技術紹介

無人ヘリコプター用農薬散布装置の飛散低減技術

Technology for reducing agrichemical "drift" in unmanned helicopter crop dusting

金城 友樹

Abstract

The use of unmanned helicopters such as the RMAX manufactured and marketed by Yamaha Motor Co., Ltd. (hereafter "the company") for airborne crop dusting and fertilizer spreading has become widely accepted in Japanese agriculture because of its inherent efficiency in use on rice paddies and other types of farming. However, recent amendment of laws concerning residual agrichemical levels in crops has brought the need for farmers to use agrichemicals with greater care and precision. In response to these conditions, the company has developed a new agrichemical dispensing device for unmanned helicopters that restricts the amount of drift (blow-off) of the agrichemicals onto other plants during crop dusting, without sacrificing the excellent spreading efficiency inherent to umanned helicopter dusting. In this report we discuss a case in which computer-aided fluid flow dynamics (CFD) analysis of the trajectory and flow of agrichemicals from helicopter crop dusting was used to show that it is possible to reduce agrichemical drift.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)のRMAXに代表される産業用無人ヘリコプターによる農薬の空中散布(**図1**)は、高効率で実用性に優れることから、水稲をはじめとする日本の農業市場に広く受け入れられて利用範囲を拡大してきた。農作物の残留農薬基準値に関する改正法が施行され、より厳格な農薬使用が農業従事者に要求される中、当社では、無人ヘリコプターの特長である高い散布効率を損なうことなく、他作物への薬剤の飛散量を抑えてより適正な農薬散布を実現できる無人ヘリコプター用新型散布装置の開発を行った。本稿では、数値流体解析法(CFD)を利用してヘリコプターから散布する薬剤の飛散経路を解析し、薬剤飛散(ドリフト)の低減を可能とした事例について紹介する。

図1　RMAX を用いた薬剤散布

2 ポジティブリスト制度の導入

日本国内で流通する野菜や果物等の農作物は、消費者の健康を害することのないよう、食品衛生法によって農薬の残留量が厳しく規定されている。輸入食品の増加などを背景にこの法律の一部が見直され、国内未登録の農薬等、これまで残留基準値が未整備であった全ての農薬について一律に基準値を設ける、いわゆる「ポジティブリスト制度」が2006年より導入されている。

このポジティブリスト制度の導入以後、農業従事者が農薬を使用する際には、対象と隣接する他作物に意図せず薬剤が付着したりすることの無いよう、一層の注意を払い作業を行っている。

3 ドリフト低減への取り組み

空中に散布した薬剤が風に流され、意図する範囲を超えて飛散することを「ドリフト」という。ポジティブリスト制度の導入後、ドリフトの多い農薬散布器具はその使用が敬遠される傾向にあり、各農機具メーカーからは薬剤の飛散が少なくなるよう改良を加えたドリフト低減型散布装置が次々に発売されている。

産業用無人ヘリコプターを使用した薬剤の空中散布は、地上からの防除作業と比較して大面積を一度に効率よく散布できるという利点がある一方、気象条件によっては強風等で薬剤が遠方に飛散する可能性があり、ドリフト回避のために散布作業を実施する風速に制限を設けたりするのが実状であった。

当社の無人ヘリコプターRMAXに装着使用する液剤散布装置については、耐ドリフト性を向上し、より正確な薬剤散布を行うことができる新製品の開発を進め、2008年から販売を開始した。新型散布装置の設計に際して、薬剤飛散のメカニズムをシミュレーションにより解明することで、ドリフト特性を大きく向上させることができた。

4 薬剤粒子の空中での挙動

従来型の無人ヘリコプター用液剤散布装置を**図2**に示す。機体下部から左右に伸びるスプレーブームの中間と先端の4箇所にノズルが設けられており、ポンプにより圧送された薬剤はここから下方に向けて円錐状に噴射される。

ノズルから吐出する薬剤の粒子径は平均120μm程度と小さく軽量であり、自重での落下が僅かであることに加えてその運動エネルギーも小さいため、空気抵抗によってすぐに初速を失い、周辺の気流に運ばれて地面に到達する。したがって、薬剤粒子の飛散経路は、ヘリコプターのメインローターから発生する吹下し（ダウンウォッシュ）の状態に支配されていると考えることができる。RMAXでは、水平飛行時には流速約15m/sの強力な吹下しを起こして飛行しており、この気流の中で薬剤を吐出することで農作物に向けて効果的に薬を吹き付けている。

図2　機体に装着した液剤散布装置

一方、この強力な吹下しには、周囲の空気を巻き込んで気流の渦を作る性質があり、ヘリコプターが前進飛行するのに合わせて機体後方に後流渦を形成する(**図3**)。この後流渦に薬剤粒子が一旦巻き込まれると、下向きの速度成分が不十分なために長時間空中を漂うこととなり、周囲の風に流されドリフトしやすい。したがって、無人ヘリコプター用散布装置におけるドリフト低減のポイントは、メインローターからの強力な吹下しを有効に利用しながら、後流渦に巻き込まれる薬剤をいかに抑えるかということになる。

