

# SPring-8/SACLAにおける 光子光子散乱の探索



山道智博、安達俊介、稲田聡明、難波俊雄<sup>A</sup>、浅井祥仁、小林富雄<sup>A</sup>  
玉作賢治<sup>B</sup>、田中義人<sup>B</sup>、犬伏雄一<sup>B</sup>、澤田桂<sup>B</sup>、矢橋牧名<sup>B</sup>、石川哲也<sup>B</sup>  
高橋忠幸<sup>C</sup>、渡辺伸<sup>C</sup>、佐藤悟朗<sup>D</sup>

東大理, 東大素セ<sup>A</sup>, 理研/SPring-8<sup>B</sup>、ISAS/JAXA<sup>C</sup>、理研<sup>D</sup>

# 光子光子散乱(photon-photon scattering)

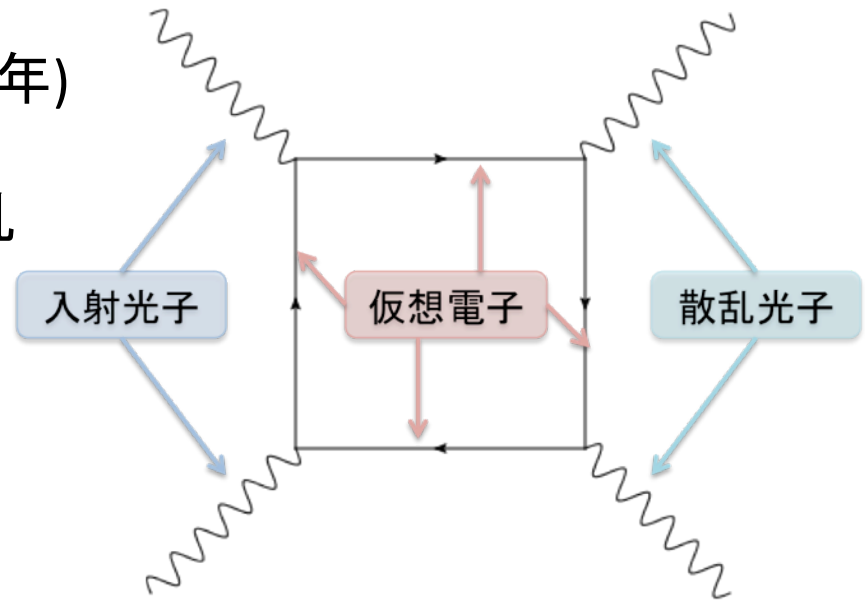
## ◆量子電磁力学(QED)の予言(1936年)

