

浅地中埋設処分施設に供する 遮水工部材の長期耐久性試験

Durability Test of Geomembrane Liners Presumed to
Avail Near Surface Disposal Facilities for Low-level Waste Generated
from Research, Industrial and Medical Facilities

仲田 久和 天澤 弘也 坂井 章浩 黒澤 亮平
菅野 直弘 加島 孝浩 坂本 義昭

Hisakazu NAKATA, Hiroya AMAZAWA, Akihiro SAKAI, Ryohei KUROSAWA
Naohiro KANNO, Takahiro KASHIMA and Yoshiaki SAKAMOTO

埋設事業推進センター

Low-level Radioactive Waste Disposal Project Center

February 2014

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail: ird-support@jaea.go.jp

浅地中埋設処分施設に供する遮水工部材の長期耐久性試験

日本原子力研究開発機構 埋設事業推進センター

仲田 久和、天澤 弘也、坂井 章浩、黒澤 亮平※、菅野 直弘*、加島 孝浩*、坂本 義昭

(2013 年 9 月 25 日受理)

埋設事業推進センターが設置を計画している研究施設廃棄物の浅地中処分施設においては、埋設設備として比較的濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するコンクリートピット型埋設設備と極めて放射能濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するトレンチ型埋設設備を設けることとしている。このうち、トレンチ型埋設設備においては、埋設する廃棄体中に含有する環境影響物質の観点から、素掘りのトレンチ埋設設備と、これに遮水工部材を具備した設備の 2 種類の埋設設備を設置する予定である。

遮水工部材は、長期に亘り自然環境条件に曝されることから、埋設設備の具体の設備設計に当たっては、その耐久性に係る基本特性を事前に把握しておくことが必要である。

本報告書は、研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計で用いた遮水工部材(遮水シート)を対象として、長期耐候性試験により透水性、引張強さを測定し、遮水シートの劣化特性値と時間との関係を確認して、将来の浅地中埋設処分施設の基本及び詳細設計に活用するものである。

本報告書は、住ベリサーチ株式会社が独立行政法人日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

原子力科学研究所(駐在)：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※ 技術開発協力員

* 住ベリサーチ株式会社

Durability Test of Geomembrane Liners Presumed to Avail Near Surface Disposal Facilities
for Low-level Waste Generated from Research, Industrial and Medical Facilities

Hisakazu NAKATA, Hiroya AMAZAWA, Akihiro SAKAI, Ryohei KUROSAWA*,
Naohiro KANNO*, Takahiro KASHIMA* and Yoshiaki SAKAMOTO

Low-level Radioactive Waste Disposal Project Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 25, 2013)

The Low-level Radioactive Waste Disposal Project Center will construct near surface disposal facilities for radioactive wastes from research, industrial and medical facilities. The disposal facilities consist of “concrete pit type” for low-level radioactive wastes and “trench type” for very low level radioactive wastes. As for the trench type disposal facility, two kinds of facility designs are on projects — one for a normal trench type disposal facility without any of engineered barriers and the other for a trench type disposal facility with geomembrane liners that could prevent from causing environmental effects of non radioactive toxic materials contained in the waste packages.

The disposal facility should be designed taking basic properties of durability on geomembrane liners into account, for it is exposed to natural environment on a long-term basis.

This study examined mechanical strength and permeability properties to assess the durability on the basis of an indoor accelerated exposure experiment targeting the liner materials presumed to avail the conceptual design so far. Its results will be used for the basic and detailed design henceforth by confirming the empirical degradation characteristic with the progress of the exposure time.

Keywords: Disposal Facility, Geomembrane Liner, Durability

This work was based on the study performed by S.B.RESEARCH CO., LTD under contract with the Japan Atomic Energy Agency.

※ Collaborating Engineer

* S.B.RESEARCH CO., LTD.

目次

1. はじめに	1
2. 付加機能型トレンチ埋設設備の概要	2
2.1 埋設対象物及び放射能濃度	2
2.2 設備構造等の仕様	2
2.3 二重遮水シート構成	2
3. 試験方法	3
3.1 試験体の種類、形状及び数量	3
3.2 室内促進暴露試験方法	3
3.3 透湿度測定試験方法	4
3.4 引張強度・伸び率測定試験方法	4
4. 試験結果	5
4.1 透水性測定試験結果	5
4.2 引張強度・伸び率測定試験結果	5
5. 総合評価	6
6. まとめ	6
参考文献	7
付録 透湿度から透水係数への換算	46

Contents

1. Background and Objective	1
2. Summary of trench type disposal facilities with geomembrane liners	2
2.1 Wastes destined for the facility and its radioactivity	2
2.2 Facilities, structure and its specification	2
2.3 The composition of the double liner system	2
3. Test method	3
3.1 The type, shape and number of samples	3
3.2 Indoor accelerated exposure experiment	3
3.3 Permeability test method	4
3.4 Tension and extension test method	4
4. Test result	5
4.1 Permeability test result	5
4.2 Tension and extension test result	5
5. Total evaluation	6
6. Summary	6
References	7
Appendix	46

表 リスト

表 3.1	サンシャインウェザーメーターの仕様	8
表 3.2	室内促進暴露試験手順	8
表 3.3	透湿度測定試験使用機器	9
表 3.4	透湿度測定試験手順	9
表 3.5	引張強度・伸び率測定試験使用機器	10
表 3.6	引張強度・伸び率測定試験手順	11
表 4.1	透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果(暴露 0 時間)	12
表 4.2	透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果(暴露 2, 500 時間)	12
表 4.3	透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果(暴露 5, 000 時間)	12
表 4.4	透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果(暴露 10, 000 時間)	13
表 4.5	透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果(暴露 15, 000 時間)	13
表 4.6	暴露 0 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果	14
表 4.7	暴露 2, 500 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果	16
表 4.8	暴露 5, 000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果	18
表 4.9	暴露 10, 000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果	20
表 4.10	暴露 15, 000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果	22
表 4.11	暴露 0 時間の透湿度の経時変化	24
表 4.12	暴露 2, 500 時間の透湿度の経時変化	24
表 4.13	暴露 5, 000 時間の透湿度の経時変化	24
表 4.14	暴露 10, 000 時間の透湿度の経時変化	25
表 4.15	暴露 15, 000 時間の透湿度の経時変化	25
表 4.16	暴露 0 時間の透湿係数の経時変化	26
表 4.17	暴露 2, 500 時間の透湿係数の経時変化	26
表 4.18	暴露 5, 000 時間の透湿係数の経時変化	26
表 4.19	暴露 10, 000 時間の透湿係数の経時変化	27
表 4.20	暴露 15, 000 時間の透湿係数の経時変化	27
表 4.21	透湿度、透湿係数及び透水係数測定結果のまとめ	28
表 4.22	引張強度及び伸び測定に用いた試験体の番号と試験片の厚さ	29
表 4.23	各暴露時間毎の引張強度及び伸び率測定結果	30

図 リスト

図 2.1	付加機能型トレンチ埋設設備短尺断面図	31
図 2.2	付加機能型トレンチ埋設設備長尺平面及び断面図（P埋設地）	32
図 3.1	サンシャインウェザーメーター(WEL-SUN-HCH)外観図	33
図 3.2	サンシャインカーボンアークの分光放射照度分布	33
図 3.3	透湿度測定試験体の取り付け状況	34
図 3.4	引張強度・伸び率測定試験体の取り付け状況	34
図 3.5	恒温恒湿槽(PSL-2KP)外観図	35
図 3.6	電子天秤(AT201)外観図	35
図 3.7	透湿度測定試験状況例(恒温高恒湿槽内)	35
図 3.8	透湿度測定試験体例(試験後：高弾性タイプ(HDPR) (15,000 時間暴露後)	35
図 3.9	万能試験機(オートグラフ AG-5000C)型	36
図 3.10	引張強度・伸び率測定試験の状況例	36
図 3.11	引張強度・伸び率測定試験体の状況例	36
図 4.1	暴露 0 時間の試験体重量増加量の経時変化	37
図 4.2	暴露 2,500 時間の試験体重量増加量の経時変化	37
図 4.3	暴露 5,000 時間の試験体重量増加量の経時変化	37
図 4.4	暴露 10,000 時間の試験体重量増加量の経時変化	38
図 4.5	暴露 15,000 時間の試験体重量増加量の経時変化	38
図 4.6	高弾性タイプ(HDPE)応力-ひずみ曲線(暴露 0 時間)	39
図 4.7	高弾性タイプ(HDPE)応力-ひずみ曲線(暴露 2,500 時間)	39
図 4.8	高弾性タイプ(HDPE)応力-ひずみ曲線(暴露 5,000 時間)	39
図 4.9	高弾性タイプ(HDPE)応力-ひずみ曲線(暴露 10,000 時間)	40
図 4.10	高弾性タイプ(HDPE)応力-ひずみ曲線(暴露 15,000 時間)	40
図 4.11	中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 0 時間)	41
図 4.12	中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 2,500 時間)	41
図 4.13	中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 5,000 時間)	41
図 4.14	中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 10,000 時間)	42
図 4.15	中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 15,000 時間)	42
図 4.16	引張強度及び伸び率と促進暴露時間(高弾性タイプ(HDPE))	43
図 4.17	引張強度及び伸び率と促進暴露時間(中弾性タイプ(MEPE))	43
図 4.18	促進暴露時間と引張強度の変化率(高弾性タイプ(HDPE))	44
図 4.19	促進暴露時間と引張強度の変化率(中弾性タイプ(MEPE))	44
図 4.20	促進暴露時間と伸び率の変化率(高弾性タイプ(HDPE))	45
図 4.21	促進暴露時間と伸び率の変化率(中弾性タイプ(MEPE))	45

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）埋設事業推進センターは、「埋設処分業務の実施に関する計画」（平成 21 年 11 月 13 日文部科学大臣並びに経済産業大臣の認可及び平成 24 年 3 月 28 日変更認可 以下、「実施計画」という。）に基づき、研究施設等廃棄物の廃棄体性状、含有核種、放射能濃度及び廃棄体の発生予測、我が国における一般的な立地条件、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「原子炉等規制法」という。）等の安全規制条件を考慮して研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計¹⁾を実施したところである。

概念設計においては、埋設設備として、比較的放射能濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するため外周仕切設備を設けたコンクリートピット型埋設設備と、極めて放射能濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するため素掘り方式のトレンチ型埋設設備を設置するものとしている。このうち、トレンチ型埋設設備においては、極めて放射能濃度のレベルの低い廃棄体のうち、廃棄体中に含有することが想定される環境影響物質(化学的有害物質)の観点から、これをトレンチ型埋設設備に埋設することが可能になるよう従来の素掘りのトレンチ型埋設設備(安定型トレンチ埋設設備)に加えて、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、「廃棄物処理法」という。）の産業廃棄物処分場に係る技術基準に準拠した遮水工部材を具備したトレンチ型埋設設備(付加機能型トレンチ埋設設備)を設計している。

付加機能型トレンチ埋設設備で用いる遮水工部材は、埋設施設の管理の特徴から長期に亘り自然環境条件に曝されることから、付加機能型トレンチ埋設設備の基本、施工設計等に当たっては、その物理的及び化学的耐久性等の基本的な特性値を事前に把握しておくことが重要となる。遮水工部材の長期耐久性については、既に日本遮水工協会が「一般及び産業廃棄物処分場の埋め立て期間は、概ね 5～15 年程度として設計されていることから、遮水シートの耐久性も 15 年を目安とする考え方が一般的なものとなってきている。」として遮水シートの材質について、長期耐久性は 15 年を目安として自主規格値(性能指針)²⁾を制定し、これに基づく各種遮水シートの長期耐久性に係る基本的な特性値が公開されているが、この期間を超える当該特性値は公開されていない。

一方、トレンチ型埋設設備においては、「被曝管理の観点から行う廃棄物埋設地の管理は有意な期間内に終了しうるとともに、管理を終了しても安全が確保されることとして、有意な期間を埋設段階及びその後の 50 年程度の保全段階をめやすとする」とされていることから、付加機能型トレンチ埋設設備で用いる遮水シートについては、50 年での長期耐久性に係る特性値を取得することが必要となった。

本報告書は、研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計で用いた付加機能型トレンチ埋設設備の遮水工部材(遮水シート)を対象として、耐候性試験により透水性、引張強さ及び伸び率を測定し、遮水シートの劣化特性値と時間との関係を確認して、浅地中埋設処分施設の基本及び施工設計に活用するものである。なお、遮水シートを構成する高分子材料は、酸性雨や埋設対象廃棄物(コンクリート等)からのアルカリ水等に対しては比較的安定で、微生物に対してもその化学的構造により浸され難いと想定されていることから、長期耐久性確認項目のうち耐候安定性の確認を行うこととした。

2. 付加機能型トレンチ埋設設備の概要

概念設計における付加機能型トレンチ埋設設備の仕様は以下のとおりである。

2.1 埋設対象物及び放射能濃度

① 埋設対象物

- ・濃縮廃液等を 200ℓドラム缶に固型化した均質・均一固化体
- ・雑固体廃棄物等を 200ℓドラム缶に固型化した充填固化体

② 放射能濃度

原子炉等規制法で定められるトレンチ処分の濃度上限値を超えないもの

2.2 設備構造等の仕様

区分	項 目			仕 様
ト レ ン チ	構 造			管理型(遮水工敷設)
	容量(埋設能力)			200ℓドラム缶約 113,100 本 ・ P 埋設地：約 52,400 本 ・ S 埋設地：約 60,700 本
	基 数(基)			12 (P 埋設地 3 基、S 埋設地 3 基)
	主要寸法 (掘削底面)	P 埋設 地用	短辺 (m)	13.55
			長辺 (m)	173.05
			深さ (m)	4.2
		S 埋設 地用	短辺 (m)	13.55
			長辺 (m)	200.05
			深さ (m)	4.2
	遮水工		材 質	高弾性タイプ(高密度ポリエチレン(HDPE))
			透水係数 (m/s)	1.0×10^{-9}
			型 式	二重遮水層
			厚さ (mm)	1.5
主 要 設 備	テント	P 埋設地用	延長×幅×軒高 (m)	202.650×37.0×5.0
		S 埋設地用	延長×幅×軒高 (m)	229.65×37.0×5.0
	地下水集排水設備		材 質	有孔硬質塩ビ管
			管径 (mm)	300
	保有水集排水設備		材 質	有孔硬質ポリエチレン管
			管径 (mm)	300
	上部覆土		厚さ (m)	2.5
透水係数 (m/s)			1.0×10^{-4}	

付加機能型トレンチ埋設設備の短尺断面図を図 2.1 に、長尺平面及び断面図を図 2.2 に示す。

2.3 二重遮水シート構成

二重遮水シートの構成は次のとおりである。

- ① 上部保護マット : 不織布 ; 10mmt
- ② 上部遮水シート : 合成樹脂系高密度ポリエチレン(HDPE)シート ; 1.5mmt
- ③ 中間保護マット : 不織布 ; 10mmt
- ④ 下部遮水シート : 合成樹脂系高密度ポリエチレン(HDPE)シート ; 1.5mmt
- ⑤ 下部保護マット : 不織布 ; 10mmt

3. 試験方法

試験は、耐候性試験として試験体について 2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間、15,000 時間の室内促進暴露試験を行い、それぞれの時間毎に透湿度、引張強度及び伸び率を測定し、促進暴露時間と遮水シートの遮水性能及び力学特性の保持率の関係を確認した。

試験方法の規格は、日本遮水工協会が定める遮水シートの自主基準²⁾において、遮水シートの耐久性及び透水性について実施した試験方法と同様とした。

暴露時間は、日本遮水工協会が定める遮水シートの自主基準²⁾において、遮水シートの耐久性について今回実施した方法 (JIS A 1415) で試験を行った場合、「概ね促進暴露試験の 200～300 時間が自然暴露の 1 年に相当する」としていることと、既往研究³⁾を参考に設定した。

試験対象とした遮水シートの種類は、既往の事例調査等⁴⁾に基づき、高弾性タイプの高密度ポリエチレン (HDPE) と中弾性タイプのメタロセン触媒低密度ポリエチレン (MEPE) とした。高弾性タイプ (HDPE) は、強度が高く、一般及び産業廃棄物の処分場で採用実績の多い材料である。また、中弾性タイプ (MEPE) は、高弾性タイプ (HDPE) の欠点である柔軟性が改善され、採用実績が増えてきている材料である。なお、MEPE は、付加機能型トレンチ埋設設備の上部を覆う遮水シートの候補としている。

