



## EAGLE8 H, Q によるガンマ線の減衰

Mohamed Bourham (モハメッド・バーハム)<sup>1</sup>

Joshua Nowak (ジョシュア・ノワック)<sup>2</sup>

ノースカロライナ州立大学

<sup>1</sup>原子力工学部 <sup>2</sup>機械・航空宇宙工学部

(NC 27695 ノースカロライナ州ローリー)

本研究の各試験は、ノースカロライナ州立大学原子力工学部のレイ・マレー放射線研究所  
(NC7695-7909 ノースカロライナ州ローリー) にて実施された。

2012年8月13日

## EAGLE8 H, Q サンプルの ガンマ線減衰試験に関する報告

ガンマ線減衰特性を調べるため、円筒形の EAGLE8 H（高難燃性）および Q のプレキャストサンプルを用意した。

これらのサンプル 2 個の減衰を試験して線形減衰係数を測定し、従来のコンクリートと比較するための実験装置を作成した。

### 実験装置：

図 1 に示す通り、本実験装置は、以前に EAGLE8 サンプル用に使用した装置と同様の標準的な放射線検出システムである。

本装置の主要部分は、底部ベース上に配置された積層型放射線源と、放射線をコリメートする鉛コリメータで構成されている。サンプルはソースコリメータの上に置かれ、検出器はサンプルの上のマウント上に設置されている。図 2 に実験装置の写真を示す。

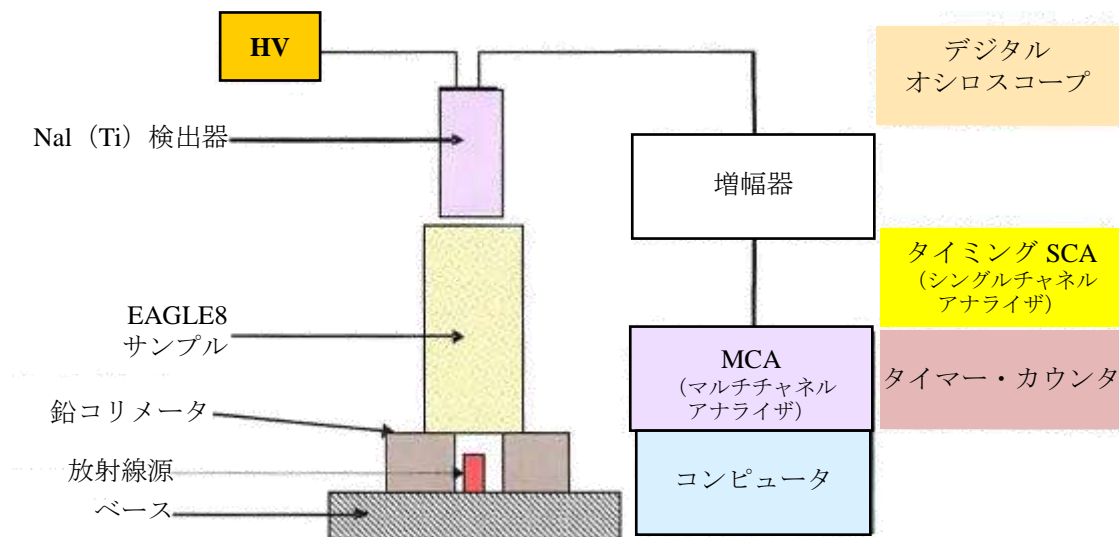


図 1 H・Q サンプル試験用の実験装置



図 2 実験装置の写真

計装機器のリスト :

