

水産業の未来と工学技術

高尾 芳三

国立研究開発法人 水産研究・教育機構
水産技術研究所 環境応用部門 水産工学部

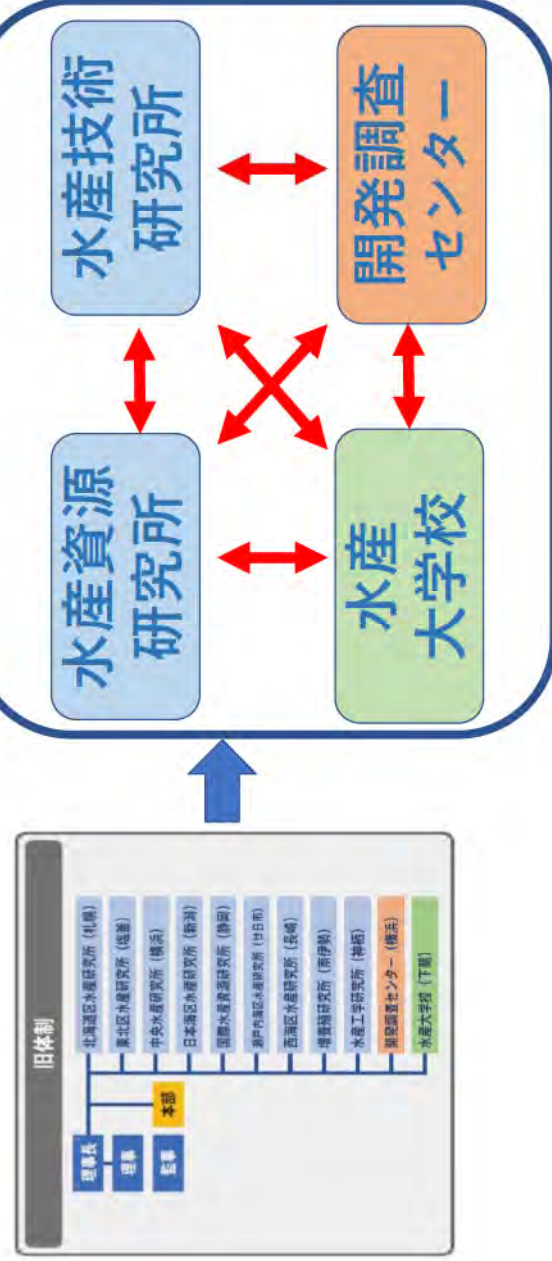
目次：水産業の未来と工学技術

1. はじめに
2. 次世代の漁船
3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術
4. まとめ

漁業法の改正と水産研究・教育機構の組織改編

- 改正漁業法の目指すところ
 - ✓ 水産資源の適切な管理と水産業の成長産業化の両立
 - ✓ 漁業者の所得向上
 - ✓ 年齢のバランスのとれた漁業就業構造を確立
- 国立研究開発法人水産研究・教育機構の組織改編
 - ✓ 水産業に関わる研究開発の中心的役割をより合理的に果たすための改編
 - ✓ 研究開発部門を「水産資源研究所」と「水産技術研究所」に再編
 - ✓ 社会実装・企業化を担う「開発調査センター」と人材育成を担う「水産大学校」を加えた4本柱体制へと移行

水産研究・教育機構の組織改編 (2020.7)



水産工学研究所

→ 水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部

水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部

漁港・漁場整備、漁業生産システム構築に関する研究開発

水産基盤グループ

漁業生産工学グループ

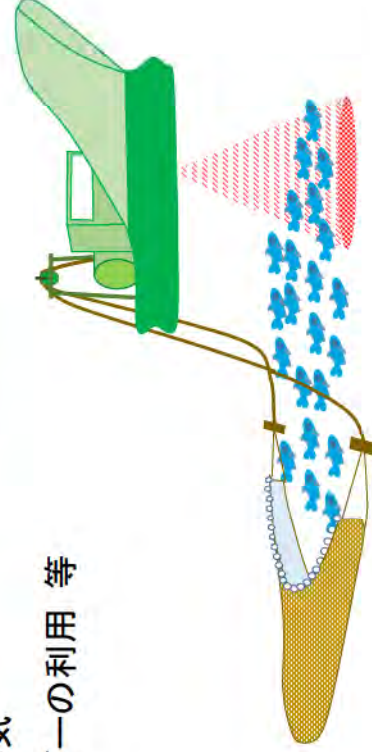
- 大規模自然災害等に対応した漁港整備や気候変動等の海域環境変化に対応した水産環境整備に資するための、施設の強靱化や生息環境回復のための設計・維持管理手法の高度化
- **ロボット技術、高精度センシング技術、再生可能エネルギー技術等を活用し、安全性と収益性を両立させ環境にも配慮した次世代の漁業生産システム**
- これら技術の現場実装を効果的に進めるため、漁業者が新技術を導入する際の意思決定を支援するシステム
- 広帯域音響や環境DNAなど新技術を活用した環境及び生物モニタリング手法



5

研究の方向性 ～持続的な漁業～

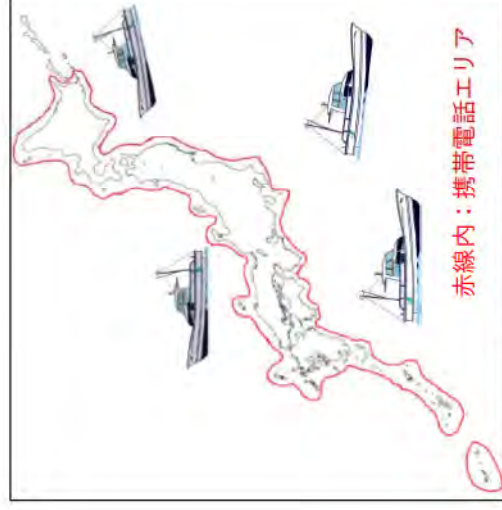
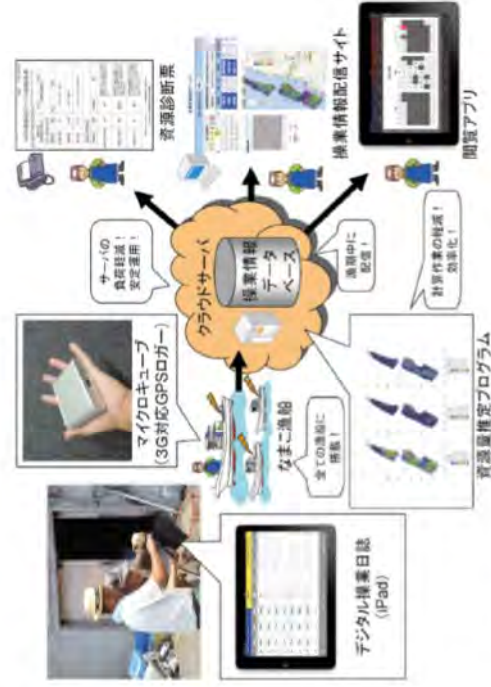
- 責任ある漁業のための行動規範（FAO, 1995）
 - ✓ 環境にも配慮して漁業資源を持続的に利用すること
 - ✓ 生息場や生態系の保全
 - ✓ 乱獲、混獲の防止
- 海洋、地球環境への配慮
 - ✓ 省エネ（燃料油節約、CO2など環境負荷削減）
 - ✓ よりクリーンな排気
 - ✓ 再生可能エネルギーの利用 等