3.1 試験体の種類、形状及び数量

① 試験体の種類

- ・遮水シート：高弾性タイプ
；高密度ポリエチレン (HDPE)
太陽工業株式会社製ガンデルシート HD タイプ 厚さ 1.5mm
- ・遮水シート：中弾性タイプ
；メタロセン触媒低密度ポリエチレン (MEPE)
太陽工業株式会社製サンレックス META 厚さ 1.5mm

② 試験体の形状

- ・透水性試験片
：100×100mm 平板にて耐候性試験を実施。室内促進暴露試験実施後 φ70mm に加工
- ・引張等性能試験片
：引張試験用ダンベル (JIS K 6251 加硫ゴムの引張試験方法に定める 3 号形) に加工

③ 試験体の数量

- ・透水性試験片数
：初期性能、2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間及び 15,000 時間用試験片として各 5 個
- ・引張等性能試験片数
：初期性能、2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間及び 15,000 時間用試験片として各 6 個

3.2 室内促進暴露試験方法

室内促進暴露試験は、JIS A 1415 高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法の WS-A 法に基づき実施した。試験に使用したサンシャインウェザーメーター (スガ試験機株式会社製：WEL-SUN-HCH) の仕様を表 3.1 に、装置の外観を図 3.1 に示す。試験の詳細な手順を表 3.2 に示す。また、サンシャインカーボンアークの分光放射照度分布を図 3.2 に、試験体のサンシャインウェザーメーターへの取り付け状況を図 3.3 及び図 3.4 に示す。なお、カーボンアークランプの最高使用時間は、製品規格において 78 時間とされているが、本試験において、約 76 時間毎に上下一

対のカーボン電極 4 組を交換した。

3.3 透湿度測定試験方法

透水性測定試験は、上記 3.2 により 0 時間、2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間及び 15,000 時間暴露した試験体を、その時間毎に水洗後乾燥させ $\phi 70\text{mm}$ に加工して JIS Z 0208 防湿包装材料の透湿度試験方法のカップ法に基づき実施した。測定に使用した機器を表 3.3 に、その外観を図 3.5 及び 3.6 に、測定試験の詳細な手順を表 3.4 に示す。また、試験の状況及び試験体の状況図 3.7 及び 3.8 に示す。なお、図 3.8 中の試験体のうち 3 個は、遮水シートで封をしたカップ内に吸湿剤を入れ、透過してくる水蒸気による吸湿剤の重量増加を測定する。試験体のうち 2 個は、吸湿剤を入れた試験体の重量増加分を測定する際の 0 点補正のために、カップ内に吸湿剤を入れていない（以下「ブランク試料」という。）。

3.4 引張強度・伸び率測定試験方法

引張強度・伸び率測定試験は、上記 3.2 により 0 時間、2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間及び 15,000 時間暴露した試験体を、その時間毎に水洗後乾燥させ JIS A 6008 合成高分子系ルーフィングシートの試験方法に基づき実施した。測定に使用した機器を表 3.5 に、その外観を図 3.9 に、また、測定試験の詳細な手順を表 3.6 に示す。また、試験の状況及び試験体の状況図 3.10 及び 3.11 に示す。

4. 試験結果

4.1 透水性測定試験結果

透水性測定試験に用いた試験体について、任意の箇所を始点として 90 度回転させ各 4 点の試料厚さ及び寸法を測定した結果を表 4.1～4.5 に示す。

また、

- ①暴露0時間の吸湿剤の重量の測定等の結果及び重量増加量の経時変化を表4.6及び図4.1
- ②暴露2,500時間の吸湿剤の重量の測定等の結果及び重量増加量の経時変化を表4.7及び図4.2
- ③暴露5,000時間の吸湿剤の重量の測定等の結果及び重量増加量の経時変化を表4.8及び図4.3
- ④暴露10,000時間の吸湿剤の重量の測定等の結果及び重量増加量の経時変化を表4.9及び図4.4
- ⑤暴露15,000時間の吸湿剤の重量の測定等の結果及び重量増加量の経時変化を表4.10及び図4.5にそれぞれ示す。

測定した結果により求めた透湿度($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)の経時変化を表 4.11～4.15 に、また、透湿係数($\text{g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)の経時変化を表 4.16～4.20 に示す。

ブランク試料による 0 点補正後の試験体重量増加量の結果で、試験開始初期において増加量が負の値を示しているものがあるが、これは、試験開始初期においては試料内部の吸湿状態の濃度勾配が定常状態に向かう過程であり、ブランク試料を含め試験体毎のばらつきが起りやすいためと思われる。そのため、一般的には計測時間がある程度経過し試料内部の吸湿状態の濃度勾配が定常状態になった事を示す試験体重量の時間依存性が線形性を示した領域での透水性能を当該試験体の透湿度とみなし、透湿度測定における最後の 2 点の測定値をもって透湿度を算出するものとした。

また、本試験法においては、ブランク試料における試験を行った最後の二つのひょう量間隔の質量増加が最大で 0.00282g であったため、これに相当する透湿度は $0.25\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ となる。これを保守的に 1 桁丸め、透湿度及び透湿係数の測定保証範囲の下限値を $1\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 及び $1\text{g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ とする。また、 $1\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ に相当する透水係数は $3 \times 10^{-12}\text{cm}/\text{s}$ となる。透湿度から透水係数への換算方法を[付録]に示す。

これらの結果を取り纏めた各試験体の各暴露時間における透湿度($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)、透湿係数($\text{g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)及び透水係数(cm/sec)を表 4.21 に示す。

4.2 引張強度・伸び率測定試験結果

試験体の引張強度及び伸び率を測定するにあたっては、室内促進暴露試験で引張強度・伸び率測定試験用として各暴露時間(0 時間、2,500 時間、5,000 時間、10,000 時間及び 15,000 時間)毎に用いた 6 個のうち、任意の 3 個を無作為に選択して試験体とした。また、試験体の断面積を算出するにあたっては、厚さを各試験体 3 点のマイクロメータ測定値のうちの中央値とし、幅を打ち抜き型の幅寸法(5mm)とした。試験に用いた試験体の番号と試験片の厚さを表 4.22 に示す。

各暴露時間毎の試験体の引張強度の測定結果を表 4.23 に、伸び率と引張応力の関係のうち、高弾性タイプ(HDPE)の応力-ひずみ曲線を図 4.6～図 4.10 に、中弾性タイプ(MEPE)の応力-ひずみ曲線を図 4.11～図 4.15 に、引張強度及び伸び率と促進暴露時間の関係を図 4.16 及び図 4.17 に、促進暴露時間と引張強度の変化率の比の関係を図 4.18 及び図 4.19 に、また、促進暴露時間と伸び率の変化率を図 4.20 及び図 4.21 に示す。

高弾性タイプ(HDPE)、中弾性タイプ(MEPE)の試験体とも、引張試験の途中段階の荷重が増加しない状態で、試験片の塑性伸びの進行があった。また、高弾性タイプ(HDPE)の試験体では、降伏点が見られたが、中弾性タイプ(MEPE)では明瞭でなかった。

5. 総合評価

研究施設等廃棄物の浅地中処分施設における概念設計で用いられた付加機能型トレンチ埋設設備の2重遮水シートのうち高弾性タイプの高密度ポリエチレン(HDPE)シートと、これに類する中弾性タイプのメタロセン触媒低密度ポリエチレン(MEPE)シートについて耐候性試験を行った結果

- ・透水性については、初期性能と比較して性能劣化は認められなかった。

- ・引張強度及び伸び率については、初期性能と比較して性能劣化が認められ15,000時間の暴露において高弾性タイプでは引張強度が14%、伸び率が8%、中弾性タイプでは引張強度が22%、伸び率が9%減少し、引張強度が伸び率の性能変化に比べやや大きい傾向が見られた。

また、日本遮水工協会が定める遮水シートの自主基準²⁾においては、遮水シートの耐久性について今回実施した方法と同じ試験方法で行った場合、「概ね促進暴露試験の200～300時間が自然暴露の1年に相当する」とし、また、耐久性等に係る特性のうち耐候性、紫外線変化性能の規格値として合成樹脂系高弾性及び中弾性タイプについては、

- ・引張強度比を基本性能規格値(初期性能)の80%
- ・伸び率比を基本性能規格値(初期性能)の70%

としている。本試の試験結果をこれと比較すると、15,000時間の室内促進暴露時間は少なくとも50年間の自然暴露時間に相当し、高弾性タイプ(HDPE)の遮水シートでは引張強度及び伸び率と自主基準を満足するが、中弾性タイプ(MEPE)の遮水シートでは、伸び率は自主基準を満足するものとなっているが暴露15,000時間での引張強度が基準値を下回るものとなった。

6. まとめ

本試験では、研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計で用いた遮水工部材(遮水シート)を対象として、耐候性試験により透水性、引張強さを測定し、遮水シートの劣化特性値と時間との関係を確認した。試験の結果、概念設計で用いた合成樹脂系高密度ポリエチレン(HDPE)シートは、トレンチ型埋設設備において必要となる管理期間50年での長期耐久性に係る力学的特性値等(透水係数、引張強度及び伸び率)を十分に満足し、研究施設等廃棄物の浅地中処分施設にこれを使用することで、埋設施設の構造形式の観点から施設の安全性を確保することの担保が出来るものとなる。

今後、埋設センターでは、本試験結果を踏まえ将来の浅地中埋設処分施設の基本及び詳細設計に活用するものである。

参考文献

- 1) 天澤弘也他：“研究施設等廃棄物浅地中処分施設の概念設計”，JAEA-Technology 2012-031(2012).
- 2) 日本遮水工協会：“遮水シート日本遮水工協会自主基準”，2007.5.23 更新
- 3) 原田高志他：“室内促進暴露実験と 10 年間実暴露実験による遮水シートの耐久性評価と遮光性保護による延命効果の確認”，廃棄物学会論文誌 Vol.17,No.2,pp.142-152,2006.
- 4) 仲田久和他：“研究施設等廃棄物の埋設施設設計に供する遮水工部材の選定検討”，JAEA-Technology 2011-023(2011).
- 5) 財団法人全国都市清掃協議会：“廃棄物最終処分場整備の計画・設計・監理要領”，2010 改訂版.

表 3.1 サンシャインウェザーメーターの仕様

光源	サンシャインカーボンアーク灯
連続点灯時間	78 時間
放電電圧電流	50V $\pm$ 2% 60A $\pm$ 2%
温湿度範囲	温度:室内温度+10℃ ～ 80℃ 湿度:約 30% ～ 70%
試料枚数	最大 66 枚
電源容量	3 相 200V 41A
本体寸法	幅 1235mm × 奥行 1370mm × 高さ 1905mm

表 3.2 室内促進暴露試験手順

試験方法	作業手順
JIS A 1415 「高分子系建築材料の実験室光源による暴露試験方法」 の WS-A 法	1. ランプの上部カーボンホルダ及び下部カーボンホルダにカーボンを取り付ける。 2. ガラス製フィルタ※¹を取り付ける。 3. 測定用ブラックパネル温度計を試料ホルダに取り付けた後、試料枠に取り付ける。 4. 試料を試料ホルダに取り付けた後、試料枠に取り付ける。試験片を取り付けていない試料枠の部分に、SUS 板を挿入した試料ホルダを取り付ける。 5. スプレー噴霧サイクル※²を照射 120 分中スプレー噴霧 18 分に設定する。 6. タイムスイッチを 76 時間に設定し、運転を開始する。 7. スプレーノズルの 4 箇所のスプレー孔から純水の試料スプレー噴霧がされていること、及び試験機側面のスプレー噴霧圧力ゲージでスプレー圧が 0.1MPa であることを確認する。 8. 放電電流電圧・電流※³を調節する。 9. 試験槽内の温度が安定した時、ブラックパネル温度計が 63$\pm$3℃、槽内の相対湿度が(50$\pm$5)%であることを確認する。※⁴ 10. 上記 1、2、5、～9. を所定の試験時間迄、繰り返す。また、約 500 時間毎、カーボン交換のタイミングで、試験片の位置を入れ替える。(入替え方法は JIS A 1415、6.4.2 の h)による。) 〈試験時間〉 2,500、5,000、10,000、15,000 時間 11. 試験が終了した試験片は温度 20$\pm$2℃、湿度(65$\pm$20)%の環境下で保管する。 ※¹ ガラス製フィルタ: I 型 ※² 照射 120 分中スプレー噴霧 18 分 ※³ カーボンアーク電圧・電流: 48～52V(中心値 50$\pm$1V)・58～62A(中心値 60$\pm$1.2A) ※⁴ 放射照度の確認は、2 ヶ月 毎、放射照度計で測定する。 (範囲: 255$\pm$(10%)W/m²(波長域 300～700nm))

表 3.3 透湿度測定試験使用機器

試験機器の名称	型式	メーカー
恒温恒湿槽	PSL-2KP	エスペック株式会社
電子天秤	AT201	メトラー・トレド株式会社

表 3.4 透湿度測定試験手順(1/2)

試験方法	試験手順
JIS Z 0208「防湿包装材料の透湿度試験方法」(カップ法)	1. 下図に示した内径 60mm の透湿カップに合わせ、JIS Z 0208 において規定されているカップの内径より約 10mm 大きい直径を持つ試料として、試料を直径約 70mm の円板状に加工する。 2. 洗浄乾燥後熱板上で約 30～40℃に温めたカップに、粒度が 590 μm 以上 2,380 μm 以下の吸湿剤(塩化カルシウム;キング化学(株)製 310-20975)を試験片下面から約 3mm の箇所まで出来るだけ表面が平らになるように入れる。 3. 試験片とカップが同心円になる位置に試験片をセットする。 4. ガイドとおもりによりリングを所定の位置に固定し、ガイドを取り外した後、熔融した微結晶ワックス 60%と精製結晶パラフィンワックス 40%の配合比で構成された封ろう剤をカップ周縁の溝に流し込み試験片の縁を封かんする。この際発生したき裂、泡などははんだごてにより修繕し、封ろう剤が固化した後も必要に応じて修繕する。 5. 封ろう剤が固化したことを確認後おもりを取り外し、封かん部分以外のカップ周辺の付着物を取り除き、12 時間以上デシケーター内で保管する。 6. 温度 40$\pm$0.3℃、相対湿度(90$\pm$2)%の温湿度に保たれた空気が試験片上を 0.5～2.5m/s の速度で循環している恒温恒湿槽内に、試験体を入れる。 7. 試験体投入後、24 時間、48 時間又は 96 時間の間隔で電子天秤により試験体質量をひょう量する。この際室温と平衡にさせるため恒温恒湿槽から取り出した後、約 10 分間室温に放置後計測する。その質量増加は少なくとも 5mg 以上であることとし、カップに入れた吸湿剤がその質量に対して 10%の吸湿をする以前に試験を終了させる。 8. 試験片自体、及び試験片の外側に向いた面が吸湿性の大きい材料である場合には、試験体を恒温恒湿装置から取り出したのち直ちにアルミニウム製のカバーをして、吸湿を出来るだけ少なくする。 9. 試料の透湿度が小さい事、又は試料に吸湿性がある事が想定される場合には、二つ以上のブランクカップを吸湿剤を入れないで同じ操作で作製し、これを試験体と同様の試験を行い、各時間間隔の試験体の質量増加を、ブランクカップの質量の変化の平均値で補正する。 10. 試験体の質量計測を繰り返し、単位時間当たりの質量増加が 5%以内で一定になるまで試験を継続する。

表 3.4 透湿度測定試験手順 (2/2)

