

海域生物工学の戦略的イノベーション創出

実施予定期間：平成19年度～平成28年度

総括責任者：高井 陸雄（東京海洋大学学長）

協働機関：日本水産（株）、神畑養魚（株）、
三井造船（株）

I. 概要

世界的に重要度が増している海域生物（魚介類）の養殖生産における、戦略的ニーズ（世界の養殖産業構造が変わる可能性がある画期的な技術）へのアプローチであり、水産と工学、大学と企業の「知」の集・融合によって、「海域生物工学の戦略的イノベーション創出」の拠点化を図る。

この拠点化では、国際的に優れた外国人研究者や、企業の研究者、異分野の研究者、若手・女性研究者などが、ニーズ達成を目指してそれぞれの特色を発揮できる環境を保証し、「知」に基づく技術開発と産業創出を実感できる体制により、水産と工学の両センスを兼ね備えた、海洋生物産業にイノベーションを創出し得る人材を養成する。

1. 機関の現状

東京海洋大学（海洋大）は、海洋に関する専門大学として、海洋科学部と海洋工学部から成り、大学院にはそれらを融合した海洋科学技術研究科がある。また特殊な研究環境として海鷹丸等の大型練習船4隻、4カ所のフィールドセンターを擁している。欧米漁業国でも、海洋科学と海洋工学の融合を図った大学院を擁しているところはなく、海洋学分野のリーダーとしての本学のポテンシャルは大きく、開発途上国の水産業発展のために指導的役割を果たしている。

日本水産（株）は、中央研究所、大分海洋研究センターの他に食品分析センター、商品開発センター、技術センターを有しており、養殖に関する研究は従来から多い。神畑養魚（株）は、観賞魚や稀少魚を取り扱う大手企業として、輸入、生産、販売、さらに飼料開発などの実績を有しており、近年、養殖に力を入れている。三井造船（株）は、船舶事業、機械事業、プラント事業などの分野において幅広い研究開発を行っており、研究開発経費は約30億円で売上高の約1%に相当している。国内に4カ所の研究所・技術開発センターと海外に研究開発拠点を配し新技術・製品を開発している。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

Science (Worm et al., 2006) で2048年に水産資源が枯渇するというレポートが報告され、これに呼応するかのよう

に、魚類資源の問題が新聞紙上ににぎわっている。これらの資源を今後も安定的に供給することは人類存亡をかけた大きな命題であるとともに、枯渇する種の保存という視点からも本研究は重要な意義を有している。

本研究は食料供給としての一次産業を、三次産業まで一体化した(1+2+3)次産業化を図るものであり、水産と工学及び流通経済を融合し、クリーンかつ温暖化防止を加味した新たな産業化を目的にしている。特に、本研究により漁業権を必要としない養殖技術が完成するので、誰でも実施することができるという大きなメリットが期待できる。

初期の7年間では、養殖の3要素といわれる1)水（環境）、2)種（卵と幼稚魚）、3)餌料（餌の質と量）の基本的技術開発とそれに携わる高度専門職業人の養成を図り、後期3年で企業による事業化と普及を行い、新たな産業の育成を目指す。

本研究が目指す養殖システムは、これまでの養殖とは大きく異なり、代理親魚を導入して、そこから幼稚魚を育て（種苗生産）、商品サイズ（成魚）として生産する一貫したシステムを完全閉鎖系施設で作出するものである。

陸上閉鎖循環飼育には以下のメリットがある。1) 残餌や養殖魚からの排泄物による汚染防止、2) 生産地を消費地近郊にすることによる輸送コストの大幅減、3) 疾病防止や飼育水に起因する汚染物質混入防止、4) 水質・水温管理や水流管理によりイキスでは不可能な次元での高生産性が期待できる。世界の沿岸域では汚染やウィルス感染が急速に進んでおり、安全・安心な養殖魚創出は緊急の課題である。

