

日 A S E A N 新産業創出実証事業
実証事業報告書

「I o T の導入による養殖事業の生産性向上プロジェクト」

平成 3 1 年 1 月 3 1 日

株式会社インターネットイニシアティブ

目次

第1章	実証事業の目的	1
1.1	養殖事業の現状と課題	3
1.1.1	世界における養殖事業の現状	3
1.1.2	ASEANにおけるえび養殖の生産性	5
1.1.3	えび養殖オペレーションの現状と課題	5
1.2	I o Tの活用可能性	6
第2章	実証事業の内容	9
2.1	実証事業の概要	9
2.2	I o Tシステムの全体像	10
2.3	事業実施体制	12
2.3.1	実施体制、実施方法	12
2.4	事業実施スケジュール	14
2.4.1	センサー領域におけるスケジュール	15
2.4.2	データ入力領域におけるスケジュール	16
2.4.3	ゲートウェイ領域（通信方式）におけるスケジュール	17
2.4.4	データ収集領域におけるスケジュール	17
2.4.5	データ可視化領域におけるスケジュール	18
2.4.6	データ可視化領域におけるスケジュール	18
2.5	クラウド基盤	19
2.5.1	クラウド基盤の概要	19
2.5.2	セキュリティ	21
2.5.3	バックアップ	21
2.6	センサーシステム	21
2.6.1	センサーシステムの概要	21
2.6.2	センサー仕様	22
2.6.3	センサーノード	23
2.6.4	センサーグループ	24
2.6.5	ゲートウェイ	26
2.6.6	センサーステーション	28
2.6.7	水位可動式フローター	30
2.6.8	ガラスボックス	32
2.6.9	シリコン付きセンサーパイプ	34

2.6.10	キャリブレーション（センサー校正）	37
2.7	通信方式.....	40
2.7.1	通信方式の概要.....	40
2.7.2	データのセキュリティ	43
2.7.3	物理的なセキュリティ	43
2.7.4	データのバックアップ	43
2.8	アプリケーション.....	44
2.8.1	アプリケーションの概要	44
2.8.2	データコンセプト.....	45
2.8.3	機能概要.....	46
2.8.4	セキュリティ.....	56
2.8.5	データバックアップ	56
第3章	実証事業の成果.....	57
3.1	収集データの検証.....	57
第4章	今後の方向性.....	58
4.1	今回得られた知見.....	58
4.1.1	センサー.....	58
4.1.2	アプリケーション.....	60
4.1.3	ネットワーク	60
4.1.4	制度	60
4.1.5	I o T関連事業に係る協業体制	62
4.2	フィージビリティ検証.....	63
4.2.1	養殖ビジネスの現状.....	63
4.2.2	ビジネスモデル.....	63
4.2.3	市場規模.....	63
4.2.4	試算	72
4.3	今後の方向性.....	72
4.3.1	I I Jの戦略上の位置づけ	72
4.3.2	本格導入に向けた取り組み	74
第5章	結語	77

まえがき

本実証事業では、ASEANにおける新たなビジネスを日本及びASEAN双方の企業が連携することによって創出し社会課題の解決につなげていくという趣旨の下、ASEAN域内各国で盛んに行われている養殖事業の効率化をIoTの活用によって実現することを目指した。

世界全体での養殖での魚介類の生産量は毎年約5百万トンずつ急増しており、その主要な種のひとつであるえびについては、タイ、ベトナム、インドネシアをはじめとするASEANがその中心的な生産地域である。これらの地域における現在の生産量の急増は、主に養殖用地の拡大や生産規模の拡大、過密生産等によって実現されているが、2013年に大流行したEMSのような病気の影響を受けやすくなっており、不安定化の度合いも増していると言える。また、えびの養殖では、生育環境である水質のコントロールがもっとも重要な活動であるが、アンモニア等の指標の重要性については養殖家の間で共有されているものの、その指標の確認頻度やコントロールするための手法において大きな差があり、生産性の指標である生存率で、同じ地域、種類、時期であっても養殖家によって30%から90%程度の差が見られる。

IoTを導入することにより生産性を高めるための取り組みは、製造業、物流、小売といった様々な業界で行われているものの、実証レベルを超えて普及させるには、既存オペレーションとの融和が不可欠であると考えている。特に農業や養殖業といった一次産業では、天候等のコントロールできない要素が大きいこと、システムの導入から効果の測定までに時間がかかり、導入判断が難しく、労働集約的に行われている現状を踏まえれば、大規模に既存の生産管理を刷新することも困難である。

このような現状認識の下、本実証事業では、えび養殖を対象とし、NH₄、pH等の重要指標はセンサーを利用してリアルタイムで収集し、給餌や換水といったオペレーションの記録とあわせて分析することで、養殖家が水質環境に対するオペレーションにおいて最適な判断を行えるようにするプラットフォームを構築することを目指した。

また、本実証期間では、現在のオペレーションを完全に代替していくのではなく、必要なデータや記録を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を構築することにフォーカスすることとしたが、データが蓄積されていけば、従来の体得された知識や経験をデータによる可視的な分析で説明することが可能になっていくと考えている。

今後も世界的に増加し続ける魚介類需要に持続的に対応していくためには、ASEANにおける養殖事業の生産管理を効率化することにより生産性を向上させることが不可欠であり、このような取組は養殖事業者のみならず雇用や外貨獲得、ひいては食糧安全保障といったマクロの視点からも望ましいものであろう。

用語の定義

用語	内容
III または当社	株式会社インターネットイニシアティブ
LOXLEY	Loxley Public Company Limited。本実証事業に係るタイ SI 業務全般を担う
GS タイ	III Global Solutions (Thailand) Co., Ltd.。本実証事業に係る IoT システムのクラウド環境構築や運用等を担う
CAT	CAT Telecom PCL。タイの国営通信会社。本実証事業では CAT 社提供の「LoRa IoT by CAT」サービスを利用している
水質環境情報または水質情報	水温、pH、溶存酸素(DO)等のセンサーから得られる計測値。本センシング値を DB へ登録・蓄積する
飼育作業記録情報または飼育情報	養殖場の現場作業者が実施した給餌、薬剤投与、水換、バクテリア投与等の飼育作業記録（日付、池名、量等が含まれる）
ハッチェリー	えび養殖における孵化～幼生までの生産段階
ナーサリー	えび養殖における幼生～稚えびまでの生産段階
グローアップ	えび養殖における稚えび～収穫までの生産段階
ブラッドストック	えび養殖における親えびの生産段階
NBTC	国家放送通信委員会（National Broadcasting and Telecommunications Commission）。タイにおいて通信事業と放送事業を監督する
EMS	早期死亡症候群（Early Mortality Syndrome）。えびの疫病であり稚えびによく発生する
WT	水温（Water Temperature）。えび養殖環境下において 27℃～29℃前後が推奨される
DO	溶存酸素（Dissolved Oxygen）。水に含まれる酸素の量。えび養殖環境下において 5ppm(mg/l)以上が推奨される
pH または PH	水素イオン濃度指数（Potential of Hydrogen）。水に含まれる水素イオン濃度指数を表し、この指数が小さいと酸性、大きいとアルカリ性となる。えび養殖環境下において 7.5～8.3 前後が推奨される
NH ₄	アンモニウムイオン（Ammonium Ion）。化学式は NH ₄ ⁺ 。えび等の生理代謝により発生する。アンモニアに比べて毒性は低い
NH ₃	アンモニア(Ammonia)。化学式は NH ₃ 。NH ₄ と同様にえび等の生理代謝により発生する。水生生物にとって非常に有毒である。えび養殖環境下において 0.1ppm 以下が推奨される。本実証事業では NH ₄ の値を基に NH ₃ を計測している
NO ₂	亜硝酸イオンまたは亜硝酸塩（Nitrite）。化学式は NO ₂ ⁻ 。窒素循環において NH ₄ 及び NH ₃ の硝化によって発生する。アンモニアに比べて毒性は低い。えび養殖環境下において 0.5ppm 以下が推奨される
塩分濃度	1kg の水にどれくらいの塩分が溶け込んでいるかを表したものの。単位は ppt や‰。えび養殖場では一般的に 15～30‰である
PL	Post Larvae。えびの幼生期間の別名。例えば PL10 は Post Larvae において 10 日目という意味になる
LPWA	Low Power Wide Area の略。消費電力を抑えて遠距離通信を実現する通信方式で IoT の構成要素の 1 つとして注目されている。LPWA には、LoRaWAN をはじめ、SIGFOX、RPMA 等の無線ネ

	ネットワーク規格がある
LoRaWAN	LPWAのひとつで、LoRa Allianceが定めた無線ネットワーク規格の名称。長距離通信・省電力で双方向通信が可能でありIoT向けの通信規格として世界的に広く利用されている
プライベートクラウド	特定のユーザーのみを対象としたクラウド環境。システムの設計や管理をサービスに適応した形で柔軟に対応できる。また、セキュリティ面では、独自のセキュリティポリシーを適用でき強固なセキュリティの実現が可能である
パブリッククラウド	企業や組織をはじめとした不特定多数のユーザーにクラウド環境を提供するサービス。ユーザーはサーバ・ストレージ・ミドルウェア・通信回線等を所有せず、クラウドサービスを提供する事業者のクラウド環境を共有しながら利用する
クロープ	えびの収穫サイクルの単位。稚えび投入から収穫までを1クロープとしている
DOC	Day of Culture。養殖経過日数の単位
センサーステーション	本実証事業において、センサーノード、センサーブープ、センサー周辺機器を1セットで内包した筐体
攪拌機	養殖池にある水に酸素を送り込む機械
機械学習	コンピューターが蓄積されたデータを反復的に学習し、データにあるパターンや特性を発見し予測すること
UIまたはユーザーインターフェース	アプリケーションにおいてユーザーが操作する画面
高精度フィルタートランス	電力ノイズを広帯域で減衰させることでノイズによる障害を保護する装置
バイオマス	えび養殖におけるえびの生存率や体重等の総称
PCR テスト	えびの感染症（EMS等）における原因の一つである病原細菌ビブリオの量を計測すること
校正またはキャリブレーション	校正用の溶液を使用してセンサーのゼロ点及びスパン点を正しく調整すること
VMware	VMware社が提供する仮想化ソフトウェア。1台のコンピューターの内部に仮想のコンピューターを構築することができる
M2M	Machine to Machine。機器同士が人間の介在無しに通信し動作すること
スマートファクトリー	ドイツ政府が提唱するインダストリー4.0を具現化した形の先進的な工場のこと。工場内の機器のIoT対応やM2M等を実現する
アクチュエーター	クラウド上でデータ分析等により生成された機械に対する命令を、機械側で受けて電気回路を通じて駆動させるもの
エッジ	IoT分野においてネットワークの末端となるセンサー等が該当する
モビリティサービス	ICTを活用して交通をクラウド化し、すべての交通手段によるモビリティ（移動）を1つのサービスとして捉えた概念。例えば通信技術を活用したカーシェアリングや配車サービス等
ウェアラブル	人間に着用できるコンピューター。主に腕時計形状や衣服形状で身に着けたまま利用できるもの
5G	第5世代移動通信システム

第1章 実証事業の目的

ここでは実証事業の目的について詳述する。ASEANにおけるえび養殖事業の規模や今後の見通し、事業における課題とIoTシステムによる課題解決の方向性について言及したい。

世界のえび養殖市場においてASEANが占める割合は40%を占め、ASEAN各国において重要な一次産業として位置づけられているが、生産性は低いまま推移しているとされている。

2016 World Shrimp Aquaculture Production: Quantity (t)

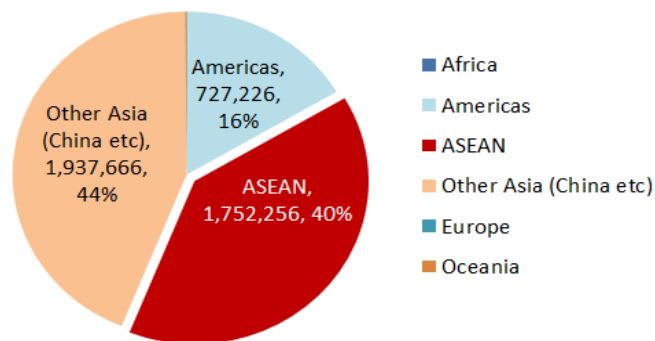


図 1-1 2016年世界のえび養殖生産量における地域割合
(出典：FAOデータを基に当社作成)

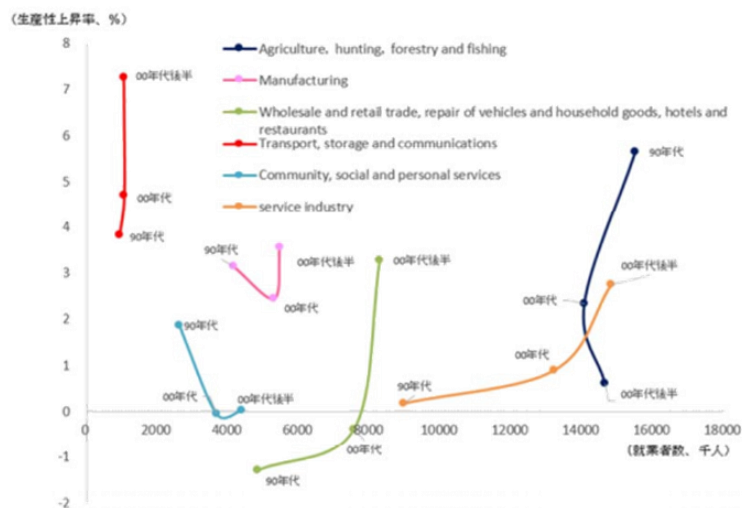


図 1-2 主な産業の生産性と就業人口の推移 (タイ)
(出典：RIETI)

この理由のひとつとして、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が挙げられる。これらは養殖事業において最も重要な業務であるが、現状のオペレーションでは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が発生しているほか、成育する過程で大量のへい死が生じるケースもある。また、えびの養殖に好ましい水質環境を維持できていれば、たとえば常在菌による病気の発生を防止することができるため、病気の防止についても水質管理が有効な対策手段である。

- 病気の防止や水質環境の改善が、養殖事業者にとってもっとも重要な課題
- リアルタイムに水質をモニタリングすることで、適時に水質改善や病気への対応が可能となる

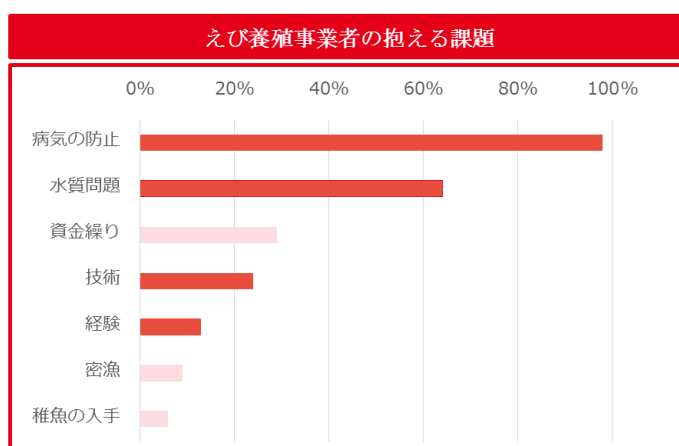


図 1-3 えび養殖事業者の抱える課題
(出典：FAO データを基に当社作成)

これらの課題を踏まえ、本実証事業は、ASEANのえび養殖事業に対するIoTソリューションシステム（以下、IoTシステムという。）を開発し、えび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する。

本実証事業で開発するIoTシステムは、水産養殖において不可欠な①水温、②溶存酸素（DO）、③水素イオン指数（pH）に加えて、水中生物に有害なアンモニア等を検知するために④アンモニウムイオン（NH₄）、⑤亜硝酸イオン（NO₂）のセンサーを設置し、各センサーから収集された情報はインターネットを介して収集し、養殖現場の水質環境をリアルタイムでモニタリングし、更に現場作業者の飼育作業内容と水質環境の変化を可視化することから構成される。これにより、迅速かつ正確な水質環境の把握を実現するほか、現場作業者の飼育作業記録と水質環境変化の相関から適切な対応策の抽出を行うことができ、結果的に生産性向上につながると考えている。

1.1 養殖事業の現状と課題

1.1.1 世界における養殖事業の現状

世界的な水産食品の需要の高まりから世界の漁獲量及び養殖生産量は年々増加しており、2016年の世界の漁獲量及び養殖生産量の合計量は1億6,720万トンであった。一方で漁獲量は頭打ちに近く養殖生産量が漁獲量に迫る増加を見せており、2016年度の養殖生産量は8,000万トン（漁獲量は9,090万トン）であり約半数を占めるようになった。2020年頃までには養殖生産量が漁獲量を上回る可能性があり、今後ますます養殖業の位置づけが世界及び我が国にとって重要になると予想されている。また養殖業においてIoT技術を活用したICTの利活用が進むことにより、高齢化により養殖業の担い手が少なくなったことへの対応や生産量増加・生産性向上等に結びつく生産管理が可能となり、結果的に水産食品の安定供給を支えることが期待されている。

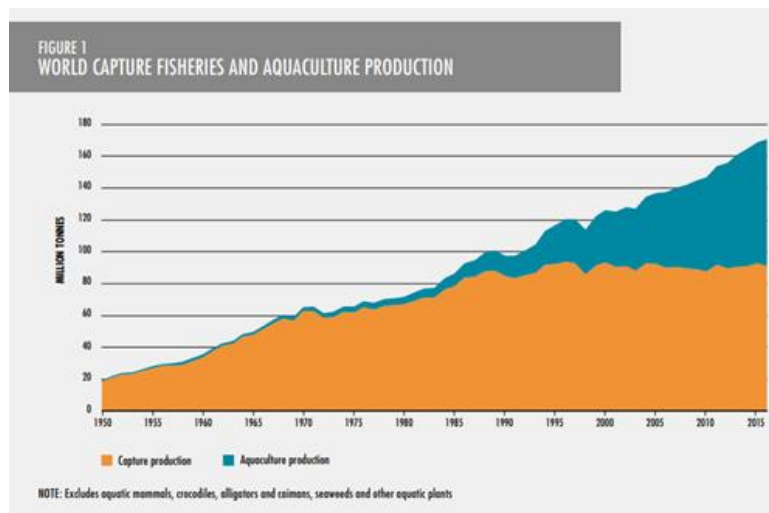


図 1-4 世界の漁獲量及び養殖生産量の推移
(出典：FAO)

WORLD FISHERIES AND AQUACULTURE PRODUCTION AND UTILIZATION (MILLION TONNES)^a

Category	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Production						
Capture						
Inland	10.7	11.2	11.2	11.3	11.4	11.6
Marine	81.5	78.4	79.4	79.9	81.2	79.3
Total capture	92.2	89.5	90.6	91.2	92.7	90.9
Aquaculture						
Inland	38.6	42.0	44.8	46.9	48.6	51.4
Marine	23.2	24.4	25.4	26.8	27.5	28.7
Total aquaculture	61.8	66.4	70.2	73.7	76.1	80.0
Total world fisheries and aquaculture	154.0	156.0	160.7	164.9	168.7	170.9
Utilization^b						
Human consumption	130.0	136.4	140.1	144.8	148.4	151.2
Non-food uses	24.0	19.6	20.6	20.0	20.3	19.7
Population (billions) ^c	7.0	7.1	7.2	7.3	7.3	7.4
Per capita apparent consumption (kg)	18.5	19.2	19.5	19.9	20.2	20.3

^a Excludes aquatic mammals, crocodiles, alligators and caimans, seaweeds and other aquatic plants.

^b Utilization data for 2014–2016 are provisional estimates.

^c Source of population figures: UN, 2015e.

図 1-5 世界の漁獲量及び養殖生産量
(出典：FAO)

本実証事業のターゲットであるえび養殖業においても年々生産量は増加している。特にえび養殖においてアジアが占める割合は84%であり、ASEANが40%である。また、実証を行ったタイにおいては輸出における水産品目の割合が4%を占め、これは日本における鉄鋼とほぼ同程度の規模であることから、重要な外貨獲得源であることがわかる。

2010-2016 World Shrimp Aquaculture
Production: Quantity (t)

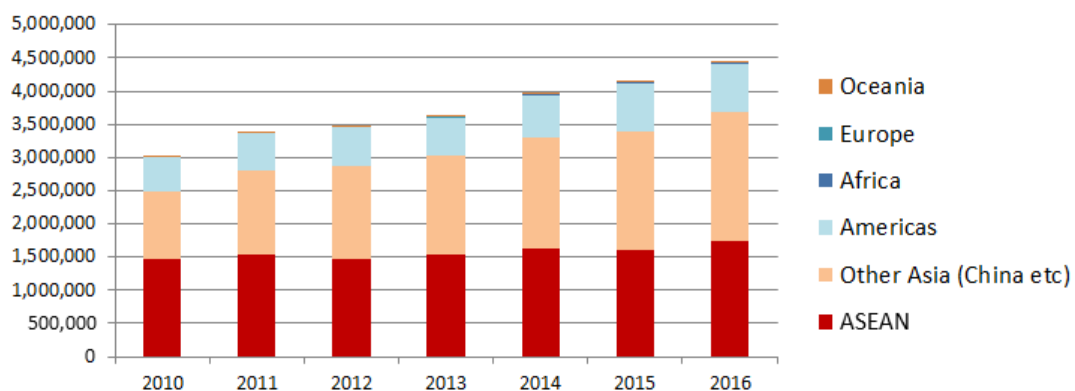


図 1-6 世界のえび養殖生産量の推移
(出典：FAO データを基に当社作成)

1.1.2 ASEANにおけるえび養殖の生産性

次いで生産高に目を転じると、ASEANにおけるえび養殖の生産量は年々増加している一方で、1トンあたりの生産高は相対的に高いとは言えない状況にある。栽培魚種単価の相違による影響が多少あるものの、マクロで見た場合2016年世界平均は1トンあたり5,700ドルである一方、ASEANでは5,100ドルであり、また、労働生産性も相対的に低い。

各地域の労働生産性

REGION	AQUACULTURE EMPLOYMENT (THOUSANDS OF ON-FARM JOBS)					PRODUCTIVITY, 2012	
	1995	2000	2005	2010	2012	AQUACULTURE PRODUCTION (THOUSAND TONS)	PRODUCTIVITY OF LABOR (TONS OF FISH PER WORKER)
Africa	65	91	140	231	298	1,485	5.1*
Asia	7,762	12,211	14,630	17,915	18,175	58,896	3.2
Europe	56	103	91	102	103	2,680	27.8
Latin America and the Caribbean	155	214	239	248	269	2,594	9.7
North America	6	6	10	9	9	593	59.3
Oceania	4	5	5	5	6	184	32.7
World Total	8,049	12,632	15,115	18,512	18,861	66,633	3.5

図 1-7 各地域の労働生産性

(出典 : IMPROVING PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AQUACULTURE
By world resources institute)

1.1.3 えび養殖オペレーションの現状と課題

大多数のえび養殖場は、現場作業者の知識と経験をベースとした生産管理手法に則っており、生産に関するデータの蓄積程度は養殖事業者の規模や志向性により大きく異なる。本実証のターゲットであるマネジメントと日々の作業者が分離している中規模以上の養殖家を想定した場合、作業記録や観測データはまず紙媒体で記録し、日次のデータを作業員の任意のタイミングにエクセルへ転記する方法を採っている。水質だけでなく日々の行動記録や生存率や体長等のアウトカム指標も管理する必要があるため、エクセル等の表計算ソフトでは蓄積データの一覧性や総覧性を保つことが困難であり、水質の変化にリアルタイムで対応することは難しい。また、水質環境要因とアウトカム指標との関係は経験から漠然とした相関は理解されているものの、定量的な裏付けは難しい状況である。