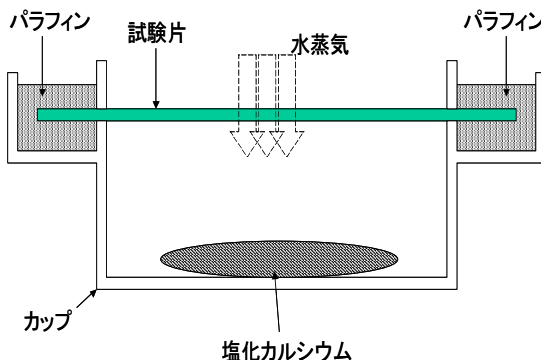
試験方法	試験手順
JIS Z 0208「防湿包装材料の透湿度試験方法」(カップ法)	11. 処理及び計測終了後、次式により透湿度を算出し、JIS Z8401 数値の丸め方によって有効数字 2 けたに丸める。 $P_{a1}[\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}] = (240 \times m) / (t \times s)$ ここで、 P_{a1}: 透湿度 $[\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}]$ s: 透過面積 $[\text{cm}^2]$ t: 試験を行った最後の二つのひょう量間隔の時間の合計 $[\text{h}]$ m: 試験を行った最後の二つのひょう量間隔の増加質量の合計 $[\text{mg}]$
	12. 項目 11 で算出した透湿度をもとに、次式により透水係数に換算する。 $k = P_{a1} \times t / (S(R_i - R_o)) \times 1.16 \times 10^{-7}$ ここで、 k: 透水係数 $[\text{cm}/\text{sec}]$ P_{a1}: 透湿度 $[\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}]$ t: 試験体の厚さ $[\text{cm}]$ S: 試験温度における飽和蒸気圧 $[\text{gf}/\text{cm}^2]$ R_i: カップ外の湿度 $[\%]$ R_o: カップ内の湿度 $[\%]$
	13. 各処理条件下での透湿度と透水係数を測定個数 3 個分、及び平均値で示す。  カップ法概念図

表 3.5 引張強度・伸び率測定試験使用機器

試験機器の名称	型式	メーカー
精密万能試験機	AG-5000C	株式会社島津製作所

表 3.6 引張強度・伸び率測定試験手順

試験方法	試験手順
JIS A 6008 合成高分子 系ルーフィ ンシート	1. 試験片の作製及び試験を行う環境条件は温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$、湿度 $(65 \pm 20)\%$ とする。 2. 試験片を標準状態(上記環境条件)に1時間(ただし、促進暴露処理後の試験片は4時間)以上静置した後、つかみ間距離 60mm で引張試験機に取り付ける。50mm/min の引張速度で試験片が破断するまで引っ張る。 3. 引張強度は最大荷重を読み取り、次式により算出する。 $T_B = P_B / (t \times W)$ ここで、T_B: 引張強度 (N/cm^2) t: 試験片の実測した厚さ (cm) P_B: 最大荷重 (N) W: 試験片の幅 (0.5cm) 4. 伸び率は破断時の標線間距離 (mm) (ひずみ又は長さの変化を測定する試験片のその部分の元の長さ。本試験片の場合は 20mm) を測定し、次式により算出する。 $E_B = \{ (L_B - L_0) / L_0 \} \times 100$ ここで、E_B: 伸び率 (%) L_B: 破断時の標線間距離 (mm) L_0: 標線間距離 (20mm) 5. 引張強度の単位は、$[\text{MPa}]$ と $[\text{N}/\text{cm}^2]$ とする。 6. 引張強度及び伸び率はそれぞれ試験片 3 個の個々の測定値及び平均値で示す。 7. 耐候性試験による変化性能として、引張強度と伸び率の初期性能との比(引張強度比、伸び率比)を次式により算出する。 $\begin{aligned} \text{引張強度比}(\%) &= T_{Bn} / T_{B0} \times 100 \\ \text{伸び率比}(\%) &= E_{Bn} / E_{B0} \times 100 \\ \text{引張強度の初期性能との比}(\%) &= 100 - (T_{Bn} / T_{B0} \times 100) \\ \text{伸び率の初期性能との比}(\%) &= 100 - (E_{Bn} / E_{B0} \times 100) \end{aligned}$ ここで T_{Bn}: 各暴露試験時間における引張強度 T_{B0}: 暴露 0 時間(初期)の引張強度 E_{Bn}: 各暴露試験時間における伸び率 E_{B0}: 暴露 0 時間(初期)の伸び率

表 4.1 透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果（暴露 0 時間）

試料名	n 数	試料厚さ [mm]					試料直径 [mm]				
		1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均	1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.600	1.611	1.598	1.607	1.604	69.563	69.429	69.439	69.667	69.525
	n=2	1.576	1.594	1.587	1.588	1.586	69.541	69.442	69.543	69.715	69.560
	n=3	1.583	1.592	1.580	1.592	1.587	69.542	69.760	69.586	69.487	69.594
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.604	1.591	1.580	1.612	1.597	69.647	69.430	69.596	69.700	69.593
	n=2	1.612	1.623	1.618	1.614	1.617	69.469	69.680	69.409	69.569	69.532
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.601	1.600	1.605	1.604	1.603	69.800	69.870	69.675	69.682	69.757
	n=2	1.610	1.611	1.607	1.606	1.609	69.600	69.798	69.758	69.760	69.729
	n=3	1.592	1.596	1.592	1.597	1.594	69.731	69.634	69.806	69.650	69.705
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.595	1.590	1.596	1.589	1.593	69.754	69.566	69.693	69.833	69.712
	n=2	1.594	1.597	1.593	1.599	1.596	69.694	69.592	69.703	69.803	69.698

表 4.2 透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果（暴露 2,500 時間）

試料名	n 数	試料厚さ [mm]					試料直径 [mm]				
		1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均	1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.637	1.634	1.607	1.608	1.622	69.424	69.809	69.918	69.473	69.656
	n=2	1.560	1.599	1.582	1.527	1.567	69.956	69.961	69.974	69.557	69.862
	n=3	1.568	1.590	1.565	1.584	1.577	69.588	69.698	69.325	69.613	69.556
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.583	1.568	1.595	1.564	1.578	69.817	70.146	69.666	69.565	69.799
	n=2	1.588	1.566	1.585	1.569	1.577	69.547	69.794	69.353	69.397	69.523
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.610	1.611	1.608	1.608	1.609	69.734	69.731	69.555	69.857	69.719
	n=2	1.602	1.610	1.604	1.603	1.605	69.309	69.374	69.456	69.717	69.464
	n=3	1.602	1.597	1.607	1.601	1.602	69.613	69.652	69.759	69.763	69.697
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.584	1.589	1.589	1.587	1.587	69.557	69.817	69.542	69.643	69.640
	n=2	1.585	1.589	1.588	1.586	1.587	69.687	69.469	69.936	69.329	69.605

表 4.3 透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果（暴露 5,000 時間）

試料名	n 数	試料厚さ [mm]					試料直径 [mm]				
		1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均	1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.599	1.555	1.561	1.606	1.580	69.387	69.905	69.691	69.848	69.708
	n=2	1.592	1.602	1.580	1.579	1.588	69.669	69.865	69.674	69.560	69.692
	n=3	1.646	1.609	1.572	1.616	1.611	69.744	69.411	69.776	69.406	69.584
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.607	1.627	1.632	1.625	1.623	69.745	69.536	69.690	69.703	69.669
	n=2	1.624	1.637	1.631	1.622	1.629	69.110	69.820	69.415	69.885	69.558
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.577	1.575	1.578	1.580	1.578	69.502	69.850	69.293	69.685	69.583
	n=2	1.581	1.587	1.580	1.585	1.583	69.528	69.651	69.444	69.895	69.630
	n=3	1.577	1.577	1.571	1.572	1.574	69.469	69.800	69.281	69.586	69.534
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.577	1.582	1.575	1.585	1.580	69.739	69.955	69.734	69.383	69.703
	n=2	1.600	1.598	1.604	1.605	1.602	69.733	69.589	69.557	69.357	69.559

表 4.4 透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果（暴露 10,000 時間）

試料名	n 数	試料厚さ [mm]					試料直径 [mm]				
		1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均	1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.576	1.598	1.608	1.613	1.599	70.158	70.152	70.370	70.347	70.257
	n=2	1.619	1.593	1.629	1.617	1.615	70.340	69.989	70.698	70.349	70.344
	n=3	1.591	1.615	1.620	1.631	1.614	70.258	70.360	70.322	70.155	70.274
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.615	1.596	1.566	1.614	1.598	70.460	70.269	70.596	70.037	70.341
	n=2	1.605	1.610	1.575	1.594	1.596	70.214	70.053	70.363	70.482	70.278
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.590	1.588	1.591	1.602	1.593	70.524	70.706	70.574	70.676	70.620
	n=2	1.570	1.576	1.571	1.569	1.572	70.660	70.877	70.602	70.740	70.720
	n=3	1.572	1.585	1.573	1.582	1.578	70.790	70.684	70.676	70.844	70.749
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.601	1.603	1.599	1.601	1.601	70.764	70.607	70.638	70.614	70.656
	n=2	1.602	1.606	1.597	1.609	1.604	70.780	70.788	70.858	70.839	70.816

表 4.5 透湿度測定用試験体の厚さ及び寸法測定結果（暴露 15,000 時間）

試料名	n 数	試料厚さ [mm]					試料直径 [mm]				
		1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均	1 箇所	2 箇所	3 箇所	4 箇所	平均
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.616	1.639	1.617	1.630	1.626	70.084	69.993	69.884	70.070	70.008
	n=2	1.598	1.600	1.598	1.558	1.589	69.998	69.983	70.001	70.023	70.001
	n=3	1.601	1.598	1.615	1.644	1.615	70.046	70.107	70.056	70.009	70.055
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.632	1.574	1.609	1.572	1.597	70.010	70.175	70.094	70.094	70.093
	n=2	1.583	1.609	1.577	1.638	1.602	70.039	70.042	70.105	70.089	70.069
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.587	1.579	1.601	1.590	1.589	70.087	70.222	70.141	69.973	70.106
	n=2	1.568	1.568	1.566	1.565	1.567	70.176	70.252	70.134	70.222	70.196
	n=3	1.592	1.607	1.592	1.585	1.594	70.157	70.165	70.277	70.194	70.198
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.597	1.575	1.583	1.597	1.588	70.092	70.122	70.257	70.234	70.176
	n=2	1.567	1.575	1.573	1.580	1.574	70.128	70.208	70.259	70.263	70.215

表 4.6 暴露 0 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果 (1/2)

試験体重量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間								吸湿剤 重量
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr	
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	94.00233	94.00243	94.00309	94.00345	94.00399	94.00714	94.00802	94.01030	21.3881
	n=2	1.586	94.78381	94.78425	94.78481	94.78581	94.78625	94.78940	94.79069	94.79288	21.5748
	n=3	1.587	93.43265	93.43364	93.43425	93.43614	93.43626	93.43959	93.44108	93.44343	20.6815
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.597	71.60272	71.60373	71.60404	71.60472	71.60457	71.60660	71.60671	71.60727	－
	n=2	1.617	72.2259	72.22647	72.22635	72.22663	72.22645	72.22826	72.22839	72.22889	－
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.603	93.53143	93.53275	93.53407	93.53823	93.54061	93.54556	93.54967	93.55426	21.7490
	n=2	1.609	94.75254	94.75409	94.75532	94.75919	94.76149	94.76643	94.77026	94.77470	22.4791
	n=3	1.594	93.31881	93.32034	93.32168	93.32533	93.32776	93.33242	93.33613	93.34014	21.0612
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.593	71.86098	71.86166	71.86144	71.86226	71.86325	71.86487	71.86548	71.86600	－
	n=2	1.596	72.82085	72.82380	72.82477	72.82594	72.82658	72.82860	72.82866	72.82918	－
計測環境	温度[℃]		24.0	23.4	23.1	23.0	23.4	23.4	22.8	23.3	
	湿度[%RH]		48.4	53.7	54.0	50.8	52.5	50.8	51.4	53.1	

試験体重量増加量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	－	0.00010	0.00076	0.00112	0.00166	0.00481	0.00569	0.00797
	n=2	1.586	－	0.00044	0.00100	0.00200	0.00244	0.00559	0.00688	0.00907
	n=3	1.587	－	0.00099	0.00160	0.00349	0.00361	0.00694	0.00843	0.01078
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.597	－	0.00101	0.00132	0.00200	0.00185	0.00388	0.00399	0.00455
	n=2	1.617	－	0.00057	0.00045	0.00073	0.00055	0.00236	0.00249	0.00299
	ave	1.607	－	0.00079	0.00088	0.00136	0.00120	0.00312	0.00324	0.00377
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.603	－	0.00132	0.00264	0.00680	0.00918	0.01413	0.01824	0.02283
	n=2	1.609	－	0.00155	0.00278	0.00665	0.00895	0.01389	0.01772	0.02216
	n=3	1.594	－	0.00153	0.00287	0.00652	0.00895	0.01361	0.01732	0.02133
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.593	－	0.00068	0.00046	0.00128	0.00227	0.00389	0.00450	0.00502
	n=2	1.596	－	0.00295	0.00392	0.00509	0.00573	0.00775	0.00781	0.00833
	ave	1.594	－	0.00182	0.00219	0.00319	0.00400	0.00582	0.00616	0.00668

試験体重量増加量の経時変化: ブランク試料による 0 点補正後

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	－	-0.00069	-0.00012	-0.00024	0.00046	0.00169	0.00245	0.00420
	n=2	1.586	－	-0.00035	0.00011	0.00063	0.00124	0.00247	0.00364	0.00530
	n=3	1.587	－	0.00020	0.00072	0.00212	0.00241	0.00382	0.00519	0.00701
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.603	－	-0.00050	0.00045	0.00361	0.00518	0.00831	0.01208	0.01615
	n=2	1.609	－	-0.00026	0.00059	0.00346	0.00495	0.00807	0.01156	0.01548
	n=3	1.594	－	-0.00029	0.00068	0.00333	0.00495	0.00779	0.01116	0.01466

表 4.6 暴露 0 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果 (2/2)

24 時間あたりの試験体重量増加量

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	－	－0.00069	0.00028	－0.00003	0.00035	0.00031	0.00019	0.00031
	n=2	1.586	－	－0.00035	0.00023	0.00013	0.00030	0.00031	0.00029	0.00035
	n=3	1.587	－	0.00020	0.00026	0.00035	0.00014	0.00035	0.00034	0.00040
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.603	－	－0.00050	0.00047	0.00079	0.00078	0.00078	0.00094	0.00098
	n=2	1.609	－	－0.00026	0.00043	0.00072	0.00074	0.00078	0.00087	0.00093
	n=3	1.594	－	－0.00029	0.00048	0.00066	0.00081	0.00071	0.00084	0.00086

表 4.7 暴露 2,500 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果(1/2)

試験体重量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間						吸湿剤 重量
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr	
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	97.53832	97.54047	97.54344	97.54458	97.54671	97.54973	23.6555
	n=2	1.567	96.13579	96.13783	96.13926	96.13995	96.14080	96.14344	23.9011
	n=3	1.577	96.54025	96.54244	96.54437	96.54479	96.54625	96.54860	23.5467
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.578	72.45396	72.45489	72.45552	72.45564	72.45555	72.45667	-
	n=2	1.577	71.64370	71.64448	71.64496	71.64475	71.64465	71.64564	-
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.609	97.00366	97.00780	97.01145	97.01433	97.01815	97.02280	23.9590
	n=2	1.605	97.89876	97.90338	97.90834	97.91117	97.91526	97.91993	24.8001
	n=3	1.602	95.79291	95.79730	95.80218	95.80478	95.80902	95.81365	22.7920
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.587	72.87560	72.87776	72.87927	72.87984	72.88066	72.88150	-
	n=2	1.587	71.98656	71.98830	71.98929	71.99082	71.99118	71.99400	-
計測環境	温度[℃]		23.1	23.1	22.8	23.1	23.1	23.2	
	湿度[%RH]		51.5	50.5	51.6	54.4	52.7	52.6	

試験体重量増加量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間					
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	-	0.00215	0.00512	0.00626	0.00839	0.01141
	n=2	1.567	-	0.00204	0.00347	0.00416	0.00501	0.00765
	n=3	1.577	-	0.00219	0.00412	0.00454	0.00600	0.00835
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.578	-	0.00093	0.00156	0.00168	0.00159	0.00271
	n=2	1.577	-	0.00078	0.00126	0.00105	0.00095	0.00194
	ave	1.577	-	0.00086	0.00141	0.00137	0.00127	0.00233
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.609	-	0.00414	0.00779	0.01067	0.01449	0.01914
	n=2	1.605	-	0.00462	0.00958	0.01241	0.01650	0.02117
	n=3	1.602	-	0.00439	0.00927	0.01187	0.01611	0.02074
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.587	-	0.00216	0.00367	0.00424	0.00506	0.00590
	n=2	1.587	-	0.00174	0.00273	0.00426	0.00462	0.00744
	ave	1.587	-	0.00195	0.00320	0.00425	0.00484	0.00667

