

cERLにおける 陽電子研究施設の可能性

兵頭俊夫

KEK 物質構造科学研究所
低速陽電子実験施設 (SPF)

エネルギー可変単色陽電子ビームの利用

陽電子に対して負の仕事関数をもつ減速材を利用して低速陽電子を作り、任意のエネルギーに加速して試料に入射

→ 二次粒子 (γ 線、Ps、Ps⁻、電子、(陽電子)) を観測

DCビーム：

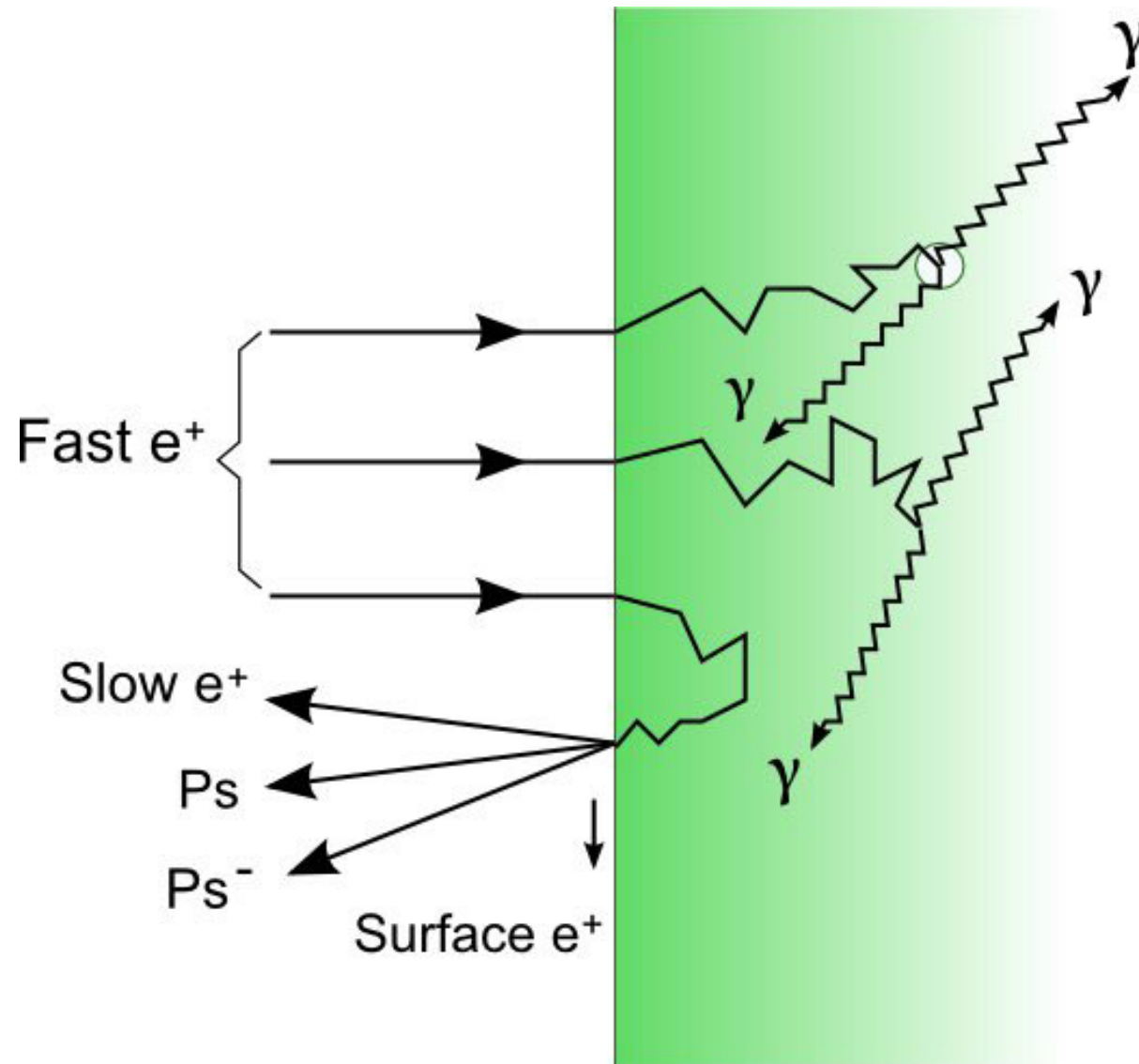
陽電子回折(RHEPD、LEPD)
ドップラー広がり法、2D-ACAR
コンシデンスドップラー広がり法
陽電子寿命・運動量相関測定(AMOC)
高輝度静電ビーム
陽電子顕微鏡