養殖場現地スタッフへのヒアリングでは、現在のえび養殖手法は経験豊富でスキルが高い作業員を中心に飼育が行われており、例えば、日々の給餌量は前回の給餌による残餌の量を見て次回の給餌量を調整したり、残餌量によっては水換えを行ったりしている。本実

証事業の実施地であるえび養殖場は、たとえば収穫時におけるえびの数量計測に自動計測器を用いるなど他のえび養殖場と比較して積極的に新技術を導入しているが、ICT化による生産管理の導入には至っていない。これは管理する養殖事業者側のリテラシーだけでなく、現状提供されているクラウド上で生産情報の管理が行えるサービスの使い勝手が、まだまだ養殖事業者のニーズを満足できていないというプロダクト側の課題も大きい。それでも、養殖事業者としても、疫病の発生によるえびの全滅リスク等不確実性の高いえび養殖において持続的に生産量を拡大していくためには生産管理を適切に行うことができる経験やスキルを有する人材の不足が顕著となっており、ICT化による生産管理の見える化は早期に必要であるとも考えているようである。

1.2 IoTの活用可能性

水産養殖業は日々のデータとそのデータの推移がとても重要である。えびの養殖で大事なことは、短期間で成長させ、へい死率を抑え、養殖池の回転率を上げることで年間の収穫回数を増やすことである。

えびはストレスの影響により成長速度が鈍化したり病気になったりする生物である。ストレスの原因は養殖密度等様々あるものの、大きなものは水質の急激な変化であるため、養殖において如何に水質を安定させてえびのストレスを軽減するかが重要である。水質の変化を観るためには、水温・pH・DO・NH₄・NH₃・NO₂等の指標を経過観察する必要があり、有毒なものは当然ゼロで、いずれの指標も一定が好ましい。このように連続したデータを観察し、そのトレンドを踏まえた急激な変化を察知するためにはIoTが最も適している。また上述した水質情報に加えて、給餌量や生存率、えび固体の体重や体長といった成育情報等の飼育データを蓄積し、水質情報と組み合わせることにより、えびの成長やえびの密度に適した給餌量を調整、えびの成長速度と生存率から最適な収穫時期を予測、最終的なえびの数を推測等といったことが可能になると考えている。

また上述した生産性向上だけに留まらず、省力化にも有効であると考えている。えび養殖場では経験とスキルの高い作業員によって支えられているが、IoTを導入することにより、優れた作業員のノウハウ共有・蓄積、可視化が可能となり、データにより裏づけられた知見を他の作業員と共有することで作業員全員のスキルの標準化と底上げが実現でき、更に人材不足の対策に役立てることが可能と考えている。

えび養殖におけるIoTの将来的な発展としては、AIや機械学習を活用した給餌や攪拌機等の自動機器制御が挙げられる。例えば、給餌の場合、日々の人手による給餌はIoT機器を搭載した自動給餌器に代える。給餌量はIoTシステム上でえびの成育状況を基に計算し、その結果の給餌量を給餌器に送信することで適正な量と時間で給餌が可能である。これにより現在の状況に適した給餌が可能になることで、残餌量低下による餌代の削減や水質環境の改善、更に自動給餌による省力化につながる。

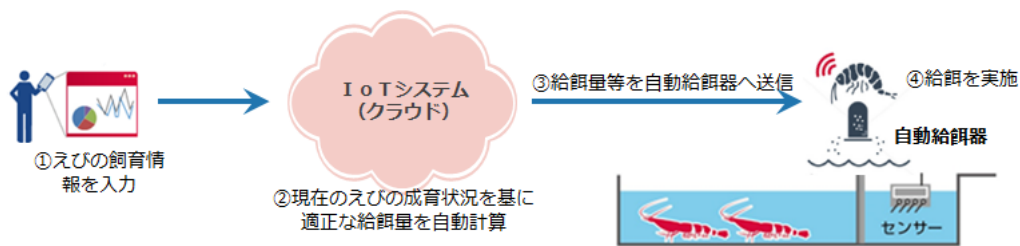


図 1-8 AI 及び IoT 技術を活用した自動給餌器 (例)

攪拌機では、IoT 機器を搭載した自動攪拌機に代えることが想定できる。澱み無くし酸素を入れるための攪拌機の場合、攪拌するタイミングは予め IoT システム上で DO の閾値を設定し、IoT センサーから取得した DO 値を基に IoT システム上で閾値確認をし、閾値を超える場合は攪拌機に指示を送信することで攪拌機を回したり止めたりすることが可能になる。これにより攪拌機に係る電気代の削減や水質環境の改善につながる。更に閾値設定は、機械学習することにより水質状況に応じた閾値を自動で設定でき、結果的に AI として攪拌機を制御することが可能であると考えている。なお、給餌器については、すでに摂食音を活用して最適なタイミングで給餌を停止する機能を搭載した自動給餌器が開発されている。

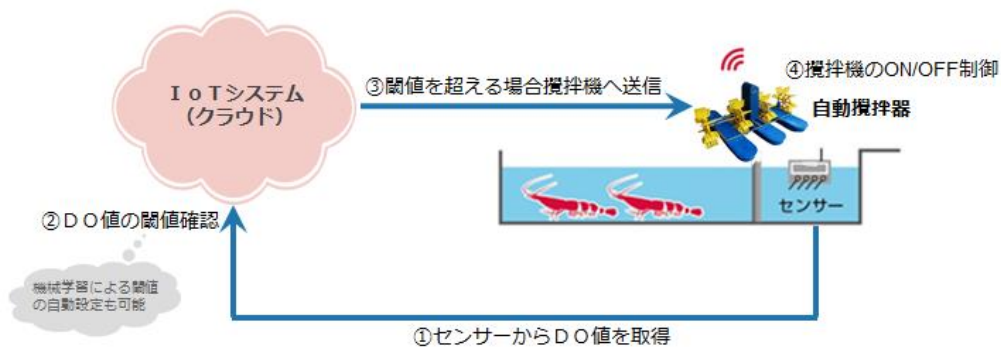


図 1-9 AI 及び IoT 技術を活用した自動攪拌機 (例)

一方で、養殖事業に限らず一次産業において IoT の導入が進まない理由としては、生産サイクルが長いこと投資対効果を把握するのに長い時間が必要であること、他の産業と比較した売上高対比で初期導入コストが高いこと、IoT の導入による成功事例が少なく心理的抵抗感が強いことなどが挙げられる。これらの点については、本実証事業を通じてシステム構築等の初期コストを削減することや、現状のオペレーションを IoT システムで代替するのではなく、まずは現状のオペレーションにおける意思決定を支援するシステ

ムとして活用することとしている。我々自身がオペレーションをするわけではないため、既に長い時間オペレーションを続けてきた事業者にとっても納得してもらえるようなアプローチが技術やビジネスモデル以上に重要であると考えている。

第2章 実証事業の内容

2.1 実証事業の概要

本実証事業は大きく次の3つの要素で構成される。

- ①センサー・アプリケーション・通信・クラウドを含めた水質データを収集するための I o Tシステムの構築
- ②水質情報及び飼育作業情報に関するデータの登録、蓄積
- ③現場作業の可視化及び生産活動へのフィードバック

本実証事業は2018年04月28日に開始し上記3つの要素を段階的に着手し、2019年1月に終了した。具体的には、I o Tシステムの構築については2018年9月にはアプリケーションの利用を開始し、11月には実証事業として想定したI o Tシステムの構築を完了した。データの登録及び蓄積については、アプリケーションのリリース以前の2018年6月から実証用養殖槽のデータを一部手動で収集し、アプリケーションのリリース時にアプリケーションにデータをインポートし、リリース後1月までのデータを収集した。現場作業の可視化及び生産活動へのフィードバックは、2018年9月のアプリケーションのリリースにより可視化されるとともに、逐次発出されるアラートや後述する分析等による生産活動へのフィードバックを行った。なお、後述する課題の解決に時間を要したため、I o Tシステムの構築完了が想定より遅れ、整理されたセンサーデータ及び飼育データの取得期間が想定より短期間となった。したがって引き続きセンサーデータ及び飼育データを蓄積し、事業性のための付加価値を検証する必要があると考えているが、いずれにせよ本実証で得られた成果は今後の事業化の礎となる知見であり、連携した養殖事業者のマネジメントにとっても現場責任者にとっても今後のI o Tの活用方向性を確認する示唆の多いものであった。

本実証事業における栽培品種はバナマイエビである。ASEANではバナマイエビの他ブラックタイガー等の養殖が盛んであるが、タイにおけるえび養殖ではバナマイエビが約96%を占める上、ASEAN全域でもバナマイエビの養殖割合が高まってきている。その理由としては、病気に対する耐性が強いこと、集密養殖に向いており単価は安くても生産効率が低いこと、飼料コストが安価であることなどが挙げられる。



<https://dir.indiamart.com/mumbai/black-tiger-prawns.html>

写真 2-1 バナマイエビ (左) とブラックタイガー (右)

バナマイエビの特徴としては、ブラックタイガーと比較して一回り小さく色が白く成育期間は3～4ヶ月間と短い。またバナマイエビは水中を泳ぐ習性があり、水底に這うように生息するブラックタイガーに比べて養殖における面積当たりの生産量が高い。食感に関しては、バナマイエビは甘味があるのでエビチリなどの料理に適しているのが特徴とされている。

本実証事業におけるバナマイエビの養殖は、日齢15日～100日（PL15～100、約1.5g～約20g）のバナマイエビを利用し検証を行った。



写真 2-2 本実証事業で養殖するバナマイエビ

2.2 IoTシステムの全体像

本実証事業におけるIoTシステムでは、大きく次に挙げる内容を実装している。また、事業化を見据えて養殖現場の環境に耐え得るシステムとする、安価な通信技術を活用する、簡単なメンテナンスで長期間センサーを駆動させる、養殖現場作業者の既存作業フローを極力変更しない、セキュリティに配慮しつつ拡張性の高いシステム構造とする、タイにおける各分野の専門家と協働し開発コストを下げる等の工夫を行った。

<代表的な内容>

- タイ南部にある大手水産加工グループの養殖場にて、5つの養殖池にIoT機器を搭載したセンサーを設置し水質情報を取得する
- センサーは水温・pH・DO・NH₄・NO₂の5つで構成される
- IoTの通信方式は2通り実施する
 - ①Xbee方式
センサーで検知したセンシング情報を無線通信規格であるXbeeを通じてゲートウェイ機器に送信し、ゲートウェイ機器から3G網を通じてクラウド環境へ送信
 - ②LoRaWAN方式(LPWA)
センサーから検知したセンシング情報は無線通信方式のLoRaWANを通じて、基地局にあるゲートウェイ及びLoRaWANネットワークサーバに送信し、インターネット網を通じてクラウド環境へ送信
- センサーは水質情報を5分に1回検知しクラウド環境へデータ送信を行う
- アプリケーションを通じてセンサーから取得した水質情報を可視化する
- アプリケーションを通じて飼育情報を登録・可視化する
- アプリケーションを通じてセンサー値の閾値及びアラートを設定する
- アプリケーションにて蓄積したデータを分析する

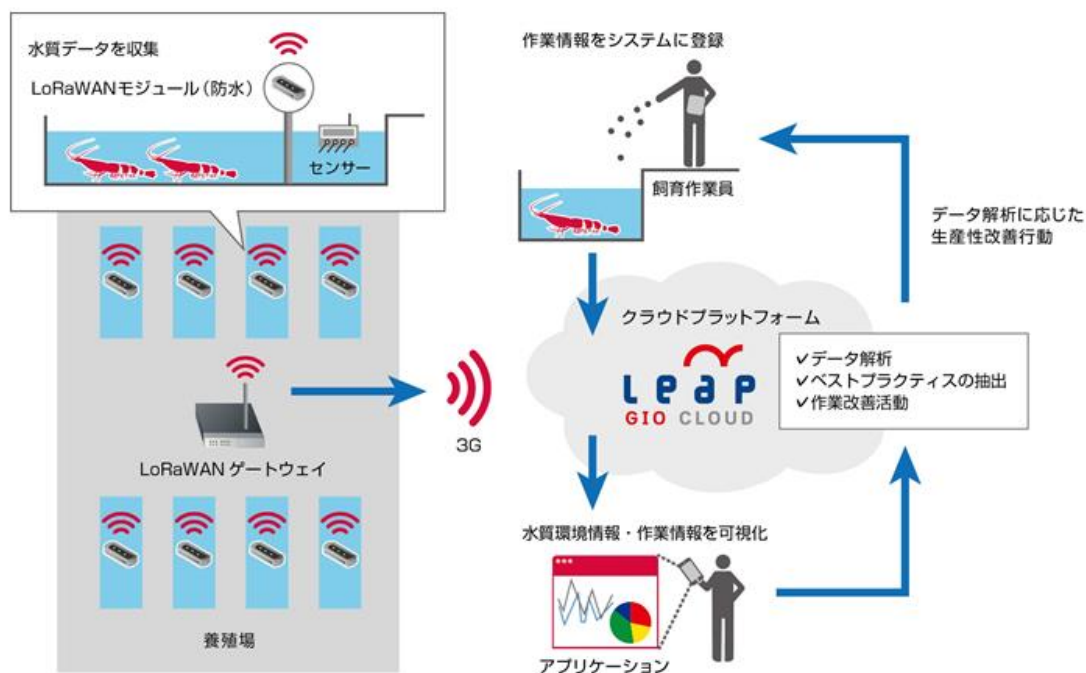


図 2-1 IoTシステムの全体像

2.3 事業実施体制

2.3.1 実施体制、実施方法

本実証事業の実施体制は、本実証事業における受託者及び本IoTシステムの企画立案・仕様検討・プロジェクト全体管理を担う株式会社インターネットイニシアティブ（以下、当社又はI I Jという）、ASEAN連携先企業としてセンサーやIoTシステムの構築及びシステム運用等を担うLOXLEY Public Company Limited（以下、LOXLEYという。）、実証のための養殖場の提供やえびの養殖等を担うタイ大手水産加工グループの養殖場（以下、現地実証養殖場という。）、本IoTシステムの基盤となるクラウド環境を提供するI I J Global Solutions（Thailand）CO., Ltd.（以下、GSタイという。）で構成される。主な各社の役割を以下の表にまとめる。

表 2-1 本実証事業における各社の役割

会社名	役割
IIJ	本実証事業の受託者 プロジェクト全体管理、水産IoTデバイス・ゲートウェイ標準仕様の策定、クラウド環境の調達、インフラ構築サポート、データ解析、現地実証養殖場へのサポート・トラブルシューティング、各ステークホルダーへのレポート等
LOXLEY	現地プロジェクトマネジメント 養殖場とのコミュニケーション センサー・モジュール、ゲートウェイ、ミドルウェア、ハードウェア等の調達 IoTセンサーシステムの開発、運用、メンテナンス等 アプリケーションの設計・開発・運用、メンテナンス等 センサー等のデバイス設置、養殖場への運用支援等 IoTシステムのトラブルシューティング 関連法規制の調査及びタイ政府へ許認可関係
現地実証養殖場	実証のための養殖場の提供、えびの養殖、養殖事業に関する学術的知見の提供、アプリケーションのUI/UXにおけるフィードバック、センサーのクリーニング及び交換作業、アプトットデータの提供、ベストプラクティスの抽出等
GSタイ	本実証事業に係るIoTシステムのクラウド環境構築、運用、メンテナンス、トラブル対応

本実証事業における実施体制を以下に示す。

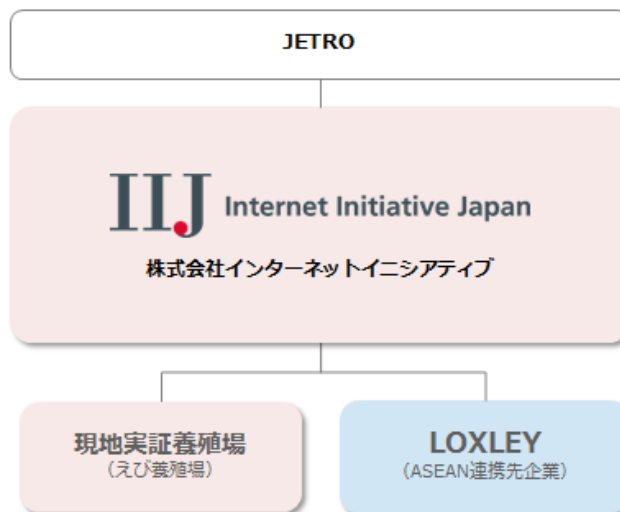
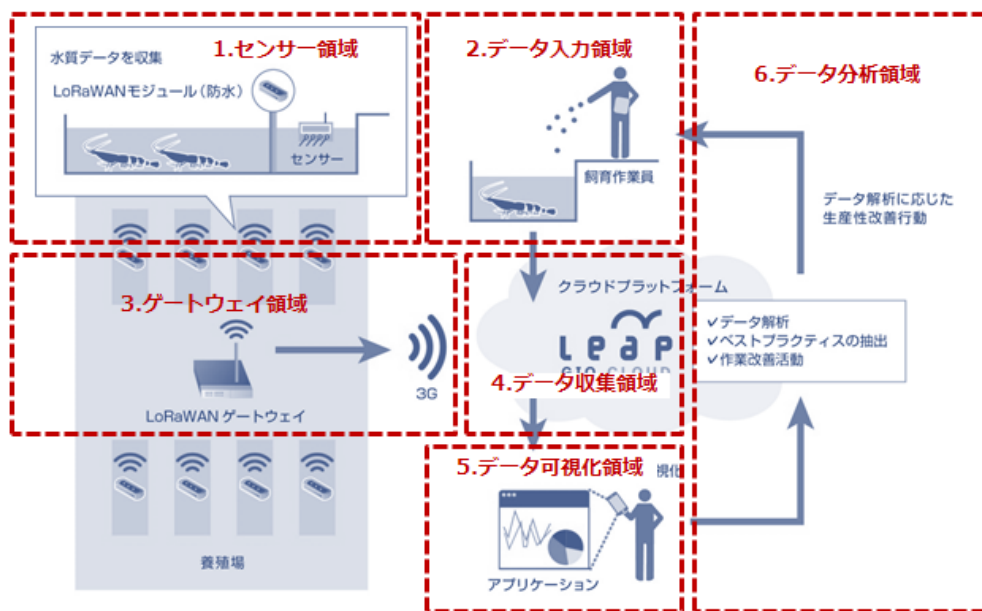


図 2-2 本実証事業における体制図

I o Tシステムにおける各社の担当領域を以下に示す。



領域	主担当
1 センサー領域	LOXLEY
2 データ入力領域	現地実証養殖場
3 ゲートウェイ領域	LOXLEY
4 データ収集領域	IJ
5 データ可視化領域	LOXLEY
6 データ解析領域	IJ

図 2-3 本 I o Tシステムにおける各社の担当領域

2.4 事業実施スケジュール

本実証事業は 2018 年 04 月 28 日から 2019 年 01 月 31 日まで実施した。
本実証事業における全体スケジュールを以下に示す。

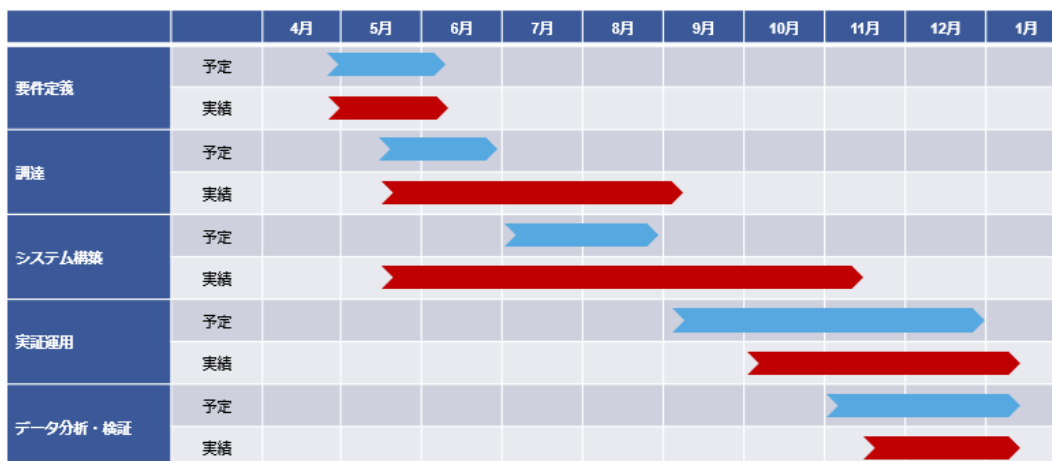


図 2-4 本実証事業における全体スケジュール

I o Tシステムにおける各領域の実施スケジュールは次のとおりである。

2.4.1 センサー領域におけるスケジュール

表 2-2 センサー領域におけるスケジュール

工程	概要	期間
仕様策定	養殖池のサイズに適したセンサー関連機器や電気設備等の仕様策定	2018年04月～05月中旬
構築	センサーノードに係る初期設定及びセキュリティ対策等、センサーフロート構築、電気設備の構築	2018年05月中～
設置	養殖場にてセンサー及びセンサー関連部品の設置	2018年07月
テスト	センサーの動作テスト	①水温／pH／DO：2018年07月 ②NH ₄ ／NO ₂ ：2018年12月
検収	センサーの受入テスト	2018年12月

ー2018年07月16日、設置したイオンセンサー（NH₄及びNO₂）が正しく動作しなかったため、センサーメーカーへ確認を要請。よって水温・pH・DOのみ養殖池に設置した

ー2018年07月25日、養殖池のクリーニングを実施した。そのため、既に設置していたセンサーは全て一旦引き揚げた

- 2018年08月01日、養殖池のクリーニングが完了したので再度センサーを設置した
- 2018年08月20日、センサーのキャリブレーションに影響を与える電源関連機器を発見し調査を実施
- 2018年09月07日、電源関連機器に高精度フィルタートランスを使用してキャリブレーションに影響を与えるノイズを軽減
- 2018年10月10日、養殖池のクリーニングを実施した。そのため、既に設置していたセンサーは全て一旦引き揚げた

2.4.2 データ入力領域におけるスケジュール

本実証事業におけるえびの養殖は合計5池で実施した。その内3池は屋内養殖、2池は屋外養殖とし、各池にセンサー5種類を設置した。また一部の池におけるえび固体数は水質環境や飼育方法による影響を増幅するため過密養殖とした。

養殖スケジュール及びデータ入力のスケジュールを以下に示す。

表 2-3 データ入力領域におけるスケジュール

タンク数	えび投入数	投入時えび年齢	投入時えび重量	養殖期間
3	2,000	20	0.1 g	2018年06月30日～ 2018年07月19日
2	4,000	20	0.1 g	2018年06月30日～ 2018年07月19日
3	2,000	15	N/A	2018年07月31日～ 2018年09月18日
2	4,000	15	N/A	2018年08月02日～ 2018年09月18日
2	2,000	18	0.1 g	2018年10月31日～ 2019年01月31日
1	8,000	18	0.1 g	2018年10月31日～ 2019年01月31日
1	9,000	18	0.1 g	2018年09月08日～ 2019年01月31日
1	9,900	20	0.1 g	2018年09月21日～ 2018年10月23日

1	15,000	22	0.1g	2018年11月02日～ 2019年01月31日
---	--------	----	------	-----------------------------