### -真空の非線形効果

光子同士が仮想電子を介して散乱

### -実光子同士の散乱は未観測

→QEDに対する究極の検証



### -未知粒子の寄与が有る場合、断面積がエンハンス ex) axion-like particles(ALP), etc...

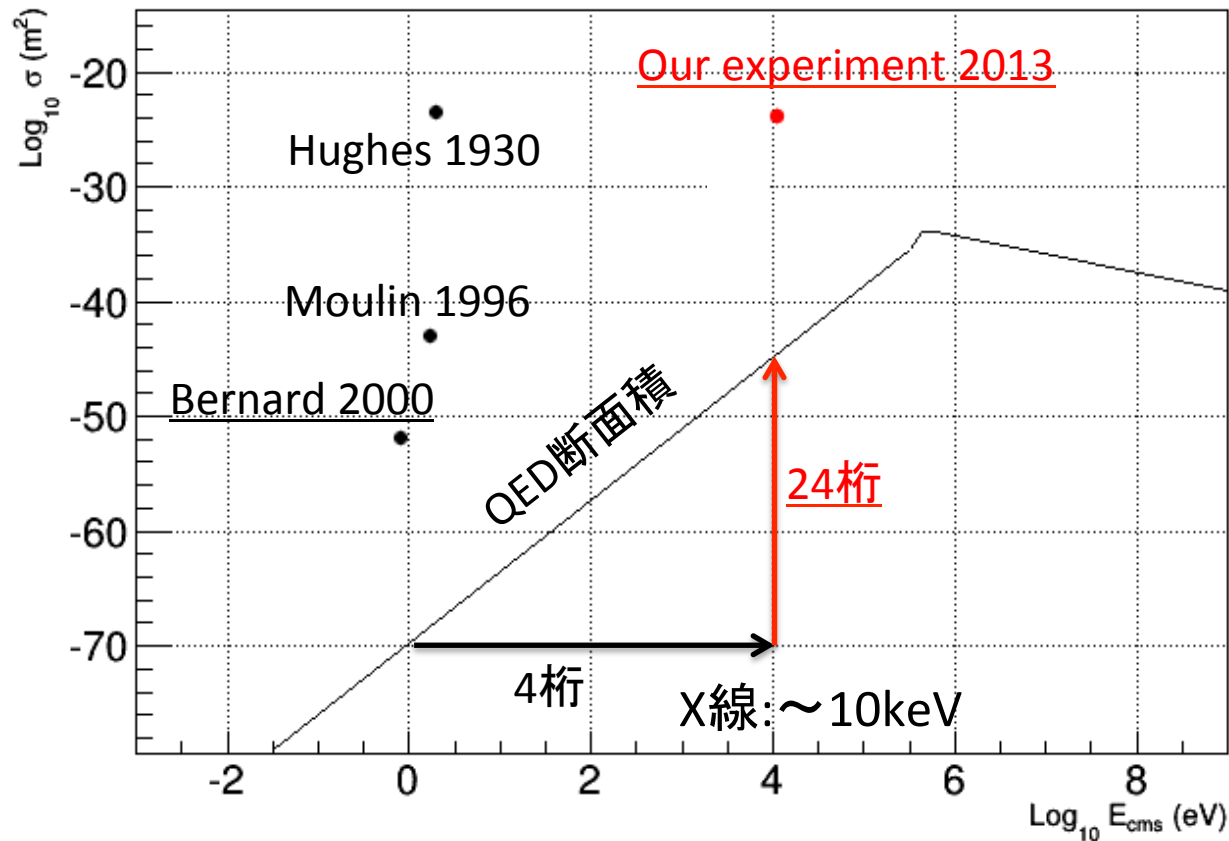
### -QED断面積(同直線偏光, 重心系での光子エネルギー $\omega < 700$ keV)

$$\sigma = 7.3 \times 10^{-70} (\omega [\text{eV}])^6 [\text{m}^2]$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^4 \omega^6}{(180\pi)^2 m^8} (260 \cos^4 \theta + 328 \cos^2 \theta + 580)$$

断面積は $\omega$ の6乗に比例、 $4\pi$ に散乱

# X線を用いた新しい光子光子散乱実験



- X線領域では可視光領域に比べ断面積が24桁増大
- 1光子エネルギー測定が可能 : エネルギー情報でのBG排除
- 回折限界が小さく、ビームを小さく集光出来る

我々は昨年世界初のX線光子光子散乱実験を行った: [ArXiv 1403.2547](#)

