

使用済燃料中間貯蔵施設の腐食に関する研究

福永 忠* 中安 文男*

The Corrosion Study of the Intermediate Nuclear Spent Fuel Storage Facility

Tadashi Fukunaga, Fumio Nakayasu

In Japan, many facilities are constructed along the seashore and the nuclear power plants which need cooling water are also constructed along the seashore. In addition, spent fuel intermediate storage facilities are planned to be constructed in the Sea of Japan coast area. In pursuing sea salt aerosol-induced corrosion research, it was necessary to perform corrosion tests under a certain set of environmental conditions since corrosion of structures was known to be highly sensitive to environmental factors. To improve the corrosive condition, we considered to use filter. The definition of filter goodness on this study is that the amount of sea salt reduction is large as compared with pressure loss. From this view point, we carried out the filter performance test. From this tests result, we confirmed that our selected filters have good performance.

1. 緒言

原子力発電所から取り出された使用済核燃料を、再処理せずに、直接処分する方法をワンス・スルー方式といい、使用済核燃料を再処理して利用可能なウランやプルトニウムを抽出して再び燃料として再使用することをリサイクル方式という。エネルギー資源が乏しく、ほとんどのエネルギー資源を輸入に頼っているわが国においては限りある資源を有効活用するために、使用済核燃料はワンス・スルー方式で処分するのではなく、リサイクル方式を構築して資源の有効活用を推し進めるとというのが原子力政策の基本姿勢である。原子力発電所から取り出された使用核燃料は原子力発電所内の燃料貯蔵プールで、水中に保管され崩壊熱を減少させた後、青森県六ヶ所村の再処理施設に運ばれて再処理される計画である。しかし、再処理施設の処理能力は年間の使用済核燃料発生量より少ないし、現在再処理施設の稼働自体も計画通りに進んでいるわけではない。そこで、使用済核燃料の一部は、一時的に再処理までの間、使用済核燃料中間貯蔵施設で保管される予定である。使用済核燃料内部には、放射能が強くて半減期の長い核分裂生成物質が含まれているので、使用済核燃料中間貯蔵施設において保管中の使用済核燃料から核分裂生成物の放出を防ぐ必要がある。そのためには、使用済核燃料中間貯蔵施設内において腐食の進行しない適切

* 原子力技術応用工学科

な温度管理を行うこと、および腐食を促進する物質の流入を管理することが重要¹⁾⁻³⁾である。また、これらの管理は長期間におよぶので、外部から自然風を取り入れて冷却を行うことが妥当である。自然風を取り入れる際には、フィルターやガラリを通過させて腐食を促進する物質を取り除いて空気を取り入れることを計画⁴⁾⁻⁵⁾している。したがって、使用済み燃料中間貯蔵施設を管理する上でフィルターやガラリ（以下フィルター等という）の性能を把握しておくことが必要となってくる。

フィルター等の性能は、通過風量減少と海塩粒子等の減少とを組み合わせで評価⁶⁾⁻⁷⁾される。このため、フィルター等の性能評価を、2種類の試験を組み合わせで行うこととした。まず一つの試験は、風量減少量を測定するものである。本試験は、送風機で風を送り、風速測定装置により、フィルター等の通過後風速を、フィルター等を設置しない場合に測定した風速と比較することで、フィルター等の風量減少量を評価した。二つ目は、海塩粒子飛来量の減少量を調べる試験である。本試験は日本海沿岸地区（あわら海岸）において、フィルターとガラリをそれぞれ暴露試験装置に取り付け、暴露試験装置の内部にガーゼを固定し、ガーゼに付着した海塩粒子の塩化物イオン濃度等をイオンクロマトグラフで計測する JIS ドライガーゼ法を用いて海塩粒子飛来量の減少量を測定した。そして、フィルター等を設置しない場合の海塩粒子飛来量と比べることで、フィルターとガラリがどの程度海塩粒子飛来量を減少させるかを評価した。

2種類の試験、風量減少量と海塩粒子減少量を比較して、フィルターおよびガラリの性能を評価し、使用済み核燃料中間貯蔵施設におけるフィルターおよびガラリの利用の有効性について考察した。

2. 試験方法

2-1 フィルター等の風量減少測定試験

試作した風速測定試験装置を図 2-1 に示す。同装置は、送風機、風洞及び供試体取付け部から構成され、これを用いて、フィルター、ガラリ等の風速減少量を測定した。試験に使用したガラリは図 2-2 に示す 2 種類である。1 つ目はあわら海岸で設置しているものと同一設計のガラリ(1)で羽根は 20 枚であり、正面から見ても向こう側が見通せない仕様である。もう 1 方のガラリ(2)は、比較実験のためのもので羽根は 10 枚であり、正面から見れば向こう側が見える仕様である。



