

A-2 臭化メチル等の環境中挙動の把握と削減・代替技術の開発に関する研究
(2) 臭化メチル等の削減・代替技術の開発と評価に関する研究

② 農耕地で土壌くん蒸に使用される臭化メチルの大気中への放出量の推定と
放出抑制技術の開発研究

研究代表者 農林水産省農業環境技術研究所資材動態部農薬動態科
農薬管理研究室 石井 康雄

農林水産省農業環境技術研究所

資材動態部農薬動態科農薬管理研究室 小原 裕三、稲生 圭哉

(委託先) 高知県農業研究センター 奴田原 誠克、山中 律、市原 勝、
島本 文子

社団法人 日本くん蒸技術協会 高橋 俊巳、小松 仁

社団法人 日本植物防疫協会 藤田 俊一、田代 定良

平成8～10年度合計予算額 45,000千円

(平成10年度予算額 14,926千円)

[要旨]

オゾン層破壊物質に指定された臭化メチルの発生源には、天然起源と人為起源がある。人為起源のうち、土壌くん蒸で使用される臭化メチル(47Gg/1996年)の大気への放出量評価は、全使用量の58%(不確実性の範囲:30~85%)と見積もられている。土壌くん蒸からの大気放出量評価における大きな不確実性の解消と放出抑制技術の開発のため、臭化メチル土壌くん蒸を行い、臭化メチルの放出変動機構を明らかにした。臭化メチルの大気への放出速度は、気温、日射量に大きく影響され、気温が高く、日射量が大きくなるに従い大きくなり、日内変動は13倍に達した。従来のポリエチレンや塩化ビニルフィルム被覆資材を用いた場合、冬季には被覆期間中に臭化メチル処理量(30g/m²)の32.8%、被覆資材除去後11.0%、全体で43.8%が大気へ放出した。夏季には、被覆期間中54.0%、被覆資材除去後9.8%、全体で63.8%が大気へ放出した。これらのことを考慮して従来の評価を再解析した結果、放出量評価は40.6%(不確実性の範囲:28~53%)と推定された。

ガスバリアー性フィルムを用いて土壌くん蒸を行うことで、大気放出量は、被覆期間中7.6%と抑制され、被覆資材撤去後に25.4%、全体で33%となった。また、従来の被覆資材を用いた場合にも、積極的に遮光することで夏季、冬季のいずれにおいても、投薬初期の大気放出を抑制することができ、従来法に比較して日中で約50%の放出速度の抑制効果があった。被覆期間中の放出抑制効果は、夏季約25%、冬季約42%であった。平均気温の低い春先での抑制効果が大きく、被覆資材撤去後まで加味すると夏季12%、冬季22%の放出抑制効果があった。バリアー性被覆資材に、光触媒を担持して臭化メチル分解除去機能を付与し、実証試験を行った結果、大気への放出量は1%以下にまで抑制できた。

バリアー性被覆資材を用いた場合における臭化メチルくん蒸効果は、自然生息土壌病原菌の観察結果から、投薬量を30g/m²から20g/m²に削減しても防除効果の低下は認められず、施用

量は従来の3分の2程度まで削減可能であると考えられた。

[キーワード] 臭化メチル、土壤くん蒸、オゾン層破壊、放出フラックス、放出抑制技術

1. 序

臭化メチルは沸点が低いいため気温の低い冬季でも使用できること、広範囲の土壤病害虫に有効であり、特にウイルス病に対しては他に有効な薬剤がない、薬剤抵抗性が発達し難い等の理由により園芸作物の植付け前の土壤病害防除に長く利用されてきた。1997年9月に開催された第9回モントリオール議定書締約国会議において、臭化メチルのさらなる規制強化の合意がなされた。その内容は、1996年の第7回締約国会議で決定された臭化メチル全廃年度2010年を2005年へ前倒しをすることである。臭化メチルの全廃時期が明示された現時点では、代替防除技術の開発が最優先の問題であるが、臭化メチル土壤くん蒸に完全に代わり得る代替技術、代替薬剤は未だに得られておらず、普及も進んでいない。我国の園芸農業は、土壤病害虫防除を臭化メチルに大きく依存しているため、臭化メチルの使用を全面的に廃止することは、我国の農業に対して多大な影響を与えることが予想される。

他のオゾン層破壊物質と臭化メチルが大きく異なる点は、臭化メチルには海洋(56Gg:5~130Gg)やバイオマスの燃焼(20Gg:10~40Gg)等の大きな自然発生源が存在することである。人為起源のうち、土壤くん蒸で使用される臭化メチルの大気放出量評価は、全使用量(47Gg/1996年)の58%、30~85%の大きな不確実性を持って見積もられている。未だに、このように大きな不確実性の残っている要因として、実測データが限られていること、土壤くん蒸からの放出機構についての知見が不足していることがあげられる。このことから臭化メチルの規制が、どの程度大気中の臭化メチル濃度に反映されるかは、現時点では予測が困難である。臭化メチルによる土壤くん蒸からの大気放出量評価に残されている大きな不確実性の解消が早急に求められている。

代替技術や代替薬剤がある場合には、可能な限り代替技術や代替薬剤を用いることが必要であるが、しかし未だに臭化メチル土壤くん蒸に完全に代わり得る技術・薬剤は得られていない。従来のクロロピクリン、1,3-ジクロロプロペン等の薬剤で代替することも考慮されているが、これら薬剤の使用量増加に伴う新たな問題が懸念されており、長期的な代替薬剤としては認められていない。現時点では、臭化メチル全廃後に農業用不可欠用途と緊急使用の規制除外が適用されることになっている。臭化メチルを使用する場合にも、施用方法の改善によって、自然の臭化メチルサイクルに負荷を与えない程度に、放出量を抑制する技術の開発が早急に望まれている。

欧米等で検討されている放出抑制技術は、機械化土壤注入法を意図したものが殆どであり、日本で一般的に行われている表面施用(コールドガス)法には不適當なものが多い。また、土壤くん蒸に関する日本の特殊な事情を考慮しなければならない。それは、農家圃場の規模が小さいこと、欧米諸国では専門業者が土壤くん蒸を行うのに対して、日本では栽培農家自身が土壤くん蒸作業を行っていることである。農業従事者の高齢化が進むなかにあつては、たとえ優れた効果があつたとしても、これまで以上の労力や負担を強いるような施用量削減・放出量抑制技術は容易には受け入れられず普及しないであろう。そこで、臭化メチル施用方法の改善するために、日本で一般に行われている土壤くん蒸法に適用可能な臭化メチル放出抑制技術の開発を目指し、バリ

ア一性被覆資材の適用及び従来法における積極的な遮光、さらに光触媒を担持した新規被覆資材を試作し、実際の圃場条件下で大気放出量抑制効果の比較検討を行った。

2. 農耕地で土壌くん蒸に使用される臭化メチルの大気放出量推定

2. 1 研究目的

農耕地で土壌くん蒸に使用される臭化メチルの大気放出量を実測をもとに推定すること、放出抑制技術の開発のために放出量変動要因を明らかにする。

2. 2 研究方法

(1) 臭化メチルの使用実態調査

世界と日本における臭化メチルの使用量と使用実態の調査を行った。世界については、UNEP や US.EPA 等から、日本については農林水産省農産園芸局植物防疫課から情報を入手した。さらに、土壌くん蒸からの臭化メチル大気放出量に関する文献調査を行った。