本研究は具体的には次の三つの柱から構成される。a. (サブテーマ1)代理親魚による種苗生産システムによる安定的良質卵の確保、b. (サブテーマ2)最先端の工学技術を用いた陸上養殖システムによる魚の卵から商品サイズまでの一貫飼育、c. (サブテーマ3)魚類の行動制御による非囲い込み沖合い養殖システムによる環境と調和した外洋での養殖である。

a. 代理親魚による種苗生産システム（サブテーマ1）

従来、海産魚の種苗生産（特に親魚からの受精卵の採取）には、海水かけ流し式大型水槽を必要とし、回遊魚では大型イキスや湾を仕切って親魚養成が行われているが、多大なコスト、労力、スペース、給餌が必要であり、排泄物や残餌による汚染も問題となっている。また種苗が魚病に感染するリスクや水温・溶存酸素レベル調整困難という問題がある。

閉鎖循環飼育システムの最大の問題点は、病気が発症した際に、病原体が短時間で増殖し、養殖魚が大量斃死するリスクがあるという点であるが、完全に滅菌された人工海水の陸上閉鎖循環飼育システムでの唯一の病原体の混入源は、受精

卵または種苗そのものだけである。本提案では、飼育容易な小型の代理親魚を用いて、大型魚種の種苗生産の代理親魚種苗生産系の構築を目指す。

申請者らは既に、卵や精子のもとになる細胞を稚魚の未分化生殖腺や成魚の精巣から取り出し、免疫系が未成熟で拒絶が生じることのない孵化稚魚に移植して、宿生殖腺内で移植細胞由来の卵や精子を生産させる技術として、ヤマメにニジマスの卵や精子を生産させることに成功している。これを海産魚や絶滅種の魚等に応用するために、1) 陸上閉鎖循環飼育システムに適した代理親魚(宿主)の選定、2) 各種水産上用魚種や枯渇が危惧されている魚種からの移植用生殖細胞の調整法の樹立、3) 各種代理宿主への生殖細胞移植法の樹立、4) 代理親魚からの良質な受精卵生産系の構築を目指す。さらに、5) 良質卵を高効率で得るための環境制御システムの導入とホルモン投与により、短期間で必要な時期に受精卵が必要量得られるシステムを構築する。また、6) 生産した種苗の魚病耐性を向上させるため、ドナー種の免疫系の分子レベルでの解明、分子マーカーを用いた対病系新品種の開発を行う。これらの技術により、以下の陸上養殖システムに用いる無病・良質受精卵を“海を用いずに”供給する体制を整える。

b. 最先端の工学技術を用いた陸上養殖システム(サブテーマ2)

種苗生産段階での閉鎖循環式飼育システム構築のために、1) 最適な餌・飼料の開発、2) 種苗生産用飼育水再生技術の開発、3) 窒素・リン等の排泄物の利用、4) 密度差を利用した2層境界面による残餌・排泄物除去システムの開発を行う。

1) では、形状と栄養を動物プランクトンに模擬した最適組成の配合飼料を提供して窒素、リンの排泄削減を図る。2) では、飼育システムにおける物質の供給量と排出量を把握して、水処理を行う。3) では、飼育水中の溶存蓄積物質の化学・工学的除去技術、人工食物連鎖による物質循環を取り入れた生物学的除去技術の開発を行う。4) では、水槽に高密度塩水の流れを形成し、残餌・排泄物等を除去するシステムの開発を行う。申請者らによる密度成層界面の安定性に関するこれまでの知見をもとに、流れ、温度、塩分や微生物量の関係を把握し、種苗と同程度の大きさの餌や排泄物をいかに区別して除去するかという課題の克服をもたらす技術を創出する。次に商品サイズまでの養成段階では、5) 水槽形状や流速の最適環境創出及び自発摂餌による給餌法の確立、6) 閉鎖型システムで安全・安心な飼料の開発を行う。

5) では、高速回遊魚を想定し、形状や流速を考慮した新たな水槽を考案する。個体の成長状況や環境をモニタリングした全自動のインテリジェント機能を持たせる。水流場と魚の感覚器官への刺激場を制御しながら、回遊魚を誘導し、個体の成長に応じて水槽を順次移行させ、最終段の輸送トラックに至る魚生産工場ラインとも呼べるシステムを構築する。稚魚の段階からICチップを体内に埋め込み、成長過程を自動的に記録し、出荷、輸送等のトレーサビリティを確保し、安全・安心な魚介類を提供する。さらに、魚が必要とするだけの餌