6

スマート漁業

- 一部の沿岸漁業では、スマートフォン等を使う支援システムをすでに導入。
- 沖合・遠洋漁業では、低速な衛星通信のため通信量や頻度が制約を受ける。



資源管理支援システムの概念図
北海道マナコ資源管理ガイドライン (2014) *より

携帯電話の洋上サービスエリア
(注: おおよそのイメージ)
沖合・遠洋漁業はエリア外



* <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/wakkanai/inpvt40000001d2w.html>

9

海洋ブロードバンド通信への期待

- 海上における高速通信の普及に向けて (最終報告) *
2018年3月28日 海上ブロードバンド対応関係省庁連絡会議
(総務省、国土交通省、農林水産省)

目標: 海上にいる船員や乗客がスマートフォンを陸上と同じように利用できる環境を目指す。

現状: 遠洋・沖合漁船は衛星通信を業務利用に限定。
定額料金の高速通信サービスへの高い期待。

- 海洋ブロードバンドへの顧客からのご要望**
 - ✓ 燃料節約の取り組み (省エネ航行支援)
 - ✓ 安全航行支援
 - ✓ 船員の福利厚生



* http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban15_02000160.html

** 矮松一磨 (2014): 海洋ブロードバンド 通信衛星の取り組み, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 第49巻5号, 37-41.

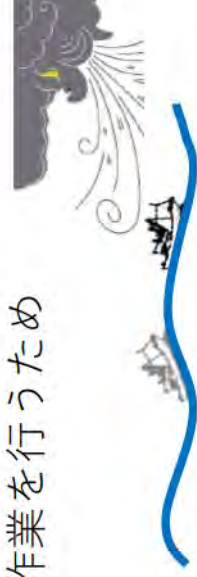
10

目次：水産業の未来と工学技術

1. はじめに
2. 次世代の漁船
 - 漁船の特徵
 - 漁港－漁場間の安全かつ省エネな航海を支援する
 - ロボット釣り機
 - 再生可能エネルギーの活用 ～ 水素燃料電池漁船の検討 ～
3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術
4. まとめ

漁船の特徵

- 漁船とは水産業に使われる船のこと
- 日本は世界有数の漁船が多い国：約**13万隻***
- 大きさや形は漁業種類によって様々
 - ✓ 商船（貨物船など）よりは**小さい**
 - **現場で安全性が変化しやすい**
 - ✓ 漁獲物の船上への取込みや保管などのため
- 機関負荷変動が大
 - ✓ 港と漁場の往復に加え漁労作業を行うため



目次：水産業の未来と工学技術

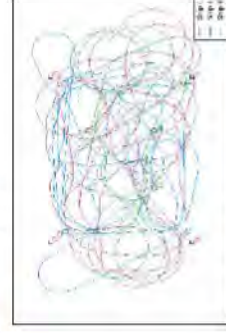
1. はじめに
2. 次世代の漁船
 - **漁港－漁場間の安全かつ省エネな航海を支援する技術**
 - ✓ AIによる衝突回避操船
 - ✓ 漁船用ウエザールディング
 - ✓ 漁船動揺計測による航海安全評価
 - ロボット釣り機
 - 再生可能エネルギーの活用 ～ 水素燃料電池漁船の検討 ～
3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術
4. まとめ



13

漁港－漁場間の安全かつ省エネな航海を支援する

- 漁港内外や狭い水道ではAI操船支援により**衝突事故防止**
- 漁場との往復では漁船用ウエザールディングにより、安全かつ省エネまたは最短航海時間となる**最適航路を選択**
- 自船の動揺を計測し、**航海安全性**や周辺の波浪を**推定**
- これらは、**ロボット漁船の基盤技術**となる



(a) PCを用いて衝突しない操船手法を学習

(b) PC上での学習効果確認試験

■ AIによる衝突回避操船技術の開発



平成26年補正予算 農林水産業におけるロボット技術開発実証事業（研究開発）「ロボット漁船を開発するための安全・省エネ自動操縦システムの開発」

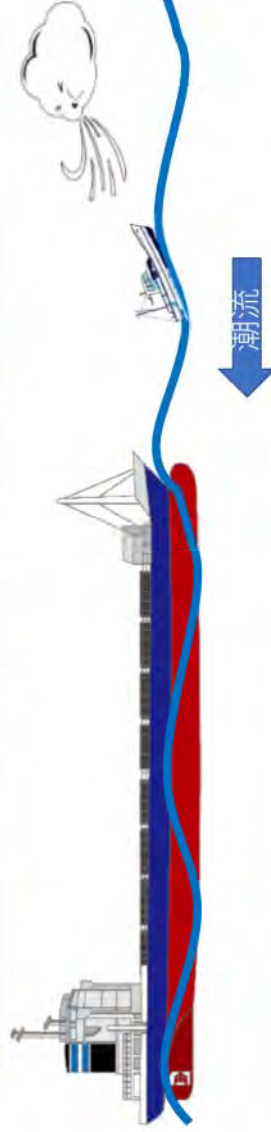
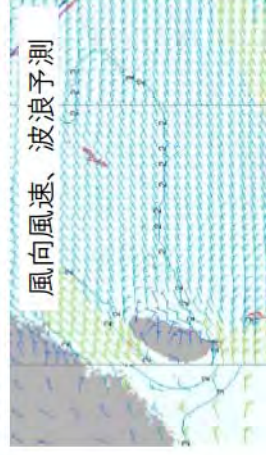
14