(2) 農耕地で土壌くん蒸に使用される臭化メチルの大気放出量の実測

土壌くん蒸時における臭化メチル大気放出量の測定は、当研究所の畑圃場 (Hydric Hapludand soil) において行った。くん蒸方法は日本で一般的に行われているコールドガス法により、 15m^2 ($2.5\text{m}\times 6\text{m}$) の面積をポリ塩化ビニル (厚さ 0.05mm) もしくはポリエチレン (厚さ 0.05mm) で被覆して、臭化メチルくん蒸剤 500g を処理した。チャンバー (内容積 7.5L) を4個用いた自動ガスクロマトグラフ装置を製作し、クローズドチャンバー法により放出フラックスを測定するとともに被覆下、土壌中 30 、 60 、 90 、 120 、 150cm の深さにおける土壌ガス中臭化メチル濃度の経時変化を測定した。被覆期間は7日間とした。試験終了後に土壌を深さ 150cm まで採取し、臭化メチルの分解生成物の臭素イオン濃度、生成量を測定し、臭化メチルのマスバランスを確認した。

2. 3 結果と考察

(1) 世界と日本における臭化メチルの用途別使用量の推移を表1、表2に示す。日本における使用量は、1994年をピークに減少しているが、土壌くん蒸用途が約69%にのぼり、この用途における対策が重要であることがわかる。使用対象作物としては、メロン、スイカ、ピーマン、イチゴ、トマト、キュウリ、花き類、ナス等である。

(2) 臭化メチル土壌くん蒸における臭化メチルの大気放出フラックスの推移を図1に、日射量、気温、地温等を図2に示す。臭化メチル土壌くん蒸からの大気放出量評価が大きく異なる要因としては、土壌水分量、pH、有機物含量、処理法などが従来考えられていた。同一圃場において繰り返し放出量の測定を行ったところ、臭化メチルの大気放出速度の変動要因として気温、日射の寄与が大きいことが明らかになった。放出フラックスは、最大で1.3倍の日内変動が観測され、測定には時間分解能が要求されること、積算放出量の差は投薬時における気象条件の要因が大きかった。土壌ガス中臭化メチル濃度推移を図3に、くん蒸処理前後の土壌深度別の臭素イオン (Br^-) 濃度を図4に、臭化メチルのマスバランスを表3に示す。

(3) これまで、臭化メチル土壌くん蒸からの放出量評価において、被覆期間中の放出速度の日内変動についてはほとんど考慮されておらず、昼間の測定によるものが多かった。また、臭化メチルの分解生成物の土壌中臭素イオン濃度の増加による放出量評価においても、土壌の不均一性のために不確実性が大きいままであった。放出フラックスの日内変動の主な要因は、被覆資材の

臭化メチル透過速度の温度依存性と被覆資材による温室効果であった。これらの要因を用いて放出フラックスを再解析した結果、実測値と良くあった(図1)。これまでに報告されたデータ(表4)を当時の気象データと日内変動を考慮して再解析した結果、従来の放出量評価は3分の1程度小さくなり従来の評価は過大に評価されていたと考える。

3. バリアー性フィルムを用いた大気放出抑制技術の検討

3. 1 研究目的

臭化メチルガスに対してバリアー性の優れた被覆資材を用いれば、くん蒸期間中の被覆資材を通しての大気への放出を抑制することができる。同時に、施用量の削減と土壌中での分解促進により大気への放出量を一層抑制することができる。このバリアー性フィルム(VIFs)には、バリアー層にポリアミド、EVOH(エチレン-ビニルアルコール共重合体)、PET(ポリエチレンテレフタレート)、PVDC(ポリ塩化ビニリデン)等を用いたフィルムがある。しかし、農業用被覆資材として現在入手可能なものは、ポリアミド、EVOHに限られる。これらのVIFsを用いた土壌表面施用法における大気放出量抑制効果の評価は、これまでなされていないので、従来法と比較して放出抑制の程度を検討する。

3. 2 研究方法

(1) 土壌くん蒸実験は、当研究所圃場(Hydric Hapludand soil)で行った。15 m² (2.5×6 m)の面積を高分子フィルムで被覆し、500 g (32.8 g/m²)の臭化メチルをコールドガス法により処理した。バリアー性フィルムとしてOrgalloy (elf atochem:PA 0.05 mm)を用いて、大気放出量抑制評価実験を行った。臭化メチル放出フラックスの測定は、クローズドチャンバー法により行い、先述の2. 2に従った。

(2) 被覆資材の材質と防除効果の評価

臭化メチル処理量は30及び20 g/m²、被覆フィルムにはPE(0.07 mm)及びナイロン系積層フィルム(Bromotec:PA 0.03 mm)を使用し、ダイコン種子を20粒ずつガーゼで包み、各処理区に深さ0 cmから25 cmまで5 cm間隔に埋設した。被覆資材除去後直ちに種子を回収し、発芽粒数、発芽状況を観察した。また、小型育苗箱に各処理区の土壌を詰めキュウリ種子40粒を播種し、発病の状況を観察した。

3. 3 結果

(1) バリアー性フィルムを用いることで、被覆資材を通しての臭化メチルの大気放出は、十分に抑制することができた(図5)。しかし、処理区周囲土壌表面、すなわち、被覆フィルムの埋設場所から大きな放出が観察された。また、被覆資材撤去により大きな放出が観察され、しだいに減少した。

(2) 被覆期間中処理量に対する放出割合は、被覆資材を通して1.4%、被覆面周囲の土壌表面から6.2%の計7.6%であった。被覆資材撤去に伴い大きな放出が観測され、全期間を通して計33%が大気へ放出した(図6)。

(4) 自然生息の土壌病原菌を用いた試験では、PAの場合には臭化メチル処理量を30から20g/m²に削減しても防除効果の低下は認められなかった。しかし、従来使用されているPEの場合には処理量の削減による防除効果の低下が顕著であった(表5)。

3. 4 考察

土壌くん蒸剤の効果は、一般には濃度と時間の積が指標とされるが、十分な防除効果を得るためには投薬初期時に臭化メチルの閾値濃度 (shock effect) が必要である。このためバリアー性被覆資材を用いた場合でも、大幅な薬量削減は困難であると考えられている。臭化メチルクん蒸時にバリアー性被覆資材を用いることで、処理薬量を 20 g /m² (現在の 2/3) までに削減できる可能性があることが分かった。このことについては、さらに事例を増やして土壌病害虫防除効果の検証が必要である。

バリアー性被覆資材を用いた放出抑制法は、被覆資材を通しての放出をよく抑制したが、通常の被覆 7 日間では、当初の期待程土壌中における臭化メチルの分解は進まず、全体で 33 % が大気中へ放出した。バリアー性被覆資材を用いた場合にも、十分な大気放出量抑制効果を得るためには、施用量の削減と可能な限りの被覆期間の延長が必要である。

4. 従来被覆資材を用いた場合における積極的な遮光による臭化メチル大気放出量抑制効果の検討

4. 1 研究目的

日本で一般的に用いられている土壌くん蒸法に適用可能な臭化メチルの大気放出量抑制技術の開発を目指し、従来のポリエチレンやポリ塩化ビニル等の被覆資材を用いた場合において、積極的に遮光を行うことによる大気放出量抑制効果を実際の圃場条件下で比較検討する。

4. 2 研究方法

遮光に用いる被覆資材を光透過率測定と圃場条件下での温度上昇抑制効果を測定することで選択した。遮光による大気放出量抑制評価実験は、9 月 (夏季) と 3 月 (冬季) に行った。

4. 3 結果

(1) 遮光に用いる被覆資材としてスクリーニングを行った中で、高密度 PE 繊維不織布 (Tyvek®, DuPont) が最も温度上昇抑制効果があり、日中においても被覆資材下の温度は外気温と同程度であった (図 7)。これは極細 PE 繊維が日射を拡散反射するためであり、光透過率は 300~2500 nm でほぼ 0 % であった。この不織布自体には、ガスの保持能力はない。

(2) 遮光による放出抑制実験は、夏季 (図 8)、冬季 (図 9) のどちらにおいても、投薬初期時の大きな放出が抑制でき、従来法に比較して日中では約 50% の放出速度の抑制効果があった。被覆期間中の抑制効果は、夏季約 25 %、冬季約 42 % で、平均気温の低い春先での抑制効果が大きく、被覆除去後も加味すると夏季 12 %、冬季 22 % であった (表 6)。

