

タイ国

タイ国
タイ国 eco-Bubble によるエビ養殖業
生産性向上事業案件化調査
(中小企業支援型)

業務完了報告書

2023 年 7 月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社大巧技研

民連
JR
23-060

<本報告書の利用についての注意・免責事項>

- ・本報告書の内容は、JICA が受託企業に作成を委託し、作成時点で入手した情報に基づくものであり、その後の社会情勢の変化、法律改正等によって本報告書の内容が変わる場合があります。また、掲載した情報・コメントは受託企業の判断によるものが含まれ、一般的な情報・解釈がこのとおりであることを保証するものではありません。本報告書を通じて提供される情報に基づいて何らかの行為をされる場合には、必ずご自身の責任で行ってください。
- ・利用者が本報告書を利用したことから生じる損害に関し、JICA 及び受託企業は、いかなる責任も負いかねます。

<Notes and Disclaimers>

- ・ This report is produced by the trust corporation based on the contract with JICA. The contents of this report are based on the information at the time of preparing the report which may differ from current information due to the changes in the situation, changes in laws, etc. In addition, the information and comments posted include subjective judgment of the trust corporation. Please be noted that any actions taken by the users based on the contents of this report shall be done at user's own risk.
- ・ Neither JICA nor the trust corporation shall be responsible for any loss or damages incurred by use of such information provided in this report.

写 真



提案製品 (ECBL-5N)



導入効果確認実験準備 (左:ポンプ、右:提案製品)



実験を行った養殖池



導入効果確認実験でのポンプの設置状況



実験池で提案製品から発生するマイクロバブル



セミナー講演の様子 (堤)



セミナーWeb 投影の様子



セミナー後の会場での質疑応答

目次

要約	vii
はじめに	xiv
第1章 対象国・地域の開発課題	1
1-1 対象国・地域の開発課題	1
1-1-1 開発課題の状況	1
1-1-2 開発課題の背景・原因	3
1-2 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等	4
1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針	4
1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析	5
1-4-1 ODA 事業	5
1-4-2 他ドナーの先行事例	5
第2章 提案法人、製品・技術	7
2-1 提案法人の概要	7
2-1-1 企業情報	7
2-1-2 海外ビジネス展開の位置づけ	7
2-2 提案製品・技術の概要	9
2-2-1 ターゲット市場	9
2-2-2 提案製品・技術の概要	9
2-3 提案製品・技術の現地適合性	12
2-3-1 現地適合性確認方法	12
2-3-2 現地適合性確認結果（技術面）	15
2-3-3 現地適合性確認結果（制度面）	37
2-4 開発課題解決貢献可能性	37
第3章 ODA 事業計画/連携可能性	38
3-1 ODA 事業の内容/連携可能性	38
3-1-1 ODA 事業概要	38
3-1-2 具体的な計画	39
3-2 ODA 事業実施/連携における課題・リスクと対応策	42
3-2-1 制度面・インフラ面にかかる課題/リスクと対応策	42
3-2-2 C/P 体制面にかかる課題/リスクと対応策	42
3-2-3 その他の課題/リスクと対応策	42
3-3 環境社会配慮等	42
3-4 ODA 事業実施/連携を通じて期待される開発効果	43
第4章 ビジネス展開計画	44
4-1 ビジネス展開計画概要	44
4-2 市場分析	44
4-3 バリューチェーン	44
4-4 進出形態とパートナー候補	44

4-5	収支計画.....	44
4-6	想定される課題・リスクと対応策.....	44
4-7	ビジネス展開を通じて期待される開発効果.....	44
4-8	日本国内地元経済・地域活性化への貢献.....	45
4-8-1	関連企業・産業への貢献.....	45
4-8-2	その他関連機関への貢献.....	45
	要約（英文）.....	46
	別添資料.....	54

図表リスト

図 1-1	我が国における国別エビ輸入量の推移（上位 10 カ国）	1
図 1-2	主要国の養殖エビ生産量の変化.....	2
図 1-3	バナメイエビ.....	2
図 1-4	エビ養殖池におけるエアレーションパドル稼働の様子.....	3
図 2-1	世界の養殖業の国別及び魚種別生産量の推移.....	7
図 2-2	バナメイエビ（ <i>Penaeus vannamei</i> ）の世界養殖生産量.....	8
図 2-3	提案製品：eco-Bubble®とディフューザーの海水曝気結果.....	10
図 2-4	提案製品：eco-Bubble®の外観.....	11
図 2-5	提案製品のスペック別酸素ガス溶解能比較.....	11
図 2-6	実験池の位置：Prachuap Khiri Khan 県の Kui buri 地区.....	13
図 2-7	コントロール池及び実験池（第 1 サイクル）	15
図 2-8	提案製品（ECBL-5N）の設置状況	16
図 2-9	実験池で提案製品（ECBL-5N）から発生するマイクロバブル.....	16
図 2-10	実験池における DO 日周変化（10 分毎の連続観測結果を元に作成）	17
図 2-11	実験池の DO 最低値（午前 0 時～8 時の平均値）の日変化	21
図 2-12	実験池の前日の日餌使用量と DO 最低値（午前 0 時～8 時の平均値）の関係.....	22
図 2-13	本実験におけるエビの成長過程と過去の提案法人によるタイにおける 類似実験例（Chanthaburi 県 2018 年 2 月 25 日～5 月 1 日）との比較.....	23
図 2-14	赤く変色し死亡したバナメイエビ.....	23
図 2-15	コントロール池及び実験池（第 2 サイクル）	25
図 2-16	（左）実験に使用した提案製品（ECBL-5N）及び（右）実験池における曝気.....	26
図 2-17	提案製品（ECBL-5N）の各ノズルへの通気量の測定（約 15 L/分）	26
図 2-18	各池に放流した稚エビ（体長 5 mm 程度）	27
図 2-19	実験期間中の各池の（a）水温および（b）塩分の変化	28
図 2-20	実験期間中の各池の水の栄養塩濃度：(a) DIN（溶存態無機窒素）、 (b) DIP（溶存態無機リン）、(c) 栄養塩濃度の N/P 比、(d) 植物 プランクトン量の指標となる Chl-a 濃度	29
図 2-21	各池における実験期間中の DO の変化.....	30
図 2-22	各池における実験期間中の夜間から朝（0:00～9:00）における DO 平均値の 変化.....	31
図 2-23	実験期間中における各池の日餌使用量の変化.....	31
図 2-24	各池で飼育されたバナメイエビの収穫時における湿重量頻度分布ならびに 成長および生残に関する指標	32
図 2-25	実験に使用した eco-Bubble®-5N のマイクロナノバブル発生ノズルの 内部構造とノズル底部の写真.....	34
図 2-26	実験に使用した提案製品（ECBL-5N）の実験終了後における各ノズルの 内部構造.....	34
図 2-27	タイで提案製品を用いて曝気する実験を実施したバナメイエビ養殖池.....	36

図 3-1	ODA 事業の関係機関と役割分担.....	40
表 2-1	提案製品：eco-Bubble®のスペック一覧.....	10
表 2-2	現地調査における実験/測定内容（1 サイクル当たり）.....	14
表 2-3	導入効果確認実験実施期間.....	14
表 2-4	各池で養殖されたバナメイエビの生産効率.....	33
表 3-1	普及・実証・ビジネス化事業のスケジュール（案）.....	41

略語表

略語	英語	日本語
AHPNS	Acute Hepatopancreatic Necrosis Syndrome	急性肝膵臓壊死症候群
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	東南アジア諸国連合
AVS	Acid Volatile Sulfide	酸揮発性硫化物
BMA	Bangkok Metropolitan Administration	バンコク首都圏庁
BOI	Thailand Board of Investment	タイ投資委員会
CP	Charoen Pokphand Group	チャロン・ポカハン
CPF	Charoen Pokphand Foods PCL.	チャロン・ポカハンフーズ
CU	Chulalongkorn University	チュラロンコン大学
DDS	Department of Drainage and Sewerage	排水・下水道局
DIN	Dissolved Inorganic Nitrogen	溶存態無機窒素
DIP	Dissolved Inorganic phosphorous	溶存態無機リン
DO	Dissolved Oxygen	溶存酸素
DOE	Department of Environment	環境局
DOF	Department of Fishery	水産庁
EMS	Early Mortality Syndrome	早期死亡症候群
FCR	Feed Conversion Ratio	飼料効率
IAI	the Initiative for ASEAN Integration	ASEAN 統合イニシアティブ
IoT	Internet of Things	モノのインターネット
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	株式会社国際協力銀行
JETRO	Japan External Trade Organization	独立行政法人日本貿易振興機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
KMITL	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	モンクット王工科大学ラカバン校
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network	長距離広域ネットワーク
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development	地球規模課題対応国際科学技術 協力プログラム
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標

要約

第1章 対象国・地域の開発課題

タイのエビ養殖は、世界有数の輸出量を誇る主要産業であった。しかし近年は、ベトナム等との生産競争の激化に加え、2013年からのエビの早期死亡症候群(EMS)蔓延により、生産量が2012年から半減する程の被害を受けた。さらに2020年の新型コロナパンデミックではエビの国内需要が大幅に落ち込み、エビの養殖池をティラピア等の魚の養殖に転換する事業者も増大した。2022年時点でも、エビの生産量は回復していない。

Thailand Shrimp Associationによれば、今後数年のうちにエビの輸出先としての中国市場が急速に伸びると予想されており、今が産業基盤を強化して一層の競争と発展に備えるべき時期である。しかしタイ独自の努力のみでは生産量が回復できておらず、インド、ベトナムなどの競合国が伸びてきている(図-1)。従って、現在でも外部からの支援が必要な状況である。

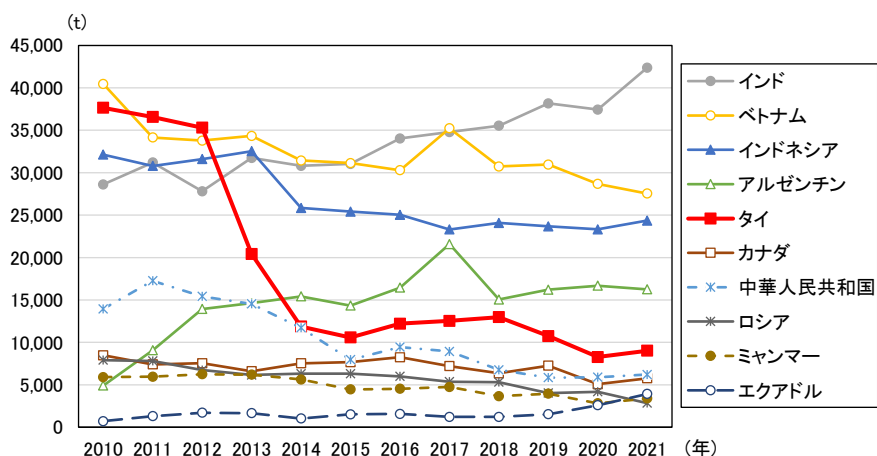


図-1 我が国における国別エビ輸入量の推移(上位10カ国)

出典「貿易統計」(財務省)に基づき提案法人作成

EMS等の病気の発生は、養殖池の水質、とくに溶存酸素濃度(DO)低下と強い関係がある。DOが低下すると稚エビが病気にかかりやすくなる。エビの一部に病気が発生すると、蔓延防止のため養殖を中断し、全てのエビを収穫せざるを得ない。エビが大きく育つほど収穫総量が増え、商品価値(1尾あたりの単価)も高くなるが、成長途中で養殖を中断すると収穫量も単価も下がり、売上も大幅に減少する。従って、稚エビの病気防止には、養殖池のDOを高めることでエビの抵抗力を維持することが重要となる。

養殖池では、昼間は植物プランクトンの光合成により酸素が供給されるが、夜間から明け方には溶存酸素濃度が大きく低下するため、エアレーション(曝気)が不可欠である。養殖池ではエアレーション用の水車、エアレーションパドル(以下、「パドル」(図1-4))が最も普及しており、終日稼働させているが、発生する気泡が大きく溶存酸素濃度を上げる効果は限定的である。その一方、パドルの稼働に要する電力代は養殖事業者の年収の3~4割を占めるほど高く、飼料代に次いで養殖事業者の大きな負担となっている。

第2章 提案法人、製品・技術

① 提案企業と提案製品

提案企業は、eco-Bubble®（以下、提案製品）を用いた多様な装置を開発しており、水産養殖業への適用には2008年から着手した。提案製品の本質は「マイクロバブル発生装置」である。マイクロバブル（直径50 μ m以下の泡）は浮力が小さく、長時間水中を漂う。泡は小さいほど体積あたりの表面積が大きくなり、水中を漂う間に泡の中のガスが水に効率よく溶け込む。また、エビ養殖池のような汚染物質の多い水中でも他社製品のように目詰まりすることなく、省電力で大量のマイクロバブルを生成することが可能である。

この提案製品をタイのエビ養殖事業者が実際に事業を行っている養殖池に導入する実験を行った。本実験では、(1) 溶存酸素濃度維持の効果を正確にモニタリングする、(2) 生残率、収穫量、飼料効率、及び販売額の向上や消費電力の削減による養殖コストの削減等の効果を定量的に把握する、の2点を目的とした。

② 養殖実験の実施

実験地は、バンコク都より南に約300kmのPrachuap Khiri Khan 県 Kui buri 地区にある。同養殖池は、本案件化調査のC/Pであるカセサート大学水産学部より紹介された。同水産学部卒業生がオーナーであるため、科学的実験に関する理解が深く、理解を得ることが容易であった。ここで、エビ養殖場の池2面を借用した。1面は実験池として提案製品（ECBL-5N）を池の面積に合わせて2台設置し、もう1面はコントロール池としてエアレーションパドルのみを使用した。1サイクルの養殖には3~4か月かかるため、本調査では2020年2月に1サイクル目を実施し、新型コロナウイルスによる中断期間を経て2022年8~12月に2サイクル目を実施した。

1サイクル目では、コントロール池、実験池の双方に病気が発生したため、実験中止を余儀なくされた。この病気は、同時期にKui Buri地区の他のエビ養殖場でも広く発生したが、どのようなウイルスや細菌類によるものなのかは、明確な検査結果は得られなかった。

新型コロナウイルスによる中断後の2サイクル目では、前回の池が既に利用中であったため、ティラピア養殖が行われていた別の池（面積4,000 m²（直径約72m）×2面）を急遽整備して新たに借用した。このうち1面を実験池、もう1面をコントロール池とした。

③ 養殖実験の結果

養殖池のDOは、飼育期間の経過に伴って全体的に低下していく傾向が見られ、飼育開始80日以降にはコントロール池での夜間のDO低下が著しかった。これはエビの成長に伴う餌使用量の増加によると考えられる。飼育開始後80~110日のDO値は、実験池の3.85 \pm 0.68 mg/L（平均値 \pm S.D.）に対して、コントロール池では2.91 \pm 0.83 mg/Lに低下した（図-2）。実験池では、提案製品から放出されるマイクロバブルによる曝気により、DOが約1.4 mg/L上昇する効果が得られていた（平均値に統計学的有意差あり）。

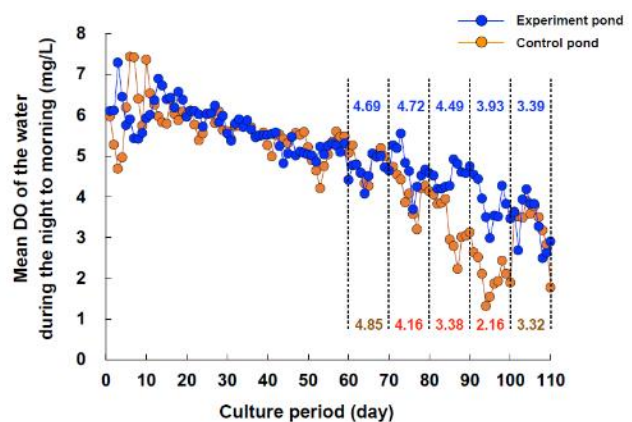


図-2 各池における実験期間中の夜間から朝(0:00~9:00)におけるDO平均値の変化

実験開始から 110 日後、養殖エビを回収し市場へ出荷した。この際に成長量を比較したところ、エビの個体湿重量には実験池とコントロール池で統計学的な有意差は認められなかった。しかし、湿重量頻度分布では、頻度分布のモード（最頻値）は実験池の 19～20 g に対して、コントロール池では 16～17 g と小型個体が多くを占めていた。また、生残個体数も実験池の 238,901 個体（生残率 79.6%）に対して、コントロール池では 224,155 個体（生残率 74.7%）と、実験池では約 5% 程度の生残率の向上が認められた（図-3）。

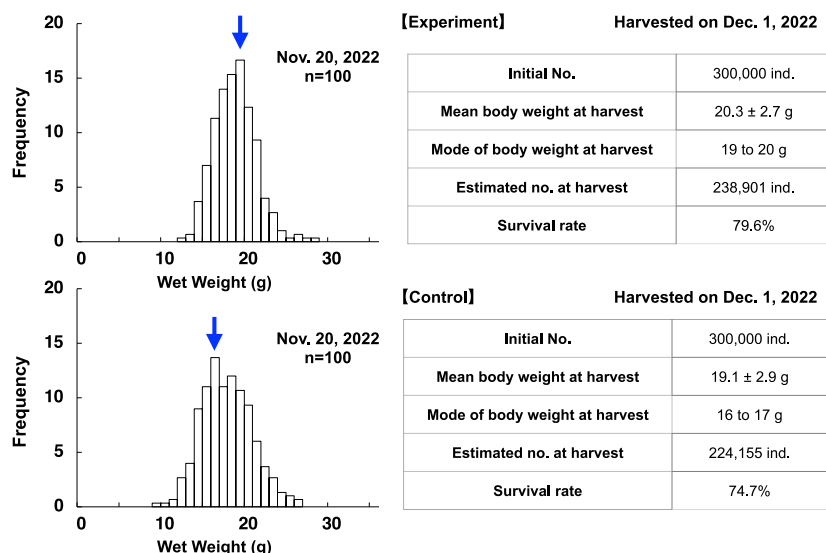


図-3 バナメイエビ収穫時の湿重量頻度分布、成長と生残の指標

生産効率も、実験池では形状の優れた「Good」と評価される個体の重量の合計値が 4,793.86 kg を記録した一方、コントロール池では「Good」は 4,171.09 kg となり、足などが外れた「Fragmentary」個体の重量が 35.95 kg 含まれていた。総生産量としてはコントロール池 4,272.73 kg に対して、実験池では 13.6%増の 4,854.96 kg 個体が水揚げされた。さらに品質の向上により、売り上げとしては 14.5%増の 111,964.01 THB の売り上げ増が得られた。飼料効率 (FCR) も、コントロール池 1.54 に対して実験池では 1.39 となり、9.7%の向上が見られた（表-1）。

表-1 各池で養殖されたバナメイエビの生産効率

【Experiment】 Harvested on Dec. 1, 2022				【Control】 Harvested on Dec. 1, 2022			
Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB	Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB
Good	4,793.86	183	877,276.38	Good	4,171.09	183	763,309.47
Soft shell	46.51	130	6,046.30	Soft shell	56.30	130	7,319.00
Dwarf	14.59	100	1,459.00	Dwarf	9.39	80	751.20
Fragmentary	***		***	Fragmentary	35.95	40	1,438.00
Total	4,854.96		884,781.68	Total	4,272.73		772,817.67
	582.23		111,964.01				
	13.6%		14.5%				
Total Feed	6,739.5			Total Feed	6,580		
FCR	1.39			FCR	1.54		

なお、機器稼働に係る電力使用量は、実験池で 27,123.5 kWh、コントロール池では 8,084.8 kWh、電気代は各々 146,755 THB、42,849 THB となり、その差は 103,906 THB となった。実験池で増加した電気代は、実験池におけるエビ売上額の増加分 111,964 THB の約 93%に相当する。しかし、実際のエビ養殖に提案製品を利用する場合には、同装置の稼働をタイマー制御により、夜間の 12 時

間に限定することが可能であるため、24時間稼働させた本実験よりも、電力使用量を半減させることが可能である。

④ 提案製品に生じたトラブル

実験池における提案製品を用いた水の曝気では、池の水のDOの最低値を5mg/L以上に保つことを想定して実験計画を立案した。しかし本実験では、飼育開始60日後以降にコントロール池に対して実験池における夜間のDO低下のレベルが優位に抑制されている結果は得られたが、DOの低下を5mg/L以上のレベルに保つことができなかった。その結果とみられるが、実験池におけるエビ生産量は、コントロール池に対して13.6%増、FCRも9.7%の改善に限られていた。

その原因を追及すべく、実験終了後に提案製品の状態を観察した結果、製品に生じた問題が判明した。提案製品は、マイクロナノバブル発生ノズルの外槽にポンプから送られてきた水がその上部から内槽に入り、高速で回転しながら下降する外渦とさらに加速されて回転しながら上昇する内渦を発生し、この二重旋回流の中心部に生じた陰圧によって、外部から空気を取り込まれて気柱を形成する。その気柱の上部において、高速で回転する内渦の水と気柱の接触面での摩擦によって気柱が崩れて、マイクロナノバブルが発生する。このようなマイクロナノバブル発生のおくみのために、ノズル底部は二重旋回流を発生させるために平面ではなく、中心部分に向かって滑らかに盛り上がる構造となっている。

しかし、実験終了後に回収した2基の提案製品の、合計10個のマイクロナノバブル発生ノズルの底部がいずれも抉られていた(図-4)。この状態では乱流が発生し、高速に回転する渦流が形成されない。このため、マイクロバブルの発生量が大幅に減少していたことが予想される。

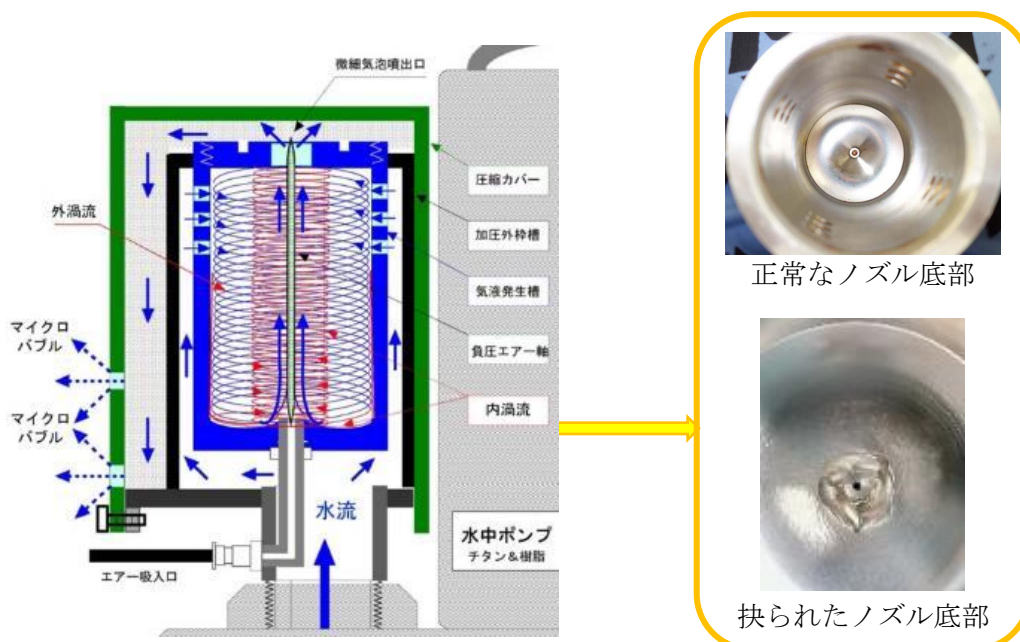


図-4 提案製品のマイクロナノバブル発生ノズルの内部構造とノズル底部の写真

ノズル底部破損の原因は、大量の砂がノズル内部に連続的に入り込み、その砂が高速に回転する渦流に乗ってノズル底部に接触して底部が削られたためと推測される。これは、予備的実験を含む過去5年間15回の実験で起きたことがないトラブルである。過去の実験では、繰り返しエビ

養殖に利用されている池では、池底ならびに側面が固められ、または全面がビニールシートで覆われている。しかし今回の実験で使用した池は、コロナ禍のために魚類養殖池を転用したため、実験直前に池底に堆積したヘドロの除去工事が行われた。そのため、池の底面および側面は整地されておらず、その表面には流動性の高い砂が多く残ったままの状態で行われた。結果として、その砂が水中に懸濁して提案製品の取水口から取り込まれ、マイクロナノバブル発生ノズルの底部が削られることになったと推測される。

第3章 ODA 事業計画/連携可能性

養殖事業者が効果的、及び継続的に提案製品を活用するには、DO の正確なモニタリングと、それに基づく適切な水質管理が不可欠である。これらのモニタリングや管理は、複雑な技術ではないが着実な継続により効果が得られる操作であり、養殖の現場において、広く適用可能な方法と手順を確立する必要がある。また、生産性向上と DO の維持との相関を、現地の多様な事業者がより具体的に理解できるよう、一層の説得力を有するデータを得る必要がある。従って、本調査結果に続く ODA 案件化としては、JICA の中小企業・SDGs ビジネス支援事業「普及・実証・ビジネス化事業」の活用を検討する。

現時点で想定される PDM (Project Design Matrix) は以下のとおりである。

目的：	途上国の主要産業であるエビ養殖事業の生産性向上への貢献を通して、水産資源の保全と中小規模養殖事業者の生活の向上を図る。 関連する SDGs 目標 14：海の豊かさを守る、目標 9：産業と技術革新の基盤をつくる
成果：提案製品の活用により、対象国のエビ養殖生産性が向上する。	活動：提案製品を現地事業者の実状に最適な形で実装できるような「運用マニュアル」と「事業展開体制」を構築する
成果 1：提案製品の継続的な運用方法マニュアルが確立する。	<ul style="list-style-type: none"> 養殖池の溶存酸素濃度等水質の継続的なモニタリング方法を確立する。 養殖池の底面、側面の適切な整備方法等を現地事業者の実状に応じて確立する。 上記の技術的要点をまとめた簡易なマニュアルを英語とタイ語で作成する。
成果 2：提案製品の有力な購入候補者となり得る大規模エビ養殖・食品企業の、提案製品に関する理解と支持を得るための具体的なデータを得る。	<ul style="list-style-type: none"> 提案製品による生産性向上を一層説得力ある数値実績で示すための養殖実験を行う。 広さが異なる養殖池 2 種類・2 組 (計 4 池) を用いて、異なる時期に 2 回、実施する。 これらの養殖期間中、現地 C/P が指導する技術員が現地に駐在し、継続的な水質のモニタリングを実施すると共に、入手データを同時並行で日本においても解析する。 エビの成長可能性を最大限まで調査するため、商業的な判断に左右されず養殖期間を十分確保する。
成果 3：タイを起点として、アジアのエビ養殖事業実施国に提案製品による生産効率向上を普及するための基盤が整備される。	<ul style="list-style-type: none"> 成果 2 で示した現地大規模企業による潜在的な購買可能性、意欲等を把握する。 将来的にタイでの提案製品の製造・販売を担当できるような、高い技術を有する現地企業候補を選定する。 提案企業と現地企業の連携をビジネスベースで支援できる日系または現地商社等を選定する。 これら企業との中長期的なビジネス展開連携体制を構築する。