AIによる自動避航の模型船試験



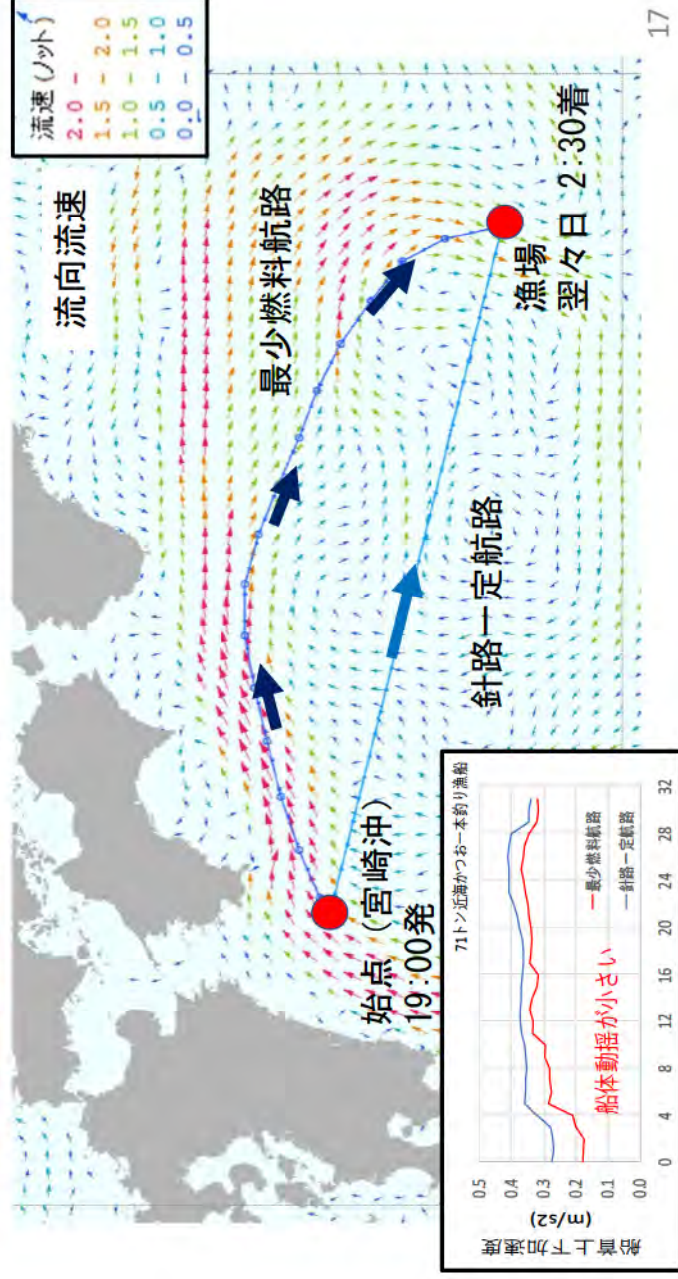
漁船用ウェザールーティング

- ウェザールーティング
 - ✓ 気象海象の予測情報を通信で入手し、目的地への**安全最少燃料航路**または**安全最短時間航路**を計算する航海支援システム。
- 大型商船で使われているが、そのままでは漁船には精度不足。



検証例(1): 安全最少燃料航路

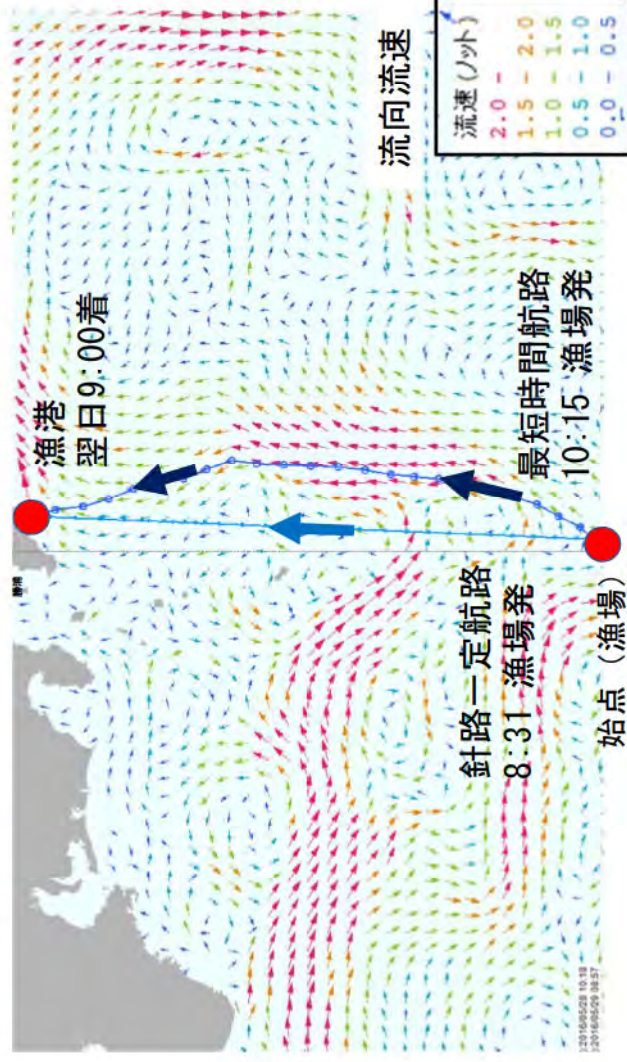
- ✓ 近海かつお一本釣り漁船の漁場への航路で検証。(三好ら, 2018)
- ✓ 漁場到着時刻を設定し、最少燃料となる安全航路を計算。
- ✓ 同時刻に到着し、**600 L 燃料消費量を削減**。
- ✓ **航海中の船体動揺も低減**。乗組員にも生餌にも優しい。



17

検証例(2): 安全最短時間航路

- ✓ 近海かつお一本釣り漁船の漁場から漁港への航路で検証。(三好ら 2018)
- ✓ 入港時刻を設定し、航海時間最短となる安全な航路を計算。
- ✓ 航海時間を1時間44分短縮。漁場滞在時間が増え、漁獲量が増加。



18

船体動揺データによる航海安全性の推定

1) 船体動揺の発生



4) GMに対応する波浪応答関数の計算



2) 動揺の時系列データの取得

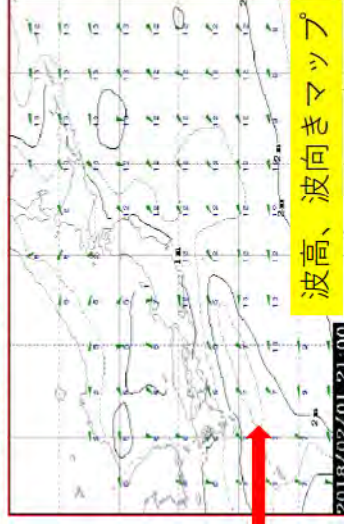


3) 横メタセンタ高さ* (GM) の推定

- * 安全性(復原力)の指標
燃油量や漁獲物重量、
積載位置等で変化



5) これから遭遇する波浪のスペクトルと 波浪応答関数から安全性(動揺)を評価



目次：水産業の未来と工学技術

1. はじめに

2. 次世代の漁船

- ・ 漁船の特徴
- ・ 漁港－漁場間の安全かつ省エネな航海を支援
- ・ **ロボット釣り機の開発**
- ・ 再生可能エネルギーの活用 ～水素燃料電池漁船の検討～

