

油脂産業論文

テーマ A 油脂産業と他産業との連携イノベーション

油脂産業と情報通信技術の連携で実現する
デング熱・マラリア低減プラットフォーム

花王株式会社

ヒューマンヘルスケア研究所

ナンバ アヤ
難波 綾

目次

はじめに	1
1 背景	3
1.1 蚊媒介感染症	3
1.2 蚊媒介感染症による経済損失	4
1.3 現在の対策と課題	5
2 本提言で着目する蚊の生態	7
3 提言	9
3.1 提言 1: 交尾フェーズを対象とした防除	9
3.2 提言 2: 産卵フェーズを対象とした防除	10
3.3 政府支援制度の活用と官民連携による対策強化、およびその波及効果	12
3.4 界面活性剤とパーム油副産物の活用について	12
3.5 本提案でプランテーションが享受しうるメリットとコスト	13
おわりに	16
注釈	18
参考文献	19

はじめに

パーム油は世界で最も多く生産され、日本で 2 番目に多く利用される植物油脂である。市場規模は約 730 億ドルで、マレーシアとインドネシアが全世界生産量の 83 % を占める^{1,2}。パーム油には、用途の広さ、高い収量、低コストといった利点があり、実際に、食品（加工食品、マーガリン、菓子類）や日用品（洗剤、化粧品）をはじめ、近年ではバイオ燃料など多岐にわたる分野で利用されていることから、**現代の生活にとって欠かせない素材の一つ**となっている。そのため、パーム油の持続的かつ安定的な調達は、油脂産業全体にとって重要な課題である。

しかしその生産は、熱帯雨林の伐採に伴う生物多様性の喪失や土壌汚染などの環境問題に加え、低賃金労働や児童労働など、労働者の待遇や衛生に関する社会問題も抱えている。加えて、これらの産地での深刻な課題として、**デング熱やマラリアに代表される蚊が媒介する感染症**（以下、蚊媒介感染症）がある。マレーシアでは、2014 年よりデング熱患者が年間



図1. プランテーション内の労働者の住居（例）⁷

10 万人を超え、2024 年には約 12 万人が感染し 117 人が死亡した^{3,4}。**デング熱媒介蚊**は環境変化への適応力が高いことから、森林よりもプランテーション内で多く繁殖し、デング熱の媒介能力も 1.5 倍になることが報告されている⁵。また、パーム油プランテーションの拡大とベクター媒介感染症（蚊やダニなど生物を介して広がる感染症）の増加に相関があることも示されている⁶。**マラリア**に関しては、パプアニューギニアのあるパーム油プランテーション内に住みながら（図 1）作業に従事する労働者の 約 1/3 がマラリア陽性であり、特に 5-9 歳児では感染率が約 40 % に達するとの調査結果もある⁷。このように、蚊媒介感染症はパーム油産業に従事する労働者の健康と生産性に大きな影響を及ぼすものであり、パーム油プランテーションにおける効果的な蚊対策は、**労働者の健康確保**のためのみならず、**生産性向上や企業の社会的責任**の観点からも取り組むべき課題である。

本論文では、蚊媒介感染症の概要と蚊の行動特性を整理した上で、<ドローン

×AI×**油脂由来界面活性剤**>を組み合わせた新しい蚊対策を提案する。具体的には、(1)蚊が交尾のため群飛する「蚊柱」を狙いドローンで**界面活性剤**水溶液を散布して成虫を減らす方法、(2) AI 技術でプランテーション内の水たまりを検知し、ドローンで同様の界面活性剤水溶液を散布して蚊の幼虫（ボウフラ）の発生を抑える方法、の二点である。さらに、これらの取り組みを進めるにあたり、企業単独ではなく政府や行政と連携し、公的な支援制度を活用することも提案する。使用する界面活性剤は、**農薬や殺虫剤ではなく環境に優しい資材**とし、パーム油生産の副産物を原料として活用する可能性についても言及したい。

1 背景

1.1 蚊媒介感染症

蚊媒介感染症は、蚊が人を吸血する時に病原体を体内に取り込み、その後、別の人を吸血する際にうつすことで広がる（図2）。

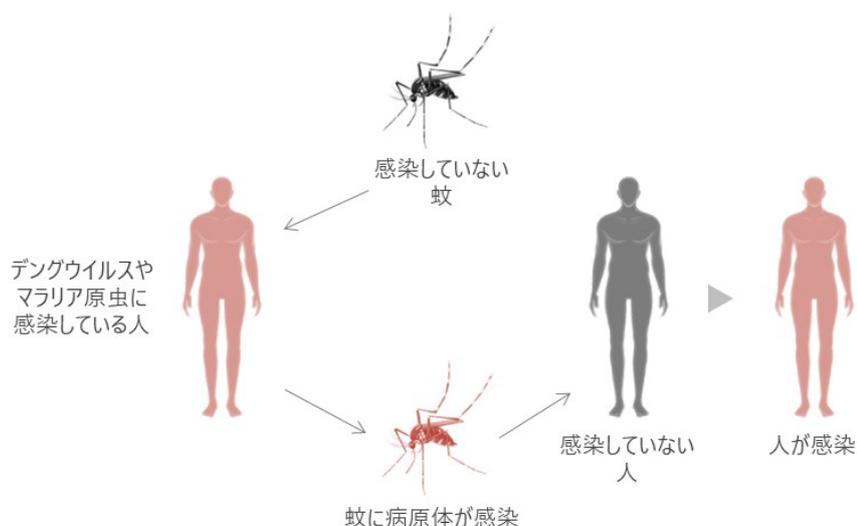


図2. 蚊は病気を媒介する

蚊が、デングウイルスやマラリア原虫に感染している人から吸血すると、病原体が蚊の体内に移行し増殖する。その蚊が感染していない人を吸血すると、唾液とともに病原体が人に移行し、感染する。