パルスビーム：

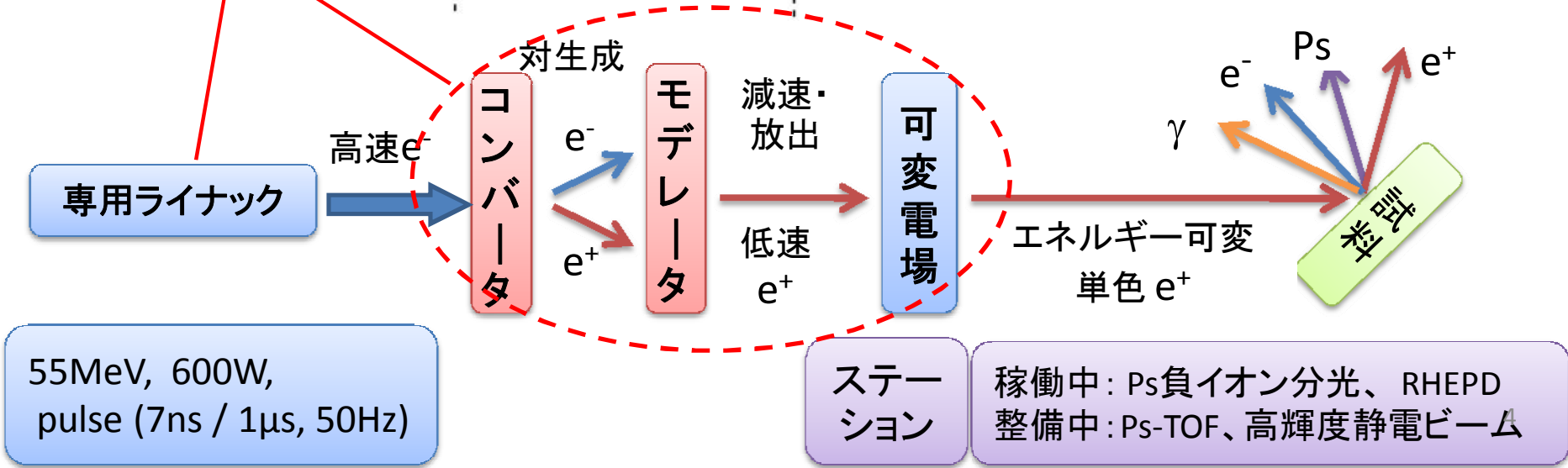
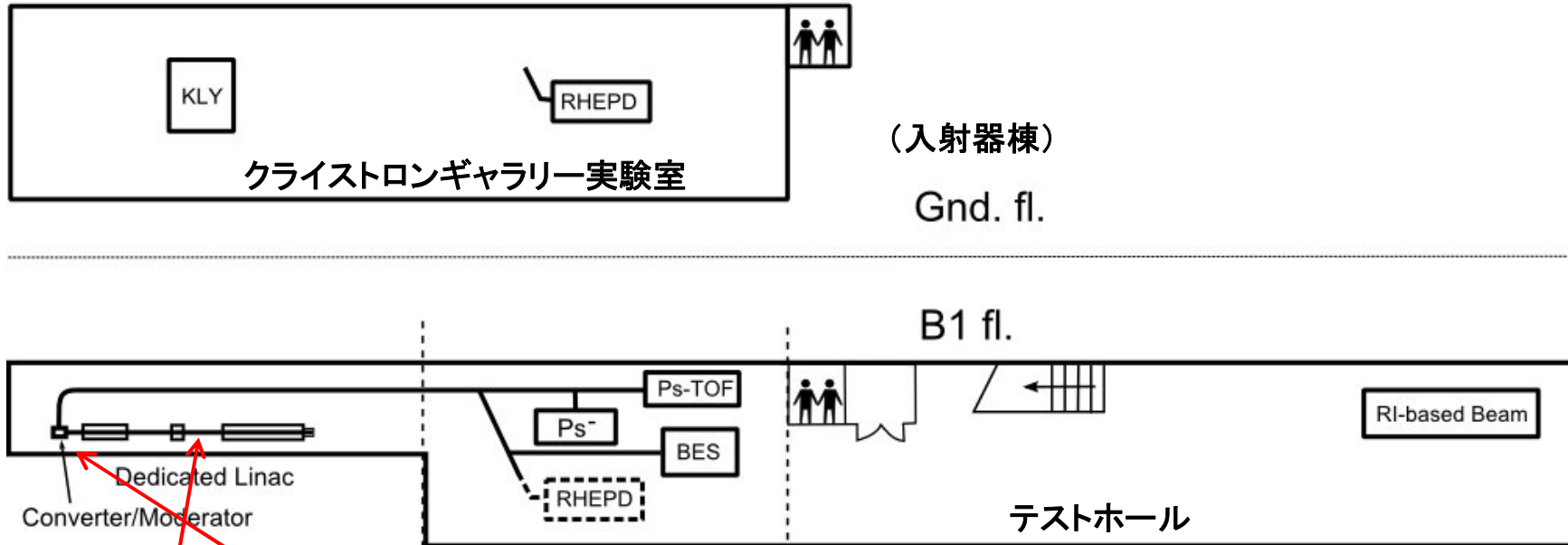
Ps-TOF、陽電子オージェ
陽電子寿命、Ps /Ps⁻ の分光
単色Psビーム