3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術

4. まとめ

ロボット釣り機の開発（開発調査センター）

○遠洋かつお釣漁業

- 刺身カツオを5万トン前後漁獲
- 混獲が少なく資源にやさしい漁法
- 高い釣獲技術を持つ多くの乗組員が必要



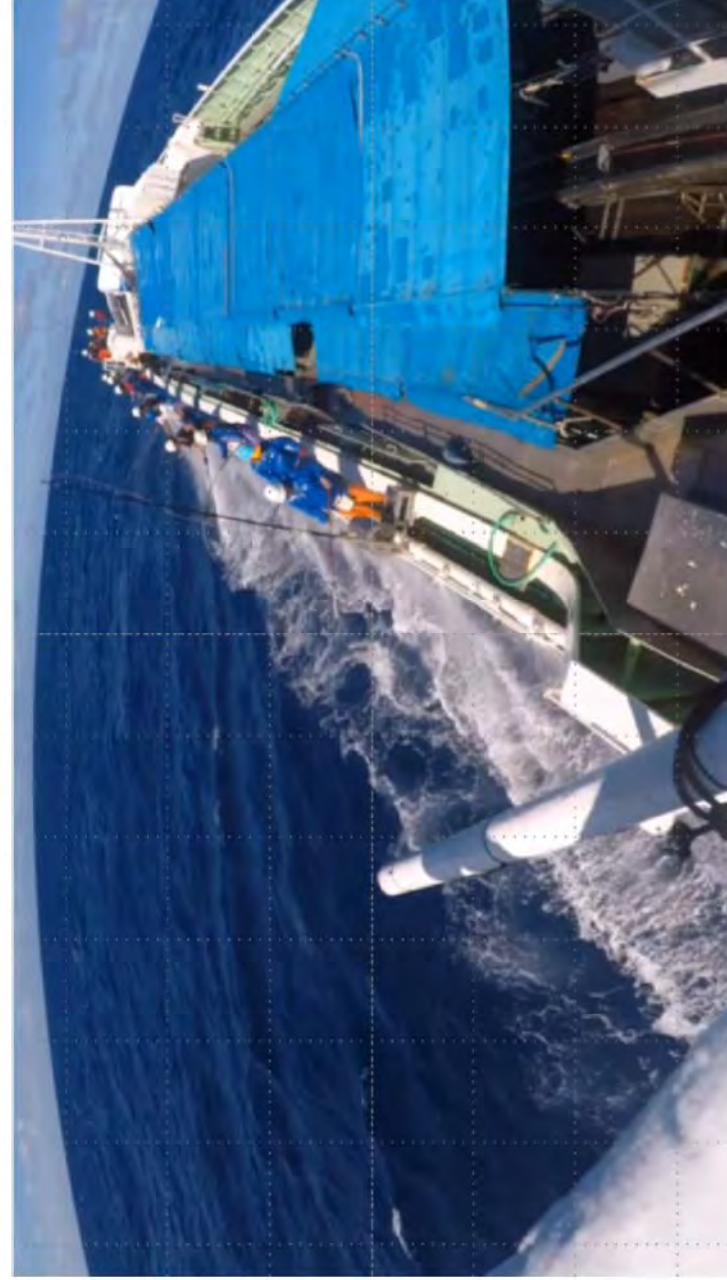
○経営の負担

- 乗組員の確保
- 乗組員の人工費



釣り作業の自動化が長年の課題

ロボット釣り機の実証試験



目次：水産業の未来と工学技術

1. はじめに
2. 次世代の漁船
 - ・ 漁船の特徴
 - ・ 漁港－漁場間の安全かつ省エネな航海を支援
 - ・ ロボット釣り機の開発

・ 再生可能エネルギーの活用 ～水素燃料電池漁船の検討～

3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術
4. まとめ



再生可能エネルギー活用による離島の活性化



五島市離島漁業振興策研究会（2015年～）

- 長崎県五島市は多種多様な沿岸漁業が盛ん
- 2014年：「しまの豊かさを創造する海洋都市」を基本理念とする再生可能エネルギー基本構想を発表
- 2015年：五島市をフィールドとした離島・沿岸漁業振興のための研究会をスタート
 - 水産研究・教育機構、長崎県、五島市、地元漁協、海上技術安全研究所、風力発電関係企業、水素燃料関係企業、関係省庁等が参加
- 2016年3月：浮体式洋上風力発電の商業運転開始（1基稼働中、10基展開予定）

目的：離島漁業振興のため、長崎県五島市をフィールドとして、離島の特徴と現状、ニーズに即した研究開発を行う。

- 再生可能エネルギーの漁船漁業への活用：水素燃料電池漁船の開発
- 高齢者に優しい磯根漁業の再興



25

電池船を導入する漁業種類の検討

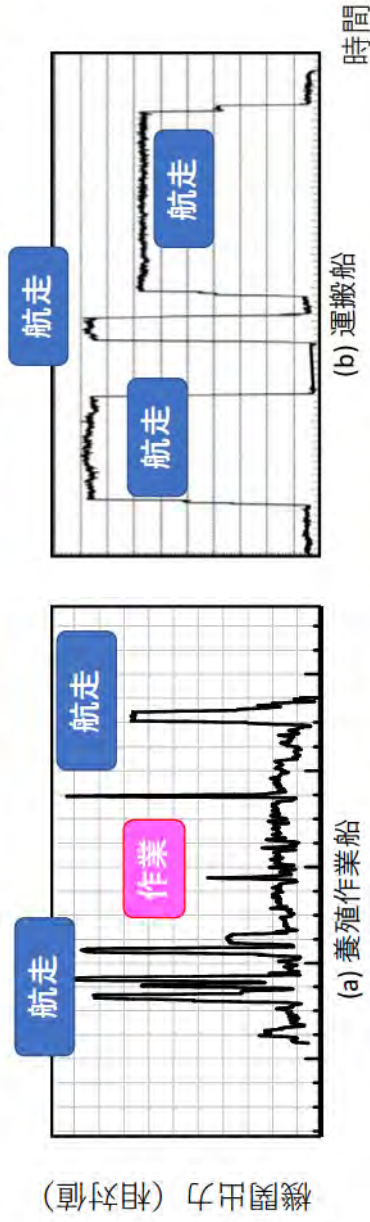
- 五島市の様々な漁船漁業のエネルギー消費特性を計測
 - ✓ 省エネ操業の提案
- 電池船化への適・不適を評価



19トン型 養殖作業船



15トン型 運搬船



漁船の機関出力変動の計測例（Mizoguchi et al. 2019, ほか）



26

養殖作業船の水素燃料電池船化

・ 養殖作業船の特徴

- ✓ 日帰り操業、給餌と出荷、生け簀管理が主な業務
 - ✓ 漁船としては消費エネルギーが小さい
- ### ・ 導入の利点
- ✓ 騒音・振動の低減、排気ガス0
労働環境改善
 - 音に敏感な魚（まぐろなど）のストレス低減
 - 商品のイメージアップ（クリーン、カーボンフリー）
 - ✓ 電動化は、将来の自動化・ロボット化への第一歩

水素燃料電池導入のための検討事項

- 1) 実船の運航データから、必要な機関出力等を設定
- 2) モータ、水素燃料電池、バッテリーの仕様を決定
- 3) 実船の運動・安全性能の把握と改良船型の検討
- 4) 機器配置や労働環境の検討
- 5) 船舶として必要な安全対策
 - ✓ 水素燃料電池船の安全ガイドライン（H30.4）等に従う

