



表2 臭化メチル代替薬剤等地域適用  
拡大業で取り扱われた薬剤

薬剤名	H13	H14	H15	H16	H17
	2001	2002	2003	2004	2005
クロルピクリン	●	●			
N C S	●	●	●		
キルパー	●	●	●	●	●
ソイリーン	●	●	●	●	●
ネマトリン	●		●	●	●
ダゾメット		●		●	●
ダブルストッパー			●		
クロルピクリン錠剤				●	
クロピクフロー				●	●

表3 土壌くん蒸剤の病害虫・雑草に対する効果

薬剤名	糸状菌	細菌	ウイルス	線虫	土壌昆虫	雑草
臭化メチル	○	○	○	○	○	○
クロルピクリン	○	○	×	○	○	○
M I T C	○	○	×	○	○	○
カーバム	○	○	×	○	○	○
ダゾメット	○	○	×	○	○	○
D - D	×	×	×	○	○	×
ヨウ化メチル	○	○	×	○	?	○

○：効果あり ×：効果なし ?：効果不明

き定植前の圃場準備が一貫して利用できるオキサミル剤、ホスチアゼート剤、カズサホス剤などの粒剤への依存度が高い。

以下、個別に剤の特徴や新しい処理技術について紹介する。

## 2 臭化メチル代替薬剤の種類

### 2.1 クロルピクリン剤

#### 2.1.1 クロルピクリンくん蒸剤

(99.5%製剤：クロルピクリン, 80%製剤：クロピク80, ドロクロール, ドジョウピクリン)

クロルピクリンの含有率が99.5%と80%の製剤があり、土壌消毒剤の中でも最も効果の安定性が高く、作物・病害虫登録への緩和処置もあって、野菜、畑作物、特用作物、花卉類など幅広い作物の土壌病害虫、畑地一年生雑草へ適用拡大されており、臭化メチル代替剤の中心である。クロルピクリンは、その特有の刺激臭、催涙性から処理作業時の身体的負担も大きかった。とりわけ処理機の回転時における液垂れが問題とされてきたが、近年新たに開発・市販されてきた機種には液垂れ防止装置が装備されている。本剤専用の処理機として、マルチ畦内土壌消毒機、自走式全面マルチ消毒機(図1)も開発されている。

クロルピクリン剤は地温の低い場合には処理期間が長くなり、冬季にはくん蒸期間が一月以上かかることもある。そのため、冬季の短期間処理でも有効な臭化メチ



図1 自走式全面マルチ消毒機

ルによって成り立っていた周年作付体系は維持が難しくなっている。宮崎県では、暖房機を利用して冬季加温ハウスでのくん蒸期間の短縮技術確立試験を実施しており、くん蒸期間を2週間程度に短縮できる知見を得ている<sup>1)</sup>。

#### 2.1.2 クロルピクリンテープ剤(クロピクテープ)

本剤はクロルピクリンを易分解性の天然成分にしみこませ、水溶性フィルムで包みテープ状にした製剤で、クロルピクリンの処理時の作業者暴露を少なくし、簡便に処理できるよう開発された剤である。

現在登録されているものは90cm間隔で深さ15cmに埋設するタイプのクロルピクリンを55%含む製剤(クロピクテープ)で(図2)、本剤専用の施用機も開発されている。なお地表面設置タイプの99.5%製剤は登録が失効した。

#### 2.1.3 クロルピクリン錠剤

本剤の開発経緯は比較的古く、1983年、農林水産省の補助事業であった新土壌くん蒸剤製剤技術確立の中でクロルピクリンの固形化が取り上げられた。当時は封入方法に改良の余地があったが、現在の製剤は1錠ごとにガス不透過性・水溶性のフィルムで真空包装しており、施用時の催涙性や刺激臭が少なく、ハウス内でも安心して使用できる。専用の処理機も開発されている(図3,4)。

テープ剤、錠剤ともにコスト面で普及を難しくしている面はあるが、通常クロルピクリンくん蒸剤を機械で処理した場合に生じる、枕地などのデッドスペースの補完処理や床土消毒に、本剤やテープ剤の利用は簡便かつ有効である。