図 2-1 風速測定試験装置（側面及び正面）

ガラリの羽根の詳細を図 2-3 に示す。



図 2-2 がらり 1 (左) 及びがらり 2 (右)

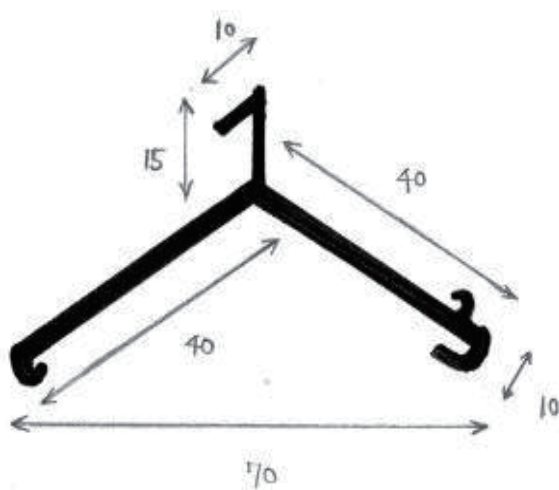


図 2-3 ガラリ羽根詳細

試験に使用したフィルターは、新品のフィルター（使用前フィルター）及びあわら海岸の暴露試験装置に 1 カ月間設置後に回収したフィルター（使用后フィルター）の 2 種類である。フィルターは図 2-4 のように専用の枠にはめてガラリと同じように設置して、試験を行った。

風速の測定は、送風機を起動して風が安定した後、風速計を用いて 10 秒ごとに 10 回ずつ測定を行い、平均値を風速とした。測定は、図 2-5 に示す風速測定試験装置の風洞出口と供試体との距離 d をパラメータとして行った。風量は風速に通過面積をかけることで求められるが、通過面積はすべての実験で一定であるため風量の相対値は風速に比例すると考えた。