第4章 ビジネス展開計画

提案製品の主な市場は、タイ全土およびアジア地域のエビ養殖が盛んな地域であり、当該地域のエビ養殖事業者および食品加工企業が主要顧客として想定される。現時点で、屋外のエビ養殖池に適用可能な性能を有する類似・競合機器等は存在せず、提案製品の優位性が高い。

ビジネス化に向けては、次の2段階で取組を進める。

- ①日本国内で生産した提案製品を輸出し、タイで設立する合弁会社または代理店による販売・メンテナンス体制を構築する
- ②中長期的には、技術力の高い日系製造業の下請企業等と連携し、タイを拠点とした提案製品の現地生産・販売に切り替える。



タイ国 eco-Bubble®によるエビ養殖業生産性向上 事業案件化調査

株式会社大巧技研(熊本県熊本市)



対象国水産分野における開発ニーズ(課題)

- ・タイのエビ養殖は世界有数の主要産業だが、2013年に早期死亡症候群(EMS)のため生産量が激減し、未だ2012年の生産量(60万トン)まで回復していない。EMS等の病気で養殖が中断するため、養殖事業者の収入減少を招いている。
- ・EMS等の病気の予防には、水中の溶存酸素濃度維持が有効であるが、従来型のエアレーション技術では十分な効果が得られない。

提案製品・技術

- ・eco-Bubble®は、発生させた微細気泡(マイクロバブル)によりEMS等の病気の予防に効果的な溶存酸素濃度を効率的に維持できる。
- ・他社の類似装置では水の汚れによる目詰まり等が生じるが、eco-Bubble®はこの技術課題を解決し、目詰まりしない。
- ・以上により、従来型エアレーションや同種の他の機器と比べ大幅に効率的に溶存酸素濃度を維持できる。

本事業の内容

- ・契約期間: 2019年12月~2023年8月
- ・対象国・地域: タイ国プラチュワップキーリカン県クイブリー郡
- ・カウンターパート機関: タイ国カセサート大学
- ・案件概要: 本調査の目的は、商業用のエビ養殖池におけるeco-Bubble®の効果確認と、ODA事業、及びビジネス化に向けた市場、パートナー等の調査を行うことである。このため、①商業用エビ養殖池においてeco-Bubble®による効果を正確にモニタリングする。②EMS等病気の予防、収量向上、電力消費電量削減等によるコスト削減効果を定量的に把握する。③タイの養殖業者への普及に必要な技術的「パッケージ」構築に向けたビジネス化、及びODA事業の構成要素を整理・検討する、の3つを調査方針とする。



提案製品(左)とマイクロバブルの発生状況(右)

開発ニーズ(課題)へのアプローチ方法(ビジネスモデル)

- ・タイ全土のエビ養殖事業者を対象顧客とする。
- ・当面は日本国内で生産したeco-Bubble®を輸出・販売し、中長期的にはタイでeco-Bubble®の販売・メンテナンス会社を設立し、ビジネス展開を図る。
- ・販売は1年目30台、2年目60台、3年目120台を計画する。

対象国に対し見込まれる成果(開発効果)

- ・eco-Bubble®による効果の正確なモニタリングと適切な水質管理の「パッケージ化」による、エビ養殖現場における水質の維持が可能となる。
- ・エビのEMS等の病気の予防による生産性向上(飼料効率*の向上)、及び養殖事業者の収益向上が進む*(FOR: Feed Conversion Ratio)。
- ・タイ国全体のエビ養殖生産量の回復に貢献する。

2023年5月現在

はじめに

1. 調査名

タイ国 eco-Bubble®によるエビ養殖業生産性向上事業案件化調査

Feasibility Survey for Introduction of Eco-Bubble® for the Efficiency Improvement of Shrimp Farming in Thailand

2. 調査の背景

タイにおいてエビ養殖業は、世界有数の輸出量を誇る主要産業である。しかし近年、稚エビの早期死亡症候群（Early Mortality Syndrome。以下、「EMS」）が蔓延して生産量が2012年の60万トンから2014年には30万トンに半減した。本調査を提案した2019年時点でも、直近の2022年時点でも、生産量は2012年のレベルにまで回復していない。EMS等の病気防止には養殖池の溶存酸素濃度を十分に高めることが重要であるが、多くの養殖場が用いるエアレーションパドルでは、EMS等の病気を防止するだけの十分な酸素を供給することが困難である。

タイにおいてEMSは、動物感染症管理法により管理され、国家調査プログラム—疾病分布及びゾーニングの一環として取組が進められている。漁業を管轄するタイ農業協同組合省水産局は、「STOP EMS Program」と呼ばれる活動を開始し、孵化場の衛生状態等のエビ養殖場管理の改善、エビ親種の管理、及び病原菌スクリーニング等を進めている。

EMS等の病気防止を通してタイの主要産業であるエビ養殖業の回復を支援することは、対タイ国別援助方針の重点分野1：（中目標）持続的な経済の発展と成熟する社会への対応、及び開発課題1－2：（小目標）競争力強化のための基盤整備に貢献する。受注者の提案製品 eco-Bubble®は、溶存酸素濃度を効率的に高めることでEMS等の病気を予防し、エビ養殖業の生産性を向上させる効果が期待できる。本調査では、同技術を導入することで、エビの商品価値（1尾あたりの単価）と収獲総量の増加、飼料効率の向上、及び消費電力の削減をもたらす、養殖事業者の収入増加、並びにタイにおけるエビ養殖業の回復支援の可能性を調査し、ビジネス展開計画を検討する。

3. 調査の目的

提案製品・技術の導入による開発課題解決の可能性及びビジネスアイデアの検討やODA事業での活用可能性の検討を通して、ビジネスモデルが策定される。

4. 調査対象国・地域

調査対象国はタイ、対象地域はバンコク都及びプラチュワップキーリーカン県とした。

5. 契約期間、調査工程

(1) 契約期間

2019年12月19日～2023年8月21日

(2) 調査工程

【第1回現地調査（2019年12月22日～30日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第1回	バンコク都(BMA) 行政局、排水・下水道局 (DDS)、環境局(DOE)	・中小エビ養殖事業者に関する水質管理に関する情報や 課題のインタビュー
	タイ投資委員会(BOI)	・エビ養殖に関連する投資情報のインタビュー
	日本貿易振興機構(JETRO)・ バンコク事務所	・エビ養殖関連情報の確認・収集
	TB Kasei	・現地適合性調査の装置設置に関する協議
	BMA バンクンティエン地区地 域開発社会福祉部	・バンクンティエン地区における中小エビ養殖事業者に 関する状況のインタビュー
	水産庁	・エビ養殖の酸素供給に関する現状と課題のインタビュ ー
	Pranburi 市の優良エビ養殖事業 者	・エビ養殖の「グッドプラクティス」に関する情報収集 と現場視察
	現地適合性調査を実施する養 殖池（以下、実験用養殖池）	・現地適合性調査に関する協議
	カセサート大学	・現地適合性調査に関する協議
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	・中小エビ養殖農家の生産性向上に関する課題等につい てインタビュー

【第2回現地調査（2020年2月23日～3月2日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第2回	Energy Research Institute, Chulalongkorn University (CU)	・中小エビ養殖事業者による省エネ取組促進の可能性等 のインタビュー
	タイ国三井物産	・タイのエビ養殖における大企業と中小事業者、仲買人 との関係について ・タイの食料生産・輸出の面でのエビ養殖の重要性につ いて等のインタビュー
	Charoen Pokphand Group(CP)	・エビの疾病対策に関する最近の取組状況について ・エビ養殖に関する先端技術の導入状況について 他
	BOI	・生産性向上に資する機器の輸入や導入に関する優遇制 度等の調査
	BMA バンクンティエン地区地 域開発社会福祉部	・沿岸域の中小規模エビ養殖事業者の水質管理に関する 現状と課題についてインタビュー ・上記中小規模エビ養殖場の現地視察
	国際協力銀行(JBIC)バンコク駐 在員事務所	・エビ養殖に関する日本の中小企業支援の取組状況把握 ・当該分野のビジネス展開可能性、関連する課題等のイ ンタビュー
	実験用養殖池	・現地適合性調査(第2サイクル) * 提案製品設置と試運転、調整
	実験用養殖池周辺の同規模養 殖事業者	・エビ養殖における水質管理の現状と課題についてイン タビュー

【第3回現地調査（2022年8月2日～12日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第3回	カセサート大学水産学部	・現地適合性調査(第2サイクル)に関する準備と実験の打ち合わせ
	実験用養殖池	・現地適合性調査(第2サイクル)の設営準備、提案製品設置と試運転および調整、インターネットを利用した映像監視システムのテスト ・所有者への実験池ならびにクイブリ地区全体のエビ養殖場の現況についてのインタビュー

【第4回現地調査（2022年10月22日～28日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第4回	実験用養殖池	・現地適合性調査(第2サイクル) *水質観測装置からのデータダウンロード、メンテナンス並びに再設置 *水質サンプルの採取 *所有者との実験状況についてのインタビュー
	カセサート大学 (バンコク市内ホテルにて)	・実験結果の分析、実験経緯に関する報告書類の作成 ・カセサート大学との分析結果に関する打合せ
	在タイ日本大使館	・提案製品を利用したバナマイエビ養殖実験における溶存酸素濃度維持と生産性向上への効果についての説明 ・タイ国におけるエビ養殖漁業の現状と問題点ならびに本装置の利用性についてのインタビュー
	長瀬産業バンコク支店	・タイ国および近隣諸国におけるエビ養殖場の現状、ならびにエビ養殖場の溶存酸素濃度維持のための高効率曝気装置の需要についてのインタビュー

【第5回現地調査（2022年11月18日～25日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第5回	実験用養殖池	・現地適合性調査(第2サイクル) *水質観測装置からのデータダウンロード、メンテナンス並びに再設置 *水質、底質サンプルの採取 *エビの採集、体長・体重の計測 等
	長瀬産業バンコク支店	・タイ、フィリピンにおけるエビ養殖事業の現状についてのインタビュー
	カセサート大学 (バンコク市内ホテルにて)	・カセサート大学と実験結果の検討
	JICA タイ事務所	・提案製品の仕組みと効果についての説明 ・現地適合性調査のこれまでの結果とタイにおけるエビ養殖事業の発展への貢献に関する可能性についての説明

【第6回現地調査（2022年12月20日～29日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第6回	KPMG Thailand	・ESGの観点からみた、中小規模エビ養殖事業の今後の発展可能性等についてのインタビュー
	BOI	・現地適合性調査の進捗状況報告 ・eco-Bubble®システムをタイで生産・普及する場合の導入可能性や投資条件の制約等についてのインタビュー
	タイ国三井物産	・タイにおけるエビ養殖・加工業の動向についてのインタビュー
	TB Kasei	・現地適合性調査における機器設置・撤去の内容確認、経理処理の確認
	長瀬産業バンコク支店	・タイおよび近隣諸国でのマイクロナノバブル装置のエビ養殖漁業への利用の可能性についての情報交換 ・将来的なビジネスパートナーとしての可能性についてのインタビュー
	水産庁 (カセサート大学にて)	・本プロジェクトの成果報告会
	実験用養殖池	・オーナーに対する実験結果についての詳細説明 ・今後のeco-Bubble®導入・普及可能性についての意見交換
	カセサート大学	・今後のデータ解析についての協議
	チュラロンコン大学	・エビ養殖事業における省エネ・再エネ導入等の状況、及びタイにおけるエネルギー状況全般に関するインタビュー
	CP Group	・エビ養殖業、エビ加工産業の近況に関する情報交換

【第7回現地調査（2023年4月25日～29日）】

回数	訪問先・面談先	調査項目
第7回	カセサート大学	・提案製品の導入によるタイのエビ養殖における生産効率改善に関するセミナーの準備・開催

6. 調査団員構成

氏名	担当業務	所属先
西 哲雄	業務主任者/ビジネス展開計画	株式会社大巧技研
森下 茂章	eco-Bubble®の維持管理	株式会社大巧技研
堤 裕昭	外部人材総括/eco-Bubble®導入実験の実施	熊本県立大学
山田 和人	技術適合性等開発課題の検討	①株式会社グリーン・パシフィック ②個人 ③株式会社 KPMG FAS
藤森 真理子	ODA 案件化形成等事業化の検討	①株式会社グリーン・パシフィック ②個人 ③株式会社 KPMG FAS

第1章 対象国・地域の開発課題

1-1 対象国・地域の開発課題

1-1-1 開発課題の状況

タイのエビ養殖は、世界有数の輸出量を誇る主要産業であった。2011～2012年には日本のエビ輸入量の約2割はタイからの輸入であり、タイが最大の輸入国であった(図1-1)¹。しかし、近年は、ベトナム等との生産競争の激化に加え、2013年からのEMSの蔓延により、2012年には約60万トンあった生産量が2013年には約35万トン、2014年には30万トン以下となり²、前年から半減する程の被害を受けた(図1-2)。原因となるウイルスの特定や治療薬の研究、またJICAによる協力³等の官民の努力にも関わらず、未だに生産量の落ち込みは回復していない。2017年末には、稚エビの供給元の1つであるインドでもEMS被害が拡大し、タイへの輸入停止を余儀なくされる事態も生じた。2020年の新型コロナパンデミックでは、エビの国内需要が大幅に落ち込み、その結果、養殖事業者はエビの養殖池をティラピア等の魚の養殖に転換するケースが増大した。パンデミックが小康状態になった2022年においても、国内のエビの生産量は回復せず、エビの加工業者はインド等からエビを輸入して加工している。

Thailand Shrimp Associationによれば、今後数年のうちにエビの輸出先としての中国市場が急速に伸びると予想されており、今が産業基盤を強化して一層の競争と発展に備えるべき時期である。しかし、図1-2に示すとおり、タイ独自の努力のみではダメージから十分回復できておらず、インド、ベトナムなどの競合国が伸びてきている。従って、現在でも外部からの支援が必要な状況である。

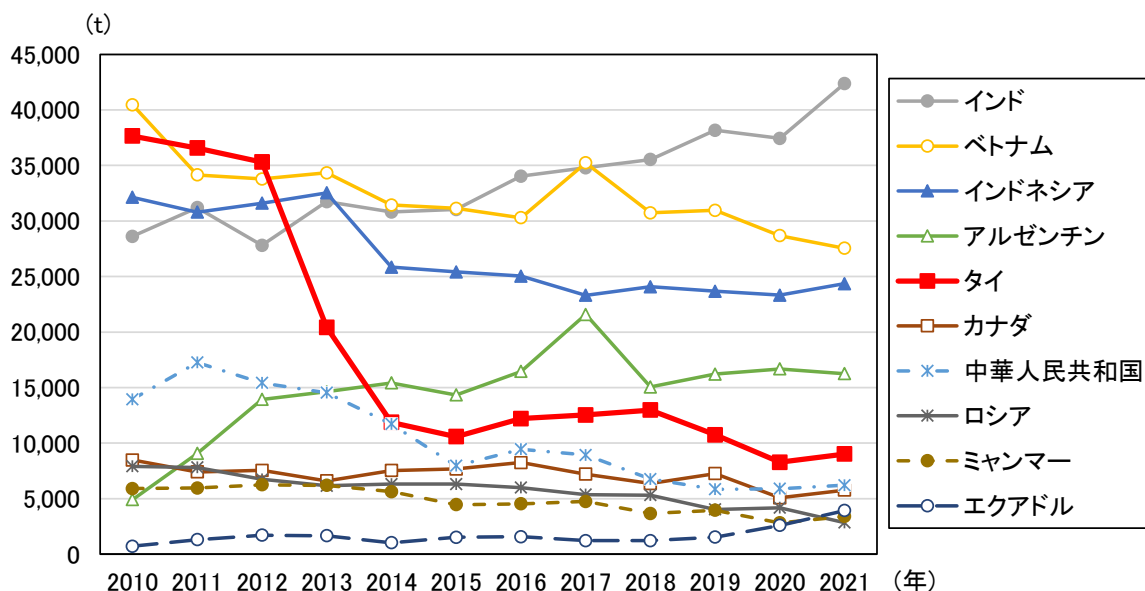


図 1-1 我が国における国別エビ輸入量の推移 (上位 10 カ国)

出典「貿易統計」(財務省)に基づき提案法人作成

¹ 農林水産省 品目別貿易実績(http://www.maff.go.jp/j/kokusai/kokusei/kaigai_nogyo/k_boeki_tokei/sina_betu.html)

² Global Note (<https://www.globalnote.jp/>)

³ SATREPS「次世代の食糧安全保障のための養殖技術研究開発」(2012年～)

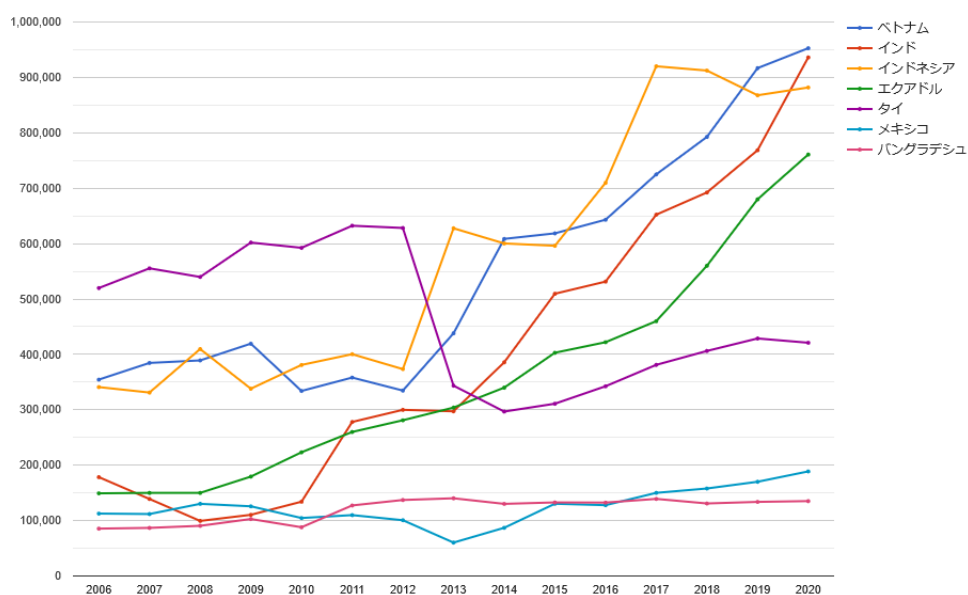


図 1-2 主要国の養殖エビ生産量の変化

出典：GLOBAL NOTE HP(出典元：FAO) に基づき提案法人作成

EMS 等の病気の発生は、養殖池の水質、とくに溶存酸素濃度低下と強い関係がある。タイにおける上述の急激な生産量の低下の主因は EMS であったが、これ以外にも溶存酸素濃度低下に伴い多様な病原菌やウイルスに感染することによって、稚エビの段階で死亡率の高い病気が発生する。

エビは、海水と淡水が混じる汽水の沿岸地帯で養殖される。タイ等の熱帯地域で多く養殖されるバナメイエビ(図 1-3)は、約 90 日で稚エビから収穫サイズに成長する。溶存酸素が 5.5 ppm 以上あれば、エビはよくエサを食べて順調に成長する。しかし溶存酸素が 4 ppm 以下になると、成長が遅れる上に、衰弱して EMS 等の病気にかかりやすくなる。特に、エビが育ってエサの量も呼吸量も増える養殖期間後半に、この問題が生じやすい。



図 1-3 バナメイエビ

エビの一部に病気が発生すると、蔓延を防ぐために養殖事業者は成長途上であっても養殖を中断し、全てのエビを収穫せざるを得ない。エビが大きく育つほど収穫総量が増える上に商品価値(1尾あたりの単価)も高くなるが、成長途中で養殖を中断すると収穫量も単価も下がり、売上も大幅に減少するため養殖事業者の収入減少を招く。

現地調査におけるタイの事業者等へのインタビューからも、以下のような問題点や課題が確認された。

- ・2013年、2014年に致命的な生産量の落ち込みが生じ、その後も回復していない。
- ・バナメイエビ、ブラックタイガー等に病気が発生している。
- ・塩分濃度が高いとビブリオ菌等の成育に適しているため、沿岸域の方が病気の発生率が高い。

1-1-2 開発課題の背景・原因

稚エビのEMS等の病気防止には、養殖池の溶存酸素濃度を高めることで、エビの抵抗力を維持することが重要となる。養殖池では、昼間は植物プランクトンの光合成により酸素が供給されるが、夜間から明け方には溶存酸素濃度が大きく低下するため、エアレーション（曝気）が不可欠である。

養殖池ではエアレーション用の水車、エアレーションパドル（以下、「パドル」（図 1-4））が最も普及しており、終日稼働させているが、発生する気泡が大きく溶存酸素濃度を上げる効果は限定的である。その一方、パドルの稼働に要する電力代は養殖事業者の年収の3~4割を占めるほど高く、飼料代に次いで養殖事業者の大きな負担となっている。



図 1-4 エビ養殖池におけるエアレーションパドル稼働の様子

タイにおいて、現地の養殖事業関係者にインタビューを行った結果、以下のような問題点等が確認された。

ータイ水産庁

- ・ESMをはじめとする疾病の発生は収まっておらず、むしろ常態化していると言える。疾病対策の一環として、養殖池の一部を貯水池に転換して水の入れ替え頻度を上げる例が増えているが、その分生産量は減らざるを得ないのでコストが高くなってしまふ。
- ・タイではパドルを1セット10~20個用いるエビ養殖事業者が多いが、電力料金も高くなる。水産庁では事業者に省エネを推奨している。彼らのエネルギーコストの9割はパドルの稼働によるものであるため、eco-Bubble®の導入でどの程度の省エネ効果が得られるかの情報は重要である。
- ・疾病対策として、水産庁では「STOP Early Mortality Syndrome (EMS) プログラム」を実施しており、さまざまな支援を行っている。例えば第3管区漁業事務所（バンコク周辺地区

管轄)では、バンクンティエン地区技術移転・サービスセンターを中心として、地域の登録事業者に対する養殖方法の指導等の能力開発支援も行っている。

ーバンクンティエン地区地域開発社会福祉部

- ・当該地区で登録されているエビ養殖事業者は2万件以上あるが、エビ養殖の生産量は減少傾向にある。原因は不明確だが、水質の悪化や疾病が考えられる。沿岸域では自分の経験則で養殖を管理している事業者も多い。

ーバンクンティエン地区農業促進部

- ・近年のエビ生産量は減少傾向にあり、原因としては都市化の影響、水質の悪化の他、EMS等の疾病も一因と考えられている。このため、他の魚等への転換を検討する事業者もいる。

1-2 当該開発課題に関連する開発計画、政策、法令等

タイにおいてEMSは、動物感染症管理法(仮訳:Animal Epidemic Act)において管理され、国家調査プログラム-疾病分布及びゾーニング(仮訳:National Surveillance Program - disease distribution and zoning)の一部として取組が進められている。漁業を管轄するタイ農業協同組合省水産庁(Department of Fishery:以下、「DOF」)は、「STOP Early Mortality Syndrome (EMS)プログラム」と呼ぶ活動を開始し、孵化場の衛生状態等のエビ養殖場管理の改善、エビ親種の管理、及び病原菌スクリーニング等を進めている。

養殖事業者に対しては、EMS発生後24時間以内にDOFのローカルスタッフに通報することを義務づけている。発生が確認された場合は、被害の拡大を防ぐため当該養殖場内での根絶対策が実施される。本調査では、これらの制度、枠組等の最新状況を確認した。主要な取組である「STOP Early Mortality Syndrome (EMS)プログラム」について、2-3-3で後述する。

1-3 当該開発課題に関連する我が国国別開発協力方針

我が国のタイへの国別開発協力方針として、2012年12月の「対タイ国国別援助方針」及び2020年2月に改定された「対タイ国国別開発協力方針」が挙げられる。

「対タイ国国別援助方針」(2012.12)及び国別援助方針別紙の「対タイ国事業展開計画」(2016.4)では、重点分野1(中目標)「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」の開発課題1-2(小目標)で「競争力強化のための基盤整備」を掲げ、「民間セクター振興のための政策アドバイザーによる制度づくり支援、高付加価値生産性向上に向けた高等教育支援等を通じた産業人材の育成、競争力強化の基盤となる上下水道や都市大量輸送システム等のインフラ整備を行う」としている。

加えて、重点分野2(中目標)「ASEAN域内共通課題への対応」の開発課題(小目標)「ASEAN共同体推進」で「ASEAN統合イニシアティブ(the Initiative for ASEAN Integration:IAI)支援としてタイに強みがある分野において、日タイ協働に基づく第三国研修等による支援を行う」としている。

また、「対タイ国国別開発協力方針」(2020.2)及び国別開発協力方針別紙の「対タイ王国事業展開計画」(2020年2月現在)では、改定前と同様に、重点分野1(中目標)「持続的な経済の発展と成熟する社会への対応」を掲げ、開発課題1-3(小目標)「質の高いインフラ整備」として、「民

間セクター振興のための政策アドバイザーによる制度づくり支援、競争力強化の基盤となる上下水道や都市大量輸送システム等のインフラ整備を行う」としている。

更に、重点分野2(中目標)「ASEAN 域内共通課題への対応」の開発課題2-1(小目標)「ASEAN・メコン地域連結性強化、格差是正」で、改定前と同様に「IAI 支援としてタイに強みがある分野において、日タイ協働に基づく第三国研修等による支援を行う」としている。

本事業は、提案製品である eco-Bubble®の利用と利用方法のパッケージ化により養殖エビの高付加価値化及び産業人材育成に貢献するものであり、我が国のタイ国への開発協力方針と合致している。また、提案製品が水中の DO 改善を目的としたものであり、水産分野のみならず、農業分野、廃水処理分野にも適応可能であることも踏まえると、提案製品のタイにおける事業化が進めば、IAI 支援にも貢献できる可能性が高い。

1-4 当該開発課題に関連する ODA 事業及び他ドナーの先行事例分析

1-4-1 ODA 事業

「対タイ国事業展開計画」(2016.4)の開発課題1-3(小目標)「研究能力向上・ネットワーク強化」に資する取組として2011~2016年に実施された地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development : SATREPS)「次世代食糧安全保障のための養殖技術研究開発」では、ブラックタイガーとバナメイエビのEMS等の病原菌ゲノム解読が研究され、開発した検査法がタイ政府や国際機関の標準法として採用された。

また、「対タイ王国事業展開計画」(2020年2月現在)の開発課題1-2(小目標)「研究能力の向上」に資する取組として、2019~2023年度の計画でSATREPSの「世界戦略魚の作出を目指したタイ原産魚介類の家畜化と養漁法の構築」が実施されており、バナエビの「効率性の高い養成技術の確立」が研究題目・活動として挙げられている。ここでは、栄養強化餌の開発やバナエビの全雌生産のための基盤技術の開発により効率性の高い養成技術を確立することを目標としているが、その中で、飼育技術の改良を目的として高濃度酸素溶解水の利用も行われた。その結果、脱皮回数が多くなり、餌料効率の改善も認められた。加えて、オゾンナノバブル水を使用する飼育法ではエビの成長が早く、輸送における稚エビの斃死を軽減することが明らかにされた。