物質最表面の構造解析
薄膜・表面の電子構造解析
格子欠陥の走査顕微鏡像
多孔性薄膜の空孔解析
(燃料電池・反浸透膜・気体分離膜)
イオン照射表面の解析・評価
表面近傍の元素分析
原子分子散乱(陽電子・Ps)
Psの基礎物理学

物質に入射した陽電子



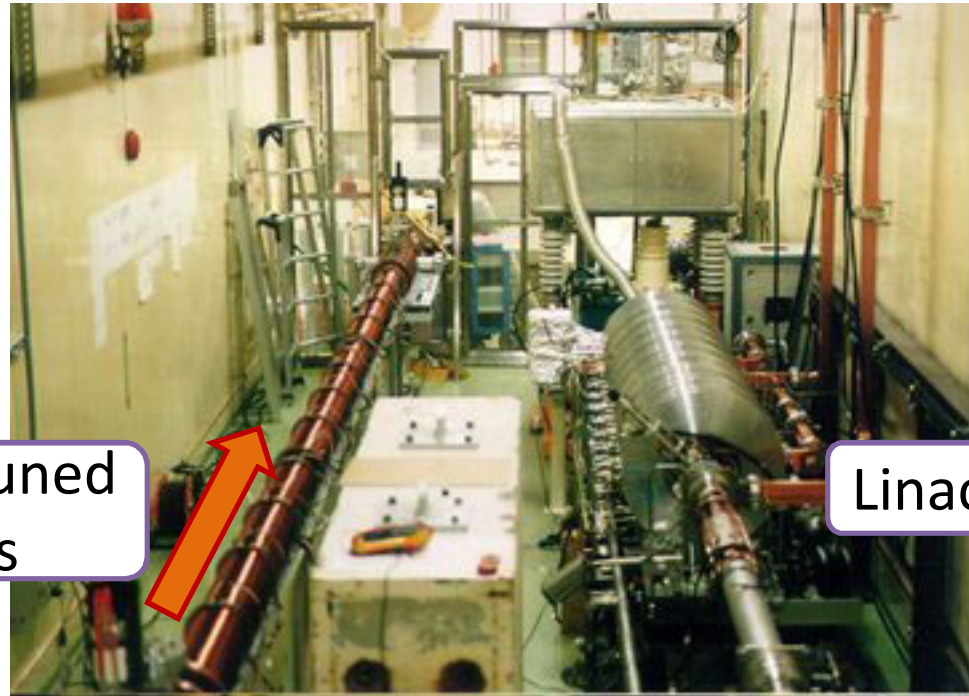
KEK-IMSS 低速陽電子実験施設の現状



55MeV, 600W, pulse (7ns / 1μs, 50Hz)