を摂餌する自発摂餌機を開発し、光・水温・水質などの環境制御による高成長を促す技術開発を行う。これらは従来の開放系イケス養殖では全く不可能であるが、本研究の工学的技術により可能となる。申請者らは既にティラピアに対して、光周期の調整により良好な成果を得ており、従来の飼育条件は必ずしも最適ではないことを明らかにしている。

6) では 人間食品並みの安全管理に基づく飼料を開発する。マグロ養殖等では乾燥飼料(配合飼料)が開発されておらず、現在はイワシやカタクチイワシなどを給餌し、体重を1kg増やすのに14~17kgの魚を必要とするので、餌資源の枯渇が懸念される。本研究で最初に開発に着手する飼料は魚粉主体であるが、次にタンパク質源として植物性原料を利用し、高カロリー飼料の開発を行う。また窒素やリンなどの少ない配合飼料の開発も試みる。

使用するエネルギーについては、魚加工残渣の発酵で得られるメタンを用いたコジェネレーションによる省エネルギー化、エネルギー需要を夜間にシフトすること等の機能を持たせた地域の電力負荷平準化への貢献等を図る。

c. 魚類の行動制御による非囲い込み沖合い養殖システム(サブテーマ3)

イケスによる海域養殖生産は、台風などで施設破損や飼育魚類喪失が生じるリスクがあるので、本研究では重量構造物を要しないシステムとして、大陸棚や排他的経済水域等で、自然浄化力を最大限に利用した養殖方法の創出を行う。具体的には、1) 網によらない魚類の囲い込み、2) 自律型水中ロボット(AUV)導入による高度環境モニタリング及び海洋3次元空間の定量的観測、3) AUVによる魚類監視、4) AUV群による群行動制御手法に関する技術の確立を図る。

1) では、光、音波、気泡群、磁気などへの魚類の反応性を利用して、刺激を組み合わせた行動制御を目的とし、データの定量化を図る。申請者らは、すでに昼間の行動制御についてはある程度の成果を得ているが、夜間でも可能な技術開発と魚類の反応を解析する。2) では、従来の海洋観測は、船舶やブイによる点や線の観測と人工衛星等による面での観測で構成されているが、AUVを導入して、詳細な3次元の海洋空間観測と高度な環境モニタリングを可能とする技術を開発する。AUVにセンサ類を設置し、水温、塩分濃度、溶存酸素濃度や潮流なども把握し、プランクトンや魚類を定量的に観測するソナーや光学式カメラ等を搭載して、統合的処理により詳細なマップを提供する。海洋における流れ、混合などの物理現象と、プランクトンに至るまでの生物・生態学的な現象を3次元空間で多面的に同時観測することで、定量的かつ革新的な視点を創出することが出来る。申請者らは、既にAUVで港湾構造物の完全自動観測を世界で始めて成功させ、海底の生物マッピングなどのノウハウを持っており、画期的な研究領域が生まれうる土壌が整っている。3) では、AUVの高度知的機能として、魚群の位置や遊泳情報を定量的に認知する能力と水中に設置された固定外部刺激信号発信装置に適確な

個別命令を出すソフトウェアの開発を行う。4) では、複数の AUV で構成されたネットワークを構築し、自律的相互通信による群制御に取り組む。AUV 群が鯨等から魚類から守る機能を持たせることも重要である。申請者は、複数無人船舶の群制御研究にも着手しており、これらが発展的に AUV 群制御に応用できると考えられる。また、AUV 群への電力供給システムや AUV の活動報告が可能な洋上通信ブイの開発も行う。

