

表-2 一般展着剤・機能性展着剤・固着剤のまとめ

7項目	一般展着剤	機能性展着剤 (アジュバント)	固着剤*
使用濃度 (倍率)	5,000~20,000	1,000~3,000	500~2,000
主要な 有効成分	エーテル型非イオン 陰イオン配合系	エステル型非イオン 陽イオン配合系	パラフィン系 樹脂酸エステル系
濡れ性	良い	非常に良い	悪い
付着性 (対無添加)	比較的均一であるが少 ない	均一であるが 少ない	ムラはあるが多い
耐雨性	期待できない	相性がある	期待できる
水和剤の 汚れ軽減	期待できない	期待できる	全く期待できない
生物効果	期待できない	相性がある	保護殺菌剤で期待

* 使用できる農薬と時期が限定

意味するが、一般的には農薬の有効成分が本来もっている作用を改良する目的に用いられる物質と定義されている。また、HollowayとStockはアジュバントをSpray modifier（濡れ性や拡張性の改善）とActivator（葉面吸収や生物活性の改善）の二つのカテゴリーに分類しており（Holloway & Stock 1990）、ここでは後者の作用を有するものをアジュバントと解釈する。アジュバントは高濃度で使用されて濡れ性や付着性を改善すると共に農薬の効果を積極的に引き出す剤であり、単に効果を高めるだけでなく作業

時間を含む総経費削減の利点が生産者に還元されるものである。アジュバントは一般的に浸透性の農薬との相性が良く、卓越した薬効増強効果が期待できる。

一般展着剤は、散布ムラをなくす観点から散布液の表面張力を下げることにより拡張性を改善し、低濃度で濡れにくい作物や病害虫・雑草等への付着性を改善する。低泡性の機能のものや水和剤と乳剤等の混用性を改善する機能のものもあり、物理化学的性状の視点から現場の作業性を改善することができ、いわゆるテニスの理論が適用される。パラフィンや樹脂酸エステルを

有効成分とする固着剤は初期付着量を高めることにより、銅剤系殺菌剤等の耐雨性を高めて残効性を延ばすことができ、特に保護殺菌剤への添加により効果が期待できる。

過去40年間の展着剤の出荷動向をみると、登録数では1984年に99品目、出荷量では1990年に4,186トンとピークを迎え、最近では横ばい状態である（図-2）。一方、展着剤の単価ベース（円/リットル）を見ると、1974年では311に対して、1994年では755、2014年では1,147と年毎に上昇傾向が見られ（川島2017）、展着剤の中で一般展着剤から付加価値の高い機能性展着剤へ着実に移行していることが分かる。

2. 海外におけるアジュバント開発動向について

第1回目のInternational Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (ISAA)は1986年にカナダにて開催されたのを契機とし、3年毎に本シンポジウムが開催されている。最近では2016年6月に米国カリフォルニア州モンレーにて盛大に開催された。ISAA2016では521名が参加し、33件の口頭発表、ポスター発表44件あり、口頭発表では作用機作・モデル解析16件、製剤・アジュバント開発9件、ドリフト対策8件があった（ISAA2016）。農薬の用途別で見ると除草剤が中心であり、その中で7件がグリホサート関連であった。農業以外に