試験体重量増加量の経時変化:ブランク試料による 0 点補正後

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間					
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	-	0.00129	0.00371	0.00489	0.00712	0.00908
	n=2	1.567	-	0.00118	0.00206	0.00279	0.00374	0.00532
	n=3	1.577	-	0.00133	0.00271	0.00317	0.00473	0.00602
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.609	-	0.00219	0.00459	0.00642	0.00965	0.01247
	n=2	1.605	-	0.00267	0.00638	0.00816	0.01166	0.01450
	n=3	1.602	-	0.00244	0.00607	0.00762	0.01127	0.01407

表 4.7 暴露 2,500 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果 (2/2)
 24 時間あたりの試験体重量増加量 単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間					
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	－	0.00032	0.00060	0.00030	0.00056	0.00049
	n=2	1.567	－	0.00030	0.00022	0.00018	0.00024	0.00040
	n=3	1.577	－	0.00033	0.00034	0.00012	0.00039	0.00032
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.609	－	0.00055	0.00060	0.00046	0.00081	0.00070
	n=2	1.605	－	0.00067	0.00093	0.00045	0.00088	0.00071
	n=3	1.602	－	0.00061	0.00091	0.00039	0.00091	0.00070

表 4.8 暴露 5,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果(1/2)

試験体重量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間								吸湿剤
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	重量
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	92.29488	92.29766	92.29826	92.29993	92.30055	92.30298	92.30282	92.30477	19.6435
	n=2	1.588	92.45529	92.45808	92.45950	92.46166	92.46296	92.46595	92.46584	92.46846	19.4561
	n=3	1.611	91.72554	91.72830	91.72942	91.73246	91.73355	91.73543	91.73515	91.73773	19.8428
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.623	73.84399	73.84615	73.84667	73.84791	73.84779	73.84910	73.84810	73.84895	－
	n=2	1.629	73.94183	73.94595	73.94644	73.94783	73.94793	73.94859	73.94801	73.94871	－
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.578	92.68054	92.68620	92.68874	92.69430	92.69893	92.70443	92.70583	92.71135	19.5022
	n=2	1.583	93.83270	93.83869	93.84122	93.84672	93.85098	93.85633	93.85767	93.86303	19.7073
	n=3	1.574	92.97404	92.98057	92.98344	92.98965	92.99430	93.00015	93.00214	93.00753	19.6565
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.580	73.69340	73.69678	73.69836	73.70078	73.70135	73.70235	73.70183	73.70245	－
	n=2	1.602	74.34041	74.34506	74.34634	74.34814	74.34886	74.35004	74.34967	74.35049	－
計測環境	温度[℃]		23.4	22.9	23.2	23.0	22.8	22.8	23.1	23.1	
	湿度[%RH]		48.9	52.7	53.1	50.9	50.9	51.5	49.1	51.3	

試験体重量増加量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	－	0.00278	0.00338	0.00505	0.00567	0.00810	0.00794	0.00989
	n=2	1.588	－	0.00279	0.00421	0.00637	0.00767	0.01066	0.01055	0.01317
	n=3	1.611	－	0.00276	0.00388	0.00692	0.00801	0.00989	0.00961	0.01219
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.623	－	0.00216	0.00268	0.00392	0.00380	0.00511	0.00411	0.00496
	n=2	1.629	－	0.00412	0.00461	0.00600	0.00610	0.00676	0.00618	0.00688
	ave	1.626	－	0.00314	0.00364	0.00496	0.00495	0.00594	0.00514	0.00592
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.578	－	0.00566	0.00820	0.01376	0.01839	0.02389	0.02529	0.03081
	n=2	1.583	－	0.00599	0.00852	0.01402	0.01828	0.02363	0.02497	0.03033
	n=3	1.574	－	0.00653	0.00940	0.01561	0.02026	0.02611	0.02810	0.03349
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.580	－	0.00338	0.00496	0.00738	0.00795	0.00895	0.00843	0.00905
	n=2	1.602	－	0.00465	0.00593	0.00773	0.00845	0.00963	0.00926	0.01008
	ave	1.591	－	0.00402	0.00544	0.00755	0.00820	0.00929	0.00885	0.00956

試験体重量増加量の経時変化:ブランク試料による 0 点補正後

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	－	－0.00036	－0.00027	0.00009	0.00072	0.00216	0.00279	0.00397
	n=2	1.588	－	－0.00035	0.00057	0.00141	0.00272	0.00473	0.00540	0.00725
	n=3	1.611	－	－0.00038	0.00024	0.00196	0.00306	0.00395	0.00447	0.00627
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.578	－	0.00165	0.00276	0.00621	0.01019	0.01460	0.01645	0.02125
	n=2	1.583	－	0.00197	0.00308	0.00647	0.01008	0.01434	0.01612	0.02076
	n=3	1.574	－	0.00251	0.00396	0.00805	0.01206	0.01682	0.01925	0.02393

表 4.8 暴露 5,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果 (2/2)

24 時間あたりの試験体増加量

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	計測日及び経過時間							
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	－	－0.00009	0.00005	0.00009	0.00016	0.00036	0.00031	0.00030
	n=2	1.588	－	－0.00009	0.00046	0.00021	0.00033	0.00050	0.00034	0.00042
	n=3	1.611	－	－0.00009	0.00031	0.00043	0.00027	0.00022	0.00026	0.00039
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.578	－	0.00041	0.00056	0.00086	0.00100	0.00110	0.00092	0.00111
	n=2	1.583	－	0.00049	0.00055	0.00085	0.00090	0.00106	0.00089	0.00107
	n=3	1.574	－	0.00063	0.00072	0.00102	0.00100	0.00119	0.00122	0.00118

表 4.9 暴露 10,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果(1/2)

試験体重量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間										吸湿剤 重量
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr	
高弾性タイプ ^o HDPE	n=1	1.599	94.34494	94.34755	94.34870	94.34948	94.35206	94.35359	94.35418	94.35558	94.35720	94.35858	19.6452
	n=2	1.615	92.73052	92.73248	92.73337	92.73439	92.73677	92.73837	92.73922	92.74069	92.74245	92.74391	18.1005
	n=3	1.614	92.82495	92.82742	92.82824	92.82916	92.83128	92.83305	92.83379	92.83535	92.83683	92.83796	18.1214
高弾性タイプ ^o ブランク試料	n=1	1.598	72.85725	72.86080	72.86091	72.86089	72.86144	72.86161	72.86154	72.86118	72.86112	72.86065	-
	n=2	1.596	74.02037	74.02368	74.02385	74.02390	74.02441	74.02494	74.02482	74.02452	74.02461	74.02385	-
中弾性タイプ ^o MEPE	n=1	1.593	92.75186	92.75770	92.76030	92.76411	92.76881	92.77414	92.77676	92.78010	92.78465	92.78900	17.9858
	n=2	1.572	93.50770	93.51452	93.51718	93.52135	93.52599	93.53092	93.53322	93.53685	93.54175	93.54578	18.1255
	n=3	1.578	92.60028	92.60684	92.60939	92.61357	92.61828	92.62313	92.62523	92.62898	92.63361	92.63741	18.8785
中弾性タイプ ^o ブランク試料	n=1	1.601	73.23363	73.23690	73.23723	73.23701	73.23694	73.23715	73.23690	73.23595	73.23583	73.23498	-
	n=2	1.604	72.23082	72.23497	72.23559	72.23560	72.23399	72.23460	72.23438	72.23390	72.23385	72.23316	-
計測環境	温度[°C]		23.2	23.3	23.1	23.3	23.0	23.3	23.2	23.2	23.0	23.3	
	湿度[%RH]		50.7	50.3	53.5	54.9	49.8	49.7	49.8	51.0	52.2	50.2	

試験体重量増加量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ ^o HDPE	n=1	1.599	-	0.00261	0.00376	0.00454	0.00712	0.00865	0.00924	0.01064	0.01226	0.01364
	n=2	1.615	-	0.00196	0.00285	0.00387	0.00625	0.00785	0.00870	0.01017	0.01193	0.01339
	n=3	1.614	-	0.00247	0.00329	0.00421	0.00633	0.00810	0.00884	0.01040	0.01188	0.01301
高弾性タイプ ^o ブランク試料	n=1	1.598	-	0.00355	0.00366	0.00364	0.00419	0.00436	0.00429	0.00393	0.00387	0.00340
	n=2	1.596	-	0.00331	0.00348	0.00353	0.00404	0.00457	0.00445	0.00415	0.00424	0.00348
	ave	1.597	-	0.00343	0.00357	0.00359	0.00412	0.00447	0.00437	0.00404	0.00406	0.00344
中弾性タイプ ^o MEPE	n=1	1.593	-	0.00584	0.00844	0.01225	0.01695	0.02228	0.02490	0.02824	0.03279	0.03714
	n=2	1.572	-	0.00682	0.00948	0.01365	0.01829	0.02322	0.02552	0.02915	0.03405	0.03808
	n=3	1.578	-	0.00656	0.00911	0.01329	0.01800	0.02285	0.02495	0.02870	0.03333	0.03713
中弾性タイプ ^o ブランク試料	n=1	1.601	-	0.00327	0.00360	0.00338	0.00331	0.00352	0.00327	0.00232	0.00220	0.00135
	n=2	1.604	-	0.00415	0.00477	0.00478	0.00317	0.00378	0.00356	0.00308	0.00303	0.00234
	ave	1.602	-	0.00371	0.00418	0.00408	0.00324	0.00365	0.00342	0.00270	0.00262	0.00184

試験体重量増加量の経時変化：ブランク試料による 0 点補正後

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ ^o HDPE	n=1	1.599	-	-0.00082	0.00019	0.00096	0.00300	0.00418	0.00487	0.00660	0.00821	0.01020
	n=2	1.615	-	-0.00147	-0.00072	0.00029	0.00214	0.00339	0.00433	0.00613	0.00788	0.00995
	n=3	1.614	-	-0.00096	-0.00028	0.00062	0.00221	0.00363	0.00447	0.00636	0.00783	0.00957
中弾性タイプ ^o MEPE	n=1	1.593	-	0.00213	0.00426	0.00817	0.01371	0.01863	0.02148	0.02554	0.03017	0.03530
	n=2	1.572	-	0.00311	0.00529	0.00957	0.01505	0.01957	0.02210	0.02645	0.03143	0.03623
	n=3	1.578	-	0.00285	0.00493	0.00921	0.01476	0.01920	0.02154	0.02600	0.03072	0.03529

表 4.9 暴露 10,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果 (2/2)

24 時間あたりの試験体重量増加量

単位 [g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.599	-	-0.00020	0.00050	0.00019	0.00051	0.00030	0.00034	0.00043	0.00040	0.00044
	n=2	1.615	-	-0.00037	0.00037	0.00025	0.00046	0.00031	0.00047	0.00045	0.00045	0.00047
	n=3	1.614	-	-0.00024	0.00034	0.00023	0.00040	0.00035	0.00042	0.00047	0.00042	0.00043
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.593	-	0.00053	0.00106	0.00098	0.00139	0.00123	0.00143	0.00101	0.00115	0.00115
	n=2	1.572	-	0.00078	0.00109	0.00107	0.00137	0.00113	0.00127	0.00109	0.00119	0.00118
	n=3	1.578	-	0.00071	0.00104	0.00107	0.00139	0.00111	0.00117	0.00112	0.00115	0.00115

表 4.10 暴露 15,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果(1/2)

試験体重量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間										吸湿剤 重量
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr	
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.626	91.69475	91.69505	91.69589	91.69988	91.70050	91.70223	91.70312	91.70482	91.70725	91.70822	18.0349
	n=2	1.589	91.62275	91.62397	91.62498	91.62923	91.63042	91.63216	91.63339	91.63532	91.63833	91.63984	19.2058
	n=3	1.615	91.29593	91.29658	91.29799	91.30154	91.30253	91.30410	91.30475	91.30656	91.30849	91.30939	19.8352
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.597	71.82088	71.82263	71.82284	71.82578	71.82566	71.82555	71.82567	71.82644	71.82632	71.82555	-
	n=2	1.602	73.24217	73.24359	73.24380	73.24692	73.24701	73.24685	73.24693	73.24783	73.24754	73.24666	-
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.589	91.09419	91.09990	91.10245	91.10905	91.11388	91.11800	91.12019	91.12546	91.13067	91.13510	18.3441
	n=2	1.567	92.12210	92.12714	92.12915	92.13597	92.14120	92.14576	92.14806	92.15353	92.15863	92.16276	17.9664
	n=3	1.594	92.07202	92.07619	92.07818	92.08546	92.09053	92.09542	92.09795	92.10329	92.10876	92.11322	18.9248
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.588	73.02734	73.02972	73.02993	73.03301	73.03344	73.03368	73.03377	73.03467	73.03477	73.03417	-
	n=2	1.574	72.95576	72.95794	72.95763	72.96035	72.96024	72.96010	72.96025	72.96091	72.96063	72.95983	-
計測環境	温度[℃]		22.9	23.0	22.7	23.0	22.6	22.7	23.2	23.0	23.1	23.0	
	湿度[%RH]		46.8	48.6	47.2	49.6	47.1	48.4	49.5	48.3	47.1	47.9	

試験体重量増加量の経時変化

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.626	-	0.00030	0.00114	0.00513	0.00575	0.00748	0.00837	0.01007	0.01250	0.01347
	n=2	1.589	-	0.00122	0.00223	0.00648	0.00767	0.00941	0.01064	0.01257	0.01558	0.01709
	n=3	1.615	-	0.00065	0.00206	0.00561	0.00660	0.00817	0.00882	0.01063	0.01256	0.01346
高弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.597	-	0.00175	0.00196	0.00490	0.00478	0.00467	0.00479	0.00556	0.00544	0.00467
	n=2	1.602	-	0.00142	0.00163	0.00475	0.00484	0.00468	0.00476	0.00566	0.00537	0.00449
	ave	1.599	-	0.00158	0.00179	0.00482	0.00481	0.00467	0.00478	0.00561	0.00540	0.00458
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.589	-	0.00571	0.00826	0.01486	0.01969	0.02381	0.02600	0.03127	0.03648	0.04091
	n=2	1.567	-	0.00504	0.00705	0.01387	0.01910	0.02366	0.02596	0.03143	0.03653	0.04066
	n=3	1.594	-	0.00417	0.00616	0.01344	0.01851	0.02340	0.02593	0.03127	0.03674	0.04120
中弾性タイプ ブランク試料	n=1	1.588	-	0.00238	0.00259	0.00567	0.00610	0.00634	0.00643	0.00733	0.00743	0.00683
	n=2	1.574	-	0.00218	0.00187	0.00459	0.00448	0.00434	0.00449	0.00515	0.00487	0.00407
	ave	1.581	-	0.00228	0.00223	0.00513	0.00529	0.00534	0.00546	0.00624	0.00615	0.00545

試験体重量増加量の経時変化：ブランク試料による 0 点補正後

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.626	-	-0.00129	-0.00065	0.00030	0.00094	0.00281	0.00359	0.00446	0.00710	0.00889
	n=2	1.589	-	-0.00036	0.00044	0.00166	0.00286	0.00474	0.00587	0.00696	0.01018	0.01251
	n=3	1.615	-	-0.00093	0.00027	0.00079	0.00179	0.00350	0.00404	0.00502	0.00716	0.00888
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.589	-	0.00343	0.00603	0.00973	0.01440	0.01847	0.02054	0.02503	0.03033	0.03546
	n=2	1.567	-	0.00276	0.00482	0.00874	0.01381	0.01832	0.02050	0.02519	0.03038	0.03521
	n=3	1.594	-	0.00189	0.00393	0.00831	0.01322	0.01806	0.02047	0.02503	0.03059	0.03575

表 4.10 暴露 15,000 時間の試験体及び吸湿剤の重量の測定等の結果(2/2)

24 時間あたりの試験体重量増加量

単位[g]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.626	－	－0.00032	0.00032	0.00024	0.00016	0.00047	0.00039	0.00022	0.00043	0.00044
	n=2	1.589	－	－0.00009	0.00040	0.00031	0.00030	0.00047	0.00057	0.00027	0.00054	0.00055
	n=3	1.615	－	－0.00023	0.00060	0.00013	0.00025	0.00043	0.00027	0.00024	0.00037	0.00040
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.589	－	0.00086	0.00130	0.00092	0.00117	0.00102	0.00103	0.00112	0.00119	0.00124
	n=2	1.567	－	0.00069	0.00103	0.00098	0.00127	0.00113	0.00109	0.00117	0.00121	0.00123
	n=3	1.594	－	0.00047	0.00102	0.00109	0.00123	0.00121	0.00120	0.00114	0.00125	0.00127