3. 拠点化構想の内容

a. システム改革の内容

海洋大は文部科学省による知的財産本部整備事業の支援を受けて、知的財産や機密保持に関する規則等を整備している。世界の著名な雑誌への人材募集や学術交流協定校への依頼、研究者を通じての依頼など広く優秀な人材を確保するために、国際交流会館、教職員用宿舎を提供する。また、先端科学技術研究センター棟を本課題の研究拠点として提供する。研究全体の推進を図るために、海域生物工学イノベーションセンターを設立して、産業化に向けた統合的な研究を図る。

b. 企業との協働体制

サブテーマ 1 では、日本水産が海産仔稚魚への生殖細胞移植技術の効率化を図るとともに、実験魚、養殖施設・設備、稼働に係わるノウハウ及び諸経費を東京海洋大に提供する。また、神畑養魚は、周期の早く育てやすいという觀賞魚の利点を生かして、ドナーと宿主の組み合わせに関するデータを多く収集し、本研究の成果のスピードアップに尽力を尽くす。サブテーマ 2 では、閉鎖循環式システムにおける水質管理や生産性、システム管理などに関するデータを収集するとともに飼料開発研究を行う。また、ふ化仔魚と魚卵・胚を東京海洋大学に提供する。ふ化仔魚と残餌とを分離する共同実験も含まれる。サブテーマ 3 では、日本水産が実験魚の提供や養殖施設・設備、それらの稼働に係わる諸経費を負担し、三井造船は自律型水中ロボットの水槽実験に協力し、魚類とのインタラクション、行動制御手法の確立に協力する。

この創出機構に運営委員会を設置し、トップダウン方式によるマネジメントを行う。運営委員には外部委員の他、参加企業から 6 名程度、大学から 9 名程度を加える。拠点化構想、ミッションステートメント及び調整費充当計画実施状況の評価を行うために、外部有識者から構成される諮問委員会を設置し、随時、必要な指導と助言を仰ぐ。

c. 人材育成

また、海域生物工学イノベーションセンターにおいて、既存の大学院研究科と有機的な連携のもと、国内外の研究者が、ニーズ達成を目指すことの出来る環境を保証して、「知」に基づく技術開発と産業創出を実感できる体制を整え、マネジメント能力、先端研究の遂行能力を有し、問題解決意識に優れ、国際的に通用する「水産と工学」の両センスを兼ね備えた、海洋生物産業にイノベーションを創出し得る人材を養成する。

d. 波及効果

水産と工学の融合によるイノベーション創出は、既存の単独分野ではなし得なかった新領域の開拓を世界に示すことになるが、本構想で育成された人材が、各種研究機関や産業界に進出することで、海洋生物産業におけるイノベーション創出に貢献する。本構想の新たな養殖方法により 1 兆円産業が生み出されると想定している。

4. 具体的な達成目標

a. 3 年目における具体的な目標

- ・サブテーマ 1 では、宿主生殖腺内で移植細胞由来の卵や精子を生産させる技術を海産魚に応用する。
- ・サブテーマ 2 では、種苗生産段階での閉鎖循環式飼育システムの構築を図り、最適な餌・飼料の開発、種苗生産用飼育水再生技術の開発、窒素・リン等の排泄物の利用について検討を行う。また、針先 (1 mm 程度) の大きさの仔魚と残餌とを分離させ得る工学的技術開発に目処を付ける。
- ・サブテーマ 3 では、制御信号に対する魚類の反応に関する基礎的データを定量的に解明し、システム実用化の可能性について絞り込みを行う。また、基本的な動作を行う監視ロボットを設計製作し、改良点を洗い出す。

b. 7 年目における具体的な目標

全ての課題において、原理的に可能であることの確認を前提とし、実用化への可能性を確認する。また、人材育成の成果を踏まえ、水圏科学フィールド教育研究センターや先端科学技術研究センターを含む大学院研究科を見直し、教育内容・教育方法を刷新した組織を検討する。

c. 実施期間終了時における具体的な目標

環境と調和した安心安全な養殖システムを創出する。企業化した研究課題の問題点を検証・改良し、その成果を世界に広め、日本の科学技術の地位向上に貢献する。とともに、海洋大の大学院研究科の再編を行う。

5. 実施期間終了後の取組

海域生物工学イノベーションセンターを、ニーズ発掘及び課題策定への取り組みをマネジメントする機関とし、国内外の「知」の活用や施設・設備の有効利用を図り、柔軟な対応が可能な海洋イノベーション創出の拠点化を図るとともに、大学院再編計画と有機的に結合させて、海洋大の「知」の中核として、競争的資金や企業との共同開発資金などを得て、人材を集め、施設を整えていく。資金としては、戦略的イノベーション経費 (仮称) を運営費交付金から手当てする。