2-2 環境汚染因子測定（JIS ドライガーゼ法）

環境汚染因子（海塩粒子等）飛来量を測定するため、日本工業規格（JIS） Z 2382『大気環境

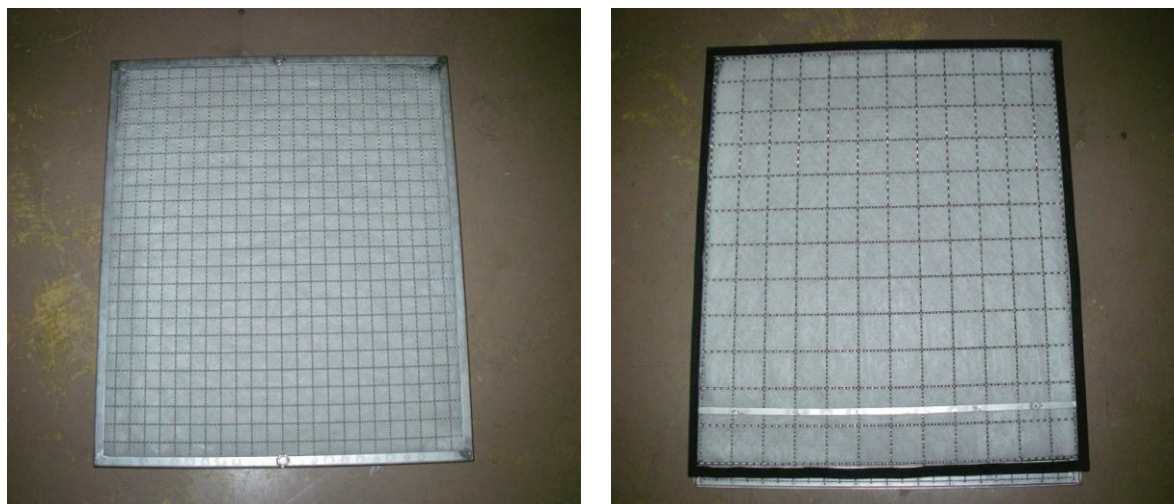


図 2-4 フィルター

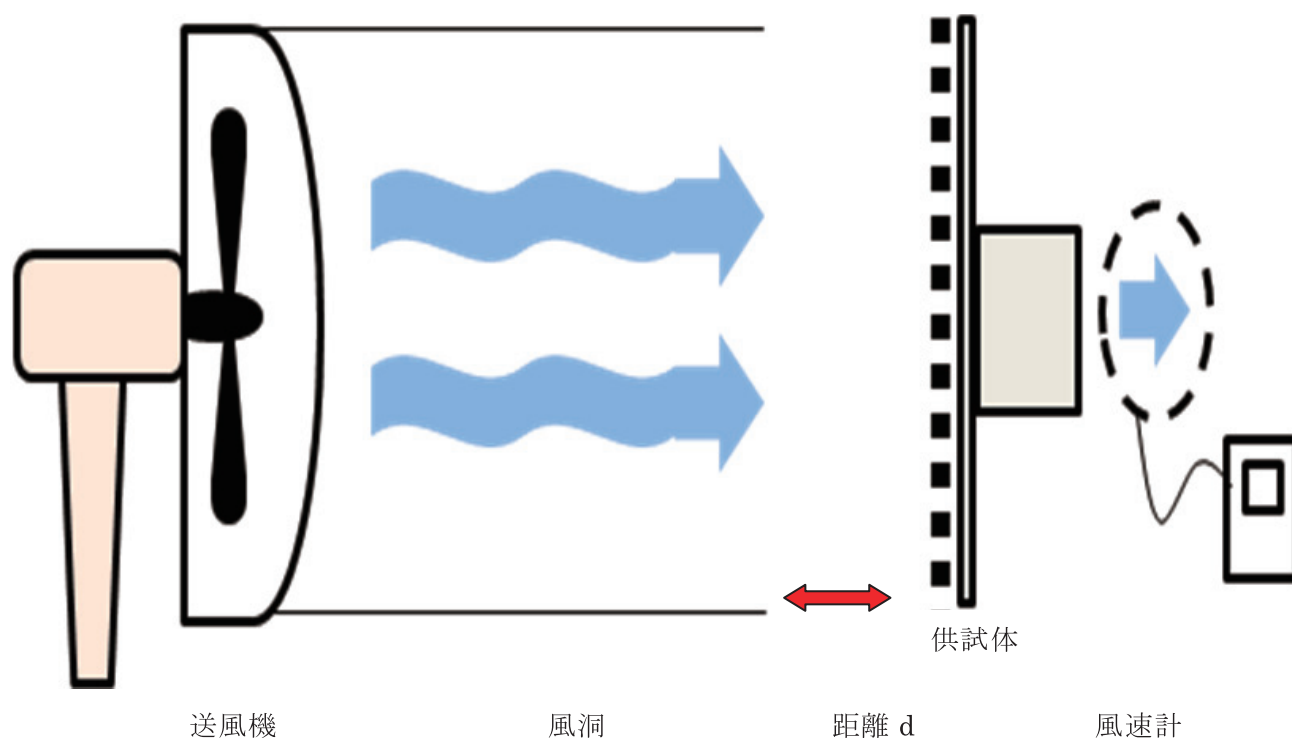


図 2-5 風速測定試験装置

の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定』で定められた手法を採用した。一定面積（ 100cm^2 ）をもつ2枚重ねのガーゼを、雨を遮断して暴露すると、ガーゼ表面に環境汚染因子が捕集される。この環境汚染因子を分析によって定量する。分析結果から、環境汚染因子飛来量を評価し、平方メートル・日当たりのミリグラム（ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ ）の単位に規格化する。JIS ドライガーゼ法で測定を行うためにはドライガーゼプレートが必要である。ドライガーゼプレートは捕集枠とガーゼからなる。捕集枠は内寸法 $100 \times 100\text{mm}$ の部分にガーゼが露出するような枠である。その捕集枠に塩化物のついていないガーゼを二枚挟み込む。ドライガーゼプレートは暴露するま

でポリエチレン袋に保管する。環境汚染因子を測定したい場所にドライガーゼプレートを設置するときには、暴露装置の内側の雨がかけられない中央部分に風で揺れないようしっかりと固定し暴露する。暴露を終了したガーゼは捕集枠から取り外し、分析までポリエチレン袋に入れて保管する。以下の手順で測定試料溶液を調整し、イオンクロマトグラフで環境汚染因子のイオン濃度を測定する。

- (1) ガーゼを細かく切断し 100ml のビーカーに入れる
- (2) 蒸留水 50ml を加えて温浴で 20 分間加熱する
- (3) 冷却した後、JIS P 3801 の 5 種 C のろ紙を用いてろ過し、さらに蒸留水でろ紙を洗浄してろ液を 50ml として、試料溶液とする。