ステーション
稼働中: Ps負イオン分光、RHEPD
整備中: Ps-TOF、高輝度静電ビーム

KEK-IMSS
低速陽電子
実験施設の
ビーム生成部



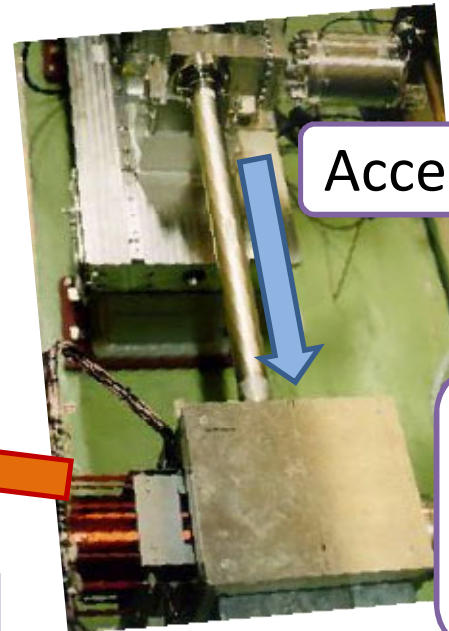
Energy-tuned
Positrons



Linac



Energy-tuned Positrons



Accelerated Electrons



Converter /
Moderator
Chamber

cERL のCW超電導ライナックを利用した 低速陽電子ビーム

- エネルギー可変単色陽電子ビーム (500eV ~ 50keV)
 - CW超電導ライナック 5MeV、10mA、1.3GHz
 - 10^7 slow e^+ /s ?
 - 10 slow e^+ /pulse
- 現在のSPFのビーム強度と同程度でも
 - CW** は強力な武器
 - DCビームでなければできない実験がそのまま可能
 - 繰り返し周波数100kHz程度の短パルスにする際、DC化過程のロスがないので、世界最高強度の短パルス低速陽電子ビームが得られる

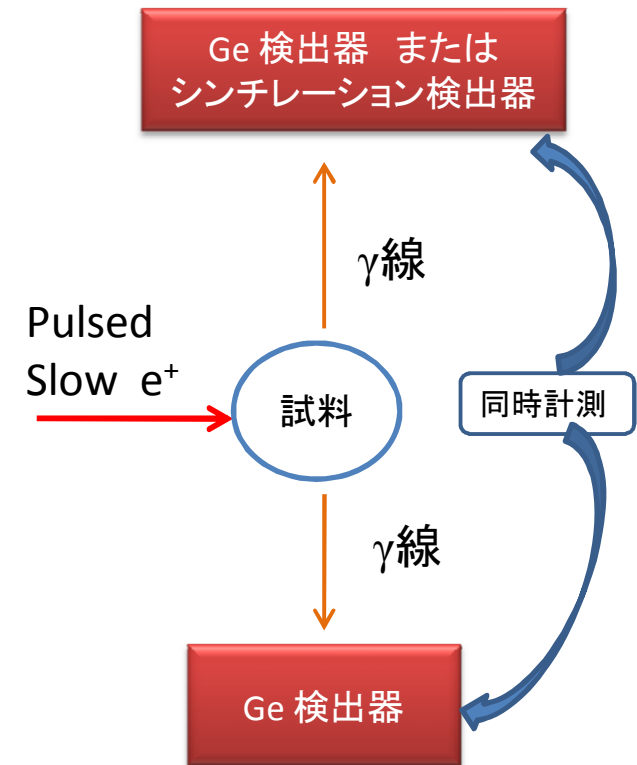
利用法(1)

- DCビームとして利用

- 陽電子回折 (RHEPD、LEPD) (←輝度増強が必要)
- ドップラー広がり法
- CDB (同時計測ドップラー広がり法)

- CDB

- Ge検出器立体角 1/100
- Ge検出器効率 1/10
- 片側のGe検出器の計数率:
 $10^7 \times 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^4$ cps
- 同時係数率: $10^4 \times 10^{-1} = 10^3$ cps



