

ガス透過性防水シートの開発と 除染廃棄物仮置場への適用

Development of Gas-Permeable/Waterproof Sheet and Its Application to Temporary Storage Site for Decontaminated Waste

西村 正樹*
Masaki Nishimura

(2014年8月11日 受理)

キーワード：ガス透過性防水シート，除染廃棄物仮置場，遮水性，ガス透過性

1. はじめに

ガス透過性防水シートは、遮水性とガス透過性を併せ持つ微多孔膜と、微多孔膜の両面を保護・補強する不織布から成る3層構造の複合材料であり(図1)、当所ではこれまで、本シートに関する研究開発および実用化支援を行ってきた。ガス透過性防水シートは、面的な遮水性とガス透過性を併せ持つことに加え、接合部も高度な遮水性を有することが最大の特長であり、その研究開発の成果は、公益社団法人日本材料学会において、「地盤改良」に関わる技術評価証明 第1013号に認定された¹⁾。また、2012年10月の第50回全国繊維技術交流プラザにおいて経済産業省産業技術環境局長賞を、2014年3月には第44回繊維合繊賞ニューフロンティア部門賞を、それぞれ受賞した。

さらに、ガス透過性防水シートは、環境省の除染等工事共通仕様書²⁾および除染廃棄物関係ガイドライン³⁾において、福島第一原子力発電所の事故に係る除染で発生した廃棄物の仮置場(以下、「除染廃棄物仮置場」と称す)の上部シートとしての要求性能を満たしており、環境省や現地自治体等の発注工事において、除染廃棄物仮置場で実際に使用されている。

ここでは、ガス透過性防水シートの構成と、基本性

能である遮水性およびガス透過性に係る評価技術を中心に解説する。また、除染廃棄物仮置場における上部シートへの適用について述べる。

2. ガス透過性防水シートの構成と基本性能

2.1 構成

図1に示したように、ガス透過性防水シートは、水

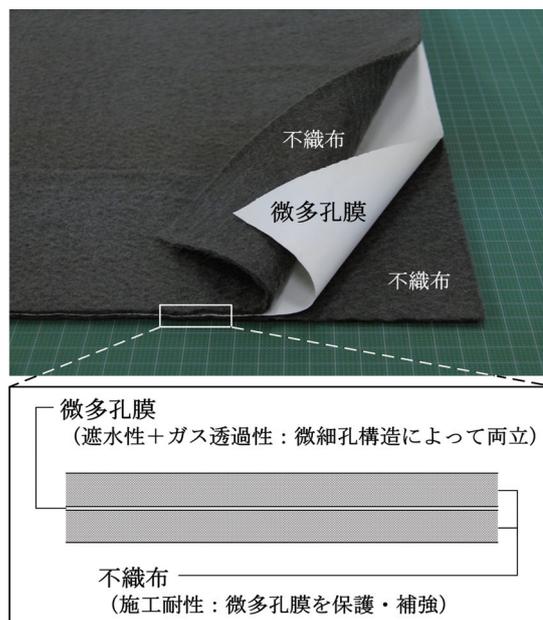


図1 ガス透過性防水シート

* 繊維・高分子科

の浸透を防止し、各種ガスや水蒸気は透過させる微多孔膜と、この微多孔膜の両面を保護・補強することで施工耐性を付与する不織布から構成される3層構造の複合材料である。

ガス透過性防水シートを構成する微多孔膜は、ポリエチレン(PE)製であり、数 μm オーダー以下の多数の微細孔が形成されている(図2)。この微細な孔構造によって、ガス透過性防水シートの遮水性が発現する。具体的には、シートの上面に水圧が加わった場合、微細孔内において水と空気との界面(気液界面)が形成されるが、ある水圧以下であれば、その界面における水圧由来の力と水の表面張力由来の力とが均衡するために、水はシート下面には漏出せず、実質的に遮水性が確保される。

また、ガスや水蒸気は、微多孔膜に形成された微細孔を通して透過するため、全圧勾配が無くとも拡散によりガスが透過するのが本シートの特長である。

なお、ガス透過性防水シートを構成する不織布は、芯部がポリエステル(PET)製、鞣部がPE製である「PET/PE 芯鞣繊維」を素材とするニードルパンチタイプのスパンボンド不織布である。この不織布の単位面積あたりの質量は 300 g/m^2 であり、不織布を微多孔膜の上下面に配することで、ガス透過性防水シートの施工耐性が確保される。