表 2-4 養殖池の仕様

タンク名	大きさ	センサー	備考
POND4	面積：20m ² 深さ：100cm	node_01、 node_01IONS	屋内養殖
POND8	面積：20m ² 深さ：100cm	node_02、 node_02IONS	屋内養殖
POND43	面積：40m ² 深さ：100cm	node_03、 node_03IONS	屋内養殖
T1	面積：113m ² 深さ：100cm	node_04、 node_04IONS	屋外養殖
T2	面積：113m ² 深さ：100cm	node_05、 node_05IONS	屋外養殖

2.4.3 ゲートウェイ領域（通信方式）におけるスケジュール

Xbee及びLoRaWANによるネットワーク構築のスケジュールを以下に示す。

表 2-5 ゲートウェイ領域におけるスケジュール

工程	概要	期間
Xbee仕様策定	Xbeeの仕様策定	2018年04月～05月中旬
Xbee構築	専用ゲートウェイの設定及びセンサー側通信部分の設定等	2018年05月中～
LoRaWAN仕様策定	LoRaWANの仕様確認及び策定	2018年08月
LoRaWAN構築	LoRaWANゲートウェイ及びネットワークサーバの設定、センサー側通信部分の設定	2018年09月

2.4.4 データ収集領域におけるスケジュール

クラウド構築に係るスケジュールを以下に示す。

表 2-6 データ収集領域におけるスケジュール

工程	概要	期間
設計	ネットワーク構成等の設計	2018年04月～05月
構築	クラウド構築	2018年05月～06月

2.4.5 データ可視化領域におけるスケジュール

アプリケーション構築に係るスケジュールを以下に示す。

表 2-7 データ可視化領域におけるスケジュール

工程	概要	期間
要件定義及び仕様策定	アプリケーションの仕様策定等	2018年04月～05月
設計	アプリケーションの設計	2018年06月
開発	アプリケーションの構築	2018年07月～09月
テスト	アプリケーションの動作テスト	2018年09月～10月
検収	アプリケーションの受入テスト	2018年10月

2.4.6 データ可視化領域におけるスケジュール

上記 I o T システムの構築完了後のデータ蓄積及びその分析スケジュールを以下に示す。

表 2-8 データ可視化領域におけるスケジュール

工程	概要	期間
水質情報の取得	センサーを通じた水質情報の取得	2018年10月～2019年1月
飼育情報の取得	アプリケーションを通じた飼育情報の取得	2018年09月～2019年01月

データ分析	蓄積された水質情報及び飼育情報のデータ分析	2018年12月～2019年01月
-------	-----------------------	-------------------

2.5 クラウド基盤

2.5.1 クラウド基盤の概要

当社がタイでパートナーと立ち上げた「Leap GIO Cloud」（クラウドサービス）は、IoTビジネスに必要なネットワーク・データベース・セキュリティ等の機能をワンストップで提供しており、IoTビジネスを迅速に立ち上げることが可能であり、具体的には以下の要件を具備している。

①クラウド基盤がタイ国内に設置されていること

水質情報や飼育情報は、データ保護の観点からタイ国内で保有することが望ましい

②クラウド基盤はプライベートクラウド形態で提供できること

拡張性やセキュリティ、柔軟性の観点からパブリッククラウドではなくプライベートクラウドが望ましい

③VMware ベースであること

VMware を利用しない場合はエンジニアの稼働工数が増加し提供価格が高くなるため

④指定のコンピュータリソースを提供できる

クラウドサービスとして提供される品目(CPU/メモリ/ストレージ等)が本事業で開発するアプリケーションに適合する

⑤日英タイの3カ国語のサポート体制

当社及びLOXEYからの問い合わせでそれぞれの言語が必要になるクラウド基盤として、表 2-9 に示すネットワーク機器、サーバを準備した。

表 2-9 クラウド基盤として実装した機器

機器名	機能	備考
Firewall	適切な通信のみを許可するよう通信の制御を行い、クラウド基盤自身のセキュリティを高める。	
Broker サーバ	MQTT Broker を実装し、ゲートウェイ機器から暗号化されたデータを受け取る。 データを一旦本サーバ内で保管し、適切に MQTT Subscriber となる DB サーバにデータの配信を行う。 これによりゲートウェイ機器は DB サーバを意識することなく、Broker サーバに対してのみデ	Public IP を割当て、インターネット上に公開する。

	ータ送信を行うことが可能となる。	
AP サーバ	ユーザインターフェースとなるアプリケーションを実装し、データの可視化や登録、アクション管理や登録、CSV形式でのファイルインポートやエクスポート、ユーザー管理等の機能を持つ。	Public IP を割当て、インターネット上に公開する。
DB サーバ	MQTT Subscriber を実装し、Broker サーバから暗号化されたデータを受け取る。 受け取ったデータはDBサーバ内で複合化を行い、データベースに格納を行う。 格納されたデータはWebアプリケーションにて可視化される。	
検証サーバ	Broker サーバ、AP サーバ、DB サーバが一体となった検証用のサーバ。	Public IP を割当て、インターネット上に公開する。

MQTTはシンプル、軽量、かつ省電力な通信を行うプロトコルで、短いメッセージを頻繁に送受信することを想定されて作られているためM2M、IoT向けのプロトコルとされている。MQTTは一方方向、1対1の通信のみでなく、双方向、1対多の通信が可能でありながら通信はHTTPに比べると10分の1になり、その軽量さから、バッテリーの消費を抑えたいモバイル向けの通信に適している。

本実証事業におけるMQTTの基本動作は、Publisherがゲートウェイ機器、BrokerがBrokerサーバ、SubscriberがDBサーバとなる。

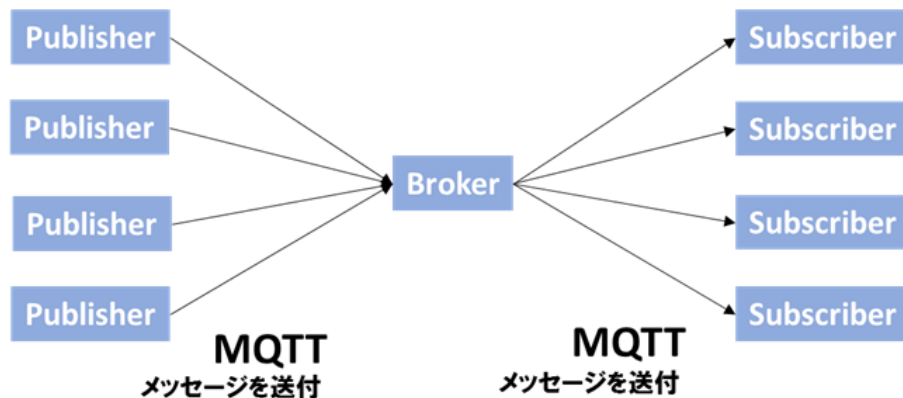


図 2-5 MQTT の概念

クラウド基盤内のシステムは、セキュリティの観点から、インターネットと通信する必要がある Broker サーバ、APサーバ、検証サーバのみをインターネット上に公開す

る構成とした。

2.5.2 セキュリティ

クラウド基盤に設置しているF i r e w a l lにて必要最低限の通信を許可しており、外部からの通信は拒否している。表 2-10 に許可している通信の内容を記載する。

表 2-10 F i r e w a l lにて許可している通信プロトコル

通信元	許可通信プロトコル	内容
I I J	S S H	メンテナンス用
L O X L E Y	S S H	メンテナンス用
A n y (インターネット全てに解放)	H T T P S	スマートフォンやPCからのA Pサーバ、検証サーバへのW e bアプリケーション通信
A n y (インターネット全てに解放)	M Q T T	各センシングデータをクラウド基盤側で受信

2.5.3 バックアップ

本I o Tシステムでは、誤操作によるデータ又は破損、システム障害、災害等が発生した場合、養殖データの損失を防ぎ養殖場の貴重な情報資産を保護するために、定期的なバックアップを実行している。

V M w a r eの機能にて、クラウド基盤のサーバそのもののバックアップを定期的を取得している。そのため、障害時にはバックアップ取得時の状態に戻すことが可能である。

2.6 センサーシステム

2.6.1 センサーシステムの概要

I o Tシステムの代表的な機能はセンサーである。当センサーはX b e e及びL o R a W A Nの通信機器モジュールを搭載しており、センサーグループで検知したp H等の水質情報はセンサーノード内で送信用にデータ生成され、センサーノードからX b e e又はL o R a W A Nの通信網を通じて各ゲートウェイに送信される。その後、水質情報はゲートウェイによってクラウド環境へ送信され、クラウド環境内にあるB r o k e rサーバを介してDBサーバへ登録される。

本実証事業において、取得する水質情報は水温・pH・DO・NH₄・NO₂の5種類である。1つの池に水温・pH・DO用のセンサーを1台、窒素化合物であるNH₄・NO₂用のセンサーを1台で計2台1セット設置し、各セットを5池に設置した。

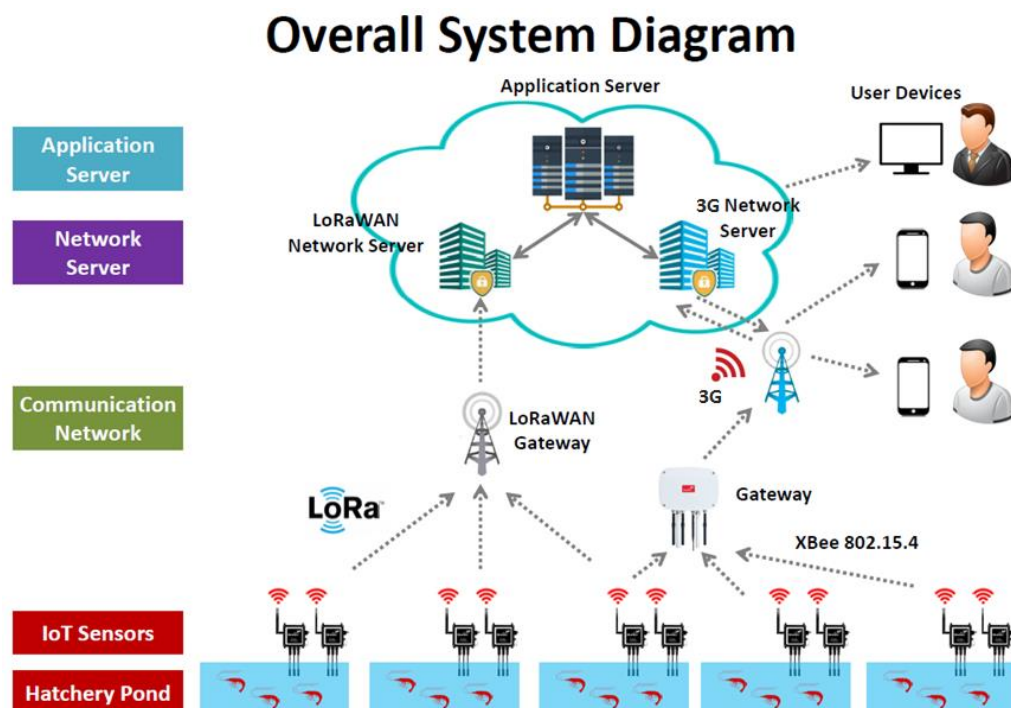


図 2-6 センサーシステムの全体像

本実証事業におけるIoTシステムに係る通信方式はXbee及びLoRaWANを採用し実証を行った。各通信方式の実施期間は、①Xbee：2018年07月～08月、②LoRaWAN：2018年09月～2019年01月である。

2.6.2 センサー仕様

本実証事業におけるセキュリティや拡張性、防水性能等を考慮して採用した。IoTセンサーは、センサーノード、センサープルーブ、通信アンテナで大きく3つの部品で構成される。

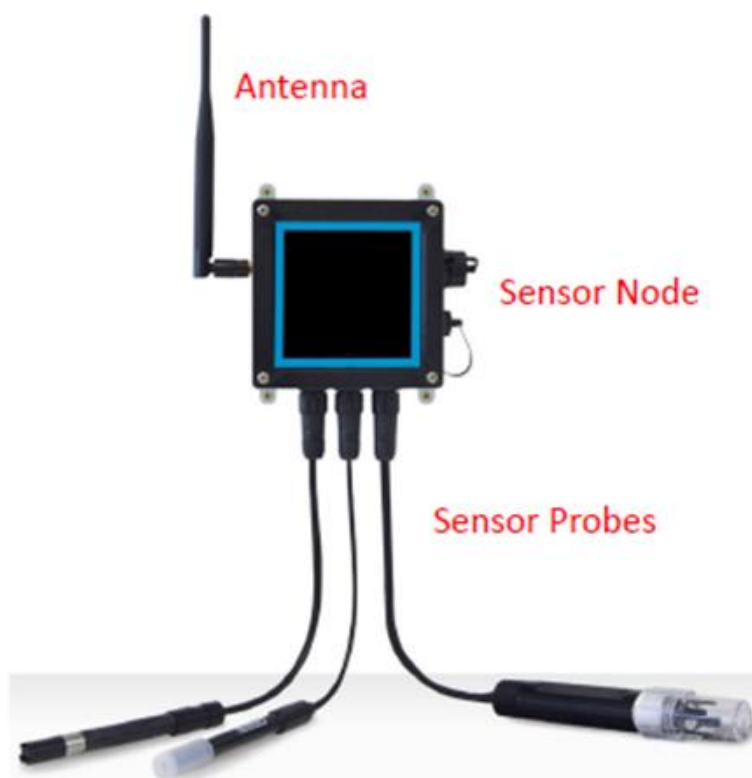


図 2-7 センサー全体の外観

2.6.3 センサーノード

センサーノードは、水温・pH・DO等検知用の非イオン系センサーノードとNH₄・NO₂等検知用のイオン系センサーノードの2種類がある。センサーノードの大きな役割としては、センサープローブから取得された水質情報のデジタル変換、水質情報の暗号化及びデータ圧縮、センサー設定に係るユーザインターフェース、無線通信機能（Xbee及びLoRaWAN）、記憶装置（SRAM：8KB、FLASH：128KB、SDカード8GB）、電源装置（ソーラー発電による給電からの稼動も可能）、バッテリー等がある。本センサーノードは停電等によって電源供給が出来ない場合、最大3日間はセンサーノード内にあるバッテリーで稼動できる。

センサーノードはセンサープローブから送信された電圧量（Voltage）を受取り、センサーノード内で電圧量を水質情報に応じた単位に変換する。例えば、pHのセンサープローブから送信された電圧が1.5ボルトであればpH8.5という様に変換する。この変換に利用する変換式はキャリブレーションにより決定され、この変換式をセンサーノード内に組み込まれたプログラムにアップロードすることで実現される。プログラムのアップロード方法は、センサーノードからUSBケーブルを介してノートパソコンにつなぎ、ノートパソコンから変換式をアップロードする。

また水質情報の送信間隔は本センサーノードに組み込まれたプログラムにより5分間隔

でゲートウェイへ送信するようにしている。送信される水質情報のデータフォーマットはJSON方式を利用している。

2.6.4 センサープルーブ

センサーノードに取り付けられるセンサープルーブは、非イオン系センサーノードの場合は水温・pH・DOのセンサープルーブを取り付け、イオン系センサーノードの場合は水温、NH₄、NO₂、リファレンスのセンサープルーブを取り付ける。各センサープルーブの概要を表2-11に示す。

表 2-11 センサープルーブの概要

センサー種類	センサー	ノードタイプ	概要
水温		非イオン系センサーノード 及び イオン系センサーノード	計測範囲：0～100℃ 値が15から50の範囲外の場合はエラーとして扱う
pH		非イオン系センサーノード	計測範囲：0～14 値が6から10の範囲外の場合はエラーとして扱う
DO		非イオン系センサーノード	計測範囲：0～100% 値が55から100の範囲外の場合はエラーとして扱う アプリケーションでDO (%)をDO (mg/L)に変換する。
NH ₄		イオン系センサーノード	計測範囲：0～9000 mg/L 値が0から20の範囲外の場合はエラーとして扱う

NO ₂		イオン系センサーノード	計測範囲：0～1000 mg/L 値が0から20の範囲外の場合はエラーとして扱う
リファレンス		イオン系センサーノード	イオン測定用の基準電極

NH₄およびNO₂に係るイオン濃度の測定はイオン選択電極法で測定している。イオン系センサープローブは、水中に溶解した特定のイオンの活動を電位に変換する装置になる。

イオンの測定には2つのセンサープローブ（基準電極及び測定電極）を利用し、測定電極には様々な数のイオンが結合するため、測定電極と基準電極（リファレンスセンサー）の間に電位差が生じる。この電位差を用いて計測している。

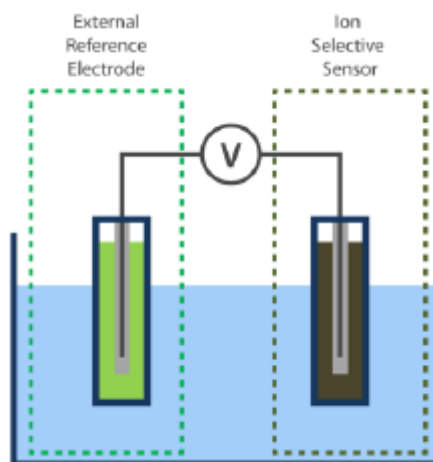


図 2-8 イオンセンサーの計測イメージ

水生生物において最も有害であるアンモニア（NH₃）の計測については、センサーで取得する水温、pHおよびNH₄の値を利用してアンモニア値を計算した。アンモニアは0.1 mg/Lを超えると水生生物にとって有害である。アンモニアの計算式を図 2-9 に示す。

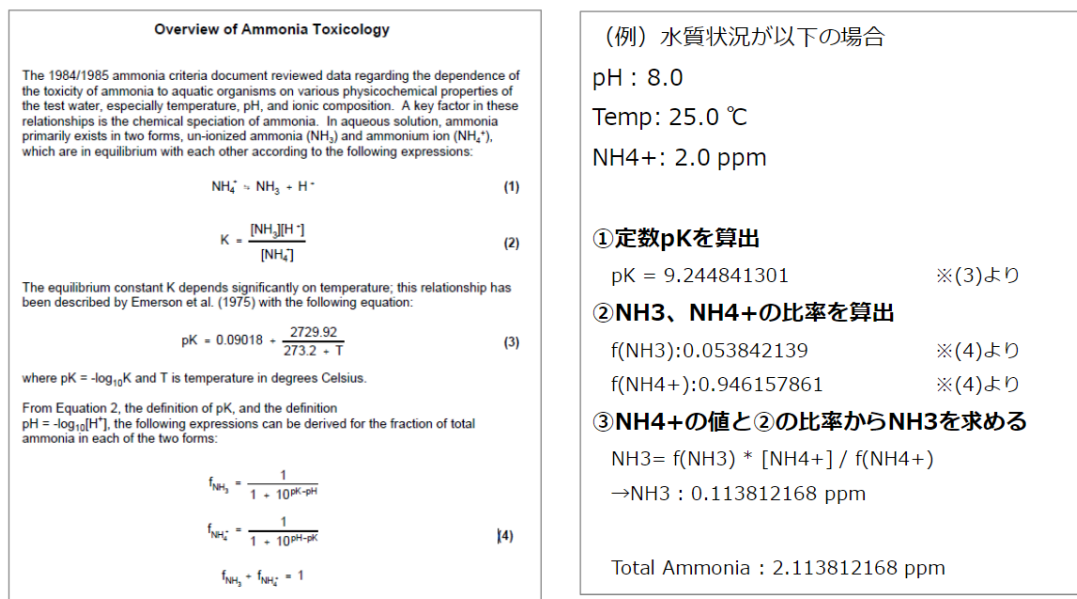


図 2-9 アンモニアの計算式

(出典 : U.S.EPA [EPA-822-R-99-014])

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20003O3L.PDF?Dockey=20003O3L.PDF>

(例) は当社作成)

2.6.5 ゲートウェイ

本IoTシステムにおいて、センサーノードから送信された水質情報は、ゲートウェイ機器を通じてクラウド環境にあるBrok erサーバへ送信される。本実証事業において、ゲートウェイは2種類利用しており通信方式がX b e eの場合は専用ゲートウェイ機器を利用し、通信方式がL o R a W A Nの場合はL o R a W A Nゲートウェイを利用している。

本実証事業において、専用ゲートウェイは2018年07月～08月まで利用し、L o R a W A Nゲートウェイは2018年09月～2019年01月まで利用した。

通信方式X b e eで利用する専用ゲートウェイの役割としては、各養殖池にあるセンサーノードから送信される水質情報の受信（通信方式がX b e eに限る）、センサーノードの管理、3G網を通じたBrok erサーバへの送信、記憶装置（RAM：2GB、HD D：16GB）、通信セキュリティ等がある。なお専用ゲートウェイにはバッテリーが内蔵されておらず停電時等を考慮して今回UPS（無停電電源装置）を別途設置した。

通信方式L o R a W A Nで利用するゲートウェイはC A T社により提供されており、本ゲートウェイの役割は、各養殖池にあるセンサーノードから送信される水質情報の受信、センサーノードの管理、インターネット網を通じたBrok erサーバへの送信等がある。通信プロトコルはH T T P及びM Q T Tを利用する。



写真 2-3 設置した X b e e ゲートウェイ機器

Active	Name	DevEUI	Profile Name	Device Address	Connectivity/History	Payload Format	Routing Profile
●	NODE_04	0014430802239507	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239507	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_090FG	0014430802239534	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239534	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_040FG	0014430802239427	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239427	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_03	001443080223937C	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	0023937C	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_010FG	0014430802239360	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239360	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_090FG	0014430802239362	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239362	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_020FG	0014430802239408	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239408	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_02	0014430802239309	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239309	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_01	0014430802239804	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	00239804	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105
●	NODE_05	001443080223943C	LoRaWAN 10.2 Class A - ASB23 - Generic	0023943C	LoRa Connectivity	Raw	MQTT - SW101 - SW105

図 2-10 L o R a W A N ゲートウェイの管理画面

2.6.6 センサーステーション

本実証事業では、1つの養殖池につき水温・pH・DO・NH₄・NO₂の5種類の水質情報を取得する。そのためセンサーノードは非イオン系センサーノード及びイオン系センサーノードの2台が必要になりセンサーノードに係る電源ケーブル等の周辺機器を合せると大きなボリュームになる。実証期間中はセンサーを設置する養殖池の変更が頻繁に行われる可能性があるため、当社及びLOXLEYはこれらセンサー及びセンサー周辺機器の設置における利便性・保守性・機密性・防水性等を考慮しこれら全てを1つの筐体に内包する方式（以下、センサーステーションという。）で実行した。筐体は盗難防止を考慮し鍵付きにしている。センサーノード及び周辺機器を内包した様子を以下に示す。



写真 2-4 センサーステーション



写真 2-5 センサーステーションの組み立ての様子

2.6.7 水位可動式フローター

センサープローブは繊細で損傷を受けやすく、更に水質情報を正しく計測するためにはセンサープローブを常に同じ水位に設置することが推奨されている。当社及びLOXLEYはセンサープローブの保護及び水位一定のため、センサープローブ用の水位可動式フローターを開発した（以下、水位可動式フローターという。）。この水位可動式フローターは養殖池への設置に適した設計にしている。水位可動式フローターを以下に示す。