#### 2.1.4 クロルピクリン乳剤(クロピクフロー)

本剤もテープ剤、錠剤と同様に、クロルピクリンの最も大きな処理時の障壁であった刺激臭から作業者を解放するために開発された新製剤である。クロルピクリンの乳剤化により水中に分散させ、灌水チューブにより処理する新しいタイプのクロルピクリン剤で、有効成分量は80%である(図5)。灌水チューブにより土壌表面に処理された薬剤は有効成分のクロルピクリンが水から分離



図2 クロロピクリンテープ剤



図3 クロロピクリン錠剤



図4 クロロピクリン錠剤専用の処理機

してガス化し、土壤中に拡散して効果を発揮する。

以下に処理方法の手順を示す（図6）。

- ① 前作の残渣を取り除き、なるべく深く土壤を耕起する。
- ② 灌水装置とチューブ（90～120間隔）を設置し、水漏れをチェック、水量を調節した後、ポリエチレンフィルム等で被覆する。
- ③ 液肥混合機を使用し、本剤を処理用の水に混入させて処理する。処理後、さらに水を流しチューブ配管内を洗浄する。
- ④ 所定期間経過後、被覆を除去して、ガス抜けを確認して播種、定植する。

2004年10月までにトマト、メロン、イチゴ、ナス、ピーマン、ホウレンソウ、キュウリ、スイカの計8作物に登録を取得しており、主に施設野菜を中心に開発を進めてきたが、今後は露地物も視野に入れ実用化試験を実施している。また、近年急速に普及の進んだイチゴの高設栽培に適用するため、処理量や環境影響などの検討も行われている。

## 2.2 D-D 剤（92%製剤：テロン92，DC油剤，D-D92，55%製剤：D-D）

あえてここで記載するまでもないほど良く知られた殺線虫剤で、土壤くん蒸剤の中で国内出荷量は最も多い。

## 2.3 クロロピクリン・D-D 剤（ソイリオン，ダブルストッパー）

クロロピクリンとD-Dの混合剤としては、ネマクロベン油剤があったが、最近、相次いで両有効成分の混合比率を変えたソイリオンとダブルストッパーが登場した（表4）。両者の相互の働きで高い防除効果が期待でき、使用圃場での防除対象の重要度に合わせた使い分けが鍵となる。ソイリオンは新規配合製剤によりクロロピクリンの刺激臭が低減されている。



図5 クロロピクリン乳剤

## 2.4 クロロピクリン・DICP 剤（ルーテクト，ルートガード）

クロロピクリンに線虫や野鼠に効果のあるDICP（ネマモール）を組み合わせた混合剤で、組み合わせる有効成分量のちがいによりルートテクト（CP 25%，DICP 70%）とルートガード（CP 60%，DICP 20%）がある。使用方法はいずれも1穴2～3mの注入処理で、カンショなどではマルチ畦内処理としても使用できる。

表4 クロロピクリン・D-D 剤の有効成分量

薬剤名	初登録年	CP	D-D
ネマクロベン油剤	1973	50%	25%
ソイリオン	1999	40%	52%
ダブルストッパー	2002	35%	60%

## 2.5 メチルイソチオシアネート油剤

### メチルイソチオシアネート・D-D 油剤

1976年、MITC 20%・D-D 40%を混合したディ・トラペックス油剤が登録され、その後1982年にMITC 20%単剤のトラペックスサイド油剤が登場した。MITCはクロロピクリンに比べ刺激臭が比較的少なく、周辺作物に対する影響も少ない。作業機によるロータリー耕耘、薬液注入、マルチ被覆の一貫作業も可能である（図7）。

## 2.6 カーバム系剤

NCS、キルパーの有効成分は、処理されると土壤粒子上で速やかにMITCに酸化分解し、土壤中の気層や水



図6 クロロピクリン乳剤の処理風景

中：水量を調節し、水漏れの無いことを確認して被覆する。  
 中：施設の外から液肥混合機により薬剤処理する。  
 右：灌水チューブからの薬液放出状況



図7 トラクター牽引作業機によるディ  
 ・トラペックス油剤の処理同時マルチ

層に拡散する。土壌中の水分含量が少ない場合には気層への分配が多くなるため、ガスは気層から大気中への揮散が激しくなる。かといって土壌水分が多すぎると処理後のガス抜きが不十分になり、薬害の発生を招きかねない。このような性質から、いずれの剤も薬剤処理と被覆のタイムラグを埋めるため、処理方法や処理機械が検討されてきた。