蚊は水辺に産卵するため、水たまりが点在し労働者が集まるプランテーション（図3）は、蚊とヒトが接触しやすく感染リスクが高まりやすい。以下に、本提案で取り上げるデング熱とマラリアについて簡単に紹介する。



図3. パーム油プランテーションに存在する水の例⁸
インドネシアにあるパーム油プランテーションの一部。

デング熱

- 媒介種：主に日中に活動するネッタイシマカなどのヤブカ属（図4左）。
- 病態：発熱、関節痛、発疹が特徴であり、重症型であるデング出血熱では死亡率が上昇する。
- 流行地域と規模：特にアジアと中南米で流行。WHO は毎年の感染者数を約1~4 億人と推定しており⁹、代表的な研究では年間の感染数が3.9 億件であると試算されている¹⁰。

マラリア

- 媒介種：夜間に活動するハマダラカ属（図4右）。
- 病態：発熱、悪寒、貧血を引き起こし、重症の場合は多臓器不全に至る。
- 流行地域と規模：特にアフリカで流行。年間感染者数は約2.5 億件と推定される¹¹。年間約60 万人が亡くなり、その多くは5 歳以下の子供である¹¹。



図4. 病気を媒介する代表的な蚊

© backiris / stock.adobe.com (File #310792013)¹²

© Arif_Vector / stock.adobe.com (File #493007039)¹³

1.2 蚊媒介感染症による経済損失

蚊媒介感染症は、東南アジアの社会やパーム油産業に対して、大きな**経済損失**をもたらす。まず**治療**のために、インドネシアでは推定6億ドルの経済負担が発生する（デング熱：3.81億ドル¹⁴、マラリア：2.05億ドル¹⁵）。マレーシアでも、デング熱の治療や対策、労働力の損失によって年間約1億ドルの負担が生じている¹⁶。感染による**欠勤**は、労働者個人にとって大きな収入減⁷となるだけにな

く、プランテーションの生産効率の低下につながる。例えば、パプアニューギニアのあるパーム油プランテーションでは、マラリアによって1年間で5,686日の欠勤が発生し、その経済的損失は同プランテーション単体で約6万ドルに達した⁷。同様の損失はマレーシアやインドネシアのパーム油プランテーションでも発生していると考えられる。マレーシアにおいて全労働者の約1%がプランテーション労働者であると仮定すると、全国の年間負担(約1億ドル)のうち百万ドル規模の損失が、プランテーションにおいて生じている可能性もある。

1.3 現在の対策と課題

蚊媒介感染症は「蚊に刺されなければ感染しない」ため、蚊そのものを減らす方法と、蚊に刺されることを防ぐ方法、の両面から対策が行われている。

蚊を減らす方法

① 水たまりを除去する

デング熱媒介蚊は、ペットボトルの蓋などほんのわずかな水たまりにも卵を産む。プランテーションでは雨期に地面の窪みなどに水が溜まりやすく、放置された容器や古タイヤなどがあれば格好の繁殖場となる。こうした幼虫発生源を早期に発見して除去することがデング熱対策の基本であるが、大規模な農園内ですべての水たまりを特定し処理することは難しい。

② 殺虫剤を散布する

ピレスロイド系殺虫剤などを広範囲に噴霧することで、一帯に生息する蚊を駆除する。東南アジアでは、行政によって定期的あるいはデング熱の症例が報告されたあとに患者自宅付近において殺虫剤を散布する活動が行われている^{17, 18}。一方で、適応により殺虫成分に対する耐性を獲得、つまり従来の濃度の殺虫成分では駆除できなくなった蚊が世界的に増加していることが大きな社会課題となっている¹⁹。またプランテーションにおいては、パームヤシを食害する昆虫を食べてくれる天敵となる益虫も駆除されるなどの悪影響を及ぼしてしまう。

③ ボルバキアに感染した蚊を放つ

ボルバキアは昆虫の体内に共生する細菌であり、ヤブ蚊属に人工的に感染さ

せると、(a)卵のふ化を妨げ蚊を減らす、(b)蚊体内でのウイルスの増殖を抑え感染力を低下させる、という二重の効果を発揮する。実際、インドネシアではボルバキア感染蚊の放飼によりデング熱発生が 77%、入院患者が 86% 低減するなど、大きな成果が得られている^{20, 21}。一方で、数万～数百万匹単位のボルバキア感染蚊を長期的に放つ必要があり^{22, 23}、膨大なコストと労力が求められる。また人工的に細菌を感染させた蚊を自然界に放つため、生態系への影響に対する地域住民の理解と受容、法整備、モニタリング体制など、社会的課題も多い。

蚊に刺されることを防ぐ方法

蚊刺されを防ぐための対策としては、忌避剤を使用する、長袖を着用する、などがある。しかし、忌避剤は蚊に刺される前に適切に使用する必要があり、長袖着用は体温調節を妨げる可能性があるため、高温多湿の屋外作業においては作業効率・健康の両面から現実的ではない。

2 本提言で着目する蚊の生態

これまでに紹介した従来の対策はいずれも一定の効果を示すものの、広大なプランテーション全体にわたって継続的かつ効率的に実施するには限界があるため、根本的に異なるアプローチが求められる。そこで本章では、新しい蚊対策を提案するに先立ち、標的となる蚊の行動の特徴を整理する。

蚊が人を吸血する前後には、「交尾」「吸血」「産卵」という3つの行動段階があるが、それぞれに大きな違いがある。

● 交尾

オス蚊が「蚊柱」²⁴と呼ばれる群れを作り、そこにメス蚊を迎え入れる**集団行動**である（図5）。

マラリア媒介蚊のオスは、夕方の日没約2分前より、切り株や地表の暗い物体など目印になる場所の上に集まる²⁵。飛びながら、目印と太陽が沈む地平線を同時にとらえ、高さを保ちながら群れを維持する²⁶。このように、ハマダラカの蚊柱形成には視覚や時間の情報が複雑に関わっているが、詳細な形成要因が明らかであるため制御できる可能性が見える。一方、デング熱媒介蚊では人の匂いや集合フェロモンなどの嗅覚刺激も関与することが知られており²⁷、他の蚊に比べて柔軟な行動をとるため、仕組みを正確に理解し制御することは難しい。