本研究は、今般の提案企業が実施している案件化調査とは異なり、遺伝的多様性や感染症検出等多様な活動の中の一部でオゾンナノバブルが用いられている。また中間報告段階ではあるものの、注目すべき結果が得られていることから参考とした。

1-4-2 他ドナーの先行事例

養殖池のDO改善に関連したプロジェクトでは、JICA 案件化調査において2018年に採択された「ベトナム国自然調和型養殖技術を通じたエビ養殖生産性向上にかかる案件化調査」(提案企業:中島物産株式会社)がある。提案企業の提案製品・技術は、直径60 μ m以下の微細気泡の領域を得意とするファインバブル発生ノズル(吐出能力:300L/min、500L/min)である。当案件化調査ではベトナム国の3か所(ティエンザン省のゴーコン地区、ホーチミン市郊外のカンジャオ地区、バクリュウ省のホアビン地区)のバナメイエビ養殖池でそれぞれ約3か月間の実証実験が行われ、実験の結果、DOの改善・成長率の向上が見られ、エビの生存率も70%から92%に向上した。実験中のトラブルとして、カンジャオ地区では、エビの成長に伴う酸素消費量増大を見越してノズ

ルの増加と酸素ポンベの追加導入を進めたところ、池の環境が酸素過多供給状態となった。その結果として、水中の藻類とアンモニア等のバランスが崩れてエビに腸炎ビブリオが発症した可能性が高く、2月下旬に約5,000匹のエビの死滅が確認された。また、ホアビン地区では低水質の水が漏れて養殖池に入ったことによる白斑病汚染の発生により一度実験を中止し、その後実験をやり直している。

ビジネス展開計画では、当製品はシステム全体でみると50～100万円であり、養殖農家の多くを占める、親戚・家族で対応する個人養殖農家は、当面の販売ターゲットになりやすく、当面の販売ターゲットは、300～400尾/m²の超高密度な養殖を目指す養殖農家に設定された。

当該実験の対象となるエビ養殖池は1,400m²程度であり、今般の提案企業が実施している案件化調査の対象であるタイの養殖池約6,400m²の1/3程度である。またマイクロバブルも提案企業の50μm以下、20L/minとは異なる等の違いはあるものの、小規模エビ養殖事業者を対象とした取組として参照した。

水質のモニタリングに関連したプロジェクトでは、独立行政法人日本貿易振興機構（Japan External Trade Organization。以下、「JETRO」）の「日ASEAN新産業創出実証事業」において2018年4月に採択された「IoTの導入による養殖事業の生産性向上プロジェクト」（受注者：株式会社インターネットイニシアティブ）がある。当実証事業では、エビ養殖事業における生産性の低さの理由の一つが水質環境の把握とその変化への対応が適切に行われていないこと（過剰な水循環システムの稼働や餌の投与による過剰なコストの発生等）であるという課題を踏まえ、ASEANのエビ養殖事業に対するIoTソリューションシステム（以下、IoTシステム）を開発し、エビ養殖事業における省力化・コスト削減・生産性向上の有効性を確認した上で事業化を目指すことを目的としている。

当実証事業では、タイのエビ養殖場において、アンモニア（NH₃）、pH等の水質をセンサーによりリアルタイムで収集し、給餌や換水と行ったオペレーションの記録と合わせて、リアルタイムに整理された状態で養殖家に提供できるようなシステム構築がフォーカスされた。

当実証事業で得られた知見では、技術面のポイントとして①センサーをIoT用途に活用すること、②アプリケーションを用いて水質情報と飼育情報を一元管理すること、③LoRaWAN（Long Range Wide Area Network：長距離広域ネットワーク）を用いたネットワークを構築・運用すること、を挙げている。このうち一番課題となったものが、①において、イオンセンサーの計測が安定しないこととであった。センサーの計測値の信頼性を保つ為に定期的にキャリブレーションとセンサークリーニングを行う必要があるが、キャリブレーションの方法は複雑であり養殖場の飼育員が対応できるかどうか課題であると述べられている。②、③については、課題はあるものの適した方法が明らかになった。

また、IoTに係るサービスについては複数の分野に分かれ、当実証事業においては、①センサー、②アプリケーション、③クラウド、④通信・ネットワーク、⑤分析及び業務の知見、⑥機器制御（⑥は今後実装した場合の分野）と大きく6分野にわたった。どの分野も専門性が必要になり、要素技術のインテグレーションが必要となるIoT事業を展開する上では、各分野に特化した企業との協業が必要不可欠であるため、如何に信頼できる適切な協業企業を見つけられるかが成功のポイントの一つであると考えられるとのことである。

第2章 提案法人、製品・技術

2-1 提案法人の概要

2-1-1 企業情報

提案法人の概要は以下の通りである。

企業名：株式会社大巧技研

本社所在地：〒 860-0047 熊本市西区春日 6 丁目 15 番 17 号

設立年月日：1999 年 9 月 1 日（創業年月日：1987 年 3 月 1 日）

事業内容：株式会社大巧技研（以下、提案企業）は、1987 年に特殊ガス、医療ガス、液化石油ガスの設備施工を行う会社として創業した。ここで培った技術を利用して水中に酸素などの気体を溶け込ませるための曝気装置開発に乗り出し、2010 年には熊本県立大学の堤裕昭教授（本調査の外部人材業務総括者）と共同で eco-Bubble®を開発した。現在は大きさ・用途の異なる多種類の eco-Bubble®を製造し、国内外で販売している（販売実績は 2-2-2 に記載）。

2-1-2 海外ビジネス展開の位置づけ

（1）海外ビジネス展開の目的

提案企業は、eco-Bubble®（以下、提案製品）を用いた多様な装置を開発しており、水産養殖業への適用には 2008 年から着手した。養殖業における日本の生産量は全世界（図 2-1）のわずか 0.9%（2020 年）であり、海外の生産量の方が圧倒的に多く経年的にも急増している。また水産業の中でも、特にエビに関しては、日本のエビ自給率は 1 割以下である一方、世界のエビの消費量は年々増大しており（図 2-2）、多くはタイ等の ASEAN 諸国及び中南米の養殖に依存している。近年の中国やインドでの急速なエビ養殖の普及も考慮すると、提案製品の大きなビジネスチャンスは日本国内よりも海外市場にあると想定される。

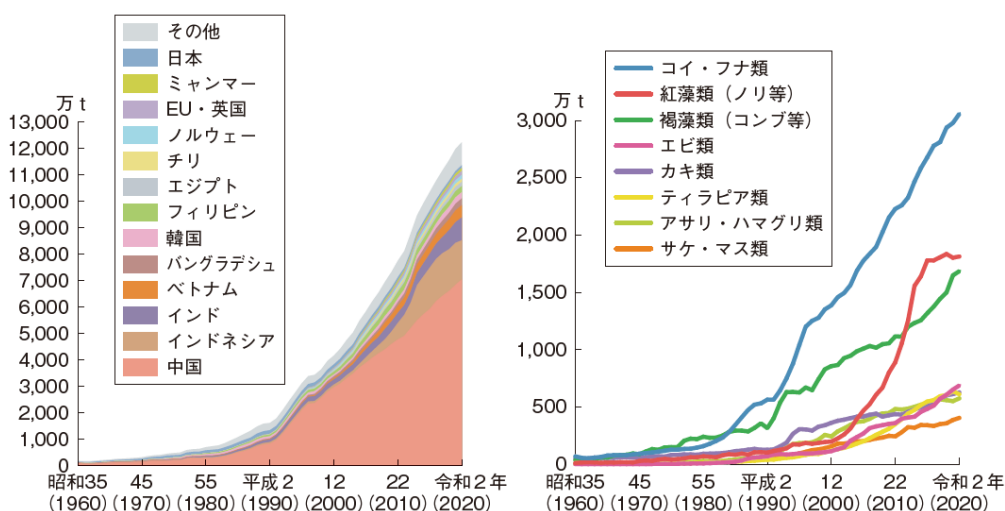


図 2-1 世界の養殖業の国別及び魚種別生産量の推移

出典：「令和3年度水産白書」（水産庁）

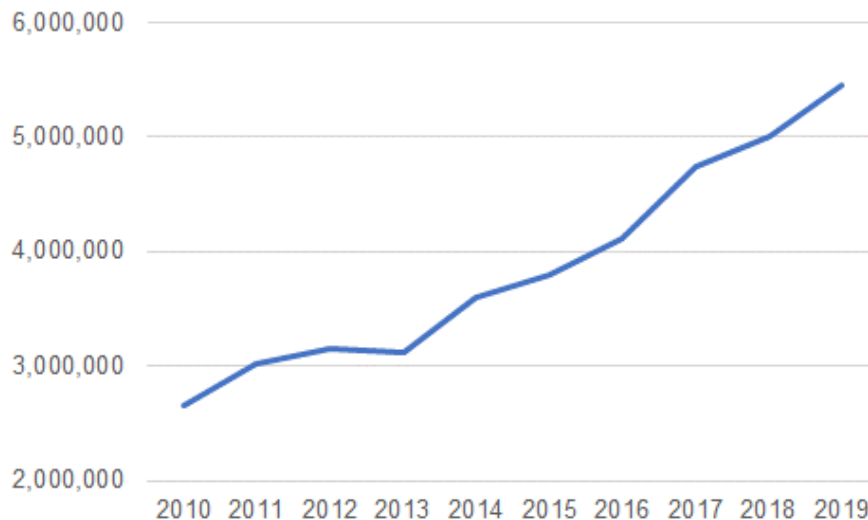


図 2-2 バナメイエビ (*Penaeus vannamei*) の世界養殖生産量

出典：「FISHERY AND AQUACULTURE STATISTICS 2019」（FAO, 2021）に基づき提案法人作成

なお、提案製品のビジネスチャンスは、水温が低下する期間が長い日本に比較して、温暖な気候化下で年に数回養殖が可能なタイやインドネシア等の南半球の国々において大きくなることが容易に想定された。

提案企業がタイを進出先として選定した理由としては、(1) エビ養殖漁業が盛んで日本への輸出货量も多い一方、EMS の甚大な被害からの回復が困難な状況にあり、過去に世界最大の生産量を誇った状態から大幅に生産量が減少したままのタイにおいては、養殖場の水質改善技術（特に溶存酸素濃度の改善技術）の導入が強く求められていること、(2) 従来の曝気装置と比較して曝気効果が非常に高い提案製品の普及を図ることは、ビジネスとしての実現性・ニーズ共に高いこと、(3) 既に実験用エビ養殖池での提案製品の適用効果に関する予備実験等の共同研究を通して確立しているタイのカセサート大学とのネットワークが重要な足場となること、の3点が挙げられる。

(2) 海外ビジネス展開の位置付けと方針

有望市場であるタイにおいて、提案製品を的確に活用するためには、養殖事業者は養殖池内の溶存酸素濃度の適切なモニタリング技術を習得する必要がある。そのためにはモニタリング機器の継続的な維持管理のノウハウと適切な利用方法に習熟しておくことが不可欠である。しかしながら、現地では十分な技術や人材を備えていない養殖事業者が多いことが明らかである。従って、提案製品ならびに水質のモニタリング装置を適切に維持管理して適切に利用するための支援体制が求められる。

このような背景を受けて、提案企業は単なる「機器売り」に留まらず、販売網と共にメンテナンスや使い方支援等の継続的な技術サポートを“パッケージ”として提供するサービスネットワークの構築を、海外事業展開の両輪として位置づけている。「機器販売と技術サポートのパッケージ化」をタイで成功させた場合、提案製品を ASEAN 諸国のみならず、南米、アフリカ等広く世界に販売することが可能になると考える（第3章で詳述）。

2-2 提案製品・技術の概要

2-2-1 ターゲット市場

(1) 市場

提案製品の eco-Bubble®は水中の農業、水産業（特に養殖業）、及び廃水処理等に適用可能である。既に韓国、中国、タイ、インドネシア、フィリピン、マレーシア、ベトナム及びUAEにおいて販売実績があるものの、数社の買い手に対して数台ずつの実績であるため、本調査対象のタイを皮切りに ASEAN 諸国に向けて更なる展開を計画している。中国、及びインドについては今後引き合いが増えることも予想されるが、特許等に関する課題も多いため、慎重に展開を検討する予定である。

(2) 提案製品・技術の位置づけ（提案製品における同業他社との比較優位性）

エビ養殖池の水質は、エビの排泄物等の汚れが多いため、バブル発生ノズルが目詰まりし難い構造が不可欠である。しかし、他の国内企業が製造する既存機器では目詰まりが頻発する。

提案製品は、ポンプ性能とノズル形状の工夫によりこの問題点を克服すると共に、既存機器の3倍以上のマイクロバブルを発生させることが可能である。同技術は提案企業が日本で開発したものであり、日本、米国、中国、及び韓国において特許を取得し、現時点では他に比較可能な海外製品は存在しない。また、「ものづくり」における情報を集めた技術データベースサイトである「IPROS」⁴のマイクロバブル発生装置分野において、企業15社の企業ランキングおよび製品ランキングでともに第1位（2022年10月10日現在）となっている。

2-2-2 提案製品・技術の概要

(1) 提案製品・技術の特長

提案製品は「マイクロバブル発生装置」である。マイクロバブル（直径50 μ m以下の泡）は浮力が小さく、長時間水中を漂う。泡は小さいほど体積あたりの表面積が大きくなり、水中を漂う間に泡の中のガスが水に効率よく溶け込む。

提案製品はマイクロバブル発生ノズルの基本構造を見直して、大量のマイクロバブルの発生を可能にする技術（二重渦式高速回転気液混合二重槽）を開発し、製品化した。

海水2.1m³へのDO溶解実験で、ディフューザー（通常の曝気装置で、発生する気泡は急速に水面へ上昇するため、水中に溶け込む酸素はわずかである）と比較すると、図2-3の通り、50%飽和溶存酸素濃度に到達するのにディフューザー3台では約56分かかるのに対し、提案製品の1ノズルタイプでは約16分、3ノズルタイプでは約3分であり、3ノズルタイプはディフューザー3台の約1/18の時間で濃度を上げることができる。

また、エビ養殖池のような汚染物質の多い水中でも目詰まりすることなく、省電力で大量のマイクロバブルを生成することが可能である。

⁴ <https://www.ipros.jp/>

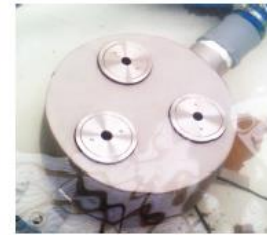
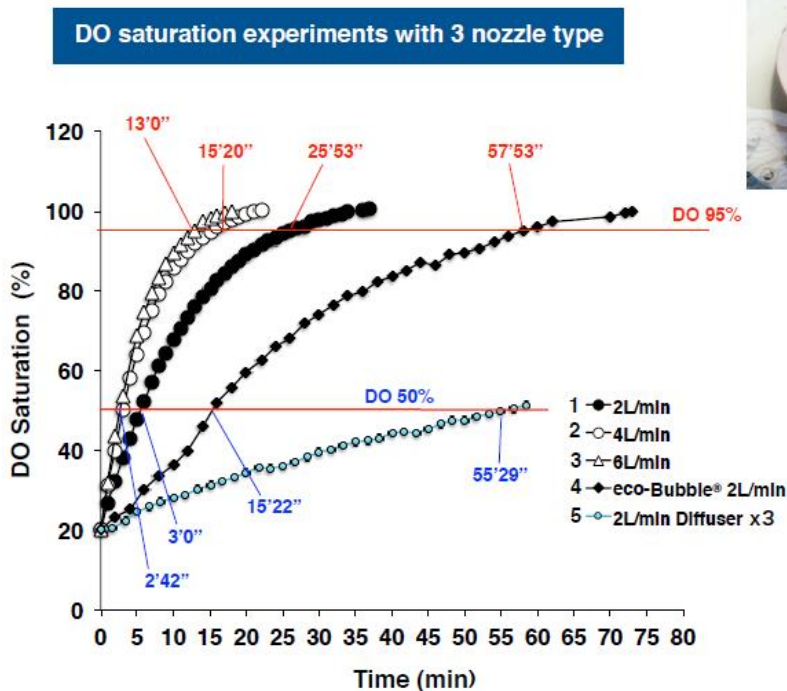


図 2-3 提案製品：eco-Bubble®とディフューザーの海水曝気結果
 (線 1~3：提案製品 3 ノズルタイプ 1 台、線 4：提案製品 1 ノズルタイプ 1 台、線 5：ディフューザー 3 台)
 出典：提案法人作成

(2) 製品・技術スペック・価格

提案製品のスペック及び価格を表 2-1 に、外観を図 2-4 に示す。

また、スペック別酸素ガス溶解能の比較結果を図 2-5 に示す。これまでの予備実験の結果から、エビ養殖池の溶存酸素濃度を、最も濃度が下がる夜間においてもエビ養殖に適した濃度 (5 mg/L) 以上に保つためには、エビ養殖池の面積約 600 m²あたりマイクロバブルを発生させるノズル数が少なくとも 1 つある必要がある。これが提案製品設置数の基準となる。

表 2-1 提案製品：eco-Bubble®のスペック一覧

型 式	ノズル数	曝気装置部重量 (kg)	ポンプ推奨規格	定価
ECBL-1N*	1	5	一相 100V, 三相 200V, 400W	48 万円
ECBL-3N**	3	15	三相 200V, 1,500W	95 万円
ECBL-5N**	5	23	三相 200V, 1,500W	130 万円

* 外寸：22 cm (H) x 15 cm (Φ)、** 外寸：22 cm (H) x 33 cm (Φ)、ポンプはオプション

出典：提案法人作成



ECBL-1N (右の写真は水中での稼働の様子)



ECBL-3N



ECBL-5N

図 2-4 提案製品：eco-Bubble®の外観
出典：提案法人作成

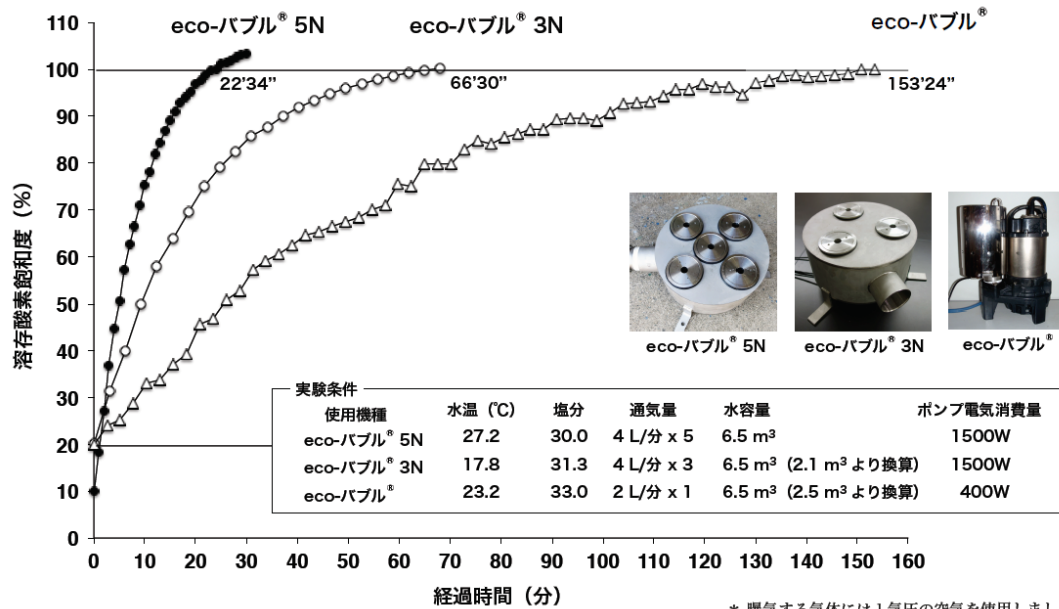


図 2-5 提案製品のスペック別酸素ガス溶解能比較
出典：提案法人作成

(3) 製品・技術における特許

提案製品・技術における特許の取得状況は次のとおりである。

- 国内：特許番号 4652478、2011 年 7 月 7 日取得
- 海外：中国（特許番号 ZL 2011 8 0033648.3、2014 年 12 月 17 日取得）、韓国（特許番号 10-1407122、2014 年 6 月 5 日取得）、米国（No. US8,939,436 B2、2015 年 1 月 27 日取得）、申請中：英国）

(4) 国内外の販売実績

提案製品の国内外の販売実績は次のとおりである。

- 売上実績：約 7 千万円、売上台数：176 台
- 国内外取引先代理店：タイム技研（株）、（株）三六九シャペロン研究所、日本プライスメント（株）、（株）セミテック、（株）Global Green Marketing、松下住宅設備、（株）エナテクノス、日本テクノ（株）、（株）サンセラプラント、未来システム（株）、（株）光と風の研究所、（株）大和、（株）アグリノーム研究所、（株）オーネス
- 海外販売先：中国、韓国、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ、ベトナム、及び UAE

2-3 提案製品・技術の現地適合性

2-3-1 現地適合性確認方法

現地適合性の調査は、技術面と制度面の双方から行った。

技術面の調査は、現地での実験を中心に行った。具体的には、商業ベースで運営されているエビ養殖池において、従来型のエアレーションパドルのみを使用する場合と比較して、提案製品の導入による (1) 溶存酸素濃度維持の効果を正確にモニタリングする、(2) 病気の予防、生残率、収獲量、飼料効率、及び販売額の向上や消費電力の削減による養殖コストの削減等の効果を定量的に把握する。更に、これらの調査結果から (3) タイの養殖事業者への普及に必要な技術的「パッケージ」構築に向けた事業の構成要素となる適切な養殖規模・サイクル、モニタリング手法・頻度等を整理・検討した。

制度面では、対象国・地域の開発課題に関する文献調査を通して得られる基礎情報に基づき、提案製品の活用に関係すると思われるタイの法規制、許認可等に関する調査を行った。既存情報を収集、及び整理する他、現地調査再委託先やエビ養殖事業者、業界団体へのインタビューにより調査を行った。

(1) 提案製品の導入効果確認実験

提案製品の導入による (1) 溶存酸素濃度維持の効果を正確にモニタリングする、(2) 病気の予防、生残率、収獲量、飼料効率、及び販売額の向上や消費電力の削減による養殖コストの削減等の効果を定量的に把握する、ことを目的に、商業ベースで運営されているエビ養殖池において、現地実験を行った。

本調査の実験では、バンコク都より南に約 300 km にある Prachuap Khiri Khan 県の Kui buri 地区にある商用エビ養殖池（図 2-6）で実施した。実験場所は商用エビ養殖池のうち、本調

査への協力にオーナーが同意することが必須条件となる（2-4で詳述）。同養殖池は、カセサート大学水産学部の教授より紹介されたが、同水産学部の卒業生がオーナーである。実験についてオーナーの同意が得られたこと、科学的な実験についてオーナーの理解が深いこと等から、当該養殖池を実験池として選定した。

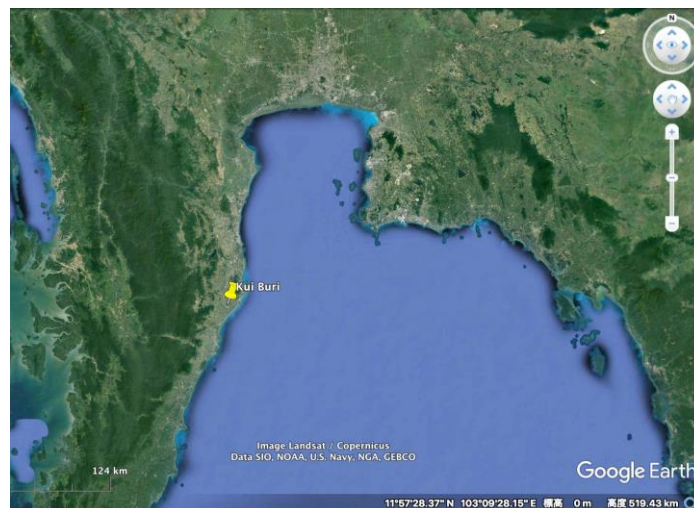


図 2-6 実験池の位置：Prachuap Khiri Khan 県の Kui buri 地区
出典：Google Earth をもとに提案法人作成

① 現地調査における実験/測定内容

実験では、エビ養殖場の池 2 面を借用した。1 面は実験池として提案製品（ECBL-5N）を池の面積に合わせて 2 台設置し、もう 1 面はコントロール池としてエアレーションパドルのみを使用した。1 サイクルの養殖には 3~4 カ月かかるため、調査期間中に 2 サイクル実施した。1 サイクルにつき、表 2-2 に示すとおり計 7 回の調査/測定を行うこととした。

エビ養殖は、対象となる生物を野外で飼育するため、さまざまな自然現象による影響を大きく受ける。複数の自然現象が複雑に絡み合ってエビの成長に影響を与えることから、モニタリングデータからエビの成長要因を解析することは容易ではない。従って、エビの成長と関連性が明確であり、かつ客観的・信頼性を有するデータを得るためには、複数回の実験を行う必要がある。つまり、エビ養殖の生産性を大幅に向上できることが“偶然の 1 回”の結果ではなく、再現性の高い結果であることを実証する必要がある。従って本調査では、実施期間の中で最低限実施可能な 2 サイクルの養殖を行った。

表 2-2 現地調査における実験/測定内容 (1 サイクル当たり)

調査/測定項目	調査/測定方法	サンプル/ データ数	初回 調査	中間調査						養殖終了 時調査
			第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	
水質	水温	多項目水質計を用いた 自動計測	(実験期間中、1回/30分の間隔で自動観測)							
	塩分									
	溶存酸素濃度 (DO)									
	硝酸態窒素 (NO3-N)	採水後、現地再委託先の研究室に持ち帰り、 吸光光度分析 (HACH 製吸光光度計使用)	1	1	1	1	1	1	1	1
	亜硝酸態窒素 (NO2-N)		○	○	○	○	○	○	○	○
	アンモニア態窒素 (NH4-N)		○	○	○	○	○	○	○	○
クロロフィル a	採水後、研究室に持ち帰り、吸光光度分析		○	○	○	○	○	○	○	○
底質	総硫化物含量	検知管による測定	5	-	-	-	-	-	-	○
	有機物含量	凍結乾燥後測定	-	-	-	-	-	-	-	○
エビの 情報	放流個体数	記録のヒアリング	全データ	○	-	-	-	-	-	-
	体重	体重測定	30個体/池 但し第7回目は100個体/池	○	○	○	○	○	○	○
	毎日の餌投入量	記録のヒアリング	全データ	-	○	○	○	○	○	○
	飼料効率 (FCR)	収穫時エビ重量と餌の全投入量から算出	全データ	-	-	-	-	-	-	○
その他	消費電力 (電気料金)	期間中の電気料金をヒアリング	全データ	-	-	-	-	-	-	○

注) ○：実施項目、-：実施しない項目

出典：提案法人作成

また、導入効果確認実験実施期間は表 2-3 のとおりである。

表 2-3 導入効果確認実験実施期間

サイクル	実験期間	調査回	調査日
第1サイクル	2020年2月17日 ～ 2020年3月26日	第1回	2020年2月17日
		第2回	2020年2月28日
		第3回	2020年3月13日
		第4回	2020年3月26日
		第5回	中止
		第6回	中止
		第7回	中止

