

令和2年度 博士後期課程学位論文

ネオニコチノイド系化学農薬における
労働衛生学的リスク管理の研究

Study on Occupational Hygienic Risk Management
in Neonicotinoid Chemical Pesticides

武蔵野大学大学院

環境学研究科 博士後期課程

伊藤 伸也

目次

第1章 序章	
1-1. 研究背景	
1-1-1. 農薬の利活用	4
1-1-2. 持続可能な農業と食料事情の問題	
1-1-2-1. 世界および日本の人口動態と課題	10
1-1-2-2. 食料自給率（世界・日本）	11
1-1-2-3. 持続可能な農業とSDGs	13
1-1-2-4. 農薬の役割	14
1-1-3. 農業従事者の労働衛生学的側面での研究の必要性	14
1-2. 研究目的	15
1-3. 既往の研究と本研究の位置づけ	16
参考文献	17
第2章 研究計画と構成	20
参考文献	21
第3章 農業従事者の農薬取り扱い作業における労働災害調査の研究	
3-1. はじめに	
3-1-1. 農業安全衛生管理	22
3-1-2. 農薬のリスク管理	22
3-2. 研究方法	
3-2-1. 農業従事者の農薬取り扱いに関わる災害調査	25
3-2-2. 農薬のヒト健康有害性の調査	25
3-2-3. 農業従事者のリスク管理体制の調査	26
3-3. 研究結果	
3-3-1. 農業従事者の農薬取り扱いにおける災害調査	27
3-3-2. 農薬のヒト健康有害性の調査	30
3-3-3. 農業従事者のリスク管理体制の調査	32
3-4. 考察	32
3-5. まとめ	34
参考文献	34

第4章	ネオニコチノイド系農薬の物理化学的性質および有害性の研究	
4-1.	はじめに.....	36
4-2.	科学的知見	
4-2-1.	薬理作用.....	39
4-2-2.	物理化学的性質.....	39
4-2-3.	健康に対する有害性.....	40
4-2-4.	生物(含むヒト)への影響<既存論文のレビュー>.....	44
4-3.	まとめ.....	46
	参考文献.....	47
第5章	農薬取り扱い作業時に装着する労働衛生保護具の性能の研究	
5-1.	はじめに.....	54
5-2.	研究方法	
5-2-1.	試験使用農薬とフィルタ	
5-2-1-1.	試験使用農薬.....	56
5-2-1-2.	試験使用フィルタ.....	57
5-2-2.	実験手順.....	58
5-2-3.	評価方法.....	61
5-3.	研究結果	
5-3-1.	粒子径と環境濃度・透過濃度・透過率.....	61
5-3-2.	初期試験	
5-3-2-1.	環境濃度(C_0)の定量.....	63
5-3-2-2.	透過濃度(C_i)の定量.....	66
5-3-2-3.	捕集効率(E)の算出.....	70
5-3-3.	1時間堆積試験	
5-3-3-1.	透過濃度(C_i)および環境濃度(C_0)の定量.....	73
5-3-3-2.	捕集効率(E)の算出.....	76
5-4.	考察.....	78
5-5.	まとめ.....	80
	参考文献.....	81

第6章 農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスク評価の研究	
6-1. はじめに	83
6-2. 研究方法	
6-2-1. 曝露リスク評価の前提条件と方法	
6-2-1-1. 曝露リスク評価の前提条件	83
6-2-1-2. 農薬曝露量の見積もりおよびリスク評価	84
6-3. 研究結果	
6-3-1. ネオニコチノイド系農薬の曝露リスク評価結果	
6-3-1-1. 透過濃度および環境濃度における曝露量	85
6-3-1-2. 農薬曝露許容基準値の算出	86
6-3-1-3. 農薬曝露のリスク評価	88
6-4. 考察	89
6-5. まとめ	91
参考文献	91
第7章 総括	93
投稿論文	96
謝辞	97
参考データ	
■第1章「図4. 世界と日本の人口動態」の詳細データ	98
■第1章「図5. 日本の年齢階級別割合」の詳細データ	99
■第3章「図5. 症状別, 年齢別, 季節別の災害発生状況」の詳細データ	100
■第4章「図1. 浸透性農薬の出荷量(t)」の詳細データ	101
■第5章「本試験使用フィルタ」の詳細データ	102
■第5章「図5～図24 環境濃度, 透過濃度および透過率」の詳細データ	
(1) 初期試験	103
(2) 1時間堆積試験	110

第1章 序章

1-1. 研究背景

1-1-1. 農薬の利活用

農薬とは、農薬取締法第1条の2で次の通り定義されている。「この法律において「農薬」とは、農作物(樹木および農林産物を含む。以下「農作物等」という。)を害する菌、線虫、だに、昆虫、ねずみその他の動植物またはウイルス(以下「病害虫」と総称する。)の防除に用いられる殺菌剤、殺虫剤その他の薬剤(その薬剤を原料または材料として使用した資材で当該防除に用いられるもののうち政令で定めるものを含む。)および農作物等の生理機能の増進または抑制に用いられる成長促進剤、発芽抑制剤その他の薬剤をいう。」また第2項において、「前項の防除のために利用される天敵は、この法律の適用については、これを農薬とみなす。」とされているが、本稿における農薬は“薬剤”の取り扱いを対象とする。

農薬には粉剤、粒剤、水和剤などの剤型があり、それぞれ特徴がある(表1<宮崎県病害虫防除・肥料検査センター-農薬の剤型とその特徴->を引用)¹⁾。

表1. 農薬の剤型と特徴

剤 型	特 徴
粉 剤	農薬原体を担体(農薬原体を付着あるいは吸着させるために用いる粉粒体:クレーなど)に混合した粉末状(粒径が40ミクロン以下)の剤。散布中の漂流飛散が多いので、微粉部分を除き漂流飛散(ドリフト)を少なくしたD L (drift less) 粉剤(粒径20~30ミクロン)が普及している。
粒 剤	農薬原体をタルクなどの固体希釈剤に混合造粒したもの、または芯剤(固体希釈剤)に有効成分を吸着あるいは含浸させ製造される粒状の固形剤で、粒径は300~1,700ミクロンである。ドリフトが少ない。
水和剤	水和性を有し、水に希釈、懸濁して液剤散布に用いる微粉状の製剤をいう。 農薬原体(固体)を4~5ミクロン程度に微粉砕し、補助剤(湿潤剤、分散剤などの界面活性剤)および増量剤:微粉クレー(5ミクロン以下)などと混合したもの。農薬原体が液体の場合は、高級油性担体に吸着させる。
顆粒水和剤 (ドライフロアブル)	水和剤を粒状にした製剤で、水中に投入すると容易に崩壊、分散する。 特徴としては ①粉立ちがなく、粉じんの曝露が著しく軽減され、作業員への安全性が高い。 ②流動性が良く、容器への付着が少ない上に、紙袋など種々の包装容器が使用できるので使用後の容器の処理が容易であり、環境安全性が高い。 ③有機溶媒を使用しないので、作業員及び環境に対して安全である。 などがあげられる。
フロアブル剤 (懸濁剤)	農薬原体(水不溶性固体)を湿式微粉砕し、補助剤(湿潤剤、分散剤、凍結防止剤など)を加え、水に分散させた製剤であり、有機溶剤を含んでいないので気化した有機溶剤を作業員が吸引する危険性がない。また、水和剤を現場で水に混ぜる際の、微粉の飛散を避けられる。欠点としては、長期保存すると粒子の沈降による分離や有効成分の結晶成長などがあげられる。
乳 剤	水に溶けにくい農薬原体を有機溶剤に溶かし、乳化剤を加えた製剤で、水で希釈して使用する。水に加えると白濁、不透明な乳化液となり、2~3時間は安定である。欠点としては、有機溶剤を使用しているため、作業員が有機溶剤を吸入したり接触する危険性がある。また、有機溶媒に由来する薬害についても注意が必要である。
E W 剤 (エマルジョン)	農薬原体(水不溶性または溶液)に補助剤(乳化剤、凍結防止剤、増粘剤など)を加えて、水中に微粒子として分散させる。E W剤では、製剤の調整に水を使用するため、乳剤で問題となる有機溶剤に起因する引火性、毒性などの問題は発生しない。
マイクロカプセル剤	農薬原体を高分子の薄膜で覆った微粒子(マイクロカプセル:粒径は数ミクロン~数百ミクロン)を水に懸濁させた剤で、使用するとき水で希釈して散布する。光による分解や揮散による有効成分の消失を抑えて持続性を高めるとともに、膜の性質や厚さを変えることにより有効成分の放出を制御できる。
くん煙剤	有効成分を加熱して煙霧化し、くん煙に用いられるようにした剤。発熱剤、助煙剤を含んだ自然式の剤(くん煙筒など)と外部熱源で加熱する方式の剤(錠剤、顆粒剤など)とがある。

農業は、人類に安定した食料供給をおこなう重要な役割がある。多くの場合は、原野や森林などの自然環境を開拓し、農耕地を作っている。つまり、農耕地は人工地であり、効率良く食料を生産するために整備されたものである。自然の状態であれば、生態系の均衡が保たれていても、人工地へと置き変わった結果として、農耕地に病害虫が大量発生するなど生態系の均衡の乱れが生じることになる。食料の安定生産が脅かされないために、病害虫による影響を最小限に抑える手段として、農薬が開発・使用されてきた。

わが国で最古の農薬の記録は、松田内記、「家伝殺虫散」(1600(慶長5)年)とされている²⁾。つづき、日本で初めての科学的防除とされている、鯨油を用いた駆除法(蔵富吉右衛門(1670(寛文10)年)が編み出され、1732(享保17)年の享保飢饉を契機に「注油駆除法」は全国に普及したとされている²⁾。

近代的化学合成農薬の歴史は、有機塩素系殺虫剤 DDT (Dichloro Diphenyl Trichloro ethane, 化学式: $C_{14}H_9Cl_5$) が代表例として挙げられる。DDT は強力な殺虫作用がある一方で、難分解性、残留性、毒性を長期に示すこともわかり、製造・使用が禁止されることとなった。その他、有機塩素系殺虫剤である BHC (Benzene Hexa Chloride, 化学式: $C_6H_6Cl_6$) やドリノ剤、有機水銀剤についても長期残留性が、有機リン系殺虫剤のパラチオン (Parathion, 化学式: $C_{10}H_{14}NO_5PS$) は急性毒性が、除草剤の PCP (Penta Chloro Phenol, 化学式: C_6HCl_5O) は生態系に対する強い影響から、それぞれ販売や使用が禁止されることとなった(参考資料³⁾。

昨今の農薬の大きな動きとして、1990年代からネオニコチノイド系農薬の使用が増えてきた。ネオニコチノイド系農薬は、昆虫に対する選択毒性を示すもので、ヒトへの高い毒性を示す有機リン系の農薬に代わる殺虫剤として注目されている。しかしながら、標的とする害虫以外の昆虫に対しても作用する、鳥や哺乳類そしてヒトへの悪影響についても指摘され始めている。

散布された農薬は、環境中に拡散し、そのほとんどが土壌に到達することになる⁴⁾。大気中へ拡散した一部の農薬は光分解を受けるが、残りの農薬はさらに水系へと移行する。また、土壌に到達した農薬は、土壌微生物による代謝分解および土壌粒子に吸収される⁵⁾。農薬は標的生物を選択し効果を発揮するものであるが、環境への排出がおこなわれ、速やかに分解されない農薬は大気、水質、土壌それぞれのフェーズで、生態系に影響をおよぼすことになる。

環境中での挙動・影響を評価する試験として、次の試験が定められている⁶⁾。

- ① 土壌中運命に関する試験 (好氣的土壌, 嫌氣的土壌, 好氣的湛水土壌)
- ② 土壌残留性に関する試験
- ③ 水中運命に関する試験 (加水分解, 水中光分解)
- ④ 水質汚濁性に関する試験
- ⑤ 水産動植物への影響に関する試験 (魚類急性毒性, ミジンコ類急性遊泳阻害, 藻類成長阻害)

⑥ 水産動植物以外への有用生物への影響に関する試験（ミツバチ、カイコ、天敵昆虫、鳥類経口・混餌投与）

施用された農薬が、直接または土壌を介して作物や標的生物に吸収されることで、農薬の効果が発揮される。一般的に、農薬の散布時が最も高濃度環境下となり、適切な農薬の曝露対策を施していない場合は、その場で作業をしている労働者に対して健康影響リスクを生ずることになる。また、ドリフト（農薬散布機から噴射された散布粒子が、目標物以外に散逸する現象をいう。）⁷⁾により周辺住民に対する影響も想定される。さらに不適切な施用方法により生産された作物においては、残留農薬が大きな問題となる。

農薬使用によるリスクが社会的な問題になるなかで、有機農業という農業形態が注目を集めている。有機農業とは、有機農業の推進に関する法律第2条により、次を満足することを基本として環境への負荷をできる限り低減する農業生産の方法、と定義されている⁸⁾。

- ・ 化学的に合成された肥料および農薬を使用しない
- ・ 遺伝子組換え技術を利用しない
- ・ 農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減する

<補足>有機農業の推進に関する法律（有機農業推進法）

第一条 目的 この法律は、有機農業の推進に関し、基本理念を定め、並びに国および地方公共団体の責務を明らかにするとともに、有機農業の推進に関する施策の基本となる事項を定めることにより、有機農業の推進に関する施策を総合的に講じ、もって有機農業の発展を図ることを目的とする。

コーデックス委員会*1のガイドラインに準拠した「有機農産物の日本農林規格（有機 JAS 規格）」*2の基準にしたがって生産された農産物を有機農産物としている。この基準に適合した生産がおこなわれていることを第三者機関が検査し、認証された事業者は「有機 JAS マーク」を使用し、「有機」「オーガニック」等と表示ができる⁹⁾。

わが国の有機農業の普及状況を、有機食品売上額（2017年）実績からみると、1,804億円である。有機食品の売り上げの上位国の状況をみると、アメリカ（51,214億円）、ドイツ（12,851億円）、フランス（10,139億円）であり、わが国の有機農業は十分に普及していない状況がわかる（図1）。

*1：消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963年にFAOおよびWHOにより設置された国際的な政府間機関。国際食品規格の策定等をおこなっており、わが国は1966年より加盟。

*2：有機農産物の日本農林規格（有機 JAS）には、化学的に合成された肥料および農薬の使用を避けることを基本として、土壌の性質に由来する農地の生産力を発揮させるとと

もに、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した栽培管理方法を採用したほ場において、「周辺から使用禁止資材が飛来しまたは流入しないように必要な措置を講じていること」、「は種または植付け前2年以上、化学肥料や化学合成農薬を使用しないこと」、「組換えDNA技術の利用や放射線照射をおこなわないこと」などが記載されている。

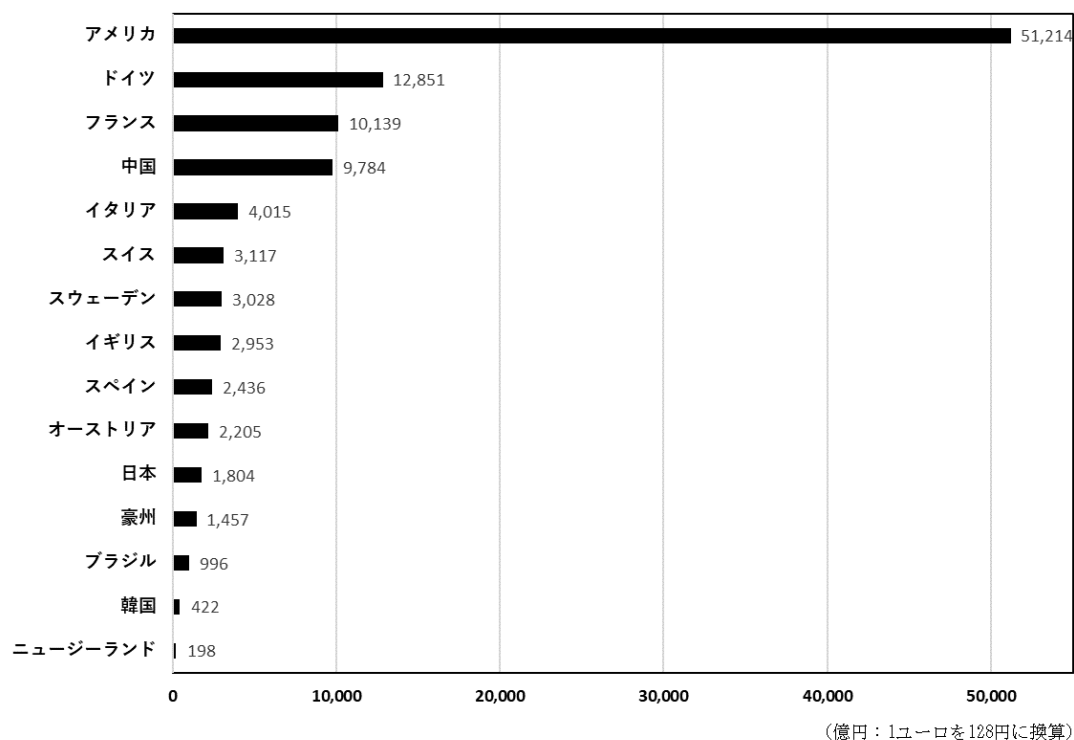


図1. 国別の有機食品売上額⁹⁾

また、全耕地面積に対する有機農業の取り組み面積の割合は0.5%（2017年）となっており、主な農業形態は慣行的農業が多くを占めている¹⁰⁾。

農薬をまったく使用しないで栽培した場合と、農薬を使用して栽培したときの収量および利益を調査したデータが示されている（図2、図3）¹¹⁾。水稲では約30%の減収減益、野菜類では平均20-60%の減収減益、果物類においてはほぼ100%が減収減益との結果であった。これらの結果から、有機農業で栽培可能な品種は限られており、多くの農産物は農薬を適切に使用しなければ、安定した農産物生産は実現できない。また、これらのデータから有機農業に適した農作物があることがわかる。

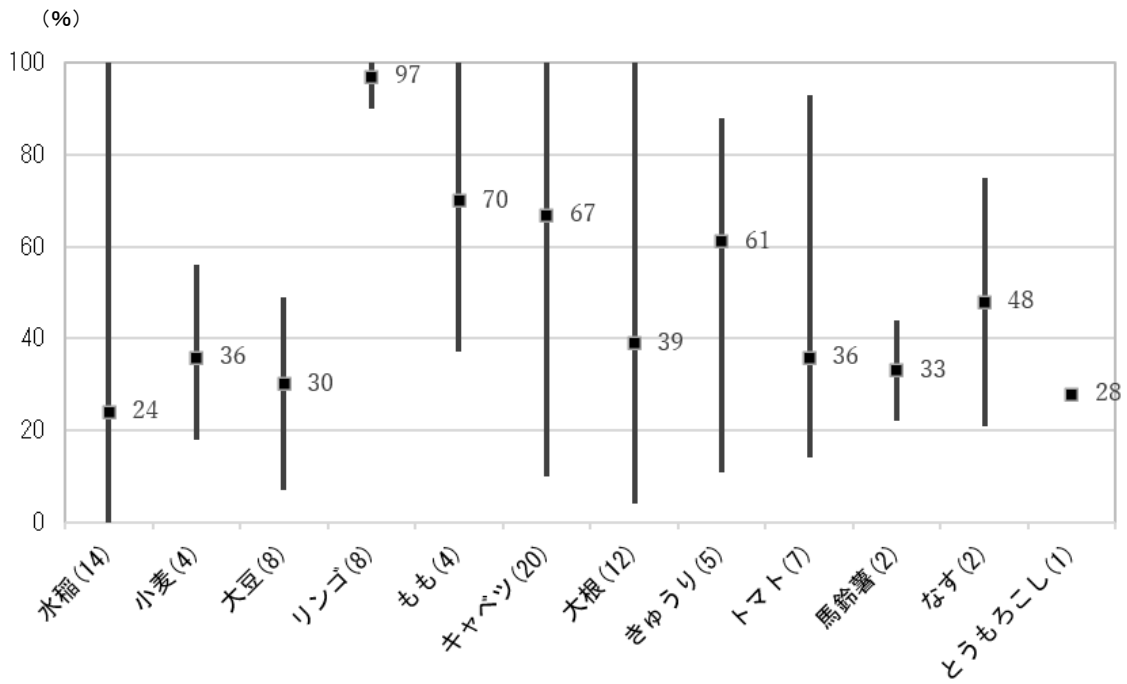


図2. 減収率

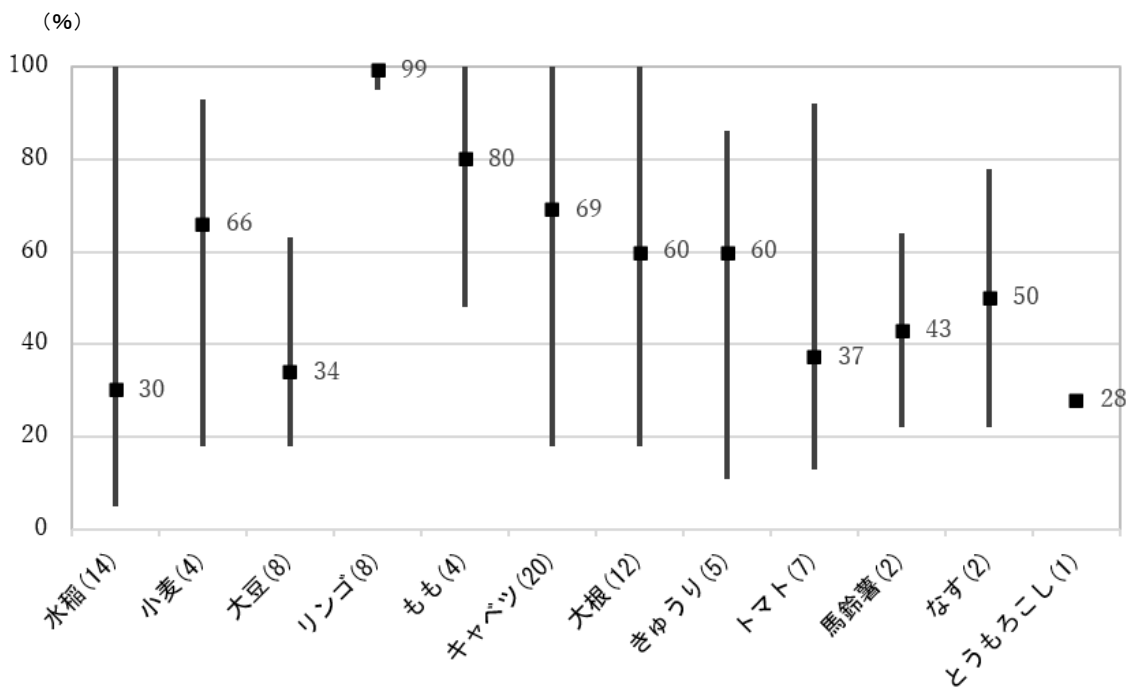


図3. 減益率

＜参考資料＞ 農薬の歴史（概要）

年	農薬名	種類	補足
1732	注油駆除法	殺虫剤	大蔵永常による再発見・普及
1881	除虫菊粉	殺虫剤	輸入開始
1897	ボルドー液	殺菌剤	初めて使用
1902	青酸ガス	殺虫剤	試験
1907	石灰硫黄合剤	殺虫剤	カイガラムシ試験
1908	ヒ酸鉛	殺虫剤	輸入開始
1910	硫酸ニコチン	殺虫剤	輸入開始
1912	デリス根	殺虫剤	輸入開始
1919	クロールピクリン	殺虫剤	合成開始
1922	ウスプルン（水銀剤）	殺菌剤	輸入開始
1938	セレサン（水銀剤）	殺菌剤	輸入開始
1945	DDT	殺虫剤	初めて使用
1946	BHC	殺虫剤	製造・使用開始
1948	2, 4-D	除草剤	試験
1951	パラチオン	殺虫剤	試験
1952	セレサン石灰	殺菌剤	試験
1953	パラチオン	殺虫剤	特定毒物指定
	PCP	除草剤	魚毒事故
1955	ドリ剤	殺虫剤	魚毒のため使用規制
	CNP	除草剤	開発成功（国産）
	マラチオン	殺虫剤	製造開始
1956	ダイアジノン	殺虫剤	輸入・使用
	メチルプロマイド	燻蒸剤	使用開始
1957	水銀剤	殺菌剤	残留問題
1959	PCP	除草剤	全国に普及
1961	フェントロチオン	殺虫剤	市販開始（国産）
1963	PCP	除草剤	魚介類被害防止通達
1966	カスガマイシン	殺菌剤	市販開始（国産）
1967	カルタップ	殺虫剤	市販開始（国産）
1969	BPMC	殺虫剤	製造開始（国産）
	DDT, BHC	殺虫剤	牛乳, 母乳汚染問題 稲作への使用禁止, 製造中止
	フサライド	殺菌剤	市販開始（国産）
1970	水銀剤	殺菌剤	散布用使用登録抹消
1971	DDT	殺虫剤	登録抹消
	BHC	殺虫剤	販売中止
1972	バリダマイシン	殺菌剤	市販開始（国産）

1-1-2. 持続可能な農業と食料事情の問題

1-1-2-1. 世界および日本の人口動態と課題

世界の人口は、1950年と2020年を比較すると約2.5倍に増加をし、2050年には100億人に迫る将来予測がされている。一方で、わが国の人口動態については、1950年において約8千5百万人であり、2008年の約1億2千8千万人を最高に、減少傾向を示している。2050年には約1億人となる予測がされており、40年間で約3千万人の減少が見込まれている（図4）¹²⁾。また、日本の人口減少に加えて、高年齢化の傾向も示されている（図5）。

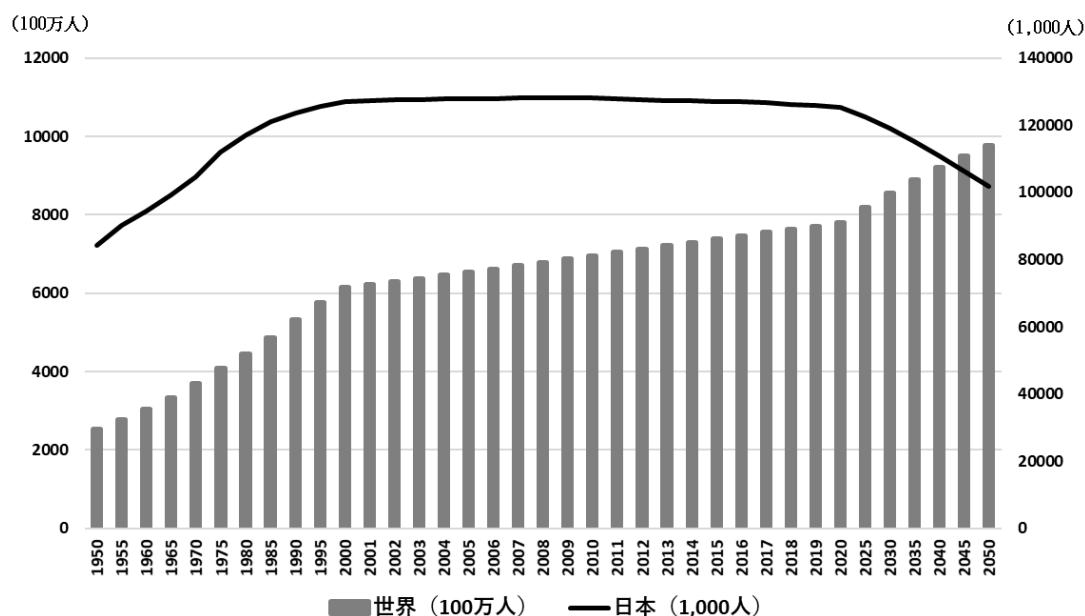


図4. 世界と日本の人口動態

（詳細データは、巻末の参考データに掲載）

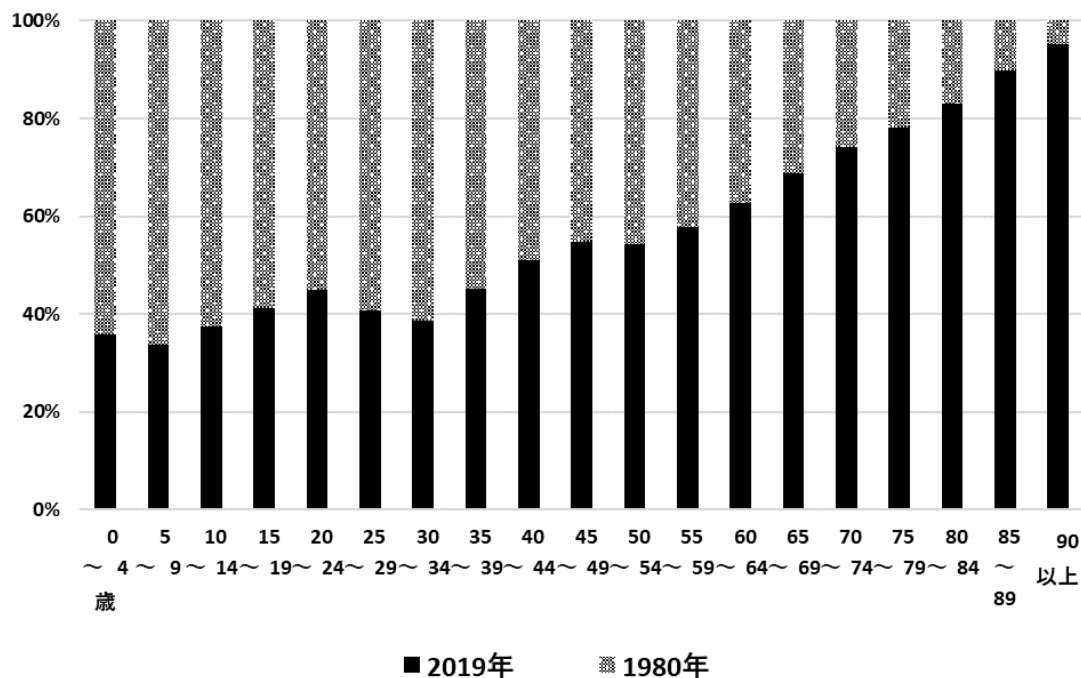


図5. 日本の年齢階級別割合

総務省統計局「人口推計の結果の概要」より、2019年および1980年の10月1日時点での総人口に占める年代別割合を算出
 (詳細データは、巻末の参考データに掲載)

1-1-2-2. 食料自給率 (世界・日本)

食料自給率とは、食料消費が国内生産によってどの程度賄えているかを示す指標である

¹³⁾ 食料自給率は次式で示される ¹⁴⁾ .

食料自給率

= 国内生産 / 国内消費仕向

= 国内生産 / (国内生産 + 輸入 - 輸出 ± 在庫増減)

(補注)

分子および分母を(1)重量のまま、(2)基礎的な栄養価であるエネルギーに着目した熱量(カロリー)、(3)経済的価値に着目した金額で換算すると、(1)重量ベース、(2)カロリーベース、(3)生産額ベースの食料自給率になる。

日本国内の食料自給率をみると、1993年度（平成5）の食料自給率（カロリーベース）は37%であり、2018年度（平成30）も37%となっており、ほぼ横ばいの推移を示している（図6-1）¹⁵⁾。一方、世界の食料自給率（カロリーベース）については、2017年度（平成29）の推移を表6-2に示した¹⁶⁾。上位はカナダ（255%）、オーストラリア（233%）、アメリカ（131%）となっている。

農林水産省は、2025年度（令和7）の目標を45%に掲げているが、日本国内では十分に食料生産を満足におこなえていないことがわかり、このことは食料を海外に依存していることを示している。

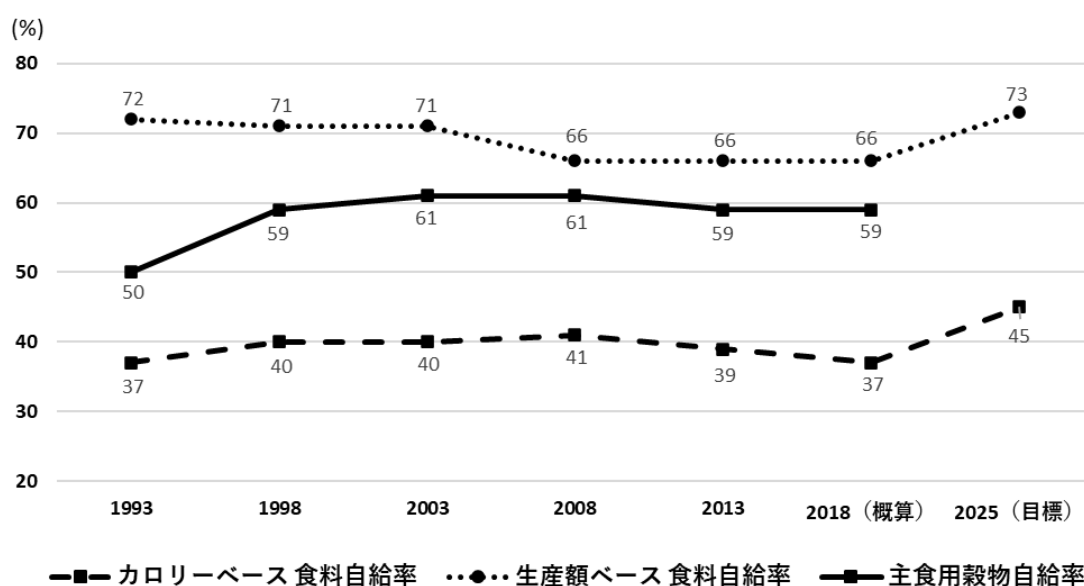


図 6-1. 食料自給率（日本）の推移

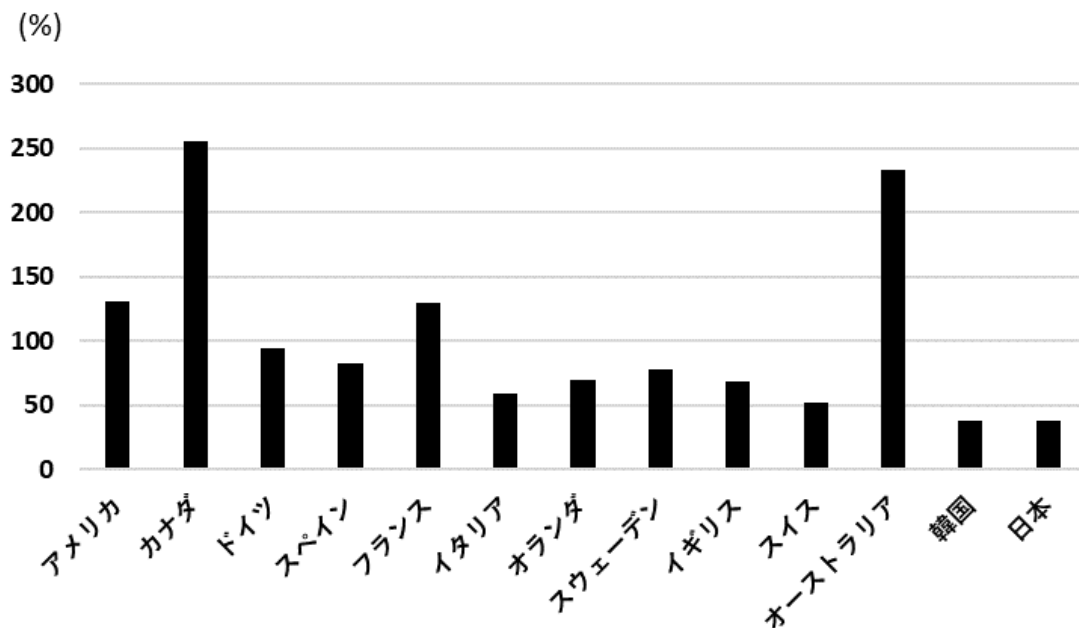


図 6-2. 世界の食料自給率（カロリーベース）

1-1-2-3. 持続可能な農業とSDGs

2015年9月の国連サミットで、SDGs (Sustainable Development Goals) が全会一致で採択された。「誰一人取り残されない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、2030年までを期限とする17の国際目標が制定されている(図7)¹⁷⁾。なかでも持続可能な農業を実現するには、目標2(飢餓)、目標3(保健)、目標8(成長・雇用)、目標15(陸上資源)が、特に関わりの深い目標であるといえる。



図7. SDGsの17の国際目標

1-1-2-4. 農薬の役割

持続可能な農業を実現することで、食料の安定供給が実現する。前述のとおり、有機農業によりすべての食料を賄うことは、現時点では不可能である。また、世界的にみると、将来的な人口増加が見込まれている状況においては、今後においても完全有機農業化は現実的ではなく、農薬を適切に使用した慣行的農業と有機農業のバランスを保つことが求められる。このことは、持続可能な農業を実現するために、農薬の使用を避けることはできない、ということを示すものである。

