マレーシア国

マレーシアパームオイル委員会

マレーシア国
パームオイル工場の排水処理
高度化・資源循環利用
普及・実証事業
業務完了報告書

2017 年 8 月

独立行政法人

国際協力機構（JICA）

国内
JR(先)
17-085

阪神動力機械株式会社

目次

巻頭写真 i
略語表 ii
図表番号 iv
案件概要 vii
要約 viii
1. 事業の背景 1
(1) 事業実施国における開発課題の現状及びニーズの確認 1
① 事業実施国の政治・経済の概況 1
② パームオイル産業の状況 3
③ 対象分野における開発課題 9
④ 事業実施国の関連計画、政策（外交政策含む）および法制度 14
⑤ 事業実施国の対象分野における ODA 事業の事例分析及び他ドナーの分析 28
(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要 32
2. 普及・実証事業の概要 36
(1) 事業の目的 36
(2) 期待される成果 40
(3) 事業の実施方法・作業工程 40
(4) 投入（要員、機材、事業実施国側投入、その他） 43
(5) 事業実施体制 48
(6) 事業実施国政府機関の概要 48
3. 普及・実証事業の実績 51
(1) 活動項目毎の結果 51
① （活動結果１）活性汚泥処理システムの導入による実証試験 51
② （活動結果２）スラッジ炭化設備の導入による実証試験 80
③ （活動結果３）技術研修及び技術紹介セミナーの実施 95
(2) 事業目的の達成状況 124
(3) 開発課題解決の観点から見た貢献 127
(4) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献 130
(5) 環境社会配慮 130
① 事業実施前の状況 130
② 事業実施国の環境社会配慮法制度・組織 131
③ 事業実施上の環境及び社会への影響 131
④ 環境社会配慮結果 132

(6)　事業後の事業実施国政府機関の自立的な活動継続について 132
(7)　今後の課題と対応策 132
4.　本事業実施後のビジネス展開計画 134
(1)　今後の対象国におけるビジネス展開の方針・予定 134
①　マーケット分析（競合製品及び代替製品の分析を含む） 134
②　ビジネス展開の仕組み 137
③　想定されるビジネス展開の計画・スケジュール 139
④　ビジネス展開可能性の評価 140
(2)　想定されるリスクと対応 141
(3)　普及・実証において検討した事業化による開発効果 141
(4)　本事業から得られた教訓と提言 142
英文要約 143

巻頭写真

提案製品・技術：アクアレータ

スクリーン装置

炭化装置（本事業では小型装置を導入）

活性汚泥処理システムの導入(2016 年 3 月)

オペレータ教育（2016 年 3 月）

略語表

略語	日本語名称（正式名称）
ASM	活性汚泥処理方式（Activated Sludge Method）
BOD	生物化学的酸素要求量（Biochemical Oxygen Demand）
DOE	環境局（Department Of Environment）
EFB	パーム空房（Empty Fruit Bunch）
EPC	設計・調達・建設（Engineering、Procurement、Construction）
FELDA	FELDA パームインダストリー社 または その企業グループ
FFB	パーム果房（Fresh Fruit Bunch）
EiMAS	マレーシア環境研究所（Environment Institute of Malaysia）
FPISB	FELDA パームインダストリー社（FELDA Palm Industries S/B） 実証工場を経営する企業
JETRO	独立行政法人日本貿易振興機構
JICA	独立行政法人国際協力機構
MBR	メンブレンバイオリアクター（Membrane Bioreactor）
MJ	メガジュール（Megajoule）
MOA	実証事業に関する三者覚書（阪神動力機械、MPOB、FPISB）
MPOB	マレーシアパームオイル委員会（Malaysian Palm Oil Board）
MURC	三菱 UFJ リサーチ＆コンサルティング（Mitsubishi UFJ Research & Consulting）
NRCEP	認定環境プロフェッショナル国家登録スキーム （National Registry of Certified Environmental Professionals Scheme）
ODA	政府開発援助（Official Development Assistance）
PKS	パーム種皮（Palm Kernel Shell）
POM	パームオイル工場（Palm Oil Mill）
POME	パームオイル工場排水（Palm Oil Mill Effluent）
POMTEC	MPOB パームオイル工場技術センター（Palm Oil Mill Technology Center）
RSPO	持続可能なパーム油のための円卓会議（Roundtable on Sustainable Palm Oil）
SS	浮遊物質量（Total Suspended Solid、Suspended Solid）
TOT	MPOB による技術普及スキーム（Transfer of Technology）
TSS	総浮遊物質量（Total Suspended Solid、Suspended Solid）
UKM	マレーシア国民大学（Universiti Kebangsaan Malaysia）
UPM	マレーシアプトラ大学（University Putra Malaysia）

地図

地図出典：樹商事株式会社・世界地図 Web <http://www.sekaichizu.jp/>

図表番号

図

図 1 マレーシア実質 GDP 成長率（2005 年～2014 年）...2
図 2 各種植物油脂の世界生産量推移とパーム製品シェア(2004～2014 年) 3
図 3 国別パームオイルの生産量・輸出量の推移(2004～2014 年) 4
図 4 マレーシアとインドネシアのパーム農園面積推移(2004～2014 年)..................................4
図 5 国別パームオイル輸入量の推移(2004～2015 年)..5
図 6 マレーシアの品目別農業生産金額（2014 年、千 USD）..6
図 7 マレーシアのオイルパーム農園 地区別面積推移（2004～2015 年）...............................7
図 8 マレーシアのパーム関連製品価格推移（2004～2016 年）..8
図 9 マレーシアの河川水質の傾向（2005～2014 年）...12
図 10 パームオイル産業における環境品質法に関する指摘件数（2015 年）...........................22
図 11 技術普及スキーム 概要図（ヒアリングによる）..26
図 12 「グリーン経済推進プロジェクト」「SDBEC プロジェクト」概要図 30
図 13 パームオイル工場での排水処理の基本と活性汚泥処理の位置付け 37
図 14 パームオイル工場の排水フローと処理に関する課題 38
図 15 好気ポンドにおける問題点と提案技術の利点 39
図 16 JENGKA21 工場（実証工場）の全体図 51
図 17 実証試験を実施する活性汚泥ポンド概要図 及び 写真 52
図 18 各種エアレーション設備の課題とアクアレータの機能..55
図 19 撹拌状態の測定箇所...57
図 20 撹拌状態の測定結果（上部・中間部・底部における流速）..58
図 21 活性汚泥の分布状態の測定結果（上部・中間部・底部における MLSS 濃度）.............59
図 22 撹拌性能の CFD 解析結果① 62
図 23 撹拌性能の CFD 解析結果② 62
図 24 水質測定ポイントの設定...64
図 25 エアレーションタンク 1 から 3 の PH 状況（第 1 期）..64
図 26 エアレーションタンク 1 から 3 の MLDO の状況（第 1 期）..65
図 27 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 1 期）...................................66
図 28 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 1 期）...................................66
図 29 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 1 期）...........................67
図 30 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 1 期）.....................................67
図 31 エアレーションタンク 1 から 3 の PH 状況（第 2 期）..68
図 32 エアレーションタンク 1 から 3 の MLDO 状況（第 2 期）...69
図 33 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 2 期）...................................70

図 34 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 2 期）....................................70
図 35 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 2 期）............................71
図 36 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 2 期）....................................71
図 37 エアレーションタンク 1～3 の PH の状況（第 3 期）..72
図 38 エアレーションタンク 1～3 の MLDO の状況（第 3 期）...72
図 39 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 3 期）.....................................73
図 40 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 3 期）....................................73
図 41 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 3 期）............................74
図 42 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 3 期）....................................74
図 43 表面曝気装置とアクアレータの BOD 除去率の比較..75
図 44 溶解性 BOD 成分比率（累積頻度）第 3 期..76
図 45 BOD 除去率（左）と溶解性 BOD の除去率（右）第 3 期...76
図 46 スラッジ由来加工品の試作原料採取場所..81
図 47 集約化システム イメージ..85
図 48 実証工場におけるの POME フロー（現地取材における推定）....................................89
図 49 炭化収率グラフ（左：低温炭化、右：高温炭化）...90
図 50 高位発熱量グラフ （炭化温度別）..91
図 51 スラリー、スラッジの組成割合と高位発熱量...92
図 52 工業分析と発熱量：凝集圧搾塊（左）、コンポスト（右）炭化品...............................92
図 53 工業分析と発熱量：EFB（左）、PKS（右）炭化品...93
図 54 EIMAS 内に設置された各種トレーニング用設備...101
図 55 メンテナンストレーニング写真...113
図 56 炭化セミナー写真...115
図 57 ポスター発表コンテンツ..128
図 58 既存の処理方式、高度処理方式、本提案方式の比較..136
図 59 ビジネスの予想収益状況...139

表

表 1 マレーシアの製品別輸出額（通関ベース）..6
表 2 マレーシアパーム農園、パームオイル工場の概況（2015 年）...8
表 3 MPOB によるパームオイル工場排水、周辺河川上流・下流の水質調査結果....................11
表 4 MPOB におけるパイロットプラント（排水処理関連のみ抜粋）....................................13
表 5 パームオイル工場における公共水域への排水基準（最終放流）.....................................19
表 6 排水処理ライセンスの区分別工場数...21
表 7 パームオイル産業における環境品質法に関する指摘件数..22
表 8 サバ州生物多様性戦略におけるパームオイル関連の活動計画...24

表 9 直近のＴＯＴスキームでの紹介技術数と排水処理関連技術..27
表 10 諸外国の対マレーシア経済協力実績　（支出純額ベース、合計単位：百万 US ドル）..28
表 11 環境分野に関する日本国の対マレーシア ODA 実績（2007 年度以降終了のもの）......28
表 12 パームオイル分野に関する国際機関の対マレーシア経済協力実績................................29
表 13 供与資機材リスト..43
表 14 実験備品リスト（上記の供与機材リストの 8,9 の詳細）..43
表 15 スラッジ炭化試験の原料、加工内容、分析項目...82
表 16 炭化品に関するヒアリング先リスト..83
表 17 スラッジ由来の炭化の試験分析項目..89
表 18 オペレータ教育（第 1 回）参加者リスト..105
表 19 オペレータ教育（第 2 回）参加者リスト※..106
表 20 炭化セミナー参加者..114
表 21 本事業の目的の達成状況（BOD 値の低減への貢献）...124
表 22 本事業を通じた接触状況まとめ..126
表 23 パームオイル企業グループの概況..134
表 24 ビジネスの予想収益状況...139

案件概要

マレーシア

水の浄化・水処理

パームオイル工場の排水処理
高度化・資源循環利用 普及・実証事業
阪神動力機械株式会社（大阪府）

H25補正 普及・実証 事業

マレーシアの開発ニーズ

- 主要産業の一つであるパームオイル工場排水の放流基準の強化方針（BOD上限値20mg/L）がある中、低コストで安定処理するための技術が不足
- 排水処理の高度化投資に対するる工場側のインセンティブが欠如、いまだ不順守指摘も多い

普及・実証事業の内容

- 強力な曝気能力を有するアクアレーターをコアとする「活性汚泥処理システム」の実証のための導入（ハードによる実証）
- 「炭化炉」の導入による排水汚泥等の有効活用による工場側インセンティブ向上（ハード）
- 活性汚泥処理のマネジメント力の向上を目的とした現地研修の実施、及び研修コンテンツ作成（ソフト強化による技術普及）

中小企業の技術・製品

阪神動力機械アクアレータ

ー曝気と撹拌を効率的・効果的に行うことができ、好気性微生物の活動を活発化させる効果（実績では90%以上の汚濁負荷量の除去が可能）

ー極めて高いエネルギー効率、曝気性能を実現

ー日本では下水処理場の6割に導入される信頼ある技術ながら、現地には存在しない技術

（その他 構成装置）

東洋スクリーン工業 スクリーン装置
(Team E-Kansai)

関西産業 乾燥機、炭化炉

マレーシア側に見込まれる成果

- BOD上限値20mg/Lに強化される放流基準の順守に寄与する技術の確保、水質汚濁の軽減
- 活性汚泥処理に関するキャパシティビルディングを通じた人材の育成、技術移転

日本企業側の成果

現状

- 政府機関であるマレーシアパームオイル委員会（MPOB）との協働、MPOBを通じた技術普及機会の取得
- マレーシア民間工場から16台のアクアレータを受注・販売（2016年1月時点）

今後

- 大阪府や「関西・アジア 環境・省エネビジネス交流推進フォーラム（Team E-Kansai）」をハブとした大阪・関西地域にある中小企業等へのさらなる事業機会の拡大

要約

Ⅰ．提案事業の概要	
案件名	パームオイル工場の排水処理高度化・資源循環利用 普及・実証事業
事業実施地	マレーシア国パハン州 FELDA パームインダストリー社 / Jengka21 工場 （Felda Jengka 21 Palm Oil Mill, Bandar Pusat Jengka, 26400, Pahang）
相手国 政府関係機関	マレーシア国 マレーシアパームオイル委員会（Malaysian Palm Oil Board）
事業実施期間	2015 年 4 月～2017 年 9 月
契約金額	99,998,280 円（税込）
事業の目的	マレーシアにおける公害対策の促進、開発と環境の調和に貢献すべく、排水処理の高度化を目的とした「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」、及び排水処理汚泥等の有価物化を目的とした「スラッジ炭化設備」が、低コストかつ安定的に BOD 値 20mg/L 以下の実現に寄与する処理方法として有効であることを実証した上で、本製品・技術の普及を図る。
事業の実施方針	＜事業の基本方針＞ 本事業では、設備能力の実証試験（ハード面での対応）にとどまらず、現地での排水処理技術に関する人材育成（ソフト面での対応）を進めることを方針とする。 特に活性汚泥処理方式は、汚泥の状況（そこに存在する微生物の種類や優位状態）を的確に把握し適切な手を打つことにより、その処理能力が大きく変わる。そのための技術移転を行うことが設備能力を最大限に発揮するための鍵となるため、日本の大学で活性汚泥法の講義・実験指導をしている専門人材を招聘し、現地及び本邦での技術教育や研修を行う。 ＜実施方法＞ ① 活性汚泥処理システムの導入による実証試験 ② スラッジ炭化設備の導入による実証試験 ③ 技術研修及び技術紹介セミナーの実施

実績	1. 実証・普及活動 (1) 機材設置状況・実証試験の状況 2015年12月29日のMOA締結を受け、2016年1月から2016年2月にかけて機材を実証工場に導入開始した。アクアレータ、スクリーン装置、活性汚泥試験機は2016年2月、乾燥機・炭化炉は2016年4月に動作確認・検収を完了した。 その後、アクアレータ・スクリーン装置については2016年4月～6月（第1期・通常期)、2016年11月～2017年1月（第2期・浚渫期)、2016年2月～4月（第3期・通常期）と水質モニタリングを行った。また乾燥機・炭化炉については、2016年4月、2016年8月に炭化実証試験・分析を行った。 (2) 事業実施国政府機関との協議状況 阪神動力機械、MPOB、FPISBによる実証事業に関する三者覚書（MOA）は2015年12月29日付けでサインが完了し発効した。 阪神動力機械、MPOB、FPISBによるプロジェクトコミッティを2015年5月（プレ実施)、2015年10月、2016年2月、及び以降は教育プログラム等に合わせて（2016年3月、2016年9月、2016年11月）各種協議を行った。 (3) 現地オペレータトレーニング 2016年3月23～24日（2日)、及び2016年9月6日（1日）に、実証工場においてオペレータトレーニングを実施した。 また2016年8月22日には炭化に関するミニセミナーを実施した。 さらに2016年11月29日～12月1日（3日）には、オペレーション教育の一貫としてメンテナンス要員の育成のためのメンテナンストレーニングを行った。 (4) 本邦招聘活動 2016年7月にMPOB及び公共団体が運営するパームオイル公社の関係者11名を本邦に受け入れ、アクアレータの導入と脱色工程のある京都市の下水処理場の見学、大阪工業大学における排水管理ラボの見学、大阪府・大阪市の産業排水行政の担当部局とのディスカッション、京都府南丹市のバイオガス利活用施設、名古屋で開催された下水道展の見学などを実施した。 (5) 普及活動 第1期における成果発表として、2016年11月にMPOBが開

	催するパームオイル産業ナショナルセミナー（POMREQ）にて MPOB との共同論文のポスター発表、及び展示ブースでの紹介活動を行った。 また当初計画にはなかったが、JICA/JST 共同の SATREPS プロジェクト「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」と協働し、当該プロジェクトの実証工場であるケニンガウパームオイル工場にミニチュアアクアレータを導入し、2017 年 3 月のセミナーで紹介した。 2.　ビジネス展開計画 (1) 現地におけるエンジニアリング会社である Spektra 社、現地エージェントである O'rec 社と供給体制の整備、及び個社訪問・普及活動を実施した。本事業を通じて施工、運用支援、メンテナンスについては現地企業にて実施できる体制が整った。 (2) 汚泥炭化製品のニーズについて、土壌改良材用途、エネルギー用途のそれぞれについて現地企業へのヒアリングを行った。
課題	1.　実証・普及活動 ・環境局（DOE）による排水規制値の強化スケジュールが後ろ倒しになっている（最新情報では 2017 年内には制定予定）。改正に向けたプロセスは動いてはいるものの、規制値強化の圧力が強く働いていない。但し法令遵守のための改善ニーズの顕在化時期が後ろ倒しとなっているだけであり消滅したわけではない。 ・活性汚泥処理システムによる排水浄化については、実証試験の結果として BOD 値において最大想定除去率 93.1％と当初想定の 95％に近い結果が得られた。また溶存酸素量の改善（酸素供給が改善）、ポンド内の流速の均一化（良く撹拌されている）が確認された。 ・炭化試験については実証工場では嫌気発酵タンクにて炭素分の回収を図っていることから、残留した汚泥には炭素分がほとんど残っておらず炭化品として成立しない状況が確認された。また脱色吸着剤としての期待もあったが、実証試験の結果、恐らくカロテン由来となる色素の脱色効果は得られなかった。 ・実証工場から得られた EFB やコンポストの炭化品についてはエネルギー密度の高い原料としての可能性が確認された。 2.　ビジネス展開計画 ・本事業の実証機導入にて現地での供給体制は確立された。 ・MPOB の実施する他のパイロット技術などに対する競争優位性

	を明確にし、今後の具体的な営業方針の確立を行うことが必要である。
事業後の展開	・実証工場と同様の処理システムを有している FELDA 社のパームオイル工場（大規模改修を予定していない工場を中心に）、MPOB より指導を受けているパームオイル工場（中堅企業の工場）等を初期ターゲットとしてビジネス展開を試みる。本事業を通じて、工場数では 130 工場を所有する企業との接点を得られた。 ・また同様に排水問題を抱えるゴム関連産業、化学産業、食品産業に対してもアプローチする。 ・同時に、パームオイル産業の盛んなインドネシアに対してもアプローチを行う。
Ⅱ．提案企業の概要	
企業名	阪神動力機械株式会社
企業所在地	大阪府大阪市此花区四貫島 2-26-7
設立年月日	昭和 25 年 11 月 13 日
業種	製造業
主要事業・製品	・水処理設備用機器 ・河川施設用機器・歯車減速機 ・産業設備用機器
資本金	7,260 万円
売上高	約 22 億円
従業員数	100 名

1. 事業の背景

(1) 事業実施国における開発課題の現状及びニーズの確認

① 事業実施国の政治・経済の概況

1）政治概況

マレーシアはマレー系（約 67%）、中国系（約 25%）、インド系（約 7%）、その他（約 1%）からなる多民族国家であり、民族の融和および国民統合が重要課題となっている。1970 年代からは民族間の不均衡を是正するため、経済的・社会的に立ち遅れたマレー系をあらゆる面で優遇するブミプトラ政策を実施してきた。

政治体制は、9 州のスルタンの中から 5 年任期で互選される立憲君主制をとっている。国会（連邦議会）は上院、下院の二院制であり、70 議席の上院は任命制、222 議席の下院は国民の直接投票によって選出される。下院は上院より大きな権限を持ち、首相は下院において多数の信任を得ている議員から国王が任命する。

マレーシアの首相は、1957 年の独立以降一貫して統一マレー国民組織（UMNO）の総裁が務めており、現内閣は 2009 年に樹立したナジブ政権である。ナジブ首相は就任以降、「1(one, satu) Malaysia」をスローガンに掲げた民族融和や各種産業におけるブミプトラ資本規制緩和等を進めてきた。

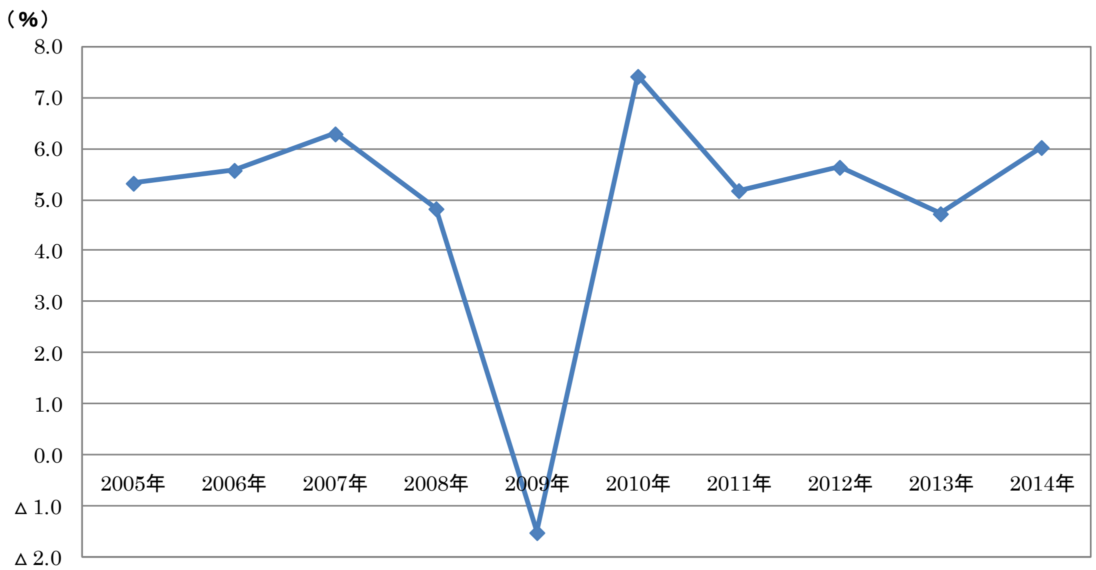
日本国とはナジブ首相の 2010 年の来日時に共同首脳声明「新たなフロンティアへ向けて強化されたパートナーシップ」を発表している。共同首脳声明は、①平和と安定のための協力、②競争力強化と持続的成長のための協力、③環境・エネルギー分野での貢献のための協力、④人材育成および交流促進のための協力から構成される。特に、③環境・エネルギー分野については「日・マレーシア環境・エネルギー協力　イニシアティブ」を発表し、環境分野において両国の協力の深化、および国際的な課題等について両国間で協議していくとしている。

2）経済状況

マレーシアの経済は、独立後、政府の積極的な金融政策および安定した政情を背景にこれまで堅調に発展してきた。

かつてはゴムや錫に依存したモノカルチャー経済だったが、1985 年以降は外資規制緩和による工業化政策を通じて著しく発展し、以降 1997 年のアジア経済危機まで年平均 8%以上の高い経済成長率を達成した。同危機の影響を受け 1998 年はマイナス成長になったものの、積極財政・金融緩和による景気刺激策、為替レートの米ドルへの固定（2005 年 7 月に管理変動相場制に移行）、日本からの資金援助等により 1999 年第 2 四半期には回復し、2008 年の世界経済危機まで年平均成長率 5%以上と堅調に発展をとげた。2010 年には内需の回復および中国経済に牽引され 7.2%の成長率となったが、近年では原油価格の低迷に伴い、主要産業であるパームオイル製品の価格が下

落しており、マレーシア経済に影を落としている。



ﾃﾞｰﾀ出典：JETRO「国・地域別情報 マレーシア基礎的経済指標」

図 1 マレーシア実質 GDP 成長率（2005 年～2014 年）

2015 年 6 月には「第 11 次マレーシア計画」が発表された。この中では 2016～2020 年の平均経済成長率を 5～6%を目標とし、2020 年には一人あたりの国民総所得を先進国入りの目安である 15,000 ドル以上（RM54,100）、世帯収入を 72%向上させることが目標とされている。

また経済的な発展だけを指標とするのではなく、国民の福祉、包括的でサステナブルな発展等、先進国として備えるべき特徴にも配慮するとしている。そのため、①公平な社会に向けた包容力の強化、②全ての国民の福祉の向上、③先進国となるための人材開発の加速、④持続可能でしなやかなグリーンな成長の追及、⑤経済拡大を支えるインフラストラクチャーの強化、⑥一層の繁栄のための成長戦略の再構築を戦略の 6 つの柱として掲げている。

パームオイル産業については、⑥一層の繁栄のための成長戦略の再構築において、製造業の活性化（Focus area B）の中心的な産業として位置付けられており、また農業の近代化（Focus area C）においては、MPOB をはじめとする政府系研究機関の牽引の下で、技術の近代化、持続可能な手法の開発、気候変動の影響緩和等を進めることが謳われている（Strategy C3）。また、製品認証（マレーシアパームオイル認証：MSPO）により自然環境への配慮等の持続可能性への対応を含めて国際市場に受け入れられる製品づくりをするとしている。

② パームオイル産業の状況

1）世界市場

パーム油は他の植物油に比べ生産性・汎用性の面で優位にあり[1]、マーガリンやショートニング等の食用油だけでなく、パームカーネルオイル（核油）に由来する洗剤・化粧品などオレオケミカルと呼ばれる化学品産業界でも広く使用されている。また、近年はバイオディーゼル燃料の原料としても注目されている。

2014 年の全世界のパームオイル（果実油）、パームカーネルオイル（核油）の生産量は合計 63,932 千ｔに達し、植物油脂の生産量 173,264 千ｔの約 37%を占め、植物油脂では最多の生産量を誇る。

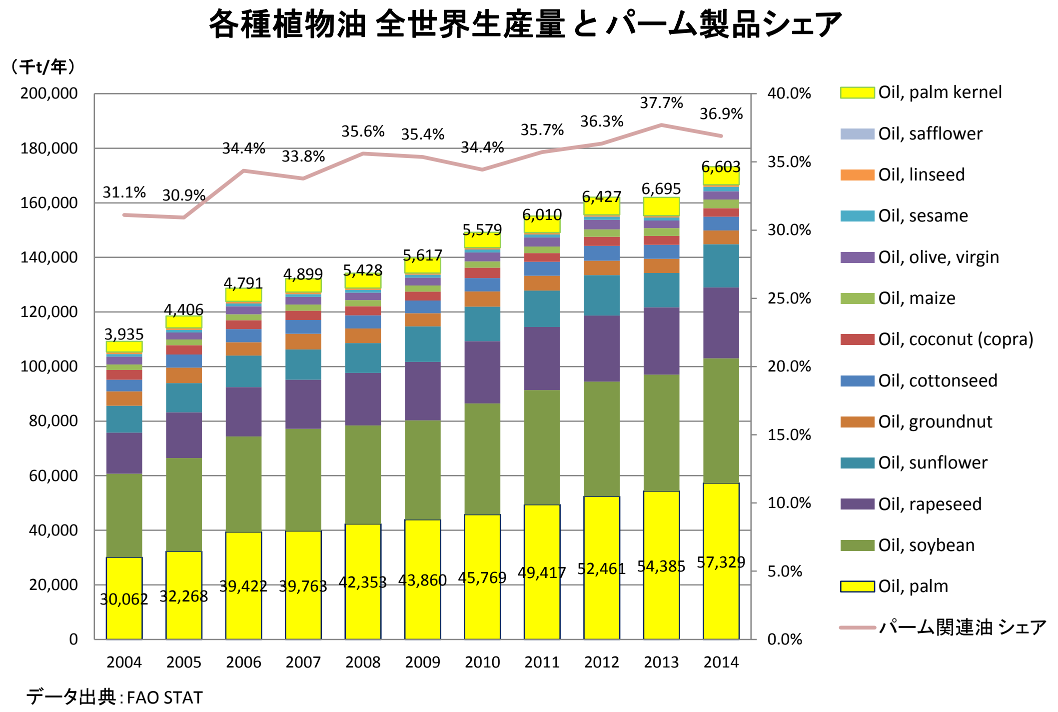


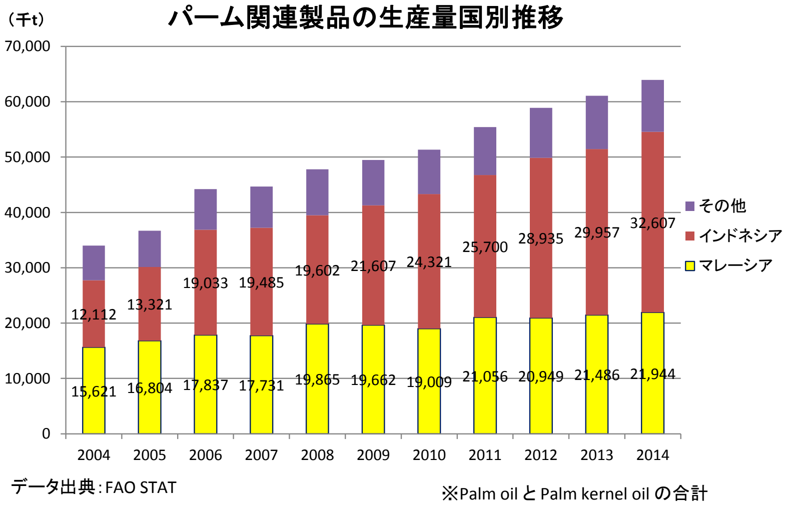
図 2 各種植物油脂の世界生産量推移とパーム製品シェア(2004～2014 年)

国別の生産量では、2014 年はインドネシア 29,957 千ｔ（世界 1 位、51％）、マレーシアが 21,486 千ｔ（2 位、34％）が突出しており、2 か国で全世界の生産量の約 85%を占めている。輸出量においても同様の傾向であり、2013 年はインドネシア 22,223 千ｔ（世界 1 位）、マレーシア 16,083 千ｔ（2 位）、両国で 85％を占めている。

2004 年にはほぼ同程度であったパームオイル農園面積について、インドネシアは直近 10 年で農園面積を 2 倍以上に拡大（2004 年 332 万 ha から 2014 年 740 万 ha）している一方、マレーシアでは特に半島マレーシアでの開拓の停滞から農園面積が頭打ちになりつつあることがその背景にある（後述、図 7 参照）。

---

1 パーム油は大豆、菜種などの植物油に比して、飽和脂肪酸（パルチミン酸）を多く持つ油として知られており、酸化、加熱に対する安定性が高いことから利用が進んでいる



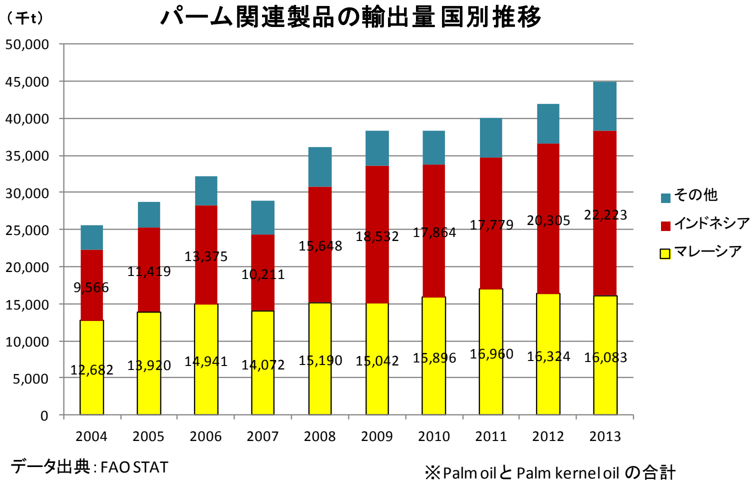


図 3 国別パームオイルの生産量・輸出量の推移(2004～2014 年)

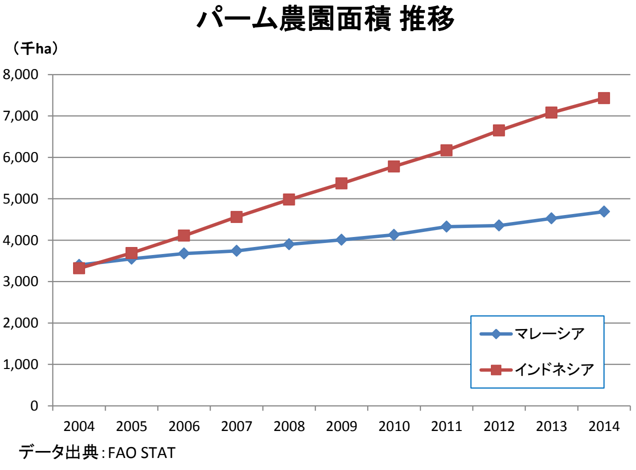


図 4 マレーシアとインドネシアのパーム農園面積推移(2004～2014 年)

前述のように使用用途に富み、加えて相対的に安価であることから、世界市場での消費量は増加傾向にあり、2004 年の 30,248 千 t から倍増し、2015 年には 61,222 千 t に達した。

地域別には原産国であるインドネシア（7,580 千 t）、マレーシア（2,916 千 t）に加え、インド（9,310 千 t）、中国本土（5,880 千 t）、パキスタン（2,560 千 t）、ナイジェリア（2,410 千 t）などの新興国・発展途上国が上位を占めると共に、EU（7,168 千 t）、アメリカ（1,042 千 t）などの先進国でも消費量が増加している。なお、日本の消費量は 600 千 t に達し増加している。

世界全体では今後もパームオイル消費量は伸びるものと考えられる。

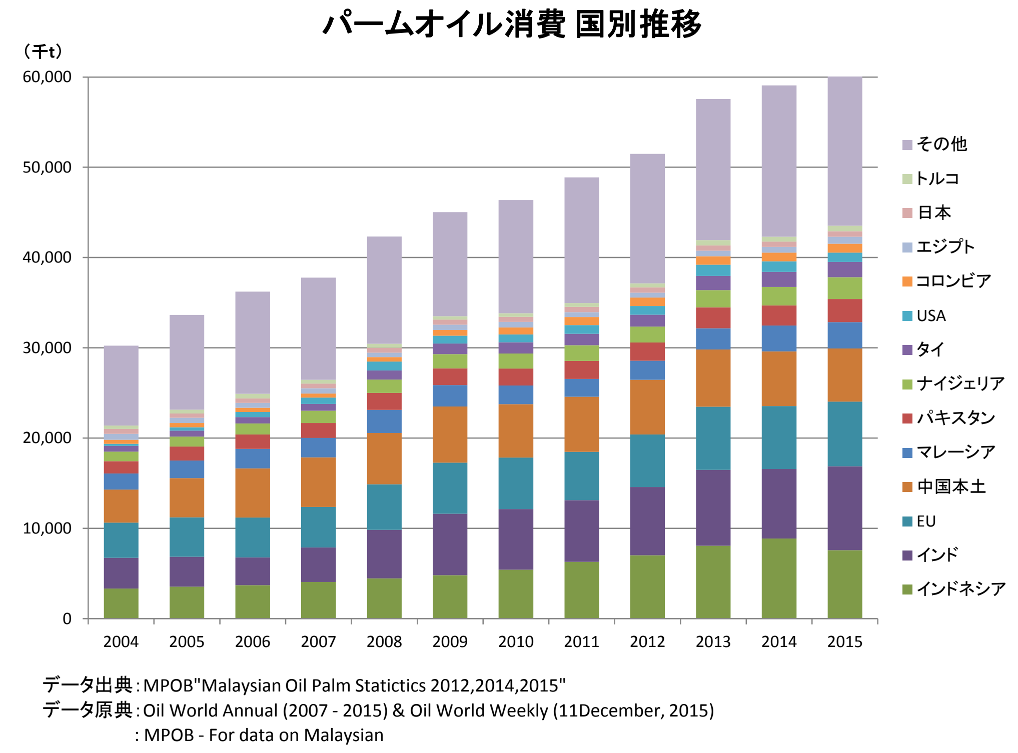


図 5 国別パームオイル輸入量の推移(2004～2015 年)

なお、2014 年にはインドネシアは生産量のうち約 30.4%を自国で消費しているが、マレーシアの自国での消費割合は約 14.5%であった。人口規模も差異もあり、マレーシアはより輸出に重点が置かれた産業であることが分かる。

また、マレーシアの大手パームオイル企業はインドネシアへの進出も進めている。例えば FELDA グループはインドネシア領カリマンタンに進出し農園を展開、また SIME DARBY グループも 280,000ha の農園をインドネシア内に所有している。

２）マレーシアにおける産業規模

マレーシアにおけるパームオイル産業は、マレーシア諸州政府の支援のもと、1917年に初めて商業的な作付けが実施された。その後、ゴム栽培依存からの脱却という政府の方針を背景に当時の連邦土地開発局（Federal Land Development Authority、2003年に民営化し、現 Felda Holdings）が大規模パーム農園を展開し、20世紀後半に急速に拡大し、2014年現在世界第2位の生産国にまで成長している。

2015年には、マレーシアの輸出総額779,947百万RMの内、電気・電子製品に続きパームオイル産業による輸出額は8.1%を占め、マレーシアの基幹産業といえる規模に成長している。

表1 マレーシアの製品別輸出額（通関ベース）

	2014年	2015年		
単位：百万RM、%	金額	金額	構成比	伸び率
電気・電子製品	256,145	277,923	35.6%	8.5%
パーム油・同製品	66,073	63,215	8.1%	△4.3%
液化天然ガス（LNG）	63,750	47,070	6.0%	△26.2%
石油製品	60,415	41,439	5.3%	△31.4%
原油	32,723	26,075	3.3%	△20.3%
合計（その他含む）	765,417	779,947	100.0%	1.9%

出典：JETRO Webサイト[2]

農産品における生産総額では、2014年のパーム関連製品（パームオイル、パームカーネルオイル）の生産割合が63.9%を占め、生産金額は約100億USドルと一次産業を牽引する存在となっている。

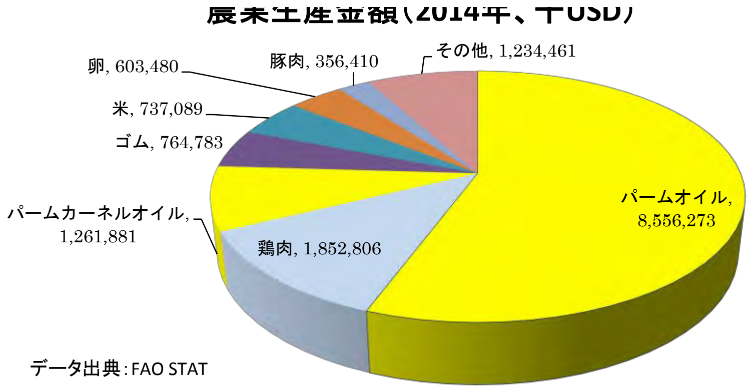


図6 マレーシアの品目別農業生産金額（2014年、千USD）

[2] 出典：JETRO Webサイト>国・地域別に見る>アジア>マレーシア>輸出統計(品目別)
https://www.jetro.go.jp/world/asia/my/stat_03.html 2017年5月閲覧、原データはマレーシア統計局

産業規模の拡大に歩調を合わせて、パーム農園の面積はマレーシア全土で 5,642,943ha（2015 年）に達し、国土の約 15%を占めるに至った。さらに世界的なパームオイルの消費拡大を受け、年間 3～4%程度農園の面積は拡大を続けている。

2015 年における州別集計ではサバ（1,544,223ha）、サラワク（1,439,359ha）で面積が大きく国全体の 5 割以上を占める。また半島マレーシアでは開発適地が減少していることもあり、農園拡大の大半がサバ・サラワクとなっている。また、ジョホール（733,467ha）、マラッカ（52,849ha）ではパーム農園の面積が州の面積の 3 割以上に上る。

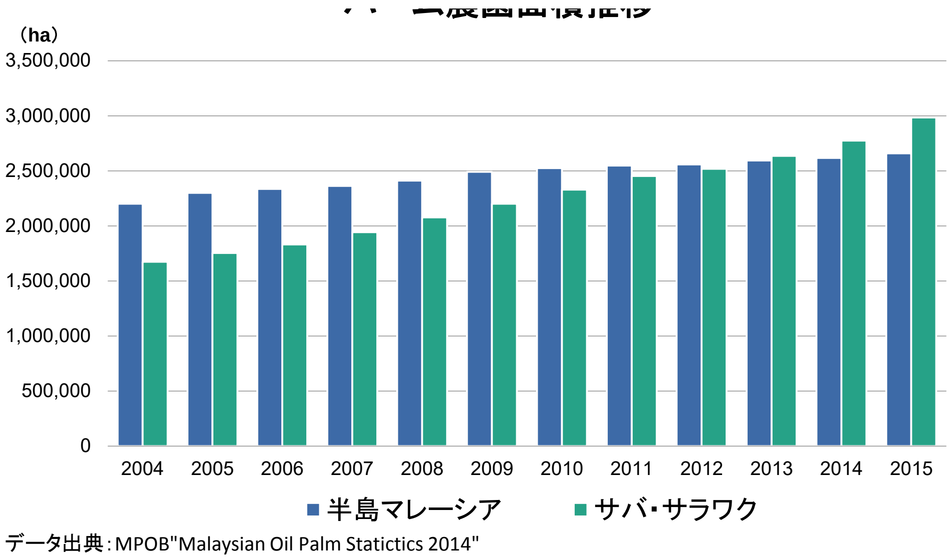


図 7 マレーシアのオイルパーム農園 地区別面積推移（2004～2015 年）

パームオイル工場については、国内で稼働中のもので 445 工場（2015 年）にのぼり生産能力はマレーシア全土の稼動中工場 108,396,400t FFB/年に達する[3]。生産能力ベースではサバ州（全体の 31%）、サワラク州（17%）、半島マレーシアではジョホール州（15%）、パハン州（15%）、ペラ州（10%）の 5 州で全国の 87%を占めている。なお直近（2017 年）では合計 453 工場に達している。

工場数は増加傾向にあり 2012 年の 432 工場（稼働中工場）から 5 年間で 20 工場以上、約 4%増えている。生産能力も 102,342,400t-FFB/年（2012 年）から 108,396,400t FFB/年（2015 年）まで 6%増加している。

[3] FFB とはフレッシュ・フルーツ・バンチ、つまり収穫した状態のパーム果実をさす。一般的にパームオイル工場の生産量は時間あたりの処理可能 FFB 量で示される。

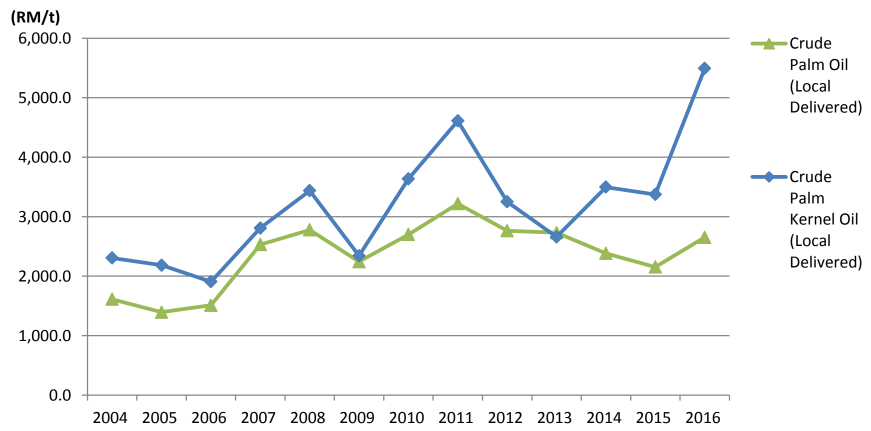
表 2 マレーシアパーム農園、パームオイル工場の概況（2015 年）

州	国土面積	パーム農園の面積	農園面積比率	工場数	
				数量	精製能力
単位	ha	ha	%	-	tFFB/年
Malaysia全体	32,984,700	5,642,943	17.1%	445	108,396,400
Sabah	7,611,500	1,544,223	20.3%	129	33,763,200
Sarawak	12,445,000	1,439,359	11.6%	73	18,297,000
Johole	1,998,400	739,583	37.0%	61	15,885,400
Pahang	3,596,400	725,239	20.2%	71	15,692,200
Perak	2,100,600	398,314	19.0%	45	10,302,800
Terengganu	1,295,500	172,587	13.3%	13	3,317,600
Negeri Sembilan	664,500	177,741	26.7%	15	3,509,400
Selangor	795,600	137,336	17.3%	17	3,329,600
kelantan	1,492,200	151,973	10.2%	10	1,679,200
Kedah	942,600	87,244	9.3%	6	1,564,000
Malacca	165,000	54,603	33.1%		
Penang	104,630	14,447	13.8%	5	1,056,000
Perlis	81,000	294	0.4%		

データ出典：MPOB"Malaysian Oil Palm Statictics 2015"

パームオイル価格は、およそ 2,500RM/t で推移していたが、2016 年には年末にかけて価格が高騰し年間平均価格が 2,653RM/t まで 23.2%上がった。エルニーニョ現象による降雨量の減少により 2016 年前半の単位面積当たりの FFB 生産量不足が、年後半の在庫減少と価格高騰を招いたものである[4]。また異常気象により他の植物由来油が高騰する中、為替における対ドルのリンギット安も加わり、リンギットベースでは輸出金額が伸びたことも一因である。

パーム核油（Clude Palm Karnel Oil）の価格高騰は、ココナッツオイル等の脂肪酸の価格高騰と連動しているものである。



データ出典：MPOB"Malaysian Oil Palm Statictics 2015"
（2016年はMPOB"OVERVIEW OF THE MALAYSIAN OIL PALM INDUSTRY 2016"）

図 8 マレーシアのパーム関連製品価格推移（2004～2016 年）

[4] MPOB"OVERVIEW OF THE MALAYSIAN OIL PALM INDUSTRY 2016"

③　対象分野における開発課題

1）マレーシアのパームオイル産業に関連する開発課題

前述の通り、マレーシアにおけるパームオイル産業は確実に伸長し、国の基幹産業化を果たしてきた。その側面においてはマレーシアの経済発展の一翼を担い、雇用を創出し、多様な用途に使われる輸出商材を生み出してマレーシアの貿易黒字基調を作りだす等、様々な貢献を果たしている。

他方、拡大するパーム農園による自然林の縮小や生物多様性への負荷増大と、パームオイル工場からの残渣燃焼による排ガス（ばい煙）や大量の工場排水等、環境面への影響が無視できない状態にある。なお、ばい煙（ヘイズ）についてはマレーシア国内の産業によるもの以上に、インドネシア（スマトラ島、カリマンタン島等）で発生する自然森林火災による影響が大きい。通常は雨季の到来により自然消火するが、近年は気候変動の影響もあって雨季の始まりが遅くなり、大量のヘイズがマレーシアに到来している。

これらの状況を受けマレーシア政府でも、環境局（DOE）を中心に環境規制とモニタリングを強めてきている。

<u>パーム農園による生物多様性への負荷</u>

マレーシアは世界の“メガダイバーシティ 12 カ国(極めて豊かで多様な生物種が生息する国）”の一つと考えられており、鳥類は 1,200 種前後（世界 9 位）、爬虫類は 294 種（世界 9 位）等、アジアを代表する生物多様性を誇っている。特にサバ・サワラクではパームオイル農園の開発により、2004 年からの 10 年間でも 100 万 ha が新たに農地転換されており、一部の地域（例えばサバ州のキナバタンガン川流域等）では単一相森林（パーム農園）が自然林を分断し野生生物の生息地が縮小する懸念が示されている。

JICA が支援するボルネオ生物多様性・生態系保全プログラムのフェーズ２（BBECⅡ、2007～2012 年）では、「サバ州生物多様性戦略（2012～2022 年）」の策定を支援している。この中では、パームオイル産業を含めた現地での雇用や収入への配慮を行いつつも、持続可能な森林マネジメントを的確に行い、絶滅危惧種の生息状況によって保護する価値の高い商業林を保護すること等が謳われている。また野生生物への影響についても懸念が示され、パーム農園に転換されやすい低地の保護、パーム農園の外国人労働者による密猟の撲滅等の必要性が示されている。

<u>パームオイル工場における環境負荷</u>

1998 年の環境法（Environmental Quality Act 1974）改正では野焼きの全面的な禁止が盛り込まれ、パームオイル工場でも残渣の野焼きをやめている。現在ではパーム残渣は、パーム農園に肥料（EFB に含まれるカリウム分の土壌への補充を目的とする

とされている）として散布されるか、工場内のバイオマスボイラー燃料（パーム加工の初期工程で利用する大量の蒸気をまかなうとされる）として利用されるようになった。しかし、一部の工場ではバイオマスボイラーの余剰蒸気が大量に発生する等、野焼きできなくなった残渣をボイラー燃料の名目で燃やしている例もあるとされている。

またパームオイル工場排水は、産業排水の中でも非常に有機性汚濁物質が高濃度（BOD 値 25,000mg/L 程度）であり、その処理が長年の課題となっている。後述する通りパームオイル産業を目的とした環境法である“Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) Regulations 1977”においても排水処理基準（最終放流地点で BOD 値 100mg/L）の順守は重要なポイントの一つとなっている。

<u>パームオイル工場排水に関する課題</u>

パームオイル工場排水についてマレーシア政府は、上水の未整備地域の“生活の質”の確保、および世界的に希少な自然保護（オランウータン生息地等）等の目的のために、パームオイル工場等の排水基準の強化を検討し、生活用水の水源である河川の水質改善に着手している。近年でもパームオイル工場からの排水や排出物が、漁業への悪影響、健康被害、河川水の悪臭や色素等の汚染を引き起こしている例も報告されており、対応が求められている。

①課題事例：Kedah 州 Bakong 川（マレーシア半島 ペナン島近郊）[5]

2011 年 3 月、ペナン消費者団体（CAP）はクダ州環境事務局（JAS）に対して産業廃棄物を河川に廃棄することで Bakong 川の汚染を引き起こしたパーム油製造会社に対する毅然とした措置を要求。2009 年にも CAP は JAS に改善要請したが、何の対策も取られていなかった。

Bakong 川の水は黒く濁り、異臭を放っており、結果として流域の魚が減少する等の地域住民の生活の糧となる漁業にも打撃を与えている。CAP はこのまま放置すれば汚染区域の拡大と地域住民の健康被害を引き起こす可能性があるとみている。

②課題事例：Sabah 州 Ambual 川（ボルネオ島）[6]

1,000 人を超えるアンブアル村の村民達は、2008 年にアンブアル川上流に建設されたパーム油製造工場からの廃水によって汚染された河川の水を、飲料や入浴など生活用水として使うことを余議なくされている。搾油済みヤシ廃棄物をアンブアル川へ流れ込む支流へ廃棄していることが汚染の原因と考えられている。

アンブアル村の発展・治安委員会（Jawatankuasa Kemajuan dan Keselamatan）は、地下水濾過装置あるいはより上流から取水するシステム導入が必要としている。

---

[5] 出典：Berita Harian（マレーシア地元紙） 2011 年 3 月 2 日
[6] 出典：Utusan（マレーシア地元紙） 2013 年 2 月 8 日