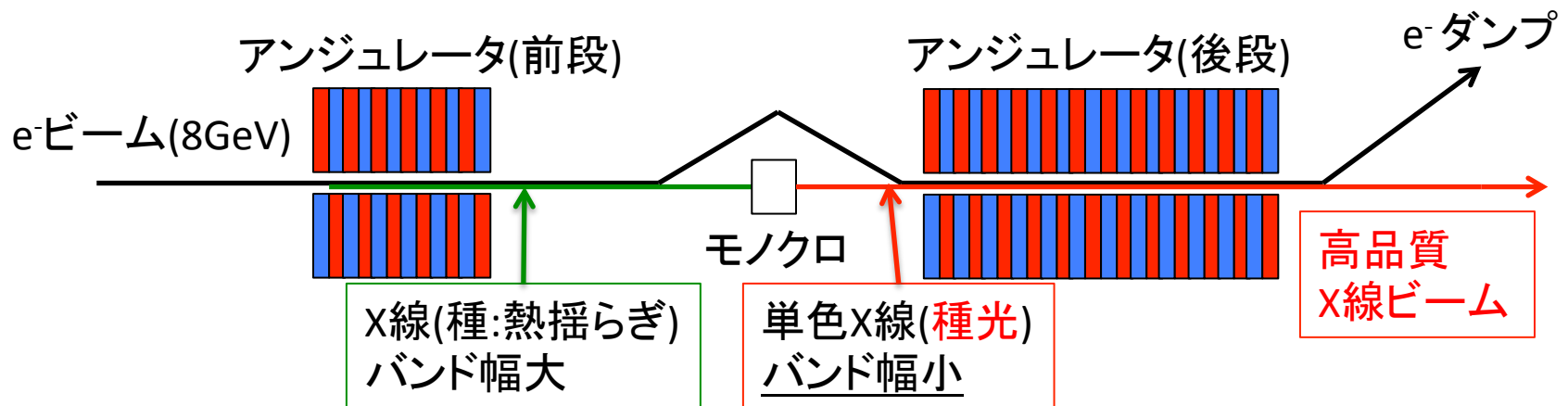
# X線自由電子レーザー(XFEL)施設 SACLA

## ◆SACLA

- 高輝度X線パルス光源:  $6 \times 10^{10}$  photons/pulse @ 11keV  
ビームエネルギーは10.985keVを使用

## ◆性能向上

- 繰り返し: 20Hz(2013) → 30Hz(2014)
- シード化**

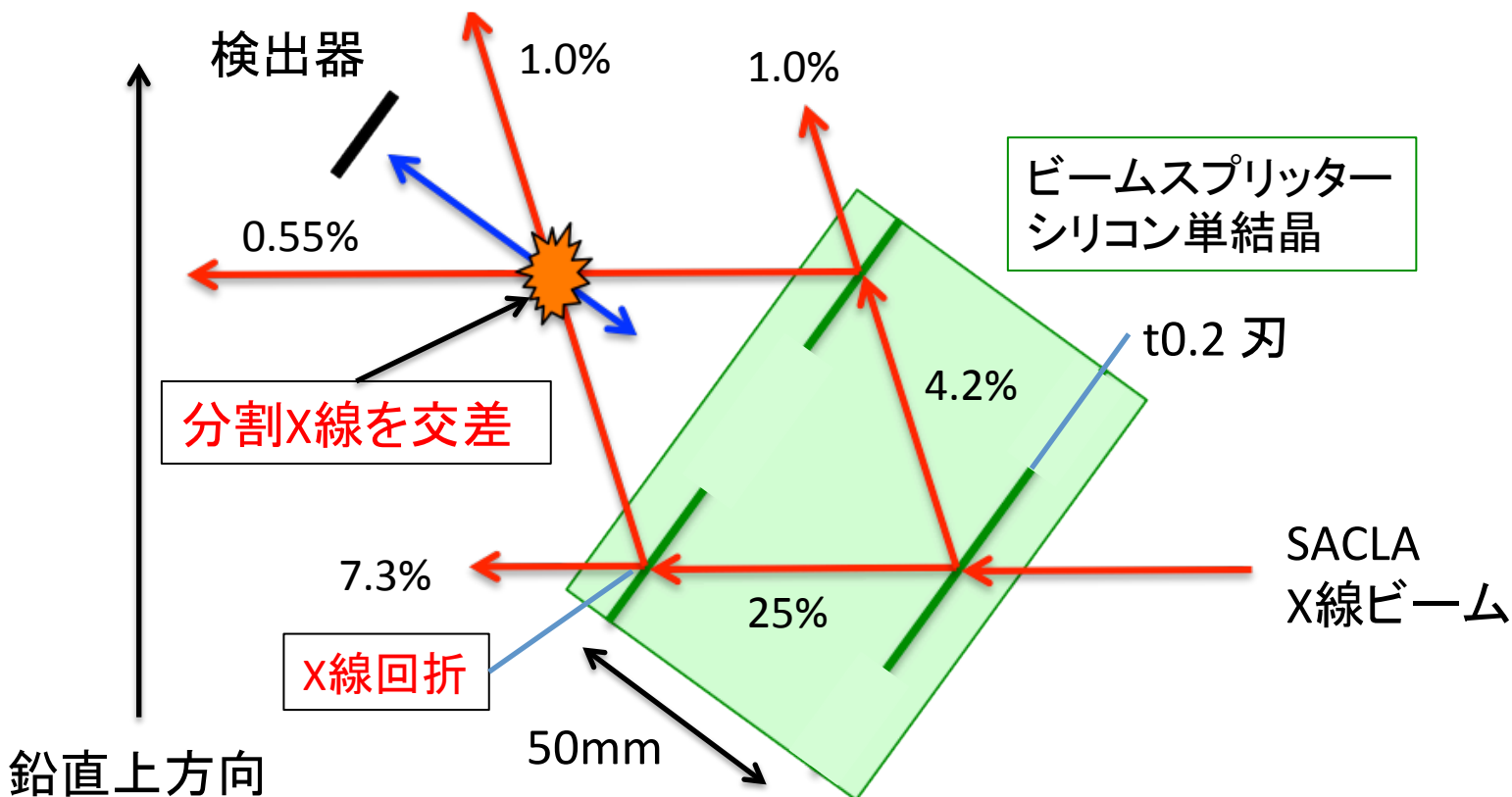


- ・バンド幅が大幅に改善:  $\sim 50\text{eV}$ (2013) →  $\sim 500\text{meV}$ (2014)  
→ 昨年に比べ、実験に使用可能なルミノシティが大幅に増加
- ・高ルミノシティ下ではBGも増加  
→ 検出器を改良し、SN比を向上した実験を行う