1-1-3. 農業従事者の労働衛生学的側面での研究の必要性

昨今の世界における農薬管理の考え方は、ハザードベースからリスクベースへの管理と変遷している。欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority, 以下「EFSA」とする) は2014年に農薬使用者(Operators), 農業従事者(Workers), 周辺住民(Residents), 通行人(Bystanders)に対する農薬曝露リスク評価手法のガイダンス (Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products) を発表した。また、わが国においても、農薬の登録制度においてリスクの考えを用いた評価制度へと、農薬取締法の改正がおこなわれることとなった¹⁸⁾。

農業従事者の就業状況を見ると、基幹的農業従事者の数は、平成7年の約256万人から

30年には約145万人とされ、約20年の間に約111万人（約43%）が減少している状況である。平均年齢については、平成7年の59.6歳から29年には66.6歳となり、約20年の間で7歳上昇する、など農業従事者の高齢化が進んでいる。今後、高齢者のリタイアにより農業従事者の著しい減少が見込まれる状況にある¹⁹⁾。

わが国の農業従事者の現状は、熟練農業従事者の減少が顕著である²⁰⁾状況に対し、「農業の自立を促進する施策への転換により、チャレンジする人を後押しし、多様な担い手の育成・確保を図り、経営感覚豊かな農業経営体が大宗を占める強い農業を実現する」ことが政府より打ち出され、具体的な目標として、新規就農し定着する農業従事者を倍増し、2023年に40代以下の農業従事者を40万人に拡大することが示された²¹⁾。このことは、将来的には農業経験の浅い農業従事者が一定の割合で存在することが見込まれ、農薬取り扱い作業における安全衛生面での災害の多発が危惧される。農作物の安定供給を実現するためには農薬の使用は不可避であることから、農薬取り扱い作業に起因する災害リスクを適切に管理することが求められる。

持続可能な農業を実現するには、農業従事者の安全衛生を確実に確保し、労働災害による労働損失を発生させないことが大前提である。農作物を安定供給するには、農薬の利用は不可欠である。しかしながら、農薬の取り扱い作業に起因した労働災害が後を絶たない（詳細は第3章を参照）。農業従事者の作業安全および衛生の確保は、労働安全衛生法および関係規則等により具体的な管理手法が規定されている。今後において、農業従事者の年齢や経験年数の分布、経営形態の大きな変化が見込まれるなかで、農業従事者の安全衛生に着目をした研究報告は極めて少なく、大きな課題として挙げられる。

<本項で特定した課題>

- ① 世界的な人口の増加により、食料の安定供給が十分におこなえない。特に、発展途上国の食料問題は大きな課題。
- ② 日本の人口減少および高齢化による（図5）、熟練農業従事者の減少およびそれに伴う農業従事者の絶対数の減少による国内食料安定供給能力の低下。
- ③ さらに、熟練農業従事者の減少を補うべく、経験の浅い農業従事者が増えることに伴う作業に起因する労働災害増加の懸念。

1-2. 研究目的

本研究の目的は、農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスクの評価を研究、結果を提示し、農薬取り扱い作業における農業従事者の災害を防止し、持続可能な農業の実現に寄与することである。

熟練農業従事者の大量離農に伴い、経験の浅い農業従事者の増加が今後見込まれる。このことは、農薬取り扱い作業におけるリスク感受性の低下に起因する労働災害の増加が危惧

されるところである。農薬取り扱いによるリスクを適切に評価し、農業現場の実態に即した農薬曝露対策をいっそう効果的に活用できる提案をすることは、必須の課題である。

そこで本研究では、本課題の解決に向けて2つの課題を検討する。第一の課題は、農薬に関わる災害状況の把握と要因の分析により、課題を明確化することである。第二の課題は、多種多様な農薬が市場に出されているなか、農薬の曝露防止対策の効果を試験・分析により定量的に求め、これらのデータからリスク評価結果を示すことである。

農薬はわが国のみならず、世界中で大量に使用されている。よって、諸外国で報告されている農薬に関わる研究および調査報告についても整理をする。

1-3. 既往の研究と本研究の位置づけ

農薬に関する研究論文は古い歴史があり、現在も多くの学術的論文が報告されている。これまで発表されてきた農薬に関する研究は、主に次の3つに大別される。

- ①農薬散布による生態系への影響・評価
- ②食品中の残留農薬における影響・評価
- ③農業従事者への農薬曝露の影響・評価

それぞれ研究内容の概要としては、①については「農薬の地球環境中への排出から大気・水質・土壌を介し、哺乳類、昆虫などあらゆる生物に対するリスクの評価」、②については「一般市民を対象とし、科学的な側面からヒト健康へのリスクについての研究」、③については「農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスクについて、作業者の曝露実態を調査・報告」に要約できる。研究報告数のトレンドとしては、近年においても①②の研究報告は多く出されている。一方で、③農業従事者への農薬曝露の影響・評価に着目した研究報告は、1970年代を中心に多く認められるが、近年ではそれほど多くの報告はみられない状況である。

農薬は食料の安定供給において、極めて重要な役割を果たす。一方で、農薬自体が有する科学的特性や有害性に関連する災害が後を絶たない、ということも事実である（詳細は第3章参照）。農薬は、人・家畜等への安全性や土壌・水環境への影響を始めとした厳しい試験で問題がないことが証明された後に、農林水産省・環境省・厚生労働省など行政機関の審査等を経て、市場へ出され現場で使用されることになる²²⁾。市場投入当初では環境・生態系・ヒトなどへの有害影響は認められなくても、後に影響が認められ使用禁止等の措置となったケースがある。例えば、有機塩素系農薬のDDTやBHCなどが代表例として挙げられる²³⁾。昨今においては、有機リン農薬の代替として多用されている、ネオニコチノイド系およびフェニルピラゾール系農薬についての生態系、特にミツバチへの影響が指摘されている²⁴⁾。さらに、近年の研究報告では、ヒトを初め哺乳類に対しても有害性を示す、とした研究結果が多く確認される²⁵⁾。

本稿で対象としているのは化学農薬であり、それは化学物質そのものである。前述のとおり

り、現状では農薬の取り扱いに起因する労働災害が後を絶たない。農薬である化学物質の適正管理という視点で、災害防止を考察した研究報告はほとんどなく、農業従事者の健康を確保する、といった視点での新たな提案が必要である。特に、今日では熟練農業従事者の大量離農が進むことに伴い、持続可能な農業を展開するためには、若年層を含めた新規農業従事者を一定数確保していく必要がある、このことは経験の浅い農業従事者の増加を意味する。若年農業従事者は農薬取り扱い経験も浅いことから、この層へのアプローチというのは極めて重要な観点である。

農薬の曝露リスクは、その取り扱い作業(例えば、調合や散布など)において高くなるのが一般的には想定される場所である。なぜならば、農薬取り扱い現場で高濃度の農薬環境中に作業者が存在するためである。農業現場では、現実的な農薬の曝露防止手段は、労働衛生保護具(呼吸用保護具・化学防護手袋・化学防護服など)の適切な着用となる。しかし、農薬の物理化学的特性に応じた労働衛生保護具を着用しない場合は、農薬の曝露防止には有効に機能しない。近年、多用途で使用されているネオニコチノイド系農薬の特性に応じた労働衛生保護具の性能を評価した既存研究はない。さらに、一部の蒸気圧の高いガス状農薬で、皮膚浸透性の有害性を有するものを除き、作業者の曝露経路は呼吸器を介した吸入曝露が主な経路となる。呼吸器への影響は、粒子の大きさ(粒子径)に大きく依存することになるが、農薬の粒子径に着目した研究は少ない。

以上をまとめると、本研究は次の点において従来の研究にはない、独自性かつ新規性を提示するものである。

- ・ 農業従事者の農薬取り扱い実態を安全衛生面から考察
- ・ ネオニコチノイド系農薬に着目をした労働衛生保護具の性能を評価
- ・ ネオニコチノイド系農薬(粒子状農薬を対象)の曝露リスクを評価

参考文献

- 1) 宮崎県病害虫防除・肥料検査センター「-農薬の剤型とその特徴-」,
<<http://www.jppn.ne.jp/miyazaki/200/500/yougo/3.htm>> 2020.9.15 参照
- 2) 寺岡徹「農薬のきほん」, 誠文堂新光社 (2014), p56-57
- 3) 坂井道彦, 小池康雄 「ぜひ知っておきたい 農薬と農産物」, 幸書房 (2003), p20
- 4) 小林勝一郎「「社会の」中の農薬—新聞報道にみるそのイメージ」, 農林統計出版 (2019), p9
- 5) 小林裕子「農薬の残留性と残効性」, マテリアルライフ (Materials Life), 12 [3] 120~125 (July 2000),
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/mls1989/12/3/12_3_120/_pdf/-char/ja> 2020.3.10 参照
- 6) 上路雅子「農薬の環境影響について」, (独) 農業環境技術研究所, <https://www.maff.go.jp/kanto/syo_an/seikatsu/iken/yamanashi190207/pdf/shiryo3.pdf>

2020.3.10 参照

- 7) 農林水産省 (2010) 「周辺作物飛散影響防止対策基準策定事業報告書-農薬飛散対策技術マニュアル」, 消費・安全局植物防疫課,
<https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_nouyaku/manual/pdf/all.pdf>
2020.9.19 参照)
- 8) 農林水産省 「特集 有機農業 -循環と共生- (1)」,
<https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1005/spe1_01.html> 2020.3.14 参照
- 9) 農林水産省生産局農業環境対策課 「有機農業をめぐる事情」 (2020年2月),
<<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/youki/attach/pdf/index-146.pdf>> 2020.9.15 参照
- 10) 農林水産省 「有機農業の推進に関する基本的な方針の改定方針について」, 食料・農業・農村政策審議会果樹・有機部会 (第6回有機関係) 資料1,
<https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kazyu/r01_6/attach/pdf/index-14.pdf> 2020.3.14 参照
- 11) 社団法人日本植物防疫協会 「農薬を使用しないで栽培した場合の病害虫等の被害に関する調査報告」, (平成5年7月)
- 12) 総務省統計局 「世界の統計 2018」,
<<https://www.stat.go.jp/data/sekai/pdf/2018a1.pdf>> 2020.3.14 参照
- 13) 農林水産省 「1 食料自給率向上の意義と効果」,
<https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/t1_t_01.html> 2020.3.14 参照
- 14) 農林水産省 「食料自給率の基本的考え方」,
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/012-16.pdf> 2020.9.19 参照
- 15) 農林水産省 「日本の食料自給率」,
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/012.html> 2020.3.14 参照
- 16) 農林水産省 「諸外国・地域の食料自給率等について」,
<https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/attach/pdf/013-2.pdf> 2020.12.27 参照
- 17) 外務省 「「持続可能な開発目標」 (SDGs) について」,
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/about_sdgs_summary.pdf> 2020.3.14 参照
- 18) 環境省 「農薬取締法の一部を改正する法律案の閣議決定について」,
<<http://www.env.go.jp/press/105264.html>> 2020.3.15 参照
- 19) 総務省 「農業労働力の確保に関する行政評価・監視 -新規就農の促進対策を中心として- 結果に基づく勧告」,
<https://www.soumu.go.jp/main_content/000607884.pdf> 2020.3.15 参照
- 20) 農林水産省 「農業労働力の現状」,
<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h19_h/trend/1/t1_2_2_01.html> 2020.3.15 参照
- 21) 農林水産省・地域の活力創造本部決定 「農林水産省・地域の活力創造プラン」 (平成25

年 12 月 10 日決定, 平成 30 年 11 月 27 日改訂)

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/katsuryoku_plan/attach/pdf/index-12.pdf> 2020.9.15 参照

22) 独立行政法人農林水産消費安全技術センター(FAMIC)「農薬登録のしくみと登録審査」,

<http://www.famic.go.jp/information/business_guidance/nouyaku.html> 2020.3.8 参照

23) ダイオキシン・環境ホルモン対策国民会議「ニュースレターNo.57」(2009)

24) 水野玲子「新農薬ネオニコチノイドが日本を脅かす」, 七つ森書館(2015), p22-36

25) EFSA(European Food Safety Authority), 「EFSA assesses potential link between two neonicotinoids and developmental neurotoxicity」(2013)

第2章 研究計画と構成

本研究は、農業従事者の農薬取り扱い作業時の曝露リスクを、労働衛生管理学の側面から研究したものである。特に、ネオニコチノイド系農薬においては労働衛生管理学上の知見はなく、本稿での研究成果は極めて重要な知見となる。

第1章では、研究の導入部として、本研究の研究背景と目的および既往研究と本研究の位置づけを記述した。

第2章では、研究計画を記述することで、本研究の全体像および構成を明確に示した。

第3章から第7章にかけて、農薬の労働衛生上の課題の特定および農薬の曝露経路（吸入・経口）のリスクに着目して調査・試験を試みた。

第3章では、わが国の農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスク管理の現状把握と今後の課題について考察した。農薬の多くは化学物質であり、農薬の取り扱いには曝露リスクが伴う。適切に農薬を使用すれば、農業従事者の作業負荷の低減および生産性の向上を実現できる。一方で、不十分な管理下での農薬取り扱い作業では、農業従事者の健康に対して有害な影響を与える¹⁾。わが国の農業安全衛生管理は、主に農林水産省および厚生労働省によって連携しておこなわれている²⁾。昨今の農業従事者の農薬取り扱い作業による災害事例を解析すると、一層の関係行政間の連携強化を図り、労働災害防止に取り組む必要があることが示された。国は、将来の農業従事者を毎年2万人程度確保する方針を打ち出した³⁾。このことは経験の浅い農業従事者が増加することを意味しており、労働災害発生のリスクも増すことになる。農業作業の安全衛生を確保するために、本章では今後の課題について考察をおこなった。

第4章から第6章においては、ネオニコチノイド系農薬に着目をした研究に取り組み、結果および考察をおこなった。

第4章では、ネオニコチノイド系農薬の健康有害性情報の科学的知見を中心に、情報の整理をおこなった。本稿では、農薬の作業者曝露のリスク評価のプロセスおよび結果を提示した。農薬を含め化学物質のリスクは、「曝露の程度」と「有害性レベル」の積で求めるのが一般的な考え方である。本章の位置づけは、リスク評価結果を提示するために必要な「有害性レベル」を示すことにある。

第5章では、ネオニコチノイド系農薬の2種に対して、労働衛生保護具の性能試験を試みた。農業現場における農薬取り扱いという特殊な作業様態から、化学品製造工程や化学分析・試験などのように発生源に局所排気装置やプッシュプル換気装置等を設置し有害物を作業場外へ発散する、という対策は困難な場合が多い。したがって、農薬取り扱い作業時の曝露防止対策は、労働衛生保護具の着用が極めて有効な対策の一つとなる。昨今、化学工業の領域で化学物質の物性に応じた化学防護手袋を着用せず作業を長期間おこなったことが原因で、当該作業に従事した複数の労働者に膀胱がんが発症した事例が発生した。このこと

は農薬についても同じことがいえ、農薬の物理化学的性質に応じた適切な労働衛生保護具の着用が、農薬による健康障害防止には重要な視点となる。しかしながら、ネオニコチノイド系農薬に対する呼吸用保護具の性能評価に関する研究報告はなく、本研究で呼吸用保護具の性能試験の結果を定量的に示した。

第4章および第5章の結果から、第6章においてネオニコチノイド系農薬の吸入・経口曝露リスク評価および曝露低減対策を労働衛生管理学の側面から考察した。そして、最後(第7章)に総括として本論をまとめた。本稿の構成フローを図1に示す。

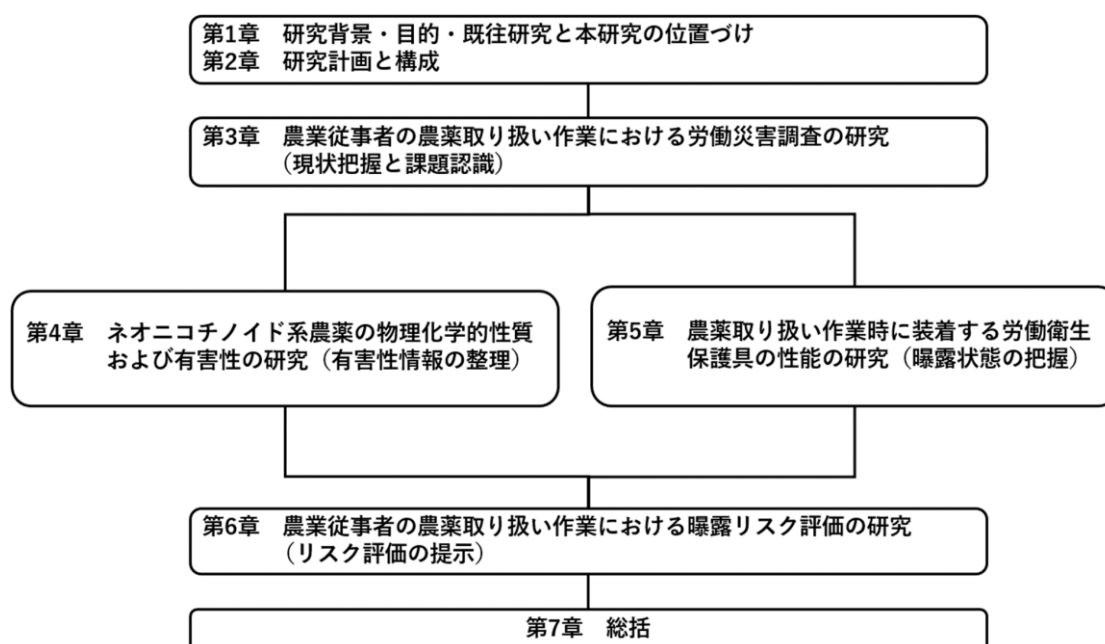


図1. 本稿の構成フロー

参考文献

- 1) 永美大志, 前島文夫, 西垣良夫, 夏川周介(2015)「農薬中毒臨床例全国調査 2010~12年度」, 日農医誌 64 巻 1 号, p14~22
- 2) 農林水産省「2019年度 農薬危害防止運動」の実施について,
<<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouyaku/190423.html>> 2020.3.1 参照
- 3) 農林水産省「(3)担い手の動向—新規就農者数の推移」,
<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h26/h26_h/trend/part1/chap2/c2_1_03.html>
2020.3.1 参照

第3章 農業従事者の農薬取り扱い作業における労働災害調査の研究

3-1. はじめに

3-1-1. 農業安全衛生管理

農薬取り扱い作業における安全衛生管理は、農薬取締法および労働安全衛生法により規定されており（補足資料 1）、それぞれ所管官庁は農林水産省および厚生労働省となる。農薬取締法第 7 条で「農薬の種類、名称、物理的・化学的性状、貯蔵上または使用上の注意事項など」について、農薬を販売するときに正確に表示することを製造者等に課している。また、労働安全衛生法第 57 条の 2 では、「労働者に危険もしくは健康障害を生ずるおそれのある物で、政令で定めるもの等を譲渡または提供する場合は、文書（安全データシート SDS：Safety Data Sheet の頭文字をとったもので、事業者が化学物質および化学物質を含んだ製品を他の事業者へ譲渡・提供する際に交付する化学物質の危険有害性情報を記載した文書のこと。）の交付」を譲渡または提供する者は相手方に通知することを課している。さらに、労働安全衛生法第 57 条の 3 では、「一定の危険有害性のある化学物質について、危険性や有害性を特定し、それによる労働者への危険または健康障害を生じるおそれの程度を見積もり、リスクの低減対策を検討すること（リスクアセスメント）」を事業者等に課している。

平成 28 年 4 月施行の改正農地法により、会社法人化の増加傾向がみられる¹⁾。このことは一定規模以上の事業場においては、労働災害防止を図るために労働安全衛生管理体制の構築が求められることになる（補足資料 2）。

3-1-2. 農薬のリスク管理

化学物質のリスクとは「化学物質がヒトや環境中生物に望ましくない影響を与える可能性のことをいう。その大きさは、化学物質の有害性の程度とその化学物質をどれだけ曝露（摂取）したか（曝露量または摂取量）に依存する。」とされている（参考文献²⁾ 引用）。つまり、化学物質のリスクは次式で示すことができる。

$$\text{リスク} = \text{有害性の程度（ハザード）} \times \text{曝露量・摂取量}$$

リスクは適切に評価（アセスメント）をおこない、管理（マネジメント）する必要がある。リスク評価およびリスク管理の過程をそれぞれ図 1、図 2 に示す。

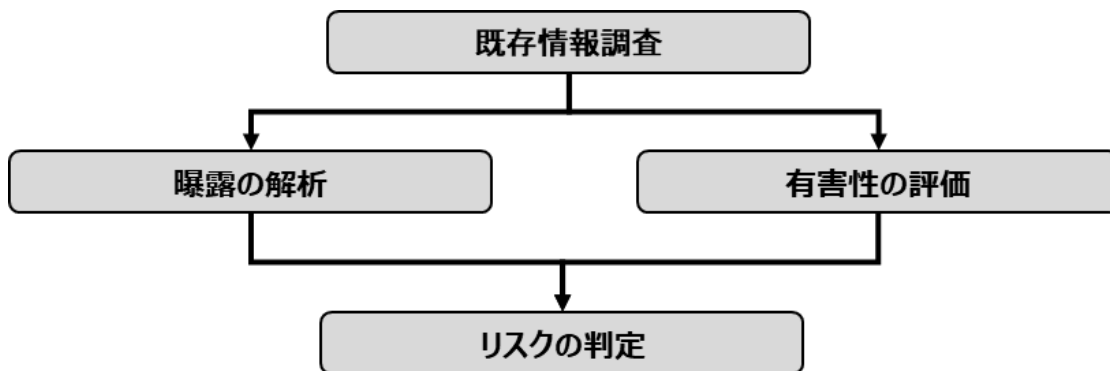


図 1. リスク評価の流れ
(環境リスク解析入門図 1-1³⁾ 引用)

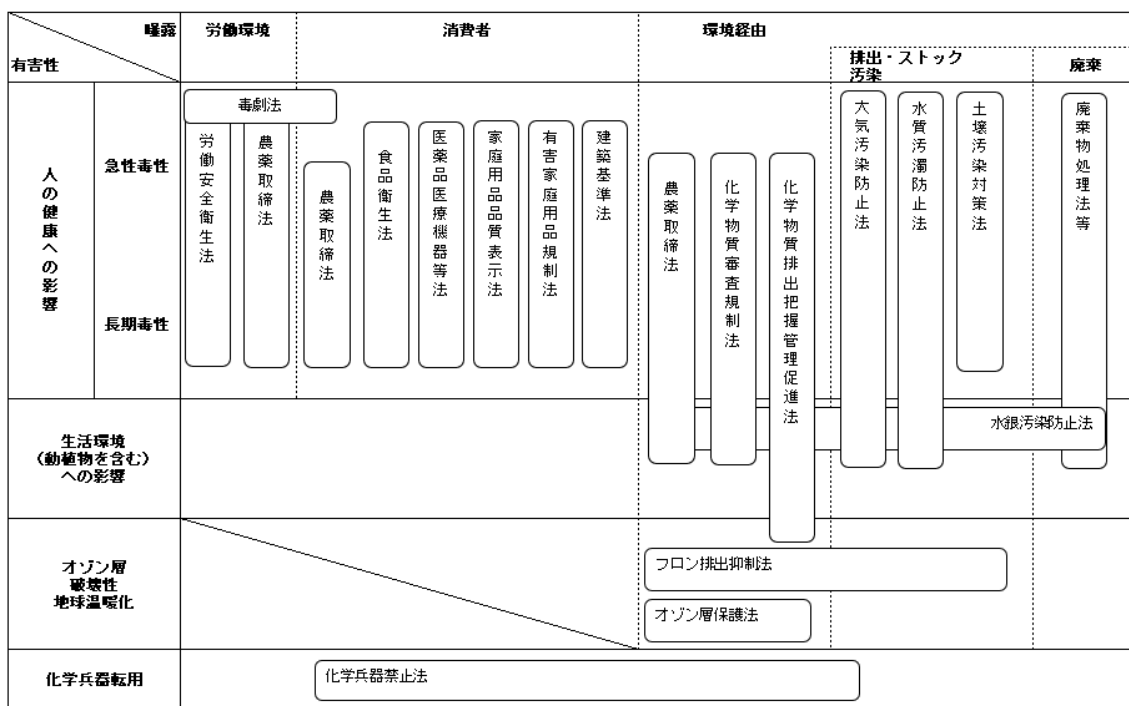
手順1	<p>化学物質等による危険性または有害性の特定</p> <p>たとえば、化学物質等による危険性または有害性は、作業標準等に基づき、必要な単位で作業を洗い出した上で、「化学品の分類及び表示に関する世界調和システム(GHS)」で示されている危険性または有害性の分類等に則して、各作業ごとに特定する。</p>
手順2	<p>特定された危険性または有害性によるリスクの見積り</p> <p>危険性については、影響の大きさ(負傷又は疾病の重篤度)と発生の可能性により、リスクを見積もる。</p> <p>有害性については、化学物質の有害性の強さ(度合い)と曝露量(程度)により、リスクを見積もる。</p>
手順3	<p>リスクを低減するための措置内容の検討</p> <p>次に掲げる優先順位で措置内容を検討する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・危険性または有害性の高い化学物質等の使用の中止、代替化 ・化学反応のプロセス等の運転条件の変更、化学物質等の形状の変更等 ・工学的対策・衛生工学的対策(設備の防爆構造化、局所排気装置等) ・管理的対策(マニュアルの整備、立入禁止措置、曝露管理等) ・個人用保護具の使用
手順4	<p>優先度に対応したリスク低減措置の実施</p> <p>上記で検討した結果に従い、リスク低減措置を実施する。</p>

図 2. 化学物質管理の労働安全衛生におけるリスク管理の流れ
(参考文献⁴⁾ 引用)

農薬においても、取り扱い作業時には必ずリスクが存在することになる。これまで農薬管理の主流は有害性の程度の管理(ハザード管理)であったが、世界的な農薬管理の方向性はリスク管理へと変遷しつつある⁵⁾。

欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority, 以下「EFSA」とする) は2014年に農薬使用者 (Operators), 農業従事者 (Workers), 周辺住民 (Residents), 通行人 (Bystanders) に対する農薬曝露リスク評価手法のガイダンス (Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products) を発表した⁶⁾。なお, 本ガイダンスには作業者曝露許容量 (Acceptable Operator Exposure Level, 以下「AOEL」とする) という考え方が示されている⁸⁾。AOELとは「a level of daily exposure throughout a spraying season, year on year, below which no adverse systemic health effects would be expected. (農薬取り扱い作業を通じて, 農業従事者などが農薬成分に曝露されても健康影響を生じないであろうと見込まれる水準)」と定義⁶⁾されている) という農薬曝露によるリスク評価をおこなううえで重要となる指標が示されている。また, わが国においても農薬の登録制度において, リスクの考えを用いた評価制度へと農薬取締法の改正がおこなわれることとなった⁷⁾。

補足資料 1. 化学物質管理の法体系全体像⁹⁾



補足資料 2. 労働安全衛生管理体制（衛生管理者の選任）¹⁰⁾

事業場の規模（常時使用する労働者数）	衛生管理者の選任数
50人以上～200人以下	1人以上
200人超～500人以下	2人以上
500人超～1,000人以下	3人以上
1,000人超～2,000人以下	4人以上
2,000人超～3,000人以下	5人以上
3,000人超	6人以上

業種	免許等保有者
農林水産業、鉱業、建設業、製造業（物の加工業含む）、電気業、ガス業、水道業、熱供給業、運送業、自動車整備業、機械修理業、医療業および清掃業	第一種衛生管理者免許もしくは衛生工学衛生管理者免許を有する者または医師、歯科医師、労働衛生コンサルタントなど
上記以外の業種	第一種衛生管理者免許、第二種衛生管理者免許もしくは衛生工学衛生管理者免許を有する者または医師、歯科医師、労働衛生コンサルタントなど

3-2. 研究方法

3-2-1. 農業従事者の農薬取り扱いに関わる災害調査

わが国の農業従事者の農薬取り扱い作業に関連した災害事例を把握するために、次の手順でデータの整備をおこなった。

- ① 農林水産省のホームページ¹¹⁾にある「農薬の使用に伴う事故および被害の発生状況について」から「人への事故の情報」に関するデータを抽出した。
- ② 抽出した具体的なデータ項目は、次の内容である。
 - 1) 区分：「散布中」のデータにおける「死亡および中毒」の「件数および被災者数」を対象とした。
 - 2) 期間：平成 20 年度から平成 29 年度までのデータを対象とした。
 - 3) 原因別：農業従事者の農薬取り扱い作業による作業員自身の曝露に起因する「マスク、メガネ、服装等装備不十分」、「使用時に注意を怠ったため本人が曝露」、「強風中や風下での散布等本人の不注意」、「長時間散布や不健康状態での散布」および「防除機の故障、操作ミスによるもの」のデータを対象とした。

3-2-2. 農薬のヒト健康有害性の調査

本稿では、欧州委員会（European Commission）のホームページにある EU Pesticides database¹²⁾（以下「EU 農薬データベース」とする）に登録されている農薬から、AOEL が設定されている農薬（以下「AOEL 設定農薬」とする）を対象に調査をした。

AOEL 設定農薬の基礎情報を把握するために、次の手順にてデータの整備をおこなった。

- ① EU 農薬データベースをダウンロード（2018年8月10日現在の登録情報）した。
- ② 登録されている農薬から AOEL 設定農薬を抽出した。
- ③ AOEL 設定農薬に関わる「化学品の分類および表示に関する世界調和システム（The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, 以下「GHS」とする）の健康に対する有害性の分類結果*1¹³⁾」を調査した。
- ④ GHS の健康に対する有害性の分類は、健康に対する有害性の項目の内、急性毒性（経口、経皮、吸入）、皮膚腐食性/刺激性、眼に対する重篤な損傷性/眼刺激性、呼吸器感受性、皮膚感受性、生殖細胞変異原性、発がん性、生殖毒性、特定標的臓器毒性-単回曝露-、特定標的臓器毒性-反復曝露-、誤えん有害性、の有害性区分有・無の割合を算出した。

*1 GHS 分類：

化学品の物理化学的危険性、健康有害性および環境有害性に応じて調和された GHS の判定基準による分類(JIS Z7253：2019)

なお、情報の調査に当たっては、独立行政法人・製品評価技術基盤機構の化学物質総合情報提供システム¹⁴⁾（以下「nite-CHRIP」とする）から AOEL 設定農薬の情報検索を実行した。

3-2-3. 農業従事者のリスク管理体制の調査

わが国の農業従事者の事業規模および農薬管理の実態を把握するために、次の文献から調査をおこなった。なお、農業従事者の事業規模は「家族経営体」および「組織経営体」の別、農薬管理の実態においては「管理者の存在の有無」、「SDS（労働安全衛生法では、化学物質を安全に取り扱い、災害を未然に防止することを目的に、化学物質を譲渡・提供する場合には、その化学物質の危険有害性等を記載した文書（SDS*2¹³⁾）を交付するなど情報の提供が義務づけられている。）の活用状況」そして「リスクアセスメント（潜在的な危険性または有害性を見つけ出し、これを除去・低減するため手法）の実施状況」について整理をした。

- ① 農業従事者の事業規模：日本農業の現状と見通し（若林）¹⁵⁾
- ② 農薬の管理実態：労働安全衛生としての農薬問題に関する調査研究（横山他）¹⁶⁾

*2 SDS (Safety Data Sheet)：

化学品について、化学物質・製品名・供給者・危険有害性・安全上の予防措置・緊急時対応などに関する情報を記載する文書(JIS Z7253：2019)

3-3. 研究結果

3-3-1. 農業従事者の農薬取り扱いにおける災害調査

平成20年度から平成29年度における農薬散布作業および誤用での災害発生件数および被災者数はそれぞれ19~44件（平均値31.9件）、23~82人（平均値54.0人）で推移している。発生件数はほぼ横ばいであり、被災者数は年度によりばらつきがある（図3）。

平成27年度には散布中（原因：使用時に注意を怠ったため本人が曝露）での死亡事例が発生している。

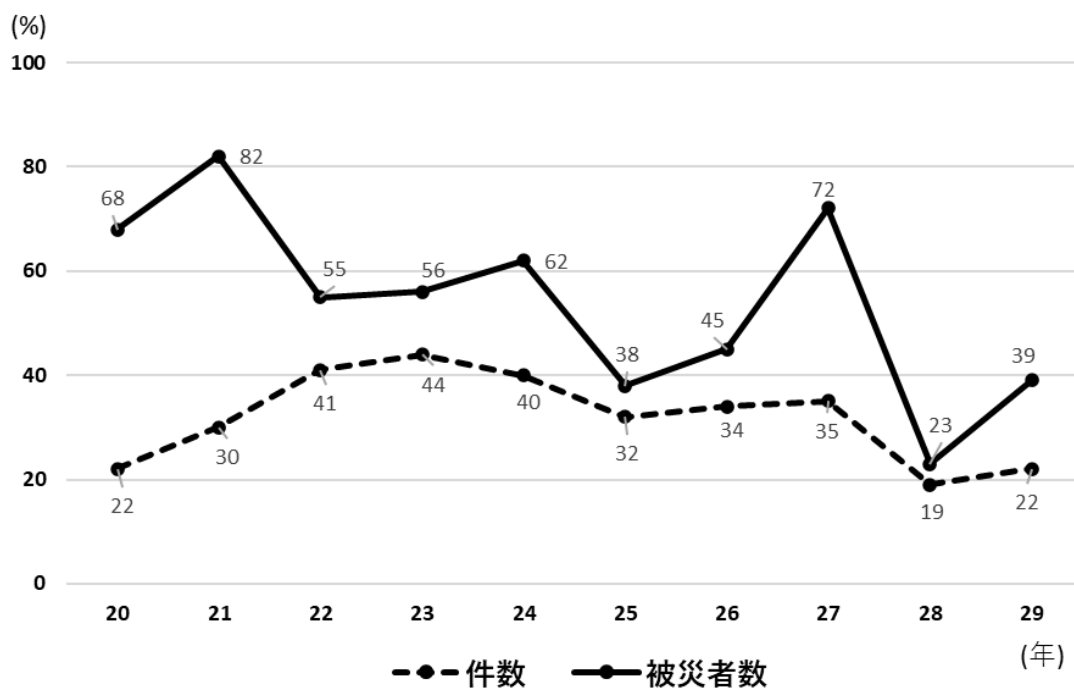


図3. 農薬曝露による災害件数の推移

農業従事者の農薬取り扱い作業における作業者自身の曝露に関する災害状況については、全災害件数（農薬に起因する災害の「中毒」に該当する総件数）に対する割合は平成25年度から増加傾向を示した（図4）。

なお、作業者自身の曝露の原因は「マスク・メガネ・服装等装備不十分」、「使用時に注意を怠ったため本人が曝露、強風中や風下での散布等本人の不注意および長時間散布や不健康状態での散布」および「防除機の故障・操作ミス」とし、誤飲やその他・不明は含んでいない。

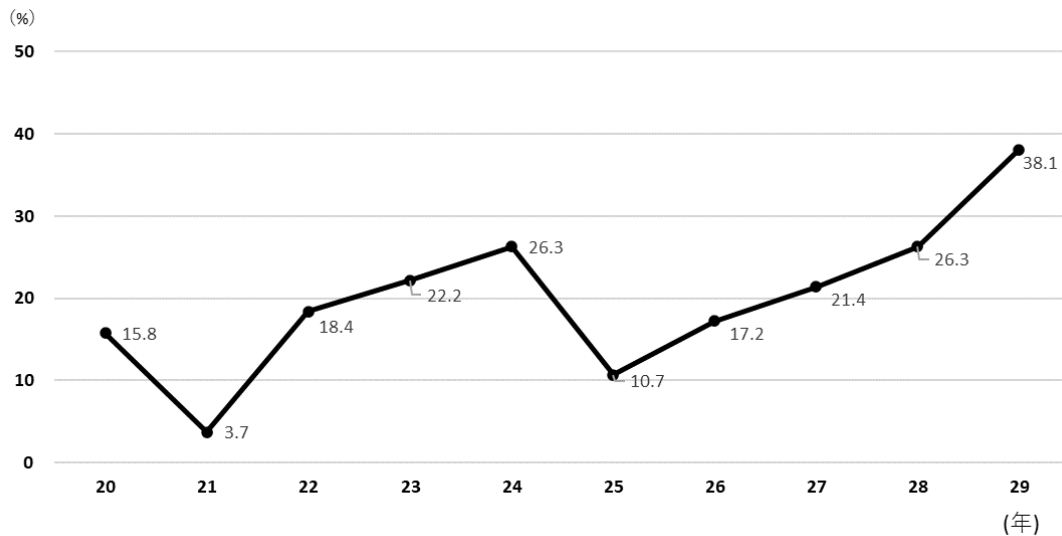
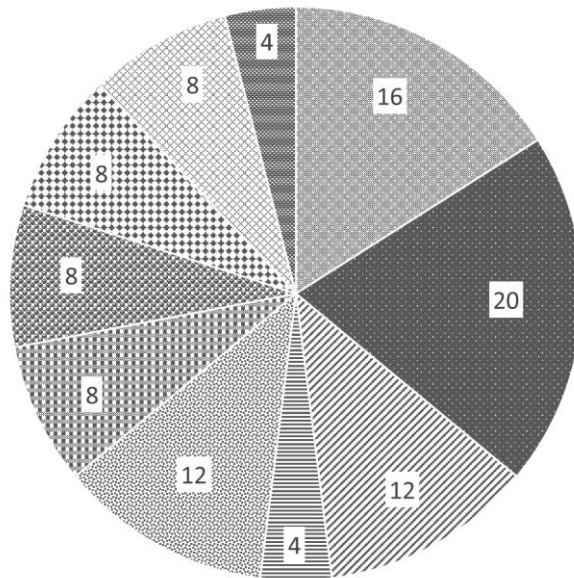