JIS ドライガーゼ法を用いてあわら海岸に設置した暴露試験装置において海塩粒子飛来量を測定した。JIS Z 2382 の寸法に基づいて図 2-6 に示すドライガーゼプレートを製作した。ドライガーゼプレートは、100mm×100mm の正方形の穴をあけた板にガーゼ二枚を挟み込んで制作し、日本海沿岸地区（あわら海岸）に設置した暴露試験装置内にガーゼを設置した。暴露試験装置に、(a) フィルター設置、(b) ガラリ(1)設置、(c) 何も設置しない場合の 3 つの条件で試験を行った。1 週間ごとに暴露試験装置内のガーゼを新しいものに取り換え、古いガーゼを持ち帰った。持ち帰ったガーゼを図 2-7 の手順で細かく切り刻み蒸留水に浸け海塩粒子を浸出させて、イオンクロマトグラフを用いて海塩粒子のイオン濃度を測定した。測定後、海塩粒子飛来量を $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{日})$ に規格化した。

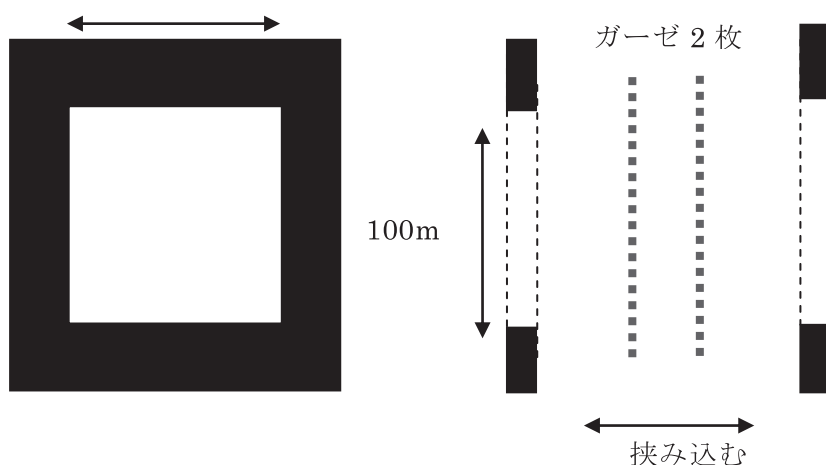


図 2-6 ドライガーゼプレートの寸法と製作方法

暴露試験装置に何も設置しないとき、フィルターを設置したとき、及びガラリを設置した時の海塩粒子の捕集のイメージを図 2-8 に示す。同図から明らかなように、何も設置しない時に比較し、ガラリを設置したときは、海塩粒子の捕集が期待され、フィルターを設置すると、より多くの海塩粒子の捕集が期待される。一方、通過風量は、何も設置しない時、ガラリ設置、フィルタ

