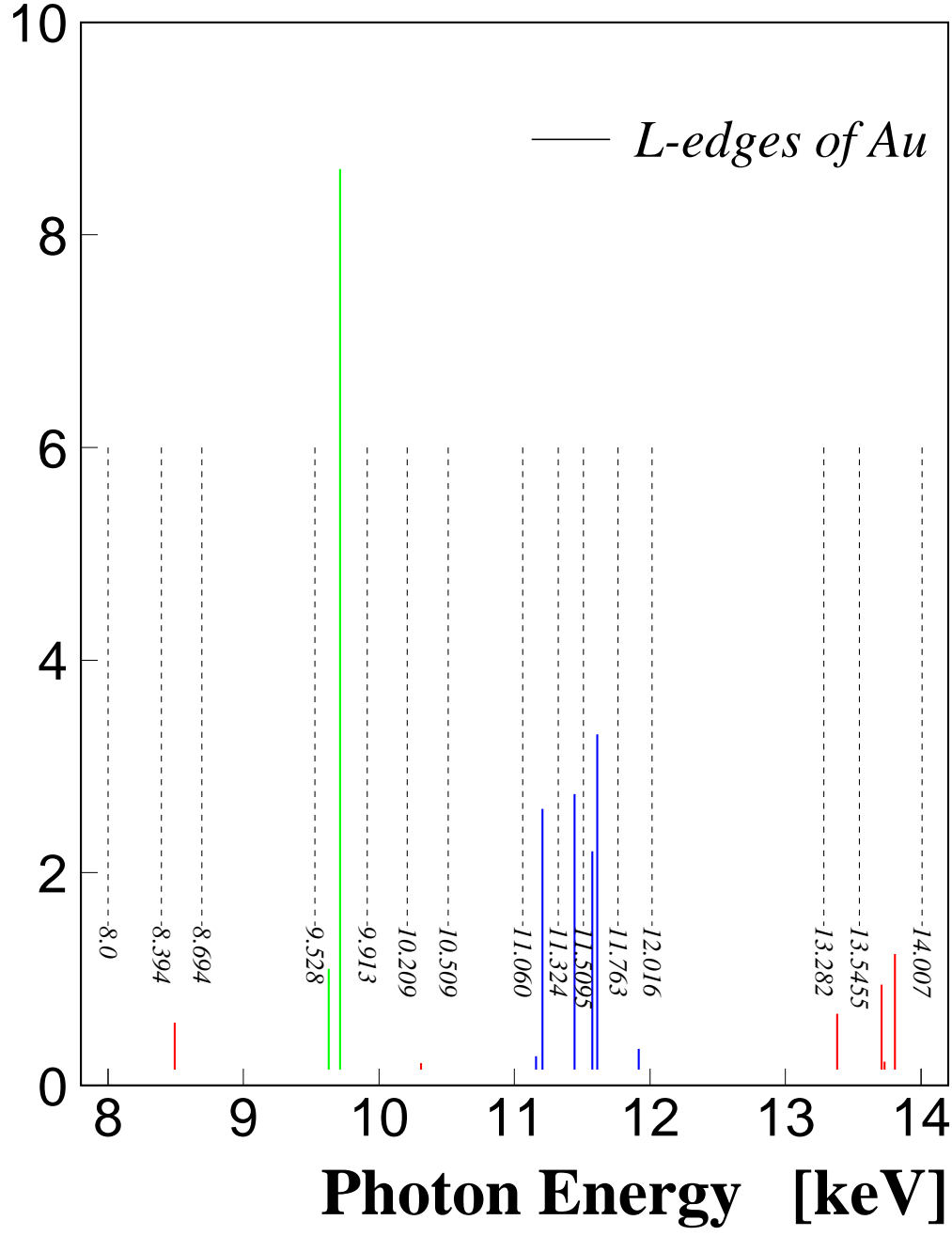
- (1) Make grid in (Z, ϕ, E_γ) space for incoming photons onto the inner surface of the beampipe (index: i)
- (2) Make grid in (Z, ϕ) space for dose distributions in the SVD 1st layer (index: j)
- (3) Calculate energy deposits in the SVD 1st layer: $E_{dep}^{(ij)}$