図 4. 全災害件数に対する農薬取り扱いの作業者曝露に関連する災害割合

平成 27 年度から平成 29 年度の 3 ヶ年分のデータにて、曝露原因が「マスク・メガネ・服装等装備不十分」および「使用時に注意を怠ったため本人が曝露」の「①中毒の症状」，「②被災作業者年齢」および「③災害発生の季節」の災害発生状況を調査したところ，次の結果が得られた（図 5）。

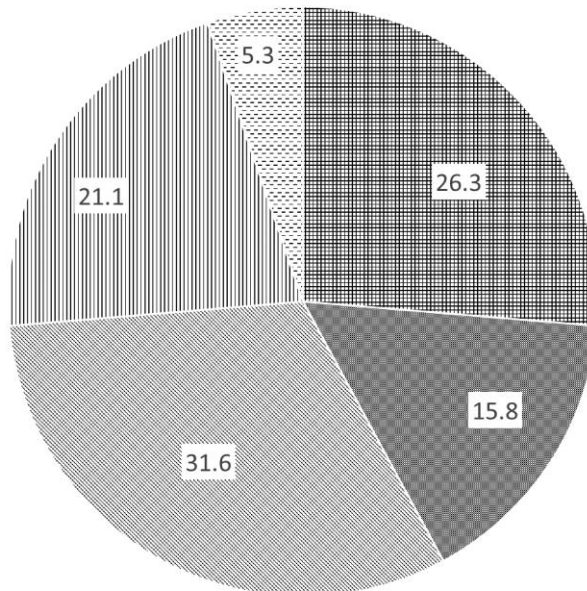
- ① 中毒の症状：皮膚および眼の症状で全体の約 40%弱を占める。次いで吐き気，呼吸器がそれぞれ 24%，耳鼻咽喉，意識障害，気分障害，その他がそれぞれ 8%，発汗・動悸，症状なしがそれぞれ 4%を示した。
- ② 被災作業者年齢：0-19 歳はゼロ，60-79 歳が 31.6%で，全年齢で一番高値を示した。次いで 20-39 歳が 26.3%，80 歳以上が 21.1%，40-59 歳が 15.8%，年齢不明が 5.3%となった。
- ③ 災害発生の季節：春（4～6 月），夏（7～9 月），秋（10～12 月），冬（1～3 月）として，夏が 36.8%と一番高値を示した。次いで春が 26.3%，秋が 21.1%，冬が 15.8%の順となった。

Symptoms (%)



- 皮膚障害
- 眼障害
- 〳 嘔吐・吐気
- ≡ 発汗・動悸
- 〴〵 呼吸器障害
- 耳鼻咽喉障害
- 意識障害
- 〴〵 気分障害
- 〴〵 その他
- なし

Age (%)



- 0-19 <0%>
- 20-39
- 40-59
- 60-79
- 80-
- 〴〵 unkown

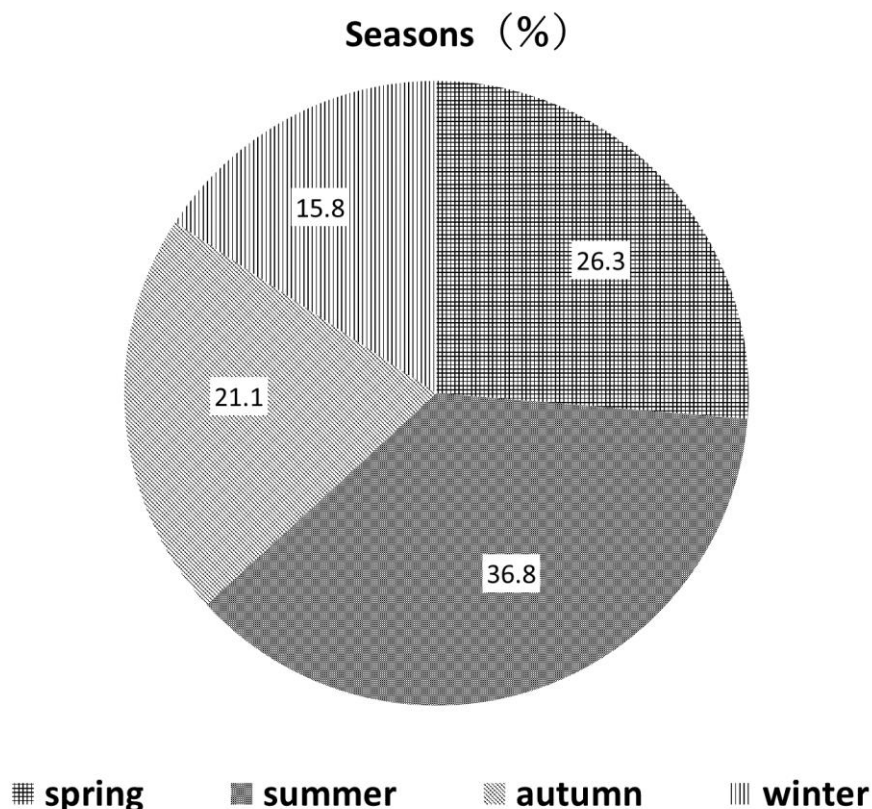


図 5. 症状別, 年齢別, 季節別の災害発生状況
(詳細データは, 巻末の参考データに掲載)

3-3-2. 農薬のヒト健康有害性の調査

EU 農薬データベースに登録されている農薬は 1,378 件であり, その内 AOEL 設定農薬は 384 件 (27.9%) であった。

有害性の調査に関しては, “政府による GHS 分類結果” を用いた (表 1) . AOEL 設定農薬の内, GHS 分類結果が得られた農薬は 132 件 (34.4%) であった. 健康に対する有害性の項目の内, 急性毒性 (経口, 経皮, 吸入) ※1 は 72.7%, 皮膚腐食性/刺激性※2 は 28.8%, 眼に対する重篤な損傷性/眼刺激性※3 は 56.1%, 呼吸器感作性※4 は 0%, 皮膚感作性※5 は 23.5%, 生殖細胞変異原性※6 は 6.8%, 発がん性※7 は 12.1%, 生殖毒性※8 は 36.4%, 特定標的臓器毒性-単回曝露-※9 は 54.5%, 特定標的臓器毒性-反復曝露-※10 は 65.9%, 誤えん有害性※11 は 0.8%, で区分有を示した。

表 1. 調査対象とした GHS 分類の結果

		急性毒性 ※1	皮膚刺激 ※2	眼刺激 ※3	呼吸器 感作※4	皮膚感作 ※5	変異原性 ※6
件数 (%)	区分有	96	38	74	0	31	9
	#1	(72.7)	(28.8)	(56.1)	(0)	(23.5)	(6.8)
	区分無	36	94	58	132	101	123
	#2	(27.3)	(71.2)	(43.9)	(100)	(76.5)	(93.2)
計		132	132	132	132	132	132

		発がん性 ※7	生殖毒性 ※8	単回曝露 ※9	反復曝露 ※10	誤えん ※11
件数 (%)	区分有	16	48	72	87	1
	#1	(12.1)	(36.4)	(54.5)	(65.9)	(0.8)
	区分無	116	84	60	45	131
	#2	(87.9)	(63.6)	(45.5)	(34.1)	(99.2)
計		132	132	132	132	132

(脚注)

“政府による GHS 分類結果”における危険有害性のクラスごとに、GHS 分類結果が

#1 区分有：

「それぞれの区分」と記載されていた物質

#2 区分無：

「区分外#3」「分類できない#4」もしくは「分類対象外#5」と記載されていた物質

#3 区分外：

- ・ GHS 分類をおこなうのに十分な情報が得られており、分類をおこなった結果、規定する危険有害性区分のいずれの区分にも該当しない場合
- ・ 発がん性など証拠の確からしきで分類する危険有害性クラスにおいて、専門家による総合的な判断から当該毒性を有しないと判断される場合

#4 分類できない：

- ・ 各種の情報源等を検討した結果、GHS 分類の判断をおこなうためのデータがまったくない場合
- ・ GHS 分類をおこなうための十分な情報が得られなかった場合
- ・ 得られた証拠が区分に分類するには不十分な場合

#5 分類対象外：

GHS 分類の手順で用いられる物理的状態または化学構造が該当しないため、当該区分での分類の対象となっていない場合

3-3-3. 農業従事者のリスク管理体制の調査

農業経営体数の推移は、家族経営体は減少傾向を示す一方で、組織経営体は増加傾向である（表2）。

表 2. 農業経営体数の推移

	2005年度	2010年度	2015年度
家族経営体	198	165	134
組織経営体	2.8	3.1	3.3

(単位：万経営体)

法人化された一定規模の農業事業者は、労働安全衛生法上の管理体制の構築が求められる。本稿では、農業事業規模で最も多いと推測される労働者数「0～9人」および「10～49人」の単位で、「①法定管理者の選任状況」、「②SDSの常時確認状況」および「③リスクアセスメントの実施状況」について、次の調査結果を得た。

- ① 法定管理者の選任状況：労働者数10～49人の事業規模で、衛生管理者・衛生推進者の選任がそれぞれ32.7%・15.6%の選任状況であった。
- ② SDSの常時確認状況：SDSが常時確認できる状態にない事業者が81.5%であった。
- ③ リスクアセスメントの実施状況：労働者数0～9人の事業規模で、リスクアセスメントの実施状況で約8割が「実施していない」または「わからない」であった。

一方で、労働災害防止対策への関心度の調査結果においては、「関心がない」または「あまり関心がない」と回答した事業場は15.4%であった。

3-4. 考察

農薬を活用することで、農業従事者の作業負荷低減や農作物の生産性向上などが実現できる。一方で、農薬の多くは化学物質であることから、農薬の調整・散布などの作業における曝露により、農業従事者への健康影響リスクが存在する。

農薬曝露による健康影響リスクは、使用する農薬自体の有害性（ハザード）と取り扱う農薬をどれだけの量を曝露したかに依存し、「農薬曝露リスク＝農薬の有害性（ハザード）×曝露量」で示される。よって、有害性の高い農薬でも曝露量を少なくすることで、リスクを低減することができる。逆に、有害性の低い農薬でも曝露量が多いと、リスクは増大することになる。

農薬曝露に起因する災害は「農業従事者自身が農薬に曝露する（労働衛生的要因）」ものと、「農薬散布等により周辺住民等が農薬に曝露する（環境飛散要因）」もの、原因不明等に大別される。平成20年度から平成29年度の10年間の労働衛生的要因、環境飛散要因お

よび原因不明等の発生件数は19件から44件（平均31.9件）の間で、ほぼ横ばいで推移している。一方で、労働衛生的要因に着目を見ると、平成25年度の10.7%を起点に増加傾向がみられ、平成29年度は38.1%の災害発生率を示した。また、平成27年度から平成29年度までの労働衛生的要因による年代別の災害発生は、60歳－79歳で31.6%、20歳－39歳で26.3%と高値を示した（図5）。このことは、熟練農業従事者は長年の作業スタイルが確立されており、作業のやり易さや効率性を重視し曝露防止対策の優先順位が下がっていることが考えられる。また近年、経験の浅い農業従事者が増加傾向であり、20歳－39歳の災害発生割合が高いのは、農薬に対するリスク感受性や曝露防止対策の知識に乏しいことが考えられる。

平成27年度から平成29年度の労働衛生的要因に該当する災害事例においては、春（4月から6月）が26.3%、夏（7月から9月）が36.8%で、全災害件数の約6割を占め（図5）、春および夏の時期に農薬曝露リスクが大きくなることが示された。農薬は農作物の種まきから収穫期に大量に使用することになり、わが国の気候の性質上、春から夏場にかけて農薬の使用量が多くなるに伴い、災害発生率が高まるものと考えられる。農薬の曝露リスクの考え方に当てはめると、農薬にはそれぞれ有害性があるが、春から夏にかけて取扱量が増えることに伴い、曝露リスクも増大することになる。農薬の曝露リスクを下げるためには、20歳－39歳および60歳－79歳に対して、農薬取り扱い時の安全衛生教育などの対策を施すことが特に重要と考える。

農薬の人体への曝露経路は経口（消化管からの曝露）、吸入（呼吸器からの曝露）および経皮（皮膚や粘膜からの曝露）に大別される。労働衛生的要因は、主に吸入および経皮からの曝露が主要な経路となる。また、短期間に一定量の農薬に曝露し、健康影響が生じる「急性影響」と、長期間にわたる農薬曝露による「慢性影響」の視点も重要となる。

本稿では、EUでAOELが設定されている農薬の有害性情報について、日本政府によるGHS分類結果を整理した。その結果、GHS区分において急性毒性の区分有の件数割合が72.7%と高かった。農薬は春から夏にかけて大量に使用するという特徴があり、急性毒性の有害性を有する農薬が多いことが明らかとなったことから、使用時の曝露防止対策の徹底が求められる。また、皮膚や眼への影響についてのGHS区分においてはそれぞれ28.8%、56.1%で有害性を有することが確認された。平成27年度から平成29年度の3年間に発生した労働衛生的要因の中毒内容では、皮膚および眼の障害が全体の約35%以上を占めたことから、呼吸用保護具の着用による吸入・経口曝露防止対策だけではなく、保護衣やゴーグル等を適切に着用することによる曝露防止対策が求められる。慢性影響においては、生殖毒性で36.4%を示したことから、特に青年層作業員の曝露は「次世代以降へも影響を与えるリスクがある」ことを教育することが必要である。

わが国の農業事業形態は、家族経営体が圧倒的に多い。近年では家族経営体は減少傾向にあり、組織経営体がわずかではあるが増加傾向を示している（表3）。株式会社など法人化した組織においては、人数規模に応じて労働安全衛生法に規定される労働安全衛生管理体

制の構築が求められる。一定規模以上の農業従事者を雇用する事業主は、衛生管理者などの法定の管理者を選任し、農薬の管理や作業安全を確保する、などの業務を担わせる必要がある。しかしながら、労働者数が「10人～49人」での衛生管理者または衛生推進者の選任率がそれぞれ32.7%、15.6%という調査結果が示されている。本来であれば10人～49人の事業規模では衛生推進者の選任が必須であることから、安全衛生管理体制が十分に整っている事業場が少ないことが調査結果で明らかとなった。農薬のリスク管理業務を担うキーパーソンが十分に選任されていないことが、農業従事者の農薬曝露リスク低減対策で有効なSDS活用やリスクアセスメント実施状況の低実施率につながっている一因とも考えられる。一定規模以上の経営体において、農薬リスク管理体制が十分に整っていない現状から、農業分野は一般的に小規模経営体が多いことを踏まえると、農業従事者全般に労働災害防止の意識は低いものと推測される。ただし、農業従事者の労働災害防止意識に関する調査結果は極めて少ないため、継続的な調査の実施が望まれる。

3-5. まとめ

本稿では、農業従事者の農薬取り扱いにおける曝露リスクを多方面から調査し、現状の課題を整理した。熟練農業従事者がリタイアしていく一方で、将来的には若年層の農業従事者が増えることが見込まれ、これに伴い、経験の浅い農業従事者の農薬取り扱い作業に起因する労働災害の増加が懸念される場所である。政府も将来の農業従事者を毎年2万人程度確保する方針を打ち出したことから¹⁷⁾、農薬取り扱いによる曝露健康リスクの管理が極めて重要である。

多くの農薬は健康有害性を有するが、曝露量を適切にコントロールすることで健康リスクを限りなく低減することが可能となる。今回の調査から、農業分野においては安全衛生管理体制の構築が不十分であることが示された。農業従事者の安全・安定就業は、持続可能な食料供給の実現に直結することからも、農業における安全衛生管理のいっそうの整備が求められる。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本農業法人協会「農業法人とは？」、
<http://hojin.or.jp/standard/what_is/what_is.html> 2020.2.29 参照
- 2) 一般財団法人化学物質評価研究機構 (2012) 「化学物質のリスク評価がわかる本」、丸善出版、p.5
- 3) 吉田喜久雄、中西準子 (2006) 「環境リスク解析入門 [化学物質編]」、東京図書、p18
- 4) 中央労働災害防止協会 「化学物質 (化学物質の管理、リスクアセスメント、SDS、有害性調査、情報等)」、< <https://www.jisha.or.jp/chemicals/management/about02.html> >

2020.2.29 参照

- 5) 佐々木詩織, 金子圭一, 楠井達典 (2014) 「新たな毒性試験の動向調査」, 農林水産消費安全技術センター農薬調査研究報告, pp.21-23
- 6) European Food Safety Authority (2014) 「Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products」
- 7) 農林水産省 「農薬取締法の一部を改正する法律案の閣議決定について」,
<<http://www.env.go.jp/press/105264.html>> 2020.2.29 参照
- 8) 国立医薬品食品研究所 (2010) 「食品安全情報 No.5/2010」,
<<http://www.nihs.go.jp/hse/food-info/foodinfonews/2010/foodinfo201005.pdf>> 2020.2.29 参照
- 9) 一般財団法人化学物質評価研究機構 (2012) 「化学物質のリスク評価がわかる本」, 丸善出版, p.10
- 10) 中央労働災害防止協会 (2007) 「新衛生管理 下 第1種用」, pp.12-15
- 11) 農林水産省 「平成 29 年度農薬の使用に伴う事故及び被害の発生状況について」, <http://www.maff.go.jp/j/nouyaku/n_topics/attach/pdf/h20higai_zyokyo-5.pdf> 2020.2.29 参照
- 12) EU Pesticides database (2018), <<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.selection&language=EN>> 2020.2.29 参照
- 13) JIS (日本産業規格) 規格番号: JIS Z7253:2019, 規格名称: GHSに基づく化学品の危険有害性情報の伝達方法—ラベル, 作業場内の表示及び安全データシート(SDS) (改正年月日: 2019.5.25)
- 14) 独立行政法人・製品評価技術基盤機構 「化学物質総合情報提供システム」,
<<https://www.nite.go.jp/chem/index.html>> 2020.2.29 参照
- 15) 若林剛志 (2016) 「日本農業の現状と見通し」, 農林金融, pp.35-36
- 16) 横山和仁他 (2015) 「労働安全衛生としての農薬問題に関する調査研究」, 産業医学ジャーナル 38(1), pp.70-75
- 17) 農林水産省 「(3) 担い手の動向—新規就農者数の推移」,
<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h26/h26_h/trend/part1/chap2/c2_1_03.html>
2020.2.29 参照

第4章 ネオニコチノイド系農薬の物理化学的性質および有害性の研究

4-1. はじめに

本章では、本稿の主要テーマとなるネオニコチノイド系農薬の曝露リスク評価の基礎情報について、調査およびまとめをおこなった。農薬の曝露リスクは、取り扱い農薬の有害性の程度と曝露量の積で示される。薬理作用、物理化学的性質、GHS分類、環境や生物への影響に関する既存研究のレビューなどの情報から、ネオニコチノイド系農薬の有害性の程度を整理する位置づけとした。

ネオニコチノイド系農薬は、有機リン系農薬の代替農薬として¹⁾、1990年代に農薬市場に参入してから、世界中で最も使用されている農薬の一つである²⁾³⁾。日本国内出荷量は2010～2014年実績で、年間約550～900トンの中で推移をしている(図1)⁴⁾。

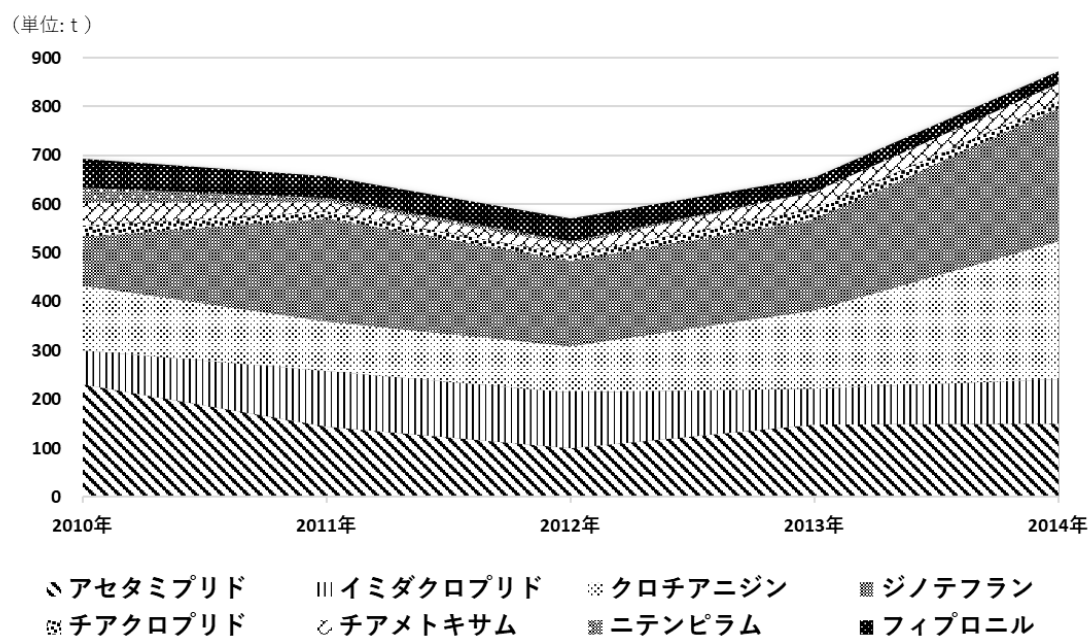


図1. 浸透性農薬*1の出荷量

(詳細データは、巻末の参考データに掲載)

*1: 浸透性農薬: 水をつたって植物内部の隅々にいきわたり(浸透し)、作物全体を害虫から効果的に守れる農薬(フィプロニル(フェニルピラゾール系農薬)はネオニコチノイド系農薬ではないが、強い浸透性を示すことから参考値として示した)

ネオニコチノイド系農薬はニトログアニジン系，ニトロメチレン系およびピリジルメチルアミン系があり（図 2-1），ニコチンに化学的構造が似ている（図 2-2）。

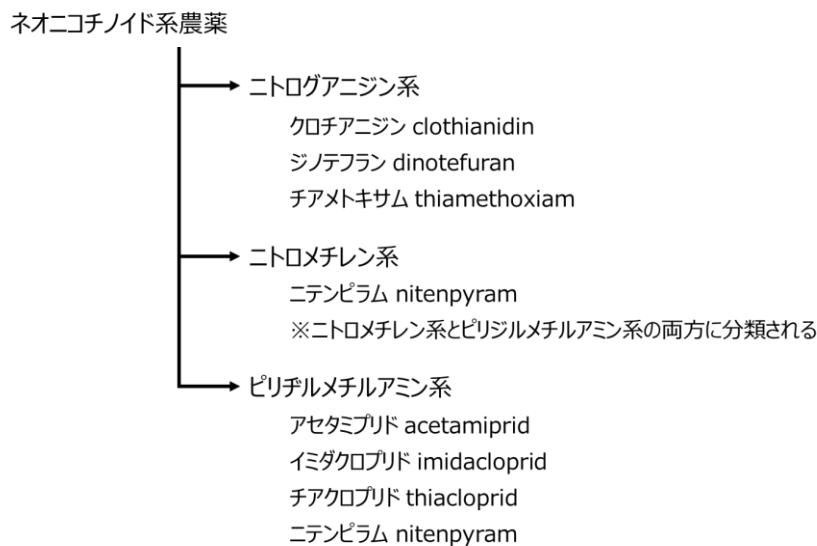


図 2-1. ネオニコチノイド系農薬の構成

物質名	構造式	CAS No.	物質名	構造式	CAS No.
Imidacloprid		105827-78-9	Thiamethoxam		153719-23-4
Thiacloprid		111988-49-9	Clothianidin		210880-92-5
Nitenpyram		150824-47-8	Dinotefuran		165252-70-0
Acetamiprid		160430-64-8	(参考) Nicotine		54-11-5

図 2-2. ネオニコチノイド系農薬の構造式⁵⁾

わが国における，農薬の主な法規制は農薬取締法（農取法），食品衛生法（食衛法），毒物および劇物取締法（毒劇法）が制定されている．ネオニコチノイド系農薬における法規制は，「イミダクロプリド：農取法・食衛法・毒劇法」，「アセタミプリド：農取法・食衛法・毒劇法」，「チアクロプリド：農取法・食衛法」，「クロチアニジン：農取法・食衛法」，「ジノテフラン：農取法・食衛法」，「チアメトキサム：農取法・食衛法」，「ニテンプラム：農取法・食衛法」にて規制されている¹⁾．

＜補足＞ 農取法，食衛法，毒劇法の目的

法規	目的
農取法（第1条）	この法律は，農薬について登録の制度を設け，販売および使用の規制等をおこなうことにより，農薬の安全性その他の品質およびその安全かつ適正な使用の確保を図り，もって農業生産の安定と国民の健康の保護に資するとともに，国民の生活環境の保全に寄与することを目的とする．
食衛法（第1条）	この法律は，食品の安全性の確保のために公衆衛生の見地から必要な規制その他の措置を講ずることにより，飲食に起因する衛生上の危害の発生を防止し，もって国民の健康の保護を図ることを目的とする．
毒劇法（第1条）	この法律は，毒物および劇物について，保健衛生上の見地から必要な取締をおこなうことを目的とする．

次項では，ネオニコチノイド系農薬の薬理作用，物理化学的性質，健康に対する有害性，ヒトを含む生物への影響の既存研究のレビュー，を科学的知見として整理した．

4-2. 科学的知見

本項では，ネオニコチノイド系農薬の科学的知見の整理をおこなった．具体的には，以下の項目についてまとめた．

- ① 薬理作用
- ② 物理化学的性質
- ③ 健康に対する有害性
- ④ 生物（含むヒト）への影響＜既存論文のレビュー＞

なお，フィプロニル（フェニルピラゾール系農薬）はネオニコチノイド系農薬ではないが，強い浸透性を示すことから，②物理化学的性質および③健康に対する有害性において，参考値として示した．

4-2-1. 薬理作用

ネオニコチノイド系農薬は、アセチルコリン（Ach）受容体に結合して、本来の刺激伝達物質である Ach の作用をさえぎる。ネオニコチノイド系農薬は Ach 受容体を塞いだまま、分解されずに Ach 類似の作用を長時間及ぼすため、神経信号が伝わらなくなり害虫は死に至る⁶⁾。つまり、昆虫のニコチン性アセチルコリン受容体(nAChRs)に選択的アゴニストとして作用し、害虫に対して非常に高い選択毒性を示す⁶⁾⁷⁾。

ネオニコチノイド系農薬は、従来の殺虫剤と比較して哺乳類やヒトに対する毒性は低いと考えられていたが、ネオニコチノイド系農薬への曝露が哺乳類やヒトに潜在的なリスクをもたらすことを示す研究が増えている⁸⁾。

4-2-2. 物理化学的性質

ネオニコチノイド系農薬の物理化学的特徴としては、水溶性、浸透性、熱・紫外線に比較的安定とされている¹⁾。また、ネオニコチノイド系農薬は蒸気圧が低い薬剤であることから、一般的には揮発しにくいとされている⁸⁾。このことは、一般環境中に放出されたネオニコチノイド系農薬の半減期は長いことを示している⁹⁾。有機リン系農薬およびネオニコチノイド系農薬の一部の農薬を比較したものを、参考資料として掲載した。有機リン系農薬の半減期と比べても、ネオニコチノイド系農薬のそれは長い傾向が確認された。

(参考資料) 農薬の半減期一例

有機リン系農薬	ネオニコチノイド系農薬
<u>イミシアホス</u> ・好氣的土壤中運命試験 : 推定半減期は茨城土壤で 27 日, 米国土壤で 36 日 ・嫌氣的土壤中運命試験 : 推定半減期は福岡土壤で 48 日, 英国土壤で 38 日 <u>メタミドホス</u> ・湛水土壤中運命試験 : 推定半減期は 41 日 ・好氣的土壤中運命試験 : 推定半減期は 14 時間	<u>クロチアニジン</u> ・湛水土壤運命試験 : 重埴土, 砂壤土, 軽埴土で好氣的条件下 においてそれぞれ 50 日, 70 日, 60 日 ・畑地土壤運命試験 : 重埴土, 砂壤土, 軽埴土で好氣的条件下 においてそれぞれ 19 日, 210 日, 200 日 <u>ジノテフラン</u> ・嫌氣的土壤中運命試験 : 半減期は約 9 週 ・好氣的湛水土壤中運命試験 : 半減期は 4~5 週間

参考：食品安全委員会「各農薬の農薬評価書」

ネオニコチノイド系農薬の大気中への拡散は、散布場所の水分蒸発、高温乾燥および粒子状物質の存在によって促進される。つまり、実際に屋外で薬剤散布された場合は、降雨後に薬剤の大気中への拡散が促進され、一時的に気中濃度が上昇する⁸⁾。

また、ネオニコチノイド系農薬を含有するシロアリ駆除剤の床下への散布では、水で希釈して土壌散布および木部への塗布がおこなわれることから、シロアリ駆除作業後しばらくの間は、水分の蒸発に伴い、床下のネオニコチノイド濃度が高まり、室内汚染が発生しやすい⁸⁾。

一般的には、ネオニコチノイド系農薬の有効成分のうち、農作物が吸収するのは約 5%に過ぎず、ほとんどの有効成分は吸収されず、より広範な環境に分散することになる¹⁰⁾。

ネオニコチノイド系およびフェニルピラゾール系農薬の物理化学的性質（分子式・分子量、外観・臭気、融点、蒸気圧、土壌吸着係数、オクタノール／水分配係数、密度、水溶解度）を表 1 に示す。

表 1. 物理化学的性質^{11) 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18)}

農薬名	分子式 分子量	外観 臭気	融点 ℃	蒸気圧 Pa	土壌吸着係数 Koc	オクタノール ／水分配係数 logPow	密度 g/cm ³	水溶解度 μg/L
イミダクロプリド	C ₉ H ₁₀ ClN ₅ O ₂ 255.7	無色結晶 弱い特異臭	144	2.0×10 ⁻⁷ (20℃)	175.0 - 376.2 (25℃)	0.57 (21℃)	1.41 (20℃)	4.8×10 ⁵ (20℃)
アセタミプリド	C ₁₀ H ₁₁ ClN ₄ 222.7	白色粉末 無臭	98.9	<1.0×10 ⁻⁶ (25℃) 1.73×10 ⁻⁷ (50℃)	120 - 270 (25℃)	0.80 (25℃)	1.3 (22℃)	4.25×10 ⁶ (蒸留水) 3.48×10 ⁶ (pH5) 2.95×10 ⁶ (pH7) 3.96×10 ⁶ (pH9)
ニテンピラム	C ₁₁ H ₁₅ ClN ₄ O ₂ 270.7	ごく薄い黄緑色(24℃) 粉末 無臭 (25℃)	82	1.1×10 ⁻⁹ (20℃)	64 - 300 (25℃) 45 - 350 (23℃)	-0.66 (25℃)	1.40 (26℃)	> 5.9×10 ⁸ (20℃)
チアクロプリド	C ₁₀ H ₈ ClN ₄ S 252.7	黄色粉末 無臭	136	3×10 ⁻¹⁰ (20℃) 8×10 ⁻¹⁰ (25℃)	230 - 660 (25℃)	1.26 (20℃)	1.5 (20℃)	1.85×10 ⁵ (20℃; pH4, 7, 9, 純水)
チアメキサム	C ₈ H ₁₀ ClN ₃ O ₃ S 291.7	白色粉末 無臭	139.1	2.7×10 ⁻⁹ (20℃) 6.6×10 ⁻⁹ (25℃)	16 - 32 (25℃)	-0.13 (25℃)	1.6 (22℃)	4.1×10 ⁶ (25℃, pH7)
クロチアニジン	C ₈ H ₈ ClN ₃ O ₂ S 249.7	無色粉末 無臭	176.8	1.3×10 ⁻¹⁰ (25℃)	90 - 250 (25℃)	0.7 (25℃)	1.6 (20℃)	3.27×10 ⁵ (20℃)
シノテフラン	C ₇ H ₁₄ N ₄ O ₃ 202.21	白色結晶 無臭 (常温)	107.5	<1.7×10 ⁻⁶ (30℃)	測定不能	-0.549 (25℃)	1.4 (20℃)	4.0×10 ⁷ (pH6.98, 20℃)
フィプロニル	C ₁₂ H ₄ Cl ₂ F ₂ N ₄ OS 437.1	白色粉末 無臭 (23℃)	202.7 - 203.0	<2×10 ⁻⁶ (25℃)	550 - 1,700 (約 25℃) 2700 - 7,800 (約 20℃)	4.00 (20℃)	1.7 (20℃)	3.78×10 ³ (20℃, pH6.6)

4-2-3. 健康に対する有害性

ネオニコチノイド系およびフェニルピラゾール系農薬の健康に対する有害性について、①残留農薬摂取許容基準である許容一日摂取量 (Acceptable Daily Intake, 以下「ADI」とする) および急性参照用量 (Acute Reference Dose, 以下「ARfD」とする)、②作業員曝露許容量 (Acceptable Operator Exposure Level, 以下「AOEL」とする)、③化学品の分類お

よび表示に関する世界調和システム (The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, 以下「GHS」とする) の健康に対する有害性をまとめた。

(1) ADI および ARfD

日本および EU それぞれにおいて規制されている ADI 値および ARfD 値について、表 2 および表 3 にそれぞれまとめた。日本のデータについては、食品安全委員会評価書のデータを引用し、ADI 設定根拠および ARfD 設定根拠を示した。

(2) AOEL

AOEL は、欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority, 以下「EFSA」とする) にて 2014 年に農薬使用者 (Operators), 農業従事者 (Workers), 周辺住民 (Residents), 通行人 (Bystanders) に対する農薬曝露リスク評価手法のガイダンス (Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products) ²⁸⁾ にて定められている規制値である。ネオニコチノイド系およびフェニルピラゾール系農薬の規制値を表 4 に示す。

(3) GHS 分類

ネオニコチノイド系およびフェニルピラゾール系農薬に関わる GHS の健康に対する有害性の分類は、健康に対する有害性の項目の内、急性毒性 (経口, 経皮, 吸入), 皮膚腐食性/刺激性, 眼に対する重篤な損傷性/眼刺激性, 呼吸器感作性, 皮膚感作性, 生殖細胞変異原性, 発がん性, 生殖毒性, 特定標的臓器毒性-単回曝露-, 特定標的臓器毒性-反復曝露-, 誤えん有害性, を対象とし、該当する有害性区分を表 5 に示した。

表 2. 日本の ADI および ARfD 規制値 ^{19) 20) 21) 22) 23) 24) 25) 26)}

農薬 (有効成分)	ADI設定根拠	ARfD設定根拠
イミダクロプリド	各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の5.7mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.057mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、マウス及びウサギを用いた一般薬理試験並びにマウスを用いた急性毒性試験の10mg/kg体重であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.1mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。
アセタミプリド	各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2世代繁殖試験の6.5mg/kg体重/日であり、この試験の最小毒性量は17.9mg/kg体重/日であった。一方、より長期の試験であるラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の無毒性量は7.1mg/kg体重/日であり、最小毒性量は17.5mg/kg体重/日であった。この差は用量設定の違いによるもので、得られた毒性所見等を検討した結果、より長期の結果である7.1mg/kg体重/日をラットの無毒性量とするのが妥当であると考えられた。したがって、食品安全委員会は、これを根拠として安全係数100で除した 0.071mg/kg体重/日 を一日摂取許容量(ADI)と設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた急性神経毒性試験の10mg/kg体重であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.1mg/kg体重 を急性参照用量(ARfD)と設定。
ニテンピラム	各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の53.7mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.53mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、イヌを用いた28日間亜急性毒性試験及び1年間慢性毒性試験の総合評価において得られた60mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として安全係数100で除した 0.6 mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。
チアクロプリド	各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の1.2mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.012mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量又は小毒性量のうち最小値は、ラットを用いた急性神経毒性試験の総合評価による無毒性量3.1mg/kg体重であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.031mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。
チアメトキサム	各試験で得られた無毒性量の最小値がラットを用いた2世代繁殖試験の1.84mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.018mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、ウサギを用いた発生毒性試験の50mg/kg体重/日 (この試験の単回投与等による最小毒性量である150mg/kg体重/日投与群では、母動物において体重減少が妊娠7～12日に認められた) であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.5mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。
クロチアニジン	各種試験結果から、農産物及び畜産物中の暴露評価対象物質をクロチアニジン (親化合物のみ) と設定した。各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の9.7mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.097 mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた急性神経毒性試験の60mg/kg体重であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.6 mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。
ジノテフラン	各試験で得られた無毒性量又は最小毒性量のうち最小値は、イヌを用いた1年間慢性毒性試験の22mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.22mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	ジノテフランの単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、ウサギを用いた発生毒性試験①の125mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 1.2mg/kg体重 を急性参照用 (ARfD) に設定。
フィプロニル	各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた2年間慢性毒性/発がん性併合試験の0.019 mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.00019mg/kg体重/日 を一日摂取許容量 (ADI) に設定。	単回経口投与等により生ずる可能性のある毒性影響に対する無毒性量のうち最小値は、イヌを用いた 90日間亜急性毒性試験の2.0mg/kg体重/日であったことから、これを根拠として、安全係数100で除した 0.02mg/kg体重 を急性参照用量 (ARfD) に設定。