アンブアル川の水は真っ赤に変色し、時折黒くなることもある。また、川で水浴びをしたのち全身が痒くなるなどの健康被害も報告されている。

③MPOB と DOE による調査結果[7]

MPOB と DOE が 2011 年に共同で行った調査では、サバ州の 14 工場における排水 BOD 値、工場所在地の流域河川における上流 BOD 値、下流 BOD 値をサンプリング測定している。その結果によると、上下流の両方で採水した工場の半数では、河川水質の劣化が認められ、特に河川への直接放流を行っていた工場では、BOD 値が 6.5 倍になる事例も報告されている。

表 3 MPOB によるパームオイル工場排水、周辺河川上流・下流の水質調査結果

	BOD 規制値	放流先	BOD 測定値（3days 30℃）			
			排水	上流	下流	差異
MILL 1	100mg/L	農場	69	3	8	▲5
MILL 2	100mg/L	農場	126	3	3	0
MILL 3	50mg/L	農場	26	2	2	0
MILL 4	500mg/L	農場	69	2	2	0
MILL 5	20mg/L	河川放流	108	2	13	▲11
MILL 6	50mg/L	農場	54	5	7	▲2
MILL 7	50mg/L	農場	38	3	4	▲1
MILL 8	100mg/L	農場	56	2	4	▲2
MILL 9	50mg/L	農場	45	4	-	-
MILL 10	100mg/L	農場	7	-	-	-
MILL 11	100mg/L	農場	26	-	-	-
MILL 12	100mg/L	農場	266	3	3	0
MILL 13	100mg/L	農場	209	-	-	-
MILL 14	20mg/L	農場	15	-	-	-

河川の汚染状況

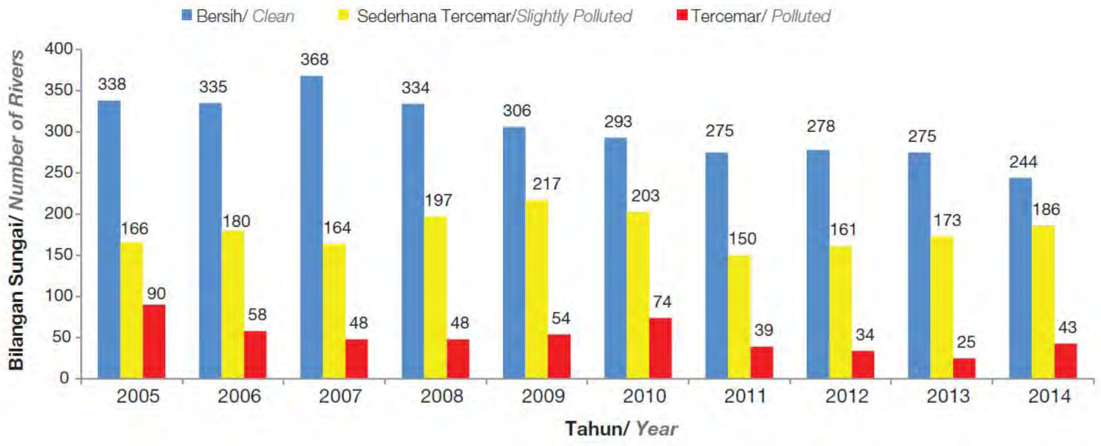
環境局（DOE）では、河川の水質状況を統合指標化し、その状態を監視している。2005 年～2014 年の調査結果において、統合指標（WQI）によれば 473 の河川水質をモニタリングした結果、244 の川（51.6%）は清浄、186 の川（39.3%）はやや汚染が進み、残り 43 の川（9.1%）は汚染状態にあるとの判定であった。特に BOD 指標によれば、清浄な河川の数は 2012 年の 36 から 2013 年及び 2014 年の 2 へ著

[7] 出典：”MPOB study on mills compliance with BOD 20ppm Requirements” Dr. Hj. Zulkifli Ad Rahman（2012 年 11 月の MPOB 主催のナショナルセミナーである POMREQ 資料）

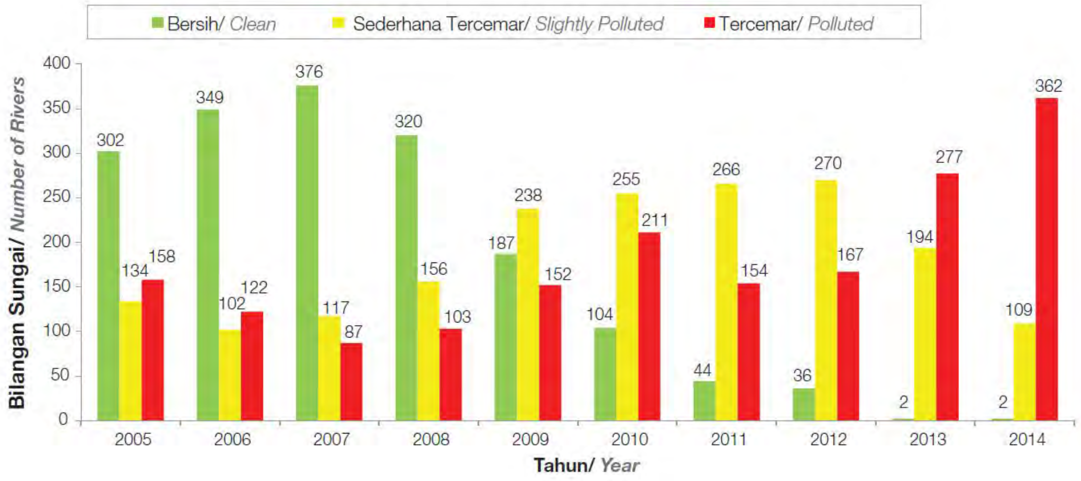
しく減少している。逆に汚染状態にある河川は2014年には362へと増加している。

DOEの分析によればBODによる河川水質の悪化は、工業、商業、家庭などの活動によって発生する様々な原因物質によるとされている。パームオイル工場排水は高BOD負荷排水であり、この悪化の一因になる。2014年には農業関連産業の排水施設数531件（内、パームオイル工場451件、ゴム工場80件）から、毎日22tのBOD負荷物質が排出されており、一施設あたりの排出量は畜産業（養豚業）に続く二番手であった。

水質統合指標（WQI）の状況



BODサブ指標の状況



ﾃﾞｰﾀ出典："Malaysia Environmental Quality Report 2014" DOE

図9 マレーシアの河川水質の傾向（2005～2014年）

2）パームオイル工場排水の改善に関するパイロット事例

マレーシアにおける基幹産業であるパームオイル、特にその排水処理に関しては法規制の厳格化など事業者側の設備投資を促進する外部環境の変化が想定されている。事業者側の潜在的な需要に対しては日本国からも複数のメーカーが技術提案を行っており、複数のサイトでパイロット稼動が行われている。

MPOB におけるパイロットプラント

MPOB では、パームオイル産業に対する各種技術の研究開発のために、敷地内にパイロットプラントエリアを設けて、パームオイル製造、オイル精製、パームオイル由来の新商品開発等の各種パイロットプラントを整備している。

その中で、排水処理に関連するプラントは下記の通り。なお、これらのパイロットプラントのいくつかは、先進的なパームオイル工場に導入されている等、マレーシアのパームオイル工場への技術導入に対して先導的な役割を果たしている。

表 4 MPOB におけるパイロットプラント（排水処理関連のみ抜粋）[8]

名称	概要	採用企業
活性汚泥処理	三次高度処理を目的とした、リアクタータンク方式による活性汚泥処理のためのパイロットプラント。 水の再生利用または BOD 値低減を目的としており、小スペース処理を目指す。生物処理、物理的処理、化学的処理を併用。	FELDA Sime Darby 等
生物膜処理	フィルター処理に関する研究開発を進めたことにより、好気処理にバイオリアクター（生物膜）処理を適用することが可能となった。 2007 年に実証実験がスタートしている。 （MPOB TOT№380）	POMTEC
フィルタプレス	BOD の低減を難しくしている処理ポンドに蓄積するスラッジを、フィルタプレスの連続処理により除去する実証プラント。 （MPOB TOT№343）	―
バイオガス	リアクタータンクによる嫌気性処理と、そこから発生するバイオガスのエネルギー利用に関するパイロットプラント。その後工程でマイクロメディアを利用した好気性処理も組み合わせている。	Sime Darby （マイクロメディア）

[8] “MPOB Pilot plant and Laboratory Facilities” MPOB 2010 より加工

	BOD 値の低減とともに、将来的には排水ゼロも視野に入れる。 （MPOB 敷地内ではなくパイロット工場にて実施）	

株式会社クボタの取り組み[9]

パームオイル工場（ミル）において排出される工場廃液（POME）を膜型メタン発酵システムにより処理し、得られたバイオガスを燃料として発電し、ミルのエネルギー利用の効率化、およびパーム油産業全体が有している潜在エネルギーの回収を行うと共に将来的に厳格化が想定される排水基準値をクリアするための膜を利用した排水処理設備（MBR）を併設することにより、環境保全に資することを目的とする。

パイロットプラントは Seri Uru Langat 社のミルへ設置し、実施可能性評価を行っている。施設規模として POME 600 m^3/d の処理能力（当該工場 45tFFB/h から排出する排水のおよそ 2/3 程度と想定される）を設定し、膜型メタン発酵システム＋MBR 方式でのガス回収および排水処理を行う計画とした。

施設設置面積は約 4,260m^2 となり、既存のポンドシステムの場合の必要面積と比較して約 1/10 に減少。バイオガスの発生量は約 20,000Nm^3/d を見込み、1 時間当りの発電能力は最大 2MW となる。排水処理については、別途実施した小型実験（0.4 m^3/d 処理規模）により BOD20mg/L 以下を安定的に達成できることが確認されている。

実施に当たっての課題として、既存のラグーン施設ではメンテナンスに人員・資金を投じておらず、この点に関してコスト面に加え、設備の維持管理のための運転状況の確認、定期的な水質分析・機器メンテナンスの重要性について理解を求めることが必要と指摘されている。

④ 事業実施国の関連計画、政策（外交政策含む）および法制度

1）政策目標

天然資源・環境省 環境局の政策方針

天然資源・環境省（Ministry of Natural Resources and Environment）は、天然資源マネジメント、環境保全マネジメント、国土調査マネジメントを所管している。その傘下にある環境局（Department of Environment、DOE）は、環境保全マネジメントを所管し、国家環境政策（National Environmental Policy）、気候変動政策（Climate Change Policy）、および環境品質法（Environmental Quality Act 1974）をベースと

[9] 出典：「国際エネルギー消費効率化等技術普及協力事業技術実証事業（FS）パーム油産業における膜型メタン発酵システムを用いたエネルギー回収技術実証事業（マレーシア）」調査報告書 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（委託先）株式会社クボタ

して政策運営を行っている。

その執行に当たっては、11 の政策方針と 5 つの戦略を設定し、これらの実現に向けた取り組みを行っている。

今回対象とするパームオイル工場の排水処理高度化・循環利用については、下記に詳述する環境品質法の強化（排水基準の厳格化）、取り締まり活動の強化（法令順守モニタリング）、水質の向上（河川等の水質改善）に該当している。

環境保全のメインフィールドにおける 11 の目標（政策方針）

1. 温室効果ガスの排出削減
2. マレーシア環境パフォーマンス指数（EPI）の開発
3. 地球環境貢献に向けた地球環境ファシリティ基金（GEF）の活用
4. 環境品質法（1974 年）の強化
5. 取り締まり活動の強化
6. 水質の向上
7. 海水域の質の向上
8. 大気の質の向上
9. オゾン層の保護
10. 環境意識やコミットメント指標の開発
11. 気候変動に関する意識の向上

環境保全のメインフィールドにおける 5 つの戦略

1. 低炭素社会の促進
2. 環境パフォーマンスの測定
3. 地球環境ファシリティ基金（GEF）の基金管理
4. 環境品質法の執行
5. 環境教育・啓発

2）法令

パームオイル工場からの排水に関連する最も重要な法令は、“Environmental Quality Act 1974”を根拠法令に持つ“Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) regulations 1977”である。

また、その傘下法令として、パームオイル産業向け環境規制（Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) Regulations 1977）が位置付けられ、パームオイル工場はこれらの規制を受けている。

環境品質法（Environmental Quality Act 1974）

①法令体制について

環境品質法に関する責任と権限は、天然資源・環境大臣および大臣に指名される環境局長が有しており、その諮問機関として関連省庁や民間機関の代表者から構成される環境会議が大臣および環境局長を支援する形となっている。

なお、この環境品質法は、天然資源・環境省（Ministry of Natural Resources and Environment）の環境局（Department of Environment、DOE）が主管している。

Director General of Environment Quality（環境局長）（3 条）
- ライセンスに関する事項（数、種類、内容、効果等）の管理
- 大臣に対する規格や基準に関する推薦

Environmental Quality Council（環境会議）（4 条）
- 大臣に対する諮問・支援機関
- 大臣に指名される議長の下、天然資源・環境省、科学技術省、貿易産業省、国内流通消費省、農業・農産省、人材省、交通省、住宅地方政府省、エネルギー・グリーンテクノロジー・水資源省、保健省、サバ・サワラク州政府、石油産業省、パームオイル産業、マレーシア工業連合会、ゴム産業、高等研究機関、NGO の代表者が参加

②環境に関わるライセンスについて

排水を伴う工場の操業を行う場合、環境局長による環境品質法 11 条に規定されるライセンス（11 条ライセンス）の獲得が不可欠である。パームオイル工場の操業においても 11 条ライセンスは必要である。

MPOB が承認するパームオイル工場操業ライセンスも、この 11 条ライセンスの取得を条件としている。そのため、DOE にてライセンスの一時停止または取り消しがあった場合、DOE から MPOB に連絡があり、MPOB でも工場操業ライセンスを一時停止または取り消しするという形が取られている。

なお、DOE へのヒアリングでは、パームオイル工場に対する排水ライセンス種類としては 11 条ライセンス 1 種類であるが、その認定にあたっては各工場の排水処理後の流出先によって、①土壌散布でのライセンス（BOD 値 5,000mg/L）、②BOD 値 100mg/L でのライセンス、さらにオランウータンの生息地であるサバ州や飲料水源の近くにあたるペラ州イポー地域等、③流出先地域の環境保全要請が高い地域では BOD 値 20mg/L の 3 種類の認定分類があるとのことであった。

・ライセンス承認者は、環境局長（Director General of Environment Quality）（10 条）
・ライセンスは発行日から 1 年間有効であり、その間に更新申請をする必要がある（12 条（1））
・ライセンス条件違反を犯すと、25,000RM を超えない範囲での罰金、または 2 年を超えない範囲での禁錮、またはその両方、もしくは順守勧告日から条件に適合するまで

毎日 1,000RM の罰金が科される。（16 条）
・ライセンスなきものは何人たりとも油分または油混合水をマレーシアの水域に流出させてはならない（27 条）
・何人たりとも野焼きを禁止する（29 条 A、別に一部適用除外あり）。

③ライセンスの取り消し、一時停止

環境に関わるライセンスは、規制順守に関するモニタリングの結果により一時停止や取り消しの処置が定められており、一定の基準順守に対する抑止効果を有している。

・ライセンス保有者がライセンスの条項や条件を順守できなかった場合、環境局長（Director General）は、適切と思われる期間、ライセンスの取り消しまたは一時停止をすることができる。
・ライセンスの一時停止期間中に、一時停止から取り消しに処置が格上げされる。
・書面による通知を受領するまで、ライセンスの取り消しまたは一時停止は効力を発揮しない。（Environmental Quality (Licensing) Regulation 1977 4.）

④規制（Regulation）について

環境品質法の傘下法令として整備される規制（Regulation）は、環境大臣によって制定される。具体的には、所管省庁（DOE）にて原案を策定、環境会議によるコンサルテーション、環境局長による最終調整を経て大臣承認へと進む。

後述するパームオイル産業向け環境規制（Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) Regulations 1977）もこの規制の一つである。

・大臣は、環境会議からのコンサルテーションを受けた後、環境有害物質、汚染物質、廃棄物、騒音の排出、廃棄、沈殿に関する適用条件に関する規制（Regulation）、または排出や廃棄を制限する地域を設定することができる。
・大臣は、追加的な規定がない限り、環境会議のコンサルテーションの後に、各種環境に関する規制（Regulation）を作成することができる。（51 条）
・いずれの規制（Regulation）も、規制される状況（時期、場所、人、環境）の成立が規制策定の以前、以後であったかを問わず、適用される。（51 条（2））
・この環境品質法の下で制定された規制は、100,000RM を超えない罰金、または 2 年を超えない懲役、またはその両方の範囲において、規制違反に対する罰則を規定することができる。（51 条（3））

⑤環境ファンドについて

環境品質法では、環境保全に関するリサーチを目的として廃棄物に対する租税設定権限が天然資源・環境大臣に付与されている。

・大臣は、財務大臣と環境会議のコンサルテーションを受けた後、汚染やその防止に関

連するリサーチを行うことを目的として、廃棄物発生に対する租税を設定することができる。租税額は発生させる廃棄物の種類や量によって設定される。徴収された租税は環境ファンドに組み込まれる（36A 条）
・信託基金や政府統合ファンドとして運営される環境ファンドを設立する。ファンド資金には定期的に提供される政府資金、国内外からの寄付も組み込まれる（36B 条）
・環境ファンドは、a)調査や研究の実施、環境監査、大臣が適切と認める汚染やその防止に関する活動、および、b)廃棄物の除去、破壊、清掃、または汚染の緩和、c)油の漏出や排出予防や処置、環境有害物質の排出予防や処置、廃棄物の排出予防や処置、d)またそれらの損害を保全するために用いられる。（36E 条）

パームオイル産業向け環境規制（Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) Regulations 1977）

環境品質法の下でパームオイル産業に特化した環境法令として制定されたのが“Environmental Quality (Prescribed Premises) (Crude Palm-Oil) Regulations 1977”である。

①公共水域への排水基準

河川や湖沼などの公共水域への工場排水について、基準が定められている。現時点では代表指標である BOD 値は 100mg/L が全国共通の基準値となっているが、各州の規制によって 20mg/L 等に上乗せ規制されている地域もある（サバ・サワラク州等）。

・公共水域への排水基準は別表２の通りとする（12 条（1）～（3））
・環境局長は、それが必要と判断される場合には、適用可能な規制値のいずれかの項目について、基準を引き上げることができる。（12 条（4））
・環境局長は、1979 年基準以降の規制値のいずれかの項目について、下記を満たす場合には基準を引き下げることができる（12 条（5））
- 環境保全に利益をもたらす可能性がある排水処理研究のため、必要である場合
- 所定の規制施設の査察により、規制値が現実でないことが明らかである場合

表 5 パームオイル工場における公共水域への排水基準（最終放流）

項目	単位	上限値					
		1978-1979	1979-1980	1980-1981	1981-1982	1982-1983	1984-
BOD（3days 30℃）	mg/L	5,000	2,000	1,000	500	250	100
COD	mg/L	10,000	4,000	2,000	1,000	-	-
Total Solid	mg/L	4,000	2,500	2,000	1,000	-	-
Suspended Solid	mg/L	1,200	800	600	400	400	400
Oil and Grease	mg/L	150	100	75	50	50	50
Ammoniacal-Nitrogen	mg/L	25	15	15	10	150*	150*
Total Nitrogen	mg/L	200	100	75	50	300*	200*
pH	-	5.0	9.0	5.0	9.0	5.0	5.0-9.0
Temperature	℃	45	45	45	45	45	45

*はフィルターサンプル値

②土壌散布の排水基準

公共水域への排水を行わず、工場を取り囲むパームオイル農場への散布や灌漑を行うことも許容されている。この適用を受ける工場の多くは、パーム農場の中の植栽と植栽の間に水路を設け、そこに処理排水を流している。

- 土壌散布においては、BOD 濃度のみを管理項目とする（13 条（2））
- 1979 年 1 月以降にライセンスを取得または更新した規制施設からの排水 BOD 濃度は、5,000mg/L を上限値とする。（13 条（4））
- 環境局長は、環境影響を引き起こさないという条件を満たす場合には、上記の基準を適用しなくても良い。（13 条（5））
- 環境局長は、それが必要と判断される場合には、5,000mg/L よりも基準を厳しくすることができる。（13 条（6））
- 環境局長は、環境保全に利益をもたらす可能性がある排水処理研究のため、必要である場合には、5,000mg/L よりも基準を引き下げることができる（13 条（7））

③最終放流ポイント

各パームオイル工場は、最終放流ポイントを設定する必要がある。後述する DOE による工場査察においても、設定されたポイントでの取水が行われる。

・この規制のために、環境局長は、ライセンスを保有する全ての規制施設の最終放流ポイントを特定する。（14 条（1））
・この規制で取り扱われる全ての規制施設の最終放流ポイントは、参照できるようにしておく。（14 条（2））
・この規制で取り扱われる全ての規制施設の排水の BOD 濃度およびその他の管理項目は、他で要求されていない限り、参照できるようにしておく。（14 条（2））

④四半期報告

パームオイル工場の保有者は、四半期毎に指定様式に則り、工場の運用状況や環境規制値の順守状況について環境局長あての報告を行う義務を有している。後述する DOE による工場査察の際にも照合確認される対象となるため、工場側の規制値順守への意識を高めるものであると言える。

・全ての規制施設の保有者は、この規制に従って規制施設の状況を四半期毎に環境局長あてに申請しなければならない。（9 条）

（主な報告項目）

当該四半期の下記項目

- パームオイル生産量（t）
- FFB 投入量（t）
- 測定または推定の用水使用量（m^3）

毎月（または 1 週目、5 週目、9 週目）の下記項目

- 24 時間の排水量（m^3）
- 1 時間あたり最大排水量（m^3）
- 下記の排水基準にある項目

<u>規制・基準値のモニタリングおよび順守状況</u>

天然資源・環境省傘下の環境局（DOE）では、法令で定められる各パームオイル工場からの四半期報告の確認に加え、DOE 独自での工場査察による排水、排ガス分析を行っている。

工場査察は 1 工場当たり原則として年 4 回、DOE 職員である Officer（博士号取得レベル）1 名、サポートスタッフ数名のチームで行っている。Officer は全国に約 100 名おり、2015 年には 450 工場に対して年間延べ 1,066 回の査察をこなしている。なお、指摘を受けた要注意先には MPOB スタッフも査察に同行する。

最終放流ポイントでのサンプル採水は、政府機関である化学局（Department of Chemistry）の分析ラボにて分析される。工場側の定期報告における分析値と差異がある場合には、化学局の分析結果が採用されるため、工場側からの報告書のみに頼るモニタリングではなく、客観的な評価が行われているといえる。

工場査察による確認や分析の結果、基準値外れが見出された場合には、DOE が下記の区分にて指摘を行い、改善を指導する。なお、ライセンス一時停止の上に、ライセンス取り消しが位置付けられる。これらの指摘については、MPOB にも共有される。

なお 2015 年に対象となった 450 のパームオイル工場が環境品質法（パームオイル工場、1977 年）におけるライセンスを受けていた。450 工場のうち、313 工場は処理後に内陸河川への放流を許可され、84 工場は土壌散布、23 工場は河川放流と土壌散布の組み合わせでライセンスを受けていた。また、7 工場はコンポスト化を適用、23 工場は処理後排水の河川放流とコンポスト化の組み合わせを適用していた。

2013 年から 2014 年にかけて、処理後排水の河川放流許可工場数が大きく増加している。他方でコンポスト化を行っていた工場が 18 工場（併用含む）から 5 工場に大きく減少していたが、2015 年には河川法流とコンポスト化の組み合わせ事例が増えた。

MPOB に対するインタビュー（2016 年 3 月）によれば、コンポスト化を行う工場が減少した背景には、政府による堆肥に関する補助制度（支給制度）の新規導入があるとのことであった。当初コンポスト化設備を設置したパームオイル工場では、堆肥を市場に販売して収益事業化を図ることを構想していたが、堆肥補助制度により有償堆肥販売市場が大きく縮小し事業が成立しえない状況に追い込まれた。代替案として輸出商材としての堆肥化も検討されたようだが、加工度が低いために品質面と価格面の両面で国際的な競争力がなかったとのことである。このように販売先を閉ざされた状況の中、コンポスト設備を休止させて河川放流に戻した工場が多かったという状況である。

表 6 排水処理ライセンスの区分別工場数[10]

処理方法	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
処理後排水の河川放流許可	290	292	363	313
農園土壌散布	93	92	50	84
河川放流と土壌散布を併用	33	32	27	23
コンポスト化	13	13	3	7
河川放流とコンポスト化の併用	5	5	2	23
合計	434	434	445	450

各年における指摘件数は下記の通り。罰金や提訴にまで進んでいる工場も少なからずあり（排ガス等、排水基準違反以外の指摘件数も含む）、これらの工場では環境対策の見直しが喫緊の課題となっている。減少傾向にあった罰金額も 2014 年には再び 100 万 RM へと増加している。

[10]出典：“Laporan Tahunan Jabatan Alam Sekitar Report” DOE 各年

表 7 パームオイル産業における環境品質法に関する指摘件数 [11]

指摘区分	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
文書での指導/Directive	191 件	195 件	223 件	133 件	57 件	(表示なし)	(表示なし)
文書での注意/Notice	364 件	135 件	151 件	198 件	233 件	(表示なし)	242 件
罰金/Compound	118 件	77 件	66 件	95 件	100 件	93 件	38 件
提訴/Court Action	132 件	95 件	92 件	72 件	53 件	69 件	2 件
ライセンス停止/Suspension	0 件	2 件	1 件	1 件	1 件	(表示なし)	(表示なし)
徴収金額（総額・RM）	1,742,000	948,000	1,102,800	984,900	384,000	1,057,500	14,000

※2014 年より一部指摘区分の変更がなされた（指摘後のフォローアップ内容に記載が変更）

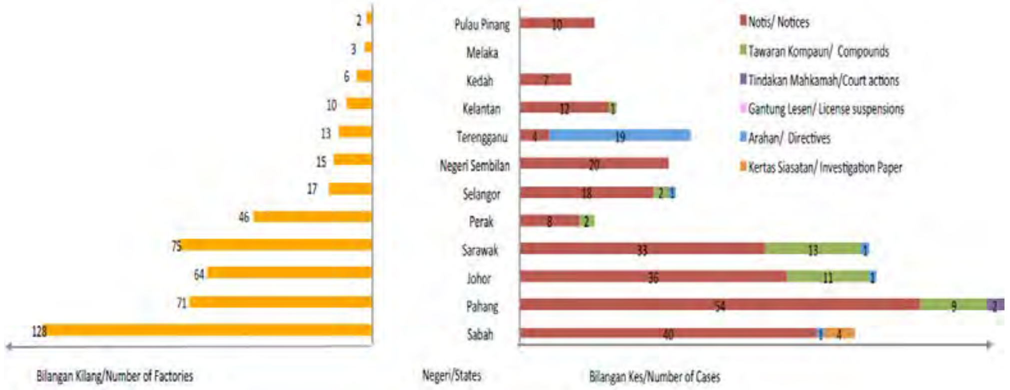


図 10 パームオイル産業における環境品質法に関する指摘件数（2015 年）[11]

排水基準値強化の可能性

2014 年 11 月に行った DOE へのインタビューによれば、パームオイル産業向けの規制（Regulation）の見直しを行っている最中であり、2013 年 3 月現在で DOE にて原案を策定し、環境会議（Environmental Quality Council）でのレビュー下にあり、その後、環境会議からの推薦と修正を受け、環境局長（Director General of Environment Quality）にて最終案が調整され、天然資源環境大臣によって最終決定、2014 年第 3 四半期には交付する予定とのことであった。強化された基準値が交付されると、現在は希少生物の生息地域や、飲料水水源地等の周辺住民への生活への影響が懸念される地域にとどまる上乗せ規制値が、マレーシア全国の公共水域への排水を行うパームオイル工場に適用されることとなる。

環境局としては、BOD 濃度を主要指標とする排水規制値を強化する方向（現行の BOD 濃度 100mg/L よりも低い基準値）で提案しているとのことであった。今後修正がかかる可能性もあるため、明確な数値については公開してもらえなかったが、MPOB

[11] 出典：“Laporan Tahunan 2015 Jabatan Alam Sekitar Report” DOE

では 20mg/L の実現を掲げて技術に関する情報収集と研究を進めている。

2016 年 3 月の MPOB へのインタビューによれば、2016 年 1 月に DOE からパームオイル産業の関係者（主要なパームオイル工場等）に規制改訂案に関する説明があり意見を募集（パブリックコンサルテーションに該当）を実施しているとのことであった。募集意見をもとに規制改訂案が見直され、最も早ければ 2016 年 6 月にも公開される可能性があるとのことであったが、2017 年 5 月現在、本規制強化は実施されていない。

2016 年 11 月に MPOB が開催したナショナルセミナーにおける DOE 講演[12]では、下記のような方向性でパームオイル工場に関する環境改善政策が進むことが強調され、その中に BOD20mg/L についても含まれることが確認された。

1. 大気汚染防止のための既存のサイクロン施設へのバグフィルタ設置
2. ばい煙監視装置の維持管理
3. EFB 残渣の課題を視野に入れた、効果的なコンポスト等のより良い技術の適用
4. BOD 排出 20mg/L というより高い規制値を目的としたパームオイル工場排水処理システムのアップグレード
5. 嫌気発酵タンク（バイオガス捕捉）、活性汚泥処理システム、バイオ処理膜（MBR）、フィルター膜（MF）システム等の先進技術の適用
6. パームオイル工場排水処理システムのパフォーマンスをモニタリングできる組織能力づけ
7. パームオイル工場排水の農場散布の停止
8. 「自律的規制（Guided Self Reguration）」に向けた全ての環境要素の実行

さらに同講演の中で、新たな規制の検討状況についても紹介され、2013 年に案作成が始まった規制値改正については着実にステップが進んでいることが説明された。2017 年中には新たな規制の制定をしたいとの意欲も示されている。

12 POMREQ （NATIONAL SEMINAR ON PALM OIL MILLING, REFINING,ENVIRONMENT AND QUALITY）における講演、"LATEST DEVELOPMENT ON THE REGULATION AFFECTING THE PALM OIL INDUSTRY" RUSLAN MOHAMAD/ Director of Enforcement Division DOE, 30 November 2016

また、BOD 規制値強化とは別に数年後の改正をにらんで、新たに色度（カラー）を規制項目に盛り込むための検討が DOE にて行われている。パームオイル工場からの処理後の最終放流水は一般的に茶色がかった色をしているが、処理後排水の「色」と BOD 値等の「汚染負荷物質量」には相関は薄いため（十分に BOD 値が下がっている場合でも、色は茶色のケースはある）、色度を改善するためには新たな脱色処理工程を入れる必要がある。

脱色工程には、オゾン処理、凝集剤処理、活性炭処理等が一般的である。MPOB では、既にこれらの脱色処理工程に関する情報収集を始めている。

サバ州における生物多様性戦略での活動計画

法令ではないが、サバ州では「サバ州生物多様性戦略（2012～2022 年）」[13]にて、JICA の支援の下でパームオイル産業及び工場に関連して独自の活動計画を策定している。この中で健全な産業構築に向けてのインセンティブ付けのために、パームオイル工場の評価制度の導入や第三者監査の実施等が検討されている。

表 8 サバ州生物多様性戦略におけるパームオイル関連の活動計画

行動№	内容
パームオイル工場に関連する項目	
2.20	**パームオイル工場の評価制度の構築** パームオイル工場の進める環境条件への適用努力が報われるところがないため、パームオイル工場評価制度を構築し、成績の悪い工場に圧力をかけるとともに、努力を継続するインセンティブを与える。
2.21	**パームオイル工場の第三者監査** 執行の実効性を高めるために、パームオイル工場自身に第三者監査を受けさせ、DOE に対するより良い情報提供を行う。
2.25	**魚粉等の代替飼料の利用促進** 魚の養殖場で利用される魚粉に代わり、パームオイル産業からのバイオマスを含む代替飼料の提供を検討する。
パーム農園に関連する項目	
2.2	**パーム農園の再植林における環境影響評価義務**
2.3	**よりよい農業手法の指導（The Sustainable Palm Oil Clusters）の実施**
2.5	**小規模農家のための収穫後のロスを最少化するプログラム**
2.6	**RSPO 認証を奨励し意識を向上させるためのインセンティブプログラム**

13 "Sabah Biodiversity Strategy 2012-2022" Sabah State Government, Universiti Malaysia Sabah,BBEC2,JICA

その他、パーム産業に関連する項目	
3.12	**各野生生物保護区の間に生態学的連携（エコロジカル・コリドー）を確立** 各野生動物の保護区の間はエコロジカル・コリドーで結ばれている。このコリドーを維持するために、RSPO メンバーによる取り組みを期待する。
3.23	**キナバタンガン川コリドーの管理計画の策定と実行** 野生動物保護地区、国有林、マングローブ、パーム農園、観光ロッジ等人間居住区がモザイク状になっているキナバタンガン側コリドーにおいて、土地利用ゾーニング、土地利用の基準化、改修事業の実施、モニタリング、及びこれらの統制を行う。
5.27	**キナバタンガンを UNESCO の生物圏保護区に指定するよう推薦する** 野生動物保護地区、国有林、マングローブ、パーム農園、観光ロッジ等人間居住区がモザイク状になっているキナバタンガンを UNESCO の生物保護区に指定するよう推奨する

3）支援制度

MPOB では、パームオイル産業向けに農業技術、生産技術、環境技術、製品技術等の関連技術紹介と移転を促す公式な支援スキームを有している。

なお、DOE では管理監督がその責務であることから、DOE が主催する有料の環境技術者育成セミナーを除き、支援制度を有していない。また、パームオイル産業では収益性が高いため、MPOB、DOE とも設備導入にかかる費用補助制度は有していないとのヒアリング結果であった。

MPOB の技術普及スキーム（TOT）

①技術に関する研究開発

MPOB はパームオイル産業への技術普及と移転を最終目的とし、適用可能技術の研究開発（探索を含む）、商品化を行っている。商品化された技術は、パームオイル産業が通常の商業契約により各工場に導入する。なお、パームオイル産業は比較的潤沢な資金力を持つとの判断から、MPOB による導入設備に対する資金的な補助制度はない。

②パームオイル産業に対する技術支援

・ライセンス供与

MPOB 自身は開発した技術や設備をパームオイル産業に販売することはなく、パームオイル企業に技術ライセンスを供与し、その後の商業契約の中での普及を期待する。なお、ライセンス供与の見返りとしてロイヤリティーを設定することがある。

・パイロットプラントでの共同開発

要望があれば、MPOB はスケールアップされたパイロットプラントレベルの共同開発をパームオイル企業とともに行う。共同開発コストは共同開発を行うパームオイル企業に負担させるケースと、適用可能な場合には政府補助金等を活用するケースがある。

・インキュベーション機能

MPOB は、パームオイル企業がフルスケールでの設備投資決定を行う前に、小規模での製品テストやマーケティング機会を提供することができる。

・コンサルテーション

MPOB は、パームオイル企業に対する技術研究者によるテクニカルサポートや、開発技術の適用に関するコンサルテーションを行っている。コンサルタント料が徴収されることがある。

・コラボレーション R&D

MPOB は、相互合意契約の下、外部の技術保有企業等とのコラボレーションによる技術開発を行っている。開発された技術はパームオイル業界企業に移転される。

③外部関係者との共同開発

MPOB は、関心の高い特定の技術開発のために、相互合意の下で外部の技術関係者（日本の技術企業も含まれる）と共同開発を行うこともある。開発された技術は、上記②に従ってパームオイル企業に普及する。

なお、外部技術関係者に対しては、MPOB がコンサルティングフィー等を徴収することはない。

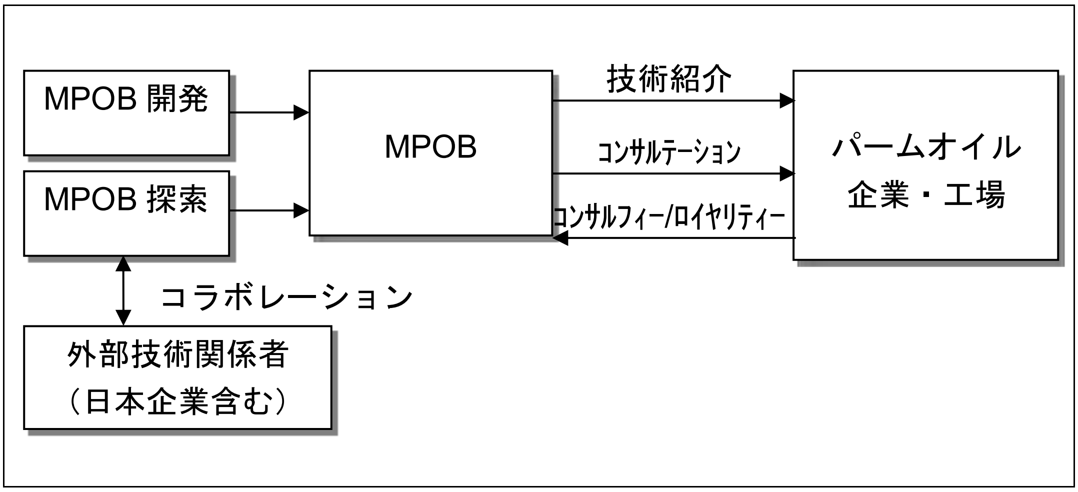


図 11 技術普及スキーム 概要図（ヒアリングによる）

この技術普及スキーム（TOT スキーム）にて有用な技術であると認定された場合、登録番号を取得した上でパームオイル企業に紹介される。紹介される技術種類には農園技術（例えばパーム収率を落とす原因となる霊芝類（キノコ）の抑制方法等）、細胞培養技術、生産技術（化学的手法、機械的手法等がある）、製品技術（食用、油脂化学製品等）が含まれている。これらの種類の一つとして、バイオガス利用や排水処理等の環境関連技術も位置付けられている。

最も古い紹介技術は 1986 年、1990 年代に本格化し、2016 年 3 月現在で 586 技術が登録されている。毎年 20～30 件程度の新規技術が登録され、排水処理に関するものも毎年 1 件程度含まれている。直近 5 年程度では、酵素によるパームオイル工場排水からのオイル回収技術、工場排水の三次処理技術、排出ゼロ技術（ゼロ・ディスチャージ）による工場排水処理、スクリーンや膜処理による排水処理技術等が紹介されている。

表 9 直近のＴＯＴスキームでの紹介技術数と排水処理関連技術14

年	紹介技術	排水処理に関連するもの
2009 年	29 技術	（排水関連の技術紹介なし）
2010 年	34 技術	・Induced Granular Reactor for Tertiary Treatment of POME ・Enzymatic palm oil recovery from POME
2011 年	25 技術	（排水関連の技術紹介なし）
2012 年	27 技術	（排水関連の技術紹介なし）
2013 年	16 技術	・Zero Waste Technology for Palm Oil Mills (POMEDfree)
2014 年	20 技術	・A Zero Discharge Treatment System of Palm Oil Mill Effluent
2015 年	23 技術	・Integrated Micro-screen and Ultra-filtration System for Palm Oil Mill Effluent (Pome) Polishing Treatment

14 MPOB web サイト 2016 年 3 月閲覧
http://www.mpob.gov.my/en/technologies-for-commercialization/list-of-new-technologies-2015

⑤　事業実施国の対象分野におけるODA事業の事例分析及び他ドナーの分析

1）ODA 等の支援状況

対マレーシア ODA はインフラ施設の整備支援など同国の発展に大きく貢献してきたが、経済発展に伴い、現在マレーシアは ODA 卒業移行国となっている。しかしながら、ビジョン 2020 に基づく先進国入りに向け、森林保全、海上警備、エネルギー、人材育成等の重点分野に対して諸外国より財政支援を受けている。

経済協力実績では欧米各国も行っているが、日本の実績が突出している。

表 10 諸外国の対マレーシア経済協力実績[15]　（支出純額ベース、合計単位：百万 US ドル）

年次	１位	２位	３位	４位	５位	合計
2008 年	日本（216.52）	英国	ドイツ	デンマーク	米国	266.65
2009 年	日本（240.51）	米国	ドイツ	フランス	デンマーク	288.46
2010 年	日本（143.85）	米国	ドイツ	フランス	英国	193.22
2011 年	日本（198.99）	ドイツ	米国	フランス	英国	243.75
2012 年	日本（208.42）	英国	ドイツ	フランス	米国	247.79
2013 年	日本（144.55）	ドイツ	フランス	英国	米国	178.64

表 11 環境分野に関する日本国の対マレーシア ODA 実績[16]　（2007 年度以降終了のもの）

No	期間	案件名	案件種類
1	2007 年 10 月～2012 年 9 月	ボルネオ生物多様性・生態系保全プログラム（フェーズ２）	技術協力
2	2011 年 6 月～2016 年 6 月	（科学技術）マレーシアにおける地すべり災害および水害による被災低減に関する研究プロジェクト	技術協力
3	2011 年 6 月～2016 年 6 月	アジア地域の低炭素社会化シナリオの開発プロジェクト	技術協力
4	2012 年 2 月～2012 年 4 月	森林プランテーション管理プロジェクト準備調査	協力準備調査
5	2013 年 7 月～2017 年 6 月	サバ州を拠点とする生物多様性・生態系保全のための持続可能な開発プロジェクト	技術協力
6	2013 年 11 月～2017 年 11 月	（科学技術）生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト	技術協力
7	2015 年 6 月	マレーシアにおける E-waste 管理制度構築支援	技術協力

[15] 出典：外務省　ODA ホームページ「国別データブック（マレーシア）」OECD/DAC
[16] 出典：同上 及び 「JICA マレーシア事業概要」2016 年 6 月 1 日 JICA マレーシア事務所

	～2018 年 2 月		
8	2016 年 3 月 ～2021 年 3 月	**微細藻類の大量培養技術の確立による持続可能な熱帯水産資源生産システムの構築**	**技術協力**

表 12 パームオイル分野に関する国際機関の対マレーシア経済協力実績[17]

（終了年度が 2000 年以降のもの）

No.	期間	支援機関	金額	概要
1	2002 年 7 月～ 2010 年 12 月	UNDP/ GEF	4,000,000USD (UNDP/GEF より)	パームオイル工場におけるバイオマス発電およびコジェネレーションシステムの導入促進 <アウトプット> ・２件のパイロットプロジェクトの実施 ・バイオマスエネルギープロジェクトに対する財政支援のための再生可能エネルギーファンドの設立

２）本普及・実証事業との関連の深い事業について

本普及・実証事業同様に、パームオイル産業をターゲットとした ODA 事業には「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」、「サバ州を拠点とする生物多様性・生態系保全のための持続可能な開発プロジェクト (SDBEC)」がある。

両事業ともサバ州キナバタンガン川周辺地域を対象サイトとして行われる事業であり、相互に連携を図りながら、サバ州政府（天然資源長、生物多様性センター等）、国立サバ大学（熱帯生物学保全研究所等）が共通して関与し、「グリーン経済推進プロジェクト」はパームオイル工場に対する実証設備の導入、「SDBEC プロジェクト」は周辺住民を対象とした環境教育に加えて雇用と収入確保のための活動を推進している。

両事業に共通する価値観は「経済・人・環境」のバランスをとった発展ということである。生物多様性保全の重要性を前面に押し出すだけではなく、その目的達成に向けて、「グリーン経済推進プロジェクト」ではパームオイル工場において収率や収入の一層の向上を図るために新たなパームオイル産業製品の創出を図ることを目指すとともに日本の伝統技術 (例えば炭焼き) を活用した技術アプリケーションを継続的に探索している。また「SDBEC プロジェクト」では周辺村落に一村一品を創りだす活動も並行して行っていることが特徴である。

またどうしても国際 NPO 等からの批判にさらされやすいパームオイル産業について

[17] 出典：UNDP web サイト　http://www.undp.org.my/page.php?pid=99&action=preview&menu=main

「経済・人・環境」の側面から再考する材料とするために、目につきやすい大型哺乳類だけではなく、その土地に生息する微生物の多様性にも注目し、多様性を測定する指標の開発にもあたっている。

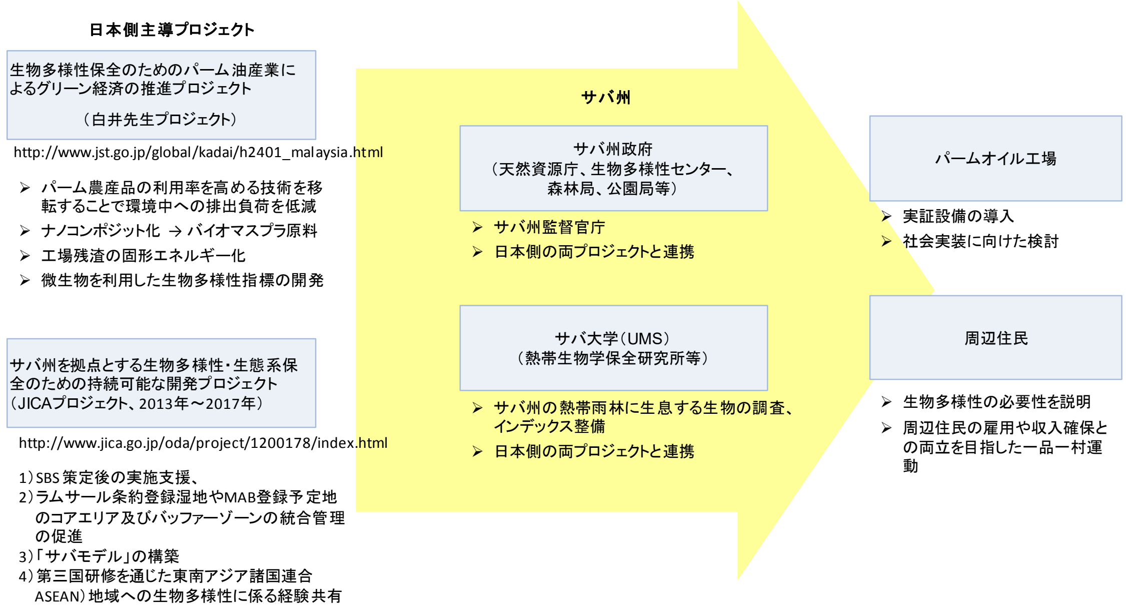


図 12 「グリーン経済推進プロジェクト」「SDBEC プロジェクト」概要図

本普及・実証事業は生物多様性を目的としたものではないものの、「経済・人・環境」のバランスを取るという面において共通する価値観を有している。食用、油脂、洗剤や化粧品材料といった非常に有用な製品を生み出し、マレーシアに多くの雇用と収益を生み出した優秀な産業を、環境への配慮、人権（労働者人権、周辺村落住民の人権）への配慮等を進めて、一層健全な産業とする後押しをすることが目的である。

具体的には、本普及・実証事業において特徴としている「日本で長年使い込まれた排水処理技術（アクアレータ）を、大幅な設備改修の必要なく容易に導入できる」ということと、「グリーン経済推進プロジェクト」にて行われている適用可能な技術の探索という活動は合致しており、今後の「グリーン経済推進プロジェクト」で培われたノウハウを社会実装する段階において一つの選択肢として利用できる。阪神動力機械としても今後のビジネス展開の一つの方向性になりうる。特にサバ州では先行してパームオイル工場排水の最終放流 BOD 値 20mg/L が適用されており、他方で大きな初期投資ができない中小工場も多く存在していることから、本普及・実証事業で導入するアクアレータの活用は一考の余地があるものと考える。

また「グリーン経済推進プロジェクト」でもパームオイル工場残渣や汚泥の炭化を、オペレーションが容易な炭焼き技術を導入することで行おうとされており、本普及・実証事業での汚泥炭化製品の検討と通ずる目的がある。適切な範囲での情報交換を行いつつ、そのような製品の市場開拓に共同してあたることも可能と考えられる。

他方で「グリーン経済推進プロジェクト」「SDBEC プロジェクト」における課題の一つは、今後の社会実装段階における主体を見出すことにあるとのことであった。本普及・実証事業は日本の民間企業が主体となるプロジェクトであり、民間企業のビジネス展開を見据えた内容となっている。そのため当社に限らず、日本の民間企業にもメリットのある参画方法をともに検討することができると考えており、ビジネスと社会課題解決への貢献を両立させたい民間企業の巻き込みを支援することは可能であると考える。

上記を通じて、生物多様性保全の実現や河川水質への負荷低減を達成し、同時に現地社会やパームオイル産業にも好影響をもたらし、また日本側企業のビジネスにも寄与するというモデルの構築を目指したい。

(2) 普及・実証を図る製品・技術の概要

本事業においては、下記製品の普及・実証を図った。

a) エアレーター／阪神動力機械

名称	エアレーター
製品・技術のスペック	アクアレータ：F-75AF 型, 75kW ブロワ：20m³/min, 45kPa （付帯設備）
特徴	曝気と撹拌を効率的・効果的に行うことができ、好気性微生物の活動を活発化させる効果を持つ。実績では 90%以上の汚濁負荷量の除去が可能であり、コンクリート打ち、あるいはタンク式の管理された反応槽であれば、流入水が BOD 値 500mg/L 程度の場合、最終放流水を BOD 値 20mg/L 程度まで低減させる能力を有している。
競合他社製品との比較優位性	・**極めて高いエネルギー効率を実現：**空気供給機能（ブロワ）と撹拌散気機能（エアレーター）の動力源を分離し、後者を水中機械としたことで、エネルギー効率を高めている。 ・**メンテナンスが容易：**シンプルな構造のため、現場でのメンテナンスが可能であり、メンテナンスにかかる時間を大幅に短縮。また、ガイドパイプに沿って置いてあるだけであり、設置・取り出し時に水抜きをする必要がない。また、独自の目詰まり防止機構の採用で、経年劣化を解消。 ・**現地に存在しない技術：** 設計・調達・建設（EPC）企業へのインタビューによれば、マレーシアのパームオイル工場排水処理分野に限らず産業排水処理分野において、阪神動力機械の“アクアレータ”に類似する曝気撹拌装置は存在しないとのことであり、現地においては非常に競争力のある設備である。
国内外の販売実績	国内では廃水処理施設 1,000 か所、約 10,000 台（国内シェア 6 割程度）の導入実績がある。また、海外においても数十年前から台湾代理店や独自販売網を活用し、台湾や中国などでの販売実績を積み重ねてきた。 本事業にも関連しつつ、マレーシア国内でも 16 台（内、パームオイル工場 4 台）の販売実績も重ねている。

サイズ	L 1420mm × W 1420mm × H 1870mm、1100kg
設置場所	JENGKA 21 工場 最終処理ポンド（3 連ポンド）
今回提案する機材の数量	3 セット（各ポンドに 1 セットずつ）
価格	[redacted]

b) **スクリーン装置／東洋スクリーン工業**

名称	スクリーン装置
製品・技術のスペック	ウルトラ TN スクリーン N1500A1 型, 1500mm 幅
特徴	ウルトラ TN スクリーンは、ウェッジワイヤースクリーンを使用した傾斜式の固液分離装置である。排水処理のみならず、生産工程においても分離、濃縮、回収といった目的で使用されている。様々な業種の脱水、濃縮、濾過などの包括的な用途に適用可能である。 案件化調査時点においてスクリーンテスト（スリット幅 0.15mm）では、総浮遊物質量濃度が 36,900mg/L から 22,600mg/L に低減、約 38%の汚濁負荷量の除去が認められた。
競合他社製品との比較優位性	・**目詰まりしにくく、メンテナンスが容易**：逆三角形の断面をした異形線を等間隔に並べて目（スリット）を形成したウェッジワイヤーを採用しており、通過点が表面にあることから目詰まりしにくく、除去（メンテナンス）も容易。 ・**壊れにくい**：全ての交差ポイントは強固に圧着溶接されており、頑丈かつ精密（ファイン）なスリットサイズある。 ・**現地の従来品との品質差異あり**：マレーシアでも同様のスクリーン装置は存在している。ただし、類似製品は丸型ワイヤー等を採用し目詰まりがあること、スクリーンの目が破れるため数年に 1 度の交換が必要であること（“ウルトラ TN スクリーン”はスクリーン部分がステンレスで堅牢にできておりほとんど交換の必要がない）等の相違点がある。