- 放射線源 : 6 線源積層型 [Cs-137 (5 $\mu$ Ci)  $\times$ 1、Ba-133 (1 $\mu$ Ci)  $\times$ 1、Co-60 (1 $\mu$ Ci)  $\times$ 4]
- 検出器 : EG&G ORTEC 製ヨウ化ナトリウム NaI (Ti) 検出器 [モデル 905-3 (2 $\times$ 2 インチ)] および ORTEC 製光電子増倍管ベース [モデル 266]
- 増幅器 : ORTEC 製モデル 572A
- 高圧電源 : ORTEC 製モデル 556
- タイミング SCA : ORTEC 製モデル 551
- タイマー・カウンタ : ORTEC 製モデル 871
- デジタルオシロスコープ : TEKTRONIX 製モデル TDS210 - 2 チャンネルデジタルリアルタイムオシロスコープ
- マルチチャンネルアナライザ : ORTEC 製 Easy-MCA
- コンピュータとソフトウェア : データ取得用および分析用の Dell 製 Windows 7 PC (切換可能な XP バーチャルマシンモード搭載) および Windows 用 ORTEC Maestro

各実験の実施前にバックグラウンド放射線を測定し、すべてのデータはバックグラウンド補正済みである。

図3に示す通り、積層線源はCs-137を一番下、Ba-133を中間、Co-60線源4個を一番上に設置した。

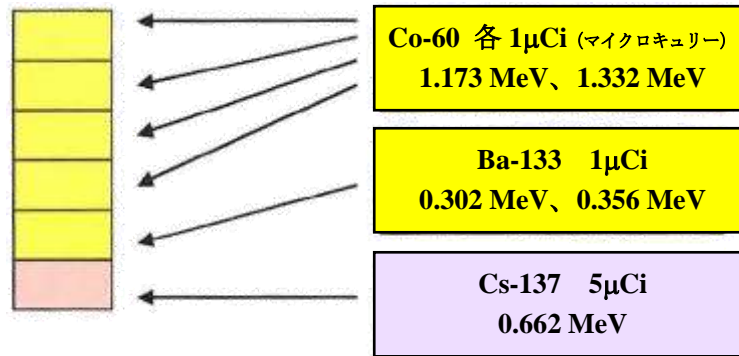


図3 積層放射線源のアセンブリ

EAGLE8 H・Q サンプル：

表1に、ガンマ線減衰試験用のEAGLE8 H,Q円筒形コンクリートサンプルを示す。表は各サンプルの厚さ測定値と計算密度を示している。サンプルは円筒形に成型したもので、両方ともおよそ直径10.1~10.5cm、長さ20.5~20.9cmである。

表1 ガンマ線減衰試験に供したEAGLE8 H・Q サンプル

サンプル番号	EAGLE8 ID	直径 (cm)	長さ (cm)	測定重量 (gm)	計算容積 (cm <sup>3</sup> )	計算密度 (gm/cm <sup>3</sup> )
1	H	10.1	20.5	2858	1642.429	1.740
2	Q	10.5	20.9	2948	1809.734	1.629

\* 文献によると標準的なコンクリートで2.25g/cm<sup>3</sup>である

実験結果：

### 試験 1

最初の試験では秒当たりカウントを測定した。結果を図 4 に示す。この図では、各サンプルによって Ba-133 の低エネルギーピークが完全に減衰され、Cs-137 および Co-60 のピークも大幅に減衰された。