表 3. EU の ADI および ARfD 規制値²⁷⁾

農薬 (有効成分)	ADI (mg/kg bw/day)	ARfD (mg/kg bw)
イミダクロプリド	0.06	0.08
アセタミプリド	0.025	0.025
ニテンピラム	—	—
チアクロプリド	0.01	0.03
チアメトキサム	0.026	0.5
クロチアニジン	0.097	0.1
ジノテフラン	—	—
フィプロニル	0.0002	0.009

表 4. AOEL 規制値一覧²⁷⁾

農薬 (有効成分)	AOEL (mg/kg bw/day)
イミダクロプリド	0.08
アセタミプリド	0.025
ニテンピラム	—
チアクロプリド	0.02
チアメトキサム	0.08
クロチアニジン	0.1
ジノテフラン	—
フィプロニル	0.0035

表 5. GHS 健康に該当する有害性の区分^{29) 30) 31) 32) 33) 34) 35) 36)}

農薬（有効成分）	GHS分類（区分有のみ）
アセタミプリド	急性毒性（経口） 区分3
	特定標的臓器毒性-単回ばく露- 区分1（神経系）
	特定標的臓器毒性-反復ばく露- 区分2（甲状腺・肝臓）
イミダクロプリド	急性毒性（経口） 区分4
	特定標的臓器毒性-単回暴露- 区分1（神経系）
クロチアニジン	急性毒性（経口） 区分4
ジノテフラン	急性毒性（経口） 区分4
チアクロプリド	急性毒性（経口） 区分4
	急性毒性（吸入：粉じん、ミスト） 区分4
	発がん性 区分2
	生殖毒性 区分1B
	特定標的臓器毒性-単回暴露- 区分1（神経系） 特定標的臓器毒性-反復暴露- 区分2（肝臓）
チアメキサム	急性毒性（経口） 区分4
ニテンピラム	急性毒性（経口） 区分4
	眼に対する重篤な損傷性／刺激性 区分2B
フィプロニル	急性毒性（吸入：粉じん、ミスト） 区分3
	生殖毒性 区分2
	特定標的臓器毒性-単回暴露- 区分1（神経系）
	特定標的臓器毒性-反復暴露- 区分1（神経系）， 区分2（甲状腺・肝臓）

4-2-4. 生物（含むヒト）への影響＜既存論文のレビュー＞

ネオニコチノイド系農薬は、害虫に対する強い選択性を有することから、有機リン農薬の代替として使用量が増加してきた。一方で、目的とする害虫以外の生物（非標的生物）へも農薬が作用し、生存につながる大きな課題があることが示されている。以下に、「無脊椎動物」および「脊椎動物」それぞれの非標的生物に与える影響についての研究論文等について提示する。

無脊椎動物の非標的生物へ与える影響

- ・ 土壌に蓄積し、水に浸出することで、ミミズやカタツムリ、蝶などに重大な生態系リスクを与える^{37) 38)}。
- ・ 土壌環境中にイミダクロプリドと他の複数の殺虫剤が同時に存在することで、その毒性の増加がもたらされ、個々の殺虫剤と比較し非標的生物に深刻な損傷をもたらす³⁹⁾。
- ・ 浸透移行性殺虫剤は土壌に吸着しやすく、長く留まる傾向が強いことが示され、水田中において、トンボ相に深刻な影響をおよぼすリスクがある⁴⁰⁾。
- ・ 現在の農薬登録の枠組みにおいて審査を通過した農薬であっても、一部の野生生物に予期せぬ影響をもたらす可能性がある⁴⁰⁾。

- ・ 亜致死的な影響が、ミツバチの生物多様性の損失を引き起こす。具体的には働きバチおよび嬢王バチの生存率の低下をもたらす可能性がある⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾。

脊椎動物の非標的生物へ与える影響

<動物実験結果>

- ・ イミダクロプリドは胃腸管から迅速かつほぼ完全に吸収され、48 時間以内に尿および便を介して排泄される⁴⁶⁾。
- ・ 哺乳類の精子受精能力と胚発生に対するネオニコチノイド系農薬曝露の有害影響が明らかにされた⁴⁷⁾。
- ・ アセタミプリドおよびイミダクロプリドによるニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) の興奮作用が哺乳類の神経系の発達に影響をおよぼす可能性がある⁴⁸⁾。
- ・ アセタミプリドおよびイミダクロプリドが、学習や記憶などの機能に関連するニューロンと脳構造の発達に悪影響を与える可能性がある⁴⁹⁾⁵⁰⁾。
- ・ ネオニコチノイド系農薬の代謝物の検出は、対応する親化合物よりも頻繁に、そしてはるかに高い濃度で曝露を評価するのに適したバイオマーカーである可能性がある⁵¹⁾。
- ・ 生殖に悪影響を及ぼす可能性がある⁵²⁾⁵³⁾。
- ・ イミダクロプリドによるラットの毒性研究では、無気力、呼吸器障害、運動の減少、歩行異常、痙攣などが認められた⁴⁶⁾。
- ・ 発達期にアセタミプリドに曝露された雄マウスは、成長後不安行動異常などの各種行動異常を示した⁵⁴⁾。
- ・ 哺乳動物の免疫系におよぼすジノテフランの影響（白血球数および好中球数の減少）が示された⁵⁵⁾。
- ・ ネオニコチノイド系農薬の曝露による PBL（ヒト末梢血リンパ球）における遺伝毒性および細胞毒性が示された⁵⁶⁾。
- ・ ゼブラフィッシュへの混合農薬曝露（イミダクロプリド、ジクロロボスおよびアトラジン）は、個々の農薬曝露と比較してより毒性がある⁵⁷⁾⁵⁸⁾。
- ・ ネオニコチノイド系農薬とともに、シロアリ駆除剤に含まれるトリアゾールの存在で毒性を高めるとの報告がある⁵⁹⁾。

<ヒト臨床症状・健康影響>

- ・ 胃腸症状、吐き気、嘔吐、腹痛および腐食性病変⁶⁰⁾
- ・ 中枢神経系症状：頭痛、興奮、混乱、発作、昏睡、頻脈・徐脈、高血圧、低血圧、動悸⁶⁰⁾
- ・ 呼吸器系症状：呼吸困難、吸引性肺炎、呼吸不全⁶⁰⁾
- ・ 有機リン酸塩やカルバメートなどの抗コリンエステラーゼ殺虫剤による中毒の死亡率を大きく下回る⁶⁰⁾。

- ・ 9.6%イミダクロプリドを含む製剤を摂取した 69 歳の女性は、見当識障害、発汗、嘔吐、心臓および呼吸数の増加を示し、曝露後 12 時間に死亡した⁶¹⁾。
- ・ 17.8%イミダクロプリドを含む製剤を吸い込んだ 1 歳の男児は、曝露後に混乱、動揺、支離滅裂、発汗、息切れの症状を示した⁶¹⁾。
- ・ 慢性的なネオニコチノイド系農薬の曝露により、無脳症、自閉症スペクトラム障害、記憶喪失および指振戦との関連が報告された⁶²⁾。
- ・ 日本人成人による食事中的ネオニコチノイド系農薬推定平均 1 日摂取量は、0.53～3.66 $\mu\text{g/day}$ と推定される⁶³⁾。
- ・ ネオニコチノイド系農薬の内、ジノテフランが最高摂取量(64.5 $\mu\text{g/day}$)を示した⁶³⁾。
- ・ 3 歳以上の米国の一般人口の約半数が、ネオニコチノイド系農薬に曝露されている⁶⁴⁾。
- ・ 幼い子供やアジア人は、より高いネオニコチノイド系農薬の曝露を受けている可能性がある⁶⁴⁾。
- ・ 母体から胎児への移行により、極めて低体重で生まれた極低出生体重児（在胎週数 23～34 週）の尿中ネオニコチノイド（アセタミプリド代謝物 DMAP）が高率に胎児から検出された⁶⁵⁾。
- ・ ネオニコチノイド系農薬は胎盤関門を速やかに通過し、母体から胎児へ移行することが研究で明らかになった⁶⁶⁾。
- ・ 日本人はネオニコチノイド系農薬により胎児期から曝露を受けており、その摂取源は飲食物である可能性が高い事が明らかになった⁶⁶⁾。

4-3. まとめ

本章では、本稿の主要テーマとなるネオニコチノイド系農薬の曝露リスク評価の基礎情報について、調査およびまとめをおこなった。調査対象の基礎情報としては、薬理作用、物理化学的性質、健康に対する有害性、環境や生物への影響に関する既存研究のレビューとした。農薬の曝露による健康影響リスクを評価するうえで、有害性の情報は極めて重要なファクターである。国内外の法規制等の状況においても調査対象とし、以下の知見を得た。

- (1) 有機リン系農薬の代替農薬として、1990 年代に農薬市場に参入し、国内出荷量は 2010～2014 年で、年間約 550～900 トンの間で推移をしている。世界中で最も使用されている農薬の一つである。
- (2) ニコチンに化学的構造が似ている特徴がある。薬理作用は、アセチルコリン (Ach) 受容体に結合して、本来の刺激伝達物質である Ach の作用をさえぎる。昆虫のニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) に選択的アゴニストとして作用し、害虫に対して非常に高い選択毒性を示す。
- (3) 物理化学的な特徴としては、水溶性、浸透性、熱・紫外線に比較的安定とされ、蒸気圧

が低い薬剤であり揮発しにくい。一般環境中に放出されたネオニコチノイド系農薬の半減期は、有機リン系農薬のそれと比較して長い傾向を示す。

- (4) 環境への影響として、大気中への拡散は、散布場所の水分蒸発、高温乾燥および粒子状物質の存在によって促進される。また、有効成分のうち、農作物が吸収するのは約 5% 程度であり、吸収されない有効成分は広範な環境に分散する。
- (5) 有害性情報として、ADI, ARfD, AOEL について EU および日本の許容曝露量の調査をおこない、また、GHS 分類結果の調査も実施した。
- (6) 既存論文のレビューとして、「無脊椎動物」および「脊椎動物」の非標的生物に与える影響について調査を実施した。近年において、標的生物以外にも非標的生物に与える影響を示唆した研究論文等の報告が出されている。

本来、農作地は人工的に作られた環境であり、自然環境ではない。この人工環境において、農作物を効率的に生産するために、農薬は利活用される。多くの農薬は化学的に製造された、化学物質である。よって、農作地内（人工環境）から外（自然環境）への農薬の飛散、流出は限りなく低く抑える管理は必須となる。ネオニコチノイド系農薬は水溶性、熱・紫外線安定性、半減期が比較的長いなどの特徴を有することから、農作地内での管理徹底が求められる。

農薬の曝露リスクは、その取り扱い作業（例えば、調合や散布など）において高くなるのが一般的には想定される。なぜならば、農薬取り扱い現場の高濃度農薬環境下に作業者が存在するためである。既存論文のレビューにおいて、複数のネオニコチノイド系農薬の母子間移行および幼児の健康障害の報告が確認されている。将来においては、女性農業従事者の増加と共に、作業者自身の健康影響のみならず、次世代へ健康影響リスクが高まることも想定される。ネオニコチノイド系農薬の世代間の健康影響が懸念として挙げられたことから、取り扱い時の適切な曝露防止対策が求められる。

参考文献

- 1) 井上知也「リスク管理の在り方を考える～ネオニコチノイド系農薬の使用規制にみる予防原則～」みずほ情報総研レポート(2013)
- 2) Monika M Kudelska Lindy Holden-Dye Vincent O'Connor Declan A Doyle "Concentration-dependent effects of acute and chronic neonicotinoid exposure on the behaviour and development of the nematode *Caenorhabditis elegans*", *Pest Management Science*/Volume 73, Issue 7(2017)
- 3) Motohiro Tomizawa John Casida "Selective Toxicity of Neonicotinoids Attributable to Specificity of Insect and Mammalian Nicotinic Receptors", *Annual Review of Entomology* 48(1):339-64(2003)
- 4) 一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト「ネオニコチノイド系化学物質の国内使用に

- 関する基礎データ」, <<http://www.actbeyondtrust.org/neonico-basic-2013/nb2013-03/>>
2020.8.8 参照
- 5) 株式会社島津テクノリサーチ「ネオニコチノイド系農薬の分析」, <https://www.shimadzu-techno.co.jp/technical/neo_nico.html> 2020.5.10 参照
 - 6) Han W, Tian Y and Shen X “Human exposure to neonicotinoid insecticides and the evaluation of their potential toxicity” Chemosphere 192-59-65(2018)
 - 7) Peter Jeschke Ralf Nauen Michael Schindler Alfred Elbert “Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids”, JOURNAL OF AGRICULTUREL AND FOOD CHEMISTRY 2011,59,7,2897-2908
 - 8) 斎藤育江, 大貫文, 鈴木俊也, 栗田雅行「ネオニコチノイド系殺虫剤の大気中への拡散に及ぼす水分, 温湿度及び粒子状物質の影響」東京都健康安全研究センター, 臨床環境医学 (第 24 巻第 1 号) (2015)
 - 9) Stephen A. Todey ,Ann M. Fallon and William A. Arnold “Neonicotinoid insecticide hydrolysis and photolysis Rates and residual toxicity”, ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY/Volume 37,Issue 11(2018)
 - 10) 国際環境 NGO グリーンピース・ジャパン「ネオニコチノイド系農薬の環境リスク：2013 年以降明らかになった証拠のレビュー」(2017)
著者：Thomas Wood and Dave Goulson, Sussex University
原題：The Environmental Risks of Neonicotinoid Pesticides : a review of the evidence post-2013
英語版：www.act.gp/2017Neonicotinoid_English
 - 11) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料 (イミダクロプリド)」,
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/349imidacloprid_1.pdf> 2020.5.7 参照
 - 12) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準の設定に関する資料 (アセタミプリド)」,
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/a25_acetamiprid.pdf> 2020.5.7 参照
 - 13) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料 (ニテンピラム)」,
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/351nitenpyram_1.pdf> 2020.5.7 参照
 - 14) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料 (チアクロプリド)」,
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/353thiacloprid_1.pdf> 2020.5.7 参照
 - 15) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料 (チアメトキサム)」,
<<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/305thiamethoxam.pdf>> 2020.5.7 参照
 - 16) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大

- 臣が定める基準の設定に関する資料（クロチアニジン）」、
<<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/302clothianidin.pdf>> 2020.5.7 参照
- 17) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料（ジノテフラン）」、
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/350dinotefuran_1.pdf> 2020.5.7 参照
- 18) 農薬登録保留基準報告書「水産動植物の被害防止に係る農薬登録保留基準として環境大臣が定める基準の設定に関する資料（フィプロニル）」、
<http://www.env.go.jp/water/sui-kaitei/kijun/rv/352fipronil_1.pdf> 2020.5.7 参照
- 19) 農薬評価書 イミダクロプリド（第3版） 2016年7月食品安全委員会、
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20151117469&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 20) 農薬評価書 アセタミプリド（第3版） 2014年12月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20140702188&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 21) 農薬評価書 ニテンピラム 2016年5月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20151013443&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 22) (案) 農薬評価書 チアクロプリド 2018年8月食品安全委員会農薬専門調査会
<http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1_no_thiacloprid_300829.data/pc1_no_thiacloprid_300829.pdf> 2020.5.8 参照
- 23) 農薬評価書 チアメトキサム（第3版） 2015年7月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20150113250&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 24) 農薬評価書 クロチアニジン（第6版） 2014年10月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20140407127&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 25) 農薬・動物用医薬品評価書 ジノテフラン（第6版） 2017年2月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20160713077&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 26) 農薬・動物用医薬品評価書 フィプロニル（第2版） 2016年4月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20151013447&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 27) EU Pesticides Database,
<<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/>>,
- Active Substances (File created on 10/08/2018)
- 28) European Food Safety Authority 「Guidance on the assessment of exposure of operators, workers,

- residents and bystanders in risk assessment for plant protection products」(2014)
- 29) 林純薬工業株式会社「安全データシート・アセタミプリド」改訂日：2017.5.31
 - 30) 富士フイルム和光純薬株式会社「安全データシート・イミダクロプリド標準物質」改訂日：2018.5.24
 - 31) 富士フイルム和光純薬株式会社「安全データシート・クロチアニジン標準物質」改訂日：2018.5.4
 - 32) 林純薬工業株式会社「安全データシート・ジノテフラン」改訂日：2014.12.17
 - 33) 職場のあんぜんサイト「安全データシート・チアクロプリド」改訂日：2019.3.15
 - 34) 林純薬工業株式会社「安全データシート・チアメトキサム」作成日：2014.7.1
 - 35) 富士フイルム和光純薬株式会社「安全データシート・ニテンピラム標準物質」改訂日：2018.6.1
 - 36) NITE Chemical Risk Information Platform「GHS 分類結果・フィプロニル」分類実施年度：2006 年度
 - 37) BBC News “Widespread impacts of neonicotinoids” Science & Environment, <<https://www.bbc.com/news/science-environment-27980344>> 2020.5.10 参照
 - 38) James V.Aidala “EPA Releases Ecological and Human Health Risk Assessments on Neonicotinoid Assessments for Public Comment”, <<http://pesticideblog.lawbc.com/entry/epa-releases-ecological-and-human-health-risk-assessments-on-neonicotinoid>> 2020.5.10 参照
 - 39) Cang T, Dai D, Yang G, Yu Y, Lv L, Cai L, Wang Q and Wang Y “Combined toxicity of imidacloprid and three insecticides to the earthworm, *Eisenia fetida*”, *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017 Mar;24(9):8722-8730,
 - 40) 五箇公一, 笠井敦, 林岳彦「実験水田を用いた農薬の生物多様性への影響評価」国立研究開発法人国立環境研究所(2015), <www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20160316/20160316_2.html> 2020.5.10 参照
 - 41) EU health commissioner: Neonicotinoid, glyphosate decisions show European regulations consistent, science-based(2018), <<https://geneticliteracyproject.org/2018/04/30/eu-health-commissioner-neonicotinoid-glyphosate-decisions-show-european-regulations-consistent-science-based/>> 2020.5.10 参照
 - 42) Nature Japan「EU がネオニコチノイド系農薬の屋外使用を全面禁止へ」Nature ダイジェスト Vol. 15 No. 6 News(2018)
原文：<<https://www.nature.com/articles/d41586-018-02639-1>>, 2020.5.10 参照
 - 43) Ben A. Woodcock, Nicholas J. B. Isaac, James M. Bullock, David B. Roy, David G. Garthwaite, Andrew Crowe & Richard F. Pywell “Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England” *Nature Communications*, Article number: 12459 (2016) <<https://www.nature.com/articles/ncomms12459>> 2020.5.10 参照

- 44) Aline Fauser-Misslin, Ben M. Sadd, Peter Neumann¹ and Christoph Sandrock "Influence of combined pesticide and parasite exposure on bumblebee colony traits in the laboratory" *Journal of Applied Ecology* 2014, 51, 450–459,
 <<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/1365-2664.12188>> 2020.5.10 参照
- 45) Government of Canada "Update on the Neonicotinoid Pesticides Canada"(2017),
 <<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/consumer-product-safety/reports-publications/pesticides-pest-management/fact-sheets-other-resources/update-neonicotinoid-pesticides.html>> 2020.5.10 参照
- 46) Frederick M. Fishel "Pesticide Toxicity Profile: Neonicotinoid Pesticides"University of Florida,
 <<https://edis.ifas.ufl.edu/pi117>> 2020.5.10 参照
- 47) Yi-hua Gu, Yan Li, Xue-feng Huang, Ju-fen Zheng, Jun Yang, Hua Diao, Yao Yuan, Yan Xu, Miao Liu, Hui-juan Shi and Wen-ping Xu "Reproductive Effects of Two Neonicotinoid Insecticides on Mouse Sperm Function and Early Embryonic Development In Vitro" *PLoS One*. 2013; 8(7): e70112. Published online 2013 Jul 29.
 <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3726447/>> 2020.5.10 参照
- 48) European Food Safety Authority (EFSA) "Scientific Opinion on the developmental neurotoxicity potential of acetamiprid and imidacloprid" *EFSA Journal* 2013;11(12):3471,
 <<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2013.3471>> 2020.5.10 参照
- 49) 農業協同組合新聞「ネオニコチノイド系農薬の安全性で見解 -EFSA の「ネオニコチノイド系農薬が脳神経発達に影響する」に対して日本曹達-」(2014),
 <<https://www.jacom.or.jp/nouyaku/news/2014/01/140108-23138.php>> 2020.5.10 参照
- 50) Kimura-Kuroda J, Komuta Y, Kuroda Y, Hayashi M, Kawano H "Nicotine-like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cerebellar neurons from neonatal rats" *PLoS One*. 2012;7(2):e32432,
 <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22393406>> 2020.5.10 参照
- 51) European Commission "Neonicotinoids",
 <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval_active_substances/approval_renewal/neonicotinoids_en,> 2020.5.10 参照
- 52) Ezinne K OKORO, Wataru MIYAZAKI, Yuki FUJIWARA and Takahiko KATOH "Neonicotinoids are cytotoxic to human trophoblast cells", 第 42 回日本毒性学会学術年会セッション ID: P-53
- 53) Junko TOKUMOTO, Megumi DANJO, Yoshihiro KOBAYASHI, Kyoko KINOSHITA, Takuya OMOTEHARA, Atsutoshi TATSUMI, Mineo HASHIGUCHI, Tsuneo SEKIJIMA, Hiroshi KAMISOYAMA, Toshifumi YOKOYAMA, Hiroshi KITAGAWA, Nobuhiko HOSHI "Effects of Exposure to Clothianidin on the Reproductive System of Male Quails" *Journal of Veterinary Medical Science*, 2013 Volume 75 Issue 6 Pages 755-760,

- <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvms/75/6/75_12-0544/_article> 2020.5.10 参照
- 54) 前川文彦, 佐野一広「ネオニコチノイド系農薬の発達期曝露が成長後の行動に影響を与える可能性を動物モデルで示唆」, 国立研究開発法人国立環境研究所(2016),
<<https://www.nies.go.jp/whatsnew/2016/20160603/20160603.html>> 2020.5.10 参照
- 55) 多田幸恵, 田中豊人, 鈴木俊也, 猪又明子, 守安貴子「ネオニコチノイド系農薬ジノテフランの CD-1 マウスによる経口毒性試験」東京健安研セ年報 Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. Pub. Health, 68, 267-275(2017)
- 56) María Elena Calderón-Segura, Sandra Gómez-Arroyo, Rafael Villalobos-Pietrini, Carmen Martínez-Valenzuela, Yolanda Carbajal-López, María del Carmen Calderón-Ezquerro, Josefina Cortés-Eslava, Rocío García-Martínez, Diana Flores-Ramírez, María Isabel Rodríguez-Romero, Patricia Méndez-Pérez, and Enrique Bañuelos-Ruíz “Evaluation of Genotoxic and Cytotoxic Effects in Human Peripheral Blood Lymphocytes Exposed In Vitro to Neonicotinoid Insecticides News”, *Journal of Toxicology*, Volume 2012; Article ID 612647,
<<https://www.hindawi.com/journals/jt/2012/612647/>> 2020.5.10 参照
- 57) Amrith S. Gunasekara, Tresca Truong, Kean S. Goh, Frank Spurlock and Ronald S. Tjeerdema “Environmental fate and toxicology of fipronil”, *Journal of Pesticide Science*, 2007 Volume 32 Issue 3 Pages 189-199,
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpestics/32/3/32_3_189/_article> 2020.5.10 参照
- 58) Shukla S, Jhamtani RC, Dahiya MS, Agarwal R “Oxidative injury caused by individual and combined exposure of neonicotinoid” *Toxicology Reports*, 2017;4:240–244,
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5615116/>> 2020.5.10 参照
- 59) 斎藤育江, 大貫文, 鈴木俊也, 栗田雅行「シロアリ駆除剤由来のネオニコチノイド系殺虫剤による室内環境汚染」東京健安研セ年報 Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. Pub. Health, 66, 225-233(2015)
- 60) Nicolai Nistor, Otilia Elena Frăsinariu and Violeta Ştreangă “Acute Poisoning with Neonicotinoid Insecticide”, *IntechOpen Open access peer-reviewed chapter* (2017),
<https://www.intechopen.com/books/poisoning-from-specific-toxic-agents-to-novel-rapid-and-simplified-techniques-for-analysis/acute-poisoning-with-neonicotinoid-insecticide> 2020.5.10 参照
- 61) Alok Kumar, Archana Verma and Adarsh Kumar “Accidental human poisoning with a neonicotinoid insecticide imidacloprid A rare case report from rural India with a brief review of literature”, *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, Volume 3, Issue 4, December 2013, Pages 123-126,
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090536X13000427>> 2020.5.10 参照
- 62) Élyse Caron-Beaudoin, Michael S. Denison and J. Thomas Sanderson “Effects of Neonicotinoids on Promoter-Specific Expression and Activity of Aromatase (CYP19) in Human Adrenocortical

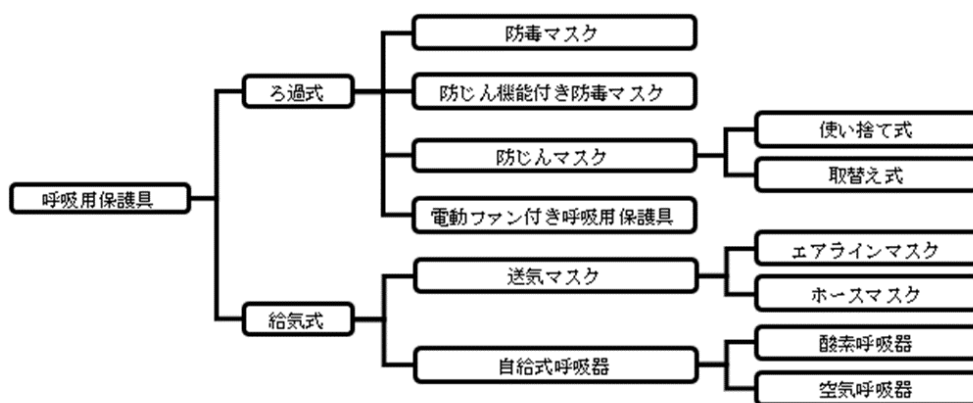
- Carcinoma (H295R) and Primary Umbilical Vein Endothelial (HUVEC) Cells”, *Toxicological Sciences*, Volume 149, Issue 1, January 2016, Pages 134–144, (2015)
<<https://academic.oup.com/toxsci/article/149/1/134/2461581>> 2020.5.10 参照
- 63) Harada KH, Tanaka K, Sakamoto H, Imanaka M, Niisoe T, Hitomi T, Kobayashi H, Okuda H, Inoue S, Kusakawa K, Oshima M, Watanabe K, Yasojima M, Takasuga T and Koizumi A “Biological Monitoring of Human Exposure to Neonicotinoids Using Urine Samples, and Neonicotinoid Excretion Kinetics”, *PLoS One*. 2016 Jan 5;11(1):e0146335,
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26731104>> 2020.5.10 参照
- 64) MariaOspina, Lee-YangWong, Samuel E.Baker, Amanda Bishop Serafim, Pilar Morales-Agudelo, Antonia M.Calafat “Exposure to neonicotinoid insecticides in the U.S. general population: Data from the 2015–2016 national health and nutrition examination survey” *Environmental Research*, Volume 176, September 2019, 108555,
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935119303524>> 2020.5.10 参照
- 65) Ichikawa G, Kuribayashi R, Ikenaka Y, Ichise T, Nakayama SMM, Ishizuka M, Taira K, Fujioka K, Sairenchi T, Kobashi G, Bonmatin JM and Yoshihara S 「ネオニコチノイドの母体から胎児への移行に関する論文発表について」 *PLoS One*. 2019 Jul 1;14(7):e0219208,
<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31260498>> 2020.5.10 参照
- 66) 池中良徳, 一瀬貴大, ニマコ・コリンズ, 市川剛, 野見山桂, 長谷川浩, 中山翔太, 星信彦, 平久美子, 石塚真由美 「ネオニコチノイドの母子間移行の実態と移行メカニズムの解明」, 第 28 回環境化学討論会, 池中良徳, 口頭発表 (埼玉 ; 2019 年),
< <https://www.actbeyondtrust.org/wp-content/uploads/2019/06/kankyokagaku.pdf> > 2020.5.10 参照

第5章 農薬取り扱い作業時に装着する労働衛生保護具の性能の研究

5-1. はじめに

作業環境に存在する危険・有害要因から、労働者の身体を守るための器具を労働安全衛生保護具という¹⁾。化学物質の吸入・経口曝露を防ぐ「呼吸用保護具」、経皮曝露を防ぐ「化学防護手袋および化学防護服」、飛来物・落下物から頭部を保護する「保護帽」、高所作業からの墜落・転落を防ぐ「安全帯」などの種類がある。農薬を取り扱う農業現場で考えると、呼吸用保護具、化学防護手袋および化学防護服を着用することで、農薬の取り扱い作業による農業従事者への吸入・経口・経皮曝露を防止することが可能となる。本稿は「農業従事者の農薬曝露リスク」を主題としており、本章において研究対象とする労働安全衛生保護具は、「呼吸用保護具」に設定した。

呼吸用保護具は、「ろ過式」と「給気式（主に、酸素欠乏作業場（酸素濃度 18%未満の作業環境）で使用される）」に大別され、さらにろ過式呼吸用保護具は「防じんマスク」と「防毒マスク」に分けられる（図 1）²⁾。防じんマスクは、発生する化学物質が粉じん・ヒューム・ミストなどの粒子状物質の曝露防止を対象としたものである。一方で防毒マスクは、作業環境中に存在する有毒ガスおよび混在する粒子状物質の曝露防止を対象としたものである。防じんマスクおよび防毒マスクともに、作業環境中の酸素濃度が 18%未満の場合は使用することができないので、注意を要する。



環境空气中的有害物の種類	選択できる呼吸用保護具の種類
酸素欠乏（18%未満） 酸素濃度が不明	・自給式呼吸器 ・送気マスク
粒子状物質	・送気マスク ・電動ファン付き呼吸用保護具（粒子状物質用） ・防じんマスク（取替え式、使い捨て式）
気体状物質	・送気マスク ・防毒マスク（気体状物質に対応できる吸収缶付き）
粒子状物質と気体状物質 が混在	・送気マスク ・防じん機能付き防毒マスク（気体状物質に対応できる吸収缶付き）

図 1. 保護具の種類と選定

農薬は環境条件（温度・気圧・相対湿度など）により、気体（ガス・蒸気・煙・スモッグ）、液体（ミスト・煙・スモッグ）、固体（ヒューム・粉じん・煙・スモッグ）のいずれかの状態で存在する（表 1）。したがって、農薬の取り扱い作業環境条件における、農薬の状態に応じた適切な労働安全衛生保護具の使用が極めて重要となる。

表 1. 農薬の状態³⁾

種類	状態			定義	例
	気体	液体	固体		
ガス (Gas)	●	-	-	常温常圧 (25℃, 1気圧) の下で、気体で安定している物質	アンモニア, 硫化水素, 塩素
蒸気 (Vapor)	●	-	-	常温常圧 (25℃, 1気圧) の下で、液体または固体で安定している物質が気化し、気体状態で存在するもの	有機溶剤蒸気
ミスト (Mist)	-	●	-	空気中に浮遊する液体粒子	酸ミスト, オイルミスト, スプレーミスト
ヒューム (Fume)	-	-	●	固体から熱せられて気化した後、空気中で凝縮して生成する粒子	溶接ヒューム, 金属ヒューム
粉じん (Dust)	-	-	●	固体がその化学的組成が変わらないまま物理的な過程で粉砕されたときに生成する粒子	研磨, 掘削時の粉じん
煙 (Smoke)	●	●	●	物質の燃焼, 熱分解または化学反応によって生成した空気中の固体, 液体粒子およびガス状物質の総称	たばこの煙, ばい煙
スモッグ (Smog)	●	●	●	ちりや煤煙が水蒸気などと結びついて霧状になったもの	汚染された大気 (排気ガス等による)

農業分野において、労働安全衛生保護具の効果に関する知見は少ない⁴⁾⁵⁾。ここでは、米国環境保護庁 (United States Environmental Protection Agency : EPA) の労働者保護基準 (Agricultural Worker Protection Standard : WPS) について取り上げる。連邦政府が義務付けたこのプログラムでは、使用者は労働者に対して以下の対応が要求される⁶⁾。

- ・ 農薬取り扱い作業場に入ることを許可する前に、指定された待ち時間または再入場間隔 (REI) に従うことを要求。
- ・ 使用する農薬名称および潜在的な健康への影響を知らせる。
- ・ 保護具を供給する。

REI の対象となる農薬で処理された農場に入る必要がある労働者に対して、WPS 農薬安全トレーニングを提供する。労働者は、農薬処理区域への入場の際、5 日以内に WPS 訓練を受け、5 年ごとに再訓練される仕組みとなっている。WPS 農業安全トレーニングでは、皮膚に対する保護具を着用するなど、農薬曝露を低減する行動を促進している。具体的には、清潔な作業服を着る、石鹸で手洗いをおこなう、作業場外で飲食をする、作業直後にシャワーや入浴する、などが示されている。化学防護手袋の使用や手洗いなどの行動は、すべての米国の労働者が農薬曝露を減らす方法として、WPS 農業安全トレーニングなどによって承認されている。

本章では、ネオニコチノイド系農薬の取り扱い作業における農業従事者の農薬吸入・経口曝露を想定した、労働安全衛生保護具（呼吸用保護具）の性能評価試験をおこなった。

5-2. 研究方法

5-2-1. 試験使用農薬とフィルタ

5-2-1-1. 試験使用農薬

呼吸用保護具の性能試験で使用する農薬は①ダントツ水溶剤（住友化学株式会社）⁷⁾、②スタークルメイト液剤（三井化学アグロ株式会社）⁸⁾、③フジワン乳剤（日本農薬株式会社）⁹⁾の3つの製品とした（表2）。

表2. 試験使用農薬の基本情報

製品名	性状	有効成分		
		成分	CAS.No.	含有率(%)
ダントツ水溶剤	細粒	クロチアニジン	210880-92-5	16.0
スタークルメイト液剤	細粒	ジノテフラン	165252-70-0	10.0
フジワン乳剤	淡褐色透明可乳化油状液体	イソプロチオラン	50512-35-1	40.0

試験使用農薬のうち、ダントツ水溶剤およびスタークルメイト液剤の有効成分はそれぞれクロチアニジンおよびジノテフランであり、近年の全ネオニコチノイド系農薬の流通量に占める割合が非常に高く、また日本の主要な農作物である水稲での代表的な使用農薬であることから¹⁰⁾、試験使用農薬に選定をした。また、フジワン乳剤はネオニコチノイド系農薬ではないが、ダントツ水溶剤およびスタークルメイト液剤と混用をして散布をするケースがあり、混用した場合の試験についても試みた。

試験使用農薬の試料調整（希釈）については、ダントツ水溶剤単独試験は0.1%（試験条件1）に、フジワン乳剤単独試験は0.3%（試験条件2）に、スタークルメイト液剤単独試験は1%（試験条件3）および12.5%（試験条件5）に、ダントツ水溶剤およびフジワン乳剤の混用試験は0.1%（試験条件4）に、そしてスタークルメイト液剤およびフジワン乳剤の混用試験は12.5%（試験条件6）の水溶液に試験使用農薬を希釈して、性能試験をおこなった（表3）。なお、設定した希釈濃度は、当該農薬の推奨希釈倍率に基づいている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

表 3. 試験使用農薬の希釈ケース

試験条件	水溶液の農薬濃度 (%)			アトマイザーの噴霧条件 (いずれも図 2 に対応)	
	ダントツ水溶剤	フジワン乳剤	スタークルメイト液剤	圧縮空気(A) (MPa)	流路(B) (L/min)
No.1	0.1	-	-	0.4	3.2
No.2	-	0.3	-		
No.3	-	-	1.0		
No.4	0.1	0.1	-	0.2	1.9
No.5	-	-	12.5		
No.6	-	12.5	12.5		

(補足)



試験条件 No.1~No.3 : 当初, すべて農薬濃度0.1%で検討したが, 条件2及び3は発生粒子が不十分であることから粒子測定が困難となったため, 農薬濃度を上昇させた。