国内外の販売実績	排水処理における SS 除去装置として、現在出荷実績 3 万台を超える。また、タイに生産拠点を有している等、海外での販売を加速しつつある。
サイズ	L 1800mm × W 1200mm × H 1800mm、300 ㎏
設置場所	JENGKA 21 工場 最終処理ポンドへの処理水流入部
今回提案する機材の数量	2 セット
製品・技術の価格	[redacted]

c) スラッジ炭化設備／関西産業

名称	スラッジ炭化設備
製品・技術のスペック	①乾燥機：内容量 200L 級、乾燥用の SUS トレーをセット ②炭化炉：内容量 150L 級、密閉式の特注マッフルをセット
特徴	関西産業の高水分スラッジの炭化設備は、分離されたスラッジをバイオチャー（炭化に至る前の状態で熱量を保存した燃料物）へと加工する。バイオチャーは燃料用途（燃料棒形状、ペレット形状等への加工も可能）、土壌改良材用途に利用することが考えられる。スラッジ量の 1/5 程度の炭化品を生成でき、石炭と同等の約 27MJ/kg の単位発熱量（高位発熱量ベース）がある。加えて、排水の「色」に関する規制が今後加わることが想定される中、排水処理の高度化を図るための吸着材（活性炭）としての利用が考えられる。 上側: バイオチャーを土壌改良材として使用したもの（生育が良い） EFB スラッジ由来燃料棒 燃料棒の燃焼状況 ※今回導入予定のものは小型装置、上記写真はイメージ
競合他社製品との比較優位性	・**現状に応じたオーダーメード型の設備設計：**同社はもみ殻を手初めに 40 年を超える炭化設備の経験を有しており、その経

	験を踏まえ導入先工場の状況を考慮し、標準設備メーカーには難しいオーダーメード型の設備設計を行っている。 ・**未利用資源の活用が可能：**原材料となる未利用有機資源の分析を行い、原材料の特徴を把握した上で、設計・開発を実施。原材料に応じた、燃料化や堆肥化等が可能。 ・**未利用エネルギーを利用：**加熱にはパームオイル工場での余剰バイオマスエネルギーを利用することで、化石燃料の使用によるコストアップを抑制可能。 ・**工場内利用ではなく商品化が可能：**マレーシアのパームオイル工場でもパーム残渣を工場内でボイラー燃料として利用している例はあるが、ヒアリングでは外部販売可能な燃料形状（燃料棒、粉体等）に仕立てるまでの実例はないとのこと。
国内外の販売実績	日本国内では農村集落排水処理施設から排出される高水分のスラッジ原料を燃料化する装置を納入した実績がある。海外においても、JICA、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）、経済産業省等の案件を通じて、フィリピン、タイ等での導入実績がある。
サイズ	乾燥機　L 1200mm × W 800mm × H 1200mm、200kg 炭化炉　L 1200mm × W 1200mm × H 1500mm、600kg
設置場所	JENGKA 21 工場 ポンプ建屋内（予定）
今回提案する機材の数量	乾燥機・炭化炉 各 1 台ずつ
製品・技術の価格	[redacted]

2. 普及・実証事業の概要

(1) 事業の目的

マレーシアにおける公害対策の促進、開発と環境の調和に貢献すべく、排水処理の高度化を目的とした「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」、及び排水処理汚泥等の有価物化を目的とした「スラッジ炭化設備」が、低コストかつ安定的に BOD 値 20mg/L 以下の実現に寄与する処理方法として有効であることを実証した上で、本製品・技術の普及を図ることを本事業の目的としている。

①「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」

パームオイル工場では、大きなポンドを利用した多段での排水処理が行われている。一般的には処理プロセスの容易さやコストを考慮して、油分回収、汚泥沈降、生物処理（嫌気処理）、生物処理（好気処理、活性汚泥処理）が行われている。

しかしながら、阪神動力機械による事前調査において、最終工程である活性汚泥処理が行われた後にも最終放流規制値である BOD100mg/L を超える（安定して順守できていない）事例も確認された。その原因として、活性汚泥処理ポンドへの流入水の BOD 値が高いことに加えて好気処理が十分に機能していないこと（活性汚泥＝微生物が酸欠等の要因により汚染物質を処理しきれていない）が想定された。

本事業で提案する阪神動力機械のアクアレータは、エアレーション（空気供給）と撹拌を効果的に行うものであり、そのことで活性汚泥の能力を発揮させることが可能であると考えられる。同時に、活性汚泥処理がうまく進まない原理、及び発生する問題ごとの対処方法の基本をオペレータに教育することで、適切な管理が進むものと考えられる。

阪神動力機械のアクアレータは、適切な設備運転管理の下であれば活性汚泥処理ポンド流入水の設計値 BOD500mg/L に対して、活性汚泥処理後に 20mg/L 以下とする設備能力を備えており、マレーシアのパームオイル産業が直面する新規制基準をクリアする道を拓くものである。

本事業では、空気供給量が確実に増すために現行エアレーション設備よりは良い結果をもたらすことから、実証工場にエアレーター及びスクリーン装置からなる活性汚泥処理システムを実装し、活性汚泥処理ポンドからの流出水の BOD20mg/L を実現することを目指す。また、その成果を多くのパームオイル工場に紹介する。

■　パームオイル工場での排水処理の基本

- パームオイル工場排水に含まれる様々な汚染物質に対して、それぞれにあった処理を進めることで処理されています
- 処理プロセスの順番は、**①まず有価物を回収、②シンプルで安価なプロセスを先に、③難しく高価なプロセスを後にするように考えます**

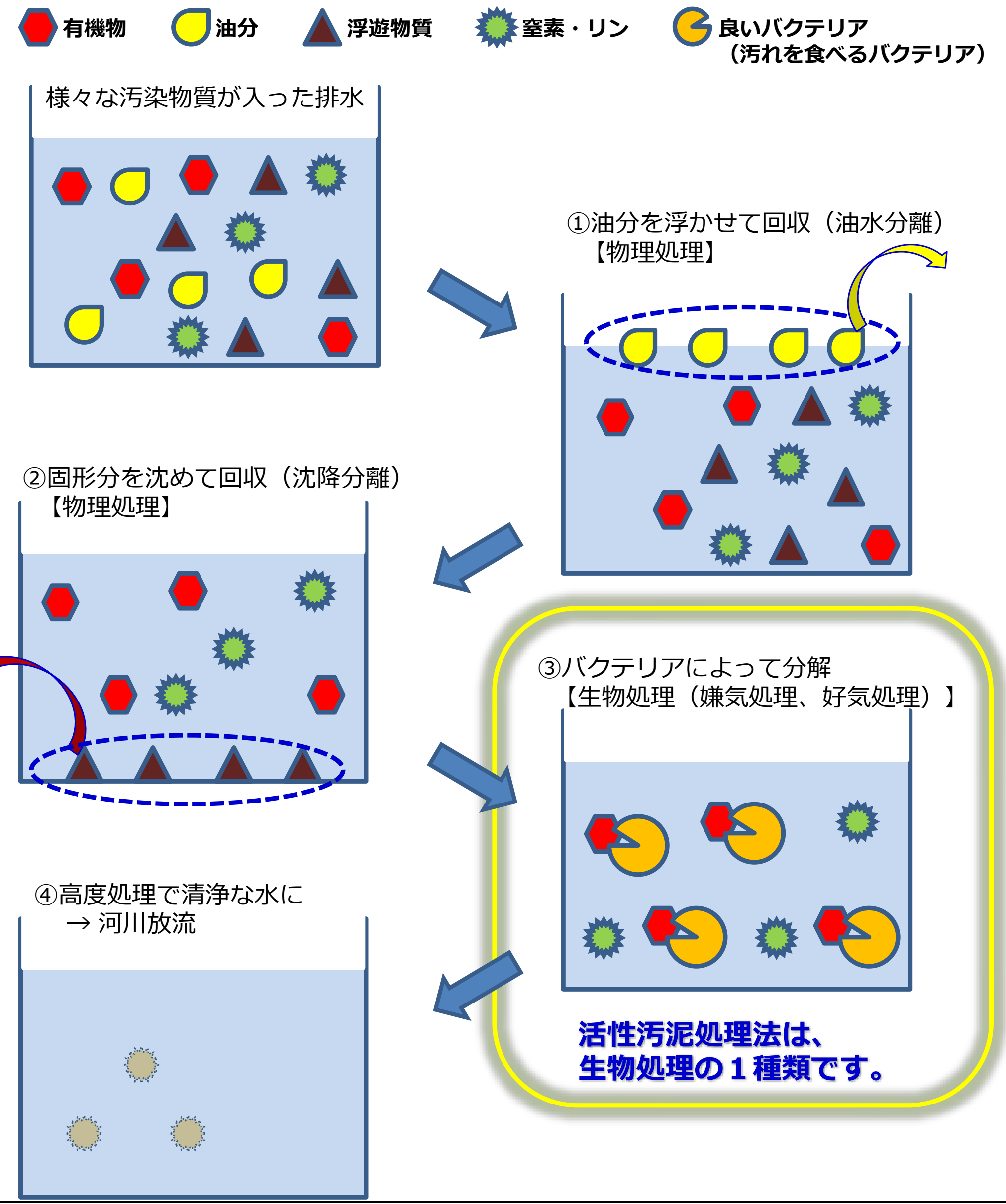
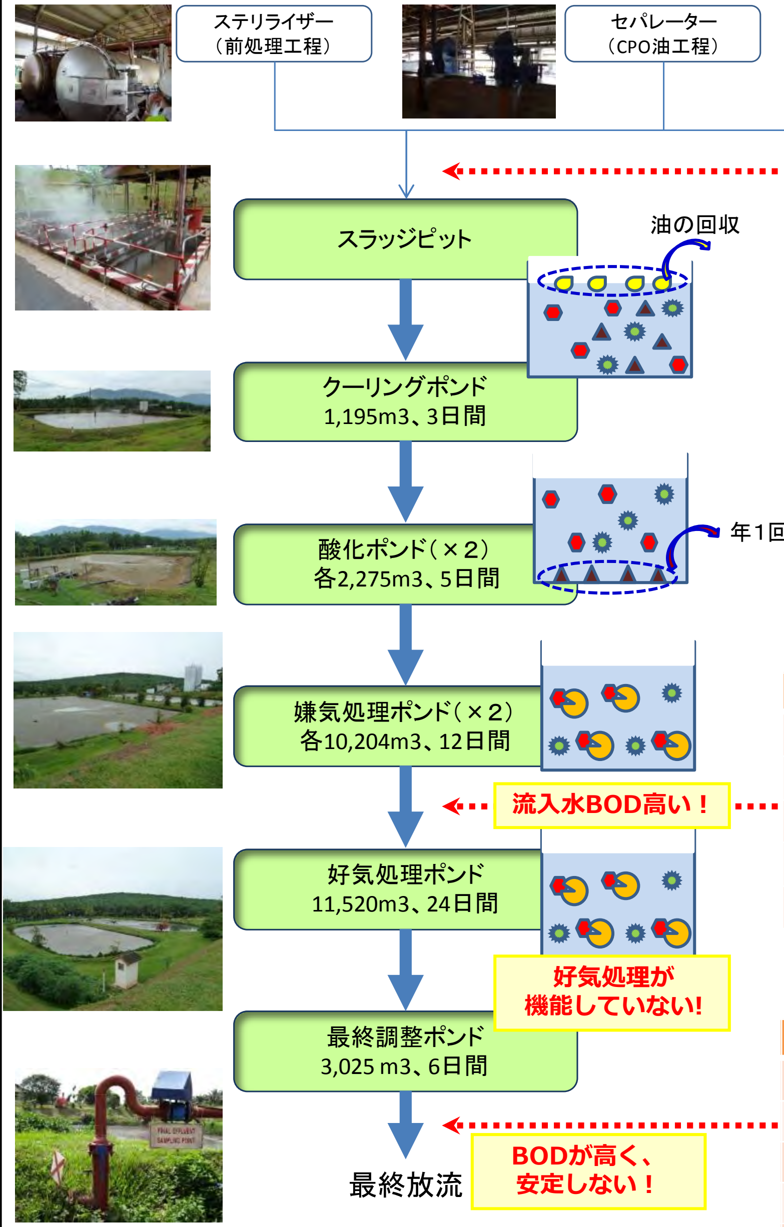


図 13 パームオイル工場での排水処理の基本と活性汚泥処理の位置付け

■　一般的なパームオイル工場での排水処理工程



Monitoring result
Inflow raw POME

Site	BOD3(mg/L)
Mill B	56,925
Mill C	73,350
Mill D	24,450
Mill E	21,000
Mill F	36,500

Monitoring result
Inflow of the aerobic ponds

Site	BOD3(mg/L)
Mill B	1,572
Mill C	800
Mill D	1,164
Mill E	N/A
Mill F	739

Monitoring result
Near the final discharge point

Site	BOD3(mg/L)
Mill B	507
Mill C	540
Mill D	661
Mill E	114
Mill F	340

* Monitored by Hanshin Engineering(Autumn 2013)

図 14 パームオイル工場の排水フローと処理に関する課題

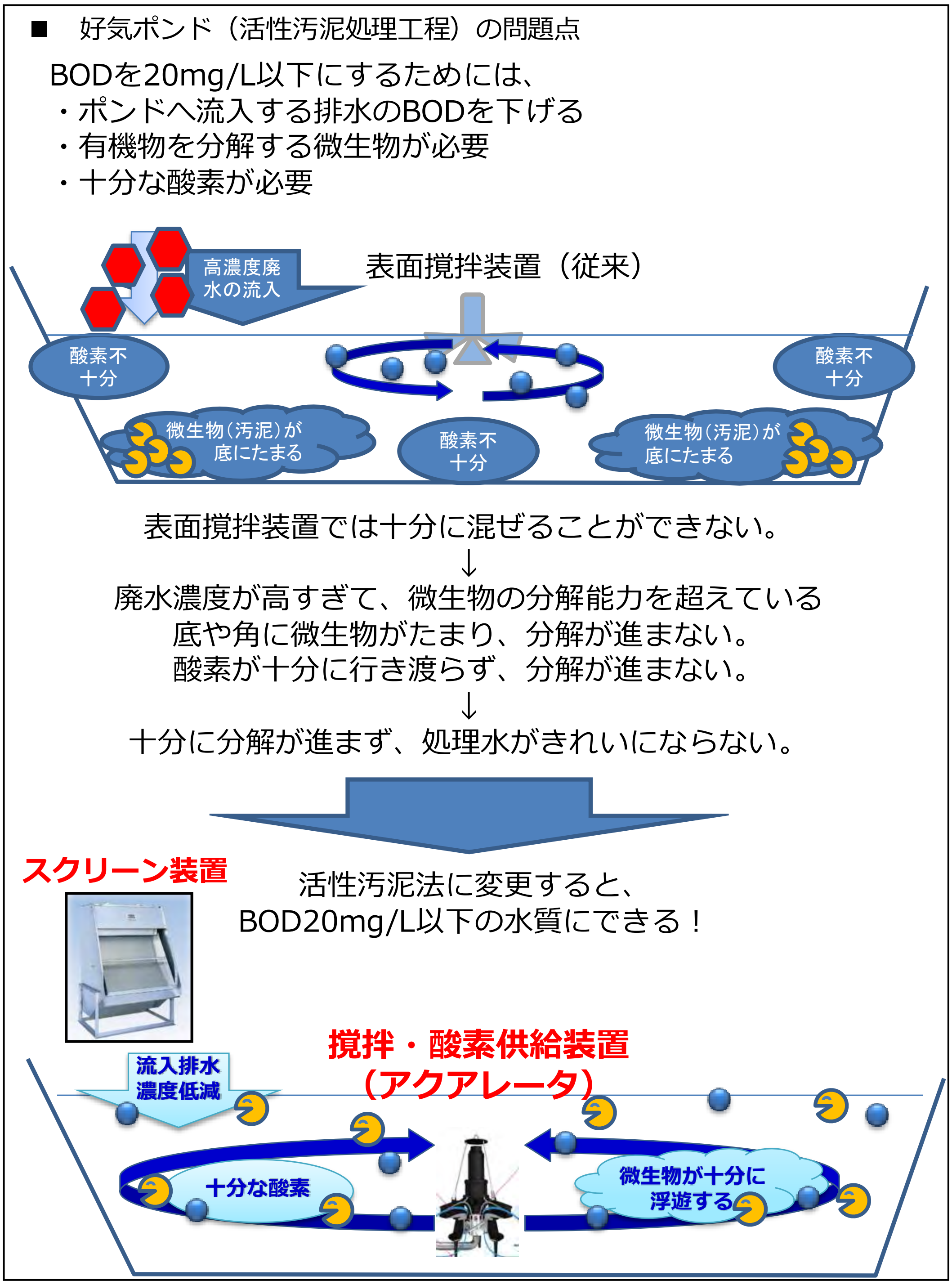


図 15 好気ポンドにおける問題点と提案技術の利点

②「スラッジ炭化設備」

パームオイル工場排水のポンド処理では、ポンドへの沈降の形で大量の汚泥が発生する。パームオイル工場へのヒアリングでは、1 年間でポンド容量の 50%近い汚泥が発生するため、定期的に浚渫し廃棄（またはパームオイル農場への散布）を行う必要

があるとのことであった。

今回の実証工場においてもコンポスト化設備（堆肥化設備）を設置していたが、処理量に見合う堆肥需要がないために困っているとの話も伺った。また前述の通り、コンポスト化を行っていた工場数（他の処理方法との併用を含む）が、2013 年の 18 工場から 2014 年の 5 工場に大きく減少しており、堆肥化処理の限界が見え始めていると考えることができる。

このパームオイル工場排水に由来する汚泥を炭化し再利用することができれば、汚泥回収への積極的な設備投資につながるとともに、排水処理の前処理工程の阻害要因（汚泥が沈降し、実質的なポンド容量を小さくすることにより、十分に処理が進まないといった事態）を軽減することができ、活性汚泥処理ポンドへの流入水の改善につながることも期待できる。

炭化品の再利用方法としては、バイオマス燃料、土壌改良材、水質浄化材（ろ過材）といった用途が考えられる。水質浄化材であれば、活性汚泥処理ポンド後の高度処理（浮遊物質の除去や脱色効果）が工場内の資源で行う道も開ける。

但し、技術面での検証がまず必要であること、また再生された炭化品のマーケットでどのように評価されるのか不明であることから、本事業では小規模な設備を導入し、これらを検証することから始める。

(2) 期待される成果

1) 実証先工場において、活性汚泥処理後の処理水質（放流水）が BOD 値 20mg/L 以下まで改善される。ただし、同工場より示される活性汚泥反応漕への流入水質が BOD 値 500mg/L（設計値）以下であることを前提とする。同工場における実際の流入水質が設計値を超えている場合は、除去率（95%程度）を代替目標とする。
2) スラッジ由来の加工品の活用方法（炭化燃料、土壌改良剤、高度排水処理の吸着材等）が検討され、その具体的需要が確認される。
3) パームオイル産業の関係者により、排水処理及び提案製品・技術に関する知識が習得され、各工場への導入が検討される。
4) 現地エンジニアリング企業への技術移転を通して、提案製品の供給・メンテナンス体制が確立される。

(3) 事業の実施方法・作業工程

本事業では、下記の 3 つの活動を実施している。

活動１．活性汚泥処理システムの導入による実証試験（成果１.）

1-1. 実証試験実施のための前提条件や機材設置条件を確認した上で、実証先工場を確定する。

1-2. 技術研修での活用も視野に入れたラボ利用規模の「活性汚泥処理実験機」を導

入し、実証先工場の排水を利用したプレ試験（運転条件の設定）を行う。

1-3. 実証先工場において、「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」を設置する。

1-4. 実証先工場が同システムを運用し、排水処理を行う。

1-5. 排水水質の改善状況についてデータを取得し、その改善効果を検証する。

1-6. 現地のニーズに合う技術・製品とするべく、不要なハイスペック機能の削除や必要機能の追加等の技術改良を検討する。

活動２．スラッジ炭化設備の導入による実証試験（成果２.）

2-1. 実証先工場において、排水処理過程で発生するスラッジやその他のパームオイル工場残渣を有効活用するための「スラッジ炭化設備」を設置する。

2-2. 実証先工場が同装置を運用し、スラッジ由来の加工品を製造する。

2-3. スラッジ由来の加工品の分析と共に、その活用方法（燃料利用や堆肥利用等）やマーケットニーズの調査を行う。

2-4. スラッジ由来の加工品の活用方法検討にあたり、高度排水処理用吸着剤としての利用可能性についても試験する。

2-5. 現地のニーズに合う技術・製品とするべく、不要なハイスペック機能の削除や必要機能の追加等の技術改良を検討する。

活動３．技術研修及び技術紹介セミナーの実施（成果３．４.）

3-1. 既にマレーシアで実施されている研修（天然資源・環境省環境局が民間企業向けに提供しているトレーニングコース、大学の排水処理技術教育等）の内容や対象について情報収集を行った上で、それらを補完する形での研修プログラムを策定する。

3-2. 相手国実施機関及び天然資源・環境省環境局の協力を得て、パームオイル企業や現地エンジニアリング企業の技術者を対象に、ラボ利用規模の「活性汚泥処理実験機」を用いた活性汚泥法に関する研修を実施する。

3-3.「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」及び「スラッジ炭化設備」導入後は、実証先工場及び提携候補先の現地エンジニアリング企業を対象に、オペレーション・メンテナンス方法等を指導し、技術移転を図る。

3-4. 相手国実施機関及び天然資源・環境省環境局の関係者４名を日本に招聘し、技術研修に加え、設備稼働例の視察や日本における産業排水処理行政の状況の紹介等を行う。

3-5. 同工場をショーケースとして、パームオイル企業関係者向けに技術紹介セミナー等を実施する。

活動１はアクアレータ、スクリーンを実証工場に導入し、設備性能を実証するための活動である。

当初計画では 2015 年 9 月にも施工工事が完了して実証試験に着手する予定であったが、阪神動力機械、MPOB、FPISB の間にて締結予定の実証事業に関する三者覚書（Minutes of Agreement、MOA）の締結が 2016 年 12 月 29 日付まで遅れたこと、MOA の締結がなければ工事着手ができなかったことから、2016 年 1～2 月に施工、2 月 18 日に検収というスケジュールとなった。

なお当初予定では活性汚泥試験機を用いて、事前に排水状態を確認し活性汚泥処理の条件を設定する予定であったが、MOA 締結遅れにより機材の現地導入が遅れたこと、水質測定器（DO 計、SS 計）による導入先ポンドの状態が把握できたこと等から事前確認は割愛し、2016 年 2 月の実機導入・検収後に、排水状態の確認とオペレータ教育のための教材準備を兼ねて稼働を開始した。

活動２は乾燥機と炭化炉を実証工場に導入し、それら設備を利用して汚泥を炭化し何種類かの炭化製品を試作すること、試作炭化製品の性能テストを行うこと、及び、これらの炭化製品のマーケット調査を行うという活動である。

こちらも当初計画では 2015 年 9 月にも炭化製品の試作に着手予定であったが、MOA 締結の遅れにより、2016 年 2 月に現地据え付け、2016 年 4 月 5 日に検収、4 月 5～8 日に第一回目の炭化製品の試作に入った。

炭化製品のマーケット調査については、2015 年 8 月に燃料用途に関するヒアリング調査、2015 年 10 月に土壌改良材用途に関するヒアリング調査、2016 年 2 月には「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」を推進しパームオイル工場残渣を炭化させた製品を検討している九州工業大学の白井教授と意見交換を実施した。

活動３は現地における活性汚泥処理に関するオペレータ教育（対象：工場の排水処理工程オペレータ）、アクアレータ等実機を用いた技術教育（対象：実証工場、EPC 企業）、普及セミナー（MPOB 開催セミナー、ショーケース工場での技術紹介等）、及び本邦受入活動を行う。また、これらに関連して現地で行われているトレーニングプログラムの事前調査を行うものである。

事前調査については、2015 年 5 月にマレーシア国民大学、2015 年 8 月には DOE 傘下の教育・トレーニング機関であるマレーシア環境研究所（Environment Institute of Malaysia：EiMAS）に対してインタビューを行い、その状況を把握した。

オペレータ教育については、2015 年 8 月から 2016 年 3 月までに教育に用いるテキストを新たに作成し、2016 年 3 月 23～24 日に実証工場にて第 1 回を開催した。

詳細は、下記の工程表及び「3.普及・実証事業の実績」参照のこと。

(4) 投入（要員、機材、事業実施国側投入、その他）

要員

本事業に投入した要員は下記の要員計画・実績表参照のこと。

機材

本事業で投入した供与機材は下表のとおり。

表 13 供与資機材リスト

	機材名	型番	数量	納入年月	設置先
1	水質測定機器（DO 計）	YSI ProODO 10m ケーブル	1	2016 年 2 月	実証工場
2	水質測定機器（SS 計）	飯島電子 IM-100P 10m ケーブル	1	2016 年 2 月	実証工場
3	活性汚泥試験機	宮本製作所 ASS-20P-S	1	2016 年 2 月	実証工場から MPOB に移設
4	アクアレータ (F-75AF)	阪神動力機械 F-75AF（3 台）	3	2016 年 2 月	実証工場
5	スクリーン (N1500A1)	東洋スクリーン工業 N1500A1(2 台)	2	2016 年 2 月	実証工場
6	乾燥機	強制送風循環方式 223L 360℃	1	2016 年 2 月	実証工場から MPOB に移設
7	炭化炉	高温電気炉 123L 1300℃	1	2016 年 2 月	実証工場から MPOB に移設
8	教育用付属品（各種実験用備品）	メスシリンダ、ピペット等（下表参照）	-	2016 年 2 月	実証工場から MPOB に移設
9	顕微鏡（各種実験用備品）	島津 BA81-6S、光学 400 倍	1	2016 年 2 月	実証工場から MPOB に移設
10	制御盤（夜間ポンプ用）	11kW×2 仕様	1	2017 年 1 月	実証工場
11	アクアレータ用水中モーター	F-75 用水中モータ（専用仕様）	1	2016 年 8 月	実証工場

表 14 実験備品リスト （上記の供与機材リストの 8,9 の詳細）

No.	用途	品名	仕様	数量
実1	実験備品	塩ビホース	4×6	1
実2	〃	塩ビホース	各種	1
実3	〃	接続コネクタ/クイック脱着	20個入り	1
実4	〃	手付ビーカー	5L	3
実5	〃	手付ビーカー	1L	3
実6	〃	ポリメスシリンダ	1L	2
実7	〃	ポリメスシリンダ	100mL	2

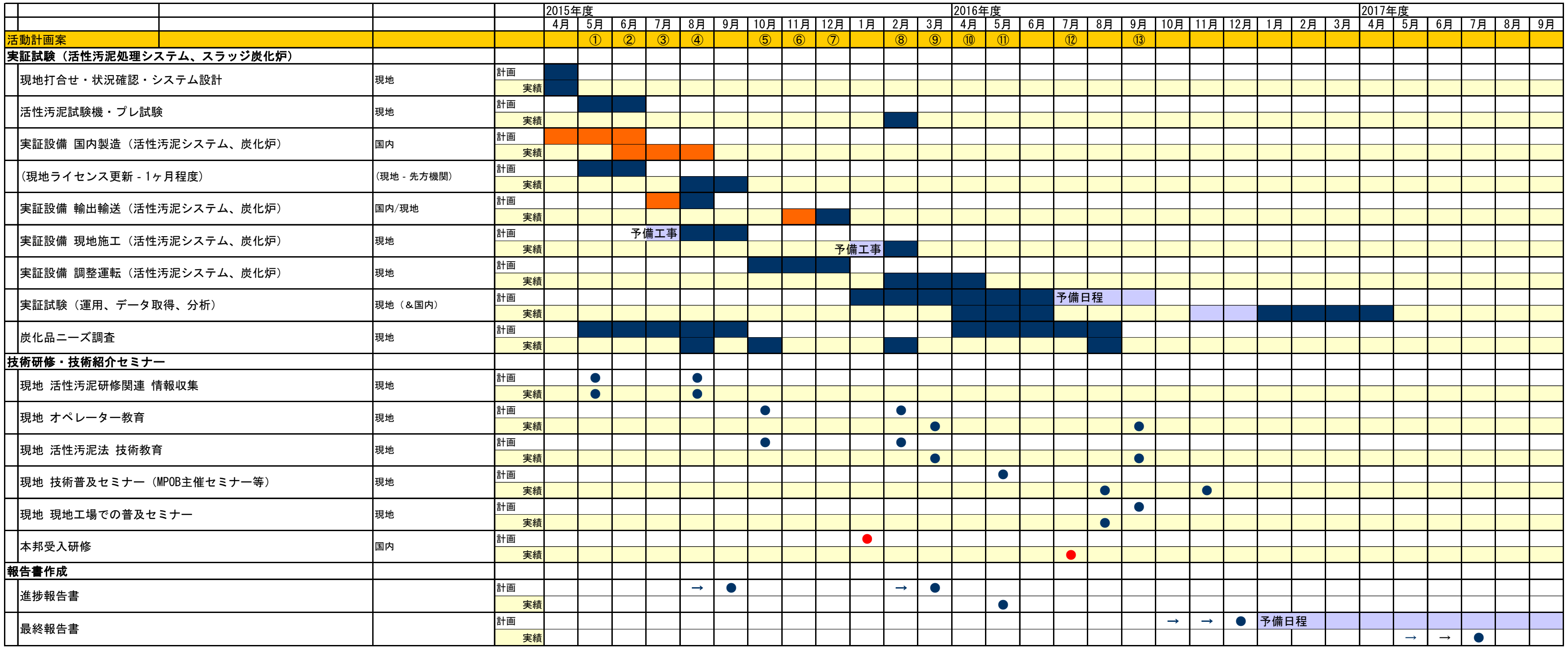
実8	〃	ポリメスシリンダ	10mL	2
実9	〃	ポリ瓶	1L	30
実10	〃	ポリ瓶	250mL	30
実11	〃	ポリタンク	20L	3
実12	〃	ピペット	25mL(10本入)	2
実13	〃	洗浄瓶	500mL	5
実14	〃	電圧変換機(トランス)		2
実15	〃	接続プラグ（海外用）		5
実16	〃	コンテナボックス		5
実17	〃	駒込メスピペット	20mL(10本入)	5
実18	〃	透視度計	30cm	4
顕1	顕微鏡セット	顕微鏡	光学、400倍	1
顕2	〃	カバーガラス		2
顕3	〃	スライドガラス		1
顕4	〃	ピペット	2mL(25本入)	1
パ1	パックテスト(簡易水質測定器)	パックテスト	COD	3
パ2	〃	パックテスト	NH4	3
パ3	〃	パックテスト	NO3	3

事業実施国政府機関側の投入

本事業において、実施事業国政府機関側の投入はない。但し、実証工場との橋渡し、実証工場以外のパームオイル工場視察の調整など、本事業の推進にあたっての便宜は十分に図られている。

また MOA に規定された通り、本事業において実証工場が電力、水等のユーティリティ費用を負担する。

工程表



※ 紺：現地業務、赤：国内業務

要員計画・実績表

2.【国内業務】

No.	氏名	担当業務	格付	所属	区分	種別	日程						
1	川島 裕貴	業務主任者	5	阪神動力機械㈱	Z	計画	(5日)	(5日)			0.25		
						計画管理用	(1日), (2日), (1日)		(4日)			0.20	
					Z	実績	5/13 1日; 6/24 1日; 7/2, 6, 16, 18, 29 5日; 8/4, 20 2日; 9/11 1日; 10/16 1日; 11/6, 12, 16 3日; 12/3 1日; 1/28 1日; 2/16, 17 2日; 4/15 1日; 5/13, 27 2日; 7/26-31 6日; 8/9; 11/2, 7, 22 3日; 12/13 1日; 2/27 1日; 3/1 1日; 4/11 1日; 5/25 1日; 6/20 1日			36日			1.80
2	尊田 育馬	アクアレータ主任技術者	4	阪神動力機械㈱	Z	計画	(5日)	(5日)			0.25		
						計画管理用	(1日), (2日)		(3日)			0.15	
					Z	実績	7/6, 9, 21 3日; 10/14 1日; 11/10, 14, 21 3日; 2/24 1日; 4/27 1日; 5/30 1日; 6/20 1日			11日			0.55
3	石堂 雅憲	経営層・折衝担当、副業務主任者	2	阪神動力機械㈱	Z	計画		(日)			0.00		
					Z	実績				日			0.00
交代追加	吉田 学	経営層・折衝担当、副業務主任者	2	阪神動力機械㈱	Z	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					Z	実績				日			0.00
4	岡村 範彦	据付担当	4	阪神動力機械㈱	Z	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					Z	実績				日			0.00
追加	土田 吉信	メンテナンス指導担当	4	阪神動力機械㈱	Z	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					Z	実績				日			0.00
5	弓場 雄一	チーフアドバイザー	2	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画	(1日), (1日), (3日), (3日), (5日), (3日), (2日), (3日), (3日), (3日)	(27日)			1.35		
						計画管理用	(1日), (2日), (1日)		(4日)			0.20	
					A	実績	5/13、5/28 2日; 6/4、6/24 2日; 7/24, 29 2日; 8/4, 12 2日; 9/10 1日; 10/16, 19 2日; 11/6, 13, 16 3日; 12/10, 17 2日; 2/23 1日; 3/10, 11, 16, 17, 18 5日; 4/12, 14, 15 3日; 5/11, 27 2日; 6/7, 16 2日, 27, 28 2日 [自社負担]; 7/4, 11, 13, 25 3日 [自社負担], 26-31 6.6日; 8/2, 17-18, 31 4日 [自社負担]; 9/20, 26 2日 [自社負担]; 10/4 1日 [自社負担]; 11/4, 8, 24 3日 [自社負担]; 12/26 1日 [自社負担]; 2/17 1日 [自社負担]; 3/1 1日 [自社負担]; 4/26 1日 [自社負担]; 5/30 1日 [自社負担]; 6/20 1日 [自社負担]			35.6日			1.78
6	中森 崇	資源物市場調査担当	4	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画	(1日), (3日), (3日), (5日), (3日), (2日), (3日), (3日), (3日)	(26日)			1.30		
						計画管理用	(3日)		(3日)			0.15	
					A	実績	7/8, 9 2日; 9/7, 11 2日; 10/19; 11/16 1日; 2/16, 18, 26 3日; 3/15 1日; 4/14, 15 2日; 5/27 1日; 6/3, 8, 9, 28 4日; 7/5, 12, 14, 26, 28, 30 6日; 8/23, 31 2日; 9/1-2 2日, 12 1日 [自社負担]; 10/13-14, 21 3日 [自社負担]; 11/4 1日 [自社負担]; 5/30 1日 [自社負担]			26日			1.30
7	村上 智秋	教育支援担当、契約・事務サポート	5	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画	(1日), (1日), (1日), (3日), (2日), (3日), (3日), (3日)	(17日)			0.85		
						計画管理用			(日)			0.00	
					A	実績	6/4 1日; 7/21, 24, 27 3日; 8/19 1日; 1/12 1日; 2/8, 16, 19, 26 4日; 3/1, 8, 16, 18 4日			14日			0.70
交代追加	仲嶋 翼	教育支援担当、契約・事務サポート	5	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					A	実績	7/26, 27, 29 3日			3日			0.15
8	喜多 昭治	政府機関折衝担当	3	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					A	実績				日			0.00
9	古崎 康哲	活性汚泥キャパシティビルディング担当、技術助言	2	大阪工業大学	B	計画	(2日), (2日), (2日)	(6日)			0.30		
						計画管理用			(日)			0.00	
					B	実績	6/4、6/22 2日; 7/13、16 2日; 8/18 1日; 10/22 1日; 1/12, 22 2日; 2/18 1日; 3/8, 11, 18 3日; 7/18, 22, 28, 30 4日 [自社負担]; 8/31 1日 [自社負担]			12日			0.60
10	物部 宏之	技術専門家（炭化、分析）	2	個人	C	計画	(2日), (1日), (3日), (3日), (3日), (3日)	(15日)			0.75		
						計画管理用			(日)			0.00	
					C	実績	5/13 1日; 6/22 1日; 7/29 1日; 8/19-20 2日; 9/11 1日; 10/20 1日; 11/16 1日; 4/13, 14 2日; 7/13 1日; 8/8 1日; 9/28 1日; 10/14, 17 2日			15日			0.75
11	橋本 浩一	本邦研修コーディネート担当	2	大阪府	-	計画	(2日), (2日), (2日), (2日)	(8日)			0.40		
						計画管理用			(日)			0.00	
					-	実績	10/19 1日; 3/11 1日; 7/21, 27 2日			4日			0.20
交代追加	南浦 秀史	排水処理行政担当	2	大阪府	-	計画		(日)			0.00		
						計画管理用			(日)			0.00	
					-	実績	11/24 1日			1日			0.05
12	南 哲朗	技術支援担当	2	(公)地球環境センター※	-	計画	(2日), (2日), (2日)	(6日)			0.30		
						計画管理用			(日)			0.00	
					-	実績	5/27 1日			1日			0.05
13	窪田 剛	技術支援担当	2	(独行)大阪府立環境農林水産操業研究所	-	計画	(2日), (2日), (2日)	(6日)			0.30		
						計画管理用			(日)			0.00	
					-	実績				日			0.00

	計画	実績	計画	実績
A合計	70	78.6	3.50	3.93
B合計	6	12	0.30	0.60
C合計	15	15	0.75	0.75
合計	91	105.6	4.55	5.28

全体国内業務小計	計画	計画	(101日)	(14日)		5.05	0.70	
	実績	実績			153日			7.63
外部人材国内小計	計画	計画	(91日)	(7日)		4.55	0.35	
	実績	実績			106日			5.28

全体国内業務小計	計画	計画	(121日)	(14日)		6.05	0.70	
	実績	実績			159日			7.93

全体合計	計画	計画	(385日)			14.53		
	実績	実績			511日			19.58
外部人材合計	計画	計画	(216日)			8.72		
	実績	実績			209日			8.72

凡例： 業務従事実績（黒） 業務従事計画（青） 自社負担（赤）

2.【国内業務】

1	川島 裕貴	業務主任者	5	阪神動力機械㈱	Z	計画							(5日)																								(5日)			0.25		
						計画管理用																										(1日)	(2日)	(1日)				(4日)			0.20	
					Z	実績			5/13 1日	6/24 1日	7/2, 6, 16, 18, 29 5日	8/4, 20 2日	9/11 1日	10/16 1日	11/6, 12, 16 3日	12/3 1日	1/28 1日	2/16, 17 2日		4/15 1日	5/13, 27 2日		7/26-31 6日	8/9			11/2, 7, 22 3日	12/13 1日		2/27 1日	3/1 1日	4/11 1日	5/25 1日	6/20 1日					36日			1.80
2	尊田 育馬	アクアレータ主任技術者	4	阪神動力機械㈱	Z	計画							(5日)																								(5日)			0.25		
						計画管理用																										(1日)	(2日)					(3日)			0.15	
					Z	実績					7/6, 9, 21 3日			10/14 1日													11/10, 14, 21 3日			2/24 1日		4/27 1日	5/30 1日	6/20 1日					11日			0.55
3	石堂 雅憲	経営層・折衝担当、副業務主任者	2	阪神動力機械㈱	Z	計画																																	(日)			0.00		
					Z	実績																																			日			0.00
交代追加	吉田 学	経営層・折衝担当、副業務主任者	2	阪神動力機械㈱	Z	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					Z	実績																																			日			0.00
4	岡村 範彦	据付担当	4	阪神動力機械㈱	Z	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					Z	実績																																			日			0.00
追加	土田 吉信	メンテナンス指導担当	4	阪神動力機械㈱	Z	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					Z	実績																																			日			0.00
5	弓場 雄一	チーフアドバイザー	2	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画				(1日)	(1日)	(3日)	(3日)				(5日)		(3日)			(2日)			(3日)		(3日)	(3日)										(27日)			1.35		
						計画管理用																										(1日)	(2日)	(1日)				(4日)			0.20	
					A	実績			5/13、5/28 2日	6/4、6/24 2日	7/24, 29 2日	8/4, 12 2日	9/10 1日	10/16, 19 2日	11/6, 13, 16 3日	12/10, 17 2日		2/23 1日	3/10, 11, 16, 17, 18 5日	4/12, 14, 15 3日	5/11, 27 2日	6/7, 16, 27, 28 2日 2日	7/4, 11, 13, 25, 26-31 3日 6.6日	8/2, 17-18, 31 4日	9/20, 26 2日	10/4 1日	11/4, 8, 24 3日	12/26 1日		2/17 1日	3/1 1日	4/26 1日	5/30 1日	6/20 1日					35.6日			1.78
6	中森 崇	資源物市場調査担当	4	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画				(1日)	(3日)	(3日)					(5日)		(3日)			(2日)			(3日)		(3日)	(3日)										(26日)			1.30		
						計画管理用																											(3日)					(3日)			0.15	
					A	実績					7/8, 9 2日		9/7, 11 2日	10/19	11/16 1日			2/16, 18, 26 3日	3/15 1日	4/14, 15 2日	5/27 1日	6/3, 8, 9, 28 4日	7/5, 12, 14, 26, 28, 30 6日	8/23, 31 2日	9/1-2, 12 1日 2日	10/13-14, 21 3日	11/4 1日						5/30 1日						26日			1.30
7	村上 智秋	教育支援担当、契約・事務サポート	5	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画				(1日)	(1日)	(1日)					(3日)					(2日)			(3日)		(3日)	(3日)										(17日)			0.85		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					A	実績				6/4 1日	7/21, 24, 27 3日	8/19 1日					1/12 1日	2/8, 16, 19, 26 4日	3/1, 8, 16, 18 4日																				14日			0.70
交代追加	仲嶋 翼	教育支援担当、契約・事務サポート	5	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					A	実績																	7/26, 27, 29 3日																	3日			0.15
8	喜多 昭治	政府機関折衝担当	3	三菱UFJリサーチ&コンサルティング㈱	A	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					A	実績																																			日			0.00
9	古崎 康哲	活性汚泥キャパシティビルディング担当、技術助言	2	大阪工業大学	B	計画				(2日)	(2日)					(2日)																						(6日)			0.30		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					B	実績				6/4、6/22 2日	7/13、16 2日	8/18 1日		10/22 1日			1/12, 22 2日	2/18 1日	3/8, 11, 18 3日				7/18, 22, 28, 30 4日	8/31 1日																12日			0.60
10	物部 宏之	技術専門家（炭化、分析）	2	個人	C	計画						(2日)	(1日)						(3日)		(3日)		(3日)		(3日)													(15日)			0.75		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					C	実績			5/13 1日	6/22 1日	7/29 1日	8/19-20 2日	9/11 1日	10/20 1日	11/16 1日					4/13, 14 2日			7/13 1日	8/8 1日	9/28 1日	10/14, 17 2日														15日			0.75
11	橋本 浩一	本邦研修コーディネート担当	2	大阪府	−	計画									(2日)	(2日)	(2日)	(2日)																				(8日)			0.40		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					−	実績								10/19 1日					3/11 1日				7/21, 27 2日																	4日			0.20
交代追加	南浦 秀史	排水処理行政担当	2	大阪府	−	計画																																	(日)			0.00		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					−	実績																					11/24 1日													1日			0.05
12	南 哲朗	技術支援担当	2	(公)地球環境センター※	−	計画										(2日)	(2日)	(2日)																				(6日)			0.30		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					−	実績															5/27 1日																			1日			0.05
13	窪田 剛	技術支援担当	2	(独行)大阪府立環境農林水産総合研究所	−	計画										(2日)	(2日)	(2日)																				(6日)			0.30		
						計画管理用																																		(日)			0.00	
					−	実績																																			日			0.00

	計画	実績	計画	実績
A合計	70	78.6	3.50	3.93
B合計	6	12	0.30	0.60
C合計	15	15	0.75	0.75
合計	91	105.6	4.55	5.28

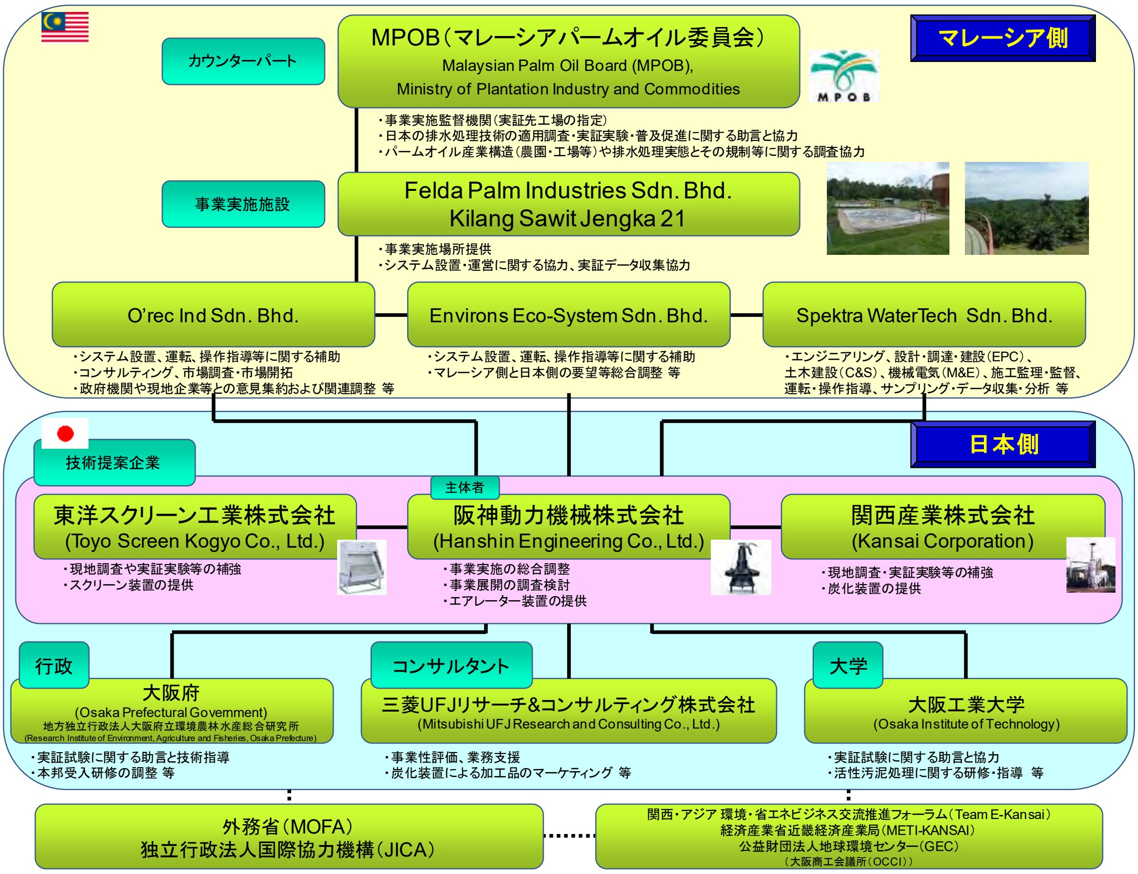
全体国内業務小計	計画	計画	(101日)	(14日)		5.05	0.70	
	実績	実績			153日			7.63
外部人材国内小計	計画	計画	(91日)	(7日)		4.55	0.35	
	実績	実績			106日			5.28

全体国内業務小計	計画	計画	(121日)	(14日)		6.05	0.70	
	実績	実績			159日			7.93

全体合計	計画	計画	(385日)			14.53		
	実績	実績			511日			19.58
外部人材合計	計画	計画	(216日)			8.72		
	実績	実績			209日			8.72

凡例： 業務従事実績 ▬ 業務従事計画 ▬ 自社負担 ▬

(5) 事業実施体制

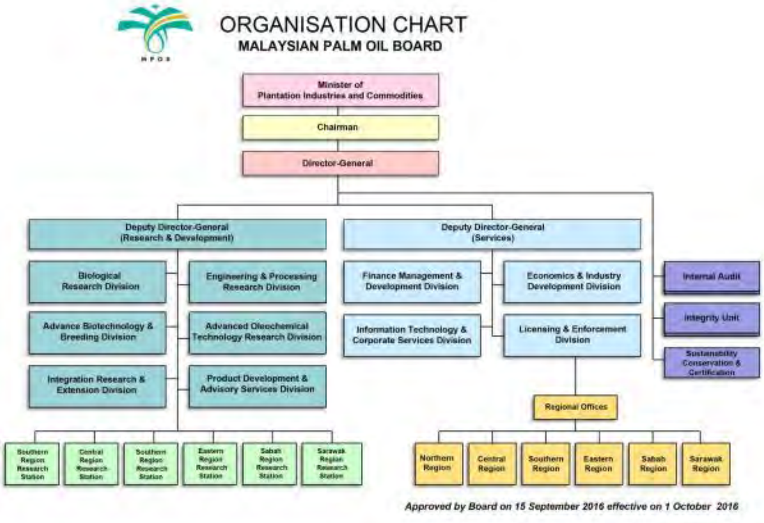


※Environ Eco-System Sdn Bhd による支援スキームは、オーナーのご逝去に伴い、パートナー関係が自動的に解消された

(6) 事業実施国政府機関の概要

①相手国実施機関

組織名称	Malaysian Palm Oil Board : MPOB
所在地	6, Persiaran Institusi, Bandar Baru Bangi, 43000 Kajang, Selangor （P.O. Box 10620 50720 Kuala Lumpur） http://www.mpob.gov.my/en/home
設立年	2000 年（統合）
組織規模	約 4,000 人
組織の目的	MPOB は、プランテーション産業・商品省（Ministry of Plantation Industry and Commodities）の傘下組織（Agency）であり、マレーシア法（Act582、2000）によりパームオイル登録許可局及びマレーシアパームオイル研究所が合併してできた政府機関である。

主な業務内容	多数の専任職員によるパームオイル工場に対する許認可権限と研究開発機能を有している。主たる業務内容は下記の通り。 ・ パームオイル産業の存続可能性を高めるための方針実行とプログラム開発 ・ パームオイル産業に関連する研究開発活動の推進と実行 ・ パームオイル産業に関連する全ての規制、登録、コーディネート、推進活動 ・ 研究成果を普及・実用化するとともに、パームオイル産業に研究成果を移転、アドバイス、コンサルティング ・ パームオイル製品市場の開発・維持とともに、効果的なマーケティング ・ パームオイル産業を強化するために、マレーシアの国内または海外の組織とのコーディネートや連携 ・ 訓練プログラムの計画と実施、及びパームオイル産業のニーズに沿った人材育成 ・ パームオイル産業の情報センターとなり、パームオイルやその他の油脂に関する出版、普及 大きく研究部門とサービス部門に分かれており、研究部門ではパームオイル企業・工場の「収益の向上」、「排出ゼロ」、「付加価値」を図ることを戦略目標として掲げている。
組織図 2017 年 5 月	