サイクル	実験期間	調査回	調査日
第2サイクル	2022年8月13日 ～ 2022年12月5日	第1回	2022年8月13日
		第2回	2022年8月27日
		第3回	2022年9月12日
		第4回	2022年9月26日
		第5回	2022年10月10日
		第6回	2022年10月23日
		第7回	2022年11月7日
		第8回	2022年11月20日～11月21日
		第9回	2022年12月1日

出典：提案法人作成

② 飼料効率の算出方法

同実験による提案製品の効果を定量的に表す最も適切な指標は、飼料効率（Feed Conversion Ratio。以下、「FCR」）である。収穫時の全エビの重量と、投入した餌の全量から算出する。例えば1サイクルの養殖による収量が10トン、これに要した餌の重量が20トンの場合、FCRは2.0となる。このFCRを、提案製品を導入する養殖池とコントロール池とで比較することにより、提案製品による効果を定量的に把握した。

2-3-2 現地適合性確認結果(技術面)

(1) 導入効果確認実験第1サイクル

① 実験池への提案製品の設置

エビ養殖場の池2面（面積5,600㎡（70m×80m）×水深1.5m×2面）を借用し、うち1面を実験池とし、提案製品（ECBL-5N）を池の面積に合わせて2台設置し、もう1面はコントロール池としてエアレーションパドルのみを使用した。



図 2-7 コントロール池及び実験池（第1サイクル）

実験池の大きさ：3.5 Rai（約 5,600 ㎡）

出典：Google Earth をもとに提案法人作成

実験池には、2020年2月29日（エビ養殖実験開始より11日後）に提案製品（ECBL-5N）を2基設置し、3月4日より24時間連続運転を開始した。



図 2-8 提案製品（ECBL-5N）の設置状況
左) マイクロバブルを発生するノズル部 右) ポンプ（消費電力 1,500W, ミニコンプレッサー）
出典：提案法人作成



図 2-9 実験池で提案製品（ECBL-5N）から発生するマイクロバブル
各ノズルから 10.5 L/min.のマイクロバブルが発生
出典：提案法人作成

② バナメイエビ養殖実験

第1サイクルの実験実施状況は以下の通りである。

[コントロール池]

2020年2月18日 550,000個体の稚エビを放流し、飼育実験を開始した。

2020年2月28日 病気の発生により、飼育実験を中止した。

[実験池]

2020年2月18日 550,000個体の稚エビを放流し、飼育実験を開始した。

2020年2月29日 提案製品 (ECBL-5N) を2基設置し、試運転を行った。

2020年3月3日 提案製品の24時間連続運転を開始した。

2020年3月26日 病気の発生により、飼育実験を中止した。この時点での生残個体は出荷され、収獲量約1,600kgを記録した。

③ 結果と考察

ア) 提案製品を用いた夜間の溶存酸素濃度の低下防止効果

飼育実験開始より6~7日後の2020年2月24日12時~2月26日12時の実験池における溶存酸素濃度 (DO) の日周変化を、DOの連続観測による10分間平均値を用いて示す(図2-10)。飼育実験開始から約1週間後は、実験池における稚エビへの給餌量について、2月24日は6kg、2月25日は8kgに限られていた。しかしながら、池水のクロロフィルa濃度は51.8 $\mu\text{g/L}$ に達し、植物プランクトンがすでに増殖した状態になっていた。そのため、その植物プランクトンによる昼間の光合成を通して放出される酸素と夜間の自身の呼吸による酸素消費のため、実験池のDOには大きな日周変化が発生していた。

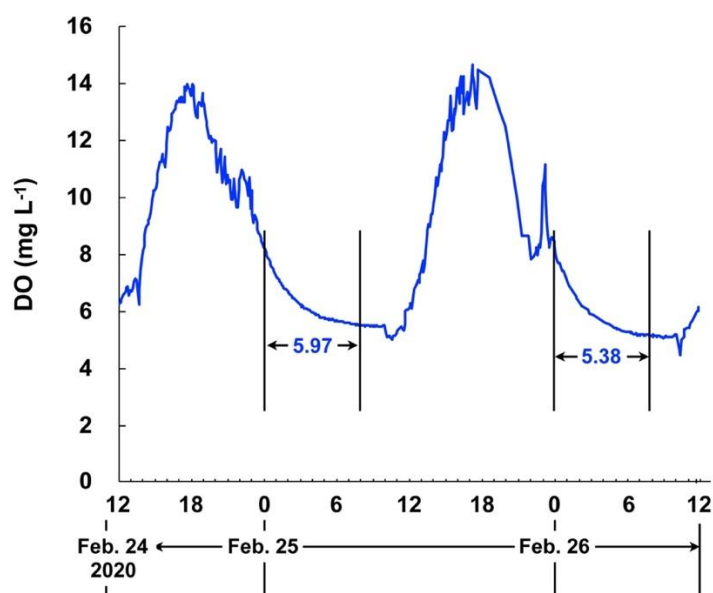


図 2-10 実験池における DO 日周変化 (10 分毎の連続観測結果を元に作成)

出典: 提案法人作成

エビ養殖漁業として問題視されるのは夜間の DO 低下である。この測定結果では、稚エビへの給餌量が 2 月 24 日は 6 kg、2 月 25 日は 8 kg に限られていたので、夜間の DO 低下は植物プランクトンによる消費がその大部分を占めていたと考えられる。しかしながら、エビの成長とともに給餌量は増やされていき、飼育開始から 2~3 カ月後には 1 日あたりの給餌量は 250 kg に達すると予測される。本実験では、このような状況になっても、水産 3 級（富栄養湖型の水域の水産生物用基準値）の 5 mg/L を超える状態を保つことを目指している。図 2-10 に示すように、夜間の DO 低下は午前 0 時~8 時の時間帯にもっとも強く発生する。そこで、DO の最低値をこの時間帯の平均 DO 値で評価することとする。2 月 25 日は 5.97 mg/L、2 月 26 日は 5.38 mg/L であった。

エビ類の飼育に関して、DO の成長等への影響を評価した過去の研究例（以下の参考資料）において、正常な生育には 4~6 mg/L の DO 値が必要であることが示されている。

【参考資料】

本プロジェクトにおいて、エビ類の養殖のための水質基準として、水産 3 級の DO 値（DO 5 mg/L）を設定する根拠

1. Blue Shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson), の呼吸特性に関する研究例

実験水槽の DO とエビの酸素消費速度との関係（下左図 Fig.(1)）より、水槽の DO 値 5.5 mg/L もしくはその近傍にエビの酸素消費速度の臨界点が存在することを示している。その臨界点より低い DO 条件では、DO の減少とともにエビの酸素消費速度（=代謝活性）が低下するのに対して、臨界点より高い DO 条件では酸素消費速度がほとんど上昇しない。また、水槽の DO 条件別の成長速度でも、DO 6 mg/L では成長が確認されたが、4 mg/L 以下ではほとんど成長しなかった（下右図 Fig.(2)）。これらの実験結果は、エビ養殖漁業において夜間の DO 減少によるエビの代謝活性の低下を防ぎ、順調な個体成長を確保するために対費用効果の観点から最適な DO 条件は、この臨界点付近に DO を設定することを示している。

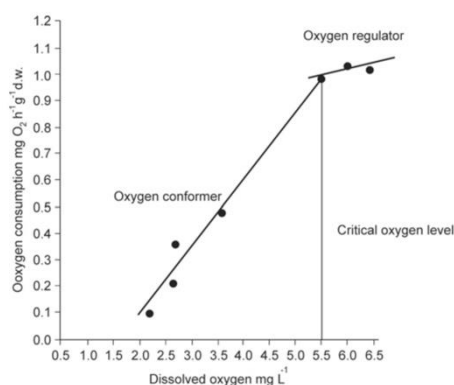


Fig. (1). Critical oxygen level, oxygen conformer and oxygen regulator. Line show the conformer behavior of juveniles of *Litopenaeus stylirostris*.

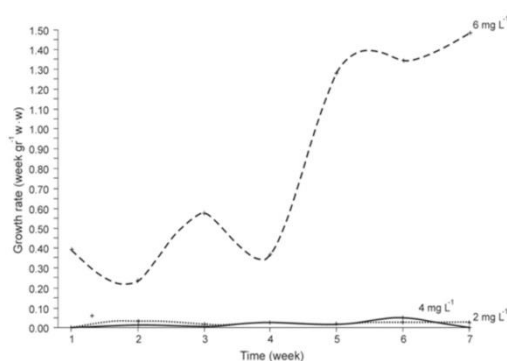


Fig. (2). Blue shrimp growth rate (weeks⁻¹ w.w.) at three oxygen levels (2, 4 and 6 mg L⁻¹).

出典：Re A N, Díaz F 2011. Effect of Different Oxygen Concentrations on Physiological Energetics of Blue Shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson). Open Zool J 4: 1-8.

2. Black tiger, *Penaeus monodon* Fabricius, の呼吸特性に関する研究例

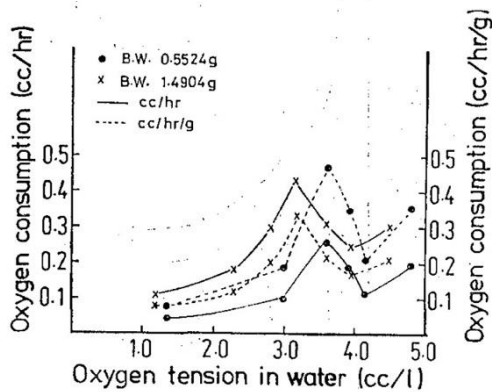


Fig. 6. Effect of levels of dissolved oxygen on the oxygen consumption of young *P. monodon*.

上述の例1と同様、左図 (Fig.6) に示すように、実験水槽のDOとエビの酸素消費速度との関係より、水温30°Cの条件で、水槽のDO値3.0~3.5 cc/Lに酸素消費速度の臨界点が存在することが示される。3.5 cc/L は4.5 mg/L に相当する。この種の養殖には、夜間にDOが4.5 mg/L 以下に低下しないようにすることが、飼育条件として求められる。

出典 : Liao I-C, Huang H-J 1975. Studies on the relation of economic prawns in Taiwan - I Oxygen consumption and lethal dissolved oxygen of egg up to young prawn of *Penaeus monodon* Fabricius. J Fish Soc Taiwan 4: 33-50.

3. Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* の成長、生残、疾病への抵抗力へのDO条件が及ぼす効果に関する研究例

本研究プロジェクトで養殖実験を行うバナメイエビに関して、3つの DO 条件 (A: 4 mg/L 以上, B: 2~4 mg/L, C: 2 mg/L 未満) で稚エビを 60 日間飼育した場合、成長量 (A: 28.16±2.77 g, B: 25.01±1.81 g, 25.90±2.51 g 平均値±S.D.) や生残率 (A: 92.22±3.85 %, B: 81.11±13.47 %, 56.67±8.82 %) に有意な差が認められ、A グループの DO 条件 (4 mg/L 以上) でそれぞれもっとも高い値がえられた。さらに、活性酸素を除去する SOD 活性や 2 日間の細菌耐性 (9.6 x 10⁶ CFU/mL の *Vibrio harveyi*) に対しても、A グループでもっとも高い値が得られ、DO 4 mg/L 以上の DO 条件で飼育されているエビは、代謝活性を攪乱するスーパーオキシド (O₂⁻) を不活性化する SOD 活性 (Table 6) や細菌に対する高い抵抗力 (Figure 2) を有していることが示された。

Table 6. Superoxide dismutase activity of *L. vannamei* after 60 days of experiment

Treatment	Superoxide dismutase (SOD units/ml)
A	47.87 ± 7.62 ^a
B	45.07 ± 10.23 ^a
C	35.97 ± 6.01 ^b

Average values with different superscript in the same column are significantly different (P<0.05)

Percent survival rate

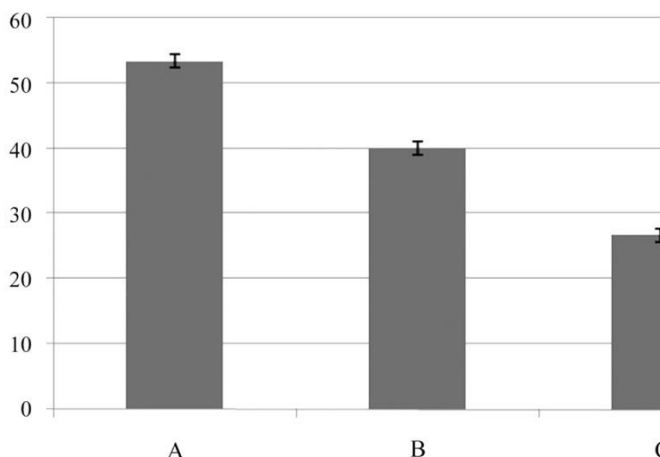


Figure 2. Percent survival of *L. vannamei* upon challenge with *Vibrio harveyi*

出典：Nonwachai T, Privirojku W, Chuchird N, Limsuwan C 2011. Effects of dissolved oxygen levels on growth, survival and immune response of juvenile Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Kasetsart Univ. Fish Res Bull 35: 1-10.

イ) 実験池における夜間から早朝における DO 最低値の日変化

実験池における DO の連続観測結果をもとに、DO 最低値（午前 0 時～8 時）の日変化を図 2-11 に示す。

実験池では、2020 年 2 月 25 日からエビの病気発生のために養殖が中止される 3 月 26 日までの 35 日間にわたって、DO の連続観測を行った。DO 最低値は午前 0 時～8 時の時間帯の 10 分毎の測定値の平均で表している。提案製品の稼働前の 2 月 25 日～3 月 3 日に、DO 最低値は 6.12 mg/L から 4.31 mg/L まで低下した。この間に日給餌量が 4～8 kg に増加し、その増加に伴う池における酸素消費量の増加がすでに DO 最低値の低下をもたらしていたと考えられる。提案製品の稼働を開始した 3 月 3 日の翌日の DO 最低値は 5.17 mg/L に上昇し、目標とする DO 最低値 5 mg/L を超えた。その後も、3 月 10 日の 4.94 mg/L を除き、DO 最低値は 5.04～6.12 mg/L の範囲を変動し、養殖期間の経過に伴う DO 最低値の低下傾向は認められなかった。

これらの結果は、提案製品からの DO の付加なしには、養殖期間の初期においても夜間における池の DO 収支は需要と供給のバランスが取れておらず、同装置の稼働がなければ DO 最低値を 5 mg/L 以上に保つことは不可能であると考えられる。また、給餌量の増加による酸素消費量の増加を考慮すると、約 3 カ月間におよび養殖期間における DO 最低値は、3 月 3 日に記録された 4.31 mg/L よりも相当に低いレベルまで低下し、エビの成長や生残に悪影響を及ぼすことが予測される。

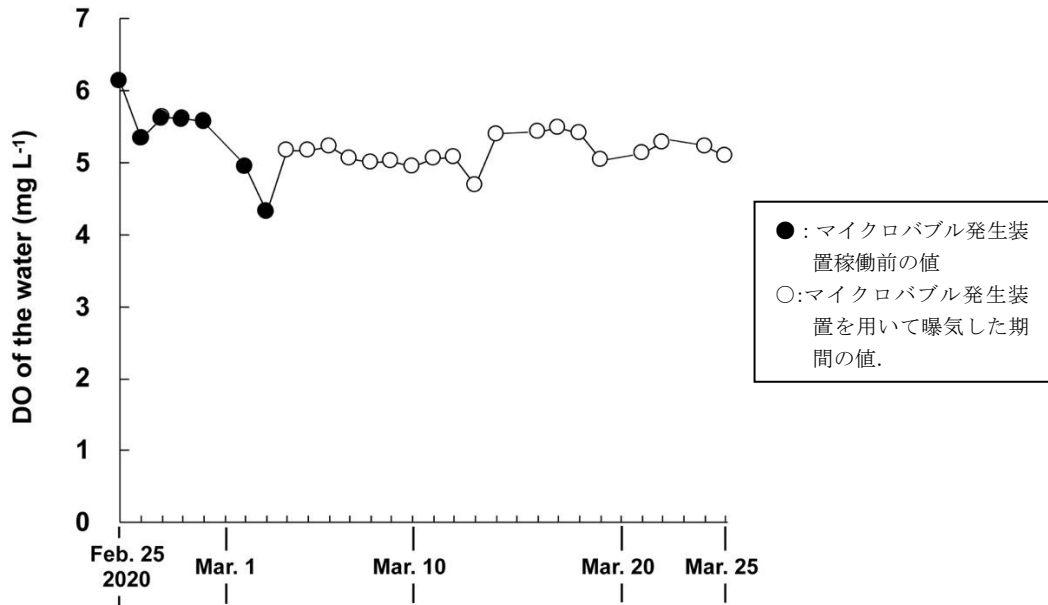


図 2-1-1 実験池の DO 最低値（午前 0 時～8 時の平均値）の日変化
 （10 毎の測定値の平均値）
 出典：提案法人作成

ウ) 実験池における日餌使用量と DO 最低値の関係

実験池では 2020 年 3 月 4 日より提案製品が稼働を開始した。2020 年 2 月 25 日～3 月 25 日までの期間の 34 日間における実験池の前日の日餌使用量と DO 最低値の関係を図 2-1-2 に示す。

日餌使用量はエビの成長に伴い 4 kg/day から 75 kg/day と 18.8 倍に増加した。前述のように、DO 最低値は提案製品の稼働前の 2 月 25 日～3 月 3 日に 6.12 mg/L から 4.31 mg/L まで低下したが、この期間の日給餌量は 4 kg から 8 kg と 2 倍の増加に過ぎなかった。一方、同装置の稼働後には、3 月 10 日の 4.94 mg/L を除き、3 月 25 日まで 5.04～5.48 mg/L を変動し、日餌使用量の増加に伴う DO 最低値の減少傾向は認められなかった。これらの実験結果は、提案製品による DO 付加が、日餌使用量 75 kg/day までの増加に対して夜間の DO 低下を目標とする 5.0 mg/L 以上のレベルに維持することができたが、提案製品が稼働しない条件では、養殖期間の初期においても養殖に不適な DO 最低値が発生したことを示している。最終的には、エビの成長に伴って日餌使用量は 250 kg/day 前後まで増加すると予測される。次回の実験では、養殖期間後半の約 1 カ月間における日餌使用量の増加に対して、提案製品がどこまで DO 最低値を 5.0 mg/L 以上に保つことができるかが注目された。

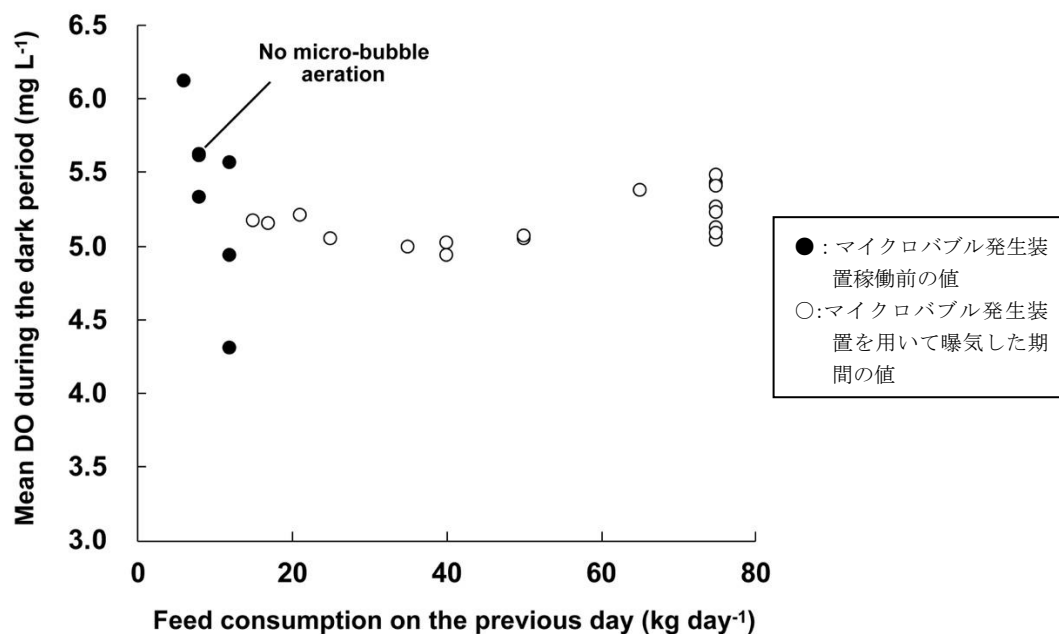


図 2-1-2 実験池の前日の日餌使用量と DO 最低値（午前 0 時～8 時の平均値）の関係
出典：提案法人作成

エ) 実験池におけるエビの成長曲線

実験池では病気発生のために養殖期間が 38 日間に限られた。そこで、エビの成長を過去に提案企業がタイで行った同規模の養殖池（3.5 Rai：約 5,600 m²）で得られた予備的な実験結果と対比して、その後の成長過程を予測した（図 2-1-3）。Chanthaburi 県で 2018 年 2 月 25 日～5 月 1 日に実施した提案製品を用いたエビ養殖実験では、実験開始から 38 日後に 4.91±1.16 g（平均値±S.D.）に成長した。本実験では 38 日後にこの実験結果に匹敵する 4.84±1.2 g への成長が記録された。Chanthaburi 県の実験では、それから 27 日後に 19.77 g に成長し、収穫された。この成長曲線に従えば、本実験でも約 1 カ月後に 20 g 前後に、さらにその 1 週間後には、目標とする 25 g に成長することが予測された。本実験期間の 38 日間は、実験計画で想定した成長を辿っていたことがわかる。

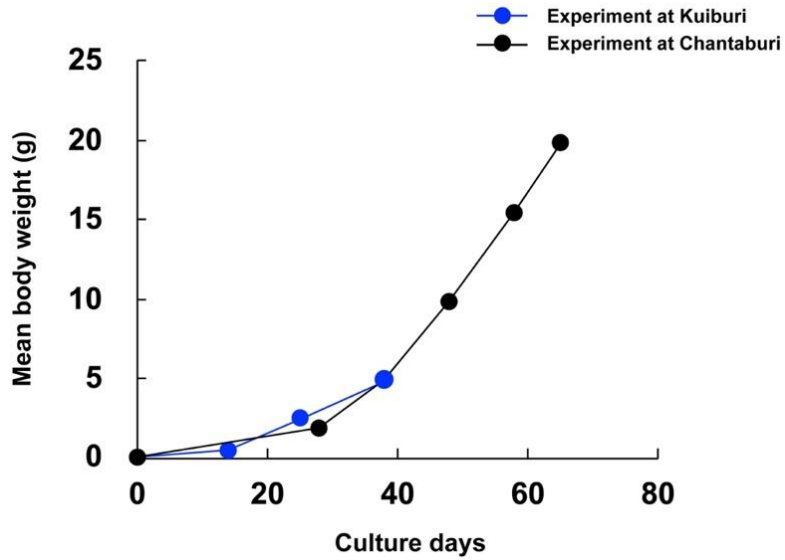


図 2-1 3 本実験におけるエビの成長過程と過去の提案法人によるタイにおける類似実験例 (Chanthaburi 県 2018 年 2 月 25 日～5 月 1 日) との比較
出典：提案法人作成

オ) 実験池におけるエビの病気発生

2020 年 3 月 20 日以降、実験池で養殖されていたエビが赤く変色し、死亡する個体が多く発生した (図 2-1 4)。そのため、実験を中止し、かろうじて商品価値のあるサイズには成長していたので、急遽、生残個体を収獲して出荷することとなった。

この病気は、同時期に Kui Buri 地区の他のエビ養殖場でも広く発生したが、どのようなウイルスや細菌類によるものなのかは、明確な検査結果が得られなかった。



図 2-1 4 赤く変色し死亡したバナメイエビ
出典：提案法人作成

カ) 第1回実験の生産効率

第1サイクルの実験では病気発生のために養殖期間が38日間に限られ、約1,600kgのバナメイエビ(4.84±1.28g、平均値±S.D.)が収穫された。養殖期間を通しての生残率は60.1%にとどまったが、使用された餌量が合計1,344kgであったので、FCRは0.84という非常に低い値が得られた。(1kg湿重のバナメイエビを得るために使用された餌量(ほぼ乾燥した重量)が、生残率60.1%であるにもかかわらず、0.84kgしか必要としなかったということを示す。事前のKuiburi地区における聞き取り調査では、FCRは1.0~1.6の範囲にあった。)養殖期間が38日間に限られた条件下ではあったが、提案製品を用いた曝気により日DO最低値を5mg/L以上に保った効果の大きさが実証された。

キ) 本実験の課題

提案製品(ECBL-5N)の各ノズルからは、塩分5以上の条件であれば、毎分20Lのマイクロバブルの発生が可能である。しかしながら、本実験におけるマイクロバブル発生量は毎分10.5Lに限られていた。つまり、タイにおいてはその半分程度の発生量に限られていた。これは、タイで提案製品を稼働させるために使用したエアーポンプのエアーの出力圧力が十分ではなかったことが大きく影響していると考えられる。現地で動作可能な製品で本実験に求められる性能を十分に満たす仕様を有する製品を調達することが難しい状況にはあるが、その点を適宜調整して、第2サイクルの実験では、マイクロバブルの発生量を増やし、養殖池の水への酸素付加能力を向上させる必要がある。

(2) 導入効果確認実験第2サイクル

① 実験池への提案製品の設置

新型コロナによる約2年半の中断期間を経て、実験を再開した。第1サイクルで借用した池ではテラピアの養殖が継続しており、本実験開始までに収穫できないことが確認されたため、これまでとは異なる場所の池2面(面積4,000m²(直径約72m)×2面)を新たに借用することとなった(図2-15)。このうち1面を実験池とし、2022年8月5日(金)から9日(火)の間に提案製品(ECBL-5N)を2セット設置し、試運転を行った。もう1面はコントロール池としてエアレーションパドルのみを使用することとした。

コントロール池および実験池の空中写真



【コントロール池】



【実験池】提案製品 (ECBL-5N) の曝気システムを 2 セット設置



図 2-15 コントロール池及び実験池 (第2サイクル)

出典：空中写真) Google Earth をもとに提案法人作成
写真) 提案法人作成

第1サイクルでは、エアーポンプを2基使用したところ、エアーの出力圧力が十分ではなかった。そのため、第2サイクルの実験では、エアーポンプ(中国、Hailea製450W)を3基使用して圧縮空気を提案製品(ECBL-5N:マイクロバブル発生ノズル5基装着)に通気し、陸上ポンプ(日本、川本製作所製、1,500W)を用いて池の水を汲み上げて池内に設置した提案製品に送水し、マイクロバブルを発生させた(図2-16)。各マイクロバブル発生ノズル