試験条件 No.4~No.6 : 農薬の混用施用, 高濃度使用を想定。12.5%以上の条件は, 粒子凝集により粒子測定が困難となったため, 噴霧圧を下げた。

5-2-1-2. 試験使用フィルタ

本試験における農薬粒子はミスト (液状粒子) が対象となる。よって, 防じんマスクの試験 (図 1 参照) となり, 液体粒子の捕集が適用可能な, 取替え式・捕集効率 95%以上のろ過材 RL2 に該当する株式会社重松製作所製 T W O 1 農薬マスクセットの交換部品である「ろ過材 T 2」を選定した。¹¹⁾ 本試験では, 表 4 のとおり T 2 内部のろ紙を切り抜き, 国家検定と同じ線速 (補注) で試験をおこなった (表 4)。

表 4. 試験条件

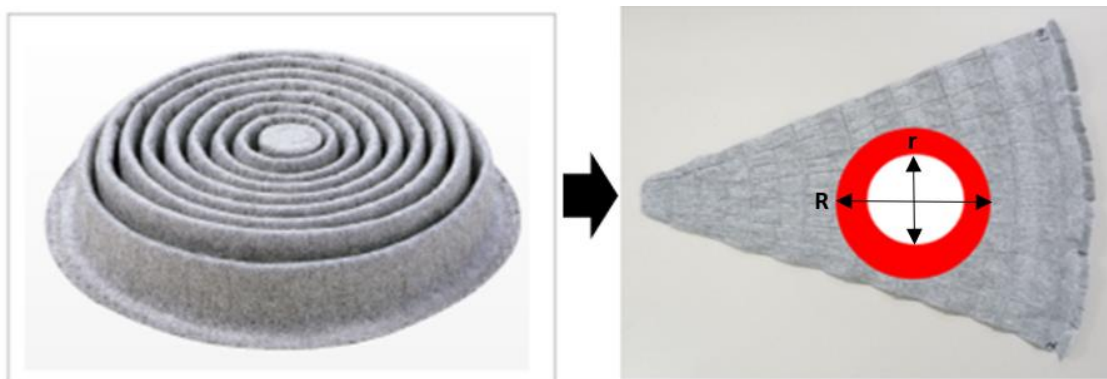
項目	試料	流量 (L/min)	面積 (cm ²)	線速 (cm/s)
本試験	ろ紙 	6	23	4.4
国家検定	ろ過材 T2 	85	340	4.2

(補注1) 線速(cm/s) = 流量(L/min) / 面積(cm²) = 流量(1000cm³ / 60s) / 面積(cm²)
国家検定と同じ流量(85L/min)が理想の条件(JIS T8151 : 2018)だが、
試験粒子濃度が低下し、捕集効率*の算出が困難となるため、上記の試験方法
とした。

* 捕集効率 : (JIS T8001:2006)¹³⁾に規定されている粒子捕集効率に基づき算出
粒子捕集効率 E = (C1 - C2) / C1 × 100 (%)
・ C1 : 通過前の粒子濃度
・ C2 : 通過後の粒子濃度

(補注2) ろ過材T2の全形と本試験使用フィルタ

「T2全形(左図) : 340(cm²)」から「本試験使用フィルタ(右図) : 23(cm²) ÷ (r/2)²
× π」を切り取り試験に用いた。(本試験使用フィルタ面積の詳細データは、巻末
の参考データに掲載)



5-2-2. 実験手順

次の a)~d) の手順で実験をおこなった。実験系は①農薬の噴霧、②農薬の試料ホルダによる捕集、③試料濃度の計測、の大きく3つのプロセスに分かれ、構成を図2に示した。本実験は、JIS T8151 (図1: 粒子捕集効率試験装置の例) を参考に組み立てた。なお、JIS T8151 では試験試料を「防じんマスク全体」としているが、本実験で用いた試験試料は「ろ過材」とした。

本実験を実施する前に予備性能試験(質量、通気抵抗およびDOP(フタル酸ジオクチル)透過率の測定)をおこない、なるべく性能に近い24個のろ過材T2を試料に選定した。なお、本試験で使用するろ過材T2はRL2に該当し、JIS T8151の粒子捕集効率試験の試験粒子はDOPであるため、予備性能試験においてもDOPを用いて透過率測定をおこなった。また、本試験においては、初期試験用および1時間堆積試験用の2つのケースについて試験をおこない、初期試験用は短時間測定(数分の農薬曝露)、1時間堆積試験用は長時間の測定

(1時間の農薬曝露)に設定をした。

a) 予備性能試験

- ・本試験の実施前に、予備試験(質量、通気抵抗および DOP 透過率の測定)をおこなった。
- ・性能に近い 24 個のろ過材 T 2 を試料に選定した。

b) ろ過材 T 2 透過濃度(Ci)の測定

- ・試料ホルダに試料<ろ過材 T 2>を取り付けた。
- ・圧縮空気をアトマイザー<粒子発生器：図 3>に通気し、真空ポンプで吸引した。
- ・粒子濃度測定装置<APS モデル 3321 (以下「APS3321」とする)：図 4>で粒子濃度を測定し、この値を透過濃度(Ci)とした。

c) 環境濃度(Co)の測定

- ・圧縮空気を止めて、試料ホルダから試料を取り外した。
- ・圧縮空気をアトマイザーに通気し、真空ポンプで吸引した。
- ・APS3321 で粒子濃度を測定し、この値を環境濃度(Co)とした。

d) 透過率の算出

- ・「 $C_i / C_o \times 100 (\%)$ 」の式から、透過率を算出した。

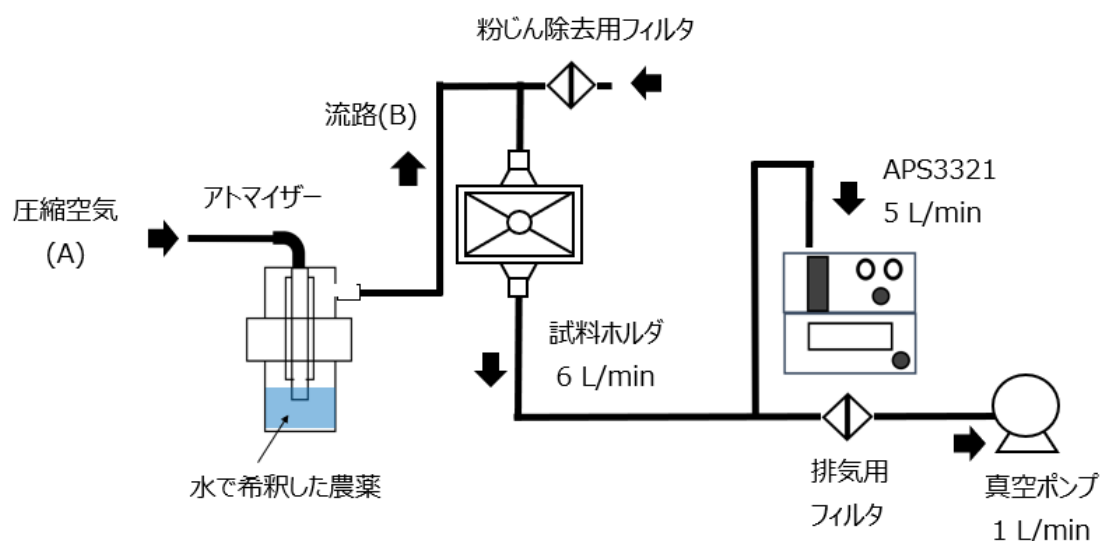


図 2. 実験装置の構成



図 3. アトマイザー（粒子発生器）

ヘキサ科学製炎光光度計 KRT-900 付属品のアトマイザーを用いて、表 2 の各農薬水溶液を入れて、粒子を発生させた。

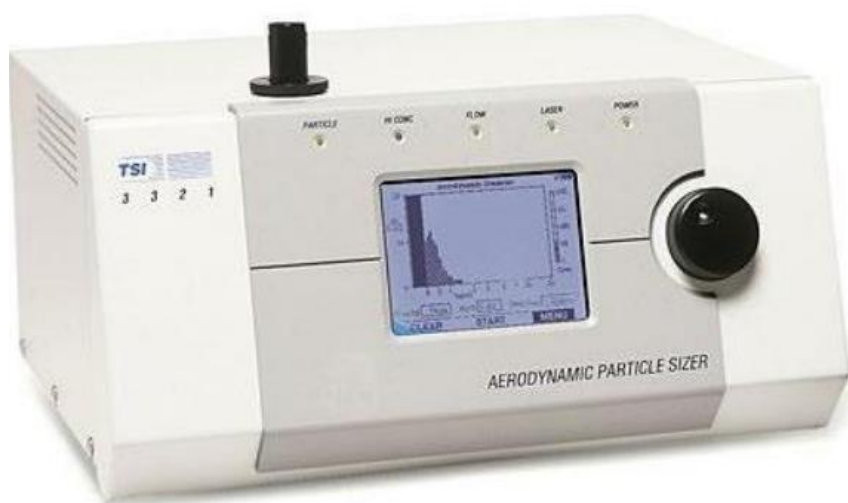


図 4. 粒子濃度測定装置<APS3321>

TSI 製の「APS(Aerodynamics Particle Sizer)3321」を使用し、捕集粒子の濃度測定をおこなった。

APS3321 の概要は次のとおりである(以下、東京ダイレック株式会社製品情報を引用¹²⁾)。APS3321 は、Time-Of-Flight(TOF)という計測原理を用い、2点間のレーザーを通過する粒子の時間を計ることで粒径を算出し、粒径分布をリアルタイムに計測することができる装置である。

5-2-3. 評価方法

環境濃度(Co)および透過濃度(Ci)の測定結果をもとに、試験対象としたネオニコチノイド系農薬の試料(フィルタ)の捕集効率(E)を、次式にて算出した。

$$\text{捕集効率 (E)} = (1 - C_i / C_o) \times 100 (\%)$$

※ $C_i / C_o \times 100 (\%)$: 透過率

5-3. 研究結果

5-3-1. 粒子径と環境濃度・透過濃度・透過率

本試験は、フィルタの捕集効率の算出に必要なファクターである、透過濃度(Ci)および環境濃度(Co)の試験使用農薬(ダントツ水溶剤単独、スタークルメイト液剤単独、フジワン乳剤単独、ダントツ水溶剤とフジワン乳剤の混用およびスタークルメイト液剤とフジワン乳剤の混用)の粒子径(μm)に対する透過濃度(粒子個数#/ccおよび粒子質量 mg/m^3)をそれぞれアウトプットとして提示した。なお、試験で用いた農薬および水溶液の農薬濃度などの試験条件は表3に示したとおりであり、6つの試験条件で実施した。また、試験では数分の農薬曝露を想定した短時間測定(初期試験)および1時間曝露を想定した長時間測定(1時間堆積試験)を実施し、それぞれ初期試験は18試料、1時間堆積試験は6試料の計24試料を使用した(試料の選定基準は、予備性能試験の結果で「DOP 透過率 $1\% \pm 0.5\%$ 」の範囲の試料を選別した)。予備性能試験結果の詳細データは表5に示した。

次項以降で、試験条件6種類(試験条件No.1(ダントツ水溶剤0.1%)、試験条件No.2(フジワン乳剤0.3%)、試験条件No.3(スタークルメイト液剤1.0%)、試験条件No.4(ダントツ水溶剤0.1%とフジワン乳剤0.1%の混用)、試験条件No.5(スタークルメイト液剤12.5%)および試験条件No.6(スタークルメイト液剤12.5%とフジワン乳剤12.5%の混用))における農薬粒子の初期試験および1時間堆積試験の環境濃度(Co)、透過濃度(Ci)および捕集効率(E)の定量値を示した。なお、測定対象粒径の範囲は、粒子濃度測定器(APS3321)のチャンネル1~10(粒子径 $0.542 \sim 1.037 \mu\text{m}$)とし(表6)、10チャンネルを合計した濃度を用いた。JIS T8151の粒子捕集効率試験の粒径分布中央値は $0.15 \sim 0.25 (\mu\text{m})$ の範囲である。一方、APS3321の測定有効粒径は $0.542 \sim 1.037 (\mu\text{m})$ の範囲である。実際に農業現場で散布される農薬液状粒子の粒径は、 $0.5 \sim$ 数百(μm)の範囲¹³⁾¹⁴⁾を示すことから、APS3321の測定有効粒径 $0.542 \sim 1.037 (\mu\text{m})$ の粒径範囲を用いることで、安全側に評価をおこなった。

初期試験での試験条件6種類および1時間堆積試験の粒径ごとの環境濃度(Co)および透過濃度(Ci)の詳細な測定データについては、巻末の参考データに掲載をした。

表 5. 予備性能試験の結果

試料	試験条件	質量 (g)			通気抵抗 at 4.4 cm/s (Pa)			DOP透過率 at 4.4 cm/s (%)
		農業試験前	農業試験後	差分	農業試験前	農業試験後	差分	農業試験前
A1	No.1 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.507	0.508	0.001	105	106	1	0.87
A2		0.513	0.517	0.003	105	104	-1	1.06
A3		0.512	0.513	0.001	103	103	0	1.03
A4		0.512	0.520	0.008	104	105	1	1.11
A5	No.2 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.523	0.528	0.005	106	104	-2	0.87
A6		0.518	0.520	0.002	105	104	-1	1.06
A7		0.495	0.497	0.001	101	103	2	1.29
A8		0.509	0.520	0.011	108	109	1	1.01
A9	No.3 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.523	0.527	0.003	102	103	1	0.87
A10		0.515	0.516	0.001	107	109	2	1.06
A11		0.498	0.498	0.000	101	101	0	1.03
A12		0.517	0.526	0.009	106	107	1	1.11
A13	No.4 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.451	0.454	0.003	109	110	1	1.00
A14		0.504	0.506	0.001	100	101	1	1.06
A15		0.500	0.503	0.003	101	101	0	1.22
A16		0.455	0.472	0.017	103	105	2	1.05
A17	No.5 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.493	0.494	0.001	106	107	1	1.03
A18		0.533	0.534	0.001	115	117	2	0.68
A19		0.522	0.522	0.000	116	117	1	0.79
A20		0.507	0.519	0.012	112	119	7	0.78
A21	No.6 (初期試験用) (1時間堆積用)	0.510	0.512	0.002	114	113	-1	0.62
A22		0.493	0.497	0.004	115	115	0	0.77
A23		0.507	0.508	0.001	102	104	2	1.17
A24		0.474	0.496	0.022	110	121	11	0.90

表 6. APS3321 のチャンネルと対応粒子径

APS3321 チャンネル	粒子径 (μm)
1	0.542
2	0.583
3	0.626
4	0.673
5	0.723
6	0.777
7	0.835
8	0.898
9	0.965
10	1.037

5-3-2. 初期試験

5-3-2-1. 環境濃度(Co)の定量

試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%), 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%), 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%), 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用), 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) および試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) について, 以下に環境濃度(Co)の試験結果を示した. なお, 1 試料の測定値は, 5 回繰り返した測定値を算術平均したものである. また, 各試験条件の濃度は 3 つの試料を算術平均したものである.

- ① 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の試験 (図 5) では, 個数濃度においては粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ においてピークとなる $11448.2(\#/cc)$ を示した. また, 質量濃度においては粒子径が $0.777(\mu\text{m})$ においてピークとなる $1.454(\text{mg}/\text{m}^3)$ を示した.

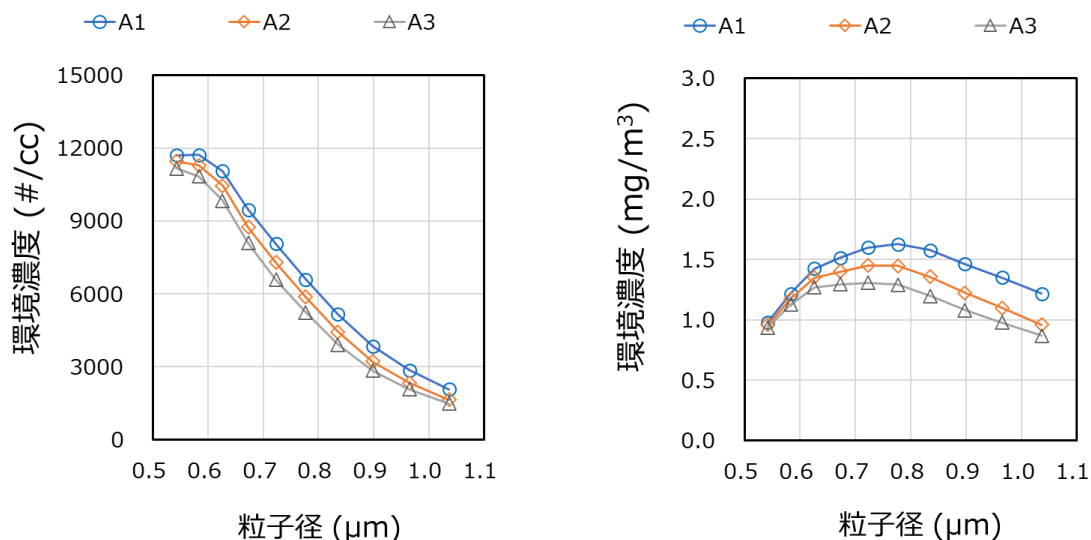


図 5. 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の環境濃度(Co)

- ② 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の試験 (図 6) では, 個数濃度においては粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ においてピークとなる $8871.3(\#/cc)$ を示した. また, 質量濃度においては粒子径が $0.898(\mu\text{m})$ においてピークとなる $1.546(\text{mg}/\text{m}^3)$ を示した.

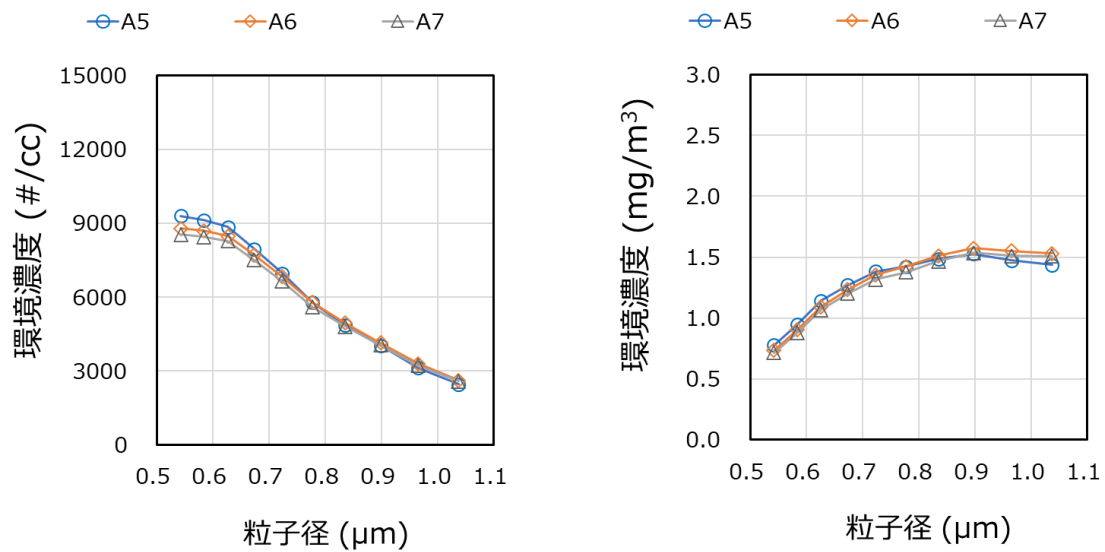


図 6. 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の環境濃度 (Co)

- ③ 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の試験 (図 7) では、個数濃度においては粒子径が $0.542 (\mu\text{m})$ においてピークとなる $11977.7 (\#/cc)$ を示した。また、質量濃度においては粒子径が $0.673 (\mu\text{m})$ においてピークとなる $1.354 (\text{mg}/\text{m}^3)$ を示した。

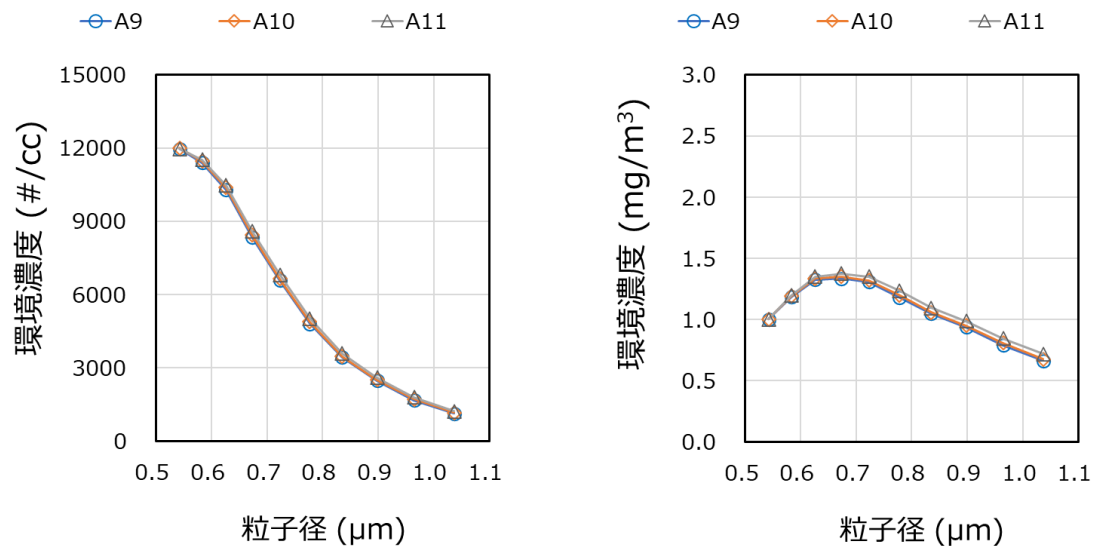


図 7. 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の環境濃度 (Co)

- ④ 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1% とフジワン乳剤 0.1% の混用) の試験 (図 8) では、個数濃度においては粒子径が $0.583 (\mu\text{m})$ においてピークとなる $11306.9 (\#/cc)$ を示した。また、質量濃度においては粒子径が $0.965 (\mu\text{m})$ においてピークとなる $2.010 (\text{mg}/\text{m}^3)$ を示した。

を示した。

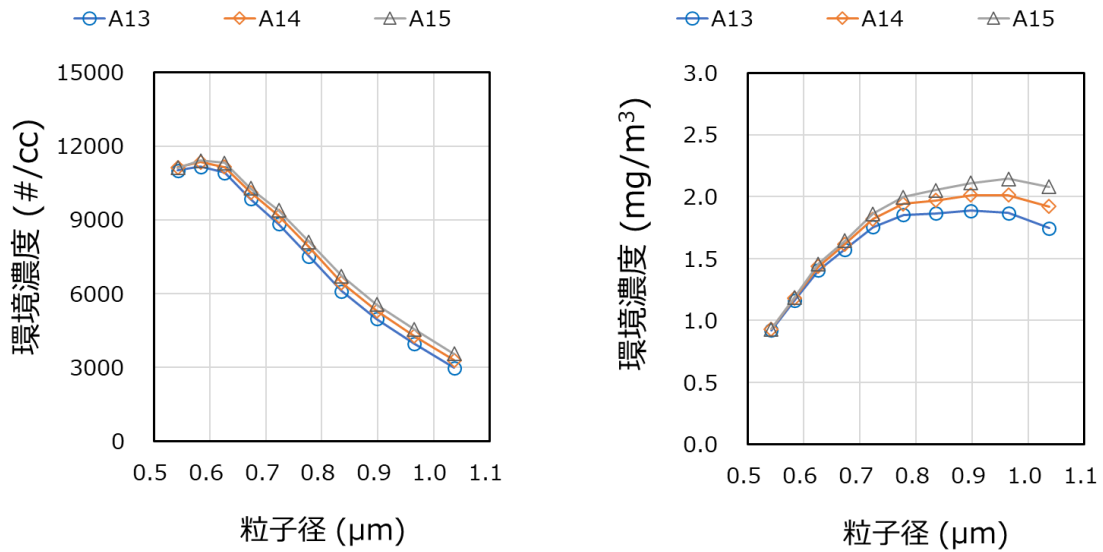


図 8. 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の環境濃度 (Co)

- ⑤ 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の試験 (図 9) では、個数濃度においては粒子径が 0.583 (μm)においてピークとなる 8059.5(#/cc)を示した。また、質量濃度においては粒子径が 1.037(μm)においてピークとなる 2.542(mg/m³)を示した。

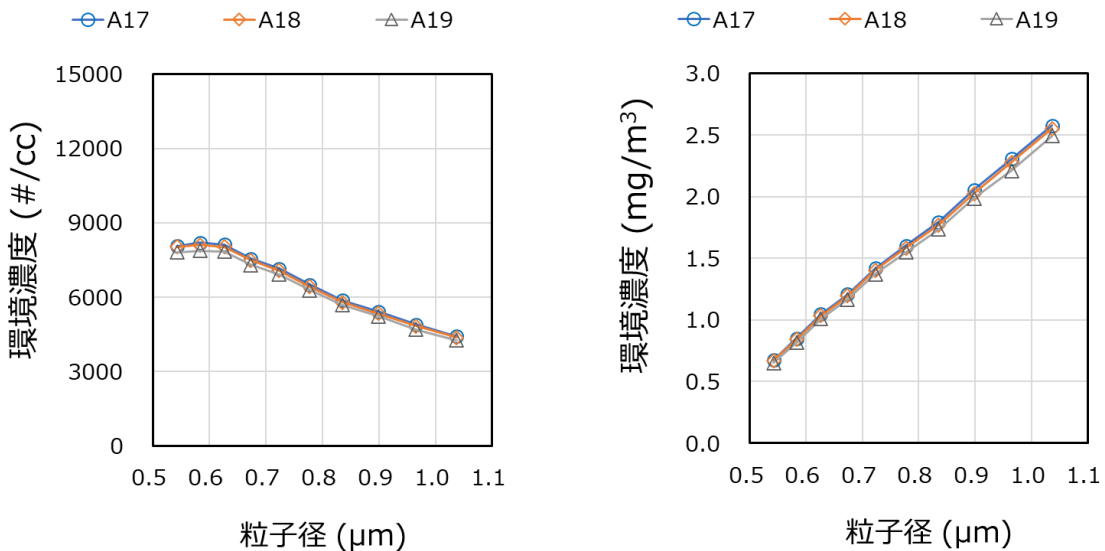


図 9. 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の環境濃度 (Co)

- ⑥ 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の試験 (図 10) では, 個数濃度においては粒子径が 0.626 (μm) においてピークとなる 6149.0(#/cc)を示した. また, 質量濃度においては粒子径が 1.037(μm)においてピークとなる 2.853(mg/m^3)を示した.

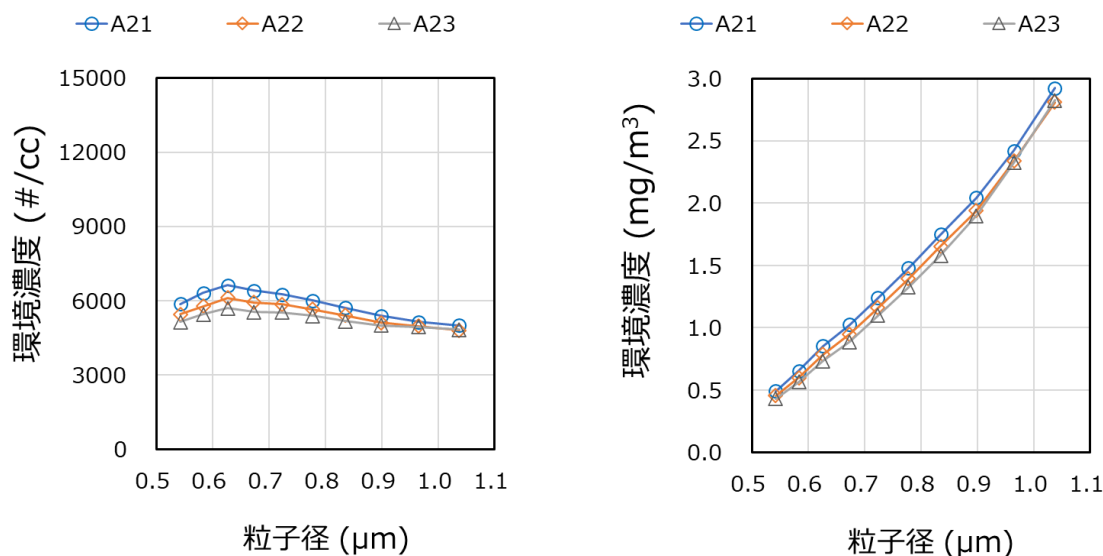


図 10. 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の環境濃度 (C_o)

5-3-2-2. 透過濃度 (C_i) の定量

試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%), 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%), 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%), 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用), 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) および試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) について, 以下に透過濃度 (C_i) の試験結果を示す. なお, 1 試料の測定値は, 5 回繰り返した測定値を算術平均したものである. また, 各試験条件の濃度は 3 つの試料を算術平均したものである.

- ① 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の試験 (図 11) では, 粒子径が 0.542 (μm) において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 8.563(#/cc), 0.000717(mg/m^3)を示した.

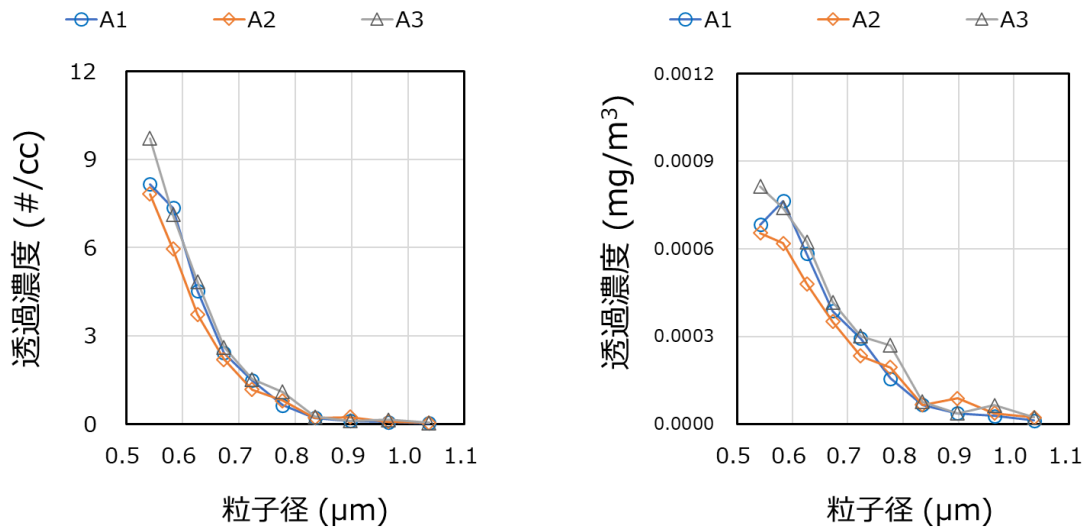


図 11. 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の透過濃度 (Ci)

- ② 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の試験 (図 12) では、粒子径が 0.542 (μm)において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 5.555 (#/cc), 0.000465 (mg/m³)を示した。

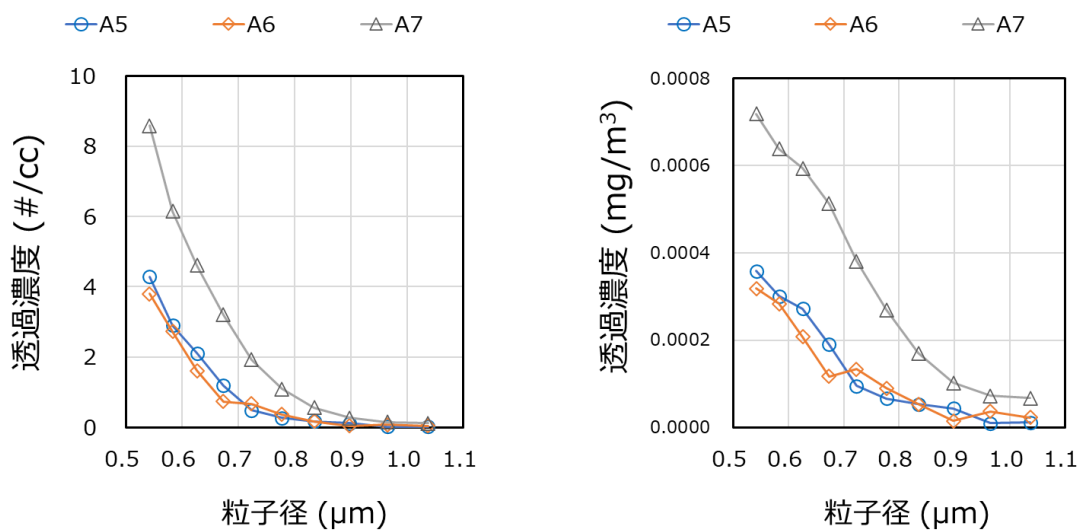


図 12. 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の透過濃度 (Ci)

- ③ 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の試験 (図 13) では、粒子径が 0.542 (μm)において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 19.142 (#/cc), 0.00160 (mg/m³)を示した。

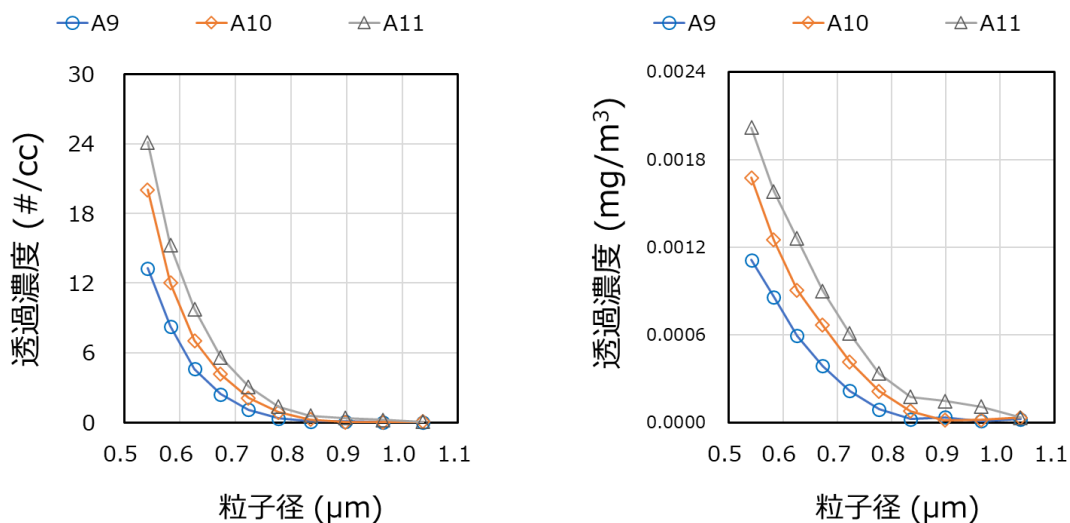


図 13. 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の透過濃度 (Ci)

- ④ 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の試験 (図 14) では、粒子径が 0.542 (μm)において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 11.443(#/cc), 0.000958(mg/m³)を示した.

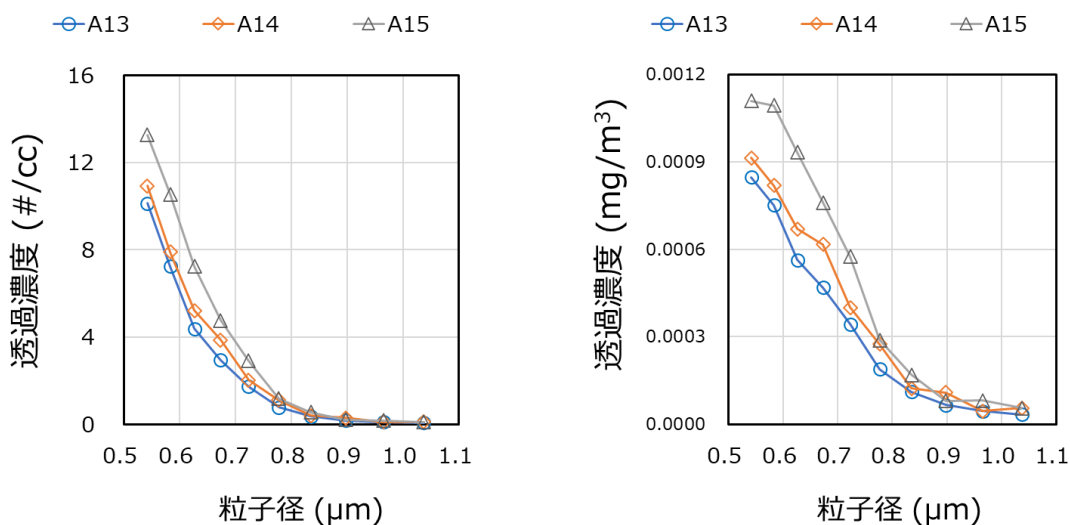


図 14. 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の透過濃度 (Ci)

- ⑤ 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の試験 (図 15) では、粒子径が 0.542 (μm)において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 11.968(#/cc), 0.00100(mg/m³)を示した.