・今回の提案技術領域の研究・普及を担当する Engineering and Processing Research

Division の Milling and Processing Unit を窓口部門とする。

・MPOB は水質行政を司る DOE との連携が深いことから、MPOB を通じて DOE との協働をはかる。

・本事業終了後は、MPOB にて施設所有をしつつ、実証先工場にて継続運用する。事業終了後のメンテンナンスコスト等は実証先工場にて負担する。

②実証先工場

・MPOB より、本事業の実証先工場として、FELDA PALM INDUSTRIES SDN BHD 社（FPISB）の JENGKA 21 工場が指定されている。FPISB は FELDA ホールディングス BHD の傘下にある企業である。

・FELDA ホールディングス BHD は、連邦土地開発局（Federal Land Development Authority）の商業部門として 1995 年 9 月に設立、2003 年 5 月に株式公開された企業であり、マレーシア国内に 70 工場を保有するパームオイル産業の最大手企業。技術者の一部は、マレーシアパームオイル産業全体の技術アドバイザーも務めている。

・FELDA ホールディングス BHD の株式の 51％を出資する Koperasi Permodalan FELDA（KPF）は、地域農業のコミュニティの発展を目的として 1980 年 7 月 1 日に設立された投資協同組合であり、会員は、FELDA 入植者、FELDA グループスタッフ、及び入植者に関連する者に限定されている。

・FELDA ホールディングス BHD の株式の 49％を出資する FELDA グローバルベンチャーズ･ホールディングス Sdn Bhd 社は公開企業であるが、国（財務大臣）が黄金株（重要議案を否決できる権利を与えられた特別な種類株式）を保有している[18]。

[18]出典：FELDA ホールディングス BHD ホームページ

3. 普及・実証事業の実績

(1) 活動項目毎の結果

① （活動結果１）活性汚泥処理システムの導入による実証試験

1-1. 実証試験実施のための前提条件や機材設置条件を確認した上で、実証先工場を確定する。

実証工場は、MPOB からの推薦により FELDA パームインダストリー社（FPISB）の Jengka21 工場（住所：Kilang Sawit Jengka 21, Bandar Pusat Jengka, 26400, Pahang）に確定した。Jengka21 工場は、FPISB 社の所有する工場の中でも比較的新しい部類に入る工場であり、処理容量 60tFFB/h の中規模工場である。併設でパームオイル工場残渣を原料とするコンポスト設備を有している。

今回対象とする活性汚泥処理ポンドはコンクリート打ちされており、アクアレータの設置には向いていると判断できた（素掘りポンドの場合は、アクアレータの足場が確保できず、また水中で巻き上がる土によってアクアレータが埋まってしまう恐れがあった）。現行のエアレーション設備としては水底にディフューザー（散気板）が設置されていたが目詰まり等により十分な機能が発揮できておらず、追加的に表面曝気装置が各ポンドに導入されていた。

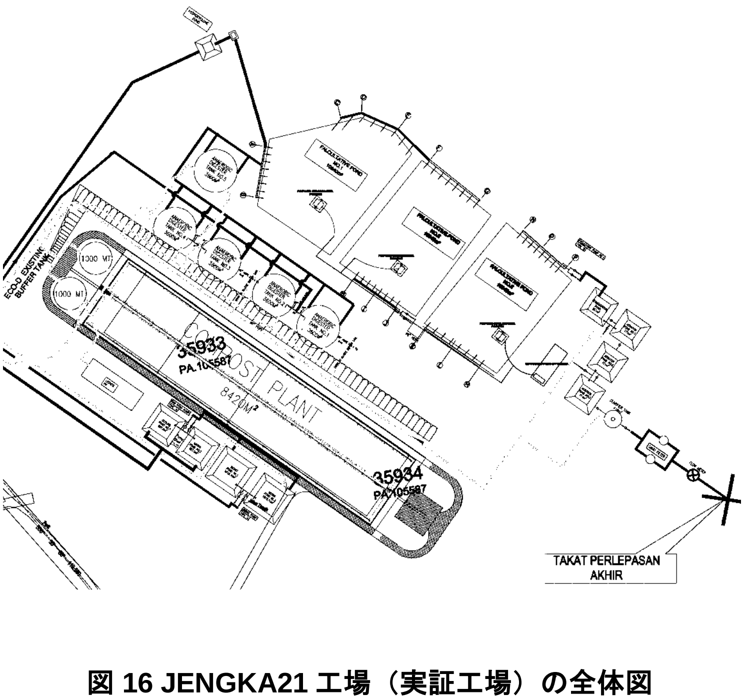
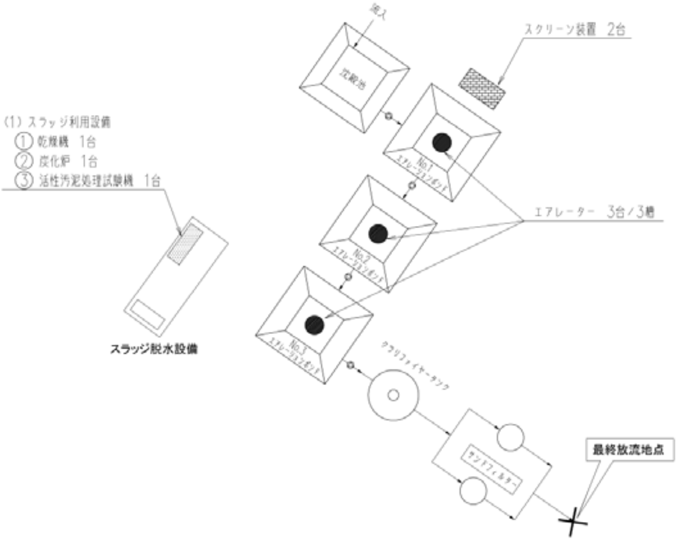


図 16 JENGKA21 工場（実証工場）の全体図



①沈殿池

②No.1 エアレーションポンド

③No.2 エアレーションポンド

④No.3 エアレーションポンド

⑤クラリファイヤータンク

⑥サンドフィルター

図 17 実証試験を実施する活性汚泥ポンド概要図 及び 写真

1-2. 技術研修での活用も視野に入れたラボ利用規模の「活性汚泥処理実験機」を導入し、実証先工場の排水を利用したプレ試験（運転条件の設定）を行う。

当初予定では活性汚泥試験機を用いて、事前に排水状態を確認し活性汚泥処理の条件を設定する予定であったが、MOA 締結遅れにより機材の現地導入が遅れたこと、水質測定器（DO 計、SS 計）による導入先ポンドの状態が把握できたこと等から事前確認は割愛し、2016 年 2 月の実機導入・検収後に、排水状態の確認とオペレータ教育のための教材準備を兼ねて稼働を開始した。（オペレータ教育の詳細は 3-2 ご参照）

1-3. 実証先工場において、「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理シ

<u>ステム」を設置する。</u>

当初計画では 2015 年 9 月にも施工工事が完了して実証試験に着手する予定であったが、阪神動力機械、MPOB、FPISB の間にて締結予定の実証事業に関する三者覚書（Minutes of Agreement、MOA）の締結が 2016 年 12 月 29 日付けまで遅れたこと、MOA の締結がなければ工事着手ができなかったことから、2016 年 1〜2 月に施工、2 月 19 日に稼働確認というスケジュールとなった。アクアレータ及びスクリーン装置とも正常に稼働することが確認された。

アクアレータ導入

スクリーン装置導入

S

1-4. 実証先工場が同システムを運用し、排水処理を行う。

2016 年 2 月の設置完了から、活性汚泥処理システムは運用を開始した。

但し、活性汚泥が十分に養生するまで（微生物の量が十分に増え、定常的な処理状態となるまで）1～2 ヶ月を要することから、定常運用は 4 月以降となる。

3 月 23～24 日にオペレータ教育を兼ねた現場確認を行ったところ、処理水の色が茶色であり（機能不全の場合には黒色）、活性汚泥の沈降状態の確認においてもポンド内処理水・返送汚泥ともに良好、またオペレータ教育の一環として顕微鏡を利用した微生物状況の観察でも好ましい微生物の活動が確認される等、活性汚泥の状態は良好であると判断できた。

1-5. 排水水質の改善状況についてデータを取得し、その改善効果を検証する。

生物由来の POME への BOD 処理技術としては古くから設備・運転管理費が低廉である酸化池(ラグーン)方式が採用されているが、放流基準の引き下げに伴い酸化池処理では排水基準を満足出来ないことから、好気生物処理/活性汚泥法 Activated Sludge Method（ASM）への移行が広まりつつある。POME を ASM で処理する場合、前段の嫌気ラグーン等で流入 BOD 500～1000 mg/L 程度まで低減された後、好気性生物（活性汚泥）による更なる BOD 低減を行う処理方式となる。そのため ASM での BOD 処理は好気反応を行う曝気槽で、効率的な曝気と撹拌を行うことが非常に重要な因子となる。

ラグーン方式から継続して曝気槽の散気装置として表面曝気装置が広く採用されているが、曝気過不足による好気的生物の不安定化や、撹拌不足による汚泥の堆積で BOD 処理が継続的に安定しない要因とされている。表面曝気装置は水面での撹拌により酸素溶解を行うが、水深が深くなると撹拌流が曝気槽の底まで到達せず、十分な曝気が形成できない。また撹拌流速が不均一なことから活性汚泥の濃度勾配が槽内で起き、槽底での汚泥堆積が形成される。この汚泥堆積により実際の曝気容積（反応容積）が減少することから曝気槽内での安定した曝気、撹拌の形成が困難となる。これは曝気と撹拌機能が同一のため曝気槽での効率的な処理機能を形成できないことが原因である。そのため ASM を採用しても核となる曝気槽が不安定となり ASM が十分に機能せず継続的な BOD 処理が望めないこととなる。

これらの解決として、本報告書では ASM の曝気槽で安定した水質改善、特に BOD 処理が実現する目的に、表面曝気装置を採用している Polishing plant の曝気槽を対象に、表面曝気装置から「撹拌機能」と「撹拌散気機能」が分離した水中機械式曝気撹拌装置に変えて曝気槽改善検討を行った。

また ASM の改善による水質改善の程度について、BOD 値、COD 値、MLDO 値等を取得し、その効果を検証した。

1）撹拌状態の改善状況に関する調査

本普及・実証事業にあたり、実証工場（実証設備の導入前）において水流等測定調査を行った。この調査の目的は、現在使われているエアレーション設備（表面曝気装置、散気板等）の機能状況を把握し、アクアレータとの差異を明確にすることにある。

なお、本項目は MOA に定められるモニタリング・報告事項の一つである Mixing Condition に該当するものである。

また FPISB 社の他のパームオイル工場においても参考として同様の調査を行い、アクアレータの導入可能性を検討した。こちらは今後の活性汚泥処理システムの導入（販売）候補先となり得、提案時の背景情報としての活用が期待される。

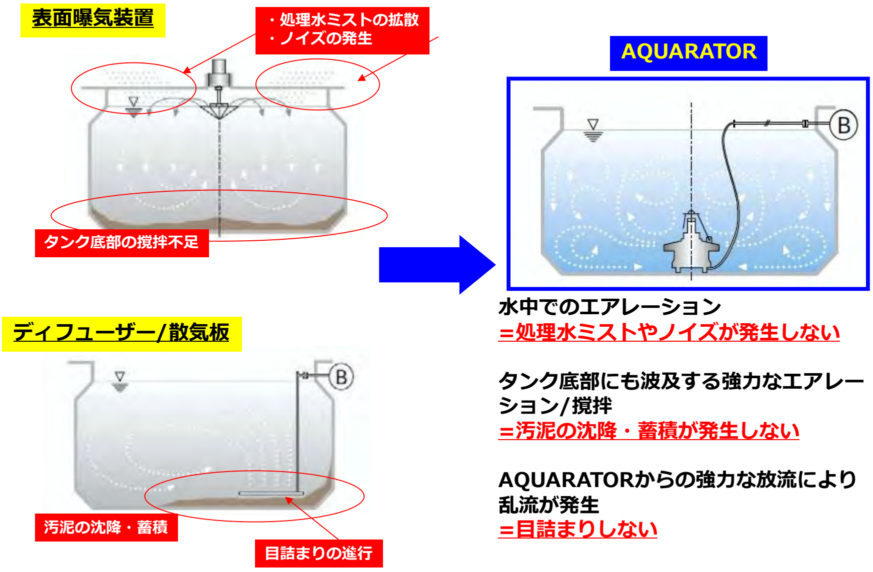


図 18 各種エアレーション設備の課題とアクアレータの機能

目的	表面曝気装置・ディフューザー等を使用した場合における、ポンドの撹拌状態・エアレーション状態を確認する
対象	活性汚泥処理を導入しているパームオイル工場
測定項目	流　速：ポンド内の測定箇所の流速 （流速が十分でなければ、十分に撹拌されていない） MLSS：ポンド内の測定箇所の活性汚泥（微生物）の状態 （活性汚泥濃度が高すぎれば、十分に撹拌されずに微生物が沈殿し、微生物の働きが悪くなっている） MLDO：ポンド内の測定箇所の酸素状態 （酸素状態が悪ければ微生物の働きが悪くなる）

実証工場における調査結果（アクアレータ導入前後の比較）

（測定日）

アクアレータ導入前：2015 年 10 月 28 日

アクアレータ導入後：2016 年 2 月 18～19 日

（設備条件）

導入前：表面曝気装置（各ポンドに 1 台、15kW×2 台、11kw×1 台）を使用

導入後：アクアレータ（各ポンドに 1 台、7.5kW）

・表面曝気装置の電力消費容量は 15kW または 11kW であるのに対し、アクアレータは 7.5kW であるため、電力消費量（電力コスト）は半分程度に削減可能。

・表面曝気装置は、水面上で大きく水しぶきが上がっているために一見すると撹拌能力が高いように見えるが、水しぶき分のエネルギーをロスするために、より大きなエネルギーをかけなければ十分な撹拌性能が得られない。

・それに対しアクアレータは水面は静かに見えるが、水中での撹拌能力が高く、複雑な水流が発生していることが分かる。また水しぶきも上がらないために静音性も高い。

スクリーンによる汚泥分離状況		

アクアレータ導入前	
アクアレータ導入後	

（測定箇所）

ポンド 1～3 にかけて 8 か所（各箇所において、底部、表層部、中間部を測定）

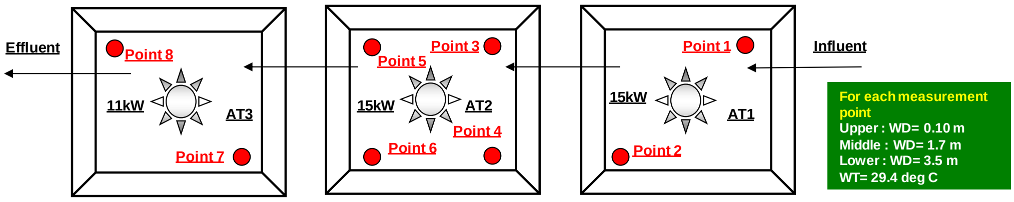


図 19 撹拌状態の測定箇所

（測定結果① 底部流速）

項目	アクアレータ導入前	アクアレータ導入後
底部の平均流速	0.07 - 0.09 (m/sec)	0.25 - 0.32 (m/sec)

・底部の平均流速は、底部処理水が十分に撹拌されているか、また活性汚泥（微生物）の沈殿がないかをみる指標であり、流速が大きければ十分な撹拌がなされ処理水が活性汚泥と接しやすいことを示す。

・アクアレータ導入後の底部平均流速は約 3 倍に向上している。より小さなエネルギー量で十分な流速が確保されていることが分かる。

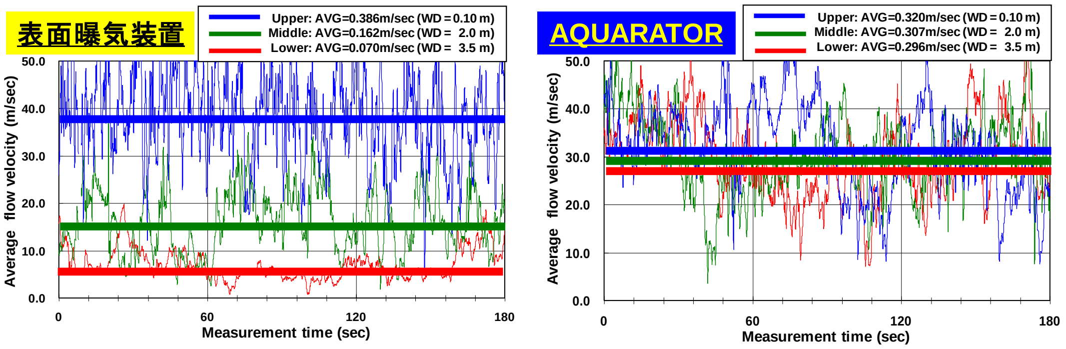


図 20 撹拌状態の測定結果（上部・中間部・底部における流速）

・上のグラフは、表面曝気装置とアクアレータの表層部（青）、中間部（緑）、底部（赤）の流速の状態を示している。

・表面曝気装置では表層部の流速は早く、中間部と底部の流速が遅いため、表層部のみしか撹拌されていない状態であると判断できる。そのため酸素供給に偏りができ、活性汚泥（微生物）に十分な酸素が届かない箇所ができていたものと考えられる。

・また、次のポンドに表層水だけが流出し、底部では処理水が滞留することで、結果的に底部処理水の状態が悪くなる（嫌気状態となり、黒色化する）懸念も示される。

・それに対してアクアレータではいずれの深度でも同等の流速が得られており、全体が均一に撹拌されていることが分かる。

（測定結果② MLSS 濃度・MLDO 濃度）

・MLSS 濃度（活性汚泥濃度）は、有機物を分解する微生物が含まれる汚泥の状態を示している。ポンド内で MLSS 濃度のばらつきが大きければ、それぞれの箇所の分解性能が異なってしまうことを示す。

・MLSS 濃度が低すぎる場合は、微生物不足により十分な分解性能が得られない。また逆に MLSS 濃度が高すぎる場合も、微生物に十分な酸素が供給されず、これも十分な分解性能が得られない。

・酸素の供給状況を示す指標が MLDO 濃度（溶存酸素濃度）である。

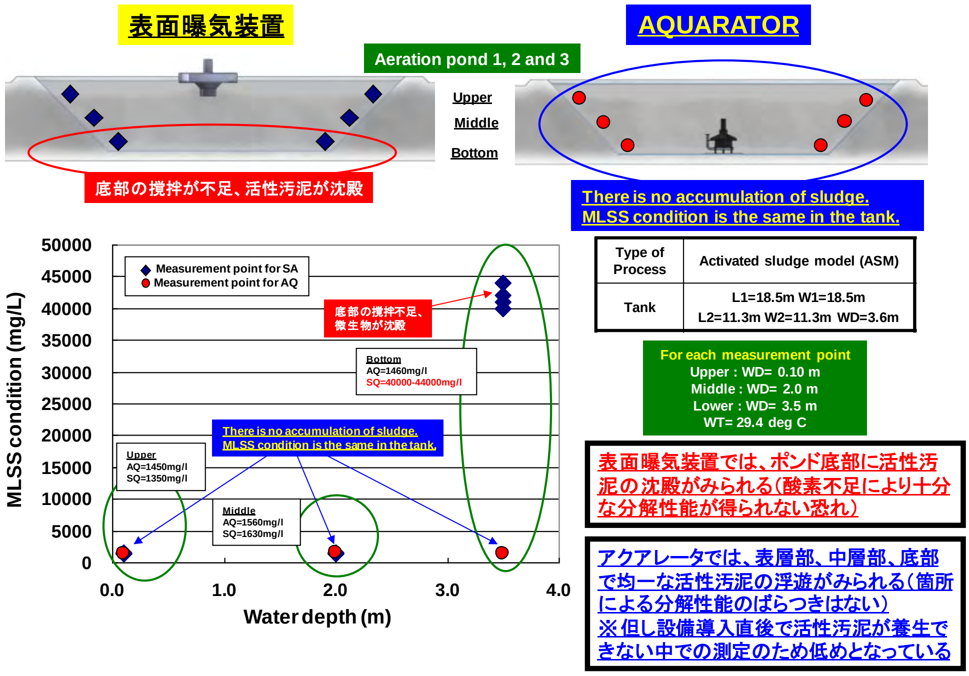


図 21 活性汚泥の分布状態の測定結果（上部・中間部・底部における MLSS 濃度）

・上のグラフは、表面曝気装置（◆）とアクアレータ（●）の表層部、中間部、底部における活性汚泥の分布状況（MLSS 濃度）を測定した結果である。

・表面曝気装置ではポンド底部に高濃度の活性汚泥が見られた。活性汚泥が沈殿または滞留し、酸素不足により十分な分解性能が得られない恐れがある。

・アクアレータでは、表層部、中層部、底部で均一な活性汚泥の浮遊がみられ、箇所によるばらつきはない。ポンドのいずれの箇所でも十分な分解性能が得られる可能性が高い。

<u>他の FPISB 社のパームオイル工場における調査結果</u>

調査対象とした FPISB 社のパームオイル工場の曝気装置の状況は下記の通り。

工場名	処理方式	曝気設備	備考(出力)
Jengka21		表面曝気装置	15kW×2、11kW
MILL 1（半島）		ディフューザー	
MILL 2（半島）	活性汚泥処理 (ASM)	表面曝気装置	15kW×3
MILL 3（半島）		表面曝気装置	15kW×3、5.5×2
MILL 4（半島）		ディフューザー	

MILL5（サワラク）	ディフューザー
MILL6（サワラク）	ディフューザー
MILL7（サワラク）	ディフューザー

・いずれの工場も活性汚泥処理ポンドを有しており、各槽にエアレーション装置を導入している（巨大なラグーンによる自然処理ではなく、比較的工業的な処理をしているといえる）。
・ポンドの大きさは、MILL 4 は実証工場と同程度であるが、それ以外は実証工場の半分程度であった。また MILL 4 は一槽であるが、それ以外は複数槽からなる。いずれのポンドも実証工場同様にコンクリート打ちまたはシート張りしてあり、素掘りのラグーン方式ではなかった。
・エアレーション装置はディフューザー（散気板）と表面曝気装置がある。

（測定結果）

測定の結果は下表の通り。

工場名	MLDO(mg/l)	MLSS(mg/l)	流速(m/sec)	状態
Jengka21	0.87 (Upper) 0.17 (Lower)	1350 (Upper) 40000 以上(Lower)**	0.386 (Upper) 0.070 (Lower)	×
MILL 1 （半島）	6.5 (Upper) 4.6 (Lower)	600 (Upper) 500 (Lower)	0.576 (Upper) 0.179 (Lower)	×
MILL 2 （半島）	5.46(Upper) 1.44 (Lower)	1200 (Upper) 1170 (Lower)	0.185 (Upper) 0.281 (Lower)	△
MILL 3 （半島）	5.96 (Upper) 4.7 (Lower)	6500 (Upper) 6160 (Lower)*	0.243 (Upper) 0.097 (Lower)	×
MILL 4 （半島）	7.42 (Upper) 0.11 (Lower)	120 (Upper) 40000 以上(Lower)**	0.143 (Upper) 0.091 (Lower)	×
MILL5 （サワラク）	6.72 (Upper) 6.64 (Lower)	780 (Upper) 1090 (Lower)	0.249 (Upper) 0.294 (Lower)	×
MILL6 （サワラク）	0.11 (Upper) 0.09 (Lower)	10000(Upper) 45000 以上(Lower)**	0.242 (Upper) 0.012 (Lower)	×
MILL7 （サワラク）	6.85 (Upper) 6.84 (Lower)	4380 (Upper) 4740 (Lower)	0.225 (Upper) 0.182 (Lower)	×

*底部では 27500 mg/l の箇所もあり　　**底部全体にて

・MILL 2 では比較的良好なエアレーション・撹拌状態ではあるものの、それ以外の工場では不十分な状態であった。MILL 3、MILL 4、MILL 6 では底部への活性汚泥の沈殿・蓄積が確認されている。

・また MLDO は 1～3 mg/l が適正範囲とされるが、全ての工場において不均一なポンド内の MLDO を高めるために、エアレーションが過剰に行われている。（MILL 1 は動力の電力消費容量が確認できなかったが、水面を観察によりディフューザーからの散気量が非常に多いと想定された）。

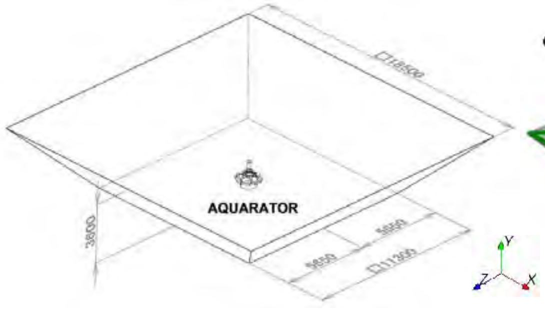
・これらの工場においては、アクアレータの導入が有効であると考えられる。本普及・実証事業において成果データが得られた際には切り替え提案を行うことができる先であると考えられる。

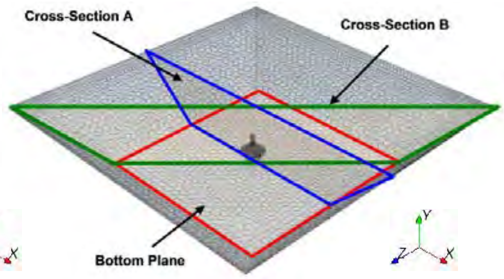
<u>撹拌性能のシミュレーションによる評価結果</u>

・撹拌性能（Agitation Performance）については、Computational fluid dynamics(CFD)の解析結果から、槽底部全体に 0.3 to 0.6 m sec-1 の撹拌流速が認められた。基準としては活性汚泥の沈降速度から槽底部の平均流速として 0.1m sec-1 程度以上の流速を常に維持することにより汚泥堆積が起こらないと考えられている。

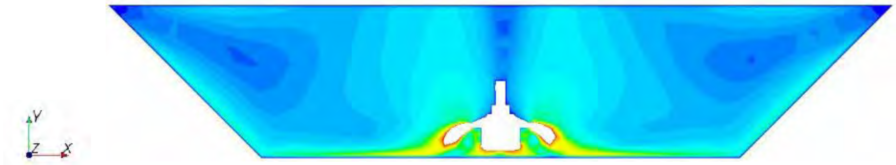
・断面 A および B から槽全体に流速が認められることから、完全混合状態が実現していると推察された。また AQUARATOR の特性上、散気板と異なり槽内に乱流状態を形成することから酸素滞留時間が長く、汚水でも清水同様に気液移動速度を保持することが可能である。

・また、撹拌機能と撹拌散気機能が分離していることから、撹拌機能を維持したまま送風量を変化させることで、流入負荷変動でも一定の MLDO 状態を保持することが可能となる。以上の検討結果から Surface aerator を使用していた実証工場では AQUARATOR に交換することにより、曝気および撹拌状態が改善され、効率的な BOD 処理を行う曝気槽の実現が可能と考えられた。

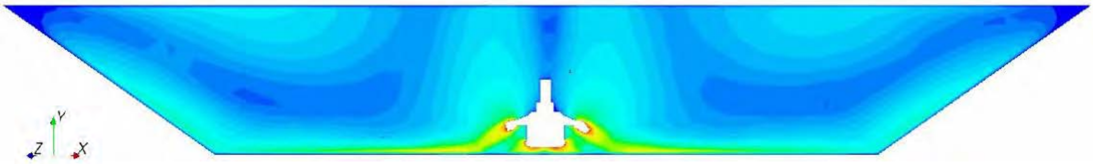




CFD 解析用の実証工場ポンド 3D モデル　　　　　　メッシュモデル

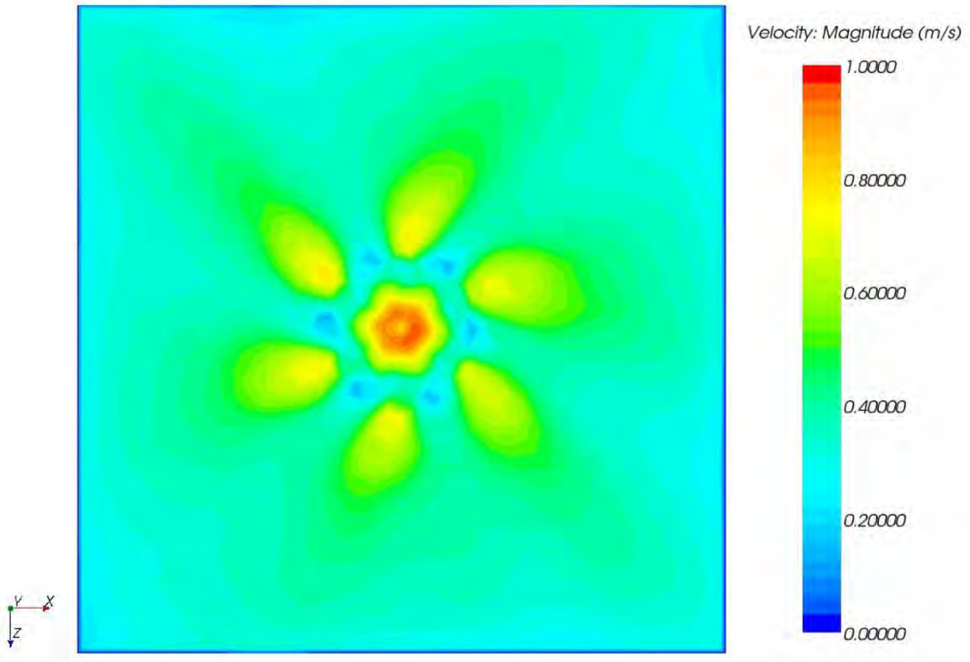


クロス A 方向の撹拌シミュレーション結果



クロス B 方向の撹拌シミュレーション結果

図 22 撹拌性能の CFD 解析結果①



底部平面の撹拌シミュレーション結果

図 23 撹拌性能の CFD 解析結果②

2）水質検査

アクアレータを利用した活性汚泥処理方式の効果を検証する目的で、水質検査を行った。本項目はMOAに定められるモニタリング・報告事項である溶存酸素量（DO）、最終放流水のBOD値、及び、スクリーン前後のBOD値と浮遊物質（SS）量の測定を含むものである。

目的	オペレーターによる運転調整の適切性を把握すること、及び、本調査の目的である活性汚泥処理システムの性能を検証すること
対象	実証工場（測定点は下図参照）
測定頻度	1）2016年04月14日～2016年06月30日（週2回×11週間） 2）2016年11月02日～2017年01月20日（週1回×11週間） 3）2017年02月14日～2017年05月31日（週2回×13週間）
測定項目	＜現場における測定＞ MLDO：アクアレータの性能評価指標として （ポンド内の測定箇所の酸素状態、酸素状態が悪ければ微生物の働きが悪くなっている） MLSS：ポンド内の測定箇所の活性汚泥（微生物）の状態 （活性汚泥濃度が高すぎれば、十分に撹拌されずに微生物が沈殿し、微生物の働きが悪くなっている） 温度：基礎項目として pH：基礎項目として ＜サンプリング・分析機関による分析＞ BOD3：本実証事業の目標指標である20mg/Lの達成状況の確認 BOD5：参考指標として（日本での基準はBOD5） SS（浮遊物質濃度）：MOAに規定されるスクリーン装置の性能評価指標として VSS（溶解性浮遊物質濃度）：参考指標として ＜その他の参考指標として＞ T-N、NH4-N、T-P、Oil&Grease、粘度

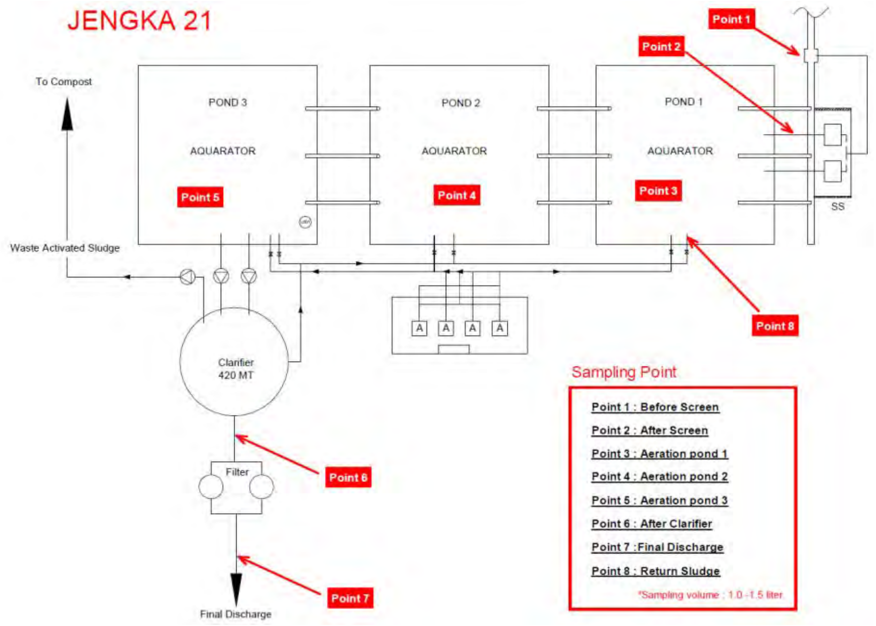


図 24 水質測定ポイントの設定

（第 1 期：2016 年 4～6 月の測定結果の概要）

・第 1 期は実証設備を設置した 2016 年 4 月から 2016 年 6 月までの水質測定・分析の結果である。

・pH の測定結果を示す。流入水では 8.25 to 8.93, Aeration tank 1 では 8.02 to 8.68, Aeration tank 2 では 8.3 to 8.9, Aeration tank 3 では 8.45 to 8.9 であった。

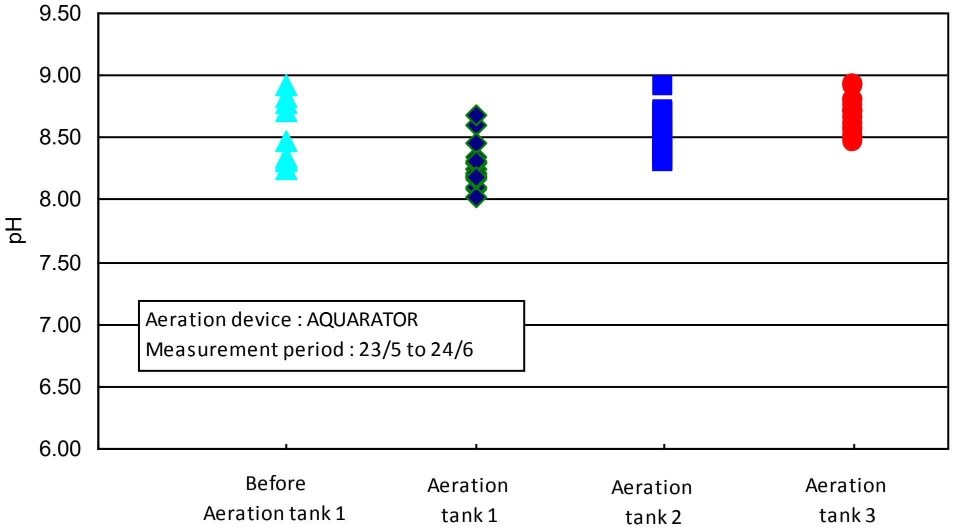


図 25 エアレーションタンク 1 から 3 の pH 状況（第 1 期）

・MLDO の測定結果を示す。Aeration tank 1 では 0.3 to 0.98 mg liter-1, Aeration

tank 2 では 3.5 to 6.51 mg liter-1, Aeration tank 3 では 6.0 to 7.59 mg liter-1 と各タンク濃度分布は異なる結果となった。Aeration tank 1 では生物分解による酸素消費と硝化反応に伴う酸素消費が進行していることから 0.3 to 0.98 mg liter-1 と低い値を維持する結果となった。Aeration tank 2 および 3 での MLDO の変化は，槽内の活性汚泥の呼吸による酸素消費と反応速度の遅い有機物等が緩やかに Aeration tank 3 にかけて分解されていると考えられる。表面曝気装置による曝気では各曝気槽で 0.39 to 0.13 mg liter-1 であり特に槽底部では 0.1 mg liter-1 以下であったが，AQUARATOR による曝気にて MLDO は改善される結果となった。ここで 通常，ASM の MLDO としては 3.0 mg liter-1 以下が標準的制御範囲である。そのため表面曝気装置ではコントロールできないが，AQUARATOR の場合ブロワの風量制御を行うことで対処可能と考える。

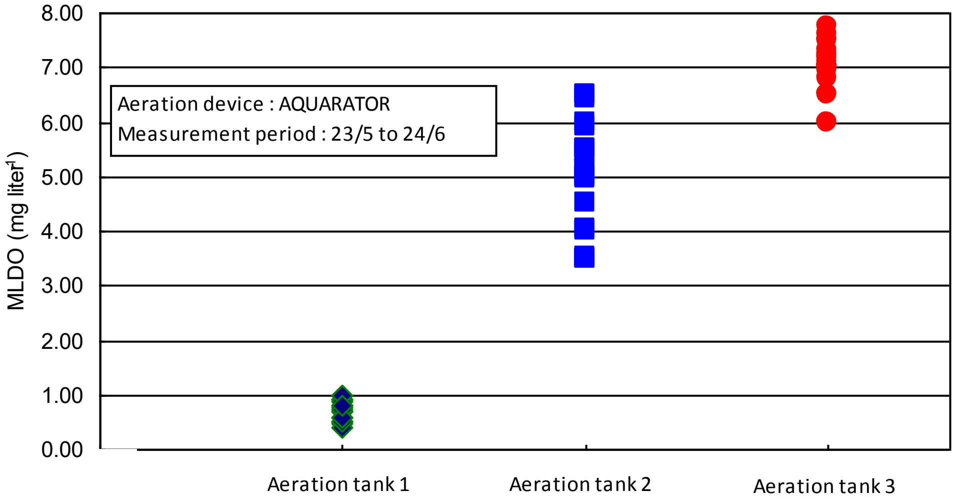


図 26 エアレーションタンク１から３の MLDO の状況（第１期）

・BOD，COD の分析結果を示す。流入 BOD および COD 濃度は BOD=175 to 394 mg liter-1, COD=517 to 1180 mg liter-1 の結果であった。BOD および COD 濃度分布から，ASM による POME の生物処理は時間経過と共に一次的減少が認められた。ここで，流入水濃度が一定ではないが，最終放流水として BOD=21 to 48 mg liter-1, COD=82 to 231 mg liter-1 の結果であった。この結果より，表面曝気装置から AQUARATOR へ交換設置したことで RUN1 期間中，安定した BOD 処理（BOD=50 mg liter-1）が行えることが確認された。

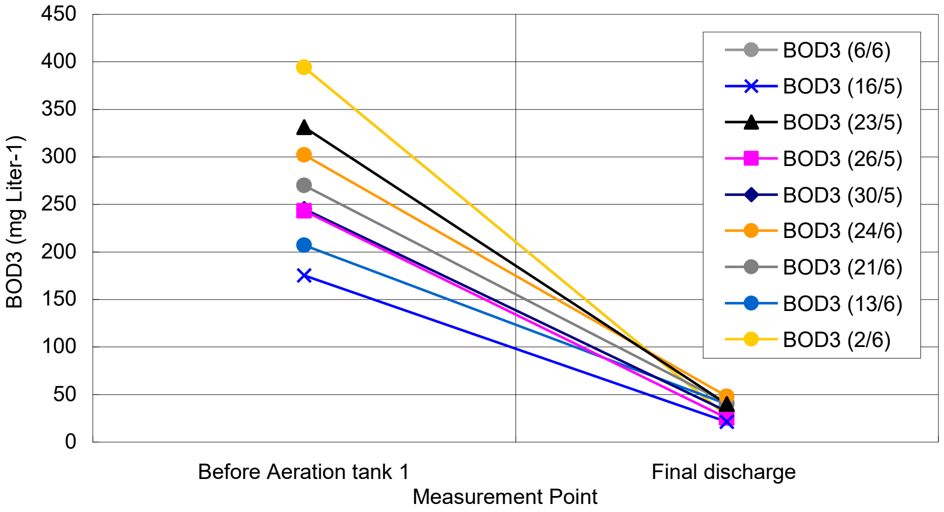


図 27 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 1 期）

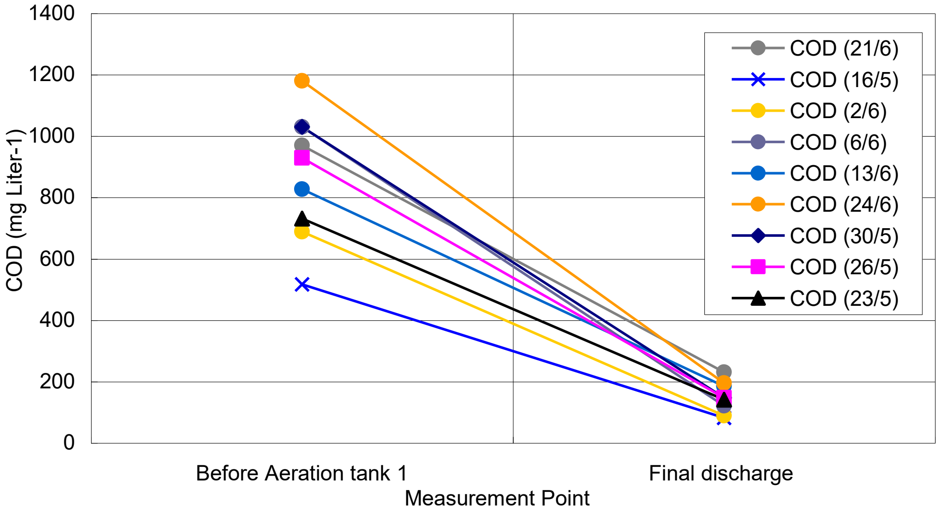


図 28 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 1 期）

・Ammonium，Total nitrogen の分析結果を示す。Ammonium の濃度挙動より 97 to 99 %硝化反応が完了していることから反応に必要な酸素供給が十分にされていると考えられた。Total nitrogen の濃度挙動では，沈殿槽での汚泥吸着による除去低下の他に，好気条件化であるが Aeration tank 内でも低下に起因していると考えられた。これは HRT が長いため好気条件下であるが部分的嫌気状態による脱窒反応が同時に起きていると推察される。ここで部分的嫌気状態とは Aeration tank の BOD 流入直後による生物分解過程で MLDO が嫌気的雰囲気

になること，また，活性汚泥のフロック内部が部分的に嫌気状態であることで脱窒反応が起きていると考えられる。これらは MLDO 濃度および pH 挙動からも推察された。この結果より，表面曝気装置では Ammonium の硝化反応に必要な酸素が不十分であったが，酸素供給の観点より Ammonium の低減が大幅に改善された。また，AQUARTOR では「撹拌機能」と「撹拌散気機能」が分離しているため，水質状況によっては表面曝気装置ではコントロールできない脱窒雰囲気の形成が可能である。そのため各処理目的にあった曝気性能を発揮することが可能と考えられた。

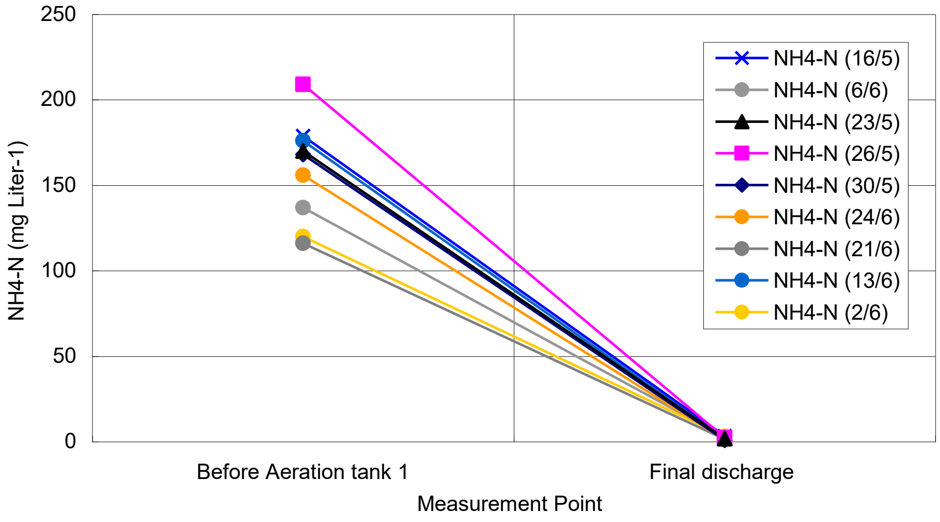


図 29 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 1 期）

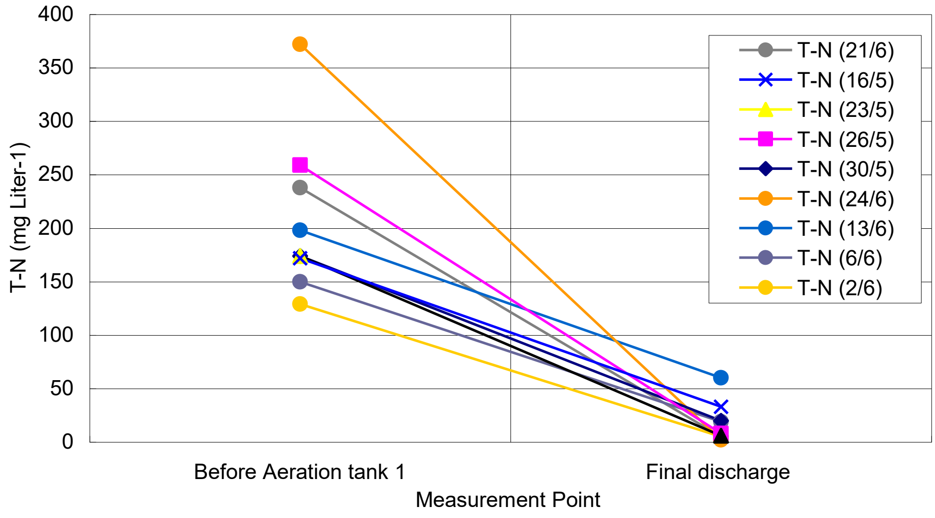


図 30 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 1 期）

（第２期：2016 年 11 月～2017 年 1 月の測定結果の概要）

・第２期は、実証工場においてポンド浚渫工事を行っていた期間である 2016 年 11 月から 2017 年 1 月までの水質測定・分析の結果である。本期間においては浚渫工事の影響で流入水の水質が不安定であるため、本来アクアレータの性能検証には適さない（当初は実証期間中の浚渫予定はなかったが、MOA 締結時期の遅れなどにより、浚渫工事が行われることとなった）。

・他方パームオイル工場で毎年行われる浚渫工事は避けられるものではないため、その時期におけるアクアレータの性能についても検証を行うことが重要と判断し、水質分析を行った。

・pH の測定結果を示す。流入水では 8.2 to 8.7, Aeration tank 1 では 7.4 to 8.32, Aeration tank 2 では 7.5 to 8.47, Aeration tank 3 では 7.63 to 8.45 であった。

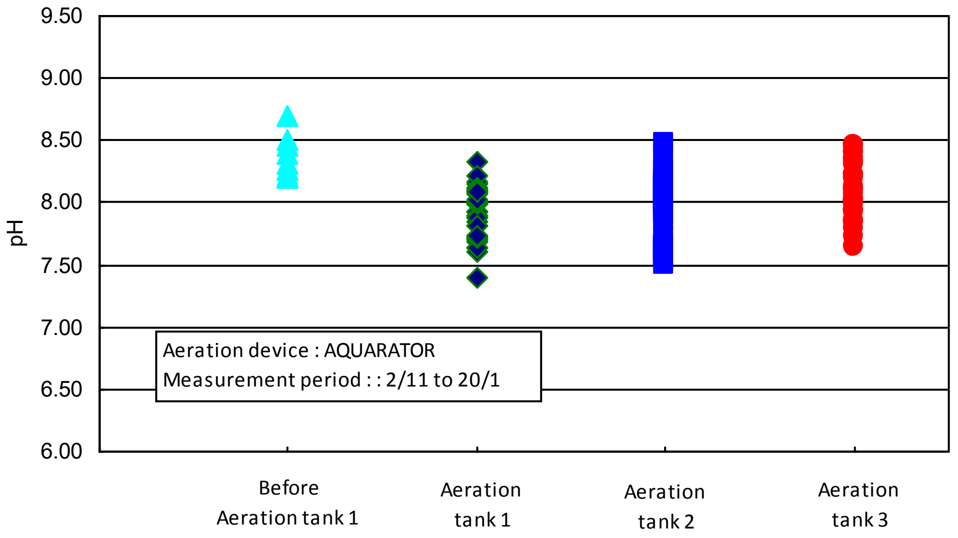


図 31 エアレーションタンク１から３の pH 状況（第２期）

・MLDO の分析結果を示す。Aeration tank 1 では 0.32 to 2.3 mg liter-1, Aeration tank 2 では 1.51 to 4.5 mg liter-1, Aeration tank 3 では 3.86 to 6.18 mg liter-1 であった。RUN1 同様に Aeration tank 1 では生物分解による酸素消費と硝化反応に伴う酸素消費が進行し，Aeration tank 2 および 3 にかけては槽内の活性汚泥の呼吸による酸素消費と反応速度の遅い有機物等が緩やかに分解されていると考えられる。ここで，各タンクでの濃度変位は汚泥浚渫中なことから流入水質および流入負荷の変動が少なからず起因していると考えられる。

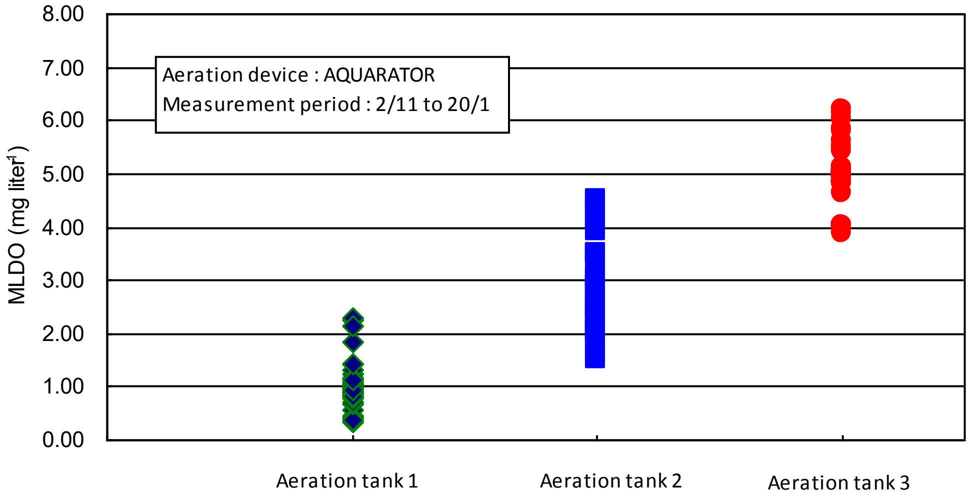


図 32 エアレーションタンク１から３の MLDO 状況（第２期）

・BOD，COD の分析結果を示す。汚泥浚渫時期の流入 BOD および COD 濃度は BOD=110 to 474 mg liter-1, COD=654 to 1420 mg liter-1 の結果であった。ASM による POME の生物処理は RUN1 同様に一次的減少が認められ最終放流水として BOD=31 to 124 mg liter-1, COD=207 to 742 mg liter-1 となった。ここで，RUN1 では最終放流 BOD が安定的に 50 mg liter-1 以下を維持していたが，RUN2 では高い値を含めた変動結果となった。これは汚泥浚渫中であることから，流入量が間欠流入であること，また原水濃度および流入取水経路が不安定であることが起因となり，活性汚泥の状態が不安定になっていると考えられる。滞留時間が比較的長く流入負荷変動に対応していると考えられるが，連続処理を行う ASM では流入経路や連続流入調整（流入負荷および水質調整）等の対策を事前に行うことで活性汚泥のバランス崩れの防止に繋がり，安定的な BOD 処理が行えると考えられる。