4. 4 考察

従来のポリエチレン等の被覆資材を用いた場合でも、投薬初期時の放出を抑制することで土壌中への拡散を促し、大気放出量を抑制できた。これは、臭化メチルの透過速度は被覆資材両側の化学ポテンシャル (臭化メチル濃度) の差に依存し、またアレニウス型の温度依存性を示すためである。すなわち、遮光により被覆下の温度上昇を抑制することで、透過速度と急激な気化による臭化メチル濃度の上昇を抑制し放出速度を抑制することができた。このことにより、土壌中で分解を促し放出量が削減できた。

バリアー性被覆資材を用いた放出削減法も有効な方法であるが、従来のポリエチレン等の被覆資材を用いた場合にもくん蒸開始を夕方または曇りにするとか、積極的に遮光することによりある程度の大気放出量抑制が可能であった。本実験で用いた遮光シートは、農業用資材として入手

可能で、機械的強度、防汚性に優れ、繰り返し利用が可能であり、廃棄に関する問題も小さいと考える。よって、日本型の臭化メチル土壌くん蒸法を行う場合には、上記技術は、臭化メチル大気放出量抑制のための選択肢の一つとして考慮できるものである。

5. 光触媒含有積層シートを用いた臭化メチル大気放出量抑制効果の検討

5. 1 研究目的

バリアー性被覆資材の適用による施用量削減と大気中への放出量抑制技術が検討され、徐々に普及しつつある。しかし、バリアー性被覆資材を用いた場合にも、前述のように薬効の面で施用量削減があまり期待できず、また被覆資材撤去にともなう大きな放出等の問題点が残っている。このバリアー性被覆資材に、さらに光触媒を担持することによって臭化メチル分解除去機能を付与し、大気への放出量抑制能力を検討した。

5. 2 研究方法

上部よりバリアー層、光触媒層、下部支持層よりなる積層シートを作成した(図10)。上部バリアー層は、臭化メチルのバリアー性と紫外線(400 nm以下)の透過性を測定することにより選定した。二酸化チタン光触媒(石原産業:ST-01)を下部支持層の高密度ポリエチレン繊維製不織シートに約3g/m²で塗布後、バリアー性フィルムと加熱圧着することにより一体化した。この積層シートをセパラブルガラスチャンバー(有効照射直径10 cm、上部400 ml、下部280 ml)の中央部に設置し、下部チャンバーに蒸留水1 ml、臭化メチルガスを2.5ml導入後、AM1.5G基準太陽光に近似させたソーラーシュミレーターにより光照射を行なった。臭化メチルと分解生成物をフーリエ変換赤外光音響分光計とガスクロマトグラフ等により分析した。試作した積層シートを用いて本研究試験圃場(処理面積:15 m²)において、実証試験を行なった。

5. 3 結果

(1)バリアー層としては、フッ素系樹脂(0.05 mm)とEVOH(0.06 mm)が優れていたが、加工性の面でEVOHを用いた。試験開始時、臭化メチル濃度は約6000 ppmであったが、照射48時間後には数ppm程度にまで低下し、分解生成物は二酸化炭素と臭化水素が確認された(図11)。5回までの繰り返し使用によって分解能力の低下が認められ、これは二酸化チタン粒子の脱落のためであった(図12)。二酸化チタンの固定化に熱可塑性樹脂(PE)粉体をバインダーとして用いた場合、熱可塑性樹脂の分解が優先され、分解能力が劣る結果となった。二酸化チタンにPTFE微粒子を10%加え固定化することで二酸化チタン粒子の脱落が防止でき、分解能力の低下が防止できた(図14)。

(2)圃場における実証試験を行った際の、くん蒸期間中被覆資材下臭化メチルと二酸化炭素濃度の推移を示す(図14)。臭化メチル濃度は、投薬初期には約20,000ppmあったものが被覆期間を通常より長くしたこともあり、被覆資材撤去直前には1ppm以下にまで減少した。これまでのバリアー性被覆資材のみを用いた実験では、被覆資材撤去直前には、まだ数千ppm前後の臭化メチルガスが残っていることから十分に放出効果が得られたものとする。臭化メチルのマスバランスは、土壌中と被覆資材中の臭素イオン濃度増加量を測定し検証した。この光触媒担持積層シートを用いることで、臭化メチルの大気放出量比は1%以下にまで低減化が可能であった。

(3)被覆資材下の臭化メチル濃度測定結果から、十分な土壌病害虫防除効果が得られるものと

推測できる。

6. 結論

日本型の臭化メチル土壌くん蒸（土壌表面施用）法を行う場合においても、臭化メチルの施用管理方法の改善によって、大気への放出量抑制が十分に可能であることが分かった。バリアー性被覆資材を用いた放出量削減技術も有効な方法であるが、従来のポリエチレン等の被覆資材を用いた場合にもくん蒸開始を夕方または曇りにするとか、積極的に遮光することによりある程度の放出量抑制が可能であった。被覆資材にバリアー性と臭化メチル分解除去機能を持たせることでさらに放出量抑制効果が得られた。本実験で用いた資材類は、農業用資材としてまた一般に入手可能なものであり、機械的強度、防汚性に優れ、繰り返し利用が可能であり、廃棄に関する問題も小さく、施用量削減、放出抑制技術の選択肢の一つとして十分に考慮できるものである。

7. 引用文献

なし

[研究発表の状況]

(1) 口頭発表

- ①Y. Kobara, K. Inao, Y. Ishii : 9th International Congress of Pesticide Chemistry, London, UK (1998)
“Reassessment and reducing techniques of methyl bromide emission from soil fumigation”
- ②小原裕三、稲生圭哉、石井康雄：日本化学会第75秋季年会（1998）
「農耕地で土壌くん蒸される臭化メチルの二酸化チタン含有積層シートを用いた大気放出抑制技術の検討」
- ③Y. Kobara, K. Inao, Y. Ishii : 1998 Annual International Research Conference of Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, Orlando, USA (1998)
“Reducing emission of methyl bromide from soil fumigation: effect of a sheet containing titanium dioxide”
- ④小原裕三、稲生圭哉、石井康雄：日本農薬学会第23回大会（1999）
「二酸化チタン光触媒含有積層シートを用いた土壌くん蒸用臭化メチルの大気放出抑制の試み」
- ⑤島本文子、市原勝、田中 茂：日本農薬学会第23回大会（1999）
「土壌くん蒸した臭化メチルの大気中へのガス放出量の抑制（第2報）」

(2) 論文発表

- ①小原裕三：農業技術、53,7,289-294(1998)
「臭化メチルとオゾン層破壊」
- ②小原裕三：農業技術体系、追録第10号,8-15((1999)
「臭化メチルの施用量削減・放出量抑制技術」

表1 全世界の臭化メチルの用途別消費量 (t)

	土壌消毒用	ポストハーベスト (検疫処理用)	構造物および 車両などの殺虫用	化学工業用 中間体	*全消費量
1984	30,408	9,001	2,166	3,997	45,572
1985	33,976	7,533	2,257	4,507	48,273
1986	36,090	8,332	2,029	4,004	50,455
1987	41,349	8,708	2,923	2,710	55,690
1988	45,131	8,028	3,647	3,804	60,610
1989	47,542	8,919	3,613	2,496	62,570
1990	51,306	8,411	3,234	3,693	66,644
1991	55,079	10,290	1,817	4,071	71,257
1992	57,407	9,855	2,264	2,648	72,174
1993	na	na	na	na	72,658
1994	na	na	na	na	73,731
1995	na	na	na	na	66,778
1996	47,896	13,948	3,993	2,531	68,424