### 2.6.1 カーバムアンモニウム剤 (NCS)

本剤は1957年に登録されたジチオカーバメート系の化合物で、土壌中で速やかに分解してMITCとなり、このガスまたは水溶液が土壌中に拡散して効果を発揮する。処理方法としては以下の3方法があるが、対象作物、対象病害により登録が異なるので注意が必要である。

- ① 土壌注入法  
30 cm間隔千鳥に1穴3~5m，被覆する。
- ② 散布混和法  
原液(30/10a)を水で3倍(タバコ疫病・黒根病・立枯病に対しては2~4倍)に希釈して圃場に散布し、直ちに混和、被覆する。この方法にはトラクター装着の専用散布機が開発されている。
- ③ 灌水チューブ法  
予め灌水チューブを設置し、ビニール等で被覆する。原液30を水とともに10 a当たり水量が3,000になるよう灌水注入する。  
上記以外にも現在、苗床や床土に対する処理方法について以下の検討が進められている。

- ④ ジョウロ散布による苗床処理。
- ⑤ ジョウロまたは無加圧散布機による育苗床土処理。

### 2.6.2 カーバムナトリウム塩剤 (キルパー)

本剤は1993年に登録された。作用機作はNCSとほぼ同様である。本剤も安定した効果を得るためには均一な薬剤施用が不可欠であるため、ドーム内灌水処理法やマルチ被覆内に設置したT字の処理器具を一定の速度でたぐり寄せる方法など、ユニークな処理方法も検討されてきた。現在登録のある処理方法は以下のとおりである。

- ① 土壌注入法  
1穴当たり4~6m (40~60/10a)，被覆。
- ② 線状土壌注入法  
原液注入処理の効果をより高く、安定して発揮させるために考え出された方法で、注入間隔20 cm深さ15~20 cmで土壌中に線状に注入処理する。本法のために、キルパー専用のテラー牽引、トラクター牽引式の注入機が開発されている(図8)。
- ③ 散布混和法  
原液または希釈液を圃場に散布し、直ちに混和、被覆する。この方法にはトラクター装着の専用散布機が開発されている。
- ④ 灌水チューブ法  
予め灌水チューブを設置し、ビニール等で被覆する。原液30を水30~100 lに希釈して灌水注入する(図9)。

NCS、キルパーは、クロロピクリン剤やD-D剤と化学反応を起こし発熱するので、これらを含む剤を使用した処理機は十分に洗浄・乾燥した後でない限りNCS、キルパーは使用できない。

## 2.7 ダゾメット粉粒剤

### (ガスタード微粒剤, パスアミド微粒剤)

本剤も土壌中で分解してMITCとなり効果を示す。ガス化速度が他剤に比べ比較的遅く、微粒剤のため扱いやすい。散布方法も手(手袋着用)で散布する以外に、袋に工夫が凝らしてあったり、専用の散粒器も販売されており、大面積の場合にはトラクター装着のライムソー



図8 キルパー専用機（試作機）による線状土壌注入処理



図9 灌水チューブ法によるキルパー処理

が利用できる（図10）。

本剤は、土壌水分が少なすぎると効果ムラを生じ、逆に多すぎるとガス抜けが悪くなるため、その圃場（土壌）に合った適当な土壌湿度を把握することが肝要である。散布・土壌混和後には、水封またはシート被覆が必要である。本剤の線虫効果を補うために次項で述べる粒剤タイプの殺線虫剤との体系処理も有効である。また太陽熱消毒との併用で安定した高い効果を示すことが確認されている。