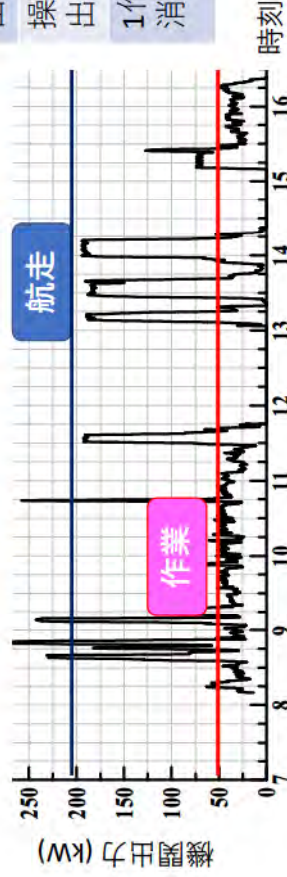
基本仕様検討

- マグロ養殖作業船の航行・作業データを通年計測
- 作業の年間ピーク時に対応可能な仕様を検討



基本仕様

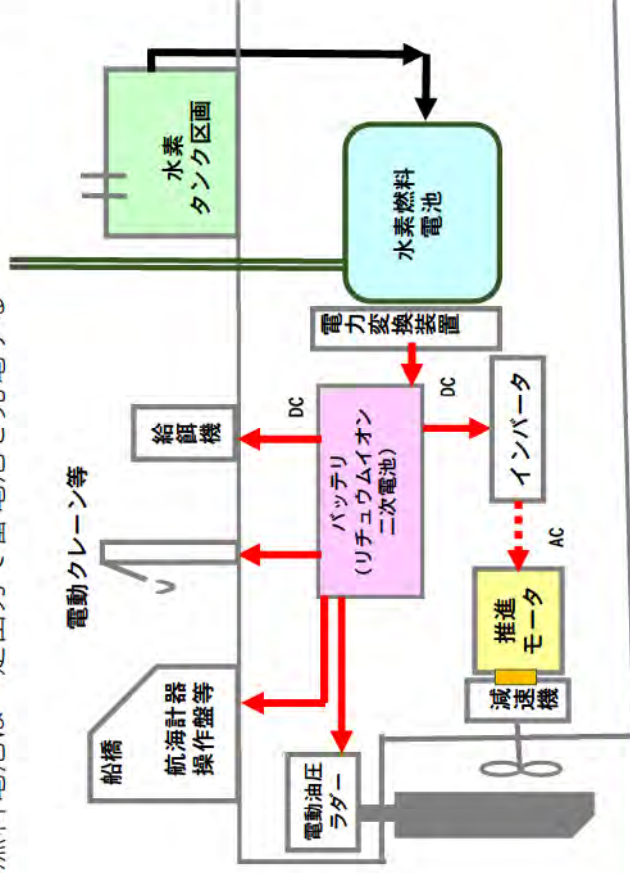
| | |
|------------------|---------|
| 航海時間 | 8 時間 |
| 計画速力 | 10 ノット |
| 航海常用出力 | 200 kW |
| 操業常用出力 | 50 kW |
| 1作業日消費電力量 (年間最大) | 435 kWh |



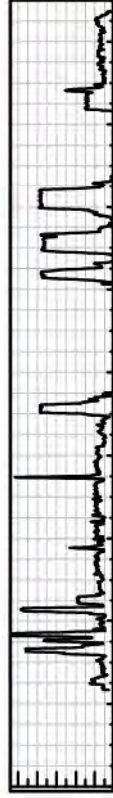
養殖作業船の機関出力変動の実測例 (1日)

水素燃料電池養殖作業船のシステム構成の検討

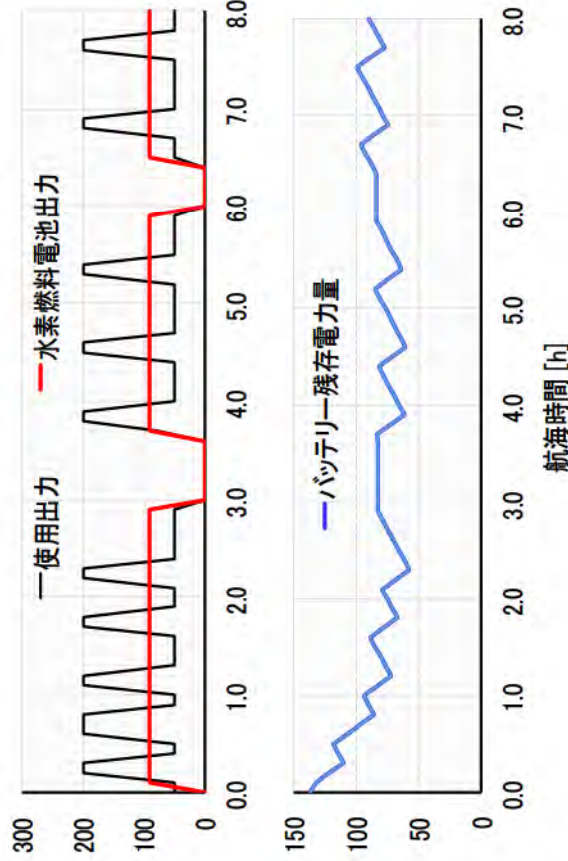
- ✓ 自動車用の水素燃料電池システムの転用を想定
- ✓ 漁船は負荷変動が大きいため、推進モーターや漁労機器はバッテリーで駆動
- ✓ 水素燃料電池は一定出力で蓄電池を充電する



機関仕様検討：実測データに基づくケーススタディ



水素燃料電池は一定出力で使用し、バッテリーを充電



得られた機関仕様の一例

| | 仕様 |
|-------|--------------------------|
| モータ | 350kW (90%効率で使用) |
| 燃料電池 | 114kW × 4台 (20%負荷で使用) |
| バッテリー | 137 kWh |

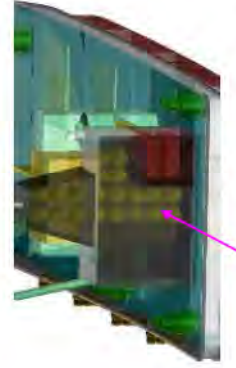
漁労機器などの配置

- 作業動線の計測と解析
- 現地漁業者への聞き取り、アンケートを実施

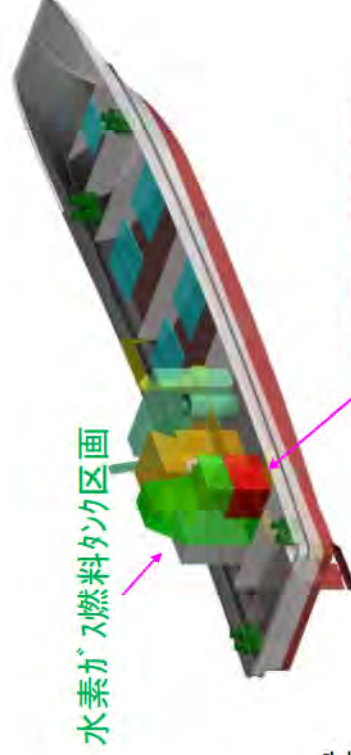


水素燃料ガスタンク、燃料電池設置区画の配置検討

- **水素燃料電池船の安全ガイドライン** (2018. 4)
 - ✓ 水素ガスを燃料とする内航小型船舶 (20トン未満) を対象
 - ✓ 国際ガス燃料船安全コード (International Gas Fuel Cord) を考慮