図3　機体後方に後流渦を引く様子

5 後流渦の作る流れ場

メインローターの後流渦は、2枚1対で回転するブレード(翼面)が揚力を発生するのと共に翼端部から連続的に放出され、前の時刻に作られた渦軌跡と相互干渉を繰り返しながら複雑な流れ場を形成していく。また、機体の進行速度とメインローターの回転速度との関係により、機体左右の渦の干渉位置はそれぞれ異なり、機体後方にたなびく後流渦の振る舞いは必然的に左右で非対称になる(**図4**)。

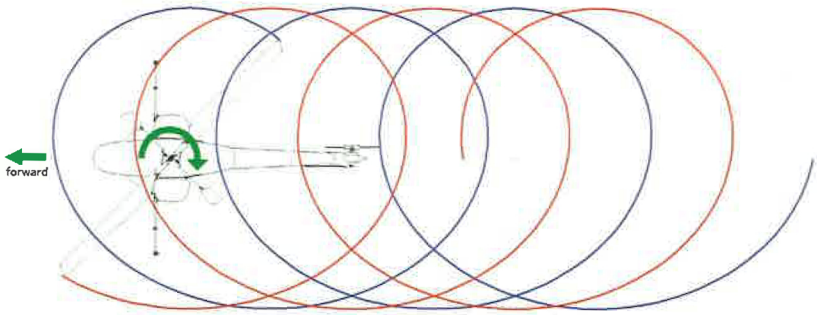

図4　ブレード翼端の軌跡

従来、相互干渉する後流渦の流れ場の予測は複雑で困難なものであったが、計算機の能力向上に合わせて応用分野の広がったCFDを適用することで、無人ヘリコプターの後流渦の机上評価が可能となった。解析には(株)ソフトウェアクレイドルのSCRYU/Tetraを使用し、**図5**に示す解析モデルによって、前進飛行中のヘリコプターのローター翼端渦が干渉しあう非定常な流れ場を計算した。解析結果の一例を**図6**に示す。このようにCFDを用いることで、空間内の任意の場所での流れを観測できる上に、実機試験でよくある横風や、機体の状態変化に伴う種々の擾乱要素を排除した流れの素性を捉えることが可能になる。