一設置の順に大きいと推定される。この海塩粒子捕集量及び通過風量減少量の相関を評価することが、実験の目的である。

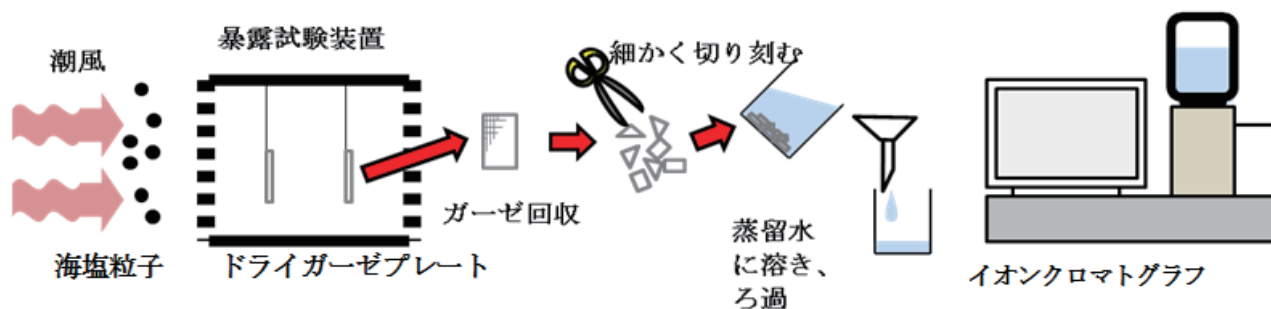


図 2-7 海塩粒子測定法

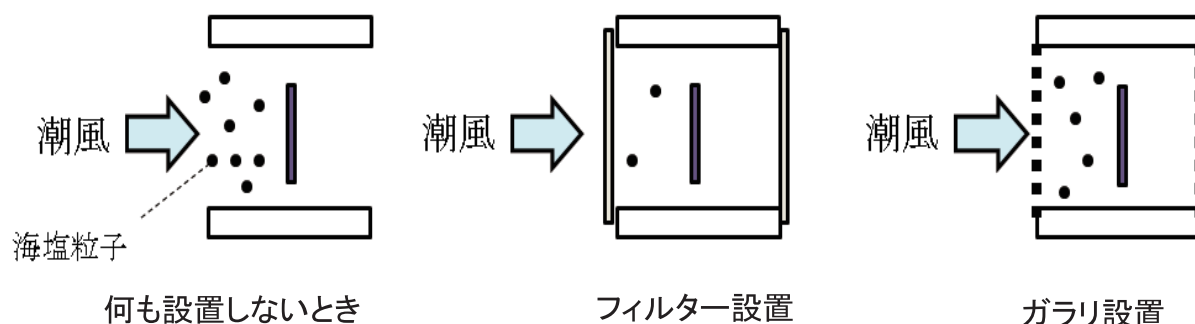


図 2-8 フィルター及びガラリ設置による海塩粒子捕集イメージ図

3. 試験結果

3-1 フィルターとガラリの通過風量測定試験

図 3-1 にフィルターに関する通過風量試験結果を示す。同図中の間隔 d は、図 2-5 の風洞出口と供試体表面の距離を示す。同図は、送風機の風洞出口と供試体フィルターの面とのそれぞれの距離 d (cm) に対する通過した後の風速を縦軸に、何も設置しない場合の風速を横軸に示す。 $d=0$ は、流入方向と直角方向への風の逃げが制限された状態を示し、 $d=10, 20, 30$ は、流入方向と直角方向への風の逃げがある程度許容された状態を示している。同図から明らかなように、 $d=0$ の時は、風量減少率は、流入風量が大きくなると大きくなり、 $d=10, 20, 30$ の時は、風量減少率は流入風量に依存しないことが判明した。使用後のフィルターについては、 $d=0, 10, 20, 30$ のすべてケースで、使用前フィルターと、絶対値は異なるものの、同様の傾向を示した。

また、使用前フィルターと使用後フィルターの双方について、風速が大きくなるほど、風量減少率が大きくなり、最終的には、通過風量が風速にかかわらず、一定となる傾向を示している。