図5. ハマダラカが形成する蚊柱

ブルキナファソで撮影された蚊柱²⁴。空に浮かぶ白い点のように見えるのが蚊である。

- 吸血

メス蚊が**単独**で人を探索し、吸血する。人の呼気に含まれる二酸化炭素や体臭、体温、皮膚に触れたときの感触や味など、複数の感覚情報が順番に関与する複雑な行動である（図6）²⁸⁻³³。

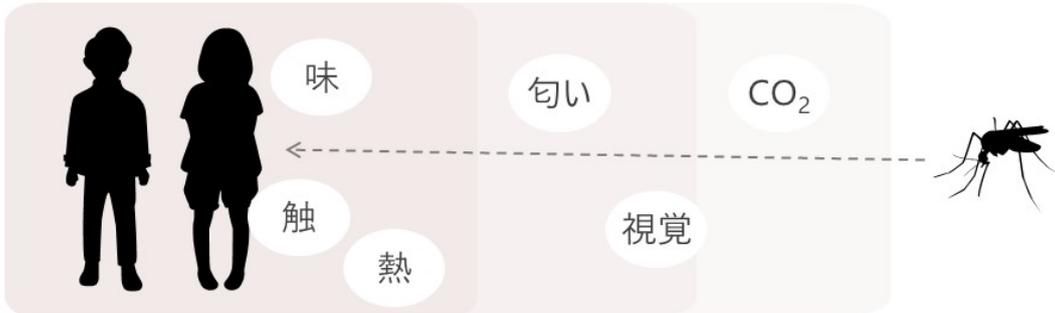


図6. 蚊が人を吸血する際に手がかりとする感覚

メス蚊は人の呼気に含まれる二酸化炭素を検知すると飛行行動を活性化させ、視覚情報を頼りに近づく²⁸。蚊が人と他の動物を見分ける際に重要なのは匂いであり²⁹、最終的に体温に誘引されて肌に降着する³⁰。降着した後は肌の味や触覚が蚊の行動に影響を与える³¹⁻³³。

- 産卵

メス蚊は幼虫やさなぎが育つのに適した水場を探して産卵する。デング熱を媒介するネッタイシマカにおいては、水質やすでに産卵した蚊の存在を手がかりに、**複数のメスが同じ産卵場所を選ぶ**ことが報告されている³⁴。つまり、すべての水源にまんべんなく幼虫が存在するのではなく、ある限られた水源に**幼虫が集まって存在する**と考えられる。蚊は水の存在を匂いで感じ取り³⁵⁻³⁷、すでに産卵した蚊の存在を二酸化炭素で³⁴、水質の違いを味覚で見分ける（図7）³⁸。

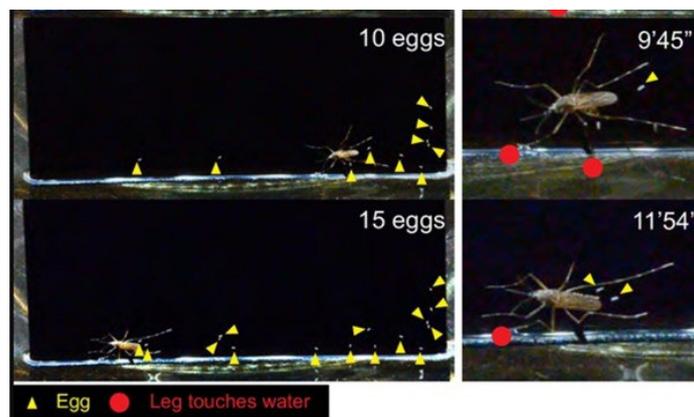


図7. ネッタイシマカの産卵³⁸より改変

ネッタイシマカのメスは、水に脚をつけ、水質を判断しながら水辺に産卵する。赤い丸で示されるのが脚が水に触れている部分、黄色の矢頭は卵である。

ここで注目すべきは、交尾と産卵が**集団**で行われるのに対し、吸血は基本的に**単独**で行われるという点である。広いプランテーション全体を管理する上では、

蚊を一匹ずつ追いかけて駆除するよりも、蚊柱や産卵場所といった「蚊が集まるポイント」を検知して介入する方が効率的である。中でも現在の知見においては、蚊柱に介入することでマラリア媒介蚊が効果的に防除でき、産卵場所に介入することでマラリア媒介蚊およびデング熱媒介蚊の幼虫、さらにデング熱媒介蚊の成虫が防除できると期待される。

3 提言

これまでに整理した内容をふまえ、本章では **(1) 交尾フェーズ**と **(2) 産卵フェーズ**という**蚊の集団行動**に着目し、**油脂産業資源×情報通信技術**を組み合わせた新しい蚊対策を提案する。具体的には、ドローン（無人航空機）による空撮や水域モニタリング、AI による解析を組み合わせ、効果的に蚊を見つけて対策する方法である。

現在、ドローンはプランテーションにおける病害管理の標準ツールになりつつあり^{39,40}、例えばテラドローン社はインドネシアとマレーシアのパーム油プランテーションで害虫防除のための殺虫剤をドローン散布している³⁹。また蚊対策の分野においても、ボルバキア感染蚊をドローンによって空中から放出する試みが行われている^{41,42}。さらに、AI 画像認識によって蚊柱や水たまりを検出する技術（後述）と組み合わせれば、ドローンによって蚊の集団フェーズをリアルタイムに把握し、パーム油プランテーションの蚊対策に応用することは十分に現実的である。加えて、本提案は蚊の検知にとどまらず、油脂産業由来の界面活性剤をピンポイントで散布し、蚊の集団を物理的かつ選択的に無力化できる点に特色がある。ここから、蚊柱を狙い撃ちする交尾フェーズでの防除と、水たまりを標的とする産卵フェーズでの防除の具体的方法を順に示す。