# X線衝突の方法:ビームスプリッター

## ◆ビームスプリッター

- 3枚の刃(2013年 t0.6mm → 2014年 t0.2mm)を削り出したシリコン単結晶
- シリコン単結晶での透過型(Laue case)X線回折により  
1本のX線ビームを分割・交差(分割効率:O(10%))
- 薄い刃・単色性の高いX線に対し高効率 → ルミノシティ大



# X線交差のKinematics

-X線回折：シリコン(4,4,0)格子面を使用

10.985keV X線に対する交差角:  $72^\circ \rightarrow \omega_{\text{CM}} = 6.46\text{keV}$

## ◆ブースト系での散乱実験

検出器(チェンバー外)  
signal coverage: 17.4%  
信号: 18.1-19.9keV X線

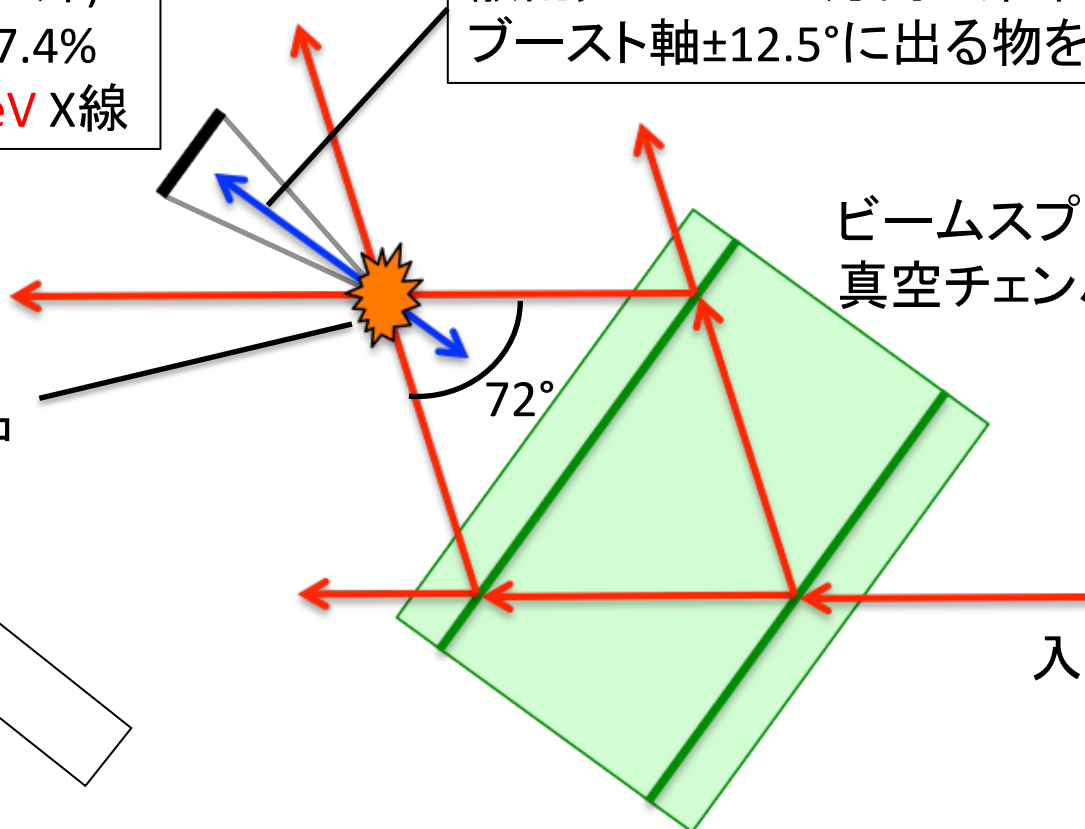
散乱光: ブースト方向に集中  
ブースト軸  $\pm 12.5^\circ$  に出る物を測定

交差点:  
真空チェンバー中

ビームスプリッター:  
真空チェンバー中

入射光(10.985keV)