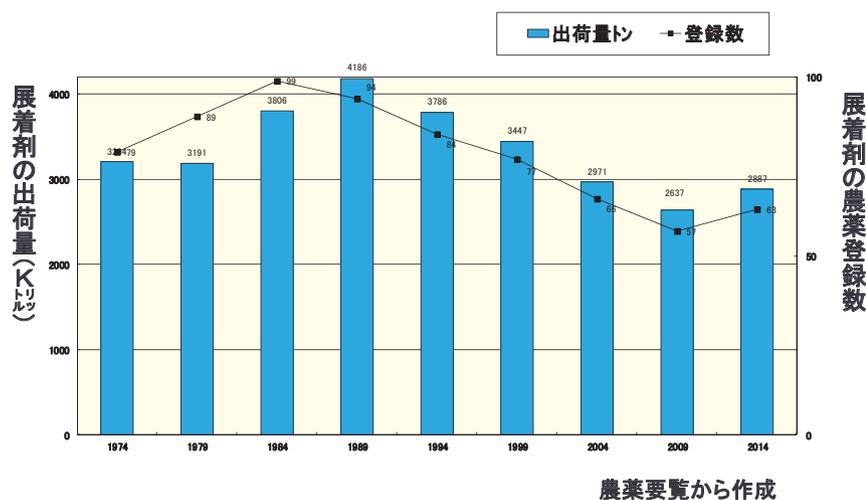


図-2 過去40年間の展着剤の出荷量と登録数の推移

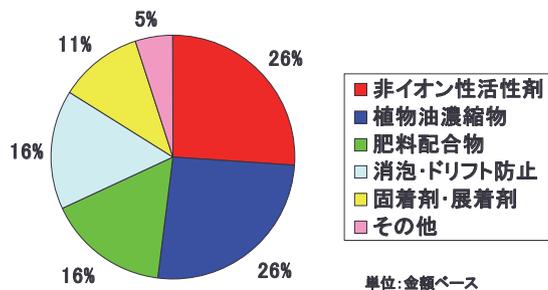


図-3 米国におけるアジュバント市場
 出展:シンポジウム「21世紀の農業散布技術の展開」, 日植防, 2000

も肥料や土壌中の水分移動を対象としており、アジュバントの広範な用途開発の実態を垣間見ることができる。基礎的な研究として、界面化学の視点からタンクミックス時の殺菌剤と界面活性剤の相互作用やアジュバントの植物毒性に関する簡便な評価方法の発表があった。また、口頭発表と同様に、ポスター発表でも44件中に11件のドリフトに関する発表があり、最近のアジュバント開発動向でドリフト対策が海外では大きなテーマになっていることが分かる。

このシンポジウムではアジュバント会社（ヘレナケミカル・クラリアント・モメンティブ等）のみならず、グローバル規模で活動する大手農薬会社（シンジェンタ・バイエル・BASF等）の発表も多く、大学との共同発表も含めると、ポスターで32件、口頭でも20件あり、アジュバント関連の研究並びに商品開発は大盛況である。残念ながら、このシンポジウムは日本ではまだ開催されていないし、展着剤だけに特化したシンポジウムも日本では開催されたことはない。

3. 米国におけるアジュバントについて

米国では日本や欧州とは異なり、カリフォルニア州やオレゴン州等一部の州で登録が要求されているが、アジュバントの連邦登録は求められていない。アジュバントのEPA登録ラベ

ルによると、拡張性・固着性・混溶性・ドリフト防止等の様々な機能が挙げられているが、もっとも重要な目的は薬効の安定・増強効果である（Foy & Pritchard 1996）。世界で最大のアジュバント市場である米国では非イオン性界面活性剤、植物油濃縮物、化学肥料配合、展着・固着剤の4タイプが一般に推奨されており（Underwood 2000）、ヘレナケミカルによると非イオン系26%、植物油濃縮物26%、化学肥料配合16%という販売実績の報告がある（図-3）。

一方、除草剤用アジュバント概説書によると、米国のアジュバント製造・販売会社37社が明記され、ヘレナケミカルが53品目、レッドリバーが48品目、ラブランドが36品目である（Young 2006）。主要な製品として、ヘレナケミカルではドリフト防止剤、非イオン系や植物濃縮物等、レッドリバーではパラフィン系固着剤や非イオン系等、ラブランドでは自社HPにてアジュバント添加による試験事例としてドリフト防止効果、付着性や浸透性の向上、収量増加等を紹介している。

また、米国で販売されている485品目（19社）の農薬ラベルについてアジュバント推奨の有無がFoyによって調べられた（Foy 1993）。その結果、全体の49%にアジュバントの推奨が記載されており、アジュバント不要が明記された5%を加えると全体の54%にアジュバント推奨の有無に関する情報があつた。特に除草剤に関

しては何らかのアジュバントの推奨が71%と高い結果であった。一方、日本の農薬ラベルに特別な展着剤が推奨されることは皆無に近い状況であり、薬害問題を理由にして添加を不可とする例がわずかに見られる程度である。

この背景には米国では高濃度少量散布（25リットル/10a）や航空散布（5～10リットル/10a）が主流であり、散布時の付着ムラによる薬効のバラツキが発生する散布条件の相違が挙げられる。米国ではアジュバント添加によって高価な農薬の薬効を安定化させる散布法を選択することにより、水資源も含めた作業時間削減によるコスト削減という経営者の視点が大きく働いているためと考えられる（川島 2007a）。

4. 展着剤の応用事例

日本における展着剤の検討は最近ようやく注目されるようになったが、従来は新規農薬の委託試験が中心であり、公的指導機関での試験事例は少ないのが実状である。その背景として米国のような高濃度少量散布ではなく、十分に散布する条件では所謂一般展着剤が薬効を積極的に向上させた事例が少ないことも大きな要因になっている。ここでは難防除や散布ムラ等が発現する場面において公表されている、興味深い国内外の試験事例を紹介する。なお、作用性に関しては触れていないので、列記した代表的な報文や著書を参照していただきたい（Foy &