Methyl Bromide Global Coalition 1994 より引用、UNEP,1995, ICF 1996 and 1997

注 *) 生果実、野菜などのくん蒸は含まれていない。

na) これら年度について詳細なデータは得られなかった。

表2 日本の臭化メチル用途別使用量 (t)

	土壌消毒用	検疫処理用	その他	合計
1990	6,136	2,910	121	9,167
1991	6,269	2,848	219	9,336
1992	6,594	2,646	121	9,361
1993	7,241	2,712	204	10,157
1994	7,781	2,703	426	10,911
1995	5,742	2,448	523	8,713
1996	5,559	2,198	431	8,188
1997	5,470	2,030	408	7,906

農林水産省植物防疫課調べ

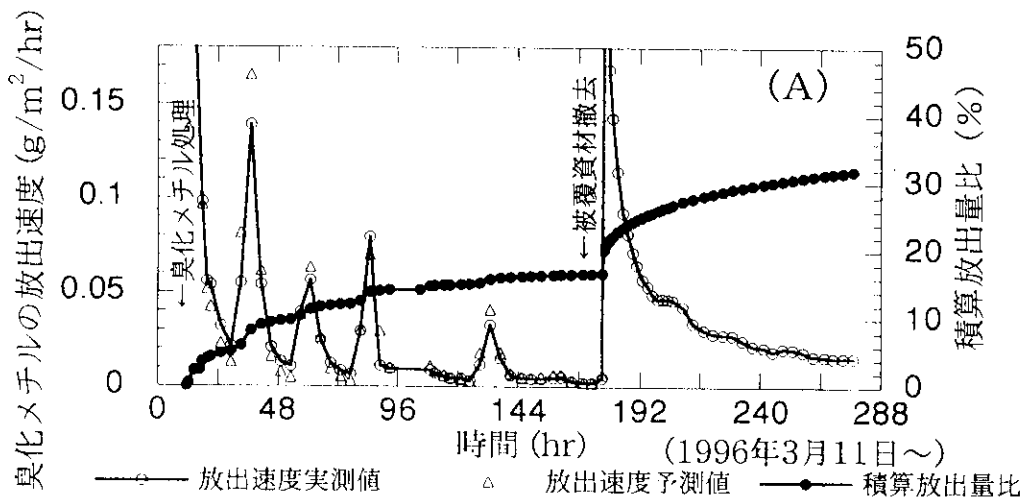


図1A 土壌くん蒸した臭化メチルの放出速度積算放出量の推移

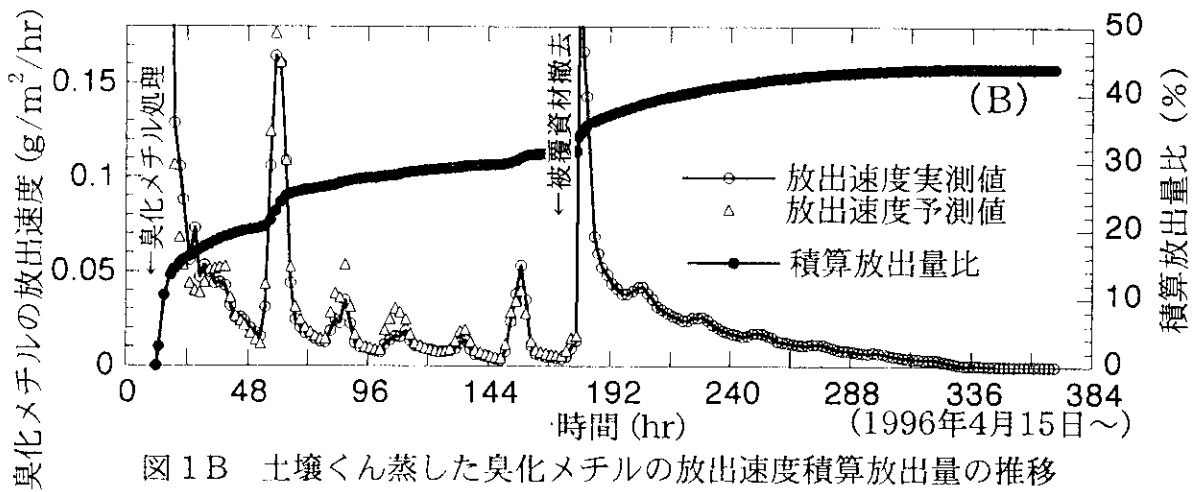


図1B 土壌くん蒸した臭化メチルの放出速度積算放出量の推移

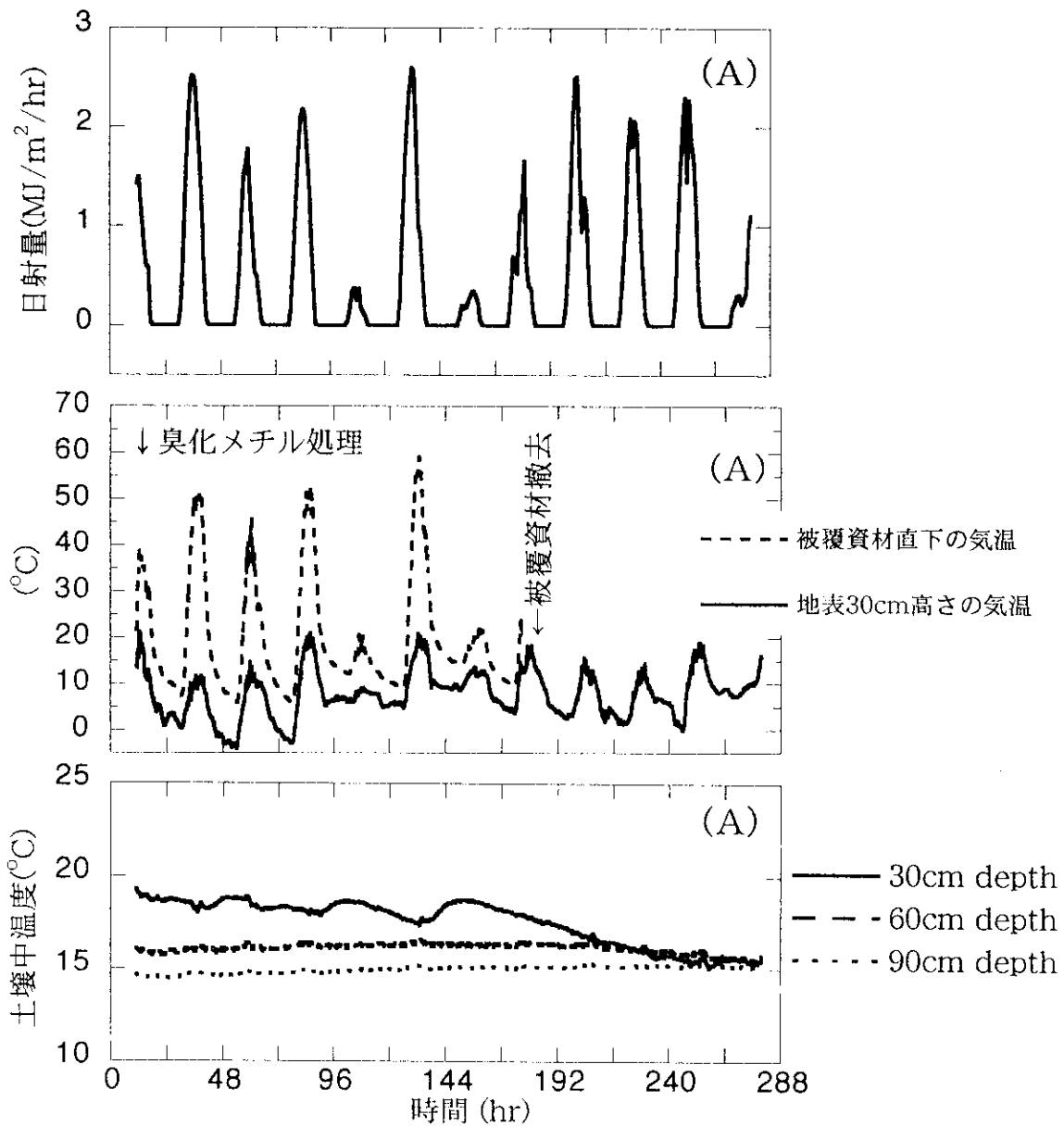


図2A 試験期間中の日射量、外気温、地温などの気象条件

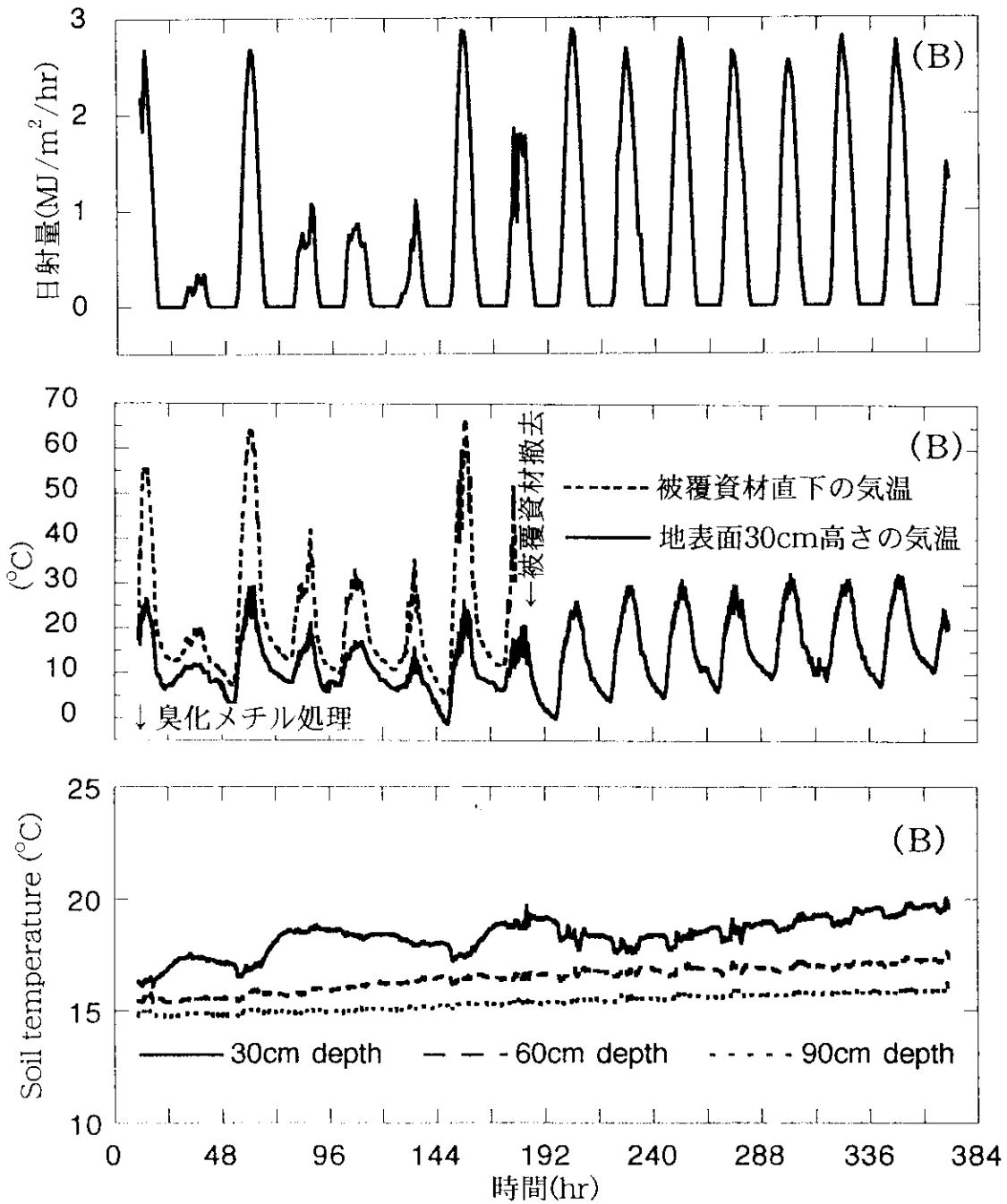


図2B 試験期間中の日射量、外気温、土温などの気象条件

表3 臭化メチルによる土壌くん蒸処理におけるマスバランス

	A (%)	B (%)
くん蒸処理圃場 (被覆フィルム) からの放出	33.5	43.8
土壌中における分解	59.7	44.9
くん蒸処理周辺土壌表面からの放出	3.4	5.8
合計	96.9	94.5