表 4.11 暴露 0 時間の透湿度の経時変化

単位[g/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	－	－0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	n=2	1.586	－	－0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	n=3	1.587	－	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
中弾性タイプ HDPE	n=1	1.603	－	－0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	n=2	1.609	－	－0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	n=3	1.594	－	－0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3

表 4.12 暴露 2,500 時間の透湿度の経時変化

単位[g/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間					
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	－	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2
	n=2	1.567	－	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	n=3	1.577	－	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
中弾性タイプ HDPE	n=1	1.609	－	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2
	n=2	1.605	－	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
	n=3	1.602	－	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2

表 4.13 暴露 5,000 時間の透湿度の経時変化

単位[g/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	－	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	n=2	1.588	－	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
	n=3	1.611	－	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
中弾性タイプ HDPE	n=1	1.578	－	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4
	n=2	1.583	－	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4
	n=3	1.574	－	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

表 4. 14 暴露 10, 000 時間の透湿度の経時変化

単位[g/m². day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性 タイプ ^o HDPE	n=1	1. 599	－	－0. 1	0. 2	0. 1	0. 2	0. 1	0. 1	0. 2	0. 1	0. 2
	n=2	1. 615	－	－0. 1	0. 1	0. 1	0. 2	0. 1	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2
	n=3	1. 614	－	－0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 2	0. 1	0. 2
中弾性 タイプ ^o MEPE	n=1	1. 593	－	0. 2	0. 4	0. 3	0. 5	0. 4	0. 5	0. 4	0. 4	0. 4
	n=2	1. 572	－	0. 3	0. 4	0. 4	0. 5	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4
	n=3	1. 578	－	0. 3	0. 4	0. 4	0. 5	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4

表 4. 15 暴露 15, 000 時間の透湿度の経時変化

単位[g/m². day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	計測日及び経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性 タイプ ^o HDPE	n=1	1. 626	－	－0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 2	0. 1	0. 1	0. 2	0. 2
	n=2	1. 589	－	0. 0	0. 1	0. 1	0. 1	0. 2	0. 2	0. 1	0. 2	0. 2
	n=3	1. 615	－	－0. 1	0. 2	0. 0	0. 1	0. 2	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1
中弾性 タイプ ^o MEPE	n=1	1. 589	－	0. 3	0. 5	0. 3	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4
	n=2	1. 567	－	0. 2	0. 4	0. 3	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4
	n=3	1. 594	－	0. 2	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 4	0. 5

表 4.16 暴露 0 時間の透湿係数の経時変化

単位[g・mm/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	24hr	72hr	168hr	216hr	312hr	408hr	504hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.604	－	－0.4	0.2	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2
	n=2	1.586	－	－0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
	n=3	1.587	－	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.603	－	－0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
	n=2	1.609	－	－0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
	n=3	1.594	－	－0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5

表 4.17 暴露 2,500 時間の透湿係数の経時変化

単位[g・mm/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間					
			0hr	96hr	192hr	288hr	384hr	480hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.622	－	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
	n=2	1.567	－	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
	n=3	1.577	－	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.609	－	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4
	n=2	1.605	－	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4
	n=3	1.602	－	0.3	0.5	0.2	0.5	0.4

表 4.18 暴露 5,000 時間の透湿係数の経時変化

単位[g・mm/m².day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間							
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr
高弾性タイプ HDPE	n=1	1.580	－	－0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2
	n=2	1.588	－	0.0	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
	n=3	1.611	－	－0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
中弾性タイプ MEPE	n=1	1.578	－	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
	n=2	1.583	－	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6
	n=3	1.574	－	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7

表 4.19 暴露 10,000 時間の透湿係数の経時変化

単位 [g・mm/m². day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タ イプ HDPE	n=1	1.599	－	－0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
	n=2	1.615	－	－0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	n=3	1.614	－	－0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
中弾性タ イプ MEPE	n=1	1.593	－	0.3	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6
	n=2	1.572	－	0.4	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7
	n=3	1.578	－	0.4	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6

表 4.20 暴露 15,000 時間の透湿係数の経時変化

単位 [g・mm/m². day]

試料名	n 数	試料厚さ [mm]	経過時間									
			0hr	96hr	144hr	240hr	336hr	432hr	480hr	576hr	672hr	768hr
高弾性タ イプ HDPE	n=1	1.626	－	－0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3
	n=2	1.589	－	－0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
	n=3	1.615	－	－0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
中弾性タ イプ MEPE	n=1	1.589	－	0.5	0.7	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	n=2	1.567	－	0.4	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	n=3	1.594	－	0.3	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7

表 4.21 透湿度、透湿係数及び透水係数測定結果のまとめ

試料名	n数	透湿度 [g/m ² .day]				
		初期品	2500時間	5000時間	10000時間	15000時間
高弾性タイプ	n=1	0.11	0.17	0.11	0.16	0.16
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=2	0.13	0.14	0.15	0.17	0.20
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=3	0.14	0.11	0.14	0.15	0.14
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
中弾性タイプ	n=1	0.35	0.25	0.39	0.41	0.44
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=2	0.33	0.25	0.38	0.42	0.43
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=3	0.30	0.25	0.42	0.41	0.45
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満

試料名	n数	透湿係数 [g・mm/m ² .day]				
		初期品	2500時間	5000時間	10000時間	15000時間
高弾性タイプ	n=1	0.18	0.28	0.17	0.25	0.25
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=2	0.20	0.22	0.24	0.27	0.31
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=3	0.22	0.18	0.22	0.24	0.23
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
中弾性タイプ	n=1	0.56	0.40	0.62	0.65	0.70
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=2	0.53	0.40	0.60	0.65	0.68
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満
	n=3	0.48	0.40	0.66	0.64	0.72
		1未満	1未満	1未満	1未満	1未満

試料名	n数	透水係数 [cm/s]				
		初期品	2500時間	5000時間	10000時間	15000時間
高弾性タイプ	n=1	3.05E-13	4.81E-13	2.88E-13	4.30E-13	4.35E-13
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満
	n=2	3.40E-13	3.76E-13	4.05E-13	4.58E-13	5.33E-13
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満
	n=3	3.83E-13	3.09E-13	3.77E-13	4.16E-13	3.94E-13
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満
中弾性タイプ	n=1	9.52E-13	6.88E-13	1.06E-12	1.11E-12	1.20E-12
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満
	n=2	9.04E-13	6.90E-13	1.03E-12	1.12E-12	1.16E-12
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満
	n=3	8.29E-13	6.79E-13	1.13E-12	1.10E-12	1.23E-12
		3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満	3×10 ⁻¹² 未満

：測定保証範囲の下限値を考慮したもの

※透湿度から透水係数への換算方法は、【付録】による。

表 4.22 引張強度及び伸び測定に用いた試験体の番号と試験片の厚さ

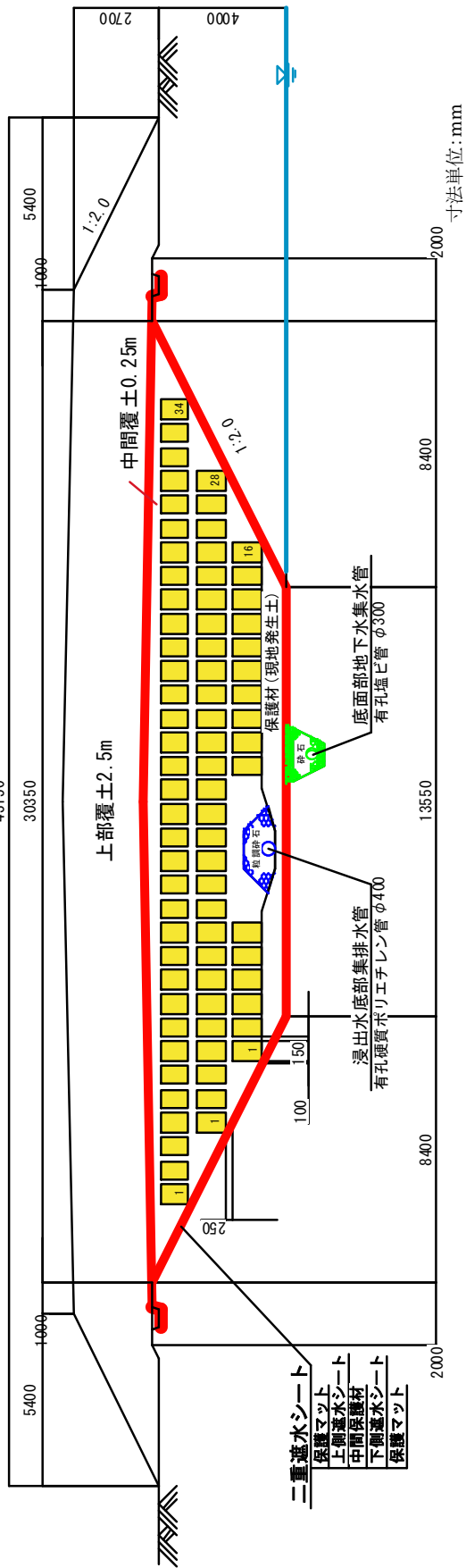
	高弾性タイプ(HDPE)			中弾性タイプ(MEPE)		
	n	試験片番号	試験片厚さ cm	n	試験片番号	試験片厚さ cm
0 時間(初期)	1	1	0.1629	1	5	0.1579
	2	5	0.1571	2	6	0.1577
	3	11	0.1611	3	7	0.1574
	4	2	0.1624	4	22	0.1585
	5	7	0.1641	5	26	0.1585
	6	29	0.1600	6	30	0.1580
2500時間	1	24	0.1619	1	28	0.1590
	2	25	0.1596	2	25	0.1590
	3	26	0.1581	3	12	0.1584
	4	27	0.1570	4	11	0.1581
	5	28	0.1612	5	10	0.1581
	6	30	0.1602	6	8	0.1581
5000時間	1	3	0.1633	1	3	0.1570
	2	6	0.1631	2	15	0.1575
	3	12	0.1632	3	17	0.1577
	4	15	0.1581	4	18	0.1574
	5	18	0.1604	5	21	0.1584
	6	21	0.1568	6	27	0.1580
10000時間	1	14	0.1600	1	9	0.1581
	2	16	0.1603	2	20	0.1586
	3	19	0.1605	3	24	0.1587
	4	10	0.1592	4	1	0.1577
	5	13	0.1637	5	13	0.1580
	6	22	0.1587	6	29	0.1587
15000時間	1	4	0.1643	1	10b	0.1580
	2	8	0.1619	2	11b	0.1570
	3	9	0.1652	3	12b	0.1573
	4	11b	0.1547	4	14	0.1577
	5	20	0.1589	5	16	0.1578
	6	23	0.1592	6	23	0.1581

 : 暴露時間毎に室内促進暴露試験に供した試験体 6 個うち、引張強度・伸び率測定試験に用いた試験体

表 4.23 各暴露時間毎の引張強度及び伸び率測定結果

		高弾性タイプ HDPE			中弾性タイプ MEPE		
		引張強度 T_B		伸び率 E_B	引張強度 T_B		伸び率 E_B
単 位		MPa	N/cm ²	%	MPa	N/cm ²	%
0 時間 (初期)	n=1	36.8	3680	816	39.1	3910	770
	n=2	38.8	3880	866	42.4	4240	806
	n=3	37.2	3720	857	40.8	4080	799
	平均値	37.6	3760	846	40.7	4070	791
2 5 0 0 時間	n=1	37.4	3740	789	38.5	3850	762
	n=2	38.3	3830	816	37.2	3720	758
	n=3	37.0	3700	790	38.8	3880	760
	平均値	37.6	3760	799	38.2	3820	760
	初期性能との比 (%)	100		94	94		96
	性能変化率 (%)	0		6	6		4
5 0 0 0 時間	n=1	35.9	3590	818	36.5	3650	761
	n=2	33.7	3370	791	29.3	2930	704
	n=3	35.3	3530	806	36.0	3600	750
	平均値	35.0	3500	805	33.9	3390	738
	初期性能との比 (%)	93		95	83		93
	性能変化率 (%)	7		5	17		7
1 0 0 0 0 時間	n=1	34.3	3430	863	34.5	3450	791
	n=2	34.9	3490	852	33.1	3310	764
	n=3	36.1	3610	865	33.8	3380	732
	平均値	35.1	3510	860	33.8	3380	762
	初期性能との比 (%)	93		102	83		96
	性能変化率 (%)	7		-2	17		4
1 5 0 0 0 時間	n=1	32.6	3260	789	32.3	3230	715
	n=2	33.9	3390	805	31.8	3180	723
	n=3	30.5	3050	743	30.7	3070	719
	平均値	32.3	3230	779	31.6	3160	719
	初期性能との比 (%)	86		92	78		91
	性能変化率 (%)	14		8	22		9

a. 幹線部



b. 支線部

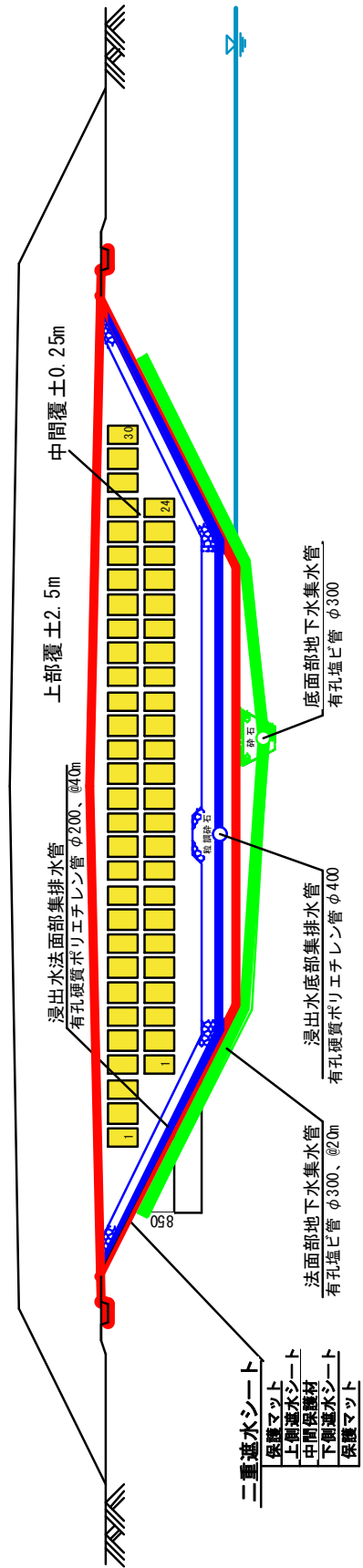


図2.1 付加機能型トンチ埋設備短尺断面図

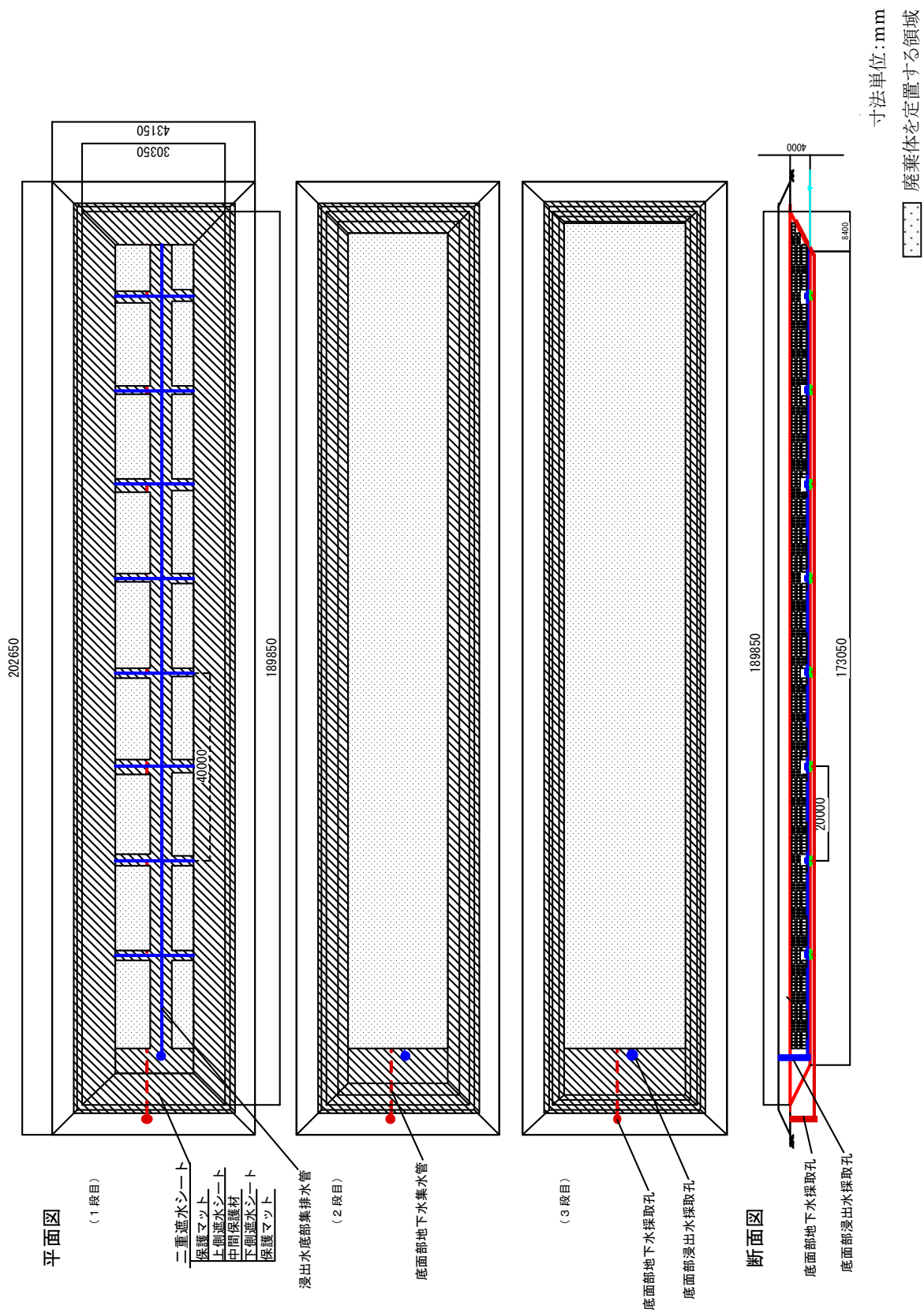


図 2.2 付加機能型トレンチ埋設設備長尺平面及び断面図 (P埋設地)