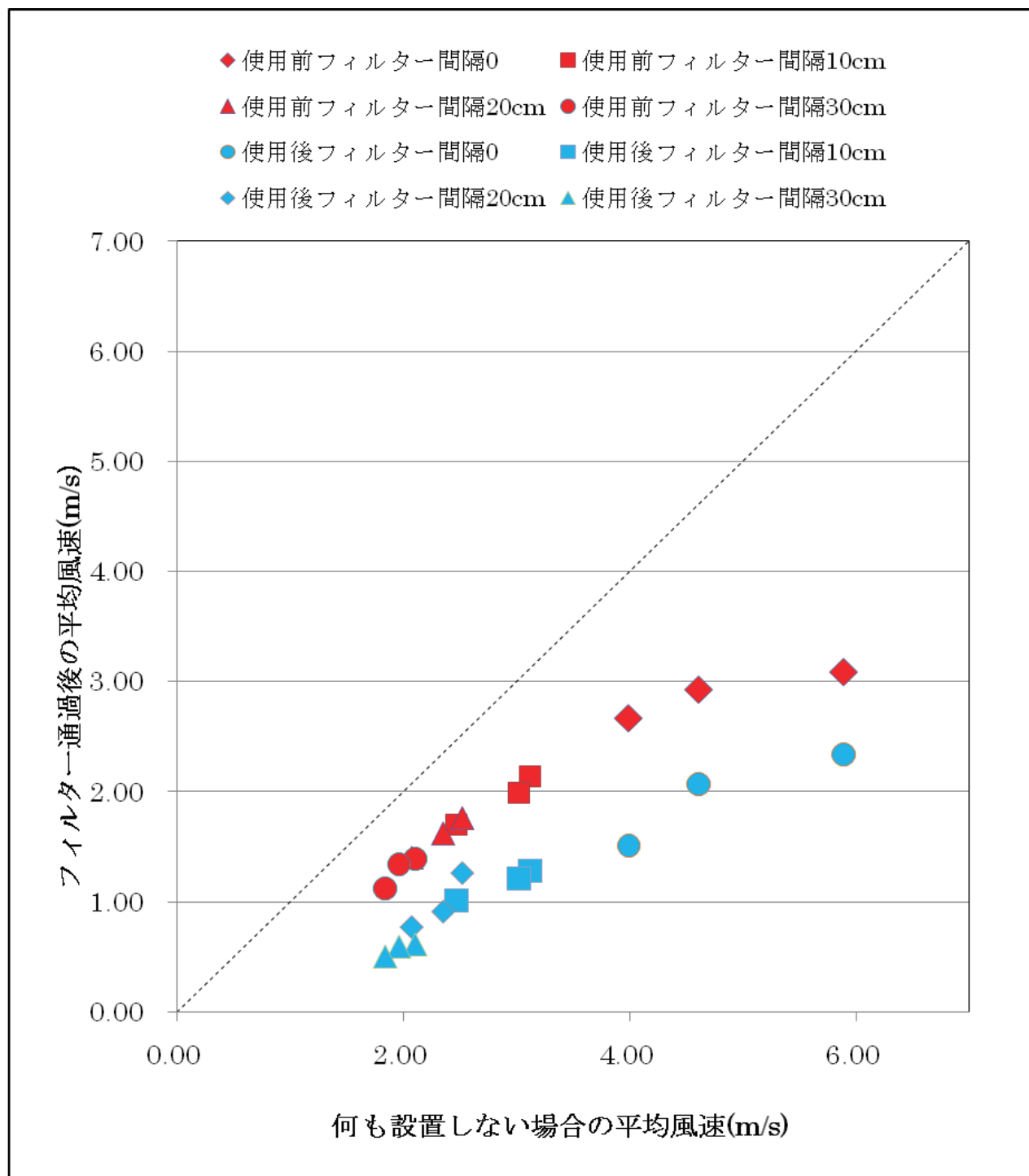


図 3-1 フィルター風量減少量

図 3-1 に見られるように、使用前フィルターの方が、使用后フィルターより、通過風量が大きい、即ち、風量減少率が小さい。これは、使用后フィルターが、捕集した海塩粒子等により目詰まりを起こしかけているからである。別報しているように、当該フィルターは、3 ヶ月程度の使用で目詰まりを起こすことが判明している。

図 3-2 に見られるように、ガラルの通過風量の減少は、フィルターに比べて、はるかに小さい。フィルターと同様に、通過風量にしきい値があるかどうかについては、図 3-2 からは、定かでは

