

放射線科学

PET/チェレンコフ光・複合イメージング装置の開発

山本 誠一

チェレンコフ光イメージングは、高感度光学カメラを用いてベータ線放出核種から放出される高速電子線（陽電子線を含む）により発生する微弱光を画像化する手法であり、核種の近くで多く発光するため、飛程の影響が少なく高い空間分解能の画像が期待できます。しかしいくつかの報告はあるものの^{1,2}、分子イメージングにおけるチェレンコフ光イメージングの有効性は未だ明らかではありません。PET とチェレンコフ光の同時測定が可能な複合イメージング装置が開発できれば、PET との直接比較が可能になり、チェレンコフ光イメージングの有効性を明らかにできるだけでなく、それぞれの長所を生かした新しい分子イメージング装置になる可能性があります。そこで PET/チェレンコフ光・複合イメージング装置を開発し、性能評価を行いました。

PET/チェレンコフ光・複合イメージング装置の概念図を Fig. 1 (A) に示します。装置は、対向型 PET 装置の検出器間に反射鏡を斜めに配置し、被検体の発するチェレンコフ光を、対向型 PET 装置の側方に導き、高感度 CCD カメラで撮像する構成としました。この装置を暗箱に配置することにより、被検体に投与したポジトロン核種の放出する消滅放射線を対向型 PET 装置で、またチェレンコフ光を高感度 CCD カメラで同時測定することが可能となります。

開発した PET/チェレンコフ光・複合イメージング装置の写真を Fig. 1(B) に示します。対向型 PET 装置は、1.2x1.2x10mm の GSO を 33x33 マトリクスに配置したシンチレータブロックを 2 インチ角型位置有感型光電子増倍管 (PSPMT : 浜松ホトニクス社製 H12700) に光学結合した検出器 2 式を 10cm 離して配置することで構成しました。被検体はその中間に配置し、被検体から上方に発せられるチェレンコフ光を、被検体上部に配置したプラスチック製反射鏡により側面方向に導き、側面に配置した高感度 CCD カメラ (浜松ホトニクス社製 : ORCA2-ER に F : 0.95 のレンズを装着) で同時撮像を行います。

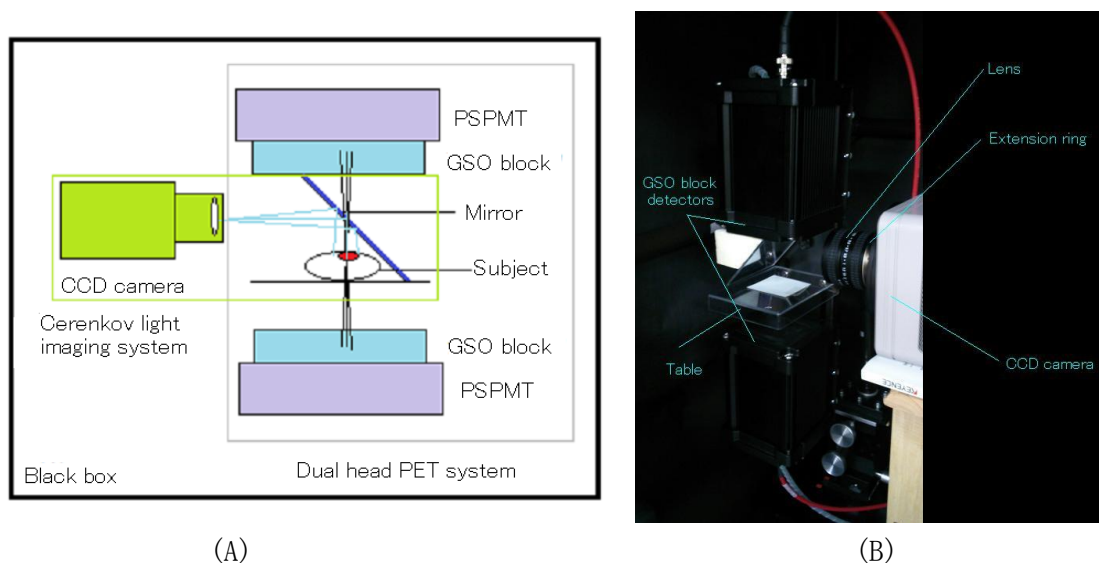


Fig. 1 Block diagram (A) and photo (B) of the developed PET/Cerenkov-light imaging system

Na-22 (最大陽電子エネルギー : 0.55 MeV) 点線源を用いて測定した、開発したPET/チェレンコフ光複合画像化装置におけるPET部の空間分解能をFig. 2 (A)に示します。PET装置の視野中心部の空間分解能は1.2mmFWHMが得られました。これは小動物用PET装置としてもかなりの高分解能です。また中心部における感度は0.32%でした (Fig. 2 (B))。