Cross Section in Arbitrary Scale

《 光子のエネルギーに関する分割 》

- 基本的には 1 keV おき (5~8, 14~20 keV)
- 但し、L-edge 付近 (8~14 keV) は細かく ↓



応答関数テーブルを使った計算

$N_{gen}^{(i)}$ 個の光子が来た時、

i : Beampipe grid

j : SVD grid

$$E_{dep}^{TOT} = \sum_i \sum_j N_{gen}^{(i)} \times \frac{E_{dep}^{(ij)}}{N_{tab}^{(i)}}$$

(↓モンテカルロ統計による誤差の評価は重要)

$$\Delta E_{dep}^{TOT} = \begin{cases} \sum_i \sum_j \Delta N_{gen}^{(i)} \times \frac{E_{dep}^{(ij)}}{N_{tab}^{(i)}} = \sum_i \sum_j \sqrt{N_{gen}^{(i)}} \times \frac{E_{dep}^{(ij)}}{N_{tab}^{(i)}} & \text{(MC stat. on } N_{gen}^{(i)}) \\ \sum_i \sum_j N_{gen}^{(i)} \times \frac{\Delta E_{dep}^{(ij)}}{N_{tab}^{(i)}} = \sum_i \sum_j N_{gen}^{(i)} \times \frac{\sqrt{\sum_n E_{dep}^{(ij)}(n)^2}}{N_{tab}^{(i)}} & \text{(MC stat. on } E_{dep}^{(ij)}) \end{cases}$$

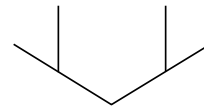
$$\therefore \left(\Delta E_{dep}^{TOT}\right)^2 = \sum_i \sum_j \left[N_{gen}^{(i)} \times \left(\frac{E_{dep}^{(ij)}}{N_{tab}^{(i)}}\right)^2 + N_{gen}^{(i)2} \times \frac{\sqrt{\sum_n E_{dep}^{(ij)}(n)^2}}{N_{tab}^{(i)}} \right]$$

(応答関数テーブルを作った時のモンテカルロ統計は十分か?)

《《'Upper limit'》》

$$E_{dep}^{UL} \stackrel{\text{def}}{=} \sum_i N_{gen}^{(i)} \times \frac{N_{UL} \cdot E_{gen}^{(i)}}{N_{tab}^{(i)}}$$

($N_{UL} = 3$ at 95% confidence level)



$E_{dep}^{UL} \ll$ (計算された energy deposit) を確認

《 計算結果の例 with $\epsilon_X = 1000 \text{ nm}^\dagger$ 》

	放射線吸収線量 in the SVD 1st layer [kRad/min/A]		CPU 時間
	INNER	OUTER	
従来の方法	4.55 ± 0.31	19.5 ± 0.9	13 時間
テーブルを使用 (<i>'Upper Limit'</i>)	$4.63 \pm 0.11 \pm 0.02$ (0.45)	$13.84 \pm 1.60 \pm 0.06$ (0.91)	5 秒

([†] This parameter value is not realistic, just for calculations.)