3.1 提言 1: 交尾フェーズを対象とした防除

マラリア媒介蚊が蚊柱を形成する夕暮れ時にドローンをプランテーション内で飛行させ、搭載した高感度カメラやセンサーによって蚊の群れをリアルタイムで検知する。AI 画像認識により蚊の集団を識別する技術は近年めざましく進歩しており、写真 1 枚から蚊柱内の蚊の数を誤差 1.8 匹で推定できる深層学習モデルも開発されている⁴³。

蚊柱を検知したドローンは、その地点に向けて**界面活性剤**水溶液をミスト状に噴霧する。我々は以前、飛行中の蚊に界面活性剤水溶液を噴霧すると羽が濡れて蚊が落下することを報告した（図8）⁴⁴。さらに、低表面張力の界面活性剤水溶液を用いると、蚊の呼吸孔である気門から溶液が体内に入り、成虫を無力化させることもできる⁴⁴。この方法であれば、従来の殺虫剤のような化学成分を使わず、もともと石鹸や洗剤などにも広く利用される界面活性剤を活用しながらも、物理的かつ選択的に蚊柱を形成している蚊集団のみを無力化できるため、人体および生態に対する安全性が高く、蚊が耐性を獲得するリスクも低いと期待される。

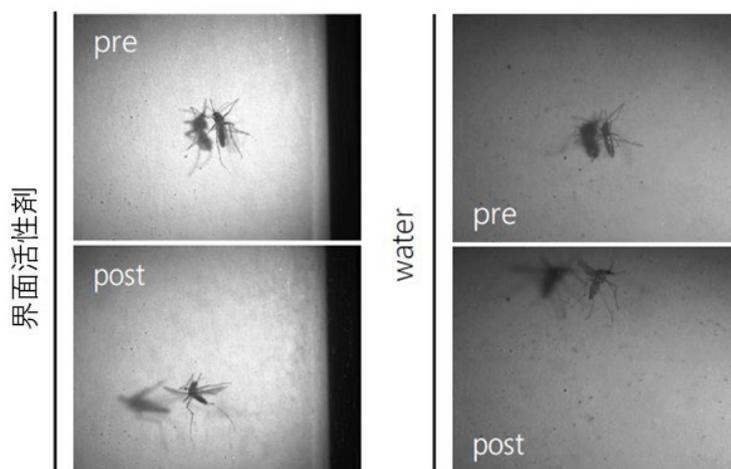


図8. 界面活性剤は蚊を濡らして飛行を妨げる⁴⁴
 界面活性剤（左）を蚊に噴霧すると、羽や体が濡れるため蚊は落下する。
 水（右）にはじくため、水を噴霧しても飛行することができる。

本手法により、交尾行動中の多数の蚊（特にオス蚊）を一度に駆除できるため、繁殖成功率を下げ、次世代の蚊の数を効果的に減らせると期待される。蚊柱は視認性が高く、ドローンによる局所的な散布でピンポイントに対策できる点も利点である。なお、界面活性剤散布後に地上に落下した蚊はアリやクモなどによって捕食されると考えられる。

3.2 提言2：産卵フェーズを対象とした防除

プランテーション上空を定期的にドローンで巡回し、搭載カメラから取得する高解像度画像をAIで解析して水たまりを自動抽出する。例えば、日本のスタートアップ企業である SORA Technology は、アフリカにおいて AI 搭載ドロー

ンを用いて停滞水を検知し、高リスク地点だけに幼虫防除剤を自動散布する実証を進めている⁴⁵。同様に、プランテーション内の水たまりに界面活性剤水溶液を散布することで、次の効果が期待できる。

① 幼虫・さなぎの生育阻害

蚊の幼虫やさなぎは呼吸や羽化のために水面に体の一部を浮かせる必要があるが(図9)、界面活性剤水溶液により体の表面が濡れると、呼吸や羽化をすることができない。実際に、米国の地方自治体で非イオン系界面活性剤^{注1}であるアルコールエトキシレート^{注2}によっ



図9. 蚊のさなぎ(左)と幼虫(右)

© whitepointer / stock.adobe.com (File #306916041)⁴⁶

て水面にごく薄い膜を作り、幼虫やさなぎを窒息死させる防除が実施されている⁴⁷。

② 成虫メス蚊の産卵阻害

蚊の体の表面はきわめて疎水性^{注3}が高いため、産卵の際に水面に浮かんだり水に脚を触れて水質を確かめることができる³⁸。このとき界面活性剤が気液界面に存在していることで、蚊の脚が濡れておぼれる、あるいは脚に界面活性剤が付着することで脚の疎水性が低下し産卵が妨げられる可能性がある。

この方法においても、従来の殺虫成分を使わないため、蚊が薬剤抵抗性を獲得する問題がなく生態系への影響も与えにくいことが利点である。またドローンによる散布は、泥濘地や広範囲の水域など人が立ち入れない場所にも効率的に安全にアクセスできる。空撮画像は記録として残るため、どの地点に恒常的に水たまりが発生しているかをマッピングすることで、排水溝の整備や埋め立てなど地形に関する抜本的な対策にも役立つと期待される。

3.3 政府支援制度の活用と官民連携による対策強化、およびその波及効果

以上の取り組みを、一企業が単独で取り組むのではなく、政府・行政と連携しながら進めることを提案する。蚊媒介感染症は世界的な社会課題であり、その対策には公衆衛生を所管する政府・行政機関との協働が不可欠だからである。