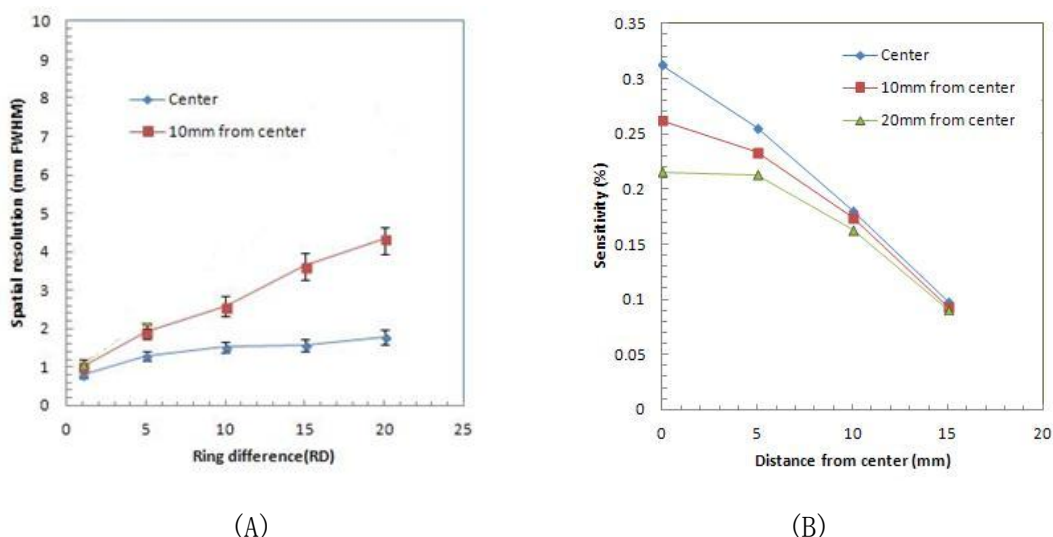


Fig. 2 Spatial resolution (A) and sensitivity (B) of PET part of the system

開発した対向型PET装置で得られたホットファントムの写真と画像をFig. 3 (A)と (B)に示します。1.2mmのスポットまで分解できることが分かりました。

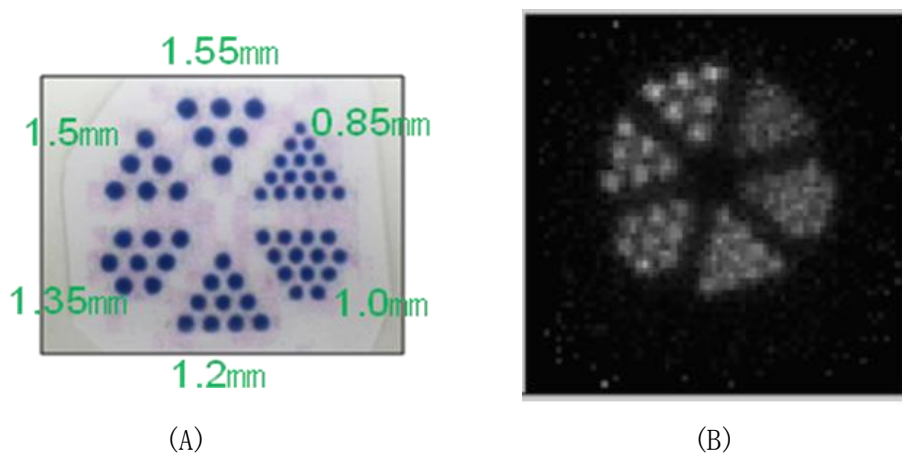


Fig. 3 Photo (A) and projection image (B) of the hot phantom measured by the PET part of the system

100 μm 直径の Na-22 点線源を用いて測定した PET/チェレンコフ光複合画像化装置におけるチェレンコフ光イメージング部の点線源画像を Fig. 4 (A) に、そのプロファイルを図 4(B) 示します。チェレンコフ光画像の空間分解能は 220 μm FWHM と非常に高いことが明らかになりました。