## 2.8 殺線虫粒剤

ホスチアゼート粒剤（ネマトリンエース）

カズサホス粒剤（ラグビーMC）

オキサミル粒剤（パイデートL）

ホスチアゼートとカズサホスは有機リン系、オキサミルはカーバメイト系で、いずれも非くん蒸型の殺線虫剤である。各剤にそれぞれ活性面で特徴はあるが、いずれの剤も土壌中に均一に分散させることが安定した薬効を引き出すポイントとなる。

トマト、キュウリなどの作期の長い栽培体系では、栽培後期の線虫被害が問題となる場合が多い。これに対処するため、これら殺線虫剤をクロルピクリンくん蒸剤やダゾメット剤と併用又は体系処理し、効果の持続期間をより長くして被害を回避する検討が行われており、多くの場所で地域適応試験が実施されている。

## 2.9 現在開発中の代替薬剤

### 2.9.1 ヨウ化メチル剤

アリスタライフサイエンス(株)がTMZ-9911のコード番号で開発中の新規土壌くん蒸剤で、臭化メチル剤と同様の処理方法での登録を目指している。すなわち耕起した圃場を予めトンネル用資材とポリエチレンフィルム等で空間を持たせて被覆し、缶体に充填された薬剤を金具で開缶し処理する（図11, 12）。

本剤の有効成分であるヨウ化メチルは沸点が42.5℃（臭化メチルは4℃）と比較的高いため、ガス化にやや長い時間を要する。臭化メチルでは、外気温の低下する

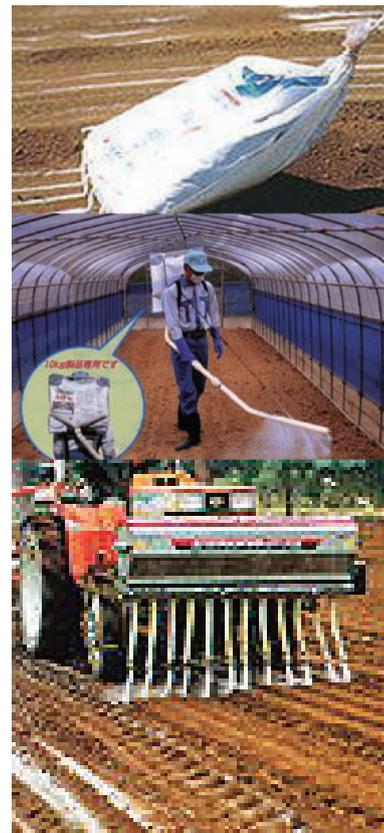


図10 タゾメット剤の処理方法  
上：袋に工夫が施されている  
中：背負式の専用散布器  
下：トラクター装着ライムソワー（フロントタイプ）での散布作業

夕方の開缶処理を推奨していたが、この剤の場合には、ガス化速度を速めるため晴天時の日中に処理する方が望ましい。

これまでの実用化試験の中で、ナス、ピーマン、スイカ、イチゴなどで定植後に薬害の発症が報告されているが、処理後の土壌中のヨウ化メチルのガス濃度を経時的に測定した結果、被覆除去後は比較的速やかに低下することが分かっている。土壌中で何らかのヨウ化物に変化し、それが植物の根の生育に影響を及ぼしているものと推察される。従って処理後の耕起は、ガス抜きというよりも

薬害の原因物質の分散化としての意味合いが大きい。現在、トマト青枯病、萎凋病、ネコブセンチュウおよびクリのクリシギゾウムシ、クリミガについて登録申請を準備中である。

### 2.9.2 MITC・液化炭酸剤（エコヒューム）

エコヒューム（MITC 30%・液化炭酸 70%）は、木材検疫用くん蒸剤としては既に登録認可されているが、現在、この剤を土壌くん蒸に使用するための技術開発が進められている（図 13, 14）。

処理方法は、過去に臭化メチル剤のボンベ充填剤で行われていた方式とほぼ同様で、以下のとおりである。

- ① 圃場を耕起整地する。
- ② ポリエチレンシートで被覆・密閉する。その際、ガス拡散を良好にするためトンネル用資材等で土壌面シートの上に空間を持たせる。
- ③ ボンベに充填された薬剤を被覆内に噴射・導入する。
- ④ 所定期間後に被覆除去し、必要に応じてロータリー耕起を行う。