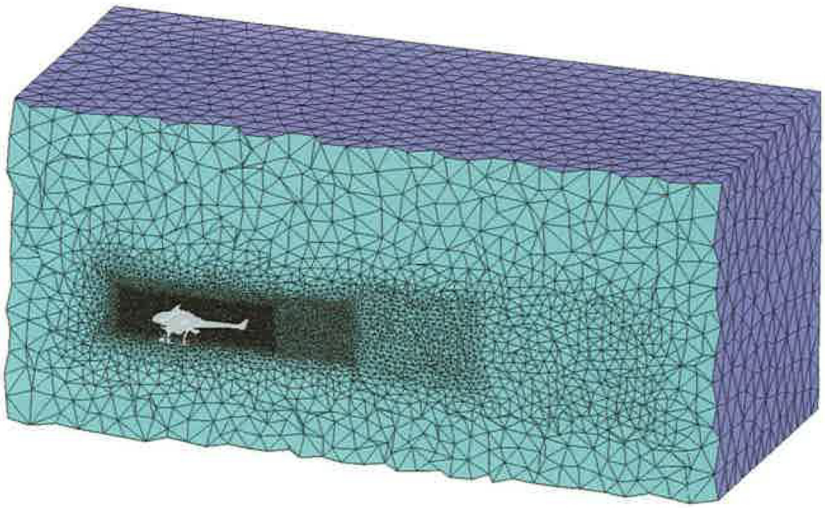

図5　ローター後流の解析モデル

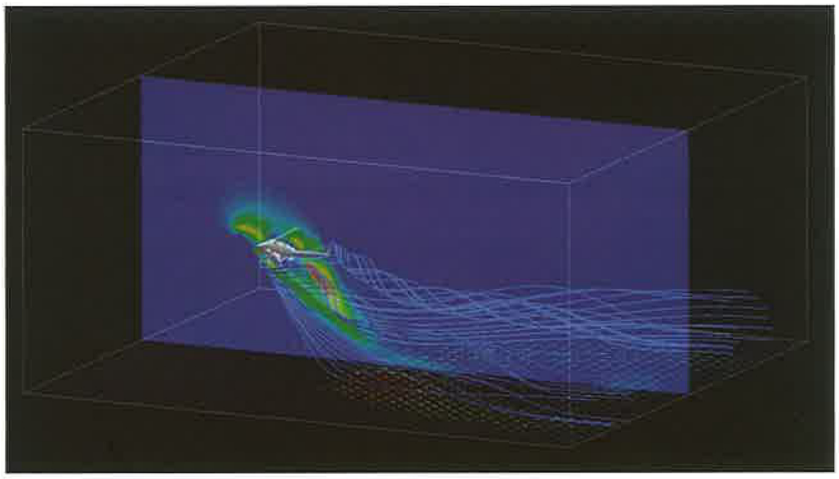

図6　計算されたローター後流の様子

6 ノズル位置と後流巻き込み

従来型散布装置のノズルから吐出された薬剤の飛散する様子をシミュレートしたものと、実機の薬剤散布試験の写真とを比較したものを**図7**に示す。ブーム内側のノズルから吐出される薬剤はほぼ直線的に地面に運ばれ、ブーム外側ノズルから出る薬剤は、その多くがローターの後流渦に巻き込まれる様子が解析結果でも再現されている。外側のノズルはブレードの翼端に近い位置にあるため、内側ノズルに比べて後流渦に巻き込まれやすい。また、実機写真では分かりづらいが、解析結果では機体の左右で飛散経路が非対称になっており、右側ノズルの方が薬剤の巻き込みが大きくドリフトしやすいことが確認できる。新型散布装置では、これらの点に着目して耐ドリフト性の向上を図っている。

図7　解析結果と実機試験の比較

7 新型散布装置の改良点

今回新たに開発した飛散低減散布装置のノズルレイアウトを**図8**に示す。従来仕様と比較して、左右端のノズルを内側に配置するとともに、右側のノズルを機体後方にずらして取り付けてある。後流渦への巻き込みが発生しやすい右側のノズルを、より強い吹下しが得られる機体後方に配置することで、薬剤粒子の下向き速度が増して後流渦への巻き込みが減少する(**図9a**)。この左右スプレーブームの前後オフセット量は、ローターの回転軸に対して対称配置とすることで、機体を後進させながら薬剤を散布する場合にも、前進時と同様のドリフト低減効果を得ることができる。

また、機体中央に新たに追加したセンターノズルは、フライト中の送信機操作で任意に切り替えて使用することができ、狭い範囲に的確に薬剤を散布したい場合に有効である(**図9b**)。

新型散布装置ではさらに、RMAX本体に搭載するGPSユニットから得られる速度情報に応じ、薬剤を圧送するポンプの吐出圧力を制御する「速度連動機能」を追加している。これにより、ヘリ操縦者の操作の加減による飛行速度の緩急が生じた場合にも、単位面積当たりの使用薬剤量が一定レベルに収まるように自動で調整され、過不足ない農薬使用と適正な薬効を期待できる。

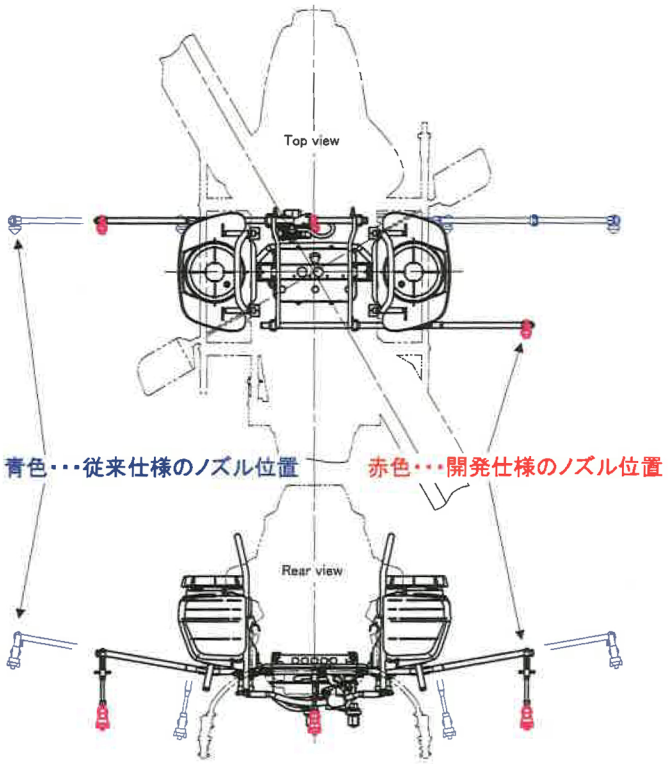

図８　新型散布装置のノズル配置

a) サイドノズル

b) センターノズル

図９　ドリフト低減仕様の薬剤飛散

8 おわりに

無人ヘリコプターによる農薬散布は、現在では稲作を中心に多くの農業従事者に認知されており、農業人口の減少や高齢化が進む国内農業において生産性の向上に貢献している。RMAXは販売開始から10年になるが、その間には遺伝子組換えによる品種改良や無農薬栽培の技術も日々進歩している。農業を取り巻く環境は常に変化を続けており、その変化に柔軟に対応できる無人ヘリコプター技術の開発を今後も継続する予定である。

■著者

金城 友樹
Tomoki Kaneshiro
スカイ事業部
開発グループ