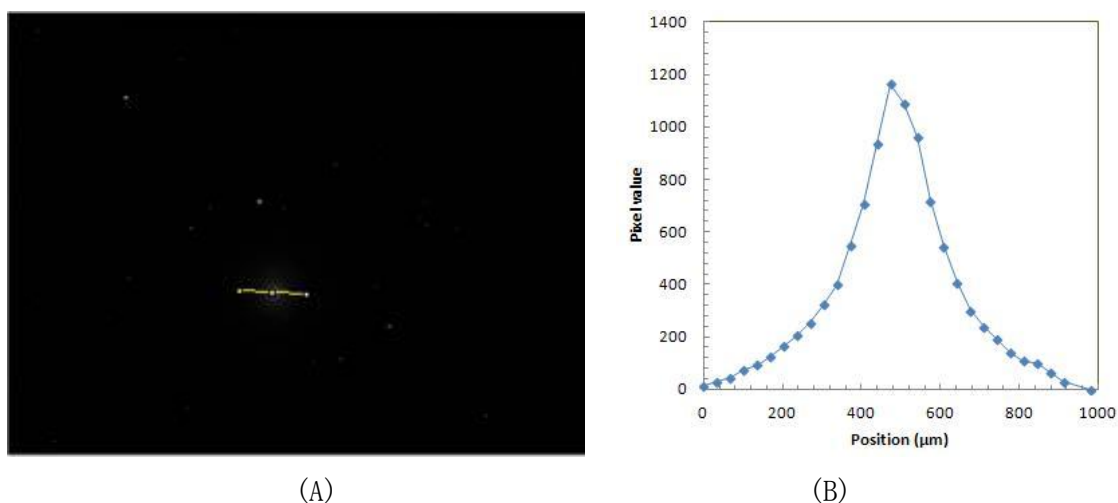


Fig. 4 Cerenkov-light image (A) and the profile (B) measured by the Cerenkov-light imaging part of the system

PET/チェレンコフ光複合画像化装置で同時測定して得られたファントム画像 (“NU” ファントム：72kBq の Na-22 を文字の部分に封入) を Fig. 5 に示します。PET 画像、チェレンコフ光画像ともに高分解能画像が得られました。

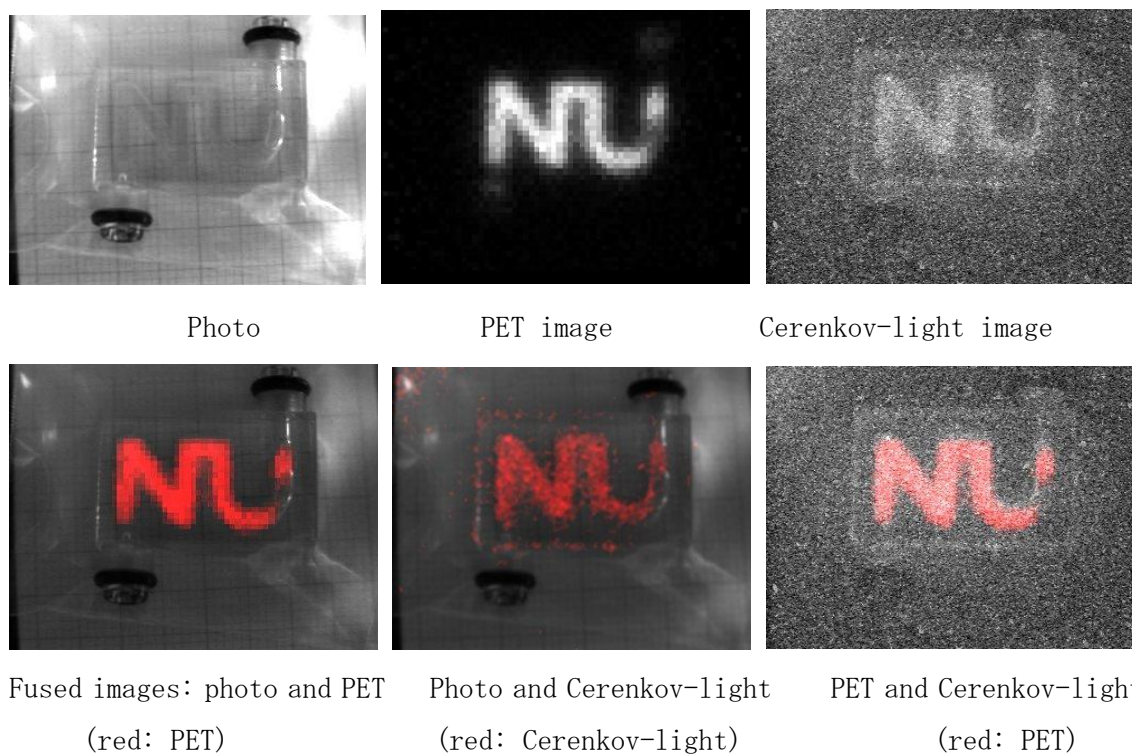
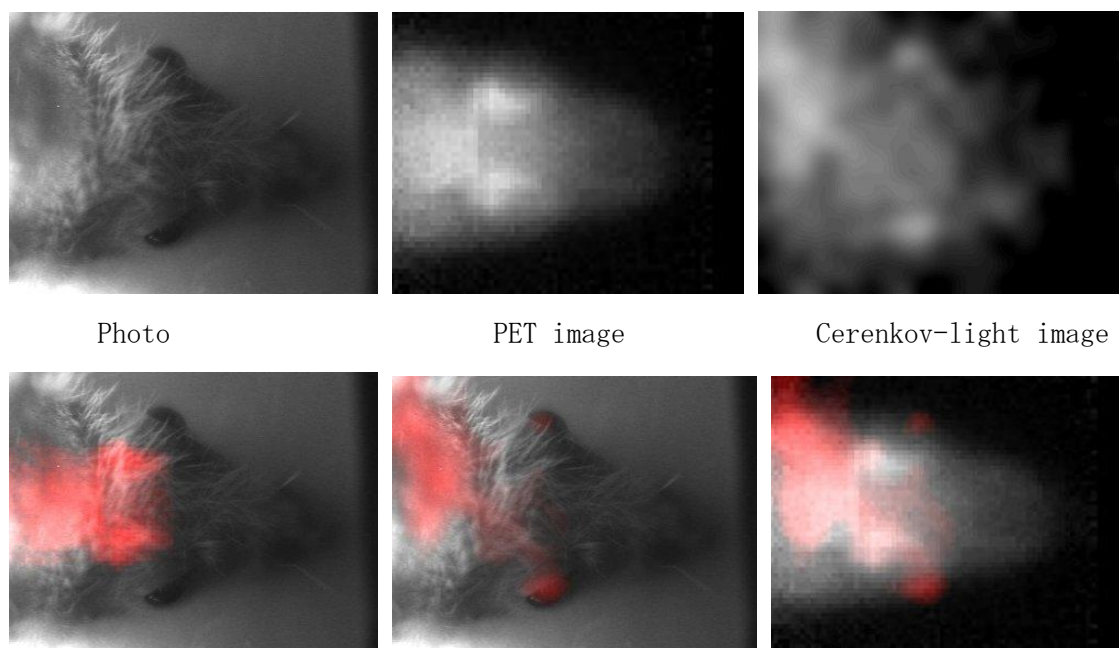