## 3 代替剤の普及状況

表 5 および図 15 に主要な土壌消毒剤の近年の出荷量を示した。

臭化メチルの出荷量が削減計画に従って減少していく

一方、クロルピクリンくん蒸剤、ダゾメット剤は大きく増加し、現場での代替剤への切り替えが着実に進行していることがうかがえる。また殺線虫剤も 1993 年から比べると 2 倍以上の増加を示しているが、D-D 剤の出荷量が減少傾向にあることと考え合わせると、本剤が代替剤としての役割とともに、処理時期が余り限定されず、簡便かつ作業への安全性が高いため生産現場への普及を容易にしたものと考えられる。

## 4 おわりに

臭化メチル代替薬剤について主要な剤を概説したが、おわりに当たって臭化メチルから他剤に置き換えたときに懸念される事項についていくつか雑記する。

- ① 施設周縁部などデッドスペースの土壌消毒は確実に行われるのか。

臭化メチルは極めてガス拡散性の良い薬剤であった。臭化メチルの処理後の土壌中気層の濃度は耕土層から下のかなり深い部分でも高い濃度を示し、また、横への拡がりも大きかった。その結果、施設内で土壌被覆を行って処理しても、周縁部も含め施設全体に消毒効果が認められた。代替剤とされる中でも MITC は比較的ガス拡散は良いが、それでも処理の均一性が担保されなければ十分な効果が発揮できない。施設周縁部や連棟ハウスの谷部は土壌湿度が高く、土壌病害にとって最も生息環境の



図 11 ヨウ化メチル剤の処理



図 13 エコヒュームの処理



図 12 ヨウ化メチル環境動態調査



図 14 エコヒュームの除草効果  
(左：無処理中、右：処理区)

表5 主要な土壌処理剤の出荷量 (単位: t, k)

農薬要覧 (日本植物防疫協会編)<sup>2)</sup> より

	1992年	1993年	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年
臭化メチルくん蒸剤	9,108	10,045	9,814	9,486	8,898	7,840	5,736	4,659	4,040	3,204	2,663	1,602
クロルピクリンくん蒸剤	5,748	6,624	7,433	8,307	8,506	8,879	8,773	8,854	8,592	7,968	8,149	7,964
クロルピクリンテープ剤									12	19		
クロルピクリン錠剤				25	27	28	30	37	41	45	38	41
D-D 剤	13,856	14,015	13,205	12,344	10,976	12,951	12,187	11,889	11,159	8,633	10,886	9,453
クロルピクリン・D-Dくん蒸剤									77	338	165	271
クロルピクリン・D-D油剤	276	260	163	229	235			176	169	153	254	87
クロルピクリン・DICP油剤	12	20	15	11	13	17	12	29	31	41	52	3
メチルイソチオシアネート剤	105	87	91	87	85	70	60	72	69	58	68	
メチルイソチオシアネート・D-D油剤	874	853	882	855	812	814	751	739	797	729	621	550
カーバム剤	196	171	192	136	124	281	190	179	207	128	210	208
カーバムナトリウム塩剤			28	65	234	202	199	210	215	180	192	171
ダゾメット剤	915	1,061	1,323	1,542	1,607	1,923	2,194	2,720	2,939	2,370	2,612	2,613
オキサミル剤	3,162	2,816	2,743	2,627	2,546	2,474	2,126	2,289	2,096	2,023	1,812	1,894
カズサホス剤										98	394	37
ホスチアゼート剤		1,034	1,886	2,661	3,854	4,707	4,986	5,816	5,702	4,258	5,312	5,704

年は農業年度 クロルピクリンくん蒸剤, D-D 剤など, 有効成分量に変化を持たせた製剤は出荷量を合算して表示した。オキサミル剤は平成 9~10 年, ホスチアゼート剤は平成 12~13 年に有効成分量の異なる製剤が上市されているが合算して表示した。