Coincidence Doppler Broadening

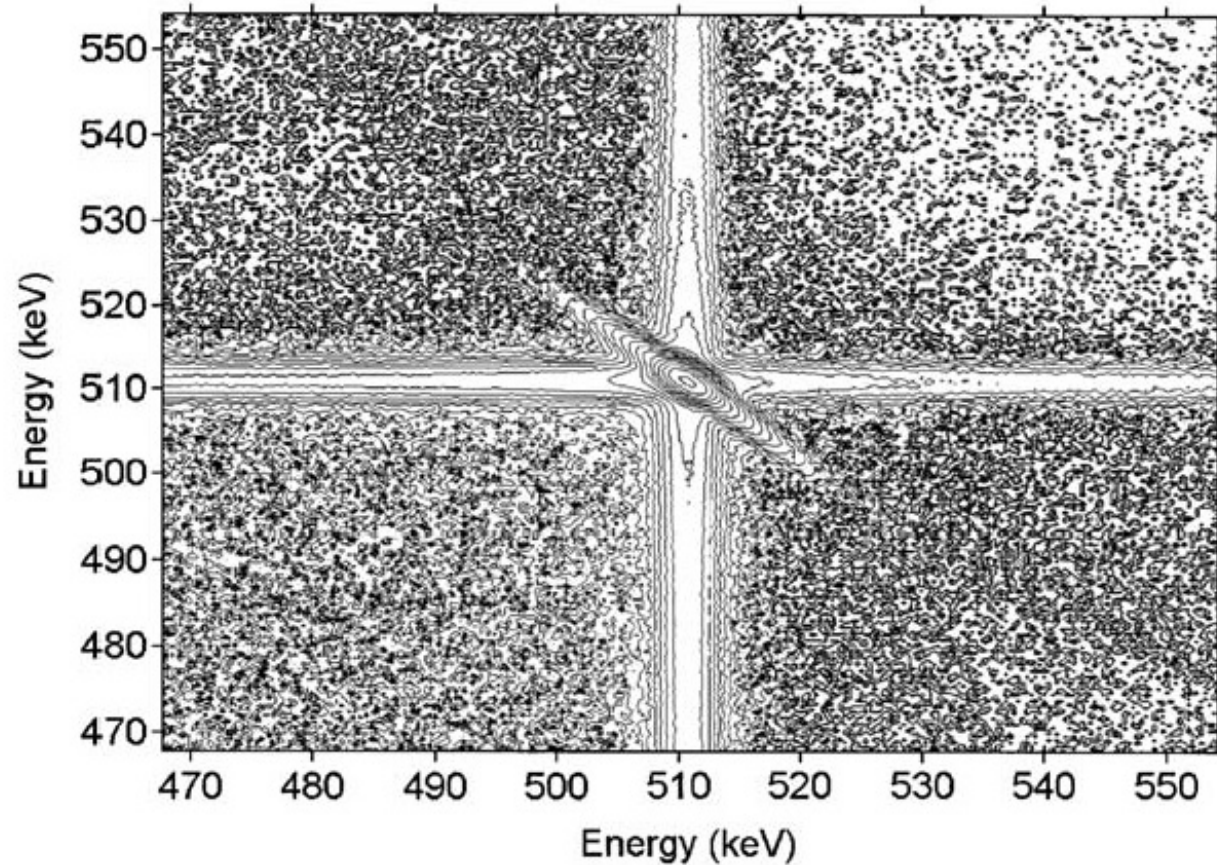
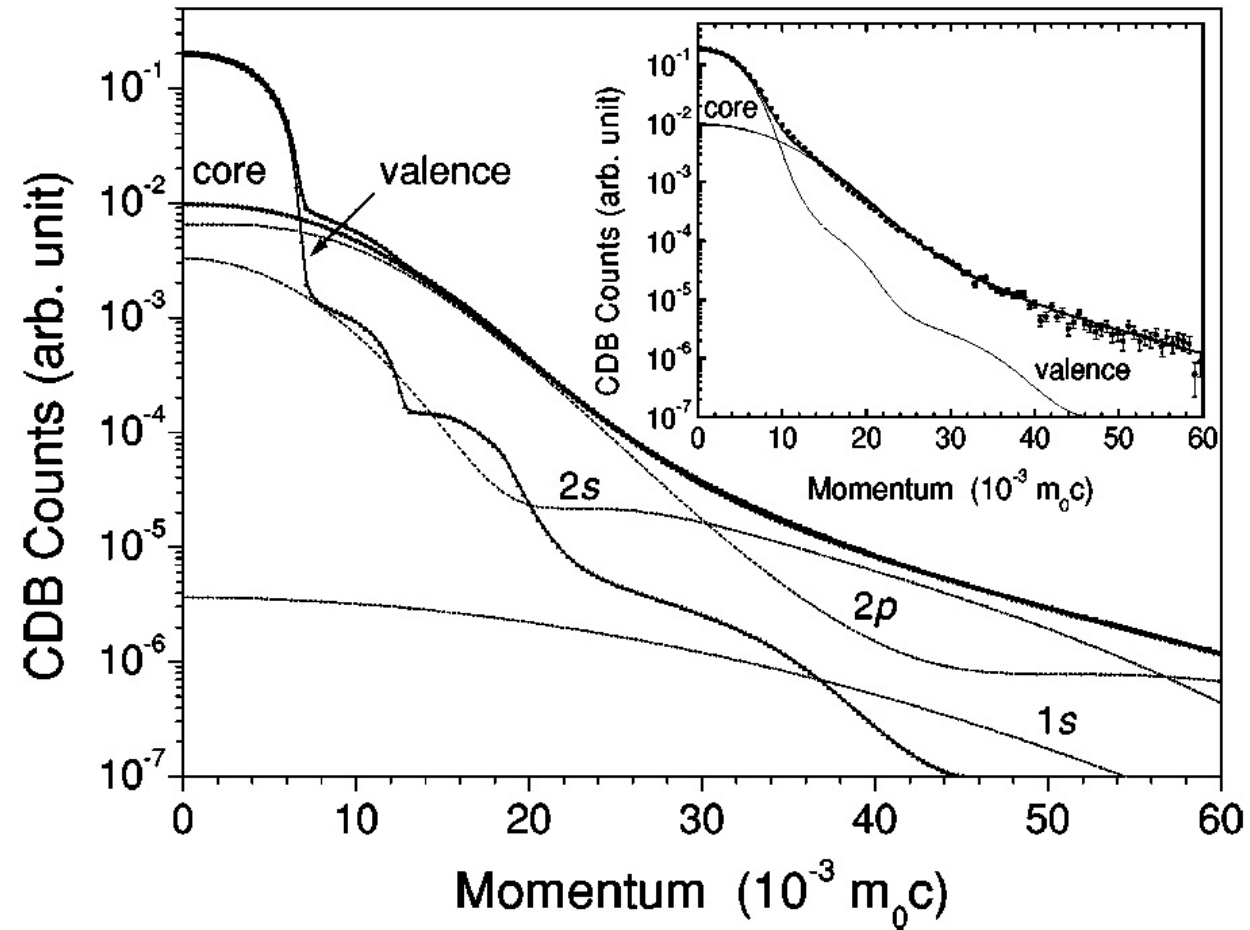