Fig. 5 Simultaneously measured images of “NU” phantom: acquisition times are 1h.

開発した PET/チェレンコフ光複合画像化装置で同時測定して得られた F-18-FDG (最大陽電子エネルギー: 0.64 MeV) 投与ラット画像を Fig. 6 に示します。PET 画像はハーダー線への集積が、チェレンコフ光画像は眼球での発光が観察され、各モダリティにより、異なる場所に分布が検出されるという興味深い結果が得られました。これはチェレンコフ光撮像装置が、ハーダー線に集積したポジロン核種のチェレンコフ光が眼球から放出されたものを検出したためと考えられます。

開発した PET 装置の視野中心部の空間分解能は 1.2mmFWHM、感度は 0.32% でした。一方、チェレンコフ光イメージング装置の空間分解能は 220 μm FWHM と極めて高いことが明らかになりました。開発した装置で同時測定を行ったところ、チェレンコフ光と PET 画像を同時同位置でイメージング可能で、融合画像も作成可能でした。F-18-FDG を投与したラットの同時測定では、PET 画像とチェレンコフ光画像で、異なる位置に集積が検出され、チェレンコフ光画像の解釈に



Fused images: photo and PET (red: PET) Photo and Cerenkov-light (red: Cerenkov-light) PET and Cerenkov-light (red: Cerenkov-light)

Fig. 6 Simultaneously measured images of rat administered ^{18}F -FDG: acquisition times are 10min (PET) and 20min (Cerenkov-light).

は注意が必要であることが分かりました。開発した装置は、PET画像とチェレンコフ光画像を、同時同位置で直接比較可能で、各モーダリティーの長所と短所を明らかにできる装置であることを実証できました³。

文献

1. Cho JS, et al. Cerenkov radiation imaging as a method for quantitative measurements of beta particles in a microfluidic chip. *Phys Med Biol.* 54(22):6757-71, 2009
2. Robertson R, et al. Optical imaging of Cerenkov-light generation from positron-emitting radiotracers. *Phys Med Biol.* 54(16):N355-65, 2009
3. Yamamoto S, et al., Development of a PET/Cerenkov-light hybrid imaging system. *Med Phys.*:41(9):092504, 2014

(名古屋大学医学部教授)