その点において本提言では、マレーシアをターゲット国に設定する。なぜならマレーシアは、蚊媒介感染症を国家的課題と位置づけており、またドローンや環境調和型技術の活用を政府が積極的に支援しているためである。例えば、科学技術革新省が助成金や規制緩和型の実証フィールドを提供する「国家技術革新サンドボックス」⁴⁸や、ドローン活用を後押しする「ドローン国家行動計画」^{49,50}、マレーシア政府傘下のイノベーション推進機関である MRANTI（マレーシア研究・技術革新アクセラレーター）による持続可能な技術に対する商業化支援⁵¹などが行われている。これらの制度は、企業が新技術を導入する際の有力な後押しとなる。政府支援による初期投資負担の低減は、企業にとって導入リスクを下げ、行政にとっては感染症被害や医療費の抑制につながる。そして油脂産業にとっても、パーム油供給力の安定化や生産性向上といった形で、社会的価値の向上に資すると期待できる。

加えて、マレーシアで確立された新しい蚊対策は、他の東南アジア各国やアフリカ・中南米といった被害がより深刻な地域への展開も期待できる。すなわち油脂産業が、公衆衛生上の地球規模課題に対し、国際的な解決策を提供しうる可能性がある。

3.4 界面活性剤とパーム油副産物の活用について

本提言の各施策でキーポイントとなる「界面活性剤水溶液」は、人や環境への安全性が高く、蚊には強力に作用するものを選定する必要がある。幸い、油脂産業において界面活性剤は身近な素材であり、特にパーム油由来の脂肪酸は石鹼や洗剤など界面活性剤の原料として世界中で広く利用されている。とりわけ、パーム油由来脂肪酸から得られる高級アルコール誘導体には様々な界面活性剤が知られている。本提案での使用に適した、表面張力を大きく低下させる素材を選定することで、少量散布でも蚊の体を確実に濡らし、蚊を無力化する効果を高められる。

さらにここでは、環境負荷と持続可能性を考慮し、パーム油生産から出る副産

物を原料とした界面活性剤を活用する可能性に言及したい。例えば、パーム油ミル排水 (POME) は大量の有機物や微量の残留油分を含む廃液で、そのままでは環境汚染源となる一方で、近年この POME を培地として微生物発酵させ、バイオサーファクタント (生物界面活性剤) を生産する研究が進んでいる。POME 由来のバイオサーファクタントは安価な原料から製造でき、糖脂質型のラムノリピド^{注4}のように高い表面張力低下能^{注5}を示すものも存在する^{52, 53}。こうしたバイオサーファクタントや、あるいはパーム果実殻・繊維等から抽出した油分を中和・鹸化して作る石鹼水など、パーム油プランテーション由来の副産物から作られた界面活性剤を防除に利用すれば、廃棄物の資源化による循環経済の推進にも繋がる。加えて、これらは高い生分解性を有し、毒性や環境残留性が低いという特長を持つため、石油から合成される界面活性剤に比べ環境適合性にも優れている。

以上より、パーム油生産の副産物から作られる**高機能かつ環境調和型の界面活性剤**を活用するアプローチを取ることは、油脂産業ならではのソリューションと言える。

3.5 本提案でプランテーションが享受しうるメリットとコスト

最後に、これらの手法を行うことで得られるプランテーション企業のメリットとコストについて述べる。

本提言による蚊対策を実施することにより、プランテーション企業は複数の面で明確なメリットを享受できる。第一に、蚊媒介感染症の低減により作業員の健康が維持され、欠勤が減少することで**生産性の向上**が期待できる。 Dengue 熱やマラリアはいずれも回復に日数を要する疾患であり、労働力の損失が企業に与える影響は大きい。「蚊媒介感染症による経済損失 (1 章 2 項)」で述べた通り、パプアニューギニアのプランテーションでは、マラリアにより年間 5,686 日の欠勤が発生し、損失額は 6 万ドルを超える⁷。したがって、感染を未然に防ぐことは、長期的には防除コストを上回る利益をもたらす可能性が高い。さらに、油脂産業が対策に用いる界面活性剤の技術開発や供給網の整備を後押しすることで、本対策の実装効率が高まり、パーム油の生産性と国際市場への安定供給に直結する。

第二に、こうした持続可能で環境に配慮した蚊対策の導入は、企業の**社会的責任 (CSR) の実践**として社内外に強くアピールできる。特に国際市場での取引や

サプライチェーン管理の文脈では、ESG（環境・社会・ガバナンス）評価が重視されており、労働者の健康を守る取り組みや環境負荷の低い技術の導入は、サステナブル認証取得や国際的な評価の向上にもつながる。最近ではRSPO（持続可能なパーム油のための円卓会議；Roundtable on Sustainable Palm Oil）認証を受けたパーム油の需要が急速に高まっており、その背景には国際的な消費者意識の高まりと規制強化がある。例えば Nestlé⁵⁴や L'Oréal⁵⁵のようなグローバル消費財企業が、調達方針として「認証済み持続可能パーム油の使用 100%」を宣言しており、投資家や金融機関もサプライチェーンにおける持続可能性を評価軸に加えるなど、RSPO 認証は国際市場での信頼性や販売競争力に直結している。本提案で示した蚊対策は、殺虫剤に依存せず、パーム油副産物の有効利用を通じて廃棄物削減や地域社会の健康改善を実現する点で、RSPO の環境・社会基準の両方に資する取り組みである。そのため、プランテーションがこうした先進的な衛生対策を導入することは、RSPO 認証の取得・維持につながる可能性があり、認証済みパーム油の国際的需要増に呼応した市場競争力を強化できる可能性もある。

第三に、本対策を単なる「農園内の衛生対策」にとどめず、モニタリングと情報発信の仕組みを整備することで、プランテーションを「地域の衛生管理拠点」として機能させることも可能である。例えば、ドローンで取得した水域分布や蚊発生データを周辺地域や行政と共有することで、広域的な感染リスクのマッピングや早期警戒体制に貢献できる。これは、プランテーションが単なる農業企業にとどまらず、**公衆衛生のパートナー**として地域社会と共に生きる企業像を打ち出す契機となる。