への通気量を 15~16L/分前後（図 2-1 7）とし、実験池ではこのマイクロバブル発生システムを 2 基設置して、池の水を曝気した。

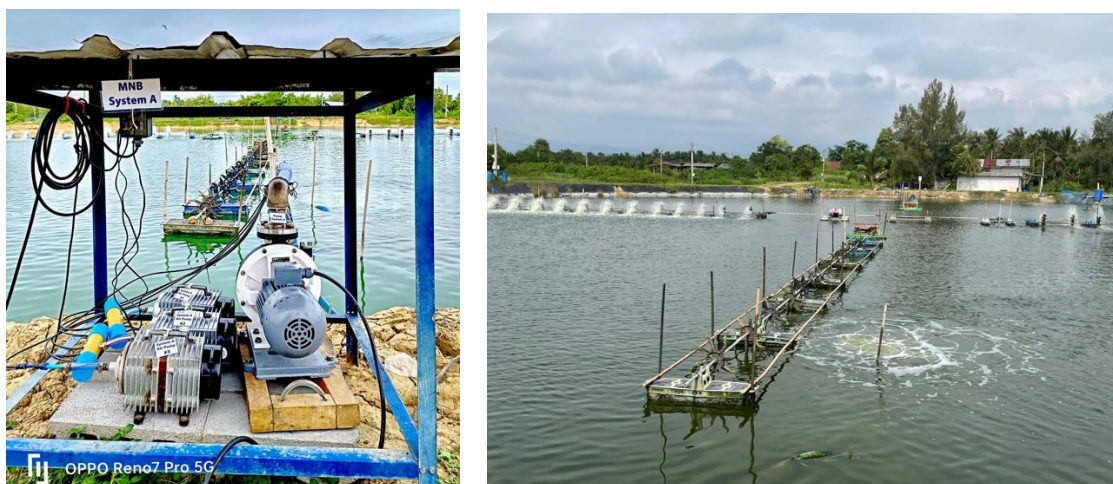


図 2-1 6 （左）実験に使用した提案製品（ECBL-5N）及び（右）実験池における曝気
出典：提案法人作成



図 2-1 7 提案製品（ECBL-5N）の各ノズルへの通気量の測定（約 15 L/分）
出典：提案法人作成

② バナメイエビ養殖実験

第 2 サイクルの実験実施状況は以下の通りである。

2022 年 8 月 13 日 各池に約 300,000 個体の稚エビ（図 2-1 8）を放流し、飼育実験を開始した。

飼育密度（約 75 個体/m²）は Intensive culture（60~300 個体/m²）に類別される。

2022年9月13日（飼育開始から31日後）実験池で、稚エビが提案製品に吸い込まれない大きさにまで成長していることを確認した上で、マイクロバブルの発生装置の連続運転を開始した。

2022年12月1日（飼育開始から110日後）実験を終了し、当日中に養殖したエビを収穫した。

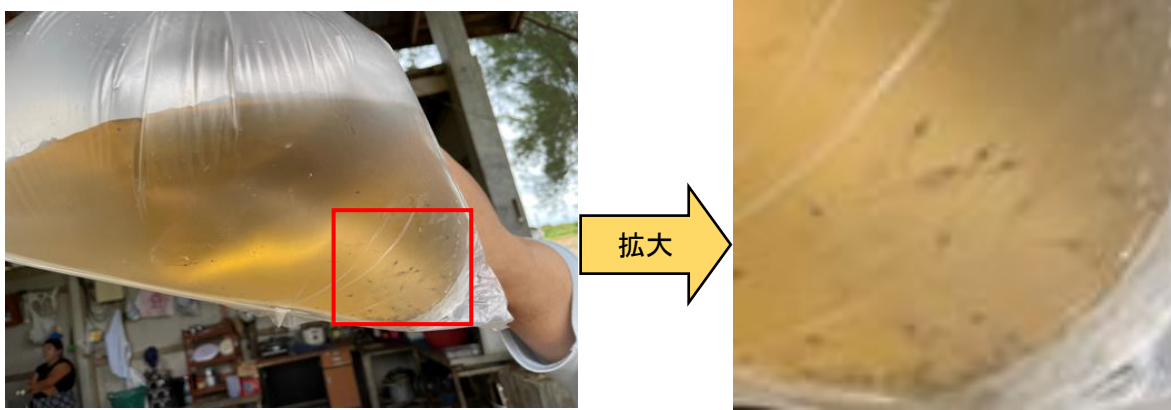


図 2-18 各池に放流した稚エビ（体長 5 mm 程度）

出典：提案法人作成

③ 結果と考察

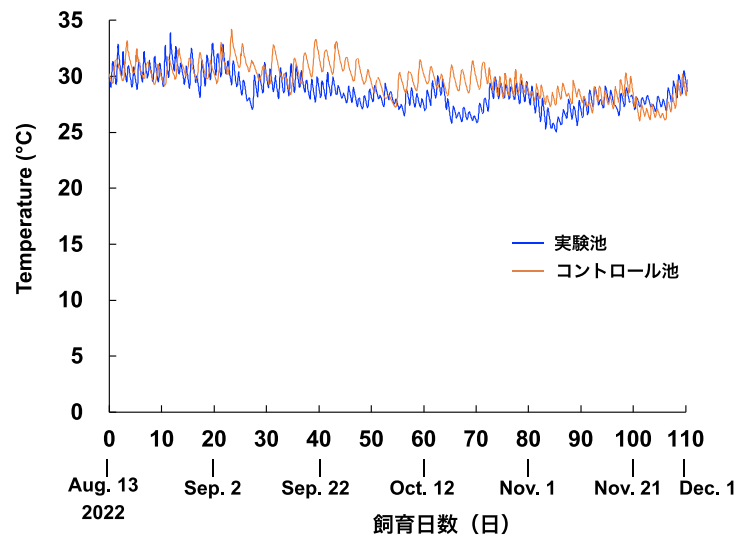
ア) 各池の水温および塩分

実験期間中の各池の水温および塩分の変化を図 2-19 に示す。

水温：実験期間中の実験池およびコントロール池の水温は、ともに 27～34℃の範囲を変動し、バナメイエビの生育には適した温度範囲内にあった。

塩分：実験期間中の実験池およびコントロール池の塩分は、それぞれ実験池では 6～11、コントロール池では 4～9 の範囲で変動した。当初、塩分 10 を超えるレベルでの実験を想定していたが、雨期における降水の影響によって、特に実験の後半において塩分が 6 前後に低下した。しかしながら、この塩分の範囲であれば、汽水環境に適応性の高いバナメイエビの生育には特に支障は生じないと考えられる。また、提案製品からのマイクロバブルの発生にも大きな障害とはならないと考えられる。

(a)



(b)

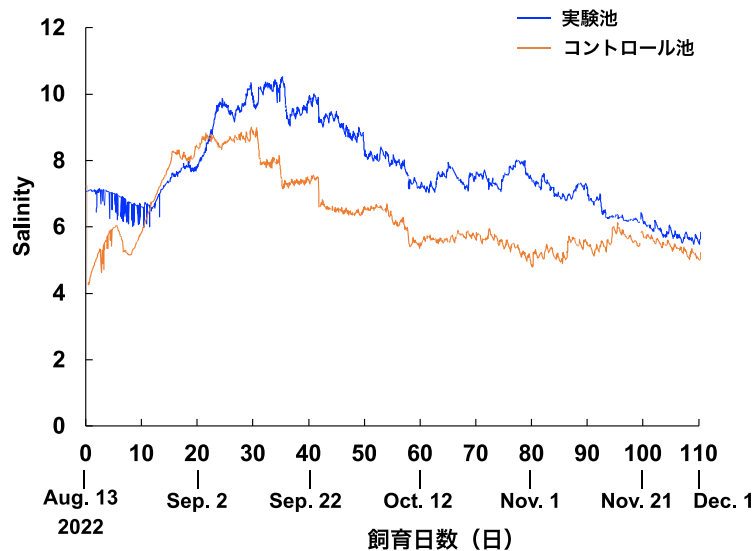


図 2-19 実験期間中の各池の (a) 水温および (b) 塩分の変化

出典：提案法人作成

イ) 各池の栄養塩濃度および Chl.-a 濃度

各池の栄養塩濃度および Chl.-a 濃度を図 2-20 に示す。

実験のために実験池およびコントロール池に取り込んだ水の栄養塩濃度は、それぞれ DIN 17.1 $\mu\text{mol/L}$ および DIP 2.3 $\mu\text{mol/L}$ 、ならびに DIN 6.6 $\mu\text{mol/L}$ および DIP 2.6 $\mu\text{mol/L}$ の、河川水などに見られるレベルにとどまっていた。しかしながら、エビ養殖には大量の餌を池に投入するため、残餌やエビの排泄物によって、各池の水の DIN は飼育日数の経過とともに上昇することは確実に起きる現象である。飼育開始から 60 日以降には、DIN は両方の池で急速に増加し、実験終了時の飼育開始から 100 日後には、ともに 110 $\mu\text{mol/L}$ を超える高濃度に達していた。

一方、DIP に関しては、コントロール池では実験期間を通して 1.7~3.3 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で安定した変動が見られたのに対して、実験池では全体的に値が低くなる傾向が見られ、飼育開始から 44 日後、58 日後、86 日後、100 日後の実験後半においては、0.7~1.4 $\mu\text{mol/L}$ と、コントロール池では見られなかった低い値が記録された。

そのため、池の水の N/P 比は、実験期間の後半（60 日後以降）では、実験池では大きく上昇して 94~187 に達したのに対して、コントロール池では実験開始後 58 日後に 42、終了時に 58 を記録するにとどまり、その他の調査時には植物プランクトンの増殖に必要な N/P 比（Red Field Ratio = 16）前後またはそれを大きく下回る値が記録された。このことは、特に実験期間の後半に植物プランクトンの増殖が DIP の濃度の低さのために制限がかかっていたことを示している。実際に、植物プランクトン量の指標となる Chl.-a 濃度では、コントロール池では飼育開始 86 日後および 100 日後に Chl.-a 濃度がそれぞれ 1,850 $\mu\text{g/L}$ 、1,432 $\mu\text{g/L}$ に達したが、実験池では 585 $\mu\text{g/L}$ 、498 $\mu\text{g/L}$ への増加に止まった。

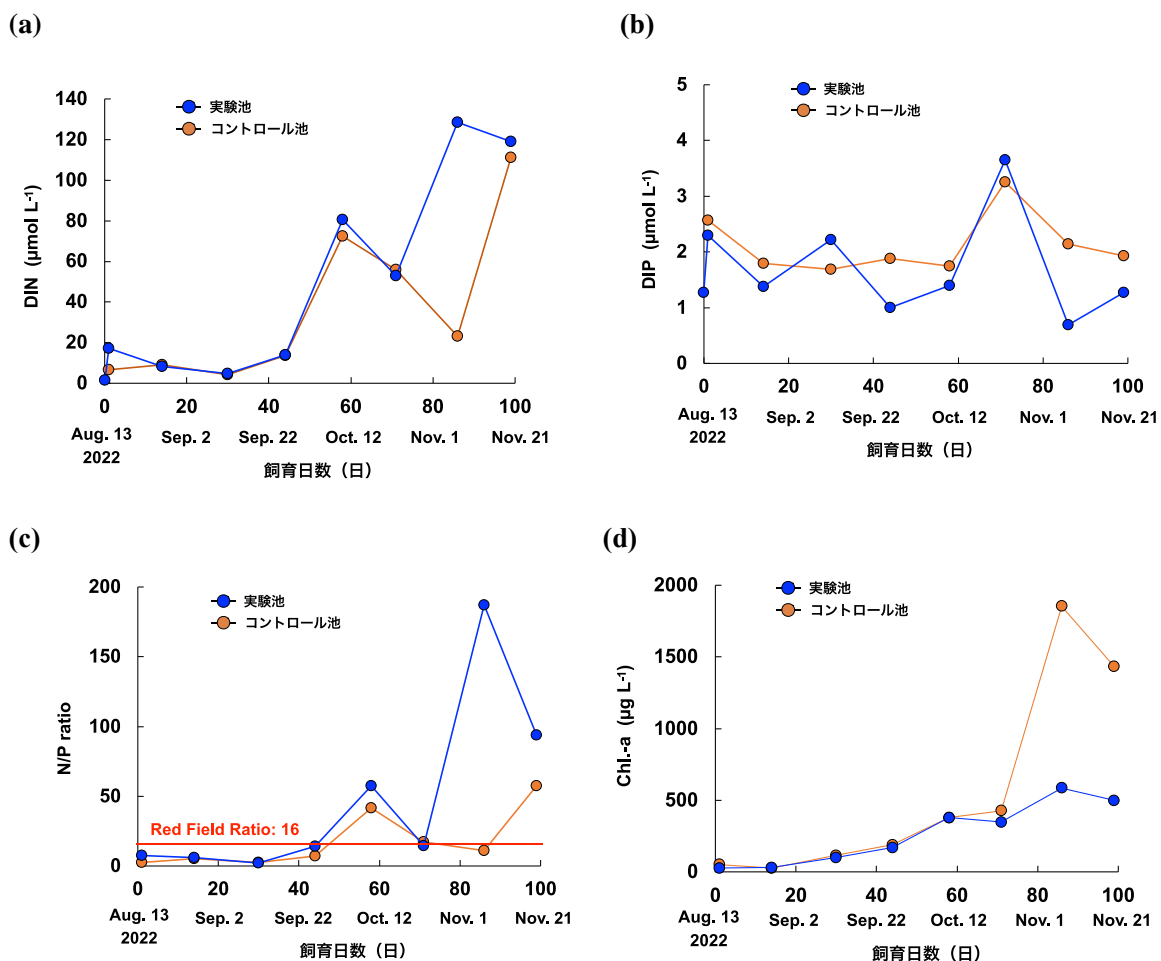


図 2-20 実験期間中の各池の水の栄養塩濃度：(a) DIN（溶存態無機窒素）、(b) DIP（溶存態無機リン）、(c) 栄養塩濃度の N/P 比、(d) 植物プランクトン量の指標となる Chl.-a 濃度
出典：提案法人作成

ウ) 各池の溶存酸素濃度 (DO)

実験期間に実験池およびコントロール池にそれぞれ多項目水質計を設置し、池底から約 50 cm 上の溶存酸素濃度 (DO) を 1 時間または 30 分毎に連続観測した値を図 2-2 1 に示す。

各池の水の DO は、昼間は植物プランクトンの光合成により排出される酸素ガスが水中に溶け込んで急速な増加を遂げ、過飽和状態となる。しかしながら、夜間には植物プランクトンの光合成活動が停止し、呼吸、水中に懸濁した、ならびに池底に堆積した有機物の分解、さらに飼育されているエビ自身の呼吸による酸素消費が重なるため、水中の DO は急激に減少する。この急激な増加と減少が、日周期として反復される現象が確認された。DO の変動範囲は飼育期間の経過に伴って全体的に低下していく傾向が見られ、飼育開始 80 日以降にはコントロール池での夜間の DO 低下が著しく、最低値が 2 mg/L 台の日が続いた。

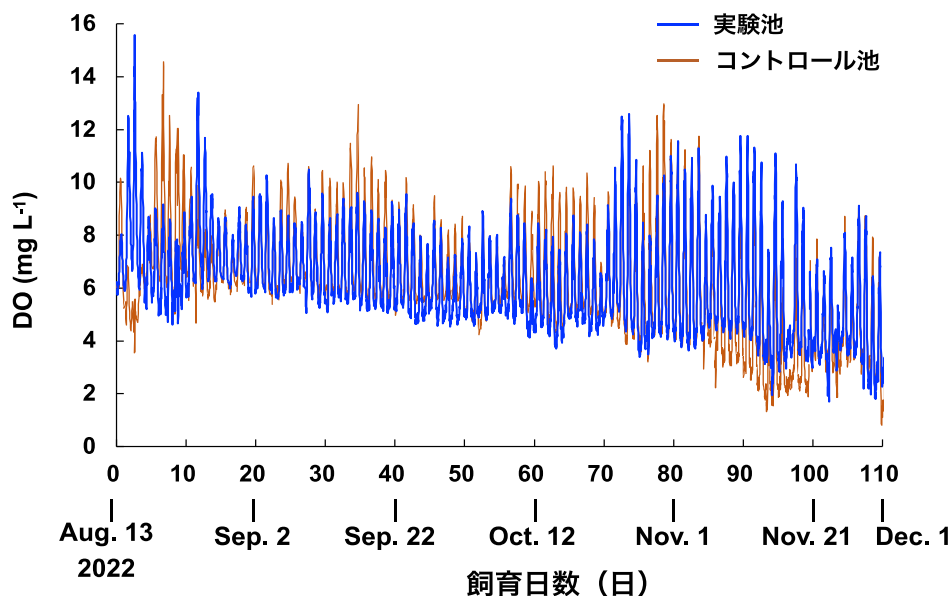


図 2-2 1 各池における実験期間中の DO の変化

出典：提案法人作成

夜間の池の水の DO 低下に注目し、各池の夜から朝 (0:00~9:00) における DO の平均値を図 2-2 2 に示す。飼育期間後半に DO の低下が著しく、これはエビの成長に伴う餌使用量の増加に原因があると考えられる。餌使用量については次項目で取り上げる。飼育開始後 80~110 日の DO 値は、実験池の 3.85 ± 0.68 mg/L (平均値 \pm S.D.) に対して、コントロール池では 2.91 ± 0.83 mg/L に低下していた。コントロール池では、飼育されているエビがこの期間中、夜間~早朝に強い DO 低下による生理的な悪影響を受けていたと考えられる。一方、実験池では、提案製品から放出されるマイクロバブルによる曝気により、DO が約 1.4 mg/L 上昇する効果が得られていた (平均値に統計学的有意差あり)。

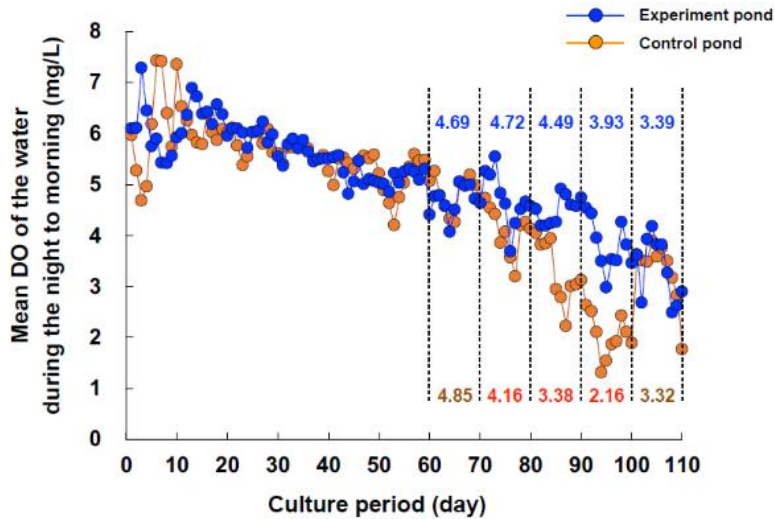


図 2-2 2 各池における実験期間中の夜間から朝 (0:00~9:00) における DO 平均値の変化
出典：提案法人作成

エ) 日餌使用量

実験期間中における各池の日餌使用量の変化を図 2-2 3 に示す。

110 日間に及ぶ実験期間中で、実験開始後 60 日以降に、コントロール池でしばしば餌使用量が大きく減少する事象が発生していた。これは、現場で飼育されているエビの飼育状況の管理者がエビの摂食活動を観察し、前日の給餌で食べ残しが多く見られた場合はその度合いに対応して翌日の給餌量を加減する措置を行ったためである。一方、実験池では飼育されているエビの摂食活動がより安定していたために、餌使用量の変動幅が小さく、養殖エビの成長とともに餌使用量を順次増やす、より安定した給餌が行われた。これは、ウ) 各池の溶存酸素濃度 (DO) で述べたとおり、提案製品を用いた曝気によって夜間の池の水の DO 低下が緩和されていたことが関係していると考えられる。実験期間中の総餌使用量は、コントロール池および実験池それぞれ、6,580 kg および 6,739.5 kg に達した。

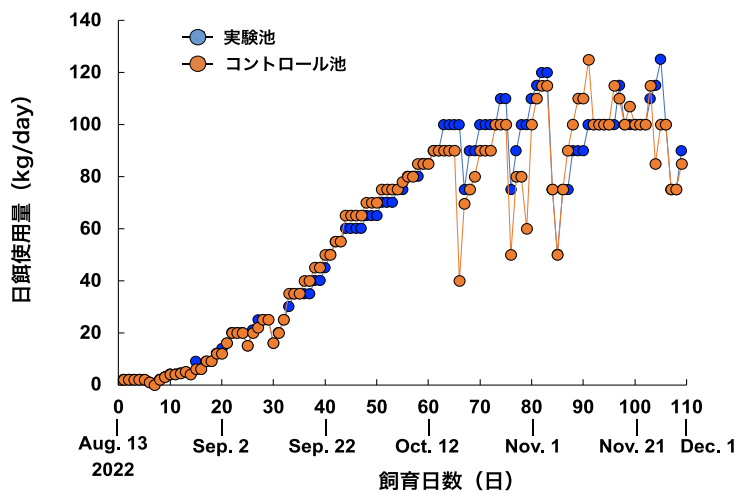


図 2-2 3 実験期間中における各池の日餌使用量の変化
出典：提案法人作成

オ) 養殖エビの成長と生残率

実験開始から 110 日後、各池を干し上げて、養殖していたエビを回収し、市場へ出荷することとなった。この際、各池から 100 個体ずつを抽出して湿重量を計測し、個体重頻度分布図を作成して、成長量を比較した (図 2-24)。

両池の湿重量頻度分布を比較すると、個体湿重量は実験池およびコントロール池でそれぞれ 20.3 ± 2.3 g および 19.1 ± 2.9 g (平均値 \pm 標準偏差) となり、両者間には統計学的な有意差は認められなかった。しかしながら、湿重量頻度分布を比較すると、頻度分布のモード (最頻値) は実験池の 19~20 g に対して、コントロール池では 16~17 g に見られ、小型個体が多くを占めていた。また、生残個体数も実験池の 238,901 個体 (生残率 79.6%) に対して、コントロール池では 224,155 個体 (生残率 74.7%) と、実験池では約 5% 程度の生残率の向上が認められた。

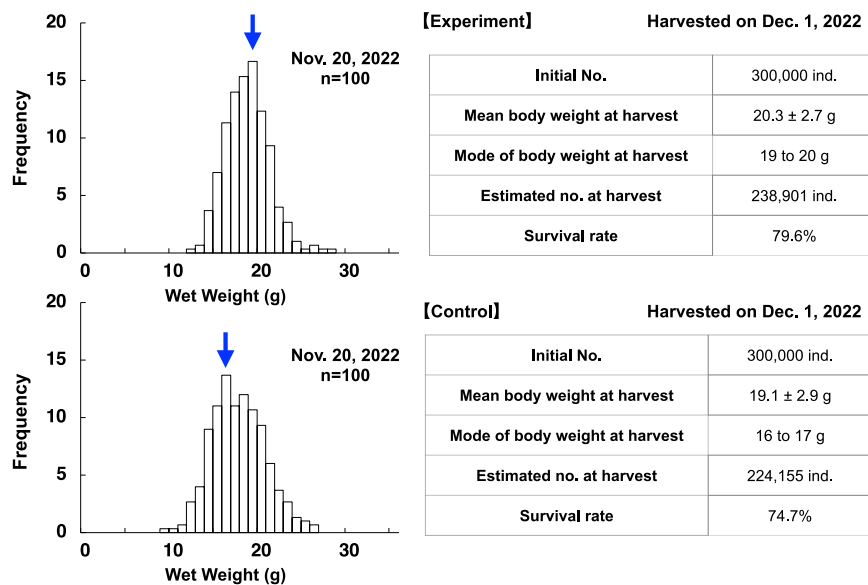


図 2-24 各池で飼育されたバナメイエビの収穫時における湿重量頻度分布
ならびに成長および生残に関する指標
出典：提案法人作成

カ) 養殖エビの生産効率

バナメイエビを市場に出荷した時に得られたデータをもとに、各池における生産効率を比較した (表 2-4)。実験池では、形状の優れた「Good」と評価される個体の重量の合計値が 4,793.86 kg を記録した。一方、コントロール池では「Good」は 4,171.09 kg に減少し、「Fragmentary」と評価される足などが外れた個体の重量が 35.95 kg 含まれていた。総生産量としてはコントロール池 4,272.73 kg に対して、実験池では 13.6% 増の 4,854.96 kg 個体が水揚げされた。さらに品質の向上により、売り上げとしては 14.5% 増の 111,964.01 THB の売り上げ増が得られた。

FCR を求めると、コントロール池 1.54 に対して実験池では 1.39 となり、9.7% の向上が見られた。

表 2-4 各池で養殖されたバナメイエビの生産効率

[Experiment]		Harvested on Dec. 1, 2022	
Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB
Good	4,793.86	183	877,276.38
Soft shell	46.51	130	6,046.30
Dwarf	14.59	100	1,459.00
Fragmentary	***		***
Total	4,854.96		884,781.68
	582.23		111,964.01
	13.6%		14.5%
Total Feed	6,739.5		
FCR	1.39		

[Control]		Harvested on Dec. 1, 2022	
Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB
Good	4,171.09	183	763,309.47
Soft shell	56.30	130	7,319.00
Dwarf	9.39	80	751.20
Fragmentary	35.95	40	1,438.00
Total	4,272.73		772,817.67
Total Feed	6,580		
FCR	1.54		

出典：提案法人作成

キ) 提案製品に生じたトラブル

実験池における提案製品を用いた水の曝気では、その装置の性能から判断して、池の水の DO の最低値を 5 mg/L 以上に保つことを想定して実験計画を立案した。この値はエビ類への低酸素条件下における生理的なストレスを解消するために要求される DO 条件であり、この条件を維持することができれば餌の摂食活動を活発な状態に維持し、通常の puddle-wheel に依存した曝気による夜間の DO が低下した条件下で飼育されている個体よりも大きな成長促進効果ならびに生産量の増加効果が得られることが期待される。しかしながら、本実験では、飼育開始 60 日後以降にコントロール池に対して実験池における夜間の DO 低下のレベルが優位に抑制されている結果は得られたが、DO の低下を 5 mg/L 以上のレベルに抑制することができなかった (図 2-2 2)。その結果とみられるが、日餌使用量についても実験池とコントロール池の差は想定よりも少なく、総餌使用量としては 160 kg 程度の差しか生じなかった (図 2-2 3)。そのため、実験池におけるエビ生産量は、コントロール池に対して 13.6%増、FCR も 9.7%の改善に限られていた。

その原因を追及すべく、実験終了後に提案製品の状態を観察した結果、製品に生じた問題が判明した。図 2-2 5 は、提案製品の各マイクロナノバブル発生ノズルの構造を示している。各ノズルの外槽にポンプから送られてきた水がその上部から内槽に入り、そこで高速で回転しながら下降する外渦とさらに加速されて回転しながら上昇する内渦を発生し、この二重旋回流の中心部に生じた陰圧によって、外部から空気を取り込まれて気柱を形成する。その気柱の上部において、高速で回転する内渦の水と気柱の接触面での摩擦によって気柱が崩れて、マイクロナノバブルが発生する。このようなマイクロナノバブル発生の