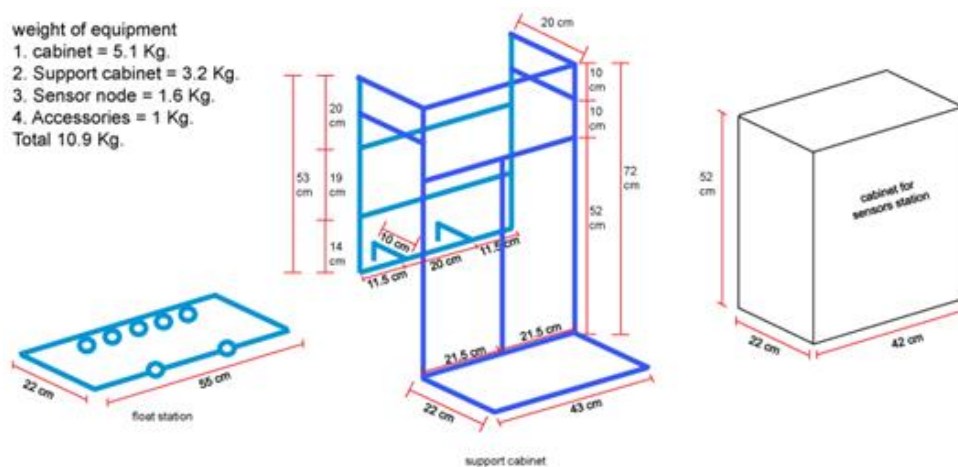


図 2-11 水位可動式フローターの設計図



写真 2-6 センサープローブを水位可動式フローターに設置した様子

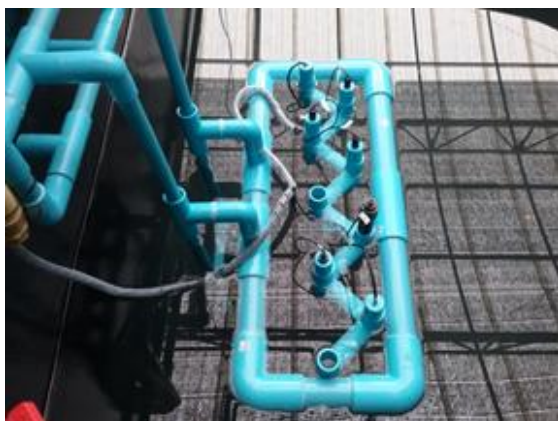


写真 2-7 水位可動式フローターのフローター部分



写真 2-8 水位可動式フローターの外観



写真 2-9 水位可動式フローターの設置風景

2.6.8 グラスボックス

実証事業における養殖環境は汽水域で設定されており、塩分濃度は35 p p tで維持されている。養殖池では水に酸素を供給するために常に酸素供給装置が稼働しており、そのため養殖池では常に激しい泡立ちが発生していた。

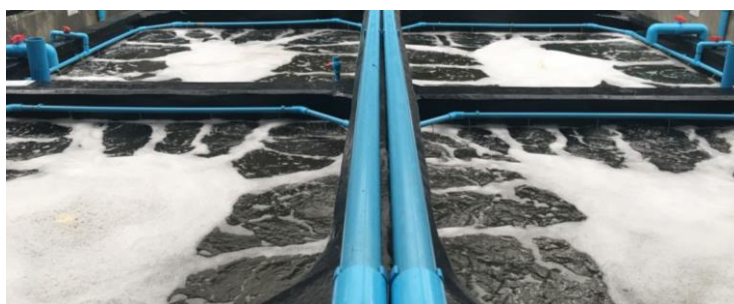


写真 2-10 屋内養殖池での泡立ちの様子

この泡立ちによる水飛沫によりセンサープローブにおいて水に浸してはいけない部分に水が付着しており水質情報の計測値が安定しなかった。

更にこの泡には塩分が含まれておりその泡がセンサープローブに付着することによってセンサープローブの一部に塩水による腐食が見られた。水位可動式フローターは水位の変化に対してうまく機能していたが、この環境下において水位可動式フローターを利用し続

けることに際し、腐食によるセンサープローブの耐久性劣化及び水質情報が正しく計測できない恐れがあったため新しい計測方法に変更することになった。

新しい計測方法は、水位可動式フローターにおいてセンサープローブを設置しているフローター部分を切り離し、センサープローブは新たに設置した水槽容器に浸すことで水質情報を計測する。水槽容器の水はポンプ装置により養殖池の水を汲み上げ、水槽に水を貯め、その後養殖池へ排水する仕組みである。水位の調整は水の汲み上げ量と養殖池への排水量を調整することにより水位が常に一定になるように工夫した。この新しい計測方法（以下、ガラスボックスという。）を利用することで泡立ちによるセンサープローブへの悪影響を解決できた。



写真 2-11 センサープローブにおける防水境界線

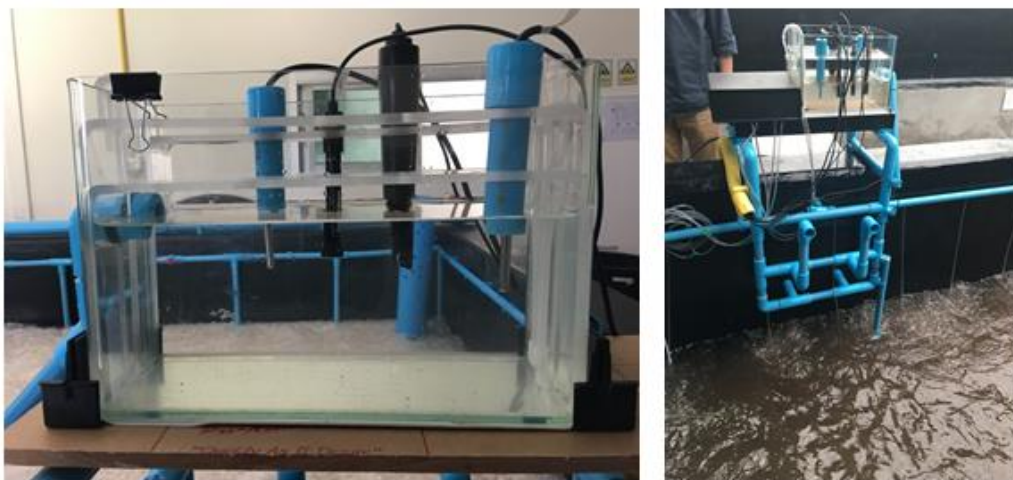


写真 2-12 ガラスボックスの外観（左）及び設置風景（右）



写真 2-13 屋外養殖池へのガラスボックス設置風景

2.6.9 シリコン付きセンサーパイプ

ガラスボックスを利用した水質情報の計測を一定期間実施したが、新たな問題が発生した。まずガラスボックス内の水温と養殖池内の水温に2度の違いがあると判明した。原因はガラスボックスにおける水の内容量は養殖池と比べてはるかに少なく日射や高温多湿の影響により温度上昇を招きやすいと分かった。

また、ガラスボックスにおけるポンプの水循環は養殖池の水を汲み上げ排水するまで約2時間ありガラスボックス内で水が滞留することで不純物が多量に蓄積され計測に影響がでることが分かった。更に塩分濃度によりポンプ内のモーターが腐食し一部のポンプが止まることもあり耐久性に問題が生じた。

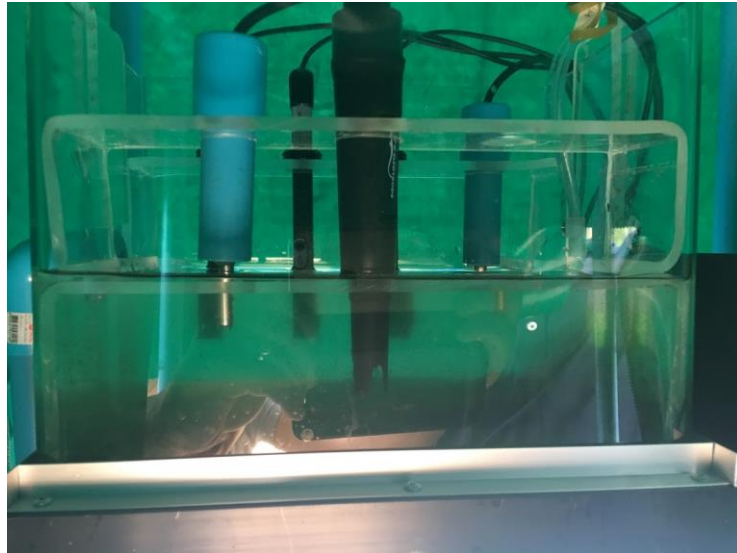


写真 2-14 グラスボックスに溜まった不純物



写真 2-15 グラスボックス用ポンプモーターの腐食具合

これらの問題を解決するために、当社及びLOXLEYはパイプ内にセンサープローブを挿入及び固定し、パイプ上部に水と湿気の侵入を防ぐためのシリコンを注入することによる新たな計測方法（以下、シリコン付きセンサーパイプという。）を開発した。また水位可動式フローターを活用することにより変動の激しい水位でも対応できるようにした。

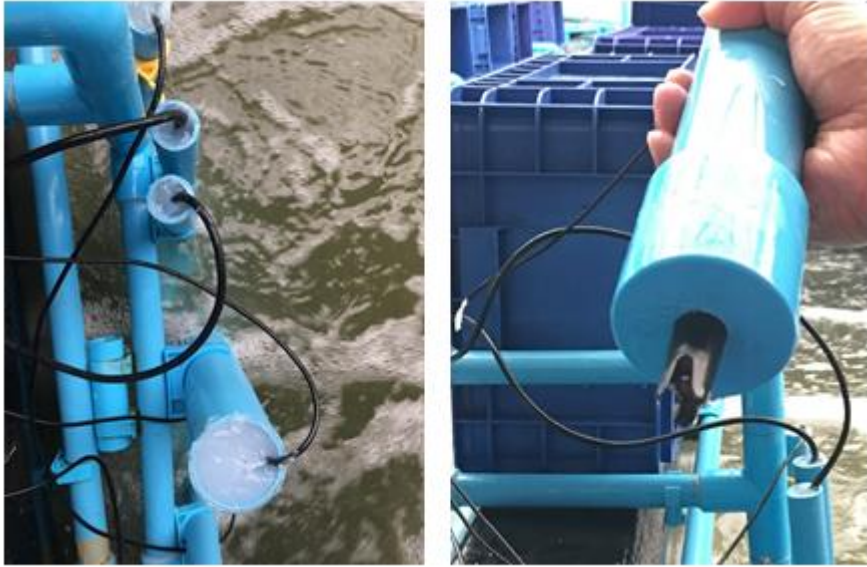


写真 2-16 シリコン付きセンサーパイプの外観



写真 2-17 シリコン付きセンサーパイプの設置風景

水質情報の計測方法については、センサーの耐久性や計測の信頼性を高めるために、水位可動式フローター、ガラスボックス、シリコン付きセンサーパイプと段階を経て改善していき、シリコン付きセンサーパイプを用いた方式が、本実証事業での最終的な計測方法となった。



写真 2-18 屋内養殖池及び屋外養殖池へのセンサーステーション設置風景

2.6.10 キャリブレーション（センサー校正）

センサーは長期的に測定していると電極の汚れや消耗具合などによって計測値がずれていくことがある。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。本実証事業においては、pH、DO、NH₄、NO₂のセンサーグループに対してキャリブレーションが必要になる。キャリブレーションの頻度は最低1ヶ月に1回必要になり、センサークリーニングは週1回が推奨されている。

キャリブレーションは、各センサー種類に応じた専用溶液（ソリューション）にセンサーを数分間浸し、計測される電圧が安定したらその値をセンサーノードのプログラムに登録する流れになる。さらにイオンセンサーの場合は、各専用溶液に応じた電圧を元に回帰直線（ $y=123x+123$ など）をエクセルで求め、その回帰式をセンサーノードのプログラムに登録する流れになる。

専用溶液の種類は、DOの場合は1種類のみであり一度でキャリブレーションが完了するが、pHの場合は3種類の専用溶液がある。この場合は1つ目の専用溶液でのキャリブレーションが完了すると、1つ目のキャリブレーションと同様の方法で2つ目の専用溶液で実施する。更に3つ目まで同様の作業を繰り返す。センサークリーニングはキャリブレーションの前に必ず実行する必要がある、具体的には純水（脱イオン水）にセンサーグループの電極を浸し乾拭きすることで行った。

これらの取扱いについては、作業記録等のアプリケーショントレーニングとは別に、センサートレーニングとして管理者向け、現地スタッフ向けに行った。

表 2-12 キャリブレーションの方法

センサー種類	キャリブレーション用溶液	キャリブレーション方法
全てのセンサー		<p>純水にセンサープローブを浸し、乾いた布で優しく拭く</p> 
pH		<p>3種類のpH専用溶液を使い、以下の順番でキャリブレーションを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pH 7 2. pH 4 3. pH 10 4. pH 7
DO		<p>DO専用溶液を使い、キャリブレーションを行う。</p>
NH ₄		<p>3種類のNH₄専用溶液を使い、以下の順番でキャリブレーションを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 4 mg/L 2. 20 mg/L 3. 40 mg/L 4. 4 mg/L

NO 2		<p>3種類のNO₂専用溶液を使い、以下の順番でキャリブレーションを行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 10 mg/L 2. 100 mg/L 3. 1000 mg/L 4. 10 mg/L
------	---	--

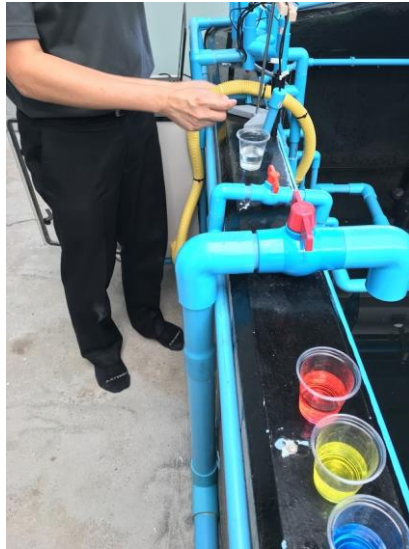


写真 2-19 キャリブレーションの実施風景



写真 2-20 センサートレーニングの様子

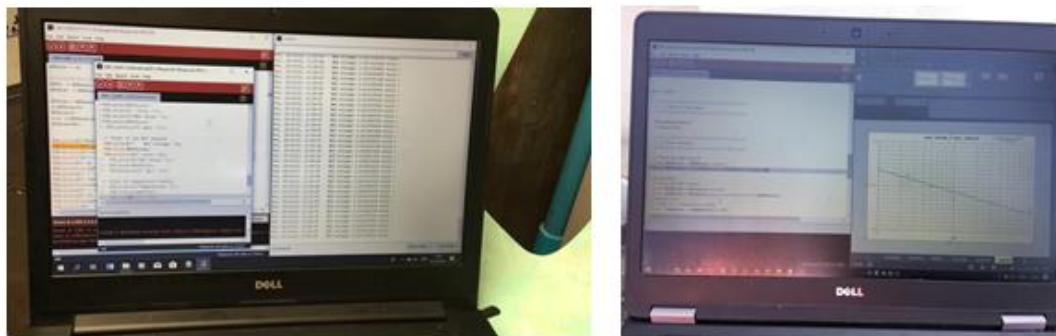


写真 2-21 センサーノードのプログラムに登録する様子

2.7 通信方式

2.7.1 通信方式の概要

I o Tシステムにおける無線通信方式はX b e eとL o R a W A Nの2方式を検証した。L o R a W A Nはタイにおける活用実績がほとんどない実験的要素が強かったが、問題なく通信を確保することができた。それぞれの通信の仕組みは次のとおりである。

X b e e方式はセンサーノードからX b e eプロトコル（W i F i方式と同周波数帯）を用いて水質情報を専用ゲートウェイへ送信し、S I Mカードを搭載した専用ゲートウェイから3 G網（プロトコルはM Q T Tを利用）を通じてクラウド環境に水質情報を送信することが特徴として挙げられる。

一方でL o R a W A N方式はセンサーノードからL o R a W A Nプロトコルを用いて水質情報をL o R a W A Nゲートウェイへ送信し、L o R a W A Nゲートウェイからインターネット網（プロトコルはM Q T Tを利用）を通じてクラウド環境に水質情報を送信する。

無線通信技術	LoRaWAN	Xbee
周波数	920MHz帯 (サブギガ帯)	2.4GHz
通信距離	5km~10km	10m~75m
通信速度	0.3~50kbps	250kbps
消費電力	Low	Low
通信規格	LoRaWAN	IEEE802.15.4

図 2-12 X b e e及びL o R a W A Nの仕様比較

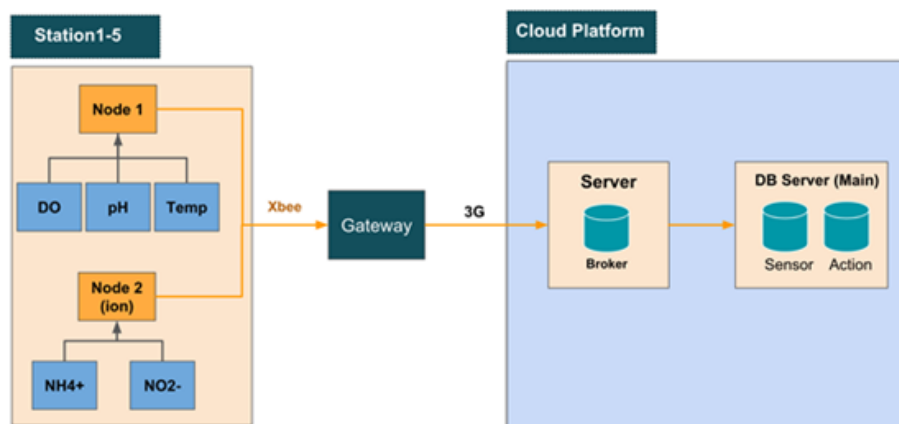


図 2-13 X b e e 方式におけるシステム構成図

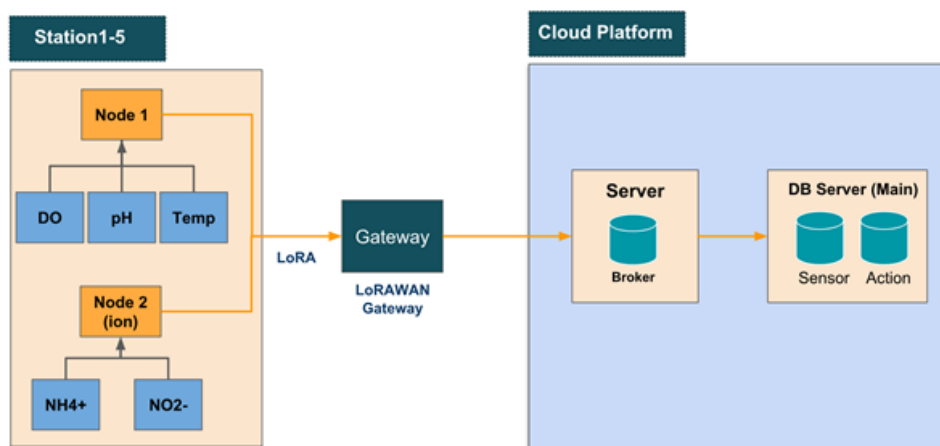


図 2-14 L o R a W A N 方式におけるシステム構成図

X b e e 方式の場合、センサーノードから専用ゲートウェイまでの無線通信距離は最大で 75m である。遮蔽物等があれば 10m になり通信距離は短くなる。例えば半径 50m (直径 100m) を通信可能範囲と仮定し通信可能範囲の中心に専用ゲートウェイを設置した場合、センサーノードは半径 50m の範囲内でしか設置できない。通常の屋外養殖場の大きさは 1 つの養殖池で 6,400 m² 規模 (縦 : 80m 横 : 80m) になり、単純計算で専用ゲートウェイ 1 台当たりセンサーノード 1 台しか補えない計算になる。10 池ある場合、専用ゲートウェイは 10 台必要になり、更に S I M カードも 10 枚 (10 通信契約) 必要になり必然としてコストも高くなる。

一方で L o R a W A N 方式の場合、センサーノードから L o R a W A N ゲートウェイがある L o R a W A N 基地局までの無線通信距離は 5 km から 10 km と X b e e 方式と比較して非常に広く、実証養殖場全てをカバーできる通信範囲である。念のため L o R a W A N

ゲートウェイは2箇所に設置したが、丘陵がちな地形にあっても問題なく通信はカバーされていた。

L o R a WAN方式の場合、養殖場内にゲートウェイ機器を設置する必要がない。なおL o R a WAN利用コストとして1センサーノード当たり年間300パーツが必要になるが、X b e e方式で利用する3G回線費用と比較すると割安である。総じて、L o R a WAN方式の方がえび養殖場におけるI o Tシステムの通信手段として優れていることが実証できた。

また、実証地では電力供給が安定せず頻繁に停電が発生しており（本実証期間中、毎月2回程度の停電が発生していた）、停電の影響で専用ゲートウェイが停止しクラウド環境へ水質情報を送信ができないことや、長期の停電により専用ゲートウェイ内で蓄積していた水質情報が欠損したことがあった。

L o R a WAN方式は基地局内にあるL o R a WANゲートウェイを利用するため、停電が頻繁に発生するような地域や電力が安定しない地域に適しており、養殖場が集中する地域と重複していると考えられる。

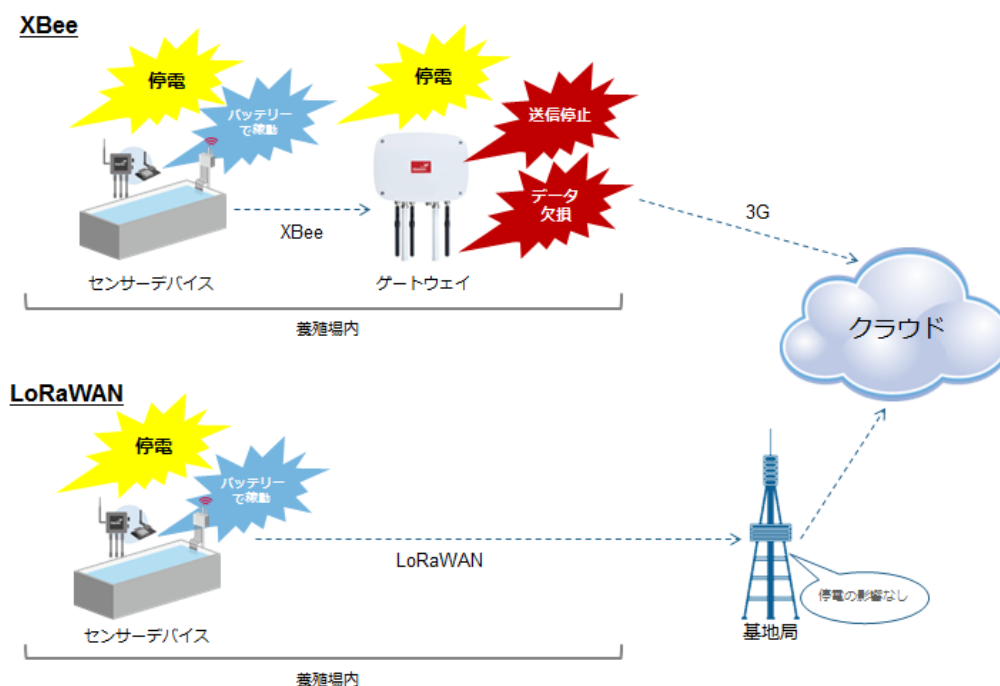


図 2-15 X b e e方式とL o R a WAN方式による停電時の違い

一方、留意すべき点としては、地形によっては想定より狭い範囲しかカバーできないおそれがあること、移動体には向かないこと、自らがネットワークオーナーになる場合はタイにおける電気通信事業法（Telecommunications Business Act, B.E. 2544 (2001)）が適用され、事業ライセンスを取得しなければならないことなどがあげられる。



写真 2-22 L o R a W A N のアンテナ

2.7.2 データのセキュリティ

センサーグループから取得した水質情報はセンサーノード内で暗号化している。
通信方式が X b e e の場合、暗号化の方式は X O R を採用している。

また、通信方式が L o R a W A N の場合、一度に送信できる文字数が 22 文字以内及び 10 バイト以内という制約があるため、センサーグループから取得した水質情報は暗号化しその後圧縮して L o R a W A N ゲートウェイに送信している。