一方でコストも発生する。以下に、プランテーション企業が本対策を実行する際にかかる年間のコスト試算を示す。蚊の集団や水たまりへの界面活性剤水溶液の散布をドローン 2 機で行うものとし、ドローンおよび噴霧装置の減価償却は 5 年を前提とする。

試算条件

- 規模：10,000 ヘクタール …マレーシアの中規模プランテーションを想定
- 稼働期間：6 か月間 …デング熱が増加する雨季（4-9 月）に実施
- 月あたりの稼働日数：22 日 …平日に実施
- 散布頻度：2 週間に一度 …蚊が卵から羽化し交尾を開始するまで約 2 週間
- 水たまりの発生率：10%と仮定
- ボウフラがいる水たまりの割合：20%と仮定
- 蚊柱の発生数：5 か所と仮定
- 溶液コスト：1 kg あたり 1000 円と仮定
- 作業員の日当：一人あたり 10,000 円と仮定

年間コスト試算：ドローンによる界面活性剤を集団フェーズに散布

費用項目	年間費用（円）
ドローン減価償却費（2 機、5 年）	300,000
噴霧装置減価償却費（2 機、5 年）	40,000
AI・センサー減価償却費（5 年）	300,000
操作要員など人的費用（3 名）	3,960,000
界面活性剤費用（水たまり用）	240,000
界面活性剤費用（蚊柱用）	6,000
合計	4,846,000

本提案と同様に「持続的な蚊対策方法」としてしばしば用いられるオビトラップ（産卵誘引型トラップ）を用いる場合と比較する。オビトラップは蚊を誘引・捕獲し、その発生状況をモニタリングすることを目的とするため、定期的な点検と維持管理が不可欠である。その点検作業には、トラップの状態や水位の確認・交換や、捕獲された蚊の確認・記録、トラップ間の移動などを含めて 1 台あたり約 15 分を要する。すなわち、1 日の労働時間を 8 時間（480 分）とすると、1 人あたり約 32 台の点検が限界となる。

蚊の飛翔距離は約 100 メートルであるため、10,000 ヘクタールのプランテーションを空隙なく覆うには、約 3,676 台の設置が必要である。これらを月 1 回の点検で維持する場合、22 日稼働で消化するためには少なくとも 6 人の人員が必要となる。オビトラップ 1 台あたりの単価を 500 円、耐用年数を 3 年、日当

を一人当たり 10,000 円とすると、年間の減価償却費は約 61 万円、年間の人件費は約 1,584 万円（10,000 円×22 日×6 人×12 か月）に達し、**年間合計費用は約 1,645 万円**となる。これに対して、ドローン方式では、AI 解析およびドローンによる界面活性剤水溶液の散布を年 6 か月間実施した場合、**年間費用は約 485 万円**に抑えられる。さらに政府の補助金制度を活用できれば、企業の負担は一層軽減される。

このように、プランテーションにとっては従業員の健康や生産性の向上に加えて地域社会への貢献、産業にとっては供給安定性と国際競争力、地域社会にとっては住民の健康改善といった複合的な価値が、それぞれ得られる構造となっている。したがって本提案は、経済性と社会性を兼ね備えた持続可能なモデルとして、油脂産業全体に広く波及しうる潜在力を有している。

おわりに

本提案は、油脂産業が抱える労働衛生・環境問題に加え、蚊媒介感染症という社会課題に対し、情報通信技術と油脂産業の融合という新たな視点からアプローチしたものである。ドローン、AI 解析、界面活性剤という一見異なる技術が、蚊の集団行動という共通の現象を足場に結びつき、持続可能かつコスト効率の高い公衆衛生ソリューションとして結実する。この構想は、単なる技術導入にとどまらず、産業そのものの未来像を更新するものである。

そして本提案は、国際的な衛生課題に対する革新的解決モデルへと発展していく可能性を秘めている。マレーシアのパーム油プランテーションで始まる個別の実証を地域の仕組みへ広げ、さらに地域の仕組みを国際的な連携へつなげていく。本提案で確立されたモデルを、東南アジア、アフリカ、中南米へと架け橋のように展開することで、感染症による学業の中断や就労の損失、医療費の負担を確実に減らしていく。その循環の中で、産業は環境負荷を下げ、地域は健康を守り、企業は信頼を積み重ねる。やがて油脂産業は「供給の担い手」から「公衆衛生のパートナー」へと進化する。副産物を資源に変え、データを共通言語に変え、産官民が同じ地図を見て歩む。検知（ドローン）-判断（AI）-介入（界面活性剤）-評価（行政・地域）という循環を一体で回す仕組み、これこそが本提案の「 Dengue 熱・マラリア低減プラットフォーム」である。そして、その先に描くのは、安定的な生産と健やかな労働、そして地域社会の安心が同時に満たされる未来である。

持続可能な生産、持続可能な労働環境、そして持続可能な地域社会。これらを同時に見据えながら、油脂産業が公衆衛生という分野にどのように貢献し得るかを考え続けることは、私たち研究者にとって重要な使命である。いまだ解決されていない社会課題や研究課題はいずれも難易度が高く、一つの分野だけでは突破口を開きにくい。だからこそ、学問領域同士の横断的連携はもちろん、産業分野同士、例えば油脂産業と情報通信産業のように異なる業界が手を携える融合も一層推し進める必要がある。産官民が一丸となって革新的な蚊対策を進めることで、持続可能な産業発展と地域住民の健康増進の両立が実現することを期待する。