仕組みであるが故に、ノズル底部は二重旋回流を発生させるため平面ではなく、中心部分に向かって滑らかに盛り上がる構造となっている。

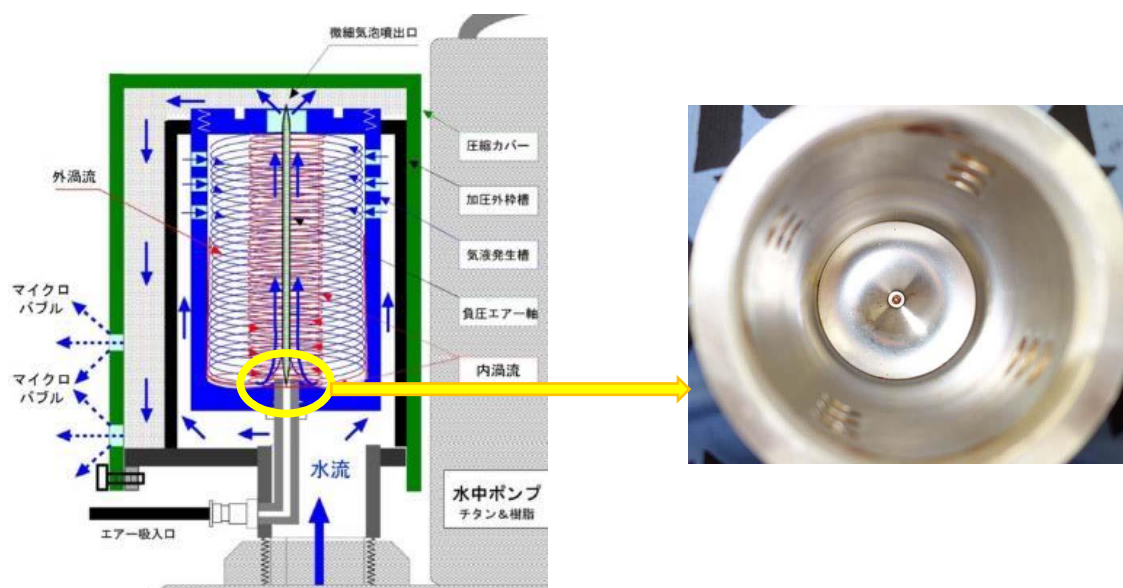
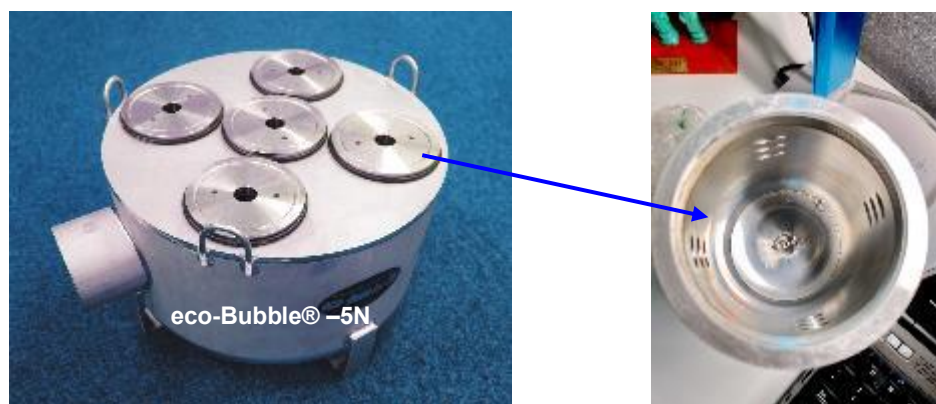


図 2-25 実験に使用した eco-Bubble®-5N のマイクロナノバブル発生ノズルの内部構造とノズル底部の写真
出典：提案法人作成



5つのノズル全ての底部が、いずれも抉られていた



図 2-26 実験に使用した提案製品 (ECBL-5N) の実験終了後における各ノズルの内部構造
出典：提案法人作成

実験終了後に回収した 2 基の提案製品の、合計 10 個のマイクロナノバブル発生ノズルは、取り込まれた水が高速に回転して二重旋回流を発生し、それが接触する底部において、いずれも挟まれていた（図 2-26）。この状態では乱流が発生し、図 2-25 に示すような高速に回転する渦流が形成されない。このため、その渦流とノズル底部中心から取り込まれて形成される空気柱との摩擦が正常に起きず、その結果としてマイクロバブルの発生量が大幅に減少していたことが予想される。

今回の実験において、実験池で提案製品の曝気による DO 上昇の効果が期待したほど得られなかった（図 2-22）。原因は、このノズルのトラブルが実験の早期段階で生じ、マイクロナノバブルが想定どおりに発生しなかったためであると推測される。

ク) 提案製品に生じたトラブルの原因

ノズルの底部、中心付近が挟まれたことは、過去に経験したトラブルから判断して、比較的的大量の砂がノズル内部に連続的な入り込み、その砂が高速に回転する渦流に乗ってノズル底部に接触することにより、その時の摩擦で底部が削られていったものと推測される。ノズルの材質はステンレススチール 316 という硬質の素材を使用しているが、ノズル内部で発生する高速で回転する渦流が砂による大きな摩擦力を生んで、このような状況が発生したと考えられる。ただし、この提案製品（ECBL-5N）を用いたエビ養殖池の曝気実験は、過去 5 年間に於いてタイおよび日本において合計 15 回繰り返してきたが、過去には国内における実験で、ポンプへ送電する電圧の不安定化によってノズル内で発生する渦流が乱れることによる同様なトラブルが、1 回起きたのみである。タイで行った合計 11 回の実験では初の出来事であり、それがどのようにして起きたのか、今回の実験を実施した池の状況を振り返り、原因を考察した。

図 2-27 では、過去の実験で使用したタイのバナメイエビ養殖池（Case1,2）と今回の実験で使用した養殖池の状況を比較している。Case 1 および 2 のように繰り返してエビ養殖に利用されている池では、池底ならびに側面が固められていて、場合によってはその全面がビニールシートで覆われている。今回の実験で使用した池は、コロナ禍のために本来のバナメイエビ養殖ではなく、ティラピアなどの魚類養殖に利用されており、池底にヘドロが堆積したままとなっていた。そのため、実験開始直前にそのヘドロを除去する工事が行われた（図 2-27 Case3）。そのため、池の底面および側面は整地されておらず、その表面には流動性の高い砂が多く残ったままの状態で行われた。結果として、その砂が水中に懸濁して提案製品（ECBL-5N）を用いた曝気システムの取水口から取り込まれ、マイクロナノバブル発生ノズルの内部に送られたことにより、ノズルの底部をその砂が削ることになったと推測される。同装置の使用を始める前提条件として、養殖池の底面および側面に大量の水中へ懸濁可能な砂が含まれていないかを確認する必要があることが、今回の実験から判明した。

Case 1 & 2: Pond in Chanthaburi



Other example for the experiment



Case 3: Experimental Pond



Case 3: Control Pond



図 2-27 タイで提案製品を用いて曝気する実験を実施したバナメイエビ養殖池
 Case 1, 2: 過去に実験を行ったチャントブリ県のエビ養殖場、Case 3: 今回の実験で使用したエビ養殖場
 出典: 提案法人作成

ケ) 提案製品による曝気がエビ養殖池の底質環境に及ぼす効果

この実験では、提案製品による曝気でエビ養殖池の溶存酸素濃度の低下が防止され、水中では十分に酸化環境条件が形成されることにより、池底の底質においても好気性の細菌による有機物分解が促進され、底質の酸化還元度合いもより酸化状態に保たれることが期待された。しかしながら、実験に使用した2基の提案製品の全てのマイクロナノバブル発生ノズルの内部・底部が挟まれるというトラブルが発生し(図 2-26)、そのためにマイクロナノバブルの発生量が想定した通りには発生しなかったと考えられる。このため、同装置の稼働による池の水の溶存酸素濃度の上昇幅も、飼育開始後 80~110 日に、夜間における実験池の値が、コントロール池に対して 0.9 mg/L 程度の上昇に限られていた(図 2-22)。

実験終了後に、実験池およびコントロール池の各 5 箇所から採取された池底の底質の AVS⁵(酸揮発性硫化物)の値は、どちらも平均値が 0.32 mg/g と同一の値を示し、提案製品による曝気が池底の底質の酸化促進への効果を得ることはできなかった。

⁵ AVS(酸揮発性硫化物)の値は、底質中で嫌気性の硫酸還元菌によって生産される硫化水素量の指標であり、底質が好气的に保たれるとこの細菌の活性が抑制されるので値が小さくなる。その性質より、AVSは底質の嫌気化度合いを示す指標として用いられている。

コ) 2 基の提案製品の稼働による電力使用量の増加

本実験では、実験池およびコントロール池にそれぞれ 4 基の puddle-wheel を設置するとともに、実験池では 2 基の提案製品を設置した (図 2-16)。2022 年 8 月 13 日にエビ養殖を開始し、31 日後の 9 月 13 日より、実験池でマイクロバブル発生装置の連続運転 (24 時間運転) を開始した。その結果、110 日間のエビ養殖期間中における電力使用量は、実験池で 27,123.5 kWh、コントロール池では 8,084.8 kWh に達し、電気代はそれぞれ 146,755 THB、42,849 THB かかり、その差は 103,906 THB となった。この 2 基の提案製品を稼働させることによって増加した電気代は、実験池におけるエビ生産量の増加分による売り上げ額の増加分 111,964 THB (表 2-4) の約 93% に相当する。したがって、エビの生産量の増加による売り上げ額の増加分が電気使用代の増加分によってほぼ相殺される結果となっている。

しかしながら、実際のエビ養殖に提案製品を利用する場合には、同装置の稼働をタイマーによる制御により、夜間を中心とした 12 時間に限定することが可能であるため、電力使用量を半減させることが可能である。また、今回の実験では面積 4,000 m² の池を使用した。過去の実験例の結果に従えば面積 5,600 m² の池に 2 基の提案製品を設置して十分な曝気効果が得られていること、この場合にはさらに養殖可能なエビの個体数が増加すること、コントロール池との成長差も拡大するためエビの生産量の差が拡大すること、使用される puddle-wheel の数もさらに 2~4 基程度増加して電力使用量の増加を伴うが、2 基の提案製品を設置する場合はその必要がないことなどから、2 基の提案製品の稼働に伴う電力使用量の増加によるエビ養殖のための生産コストの増加分はわずかな額に留めることが可能となると考えられる。

2-3-3 現地適合性確認結果(制度面)

企業機密情報につき非公表

2-4 開発課題解決貢献可能性

今回の実験結果から、提案製品は、エビの養殖において最も重要な課題である「溶存酸素濃度に関して養殖期間を通じて一定以上に維持することにより、生産性や収量を向上させること」が明らかになった。第 2 サイクルの実験では、前述のトラブルにより期待通りの曝気量が得られなかったにもかかわらず、一定程度の生産性向上という成果が得られたことは評価に値する。

一方で、一般的な養殖事業者は、提案商品のような新たな機器を購入する財政的余裕がない場合は多いことに加え、新しい養殖手法の導入や自らの養殖手法の変更を好まない傾向がある。従って、提案商品の普及と効果的な利用の促進に向けては、まず事業者に対する教育啓発活動が必要であり、次いでモニタリングや提案製品の操作に関する技術指導が必要となる。今回の実験から、「養殖池の底面や側面の状況に配慮した設置」、「溶存酸素濃度をはじめとする水質の継続的モニタリング」等、提案製品の適切な利用に関する重要なポイントが明らかになった。今後は、養殖事業者が信頼して教育的指導を受け入れやすいカセサート大学水産学部や水産庁と協力して、事業者に対する教育啓発活動や技術指導を行っていくことが、提案製品の開発課題解決に対する貢献の可能性を高める方向性であると推測された。

第3章 ODA 事業計画/連携可能性

3-1 ODA 事業の内容/連携可能性

3-1-1 ODA 事業概要

(1) ODA 事業概要

養殖事業者が効果的、及び継続的に提案製品を活用するには、溶存酸素濃度の正確なモニタリングと、それに基づく適切な水質管理が不可欠である。複雑な技術ではないが着実な継続により効果が得られる操作であり、養殖の現場において、広く適用可能な方法と手順を確立する必要がある。

そのためには、溶存酸素のモニタリングと提案製品による適切な溶存酸素濃度の維持が可能な体制整備を、タイの養殖事業者が取り入れやすい形で「パッケージ化」することが実現性の高い方策と考える。そこでは、今回の実験で確認された、養殖池の底面・側面の整備状況確認等も含めた実務的なモニタリング手法が必要となる。

提案企業としては、本調査により上記の「パッケージ化」に関してどのような要件に配慮すべきか、何が特に重要なポイントとなるか等の諸条件を確認することができた。まず、今回の実験で生じたような、養殖池の底面・側面の整備状況による機器トラブルでもわかるとおり、提案製品を現場で、養殖の実務担当者が、常に適切に使用できるような簡素かつわかりやすい方法を確立する必要がある。

同時に、提案製品により最大の生産性を得るには、酸素濃度の継続的なモニタリングが非常に重要なポイントであることも明らかになっているが、生産性向上と酸素濃度の維持との相関を、現地の多様な事業者がより具体的に理解できるよう、一層の説得力を有するデータを得る必要がある。これらの重要な課題を解決することで、民間ベースでの展開を円滑に進めることが可能になると考える。

従って、本調査結果に続く ODA 案件化としては、JICA の中小企業・SDGs ビジネス支援事業「普及・実証・ビジネス化事業」の活用を検討する。

(2) 対象地域

対象地域は、本案件化調査を通してエビ養殖事業の実態を把握したタイとする。その際、近い将来にはタイを製造・販売の拠点とし、フィリピン、ベトナム、インド等、アジア地域においてエビ養殖事業が盛んであり、かつ ODA による支援対象国でもある地域にもビジネス展開できるようにしていくことを念頭に置いた事業とする。

(3) C/P 候補機関

タイ側の C/P 候補機関は、本案件化調査で協力を得たタイ国立カセサート大学水産学部とする。

(4) C/P との協議状況

カセサート大学水産学部では、本調査についても全面的な協力をいただいた学部長より、今後の継続的な連携についても基本的な理解と同意を得ている。ただし、ODA 事業化に関する詳細の具体的な相談や手続きは、ODA 化を進める段階で行う。

(5) 他 ODA 事業との連携可能性

中間報告段階である SATREPS のプロジェクトについては、最終報告書の公表を待って関連情報を把握し、参考となる知見や何らかの連携可能性等の有無を検討する。

既に案件化調査が終了したベトナムのプロジェクトは、次の段階として具体的なビジネス化の検討に進むとの結論が示されている。タイにおける提案企業の取組とは諸条件の違いはあるものの、同じ ASEAN 地域での小規模エビ養殖池を対象としたものであり、今後の展開には留意することが必要と考える。

JETRO による水質モニタリングプロジェクトは、将来的には提案企業の提案製品を適切に組み込むことで、より高い効率向上効果が得られる可能性もある。しかし現時点では、広範・多岐にわたる企業との協業体制構築が試みられている段階であり、具体的な連携には早いと考えられる。従って、当該プロジェクトの進捗状況を継続的に把握しながら検討していく。

3-1-2 具体的な計画

(1) 普及・実証・ビジネス化事業における目的・成果・活動

現時点で想定される PDM (Project Design Matrix) は以下のとおりである。

目的：	途上国の主要産業であるエビ養殖事業の生産性向上への貢献を通して、水産資源の保全と中小規模養殖事業者の生活の向上を図る。 関連する SDGs 目標 14：海の豊かさを守る、目標 9：産業と技術革新の基盤をつくる
成果：提案製品の活用により、対象国のエビ養殖生産性が向上する。	活動：提案製品を現地事業者の実状に最適な形で実装できるような「運用マニュアル」と「事業展開体制」を構築する
成果 1：提案製品の継続的な運用方法マニュアルが確立する。	<ul style="list-style-type: none"> 養殖池の溶存酸素濃度等水質の継続的なモニタリング方法を確立する。 養殖池の底面、側面の適切な整備方法等を現地事業者の実状に応じて確立する。 上記の技術的要点をまとめた簡易なマニュアルを英語とタイ語で作成する。
成果 2：提案製品の有力な購入候補者となり得る大規模エビ養殖・食品企業の、提案製品に関する理解と支持を得るための具体的なデータを得る。	<ul style="list-style-type: none"> 提案製品による生産性向上を一層説得力ある数値実績で示すための養殖実験を行う。 広さが異なる養殖池 2 種類・2 組 (計 4 池) を用いて、異なる時期に 2 回、実施する。 これらの養殖期間中、現地 C/P が指導する技術員が現地に駐在し、継続的な水質のモニタリングを実施すると共に、入手データを同時並行で日本においても解析する。 エビの成長可能性を最大限まで調査するため、商業的な判断に左右されず養殖期間を十分確保する。
成果 3：タイを起点として、アジアのエビ養殖事業実施国に提案製品による生産効率向上を普及するための基盤が整備される。	<ul style="list-style-type: none"> 成果 2 で示した現地大規模企業による潜在的な購買可能性、意欲等を把握する。 将来的にタイでの提案製品の製造・販売を担当できるような、高い技術を有する現地企業候補を選定する。 提案企業と現地企業の連携をビジネススペースで支援できる日系または現地商社等を選定する。 これら企業との中長期的なビジネス展開連携体制を構築する。

(2) 投入

日本側：

提案企業が必要とする提案製品 ECBL-5N を 4～8 台（一式あたり 200 万円（提案製品 174 万円、ポンプ 25 万円））を提供する。日本国内で製造した機器を現地に輸出する。提案企業の責任者および主任技術者の 2 名が現地での機器設置等の実務を担当する。本案件化調査で外部人材統括者を務めた熊本県立大学学長が、モニタリングをはじめとする機器の運用に関する技術面の責任者となり、運用方法のマニュアル作成を指揮・指導する。外部人材統括者の指導の元、コンサルタントが提案製品の製造・販売体制構築に係る調査等を担当する。

C/P 側：

本案件化調査でも協力を得たカセサート大学水産学部のリサーチャー 2 名が中心となり、現地での養殖池選定、オーナーとの借上げ交渉等を担当する。同学部より、エビ養殖に係る水質モニタリング等に関する科学的知見を有する大学院生、学部生等 6～8 名程度を測定助手としてアルバイト雇用し、現地での継続的なモニタリング実施等、現地での ODA 事業運営を提案企業と連携して実施する。また、この結果を踏まえて運用方法マニュアル（英語・タイ語）作成を担当する。これらに係る費用は ODA 事業により供与する。ODA 案件実施後は、利用した提案製品を継続活用する場合の維持管理主体となる。

(3) 実施体制図

現時点で想定される、実施体制に関する機関と役割は、図 3-1 のとおりである。

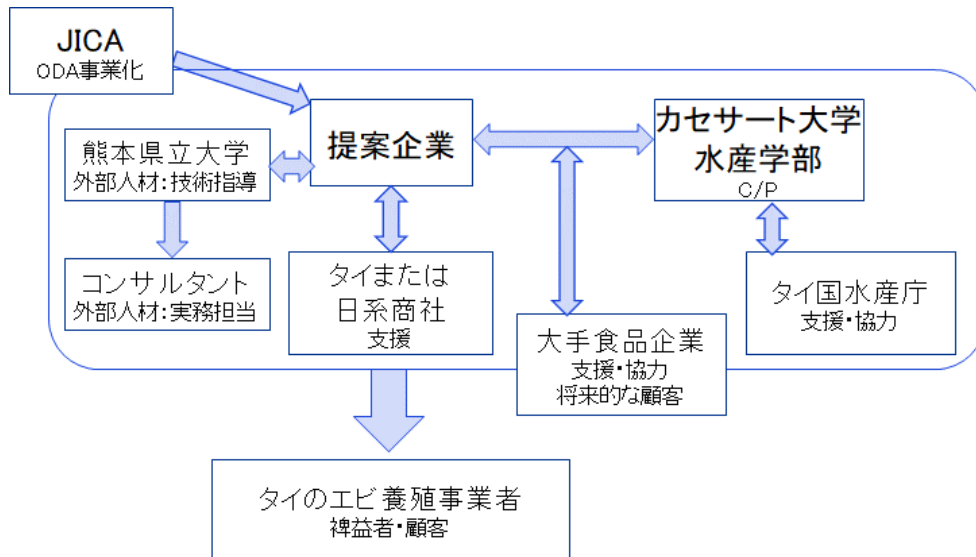


図 3-1 ODA 事業の関係機関と役割分担

出典：提案法人作成

※大学を ODA 事業の C/P とする理由

タイにおけるエビ養殖事業者への技術指導に関しては、養殖エビを取り扱う企業等の自発的な対応に依存している部分が多く、養殖事業の現場では経験と勘で行われている場合が多い。一方、カセサート大学水産学部はタイにおける水産学をリードしてきた学部であり、この学部の卒業生にはエビ養殖業に従事する者も多い。

既に確立された技術を漁業者に指導する場合、水産庁の関係機関からの指導という形が適しているとの見方もある。しかし、本事業が対象とする提案製品は、現段階ではその技術特性や取扱手法等の養殖現場での適用方法に習熟した担当者の参画が不可欠である。本調査での情報収集等を通して、そのような現場レベルで継続的な取組が可能な研究機関等は、水産庁関連組織では限られていることを把握している。

このような状況を勘案すると、同大学が C/P 候補として参画することが、その成果を広くタイのエビ養殖事業の業界に普及させる上では実践的であると考えられる。

(4) 活動計画・作業工程

現時点で想定される事業実施スケジュールを表 3-1 に示す。エビ養殖の適期とその準備期間等を勘案し、事業開始時期を 5 月と想定する。

表 3-1 普及・実証・ビジネス化事業のスケジュール (案)

月	5月	7月	9月	11月	1月	3月	5月	7月	9月	11月	1月	3月	5月	7月	9月	11月	
活動 1：提案製品の継続的な運用方法マニュアルの確立																	
a) 養殖池の水質の継続的なモニタリング方法の確立	■																
b) 養殖池の適切な整備方法等の確立	■																
c) 簡易マニュアルの作成							■										
活動 2：提案製品に関する理解と支持を得るための具体的なデータの収集																	
a) 養殖実験の実施			■														
活動 3：タイを起点したエビ養殖事業実施国への提案製導入の基盤整備																	
a) 現地大規模企業による潜在的な購買可能性、意欲等の調査		■															
b) 現地製造・販売を担当する現地企業候補の選定		■															
c) 提案企業と現地企業の連携を支援する日系または現地商社等の選定									■								
d) ビジネス展開連携体制の構築												■					

出典：提案法人作成

(5) 事業額概算

現時点で想定する ODA 事業の投入予算は以下のとおりである。

総額：1 億円

内訳：資機材・輸送費-20 百万円、旅費・交通費-20 百万円、現地活動費-30 百万円、外部人材人件費-28 百万円、本邦受入活動費-2 百万円

(6) 本提案事業後のビジネス展開

本提案事業を ODA 事業として実施することにより、ビジネス展開にあたって主要顧客となるタイのエビ養殖事業者、主要食品加工企業、および水産庁等の関係省庁等の間で、提案製品に関する信頼性が非常に高まる。第 4 章に後述するビジネス展開計画のとおり、新たな技術を取り入れることに必ずしも積極的ではない現地の養殖事業者が信頼を置く多様なステークホルダーを、ODA 事業の段階から巻き込むことで、その後のビジネス展開を円滑に進めることが可能となる。

3-2 ODA 事業実施/連携における課題・リスクと対応策

3-2-1 制度面・インフラ面にかかる課題/リスクと対応策

制度面については、既にタイでの提案機器の販売実績があり、現時点までに問題となった許認可や法的リスクは存在しない。また提案製品のノズルを製造するためには、高硬度のステンレス素材を切り出して成型する高度な金属加工技術ならびにその技術を具現化するための高額な金属加工装置が必要であり、既にマイクロナノバブルを発生させるノズルの内部構造に関する特許を取得していることから、知財関連のリスクも非常に少ない。

インフラ面では、当面は日本国内で生産した提案製品を輸出・販売する予定であることからリスクはない。中長期的に現地での生産に切り替える際に必要となる現地養殖事業者の技術レベル等については、本調査の中で概要把握を試みた。その結果、外部人材統括者による提案製品の詳細説明を受けて特性を十分に理解したタイ水産庁アドバイザーより、現地の日系自動車メーカーの下請け企業であれば、提案製品のような高度の技術を要する機器製造にも対応可能な技術力を有しているであろうとの助言を得ることができた。具体的な候補については、ODA 事業の中で調査検討する。

3-2-2 C/P 体制面にかかる課題/リスクと対応策

想定する ODA 事業の C/P 候補であるカセサート大学は、エビ養殖を含む水産分野の研究ではタイの最高峰であり、当該分野の人材を多数輩出している。多くの卒業生が漁業、及び養殖関連企業に就職し、若しくは自ら養殖事業を営んでいる。従って特段の課題/リスクは想定されない。本調査における活動結果から、ODA 事業実施のために必要となる C/P 候補機関の人員体制、予算措置、メンテナンス体制等が基本的に整っており、タイ国内において養殖技術の面で最も信頼性の高い公的機関の一つであることが確認された。従来、提案事業者および熊本県立大学との共同研究から本調査に至るまでの長年にわたる協力関係から、この面での課題やリスクが非常に限られていると想定される。

3-2-3 その他の課題/リスクと対応策

現時点では特に想定されない。

3-3 環境社会配慮等

本プロジェクトでは、環境社会配慮等の調査は対象外である。

3-4 ODA 事業実施/連携を通じて期待される開発効果

ODA 事業により、エビ養殖事業の生産性向上への貢献、水産資源の保全と中小規模養殖事業者の生活の向上等の開発効果として、以下の事項が期待される。

本調査の結果では、トラブルにより十分な溶存酸素濃度を保つことができなかった中でも、13.6%の生産量増加、14.5%の売上増という結果が得られた。提案企業が過去に実施した実験結果等を踏まえると、生産性の向上は20~30%になると想定される。

タイ国内には、約18,000件のエビ養殖事業者が存在する。1養殖事業者の年平均生産量は約30トン、年平均売上は約540万バーツ（1,860万円）である。ODA事業により提案製品による生産性の向上効果を明確にしつつ、現地養殖事業者が実装できるマニュアル等を整備することで、当該技術を普及し、各事業者の生産量と収益の向上、並びにタイ国全体のエビ養殖生産量の回復に大きく貢献することが可能である。

第4章 ビジネス展開計画

4-1 ビジネス展開計画概要

提案製品の主な市場は、タイ全土およびアジア地域のエビ養殖が盛んな地域であり、当該地域のエビ養殖事業者および食品加工企業が主要顧客として想定される。現時点で、屋外のエビ養殖池に適用可能な性能を有する類似・競合機器等は存在せず、提案製品の優位性が高い。中長期的にはタイを拠点とした現地生産・販売に切り替える体制を構築するが、当面は日本国内で委託生産した機器を輸出・販売する。提案企業が核となって、タイにおいて提案製品の販売・メンテナンス体制を確立し、ビジネス展開を図る。

これまでの研究や機器販売実績等から、提案製品のビジネス化に向けた特段のリスクは確認されていない。本技術の普及はタイが直面するエビ養殖業の生産性向上という開発効果が期待されると共に、他のアジア地域でのエビ養殖の生産性向上を通じた食料安定供給と水質保全等 SDGs への貢献、当面の機器生産を担う熊本県等国内企業の雇用拡大・売上増大、さらには本調査で得られた成果の日本国内での活用等の効果も期待される。

4-2 市場分析

企業機密情報につき非公表

4-3 バリューチェーン

企業機密情報につき非公表

4-4 進出形態とパートナー候補

企業機密情報につき非公表

4-5 収支計画

企業機密情報につき非公表

4-6 想定される課題・リスクと対応策

企業機密情報につき非公表

4-7 ビジネス展開を通じて期待される開発効果

当該ビジネスを展開し、エビ養殖事業の生産効率が向上することで、エビ養殖事業者の収入・雇用も安定向上し、タイ国における食料安定供給や水質保全等の SDGs にも貢献することができる。今回の案件化調査では、新型コロナウイルスによるブランク期間後であるための養殖池整備状況の不具合により、提案製品が十分な性能を発揮することができなかったが、それでも生産性が 14.5% 向上した。問題なく稼働すれば、過去の実験結果等から生産性向上は 30%程度と想定される。これを踏まえると、3~5年程度の期間でタイ国内の中規模養殖事業者の一部、および大手食品加工企業等に提案製品が普及することで、中長期的にはタイ全体のエビ生産性向上に貢献することも可能になると想定する。

4-8 日本国内地元経済・地域活性化への貢献

4-8-1 関連企業・産業への貢献

提案製品の製造は、当面は日本国内で行う。従ってタイにおける提案製品の需要が増大すれば、熊本をはじめとする国内の優良な機器製造技術を有する中小企業の雇用拡大と売上増大に資する。また、熊本県で盛んなクルマエビ養殖漁業に本調査の結果を還元することも可能である。

4-8-2 その他関連機関への貢献

当該ビジネス展開により、提案製品の有効性がより具体的に示されれば、提案企業が別途、国内で進めている他の事業分野への展開にも貢献する。具体的には、熊本県の漁協、花卉栽培企業、及び畜産企業等と熊本県立大学とが共同で実施している提案製品の活用研究への貢献などが想定される。特に、少子高齢化に伴う人材不足が深刻化している日本国内の農漁業では、提案製品のような生産効率向上技術の重要性は高いと期待される。

さらに、これを同様の産業が盛んな ASEAN 等の途上国に適用することで、一層の地域経済振興と雇用創出に資することが可能となる。

要約（英文）

Summary

Chapter 1: Challenges in Development of the Target Country/Region

Shrimp farming was one of the leading industries in Thailand enjoying the world's biggest export amount. Recently, however, it has been suffering from the intensifying yield competition with other countries like Vietnam, as well as a significant damage from prevailing Early Mortality Syndrome (EMS) since 2013, which has reduced the yield amount almost by half of 2012. In addition, the domestic demand of shrimps has dramatically fallen due to the pandemic of COVID-19 in 2020, which has forced an increasing number of shrimp farmers to repurpose their farming ponds for other fish like tilapia. As of 2022, the shrimp production has not yet fully recovered.