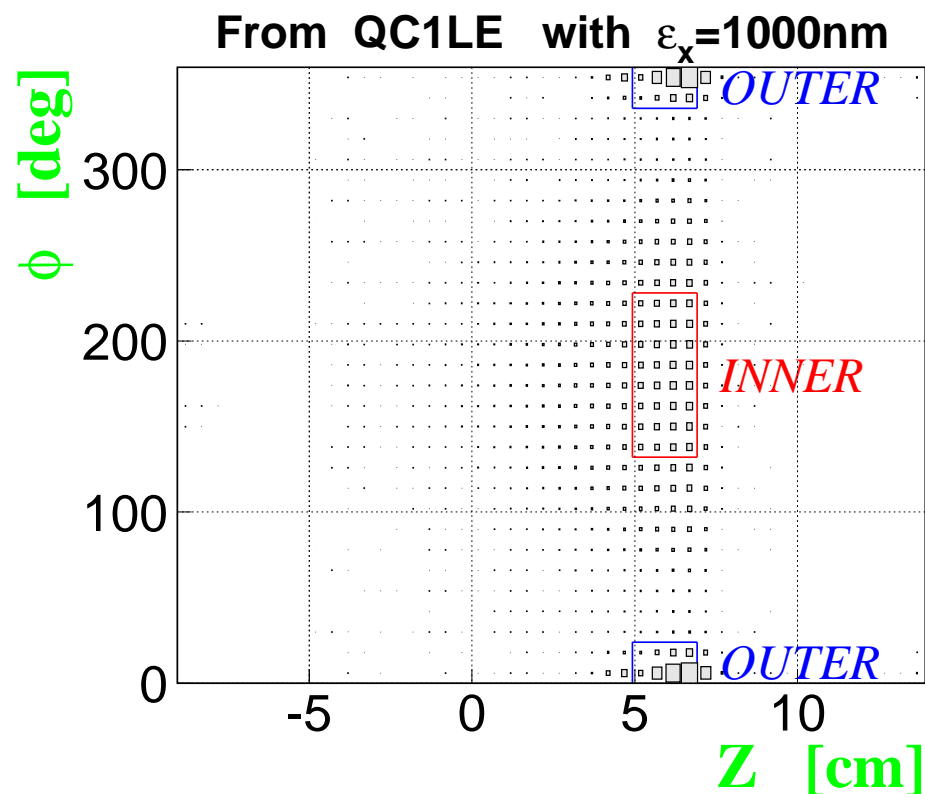
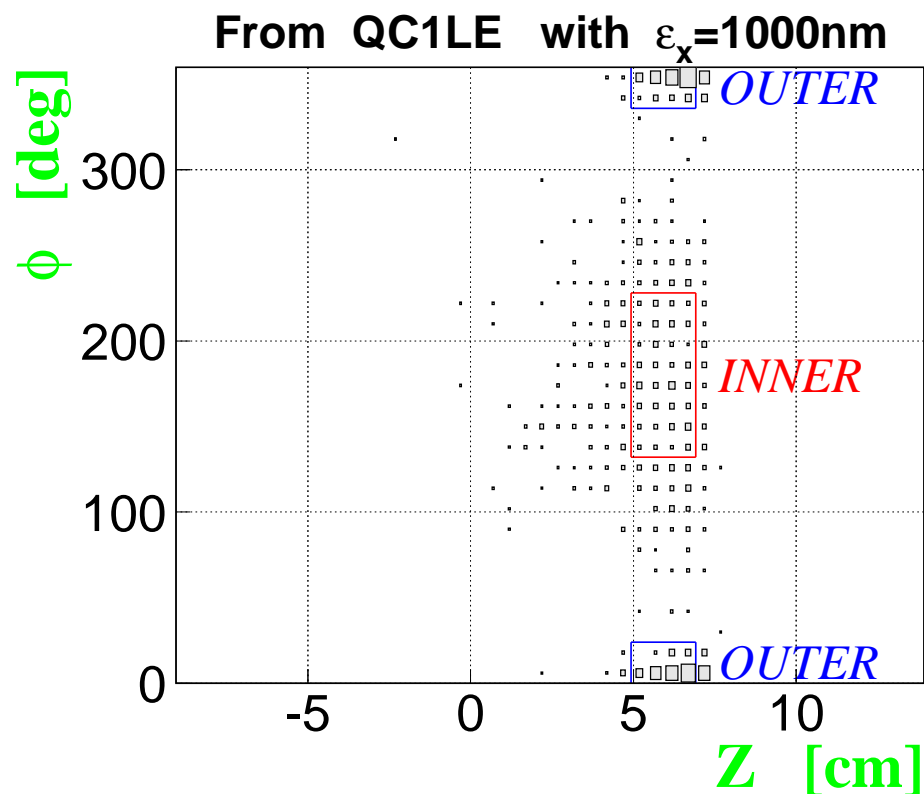
(The 1st errors: 光子生成の統計誤差, the 2nd errors: テーブルの誤差)

- 計算結果の一致
- 計算速度の飛躍的向上
- モンテカルロ統計誤差の定量的なチェック

放射線吸収線量の分布

従来の方法

テーブルを使用



まとめ

- ⇒ レプトン衝突実験においては、放射光によるバックグラウンドは深刻
- ⇒ **Belle** 実験では放射光による放射線吸収線量の計算に **EGS4** を用いている
 - ⇒ 光子のエネルギー領域：数 keV ~ 十数 keV
 - ⇒ 金の L-edges は重要
 - ⇒ 測定器まで到達する光子は稀 → 計算に時間がかかる
 - ⇒ SVD1.0 gain drop の再現と対策
- ⇒ 新しい放射線吸収線量計算システムの開発
 - ⇒ 応答関数テーブルの使用 → 計算速度の飛躍的向上
 - ⇒ 放射線吸収線量のオンライン・モニタリング