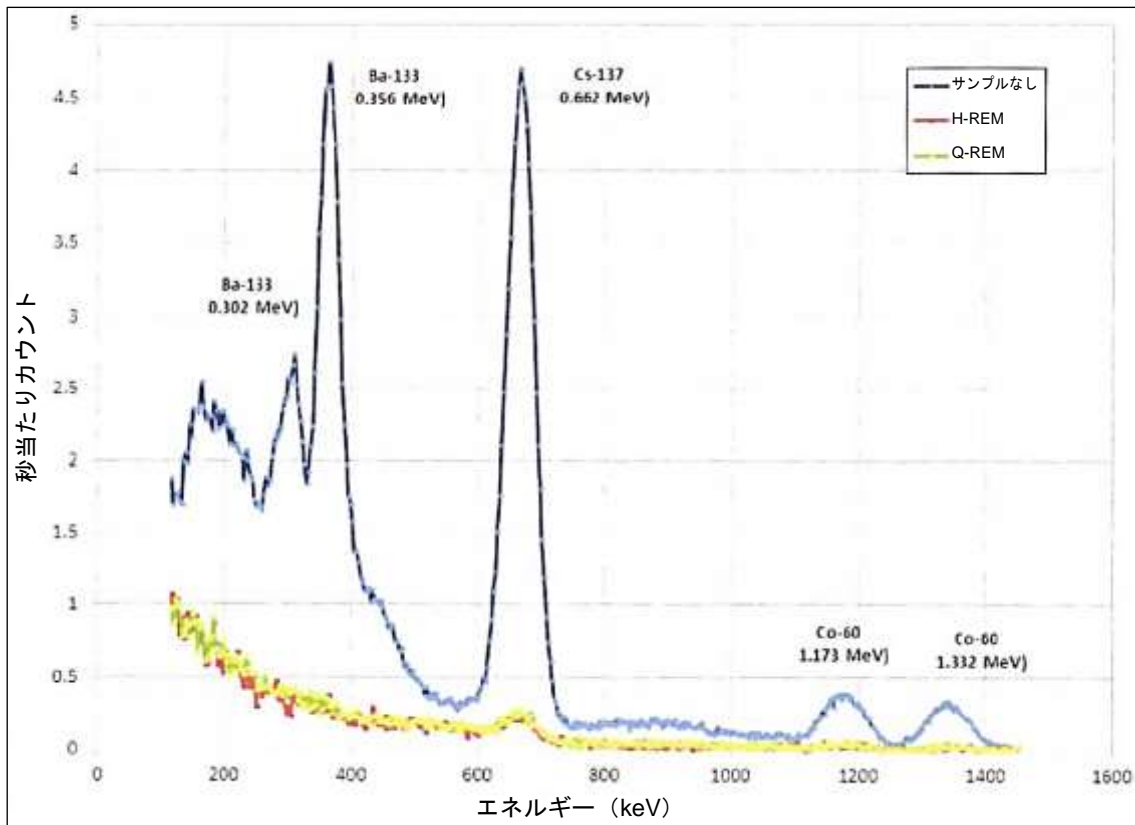


図 4 サンプル設置前後の積層線源の秒当たりカウントの比較

総カウント数を対数スケールで図 5 に示す。あらゆるエネルギーレベルにおける高いガンマ線減衰特性を示している。

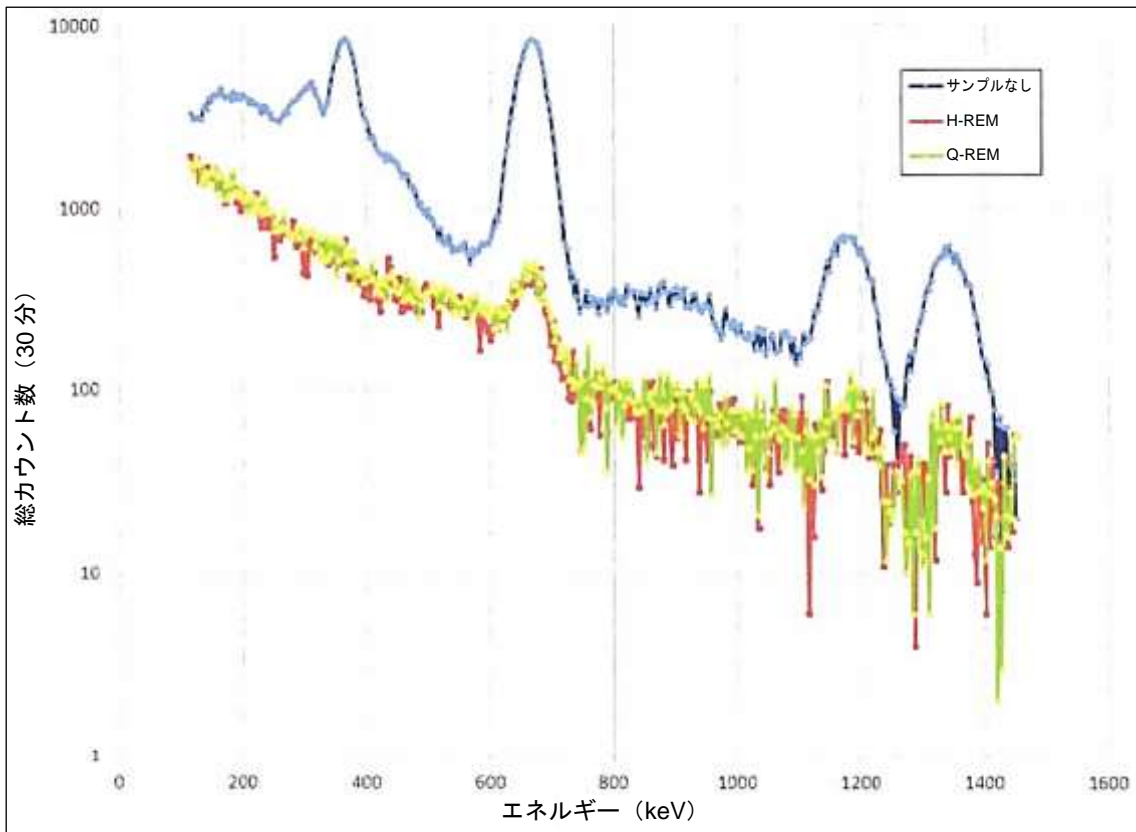


図 5 サンプル設置前後の積層線源の総カウント数の比較

サンプルあり／なしの積層線源の総カウント数の比率と H・Q サンプルの減衰率の計算値を表 2 に示す。

表 2 HFR・PCW サンプルのエネルギーに対するガンマ線減衰率

ピークエネルギー (keV)	H (C/C <sub>0</sub> )	減衰率 (%)	Q (C/C <sub>0</sub> )	減衰率 (%)
662	<b>0.029728</b>	97.03	<b>0.030915</b>	96.91
1173	<b>0.054814</b>	94.52	<b>0.087798</b>	91.22
1332	<b>0.035032</b>	96.50	<b>0.070506</b>	92.95

表 2 に示す通り、試験したエネルギー範囲において、各サンプルの減衰率は十分高いのでガンマ線を遮断することができる。図 6 はガンマ線エネルギーに対する強度の比率をプロットしたもので、サンプルあり／なしの総カウント数の比率 (C/C<sub>0</sub>) および各サンプルの多項式フィット (近似) で表現している。これは、予想される減衰率をエネルギーの関数として解析的に表現したものである。