図 3.1 サンシャインウェザーメーター(WEL-SUN-HCH)外観図

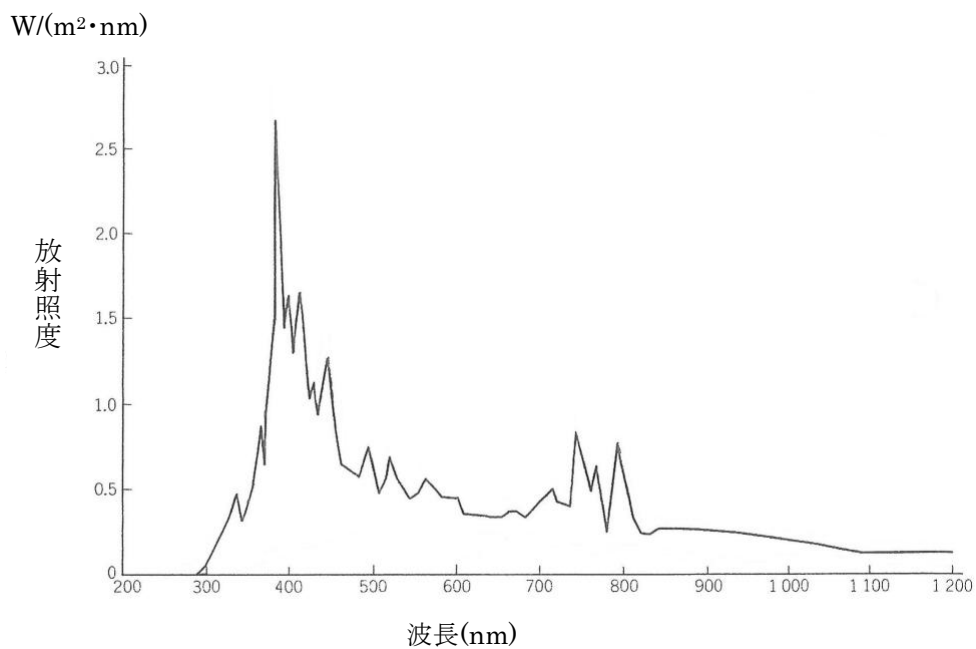


図 3.2 サンシャインカーボンアークの分光放射照度分布



【高弾性タイプ (HDPE)】



【中弾性タイプ (MEPE)】

図 3.3 透水性測定試験体の取り付け状況



【高弾性タイプ (HDPE)】



【中弾性タイプ (MEPE)】

図 3.4 引張強度・伸び率測定試験体の取り付け状況



図 3.5 恒温恒湿槽(PSL-2KP)外観図



図 3.6 電子天秤(AT201)外観図



図 3.7 透湿度測定試験状況例
(恒温高恒湿槽内)



図 3.8 透湿度測定試験体例
(試験後:高弾性タイプ(HDPE)15,000 時間暴露後)



図 3.9 精密万能試験機(オートグラフ AG-5000C)型

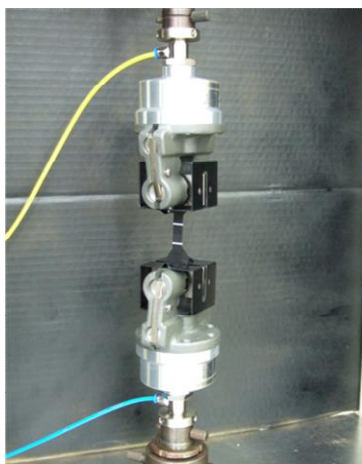
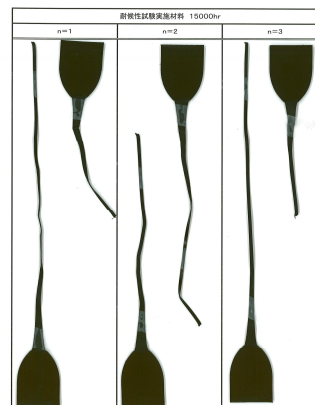


図 3.10 引張強度・伸び率測定試験の状況例



【試験前】



【試験後】

図 3.11 引張強度・伸び率測定試験体の状況例

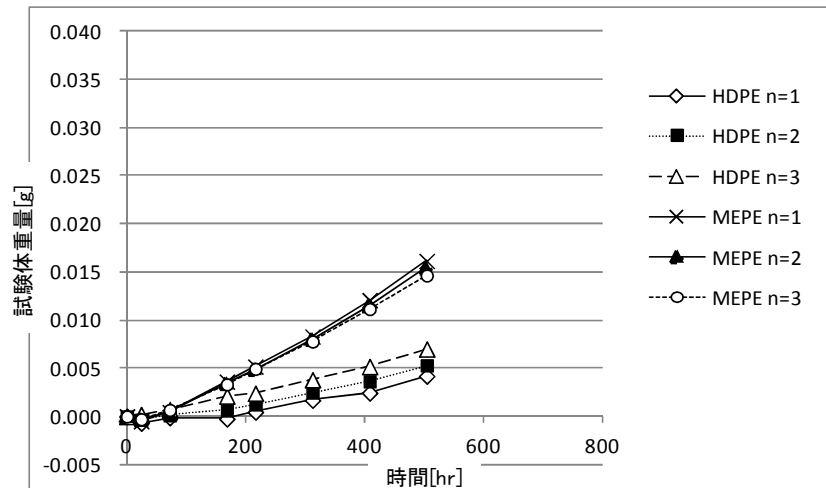


図 4.1 暴露 0 時間の試験体重量増加量の経時変化

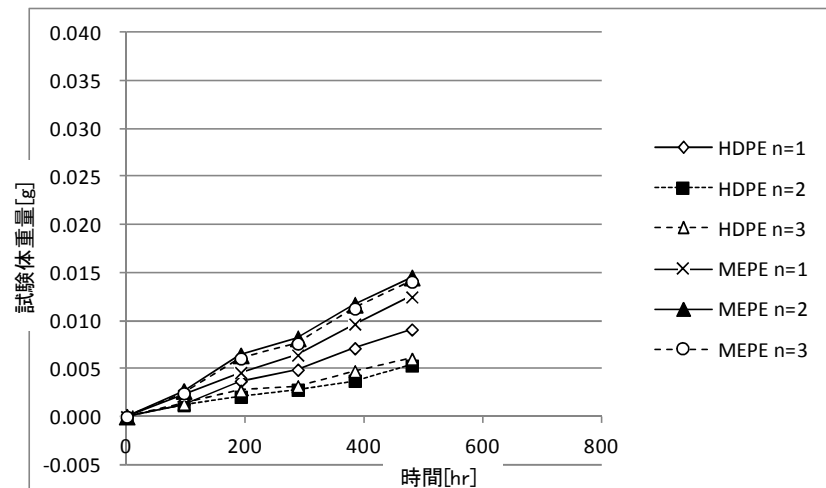


図 4.2 暴露 2,500 時間の試験体重量増加量の経時変化

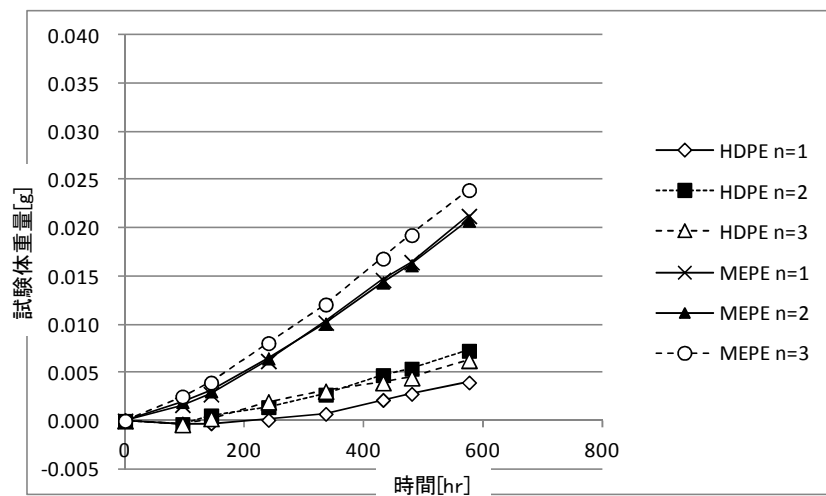


図 4.3 暴露 5,000 時間の試験体重量増加量の経時変化

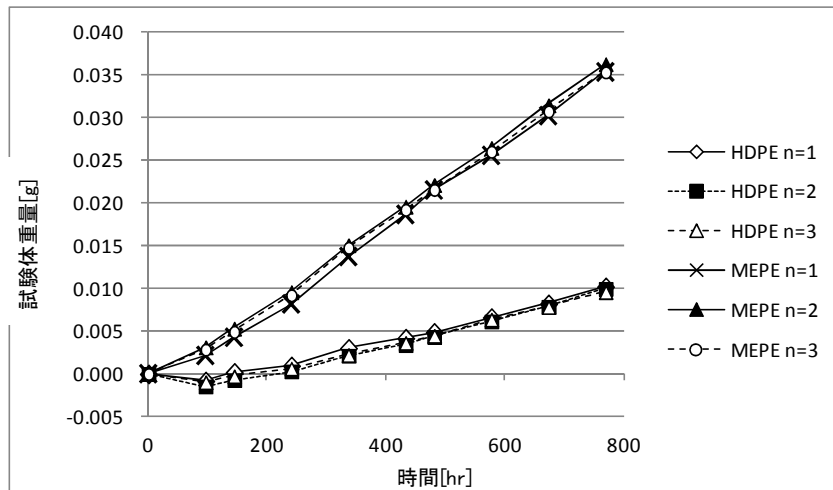


図 4.4 暴露 10, 000 時間の試験体重量増加量の経時変化

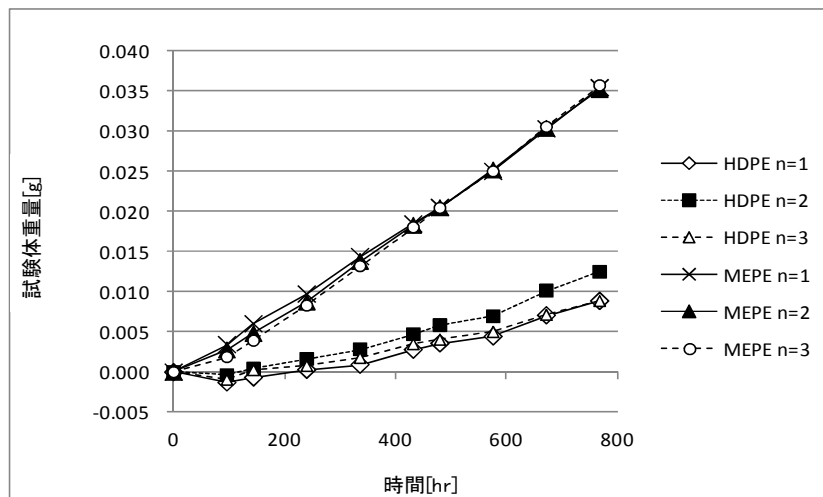


図 4.5 暴露 15, 000 時間の試験体重量増加量の経時変化

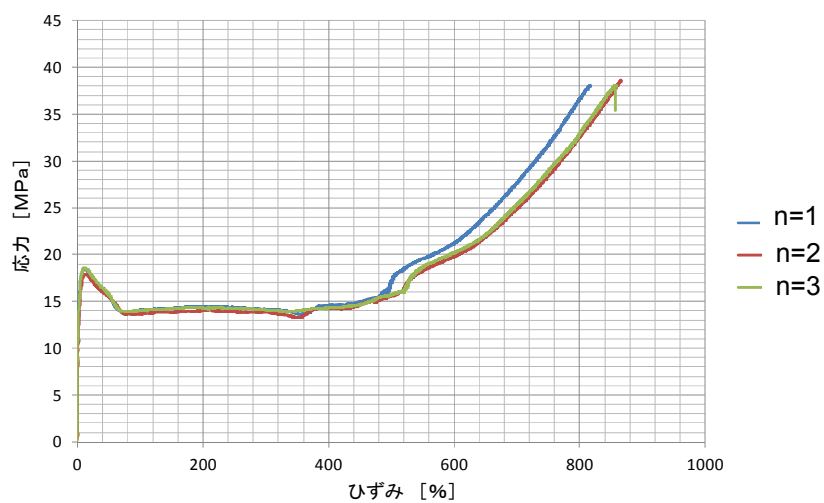


図 4.6 高弾性タイプ (HDPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 0 時間)

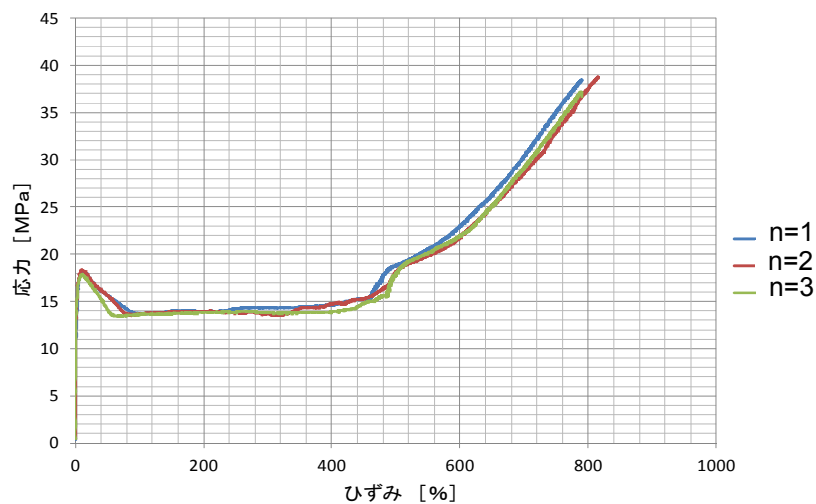


図 4.7 高弾性タイプ (HDPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 2,500 時間)