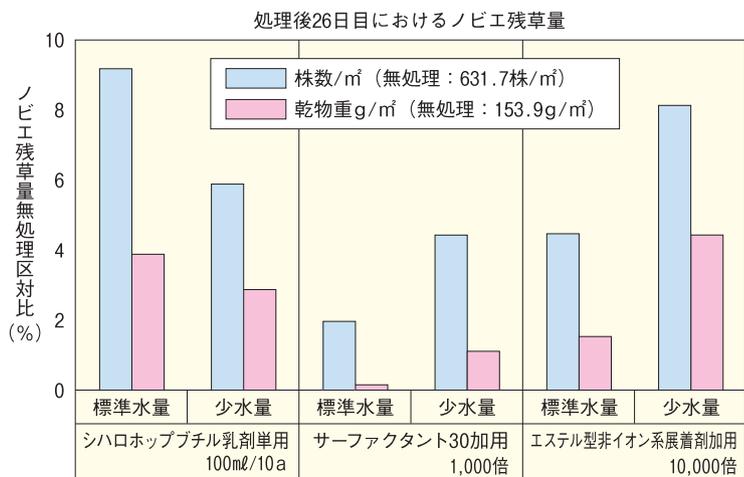


図-4 水稻除草剤での展着剤加用試験
 (試験条件)
 ・試験場所：宮城県古川農業試験場
 ・供試品種：やまのしずく
 ・供試薬剤：シハロホップブチル乳剤
 ・散布日：2012年6月7日(水稻：2.2葉期、ノビエ：5.3葉期)ノビエの大半はタイヌビエ
 (注1) 処理条件：標準水量 100ℓ/10a、少水量 25ℓ/10a
 (注2) 値は2反復の平均値
 (注3) 無処理区は30cm×1m、その他は120cm×1.8mについて抜き取り調査した

Pritchard 1996；渡部 2000；川島 2002, 2014a)。

(1) 薬効増強効果

海外、特に米国ではDCMUやプロマシル等の土壌処理型除草剤にアジュバント添加によって茎葉処理でも効果が発現できる使用方法が1960年代に確立され、その後、日本でも除草剤専用の展着剤が登録・商品化され、果樹園等の下草対策において広く普及した。水稻用除草剤では、シハロホップブチル乳剤に対して2種類の展着剤の加用試験が宮城県古川農試で実施された(川島 2018)。その結果、エステル型非イオン系展着剤(サーファクタント30)を加用することによって、水稻に対する薬害は認められず、5葉期を超えたノビエに対してシハロホップブチルの抑草効果の向上・安定化が確認された(図-4)。

小麦の雪腐病は北海道で長期間の残効性が望まれており、5種類の展着剤を用いて残効性が普及センターにて検討された(川島 2014b)。3種類の殺菌剤混用系(トルクロホスメチル水和

剤、イミノクタジン酢酸塩液剤、チオファネートメチル水和剤)へ5種類の展着剤が添加された結果、予想に反してパラフィン系固着剤添加区は最も発病度が高く防除効果が劣った。発病度が最も少なく薬効増強効果が大きかったのは、陽イオンが配合されたタイプおよびエステル型非イオンを有効成分とする機能性展着剤(アジュバント)であった。その結果を受け、道内での小麦の雪腐病防除においてパラ

フィン系固着剤に替わって、アジュバントが広く使用されるに至っている。

従来、濡れにくい作物に展着剤を使用する場合、少し多めに添加することが記載されることはあった。最近ではタマネギやサトイモ等の病害虫防除においてアジュバントの効果が少しずつ現場にて実証されつつある(黒木ら 2017；田代ら 2018)。

(2) 散布水量の低減

奈良農試で散布水量を減少させた室内試験(殺虫剤単独の補正死亡率：約50%)において、複数のトマトハモグリバエ防除薬剤に対して複数の展着剤が検討された(井村 2009)。その結果、複数の展着剤が顕著に効果を高めたが、一般展着剤の添加では効果は認められなかった(図-5)。クロルフェナピルに対してはエステル型非イオン系(アプローチBI)、フルフェノクス

