

セラミックス放射線遮蔽材 (X線, γ 線) の開発と使用事例

森 宏行^{*1} 奥 洋平^{*2}
Mori Hiroyuki Oku Yohei

1. 経緯

2011年東日本大震災が起こり、未曾有の被害をもたらしたことは生々しい記憶として今なお我々の中にある。当時、津波による福島第一原発の事故により、大変なことが起きているらしいというニュースは、遠く離れた私ども岡山の人間にも他人事とは思えない衝撃を与えた。

テレビ等での報道を見聞きしながら耐火煉瓦のメーカーとして何かやれることはないかと落ち着かない気分だった。放射線(能)の恐怖が報道されるにつけ耐火煉瓦がこれを防ぐことができるのではないかとという示唆をいただいたのが開発の原点となった。

『 γ 線とかいうものが出ているらしい、これを耐火煉瓦で食い止めることができるのではないか』というものだった。放射線とは何かということも全く知らず、早速検査機関に検査を依頼したが、感光したフィルムを見て放射線遮蔽にはさほど効果がないことを思い知らされた。

それから原料の選定、生産方法等試行錯誤しながら現在の製品化に至り、現在、嵩比重4.9(密度4.9 g/cm³)のセラミックス放射線遮蔽材(X線, γ 線)を生産ラインに乗せることができている。このセラミックスの特徴と使用実例を報告する。

2. 開発のための条件

開発のための条件として

- ①原料が安定的に入手できる
- ②無害である
- ③弊社の生産ラインを使用する
- ④大量生産できる

以上の条件をクリアすべく材料の選定を行なった。いくら性能が良くても原料入手に不安があったり、人体に害を与えたりすれば現実的ではない。また、大量生産できなければ市場に十分に供給できず、人の命を守る役には立たない。

3. 方法

原材料として酸化鉄(Fe₂O₃)を選定した。

酸化鉄は真比重5.24とセラミックスの中では高く、化学的に安定無害である。ヘマタイト等の酸化鉄鉱物は地球上に大量に存在していることが選定理由となった。

この度開発したセラミックスに使用している酸化鉄の成分(代表値)を表1に示した。

3-1. 製造方法

酸化鉄(Fe₂O₃)99%程度の粉体を金型に入れて

表1 セラミックに使用した酸化鉄の成分(代表値)

H	Ig-Loss	Fe	Cl	SO	MnO	SiO	CaO
0.06 %	0.17 %	99.08 %	0.054 %	0.02 %	0.52 %	0.019 %	0.012 %

プレス成型し、これを 1,200℃ 以上で焼成する。昇温から冷却まで約 10 日かけて行った。

4. 結果及び考察

焼成後の物性（代表値）は表 2 に示した。

表 2 焼成後のセラミックの物性（代表値）

項目	値（代表値）
嵩比重（密度）	4.9
圧縮強さ	200 MP（約 2,000 kgf/cm ² ）
曲げ強さ	20 MP（約 200 kgf/cm ² ）
気孔率	1 %
熱伝導率	* 4.26 W / (m · K)
熱膨張率	1.14 %（1,000℃）
耐火度	SK26

* レーザーフラッシュ法 常温

焼成前の RASHIX 原料と成型体焼成後の X 線解析結果を図 1 に示した。

図 1 より酸化鉄 (Fe₂O₃) のピーク強度は若干異なるが、位置は変化していないため、焼成前後で結晶形の変化はないと思われる。

したがって、焼成によって FeO や Fe₃O₄ や鉄と微量成分との化合物等の生成はなく、Fe₂O₃ の状態で焼結していると考えられる。

図 2 の電子顕微鏡の写真より、原料粒子が焼成により大きく成長し、焼成後は各粒子が「石垣」を組むように隙間なく緻密になっていることが確認できた。この結果、低気孔率、高強度、4.9 という高い嵩比重の酸化鉄 (Fe₂O₃) ブロック（れんが）が得られたと考える。

