

身近にあるプラスチックによる放射線の計測

京都大学 原子炉実験所

中村秀仁

1. 背景

数種類の蛍光物質を波長変換材として添加した芳香環ポリマーは、プラスチックシンチレーション物質（以下、従来品）として、長年放射線検出に利用されている。そのシンチレーション物質から放たれる光の理論と実測の僅かなズレを追求するため、米国にある大手企業を訪問したことがある。その際、プラスチックシンチレーション物質の基礎データに関する情報の提供を申し出たが、「100年もの歴史がある研究を今さら調べることもなかろう」とすげない回答であった。従来品は、開発した海外企業によるノウハウによるところが非常に大きく、添加される波長変換材の量や種類など、詳細な情報は秘密となっている。更に、製造できる企業も数少ないことから市場はほぼ独占されているのである。

そこで筆者は、プラスチックシンチレーション物質のベース素材を中心に様々な芳香環ポリマーを評価することで、基礎データの収集を始め、従来品の技術的なブレイクスルーを試みることにした。その結果、ペットボトルなど、世界的にも大量に使われ、価格が非常に安いポリエチレンテレフタレート（以下、PET）がシンチレーション物質として適した性能を持つことを明らかにした（図1）。

英国より論文として出版された翌日には、いち早く欧米で、市販されているペットボ

トルを用いた追試実験が行われ、その成果が認められた。その反響が世界を駆け抜ける速さには、我ながら驚かされた。

その後、国内外の大学・専門学校・企業で次々と追試実験がなされ同様の結果が報告されたが、従来品と比べて、放射線が入射した際に発する光の収率は少なく（約7分の1程度）、かつ発光波長が紫外光（最大発光波長380 nm）であるため、総合的に放射線検出感度が劣る、という弱点もまた明らかとなった。

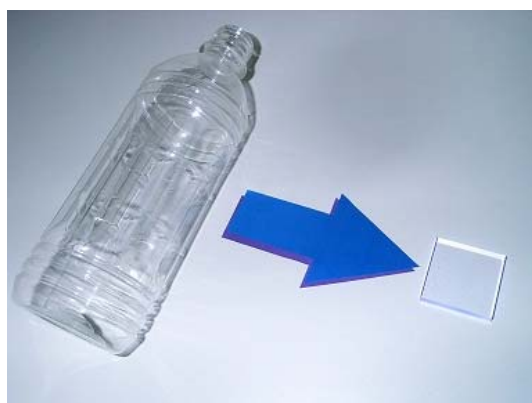


図1: PETで形成したプレート(31×31×5 mm³)。このプレートを用い、放射線源から放出される放射線（アルファ線、ベータ線、ガンマ線、内部転換電子）の測定を世界で初めて成功した。

2. 研究手法・成果

従来品の性能を凌駕するため、PETを中心に、重合触媒や分子量を種々変更することで多種の樹脂を合成した。その結果、最終的にPETのベンゼン環をナフタレン環に変えた骨格をもつポリエチレンナフタレート（以下、PEN）が、高性能なプラスチ

ックシンチレーション物質になると突き止めた (図 2)。また、PEN は PET 同様に射出成形可能であり、量産性の高い成形が可能になった。

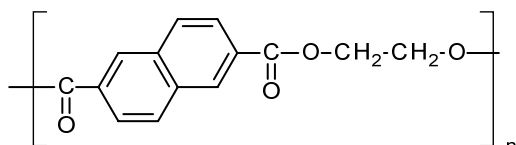


図 2 : PEN の構造式。

従来品は、放射線が当たることで発生する紫外光を波長変換材で可視光に変換する多段階方式を採用している。しかし PEN は、波長変換材を使わず放射線が当たるとダイレクトに青色の光を放つ。その最大励起波長は 370nm であり、最大発光波長は 425nm である (図 3、4)。

この PEN からの蛍光に適切な光センサーを選択することで、従来品と同等の光収率を実現した。また各種放射線 (アルファ線、ベータ線、ガンマ線、内部転換電子など) を入射したところ、それぞれのエネルギースペクトルが得られ、単なるプラスチックでも十分に放射線検出が可能であることが実証された。(図 5)。

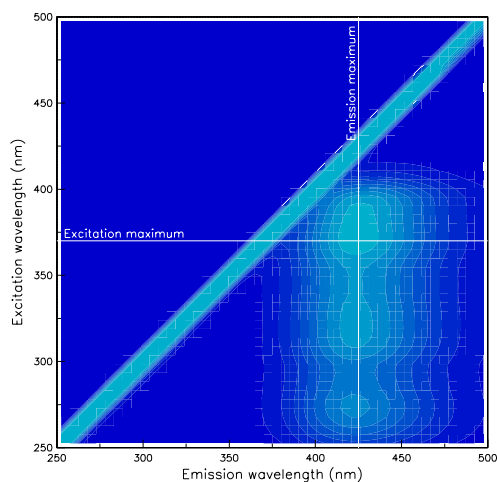


図 3 : PEN の励起波長と発光波長の関係。最大励起波長 370 nm と最大発光波長 425nm を白線で示す。

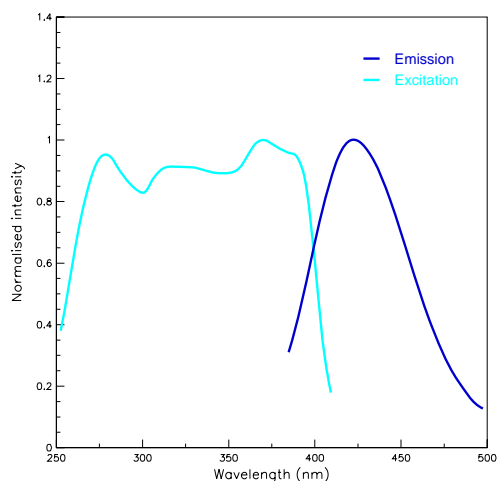


図 4 : PEN の励起・発光スペクトル。発光波長 425 nm でモニターした励起波長スペクトルと励起波長 370 nm でモニターした発光波長スペクトルを示す。

