

(様式第5号)

## 含塩素高分子材料の放射線遮蔽能力の XAFS による評価 Radiation Shielding Ability of Chlorinated Hydrocarbon Polymers

竹下 宏樹、宮 正光

長岡技術科学大学 物質・材料系

Hiroki TAKESHITA, Masamitsu Miya

Department of Materials Science and Technology,

Nagaoka University of Technology

- ※1 先端創生利用（長期タイプ、長期トライアルユース、長期産学連携ユース）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の開示が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後二年以内に研究成果公開（論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表）が必要です。（トライアルユース、及び産学連携ユースを除く）

### 1. 概要（注：結論を含めて下さい）

ポリ塩化ビニリデン（PVDC）樹脂およびその不織布複合材料の光子遮蔽能力を XAFS ビームラインを用いて 5-35 keV のエネルギー範囲で検証した。X 線領域における PVDC の光子遮蔽能力は、高分子材料の中では顕著に高く、軽金属を上回った。PVDC 含有複合材料の放射線遮蔽能力は、計算で予想出来る事が示され、材料設計に有用な指針を与えた。

#### (English)

Radiation shielding ability of poly(vinylidene chloride) (PVDC) and composite materials containing PVDC, and its composite materials with general-purpose polymers, metals and inorganic salts was investigated in the energy range of 5-35 keV. The mass attenuation coefficient of the materials measured was well-described by the theoretical values taking Compton effect, photoelectric effect, and pair production into account. The obtained results provide guiding principles for the material design for radiation shielding.

### 2. 背景と目的

東日本大震災にともなう東京電力福島第一原子力発電所事故以来、今後数十年に渡ると思われる事故収束・廃炉作業を見据えた放射線（特に $\gamma$ 線、X線）遮蔽材料の開発が盛んである。X線領域以上のエネルギーを有する光子の遮蔽能力は、光電効果、コンプトン効果、電子対生成が決定し、材料の元素組成と密度のみが支配因子となり化学構造は寄与しない。したがって、炭素をはじめと比較的軽い元素で構成される高分子の遮蔽能力は金属材料に劣る。しかし、金属では代用不可能な高分子材料の柔軟性や成形性は、遮蔽材料の基材としての可能性を残す。本研究では、

放射線（とりわけX線）の遮蔽材として例えばポリ塩化ビニル（PVC）のような含塩素高分子材料が古くから用いられている。申請者らはポリ塩化ビニリデン（PVDC）に着目した。PVDCはPVCと同様に広く普及した高分子材料であるが、①繰り返し単位中に含まれる2つの塩素原子の光電効果に由来する高いX線遮蔽能力を有すること、②ポリエチレンの2倍近い密度を有するため一定の $\gamma$ 線遮蔽効果が期待出来ること、③繊維化可能であり織布・不織布として利用可能であること、等の特徴とし、放射線遮蔽材料の基材として非常に有用であると考えた。申請者らは、各種放射性核種および研究室所有のX線発生装置

（CuK $\alpha$ ）により、X線および $\gamma$ 線の遮蔽能力を評価し、離散的なスペクトルを得て来た。本申請研究においては、申請者らの現有装置では不可能なエネルギー領域（数～数十keV）における遮蔽能力を評価し、PVDCを遮蔽材料の基材として用いるための基礎的データを得ることを目的とした。

### 3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

フィルムマウントに固定したPVDCフィルム、各種汎用高分子不織布とPVDCおよび無機塩の複合布材料の光子透過率を測定した (Fig.1)。BL07において、光子エネルギーに応じて検出用電離箱充填ガスを変えながら5~35keVのエネルギー範囲測定を行った。得られた透過率から高調波混入を取り除く補正を行い、資料厚で規格化した。

得られた透過率は、光电効果、コンプトン効果、電子対生成、散乱から理論的に予想される質量減衰係数と比較した。複合布材料の透過率の理論値は、構成化学種の別の質量減衰係数を重み付けして足し合わせることで求めた。

### 4. 実験結果と考察

放射光実験を行うに先立ち、所属大学において、CuK $\alpha$ 線 (8.05 keV) および各種放射性同位元素から $\gamma$ 線 (90~1300 keV) の減衰係数を求めた。BL07では、それらを繋ぐ領域である5~35keVにおける実験を行った。

得られた結果を、1/eまでの減衰に必要な厚さとして Fig. 2 に示す。実験値が多少大きな値となっている (塩化ビニルが共重合されているため) が、概ね理論から予想出来る値となった。この値は、各種重金属含有材料には劣るものの、高分子材料の中では特筆すべき薄さであり、質量減衰係数で比較するとアルミ等の軽金属を凌駕する。

PVDCを含む複合材料布の透過率も、担体材料の質量減衰係数から計算された値に非常に近いものとなった。

以上のことから、PVDCがこのエネルギー領域の放射線遮蔽材料の基材として有望であること、また理論計算により材料設計が可能であることが示された。

### 5. 今後の課題

PVDCが放射線遮蔽材料の基材として有用であることは示されたが、実用上は各種金属や無機塩との複合材料として利用せざるを得ないのも確かである。今後はその複合化の方法や複合化材料の遮蔽率の計算方法の確立が必要となる。

### 6. 参考文献

Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest  
<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/>

### 7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果) なし

### 8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を2~3) ポリ塩化ビニリデン、XAFS、放射線遮蔽材料

9. 研究成果公開について (注: ※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2013年度実施課題は2015年度末が期限となります)。長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

② 研究成果公報の原稿提出

(提出時期: 2015年 3月)



Fig.1 測定セットアップ

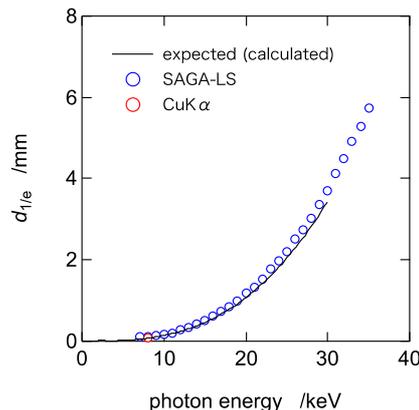


Fig.2 1/eの減衰に必要なPVDC厚のエネルギー依存性

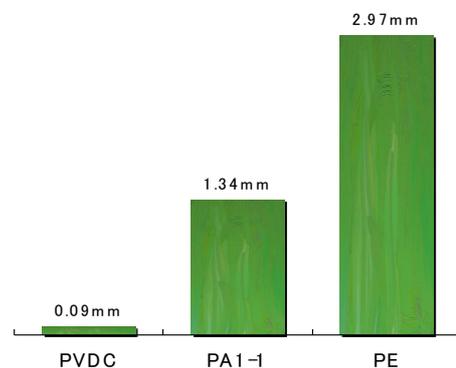


Fig.3 8 keVのX線を1/e減衰させるのに必要な膜厚。PA1-1はポリアミド。PEはポリエチレン