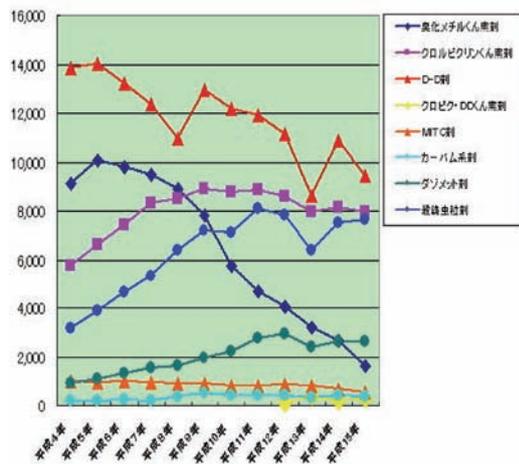


図 15 主な土壌薬剤の出荷量の変化

以下のは合計値で示した

MITC 剤: トラベックサイド+ディトラベックス

カーバム系剤: NCS+キルパー

殺線虫剤: バイデート+ネマトリン+ラゲビー

良好な部分であり, 注意深い防除対策が必要である。

② 今まであまり問題として来なかった病害虫が顕在化してこないか。

筆者は平成の初め日植防宮崎試験場に勤務していたが, 施設では, ビニルフィルムの交換とともに, 年 1 回の臭化メチル処理が当たり前とされていた。その当時, 現場農家の少なからずの人が, いつの間にか臭化メチル処理の最も大きな利点を除草対策と受けとめ, 同剤が, 目に付きにくい病害虫被害を未然に防いでくれたことに, 余り重きを置かなかつたように感ずる。この様な事例は極端過ぎるかもしれないが, 例えば, 臭化メチル投薬が重要な土壌病害や線虫のためであったとしても, 副次的な効果としてその他の病害虫の伝染源を低下

させ, 顕在化させなかったであろうことは容易に想像できる。ある地域で現在問題とされる病害虫に対し, その特定の対象に効果の高い代替剤で置き換えられる場合もあると考えるが, 土壌病害虫だけでなく地上部病害虫も含め, 今後の発生動向に十分な注意を払うべきであろう。

③ 苗床, 床土の消毒を慎重かつ確実に。

この点も臭化メチルのガス拡散性の良さに関係する点である。クロルピクリン, MITC で効果を示すくん蒸剤のほとんどは, 床土消毒, 苗床消毒の適用を有しているが, 大量の用土を消毒する場合にくん蒸ムラを生じた事例をたびたび目にする。また苗床でも土塊が十分に壊されていないと不完全な消毒になりがちである。中途半端に消毒された場合, 生き残った病原菌は, 未消毒の土壌中以上に旺盛な繁殖力を示す。また臭化メチルの場合, ガス抜きは消毒後数日放置するだけでよかったが, 代替剤の場合には長期間放置するか, もしくは土壌攪拌によるガス抜きが必要となり, 当然, 周囲からの飛び込みによる再汚染が懸念される。苗床作りの言葉通り苗作りは栽培の基本であり, 健全な苗作りが病害虫防除の第一歩である。より簡便で確実な苗床, 床土の消毒方法の確立も, 臭化メチル代替剤の今後の重要な検討課題である。

最後に本稿の執筆に際し, 薬剤情報や技術資料等をご提供頂いた農薬会社の開発担当者各位にお礼申し上げます。

#### 摘要

日本における 2005 年時点での臭化メチル代替薬剤について概説した。土壌くん蒸剤としては, 既存の有効成分であるクロルピクリン, D-D, MITC を含む単剤または混合剤が幅広い作物, 病害虫・雑草に対し登録を取得して

いる。これらについては、作業の利便性や安全性を考慮した新製剤や、新たな処理方法の検討、作業機械の開発が進められ、農業現場への普及が進んできている。新規有効成分としてはヨウ化メチル剤が現在開発中である。しかしながら、臭化メチル以外に実用的な処理量で土壌伝染性ウイルスに直接作用する薬剤は、現在も開発されていない。

#### 引用文献

- 1) 今村幸久. 2003. ハウスメロンの冬期暖房条件下におけるクロロピクリンくん蒸剤 一期間短縮技術確立への取り組み. 今月の農業. 47 (4) : 48-52
- 2) 農薬要覧. 日本植物防疫協会編. 1995 - 2005. 日本植物防疫協会