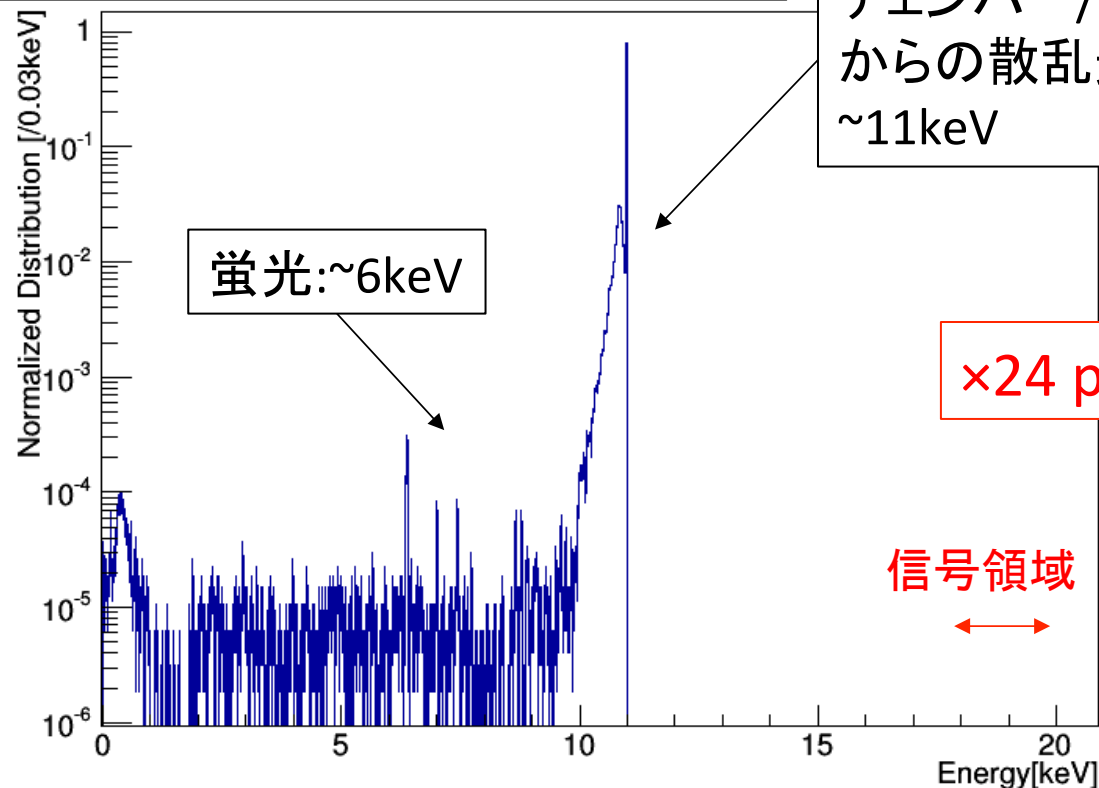
ブースト方向



# 予測されるBGの特性・対策

- 主なBGは、チェンバー/ビームスプリッターからの散乱光(~11keV)/蛍光(~6keV)  
ビームに同期しており**タイミングで落とせず**、2光子以上の**パイルアップ**が多い
- パイルアップは信号領域18-20keVに近くなり、エネルギー情報での除去が困難
- ルミノシティ向上により、BG光子数が増加:  $3 \times 10^{-3}/\text{pulse}$ (2013) → **24/pulse(2014)**