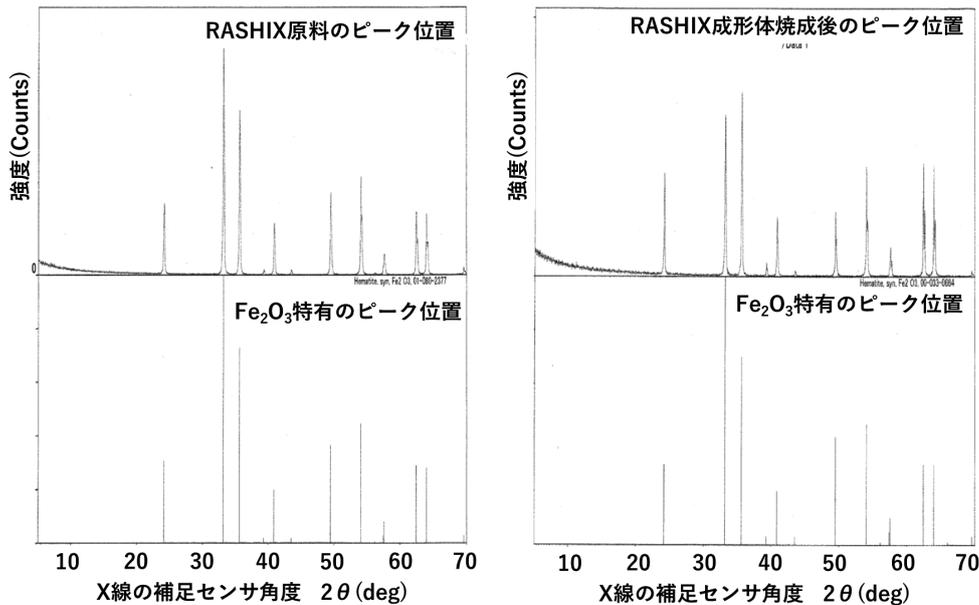


図 1 RASHIX 原料（左）と成型体焼成後（右）の X 線解析結果

下段は Fe₂O₃ 標準試料を測定した場合のピークを示している

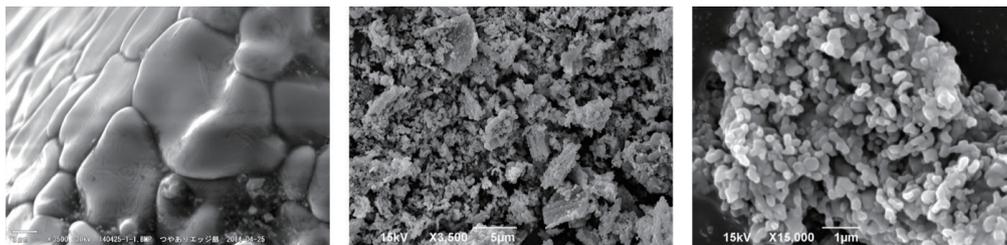


図 2 酸化鉄 (Fe₂O₃) の焼成前後の電子顕微鏡写真

左から焼成体エッジ部分（3,500 倍）、焼成前原料（3,500 倍）、焼成前原料（15,000 倍）

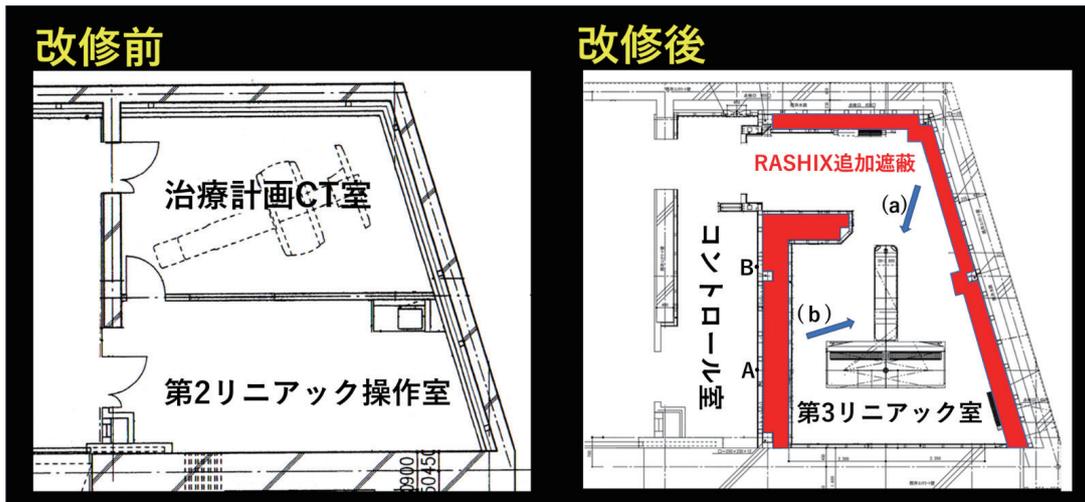


図3 放射線治療室改修前後の平面図

改修後のA点は放射線治療装置の線源から最も近い位置で、漏洩線量は $314 \mu\text{Sv}/3 \text{月}$ 、B点はコントロール室側のRASHIX厚がもっと薄い場所であり漏洩線量は $999 \mu\text{Sv}/3 \text{月}$ である。