注釈

- (注1) 非イオン性界面活性剤：水に溶けたときに電気的な性質を帯びない界面活性剤。この特徴から、水の硬度や電解質の影響を受けにくいという特徴がある。
- (注2) アルコールエトキシレート：アルコールに酸化エチレンを付加させて作られる界面活性剤のこと。非イオン性界面活性剤の中で最も多く使用されている。ポリオキシエチレンアルキルエーテルとも言う。
- (注3) 疎水性：水をはじく性質のこと。蚊の体の表面はうろこや毛などの細かい構造で覆われ、かつそれらの構造がワックスのような油で覆われているため、水をはじく性質がきわめて強い。
- (注4) 糖脂質型のラムノリピド：糖（ラムノース）と脂肪酸が結合した分子で、特定の微生物が発酵によって作り出す天然の界面活性剤のこと。
- (注5) 表面張力低下能：水の分子は互いに強く引き合うため、コップなどのふちで少し盛り上がったとしてもこぼれない（表面張力）。界面活性剤の「表面張力低下能」は、界面活性剤が水の表面に配列することで水分子同士の結びつきを弱め、表面張力を下げる作用を示す。

参考文献

1. Grand View Research. (2025). Palm oil market size, share & growth, industry report, 2030. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/palm-oil-market>
2. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2025, July). Palm Oil Explorer (Commodity 4243000) [Data set]. International Production Assessment Division, PS&D Online. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/4243000>
3. Md Iderus, N. H. et al. The effects of the COVID-19 pandemic on dengue cases in Malaysia. *Front. Public Health* 11, 1213514 (2023).
4. The Star. (2025, January 28). Dengue cases drop in Malaysia, but deaths rise by 17%, says Ahmad Zahid. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.thestar.com.my/news/nation/2025/01/28/dengue-cases-drop-in-malaysia-but-deaths-rise-by-17-says-ahmad-zahid>
5. Gregory, N. et al. Oil palm expansion increases the vectorial capacity of dengue vectors in Malaysian Borneo. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 16, e0009525 (2022).
6. Morand, S. & Lajaunie, C. Outbreaks of vector-borne and zoonotic diseases are associated with changes in forest cover and oil palm expansion at global scale. *Front. Vet. Sci.* 8, 661063 (2021).
7. Pluess, B. et al. Malaria—a major health problem within an oil palm plantation around Popondetta, Papua New Guinea. *Malar. J.* 8, 56 (2009).
8. Hayden. (2007, October 17). Riau palm oil 2007 [Photograph]. Wikimedia Commons. Retrieved September 19, 2025, from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Riau_palm_oil_2007.jpg
9. World Health Organization. (2024, April 23). Dengue and severe dengue. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>
10. Bhatt, S. et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496, 504–507 (2013).
11. World Health Organization. (2024). World malaria report 2024: Addressing

- inequity in the global malaria response. Retrieved July 16, 2025, from <https://iris.who.int/handle/10665/379751>
12. backiris. (n.d.). Macro photo of yellow fever mosquito isolated on white background. Adobe Stock. <https://stock.adobe.com/images/macro-photo-of-yellow-fever-mosquito-isolated-on-white-background/310792013>
 13. Arif_Vector. (n.d.). A close-up or macro of a mosquito on a white background. Adobe Stock. <https://stock.adobe.com/images/a-close-up-or-macro-of-a-mosquito-on-a-white-background/493007039>
 14. Nadjib, M. et al. Economic burden of dengue in Indonesia. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **13**, e0007038 (2019).
 15. Zelman, B. et al. An investment case for eliminating malaria in Indonesia. 1st edn. (Global Health Group, University of California, San Francisco, 2017).
 16. Shepard, D. S., Undurraga, E. A. & Halasa, Y. A. Economic and disease burden of dengue in Southeast Asia. *PLoS Negl. Trop. Dis.* **7**, e2055 (2013).
 17. National Environment Agency. (2018, March 10). Focus is on reducing Aedes mosquito's breeding habitats. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.nea.gov.sg/media/lists/replies-issued-by-nea/focus-is-on-reducing-aedes-mosquito-s-breeding-habitats>
 18. Srichan, P. et al. Addressing challenges faced by insecticide spraying for the control of dengue fever in Bangkok, Thailand: a qualitative approach. *Int. Health* **10**, 349–355 (2018).
 19. Kasai, S. et al. Discovery of super-insecticide-resistant dengue mosquitoes in Asia: Threats of concomitant knockdown resistance mutations. *Sci. Adv.* **8**, eabq7345 (2022).
 20. Utarini, A. et al. Efficacy of Wolbachia-infected mosquito deployments for the control of dengue. *N. Engl. J. Med.* **384**, 2177–2186 (2021).
 21. Indriani, C. et al. Reduced dengue incidence following deployments of Wolbachia-infected *Aedes aegypti* in Yogyakarta, Indonesia: a quasi-experimental trial using controlled interrupted time series analysis. *Gates Open Res.* **4**, 50 (2020).
 22. Indriani, C. et al. Reduced dengue incidence following deployments of Wolbachia-infected *Aedes aegypti* in Yogyakarta, Indonesia: a quasi-

- experimental trial using controlled interrupted time-series analysis. *Gates Open Res.* 4, 50 (2020).
23. National Environment Agency. (2018, March 10). Focus is on reducing Aedes mosquito's breeding habitats. Retrieved July 16, 2025, from <https://www.nea.gov.sg/corporate-functions/weather/regional-world-forecast/lists/replies-issued-by-nea/focus-is-on-reducing-aedes-mosquito-s-breeding-habitats>
 24. Diabate, A. & Tripet, F. Targeting male mosquito mating behaviour for malaria control. *Parasit. Vectors* 8, 347 (2015).
 25. Charlwood, J. D. et al. The swarming and mating behaviour of *Anopheles gambiae* s.s. (Diptera: Culicidae) from São Tomé Island. *J. Vector Ecol.* 27, 178–183 (2002).
 26. Poda, B. S. et al. Spatial and temporal characteristics of laboratory-induced *Anopheles coluzzii* swarms: Shape, structure, and flight kinematics. *iScience* 27, 111164 (2024).
 27. Triana, M. F. & Melo, N. Dynamics of *Aedes aegypti* mating behaviour. *Curr. Opin. Insect Sci.* 65, 101237 (2024).
 28. van Breugel, F. et al. Mosquitoes use vision to associate odor plumes with thermal targets. *Curr. Biol.* 25, 2123–2129 (2015).
 29. McBride, C. S. et al. Evolution of mosquito preference for humans linked to an odorant receptor. *Nature* 515, 222–227 (2014).
 30. McMeniman, C. J. et al. Multimodal integration of carbon dioxide and other sensory cues drives mosquito attraction to humans. *Cell* 156, 1060–1071 (2014).
 31. Iikura, H. et al. Mosquito repellence induced by tarsal contact with hydrophobic liquids. *Sci. Rep.* 10, 14480 (2020).
 32. Baik, L. S. et al. Mosquito taste responses to human and floral cues guide biting and feeding. *Nature* 635, 639–646 (2024).
 33. Dennis, E. J., Goldman, O. V. & Vosshall, L. B. *Aedes aegypti* mosquitoes use their legs to sense DEET on contact. *Curr. Biol.* 29, 1551–1556.e5 (2019).
 34. Costa-da-Silva, A. L. et al. Female *Aedes aegypti* mosquitoes use communal cues to manage population density at breeding sites. *Commun. Biol.* 7, 143