2.2 基本性能

ガス透過性防水シートの遮水性、ガス透過性に関する基本性能¹⁾を表1に示す。本シートの遮水性およびガス透過性は、それぞれ、耐水度、透湿度を指標として評価される。

当所が保有する耐水度試験装置(大栄科学精器製作所製 WP-5k)の主要部を図3に示す。耐水度試験(高水圧法)においては、試験片の下面に水圧を付与し、その水圧を一定速度(1.67 kPa/s)で増加させ、試料の上面に水滴が漏出する水圧を耐水度とする。したがって、耐水度は、試料が遮水性を保持できる限界水圧として評価することができる。なお、ガス透過性防水シートの耐水度試験においては、試料の上面をステンレスメッシュで保護し、水圧による試料の膨張を防止するとともに、水滴が1箇所でも漏出する水圧を耐水度としている。

なお、JIS L 1092の耐水度試験は、元来、衣料用や雨具用の繊維生地を評価するためのものであったが、近年では、ゴム引布や建築用透湿防水シートといった産業資材や、医療用の不織布・シーツ、特殊環境作業用の防護服等の評価においても、JIS L 1092を引用・参照した試験方法が制定されるなど、種々の面状材料

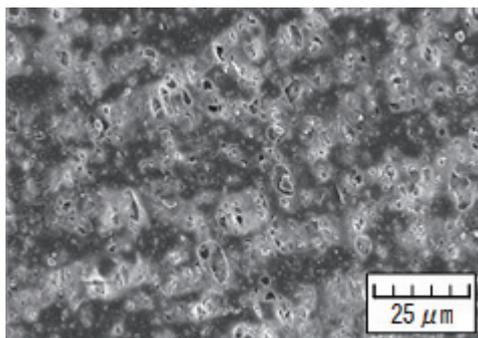


図2 微多孔膜表面の電子顕微鏡写真

表1 遮水性およびガス透過性に関する基本性能¹⁾

性能	評価指標	品質保証値	試験方法
遮水性	耐水度 [kPa]	220 以上	JIS L 1092 高水圧法
ガス透過性	透湿度 [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$]	3000 以上	JIS L 1099 A-1 法

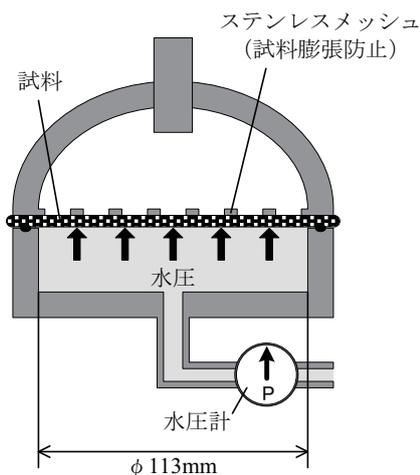


図3 耐水度試験装置の主要部

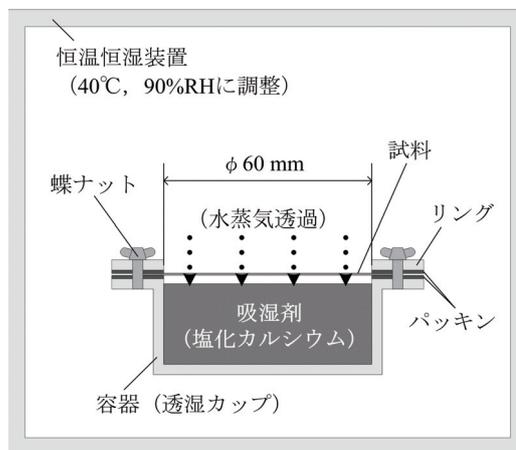


図4 透湿度試験(A-1法)