水素タンクはIGFコードに従って配置
船側から [幅B/5] より内側
船側および船尾端の外板から
0. 8m以上離す など

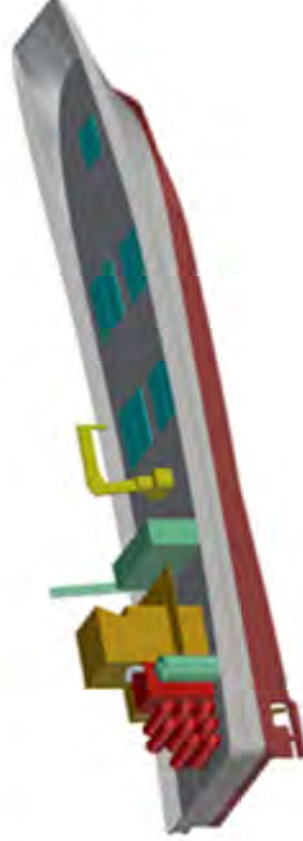


水素ガス燃料タンク区画

燃料電池設置区画
緊急遮断保護機関区域

水素燃料電池漁船の開発のまとめ

- 19トン型水素燃料電池養殖作業船の基本計画を策定
 - ✓ 船型、機関仕様、水素タンク、漁撈機器等の検討



- 実船建造へ向けて
 - ✓ 関係企業・研究機関・団体・造船所等との連携の強化

目次：水産業の未来と工学技術

1. はじめに
2. 次世代の漁船

3. 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術

- IQ管理下における新しい漁船像
- 広帯域魚群探知機による魚体長計測と魚種推定

4. まとめ



新しい水産政策とそれに対応した技術

- 新しい漁業法の施行（2020年12月）
 - ✓ 「資源の持続的利用」を目的化
 - ✓ 新資源管理システムの導入 *etc.*
- 方針：漁獲対象種の8割を漁獲可能枠制度（TAC）対象に
 - ✓ TAC対象魚種は原則として個別割当（IQ）管理
 - ✓ IQ管理が機能する場合は、**漁船の総トン数や隻数に関する制限措置を定めない**



これらに対応した新たな漁船像を検討

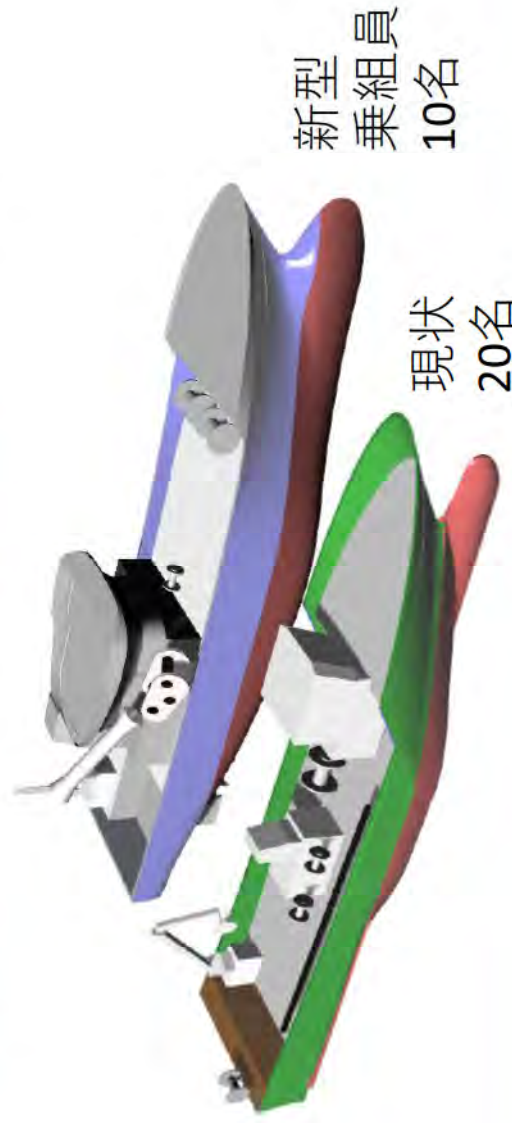


IQ管理における漁船漁業の特徴

- 漁獲してしまうと割当量の一部となり利益が決まる
 - ✓ 漁獲前の魚群価値の見極めが重要
 - ✓ 市場価値の高い or 低い魚の選別
 - ✓ 市場動向の把握
- 船上における商品価値の維持・向上
- 漁法、漁船設計の制約の緩和