**BG(1光子)** スペクトル(Geant4 simulation)





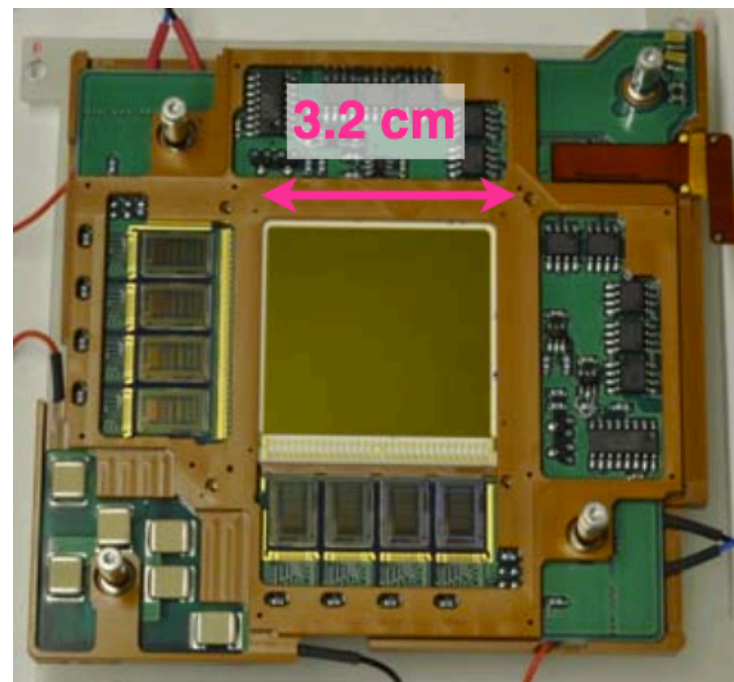
# X線検出器

## CdTe両面ストリップ検出器(CdTe-DSD)

2013年の実験で用いたGe検出器(バルク)に代わり、  
位置分解能を持つCdTe両面ストリップ検出器 (CdTe-DSD)を用いる

### ◆CdTe-DSD

- JAXA 高橋・国分研で開発  
ASTRO-H HXI検出器に実装
- 結晶寸法 32mm×32mm×t0.5mm
- ストリップ数 128 × 2
- ストリップ間隔 250μm
- エネルギー分解能( $\sigma$ ): 1.1keV@22keV
- 検出効率: ~100% @ 20keV

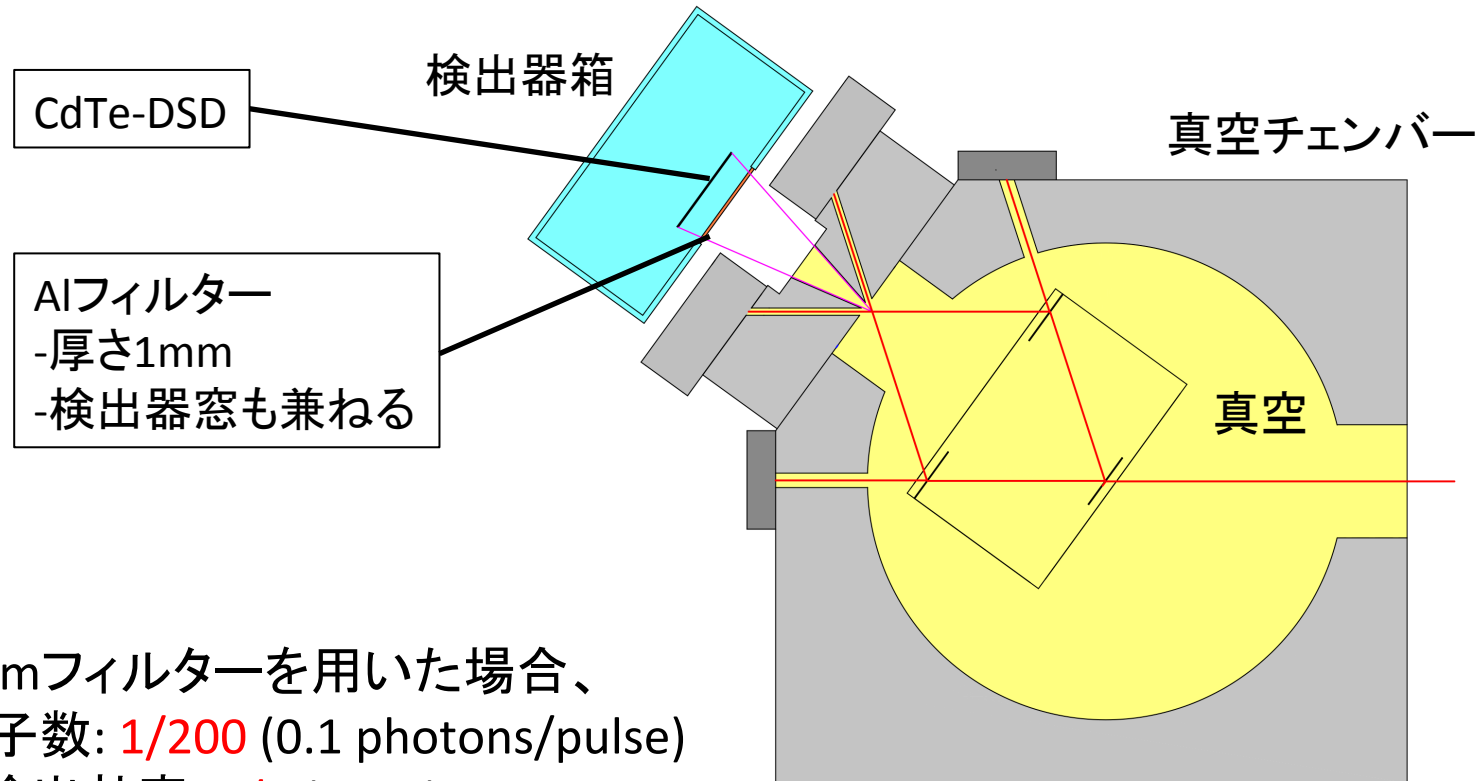


- 全ch読み出しにより、ヒットした光子の位置情報を取得  
バルク検出器と異なり、同時入射した光子を分離可能



# SN比の向上: Alフィルタの使用

- 信号領域18-20keVに入るBG(偽信号): 2光子以上のパイルアップ
- BG 1光子のエネルギーは信号より小さい  
→前面にフィルターを置く事により、SN比が改善