ないが、その構造からみて、しきい値が存在することは、確実であると思われる。

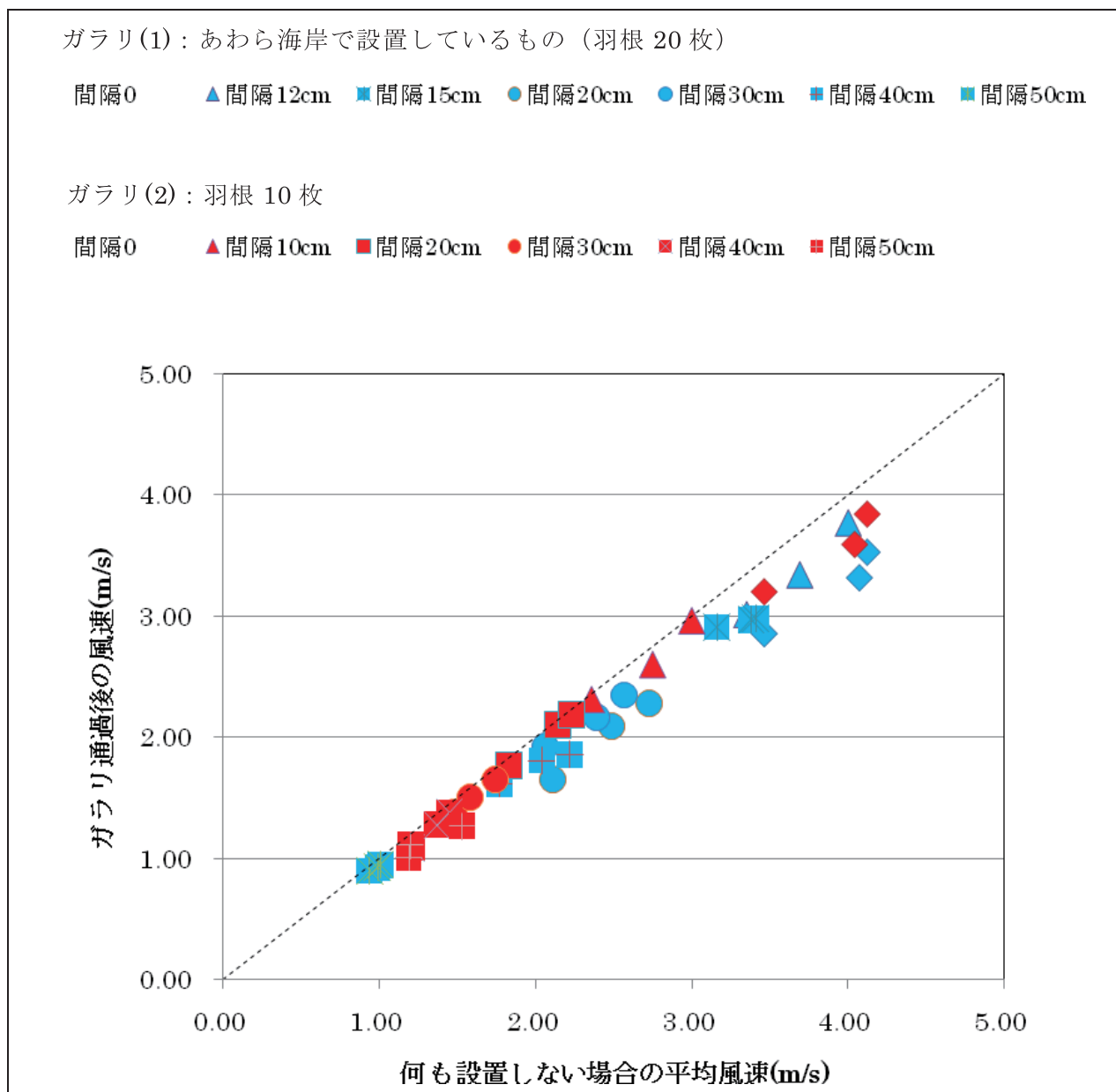


図 3-2 ガラリ使用時の風量減少量

3-2 フィルターとガラリの海塩粒子通過量測定試験

あわら海岸に設置している暴露試験装置を用いて、フィルター及びガラリ(1)の海塩粒子捕集性を評価した。この結果を図 3-3 に示す。同図から明らかなように、フィルター、ガラリ(1)共、風速の増加につれて、海塩粒子通過量は増大する。何も設置しない時と比べたフィルターの海塩粒子通過割合の平均値は 2.5%であるが、ガラリ(1)を使用した時の平均値は 5.5%である。一方、使用前フィルターの通過風量減少率は、40%前後、使用后フィルターの通過風量減少率は、60%前後であるが、ガラリ(1)の通過風量減少率は 10%前後である。