2.7.3 物理的なセキュリティ

鍵付きのセンサーステーションにセンサーノードや周辺機器を設置し、盗難リスクを減らしている。

2.7.4 データのバックアップ

通信方式が X b e e の場合、それぞれの箇所でのデータバックアップは次のようになる。

(1) センサーノード

センサーノードではバックアップが取得できないため、センサーノード障害時にはその瞬間のデータはバックアップできない。

(2) 専用ゲートウェイ

ゲートウェイ障害時にはセンサーノードでデータを蓄積する。センサーノード内の S D カード (2 G B) の容量内は蓄積し、ゲートウェイ復旧時には蓄積したデータを送信する。

(3) 3 G 網

3G網の障害等でクラウド基盤までの通信ができない場合にはゲートウェイでデータを蓄積し、ゲートウェイのハードディスク(16GBであるが、実際に利用できる空き容量は13GB)の容量内は蓄積。3G網の復旧時には、蓄積したデータを送信する。



図 2-16 データのバックアップ地点

2.8 アプリケーション

2.8.1 アプリケーションの概要

I o Tシステムのアプリケーションは、センサーから送信された水質情報の可視化、飼育情報の登録及び可視化を実現することが目的である。

本アプリケーションは、拡張性（他の養殖でも利用できる）、可用性（継続的に利用できる）、セキュリティ（悪意ある攻撃に対する防御及び不正アクセス対策）を考慮した設計になっており、アプリケーションで利用する全てのコンポーネントは追加及び更新を容易にするようにフレームワーク化され養殖 I o Tに特化したプラットフォームになっている。

一般的に従来の業務システムは、I o Tのみのシステム、業務アプリケーションのみのシステムと分けられていたが、本実証事業ではI o Tと業務アプリケーションを融合することにより、センサーから送信された水質情報を基に飼育方法の対策が可能になり、また、飼育作業を起因とした水質情報の変化を可視化できるようになり、双方向で活用することが可能となった。

本アプリケーションの目的は、水質情報及び飼育情報のデータを一元管理し養殖業務を効率化すること、経験とスキルの高い作業員の飼育方法を可視化しそれをノウハウとすること、データ分析によって生産性向上に資する情報を提供することである。これらの目的は、リアルタイムで水質情報を取得・蓄積し、更に養殖活動に応じた飼育情報を蓄積することで、水質情報と飼育情報を組み合わせた情報を可視化し、その情報をユーザーに提供することにより実現する。

また本アプリケーションは、操作するユーザーにとって分かりやすいユーザインターフェースを採用しており、言語はタイ語及び英語と2ヶ国語に対応している。

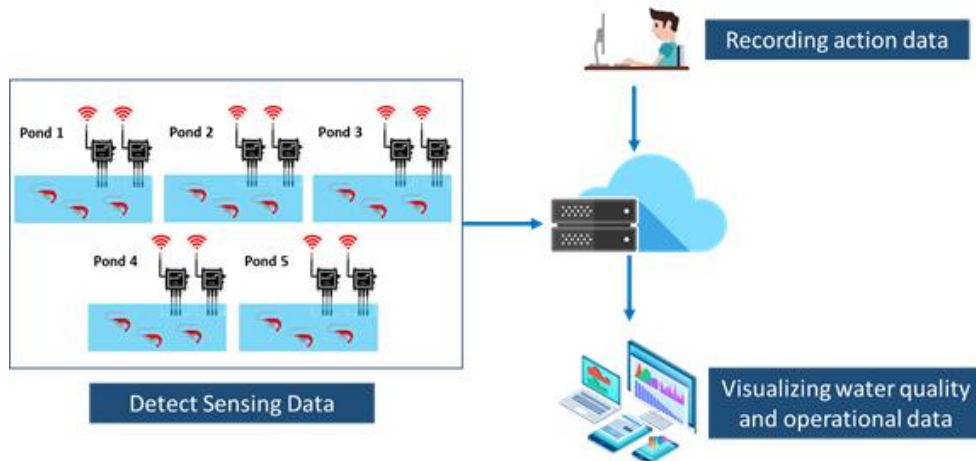


図 2-17 アプリケーションにおけるシステム概要図

2.8.2 データコンセプト

本アプリケーションは養殖業に特化したプラットフォームである。

養殖事業者は通常複数の養殖池を保有しており、1つの養殖池において年間複数回の収穫がある。本実証事業の養殖場では1つの養殖池につき通常年間3回えびを収穫している。この1回の養殖期間をクroppと呼ぶ。えび養殖ではクropp毎にえびの育て方が異なることが多い。例えば、1回目クroppではA家系の稚えび日齢15日を1万尾投入し60日間養殖する、2回目クroppではB家系の稚えび日齢18日を5,000尾投入し100日間養殖する、といった養殖をしており、同じ養殖池であっても養殖方法は全く異なる。なお、えびは血統家系で管理しており、成長の早さや生存率の高さは遺伝による要素が強い。

このためアプリケーションにおけるデータの持ち方及びデータ集計方法に工夫が必要である。例えば、同じ養殖池であってもえびの育て方が異なるため、集計する場合は養殖池のみではなく養殖池かつクropp単位で集計しなければならない。

本アプリケーションでは、えびのクroppサイクルに応じたデータアーキテクチャを採用している。

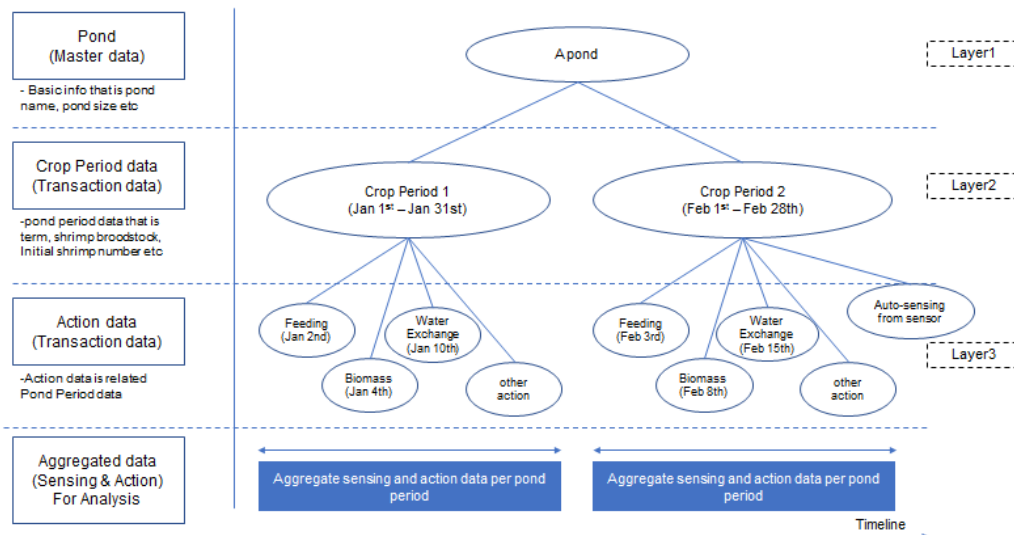


図 2-18 クロップに関するアーキテクチャ

2.8.3 機能概要

本アプリケーションは、飼育情報管理、水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理、設定及びログイン管理の大きく3つで構成されている。

飼育情報管理は養殖場と協議の上養殖に必要な入出力項目を網羅しているが、少ない入力項目で多くの出力項目をカバーできるよう工夫している。例えば、養殖場では日々の生存率と通算した生存率を管理しているが、アプリケーションでは生存率を入力するだけで、通算した生存率の計算、生存数の計算、全体重量の計算、へい死率の計算、過密数の計算等の分析用集計値を自動で出力できるようにし、従来の記入項目数より削減することとした。また餌代は養殖におけるコストの約半分を占めているが、アプリケーションでは給餌により掛かった餌代を自動計算できるようになっており、養殖経営に役立てるように工夫している。

飼育情報管理では、えび養殖における重要管理指標である①バイオマス情報、②給餌情報、③水質調整剤情報、④PCRテスト情報、⑤水質情報（手動登録用）、⑥排水情報、⑦水換情報、⑧センサークリーニング情報の8つで構成される。

水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理は、①リアルタイムダッシュボード（各養殖池における水質情報及び飼育情報の概要表示）、②飼育情報の集計機能、③水質情報及び飼育情報のグラフ表示・閾値表示機能の3つで構成される。

設定及びログイン管理では、①アラート及び閾値設定機能、②クロップ管理機能、③センサーノード管理機能、④養殖池管理機能、⑤ユーザー管理及びログイン機能、⑥ユーザーグループ管理機能、⑦餌製品・水質調整剤管理機能、⑧CSV入力及び出力機能の8つで構成される。

本アプリケーションにおける機能概要を以下に示す。

(1) 飼育情報管理

表 2-13 飼育情報管理の概要

No	機能名	概要
1	バイオマス情報	日々のバイオマス情報を登録する。 登録したバイオマス情報は、水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理にて自動集計される。
2	給餌情報	日々の給餌情報を登録する。 登録した給餌情報は、水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理にて自動集計される。また、給餌製品名と給餌量を登録することで給餌コストが自動計算される。
3	水質調整剤情報	投与した水質調整剤情報を登録する。 水質調整剤は水質が悪化した場合に水質を改善するために使われる。 登録した水質調整剤情報は、水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理にて自動集計される。また、給餌情報と同様に水質調整剤量を登録することで水質調整剤コストが自動計算される。
4	PCRテスト情報	PCRテスト結果情報を登録する。
5	水質情報（手動登録用）	手動で計測している水質情報を登録する。 また、水温、pH、NH ₄ を登録することによりNH ₃ を自動計算している。
6	排水情報	排水情報を登録する。 排水は養殖池に蓄積された不純物（残餌、えびの死骸、糞等）を取り除くために行われる。
7	水換情報	水換情報を登録する。 水換は水質調整剤を使用しても水質が改善しない場合に行われる。
8	センサークリーニング情報	センサークリーニング情報を登録する。 センサープローブのクリーニングやキャリブレーションを行った場合に登録する。

Pond Name	Date	Staff	Survival rate: Daily	Body Length(cm)	Weightg/pc
T1	21/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	11.26
T1	20/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	11.26
T1	19/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	11
T1	18/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	10.75
T1	17/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	10.49
T1	16/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	10.24
T1	15/11/2018 12:00:00	ij02	100	0	9.98

図 2-19 バイオマス情報の一覧画面

Biomass / Add

Biomass

Pond Name *

Date & Time *

Staff *

Survival rate (%):Daily * %

Body Length cm

Weight * g/pc

Comment

図 2-20 バイオマス情報の登録画面

(2) 水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理

表 2-14 水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理の概要

No	機能名	概要
1	リアルタイムダッシュボード	<p>現在稼働中のクロープにおける各養殖池の最新水質情報や飼育情報を表示する。 表示項目は、養殖池名、養殖池サイズ (m²)、DOC (Day of Culture; 養殖の経過日数)、水温、pH、DO、NH₄、NO₂、生存率累計、えび固体重量、給餌率等である。</p> <p>設定画面においてアラート及び閾値を設定し、その閾値を超える場合、情報表示域全体及び該当箇所を赤色でハイライトすることにより視覚的に分かりやすくしている。</p>
2	飼育情報の集計機能	<p>飼育情報管理で登録した情報を基に、養殖池の最新飼育情報の概要を画面上部に表示し、画面下部には詳細情報として過去の養殖履歴を表示する。 本機能はクロープ単位で集計している。 飼育情報の概要は、養殖池サイズ (m²)、養殖池の深さ (cm)、生存率累計、えびの総匹数、総重量、えび固体の体重や体長、給餌率、コスト合計等を表示する。</p> <p>詳細部は、飼育情報管理 (バイオマス情報、給餌情報等、計 8 機能) で登録した全ての情報をDOC順に一覧表示し、更に登録した情報を基に養殖で有益な指標を新たに追加している。</p>
3	水質情報及び飼育情報のグラフ表示・閾値表示機能	<p>センサーから取得した水質情報や飼育情報をグラフで表示する。これにより養殖池における各指標のトレンドを観察することが可能である。 グラフの表示については、任意の 2 つの指標を指定することで比較して表示することが可能である。また養殖計画データ (生存率、えび固体の体重、日次給餌量) を登録することにより、グラフ上で生存率、えび固体の体重、日次給餌量における計画及び実績の比較表示が可能である。 グラフの横軸表示は、DOC・PL (えびの実年齢) ・日付の 3 つから選択可能であり、グラフに表示するデータの期間は、時別・日別・週別・月別・全期間に対応している。</p>

		<p>グラフの縦軸表示は、分かり易さのため表示する指標に応じて表示単位を自動で変更している。またグラフをクリックすることで詳細情報をポップアップで表示できる。予め閾値を設定している指標については、グラフ上に閾値線が自動で表示される。この閾値線はグラフ上で非表示にすることも可能である。</p>
--	--	--

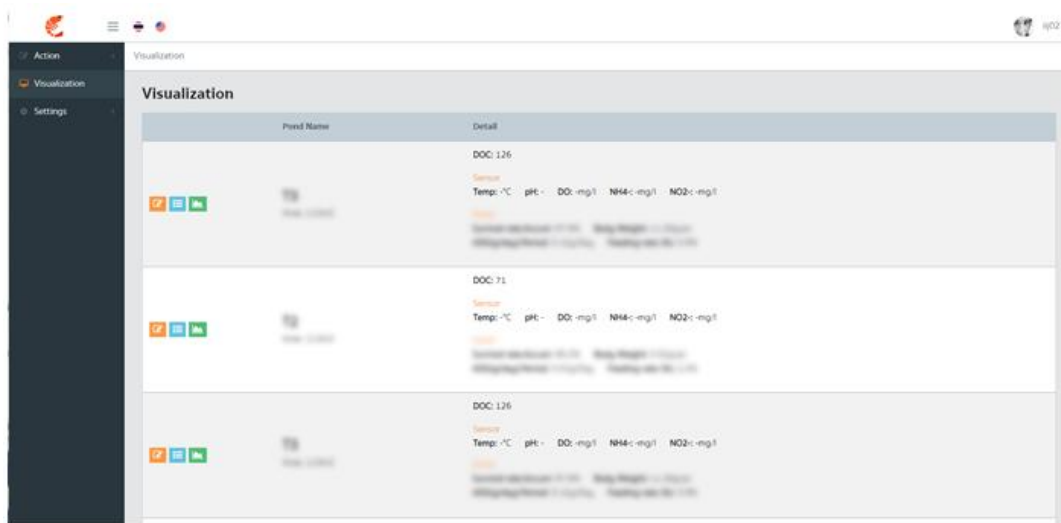


図 2-21 リアルタイムダッシュボード画面

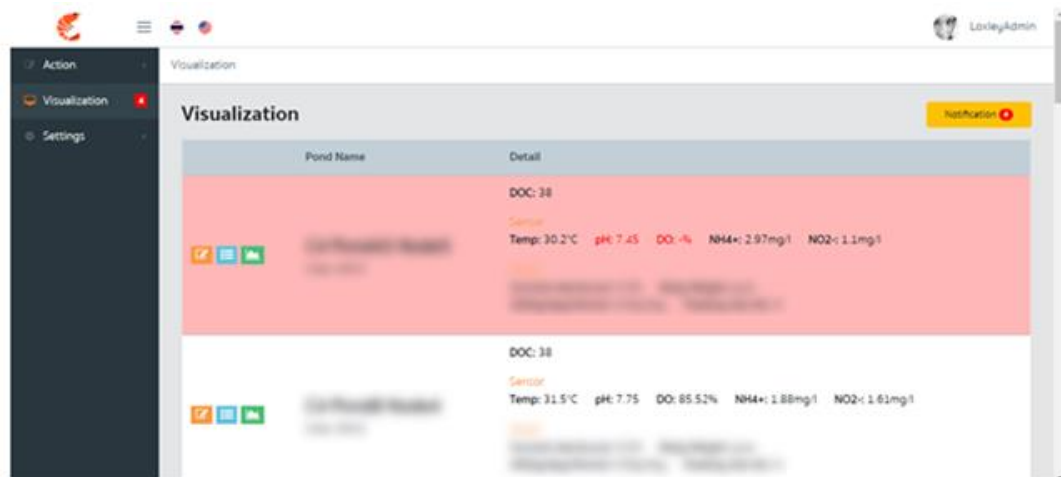


図 2-22 アラート発生時の画面（ダッシュボード）

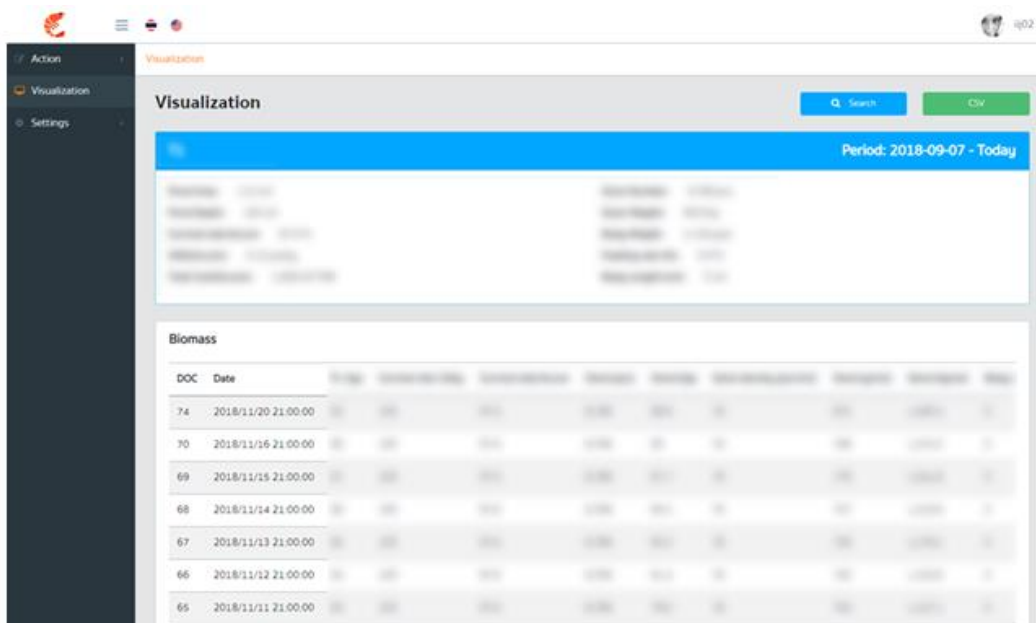


図 2-23 集計画面

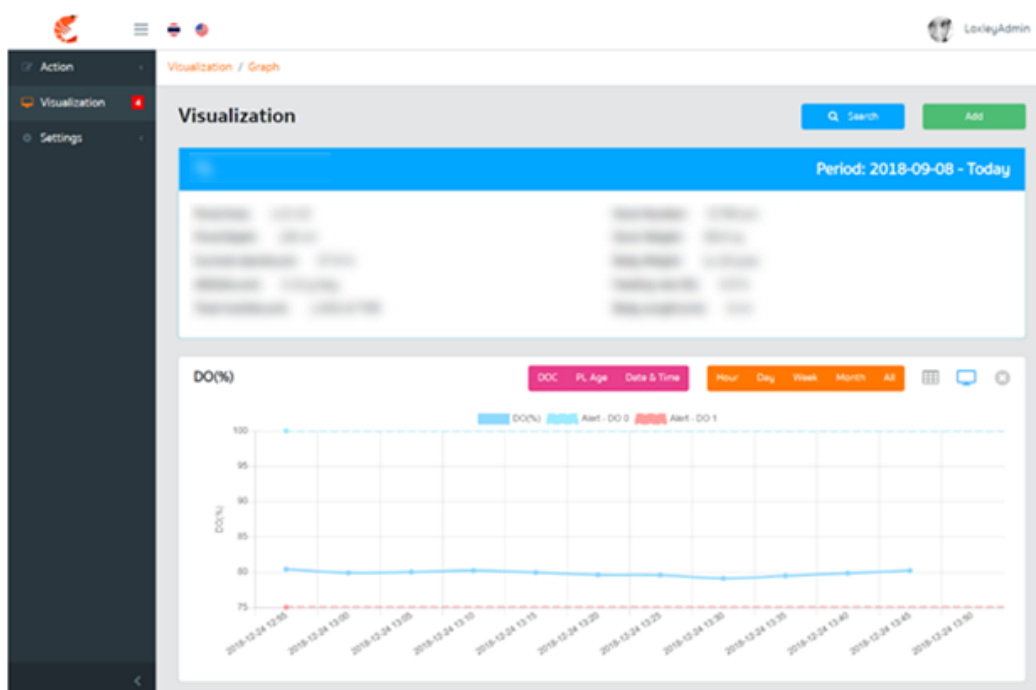
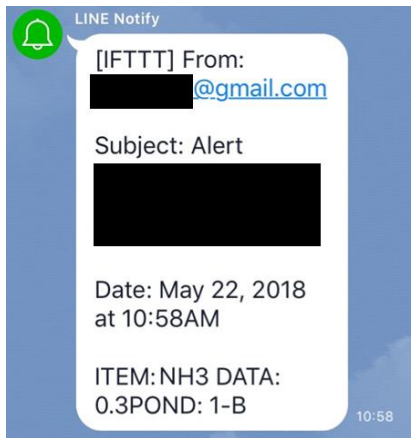


図 2-24 可視化画面 (グラフ)

(3) 設定及びログイン管理

表 2-15 設定及びログイン管理の概要

No	機能名	概要
1	アラート及び閾値設定機能	<p>水質情報や飼育情報における指標に対して閾値を登録する。 閾値を登録することでグラフ上に閾値線を表示し、閾値を超えた場合指定したメールアドレスにアラートが送信される。 また、現場作業者の希望を踏まえ、SNSであるLINEへの転送機能も実装した。</p> <div data-bbox="874 788 1286 1223" style="text-align: center;">  </div> <p>図 2-25 LINEを利用したアラート通知</p> <p>アラート及び閾値設定の登録項目は、養殖池名、メールアドレス、閾値を超えた場合の対応方法、水質情報又は飼育情報の指標、判定演算子（以上、以下、超過、未満）、閾値、比較時間等である。比較時間を登録することで、指定した時間前の値と現在の値を比較することができる。</p>
2	クロープ管理機能	<p>養殖池におけるクロープを登録する。クロープを登録することによりクロープ単位で集計することが可能になる。 登録項目は、クロープ開始日、クロープ終了日（収穫日と同等）、投入時えび総匹数、投入時えび体長等である。</p>
3	センサーノード管理機能	<p>養殖池に設置するセンサーノードを登録</p>