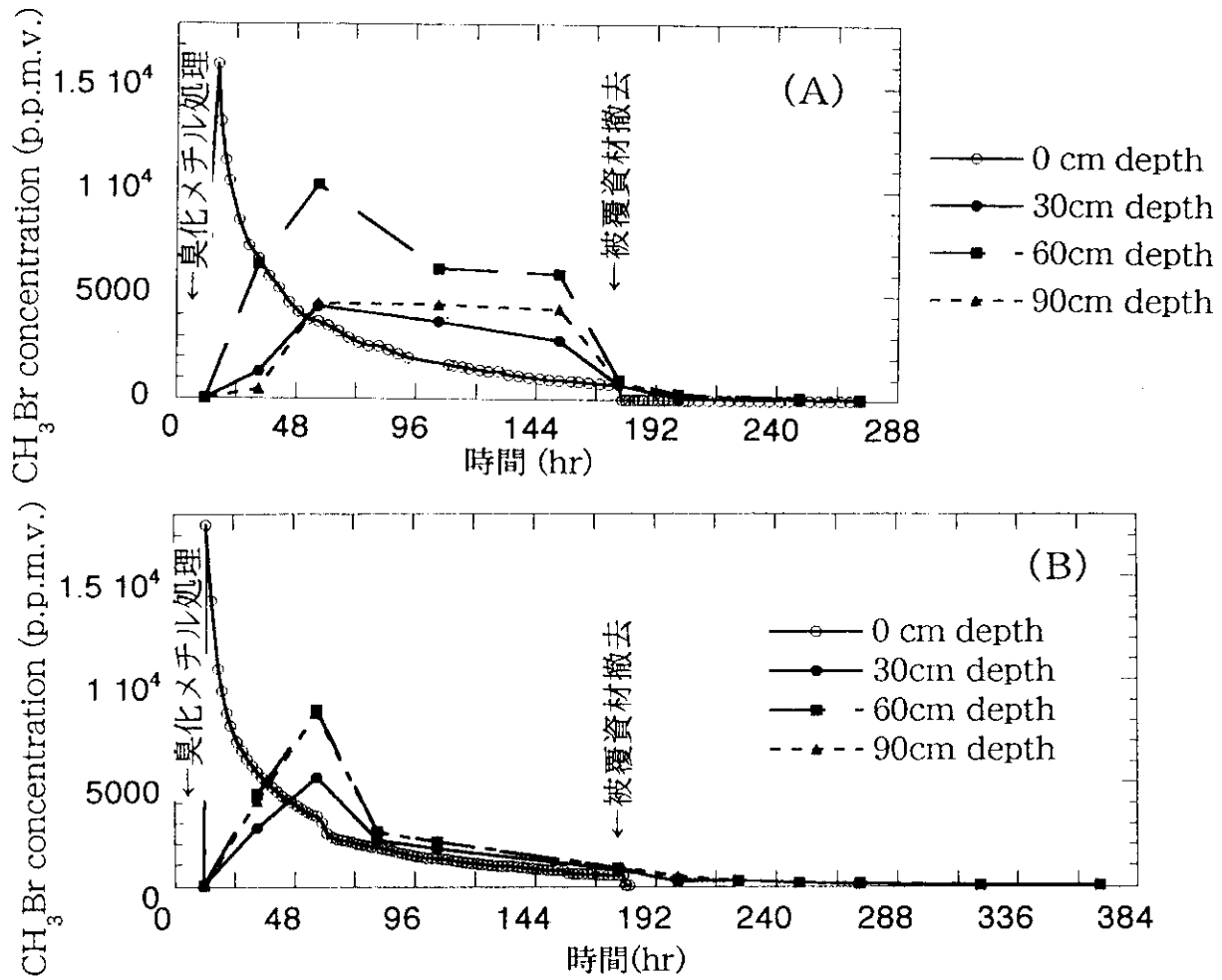


図3 土壤ガス中の臭化メチル濃度の推移

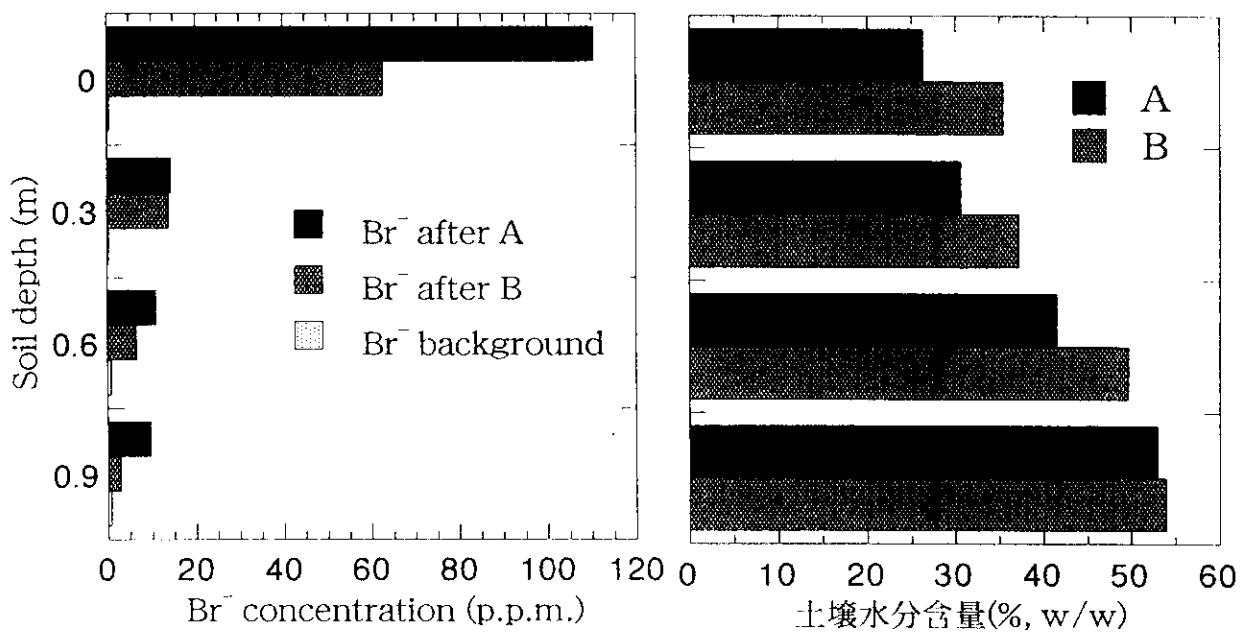


図4 臭化メチル土壌くん蒸処理後の土壤中臭素イオン (Br⁻) 濃度(生土当たり)と土壤水分含量

表4 臭化メチル土壌くん蒸からの大気放出量測定結果の最近の概要

Method Used	Injection Depth (cm)	Surface Cover	Sampling Intervals	Field Size (ha)	CH ₃ Br Mass Applied (kg/ha)	Estimated Volatile Losses (kg/ha)	Percent CH ₃ Br Applied (%)	Mass Balance (%)	Source
Chamber	25-30	PE	14	17	256	256-298	87	-----	Yagi et al. (1993, 1995)
Chamber	25-30	PE	11	1	242	110	34	104	
ADM	25-30	Bare	31	6	199	177	89	-----	Majewski et al. (1995)
ADM	25-30	PE	33 ^a	4	262	84	32	-----	
Br	25-30	PE	2	3.5	241	148(±47) ^c	61	-----	Yates et al. (1996a-c)
ADM ^d	25-30	PE	105	3.5	241	150(±91)	62	101 ^b	
TPS ^e	25-30	PE	105	3.5	241	145(±29)	60	99	
IHF ^f	25-30	PE	105	3.5	241	168(±6)	70	108	
Chamber	25-30	PE	107	3.5	241	133(±49)	59	97	
Br	69	Bare	2	3.5	324	65(±9)	21	-----	Yates et al. (1997)
ADM	69	Bare	164	3.5	324	15(±4)	5	83	
TPS	69	Bare	164	3.5	324	23	2	81	
IHF	69	Bare	164	3.5	324	6(±1)	2	81	
Chamber	69	Bare	173	3.5	324	16(±10)	5	84	
Chamber	25-30	PE		n/a,(site 1)			66	n/a	Williams et al. (1997)
Chamber	25-30	PE		n/a,(site 2)			27, 44	n/a	
Chamber	25-30	PE		n/a,(site 3)			34	n/a	
Chamber	0	PVC	ca. 150	0.0015	328	105	34	97	Kobara et al.
Chamber	0	PVC	ca. 165	0.0015	328	144	44	95	(submitting)
Chamber	0	PE	ca. 336	0.0015	328	144	43.8	101	
Chamber	0	PE	ca. 200	0.0015	328	209	63.8	99	

^a: In addition, 12 samples were estimated. ^b: Measured Mass Remaining 0.26kg. ^c: Values in parentheses are standard deviations. ^d: Aerodynamic method. ^e: Theoretical profile shape. ^f: Integrated horizontal flux.