6. 期待される波及効果

水産と工学の融合による海域生物工学におけるイノベーション創出は、既存の単独分野ではなし得なかった新領域の開拓を世界に示すことになり、各種研究機関に加え、産業界にも強烈なインパクトを与えて技術開発参入を促すなど、社会への波及効果も大きい。本構想で育成された人材が、各種研

究機関や産業界に進出することで、海洋生物産業における新たなイノベーション創出に貢献する。本構想の新たな養殖方法により1兆円産業が生み出されると想定している。

7. 実施体制

実施体制は、図に示すとおりであり、意思決定のプロセスとマネジメント構造は、次のとおりである。

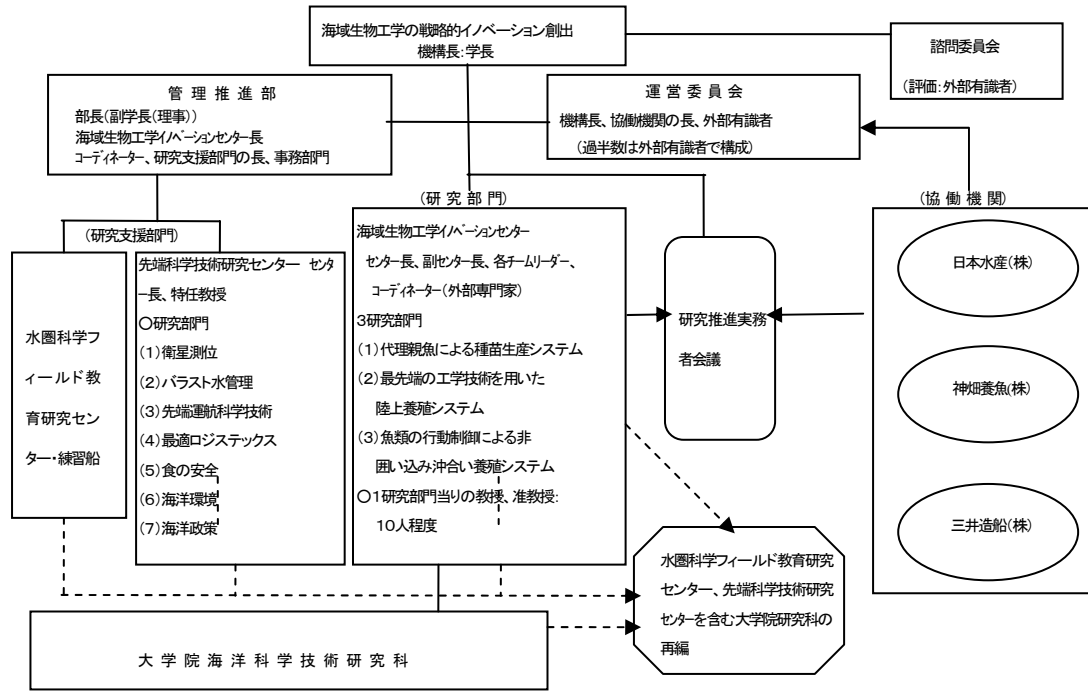
a. 意思決定のプロセス

総括責任者である機構長（学長）と協働機関の長及び外部有識者らで構成する運営委員会で諸事項について審議し意思

決定をする。学長は強いリーダーシップを発揮すべく、広く学外者から見識を求める場として諮問委員会を設置する。

b. マネジメント構造

本提案構想の研究推進の円滑化を図るため管理推進部を設置し、その部長に副学長（理事）をあてる。研究開発の中核となる海域生物学イノベーションセンターには、コーディネーター（外部専門家）を配し、研究支援部門や協働機関との連携・協力が円滑に進むようマネジメントする。