		<p>する。</p> <p>センサーノードを他の養殖池に移動させる場合は、本画面からセンサーノードが設置されている養殖池を修正することで、新しい養殖池に応じた水質情報の取得が可能になる。</p> <p>またセンサーノードに何らかの故障が発生した場合は、本画面において該当するセンサーノードのセンサーステータスが赤色に変わる。</p>
4	養殖池管理機能	<p>養殖池を登録する。</p> <p>養殖池の登録が本アプリケーションの出発点である。</p> <p>登録項目は、養殖池名、養殖池サイズや深さ等である。</p>
5	ユーザー管理及びログイン機能	<p>本アプリケーションを利用できるユーザーを登録する。</p> <p>ユーザーには管理者及びスタッフの2種類の権限があり、管理者権限は全ての権限を付与、スタッフ権限は飼育情報登録と担当する池における水質情報及び飼育情報の集計・可視化管理の閲覧を付与される。</p> <p>また、ユーザー登録することにより本アプリケーションへログインできる。</p>
6	ユーザーグループ管理機能	<p>養殖池単位で飼育員の担当がある場合、ユーザーグループを登録する。</p> <p>ユーザーグループを設定されたユーザーが本アプリケーションにログインすると、当該ユーザーが担当する養殖池の飼育情報のみ表示・登録・変更できるようになる。</p>
7	餌製品等管理機能	<p>養殖において利用している餌製品等を登録する。</p> <p>養殖場ではたくさんの種類の餌があり、えびの成長に伴って使う餌を変えている。餌製品は餌一個単位の大きさや単価も異なる。</p> <p>養殖場における養殖コストの半分は餌が占めているため、餌代を精緻に把握することはとても重要である。</p> <p>本アプリケーションでは、餌製品を登録することにより、飼育情報管理の給餌情報で餌の種類を選択でき餌代が自動計算される。</p>

8	C S V入力及び出力機能	<p>飼育情報管理に登録されているデータをC S V形式でクロープ単位に出力できる。これによりエクセル等の表計算ソフトで独自分析が可能である。</p> <p>また一度に大量のデータを登録したい場合はC S V形式で一括登録が可能である。</p>

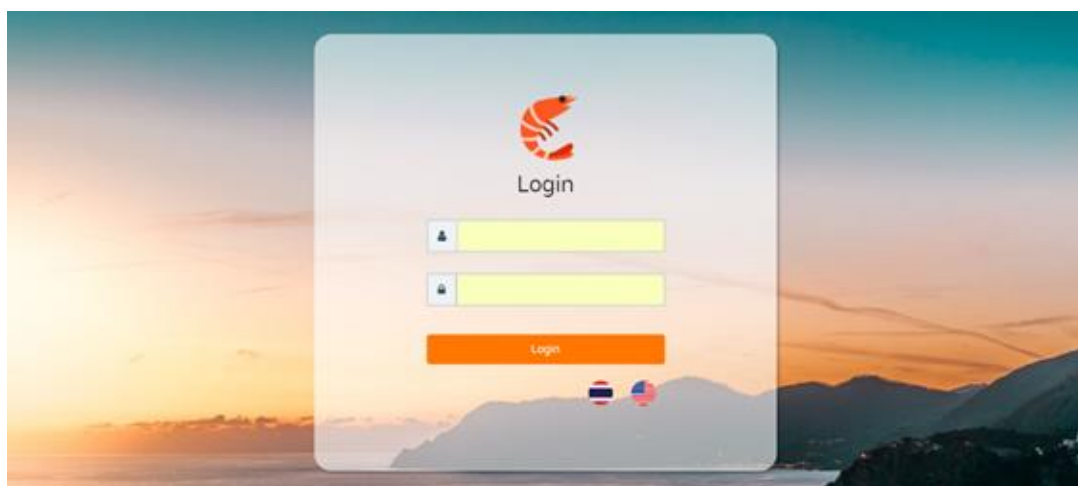


図 2-26 ログイン画面

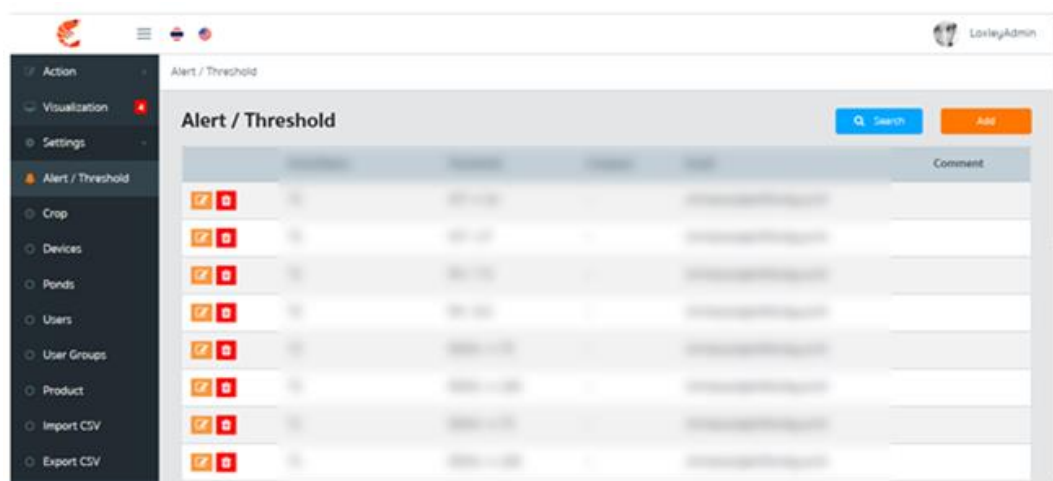


図 2-27 アラート及び閾値設定画面

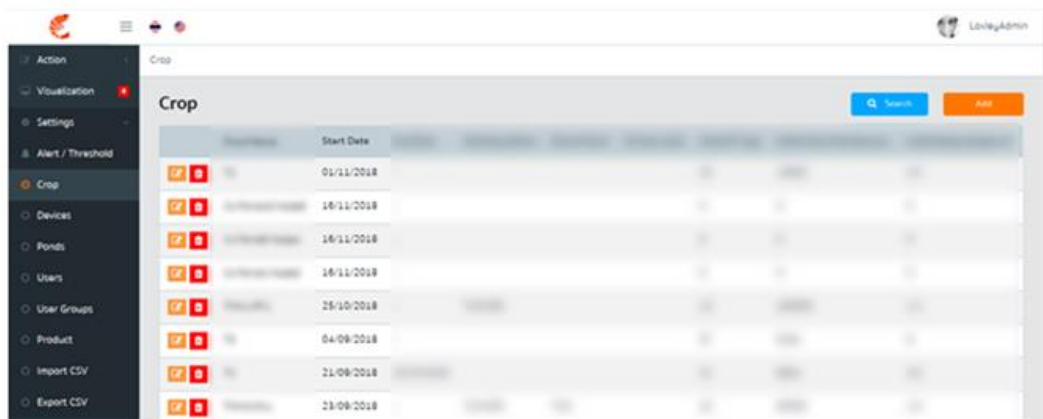


図 2-28 クロップ管理画面

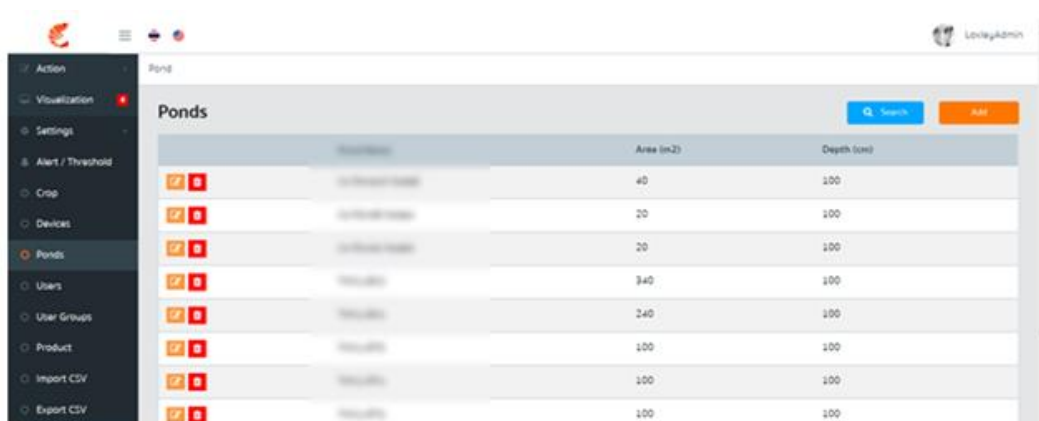


図 2-29 養殖池管理画面

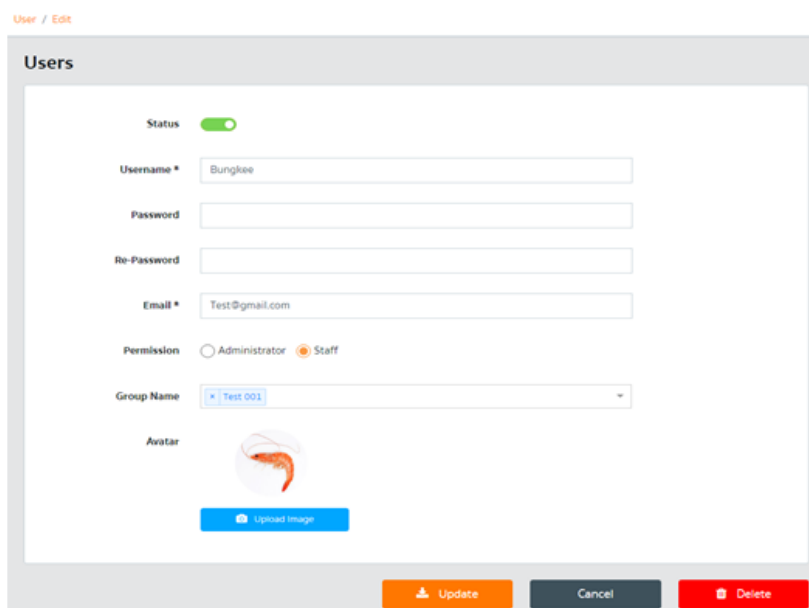


図 2-30 ユーザー管理画面

2.8.4 セキュリティ

本アプリケーションへアクセスする場合、全てのアクセスはSSLで通信しており全ての情報は秘匿されている。またID及びパスワードによる認証を採用しており、本アプリケーションに登録されているID及びパスワードでないとアプリケーションにログインできない。加えてデータベース内のパスワードは暗号化されており、万が一パスワードが流出しても複合化キーがないと復号できないようになっている。

2.8.5 データバックアップ

本IoTシステムでは、誤操作によるデータ又は破損、システム障害、災害等が発生した場合、養殖データの損失を防ぎ養殖場の貴重な情報資産を保護するために、定期的なバックアップを実行している。

アプリケーションのデータバックアップとしては、正系¹DBサーバ（1号機）より待機系DBサーバ（2号機）へデータの複製を行っている。そのため、正系DBサーバの障害時にも待機系DBサーバを稼働させることで復旧させることが可能となる。

¹主として稼働しているDBサーバ。本実証事業ではDBサーバは冗長化されており、主に正系サーバが稼働している。

第3章 実証事業の成果

3.1 収集データの検証

当社及びLOXLEYは、5つの養殖池（屋内養殖池3つ、屋外養殖池2つ）にセンサーステーションを設置し、2018年09月にアプリケーションを通じた飼育情報の蓄積を開始した。また、2018年10月にIoTセンサーを通じた水質情報の取得を開始し、これらの飼育情報及び水質情報は2019年01月まで継続的蓄積しデータの分析を行った。

はじめに収集したデータの全体像を述べる。本実証事業期間において、センサーから取得した水質情報の総数は約38万6,000（水温・pH・DO：各約7万8,000、NH₄・NO₂：各約7万5,000）、アプリケーションを通じて入力された飼育情報の総数は約1,000であった（2019年01月15日時点）。また、登録池数は15池、閾値設定数は30、餌製品登録数は8、延ベクロップ数は6であった。

<以降非公表>

第4章 今後の方向性

4.1 今回得られた知見

本実証事業における技術面でのポイントは①センサーをI o T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、③L o R a W A Nを用いたネットワークを構築・運用すること、が挙げられるが、それらを順に検討し加えて本実証事業を通じて得られた他の知見も記載する。

4.1.1 センサー

(1) イオンセンサー

液体中のイオン濃度を屋外環境で継続的に計測し、キャリブレーションも必要ないというセンサーを広く探したが見つからなかったため、既製品の設置手法を工夫することで対応することとなった。しかしながら、実証期間を通じてNH₄及びNO₂イオンセンサーによって計測された値は安定せず、ここが商用化に向けた一番の課題となった。

イオンセンサーの計測値が安定しなかった理由としては、定時でデータを計測する従来の計測手法ではなく、水質がめまぐるしく変わる養殖池の中にセンサー（プルーフ部分）を継続して浸し、連続的にデータを取得することにイオンセンサーが対応できなかったことが挙げられる。

NH₄及びNO₂における従来の計測手法は、基本的に試薬を用いて計測する。試薬での計測方法は、養殖池の水をビーカーに一定量入れ、そのビーカーの中に3種類の試薬をそれぞれ3～4滴加える。それによりビーカーの水の色が黄色から緑色に変色するので、カラーコード表を用いて最も近い色から値を計測する方法である。

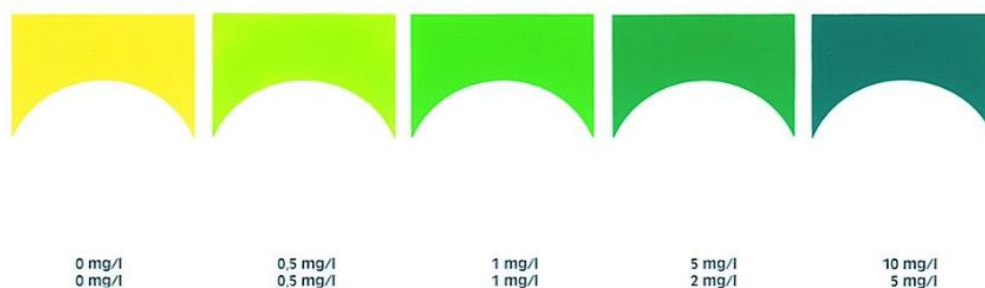


図 4-1 カラーコード表

従来の計測方法と比較してI o T技術によるセンサーは大幅に計測時間を短縮する可能性があったが上述したとおり値の安定性と正確性を欠いた結果となった。

なお当初のイオンセンサープルーフのベンダーを変更することによって計測値の正確性は向上することができたが、一方でキャリブレーションの専用溶液が3つから5つに増えることによりキャリブレーションの複雑性が増した。養殖事業にとってイオン値、特にNH

3の値を知ることは重要なので、どのようにイオン値を計測するかは引き続き模索していきたい。

(2) センシング方法

実証事業の内容で記載したとおり、IoTセンサーを利用した計測方法については、3種類の方法を試すことにより塩分によるセンサー腐食を解決し、計測値の安定性と正確性を向上させることができた。これにより現状の養殖事業に最も適した計測方法を見つけ出すことができた。

計測方法①：水位可動式フローター。当初のデザイン。可動式フローターにセンサープローブを設置することで水質情報を計測する。

計測方法②：グラスボックス。計測専用の水槽の中にセンサープローブを設置し、当水槽の中に養殖池の水を給水することで水質情報を計測する。

計測方法③：シリコン付きセンサーパイプ。可動式フローターによる計測方法の設計を踏襲しつつ、専用パイプの中にセンサープローブを入れ、当パイプの先端（電極側の反対側）をシリコンでふさぐことにより防水加工し水質情報を計測する。

(3) キャリブレーション

実証事業の内容で記載したとおり、本実証事業において利用するセンサーはキャリブレーションが必要である。なお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の課題がある。

この課題を解決する方法は大きく3つあり、もっとも望ましいものは、キャリブレーションが不要又は簡単なセンサーを見つけることである。次に、従来の計測方法（例えば試薬）で変色した水の色をカメラで撮影しクラウドへ送信、クラウド内で当該画像は画像解析技術を通じて色別判断及びカラーコード表と色マッチングすることによって計測値をデジタル化（数値化）する、最後に、事業化より提供するサービス料の中にキャリブレーション代を含めることにより当社またはLOXLEYが対応する、という方法が考えられる。

(4) 電源対策

タイにおいて、養殖場が集中する地域は停電が多い地域でもある。本実証事業において停電対策は重要な課題であったが、センサーにバッテリー機能を搭載する、LoRaWANを活用するといったことで対策することができた。またソーラーバッテリーの活用も有効だと考えられる。なお電源の取り方によってはノイズが発生しセンサーの計測値に影響するため、ノイズ除去に工夫が必要である。

本実証事業において達成した電源対策は今後の事業展開で活用可能である。

4.1.2 アプリケーション

(1) 養殖における飼育管理指標

養殖向けに I o T と養殖業務アプリケーションを融合することは新しい試みである。本実証事業においてパートナーと本アプリケーションを設計するにあたって、養殖事業ではどのような項目を養殖指標にしているか、どのような項目を必要としているか等の知見を得ることができた。主要な指標としては、生存率、給餌率、水質トレンド、養殖コスト等が挙げられる。養殖場ではこれらの指標を組み合わせながら日々観察及び分析しながら日々の養殖業務を行っている。

(2) 製品化へ向けての課題

本アプリケーションを現地実証養殖場に利用してもらうことにより、どのような機能が養殖現場で必要とされているかが明らかになった。今後これらの機能を実装することでユーザビリティ及びUXを向上させ本アプリケーションの完成度を高めていきたい。

<本項目非公表>

4.1.3 ネットワーク

屋外大規模養殖場における通信手段は、通信関連に係るコスト、無線通信距離、停電対策等の側面から Wi - F i と比べて L o R a W A N が適していると分かった。詳しくは 2.7 通信方式に記載。

4.1.4 制度

(1) タイにおける I o T 関連の制度

本実証事業では、L O X L E Y を始めタイ側パートナーの協力により、タイにおける関連規制は大きな障害なくクリアすることができた。ここでは、簡単に関連する制度について概観した上で、I o T 社会の到来を踏まえた世界的な制度デザインのトレンドをもとに、タイランド 4 . 0 をはじめとするデジタルイノベーションを社会との調和を前提に促進していくために望ましい制度のあり方について言及したい。

本実証事業に関連するタイの制度としては、大きくコネクティビティに関するものと、通信機器に関するものが存在する。

ー Act on Organization to Assign Radio Frequency and to Regulate the Broadcasting and Telecommunications Services B.E. 2553 (2010)

本法は、日本における電波法に相当する法律であり、周波数帯の割り当て、独占利用に関する免許制度等を規定したものである。本実証事業で活用した L o R a W A N については、免許不要周波数帯として日本と同じく 920MH z ~ 925MH z が割り

当てられており、周波数帯の利用に関しては免許制度の対象外となっている。また、X b e eについてもW i F iと同じ2.4GHzを活用しており、こちらも免許不要周波数帯となっている。

ー Telecommunications Business Act, B.E. 2544 (2001)

本法は、日本における電気通信事業法に相当する法律であり、通信サービスをユーザーに提供する事業者は、NBTCが発行する事業者ライセンスが必要となる。事業者ライセンスは3タイプ存在するが、送信出力(EIRP)が50mW未満であれば事業ライセンスは不要である。本実証事業では、当社が自らプライベートネットワークを構築し、ライセンス不要の自社利用という形態でLoRaWANを活用することも検討したが、今後の展開可能性、コスト等を勘案した結果、既に本法に基づく許認可を有するタイ大手通信事業者であるCAT社と連携し、同社に新しく基地局を設置してもらうことにより対応した。

ー NBTC TS 1033-2560

本法は、IoT向けの無線通信機器に関する法律である。主にIoT向けに920MHz~925MHzの周波数帯を利用すること、無線通信機器は無線要件・安全要件・放射暴露要件に適合しなければならないこと、無線出力と利用する周波数範囲によって認証するライセンス(Class A、Class B、SDOCの3種)が異なるといったことが規定されている。

本実証事業で利用する通信機器(センサーノード)は、既にタイにおいて機器認証済の製品であるため、本実証事業を遂行する上で大きなハードルにはならなかった。

なお今後の展開方法によって当社独自で通信機器を開発し販売する場合は、本法に従い機器認証を受けなければならない。

いずれの法律も、日本を含む諸外国における相当する法律と規定内容は概ね同様であり、IoTの普及促進に障害となる要素は特段無いものと考えられる。

(2) 今後の制度設計に向けた提言

上記現行のタイの法制度は、通達等実務面で必要となる情報や統計データがタイ語でしか入手できないといった面はあるものの、規制という趣旨ではIoTの普及を困難にしている要素は見受けられず、諸外国と同等のものと考えられる。一方で、今後、以下のような制度設計がタイを含め各国で加速していくものと推測され、今後IoT等のデジタルイノベーションを促進し、ビジネスや生活を改善していくためには、以下のような取り組みを進めることが望ましいと考える。いずれの分野でも、データフローはボーダレスであ

り、各国がばらばらの規制を課すことはイノベーション促進の観点からは望ましくないと考えられる。

まず議論に上がるのはサイバーセキュリティである。IoTにおけるセンサー等のエッジのセキュリティ対策は重要であるが、IoT以外のIT資産と比較して数も多くセキュリティ対策も脆弱であることが一般的である。デバイスを乗っ取ることでデータを不正に取得するような問題もおきているほか、乗っ取ったデバイスからDDoS攻撃を仕掛けるMiraiのような事例²も生じた。一方で、センサーの種類やIoT化のレベル（データの見える化だけなのか、制御機器まで内包したシステムなのか等）によって取られるべき対策の軽重も異なる。したがって、一律な規制を課すのではなく、いくつかの類型に沿ったガイドラインのような形で各国共通のものとして示すことが望ましいと考えられる。

もうひとつは、個人情報保護、データ主権の観点である。2019年1月より、ASEANでもベトナムでサイバーセキュリティ法が施行されており、Facebookが同法違反の疑いをかけられたとの情報もある³。安全保障等、国にとって重要なデータの国外移転を禁止することは当然であろうが、むやみに規制すると、オープンデータ、ビッグデータによる新たなイノベーションが阻害されるという側面もある。また、この観点は私企業間におけるデータの所有権やビジネスモデル等の知的財産についても同様のことが言える。IoTにおいて協業は不可欠である以上、パートナー間でのフローやストックの配分はあらかじめ十分に検証されている必要があるが、まだグローバルで活用できる具体的な契約モデルがあるわけではない。経済産業省が2018年6月に公表した「AI・データの利用に関する契約ガイドライン」⁴のようなものを、ASEAN各国と共有していくような取り組みがあれば良いと思われる。

4.1.5 IoT関連事業に係る協業体制

IoTに係るサービスは複数の分野に分かれ、どの分野も専門性が必要になるとわかった。本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分野にわたる。

各分野の専門性は、①センサーの場合はセンサーの仕様や取扱い方法、IoTにおける通信機器の実装等、②アプリケーションの場合は業務知識や開発技術等、③クラウドの場合はサーバ設定知識やセキュリティ等、④通信・ネットワークの場合はIoTに係る通信方法の技術やセキュリティ知識等、⑤分析及び業務の知見の場合は養殖に係る知見や水質環境における知見等、⑥機器制御の場合は制御する機器に係る知見や制御技術等が挙げら

2 Inside the infamous Mirai IoT (Cloudflare)

<https://blog.cloudflare.com/inside-mirai-the-infamous-iot-botnet-a-retrospective-analysis/>

3 MIC announces Facebook's violations in Viet Nam (Viet Nam News)

<https://vietnamnews.vn/society/483437/mic-announces-facebook-violations-in-viet-nam.html#4Uuc3rqsDYSDvVL97>

4 AI・データの利用に関する契約ガイドライン（経済産業省）

<http://www.meti.go.jp/press/2018/06/20180615001/20180615001-1.pdf>

れる。

これら全ての分野をひとつの企業で対応することは難しく、各分野に特化した企業との協業が必要になる。協業にあたっては、期待する品質レベルの調整、責任範囲の取り決め等煩雑なやり取りが発生するが、要素技術のインテグレーションが必要となる I o T 事業を展開する上では協業する企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 I o T 事業を成功させるポイントの一つであると考えられる。