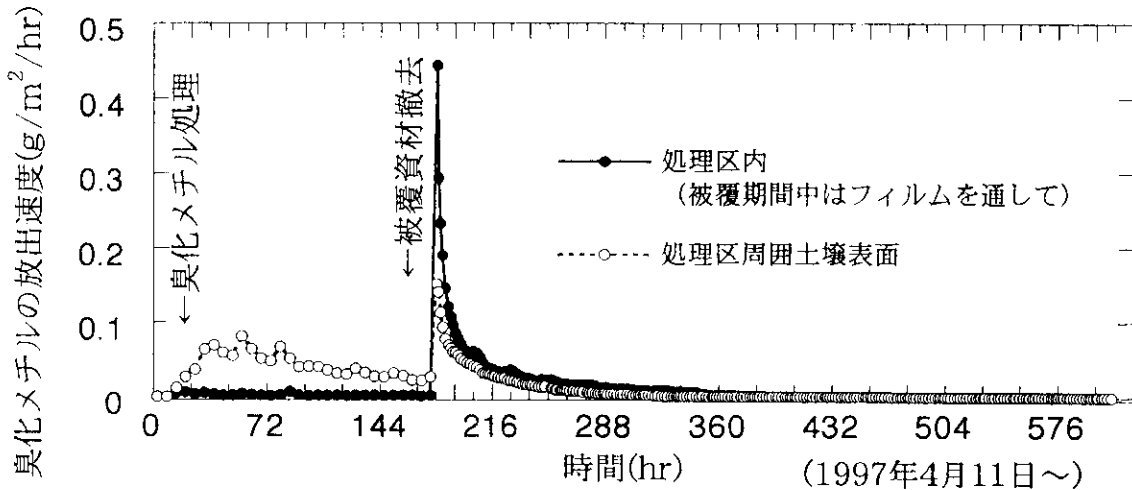


図5 バリヤー性被覆資材を用いた場合の臭化メチルの放出速度の例

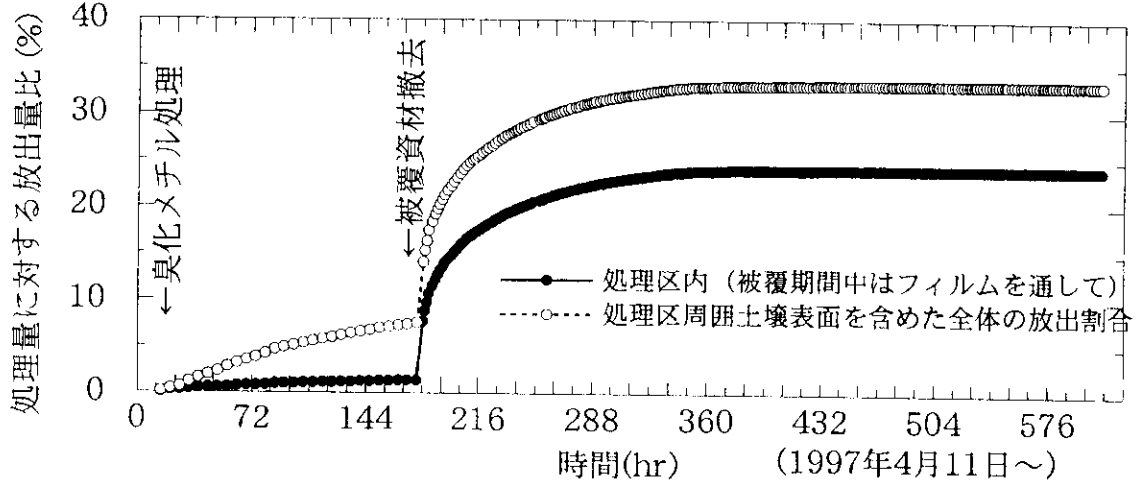


図6 バリヤー性被覆資材を用いた場合の臭化メチルの積算放出割合の例

表5 *バリヤー性フィルム(PA)を用いた場合の臭化メチル土壌消毒効果の評価

キュウリ苗立枯病を例に (日本植物防疫協会牛久圍場)

処理方法	投薬量(g/m ²)	発芽率 (%)	出芽後立枯苗率 (%)	健全苗率 (%)
被覆フィルム				
PE	30	97.5	0.0	97.5
厚さ 0.07 mm	20	41.3	13.8	27.5
*PA	30	97.5	0.0	97.5
厚さ 0.03 mm	20	100	0.0	100
無処理		11.3	1.3	10.0

注：播種粒数 40、データは全て2区の平均値を示す

表6 遮光による臭化メチル放出量抑制効果

被覆方法	大気への放出割合		土壌中での分解 (%)	マスバランス合計 (%)
	被覆期間 (%)	全期間 (%)		
4月 Orgalloy	7.6	33.2	70.3	103.5
3月 *PE	32.8	43.8	57.5	101.3
冬季 PE+Tyvek	19.0	34.2	64.0	98.2
9月 PE	54.0	63.8	34.8	98.6
夏季 PE+Tyvek	40.4	56.2	37.4	93.6

*PE:polyethylene(厚さ 0.05mm)

- PE(0.05 mm)
- シルバーポリトウ(PE/Al/PE, 0.05 mm)
- ◇— PVC(0.05 mm)
- PE(防滴処理, 0.05 mm)
- Tyvek+PE(0.05 mm)
- ×— 黒色寒冷紗(51% cut) + PE(0.05 mm)

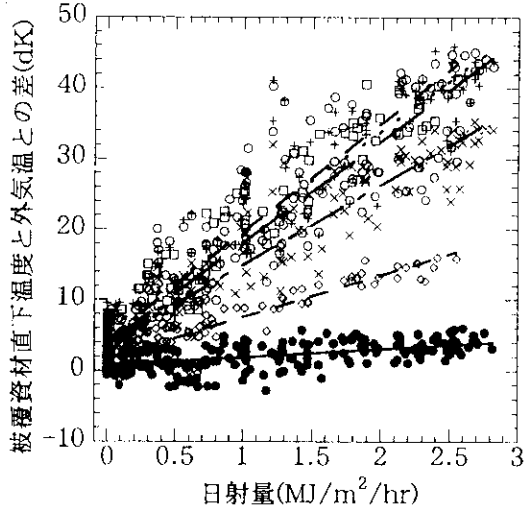


図7 遮光シートの温度上昇抑制効果

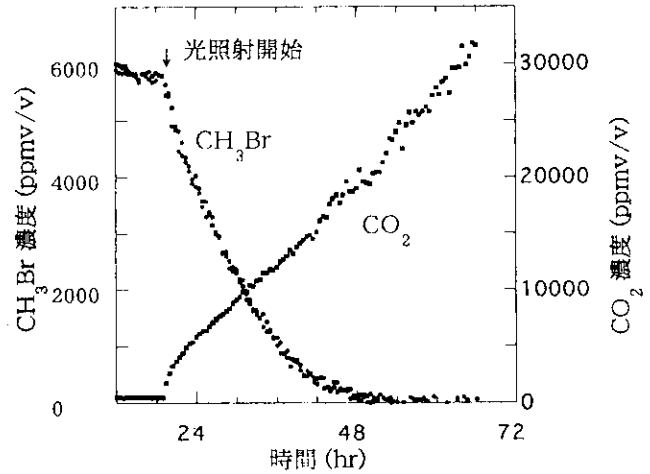


図11 光触媒担持被覆資材による臭化メチルの分解例(バインダー無、下部支持層有)

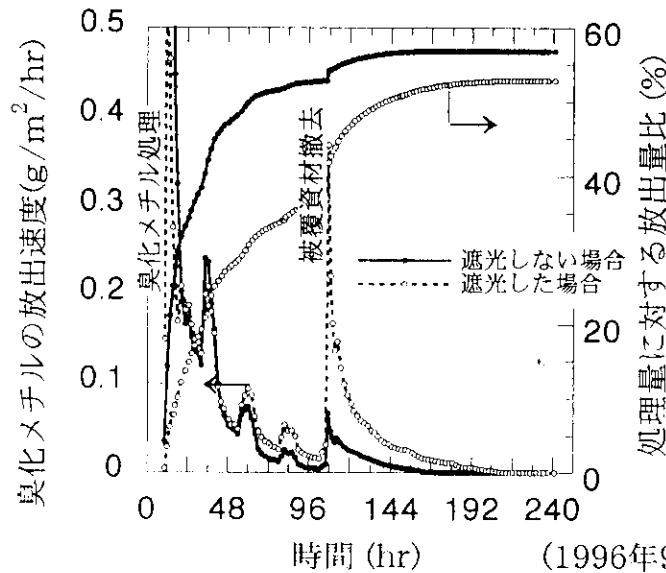


図8 土壌くん蒸した臭化メチル放出速度と積算放出割合の推移 (1996年9月2日～)

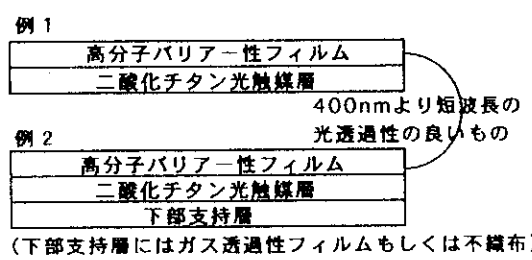


図10 作成した光触媒担持積層被覆シートの構造例 (下部支持層にはガス透過性フィルムもしくは不織布)