Fig. 1. Contour plot of the coincidence energy spectrum of the observed gamma-rays.

Coincidence Doppler Broadening



Tang *et al.*: *Phys. Rev. B* 65 (2002) 045108.

利用法(2-1)

- パルス化して利用

- パルス幅50ps、繰り返し周波数100kHz

- 陽電子およびポジトロニウムの寿命による物質研究

- **高計数率の測定が可能**

- パルス化の効率 1/10

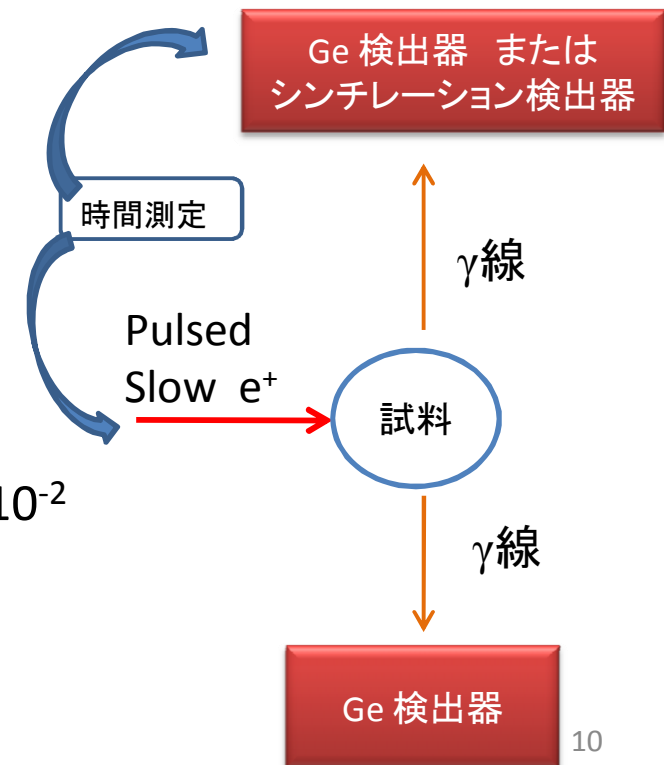
- 10 slow e⁺ /pulse

- シンチレーション検出器立体角 1/100

- シンチレーション検出器効率 1/10

- 計数率: $10^5 \times 10 \times 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^3$ cps

- マルチストップの確率 $10 \times 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^{-2}$



利用法(2-1)

- パルス化して利用

- ▶ パルス幅50ps、繰り返し周波数100kHz

- ▶ AMOC-CDB(寿命運動量相関同時計測ドップラー広がり法)