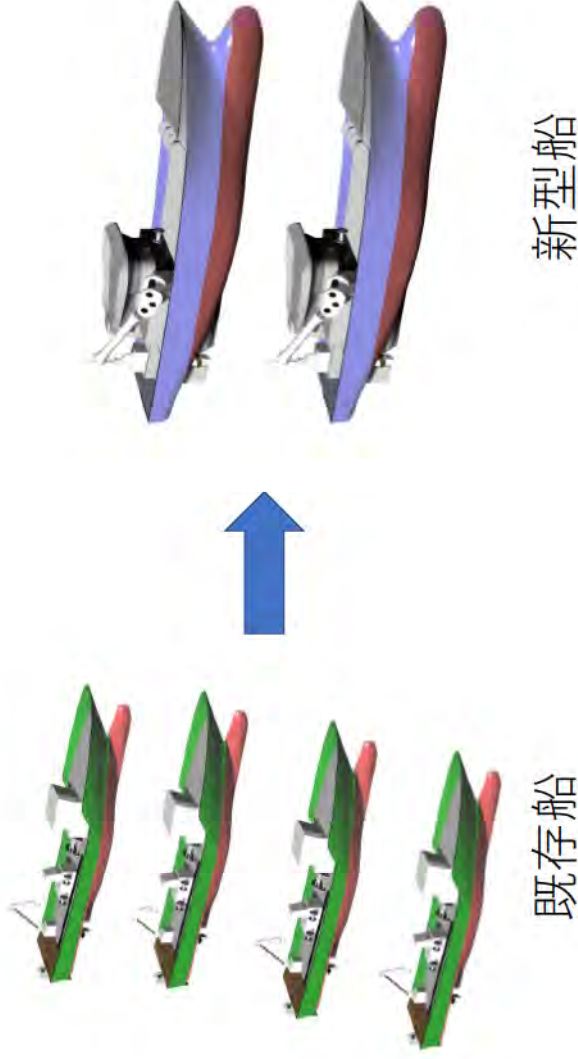
IQ管理下における新しい漁船像（まき漁船の例）

- 漁労機器、制御機器を設置するスペースが十分に確保され
省人化操作が可能。居住性も向上
- 安全性向上の観点からは、2層甲板化などが可能



IQ管理下における漁船漁業システムの研究

- 漁船を取り巻く環境全体を考慮した**採算性の評価**
- 水産資源変動と漁業経営を統合的にシミュレーション

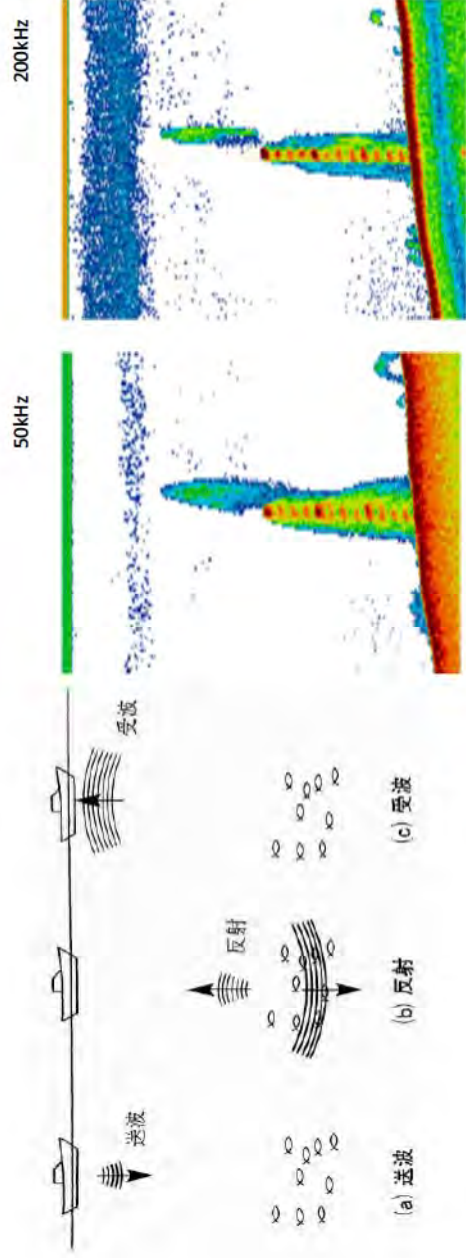


IQ管理に対応する漁船漁業技術

- 漁獲してしまおうと割当量の一部となり利益が決まる
 - ✓ **漁獲前の魚群価値の見極めが重要**
 - ✓ 市場価値の高い or 低い魚の選別
- **広帯域魚群探知機による魚体長計測と魚種推定**
 - ✓ 獲る前に知る

魚群探知機のしくみ

超音波パルスを送波し、魚や海底からの反射波を計測。



魚の音響反射

- 音は物質境界で反射 周辺水 - 体表 - 鰾（うきぶくろ）
- 密度と音速の積（音響インピーダンス）の差が大きいと、反射も大

| | | |
|------|--------------------------|----------|
| • 空気 | 0.0013 g/cm ³ | 360 m/s |
| • 海水 | 1.03 g/cm ³ | 1500 m/s |



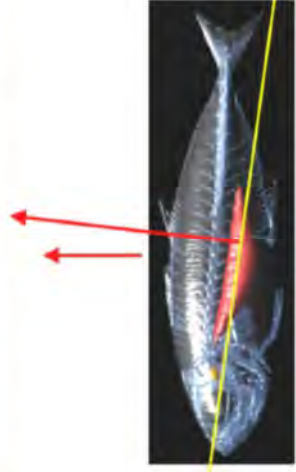
スケトウダラ



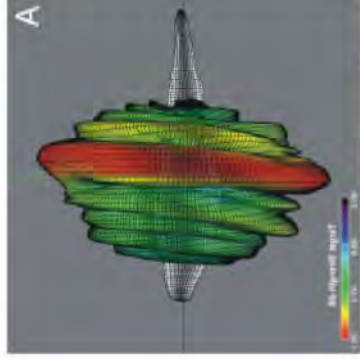
魚の鰾

ベニサケ

魚の音響反射特性 (背方向)



マアジのX線CT (奥村)



スケトウダラ 38 kHz (Towler *et al.*, 2003)



Towler R. H., Jech J. M., and Home J. K., Visualizing fish movement, behavior, and acoustic backscatter, *Aquatic Living Resources*, 2003

43

背方向反射の90%以上は鰹の寄与 (Foote, 1980)。

有鰹魚は同サイズの無鰹魚のおよそ10倍の反射強度

体長の2乗にほぼ比例

音響入射角 (姿勢) により大きく変動

鰹の投影断面積が最大になる付近で最大値をとる

広帯域魚群探知機

高分解能 (パルス圧縮処理) かつ周波数特性が得られる

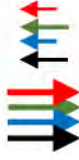
狭帯域音

「同じ高さの音を使う」

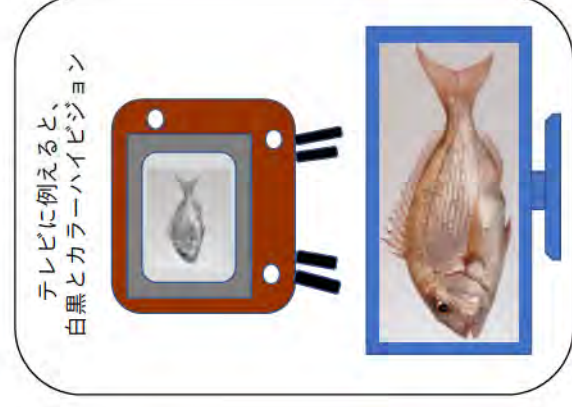


広帯域音

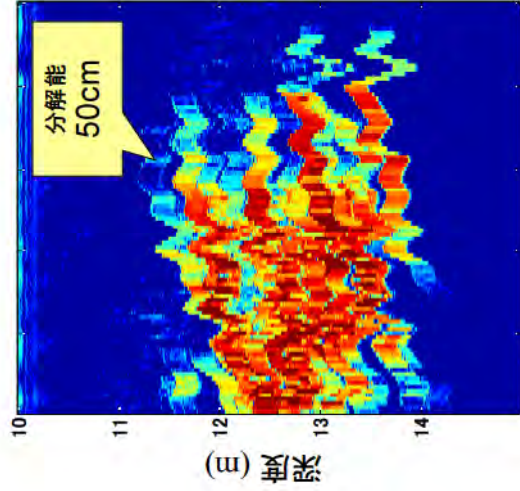
「いろいろな高さの音を一度に出す」



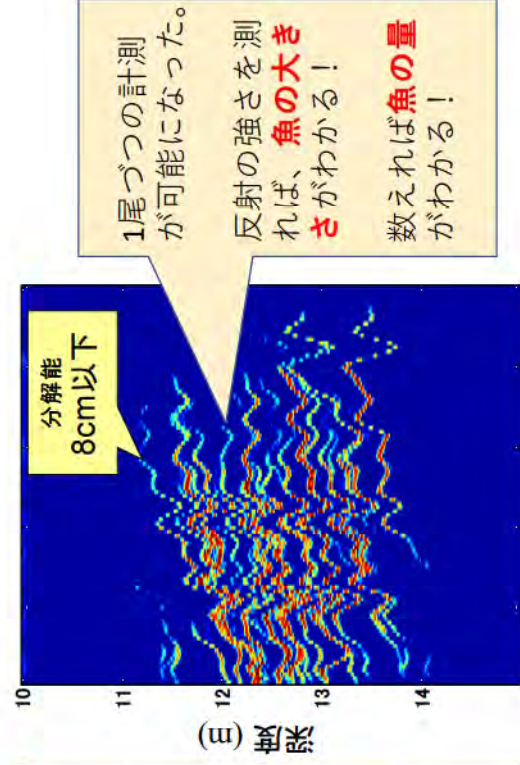
情報量が多い!