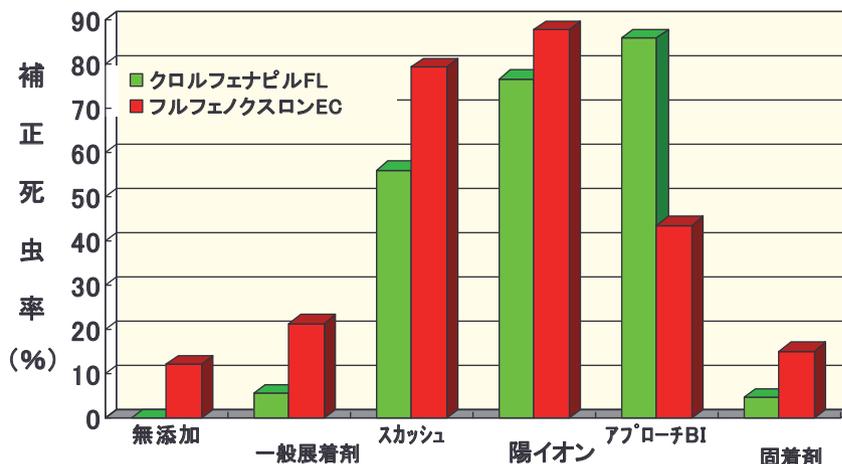


図-5 トマトハモグリバエ防除剤に及ぼす5種類の展着剤加用試験

試験場所：奈良農試, 2006
 試験方法(室内試験):補正死亡率が50%になるように少水量散布の条件

ロンに対しては陽イオン系（ニーズ）と油溶性のエステル型非イオン系（スカッシュ）が高い添加効果を示し、殺虫剤と機能性展着剤の間に相性のあることが示唆された。

現地試験では鹿児島茶試で茶の赤焼病に対する展着剤添加が検討された（富濱 2009）。チャ赤焼病は晩秋から翌年の初春の低温期に発生する病気であり、一番茶への影響が大きく、その防除には銅系殺菌剤が一般的に 10a 当たり 400 リットルの水量で散布される。殺菌剤としてカスガマイシン・銅水和剤および銅水和剤を用いて散布水量を 200～300 リットルに低減して陽イオンを有効成分とする展着剤の添加効果が検討された結果、展着剤を添加した区は散布水量を 400 リットルから 200～300 リットルへ低減しても同等な防除効果が得られ、作業の軽減化と共に経済面の経費削減効果も実証された。

(3) 散布回数の低減

3 種類の展着剤を用いてウリ類うどんこ病防除試験がメロンを用いて神奈川農試で検討された（折原・植草 2009）。殺菌剤としてトリフルミゾール（EBI 剤）を用いてアジュバントの添加効果が検討された結果、慣行の 1 週間間隔に近い防除効果が陽イオン系と油溶性エステル型非イオン系で認められた。対照区的一般展着剤添加では効果は認められず、アジュバント添加により農業散布間隔を 1 週間から 2 週間へ延長できる可能性が示唆され

た。同様な散布回数の低減に関してリンゴの斑点落葉病に対して陽イオンを有効成分とするアジュバントを用いて散布回数の低減化が岩手園試で確認されている（川島ら 1994）。以上のようアジュバント添加により省力散布の可能性が複数の作物で示唆されているが、エビデンスのさらなる蓄積が必要である。

(4) 耐雨性の向上

展着剤の耐雨性向上が植物成長調節剤のジベレリンのブドウ処理による無核果（種なし）について検討された。長野果試で各種の展着剤が評価され、エステル型非イオン系展着剤の添加により顕著な効果が品種デラウェアで確認された（柴ら 1974）。すなわち、洗浄試験（人工降雨）により、ジベレリン処理後 2～4 時間後の洗浄でも無洗浄と同等の品質（房長・房重・糖度）および高い無核果粒率が認められ、展着剤添加による耐雨性向上の効果が確認された。

水稲用除草剤のシハロホップブチルを用いて 7 種類のアジュバントが検討され、エーテル型非イオン系アジュバントの 0.1～0.4% 添加により、顕著な耐雨性向上が確認された（近藤ら 1999）。また、米国では特に非選択性除草剤においてアジュバント添加による耐雨性の向上が報告されている。すなわち、Reddy と Singh によって 2 種類のアジュバントのグリホサートへの添加が検討され、対象雑草によって異なる反応が観察された（Reddy &

Singh 1992）。イネ科のイヌビエではアジュバント添加による耐雨性向上が認められないが、カヤツリグサ科雑草に対しては非イオン系よりもシリコン系が有意差のある耐雨性向上が確認され、米国では各種のアジュバントが普及している。

グリホサートへ及ぼす最近のアジュバント研究では、雑草種（イヌビエ、アカザ）によって異なる取込み量を示すことから、耐雨性効果は雑草種に依存することが再確認された（Castelani et al. 2016）。すなわち、供試された 4 種類のアジュバントの中で、エーテルアミンエトキシレートがもっとも取込み量が多く、次に古典的なアジュバントのタローアミンエトキシレートであった。なお、グリホサートの塩（IPA, K）の相違による影響は認められなかった。