According to Thailand Shrimp Association, the Chinese market – as a shrimp importer -- is expected to rapidly grow within the next few years, therefore, now is the time for Thailand to intensify its industry base to get prepared for further competition and development. However, the country's own efforts alone have not been enough to recover its shrimp production, while its competitors like India and Vietnam, etc., are showing significant growth (Figure 1). Even now, therefore, the country still needs supports from other countries.

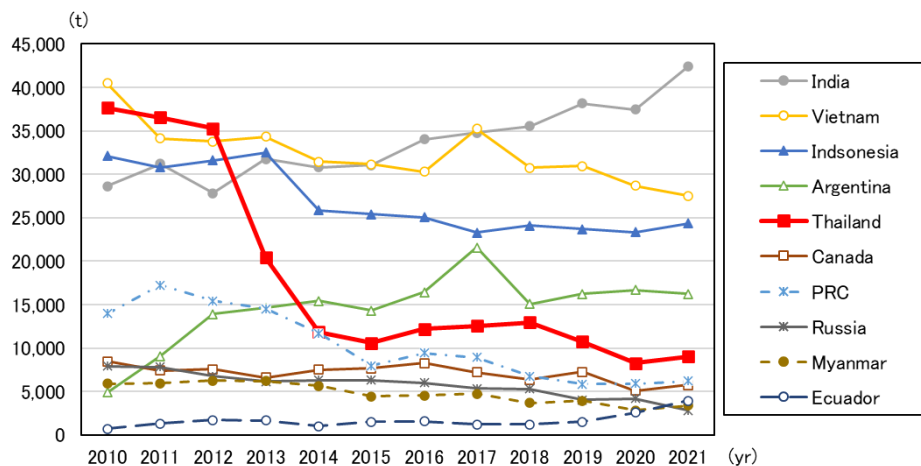


Figure 1: Trend of Shrimp Imports in Japan by Country (Top 10 countries)

Source: "Trade Statistics" (Ministry of Finance), adapted by the proposing company

The occurrence of diseases like EMS is strongly related to the water quality of a farming pond, especially the lower concentration of dissolved oxygen (DO). Lower DO tends to increase the occurrence of diseases among juvenile shrimps. When a disease occurs among even a part of shrimp population, farming must be discontinued to harvest all shrimps to stop prevalence of the disease. The larger shrimps grow, the higher the total harvest amount and the resulted product value (the unit price) will be. However, if the farming is stopped before they get matured, the harvest amount as well as the unit price will be

dropped down, leading to the substantial decrease in sales. For that reason, it is important to increase DO levels of farming ponds and keep shrimps healthy in order to prevent diseases of juvenile shrimps. In farming ponds, oxygen is provided through photosynthesis by phytoplankton during daytime. However, at night and early in the morning, aeration is necessary due to a substantial decrease of DO levels. In farming ponds, waterwheel aerators, or aeration paddles, are most widely used, working all day long, but their effect of increasing DO levels is limited due to larger bubbles they generate. On the other hand, the electricity rates for operating paddles account for as high as 30-40% of the aquaculture farmers' annual income, which is the second largest burden for them next to the feed costs.

Chapter 2: Proposing Company and Its Equipment/Technology

(1) Proposing Company and Proposed Equipment

The proposing company is developing various equipment using eco-Bubble® (herein after, “proposed equipment”) , and initiated its application to aquaculture in 2008. The proposed equipment is “micro-bubble generator”. Micro-bubbles (bubbles of less than 50 μm in diameter) tend to have little buoyancy in the water and stay there for a long time. Smaller bubbles have larger surface area to their volume. While the bubbles drift in water, the gases inside the bubbles can dissolve in the water efficiently. The proposed equipment is free from clogging problems of other companies' products even in dirty water like shrimp farming ponds, and can generate a large amount of micro-bubbles with less power.

The proposing company conducts an experiment to introduce the proposed equipment to farming ponds where Thai shrimp farmers are actually operating their business. The purpose of this experiment is (1) to accurately monitor the effect of keeping DO levels, and (2) to know the survival rate, the production volume and the feed efficiency as well as to quantitatively understand the farming cost reduction effects of higher sales amounts and lower power consumption.

(2) Implementation of Farming Experiment

The experiment site is located at Kui Buri District in Prachuap Khiri Khan Prefecture, 300km to the south of Bangkok. The farming ponds were referred to by Faculty of Fisheries, Kasetsart University, which is the counterpart of this Feasibility Survey. As the owner of the ponds is a graduate of the Faculty of Fisheries, knowing well about and being supportive of scientific experiments. The proposing company borrowed two shrimp farming ponds, one for the experiment pond to introduce two units of the proposed equipment (ECBL-5N) to sufficiently cover the pond area, and the other for the control pond to install only aeration paddles. Since one farming cycle takes 3 to 4 months, the first experiment cycle was implemented in February 2020, and the second cycle was implemented from August to December 2022 after the suspension due to the COVID-19 pandemic.

The first cycle was forced to discontinue due to the outbreak of an epidemic both in the control and experiment ponds. The disease was widespread occurring at other shrimp farming ponds in Kui Buri District at the same time, but clear inspection results were not obtained about the types of causative virus or bacteria.

For the second cycle after the suspension due to COVID-19, the ponds used for the previous cycle had already been used for other purposes. Therefore, different ponds for tilapia farming (area of 4,000 m² (diameter approx. 72m) × 2 ponds) were prepared in a rush and borrowed as the experiment and control ponds.

(3) Result of Farming Experiment

DO levels in the farming ponds showed an overall trend of decreasing over the course of the feeding period, and the control pond showed a significant decrease of DO levels at night after the 80th day from the start of feeding. It is believed to be due to the increase in feed consumption with the growth of shrimps. The DO values on 80-110 days after the start of feeding decreased to 3.85±0.68 mg/L (mean value±S.D.) in the experiment pond and to 2.91±0.83 mg/L in the control pond.

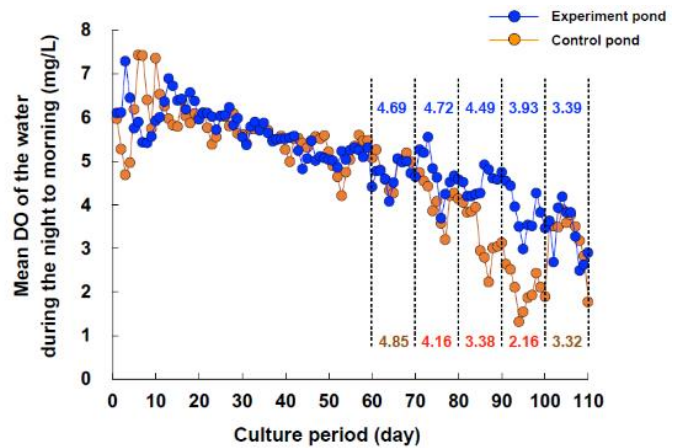


Figure 2: Transition of DO values from night to morning in each pond during the experiment period

(Figure on the right.) In the experiment pond, aeration with micro-bubbles generated from the proposed equipment increased the DO value by approx. 1.4 mg/L (with the statistical significance in the mean values).

On the 110th day from the start of the experiment, the farmed shrimps were harvested and shipped to the market. There was no statistical significance found in the wet weight of shrimp individuals in the experiment and control ponds then. However, when it comes to frequency distribution for wet weight, the mode for the experiment pond was 19-20g, while the smaller individuals with 16-17g were dominant in the control pond.

Also the survival rate for the experiment pond was higher by approx. 5% with 238,901 individuals (79.6% survival) compared to 224,155 individuals (74.7% survival) for the control pond. (Figure 3)

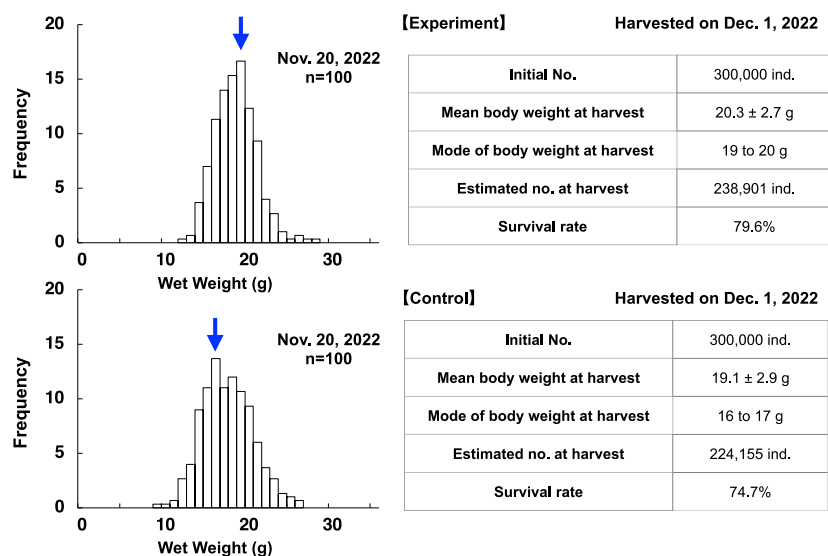


Figure 3: Frequency Distribution for Wet Body Weight of Vannamei Shrimps at Harvest Together with Growth and Survival Indicators

As for production efficiency as well, the total weight of well-shaped individuals rated as “Good” was 4,793.86 kg for the experiment pond, while the total weight of “Good” individuals was 4,171.09 kg for the control pond, including 35.95 kg of “Fragmentary” individuals with missing legs, etc. The total production volume for the experiment pond was 4,854.96 kg, which was higher by 13.6% than 4,272.73 kg harvested from the control pond. Plus, higher product quality brought the sales amount of 111,964.01 THB for the experiment pond, which was higher by 14.5% than the control pond. The Feed Conversion Rate (FCR) was also improved in the experiment pond, which was 1.39, a 9.7% increase from 1.54 for the control pond. (Table 1)

Table 1: Production Efficiency of Vannamei Shrimps Farmed in Experiment and Control Ponds

[Experiment]				[Control]			
Harvested on Dec. 1, 2022				Harvested on Dec. 1, 2022			
Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB	Shrimp	Weight (kg)	Price THB/kg	Sale THB
Good	4,793.86	183	877,276.38	Good	4,171.09	183	763,309.47
Soft shell	46.51	130	6,046.30	Soft shell	56.30	130	7,319.00
Dwarf	14.59	100	1,459.00	Dwarf	9.39	80	751.20
Fragmentary	***		***	Fragmentary	35.95	40	1,438.00
Total	4,854.96		884,781.68	Total	4,272.73		772,817.67
	582.23		111,964.01				
	13.6%		14.5%				
Total Feed	6,739.5			Total Feed	6,580		
FCR	1.39			FCR	1.54		

In the meantime, the power consumption for operating equipment was 27,123.5 kWh for the experiment pond and 8,084.8 kWh for the control pond, and the electricity rate was 146,755 THB and 42,849 THB respectively with a difference of 103,906 THB. The higher electricity rate for the experiment pond accounted for approx. 93% of the incremental shrimp sales amount of 111,964 THB for the experimental pond. However, when the proposed equipment is used for actual shrimp farming, power consumptions can be reduced by half of this experiment where the equipment was operating for 24 hours, by limiting the power use only for 12 hours at night using timer-control.

(4) Troubles of Proposed Equipment

The experiment plan was designed on the assumption that water aeration with the proposed equipment could maintain the lowest DO value at 5 mg/L or higher. However, in the actual experiment, the reduction of DO could not be maintained at this level, although the result showed that DO reduction at night was better-controlled for the experiment pond than the control pond. Probably because of this, the production volume of shrimps and FCR at the experiment pond was higher only by 13.6% and 9.7% respectively than those for the control pond.

After the experiment, the condition of the proposed equipment was observed for cause-finding, and the problem with the equipment was identified. Inside of the proposed equipment, water pumped to the outer chamber of the micro/nano-bubble producing nozzles flows into the inner chamber from the upper part, generating an outer vortex rotating at high speed downwards as well as an accelerated inner vortex rotating upwards. The negative pressure generated at the center of the dual rotating vortexes sucks the

outside air to create an air column. At the top of the air column, water of the high-speed rotating inner vortex contacts the surface of the air column, which destroys the air column to generate micro/nano-bubbles. Due to such mechanism of producing micro/nano-bubbles, the bottom of the nozzle is made to smoothly rise up toward the center instead of being flat, so that they can generate dual rotating vortices. However, for the two units of the proposed equipment collected after the experiment, the bottoms of total ten micro/nano-bubble producing nozzles were all scraped out. (Figure 4) In such a condition, the generator would cause turbulence, unable to create high-speed rotating vortices. It is inferred that this contributed to the significance decrease in the amount of micro-bubbles generation.

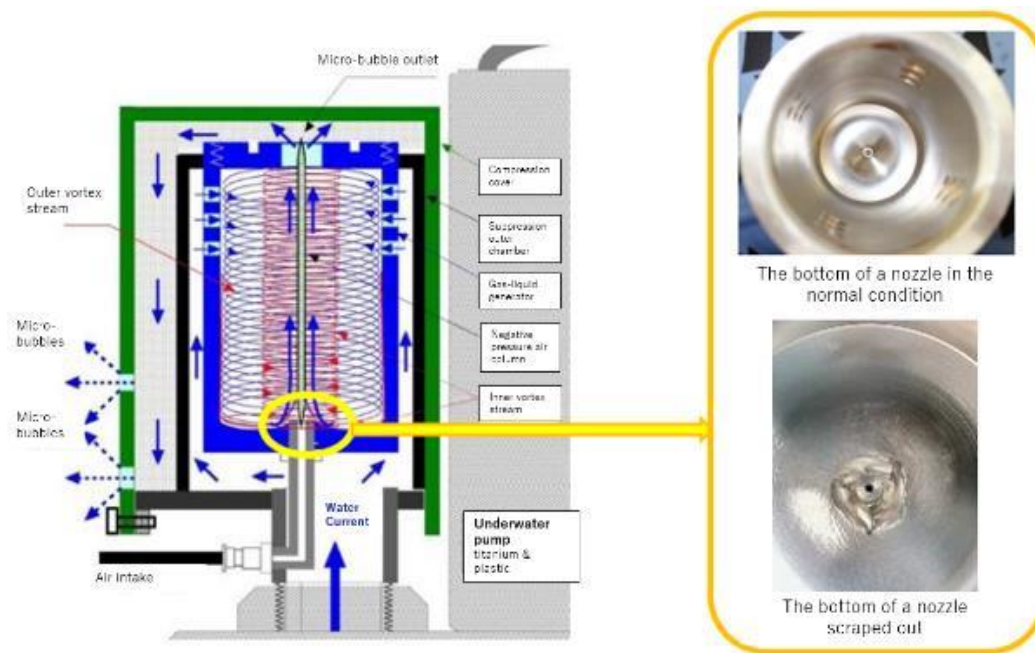


Figure 4: Inner Structure of a Nozzle for Producing Micro/Nano-bubbles in Proposed Equipment and Picture of the Bottom

The cause of the broken bottom of a nozzle was assumed to be the continuous intake of a massive amount of sands, which were carried with high-speed rotating vortices and hit the bottom of a nozzle to hollow it out. This trouble had not been experienced during the past 15-time experiments in 5 years including preliminary ones. In the past experiments, in a pond for repeated use of shrimp farming, the bottom and sides were hardened or all surfaces were covered with plastic sheets. However, the ponds used for this experiment were converted from other fish farming due to unavailability of ponds for shrimps due to the COVID-19 pandemic and had to get sludge deposition at the bottom removed just before the experiment. Therefore, the bottom and sides of the pond were not well maintained and the experiment started with a lot of remaining sands highly movable on the surface. As a result, it is assumed that the sands suspended in the water were sucked from the water intake of the proposed equipment, scraping out the bottom of a nozzle.

Chapter 3: ODA Project Plan/Possible Collaboration

For aquaculture farmers to use the proposed equipment effectively and repeatedly, the precise monitoring of DO and appropriate water quality control based on this monitoring is essential. The technology is not complicated but continuation of steady handling is required to get effective results. Also, methods and procedures widely applicable for the field operators need to be established as well. In addition, more persuasive data must be obtained so that various local operators may understand correlation between increasing production and maintenance of DO more specifically. To that end, the proposing company considers the application of JICA’s “SDGs Business Verification Survey with Private Sector” to realize an ODA project based on these investigation results.

Project Design Matrix (PDM) conceivable at this point would be as follows:

Purpose:	Conserve fishery resources and improve livelihoods of small-to-medium aquaculture farmers by supporting production increase of shrimp farming, which is one of the main industries of the host developing country. Relevant SDGs Goals Goal 14: “Life Below Water”, Goal 9: “Industry, Innovation and Infrastructure”
Outcome: Increase shrimp farming production in the host country through the application of the product equipment.	Activity: Develop “the operation manual” and “the project development structure” to introduce the proposed equipment in a way that is best suited to the actual situation of local operators.
Outcome 1: establish a manual for continued operation of the proposed equipment	<ul style="list-style-type: none"> • Establish a methodology for a continuous monitoring of water quality such as DO levels of farming ponds. • Establish an appropriate method of preparing the bottom and sides of a farming pond best suited to the local operators’ situation. • Develop a simple manual summarizing the above technical points in English and Thai language.
Outcome 2: Obtain specific data so that the proposed equipment may gain understanding and support of major shrimp farming companies and food companies that would be promising potential buyers of the equipment.	<ul style="list-style-type: none"> • Conduct farming experiments to show production increase provided by the proposed equipment with more persuasive numerical performance data. • Conduct experiments twice in 2 different time periods, using 2 sets of 2 types of ponds (4 ponds in total) with different sizes. • Engineers under the guidance of the local C/P will station at the sites during the farming periods to conduct continuous monitoring of water quality while the obtained data will be analyzed in Japan at the same time. • In order to study the maximum possible growth of shrimps, secure enough time frame for a farming period regardless of commercial decisions.
Outcome 3 : Starting from Thailand, establish the bases for disseminating production increase through the proposed equipment in host countries of shrimp farming projects in Asia	<ul style="list-style-type: none"> • Understand purchasing potential and willingness of local major companies mentioned in Outcome 2. • Select candidate local companies with high technological capability that will be responsible for manufacture and sales of the proposed equipment in Thailand in future. • Select a Japanese or local trading company that can support coordination between the proposing company and the local company on a business basis. • Build a medium-to-long term business development framework with these companies.

Chapter 4: Business Development Plan

The main market for the proposed equipment will be areas throughout Thailand and in Asia where shrimp farming is popular, and shrimp farmers and food processing companies in the target areas are supposed to be the main customers of the proposed equipment. As of today, there is no similar or competing equipment with capabilities applicable to outside shrimp farming ponds, so the proposed equipment has an advantage.

Commercialization will be promoted through the following two phases:

- (1) produce the proposed equipment in Japan to export, and create a sales and maintenance structure operated by a joint venture established in Thailand or an agent; and
- (2) in the medium-to-long term, switch to local production and sales based in Thailand, working together with local contractors of Japanese manufactures with high technical capabilities.



Feasibility Survey for Introduction of Eco-Bubble® for the Efficiency Improvement of Shrimp Farming in Thailand

Taikohgiken Co., Ltd. (Kumamoto City, (Kumamoto Pref., Japan))



Development Needs(Challenges) in the Fishery Sector of the Host Country

- Shrimp farming is one of the leading industries in Thailand, but its production dramatically decreased due to EMS in 2013. Also affected by the COVID-19 pandemic, the shrimp farming production in Thailand has not yet recovered while that in India and Vietnam, etc., is growing.
- Maintaining concentration of DO in water is critical to increase the shrimp farming production, but conventional aeration technology is not effective enough.

The Proposed Equipment / Technology

- The proposed equipment can efficiently maintain necessary DO levels for shrimp growth by generating micro-bubbles.
- Similar equipment of other manufacturers are often clogged up with the suspended solid particles of the water at farming ponds, but the proposed equipment is free from this technological problem and adoptable at farming sites.
- Thus, it can efficiently maintain DO levels of ponds compared to the conventional aeration and other similar equipment.

Survey Outline

- Contract Period: December 2019 - August 2023
- Country/Area: Kui Buri District, Prachuap Khiri Khan Pref., Thailand
- Name of Counterpart: Kasetsart University, Thailand
- Survey Outline: The purpose of this survey is to confirm the effectiveness of the proposed equipment in commercial shrimp ponds, and to conduct study for an ODA project and commercialization. Therefore, the followings were conducted in this survey: (1) implementation of experiments at commercial shrimp farming ponds using the proposed equipment to quantitatively understand the effect of maintained DO levels on increasing shrimp production and sales, etc.; (2) examination of necessary elements for an ODA project to deploy the proposed equipment in Thailand; and (3) consideration of a future business development scheme.



The proposed equipment (left) and generation of micro-bubbles (right)

Results of Farming Experiment

- Vannamei shrimps were farmed in the experiment and control ponds with an area of 4,000m² respectively. The experiment pond with the proposed equipment maintained significantly higher DO levels than the control pond even during at night when DO levels get lower.
- As for body weight and shapes, shrimps harvested from the experiment pond were better with higher FCR. The total weight and the sales amount for the experiment pond were 13.6% and 14.5% respectively higher than those for the control pond.
- The effectiveness of the proposed equipment was lower than expected. This was probably because the farming ponds repurposed for this survey were not well leveled, and a large amount of sands were flown into the equipment, damaging the critical structure for generating micro-bubbles.

ODA Project & Business Development

- Followings are expected under an ODA project: (1) development of a simple operation manual practical for the use by local shrimp farmers; (2) implementation of farming experiments to obtain data showing correlation between increasing production and maintaining DO levels more specifically; and (3) establishment of a platform for business development in the host country through these efforts.
- Commercialization will be promoted through the following two phases: (1) produce the proposed equipment in Japan to export, and create a sales and maintenance structure operated by a joint venture established in Thailand or an agent; and (2) in the medium-to-long term, switch to local production and sales based in Thailand, working together with local contractors of Japanese manufactures with high technical capabilities.