- ▶ **最も高度の測定がルーチンで可能**

- ▶ パルス化の効率 1/10

- ▶ Ge検出器立体角 1/100

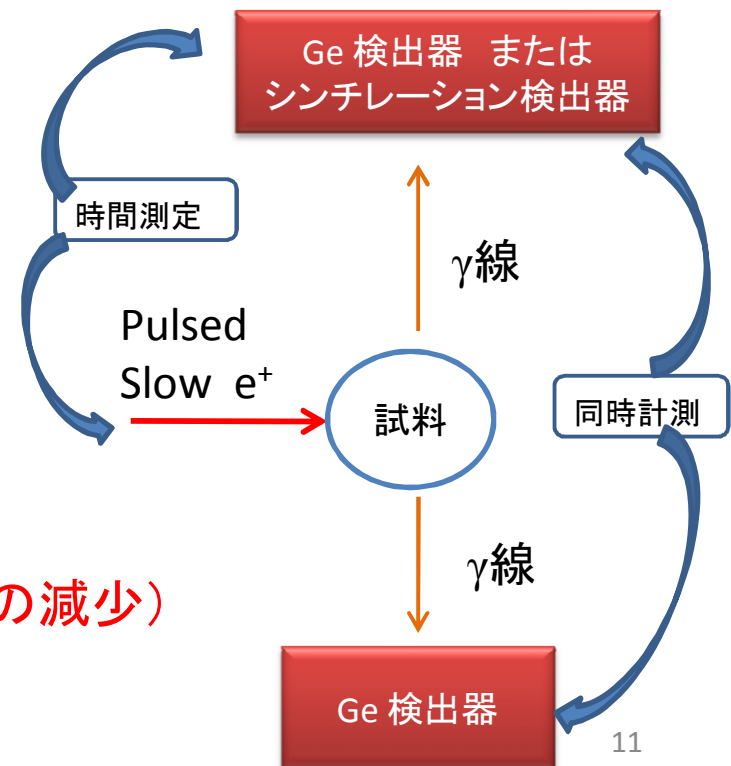
- ▶ Ge検出器効率 1/10

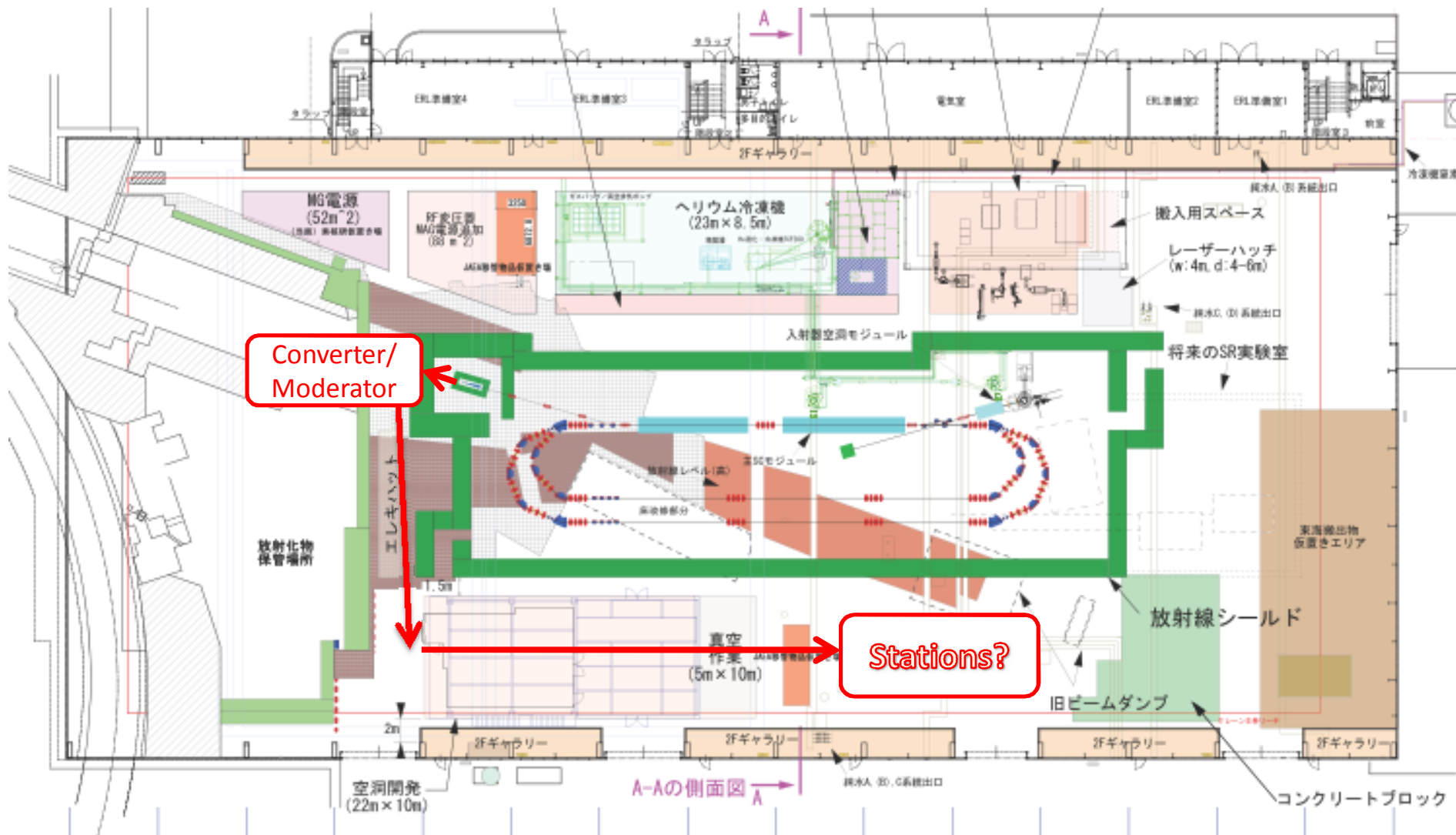
- ▶ 片側のGe検出器の計数率:

$$10^7 \times 10^{-1} \times 10^{-2} \times 10^{-1} = 10^3 \text{ cps}$$

- ▶ 同時係数率: $10^3 \times 10^{-1} = 10^2 \text{ cps}$

(CDBに比べ、パルス化の効率分のみの減少)





cERL低速陽電子ビームの強度予想

- 現在の入射器テストリニアック

- 55MeV, 500W, → 5×10^7 e⁺/s

- cERLビームダンプ利用

- 5MeV 10mA → 50kW

- 電力 100倍

- 対生成効率 < 1/100

(O'Rourke et al)

- → $\sim 1 \times 10^7$ slow e⁺/s

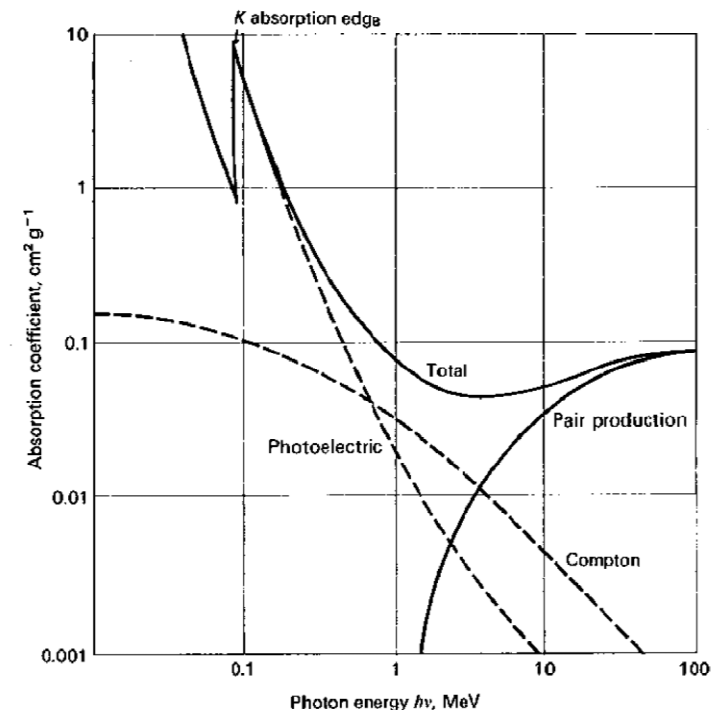
(現在のビーム強度と同程度)

- 他のSimulation例

- 5.5MeV, 0.2mA (1.1kW)

- 10^7 slow e⁺/s (コンバータ工夫: 200μm W に5° で入射)

Perez, et al. Phys. Stat. Solidi. C6, 2462 (2009)



コンバータの放熱？

- 現在の低速陽電子実験施設のテストリニアック
 - 55MeV, 500W, コンバータ厚さ 4mm
- cERLビームダンプ利用の場合
 - 5MeV 10mA → 50kW (100倍)
 - コンバータ厚さ 2mm?
 - 放熱の方法?? (これが唯一の開発要素)
- 5MeV → ターゲットが放射化しないことは、
コンバータ／モデレータの開発に有利

現在のコンバータ ／モデレータ