- Al 1mmフィルターを用いた場合、  
BG光子数:  $1/200$  (0.1 photons/pulse)  
信号検出効率:  $1/4$  (4.5%)
- 30Hz 1日 DAQ( $3 \times 10^6$  pulses)での偽信号数(MC):  $O(0.1)$  events  
検出効率を余り落とさずに、0 偽信号測定が可能

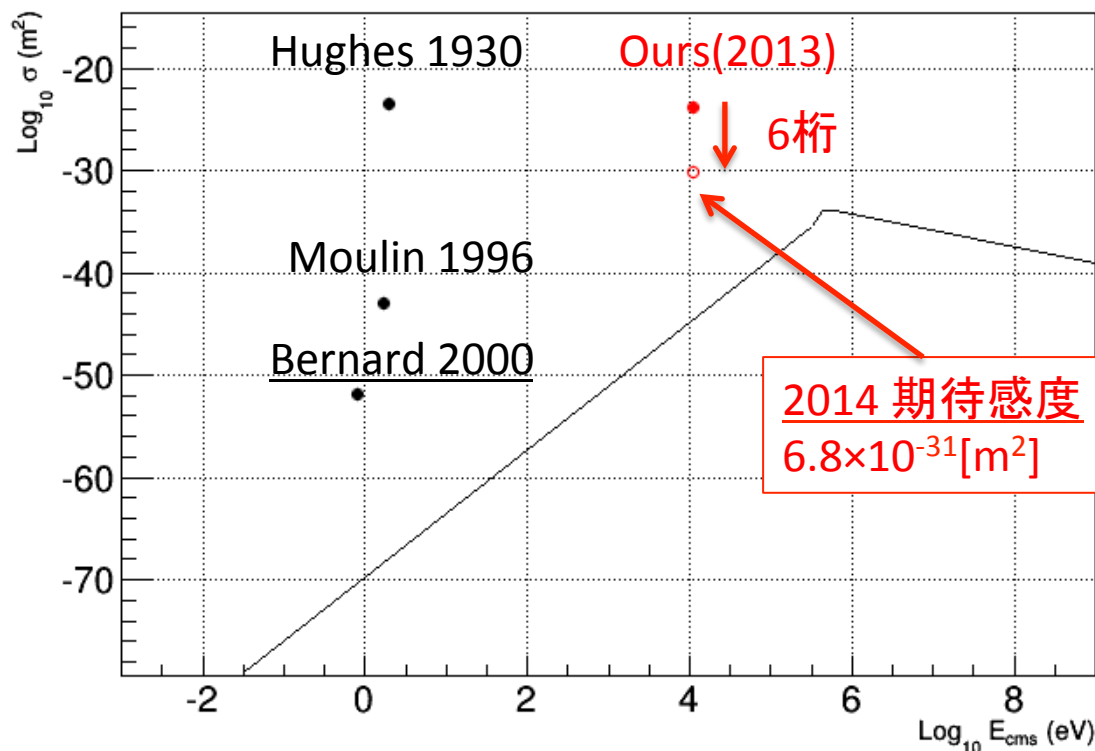
# 期待される感度

## ◆実験の期待感度

-30Hz, 1日DAQ( $3 \times 10^6$  pulses)での断面積感度: $6.8 \times 10^{-31} [\text{m}^2]$