4.2 フィージビリティ検証

4.2.1 養殖ビジネスの現状

(1) 養殖事業における収益構造

屋外養殖において一般的な池のサイズは 6,400 m² (4 Rai) である。えびの密度は 1 平方メートル当たり 60 尾が目安であり、年間収穫回数、生存率や市場価格を勘案すると年間売上高は 136 万バーツとなり利益は 40 万バーツとなる。タイにおいて一般的な養殖場は平均 5 池保有しており、全ての池が年間を通じて稼動した場合、養殖場の年間総売上高は 680 万バーツとなり利益は 200 万バーツとなる。

(2) 養殖事業におけるコスト構造

養殖場におけるコスト構造から考察すると、餌代の占める割合が最も大きく半分を占めている。これは養殖場にとって如何に餌代をコントロールすることが利益の最大化につながる事がわかる。

一方で人件費は想定より低く、本 I o T システムの利用目的を人件費削減の用途のみに絞った場合、その費用対効果の改善インパクトは小さいと考えられる。

本コスト構造から見る限り、本 I o T システムは餌に関わる分野へ注力した方が、養殖場におけるコスト観点では改善インパクトが大きいと考えられる。

4.2.2 ビジネスモデル

<本項目非公表>

4.2.3 市場規模

(1) 概要

本ビジネスモデルにおける事業化可能性を探るため、えび養殖における市場規模を調査した。

事業化に向けては、サービスを投入する市場において確実な需要が存在し、その市場が大きいほどビジネスチャンスは高くなり、競合他社が少ないほどグリーンオーシャンにな

るため成功の可能性が上がる。またマネタイズのためには、当社が提供するサービスの価値と金額に競争力があり顧客に利益を与えることができること、そして中長期的に顧客側における市場が拡大し顧客の売上及び投資に回せる利益が伸び続けることができる市場が求められる。

えび養殖における市場規模を分析した結果、2016年度タイにおけるえび養殖の市場規模は15億ドル（1,899億円）となり、ベトナムの市場規模は37億ドル（4,271億円）、ASEAN全体のマーケット規模は89億ドル（1兆183億円）であり、十分な規模の市場である。（円換算は1ドル113.26円で計算）

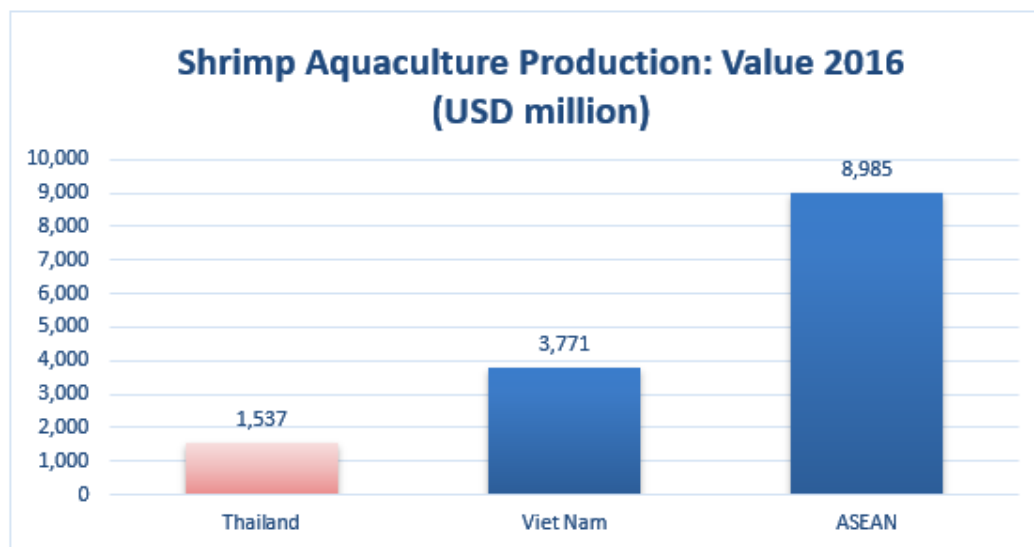


図 4-2 タイ・ベトナム・ASEANのえび養殖生産量（2016年）

（出典：FAOデータを基に当社作成）

また中長期的には世界の漁獲量及び養殖生産量は2030年度2億トンと予想され2016年比17.6%成長し、その内水産養殖は1億900万トンになり2016年比36.7%成長すると予想されている。また水産養殖の生産量は2020年頃までには漁獲量を上回る可能性もあり、持続的な拡大という視点においても魅力的な市場である。

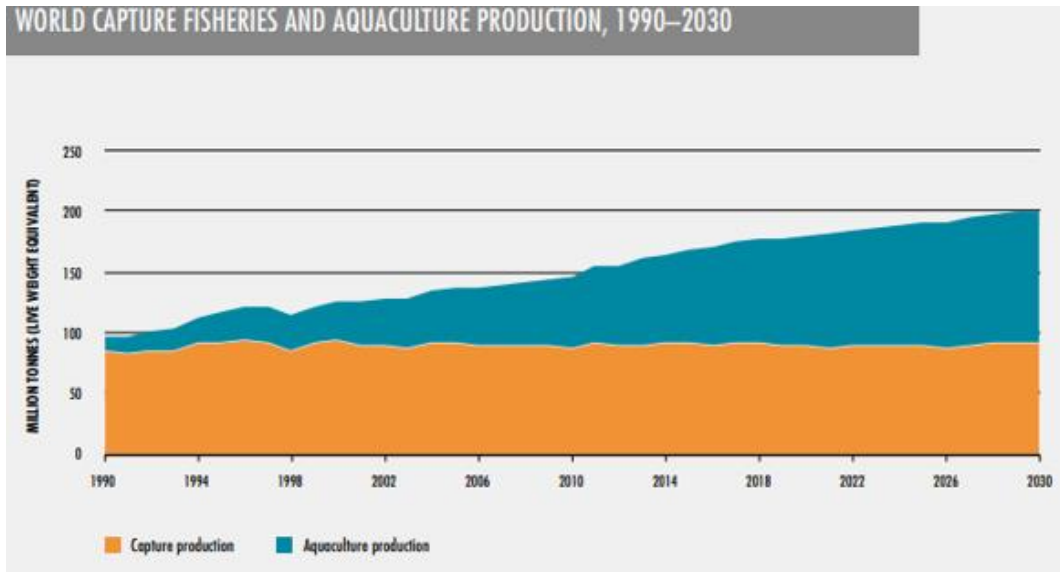


図 4-3 世界の漁獲量及び養殖生産量の予想
(出典：FAO)

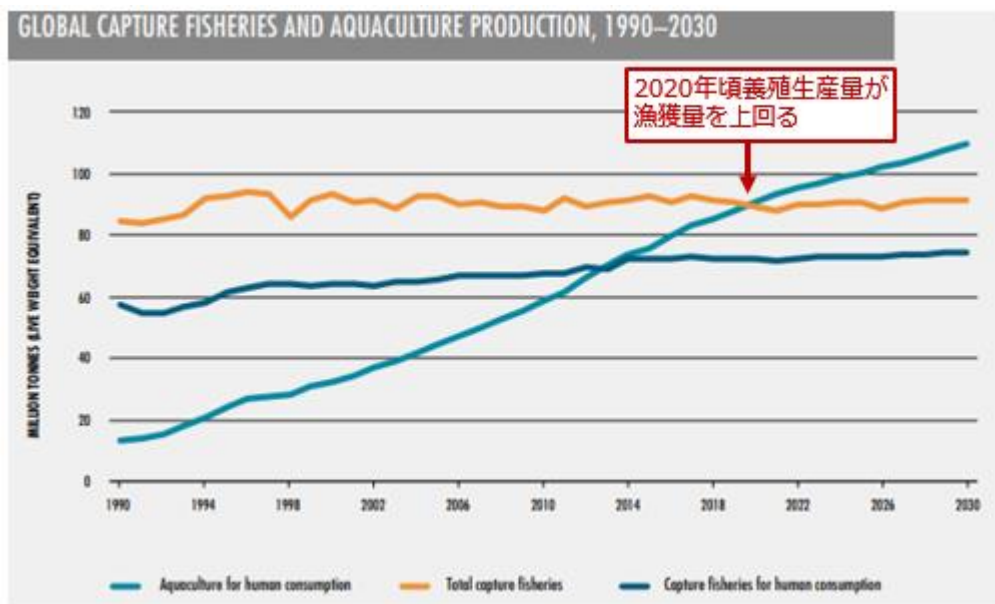


図 4-4 世界の漁獲量及び養殖生産量の推移
(出典：FAO)

(2) 世界から見たアジア・ASEANのえび養殖市場

世界のえび養殖市場は2016年度 250 億ドル（生産量 443 万トン）であり 2018 年度は 300 億ドル（生産量 500 万トン）を超える勢いで拡大している。

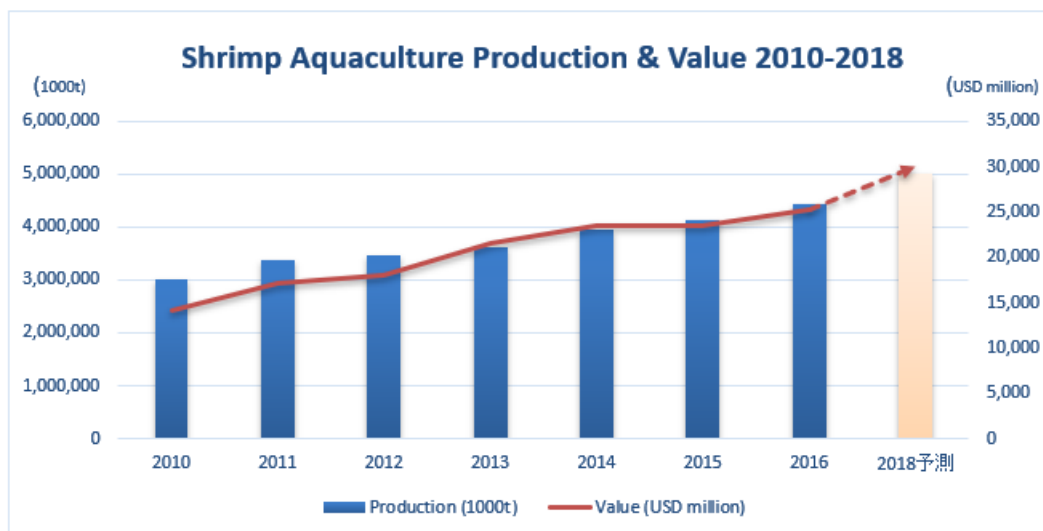


図 4-5 えび養殖生産量及び生産額の推移
 (出典：FAO データを基に当社作成)

世界のえび養殖市場におけるアジアの割合は金額規模で 86%と大部分を占めており、またその内ASEANの割合は 36%であった。

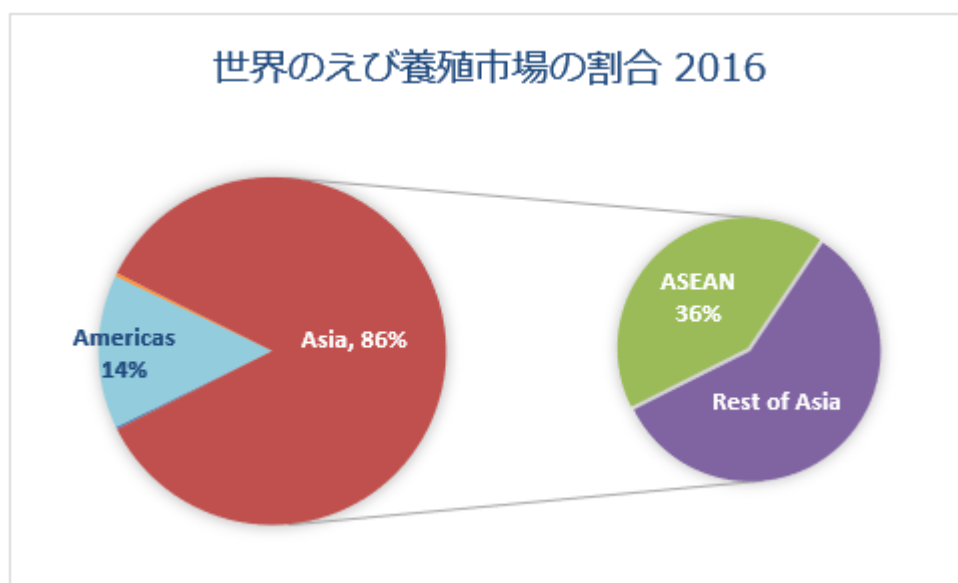


図 4-6 世界のエビ養殖市場の割合 (2016 年)
 (出典：FAO データを基に当社作成)

世界のえび養殖市場における 2016 年度生産高は、中国・ベトナム・インドネシアと続き、タイは第 6 位である。中国は第 2 位のベトナムと約 2 倍の開きがあった。

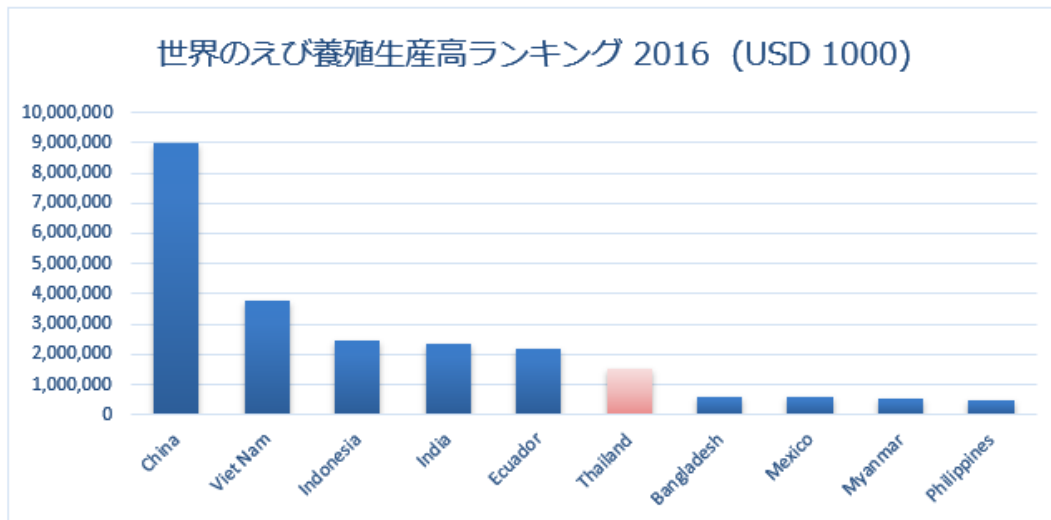


図 4-7 世界のえび養殖生産高ランキング (2016年)
(出典：FAO データを基に当社作成)

また、タイは 2013 年度に伝染病である EMS により生産量が激減したが、現在は回復基調である。

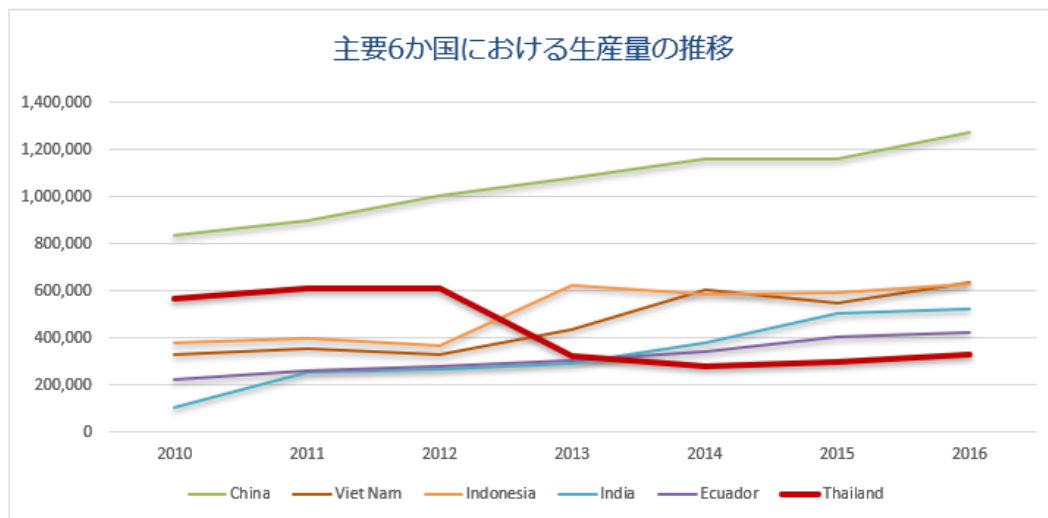


図 4-8 主要 6 か国における生産量の推移
(出典：FAO データを基に当社作成)

(3) タイにおけるえび養殖市場

タイにおける 2016 年度漁獲量及び養殖生産量の総数は 241 万トンであり養殖生産量は 88 万トンであった。またえび養殖の生産量は 2016 年度 33 万トンであり、バナメイえびが 96%を占めていた。

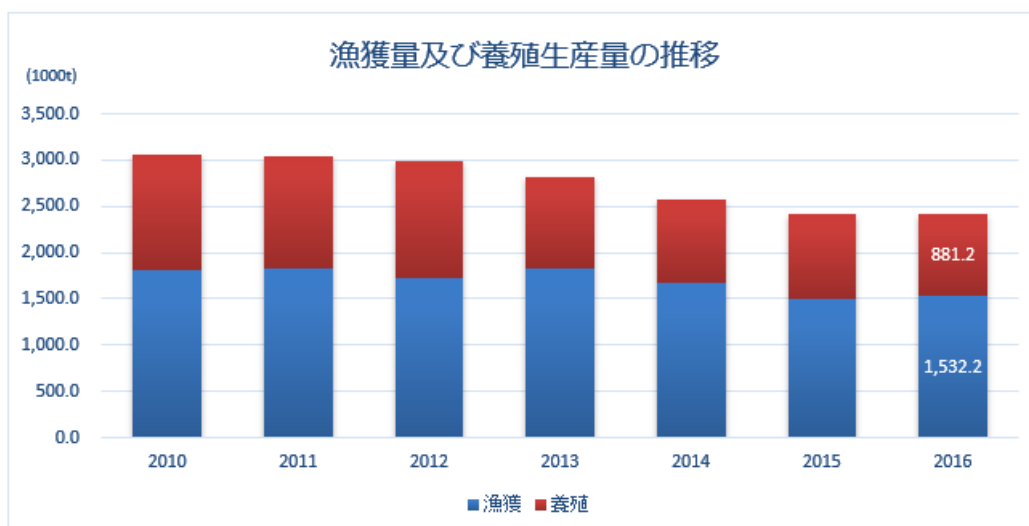


図 4-9 タイにおける漁獲量及び養殖生産量の推移
 (出典：STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE
 Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND
 データを基に当社作成)

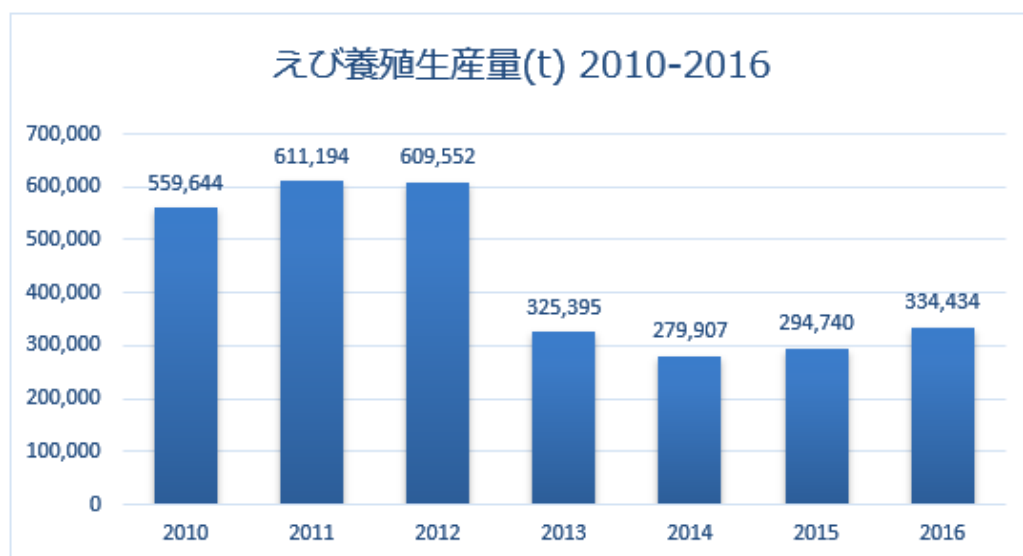


図 4-10 タイにおけるえび養殖生産量の推移
 (出典：STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE
 Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND
 データを基に当社作成)

2016年度えび養殖の生産高は558億バーツ（1,899億円）であり、1トン当たりの生産高は16.7万バーツ（57万円）であった。

またタイにおけるえび養殖事業者数は約 21,550 であり、養殖事業者当たりの年間平均生産額は 258 万バーツ（880 万円）であった。

Quantity and Value of Marine Shrimp Culture by species 2016

Species	Quantity(ton)	%	Value(MB)
Total	334,453	100	55,871
Prawns & Shrimp	334,434	99.99	55,870
Jumbo tiger prawn	12,366	3.7	2,918
Whiteleg shrimp	321,542	96.14	52,859
Banana shrimp	270	0.08	66
School prawn	219	0.06	25
Other shrimp	37	0.01	2
Others	19	0.01	1

図 4-11 タイにおけるえび養殖生産量及び生産額（2016 年）

（出典：STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE

Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND)

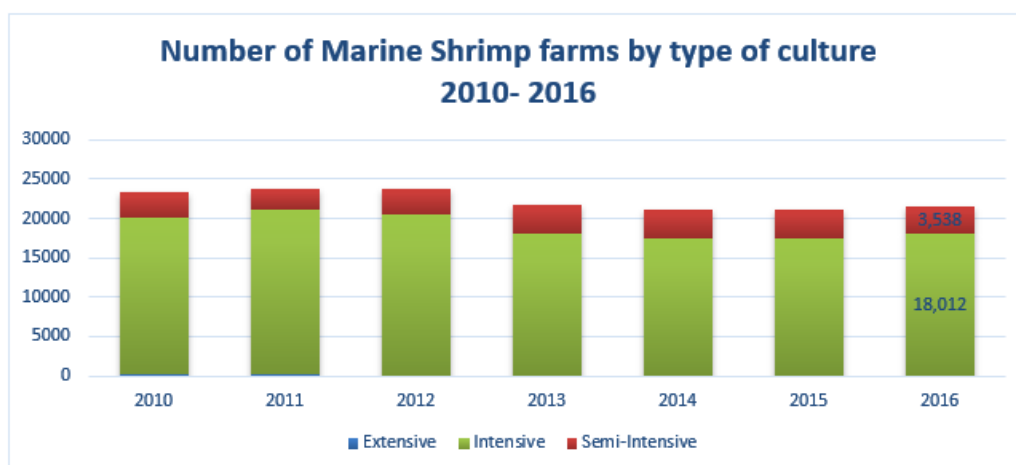


図 4-12 タイにおけるえび養殖農家数

（出典：STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE

Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND

データを基に当社作成)

(4) タイにおけるえび養殖地域や養殖形態

タイにおいてえび養殖の生産量が高い地域は、ZONE 3（6万 9,845 トン）、ZONE 1（6万 9,407 トン）、ZONE 5（6万 4,015 トン）の順であり、これら 3 地域でタイ全体の 6 割を占めている。