(a)(b)は図5の写真の方向を示している

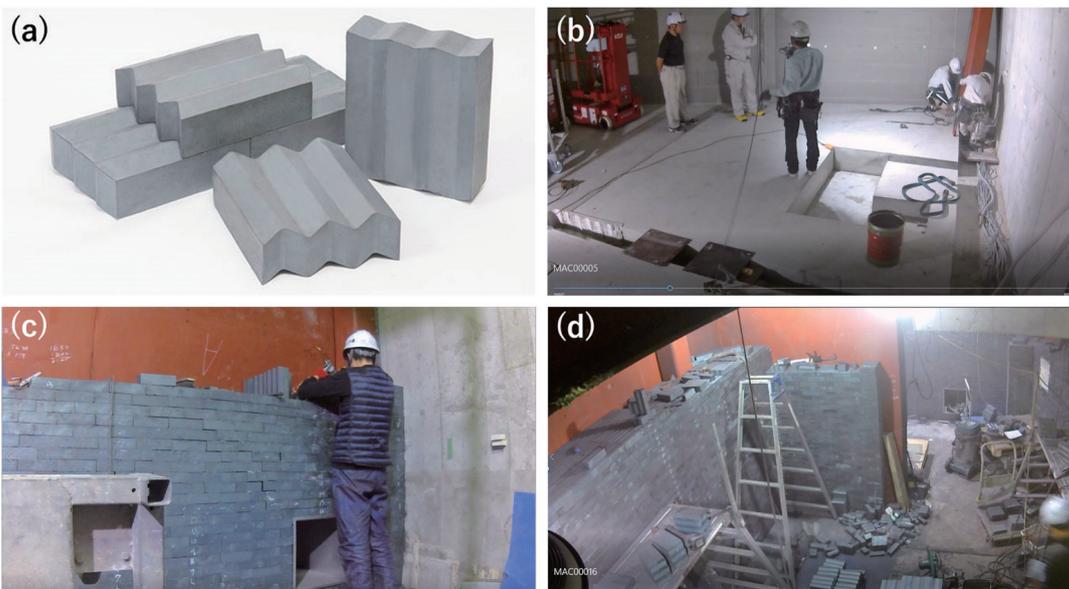


図4 改修工事の様子

(a)改修工事で使用したRASHIXの形状。1つが約7.5kgである。(b)既存設備解体後、鉄骨組み方工(c)(d)RASHIX設置工

5. 使用事例

使用事例1 (大船中央病院 リニアック室)

大船中央病院は神奈川県鎌倉市にある民間の総合病院である。近年の放射線治療の高度化、患者数増加に対するニーズにこたえるために、3台目の放射線治療装置の導入を2017年5月より検討を開始した。しかし、建ぺい率の問題や近隣の状況から既存建屋内に放射線治療装置を設置する必要があったが、従来法であるコンクリート+鉄板による追加放