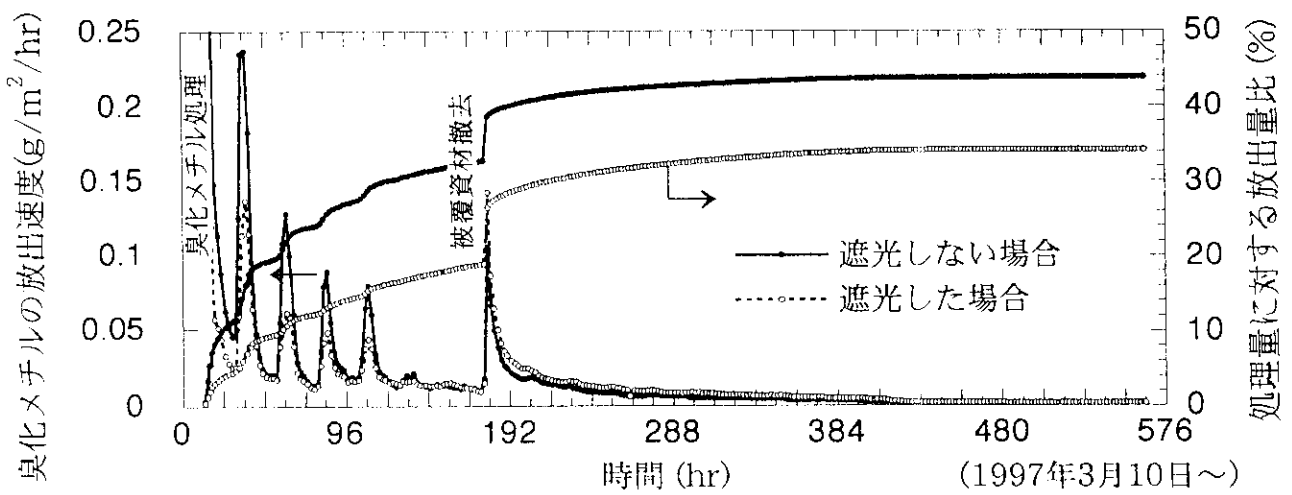


図9 土壌くん蒸した臭化メチルの放出速度と積算放出量割合の推移 (1997年3月10日～)

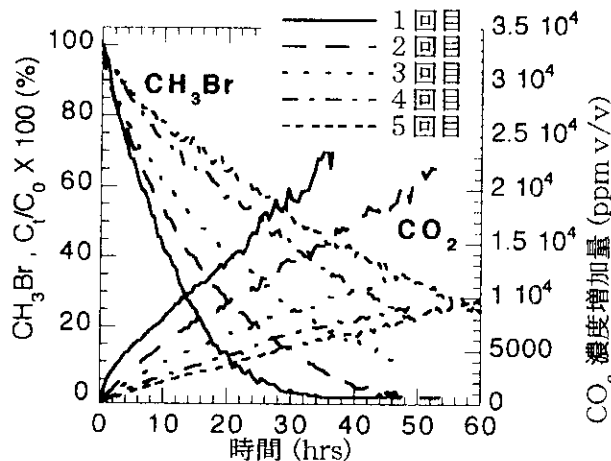


図12 光触媒担持フィルムの性能評価実験例
(TiO₂, 約 3 g/m², バインダー無, 下部支持層有)
C₀ = 約 6900 ppm v/v

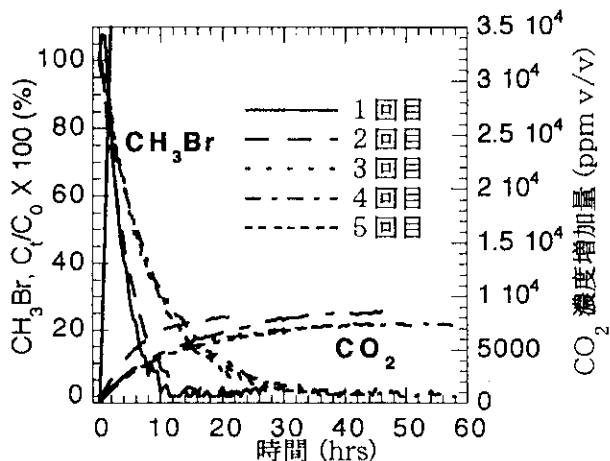


図13 光触媒担持フィルムの性能評価実験例
(TiO₂ にバインダーとしてPTFE粒子10% 添加,
下部支持層無)
C₀ = 約 6300 ppm v/v

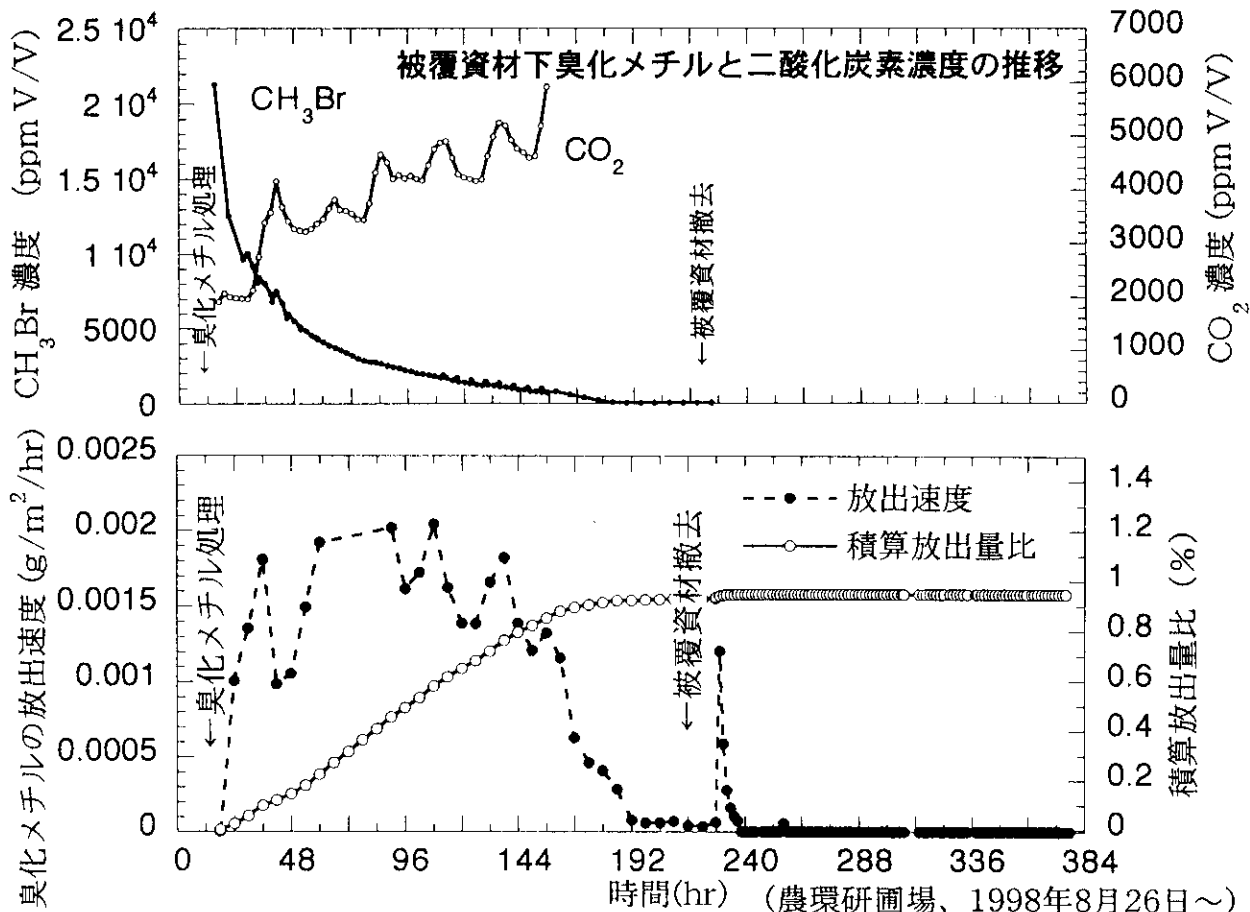


図14 光触媒担持積層シートを用いた放出抑制実験結果