の評価に応用されている。

一方、本シートのガス透過性は透湿度によって評価できる。透湿度試験(A-1法)の模式図を図4に示す。試料は、吸湿剤である塩化カルシウムを入れた専用容器(透湿カップ)の上面に取り付けられ、40℃、90%RHに調整された恒温恒湿装置内に静置される。試料の上部が90%RHの高湿状態であるのに対し、試料下部(透湿カップ内)は吸湿剤によって低湿状態(0%RHと見なす)であるため、試料により隔てられた容器の内外に水蒸気分圧の勾配(湿度差)が生じ、水蒸気が試料を透過する。試料を透過した水蒸気は、順次、吸湿剤に吸収されるので、試料および吸湿剤を含む容器全体の質量は、時間の経過とともに増加する。よって、容器全体の質量の増加速度から、単位時間あたりに試料を透過した水蒸気の質量(拡散輸送量)が算出され、これを試料の透湿面積で除すことで、透湿度が得られる。

なお、吸湿性を有する土粒子が付着したガス透過性防水シートや、吸湿性が付与された繊維材料などの透湿度を評価する場合、非定常的な吸湿過程を考慮しなければならない。これらの場合、試料の吸湿が飽和に達した後に質量変化を測定する必要がある。しかし、A-1法では、塩化カルシウム自体の吸湿能が時間経過とともに低下する。したがって、このような場合において、透湿度を適切に評価するためには、A-1法は適さず、透湿カップ内に塩化カルシウムに替えて水を入れ、恒温恒湿装置側を低湿状態とするA-2法を適用し、吸湿が飽和に達した後の水蒸気の移動量(容器全体の質量の減少速度)を測定すべきである。

3. ガス透過性防水シートの接合

ガス透過性防水シートを現場に敷設するためには、シート同士の接合が不可欠である。したがって、シート被覆面全体の遮水性の確保には、接合部における遮水性が最も重要となる。また、当然のことながら接合部の力学強度も必要である。

ここで、既述のとおり、ガス透過性防水シートは、遮水性を有する微多孔膜の上下に透水性の不織布を配した3層構造である。そのため、接合部での遮水性を確保するためには、元来、透水性を有する不織布の面内方向への通水を遮断する必要がある。そこで、本シートにおいては、ポリエステル/ポリエチレン芯鞘繊維製の不織布を採用し、図5に示すとおり、工場でのシート製造段階で端部に特殊な加熱圧縮処理を施し、芯鞘繊維のポリエチレン部分(鞘部分)を選択的に熔融・