- (2024).
35. Ponnusamy, L. et al. Identification of bacteria- and bacteria-associated chemical cues that mediate oviposition site preferences by *Aedes aegypti*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 105, 9262–9267 (2008).
 36. Melo, N. et al. Geosmin attracts *Aedes aegypti* mosquitoes to oviposition sites. *Curr. Biol.* 30, 127–134 (2020).
 37. Boullis, A. et al. Behavioural and antennal responses of *Aedes aegypti* gravid females to chemical cues from conspecific larvae. *PLOS One* 16, e0247657 (2021).
 38. Matthews, B. J., Younger, M. A. & Vosshall, L. B. The ion channel ppk301 controls freshwater egg-laying in the mosquito *Aedes aegypti*. *eLife* 8, e43963 (2019).
 39. Terra Drone Corporation. (2025, January 28). Terra Drone deploys advanced drones through “Terra Agri” service for bagworm control across 2,158 hectares of palm oil plantations in Indonesia and Malaysia. Retrieved September 3, 2025, from <https://terra-drone.net/global/2025/01/28/terra-drone-deploys-advanced-drones-through-terra-agri-service-for-bagworm-control-across-2158-hectares-of-palm-oil-plantations-in-indonesia-and-malaysia/>
 40. Kao Corporation. (2022, November 28). パーム農園でのガノデルマ病害モニタリング技術確立にむけ株式会社ポーラスター・スペースと業務提携開始. Retrieved September 3, 2025, from <https://www.kao.com/jp/newsroom/news/release/2022/20221128-001/>
 41. Lin, Y.-H. et al. Field deployment of *Wolbachia*-infected *Aedes aegypti* using uncrewed aerial vehicle. *Sci. Robot.* 9, eadk7913 (2024).
 42. Leblanc, L. et al. Comparison of ground release and drone-mediated aerial release of *Aedes aegypti* sterile males in southern Mexico: Efficacy and challenges. *Insects* 13, 347 (2022).
 43. Chen, H. et al. Mosquito swarm counting via attention-based multi-scale convolutional neural network. *Sci. Rep.* 13, 4215 (2023).
 44. Kato-Namba, A. et al. Surfactants alter mosquito’s flight and physical condition. *Sci. Rep.* 13, 2355 (2023).
 45. SORA Technology 株式会社. (2024, January 16). ドローンと AI を組み合わせ

- せたマラリア対策事業が JICA プログラムに採択 | 技術確立を目指し、感染者減少と生活水準の向上に貢献. Retrieved July 16, 2025, from https://sora-technology.com/news_ja/notification-0115/
46. whitepointer. (n.d.). Mosquito larvae and pupae in the water. Adobe Stock. <https://stock.adobe.com/images/mosquito-larvae-and-pupae-in-the-water/306916041>
 47. Cumberland County Mosquito Control Division. (2013, March 11). Mosquito control fact sheets. Retrieved September 3, 2025, from <https://millvillenj.gov/DocumentCenter/View/270/Mosquito-Control-Fact-Sheets>
 48. National Technology and Innovation Sandbox. (n.d.). National Technology & Innovation Sandbox (NTIS). Retrieved July 16, 2025, from <https://sandbox.gov.my/>
 49. Malaysian Research Accelerator for Technology & Innovation. (2024). MyDroneTech – Malaysia Drone Technology Action Plan 2022-2030 (MDTAP30). Retrieved September 3, 2025, from <https://mranti.my/innovators/connect/my-drone-tech>
 50. Norazman, N. A. & Rahman, W. M. Short report: Unmanned aerial vehicle for wide-area larvicide application against Aedes mosquitoes in Malaysia. *J. Infect. Dev. Ctries.*, 17(11), 1714-1718 (2023).
 51. Malaysian Research Accelerator for Technology & Innovation. (2025). Clean Agriculture Technology (CAT™). Retrieved September 3, 2025, from <https://mranti.my/tech-providers/clean-agriculture-technology>
 52. Mohamad, A. et al. Process optimization of palm oil mill effluent-based biosurfactant of *Halomonas meridiana* BK-AB4 originated from Bledug Kuwu mud volcano in Central Java for microbial enhanced oil recovery. *Processes* 8, 716 (2020).
 53. Mohd Asmadi, N. A. N. et al. Rhamnolipids production by *Pseudomonas aeruginosa* RW9 using palm oil mill effluent sludge oil as a carbon source. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 57, 103069 (2024).
 54. Nestlé. (2025). Responsibly sourced palm oil. Retrieved September 3, 2025, from <https://www.nestle.com/sustainability/sustainable-sourcing/palm-oil>

55. L'Oréal. (2025).

Palm oil — Ingredient. Inside Our Products. Retrieved September 3, 2025, from <https://inside-our-products.loreal.com/ingredients/palm-oil>