おわりに

日本の慣行的な農業散布はまだ無駄が多い現状を省み、積極的な環境負荷低減の観点から農業の適正使用を推進させる一手段としてアジュバントは極めて重要な役割を果たすことが期待される。日本では界面活性剤を有効成分とする展着剤が主体であるが、海外を見ると界面活性剤以外の成分として植物油、マシン油、有機溶剤や無機塩も広く使用されている。一方、界面活性剤は様々な業種において使用されており、日本では 5000 種を越える中、農業関連ではわずか数%にすぎない。す

なわち、他の業種で使用されている界面活性剤を含め、異なる機能が期待できる化学物質をアジュバントとして利用する可能性がまだ十分に残されている（川島 2017）。展着剤の今後の課題として次の3点を挙げる事ができる。

- ①リスクのより少ない機能性展着剤（アジュバント）の開発および普及
 - ②アジュバント技術の普及における適用農薬および適用作物の整備、同時に適用できない農薬と適用できない作物（生育ステージ含む）
 - ③アジュバント技術の普及において散布機器も含めた施用技術の構築
- 今後、アジュバント技術を広く普及させるに当たり、指導機関の皆様から益々のご支援とご協力を切にお願いしたい次第である。

最後に米国カリフォルニア州モントレイにて開催された ISAA2016 に参加された東振化学（株）名里豊様から資料の提供を頂きましたのでお礼申し上げます。

引用文献

Allen, K. Underwood 2000. 21世紀の農薬散布技術の展開シンポジウム講演要旨, 日

本植物防疫協会, 東京, 109-136.
Bryan, G. Young 2006. Compendium of Herbicide Adjuvants. p.48.
Chester, L. Foy 1993. Pesticide Science, 38, 65-76.
Chester, L. Foy and W. Pritchard David 1996. Pesticide Formulation and Adjuvant Technology, CRC Press.
Holloway, P.J. and D. Stock 1990. Industrial Applications of Surfactants II, pp.303-337.
井村岳男 2009. 野菜類の害虫防除におけるアジュバント加用の影響. 植物防疫 63(4), 222-227.
ISAA Society 2016. Proceedings of the 11th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals, California, USA, p.270.
川島和夫ら 1994. 農業および園芸 69(5), 580-586.
川島和夫 2002. アグロケミカル入門, 米田出版, 東京, p.172.
川島和夫 2007a. 散布技術を考えるシンポジウム講演要旨, 日本植物防疫協会, 東京, 22-30.
川島和夫 2007b. 展着剤の機能と応用. 植調 41(5), 192-199.
川島和夫 2014a. 展着剤の基礎と応用. 養賢堂, 東京, p.138
川島和夫 2014b. 展着剤の最近の動向と今後の方向性. 農業および園芸 89(2), 241-246.
川島和夫 2017. 植物防疫 71(1), 50-55.
川島和夫監修 2018. 展着剤の手引き, 丸和バイオケミカル, 東京, p.37.
Krishna, N. Reddy and Megh Singh 1992. Organosilicone Adjuvant Effects on

Glyphosate Efficacy and Rainfastness. Weed Technology 6, 361-365.

近藤直彦ら 1999. シハロホップブチルの茎葉処理におけるアジュバントの添加効果. 日本農業学会誌 24(3), 290-292.

黒木修一ら 2017. サトイモの葉に対する展着剤による葉害の発生と温度条件. 宮崎県総合農業試験場研究報告 51, 19-26.

農林水産省消費安全局農産安全管理課植物防疫課監修 2017. 農業要覧 2017, 日本植物防疫協会, 東京, p.781.

折原紀子・植草秀敏 2009. 野菜の病害防除における展着剤活用. 植物防疫 63(4), 228-232.

Priscila, Castelani *et al.* 2016. Proceedings of the 11th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals, California, USA, 139-145.

柴寿ら 1974. ブドウデラウエアに対するジベレリン処理効果の安定に関する試験. 長野県農業試験場報告 38, 152-156.

田代暢哉ら 2018. 九州病害虫防除推進協議会連絡試験集. タマネギべと病, 福岡, 30-34.

富濱毅 2009. チャ赤焼病防除における展着剤活用. 植物防疫 63(4), 218-221.

渡部忠一 2000. 農薬の作物・雑草への付着と移行に関する要因の解析—農薬用アジュバントの作用性とその利用法—. 日本農業学会誌 25, 285-291.