→2013年実験を6桁上回る

-先行実験(Bernard,2000)を抜き、QED断面積に対し最高相対感度

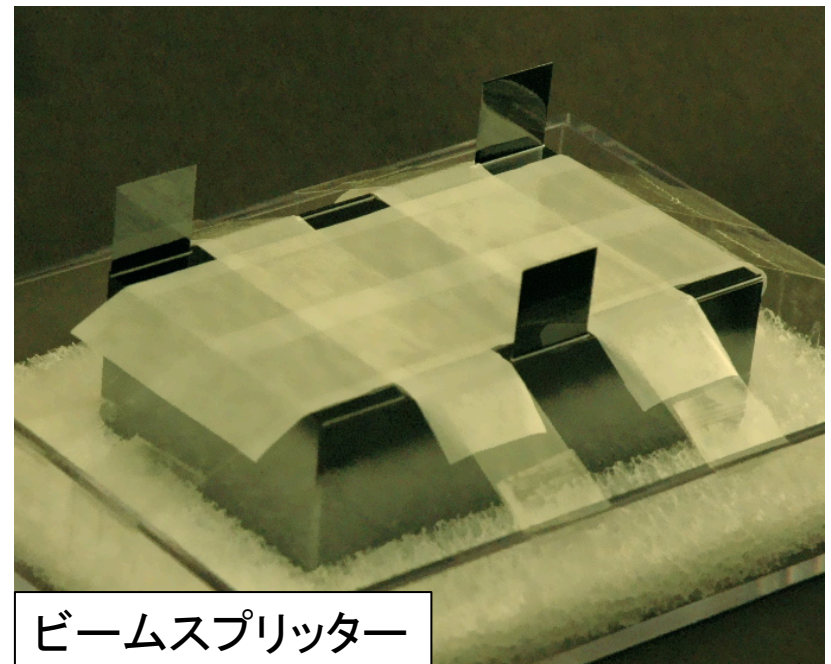
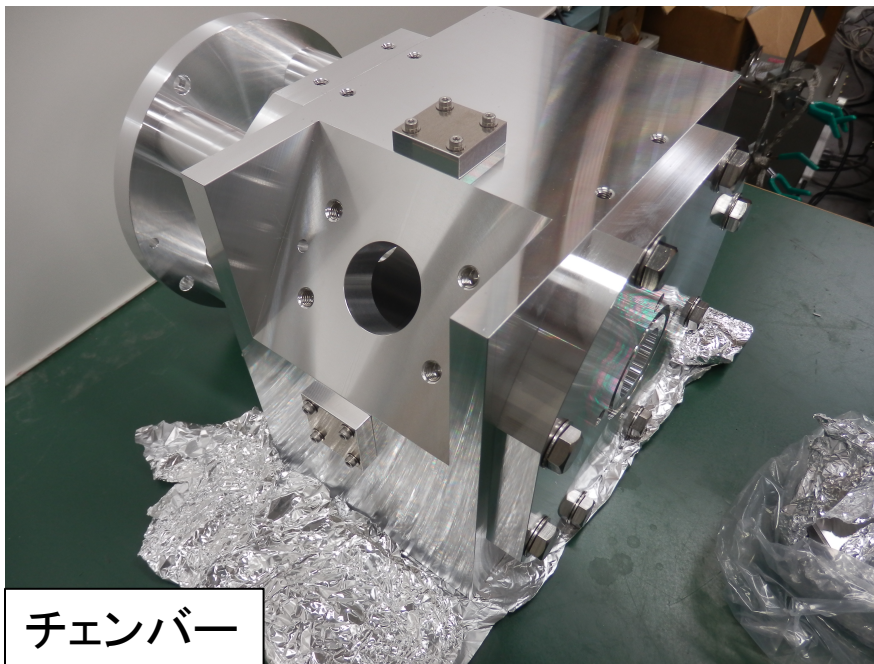


| 2014年実験<br>感度向上要因 | 寄与                  |
|-------------------|---------------------|
| SACLA 単色性         | $(2 \times 10^2)^2$ |
| 干渉計の厚み<br>(回折効率)  | 50                  |
| パルス数(27h DAQ)     | 4.5                 |
| 検出効率              | 0.4                 |
| 計                 | $3 \times 10^6$     |

# 実験のスケジュール

## ◆現在の状況

- チェンバー・ビームスプリッター: 調達済
- 検出器: 主な備品は調達済・CdTe-DSDは4月調達



## ◆SACLAでの本測定に向けたスケジュール

- 予備実験 @ SPring-8 : 5月-6月  
BG studyを行い、本測定に向けセットアップの微調整
- 本測定 @ SACLA : シード化される2014年8月以降

# まとめ

- 実光子の光子光子散乱は未観測：QEDの最終検証
- 我々は世界初のX線光子光子散乱実験を行っている
- XFEL光源 SACLAからのX線ビームを  
ビームスプリッターを用いて回折/交差させる
- CdTe両面ストリップ検出器(CdTe-DSD)・Alフィルタを用い、  
BG同士のパイルアップを排除する
- 2014年後期の実験では、  
2013年に行った実験の6桁上の感度が期待され、  
最高相対感度での測定が可能
- 5~6月に予備実験、2014年後期に本実験を行う予定