射線遮蔽では、治療室内に十分なスペースを確保できない、コントロール室を確保できない等の問題があった。今回の放射線治療装置の増設を達成するためには、効率的に放射線を遮蔽することができる材料の選定が必要不可欠であり、かつ、既存の放射線治療室の業務に影響を与えることなく、既存新内の改修工事を行う必要があった。このような悪条件の中で、改修工事を可能にしたのが三石耐火煉瓦株式会社が開発したRASHIXであった。図3に示したとおり、改修前は治療計画CT室及び第2リニアック



図5 新規放射線治療室の様子

左は図3の(a)から見た写真, 右は図3の(b)から見た写真である

ク室の操作室だったことから、6 MeV X線に対する遮蔽を考慮していなかった。今回の改修工事では6 MeV X線に対する遮蔽計算を行った。使用条件は最大線量率8 Gy/分、最大照射野28 cm × 28 cm、使用線量は30,000 Gy/3月、20,000 Gy/週であり、管理区域外側の漏洩線量を放射線障害防止法による規制値（人が常時立ち入る場所：1 mSv/週以下、管理区域境界：1.3 mSv/3月以下、一般病室：1.3 mSv/3月以下、事業所内居住区域：250 μSv/3月以下、事業所境界：250 μSv/3月以下）以内となるようにRASHIX厚の計算を行った。許可申請書の遮蔽計算においては、計算に必要なRASHIXのパラメーターが存在せず、密度比によるパラメータの算出、漏洩線量計算を行い使用許可に至った。図3のA点（RASHIX厚60.1 cm、線源からの距離1.9 m）での漏洩線量は314 μSv/3月（< 1.3 mSv/3月）、最大値はB点の999 μSv/3月であった。

改修工事では既存建屋内に追加遮蔽を行ったが、騒音の発生する工事は土日祝の治療業務が休みの期間に行う等、日程調整に難渋したものの既存設備撤去工事から新規放射線治療装置までおよそ5か月間（内RASHIX積上げ工事は約40日）であった。大型重機を必要としない煉瓦積みの要領でRASHIXの積上げを行うことで騒音も発生しない工事であった。改修工事の様子を図4に示した。図4(a)に示したとおり、今回使用したRASHIXは山谷が4面に施されており、この山谷を合わせることで耐震強度向上及び放射線漏洩を防ぐ構造となっている。また、RASHIXを受ける鉄板及びRASHIXの接合面に建材用ボンドを使用することで更に耐震強度が向上し、阪神淡路大震災の1.5倍程度の振動に対して耐えられると考える。



図6 伊方町庁舎に採用したRASHIXパネル

左はパネルをたたんだ状態, 右は窓を覆うようにRASHIXパネルを広げた状態

放射線治療室に改修した部屋は腰壁上部をRASHIXむき出しのままとしたが、落ち着いた雰囲気となりスタッフ、患者にも好評であった（図5）。

使用事例2（愛媛県 伊方町庁舎 災害対策室）

愛媛県伊方町には伊方原発から4.5 kmの距離に伊方町庁舎があり、庁舎の災害対策室の窓の放射線の遮蔽にRASHIXを使用していただいた。窓を遮蔽するためにRASHIXをパネル状にして、普段は折り畳まれ、有事の際に広げて遮蔽する構造となっている。このパネルを設置したことにより、福島第一原発から4.5 km程度の位置における¹³⁷Csからの放射線量1/2以下にし、規制値以内に抑えることが可能となる。その写真を図6に示した。

6. まとめ

放射線（X線、γ線）遮蔽材として酸化鉄（Fe₂O₃）約99%を主原料とした嵩比重4.9のセラミックス焼成体が得られた。強度はコンクリートの2倍以上であり、耐火性があり500～600℃の使用に耐え、1,100℃程度では熔融しない。重金属を含まないため無害である。実施例として放射線治療室、建物のシェルター化（窓遮蔽）等がある。施工はレンガ積みの要領でRASHIXを積上げる、パネル化することで比較的簡単に行える。

今回得られた酸化鉄（Fe₂O₃）遮蔽材は他の遮蔽材にない特徴があり、使い次第で様々な応用できるのではないかと考えられる。

(*1 三石耐火煉瓦株式会社、

*2 三石耐火煉瓦株式会社 顧問、大船中央病院)