別添資料

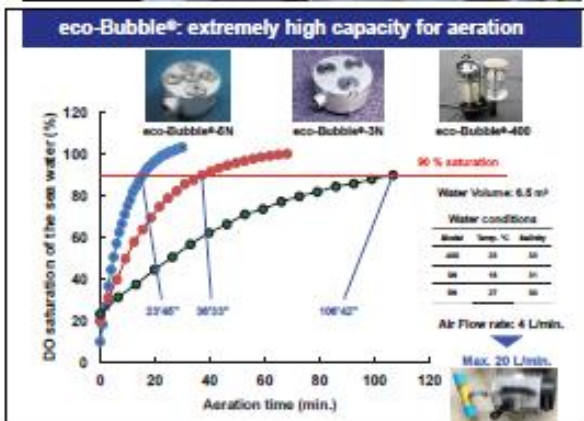
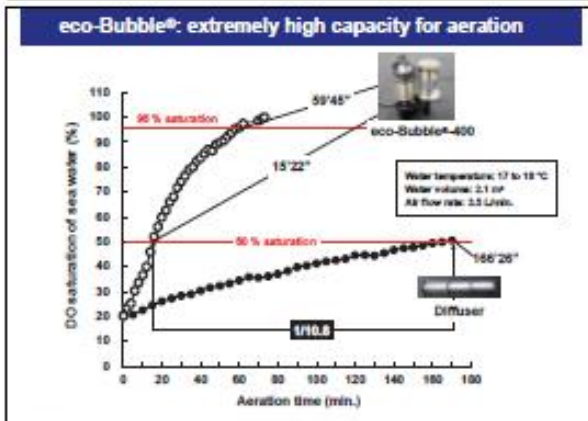
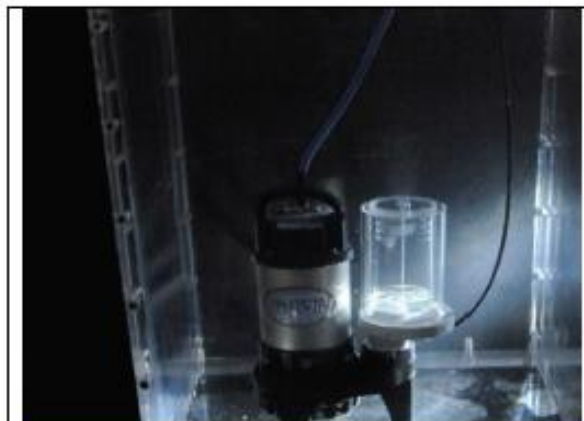
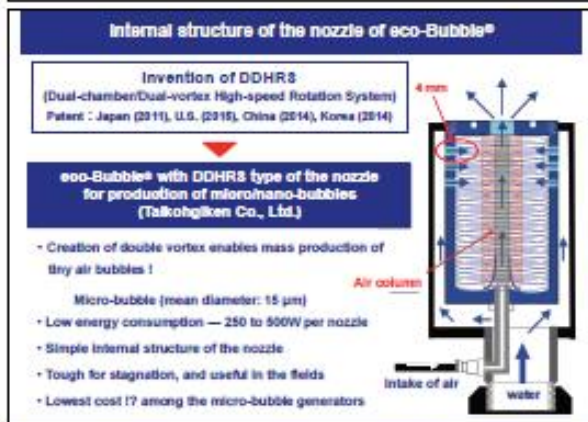
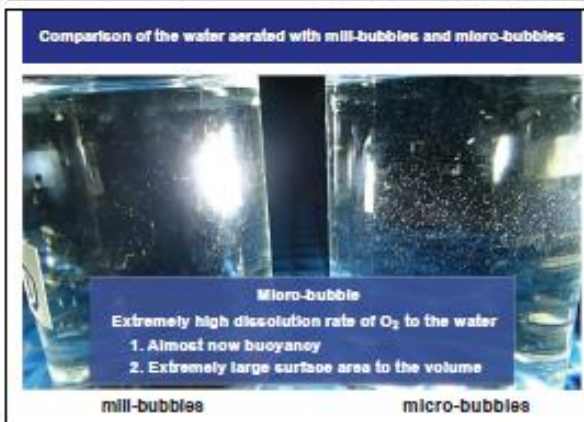
1. セミナーアジェンダ
2. セミナー投影資料

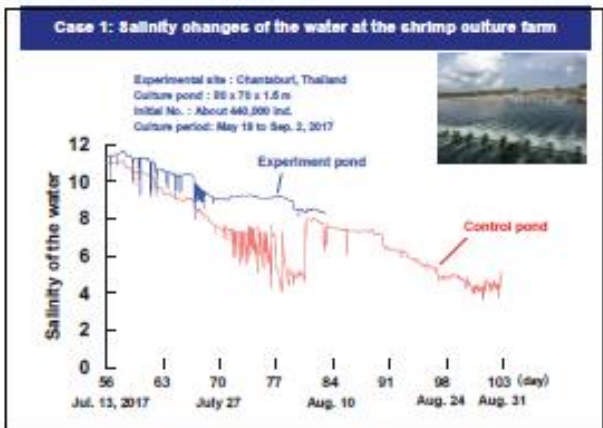
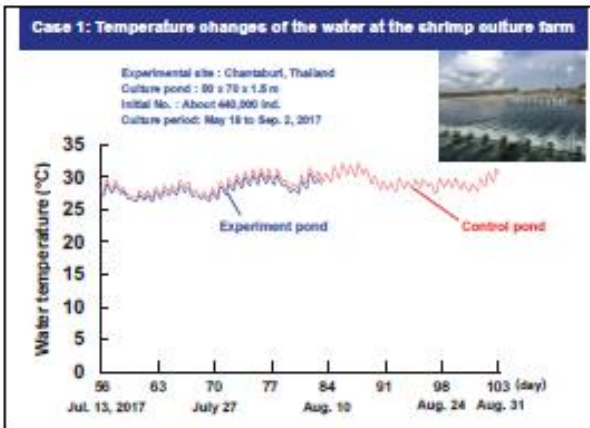
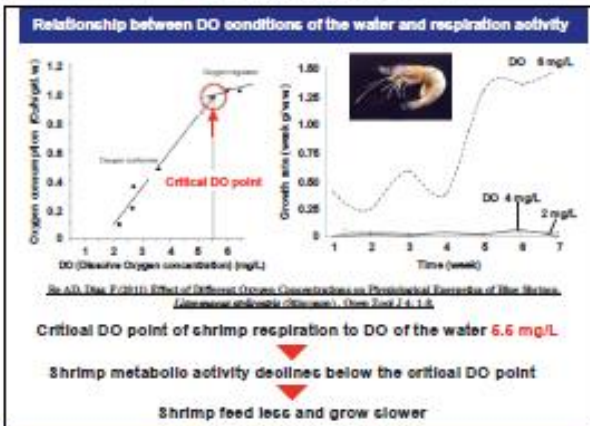
1. セミナーアジェンダ

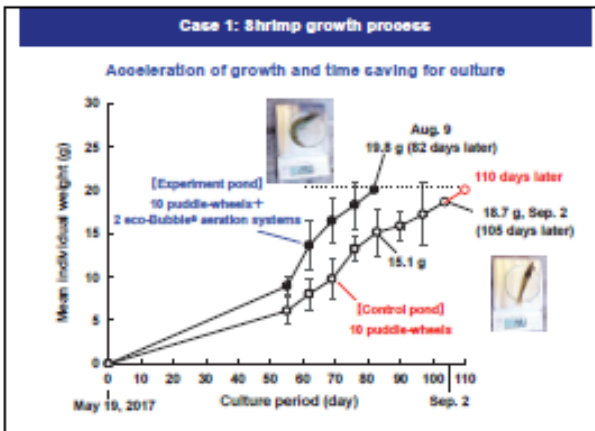
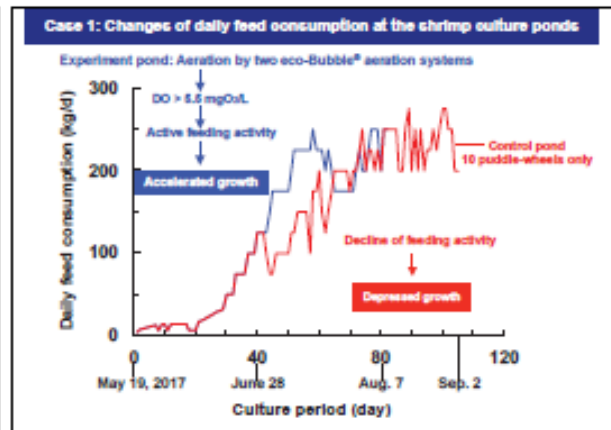
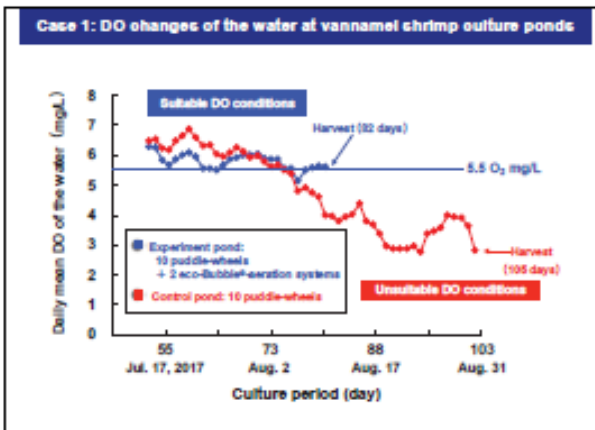
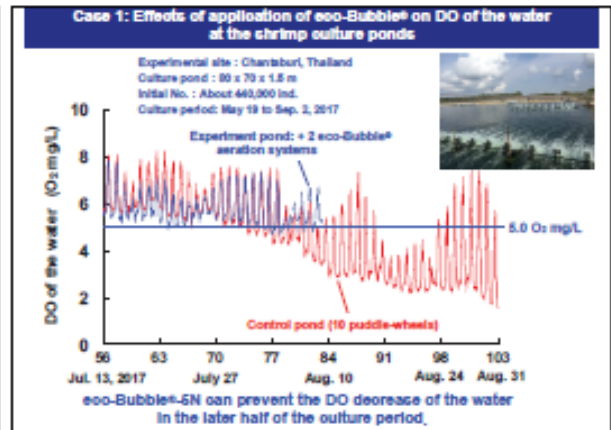
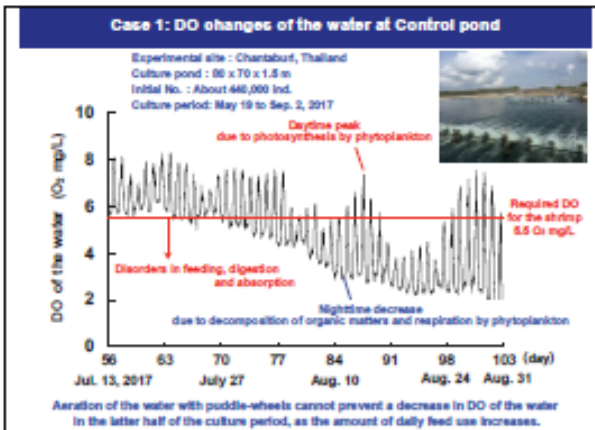
Special Seminar Agenda	
The topic of "Introduction of a micro-bubble generator, eco-Bubble®, for improvement of production efficiency in shrimp farming in Thailand"	
Results of collaborated research with the Faculty of Kasetsart University, Prefectural University of Kumamoto and Taikohgiken Co, Ltd., supported by JICA."	
By Professor Hiroaki Tsutsumi, Ph.D.	
Thursday, April 27, 2023 Time: 2.00 PM – 3.15 PM	
Location: Seminar room 303, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok, Thailand	

Time	Program
1.30 PM - 2.00 PM	Registration
2.00 PM – 2.05 PM	Welcoming and Agenda by Assistant Professor Teerapong Duangdee, D.Sc. Assistant Dean for Research, Faculty of Fisheries, Kasetsart University
2.05 PM – 2.15 PM	Opening Remarks by Associate Professor Wanchai Worawattanamateekul, Ph.D. Associate Dean for Research, Faculty of Fisheries, Kasetsart University
2.15 PM – 3.15 PM	Presentation on the topic of "Introduction of a micro-bubble generator, eco-Bubble®, for improvement of production efficiency in shrimp farming in Thailand" by Professor Hiroaki Tsutsumi, Ph.D. Head of Research project
3.15 PM - 3.30 PM	Q & A / Discussion
<p style="text-align: right;"><i>Moderator:</i> Noratat PRACHOM, Ph.D., Lecturer of Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University</p>	

2. セミナー投影資料

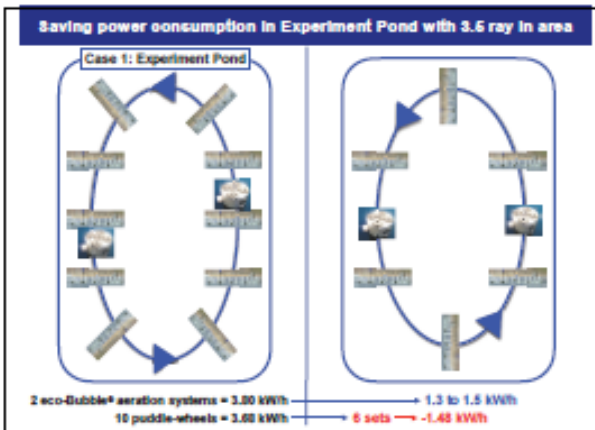


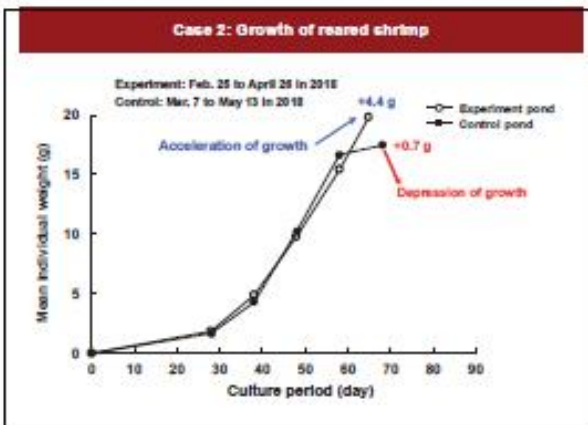
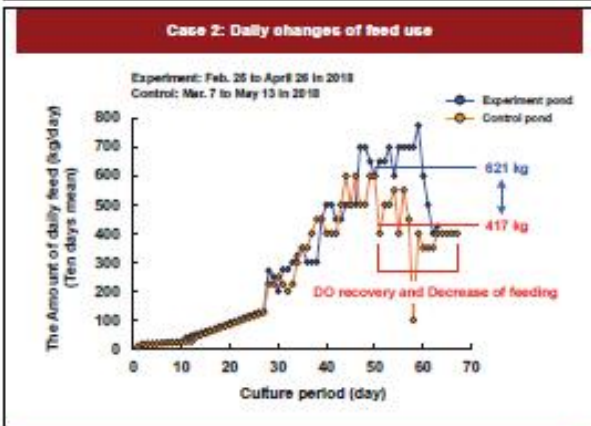
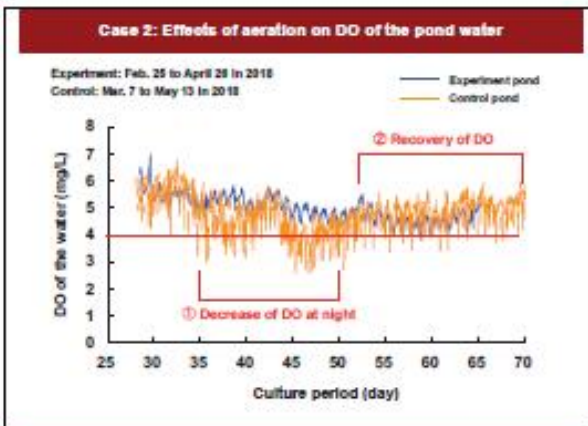
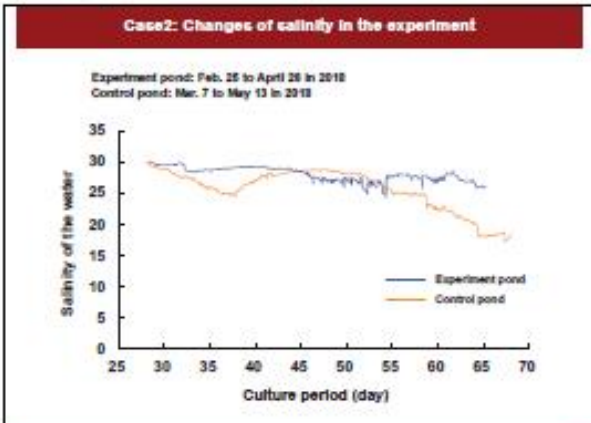
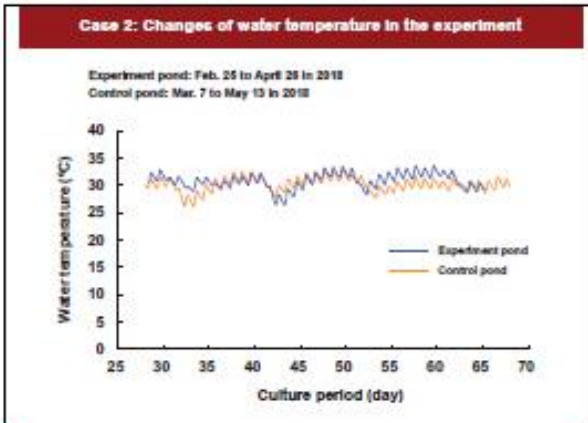




Stats of shrimp culture in Experiment Case 1

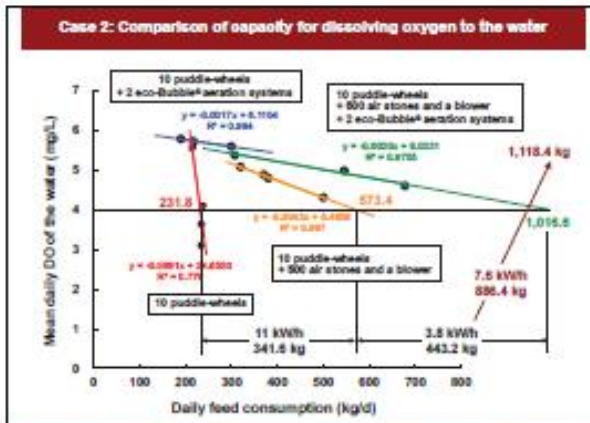
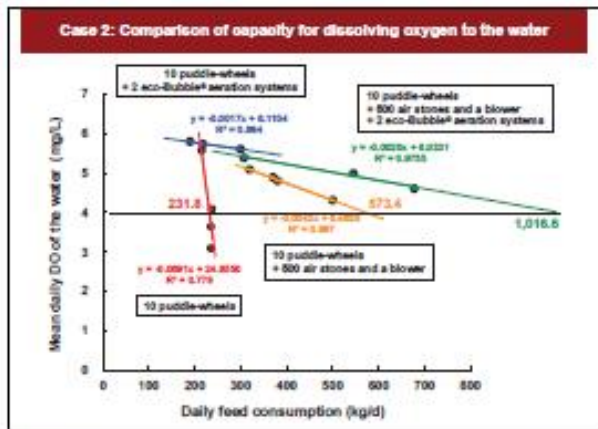
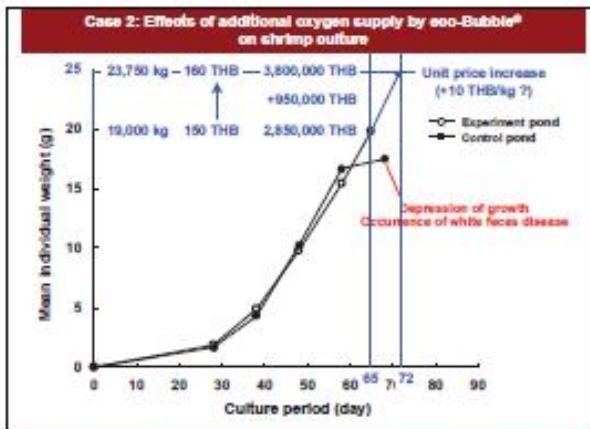
	Experiment Pond	Control Pond	Difference
Initial No.	440,000	440,000	0
Total feed (kg)	9,814	13,639	-38%
Total harvest (kg)	3,415	3,176	23%
Food Conversion Rate	1.17	1.67	-30%
Mean weight at harvest (cm)	19.8	18.7	1.1
Total no. at harvest	425,000	437,200	
Survival rate (%)	96.6	99.4	7
Unit price (THB/kg)	190	190	
Total sale (THB)	1,615,000	1,550,440	64,560
Culture period (days)	82	106	-24 days
+ Sale increase	+ 64,560 (THB)		
+ Cost reduction	3,825 kg of feed, Electricity charge for 23 days		

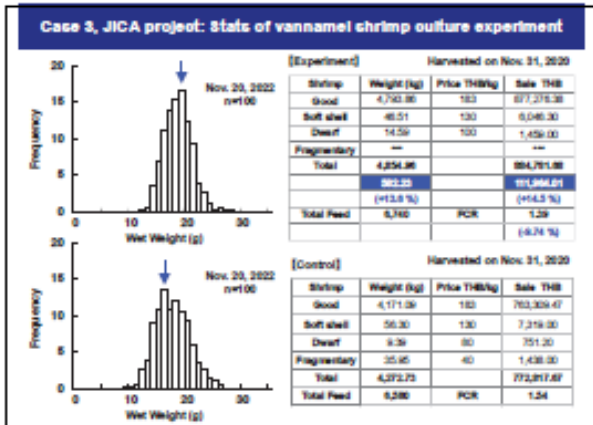
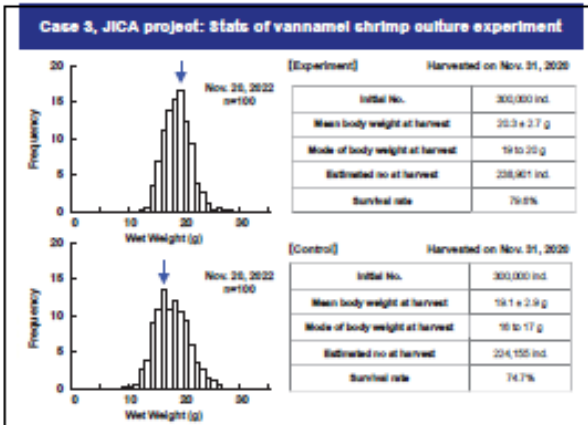
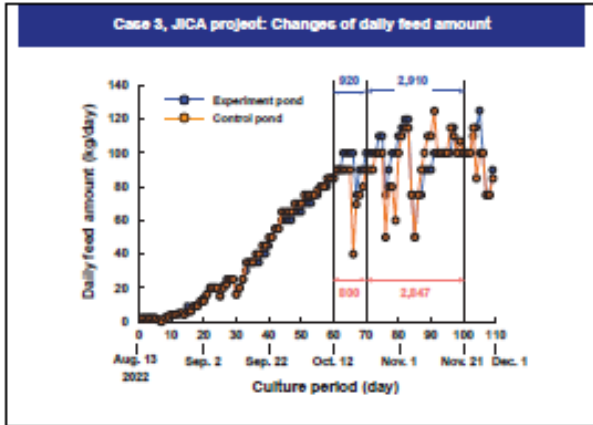
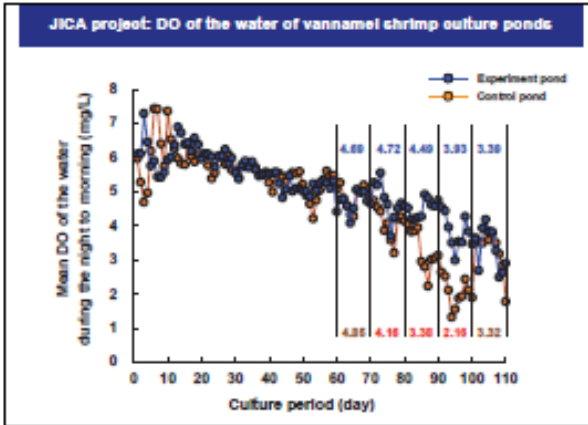
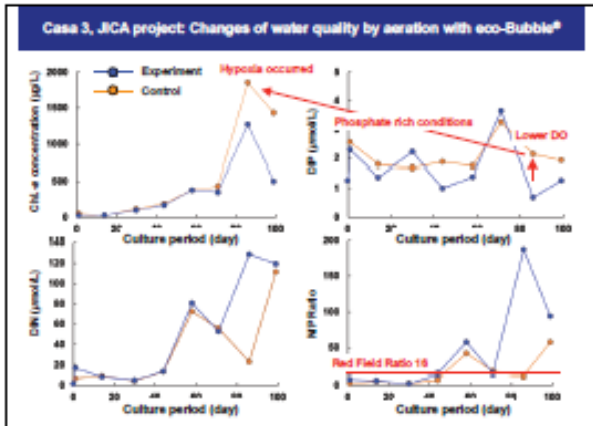
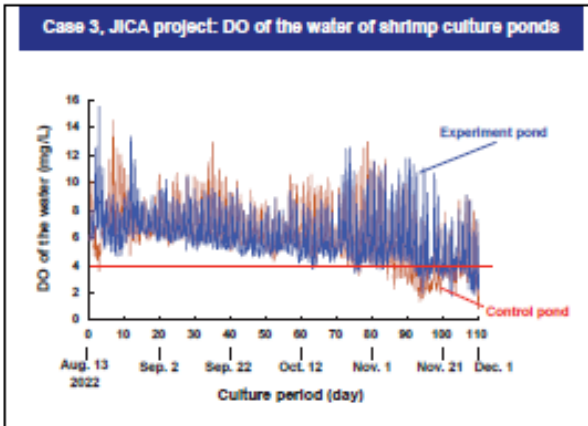
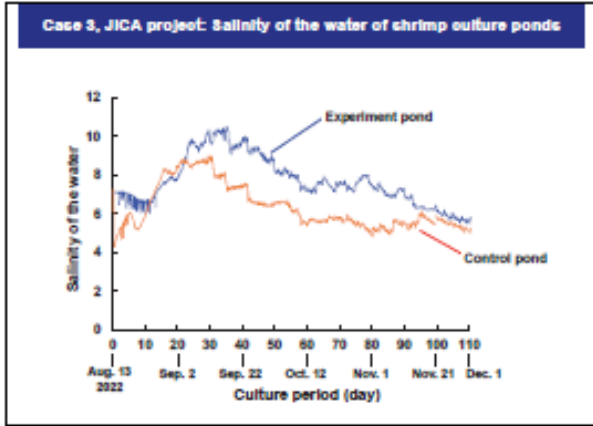
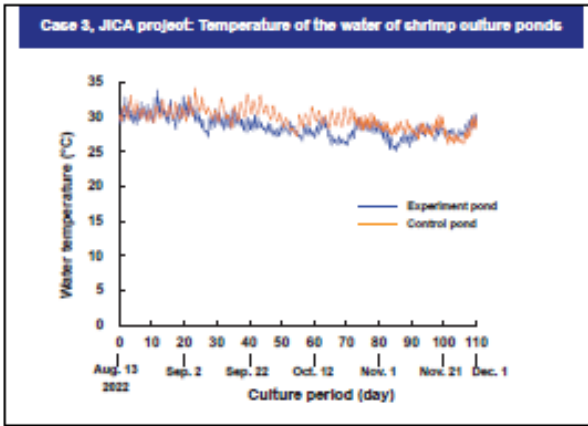


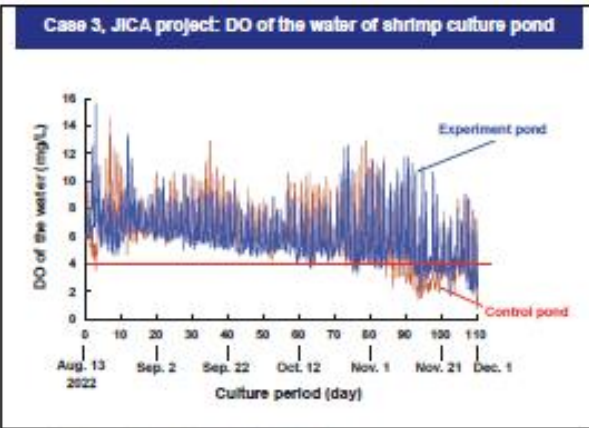


Stats of shrimp culture in Experiment Case 2

	Experiment pond	Control pond	Difference
Initial No.	1,200,000	1,200,000	
Culture period (days)	65	66	-1
Total feed (kg)	19,375	17,649	1,726 (+9.8 %)
Mean size (cm)	19.3	17.4	2.2 (+12.6 %)
No. of survivors	961,214	945,360	15,854 (+1.7 %)
Total harvest (kg)	19,000	16,800	2,200 (+13.2 %)
FCR	1.02	1.07	
Unit price (THB/kg)	160	130	30
Total sale	2,960,000	2,145,000	795,000 (+37.1 %)
Remarks	White face disease occurred after 60 days		







Conclusions: Ideal effects envisioned by eco-Bubble® technology

- Oxygen supply from two sets of eco-Bubble®-5N aeration system
- Water current created by six sets of puddle-wheel

▼

- Mean daily DO conditions of 3.5 rays of shrimp culture pond are kept above 6 mg/L throughout the culture period

▼

- Acceleration of shrimp growth
- Expected FCR: 1.0

▼

- A significant improvement of production efficiency

eco-Bubble

Home | Products | Applications | Services | About | Contact

eco-Bubble can create an unknown aerated world!

We look forward to hearing from you about improving DO conditions of the ponds with eco-Bubble® at your shrimp farm.

Web site <http://ecobubble.jp/en/>