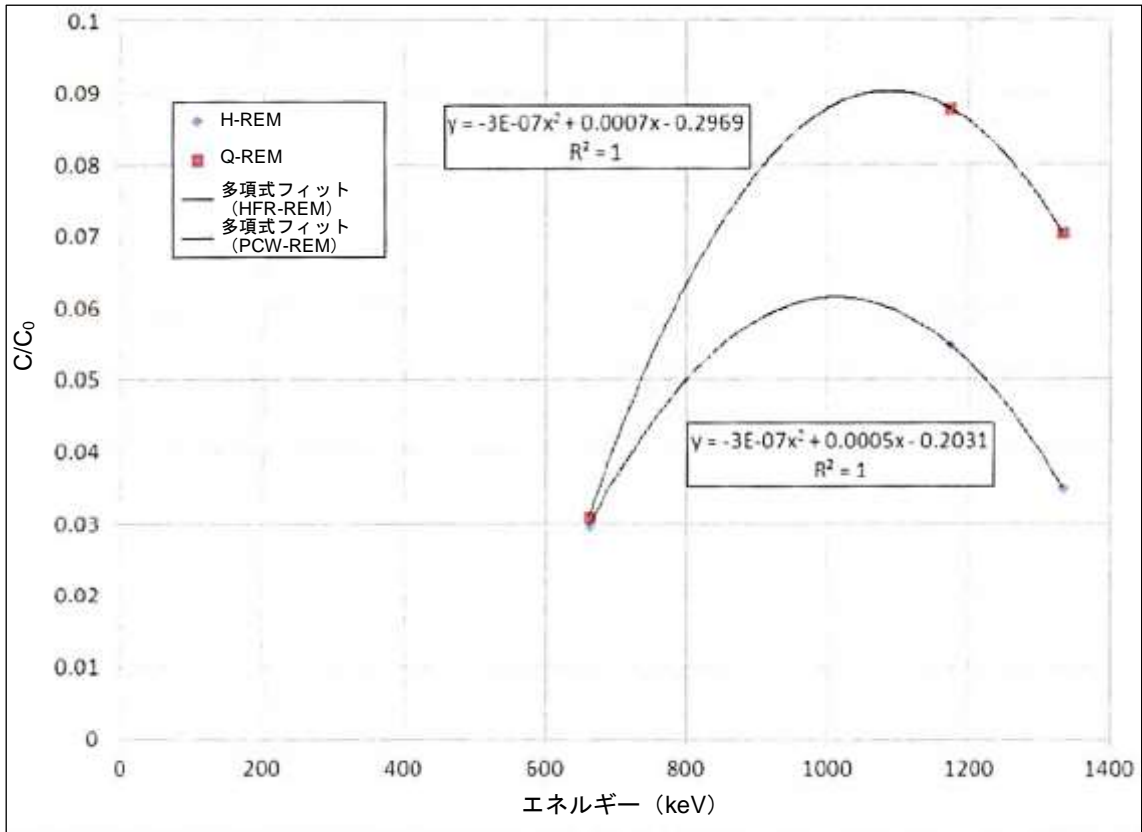


図 6 エネルギーに対する減衰率

サンプルあり/なしの総カウント数の比率および各データセットの多項式フィットで示している。

表 3 に H・Q サンプルの線形減衰係数の計算を示す。

表 3 H・Q サンプルのガンマ線線形減衰係数  
試験 1 の結果

ピークエネルギー (keV)	H $\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	Q $\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
662	0.17150	0.16634
1173	0.14165	0.11640
1332	0.16349	0.12689

#### 試験 2 (5 時間総カウント数)

二番目の試験では 5 時間総カウント数を測定した。結果を図 7 に示す。この図では、各サンプルによって Ba-133 の低エネルギーピークが完全に減衰され、Cs-137 および Co-60 のピークも大幅に減衰した。これらの結果は試験 1 の結果を裏付けるものである。