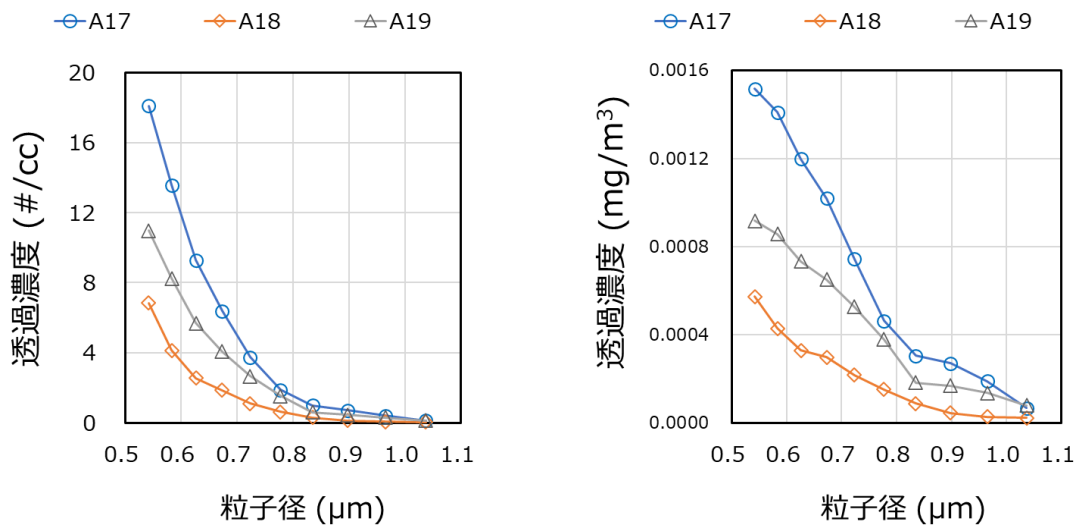


図 15. 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の透過濃度(Ci)

- ⑥ 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の試験 (図 16) では、粒子径が 0.542 (μm) において個数濃度および質量濃度ともにピークとなる 5.920(#/cc), 0.000496(mg/m³) を示した。

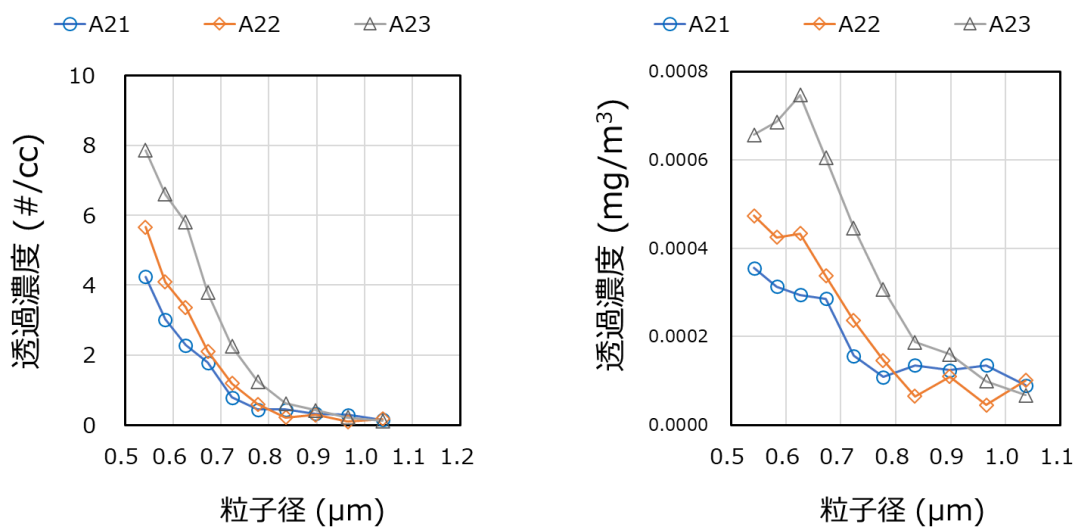


図 16. 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の透過濃度(Ci)

5-3-2-3. 捕集効率(E)の算出

捕集効率(E)は、次式に基づき算出した。

$$\text{捕集効率 (E)} = (1 - C_i / C_o) \times 100 (\%)$$

$C_i / C_o \times 100 (\%)$: 透過率

試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%), 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%), 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%), 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用), 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) および試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) について、以下に透過率の試験結果 (図 17~22), および捕集効率(E)の算出値 (表 7) を示した。

- ① 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の試験 (図 17) では、A1, A2, A3 の透過率の平均値をとったとき、粒子径が $0.542 (\mu\text{m})$ において透過率が $0.0749 \pm 0.00852 (\%)$ で最大値となった。この時の捕集効率(E)は 99.93 (%) となる。

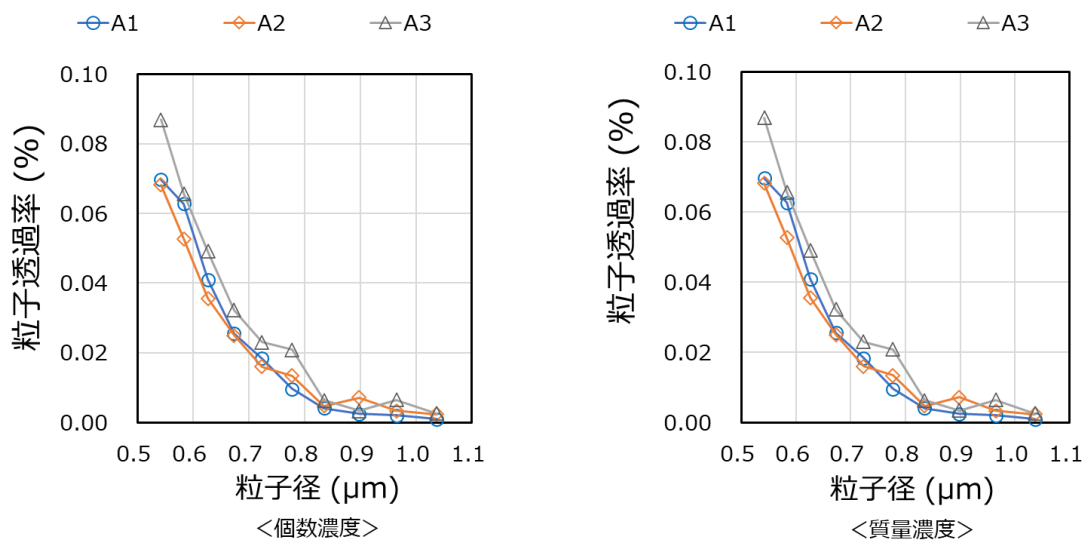


図 17. 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の粒子透過率

- ② 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の試験 (図 18) では、A5, A6, A7 の透過率の平均値をとったとき、粒子径が $0.542 (\mu\text{m})$ において透過率が $0.0633 \pm 0.0264 (\%)$ で最大値となった。この時の捕集効率(E)は 99.94 (%) となる。

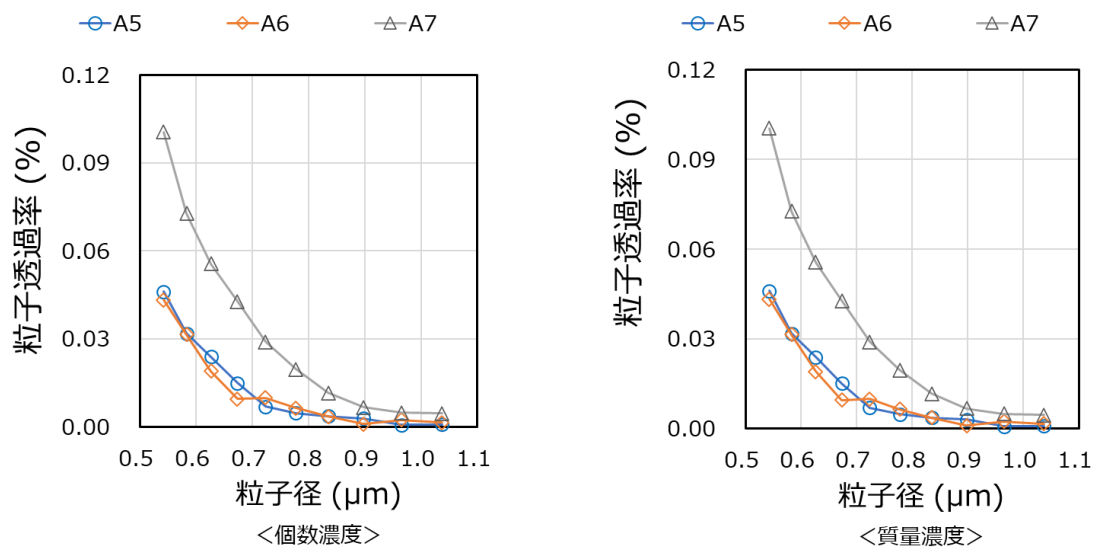


図 18. 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の粒子透過率

- ③ 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の試験 (図 19) では, A9, A10, A11 の透過率の平均値をとったとき, 粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ において透過率が $0.160 \pm 0.0373(\%)$ で最大値となった. この時の捕集効率(E)は $99.84(\%)$ となる.

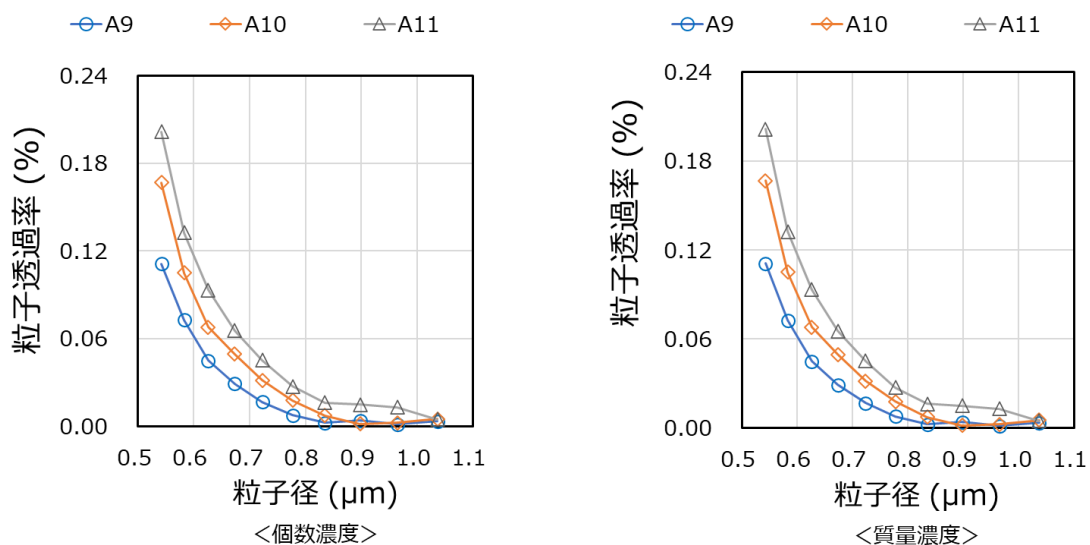


図 19. 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の粒子透過率

- ④ 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の試験 (図 20) では, A13, A14, A15 の透過率の平均値をとったとき, 粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ において透過率が $0.103 \pm 0.0117(\%)$ で最大値となった. この時の捕集効率(E)は $99.90(\%)$ となる.

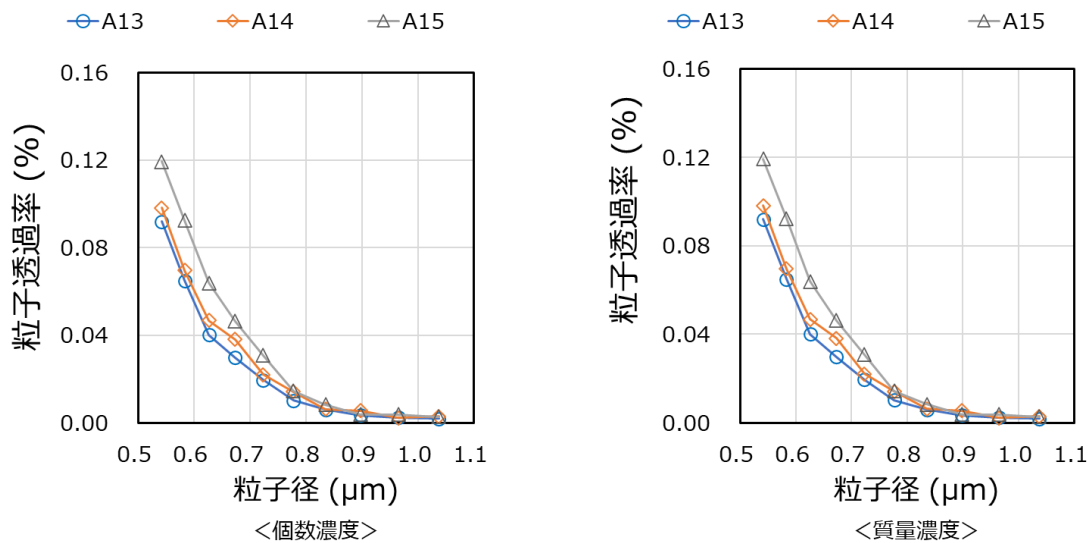


図 20. 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の粒子透過率

- ⑤ 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の試験 (図 21) では, A17, A18, A19 の透過率の平均値をとったとき, 粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ において透過率が $0.150 \pm 0.0573(\%)$ で最大値となった. この時の捕集効率(E)は 99.85(%)となる.

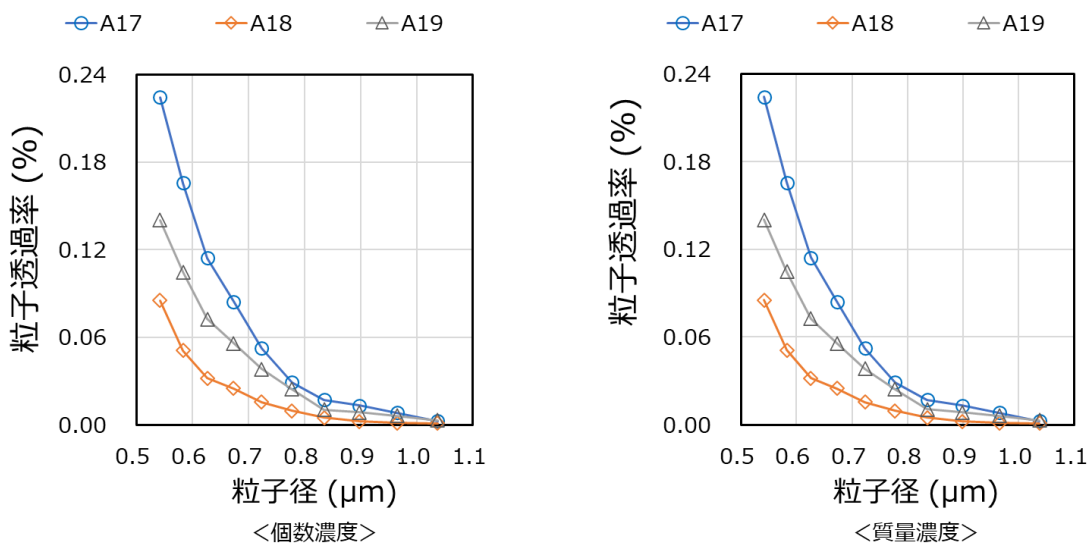


図 21. 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の粒子透過率

- ⑥ 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の試験 (図 22) では, A21, A22, A23 の透過率の平均値をとったとき, 粒子径が $0.542(\mu\text{m})$ において透過率が $0.110 \pm 0.0330(\%)$ で最大値となった. この時の捕集効率(E)は 99.89(%)となる.

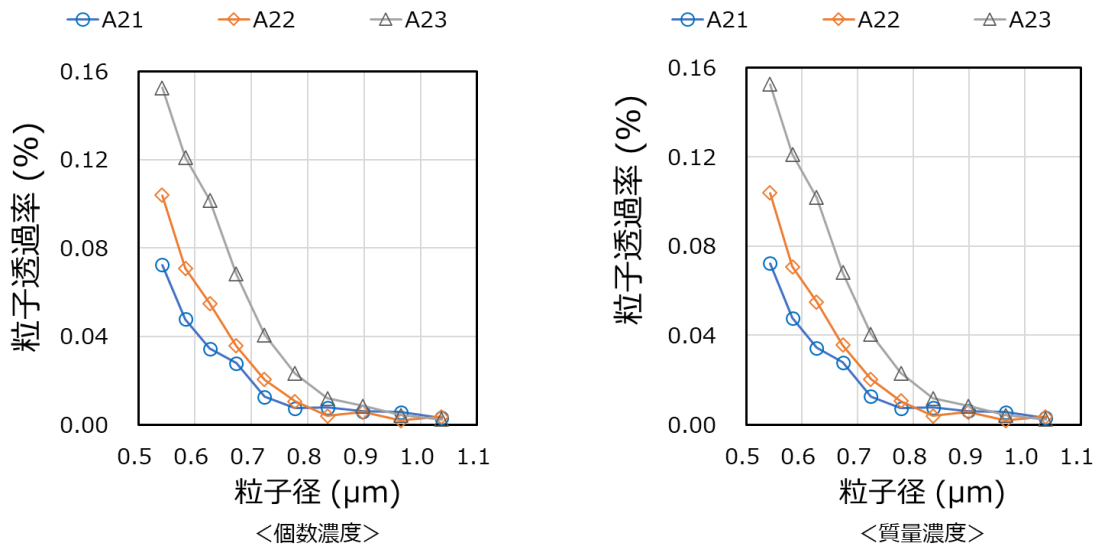


図 22. 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の粒子透過率

表 7. 試験条件 No. 1～No. 6 の捕集効率(E)

試験条件	捕集効率 E(%)
No.1 (A1,A2,A3)	99.93
No.2 (A5,A6,A7)	99.94
No.3 (A9,A10,A11)	99.84
No.4 (A13,A14,A15)	99.90
No.5 (A17,A18,A19)	99.85
No.6 (A21,A22,A23)	99.89

5-3-3. 1 時間堆積試験

5-3-3-1. 透過濃度(Ci)および環境濃度(Co)の定量

試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%), 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%), 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%), 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用), 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) および試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) について, 堆積時間 (1, 10, 20, 30, 40, 50 および 60 分間) における粒子透過濃度(Ci)および環境濃度(Co)の試験結果を以下に示した (図 23). なお, 測定対象粒径の範囲は, 粒子濃度測定器 (APS3321) のチャンネル 1～10 (粒

子径 0.542~1.037 μm) とし、各堆積時間ごとの濃度は 10 チャンネルの合計値を用いた。

- ① 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の粒子透過濃度の最大値は、1 分後で個数濃度 28.415(#/CC), 質量濃度 0.00348(mg/m^3) であり、最小値は 50 分後で個数濃度 18.984(#/CC), 質量濃度 0.00222(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値 (Time-Weighted Average:TWA) は 0.00272(mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 51468.6(#/CC), 質量濃度 9.828(mg/m^3) を示した。
- ② 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の粒子透過濃度の最大値は、10 分後で個数濃度 13.440(#/CC), 質量濃度 0.00173(mg/m^3) であり、最小値は 60 分後で個数濃度 8.880(#/CC), 質量濃度 0.00114(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値は 0.00144 (mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 70224.3(#/CC), 質量濃度 15.292(mg/m^3) を示した。
- ③ 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の粒子透過濃度の最大値は、1 分後で個数濃度 59.183(#/CC), 質量濃度 0.00694(mg/m^3) であり、最小値は 50 分後で個数濃度 37.919(#/CC), 質量濃度 0.00439(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値は 0.00518(mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 57597.0(#/CC), 質量濃度 10.125(mg/m^3) を示した。
- ④ 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の粒子透過濃度の最大値は、1 分後で個数濃度 41.135(#/CC), 質量濃度 0.00540(mg/m^3) であり、最小値は 50 分後で個数濃度 31.343(#/CC), 質量濃度 0.00408(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値は 0.00475(mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 73430.2(#/CC), 質量濃度 15.585(mg/m^3) を示した。
- ⑤ 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の粒子透過濃度の最大値は、1 分後で個数濃度 25.439(#/CC), 質量濃度 0.00327(mg/m^3) であり、最小値は 50 分後で個数濃度 12.192(#/CC), 質量濃度 0.00150(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値は 0.00194(mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 62521.9(#/CC), 質量濃度 14.729(mg/m^3) を示した。
- ⑥ 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の粒子透過濃度の最大値は、1 分後で個数濃度 17.160(#/CC), 質量濃度 0.00222(mg/m^3) であり、最小値は 30 分後で個数濃度 6.528(#/CC), 質量濃度 0.000833(mg/m^3), 質量濃度の時間加重平均値は 0.00106(mg/m^3) となった。また、環境濃度は個数濃度 49482.5 (#/CC), 質量濃度 13.168(mg/m^3) を示した。

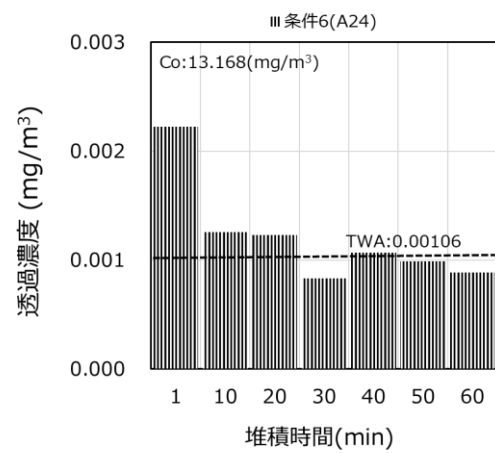
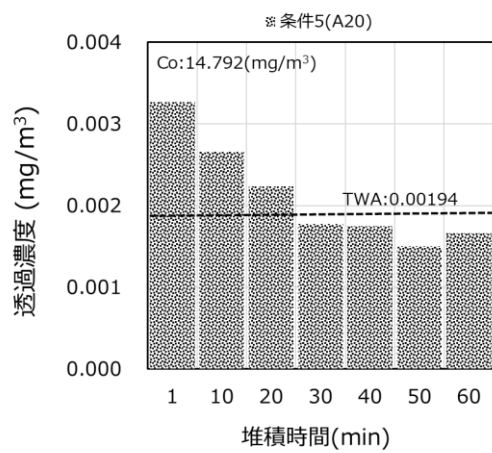
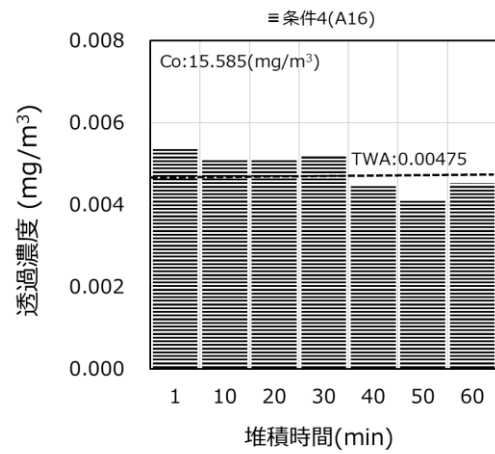
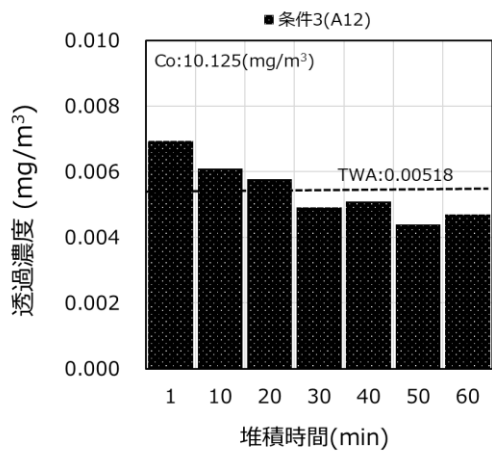
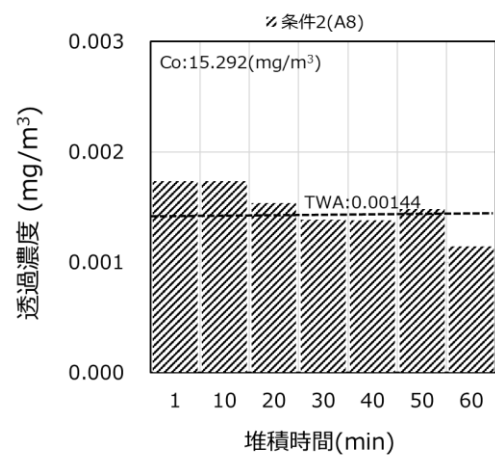
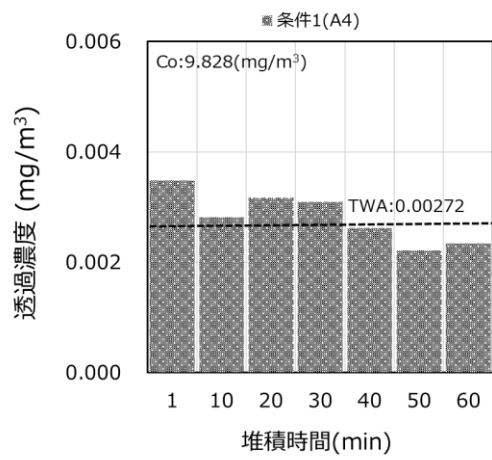


図 23. 1 時間堆積試験における粒子透過濃度の推移

5-3-3-2. 捕集効率(E)の算出

捕集効率(E)は、次式に基づき算出した。

$$\text{捕集効率 (E)} = (1 - C_i / C_o) \times 100 (\%)$$

$$C_i / C_o \times 100 (\%) : \text{透過率}$$

試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%), 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%), 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%), 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用), 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) および試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) について、堆積時間 (1, 10, 20, 30, 40, 50 および 60 分間) における透過率の試験結果 (図 24) および捕集効率(E)の算出値 (表 8) を示す。

- ① 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00272(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $9.282(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.03 (%) と算出された。
- ② 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00144(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $15.292(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.01 (%) と算出された。
- ③ 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00518(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $10.125(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.05 と算出された。
- ④ 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00475(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $15.585(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.03 (%) と算出された。
- ⑤ 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00194(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $14.729(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.01 (%) と算出された。
- ⑥ 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用) の農薬粒子透過濃度 (C_i) の時間加重平均は $0.00106(\text{mg}/\text{m}^3)$ であり、環境濃度 (C_o) は $13.168(\text{mg}/\text{m}^3)$ となり、透過率は 0.01 (%) と算出された。

粒子透過率 (%)

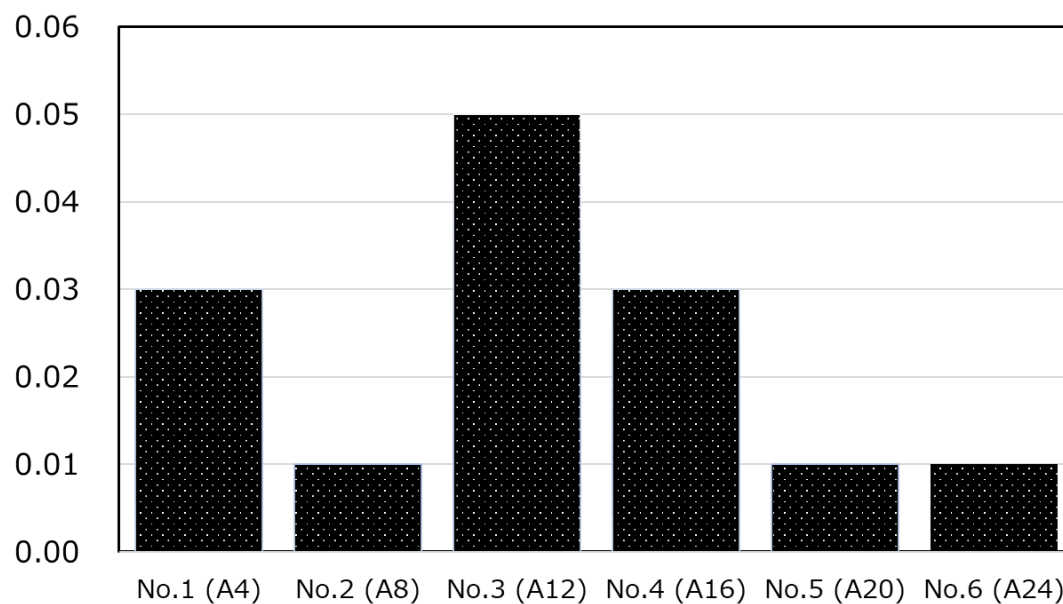


図 24. 1 時間堆積試験における粒子透過率の推移

表 8. 1 時間堆積試験における粒子捕集効率(E)の算出

試験条件	Ci-TWA (mg/m ³)	Co (mg/m ³)	E (%)
No.1 (A4)	0.00272	9.828	99.97
No.2 (A8)	0.00144	15.292	99.99
No.3 (A12)	0.00518	10.125	99.95
No.4 (A16)	0.00475	15.585	99.97
No.5 (A20)	0.00194	14.729	99.99
No.6 (A24)	0.00106	13.168	99.99

5-4. 考察

化学物質の取り扱い作業による曝露防止対策については、労働衛生保護具の適切な着用は極めて重要な対策の一つである。多くの農薬は化学農薬であり化学物質である。したがって、農業従事者が農薬を取り扱う作業において曝露防止をするためには、労働衛生保護具の適切な使用が求められる。労働衛生保護具は、作業内容や化学物質の特性に応じたものを用いることが必要となる。適正な労働衛生保護具を着用しないことを要因とした災害が発生していることについては、本稿第3章にて述べたとおりである。

農業分野における労働衛生保護具に関する知見は少なく、本章においては、農薬曝露の主要な経路である吸入・経口に着目をした呼吸用保護具の保護性能の研究をおこなった。また、研究の対象とした農薬は、近年において利活用が多いネオニコチノイド系農薬のうち、有効成分がクロチアニジンおよびジノテフランである農薬を設定した¹⁰⁾。さらに、ネオニコチノイド系農薬と混用して用いられるフジワン乳剤(有効成分：イソプロチオラン)についても研究対象とした。

本研究で取り組んだ捕集効率は、JIS(T8001:2006)¹⁵⁾に規定されている粒子捕集効率*1)(番号:3111)に基づき算出をした。また、性能試験対象とした試料フィルタ(ろ過材T2)はRL2に区分され、液体粒子捕集効率の国家検定の規格で定められている条件による試験*2)で、粒子捕集効率95.0%以上が保証されている(表9参照)。今回の実験においては、JIS(T8151:2018)¹⁶⁾と同じ試験流量である85(L/min)で実施するのが理想の条件あったが、この条件で試験を実施すると、透過率の算出に十分な粒子濃度が得られなかったため、線速(cm/s)を国家検定と合わせる形で試験条件に設定した。具体的な線速の条件は、国家検定4.2(cm/s)、本試験4.4(cm/s)とした。一般的には、メカニカルフィルタ(慣性力効果・さえぎり効果・拡散効果などによって粒子を捕集する機構¹⁷⁾)の捕集効率が最も低い粒子径は、約0.2(μm)とされており、0.2(μm)より粒子径が大きくなるほど捕集効率は上昇するとされている。初期試験での性能試験の結果から、ネオニコチノイド系農薬の単独試験および混用試験において99%以上の捕集効率が確認できた。また、1時間堆積試験での結果から、時間の経過とともに捕集効率は維持または増加傾向を示した。これはフィルタが粒子を堆積することで、目詰まりにより粒子透過率が低下したことが考えられる。この結果から、長時間のネオニコチノイド系農薬および混用施用における作業においても、呼吸用保護具の性能は維持されることが示された。

農薬に関する呼吸用保護具の性能試験の先行研究はあるが、ネオニコチノイド系農薬に着目した性能試験はこれまでに報告はない。実証試験の結果、定量値で高い捕集効率が示せたことは、意義のある研究であったといえる。

*1) 捕集効率

- ・ 粒子捕集効率(E) = $(C1 - C2) / C1 \times 100$ (%)
C1: 通過前の粒子濃度, C2: 通過後の粒子濃度

*2) 液体粒子捕集効率の国家検定の規格

- ・ 試験粒子：フタル酸ジオクチル (DOP)
- ・ 粒径分布の中央値 (μm)：0.15~0.25 ($\sigma_g \leq 1.6$)
- ・ 試験濃度 (mg/m^3)： ≤ 100
- ・ 試験流量 (L/min)：85
- ・ 試験時間：200mg 供給されるまで

一方で、捕集効率が 100%ではなかったことから、国家検定付き呼吸用保護具を着用しても微量ではあるが捕集しきれない農薬粒子が発生し、作業員への曝露が示された。また、今回混用試験として用いたフジワン乳剤は、有効成分 (イソプロチオラン) の他に、蒸気圧の高い有機溶剤等が成分として含有されている。第 3 章で述べたとおり、農薬の季節別災害発生割合は、夏および春で全体の 6 割以上を占める。つまり、気温の高い時期に蒸気圧の高い溶剤等の成分が含有されている農薬を使用することで、液体粒子状農薬以外にガス化した農薬成分が呼吸用保護具のフィルタを透過して、作業員が曝露することが大いに想定される。ガス状成分が含有されている農薬においては、粒子状を捕集する呼吸用保護具以外に、有機ガス等を吸収する呼吸用保護具の着用も併せておこなう必要がある。今回の研究では、ガス状成分のフィルタ透過状況の定量分析は実施していないが、液体粒子の透過が認められたことから、ガス状成分の透過も発生していることが十分考えられる。例えば、ろ過材 T 2 捕集後の試料空気を活性炭などで固体捕集をおこない、ガスクロマトグラフィーなどによる機器分析をおこなうことで、透過農薬成分量の定量が可能と考える。

呼吸用保護具の性能は国家検定により粒子捕集効率 (%), 吸気抵抗値 (Pa) および排気抵抗値 (Pa) が示されている (表 9)。一般的には、捕集効率が高い呼吸用保護具を用いれば、農薬の曝露量は低く抑えられる。一方で、吸排気抵抗値も増すことになり、作業員の呼吸に伴う労働生理的負担も増すことになり、このことは作業員の健康影響や作業性の低下につながる懸念がある。さらに、性能がよい労働衛生保護具になればなるほど購入費用も増すことになる。農薬の使用条件や作業環境への飛散状況を踏まえて、適切な労働衛生保護具を選定・購入することで作業効率の確保やコスト削減など、経営面のメリットも見込める。

表 9. 国家検定の性能・区分¹⁸⁾

■取替え式粉じんマスクの性能による区分

区分		粒子捕集効率 (%以上)	吸気抵抗* (Pa以下)		排気抵抗* (Pa以下)	
			吸気補助具		吸気補助具	
DOP	NaC I		あり	なし	あり	なし
RL3	RS3	99.9	160	160	80	80
RL2	RS2	95.0		80		70
RL1	RS1	80.0		70		70

■使い捨て式粉じんマスクの性能による区分

区分		粒子捕集効率 (%以上)	吸気抵抗* (Pa以下)		排気抵抗* (Pa以下)	
			吸気補助具		吸気補助具	
DOP	NaC I		あり	なし	あり	なし
DL3	DS3	99.9	150	100	80	100
DL2	DS2	95.0	70	50	70	50
DL1	DS1	80.0	60	45	60	45

* 流量40L/min通気時の値

本研究は、吸入・経口曝露実験におけるデータである。実際の農業現場においては、その化学農薬に適した呼吸用保護具を着用していても、作業の動作による呼吸用保護具の顔面とのズレや、作業員自身の顔の輪郭の特徴などによる面体と顔面との空隙などの要因が重なり実験値以上の農薬粒子の透過が見込まれる。さらには、同じ呼吸用保護具を複数回連続使用することで、フィルタの劣化などによる捕集効率の低下も考えられる。これらの課題は、労働衛生保護具の性能面というよりは、管理面での課題といえる。農薬使用時の曝露リスクを確実に把握、理解するとともに、定期的な教育の受講や呼吸用保護具のメンテナンス、そして農薬を使用するにあたり安全衛生面を管理する人材の配置・育成にも努めるべきである。今後、熟練農業従事者の減少と農業経験の浅い農業従事者の増加を見据えるにあたり、持続可能な農業を実現するためには、農薬の安全使用を徹底し、労働力の安定確保につなげることは確実に求めなければならない。

5-5. まとめ

呼吸用保護具は国家検定で性能が規定されている。一方で、近年多方面に利活用されているネオニコチノイド系農薬に着目をした、農薬用マスクの性能に関する研究はこれまでに

ない。ネオニコチノイド系農薬のなかでも特に流通量が多く、日本の代表的な農作物である水稲において使用実績の多いクロチアニジンおよびジノテフランに着目した呼吸用保護具の性能試験を実施した。本実験では、実際の農薬取り扱い、散布条件に近似する条件を設定し、実験系や条件を組み試験をおこなったことで次のことが証明された。

- ・ 実験結果としては、農薬粒子（有効成分：クロチアニジンおよびジノテフラン）の捕集効率は99%以上となった。
- ・ さらに、農薬粒子（有効成分：クロチアニジンおよびジノテフラン）とフジワン乳剤（有効成分：イソプロチオラン）とのそれぞれの混用ケースでの性能試験においても、捕集効率が99%以上との結果となった。
- ・ 長時間（1時間）使用による呼吸用保護具の性能試験においても、時間の経過とともに捕集性能の低下は認められなかった。

本試験の結果から、ネオニコチノイド系農薬である有効成分クロチアニジンおよびジノテフランの使用作業において、国家検定で規定されているRLに該当する呼吸用保護具を適切に着用すれば、体内への取り込み量（曝露量）は環境気中の農薬飛散量の約1%程度であることが示された。

参考文献

- 1) 田中茂「知っておきたい保護具のはなし」, 中災防新書, 平成21年8月10日第1版第1刷発行, p.8
- 2) 厚生労働省「対策シート R100 呼吸用保護具の選び方と使い方」,
<<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/r100.pdf>> 2020.4.11 参照
(補足) ILO 「The Chemical Control Toolkit」を得て翻訳,
<http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/sheets/tcs-r100.pdf> 2020.4.11 参照
- 3) 株式会社重松製作所「労働安全衛生保護具・機器 総合カタログ 2020年版」p.1(引用)
- 4) French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety(2016) "Publication of the report on occupational exposure to pesticides: a need for better understanding and a reduction in exposure", <<https://www.anses.fr/en/content/publication-report-occupational-exposure-pesticides-need-better-understanding-and-reduction>> 2020.4.11 参照
- 5) 環境展望台「フランス食品環境労働衛生安全庁, 農家の農薬曝露に関する研究結果を報告」, <<https://tenbou.nies.go.jp/news/fnews/detail.php?i=19566>> 2020.4.11 参照
- 6) Alicia L. Salvatore, Asa Bradman, Rosemary Castorina, José Camacho, Jesús López, Dana B. Barr, John Snyder, Nicholas P. Jewell and Brenda Eskenazi (2008) "Occupational Behaviors and

Farmworkers' Pesticide Exposure: Findings From a Study in Monterey County, California", *Am J Ind Med.* 2008 Oct; 51(10): 782-794.