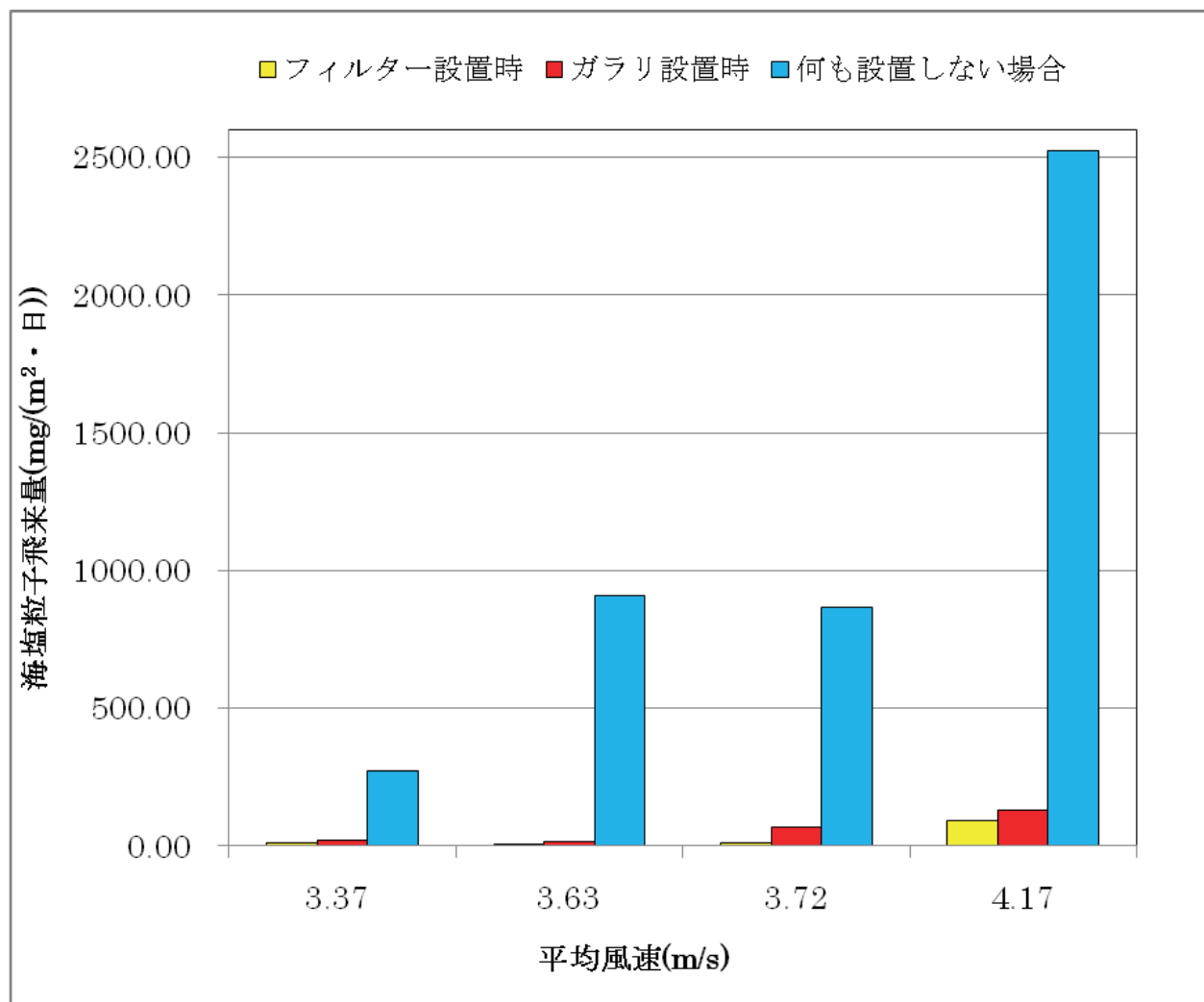


図 3-3 フィルター、ガラリを使用した時の海塩粒子通過量

4. 試験結果の考察

フィルター及びガラリの風量減少測定試験並びにフィルターとガラリの海塩粒子減少量測定試験の結果からフィルターおよびガラリの性能について次のように評価した。

- (1) 流入風速が大きくなるほど、フィルター通過後の風速は減少量が多い。
- (2) 使用後（あわら海岸に設置した後に回収した）フィルターは、使用前フィルターより風速減少量が多い理由は、フィルターが海塩粒子などの飛来物で目詰まりを起こしているためである。使用前及び使用後フィルターの外観を目視で観察した結果、使用後フィルターは、海塩粒子等の付着により変色していた。
- (3) ガラリよりフィルターのほうが風を通しにくく、海塩粒子飛来量の抑制に優れている。風量減少度がガラリの場合 25%以下であるのに比べて、フィルターの場合、使用前フィルターで 30%～50%、使用後フィルターの場合 50%～70%の減少度であった。このことからフィルターのほうが風を通しにくいといえる。海塩粒子飛来量に関してはフィルターもガラリも海塩飛来量を 90%以上抑制できるが、フィルターのほうが抑制量が多い。このことから、フィルターはガラリよ

りも海塩粒子飛来量の抑制に優れているといえる。また、ガラリは、3.0~4.0m/s において通過後の風量は 10%程度減少し、海塩粒子量は 90%以上減少していることがわかった。

(4) 海塩粒子飛来量が増えても、海塩粒子抑制する効果は持続する

海塩粒子飛来量が多くなっても、海塩粒子抑制量は、大幅な減少はしない。すなわち、フィルターおよびガラリはいずれも海塩粒子飛来量が増えても、それを抑制する能力は変わらないといえる。

5. フィルター等利用の提言

今回の試験結果から使用済原子燃料中間貯蔵施設におけるフィルターおよびガラリの利用について考察する。

まず、海塩粒子飛来量が多すぎる場所や特に海塩粒子の侵入を避けなければならない場所に自然風を取り入れる際には、海塩粒子飛来量の抑制効果が大きいフィルターを使うべきである。しかし、その場合にはフィルターの目詰まりによって自然風を取り込む効果が低下していくので、フィルターの交換時期に配慮する必要がある。

ガラリは、自然風の風速が 3.0~4.0m/s の場合ではガラリを何枚も通過させることで、風量は大きく減らさず海塩粒子量は大きく減らすことができるといった使い方ができる。

参考文献

- 1) 石原 只雄：最新・腐食事例解析と侵食診断法、株式会社テクノシステム、2008
- 2) 中安 文男：海塩粒子腐食に及ぼす環境因子の影響、検査技術、2008
- 3) 気象庁；<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 4) 谷、竹田他：使用済燃料コンクリート貯蔵用キャニスタ-候補材の塩化物応力腐食割れの特性（その7）-SCC 評価および塩分流入低減技術の考案-、電力中央研究所報告、Q06014、2007 年 6 月
- 5) 竹田、谷他：キャニスタ系使用済燃料貯蔵施設における SCC 対策に関する研究（その1）、-塩分流入対策技術および SCC 評価-電力中央研究所報告、Q07030、2008 年 5 月
- 6) 中安文男他：The Effect of Sea Aerosols in the Japan Sea Coast Facilities, ENC 2007, Transactions pp188-191, 2007 年 9 月
- 7) 中安文男他：The Sea Salt Corrosion Study at Japan Sea Coast, EUROCORR 2008, paper 1169, 20

(平成 23 年 3 月 31 日受理)