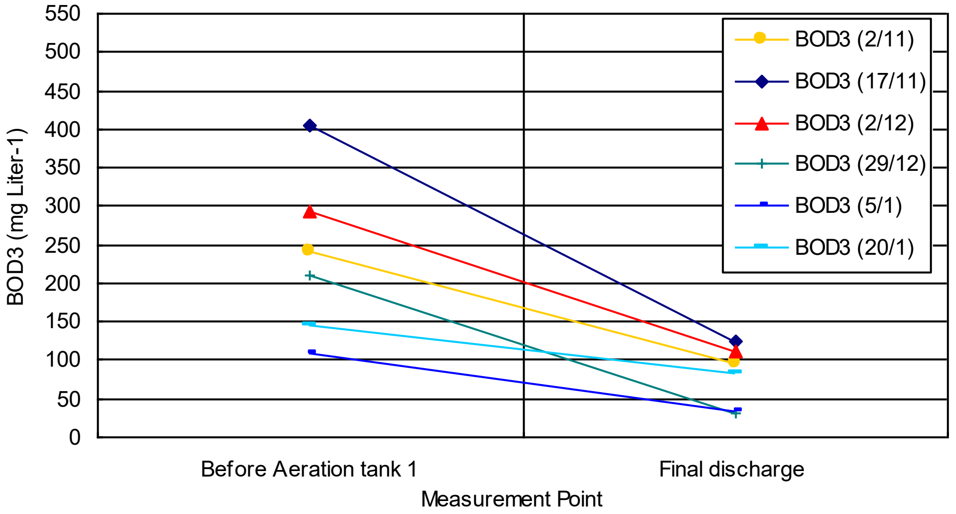


図 33 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 2 期）

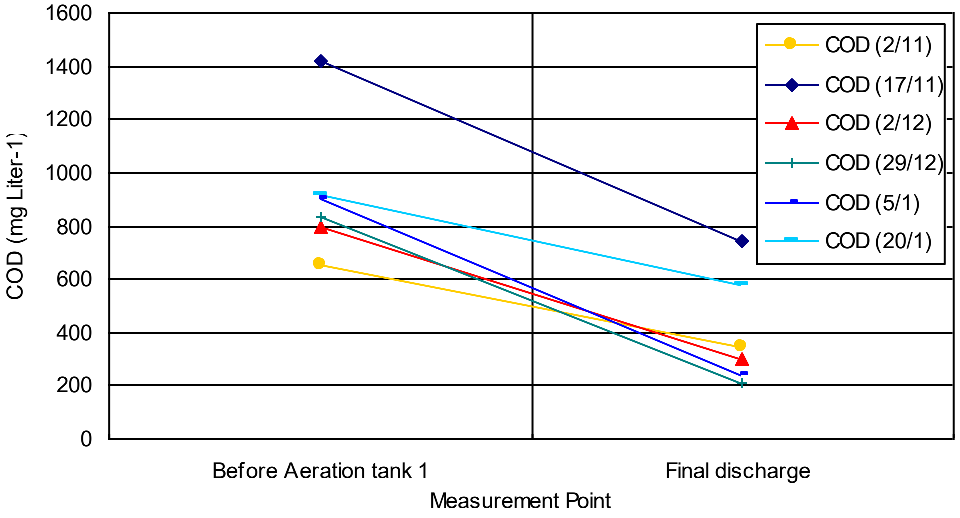


図 34 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 2 期）

・Ammonium，Total nitrogen の分析結果を（Figure. 16, 17）に示す。汚泥浚渫前の RUN1 と比較して流入濃度が高い値であるが, Ammonium の濃度挙動より RUN1 同様に硝化反応が完了している結果となった。このことから反応に必要な酸素供給が十分にされていると考えられた。Total nitrogen の濃度挙動でも RUN1 同様に減少が確認され, 沈殿槽での汚泥吸着による除去および好気条件化ではあるが Aeration tank 内でも部分的に嫌気状態であることで脱窒反応が起き低下に起因していると考えられた。またこれらは RUN1 同様に MLDO 濃度および pH 挙動からも推察された。

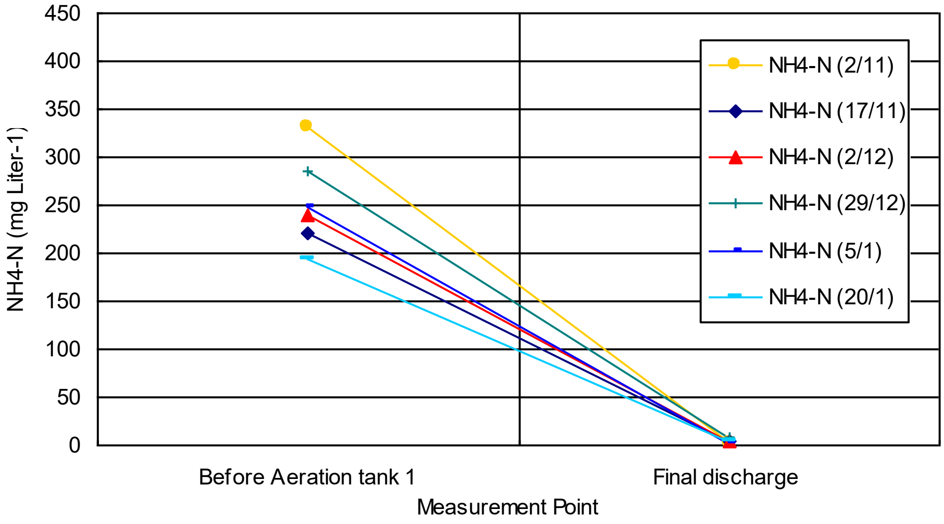


図 35 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 2 期）

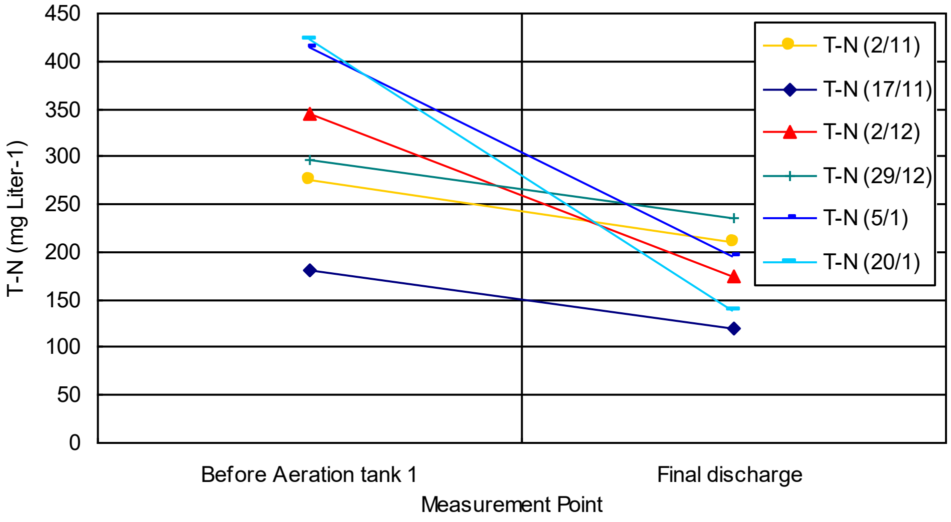


図 36 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 2 期）

（第 3 期：2017 年 1～4 月の測定結果の概要）

- 第 3 期は実証設備を設置した 2017 年 1 月から 2017 年 4 月までの水質測定・分析の結果である。
- なお第 3 期より、溶解性成分（BOD、COD 等）に関する分析を追加した。ASM では溶解性の BOD 成分に対しては効果的に微生物は働くが、溶解しない BOD 成分に対しては微生物が機能しにくいことが知られているため、溶解性／非溶解性成分の状況を知ることが不可欠と判断されたためである。

・pH の測定結果を示す。流入水では 8.41 to 8.67, Aeration tank 1 では 7.0 to 8.22, Aeration tank 2 では 7.16 to 8.42, Aeration tank 3 では 7.97 to 8.71 であった。

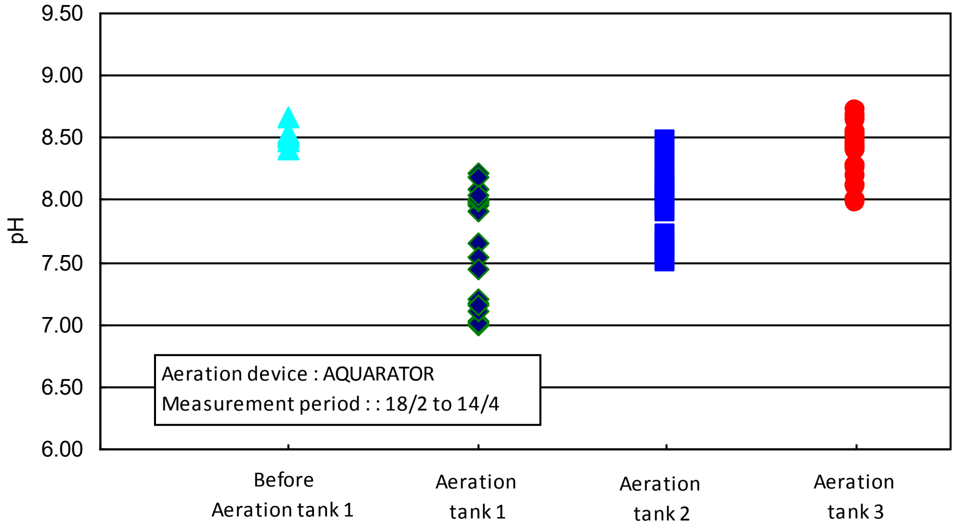


図 37 エアレーションタンク１～３の pH の状況（第３期）

・MLDO の分析結果を示す。Aeration tank 1 では 0.41 to 0.98 mg liter-1, Aeration tank 2 では 0.83 to 3.96 mg liter-1, Aeration tank 3 では 4.18 to 5.32 mg liter-1 と RUN1, RUN2 同様の変動結果となった。Aeration tank 1 では生物分解による酸素消費と硝化反応に伴う酸素消費が進行していること，Aeration tank 2 および 3 にかけて槽内の活性汚泥の呼吸による酸素消費と反応速度の遅い有機物等が緩やかに分解されていると考えられる。

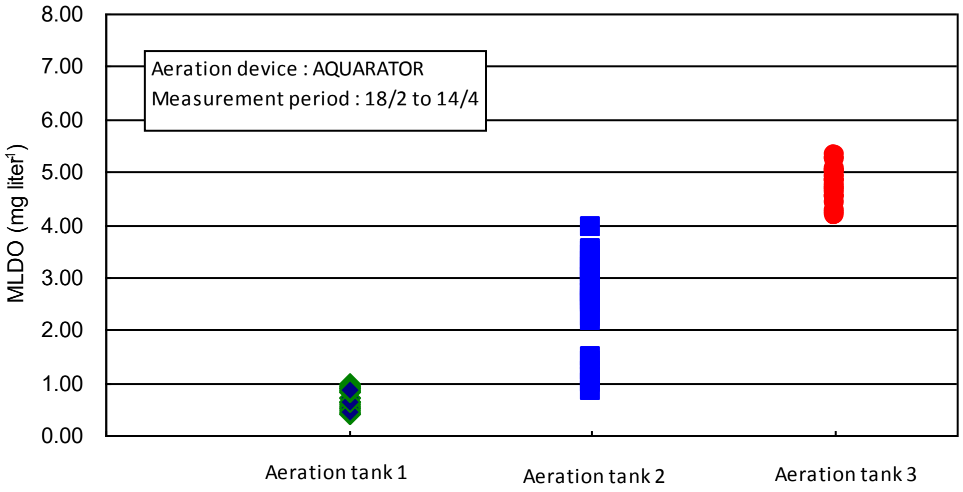


図 38 エアレーションタンク１～３の MLDO の状況（第３期）

・BOD，COD の分析結果を示す。RUN3(汚泥浚渫後）の流入 BOD および COD

濃度は RUN2 同様に流入濃度の変動が大きく BOD=96 to 307 mg liter-1, COD=721 to 1090 mg liter-1 の結果であった。最終放流水として BOD=27 to 69 mg liter-1, COD=226 to 446 mg liter-1 となった。ASM による POME の生物処理は RUN1，2 同様に一次的減少が認められた。ここで RUN2 では原水が間欠流入であったが, RUN3 より連続流入仕様に改善を行ったことにより流入負荷（濃度）変動はあるが，RUN2 と比較して BOD，COD 処理水が安定する傾向が得られた。このことから汚泥浚渫が必要な POM において, 連続処理を行う ASM を適用する際，POME の負荷変動への対策を行うことで活性汚泥状態を継続することが安定的な BOD 処理に繋がると考えられる。

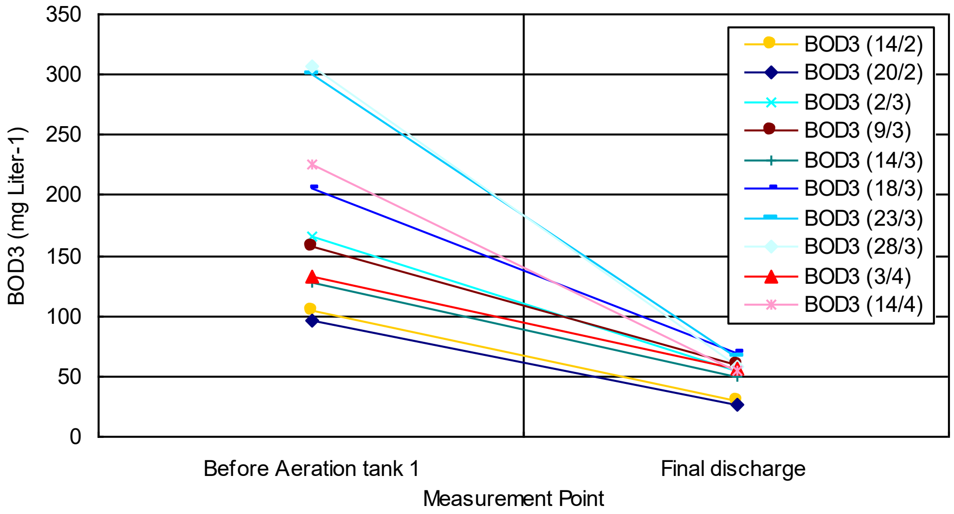


図 39 エアレーションタンク 1 と最終放流の BOD の状況（第 3 期）

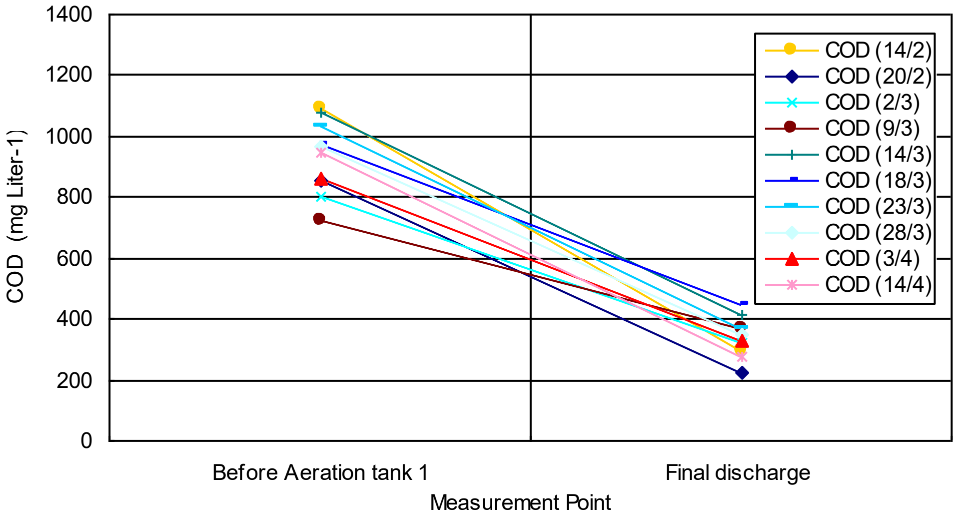


図 40 エアレーションタンク 1 と最終放流の COD の状況（第 3 期）

・Ammonium，Total nitrogen の分析結果を示す。RUN2 同様に流入濃度の変動

が大きいが，Ammonium, Total nitrogen の濃度挙動より RUN1,2 同様に反応に必要な酸素供給が十分にされ硝化反応が完了し，沈殿槽での汚泥吸着による除去および，Aeration tank 内でも部分的に嫌気状態であることで脱窒反応が起きていると考えられた。これらは RUN1，2 同様に MLDO 濃度および pH 挙動からも推察された。

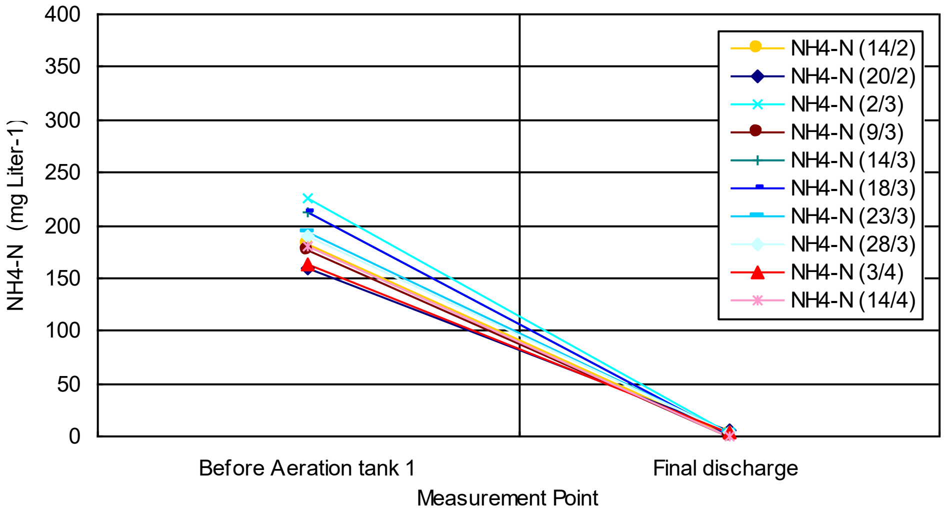


図 41 エアレーションタンク 1 と最終放流のアンモニアの状況（第 3 期）

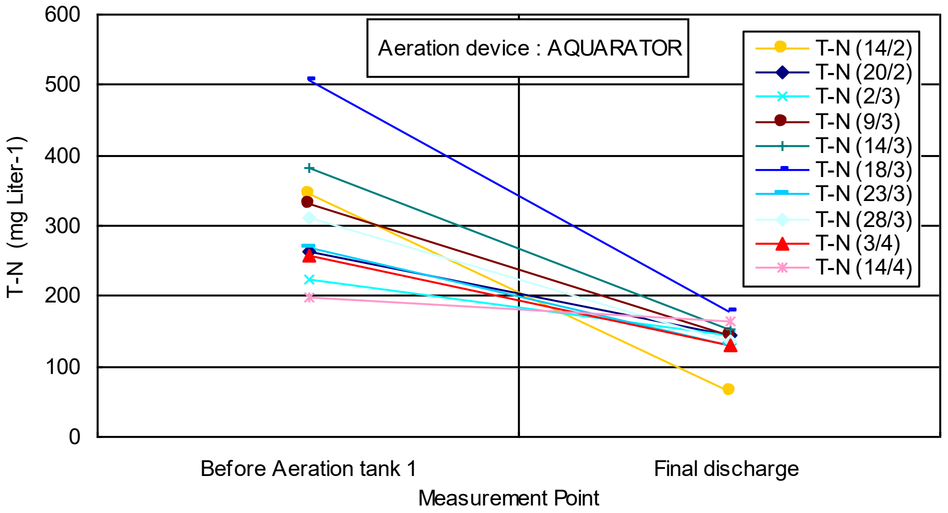


図 42 エアレーションタンク 1 と最終放流の T-N の状況（第 3 期）

（BOD 除去率等に関する考察のためのデータ）

・流入 BOD 300 mg liter-1 以上のみを抽出した表面曝気装置と AQUARATOR の BOD 除去率の比較を示す。ここで，汚泥浚渫中および浚渫後の RUN2，3 では流入濃度が変動していることから，BOD 300 mg liter-1 以上を含めて流入 BOD 濃度が高い 3 サンプルを対象とした。BOD 除去率の比較から表面曝気装置の除去率 34.7 % に対して AQUARATOR の除去率は汚泥浚渫前の RUN 1 では 84.1 to 93.1%と大幅な除去率の改善が認められた。しかし汚泥浚渫中の RUN2 では 59.9 to 69.5%と RUN1 と比較して低下が認められた。これは前述した流入量が間欠流入であること，また，原水濃度，流入取水経路が不安定なことで活性汚泥が不安定状態であることが要因と考えられる。汚泥浚渫後の RUN3 では 78.1 to 84.1%と改善傾向が認められた。これは，原水の連続流入効果により汚泥浚渫前の RUN 1 への回復傾向があると考えられた。この結果より，既存の表面曝気装置から AQUARATOR へ交換設置したことで曝気槽が常時安定した撹拌, 曝気を継続できたことにより期間通じて BOD 除去率を高めることが確認された。ここで RUN1-3 の除去率変動から，連続処理を行う ASM を適用する際，AQUARATOR による曝気槽改善だけではなく POME の負荷変動への対策を行う事が汚泥状態の維持および安定的な BOD 処理に継がると考えられる。

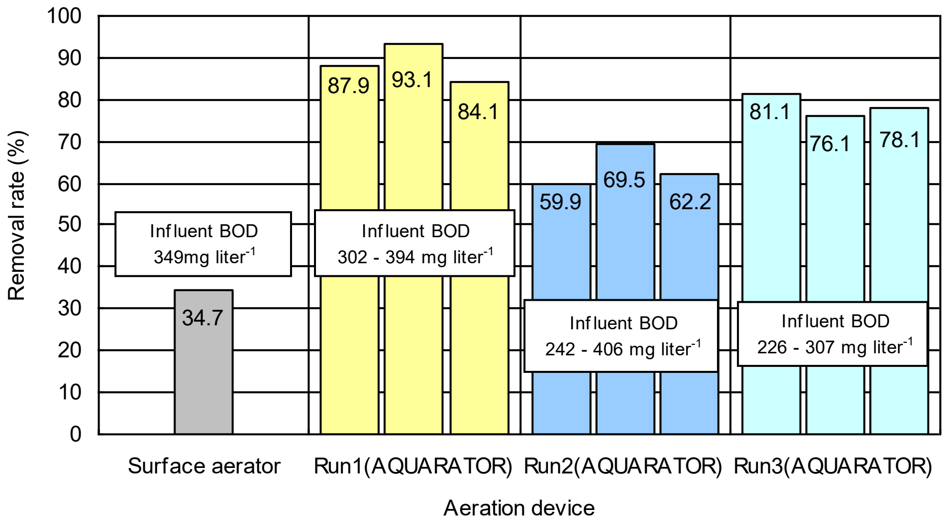


図 43 表面曝気装置とアクアレータの BOD 除去率の比較

・BOD の処理効率を高める目的で、RUN3 において溶解性の BOD である Soluble BOD3(D-BOD)と SS 性の BOD である Insoluble BOD3(S-BOD)の成分比率を調査した。RUN3 における流入水 BOD 成分分布を累積頻度として示す。

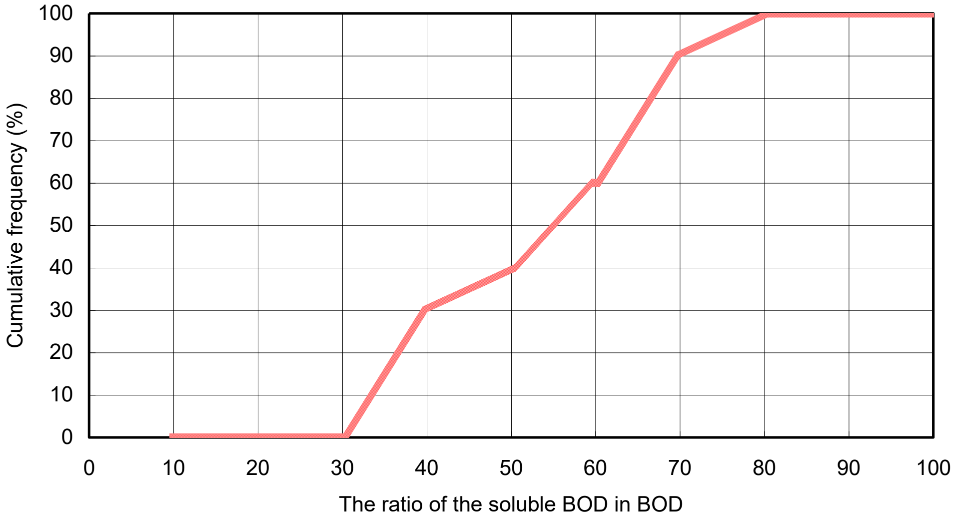


図 44 溶解性 BOD 成分比率（累積頻度）第 3 期

・BOD 成分分布より Insoluble BOD3(S-BOD)の比率が 50%超える比率は 60%であることが判る。ここで RUN3 の流入 BOD3 に対して最終放流水を Soluble BOD3(D-BOD)とした除去率比較を下記に示す。比較結果から除去率=86.3-92.8%（最終放流水として Soluble BOD3=22 to 31 mg liter-1）と SS 性の BOD である Insoluble BOD3(S-BOD)を除去することにより除去率の向上が示唆された。このことから SS 性の BOD 処理として凝集沈殿処理や砂ろ過等による Insoluble BOD3(S-BOD)の除去を後処理として行う事で，更なる BOD 除去が望めると推察された。ただし，これは前提として曝気槽を核とした ASM 管理による Soluble BOD3(D-BOD)の処理安定化が必要である。

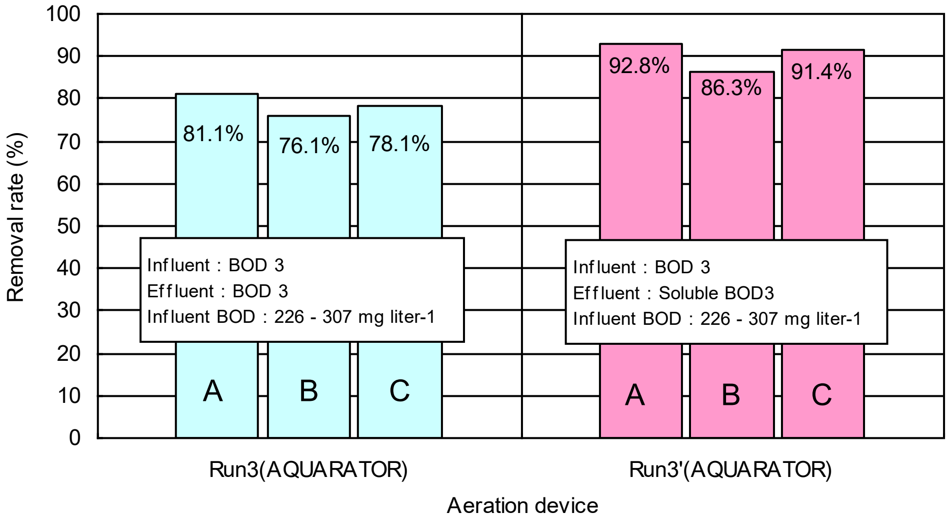


図 45 BOD 除去率（左）と溶解性 BOD の除去率（右）第 3 期

（水質分析からの結論）

ASM の曝気槽で安定した水質改善、特に BOD 処理が実現する目的に、表面曝気装置を採用している Polishing plant の曝気槽を対象に、表面曝気装置から「撹拌機能」と「撹拌散気機能」が分離した AQUARATOR に変えて曝気槽改善検討を行った。AQUARATOR に変えたことにより、MLSS、 Flow velocity を調査した結果、曝気槽の撹拌状態は大幅に改善し、また「撹拌散気機能」を付加することにより MLDO、 各種水質、特に BOD 処理は除去率として 34.7%から最高 93.1%まで改善された。また、SS 性の BOD 処理を考慮することにより、BOD の更なる低下が示唆された。

第 1 期及び第 3 期においては、最終放流水の BOD 値は現行規制である 100mg/L を確実に下回り 20～60mg/L を示した。第 2 期においては汚泥浚渫による処理フローの攪乱等もあり 40～120mg/L となり、計測サンプルの半数程度のみが規制値をクリアした。

本実証にて ASM の曝気槽を対象に POME 改善を行ったが、安定した POME 処理は核となる曝気槽や後処理も含めた ASM 全体の運転フローのコントロールが必要となる。期間中、汚泥浚渫により ASM 処理が低下したが、曝気槽が常時安定した撹拌、曝気を継続したことにより既存設備と比較して処理効果を高め、また維持することが確認された。以上から「撹拌機能」と「撹拌散気機能」がコントロールできる AQUARATOR は流入負荷変動や季節変動含めて安定した ASM の構築ができ POME 処理に寄与できるものと考えられた。

1-6. 現地のニーズに合う技術・製品とするべく、不要なハイスペック機能の削除や必要機能の追加等の技術改良を検討する。

（現地でのメンテナンス即応体制の構築）

現地の使用方法等を考慮し、設備自体の改良の必要性を検討した。

アクアレータについては、実証試験開始後の 2016 年 6 月に過負荷（過電流）による設備停止等が断続的に 3 回発生した。原因調査結果から、停止原因はアクアレータ自身に起因するものではなく、ポンド内の大きな木片（50cm 程度のサイズ）がインペラに挟まったことや、ケーブルが破損したこと（恐らく草刈り機での破損）であった。これらのトラブルは阪神動力機械が経験してきた工業的な水処理専用施設では見られないトラブルであり、オープンポンドを使用するパーム産業独特のものであるといえた。

但しこれらは設備的な防除が難しいこともあるため、このようなパームオイル産業特有の「トラブル発生確率が高い」こと、また現地でアクアレータの運用をする上で「故障時の即時対応」技術を保有する者が誰も現地にいなければ設備運用が保証されないことに気付くに至った。そのため設備操作方法としてのオペレーションノウハウ

だけではなく、トラブル発生時の初動対応となる「分解、部品交換、整備」もオペレーションノウハウに含める必要性を見出し、活動 3-3（「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」及び「スラッジ炭化炉」導入後は、実証先工場及び提携候補先の現地エンジニアリング企業を対象に、オペレーション・メンテナンス方法等を指導し、技術移転を図る）における指導の項目に加え、実施した。

日付	停止及びリカバリー経緯
2016/6/20	この日ポンドNo.１に設置したアクアレータが過負荷（過電流）にて停止した。その時点で、水中モータおよび制御盤内の保護装置（リード線含）が破損した可能性が高いと考えられた。 これは、導入開始時にも発生した外的要因であるポンド内の木片や夾雑物によりインペラロックが起きたことから過電流発生し、水中ケーブル、制御盤内の故障に繋がったと考えられた。 そのため、6/20 以後に現地予備モータへの交換を行ったが、実際には過電流により制御盤内の保護装置がその時点で破損しており、木片含む夾雑物によるインペラロックが再発し過電流が起きた際に、繰り返しモータ故障が起きた。（※6/20 時点では、制御盤内故障は不明）
2016/6/30	阪神動力機械のエンジニアが急きょ現地に赴き調査を行った結果、制御盤内保護装置（リード線含）とケーブル破損が発生し、モータ故障が繰り返し発生したことが判明した。そのため制御盤内の修理と並行して、新規モータ（ケーブル付）の緊急輸送手続きを行った。
2016/8/8	阪神動力機械の指導の下、制御盤内修理確認、新規モータ交換、据付確認を行った。ここで、是正として現地 Felda の作業員、監督者へはポンドの管理、作業注意、指導を行った。これはポンドへの木片、夾雑物の投入や流入が一連の発端である可能性が高いと考えられるためである。

（提案におけるシステム構成）

当初予定では、現地ニーズにあう技術・製品とするべくハイスペック機能の削除や必要機能の追加等の技術検討を行うこととしていたが、個々の設備の改良ではなくシステム提案の際に必要機能に特化した形での対応が求められると考えられた。

前処理での汚泥分離のために設置したスクリーン装置は、ポンプだけで汚泥分離ができるため省エネルギー・省コストが実現できるという利点はあり、本事業では一定の汚泥分離効果を発揮した。他方で各パームオイル工場において処理フローが異なる

ことから直前のポンド（またはタンク）の状況によってスクリーン装置が不要となるケースも想定された。

有価物を創出する目的で提案した炭化工程については、前処理工程にてタンクでの嫌気発酵とバイオガス回収が行われる工場においては、炭素分が相当回収されてしまうため回収汚泥の灰分比率が50%程度まで高まってしまい炭化できなかった（かすかすの状態となり固形分がほとんどなくなる）。そのため炭化工程についても当該工場の処理フローを検討しつつ、提案するかどうかを見極めることが必要である。

いずれにしてもアクアレータを中心とした活性汚泥処理方式ではあるものの、その他の設備はオプション提案とすることが妥当であると考えらえる。

（現地対応）

当初、製品コストを抑制するためにアクアレータ製造の一部現地化や設備投資を検討していたが、本事業を通じて現地のエンジニアリング会社との技術的な連携を深められたことから、自社投資による製造設備や施工装備の投資の必要性がなくなったこと、日本側要員の動員も出張ベースだけで十分である体制が構築できたこと等から経費抑制が実現できる見込みである。またスケールメリットが出始めればさらにコストダウンはできる可能性があり（例えば輸出にかかる輸送費の共通化、求められる技術の高さに応じた人員の専門化等）、それらを価格にも反映させられる可能性がある。

② （活動結果２）スラッジ炭化設備の導入による実証試験

2-1. 実証先工場において、排水処理過程で発生するスラッジやその他のパームオイル工場残渣を有効活用するための「スラッジ炭化設備」を設置する。

活性汚泥処理システムと同様、当初計画では 2015 年 9 月にも施工工事が完了して実証試験に着手する予定であったが､MOA 締結の遅れにより 2016 年 1～2 月に施工、4 月 5 日に稼働確認を行った。

乾燥機・炭化炉とも正常に稼働することが確認され、その日のうちにスラッジ由来加工品の試作作業に入った。

乾燥機
(稼働時）

炭化炉
(稼働時)

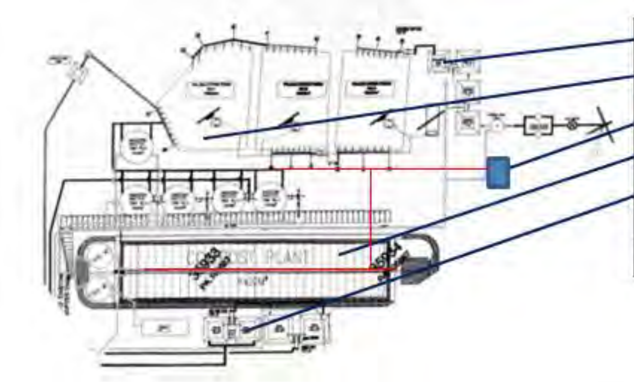
2-2. 実証先工場が同装置を運用し、スラッジ由来の加工品を製造する。

汚泥の乾燥・炭化にあたっては、燃料用途、土壌改良材用途、水処理材用途（半活性炭）を想定している。これらの差異は主に炭化温度による炭化物の性質の違いによって生まれる。そのため、本事業においては様々な由来の汚泥に対して、温度帯を変えつつ炭化試作を行う。

また汚泥とパームオイル工場残渣を混合した炭化品とすることで、汚泥だけでは足りない成分の補足、熱量の補足等も期待できるため、実証工場の了解のもとで各種残渣についても同様の試験を行う。

炭化試作品の評価は想定用途に合わせ、燃料用途の低温炭化では熱量測定や熱天秤分析、水処理用途では比表面積分析を行うほか、共通項目として水分、炭化収率、工業分析等を行う。

なお、当初予定では実証先工場に試作品の製造を依頼する予定であったが、実証工場の協力は得ながらも、当社及び乾燥機・炭化炉の購入先にて日本側で炭化チームを組成し、炭化作業にあたることとした。2016 年 4 月 5～8 日で初回の炭化作業を実施した。



1	沈殿槽	阪神ア流入直前
2	通気性機能池#1	消化スラッジ
3	凝集剤添加場	消化スラリー
4	コンポスト舎	熟成堆肥
5	ミキシングポンド	原水
6	細断 EFB	低温炭化材料
7	PKS	半活性炭材料

ポイント３原料
消化スラリー

ポイント２原料
機能池からの採取

ポイント４原料
コンポスト舎

図 46 スラッジ由来加工品の試作原料採取場所

表 15 スラッジ炭化試験の原料、加工内容、分析項目

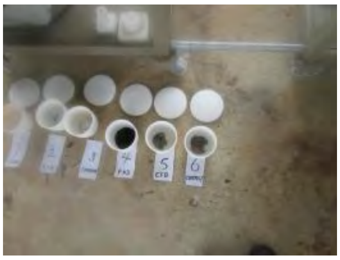
原料（採取場所）		低温炭化 200~320℃　30℃ごと 5 点					標準炭化 600℃	高温炭化 800~1000℃	
		200℃	230℃	260℃	290℃	320℃	600℃	800℃	1000℃
1	沈殿槽 汚泥						○		
2	通気機能池 汚泥						○		
3	凝集剤添加場 汚泥	○	○	○	○	○	○	○	○
4	余剰コンポスト	○	○	○	○	○	○	○	○
5	ミキシングポンド 汚泥						○		
6	細断 EFB（工場残渣）	○	○	○	○	○	○	○	○
7	PKS（工場残渣）	○	○	○	○	○	○	○	○

↓　↓　↓　↓　↓　↓　↓　↓

分析項目						※6. 熱天秤は、サンプル 4、6 のみ			
1	水分	○	○	○	○	○	○	○	○
2	炭化収率	○	○	○	○	○	○	○	○
3	かさ比重	○	○	○	○	○	○	○	○
4	高位発熱量	○	○	○	○	○	○	○	○
5	工業分析	○	○	○	○	○	○	○	○
6	TG（熱天秤）	※	※	※	※	※			
7	比表面積						○	○	○

予乾燥の様子

炭化炉へのセット



炭化後の加工品

2-3. スラッジ由来の加工品の分析と共に、その活用方法（燃料利用や堆肥利用等）やマーケットニーズの調査を行う。

1）炭化品マーケティング

汚泥炭化品の試作に先立ち、その用途における市場状況を確認するためにヒアリングを実施した。現在マレーシアではパームオイル工場の汚泥由来炭化品の流通はされていないために、一般市場として、またはパームオイル工場残渣の活用という側面でのヒアリングとした。

表 16 炭化品に関するヒアリング先リスト

ヒアリング先	項目	実施日
TITAN Energy 社	燃料（エネルギー）用途	2015 年 8 月 27 日
Zenxin Agriculture 社	土壌改良材用途	2015 年 10 月 28 日
九州工業大学 白井教授	残渣炭化製品の全般的な用途	2016 年 2 月 24 日

燃料（エネルギー）用途：TITAN Energy SDN. BHD.

（TITAN 社について）

TITAN Energy SDN. BHD.は、発電設備や熱供給設備等のエネルギー関連設備のエンジニアリング、調達・建設・施工（EPC）を請け負う企業であり、特に廃棄物やバイオマス等の再生可能エネルギー設備の施工に強みを持つ。住友重機、よしみね（日本のボイラーメーカー、バイオマスに強み）等の代理店でもある。

JICA-JST プロジェクトである「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」において、サバ州のパームオイル工場への炭化設備施工に関連している。

（パームオイル工場残渣のエネルギー利用の現状）

現在のパームオイル工場残渣のエネルギー活用は、工場内で完結しているとのことであった。ボイラー燃料として利用できる残渣を、必要に応じて乾燥（天日乾燥）、破砕によるサイズ調整等の軽加工を加えた後に、工場内のバイオマスボイラーで燃焼させている。ボイラーで作られる蒸気も工場内利用であれば低圧・低温ボイラーで良く（例えば 200℃以下、20bar 以下）、蒸気タービン発電機を接続する場合でも低効率の単段切り替え式（多段切り替えであればエネルギー効率は 20～25%に向上する）でよい。高効率型の採用した例は少ないということであった。半島マレーシアではパームオイル工場の 40%程度、サバ・サワラクでは 60%程度が、このようなパームオイル残渣を利用した自家用発電機を導入している。

パームオイル残渣による固形燃料化についてはサバ州プロジェクトを含めて燃料化

のための実証試験はいくつか実施されているが、固形燃料の商業流通はこれまで行われていないとのことであった。商業流通が進まない理由としては、パームオイル工場が遠隔地にあるということ（周辺をパーム農園に囲まれた、電力グリッドから隔離された地域）、燃料としての加工度が低い場合には重量あたりの有効エネルギー量（販売するエネルギー価値）が低いため加工コストや輸送コストに見合わないこと等が挙げられた。

（パームオイル工場残渣エネルギーの商業利用に向けての論点）

パームオイル工場残渣のエネルギー利用を図るための論点の一つとして「エネルギー密度の高い固形燃料化」が不可欠であるとの見解が示された。残渣を破砕した程度ではエネルギー密度は十分に高まらず、“かさ高”となり相当の輸送キャパシティとコストを必要とする。なお工場からの輸送はトラックに頼らざるを得ない。

エネルギー密度を高めるためには、パームオイル工場側に減容化設備やペレット化設備等の加工設備を置く必要がある。サバ州プロジェクトではバイオマス減容設備を導入し、残渣をプレスしてレンガ状の成型品とする計画である。プレスの過程で水分も抜けるため軽量化と単位発熱量向上が期待できる。但し、繊維分については、減容化が難しい。

もう一つの論点として「集約化システム」が必要であるとの見解が示された。マレーシアでは燃料は容易に入手できるので遠隔地のパームオイル工場から取り寄せてまでの固形燃料ニーズは薄いと考えられるため、可能性が高いのは発電所用燃料としてのニーズである。電力グリッドに接続し、売電する発電所とするためには少なくとも数十 MW 規模が必要となるが、パームオイル工場単体ではその規模には至らない（導入されている自家発電機容量は 1MW 程度）。そのため、例えば 100km 圏内にある複数の工場から固形燃料を集約するような大規模発電所を設置することが現実的である。

現段階ではこのような構想の主体となる意思を持つ組織が存在していないことも課題である。大規模発電所を中心とした固形燃料加工・集約システムの構築を行うためには、政府機関や大手パームオイル企業が旗振りをする必要がある。

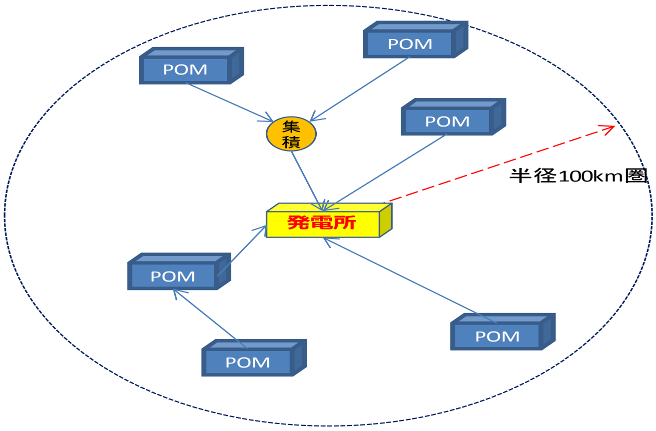


図 47 集約化システム イメージ

（本事業の炭化製品に関する考察）

TITAN 社へのヒアリングを通じて、本事業の炭化製品の燃料（エネルギー）利用に向けては「エネルギー密度の高い固形燃料化」「集約化システム」という二つの課題があるという考察が得られた。

本事業では炭化温度の適正化を図ることにより、炭化条件を変えながらら有効エネルギー量の多い（エネルギー密度の高い）燃料化を目指しているところであり、一つ目の課題に対しては一つの答えを提案するものと考える。

二つ目の課題については、パームオイル工場単体での判断レベルではなく、政府機関の政策判断や、大手企業の経営判断にゆだねられるところが大きい。MPOB が掲げるパームオイル産業の創出する付加価値を増大させるという方針の延長線上にはあるものの、即時に動き出すものではないと考えられる。

他方でマレーシアにおけるエネルギー需要は今後も高まることが予想される中、各所に様々な実証プラントができつつあるため、このような構想の実現に向けて本事業でも実証データの整備と準備を行う必要がある。

<u>農業向け土壌改良材用途：Zenxin Agriculture SDN.BHD.</u>

（Zenxin 社について）

Zenxin Agriculture SDN.BHD.は、マレーシアにおける有機農業を行う農業法人で最大手の企業である。また同時に有機農業向けの肥料や堆肥を製造し販売しており（事業としては肥料・堆肥製造が先である）、いくつかの品目はパーム農園向けとなっている。その他、ジョホールにてレジャー型有機農場（Zenxin Organic Park）を開設している。

本事業で試作される炭化製品はパーム工場由来であるため化学薬品を含まないものであり、単なる土壌改良材ではなく有機農業用としての付加価値が付けられる可能性もあるため、今回は、肥料・堆肥メーカーとしての視点と、農業法人としての視点の

両方からお話を伺った。

（有機農業マーケットの状況）

マレーシアでの有機農業は端緒を開いたばかりであり、今後は拡大するという見解が示された。同社はその先駆的な存在である。

有機農業では認証制度が鍵となっており、認証を得るためには土壌の履歴管理（化学肥料を使用していないという証跡）、土壌の定期検査、生産物のトレーサビリティ、生産物検査等が要求される。これまではマレーシアに有機農業認証が無かったために、国際的にも権威があり、アジア太平洋地域では最も信頼されていたオーストラリア有機農業認証（NASAA）を取得している。その他、JAS 認証も信頼性が高いとのことであった。有機農業認証を得ている農作物は比較的高価での取引がされており、同社ではシンガポール向けに輸出している。

なお、使用する肥料・堆肥の種類を変えることは、土壌の履歴が変わることを意味しており、有機肥料であることの認証や立証がされなければ容易には使用できないという見解も示された。

マレーシアでは国産野菜への信頼性回復のために有機野菜を認証する制度（Malaysian Organic Scheme：SOM）が存在している。現在、2015 年に 34 農家（農業法人）が認証を取得している。

また有機農家を認証する制度（Malaysian Farm Accreditation Scheme：SALM、2005 年より）は、2013 年にマレーシア GAP 制度（Malaysian Good Agricultural Practices）に統合されている。[19]

（有機農業向けの肥料・堆肥等のマーケット状況）

マレーシアにおける有機農業向けの肥料・堆肥については、前述した有機農業認証を意識することの重要性が強調された。また、マレーシア市場では価格が重要視されていること、国際市場では付加価値を評価する方向にあることも示された。

同社では年間 8,000t の肥料・堆肥を生産しており、生産量は年々増加している。同社は自社利用のために肥料・堆肥の製造を始めたが、現在は外販が 60％を占めるまでとなり、将来的には 70％まで伸長させる計画であった。外販先はパーム農場、野菜農家、花卉農家等であり、ある商品は RM480/t（約 15,000 円/t）での販売である。

現在は主要原料として鶏糞、その他、灰等 45 種類の原料を混合している。

[19] マレーシア農業省 Web http://www2.doa.gov.my/index.php/pages/view/377?mid=70 認証マークも同 Web から

（パーム農園向け有機農業肥料・堆肥）

同社では、パーム農園向けの有機農業用肥料・堆肥の製造・販売も行っており、現在では 1,000 エーカー（およそ 400ha）以上の農園にて使われ始めている。パーム農園では 1 本あたり年間 2kg のカリウムが必要であり、吸収率を考慮すれば年間で 12～15kg/本のカリウムを施肥することが求められる。炭化品にはカリウム分は含まれないため、ピートモス（ミズゴケ類、欧州産が多い）を付加する等の工夫が必要と考えられるとのことであった。

また将来的には有機栽培パームオイル市場ができてくると良いというビジョンも語られた。さらに、もしもパーム農園でパーム木の成長を阻害する霊芝（マンネンタケ科のキノコ、Ganodema）を抑制できる堆肥ができれば、ニーズは非常に大きいという状況も共有された。霊芝の防除は MPOB でも重要な研究テーマとなっている。

（本事業の炭化製品に関する考察）

Zenxin 社へのヒアリングを通じて、本事業の炭化製品の土壌改良材としての利用に向けては「コストターゲットの設定」、「有機農業認証への配慮」、「栄養分の付加」という三つの課題があるという考察が得られた。

コストターゲットについては、Zenxin 社の販売価格である約 15,000 円/t が一つの参考指標となりうる。今後、実証試験を進める中でコスト計算を試みる。

栄養分の付加については、本事業で栄養分を付加して最終堆肥製品とすることも一案であるが、本事業の炭化品のみで販売を考えるのではなく、肥料・堆肥メーカーに炭化品を原料の一つとして供給することが現実的であると考えられる。炭化品の試作品が製造できた段階で、引き続きヒアリングを行いたい。

有機農業認証への配慮については、通常パームオイル工場では化学薬品の使用は考えられないため、汚泥や残渣にも化学薬品などは残留しないと考えられる。そのため残された課題は認証を得るためにどのような手続きが必要かを検討することとなる。但し、有機農業認証がなくとも通常肥料としての販売は自由であることから、コスト面での検証を含めて高付加価値化が必要であると判断される場合に、改めて検討すべき課題である。

残渣炭化製品の用途全般：九州工業大学　白井教授（JICA-JST プロジェクトリーダー）

（JICA-JST プロジェクトにおける炭化製品実証の状況）

JICA-JST プロジェクトにおける炭化プロセスについては、㈲山本粉炭工業（本社：島根県）の炭化炉を活用。縦 6m×横 9m×深さ 1.5m の炭化装置を用い、1 週間で 10t、年間 600t の炭化物を生成。設備費用は当該規模で 300 万円程度。ただし、施工や操作方法が経験則に基づくものとなっているため、それを理論化する研究も進めている。

UPM 内の分析装置で測定したところによると、パームオイル残渣の炭化物については、自然炭化が最も高い熱量を示す。ブロア等で炭化を行った場合、酸素が足りないと生焼け状態となり熱量が落ち、多いと灰になってしまい生成量が減ってしまう傾向が見られる。

UPM の研究室での炭化物の活用用途としては、土壌改良剤をターゲットとして想定している。

高品質の炭化物は、水質浄化剤（活性炭）としての利用が可能であるが加工が難しいと認識している。低品質の炭化物は、燃料としての活用が考えられるが高コスト（売電価格が安い）となるため普及は困難と判断される。