- 7) 住友化学株式会社：製品情報
<<https://www.sumitomo-chem.co.jp/products/detail/e02094.html>> 2020.9.19 参照
- 8) 三井化学アグロ株式会社：製品情報
<<https://www.mitsui-agro.com/product/tabid/86/pdid/21260/type/1/Default.aspx>> 2020.9.19 参照
- 9) 日本農薬株式会社：製品情報
<<https://www.nichino.co.jp/products/query/id2.php?id=26>> 2020.9.19 参照
- 10) 一般社団法人アクト・ビヨンド・トラスト「ネオニコチノイド系化学物質の国内使用に関する基礎データ」, <<http://www.actbeyondtrust.org/neonico-basic-2013/nb2013-03/>> 2020.8.8 参照
- 11) 株式会社重松製作所「労働安全衛生保護具・機器 総合カタログ 2020 年版」 p.122
- 12) 東京ダイレック株式会社「APS スペクトロメーター 3321 製品情報」, <<https://www.t-dylec.net/service/aps3321/>> 2020.9.5 参照
- 13) 静岡県農薬安全使用指針・農作物病虫害防除基準「7. 防除器具の種類と特徴」,
<<http://www.s-boujo.jp/kihon/file/14sonota/1406.pdf>>2020.5.21 参照
- 14) 西山邦隆「農薬散布時に吸入する液剤農薬の粒度分布について」
日農医誌 35 巻 2 号,111-114(1986)
- 15) JIS (日本産業規格) 規格番号：JIS T8001, 規格名称：呼吸用保護具用語 (改正年月日：2006.3.25)
- 16) JIS (日本産業規格) 規格番号：JIS T8151, 規格名称：防じんマスク (改正年月日：2018.4.25)
- 17) 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所「作業環境中の粉じん測定とばく露対策」,
https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/mail_mag/2017/pdf_109/siryou_5.pdf>2020.12.29 参照
- 18) 株式会社重松製作所「労働安全衛生保護具・機器 総合カタログ 2020 年版」 p.27

第6章 農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスク評価の研究

6-1. はじめに

昨今の世界における農薬管理の考え方は、ハザードベースからリスクベースへの管理と変遷している¹⁾。欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority, 以下「EFSA」とする) は2014年に農薬使用者 (Operators), 農業従事者 (Workers), 周辺住民 (Residents), 通行人 (Bystanders) に対する農薬曝露リスク評価手法のガイダンス (Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products) を発表した²⁾。また、わが国においても、農薬の登録制度においてリスクの考えを用いた評価制度へと、農薬取締法の改正がおこなわれることとなった³⁾。

わが国の農業従事者の現状は、熟練農業従事者の減少が顕著である⁴⁾。一方で、将来的には農業経験の浅い農業従事者が一定の割合で存在することが見込まれ、農薬取り扱い作業における安全衛生面での災害の多発が危惧される。食料の安定供給を実現するためには、農薬の使用は不可避である。農薬の危険有害性を適切に把握し、災害リスクを適切に管理することが求められる。

農業従事者の農薬取り扱い作業での安全衛生面におけるリスクを適切に評価するためには、その評価指標が極めて重要な役割を担うことになる。欧州連合 (European Union, 以下「EU」とする) において作業員曝露許容量 (Acceptable Operator Exposure Level, 以下「AOEL」とする) という考え方が示されている⁵⁾。AOELとは「a level of daily exposure throughout a spraying season, year on year, below which no adverse systemic health effects would be expected. (農薬取り扱い作業を通じて、農業従事者などが農薬成分に曝露されても健康影響を生じないであろうと見込まれる水準)」と定義され²⁾、わが国においても作業員などの農薬曝露リスク評価について、AOELの導入を農林水産省が検討を進めている⁶⁾。

本章では、EUにおけるAOELと第5章で述べた呼吸用保護具の防護性能試験から、ネオニコチノイド系農薬の曝露リスク評価のプロセスを考察し、評価結果を提示した。

6-2. 研究方法

6-2-1. 曝露リスク評価の前提条件と方法

6-2-1-1. 曝露リスク評価の前提条件

第5章で述べた呼吸用保護具の防護性能試験および曝露空気量や作業員体重から、農業従事者のネオニコチノイド系農薬取り扱い作業における有効成分の曝露量を見積もり、農薬曝露許容量と比較をすることで、曝露リスク評価を試みた。なお、リスク評価をするにあたり、次の前提を設定した。

- ① 第5章での農薬散布実験における農薬の気中散布濃度環境下で、農業従事者が作業を実施した。なお、作業期間は春（4～6月）および夏（7～9月）の計183日/年、作業時間は8時間/日とした。
- ② 農業従事者の曝露空気量 Q を $17.3(\text{m}^3/\text{日})$ 、体重 M を $63.6(\text{kg-bw})$ とした⁷⁾。
- ③ 農業従事者は、第5章で用いた呼吸用保護具を装着し作業を実施したケースと、呼吸用保護具を装着せずに作業を実施したケースを設定した。

なお、本稿は吸入・経口曝露に着目をしたため、経皮（皮膚を介して）の曝露経路については、適切な防護装備を着用し、曝露量≒ゼロと仮定をした。

6-2-1-2. 農薬曝露量の見積もりおよびリスク評価

呼吸用保護具のフィルタを通過した農薬粒子量（以下、「透過曝露量」とする）およびフィルタを介さない場合の農薬粒子量（以下、「環境曝露量」とする）をそれぞれ式①および②より算出する。

化学物質の曝露 (E) は、曝露濃度 ($C(t)$) の曝露期間 ($T1 \sim T2$) の間の積分値として示される。

$$E = \int_{T1}^{T2} C(t) dt$$

曝露期間 (ED_i) でほぼ濃度が一定となる場合、平均濃度 (\bar{C}_i) を用いて、簡略化することができる。

$$E = \sum_i \bar{C}_i \times ED_i$$

平均一日曝露濃度 (AC) は、曝露を総曝露期間で除した平均濃度となる。

$$AC = \frac{E}{ED} = \frac{\sum_i \bar{C}_i \times ED_i}{\sum_i ED_i}$$

第5章で示した、透過濃度および環境濃度 (mg/m^3) に曝露空気量 $Q(\text{m}^3/\text{day})$ 、作業者体重 $M(\text{kg-bw})$ および農薬中の有効成分含有率および希釈倍数を加味することで、曝露量 ($\text{mg}/\text{kg-bw}/\text{day}$) への換算をおこなった。

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ 透過曝露量 (mg/kg-bw/day)} &= a/100 \cdot b/100 \cdot C_i \cdot Q/M \cdot 8/24 \cdot 183/365 \\ &= 4.55 \times 10^{-6} (a \cdot b \cdot C_i) \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{ 環境曝露量 (mg/kg-bw/day)} &= a/100 \cdot b/100 \cdot C_o \cdot Q/M \cdot 8/24 \cdot 183/365 \\ &= 4.55 \times 10^{-6} (a \cdot b \cdot C_o) \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

a : 希釈倍率(%)

b : 有効成分含有量(%)

C_i : 農薬粒子透過濃度(mg/m³)

C_o : 農薬粒子環境濃度(mg/m³)

Q : 曝露空気量(m³/day)

M : 作業者体重(kg-bw)

式①および②より算出された透過曝露量および環境曝露量と無毒性量（または最小毒性量）や農薬曝露許容基準値を比較することで、ネオニコチノイド系農薬（有効成分：クロチアニジン、ジノテフラン）および混用施用として設定した乳剤（有効成分：イソプロチオラン）の曝露リスクを評価した。

なお、農薬曝露許容基準値については、「90 日程度の反復毒性試験の無毒性量(NOEL)または最小毒性量(LOEL)に、投与経路に応じた吸収率(0-1)を乗じ、不確実係数積（一般的に100）で除して算定」⁸⁾の考えに基づき農薬曝露許容基準値を設定した。

6-3. 研究結果

6-3-1. ネオニコチノイド系農薬の曝露リスク評価結果

6-3-1-1. 透過濃度および環境濃度における曝露量

前項（6-2-1-2. 農薬曝露量の見積もりおよびリスク評価）で示した①式を用いて、透過曝露量(mg/kg-bw/day)を算出した。同様に②式を用いて、環境曝露量(mg/kg-bw/day)を算出した。曝露量の算出に用いたファクターは表1に、透過曝露量および環境曝露量については表2にそれぞれ示した。

表 1. 透過曝露量および環境曝露量の算出に用いるファクター

試験条件	有効成分 (試験対象農薬)	ファクター					
No.1	クロチアニジン (ダントツ水溶剤)	a: 0.1	b: 16	Ci: 0.00272	Co: 9.828	Q: 17.3	M: 63.6
No.2	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	a: 0.3	b: 40	Ci: 0.00144	Co: 15.292	Q: 17.3	M: 63.6
No.3	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	a: 1	b: 10	Ci: 0.00518	Co: 10.125	Q: 17.3	M: 63.6
No.4	クロチアニジン (ダントツ水溶剤)	a: 0.1	b: 16	Ci: 0.00475	Co: 15.585	Q: 17.3	M: 63.6
	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	a: 0.1	b: 40	Ci: 0.00475	Co: 15.585	Q: 17.3	M: 63.6
No.5	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	a: 12.5	b: 10	Ci: 0.00194	Co: 14.729	Q: 17.3	M: 63.6
No.6	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	a: 12.5	b: 10	Ci: 0.00106	Co: 13.168	Q: 17.3	M: 63.6
	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	a: 12.5	b: 40	Ci: 0.00106	Co: 13.168	Q: 17.3	M: 63.6

表 2. 透過曝露量および環境曝露量

試験条件	有効成分 (試験対象農薬)	透過曝露量 (ng/kg-bw/day)	環境曝露量 (µg/kg-bw/day)
No.1	クロチアニジン (ダントツ水溶剤)	0.020	0.072
No.2	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	0.079	0.83
No.3	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	0.24	0.46
No.4	クロチアニジン (ダントツ水溶剤)	0.035	0.11
	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	0.086	0.28
No.5	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	1.10	8.4
No.6	ジノテフラン (スタークルメイト液剤)	0.60	7.5
	イソプロチオラン (フジワン乳剤)	2.4	30

6-3-1-2. 農薬曝露許容基準値の算出

前号で算出した透過曝露量および環境曝露量を農薬曝露許容基準値と比較することで、曝露リスクの評価をおこなった。クロチアニジンについては、EU における AOEL が 0.1(mg/kg-bw/day)と定められている。本稿において、クロチアニジンの農薬曝露許容基準値の算定にあたっては、「90 日程度の反復毒性試験他の無毒性量 (NOAEL) または最小毒性量 (LOAEL) に、投与経路に応じた吸収率(0-1)を乗じ、不確実係数積で除して算定」することで農薬曝露許容基準値を求めた⁹⁾。ジノテフランおよびイソプロチオランについても同様に、「90 日程度の反復毒性試験他の無毒性量 (NOAEL) または最小毒性量 (LOAEL) に、投与経路に応じた吸収率(本研究では安全側に評価をする意図で“1”を採用)を乗じ、不確実係数積(本研究では“個体差:10”および“種差:10”から“100”を採用)で除して算定」することで農薬曝露許容基準値を求めた¹⁰⁾¹¹⁾。その結果、クロチアニジンの農薬曝露許容基準値を 0.097(mg/kg-bw/day) *1 に、ジノテフランの農薬曝露許容基準値を 0.22(mg/kg-bw/day) *2

に、イソプロチオランの農薬曝露許容基準値を 0.10 (mg/kg-bw/day) *3 に設定した。クロチアニジン、ジノテフランおよびイソプロチオランの農薬曝露許容基準値を表 3 に示した。

*1 : クロチアニジンの曝露許容基準値の算出⁹⁾

曝露許容基準値=NOAEL (or LOAEL) × 吸収率 / 不確実係数積=0.097 (mg/kg-bw/day)

・ NOAEL (or LOAEL) : 9.7 (mg/kg-bw/day)

各試験で得られた無毒性量のうち最小値は、ラットを用いた 2 年間慢性毒性/発がん性併合試験であったことから、この値を採用した。

・ 吸収率 : 1

・ 不確実係数積 : 100

*2 : ジノテフランの曝露許容基準値の算出¹⁰⁾

曝露許容基準値=NOAEL (or LOAEL) × 吸収率 / 不確実係数積=0.22 (mg/kg-bw/day)

・ NOAEL (or LOAEL) : 22 (mg/kg-bw/day)

各試験で得られた無毒性量または最小毒性量のうち最小値は、イヌを用いた 1 年間慢性毒性試験であったことから、この値を採用した。

・ 吸収率 : 1

・ 不確実係数積 : 100

*3 : イソプロチオランの曝露許容基準値の算出¹¹⁾

曝露許容基準値=NOAEL (or LOAEL) × 吸収率 / 不確実係数積=0.10 (mg/kg-bw/day)

・ NOAEL (or LOAEL) : 10 (mg/kg-bw/day)

各試験で得られた無毒性量または最小毒性量のうち最小値は、イヌを用いた 1 年間慢性毒性試験であったことから、この値を採用した。

・ 吸収率 : 1

・ 不確実係数積 : 100

表 3. 有効成分と農薬曝露許容基準値

有効成分	農薬曝露許容基準値 (mg/kg-bw/day)
クロチアニジン	0.097
ジノテフラン	0.22
イソプロチオラン	0.1

6-3-1-3. 農薬曝露のリスク評価

本研究では、第5章での試験条件で作業をした場合を仮定し、農業従事者の農薬曝露の健康リスク評価をおこなった。クロチアニジン、ジノテフランおよびイソプロチオランの透過曝露量および環境曝露量は表2に示したとおりで、曝露量は農業従事者が農薬取り扱い作業において、当該使用農薬（有効成分）を体内に摂取（曝露）することを意味している。また、表3で示した農薬曝露許容基準値は、1日にその許容基準値を超えない範囲で当該使用農薬（有効成分）に曝露しても通常の状態である農業従事者は、健康障害のリスクは高くない、と科学的に示せるものである。この農薬曝露許容基準値を求めるにあたり用いた無毒性量（NOAEL）または最小毒性量（LOAEL）の値と、透過曝露量および環境曝露量から算出した曝露マージン（Margin of Exposure : MOE*4）を表4に、ハザード比（Hazard Quotient : HQ*5）を表5に示した。

表4. 曝露量と曝露マージン

試験条件	有効成分	Margin of Exposure		NOAEL or LOAEL
		透過曝露量	環境曝露量	
No.1	クロチアニジン（ダントツ水溶剤）	485000000	134722	9.7
No.2	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	126582278	12048	10
No.3	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	91666667	45833	22
No.4	クロチアニジン（ダントツ水溶剤）	277142857	88182	9.7
	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	116279070	35714	10
No.5	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	20000000	2619	22
No.6	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	36666667	2933	22
	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	4166667	333	10

*4：曝露マージン（Margin of Exposure, MOE¹²⁾

無毒性量（No Observed Adverse Effect Level : NOAEL）と推定ヒト曝露量（Estimated Human Exposure : EHE）の大小を比べたもので、曝露がNOAELに対してどの程度離れているかを示す係数である。

「MOE = NOAEL (or LOAEL) / EHE」にて算出され、リスク判定の方法は次のとおりである。

判定方法	判定基準	リスクの判定結果
UFs★との比較 ★不確実係数積 ： Uncertainty Factors	MOE > UFs MOE ≤ UFs	現時点でヒト健康に悪影響を及ぼす懸念はない ヒト健康へ悪影響を及ぼすことが懸念される

表 5. 曝露量と農薬曝露許容基準値

試験条件	有効成分	Hazard Quotient		農薬曝露許容基準値
		透過曝露量	環境曝露量	
No.1	クロチアニジン（ダントツ水溶剤）	0.00000021	0.00074	0.097
No.2	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	0.00000079	0.0083	0.10
No.3	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	0.0000011	0.0021	0.22
No.4	クロチアニジン（ダントツ水溶剤）	0.00000036	0.00113	0.097
	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	0.00000086	0.0028	0.10
No.5	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	0.0000050	0.038	0.22
No.6	ジノテフラン（スタークルメイト液剤）	0.0000027	0.034	0.22
	イソプロチオラン（フジワン乳剤）	0.000024	0.30	0.10

*5：ハザード比（Hazard Quotient：HQ）¹²⁾

耐容 1 日摂取量（Tolerable Daily Intake：TDI）と推定ヒト曝露量（Estimated Human Exposure：EHE）を比で表し、リスクを評価する方法である。

「HQ = EHE / TDI」にて算出され、リスク判定の方法は次のとおりである。

判定基準	リスクの判定結果
HQ < 1	現時点ではヒト健康に悪影響をおよぼす懸念はない
HQ ≥ 1	ヒト健康に悪影響をおよぼすことが懸念される

（補足）

本稿での HQ のリスク評価においては、耐容 1 日摂取量 TDI を農薬曝露許容基準値として取り扱った。

6-4. 考察

本章では、“農薬曝露の健康リスク”に着目をして、そのリスクの評価を試みた。一般的に農薬も含めた化学物質の健康障害リスクは、“化学物質の有害性の程度”と“曝露量”の積で示される¹³⁾。つまり、作業環境中に農薬が高濃度に存在しても、作業者自身がその農薬の曝露量を限りなく下げることで、農薬による健康障害リスクを下げる事が可能である。

労働衛生学的な化学物質の曝露低減対策の具体的な方法は、例えば、低有害な化学物質への代替、作業の遠隔化・自動化・密閉化、局所排気装置等の設置や労働衛生保護具の着用などが代表的な手法として示されている¹⁴⁾。一方で、農業現場での農薬の取り扱いという作

業形態を踏まえると、広範囲に大量の農薬を長時間使うことになる。したがって、曝露低減対策も限られることになり、適切な労働衛生保護具着用が現実的かつ有効な対策となる。

前章では、ネオニコチノイド系農薬および混用施用に着目をした呼吸用保護具の防護性能試験をおこなった。この防護性能は農薬の曝露防止にどの程度寄与しているのかを、科学的な考え方にに基づき評価をおこなったものである。適切な呼吸用保護具を着用していない状態での作業を環境曝露、適切な呼吸用保護具を着用している状態での作業を透過曝露として、第5章での環境濃度および透過濃度から適切なファクターを設定し、環境曝露量および透過曝露量を算出した。この環境曝露量および透過曝露量を農薬曝露許容基準値（1日にその許容基準値を超えない範囲で当該使用農薬（有効成分）に曝露しても、通常健康状態である農業従事者は健康障害のリスクは高くないと科学的に示せるもの）と比較することで曝露リスクを評価した。具体的には、リスクは曝露マージン（MOE）およびハザード比（HQ）の手法を用いて評価をおこなった。

結果としては、すべての試験条件（No. 1～No. 6）での環境曝露において「現時点ではヒト健康に悪影響をおよぼす懸念はない」とのリスクの判定結果となった。同じくすべての試験条件（No. 1～No. 6）での透過曝露においても「現時点ではヒト健康に悪影響をおよぼす懸念はない」とのリスクの判定結果となった。この結果からも、適切な呼吸用保護具着用での曝露防止対策の有効性が証明されたといえる。ネオニコチノイド系農薬および乳剤との混用施用に対する国家検定付呼吸用保護具の性能試験についてはこれまでに試験事例がなく、本試験で十分な性能があることが示され、曝露防止対策として有効であると結論付けられた。

しかしながら、本試験はネオニコチノイド系農薬の有効成分であるクロチアニジンおよびジノテフラン、そしてその混用事例としてフジワン乳剤（有効成分：イソプロチオラン）での試験結果であるため、すべてのネオニコチノイド系農薬で同様の結果が示されるとは限らない。また、混用のケースとしてフジワン乳剤以外を使用することもあり得る。これらの点では、さらなる知見の収集が求められる。さらに、今回の実験は粒子径をベースに、個数濃度から質量濃度に変換するプロセスをとった。さらに定量精度を向上するための、粒子状農薬の捕集および機器分析のプロセスによる定量値の算出の検証についても課題として挙げられる。

本実験では、フィルタを固定して試験をおこなった。実際の農業作業では作業者が呼吸用保護具を着用することから、作業中に呼吸用保護具が障害物と接触したりするなど、常に呼吸用保護具は不安定な状態にある。実際の農薬取り扱い作業時に曝露測定をおこなうことで、作業時の曝露実態が明確になる。このことは作業者自身の農薬取り扱い作業のリスク管理に重要な役割を果たす。

6-5. まとめ

曝露リスクは、農薬の有する有害性の程度と曝露量の積で示される。有害性の高い農薬であっても、取扱量や曝露量を低く抑えたり、取り扱い時間を短くしたりすることでリスクレベルを下げる事が可能である。曝露量を把握する方法としては、大きくシミュレーションと実測（農薬取り扱い作業場の作業環境測定または農薬取り扱い者の個人曝露測定など）の2つの手法が代表例として挙げられる。実測値を用い定量的データに基づきリスク評価をおこなうことは、作業の実態を反映した有効な評価結果となる。

一方で、農業従事者の農薬取り扱い作業における作業環境測定や個人曝露測定手法は未だ確立された領域ではない。農薬取り扱い作業におけるリスクの低減を実現するには、農業従事者自身がリスク評価および管理に関与し、作業改善をすることが本質的な考え方である。これらを実現するためには、農薬取り扱い作業時の曝露測定およびリスク評価を簡易に実行できる手法の整備が求められるものと考え、今後の課題と捉えている。

参考文献

- 1) 佐々木詩織, 金子圭一, 楠井達典 (2014) 「新たな毒性試験の動向調査」, 農林水産消費安全技術センター農薬調査研究報告, pp.21-23
- 2) European Food Safety Authority 「Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products」 (2014)
- 3) 環境省「農薬取締法の一部を改正する法律案の閣議決定について」,
<<http://www.env.go.jp/press/105264.html>> 2020.3.15 参照
- 4) 農林水産省「農業労働力の現状」,
<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h19_h/trend/1/t1_2_2_01.html> 2020.3.15 参照
- 5) 国立医薬品食品研究所(2010)「食品安全情報 No.5/2010」
<<http://www.nihs.go.jp/hse/food-info/foodinfonews/index.html>> 2020.8.9 参照
- 6) 農林水産省農業資材審議会農薬分科会 (第17回),
<<http://www.maff.go.jp/j/council/sizai/nouyaku/17/attach/pdf/index-3.pdf>> 2020.8.9 参照
- 7) 吉田喜久雄, 中西準子 (2006) 「環境リスク解析入門 [化学物質編]」, 東京図書, p152
- 8) 農林水産省「農薬使用者への影響評価法に関する検討会」,
<<https://www.maff.go.jp/j/nouyaku/hyoka/index.html>> 2020.9.22 参照
- 9) 農薬評価書 クロチアニジン (第6版) 2014年10月食品安全委員会
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20140407127&fileId=201>> 2020.5.8 参照
- 10) 農薬・動物用医薬品評価書 ジノテフラン (第6版) 2017年2月食品安全委員,
<<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kya20160713077&fileId=201>> 2020.5.8 参照

- 11) 水質汚濁に係る農薬登録保留基準の設定に関する資料(イソプロチオラン)「平成22年3月12日 中央環境審議会土壌農薬部会農薬小委員会(第20回)資料」
- 12) 一般財団法人化学物質評価研究機構(2012)「化学物質のリスク評価がわかる本」,丸善出版, pp.135-136
- 13) 一般財団法人化学物質評価研究機構(2012)「化学物質のリスク評価がわかる本」,丸善出版, p.5
- 14) 厚生労働省労働衛生課監修(2003)「作業環境測定のための労働衛生の知識」,日本作業環境測定協会, pp.80-81

第7章 総括

農薬は、農作物の持続的な安定供給の実現に不可欠なものである。世界的に人口増加が顕著な傾向を示しており、ますます農薬の利用を避けることはできない。わが国においては、熟練農業従事者の大量離農が顕在化しており、多くの若年農業従事者（経験の浅い農業従事者）が存在することになる。このことは、農薬取り扱い作業におけるリスクの低感受性に起因する労働災害の増加、が危惧されるところである。農薬取り扱いによるリスクを適切に評価し、農業現場の実態に即した農薬曝露防止対策をいっそう効果的に活用できる提案をすることは必須の課題である。

本研究の目的は、「農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスクの評価を研究し、結果を提示することで、農薬取り扱い作業における農業従事者の災害を防止し、持続可能な農業の実現に寄与する」ことであり、課題の解決に向け農薬に関わる災害状況の実態把握のための調査をおこなった。また、昨今取り扱いが増加しているネオニコチノイド系農薬およびその混用施用に着目をし、農業分野で現実的な農薬曝露防止対策の一つの手法である防護装備（呼吸用保護具）の性能評価試験の研究を実施し、農業従事者への農薬曝露の健康リスク評価および管理の枠組みを検討した。

本章では、各課題における研究成果を概説し、また、本研究で明らかになった今後の課題を特定し、総括とした。

第1章から第3章にかけて、持続可能な農業を実現するための農薬の役割および農業従事者の農薬取り扱いにおける曝露リスクをさまざまな側面から調査し、現状の課題を整理した。多くの農薬は化学物質であり、すべての化学物質には固有の危険性または有害性を有している。化学物質の取り扱い作業のリスクは、曝露量をコントロールすることで健康リスクを限りなく低減することが可能となる。これは化学物質である農薬についてもまったく同じことがいえる。

本稿における調査から、農薬取り扱い作業に起因する労働災害対策はまだ多くの取り組むべき施策や課題が残されていることが明確となった。具体的には、安全衛生管理体制の整備、確立という点において、農業分野は不十分な状態であることがいえる。農業従事者の安全・安定就業は持続可能な食料供給の実現に直結することからも、農業事業者においては安全衛生管理の強固な体制整備が求められる。

第4章および第5章においては、近年において取り扱いの量が顕著に増えているネオニコチノイド系農薬およびその混用施用についての研究に取り組んだ。そして第6章では、農薬曝露量を見積もり、農薬曝露許容基準値との比較をおこなうことで曝露リスク評価を試みた。

第4章では、ネオニコチノイド系農薬の薬理作用、物理化学的特性、有害性および研究論文のレビューについてまとめた。従来から蜂への毒性については多くの議論が展開されていた。昨今では、標的生物以外にも有害性影響を示す研究の報告が多く出されている。また、実際にヒトへの健康影響発生事例も報告されていることから、農業従事者は当該農薬を取り扱う際は徹底した管理が求められる。

第5章では、農業従事者の農薬曝露防止対策として有効な手段一つである呼吸用保護具のネオニコチノイド系農薬に対する性能評価に関する研究に取り組んだ。試験使用農薬をネオニコチノイド系農薬に設定し、粒子径および農薬施用で多用される混用に着目をした呼吸用保護具の性能試験についてはこれまでに研究報告がなく、本研究の新規性かつ独自性を示せたと考える。

第6章では、前章で述べてきた「農薬の曝露リスクは有害性の程度と曝露量の積」の関係を、定量値を用いて曝露リスク評価を試みた。つまり、第5章の実験値から労働衛生保護具の装着有無による農薬の曝露量を見積もり、第4章の有害性類から農薬曝露許容基準値の設定をおこない、曝露量および曝露許容基準値の比較をすることで曝露リスク評価をおこなった。農業従事者の農薬取り扱い作業における健康有害性のリスク評価に関する調査・研究事例は少なく、また本研究においては吸入・経口曝露リスクのみに着目をしているが、実際は皮膚などを経由した曝露も想定されることから、今後の調査・研究が求められる。さらには、わが国においては、農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露許容基準値が明確に示されていない。科学的にリスクを評価するためには、評価指標基準となる値の提示は必須であり、曝露許容基準値設定の学術的および行政的な取り組みが求められる。

農業従事者の作業に起因する災害の未然防止をいう側面においては、さらなる科学的な研究が必要である。本稿の主要テーマである「リスク評価・管理」という枠組みでの科学的研究の領域において、本稿の成果をさらに発展させるため、今後の課題を以下に提示する。

- ・ 新規で農薬を取り扱う際、または農薬取り扱い作業方法の変更の際などで、農薬を取り扱う作業員自身が、作業に関するリスクを適切に評価し、作業安全を確保する取り組みが必要（リスクアセスメントの浸透）。
- ・ 農薬取り扱い作業における作業員曝露測定を定期的に行い、測定結果を評価し、適切な取り扱い作業状態であることを確認する仕組みが必要（曝露測定方法、評価方法の確立および曝露測定の着実な実施）。
- ・ 農薬取り扱い作業に対する、農業従事者自身のリスク感受性の醸成（労働衛生管理体制整備の徹底）。

本稿では、労働衛生学的なアプローチで農薬粒子の曝露リスクを述べてきた。持続可能な農業を実現するためには、農業従事者自身が安全と健康を確保し、農業作業に従事すること

が極めて重要である。世界的な気候変動および人口増加の問題、そしてわが国に目を向けると生産年齢人口が減少傾向にある状況では、ますます農業従事者の安全衛生の確保は重要性が増すとともに、持続可能な農業を実現するためには不可欠な取り組みになるであろう。本稿で特定した課題の解決に取り組むことで、持続可能な農業の実現に寄与することを目指し、今後もさらに研究に邁進していきたい。

投稿論文

- ・ 農業従事者における農薬への曝露に対する有害性評価指標の現状と課題
－EU の作業員曝露許容量とわが国の許容濃度の比較－
Present Circumstances and Issues of Occupational Exposure Hazard Indicators for Pesticides Handling Workers and Operators
－Focus on Comparison between AOELs of the EU and OELs of Japan
環境情報科学 Vol.49, No.4 (2021)
受理日：2020年10月20日

- ・ ネオニコチノイド系農薬の健康有害性情報に関するレビュー
Review of Health Hazards Information on Neonicotinoid Pesticides
武蔵野大学環境研究所紀要 No.10 (2021)
受理日：2020年11月16日

- ・ Present circumstances and issues of exposure risk control for pesticides handling workers and operators
農業従事者の農薬取り扱い作業における曝露リスク管理の現状と課題
日本農業労災学会誌（投稿中）

謝辞

本研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたりご指導を賜りました、指導教員である真名垣聡先生に深く感謝申し上げます。新型コロナウイルスの世界的な流行という不測の事態のなかで研究と向き合うことになり、直接顔を合わせて議論をする機会が限られましたが、Web 会議などオンラインツールを多用し議論を重ね、学位論文をまとめることができたことは、新たな研究スタイルとして、私にとって貴重な経験となりました。重ねて御礼申し上げます。

また、博士課程在籍中での3年間で、環境学研究科長の一方井誠治先生を始め、環境学研究科の先生方から講義や質疑などをつうじて、学位論文の主テーマである“農薬”への知識を深めるだけにとどまらず、“持続可能性”という側面でも多くの学びを得ることができました。私自身が、今後も持続可能性や地球環境というテーマで研究を続けていこう、というきっかけをいただきましたこと、御礼申し上げます。

本研究では、農薬の労働衛生管理に着目をして学位論文をまとめました。学位論文で主要テーマとなる労働衛生保護具の研究では、株式会社重松製作所の野口真様、茂木佐登史様、関口裕亮様、渡邊雅之様には研究全般にわたる多大なご支援、ご指導を賜りました。関口様とは技術的な議論を重ねることができ、私自身の労働衛生保護具の見識を深めることができました。御礼申し上げます。

学位論文をまとめるにあたり、ご支援・ご協力をいただきながら、個々のお名前を記すことができなかつた多くの関係者の皆様に、心より御礼申し上げます。

そして最後に、私を支え続けてくれた家族の存在がなければ、学位論文を完遂させることはできなかつたでしょう。見守ってくれた家族に心から感謝いたします。

2021年3月

伊藤 伸也

参考データ

■ 第1章「図4. 世界と日本の人口動態」の詳細データ

年次	世界 (100万人)	日本 (1,000人)	年次	世界 (100万人)	日本 (1,000人)
1950	2,536	84,115	2009	6,874	128,032
1955	2,772	90,077	2010	6,958	128,057
1960	3,033	94,302	2011	7,043	127,834
1965	3,340	99,209	2012	7,128	127,593
1970	3,701	104,665	2013	7,213	127,414
1975	4,079	111,940	2014	7,298	127,237
1980	4,458	117,060	2015	7,383	127,095
1985	4,874	121,049	2016	7,467	126,933
1990	5,331	123,611	2017	7,550	126,720
1995	5,751	125,570	2018	7,633	126,177
2000	6,145	126,926	2019	7,715	125,773
2001	6,223	127,316	2020	7,795	125,325
2002	6,302	127,486	2025	8,186	122,544
2003	6,381	127,694	2030	8,551	119,125
2004	6,461	127,787	2035	8,893	115,216
2005	6,542	127,768	2040	9,210	110,919
2006	6,624	127,901	2045	9,504	106,421
2007	6,706	128,033	2050	9,772	101,923
2008	6,790	128,084			

■ 第1章「図5. 日本の年齢階級別割合」の詳細データ

年 齢 階 級	2019年	1980年
0 ～ 4 歳	4,758	8,515
5 ～ 9	5,101	10,032
10 ～ 14	5,351	8,960
15 ～ 19	5,820	8,272
20 ～ 24	6,388	7,841
25 ～ 29	6,240	9,041
30 ～ 34	6,752	10,772
35 ～ 39	7,551	9,202
40 ～ 44	8,718	8,338
45 ～ 49	9,802	8,090
50 ～ 54	8,567	7,200
55 ～ 59	7,711	5,614
60 ～ 64	7,523	4,465
65 ～ 69	8,709	3,965
70 ～ 74	8,686	3,023
75 ～ 79	7,241	2,037
80 ～ 84	5,328	1,094
85 ～ 89	3,612	410
90 以上	2,309	119
総 数	126,167	117,060

■ 第3章「図5. 症状別, 年齢別, 季節別の災害発生状況」の詳細データ

<症状別>	年度	症状									
		皮膚障害	眼障害	嘔吐・吐気	発汗・動悸	呼吸器障害	耳鼻咽喉障害	意識障害	気分障害	その他	なし
マスク、メガネ、服装等 装備不十分	29	2	1	3				1		1	1
	28	1	1			2					
	27		2		1		1		1		
	計	3	4	3	1	2	1	1	1	1	1
	%	16.7	22.2	16.7	5.6	11.1	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
使用時に注意を怠った ため本人が暴露	29								1		
	28	1	1				1				
	27					1		1		1	
	計	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
	%	14.3	14.3	0.0	0.0	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	0.0
総計		4	5	3	1	3	2	2	2	2	1
%		16	20	12	4	12	8	8	8	8	4

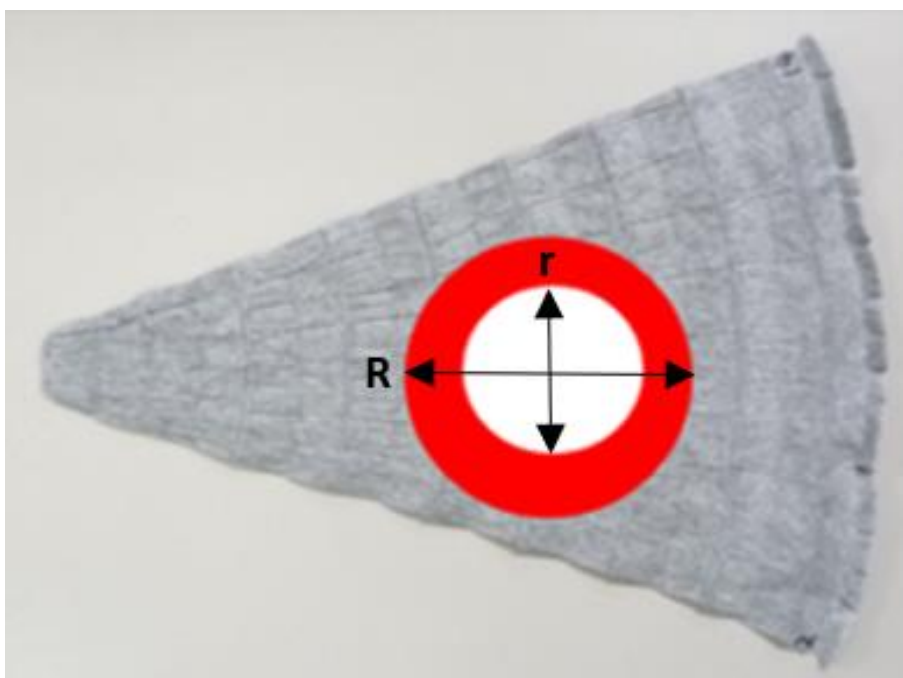
<年代別>	年度	年代					
		0-19	20-39	40-59	60-79	80-	unkown
マスク、メガネ、服装等 装備不十分	29			1	4	1	
	28		1				2
	27		2	1		1	
	計	0	3	2	4	4	0
	%	0.0	23.1	15.4	30.8	30.8	0.0
使用時に注意を怠った ため本人が暴露	29						1
	28		1	1			
	27		1		2		
	計	0	2	1	2	0	1
	%	0.0	33.3	16.7	33.3	0.0	16.7
総計		0	5	3	6	4	1
%		0.0	26.3	15.8	31.6	21.1	5.3

<季節別>	年度	月											
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
マスク、メガネ、服装等 装備不十分	29	1	2			1	1						1
	28	1			1		1						
	27		1				1						2
	計	2	3	0	1	1	3	0	0	0	0	0	3
	%	15.4	23.1	0.0	7.7	7.7	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1
使用時に注意を怠った ため本人が暴露	29									1			
	28						2						
	27								3				
	計	0	0	0	0	0	2	0	3	1	0	0	0
	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	50.0	16.7	0.0	0.0	0.0
総計		2	3	0	1	1	5	0	3	1	0	0	3
%		10.5	15.8	0.0	5.3	5.3	26.3	0.0	15.8	5.3	0.0	0.0	15.8

■ 第4章「図1. 浸透性農薬の出荷量(t)」の詳細データ

	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
アセタミプリド	230.6	144.6	100.5	148.9	151.0
イミダクロプリド	70.0	113.0	113.0	74.3	91.0
クロチアニジン	132.5	102.6	94.7	160.6	283.1
ジノテフラン	100.4	211.0	175.3	184.9	270.9
チアクロプリド	22.4	13.6	13.6	22.4	14.7
チアメトキサム	46.0	20.2	20.2	35.0	37.1
ニテンピラム	32.0	8.0	8.0	—	—
フィプロニル	58.9	45.0	45.0	28.8	25.2

■ 第5章「本試験使用フィルタ」の詳細データ



本試験使用フィルタ	直径 (cm)	面積 (cm ²)
パッキンの外形 : R	9.0	63.6
パッキンの内径 : r	5.4	22.9

※ T 2 フィルタ全形 : 340 (cm²)



■ 第5章「図5～図24 環境濃度, 透過濃度および透過率」の詳細データ

(1) 初期試験

- (a) 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%)
- (b) 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%)
- (c) 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%)
- (d) 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用)
- (e) 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%)
- (f) 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用)

の環境濃度(C_o), 透過濃度(C_i)および粒子透過率のデータ詳細を以下に示す.