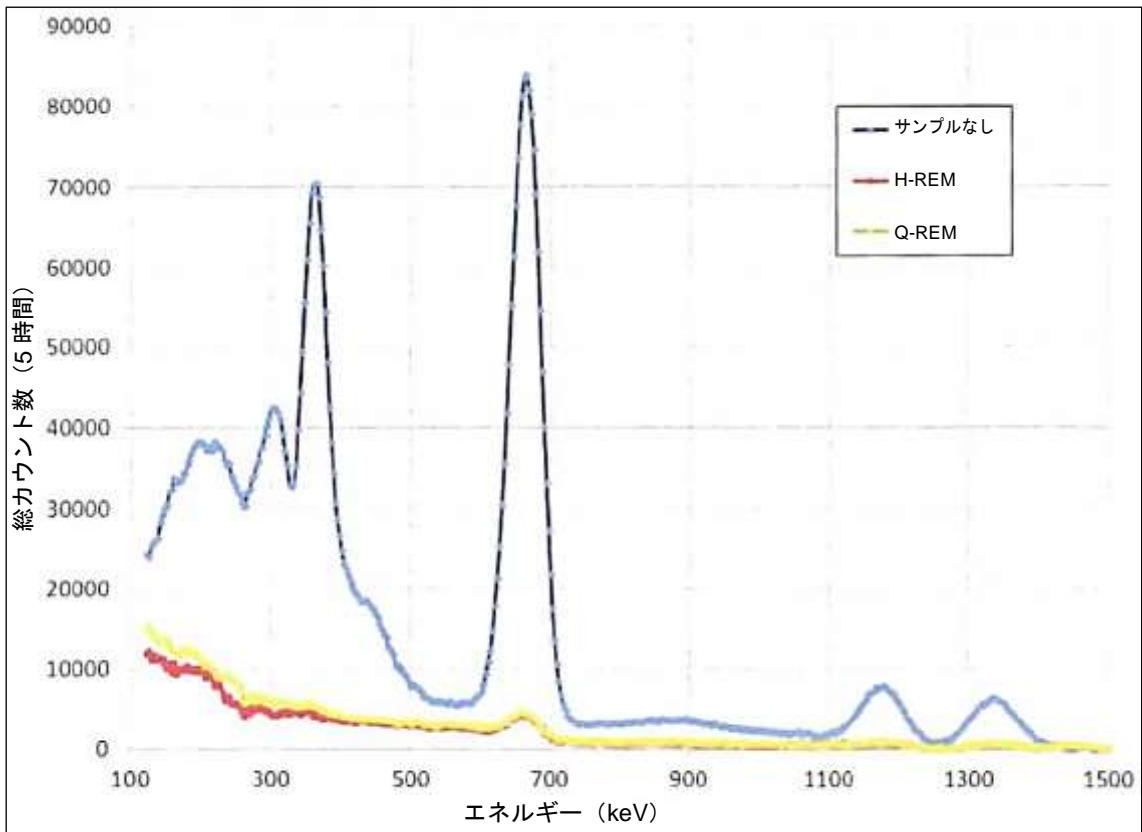


図7 エネルギーの関数としての5時間総カウント数  
 サンプルあり／なしのガンマ線ピークの減衰量を示している。

表4 エネルギーに対するH・Qサンプルのガンマ線減衰率(5時間)  
 試験2の結果

ピークエネルギー (keV)	H ( $C/C_0$ )	減衰率 (%)	Q ( $C/C_0$ )	減衰率 (%)
662	0.029669	97.03	0.030571	96.94
1173	0.091294	90.87	0.071550	92.85
1332	0.059153	94.08	0.057065	94.29

表4に示す通り、試験したエネルギー範囲において、各サンプルの減衰率は十分高いのでガンマ線を遮断することができる。図8はガンマ線エネルギーに対する強度の比率をプロットしたもので、サンプルあり／なしの総カウント数の比率( $C/C_0$ )および各サンプルの多項式フィット(近似)で表現している。これは、予想される減衰率をエネルギーの関数として解析的に表現したものである。