その中間として、土壌改良剤での用途がある。（研究室では、テストプラント横で通常よりも大きな果実が取れるパパイヤやマンゴーなどを生育し、地域の農家に普及活動も進めた）

現在のパームオイル産業は、残渣処理等、事業者の視点では好循環サイクルになっていると考えられるが、生物多様性の視点からは改善すべき点が多い。残渣や汚泥に由来するコンポストの用途開発を検討できれば、（汚泥が大量に発生する）嫌気性処理の普及も不可能ではないと考えられる。

（本事業の炭化製品に関する考察）

白井教授へのヒアリングを通じて、本事業における炭化品の活用方法との共通点と、JICA-JST プロジェクトにおける戦略を伺うことができた。

白井教授の知見からは、高付加価値用途として水質浄化材（ろ過用活性炭）、中付加価値用途としての土壌改良材、低付加価値用途としての燃料（エネルギー）との仕分けがされており、本事業で可能性を検討しようとする用途が妥当なものであることが確認された。

本事業では、下記 2）の通り、炭化温度や炭化条件のコントロールにより、多様な用途を視野に入れた炭化品を試作した。

2）スラッジ由来の加工品の分析

（原料について）

実証工場では POME は三方向に分散して流れ出すので、それぞれのフローのバイオマス残渣として、①嫌気発酵後の消化スラリー、②コンポスト舎の醗酵コンポスト、③凝集剤添加後圧搾された圧搾塊である。まずはこれらを原料とした。

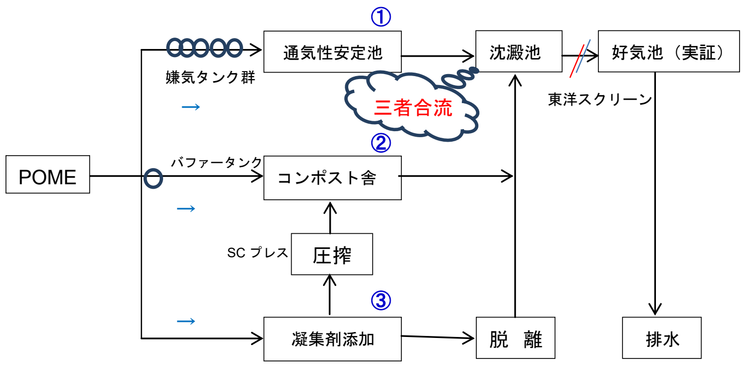


図 48 実証工場におけるの POME フロー（現地取材における推定）

また、EFBやPKS(perm kernel shell）は燃料として昔から有効利用されているが、一層効果的な利用法の検討も求められているので実証工場側の了解を得て候補とした。

仮説としてパームオイル工場から排出される嫌気発酵処理前（すなわち消化前）のスラリーやスラッジは高位発熱量（HHV）も大きく、灰分は少ないと考えられるため炭化材料として有力であるが、沈殿槽や通気性機能池のスラリーやスラッジは嫌気発酵や凝集圧搾、コンポスト後の残渣であるため価値が低いと推定されるが、これらの炭化こそプロジェクトの本来目的であるとの期待もあるので、標準炭化（600℃）により有効性を検証することにした。分析項目を下記に示す。

また分析の補助項目として水分、嵩比重、熱天秤（低温炭化帯）肥糧検定（コンポスト）等の分析を行う。

表 17 スラッジ由来の炭化の試験分析項目

	分析項目	何を見るか	何を判断するか
1	炭化収率	原試料の量と炭化後の量を比べその比を求める。	最適炭化温度の設定を判断する
2	高位発熱量	採取地点ごとのサンプルの燃料適性を見る	炭化温度と発熱量の関連
3	工業分析	揮発分、灰分、固定炭素の比率の変化を見る	消化スラリー等の発熱成分を検証
4	比表面積	温度と素材による炭化物の表面積の増減を見る	炭化物の活性炭適性を見る

（分析結果①　炭化収率）

バイオマス燃料はその輸送効率が低いことが課題になることが多いが「エネルギー密度」が高い、すなわちより少ない容積または重量で、エネルギー源となる炭素をよ

り多く含有することができれば、その課題の解決につながる。炭化収率は「エネルギー密度」を知るための指標の一つである。

低温炭化対象となったのは凝集剤添加圧搾塊、コンポスト、EFB（細断）、PKS（カーネル）の４種類であった。予定していたスラリーとスラッジは高含水のため不適（相当の蒸発用熱量が必要）、ミキシングポンドスラリーは残油分が混入しおり不適（燃焼してしまうため）とした。

炭化温度は 200℃、230℃、260℃、290℃、320℃の５温度帯とした。200℃～300℃の間で著しく減容するがこれは揮発分蒸発に加え、脱水反応も与っている。予乾燥した水分を炉投入前に再測定し無水基準を求めた。

低温炭化範囲においては理論通り右肩下がりで著しい減容を示す。EFB、PKS は脱水反応とセルロース等揮発分の分解減容が進行しているが、コンポストと凝縮圧搾塊は素材の性状が均一でないこと、高含水比であることから収率はばらつく。コンポストでは、発酵熱による一部有機物質の分解が先行、圧搾塊は炭化されない凝集剤が蓄積するなど未解明の要素があり、低温炭化素材としては適していない。

中温炭化（600℃）ではミキシングポンドに油分の混入があり、炭化中に燃焼、高温炭化（1000℃）においても 800℃以上でコンポストと EFB は燃焼または分解して著しく収率を下げた。

EFB は独特の形状に内包する空気があって燃焼したと考えられる。減容目的（輸送、加工など）としては低温炭化、中温炭化は有効である。高温炭化は燃焼による収率低下が著しく不適であると判断する。

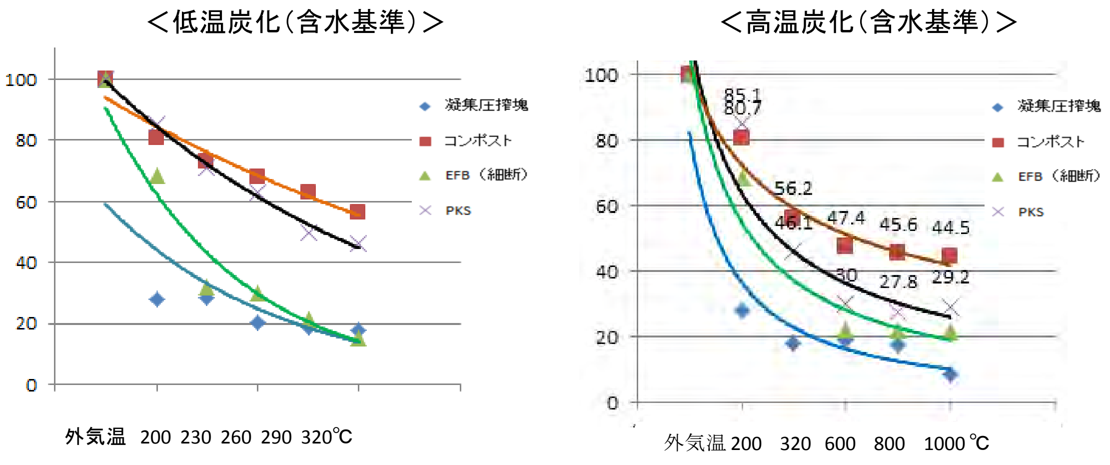


図 49 炭化収率グラフ（左：低温炭化、右：高温炭化）

（分析結果② 発熱量の分析）

発熱量（単位発熱量。今回の分析においては高位発熱量：Higher Heating Value、HHV）はそのままエネルギー量を示す指標であり、「エネルギー密度」を知るための指標の一つにもなる。温度帯ごとの高位発熱量を表示する。

炭化素材によって HHV はかなり明確に二極分化することが新たに分かった。PKS や EFB に由来する炭化品の HHV は炭化温度の増加とともに漸増するが、スラッジやコンポストに由来する炭化品は漸減する。

HHV は生材料の時はあまり変わらないが炭化温度上昇に伴い、全体として EFB と PKS の HHV は増加し（反応により発熱に寄与しない水分が抜けて固定炭素が増加するからだと考えられる）、コンポストと凝集塊は不変、沈殿槽などのスラリーは減少する（低温段階から相対的に揮発分が減少し灰分が増えるためと考えられる）。

ミキシングポンド（工場に近い上流側）スラリーに由来するの炭化品の HHV は 37MJ/kg と高いがこれは取りきれなかったパームオイル（CPO）が 2～4%混入しているためで（工場副所長より確認）、ラグーン流入時（下流側）には嫌気発酵で油分は消化してしまい炭素残留量は減少する（メタンになって放出）ため、HHV は低く有機物も減少しているので炭化素材にはなりえない。

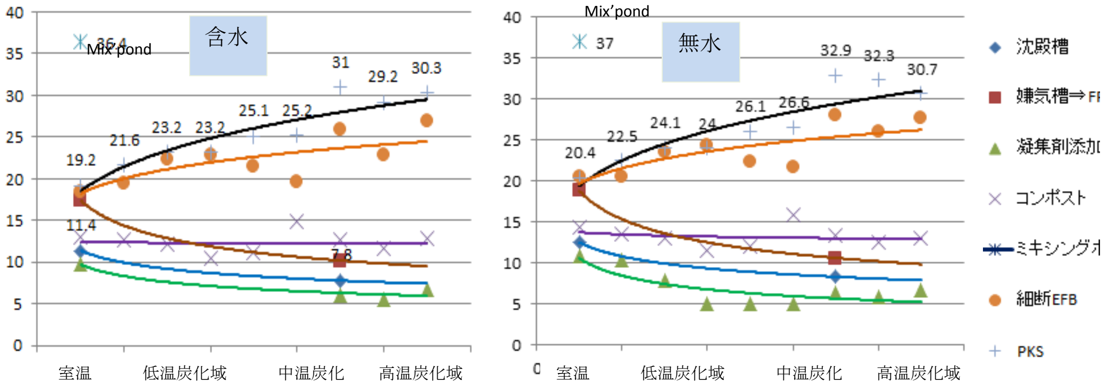


図 50 高位発熱量グラフ （炭化温度別）

（分析結果③ 工業分析）

工業分析は、加工前試料や炭化品について揮発分（主にエネルギーとなる）、灰分（主に燃焼残渣になる、無機含有物であり肥料にもなりえる）、固定炭素分（一部は燃料化するが、少ないほど燃焼性が良い）

POME 原液が流入するミキシングポンドのスラリーの発熱量は 37MJ/kg 以上あり、揮発分が多く灰分が少なく、水分も 2%以下なのでこのままで燃料になりうるが、これは CPO 混入が多いためである。CPO を回収してしまえば未消化のスラリー同様になり 25MJ/kg 程度に低下すると考えられる。以降、嫌気処理槽スラッジ、好気処理槽スラッジと処理が進行するに従い発熱量、揮発分は下がり、灰分が増加する。ポンド

では順調に消化分解が進んでいることを窺わせる。なお好気分解段階では相対的に土砂やシルトの比率が上昇し、灰分比率が増加することから炭化しても砂が炭化するようなもので収率や、品質（燃料品質、肥料品質）の面で期待できない可能性がある。

実証工場の Jengka21 では、消化前の成分リッチな POME を直接コンポスト舎の散布水や凝集剤添加圧縮分離などに回しているとのことなので、消化後 POME だけから発熱量の高いスラリー、スラッジを取得することはむずかしい。

PKS は低温炭化領域で連続した HHV の上昇がみられ、灰分も少ない。炭化素材として最適であることが確認できる。EFB は工業分析のグラフが安定していない。HHV も追随して不安定である。炭化作業途中で空気が入って一部燃焼した様子が窺われるが 600℃に達した状況では順調に HHV が上昇している。炭化素材として問題はないが、作業には空気の遮断に注意が必要である。

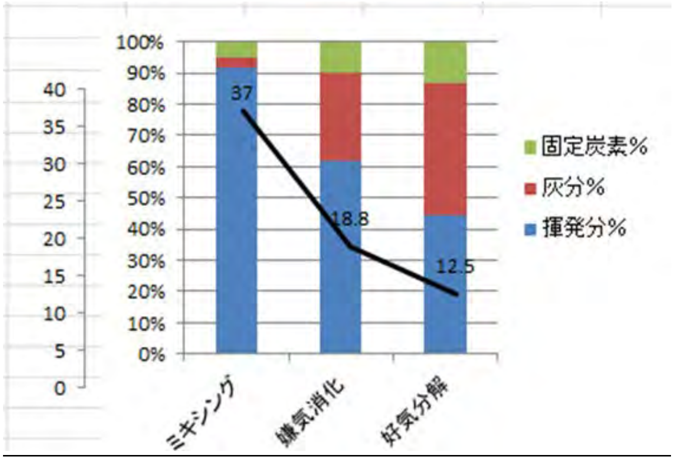
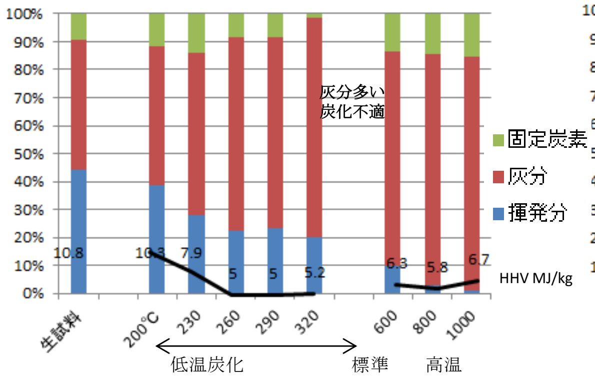


図 51 スラリー、スラッジの組成割合と高位発熱量



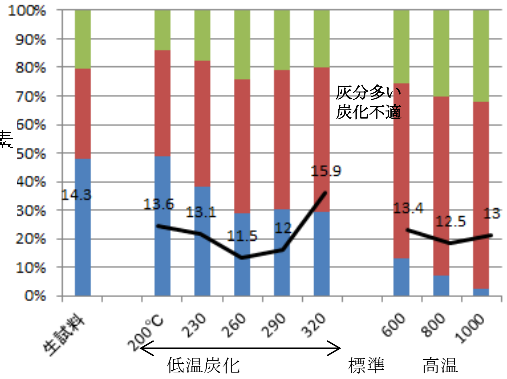


図 52 工業分析と発熱量：凝集圧搾塊（左）、コンポスト（右）炭化品

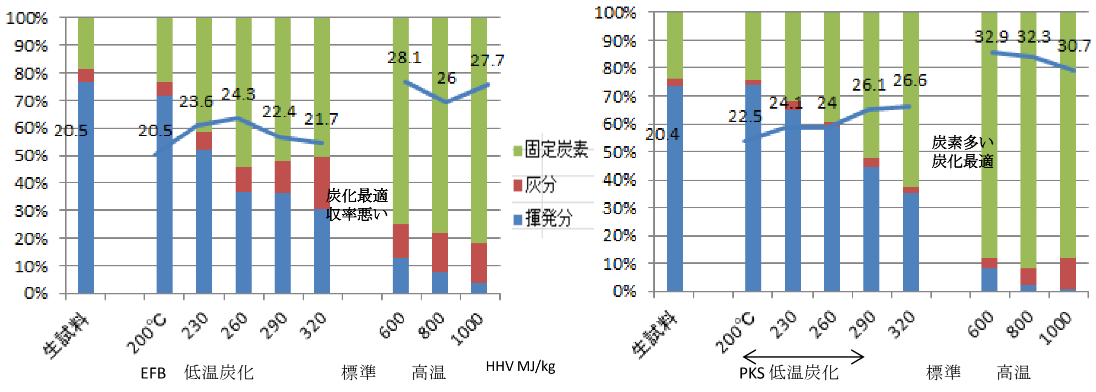


図 53 工業分析と発熱量：EFB（左）、PKS（右）炭化品

（分析結果④ 比表面積）

比表面積は、水や物質の吸着能力と関連があるため、土壌改良材（水や栄養物質の保存性能）、浄水材料（汚染物の吸着性能）への適否を示す一つの指標である。今回は PKS の高度炭化（600℃、800℃、1000℃）で炭化したものが半活性炭としての性能を有するか判定するため、比表面積を測定した。

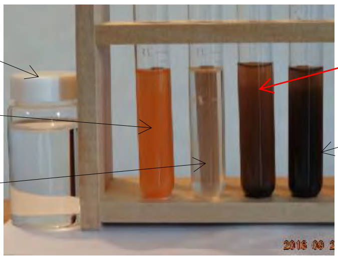
一般に 800℃～1000℃で焼いた炭の比表面積は 200～250 ㎡であり PKS の結果は半活性炭としては好成績であるといえる。蒸気賦活等によって製造する正規の活性炭の比表面積は 800～1200 ㎡でありこれには及ばないが、一定の吸着性能、特に最終排水の脱色に使えないか定性的なテストを実施した（下記 2-4）。

2-4. スラッジ由来の加工品の活用方法検討にあたり、高度排水処理用吸着剤としての利用可能性についても試験する。

（水質処理用吸着剤としての性能）

パーム果実には、その色調が示す通りカロテノイド色素が含まれているが、これが排水着色の主要物質（カロテン）の主要な要素であると考えられる。POME は嫌気、曝気処理され、油分は分解し（油分は検出限界以下）カロテンは遊離する。この遊離カロテンは BOD に関係するする微生物を介した酵素反応や COD に関する化学反応ではほとんど分解されない。これが着色の原因である。POME に対して、活性白土、一般市販の浄化用活性炭、さらに PKS 由来の炭化品（半活性炭）をそれぞれ活用して吸着実験を行った。

簡易試験の結果として、残念ながら PKS の半活性炭は比表面積にかかわらずカロテン色素は吸着しないものと判断した。他方で比較検証として利用した活性白土（食用製油工業で多用されている活性化されたモンモリロ系鉱物粉末）ではカロテン色素の吸着が確認された。



2-5. 現地のニーズに合う技術・製品とするべく、不要なハイスペック機能の削除や必要機能の追加等の技術改良を検討する。

（肥料としての性能…コンポスト化の可能性）

今回対象とした実証工場にはコンポスト舎が存在したため、コンポスト化（堆肥化）は実施しなかったが、スラッジ等のもう一つの活用方法として肥料化をはかることが考えられる。そのため、POME も利用される実証工場におけるコンポストの性能を評価することで、その可能性評価に代える。実証工場においては、EFB 等のパーム工場残渣に対して、POME 原水及び凝集剤添加の圧搾塊を混合してコンポストを生産している。今回の炭化原料でもある凝集圧搾塊、及びコンポストに対して分析を加えた。

凝集圧搾隗の N、P、K の比は 3.78：6.44：2.15≒2：3：1 でありリン肥料としての性格を持ち、また CN 比は 23.3/3.78≒6.2 であり有機肥料としての性格を有している。

またコンポスト舎の N、P、K の比は 3.67：2.11：5.11≒4：2：5 でありチッソ、カリ肥料としての性格、CN 比は 24.4/3.67≒6.6 であり有機肥料としての性格を有していることが確認された。

肥効の分析結果として、まず両サンプルとも窒素量が３％以上あり、有機肥料として十分に通用するかと思われる（例えは牛糞堆肥の窒素分は１～２％程度）。

またコンポスト舎の方が肥料としてのバランスが良いので一般的な肥料として使いやすい（野菜向け）。）凝集剤添加の方はリン酸成分が６％と高い数値なので、有機質リン酸肥料（果菜、花など用として）として販売できるが、リン酸が凝集剤と反応してリン酸アルミニウムのような形態で存在するとすれば凝集剤の添加量により成分が変動すると考えられるので注意が必要。凝集剤のアクリルポリアミドまたは PAC は POME の 0.1%程度の投入量であるが凝縮圧縮されることで圧縮隗の 30%以上になっている可能性がある。これは工業分析による灰分量が 50%近いことからも推定できる。

もともとパーム果房にはカリウム含有量が多いので両サンプルともカリウム含有量は多い。新鮮な POME を原材料とするコンポストは肥料成分リッチであり堆肥化に向いている。

③ （活動結果３）技術研修及び技術紹介セミナーの実施

3-1. 既にマレーシアで実施されている研修（天然資源・環境省環境局が民間企業向けに提供しているトレーニングコース、大学の排水処理技術教育等）の内容や対象について情報収集を行った上で、それらを補完する形での研修プログラムを策定する。

1）マレーシア現地における活性汚泥処理システムによる教育研修の現状把握

マレーシアでは、環境局（DOE）傘下のマレーシア環境研究所（Environment Institute of Malaysia : EiMAS）にて排水処理、大気汚染防止等に係る産業人材の育成・認定コース（National Registry of Certified Environmental Professionals (NRCEP) Scheme）が設定されている（日本における公害防止管理者制度に相当）。

EiMAS は、DOE の内部組織として位置付けられ、マレーシアにおける環境管理の“エクセレンスセンター”となることを期待して 2002 年に設立された機関である。環境管理に関わる公的機関や民間企業への人材育成プログラム、環境問題解決につながるプログラム等を提供することにより、環境保護への取り組みを卓越したものへと向上させることをミッションとしている。公的機関人材の育成では、DOE の立ち入り検査員（インスペクション人材）の教育を行っている。

EiMAS は二つのトレーニング拠点を有しており、一つはクアラルンプール郊外のマレーシア国民大学（UKM）構内にある本センター、もう一つは半島部東海岸のクアンタンにあるトレーニングセンターである。

EiMAS の提供する「認定環境プロフェッショナル国家登録スキーム」には、9 つのコースがあり、それぞれ 5～10 日間の研修（実習を含む）、筆記試験、面接試験による認定を行うものとなっている。また、認定取得後も毎年 50 時間の継続教育プログラム（CDP）の受講が必要となっている。

活性汚泥処理システムについては、「産業排水処理システムのオペレーション（生物処理プロセス - 活性汚泥プロセス）コース」で主に取り扱われており、2017 年 5 月現在で 320 人の認定者が存在している。

また 2015 年から「パームオイル工場排水処理（ポンドプロセス）コース」が新設され、2015 年 10 月に 9 人の第 1 期コース認定者が出たのを皮切りに、2017 年 5 月現在で 45 人の認定者が出ている。

これらのコースは有料であること（日本円で約 15 万円）、エントリー要件に大学卒業程度の学歴が求められること、長期にわたる専門性の高いコースであることから、現時点では企業の管理監督者が受けるレベルのものであり、各工場の排水処理設備の運営実務責任者やワーカーが受けられるものではない。

コーステキストについても高学歴であり当該分野の経験があることを前提として作成されているため、容易に理解することは難しい内容となっている。

[（EiMAS）認定環境プロフェッショナル国家登録スキーム]

National Registry of Certified Environmental Professionals (NRCEP) Scheme

目的：環境管理を行う産業人材の育成

認定者：2,181 名の EiMAS による認定者が存在。全認定数は 2,428 件（2017 年 5 月）

資格維持のために、毎年 50 時間の CDP 修了が要件。

コース略称	コース名称	分野	認定者
CePIETSO-BP	産業排水処理システムのオペレーション（生物処理プロセス - 活性汚泥プロセス）コース	排水処理	320 人
CePIETSO-PCP	産業排水処理システムのオペレーション（物理化学処理プロセス）コース	排水処理	457 人
CePPOME	パームオイル工場排水処理（ポンドプロセス）コース	排水処理	45 人
CePSTPO	下水処理プラントオペレーションコース	排水処理	57 人
CePBFO	バグフィルター設備のオペレーションコース	大気	110 人
CePSO	スクラバー設備のオペレーションコース	大気	96 人
CePSWaM	計画された廃棄物管理コース	廃棄物	1343 人
CPESC	浸食・土砂の管理コース	土壌侵食	-
CESSWI	浸食、土砂、大雨に関する検査員コース	土壌侵食	-

（2017 年 5 月 現在）

CePPOME パームオイル工場排水処理（ポンドプロセス）コース パーム排水

エントリー要件

1. 科学または工学の学士号（またはそれ以上）の取得
2. 科学または工学のディプロマ取得 かつ 1 年以上の POME 処理システムのオペレーションまたは管理経験

対象者
パームオイル工場の排水処理システムの操業管理に責任を持つ産業人材

コース手法
1. レクチャー／ディスカッション
2. クラス分け
3. 実験室実習セッション
4. 野外実習セッション

目標
1. POME 処理システムのパフォーマンス監視の重要性について POME 処理システム監督者に知識を付与すること。
2.POME 処理システムパフォーマンスの監視とパフォーマンス監視データの評価の実務スキルを開発すること。

コース内容（2015 年）
1 日目、2 日目
モジュール 1 CePPOMETS コース概要
モジュール 2 法規制枠組みの理解
モジュール 3 POME の特徴と POME 排出による影響
モジュール 4 POME 処理システムの概要
モジュール 5 POME 処理システムの機能コンセプト
モジュール 6 POME 処理システムのパフォーマンス監視を行うための理論的根拠
3 日目、4 日目
モジュール 7 一般的な POME 処理システムの指標モニタリング
モジュール 8 ポンドシステムのメンテナンス
モジュール 9 嫌気槽の管理方法
4 日目、5 日目
モジュール 10 活性汚泥処理システムの管理方法
モジュール 11 POME 処理システムに関する計算
モジュール 12 POME 処理システムの指標モニタリングに関するラボでの分析
モジュール 13 データ分析と解釈
モジュール 14 記録作成、報告書、及び伝達
モジュール 15 フィールドトレーニング報告書の準備
モジュール 16 担当者の変更
6 日目

出席証明書の提出

その他
・25 名まで
・コース受講料：RM5,000 （約 150,000 円）

CePIETSO-BP 産業排水処理システムのオペレーション （生物処理プロセス - 活性汚泥プロセス）コース 排水処理

エントリー要件
1. 科学または工学の学士号（またはそれ以上）の取得
2. 科学または工学のディプロマ取得 かつ 1 年以上の産業排水処理システムのオペレーションまたは管理経験

対象者
1. 産業排水処理システムの作業者
2. 産業排水処理システムの管理者

コース手法
1. レクチャー／ディスカッション
2. クラス分け
3. EiMAS' IETS Training Center での実習
4. 実験室実習セッション

目標
1.パフォーマンス監視の重要性について産業排水処理システムオペレータ及び管理者に知識を付与すること。
2.産業排水処理システムのパフォーマンスの監視とパフォーマンス監視データの評価の実務スキルを開発すること。

コース案内（2015 年）
1 日目
モジュール 1 CePIETSO-BP コースの概要
モジュール 2 法規制枠組みの理解
モジュール 3 産業排水の特徴と POME 排出による影響
モジュール 4 産業排水処理システムの概要

2 日目

モジュール 5 生物処理プロセスの概要

モジュール 6 産業排水処理システムのパフォーマンス監視を行うための理論的根拠

モジュール 7 一般的な産業排水処理システムの指標モニタリング、機能概要

モジュール 10 生物処理プロセスの管理方法

モジュール 11 ラボにおける指標モニタリング

3 日目、4 日目

モジュール 8 生物処理コンポーネント、設備のメンテナンス

モジュール 9 生物処理システムに関する計算

5 日目

モジュール 12 データ分析と解釈

モジュール 13 記録作成、報告書、及び伝達

モジュール 14 フィールドトレーニング報告書の準備

6 日目

試験、出席証明書の提出

<u>その他</u>

・25 名まで

・コース受講料：RM5,000 （約 150,000 円）

5.4 Pond systems

Pond or lagoon systems are shallow basins which impound the industrial effluents for a relatively long period (**long retention time**) to allow for the natural degradation of the organic matter to take place. A series of ponds are used depending on the strength of the influent. In some cases where the influent is a high strength organic effluent (for example palm oil mill effluent-POME) the first few ponds are naturally anaerobic (devoid of oxygen) due to insufficient supply of oxygen while the latter ponds are facultative (either absence or presence of oxygen) and aerobic (presence of oxygen). Pond systems for the treatment of industrial effluents are not common n Malaysia.

5.5 Aerobic systems

From the perspective of the way in which the microorganisms utilize oxygen, the IETS can be classified into **aerobic** (require free molecular oxygen for their metabolism), **anaerobic** (grow in absence of oxygen) and **facultative** (can proliferate either in absence or presence of oxygen although using different metabolic processes). The microbial population actively metabolizing the organic matter found in the industrial effluents is mixed, complex and interrelated. In a well-functioning IETS, apart form bacteria which are the main actors for the biodegradation of organic matter, protozoas and rotifers are usually present and are useful in consuming dispersed bacteria or non-settling particles. The biodegradation of organic matter can be represented by a simplified equation as shown below:

Cell + organic load + oxygen = more cells + CO_2 + H_2O

Aerobic processes are characterized by:

- End products are primarily carbon dioxide, water, and new microbial cell
-Low odor production
-Many times faster than anaerobic decomposition
- Production of large amount of sludge

5.6 Anaerobic systems

Anaerobic systems are usually employed for the treatment of **high strength** organic effluents. The anaerobic bacteria thrive in the **absence of oxygen**. The anaerobic treatment undergoes **several phases** starting with **solubilization** of the organic matter present in the effluent. This in turn is converted to **volatile organic acids** and plus carbon dioxide and hydrogen by the **acid formers**. The acids are then consumed by **methane formers** to produce **methane** and carbon dioxide.

Anaerobic processes are characterized by:

- End products: carbon dioxide, methane, and water; Others are ammonia, hydrogen sulfide and mercaptans
- Low sludge production

認定環境プロフェッショナル国家登録スキーム コーステキスト記述例

参考）**[（EiMAS）DOE スタッフ向けトレーニングプログラム]**

目的：立ち入り検査（インスペクション）人材の養成

コース		科目数、日数
1	大気品質マネジメント	9 科目×3～5 日間
2	環境マネジメントと環境影響評価	7 科目×3～5 日間
3	特定廃棄物処理	5 科目×5 日間
4	水質マネジメント	6 科目×5 日間
5	環境に関する認証・推奨制度	5 科目×3～5 日間
6	品質マネジメント	5 科目×3～5 日間
7	ＩＣＴとＧＩＳ	5 科目×2～5 日間
8	情報・知識マネジメント	2 科目×2 日間

＜コース設定 例（水質マネジメント）＞

・DOE オフィサー向け 産業排水処理システム 簡易技術解説：適用と推進

・産業排水処理システム 認定審査員

・認定環境プロフェッショナル：産業排水処理システム検査（CePIETSI）

・認定環境プロフェッショナル：パームオイル工場排水処理システム検査（CePPOMI）

・認定環境プロフェッショナル：下水処理システム検査（CePSTPI）

・認定環境プロフェッショナル：廃棄物埋立場の浸出水処理プラント検査（CePLTPI）

トレーニングを目的としたラボ内の水質分析・監視装置

トレーニング用の産業排水処理パイロットプラント（生物処理、化学処理）

出典：EiMAS Web サイト http://www.doe.gov.my/eimasv2/water-centre/（2015 年 10 月アクセス）

図 54 EiMAS 内に設置された各種トレーニング用設備

２）活性汚泥処理試験機を用いたオペレータ研修

活性汚泥処理を適切に運用する上では、エアレーション設備の性能は重要な要素の一つであるが、それと同時に微生物の状態を管理し、設備の運転条件や流入水のコントロールを管理するオペレータの果たす役割が不可欠である。

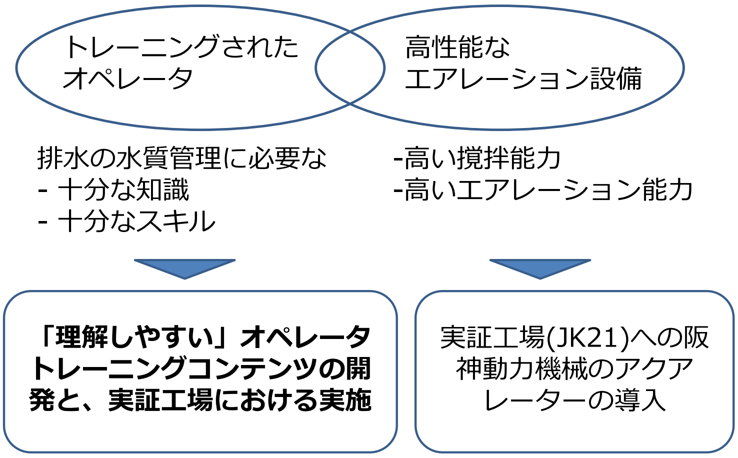
そのため本実証事業において、大阪工業大学 工学部 古崎准教授にて活性汚泥試験機を活用したオペレータ向けの研修コースを開発した。前述の通り、マレーシアにおいては各企業の技術責任者レベル（大学卒業程度の学歴を有する者）に対する教育コースは EiMAS によって準備されているものの、オペレータ向けの教育コースは存在していない（EiMAS ヒアリング）。

本事業の実証工場である JENGKA21 では、工場長（Mill Manager）1 名、工場次長（Assistant Mill Manager）3～4 名が工場を管理しており、工場次長の下にワーカーが配置されるという体制で事業を運営している。排水処理については、排水処理設備を担当する工場次長 1～2 名、ワーカー3～4 名が運営を担当している（24 時間操業のため交代勤務）。FPISB 社内でも活性汚泥処理を含めた排水処理システムについて工場次長向けの研修はしているがワーカー向けの研修はない。

今回、工場次長及びワーカー向けの教育コンテンツの開発にあたっては「理解しやすい」ことを重要視した。また「なぜ排水処理が必要なのか」、「適切に排水処理を行わないとどのような悪影響があるか」等についても丁寧に解説することとした。

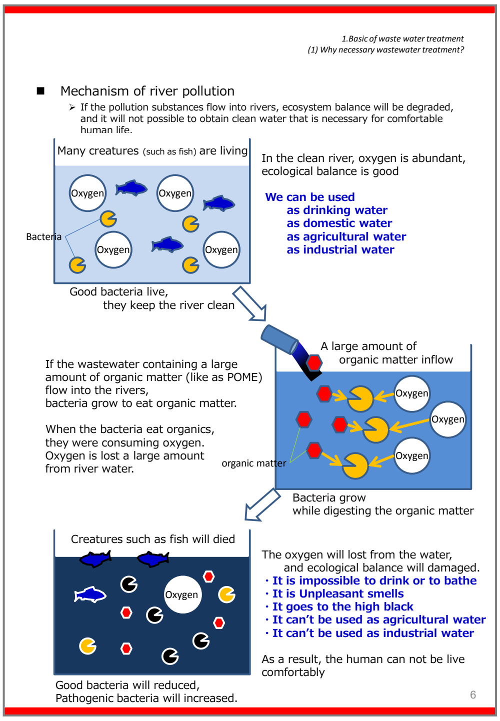
オペレータ向けトレーニングコースの開発と実施構想

"活性汚泥処理システム"のよりよい運用に必要な
二つの要素



実習用設備（写真）

テキスト（理解しやすいもの）



オペレータ向け研修プログラムについて

教育名	オペレータ教育
研修時間	2 日間
対象者	パームオイル工場 /アシスタントマネージャー、オペレータ ・排水処理技術に関する専門教育を受けていない人 ・排水処理の実務に携わる人
対象人数	最大 12 名（実習機材による）

１．目的・到達点

１）排水処理の専門教育を受けていないオペレータに対して、「排水処理の必要性」、「パームオイル工場での排水処理の現状」、「活性汚泥処理法の基本」、「活性汚泥処理法の日常管理」を身につけてもらう

２）実験装置による実習を通じて、排水処理の管理実務を身につけてもらう

２．実施要領・内容

１）座学１：排水処理の必要性　　　（90 分）

２）座学２：活性汚泥法　　　　　　（90 分）

３）実習１：活性汚泥法の概要　　　（90 分）

４）実習２：現場での水質測定方法　（90 分）

５）座学３：アクアレータの特徴　　（90 分）

６）実習３：現場での処理状況の把握（90 分）

７）座学４：処理状況の判断と対処　（90 分）

８）試験、修了証授与

3-2. 相手国実施機関及び天然資源・環境省環境局の協力を得て、パームオイル企業や現地エンジニアリング企業の技術者を対象に、ラボ利用規模の「活性汚泥処理実験機」を用いた活性汚泥法に関する研修を実施する。

1）事前協議の状況

事前準備訪問において、テキストドラフトを用いて関係各所（MPOB、EiMAS、FPISB）に主旨説明を行った。いずれからも、これまでにはない理解容易なテキストであるとの評価を得られた。

本事業では試験的なプログラム実施であることを説明しつつも、今後の運用について「マレー語に翻訳したい（FPISB）」、「MPOB 主催でプログラムを開催したい（MPOB）」、「（個人的な見解ながらも）事業後に引き継ぐことも考えたい（EiMAS）」

等の前向きな意見が寄せられた。

２）第１回、第２回開催の状況

教育研修の実施概要

①教育研修の目的

現地オペレータ教育研修の目的は、排水処理の経験が浅いオペレータを対象として現在の処理水質基準を守るために、アクアレータを用いた「活性汚泥法」を理解すること、また廃水処理の管理実務を習得することとした。

②実施内容・カリキュラム

第１回は 2016 年 3 月 23､24 日の 2 日間､第 2 回は 2016 年 9 月 6 日､ともに FELDA JENGKA21 工場にて実施した。

研修内容は、講義と実習を通して活性汚泥法の基礎と管理実務を学ぶものであり、現地排水を利用して現状に即した知識を得ることとともに、日常的な管理手法を理解することを中心に進めた。

（第 2 回は参加者の都合により、1 日での開催となったため、基本的には第 1 回の内容と同内容を中心に、水質管理業務の全体像を捉えていただくべく概要説明にて理解促進を図る内容とした。）

研修開始時には受講者に対して、本研修が本事業の一環として行われる旨をアナウンスすることで、アクアレータ導入を中心とする排水処理施設改善方法の効果を実証すること等の目的を伝えた。

研修を通じて実機と実験装置の両方を受講者が使用する機会を作ることで、より感覚的に理解を深められるように工夫した。研修においては、適宜テキストや顕微鏡で確認できる微生物等をプロジェクターに投影するなど、より感覚的に理解を深められるようにビジュアルに訴える教材・コンテンツを用いるように、工夫した。

研修修了時には、最終テストを実施し、阪神動力機械名で修了証を発行した。

当日のスケジュールは以下の通り。

（第１回）

時間		内容
1 日目	10:00-11:25	Lesson1. 排水処理の必要性
	11:35-13:00	Lesson2. 活性汚泥法
	14:00-15:25	Lesson3. 実習１：活性汚泥法の概要
	15:35-17:00	Lesson4. 実習２：現場での水質測定方法
2 日目	10:00-11:25	Lesson5. アクアレータの特徴
	11:35-13:00	Lesson6. 実習３：処理状況の把握

14:00-15:25	Lesson7. 処理状況の判断と対処
15:35-17:00	試験、修了証授与

（第 2 回）

時間	内容
10:00-11:10	Lesson1. 排水処理の必要性・活性汚泥法
11:25-12:15	Lesson2. 実習：現場での水質測定方法
12:30-13:10	Lesson3. スクリーンの特徴
14:10-15:00	Lesson4. アクアレータの特徴
15:10-15:50	Lesson5. 処理状況の判断と対処
16:00-17:20	試験、修了証授与

③受講者一覧

受講者は、実証工場（FELDA JENGKA21）、MPOB、FELDA 本社、O’rec から 2 日間通して計 17 名であった（修了証発行は 14 名）。当初予定通り、JENGKA21 工場からは排水処理施設を担当するオペレータ 6 名が全員参加したほか、工場管理者層からも 4 名の参加があった。さらに、MPOB、FELDA 本社からの参加者は、自らが学びを得るとともに、今後の展開に向けてのプログラムの見学も兼ねての参加となった。

当日の受講者氏名および所属は以下の通り。

表 18 オペレータ教育（第 1 回） 参加者リスト

No.	氏名	所属
1	[redacted]	MPOB
2	[redacted]	MPOB
3	[redacted]	MPOB
4	[redacted]	FPISB
5	[redacted]	FPISB
6	[redacted]	FPISB
7	[redacted]	FPISB
8	[redacted]	FPISB
9	[redacted]	FPISB
10	[redacted]	FPISB
11	[redacted]	FPISB

12	[redacted]	FPISB
13	[redacted]	FPISB
14	[redacted]	FPISB
15	[redacted]	FPISB
16	[redacted]	FPISB
17	[redacted]	O’rec

表 19 オペレータ教育（第 2 回）　参加者リスト※

No.	氏名
1	[redacted]
2	[redacted]
3	[redacted]
4	[redacted]
5	[redacted]
6	[redacted]
7	[redacted]
8	[redacted]
9	[redacted]
10	[redacted]
11	[redacted]
12	[redacted]
13	[redacted]
14	[redacted]
15	[redacted]
16	[redacted]
17	[redacted]
18	[redacted]
19	[redacted]
20	[redacted]
21	[redacted]

※ 第 2 回参加者については、所属組織の記録ができなかったため省略

当日の様子

（第１回）

教育研修は、FELDA ZAWAWI 氏、阪神動力機械 川島氏の開会挨拶から始まり、講義は、大阪工業大学 古崎准教授によって英語で進行、都度マレーシア語に翻訳しながら進められた。

教育研修テキストに即した内容のスライドをプロジェクターにて投影。

水質の測定方法を学ぶ様子。

水質分析に熱心に取り組む受講者。

現地で採取した水中内の微生物を顕微鏡にて確認、説明。（左）
計算方法や練習問題はホワイトボードにて説明。（右）

ポンドで実験装置を用いアクアレータの仕組みをより分かりやすく説明。（左）
アクアレータを設置したポンドから実際に水を採取。（右）

採取した水を教室に持ち帰り、日々管理するポイントなどを説明。

2 日間ともポンドに向かい、実習を実施。（左）
日々の管理シートに測定した数値を記入している様子。（右）

研修修了時、試験を実施。設問数は 20 問で、内容は選択形式の問題に加え、現地での日々の管理を意識した計算問題を盛り込んだ。（左）
最後に修了証授与式を執り行い、14 名に修了証を授与。（右）

（第 2 回）

教育研修は、阪神動力機械 川島氏の開会挨拶から始まり、講義は、大阪工業大学 古崎准教授によって英語で進行、都度マレーシア語に翻訳しながら進められた。
教育研修テキストや実際に採取した微生物をプロジェクターにて投影。

現場での水質測定方法を学ぶ様子。

スクリーン、アクアレータの特徴を紹介。

全講義、試験を終え、修了証を発行。

<u>教育研修を終えての考察</u>

　教育研修の受講者は、皆一同に座学においては熱心に説明を聞き、また、実習においても我先に採取に向かう様子が見られた。更に、「何をどう見れば良いか」「この色は、こういう意味と解釈して間違いないか」といった質問が積極的に出るなど、受講者自身が運用を強く意識している状態を伺うことができた。

　教育研修の受講者は、第 1 回同様、概して講習に対する積極的な姿勢が見られた。講義中、古崎氏からの投げかけに対して、うなずく様子や積極的に返答される姿勢が

見られた。また、測定指標に関する説明においては、テキストにメモを取る様子が見られた。

これらの反応から、今回の研修を通じて当初設定していた目的は達成されたものと考えられる。また、政府関係者や工場上層部だけでなく、オペレータが日常業務を止めてまで 2 日間出席されたことからは、今後継続的により適切な水質管理を遂行しようとする姿勢が伺える。

今回の研修では、座学に加え、水質分析のツールを用いた実習を組み入れたこと、顕微鏡の映像をプロジェクターで投影するなどしてより感覚的な理解を促したこと、実験装置でアクアレータの仕組みを分かりやすく説明したこと、ポンドで実際に水を採取し日々の管理シートに記入したことなど、受講者のレベルに合わせて工夫を凝らしたことでが効果的であったと考えられる。

出席者の反応から推察するに、ビジュアルに訴える教育用テキストのコンテンツに対して好意的に捉えられていたこと、顕微鏡を使った実物確認では笑いが起こるなど、受講生は興味を持って取り組んでいたことなどが確認された。

ある程度の基礎知識を有するマネジャークラスに対しては、概念的な説明、部分的に具体的な内容（現地写真や取水サンプルの提示）を組み合わせることで効率的に理解が進んだものと推察される。

ただし、オペレータレベルに対しては、基礎知識が乏しいことも踏まえて、さらに細かく、時間をかけ（繰り返し）説明することが望ましいと考えられるため、今後、設備の普及を図る中でのトレーニングにおいては、対象層を明確に区分した取組みが望ましいと考えられる。

また、テキストが英語表記（マレーシア語には未翻訳）である点は、特にオペレータに対して活性汚泥法ならびにアクアレータの理解促進の妨げになる可能性があるため、この点は改善していくことも必要である。

排水処理の適正化に向けては更なる人的側面の強化が必要であると考えられる。今後についても、今回の参加者（特にオペレータ）に対するフォローアップ教育と位置付けることが効果的であると MPOB の参加者とともに確認した。

3-3. 「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」及び「スラッジ炭化設備」導入後は、実証先工場及び提携候補先の現地エンジニアリング企業を対象に、オペレーション・メンテナンス方法等を指導し、技術移転を図る。

１）アクアレータのオペレーション・メンテナンストレーニング

アクアレータのオペレーション方法については、前述のオペレータトレーニングの中でレクチャーを行った。活性汚泥処理方式においては、活性汚泥の状況を見て散気量を調整したり、撹拌状態を調整したりすることが重要であり、その具体的操作はアクアレータ及び付帯するブロア操作によって行うものである。

２）アクアレータのメンテナンストレーニング

アクアレータの実証試験において、アクアレータの停止が断続的に 3 回発生した。原因調査結果から、停止原因はアクアレータ自身に起因するものではなかったが、阪神動力機械が経験してきた工業的な水処理専用施設では見られないトラブルであり、オープンポンドを使用するパーム産業独特のものであるといえた。パームオイル産業特有の「トラブル発生確率が高い」こと、また現地でアクアレータの運用をする上で「故障時の即時対応」技術を保有する者が誰も現地にいなければ設備運用が保証されないことを再認識するに至った

そのため、設備操作方法としてのオペレーションノウハウだけではなく、トラブル発生時の初動対応となる「分解、部品交換、整備」等のメンテナンスも早期に移転するノウハウに含める必要性を見出し、トレーニングを実施した。

<u>メンテナンストレーニング内容</u>

トラブル発生による停止時の初動対応としては原因分析と同時並行で、停止したアクアレータの分解・整備、状況に応じた部品交換が重要であるため、その手順を 2016 年 11 月 29 日～12 月 1 日の 3 日間にて結果として、16 名の受講者に対するトレーニングプログラムを実施した。トレーニングのために「アクアレータ分解・組立要領書」（英訳版）も準備し、受講者の理解向上に努めた。

<u>トレーニングスケジュール</u>

1 日目（November 29）

Basic Course of Technical Training for Aquarator of Inspection and Maintenance

09:00-09:30 オープニング（イントロダクション、安全管理、アクアレータ概要）

09:30-11:00 アクアレータの検査（トラブル時対応：抵抗状況のチェック、通電チェック、連流と電圧のチェック等）

11:00-12:00 【実習】抵抗状況のチェックのためのモーターヘッドの検査手順

13:00-14:30 【実習】その他の条件チェックのめのモーターヘッドの検査手順

14:30-16:00 【実習】ケーブルの交換
16:00-17:00 【実習】減速機からの潤滑油の排出

2 日目（November 30）
Middle Course of Technical Training for Aquarator of Inspection and Maintenance
09:00-09:30 【実習】脚部、下部ケース、インペラ部、上部ケースの分解
09:30-10:30 【実習】減速機の分解
10:30-12:00 【実習】モーターベアリング、オイル漏れ・水漏れ防止カセット交換
13:00-16:00 【実習】アクアレータの再組立
16:00-17:00 【実習】潤滑油の交換、塗装

3 日目（December 01）
09:00-10:30 【実習】ミニアクアレータのメンテナンス
10:30-11:30 質疑応答
11:30-12:00 クロージング・修了証授与

分解実習の様子

モーター部の分解（実習）

インペラ部の分解（実習）

インペラ修整作業（実習）

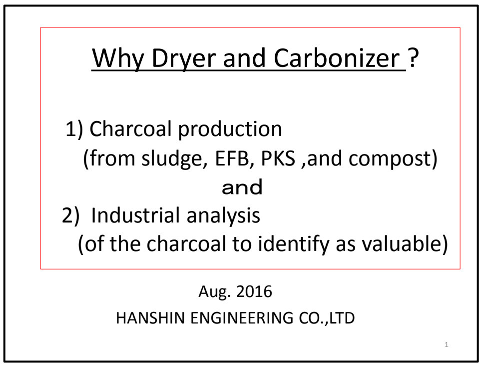
図 55 メンテナンストレーニング写真

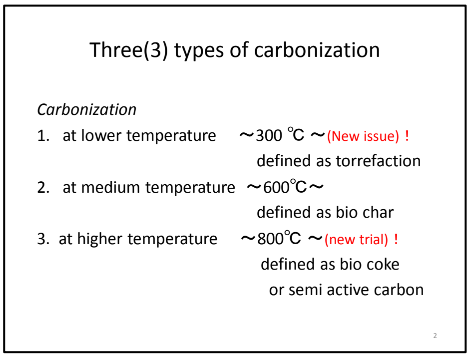
3）炭化ミニセミナー（トレーニング）

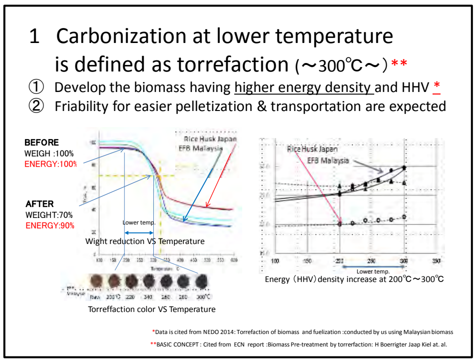
2016 年 8 月 22 日に炭化品の試験作成の合間を見て、Jengka21 における「炭化に関するミニセミナー（トレーニング）」を行った。このセミナーには 21 人の参加者（MPOB、FPISB、その他のパームオイル企業）があり、炭化に関する技術紹介、これまでの他の実証試験における結果の紹介、今回の実証に関する仮説と意見交換等を行った。

セミナーでは、今回の実証試験では低温、中温、高温の 3 つの温度帯にて炭化試験を行うこと（特に低温炭化、高温炭化は新たなトライアルであること）、これまでの経験よりそれぞれの温度帯における炭化で現れた事象、今回の分析方法などを説明した。

投影資料 抜粋







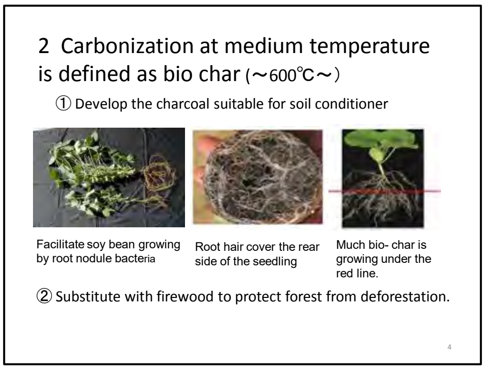


表 20 炭化セミナー参加者

No.	Name	Organization
1	[redacted]	MPOB
2	[redacted]	MPOB
3	[redacted]	MPOB
4	[redacted]	MPOB
5	[redacted]	MPOB

6	[redacted]	MPOB
7	[redacted]	MPOB
8	[redacted]	MPOB
9	[redacted]	FPISB
10	[redacted]	FPISB
11	[redacted]	FPISB / Jengka21
12	[redacted]	FPISB / Jengka21
13	[redacted]	FPISB / Jengka21
14	[redacted]	LKPP Corporation SDN. BHD.
15	[redacted]	LKPP Corporation SDN. BHD.
16	[redacted]	LKPP Corporation SDN. BHD.
17	[redacted]	Boustead Estates Agency Sdn. Bhd.
18	[redacted]	Boustead Estates Agency Sdn. Bhd.
19	[redacted]	Boustead Holdings Berhad
20	[redacted]	Boustead Holdings Berhad
21	[redacted]	Boustead Plantation Sdn. Bhd.