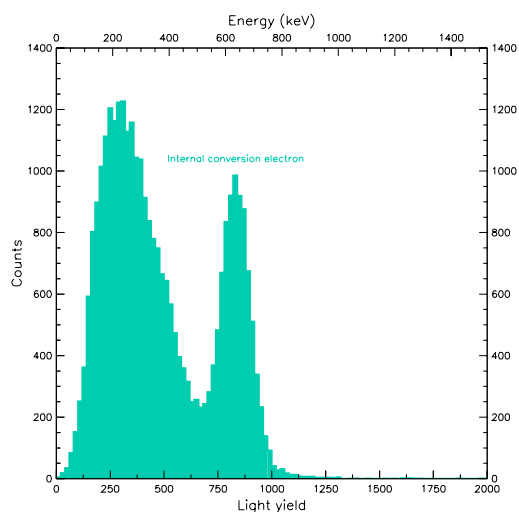


図 5 : ^{137}Cs 線源からの放射線により励起した際の PEN プレート ($31 \times 31 \times 5 \text{ mm}^3$) の光収率分布。分布中のピークは、624keV の内部転換電子によるものである。低光収率領域のカウントは、514keV のベータ線や 662keV のガンマ線により生成されたコンプトン反跳電子によるものである。

PEN は、炭素と水素から成る従来品と異なり、主要な構成要素に、より重い酸素が

あり、その密度は従来品と比べ高く、それに伴い放射線検出に対する感度が向上する。また、加工が非常に容易であることから、様々な形状での開発が可能となった。

3. 波及効果

PEN は、生活に非常に身近な素材であるため、今後多くの放射線計測装置に応用できると期待されている。特に東京電力福島第一原子力発電所事故の発生により、極めて広範な場面で放射線の計測の必要性が指摘されており、その莫大なニーズに応えることが可能な技術となった。例えば、今後の廃炉作業等に必要となる有用な素材として、放射線管理機器として導入される可能性が極めて高い。また、空港、港湾設備、鉄道の駅などで違法な放射性物質を検査するための機器への利用が挙げられる。

それらの中、2013 年末に（独）放射線医学総合研究所、応用光研工業（株）らの開発グループにより製品化された PEN を用いた高速ホットスポットモニター（R-eye）は、非常に大きな話題を呼んだ（図 6）。



図 6: PEN を用いた高速ホットスポットモニター。従来のサーベイメータよりも測定スピードを 10 倍近く上げ、移動しながら探査が可能となった。そ

の結果、汚染箇所の確認をこれまでと比較して短時間で行うことが可能になった。

4. 今後の展開

現在、アジア諸国の原子力発電所の新規建設に伴い、従来品の需要は増加する傾向にある。また、欧州諸国でも新たな原子力発電所が構想される中、放射線計測装置に更なる市場が生まれつつある。これらの市場に対し PET や PEN など、波長変換材を使用しない身近にあるプラスチックは、現在販売されている高価な従来品と代替する、もしくは従来品の更新時に付け替えるだけで即時に幅広い領域へ利用できるため、伝統的な国際マーケットの様相を一変させるイノベーションの引き金となると予想している。また、小中高等学校での安価な放射線学習用の教材としての販売も検討されている。

有機シンチレーション物質として芳香環ポリマーの基礎的な研究を突き詰めることにより得られた知見は、計測装置の新たなデザインを可能とした。今後とも、さまざまな社会ニーズに対応できる計測装置の成長を楽しみに、日々の研究を進めて参りたい。

参考文献

- [1] H. Nakamura, et al., Radiation measurements with heat-proof polyethylene terephthalate bottles, Proc. R. Soc. A., 466 (2010) 2847.
- [2] H. Nakamura, et al., Detection of alpha particles with undoped poly (ethylene naphthalate). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 739 (2014) 6.
- [3] H. Nakamura, et al., Evidence of deep-blue photon emission at high efficiency by common plastic, EPL (Europhysics Letters), 95 (2) (2011) 22001.

- [4] H. Nakamura, et al. Senses alone cannot detect different properties. *Physics Education*, 48 (2013) 556.
- [5] H. Nakamura, et al., Optimized mounting of a polyethylene naphthalate scintillation material in a radiation detector, *Applied Radiation and Isotopes*, 80 (2013) 84.
- [6] Y. Shirakawa, H. Nakamura, et al., Radiation counting characteristics on surface-modified polyethylene naphthalate scintillators, *Radioisotopes*, 62 (2013) 879.
- [7] H. Nakamura, et al., Radiation Measurements, Blended polyethylene terephthalate and polyethylene naphthalate polymers for scintillation base substrates, *Radiation Measurements*, 59 (2013) 172.
- [8] H. Nakamura, et al., Poly (ether sulfone) as a scintillation material for radiation detection, *Applied Radiation and Isotopes*, (2014) in press.
- [9] Y. Shirakawa, H. Nakamura, et al., A fast response radiation detector based on a response prediction method for decontamination, *Radiation Measurements*, 49 (2013) 115.