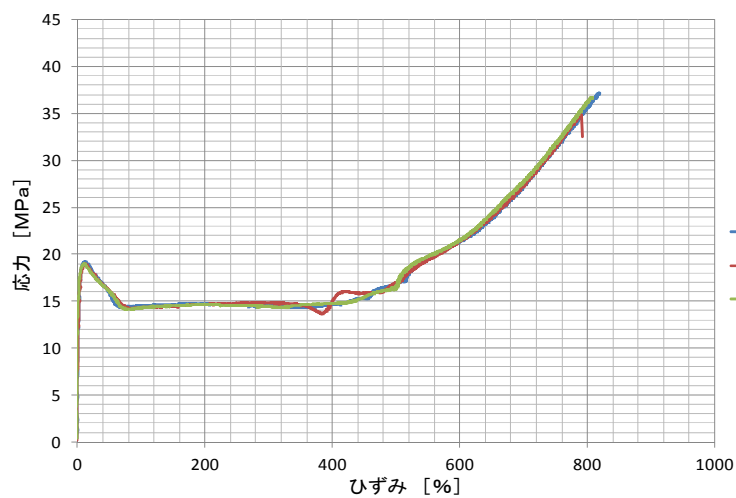


図 4.8 高弾性タイプ (HDPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 5,000 時間)

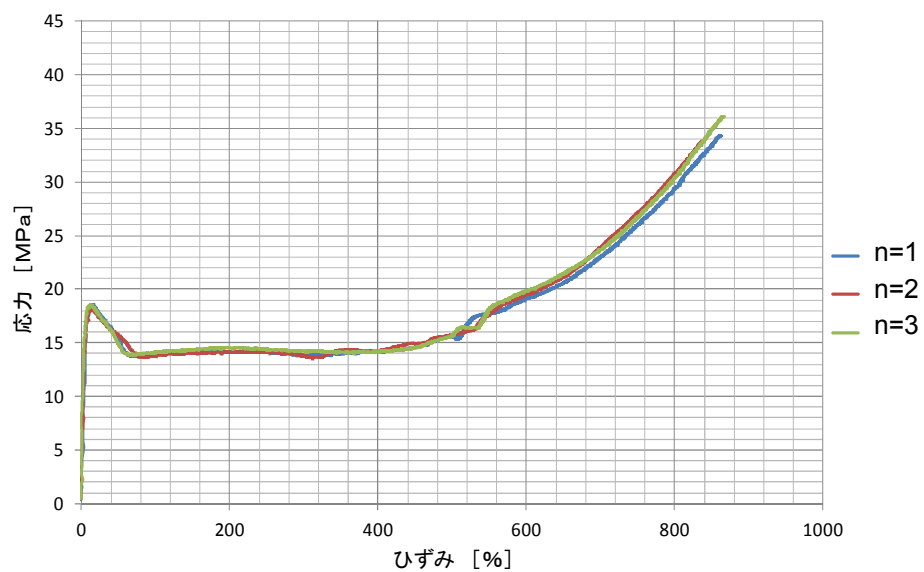


図 4.9 高弾性タイプ (HDPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 10, 000 時間)

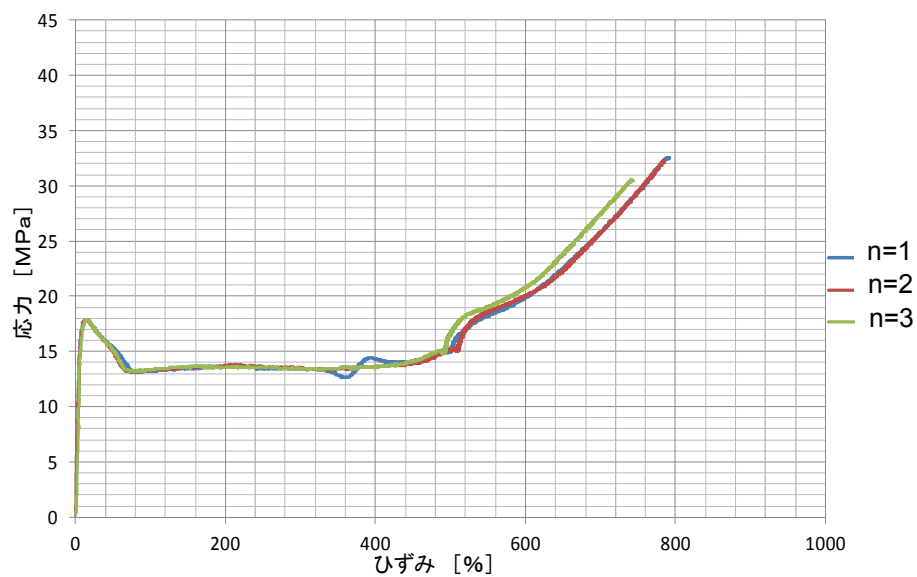


図 4.10 高弾性タイプ (HDPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 15, 000 時間)

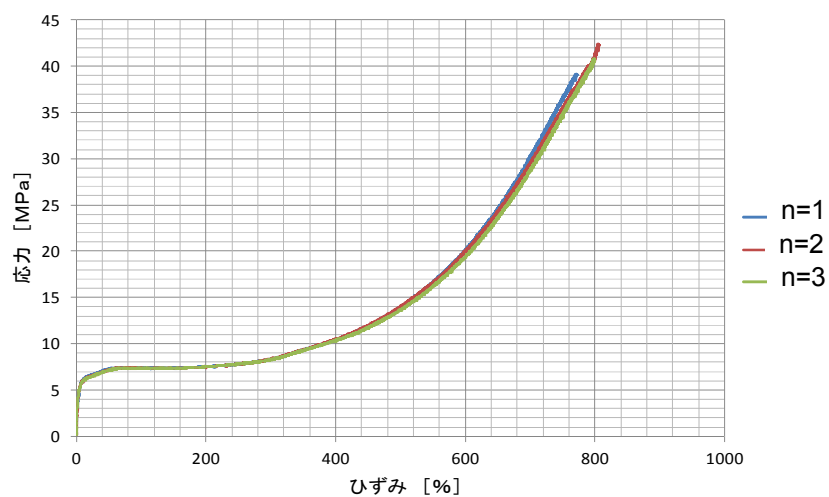


図 4.11 中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 0 時間)

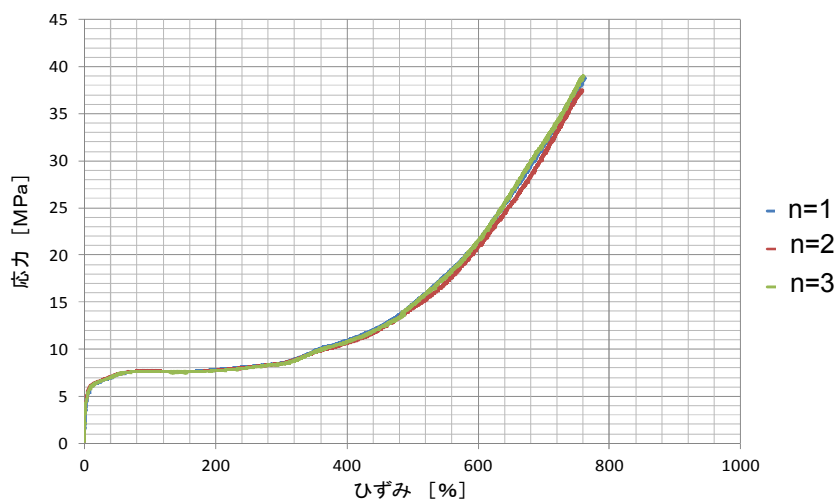


図 4.12 中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 2,500 時間)

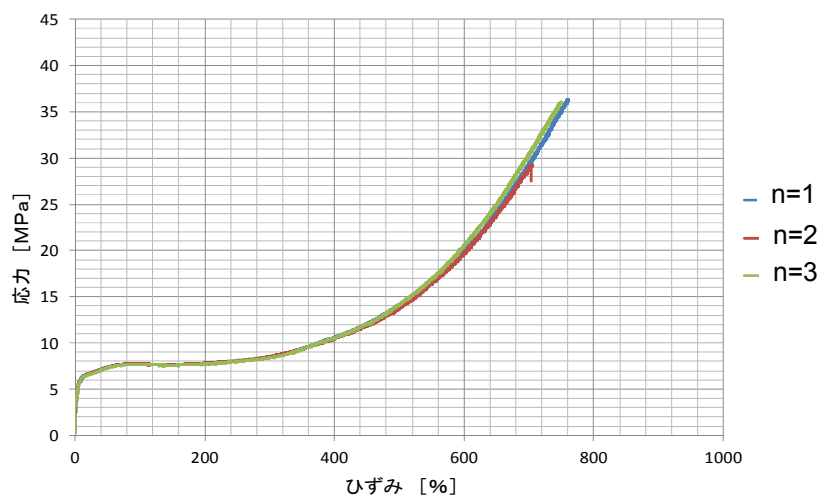


図 4.13 中弾性タイプ(MEPE)応力-ひずみ曲線(暴露 5,000 時間)

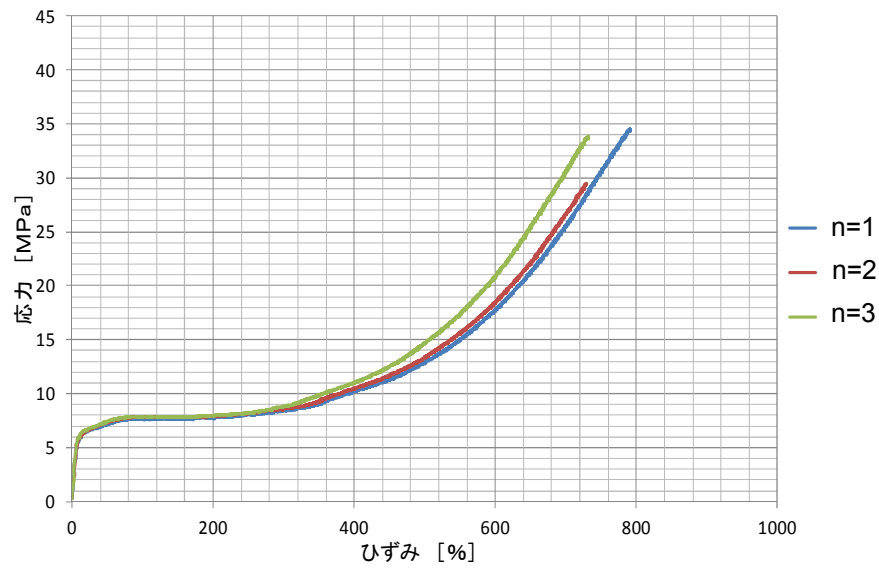


図 4.14 中弾性タイプ (MEPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 10,000 時間)

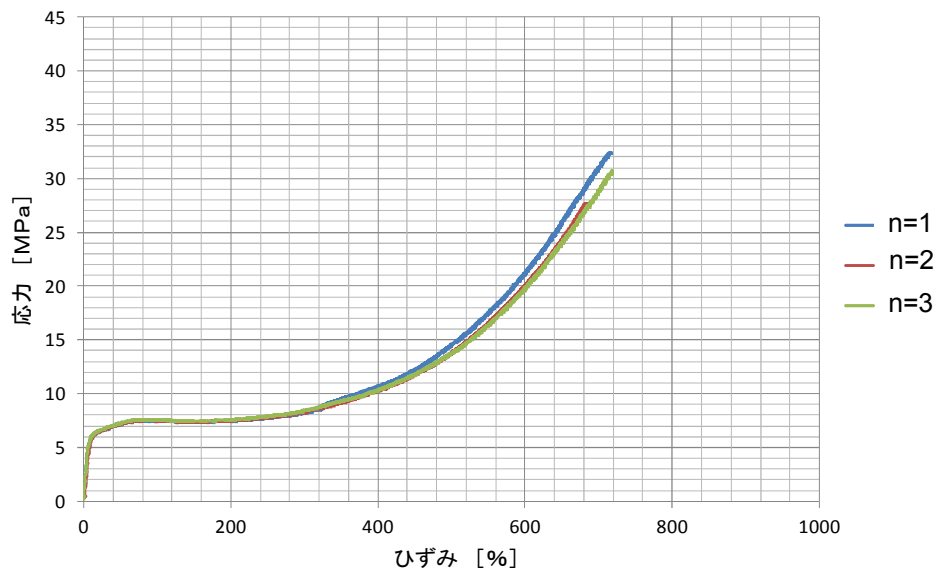


図 4.15 中弾性タイプ (MEPE) 応力-ひずみ曲線 (暴露 15,000 時間)