炭化セミナーの様子

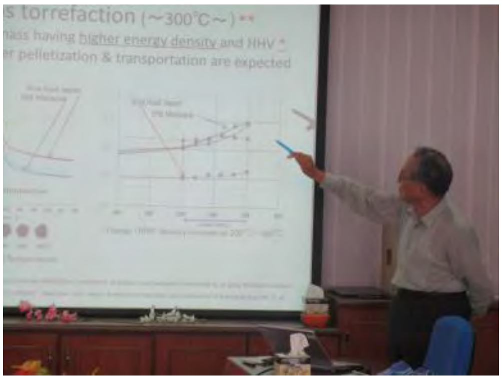


図 56 炭化セミナー写真

3-4. 相手国実施機関の関係者を日本に招聘し、技術研修に加え、設備稼働例の視察や日本における産業排水理行政の状況の紹介等を行う。

2016 年 7 月に、MPOB 及び公共団体が運営するパームオイル公社の関係者等を本邦に受け入れ、アクアレータの導入と脱色工程のある京都市の下水処理場の見学、大阪工業大学における排水管理ラボの見学、大阪府・大阪市の産業排水行政の担当部局

とのディスカッション、京都府南丹市のバイオガス利活用施設、名古屋で開催された下水道展の見学などを実施した。当初予定 4 名であったが調整の末に 11 名に増員したことにより、研修効果は倍増したものと考えている。

1）受入活動の概要

(ア) 概要（目標、項目（具体的な活動内容））

今回の本邦受入活動の概要は下記のとおり。

目標	本事業で活用する技術に加えて日本企業の持つ排水処理技術を、講義および現場視察により理解する
項目	①本事業で導入した阪神動力機械・アクアレータに関する技術知見や導入メリットの理解（高度処理の安定） ②日本企業の持つ排水処理技術のさらなる認識向上（生物膜処理、メタン発酵によるバイオガス） ③各種技術の現場運用状況の視察を通じた知見向上（脱色技術：京都市下水処理場、バイオガス技術：南丹市等） ④分析ラボ視察（大阪工業大学）

(イ) 受入期間

2016 年 7 月 26 日～31 日（本邦滞在 6 日間）

(ウ) 参加者リスト（氏名（Mr./Ms.）、所属、役職）

№	Name（氏名）	Organization（所属組織）	Position or Title（部門・肩書）
1	[redacted]	Malaysian Palm Oil Board （マレーシアパームオイル委員会）	Engineering and Processing research Division / Senior Research Officer （エンジニアリング・工程研究部門 / シニアリサーチャー）
2	[redacted]	Lembaga Kemajuan Pertanian Pahang （パハン州立農業開発公社・LKPP、パーム農園及びパームオイル工場経営）	Senior General Manager （シニアジェネラルマネージャー）
3	[redacted]	Felda Global Ventures Plantation （フェルダ・グローバル・ベンチャーズ・プランテーション（フェルダグループホールティング企業））	Quality & Environmental Unit / Senior Executive （品質環境ユニット/シニアエグゼクティブ）
4	[redacted]	Felda Palm Industries （フェルダ・パーム・インダストリー（フェルダグループ・パーム事業子会社））	Department of Technical Services, Planning & Workshop / Executive、Chemical Engineer（技術サービス部門 /エグゼクティブ、化学エンジニア）

№	Name（氏名）	Organization（所属組織）	Position or Title（部門・肩書）
5	[redacted]	Kulim Plantation （クリムプランテーション、ジョホール州立のパーム公社、3 工場を所有）	Engineering Division / General Manager （エンジニアリング部門 / 部門長）
6	[redacted]	Johor Corporation （ジョホール州立公社、傘下にクリムプランテーションを保有）	Bussiness Development Department / General Manager （事業開発部門 / 部門長）
7	[redacted]	Johor State Government （ジョホール州政府）	Engineering & Plantation Division / Senior General Manager （エンジニアリング＆プランテーション部門 / シニアジェネラルマネージャー）
8	[redacted]	Johor Corporation （ジョホール州立公社、傘下にクリムプランテーションを保有）	TPM(Technology Park Malaysia) Technopark / General Manager （技術パーク/部門長）
9	[redacted]	Terengganu State Government （トレンガヌ州政府）	Engineering Plantation / General Manager （プランテーション技術部門・部門長）
10	[redacted]	Lembaga Angkatan Tentera Malaysia （国軍基金理事会）兼 Boustead Holdings （ブーステッドホールディングス・民間企業、パームオイル事業も主事業）	Engineering Division / Senior General Manager （技術部門 / シニアジェネラルマネージャー）
11	[redacted]	Lembaga Tabung Haji Malaysia （財務省管轄団体）、兼 TH Plantations（TH プランテーション、民間パームオイル企業 (7 工場所有））	Senior General Manager （シニアジェネラルマネージャー）

(エ) カリキュラム、日程表

日付	時刻	形態	受入活動内容	講師又は見学先担当者等 所属先及び職位	講師使用言語	活動場所
7/25(月)	～					
	23:50 ～		マレーシア発、翌26日7:15関空着			
7/26(火)	9:00 ～ 10:30	講義	本招聘活動のインストラクション	阪神動力機械 三菱UFJリサーチ＆コンサル	英語	三菱UFJ R&C 大阪
	10:30 ～ 12:00	講義	日本企業の個別技術紹介	技術企業Ａ社	英語	〃
	13:30 15:00	講義	JICA/SATREPSプロジェクト紹介 ～社会実装に向けて～	九州工業大学 准教授	英語	〃
	15:30 ～ 17:00	講義	日本企業の個別技術紹介	技術企業Ｂ社	英語	〃
7/27(水)	10:00 ～ 11:00	講義	大阪府表敬訪問＆排水処理行政意見交換	大阪府 商工労働部 国際経済交流促進グループ、大阪市 建設局 下水道河川部	日本語	大阪府咲洲庁舎
	14:00 ～ 16:00	見学	京都市鳥羽水環境センター・吉祥院支所	京都市上下水道局　総務部経営企画課	日本語	京都市
7/28(木)	11:00 ～ 16:00	見学	下水道展 名古屋2016（ポートメッセ名古屋にて開催）	阪神動力機械 ＭＵＲＣ ＭＵＲＣ		愛知県名古屋市
7/29(金)	10:00 ～ 12:00	見学	南丹市八木バイオエコロジーセンター	施設長	日本語	京都府南丹市
	14:00 ～ 16:00	実習	阪神動力機械・氷上工場	阪神動力機械	英語	兵庫県氷上市
7/30(土)	10:00 ～ 11:30	見学	大阪工業大学 工学部環境工学科	大阪工業大学 准教授	英語	大阪工業大学
	11:30 ～ 12:30	講義	クロージングミーティング	阪神動力機械		〃
7/31(日)	11:00 ～		関西空港発			
	～					

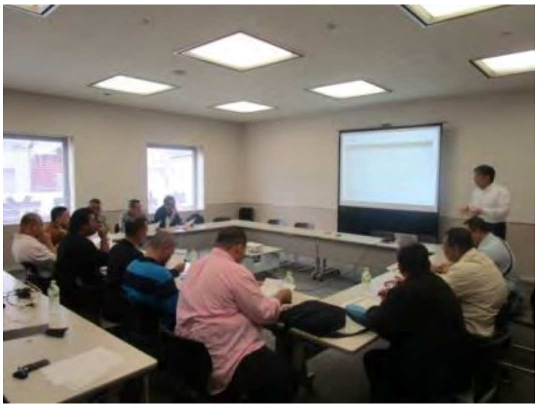
２）実施状況及び所見

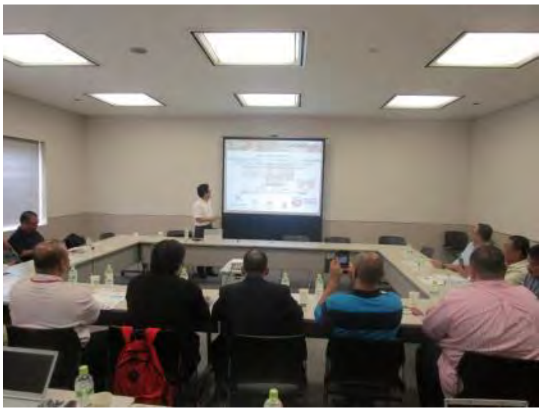
- 今回実施した本邦受入活動では、当初予定していた 11 名の参加者が訪日した。参加者が所属するパームオイル公社・企業の所有する工場数を合計すると約 100 工場（マレーシア全国の 1/4 程度）に上り、またインドネシアに工場を所有する企業もある。それら企業の技術系管理者（技術導入を主導するかまたは意見が言える立場）が主な参加者であり、技術紹介を中心とした今回の活動と非常にマッチしたと考えられる。
- 初日は日本の技術系企業の技術紹介（プレゼン）、二日目は大阪府、京都市における主に下水処理技術や制度・政策の紹介、三日目は展示会における技術探索、四日目はバイオガス技術と阪神動力機械アクアレータの実相設備での見学、五日目は大学におけるラボの状況と最新処理技術紹介であったが、いずれのプログラムにも参加者は積極的に参加し、意見交換を行った。
- 特にマレーシアの規制当局からの事前情報がある①BOD 値の規制強化（阪神動力機械・アクアレータで対応）、②新規工場へのバイオガス回収装置の設置義務付

け（日本技術企業のプレゼンとバイオガス施設見学で対応）、③排水の脱色技術（京都市および下水道展においてオゾン処理技術の情報収集）、④将来的なゼロディスチャージ（排出ゼロ）工場への期待（九州工業大学・安藤先生プレゼンで対応）について関心が高く、今回のプログラムにて相当の領域に応えられたのではないかと考えられる。

- いくつかのプログラムにおいて、資金調達に関する質問が積極的にされ、PFI 手法やリース手法が紹介されていた。今回の研修では技術を中心としたため資金調達についてはあまり触れていなかったが、意外と関心が高く、プログラム構成における反省点となった。
- 今回の参加者は、各社での技術管理を行うポジションにあるため、引き続き接触しビジネスにもつなげていく。

技術プレゼンの様子





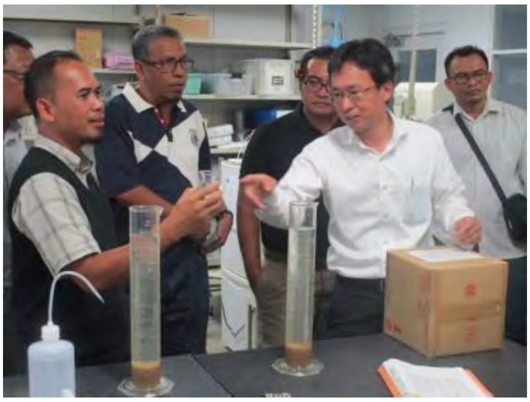
大阪府本庁

京都市下水処理場

八木バイオガスセンター

阪神動力機械 氷上工場

大阪工業大学



<u>3-5. 同工場をショーケースとして、パームオイル企業関係者向けに技術紹介セミナー等を実施する。</u>

1）MPOB 主催のナショナルセミナーにおける普及活動

実証工場におけるセミナーではないものの、2016 年 11 月 29～30 日に MPOB が隔年で主催するセミナー「National Seminar on Palm Oil Milling, Refining, Environment and Quality（POMREQ セミナー）」がクアラルンプールにて開催された。同セミナーは MPOB の招聘された参加者しか聴講できず、その多くはパームオイル産業の経営者や管理者、及び関連する政府機関や公的機関からの参加者である。

セミナー聴講はできなかったが、当社は途中経過ながら MPOB リサーチャーとの共同研究という形で「アクアレータを活用した活性汚泥処理法によるパームオイル工場排水の改善」という表題でのポスター発表展示、及び、O'REC 社によるブース展示を行い、普及活動に努めた。

展示ブース

ポスター発表

説明・商談の様子

セミナー会場（多くの来場者あり）

MPOB との共同研究成果が展示できたこともあり、また動画を用いながら、当日は多くのパームオイル産業関係者にアクアレータを活用した活性汚泥処理法の説明を行った。ポスター発表内容でもある表面曝気と比較した撹拌性能データについては反応も良く、今後の情報交換希望も含めて延べ 20 名程度と名刺交換ができるなど、今後のビジネス展開に向けた普及としてはまずまずの成果を収めた。

２）サバ州工場（ケニンガウパームオイル工場）における普及活動

本事業における活動を進める中で、先行する JICA 及び科学技術振興機構の共同事業である SATREPS プロジェクト「生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト」（チームリーダー：九州工業大学 白井教授）との協働を図る機会を得て、同プロジェクトが実証工場としているサバ州にあるケニンガウパームオイル工場（KPOM）にてミニチュアアクアレータの設置とデモンストレーション、及び SATREPS プロジェクトにて開催した社会実装のための現地ワークショップにおいてアクアレータの紹介を行った。

サバ州では全国に先行してパームオイル工場排水の最終放流 BOD 値 20mg/L が適用されており（州政府の上乗せ規制）、他方で大きな初期投資ができない中小工場も多く存在していることから、アクアレータの活用（社会実装）される可能性があると考えられた。

2017 年 3 月 28 日～29 日（28 日コタキナバルでセミナー、29 日実証工場でデモンストレーション）のワークショップでは、サバ州政府関係者、大学関係者（参加申込はおよそ 90 人）が揃う中、「グリーン経済」実現に適した技術の一つとしてアクアレータを活用した活性汚泥処理法を紹介した。

ワークショップ プログラム（抜粋）

SATREPS

Project on Promotion of Green Economy with Palm Oil Industry for Biodiversity Conservation

Tentative Program for the SATREPS Workshop at Kota Kinabalu 2017

on March 28th & 29th 2017

Tentative Programme

3/28 (Tue) : Workshop (Venue: Promenade Hotel Kota Kinabalu)	
8:30 - 9:00	Registration of Guest
9:00 - 9:10	Opening Remark by Prof. Dr. Mohd Ali Hassan/ UPM
9:10 - 9:20	Address by Mr. Gerald J Jetony/ NRO
9:20 - 9:30	Address by Haji Amat Mohd Yusof/ NRO
9:30 - 10:00	Presentation of Project Outline and Progress by Prof. Dr. Mohd Ali Hassan/ UPM
10:00 - 10:15	Tea/Coffee Break
10:15 -10:45	Short Presentation
	- Effective Utilization of Biomass - Pilot Plant at Keningau (KPOM) - Biodiversity by Prof. Dr. Charles Santhanaraju Varirappan/ UMS
10:45 - 11:45	Business Model Presentation by Prof. Dr. Shirai Yoshihito/ Kyutech
11:45 - 12:45	Discussion / Q&A (Moderator by Prof. Dr. Mohd Ali Hassan/ UPM)
12:45 - 13:00	Conclusion
13:00	Closing/ Lunch

3/29 (Wed) : Site Visit to Keningau Palm Oil Mill (Pilot Plant) (Venue: Keningau Palm Oil Mill (KPOM), Keningau	
7:00	Leave Hotel in Kota Kinabalu (Start from Promenade Hotel)
10:00	Arrive at KPOM
10:00 -11:30	Demonstration at Pilot Plant
11:30	Leave KPOM
12:30	Lunch at Keningau
14:00	Leave Keningau
17:00	Arrive at KK

29 日 デモンストレーション時。説明されるアクアレータ（この後、デモ実施）

(2) 事業目的の達成状況

本事業の目的である、排水処理の高度化を目的とした「エアレーター及びスクリーン装置を用いた活性汚泥処理システム」、及び排水処理汚泥等の有価物化を目的とした「スラッジ炭化設備」が、「低コストかつ安定的に BOD 値 20mg/L 以下の実現に寄与する処理方法として有効であることを実証」すること、及び「本製品・技術の普及を図る」ことに対して、その目的は十分に達成できたものと考える。

①BOD 値 20mg/L の実現に寄与する処理方式であることの実証

BOD 値 20mg/L の実現（流入水質が設計値を超えている場合は、除去率 95%程度が代替目標）の実現に寄与する処理方式として、アクアレータを中心とした活性汚泥処理法の導入を図り、次のような結果を得た。

表 21 本事業の目的の達成状況（BOD 値の低減への貢献）

BOD 値の低減に向けた課題	アクアレータ導入による成果
酸素供給力の不足 従来方式にて最終放流水の BOD 値が高くなる原因として、活性汚泥に十分な酸素供給がされていない。	**酸素供給の大幅改善** アクアレータの導入により、流速の向上、ポンドの上部から底部までの撹拌流速の均一化が図られた。 また溶存酸素は従来方式では 1.0mg/L 以下の状態であったところ、アクアレータ導入後は 6.0～8.0mg/L（第 1 期）にまで溶存酸素量が高まったことが検証された。
オペレータの知識不足 活性汚泥の能力を発揮させるにあたり、オペレータの持つ知識不足により適切な管理が行われない。	**オペレータ向けの実践的教育** 残念ながら即効性はないものの、2 回の活性汚泥オペレータ教育等により 38 名の修了者を輩出した。これまでは主に上級工場管理者にしか行われなかった活性汚泥処理の原理や管理方法の教育を、実際のオペレータを対象にして行った意義は大きいと考えられる。 あわせて教育プログラムは現地でも実施可能であり波及効果が期待される。
最終放流水 BOD20mg/L の実現向けて パームオイル工場からの最終処理水の新規制値として検討されている 20mg/L の	**BOD 値の大幅低減への貢献** アクアレータを中心とした活性汚泥処理において、当初目標である 95%程度の

実現に向けて、それを比較的安価に達成する技術の確立が望まれていた。	BOD 負荷の除去に対して、最高で 93.1%の BOD 負荷の除去を達成した。 通常期では最終放流水の BOD 値は現行規制である 100mg/L を確実に下回り、20～60mg/L を示した。 なお活性汚泥処理の後工程に非溶解性の BOD 成分除去のための砂濾過装置等を設置することで、最終放流段階では BOD 負荷のさらなる除去ができると想定される。スポットでの分析結果では、好気ポンドで 76.1～81.1%除去率であったサンプルについて、非溶解性成分を除去することで理論上は 86.3～92.8%まで除去率が向上する可能性が示された。

②スラッジ由来の加工品の活用方法の検討と具体的需要の確認

スラッジ由来の加工品として、様々な温度条件での炭化試験を実施した結果、下記のような原料を利用できる可能性が確認された。なお消化後汚泥の炭化品については、いずれの温度帯においても活用が困難であった。その理由として有効成分が嫌気発酵工程で回収され下流工程の汚泥への混入が少なるなるためと考えられる。

また、現地でのインタビューにより、炭化品をエネルギーまたは肥料・土壌改良材として利用するニーズはあるものの、エネルギー利用については工場からの収集と集中利用の体制が整っていないこと、肥料・土壌改良材としての利用ではより高付加価値な有機肥料としての活用可能性はあるものの有機認証との整合性を確保する必要があることなどが課題として挙げられた。

排水処理汚泥等の有価物化の方向性	スラッジ炭化設備による成果
<u>エネルギーとしての利用</u> 汚泥を炭化してエネルギー密度を高めることで、燃料としての利用の可能性があった。	・本実証工場において上流工程で採用される嫌気発酵により、下流工程の排水処理汚泥に残される揮発分は多くなく、燃料化には不適とされた。 ・但し EFB と PKS については低温域での炭化にてエネルギー密度の向上が見られ、炭化燃料化の可能性はある。
<u>肥料・土壌改良材としての利用</u>	・肥料としての適性は、窒素（N)、リン

汚泥の炭化品または炭化しない状態での肥料化の可能性があった。	(P)、カリウム (K) の含有量とバランスによって決まる。 ・消化後の汚泥である凝集圧搾塊のN:P:K の比はおよそ 2:3:1 であり、有機肥料のリン肥料としての性格を有していることが確認された。果菜や花用の肥料としての利用可能性がある。
排水処理材としての利用 高温域での炭化において、活性炭性状に近い半活性炭化品が得られると想定され、それらが排水処理の吸着剤（特に色の除去）として利用できる可能性があった。	・高温域での炭化において、半活性炭化した炭化品としての形状を残したものは PKS だけであった。(その他は高温域では半活性炭化品の形状を維持できなかった) ・PKS 炭化品にて色素吸着性能を確認したところ、残念ながらパーム由来のカロテン色素は吸着しないものと判断された。

③パームオイル産業関係者に本製品・技術の知見習得と普及を図る

本事業を通じて、パーム産業に関わる多様な階層の人々との接触機会・アクアレータを中心とした活性汚泥処理の紹介機会を多く持つことができた。MPOB をはじめとした政策側人材 (MPOB をはじめとする政府機関、州政府、大学教授等) だけにとどまらず、パームオイル企業の上級管理者（役員クラス、本社所属の技術統括者クラス等）、現場管理者（パームオイル工場長・工場次長等の工場管理者等）、さらにオペレータ（各工場の排水処理を担当する技術者、作業管理者等）に至るまで幅広く紹介機会を得られたことは、今後の展開に寄与するものと考えらえる。

表 22 本事業を通じた接触状況まとめ

接触機会・紹介機会	時期	接触人数
本邦招聘活動	2016 年 7 月	11 名（政策側、上級管理者）
オペレータ教育（第 1 回）	2016 年 3 月	17 名（現場管理者）
オペレータ教育（第 2 回）	2016 年 9 月	21 名（現場管理者、オペレータ）
炭化セミナー	2016 年 8 月	21 名（現場管理者、オペレータ）
POMREQ 展示	2016 年 11 月	約 20 名（上級管理者）
POMREQ ポスター発表	2016 年 11 月	不明（全体参加は 200 名）
メンテナンストレーニング	2016 年 11 月	約 20 名（オペレータ）

ケニンガウワークショップ	2017年3月	90名（政策側、上級管理者）

またMPOBとの共同研究の形で、パームオイル産業の集まるシンポジウム（POMREQ）においてポスター発表を行ったことにより、今後も阪神動力機械が直接関与しなくてもMPOBによる紹介機会を創出できる可能性が高いことも、特筆に値する。

④現地エンジニアリング企業との協働による供給体制、メンテナンス体制の確立

下記４（１）②にも記す通り、現地エンジニアリング企業とともに本事業を推進してきたことで、販売代理機能、施工・設置機能、メンテナンス機能を現地企業側の担当機能として整備することができた。いずれも現地での対応が求められる機能であり、日本からの出張ベースでは即応できないため、現地企業への技術移転が図れたことは大きい成果である。特に施工・設置、メンテナンスが重要なアクアレータの普及に不可欠であると考えられる。

(3) 開発課題解決の観点から見た貢献

（ア）実証先工場をマレーシア国内におけるMPOBが主導するショーケース工場とすることにより、パームオイル産業全体への波及効果が期待できる。

MPOB の普及活動を通じて、広くパームオイル産業に本技術の実績を周知することにより、簡易かつ低コストで規制基準を満たす本事業の技術の普及を図る土台が形成できたと思われる。

前述の通り、MPOB との共同研究の形で、パームオイル産業の集まるシンポジウム（POMREQ）においてポスター発表を行ったことにより、阪神動力機械が直接関与しなくても最終放流水 BOD 値 20mg/L の実現に貢献する技術として、MPOB による紹介機会を創出できる可能性が高い。（発表タイトル「Improving the palm oil mill effluent by activated sludge process using Submerged Mechanical Aerator / Agitator YAHAYA HAWARI; IKUMA SONDA; HIROTAKA KAWASHIMA; ZAHARI MOHAMAD」[20]）

また本事業において、延べ 200 人にも及ぶ現地パーム産業関係者に対してセミナーや教育を通じて接点を持つ機会を得てアクアレータを中心とした活性汚泥処理システムの紹介を行った。パームオイル企業についても接触した企業の工場数を合計すると

---

20 https://www.researchgate.net/publication/312521571_Improving_the_palm_oil_mill_effluent_by_activated_sludge_process_using_Submerged_Mechanical_Aerator_Agitator_YAHAYA_HAWARI_IKUMA_SONDA_HIROTAKA_KAWASHIMA_ZAHARI_MOHAMAD

130 工場に至るなど、BOD 値 20mg/L の実現に貢献する技術について効果的な情報伝達ができたものと考えらえる。

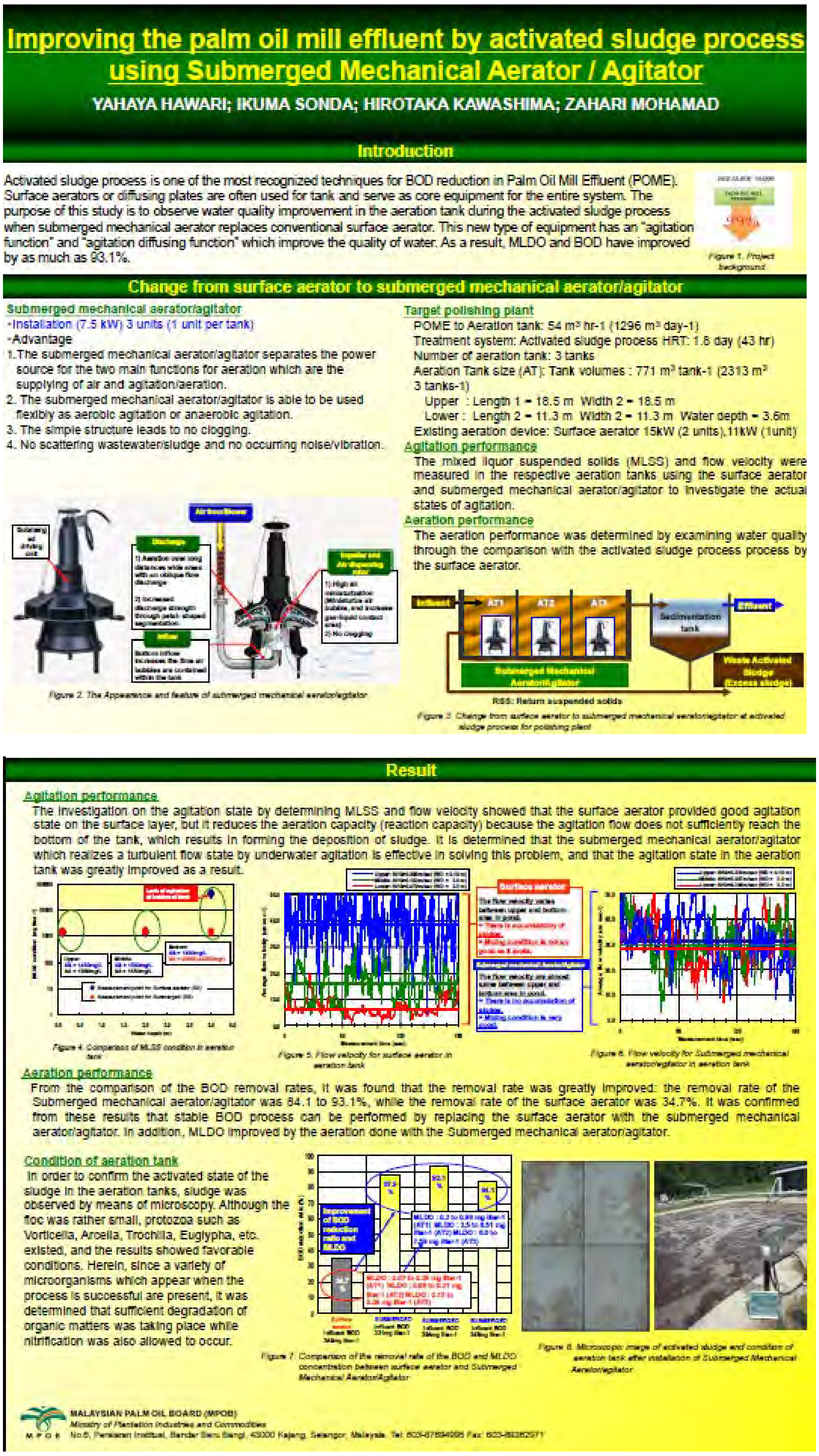


図 57 ポスター発表コンテンツ

（イ）<u>結果として、パームオイル産業全体の排水処理レベル、及び、これまでは活用に限界のあった資源利用が進み、マレーシアの環境対応の向上に寄与する。排水の課題だけではなく、廃棄物の削減と有効利用を促進することにも寄与する。</u>

実証工場の排水処理設備の許認可を管轄するパハン州DOEに対する説明においても、DOEより技術に対する詳細な確認の後に「日本の技術を活用した結果は共有してほしい。」とのコメントもあり、本技術に対する期待が寄せられた。パハン州DOEからはポンドに汚泥が蓄積し、後に浚渫・廃棄が必要であるというパームオイル工場が抱える現状課題にも触れられたが、アクアレータは強力な撹拌力によりポンド内には蓄積させない（後工程の沈殿槽だけで沈殿、これらは返送汚泥として活用される）ことを説明したところ、興味を示した。

これまで簡易・ローコストに様々なパームオイル工場に適用ができ、かつしっかりとBOD値20mg/Lに貢献できる技術が存在していなかったため、排水規制の強化についてもスケジュールが遅れ気味となっていたが、本事業の成果が排水規制強化、及び水環境の改善につながることが期待できる。

廃棄物の削減や有効利用について、本事業では炭化による炭化品利用を想定していたが、実証工場の汚泥由来原料の炭化については炭素分が高かったため有効な利用策が検討できなかった。他方、PKSやEFB、実証工場のコンポスト等についてはエネルギー利用等の可能性があることが分かった。EFBやコンポストが余剰となっている工場は少なからずあり、これら工場に適用できる可能性がある。

（ウ）<u>特に、産業振興優先の色合いがまだまだ強いマレーシアにとり、排水処理の高度化は優先度の低いテーマであるが、排水処理に関する行政人材力と産業人材力の高度化に向けた一歩にもつながり得る。</u>

排水処理を適切に行うためには、現場で排水処理工程を管理・実施するオペレータの底上げが不可欠である。日本においては公害防止管理者制度がそれを担っているが、マレーシアでは高等教育を受けた上級技術者への教育プログラムしか存在していない。

本事業では産業人材育成プログラム（オペレータ教育）を準備・実施したことにより活性汚泥処理システムのよりよいオペレーションへの昇華が期待できる。パームオイル工場では季節変動やポンド浚渫といったイレギュラーな処理時期がある等、活性汚泥処理システムに流入する排水の質と量が変化する。そのため設備だけに頼るのではなく、オペレータの知見を高め臨機応変な対応が求められる。

また展開可能なオペレータ教育プログラムを準備したことにより、今後も他のパームオイル企業や工場に対しても利用可能なプログラムとなっている。

(4) 日本国内の地方経済・地域活性化への貢献

本事業では、阪神動力機械のアクアレータだけではなく、関西にある水処理関連設備メーカー（東洋スクリーン工業、関西産業）の製品を組み合わせることにより、機能アップを図るとともに関西企業に対する機会を提供している。また JICA 中小企業海外展開支援・案件化調査を進める企業グループに対する橋渡しも行った。

その他、下記のような日本国内への経済活性化・地域活性化に貢献した。

（本邦招聘活動を契機とした貢献）

本邦招聘活動において MPOB が関心を寄せた「脱色技術（オゾン利用等）」「バイオガス技術」について、直接日本企業（主に大企業）が技術を紹介する機会を設定した。この技術紹介の機会を作りマレーシア展開の足掛かりとしている企業も出てきている。

中小企業の持つ技術については、直接当該企業からの紹介をする機会はなかったものの、本邦招聘活動で大阪工業大学訪問時に MPOB が関心を寄せた有機性添加剤（バチルス菌）、凝集添加剤（植物由来）等の紹介を行った。

（大阪府との連携による貢献）

MPOB より日本の中小企業の優秀技術をさらに紹介してほしいとの要請を受けるに至った。それに対し、本事業に協力いただいている大阪府にも相談し、府下の水処理関連の中小企業技術を紹介する機会を設けることも検討することとなった（但し、適切なスキームや外部予算があることが前提）。

（大学との連携）

前述の通り、現地におけるオペレータ教育や本邦招聘活動で大阪工業大学との連携を行った。大阪工業大学にとってはパームオイル産業における実情を詳細に知る機会となったとともに、現地大学（UPM、UKM）との情報交換が行えたこと、それらを契機として大学間連携の可能性が生まれたことが活性化に関する成果として挙げられる。

また追加活動となったケニンガウサイトでの普及活動においては、九州工業大学との連携を図ることができた。九州工業大学側にとっても現地工場に適用可能な日本の技術を新たに加え、現地企業等に紹介できたことは成果となり得る。

(5) 環境社会配慮

① 事業実施前の状況

本事業の実施に際して、実証先工場の排水処理に関するライセンス変更が求められる可能性があることが事前訪問によって判明した。本変更については、設計図書の作成段階において変更を申請し、通常は 1 ヶ月程度で DOE からの変更許可を得られると

のことであった。

上記を除き、土地利用や自然環境、社会経済への影響を考慮する必要はないことを現地当事者と確認した。

②事業実施国の環境社会配慮法制度・組織

環境に関わるライセンスについては、天然資源・環境省（Ministry of Natural Resources and Environment）の環境局（Department of Environment、DOE）が主管する環境品質法（Environmental Quality Act 1974）に規定されている。

排水を伴う工場の操業を行おうとする場合、環境局長による環境品質法 11 条に規定されるライセンス（11 条ライセンス）の獲得が不可欠である。パームオイル工場の操業においても 11 条ライセンスは必要である。

パームオイル工場に対する排水ライセンス種類としては 11 条ライセンス 1 種類であるが、その認定にあたっては各工場の排水処理後の流出先によって、①土壌散布でのライセンス（BOD5,000mg/L）、②最終放流基準 BOD100mg/L でのライセンス、さらにサバ州等で適用される③流出先地域の環境保全要請が高い地域では 20mg/L の 3 種類の認定分類がある。

ライセンスに影響を与える「新たな排水源となる建物の建設」「排水の質または量を著しく変える生産数量の増加」がある場合には DOE の許可（Witten Permission）が必要となり、「既存の排水源からの排水の質または量を著しく変える工場・機械・設備の導入や使用」「排水の質または量を著しく変える産業排水処理システムのアップグレード」については DOE への届出（Written Notification）が必要であると規定されている。なお、申請先は各州の DOE オフィスである。

③事業実施上の環境及び社会への影響

2015 年 8 月 25 日にパハン州の DOE オフィスにおいて、DOE（パハン州オフィス）、MPOB、FPISB、及び日本側グループにてミーティングを持ち、今回のアクアレータ等の導入に関する説明、及び許可または届出の必要性について協議した。

DOE よりアクアレータ及びスクリーン装置の導入の影響について慎重な質疑・確認があり、FPISB 及び日本側グループよりその場で回答・説明を行った。その結果、DOE は排水の質または量を著しく変えるものではないと認識し、FPISB の自由様式により導入図面、導入スケジュールの提出と、導入前後のモニタリングを行うことで許可（Witten Permission）または届出（Written Notification）の必要はないと結論付けられた。

モニタリングについては当初から実証試験の中で計画されているものである。また図面とスケジュールは FPISB から DOE に対して既に提出され、手続きは完了した。

④環境社会配慮結果

本事業の実証試験の一環として排水水質のモニタリングを行った。

前工程のポンド浚渫工事が行われていた時期（イレギュラーな排水質の時期、第 2 期）においては基準値を一時的にオーバーしたケースは見受けられたものの、通常期（第 1 期、第 3 期）では現行の規制基準値である BOD 値 100mg/L を下回った。結果として環境面での現行法令は問題なく遵守できており、環境への影響はないと結論付けられる。（3 の(1)の ①の 1-5 の 2）参照）

(6) 事業後の事業実施国政府機関の自立的な活動継続について

（機材管理）

本事業で活用した機材については、MPOB に移譲後に MPOB から実証工場に移譲して継続使用される機材と、MPOB にて利活用する機材に分かれる。

アクアレータを中心とした活性汚泥処理システムを構成する機材（アクアレータ、スクリーン、夜間ポンプ用制御盤）は、MPOB から FPISB（Jengka21 工場）に移譲され、継続して排水処理設備として利用されると同時に、MPOB によるショーケースとして普及活動にも利用される予定。

その他機材（乾燥機・炭化炉、オペレータ教育用の各種機材等）については MPOB の研究センターにて利用される予定。MPOB では関連技術の研究開発をその主要なミッションの一つとしており、本部敷地内に研究棟にてラボレベルでの研究からテストプラントレベルでの実証までを行っている。その一部として排水処理等に関連する研究に活用される見込み。

(7) 今後の課題と対応策

本事業を通じて判明した課題及びその対応策については下記の通り。

（規制値強化のスケジュール遅れ）

DOE に初めてインタビューを行った案件化調査時（2013 年 11 月）には 2014 年に改正される見込みであるとされた最終放流水の規制基準値であるが、2017 年 5 月現在でも未改正である。2016 年 11 月の POMREQ セミナーでは DOE より改正の動きは継続していることが紹介されており、改正作業がストップしているということではないものの関係者合意の形成等に時間がかかっている感は否めない。

本件に対して対応策はないものの、アクアレータを中心とした活性汚泥処理システムが BOD 値 20mg/L の実現に貢献できることを伝え続けることで、関係者の規制改正に対する精神的ハードルを下げることに寄与する。

（工場における日々の処理水確認）

DOE によるパーム工場ごとの最終放流水のサンプリング検査は四半期ごととなっているため、通常のパームオイル工場では BOD 値やその代替指標（COD 値など）のモニタリングは高頻度では行われていない。そのため日々の処理水管理は行われていない。

本事業のオペレータ教育によって提案している日々の処理水の状況を知る管理活動を習慣化することが、結局は採取放流水の水質維持を支えるものとなる。例えば汚泥割合の把握、汚泥色の把握、透明度、発泡状況の把握等の比較的容易な日常管理手法を多くのパームオイル工場に展開することは、機材導入を待たなくても先行して実施できる。この日常管理の習慣化を行うことで水質向上は期待できるし、この日常管理なくしてアクアレータ導入の性能は最大限に発揮されることはない。

引き続き、オペレータ教育の実施を促進し続けること、また阪神動力機械としてもオペレータ教育を実施することが望ましい。

4. 本事業実施後のビジネス展開計画

(1) 今後の対象国におけるビジネス展開の方針・予定

① マーケット分析（競合製品及び代替製品の分析を含む）

顧客となるパームオイル企業の状況

マレーシアのパームオイル工場は、大手資本による多工場経営型と、独立資本による単独経営型に大別される。多工場を経営する大手資本企業は、技術陣も充実しており、規制順守に対する意識も高い。特に最上位の FELDA グループ、SIME DARBY グループは、MPOB との技術開発において先導的役割を果たし、関係も深い。

そのため、第一段階では MPOB のコンサルテーションスキーム（TOT スキーム）を活用し、FELDA グループ、SIME DARBY グループ等の大手から中堅の企業をターゲットとする。それら企業の中でのインストアシェアを高め、後に中小を含む多くの工場に展開する。TOT スキームの活用のためにも、現在も進めている MPOB 研究員との連携を維持し、本事業を共同研究の位置付けとする、MPOB 研究員の論文執筆に寄与する等の貢献を果たす。本事業を通じて、大手・中堅企業との接点を持つことができており、全土に占める工場数ベースでは 30%程度を保有する企業群と連携できていることとなる。

なお、マレーシアのパームオイル企業の中にはインドネシアや他の地域においても事業展開する企業が少なくないため、将来的には同じくパームオイル産業の盛んなインドネシアへの進出も検討する。

表 23 パームオイル企業グループの概況

企業グループ名	接点	保有工場数	（半島）	(サバ・サラワク)
FELDA グループ（民営化企業）	○	69 工場	58	11
SIME DARBY グループ（民間）	○	34 工場	25	9
IOI グループ（民間）		15 工場		
KLK グループ（民間）		14 工場	8	6
Boustead Holdings グループ	○	11 工場	4	7
TH Plantations グループ	○	7 工場	7	
LKPP グループ（パハン州 公社）	○	6 工場	6	
FELCRA Berhad（民営化企業）		6 工場	6	
Sarawak Oil Palms グループ		6 工場		6
Kulim（ジョホール州 公社）	○	3 工場	3	
TDM Berhad		2 工場	2	

競合技術との差異

ほとんどのパームオイル工場では多段式の開放型ラグーンによる簡易な排水処理が行われており、BOD 値を 20mg/L まで除去することは困難である。また MPOB と DOE が 2012 年 12 月までに行った BOD 値 20mg/L 以下を実現するためのフィージビリティスタディ[21]において、高度処理（活性汚泥処理の後工程に膜処理などの高度処理を追加する方式等）の導入における次の課題が明らかにされている。

- 高度処理の導入工場においても BOD 値 20mg/L の安定的な順守は難しい
- 高度処理の導入には数千万円の設備投資が必要となり、加えてランニングコストも必要となることから、パームオイル企業側への資金負担が大きい
- ポンド処理の高度化、流入水の水質の一定化は、生物処理工程の成績の安定化にとって大変重要

また、前工程にあたる嫌気処理工程をタンク化してバイオガスを収集してエネルギー利用するとともに、排水中の汚濁物質量を低減しようとする技術も実証段階にあり、MPOB でも研究テーマとして挙げられている。しかし、適切な成分濃度のバイオガスを生成させるための技術ノウハウの習得が必要であること、新たな大型嫌気タンクの設置が必要であること等から、技術力と資金力のある工場でしか適用できないという課題を抱えている。

本普及・実証事業で提案した技術は、工場排水処理の前段にてスクリーン装置で夾雑物と浮遊物質（SS）を除去した上で、最終的に強力な曝気・撹拌能力を持つアクアレータを用いた好気性処理（活性汚泥法）によって安定的に BOD 値を 20mg/L 以下にして、環境中に放流するシステムであり、大規模改修が必要のない安価かつ安定した技術であると言える。

さらに、前処理工程やスクリーン装置等から分離した固形有機物等のスラッジ炭化設備を導入し、工場から発生する未利用バイオマス残渣の活用も提案している。

[21]出典：”MPOB study on mills compliance with BOD 20ppm Requirements” Dr. Hj. Zulkifli Ad Rahman （2012 年 11 月の MPOB 主催のナショナルセミナーである POMREQ 資料）

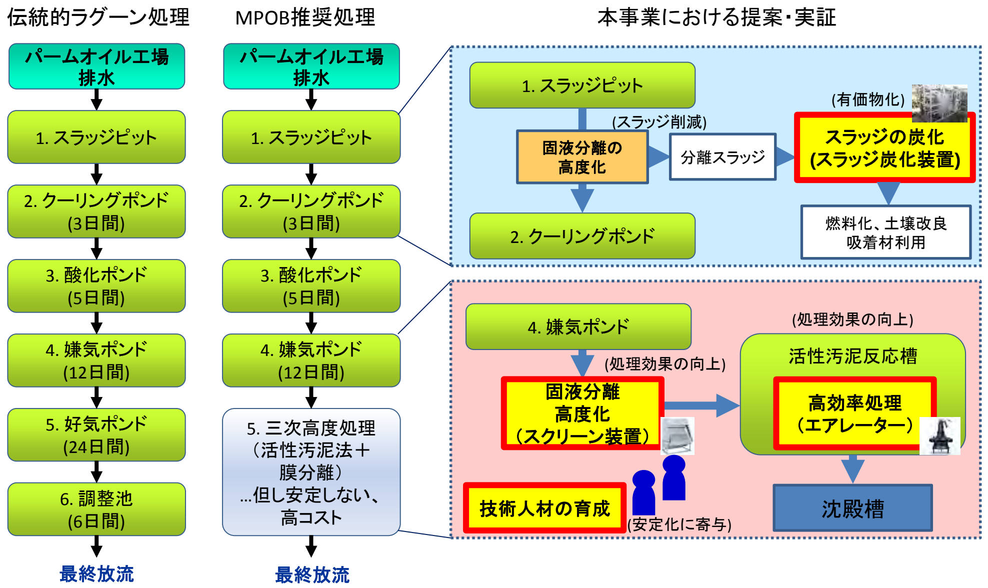


図 58 既存の処理方式、高度処理方式、本提案方式の比較

新たな高度処理プラントの追加設置を要しない本技術のメリットは下記のとおり。これらのメリットをアピールすることにより、競合技術（高度処理の追加設置）との差異を明確にすることが可能である。

なお今回の実証事業においてはスラッジを炭化して有価物化することについては十分な成果を検証できなかった。上流工程で嫌気発酵が行われていたために炭素分がほとんど利用されつくされていたことであるとその原因は判明しており、炭化品の利用可能性のあるパームオイル工場も存在する可能性は高いが、下記の収支シミュレーションでは対象外とすることとした。

本普及・実証事業にて提案した技術のメリット

- **既設の排水処理工程への追加的な適用も可能（追加費用の軽減も可能）**

  マレーシアには 430 を超えるパームオイル工場が既に存在している。今後新設される新工場における高度処理システムの導入、大手資本企業による排水処理システム全体の更新に伴う高度処理システムの導入はあるものの、他方で既存の排水処理工程を全面更新しない、多額の費用をかけられない工場も多数存在している。今回提案するシステムは、既存の排水処理工程に追加的に適用可能であり、パームオイル企業にとって新たな選択肢を与えるものとなる。

- **実績があり、取り扱いやすい要素技術**

  提案するシステムで採用している要素技術（アクアレータ、スクリーン装置、スラッジ炭化設備）は、日本においても十分な採用や運用の実績がある。そのため、技術的な安定度が高く、排水処理基準の安定的な順守に貢献する（アクアレータは日本の下水処理工場の 60%に導入されている）。また運用面においても運用コストや

オペレーション方法での洗練された配慮がある等、ユーザーフレンドリーな技術である。

- **コストアップによる規制対応だけではなく、有価物や資源の創出が可能**

パームオイル工場における設備投資では、厳格な規制順守よりも収益につながる品質向上や収率向上に対する投資が優先されている。今回の提案システムでは、コストアップにつながる規制対応だけではなく、燃料化や有価物生成に寄与するものである。

② ビジネス展開の仕組み

事業展開にあたり、現地での供給体制の整備にあたっては、現地企業と提携する方が早く事業に着手できることから、現地企業との提携や協働を進める。

パームオイル工場導入に関する設計、施工、メンテナンス機能については、産業排水エンジニアリング企業であり、日本製品を活用した高度処理にも理解のある SPEKTRA 社を第一候補としている。O'REC IND SDN BHD（企業登録番号 835573-U）は、MPOB 及びパームオイル企業とのコネクションと取引実績があるため、販売面での提携関係構築を検討している。

<u>調達・生産・流通・販売計画(含、許認可の必要性、現地生産計画の有無)</u>

本事業完了後、当初 3 年間程度はコア機材となるアクアレータ及びスクリーンは日本で製造して現地に輸送し、それ以外の資機材（ブロア等の汎用機材、配管等）については設計、施工、メンテナンスを行う企業（SPEKTRA 社等）が現地調達することを想定する。

現在、アクアレータはその性能を認められつつあり、具体的な引き合いが徐々に顕在化しつつある状態であり、それらへの素早い対応が求められるため日本からの輸出ベースとする。SPEKTRA 社等、現地でアクアレータ施工及び運用に携わった企業が出てきており、それら企業の社員にもノウハウが蓄積されつつあり、日本から現場に張りつく施工監理要員を派遣する必要が薄れていることから、「現地化」はある程度図られつつあると考えられる。

販売計画としては、当初 3 年程度は毎年 1～2 工場、その後は 2～3 工場への導入を見込む。今回の調査でも工場ごとに好気性処理工程に 2～3 台の曝気装置（表面曝気装置や散気板等）が使用されており、それらの置き換え提案が最も現実的である。そのため、1 工場への販売ができれば 2～3 台のアクアレータ販売となる。

また導入までにかかる事前打合せ、設備仕様の検討、現地工場における許可取得（工場の排水フローに関する変更許可）、日本における機材製造、輸送、据付のための工事などを含めて 1 年程度の期間がかかる。数案件を並行して進めたとしても、年間では数

工場への導入が現実的である。

なお本事業に関する一連の活動を通じてアクアレータに関心を持つパームオイル企業（ジョホール州）も現れており、販売計画としては無理なものではないと考える。

要員計画・人材育成計画

阪神動力機械の要員としては、これまで通り日本からの出張ベースでの営業担当者及び技術担当者にて当面は対応可能であると考えられる。施工企業（SPEKTRA 等）では、既に数名の技術者（設計者、施工管理者）がノウハウを蓄積しつつある。これらの陣容によって年間数台ベースであれば十分に業務対応ができる。

これらを超えて、年間 10 台以上の販売・施工が必要になる段階においては、現在の 2 倍程度の要員体制が必要になると考えられる。その時期を見越して、またバックアップ体制を構築するためにも、日本側も現地側も常時、新たな要員の実地トレーニングを行う必要はある。

収支分析・資金調達計画

本事業を通じて現地のエンジニアリング会社との技術的な連携を深められたことから、現地法人化の必要はなく、自社投資による製造設備や施工装備の新規調達の必要もないため、ビジネス化段階に移行した段階での大きな投資は必須ではない。本事業を通じて、ビジネスリスクを大きく低減できたと言える。

収支シミュレーションにおける条件設定の概要は下記の通り。

- 前処理スクリーンとアクアレータによる活性汚泥処理法の提案とし、本事業の実証工場と同様にコンクリート打ちされているようなポンドまたはタンクであることを前提とする。
- 当初 3 年程度は毎年 3 台、その後は 5 台程度と、実現可能性の高い比較的堅実な販売見込みとする。
- 当初の資金調達は自己資金と借入資金を半々の想定とする（投資が不可欠ではないが、何らかの設備投資等を行ったものとして）。

収支シミュレーションの結果の概要は下記の通り。

- 営業・管理人件費のみが固定費、その他は全て変動費化できるため、リスクの低いビジネス構造となる見込み。
- 10 年間の内部投資収益率（IRROE）は 50%弱となる予定。ここでも初期投資がほとんどないビジネス構造が功を奏する。
- キャッシュフローについても当初に予定する設備投資を回避すれば、マイナスになる局面はなく、安定したビジネスとなりうる。

[redacted]

図 59 ビジネスの予想収益状況

表 24 ビジネスの予想収益状況

[redacted]

③ 想定されるビジネス展開の計画・スケジュール

排水処理システムについては、マレーシアの代理店契約も締結され、エンジニアリング（施工やメンテナンス）の体制も整いつつあり、本事業と並行して産業排水向け 16 台、内パームオイル工場向け 4 台（ジョホール州・Kulim 社）への引合創出（現

在、契約詳細を検討中）も実現してきた。

また、マレーシアでのビジネス化にとどまらず、同様にパームオイルが一大産業となっているインドネシアへの拡大、また産業排水（ゴム工業、化学工業等）への適用例を拡大させることを推進する。引き続き、ビジネスベースでの取り組みを進める。

時期	事業化・販売計画	投資計画／計数目標
1-3 年目	**事業体制の確立** ・実証事業で構築したネットワークを活用しつつ、現地エンジニアリング企業と協業し、安定した供給体制を確立・強化する。 ・エンジニアリング企業内に、メンテナンスができる担当者を育成する。 **活性汚泥処理やアクアレータの認知度向上** ・オペレータ教育資料等を活用し、活性汚泥処理の概要とアクアレータの利点を理解する人を増やす。将来ビジネスに向けた潜在顧客教育を行う。 **事業の本格展開** ・提携企業と共にユーザー等に営業拡販を行う。 ・パーム以外の産業にも展開する。	・特に大きな投資は発生しない。 ＜計数目標＞ 導入工場　3 件/年 累計工場 約 10 工場 売上 [redacted] ※加えて他産業からの受注も行う
4～6 年目	**事業の本格展開** ・提携企業と共にユーザー等に営業拡販を継続し、パーム産業における存在感を形成する。 ・パーム産業の盛んなインドネシア等、他の国・地域への進出を検討する。	・特に大きな投資は発生しない。 ＜計数目標＞ 導入工場　5 件/年 累計工場 約 25 工場 売上 [redacted] ※加えて他産業からの受注も行う
それ以降	・事業を軌道に乗せ、10 年以内にマレーシアのパームオイル産業における累計工場数 45（導入工場シェア 10%）を目指す。	

④ ビジネス展開可能性の評価

前述した通り、本事業を通じて現地のエンジニアリング会社との連携を深められたことから、現地法人化、自社設備投資の必要が無くなったことがビジネス展開においても大きくプラスに作用している。減価償却費を含めた固定的な経費が少ないことから、投資収益率が高く、ビジネスリスクは低い。

製造の現地化によって価格を落とす方向性ではないものの、スケールメリットが出始めればコストダウンはできる可能性があり（例えば輸出にかかる輸送費の共通化、求められる技術の高さに応じた人員の専門化等）、それらを価格にも反映させられる可能性がある。

(2) 想定されるリスクと対応

①法令順守・許認可リスク

進出にあたっての関連法令順守や許認可の取得が必要になる可能性がある。

・原則として、当面はマレーシア政府に法人登録された現地提携企業による設計・施工・メンテナンスとする。

・ユーザー企業側では、排水処理方法の変更による環境ライセンスの変更申請等が必要になるが、MPOB や DOE の指導に基づきノウハウを習得する。

② 資材調達リスク、品質リスク

現地で資材が調達できない可能性がある。また現地生産において品質保証ができないリスクがある。

・事業本格展開期までに現地での原料調達のめどをつけ、当初は日本側の部材供給比率を高め、徐々に現地生産に移管する等の処置をとることとする。

③ 社会構造によるリスク

多民族社会であるマレーシアでは、政府機関はマレー系が多く、製造業企業は中華系が強い。パームオイル企業にも民族色の強い企業も存在している。そのため民族間のコワークが進みにくい状況が創出されるリスクがある。

・政府機関と組立製造企業の間に立つ EPC 企業の選定に細心の注意を払い、どちらかの民族のみに偏った体制を構築しないように留意する。

・現地における信頼できるスーパーバイザーと連携し、現地での業務コントロールや調整を円滑に行う体制を構築する。

(3) 普及・実証において検討した事業化による開発効果

（BOD 成分の除去効果）

本ビジネスによって工場シェア 10%（45 工場）が確保できた場合、アクアレータだけで年間 760 万 t のパームオイル工場排水の処理に寄与する。2014 年の実績から簡易計算すると BOD 負荷物質は 1 工場あたり 15t/年程度であるため、45 工場では約 680t/年（1.8t/日）の BOD 負荷物質の除去（河川への流入回避）に貢献する。

・年間全工場で約 1 億 t の FFB を処理（2015 年には 97,566,393t）

・投入 FFB 量 1 に対して、パームオイル工場排水量は 0.76。

・当社シェア 10%の場合、年間で 7,600,000t の工場排水の水質改善ができる。

全工場 FFB 量	100,000,000	t/y
全工場 POME 量	76,000,000	t/y
10%シェア POME 量	7,600,000	t/y

(4) 本事業から得られた教訓と提言

（慎重なる政府機関の意思決定）

マレーシア政府の政府機関における意思決定では、関係者や関係機関同士の事前調整、いく層もの階層を経る承認プロセスを必要とする。属人的な裁量が抑制された法治行政の特性が良く出ているという見方ができる一方で、どうしても意思決定や最終承認までに時間がかかるという特性がある。

本事業において実証に関する条件を記述した Memorandom of Agreement（MOA）を締結したが、1 年近くを要することとなった。

また排水規制値の強化スケジュールについても後ろ倒しとなっているが、その間に MPOB による BOD 値 20mg/L を実現する技術の探索、DOE によるパームオイル企業からの意見聴取など、慎重な手順が踏まれている。

（マレーシア政府側の補助政策に関する提言）

マレーシアのパームオイル産業は、前述したように複数工場を保有する大手企業と、一つの工場単体で運営する中小零細企業に二分される。大手企業については順法意識も高く、そのための資金拠出や技術習得にも積極的であり、今後の規制強化（BOD 値の強化）への対応でも先行して責任を果たすと想定される。

他方、中小零細企業については、十分な資金力を有していないケースも多く、設備投資が難しいために順法意識はあっても順守できないという状況が生じている。これらの企業に対しては「安価な技術」の紹介と、補助金等の「資金面での支援策」が必要になろうと考えられる。純粋な補助金だけではなく、設備投資の一括償却による税制優遇、CO2 排出削減価値の評価等、日本では様々なメニューがあり、参考にすることもできる。

英文要約

MALAYSIAN PALM OIL BOARD

Summary Report

Malaysia

Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese Technologies for Improvement of Wastewater Treatment System and Recycling of Resources at Palm Oil Mills in Malaysia

August, 2017

Japan International Cooperation Agency

Hanshin Engineering Co., Ltd.