研究実施者（10. 諮問委員会の項参照）

8. 各年度の計画と実績

以下、平成19年度から平成21年度までの項で、サブテーマ1は「代理親魚による種苗生産システム」を、サブテーマ2は「最先端の工学技術を用いた陸上養殖システム」を、サブテーマ3は「魚類の行動制御による非囲い込み沖合い養殖システム」を示す。

a. 平成19年度

- ・計画 サブテーマ1：小型飼育水槽での飼育技術の確立
サブテーマ2：最適な陸上養殖システムの検討
サブテーマ3：水中ロボット（AUV）の設計試作
- ・実績 サブテーマ1：ニベ、マアジ、マサバ孵化仔魚への細胞移植技術を構築した。小型水槽での各種宿主飼育技術開発を試みた。
サブテーマ2：飼育水質の影響を調べた。自動給餌スイッチを試作。低リン、低窒素資材の開発を行った。マダイ養殖における物質収支を検討した。
サブテーマ3：AUVテストベッドを試作り、搭載部品の性能を把握した。自動給餌システムを試作。

b. 平成20年度

- ・計画 サブテーマ1：海産魚への細胞移植実験
サブテーマ2：窒素やリン等の管理方法の検討
サブテーマ3：AUVの組立。魚の行動制御手法の検討。
- ・実績 サブテーマ1：液体サイクロン装置を用いた飼育水再生技術を確立し、残餌、排泄物などによる窒素やリン等の管理に有効であることを確認した。
サブテーマ2：宿主生殖腺内胚嚢細胞由来の卵精子を生産させる技術を海産魚（ニベ、オオニベ、ブリ）に応用することに成功した。
サブテーマ3：AUVを完成させた。また制御信号に対する魚類の反応情報に関する基礎的データを種周した。

c. 平成21年度

- ・計画 サブテーマ1：海産魚の代理親魚による種苗生産
サブテーマ2：環境制御方法の基礎を確立
サブテーマ3：AUVの完成、魚の行動制御の把握。

d. 平成25年度までの計画（平成22-25年度の計画）

実用化に向けたプロトタイプ施設および装置等を完成させ、人材育成の成果を踏まえ、水圏科学フィールド教育研究セン

ターや先端科学技術研究センターを含む大学院研究科を見直し、教育内容・教育方法を刷新した組織を検討する。

e. 平成 28 年度までの計画（平成 26—28 年度の計画）
プロトタイプ施設の検証により、環境と調和した安心安全

な養殖システムを創出する。さらに、企業化の場合の問題点を検証・改良し、その成果を世界に広め、日本の科学技術の地位向上に貢献する。さらに海洋大の大学院研究科の再編を行う。

9. 年次計画

項目	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
●拠点化構想					
代理親魚による種苗生産システム					
小型飼育水槽での飼育技術の確立	←→	←→			
海産魚への細胞移植実験		←→	←→		
海産魚の代理親魚による種苗生産			←→		
最先端の工学技術を用いた陸上養殖システム					
最適な陸上養殖システムの検討	←→	←→			
窒素やリン等の管理方法の検討		←→	←→		
環境制御方法の基礎を確立			←→		
魚類の行動制御による非囲い込み沖合い養殖システム					
水中ロボットの設計試作	←→				
水中ロボット試作、魚の行動制御の検討		←→			
水中ロボット完成、魚の行動制御			←→		
全課題実用化に向けたプロトタイプ施設装置等の完成				←→	←→
●調整費充当計画					
総計	348 百万円	357 百万円	214 万円		
うち調整費分	200 百万円	200 百万円	60 万円		

項目	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度
●拠点化構想					
全課題実用化に向けたプロトタイプ施設装置等の完成					
環境と調和した安心安全な養殖システムを創出					
●調整費充当計画					
総計	百万円	百万円			
うち調整費分	百万円	百万円			

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
(研究実施者)		
○ 竹内 俊郎	東京海洋大学 理事 (副学長)	実施代表者
吉崎 悟朗	東京海洋大学 海洋科学部 准教授	サブテーマ1 責任者
延東 真	東京海洋大学 海洋科学部 教授	サブテーマ2 責任者
近藤 逸人	東京海洋大学 海洋工学部 准教授	サブテーマ3 責任者
(外部有識者)		
山野井 昭雄	味の素 (株) 顧問	
中西 友子	東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授	
正田 英介	(財) 鉄道総合技術研究所 会長	
浦 環	東京大学 生産技術研究所 教授	
川口 恭一	(独) 水産総合研究センター 理事長	