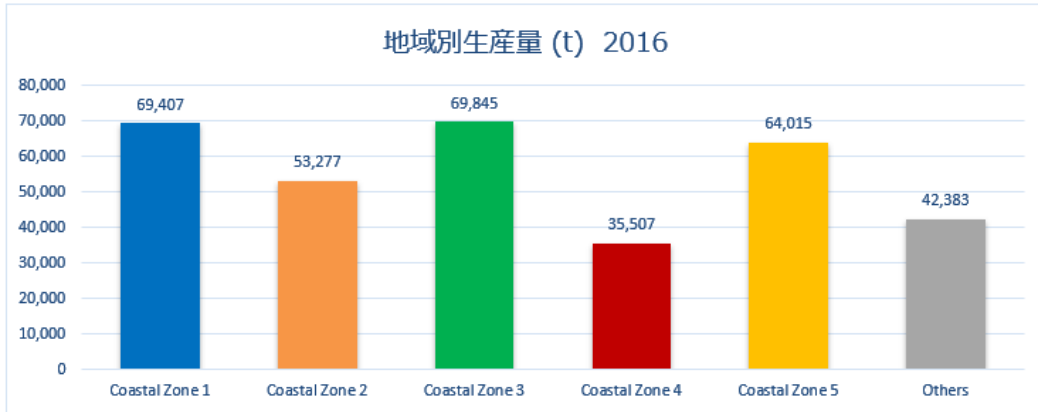


図 4-13 タイにおける地域別えび養殖生産量 (2016 年)

(出典 : STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE

Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND

データを基に当社作成)

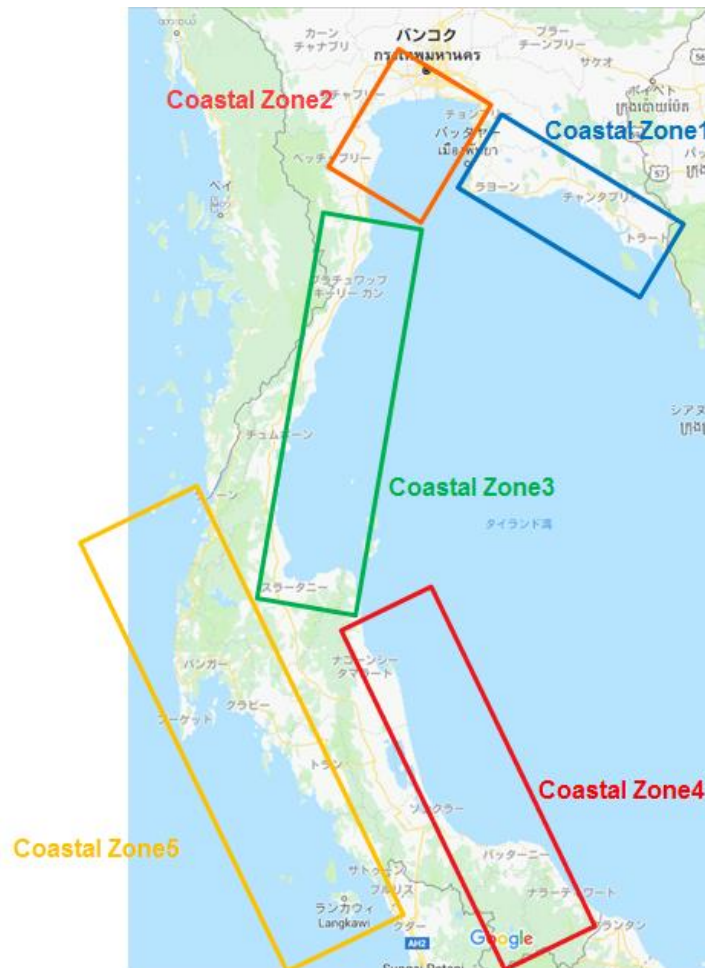


図 4-14 タイにおける Coastal Zone の分布

生産量が高い都市では、Surat Thani (3万9,936トン)、Chanthaburi (3万5,483トン)、Trat (2万2,724トン) であった。

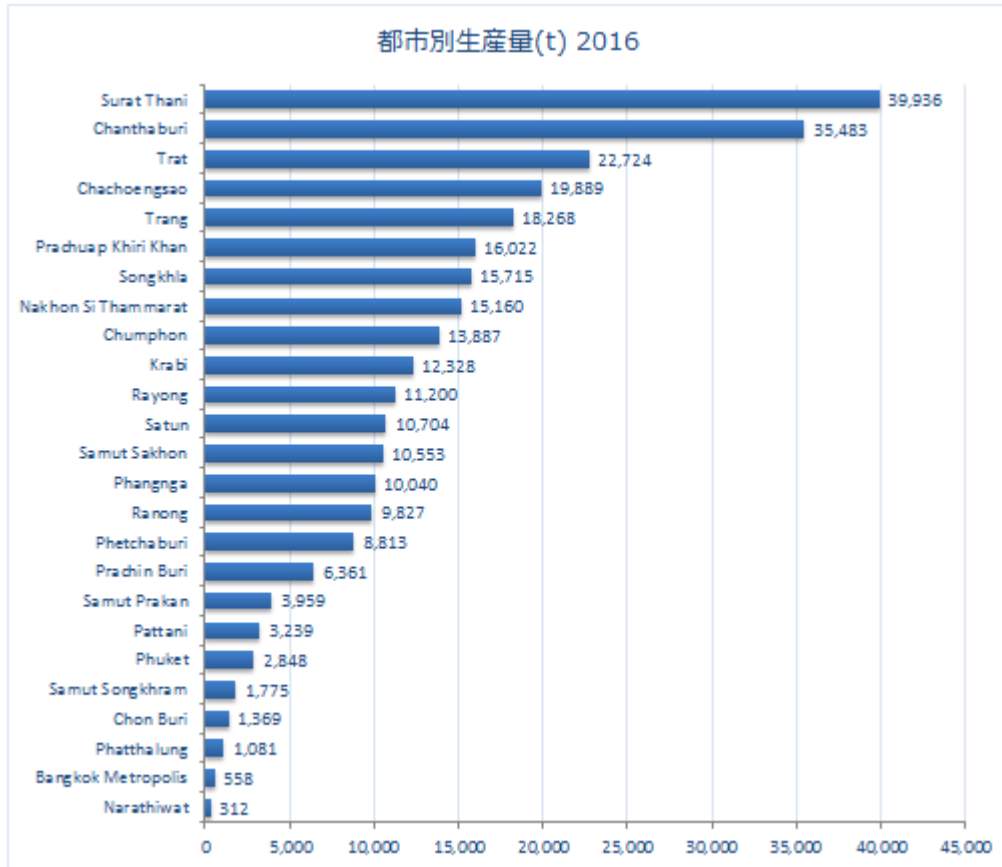


図 4-15 タイにおける都市別えび養殖生産量（2016年）

（出典：STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE

Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND

データを基に当社作成）

えび養殖の養殖形態は、以下の表のとおり大きく3つある。

表 4-1 えびの養殖形態

養殖形態	特徴
粗放型養殖 (extensive culture)	天然の餌を利用することで給餌経費を抑え、低経費で、より大型のえび生産をめざす養殖方法。養殖密度は低く、養殖池開発費も他の2形態よりも安い。
集約型養殖 (intensive culture)	高密度生産を目的とした養殖方法。餌代及び水質等の維持管理に多額の経費がかかり、他の2形態に比べて生産コストは高い。また養殖池開発費も粗放型養殖に比べて高い。
半集約型養殖	粗放型養殖に集約型養殖のいくつかの要素が取

(semi - intensive culture)	り入れられた形態の養殖方法。
----------------------------	----------------

タイにおける養殖形態別養殖場数の割合は、集約型養殖 (intensive culture)が 84%、半集約型養殖 (semi - intensive culture) が 16%を占め、2016年時点で粗放型養殖 (extensive culture) では養殖していない。なお養殖形態別生産量で見ると集約型養殖 (intensive culture)が 99%を占める。

本 I o T システムのメインターゲットは集約型養殖 (intensive culture)の養殖場であり、ターゲット数は 1 万 8,000 であった。

Number of Marine Shrimp farms, area under culture and yield by type of culture 2016

Type of Culture	No of Farms	%	Area(Rai)	Quantity(Ton)	Value(MB)
Total	21,550	100%	307,120	334,434	55,870
Extensive	-		-	-	-
Semi-Intensive	3,538	16%	101,679	3,812	779
Intensive	18,012	84%	205,441	330,622	55,091

図 4-16 養殖形態別養殖家数・生産量・生産額 (2016年)

(出典 : STATISTICS OF MARINE SHRIMP CULTURE

Department of Fisheries Ministry of Agriculture and Cooperatives, THAILAND)

4.2.4 試算

<本項目非公表>

4.3 今後の方向性

4.3.1 I I J の戦略上の位置づけ

当社は 1992 年の会社設立以来、通信インフラであるネットワークやクラウド、それに付随するセキュリティといった、B to B で顧客企業の I T 環境の整備やサービスの土台を提供することを主たる事業領域としている。したがって、これらの技術や経験をベースとしたサービスを海外でも提供していくことが、グローバルでのビジネス拡大の根幹となる方向性である。この方向性は日本でもグローバルでも変わらず、クラウド、バックボーンといった資産を世界各地に拡大してきた。

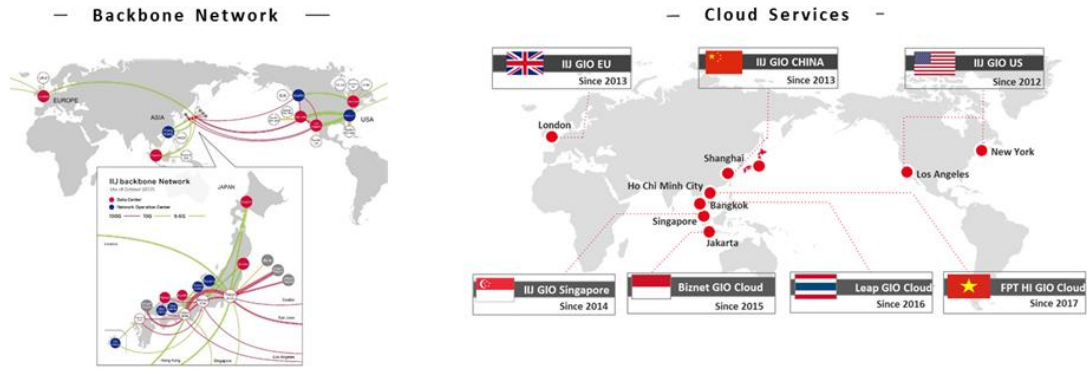


図 4-17 グローバルに拡大するバックボーンとクラウド

一方で、その方向性を実現する戦略は、日本国内外で相違がある。一例を挙げれば、セールス面において、日本では、商用インターネットサービスのさきがけでもあり幅広い顧客層を有するが、海外ではジョイントベンチャーの設立等により現地財閥系企業との連携を図ることで、日系企業以外への顧客開拓に注力している状況である。このような状況の下、ローカルベンダーやAmazon、Microsoftなどのグローバルベンダーとの競争では、通信インフラの品質向上のみでは差別化が目に見えづらいため、より顧客の付加価値に近いところに迫ることが必要であり、IoTはその有力な手段として位置づけている。顧客がIoTの実現でより高い付加価値を持つサービスやオペレーションを構築できれば、結果としてモバイルやクラウドといったIIJの基盤サービスも活用されることになる。モバイルを例にとっても、たとえば日本ではモバイル需要を牽引しているのは法人向けM2MやIoT関連の需要である。一方で、IoTを実現するには、センサーやカメラなどのエッジ側のデバイスや、組み込みの技術、UIの優れたアプリケーション、収集データの分析等が必要であり、具体的な価値をパートナーシップで補完していくことが重要である。

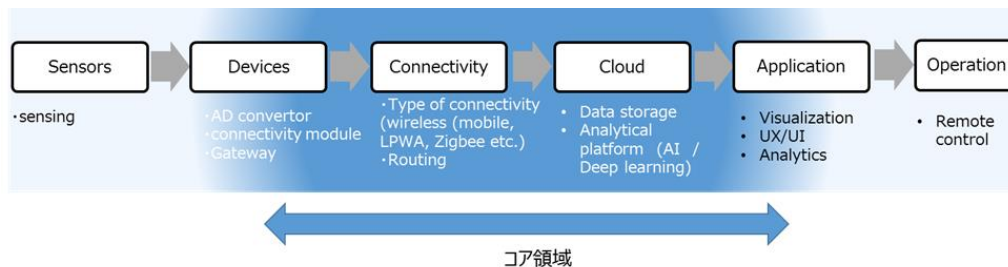


図 4-18 IoTのバリューチェーンとポジショニング

単純にIoTのプロジェクトを個々のシステムインテグレーションとして捉えると、コスト面での競争に陥る可能性が高い。プロジェクトマネジメントの品質も大きな差別化要

因だが、コストを下げるためにはソリューションではなくサービスで攻めることも重要である。スマートファクトリーなどは、一次産業と比べて相対的に大きなプロジェクトとなるが、工場ごと、企業ごとに異なるソリューションを提供していくこととなるため、横展開が図りにくい。この点、養殖ビジネスにおいては、事業者は異なっても注目すべき水質の項目が概ね同じであること、オペレーションの要素も似通っていること、養殖場のデザインもほぼ同じであることから、サービスとしての横展開が可能であり、スケーラビリティに優れていると考えている。

前述したように、当社の重点地域であるASEANでは、世界的な養殖事業の中心地域となっている。マーケットの状況やヒアリング結果からは、養殖事業にこれらのソリューションが遅かれ早かれ普及する可能性は高い。このような現状において、本実証事業で得られた成果を活かして以下に示す方向性で取り組んでいく。

4.3.2 本格導入に向けた取り組み

現在、本実証内容と全く同一のソリューションは無いものと認識しているが、養殖事業に対してIoTやAIのコンセプトを用いて生産性向上の価値を提供しようとする動きはすでに存在している。以下にその一例を示す。

表 4-2 養殖事業における新技術の導入事例

提供企業	適用分野	概要	地域
AQ1 Systems http://www.aq1systems.com/	給餌	水中でえびの摂食時に発生する音をソナーで収集し、摂食活動が低下した際に給餌機の作動を止めるもの	オーストラリア
XpertSea https://www.xpertsea.com/	バイオマス	一定の水量のサンプルを養殖池からデバイスに投入し、上部に設置されたカメラでバケツ内部の稚えびの数を認識するもの	カナダ
Osmobot https://www.osmobot.com/	水質センサー	リトマス試験紙のような平衡反応と色認識を利用して、pH等のデータを安価に認識できるセンサー	アメリカ
Aquanetix http://www.aquanetix.co.uk/	生産全体	養殖生産管理の情報を集約し、可視化するプラットフォーム	ギリシャ
eFishery https://efishery.com/	収穫	地域の給餌データをベースに収穫量を予測し、プライシング等の面から農家を支援するもの	インドネシア

これらのサービスは、直接間接を問わず生産性、付加価値を向上させることで養殖家に貢献するという意味では本実証事業のソリューションと同様の方向性を有している。そのような意味では競合ともいえるが、いずれのサービスも相当のマーケットシェアがあるわけではなく、本実証事業のシステムを含めまだ実証段階のものもあり、マーケットで実際に競合することは短中期的には考えにくい。むしろ、養殖事業に対して新技術を用いたサービスの提供機会を開拓していくという意味で、マーケット拡大に向けた補完的な関係にあると認識している。

一方で、実際にユーザーを開拓していくためにはいくつかのハードルが存在する。まず、本実証事業のシステムは、ビジネスモデルとして原則ユーザー側からのマネタイズは想定していない。しかしながら、たとえ無料であったとしてもユーザーにとって価値のあるシステムでないと利活用されず、餌会社等にとっても正確で大量のデータが集まらないことにはデータに価値を見出すことはできない。そのため、ターゲット層である中規模以上の養殖家のマネジメントが必要とするデータが、自らの管理のために利用できるものとする必要がある。

ユーザーにとっての最終的な価値は、オペレーションの可視化ではなくそれらのデータがインサイトとしてオペレーションに反映されていくことで生産性が向上することにあるため、本格導入を進めるためには、既存の作業記録をとるオペレーションをある程度変更し、現場作業レベルに落とし込む必要がある。一方で、自動化や自律制御を含め、データのインサイトをどのようにオペレーションに移し込んでいくかについてはユーザー自身で判断する必要がある。このオペレーションの切り替えについては、新しい手法の信頼性やスタッフの習熟等、マネジメントとして考慮に入れる必要のある要素が幅広く存在し、データドリブンなオペレーションを実現するための経営判断の壁をどうクリアしていくかについては今後の課題といえる。

また、個別ユーザーのヒアリングを進めると、表示するデータの種類や単位、グラフの見え方等細かい点でユーザーごとの嗜好が異なるが、本IoTシステム構築の前提であるソリューションではなくサービスを作る、という意味では、ある程度ユーザビリティを犠牲にしてでも汎用性を高めていくことが必要と考えている。

最後に、これまでに述べたいくつかの課題を解決しつつ、今後の普及に向けたロードマップについて言及したい。短期的にはまずユーザーに活用してもらい、価値を感じてもらうことを重視することとし、具体的にはオペレーションの記録とセンサーによる水質データがリアルタイムで確認できることで、ユーザー自らの判断でオペレーションを向上させていくこととしたい。また、前述した技術的課題を解決するセンサー等のパートナーとの連携を図っていく。中長期的には、給餌の最適化等、アクチュエーターの領域までサービスの付加価値を高め、コストとのバランスを常に注視しながらよりレベルを上げたIoTを実現していきたい。また、データのアグリゲーションにより市場予測等に向けた価値を

高めるため、データ量とあわせて分析の精度を高めていく。

なお、本実証期間中に寄せられた連携の提案は、ベトナムが最も多く、次いでタイ、ミャンマー、ブルネイ等の養殖事業者、通信事業者、政府関係者であったが、これらのパートナーを通じた地理的な拡大も同時に模索する予定である。

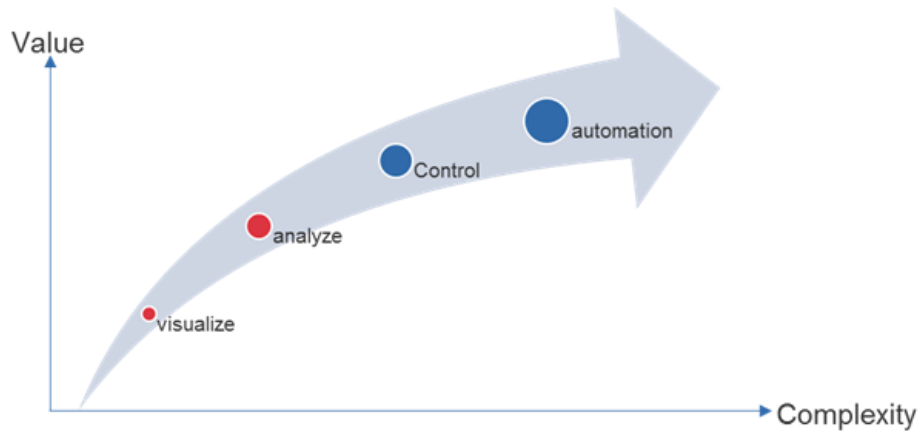


図 4-19 I o T の付加価値と複雑性



図 4-20 地理的な拡大

第5章 結語

I o Tに関する足下の市場規模や拡大の方向性については様々な推計があるものの、2020年には少なくとも200億以上のI o Tデバイス（スマートフォンやタブレット等を除く）が運用されると言われている。また、活用の方向性についても、自動車等のモビリティサービスやスマートファクトリー、インフラ管理やウェアラブルを活用したヘルスケア、農業等様々な可能性が議論されている。実際に各分野において既存、新規参入を問わずそれぞれの分野でのサービスが相次いでいるほか、大手クラウド事業者からはエッジ向けの半導体や音声認識AIを搭載したスマートスピーカー等が発売されている。マクロかつ長期で見れば、爆発的に成長する市場という受け止め方は正しいものであろう。

一方で、足下の状況としては、産業用途のI o TはP o C（実証）レベルでの検証は多々あるものの、既存のオペレーションに組み込む本格的な導入ケースはまだ数少ない印象である。この理由としては、ハードウェアや組み込み、アプリケーションまで含めた一気通貫したソリューションの構築運用コストが付加価値を超えるに至っていないからであろう。この点、コストについては要素技術のコモディティ化やそれに伴う単位あたり費用の低下、例えばネットワーク分野では本実証事業でも活用したLPWAや5Gの実用化によって進んでいくであろう。一方、付加価値については、センサーで捉えたデータの可視化、蓄積データの分析結果の提供や予測、レコメンデーションというレベルから、自動制御や自律化といったオペレーションに対する判断までもシステムに内包していく、という方向で引き上げて行くことになる。

加えて、横断的なデータを収集するプラットフォームとして必要なことは、いかにクリティカルマスにたどり着くか、ということであろう。養殖における例でも、地域の生産状況を把握するには過半数から7割以上の生産者の情報が必要であり、統計的処理もさることながらユーザー層を拡げていくことが今後の重要な課題である。

eコマース、ソーシャルネットワーク等Webサービスを守備範囲とするプラットフォームは各国で生まれてきているが、個別産業領域で寡占的な立場を有するI o Tプラットフォームとなっている例は見当たらない。I o Tの活用は製造業を中心に検討は進んでいるもののいまだ世界中でスケールする段階に来ていないが、それはI o Tがオペレーションと密接に結びついており、個社ベースでのカスタマイズや保秘の必要性から同一のシステムを横展開することが難しいからではないだろうか。製造業向けにI o Tの優れたデザイン・分析基盤を提供している企業でも、プラットフォームのライセンス以上に個別企業向けのカスタマイズやコンサルティングによる付加価値を重視している。結果として、I o Tシステムは多くのユーザーを単一の汎用性のあるサービスで抱えるのではなく、個別作りこみのソリューションとして提供することが多い。この点、本実証事業ではサービス化という観点を重視し、どのようなオペレーションを行なっている養殖事業者であっても充分となるレベルのアプリケーションを構築できたが、これは長い歴史がありオ

ペレーションがある程度汎化されており、何が重要な情報であるかがある程度確立されている一次産業ならではであった。横断的にデータを集めるプラットフォーマーにとっては、ソリューションではなくサービス化できることが必要条件であり、この点では十分な可能性を示すことができたと考えている。

通信インフラがコアである当社として、本実証事業においてセンサーからビジネスモデルまで全てに携わったことは得がたい知見となった。その上で、今後IoTプラットフォームを育成していくためには、パートナーの組み合わせや守備範囲、リスクファクターをある程度明確にしておくことが必要であると感じた。通信インフラの企業として具体的に考慮すべき要素としては、まずエッジのセンサー部分である。具体的にはセンシング手法、耐環境性やキャリブレーションの要否、メンテナンスの煩雑さなどがあげられる。次に大きな要素は、プラットフォームを普及させるチャネルである。通信系の企業が他産業のIoTサービスを自ら市場開拓していくことは特に海外では困難であり、本実証事業のような機会を利用してユーザーに近いプレイヤーとの連携を図ることは非常に有益であると考えられる。

データを用いて付加価値を提供する、というビジネスにおいては、製造業で言うところの裾野産業が定義しづらい。例えばスマートフォンメーカーのような巨大企業に対して電池やレンズのような重要部品を技術で差別化して提供する、というモデルでの生き残りは図りにくいため、プラットフォーマーの地位を築き上げるか、フォロワーとしてニッチあるいは価格戦略を取るかのいずれかとなる。しかしながら、あらゆる産業でデータ利活用の重要性がますます高まる中、プラットフォーマーとしてオーガナイズされたデータを持つ者の優位性はこれまで以上に高まっていくであろう。通信基盤の高度化と分析手法の洗練により、個別産業IoT領域でも新しいプラットフォーマーが近い将来続々と産まれてくると考えられる。

禁転載

Reproduction Prohibited