広帯域魚探の特長 (1) : 高分解能 魚1尾毎の計測ができる



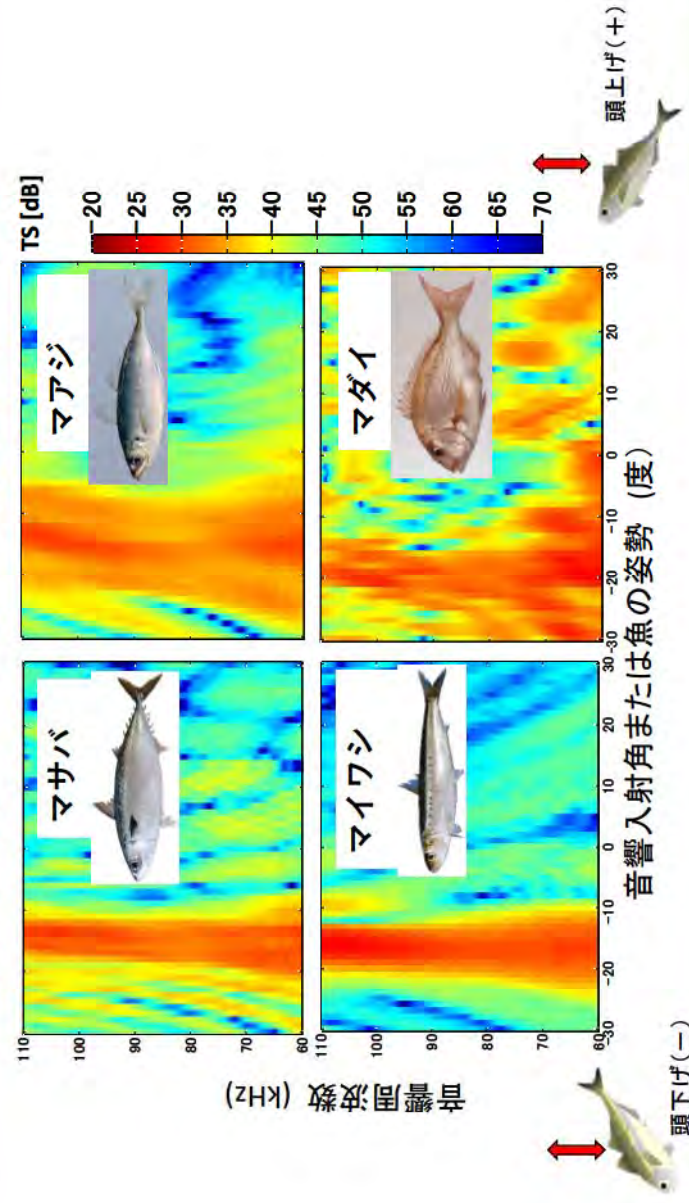
従来型(狭帯域)魚群探知機



新型(広帯域)魚群探知機

魚の広帯域音響散乱特性 (TSスペクトルパターン)

- うきぶくろや骨格、体型等の違いにより、魚種の特徴が現れる

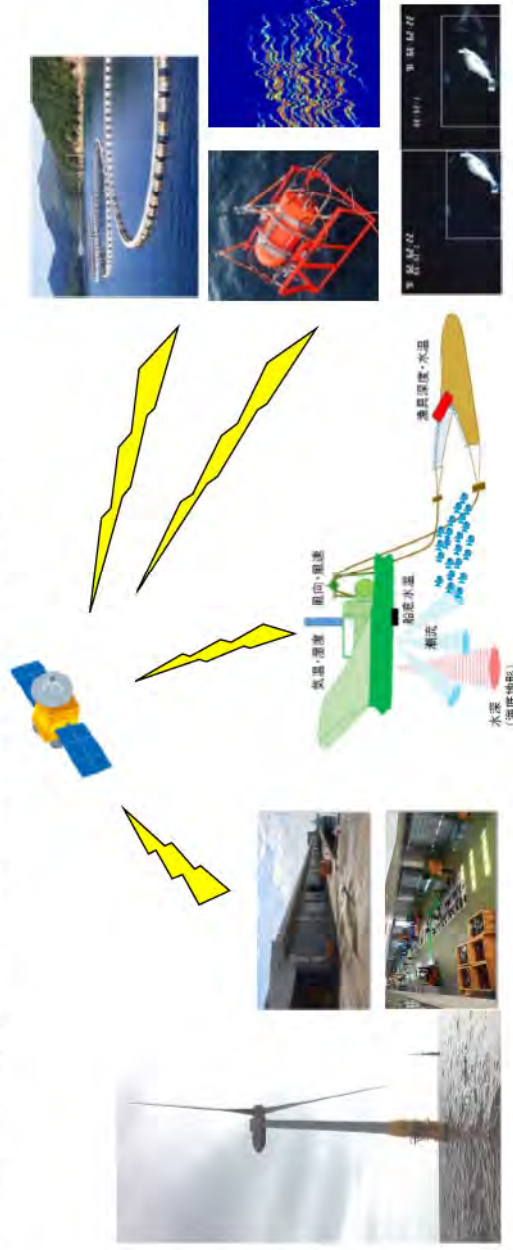


まとめ：水産業の未来と工学研究

- 漁船漁業の電化の推進
 - ✓ 電化は、自動化・ロボット化への第一歩
- 再生可能エネルギー由来の電力の利用
 - ✓ 水素燃料電池漁船の検討
- 洋上、漁場でのデジタル情報取得、双方向通信の活用
 - ✓ 漁船用ウェアラブルデバイス
- 新しい水産政策に対応する漁船漁業技術
 - ✓ IQ管理下における新しい漁船像
 - ✓ 獲る前に知る技術

再生可能エネルギー活用漁港を核とした漁業・養殖業システム

- 風力や太陽光発電エネルギーを使用する 高度衛生型漁港（魚市場）
- 漁獲や出荷等の判断のための情報を自動的にリアルタイムで提供
- 漁労作業、養殖作業は「匠の技」を解析し、自動化、ロボット化
- 漁船の海洋センサ化、漁船ビッグデータの活用



謝辞

ご協力いただいている漁業者、漁業協同組合、共同研究組織、研究者の皆様にご心より感謝いたします。

ご清聴ありがとうございました。