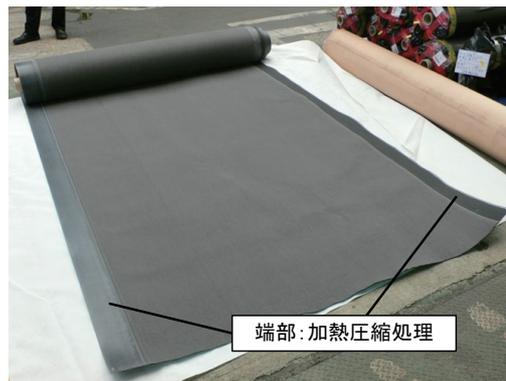


図5 端部が加熱圧縮処理されたガス透過性防水シート

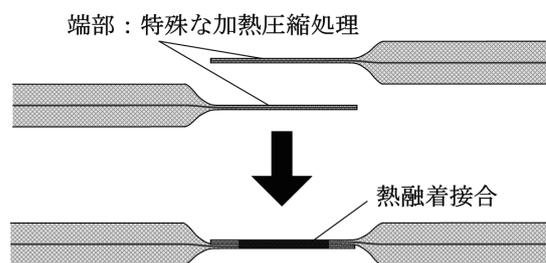


図6 ガス透過性防水シートの接合部断面模式図

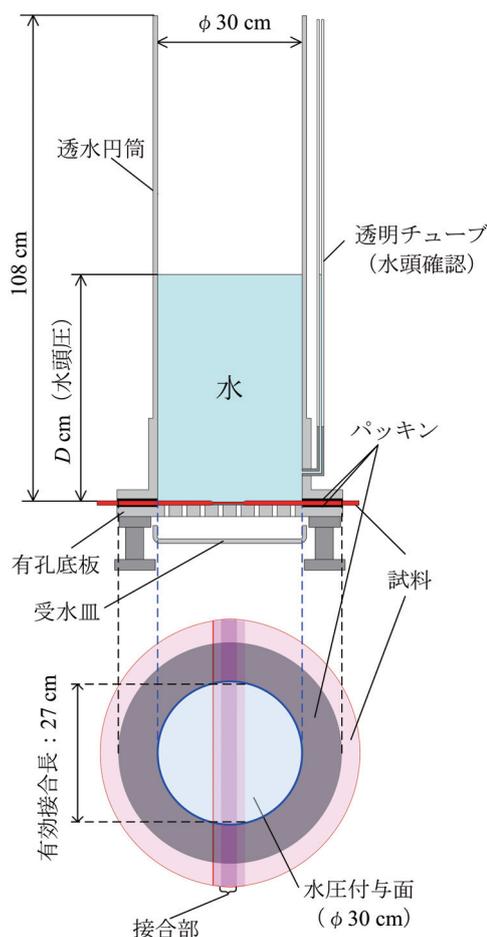


図7 透水試験器(水頭圧 D cm)

固化させた。その結果、あらかじめ不織布層の空隙を潰して閉塞させることで、面内方向への通水を遮断できる端部構造のシートを作製することに成功した。

この端部同士を熱融着接合することで(図6)、遮水性が確保された強固な接合部が実現する。具体的には、ガス透過性防水シートの接合部においては、1 mの水頭圧の下でも遮水性を確保できること、また、接合部



図8 工場での広幅加工状況



図9 広幅加工後に折り畳まれたガス透過性防水シート(梱包済)

強さ(接合方向に対し垂直方向の引張りせん断強さ)が母材の引張強さ規格値と同等以上になることが確認されている⁴⁾。

なお、接合部の遮水性は、図7に示す透水試験器を用いて評価した。実際には、接合部がφ30 cmの水圧付与面の中心を通るように試料を配置した後、透水円筒に静かに投入した水により、接合部に所定の水頭圧(D cm)を付与し、接合部を介しての漏水の有無や、単位時間あたりの漏水量を確認することで、水頭圧作用時における接合部の遮水性が評価できる。

また、当該ガス透過性防水シートは、工場内での熱融着接合による広幅加工が可能であり、得られた広幅シートは折り畳むこともできる。図8に工場での広幅加工状況を示す。また、図9は、幅9.6 m、長さ25 mに広幅加工されたシートを折り畳んだ状態の荷姿である。

4. 風作用時のガス透過性

ガス透過性防水シートを除染廃棄物仮置場の上部シートとして用いる場合、除染廃棄物に含まれる有機物の腐敗が進行すると、ガスが継続的に発生する。この発生ガスは、ガス透過性防水シートを通じて外部に排出されるが、この際、シートの内側から外側に向けて微小な全圧勾配が発生すると考えられる。一方で、腐敗に伴いシート内部は酸素濃度が低下するため、シートの内外には上記の全圧勾配とは逆向きの酸素濃度勾配が発生する。加えて、除染廃棄物仮置場では、通常、覆土は設置されないことから、シートには直接風が当たることとなる。

したがって、このような状況を模した条件下で、ガ

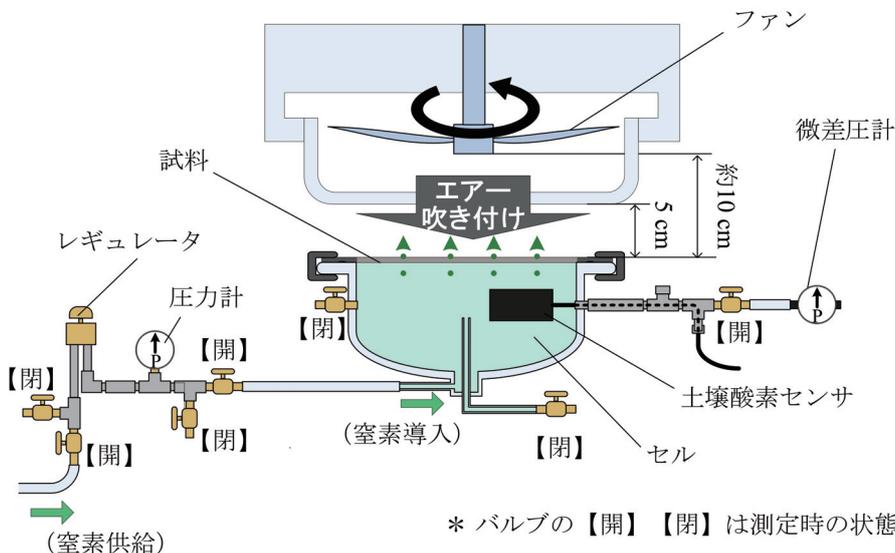


図10 ガス透過性評価装置

ス透過性について検討することは極めて重要である。しかしながら、既述した汎用的な透湿度試験では対応することができない。そこで、風作用時のガス透過性に関し、図 10 に示すガス透過性評価装置^{5,6)}を作製し、実験を行った。