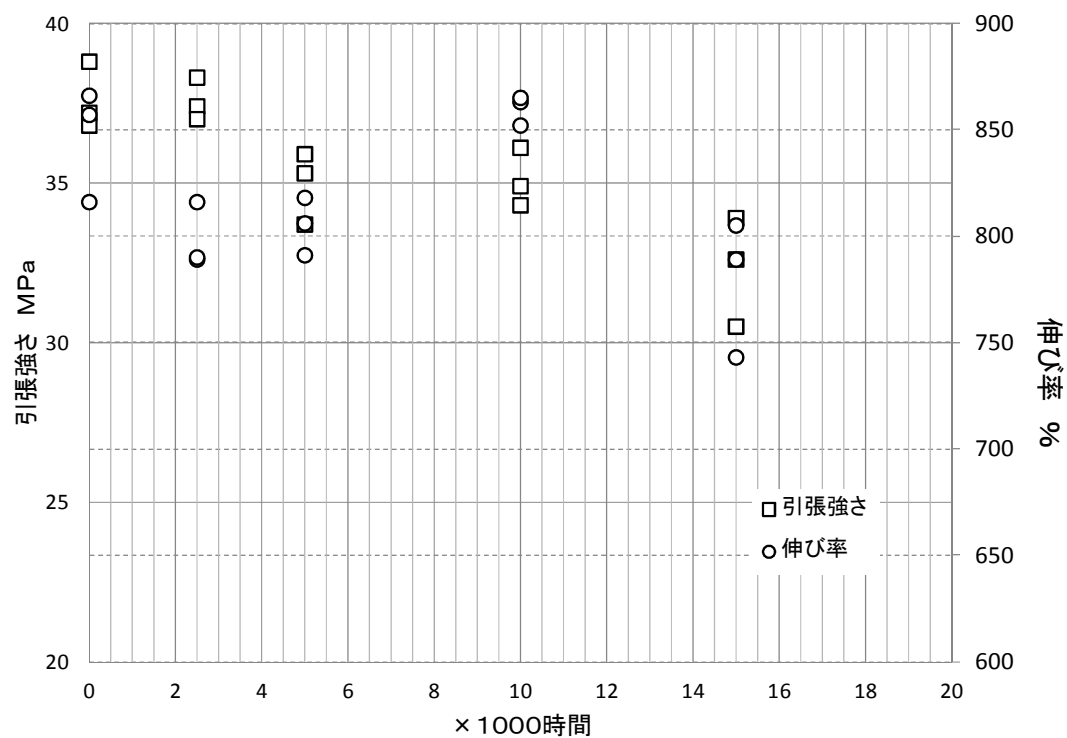


図 4.16 引張強度及び伸び率と促進暴露時間（高弾性タイプ(HDPE)）

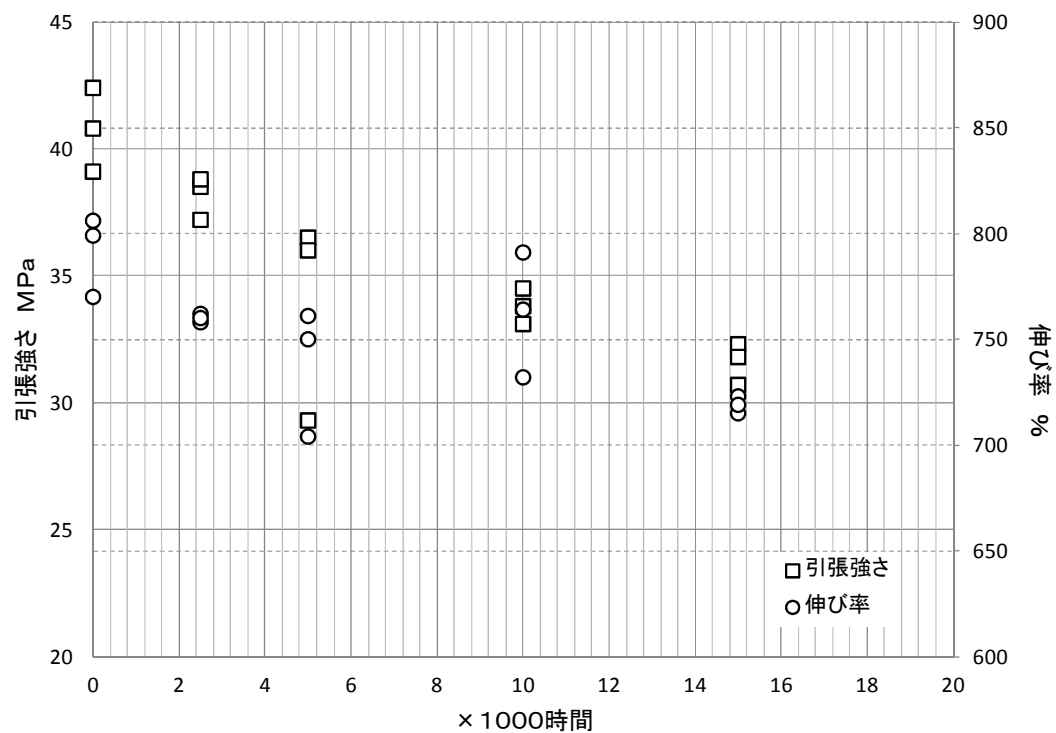


図 4.17 引張強度及び伸び率と促進暴露時間（中弾性タイプ(MEPE)）

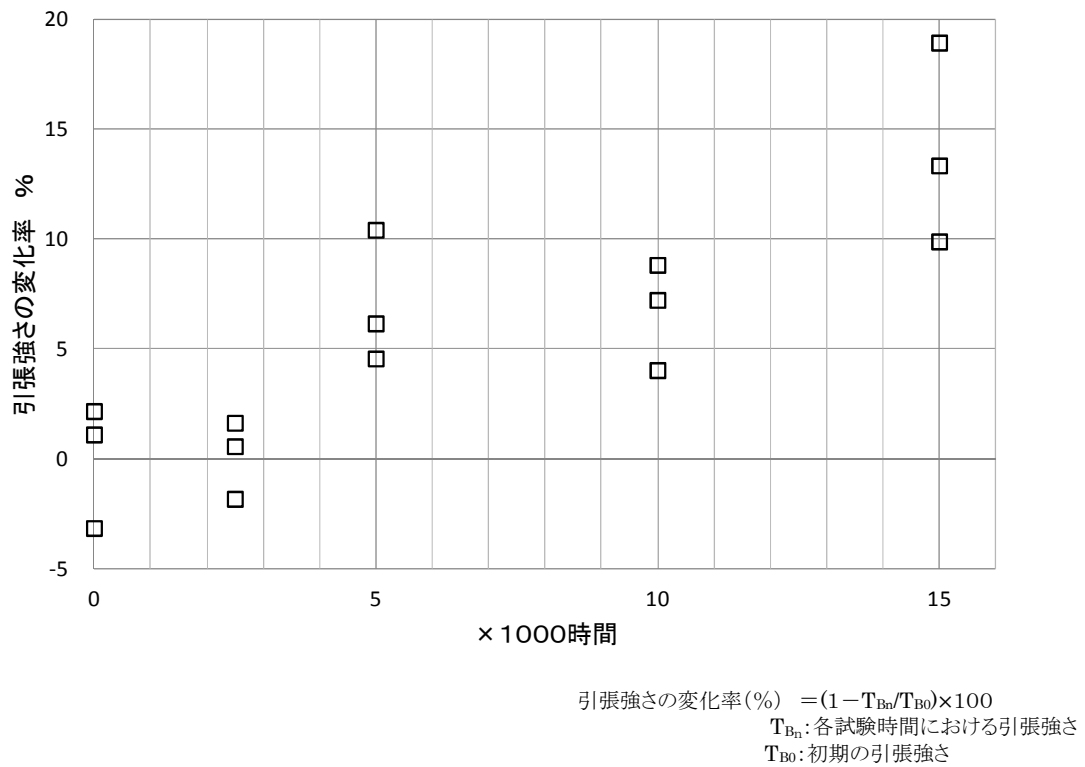


図 4.18 促進暴露時間と引張強度の変化率（高弾性タイプ(HDPE)）

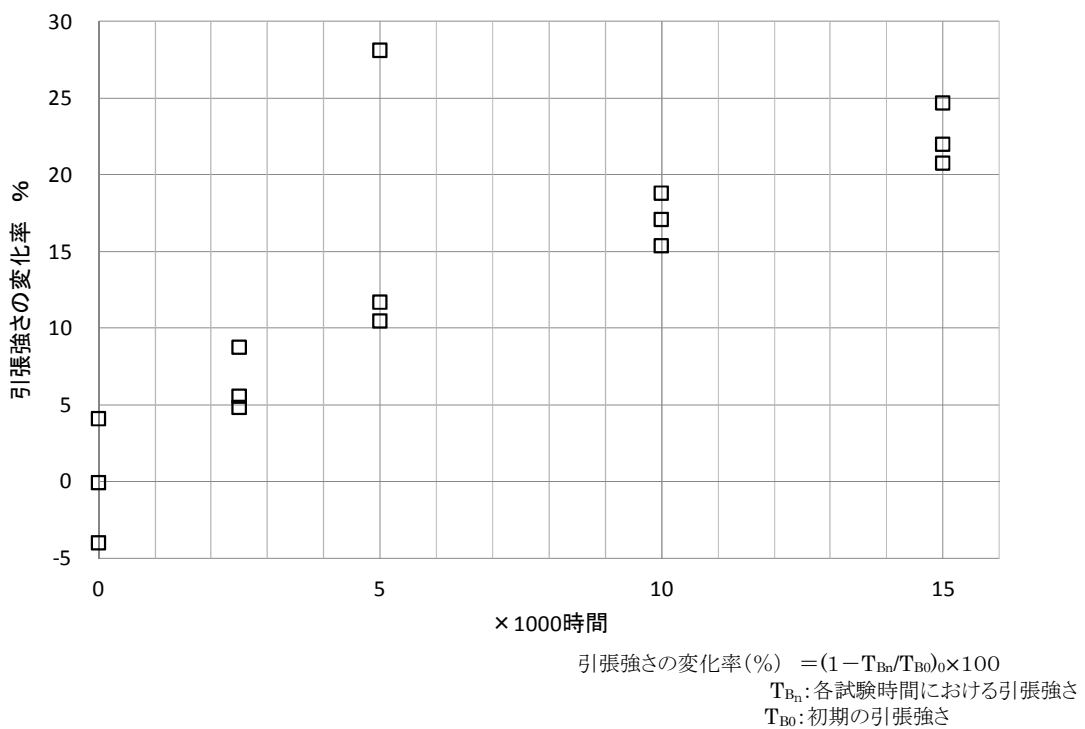


図 4.19 促進暴露時間と引張強度の変化率(中弾性タイプ(MEPE))

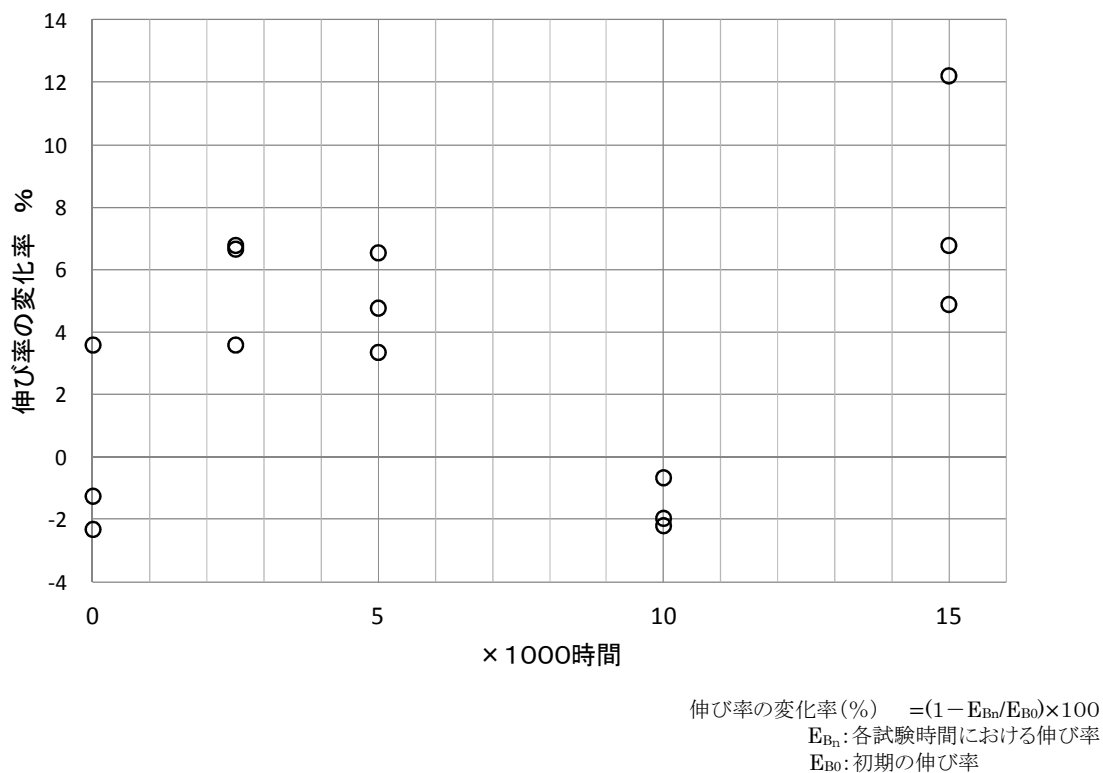


図 4. 20 促進暴露時間と伸び率の変化率(高弾性タイプ(HDPE))

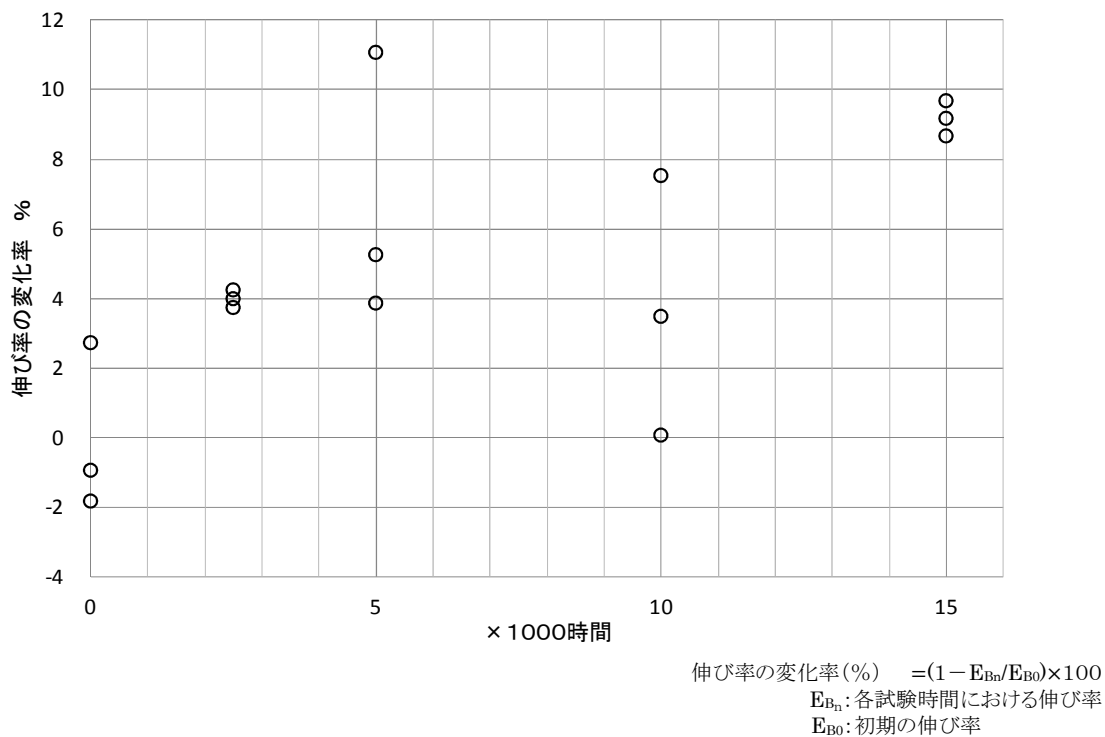


図 4. 21 促進暴露時間と伸び率の変化率(中弾性タイプ(MEPE))

付録 透湿度から透水係数への換算

本試験では、遮水シートの透水係数が非常に小さいことが想定されたため、気相の水蒸気の透過度試験の結果を、ダルシーの法則が成立すると仮定して、以下の方法で、液相の水の透水係数を算出した。

(1)透湿度の計算

透湿度は、JIS Z 1415より1式により求まる。

$$P_{a1}[\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}] = (240 \times m) / (t_i \times s) \quad \cdots \cdots (1 \text{ 式})$$

P_{a1}	: 透湿度 $[\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}]$
s	: 透過面積 $[\text{cm}^2](=0.00283[\text{m}^2])$
t_i	: 試験を行った最後の二つのひょう量間隔の時間の合計 $[\text{h}]$
m	: 試験を行った最後の二つのひょう量間隔の増加質量の合計 $[\text{mg}]$

(2)透水係数への換算

ダルシーの法則は2式で示される。

$$v = k \times i \quad \cdots \cdots (2 \text{ 式})$$

v : みかけの浸透流速 $[\text{cm}/\text{s}]$
 k : 透水係数 $[\text{cm}/\text{s}]$
 i : 動水勾配 $[-]$

$Q = A v$ 、動水勾配 $i = h/t$ (h : 水頭差 $[\text{cm}]$ 、 t : 距離(シート厚み) $[\text{cm}]$)より、2式に代入すると、次式のようになる。

$$\frac{Q}{A} = k \times \frac{h}{t}$$

$$k = \frac{Q}{A} \times \frac{t}{h} \quad \cdots \cdots (3 \text{ 式})$$

ここで、 Q/A を透湿度: P_{a1} 、 h をカップ内外の水蒸気圧差 Δp に置き換えると、 S : 試験温度における飽和蒸気圧 $[\text{gf}/\text{cm}^2]$ 、 R_i : カップ外の湿度 $[\%]$ 、 R_o : カップ内の湿度 $[\%]$ とした場合、 $\Delta p = S \times (R_i - R_o) \times 0.01$ より、それぞれを3式に代入すると、次式のようにになる。なお、これは、「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領 2010改訂版⁵⁾」Ⅱ編5.2資料による。

$$k = P_{a1} \times \frac{t}{S(R_i - R_o) \times 0.01}$$

P_{a1} の単位が、 $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ より、 $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ に換算すると、4式のようにになる。

$$k = P_{a1} \times 10^{-4} \times \frac{1}{86400} \times \frac{t}{S(R_i - R_o) \times 0.01} \quad \cdots \cdots (4 \text{ 式})$$

(3) 飽和水蒸気圧

飽和水蒸気圧は、近似的にTetens(1930)の5式で求まる。

$$S = 6.11 \times 10^{\frac{7.5 \times t}{(t+273.3)}} \dots\dots\dots (5式)$$

S: 温度T℃における飽和蒸気圧[hPa]

試験温度40℃での飽和蒸気圧は、75.22[gf/cm²]である。

T: 温度[℃]

(4) まとめ

透湿度から透水係数への換算は6式により求まる。

$$k = P_{al} \times \frac{t}{S(R_i - R_o)} \times 1.16 \times 10^{-7} \dots\dots\dots (6式)$$

k : 透水係数[cm/s]

t : 遮水シートの厚さ[cm]

S : 試験温度における飽和蒸気圧[gf/cm²]

R_i : カップ外の湿度[%](=90%)

R_o : カップ内の湿度[%](=0%)

P_{al}: 透湿度[g/m²・24h]

以上

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。
(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。
(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎平方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨ	Y	10 ⁻¹	デ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	セ	c
10 ¹⁸	エ	E	10 ⁻³	ミ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピ	p
10 ⁶	メ	M	10 ⁻¹⁵	フェ	f
10 ³	キ	k	10 ⁻¹⁸	ア	a
10 ²	ヘ	h	10 ⁻²¹	ゼ	z
10 ¹	デ	da	10 ⁻²⁴	ヨ	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベール	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