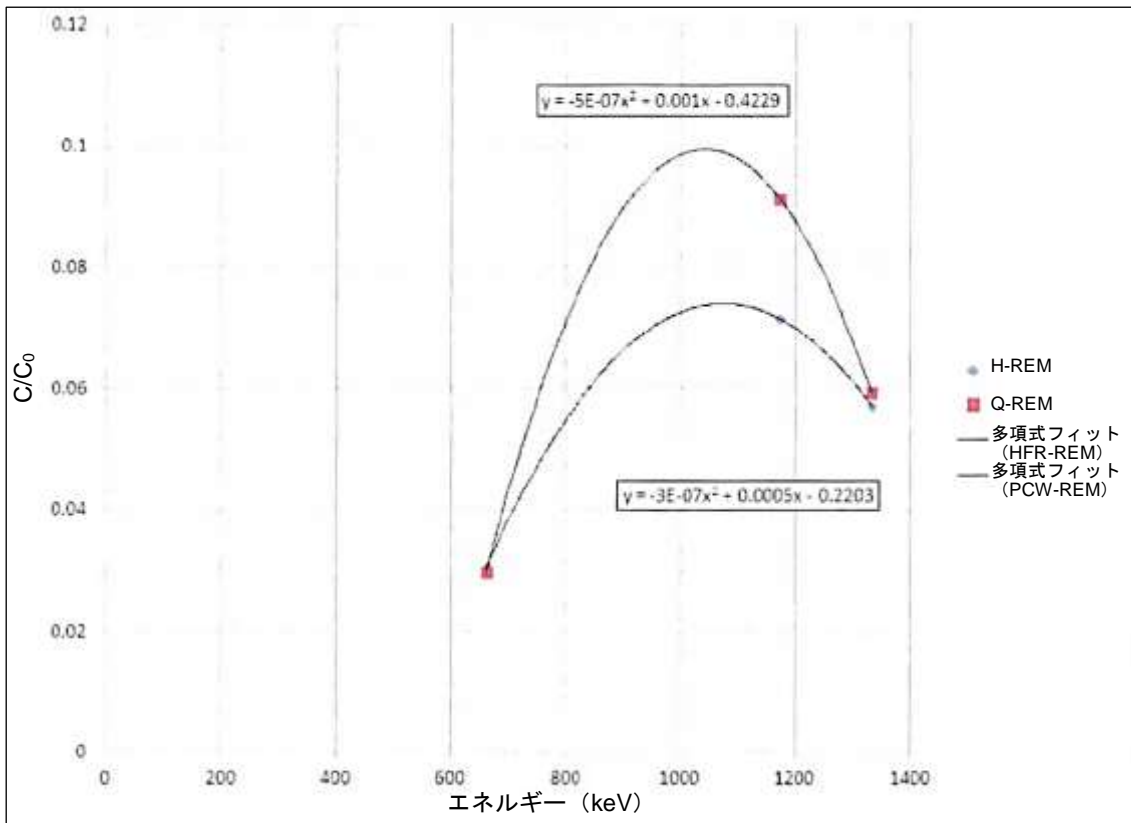


図8 エネルギーに対する減衰率

サンプルあり/なしの総カウント数の比率および各データセットの多項式フィットで示している。

表5にH・Qサンプルの線形減衰係数の計算を示す。

表5 H・Qサンプルのガンマ線線形減衰係数  
試験1の結果

ピークエネルギー (keV)	H $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	Q $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )
662	0.17013	0.16831
1173	0.12865	0.11453
1332	0.13969	0.13529

試験 1 と試験 2 の結果の比較を表 6 に示す。それぞれの結果は整合的である。

表 6 EAGLE8 H・Q サンプルのガンマ線線形減衰係数  
試験 1 と試験 2 の結果の比較

ピークエネルギー (keV)	H $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	H $\mu$ (cm <sup>-1</sup> ) 5 時間試験	Q $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	Q $\mu$ (cm <sup>-1</sup> ) 5 時間試験
662	0.17150	0.17013	0.16634	0.16831
1173	0.14165	0.12865	0.11640	0.11453
1332	0.16349	0.13969	0.12689	0.13529

H・Q サンプルに関するコメント：

試験 1 と試験 2 の結果が似ていると考えるのは妥当である。しかし、われわれは試験時間を 5 時間に延長した試験 2 のデータをより信頼する。H・Q サンプルの試験結果（5 時間試験）と、コンクリート混合物の標準形状に関する公表されたデータの比較を表 7 に示す。H・Q が従来のコンクリートと較べて同等または優れていることは明白である。

表 7 EAGLE8 サンプルのガンマ線線形減衰係数

ピークエネルギー (keV)	H $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	Q $\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	Lamarsh 、 Baratta のデータ (2001 年)	Medhat のデータ (測定値) (2009 年)	Medhat のデータ (計算値) (2009 年)
662	0.17013	0.16831	0.19	0.13725	
1173	0.12865	0.11453	0.133	0.1305	0.13275
1332	0.13969	0.13529	0.1215	0.11475	0.12375

- J. R. Lamarsh (ラマーシュ)、A. J. Baratta (バラッタ)、“Introduction to Nuclear Engineering” (「原子核工学入門」) 第 3 版、Prentice-Hall、ISBN: 0-201-82498-1 (2001 年)
- M. E. Medhat, “Gamma-ray attenuation coefficients of some building materials available in Egypt” (「エジプトで入手可能な建築材のガンマ線減衰係数」)、Annals of Nuclear Energy、Vol.36、pp.849-852 (2009 年)