(a) 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%)

条件No.1						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
0.542	11710.28	11462.5	11171.82	8.159834	7.814246	9.715018
0.583	11719.1	11291.54	10838.82	7.353454	5.951882	7.123058
0.626	11057.46	10458.74	9838.42	4.531108	3.724724	4.838304
0.673	9462.606	8750.054	8087.57	2.419152	2.188758	2.611148
0.723	8055.93	7298.504	6586.522	1.4783702	1.1711776	1.516772
0.777	6600.77	5867.212	5242.63	0.6335872	0.7871848	1.0943798
0.835	5160.184	4436.494	3915.34	0.21119566	0.21119562	0.24959482
0.898	3853.9	3223.904	2842.966	0.09599804	0.23039524	0.09599804
0.965	2869.038	2333.674	2076.112	0.05759886	0.07679844	0.13439722
1.037	2080.492	1642.356	1488.43	0.01919962	0.03839924	0.0383992
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
0.542	0.98026507	0.95952346	0.9351907	0.000683058	0.000654129	0.000813242
0.583	1.21736308	1.17294877	1.12592087	0.000763866	0.000618273	0.000739933
0.626	1.4253824	1.34820329	1.26823979	0.000584091	0.000480142	0.000623691
0.673	1.51369589	1.39971175	1.29373679	0.000386982	0.000350127	0.000417695
0.723	1.59916393	1.44880906	1.30747517	0.000293468	0.000232488	0.000301091
0.777	1.62600599	1.44530439	1.29144748	0.000156075	0.000193912	0.000269585
0.835	1.57739464	1.35617293	1.19686358	6.45595E-05	6.45595E-05	7.62976E-05
0.898	1.46192647	1.22294574	1.0784419	3.64156E-05	8.73974E-05	3.64156E-05
0.965	1.35055773	1.09854295	0.9772994	2.71138E-05	3.61517E-05	6.32655E-05
1.037	1.21532524	0.95938686	0.86947056	1.12155E-05	2.2431E-05	2.2431E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A1	A2	A3			
0.542	0.06968095	0.06817227	0.08696003			
0.583	0.0627476	0.05271099	0.06571802			
0.626	0.04097784	0.03561351	0.04917765			
0.673	0.02556539	0.02501422	0.03228594			
0.723	0.01835133	0.01604682	0.02302842			
0.777	0.00959869	0.01341668	0.02087463			
0.835	0.00409279	0.00476042	0.00637479			
0.898	0.00249093	0.00714647	0.00337669			
0.965	0.0020076	0.00329088	0.00647351			
1.037	0.00092284	0.00233806	0.00257985			

(b) 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%)

条件No.2						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A5	A6	A7	A5	A6	A7
0.542	9293.054	8783.056	8537.82	4.281514	3.801526	8.582232
0.583	9123.908	8690.378	8447.122	2.899142	2.726344	6.143878
0.626	8857.916	8486.52	8282.194	2.11196	1.61277	4.607908
0.673	7949.312	7711.988	7512.582	1.1903788	0.7295854	3.206334
0.723	6966.332	6824.12	6637.382	0.4799904	0.6719866	1.919962
0.777	5777.3	5776.168	5596.324	0.2687944	0.3647924	1.0943794
0.835	4859.516	4943.056	4801.632	0.17279644	0.17279642	0.5567888
0.898	4029.27	4147.926	4047.49	0.11519764	0.03839924	0.26879442
0.965	3128.848	3293.544	3209.35	0.01919962	0.07679844	0.15359682
1.037	2456.458	2617.618	2582.35	0.01919962	0.0383992	0.11519762
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A5	A6	A7	A5	A6	A7
0.542	0.77791959	0.73522777	0.71469911	0.000358405	0.000318225	0.000718417
0.583	0.9477783	0.90274384	0.87747476	0.000301159	0.000283209	0.000638217
0.626	1.1418461	1.09397061	1.06763159	0.000272246	0.000207897	0.000593991
0.673	1.2716202	1.23365641	1.20175822	0.00019042	0.000116709	0.000512905
0.723	1.38287037	1.3546402	1.31757127	9.52818E-05	0.000133394	0.000381127
0.777	1.42315585	1.422877	1.37857498	6.62137E-05	8.98614E-05	0.000269585
0.835	1.48548472	1.5110217	1.4677904	5.28214E-05	5.28214E-05	0.000170202
0.898	1.52845078	1.57346138	1.5353623	4.36987E-05	1.45662E-05	0.000101964
0.965	1.47285949	1.55038773	1.51075463	9.03794E-06	3.61517E-05	7.23035E-05
1.037	1.43494683	1.5290889	1.50848699	1.12155E-05	2.2431E-05	6.7293E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A5	A6	A7			
0.542	0.0460722	0.0432825	0.10052018			
0.583	0.03177522	0.03137198	0.07273339			
0.626	0.02384263	0.0190039	0.05563632			
0.673	0.01497461	0.00946041	0.04267952			
0.723	0.00689015	0.00984723	0.0289265			
0.777	0.0046526	0.00631547	0.01955533			
0.835	0.00355584	0.00349574	0.01159582			
0.898	0.00285902	0.00092575	0.00664102			
0.965	0.00061363	0.00233179	0.00478592			
1.037	0.0007816	0.00146695	0.00446096			

(c) 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%)

条件No.3						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A9	A10	A11	A9	A10	A11
0.542	11965.82	12000.74	11966.44	13.28614	20.02518	24.11472
0.583	11401.54	11457.82	11513.4	8.275036	12.018962	15.2445
0.626	10282.22	10372.98	10476.5	4.607908	7.027058	9.772608
0.673	8350.046	8445.334	8599.72	2.419152	4.166318	5.625486
0.723	6586.544	6647.944	6807.476	1.0943784	2.092758	3.071938
0.777	4803.726	4878.432	5026.594	0.36479242	0.8639838	1.3631722
0.835	3428.322	3463.822	3587.946	0.0767984	0.24959482	0.5759886
0.898	2472.816	2505.932	2605.846	0.09599804	0.03839924	0.383992
0.965	1677.72	1720.744	1796.796	0.01919962	0.03839924	0.23039542
1.037	1137.692	1160.25	1229.354	0.03839924	0.0575988	0.05759882
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A9	A10	A11	A9	A10	A11
0.542	1.00165627	1.00457942	1.00170817	0.00111218	0.001676304	0.002018638
0.583	1.18437541	1.19022169	1.19599526	0.000859599	0.001248512	0.001583577
0.626	1.32544865	1.33714824	1.35049268	0.000593991	0.000905836	0.001259756
0.673	1.33572404	1.35096689	1.37566341	0.000386982	0.00066647	0.000899887
0.723	1.30747954	1.31966791	1.35133623	0.000217243	0.000415429	0.000609803
0.777	1.18332971	1.20173248	1.23823008	8.98614E-05	0.00021283	0.000335798
0.835	1.04798913	1.05884097	1.09678391	2.34762E-05	7.62976E-05	0.000176071
0.898	0.93803035	0.95059247	0.98849354	3.64156E-05	1.45662E-05	0.000145662
0.965	0.78976218	0.8100151	0.84581547	9.03794E-06	1.80759E-05	0.000108455
1.037	0.66458597	0.67776329	0.71813059	2.2431E-05	3.36465E-05	3.36465E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A9	A10	A11			
0.542	0.1110341	0.16686621	0.20151958			
0.583	0.07257823	0.10489746	0.13240659			
0.626	0.04481433	0.06774387	0.09328123			
0.673	0.02897172	0.04933278	0.06541476			
0.723	0.01661537	0.03147978	0.04512595			
0.777	0.00759395	0.01771028	0.0271192			
0.835	0.00224012	0.00720576	0.01605344			
0.898	0.00388213	0.00153233	0.01473579			
0.965	0.00114439	0.00223155	0.01282257			
1.037	0.00337519	0.00496434	0.00468529			

(d) 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用)

条件No.4						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A13	A14	A15	A13	A14	A15
0.542	11018.08	11129.76	11125.64	10.137404	10.9246	13.26692
0.583	11161.74	11349.46	11409.36	7.238254	7.891042	10.540602
0.626	10918.7	11148.6	11318.3	4.377514	5.203096	7.238256
0.673	9847.97	10122.68	10281.68	2.937542	3.859124	4.761506
0.723	8841.654	9165.552	9388.92	1.727968	2.015958	2.899142
0.777	7520.758	7887.146	8111.28	0.767985	1.1135786	1.1711766
0.835	6108.742	6445.984	6714.374	0.36479242	0.40319182	0.556789
0.898	4978.634	5303.568	5568.366	0.17279642	0.287994	0.21119562
0.965	3969.292	4279.44	4558.008	0.09599806	0.09599804	0.17279644
1.037	2992.376	3289.356	3559.706	0.0575988	0.09599804	0.09599802
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A13	A14	A15	A13	A14	A15
0.542	0.92232116	0.93166987	0.93132498	0.0008486	0.000914496	0.001110571
0.583	1.15946533	1.17896541	1.18518774	0.000751899	0.00081971	0.001094942
0.626	1.40749529	1.43713098	1.45900647	0.000564292	0.000670715	0.000933061
0.673	1.57534106	1.61928534	1.64471994	0.000469907	0.000617329	0.000761679
0.723	1.75513618	1.81943242	1.86377268	0.000343015	0.000400183	0.000575502
0.777	1.85263198	1.94288646	1.99809869	0.000189182	0.000274314	0.000288503
0.835	1.86735529	1.97044535	2.05248835	0.000111512	0.00012325	0.000170202
0.898	1.88857958	2.01183903	2.11228668	6.55481E-05	0.000109247	8.01143E-05
0.965	1.86848623	2.01448387	2.14561569	4.51897E-05	4.51897E-05	8.13414E-05
1.037	1.74800483	1.92148653	2.07941224	3.36465E-05	5.60775E-05	5.60775E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A13	A14	A15			
0.542	0.09200699	0.09815665	0.11924635			
0.583	0.0648488	0.06952791	0.09238557			
0.626	0.0400919	0.0466704	0.06395179			
0.673	0.02982891	0.03812354	0.04631058			
0.723	0.01954349	0.02199494	0.03087833			
0.777	0.01021154	0.0141189	0.01443886			
0.835	0.00597165	0.00625493	0.00829249			
0.898	0.00347076	0.00543019	0.00379278			
0.965	0.00241852	0.00224324	0.00379105			
1.037	0.00192485	0.00291844	0.0026968			

(e) 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%)

条件No.5						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A17	A18	A19	A17	A18	A19
0.542	8068.524	8025.496	7819.906	18.10524	6.835064	10.963
0.583	8196.338	8102.508	7879.732	13.57412	4.127916	8.255834
0.626	8127.638	8026.59	7841.084	9.292616	2.553546	5.683084
0.673	7560.54	7487.082	7307.088	6.374272	1.862362	4.07032
0.723	7147.364	7080.588	6925.592	3.743924	1.0943796	2.649544
0.777	6504.274	6429.972	6290.926	1.881562	0.6143878	1.535972
0.835	5872.222	5796.27	5685.812	0.99838	0.28799402	0.5951882
0.898	5420.416	5341.488	5245.548	0.7103858	0.11519764	0.441591
0.965	4904.12	4844.294	4701.296	0.40319182	0.05759886	0.28799402
1.037	4414.184	4368.778	4269.822	0.11519762	0.03839924	0.13439722
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A17	A18	A19	A17	A18	A19
0.542	0.67541444	0.67181258	0.65460268	0.00151559	0.000572162	0.00091771
0.583	0.85142368	0.84167676	0.81853511	0.00141006	0.000428802	0.000857604
0.626	1.04770826	1.03468248	1.01076949	0.00119788	0.00032917	0.000732588
0.673	1.20942987	1.19767908	1.16888615	0.00101967	0.000297915	0.000651113
0.723	1.41880661	1.40555106	1.37478317	0.0007432	0.000217243	0.000525955
0.777	1.60223557	1.58393233	1.54968032	0.0004635	0.000151346	0.000378365
0.835	1.7950545	1.77183705	1.73807162	0.00030519	8.80357E-05	0.000181941
0.898	2.05616379	2.02622349	1.98982991	0.00026948	4.36987E-05	0.000167512
0.965	2.30854286	2.28038064	2.21306642	0.0001898	2.71138E-05	0.000135569
1.037	2.57855796	2.55203392	2.4942285	6.7293E-05	2.2431E-05	7.85085E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A17	A18	A19			
0.542	0.22439346	0.08516687	0.1401935			
0.583	0.16561201	0.05094615	0.10477303			
0.626	0.11433354	0.03181358	0.0724783			
0.673	0.08430975	0.02487434	0.05570372			
0.723	0.05238189	0.01545606	0.03825729			
0.777	0.02892809	0.00955506	0.02441567			
0.835	0.01700174	0.00496861	0.01046795			
0.898	0.01310574	0.00215666	0.0084184			
0.965	0.00822149	0.001189	0.00612584			
1.037	0.00260971	0.00087895	0.00314761			

(f) 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用)

条件No.6						
粒子径 (μm)	環境濃度(#/cc)			透過濃度(#/cc)		
	A21	A22	A23	A21	A22	A23
0.542	5867.230	5451.402	5147.244	4.243116	5.663886	7.852644
0.583	6312.390	5776.512	5455.898	3.014342	4.08952	6.604668
0.626	6630.952	6114.212	5701.92	2.284754	3.359934	5.798282
0.673	6410.098	5937.078	5547.556	1.785564	2.111958	3.782322
0.723	6250.320	5854.212	5531.966	0.7871836	1.1903754	2.246356
0.777	6006.062	5661.064	5390.62	0.441591	0.5951884	1.247974
0.835	5722.292	5412.812	5175.604	0.4415908	0.21119562	0.6143876
0.898	5387.720	5113.894	5010.504	0.32639322	0.2879942	0.4223914
0.965	5144.382	4968.976	4941.1	0.28799422	0.09599804	0.21119562
1.037	5004.266	4811.808	4835.884	0.15359682	0.17279644	0.11519768
粒子径 (μm)	環境濃度(mg/m^3)			透過濃度(mg/m^3)		
	A21	A22	A23	A21	A22	A23
0.542	0.49114459	0.45633571	0.43087471	0.00035519	0.000474123	0.000657343
0.583	0.6557219	0.60005567	0.56675076	0.00031313	0.000424813	0.000686083
0.626	0.85477517	0.78816385	0.73501658	0.00029452	0.000433119	0.000747438
0.673	1.02539819	0.94973104	0.88742073	0.00028563	0.000337842	0.000605043
0.723	1.24073649	1.16210601	1.09813771	0.00015626	0.000236299	0.000445919
0.777	1.47950812	1.39452276	1.32790272	0.00010878	0.000146616	0.000307421
0.835	1.74922303	1.65461941	1.58210831	0.00013499	6.45595E-05	0.00018781
0.898	2.04376099	1.93988869	1.90066904	0.00012381	0.000109247	0.000160229
0.965	2.42164268	2.33907287	2.32595065	0.00013557	4.51897E-05	9.94173E-05
1.037	2.92325602	2.81083114	2.8248952	8.9724E-05	0.00010094	6.7293E-05
粒子径 (μm)	粒子透過率(%)					
	A21	A22	A23			
0.542	0.0723189	0.10389779	0.15256017			
0.583	0.04775278	0.07079566	0.12105556			
0.626	0.0344559	0.05495285	0.10168999			
0.673	0.02785549	0.03557235	0.06817997			
0.723	0.01259429	0.02033366	0.04060683			
0.777	0.00735242	0.01051372	0.02315084			
0.835	0.00771703	0.00390177	0.01187084			
0.898	0.0060581	0.0056316	0.00843012			
0.965	0.00559823	0.00193195	0.00427426			
1.037	0.00306932	0.00359109	0.00238214			

(2) 1時間堆積試験

- (a) 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%)
- (b) 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%)
- (c) 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%)
- (d) 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用)
- (e) 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%)
- (f) 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用)

の経過時間(1min, 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 60min) ごとの透過濃度(Ci) および環境濃度(Co)のデータ詳細を以下に示す.

(a) 試験条件 No. 1 (ダントツ水溶剤 0.1%)

粒子径 (μm)	条件No.1 (A4)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	10.1278125	8.687825	10.0558075	8.8318225	7.5838475	7.3438525	7.799845	8705.73
0.583	7.271855	6.0718775	6.5038725	6.8638625	5.783885	4.9679025	5.1358975	8595.5725
0.626	5.1358975	3.9599175	4.2719125	4.3919125	3.3599325	3.359935	3.167935	7872.9725
0.673	2.711945	1.99196	2.4959475	2.1359575	1.8479625	1.51197125	1.6319675	6598.0675
0.723	1.4639725	1.19997875	1.343972	1.46397325	1.4879725	1.05597925	1.0799785	5489.505
0.777	1.22397775	0.695986	1.00797975	0.6719865	0.52798925	0.5279895	0.47999	4463.79
0.835	0.215995525	0.2639945	0.2639945	0.431991275	0.287994025	0.11999755	0.191996025	3476.16
0.898	0.095998025	0.071998575	0.191996075	0.263994525	0.239995	0.071998575	0.14399705	2662.9625
0.965	0.119997525	0.071998525	0.071998575	0.023999525	0.071998575	0	0.071998575	2041.3775
1.037	0.047999	0.119997575	0	0.04799905	0.023999525	0.023999525	0	1562.415

粒子径 (μm)	条件No.1 (A4)							
	透過濃度(mg/m ³)							環境濃度 (mg/m ³)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.000847797	0.000727256	0.00084177	0.00073931	0.000634842	0.000614752	0.000652923	0.72875482
0.583	0.00075539	0.000630738	0.000675613	0.000713008	0.000600822	0.000516058	0.00053351	0.89289558
0.626	0.000662052	0.000510461	0.000550679	0.000566148	0.000433118	0.000433119	0.000408369	1.01488013
0.673	0.000433819	0.000318646	0.000399267	0.000341681	0.000295611	0.000241864	0.000261059	1.05546693
0.723	0.00029061	0.000238205	0.000266789	0.00029061	0.000295374	0.00020962	0.000214384	1.08970887
0.777	0.00030151	0.000171446	0.000248302	0.000165534	0.000130063	0.000130063	0.000118239	1.09959131
0.835	6.60268E-05	8.06994E-05	8.06994E-05	0.000132054	8.80357E-05	3.66815E-05	5.86904E-05	1.06261252
0.898	3.64156E-05	2.73117E-05	7.28312E-05	0.000100143	9.1039E-05	2.73117E-05	5.46234E-05	1.01015993
0.965	5.64871E-05	3.38923E-05	3.38923E-05	1.12974E-05	3.38923E-05	0	3.38923E-05	0.96094864
1.037	2.80388E-05	7.00969E-05	0	2.80388E-05	1.40194E-05	1.40194E-05	0	0.9126891

(b) 試験条件 No. 2 (フジワン乳剤 0.3%)

粒子径 (μm)	条件o.2 (A8)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	4.199915	4.175915	4.6079075	3.839925	3.4319325	3.6959275	3.0719375	11601.25
0.583	3.3839325	3.52793	3.311935	2.6159475	2.3279525	2.6399475	2.08796	8486.04
0.626	2.2559575	2.3039525	2.01596	2.303955	1.6799675	2.01596	1.391975	8478.5975
0.673	1.4399725	1.823965	1.58397	1.103979	1.19997875	1.36797375	1.1759785	8382.6225
0.723	0.95998225	0.719986	0.47999	0.647987	1.0079805	0.88798275	0.55198875	7689.9975
0.777	0.55198875	0.45599075	0.287994	0.335993	0.383992	0.45599075	0.287994025	6839.4525
0.835	0.311993525	0.14399705	0.14399705	0.143997025	0.23999505	0.263994525	0.11999755	5841.9425
0.898	0.09599805	0.143997075	0.09599805	0.071998575	0.071998525	0.09599805	0.11999755	5071.7
0.965	0.04799905	0.071998525	0.095998025	0.04799905	0.071998525	0	0.04799905	4325.335
1.037	0.047999	0.071998575	0	0.023999525	0.023999525	0.023999525	0.023999525	3507.3625

粒子径 (μm)	条件o.2 (A8)							
	透過濃度(mg/m ³)							環境濃度 (mg/m ³)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.000351574	0.000349565	0.000385727	0.000321439	0.000287286	0.000309385	0.000257151	0.97113819
0.583	0.000351518	0.000366476	0.000344039	0.000271741	0.000241824	0.000274234	0.000216894	0.8815175
0.626	0.000290808	0.000296995	0.000259871	0.000296996	0.000216559	0.000259871	0.000179435	1.09294935
0.673	0.000230347	0.000291773	0.000253381	0.000176599	0.000191956	0.000218829	0.000188117	1.34093518
0.723	0.000190564	0.000142923	9.52817E-05	0.00012863	0.000200092	0.000176271	0.000109574	1.52652352
0.777	0.000135975	0.000112327	7.09432E-05	8.27671E-05	9.4591E-05	0.000112327	7.09432E-05	1.68480204
0.835	9.5372E-05	4.40178E-05	4.40178E-05	4.40178E-05	7.33631E-05	8.06994E-05	3.66815E-05	1.78579848
0.898	3.64156E-05	5.46234E-05	3.64156E-05	2.73117E-05	2.73117E-05	3.64156E-05	4.55195E-05	1.92388294
0.965	2.25949E-05	3.38923E-05	4.51897E-05	2.25949E-05	3.38923E-05	0	2.25949E-05	2.03608827
1.037	2.80388E-05	4.20582E-05	0	1.40194E-05	1.40194E-05	1.40194E-05	1.40194E-05	2.04883564

(c) 試験条件 No. 3 (スタークルメイト液剤 1.0%)

粒子径 (μm)	条件No.3 (A12)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	22.46355	20.6636	19.487625	17.54365	16.727675	15.5757	15.167725	11360.975
0.583	15.5517	13.8477	12.83975	11.3518	11.5677775	9.527815	10.4158075	10613.55
0.626	10.2238025	8.543825	8.3278325	6.7918625	7.0318575	5.97588	6.767865	9263.36
0.673	5.92788	4.8479025	5.1358975	3.791925	3.98392	3.359935	3.671925	7512.1375
0.723	2.855945	2.47195	2.375955	2.183955	2.3999525	2.3279525	1.6799675	5855.5
0.777	1.3439725	1.07998075	1.03197975	0.67198675	0.8399835	0.671987	1.07997925	4369.3775
0.835	0.52798925	0.5039895	0.3599925	0.335993025	0.43199125	0.383992	0.4559905	3264.3925
0.898	0.239995	0.215995525	0.0959981	0.191996025	0.167996525	0.071998525	0.119997525	2423.9275
0.965	0.04799905	0.04799905	0.071998525	0.023999525	0.023999525	0	0.071998525	1708.745
1.037	0	0.071998575	0.023999525	0	0.09599805	0.023999525	0.1199975	1225.055

粒子径 (μm)	条件No.3 (A12)							
	透過濃度(mg/m^3)							環境濃度 (mg/m^3)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.001880419	0.001729746	0.001631305	0.001468575	0.00140027	0.001303839	0.001269687	0.95102482
0.583	0.001615488	0.001438479	0.001333775	0.001179208	0.001201644	0.000989736	0.001081979	1.10252015
0.626	0.001317918	0.001101358	0.001073515	0.000875518	0.000906455	0.000770332	0.000872424	1.19411061
0.673	0.00094826	0.0007755	0.000821569	0.000606579	0.000637292	0.000537476	0.000587383	1.20168711
0.723	0.000566927	0.000490701	0.000471645	0.000433532	0.000476409	0.000462116	0.000333486	1.16236169
0.777	0.000331069	0.000266038	0.000254214	0.000165534	0.000206918	0.000165534	0.000266038	1.07633413
0.835	0.000161399	0.000154062	0.000110045	0.000102708	0.000132054	0.000117381	0.00013939	0.99787822
0.898	9.1039E-05	8.19351E-05	3.64156E-05	7.28312E-05	6.37273E-05	2.73117E-05	4.55195E-05	0.91948514
0.965	2.25949E-05	2.25949E-05	3.38923E-05	1.12974E-05	1.12974E-05	0	3.38923E-05	0.80436675
1.037	0	4.20582E-05	1.40194E-05	0	5.60775E-05	1.40194E-05	7.00969E-05	0.71561931

(d) 試験条件 No. 4 (ダントツ水溶剤 0.1%とフジワン乳剤 0.1%の混用)

粒子径 (μm)	条件No.4 (A16)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	13.631725	13.36775	12.71975	12.40775	11.9278	10.5358025	11.4958	10271.55
0.583	10.391785	9.95981	10.15181	9.335815	8.3278325	6.767865	8.42383	10363.775
0.626	6.6718675	6.62387	6.9358625	7.2238575	5.7118875	5.3518925	6.35987	10081
0.673	4.48791	4.60791	4.271915	4.8239025	3.5759275	3.81592	3.3359325	9164.9375
0.723	2.59195	2.99994	2.8559425	2.9039425	2.51995	2.3759525	2.5439475	8295.7475
0.777	1.751965	1.4639725	1.6559675	1.5839675	1.55997	1.43997	1.4639725	7132.535
0.835	0.62398775	0.6239875	0.647987	0.88798325	0.3599925	0.599988	0.64798725	5860.1075
0.898	0.38399203	0.287994	0.383992	0.3599925	0.383992	0.335993	0.383992	4931.0125
0.965	0.2879943	0.143997075	0.119997525	0.14399705	0.191996	0.09599805	0.119997575	4089.78
1.037	0.3119938	0.09599805	0.023999525	0.071998525	0.071998525	0.023999525	0.09599805	3239.765

粒子径 (μm)	条件No.4 (A16)							
	透過濃度(mg/m^3)							環境濃度 (mg/m^3)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.00114111	0.001119012	0.001064768	0.00103865	0.000998474	0.00088195	0.000962311	0.85982929
0.583	0.00107948	0.001034611	0.001054555	0.000969791	0.000865083	0.000703036	0.000875055	1.07657389
0.626	0.00086005	0.000853862	0.00089408	0.000931205	0.000736301	0.000689896	0.000819831	1.29951002
0.673	0.00071791	0.000737109	0.000683361	0.000771661	0.000572027	0.000610418	0.000533636	1.46607903
0.723	0.00051452	0.000595511	0.000566927	0.000576455	0.000500229	0.000471645	0.000504993	1.64676955
0.777	0.00043157	0.000360629	0.000407924	0.000390188	0.000384276	0.000354716	0.000360629	1.75699875
0.835	0.00019074	0.000190744	0.00019808	0.000271444	0.000110045	0.000183408	0.00019808	1.79135127
0.898	0.00014566	0.000109247	0.000145662	0.000136558	0.000145662	0.000127455	0.000145662	1.87051498
0.965	0.00013557	6.77845E-05	5.64871E-05	6.77845E-05	9.03793E-05	4.51897E-05	5.64871E-05	1.9252042
1.037	0.00018225	5.60775E-05	1.40194E-05	4.20581E-05	4.20581E-05	1.40194E-05	5.60775E-05	1.89251781

(e) 試験条件 No. 5 (スタークルメイト液剤 12.5%)

粒子径 (μm)	条件No.5 (A20)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	8.6398275	7.3918525	5.90388	4.9679	4.6319075	4.17592	4.6319075	7599.7625
0.583	6.4558725	4.43991	3.86392	3.09594	2.9999425	3.215935	2.9519425	7680.47
0.626	4.0079225	3.62393	2.9759375	2.351955	2.3999525	2.1599575	1.96796	7679.6775
0.673	2.7599425	2.6639475	1.727965	1.823965	1.4399725	1.34397175	1.6319675	7206.89
0.723	1.51197	0.959983	1.1999775	0.9119825	0.81598475	0.69598625	0.8399845	6731.795
0.777	1.199976	0.67198625	0.74398625	0.359992525	0.47999025	0.239995	0.40799175	6045.3825
0.835	0.4559905	0.455991025	0.2639945	0.191996025	0.2639945	0.215995525	0.287994025	5506.9775
0.898	0.167996525	0.3119935	0.191996025	0.09599805	0.09599805	0.071998525	0.191996025	5133.5925
0.965	0.191996	0.119997525	0.095998025	0.04799905	0.119997575	0.071998525	0.04799905	4632.3375
1.037	0.04799905	0.023999525	0.09599805	0.09599805	0.09599805	0	0	4305.0325

粒子径 (μm)	条件No.5 (A20)							
	透過濃度(mg/m^3)							環境濃度 (mg/m^3)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.000723238	0.00061877	0.000494213	0.000415862	0.000387736	0.000349565	0.000387736	0.63617452
0.583	0.000670627	0.000461211	0.000401378	0.000321602	0.00031163	0.000334067	0.000306643	0.79783606
0.626	0.000516649	0.000467149	0.000383619	0.000303183	0.00030937	0.000278433	0.000253684	0.98996308
0.673	0.000441497	0.000426141	0.000276416	0.000291773	0.000230347	0.00021499	0.000261059	1.15285787
0.723	0.000300138	0.000190564	0.000238205	0.000181036	0.000161979	0.000138159	0.000166743	1.33631297
0.777	0.000295597	0.000165534	0.00018327	8.8679E-05	0.000118239	5.91194E-05	0.000100503	1.48919417
0.835	0.00013939	0.00013939	8.06994E-05	5.86904E-05	8.06994E-05	6.60268E-05	8.80357E-05	1.68340446
0.898	6.37273E-05	0.000118351	7.28312E-05	3.64156E-05	3.64156E-05	2.73117E-05	7.28312E-05	1.94736105
0.965	9.03793E-05	5.64871E-05	4.51897E-05	2.25949E-05	5.64871E-05	3.38923E-05	2.25949E-05	2.18060521
1.037	2.80388E-05	1.40194E-05	5.60775E-05	5.60775E-05	5.60775E-05	0	0	2.51479681

(f) 試験条件 No. 6 (スタークルメイト液剤 12.5%とフジワン乳剤 12.5%の混用)

粒子径 (μm)	条件No.6 (A24)							
	透過濃度 (#/cc)							環境濃度 (#/cc)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	5.1118975	2.8559425	2.6159475	2.03996	1.99196	2.231955	2.1119575	4644.34
0.583	4.151915	2.3279525	2.375955	1.727965	2.1599575	1.7039675	2.06396	4834.945
0.626	3.7439225	2.3279525	1.7279675	1.391975	1.4159725	1.2479775	1.3679725	5074.2925
0.673	1.9679625	1.10398025	1.00798175	0.52798925	0.8879835	0.983982	0.599988	5034.02
0.723	1.07997875	0.74398525	0.767985	0.3119935	0.575989	0.50398975	0.431991	5090.4675
0.777	0.599988	0.239995025	0.3119935	0.3119935	0.239995025	0.3119935	0.21599555	5001.475
0.835	0.2159955	0.1679965	0.239995025	0.119997575	0.167996575	0.21599575	0.11999755	4966.915
0.898	0.095998025	0.071998525	0.071998525	0.04799905	0.167996525	0.071998575	0.023999525	5048.2975
0.965	0.09599805	0.023999525	0.095998025	0.023999525	0.04799905	0.0719985	0.071998525	5075.44
1.037	0.09599805	0	0.023999525	0.023999525	0.071998575	0.071998525	0.071998525	4712.355

粒子径 (μm)	条件No.6 (A24)							
	透過濃度(mg/m^3)							環境濃度 (mg/m^3)
	1min	10min	20min	30min	40min	50min	60min	
0.542	0.000427916	0.00023907	0.00021898	0.000170765	0.000166747	0.000186836	0.000176792	0.38877672
0.583	0.000431295	0.000241824	0.000246811	0.000179498	0.000224373	0.000177006	0.000214401	0.50224706
0.626	0.000482617	0.000300089	0.000222747	0.000179435	0.000182529	0.000160873	0.000176341	0.65411109
0.673	0.000314807	0.000176599	0.000161243	8.44604E-05	0.000142047	0.000157404	9.59777E-05	0.8052724
0.723	0.000214384	0.000147687	0.000152451	6.19331E-05	0.000114338	0.000100046	8.57535E-05	1.01049687
0.777	0.000147799	5.91194E-05	7.68552E-05	7.68552E-05	5.91194E-05	7.68552E-05	5.32074E-05	1.23204237
0.835	6.60267E-05	5.13541E-05	7.33631E-05	3.66815E-05	5.13542E-05	6.60268E-05	3.66815E-05	1.51831506
0.898	3.64156E-05	2.73117E-05	2.73117E-05	1.82078E-05	6.37273E-05	2.73117E-05	9.10391E-06	1.91500551
0.965	4.51897E-05	1.12974E-05	4.51897E-05	1.12974E-05	2.25949E-05	3.38922E-05	3.38923E-05	2.38918924
1.037	5.60775E-05	0	1.40194E-05	1.40194E-05	4.20582E-05	4.20581E-05	4.20581E-05	2.75273539