実験では、ガス透過性防水シートを直径 25 cm の円形に切り出し、試料として用いた。なお、試料の有効直径は 19 cm であり、不織布層の面内方向へのガスの漏出を防止するため、試料の周辺部の不織布層(上下面とも)にはパラフィンを含浸させた。試料の外観を図 11 に示す。

表 2 に示した 3 つの条件で実験を行った。最初に、セルの上部に試料を取り付けた後、レギュレータで圧力の制御を行いながらセル内に窒素を供給し、セル内の酸素体積分率の経時変化を測定した。条件①および

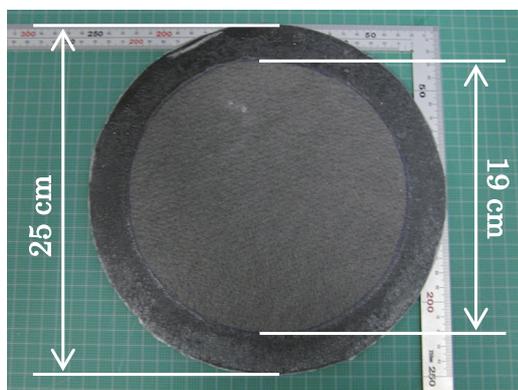


図 11 試料の外観

表 2 風作用時のガス透過性検討に係る実験条件

条件	セル内圧力 [kPa]	エア吹き付け
①	0.1 *	無
②	0.05 **	無
③	0.05 **	有

* : 通常の圧力計の測定下限

** : 微差圧計により計測

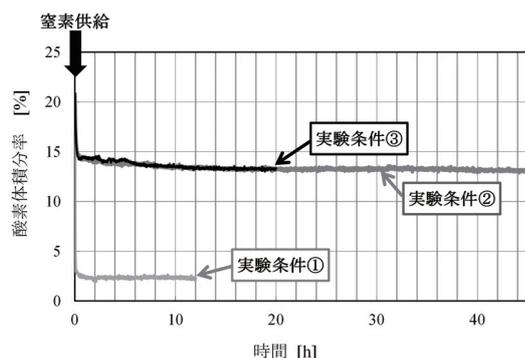


図 12 酸素体積分率の経時変化

条件②においては、それぞれ 0.1 kPa, 0.05 kPa の微小圧力をセル内に作用させ、試料の下部(セル内)および上部(大気)の間に微小圧力勾配を付与した。また、条件③においては、同様に 0.05 kPa の微小圧力勾配を付与し、ファンを用いて試料上面にエアを吹き付けた(風速:9 m/s)。なお、酸素体積分率の計測には、土壤酸素センサ(日本環境計測製 MIJ-03)を用いた。

①~③の各条件における酸素体積分率の経時変化を図 12 に示す。図 12 より、全ての実験条件において、窒素の供給開始直後に酸素体積分率は速やかに減少し、その後、酸素体積分率が増加することは無かった。これは、窒素が連続的に供給されることによって、酸素および窒素の混合ガスがシートを透過してセル外に放散されたことを示すものであり^{5,6)}、とくに実験条件②においては、45 時間にわたり、酸素体積分率の増加は認められなかった。したがって、0.05 kPa 程度の微小圧力勾配があれば、試料上部からセル内への酸素の逆流は発生しないと考えられる。

さらに、実験条件②および③の酸素体積分率の経時変化が同等であったことから、微小圧力勾配下では、風速 9 m/s 程度の風が吹き付けられたとしても、酸素の逆流が無いことが確認された。

なお、実験条件①(セル内圧力 0.1 kPa)および③(セル内圧力 0.05 kPa)では、酸素体積分率の減少程度に差異が生じた。図 12 は、試料をガスが透過することでセル内から酸素が追い出され、酸素体積分率が低下することを示しているが、付与する圧力勾配の大きさによって、セル内のガス置換における平衡到達点が異なるためと推察される。