1. BACKGROUND

With the increase of palm oil consumption in the global market, the palm oil industry in Malaysia has been growing and has now become one of the country's key industries. There are more than 400 palm oil mills in Malaysia today.

The Department of Environment (DOE) under Ministry of Natural Resources and Environment of Malaysia, grants operating permits to palm oil mills according to the river effluent standard of 100mg/L BOD. In view of the industry growth and need for further environmental protection, DOE is now proposing tighter effluent regulations by applying a stricter standard of 20mg/L BOD nationwide. In the area near orangutan's habitat or drinking water source, like Sabah State or Ipoh in Perak State, the strict standard of 20mg/L BOD has already been introduced as prior efforts.

Malaysian Palm Oil Board (MPOB), the government agency whose mission is to supervise and monitor palm oil mills in Malaysia, is also in charge of finding and improving palm oil mill effluent (POME) treatment technology or system at palm oil mills.

2. OUTLINE OF THE PILOT SURVEY FOR DISSEMINATING SME'S TECHNOLOGIES

(1) Purpose

a. To introduce and verify the effectiveness of a POME (Palm Oil Mill Effluent) treatment system consisted of highly efficient submerged mechanical aerators, screen devices, dryer and carbonizer which contribute to achieving 20mg/L BOD at a competitive cost.

b. To disseminate this POME treatment system in the palm oil industry after it is proven effective.

c. To reduce waste from palm oil mills through recycling sludge or residue produced from wastewater treatment process or oil manufacturing process.

d. To enhance the technical level of POME treatment through technical training programs of activated sludge treatment system.

(2) Activities

1) Verification of "Activated Sludge Treatment System"

- Hanshin Engineering Co., Ltd. (Hanshin) installed the "Activated Sludge Treatment System" at Kilang Sawit Jengka 21 (Jengka 21), Felda Palm Industries Sdn. Bhd., and collected treated wastewater quality data to demonstrate the effect. The system consisted of aerators and screening devices.
- Prior to the actual installation of the system, a laboratory scale "Activated Sludge Treatment Pilot Plant" was installed to determine the operating condition.

2) Verification of "Sludge Carbonization System"

- Hanshin installed the “Sludge Carbonization System” at Jengka 21 in order to study the effective using sludge and other palm oil mill residue. The system consisted of a dryer and a carbonizer which are pilot scale equipment.
- The carbonized materials at several temperature zones were analyzed, and its market needs were explored while suggesting different usages (for example, fuel, compost, and adsorbent for wastewater treatment).

3) Technical training on “Activated Sludge Treatment System” in Malaysia

- Hanshin provided trainings on the activated sludge treatment system to technical staff of palm oil companies and engineering, procurement and construction (EPC) companies, using the lab-scale “Activated Sludge Treatment Pilot Plant”.
- Improvement of knowledge and skills about the system such as the method of understanding wastewater conditions and operating equipment in accordance with the wastewater conditions are important factors to maximize system capability.

<Training Course> • 2 days training and 1 day training during the Verification Survey period • The course consisted of two parts: - Lecture (Basics of activated sludge treatment, daily management methods, environmental management organizational development etc.) - Practice using the lab-scale “Activated Sludge Treatment Pilot Plant” • Training text will be newly prepared by Hanshin.

- Trainings on operation and maintenance using the actual equipment also were provided.
- Technical seminars were held to introduce the system and technologies.
- In addition, half day seminar on carbonization was also conducted.

4) Technical Training Activities in Japan

- Hanshin invited several members from MPOB and other public agencies to Japan to visit similar facilities in operation and to observe industrial wastewater treatment administration in Japan.

<Training Course> • 5 days training / once during the Verification Survey period • The course included the followings; - Factory tour of Hanshin (demonstration of facility) - Site tour of wastewater treatment systems (sewage, industrial wastewater)

- Lecture & discussions (wastewater treatment technology, related laws) etc.

(3) Information of Product/ Technology to be Provided

Product	**Aerator® (Hanshin Engineering Co., Ltd.)**
Product specifications	"AQUARATOR®" (F-75AF, 75kW) with blowers
Quantity	3 sets (one for each treatment pond)
Sales performance	10,000 units sold at 1,000 sites in Japan (60% domestic market share) Rapidly expanding to Malaysia, Indonesia, Taiwan, China and Korea.
Advantage	• Energy cost saving • Easy and minimum maintenance • Innovative and outstanding design

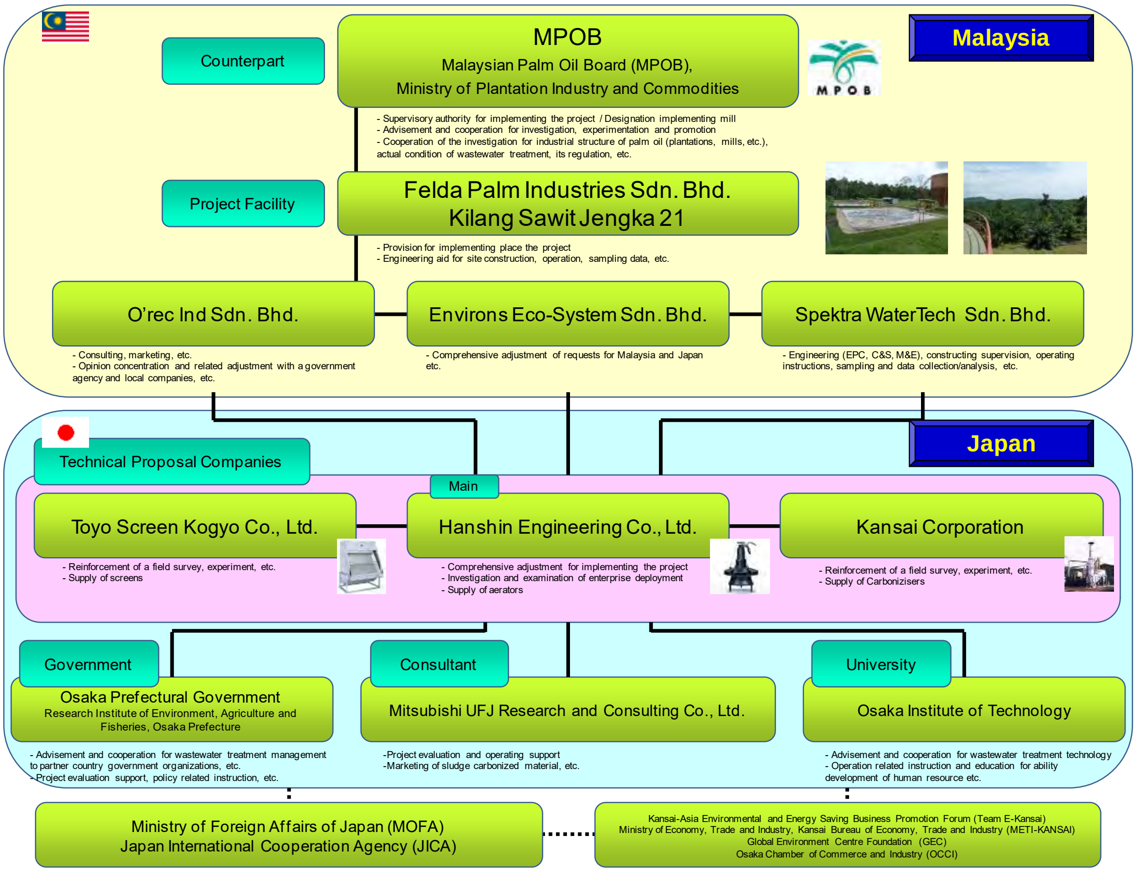
Product	**Screening Device (Toyo Screen Kogyo Co., Ltd.)**
Product specifications	"ULTRA TN SCREEN" (N1500A1, 1500mm) with a pump
Quantity	2 sets (to be installed just before the 3 aeration ponds).
Sales performance	30,000 units sold in Japan Also sold in Thailand
Advantage	• Less likely to clog • Easy maintenance • Long-term durability (replacement required only once every few years because of stainless robust parts and a special screen shape)

Product	**Sludge Carbonization Equipment (Kansai Corporation)**
Product specifications	Dryer (volume capacity: about 200L) Carbonizer (volume capacity: about 150L)
Quantity	1 set
Sales performance	Introduced in Philippines, Thailand etc. through projects of JICA, New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) of Japan.
Advantage	➢ Possible use of waste

- In addition, one lab-scale "Activated Sludge Treatment Pilot Plant" and some equipment used for training and monitoring ware provided.

(4) Implementing Organization

- Malaysian Party: Malaysian Palm Oil Board (MPOB)
- Japanese Party: Hanshin Engineering Co., Ltd. (Hanshin)



(5) Target Area and Beneficiaries

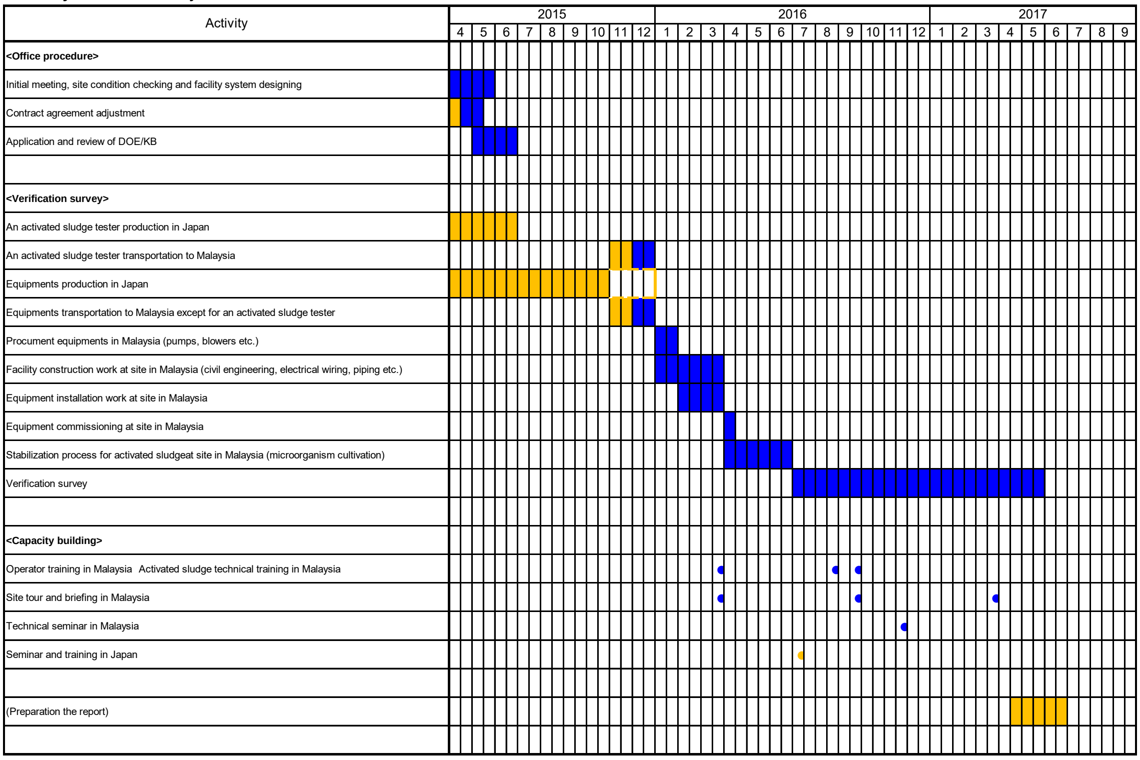
- Target Area: Kilang Sawit Jengka 21, Felda Palm Industries Sdn. Bhd.
- Beneficiaries:
  a. Palm oil mills (companies) with the wastewater treatment process
  b. Surrounding communities especially living near palm oil mills

(6) Duration

- From April 2015 to September 2017.

(7) Progress Schedule

<Activity Plan for the Project>



Blue part: The work in Malaysia
Bright orange part: The work in Japan

(8) Manning Schedule

(Please refer to the attached document.)

(9) Implementation System

- AQUARTOR is a submerged mechanical aerator/agitator utilizing in both aerobic tank and anaerobic tank. Miniaturized bubbles are generated and mixed with the liquid effectively to reach all areas of the aeration tank (Figure.1)
- Advantage
    1. The submerged mechanical aerator/agitator separates the power source for the 2 main functions for aeration which are the supplying of air and agitation/aeration.
    2. The submerged mechanical aerator/agitator is able to use flexibly as aerobic agitation or anaerobic agitation.
    3. The simple structure leads to no clogging.
    4. No scattering wastewater/sludge and no occurring noise/vibration.

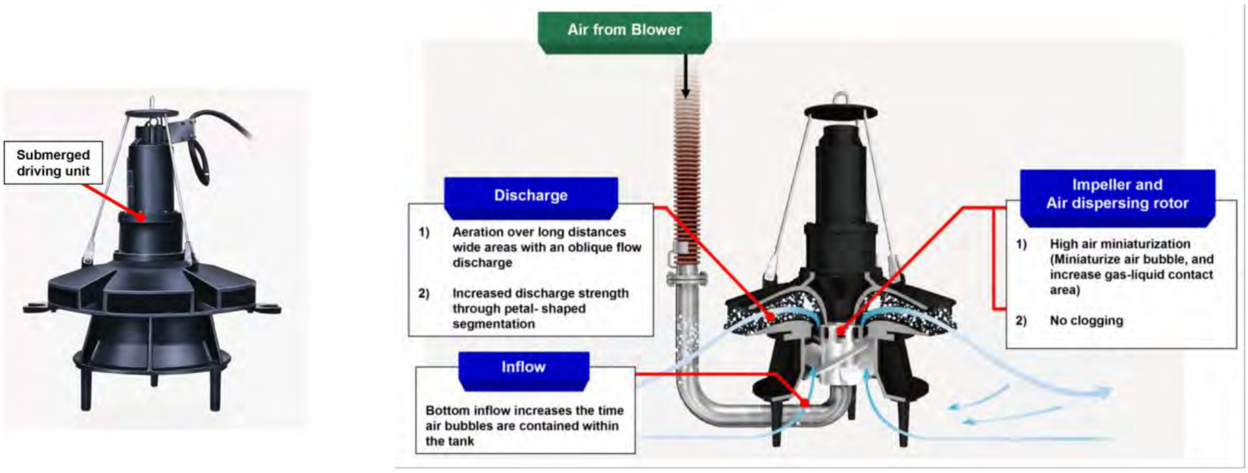


Figure 1. The Appearance and feature of AQUARTOR(Submerged mechanical aerator/agitator）

TABLE 1. DESIGN PARAMETER OF CASE STUDY FOR POLISHING PLANT

Parameter	Unit	Design value
Influent BOD	mg liter^{-1}	500
Effluent BOD	mg liter^{-1}	20
BOD removal rate	%	95
MLDO	mg liter^{-1}	2.0
MLSS	mg liter^{-1}	2500
Operating temperature of waste water	deg C	28
Aeration devise installation water depth (as water depth)	m	3.6

Note: Target tank specification is based on L1=18.5m W1=18.5m (L2=11.3m W2=11.3m) WD=3.6m for 1 tank,.
Number of aeration tanks: 3 tanks

3. ACHIEVEMENT OF THE SURVEY

(1) Outputs and Outcomes of the Survey

- We proposed the activated sludge treatment system with AQUARATORs and screen devices, and the carbonizer system for utilization of sludge from POME.
- We were able to demonstrate "it is the effective processing method contributing to the realization of stable BOD value of 20 mg/L at low cost", which is the object of this project.

TABLE 2. ACHIEVEMENT OF PURPOSE OF THIS PROJECT(1) AQUARATOR

Issues for Reducing BOD Value	Results of AQUARTOR introduction
Insufficient power to supply oxygen • Oxygen is not supplied to the activated sludge sufficiently by using the conventional method (like surface aerator or diffuser). This is a reason why the BOD value of the final discharged water is high.	**Improvement of oxygen supply amount** • By introducing AQUARATOR, the flow velocity was improved, and the stirring flow velocity from the top of the pound to the bottom was made uniform. • After introduction of the AQUARATOR, it was verified that the amount of dissolved oxygen increased to 6.0 - 8.0 mg / L (first phase). • In the conventional method, amount of dissolved oxygen was 1.0 mg / L or less.
The knowledge of the operator is insufficient • Operators cannot adequately manage activated sludge treatment due to lack of knowledge of technical principles. • The capability of activated sludge system is not performed.	**Implementing practical education for operators** • 38 engineers and operators have attended training program about activated sludge treatment operation which provided from Japanese side. • The program is easy to understand and practical. This can be implemented each mills, and ripple effects are expected. • Not only for senior engineers but also operators who work at the site.
For realization of final released water BOD 20 mg / L • In order to realize 20 mg / L at final discharge, it was expected introduction of technologies to achieve stable performance at low cost.	**Contribution to reduction of BOD value** • It has achieved removal of maximum 93.1% BOD loads by introducing AQUARATOR. • BOD value of final discharge water surely fell below the current regulation of 100 mg / L, indicating 20 to 60 mg / L. • It was estimated that BOD values could be improved at the final discharge by using a post-process of AQUARATOR treatment (like sand filtering device etc). It could be removing insoluble BOD component. Removal rate of BOD

	component could be improved from 76.1 - 81.1% (only aerobic treatment) to 86.3 - 92.8% (including post-process).

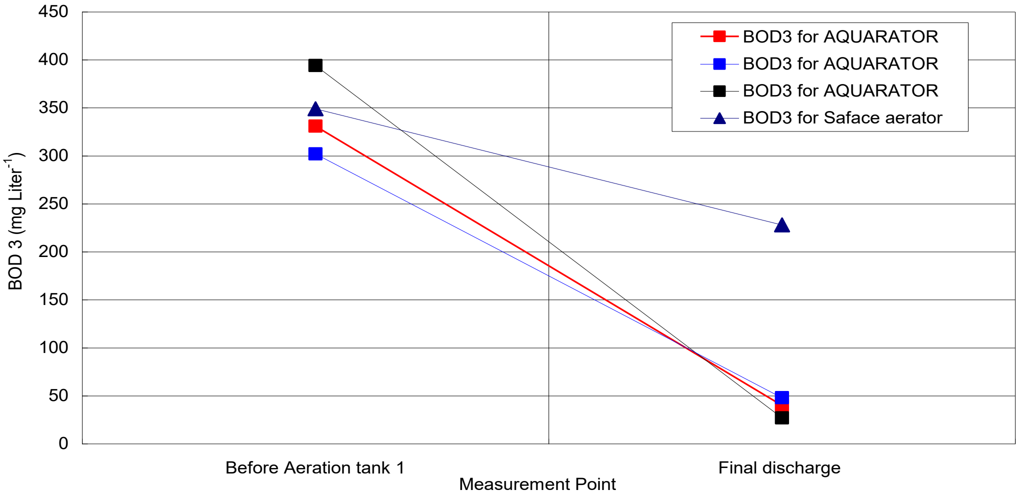


Figure2. Comparison of the variation of BOD concentration between surface aerator and AQUARATOR

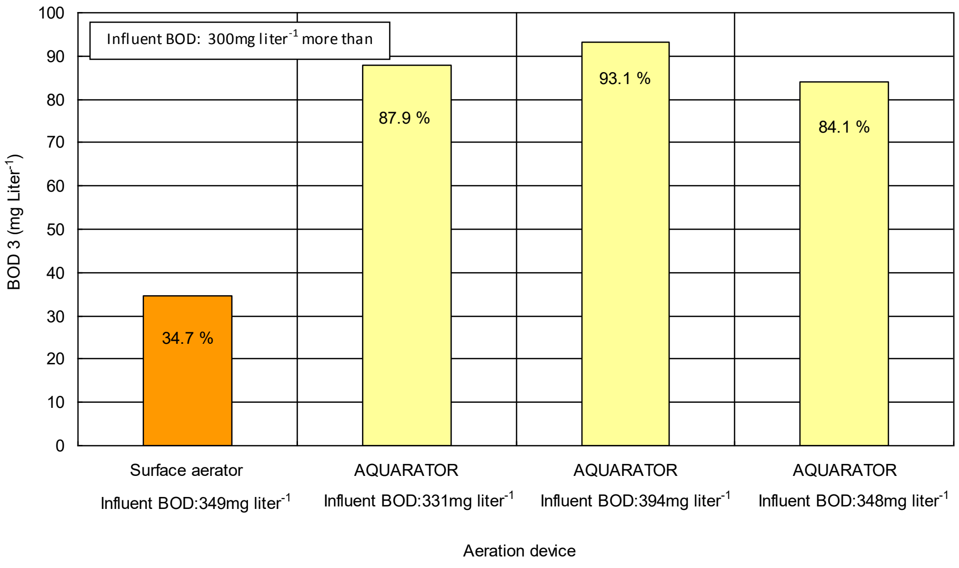


Figure3. Comparison of the removal rate of the BOD concentration between surface aerator and AQUARATOR

- As for the agitation performance, the analysis results of the Computational Fluid Dynamics (CFD) showed that the stirring flow velocity of 0.3 to 0.6 m sec-1 was observed entirely at the bottom of the tank. As a reference, it is thought that, from

the sedimentation velocity of activated sludge, constantly maintaining the flow velocity of about 0.1 m sec-1 or higher as an average flow velocity at bottom of the tank prevents sludge deposition.

- Since the flow velocity was observed from sections A and B in the entire tank, it was inferred that the state of complete mixing was realized. Because of the characteristics of the AQUARATOR, it creates a turbulent flow state in the tank, unlike the diffuser, and therefore the oxygen retention time is long, which allows maintaining the vapor-liquid transfer rate in sewage same as in clean water.
- Moreover, since the agitating function and the agitating diffusing function are separate, it is possible to maintain a constant MLDO state by changing the amount of air flow, even with a variating inflow load. From the examination results shown above, it was considered that in M5 using the surface aerator, the aeration and stirring states can be improved by replacing the surface aerator with the AQUARATOR, and that an aeration tank which allows an efficient BOD process can be realized (Figures 4 to 7).

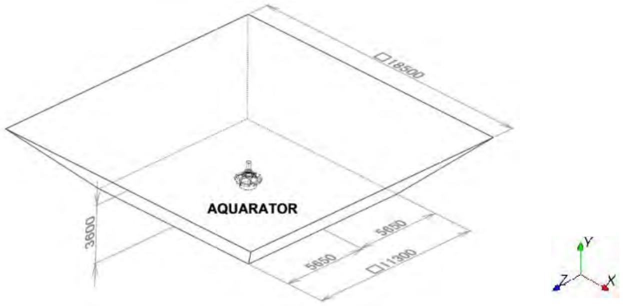


Figure 4. Three - dimensional model for aeration tank using

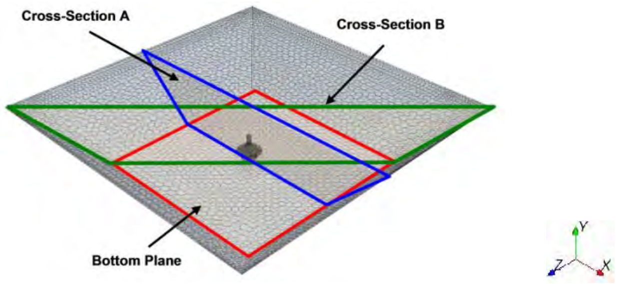


Figure 5. Mesh model for aeration tank using AQUARTOR

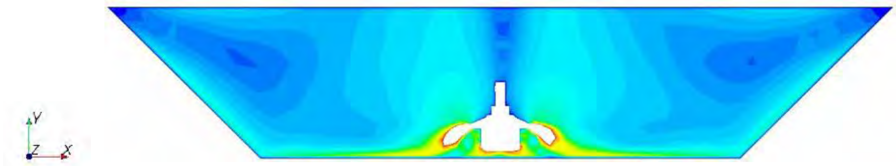


Figure 6. Cross flow speed at section "A"

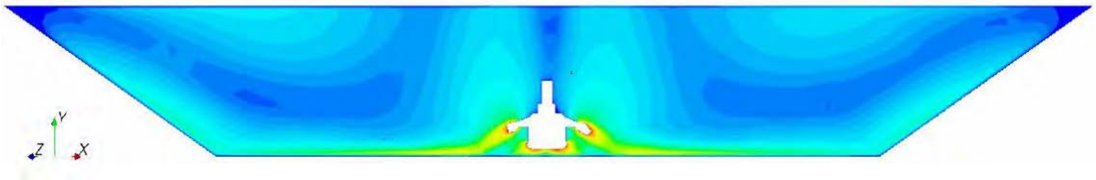


Figure7. Cross flow speed at section "B"

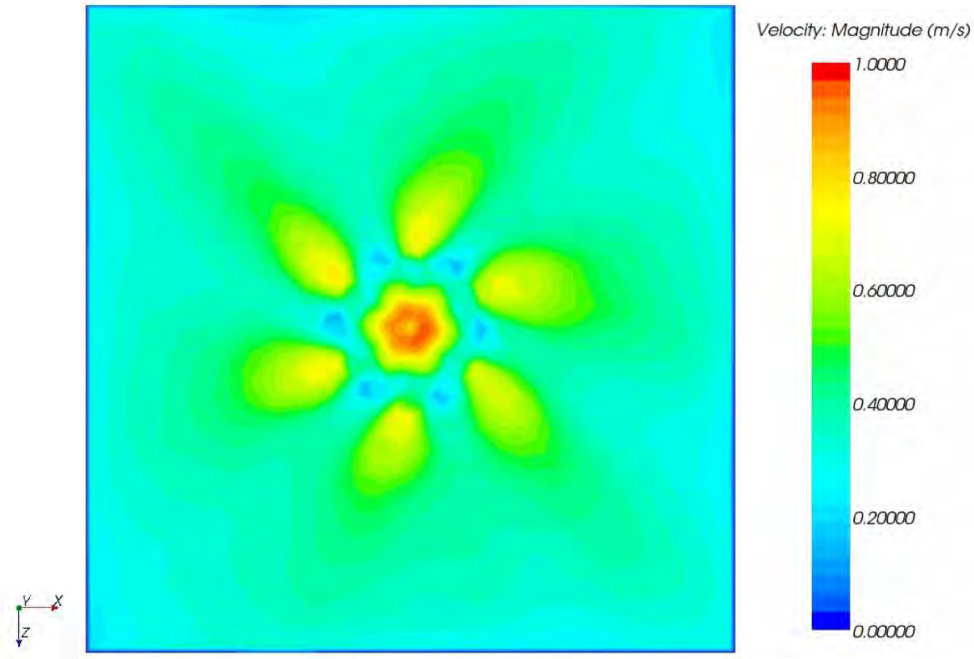


Figure 8. Cross flow speed at bottom plane

- In order to achieve stable improvement in water quality in an aeration tank by the ASM, especially to realize the BOD process, improvement in the aeration tanks was examined by replacing the surface aerator with the AQUARATOR which has the "agitation function" and "agitation diffusing function" separately, intended for use in aeration tank of polishing plant which adopts surface aerator. As a result of investigation of the MLSS and flow velocity by replacing the surface aerator with the AQUARATOR, the agitation state in the aeration tank had greatly improved, and the MLDO, various water quality criteria, especially the BOD process have improved from 34.7% to 93.1% at a maximum as a removal rate by adding the

"agitation diffusing function."

- Although the POME improvement was attempted targeting on the aeration tanks of ASM this time, the stable POME process would require controlling of the operation flow of the whole ASM including the aeration tank which serves as a core. It is considered that AQUARATOR which can control the "agitation function" and "agitation diffusing function" allows construction of stable ASM including variations in the inflow load change and seasonal variations, and that it can contribute to the POME process.

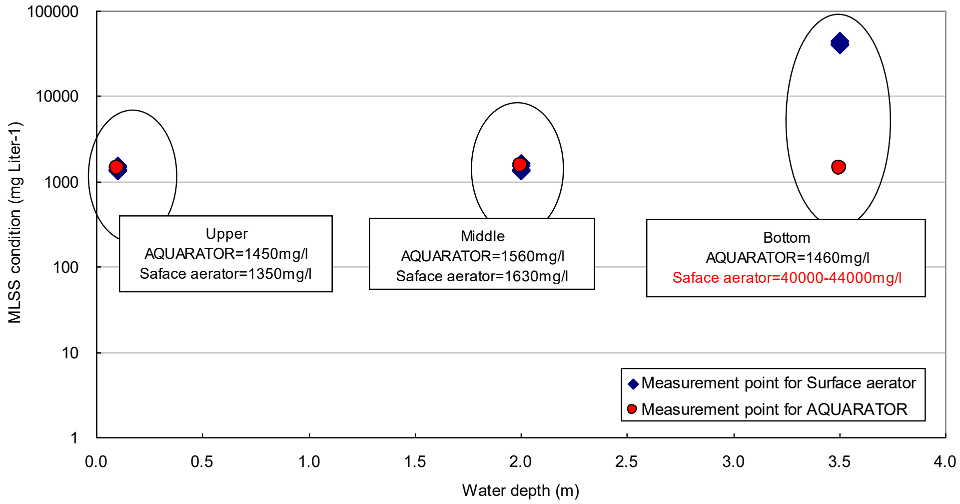


Figure 9. Comparison of MLSS condition in aeration tank

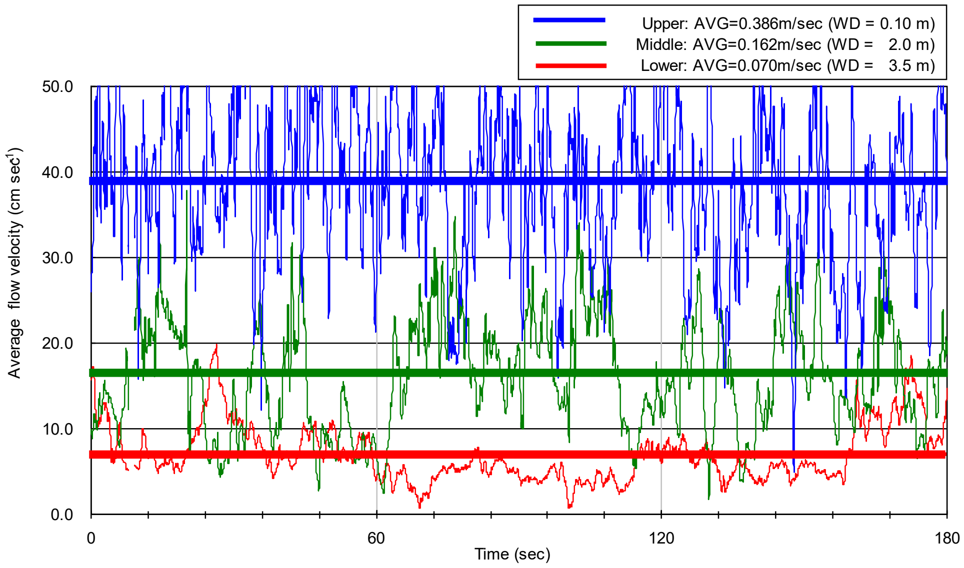


Figure10. Flow velocity for surface aerator in aeration tank

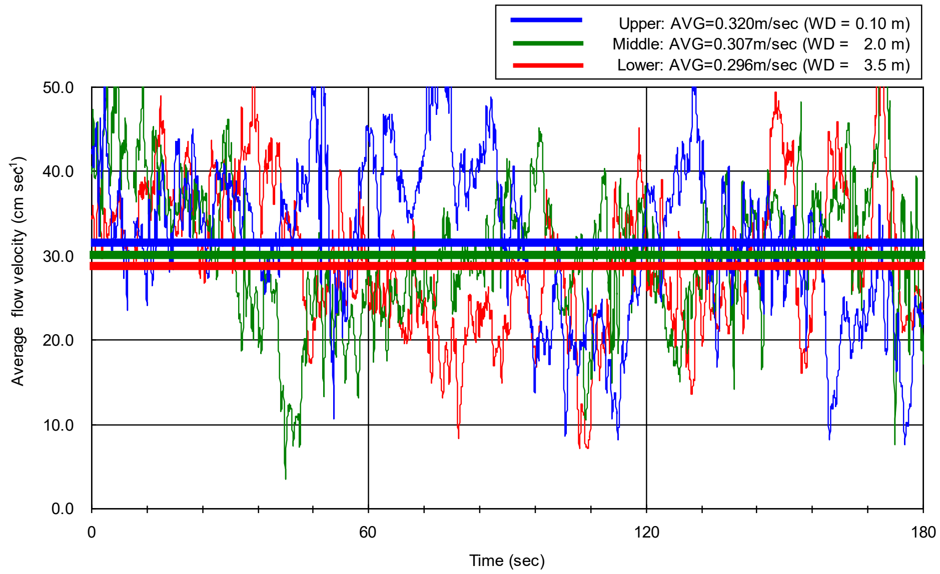


Figure 11. Flow velocity for AQUARATOR in aeration tank

TABLE 3. ACHIEVEMENT OF PURPOSE OF THIS PROJECT (2) Carbonizer

Use of sludge as valuable material	Result of carbonization demonstration
Using as Energy • To concentrate energy density as	• At this demonstration mill, due to anaerobic fermentation in the upstream process, there was not much volatile content left in the

good fuel	sludge. It was unsuitable for fuelization. • For EFB and PKS, energy density was improved by carbonization in the low temperature range. There is a possibility of carbonization fuel.
<u>Using as Fertilizer / Soil conditioner</u> • Carbonize the sludge into fertilizer	• It was confirmed that N: P: K ratio of coagulated sludge was about 2: 3: 1. • This result means that it was suitable for organic fertilizer as phosphorus fertilizer, and there is possibility of use as a fertilizer for fruits and flowers.
<u>Using as POME treatment material</u> • Using as adsorbent (especially color removal) for wastewater treatment	• In the high temperature carbonization, only PKS left the shape as semi-activated carbon. (Others could not remain the shape of semi-activated carbon) • As a result of the simple test, it was judged that PKS semi-activated carbon could not adsorb palm-derived carotene dye.

(2) Self-reliant and Continual Activities to be Conducted by Counterpart Organization

- After transferring ownership from JICA, MPOB will utilize some equipment in the organization for survey (Dryer, Carbonizer, and Activated Sludge Treatment Pilot Plant etc.) in research center. R & D is one of MPOB's major missions, and these devices are used for research and development.
- Some other equipment will used continuously in the Jengka 21 mill of FPISB as process devices and as demonstration devices after transferring ownership from MPOB (AQUARATOR, Screen etc.).

4. FUTURE PROSPECTS

(1) Impact and Effect on the Concerned Development Issues through Business Development of the Product/ Technology in the Surveyed Country

- Expectation of starting new regulation value
  - It will expect to start new POME effluent regulation in 2017.
  - At the seminar in 2016, it was introduced that the movement of regulation revision continues. On the other hands, it takes a lot of time to form agreement of stakeholders.
  - The activated sludge treatment system with AQUARATOR can contribute to realization of a BOD value of 20 mg / L. We hope that the existence of this

system will play a role in promoting the revision of regulations.

(2) Lessons Learned and Recommendation through the Survey

- Confirmation of daily treated water in each mill
  - DOE conducts inspection of final discharged water on a quarterly basis for each mill. Therefore, many palm oil mills do not have incentives to monitor daily water quality.
  - Through the providing operator training of activated sludge system, we propose daily management of water quality in each mill. For example, it is possible to develop easy daily management methods such as checking sludge ratio, sludge color, transparency of water, foaming condition without expensive equipment.
  - We believe that daily water management will stabilize the water quality of the final discharge and, as a result, create the environmentally friendly society.
  - Also, without this routine management, the performance expected of the AQUARATOR will not be fully demonstrated.
  - Continuing to promote education is desirable.

- Funding for regulatory compliance (especially for SMEs)
  - Malaysia's palm oil industry includes both large companies holding multiple mills and small companies operating only one mill.
  - Large companies have the high consciousness of compliance, and they also active in financing and technical acquisition for that purpose. It is assumed that major companies will take responsibility to respond to future enhancement of BOD regulation values at their own risk.
  - On the other hand, small and medium enterprises do not have adequate financial resources, and it is difficult to invest capital for compliance with regulations.
  - For these companies, it will be necessary to introduce "inexpensive technology" and "financial support" such as subsidies.
  - There are various menus in Japan, such as preferential tax treatment by early depreciation of capital investment, evaluation of CO2 emission reduction etc. The Malaysian governmental agency could refer to such fund support menus concerning environmental conservation.

ATTACHMENT: OUTLINE OF THE SURVEY

Malaysia

Verification Survey with the Private Sector for Disseminating Japanese technologies for Improvement of Wastewater Treatment System and Recycling of Resources at Palm Oil Mills in Malaysia

Hanshin Engineering Co., Ltd., Osaka, Japan

Concerned Development Issues in Malaysia

- It is now proposed tighter effluent regulations for palm oil mill by applying a stricter standard of 20mg/L BOD nationwide.
- Lack of appropriate water treatment technology that is stable processing at low cost

Implemented Activities in the Survey

- To introduce and verify the effectiveness of a wastewater treatment system consisted of highly efficient submerged mechanical aerators - Aquarator.
- To verify the effectiveness of a carbonizer as a recycling sludge system.
- To enhance the technical level of palm oil mill effluent treatment through training programs.

Proposed Products/Technologies

Hanshin AQUARATOR®

The Aquarator® can act as a submerged agitator for both aerobic and anaerobic agitation

- Realization of extremely high energy efficiency

- In the actual result, it is possible to eliminate pollution load amount of 90% or more

Survey Overview

Name of Counterpart:
Malaysian Palm Oil Board (MPOB)

Survey duration:
May 2015 - Sep 2017

Survey Area:
Jengka 21 of Felda Palm industries, Pahang state, Malaysia

Impact on the Concerned Development Issues in Malaysia

- To prove the effectiveness of the equipment which aims to achieve BOD of 20mg/L at a competitive cost
- To enhance technical level of POME treatment operation through technical training programs

Outputs and Outcomes of the Survey

- It is estimated that a proposed POME treatment system with Hanshin AQUARATOR® may remove 93.1% BOD load (Maximum).
- The carbonizer can contribute to build a sludge recycling if carbon content of sludge is high (difficult if carbon content is low)
- Around 60 person attended technical training program. - Activated sludge system (Mar.2016 and Sep.2016) and Carbonizer (Aug.2016)

ATTACHMENT: Manning Schedule

1. Works in Malaysia

No	Name	Part	Organization	2015									2016												2017							Total working days	Total working
				4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
1	Hirotaka Kawashima	Project Leader	Hanshin Engineering		5/19-5/23 5days	6/15-6/20 5days		8/23-8/29 6days	9/12-19 8days	10/18, 25-11/1 8days	1days			2/21-27 7days	3/20-26 7days	4/5-10 6days		6/12-14 3days			9/4-9 6days	10/17-21 5days	11/27-30 4days	12/1-2 2days	1/9-1/14 6days		3/27-31 5days	4/1 1days		6/5-10 6days	7/23-28 6days	97days	3.23
2	Ikuma Sonda	Lead engineer of Aerator	Hanshin Engineering		5/19-5/23 5days			8/23-8/29 6days	9/12-19 8days	10/21, 24-31 9days	11/18-21 4days			2/17-26 10days	3/21-28 8days	4/6-8 3days		6/29, 30 2days	7/1-3, 19-22 7days	8/2-7 6days	9/4-9 6days	10/17-21 5days	11/28-30 3days	12/1-7 7days	1/9-1/14 6days		3/27-31 5days	4/1 1days		6/5-10 6days	7/23-31(-8/3) 9days	116days	3.87
3	Masanori Ishido	Negotiation	Hanshin Engineering		5/19-5/23 5days																											5days	0.17
replace	Manabu Yoshida	Negotiation	Hanshin Engineering																													0days	0.00
4	Norihiko Okamoto	Installation engineer	Hanshin Engineering								11/18-21 4days			2/17-26 10days						8/2-7 6days			11/28-30 3days	12/1-3 3days							7/23-28 6days	32days	1.07
add	Yoshinobu Tsuchida	Maintenance leader	Hanshin Engineering																				11/28-30 3days	12/1-2 2days								5days	0.17
5	Yuichi Yumiba	Chief adviser	Mitsubishi UFJ R & C		5/19-5/23 5days			8/23-8/28 6days		10/26-30 5days					3/21-25 5days					8/21-26 6days			11/28-30 3days	12/1-2 2days								32days	1.07
6	Takashi Nakamori	Market research (recycling resources)	Mitsubishi UFJ R & C					8/23-8/28 6days						2/21-25 5days							9/4-8 5days	10/17-20 4days										20days	0.67
7	Tomoaki Murakami	Administrative support	Mitsubishi UFJ R & C											2/21-25 5days	3/21-25 5days																	10days	0.33
8	Shoji Kita	Research (administrative systems, legal systems)	Mitsubishi UFJ R & C																													0days	0.00
9	Yasunori Kosaki	Capacity building, technical adviser	Osaka Institute of Technology					8/24-8/28 5days						2/21-25 5days	3/21-25 5days						9/4-9 6days											21days	0.70
10	Hiroyuki Monobe	Lead engineer of carbonization equipment	Individual participation		5/19-5/23 5days			8/23-8/28 6days		10/26-31 6days						4/4-6, 7-10 4 3days				8/21-27 7												20days	0.67
11	Koichi Hashimoto	Coordinator for activities in Japan	Osaka Prefectural Government		5/19-5/23 5days																											5days	0.17
replace	Hidefumi Minamiura	Coordinator for activities in Japan	Osaka Prefectural Government																				11/28-30 3days	12/1 1days								4days	0.13
12	Tetsuro Minami	Technical adviser	Research Institute of Osaka Prefecture																													0days	0.00
13	Tshuyosi Kubota	Technical adviser	Research Institute of Osaka Prefecture		5/19-5/23 5days																											5days	0.17

2. Works in Japan

1	Hirotaka Kawashima	Project Leader	Hanshin Engineering		5/13 1days	6/24 1days	7/2, 6, 16, 18, 29 5days	8/4, 20 2days	9/11 1days	10/16 1days	11/6, 12, 16 3days	12/3 1days	1/28 1days	2/16, 17 2days		4/15 1days	5/13, 27 2days		7/26-31 6days	8/9			11/2, 7, 22 3days	12/13 1days		2/27 1days	3/1 1days	4/11 1days	5/25 1days	6/20 1days		36days	1.80
2	Ikuma Sonda	Lead engineer of Aerator	Hanshin Engineering				7/6, 9, 21 3days			10/14 1days													11/10, 14, 21 3days			2/24 1days		4/27 1days	5/30 1days	6/20 1days		11days	0.55
3	Masanori Ishido	Negotiation	Hanshin Engineering																													0days	0.00
replace	Manabu Yoshida	Negotiation	Hanshin Engineering																													0days	0.00
4	Norihiko Okamoto	Installation engineer	Hanshin Engineering																													0days	0.00
add	Yoshinobu Tsuchida	Maintenance leader	Hanshin Engineering																													0days	0.00
5	Yuichi Yumiba	Chief adviser	Mitsubishi UFJ R & C		5/13、5/28 2days	6/4、6/24 2days	7/24, 29 2days	8/4, 12 2days	9/10 1days	10/16, 19 2days	11/6, 13, 16 3days	12/10, 17 2days		2/23 1days	3/10, 11, 16, 17, 18 5days	4/12, 14, 15 3days	5/11, 27 2days	6/7, 16, 27, 28 2 2days	7/4, 11, 13, 25, 26-31 3 6.6days	8/2, 17-18, 31 4	9/20, 26 2	10/4 1	11/4, 8, 24 3	12/26 1		2/17 1	3/1 1	4/26 1	5/30 1	6/20 1		35.6days	1.78
6	Takashi Nakamori	Market research (recycling resources)	Mitsubishi UFJ R & C				7/8, 9 2days		9/7, 11 2days	10/19	11/16 1days			2/16, 18, 26 3days	3/15 1days	4/14, 15 2days	5/27 1days	6/3, 8, 9, 28 4days	7/5, 12, 14, 26, 28, 30 6days	8/23, 31 2days	9/1-2, 12 1 2days	10/13-14, 21 3	11/4 1						5/30 1			26days	1.30
7	Tomoaki Murakami	Administrative support	Mitsubishi UFJ R & C			6/4 1days	7/21, 24, 27 3days	8/19 1days					1/12 1days	2/8, 16, 19, 26 4days	3/1, 8, 16, 18 4days																	14days	0.70
replace	Tsubasa Nakajima	Administrative support	Mitsubishi UFJ R & C																7/26, 27, 29 3days													3days	0.15
8	Shoji Kita	Research (administrative systems, legal systems)	Mitsubishi UFJ R & C																													0days	0.00
9	Yasunori Kosaki	Capacity building, technical adviser	Osaka Institute of Technology			6/4、6/22 2days	7/13、16 2days	8/18 1days		10/22 1days			1/12, 22 2days	2/18 1days	3/8, 11, 18 3days				7/18, 22, 28, 30 4	8/31 1												12days	0.60
10	Hiroyuki Monobe	Lead engineer of carbonization equipment	Individual participation		5/13 1days	6/22 1days	7/29 1days	8/19-20 2days	9/11 1days	10/20 1days	11/16 1days					4/13, 14 2days			7/13 1days	8/8 1days	9/28 1days	10/14, 17 2days										15days	0.75
11	Koichi Hashimoto	Coordinator for activities in Japan	Osaka Prefectural Government							10/19 1days					3/11 1days				7/21, 27 2days													4days	0.20
replace	Hidefumi Minamiura	Coordinator for activities in Japan	Osaka Prefectural Government																				11/24 1days									1days	0.05
12	Tetsuro Minami	Technical adviser	Research Institute of Osaka Prefecture														5/27 1days															1days	0.05
13	Tshuyosi Kubota	Technical adviser	Research Institute of Osaka Prefecture																													0days	0.00