5. 除染廃棄物仮置場の上部シートへの適用

除染廃棄物仮置場における上部シートとしてのガス透過性防水シートの適用例を図 13 に示す。



図 13 ガス透過性防水シートが適用された除染廃棄物仮置場

剪定枝、落葉などの可燃物²⁾が含まれた除染廃棄物の仮置場においては、腐敗に伴い、ガスや熱が発生し、地中火災³⁾が生じる危険性があり、ガスの排出と熱放散が重要となる。さらに、腐敗の進行に伴う除染廃棄物の体積減少による不同沈下を考慮する必要がある。それらを踏まえ、除染廃棄物仮置場の構造や上部シートの施工にあたっての留意点等が除染等工事共通仕様書に定められており、適宜の改訂がなされている(第7版:2014年4月改訂)²⁾。今後とも仮置場の健全性や施工性の一層の向上に向けた取り組みが進められるものと考えられる。

例えば、上記の第7版では、可燃性除染廃棄物の仮置場において、「シート内部の熱を適切に放熱できるための放熱管(ガス抜き管)」を「面積200 m²ごとに1箇所設ける」ことが定められている。この点に関して、ガス透過性防水シートは、遮水シートと異なり、材料自身が面的なガス透過性を有しているため、ガス抜き管を併設せずとも発生ガスの蓄積や過剰な蓄熱が発生しないことが、実際の可燃性除染廃棄物仮置場での実験によって確認されている⁷⁾。それらの結果や、管取り付け時の水密性確保の容易さ、さらに、仮置場の維持管理を考慮し、上部シートにガス透過性防水シートと遮水シートとを組み合わせて使用する方法も検討されている。この場合、ガス透過性防水シートと遮水シートとの接合を含めたシート接合部の性能(遮水性および力学強度)が、より一層重要性を増すものと考えられる。

また、除染廃棄物仮置場の施工においては、作業者の被ばく線量を低減・管理することが非常に重要である。これに対し、本シートは現場での敷設サイズに合わせ、あらかじめ工場で広幅加工し、大面積化した状態で現場に搬入することも可能である。加えて、本シートの単位面積あたりの質量は、一般的な遮水シートと比べ、1/3~1/4程度と軽量である。したがって、ガス透過性防水シートは、敷設作業に要する時間を大幅に短縮することが可能であり、現場作業性および施工性

の面でも極めて優れている。

謝辞

ガス透過性防水シートは、(一社)環境地盤工学研究所理事長・京都大学名誉教授 嘉門雅史先生のご指導の下、ジオシンセティックス技術研究会 ガス透過性防水シートキャッピング工法グループ〔メンバー:ユニチカ(株)、東洋紡(株)、錦城護謨(株)、ダイワボウプロダクト(株)、太陽工業(株)、(株)田中、(株)大林組、(株)鴻池組、(株)浅沼組、(株)奥村組、鳳コンサルタント(株)、(一財)地域地盤環境研究所、および(地独)大阪府立産業技術総合研究所〕において共同研究開発したものである。

本稿の風作用時のガス透過性に関する検討は、(公財)能村膜構造技術振興財団の研究助成を受け実施したものである。また、除染廃棄物仮置場におけるガス透過性防水シートと遮水シートの組み合わせ使用について、(独法)国立環境研究所の遠藤和人博士より貴重な助言をいただいた。ここに記して深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本材料学会:「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書ーガス透過性防水シートを用いたキャッピング工法ー(2012).
- 2) 環境省:除染等工事共通仕様(第7版)(2014).
- 3) 環境省:第四部 除染廃棄物関係ガイドライン 平成25年3月第2版,廃棄物関係ガイドラインー事故由来放射線物質により汚染された廃棄物の処理等に関するガイドラインー第2版(2013).
- 4) 西村正樹,赤井智幸,嘉門雅史:ジオシンセティックス論文集, **27** (2012) 47.
- 5) M. Nishimura, T. Akai and M. Kamon: Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering, (2008) 552.
- 6) 西村正樹,赤井智幸,嘉門雅史:ジオシンセティックス論文集, **28** (2013) 117.
- 7) 石田正利,山本浩二,豊岡真一,西村正樹,赤井智幸,嘉門雅史:ジオシンセティックス技術情報, **30**, 1 (2014) 22.